

中华人民共和国水利行业标准

**SL 537—2011**

替代 SL 20—92

SL 24—91

SD 174—85

## 水工建筑物与堰槽测流规范

Code for Measurement of Discharge by Hydraulics  
Structures, Weirs and Flumes

2011-04-12 发布

2011-07-12 实施



中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部  
关于批准发布水利行业标准的公告

2011 年第 22 号

中华人民共和国水利部批准《水工建筑物与堰槽测流规范》  
(SL 537—2011)标准为水利行业标准；现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水工建筑物与 堰槽测流规范	SL 537—2011	SL 20—92 SL 24—91 SD 174—85	2011. 4. 12	2011. 7. 12

2011 年 4 月 12 日

# 前 言

水工建筑物与堰槽测流是通过测量有关水力要素，利用水力学公式计算出断面流量的一种流量测量方法。随着水文巡测技术的发展，水资源监测任务的日益增加，仅采用流速面积法进行流量测验已不能满足流量测验的需要。20余年来，各地对采用水工建筑物与堰槽法流量测验开展了大量有益的探索，积累了许多宝贵的经验。为了总结经验，统一水工建筑物与堰槽测流的技术和要求，进一步完善流量测验标准体系，根据水利部水利技术标准制定计划，按照《水利技术标准编写规定》（SL 1—2002）的要求，编制本标准。

本标准共 7 章 34 节 196 条和 11 个附录，主要技术内容有：

- 水工建筑物测流的内容、方法和技术要求；
- 测流堰测流的内容、方法和技术要求；
- 测流槽测流的内容、方法和技术要求；
- 末端深度法测流的内容、方法和技术要求；
- 比降面积法测流的内容、方法和技术要求。

本标准为全文推荐。

本标准所替代标准的历次版本为：

- SL 20—92
- SL 24—91
- SD 174—85

本标准批准部门：**中华人民共和国水利部**

本标准解释单位：**水利部水文局**

本标准主编单位：**水利部水文局**

本标准参加单位：**水利部黄河水利委员会水文局**

**水利部长江水利委员会水文局**

**江苏省水文水资源勘测局**

甘肃省水文水资源勘测局

广东省水文局

湖北省水文水资源局

湖南省水文水资源勘测局

北京市水文总站

上海市水文总站

河海大学

南京水利科学研究院

水利部南京水利水文自动化研究所

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：朱晓原 张留柱 林来照 孙永远

牛最荣 秦福兴 谢悦波 李海源

宋政峰 姚永熙 崔玉兰 王志毅

赵志新 李正最 李志敏 虞志坚

王熊世 李学春 刘九玉 李红良

王增海

本标准审查会议技术负责人：刘昌明 金兴平

本标准体例格式审查人：徐海峰

# 目 次

1	总则 .....	1
2	术语与符号 .....	3
2.1	术语 .....	3
2.2	常用符号 .....	8
3	水工建筑物测流 .....	12
3.1	一般规定 .....	12
3.2	测验设施布设与观测 .....	13
3.3	流量系数率定、综合和检验 .....	24
3.4	堰流流量推算 .....	27
3.5	孔流流量推算 .....	41
3.6	隧、涵洞流量推算 .....	47
3.7	水电站和泵站流量推算 .....	53
3.8	水工建筑物流量测验不确定度估算 .....	58
4	测流堰测流 .....	64
4.1	一般规定 .....	64
4.2	测流堰的设置与水头测量 .....	64
4.3	薄壁堰 .....	68
4.4	宽顶堰 .....	76
4.5	测流堰单次流量测验的不确定度估算 .....	108
5	测流槽测流 .....	113
5.1	一般规定 .....	113
5.2	矩形长喉道槽 .....	116
5.3	梯形长喉道槽 .....	120
5.4	U形长喉道槽 .....	124
5.5	巴歇尔槽 .....	129
5.6	孙奈利槽 .....	136

5.7	测流槽测流单次流量测验不确定度估算	139
6	末端深度法测流	144
6.1	一般规定	144
6.2	末端水深测量	144
6.3	流量计算	144
7	比降面积法测流	149
7.1	一般规定	149
7.2	河段选择	150
7.3	断面布设	151
7.4	水位观测设施与布设	152
7.5	断面测量	153
7.6	比降水位观测	153
7.7	糙率选用	154
7.8	流量计算	155
7.9	流量测验误差来源与不确定度估算	158
附录 A	水工建筑物测流测站考证表式和测验 记载表式	161
附录 B	弧形闸门垂直开启高度换算方法	172
附录 C	堰流流量系数计算方法和图表	175
附录 D	管、洞临界坡计算和流量系数查算表	187
附录 E	水工建筑物法流量不确定度估算实例	196
附录 F	各类测流堰的基本性能和适用条件	199
附录 G	测流槽的选用及安装	202
附录 H	测流槽测流计算实例	206
附录 I	糙率分析方法	209
附录 J	粗糙河道糙率选用参考表	211
附录 K	河槽糙率系数选用参考表	212
	标准用词说明	241
	条文说明	243

# 1 总 则

**1.0.1** 为统一水文水资源监测中水工建筑物与堰槽测流的技术要求，适应流量测验技术的发展，完善流量测验的技术方法，提高流量测验的精度和技术水平，满足水文水资源监测与管理的需要，制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于各类河流、湖泊、水库等站的流量测验工作；并适用于水利工程、灌区水量调度、水资源分配、引排水等渠道水量监测；亦适用于水文调查流量推算，水文实验站、自动监测站等的流量测验。本标准适用于水文测站洪水、枯水等常规流量测验，适用于测站受工程及人类活动影响情况下的流量测验，也适用于各种渠道的引水、退水、分水等水量计量监测。

**1.0.3** 水工建筑物与堰槽测流使用的基础设施及技术装备应按规定进行检定、校准，保证其精度和性能应达到技术要求。

**1.0.4** 水工建筑物与堰槽测流的结果，可采用流速面积法、体积法等方法进行溯源。

**1.0.5** 本标准未包括的内容，应执行现行有关标准的规定；对可选项或未作具体规定的条款，省（自治区、直辖市）、流域机构水文测验业务主管部门可制定补充规定。有关补充规定应报国家水文业务主管部门备案。

**1.0.6** 本标准中有关水文测验的术语、符号和含义，除已列出的部分，其余均应遵守《水文基本术语符号标准》（GB/T 50095—98）中的规定。

**1.0.7** 流量测验的基本要求和率定流量系数的流量测验、水位观测、水文普通测量，应遵循《河流流量测验规范》（GB 50179—93）、《水位观测标准》（GB/T 50138—2010）及《水文普通测量规范》（SL 58—93）等有关标准的规定。流量系数关系线（式）的检验，可参照《水文资料整编规范》（SL 247—1999）中

的有关规定。

**1.0.8** 本标准引用标准主要有以下标准：

《水文基本术语符号标准》(GB/T 50095—98)

《水位观测规范》(GB/T 50138—2010)

《河流流量测验规范》(GB 50179—93)

《水文普通测量规范》(SL 58—93)

《水文资料整编规范》(SL 247—1999)

**1.0.9** 水工建筑物与堰槽测流除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。



## 2 术语与符号

### 2.1 术 语

**2.1.1 水工建筑物测流** measurement of discharge by hydraulic structure

利用已建造在江河湖库上的水工建筑物（如堰、闸、涵洞等）进行流量测验的作业活动。

**2.1.2 行近河槽** approach channel

测流建筑物上游的一段河道，有足够顺直长度，水流呈缓流状况，以确保准确地进行水文测验。

**2.1.3 测流堰** flow gaging weir

专门为开展流量测验而修建的一种过水建筑物，可以用来控制上游水位和测定流量，也称量水堰。

**2.1.4 堰顶高度** height of weir

上游河床至堰顶的高度，简称堰高。

**2.1.5 堰顶水头** weir head

堰顶溢流时，堰上游水面未发生降落处的水位与堰顶高程之差，也称堰上（游）水头。

**2.1.6 水舌** nappe

堰上水流所形成的射流。

**2.1.7 薄壁堰** thin - plate weir

由一块垂直薄板所构成的堰，当在规定限度内运行时，可使水舌完全跳离堰顶（见图 2.1.7）。

**2.1.8 薄壁缺口堰** thin - plate notch weir

在薄壁堰顶上切割一个缺口所构成的堰（见图 2.1.8）。

**2.1.9 宽顶堰** broad - crested weir

具有特定堰顶厚度的测流堰，堰顶厚度为 2.5~10 倍堰上水头，堰顶上的水流能够产生临界流（见图 2.1.9）。

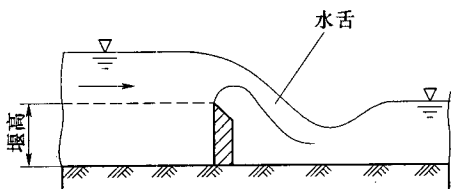


图 2.1.7 薄壁堰

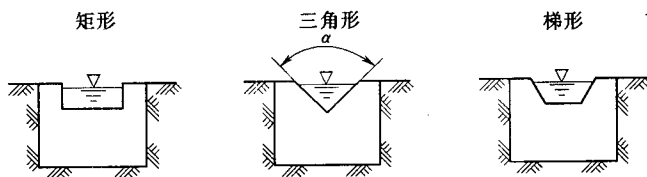


图 2.1.8 薄壁缺口堰

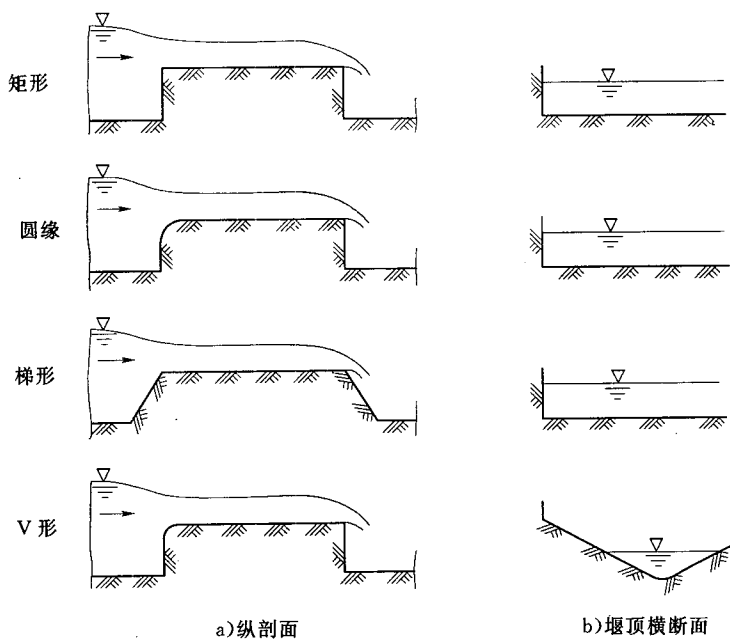


图 2.1.9 宽顶堰

- 2.1.10 三角形剖面堰 triangular-profile weir**  
具有三角形纵剖面的一种长底堰（见图 2.1.10）。

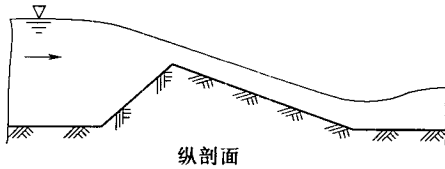


图 2.1.10 三角形剖面堰

- 2.1.11 平坦 V 形堰 flat-V weir**  
从水流方向观察，堰顶呈浅 V 形的测流堰（见图 2.1.11）。

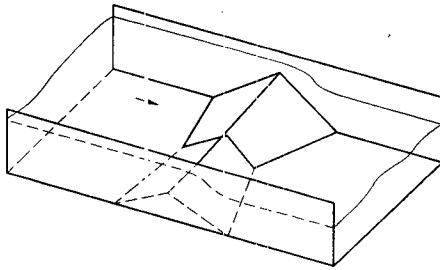


图 2.1.11 平坦 V 形堰

- 2.1.12 全宽堰 full-width weir**  
一种覆盖全部河槽宽度的测流堰，能消除水流的侧向收缩。
- 2.1.13 测流槽 flume**  
具有特定的形状和尺寸，用于测量流量的人工槽。
- 2.1.14 巴歇尔槽 Parshall flume**  
一种由收缩段、窄颈段及扩散段所组成，进口段底部具有反坡的短喉道测流槽（见图 2.1.14）。
- 2.1.15 孙奈利槽 Saniiri flume**  
一种由平底收缩入口、带落差的下游水槽及与下游水槽相连的垂直墙组成的测流槽（见图 2.1.15）。
- 2.1.16 喉道 throat**

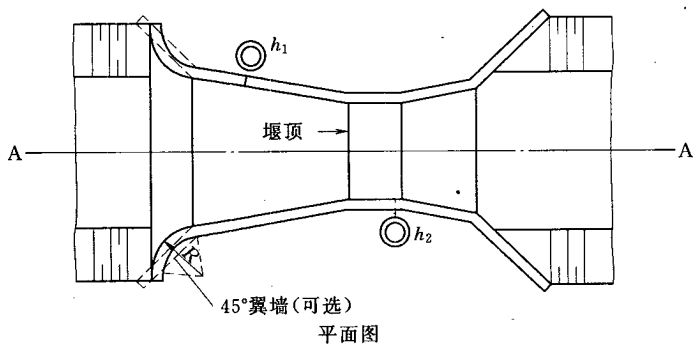
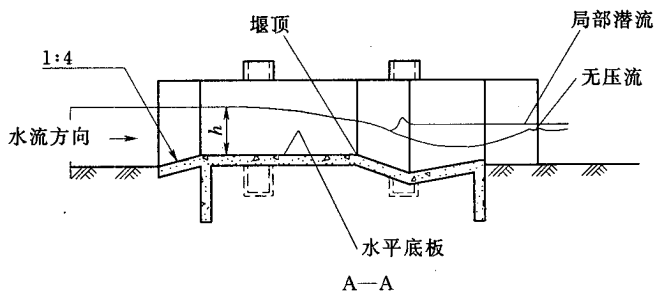


图 2.1.14 巴歇尔槽

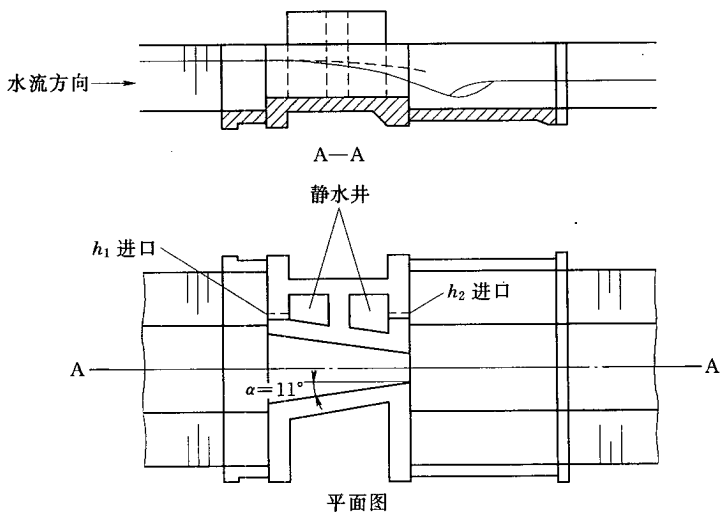


图 2.1.15 孙奈利槽

测流槽内的最小横断面区段。喉道可以为矩形、梯形、U形或其他特定形式。

**2.1.17 上游实测水头 upstream gauged head**

测流建筑物上游基本水尺水位减堰顶（闸底、槽底）高程，也称实测水头。

**2.1.18 上游总水头 upstream total head**

上游实测水头和上游基本水尺处流速水头之和。

**2.1.19 下游实测水头 downstream measured head**

测流建筑物下游基本水尺水位减堰顶（闸底、槽底）高程。

**2.1.20 下游总水头 downstream total head**

下游实测水头和下游基本水尺处流速水头之和。

**2.1.21 非淹没流 modular flow**

流过测流建筑物的水流，不受测流建筑物下游水位影响，非淹没流也称自由流。

**2.1.22 淹没流 drowned flow; nonmodular flow**

流过测流建筑物的水流，受到测流建筑物下游水位变化的影响。

**2.1.23 淹没比 submergence ratio**

堰下游总水头与堰上总水头之比。

**2.1.24 淹没度 submergence level**

堰（或槽）下游实测水头与上游实测水头（或上游总水头）之比。

**2.1.25 非淹没限 unsubmerged limit**

特定流量下，堰上水流的上游水位恰好开始影响下游水位时的淹没比。

**2.1.26 淹没界限 submergence critical limitation**

开始淹没时所相应的下游实测水头与上游总水头之比值，即为自由堰流与淹没堰流的界限，亦称淹没临界值、初始淹没点、临界淹没点。

**2.1.27 淹没系数 submergence coefficient**

淹没流流量与上游水头相同的自由流流量的比值。

### 2.1.28 控制河段 control reach

对某断面水位流量关系起控制作用的河段。

### 2.1.29 比降面积法测流 measurement of discharge by islope area

通过实测比降和断面面积，选用合适糙率，用水力学公式计算河段瞬时流量的方法。

### 2.1.30 末端深度法测流 end-depth method for calculation of flow with a free overfall

当渠道具有垂直跌水时，形成自由溢流，通过实测渠道末端的水深，利用水力学公式计算流量的一种方法。

## 2.2 常用符号

### 2.2.1 面积

$A$ ——过水断面面积、行近河槽断面面积， $m^2$ ；

$A_c$ ——临界断面的面积， $m^2$ ；

$A_u$ 、 $A_m$ 、 $A_l$ ——比降上、中、下断面过水面积， $m^2$ ；

$a$ ——泄水建筑物过水断面面积， $m^2$ 。

### 2.2.2 长度

$L$ ——水流方向槽、堰顶、行近河槽、喉道长度，闸上游水尺至堰闸的距离， $m$ ；比降断面间距， $km$ ；

$L_c$ ——界限管长， $m$ ；

$L_1$ ——测流槽喇叭形进口长度， $m$ ；

$L_2$ ——测流槽斜坡长度， $m$ ；

$L_3$ ——测流槽消能池长度， $m$ 。

### 2.2.3 宽度

$B$ ——行近河槽水面宽、进水段水面宽、堰闸总宽， $m$ ；

$B_c$ ——临界断面的水面宽， $m$ ；

$B_0$ ——渠道底宽，梯形断面的底宽， $m$ ；

$b$ ——顶宽、测流槽宽、喉道宽、宽度、垂直于水流方向的堰顶宽度， $m$ 。

#### 2.2.4 水深

$d$ ——水深, m;

$d_c$ ——临界水深、收缩断面水深, m。

#### 2.2.5 高度

$e$ ——闸门开启高度, m;

$P$ ——平均河床以上的槽底或堰顶高度, m。

#### 2.2.6 半径

$D$ ——U形喉道测流槽底部直径, m;

$R$ ——水力半径, m;

$r$ ——圆形渠道半径, m。

#### 2.2.7 流量

$Q$ ——流量、总流量、恒定流流量、自由出流流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$Q_f$ ——淹没流流量、非恒定流流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$Q_s$ ——恒定非均匀流流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$\Delta Q$ ——淹没流改正值,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$q$ ——单宽流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

#### 2.2.8 比降

$S$ ——水面比降、恒定流流态下的实测水面比降;

$S_f$ ——非恒定流时的实测水面比降;

$S_w$ ——加速比降。

#### 2.2.9 水位

$Z$ ——水位, m;

$Z_u$ ——上游水位, 比降上断面水位, m;

$Z_l$ ——下游水位, 比降下断面水位, m。

#### 2.2.10 水头

$H$ ——总水头、测流槽上游总水头、水电站过机水流的有效水头, m;

$H_L$ ——测流槽下游总水头, m;

$H_{\max}$ ——最大水头, m;

$h$ ——实测水头、上游实测水头、末端水深, m;

$h_e$ ——上游实测有效水头, m;

$h_P$ 、 $h_2$ 、 $h_L$ ——下游实测水头, m;

$h_v$ ——行近流速水头, m;

$\Delta h$ ——实测上下游水头差, m。

### 2.2.11 水位(水头)差

$\Delta Z$ ——水位差、水头差, m;

$\Delta \bar{Z}$ ——河道每公里长的水面落差, mm。

### 2.2.12 流量流速系数

$C$ ——流量系数(用于实测水头)、流速流量组合系数、水工建筑物堰流流量系数;

$C_D$ ——流量系数(用于总水头或有效水深);

$C_V$ ——行近流速系数;

$C_f$ ——淹没系数, 用于测流堰和测流槽;

$C_s$ ——形状系数;

$C_u$ ——形状系数, 用于U形槽;

$\sigma$ ——淹没系数, 用于水工建筑堰流、孔流等;

$S_k$ ——淹没度;

$\sigma_c$ ——非淹没限;

$K$ ——进口流态系数(在低堰进口段流向不正时用);

$\epsilon'$ ——侧收缩系数;

$\mu$ ——自由孔流流量系数。

### 2.2.13 水力系数

$\alpha$ ——动能校正系数;

$\xi$ ——断面沿程收缩或扩散系数。

### 2.2.14 其他系数

$K$ ——输水率;

$\bar{K}$ ——河段平均输水率;

$m$ ——梯形断面的边坡系数;

$n$ ——河床糙率系数。

### 2.2.15 误差



$S_m$ ——水准测量每公里线路标准差，mm；

$S_z$ ——比降水位观测的误差，mm。

### 2.2.16 不确定度

$X_Q$ ——流量综合不确定度，%；

$X'_Q$ ——流量随机不确定度，%；

$X''_Q$ ——流量系统不确定度，%。

## 3 水工建筑物测流

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 用于流量测验的水工建筑物有堰、闸、涵洞和水电站（含泵站）等。

**3.1.2** 用于测流的水工建筑物，其边界条件和水力条件应符合下列要求：

1 水工建筑物对水流产生垂直或平面的约束控制作用，形成水面明显的局部降落，产生一定的水头差。遇有淹没出流时，建筑物上下游的水头差不宜小于 0.05m。

2 水工建筑物的上下游进出口和底部，均不应有明显冲淤变化和障碍阻塞。

3 位于河渠上的堰闸进水段，应有造成缓流条件的顺直河槽。河槽的顺直段长度不宜小于过水断面总宽的 3 倍。有淹没出流的堰闸，下游顺直河段长度不宜小于过水断面总宽的 2 倍。

#### 3.1.3 确定流量系数方法

确定流量系数可采用现场率定、模型实验、同类综合和经验系数等方法，并应符合下列要求：

1 采用水工建筑物测流的测站，现场率定时，应用流速面积法按高、中、低水对流量系数进行率定。

2 已采用水工建筑物测流的测站，应定期（3~5 年）进行流量系数检验。

3 无法进行现场率定流量系数的测站，可采用模型试验、同类综合和经验系数等方法确定流量系数。

4 采用模型试验、同类综合和经验系数等方法确定流量系数可作为超标洪水、洪水调查等特殊情况下的流量测验，不宜作为常规流量测验方法。

#### 3.1.4 测验精度要求

采用水工建筑物测流的测站，测验精度应满足 GB 50179—93 的有关规定。

### 3.1.5 考证簿编制要求

利用水工建筑物测流的测站，应对建筑物的型式、结构、水力特性及边界条件等作详细调查了解，搜集有关资料，编制考证簿，并作为技术档案长期保存。如果工程型式、结构、标准、水力特性及边界条件等发生变化，或上下游河槽、水准点、基面、断面、测验设施发生变化，应及时补充修订考证簿。考证簿的表式内容和填制要求见附录 A。

水文测站每 10 年（公历逢 5 年）应根据水文资料整编规定，进行测站考证资料的整编。

## 3.2 测验设施布设与观测

### 3.2.1 断面布设

1 堰闸水尺断面布设应符合下列要求：

- 1) 河、渠堰闸上游基本水尺断面应设在堰闸进口渐变段的上游水位平稳处，其距离可根据表 3.2.1 确定。当堰闸上游水流受到弯道、浅滩等影响可能产生横比降时，则应在两岸同一断面线上分别设立水尺。

表 3.2.1 上游基本水尺断面距堰闸距离 单位：m

$B$	$L$
$<50$	$(3\sim5) H_{\max}$
$50\sim100$	$(5\sim8) H_{\max}$
$>100$	$(8\sim12) H_{\max}$

注：B—堰闸总宽；L—上游水尺断面与堰闸进口渐变段上游端距离，当堰闸进口无渐变段时，水尺断面距离应从堰口或闸门处算起。

- 2) 水库溢洪闸（道）上游基本水尺断面，应根据下列情况布设：

——当堰闸上游进水段长度满足表 3.2.1 的规定时，

则按表 3.2.1 的规定设立闸上游水尺断面。

——当堰闸进口前为开阔水面（如湖泊或水库），如果坝前水尺距堰闸较近（不宜超过 500m），且水流不受阻隔时，可用坝前水尺代替堰闸上游水尺。

——当堰闸上游虽无顺直进水段，坝前水尺距堰闸较远（超过 500m），坝前水位对堰闸出流反映不灵敏时，则应在堰闸上游进口附近、避开堰闸引起的壅水或跌水影响处，设立专门的上游水尺。

- 3) 堰闸下游水位有独立使用价值的，应设立下游基本水尺断面。断面位置应设在堰闸下游水流平稳处，距消能设备末端的距离，应不小于消能设备距堰闸距离的 3 倍。当测流断面设在堰闸下游时，可将下游基本水尺断面与测流断面重合设立。
- 4) 有淹没出流的堰闸，应在堰闸后淹没水跃区附近设立辅助水尺。当设置有困难时，可用堰闸下游基本水尺代替。
- 5) 当测流断面与堰闸上（下）游基本水尺断面相距不远时（两处水位差不大于 1cm），可用堰闸上（下）游基本水尺代替；如果两断面相距较远，则应专门设立测流断面水尺。

## 2 涵洞水尺断面布设应符合下列要求：

- 1) 涵洞上游基本水尺断面应设在进水口附近水位平稳处。
- 2) 有淹没出流的涵洞，除在进水口设立水尺外，还应在涵洞出水口附近水流平稳便于观测处，设立下游辅助水尺。

## 3 水电站、泵站水尺断面布设应符合下列要求：

- 1) 水电站、泵站的上（下）水尺断面，应设于建筑物进水口（出水口）附近水流平稳，便于观测的地方。
- 2) 符合下列条件之一的水电站和泵站，可不设站下水尺：  
——计算水头用站上水位减喷嘴中心高程的水电站。

——出水管口位于水面以上，用管口中心高程减站上水位计算扬程的泵站。

#### 4 测流断面布设应符合下列要求：

- 1) 为便于流量系数进行现场率定和检验，应在泄水建筑物的上游或下游附近，设立可采用流速仪或走航式 ADCP 进行测验的测流断面。
- 2) 测流断面宜设在建筑物下游河（渠）道整齐、顺直，水流平稳的河（渠）段上。测流断面距消能设备末端的距离应不小于消能设备距堰闸距离的 5 倍。
- 3) 在建筑物下游无满足要求的测流断面时，可在建筑物上游的适宜位置设立测流断面，并应符合下列要求：
  - 建筑物上游应有足够长度的顺直平缓河段，流速分布正常，处于缓流状态，顺直河段长度，一般应不小于过水断面总宽的 3 倍。当堰闸宽度小于 5m 时，顺直河段长度应不小于最大水头的 5 倍。
  - 无闸门的堰，测流断面设于堰上游水流平稳处，与堰进口的距离，应不小于水尺断面至堰的距离。高堰则应避开堰坎对断面垂线流速分布的影响。
  - 有孔流出现的堰闸，测流断面距闸的距离应满足避开闸门阻水对断面流速分布的影响。
- 4) 测流断面离开建筑物不宜过远，应避免区间分流或汇入以及河槽调节水量的影响。

#### 3.2.2 观测设备的安装

1 每孔闸门上，应安装直接观读闸门开启高度的标尺，宜安装自动闸位计；闸位测量误差应小于 10mm（10m 变幅），需要时误差应小于 5mm。

2 水位观测设备、水准点、测量标志等设施的设置要求，均应按照 GB/T 50138—2010 的规定执行。

#### 3.2.3 高程、断面、建筑物尺度测量

1 水准点、水尺零点高程及大断面等测量的技术要求和精

度，应符合 GB 50179—93、GB/T 50138—2010 和 SL 58—93 的有关规定。

2 堰顶、闸（洞）底高程，水电站、泵站出水管口中心高程，应采用三等或四等水准测量。高程测定以后，可每隔 5~10 年复测一次，当发现有变动迹象时，应随时复测。

3 水工建筑物上下游基本水尺断面的大断面测量次数应符合下列要求：

1) 河槽有冲淤变化的河流，每年测量一次。

2) 河槽稳定的河流，其水位与面积关系点偏离曲线不超过  $\pm 2\%$  时，每 3~5 年测量一次。

3) 闸前后无冲淤变化以及无进水段的堰闸、涵闸、水电站、泵站等均可不进行大断面测量。

4 建筑物过水断面为矩形的，宽度应进行往返精确测量，并分别测记其最高水头变幅内上、中、下三个部位的数值，当各部位测量互差不超过  $\pm (0.01\text{m} + 0.2B\%)$  时（ $B$  为建筑物过水断面宽），取其平均值作为宽度测量值。

建筑物过水断面为非矩形的，应实测不同高程下的断面面积，两测深垂线间的间距不应大于总宽度的 4%。水深应记至 0.005m，同一部位宽度测量应不少于 3 次，当各次测量互差不超过  $\pm (0.01\text{m} + 0.2B\%)$  时，取 3 次测量平均值作为宽度测量值。

一次测定以后，只在有变动迹象时，再进行复测。

建筑物其他有关尺度，如顺水流方向的堰厚，闸墩厚度、长度，闸门高度，弧形闸门的圆弧半径、支点高，消力池（坎）的长、高、宽等，均可采用工程竣工后经过核实的资料。当缺少这种资料时，应作实地测量，测量应精确到 0.01m；第一次测量以后，只在有变动迹象时，再进行复测。

当第一次测量时，同一尺寸测量应不少于 3 次，当各次测量互差不超过  $\pm (0.01\text{m} + 0.2L\%)$  时，可取其多次测量结果的平均值，作为测量成果。

5 流速仪测流断面和水道断面的测量次数，按 GB 50179—93 的规定执行。

### 3.2.4 水位观测与水头计算

1 使用自记水位计和水尺观测水位除按照 GB/T 50138—2010 规定执行外，还应满足下列要求：

- 1) 人工观测水尺时，在每次闸门开启和关闭过程中，应在开始、终止以及过程中及时加测水位，以控制水位变化过程。闸门变动终止，水位基本稳定后，应再观测一次水位。
- 2) 淹没出流时，建筑物上下游基本水尺和闸下辅助水尺，应同步观测。

2 水头计算应符合下列要求：

- 1) 实测水头用建筑物上游基本水尺水位减堰顶（闸底）高程。
- 2) 下游实测水头用建筑物下游水尺观测水位减堰顶（闸底）高程。
- 3) 总水头计算：  
——基本水尺断面距建筑物较近时，总水头按式 (3.2.4-1) 计算：

$$H = h + \frac{\alpha v_0^2}{2g} \quad (3.2.4-1)$$

式中  $H$ ——总水头，m；

$h$ ——实测水头，m；

$\alpha$ ——动能修正系数，可用 1.0；

$v_0$ ——进口段基本水尺断面处的断面平均流速，m/s，可用实测或根据推求的流量除以进口段水尺断面的过水面积求得。

——当堰闸上游基本水尺与堰闸距离比较远，沿程水头损失达到或超过 1cm 时，应将实测水头加行近流速（行近流速是行近河槽内某断面的平均流速）水头改正

后，再减沿程损失水头作为总水头，用式 (3.2.4-2) 计算：

$$H = h + \frac{\alpha v_0^2}{2g} - h_w \quad (3.2.4-2)$$

$$h_w = \frac{n^2 L \bar{v}^2}{R^{4/3}} \quad (3.2.4-3)$$

式中  $h_w$ ——沿程损失水头，m；

$L$ ——闸间上游水尺至堰闸的距离，m；

$\bar{v}$ ——堰闸上游水尺至堰闸间河道断面平均流速，m/s；

当堰闸上游河道顺直、河槽宽度一致时，可用上游水尺断面处的平均流速；如果河宽差别较大，则采用该河段上下游两个断面平均流速的平均值；

$n$ ——河床糙率；

$R$ ——水力半径，m。

4) 水头差（同水位差）用上游水头减堰闸下游水头求得。

### 3.2.5 闸门开启高度和开启孔数观测

1 每次开闸、关闸及闸门有变动时，应随时测记闸门的开启高度、开启孔数、开启时间及闸孔自左至右的编号。当各闸孔闸门开启高度不一致时，应分别记载其开启高度及闸孔编号。当出现各闸孔闸门开启高度及流态不一致以及闸门两边不等高、闸门漏水等情况时，均应在记载簿的备注栏内注明。当闸门提出水面后，不记开启高度数时，可仅记“提出水面”字样。

2 小型闸门开启高度应测记至 0.005m，大型闸门开启高度测记至 0.005m 或 0.01m。

3 应将弧形闸门开启的弧形长度换算为垂直高度，作为弧形闸门的开启高度。闸门落点在堰顶时，以闸门底边距堰顶最高点的垂直距离作为闸门开高；当闸门落点在堰顶下游时，闸门开启高度可采用下列方法计算：

1) 当用现场率定流量系数推求流量时，仍可用闸门落点在堰顶的开高计算方法计算闸门开启高度。



2) 当用经验流量系数推求流量或作流量系数综合分析时,应用闸门底边距堰面的最短距离作为闸门开启高度,事先可计算出弧形闸门开启角度与开启高度的关系图或关系表,以备查用。

4 用启闭机的记数器测记闸门开启高度时,应经常校正零点。

### 3.2.6 流态观测与判别

1 在选取水工建筑物过流流量计算公式之前,应进行过流形式和流态判别。

2 流态观测以目测为主,当遇到不易识别的流态,以及缺乏流态观测记录时,可辅以有关水力因素的观测资料进行分析计算,确定流态。流态观测应与水位观测同时进行并作记录。

3 自由孔流和自由堰流分界可按下列方法判别:

1) 当堰闸闸门或胸墙接触水面,并对过闸水流起到约束作用时为孔流,闸门或胸墙不接触水面时为堰流。

2) 现场未能观测记录孔、堰流的分界或观测有误时,可根据堰闸型式和实测的闸门相对开度  $e/H$  值进行判别:

$e/H < (e/H)_0$  时,为孔流;

$e/H \geq (e/H)_0$  时,为堰流。

式中  $e$ ——闸门开启高度, m;

$H$ ——总水头, m;

$(e/H)_0$ ——孔、堰流分界的临界值。

$(e/H)_0$  按下列规定采用:平板门、弧形门宽顶堰(平底)闸的  $(e/H)_0$  值平均为 0.65;平板门曲线实用堰、驼峰堰闸  $(e/H)_0$  值用  $e \sqrt{2gH} - (e/H)_0$  关系图(见图 3.2.6-1)查算;弧形门曲线实用堰闸(门底缘在堰顶)  $(e/H)_0$  值用  $e \sqrt{2gH} - (e/H)_0$  关系图[见图 3.2.6-2(a线)]查算;弧形门曲线实用

堰闸（门底缘落于堰顶下游） $(e/H)_0$  值用  $e\sqrt{2gH} - (e/H)_0$  关系图 [见图 3.2.6-2 (b 线)] 查算。

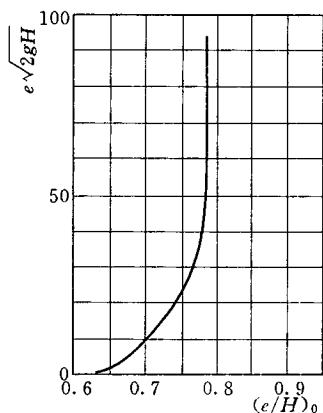


图 3.2.6-1 平板门曲线实用堰、  
驼峰堰  $e\sqrt{2gH} - (e/H)_0$  关系图

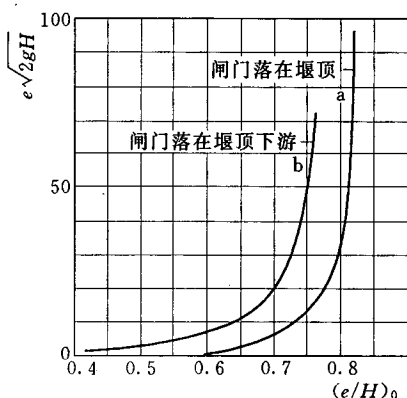


图 3.2.6-2 弧形门曲线实用堰  
 $e\sqrt{2gH} - (e/H)_0$  关系图

#### 4 自由堰流与淹没堰流可按下列方法判别：

- 1) 宽顶堰（包括平底闸）自由出流时，水面呈两级跌落，从堰口到堰顶有一次跌落，到堰顶下游又一次跌落。平底闸进口以下有一次跌落，出闸墩后又一次跌落。淹没度  $(h_L/H) < 0.8$ 。淹没堰流时，下游水头高于堰顶，堰坎下游或闸墩下游水面，无明显跌落现象。淹没度  $(h_L/H) > 0.8$ 。其中  $h_L$  为建筑物下游实测水头，单位 m。
- 2) 实用堰中的高堰一般均系自由出流。低实用堰淹没度的变化幅度较大，直接观测判别有困难时，可以取用自由流的经验流量系数  $(k\epsilon'c)$  和观测的  $h_L/H$  值查图 3.4.2-2 中关系线判别临界淹没点， $(h_L/H) - k\epsilon'c - \sigma$  关系线与右边框的交点即为  $(h_L/H)_0$  值。 $(h_L/H)$  小于临界淹没点即为自由流， $(h_L/H)$  大于临界淹没点即为淹没流。

5 自由孔流可按下列方法判别：

- 1) 宽顶堰闸（包括平底闸）闸下水位低于闸门底边，即闸下水头小于闸门开启高度 ( $h_L < e$ )，闸下游水头没有淹没垂直收缩断面，闸孔出流不受下游水位影响。
- 2) 实用堰闸和跌水壁闸，水流过闸后水跃产生在堰壁以下，且堰下水位低于堰顶。

6 淹没孔流可按下列方法判别：

- 1) 宽顶堰闸（包括平底闸）闸下出现淹没水跃，水跃前端接触闸门，闸下水头高于闸门底边，即闸下水头大于闸门开启高度 ( $h_L > e$ )。
- 2) 实用堰闸和跌水壁闸，闸下水位高于闸门底边，闸下出现淹没水跃，水跃前端接触闸门底边。

7 半淹没孔流，发生于实用堰闸和跌水壁闸。闸下水位高于堰顶，低于闸门底边，界于自由流和淹没流之间。

8 平底平板门闸的孔流与堰流及自由流与淹没流几种流态，均可用图 3.2.6-3 进行判别。图 3.2.6-3 中分 A、B、C、D、E 等 5 个区，在应用时，根据实测  $e/H$  和  $h_L/H$  值，在图上查得纵横坐标值延线交于所在区，即为所求流态。

9 涵洞自由流和淹没流可按下列方法判别：

- 1) 有压、半有压洞出流：主要观测下游洞口是否被淹没，如果洞下游出口处水位高出洞顶部，洞口全部淹没即为淹没流，反之洞下游水位低于洞顶，洞口不被淹没即为自由流。
- 2) 无压短洞出流：当  $h_L \geq 0.75H$  时，即为淹没流 ( $h_L$  为洞下游水头，即洞口底板高程与下游水位之差)。
- 3) 无压长洞出流一般为淹没出流。无压流的长洞与短洞的判别见第 3.6.3 条。

10 涵洞有压、半有压、无压流判别，可根据洞内水流的充满情况判定。洞内全部为自由水面时，为无压流。洞内全部充满水，没有自由水面时，为有压流。洞内自由水面不固定或

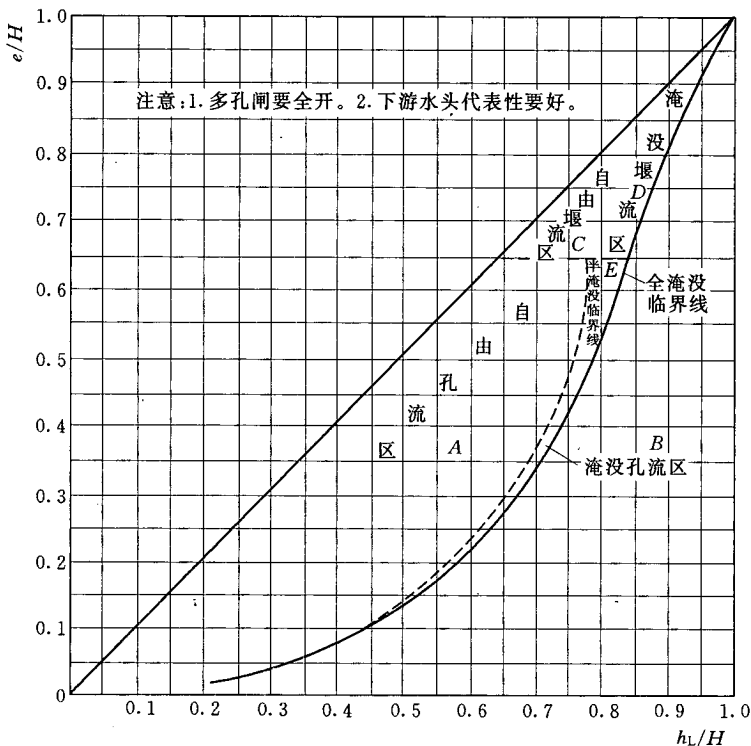


图 3.2.6-3 平底平板门闸  $e/H-h_L/H$  关系流态判别图

只有部分自由水面时，为半有压流。当上游洞口有露出水面时，则为无压流。当洞内水流状况难以直接观测时，可用下列指标判别：

- 1) 有翼墙进口时。涵洞横断面为矩形或接近矩形： $H/D < 1.15$ ，为无压流； $1.15 < H/D < 1.5$ ，为半有压流； $H/D > 1.5$ ，为有压流。涵洞横断面为圆形或接近圆形： $H/D < 1.10$ ，为无压流； $1.10 < H/D < 1.5$ ，为半有压流； $H/D > 1.5$ ，为有压流。
- 2) 无翼墙进口时。 $H/D < 1.25$ ，为无压流； $1.25 < H/D < 1.5$ ，为半有压流； $H/D > 1.5$ ，为有压流。其中，

$D$  为洞高，单位以  $m$  计。

11 有闸门的涵洞流态判别，包括孔流与管流的流态和有压、半有压、无压几种流态判别，应以水头和闸门开高进行判别。当涵洞底坡为  $0 \sim 0.005$ ，洞长与洞高之比  $L/D$  在  $20 \sim 50$  的范围内时，可参考图 3.2.6-4 和图 3.2.6-5 进行流态判别。

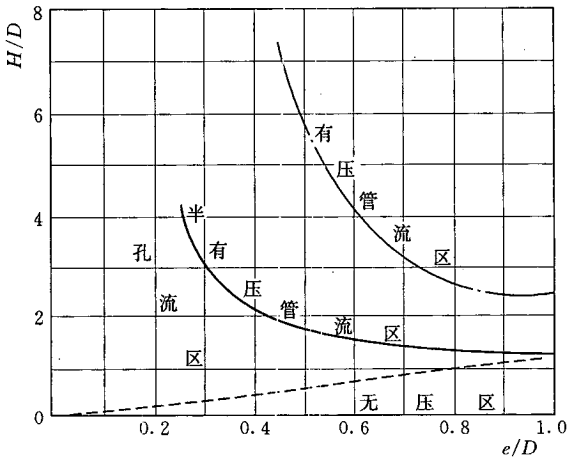


图 3.2.6-4 方形涵洞流态判别图

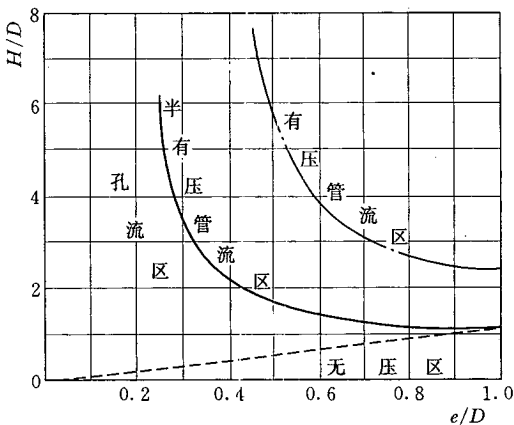


图 3.2.6-5 圆形涵洞流态判别图

由于涵洞的出口条件不同，用图 3.2.6-3 查出的流态亦有差别。在使用图 3.2.6-4 及图 3.2.6-5 时，根据实测  $H/D$  和  $e/D$  的坐标位置，如果交于图中半有压流区内，且出口为平底槽，则为有压流；当出口为跌坎无侧限洞口，则仍为半有压流。如果坐标线交其他区域，流态即为图 3.2.6-3 中所示。

### 3.3 流量系数率定、综合和检验

#### 3.3.1 流量系数现场率定

1 流量系数现场率定，可用流速仪法实测建筑物出流量和实测水头等水力因素，用水力学公式计算流量系数，通过多次测验，分析流量系数规律，建立流量系数与有关水力因素的相关关系。当有多种形式的泄水建筑物混合出流时，应分别逐个率定流量系数。

2 流量系数现场率定，应符合下列要求：

- 1) 每一流量系数关系线或关系式，应积累不少于 30 次的实测资料，均匀分布于流量系数相关因素的全变幅内，至少应控制变幅的 75%。
- 2) 当有些建筑物由于水情和运用条件的限制，在短期内难以测得水力因素全变幅的流量测次时，可以分阶段率定流量系数推求流量。每条流量系数关系线上流量测次不应少于 20 次，且点据应均匀分布，控制相关水力因素的变幅不小于实测水力因素全变幅的 80%。
- 3) 如果当年实测流量不少于 10 次，且测点均匀分布，控制实测水力因素变幅不少于 80%，可用当年率定的流量系数推求流量。

3 现场率定流量系数关系线的实测流量点据，应在相关水力因素变幅内均匀分布密集成带状，堰闸（潮流）站水力因素关系定线精度应满足表 3.3.1 的规定。

表 3.3.1 实测流量系数与关系线的允许偏离差值 %

站 类	偏离差值	
	关系线中上部	关系线下部
一类	±5	±8
二类	±8	±10
三类	±10	±15

4 现场率定的流量系数关系线和关系式，应在实测资料范围内应用。需要延长时，应根据系数曲线的线型特点慎重进行。

5 流量系数关系线中上部与下部的分界，用相关水力因素变幅的百分数划分。从关系线底部开始向上计算，占全变幅 30% 以下为关系线下部，以上的为关系线的中上部。

### 3.3.2 流量系数综合

1 当进行流量系数综合时，应将各个同类型建筑物和同流态的流量系数与水力因素建立相关关系线或关系式。当单站流量系数关系线与建立的综合关系线或关系式的偏差符合表 3.3.2 的规定时，综合的流量系数可用于同类型建筑物的流量推算。

表 3.3.2 单站流量系数关系线与综合线允许偏差 %

站 类	偏 差	
	关系线中上部	关系线下部
一类、二类	±3	±5
三类	±5	±7

2 流量系数综合，应在单站流量系数率定的基础上进行。单站流量系数率定应符合 3.3.1 条 2 款和 3 款的规定，当受条件限制时，单条流量系数关系线的流量实测次数也不应少于 20 次，测点应均匀分布，能控制相关水力因素全变幅的 75% 以上。

3 流量系数综合，不应少于 3 个站的实测资料。

### 3.3.3 模型试验和经验流量系数的应用

#### 1 应用经验流量系数应符合下列规定：

- 1) 用经验流量系数时，应严格按照建筑物的型式、结构、边界条件和水力特性选择本规范推荐的经验公式和查算图表确定流量系数，并按规定的应用范围和限制条件使用。
- 2) 当用经验流量系数推求低堰流量时，如果进口段河槽不顺直平坦，行近流速分布不正常，应考虑堰前流态影响，可用图 3.4.1-3 查进口流态系数进行修正。

#### 2 应用模型试验流量系数时，应进行模型缩尺影响的改正，且应符合下列规定：

- 1) 对于溢流堰，当模型雷诺数大于 35000 时，可改正。
- 2) 模型雷诺数为 5000~35000 时，应借用同类型建筑物实测或试验资料进行改正。在无资料借用时，可用式 (3.3.3-1) 改正：

$$Q = \frac{100}{100 - (41.56 - 3.7 \ln Re)} Q_m \quad (3.3.3-1)$$

其中  $Re = \frac{Q_m}{b L_r^{3/2} \nu} \quad (3.3.3-2)$

式中  $Q$ ——建筑物泄流量， $m^3/s$ ；

$Q_m$ ——模型试验流量（已按模型缩尺换算成原型流量）， $m^3/s$ ；

$Re$ ——模型堰顶或闸孔雷诺数；

$b$ ——原型建筑物堰口或闸孔净宽， $m$ ；

$L_r$ ——模型长度比尺；

$\nu$ ——水流运动黏滞系数， $m^2/s$ ，随水温而变，可取水温  $20^\circ C$  时的值 ( $0.000001 m^2/s$ )。

3) 当模型雷诺数小于 5000 时，应由现场率定。

4) 当应用断面模型成果，且建筑物的进水段不顺直，行近流速分布不正常，有偏流等情况时，可用图 3.4.1-3 查进口流态系数进行修正。



### 3.3.4 流量系数检测与检验

1 现场率定的流量系数相关因素关系线，在使用过程中，关系线稳定的，应每隔 5~10 年进行一次检测；关系线不够稳定的，应每隔 2~5 年进行一次检测；当发现水工建筑物尺寸、形状、糙率变化时，应及时检测。

2 每条流量系数关系线每次检测，用于检验的测点数应不少于 10 个。可用 SL 247—1999 中规定的  $t$  检验进行检验。

3 流量系数关系线应进行符号检验、适线检验、偏离数值检验及  $t$  检验，检验方法及结果处理见 SL 247—1999。

4 流量系数与水力因素关系线测点标准差可用式 (3.3.4) 计算：

$$S_c = \left[ \frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n \left( \frac{C_i - C_{ci}}{C_{ci}} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.3.4)$$

式中  $S_c$ ——测点标准差（取正值），其值不宜大于定线偏差值（SL 247—1999 表 2.3.3 的数值）；

$C_i$ ——单次实测流量系数；

$C_{ci}$ ——与  $C_i$  相应、从关系线上查读的流量系数；

$n$ ——测点总数。

## 3.4 堰流流量推算

### 3.4.1 自由堰流

1 自由堰流流量计算可采用下列公式：

1) 通用公式：

$$Q = K\epsilon' C n b \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (3.4.1-1)$$

式中  $Q$ ——流量， $m^3/s$ ；

$K$ ——进口流态系数，在低堰进口段流向不正时用；

$\epsilon'$ ——侧收缩系数；

$C$ ——堰流流量系数；

$g$ ——重力加速度， $m/s^2$ ；

$H$ ——总水头， $m$ ；

$n$ ——过水孔数；

$b$ ——堰口单孔宽，m。

2) 用于现场率定流量系数（包括同类综合和模型试验）的流量计算公式：

$$Q = C_0 n b \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (3.4.1-2)$$

式中  $C_0$ ——含侧收缩系数和进口流态系数的流量系数。凡是实测流量系数和无坎宽顶堰的经验流量系数均用  $C_0$ 。

2 现场率定和包括模型试验单站流量系数，可建立水头  $H$  与流量系数  $C_0$  关系线。在定出关系线的基础上，可建立下列流量系数关系式：

$$C_0 = C_k H^\beta \quad (3.4.1-3)$$

式中  $C_k$ ——待定常数；

$\beta$ ——待定指数。

当式 (3.4.1-3) 不能适应测点的分布规律时，应分段建立关系线或按式 (3.4.1-4) 建立多项式的流量系数关系式：

$$C_0 = A + BH + CH^2 + DH^3 \quad (3.4.1-4)$$

式中  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ ——待定常数。

3 用现场率定流量系数，作同类型综合时，应根据不同堰型采用相对水头作相关因素，分别按下列要求建立流量系数关系线和关系式：

1) 宽顶堰：用相对水头  $H/\delta$  与流量系数  $C_0$  建立  $H/\delta$ — $C_0$  关系线（见图 3.4.1-1），亦可建立关系式：

$$C_0 = C_k (H/\delta)^\beta \quad (3.4.1-5)$$

式中  $\delta$ ——堰顶顺水流方向的厚度，m。

2) 无坎宽顶堰（平底闸）：用相对水头  $H/L$  与流量系数  $C_0$  建立  $H/L$ — $C_0$  关系线（见图 3.4.1-1），亦可建立关系式：

$$C_0 = C_k (H/L)^\beta \quad (3.4.1-6)$$

式中  $L$ ——闸墩长度，m。

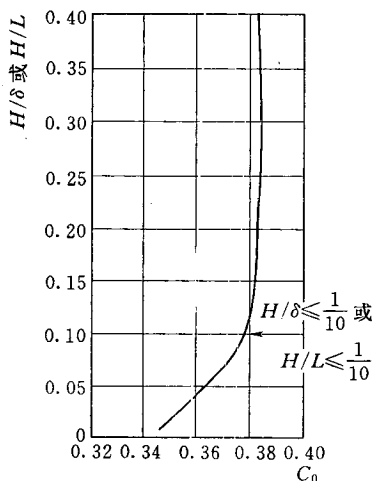


图 3.4.1-1 宽顶堰自由流  $H/\delta-C_0$  或  $H/L-C_0$  关系线图

当式 (3.4.1-6) 不能适应测点的分布规律时, 应分段建立关系式, 或建立与式 (3.4.1-4) 形式相同的三次四项式。

- 3) 低实用堰: 用相对水头  $H/P$  与流量系数  $C_0$  建立  $H/P-C_0$  关系线 (见图 3.4.1-2)。当运行水头较低时, 可建立关系式:

$$C_0 = C_k (H/P)^\beta \quad (3.4.1-7)$$

式中  $P$ ——上游堰高, m。

- 4) 高实用堰: 用上游水头与定型水头之比  $H/H_d$  与流量系数  $C_0$  建立  $H/H_d-C_0$  关系线 (见图 C.0.3-5), 亦可建立关系式:

$$C_0 = C_k (H/H_d)^\beta \quad (3.4.1-8)$$

式中  $H_d$ ——定型水头, 也称堰上设计水头, m。

高、低实用堰在运行水头比较高时, 均可用相对水头 ( $H/H_d$ 、 $H/P$ ) 与流量系数建立与式 (3.4.1-4) 形式相同的三次四项式。

- 4 根据现场率定 (包括同类型综合和模型试验) 的流量系

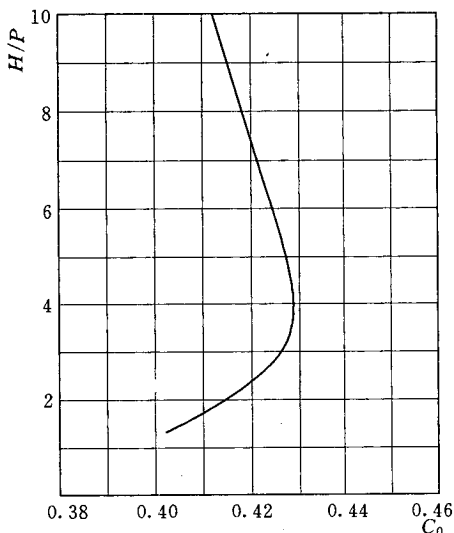


图 3.4.1-2 低实用堰  $H/P-C_0$  关系线图

数，推求流量应符合下列要求：

- 1) 各级水位应有足够的流量测点，且测次分布均匀，建立水位—流量关系线推求流量。
- 2) 已建立了水头与流量系数关系线的站，直接从流量系数关系线上查读流量系数值，代入流量计算公式推求流量。

#### 5 宽顶堰经验流量系数应用下列公式和图表推求：

##### 1) 有坎宽顶堰：

——堰口为方角时，流量系数可用式 (3.4.1-9) 计算：

$$C = 0.32 + 0.01 \times \frac{3 - P/H}{0.46 + 0.75P/H} \quad (3.4.1-9)$$

当  $P/H \geq 3.0$  时，取  $C=0.32$ 。

式中  $P$ ——上游堰高，m；

$H$ ——总水头，m。

——堰口为圆弧或斜角时，流量系数可用式 (3.4.1-10) 计算：

$$C = 0.36 + 0.01 \frac{3 - P/H}{1.2 + 1.5P/H} \quad (3.4.1-10)$$

当  $P/H \geq 3.0$  时，取  $C=0.36$ 。

——侧收缩系数可用式 (3.4.1-11) 计算：

$$\epsilon' = 1 - \frac{\alpha}{\sqrt[3]{0.2 + P/H}} \sqrt[4]{\frac{b}{B}} (1 - b/B) \quad (3.4.1-11)$$

式中  $B$ ——行近槽宽，梯形断面采用半深处的宽度，m；

$b$ ——堰口净宽，m；

$\alpha$ ——系数，墩头为方形，堰口边缘为方形时， $\alpha=0.19$ ；  
墩头为曲线形，堰口边缘为方形、曲线形或斜角时， $\alpha=0.10$ 。

式 (3.4.1-11) 的适用条件：

$b/B \geq 0.2$ ， $P/H \leq 3.0$ ；

当  $b/B < 0.2$  时，采用  $b/B=0.2$ ；

当  $P/H > 3.0$  时，采用  $P/H=3.0$ 。

多孔闸过流时，侧收缩系数取加权平均值：

$$\epsilon' = \frac{1}{n} [\epsilon'_p (n-2) + 2\epsilon'_a] \quad (3.4.1-12)$$

式中  $n$ ——闸孔数；

$\epsilon'_p$ ——中墩侧收缩系数，可用式 (3.4.1-11) 计算，取  $b/B=b(b+d)$  ( $d$  为墩厚)；

$\epsilon'_a$ ——边墩侧收缩系数，也可用式 (3.4.1-11) 计算，取  $b/B=b(b+\Delta d)$  ( $\Delta d$  为边墩边缘与上游引渠水边线之间的水平距离)。

$\epsilon'$  也可从表 C-1、表 C-2 中查取。

2) 无坎宽顶堰：根据上游翼墙和闸墩的形状，闸孔宽与行近槽宽的比值等因素，可查表 C-3~表 C-5 确定。

若为多孔闸过流，流量系数应按式 (3.4.1-13)

计算：

$$C_0 = \frac{C_p(n-1) + C_a}{n} \quad (3.4.1-13)$$

式中  $C_p$ ——中孔流量系数，查表时， $\frac{b}{B}$ 用 $\frac{b}{b+d}$ 代替， $d$ 为墩厚；

$C_a$ ——边孔流量系数，查表时， $\frac{b}{B}$ 用 $b/(b+\Delta b)$ 代替，

$\Delta b$ 为边墩边缘与上游引渠水边线之间的水平距离。

当多孔闸时，只开少数孔时， $\Delta b$ 为边墩边缘与上游引渠水边线之间的水平距离。

用表 C-3、表 C-4 和表 C-5 查得的流量系数，侧收缩系数取 1，即  $\epsilon' = 1.0$ 。

#### 6 实用堰经验流量系数推求应符合下列要求：

实用堰流量系数与堰型、堰的特征尺寸（标准堰为定型水头  $H_d$ ，梯形堰为堰顶宽度  $\delta$ ，圆顶堰或驼峰堰为顶弧半径  $R$ ）、上下游堰高和溢流水头  $H$  有关，计算方法可依高堰和低堰来区分，高、低堰判别方法见附录 C。

1) 高堰经验流量系数采用下列公式和图表推求：

——克一奥（I 型）流量系数可用式（3.4.1-14）

计算：

$$C = 0.385 + 0.1464 \frac{H}{H_d} - 0.048 \left( \frac{H}{H_d} \right)^2 + 0.0067 \left( \frac{H}{H_d} \right)^3 \quad (3.4.1-14)$$

式（3.4.1-14）适用范围： $H/H_d = 0 \sim 1.8$ 。

$C$  值也可以利用图 C.0.3-5 查取。

——WES 堰（上游面直立）流量系数可用式（3.4.1-15）计算：

$$C = 0.385 + 0.149 \frac{H}{H_d} - 0.040 \left( \frac{H}{H_d} \right)^2 + 0.004 \left( \frac{H}{H_d} \right)^3 \quad (3.4.1-15)$$

式（3.4.1-15）的适用范围： $\frac{H}{H_d} = 0 \sim 1.8$

C 值也可利用图 C.0.3-5 查取。

——梯形高堰流量系数可利用图 C.0.3-6 查取。

——圆顶高堰流量系数可利用图 C.0.3-7 查取。

2) 低堰经验流量系数可采用下列公式和图表推求：

——克—奥堰、WES 堰（上游面直立）、梯形堰和圆顶（驼峰）堰的流量系数分别由图 C.0.3-8~图 C.0.3-11 查取。

——不属于上述堰型和适用条件时，可按附录 C 的低堰流量系数计算方法推求。

7 实用堰侧收缩系数可按式 (3.4.1-16) 计算：

$$\epsilon' = 1 - 2\epsilon'_a/n - 2(n-1)\epsilon'_p/n \quad (3.4.1-16)$$

式中  $n$ ——闸孔数；

$\epsilon'_p$ 、 $\epsilon'_a$ ——中墩和边墩（翼墙）侧收缩系数，需根据堰流条件和闸墩情况采用相应的求算方法。

1) 高堰的  $\epsilon'_p$ 、 $\epsilon'_a$  按墩头形式可分别按式 (3.4.1-17) 和式 (3.4.1-18) 计算：

——方形墩头：

$$\epsilon'_p = \xi_p \frac{H}{b} \quad (3.4.1-17)$$

$\xi_p$  值按表 3.4.1-1 查取。

$$\epsilon'_a = \xi_a H/b \quad (3.4.1-18)$$

$$\xi_a = 0.10$$

表 3.4.1-1  $\xi_p$  值

墩头与堰前沿的相对距离 $L_u$ (m)	0	0.5H	1.0H
$\xi_p$	0.08	0.04	0.02

——半圆形和尖形中墩：当墩头与堰前沿齐平时， $\epsilon'_p$  按图 C.0.3-12 的  $H/H_d - \epsilon'_p$  关系曲线查取（非标准堰的  $\epsilon'_p$  采用流量系数相当的标准堰值）。

当墩头前伸于堰上游时，半圆形中墩的  $\epsilon'_p =$

0.005；尖形中墩的  $\epsilon'_p = 0$ 。1/4 圆弧边墩（多孔闸的闭孔两侧按边墩计算）的  $\epsilon'_a$  值按式 (3.4.1-18) 计算， $\xi_a$  按图 C.0.3-13 的  $H/R \sim \xi_a$  ( $R$  为边墩圆弧半径) 关系线查取，或近似采用  $\xi_a = 0.07$ 。

2) 低堰的  $\epsilon'_p$ 、 $\epsilon'_a$  按下列方法计算：

——低堰的  $\epsilon'_p$  与几何收缩系数  $\epsilon[\epsilon = b/(b+d)]$ 、相对下游堰高  $P_L/P$  和  $\frac{H}{P} / \left(\frac{H}{P}\right)_c$  有关。固定  $\epsilon$  ( $P_L/P$ )，

$\epsilon'_p$  与  $\frac{H}{P} / \left(\frac{H}{P}\right)_c$  关系可近似地用三段直线表示。三段

直线有二个折点：相当于  $\frac{H}{P} / \left(\frac{H}{P}\right)_c$  较小的折点为下折

点；相当于  $\frac{H}{P} / \left(\frac{H}{P}\right)_c$  较大的折点为上折点；下折点以

下为低水头区；上折点以上为高水头区；上、下折点

之间为中水头区。上、下折点位置和低、中、高水头

区的  $\epsilon'_p$  值用下列公式计算：

$$\frac{H}{P} / \left(\frac{H}{P}\right)_c = \left(\frac{3.25}{\epsilon} - 3.18\right) \left\{ 1 - 0.00274 \left[ 27.2(1-\epsilon)^{0.6} - \left(\frac{P_L}{P} - 1\right) \right]^{\frac{2.55}{1.43+0.61\lg(1-\epsilon)}} \right\} + 0.8 \quad (3.4.1-19)$$

下折点位置：

$$\frac{H}{P} / \left(\frac{H}{P}\right)_c = 0.8 \quad (3.4.1-20)$$

——低水头区  $\epsilon'_p$  用式 (3.4.1-21) 计算：

$$\epsilon'_p = 0.0125 \frac{H}{P} / \left(\frac{H}{P}\right)_c \quad (3.4.1-21)$$

——高水头区  $\epsilon'_p$  用式 (3.4.1-22) 计算：

$$\epsilon'_p = 0.01 - \left(\frac{0.455}{\epsilon} - 0.445\right) \times \left\{ 1 - 0.00274 \left[ 27.2(1-\epsilon)^{0.6} - \left(\frac{P_L}{P} - 1\right) \right]^{\frac{2.55}{1.43+0.61\lg(1-\epsilon)}} \right\} \quad (3.4.1-22)$$



——中水头区的  $\epsilon'_p$  用式 (3.4.1-23) 计算:

$$\epsilon'_p = 0.01 - 0.14 \left[ \left( \frac{H}{P} \right) / \left( \frac{H}{P} \right)_c - 0.8 \right] \quad (3.4.1-23)$$

——以上低堰  $\epsilon'_p$  的计算法适用条件为:

(i) 半圆形墩头且墩头与堰前沿齐平;

(ii)  $\epsilon \geq 0.78$ ;

(iii)  $1 \leq \frac{P_L}{P} \leq [27.2 (1-\epsilon)^{0.6} + 1]$

$\frac{P_L}{P} > [27.2 (1-\epsilon)^{0.6} + 1]$  时

取 
$$\frac{P_L}{P} = 27.2 (1-\epsilon)^{0.6} + 1$$

根据进流条件, 由表 3.4.1-2 查取线型 (A、B、C), 再由图 C.0.3-4 查取  $\xi_a$  值, 用式 (3.4.1-18) 计算  $\epsilon'_a$  值。

表 3.4.1-2 线型判别

进流条件	边墩、进口形式	线型
平顺	行近水流正面进入堰闸, 而且进口边墙很平顺: (1) 进口边墙为扭曲墙; (2) 进口圆弧半径 $R \geq 0.7H$ ; (3) 进口圆弧半径 $R \approx 0.5H$ , 且进口引渠底宽与闸总宽相当; (4) 八字形进口, 八字墙与水流方向的夹角 $\alpha < 34^\circ$ 或 $\alpha < 45^\circ$ 但八字墙与边墩折角处用 $R \geq 0.17H$ 的小圆弧修圆	A
一般	行近水流正向进入堰闸, 而且 (1) 进口圆弧 $R = (0.15-0.5)H$ ; (2) 八字墙与水流方向夹角 $\alpha \geq 70^\circ$ , 且八字墙与边墩折角处用 $R > 0.17H$ 的小圆弧修圆; (3) 半圆弧边墩伸出堰前沿长度 $L \leq 0.5H$	B
不平顺	行近水流正向进入堰、闸, 且进口形式为直角	C

8 低实用堰和宽顶堰应用经验流量系数时，如果进口段河槽不顺直，应考虑进口流态的影响，用进口流态系数  $K$  对流量系数进行修正。流态系数应根据进口河槽在平面上的偏流、转向情况和进流流态综合参数  $\frac{BP}{CB'H}$  ( $B'$  为包括中墩的堰口总宽； $B$  为进水渠宽度) 查图 3.4.1-3 取得。图 3.4.1-3 中，由三根曲线和纵坐标分别构成 A、B、C 三个区域，三区的适用条件如下：

1) 进水渠顺直，进口对称或基本对称，进流平顺或较平顺，属于 A 区。

2) 进水渠短，对称进流但有横向跌流；或有偏流，主流偏角小于  $30^\circ$ ，堰前顺直段长度小于 3 倍进水渠宽度；主流偏角大于  $30^\circ$ ，堰前顺直段长度大于 3 倍进水渠宽度，属于 B 区。

3) 有偏流，主流偏角大于  $30^\circ$ ，堰前顺直段长度大于 3 倍进水渠宽度，属于 C 区。

4) 在同一流区，偏角小，堰前顺直段长，水流转向平顺， $K$  值取大值；反之取小值。

### 3.4.2 淹没堰流

1 流量计算可用下列公式：

1) 通用公式

$$Q = \sigma K \epsilon' C n b \sqrt{2gH}^{3/2} \quad (3.4.2-1)$$

式中  $\sigma$ ——堰流淹没系数。

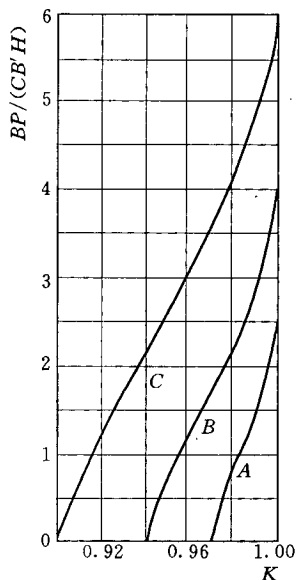


图 3.4.1-3 进口流态系数  $BP/(CB'H)$ — $K$  关系图

2) 现场率定流量系数时, 流量计算公式:

$$Q = \sigma C_0 n b \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (3.4.2-2)$$

$$Q = C_1 n b h_L \sqrt{2g \Delta Z} \quad (3.4.2-3)$$

$$Q = C_L a_L \sqrt{2g \Delta Z_L} \quad (3.4.2-4)$$

式中  $C_1$ ——淹没流量系数;

$h_L$ ——堰下游实测水头, m;

$\Delta Z$ ——实测堰上下游水位差, m。

$C_L$ ——用堰下游河道断面分析的流量系数;

$a_L$ ——堰下游河道过水断面面积,  $m^2$ ;

$\Delta Z_L$ ——堰上游水位与堰下游(远距离)水位差, m。

式(3.4.2-4)的运用条件是:

——平原河道经常处于淹没度出流的堰。

——下游河床稳定, 与堰顶过水断面有稳定关系。

——适用于单孔堰, 或多孔全部出流的堰。

2 现场率定流量系数关系线和关系式的推求方法如下:

1) 自由堰流与淹没堰流皆有现场率定资料时, 用同一上游水头时的淹没出流的流量, 除以自由流的流量即得淹没系数值。用淹没度  $h_L/H$  与淹没系数  $\sigma$  绘制  $h_L/H-\sigma$  关系线, 如图 3.4.2-1 所示。

据  $h_L/H-\sigma$  关系线可以建立下列关系式:

$$\sigma = C_s \left\{ 1 - \frac{\left[ S_k - \left( \frac{h_L}{H} \right)_c \right]^2}{1 - \left( \frac{h_L}{H} \right)_c} \right\}^\alpha \quad (3.4.2-5)$$

式中  $S_k$ ——淹没度, 堰下游水头与上游总水头之比, 即  $S_k$

$$= \frac{h_L}{H};$$

$C_s$ ——待定系数;

$\left( \frac{h_L}{H} \right)_c$ ——初始淹没点, 即淹没临界值;

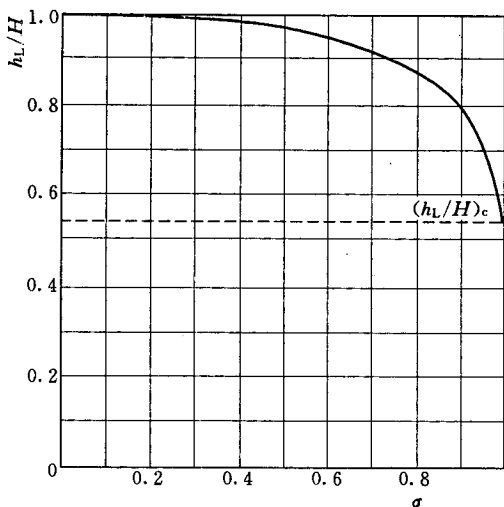


图 3.4.2-1 堰流淹没系数  $h_L/H-\sigma$  关系线图

$\alpha$ ——待定指数，宜为 0.5。

- 2) 只有淹没流率定资料时，可将淹没系数与流量系数合并处理，用式 (3.4.2-3) 计算流量系数  $C_1$ ，并建立  $\Delta Z/H-C_1$  或  $h_L/H-C_1$  关系线和关系式。
- 3) 当平原河道出现大淹没度出流时，可用式 (3.4.2-4) 计算流量系数  $C_L$ ，并用下游河道中泓水深  $d_L$  建立  $d_L-C_L$  关系线。亦可建立下列关系式：

$$C_L = C_k d_L^\alpha \quad (3.4.2-6)$$

式中  $C_k$ ——待定常数；

$d_L$ ——堰下游河道断面中泓水深，m；

$\alpha$ ——待定指数。

3 用现场率定流量系数推求流量时，将用流量系数关系线或关系式查算的流量系数代入相应的流量计算公式推求流量。

4 各种堰的经验淹没系数，可根据自由堰流的流量系数、侧收缩系数、进口流态系数乘积  $Ke'C$  与淹没度  $h_L/H$  查表 3.4.2 或图 3.4.2-2 求得。

表 3.4.2 淹没系数  $\sigma$  值表

$K\epsilon' C$	0.36	0.38	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52
$h_L/H$	$\sigma$								
1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.98	0.40	0.37	0.35	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.20
0.96	0.59	0.55	0.52	0.49	0.46	0.43	0.40	0.36	0.32
0.94	0.70	0.66	0.62	0.58	0.56	0.52	0.49	0.44	0.40
0.92	0.78	0.73	0.70	0.66	0.63	0.59	0.56	0.52	0.47
0.90	0.84	0.80	0.76	0.73	0.70	0.66	0.62	0.57	0.53
0.85	0.96	0.92	0.88	0.84	0.81	0.77	0.73	0.69	0.63
0.80	1.00	0.97	0.95	0.91	0.89	0.84	0.80	0.76	0.71
0.70	1.00	1.00	0.99	0.98	0.96	0.93	0.90	0.86	0.82
0.60	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.92	0.88
0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95	0.92
0.40	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	0.95
0.30	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97
0.20	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98
0.10	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

注：当  $K\epsilon' C \leq 0.36$  时，均用 0.36 查  $\sigma$  值。

5 用经验流量系数推求流量时，根据自由堰流条件查得流量系数 ( $K\epsilon' C$ )，并根据表 3.4.2 或图 3.4.2-2 查得淹没系数  $\sigma$  值，一并代入式 (3.4.2-1) 推求流量。

### 3.4.3 感潮堰流

1 不受洪水波干扰时，一次涨（落）潮、引（排）水的流量可按下列方法推算：

1) 建立潮汐因素与流量关系式：

$$Q_{\max} = C_k h^a b \Delta Z^\beta \quad (3.4.3-1)$$

$$\bar{Q} = C'_k h^a b \Delta Z^\beta \quad (3.4.3-2)$$

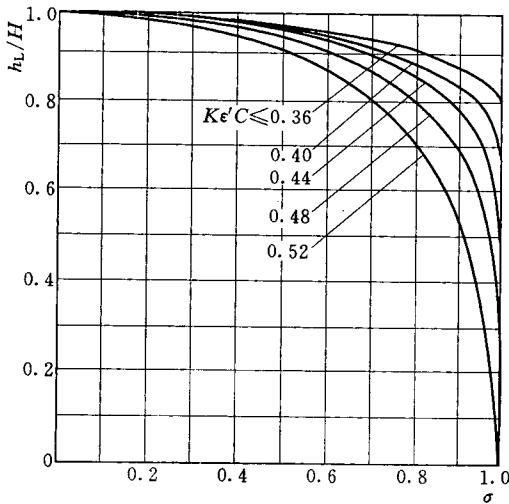


图 3.4.2-2 堰流淹没系数  $h_L/H-K\epsilon'C-\sigma$  关系线图

式中

$h$ ——闸上游实测稳定水头（开闸开始水头），m；

$b$ ——闸孔单宽，m；

$\Delta Z$ ——有效水位差，稳定水位与开闸最高（低）水位之差，m；

$Q_{\max}$ ——一潮最大流量， $m^3/s$ ；

$\bar{Q}$ ——一潮平均流量（或以一潮总水量  $W$  代替）， $m^3/s$ ；

$C_k, C'_k, \alpha, \alpha', \beta, \beta'$ ——经验参数，由实测资料分析确定。

2) 建立潮汐因素与流量关系线：

——可建立一潮一次开闸平均流量与有效水位差乘开闸时水头或水深（引、排水时分别为高低潮的水头或水深）即  $\bar{Q}-\Delta Zh$  关系线，并推求流量。

——也可建立以开闸开始水头为参数的有效水位差与一次开闸平均流量关系线  $\Delta Z-h-\bar{Q}$ ，即先定出某一个开闸开始水头的  $\Delta Z-\bar{Q}$  关系线，以各次实测开闸平

均流量 $\bar{Q}$ 的相应有效水位差查得流量 $Q_c$ ，计算 $\bar{Q}/Q_c$ ；再以相应的开闸开始水头点绘 $h-\bar{Q}/Q_c$ 关系线。推算流量时以有效水位差 $\Delta Z$ ，开始开闸水头 $h$ ，分别查得 $Q_c$ 及 $\bar{Q}/Q_c$ 值，两者相乘即得一次平均开闸流量。

2 受洪水波干扰时，一潮最大流量及一潮总水量可用式(3.4.3-3)和式(3.4.3-4)推算：

$$Q_{\max} = C_k h_{\max}^a b \Delta Z_{\max}^{\beta} \quad (3.4.3-3)$$

$$W = C'_k h'_{\max} a' b \Delta Z_{\max}^{\beta} t \quad (3.4.3-4)$$

式中  $W$ ——一潮总水量， $10^4 \text{ m}^3$ ；

$h_{\max}$ ——一潮最大水位差时闸上水头，m；

$\Delta Z_{\max}$ ——闸上、下最大水位差，m；

$t$ ——涨（落）潮流历时，h。

式(3.4.3-3)和式(3.4.3-4)可用于涨落潮的流量计算。由于涨潮流潮势较凶猛，式(3.4.3-3)用于涨潮流时，可增加一个水位涨率参数 $(1 + \frac{\Delta h}{\Delta t})$ 。

### 3.5 孔流流量推算

#### 3.5.1 自由孔流

1 流量计算可用式(3.5.1-1)：

$$Q = \mu n b e \sqrt{2gH} \quad (3.5.1-1)$$

式中  $\mu$ ——自由孔流流量系数；

$n$ ——闸孔数；

$e$ ——闸门开启高度，m。

2 用现场率定流量系数，可建立下列关系线和关系式：

1) 用闸门相对开启高度和孔流流量系数建立关系，即建立 $e/H-\mu$ 关系线（见图3.5.1-1），并可建立下列任一关系式：

$$\mu = \mu_k (e/H)^{-\alpha} \quad (3.5.1-2)$$

或

$$\mu = A + B(e/H) + C(e/H)^2 \quad (3.5.1-3)$$

式中  $\mu_k$ ——待定系数；  
 $\alpha$ ——待定指数；  
 $A$ 、 $B$ 、 $C$ ——均为待定常数。

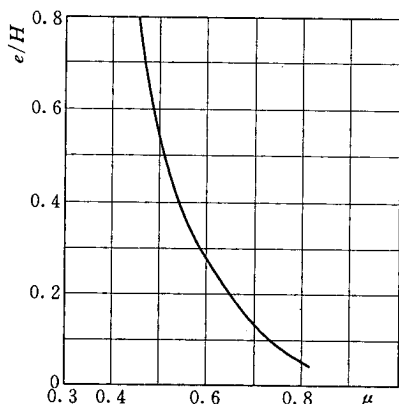


图 3.5.1-1 自由孔流  $e/H-\mu$  关系线图

- 2) 对于弧形闸门，如果实测到闸门开启变幅较大、点据较多，可用  $e/H$  作相关因素，用闸门底缘切线与水平线的夹角  $\theta$  作参变数，绘制  $e/H-\theta-\mu$  关系图（见图 3.5.1-2）。
- 3 根据现场率定的流量系数推求流量，可采用下列方法：
  - 1) 根据已建立的流量系数  $e/H-\mu$  或  $e/H-\theta-\mu$  关系线，查读流量系数  $\mu$  代入流量计算公式 (3.5.1-1)，推求流量。
  - 2) 可根据已建立的流量系数关系式 (3.5.1-2) 或式 (3.5.1-3) 计算流量系数，再代入流量计算公式 (3.5.1-1) 推求流量。
  - 3) 应绘制水位—闸门开高一流量关系线  $z-e-Q$ （见图 3.5.1-3）或编制关系表推求流量。
- 4 经验流量系数应根据不同堰闸形式分别用下列公式计算：
  - 1) 平底平板门闸（下游平坡）：



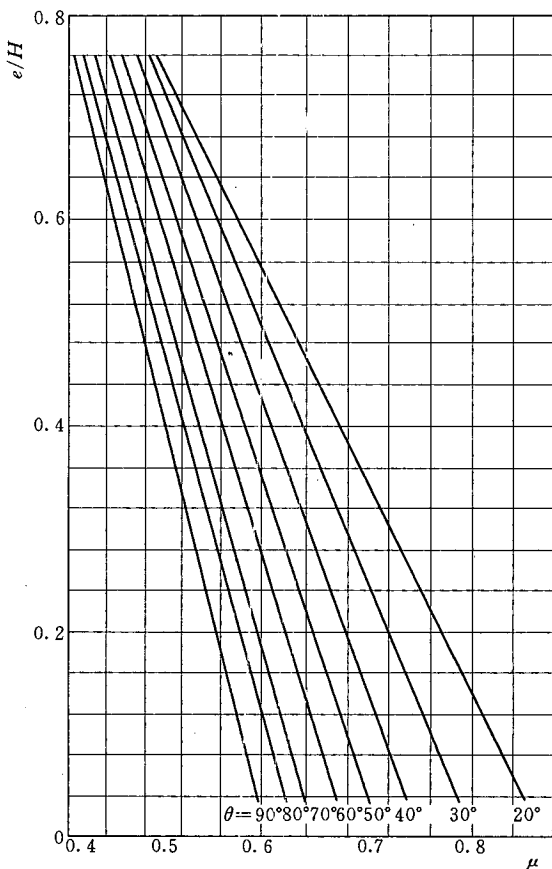


图 3.5.1-2 弧形闸门自由孔流  $e/H-\theta-\mu$  关系线图

$$\mu = 0.454(e/H)^{-0.138} \quad (3.5.1-4)$$

2) 平底弧形门闸 (下游平坡):

$$\mu = 1 - 0.0166\theta^{0.723} - (0.582 - 0.0371\theta^{0.547})e/H \quad (3.5.1-5)$$

式中  $\theta$ ——闸门底缘切线与水平线的夹角。

3) 曲线形实用堰平板门闸:

$$\mu = 0.530(e/H)^{-0.120} \quad (3.5.1-6)$$

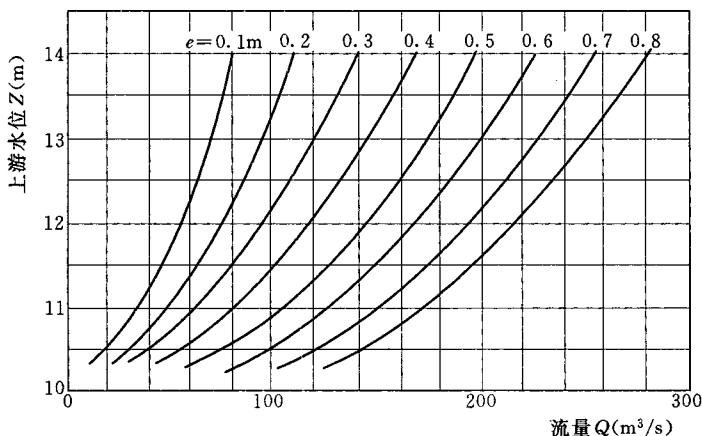


图 3.5.1-3 自由孔流  $z-e-Q$  关系线图

4) 曲线形实用堰弧形门闸:

$$\mu = 0.531(e/H)^{-0.139} \quad (3.5.1-7)$$

以上经验流量系数计算公式应在  $e/H \geq 0.03$  范围内应用。

5 根据经验流量系数推求流量, 可用式 (3.5.1-4) ~ 式 (3.5.1-7) 计算流量系数, 代入式 (3.5.1-1), 推求流量。

### 3.5.2 淹没孔流

1 流量计算可用下列公式:

1) 以淹没流为主的流量计算公式:

$$Q = \mu_1 n b e \sqrt{2g\Delta Z} \quad (3.5.2-1)$$

式中  $\mu_1$ ——淹没孔流流量系数;

$\Delta Z$ ——孔上、下游水位差, m。

2) 自由流、淹没流均有可能出现的流量计算公式:

$$Q = \sigma \mu n b e \sqrt{2gH} \quad (3.5.2-2)$$

式中  $\sigma$ ——孔流淹没系数。

2 用现场率定流量系数建立流量系数关系线和关系式可用下列方法:

1) 用式 (3.5.2-1) 计算流量系数时, 可用  $e/\Delta Z$  或  $e/$

$h_L$  建立  $e/\Delta Z - \mu_1$  或  $e/h_L - \mu_1$  关系线 (见图 3.5.2-1 和图 3.5.2-2) 或关系式。当实测资料较全, 可建立  $e/H - \frac{\Delta Z}{H} - \mu$  或  $e/H - \frac{h_L}{H} - \mu_1$  关系线或关系式。

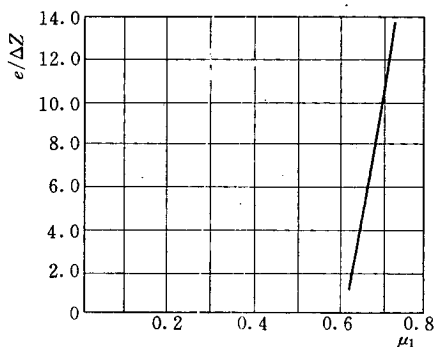


图 3.5.2-1 淹没孔流  $e/\Delta Z - \mu_1$  关系线

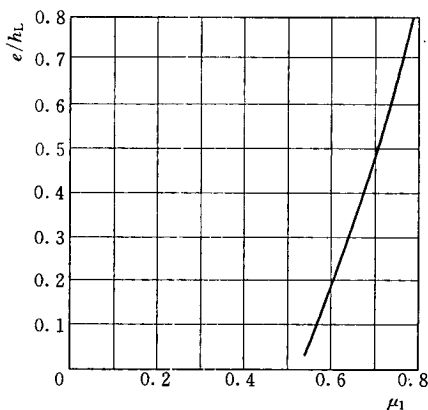


图 3.5.2-2 淹没孔流  $e/h_L - \mu_1$  关系线

2) 用式 (3.5.2-2) 计算流量系数  $\sigma\mu$  时, 可用  $e/H$ 、 $\frac{h_L}{H}$

建立  $e/H - \frac{h_L}{H} - \sigma\mu$  关系线或关系式。

3 根据现场率定和同类型综合的流量系数推求流量，用下列方法：

- 1) 根据已建立的流量系数关系线查读流量系数，代入流量计算公式 (3.5.2-1) 推求流量。
- 2) 亦可将已建立的流量系数关系式代入流量计算公式，得本站流量计算公式。
- 3) 应绘制水位差、闸门开高、流量关系线 ( $\Delta Z-e-Q$ ) (见图 3.5.2-3)，并编制推求流量查算表，查算流量。

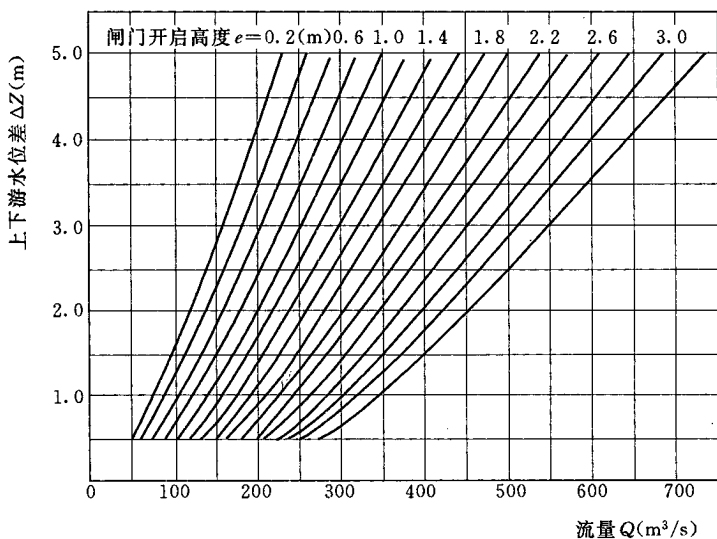


图 3.5.2-3 淹没孔流  $\Delta Z-e-Q$  关系线图

4 经验淹没系数 (平底平板门闸) 可按下列方法取用：

- 1) 用式 (3.5.2-1) 计算流量时，淹没孔流流量系数可按式 (3.5.2-3) 计算：

$$\mu_1 = 0.76(e/H)^{0.038} \quad (3.5.2-3)$$

- 2) 应用式 (3.5.2-2) 计算流量时，淹没系数  $\sigma$  值可查用图 3.5.2-4。

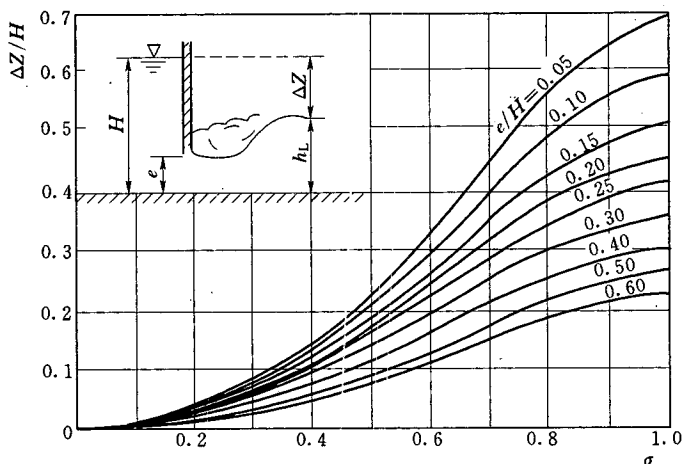


图 3.5.2-4 平底平板门闸淹没系数曲线图

5 用经验流量系数推算流量可用下列方法：

- 1) 应用式 (3.5.2-1) 计算流量时，淹没流量系数值按式 (3.5.2-3) 计算，代入式 (3.5.2-1) 推求流量。
- 2) 应用式 (3.5.2-2) 计算流量时，可用式 (3.5.1-4) 计算自由孔流流量系数  $\mu$  值，并根据图 3.5.2-4  $\Delta Z/H - e/H - \sigma$  关系线查读淹没系数  $\sigma$  值，代入式 (3.5.2-2) 推求流量。
- 3) 可绘制水位差、闸门开高、流量关系线 ( $\Delta Z - e - Q$ )，并编制流量查算表，用以查算流量。

### 3.6 隧、涵洞流量推算

#### 3.6.1 有压、半有压自由流

1 流量计算可用式 (3.6.1-1)：

$$Q = \mu a \sqrt{2g(H' - \eta D)} \quad (3.6.1-1)$$

式中  $\mu$ ——有压、半有压自由流流量系数；

$a$ ——涵洞过水断面面积， $m^2$ ；

$H'$ ——从洞出口处底板高程算起的上游总水头，m；

$D$ ——出口洞高或洞直径，m；

$\eta$ ——比势能修正系数，根据洞出口渠道情况采用下列数值：出口为与洞口等宽的矩形平底槽， $\eta=1.0$ ；出口为跌坎水流顺直无侧限约束，直接流入大气中时， $\eta=0.5$ ；出口为平底，并有扩散翼墙时， $\eta=0.85$ ；出口为陡坡，并有扩散翼墙时， $\eta=0.5\sim 0.85$ 。

- 2 用现场率定流量系数建立关系线或关系式可用下列方法：
  - 1) 无闸门或闸门全开时，可用式 (3.6.1-1) 计算的流量系数与水头建立  $H'-\mu$  关系线或关系式。
  - 2) 有闸门控制时，可用闸门开高与洞高之比 ( $e/D$ )，建立  $e/D-\mu$  关系线或关系式。
- 3 根据现场率定流量系数推求流量，可用下列方法：
  - 1) 根据已建立的  $H'-\mu$  或  $e/D-\mu$  关系线查读流量系数，代入流量式 (3.6.1-1) 推求流量。
  - 2) 根据已建立的流量关系式，计算流量系数，代入流量式 (3.6.1-1) 得到流量计算公式。
  - 3) 根据绘制的水位流量关系线和流量查算表，用以查算流量。有闸门控制出流的洞，可绘制  $Z-e-Q$  关系线。无闸门控制出流的洞，可绘制  $Z-Q$  关系线。
- 4 经验流量系数可用式 (3.6.1-2) 计算：

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \xi_i \left(\frac{a}{a_i}\right)^2 + \sum \frac{2gL_i}{C_i^2 R_i} \left(\frac{a}{a_i}\right)^2}} \quad (3.6.1-2)$$

式中  $a$ ——涵洞出口断面面积， $m^2$ ；

$\xi_i$ ——局部水头损失系数，包括由涵洞进口上游渐变段断面开始至洞出口断面之间的全部局部水头损失系数（可查表 D.0.2-1）；

$\alpha$ ——进口流速动能修正系数，宜取  $\alpha=1.0$ ；

$L_i$ ——涵洞某一段的长度；

$a_i$ 、 $R_i$ 、 $C_i$ ——与  $L_i$  之相应的断面面积、水力半径和谢才系数。

式中计算所需的糙率值可查表 D. 0. 1 - 1。

5 应用经验流量系数时，可根据经验流量系数关系式 (3. 6. 1 - 2) 计算出流量系数，代入流量计算式 (3. 6. 1 - 1) 推求流量。

### 3. 6. 2 有压、半有压淹没流

1 流量计算可用式 (3. 6. 2)：

$$Q = \mu_1 a \sqrt{2g\Delta Z} \quad (3. 6. 2)$$

式中  $\mu_1$ ——有压、半有压淹没流的流量系数；

$\Delta Z$ ——涵洞上、下游水位差，m。

2 根据现场率定的流量系数，绘制水头差与流量系数关系线 ( $\Delta Z - \mu_1$ ) 或建立关系式。

3 淹没流经验流量系数仍按式 (3. 6. 1 - 2) 计算，但在出口水流为淹没流时，式 (3. 6. 1 - 2) 根号内第二项局部阻力系数中，应加入下游渠道流速水头的影响。出口局部水头损失系数，应根据出口型式按表 D. 0. 2 - 1 查用。

4 应用现场率定和经验流量系数用下列方法推求流量：

1) 应用已建立的流量系数关系线查读流量系数值，代入式 (3. 6. 2) 计算流量。

2) 用式 (3. 6. 1 - 2) 计算流量系数，代入式 (3. 6. 2) 计算流量。

3) 绘制水位—水位差—流量 ( $Z - \Delta Z - Q$ ) 关系线和编制流量查算表，查算流量。

### 3. 6. 3 无压管流

1 界限管长的计算应符合下列要求：

1) 管底为缓坡并接近于零时，界限管长用式 (3. 6. 3 - 1) 计算：

$$L_c = (5 - 12)H \quad (3. 6. 3 - 1)$$

式中  $L_c$ ——界限管长，m；

$H$ ——进口前观测的上游水头，m。

- 2) 管底为缓坡并接近临界坡时,  $L_c$  为按式 (3.6.3-1) 计算所得值的 1.3 倍。
  - 3) 临界坡的求法见附录 D。
- 2 长短管按下列方法判别:
- 1) 当管长  $L \leq L_c$  为短管,  $L \geq L_c$  为长管。
  - 2) 当管底坡大于临界坡时, 按短管考虑。
- 3 流量计算按下列公式计算:
- 1) 无压自由短管 ( $h_L \leq 0.75H$ ) 出流:

$$Q = \mu b \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (3.6.3-2)$$

式中  $\mu$ ——无压自由短管流量系数;

$b$ ——矩形断面洞宽, m, 若洞为非矩形断面时,  $b = a_c/d_c$ ;

$d_c$ ——临界水深 (求法见附录 D), m;

$a_c$ ——相应临界水深的过水断面面积 (求法见附录 D),  $m^2$ 。

- 2) 长管和淹没短管 ( $h_L \geq 0.75H$ ) 出流:

——应用经验流量系数时, 可用式 (3.6.3-3) 计算流量:

$$Q = \sigma \mu b \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (3.6.3-3)$$

式中  $\sigma$ ——淹没系数。

——现场率定流量系数时的流量可用式 (3.6.3-4) 计算:

$$Q = \mu_1 b \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (3.6.3-4)$$

式中  $\mu_1$ ——无压淹没管流时的流量系数。

- 4 现场率定流量系数可建立下列系数关系线:

- 1) 无压自由管流出流用式 (3.6.3-2) 计算流量时, 可建立  $H-\mu$  关系线。
- 2) 长管和淹没短管出流用式 (3.6.3-4) 计算流量时, 可建立  $h_L/H-\mu_1$  关系线。



5 经验流量系数可用下列方法推求：

- 1) 无压自由管流出流用式 (3.6.3-2) 计算流量时，流量系数一般采用 0.32~0.36，亦可用式 (3.6.3-5) 计算：

$$\mu = \mu_0 + (0.385 - \mu_0) \left( \frac{a}{3A - 2a} \right) \quad (3.6.3-5)$$

式中  $\mu$ ——流量系数；

$\mu_0$ ——与洞进口形式有关的系数，其值可查表 D.0.2-4；

$a$ ——洞过水断面面积， $m^2$ ，非矩形断面  $a = \frac{a_c}{d_c} H$ ；

$A$ ——进口前观测的上游水头  $H$  处的过水断面面积， $m^2$ 。

- 2) 淹没短管出流用式 (3.6.3-3) 计算流量时，其中淹没系数，由洞口实测下游水头  $h_L$  与上游水头  $H$  之比  $h_L/H$  在图 3.6.3 中查取，短管进口收缩断面水深  $d_c$  取  $h_L$  值。长管进口收缩断面水深  $d_c$  计算复杂，故不易采用经验淹没系数，而应用现场率定系数。

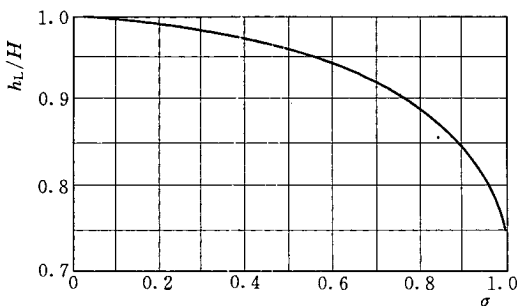


图 3.6.3 无压淹没管流  $h_L/H - \sigma$  关系线图

6 根据现场率定流量系数或取经验系数推求流量时，应从流量系数关系线上查得流量系数值，代入相应的流量公式计算流量。自由流时应绘制  $Z-Q$  关系线；淹没流时，可绘制  $Z-\Delta Z-Q$  关系线，并编制流量查算表。

### 3.6.4 进口段设置有压短管和闸门的无压自由管流

1 流量可采用式 (3.6.4-1) 计算:

$$Q = \mu b e \sqrt{2gH} \quad (3.6.4-1)$$

2 根据现场率定的流量系数, 用闸门相对开高  $e/H$  或  $e/D$  与流量系数  $\mu$  建立  $e/H-\mu$  或  $e/D-\mu$  关系线或建立流量系数关系式。

3 应用现场率定流量系数推求流量步骤如下:

1) 应用已建立的  $e/H-\mu$  或  $e/D-\mu$  流量系数关系线, 查读流量系数, 代入式 (3.6.4-1) 推求流量。亦可将建立的流量系数关系式代入式 (3.6.4-1), 得到流量计算公式。

2) 应绘制水位—闸门开高—流量 ( $Z-e-Q$ ) 关系线和编制流量查算表, 用以查算流量。

4 经验流量系数用式 (3.6.4-2) 计算:

$$\mu = \varphi \varepsilon = \frac{\varepsilon}{\sqrt{1 + \sum \xi_i \left(\frac{a_i}{a_c}\right)^2 + \frac{2gL}{\bar{C}^2 \bar{R}} \left(\frac{a_c}{a_i}\right)^2}} \quad (3.6.4-2)$$

式中  $\varepsilon$ ——有压短管出口的工作闸门垂直收缩系数, 当有压短管的顶部无倾斜压板时可查表 D.0.2-2 和表 D.0.2-3 取值;

$\varphi$ ——流速系数, 宜为 0.97;

$a_c$ ——收缩断面面积,  $m^2$ ,  $a_c = \varepsilon b e$ ;

$\xi_i$ ——自进口上游渐变流断面至有压短管出流后的收缩断面之间某一局部水头损失系数;

$a_i$ ——与  $\xi_i$  相应的过水断面面积,  $m^2$ ;

$L$ ——有压短管的长度,  $m$ ;

$\bar{a}_i$ 、 $\bar{R}$ 、 $\bar{C}$ ——有压短管的平均过水断面面积及相应的水力半径和谢才系数。

5 应用式 (3.6.4-2) 计算流量系数, 代入式 (3.6.4-1) 推求流量。同时可绘制水位—闸门开高—流量 ( $Z-e-Q$ ) 关系线和编制流量查算表, 用以查算流量。

### 3.7 水电站和泵站流量推算

#### 3.7.1 水电站流量推算

##### 1 流量计算可用下列公式:

###### 1) 单机流量计算公式:

$$q_i = N_i / 9.8 \eta_i h \quad (3.7.1-1)$$

式中  $q_i$ ——第  $i$  单机流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$N_i$ ——第  $i$  单机电功率,  $\text{kW}$ ;

$\eta_i$ ——第  $i$  单机效率。

$h$ ——实测水头,  $\text{m}$ 。

###### 2) 多机流量计算公式:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \quad (3.7.1-2)$$

式中  $Q$ ——多机流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$n$ ——单机个数。

##### 2 现场率定效率可用下列方法推求:

###### 1) 根据实测流量、水头和电功率, 用式 (3.7.1-3) 计算效率:

$$\text{单机效率: } \eta_i = N_i / 9.8 h q_i \quad (3.7.1-3)$$

水电站在满负荷运行发电情况下, 效率值变化不大。当发电功率未达到额定功率, 或与限制出力功率相差较多时, 则效率随实测发电功率与额定功率百分比 ( $P_1 = N/N_{k1}$ ), 或实测发电功率与限制功率百分比 ( $P_2 = N/N_{k2}$ ) 而变化。应建立率定的效率与实测发电功率与额定功率百分比的相关关系线, 或建立下列关系式:

$$\eta = K_\eta (N/N_{k1})^\alpha \quad (3.7.1-4)$$

式中  $K_\eta$ ——待定常数;

$\alpha$ ——指数;

$N$ ——实测单机电功率,  $\text{kW}$ ;

$N_{k1}$ ——额定电功率,  $\text{kW}$ 。

对于发电水头变幅大的反击式水轮机组的大中型水电站，可采用实测电功率与限制功率百分比建立下列关系式：

$$\eta = K_{\eta}(N/N_{k2})^a \quad (3.7.1-5)$$

式中  $N_{k2}$ ——各级水头限制功率，kW，可从水轮机运转特性曲线上查得。

在式 (3.7.1-4) 和式 (3.7.1-5) 中，当  $N/N_{k1}$  和  $N/N_{k2}$  达到 80% 以上时，关系线将出现反曲现象，则应重新拟合浮动多项式，或只用率定的关系线查读效率数值。

- 2) 根据实测流量水头和电功率率定的效率，可以绘制  $N/N_{k1}-\bar{\eta}$  或  $N/N_{k2}-\bar{\eta}$  关系线 (见图 3.7.1-1 和图 3.7.1-2)。

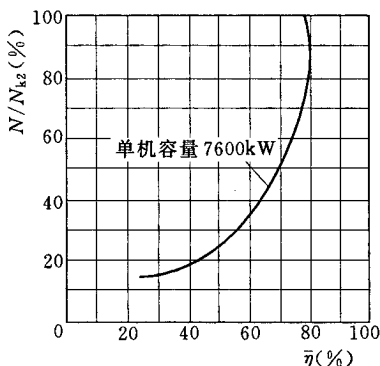
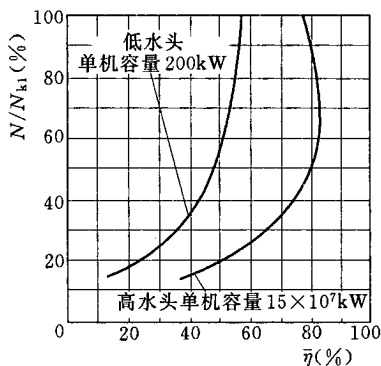


图 3.7.1-1  $N/N_{k1}-\bar{\eta}$  关系线图

图 3.7.1-2  $N/N_{k2}-\bar{\eta}$  关系线图

### 3 推求流量可用下列方法：

- 1) 绘制水头或水位—流量关系线推算流量。根据已经建立的效率关系线，以  $P_1$  (以实测电功率除以额定电功率)、 $P_2$  (以实测电功率除以限制功率) 在线上查得效率  $\eta$  值，按公式  $qh = N/9.8\eta$  计算各个  $qh$  值，点绘  $N-qh$  关系线 (见图 3.7.1-3)，算出各种单机电功

率  $N$  和水头  $h$  值情况下的单机流量  $q$ 。绘制  $h-N-q$  关系线（见图 3.7.1-4）。根据单机电功率  $N$  和水头在  $h-N-q$  关系线上查得单机流量  $q$ ，将各单机流量求和，即得总流量。

- 2) 根据关系式 (3.7.1-4) 和式 (3.7.1-5) 计算出效率  $\eta$ ，代入式 (3.7.1-1) 得到下列流量计算公式：

$$q_i = \frac{N_{k1}^{\alpha} N_i^{1-\alpha}}{9.8 K_{\eta} h_i} \quad (3.7.1-6)$$

$$q_i = \frac{N_{k2}^{\alpha} N_i^{1-\alpha}}{9.8 K_{\eta} h} \quad (3.7.1-7)$$

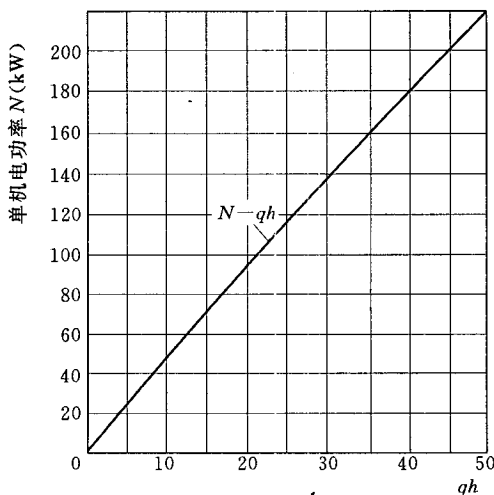


图 3.7.1-3  $N-qh$  关系线图

- 3) 水电站单机出流量，主要依电功率及水头两个因素变化，可不分析效率数值。直接用对数图解法求得以下流量关系式：

$$q_i = K h_i^{-\beta} N_i^{\alpha} \quad (3.7.1-8)$$

式中  $K$ ——待定系数；

$\beta$ 、 $\alpha$ ——指数；

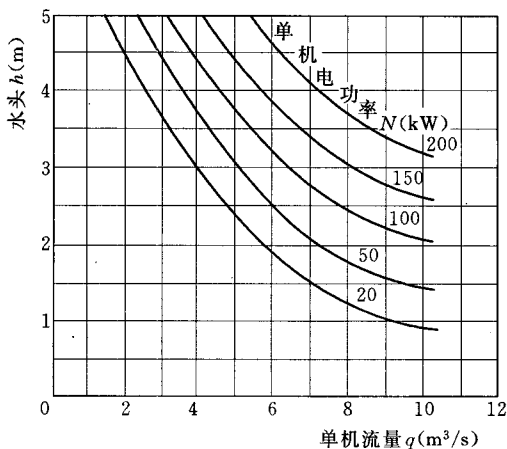


图 3.7.1-4  $h-N-q$  关系线图

$h_i$ ——第  $i$  单机实测水头, m;

$N_i$ ——第  $i$  单机电功率, kW。

### 3.7.2 泵站流量推算

#### 1 流量计算可用下列公式:

##### 1) 高、中扬程抽水站的流量计算公式:

单机流量计算公式:

$$q_i = \eta'_i N_i / 9.8h \quad (3.7.2-1)$$

式中  $q_i$ ——第  $i$  单机流量,  $m^3/s$ ;

$\eta'_i$ ——第  $i$  单机效率, %, 即 (有效电功率/耗用电功率)  $\times 100$ , 包括电动机、水泵、传动系统及水管摩阻等方面的综合效率;

$N_i$ ——第  $i$  单机电功率, kW;

$h$ ——抽水扬程 (抽水站上下水位差), m, 当出水管口中心高于水面时, 则以出水管中心高程与抽水池水体水位差计算扬程。

多机流量计算公式:

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i \quad (3.7.2-2)$$

式中  $Q$ ——多机流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$n$ ——单机个数。

2) 低扬程抽水站的流量计算公式:

$$q = \eta_k N e^{-\epsilon h} \quad (3.7.2-3)$$

式中  $\eta_k$ ——抽水效能系数, 相当于扬程为零时的每千瓦电功率的抽水流量;

$\epsilon$ ——抽水效能随扬程增加而递减的系数;

$e$ ——自然对数底。

式 (3.7.2-3) 适用于扬程  $0 \sim 6\text{m}$  的范围。扬程为负值也有效。

2 现场率定效率可用下列方法推求:

1) 高、中扬程抽水站, 根据实测流量、扬程和电功率, 用式 (3.7.2-1) 计算效率时, 绘制  $h-\eta'$  关系线, 如图 3.7.2-1 所示。

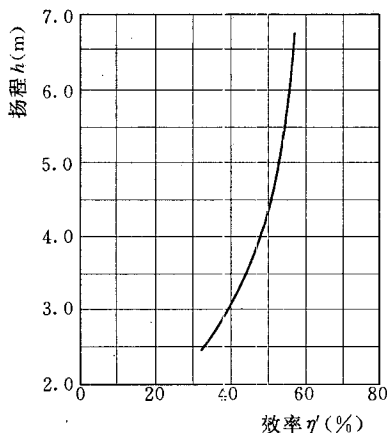


图 3.7.2-1  $h-\eta'$  关系线图

2) 低扬程抽水站可用单对数纸绘制  $\ln(q/N)-h$  关系线, 即可解得  $\eta_k$  及  $\epsilon$  值。

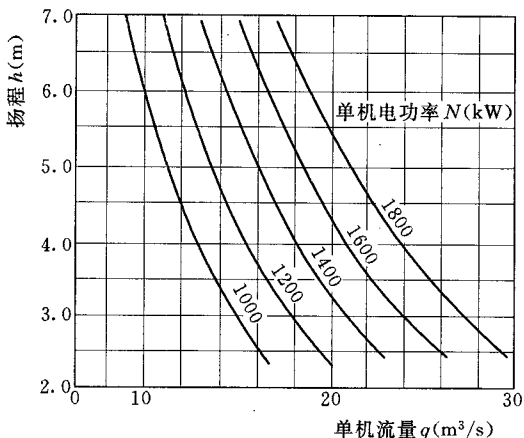


图 3.7.2-2  $h-N-q$  关系线图

### 3 推算流量可用下列方法：

- 1) 高、中扬程抽水站，从  $h-\eta'$  关系线上查得各级扬程的效率值，计算本站单位电功率 ( $N=1\text{kW}$ ) 时相应的单机流量值，再计算单机电功率变化范围内若干个电功率值在各级水头下的相应单机流量，然后绘制  $h-N-q$  关系线 (见图 3.7.2-2)。推求流量时，根据单机电功率和扬程，在  $h-N-q$  关系线上查得单机流量，乘以开机台数，即得总流量。
- 2) 低扬程抽水站，应用已求得的  $\eta_k$  及  $\epsilon$  值，代入式 (3.7.2-3) 推求流量。如为多台机组，则求得单机流量后相加的总流量。

## 3.8 水工建筑物流量测验不确定度估算

### 3.8.1 一般规定

1 流量测验误差可按随机误差、未定系统误差、已定系统误差分别运算。对随机误差，可按正态分布，采用置信水平 95% 的随机不确定度进行描述。对未定系统误差，应采用系统不



确定度进行描述。对已定系统误差，应予以修正。

2 流量测验误差与测验方法以及计算流量的有关水力因素的测量精度有关。可先计算各项水力因素的测验误差，再估算流量不确定度。然后按误差传递与综合理论分别估算随机不确定度和系统不确定度，最后估算综合不确定度。

3 流量综合不确定度，可用式 (3.8.1-1) 计算：

$$X_Q = \sqrt{X'_Q{}^2 + X''_Q{}^2} \quad (3.8.1-1)$$

式中  $X_Q$ ——流量综合不确定度；

$X'_Q$ ——流量随机不确定度；

$X''_Q$ ——流量系统不确定度。

4 当随机或系统不确定度又由若干独立的分项组成时，其不确定度采用下列公式计算：

$$X'_Q = \sqrt{X_1'^2 + X_2'^2 + \dots + X_n'^2} \quad (3.8.1-2)$$

$$X''_Q = \sqrt{X_1''^2 + X_2''^2 + \dots + X_n''^2} \quad (3.8.1-3)$$

式中  $X_1'$ 、 $X_2'$ 、 $\dots$ 、 $X_n'$ ——各单项随机不确定度；

$X_1''$ 、 $X_2''$ 、 $\dots$ 、 $X_n''$ ——各单项系统不确定度。

### 3.8.2 流量测验误差来源

1 水工建筑物流量测验的误差来源有建筑物尺寸的测量误差、闸门开启高度观测误差、水位（包括水头、水头差、扬程）观测误差、流量系数误差、水电站和泵站还有电功率查读误差、效率误差等。在测验工作中，应把观测误差控制在尽可能小的限度内，对系统误差，必须严格控制。

2 建筑物尺寸测量误差应包括过水断面宽度、洞管直径、堰高等项的测量误差。

3 闸门开启高度观测误差，应包括开高读数误差、标尺刻划误差、闸底零点高程测量误差；弧形闸门开启弧线换算为垂直开高的误差。

4 水尺观测水位的误差来源有水尺零点高程测量误差、水尺刻划误差和水尺读数误差。

5 流量系数的影响因素较多, 误差来源复杂, 主要有下列误差:

- 1) 现场率定流量系数的误差来源有用流速仪测流的测验误差、水头观测误差、堰闸宽度测量误差、闸门开高观测误差等。水电站、泵站还有电功率读数误差。流速仪测量的单次流量随机误差, 按照现行河流流量测验规范进行估算。当应用现场率定的流量系数关系线或关系式查算流量系数时, 其误差应小于单次实测的流量系数的误差。宜采用流量系数定线误差分析流量误差。
- 2) 采用模型试验的流量系数和经验流量系数的误差, 主要取决于所用流量系数是否符合原体建筑物的实际情况。可根据应用现场率定流量系数成果与模型流量系数和经验流量系数进行比较予以估算。

### 3.8.3 单项不确定度估算

1 水尺零点高程测量的系统不确定度, 可根据测量水尺零点高程时所采用的水准测量精密等级, 取相应的标准差按式(3.8.3-1)估算:

$$E''_{z_1} = 2m\sqrt{L} \quad (3.8.3-1)$$

式中  $E''_{z_1}$ ——水尺零点高程的系统不确定度, mm;

$m$ ——水准测量 1km 路线往返测量允许的标准差, mm (四等水准  $m=10\text{mm}$ );

$L$ ——往返测量 (或左右路线测段) 路线平均长度, km。

2 水尺刻划的系统不确定度估算应符合 GB/T 50138—2010 的规定, 当水尺长为 1.0m 时, 可取水尺刻划的系统不确定度为  $E''_{z_2}=3.0\text{mm}$

3 水尺观读随机不确定度可按下列规定估算:

- 1) 进行水尺观读误差试验时, 可在水位无变化的短时间内 (5~20min) 连续观读水尺 30 次以上, 并按式

(3.8.3-2) 估算标准差:

$$S_{Z_3} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Z_i - \bar{Z})^2}{N-1}} \quad (3.8.3-2)$$

式中  $Z_i$ ——第  $i$  次水尺读数, m;

$\bar{Z}$ —— $N$  次水尺读数平均值, m;

$N$ ——误差试验时水尺观读次数。

2) 取置信水平 95%, 水尺观读的随机不确定度用式

(3.8.3-3) 计算:

$$E'_{Z_3} = 2S_{Z_3} \quad (3.8.3-3)$$

3) 当观读次数  $N$  少于 30 次时, 应按学生氏  $t$  分布求得水尺观读随机不确定度:

$$E'_{Z_3} = tS_{Z_3} \quad (3.8.3-4)$$

4) 当水尺读数采用  $n$  次观读值的平均值时, 水尺观读随机不确定度可用式 (3.8.3-5) 计算:

$$E'_{Z_3} = \frac{E'_{Z_3}}{\sqrt{n}} \quad (3.8.3-5)$$

式中  $E'_{Z_3}$ —— $n$  次平均值的水尺观读随机不确定度;

$n$ ——水位观测时, 水尺观读次数。

4 水头观测综合不确定度可按下列规定估算:

1) 水头随机不确定度可按式 (3.8.3-6) 估算:

$$E'_H = E'_{Z_3} = 2\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Z_i - \bar{Z})^2}{N-1}} \quad (3.8.3-6)$$

2) 水头系统不确定度可按式 (3.8.3-7) 估算:

$$E''_H = \sqrt{E''_{Z_1}{}^2 + E''_{Z_2}{}^2} \quad (3.8.3-7)$$

3) 水头综合不确定度可按式 (3.8.3-8) 估算:

$$E_H = \sqrt{E'_H{}^2 + E''_H{}^2} \quad (3.8.3-8)$$

5 水位差综合不确定度可按式 (3.8.3-9) 估算:

$$E_{\Delta Z} = \sqrt{E_Z^2 + E_{Z_L}^2} \quad (3.8.3-9)$$

式中  $E_{\Delta Z}$ ——水位差综合不确定度, m;

$E_Z$ ——上游水位综合不确定度, m;

$E_{Z_L}$ ——下游水位综合不确定度, m。

$E_Z$ 、 $E_{Z_L}$ 可参照式(3.8.3-6)~式(3.8.3-8)计算。

6 闸门开启高度综合不确定度可按式(3.8.3-10)估算:

$$E_e = \sqrt{E_{e_1}'^2 + E_{e_2}''^2} \quad (3.8.3-10)$$

式中  $E_{e_1}'$ ——闸门开启高度观读随机不确定度, m, 可根据实际观测情况确定, 宜在 0.01~0.02m 之间;

$E_{e_2}''$ ——闸门开启高度零点测量的系统不确定度, m, 可参照水尺零点高程的系统不确定度的计算方法估算。

7 堰宽、洞径等建筑物尺寸测量时, 应往返多次精确测量。其测量的随机误差要求互差不得超过  $\pm(0.01m + 0.2b\%)$ , 其中  $b$  为建筑物的尺寸(如堰宽、洞径等), 其测量的系统不确定度可以忽略。因为, 建筑物尺寸一旦确定, 该测量误差在流量计算中就反映为流量的系统误差。建筑物尺寸测量的不确定度可用式(3.8.3-11)计算:

$$X_b = \frac{0.01}{b} \times 100 + 0.2\% \quad (3.8.3-11)$$

8 相对不确定度可按下列规定计算

1) 水头综合相对不确定度按式(3.8.3-12)估算:

$$X_H = \frac{E_H}{H} \times 100 \quad (3.8.3-12)$$

2) 水位差综合相对不确定度按式(3.8.3-13)估算:

$$X_{\Delta Z} = \frac{E_{\Delta Z}}{\Delta Z} \times 100 \quad (3.8.3-13)$$

3) 闸门开高综合相对不确定度可按式(3.8.3-14)估算:

$$X_e = \frac{E_e}{e} \times 100 \quad (3.8.3-14)$$

9 自由孔流现场率定流量系数的相对系统不确定度应按式(3.8.3-15)计算:

$$X_c'' = \pm \left[ X_Q''^2 + X_b''^2 + X_e''^2 + \left( \frac{1}{2} X_H'' \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.8.3-15)$$

式中  $X_c''$ ——流量系数系统不确定度;  
 $X_Q''$ ——实测流量系统不确定度(根据现行河流流量规范规定计算的流速仪测流的系统不确定度得出);  
 $X_b''$ ——闸孔宽测量的系统不确定度;  
 $X_e''$ ——闸门开高测量的系统不确定度;  
 $X_H''$ ——水头测量的系统不确定度。

### 3.8.4 单次流量综合不确定度估算

单次流量综合不确定度应按式(3.8.4)估算:

$$X_Q = \pm [X_c^2 + X_b^2 + X_e^2 + (\beta X_H)^2]^{1/2} \quad (3.8.4)$$

式中  $X_Q$ ——一次流量推算值综合不确定度;  
 $X_c$ ——流量系数综合不确定度;  
 $X_b$ —— $b$ 的综合不确定度,例如过水断面宽、洞管半径等;  
 $X_e$ —— $e$ 的综合不确定度,代表闸门开高,无闸门时此项为0;  
 $X_H$ —— $H$ 的综合不确定度,代表水头、水头差、扬程等;  
 $\beta$ —— $H$ 的指数。

## 4 测流堰测流

### 4.1 一般规定

#### 4.1.1 流量系数率定要求

严格按照本标准规定的结构、规格、尺寸、材料等建造和安装的测流堰，可按给定的公式计算流量，其流量系数可采用本标准给出的值，可不进行率定检验。否则，应采用现场或实验室校验，率定流量系数。

#### 4.1.2 测流堰的分类

1 根据测流堰顶厚度与堰上水头的关系及其对过堰水流的影响，测流堰可分为薄壁堰、实用堰、宽顶堰三种类型。

2 根据堰口形状，测流堰又可分为矩形堰、V形堰、三角形剖面堰、梯形剖面堰、圆缘顶堰五种类型。

3 根据堰下游水位对堰过流能力的影响情况，测流堰可分为自由出流堰和淹没出流堰。

4 根据水流通过测流堰的收缩情况，测流堰又可分为收缩堰、全宽堰两种。

不同堰顶宽和剖面形状的组合，可制做多种形式的测流堰，流量测验中常用的主要形式有：矩形薄壁堰、三角形薄壁堰、矩形宽顶堰、圆缘宽顶堰、锐缘矩形宽顶堰、V形宽顶堰、梯形宽顶堰等。

### 4.2 测流堰的设置与水头测量

#### 4.2.1 测流堰的设计

1 测流堰设计前，应对测验河段的自然特征、水文特性、水力条件等进行详细调查了解和实地勘测，开展建堰的可行性研究和堰型的选择，并编写勘测研究报告。

2 所选择的堰型应能满足兴建堰的主要目的，其技术性能

应符合河段的水文水力特性。当河段条件不能全部满足设堰要求时，可进行人工改造。各类测流堰的基本性能和适用条件可参见附录 F。

3 应尽可能选用单一测量堰型来满足整个流量变幅测验要求。当单一测量堰应用条件受到限制时，可采用复合堰、组合堰或并列堰形式完成流量测验。

4 行近河槽应有足够长度的顺直段，使水流呈缓流状态，弗劳德数  $Fr$  不应大于 0.5，并符合下列规定：

- 1) 行近河槽水头观测断面以上的顺直长度不应小于最大水面宽的 5 倍。当上游入口以上是弯道或有支流汇入时，河槽的顺直段还应适当延长。当用导流板或导流墙时，其导流板墙与堰顶的距离不应小于设计最大水头的 10 倍。
- 2) 当行近河槽上游坡度较陡有可能发生水跃时，水跃至堰顶的距离不应小于设计最大水头的 30 倍。
- 3) 行近河槽上游进口收缩段应对称于河槽中心线，可建弧形翼墙，翼墙的曲率半径不宜小于 2 倍最大水头。翼墙下游的切点与水头测量断面的距离不宜小于最大水头。
- 4) 在有悬移质输移的河流（渠道）上建堰，应采取有效的防沙和清淤措施。在有漂浮物的河流上建堰，应在行近河槽以上建造拦污栅。

5 堰下游的扩散段除另有具体要求者外，可采用扩散比不小于 1:3~1:4（垂直于流向与平行于流向的长度比）的渐变扩散形式。在保证自由出流的条件下，下游扩散段也可在允许范围内截短。

6 在有充分水头可利用的河槽上建造测流堰，宜将其设计成在整个测流变幅内都处于自由流状态下。在可利用水头有限的情况下，允许在低水头运用时呈淹没状态。这时应根据下游河槽的水位流量关系和所要求的测流幅度，确定适合的堰顶高和非淹

没限。

#### 4.2.2 测流堰安装与养护

1 堰槽中心线应与河渠轴线完全重合，两边呈对称布置。垂直流向的堰板应竖直，迎水壁面应光滑平整。各部分装置应准确牢固，且不致因水流和温度的变化而腐蚀变形。

2 应做好基础处理，保证安装质量，不致因各种原因发生倾覆、滑动、断裂、沉陷和漏水情况。为防止可能发生的下游冲刷，必要时可建造消能池。消能池以下的河床和岸边宜用块石护砌。

3 堰顶应经常保持良好的光洁度，距堰顶上下游最大水头距离以内应平整光滑。现场浇筑的堰，其堰顶应采用优质水泥抹面，或用优质不腐蚀材料整饰表面。

薄壁堰的堰口宜用工厂加工的整体金属构件，并嵌于混凝土中。堰板可用不锈钢、低碳钢或铸铁等材料制做。薄壁堰的堰顶表面光洁度应相当于滚轧金属板或刨平、砂磨并涂漆的木板的光洁度。

4 堰安装后应进行竣工测量，经验收合格后方可使用。各部位尺寸的允许偏差应符合下列规定：

- 1) 堰顶宽的允许偏差为该宽度的 0.2%，且最大绝对值不大于 0.01m。
- 2) 堰顶的水平表面允许倾斜偏差为堰顶水平长度的 0.1% 的坡度。
- 3) 堰顶长度的允许偏差为该长度的 0.5%。
- 4) 控制断面为三角形或梯形的横向坡度允许偏差为该坡度的 0.1%~0.2%。
- 5) 堰的上下游纵向坡度的允许偏差为该纵向坡度的 1%。
- 6) 堰高的允许偏差为设计堰高的 0.2%，且最大绝对值不应大于 0.01m。

5 堰在使用期间应注意养护，防止损坏，应有有效的防淤、防腐、防冻和防裂措施。应经常检查校测，防止变形，保持各部位尺寸的准确和表面良好的光洁度。当发生槽底淤积或堰顶上粘



贴有漂浮物时，应及时清洗。

6 测流堰的初期勘测报告、设计任务书、工程质量检查验收报告等有关竣工资料，水头测量仪器设备的使用说明，水准测量成果以及管理操作规程等有关资料应建立档案，存档保存。

#### 4.2.3 水头测量

1 水头测量应在各类标准堰所规定的断面位置上进行。上下游水头观测，宜设置在堰槽的同一岸。

2 水头测量宜采用自记设备，当水头变幅小于 0.5m 或要求记测至 1mm 的小型堰，可采用针（钩）形水位计。只有在观测精度要求不高或其他特殊情况下，方可设立直立式或其他形式的水尺进行人工测记。

3 采用浮子式自记水位计时，除执行 GB/T 50138—2010 的有关规定外，还应符合下列要求：

- 1) 连通管的进水口应与行近河槽正交平接，管口下边缘与槽底齐平。连通管宜水平埋设，接头处要严防渗漏，管的内壁应光滑平整，并做防护处理。
- 2) 连通管的进水口，宜设适合的多孔管帽，以减弱水流扰动和防止泥沙输入，但应避免由此产生水流滞后现象。
- 3) 静水井口缘应超出最大设计水头 0.3m，井底应低于进水管下边缘 0.3m。
- 4) 井口大小应与观测仪器和清淤要求相适应。浮筒和平衡锤与井壁的距离不应小于 75mm，两者也应保持适当的间隔。

4 应在堰附近的适当位置设立基本水准点，用来测定水头零点的高程。水准点高程应从国家统一的水准基面接测，不具备条件时可采用假定基面。

5 水头零点高程应精确测定。控制断面为三角形的顶点高程、水平堰顶高程要采用不同方法在不同部位进行多次测量，再取其平均值确定。为避免表面张力和水面起伏度的影响，任何堰

均不得用静止水面间接推求水头零点高程。

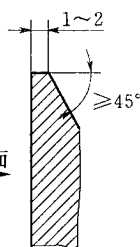
6 自记设备应随时保持正常运行。更换自记纸或读取存储数据时，应同时与校核水尺进行校测，记录水位与水尺水位的校核水位差不应大于 10mm。因测井内外水体密度差引起的水位差超过 10mm 时，应进行滞后改正。上下游水头观测的自记钟应严格对准，不应有计时差。

7 在检查自记记录或人工观测水头的同时，应注意测记水流流态，有无横比降、回流、漩涡、河槽冲淤及泥沙和漂浮物等情况。

## 4.3 薄壁堰

### 4.3.1 一般规定

1 薄壁堰的堰板顶部厚度规定为 1~2mm，堰顶向下游的



倾斜面与堰顶的夹角不小于  $45^\circ$ ，如图 4.3.1 所示。堰口宜用耐腐蚀的金属制作，并涂油、蜡或树脂等之类的保护层，以保持平整光滑。小型薄壁堰可用整块钢板加工后在现场安装，大型薄壁堰须在现场安装混凝土基座，然后将加工好的堰板镶嵌在混凝土中。

图 4.3.1 薄壁堰堰口两侧详图（单位：mm）

2 薄壁堰应与河槽岸壁垂直。堰板与岸壁和河底的交界面应不漏水，堰能

经受最大流量而不致变形或损坏。

3 水流通过薄壁堰，应形成清晰的水舌从堰顶射出。对无侧收缩的矩形薄壁堰，可在堰顶下游两侧各开一通气孔，保证水舌通气良好。水流不宜挟带泥沙、碎石和漂浮物。下游尾水位至少应低于堰顶 0.1m。设计水头超过 0.5~1.0m 时，应对下游河床进行砌护。

4 薄壁堰的水头测量断面设置在堰顶上游 4~5 倍最大水头处。当堰顶宽  $b$  与行近河槽宽  $B$  之比  $\frac{b}{B} \geq 0.5$  时，行近河槽的长

度至少应为槽宽的 10 倍；当  $\frac{b}{B} < 0.5$  时，可适当缩短。

5 薄壁堰宜用于自由流，不得用于淹没流。

#### 4.3.2 三角形薄壁堰

1 三角形薄壁堰的堰体如图 4.3.2-1 所示。堰口的垂直平分线与河槽两岸等距。堰口表面是平面，与堰板的上游面相交呈锐缘。堰板应平整坚固，且垂直于岸墙底，堰口附近堰体材料表面应光滑。

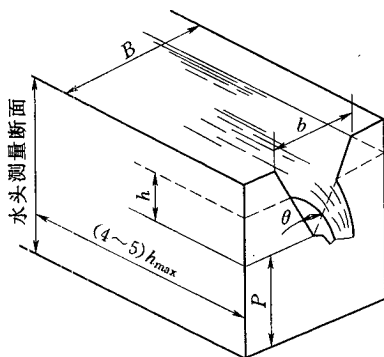


图 4.3.2-1 三角形薄壁堰图

2 当行近河槽宽度与最大溢流水舌的顶部宽或者当

最大水头与堰顶高之比符合下列条件时，行近河槽应光滑顺直且呈矩形。

$$\frac{B}{b_{\max}} < 3$$

或 
$$\frac{h_{\max}}{P} > 1 \quad (4.3.2-1)$$

式中  $B$ ——行近河槽宽度，m；

$h_{\max}$ ——最大水头，m；

$b_{\max}$ ——最大溢流水舌的顶部宽，m；

$P$ ——堰顶高，m。

3 本标准规定的三角形薄壁堰限于在满足式 (4.3.2-2) 时的完全侧收缩条件下使用：

$$\frac{(B-b)}{2h} > 2 \text{ 或 } \frac{b}{B} < 0.3 \quad (4.3.2-2)$$

式中  $b$ ——溢流水舌的顶部宽度，m；

$h$ ——为实测水头，m。

4 当堰口角在  $\frac{\pi}{9} \sim \frac{5\pi}{9}$  之间时, 可采用式 (4.3.2-3) 计算流量:

$$Q = C_D \frac{8}{15} \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2gh_c^{5/2}} \quad (4.3.2-3)$$

其中 
$$h_c = h + K_h \quad (4.3.2-4)$$

式中  $C_D$ ——流量系数;

$\theta$ ——堰口角;

$h_c$ ——有效水头, m。

$K_h$ ——考虑黏滞力和表面张力综合影响的校正值, m。

1) 关于  $C_D$  和  $K_h$  的计算:

当  $\theta=90^\circ$  时, 可由图 4.3.2-2 查出  $C_D$  值。当  $\frac{h}{P}$  和  $\frac{P}{B}$  值在图示范围内时,  $K_h$  为 0.00085m 的一个定值。

当  $\theta \neq 90^\circ$  时,  $C_D$  和  $K_h$  值可根据  $\theta$  直接从图 4.3.2-3 和图 4.3.2-4 查得。

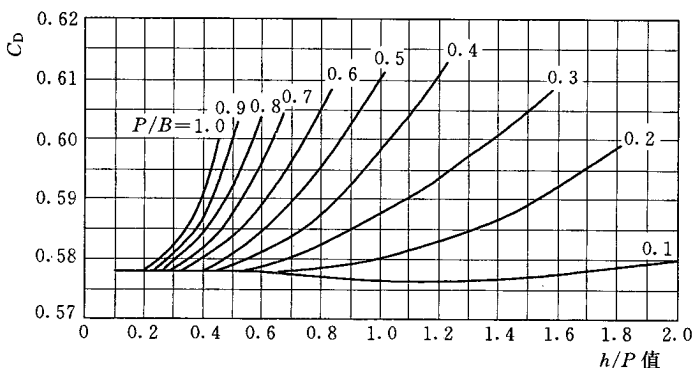


图 4.3.2-2 流量系数  $C_D$  ( $\theta=90^\circ$ ) 图

2) 公式的应用限制:

——当  $\theta=90^\circ$  时,  $\frac{h}{P}$  和  $\frac{P}{B}$  限制在如图 4.3.2-2 所示的

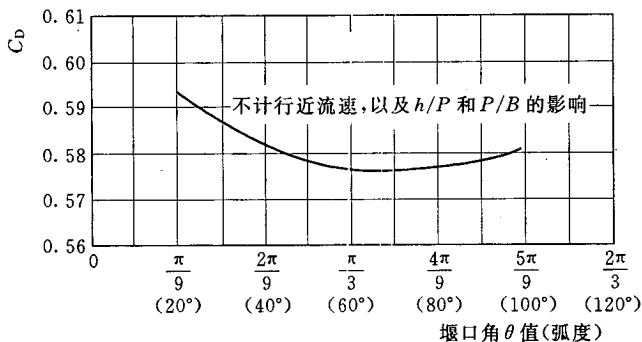


图 4.3.2-3 流量系数  $C_D$  值与堰口角  $\theta$  关系图

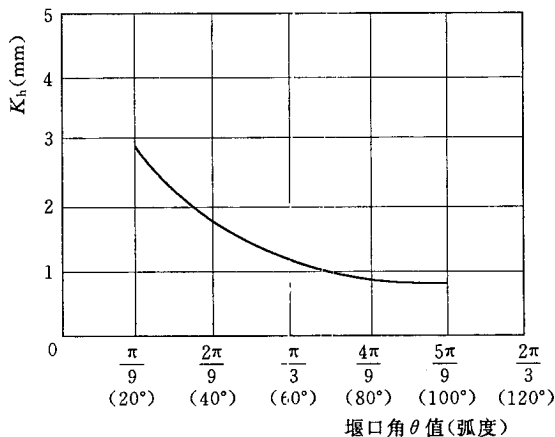


图 4.3.2-4  $K_h$  值与堰口角  $\theta$  关系图

范围内应用；对于  $\theta$  的其他值， $\frac{P}{B} \leq 0.35$ ， $\frac{h}{P} = 0.10 \sim 1.5$ 。

——  $h > 0.06\text{m}$ 。

——  $P > 0.09\text{m}$ 。

5 3种有特殊几何关系的堰口角 ( $\tan \frac{\theta}{2} = 1$ ,  $\tan \frac{\theta}{2} = 0.5$ ,

$\tan \frac{\theta}{2} = 0.25$ ) 的流量计算公式 (完全侧收缩) 为:

$$Q = C_D \frac{8}{15} \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2gh}^{5/2} \quad (4.3.2-5)$$

式中的流量系数  $C_D$  可查表 4.3.2。

表 4.3.2 3种特殊堰口角的流量系数  $C_D$  表

水头 $h$ (m)	$C_D$		
	$\tan \frac{\theta}{2} = 1$	$\tan \frac{\theta}{2} = 0.5$	$\tan \frac{\theta}{2} = 0.25$
0.060	0.6032	0.6114	0.6417
0.065	0.6012	0.6098	0.6383
0.070	0.5994	0.6084	0.6352
0.075	0.5978	0.6071	0.6324
0.080	0.5964	0.6060	0.6298
0.085	0.5950	0.6050	0.6276
0.090	0.5937	0.6040	0.6256
0.100	0.5917	0.6021	0.6219
0.110	0.5898	0.6005	0.6187
0.120	0.5885	0.5989	0.6162
0.130	0.5876	0.5976	0.6139
0.140	0.5868	0.5964	0.6119
0.150	0.5861	0.5955	0.6102
0.170	0.5853	0.5938	0.6070
0.200	0.5849	0.5918	0.6037
0.250	0.5846	0.5898	0.6002
0.330	0.5850	0.5880	0.5968
0.381	0.5855	0.5872	0.5948

式 (4.3.2-5) 限制在  $\frac{h}{P} < 0.4$ ,  $\frac{h}{B} < 0.2$ ,  $P > 0.45\text{m}$ ,

$B > 1.0\text{m}$  和  $h = 0.06 \sim 0.38\text{m}$  的条件下应用。

6 当堰口角  $\theta = \pi/2$  时, 也可用经验公式 (4.3.2-6) 计算流量:

$$Q = 1.343h^{2.47} \quad (4.3.2-6)$$

式 (4.3.2-6) 限制在  $B \gg 5h$ ,  $\frac{h}{P} < 0.5$  和  $h = 0.06 \sim 0.65\text{m}$  的条件下应用。

### 4.3.3 矩形薄壁堰

1 矩形薄壁堰的标准堰型如图 4.3.3-1 所示, 矩形缺口宜与河槽轴中心线对称, 堰板与河底边墙垂直, 堰顶和缺口两侧应光滑平整, 宜用耐锈蚀的金属制作。

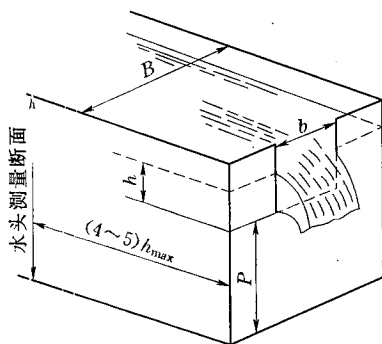


图 4.3.3-1 矩形堰口薄壁堰图

2 标准堰型的矩形薄壁堰流量计算公式为:

$$Q = C_D \frac{2}{3} \sqrt{2g} b_e h_e^{3/2} \quad (4.3.3-1)$$

其中  $b_e = b + K_b \quad (4.3.3-2)$

$$h_e = h + K_h \quad (4.3.3-3)$$

式中  $b_e$ ——有效宽度, m;

$h_e$ ——有效水头, m;

$K_b$ ——考虑黏滞力和表面张力影响对宽度  $b$  的改正值;

$K_h$ ——考虑黏滞力和表面张力影响对水头  $h$  的改正值;

$b$ ——堰口宽度, m。

$K_b$  可从图 4.3.3-2 查得,  $K_h$  可取为  $0.001\text{m}$ 。

对不同  $\frac{b}{B}$  ( $B$  为行进河槽宽) 值的流量系数  $C_D$  值, 可按表

4.3.3 所列公式求得。对于  $\frac{b}{B}$  的中间值可内插确定。

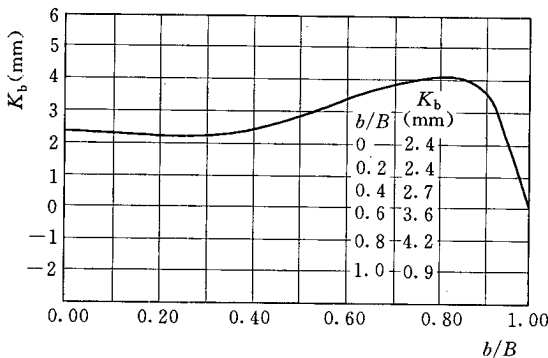


图 4.3.3-2  $K_b$  与  $b/B$  关系图

式 (4.3.3-1) 限制在  $\frac{h}{P} < 2.5$ ,  $h > 0.03\text{m}$ ,  $b > 0.15\text{m}$  和  $P > 0.10\text{m}$  的条件下应用。

表 4.3.3 矩形薄壁堰流量系数表

$b/B$	$C_D$	$b/B$	$C_D$
1.0	$0.602 + 0.075h/P$	0.6	$0.593 + 0.018h/P$
0.9	$0.598 + 0.064h/P$	0.4	$0.591 + 0.0058h/P$
0.8	$0.596 + 0.045h/P$	0.2	$0.589 + 0.0018h/P$
0.7	$0.594 + 0.030h/P$	0.0	$0.587 - 0.0023h/P$

3  $\frac{b}{B} = 1.0$  时, 无侧收缩矩形薄壁堰的流量可采用式 (4.3.3-4) 计算:

$$Q = C_D \frac{2}{3} \sqrt{2gb} h_e^{3/2} \quad (4.3.3-4)$$

式 (4.3.3-4) 中, 流量系数和有效水深可用式 (4.3.3-5) 和式 (4.3.3-6) 计算:

$$C_D = 0.602 + 0.083 \frac{h}{P} \quad (4.3.3-5)$$

$$h_e = h + 0.0012 \quad (4.3.3-6)$$



式 (4.3.3-3) 限制在  $\frac{h}{P} < 1.0$ ,  $b > 0.3\text{m}$ ,  $P > 0.10\text{m}$  和  $h = 0.03 \sim 0.75\text{m}$  的条件下应用。

4 对无侧收缩堰也可采用式 (4.3.3-7) 计算流量:

$$Q = C_D \frac{2}{3} \sqrt{2g} b \left[ h + \frac{v_0^2}{2g} \right]^{3/2} \quad (4.3.3-7)$$

式 (4.3.3-7) 中的流量系数可采用式 (4.3.3-8) 计算:

$$C_D = 0.627 + 0.018 \left[ \frac{h + \frac{v_0^2}{2g}}{P} \right] \quad (4.3.3-8)$$

其中  $v_0 = Q/A_a$  (4.3.3-9)

式中  $v_0$  ——行近河槽的平均流速;

$A_a$  ——水头测量断面处的过水面积。

由于  $v_0$  是  $Q$  的函数, 可采用逐步近似法计算。

式 (4.3.3-7) 限制在  $h/P < 2.5$ ,  $h > 0.03\text{m}$ ,  $b > 0.20\text{m}$  和  $P > 0.10\text{m}$  的条件下应用。

5 凡符合规定标准建造的矩形薄壁堰, 流量系数的不确定度 (95% 的置信水平), 当  $\frac{h}{P} < 1.0$  时, 不确定度不大于 1.5%;

当  $\frac{h}{P} = 1.0 \sim 1.5$  时, 不确定度不大于 2.0%; 当  $\frac{h}{P} = 1.5 \sim 2.5$  时, 不确定度不大于 3.0%。

#### 4.3.4 梯形薄壁堰

1 本标准规定的有侧收缩的梯形薄壁堰, 其断面边坡特定为 1:0.25 (垂直: 水平)。堰体的各部位几何尺寸关系见表 4.3.4, 符号代表意义见图 4.3.4。

2 梯形薄壁堰的自由流流量计算公式为:

$$Q = C_D b h^{3/2} \quad (4.3.4-1)$$

流量系数  $C_D$  可采用 1.86。

式 (4.3.4-1) 限制在  $0.25\text{m} \leq b \leq 1.5\text{m}$ ,  $0.083\text{m} \leq h \leq 0.5\text{m}$  和  $0.083\text{m} \leq P \leq 0.5\text{m}$  的范围内应用。

表 4.3.4 梯形薄壁堰各项几何尺寸关系表 单位: m

b	B	$h_{\max}$	$P_1$	T	P	D	L	施测流量范围 ( $\times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ )
	$b + \frac{P_1}{2}$	$\frac{1}{3}b$	$\frac{1}{3}b + 0.05$	$\frac{1}{3}b$		$P + P_1$	$B + 2T$	
0.25	0.316	0.083	0.133	0.083	0.083	0.216	0.482	2~12
0.50	0.608	0.166	0.216	0.166	0.166	0.382	0.940	10~63
0.75	0.900	0.250	0.300	0.250	0.250	0.550	1.400	30~178
1.00	1.191	0.333	0.383	0.333	0.333	0.716	1.857	61~365
1.25	1.483	0.416	0.466	0.416	0.416	0.882	2.315	102~640
1.50	1.775	0.500	0.550	0.500	0.500	1.050	2.775	165~1009

注: D、L 未包括安装尺寸。安装尺寸可按实际需要, 增加 0.05~0.08m。

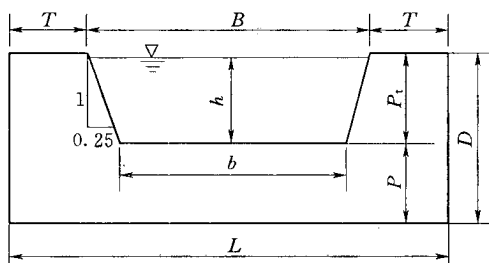


图 4.3.4 梯形薄壁堰几何尺寸关系图

## 4.4 宽 顶 堰

### 4.4.1 一般规定

1 宽顶堰的应用范围除有特别规定者外, 其实测水头  $h$  与沿水流方向的水平堰顶长度  $L$  之比应在 0.1~0.4 之间。

2 宽顶堰的上(下)游水头测量断面, 应设置在距堰顶上(下)游 3~4 倍最大水头处。

3 宽顶堰宜用于自由流, 部分宽顶堰还可用于淹没流。

4 有关行近河槽、堰的设置与水头测量应符合 4.2 节的

要求。

#### 4.4.2 圆缘矩形宽顶堰

1 无侧收缩的圆缘矩形宽顶堰，其堰顶上游进口和下游出口均为圆缘。前缘进口处的圆半径不应小于  $0.2H_{\max}$  ( $H_{\max}$  为最大水头)。堰顶水平长度不应小于  $1.75H_{\max}$ ，且堰顶长与前缘半径之和，也不应小于  $2.25H_{max}$ 。下游堰面既可做成竖直面，也可做成斜面，圆缘矩形宽顶堰的布置形式如图 4.4.2-1 所示。

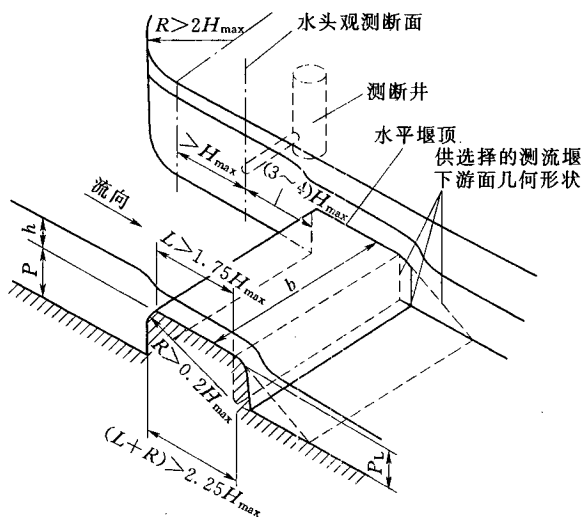


图 4.4.2-1 圆缘矩形宽顶堰布置图

2 圆缘矩形宽顶堰的流量计算公式为：

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_D C_V b h^{3/2} \quad (4.4.2-1)$$

- 式中  $C_D$ ——流量系数；  
 $C_V$ ——行近流速系数；  
 $b$ ——堰宽，m；  
 $h$ ——实测水头，m。

对于具有良好光滑表面（水泥抹面）的建筑物，流量系数可用式（4.4.2-2）计算：

$$C_D = \left(1 - 0.006 \frac{L}{b}\right) \left(1 - 0.003 \frac{L}{h}\right)^{3/2} \quad (4.4.2-2)$$

式中  $L$ ——沿水流方向堰顶长度，m。

行近流速系数可从图 4.4.2-2 中直接查算。

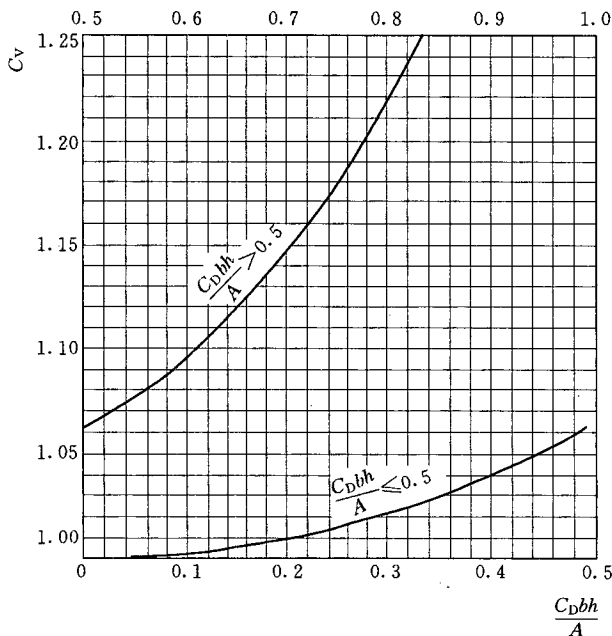


图 4.4.2-2 行近流速系数  $C_v$  查算图

图 4.4.2-2 中， $A$  为矩形行近河槽过水断面面积，可用式（4.4.2-3）计算：

$$A = (P + h)b \quad (4.4.2-3)$$

式中  $P$ ——堰顶高，m。

3 圆缘矩形宽顶堰仅适用于自由流，自由流可按以下条件判别：

$$1) \frac{h}{P_L} < 0.5, \text{ 且 } \frac{h_L}{h} < 0.63;$$

$$2) \frac{h}{P_L} = 0.5, \text{ 且 } \frac{h_L}{h} < 0.75;$$

$$3) \frac{h}{P_L} > 0.5, \text{ 且 } \frac{h_L}{h} < 0.80。$$

式中  $P_L$ ——下游河底高程以上的堰顶高, m;

$h_L$ ——实测下游水头, m。

4 圆缘矩形宽顶堰限制在以下条件使用:

$$1) h \geq 0.06\text{m}, \text{ 且 } h \geq 0.03L;$$

$$2) \frac{h}{P} \leq 1.5;$$

$$3) \frac{h}{L} \leq 0.57;$$

4) 堰高  $P \geq 0.15\text{m}$ , 堰宽  $b$  既不得小于  $0.3\text{m}$ , 也不得小于上游实测最大水头  $h_{\max}$  或  $0.2L$ 。

5 当施工质量完全符合要求时, 圆缘矩形宽顶流量系数的系统不确定度可由式 (4.4.2-4) 计算:

$$X'_c = \pm (2 + 0.15L/h) \quad (4.4.2-4)$$

流量系数的随机不确定度可取为  $X'_c = \pm 1\%$ 。

在行近河槽正常维修情况下, 行近流速系数  $C_v$  的不确定度可忽略不计。

#### 4.4.3 锐缘矩形宽顶堰应符合下列要求

1 无侧收缩的锐缘矩形宽顶堰的堰顶上游进口为直角, 其结构布置形式如图 4.4.3-1 所示。水平堰顶和上下端垂直面应光滑平整。

2 锐缘矩形宽顶堰的流量计算公式为:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_b h^{3/2} \quad (4.4.3-1)$$

式中  $C$ ——流量组合系数, 可由表 4.4.3 查取。

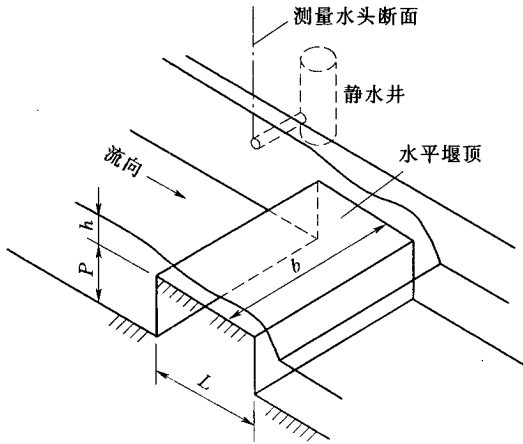


图 4.4.3-1 锐缘矩形宽顶堰布置图

表 4.4.3 流量组合系数 C 值表

$h/L$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	
$h/p$	$C$																		
0.1	0.850	0.850	0.850	0.861	0.870	0.885	0.893	0.925	0.948	0.971	0.993	1.016	1.035	1.062	1.085	1.106	1.130	1.148	
0.2	0.855	0.855	0.855	0.864	0.874	0.888	0.907	0.930	0.954	0.977	1.001	1.026	1.050	1.074	1.096	1.120	1.142	1.159	
0.3	0.864	0.864	0.864	0.868	0.879	0.894	0.913	0.936	0.961	0.986	1.011	1.037	1.061	1.085	1.110	1.132	1.152	1.169	
0.4	0.873	0.873	0.873	0.874	0.885	0.901	0.920	0.945	0.969	0.995	1.021	1.047	1.072	1.097	1.122	1.144	1.163	1.180	
0.5	0.882	0.882	0.882	0.883	0.894	0.908	0.929	0.959	0.978	1.005	1.022	1.057	1.083	1.109	1.133	1.154	1.173	1.188	
0.6	0.892	0.892	0.892	0.894	0.904	0.920	0.941	0.964	0.990	1.016	1.043	1.067	1.094	1.120	1.143	1.164	1.182	1.196	
0.7	0.901	0.901	0.901	0.906	0.916	0.930	0.952	0.975	1.000	1.026	1.052	1.077	1.104	1.129	1.152	1.171	1.188	1.203	
0.8	0.911	0.911	0.912	0.916	0.926	0.942	0.962	0.985	1.010	1.036	1.062	1.086	1.112	1.136	1.158	1.176	1.194	1.209	
0.9	0.921	0.921	0.922	0.928	0.935	0.952	0.972	0.996	1.021	1.046	1.072	1.096	1.120	1.143	1.163	1.181	1.199	1.214	
1.0	0.929	0.929	0.931	0.936	0.946	0.962	0.982	1.006	1.031	1.056	1.081	1.106	1.128	1.150	1.169	1.187	1.204	1.220	
1.1	0.935	0.937	0.940	0.946	0.956	0.972	0.993	1.017	1.042	1.066	1.092	1.116	1.138	1.159	1.177	1.195	1.212	1.228	
1.2	0.941	0.944	0.949	0.956	0.966	0.982	1.004	1.028	1.053	1.077	1.103	1.126	1.148	1.168	1.186	1.204	1.222	1.237	
1.3	0.946	0.951	0.957	0.966	0.977	0.993	1.016	1.040	1.063	1.089	1.114	1.136	1.158	1.178	1.196	1.214	1.232	1.250	
1.4	0.953	0.959	0.967	0.975	0.986	1.005	1.028	1.050	1.075	1.101	1.124	1.147	1.168	1.187	1.206	1.224	1.244	1.266	
1.5	0.961	0.968	0.975	0.984	0.997	1.018	1.040	1.061	1.086	1.111	1.134	1.156	1.176	1.196	1.215	1.235	1.258	1.277	
1.6	0.972	0.978	0.985	0.994	1.010	1.030	1.050	1.073	1.096	1.119	1.142	1.164	1.184	1.204	1.224	1.245	1.268	1.289	

注：应用范围限制在粗线框内的数值。

表 4.4.3 中给出的  $C$  值, 只适用于  $0.1 < \frac{h}{L} < 1.6$  的范围。

3 锐缘矩形宽顶堰限于在自由出流状态下应用。根据  $\frac{h}{L}$  和

$\frac{h_L}{h}$  值, 可由图 4.4.3-2 判别自由出流和淹没出流的界限。

4 锐缘矩形宽顶堰限制在  $h \geq 0.06\text{m}$ ,  $b \geq 0.30\text{m}$ ,  $P \geq 0.15\text{m}$  和  $\frac{h}{P} < 1.6$  的条件下应用。

5 当施工质量完全符合要求时, 流量系数的系统不确定度可由式 (4.4.3-2) 推算:

$$X'_c = \pm [1.5 + (h/P)^2] \quad (4.4.3-2)$$

根据以往对流量系数的研究, 随机不确定度可取  $X'_c = \pm 1\%$ 。

#### 4.4.4 V 形宽顶堰

1 V 形宽顶堰适用于落差较小的河渠。既适用于自由流, 也适用于淹没流。V 形宽顶堰堰体布置及水流条件如图 4.4.4-1 所示。

2 堰体尺寸的选择和有关技术要求, 应符合下列规定:

- 1) 堰体上游拐角处要修圆, 其圆半径  $R$  可在  $(0.2 \sim 0.4) h_{\max}$  之间选择。
- 2) 为使堰顶流线近似水平, 堰顶长度  $L$  既不应小于  $1.0\text{m}$ , 也不应小于  $2h_{\max}$ 。
- 3) 在满足最小过水流量所需精度的要求下, 堰顶角  $\theta$  可在  $90^\circ \sim 150^\circ$  之间选择。

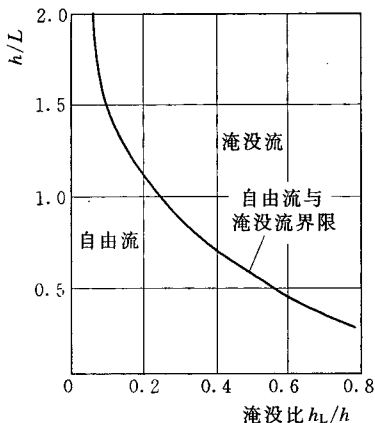


图 4.4.3-2 锐缘矩形宽顶堰自由流与淹没流界限图

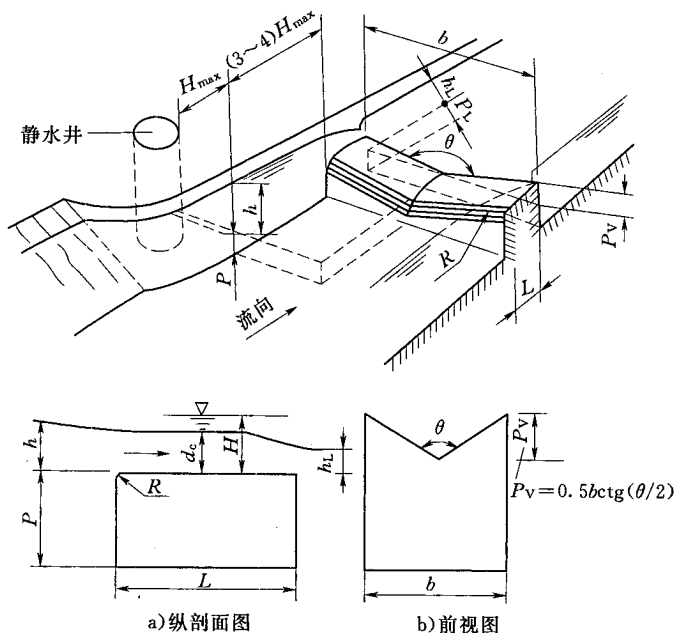


图 4.4.4-1 V形宽顶堰堰体布置及水流条件图

4) 当 V 形堰口与竖直边墙相接而形成“已满流”时，则堰口与边墙连结处的上游拐角也要修圆。其圆半径在  $(0.1 \sim 0.2) L$  之间。

3 满流或未满流可采用式 (4.4.4-1) 判别，当满足式 (4.4.4-1) 时为未满流：

$$h \leq 1.25 P_v \quad (4.4.4-1)$$

式中  $P_v$ ——堰最低点至斜边最高点的高度。

4 “未满流”的流量计算公式为：

$$Q = \left(\frac{4}{5}\right)^{5/2} \sqrt{0.5g \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)} C_D C_V C_i h^{5/2} \quad (4.4.4-2)$$

式中  $\theta$ ——堰顶角；

$C_i$ ——淹没系数；自由流时  $C_i = 1$ 。

流量系数  $C_D$  可从图 4.4.4-2 中根据  $\frac{h}{L}$  和  $\theta$  值查取。行近流



速系数  $C_v$  按图 4.4.4-3 查得。

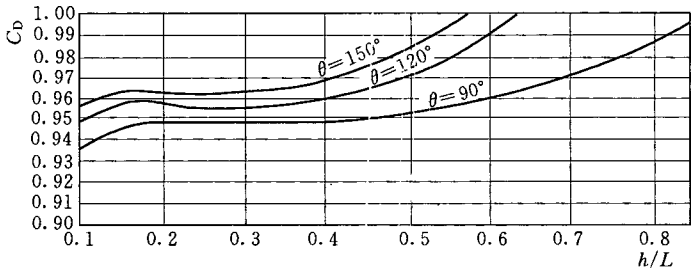


图 4.4.4-2 流量系数  $C_D$  与  $h/L$  和  $\theta$  关系图

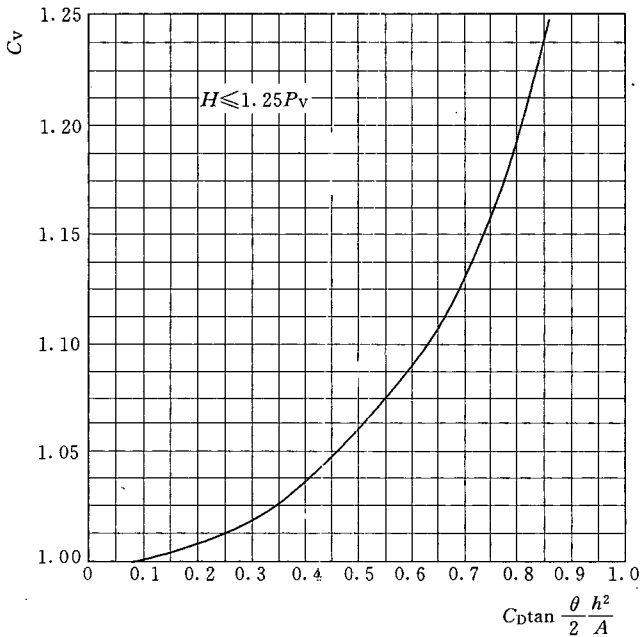


图 4.4.4-3 V形宽顶堰行近流速系数  $C_v$  查算图

“未满流”允许在淹没出流情况下运用。非淹没限  $\frac{h_1}{h}$  采用 0.80，淹没系数  $C_f$  可根据  $\frac{h_1}{h}$  从表 4.4.4 查得。

表 4.4.4 V形宽顶堰淹没系数表

$\frac{h_L}{h}$	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94
$C_f$	0.99	0.98	0.97	0.97	0.93	0.89	0.83	0.80

5 “未满流”流量计算公式的应用限制为：

- 1) 水头既不应小于  $0.05L$  和  $\left(\frac{0.25}{L}\right)^2$ ，也不应小于  $0.06\text{m}$ 。
- 2) 水头的上限应符合  $\frac{h}{L} \leq 1.45$  和  $\frac{H}{P_V} \leq 1.25$  的要求。
- 3)  $\frac{h}{P}$  的最大值应在  $1.5$ （大顶角）~  $3.0$ （小顶角）之间。

6 “已满流”（见图 4.4.4-4）仅限于在自由出流条件下应用。自由流与淹没流的界限，可根据图 4.4.4-5 予以判别。

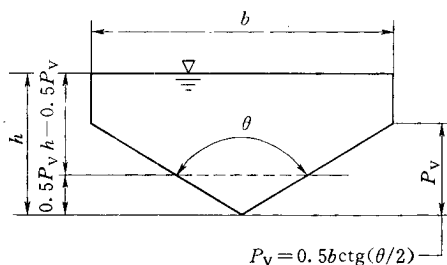


图 4.4.4-4 V形宽顶堰“已满流”有关尺寸图

7 “已满流”的流量计算公式为：

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_D C_V b (h - 0.5P_V)^{3/2} \quad (4.4.4-3)$$

流量系数可按式 (4.4.4-4) 计算：

$$C_D = \left(1 - \frac{0.006L}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \quad (4.4.4-4)$$

行近流速系数  $C_V$  可直接从图 4.4.4-6 查得。

8 V形宽顶堰的流量组合系数（含流量系数和行近流速系

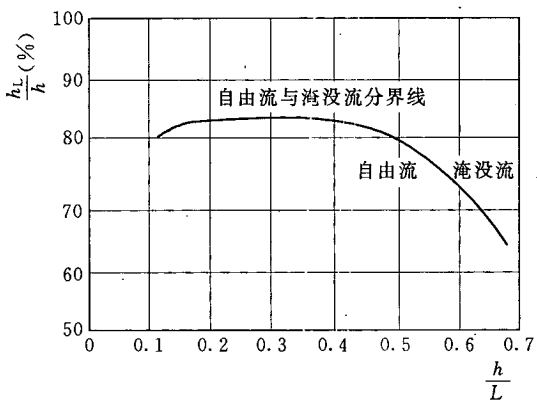


图 4.4.4-5 V形宽顶堰的自由流与淹没流分界图

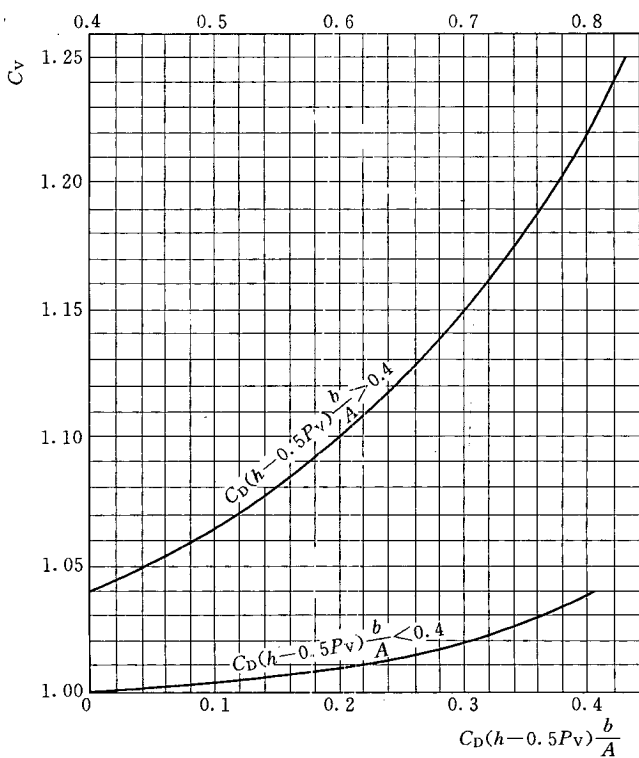


图 4.4.4-6 行近流速系数  $C_v$  查算图

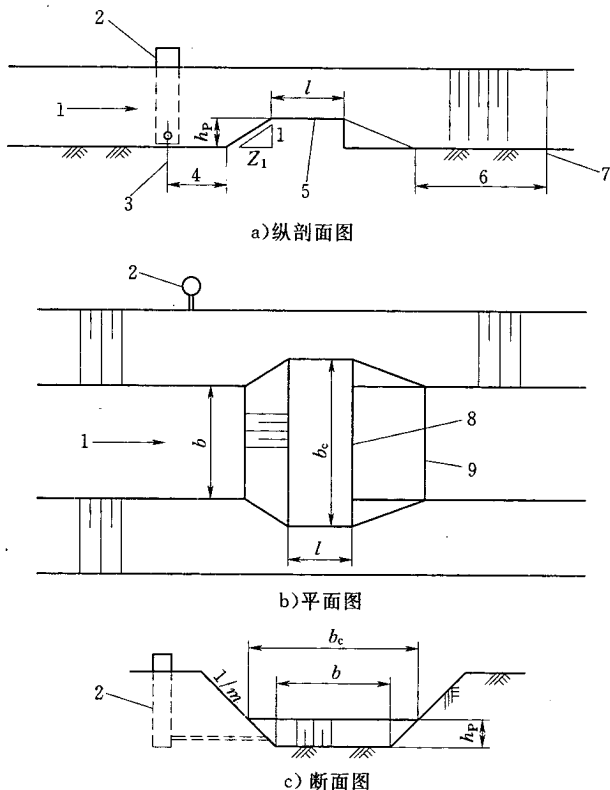
数)的系统不确定度按式(4.4.4-5)计算:

$$X''_C = \pm \left( 2 + 0.15 \frac{L}{h} \right) \% \quad (4.4.4-5)$$

随机不确定度  $X'_C$  或  $X'_{C_{v,C_D}}$  约为  $\pm 0.5\%$ 。

#### 4.4.5 梯形河槽中的梯形宽顶堰

1 梯形河槽中的梯形宽顶堰是由  $1:Z_1$  的上游坡、水平堰顶和一个垂直或者一个坡度为  $1:Z_2$  的下游坡面构成, 建造于梯形断面的河槽上(见图 4.4.5-1)。



1—水流的流向; 2—静水井; 3—水头测量断面; 4— $(3\sim 4)h_{\max}$ ;  
5—水平堰顶; 6— $(5\sim 6)h_{\max}$ ; 7—尾水位测量断面;  
8—垂直背面; 9—斜坡背面

图 4.4.5-1 梯形河槽中的梯形宽顶堰

梯形河槽断面上的标准的梯形宽顶堰的  $Z_1$  和  $Z_2$  值规定如下：

$$2 \leq Z_1 \leq 4 \text{ (自由流条件);}$$

$$0 \leq Z_2 \leq 5 \text{ (淹没流条件)。}$$

上下游坡面与水平堰顶的交界线应做成一个轮廓分明的锐缘直线棱，并垂直于行近槽的水流方向。堰顶应是水平的矩形平面。堰顶面和倾斜面均应平滑，垂直于水流方向的堰顶宽度可采用式 (4.4.5-1) 计算：

$$b_c = b + 2mh_p \quad (4.4.5-1)$$

式中  $b_c$ ——垂直于水流方向的堰顶宽度，m；

$b$ ——河槽底宽，m；

$m$ ——边坡；

$h_p$ ——堰顶高度，m。

2 梯形河槽中的梯形宽顶堰的流量公式为：

$$Q = C_D C_f (b_c y_c + m y_c^2) [2g(H_1 - y_c)]^{0.5} \quad (4.4.5-2)$$

式中  $b_c$ ——垂直于水流方向的堰顶宽度，m；

$y_c$ ——控制断面的临界水深，m；

$m$ ——控制断面的渠道边坡；

$H_1$ ——上游总水头，m。

对于梯形控制断面，临界水深  $y_c$  是作为  $m$  和  $H_1/b_c$  的函数给出  $y_c/H_1$  的比值，可通过表 4.4.5-1 来计算  $y_c$  值。

表 4.4.5-1 梯形控制断面上作为  $H_1/b_c$  和  $m$  函数的  $y_c/H_1$  值

河道边坡 $m$	0.50	0.75	1	1.5	2	2.5	3	
$H_1/b_c$	$y_c/H_1$							
0.00	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	
0.01	0.667	0.667	0.668	0.668	0.669	0.670	0.671	
0.02	0.667	0.668	0.669	0.670	0.671	0.672	0.675	
0.03	0.667	0.669	0.670	0.671	0.673	0.675	0.679	

表 4.4.5-1 (续)

河道边坡 $m$		0.50	0.75	1	1.5	2	2.5	3
$H_1/b_c$	$y_c/H_1$							
0.04	0.667	0.670	0.671	0.672	0.675	0.677	0.680	0.683
0.05	0.667	0.670	0.672	0.674	0.677	0.680	0.683	0.686
0.06	0.667	0.671	0.673	0.675	0.679	0.683	0.686	0.690
0.07	0.667	0.672	0.674	0.676	0.681	0.685	0.689	0.693
0.08	0.667	0.672	0.675	0.678	0.683	0.687	0.692	0.696
0.09	0.667	0.673	0.676	0.679	0.684	0.690	0.695	0.698
0.10	0.667	0.674	0.677	0.680	0.686	0.692	0.697	0.701
0.12	0.667	0.675	0.679	0.684	0.690	0.692	0.701	0.706
0.14	0.667	0.676	0.681	0.686	0.693	0.699	0.705	0.711
0.16	0.667	0.678	0.683	0.688	0.696	0.703	0.709	0.715
0.18	0.667	0.679	0.684	0.690	0.698	0.706	0.713	0.719
0.20	0.667	0.680	0.686	0.692	0.701	0.709	0.717	0.723
0.22	0.667	0.681	0.688	0.694	0.704	0.712	0.720	0.726
0.24	0.667	0.683	0.689	0.696	0.706	0.715	0.723	0.729
0.26	0.667	0.684	0.691	0.698	0.709	0.718	0.725	0.732
0.28	0.667	0.685	0.693	0.699	0.711	0.720	0.728	0.734
0.30	0.667	0.686	0.694	0.701	0.713	0.723	0.730	0.737
0.32	0.667	0.687	0.696	0.703	0.715	0.725	0.733	0.739
0.34	0.667	0.689	0.697	0.705	0.717	0.727	0.735	0.741
0.36	0.667	0.690	0.699	0.706	0.719	0.729	0.737	0.743
0.38	0.667	0.691	0.700	0.708	0.721	0.731	0.738	0.745
0.40	0.667	0.692	0.701	0.709	0.723	0.733	0.740	0.747
0.42	0.667	0.693	0.703	0.711	0.725	0.734	0.742	0.748
0.44	0.667	0.694	0.704	0.712	0.727	0.736	0.744	0.750
0.46	0.667	0.695	0.705	0.714	0.728	0.737	0.745	0.751
0.48	0.667	0.696	0.706	0.715	0.729	0.739	0.747	0.752

表 4.4.5-1 (续)

河道边坡 $m$		0.50	0.75	1	1.5	2	2.5	3
$H_1/b_c$	$y_c/H_1$							
0.50	0.667	0.697	0.708	0.717	0.730	0.740	0.748	0.754
0.60	0.667	0.701	0.713	0.723	0.737	0.747	0.754	0.759
0.70	0.667	0.706	0.718	0.728	0.742	0.752	0.758	0.764
0.80	0.667	0.709	0.723	0.732	0.746	0.756	0.762	0.767
0.90	0.667	0.713	0.727	0.737	0.750	0.759	0.766	0.770
1.00	0.667	0.717	0.730	0.740	0.754	0.762	0.768	0.773
1.20	0.667	0.723	0.737	0.747	0.759	0.767	0.772	0.776
1.40	0.667	0.729	0.742	0.752	0.764	0.771	0.776	0.779
1.60	0.667	0.733	0.747	0.756	0.767	0.774	0.778	0.781
1.80	0.667	0.737	0.750	0.759	0.770	0.776	0.781	0.783
2.00	0.667	0.740	0.754	0.762	0.773	0.778	0.782	0.785
3.00	0.667	0.753	0.766	0.773	0.781	0.785	0.787	0.790
4.00	0.667	0.762	0.773	0.778	0.785	0.788	0.790	0.792
5.00	0.667	0.768	0.777	0.782	0.788	0.791	0.792	0.794
10.00	0.667	0.782	0.788	0.791	0.794	0.795	0.796	0.797
$\infty$		0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800

流量系数  $C_D$ ，由图 4.4.5-2 和表 4.4.5-2 中给出。

在自由流条件下， $C_f=1$ 。

计算出率定曲线  $Q-H_1$  之后，可将其关系换算成水头流量关系  $Q-h_1$  ( $h_1$  是实测水头)。

3 非淹没限  $\sigma_c$  是  $H_1/l$  和下游坡度的函数，大于比值时流量将比自由流（或非淹没流）的流量减小达 1% 以上，对具有垂直下游面的堰，在图 4.4.5-3 中作为  $H_1/l$  的函数给出非淹没限  $\sigma_c$  值。

表 4.4.5-2 梯形宽顶堰流量系数  $C_D$  的变化

( $2 \leq Z_1 \leq 4$  和  $0 \leq Z_2 \leq 5$  的梯形河槽,  $m=1 \sim 1.5$ )

$H_1/l$	$C_D$	$H_1/l$	$C_D$
0.10	0.937	0.70	1.037
0.15	0.963	0.75	1.044
0.20	0.979	0.80	1.051
0.25	0.988	0.85	1.058
0.30	0.994	0.90	1.064
0.35	0.997	0.95	1.069
0.40	0.999	1.00	1.074
0.45	1.002	1.05	1.079
0.50	1.007	1.10	1.084
0.55	1.014	1.15	1.087
0.60	1.021	1.20	1.090
0.65	1.029		

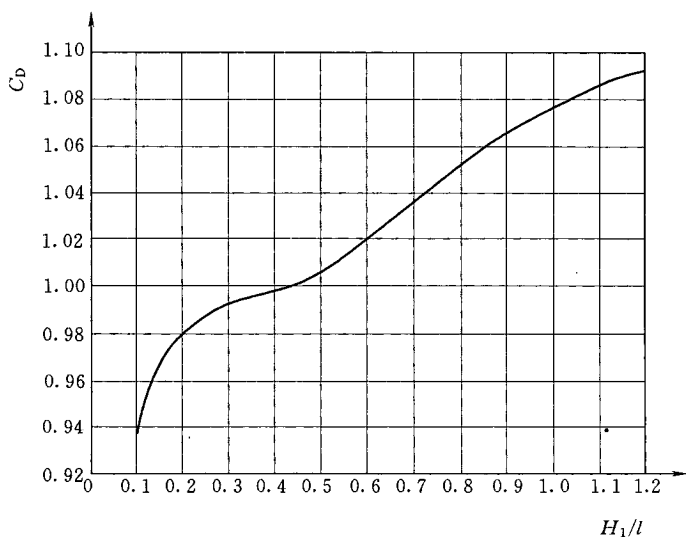


图 4.4.5-2 梯形宽顶堰流量系数的变化

( $2 \leq Z_1 \leq 4$  和  $0 \leq Z_2 \leq 5$  的梯形河槽,  $m=1 \sim 1.5$ )



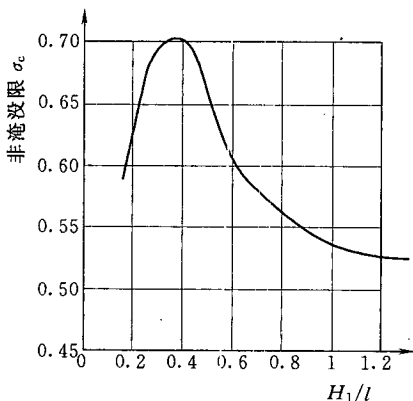


图 4.4.5-3 作为  $H_1/l$  函数的具有下游垂直面的  
梯形宽顶堰的非淹没限

4 淹没流条件下的流量计算。淹没流条件下，淹没系数  $C_f$  是  $H_1/l$  和下游坡度  $Z_2$  的一个函数。当淹没比  $h_L/h$  小于非淹没限  $\sigma_c$  时，则淹没流系数  $C_f$  可取为 1。当淹没比大于非淹没限时，淹没系数  $C_f$  值可由表 4.4.5-3 来确定。

表 4.4.5-3 作为  $H_1/l$  和  $H_2/H_1$  的函数表示的  
淹没流系数  $C_f$  表

$H_1/l$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
$H_2/H_1$	$C_f$										
0.95	0.60	0.62	0.64	0.67	0.69	0.70	0.71	0.74	0.75	0.75	0.75
0.94	0.63	0.66	0.69	0.72	0.74	0.75	0.76	0.78	0.79	0.79	0.79
0.93	0.67	0.70	0.74	0.76	0.78	0.80	0.80	0.81	0.81	0.82	0.82
0.92	0.70	0.75	0.78	0.80	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.84	0.84
0.91	0.74	0.78	0.81	0.83	0.85	0.85	0.85	0.86	0.85	0.85	0.85
0.90	0.77	0.81	0.84	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86
0.89	0.80	0.85	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.87
0.88	0.83	0.87	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.90	0.88	0.88

表 4.4.5-3 (续)

$H_1/l$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
$H_2/H_1$	$C_f$										
0.87	0.85	0.88	0.90	0.91	0.91	0.91	0.91	0.90	0.91	0.89	0.89
0.86	0.87	0.89	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90
0.85	0.88	0.91	0.94	0.93	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.90
0.84	0.90	0.93	0.95	0.94	0.94	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91
0.83	0.91	0.95	0.96	0.95	0.94	0.94	0.93	0.93	0.93	0.92	0.92
0.82	0.92	0.96	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92
0.81	0.93	0.96	0.97	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.93	0.93
0.80	0.94	0.97	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94	0.93
0.79	0.94	0.97	0.98	0.97	0.96	0.95	0.95	0.94	0.94	0.94	0.94
0.78	0.95	0.97	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.94	0.94
0.77	0.95	0.98	0.98	0.98	0.97	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95	0.94
0.76	0.96	0.98	0.98	0.98	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95
0.75	0.96	0.98	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.95
0.74	0.97	0.98	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96	0.96	0.95
0.73	0.97	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96	0.95
0.72	0.97	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96	0.96
0.71	0.97	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96
0.70	0.98	0.99		0.99	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97	0.96
0.69	0.98			0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.96
0.68	0.98			0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97	0.97
0.67	0.98			0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97
0.66	0.99			0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.97
0.65	0.99				0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97
0.64					0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
0.63					0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
0.62					0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98
0.61					0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98

表 4.4.5-3 (续)

$H_1/l$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
$H_2/H_1$	$C_f$										
0.60						0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
0.59						0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98
0.58						0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
0.57							0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
0.56							0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
0.55								0.99	0.99	0.99	0.99
0.54									0.99	0.99	0.99
0.53											0.99

注：加有下划线的数字为外推值； $H_2$  为堰下游总水头。

5 限制条件如下：

1) 为了避免水面张力和黏滞性的影响，给出下列限制条件：

—— $h_1 \geq 0.05\text{m}$ ；

—— $h_p \geq 0.15\text{m}$ ；

—— $b \geq 0.3\text{m}$ 。

2) 根据目前已有的实验数据，对于自由流和淹没流，宜作下列特殊的条件限制：

——自由流：

$$0.2 \leq \frac{l}{h_p} \leq 2; \frac{h_1}{h_p} \leq 1.3$$

$$0.1 \leq \frac{H_1}{l} \leq 1.2; 2 \leq Z_1 \leq 4; 0 \leq Z_2 \leq 5$$

——淹没流：

$$0.1 \leq \frac{l}{h_p} \leq 2; \frac{h_1}{h_p} \leq 1.3$$

$$0.1 \leq \frac{H_1}{l} \leq 1.2; 2 \leq Z_1 \leq 4; Z_2 = 0$$

#### 4.4.6 三角形剖面堰

1 上下游坡分别为 1:2 和 1:5 的三角形剖面堰, 其堰体平面和纵剖面结构见图 4.4.6-1。堰体安装除应符合 4.2 节的有关规定外, 还应符合下述要求:

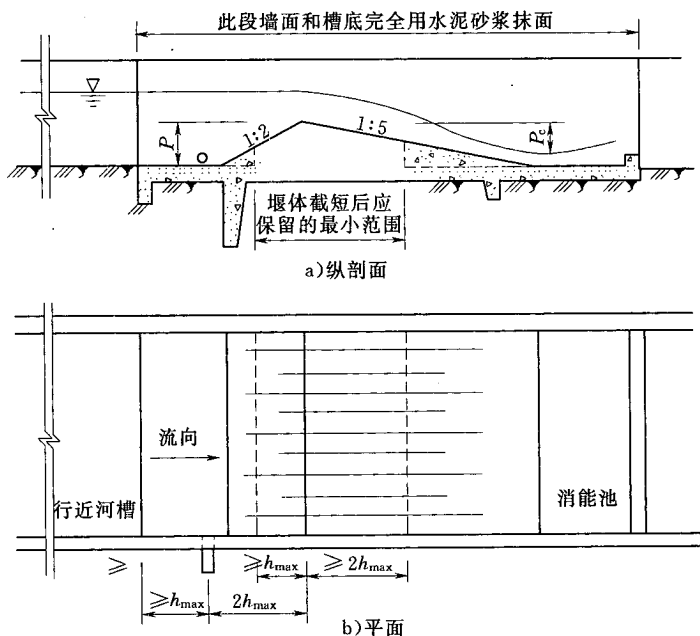


图 4.4.6-1 三角形剖面堰图

- 1) 堰顶应坚固、耐磨、形成光滑的棱。可用不锈的金属板镶嵌, 也可用混凝土浇筑, 再用水泥砂浆抹光。上下游坡面必须光滑平整。
- 2) 上游水头观测断面设置在距堰顶  $2h_{\max}$  处。堰顶水头观测断面设置在堰顶下游坡面 20mm 处, 与堰顶平行排列, 如图 4.4.6-2 所示。
- 3) 下游水头观测设备是与堰顶线平行设置的一排测压孔, 如图 4.4.6-2 所示。测压孔的中心间距为 75mm, 直

径为 10mm。孔下面用一直径为 10mm 的导水孔与之连通引入岸边静水井中进行观测。测压孔宜设 5~10 个，以保证静水井内的水位没有大的滞后。当堰顶宽  $b < 2.0\text{m}$  时，测压孔可设在堰顶中心的一侧，但从测压孔中心线到边墙的最近距离应大于 1.0m。

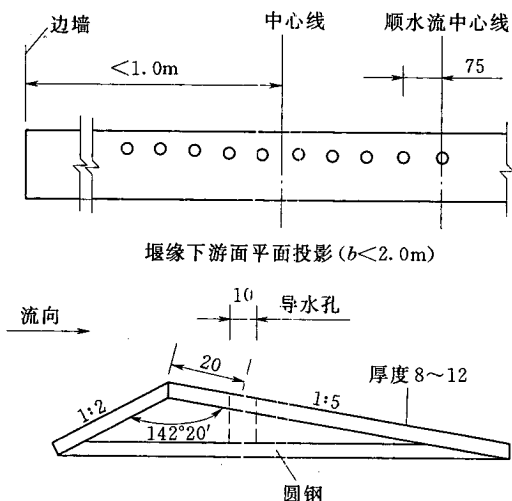


图 4.4.6-2 堰顶导水孔装置图 (单位: mm)

2 淹没出流判别: 矩形河渠上建造的三角形剖面堰, 当  $h_p/H > 0.24$  为淹没出流; 梯形河渠上建造的三角形剖面堰, 当  $h_p/H > 0.2$  为淹没出流。其中  $h_p$  为堰下游水头,  $H$  为堰上游总水头。

3 矩形河槽中的三角形剖面堰的流量可采用式 (4.4.6-1) 计算:

$$Q = C_D C_V C_f \sqrt{gbh}^{3/2} \quad (4.4.6-1)$$

当  $h \geq 0.1\text{m}$  时, 流量系数  $C_D$  可近似采用 0.633, 其他情况下流量系数  $C_D$  可采用式 (4.4.6-2) 计算:

$$C_D = 0.633 \times \left(1 - \frac{0.0003}{h}\right)^{3/2} \quad (4.4.6-2)$$

当自由流时,  $C_f=1$ , 行近流速系数  $C_v$  可由图 4.4.6-3 直接查得。图中:

$$A = b(h + P) \quad (4.4.6-3)$$

当淹没流时, 可从图 4.4.6-4 中查得行近流速系数  $C_v$  和淹没系数  $C_f$  的合并值 ( $C_v C_f$ )。

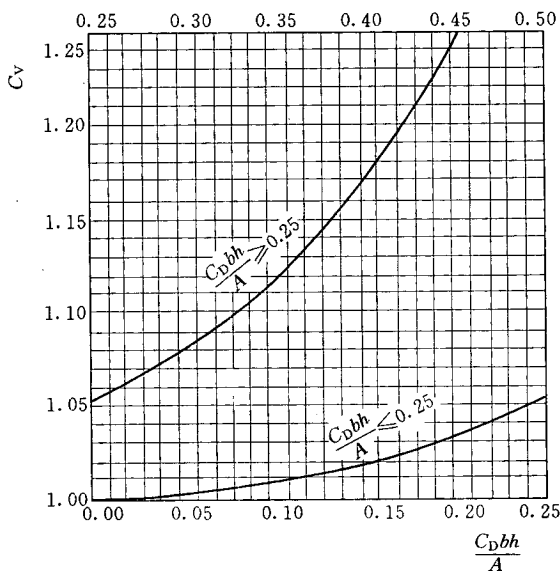


图 4.4.6-3 三角形剖面堰行近流速系数  $C_v$  查算图

4 梯形河槽中的三角形剖面堰的流量可采用式 (4.4.6-4) 计算:

$$Q = C_D C_v C_s C_f \sqrt{g b h^3} \quad (4.4.6-4)$$

其中  $C_s = 1 + \frac{4m_a h}{5b}$  (4.4.6-5)

式中  $C_s$ ——形状系数;

$m_a$ ——梯形断面边坡系数 [1 (垂直) :  $m_a$  (水平)]。

当边坡系数  $m_a$  分别为 1.732 (边坡角为  $30^\circ$ ) 和 0.577 (边坡角为  $60^\circ$ ) 时, 流量系数  $C_D$  可分别采用 0.605 和 0.615。

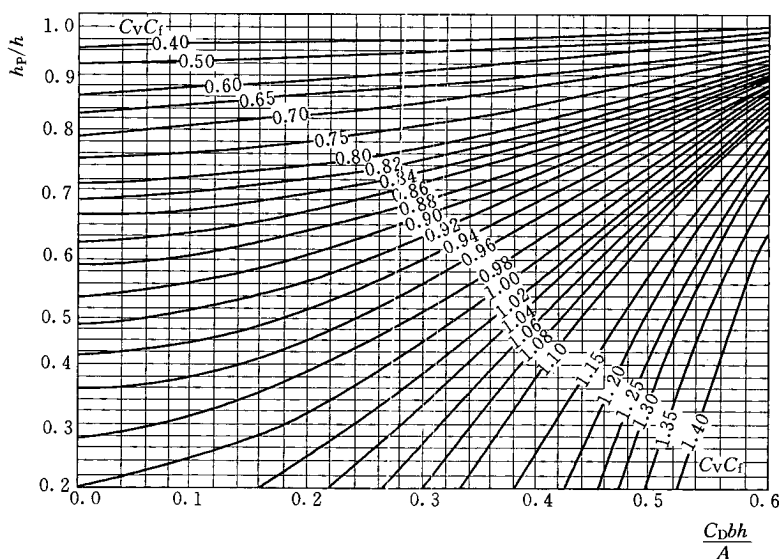


图 4.4.6-4 三角形剖面堰行近流速系数  $C_v$  和淹没系数  $C_r$  乘积 ( $C_v C_r$ ) 查算图

$C_v C_s$  的合并值可根据  $\frac{C_D b h}{A}$  和  $\frac{m_a h}{b}$  值从图 4.4.6-5 中查得。

其中,  $A$  为上游观测水头处过水断面面积, 应用式 (4.4.6-6) 计算:

$$A = (h + P)[B + m_a(h + P)] \quad (4.4.6-6)$$

淹没系数  $C_r$  可根据  $\frac{h_p}{H}$  值从表 4.4.6 中查得。

表 4.4.6 梯形槽三角形剖面堰  $h_p/H - C_r$  关系表

$h_p/H$	0.16	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55
$C_r$	1.000	0.990	0.980	0.970	0.960	0.950	0.935	0.916	0.896
$h_p/H$	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.93	
$C_r$	0.872	0.852	0.822	0.790	0.740	0.685	0.570	0.500	

5 三角形剖面堰流量公式的应用条件应符合下列规定:

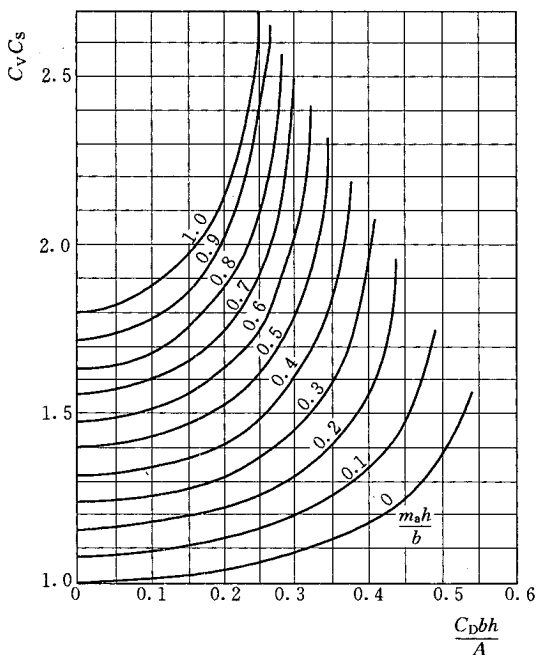


图 4.4.6-5 梯形槽三角剖面堰  $C_v C_s - C_D b h / A$  关系图

- 1) 对于具有金属堰缘的堰顶，最小水头不应小于 0.03m。  
对于混凝土建造并用水泥砂浆抹面的堰顶，最小水头不应小于 0.06m。
- 2)  $h/P \leq 3.5$ ,  $b/h \geq 2.0$ 。
- 3)  $P \geq 0.06\text{m}$ ,  $b \geq 0.3\text{m}$ 。

6 矩形河渠中建造的三角形剖面堰，流量系数的综合随机不确定度  $X'_c$  可取  $\pm 0.5\%$ 。系统不确定度  $X''_c$  可用式 (4.4.6-7) 估算：

$$X''_c = \pm \left( \frac{10C_v}{C_t} - 9 \right) \% \quad (4.4.6-7)$$

式中  $X''_c$ ——流量系数的综合随机不确定度、系统不确定度，包含了流量系数、行近流速系数、淹没系数的不确定度。



7 梯形河渠中建造的三角形剖面堰的流量系数的随机不确定度  $X'_{C_D}$ ，当边坡系数  $m_a = 1.732$ （边坡角为  $30^\circ$ ）时，取  $X'_{C_D} = \pm 0.5\%$ ；当边坡系数  $m_a = 0.577$ （边坡角为  $60^\circ$ ）时，取  $X'_{C_D} = \pm 1.0\%$ 。系统不确定度  $X''_{C_D}$  可取  $\pm 2.0\%$ 。

#### 4.4.7 平坦 V 形剖面堰

1 上下游纵坡分别为  $1:2$  和  $1:5$  的平坦 V 形堰的结构和各部尺寸见图 4.4.7-1。其设计安装除符合 4.2 节中有关规定外，还应符合下述要求：

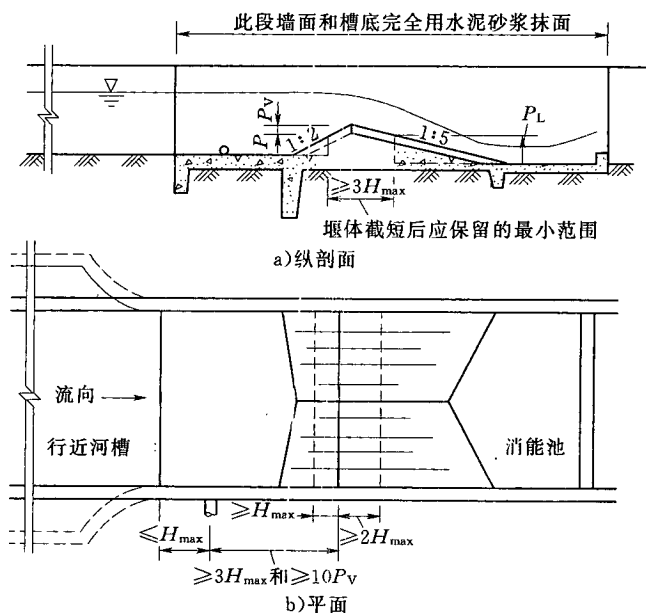


图 4.4.7-1 平面 V 形堰图

- 1) V 形堰口的横向坡度限于  $1:10$ 、 $1:20$  和  $1:40$ 。
- 2) 上游水头测量断面与堰顶距离  $L_1$  应大于 3 倍上游最大水头  $H_{max}$ ，且应大于 10 倍堰口高  $P_v$ 。当受条件限制  $L_1 < 10P_v$ ，且  $\frac{H}{P} > 1$  时，应对有效流量系数，按表

#### 4.4.7-1 进行修正。

表 4.4.7-1 有效流量系数  $C_D$  修正表

$H/P$	1	2	3
$L_1$	流量系数增加的百分数 (%)		
$8P_V$	0	0.3	0.6
$6P_V$	0	0.6	0.9
$4P_V$	0	0.8	1.2

注： $H$ —上游总水头，m； $P_V$ —V形堰口高度，m； $L_1$ —堰顶线至上游水头测量处之间的距离，m。

3) 当在淹没流条件下运用时，应装配堰顶测压孔，以施测下游水头  $h_p$ 。测压孔设置在堰顶下游坡面 20mm 处，与堰顶平行排列，由 10 个孔径为 10mm 的圆孔组成。孔中心间距为 50mm，如图 4.4.7-2 所示。为了便于维修，可将圆孔打在活动的金属盖板上，盖板将导水孔严密覆盖，底部用直径 80~120mm 圆管引入岸边静水井中。

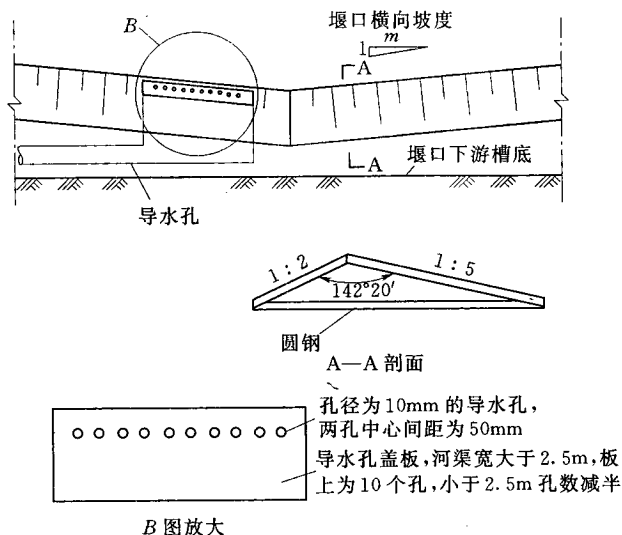


图 4.4.7-2 堰顶导水孔装置图

2 当下游有效水头  $h_p$  与上游有效实测水头  $h_e$  之比大于 0.4 时, 为淹没出流。淹没比  $\frac{h_p}{h_e}$  的上限规定为 0.93。

3 平坦 V 形堰允许运用的最低水头为 0.03 (金属光滑堰顶) ~0.06m (光滑混凝土堰顶), 其他应用限制条件见表 4.4.7-2。

表 4.4.7-2 平坦 V 形堰的应用限制及流量系数表

项 目		堰的横向坡度		
		≤1/40	1/20	1/10
H/P <sub>V</sub> ≤ 1.0	自由出流的有效流量系数 C <sub>D<sub>e</sub></sub>	0.625	0.620	0.615
	系数的系统不确定度 X <sub>C<sub>D</sub></sub> <sup>u</sup> (%)	±3.0	±3.2	±2.9
	水头改正数 K <sub>h</sub> (m)	0.0004	0.0005	0.0008
	应用限制	P <sub>V</sub> /P ≤ 2.5 P <sub>V</sub> /P <sub>L</sub> ≤ 2.5	P <sub>V</sub> /P ≤ 2.5 P <sub>V</sub> /P <sub>L</sub> ≤ 2.5	P <sub>V</sub> /P ≤ 2.5 P <sub>V</sub> /P <sub>L</sub> ≤ 2.5
H/P <sub>V</sub> > 1.0	自由出流的有效流量系数 C <sub>D<sub>e</sub></sub>	0.630	0.625	0.620
	系数的系统不确定度 X <sub>C<sub>D</sub></sub> <sup>u</sup> (%)	±2.5	±2.8	±2.3
	水头改正数 K <sub>h</sub> (m)	0.0004	0.0005	0.0008
	应用限制	P <sub>V</sub> /P ≤ 2.5 P <sub>V</sub> /P <sub>L</sub> ≤ 8.2	P <sub>V</sub> /P ≤ 2.5 P <sub>V</sub> /P <sub>L</sub> ≤ 8.2	P <sub>V</sub> /P ≤ 2.5 P <sub>V</sub> /P <sub>L</sub> ≤ 4.2

注: 在淹没条件下的 C<sub>D<sub>e</sub></sub> 分别为 0.631、0.629 和 0.620。

4 矩形河渠中的平坦 V 形堰流量计算公式为:

$$Q = 0.8C_D C_V C_s C_f \sqrt{gmh}^{5/2} \quad (4.4.7-1)$$

式中  $m$ ——堰的边坡系数 [1 (垂直) :  $m$  (水平)]。

1) 流量系数可采用式 (4.4.7-2) 计算:

$$C_D = C_{D_e} \left(1 - \frac{K_h}{h}\right)^{5/2} \quad (4.4.7-2)$$

式中  $C_{D_e}$ ——有效流量系数，可由表 4.4.7-2 查得；

$K_h$ ——水头改正数，可由表 4.4.7-2 查得，当实测水头大于 0.1m 时， $K_h$  可忽略不计。

2) 行近流速系数可用式 (4.4.7-3) 求其近似解：

$$C_v = 1 + \frac{1.25Y_1}{1 - 2.5Y_1} \quad (4.4.7-3)$$

其中  $Y_1 = [(0.8C_D C_s C_f m h^2)/b(h+P)]^2$  (4.4.7-4)

3) 形状系数的选用应符合下列要求：

当  $h \leq P_v$  时， $C_s = 1$

当  $h > P_v$  时，

$$C_s = 1 - \left(1 - \frac{P_v}{h_e}\right)^{5/2} \quad (4.4.7-5)$$

其中  $h_e = h - K_h$ ， $P_v = \frac{b}{2m}$

式中  $h_e$ ——上游有效水头，m；

$P_v$ ——V形堰口高，m。

4) 淹没系数可按式 (4.4.7-6) 计算：

$$C_f = 1.078 \left[ 0.909 - \left( \frac{h_{p_e}}{H_u} \right)^{3/2} \right]^{0.183} \quad (4.4.7-6)$$

其中  $h_{p_e} = h_p - K_h$

式中  $h_{p_e}$ ——下游有效水头，m；

$H_u$ ——上游总有效水头，m。

当上游总水头未知时，可根据  $h_{p_e}/h_e$  和  $Y_2$  值从表 4.4.7-3 中直接查出  $C_f$  值。

表 4.4.7-3 中

$$Y_2 = (C_D C_s m h^2)/b(P+h) \quad (4.4.7-7)$$

5 矩形河渠中平坦 V 形堰自由出流流量计算步骤如下：

- 1) 由表 4.4.7-2 查出有效流量系数  $C_{D_e}$  和水头改正数  $K_h$ ，用式 (4.4.7-2) 计算流量系数  $C_D$ ，由式 (4.4.7-5) 计算形状系数  $C_s$ ，然后代入式 (4.4.7-4) 计算参数  $Y_1$ 。

表 4.4.7-3 矩形河槽中平坦 V 形堰淹没系数  $C_f$  查算表

$Y_2$	$C_f$															
	0.050	0.100	0.150	0.200	0.220	0.240	0.260	0.280	0.300	0.320	0.340	0.360	0.380	0.400	0.420	0.440
$h_{P_e}/h_e$																
0.41	0.995	0.996	0.996	0.997	0.997	0.998	0.998	0.998	0.999	0.999	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.42	0.993	0.993	0.993	0.994	0.994	0.995	0.996	0.996	0.996	0.997	0.998	0.998	0.999	1.000	1.000	1.000
0.43	0.990	0.990	0.991	0.991	0.992	0.992	0.993	0.993	0.994	0.994	0.995	0.996	0.996	0.997	0.998	1.000
0.44	0.987	0.987	0.988	0.989	0.989	0.989	0.990	0.990	0.991	0.992	0.992	0.993	0.994	0.995	0.996	0.997
0.45	0.984	0.984	0.985	0.986	0.986	0.987	0.987	0.988	0.988	0.989	0.990	0.990	0.991	0.992	0.993	0.994
0.46	0.981	0.981	0.982	0.983	0.983	0.984	0.984	0.985	0.985	0.986	0.987	0.988	0.988	0.989	0.991	0.992
0.47	0.977	0.978	0.979	0.980	0.980	0.981	0.981	0.982	0.982	0.983	0.984	0.985	0.986	0.987	0.988	0.989
0.48	0.975	0.975	0.976	0.977	0.977	0.978	0.978	0.979	0.979	0.980	0.981	0.982	0.983	0.984	0.985	0.986
0.49	0.972	0.972	0.973	0.973	0.974	0.974	0.975	0.976	0.976	0.977	0.978	0.979	0.980	0.981	0.982	0.984
0.50	0.968	0.969	0.969	0.970	0.971	0.971	0.972	0.972	0.973	0.974	0.975	0.976	0.977	0.978	0.979	0.981
0.51	0.965	0.965	0.966	0.967	0.967	0.968	0.969	0.969	0.970	0.971	0.972	0.973	0.974	0.975	0.976	0.978
0.52	0.961	0.962	0.962	0.963	0.964	0.965	0.965	0.966	0.967	0.967	0.968	0.969	0.971	0.972	0.973	0.975
0.53	0.958	0.958	0.959	0.960	0.960	0.961	0.962	0.962	0.963	0.964	0.965	0.966	0.967	0.969	0.970	0.972
0.54	0.954	0.954	0.955	0.956	0.957	0.957	0.958	0.959	0.960	0.961	0.962	0.963	0.964	0.965	0.967	0.968
0.55	0.950	0.951	0.951	0.953	0.953	0.954	0.954	0.955	0.956	0.957	0.958	0.959	0.961	0.962	0.963	0.965
0.56	0.946	0.947	0.948	0.949	0.949	0.950	0.951	0.952	0.952	0.953	0.954	0.956	0.957	0.958	0.960	0.962
0.57	0.942	0.943	0.944	0.945	0.945	0.946	0.947	0.948	0.949	0.950	0.951	0.952	0.953	0.955	0.956	0.959

表 4.4.7-3 (续)

$Y_2$	$C_f$															
	0.050	0.100	0.150	0.200	0.220	0.240	0.260	0.280	0.300	0.320	0.340	0.360	0.380	0.400	0.420	0.440
$h_{F_e}/h_e$																
0.58	0.938	0.939	0.940	0.941	0.941	0.942	0.943	0.944	0.945	0.946	0.947	0.948	0.950	0.951	0.953	0.955
0.59	0.934	0.934	0.935	0.937	0.937	0.938	0.939	0.940	0.941	0.942	0.943	0.944	0.946	0.947	0.949	0.951
0.60	0.929	0.930	0.931	0.932	0.933	0.934	0.935	0.936	0.937	0.938	0.939	0.940	0.942	0.943	0.945	0.947
0.61	0.925	0.926	0.927	0.928	0.929	0.929	0.930	0.931	0.932	0.934	0.935	0.936	0.938	0.939	0.941	0.943
0.62	0.920	0.921	0.922	0.923	0.924	0.925	0.926	0.927	0.928	0.929	0.931	0.932	0.934	0.935	0.937	0.939
0.63	0.916	0.916	0.917	0.919	0.920	0.920	0.921	0.922	0.923	0.925	0.926	0.928	0.929	0.931	0.933	0.935
0.64	0.911	0.911	0.912	0.914	0.915	0.916	0.917	0.918	0.919	0.920	0.922	0.923	0.925	0.927	0.929	0.931
0.65	0.905	0.906	0.907	0.909	0.910	0.911	0.912	0.913	0.914	0.915	0.917	0.918	0.920	0.922	0.924	0.927
0.66	0.900	0.901	0.902	0.904	0.905	0.906	0.907	0.908	0.909	0.910	0.912	0.914	0.915	0.917	0.920	0.922
0.67	0.895	0.895	0.897	0.898	0.899	0.900	0.901	0.903	0.904	0.905	0.907	0.909	0.911	0.913	0.915	0.917
0.68	0.889	0.890	0.891	0.893	0.894	0.895	0.896	0.897	0.899	0.900	0.902	0.903	0.905	0.909	0.910	0.912
0.69	0.883	0.884	0.889	0.887	0.888	0.889	0.890	0.892	0.893	0.895	0.896	0.898	0.900	0.902	0.905	0.907
0.70	0.877	0.878	0.879	0.881	0.882	0.883	0.885	0.886	0.887	0.889	0.891	0.893	0.895	0.897	0.899	0.902
0.71	0.871	0.872	0.873	0.875	0.876	0.877	0.878	0.880	0.881	0.883	0.885	0.887	0.889	0.891	0.894	0.897
0.72	0.864	0.865	0.867	0.869	0.870	0.871	0.872	0.874	0.875	0.877	0.879	0.881	0.883	0.886	0.888	0.891
0.73	0.857	0.858	0.860	0.862	0.863	0.864	0.866	0.867	0.869	0.871	0.873	0.875	0.877	0.880	0.882	0.885
0.74	0.850	0.851	0.853	0.855	0.856	0.857	0.859	0.860	0.862	0.864	0.866	0.868	0.871	0.873	0.876	0.879

表 4.4.7-3 (续)

$Y_2$	$C_1$															
	0.050	0.100	0.150	0.200	0.220	0.240	0.250	0.280	0.300	0.320	0.340	0.360	0.380	0.400	0.420	0.440
$h_{P_g}/h_c$																
0.75	0.843	0.844	0.845	0.848	0.849	0.850	0.852	0.853	0.855	0.857	0.859	0.861	0.864	0.867	0.870	0.873
0.76	0.835	0.836	0.837	0.840	0.841	0.843	0.844	0.846	0.848	0.850	0.852	0.854	0.857	0.860	0.863	0.866
0.77	0.826	0.827	0.829	0.832	0.833	0.835	0.836	0.838	0.840	0.842	0.844	0.847	0.849	0.852	0.856	0.859
0.78	0.818	0.819	0.821	0.823	0.825	0.826	0.828	0.830	0.832	0.834	0.836	0.839	0.842	0.845	0.848	0.852
0.79	0.808	0.810	0.812	0.814	0.816	0.817	0.819	0.821	0.823	0.825	0.828	0.831	0.834	0.837	0.840	0.844
0.80	0.799	0.800	0.802	0.805	0.806	0.808	0.810	0.812	0.814	0.816	0.819	0.822	0.825	0.828	0.832	0.836
0.81	0.788	0.789	0.792	0.795	0.796	0.798	0.800	0.802	0.804	0.807	0.810	0.813	0.816	0.819	0.823	0.827
0.82	0.777	0.778	0.781	0.784	0.786	0.788	0.790	0.792	0.794	0.797	0.800	0.803	0.806	0.810	0.814	0.818
0.83	0.765	0.766	0.769	0.772	0.774	0.776	0.778	0.781	0.783	0.786	0.789	0.792	0.796	0.799	0.804	0.808
0.84	0.752	0.754	0.756	0.760	0.762	0.764	0.765	0.768	0.771	0.774	0.777	0.781	0.784	0.788	0.793	0.797
0.85	0.738	0.739	0.742	0.746	0.748	0.750	0.753	0.755	0.758	0.761	0.765	0.768	0.772	0.776	0.781	0.786
0.86	0.722	0.724	0.727	0.731	0.733	0.736	0.738	0.741	0.744	0.747	0.751	0.755	0.759	0.763	0.768	0.773
0.87	0.705	0.707	0.710	0.715	0.717	0.719	0.722	0.725	0.728	0.732	0.736	0.740	0.744	0.749	0.754	0.760
0.88	0.685	0.687	0.691	0.696	0.698	0.701	0.704	0.707	0.711	0.714	0.719	0.723	0.728	0.733	0.738	0.745
0.89	0.662	0.665	0.669	0.674	0.677	0.680	0.683	0.687	0.690	0.695	0.699	0.704	0.709	0.715	0.721	0.727
0.90	0.635	0.638	0.642	0.649	0.652	0.655	0.659	0.662	0.667	0.671	0.676	0.682	0.688	0.694	0.700	0.708
0.91	0.602	0.605	0.610	0.617	0.620	0.624	0.628	0.633	0.638	0.643	0.649	0.655	0.662	0.669	0.676	0.684
0.92	0.556	0.560	0.566	0.575	0.579	0.584	0.589	0.595	0.600	0.607	0.614	0.621	0.629	0.637	0.646	0.655
0.93	0.483	0.488	0.497	0.510	0.516	0.522	0.529	0.537	0.545	0.553	0.563	0.572	0.582	0.593	0.604	0.615

- 2) 将  $Y_1$  代入式 (4.4.7-3) 计算行近流速系数  $C_v$ 。
  - 3) 当  $Y_1 < 0.08$  时, 将  $C_D$ 、 $C_s$  及  $C_v$  值直接代入式 (4.4.7-1) 计算流量  $Q$ 。
  - 4) 当  $Y_1 \geq 0.08$  时, 用  $H_e = C_v^0.4 h_e$  的关系求出有效总水头  $H_e$  的近似值, 然后以  $\frac{H_e}{P_v}$  代替  $\frac{h_e}{P_v}$ , 仍由式 (4.4.7-1) 算出形状系数  $C_s$  值, 将所求出的  $C_D$ 、 $C_v$  和  $C_s$  值代入式 (4.4.7-1) 计算流量  $Q$ 。
- 6 矩形河槽中平坦 V 形堰淹没出流流量计算步骤如下:
- 1) 查表 4.4.7-2 确定有效流量系数  $C_{D_e}$ , 并用式 (4.4.7-2) 计算流量系数  $C_D$ , 然后计算比值  $\frac{h_e}{P_v}$ , 由式 (4.4.7-5) 计算形状系数  $C_s$ , 再用式 (4.4.7-7) 计算参数  $Y_2$ 。
  - 2) 当  $Y_2 \leq 0.44$  时, 查表 4.4.7-3 确定淹没系数  $C_f$ , 将其代入式 (4.4.7-4) 计算参数  $Y_1$ , 再将  $Y_1$  代入式 (4.4.7-3) 计算行近流速系数  $C_v$ 。最后, 将各系数值代入式 (4.4.7-1) 算出流量  $Q$  值。
  - 3) 当  $Y_2 > 0.44$ , 且比值  $\frac{h_{p_e}}{h_e} < 0.9$  时, 淹没系数  $C_f$  可用下述方法计算:

——当  $\frac{h_{p_e}}{h_e} < 0.55$  时,  $C_f = 1.00$ ;

当  $0.55 \leq \frac{h_{p_e}}{h_e} < 0.70$  时,  $C_f = 0.90$ ;

当  $0.70 \leq \frac{h_{p_e}}{h_e} < 0.85$  时,  $C_f = 0.80$ ;

当  $0.85 \leq \frac{h_{p_e}}{h_e} < 0.90$  时,  $C_f = 0.75$ 。

——根据  $\frac{h_{p_e}}{h_e}$  值初步确定  $C_f$  后, 代入式 (4.4.7-4)



算出  $Y_1$ ，将  $Y_1$  代入式 (4.4.7-3) 算出行近流速系数  $C_v$ ，再用  $H_e = C_v^{0.4} h_e$  算出总有效水头  $H_e$  近似值。

——将  $H_e$  代入式 (4.4.7-6) 即可算出  $C_f$ 。

——将上述各系数代入式 (4.4.7-1) 算出  $Q$  值。

——当比值  $\frac{h_p}{h_e} > 0.9$ ，且参数  $Y_2 > 0.44$  时，需用总水头公式，用逐步逼近法计算流量  $Q$ 。

7 梯形槽中平坦 V 形堰 (V 形堰口  $P_v$  以上用梯形断面衔接) 的流量可采用式 (4.4.7-3) 计算：

$$Q = 0.8 C_D C_s C_f \sqrt{g m H^{5/2}} \quad (4.4.7-8)$$

其中，形状系数  $C_s$  可用式 (4.4.7-9) 计算：

$$C_s = 1 - \left(1 - \frac{m_a}{m}\right) \left(1 - \frac{P_v}{H}\right)^{5/2} \quad (4.4.7-9)$$

式中  $m_a$ ——梯形断面边坡系数，此处按水平宽比高度计算。

式 (4.4.7-8) 可用逐步逼近法求解。

8 梯形河槽平坦 V 形堰的流量系数  $C_D$ ，当  $m = 1 : 20$  时，可按梯形断面的边坡系数和相对水头值从表 4.4.7-4 中查得。

当  $\frac{h_p}{H} > 0.29$  时，为淹没流。不同  $\frac{h_p}{H}$  值的淹没系数见表 4.4.7-5。

表 4.4.7-4 梯形槽平坦 V 形堰流量系数  $C_D$  查算表

边坡系数 $m_a$	1.732 (30°)	1.0 (45°)	0.571 (60°)
$\frac{H}{P_v} \left( \frac{h}{P_v} \right)$	$C_D$		
$\frac{H}{P_v} \leq 1.0$	0.580	0.585	0.590
$1.0 < \frac{H}{P_v} \leq 2.0$	0.590	0.595	0.600
$2.0 < \frac{H}{P_v} \leq 4.0$	0.605	0.610	0.615
$4.0 < \frac{H}{P_v} \leq 6.0$	0.600	0.600	0.600

表 4.4.7-5 不同  $\frac{h_p}{H}$  值的淹没系数表

$\frac{h_p}{H}$	0.25	0.29	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55
$C_f$	1.000	0.990	0.987	0.976	0.965	0.954	0.938	0.921
$\frac{h_p}{H}$	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.93
$C_f$	0.900	0.874	0.842	0.803	0.753	0.690	0.600	0.525

9 矩形河渠中建造的平坦 V 形堰，其流量系数的系统不确定度见表 4.4.7-2，随机不确定度可采用  $\pm 0.5\%$ 。行近流速系数和淹没系数的随机不确定度均可忽略不计，其系统不确定度分别按式 (4.4.7-10) 和式 (4.4.7-11) 计算：

$$X''_{C_v} = \pm 6 \frac{h^2}{b(P+h)} \% \quad (4.4.7-10)$$

$$X''_{C_f} = \pm 5(1 - C_f)[1 + (X''_h)^2 + (X''_{h_p})^2]^{1/2} \quad (4.4.7-11)$$

形状系数  $C_s$  的随机不确定度和系统不确定度均可忽略不计。梯形河渠中建造的平坦 V 形堰，流量系统随机不确定度取  $\pm 2.0\%$ ，系统不确定度取  $\pm 1.0\%$ ， $C_v$  的系统不确定度可按式 (4.4.7-10) 计算。

## 4.5 测流堰单次流量测验的不确定度估算

### 4.5.1 不确定度来源分析

1 测流堰单次流量不确定度，可用通用流量表达式 (4.5.1) 进行分析：

$$Q = J \sqrt{g} C_v C_D C_s C_f b^3 h^\beta \quad (4.5.1)$$

式中  $J$ ——不带误差的数字常数；

$C_D$ ——流量系数；

$C_v$ ——行近流速系数；

$C_s$ ——形状系数；

$C_f$ ——淹没系数；

$h$ ——实测水头；

$\gamma$ 、 $\beta$ ——指数；

$g$ ——重力加速度，其不确定度可忽略不计。

2 单次流量不确定度由式 (4.5.1) 知，主要有：

1) 堰顶宽度  $b$ ，堰顶角  $\theta$  或堰横向坡度  $m$  等几何尺寸量测的不确定度。

2) 实测水头  $h$  的不确定度。

3) 行近流速系数  $C_v$ 、流量系数  $C_D$ 、淹没系数  $C_f$  和形状系数  $C_s$  等实验值的不确定度。

#### 4.5.2 单项不确定度估算

1 测流堰尺寸测量的不确定度（主要是宽度  $b$  或直径  $D$ ）与施工的精度有关，并取决于测量仪器可能达到的精度和量测次数，可采用式 (4.5.2-1) 估算：

$$X_b = \pm 2 \frac{E_{\bar{b}}}{\bar{b}} \quad (4.5.2-1)$$

式中  $X_b$ ——堰顶宽度的不确定度，%；

$E_{\bar{b}}$ ——平均堰顶宽度  $\bar{b}$  的量测中误差，m；

$\bar{b}$ ——多次测量计算的平均堰顶宽，m。

在低水头运用时，应考虑表面张力和黏滞力影响，并计算有效宽度  $b_e$ ，则  $b_e$  的不确定度  $X_{b_e}$  为：

$$X_{b_e} = \pm \sqrt{X_b^2 + X_{K_b}^2} \quad (4.5.2-2)$$

式中  $X_{b_e}$ ——有效宽度 ( $b_e$ ) 的不确定度，%；

$X_{K_b}$ —— $K_b$  的不确定度，%。

$K_b$ ——考虑表面张力和黏滞力综合影响的改正值。

$K_b$  的不确定度  $X_{K_b}$  可用式 (4.5.2-3) 计算：

$$X_{K_b} = \pm 2 \frac{E_{K_b}}{b} \quad (4.5.2-3)$$

式中  $E_{K_b}$ —— $K_b$  的估算误差。

2 实测水头  $h$  的不确定度  $X_h$  取决于许多因素，可采用式

(4.5.2-4) 估算:

$$X_h = \pm \sqrt{X_{h_s}^2 + X_{h_0}^2 + X_{h_i}^2 + X_{K_h}^2 + \dots} \quad (4.5.2-4)$$

式中  $X_{h_s}$ ——水头读数产生的不确定度, %;

$X_{h_0}$ ——水头测量零点产生的不确定度, %;

$X_{h_i}$ ——仪器运行或水尺刻划产生的不确定度, %;

$X_{K_h}$ ——当应用有效水头时, 考虑表面张力和黏滯力影响产生的不确定度, %;

$X_h$ ——实测水头  $h$  的不确定度。

3 堰口角  $\theta$  的不确定度取决于所采用的测量方法。当堰口角是用不同部位堰口宽的  $1/2$  ( $b_t$ ) 和相应的垂直高度  $h_t$  的商来确定时, 则  $\tan \frac{\theta}{2}$  的确定度 ( $X_{\tan \frac{\theta}{2}}$ ) 为:

$$X_{\tan \frac{\theta}{2}} = \pm \sqrt{(X_{h_t})^2 + (X_{b_t})^2} \quad (4.5.2-5)$$

式中  $X_{b_t}$ 、 $X_{h_t}$ ——堰口宽的  $1/2$  ( $b_t$ ) 和相应的垂直高度  $h_t$  的不确定度。可用式 (4.5.2-6) 和式 (4.5.2-7) 计算:

$$X_{b_t} = \pm 2 \frac{E_{b_t}}{b_t} \quad (4.5.2-6)$$

$$X_{h_t} = \pm 2 \frac{E_{h_t}}{h_t} \quad (4.5.2-7)$$

式中  $b_t$ 、 $h_t$ ——堰口宽的  $1/2$  和相应的垂直高度, m;

$E_{b_t}$ 、 $E_{h_t}$ ——堰口宽的  $1/2$  和相应的垂直高度观测的中误差, m。

4 行近流速系数  $C_v$ 、流量系数  $C_D$  和淹没系数  $C_f$  的不确定度是单次流量总不确定度的主要来源。本标准给出的上述系数值的不确定度, 适用于符合本标准要求的堰。

5 流量系数的不确定度与弗劳德数  $Fr$  有关, 给出的各个标准堰的流量系数不确定度, 只适用于  $Fr \leq 0.5$  的条件。当  $Fr = 0.5 \sim 0.6$  时, 应增加  $\pm 2\%$  的不确定度。

#### 4.5.3 单次流量总不确定度的估算

1 流量的随机不确定度可用式 (4.5.3-1) 计算:

$$X'_Q = \pm \sqrt{X'_{C_D}{}^2 + X'_{C_V}{}^2 + X'_{C_I}{}^2 + \gamma X'_b{}^2 + \beta^2 X'_h{}^2 + \psi^2 X'_m{}^2} \quad (4.5.3-1)$$

式中  $X'_{C_D}$ ——流量系数的随机不确定数, %;  
 $X'_{C_V}$ ——行近流速系数的随机不确定数, %;  
 $X'_{C_I}$ ——淹没系数的随机不确定数, %, 对于非淹没流为 0;  
 $X'_b$ ——宽度测量的随机不确定度, %;  
 $X'_h$ ——水头测量的随机不确定度, %;  
 $X'_m$ ——边坡  $m$  的随机不确定度, %;  
 $\gamma$ 、 $\beta$ 、 $\psi$ ——取决于测流堰几何形状的系数。

在矩形测流堰的简单情况下, 式 (4.5.3-1) 中,  $\gamma=1$ ,  $\beta=1.5$  和  $\psi=0$  (假定两边墙完全是竖直的); 对于堰口角为  $\theta$  的三角形堰, 式 (4.5.3-1) 中,  $\gamma=0$ ,  $X_h$  用  $X_{\tan\frac{\theta}{2}}$  代替,  $\beta=2.5$ ,  $\psi=0$ ; 对于梯形断面堰, 式 (4.5.3-1) 中,  $\gamma$ 、 $\psi$ 、 $\beta$ , 其数值与参数  $\frac{mh}{b}$  有关, 见表 4.5.3。

表 4.5.3 不同  $\frac{mh}{b}$  值的  $\gamma$ 、 $\psi$ 、 $\beta$  查读表

$\frac{mh}{b}$	$\gamma$	$\psi$	$\beta$	$\frac{mh}{b}$	$\gamma$	$\psi$	$\beta$
0.01	0.99	0.01	1.51	2.0	0.41	0.59	2.01
0.03	0.97	0.03	1.53	5.0	0.20	0.80	2.30
0.10	0.93	0.07	1.57	10.0	0.11	0.89	2.39
0.20	0.88	0.12	1.62	20.0	0.06	0.94	2.44
0.50	0.73	0.27	1.77	50.0	0.02	0.98	2.48
1.00	0.57	0.43	1.93	100.0	0.01	0.99	2.49

2 流量的系统不确定度可由式 (4.5.3-2) 计算:

$$X''_Q = \pm \sqrt{X''_{C_D}{}^2 + X''_{C_V}{}^2 + X''_{C_I}{}^2 + \gamma^2 X''_b{}^2 + \beta^2 X''_h{}^2 + \psi^2 X''_m{}^2} \quad (4.5.3-2)$$

式中  $X''_Q$ ——单次流量测验的系统不确定度，%；  
 $X''_{C_D}$ ——流量系数的系统不确定数，%；  
 $X''_{C_v}$ ——行近流速系数的系统不确定数，%；  
 $X''_{C_f}$ ——淹没系数的系统不确定数，%，对于非淹没流为 0；  
 $X''_b$ ——宽度的系统不确定度，%；  
 $X''_h$ ——水头测量的系统不确定度，%；  
 $X''_m$ ——边坡  $m$  的系统不确定度，%。

3 综合流量误差。随机不确定度和系统不确定度可用式 (4.5.3-3) 加以综合：

$$X_Q = \pm \sqrt{X'_Q{}^2 + X''_Q{}^2} \quad (4.5.3-3)$$

式中  $X_Q$ ——单次流量的总不确定度，%；  
 $X'_Q$ ——总随机不确定度，%；  
 $X''_Q$ ——总系统不确定度，%。

## 5 测流槽测流

### 5.1 一般规定

#### 5.1.1 测流槽分类

常用的测流槽分为长喉道槽和短喉道槽。长喉道槽主要有矩形、梯形和 U 形 3 种，短喉道槽主要有巴歇尔槽和孙奈利槽两种。

#### 5.1.2 适用范围

1 测流槽主要适用于较小河流或人工河渠施测流量，宜用于高精度连续流量测验。本章规定的各类测流槽均适用于基本水文站、实验站和灌排渠道的流量测验。

2 长喉道槽仅限于在自由流条件下应用，喉道内的流速必须通过临界流速，喉道内底高程应能使整个设计流量范围内产生自由流。测流槽设计安装前应确定下游河槽的水位流量关系，可参照河道特性用曼宁公式近似估算下游水位。

3 在稳定流或缓变流条件下，短喉道槽适用于自由流和淹没流。测流槽的选用详见附录 G.1 节。

4 测流槽测流范围应符合下列要求：

- 1) 长喉道测流槽测流范围为  $0.07 \sim 40.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。
- 2) 短喉道槽测流范围：中等尺寸的巴歇尔槽，喉道宽宜为  $0.15 \sim 2.5 \text{ m}$ ，测流范围为  $0.0015 \sim 4.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ；大型巴歇尔槽的喉道宽宜为  $3 \sim 15 \text{ m}$ ，测流范围为  $0.75 \sim 93.0 \text{ m}^3/\text{s}$ ；孙奈利槽出流断面的宽度为  $0.3 \sim 1.0 \text{ m}$ ，测流范围为  $0.03 \sim 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

#### 5.1.3 测流槽设计要求

1 测流槽设计前，应对测验河段的自然特征和水文、水力条件进行详细调查了解和实地勘测，以便进行建槽的可行性研究和对槽型式的选择。测流槽设置地址选择见附录 G.2 节。

2 所选择的槽型要能满足兴建测流槽的主要目的，其技术性能要符合河段的水文水力特性。当测验河段条件不能全部满足测流要求时，可进行人工整治。

3 行近河槽应有足够长度的顺直段，保证产生正常的流速分布，水流必须呈缓流状态，弗劳德数  $Fr$  不应大于 0.5，并满足下列规定：

- 1) 行近河槽水头观测断面以上的顺直长度不应小于最大水面宽的 5 倍。当上游入口以上是弯道或有支流汇入时，河槽的顺直段还应适当延长。
- 2) 行近河槽上游进口收缩段，应对称于河槽中心线建成弧形翼墙，翼墙的曲率半径不宜小于 2 倍最大水头  $H_{max}$ 。翼墙下游的切点与水头测量断面的距离不宜小于最大水头。
- 3) 测流槽下游的扩散段，除另有具体要求外，可采用扩散比不小于 1:3~1:4（垂直于流向与平行于流向的长度比）的渐变扩散形式，在保证自由出流的条件下，下游扩散段也可在允许范围内截短。

#### 5.1.4 测流槽安装要求

1 各类测流槽应严格按照规定建造安装，安装要求见附录 G.3 节。

2 按本标准规定安装的测流槽，应对设计参数进行检测。

3 符合要求的测流槽可按给定的公式计算流量，其流量系数可不进行检定。当发现在结构和安装方面与规范规定有偏离时，应在现场用体积法或流速仪法等方法精确测定流量，并与按公式计算的流量进行校验。

#### 5.1.5 测流槽维护与管理

1 测流槽在使用期间应注意养护，防止损坏，应有防淤、防腐、防冻和防裂措施。应经常检查校测防止变形，保持各部位尺寸的准确和表面良好的光洁度。当发生槽底淤积或堰顶上粘有漂浮物时，应及时清除或清洗。



2 测流建筑物和行近河槽的维护对于保证准确的连续测量十分重要，测流槽至行近河槽宜保持清洁（行近河槽至少应达到最大水面宽 5 倍的距离），浮筒井和行进河槽的入口也应保持清洁和没有沉积物。喉道和测流槽的弧形进口应保持清洁和没有水生物生长。

3 测流槽的有关勘测报告、设计任务书、工程质量检查验收报告、水头测量的仪器设备、水准测量成果以及管理操作规程等有关资料应妥善存档保存。

### 5.1.6 测流槽水头测量

1 水头测量位置的选择应符合下列要求：

- 1) 水头测量应在各类标准测流槽所规定的断面位置上进行。上下游水头观测，宜设置在同一岸。
- 2) 槽上游水头应在收缩段上游足够远的地点进行观测，以便消除水位下降的影响，但又应充分靠近测流槽，以保证观测断面和喉道之间的能量损失可忽略不计。水头测量断面宜设置在进口渐变段前缘上游 3~4 倍最大水头之间的一段距离内。

2 水头观测设备应符合下列要求：

- 1) 水头测量宜采用自记设备，当水头变幅小于 0.5m 或要求记测至 1mm 的小型槽，宜采用针（钩）形水位计。在观测精度要求不高的情况下，可设立水尺进行人工测记。
- 2) 采用浮子式自记水位计时，除执行 GB/T 50138—2010 的有关规定外，应符合下列要求：
  - 连通管的进水口应与行近河槽正交平接，管口下边缘与槽底齐平。连通管宜水平埋设，接头处要严防渗漏，管的内壁应光滑平整并做防护处理。
  - 连通管的进水口，宜设适合的多孔管帽，以减弱水流扰动和防止泥沙输入，但不应产生水流滞后现象。

——静水井口缘应超出最大设计水头 0.3m，井底应低于进水管下边缘 0.3m。

——井口大小应与观测仪器和清淤要求相适应。浮筒和平衡锤与井壁的距离不应小于 75mm，两者应保持适当的间隔。

- 3) 应在测流槽附近的适当位置设立基本水准点，用来测定水头零点的高程。水准点高程可假定，也可从国家统一的水准基面接测。
- 4) 水头零点高程应精确测定，使不致产生水头计算上的系统误差。槽底高程应采用不同方法在不同部位上多次测量取其平均值确定。为避免表面张力和水面起伏度的影响，任何测流槽均不得用静止水面间接推求水头零点高程。
- 5) 自记设备应随时检查是否运转正常，定期与校核水尺进行比测，两者同时比测的水位差不应大于 10mm。上下游水头观测的自记钟应严格对准，以确切反映瞬时上下游水位差。
- 6) 在检查自记记录或人工观测水头的同时，应注意测记水流流态，有无横比降、回流、漩涡、河槽冲淤及漂浮物等情况。

## 5.2 矩形长喉道槽

### 5.2.1 矩形长喉道槽结构及安装

1 只有侧收缩（无底坎）和既有侧收缩又有底收缩的矩形长喉道槽，其结构如图 5.2.1-1 所示。无底坎的测流槽宜修建在含沙量较大的河道上或排污渠道上。当河渠纵坡小于 2‰时，宜采用既有侧收缩又有底收缩的驼峰槽，如图 5.2.1-2 所示。

2 矩形长喉道槽的喉道长度  $L$  应大于 2.5 倍上游最大水头  $h_{\max}$ 。喉道内底以上的上游总水头应为下游总水头的 1.25 倍。当尾水位足够低，能够保证在任何情况下都是自由出流时，可将

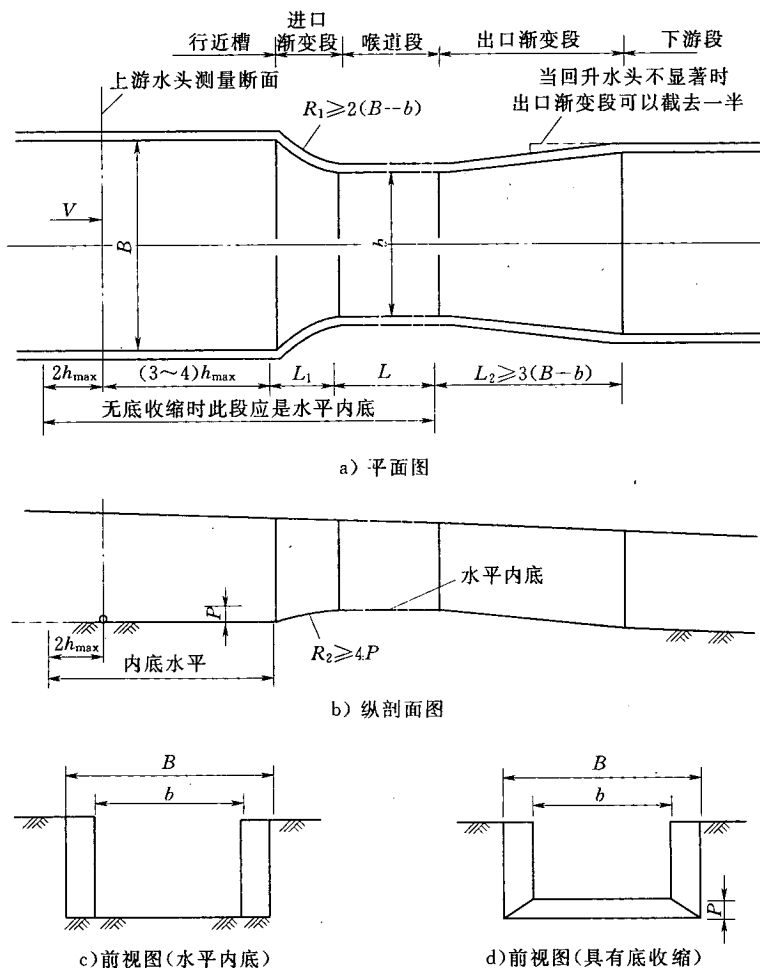


图 5.2.1-1 矩形长喉道槽结构图

出口渐变段截短，但截短后的上游总水头应保证至少为下游总水头的 1.33 倍。

3 当进口渐变段的边墙和底板采用曲线形时，边墙的曲率半径  $R_1$  应满足  $R_1 \geq 2(B-b)$ ，底板的曲率半径  $R_2$  应满足  $R_2 \geq 4P$  ( $P$  为驼峰高或坎高)。

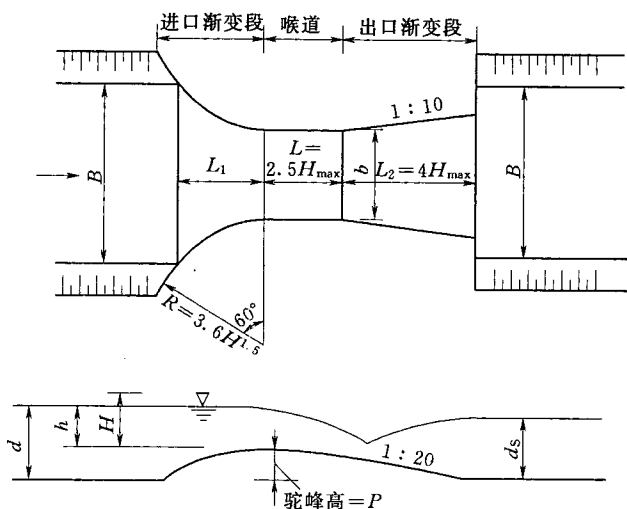


图 5.2.1-2 矩形喉道驼峰槽图

在测流槽没有驼峰（底收缩）的情况下，由进口渐变段入口至上游水头观测断面，并向上游延伸至少两倍最大水头范围的内底，均应保持水平，且不得高于喉道内底。

4 下游出口渐变段，通常可做成呈 1:6（1 为垂直水流方向，6 为顺水流方向）扩散的竖直边墙，两岸呈对称布置，其水平长度  $L_2$  应满足  $L_2 \geq 3(B-b)$ 。

当下游水头回升，能使淹没度大于 80% 时，应选择有底收缩的测流槽。当喉道门槛以上的设计下游水深与上游水深之比小于 0.5 时，下游可能发生水跃，这时应采用消能措施，以防冲刷。

5 在整个宽度和长度范围内，喉道内底应是水平的。测流槽喉道两侧应是竖直、相互平行并同喉道内底正交。喉道和进口渐变段的表面应是平滑的；它们可以用具有良好表面光洁度的混凝土建筑或者用耐腐蚀的材料衬砌。喉道中心线应与行近河槽中心线在一直线上。

### 5.2.2 流量计算

用实测水头计算流量的公式为：

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_D C_V b h^{3/2} \quad (5.2.2-1)$$

$$\text{其中 } C_D = \left(1 - \frac{0.006L_c}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L_c}{h}\right)^{3/2} \quad (5.2.2-2)$$

式中  $h$ ——实测水头, m;

$b$ ——喉道底宽, m;

$C_D$ ——流量系数;

$C_V$ ——行近流速系数, 可从表 5.2.2 中查得;

$L_c$ ——喉道长度, m。

表 5.2.2 矩形长喉道槽行近流速系数  $C_V$  查算表

$\frac{h}{h+P} C_D$	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
$\frac{b}{B}$	$C_V$								
0.10	1.0022	1.0018	1.0014	1.0011	1.0008	1.0006	1.0004	1.0002	1.0001
0.15	1.0051	1.0041	1.0032	1.0025	1.0018	1.0013	1.0008	1.0005	1.0002
0.20	1.0091	1.0073	1.0058	1.0044	1.0032	1.0022	1.0014	1.0008	1.0004
0.25	1.0143	1.0115	1.0091	1.0069	1.0051	1.0035	1.0022	1.0013	1.0006
0.30	1.0209	1.0168	1.0132	1.0100	1.0073	1.0051	1.0032	1.0018	1.0008
0.35	1.0290	1.0232	1.0181	1.0137	1.0100	1.0069	1.0044	1.0025	1.0011
0.40	1.0386	1.0308	1.0240	1.0181	1.0132	1.0091	1.0058	1.0032	1.0014
0.45	1.0500	1.0397	1.0308	1.0232	1.0168	1.0115	1.0073	1.0041	1.0018
0.50	1.0635	1.0500	1.0386	1.0290	1.0209	1.0143	1.0091	1.0051	1.0022
0.55	1.0793	1.0620	1.0476	1.0357	1.0255	1.0175	1.0110	1.0061	1.0027
0.60	1.0980	1.0760	1.0579	1.0429	1.0308	1.0209	1.0132	1.0073	1.0032
0.65	1.1203	1.0921	1.0695	1.0513	1.0367	1.0248	1.0156	1.0086	1.0038
0.70	1.1465	1.1108	1.0829	1.0606	1.0429	1.0290	1.0181	1.0100	1.0044
0.75		1.1327	1.0980	1.0711	1.0500	1.0336	1.0209	1.0115	1.0051
0.80			1.1153	1.0829	1.0579	1.0386	1.0240	1.0132	1.0058
0.85			1.1353	1.0960	1.0664	1.0441	1.0272	1.0149	1.0065
0.90				1.1108	1.0760	1.0500	1.0308	1.0168	1.0073
0.95				1.1275	1.0864	1.0564	1.0346	1.0188	1.0082
1.00				1.1465	1.0980	1.0635	1.0386	1.0209	1.0091

注: 表中有效数字仅供内插和分析用。

- 2) 采用平面时，边墙的收缩比不应大于 1:3；采用曲面时，水流应能保持良好的流线型，曲线终点应与喉道侧墙的平面相切。
- 3) 梯形长喉道槽的底宽  $b_0$  和边坡  $m$  的确定灵活性较大，设计时，应根据设计要求和拟建地点的天然水位流量关系进行比较后选定最适合的断面，以保证任何情况下均为自由流。

### 5.3.2 流量计算

- 1 梯形长喉道槽的流量可采用式 (5.3.2-1) 计算：

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_D C_V C_s b_0 h^{3/2} \quad (5.3.2-1)$$

式中  $b_0$ ——喉道底宽；  
 $h$ ——实测水头；

$C_D$ 、 $C_V$ 、 $C_s$ ——流量系数、行近流速系数、形状系数。

- 1) 流量系数可用式 (5.3.2-2) 计算：

$$C_D = \left(1 - 0.006\eta \frac{L}{b_0}\right) \left(1 - 0.003 \frac{L}{h}\right)^{3/2} \quad (5.3.2-2)$$

其中  $\eta = \sqrt{1 + m^2} - m \quad (5.3.2-3)$

- 2) 行近流速系数可查图 5.3.2-1 确定。图 5.3.2-1 中， $\delta_*$  为边界层位移厚度，宜取  $\delta_* = 0.003L$ ； $A$  为水头观测断面处的过水面积，可采用式 (5.3.2-4) 计算：

$$A = (h + P)[B_0 + m_a(h + P)] \quad (5.3.2-4)$$

式中  $m_a$ ——梯形断面的边坡系数（垂直为 1，水平为  $m_a$ ）；  
 $B_0$ ——行近河槽水头观测断面底宽。

- 3) 形状系数可从图 5.3.2-2 查得。图 5.3.2-2 中， $H_{C_e}$  为临界断面有效总水头，可取  $H_{C_e} = H_C - \delta_*$ ； $b_e$  为喉道断面有效底宽，可取  $b_e = b_0 - 2\delta_*$ 。

$mH_{C_e}$  值可由式 (5.3.2-5) 计算得出：

$$\frac{mH_{C_e}}{b_e} = \left(\frac{mh_e}{b_e}\right) C_V^{2/3} \quad (5.3.2-5)$$

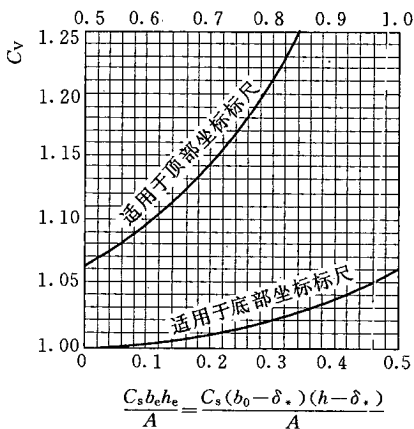


图 5.3.2-1 梯形长喉道槽流速系数  $C_v$  查算图

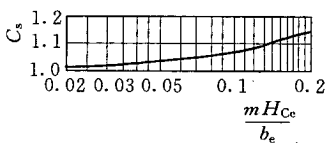
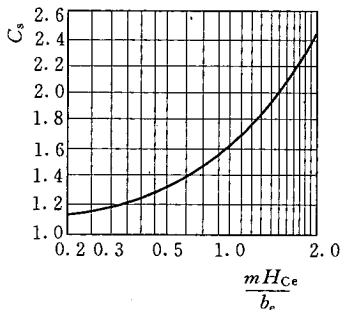
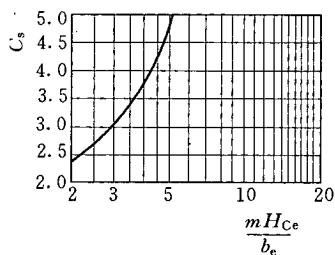


图 5.3.2-2 梯形长喉道槽形状系数  $C_s$  查算图

2 流量计算步骤如下：

- 1) 将水头  $h$ 、喉道边坡系数  $m$ 、底宽  $b_0$ 、长度  $L$ 、坎高  $P$  和行近河槽水头观测处的边坡系数  $m_a$  及底宽  $B_0$  的数值列出。
- 2) 计算水头观测处的过水断面面积  $A$ 。
- 3) 用式 (5.3.2-2) 计算流量系数  $C_D$ 。
- 4) 第一次逼近：
  - 假定  $C_v = 1$ ，用式 (5.3.2-5) 计算比值  $mH_{ce}/b_e$ ，从图 5.3.2-2 查出形状系数  $C_s$  的初始值  $C_{s1}$ 。

——假定  $h_e = h$ 、 $b_e = b_0$ ，计算  $C_s b_0 h / A$ ，查图 5.3.2-1 得行进流速系数  $C_v$  的第一次近似值  $C_{v1}$ 。

——将  $C_D$ 、 $C_{s1}$  和  $C_{v1}$  代入式 (5.3.2-1) 算出流量的初始值  $Q_1$ 。

5) 第二次逼近：

——将  $C_{v1}$  值代入式 (5.3.2-5) 算出比值  $mH_{Ce}/b_e$ ，查图 5.3.2-2 得  $C_{s2}$  值。

——计算  $C_s b_0 h / A$ ，查图 5.3.2-1 得行进流速系数的第二次近似值  $C_{v2}$ 。

——将  $C_{v2}$ 、 $C_{s2}$  和  $C_D$  值代入式 (5.3.2-1) 算得流量的第二次近似值  $Q_2$ 。

6) 重复进行以上步骤，直至算得的流量与前次流量之差在允许误差范围内为止。

3 由于对过大过小的尺寸或几何形状未经充分试验证实，流量计算应用限制条件除满足矩形测流槽的限制外，还应满足如下条件：

- 1) 在各个高程上，喉道两边墙之间的宽度应小于在同一高程上行近河槽两边墙之间的宽度，即无论在任何水平面上都应当有收缩。
- 2) 喉道两侧斜边墙应连续向上延伸，不得有坡度变化，高度应使喉道足以容纳需要测量的最大流量。

## 5.4 U 形长喉道槽

### 5.4.1 结构及安装

1 U 形喉道测流槽宜有如图 5.4.1 所示的几何形状。当行近河槽也是 U 形时，有以下两种基本类型可用。

- 1) 水平内底，其喉道内底不升高。
- 2) 升高内底高度，其喉道内底的升高高度是行近河槽与喉道径向宽度差的一半。

2 测流槽的安装应使喉道中心线与行近河槽中心线在同一



直线上。测流槽进口呈亚临界流，测流槽的安装高程应能使整个测流范围都是自由出流。测流槽表面应是平滑的混凝土、镀锌钢板或其他光滑的不腐蚀材料。喉道断面特别重要，内底应水平，呈真正棱柱形。底部应准确地同半圆柱表面相符，两边墙应是与半圆柱轴线平行的竖直平面，两边墙之间的距离应准确地等于喉道内底的直径。

### 3 安装尺寸应符合下列要求：

- 1) 进口渐变段的下部，如果是部分圆锥形表面或部分扭曲锥形表面构成的，则该表面应形成在任何平面上至测流槽轴线的半径不大于 1 : 3 的收缩。进口渐变段的上部，如果是平面构成的，则每边应以不大于 1 : 3 收缩。如采用曲面，则应有良好流线型，例如圆弧线所形成的曲面，此面应完全位于如图 5.4.1 实线所示的进口表面（由部分平面和部分圆锥面相接而成）之内侧，它们应在末端确实与形成喉道的表面相切。
- 2) 出口渐变段的表面。应限制在 1 : 3 的扩大范围内，1 : 6 的扩大会产生很好的水头回升和较大的非淹没流界限。

## 5.4.2 流量计算

1 U 形喉道槽的流量可采用式 (5.4.2-1) 计算：

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_D C_V C_u D h^{3/2} \quad (5.4.2-1)$$

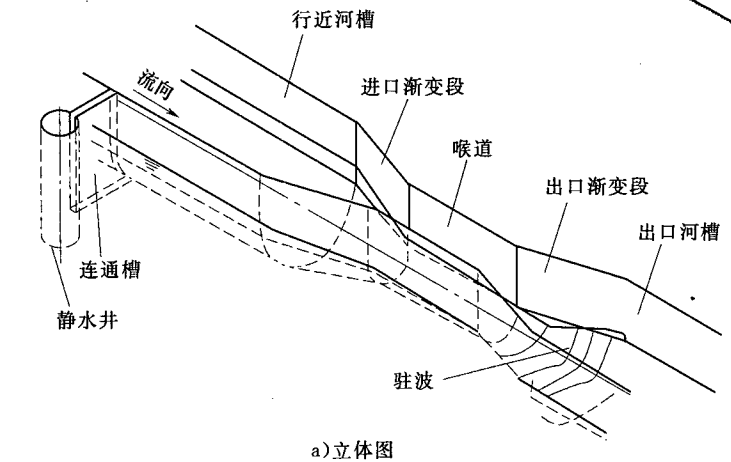
式中  $D$ ——喉道底宽，m；

$h$ ——实测水头，m；

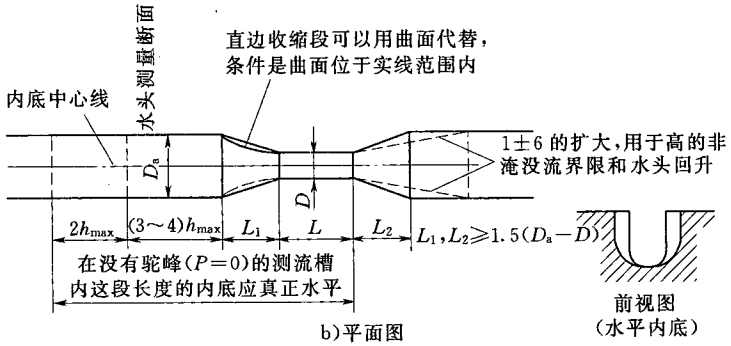
$C_D$ 、 $C_V$ 、 $C_u$ ——流量系数、行近流速系数、形状系数。

1) 流量系数用式 (5.4.2-2) 计算：

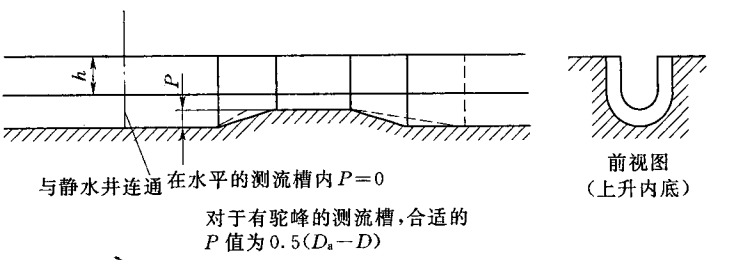
$$C_D = \left(1 - 2 \frac{\delta_*}{L} \times \frac{L}{D}\right) \left(1 - \frac{\delta_*}{L} \times \frac{L}{h}\right)^{3/2} \quad (5.4.2-2)$$



a) 立体图



b) 平面图



c) 具有上升内底(驼峰)的测流槽纵断面图

图 5.4.1 U 形测流槽

对于具有良好表面光洁度的设备,  $\delta_s/L$  可取为 0.003, 式 (5.4.2-1) 可简化成:

$$C_D = \left(1 - \frac{0.006L}{D}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \quad (5.4.2-3)$$

式中  $L$ ——喉道长度, m。

- 2) 形状系数  $C_u$  为  $H_{ce}/D_e$  的函数, 一给定水头和喉道直径对应一个  $C_u$  值 (见图 5.4.2)。计算时可假定  $H_{ce} \approx h$ , 应先假定  $H_{ce}/D_e \approx h/D$ , 从图 5.4.2 读出  $C_u$  值, 作为第一次近似值。

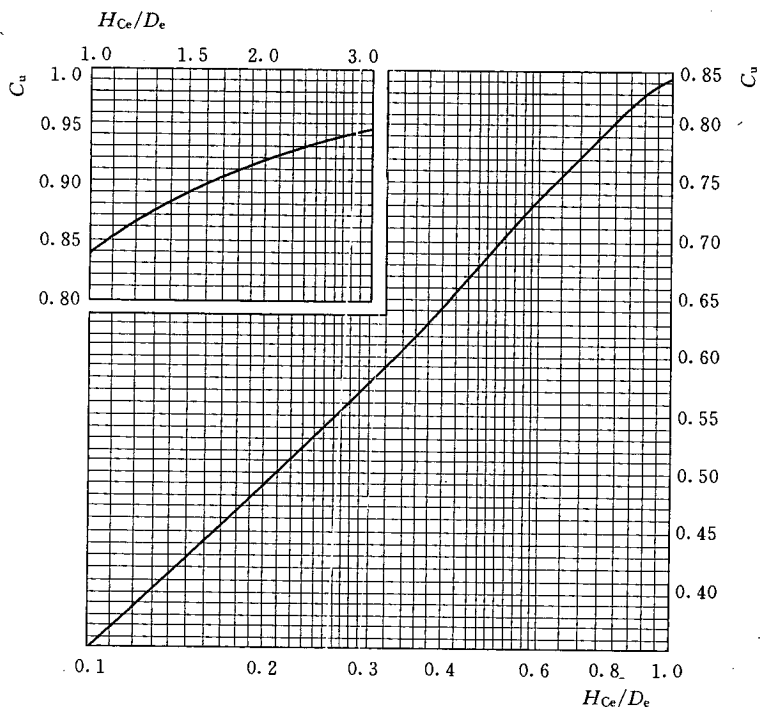


图 5.4.2 U形测流槽形状系数

- 3) 行近流速系数  $C_v$  计算。假定  $h_e \approx h$ ,  $b_e \approx b$ ,  $C_v$  值可由图 5.3.2-1 给出一个近似值 (查图时用  $C_u$  代替  $C_v$ )

行计算)。在查阅图 5.3:2-1 时, 采用的行近河槽面积是由给定水位下的行近河槽几何形状求得。如行近河槽是 U 形的, 水位位于半圆形底部内:  
对于  $d_a < D_a/2$

$$A_a = \frac{1}{4} D_a^2 (\theta - \sin\theta \cos\theta) \quad (5.4.2-4)$$

其中  $\theta = \arccos\left(1 - \frac{2d_a}{D_a}\right) \quad (5.4.2-5)$

对于  $d_a \geq D_a/2$

$$A_a = \frac{\pi}{8} D_a^2 + \left(d_a - \frac{1}{2} D_a\right) D_a \quad (5.4.2-6)$$

式中  $A_a$ ——行近河槽面积,  $m^2$ ;

$D_a$ ——行近河槽底宽,  $m$ ;

$d_a$ ——行近河槽测量断面的水深,  $m$ ,  $d_a = h + P$ , 即行近河槽测量断面的水深与该处河槽内底的高程有关。

行近流速系数可利用式 (5.4.2-7) 进行逐步逼近:

$$\frac{H_{Ce}}{h_e} = C_V^{2/3} \quad (5.4.2-7)$$

实际应用中取  $h_e = h$ , 这一假定基本满足精度需要, 因此:

$$\frac{H_{Ce}}{h_e} \approx \frac{H_{Ce}}{h} \approx C_V^{2/3} \quad (5.4.2-8)$$

## 2 计算步骤如下:

1) 对于已知几何形状的 U 形测流槽的一个给定水头, 流量计算步骤如下:

——把  $D$ 、 $L$ 、 $D_a$  和  $P$  值列入表中。

——计算行近河槽横断面面积, 如果横断面是 U 形的, 用式 (5.4.2-4) 或式 (5.4.2-6) 计算。

——对一个给定的  $h$  值, 假定  $H_{Ce}/D_e \approx h/D$ , 并从图

- 5.4.2-1 查得  $C_u$ ，作为第一近似值。
- 计算  $C_u Dh/A$ ，并从图 5.3.2-1 查得  $C_v$ ，作为第一近似值。
- 由式 (5.4.2-3) 算出  $C_D$ 。
- 用上述  $C_v$  值，由式 (5.4.2-8) 计算  $H_{C_c}$ 。
- 2) 完成第一次近似计算后， $H_{C_c}$ 、 $C_v$  和  $C_u$  值需要修正，第二次近似计算步骤如下：
- 假定  $D_c \approx D$ ，计算  $H_{C_c}/D_c$ ，从图 5.4.2 查得新的  $C_u$  值。
- 计算  $C_u Dh/A$ ，从图 5.3.2-1 查得新的  $C_v$  值。
- 用式 (5.4.2-8) 计算新的  $H_{C_c}$  值。
- 3) 重复进行上述计算，直至求得充分精确的数值为止，即当最后一次计算  $H_{C_c}$  与前一次计算误差满足需要时，即停止逐步逼近法计算。
- 4) 然后用式 (5.4.2-1) 算出流量。
- 3 流量计算应用限制条件同梯形测流槽。

## 5.5 巴歇尔槽

### 5.5.1 结构、规格及安装

1 结构。全部测流装置包括行近槽、槽体建筑物和下游河道部分，巴歇尔槽的喉道断面为矩形。各部位的几何尺寸及符号的代表意义如图 5.5.1 所示。

进口收缩段  $L_1$  要求底面严格水平，两侧边墙与底面垂直且与轴线成 1:5 的比值收缩。入流段底面与喉道底面的相交线称为测流槽槽顶，喉道转折处到槽顶的高度即为槽顶高度  $P_1$ 。喉道段  $L$  的两侧边墙互相平行，底坡向下游倾斜，坡度为 3:8。出口扩散段  $L_2$  的两侧翼墙与底面垂直，且与槽轴线对称，扩散比为 1:6。出口段底面向上游倾斜呈 1:6 的逆坡。进口收缩段与行近河槽及出口扩散段与下游河槽相连接处，均应建垂直翼墙 ( $L_3$  和  $L_4$ )，其夹角可做成  $45^\circ$ ，也可做成半径为  $2h_{\max}$  的圆弧形。对喉道宽小于

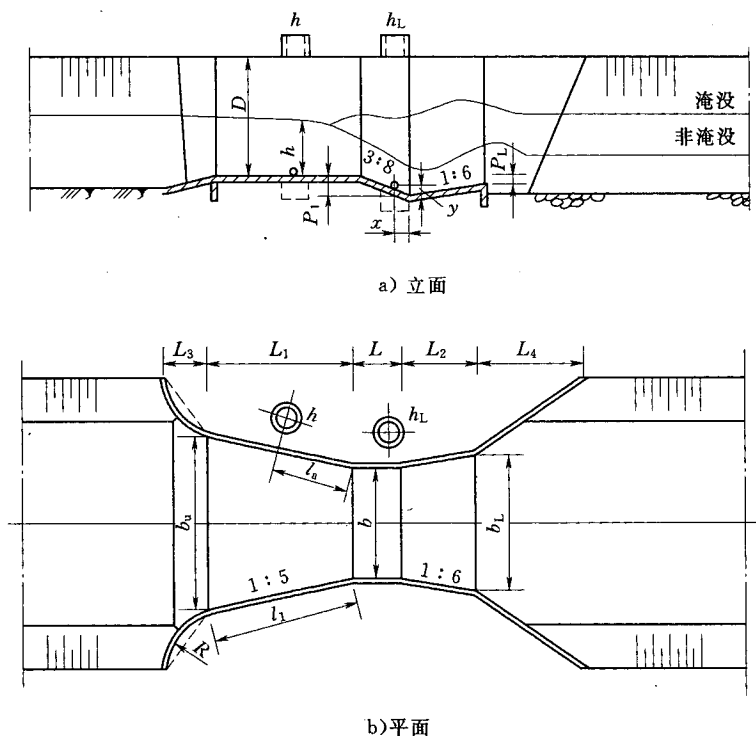


图 5.5.1 巴歇尔槽布置图

0.5m 的测流槽，其翼墙也可与槽轴线成直角布置。

2 规格。巴歇尔槽包括 23 个标准系列槽，其中，标准巴歇尔槽 13 种，大型巴歇尔槽 8 种，特大型巴歇尔槽 2 种。在设计安装时，不得随意改变给定的标准尺寸，也不得舍零取整。其各部位尺寸见表 5.5.1-1~表 5.5.1-3。

各种巴歇尔槽彼此之间不是几何相似模型。对某一槽体系列而言，喉道长、槽顶高度及出流段长度均保持不变，任一标准巴歇尔槽的大小是用它的喉道宽来表示的，而其他的尺寸是喉道宽的函数，可通过解析方法确定。宜将边壁的高度增高 1m，以避免当通过测流槽的水流超过最大设计流量时，会出现淹没壁顶的

危险。侧壁的长度  $l_3$  和  $l_4$  随天然或人工河道的宽度的变化而改变。为保证合适地连接到河道两岸或人工河渠两边坡，侧壁应至少伸进河岸 0.4~0.5m 的深度。

表 5.5.1-1 标准巴歇尔槽各部位尺寸表 单位: m

序号	喉道					进口段				出口段			翼墙高 $D$
	喉宽 $b$	喉长 $L$	下游进水管口位置坐标		槽底高 $P$	进口宽 $b_u$	进口长 $L_1$	翼墙斜长 $l_1$	测井到槽底距离 $l_a$	出口宽 $b_L$	出口长 $L_2$	槽底到逆坡顶高差 $P_L$	
			$X$	$Y$									
1	0.152	0.305	0.05	0.075	0.115	0.40	0.610	0.620	0.415	0.39	0.61	0.08	0.60
2	0.25	0.60	0.05	0.075	0.23	0.78	1.325	1.350	0.900	0.55	0.92	0.08	0.80
3	0.30	0.60	0.05	0.075	0.23	0.84	1.350	1.380	0.920	0.60	0.92	0.08	0.95
4	0.45	0.60	0.05	0.075	0.23	1.02	1.425	1.450	0.967	0.75	0.92	0.08	0.95
5	0.60	0.60	0.05	0.075	0.23	1.20	1.500	1.530	1.020	0.90	0.92	0.08	0.95
6	0.75	0.60	0.05	0.075	0.23	1.38	1.575	1.610	1.074	1.05	0.92	0.08	0.95
7	0.90	0.60	0.05	0.075	0.23	1.56	1.650	1.680	1.121	1.20	0.92	0.08	0.95
8	1.00	0.60	0.05	0.075	0.23	1.68	1.705	1.730	1.161	1.30	0.92	0.08	1.00
9	1.20	0.60	0.05	0.075	0.23	1.92	1.800	1.840	1.227	1.50	0.92	0.08	1.00
10	1.50	0.60	0.05	0.075	0.23	2.28	1.950	1.993	1.329	1.80	0.92	0.08	1.00
11	1.80	0.60	0.05	0.075	0.23	2.64	2.100	2.140	1.427	2.10	0.92	0.08	1.00
12	2.10	0.60	0.05	0.075	0.23	3.00	2.250	2.300	1.534	2.40	0.92	0.08	1.00
13	2.40	0.60	0.05	0.075	0.23	3.36	2.400	2.453	1.636	2.70	0.92	0.08	1.00

表 5.5.1-2 大型巴歇尔槽各部位尺寸表 单位: m

序号	喉道					进口段			出口段			翼墙高 $D$
	$b$	$L$	$X$	$Y$	$P$	$b_u$	$L_1$	$l_a$	$b_L$	$L_2$	$P_L$	
14	3.05	0.91	0.305	0.23	0.343	4.76	4.27	1.83	3.66	1.83	0.152	1.22
15	3.66	0.91	0.305	0.23	0.343	5.61	4.88	2.03	4.47	2.44	0.152	1.52
16	4.57	1.22	0.305	0.23	0.457	7.62	7.62	2.34	5.59	3.05	0.029	1.83
17	6.10	1.83	0.305	0.23	0.686	9.14	7.62	2.84	7.32	3.66	0.305	2.13
18	7.62	1.83	0.305	0.23	0.686	10.67	7.62	3.45	8.94	3.96	0.305	2.13
19	9.14	1.83	0.305	0.23	0.686	12.31	7.93	3.86	10.57	4.27	0.305	2.13
20	12.19	1.83	0.305	0.23	0.636	15.48	8.23	4.88	13.82	4.88	0.305	2.13
21	15.24	1.83	0.305	0.23	0.686	18.53	8.23	5.89	17.27	6.10	0.305	2.13

表 5.5.1-3 喉道宽为 18m 和 23m 特大型巴歇尔槽各部尺寸表

单位: m

喉道					进口段				出口段			翼墙高
喉宽	喉长	下游进水管位置坐标		堰高	进口宽	进口长	翼墙斜长	测井至堰顶距离	出口宽	出口长	堰顶至斜坡顶高差	
$b$	$L$	$X$	$Y$	$P$	$b_u$	$L_1$	$l_1$	$l_u$	$b_L$	$L_2$	$P_L$	
18	2.0	0.31	0.23	0.75	22.08	10.2	6.93	10.4	20.4	7.2	0.31	2.4
23	2.5	0.31	0.23	0.94	22.08	12.7	8.63	12.95	26.06	9.2	0.31	2.8

与标准巴歇尔槽相对照, 大型巴歇尔槽的尺寸为喉道宽的函数, 应根据各自特定的设计需要而单独确定。

### 3 安装应符合下列要求:

- 1) 喉道宽  $b$  宜为行近河槽宽的  $1/2 \sim 1/3$ 。在有泥沙输移的情况下, 槽底宜与进口收缩段齐平。如果只允许在自由流状态下运行, 可适当增高进口段的底部高程。
- 2) 上游条件。进口收缩段上游应有长度不小于 5 倍河宽的行近河槽, 水流的弗劳德数  $Fr$  不宜超过 0.5。测流精度要求不高时不应超过 0.7。
- 3) 下游条件。在有充分水头可以利用, 能保证自由出流的情况下, 不建喉道和出口扩散段, 但在进口的下游应有不小于 0.2m 的跌水, 且应建消能装置。
- 4) 巴歇尔槽各部位尺寸安装的允许偏差应符合下列要求:
  - 喉道底面纵横向平均坡度的允许偏差为  $\pm 0.1\%$ 。
  - 上游进口渐变段长度的偏差为喉道长度的  $\pm 0.1\%$ 。
  - 下游出口渐变段长度的偏差为喉道长度的  $\pm 0.3\%$ 。
  - 其他垂直和倾斜面上的平面或曲线偏差为  $\pm 1\%$ 。



### 5.5.2 水头观测

1 在自由流状态下，只需观测上游水头  $h$ 。

2 在淹没状态下，需要同时观测上游水头  $h$  和喉道断面水头（下游水头  $h_L$ ）。水头  $h_L$  的观测断面应安置在喉道范围内，离开喉道转折点的距离为  $X$ 。喉道中的水流相当紊乱，观测水头  $h_L$  应建立静水井。

3 测量水头  $h$  和  $h_L$  的静水观测井相距不宜太远，以便全部装置位于同一个地方。

### 5.5.3 流量计算

1 自由流。当淹没度小于非淹没限，即  $\frac{h_L}{h} < \sigma_c$  时，为自由流，巴歇尔槽的过水流量可用式（5.5.3-1）计算：

$$Q = C_D b h^n \quad (5.5.3-1)$$

式中  $Q$ ——自由出流流量， $m^3/s$ ；

$C_D$ ——流量系数；

$b$ ——喉道宽， $m$ ；

$h$ ——上游（入流断面）实测水头， $m$ ；

$n$ ——由  $b$  而定的指数。

表 5.5.1-1 中序号 2~序号 13 的标准巴歇尔槽  $C_D=0.372$ ， $n=1.569b^{0.026}$ ，流量可用式（5.5.3-2）计算：

$$Q = 0.372b \left( \frac{h}{0.305} \right)^{1.569b^{0.026}} \quad (5.5.3-2)$$

表 5.5.1-2 中序号 14~序号 21 大型巴歇尔槽  $C_D=2.3+0.48/b$ ， $n=1.6$ ，流量可用式（5.5.3-3）计算：

$$Q = (2.292b + 0.48)h^{1.6} \quad (5.5.3-3)$$

不同喉道宽  $b$  的标准巴歇尔槽和大型巴歇尔槽的自由流流量计算公式、水头应用范围和非淹没限见表 5.5.3-1 和表 5.5.3-2。

表 5.5.3-1 标准巴歇尔槽自由流流量公式及适用范围

序号	喉道宽 $b$ (m)	自由流流量计算公式 $Q=Ch^\beta$ ( $m^3/s$ )	水头范围 (m)		流量范围 ( $\times 10^{-3}m^3/s$ )		非淹没限 $h_L/h$
			最小	最大	最小	最大	
1	0.152	$0.381h^{1.58}$	0.03	0.45	1.5	100	0.7
2	0.25	$0.561h^{1.513}$	0.03	0.60	3.0	250	0.7
3	0.30	$0.679h^{1.521}$	0.03	0.75	3.5	400	0.7
4	0.45	$1.039h^{1.537}$	0.03	0.75	4.5	630	0.7
5	0.60	$1.403h^{1.548}$	0.05	0.75	12.5	850	0.7
6	0.75	$1.772h^{1.557}$	0.06	0.75	25.0	1100	0.7
7	0.90	$2.147h^{1.565}$	0.06	0.75	30.0	1250	0.7
8	1.00	$2.397h^{1.569}$	0.06	0.80	30.0	1500	0.7
9	1.20	$2.904h^{1.577}$	0.06	0.80	35.0	2000	0.7
10	1.50	$3.668h^{1.586}$	0.06	0.80	45.0	2500	0.7
11	1.80	$4.440h^{1.593}$	0.08	0.80	80.0	3000	0.7
12	2.10	$5.222h^{1.599}$	0.08	0.80	95.0	3600	0.7
13	2.40	$6.004h^{1.605}$	0.08	0.80	100.0	4000	0.7

表 5.5.3-2 大型巴歇尔槽自由流流量公式及适用范围

序号	喉道宽 $b$ (m)	自由流流量计算公式 $Q=Ch^{1.6}$ ( $m^3/s$ )	水头范围 (m)		流量范围 ( $m^3/s$ )		非淹没限 $h_L/h$	淹没流量修正系数 $K_Q$
			最小	最大	最小	最大		
14	3.05	$7.463h^{1.6}$	0.09	1.07	0.16	8.28	0.8	1.0
15	3.66	$8.859h^{1.6}$	0.09	1.37	0.19	14.68	0.8	1.2
16	4.57	$10.96h^{1.6}$	0.09	1.67	0.23	25.04	0.8	1.5
17	6.10	$14.45h^{1.6}$	0.09	1.83	0.31	37.97	0.8	2.0
18	7.62	$17.94h^{1.6}$	0.09	1.83	0.38	47.16	0.8	2.5
19	9.14	$21.44h^{1.6}$	0.09	1.83	0.46	56.33	0.8	3.0
20	12.19	$28.43h^{1.6}$	0.09	1.83	0.60	74.70	0.8	4.0
21	15.24	$35.41h^{1.6}$	0.09	1.83	0.75	93.04	0.8	5.0

2 淹没流。当淹没度大于非淹没限，即  $\frac{h_L}{h} > \sigma_c$  时，为淹没流，其流量可采用式 (5.5.3-4) 计算：

$$Q_t = Q - \Delta Q \quad (5.5.3-4)$$

式中  $Q_t$ ——淹没流流量， $m^3/s$ ；

$Q$ ——自由出流流量，按给定的公式计算， $m^3/s$ ；

$\Delta Q$ ——因淹没而减少的流量改正值， $m^3/s$ 。

1) 标准巴歇尔槽， $\Delta Q$ 可用式 (5.5.3-5) 计算：

$$\Delta Q = \left\{ 0.07 \left[ \frac{h}{[(1.8h/h_L)^{1.6} - 2.45] \times 0.305} \right]^{4.57-3.14\frac{h_L}{h}} + 0.007 \frac{h_L}{h} \right\} b^{0.815} \quad (5.5.3-5)$$

对于淹没度  $\frac{h_L}{h} < 0.85$  的标准巴歇尔槽，其自由流和淹没流也可用式 (5.5.3-6) 计算：

$$Q(\text{或 } Q_s) = 6.25 \frac{h_L}{h} \sqrt{1 - \frac{h_L}{h} b} h^{1.57} \quad (5.5.3-6)$$

当  $\frac{h_L}{h} \leq 0.667$  时，以 0.667 计，得自由出流流量  $Q$ ；

当  $\frac{h_L}{h} > 0.667$  时，以实际的  $\frac{h_L}{h}$  值计算，得淹没流量  $Q_s$ 。

2) 大型巴歇尔槽，可根据淹没度和上游实测水头，从图 5.5.3 上查得喉道宽度  $b=3.05m$  的改正流量  $\Delta Q_3$  后，再按大型槽的实际喉宽从表 5.5.3-2 相应栏内查出修正系数  $K_Q$ ，将  $\Delta Q_3$  乘以  $K_Q$  即得大型槽淹没流量改正值  $\Delta Q$ 。

3 特大型巴歇尔槽流量计算公式和测流范围见表 5.5.3-3。

表 5.5.3-3 喉道宽为 18m 和 23m 特大型巴歇尔槽  
自由流流量公式及应用范围表

喉道宽 $b$ (m)	流量公式	水头范围 (m)		流量范围 ( $m^3/s$ )		非淹没限 $h_L/h$
		最小	最大	最小	最大	
18	$Q=42.106h^{1.6}$	0.20	1.828	3.21	109.8	0.65
23	$Q=51.375h^{1.6}$	0.20	2.24	3.91	186.7	0.65

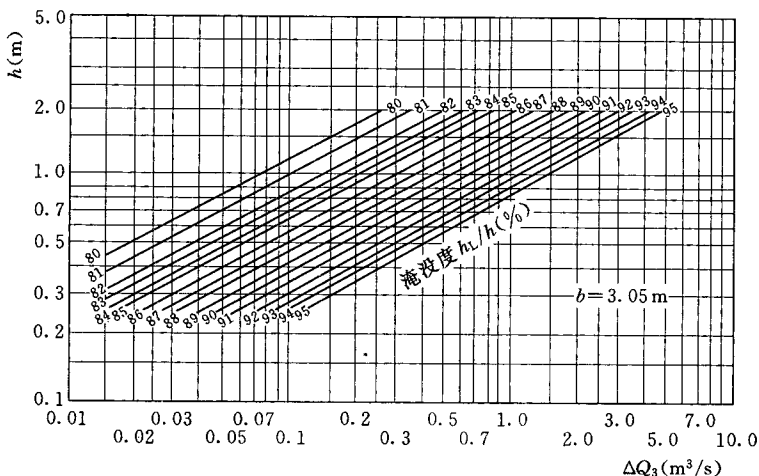


图 5.5.3 大型巴歇尔槽不同淹没度的改正流量查算图

当  $\frac{h_L}{h} \geq 0.65$  时按式 (5.5.3-7) 计算淹没出流流量:

$$Q_f = C_f Q \quad (5.5.3-7)$$

其中 
$$C_f = 0.8 \left[ 1 - \left( \frac{h_L/h - 0.65}{0.35} \right)^2 \right]^{1/2} + 0.2 \quad (5.5.3-8)$$

式中  $Q$ ——自由出流流量,  $m^3/s$ ;

$Q_f$ ——淹没出流流量,  $m^3/s$ ;

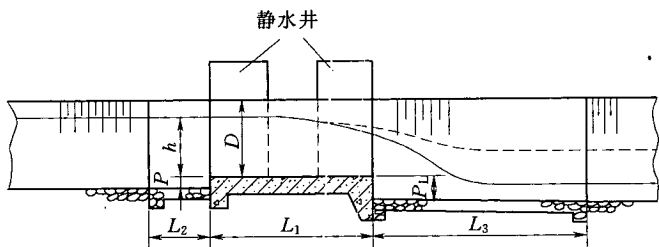
$C_f$ ——淹没系数。

## 5.6 孙奈利槽

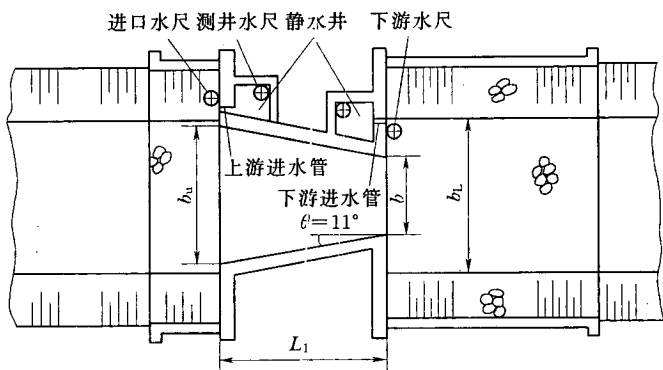
### 5.6.1 结构、规格及安装

1 结构。孙奈利槽的槽身, 仅由向下游收缩的矩形断面收缩段构成, 其上下游进出口与槽轴线垂直布置, 并与河流两岸的垂直翼墙连接, 如图 5.6.1 所示。

2 规格。各种孙奈利槽彼此间按几何相似模型设计, 各种尺寸是槽的出流横断面宽度  $b$  的函数。孙奈利槽的各部位尺寸见表 5.6.2。选用时应使河渠的平均宽度  $\bar{B} > 1.4b_0$  ( $b_0$  为槽身进



a) 立面



b) 平面

图 5.6.1 孙奈利测流槽图

口底宽)。

3 安装。进口收缩段的槽底为水平面，两侧垂直边墙的收缩角  $\theta$  均为  $11^\circ$ ，在收缩段的末端，槽底与下游河槽形成跌坎  $P_L$ 。当要求扩大自由出流的范围时，可使槽底适当高出上游河底  $P$ 。此时在下游出口段  $L_3$  范围内，应对河床和两岸做必要的衬砌和防护。

槽轴线应与河槽流向一致，保证槽前水流为稳定均匀流。进口段的上游应有一段不小于 5 倍河宽的顺直行近河槽，弗劳德数  $Fr$  不应超过 0.5。

### 5.6.2 水头观测

1 在自由流状态下，只需观测入流断面水头水深  $h$ 。

2 在淹没状态下，需要同时观测入流断面水头  $h$  和出口断面水头（下游水头  $h_L$ ）。

3 观测入流断面水头  $h$  的静水井的连通管入口所在断面的位置，应与测流槽入口断面的位置相吻合。观测出口断面水头  $h_L$  的静水井的连通管入口的位置，应与测流槽出口断面相吻合。

4 标准孙奈利槽水头范围为  $0.1 \sim 1.1\text{m}$ ，其槽尺寸和适用范围见表 5.6.2。

表 5.6.2 标准孙奈利槽尺寸和适用范围表

序号	出口宽 $b$ (m)	槽长 $L_1$ (m)	进口宽 $b_u$ (m)	下游 堰高 $P_L$ (m)	边墙 高度 $D$ (m)	下游衬 砌长度 $L_3$ (m)	水头范围 (m)		自由出流流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	
							最小	最大	最小	最大
1	0.3	0.6	0.51	0.4	0.7	1.8	0.14	0.55	0.03	0.25
2	0.4	0.8	0.68	0.5	0.8	1.8	0.14	0.60	0.04	0.40
3	0.5	1.0	0.85	0.65	0.9	2.0	0.15	0.70	0.06	0.63
4	0.6	1.2	1.02	0.80	1.0	2.5	0.20	0.85	0.10	1.00
5	0.75	1.5	1.30	1.00	1.2	3.0	0.22	1.00	0.16	1.60
6	1.0	2.0	1.70	1.20	1.3	3.0	0.24	1.10	0.25	2.50

### 5.6.3 自由流和淹没流的判别

当淹没比  $h_L/h$  未达到非淹没极限 ( $\sigma_c = 0.20$ ) 时，为自由流；当淹没比大于非淹没极限时，为淹没流。

### 5.6.4 流量计算

1 自由流。当  $h_L/h \leq 0.2$  时，为自由流，其流量计算公式为：

$$Q = C_D b \sqrt{2gh}^{3/2} \quad (5.6.4-1)$$

其中

$$C_D = 0.5 - \frac{0.109}{6.26h + 1} \quad (5.6.4-2)$$

式中  $C_D$ ——流量系数。

2 淹没流。当  $h_L/h > 0.2$  时，为淹没流，其流量由经验公式 (5.6.4-3) 确定：

$$Q_t = C_t Q \quad (5.6.4-3)$$

其中 
$$C_t = 1.085 \left[ 1 - \frac{1}{11.7 \left( 1 - \frac{h_L}{h} \right) + 1} \right] \quad (5.6.4-4)$$

式中  $Q_t$ ——淹没流流量， $m^3/s$ ；

$C_t$ ——淹没系数。

**5.6.5** 按规定要求设置的孙奈利槽流量系数的不确定度约  $\pm 4\%$ 。

## 5.7 测流槽测流单次流量测验不确定度估算

### 5.7.1 不确定度来源分析

1 测流槽单次流量不确定度，可用通用流量表达式 (5.7.1) 进行分析：

$$Q = J \sqrt{g} C_v C_D C_s C_t b' h^\beta \quad (5.7.1)$$

式中  $J$ ——不带误差的数字常数；

$C_D$ ——流量系数；

$C_v$ ——行近流速系数；

$C_s$ ——形状系数，对于 U 形喉道测流槽，用  $C_u$  代替  $C_s$ ，且  $b = D$ ；

$C_t$ ——淹没系数；

$h$ ——实测水头；

$\gamma$ 、 $\beta$ ——指数；

$g$ ——重力加速度，其不确定度可忽略不计。

2 单次流量不确定度主要有下列影响因素：

- 1) 测流槽宽度  $b$ ，或横向坡度  $m$  等几何尺寸量测的不确定度。
- 2) 实测水头  $h$  的不确定度。
- 3) 行近流速系数  $C_v$ 、流量系数  $C_D$ 、淹没系数  $C_t$  和形状系数  $C_s$  等实验值的不确定度。

### 5.7.2 单项误差估算方法

1 测流槽尺寸测量的不确定度（主要是宽度  $b$  或直径  $D$ ）与施工的精度有关，并取决于测量仪器可能达到的精度和量测次数，可采用式（5.7.2-1）估算：

$$X_b = \pm 2 \frac{E_{\bar{b}}}{\bar{b}} \quad (5.7.2-1)$$

式中  $X_b$ ——宽度的不确定度，%；

$E_{\bar{b}}$ ——宽度平均均值  $\bar{b}$  的量测中误差，m；

$\bar{b}$ ——宽度多次测量的平均宽，m。

在低水头运用时，需考虑表面张力和黏滞力的影响，并计算有效宽度  $b_e$ ，则  $b_e$  的不确定度  $X_{b_e}$  为：

$$X_{b_e} = \pm \sqrt{(X_b)^2 + (X_{K_b})^2} \quad (5.7.2-2)$$

式中  $X_{b_e}$ ——有效宽度  $b_e$  的不确定度，%；

$X_{K_b}$ —— $K_b$  的不确定度，%；

$K_b$ ——考虑表面张力和黏滞力综合影响的改正值。

$K_b$  的不确定度  $X_{K_b}$  可用式（5.7.2-3）计算：

$$X_{K_b} = \pm 2 \frac{E_{K_b}}{b} \quad (5.7.2-3)$$

式中  $E_{K_b}$ —— $K_b$  的估算误差。

2 实测水头  $h$  的不确定度  $X_h$  取决于许多因素，可采用式（5.7.2-4）估算：

$$X_h = \pm \sqrt{(X_{h_s})^2 + (X_{h_0})^2 + (X_{h_i})^2 + (X_{K_h})^2 + \dots} \quad (5.7.2-4)$$

式中  $X_{h_s}$ ——水头读数产生的不确定度，%；

$X_{h_0}$ ——水头测量零点产生的不确定度，%；

$X_{h_i}$ ——仪器运行或水尺刻划产生的不确定度，%；

$X_{K_h}$ ——当应用有效水头时，考虑表面张力和黏滞力影响产生的不确定度，%；



$X_h$ ——实测水头  $h$  的不确定度，当流量计算式用有效水头  $h_e$  表达时， $X_h$  表达为  $X_{h_e}$ 。

3 行近流速系数  $C_v$ 、流量系数  $C_D$  和淹没系数  $C_f$  的不确定度是单次流量总不确定度的主要来源。本标准给出的上述系数值的不确定度，适用于标准槽。当野外安装和运用条件不完全符合标准槽要求时，其不确定度值会增大。

4 流量系数的不确定度与弗劳德数  $Fr$  有关，给出的各个标准槽的流量系数不确定度，只适用于  $Fr \leq 0.5$  的条件。当  $Fr = 0.5 \sim 0.6$  时，应增加  $\pm 2\%$  的不确定度。

### 5.7.3 单次流量的总不确定度

1 流量的随机不确定度可用式 (5.7.3-1) 计算：

$$X'_Q = \pm \sqrt{(X'_{C_D})^2 + (X'_{C_v})^2 + (X'_{C_f})^2 + (\gamma X'_b)^2 + \beta^2 X'_h{}^2 + \phi^2 X'_m{}^2} \quad (5.7.3-1)$$

式中： $X'_{C_D}$ ——流量系数的随机不确定度；  
 $X'_{C_v}$ ——行近流速系数的随机不确定度；  
 $X'_{C_f}$ ——淹没系数的随机不确定度，对于非淹没流为 0；  
 $X'_b$ ——宽度测量的随机不确定度；  
 $X'_h$ ——水头测量的随机不确定度；  
 $X'_m$ ——边坡  $m$  的随机不确定度；  
 $\gamma$ 、 $\beta$ 、 $\phi$ ——取决于测流槽几何形状的系数。

在矩形喉道测流槽的简单情况下， $\gamma=1$ 、 $\beta=1.5$  和  $\phi=0$ （假定两边墙完全是竖直的）；对于 U 形喉道测流槽， $\phi=0$ （假定两边墙完全是竖直的）， $\gamma$  和  $\beta$  取决于  $H_c/b$ ，如图 5.7.3-1 所示（在应用这些曲线过程中，可以采用近似值  $H_c \approx h$ ）；对于梯形喉道测流槽  $\gamma$ 、 $\phi$ 、 $\beta$  分别为梯形断面的喉道底宽  $b$ 、边坡  $m$  和实测水头  $h$  在流量计算式中的方次，其数值与参数  $\frac{mh}{b}$  有关，可由表 5.7.3 及图 5.7.3 查得。

表 5.7.3 不同  $\frac{mh}{b}$  值的  $\gamma$ 、 $\psi$  和  $\beta$  查读表

$\frac{mh}{b}$	$\gamma$	$\psi$	$\beta$	$\frac{mh}{b}$	$\gamma$	$\psi$	$\beta$
0.01	0.99	0.01	1.51	2.0	0.41	0.59	2.01
0.03	0.97	0.03	1.53	5.0	0.20	0.80	2.30
0.10	0.93	0.07	1.57	10.0	0.11	0.89	2.39
0.20	0.88	0.12	1.62	20.0	0.06	0.94	2.44
0.50	0.73	0.27	1.77	50.0	0.02	0.98	2.48
1.00	0.57	0.43	1.93	100.0	0.01	0.99	2.49

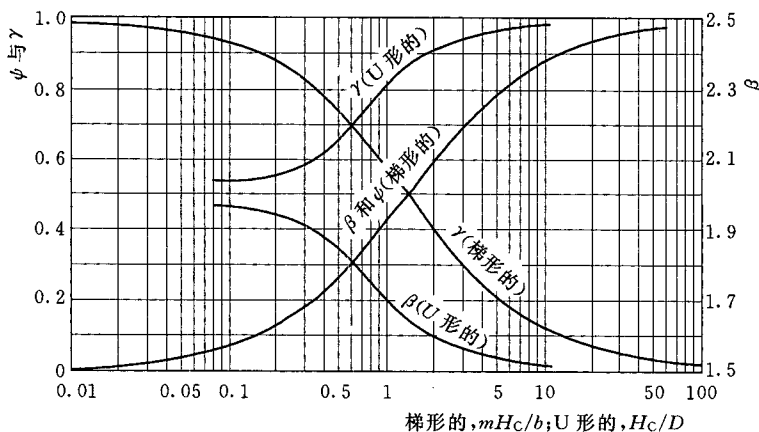


图 5.7.3  $\gamma$ 、 $\beta$  和  $\psi$  查算图

2 流量的系统不确定度可由式 (5.7.3-2) 计算:

$$X''_Q = \pm \sqrt{X''_{C_D}{}^2 + X''_{C_V}{}^2 + X''_{C_f}{}^2 + \gamma^2 X''_b{}^2 + \beta^2 X''_h{}^2 + \psi^2 X''_m{}^2} \quad (5.7.3-2)$$

式中  $X''_Q$ ——单次流量测验的系统不确定度;

$X''_{C_D}$ ——流量系数的系统不确定度;

$X''_{C_V}$ ——行近流速系数的系统不确定度;

$X''_{C_f}$ ——淹没系数的系统不确定度, 对于非淹没流为 0;

$X''_b$ ——宽度的系统不确定度;

$X_h''$ ——水头测量的系统不确定度，%；

$X_m''$ ——边坡  $m$  的系统不确定度，%。

3. 随机不确定度和系统不确定度可用式 (5.7.3-3) 加以综合：

$$X_Q = \pm \sqrt{X_Q'^2 + X_Q''^2} \quad (5.7.3-3)$$

式中  $X_Q$ ——单次流量的总不确定度，%；

$X_Q'$ ——总随机不确定度，%；

$X_Q''$ ——总系统不确定度，%。

## 6 末端深度法测流

### 6.1 一般规定

6.1.1 末端深度法测流适用于在渠底水平或平缓倾斜，渠底末端有跌坎，能形成自由射流的渠道上。

6.1.2 当从跌坎边缘向下游延伸的导流墙，其长度不小于最大末端水深的 6 倍时，射流水舌受到两边侧墙限制，应设置通气孔，使水舌下部充分通气。

6.1.3 末端深度法是近似计算流量的方法，其单次流量的不确定度（95%置信水平）约为±（5%~10%）。

### 6.2 末端水深测量

6.2.1 末端水深测量应满足下述条件：

1 跌坎上游的渠道应为顺直、均匀的断面，其规则长度应大于最大流量时末端水深  $h_c$  的 20 倍。

2 渠底水平或其正比降小于 1/2000。

3 渠道水流应呈缓流状态，断面流速分布正常。

4 边墙和渠底应是平整光滑完整，并经常保持无沉积物。

5 渠道末端垂直于渠槽中心线截断，水流能够自由跌落。

6 溢流水舌应充分通气。

6.2.2 末端水深的测量位置应选在跌坎边缘的正中间，可用水位测针或其他感应灵敏的测量设备测量水深，水深测量中误差应不大于 5mm。

### 6.3 流量计算

6.3.1 末端深度法可采用式（6.3.1）计算流量：

$$Q = \sqrt{g \frac{A_c^3}{B_c}} \quad (6.3.1)$$

式中  $Q$ ——流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$g$ ——重力加速度， $\text{m}/\text{s}^2$ ；

$A_c$ ——临界断面的断面面积， $\text{m}^2$ ；

$B_c$ ——临界断面的水面宽， $\text{m}$ 。

如果已知临界水深  $d_c$  和渠道几何形状，就可以计算出临界断面的断面面积  $A_c$  和临界断面的水面宽  $B_c$ ，可用式 (6.3.1) 计算流量。

6.3.2 在矩形渠道中（其溢流形式见图 6.3.2）末端水深与临界水深之比  $h_e/d_c$  接近一个常数，可用末端水深替代临界水深计算流量，流量计算可采用式 (6.3.2)。

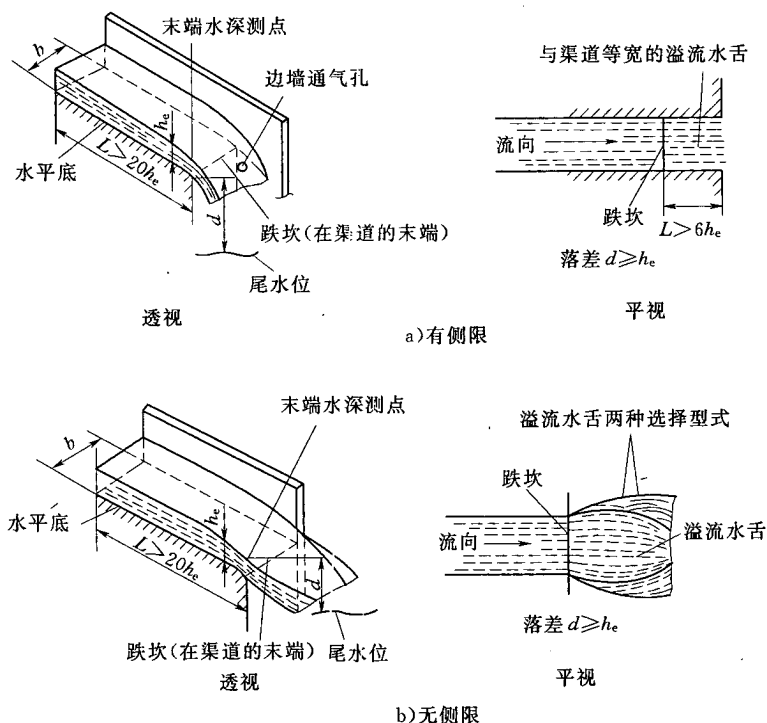


图 6.3.2 矩形渠道溢流水舌图

$$Q = C_D \sqrt{gbh_e^{3/2}} \quad (6.3.2)$$

式中  $C_D$ ——流量系数；  
 $b$ ——渠道宽，m；  
 $h_e$ ——末端水深，m。

流量系数  $C_D$  取决于渠道比降和糙率。对于射流水舌受侧限的矩形水平渠道， $C_D$  可取 1.66；对于不受侧限的矩形水平渠道， $C_D$  可取 1.69。对倾斜渠道也可采用上述值，但精度稍差。为提高流量计算的精度，流量系数也可通过采用流速仪法率定确定。

**6.3.3** 在梯形渠道中（溢流形式见图 6.3.3-1），其末端水深与临界水深之比  $h_e/d_c$  是  $mh_e/B_0$  的函数，其中  $m$  和  $B_0$  分别为梯形断面的边坡（垂直 1：水平  $m$ ）和底宽。临界水深  $d_c$  值可根据已知的  $m$ 、 $B_0$  和  $h_e$  值从图 6.3.3-2 中查得。得出临界水深  $d_c$  后，可直接按式 (6.3.1) 计算流量。

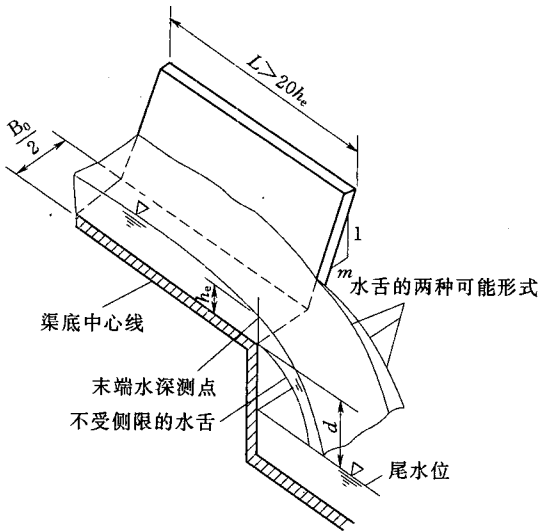


图 6.3.3-1 梯形渠道溢流水舌透视图

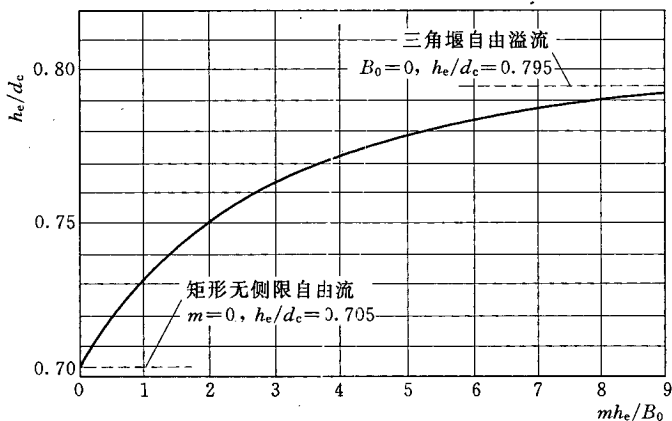


图 6.3.3-2 梯形渠道末端深度  $h_e$  与临界水深  $d_c$  的比值查算图

6.3.4 梯形渠道的流量也可采用式 (6.3.4) 计算:

$$Q = \frac{\sqrt{g/2} \left(\frac{B_0}{2}\right)^{5/2}}{m^{3/2}} \frac{\left[ \frac{d_c^2}{\left(\frac{B_0}{2m}\right)^2} + \frac{2d_c}{\left(\frac{B_0}{2m}\right)} \right]^{3/2}}{\left[ 1 + \frac{d_c}{\left(\frac{B_0}{2m}\right)} \right]^{1/2}} \quad (6.3.4)$$

式中  $B_0$ ——渠道底宽, m;

$m$ ——梯形断面的边坡 (垂直 1 : 水平  $m$ );

$d_c$ ——临界水深, m。

6.3.5 圆形渠道中 (渠道断面形状如图 6.3.5 所示), 末端水深对临界水深之比  $h_e/h_c$  是 0.756。除可直接采用式 (6.3.1) 计算流量外, 也可采用式 (6.3.5) 计算流量:

$$Q = \frac{1}{4} \sqrt{gr}^{5/2} \frac{[2\cos^{-1}(1-a) - 2(2a-a^2)^{1/2}(1-a)]^{3/2}}{(2a-a^2)^{1/4}} \quad (6.3.5)$$

其中  $a = h_c/r$

式中  $r$ ——渠道半径, m。

6.3.6 末端深度法的应用应符合下列条件:

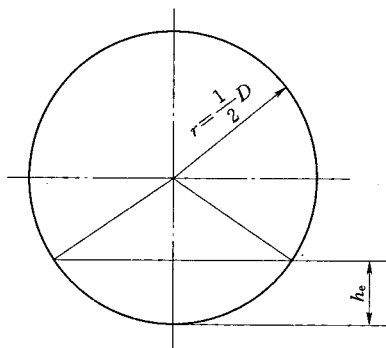


图 6.3.5 圆形渠道示意图

1 渠底到跌坎下游水面的垂直距离  $d$  应不小于末端水深  $h_e$ 。

2 渠道宽度  $b$  应大于 0.3m。

3 梯形渠道上，比值  $mh_e/B_0$  应为 0.5~7.0。

4 末端水深  $h_e$  对矩形渠道应大于 0.04m，对梯形渠道应大于 0.05m。

5 在圆形渠道上，比值  $h_e/r$ （末端水深对渠道半径的比）应处在 0.19~1.0 之间。

6.3.7 末端深度法单次流量的误差，来源于渠道尺寸（ $b$ 、 $B_0$  和  $m$ ）的量测误差和末端水深  $h_e$  的观测误差，以及比值  $h_e/d_c$  作为常值产生的误差。按规定要求建造的测流建筑物，比值  $h_e/d_c$  可能有  $\pm 5\%$  的最大系统不确定度。其他有关测量值的不确定度，应由使用者根据实际情况估算。



## 7 比降面积法测流

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 比降面积法是依据水文测验河段实测的水位、断面等资料，用水力学公式计算河道瞬时流量的一种方法。当水文测站测验条件满足比降面积法要求时，该法可作为一种常规流量测验方法；水文测站测验条件不完全满足时，该法可作为特殊情况下的一种流量测验方法；当遇有漏测洪峰时，可用比降面积法推求洪峰流量。

**7.1.2** 当水文测站满足下列条件时，比降面积法可作为测站常规流量测验方法：

- 1 测验河段基本顺直，无明显收缩或扩散。
- 2 河床稳定，无冲淤变化。
- 3 水位等要素与糙率有较好的相关关系，且有10年以上糙率实测资料。

**7.1.3** 遇有下列特殊情况时，可采用比降面积法进行流量测验：

- 1 实行流量巡测、间测的测站，洪水超出允许水位变幅或超出测洪能力。
- 2 需要施测较大洪水流量，且无常规的流量测验设施设备的测站。
- 3 流速仪法、水面浮标法等常规方法无法施测或出现下列特殊情况时，可用比降面积法进行洪水流量测验：
  - 1) 流速仪或水面浮标测流设施、设备发生故障，不能正常使用。
  - 2) 水面漂浮物太多或风浪太大，无法采用流速仪或水面浮标法施测流量。
  - 3) 水位涨落急剧，流速仪法或水面浮标法无法测得高水位时的流量过程转折点，或水位变化太快引起过水面

积、流量变化太大，不能保证流量测验精度。

- 4) 洪水期含沙量较大，无法使用 ADCP 等超声波或其他的测流方法。
- 5) 漏测洪峰流量。
- 6) 水文调查中，需估算河流的洪峰流量。
- 7) 突发水文应急监测，如决口、溃坝、分洪等。

7.1.4 比降面积法测流的单次流量测验允许误差，应符合表 7.1.4 的规定。

表 7.1.4 比降面积法单次流量测验允许误差 %

站 类	允许误差	
	总不确定度	系统误差
一类精度的水文站	11	-2~1
二类精度的水文站	12	-2~1
三类精度的水文站	14	-2.5~1

## 7.2 河 段 选 择

7.2.1 河段应基本顺直，无明显弯曲，可有缓变的收缩段，但不得有明显的扩散段，严禁有突然扩散断面。

7.2.2 近岸边水流应通畅，无明显的回流区和阻水建筑物。

7.2.3 河床应相对稳定，河段内河床介质应基本相似，断面形状沿河段变化不大，洪水水面线（痕迹）应无明显的转折点。

7.2.4 河段内应无卡口、急滩、深潭或隆起部分。

7.2.5 河槽内应无较高且密集的水生植物，岸坡无影响水流通畅的成片树林和季节性的高秆作物。

7.2.6 河段内应无支流加入，无退水、引水设施，无汊流、斜流现象。

7.2.7 上下游邻近河段应无急弯、码头或丁坝、闸坝、电站等工程设施。

7.2.8 河段长度宜保证上、下游比降断面水位差不小于其水位观测不确定度的10倍。

### 7.3 断面布设

7.3.1 使用比降面积法进行流量测验的河段，宜布设上、中、下三个比降断面，应使上、中断面的间距等于中、下断面的间距，比降中断面宜与流速仪测流断面、浮标中断面重合。特殊情况下，顺直段长度不够时，且断面形状沿程变化不明显，面积沿程递增或递减变化基本均匀时，也可只设比降上、下两个断面，断面线应垂直到向。如果有断面偏角时，偏角应不超过 $10^\circ$ 。

7.3.2 比降断面标志的设立，可参照 GB 50179—93 的规定执行，比降断面间距可用钢尺测量或用测距仪测量，其测量中误差应小于 $1/1000$ 。

7.3.3 比降上、下断面的距离，应使水面落差远大于落差观测的误差。上、下比降断面间距可按式(7.3.3)计算：

$$L = \frac{2}{\Delta\bar{Z}^2 X_s^2} (S_m^2 + \sqrt{S_m^4 + 2\Delta\bar{Z}^2 X_s^2 S_z^2}) \quad (7.3.3)$$

式中  $L$ ——上、下比降断面间距，km；

$\Delta\bar{Z}$ ——河道每公里长的水面落差，mm，宜取中水位的平均值；

$X_s$ ——比降测算允许的不确定度，可取10%；

$S_m$ ——水准测量每公里线路上的标准差，mm，视水准测量的等级而定，三等水准为6mm，四等水准为10mm；

$S_z$ ——比降水位观测的误差，mm，中、高水位有防浪静水设备时可按5mm计。

7.3.4 上、下比降断面间距，也可根据河段水面比降大小，参照表7.3.4确定。

表 7.3.4 不同水面比降时的比降上、下断面间距表

水面比降 ( $\times 10^{-4}$ )	29.6	15.5	8.4	5.9	4.7	4.1	3.5	3.1	2.8	2.6	2.4	1.5	1.3	1.1
上、下比降 断面间距 (m)	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	2000	3000	4000

## 7.4 水位观测设施与布设

7.4.1 用比降面积法施测流量的站，应分别在比降上、中、下断面设立水位观测设施。

7.4.2 设立水尺处及邻近岸边，不应有突出的地形、地物，水流不宜有回流、死水。

7.4.3 各组水尺宜设在比降上、中、下断面线上。如果因特殊原因，确实不能设在断面线上时，则因不在断面线上所产生的水位的误差，不应大于同级上、下水位落差的 $\pm 1\%$ 。

7.4.4 确定使用比降面积法测流的河段，应在比降上、中、下断面的两岸设立水尺，同步观测 2~3 次较大洪水过程，以分析两岸各级水位的一致性：

1 如果各断面两岸水位变化一致，则可只在一岸设立水尺进行比降水位观测。

2 如果两岸水位存在系统差，但有较好的相关关系，则也可只在一岸设立水尺观测比降水位，并通过两岸同断面水位相关关系求得两岸平均水位，再计算比降水位。

3 如果两岸水位不一致，且相关关系散乱，则应另选择测验河段。

4 特殊情况下，如果两岸水位不一致，相关关系也较散乱，又无合适的测验河段可选用的，则应在两岸长期设立水尺观测，并采用平均水位计算比降。

7.4.5 漫滩较宽的河流，宜在主槽和滩地分别设立水尺，并与岸边水尺同步观测。在进行若干次洪水观测后，分析水位的一致

性，若三者水位一致，可仅在岸边观测水位，否则，三种水尺应长期观测。

**7.4.6** 比降水尺形式、具体布设、编号、零点高程测量及校测等可执行 GB 50138—2010 的规定。

**7.4.7** 比降水尺的最小分划应为 5mm。

**7.4.8** 比降断面除设立水尺外，可设立自记水位计。自记水位观测设施宜安装防浪静水装置。自记水位计分辨力应小于 5mm。上、下比降断面水位计的计时时钟应严格同步。

**7.4.9** 比降断面水尺零点高程引测、校测应采用同一水准点，用三等水准实测。

## 7.5 断面测量

**7.5.1** 上、中、下比降断面的大断面和水道断面测量，应按 GB 50179—93 中断面测量的要求执行。

**7.5.2** 断面测量次数可视河床断面稳定与否而定：

1 对于稳定河床，即水位与面积关系点偏离多年平均水位—面积关系线不超过  $\pm 3\%$ ，可在每年汛前、汛后施测一次断面。如果出现特大洪水或特殊洪水，在洪水过后应立即测量断面。

2 对于不稳定河床，即每次较大洪水断面冲淤变化超过  $\pm 3\%$ ，则在每次较大洪水前、后应及时测量断面；如果河岸坡稳定，仅中、低水位以下滩、槽有冲淤时，可只测变化部分。

3 对河床冲淤变化大的测站，比降面积法测验过程中，宜实测全断面或部分断面。

4 在调查洪水或估算洪峰流量时，可只测一次洪水痕迹以下的断面面积。

## 7.6 比降水位观测

**7.6.1** 使用比降面积法施测流量的测站，人工观测各比降断面的水位时，原则上应多人同时观测。但一日内水位变化平缓时，也可由一人观测，观测步骤为：先观读上（或下）比降水尺，后

观读下（或上）比降水尺，再返回观读上（或下）比降水尺，取上（或下）比降水尺两次观读的平均值作为与下（或上）比降水尺观读的同时水位。

**7.6.2** 比降水尺读数宜读至 5mm，水面比降较大或水面波浪较大时，可读至 10mm。

**7.6.3** 使用自记水位计记录比降水位时，应摘录同时水位进行比降计算。

**7.6.4** 自记水位计校测除按 GB/T 50138—2010 的规定执行外，在洪水期水位涨落急剧时，应增加校测次数。

**7.6.5** 水面比降可按式（7.6.5）计算：

$$S = \frac{Z_u - Z_l}{L} \times 10000 \quad (7.6.5)$$

式中  $S$ ——水面比降，‰；

$Z_u$ ——比降上断面水位，m；

$Z_l$ ——比降下断面水位，m；

$L$ ——比降上、下断面间距，m。

## 7.7 糙率选用

**7.7.1** 用比降面积法施测流量的测站，河段糙率与水位或其他水力因素应有较好的相关关系，能满足流量计算的精度要求。

**7.7.2** 比降面积法作为常规测流方法的测站，应有不少于 10 年的资料进行糙率分析。各年的糙率点据与多年综合相关线比较，应无系统偏离，且不确定度不大于 10%。如果遇特殊洪水，断面形态和尺寸、河床岸壁组成、邻近河段内的地形、地物有较大变化时，应检查分析糙率有无明显变化或系统偏离。

**7.7.3** 比降面积法用于流量间测允许水位变幅外抢测洪水流量时，糙率应根据近 5 年的资料分析，再从糙率相关曲线查用。当间测水位变幅以外的高水位级无实测资料分析的糙率线段，可根据间测水位变幅内实测资料分析的糙率线，结合岸壁组成和河段其他特性延长糙率曲线。

7.7.4 在流速仪法等测流方法测验有困难时，比降面积法作为特殊情况下的测验方法时，可根据测站实测资料分析的糙率曲线查用糙率。如果较高水位以上无实测资料分析的糙率曲线，可结合岸壁组成、植物生长情况、下游控制以及河段其他特性等，进行分析延长糙率曲线查用，延长幅度不宜超过 20%。

7.7.5 比降面积法用于无常规水文测验设施的测站，或进行水文调查确定洪峰流量时，糙率应根据可能搜集到的本河流的水文资料进行分析，建立糙率与其他水力因素的相关曲线，或者移用有资料相似河流的糙率值，糙率值也可参考附录 J、附录 K 选用。

## 7.8 流量计算

7.8.1 河道上、中、下比降断面相同，测验河段内河槽形状均匀一致，水流平稳期，水流为恒定均匀流时，可采用式 (7.8.1-1) 计算流量：

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} = \bar{K} S^{1/2} \quad (7.8.1-1)$$

其中 
$$\bar{K} = A \frac{1}{n} R^{2/3} \quad (7.8.1-2)$$

$$R = A/P \quad (7.8.1-3)$$

$$P = \sum_{i=1}^n \sqrt{b_i^2 + (d_i - d_{i-1})^2} \quad (7.8.1-4)$$

式中  $Q$ ——流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；  
 $A$ ——断面面积， $\text{m}^2$ ；  
 $R$ ——水力半径， $\text{m}$ ；  
 $S$ ——恒定流流态下的实测水面比降；  
 $n$ ——河床糙率；  
 $\bar{K}$ ——测流河段断面平均输水率；  
 $P$ ——湿周， $\text{m}$ ；  
 $b_i$ ——部分宽（见图 7.8.1）， $\text{m}$ ；

$d_i$ ——第  $i$  条垂线水深, m。

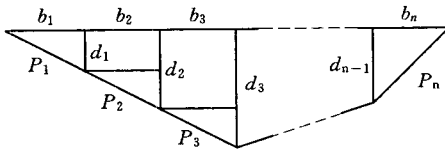


图 7.8.1 河流横断面图

7.8.2 洪水峰顶和水流平稳期, 河段顺直, 仅断面沿程收缩或扩散引起的恒定非均匀流时, 流量可用式 (7.8.2) 计算:

$$Q_s = \frac{\overline{KS}^{1/2}}{\sqrt{1 - \frac{(1-\xi)\alpha K^2}{2gL} \left( \frac{1}{A_u^2} - \frac{1}{A_l^2} \right)}} \quad (7.8.2)$$

式中  $Q_s$ ——恒定非均匀流流量,  $m^3/s$ ;

$A_u$ 、 $A_l$ ——比降上、下断面过水面积,  $m^2$ ;

$g$ ——重力加速度, 取  $9.81, m/s^2$ ;

$L$ ——比降上、下断面间距, m;

$\xi$ ——断面沿程收缩或扩散系数 (收缩取负号, 扩散取正号), 收缩时可取  $\xi=0$ ; 断面突然扩散时可取  $\xi=0.5\sim 1.0$ ; 逐渐扩散时可取  $\xi=0.3\sim 0.5$ ;

$\alpha$ ——动能校正系数, 与断面流速分布有关, 断面较规则区段宜在  $1.05\sim 1.15$ 。

7.8.3 洪水峰顶和水流平稳期, 河段顺直, 当比降中断面过水面积小于比降上、下断面时, 即上到中断面河段收缩, 中到下断面河段扩散, 且上一中收缩段水流边界不产生回流, 则不计收缩影响, 可取  $\xi=0$ , 只考虑中一下段扩散损失, 测验河段内形成恒定非均匀流, 流量可用式 (7.8.3) 计算:

$$Q_s = \frac{\overline{KS}^{1/2}}{\sqrt{1 - \frac{\alpha K^2}{2gL} \left[ \left( \frac{1}{A_u^2} - \frac{1}{A_l^2} \right) - \xi \left( \frac{1}{A_m^2} - \frac{1}{A_l^2} \right) \right]}} \quad (7.8.3)$$

式中  $A_m$ ——中断面过水面积,  $m^2$ 。

7.8.4 洪水峰顶和水流平稳期, 河段顺直, 当比降中断面过水



面积大于比降上、下断面时，即上到中断面河段扩散，中到下断面收缩，且中一下河段收缩段水流不产生回流，可不计收缩影响，取  $\xi = 0$ ，只考虑上一中段河段扩散损失，流量可用式 (7.8.4) 计算：

$$Q_s = \frac{\bar{K}S^{1/2}}{\sqrt{1 - \frac{\alpha\bar{K}^2}{2gL} \left[ \left( \frac{1}{A_u^2} - \frac{1}{A_l^2} \right) - \xi \left( \frac{1}{A_u^2} - \frac{1}{A_m^2} \right) \right]}} \quad (7.8.4)$$

7.8.5 顺直河段断面沿程收缩或扩散，洪水涨水和落水过程，测验河段的内形成非恒定流，流量可用式 (7.8.5) 计算：

$$Q_t = \frac{\bar{K}(S_f - S_w)^{1/2}}{\sqrt{1 - \frac{(1 - \xi)\alpha\bar{K}^2}{2gL} \left( \frac{1}{A_u^2} - \frac{1}{A_l^2} \right)}} \quad (7.8.5)$$

式中  $Q_t$ ——非恒定流流量， $m^3/s$ ；

$S_f$ ——非恒定流时的实测水面比降；

$S_w$ ——加速比降，其值为  $\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t}$ （具体计算时用有限差， $\frac{1}{g} \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ），涨水坡取正号，落水坡取负号。

7.8.6 顺直河段，当比降中断面过水面积小于比降上、下断面时，即上到中断面河段收缩，中到下断面河段扩散，且上一中收缩段水流边界不产生回流，则不计收缩影响，可取  $\xi = 0$ ，只考虑中一下段扩散损失，洪水涨水和落水过程，测验河段的内形成非恒定流，流量可用式 (7.8.6) 计算：

$$Q_t = \frac{\bar{K}(S_f - S_w)^{1/2}}{\sqrt{1 - \frac{\alpha\bar{K}^2}{2gL} \left[ \left( \frac{1}{A_u^2} - \frac{1}{A_l^2} \right) - \xi \left( \frac{1}{A_m^2} - \frac{1}{A_l^2} \right) \right]}} \quad (7.8.6)$$

7.8.7 顺直河段，当比降中断面过水面积大于比降上、下断面时，即上到中断面河段扩散，中到下断面收缩，且中一下河段收缩段水流不产生回流，可不计收缩影响，取  $\xi = 0$ ，只考虑上一中段河段扩散损失，洪水涨水和落水过程，测验河段的内形成非恒定流，流量可用式 (7.8.7) 计算：

$$Q_f = \frac{\bar{K}(S_f - S_w)^{1/2}}{\sqrt{1 - \frac{\alpha \bar{K}^2}{2gL} \left[ \left( \frac{1}{A_u^2} - \frac{1}{A_l^2} \right) - \xi \left( \frac{1}{A_u^2} - \frac{1}{A_m^2} \right) \right]}} \quad (7.8.7)$$

7.8.8 测验河段平均输水率计算应符合下列要求：

1 当测验河段过水断面面积变化较均匀，上、中、下断面面积差异较小时，平均输水率可采用式（7.8.8-1）计算：

$$\bar{K} = \bar{A} \frac{1}{n} \bar{R}^{2/3} \quad (7.8.8-1)$$

其中 
$$\bar{A} = \frac{A_u + 2A_m + A_l}{4} \quad (7.8.8-2)$$

$$\bar{R} = \frac{R_u + 2R_m + R_l}{4} \quad (7.8.8-3)$$

式中  $\bar{K}$ ——测验河段平均输水率；

$\bar{A}$ ——河段平均面积；

$\bar{R}$ ——河段平均水力半径。

2 当测验河段过水断面面积变化不均匀，上、中、下断面面积差异较大时，平均输水率可采用式（7.8.8-4）计算：

$$\bar{K} = (A_u R_u^{2/3} + 2A_m R_m^{2/3} + A_l R_l^{2/3}) / 4n \quad (7.8.8-4)$$

7.8.9 有洪水漫滩的河段，应划分主槽、滩地，分别分析主槽、滩地的糙率等要素，再分别计算流量。

7.8.10 当河段两岸水位不一致时，应取两岸水位的平均值作为断面水位，并依此水位计算比降、断面面积和水力半径。

## 7.9 流量测验误差来源与不确定度估算

7.9.1 比降面积法流量测验误差可分为随机误差、系统误差、伪误差。随机误差，按正态分布，采用置信水平为95%的随机不确定度描述。系统误差，采用置信水平不低于95%的系统不确定度描述。含有伪误差的测量成果应剔除。不确定度的数值以百分数表示。

7.9.2 比降面积法流量测验的主要误差来源如下：

1 断面面积测量与计算误差。

- 2 水力半径计算误差。
- 3 断面间距测量误差。
- 4 比降水位观测误差。
- 5 比降计算的误差。
- 6 糙率取用的误差。

7.9.3 断面稳定的测站，断面面积的随机不确定度可取 2.8%，系统不确定度可取 0.7%。

7.9.4 水力半径的随机不确定度取 3.4%，系统不确定度取 0.86%。

7.9.5 比降的不确定度分为比降水位观测和比降断面间距测量的不确定度。比降水位观测不确定度又分为水尺零点高程测量不确定度、水尺刻划的不确定度、水尺观读的不确定度。如果采用自记水位计观测水位，比降水位观测不确定度为仪器安装高程测量不确定度、水位计本身综合不确定度。

7.9.6 糙率的不确定度分为糙率计算和定线、选用的不确定度。糙率计算的不确定度涉及流量、面积、湿周、比降等因素，糙率取用的不确定度取决于糙率与水位（或其他水力因素）关系线定线的不确定度，可按 10%。

7.9.7 比降面积法总随机不确定度可按式 (7.9.7) 计算：

$$X'_Q = \pm \left( \frac{25}{9} X'^2_A + \frac{1}{4} X'^2_S + \frac{4}{9} X'^2_P + X'^2_n \right)^{1/2} \quad (7.9.7)$$

式中  $X'_Q$ ——比降面积法流量的总随机不确定度，%；

$X'_A$ ——断面面积的随机不确定度，%；

$X'_S$ ——比降的随机不确定度，%；

$X'_P$ ——湿周的随机不确定度，%；

$X'_n$ ——糙率的随机不确定度，%。

7.9.8 比降面积法总系统不确定度可按式 (7.9.8) 计算：

$$X''_Q = \pm \sqrt{\frac{25}{9} X''^2_A + \frac{1}{4} X''^2_S} \quad (7.9.8)$$

式中  $X''_Q$ ——比降面积法总系统不确定度，%；

$X''_A$ ——断面面积的系统不确定度, %;

$X''_S$ ——比降计算的系统不确定度, %。

7.9.9 比降面积法流量总不确定度按式 (7.9.9) 计算:

$$X_Q = \pm \sqrt{X'^2_Q + X''^2_Q} \quad (7.9.9)$$

式中  $X_Q$ ——比降面积法流量总不确定度, %;

$X'_Q$ ——比降面积法流量总随机不确定度, %;

$X''_Q$ ——比降面积法流量总系统不确定度, %。

## 附录 A  水工建筑物测流测站考证表式 和测验记载表式

**A.0.1**  闸站（堰）工程情况表式见表 A.0.1。

1  工程位置：按工程所在地点分别填制。

2  工程类型：按工程的作用填写，例如泄洪闸（堰）、分洪闸（堰）、拦河闸（堰）、分水或进水闸等。

3  主要用途：按闸（堰）工程的防洪、发电、灌溉、排涝、挡潮、航运等用途填制。

4  竣工日期：填工程完工后开始运用的日期。

5  设计、施工、管理单位：填制直接参与设计、施工、工程管理的单位名称。

6  堰型：按堰顶形状，根据工程设计和水力学书籍中规定的名称填写。例如克—奥 I 型、II 型、III 型、……，WES I 型、II 型、III 型、……，宽顶堰，圆缘宽顶堰，平底闸，驼峰堰，圆顶堰等。

7  闸门型式：按闸型式可填平板门、弧形门。

8  堰高：填堰前底板至堰顶的高度，记至 0.01m。

9  下游堰高：填堰后底板至堰顶的高度，记至 0.01m。

10  堰顶宽：填堰顶过水部分顺水流的宽度，记至 0.01m。

11  闸墩长：填闸墩顺水流方向的长度，记至 0.01m。

12  闸墩厚：填闸墩与水流方向的垂直厚度，记至 0.01m。

13  闸墩头形式：按形状填写，如填矩形、半圆形、××度尖头形、三角形等。

14  堰下游坡度：指梯形断面堰堰下游面的坡度，如填 1:3、1:5 等。

15  进口形式：填上游河渠与堰闸联接的形式，例如填喇叭口、圆弧形、方形等。

16 进水段河宽：闸前进水段河面宽度，记至 0.1m。

17 进水段顺直长：闸前进水段顺直长度，记至 0.1m。

18 堰闸前渐变段长度：堰闸前有渐变段时，填渐变段开始和终止顺水流的距离，记至 0.1m。

19 单孔宽、孔数：填闸孔宽度和孔数，宽度不一致时，应分别填列，记至 0.01m。

20 弧形门弧半径：填弧形门的臂长弧半径米数，记至 0.01m。

21 弧形门转轴高度：填弧形门转轴至闸底的高度，记至 0.01m。

22 闸门底边形式：填平底缘、底边圆弧形、底边切口向上××度、底边切口向下××度等。

23 闸门落点位置：填在堰顶或堰顶下游×m。

24 消力设备型式：填消力坎、消力池、消力屏、跌水等。

25 设计蓄水位：填制设计正常蓄水位。

26 定型水头：填设计时的定型水头。如果低堰无定型水头，填堰顶圆弧半径  $R$ 。

27 闸后底板跌落深度：填闸后跌坎高度，记至 0.01m。

28 闸门槽宽深：填闸门嵌入槽的宽度和深度，记至 0.01m。

A.0.2 隧、涵洞（管）、水库输水洞工程情况表式见表 A.0.2。

1 工程名称：填隧洞、涵洞、涵管、输水洞等工程的全称。

2 过水断面形状：填圆形、矩形、马蹄形等。

3 洞进口形状：填洞进水口形状，例如圆弧形、方形、喇叭形等。

4 洞管断面积  $a_1$ 、 $a_2$ ：按附录 D 内容填记。

5 拦污栅材料形式：材料填钢筋、钢筋水泥；形式填栅形、网形、格子形等。

6 洞出口情况：参照第 3.6.1 条内容填记。

表 A.0.1 \_\_\_\_\_ 站 闸站 (堰) 工程情况表式

工程位置	流域 水系 河		东经: 北纬:		
	省 (直辖市、自治区) 旗) 乡 (镇) 村		地区 (市、州、盟) 县 (市、区、		
工程类型		主要用途		竣工日期	年 月
设计单位		施工单位		管理单位	
工程主要指标		长宽高 (厚) 水位 流量 蓄水量		m m m <sup>3</sup> /s 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	
堰型		闸门底边型式			
闸门型式		闸门落点位置			
堰高		消力设备型式			
下游堰高		消力坎顶高程			
堰顶宽		消力池底高程			
闸墩长		消力设备末端距闸的距离			
闸墩厚		堰顶 (闸底) 高程			
闸墩头型式		闸门顶高程			
堰下游坡度		定型水头			
进口型式		设计上游水位			
进水段河宽		设计下游水位			
进水段顺直长度		设计蓄水位			
堰闸前渐变段长度		设计最大蓄水位			
单孔宽		设计最大流量			
孔 数		闸后底板跌落深度			
弧形门弧半径		闸门槽宽深			
弧形门转轴高度		堰顶圆弧半径			
备 注					

表 A.0.2 \_\_\_\_站 隧、涵洞(管)、水库输水洞工程情况表式

工程位置	流域 水系 河 东经: 北纬:				
	省(直辖市、自治区) 旗) 乡(镇) 村		地区(市、州、盟)		县(市、区、
工程名称		主要用途		竣工日期	年 月
设计单位		施工单位		管理单位	
工程主要指标					单位: 长、宽、高、水位 (m) 面积 (m <sup>2</sup> ) 流量 (m <sup>3</sup> /s)
闸门型式			闸门底边型式		
过水断面形状			弧形门弧半径		
过水断面高、宽或洞径			弧形门转轴高度		
孔数			闸门槽处断面形状		
洞进口形状			进口洞底高程		
洞管断面积 $a_1$			出口洞底高程		
洞管断面积 $a_2$			洞出口情况		
洞底坡			设计最高水位		
洞总长度			设计最大流量		
闸门距洞口距离					
拦污栅材料型式					
洞前进水段顺直长度					
备注					

A.0.3 水电(电力抽水)站基本情况表式见表 A.0.3。

- 1 型号: 按发电、水轮机、水泵型号分别填记。
- 2 出力范围: 填水轮机或水泵出力功率范围。
- 3 断面形状: 按进出水管的断面形状填圆形、方形。
- 4 管口中心高: 按进出水管的进出口中心高程分别填记, 与水位取用同一基面高程, 取至 0.01m。



表 A.0.3 站 水电(电力抽水)站基本情况表式

工程位置		流域 水系 河		东经: 北纬:	
		省(直辖市、自治区) 旗) 乡(镇) 村		地区(市、州、盟) 县(市、区、	
工程名称		用途		竣工日期 年 月	
设计单位		施工单位		管理单位	
发电 (电动) 机	型号	水轮机 或水泵		型号	
	装机台数			装机台数	
	装机容量			kW	
进水管 (流道)	管 长	m		管 长	
	断面形状	出水管 (流道)		断面形状	
	断面面积			m <sup>3</sup>	
	管口中心高			m	
抽水池				设计	
水位 (m)	最高	出水池 水 位 (m)	最高	水头 (m)	最大
	最低		最低		最小
	正常		正常		
备注					

A.0.4 水工建筑物测流设施及有关水文测验情况登记表式见表 A.0.4。

1 凡进行水工建筑物测流流量系数率定工作均应填记本表。

2 水位观测设备：填观测水位水尺的类型，例如直立式搪瓷水尺、倾斜式刻划水尺、悬锤式水尺等。若是自记水位计填记岛式、岸式、岛式岸式、悬臂式等及浮子、雷达、气泡、超声波等自记水位计型式。

3 测流设备形式：填铅鱼缆道、吊船缆道、水文缆车、水文测桥、测船等。

4 闸门开高观测设备：填翼墙刻划读数、闸门开度指示器、弧形闸门弧长换读器等。

5 测流方法：填用于率定流量系数的流速仪法或其他测流方法。

6 流量系数率定情况：对已进行的流量系数率定情况进行

描述，例如实测几年、多少测次、测量变幅、流量系数关系线的测点偏差情况等。

7 推流方法：填流量系数率定法，流量系数综合法、模型试验流量系数法、经验流量系数法等。

8 流域概况：描述流域形状、流域平均坡降、流域平均宽度、流域降水、洪水形成情况等。

9 自然地理概况：填地形、地貌类型、地质概况、土壤分布、植被情况等。

10 若有其他情况表中不够填时，可另加项目填列。

表 A.0.4 \_\_\_\_站 水工建筑物测流设施及有关水文  
测验情况登记表式

测验断面位置	闸上游水尺断面距闸	m	水位观测设备	
	闸下游水尺断面距闸	m	测流设备形式	
	测流断面距闸上(下)	m	闸门开高观测设备	
	闸下水尺断面距闸	m	测流方法	
各测验断面位置、适宜程度评价及其变动情况				
各测验设备运转可靠性、精确性评价及其变动情况				
水位开始观测日期		年 月 日	测量开始测验日期	年 月 日
测量系数率定情况				
推流方法				
出现过的最大流量		m <sup>3</sup> /s	日期	年 月 日 时
出现过的最高水位		m	日期	年 月 日 时
水工建筑物上、下游河段情况概述				
流域概况				
流域面积			河长	
自然地理概况				
上游水利工程情况				
备注				

**A.0.5** 闸上、下游水位观测及闸门启闭观测记载表式见表 A.0.5。

1 几种水位观测及闸门启闭记载表：系将各时水位观测与闸门启闭情况依次填记。

2 堰闸名称：按附录“工程类型”栏填写，例如填拦河闸、节制闸、分洪闸、分水闸、溢洪闸、引水渠渠首闸等。

3 闸门及堰顶型式：按附录“堰型、闸门型式”栏填写，例如：闸门可填平板门、弧形门、叠梁式门；堰顶型式可填宽顶堰、克—奥 I 型、……、WES I 型、……、驼峰堰、圆顶堰、矩形堰、梯形堰、平底闸等。

4 闸底或堰顶高程：各闸底或堰顶高程不一致时，应汇总填几个高程数，记至 0.01m。

5 水头：一般为闸上游水位减闸底或堰顶高程而得，记至 0.01m。

6 水位差：有闸下水位时为闸上游水位与闸下水位之差；无闸下水位时为闸上游与闸下游水位之差，记至 0.01m。

7 闸下水位：为闸下游收缩断面处的水位。有自记水位计时，为闸室内自记水位计测得的水位。

8 闸门启闭情况：与表中前列时间相应的闸门启闭情况，一有变动，就应加填一栏。

9 流态：参照第 3.2.6 条规定填记。

10 本表一般将闸上游、闸下游水位分别观测记载，再将闸下游的观测水位抄入有闸上游水位观测的记载表内，最后进行各项有关内容计算。

**A.0.6** 隧、涵洞上、下游水位观测及闸门启闭观测记载表式见表 A.0.6。

1 水头：根据需要分别计算上、下游水头，用上游或下游水位减洞出口底高程而得，应包括上游行近流速水头在内，并在附注中说明。

2 水位差：上游水头减下游水头而得。

表 A.0.5 年 月 日 河 站 闸上、下游水位观测及闸门启闭观测记载表式

堰闸名称:			闸门及堰顶型式:		共 孔, 每孔宽: m		闸底或堰顶高程: m												
水位及闸门启闭时间		闸上下游				闸下游		水头		水位差		闸下水位		闸门启闭情况			状态	附 注	
		水尺编号	水尺读数 (m)	水位 (m)	日平均水位 (m)	水位 (m)	日平均水位 (m)	水头 (m)	水位差 (m)	闸下水位 (m)	孔数	编号	开启高度 (m)	是否提出水面					

表 A.0.6 年 月 日 河 站 隧、涵洞上、下游水位观测及闸门启闭观测记载表式

隧、涵洞名称：  
 管道长： m 共 孔，每孔宽： m 底坡： %  
 洞管形状：  
 洞顶高： m 进出口洞底高程： m

水位及闸门 启闭时间	洞 (坝) 上			洞 (坝) 下			水头 (m)		水位差 (m)	闸门启闭情况			出口 是否 淹没	附 注
	水尺 读数 (m)	水位 (m)	水尺 编号	水尺 读数 (m)	水位 (m)	水尺 编号	上游	下游		孔数	编号	开启 高度 (m)		
日														
时														
分														

表 A.0.7 年 月 日 河 站 水电、抽水站上、下水位观测及电机开闭观测记载表式

发电(抽水)机名称: 发电(抽水)机型式: m

喷嘴(压力表)中心高程:

共 台, 每台额定功率: kW

水位及电机 开闭时间	站上			站下			水头 (m)	水位差 (扬程) (m)	压力差 (读数) (m)	有效 水头 (m)	发电抽水机开闭情况				附 注				
	水尺 读数 (m)	水尺 编号	水位 (m)	水尺 读数 (m)	水尺 编号	水位 (m)					开机 台数	编号	开启度 (°)	总电 功率 (kW)					
日																			
时																			
分																			

3 出口是否淹没：根据实际观测淹没情况填入“是”或“否”。  
A.0.7 水电、抽水站上、下水位观测及电机开闭观测记载表式见表 A.0.7。

1 水头：冲击式水轮机为抽水池水位与喷嘴中心高程之差。反击式水轮机本栏不填，填抽水池、出水池水位之差于水位差栏。

2 水位差（扬程）：水电站为抽水池、出水池水位差。反击式水轮机填制，冲击式水轮机本栏不填。抽水站填抽水池、出水池水体水位差，当出水管口中心高于水面时，则填出水管中心高程与抽水池水体水位差。此时计算扬程，将表中水位差划去。

3 压力  $P$ ：为水轮机压力表读数。

4 有效水头：为 10 倍  $P$  加  $\Delta h$  ( $\Delta h$  为压力表中心高程与出水池水位的高差)。

## 附录 B 弧形闸门垂直开启高度换算方法

### B.0.1 直接量距法

在闸门不过水的情况下，可用锤球量出闸门逐级开启的垂直高度，并在边墙和闸墩上，以闸顶点位置为零点向上刻划闸门开启高度的标尺。

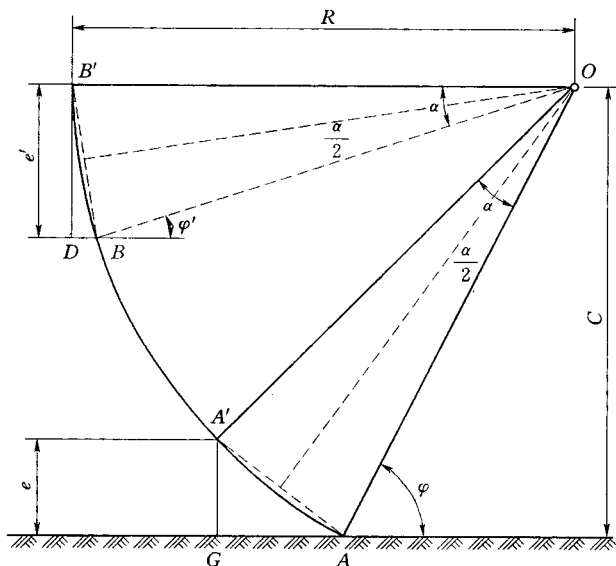


图 B.0.2 弧形闸门示意图

### B.0.2 开高一角度相关法

如果闸门常年过水，可根据设计图或竣工图计算闸门开启高度。如图 B.0.2 所示，设闸门底由 \$A\$ 移到 \$A'\$，垂直距离为 \$e\$，闸门顶随之由 \$B\$ 移到 \$B'\$，垂直距离为 \$e'\$，其开启高度的计算公式为：

$$e = 2R \sin \frac{\alpha}{2} \cos \left( \varphi - \frac{\alpha}{2} \right)$$



$$e' = 2R \sin \frac{\alpha}{2} \cos \left( \varphi' - \frac{\alpha}{2} \right)$$

式中  $R$ ——弧形闸门臂长，m；

$\varphi$ 、 $\varphi'$ ——关闭时，闸门底、闸门顶至弧心连线与水平线的夹角，可从设计图上量得；

$\alpha$ ——弧形闸门移动角度。

以若干  $\alpha$  值，计算  $e$  和  $e'$ ，点绘关系线。从线上查出  $e$  为 0.1、0.2、…、 $m$  时的  $e'$  值，以  $B$  点为零点按各  $e'$  值刻划在岸墙或墩墙上，并注记相应  $e$  值，这样即可据以观测闸门开启高度。也可用图解法求得。

### B. 0.3 开高、弧长相关法

此法是在闸门开闭的情况下，在闸门顶沿以上边墙和墩墙上闸门槽内侧，在 1m 弧长范围内，以闸门顶边为零点向上，每 1cm 或每 2cm 弧长作一刻划。并标明数字，然后沿闸门内侧边缘每 1cm 弧长作一刻划，自上而下注明米数，这样闸门开高观读标尺即做好（见图 B. 0.3），当闸门启闭时，可以读出开启弧长，用弧长与开高的对照表，查读开高数。

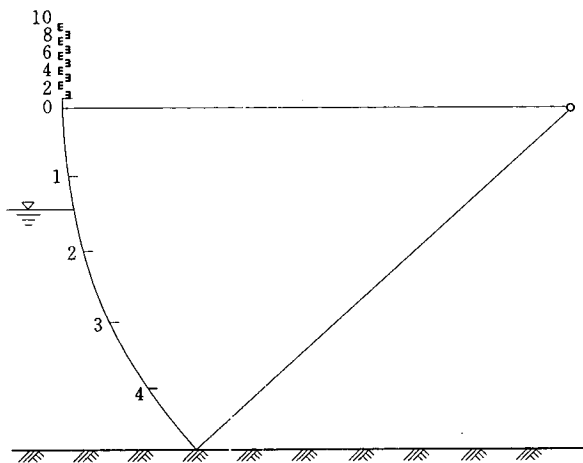


图 B. 0.3 弧形闸门弧长尺度刻划示意图

弧长与开启高度关系式为：

$$L \approx 0.017453R \left[ \alpha - \sin^{-1} \left( \frac{C-e}{R} \right) \right]$$

式中  $L$ ——弧长，m；

$R$ ——弧形闸门半径，m；

$C$ ——闸门轴中心高度，m；

$e$ ——开启高度，m；

$\alpha$ ——闸门底边同支点的连线与水平线的夹角，(°)。

## 附录 C 堰流流量系数计算方法和图表

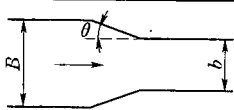
表 C-1 宽顶堰侧收缩系数  $\epsilon'$  表 ( $\alpha=0.1$ )

P/H	0.0	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0
b/B	$\epsilon'$					
0.1	0.913	0.930	0.939	0.950	0.959	0.964
0.2	0.913	0.930	0.939	0.950	0.959	0.964
0.3	0.915	0.932	0.941	0.951	0.960	0.965
0.4	0.918	0.936	0.946	0.955	0.963	0.968
0.5	0.929	0.945	0.953	0.960	0.967	0.971
0.6	0.940	0.954	0.961	0.967	0.973	0.976
0.7	0.955	0.964	0.970	0.974	0.979	0.982
0.8	0.968	0.976	0.979	0.983	0.986	0.988
0.9	0.984	0.988	0.990	0.992	0.993	0.994
1.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

表 C-2 宽顶堰侧收缩系数  $\epsilon'$  表 ( $\alpha=0.19$ )

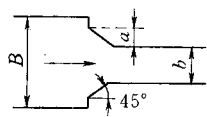
P/H	0.0	0.25	0.5	1.0	2.0	3.0
b/B	$\epsilon'$					
0.1	0.836	0.868	0.887	0.904	0.922	0.931
0.2	0.836	0.868	0.887	0.904	0.922	0.931
0.3	0.836	0.872	0.890	0.907	0.924	0.933
0.4	0.845	0.882	0.898	0.915	0.930	0.938
0.5	0.864	0.896	0.911	0.925	0.939	0.945
0.6	0.886	0.913	0.925	0.937	0.950	0.955
0.7	0.911	0.933	0.941	0.951	0.961	0.966
0.8	0.940	0.953	0.958	0.965	0.972	0.977
0.9	0.970	0.976	0.978	0.983	0.986	0.988
1.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

表 C-3 八字形翼墙平底宽顶堰流量系数



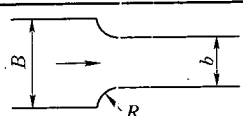
$b/B$	$\cot\theta$				
	0	0.5	1.0	2.0	3.0
0.0	0.320	0.343	0.350	0.353	0.350
0.1	0.322	0.344	0.351	0.354	0.351
0.2	0.324	0.346	0.352	0.355	0.352
0.3	0.327	0.348	0.354	0.357	0.354
0.4	0.330	0.350	0.356	0.358	0.356
0.5	0.334	0.352	0.358	0.360	0.358
0.6	0.340	0.356	0.361	0.363	0.361
0.7	0.346	0.360	0.364	0.366	0.364
0.8	0.355	0.365	0.369	0.370	0.369
0.9	0.367	0.373	0.375	0.376	0.375
1.0	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385

表 C-4 斜角形翼墙平底宽顶堰流量系数



$b/B$	$a/b$				
	0	0.025	0.05	0.1	$\geq 0.2$
0.0	0.320	0.335	0.340	0.345	0.350
0.1	0.322	0.337	0.341	0.346	0.351
0.2	0.324	0.338	0.343	0.348	0.352
0.3	0.327	0.341	0.345	0.349	0.354
0.4	0.330	0.343	0.347	0.351	0.356
0.5	0.334	0.346	0.350	0.354	0.358
0.6	0.340	0.350	0.354	0.357	0.361
0.7	0.346	0.355	0.358	0.361	0.364
0.8	0.355	0.362	0.364	0.366	0.369
0.9	0.367	0.371	0.372	0.374	0.375
1.0	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385

表 C-5 圆角形翼墙平底宽顶堰流量系数



b/B	R/b						
	0	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	≥0.50
0.0	0.320	0.335	0.342	0.349	0.354	0.357	0.360
0.1	0.322	0.337	0.344	0.350	0.355	0.358	0.361
0.2	0.324	0.338	0.345	0.351	0.356	0.359	0.362
0.3	0.327	0.340	0.347	0.353	0.357	0.360	0.363
0.4	0.330	0.343	0.349	0.355	0.359	0.362	0.364
0.5	0.334	0.346	0.352	0.357	0.361	0.363	0.366
0.6	0.340	0.350	0.354	0.360	0.363	0.365	0.368
0.7	0.346	0.355	0.359	0.363	0.366	0.368	0.370
0.8	0.355	0.362	0.365	0.368	0.371	0.372	0.373
0.9	0.367	0.371	0.373	0.375	0.376	0.377	0.378
1.0	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385	0.385

C.0.1 临界水头比  $\left(\frac{H}{P}\right)_c$  的推求。

实用堰流量系数与堰型、堰的特征尺寸（如标准堰的定型水头  $H_d$ 、梯形堰的顶宽  $\delta$ 、驼峰堰的圆顶半径  $R$  等）、堰高（包括上游堰高  $P$  和下游堰高  $P_L$ ）、水头等因素有关。一定的堰型、特征尺寸、堰高（假定下游堰高很大，对堰流无影响）、流量系数  $C$  随  $H/P$  的变化规律如图 C.0.1 所示。为分析方便，图中还绘制了两组（根）曲线：一组是根据高堰的流量系数  $C_h$  与相对水头  $H/H_d$  关系换算的  $H/P-C_h$  关系（用虚线表示）；另一组是根据堰上游形成的临界流导出的  $H/P-C_c$  关系（以点划线表示），其表达式为：

$$C_c = 0.385 \left(1 + \frac{P}{H}\right)^{3/2} \quad (\text{C.0.1})$$

由图 C.0.1 可以看出，实际流量系数  $C$  为  $H/P-C_h$  和  $H/P-C_c$  两曲线所包络。 $C$  的最大值所相应的  $H/P$  值正好与两

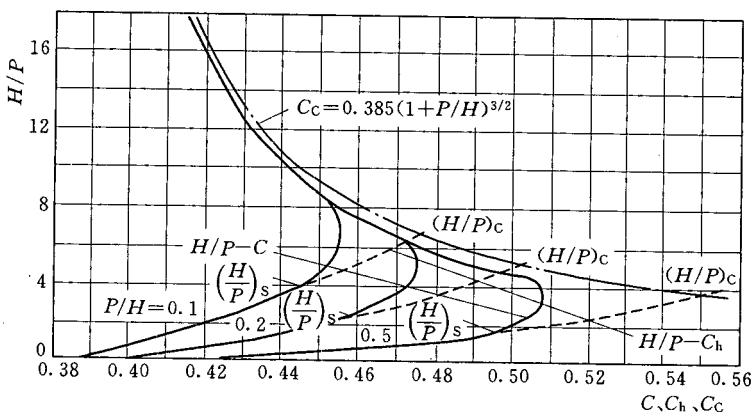


图 C.0.1 WES 堰  $H/P-C$ 、 $C_h$ 、 $C_c$  关系线图

曲线的交点所相应的  $H/P$  值一致。此  $H/P$  值在高、低堰界限判别中，以及流量系数、侧收缩系数计算中，均起重要作用，称为临界水头比  $\left(\frac{H}{P}\right)_c$ 。

由临界水头比的定义可知，其求法是对  $H/P-C_h$ 、 $H/P-C_c$  两关系曲线作图，取其交点所相应的  $H/P$ 。常用堰型 WES 堰（上游面直立）和克—奥堰的  $(H/P)_c$  值可直接由表 C.0.1 查取。

表 C.0.1 WES 堰和克—奥堰的  $(H/P)_c$  值表

$P/H_d$		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0
$(H/P)_c$	WES 堰	6.9	5.2	4.4	4.0	3.7	3.5	3.3	3.2
	克—奥堰	7.1	5.4	4.7	4.2	4.0	3.7	3.4	3.2

### C.0.2 高、低堰界限

随水头的增大，一定堰高 ( $P$ 、 $P_L$ ) 的流量系数关系线  $H/P-C$  开始偏离 (小) 于高堰流量系数关系线  $H/P-C_h$  的  $P/H$ ，即为高、低堰界限，如图 C.0.1 所示。此界限与堰型、相对上游堰高 (标准堰为  $P/H_d$ ，梯形堰为  $P/\delta$ ，驼峰堰为  $P/R$ ) 和堰高比  $P_L/P$  有关，用临界水头比来综合反映堰型和相对上游堰高。

高、低堰界限用式 (C.0.2-1) 和式 (C.0.2-2) 表示:

$$\left(\frac{H}{P}\right)_s = 0.4\left(\frac{H}{P}\right)_c \quad (\text{C.0.2-1})$$

$$\left(\frac{H}{P_L}\right)_s = \left(0.2 + 0.2\frac{P_L}{P}\right)\left(\frac{H}{P}\right)_c \quad (\text{C.0.2-2})$$

式中  $\left(\frac{H}{P}\right)_s$ 、 $\left(\frac{H}{P_L}\right)_s$  ——上游堰高界限和下游堰高界限。

溢流条件同时满足:

$$\frac{H}{P} \leq \left(\frac{H}{P}\right)_s \quad (\text{C.0.2-3})$$

$$\frac{H}{P_L} \leq \left(\frac{H}{P_L}\right)_s \quad (\text{C.0.2-4})$$

即为高堰溢流, 否则属低堰溢流 (分别简称为高堰和低堰)。

### C.0.3 低堰流量系数计算

当  $\frac{H}{P} \leq \left(\frac{H}{P}\right)_c$  时:

$$C = C_h - \Delta C \quad (\text{C.0.3-1})$$

$$C' = C_0 + \gamma(C - C_0) \quad (\text{C.0.3-2})$$

当  $\frac{H}{P} > \left(\frac{H}{P}\right)_c$  时:

$$C = C_c - \Delta C' \quad (\text{C.0.3-3})$$

$$C' = C_0 + \gamma(C - C_0) \quad (\text{C.0.3-4})$$

$$\Delta C = \alpha \Delta C_m \quad (\text{C.0.3-5})$$

$$\Delta C' = \beta \Delta C_m \quad (\text{C.0.3-6})$$

式中  $C_h$  ——高堰流量系数;

$C$  ——下游堰高无影响的流量系数;

$C'$  ——上、下游堰高都有影响的流量系数;

$C_0$  ——宽顶堰流量系数, 为  $H/P$  的函数, 由图 C.0.3-1 查取;

$\Delta C$ 、 $\Delta C'$  ——流量系数差值;

$\Delta C_m$  ——流量系数最大差值, 为  $\left(\frac{H}{P}\right)_c$  的函数, 由图 C.0.3-

2 查取;

$\alpha$ 、 $\beta$ ——变系数, 为  $\frac{H}{P}/\left(\frac{H}{P}\right)_c$  的函数, 由图 C.0.3-3

查取;

$\gamma$ ——变系数, 为  $\frac{H}{P}/\left(\frac{H}{P}\right)_c$  和  $P_L/P$  的函数, 由图

C.0.3-4 查取。

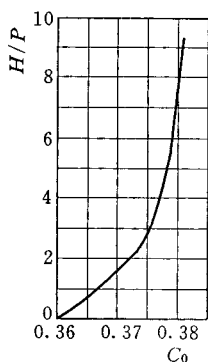


图 C.0.3-1  $H/P-C_0$   
关系线图

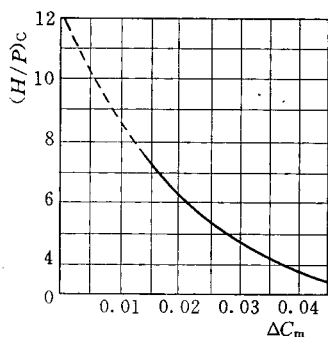


图 C.0.3-2  $\left(\frac{H}{P}\right)_c-\Delta C_m$   
关系线图

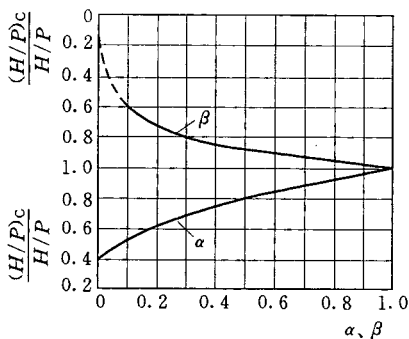


图 C.0.3-3  $\frac{H/P}{(H/P)_c}-\alpha, \frac{(H/P)_c}{H/P}-\beta$   
关系线图



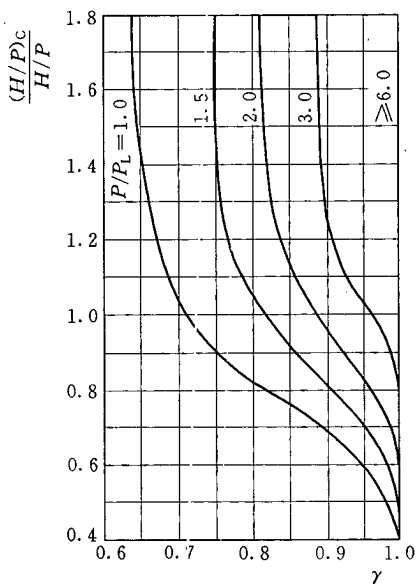


图 C.0.3-4  $\frac{H/P}{(H/P)_c} - \frac{P_L}{P} - \gamma$  关系线图

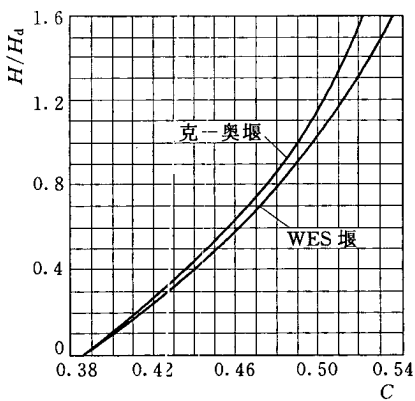


图 C.0.3-5 克-奥堰、WES 高堰  
 $H/H_d - C$  关系线图

表 C.0.3 低堰流量系数计算表

序号										
1	$H$ (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
2	$H/P$	0	1	2	3	4	5	6	7	8
3	$C_h$	0.385	0.413	0.438	0.461	0.481	0.498	0.513	0.523	0.532
4	$C_c$				0.592	0.538	0.506	0.485	0.470	0.459
5	$(H/P)_c$						5.2			
6	$\Delta C_m$						0.026			
7	$\frac{H}{P} / \left(\frac{H}{P}\right)_c$	0	0.19	0.38	0.58	0.77	0.96	1.15	1.35	1.54
8	$\alpha$	0	0	0	0.17	0.44	0.92			
9	$\beta$							0.50	0.20	0.13
10	$\left(\frac{H}{P}\right)_c / \frac{H}{P}$							0.87	0.74	0.65
11	$\Delta C(\Delta C')$	0	0	0	0.004	0.011	0.024	0.013	0.005	0.003
12	$C$	0.385	0.413	0.438	0.457	0.470	0.474	0.472	0.465	0.456
13	$C_0$	0.360	0.367	0.373	0.375	0.377	0.378	0.379	0.381	0.382
14	$C - C_0$	0.025	0.046	0.065	0.082	0.093	0.096	0.098	0.084	0.074
15	$P$	1	1	1	0.960	0.845	0.725	0.680	0.655	0.640
16	$C'$	0.385	0.413	0.438	0.454	0.456	0.448	0.442	0.436	0.429

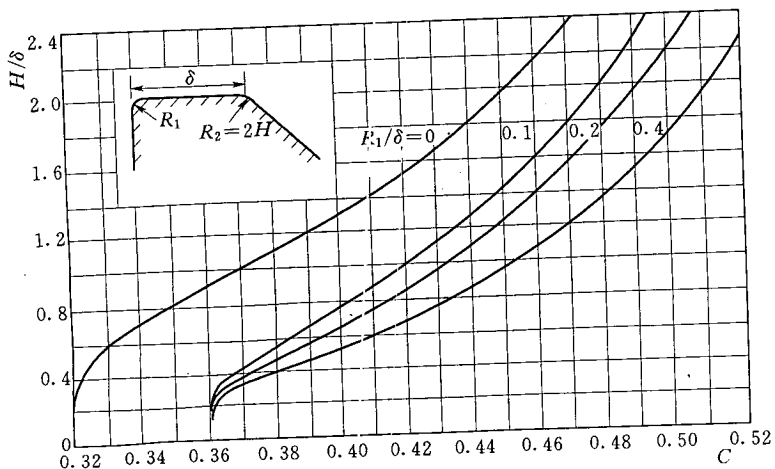


图 C.0.3-6 梯形高堰  $H/\delta-R_1/\delta-C$  关系线图

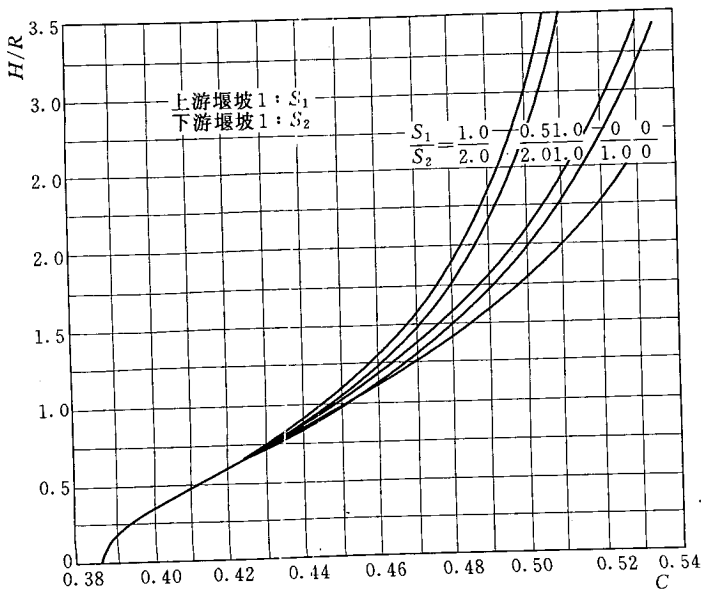


图 C.0.3-7 圆顶高堰  $H/R-S_1/S_2-C$  关系线图

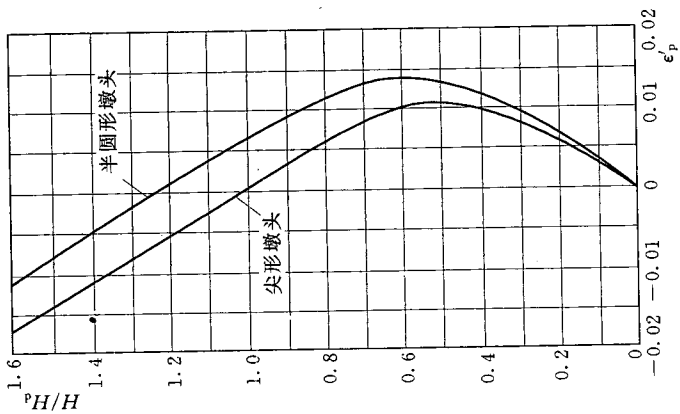


图 C.0.3-12 高实用堰  $H/H_d - \epsilon_p$  关系线图

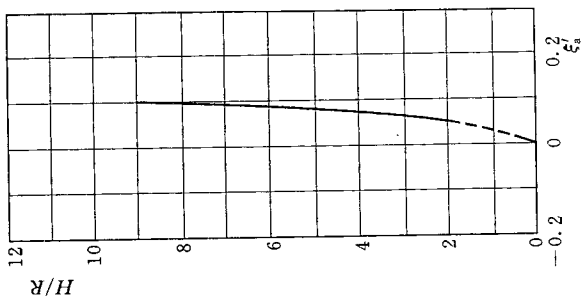


图 C.0.3-13 高实用堰  $H/R - \xi_n$  关系线图

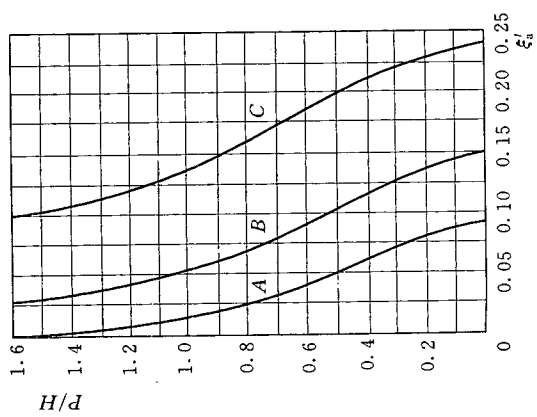


图 C.0.3-14 低堰  $P/H - \xi_n$  关系线图

## 附录 D 管、洞临界坡计算和流量 系数查算表

D. 0.1 管、洞的临界坡可用式 (D. 0.1-1) 计算:

$$i_c = \frac{gx_c}{\alpha C_c^2 b_c} \quad (\text{D. 0.1-1})$$

其中  $C_c = \frac{1}{n} R_c^{1/6} \quad (\text{D. 0.1-2})$

式中  $i_c$ ——临界坡;

$C_c$ 、 $x_c$ 、 $b_c$ ——临界水深  $d_c$  时的谢才系数、湿周和水面宽;

$\alpha$ ——动能修正系数, 一般取 1.0;

$n$ ——洞壁糙率, 查表 D. 0.1-1。

矩形和圆形断面的临界水深计算方法如下:

矩形断面:  $d_c = \sqrt[3]{\frac{q}{g}}$ 。

圆形断面: 根据  $Q/D^{5/2}$  查图 D. 0.1。

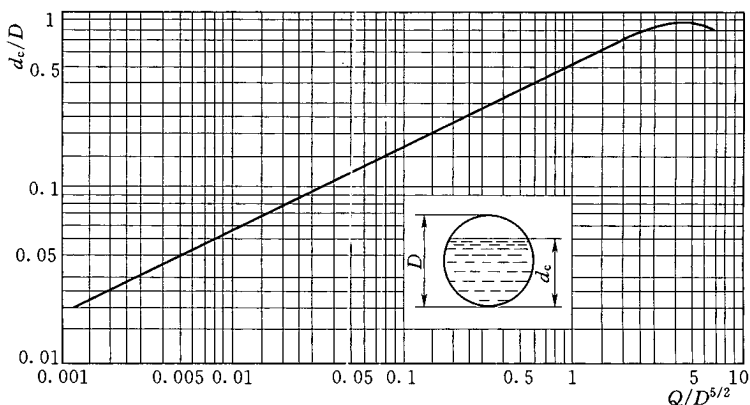


图 D. 0.1 圆形断面明槽中临界水深求解图

$x_c$ 、 $b_c$ 、 $R_c$  按表 D.0.1-2 中的公式计算。

**D.0.2** 流量系数查算表见表 D.0.1-1、表 D.0.1-2 和表 D.0.2-1~表 D.0.2-4。

**表 D.0.1-1 隧洞边壁糙率  $n$**

材料和施工情况	糙率 $n$	材料和施工情况	糙率 $n$
抹光的水泥抹面	0.012	开凿岩石面补加补砌	0.030~0.045
不抹光的水泥抹面	0.014	砖砌(不抹面)	0.015
光滑的混凝土护面	0.015	砂浆砌块石(不抹面)	0.017
粗糙的混凝土护面	0.017	条石衬护	0.014~0.020
平整的喷浆护面	0.015	干砌块石	0.020~0.025
不平整的喷浆护面	0.018	钢板衬护	0.010~0.014
开凿岩石面的水泥喷浆	0.020~0.035	刨光的木板	0.0121~0.015
开凿岩石面的喷混凝土	0.020~0.030	没有刨光的木板	0.0128~0.0157

**表 D.0.1-2  $x_c$ 、 $b_c$ 、 $R_c$  公式计算表**

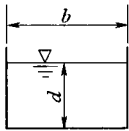
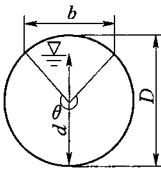
断面形状	断面示意图	$x_c$	$b_c$	$R_c$	$a_c$
矩形		$b + 2bC$	$b$	$bdC / (b + 2dC)$	$bdC$
圆形		$\frac{D}{2} \theta$	$2 \sqrt{d_c(D - d_c)}$	$\frac{D}{4} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta}\right)$	$\frac{D^2}{8} (\theta - \sin \theta)$

表 D.0.2-1 方管、圆管管路局部水头损失系数

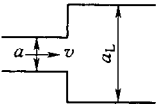
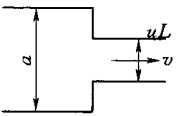
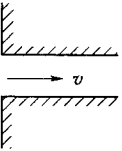
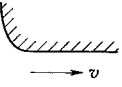
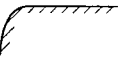
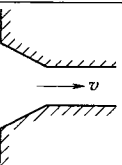
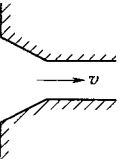
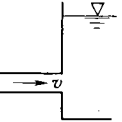
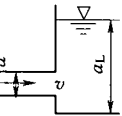
局部水头损失公式 $h_1 = \zeta \frac{v^2}{2g}$ , 式中 $v$ 如图说明		
名称	简图	局部水头损失系数 $\zeta$
断面突然扩大		$\zeta = \left(1 - \frac{a}{a_L}\right)^2$
断面突然缩小		$\zeta = 0.5 \left(1 - \frac{a}{a_L}\right)^2$
进口		直角 $\zeta = 0.50$
		角稍加修圆 $\zeta = 0.20$
		喇叭形 $\zeta = 0.10$
		流线形 (无分离绕流) $\zeta = 0.05 \sim 0.06$
		切角 $\zeta = 0.25$
出口		流入水库 $\zeta = 1.0$
		流入明渠 $\zeta = \left(1 - \frac{a}{a_L}\right)^2$

表 D.0.2-1 (续)

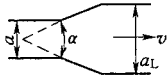
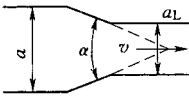
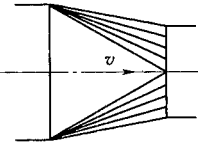
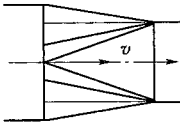
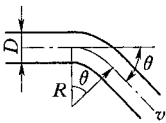
名称	简图	局部水头损失系数 $\zeta$																																												
圆形渐扩管		$\zeta = K \left( \frac{a}{a_L} - 1 \right)^2$ <table border="1" data-bbox="450 289 963 388"> <thead> <tr> <th><math>\alpha</math></th> <th>8°</th> <th>10°</th> <th>12°</th> <th>15°</th> <th>20°</th> <th>25°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>K</td> <td>0.14</td> <td>0.16</td> <td>0.22</td> <td>0.30</td> <td>0.42</td> <td>0.62</td> </tr> </tbody> </table>	$\alpha$	8°	10°	12°	15°	20°	25°	K	0.14	0.16	0.22	0.30	0.42	0.62																														
$\alpha$	8°	10°	12°	15°	20°	25°																																								
K	0.14	0.16	0.22	0.30	0.42	0.62																																								
圆形渐缩管		$\zeta = K_1 K_2$ <table border="1" data-bbox="450 498 963 598"> <thead> <tr> <th><math>\alpha</math></th> <th>10°</th> <th>20°</th> <th>40°</th> <th>60°</th> <th>80°</th> <th>100°</th> <th>140°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>K_1</math></td> <td>0.40</td> <td>0.25</td> <td>0.20</td> <td>0.20</td> <td>0.30</td> <td>0.40</td> <td>0.60</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="450 619 963 718"> <thead> <tr> <th><math>a_L/a</math></th> <th>0</th> <th>0.10</th> <th>0.20</th> <th>0.30</th> <th>0.40</th> <th>0.50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>K_2</math></td> <td>0.41</td> <td>0.40</td> <td>0.38</td> <td>0.36</td> <td>0.34</td> <td>0.30</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="450 723 963 809"> <thead> <tr> <th><math>a_L/a</math></th> <th>0.60</th> <th>0.70</th> <th>0.80</th> <th>0.90</th> <th>1.00</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>K_2</math></td> <td>0.27</td> <td>0.20</td> <td>0.16</td> <td>0.10</td> <td>0</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	$\alpha$	10°	20°	40°	60°	80°	100°	140°	$K_1$	0.40	0.25	0.20	0.20	0.30	0.40	0.60	$a_L/a$	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	$K_2$	0.41	0.40	0.38	0.36	0.34	0.30	$a_L/a$	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00		$K_2$	0.27	0.20	0.16	0.10	0	
$\alpha$	10°	20°	40°	60°	80°	100°	140°																																							
$K_1$	0.40	0.25	0.20	0.20	0.30	0.40	0.60																																							
$a_L/a$	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50																																								
$K_2$	0.41	0.40	0.38	0.36	0.34	0.30																																								
$a_L/a$	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00																																									
$K_2$	0.27	0.20	0.16	0.10	0																																									
矩形变圆形渐缩管		$\zeta = 0.05$ (相应于中间断面的流速水头)																																												
圆形变矩形渐缩管		$\zeta = 0.10$ (相应于中间断面的流速水头)																																												
圆形缓弯管		$\zeta = \left[ 0.131 + 0.1632 \left( \frac{D}{R} \right)^{7/2} \right] \left( \frac{\theta}{90^\circ} \right)^{1/2}$																																												



表 D. 0. 2 - 1 (续)

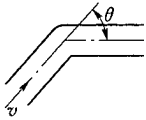
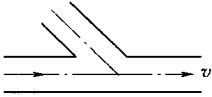

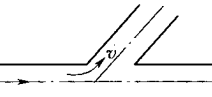

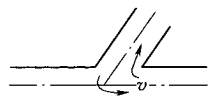
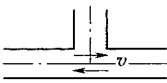

名称	简 图	局部水头损失系数 $\zeta$														
圆形急弯管		$\zeta = 0.946 \sin^2 \left( \frac{\theta}{2} \right) + 2.05 \sin^4 \left( \frac{\theta}{2} \right)$ <table border="1" data-bbox="451 290 954 389"> <thead> <tr> <th><math>\theta</math></th> <th>15°</th> <th>30°</th> <th>45°</th> <th>60°</th> <th>90°</th> <th>120°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>0.022</td> <td>0.073</td> <td>0.183</td> <td>0.365</td> <td>0.99</td> <td>1.86</td> </tr> </tbody> </table>	$\theta$	15°	30°	45°	60°	90°	120°	$\zeta$	0.022	0.073	0.183	0.365	0.99	1.86
	$\theta$	15°	30°	45°	60°	90°	120°									
$\zeta$	0.022	0.073	0.183	0.365	0.99	1.86										
斜分岔		$\zeta = 0.05$														
		$\zeta = 0.15$														
		$\zeta = 1.0$														
		$\zeta = 0.5$														
		$\zeta = 3.0$														
直角分岔		$\zeta = 0.1$														
		$\zeta = 1.5$														

表 D.0.2-1 (续)

名称	简图	局部水头损失系数 $\zeta$										
直角分流		$\zeta_{1-2} = 2$ $h_{r_{1-2}} = 2 \frac{v_2^2}{2g}$ $h_{r_{1-3}} = 2 \frac{v_1^2 - v_3^2}{2g}$										
平板门		<p style="text-align: center;">闸门后为无压流</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th><math>e/D</math></th> <th>0.1~0.7</th> <th>0.8</th> <th>0.9</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\zeta</math></td> <td>0.05</td> <td>0.04</td> <td>0.02</td> <td><math>\zeta</math> 值相应于收缩断面流速水头, 不包括门槽损失</td> </tr> </tbody> </table>	$e/D$	0.1~0.7	0.8	0.9		$\zeta$	0.05	0.04	0.02	$\zeta$ 值相应于收缩断面流速水头, 不包括门槽损失
$e/D$	0.1~0.7	0.8	0.9									
$\zeta$	0.05	0.04	0.02	$\zeta$ 值相应于收缩断面流速水头, 不包括门槽损失								
门槽		$\zeta = 0.05 \sim 0.20 \text{ (一般用 } 0.1)$										
弧形门		<p style="text-align: center;"><math>\zeta</math> 值对应于收缩断面流速水头</p> <p style="text-align: center;">闸门后为无压流 <math>e/D</math></p>										

表 D.0.2-1 (续)

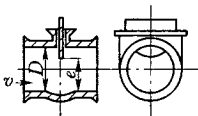
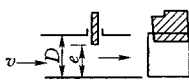
名称	简图	局部水头损失系数 $\zeta$						
闸 阀		圆形管道						
			有压圆形管管流闸门不同开启情况 (全开时 $\frac{e}{D} = 1$ )					
			$D$ (mm)	15	20~50	80	100	150
			$\zeta$	1.5	0.5	0.4	0.3	0.1
			$D$ (mm)	200~250	300~450	500~800	900~1000	
			$\zeta$	0.08	0.07	0.06	0.05	
			各种开启度时					
			$e/D$	7/8	6/8	5/8	4/8	
			$\frac{v_{\text{开启}}}{v_{\text{总}}}$	0.948	0.856	0.740	0.609	
			$\zeta$	0.15	0.26	0.81	2.06	
$e/D$	3/8	2/8	1/8					
$\frac{v_{\text{开启}}}{v_{\text{总}}}$	0.466	0.315	0.159					
$\zeta$	5.52	17.0	97.8					
闸 板		方形管道						
			有压方形管管流闸门不同开启情况					
			$e/D$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
			$\zeta$	193	44.5	17.8	8.12	4.02
			$e/D$	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
			$\zeta$	2.08	0.95	0.39	0.09	0

表 D.0.2-2 输水洞平板闸门垂直收缩系数

$e/D$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
$e$	0.615	0.620	0.625	0.630	0.645	0.660	0.690	0.75	0.81

注：D 为闸孔高度，当闸门全开时，具有平顺曲线的进口，可取  $e=1.0$ 。

表 D.0.2-3 输水洞弧形闸门垂直收缩系数

$e/D$	$C/D$			
	1.20	1.40	1.60	1.80
0.10	0.700	0.725	0.800	0.870
0.20	0.700	0.720	0.770	0.812
0.30	0.695	0.720	0.747	0.775
0.40	0.690	0.715	0.732	0.775
0.50	0.690	0.715	0.730	0.745
0.60	0.700	0.720	0.730	0.741
0.70	0.715	0.725	0.735	0.745
0.80	0.740	0.750	0.762	0.770
0.90	0.800	0.805	0.805	0.810

注 1：C 为弧形闸门转轴离底闸的高度。  
 注 2：本表适用于  $R/D \approx 2.0$ ，R 为弧形半径，D 为闸孔高度。  
 注 3：当闸门全开时，具有平顺曲线的进口，取  $e=1.0$ 。

表 D.0.2-4 隧、涵洞的系数  $\mu_0$  值

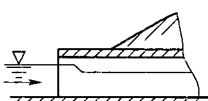
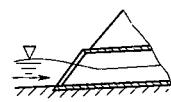
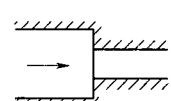
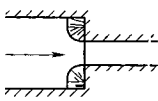
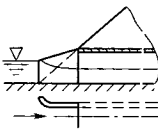
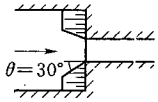
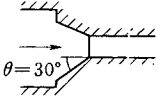
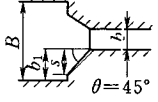
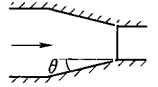
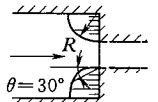
编号	涵洞进口形式	$\mu_0$
1	洞口伸出 斜坡以外 	0.300
2	洞口倾斜 同堤坡一致 	0.305
3	具有垂直 的侧墙 	0.310

表 D.0.2-4 (续)

编号	涵洞进口形式	$\mu_0$												
4	具有坡度为 1:1~1:1.5 的圆锥体翼墙 	0.315												
5	具有和涵洞轴线平行的翼墙 	0.330												
6	具有坡度为 1:1.5 的八字形翼墙 ( $\theta=30^\circ$ ) 	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>H/D</math></th> <th><math>&gt;0.6</math></th> <th><math>&lt;0.6</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\mu_0</math></td> <td>0.335</td> <td>0.360</td> </tr> </tbody> </table> <p><math>D</math> 为涵洞高度; <math>H</math> 为洞前水头</p>	$H/D$	$>0.6$	$<0.6$	$\mu_0$	0.335	0.360						
$H/D$	$>0.6$	$<0.6$												
$\mu_0$	0.335	0.360												
7	具有垂直的八字形翼墙 ( $\theta=30^\circ$ ) 	0.361												
8	具有垂直的八字形翼墙 ( $\theta=45^\circ$ ) 	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>S/b_1</math></th> <th>0.2</th> <th>0.4</th> <th>0.6</th> <th>0.8</th> <th>1.0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\mu_0</math></td> <td>0.333</td> <td>0.340</td> <td>0.344</td> <td>0.346</td> <td>0.348</td> </tr> </tbody> </table>	$S/b_1$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	$\mu_0$	0.333	0.340	0.344	0.346	0.348
$S/b_1$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0									
$\mu_0$	0.333	0.340	0.344	0.346	0.348									
9	具有与两岸相接的垂直八字形翼墙 	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\theta</math></th> <th><math>15^\circ</math></th> <th><math>30^\circ</math></th> <th><math>45^\circ</math></th> <th><math>60^\circ</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\mu_0</math></td> <td>0.371</td> <td>0.362</td> <td>0.348</td> <td>0.333</td> </tr> </tbody> </table>	$\theta$	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$\mu_0$	0.371	0.362	0.348	0.333		
$\theta$	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$										
$\mu_0$	0.371	0.362	0.348	0.333										
10	具有坡度为 1:1.5 的圆形翼墙 ( $\theta=30^\circ$ ) 	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>H/D</math></th> <th><math>&gt;0.4</math></th> <th><math>&lt;0.4</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\mu_0</math></td> <td>0.335</td> <td>0.365</td> </tr> </tbody> </table> <p><math>D</math> 为涵洞高度; <math>H</math> 为洞前水头</p>	$H/D$	$>0.4$	$<0.4$	$\mu_0$	0.335	0.365						
$H/D$	$>0.4$	$<0.4$												
$\mu_0$	0.335	0.365												

## 附录 E 水工建筑物法流量 不确定度估算实例

### E. 0. 1 基本数据

本例是江苏省某闸某次实测流量不确定度的估算。

该闸是平底平板门闸, 淹没孔流, 上游水位  $Z=5.98\text{m}$ , 下游水位  $Z_1=4.13\text{m}$ , 闸孔宽  $3.0\text{m}$ , 闸门开启高度  $e=0.60\text{m}$ , 闸底高程为  $1.40\text{m}$ 。测流计算流量系数 27 次。流量系数相关因素用  $e/\Delta Z$  表示。闸孔宽度测量估计最大偏差为  $0.02\text{m}$ , 水尺零点高程测量距离为  $0.5\text{km}$ , 上游水尺零点高程为  $3.91\text{m}$ , 水尺当时读数为  $2.07\text{m}$ , 随机不确定度为  $\pm 0.01\text{m}$ 。下游水尺零点高程为  $1.83\text{m}$ , 同时水尺读数为  $2.30\text{m}$ , 随机不确定度规定为  $\pm 0.01\text{m}$ 。闸门开启高度用启闭机读数表示。根据实际情况随机不确定度规定为  $\pm 0.01\text{m}$ , 开启高度零点高程测量估计最大偏差为  $0.01\text{m}$ , 认为刻划无误差。

### E. 0. 2 单项水力因素不确定度估算

1 由于是淹没孔流, 流量计算公式为:

$$Q = \mu_m b e \sqrt{\Delta z}$$

其中

$$\mu_m = \mu_1 \sqrt{2g}$$

式中  $\mu_m$  ——淹没孔流流量系数。

2 闸孔宽系统不确定度应可为最大估计偏差的  $1/2$ , 即  $E'_b = \pm 0.01\text{m}$ , 闸孔宽测量的系统不确定度为:

$$X''_b = \pm \frac{E'_b}{b} \times 100 = \pm \frac{1}{3} \times 0.01 \times 100 = \pm 0.3$$

3 闸门开启高度不确定度估算: 闸门开启高度即随机不确定度, 根据实际情况给定  $E_e = \pm 0.01\text{m}$ , 测尺刻划不确定度为零, 开启高度零点高程测量的系统不确定度为估计最大偏差的  $1/2$ , 即  $E''_{e_2} = \pm 0.005\text{m}$ 。闸门开启高度综合不确定度为:

$$E_e = \pm \sqrt{0.01^2 + 0.005^2} = \pm 0.011\text{m}$$

闸门开启高度综合百分不确定度为：

$$X_e = \pm \frac{E_e}{e} \times 100 = \pm \frac{0.011}{0.60} \times 100 = \pm 1.83$$

4 水位差不确定度估算如下：

水位差  $\Delta Z = Z - Z_L = 5.98 - 4.13 = 1.85\text{m}$ 。上、下游水尺观测情况一致， $E_Z = E_{Z_L}$ ，水尺读数随机不确定度根据实际情况给定，即  $E'_{z_3} = \pm 0.01\text{m}$ 。由于水尺读数为  $2.07\text{m}$ ，按刻划允许误差  $1\%$  计水尺刻划的系统不确定度  $E''_{z_L} = 0.001/2.07 = 0.0002\text{m}$ （下游水尺刻划的不确定度相同）。

水尺零点高程测量的系统不确定度为：

$$E''_{z_1} = \pm 2m \sqrt{L} = \pm 2 \times 10 \sqrt{0.5} = \pm 14\text{mm} = \pm 0.014\text{m}$$

水位的综合不确定度为：

$$E_Z = \pm \sqrt{E'^2_{z_3} + E'^2_{z_1} + E''^2_{z_L}} = \pm \sqrt{0.01^2 + 0.014^2 + 0.0002^2} = \pm 0.017\text{m}$$

水位差的综合不确定度为：

$$E_{\Delta Z} = \pm \sqrt{2} E_Z = \pm \sqrt{2} \times 0.017 = \pm 0.024\text{m}$$

水位差的综合百分不确定度为：

$$X_{\Delta Z} = (\pm E_{\Delta Z} / \Delta Z) \times 100 = (\pm 0.024 / 1.85) \times 100 = \pm 1.30$$

5 流量系数不确定度估算如下：

计算标准差为：

$$S_{\mu m} = \pm 2 \left[ \frac{\sum \left( \frac{\mu_{mi} - \bar{\mu}_{mi}}{\mu_{mi}} \right)^2}{N - 2} \right]^{1/2} = \pm \left( \frac{0.15298}{27 - 2} \right)^{1/2} = \pm 0.078$$

$N = 27 > 20$ ，故参数  $t = 2.0$

式中  $\mu_{mi}$ ——第  $i$  个流量系数值；

$\bar{\mu}_{mi}$ ——相应于第  $i$  个流量系数在关系线上查得的值。

流量系数的不确定度为：

$$X_{\mu m} = \pm tS_{\mu m} \left\{ \frac{1}{N} + \frac{[\ln(e/\Delta Z_i) - \overline{\ln(e/\Delta Z)}]^2}{\sum_{i=1}^{27} [\ln(e/\Delta Z_i) - \overline{\ln(e/\Delta Z)}]^2} \right\}^{1/2} \times 100$$

$$= \pm 2.0 \times 0.078 \left( \frac{1}{27} + \frac{0.191}{41.43} \right)^{1/2} \times 100 = \pm 3.18$$

式中  $\ln(e/\Delta Z_i)$  ——流量系数相关因素的自然对数值，采用某次的测验值；

$\overline{\ln(e/\Delta Z)}$  ——27次的平均值。

### E. 0.3 单次流量综合百分不确定度估算

$$X_Q = \pm \left[ X_{\mu m}^2 + X_b^2 + X_c^2 + \left( \frac{1}{2} X_{\Delta Z} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$= \pm \left[ 3.13^2 + 0.3^2 + 1.83^2 + \left( \frac{1}{2} \times 1.3 \right)^2 \right]^{1/2} = \pm 3.70$$



## 附录 F 各类测流堰的基本 性能和适用条件

### F.0.1 各类标准堰的基本性能

1 可利用的水头差。薄壁堰需要足够的水头差，以保证有完全通气的自由水舌；宽顶堰可用于较小的水头差，允许淹没条件下运用的堰可用于更小的水头差。

2 测流范围和应用范围。薄壁堰用于施测小流量，其中三角形薄壁堰用于施测更小的流量。宽顶堰和三角形剖面堰用于施测大流量。平坦 V 形堰的测流幅度更大。几种标准堰的测流范围及应用限制见表 F.0.1。

表 F.0.1 几种标准形式的测流堰测流范围及应用限制表

堰槽形式	尺 寸				流量幅度 (m <sup>3</sup> /s)		计算流量的 不确定 度范围 (%)	几何限制	非淹没限 (%)
	堰高 P (m)	堰宽 b (m)	边坡	堰长 L (m)	最大	最小			
三角形 薄壁堰	$\theta=90^\circ$				1.80	0.001	1~3	$H/P \leq 2$	水舌下通气
矩形薄壁堰 (全宽)	0.2	1.0			0.67	0.005	1~4	$H/P \leq 2$	水舌下通气
	1.0	1.0			7.70	0.005	1~4	$H/P \leq 2$	水舌下通气
矩形薄壁堰 (收缩)	0.2	1.0			0.45	0.009	1~4	$H/P \leq 2$	水舌下通气
	1.0	1.0			4.90	0.009	1~4	$H/P \leq 2$	水舌下通气
锐缘矩形 宽顶堰	0.2	1.0		0.8	0.26	0.030	3~5	$H/1.5$	80
	1.0	1.0		2.0	3.07	0.130	3~5	$H/1.5$	80
圆缘矩形 宽顶堰	0.15	1.0		0.6	0.18	0.030	3~5	$H/1.5$	66
	1.0	1.0		5.0	3.13	0.100	3~5	$H/1.5$	66

表 F.0.1 (续)

堰槽形式	尺 寸				流量幅度 (m <sup>3</sup> /s)		计算流量 的不确定 度范围 (%)	几何限制	非淹没限 (%)
	堰高 <i>P</i> (m)	堰宽 <i>b</i> (m)	边坡	堰长 <i>L</i> (m)	最大	最小			
V形宽顶堰	0.3	$\theta=90^\circ$		1.5	0.45	0.007	3~5	$1.5 < H/P < 3.0$	80
	0.15	$\theta=150^\circ$		1.5	1.68	0.010	3~5	$1.5 < H/P < 3.0$	80
三角形剖面堰	0.2	1.0			1.17	0.010	2~5	$H/P \leq 3.5$	70
	1.0	1.0			13.0	0.010	2~5	$H/P \leq 3.5$	70
平坦V形堰	0.2	4.0	1:10		5.00	0.014	2~5	$H/P \leq 2.5$	74
	1.0	80.0	1:40		630	0.055	2~5	$H/P \leq 2.5$	74

注：H—上游总水头；P—堰高。

3 河槽形状和尺寸。矩形薄壁堰的尺寸相对于行近河槽的尺寸相差大时，行近河槽的形状对水流无显著影响。若相差不大，则行近河槽应是矩形断面，且其长度不应少于最大水头时溢流水舌宽的10倍。宽顶堰最好在矩形河槽中使用，但如果有一段两倍最大水头长度的平坦光滑的行近河槽，在非矩形河槽上，也能取得很好的精度。

下游河槽的形状和尺寸，在自由出流条件下是无关重要的，只是在淹没出流时，必须在整个测流范围内与给定的非淹没限进行校核。

4 泥沙和漂浮物。有悬移质输移的河流上，应尽量避免使用薄壁堰，除非上游设置拦污栅。应特别避免在有漂浮物的河流上使用三角形薄壁堰。宽顶堰和三角形剖面堰可通过一定的漂浮物。

5 河槽坡度和水流条件。坡降小于1/1000或弗劳德数小于0.25的河流，适用于任何类型的堰。坡降在1/1000~1/500或

弗劳德数在 0.25~0.50 之间的河流，测流槽的输沙能力比测流堰好。坡降大于 1/250 或弗劳德数在 0.50~0.60 之间的河流，若没有泥沙输移，还可考虑使用堰槽测流；若有泥沙输移且  $Fr > 0.6$  时，若无特殊需要，不宜用堰槽测流。

6 运行和维护。测流槽上不能有水草生长。若薄壁堰的堰缘受损或上游竖直壁面生长藻苔，可能导致较大的系数误差。堰槽如果在冰点以下运用，对测流堰特别是薄壁堰比对测流槽的影响要小一些。

### F.0.2 测流堰的适用条件

1 薄壁堰的堰口加工要特别注意，它适合在有良好保养条件、能保证堰顶不致受损的环境下使用，宜用于需要高精度的实验室、径流实验小区、人工渠道以及抽水试验和工矿城市排污等。三角形薄壁堰特别适合于施测非常小的流量。三角形和矩形薄壁堰都可预制构件安装。

2 宽顶堰相对来说工程量大，但坚固耐用，宜用于能够定期清淤除草的矩形河槽上。圆缘宽顶堰的测流范围和淹没比都比较恰当，适合中小型河流。V 形宽顶堰的测流幅度大，既适用于小河，也适用于落差小的人工渠道。

3 三角形剖面堰适用于水头损失小和测流精度要求高的天然河道。它有一个良好的非淹没限，测流范围大，坚固耐用；且可在挟沙河流上运行。这种堰型在相当大的水头和流量范围内，流量系数是一常数。从其测流精度看，也表明它是一个良好的测流建筑物。

4 平坦 V 形堰的测流幅度非常大，既能测低水，也能测高水，特别适用于暴涨暴落的山溪性河流。因为它不需要做补充的低水测流设施，所以当用水平堰顶施测低水流量达不到要求时，宜采用这种堰型。但因是三维堰，施工质量较难掌握。

## 附录 G 测流槽的选用及安装

### G.1 测流槽的选用

#### G.1.1 测流槽概述

相对于测流堰而言，测流槽用于测量较大的流量，更适合于有泥沙输移的河道，特别是有推移质输沙的河段。河道的下游，包括水跃河段的防护性工程无疑要结合主体建筑物一并加以考虑。测流槽按喉道长短可分为长喉道槽和短喉道槽。长喉道槽按喉道截面形状又分为矩形测流槽、梯形测流槽和 U 形喉道测流槽；短喉道槽可分为巴歇尔测流槽和孙奈利测流槽。

1 矩形测流槽。矩形测流槽的尺度较易于适应河道的大小，很容易安装在矩形河槽上。矩形喉道测流槽建筑比较简单，有侧收缩的、底收缩或驼峰形的和既有侧收缩又有底收缩的三种类型。

2 梯形测流槽。梯形测流槽适用的场合与矩形测流槽相似，适用于在较大水流变幅内精度要求较高的测流情况。

3 U 形喉道测流槽。U 形喉道测流槽主要用于污水管道和其他未满管流的水流测量。

4 巴歇尔测流槽和孙奈利测流槽。巴歇尔测流槽和孙奈利测流槽能在自由流和淹没流条件下运行，可用于水流稳定或缓慢变化的明渠和灌渠上。巴歇尔测流槽的一个最大优点是在高淹没系数且低水头损失的情况下，能正常、满意地运行，故该槽尤其适用于河床比降小的渠道的水流测量。但该槽设计复杂，且喉道和出口段全长均应加深河床。

#### G.1.2 槽型选择的因素

槽型选择应考虑以下几个因素：用途、被测流量的变化范围、有效水头、非淹没极限及最大淹没系数、河道或渠道特性、通过测流槽所能允许的水头损失总量、测验精度、水流是否挟沙以及建设费用等。

### G.1.3 测流槽选择的综合标准

测流槽型式的选用取决于各级流量的下游条件、最大流量、容许的水头损失和比率  $h/b$  以及河流挟带泥沙情况。

1 长喉道槽可在含沙量较大的河流上应用，这种槽由于喉道长，相对来说不太经济，施工技术要求也高，且只能用于自由出流。梯形长喉道槽比矩形长喉道槽的测流幅度大而且精度高。

2 短喉道槽的设计要能够在自由流和淹没流条件下运行，可用于水流稳定或缓慢变化的明渠和灌渠上。短喉道槽比长喉道槽的投资低，其中应用较广的巴歇尔测流槽有一定的排沙（悬移质）能力，且特别适用于没有足够水头可被利用的平原排水渠道，在淹没比小于 95% 时，都可利用。孙奈利测流槽结构简单，可做成预制构件安装，流量计算简便，有推广应用价值。

## G.2 设置地址选择

### G.2.1 地址选择原则

测流槽应设置在河槽的顺直段，避开局部障碍物、粗糙或不平整的河床。

### G.2.2 地址选择条件

- 1 是否有足够长的规则的顺直河段。
- 2 现有流速分布的均匀性。
- 3 避开陡峭的河槽。
- 4 避开由于测流建筑物引起的上游水位升高影响。
- 5 下游条件（包括潮汐、其他河流汇合、泄水闸、水坝和季节性杂草生长的影响等）。
- 6 待建的建筑物基础的不透水性和打桩、灌浆或其他防渗措施的必要性。
- 7 为了把最大流量控制在河槽内而建造防洪堤的必要性。
- 8 堤岸的稳定性和天然河槽的修整和护岸的必要性。
- 9 行近河槽断面的均匀性。
- 10 风的影响。风对河流、测流堰或测流槽的水流会有一定

的影响，特别是当水流宽浅和盛行风横向水流时更严重。

11 水草生长。

12 泥沙输移。

### G.2.3 地址取舍

如果站址不能满足测流或行近河槽内的流速分布不满足要求，可对河槽进行人工改造，否则该地址应舍弃。

## G.3 测流槽安装要求

### G.3.1 一般要求

全部测流装置包括行近槽、槽体建筑物和下游河道三部分，其中任一部分的条件都对整个测流精度有影响。另外，还有一些特性，如槽体表面的光洁度、河道的断面形状及河道的糙率都应该予以考虑。

### G.3.2 行近槽

行近槽应符合下列要求：

1 顺直、均匀、比降不变，在最大流量时长度为最大水面宽的5~10倍。

2 河床比降应能保证亚临界流水流状态，弗劳德数  $Fr$  应小于0.5，最大流量时不大于0.7。

### G.3.3 槽体

1 测流槽中心线应与河渠轴线重合，两边呈对称布置。垂直流向的导流板应竖直，迎水壁面应光滑平整。各部分装置应准确牢固，且不致因水流和温度的变化而腐蚀变形。

2 应做好基础处理，保证安装质量，不致因各种原因发生倾覆、滑动、断裂、沉陷和漏水的情况。为防止可能发生的下游冲刷，可建造消能池。消能池以下的河床和岸边，应衬砌。

3 喉道应经常保持良好的表面光洁度，其距喉道上下游各  $H_{\max}/2$  距离以内应平整光滑。现场浇筑的槽体，其喉道应采用优质水泥抹面，或用优质不腐蚀材料贴面。

### G.3.4 下游条件

建筑物下游的水流条件对尾水位影响很大，并会影响测流槽的运用。长喉道测流槽应保证在各种运用条件下，不会变成淹没流。在河流中建造测流槽会改变水流条件，引起建筑物下游的冲刷，并可能使较远的下游河床淤积，特别是在低流量的时候，可能会抬高正常水位而淹没测流槽，因此，应及时清除这些淤积。

### G.3.5 竣工测量

1 堰槽安装后应进行竣工测量，经验收合格后方可使用。竣工测量应计算各有关尺度的平均值和它们的95%置信限的标准差。前者用于流量计算，后者用来推求流量计算的不确定度，各部位尺寸的允许偏差应符合下列规定：

- 1) 喉道底宽小于0.2%，且不大于0.01m。
  - 2) 喉道水平表面的水平偏差不大于 $L$ 的0.1%。
  - 3) 喉道两竖直表面之间的宽度不大于0.2%，且不大于0.01m。
  - 4) 喉道底部的平均纵、横向坡度不大于0.1%。
  - 5) 喉道斜面坡度不大于0.1%。
  - 6) 喉道长度不大于的1%。
  - 7) 喉道以上的进口渐变段柱面或锥面的偏差不大于0.1%。
  - 8) 喉道以上的进口渐变段水平表面的水平偏差不大于0.1%。
  - 9) 喉道以下的出口渐变段水平表面的水平偏差不大于0.3%。
  - 10) 其他竖直或倾斜表面的平面或曲面偏差不大于1%。
  - 11) 衬砌的行近河槽底部的平面偏差不大于0.1%。
- 2 巴歇尔槽各部位尺寸安装的允许偏差，应符合下列要求：
- 1) 喉道底面纵横向平均坡度的偏差不大于0.1%；
  - 2) 上游进口渐变段长度的偏差不大于0.1%；
  - 3) 下游进口渐变段长度的偏差不大于0.3%；
  - 4) 其他垂直和倾斜面上的平面或曲线偏差不大于1%。

## 附录 H 测流槽测流计算实例

### H.1 梯形喉道单次测流计算实例

#### H.1.1 第一次逼近

1 已知各测量值:  $m = m_a = 1.00$ ,  $b = 0.50\text{m}$ ,  $B = 2.00\text{m}$ ,  $P = 0.15\text{m}$ ,  $L = 3.00\text{m}$ ,  $g = 9.81\text{m/s}^2$ ,  $h = 1.00\text{m}$ 。

2 根据行近河槽的形状, 用式  $A = (h + P)[B + m_a(h + P)]$  计算行近河槽横断面面积, 列入表 H.1.1 中(下同)。

3 计算  $\eta = \sqrt{(1 + m^2)} - m$ 。

4 用已知的  $\eta$ 、 $L$ 、 $b$  和  $h$  值由式 (5.3.2-2) 计算  $C_D$  值。

5 对给定的  $h$  值, 假定  $mH_{c_e}/b_e \approx mh/b$ , 从图 5.3.2-2 查得  $C_s$ , 作为第一近似值。

6 假定  $h_e \approx h$  和  $b_e \approx b$ , 用  $C_s bh/A$  查图 5.3.2-2, 求得  $C_v$  的初始值。

7 根据上面的  $C_D$ 、 $C_s$  和  $C_v$  值, 用式 (5.3.2-1) 计算  $Q$  的第一个近似值。

表 H.1.1 用逐步逼近法计算梯形测流槽的流量

参 数	近 似 值		
	第一次	第二次	第三次
行近河槽面积 $A$ ( $\text{m}^2$ )	3.968	—	—
数字系数 $\eta$	0.4142	—	—
流量系数 $C_D$	0.9718	—	—
$mH_{c_e}/b_e$	2.000	2.030	2.031
形状系数 $C_s$	2.435	2.445	2.450
$C_s b_e h_e/A$	0.3069	0.3081	0.3088
流速系数 $C_v$	1.023	1.023	1.023
流量 $Q$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	2.062	2.072	2.076



## H. 1.2 第二次逼近

完成第一近似计算后,  $C_s$ 、 $C_v$  和  $Q$  值需要修正。 $C_D$  用它的最后值。计算步骤如下:

1 由式 (5.3.2-5) 求得  $mH_{C_e}/b_e$ 。

2 从图 5.3.2-2 查得新的  $C_s$  值。

3 算出  $C_s b_e h_e/A$  值(假定  $b_e \approx b$ ,  $h_e \approx h$ ), 并由图 5.3.2-2 查得新的  $C_v$  值。

4 将  $C_D$  值同修正过的  $C_v$  和  $C_s$  值一起代入式 (5.3.2-1), 求得一个更准确的  $Q$  值。

H. 1.3 重复进行上述步骤, 直至求得充分准确的  $Q$  值为止。

## H. 2 U形喉道喉道单次测流计算实例

H. 2.1 第一次逼近计算步骤如下:

1 已知各测量值:  $D=0.40\text{m}$ ,  $L=1.00\text{m}$ ,  $D_a=0.60\text{m}$ ,  $P=0.0\text{m}$ ,  $g=9.81\text{m/s}^2$ ,  $h=0.25\text{m}$ 。

2 计算行近河槽横断面面积。如果横断面是 U 形的, 用式 (5.4.2-4) 或式 (5.4.2-6) 计算, 并列入表 H.2.1 中(下同)。

3 对一个给定的  $h$  值, 假定  $H_{C_e}/D_e \approx h/D$ , 并从图 5.4.2-1 查得  $C_u$ , 作为第一近似值。

4 计算  $C_u Dh/A$ , 并从图 5.3.2-2 查得  $C_v$ , 作为第一近似值。

5 由式 (5.4.2-3) 算出  $C_D$ 。

6 用求得的  $C_v$  值, 由式 (5.4.2-5) 计算  $H_{C_e}$ 。

表 H. 2.1 用逐步逼近法计算 U 形测流槽的流量

参 数	近 似 值		
	第一次	第二次	第三次
行近数河槽面积 $A$ ( $\text{m}^2$ )	0.1115	—	—
$H_{C_e}/D_e$	0.6250	0.6793	0.6834
形状系数 $C_u$	0.754	0.776	0.777

表 H. 2. 1 (续)

参 数	近 似 值		
	第一次	第二次	第三次
$C_u Dh/A$	0.6762	0.6959	0.6968
流速系数 $C_v$	1.133	1.144	1.144
流量系数 $C_D$	0.9673	—	—
有效总水头 $H_{Ce}$ (m)	0.2717	0.2734	0.2734
流量 $Q$ ( $m^3/s$ )	—	—	0.0736

**H. 2. 2** 完成第一次近似计算后,  $H_{Ce}$ 、 $C_v$  和  $C_u$  值需要修正。第二次近似计算步骤如下:

1 假定  $D_e \approx D$ , 计算  $H_{Ce}/D_e$ , 从图 5. 4. 2 - 1 查得新的  $C_u$  值。

2 计算  $C_u Dh/A$ , 从图 5. 3. 2 - 2 查得新的  $C_v$  值。

3 用式 (5. 4. 2 - 8) 计算新的  $H_{Ce}$  值。

**H. 2. 3** 重复进行上述的计算, 直至求得充分精确的数值为止。即当最后一次计算  $H_{Ce}$  与前一次计算误差满足设计需要时, 即停止逐步逼近法计算。

**H. 2. 4** 然后用式 (5. 4. 2 - 1) 算出流量。

### H. 3 巴歇尔槽流量计算实例

**H. 3. 1** 喉道宽  $b=1.0m$ , 水头  $h=0.6m$ , 其他尺寸见表 5. 5. 1 - 1 中的第 8 号槽。

**H. 3. 2** 流量计算用表 5. 5. 3 - 1 中的第 8 号槽所给出的公式:

$$Q = 2.397h^{1.569} = 2.397(0.6)^{1.569} = 1.075m^3/s$$

# 附录 I 糙率分析方法

## I.0.1 糙率的意义及分析途径

糙率是反映河床、岸壁形状的不规则性和表面粗糙程度的系数。在水流运动过程中，直接影响沿程能量损失的大小。在恒定非均匀流条件下，要扣除局部水头损失；在非恒定流中，应考虑加速比降的影响。河槽为复式断面，应划分主槽、滩地，分别分析糙率。糙率分析方法，主要用于比较稳定的河槽。

## I.0.2 资料的收集和选用

分析前，要深入进行河段查勘、测量；收集和测量河段地形图，包括邻近河段河流形势、纵断面等。现场调查河床、岸壁组成及植被生长情况。收集糙率分析所需历年水位、面积、流量等资料，全面了解测站特性。

原则上历年有比降观测的资料；除预留作验证流量外，都应参加分析用。不同水位级的分析点子不少于 30 次；河段形态或河床、岸壁有明显变化的测站，应按突变前后的不同时期划分时段，分别分析糙率。如果历年资料中比降观测资料不够，可集中观测几次较大洪水过程进行补充。应检查比降水尺设置、水位观测情况，检查断面测量及流速系数使用情况。

## I.0.3 糙率分析计算公式

峰顶和水流平稳期，用恒定非均匀流公式；洪水的涨水、落水过程，用非恒定流公式。但在非恒定流中，如果加速比降占水面比降的百分数较小时，可忽略不计。计算公式如下：

1 恒定非均匀流糙率按式 (I.0.3-1) 计算：

$$n = \frac{AR^{2/3}}{Q_s} \sqrt{\frac{\Delta Z + (1 - \xi)\alpha(V_0^2 - V_1^2)/2g}{L}} \quad (\text{I.0.3-1})$$

式中  $n$  ——河床糙率；

$Q_s$  ——恒定流流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$A$ ——断面面积,  $m^2$ ;

$R$ ——水力半径,  $m$ ;

$\Delta Z$ ——比降上、下断面水位差,  $m$ ;

$L$ ——比降上、下断面间距,  $m$ ;

$V_u$ 、 $V_l$ ——比降上、下断面平均流速,  $m/s$ ;

$\xi$ ——断面沿程水头损失系数;

$\alpha$ ——动能校正系数;

$g$ ——重力加速度, 取  $9.81m/s^2$ 。

2 非恒定流糙率按式 (I. 0. 3 - 2) 计算:

$$n = \frac{AR^{2/3}}{Q_s} \sqrt{\frac{1}{L} \left[ \Delta Z + (1 - \xi) \frac{\alpha(V_u^2 - V_l^2)}{2g} \right] - S_w} \quad (\text{I. 0. 3 - 2})$$

式中  $S_w$ ——加速比降, 近似用  $\frac{1}{g} \frac{\Delta V}{\Delta t}$  计算;

其他符号同式 (I. 0. 3 - 1)。

#### I. 0. 4 糙率关系曲线的确定

计算出糙率后, 可点绘糙率与水位 (其他水力因素) 的相关关系图。可根据需要, 将影响糙率大小和糙率曲线线型变化的主要因素和原因, 如河床、岸壁的组成, 床、壁表面粗糙程度及坡面平整情况, 植物生长情况等, 在图上进行标注, 便于定出关系线。

## 附录 J 粗糙河道糙率选用参考表

粗糙河床质河道和难于描述河床质河道的糙率选用表

表 J 粗糙河床质河道和难于描述  
河床质河道的糙率选用表

河床质的类型	河床质颗粒的大小 (mm)	糙率 $n$
砂砾	4~8	0.019~0.020
	8~20	0.020~0.022
小圆石和鹅卵石	20~60	0.022~0.027
	60~110	0.027~0.030
	110~250	0.030~0.035

## 附录 K 河槽糙率系数选用参考表

### K.0.1 资料来源

附录数据为铁路、公路系统早期编制。

### K.0.2 数据计算公式

表列数据均采用谢才—曼宁公式进行计算。

### K.0.3 名词术语含义

1 糙率系数：糙率  $n$  的倒数  $\frac{1}{n}$  称为为糙率系数。

2 河段特征：表中描述河段长度，宜为 4~8 倍河宽，但最小不少于 300m。描述所用名词含义如下：

1) 顺直、缓弯、急弯：调查断面上、下游 6 倍河宽内弯曲部分与顺直部分的交角：在  $20^\circ$  以下者为顺直；在  $20^\circ \sim 70^\circ$  为缓弯；大于在  $70^\circ$  者为急弯。

2) 扩散段与收缩段：扩散角或收缩角（岸边线与水流方向线之交角）：在  $15^\circ$  以下者为无扩散或无收缩；在  $15^\circ$  以上者为有扩散或有收缩。

冲淤—河床高程的冲淤变化：在 1m 以内者为略有冲淤；在 1~2m 者为有冲淤；在 2m 以上者为冲淤严重。

3 宽深比：单式断面采用历年最高观测水位的断面相应水面宽与平均水深之比值；复式断面采用平滩水位时主槽的水面宽与主槽平均水深的比值。

4 含沙量：历年最大日平均含沙量的平均值（内陆河流为最大含沙量）。

5 河床质分类及其平均粒径变幅：淤泥（0.005~0.05mm）、细沙（0.05~0.25mm）、中沙（0.25~1.0mm）、粗沙（1.0~2.5mm）、砾石（2.5~15mm）、卵石（15~75mm）块石、漂石（75~200mm）、大块石、大漂石（200mm 以上）。

6 线型特征及编号：糙率系数  $\frac{1}{n}$  随平均水深  $H$  而变的趋势有：

- 1) 正向—— $\frac{1}{n}$  随  $H$  的增加而增加；
- 2) 反向—— $\frac{1}{n}$  随  $H$  的增加而减少；
- 3) 弓形—— $\frac{1}{n}$  在中水位以下呈反向或常数，中水位以上为正向；
- 4) 常数—— $\frac{1}{n}$  为常数，与  $H$  的变化无关。

在表 K.0.4-2 ~ 表 K.0.4-5 中编号右下脚所注“正”、“反”、“弓”、“常”，系表示糙率系数随水深而变化的趋势。例如“1<sub>正</sub>”，即表示第 1 号正向趋势曲线。

#### K.0.4 选用方法

1 各地区河流原则上宜应用本地区的糙率系数表，但当本地区的糙率系数表缺乏某种分类而其他地区有相当者，亦可考虑按其他地区的数值试用。

2 本表列出了影响糙率的五种主要因素（河流特征、洪水坡度、河床质平均粒径、宽深比和含沙量，中南、华东地区只列河段特征和洪水坡度两种），选用时不能全部适合。因此，宜首先考虑河段特征和洪水坡度（西北地区还规定要考虑河床粒径）作为主要考虑因素。

3 线型有正向、反向、弓形、常数四种，应用时可参考下列条件选择：

- 1) 正向。平面上河段上下游顺直、整齐，或下游有扩散，或上游有支流汇入，有卡口等，以致高低水位的水流畅通条件相同。纵断面：平顺，高低水位的水面坡度变化幅度不大，或上游有石梁、急滩等，河床质较粗，河底糙率大。横断面上两岸多为土质或平整的石质，或仅生长稀疏的植物，高水位时边壁影响因素不显著。

西北地区选用条件还有：大中型河流河床冲淤变化不大，平水河床较稳定。高低水水面坡度变幅一般在50%以内，或洪水坡度较低水坡度平缓，大中型河流水面坡度较“反向”类为小。中小型河流河床质具有较大的粒径，多为卵石、块石及大块石；大中型河流受河床质影响较小，规律不甚明显。洪水期含沙量一般均较小（历年最大日平均含沙量平均值在 $100\text{kg}/\text{m}^3$ 以下）。中小型河流宽深比较“反向”类略大，河床断面较宽浅。

- 2) 反向。平面上河段虽较顺直，但下游多有收缩。如卡口、急弯等，或上下游有缓弯，以致中低水位的水流畅通条件较好，高水位时则畅通条件欠佳，有阻塞、回流现象。纵断面上一般有较大起伏，如下游有石梁、急滩等。洪水时坡度变化较大，高水时河底对糙率的影响较两岸为小。横断面上两岸对糙率的影响很大。如具有崩塌严重的土质河岸，或为不整齐的石质河岸，或河岸生长稠密的植物。

西北地区选用条件还有：大中型河流河床冲淤变化较大，平水河床不够稳定，具有部分半山区河流特征。洪水水面坡度较低水位的为陡。中小型河流河床质多为砾石、卵石，或为石质河床。洪水期含沙量较大。中小型河流宽深比较“正向”类为小，河床断面较窄深。

- 3) 弓形。河段中沙洲、边滩交替，或中水位以下下游有束水影响，当水位超过边滩、沙洲或束水影响的高度后，下游有明显的扩散。
- 4) 常数。平面上沙洲交替，在低水时多有收缩，高水时则较畅通。纵断面上一般起伏不平。横断面上两岸生有稠密杂草或岸壁凹凸不平。在各级水位情况下，河床各部分对水流阻力的总和接近于常数。



上述各条仅系一般规律，在选择线型时，应综合各种因素，深入研究分析。

4 同一类河段的糙率系数，表中每格第一、第二个数字是同一水深的上、下外包线的数值；第三个数字是平均数值；其上、下限的选择可参考下列条件：

- 1) 对于正向线型，洪水水面坡度较大者可选用较大的  $\frac{1}{n}$  值；水面坡度较小者可选用较小的  $\frac{1}{n}$  值。对于反向线型，水面坡度较小者可选用较大的  $\frac{1}{n}$  值；水面坡度较大者可选用较小的  $\frac{1}{n}$  值。
- 2) 河床质粒径较小（或河底平整光滑）者可选用较大的  $\frac{1}{n}$  值；粒径较大者，可选用较小的  $\frac{1}{n}$  值。
- 3) 宽深比较大者可选用较大的  $\frac{1}{n}$  值；宽深比较小者可选用较小的  $\frac{1}{n}$  值。
- 4) 西北地区还规定了洪水期含沙量较小者，可选用较大的  $\frac{1}{n}$  值；含沙量较大者，可选用较小的  $\frac{1}{n}$  值。

5 本表编制时，糙率系数  $\frac{1}{n}$  与平均水深  $H$  关系一般较明显。查用时，若计算平均水深超过表列范围，根据水深加大时糙率系数逐渐趋近常数的规律，可适当外延（西南地区允许按趋势外延一级，但延伸的数值不宜超过原级数值的 20%）。低水时因糙率变化较大，不宜向下延伸。

6 西北地区河流分类分为：大中型河流（实测最大洪峰流量在  $1000 \sim 2000 \text{m}^3/\text{s}$  以上）；中小型河流（实测最大洪峰流量在  $1000 \sim 2000 \text{m}^3/\text{s}$  以下）；中小型石质河床（泾河水系）；甘肃、青海、新疆地区内陆河流，河段基本上属于山区河流，全部

均系单式断面（表列糙率系数亦可适用于复式断面的河槽部分），但有部分测流河段位于山区中的宽阔地带，河床纵坡较为平缓，具有半山区甚至平原区河流的特征（例如西北地区表内的 1<sub>正</sub>、2<sub>正</sub>、3<sub>正</sub>、4<sub>反</sub>、5<sub>反</sub>、8<sub>正</sub> 等）。

7 表 K.0.4-1 中滩地糙率系数均定成常数，不再分正向、反向等。查用时，应确定断面是单式还是复式，划分河槽与河滩，河滩糙率系数可从表 K.0.4-1 中查用；如果左右岸均为滩地，两滩的植被及形态不同者，则两滩可分别查表。

8 表 K.0.4-1 主要用于中南、华东地区；其他地区滩地糙率一般未单独分析，可按滩地特征从表 K.0.4-2~表 K.0.4-5 中查用。也可考虑与表 K.0.4-1 配合使用。

表 K.0.4-1 中南、华东地区河滩洪水糙率系数表

编号	河滩特征描述	$\frac{1}{n}$ 值	采用资料 测站数	备注
1	平面不通畅，下游 40m 为斜向主槽的山嘴，束水严重。滩地纵面、横面不平整，有洼地、土埂等。滩宽与主槽宽之比值在 1 左右，长满中密之杂草、灌木（高约 1.0~1.5m）	15~4	1	本表相应 最大水深 为 3.0m
2	平面顺直，纵面、横面起伏不平，流向紊乱。长满茂密的杂草（高约 1.0m）及少量农作物的开阔河滩，滩宽与主槽宽的比值在 3.0 以上	15~5	5	
3	平面不通畅，下游 40m 为斜向主槽的山嘴，束水严重。滩地纵面、横面不平整，有洼地、土埂等。滩宽与主槽宽之比值在 1 左右，长满中密之杂草、灌木（高约 1.0~1.5m）；但束水程度较轻，滩宽与主槽宽之比值在 3.0 以上，生长矮小的玉米（约 0.3m 高）、棉花等农作物	20~12	2	
4	滩地平面、纵面及横面顺直整齐，且较窄（滩宽与主槽宽的比值一般在 1.0 以下），有稠密的较高植被（如竹林、柳树等）生长，约占滩宽的一半，其余生长稀疏或矮小农作物	28~16	4	
5	滩地平面、纵面及横面顺直整齐，且较窄（滩宽与主槽宽的比值在 1.0 以下），生长稀疏杂草	38~23	5	

表 K.0.4-2 西北地区河流洪水糙率系数表

河流类型	编号及线型特征	河段特征描述	洪水坡度变化范围 (%)	河床质平均粒径变化范围 (mm)	宽深比变化范围 B/H	含沙量变化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值							采用资料测站数
							1	1.5	2	3	4	6	8	
大 中 型 山 区	1正	河道平面顺直。河底为卵石夹砂，基本平顺。河槽近似矩形，两岸为砂及砾石，较为稳定	0.1~ 0.16		35~ 37	7~ 12	39~45 25 31	52~59 36 43						2
	2正	河道平面顺直。但上下游均有沙洲或边滩生有水草。砂夹卵石河床，河底基本平顺，略有小坑、石梁。冲淤变化不大，两岸稳定	0.03~ 0.12		37~ 63	3~ 26	36~39 18 20	42~48 22 26	54~ 30 38	66~ 38 45	77~ 48	84~ 48		3
	3正	河道平面顺直。砂夹卵石河床，河底基本平顺。冲淤变化很小，两岸为岸石	0.03		44	28		49~52 22 24	55~ 26 30	61~ 30 34	67~ 38	73~ 38		1
	4反	河段基本顺直或稍有弯曲，高水略呈弧形或测流段略有收缩，水流不够畅通。河床为卵石组成，河道中无沙洲及右滩低水无串流。主槽稳定稍有冲淤变化。河床纵坡平缓且平整，断面宽阔成梯形，一侧稍有边滩，无水生植物及杂草	0.06~ 0.1		43~ 80	12~ 131		55~48 45 38	41~ 31 27	33~ 27			2	

表 K.0.4-2 (续)

河流类型	编号及线型特征	河段特征描述	洪水坡度变化范围 (%)	河床质平均粒径变化范围 (mm)	宽深比变化范围 B/H	含沙量变化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值								采用资料测站数	
							1	1.5	2	3	4	6	8	10		12
山区 大 中 型	5反	测流段略有弯曲, 或测流段较顺直, 但高水时下游稍有束水影响, 水流不够畅通。河床冲淤变化较大, 河床纵坡略有凹凸不平。低水时无串流, 断面宽阔成梯形; 高水时能控制, 边滩很宽, 无水生植物	0.08~ 0.16		55~ 75	35~ 587	54~ 42	50~ 38	47~ 35	41~ 30	37~ 27	32~ 24				3
	6反	测流段基本顺直, 但上下游河道有不同程度弯曲或受支流顶托。高水的水流不定, 冲淤变化不大。河道中有沙洲及石滩。河床纵坡较前两类略陡, 断面窄深成矩形, 两岸多为岩石	0.15~ 0.4		10~ 23	7~ 646	49~ 30	47~ 28	45~ 26	41~ 23	37~ 21	32~ 18	29~ 17	27~ 15	26~ 14	5
	7反	测流段内顺直, 但上下游河道均有急弯, 高水时水流不很畅通。河床为卵石及块石组成, 主槽稳定, 冲淤变化很小。河床纵坡平顺, 断面为不对称三角形, 一侧边滩较宽, 生有杂草	0.15~ 0.2		12~ 33	14~ 792	70~ 48	63~ 39	56~ 32	41~ 25	35~ 23	33~ 21	32~ 20	31~ 19		2

表 K. 0.4-2 (续)

河流类型	编号及线型特征	河段特征描述	洪水坡度变化范围 (%)	河床质平均粒径变化范围 (mm)	宽深比变化范围 B/H	含沙量变化范围 (kg/m³)	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值							采用资料测站数	
							1	1.5	2	3	4	6	8		10
山区 中小型	8 <sub>正</sub>	河道平面顺直，主槽稳定。河床为卵石，河底平整。两岸为土坡，无崩塌现象。河槽较为宽浅	0.01~ 0.05		37~ 123	0.9~ 38	58~ 34	66~ 42	74~ 50	90~ 66					2
	9 <sub>正</sub>	河道平面顺直通畅，或略有扩散，或有滩岛及石嘴等。河床为卵石及块石，河底较为粗糙，河岸略受冲刷或长有杂草	0.16~ 0.44		55~ 44	77	41~ 29	46~ 34	49~ 37					4	
	10 <sub>正</sub>	河道顺直或略有扩散，河中有滩岛及孤石、石嘴等；河底为块石，粗糙度很大，小水时激起浪花，两岸稳定，多为砂夹卵石及岩石	0.15~ 0.17		13~ 38	1.5~ 75	31~ 19	37~ 25	43~ 31	54~ 42				6	
	11 <sub>反</sub>	测流河段顺直，上下游河道弯曲成S形，两岸为陡坎、台地或缓坡。砾石河床。主槽稳定，冲淤变化不大，河床纵坡平缓，水流基本畅顺	0.13~ 0.23		17~ 18	212~ 733	69~ 49	62~ 44	54~ 38	39~ 27				2	

表 K.0.4-2 (续)

河流类型	编号及线型特征	河段特征描述	洪水坡度变化范围 (%)	河床平均粒径变化范围 (mm)	宽深比变化范围 B/H	含沙量变化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值							采用资料测站数	
							1	1.5	2	3	4	6	8		10
山区 中小型	12反	测流河段基本顺直或下游有河弯, 河床质为卵石, 河床稳定, 河中有沙洲, 冲淤变化较大。河底不够平顺整洁, 纵坡大于上类, 两岸为陡坎或一面为缓坡有边滩	0.1~ 0.29		22~ 36	4.9~ 590	54~ 40	52~ 38	50~ 36	47~ 35	45~ 34				3
	13反	测流段位于缓弯或基本顺直处, 上游河道弯曲严重, 下游有卡口收缩等束水现象。砂夹卵石或卵石河床, 主槽稳定, 冲淤变化较大, 纵坡不够平顺, 且纵坡较陡, 两岸为陡坎或一面为缓坡	0.2~ 0.4		11~ 46	44~ 663	53~ 35	46~ 30	41~ 25	34~ 22	28~ 20				7
	14反	测流河段基本顺直, 主槽稳定, 河床为卵石组成, 冲淤变化不大, 一岸为岩石陡岸, 一岸为长有小灌木的缓坡	0.36~ 0.5		10~ 21	18~ 67	40~ 28	36~ 25	32~ 22	27~ 17					2
	15反	测流河段顺直, 断面处收缩, 受下游人工建筑物的堵塞, 高水时水流不通畅。河床为卵石, 河底不够整洁平顺, 河床纵坡较陡	0.61		32	18	35~ 23	32~ 20	30~ 28						1

表 K. 0.4-2 (续)

河流类型	编号及线型特征	河段特征描述	洪水坡度变化范围 (%)	河床质平均粒径变化范围 (mm)	宽深比变化范围 B/H	含沙量变化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值							采用资料测站数	
							1	1.5	2	3	4	6	8		10
中小型	16反	河流顺直, 石板河床, 河底平顺, 两岸很陡, 且为稳定的岩石或砂夹卵石	0.15~ 0.26		15~ 8	736~ 777	68~ 48	59~ 41	51~ 35	44~ 32	42~ 30	37~ 27			2
	17反	河道略有弯曲, 或上下游有急弯。石板河床, 河底纵向有高低不平小台阶及部分卵石和块石。河槽窄深, 两岸为稳定的土坡或岩石	0.21~ 0.32		13~ 18	502~ 559	57~ 39	52~ 36	48~ 32	39~ 27	34~ 24				3
山区	18正	山区中小河流, 顺直段长度在10倍河宽(高水)以上。河床质为卵石, 冲淤变化小, 河底平整, 断面较宽浅	0.3~ 0.86		13~ 43		30~ 24	36~ 30	39~ 33	41~ 35	43~ 37				3
	19反	测段处于稍有扩散或顺直的河道, 顺直长度较短, 一般为河宽的3~5倍, 上下游均有弯道。河底有石梁沙洲等影响水流。河床质为卵石夹有砂石及块石, 冲淤变化不大, 断面近似槽形或梯形, 高水能控制	0.26~ 1.4		15~ 29	10~ 40	30~ 20	34~ 24	36~ 27	38~ 29	40~ 32				8

表 K. 0.4-2 (续)

河流类型	编号及线型特征	河段特征描述	洪水坡度变化范围 (%)	河床质平均粒径变化范围 (mm)	宽深比变化范围 B/H	含沙量变化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值								采用资料测站数	
							1	1.5	2	3	4	6	8	10		12
山区内 陆河 流	20正	山区中小河流的弯曲段或河流的顺直段, 但上下游有卡口、急滩等堵塞情况。河床为块石、卵石及砂石, 河底不平整, 断面窄深, 高水能控制	0.28~ 0.9		15~ 22		20~ 14	24~ 17	27~ 20	29~ 21	30~ 22					2
	21反	山区中等河流, 断面处于下游有峡口或礁石、构造物等, 使水流宽度受到收缩 (尤其高水位), 河道大致顺直。河床为砂夹卵石, 稍有冲淤。河底不太平整, 两岸为直立陡岸, 高水控制良好	0.4~ 0.7		9~ 34	20~ 35	60~ 46	50~ 36	41~ 29	34~ 24	27~ 21					5
	22反	山区中小河流, 断面与上类相同。处于收缩河段, 河道缓弯或上下游有弯道。河床为砂夹卵石, 不平整, 有冲淤变化。两岸为砂夹卵石或岩石陡岸, 高水控制良好	0.8~ 1.5		13~ 39	99~ 371	44~ 28	34~ 24	29~ 21	26~ 20						5



表 K.0.4-3 华北、东北地区河流洪水糙率系数表

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	河床质平 均粒径变 化范围 (mm)	宽深比变 化范围 B/H	含沙量变 化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值					采用资 料测 站数	
							1	2	3	4	6		8
山区	1反	河段顺直通畅。河槽稳定，冲淤不大，断面宽墩近似抛物线形，单式断面，河底平顺。河床质为砂夹卵石	0.11~ 0.26	55~ 120	54~ 64		62~ 40	59~ 40	54~ 36	49~ 33		3	
	2正	河段位于缓湾上或测流段顺直，上下游弯曲。河槽通畅稳定，冲淤不严重，一岸陡为岩石，一岸缓为砂夹卵石或土，断面为宽墩的不对称三角形单式断面。河底不够平整。河床质为砂夹卵石、或表面为细沙，底为岩石	0.1~ 0.2	1~ 50	31~ 70		77~ 51	65~ 43	55~ 37	49~ 33	41~ 27	37~ 25	4
	3反	河段位于缓湾上或测流段顺直，上下游弯曲。河槽通畅稳定，冲淤不严重，一岸陡为岩石，一岸缓为砂夹卵石或土，断面为宽墩的不对称三角形单式断面。河底不够平整。河床质为砂夹卵石、或表面为细沙，底为岩石。但洪水坡度及河床质粒径较大	0.2~ 0.36	30~ 130	31~ 96		52~ 35	44~ 29	37~ 25	33~ 22	27~ 18	25~ 17	8
	4反	河段顺直。河槽稳定，稍有冲淤，断面近似2反、3反类，但较窄深，单式断面。河床质为大卵石	0.14~ 0.3	50~ 230	22~ 75		52~ 33	47~ 31	45~ 31	42~ 28			5

表 K.0.4-3 (续)

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	河床质平 均粒径变 化范围 (mm)	宽深比变 化范围 B/H	含沙量变 化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值					采用资 料测 站数	
							1	2	3	4	6		8
山区	5反	情况与4反类似，两岸较陡，断面近似梯形，单式断面，断面窄深，低水时水声很大，有深坑不平整	0.19~ 0.34	30~ 45	11~ 30		76~ 42	50~ 30	42~ 26	36~ 22	24~ 15	16~ 10	2
	6反	河弯道窄深，不通畅。河底有大孤石或岩石突出，有深坑不平整，断面近似三角形，单式断面。河床质为大卵石	0.21~ 0.76	21~ 200	24~ 90		45~ 28	40~ 24	36~ 22	34~ 22	31~ 20		8
山前区	7反	河段有缓湾，上下游弯曲较大。河槽摆动不大，有沙洲，纵坡较大不平整，断面多为单式，略有冲淤，但不整齐。河床质为砂夹卵石，一般颗粒较大，河岸多为石质	0.22~ 0.66	6~ 120	53~ 280		54~ 31	35~ 22	32~ 18				8
	8反	河段基本顺直，上下游有缓弯。高低水位时，河槽均有摆动。槽内有沙洲，纵坡较平顺，断面多为宽浅带有变化，且有冲淤现象。河床质为砂夹卵石，颗粒较小	0.12~ 0.3	20~ 75	51~ 257		76~ 42	47~ 30	35~ 23	30~ 19			7
	9反	河段较顺直、宽敞。主槽摆动大，冲淤严重。河槽内有沙洲，低水成串流，河床纵坡由于回淤尚平整。河岸多为土质，单式断面，河床质为沙（此类接近平原区）	0.05~ 0.1	0.01~ 1	16~ 84		120~ 80	84~ 60	72~ 52				3

表 K.0.4-3 (续)

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	河床质平 均粒径变 化范围 (mm)	宽深比变 化范围 B/H	含沙量变 化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值					采用资 料测 站数
							1	2	3	4	6	
山前区	10 <sub>反</sub>	河段较顺直、宽敞。主槽摆动大，冲淤严重。河槽内有沙洲，低水成串流，河床纵坡由于回淤尚平整。河岸多为土质，单式断面，河床质为沙（此类接近平原区）。但洪水坡度、河床质粒径与漫溢宽度较大	0.09~ 0.24	0.25~ 2.5	67~ 395		80~	60~	52~			7
								52	40	35		
平原区	11 <sub>反</sub>	河段顺直整齐。河槽稳定，水流通畅，断面多为宽敞的抛物线形，冲淤变化严重。河床质为细沙，两岸为沙质黄土陡坎	0.02~ 0.03	0.05~ 0.25	64		102~	88~	80~	77~		1
								67	58	54	51	
	单式 断面	12 <sub>反</sub>	河段顺直整齐。河槽稳定，纵坡平缓，但水流不够通畅，断面较窄深，近似梯形，冲淤不严重。河床质为黏土或细沙，两岸为沙质黄土陡坎	0.007~ 0.013	0.005~ 0.5	10~ 29		89~	67~	52~	48~	36~
								59	42	35	31	24
	13 <sub>反</sub>	情况与12 <sub>反</sub> 类同，但水流通畅，河床质为淤泥细沙，水面坡的变幅较大	0.004~ 0.03	0.005~ 0.25	11~ 42		80~	62~	48~	36~	30~	6
							52	40	32	26	21	

表 K.0.4-3 (续)

河流类型	编号及线型特征	河段特征描述	洪水坡度变化范围 (%)	河床质平均粒径变化范围 (mm)	宽深比变化范围 B/H	含沙量变化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值					采用资料测站数	
							1	2	3	4	6		8
单式断面	14反	河段较顺直，整齐。河槽略有变动，水流通畅，断面近似梯形，冲淤变化严重。河床质为淤泥细沙	0.005~0.026	0.005~0.25	11~20		64~42	50~32	40~26	36~24		3	
							50~32	36~22	24~15				
复式断面 (河槽)	15反	河段不够顺直，上下游附近弯曲。河床中有稀疏水草，或水生植物，水流不够通畅，断面较窄，近似梯形。河床质为细沙，两岸为沙质黄土。	0.015~0.166	0.05~0.25	8~27		50~32	36~22	24~15			4	
							71~45	60~40	52~34	47~31	43~29		
复式断面 (河槽)	16反	河段顺直。河槽不够稳定，水流通畅，附近无沙洲、串流或其他束水影响，河槽本身较宽浅，有冲淤变化。河床质为细沙，两岸为沙质土壤	0.007~0.056	0.05~0.25	15~100		71~45	60~40	52~34	47~31	43~29	4	
							70~45	64~40	57~35	55~33	50~40		48~32
复式断面 (河槽)	17反	河段顺直，上下游有缓弯，或测流段有缓弯。河槽稳定，水流较通畅，河槽窄深，冲淤变化不大。河床质为黏土或细沙，两岸种庄稼	0.004~0.022	0.005~0.25	16~61		70~45	64~40	57~35	55~33	50~40	48~32	2
							70~45	64~40	57~35	55~33	50~40	48~32	

表 K.0.4-3 (续)

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	河床质平 均粒径变 化范围 (mm)	宽深比变 化范围 B/H	含沙量变 化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值					采用资 料测 站数
							0.5	1	1.5	2	3	
平原区 复式 断面 (河 滩)	18 <sub>反</sub>	河段顺直。河槽基本稳定，一般下游有束水影响，水流不够通畅，河槽较窄深，冲淤变化不大。河床质为细沙，两岸为黄土	0.033~ 0.085	0.05~ 0.25	19~ 80		45~ 30	40~ 26	36~ 24	32~ 22	30~ 20	3
	19	河段顺直通畅，平滩无植物的河滩。滩为槽宽的2倍以上，土质为沙土	0.25~ 0.35	0.05~ 0.25			52~ 42	42~ 33				1 (偏大)
	20	河段基本顺直通畅，上下游有缓弯。河滩平坦，上面种有农作物，滩与槽宽大致相同，土质为沙质土壤或黄土	0.004~ 0.055	0.005~ 0.5			37~ 12	36~ 6	28~ 9	18~ 6	18~ 12	4
	21	河段基本顺直，但不畅通。一般下游有束水影响，河滩起伏不平，上面种有农作物，或有稀疏树林。滩与槽宽大致相同，土质为沙质土壤	0.02~ 0.033	0.005~ 0.25				28~ 16	20~ 10			2

表 K.0.4-4 西南地区区河流洪水糙率系数表

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	河床质平 均粒径变 化范围 (mm)	宽深比变 化范围 B/H	含沙量变 化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值								采用资 料测 站数	
							1	2	3	4	6	8	10	15		20
山区河流	1正	河段顺直, 上游1km有滩。断面为窄浅U形。河床淤泥很深, 一岸为岩石, 一岸为土质	0.1~ 0.14		11.5	0~ 0.03	39~ 25	58~ 39								1
	2正	河段顺直, 水流通畅。上游1~2km处河中有滩, 或有其他河流汇入。河槽断面宽深呈U形。河床质为砾夹卵石或砾石, 两岸杂草丛生	0.05~ 0.12		13.6~ 16.7		31~ 21	35~ 22	42~ 28	52~ 34						2
	3正甲	河段顺直, 水流通畅。河底平整, 河床为宽浅型矩形河槽。河床质为砂砾卵石冲淤变化甚微。河床两边有水草生长, 低水则露出水面, 两岸为砂质土壤, 易于冲刷, 高洪水时有漫滩现象	0.03~ 0.08		4.5~ 70	0.44~ 1	6~ 4/5	34~ 22	45~ 30	54~ 37						3
	3正乙	河段较顺直, 上游有河沟汇入, 或上游有桥。河槽稳定, 断面为矩形。河底为岩石和卵石组成。低水时出现乱石和浅滩。一岸为岩石坡缘, 一岸为土质, 高水时水流畅通	0.08~ 0.48		14~ 52	2.3~ 26.8	30~ 19	35~ 23	41~ 27	47~ 31	58~ 38					4

表 K.0.4-4 (续)

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	河床质平 均粒径变 化范围 (mm)	宽深比变 化范围 B/H	含沙量变 化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值								采用资 料测 站数	
							1	2	3	4	6	8	10	15		20
山区河流	4E	河段尚顺直，下游略扩散。河槽稳定，河床为矩形。河底有起伏或深潭。河床质系卵石间有块石。一岸为岩石陡坡，或为土质陡坡，生长零星灌木或芦苇；一岸为砂卵石缓坡，高水时水流通畅	0.09~ 0.12		19~ 50	1.95~ 6.87	0.3~ 0.6	32~ 22	38~ 26	41~ 27	42~ 28	43~ 29	44~ 30			5
	5E	河段顺直，水流畅通，上游有石滩。河槽稳定高水位时有漫滩现象。河床质为卵石，冲淤甚少。河中间有青苔及苔丝。两岸系砂土夹卵石，普通洪水位以上两岸为灌木或柳树或荆条丛生，崩坍较少。间有黄泥夹沙土者则易崩坍	0.02~ 0.07		30~ 60	0.3~ 0.6	32~ 22	38~ 26	41~ 27	42~ 28	43~ 29	44~ 30			5	
	6E	河段顺直，水流通畅。河槽稳定断面为U形，高洪水位时有漫溢现象，低水时岸边有局部回流。纵断面有反坡现象。河底多为卵石夹砂砾，间有块状岩石。两岸为沙质土壤，表面杂草丛生，间有岩石或板岩连接	0.03~ 0.05		22~ 48	0.2~ 7	24~ 16	30~ 20	32~ 21	34~ 22	35~ 23	36~ 24			3	

表 K.0.4-4 (续)

河流类型	编号及线型特征	河段特征描述	洪水坡度变化范围 (%)	河床质平均粒径变化范围 (mm)	宽深比变化范围 B/H	含沙量变化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值								采用资料测站数		
							1	2	3	4	6	8	10	15		20	25
山区河流	7正	河道稳定, 一岸顺直, 一岸略扩散。主流略偏顺直一岸, 扩散岸有回流现象。纵坡陡, 水流急, 河床为大卵石, 断面为矩形	0.21	125		2.44~ 6.79											1
	8正	河段顺直或有缓弯, 水浑砾通畅, 下游1km内有险滩跌水或岩槽。河床质为卵石、砾石或岩石。两岸为风化岩层	0.03~ 0.09		4~ 11	0.9~ 2.9											3
	9正	河段在中高水位以上顺直, 低水位较弯曲。断面为V形的狭谷深槽, 水位变化幅度很大, 涨落水急剧。岩石河床无冲淤。两岸在高水位以下均为岩石, 高水位以上则有沙土、长杂草	0.03~ 0.06		4.2~ 8												
	10反	河段较顺直, 上下游有急弯。上游有急弯及沙坝, 下游有急滩及弯道。主槽较稳定, 冲淤变化小、断面为梯形。河床质为卵石夹砂, 两岸为岩石及卵石	0.028~ 0.031	39~ 70	20~ 42	4.12~ 50.2											2



表 K.0.4-4 (续)

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	河床质平 均粒径变 化范围 (mm)	宽深比变 化范围 B/H	含沙量变 化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值								采用资 料测 站数											
							1	2	3	4	6	8	10	15		20	25									
	11反甲	河段顺直。河槽稳定，为窄深型。下游2km有卡口，天然控制良好。河床质为砂夹卵石，及小砾石，两岸长有30%~40%杂草野树。河段内岩溶情况特别发育	0.14~ 0.17	5~ 25	15~ 18	3.64~ 4.13		58~	38	52~	31	48~	30	44~	30		1									
	11反乙	河段顺直，上下游有急弯，或仅下游有急弯或下游无弯而有低水位堆石坝（平均水深在4m以下），或下游无弯而高水位时有分流现象。河槽稳定。河底起伏很大，间有深潭。断面为窄深型单式断面。河床质为卵、砾石夹砂，冲淤变化不大。河槽两边长有水草，两岸多为沙土或岩石，冲刷崩坍现象较少	0.022~ 0.18	55~ 410	20~ 60	1.0~ 113		55~	37	45~	30	42~	28	41~	27	40~	26	38~	26	37~	25	34~	22	29~	19	7

山区河流

表 K. 0. 4 - 4 (续)

河流类型	编号及线型特征	河段特征描述	洪水坡度变化范围 (%)	河床质平均粒径变化范围 (mm)	宽深比变化范围 B/H	含沙量变化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值								采用资料测站数		
							1	2	3	4	6	8	10	15		20	25
山区河流	12反	河段顺直，上下游有缓弯，下游有急滩。纵断面起伏比较平滑顺直，测流段属平缓区段。河槽稳定，断面为宽浅矩形。主槽有摆动。河床为卵石组成，一岸为岩石及块石，一岸为较平坦之沙土卵石，有种植农作物及杂草丛生	0.12~ 0.34	35~ 130	23~ 46	2.03~ 116				38~ 26	35~ 23	34~ 22					5
	13反	河段紧接急滩且正当串沟流入主槽，水浪湍急，水声较大。下游有大片滩地，一岸有大石形成小股回流。纵断面起伏不平坡度较陡，高低水位坡度变化较大。断面为单式U形。河床为乱石及卵石，流向紊乱。河床不整齐，有冲淤变化，高水位时岸边略有崩塌	0.35~ 2.2		28~ 30												

表 K.0.4-4 (续)

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	河床质平 均粒径变 化范围 (mm)	宽深比变 化范围 B/H	含沙量变 化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值								采用资 料测 站数		
							1	2	3	4	6	8	10	15		20	25
山区 河流	14区甲	河段大致顺直。两岸为山岭屏障。上游河道曲折，下游急弯狭道并有浅滩，为高、中、低水控制。河底为泥沙。两岸为红黏土夹岩石，一岸较陡峭，一岸较缓，局部易坍塌。两岸并有竹林、灌木丛，中水位以上引起水流有局部漩涡及回流现象	0.04~ 0.05		13~ 79	0.02~ 1.6	42~ 31	36~ 25	33~ 22	32~ 21							1
	14区乙	河段尚顺直，下游两岸高山陡立，形成夹口状，有束水作用。河槽稳定为V形。河底靠两岸均为大乱石和石板石，低水时形成局部回流。河中为粗砂卵石。两岸在常洪水位以下是岩石，以上则是沙质土壤及黄土，表面长有杂草，一般高度在0.5~0.2m，十分密茂	0.06~ 0.1		6~ 8	0.3~ 1.2						28~ 18	23~ 15/19	18~ 12/15			1

表 K.0.4-4 (续)

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	河床质平 均粒径变 化范围 (mm)	宽深比变 化范围 B/H	含沙量变 化范围 (kg/m <sup>3</sup> )	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值								采用资 料测 站数	
							1	2	3	4	6	8	10	15		20
	15反	河段较顺直通畅, 上游有卡口急弯, 下游有回水影响。断面为单式、矩形, 纵断面起伏不平, 测流段位于缓坡度或倒坡段内。河床为卵石、砾石夹砂, 一岸为大卵石, 一岸为卵石砾石, 对糙率影响较大	0.2~ 0.47		18~ 37	1.1~ 2.77	62~37 42 25	35~34 23 22								4
山区 河流	16反	河段顺直, 下游1.5km内有卡口或急弯, 或纵断面起伏甚大。河槽稳定为窄深型。河床质为砂夹卵石、砾石或岩石组成。两岸为风化岩层或乱石堆积或沙质土, 但表面植物丛生, 表面粗化较甚	0.02~ 0.32	30~ 100	11~ 30	3.9~ 6.4	40~35 26 24	34~31 22 21	29~29 19 18	26~26 18 18	24~24 16 16				13	
	17反	河段顺直, 上游1km内有河流汇人, 或有桥梁影响, 河段起扩散作用, 下游500m内有急弯卡口, 水流在洪水以上受压缩。河槽稳定为U形, 河床质为砂砾及卵石。两岸为风化页岩, 生长杂草, 岩溶情况较发育	0.062~ 0.15	35~ 60	4~ 7	3.7~ 5	36~25 24 17	22~22 14 14	20~20 14 14	19~19 13 13					2	

表 K.0.4-4 (续)

河流类型	编号及线型特征	河段特征描述	洪水坡度变化范围 (%)	河床质平均粒径变化范围 (mm)	宽深比变化范围 B/H	含沙量变化范围 (kg/m³)	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值								采用资料测站数	
							1	2	3	4	6	8	10	15		20
山区河流	18反	河段缓弯, 河槽稳定, 大溜不稳, 低水位时有串沟, 下游有急弯急滩形成束口。上下游河中有突出孤石及深潭, 纵断面起伏不平。河底系岩石间有卵石。两岸高山峭壁, 多系岩石或沙质土壤, 丛生芦苇及灌木, 洪水时有冲刷坍塌现象	0.04~ 0.13		9~ 25	0.25~ 30	84~ 56	61~ 41	48~ 32	40~ 26	26~ 18	19~ 13	17~ 11			3
	19反	河段缓弯, 上下游有急弯, 下游有急滩及卡口。河床坡度很陡, 起伏不平, 为波浪形。有深坑及深沟, 多石梁、急滩, 洪水期浪高流急坡度大。断面为单式U形, 主槽经常摆动不太稳定。河床质为砂夹卵石、漂石、乱石组成, 两岸为岩石及沙土	0.82~ 1.12	110~ 800	20~ 60	4.16~ 10.8	36~ 24	26~ 18	25~ 17							4
	20反	河段顺直, 上游有水流较急的小滩, 下游有河弯, 并有岩石裸露, 断面控制良好。河槽为U形, 低水位时时有分流现象, 沙质河床, 冲淤变化不定, 两岸系沙质土壤易崩坍, 具有平原区河流的一般特征	0.082~ 0.16		22~ 60	1.11	35~ 23	31~ 21	29~ 19	29~ 19						1

表 K.0.4-5 中南、华东地区河流洪水糙率系数表

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值											采用资 料测 站数	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
山区	1反	河段顺直，下游有大沙洲，或河段上游顺直，下游3~4倍河宽长度外接急弯。卵石或砂夹卵石河床，河底较平顺（稍有冲淤或稍呈倒坡）。一岸石质（或部分石质），长有杂草，一岸土质长有杂草及树木	0.01~ 0.04	49~ 34	46~ 32	45~ 30	44~ 29	43~ 29	42~ 28	42~ 28	42~ 28	42~ 28	42~ 28	42~ 28	42~ 28	10
	2反	河段顺直，卵石或岩石河床，河底较平顺（稍呈倒坡）。一岸为石质，不平顺，长有中密杂草、灌木，一岸土质，长有中密灌木、杂草	0.05~ 0.13	54~ 40	49~ 36	44~ 32	40~ 29	36~ 26	33~ 24	30~ 22	27~ 21					6
	3反	同1反；但一岸长有密茂的灌木及小竹子	0.06~ 0.15	58~ 40	48~ 32	40~ 26	33~ 23	29~ 20								6
	4反	河段上游顺直，下游3倍河宽外接缓弯。砂夹卵石河床，河底不平顺（倒坡、深坑、孤石、石梁等）。两岸石质，较陡，不平顺有回流，或两岸部分为石质岸坡不平顺有回流，部分土质有坍塌，岸坡上部长有中密灌木、竹子	0.06~ 0.16	44~ 30	39~ 26	36~ 24	33~ 22	33~ 21	30~ 20	30~ 20	30~ 20	30~ 20	30~ 20	30~ 20	30~ 20	20

表 K. 0. 4 - 5 (续)

河流类型	编号及线型特征	河段特征描述	洪水坡度变化范围 (%)	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值											采用资料测站数					
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12	13	14		
山区	5反	河段上游较顺直, 下游3倍河宽外接急弯。岩石、卵石河床, 河底不平顺(深坑、孤石、跌水、卵石洲)。两岸石质、崎岖不平, 有局部回流, 上面长有杂草, 或两岸坡系土夹乱石, 坡上密生芦苇	0.07~ 0.25	40~	35~	30~	26~	23~	21~	19~	18~	18~	18~	14					6	
				30	25	21	18	16	15	14	14	13								
山区	6正	河段顺直, 岩石、卵石河床, 河底不平顺(倒坡、深坑、急滩)。两岸石质较平顺, 长有稀疏杂草。或两岸石质、不平顺, 生长茂密杂草及少量的灌木, 但测流河段内有明显的扩散	0.03~ 0.04	31~	37~	41~	43~	44~	44~	44~	44~	44~	44~	44~	44~	44~	35			3
				20	25	29	32	34	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	24	
山区	7带	河段上游顺直, 下游2~4倍河宽有大沙洲, 中水淹没, 沙洲下游紧接急弯。沙及板岩河床, 部分长有水草, 河岸稍呈倒坡。一岸有石质, 长有杂草, 一岸土质, 岸线不平顺, 有坍塌, 长有稀疏杂草	0.03~ 0.06	35~	35~	35~	35~	35~	35~	35~	35~	35~	35~	35~	35~	35~	24			3
				24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24

表 K.0.4-5 (续)

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值											采用资 料测 站数			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12	13	14
半山区	8反	河段较顺直，沙质或卵石夹砂河床，河底平顺。一岸为较陡的土岸或土堤长有草皮，有坍塌，一岸由砂夹卵石组成，长有稀疏树木和杂草	0.02~ 0.1	57~ 48	42~ 34	42~ 31	40~ 30	39~ 30									4	
	9反	河段为弧形。沙砾石河床，河底平顺。两岸为土质，有坍塌，凹凸不平，长有杂草及庄稼	0.03~ 0.06	58~ 42	46~ 30	37~ 24	32~ 21											7
	10反	河段上游顺直，下游接缓弯。沙质河床，河底不平顺（低水时沙洲、沙滩交错）。一岸为土质，岸坡凹凸不平，长有草皮，一岸为风化岩石组成，岸坡长有中密杂草	0.04~ 0.1	43~ 28	38~ 25	36~ 24	35~ 24	35~ 23	34~ 22									24
	11马	河段顺直，边滩淹没时，下游2倍河宽外有明显的扩散。沙质河床，河底不平顺（边滩、沙洲交错分布）。一岸土质长有稀疏杂草，下部稍有坍塌，一岸部分为土质，部分为石质，长有稀疏杂草	0.02~ 0.06	47~ 31	39~ 25	36~ 24	38~ 25	41~ 28	44~ 31	48~ 34	52~ 38							3



表 K.0.4-5 (续)

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值											采用资 料测 站数		
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12	13
平原区	12反	河段上游顺直，下游4倍河宽外接缓弯。沙质河床，河底平顺。两岸不够整齐。或为人工砌石河岸，有挑水坝、码头等伸出，形成局部回流，成为黄土河岸，下部有坍塌，不平顺，上部长有带状柳树	0.01~ 0.05	69~ 45	63~ 42	58~ 38	54~ 36	51~ 34	48~ 32	46~ 30	44~ 29	42~ 28	41~ 27				10
	13反	河段上游顺直，下游一倍左右河宽处有大桥，或河段稍成弧形。砂夹卵石河床，河底平顺。一岸为石质或石砌河岸，不平整，长有杂草，一岸为土质，下部有坍塌，上部长有中密的杂草和竹子	0.01~ 0.04	60~ 40	53~ 36	48~ 32	44~ 29	41~ 27	38~ 25	36~ 24	35~ 23	34~ 22	34~ 22	34~ 22			3
	14反	河段上游顺直，下游4倍河宽外接缓弯。沙质河床，河底不太平顺。土质河岸，一岸坍塌严重，为锯齿状，下部长有稀疏杂草，上部长有稀疏的灌木、杂草，一岸稍有坍塌，长有稠密的芦苇	0.02~ 0.05	53~ 35	48~ 32	43~ 29	39~ 27	36~ 24	34~ 22	34~ 22	32~ 21						

表 K.0.4-5 (续)

河流类型	编号及 线型 特征	河段特征描述	洪水坡 度变化 范围 (%)	随平均水深而变化的 $\frac{1}{n}$ 值											采用资 料测 站数			
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12	13	14
平原区	15反	河段上游顺直，下游2倍河宽外接急弯，或河段位于弧形上。沙质河床，河底平顺，边滩占槽宽50%以上，中高水时淹没。一岸土质坍塌严重，长有稀疏杂草，或下部石砌不平整，上部土质平顺长草皮，但有数处跳水坝，一岸为连接边滩的平顺土岸，长草皮	0.02~ 0.1	56~ 38	45~ 31	37~ 26	32~ 23	28~ 19	23~ 16									4
	16正	河段顺直通畅，高水时下游略有扩散，沙质河床，河底不平顺。两岸系光滑的浆砌卵石，或为土质河岸，平顺，长稀疏杂草	0.01~ 0.07	42~ 28	45~ 30	48~ 32	51~ 34	53~ 36	55~ 38	57~ 39	58~ 40	60~ 41						4
	17带	河段上游顺直，下游2倍河宽外接急弯。沙质河床，河底不平顺，沙洲、边滩交错分布。两岸为土质，有坍塌，长有中密杂草	0.03~ 0.06	41~ 27	41~ 27	41~ 27	41~ 27	41~ 27	41~ 27	41~ 27	41~ 27	41~ 27						4

## 标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	

中华人民共和国水利行业标准

水工建筑物与堰槽测流规范

SL 537--2011

条 文 说 明

## 目 录

1	总则 .....	245
2	术语与符号 .....	246
3	水工建筑物测流 .....	247
4	测流堰测流 .....	299
5	测流槽测流 .....	302
6	末端深度法测流 .....	312
7	比降面积法测流 .....	313

# 1 总 则

**1.0.1** 根据水利部水利水电技术标准制定计划，按照《水利技术标准编写规定》(SL 1—2002)的规定，本标准在原《水工建筑物测流规范》(SL 20—90)、《堰槽测流规范》(SL 24—91)、《比降面积法流量测验规范》(SD 174—85)的基础上进行修订合编而成，并参考了水文测验国际标准(ISO/TC 113)中的有关内容，以及吸收近年来科学研究的最新成果和生产实践中的成功经验，并按有关规定经过专家咨询、征求意见、专家审查等，经多次修改，形成了本标准，并取名为《水工建筑物与堰槽测流规范》。

**1.0.4** 本标准主要是依据水力学原理进行流量测验，因采用水力学原理进行流量测验方法很多，本标准规定了常用的以水力学原理进行流量测验的方法，并分类为水工建筑物测流、测流堰测流、测流槽测流、末端深度法测流、比降面积法测流等。测流堰测流中的“堰”，是指专门为进行流量测验而严格按照规定的标准建立的专用测流“堰”，而水工建筑物测流也有“堰”流量测验，此堰是利用已建立的水工建筑中的堰进行流量测验，其测流原理基本相同，但由于建造的目的、标准不同，使用中要求也不尽相同。无论是使用已有建筑物，还是建造专用的测流堰、槽、渠道，还是人工整治河槽等，采用水工建筑物与堰槽测流的成果，有条件的测站均可采用流速仪法或 ADCP 法等流速面积法进行校测率定有系数(参数)，小流量条件允许情况下也可采用体积法测率定有系数，以保证流量测验的可靠性和精度。

**1.0.7** 本标准与其他标准的关系。本标准与其他标准重复的内容，主要有水位观测、普通测量、断面测量、流量系数关系线的检验等部分，这几部分因有单独的标准，故本标准不再编入。

## 2 术语与符号

### 2.1 术语

给出了本标准使用较频繁的专用术语，其他流量测验规范通用的术语一般不再列出。为便于简要的说明术语，必要时附以图形。

### 2.2 常用符号

给出了本标准使用较频繁的符号，并分类为面积、长度、宽度、水深、高度、半径、流量、比降、水位、水头、水位（水头）差、流量流速系数、水力系数、其他系数、误差、不确定度等 16 类。采用的符号尽可能与国际标准相一致。

### 3 水工建筑物测流

#### 3.1 一般规定

3.1.1 水工泄水建筑物按其形式一般情况下，分类如下：

- (1) 堰
  - 宽顶堰
    - 有坎宽顶堰
    - 无坎宽顶堰（平底闸）
  - 实用堰
    - 高实用堰
    - 低实用堰
- (2) 闸
  - 平板门平底闸
  - 弧形门平底闸
  - 平板门曲线实用堰闸
  - 弧形门曲线实用堰闸
- (3) 洞、涵
  - 短洞
  - 长洞
  - 进口设置有压短管和闸门控制的无压洞、涵

(4) 水电站、电力抽水站。

由于水工建筑物中一般不使用薄壁堰，因此，本章堰的分类中没有薄壁堰。

3.1.2 用于测流的水工建筑物应具备的条件和精度指标。凡符合本标准 3.1.2 条规定条件的建筑物属于标准型的建筑物，这类建筑物在没有条件现场率定流量系数时，允许用本标准推荐的经验流量系数推求流量。凡不符合本条规定条件的建筑物，属于非标准建筑物，对这种建筑物的流量系数应现场率定，一般不允许借用经验流量系数推求流量。

3.1.2 条规定有关精度指标说明如下：

(1) 本条规定，应用水工建筑物测流的限制条件是：当淹没出流时，淹没度一般不应大于 0.98，水头差一般不应小于 0.05m 的规定。这主要是考虑淹没度大时，淹没系数与水力因



素的关系已很不灵敏，淹没系数难以确定。同时，水头差小时，观测的相对误差较大，流量计算精度难以保证。

(2) 本条规定建筑物进口顺直段长不小于过水断面总宽的3倍，其目的在于使进水段能形成缓流条件和正常的流速分布，以保持正常的水位（水头）流量关系，提高测验精度。水工建筑物泄流时，大都属于急流，控制断面前的进水段为缓流，通过控制断面后转变为急流，只有形成急流条件时，建筑物的控制断面才能产生有效控制作用，并且具有稳定的水位（水头或其他水力因素）流量关系。反之，如果进水段顺直长度不够，在行近段内产生跌水、涡流、斜流、急流等现象，则控制断面将失去控制作用，并且不会有稳定的水位（水头或其他水力因素）流量关系，这样建筑物将不宜用于流量测验。所以，有一个符合条件的进水段是保证流量测验精度的一项重要指标。

鉴于水工建筑物一般过水断面较宽，且测验精度指标应适当低于量水建筑物，故用不小于3倍的规定。如果建筑物进口前为开阔的水体（如水库、湖泊），则缓流条件较为理想，可不再考虑顺直段问题。

淹没出流时，下游顺直河段长度不宜小于过水断面宽2倍的规定，主要是考虑到下游河道不顺直时，将会产生偏流，两岸水面不平，影响下游水位（水头）观测精度。

**3.1.3** 《河流流量测验规范》（GB 50179—93）中对于确定流量系数只规定了现场率定一种方法，为使水工建筑物测流的应用范围更加广泛，本标准对确定流量系数规定可采用现场率定、同类型综合、经验系数和模型实验四种方法。在这些方法中，本标准强调了以现场率定为主，其余方法应用时，都有限制条件。考虑到有些堰闸难以达到全部现场率定的要求，例如干旱半干旱地区的大型水库的溢洪闸、大型分洪闸，溢洪机遇较少，高水头溢洪的机遇更少，几十年也难以取得可用的现场率定成果。这些水库一旦溢洪也只能应用模型试验的流量系数或经验流量系数推求流量。这些大型工程规划设计、施工均比较规范，应用模型或经验系

数推求流量，具有一定精度。过去有的已这样做，其流量资料已正式刊入水文年鉴，这是多年存在的现实情况。

对于有一些资料要求精度不很高的站，如工程专用站及水利工程地区的辅助站点，在未取得现场率定的流量系数时，均可以应用同类型综合流量系数或经验流量系数推求流量。

水工建筑物测流，首先要求建筑物的型式、结构、水力条件、边界条件等都能符合标准，用于测流才能保证精度。但实际情况中，有大量建筑物的水力条件完全符合标准。例如平原水网区，小水头、小落差的情况很普遍，还有些工程的设计、施工条件不完全符合要求。鉴于以上情况，从实际出发，对非标准的建筑物作了一些专门规定，对精度指标也提出不同要求。

水电站、电力抽水站和隧、涵洞、水库输水洞等经验系数可靠性较差，这类建筑物的流量系数或效率都应该现场率定，不宜用经验流量系数推求流量。

本标准中推荐的经验流量系数，多数已通过实测资料进行了验证，对各家的方法和经验系数已进行验算比较，证实无重大的系统偏差时才予采用。

**3.1.4 水文测站测验精度分类。**我国幅员辽阔，自然地理特性、河流特性、水文现象等地区差异较大，水工建筑物型式，条件也千差万别，因此，对于流量测验的精度要求，必须考虑到这些特点，结合实际情况区别对待。GB 50179—93 中规定，将水文站流量测验精度要求分为三类，主要根据河流大小和水文站类别（如控制站、区域代表站、小河站）进行分类。水工建筑物测流的精度类别基本上遵照国家标准执行，但可以结合工程和测验条件等实际情况适当调整测验精度等级。例如，中等河流按现行河流流量测验规范的规定，一般应划为二类测验精度站。但如果所在工程规模属于大型工程，位置重要，管理及资料精度要求较高的站，也可以划为一类精度站。

**3.1.5 考证簿的编制。**利用水工建筑物测流，必须对建筑物的型式、结构、水力特性、边界条件和设计施工情况等作全面调查

了解，系统地掌握有关资料，并以此作为布设测验设施，制定测验方案，选用流量计算公式和流量系数的重要依据。水工建筑物测流关键在于选用合理的流量计算公式和流量系数，如果影响流量系数的有关因素资料搜集不全，将给确定流量系数带来困难。

所以，凡与流量系数有关的因素资料，都要逐项考证，按照标准附录 A 考证表中要求填制的内容认真填制。

## 3.2 测验设施布设与观测

### 3.2.1 断面布设

#### 1 堰闸水尺断面布设

1) 河渠堰闸上游基本水尺断面布设。一般堰闸上游水尺断面不宜距闸太近，因太近则会受到闸前水面线明显跌落或闸门阻水的影响。但如果水尺离闸太远，则又产生沿程水头损失的影响。因为堰闸水力计算只考虑局部损失，而忽略沿程损失影响。水尺离闸过远、过近都会导致水头观测偏差而失去代表性。GB/T 50138—2010 规定堰闸上水尺应设于堰闸前最大水头 3 倍处，但未规定上限。根据河海大学进行闸上游水尺位置的模型试验结果，堰闸上游水面平稳处应不小于最大水头的 6 倍。根据试验资料，考虑到国际标准的规定，结合我国现有堰闸水文站水尺设置的实践经验，制定了第 3.2.1.1 条闸上水尺位置指标。

本标准与 GB/T 50138—2010 比较有下列改进：

(1) GB/T 50138—2010 规定：“闸上游水尺与闸的距离不小于最大水头的 3~5 倍”。只规定距闸的下限距离，没有上限的距离。本标准规定了距离上下限的范围，即水尺与闸的距离不能太近，也不能太远，这就避免了闸上水尺距闸太远的缺陷。

(2) GB/T 50138—2010 规定的水尺与闸的距离没有扣除闸前收缩段（即喇叭口）的距离，本标准规定当堰闸前有收缩段时应该扣除这段的距离。上游水尺与闸的距离应从闸前收缩段与进水顺直河槽交界处算起，不应从闸门计算起，有些闸前都有一定长度的收缩段，收缩段的长度因河槽宽与闸宽之比不同而异。据

统计,大型堰闸前收缩段长度一般都有 10m~20m 不等,如果上游水尺与闸的距离从闸门算起,按最大水头 3~5 倍,则有可能将水尺设在收缩段以内,是不适当的。

(3) GB/T 50138—2010 规定的水尺与闸的距离未根据闸的总宽度不同而分别给出指标,本标准除考虑水头外,还考虑将闸的总宽度作为闸上游水尺位置的指标。

表 3.2.1 闸上水尺与闸距离指标的上限,在有些堰闸前,河槽水深较大而流速较小,其沿程水头损失很小,不影响水头观测精度时,为了观测或设备安装的方便,可以放宽(即超过规定的上限)。具体可根据河槽沿程水头损失大小计算闸上水尺距闸的允许距离。闸上水尺与闸的允许距离  $L$  用式 (1) 计算:

$$L = \frac{h_w R^{1.33}}{n^2 \bar{v}^2} \quad (1)$$

式中  $L$ ——闸上水尺与闸的允许距离, m;

$h_w$ ——沿程水头损失, m;

$n$ ——河槽糙率;

$R$ ——水力半径, m;

$\bar{v}$ ——断面平均流速, m/s。

若将沿程水头损失限定在一定范围内,便可根据本站的河床糙率、平均水深、断面平均流速值代入式 (1) 计算闸上水尺与闸的允许距离。

2) 水库溢洪闸上游基本水尺断面布置。水库溢洪闸的进口有两种情况。一种是闸前有足够长度的进水段,这种情况应按第 3.2.1 条 1 款的规定要求设置水尺;另一种是闸前无顺直进水段,进口为开阔的水面,有不少的水库溢洪闸都用大坝水尺代替闸前水尺。有的大坝水尺距闸很远,仍用大坝水尺代替闸上水尺,结果是两处水位相差很大,给流量系数分析、推求溢洪流量带来较大误差;若水尺距闸太远,对闸前水位有滞后现象反应不灵敏,根据有关试验资料分析结果规定了,当无进水段的溢洪闸用大坝水尺代替闸前水尺时,其距离不应大于 500m。

3) 本项规定堰闸下游水尺距消能设备末端的距离应不小于消能设备距堰闸距离的 3 倍。这一规定是沿用 GB/T 50138—2010 的指标。通过对现有堰闸水文站水尺设置的调查统计以及模型试验结果, 都表明这一规定是可行的。

4) 用闸下游基本水尺代替闸下辅助水尺的规定, 主要考虑淹没出流的堰闸, 要应用水头差计算流量, 故应该在闸下设立辅助水尺。闸下辅助水尺应设在闸下收缩断面附近, 才能测得闸上下的水头差。但该处水尺很难设置和观测, 除水面波动大、不稳定难以观测外, 也很难立水尺。特别是多孔闸, 当水尺(或水位计)设在岸边时, 不同的开启孔数和组合情况都会使出流水面不平, 水位很难观测准确。根据目前堰闸水文站资料统计, 大部分站都用闸下游基本水尺代替闸下辅助水尺计算水头差。编写标准时考虑到了这一实际情况, 也就规定允许用闸下游基本水尺代替闸下辅助水尺。一般情况下, 闸下游基本水尺距闸较远, 闸到水尺断面之间会产生河段的沿程水头损失影响, 所率定出的淹没流量系数用于本站推求流量是可行的。当用作流量系数综合分析时, 应该考虑修正。

### 3.2.2 闸门开启高度观测设备安装应符合下列要求:

(1) 每孔闸门的上边, 都应装置便于直接观读闸门开启高度的标尺。闸门开启高度观测标尺的零点, 应从闸门关闭时的上边缘开始, 向上刻划在闸墩壁上便于观测处, 标尺应刻划至厘米, 闸门上边缘应装有指针, 与标尺刻划相切, 对准读数, 以保证观测精度。用钢丝绳悬吊的闸门, 当用钢丝绳收放长度观测闸门高度时, 应注意钢丝绳在开关闸时, 因受力不同而产生伸缩引起观测误差, 应对闸门高度进行改正。

(2) 弧形闸门的开启高度, 应换算为垂直高度, 换算方法见本标准附录 B。

(3) 用闸门开启高度指示器或自记仪器观测闸门开启高度时, 要求指示器和自记仪应能读至 5mm, 并经常校正零点位置, 以保证观测精度。

(4) 水库输水涵洞设置的闸门多数在洞内，难以直接观测闸门的开启高度，可用柔性好的细钢丝绳，系在闸门上，同时用适宜重量的悬锤，将细钢丝绳吊在闸门启闭机房内的定滑轮上，另在悬锤的一旁设置观测闸门开启高度的标尺，标尺应刻划至厘米。当闸门启动时，悬锤下降的距离即为闸门的开启高度。用丝杠启闭的平板闸门，可在丝杠一侧竖立垂直标尺，在丝杠适宜部位设立固定指针，以观测闸门开启高度。

### 3.2.4 水位观测与水头计算应符合下列要求：

(1) 水头观测精度。水头观测精度指标规定为 0.01m。水头观测相对误差随水头高低不同相差很大。水头观测误差导致流量误差也随水头高低而有差别。规范规定的观测精度指标，在高中水头时能满足推求流量的精度要求，低水头时很难满足要求。现以自由孔流为例分析如下：

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{3\Delta H}{2H} \quad (2)$$

式中  $\Delta Q$  —— 流量误差， $m^3/s$ ；  
 $\Delta H$  —— 水头观测误差，m。

根据式 (2) 计算的水头观测误差与流量误差关系见表 1。

表 1 水头观测误差导致流量误差关系表

$\Delta H$ (m)	0.005	0.01	0.02	0.05
$H$ (m)	$\frac{\Delta Q}{Q} \times 100$			
10.00	0.075	0.15	0.30	0.75
5.00	0.150	0.30	0.60	1.50
2.00	0.375	0.75	1.50	3.75
1.00	0.750	1.50	3.00	7.50
0.50	1.50	3.00	6.00	15.0
0.20	3.75	7.50	15.0	37.5

从表 1 可以看出，高水头时水头观测误差导致流量误差很小，低水头时误差较大。

(2) 总水头计算。标准中总水头计算式 (3.2.4-1) 中的动

能修正系数值，规定一般取用 1.0。实际在天然河槽中，流速分布带有明显的不均匀性，特别是宽浅河道不顺直，糙率比较大时，动能修正系数值要大于 1.0。如果不分河槽情况，一律采用 1.0，计算的行近流速水头往往偏小。1987 年原武汉水利电力学院水力学教研室通过理论分析与实验验证，对二度明槽水流，采用普兰特对数流速分布规律推算动能修正系数值如下：

$$\alpha = 1 + 3\epsilon^2 - 2\epsilon^3 \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{7.83n}{R^{1/6}} \quad (4)$$

式中  $n$ ——进口段河槽糙率；

$R$ ——进口段河槽水力半径，m。

当正确选用糙率时，宽深比  $\frac{B}{d} \geq 10$  的明槽水流，可用式

(3) 计算动能修正系数值。

当河槽谢才系数大于 100 时，动能修正系数值接近于可以采用 1.0。

**3.2.5 闸门开启高度观测误差包括读数误差、标尺刻划和记数零点误差，后两项属于不定系统误差，如果能在制作和测量时严格控制，则可将误差控制在很小范围内。其中，最主要的是读数误差，特别小开度时读数相对误差较大，是流量测验误差的主要来源。闸门开启高度观测误差导致流量误差，可用式**

(5) 计算：

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta e}{e} \quad (5)$$

式中  $\Delta e$ ——闸门开启高度读数误差，m；

$e$ ——闸门开启高度读数，m。

用式 (5) 计算不同闸门开启高度和不同观测误差导致流量误差的关系，如表 2 所示。从表 2 可以看出，当观测误差为 0.01m，闸门开启高度为 2.0m 时，流量误差仅为 0.5%；闸门开启高度为 0.05m 时，流量误差可达 20%。在实际应用中，流量系数关系线的下部点据较散乱，大都属于闸门开启高度观测相

对误差较大引起。所以闸门小开度时应特别注意闸门开启高度观测精度。

表 2 闸门开启高度观测误差与流量误差关系表

$\Delta e$ (m)	0.005	0.01	0.02	0.03
$e$ (m)	$\frac{\Delta Q}{Q} \times 100$			
5.00	0.10	0.02	0.04	0.06
2.00	0.25	0.50	1.00	1.50
1.00	0.50	1.00	2.00	3.00
0.50	1.00	2.00	4.00	6.00
0.20	2.50	5.00	10.0	15.0
0.10	5.00	10.00	20.0	30.0
0.05	10.00	20.00	40.0	60.0

当闸门开启高度小于 0.2m 时，应该观读至 0.005m，才能保证流量测验的精度。由于目前观测设备条件限制，实际难以达到应有的观测精度，规范只能规定闸门开启高度观测精确至 0.01~0.005m。另外，在流量系数关系线的下部，测点偏差允许放宽，也是出于这种原因。但各站在实际工作中应注意到这个问题，在闸门小开度时，尽可能提高观测精度。

**3.2.6 水工建筑物出流主要有堰流、孔流、管流等形式，其中，堰流、孔流又可分为自由流、淹没流和半淹没流三种流态，管流可分为无压流、有压流和半有压流，同一建筑物出流形式不同、流态不同，其流量计算公式也不同。**

水力学中常用的孔、堰流分界的平均情况为：

(1) 宽顶堰闸（平底闸）： $e/H \leq 0.65$  时，为孔流； $e/H > 0.65$  时，为堰流。

(2) 实用堰闸： $e/H \leq 0.75$  时，为孔流； $e/H > 0.75$  时，为堰流。

大量的实测资料和模型试验成果表明，孔流和堰流的分界值 ( $e/H$ )。有一个变化范围，与闸型、水头、闸门开度，以及孔、堰流变换方式等多种水力因素有关，总的与流量系数有关。本标



准除宽顶堰闸用平均值 0.65 以外, 实用堰闸用  $e \sqrt{2gH} \sim (e/H)_c$  关系线查用, 分析说明如下:

(1) 孔、堰流分界值的水力特性。孔堰流分界  $(e/H)_c$  值与流量系数关系。根据水流具有连续性的原理, 孔堰两种流态交界处的流量应为单一值, 即采用孔流公式计算的流量应与用堰流公式计算的流量相等:

$$Q_{孔} = \mu b e \sqrt{2gH}$$

$$Q_{堰} = Cb \sqrt{2gH}^{3/2} = CbH \sqrt{2gH}$$

则

$$\mu e = CH$$

$$e/H = C/\mu$$

由此证明, 孔、堰流两种流态的分界  $(e/H)_c$  值与两种流态的流量系数有关。同时由试验资料证明, 孔、堰流变换分界  $(e/H)_c$  值的变动范围, 大体与流量系数的变动范围相呼应。现用弧形门实用堰闸和平板门实用堰闸的实测和试验成果为例进行对比, 如表 3 所示。

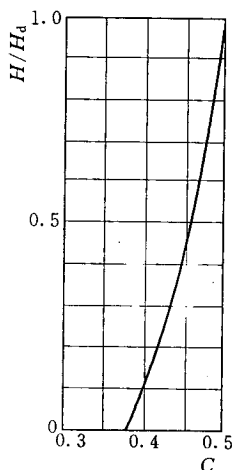
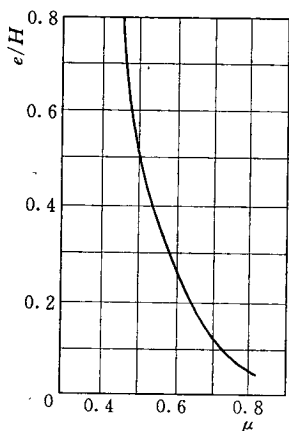
表 3 自由孔流流量系数与孔堰流分界值  $[(e/H)_c]$  变化范围比较表

堰闸型式	流量系数公式与 $e \sqrt{2gH} \sim (e/H)_c$ 关系线	流量系数与孔堰流分界 $(e/H)_c$ 值变化范围	$\mu$ 与 $(e/H)_c$ 的变幅	备注
平板门实用堰闸	$\mu = 0.530(e/H)^{-0.120}$	$(e/H)_c = 0.05, \mu = 0.759$ $(e/H)_c = 0.70, \mu = 0.553$	0.206	实测资料综合
	$e \sqrt{2gH} \sim (e/H)_c$ 关系线图(图 3)	$e \sqrt{2gH} = 1.0, (e/H)_c = 0.685$ $e \sqrt{2gH} > 80, (e/H)_c = 0.790$	0.105	模型试验综合
弧形门实用堰闸	$\mu = 0.531(e/H)^{-0.139}$	$(e/H) = 0.05, \mu = 0.805$ $(e/H) = 0.70, \mu = 0.558$	0.247	实测资料综合
	$e \sqrt{2gH} \sim (e/H)_c$ 关系线图(图 4)	$e \sqrt{2gH} = 1.0, (e/H)_c = 0.625$ $e \sqrt{2gH} > 80, (e/H)_c = 0.825$	0.200	模型试验综合

从表 2 可以看出: 弧形门实用堰闸的流量系数变幅 0.247, 大于平板门实用堰闸的孔流流量系数变幅 0.206。相应弧形门实用堰闸的孔堰流分界  $(e/H)_c$  值的变幅 0.200, 也大于平板门实用堰闸

孔堰流分界 ( $e/H$ )。值的变幅 0.105。这说明, 孔、堰流变换分界 ( $e/H$ )。值的变化与流量系数有关而且变化幅度两者相适应。

孔、堰流分界 ( $e/H$ )。值与水头和闸门开度的关系、流量系数不仅与闸型有关, 对一个闸来说还主要与水头和闸门开度有关。自由孔流流量系数  $\mu$  随闸门相对开度 ( $e/H$ )。呈反变关系 (见图 1), 自由堰流流量系数  $C$  随堰上水头呈正变关系 (见图 2)。



1 自由孔流  $e/H-\mu$  关系线图 图 2 高实用堰  $H/H_d-C$  关系线图

因此, 孔、堰流分界 ( $e/H$ )。值也与水头、闸门开度有一定关系, 应用实测和试验资料, 求得孔、堰流分界 ( $e/H$ )。值与  $e \sqrt{2gH}$  相关, 建立  $e \sqrt{2gH}-(e/H)$ 。关系图 (见图 3~图 5)。

(2) 孔堰流分界 ( $e/H$ )。值受闸型影响。堰顶形状影响。实测资料和模型试验成果表明, 具有流线型堰顶的闸, 其孔、堰流分界 ( $e/H$ )。值都比较大。其中实用堰及驼峰堰平均 ( $e/H$ )。值为 0.75 左右, 而宽顶堰、平底闸平均 ( $e/H$ )。值为 0.65 左右。

闸门底缘形状影响。河海大学和武汉水利电力学院所做的实用堰、驼峰堰、宽顶堰平板门闸的模型试验表明: 当门下缘形状不同时, 分界 ( $e/H$ )。值也不同, 见表 4。

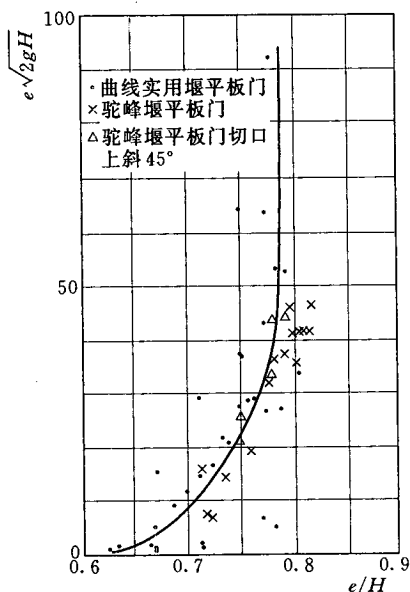


图3 平板门曲线实用堰闸驼峰堰闸孔  
堰流分界  $e\sqrt{2gH}-(e/H)_c$  关系线图

表4 不同闸门底缘形状孔堰流平均分界值比较表

堰型	闸门底边形式	孔、堰流变换平均分界 ( $e/H$ ) <sub>c</sub> 值	备注
实用堰	平板门切口向下	0.752	分界 ( $e/H$ ) <sub>c</sub> 值为多次实测由孔流变堰流和由堰流变孔流的平均值
	平板门平底缘	0.740	
驼峰堰	平板门平底缘	0.742	
	平板门底边切口上斜 45°	0.728	
宽顶堰	平板门平底缘	0.678	
	平板门底边切口上斜 45°	0.666	

(3) 孔、堰流分界 ( $e/H$ )<sub>c</sub> 值受闸门在堰顶位置的影响。根据武汉水利电力学院提供的弧形门落点在堰顶以下 1.2m 处的试验成果 ( $e/H$ )<sub>c</sub> 值与同类型闸闸门落点在堰顶的比较, 其分界 ( $e/H$ )<sub>c</sub> 值系统偏小 0.05~0.10, 其变幅偏大 0.1 左右, 见图 4 (b) 线。

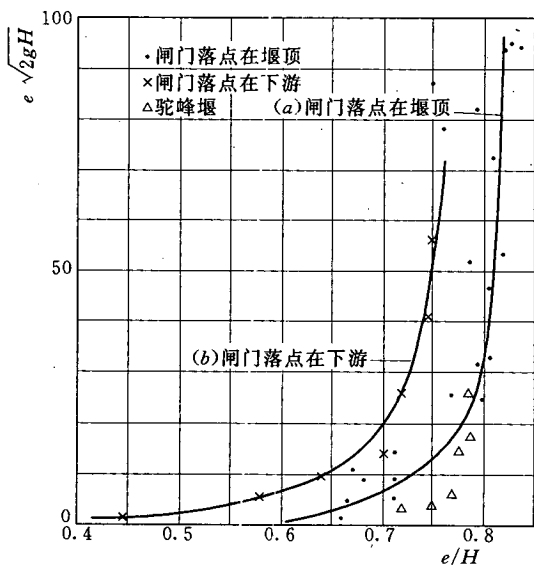


图4 弧形门曲线实用堰闸孔、堰流分界  $e/\sqrt{2gH}-(e/H)$  关系线图

(4) 孔、堰流分界 ( $e/H$ )。

值受孔、堰流变换方式的影响。由于水流的惯性作用，当孔堰流变化方式不同时，其分界值会受到一定程度的影响。例如，闸门提升由孔流转换为堰流时，其分界值大于闸门降落由堰流转换为孔流时的分界值。如果闸门不动，由流量增减而使孔、堰流转换，则得到相反的情况。河海大学和武汉水利电力学院所做的模型试验成果，列入表5。

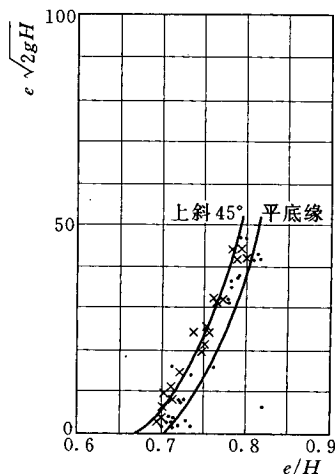


图5 平板门驼峰堰闸孔、堰流分界  $e/\sqrt{2gH}-(e/H)$  关系线图

(5) 孔堰流分界 ( $e/H$ )。值 的推求。孔、堰流分界 ( $e/H$ )。

值的确定，采用两种途径，一种应用实测资料分析确定，另一种通过模型试验确定。

表 5 不同闸门底缘形状和不同变换方式值比较表

堰型	闸门型式	孔流变堰流 平均分界 ( $e/H$ ) <sub>c</sub> 值	堰流变孔流 平均分界 ( $e/H$ ) <sub>c</sub> 值	差值	备注
实用堰	平板门切口向下	0.761	0.743	-0.018	由闸门 提升孔流 变堰流；
驼峰堰	平板门平底边	0.749	0.734	-0.015	
	平板门切口上斜 45°	0.731	0.724	-0.007	由闸门 降落堰流 变孔流
宽顶堰	平板门平底边	0.716	0.640	-0.076	
	平板门切口上斜 45°	0.679	0.652	-0.027	

1) 用实测资料分析。求解孔、堰流量计算公式方程组，推求孔、堰流分界 ( $e/H$ )<sub>c</sub> 值。根据已经积累一定数量的实测流量资料，求出孔、堰流流量系数 ( $\mu$ 、 $C$ ) 值，列出孔、堰流量计算公式，得下列方程组：

$$Q = \mu b e \sqrt{2gH} \quad (6)$$

$$Q = C b \sqrt{2gH}^{3/2} \quad (7)$$

用迭代法计算方程组的解，求出若干开高时孔、堰流分界 ( $e/H$ )<sub>c</sub> 值。

用对数图解法推求孔、堰流分界 ( $e/H$ )<sub>c</sub> 值。将已经建立的孔、堰流水头流量关系线绘在一起。堰流的水头流量关系为单一曲线，而孔流时的水头流量关系是以开高为参数的曲线簇（见图 6），两条曲线交点处的  $e$  与  $H$  值就是孔堰流分界值。将式（6）和式（7）整理统一形式，并取对数，可表示为：

$$\ln Q = \ln K + \alpha \ln H$$

在双对数纸上，孔、堰流  $H-Q$  关系为直线相交，能比较方便地求出孔、堰流分界 ( $e/H$ )<sub>c</sub> 值（见图 7）。

2) 用模型试验资料。武汉水利电力学院和河海大学对不同类型的闸、水头和闸门开启高度，以及由孔流变堰流、由堰流变孔流等不同组合情况，提供了大量的试验数据（见表 6）。

表 6 不同闸型门型孔堰流变换分界值综合表

堰型	门型	孔、堰流变换	孔堰流分界 ( $e/H$ )。值				试验 点据
			平均	变动范围	变幅	孔→堰→孔平均	
曲线 实用堰	弧形门		0.750	0.625~0.825	0.200	0.750	30
	弧形门落 点在堰顶 下游		0.654	0.44''~0.750	0.303	0.654	7
	平板门切 口向下游	孔→堰	0.761	0.733~0.783	0.050	0.752	5
		堰→孔	0.743	0.696~0.773	0.077		6
	平板门 平底		0.740	0.710~0.810	0.071	0.740	8
驼 峰 堰	平板门 平底	孔→堰	0.749	0.690~0.819	0.129	0.742	21
		堰→孔	0.734	0.646~0.812	0.163		22
	平板门底 边切口上 斜 45°	孔→堰	0.731	0.692~0.782	0.090	0.728	27
		堰→孔	0.724	0.672~0.784	0.112		26
宽 顶 堰	平板门 平底	孔→堰	0.716	0.668~0.761	0.093	0.678	9
		堰→孔	0.640	0.601~0.688	0.087		9
	平板门底 边上斜 45°	孔→堰	0.679	0.554~0.697	0.043	0.666	5
		堰→孔	0.652	0.643~0.657	0.014		5
平 底 闸	平板门		0.649	0.600~0.667			9
	弧形门		0.645	0.625~0.645	0.030	0.645	3

注：孔→堰为闸门提升堰，堰→孔为闸门降落。

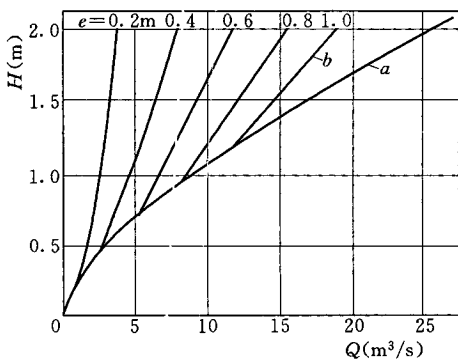


图 6 堰流与孔流  $H-Q$  关系线图

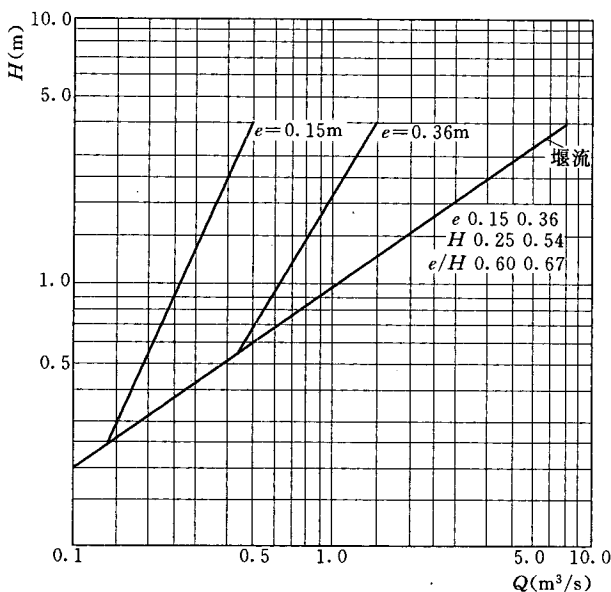


图7 孔堰流分界点求解图

有闸隧洞的流态变化比较复杂，除和上游水头与洞径（高）比值  $H/D$  有关外，还和闸门开启高度与洞径（高）的比值  $e/D$  有关。同样的隧洞在一定水头下闸门全开时（ $e = D$ ）为有压流，当闸门部分开启，水流受到闸门控制（ $e < D$ ）时，不一定为有压流，也可能为半有压或无压流。当闸门部分开启时，需应用  $H/D$  和  $e/D$  两项因素作为有压流、半有压流和无压流的分析判别条件。本标准引用了江苏水利工程专科学校对涵管出流流态判别的模型试验成果，作为有闸门控制隧洞的流态判别依据。根据模型试验成果，三种流态界限经验公式如下：

(1) 方管。有压流至半有压流，当  $e/D = 1 \sim 0.45$  时：

$$\frac{H}{D} = \frac{e/D}{0.75 \left( \frac{e}{D} - 0.35 \right)^{1.08}} \quad (8)$$

半有压流至无压流（或孔流），当  $e/D = 1 \sim 0.25$  时：

$$\frac{H}{D} = \frac{e/D}{1.06 \left( \frac{e}{D} - 0.17 \right)^{1.14}} \quad (9)$$

(2) 圆管。有压流至半有压流，当  $\frac{e}{D} = 1 \sim 0.45$  时：

$$\frac{H}{D} = \frac{e/D}{0.75 \left( \frac{e}{D} - 0.35 \right)^{1.15}} \quad (10)$$

半有压流至无压流（或孔流），当  $e/D = 1 \sim 0.25$  时：

$$\frac{H}{D} = \frac{e/D}{1.10 \left( \frac{e}{D} - 0.20 \right)^{1.11}} \quad (11)$$

式 (8) ~ 式 (11) 是一般涵管出口为自由泄水情况下流态界限的判别式。为了便于生产上使用，根据上式转化绘制  $H/D - e/D$  相关流态判别图，即为图 3.2.6-4 和图 3.2.6-5。

在判别流态时，根据相对水头  $H/D$  及相对开启度  $e/D$ ，在图上即可查得所属流态，这就解决了由于涵管埋入土中不便观测的困难。

(3) 试验成果的验证和比较。为了检验试验成果，将根据以上流态判别式算得的与各级相对开启度相应的相对水头  $H/D$  值，与一般文献发表的数据及用理论公式推算的数据进行比较，成果列入表 7。

半有压流与有压流界限的理论公式为：

$$H/D = 1 + \left( 1 + \sum \zeta + \sum \lambda \frac{1}{4R} \right) \frac{Fr}{2} - i \frac{L}{D} \quad (12)$$

式中  $\sum \zeta$ 、 $\sum \lambda$ 、 $R$ 、 $Fr$  —— 局部抗阻系数之和、沿程水头损失系数之和、涵管水力半径及佛劳德数。按照上式计算一般水库涵管流态界限值，见表 7。



表 7 方圆形涵管流态转化界限实验成果比较表

类 别			$e/D$	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.45
			管形	$H/D$						
半有压流与有压流的转化界限	出口断面为自由泄水	实验成果	方管	2.12	2.29	2.52	2.90	3.57	5.17	7.21
		公式推算	方管	2.12	2.19	2.44	2.89	3.80	5.38	7.04
		实验成果	圆管	2.15	2.33	2.59	2.99	3.73	5.48	7.72
		公式推算	圆管	2.13	2.24	2.34	2.74	3.54	5.48	7.55
	出口有平底板	公式推算	方管	1.59	1.63	1.77	2.03	2.54	3.43	4.36
		公式推算	圆管	1.59	1.66	1.72	1.93	2.39	3.50	4.66
		一般文献	圆管	1.50	—	—	—	—	—	—
		(工程上使用)	方管	—	—	—	—	—	—	—
类 别			$e/D$	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.25
			管形	$H/D$						
无压流(或孔流)与半有压流转化界限	实验成果工程上使用	实验成果	方管	1.17	1.28	1.48	1.67	2.02	2.90	4.20
		工程上使用	方管	1.15	—	—	—	—	—	—
		实验成果	圆管	1.16	1.23	1.46	1.67	2.10	3.44	6.23
		工程上使用	圆管	1.10	—	—	—	—	—	—
注：实验成果为经整编定线后的成果。										

从表中可以看出，在出口断面自由泄水时，有压流与半有压流分界状态的  $H/D$  值，方、圆管的实验数据与理论公式算得的数值都比较接近；而在无压流（或孔流）与半有压流分界状态时的  $H/D$  值，在  $e/D = 1$  时，方、圆管实验成果为 1.17 及 1.16，一般文献上提供的工程使用数据为 1.15 及 1.10，两者比较接近。

表 8 沙河水库西坝涵管 1973 年实测流量资料摘录表

施测号数	施测时间 (月·日)	水位 (m)		上游水头 $H$ (m) ( $H/D$ )	闸门开启 高度 $e$ (m) ( $e/D$ )	实测流量 ( $m^3/s$ )	原算流量 系数	$L/H$
		上游	下游					
1	4.29	18.81	13.84	4.53	0.15	1.36	0.85	8.83
2	5.3	18.81	13.89	4.53	0.70	3.86	2.40	8.83
3	5.4	18.81	13.78	4.53	0.60	3.52	2.19	8.83

表 8 (续)

施测号数	施测时间 (月·日)	水位 (m)		上游水头 $H$ (m) ( $H/D$ )	闸门开启 高度 $e$ (m) ( $e/D$ )	实测流量 ( $m^3/s$ )	原算流量 系数	$L/H$
		上游	下游					
4	5.16	19.38	13.48	5.10	0.30	2.55	1.49	7.84
5	5.20	19.14	13.81	4.86	0.40	2.88	1.72	8.23
6	5.22	18.99	13.91	4.62	(0.05)	0.43	(0.26)	8.66
7	5.23	18.92	13.67	4.64	(0.05)	0.37	(0.23)	8.62
8	5.29	18.73	13.99	4.45	0.10	0.86	0.54	8.45
9	5.30	18.72	14.13	4.44	0.25	2.09	1.32	8.90
10	6.1	18.69	14.05	4.41	(0.05)	0.60	(0.38)	9.07
11	6.7	18.48	14.15	4.20	0.25	1.99	1.30	9.52
12	6.10	18.28	14.24	4.00	0.35	2.44	1.63	10.0
13	6.12	18.11	14.26	3.83	0.35	2.43	1.66	10.3
14	6.14	17.95	14.27	3.67	0.35	2.43	1.70	10.9
15	6.15	17.89	14.26	3.61	0.50	2.96	2.09	11.1
16	6.25	19.36	13.97	5.08	0.55	3.80	2.22	7.87
17	6.25	19.42	13.29	5.14	0.65	3.83	2.23	7.78
18	6.28	19.51	14.04	5.23	0.80	4.37	2.51	7.65
19	7.16	18.98	14.18	4.70	0.35	2.90	1.77	8.51

注 1: 管长: 40m; 管径: 1m; 管形: 圆管 (闸门孔口附近有局部矩形断面); 圆管面积: 0.785m<sup>2</sup>; 进口闸底高程: 14.28m; 出口底高: 14.17m。

注 2: 表中有括号数字, 为闸孔特小开启度欠准数值。

注 3: 由于管径为 1m, 则  $H/D = H$ ,  $e/D = e$ 。

注 4: 表列流量系数为测站同志根据水文测验手册中自由式管流公式算得, 除特小开启度之外, 为 0.54~2.51, 差别较大。

为了检验成果用于生产实践的可行性, 选江苏省沙河水库涵管实测资料作验证, 资料情况见表 8。由表 8 可知,  $L/H = 7.8 \sim 11.1$  之间属长管性质 ( $L_c = 5 \sim 12H$ ); 涵管底坡  $i = 0.0028$  属缓流底坡, 由于下游水位低于出口, 故为自由出流。根据资料判别, 可分为有压流、半有压流及孔流三种流态, 如表 9 所示。

表 9 沙河水库西坝涵管出流流量系数计算表

施测日期 (月·日)	流态	水头 $H$ (m)	$H + iL - h_L$	闸门开 启度 $e$ (m)	过水 面积 ( $m^2$ )	实测 流量 ( $m^3/s$ )	流量系数		$ \delta $ (%)
							测算	定线	
5.3	有压流	4.53	3.79	0.70	0.785	3.86	0.570	0.56	1.8
5.4		4.53	3.79	0.60	0.785	3.52	0.520	0.53	1.9
6.25		5.08	4.34	0.55	0.785	3.80	0.520	0.51	2.0
6.25		5.14	4.40	0.65	0.785	3.83	0.525	0.545	3.7
6.28		5.23	4.49	0.80	0.785	4.37	0.593	0.58	2.2
5.16	半有 压流	5.10	4.36	0.30	0.785	2.55	0.351	0.36	2.5
5.20		4.86	4.12	0.10	0.785	2.88	0.408	0.435	6.2
6.16		4.00	3.26	0.35	0.785	2.44	0.389	0.400	2.8
6.12		3.83	3.09	0.35	0.785	2.43	0.398	0.400	0.5
6.14		3.67	2.93	0.35	0.785	2.43	0.408	0.400	2.0
6.15		3.61	2.87	0.50	0.785	2.96	0.502	0.490	1.2
7.16		4.70	3.96	0.35	0.785	2.90	0.419	0.400	4.8
4.29	孔流	4.53	4.42	0.15	0.15	1.36	0.970	0.93	4.0
4.29		4.45	4.38	0.10	0.10	0.86	0.927	0.93	0.0
4.30		4.44	4.26	0.25	0.25	2.09	0.914	0.93	1.7
6.7		4.20	4.02	0.25	0.25	1.99	0.896	0.93	3.6

注 1: 涵管闸门孔附近, 有局部矩形断面, 故孔流过水面积  $a = be$ , 有压、半有压流  $a = \pi r^2$ 。  
注 2: 根据 1973 年测流资料按流态分组摘录。

以上三种流态也可按 A. M. 拉迪申可夫水力学公式计算流量系数:

$$\text{有压流} \quad \mu = Q/a \sqrt{2g(H + iL - h_L)} \quad (13)$$

$$\text{半有压流} \quad \mu_0 = Q/a \sqrt{2g(H + iL/2 - h_L)} \quad (14)$$

因底坡平缓也可用孔流公式

$$\mu = Q/a \sqrt{2g(H - \epsilon e)} \quad (15)$$

其中  $h_L = \beta d$

式中  $H, h_L$ ——上、下游水头, m;

$d$ ——上管径, m;

$\beta$ ——下游势能改正系数（可取用 0.85）；

$a$ ——过水断面面积， $m^2$ ；

$\epsilon$ ——闸下断面垂直收缩系数（可取用 0.72）。

用上式算得三组不同流态的流量系数，凡属同一组的系数变化均不大，且与相对开启度有关。在未能判别流态前，算得的流量系数为 0.54~2.51，相差 4.9 倍之多，说明流态判别清楚后，计算成果很有规律，除去三次特小开启度（ $<0.05m$ ）欠准外，根据曲线查得的数值与实测值比较，相对误差小于 5% 的点据达 93.8%，精度显著提高，说明模型实验成果用于水文测验效果较好。

从以上分析验证可以看出，几种流态判别试验成果用于水库涵管的生产实际，都能得到较好效果，且与理论公式推算的数据也很接近。

### 3.3 流量系数率定、综合和检验

#### 3.3.1 流量系数现场率定

流量系数实测点的允许偏差。表 3.3.1 中规定指标的主要依据说明如下：

(1) 根据收集到的全国共 83 个站的实测资料（其中自由孔流 60 个站，自由堰流 23 个站），对流量系数率定的偏差统计结果见表 10。

从表 10 中可以看出，孔流系数误差不大于  $\pm 5\%$  的站占 30%，堰流系数误差不大于  $\pm 5\%$  的站占 52%，说明只有部分测验精度高的站能达到误差不超过  $\pm 5\%$  的指标。而孔流系数误差不大于  $\pm 10\%$  的站占 85%，堰流系数误差不大于  $\pm 10\%$  的站占 95.6%，说明绝大部分站测验偏差能达到不超过  $\pm 10\%$  的指标，另外还有一小部分测验精度差的站还达不到  $\pm 10\%$  的指标。为此表 3.3.1 中偏差指标幅度为  $\pm 5\% \sim \pm 15\%$ ，分一类、二类、三类精度站分别执行不同的指标，即一类、二类执行  $\pm 5\% \sim \pm 10\%$  的指标，三类站执行  $\pm 10\% \sim 15\%$ 。

表 10 流量系数率定偏差情况统计表

偏 差 (%)	$\leq \pm 5$	$\leq \pm 10$
堰闸类型及统计总站数	占总站数 (%)	
自由孔流 60 个站	30	85
自由堰流 23 个站	52	95.6

(2) 参考《水文资料整编规范》(SL 247—1999) 中表 3.2.3.3 的规定。

### 3.3.2 流量系数综合

单站流量系数线与综合线的允许误差, 本标准规定不超过士 (3%~7%)。这个指标是以自由孔流 17 个站、自由堰流 21 个站的实测资料综合偏差统计为依据得出的, 如表 11 所示。

表 11 单站流量系数线与综合线偏差统计表

偏 差 (%)	$\leq \pm 3$	$\leq \pm 5$	$\leq \pm 8$	$\leq \pm 10$
堰闸类型及站数	占总站数 (%)			
平底平板门闸自由孔流, 共 17 站	41.1	70.6	100	100
各种堰的自由堰流, 共 21 站	61.9	76.2	85.7	95.2

从表 11 可以看出, 单站流量系数线与综合线的偏差小于等于士 3% 的, 有 41.1%~61.9% 的站, 偏差小于等于士 (5%~8%) 的有 70.6%~100% 的站。本标准根据现有资料实际情况把允许偏差规定在士 (3.0%~7.0%) 的范围内, 同时还可以根据站的测验精度分类和流量系数关系线上、中、下部的范围分别采用不同的指标。这样有一定的灵活性, 便于执行。

### 3.3.3 模型试验和经验流量系数的应用

模型试验流量的缩尺影响, 本标准用式 (3.3.3-1) 进行修正。式 (3.3.3-1) 引自河北省水利水电勘测设计院何士堂的《水工模型试验流量在水工建筑物测流中的应用》和《水工模型流量缩尺影响改正方法》两篇文章。现说明如下。

原型工程根据相似理论, 按一定比尺缩小成模型, 由于忽略了次要作用力, 更由于水流雷诺数变小, 阻力增大, 在相应水位 (或

水头) 条件下, 模型流量小于原型流量, 这种现象即模型流量的缩尺影响。采用原型实测流量与模型试验流量对比的方法, 得出的模型试验流量与原型实测流量间的偏差, 即模型流量的缩尺影响。

对溢流堰、坝的模型缩尺影响的改正, 收集了 12 个工程的原、模型 (整体模型) 流量对比资料, 如图 8 所示, 图中:

$$\Delta Q = \frac{Q - Q_m}{Q} \times 100 \quad (16)$$

式中  $\Delta Q$ ——流量偏差百分数;

$Q$ ——原型实测流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$Q_m$ ——模型试验流量 (已按比尺换算成原型值),  $\text{m}^3/\text{s}$ 。

对图 8 中 10 个工程 (黄壁庄、修文除外) 进行统计分析, 将全部为正偏差的 6 个工程的  $\Delta Q$  (%) 与相应的堰口处的模型雷诺数  $Re$  关系绘成关系图 (见图 9), 另外, 还应用了原辽宁水工试验所大伙房溢洪道实用堰模型缩尺影响 (当  $Re < 3.2 \times 10^4$  时,  $\Delta Q = \frac{2.9}{Re^{0.62}}$ , 当  $Re > 3.2 \times 10^4$  时,  $\Delta Q = \frac{3}{Re^{0.4}}$ , 用不同模型比尺求出)

及 H. II. 罗赞诺夫圆形堰首真空堰的 ( $\Delta Q = \frac{7.3}{Re^{0.58}}$ ) 资料。

图 9 中明显地表现出  $\Delta Q$  随  $Re$  而变的模型缩尺影响。点据分散反映了不同工程间原型与模型流量测验误差的不同, 表征了随观测手段、观测方法等不同而产生的随机误差。在图 9 中作均值及上、下限 3 线, 其上、下限则表征了精度的范围, 均值线则表征不同  $Re$  时  $\Delta Q$  的准确度。图 9 中用两个经验公式计算的点大体分别位于上限及下限。不同  $Re$  值时的  $\Delta Q$  (%) 均值及其精度范围如表 12 所示。

表 12 雷诺数与模型流量误差关系表

$Re$	均值 $\Delta Q$ (%) 及其精度范围	$Re$	均值 $\Delta Q$ (%) 及其精度范围
5000	9.7 ± 4.0	35000	2.7 ± 2.3
10000	7.5 ± 3.6	50000	1.7 ± 2.1
20000	4.8 ± 3.0	65000	1.2 ± 2.0

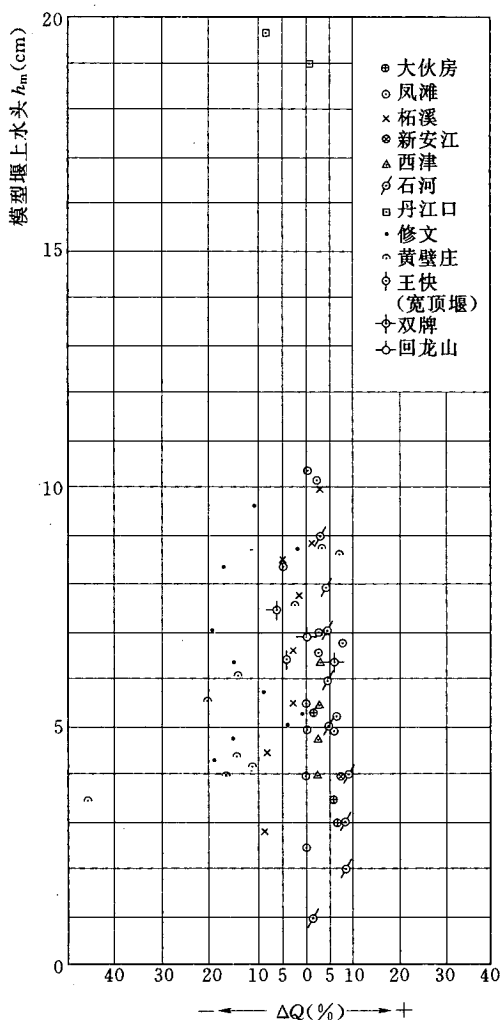


图8 溢流堰模型水头与流量偏差关系线图

为了消除缩尺影响，应对模型试验流量进行改正。为使其改正后的流量总误差在 $\pm(3\% \sim 5\%)$ 以内，其改正范围为：当 $Re > 35000$ 以后可不必改正，当 $Re < 35000$ 时应予改正。为使用方便，将 $Re = 5000 \sim 35000$ 之间的均值线用关系式表达如下：

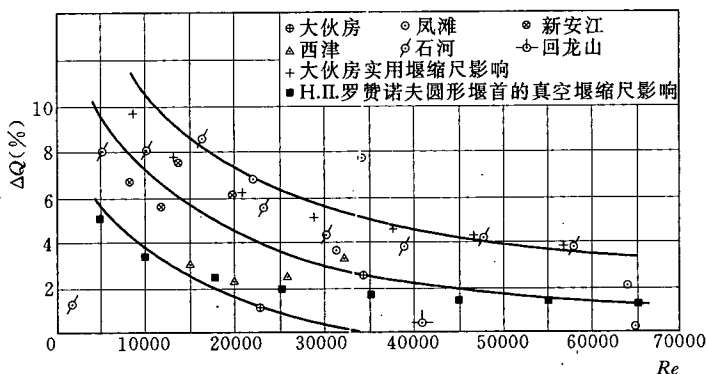


图9 雷诺数与流量偏差百分数关系线图

$$\Delta Q = 41.56 - 3.7 \ln Re \quad (17)$$

将式(16)和式(17)合并,得:

$$Q = \frac{100}{1 - (41.56 - 3.7 \ln Re)} Q_m$$

式中  $Q$ ——建筑物原型流量泄流量,  $m^3/s$ ;

$Q_m$ ——模型试验流量(已按模型缩尺换算成原型流量),  $m^3/s$ ;

$Re$ ——模型堰顶或闸孔雷诺数,其计算式为:

$$Re = \frac{Q_m}{bL_r^{\frac{3}{2}} \nu} \quad (18)$$

式中  $b$ ——原型建筑物堰口或闸孔净宽,  $m$ ;

$L_r$ ——模型长度比尺,如100、50等;

$\nu$ ——水流运动黏滞系数,  $m^2/s$ ,随水温而变,可取水温  $20^\circ$ 时的  $\nu$ 为  $0.000001 m^2/s$ 。

改正后所得的原型流量其误差在  $2.3\% \sim 4\%$ 之间。

当  $Re < 5000$ 后,由于缺乏资料,目前尚无改正的具体方法,宜采用现场率定,积累资料。

### 3.3.4 流量系数检测与检验

流量系数关系线进行以下四种检验:



(1) 符合检验目的是检验所定流量系数关系线两侧测点数目分配的合理性。

(2) 适线检验目的是按水力因素递增次序，检验实测点偏离曲线正负符号的排列情况。借以检查定线有无明显系统偏差。作适线检验时，若变换符号次数多于不变符号次数，则免作此项检验。采用最小二乘法选配曲线方程时，必须作适线检验。

(3) 偏离数值检验目的是检验测点偏离关系线的平均偏离值（即平均相对误差）的合理性。

(4) 检验适用于已经应用的流量系数的校测检验，通过校测检验判断原用的流量系数关系线的稳定程度，也可用于相邻年份或相邻时段的临时系数线是分开或合并定线的判断。

### 3.4 堰流流量推算

#### 3.4.1 自由堰流

(1) 宽顶堰（平底闸）经验流量系数，宽顶堰经验流量系数的推求。规范推荐苏联学者别列津斯基的方法。宽顶堰流量系数计算各家方法虽有不同，但结果差别不大，只要严格掌握其使用界限，中、高水头时流量系数比较稳定，且趋近常数。根据收集的 22 个站的现场率定资料（19 个站是实测资料，3 个站是模型试验资料），用规范中第 3.4.1 条公式计算的的经验系数与实测值比较，其结果如表 13 所示。计算值与实测值的比值  $K$  除个别站外，大部分大于 1.0，最大值达 1.095，16 个站的平均值为 1.023，说明计算值较实测值平均偏大 2.3%。这是由于进口段河床不够平顺，流速分布不规则等流态产生影响的结果。由于经验流量系数没有包括此种影响，所以计算值比实测值略偏大一些是符合实际情况的。

宽顶堰具有稳定的接近常数的流量系数（见表 13）。从 22 个站的实测成果可以看出，实测的达到稳定值的流量系数范围为 0.325~0.385。由此说明，宽顶堰的经验流量系数，具有一定精度。但在应用时，应该注意以下几个问题：

表 13 宽顶堰实测流量系数与经验流量系数比较表

序号	站名	堰型	堰高 $P$	堰厚 $\delta$	孔数 $n$	孔宽 $b$	实测 $C_{实}$	计算 $C_{计}$	数据数	$K = \frac{C_{计}}{C_{实}}$	备注
1	王村	平底闸	0		10	12	0.35	0.368	50	1.051	模型资料
2	黄壁庄	平底闸	0		11	7.8	0.357	0.368		1.031	
3	土门楼	平底闸	0		10	10	0.35	0.368		1.051	
4	牛牧屯(一)	平底闸	0		6	3	0.34	0.350		1.029	
5	牛牧屯(二)	平底闸	0		8	3	0.34	0.354		1.041	
6	赶水坝	有坎宽顶堰	0.5	10.8	36	4	0.348		189		
7	十方院	有坎宽顶堰	1.55	6.1	1	608.7	0.374	0.361 0.375~0.378		1.005 1.003~1.01	消除侧收缩
8	新盖房		0.5~2.5	6.0	1	570	0.370	0.375		1.013	模型资料
9	太宁寺	跌坎堰	0.5		1	15	0.380	0.385	37	1.013	模型资料
10	高陵	平底闸	0	10	4	6	0.37	0.358		0.968	无侧收缩
11	田庄	圆缘宽顶堰	1.6	10	8	10	0.361~0.385	0.361~0.372	9	0.966	
12	李家桥	平底闸	0		7	10	0.325	0.356	21	1.095	
13	郑店	平底闸	0		10	4	0.35	0.356	28	1.017	
14	刘桥	平底闸	0		10	5.8	0.36	0.36	42	1.00	
15	马庄	平底闸	0		23	2	0.35	0.35	10	1.00	
16	台儿庄	平底闸	0		10	7	0.33	0.356	27	1.078	
17	官庄子	平底闸	0		2	2.5	0.367		28		未计行近流速水头
18	昭平台	平底闸	0		5	10	0.35		27		未计行近流速水头
19	沾益	平底闸	0		6	3	0.357		73		未计行近流速水头
20	三盛公	平底闸	0		18	16	0.385 $h^{0.03}$		56		未计行近流速水头
21	凤河营	平底闸	0		7	3	0.35 $h^{0.1}$		158		未计行近流速水头
22	九里沟	平底闸	0		3	29	0.36		196		未计行近流速水头

1) 严格掌握应用界限, 其界限范围为:

$$(2 \sim 3)H < \delta < (6 \sim 10)H \quad (19)$$

式中  $\delta$ ——宽顶堰顺水流方向的宽度, 平底闸则为闸墩长度。

式 (19) 含意为只有当作用水头  $H$  与堰宽  $\delta$  的关系在式 (19) 范围内时方为宽顶堰流, 此时的流量系数随水头的变化不大, 趋近常数且较稳定。如果超出式 (19) 范围, 当水头  $H > (1/2 \sim 1/3)\delta$  时, 变为实用堰流或窄顶堰流, 流量系数将随水头增高而增大, 但此种情况在实际工程中并不多见。当水头  $H < (1/6 \sim 1/10)\delta$  时, 则变为明渠流, 流量系数随水头的降低而减小。

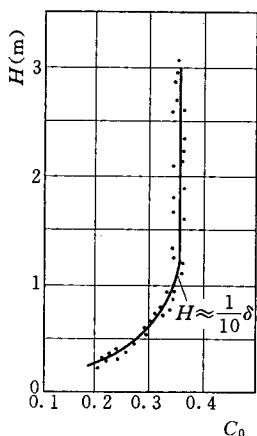


图 10 赶水坝闸实测  
 $H-C_0$  关系线图

以赶水坝闸为例, 该闸为平底闸, 闸底高出上游河底 0.5m, 共 36 孔, 每孔宽 4m, 闸墩长  $L=10.5\text{m}$  (平底闸墩长  $L$  相当宽顶堰宽  $\delta$ )。根据 189 次实测资料, 按总水头计算求得达稳定的流量系数为 0.359, 流量系数由小达到接近稳定值的转折点水头  $H$  约为  $1/10\delta=1.05\text{m}$  (见图 10)。

根据实测资料系数趋于稳定值的相对水头下限范围与宽顶堰的界限范围一致或基本一致。

2) 应注意行近流速水头影响。宽顶堰流在堰高较小或无坎 ( $P=0$ ) 的情况下, 行近流速水头往往可占总水头相当大的比重。如果不用总水头而用实测水头计算流量系数, 则往往偏大。当用总水头计算时, 宽顶堰的流量系数, 按理论不应超过 0.385, 表 13 中的 22 个站除个别因未计入行近流速水头外, 都未超过, 此亦表明表 13 所列各站实测值的合理性。而如果用实测水头计算, 流量系数就有可能超过 0.385。例如, 表 13 中的三盛公闸, 实测流量系数为  $C=0.385h^{0.03}$ , 表示当实测水头  $h=1\text{m}$  时,  $C$  已达到 0.385, 当  $h>1\text{m}$  时,  $C$  将超

过 0.385，并随水头的增高而增大。凤河营站的流量系数亦随水头增高而加大，也是由于受行近流速水头的影响。

前面提到的赶水坝闸，是一座 36 孔的多孔闸，当用实测水头计算的流量系数时，开启孔数越多，因行近流速越大，使流量系数越偏大，点据十分散乱。而改用总水头计算的流量系数时， $H-C_0$  关系即成为单一线，如图 10 所示。

为了使流量系数  $H-C_0$  关系单值化，并可与水力学方法计算值进行比较，使系数具有可比性，便于同类型堰闸流量系数的综合分析，可用于资料整编定线的合理性检查等，则应按第 3.2.4 条规定，当行近流速  $v_0 \geq 0.361 \sqrt{H}$  时，应采用总水头进行计算。

3) 宽顶堰流在其界限范围以下，即  $H-C_0$  关系曲线的下部，属明渠流范围的部分，虽也用宽顶堰流公式计算，但本标准没有提出确定流量系数的经验方法，须通过实测率定，或作专门的模型试验，或参照用短渠公式计算流量。

(2) 实用高、低堰界限判别。高堰，其溢流不受堰高影响，计算可以简化。低堰溢流，其流量系数除决定于堰型和溢流水头外，还受到上下游堰高的影响，计算比较复杂。所以，在分析计算流量系数时，首先应进行高、低堰的判别。现有高、低堰界限判别方法各不相同，但都以上游堰高  $P$  与定型水头  $H_d$  之比作为判别标准。如美国陆军工程兵团规定 WES 堰的高、低界限为： $P/H_d \geq 1.33$  为高堰；苏联规范规定克—奥堰的高、低堰界限为  $P/H_d \geq 3$ ，属于高堰；而别列津斯基对克—奥堰的研究表明， $P/H_d < 0.8$  时，流量系数才明显减小。

1) 这些高、低堰的判别标准，存在的问题是：

a. 标准不统一，而且只适用于特定的标准曲线堰，其他标准堰和非标准堰，都没有明确的判别标准。

b. 界限中只提上游堰高，不含下游堰高，是不全面的。

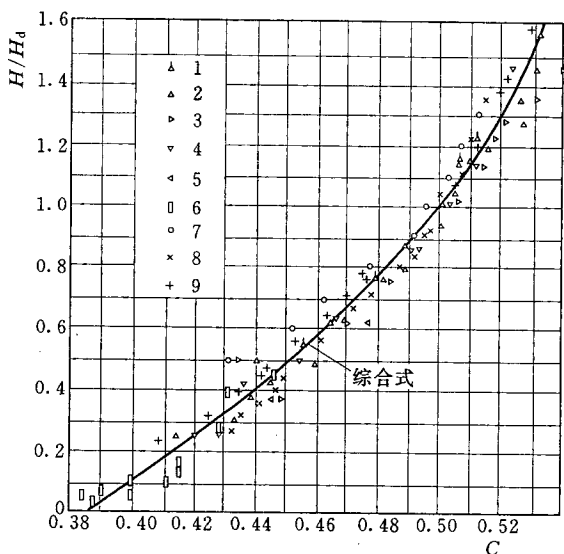
c. 这些界限指标  $P/H_c$ ，只是堰的几何特征，只表征堰的胖瘦程度，不反映堰的溢流条件，也不尽合理。例如，WES 堰当  $P/H_d = 1.33$  时，则属高堰，但当  $H/H_d = 1.6$  时，其流量

系数为 0.524，比高堰值 (0.532) 低，应属于低堰，相反  $P/H_d = 0.20$  时，应属低堰，但当  $H/H_d = 0.40$  时，流量系数 0.439 与高堰相同，又应属于高堰。

本标准推荐的高、低堰的判别方法，是与流量配套的，所包含的水力因素较全面，可通用于各种堰型。

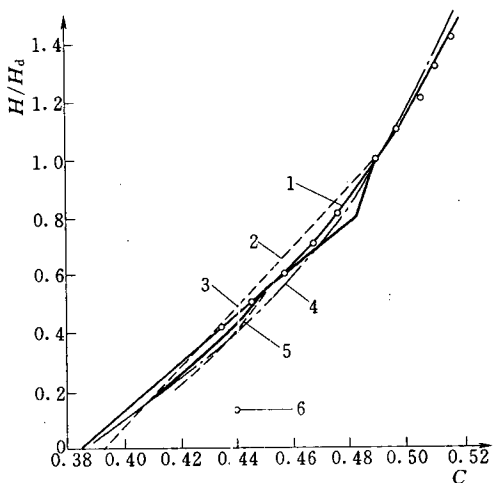
2) 高堰流量系数。我国应用较多的高堰主要是克—奥堰和 WES 堰，也还有一些非标准堰。对于克—奥堰和 WES 堰，国内外都做过大量的研究工作，本标准推荐的流量系数计算公式是山东省水利科学研究所根据各家的资料综合而得的。

WES 堰和克—奥堰公式的综合情况如图 11 和图 12 所示。将凤滩、西津、柘溪、鸭河口、上犹江、九曲、长岗 7 个站的资料点绘于一起，如图 13 所示。用 7 个站的资料对式 (3.4.1-2) 的检验结果见表 14。



1—WES I 1949; 2—WES I 1962; 3—WES II 1969;  
4—WES III 1969; 5—WES IV 1969; 6—WES 原型资料;  
7—浙江水科所; 8—长江科学院; 9—山东水科所

图 11 WES 堰  $H/H_d - C$  关系线图



1—综合线；2—南京水利所；3—巴甫洛夫斯基；  
4—罗赞诺夫；5—奥菲采罗夫；6—浙江水科所

图 12 克—奥高堰  $H/H_d$ — $C$  关系线图

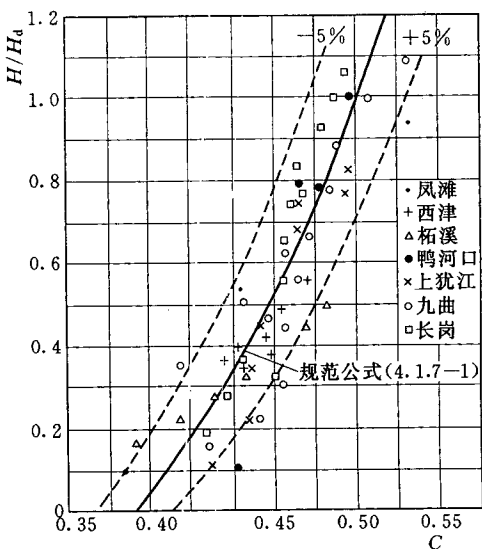


图 13 克—奥 I 型高堰  $H/H_d$ — $C$  关系检验线图

表 14 克奥型堰高堰流量系数检验成果表

站名	堰高 $P$ (m)	定型 水头 $H_d$ (m)	孔数 $n$	孔宽 (m)	测点数		资料范围 $H/H_d$	平均偏差 $K = \frac{C_{计}}{C_{实测}}$ (%)	标准差 $S$ (%)	备注
					实测	模型				
上犹江	54.5	8.8	5	12		10	0.11~0.80	-0.5	2.6	由 实 测 线 摘 录
九曲	20.0	6.4	1	120		8	0.16~1.10	-1.5	3.3	
长岗	34.8	10.7	3	10		11	0.19~1.06	0.5	2.1	
西津	13.0	14.2	17	14	4		0.35~0.56	-1.0	1.3	
风滩	106.5	13.0	13	14	7		0.40~0.80	2.7	3.5	
柘溪	76.0	18.19	9	12	7		0.17~0.50	-0.2	-4.0	
鸭河口	9.0	9.0	4	12	9		0.11~1.0	-3.3	4.8	
总计					27	29		-0.5	3.2	

3) 低堰流量系数。低实用堰的堰型繁多, 有标准堰, 还有非标准堰。现有推求低堰流量系数的方法, 多是对特定的堰型、堰高、水头条件求得的。对于标准型的低堰, 国内广泛采用的是美国陆军工程兵团的方法, 但该法还存在一些问题没有解决。

对于非标准堰, 计算方法各异, 也不全面, 作为规范很难将这些资料全部收集到。

本标准推荐的方法对低堰流量系数计算考虑了各种堰型、堰高和水头条件。计算分两步进行, 先求下游堰高无影响的流量系数, 然后计入下游堰高的影响。在推求下游堰高无影响的流量系数时, 利用高堰流量系数换算成与  $H/P$  的关系线和假定堰上游形成临界水深的流量系数 [ $C_c = 0.385(1 + P/H)^{3/2}$ ] 作为外包线, 这成为该计算方法的理论基础。

在计算下游堰高影响时, 不是简单地建立  $P_L/H-C$  关系, 而是分别试验了不同堰型  $P/H_d$  (或  $P/L$ ) 和  $P_L/P$  的流量系数变化规律 (见附录 C)。由此总结出的低堰流量系数计算方法, 即通用于不同堰型, 又全面反映下游影响的实际规律。

(3) 侧收缩系数。侧收缩系数  $\epsilon'$  的计算方法较多, 其主要形式为:

$$\epsilon' = 1 - 0.2 \frac{\xi_a + (n-1)\xi_p}{n} \frac{H}{b} \quad (20)$$

式中  $\xi_p$ ——中墩形状系数；  
 $\xi_a$ ——边墩形状系数。

式(20)所表示的侧收缩系数，基本来自法兰西斯的有效宽度概念，认为  $\epsilon'$  与  $H/b$  成线性函数关系。这样的关系，对于方形墩头，或水流在墩头存在明显分离的情况，可近似地反映实际，但对于工程中常用的圆滑（半圆或鱼嘴形）墩头，特别是在低堰溢流的情况下，计算与实际相比，不仅数值差异大，甚至规律相反。例如，国内广泛采用的苏联规范法，规定  $\xi_p$ 、 $\xi_a$  都是常数，并给出各种墩头的具体数值。实际的  $\epsilon'$  值随  $H$  的增加先变小后增大，其值可超过 1.0；而计算的结果是  $\epsilon'$  单值变小，其值恒小于 1.0。

美国陆军工程兵团和江西省水利科学研究所为克服法兰西斯形式的侧收缩系数表达式与实际规律之间的矛盾，把形状系数  $\xi_p$  与其他的影响因素建立关系，并用于低堰计算，计算结果仍与实际规律不尽相符（见图 14）。

由对比看出，闸墩所形成的侧收缩系数有几何收缩系数，相对堰宽（ $\epsilon = \frac{b}{b+d}$   $d$  为堰厚）和下游堰高  $P_L$  都对侧收缩系数

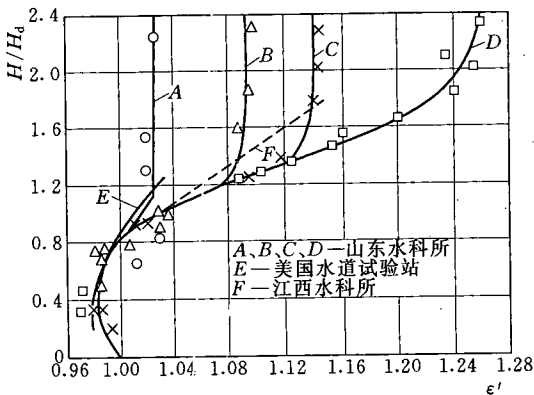


图 14 WES 低堰（半圆墩头）侧收缩系数对比关系线图



有重要影响，但过去各种计算中均未计入这些影响因素，计算结果难以反映实际情况。本标准推荐了山东省水利科学研究所提出的侧收缩系数计算方法。

- 1) 高堰方墩头采用苏联规范方法。
- 2) 高堰圆弧墩头和边墩采用美国陆军工程兵团的资料。
- 3) 低堰边墩采用江西省水利科学研究所成果。
- 4) 其余均采用山东省水利科学研究所成果。

(4) 低堰和宽顶堰进口流态系数。堰流量计算中，经验流量系数和侧收缩系数，都是在进水渠顺直、正向进流条件下取得的。但实际工程的进流条件并不完全如此简单和规则，特别是有些水库的岸边溢洪道，其进口水流条件不够理想，为此需要引进进口流态系数来修正进口水流条件对流量的影响。

进口水流条件的影响，主要是由于进口段的河槽不规则，或侧向进流引起的偏流、回流（旋涡）所造成的水头损失，以及因流向偏斜、流速分布不均匀所造成的水头损失，而影响过堰流量。

进口流态系数的影响因素，分两大类，一是进流的平面形态；二是河道中水流的流态（急缓程度）。但为了与进流的几何和水力因数相关，引用一个新的无量纲  $B_p/CB'H$  值（ $B$  为进口河槽水面宽， $m$ ； $B'$  为堰口宽， $m$ ；其他符号意义同前）。此值包括进流的几何与水力条件中的主要因素，又与弗劳德数等效。至于进流的平面形态，主要与进口方向、流向的顺直情况有关，条件较复杂，只能作定性描述。进口流态系数不能实测，只能根据已有流量实测资料或模型试验资料推求。

推求进口流态系数的途径：一是根据断面模型和整体模型试验的流量，计入边墩的侧收缩影响后，直接推求进口流态系数；二是根据整体模型或原型实测的水位（水头）和流量，利用合理的计算方法先求出流量系数和侧收缩影响系数，再利用式(3.4.1-1)推求进口流态系数。

### 3.4.2 淹没堰流

下游水头对过堰流量的影响，用淹没系数反映时，用式

(21) 计算:

$$Q = \sigma \epsilon' C h b \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (21)$$

淹没系数  $\sigma$  主要与下游水头有关, 同时还受堰、闸和上、下游边界以及水力条件等因素的影响, 关系十分复杂。过去的计算方法多是针对具体的堰型, 给出  $h_L/H-\sigma$  关系。

宽顶堰的淹没系数计算, 多采用别列津斯基提供的  $h_L/H-\sigma$  关系。实践表明, 由于边界条件复杂, 计算结果难免与实际有出入, 但误差多在允许范围内, 为国内大多水力学教科书和水力计算手册所推荐。

克一奥堰淹没系数的计算资料, 多只限高堰使用; 别列津斯基公布过其低堰试验成果, 但只限于  $H/h_L = 1$ , 且  $P/H_d \geq 0.5$  的条件, 难于满足实用的要求。

美国陆军工程兵团提供的 WES 堰淹没系数, 包括了溢流水头  $H$ 、下游堰高  $P_L$  和下游水头 (上、下游水位差  $\Delta Z$ ) 的影响, 存在的问题是:

(1) 该资料把下游护坦的干扰作为淹没处理, 与淹没理论相悖。

(2) 该资料给定的临界水头、淹没系数都与上游堰高无关, 但是上游堰高不同, 自由流的流量系数就不同, 临界水深和淹没系数也不同。因此, 该资料也未反映低堰的水力特点, 且计算繁琐。

山东水利科学研究所提出的推算淹没系数的方法较为简便、实用。该法认为堰、墩、水力条件的差异, 可用自由堰流的流量系数  $C$  和侧收缩系数  $\epsilon'$  及进口流态系数  $K$  的乘积来反映, 加上下游水深 (以水头比  $h_L/H$  来表示) 因素, 可以基本概括淹没堰流的各种条件。综合各家的试验资料点绘制的  $h_L/H-K\epsilon'C-\sigma$  关系线, 相关性较好, 故推荐用于淹没堰流的计算。

这一关系线通用于宽顶堰 (包括有坎堰和无坎堰) 和实用堰

(包括标准堰和非标准堰)。由该关系线看出，开始淹没所相应的  $(h_L/H)_c$  值，因  $K\epsilon'C$  值的不同而异， $K\epsilon'C$  值愈小，开始淹没及所相应的  $(h_L/H)_c$  值愈大。

开始淹没所相应的  $(h_L/H)_c$  值即为自由堰流与淹没堰流的界限，亦叫初始淹没点（或临界淹没点）。但现有多数资料认为，除此界限以外，还需判别下游是否形成淹没水跃。据分析，一般情况下，达到淹没界限的下游水位，下游已形成淹没水跃，因为  $h_L/H-\sigma$  关系就是在下游为缓流的条件下得到的，而且下游形成水跃的判别，因下游条件的不同（包括下游扩散和消能影响）差异较大，故本规范未给出下游形成水跃的判别条件。

将本标准中推荐的堰流淹没系数图，分别用别列津斯基的宽顶堰和克—奥堰的淹没系数表查得淹没系数作比较（见图 15），由图 15 可以看出宽顶堰的淹没系数与图 15 中  $K\epsilon'C = 0.36$  的线完全重合。克—奥高堰的流量系数介于  $K\epsilon'C = 0.48 \sim 0.50$  之间，也是合理的，无系统偏差。

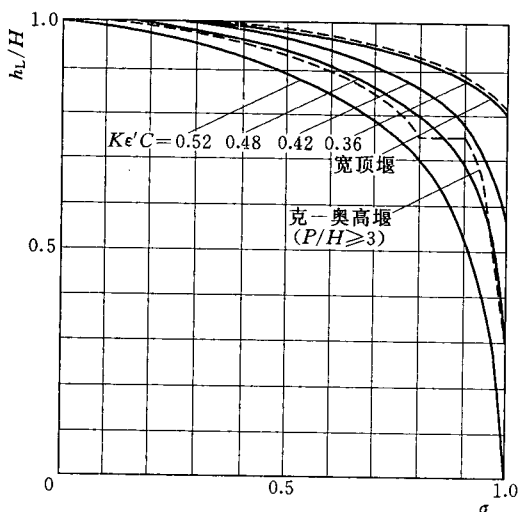


图 15 堰流淹没系数  $h_L/H-K\epsilon'C-\sigma$  关系线检验图

## 3.5 孔流流量推算

### 3.5.1 自由孔流

(1) 自由孔流流量系数关系线 ( $e/H-\mu$ ) 的线型, 过去水力学书中, 多数为直线形式, 但水文站的实测率定成果, 均为曲线形式, 根据收集到的 36 个闸的实测资料进行了分析 (平底平板门闸 25 站, 平板门实用堰闸 4 站和弧形门实用堰闸 7 站), 分析表明, 并非直线, 而是下凹形曲线。分析原因, 主要是因水力学的经验公式是以模型试验资料为主要依据, 而模型试验的条件与实际工程情况存在着差异。

1) 模型中闸门底缘为锐缘, 而实际工程由于闸门底缘均装有止水橡皮垫并非锐缘, 以致影响闸孔出流的垂直收缩系数。此种影响在闸门开度较大时不明显, 但当闸门开度小时就突出起来。

2) 模型试验闸门小开度时, 出流的雷诺数相对减小, 阻力大, 模型缩尺效应的影响加大, 也是使流量系数偏小的原因。

3) 模型试验多为工程服务, 不重视闸门小开度出流, 闸门开度小时, 观测精度难以控制, 故在  $e/H < 0.1$  时缺少测点, 容易定为直线关系。

由于上述原因, 使实测流量系数关系线的下部点值, 比模型试验值偏大。

水力学的经验公式直线方程的应用范围规定, 相对开度  $e/H$  的下限值不得小于 0.1, 这显然不能满足水工建筑物测流的要求。而改用曲线方程, 相对开度  $e/H$  的下限可扩展至 0.03, 从而可以满足水工建筑物测流要求。

为此, 本标准推荐, 将现场率定成果拟合成经验公式时用曲线方程。为简化计算, 一般以用双曲线型为主, 也可应用二次三项式。

(2) 自由孔流流量系数综合验证。孔流的经验流量系数公

式较多，不够一致。编写组搜集了全国各种类型堰闸的现场率定成果，并与模型试验以及各家的经验公式几个方面进行分析对比，综合出下列经验公式。现将各公式的综合验证情况说明如下。

1) 平底平板门闸。规范公式 (3.5.1-4) 是用 19 个闸的实测资料综合而得的。综合流量系数关系线如图 16 所示。从表 15 可以看出，流量系数线多站平均值与综合公式，即规范公式 (3.5.1-4) 计算值十分一致。

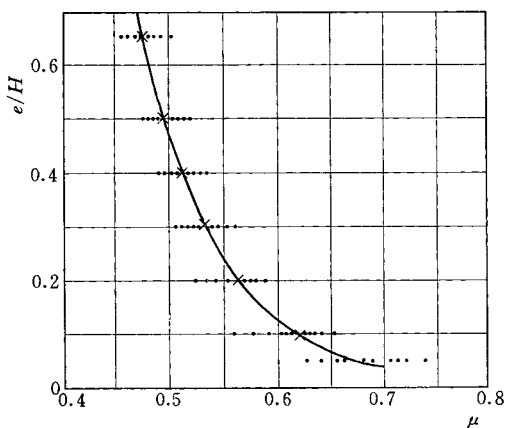


图 16 平底平板门闸孔流综合  $e/H-\mu$  关系线图

表 15 平底平板门闸自由孔流流量系数成果表

序号	站(闸)名	孔数	孔宽(m)	不同相对开度 $\left(\frac{e}{H}\right)$ 的系数 ( $\mu$ ) 值							
				0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.65
1	香河	36	4	0.738	0.653	0.560	0.519	0.497	0.481	0.474	0.460
2	北昌	12	3		0.605	0.552	0.525	0.506	0.490	0.475	0.470
3	牛牧屯	8	3		0.630	0.590	0.563	0.535	0.515	0.490	0.480
4	新盖房	5	8		0.620	0.570	0.535	0.510	0.490	0.475	0.470
5	献县	6	8	0.655	0.620	0.565	0.535	0.514	0.496	0.483	0.477

表 15 (续)

序号	站(闸)名	孔数	孔宽(m)	不同相对开度 $\left(\frac{e}{H}\right)$ 的系数 $(\mu)$ 值							
				0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.65
6	四女寺	3	8	0.662	0.601	0.544	0.514	0.493	0.478	0.466	0.460
7	王铺	5	10		0.560	0.526	0.507	0.493	0.484	0.476	0.472
8	李家桥	7	10	0.674	0.609	0.550	0.519	0.497	0.481	0.469	0.463
9	大道王	9	10	0.688	0.619	0.567	0.524	0.501	0.484	0.471	0.466
10	王堤口	5	10	0.626	0.580	0.537	0.513	0.498	0.486	0.476	0.472
11	刘桥	10	5.8	0.639	0.592	0.549	0.525	0.509	0.496	0.487	0.483
12	官家	13	10	0.700	0.634	0.574	0.541	0.519	0.503	0.490	0.484
13	李庙	12	3.8	0.705	0.632	0.566	0.531	0.509	0.490	0.476	0.470
14	台儿庄	7	10	0.684	0.621	0.564	0.532	0.512	0.496	0.483	0.476
15	马庄	23	2	0.717	0.642	0.576	0.538	0.514	0.496	0.482	0.476
16	红总	6	8	0.713	0.632	0.582	0.546	0.521	0.506	0.492	
17	总干四闸	4	2.5	0.677	0.625	0.577	0.551	0.533	0.520	0.509	0.504
18	义和四闸	3	2.5	0.672	0.621	0.575	0.549	0.532	0.519	0.508	0.503
19	九宣闸	5	5.9		0.578	0.560	0.585	0.524	0.500	0.4888	0.481
平均值				0.682	0.616	0.562	0.533	0.512	0.495	0.482	0.476
综合公式 $\mu = 0.454 \left(\frac{e}{H}\right)^{-0.133}$				0.683	0.621	0.565	0.534	0.513	0.497	0.485	0.482
标准差 (%)				3.71			2.57				

各站的系数线偏离综合线的标准差，下部为 3.71%，中、上部为 2.54%，说明 19 个站的资料一致性较好。

各家的水力学公式有：

武汉水利电力学院公式：

$$\mu = 0.60 - 0.18e/H$$

苏联马德诺夫公式：

$$\mu = 0.448(e/H)^{-0.148}$$

河海大学（1988年）公式：

$$\mu = 0.598 - 0.190e/H$$

用本标准推荐公式（3.5.1-4）计算流量系数，与以上三家公式计算值比较，具体情况见图 17 和表 16。

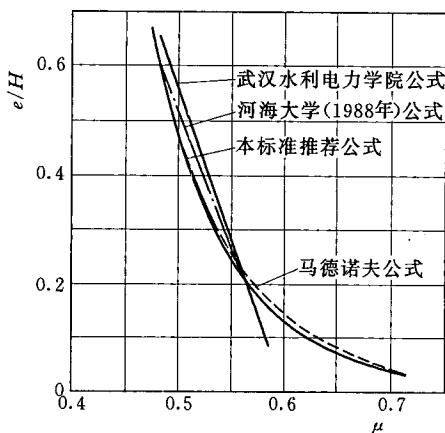


图 17 平底平板门闸孔流流量系数本标准推荐公式与各家公式比较关系线图

表 16 平底平板门闸自由孔流系数比较表

单 位	公 式	$e/H-\mu$		
		0.10	0.30	0.50
本标准推荐公式	$\mu = 0.454(e/H)^{-0.138}$	0.624	0.536	0.499
武汉水利电力学院	$\mu = 0.60 - 0.18e/H$	0.582	0.546	0.510
河海大学（1988年）	$\mu = 0.598 - 0.190e/H$	0.579	0.541	0.503
马德诺夫	$\mu = 0.448(e/H)^{-0.148}$	0.630	0.535	0.496

武汉水利电力学院公式和河海大学（1988年）公式均为直线方程，本标准推荐公式与马德诺夫公式均为曲线方程。当

$e/H = 0.1$  时, 武汉水利电力学院公式和河海大学 (1988 年) 公式计算的流量系数比规范公式计算值分别偏小 6.8% 和 6.3%。当  $e/H = 0.2$  时, 三曲线几乎相交。当  $e/H = 0.4$  时, 武汉水利电力学院公式和河海大学 (1988 年) 公式计算的流量系数比本标准推荐公式计算值分别偏大 2.9% 和 1.7%。而马德诺夫公式, 当  $e/H \geq 0.3$  时, 与本标准推荐公式几乎完全一致。当  $e/H < 0.3$  时, 马德诺夫公式稍偏大。图 18 表明, 本标准推荐公式与传统的流体力学经验公式和新提供的模型试验成果在关系线的中、上部差别不大, 基本一致, 而在关系线的下部与直线式差别较大。

根据各家公式对比和实测资料验证, 本标准推荐公式是以实测资料为基础的, 应该也是比较实用的公式。

2) 平底弧形闸门 (下游平坡)。本标准推荐公式 (3.5.1-5) 是引用山东省水利科学研究所《堰闸水力设计》一书中的公式。应用 4 个闸的实测资料进行验证, 并与武汉水利电力学院《水力计算手册》中的公式:

$$\mu_{武} = \left(0.97 - 0.81 \frac{\theta}{180^\circ}\right) - \left(0.56 - 0.81 \frac{\theta}{180^\circ}\right) e/H \quad (22)$$

进行对比, 4 个站的基本情况如表 17 所示。

表 17 4 座弧形门平底闸的工程基本情况

站 (闸) 名	孔数	孔宽 (m)	弧门半径 $R$ (m)	门轴高度 $C$ (m)	资料运行范围 $e/H$	闸上游水尺离闸距离 (m)
岸堤	5	10	9.6	8.0	0.02~0.56	50
昭平台	5	10	12.0	9.0	0.05~0.41	65
五岳	2	10	6.2	4.0	0.04~0.60	65
南湾	2	12	7.0	5.0	0.04~0.52	250 (大坝)

实测值与计算值比较见表 18。由表 18 可以看出, 实测值普遍小于计算值。同时, 武汉水利电力学院公式计算值与实测值比



较，其偏差大于规范公式偏差。

本标准推荐公式与武汉水利电力学院公式比较，本标准推荐公式见图 18 及表 18 和表 19。

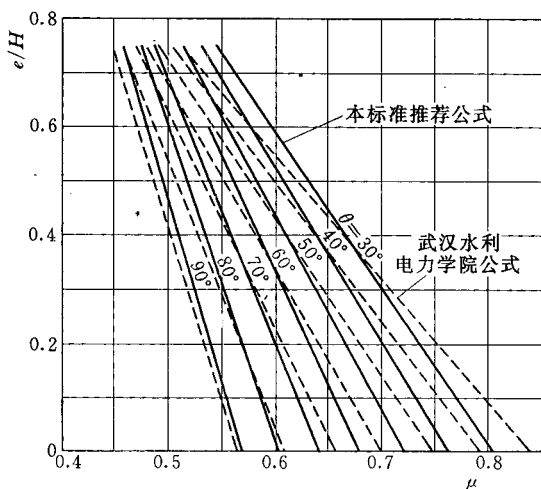


图 18 弧形门平底闸孔流流量系数规范公式与武汉水利电力学院公式比较关系线图

表 18 弧形门平底闸实测孔流流量系数检验经验公式成果表

站(闸)名	实测数据数	实测与武汉水利电力学院公式比较(%)				实测与本标准推荐公式比较(%)				备注
		±5%合格率	±10%合格率	平均偏差	标准差	±5%合格率	±10%合格率	平均偏差	标准差	
岸堤	23	52.2	91.3	-1.2	6.2	60.9	91.3	+0.6	6.7	闸上测流资料 闸下测流资料
岸堤	34	35.3	85.3	-4.3	7.0	41.2	88.2	-3.0	6.8	
昭平台	25	68.0	92.0	-3.6	6.4	80.0	96.0	-2.1	5.8	
南湾	51	11.8	51.0	-5.5	10.7	23.5	72.5	-3.6	8.7	
五岳	32	28.1	67.7	-7.2	10.3	37.5	78.1	-6.8	9.7	

注：平均偏差多数为负值，说明实测值小于经验公式计算值。

表 19 弧形门平底闸两种公式计算的孔流流量系数表

e/H	$(\frac{\mu_{武}}{\mu} - 1) \times 100\%$					
	$\theta=15^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=60^\circ$	$\theta=75^\circ$	$\theta=90^\circ$
0.1	2.0	3.0	3.1	1.8	0.7	-1.1
0.2	1.0	1.5	1.9	1.3	0	-1.3
0.3	0	1.1	1.1	0.1	-0.2	-1.5
0.4	-1.0	-0.1	0	-0.5	-1.1	-1.6
0.5		-1.7	-0.5	-1.6	-1.5	-1.7
0.6				-2.6	-2.5	-1.8
0.7					-2.8	-1.9

3) 曲线形实用堰平板门闸。本标准推荐公式 (3.5.1-6) 是根据崂山、门楼、上犹江、欧阳海、周村 5 个平板门曲线堰闸实测资料综合而得的, 见表 20 和图 19。与其他各家公式的比较见表 21 和图 20 所示。从图 21、表 21 中可看出, 武汉水利电力学院 (1989 年) 克—奥堰公式计算的流量系数与本标准推荐公式计算值接近。武汉水利电力学院 (1988 年) 克—奥堰公式与马德诺夫公式计算的流量系数都比本标准推荐公式计算值系统偏大。武汉水利电力学院 (1983 年) WES 堰公式计算的流量系数与规范计算值比较, 上部偏大, 下部偏小。

表 20 平板门曲线实用堰闸孔流流量系数成果表

序号	站 (闸) 名	孔数	孔宽 (m)	不同相对开度 (e/H) 的系数 ( $\mu$ ) 值							
				0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
1	崂山	5	10	0.709	0.657	0.609	0.582	0.564	0.550	0.539	0.530
2	门楼	12	10	0.793	0.726	0.665	0.631	0.609	0.592	0.578	0.567
3	上犹江	5	12	0.729	0.682	0.638	0.613	0.596	0.584	0.573	0.565
4	欧阳海	5	11.5	0.690	0.655	0.607	0.591	0.576	0.560	0.537	0.530
5	周村	5	5	0.910	0.792	0.690	0.636	0.600	0.574	0.554	0.537
平均值				0.766	0.702	0.642	0.611	0.589	0.572	0.556	0.546
本标准推荐公式 $\mu = 0.530(e/H)^{-0.120}$				0.759	0.699	0.643	0.612	0.592	0.576	0.563	0.553
标准差 (%)				8.26			3.18				

表 21 平板门曲线使用堰闸孔流流量  
系数不同计算公式比较

公式名称	公 式	$e/H-\mu$				
		0.08	0.1	0.3	0.5	0.7
本标准推荐公式	$\mu = 0.530(e/H)^{-0.120}$	0.770	0.699	0.612	0.576	0.553
武汉水利电力学院 (1988年)克一奥	$\mu = 0.570(e/H)^{-0.106}$	0.827	0.727	0.647	0.613	0.592
武汉水利电力学院 (1989年)克一奥	$\mu = 0.556(e/H)^{-0.104}$	0.801	0.706	0.630	0.598	0.577
马德诺夫	$\mu = 0.560(e/H)^{-0.120}$	0.806	0.793	0.647	0.615	0.584
武汉水利电力学院 (1988年)WES	$\mu = 0.575(e/H)^{-0.062}$	0.715	0.669	0.619	0.600	0.588
平均		0.784	0.719	0.631	0.600	0.579

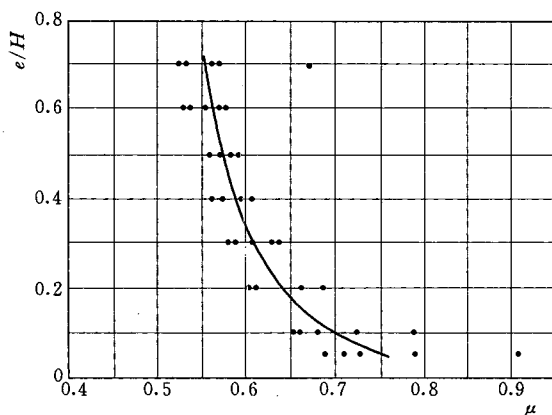


图 19 平板门曲线实用堰闸孔流综合  $e/H-\mu$  关系线图

4) 曲线形实用堰弧形门闸。本标准推荐公式 (3.5.1-7) 是用 7 个闸的实测资料进行综合而得的, 见表 22 和图 21。与其他各家公式的比较情况, 见图 22 和表 23。

由图 22 可看出, 清华大学公式的数值与本标准推荐公式计算值比较, 关系线中部基本一致, 关系线上部和下部清华大学公式均略偏小, 武汉水利电力学院公式在  $e/H < 0.25$  时偏小较多。

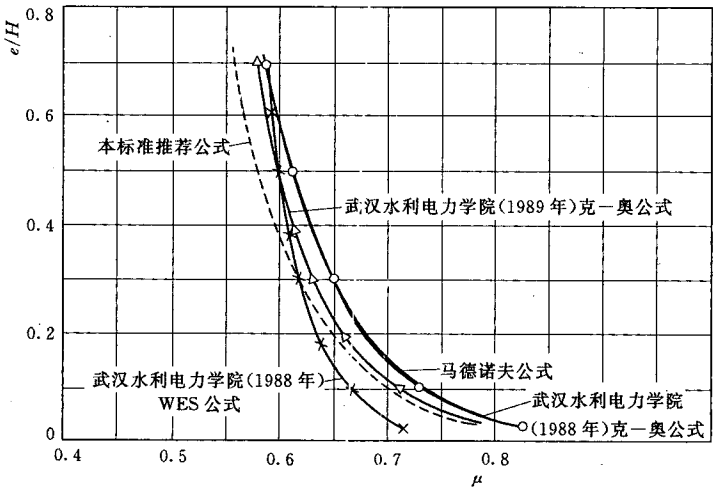


图 20 平板门曲线实用堰闸孔流流量系数本标准推荐公式与各家公式比较关系线图

表 22 弧形门曲线形实用堰闸孔流流量系数成果表

序号	站(闸)名	孔数	孔宽(m)	不同相对开度( $e/H$ )的系数( $\mu$ )值							
				0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
1	长岗	3	10		0.755	0.700	0.662	0.635	0.615	0.600	0.585
2	弧石滩	3	10		0.745	0.665	0.615	0.585	0.565	0.545	
3	鸭河口	4	12	0.740	0.685	0.640	0.613	0.593	0.580	0.567	0.554
4	陆水(主坝)	5	9.4	0.715	0.693	0.664	0.641	0.625	0.614		
5	峡山	5	10	0.774	0.7121	0.655	0.624	0.603	0.587	0.574	0.564
6	马湾	7	10		0.769	0.688	0.645	0.615	0.594	0.577	0.562
7	岳城	9	12		0.685	0.650	0.625	0.600	0.582	0.562	0.548
平均值				0.743	0.721	0.666	0.632	0.608	0.591	0.571	0.563
本标准推荐公式 $\mu = 0.531(e/H)^{-0.139}$				0.805	0.731	0.664	0.628	0.603	0.585	0.570	0.558
标准差(%)				5.13			2.89				

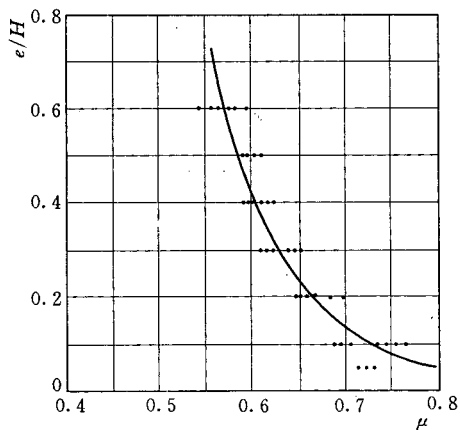


图 21 弧形门曲线实用堰闸孔流综合  
 $e/H-\mu$  关系线图

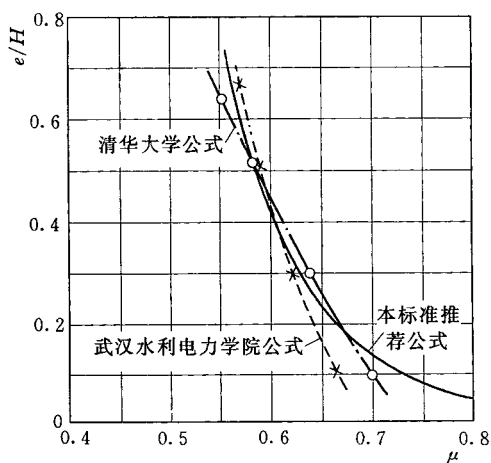


图 22 弧形门曲线实用堰闸孔流流量系数本标准  
推荐公式与各家公式比较关系线图

表 23 曲线实用堰各家公式计算自由孔流流量系数比较

单 位	公 式	e/H		
		0.1	0.3	0.5
本标准推荐公式	$\mu = 0.531(e/H)^{-0.139}$	0.731	0.628	0.585
清华大学	$\mu = 0.736 - 0.356e/H + 0.101(e/H)^2$	0.701	0.638	0.583
武汉水利电力学院 (1975年)	$\mu = 0.685 - 0.19(e/H)$	0.666	0.628	0.590

### 3.6 隧、涵洞流量推算

#### 3.6.1 有压、半有压自由流

有压、半有压自由管流经验流量系数规范推荐公式为：

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \sum \zeta_i \left(\frac{a}{a_i}\right)^2 + \sum \frac{2gL_i}{C_i^2 R_i} \left(\frac{a}{a_i}\right)^2}} \quad (23)$$

为对式 (23) 进行检验，应用山东省龙角山、许家崖、冶源、金斗共 4 个水库输水洞的实测流量系数与规范公式 (3.6.1-2) 的计算值进行检验，检验成果见表 24。

表 24 水库输水洞基本情况表

洞 名	洞长 L (m)	洞径高宽 (m×m)	洞坡 (%)	洞断面 形状	闸门位置	闸门形式
龙角山水库西输水洞	86	2×2	5.84	矩形	中间	平板门
许家崖水库输水洞	159	φ1.5	10.0	圆形	中间	平板门
冶源水库西输水洞	88	1.5×1.5	5.0	方形	中间	平板门
金斗水库输水洞	52	1.0×1.0	2.9	方形	进口 10m	平板门

水库输水洞内均设有闸门，出流时由于闸门的开启情况不同，现分别对闸门全开 ( $e = D$ ) 和闸门部分开启 ( $e < D$ ) 两种情况下的有压流进行统计分析：

(1) 闸门全开 ( $e = D$ ) 有压自由流流量系数分析。

1) 实测流量系数。龙角山水库有 18 次实测资料，许家崖水库有 19 次实测资料。流量系数用规范公式 (3.6.1-1) 计算：

$$\mu = \frac{Q}{a \sqrt{2g(H' - \eta D)}}$$

用实测流量系数与水头作相关因素，建立  $H' - \mu$  流量系数关系线，如图 23 和图 24 所示。从图中可以看出该两站的  $H' - \mu$  关系较好，系数也比较稳定。流量系数随水头的增高略有增大，但变化幅度较小，可近似取平均值使用。龙角山站的实测流量系数平均值为 0.602，许家崖站平均值为 0.547。

2) 经验流量系数用规范公式 (3.6.1-2) 计算。式中， $\alpha$

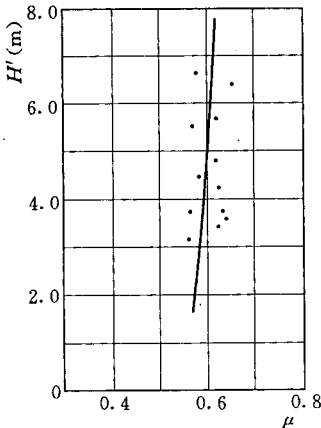


图 23 龙角山水库西输水洞有压自由管流  $H' - \mu$  关系线图

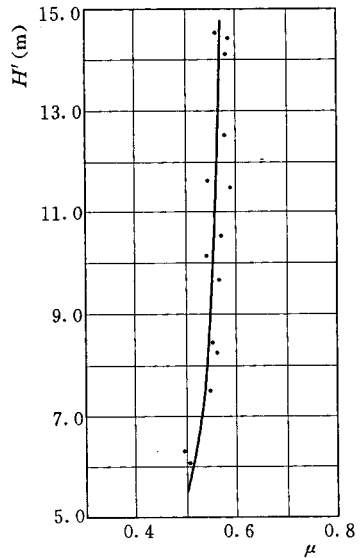


图 24 许家崖水库输水洞有压自由管流  $H' - \mu$  关系线图

取 1.08, 局部水头损失系数查附录 D, 其中, 龙角山  $\zeta_{\text{进口}} = 0.2$ ,  $\zeta_{\text{闸门槽}} = 0.1$ ,  $\zeta_{\text{拦污栅}} = 0.153$ ,  $\sum \zeta_i = 0.453$ ; 许家崖  $\zeta_{\text{进口}} = 0.1$ ,  $\zeta_{\text{闸门槽}} = 0.1$ ,  $\zeta_{\text{拦污栅}} = 0.153$ ,  $\sum \zeta_i = 0.353$ 。洞径无变化,  $a = a_i$ 。R 为水力半径, 龙角山  $R = 0.50$ , 许家崖  $R = 0.375$ 。龙角山洞糙率  $n = 0.017$ , 许家崖  $n = 0.012$ 。龙角山洞长  $L = 159\text{m}$ , 许家崖洞长  $L = 58\text{m}$ 。计算得经验流量系数, 龙角山  $\bar{\mu} = 0.602$ , 与实测平均值相等; 许家崖  $\bar{\mu} = 0.569$  与实测值 (0.547) 比较偏大 3.9%。两个站的实测值与计算值比较, 偏差甚小。

## (2) 闸门控制时 ( $e < D$ ) 流量系数分析。

1) 实测流量系数。龙角山有 23 次 ( $e = D$  的 2 次) 实测资料, 许家崖有 24 次 ( $e = D$  的 4 次) 实测资料, 冶源有 30 次实测资料, 金斗有 45 次实测资料。将以上 4 个站的资料仍用规范

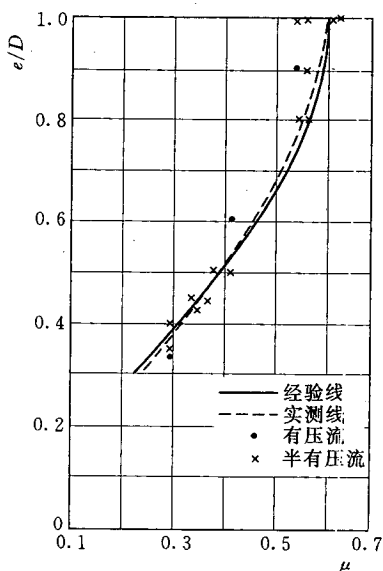


图 25 龙角山水库西输水洞有压自由管流 ( $e \leq D$ )  $e/D - \mu$  关系线图

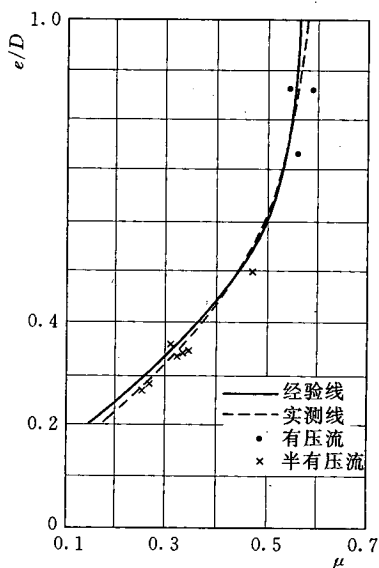


图 26 许家崖水库输水洞有压自由管流 ( $e \leq D$ )  $e/D - \mu$  关系线图



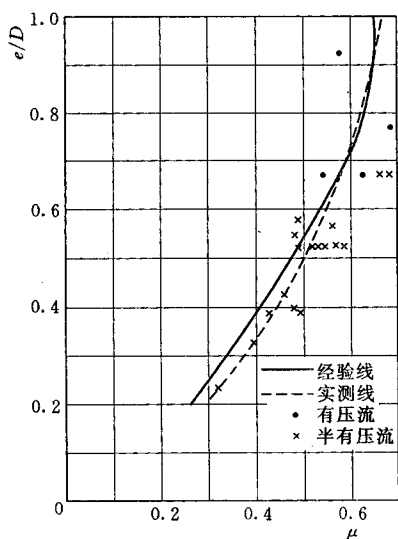


图 27 冶源水库西输水洞有压管流  
( $e \leq D$ )  $e/D - \mu$  关系线图

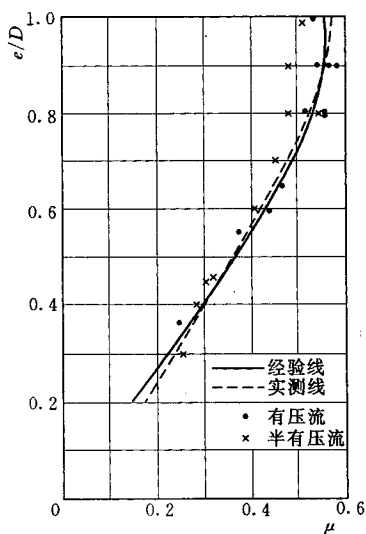


图 28 金斗水库输水洞有压管流  
( $e \leq D$ )  $e/D - \mu$  关系线图

公式 (3.6.1-1) 计算, 其成果点绘成  $e/D - \mu$  关系线, 如图 26 ~ 图 28 所示。

2) 经验流量系数, 仍用规范推荐 (3.6.1-2) 计算。式中, 等式右边除增加闸门阻力系数项外, 其余均与前同。闸门对水流的控制作为有压管道中的局部阻力处理, 平板闸门的阻力系数查用附录 D。

现将上述 4 个站的实测流量系数与规范公式 (3.6.1-2) 推算的经验系数对比 (见图 25 ~ 图 28 和表 25), 除冶源站因测验精度差, 实测值偏差较大外, 其余 3 个站在  $e/D > 0.3$  时, 偏差都在  $\pm 5\%$  以内。实测资料检验说明, 规范推荐公式 (3.6.1-2) 计算经验系数的精度比较可靠。

上述 4 个站的实测流量系数线与经验流量系数线对比成果列于表 26 中。

表 25 有压半有压自由管流实测流量系数  
与经验流量系数对比成果表

站名	洞径高宽 (m×m)	资料 年限	实测 数据	e/D 变 化范围	μ <sub>实</sub> 与 μ <sub>经</sub> 对比 (%)			
					±5%以内 合格率	±10%以 内合格率	平均 偏差	标准差
龙角山水库 西输水洞	2.0×2.0	8	18	0.35~1.0	66.7	88.9	-0.3	5.3
许家崖水库 输水洞	φ1.5	2	19	0.27~1.0	52.6	94.7	-1.2	5.2
冶源水库西 输水洞	1.5×1.5	8	30	0.23~0.93	6.7	40.0	+9.1	15.1
金斗水库 输水洞	1.0×1.0	5	45	0.25~1.0	66.6	88.9	+1.1	6.0

表 26 有压半有压管流实测流量系数  
与经验流量系数对比成果表

站名		e/D									
		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
龙角山	实测线 μ <sub>实</sub>		0.240	0.315	0.385	0.455	0.510	0.555	0.583	0.602	
	经验线 μ <sub>经</sub>		0.227	0.305	0.385	0.460	0.523	0.573	0.590	0.602	
	偏差 $(\frac{\mu_{实}}{\mu_{经}} - 1)$ (%)		5.7	3.3	0	-1.1	-2.5	-3.1	-1.2	0	
许家崖	实测线 μ <sub>实</sub>	0.175	0.297	0.378	0.445	0.502	0.530	0.545	0.557	0.560	
	经验线 μ <sub>经</sub>	0.155	0.277	0.370	0.443	0.490	0.530	0.555	0.560	0.570	
	偏差 $(\frac{\mu_{实}}{\mu_{经}} - 1)$ (%)	12.9	7.2	2.2	0.5	2.4	0	-1.8	-0.5	-1.8	
冶源	实测线 μ <sub>实</sub>	0.192	0.277	0.345	0.403	0.448	0.487	0.517	0.545	0.575	
	经验线 μ <sub>经</sub>	0.157	0.225	0.300	0.375	0.435	0.490	0.533	0.553	0.560	
	偏差 $(\frac{\mu_{实}}{\mu_{经}} - 1)$ (%)	22.3	23.1	15.0	7.5	3.0	-0.6	-3.0	-1.4	2.7	
金斗	实测线 μ <sub>实</sub>	0.170	0.245	0.305	0.355	0.420	0.470	0.528	0.553	0.572	
	经验线 μ <sub>经</sub>	0.147	0.218	0.297	0.370	0.435	0.487	0.530	0.550	0.557	
	偏差 $(\frac{\mu_{实}}{\mu_{经}} - 1)$ (%)	15.6	12.4	2.7	-3.2	-3.4	-3.5	-0.4	0.5	2.7	

### 3.8 水工建筑物流量测验不确定度估算

3.8.1 估算水工建筑物测流的流量综合不确定度公式，可根据下列通用公式推出：

$$Q = JCbXH^\beta \quad (24)$$

式中  $Q$ ——流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$J$ ——含  $\sqrt{2g}$  的没有误差的常数项；

$C$ ——流量系数；

$b$ ——建筑物过水断面净宽或圆洞半径， $\text{m}$ ，如果水电站、电力抽水站不用过水断面宽资料时，此项等于 1；

$X$ ——闸门开启高度， $\text{m}$ ，堰、管出流无闸门时，此项等于 1；水电站、电力抽水站此项为电功率  $N$  值，淹没堰流水头差公式时，此项为下游水头；

$H$ ——水头、水头差、扬程， $\text{m}$ ；

$\beta$ —— $H$  项的指数。

3.8.2 闸门开启高度观测误差主要有开启高读数误差、标尺刻划误差、闸底零点高程测量误差等。当闸门小开度时，观测相对误差较大，对流量计算精度影响很大，必须十分注意该项误差的控制。

## 4 测流堰测流

### 4.1 一般规定

4.1.1 本章规定的测流堰是指为了开展流量测验而专门建造的各类堰，这种堰在选型上更有利于提高流量测验的精度，严格按照一定的标准形式和水力条件建造，其尺寸更加精确。一般情况下测流堰的流量测验的精度也高于水工建筑测流中“堰”流量测验精度，但其流量测验范围也要小些。

#### 4.1.2 测流堰的分类

3 根据堰下游水位对堰过流能力的影响情况，当堰下游的水位较低，不影响堰的过流能力时，称为自由出流；否则，当堰下游的水位较高，以致影响堰的过流能力时，称为淹没出流。

4 全宽堰是指那种堰的长度与河宽一致，无侧向水流收缩的堰。收缩堰是指堰的长度小于河宽，引起水流侧向收缩的堰。

含有两个以上不同测流堰型或尺寸可分级的测流堰称为复合堰。

### 4.3 薄壁堰

4.3.1 行近河槽就是指从堰向上游延伸，其距离不少于在最大水头处水舌宽度的10倍的那段河槽长。如果堰设置在堰箱中，其箱的长度应等于行近河槽的规定长度。行近河槽的水流应均匀稳定，其流速分布接近于有足够长度的平坦顺直河槽中所产生的正常（摩/阻控制）水流，导流板和整流装置可以用来模拟正常流速分布，但其距堰的安装位置不应少于对行近河槽规定的最小长度。

#### 4.3.2 三角形薄壁堰

三角形薄壁堰是在垂直的薄板上开一个V形堰口，堰板必须平整坚固且垂直于槽岸和槽底，堰板的上游面应是光滑的（堰

口附近磨光到相当于辗平的金属板表面)。

堰口的垂直平分线与河槽两岸等距。堰口表面是平面，其与堰板的上游面相交呈锐缘，垂直于堰板面量得的堰顶表面厚度为1~2mm。

为保证堰口上游边缘是锐缘的，要把它加工磨光，垂直于堰板的上游面，不能有刻痕毛口，不能用砂布砂纸擦平。如果堰板比堰口顶部的最大允许厚度还厚，下游边缘要做成斜面，该斜面和堰顶的夹角不小于 $\pi/4$ 弧度(45°)。靠近堰口的堰板最好用耐腐蚀的金属制成，否则所有规定的光滑面都要涂上一层薄的保护层(如油、蜡、树脂)。

#### 4.3.3 矩形薄壁堰

基本堰形是在一个铅直的薄板上有矩形开口。堰板要平整，坚固并垂直于岸墙和行近河槽的槽底。堰板的上游面必须光滑(靠近堰口处要修整到相当于辗平的金属板的表面)。

堰口的垂直平分线与河槽两岸等距。堰口顶部表面是一个水平平面，在其与堰板上游面相交处形成锐缘。垂直于堰板面量测到的堰顶锐缘厚度应为1~2mm。堰口侧面是垂直的，其与堰板上游面相交处做成锐缘。对于无侧收缩堰的极端情况，堰顶伸展到河槽两岸，靠堰顶的岸墙是平面而且光滑。

为保证堰顶上游边缘和堰口的两侧是锐缘的，要将其加工磨光，垂直于堰板的上游面，不能有刻痕毛口，不能用砂布砂纸擦平。如果堰板比堰口顶部的最大允许厚度还厚，下游口缘要作成斜面。该斜面与堰顶和侧面的夹角不小于 $\pi/4$ 弧度(45°)。靠近堰口的堰板最好用耐腐蚀性的金属制作，否则，所有规定的光滑面和锐缘都要涂一层薄的保护层(如油、蜡、树脂)。

### 4.4 宽 顶 堰

#### 4.4.2 圆缘矩形宽顶堰

(1) 标准堰在两边墩之间有一个真正光滑而水平的堰顶，其上游缘角应为圆形的，使水流不致发生分离。水平堰顶下游缘角

有下列几种形式：

- A) 圆缘。
- B) 斜坡面。
- C) 竖直面。

堰应与行近河槽中的流向垂直。

(2) 堰及其边墩的尺寸应符合图 4.4.2-1 所示的要求。堰顶前缘的半径不应小于  $0.2H_{\text{max}}$ 。堰顶水平部分的长度不应小于  $1.75H_{\text{max}}$ ，并且堰顶长度与前缘半径之和也不应小于  $2.25H_{\text{max}}$ 。

(3) 对于活动堰，堰体可用钢板或铝合金板建造。如果堰有一固定的顶部，那末堰可用金属板或良好的修整混凝土建造。

如果建筑物是常用于调节和测定灌溉水量的堰，那末该建筑物可采用手动或机动的垂向滑动的溢流结构。

## 5 测流槽测流

### 5.1 一般规定

5.1.1 测流槽在灌溉、排污渠道、天然小河、径流场以及实验室内应用广泛。

本标准编列了当前国内外应用广泛、技术成熟的标准槽型，可以适应不同条件下的测流要求和量水技术。

本标准的术语和符号主要采用了 SL 24—91 附录一，参考了 ISO 4359 附录 B，并删除了本规范中未使用的符号，增加了因采用或参考 ISO 规范而使用的符号；统一了淹没系数  $\sigma$  及淹没校正系数  $C_t$  符号以及流量误差中  $b$ 、 $m$ 、 $h$  的指数符号紊乱的情况（统一改为相应的  $\gamma$ 、 $\psi$ 、 $\beta$ ）。

5.1.3 测流槽设计前应对河段进行勘测，勘测一般包括初勘和复勘两个阶段。

(1) 初勘内容包括：

A) 域的一般地貌、地质、土壤、植被和气候等自然特征。

B) 勘测河段的控制条件，如洪水是否归槽，有无漫滩，支流汇入和回水顶托以及洪枯水位变幅涨落等。

C) 河床是否稳定，有无冲淤变化以及悬移质、推移质河床质漂浮物、水草、冰凌等情况。

D) 河段是否顺直，断面是否均匀，有无急滩、峭壁等。

E) 河段及其上下游有无蓄水、引水工程，如拦河筑坝、两岸筑堤以及计划实施的农田排水，水资源开发利用等情况。

(2) 复勘内容包括：

A) 在拟建堰槽地址的上游，按估计最大水头的 50 倍及下游 10 倍以远的范围内，测量比例尺为 1/100、1/200、或 1/500 的河段地形平面图。

B) 沿河流的主轴线，测绘不少于 5 个横断面图，遇转折点

还需加测。两岸须延测至调查或实测最高洪水水位 0.5m 以上，从而计算河床纵比降。

C) 在拟建槽上下游适当位置处测绘断面流速分布图。

D) 用比降法估计各级水位的流量，绘制水位流量关系曲线。

E) 计算各级水位的弗汝德数。

F) 为了解河床覆盖层情况，在建槽地段，进行必要的钻探。沙卵石河床，应钻探到基岩或不透水层为止；壤土或沙壤土组成的河床宜钻至 1.0m 以上深度。

G) 详细了解有关施工管理条件。

(3) 有关行近河槽的一些具体规定，是为了保证行近河槽的水流为缓流，且具有正常的流速分布。所谓正常流速分布，系指水头测量断面的流速分布是均匀对称的。当断面流速分布均匀，在计算行近流速系数  $C_v$  时，可认为动能修正系数  $\alpha=1$ 。当断面流速分布不均匀时， $\alpha > 1$ ，而本标准给出的  $C_v$  值都是假定  $\alpha=1$  时计算得出的。正常流速分布应是对称的，如果不对称，则可能产生次生流（螺旋流）或横比降，会影响流量计算的精度。是否具有正常流速分布，在实际工作中不可能去测量，但只要是严格按建造的行近河槽，是可以保证能够产生正常流速分布的。

弗劳德数 ( $Fr$ ) 按式 (25) 计算：

$$Fr = \frac{\bar{v}}{\sqrt{gd}} \quad (25)$$

式中  $\bar{v}$ ——行近河槽水头观测断面的平均流速，m/s；

$\bar{d}$ ——行近河槽水头观测断面的平均水深，m；

$g$ ——重力加速度，m/s<sup>2</sup>。

(4) 消能池的长度取决于设计流量和下游水深，但最大流量并不一定与最高水位相对应，为此，宜选择不同流量进行比较核算。为了缩短消能池长度，末端可建平顶槛或消能墩。

(5) 如何防止和处理测流槽的淤积和冻裂，目前尚缺乏成熟的经验。首先应在设计上考虑这个问题，如有沙河流上宜选



用无底收缩的测流槽（而不选用测流堰），高寒冻土地区需在槽结构和建筑材料诸方面做特殊处理，以增强对自然条件的适应性等。

**5.1.4** 本标准给出的流量系数和其他各项系数是经过多次重复试验后得出的，精度有足够保证。但流量系数是在建造标准槽的条件下得出的，因此本标准特别强调槽的标准化。对各类槽的尺寸、安装条件、表面光洁度、行近河槽、下游条件以及应用限制等，都做了明确规定，必须严格遵守。

槽型选择，取决于许多因素，但最终是由河段的边界条件和所选槽的主要技术性能的相互适应性进行比较后确定的。槽的主要技术性能包括槽的测流幅度、灵敏度和非淹没限。测流幅度系指槽能够测到的最大流量  $Q_{\max}$  与最小流量  $Q_{\min}$  的比值。灵敏度系指由于流量变化而引起的水头变化，即  $\frac{\Delta h}{h} = \frac{1}{\beta} \frac{\Delta Q}{Q}$ ，这里的  $\beta$  是流量计算公式中实测水头  $h$  的方次。非淹没限系指按槽自由出流公式算得的流量与刚受下游水头影响而减少的流量达 1% 时的淹没比 ( $H_L/H$ )。

**5.1.6** 为保证水头测量精度，规定以自记水位计为主要观测设备是适当的，但建造自记井则需要较大投资。为此，在一些无需连续观测或因水头相对稳定少变（灌渠、枯水测流）观测不甚频繁以及要求观测精度不高的情况下，也可用人工观测。当人工观测水头时，水头读数可测记至 1mm（针形水位计）或 5mm（直立式水尺）。

## 5.2 矩形长喉道槽

**5.2.1** 矩形长喉道槽要求喉道段应有足够的长度（相对于最大水头而言），这和宽顶堰的堰顶长一样，目的在于保证喉道内水流近似平行，使之出现临界水深，符合静压分布原理。这样，流量公式可由通用的能量方程  $H = \beta l_c + \frac{\alpha v^2}{2g}$  导出。式中的非静压

分布系数  $\beta$  和流速非均匀分布系数  $\alpha$  均可令其等于 1。

矩形长喉道槽的非淹没限，在很大程度上取决于出口渐变段的扩散比。规定上游总水头应为下游总水头的 1.25 倍与对下游扩散段做成 1:6 的垂直边墙的规定是前后对应的。当河渠纵坡相当小，而若下游出口段的扩散比做成 1:20 时，则非淹没限 ( $H_L/H$ ) 可高达 0.90，这就很大程度上扩展了自由出流的应用范围。

5.2.2 按边界层理论计算的流量系数  $C_D$ ，其通用公式为：

$$C_D = \left(1 - \frac{2\delta_*}{L} \frac{L}{b}\right) \left(1 - \frac{\delta_*}{L} \frac{L}{h}\right)^{3/2} \quad (26)$$

式中  $\delta_*$  —— 边界层位移厚度，mm。

相对位移厚度  $\frac{\delta_*}{L}$  与雷诺数  $Re$  和槽底的表面粗糙度有关，而槽底的表面粗糙度又随不同的建筑材料（木料、金属、混凝土、塑料等）而异。对于表面抹光的良好混凝土表面， $\frac{\delta_*}{L}$  平均取 0.003，不致产生大的误差。

行近流速系数  $C_v$  的计算式为：

$$C_v = \left(\frac{H_e}{h_e}\right)^{3/2} = \left(\frac{H - \delta_*}{h - \delta_*}\right)^{3/2} \quad (27)$$

由于  $\delta_*$  与  $H$  和  $h$  相比，相对很小，故可用  $H$ 、 $h$  近似代替  $H_e$ 、 $h_e$ 。经推算得出下式：

$$\frac{4}{27} \left(\frac{b}{B}\right)^2 \left(\frac{h}{h+p}\right)^2 C_b^2 C_v^2 - C_v^{2/3} + 1 = 0 \quad (28)$$

考虑到式 (27) 计算麻烦，给出相应查算表便于查取。

ISO 4359—1983 中列出了用实测水头  $h$ 、总水头  $H$  和用临界水深  $d_c$  计算流量的 3 种方法。考虑到用总水头计算需要反复迭代，比较麻烦，临界水深法不能用实测水头直接计算，为与其他标准取得一致，本标准仅规定用实测水头计算的公式。

5.2.3 因为长喉道槽适用于自由出流，所以必须有条件限制，流量计算应用限制条件为新增加内容。

## 5.3 梯形长喉道槽

5.3.1 梯形长喉道槽在设计阶段，可用下述图解法同时确定底宽  $b_0$  和边坡  $m$  值。

假定  $C_D=1$ （在设计阶段是允许的），则流量与水头的关系可用下列函数关系表达：

$$\frac{Q}{\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} b_0 H^{3/2}} = f\left(\frac{mH}{b_0}\right) \quad (29)$$

用上述函数关系，在双对数纸上绘出如图 29 所示的一根实曲线。

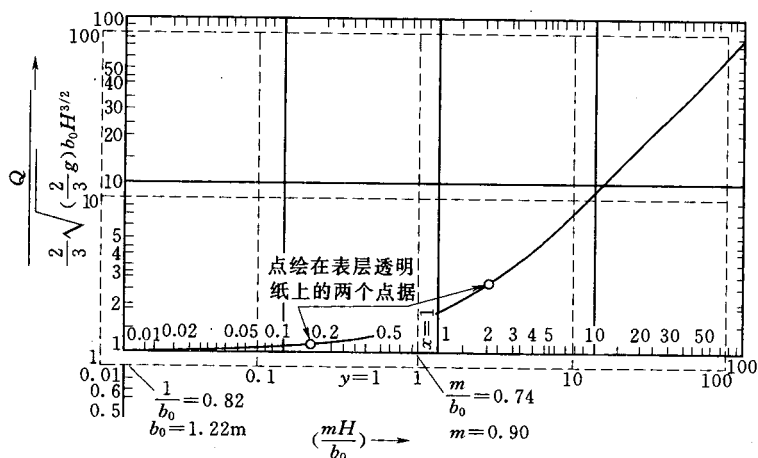


图 29 长喉道槽设计底宽和边坡查算图

设计时根据拟建地点的水位流量关系、估计的水头损失、河床以上喉道高度及其他规定的限制条件，假定两个流量及相应的总水头，计算两个  $\frac{Q}{\left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} H}$  值，然后以该计算值为纵标，

以总水头为横标，点绘在与图 29 相同比例尺的透明纸上，如图中虚线所示。在透明纸上应标出垂直和水平的导向轴线，标出 X

=1, Y=1 的坐标。

应用时, 将透明纸蒙在底图上, 上下左右移动, 使导向轴与底图的坐标轴保持平行。当点绘在透明纸上的两个点据均落在底图的实曲线上时, 透明纸上  $Y=1$  与底图  $Y$  轴上的截点是底宽  $b_0$  的倒数, 即  $1/b$  值; 透明纸上  $X=1$  与底图上  $X$  轴的截点是比值  $m/b_0$ 。根据在图上读出的上述两值, 即可算出  $b_0$  和  $m$  值。

图 29 所示是一个实例, 假定总水头  $H$  分别为 2.80m 和 0.21m, 相应的流量  $Q$  分别为  $24.8\text{m}^3/\text{s}$  和  $0.22\text{m}^3/\text{s}$ , 用 
$$\frac{Q}{\left(\frac{2}{3}\right)^{\frac{3}{2}} \sqrt{gH}}$$
 算出的两个值分别为 3.07 和 1.34, 据此求得的长

喉道槽的设计底宽  $b_0=1.22\text{m}$ , 边坡系数  $m=0.90$ 。

若确定的  $b_0$  和  $m$  值不合适。可重新假定总水头和相应的流量, 重复上述步骤确定新的  $b_0$  和  $m$  值。

此外: 利用图 29 还可在  $\frac{mH_c}{b_e} > 5$  时查  $C_s$  值。

**5.3.2 流量计算公式及各项系数的确定**在计算  $C_D$  时需计算系数  $\eta$ , 为了方便起见, 本标准提供了图 5.3.2-1, 利用边坡系数  $m$  即可查得  $\eta$ 。

流量计算步骤: 由于流速系数  $C_v$  与形状系数  $C_s$  互为隐函数, 所以在推算流量时用逐步逼近法计算系数值, 直到前后二次流量计算的差值在允许的误差范围内为止。

## 5.4 U 形长喉道槽

U 形长喉道测流槽是本标准新增加的型式, 其最大的特点是测流的灵敏度高, 特别是其 U 形下部小流量范围内比其他形式的测流槽更合适。所以推荐此槽为我国使用。

## 5.5 巴歇尔槽

巴歇尔槽的有关规定, 主要参考 ISO/DIS 9826, 同时总结

了我国多年应用的经验，并吸取了《小河站水文测验补充技术规范》的部分内容。

**5.5.1** 当河渠纵坡较陡，能保证为自由出流时，巴歇尔槽可不必建造喉道段和出口扩散段，即允许槽体截短。四川省宋家河水文站曾对喉宽为 30 英尺 (9.14m) 的截短了的巴歇尔槽，做了 3 年共 56 次实测资料的验证，误差符合规定要求。但为确保自由出流的条件，本标准规定要有 0.2m 的跌坎。

在国际上巴歇尔槽有 21 个标准槽；我国山东水科所设计建造了喉道宽分别为 18m 和 23m 的两种特大型槽，共计为 23 个标准槽。

喉道宽超过 15.24m 的大型巴歇尔槽，目前尚无国外资料可借鉴。山东省水科所曾分别在乳山和龙口两地建造喉宽为 23m 和 18m 的大型槽，并进行室内模型试验，平均误差分别为  $\pm 1\%$  和  $\pm 3\%$ 。其中，对喉道宽为 23m 的槽，经现场测流 5 次验证，未发现系统偏离，经专家鉴定，认为数据可靠，结论正确。为扩大巴歇尔槽的应用范围，本标准予以编入。但这种槽的结构形式与巴歇尔槽略有差异，在应用时，仍应遵守不得随意改变给定尺寸的规定。

巴歇尔槽是在喉道段内强迫产生临界水深的，由于该处水面曲率大，不符合静压分布，能量损失不易估算，流量系数只能用模型实验确定。另外，有些尺寸又不完全是几何相似，因此在实际应用时，不要随意改变或按比例缩放标准规定的各部位尺寸。

表 5.5.1-1~表 5.5.1-3 所列的各类巴歇尔槽的各部位尺寸除  $L$ 、 $X$ 、 $Y$ 、 $P$  和纵坡为定值外，其他尺寸是按下列诸式得出的（式中各量均以 m 计）：

$$b_u = 1.2b + 0.48$$

$$L_1 = 0.5b + 1.20$$

$$l_a = \frac{2}{3}l_1$$

$$b_l = b + 0.3$$

$$D = h_{\max} + (0.15 \sim 0.2)$$

大型巴歇尔槽的各部位尺寸是根据喉道宽确定，其中仅  $l_a$  用下式算得：

$$l_a = \frac{b}{3} + 0.813$$

**5.5.2** 不同尺寸的巴歇尔槽的水头变化范围，标准槽为 0.03~0.8m，大型槽为 0.09~1.83m。

**5.5.3** 自由流和淹没流的条件对短喉道槽，测流时有两种流态，故必须区分自由流和淹没流，以便使用相应的流量计算公式。在自由流状态下，巴歇尔槽中入流段的水流是亚临界流，其水深沿水流方向减小，直至在槽顶附近达到临界水深为止。越过槽顶后，喉道中的水流又是亚临界流。

当下游水头持续增大，直到淹没系数 ( $\sigma = h_L/h$ ) 等于非淹没限  $\sigma_c$  时，喉道出流段或更大部分的水流成为淹没流。当下游水头较大，淹没流状态将向上游延伸到入口断面，测流槽过水流量减小，测流槽在淹没流流态下运行，所测流量与淹没系数有关。

标准巴歇尔槽非淹没限为 0.55~0.78。标准巴歇尔槽的平均淹没系数宜为 0.6~0.7，大型巴歇尔槽宜为 0.8。确定淹没状态下的流量，淹没系数应不超过 0.95，超过 0.95 时，测流槽应停止使用。

测流槽在淹没状态运行时，其优点是水头损失最小，但水面起伏大，水头测量和流量测验的精度比自由流状态下低。测流槽的尺寸应选择合理，以使其仅在洪水期处于淹没流状态下运行。

标准槽的自由流流量公式为：

$$Q = 0.372b \left( \frac{h}{0.305} \right)^{1.5696^{0.026}}$$

上式可写成  $Q = Ch^\beta$  的简单形式。

$$\text{其中 } C = 0.372b \left( \frac{1}{0.305} \right)^\beta, \beta = 1.5696^{0.026}$$

大型槽的自由流流量公式为：

$$Q = (2.292b + 0.48)h^{1.6} \approx (2.3b + 0.48)h^{1.6}$$

上式可写成  $Q = C_1 h^{1.6}$  的简单形式。

## 5.6 孙奈利槽

**5.6.1** 由于孙奈利槽没有喉道段和扩散出流段，设计较巴歇尔槽更为简单。

孙奈利槽的有关规定取自 ISO/DIS 9826，该标准规定孙奈利槽可以在淹没流条件下应用。考虑到国内许多实验资料证明，这种结构形式的下游水头测量极不可靠，因此本标准推荐在淹没流条件下的应用仅供参考。

**5.6.2** 水头观测和适用范围参考 ISO 9826。

**5.6.3** 自由流和淹没流的条件参考 ISO 9826。

**5.6.4** 淹没流状态下流量的确定参考 ISO 9826。

## 5.7 测流槽测流单次流量测验不确定度估算

在流量测验的误差分析中，本标准考虑各节分别规定各槽的流量估算误差会引起相当一部分内容的重复，故单列一节较系统地规定误差定义、来源、单项误差的估算及各项误差的综合等，便于各个槽参照估算相应误差。

**5.7.1** 单次流量总不确定度的估算，有不同的理论估算方法。本标准采用国际标准统一推荐的“方和根法”，即：总不确定度由各个分量的不确定度的平方和然后开平方根得出。

测流槽测流的误差来源。流量通式全面考虑了各类槽型，并将系数的代用符号进行了统一以便于误差分析。

规定弗劳德数  $Fr$  小于 0.5，是保证测流精度的一个重要条件。对坡度陡峻的河流，水流很急，弗劳德数往往大于 0.5。对于这种情况，如果要求测流精度不高，弗劳德数可以放宽到 0.6，但应增大  $\pm 2\%$  的流量系数不确定度。如弗劳德数放宽到 0.7，则应增大  $\pm 5\%$ ，甚至更大的流量系数不确定度。弗劳德数  $Fr$  大于 0.7 不允许在使用测流槽测流。

**5.7.3** 在暴涨暴落（如山溪性小河）的情况下，若实在无法取得稳定条件下的重复观测值，可根据一次水头测量值估算不确定度。这时，假定误差概率是按矩形分布，而非  $t$  分布，但统一到置信水平为 95% 的不确定度估算时，仍可按统一的误差合成公式计算。

单次流量总误差估算。对于误差公式 (5.7.3-1) 中各项指数  $\gamma$ 、 $\psi$ 、 $\beta$  除了查表外，本标准还增加了查算图 (5.7.3)。



## 6 末端深度法测流

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 末端深度法适用于有较大落差，末端有跌坎，能形成自由射流的天然河道和人工渠道。可利用已建的渠道等建筑物，方法简便适应性强。

本标准仅规定了矩形、梯形和圆形断面渠道的计算流量的方法。对于三角形和抛物线型断面的末端深度法，如有需要可参照 ISO—1984 的规定。

**6.1.3** 由于末端水深处的水流极不稳定，末端水深的测验比较困难，水深测量的误差较大，因此，本法只是一种近似的流量计算方法，测流精度较低，使用中应注意。

### 6.3 流量计算

**6.3.2** 一般情况下，末端水深的观测位置是固定的，临界水深的位置则是随水深的不同而移动。但实践证明，二者的比值可认为接近一个常数值。因此，可采用临界水深计算流量。

## 7 比降面积法测流

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 比降面积法此前主要是作为水文站在无法用流速仪法、浮标法和其他测流方法施测流量时，而临时使用的一种测流方法，仅是一种辅助性的方法。各地通过多年的实践，积累了一定的经验，证明当选择的测验河段满足要求时，比降面积法具有较高的精度。特别是在水文测验河段基本顺直，无明显的收缩或扩散，断面稳定的测站，水位等要素与糙率有比较好的相关关系，该法精度较高。

比降面积法具有简便、快速、安全、经济的特点，能适应水文改革发展的需要，具有独特的优势，且又有一定的测流精度保证。因此，本次将比降面积法作为一种常规的流量测验方法。

本次编制时，参考了国内有关的技术成果，引用了相关的国际标准（尤其是在误差估算，不确定度计算方面）。

**7.1.2** 测验河段长度一般为4~8倍河宽，但最小不少于300m，以此来保证比降观测的代表性。河段基本顺直是要求比降中断面上、下游6倍河宽内弯曲部分与顺直部分的交角小于 $20^\circ$ 。测验河段无明显收缩或扩散是要求扩散角或收缩角（岸边线与水流方向线之交角）小于 $15^\circ$ 。水位等要素与糙率有较好关系要求定线的不确定度小于15%。

**7.1.3** 一般情况下，比降面积法的测流精度低于流速仪法，作为常规测流方法使用，提出了其测流成果与流速仪法相比较的不确定度要求。

近年来，在流量测验中逐渐使用ADCP等超声波和稀释法流量测验方法，北方干旱、半干旱地区洪水期，河流含沙量大于 $10\text{kg}/\text{m}^3$ ，ADCP等测流方法则受到限制，可用比降面积法进行流量测验。

洪水过后，但需要知道洪峰流量，通过洪水痕迹（水面比降）测算，作为一种补救措施。

7.1.4 不同的测流方法有不同的误差要求，对不同精度的测站，比降面积法的测流允许总不确定度比均匀浮标法增大1%~2%，系统误差和均匀浮标相同。

## 7.2 河段选择

7.2.1~7.2.6 总的要求是河段水流顺畅，比降有代表性，断面的冲淤变化不会对比降造成大的影响，保证比降面积法测流精度。

7.2.7 本指标引用《明渠水流测量——比降面积法》(ISO 1070)。

## 7.3 断面布设

7.3.1 水文站测验断面比较多时，比降中断面重合于基本水尺断面或流速仪断面、浮标中断面，便于观测、分析、计算。

7.3.2 比降断面需有断面标志，标志设立按已有规范执行，不再规定。比降断面间距测量用钢尺、测距仪或经校正过的其他尺往返测量两次，往返测量不符值不超过1/000。

7.3.4 表7.3.4比降断面间距用式(7.3.3)计算，其中比降测算允许的不确定度取10%，水准测量每公里线路上的标准差取10mm，比降水位观测的误差取5mm。

## 7.4 水位观测设施与布设

7.4.3 强调水尺设在断面线上，是想保证水面比降计算的精度。在实际中，由于地形等因素的影响，很难设在一条线上，故对偏离距离提出限制，可按偏离距离不超过上、下比降断面间距的1%掌握。

7.4.4 要求在河流两岸设立水尺观测水位，是想了解河道是否存在横比降以及对流量影响有多大。

7.4.8 比降断面有条件时，尽可能设立自记水位计。自记水位

计的型式，应根据河流特性、河道地形、河床土质、断面形状、河岸地貌、水位变幅及涨落率、泥沙以及水位计的技术发展水平等情况确定。上、中、下比降断面所选用自记水位计型号应尽可能相同。自记水位计安设位置应尽可能在断面线上，如果因情况特殊不能在断面线上时，偏离距离不超过比降上、下断面间距的1%。自记水位计的设置、技术要求、测量精度、走时误差执行《水位观测标准》(GB/T 50138—2010)。设立水尺是为校核水位计，或在水位计不能正常工作的情况下进行水位观测。

## 7.5 断面测量

**7.5.1** 比降断面的大断面和水道断面测量，GB 50179—1993 中有明确规定，本标准中不再另行规定，直接采用 GB 50179—1993 中断面测量的规定。

**7.5.2** 断面几何形态和断面面积对于比降面积法测流的精度有重要影响，对断面测量次数依断面是否稳定而定。河床稳定（即水位与面积关系点偏离多年平均水位~面积关系线不超过3%）与不稳定河床（即每次较大洪水断面冲淤变化超过3%）的测量次数是不同的。

## 7.6 比降水位观测

**7.6.2** 《水位观测标准》(GB/T 50138—2010) 要求水位读至1cm，比降面积法测流时比降对流量计算影响较大，故要求在一般水流条件较好情况下，水位应尽可能观测到0.5cm。仅在水流速度大、水面比降较大（即上、下比降断面水位差大于20cm）或水面波浪大（波浪变幅大于30cm）等水位观测（自记）困难条件下，才观测（自记）至1cm。

## 7.7 糙率选用

**7.7.1~7.7.5** 比降面积法测流，对流量精度影响最大的因素是糙率。糙率值一般较小，选用时稍差一点，就会引起流量计算较

大误差。要根据河流资料情况，尽可能用已有资料分析糙率及其变化规律，建立糙率与水位或其他水力因素相关关系，各级水位应有 30 个以上测点。移用相似河流糙率时，一定要论证。查用附录，选用糙率时，一定要根据河流水文有关要素变化和使用说明选择糙率系数。

## 7.8 流量计算

**7.8.1** 比降面积法的基本流量计算公式用曼宁公式，其基本前提是河段顺直，无收缩和扩张，各段过水断面形态和面积相等，水流为恒定流。在实际应用中，应根据河段实际的水流涨落状况和断面沿程收缩扩散及局部变化情况，采用恒定非均匀流或非恒定流公式计算流量。

**7.8.2** 恒定非均匀流流量计算公式中，动能校正系数  $\alpha$ ，与断面流速分布有关。一般  $\alpha = 1.01 \sim 1.15$ 。山区河流底坡较大，断面不规则，流速分布不均匀时，用下式近似计算：

$$\alpha = \frac{(1 + \epsilon)^3}{(1 + 3\epsilon)}$$

其中 
$$\epsilon = \frac{V_m}{V} - 1$$

式中  $V_m$ ——断面上最大点流速，m/s；

$V$ ——断面平均流速，m/s。

河段平均输水率  $\bar{K}$  根据不同的河段情况，采用不同的计算公式。

(1) 当有比降上、中、下断面，且过水断面沿程收缩或扩散变化不均匀（包括上中河段收缩或扩散，中下河段扩散或收缩）， $\bar{K}$  值用下式计算：

$$\bar{K} = (A_u R_u^{2/3} + 2A_m R_m^{2/3} + A_l R_l^{2/3}) / 4n$$

式中  $n$ ——河段平均糙率，由分析确定或借用；

$A_u$ 、 $A_m$ 、 $A_l$ ——比降上、中、下断面过水面积， $m^2$ ；

$R_u$ 、 $R_m$ 、 $R_l$ ——比降上、中、下断面的水力半径，m。

水力半径可由断面面积除以湿周求得或由断面平均水深与水力半径关系得到，当河道宽深比大于 100 时，也可用平均水深直接代替水力半径。

(2) 当测验河段只布置比降上、下两个断面，或虽有上、中、下三个断面，但断面沿程递增或递减，变化基本均匀，中断面的  $A_m R_m^{2/3}$  比比降上、下断面的平均值  $(A_u R_u^{2/3} + A_l R_l^{2/3})/2$  相差不超过  $\pm 5\%$  时， $\bar{K}$  值可用下式计算：

$$\bar{K} = (A_u R_u^{2/3} + A_l R_l^{2/3})/2n$$

**7.8.4~7.8.7** 非恒定流流量计算公式中，加速比降  $S_w$  采用近似计算的方法求得。如要计算  $t$  时刻流量，需求  $t$  时刻的  $S_w$  时，可根据实测水位过程资料，先用式 (7.8.5) 或式 (7.8.6) 或式 (7.8.7) 略去  $S_w$  项，近似求得  $t + \frac{1}{2}\Delta t$  及  $t - \frac{1}{2}\Delta t$  两个时刻的

流量。然后根据比降中断面水位、面积等求得  $t + \frac{1}{2}\Delta t$  及  $t - \frac{1}{2}\Delta t$  时刻的流速及  $\Delta t$  时段内的流速差  $\Delta v$ ，即可根据  $\frac{1}{g} \frac{\Delta v}{\Delta t}$  近似求得  $t$  时刻所对应的加速比降  $S_w$ ，再代入式 (7.8.5) 或式 (7.8.6) 或式 (7.8.7) 计算  $t$  时刻的流量。所取  $\Delta t$  时段长度以  $\Delta t$  时段内流速基本成直线变化为原则。

如果水位流量关系为单一线的测站，可不计  $S_w$ ；受洪水涨落影响，水位流量关系成绳套形的测站，在一次洪水涨落过程中，加速比降  $S_w$  占相应时刻水面比降百分数不超过 5% 时，可忽略不计  $S_w$ 。

**7.8.9** 分析主槽、滩地的糙率等要素时，如果河段两岸水位不一致，需取两岸平均水位作为断面水位，才能满足分析糙率和计算流量的精度要求时，则应取断面两岸水位的平均值，然后计算水面比降、过水面积、水力半径等来分析糙率和计算流量。

如果经过分析，对于不同的河段和不同的水力特性，上述流量计算公式或公式中的参数不适用，需经过改进才能满足流量计算精度要求时，各省（自治区、直辖市）、流域领导机关可根据

具体情况做出相应补充规定。

## 7.9 流量测验误差来源与不确定度估算

**7.9.1** 比降面积法流量误差按一般的误差分类，分为随机误差、系统误差、伪误差。随机误差，按正态分布，采用置信水平为95%的随机不确定度描述。系统误差，采用置信水平不低于95%的系统不确定度描述。含有伪误差的测量成果必须剔除。不确定度的数值以百分数表示。

**7.9.2** 流量误差来源只按流量计算公式中的因子列出，没有再进一步细分解（如断面误差又分为测深、测宽误差，而测宽误差又分为起点距定位误差、读数误差等）。

**7.9.3** 面积的随机不确定度为2.8%，系统不确定度为0.7%。是考虑测宽的随机不确定度按2%，系统不确定度按0.5%；测深的随机不确定度按2%，系统不确定度按0.5%。

**7.9.4** 水力半径的不确定度可分为面积和湿周的不确定度。面积的不确定度按7.9.3条执行，湿周的不确定度按7.9.3条测宽的不确定度掌握，则水力半径的随机不确定度为3.4%，系统不确定度为0.86%。

**7.9.6** 如果计算河段无实测资料，仅能依据相似（相近）河流的特征选用糙率，则糙率不确定度可能会大于10%。

**7.9.7~7.9.9** 总随机不确定度估算公式用《明渠水流测量——比降面积法》(ISO 1070)中公式，总不确定度公式用《河流流量测验规范》(GB 50179—1993)公式。比降面积法流量不确定度计算只根据曼宁公式列出，如果河段有均匀沿程收缩、扩散，或有收缩、有扩散，流量不确定度估算要考虑断面沿程收缩或扩散系数 $\xi$ 、动能校正系数 $\alpha$ 的误差；流量测验时，如果水流为非恒定流，还要考虑洪水波加速比降的误差。

# 中国水利水电出版社

## 水利水电技术标准咨询服务中心简介

中国水利水电出版社，一个创新、进取、严谨、团结的文化团队，一家把握时代脉搏、紧跟科技步伐、关注社会热点、不断满足读者需求的出版机构。作为水利部直属的中央部委专业科技出版社，成立于1956年，1993年荣膺首批“全国优秀出版社”的光荣称号。经过多年努力，现已发展成为一家以水利电力专业为基础、兼顾其他学科和门类，以纸质书刊为主、兼顾电子音像和网络出版的综合性出版单位，迄今已经出版近三万种、数亿余册（套、盘）各类出版物。

水利水电技术标准咨询服务中心（第三水利水电编辑室）主要负责水利水电技术标准及相关出版物的出版、宣贯、推广工作，同时还负责水利水电类科技专著、工具书、文集及相关职业培训教材编辑出版工作。

感谢读者多年来对水利水电技术标准咨询服务中心的关注和垂爱，中心全体人员真诚欢迎广大水利水电科技工作者对标准、水利水电图书出版及推广工作多提意见和建议，我们将秉承“服务水电，传播科技，弘扬文化”的宗旨，为您提供全方位的图书出版咨询服务，进一步做好标准和水利水电图书出版工作。

联系电话：010--68317913（传真）

主 任：	王德鸿	010--68545951	wdh@waterpub.com.cn
主任助理：	陈 昊	010--68545981	hero@waterpub.com.cn
首席编辑：	林 京	010--68545948	lj@waterpub.com.cn
策划编辑：	王 启	010--68545982	wqi@waterpub.com.cn
	杨露茜	010--68545995	ylx@waterpub.com.cn
	王丹阳	010--68545974	wdy@waterpub.com.cn





155170. 31

中华人民共和国水利行业标准  
水工建筑物与堰槽测流规范  
SL 537—2011

\*

中国水利水电出版社出版发行  
(北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038)  
网址: [www. waterpub. com. cn](http://www.waterpub.com.cn)  
E-mail: [sales@waterpub. com. cn](mailto:sales@waterpub.com.cn)  
电话: (010) 68367658 (发行部)  
北京科水图书销售中心 (零售)  
电话: (010) 88383994、63202643、68545874  
全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售  
北京瑞斯通印务发展有限公司印刷

\*

140mm×203mm 32开本 10.25印张 276千字  
2013年3月第1版 2013年3月第1次印刷  
印数 0001—4000册

\*

书号 155170·31  
定价 98.00元

凡购买我社规程, 如有缺页、倒页、脱页的,  
本社发行部负责调换  
其他问题, 请与本社水利水电技术标准咨询服务中心联系  
电话 (传真): (010) 68317913  
E-mail: [jwh@waterpub. com. cn](mailto:jwh@waterpub.com.cn)

版权所有·侵权必究