

# JJG

## 中华人民共和国水利部部门计量检定规程

JJG (水利) 004—2015

---

### 明渠堰槽流量计计量检定规程

Verification Regulation of Open Channel Weirs and Flumes  
for Flow Measurement

2015-03-09 发布

2015-06-09 实施

---



中华人民共和国水利部 发布

# 明渠堰槽流量计计量 检定规程

JJG(水利) 004—2015

Verification Regulation of Open Channel  
Weirs and Flumes for Flow Measurement

---

本规程经中华人民共和国水利部 2015 年 03 月 09 日批准，并自 2015 年 06 月 09 日施行。

归口单位：水利部

主要起草单位：中国水利水电科学研究院

参加起草单位：北京市水科学技术研究院

武汉大学

水利部南京水利水文自动化研究所

西北农林科技大学

湖北省漳河工程管理局

河北省石津灌区管理局

本规程委托主要起草单位负责解释。

**本规程主要起草人:**

高占义 (中国水利水电科学研究院)

余根坚 (中国水利水电科学研究院)

**参加起草人:**

孟庆义 (北京市水科学技术研究院)

张春义 (北京市水科学技术研究院)

冯晓波 (武汉大学)

胡 晗 (中国水利水电科学研究院)

姚永熙 (水利部南京水利水文自动化研究所)

吕宏兴 (西北农林科技大学)

李赵琴 (湖北省漳河工程管理局)

郭宗信 (河北省石津灌区管理局)

中华人民共和国水利部  
水利部关于批准发布水利行业标准的公告  
(明渠堰槽流量计计量检定规程)

2015 年第 23 号

中华人民共和国水利部批准《明渠堰槽流量计计量检定规程》〔JJG (水利) 004—2015〕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	明渠堰槽流量计计量检定规程	JJG (水利) 004—2015		2015. 3. 9	2015. 6. 9

水利部

2015 年 3 月 9 日

## 目 录

## 引言

1 范围 .....	1
2 引用文件 .....	1
3 概述 .....	1
3.1 构成 .....	1
3.2 工作原理 .....	1
3.3 用途 .....	2
3.4 堰槽流量计的类型 .....	2
4 堰槽流量计计量性能要求 .....	3
4.1 量水堰 .....	3
4.1.1 薄壁堰 .....	3
4.1.2 宽顶堰 .....	9
4.1.3 三角形剖面堰 .....	13
4.1.4 平坦 V 形堰 .....	16
4.2 量水槽 .....	18
4.2.1 长喉道量水槽 .....	18
4.2.2 短喉道量水槽 .....	26
4.2.3 无喉道量水槽 .....	31
4.3 水位计 .....	38
4.3.1 水位计类型与技术指标 .....	38
4.3.2 水位计使用要求 .....	39
4.4 明渠堰槽流量计准确度等级 .....	39
5 通用技术要求 .....	41
5.1 标牌 .....	41
5.2 水位~流量换算及显示 .....	41
5.2.1 水位~流量换算公式 .....	41
5.2.2 水位~流量关系曲线 .....	41
5.2.3 水位~流量对照数值表 .....	41
5.2.4 水位~流量换算仪表 .....	41
5.3 明渠堰槽流量计通用安装要求及选材 .....	41
6 计量器具控制 .....	43
6.1 检定项目 .....	43

---

6.2 检定方法 .....	43
6.2.1 标牌检定 .....	43
6.2.2 尺寸检定 .....	43
6.2.3 水位计检定 .....	43
6.2.4 流量示值误差检定 .....	44
6.3 检定结果的处理 .....	47
6.4 检定周期 .....	47
附录 A 有关图表 .....	48
附录 B 检定证书格式 .....	69
附录 C 检定结果通知书格式 .....	71
附录 D 薄壁堰堰板加工及安装要求 .....	73
附录 E 几何检验法不确定度分析 .....	75

# 引 言

本规程参照 JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》的规定编制。

本规程的主要技术指标参考了相关 ISO 标准、国家标准和行业标准以及相关科研成果，并经实验验证。

本规程共分为 6 章和 5 个附录。主要技术内容有：

- 堰槽流量计的计量性能要求和通用技术要求；
- 计量器具控制。

## 明渠堰槽流量计计量检定规程

### 1 范围

本规程适用于明渠堰槽流量计的首次检定、后续检定和使用中检查。

### 2 引用文件

本规程引用下列文件：

JJG 971 液位计

GB/T 11828.1 水位测量仪器 第1部分：浮子式水位计

GB/T 11828.2 水位测量仪器 第2部分：压力式水位计

GB/T 11828.4 水位测量仪器 第4部分：超声波水位计

GB/T 15966 水位仪器基本参数及通用技术条件

GB/T 21303 灌溉渠道系统量水规范

GB/T 50138 水位观测标准

ISO 748 水文测量——用测流计或浮标测量明渠中的液流

ISO 3846 用矩形宽顶堰的明渠流量测量

ISO 4359 明渠建筑物测流——矩形、梯形和U形测流槽

ISO 9826 明渠水流测量 巴歇尔槽和孙奈利槽

JJG (水利) 002 浮子式水位计

SL/T 243 水位计通用技术条件

SL 537 水工建筑物与堰槽测流规范

CJ/T 3008.1 三角形薄壁堰

CJ/T 3008.2 矩形薄壁堰

CJ/T 3008.3 巴歇尔量水槽

CJ/T 3008.4 宽顶堰

CJ/T 3008.5 三角形剖面堰

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

### 3 概述

#### 3.1 构成

被检明渠堰槽流量计由符合技术要求的堰体（或槽体）和水位计构成。

#### 3.2 工作原理

在明渠中安装堰槽流量计，利用水位计测定规定位置的水位，根据流过堰槽的流量

与水位呈单值关系，依据相应的流量公式或经验关系式（函数关系式见公式 1），将测出的水位值换算成流过堰槽的流量。结构示意图见图 1。

$$Q = f(h) \quad (1)$$

式中：

$Q$ ——流量， $m^3/s$ ；

$h$ ——上游实测水位， $m$ 。

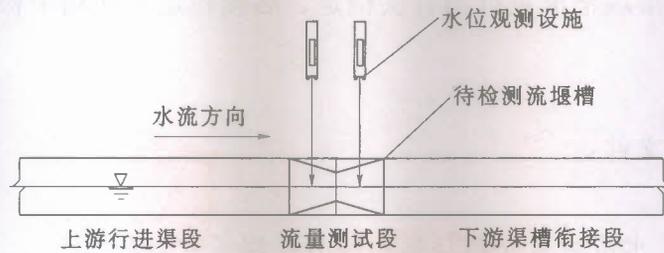


图 1 明渠堰槽流量计的结构示意图

### 3.3 用途

明渠堰槽流量计用于明渠水量的计量，薄壁堰多用于流量小、允许水头损失大的小型渠道工程；矩形宽顶堰和量水槽可适用于允许水头损失小、流量变化范围大的各种类型渠道工程；三角形剖面堰和平坦 V 形堰多用于流量变化范围小的大型渠道工程。

### 3.4 堰槽流量计的类型

堰槽流量计有多种类型，如：薄壁堰、宽顶堰、三角形剖面堰、平坦 V 形堰、长喉道量水槽、短喉道量水槽和无喉道量水槽等，可根据现场条件、流量范围和使用要求选取。本规程规定的堰槽流量计的类型见表 1。

表 1 堰槽流量计的类型

量水堰	薄壁堰	三角形缺口薄壁堰		
		矩形薄壁堰	矩形缺口薄壁堰	
			等宽矩形薄壁堰	
	宽顶堰	梯形薄壁堰		
		矩形宽顶堰		
		圆缘宽顶堰		
		三角形剖面堰		
		平坦 V 形堰		
量水槽	长喉道量水槽	矩形喉道长喉道量水槽		
		梯形喉道长喉道量水槽		
		U 形喉道长喉道量水槽		
	短喉道量水槽	巴歇尔槽	非淹没流	
			淹没流	
			孙奈利槽	
	无喉道量水槽	矩形无喉道量水槽		
抛物线形喉口量水槽				

#### 4 堰槽流量计计量性能要求

##### 4.1 量水堰

##### 4.1.1 薄壁堰

##### 4.1.1.1 三角形缺口薄壁堰

a) 流量计算:

$$Q = C \frac{8}{15} \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2gh_e^{5/2}} \quad (2)$$

其中

$$h_e = h + K_h$$

式中:

$Q$ ——流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$C$ ——流量系数, 当  $\theta=90^\circ$  时,  $C$  值查附录 A 中图 A.1; 当  $\theta \neq 90^\circ$  时,  $C$  值查附录 A 中图 A.2。

$\theta$ ——三角形缺口角度,  $(^\circ)$ ;

$h_e$ ——有效测量水头,  $\text{m}$ ;

$h$ ——上游实测水头,  $\text{m}$ ;

$K_h$ ——水头修正系数,  $\text{m}$ 。当  $\theta=90^\circ$  时,  $K_h=0.00085\text{m}$ ; 当  $\theta \neq 90^\circ$  时,  $K_h$  查附录 A 中图 A.3。

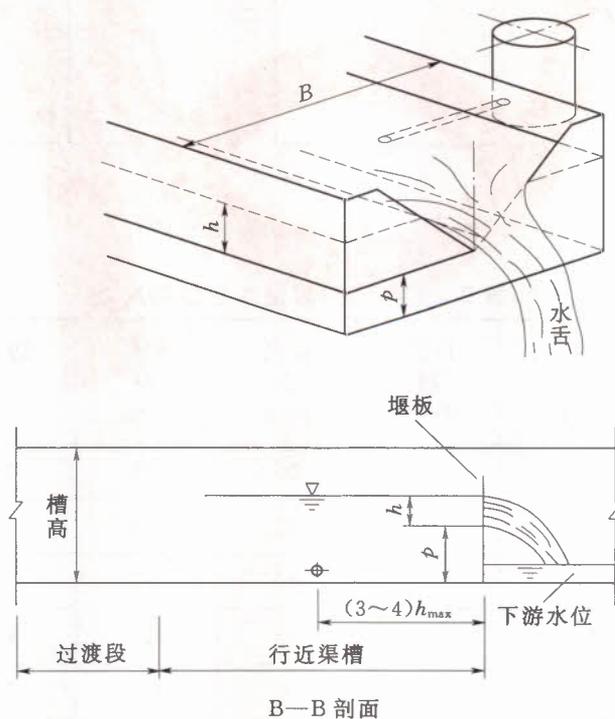


图 2 (一) 三角形缺口薄壁堰

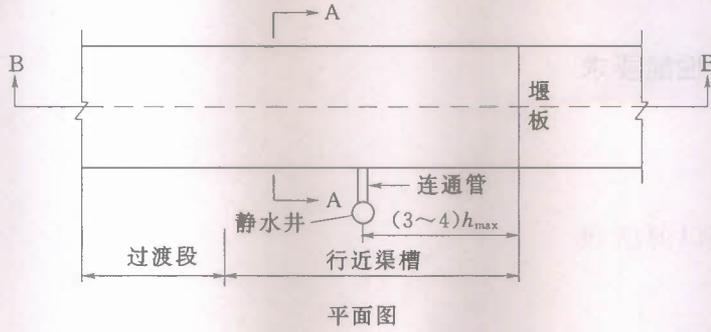


图 2 (二) 三角形缺口薄壁堰

b) 公式 (2) 适用条件:

$\theta$  在  $20^\circ \sim 100^\circ$  之间。

$h/p$  和  $p/B$  的适用范围 ( $p$  为槛高;  $B$  为堰宽): 当  $\theta=90^\circ$  时, 见附录 A 中图 A.1; 当  $\theta \neq 90^\circ$  时,  $h/p \leq 0.35$ ;  $1.5 > p/B > 0.1$ ;  $h \geq 0.06\text{m}$ ;  $p \geq 0.09\text{m}$ 。

c) 结构尺寸要求:

过水断面为三角形缺口, 角顶向下。常用的薄壁三角堰堰顶夹角为  $45^\circ$ 、 $90^\circ$  的角度, 通常采用的是  $90^\circ$ , 称为直角三角形量水堰, 适用于小流量。堰口与两侧渠坡的距离  $T$  及角顶与渠底的高度  $D$ , 不应小于实测水头  $h$ , 结构尺寸应符合图 3 及表 2 的规定。

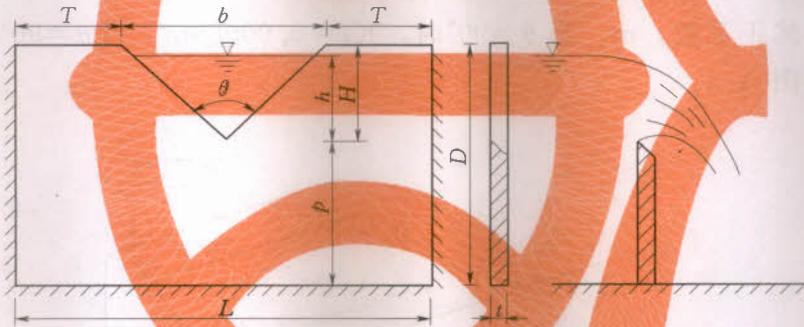


图 3 三角形薄壁堰结构尺寸

表 2 直角三角形量水堰结构尺寸

序号	渠道流量 $Q$ / (L/s)	实测水头 $h$ /cm	口高 $H$ /cm	槛高 $p$ /cm	堰高 $D$ /cm	边宽 $T$ /cm	堰宽 $L$ /cm	堰口宽 $b$ /cm
1	50~70	30	35	30	75	30	150	70
2	70~100	35	40	35	85	35	170	80
3	100~140	40	45	40	95	40	190	90
4	140~185	45	50	45	105	45	210	100
5	185~240	50	55	50	115	50	230	110
6	240~300	55	60	55	125	55	250	120
7	300~375	60	65	60	135	60	270	130

4.1.1.2 矩形薄壁堰

矩形薄壁堰分为矩形缺口薄壁堰和等宽矩形薄壁堰。

4.1.1.2.1 矩形缺口薄壁堰

a) 流量计算:

$$Q = C \frac{2}{3} \sqrt{2g} b_e h_e^{3/2} \quad (3)$$

其中

$$b_e = b + K_b$$

$$h_e = h + K_h$$

式中:

$Q$  —— 流量,  $m^3/s$ ;

$C$  —— 流量系数, 不同  $b/B$  值的  $C$  值计算公式见表 3。也可查附录 A 中图 A.4。

$b_e$  —— 有效缺口宽度,  $m$ ;

$b$  —— 实测缺口宽度,  $m$ ;

$K_b$  —— 宽度修正系数, 查附录 A 图 A.5;

$h_e$  —— 有效水头,  $m$ ;

$h$  —— 上游实测水头,  $m$ ;

$K_h$  —— 水头修正系数,  $K_h = 0.001m$ ;

$B$  —— 槽宽,  $m$ 。

表 3 不同  $b/B$  值的  $C$  值计算公式

$b/B$	$C$	$b/B$	$C$
0.9	$0.598 + 0.064h/p$	0.5	$0.592 + 0.010h/p$
0.8	$0.596 + 0.045h/p$	0.4	$0.591 + 0.0058h/p$
0.7	$0.594 + 0.030h/p$	0.2	$0.589 - 0.0018h/p$
0.6	$0.593 + 0.018h/p$		

b) 公式 (3) 适用条件:

$$h/p \leq 2.5;$$

$$h \geq 0.03m;$$

$$b \geq 0.15m;$$

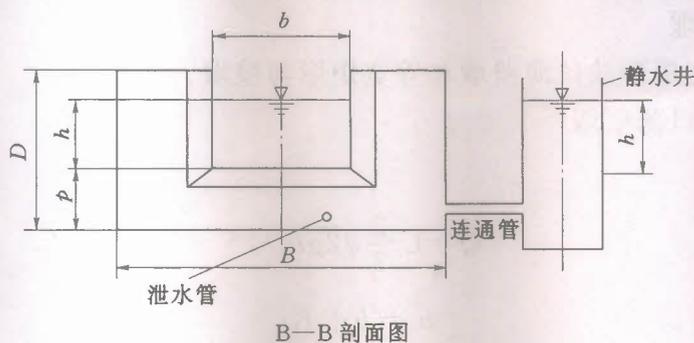
$$p \geq 0.10m;$$

$$(B - b)/2 \geq 0.10m。$$

c) 结构尺寸要求:

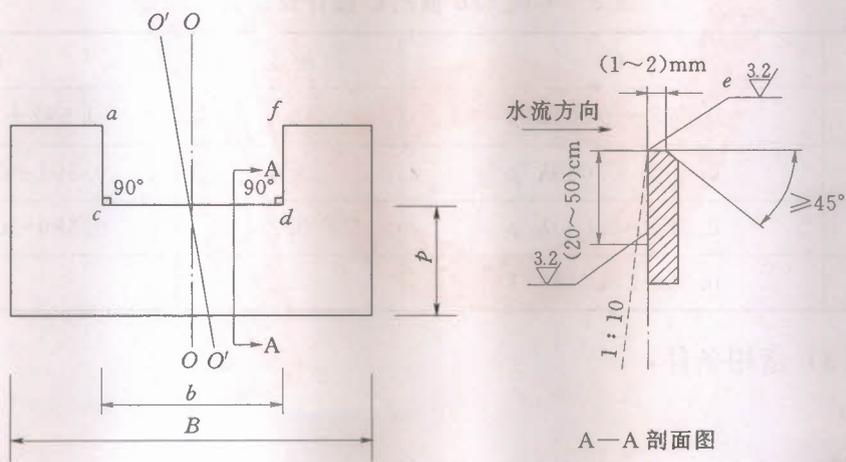
1) 矩形缺口薄壁堰堰板型式见图 5。矩形缺口侧边 ( $ac$ 、 $fd$ ) 与底边 ( $cd$ ) 交角为  $90^\circ$ 。堰板缺口顶面及侧面与迎水面以锐缘相交。矩形缺口中垂线 0—0 与行近渠槽中心线相重合。

2) 堰顶高程 (即底边  $cd$ ) 应大于堰板下游渠槽可能出现的最高水位  $0.1m$ 。



B—B 剖面图

图 4 矩形缺口薄壁堰



A—A 剖面图

图 5 矩形缺口薄壁堰加工及安装要求

#### 4.1.1.2.2 等宽矩形薄壁堰

a) 流量计算:

$$Q = C \frac{2}{3} \sqrt{2g} b h_e^{3/2} \quad (4)$$

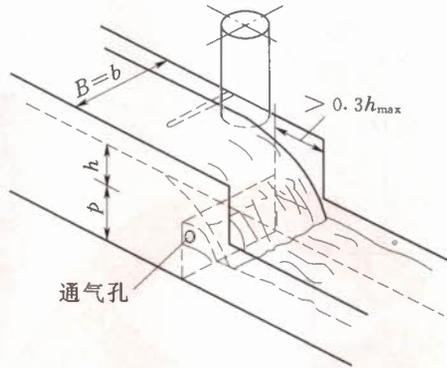
其中

$$h_e = h + 0.0012$$

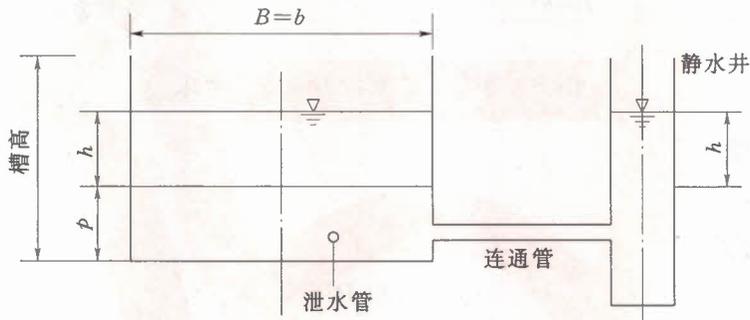
式中:

$C$ ——流量系数,  $C = 0.602 + 0.083h/p$ ;

- $h_e$ ——有效水头, m;  
 $h$ ——上游实测水头, m。  
 b) 公式 (4) 适用条件:  
 $h/p \leq 1.0$ ;  
 $0.75\text{m} > h > 0.03\text{m}$ ;  
 $b \geq 0.3\text{m}$ ;  
 $p \geq 0.10\text{m}$ 。



(a) 等宽矩形薄壁堰



(b) 纵剖面示意图

图 6 等宽矩形薄壁堰示意图

c) 结构尺寸要求:

- 1) 等宽薄壁堰堰顶为水平面, 堰口宽度与行近渠槽宽度相同。堰板至上游水位观测断面之间的渠槽两壁应是垂直的光滑表面, 堰板处沿高度方向渠槽宽度尺寸保持准确一致。为使水舌宽度尺寸保持不变, 渠槽边墙往堰板下游延伸长度应大于  $0.3h_{\max}$  ( $h_{\max}$  为实测最大水头值), 见图 7。
- 2) 堰顶高程应大于堰板下游渠槽可能出现的最高水位  $0.1\text{m}$ 。
- 3) 堰板上游行近渠槽顺直段长度应大于水面宽度的 10 倍。
- 4) 等宽薄壁堰水舌底缘与下游水面之间的边墙上应设通气孔, 以使水舌上下表面始终与大气相通。通气孔直径按公式 (5) 计算:

$$\phi = 0.11hb^{0.5} \quad (5)$$

式中:

- $\phi$ ——通气孔直径, m;
- $h$ ——上游实测水头, m;
- $b$ ——堰宽, m。

5) 水尺安装

对无侧收缩的矩形量水堰, 水尺可安装在堰坎上、下游 3~5 倍的最大过堰水头处。在自由出流状态下, 也可将过堰流量刻绘在水尺上, 若是有侧收缩的矩形量水堰, 水位与自由出流时的流量也可刻在同一标尺上, 并可水尺安装或刻绘在旁侧堰板上, 以方便读出流量值。

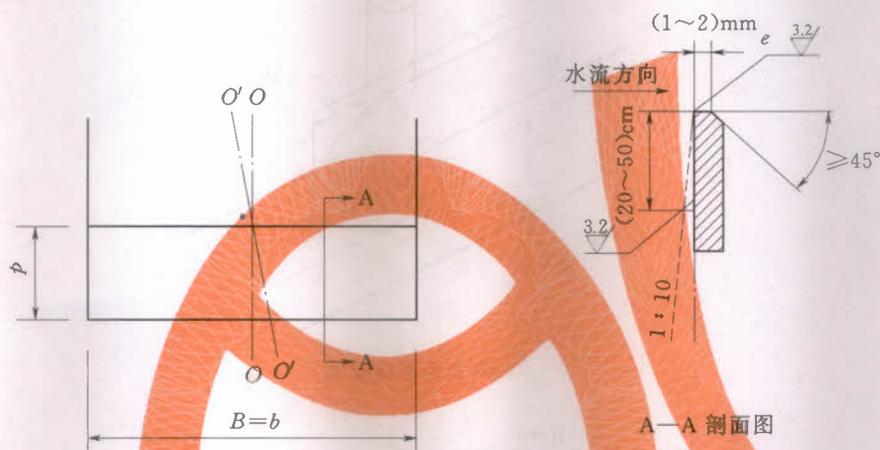


图 7 等宽薄壁堰加工及安装要求

4.1.1.3 梯形薄壁堰

a) 流量计算:

自由流流量公式:

$$Q = 1.86BH^{1.5} \quad (6)$$

淹没流流量公式:

$$Q = 1.86\sigma_n BH^{1.5} \quad (7)$$

$$\sigma_n = \sqrt{1.23 - (h_n/H)^2} - 0.127 \quad (8)$$

式中:

- $Q$ ——流量,  $m^3/s$ ;
- $H$ ——堰上水头, m;
- $B$ ——堰口底宽, m;
- $\sigma_n$ ——淹没系数;
- $h_n$ ——下游水面高出堰槛的水深, m。

b) 公式 (6) 适用条件:

- $0.25m \leq B \leq 1.5m$ ;
- $0.083m \leq H \leq 0.5m$ ;
- $0.083 \leq P \leq 0.5m$ 。

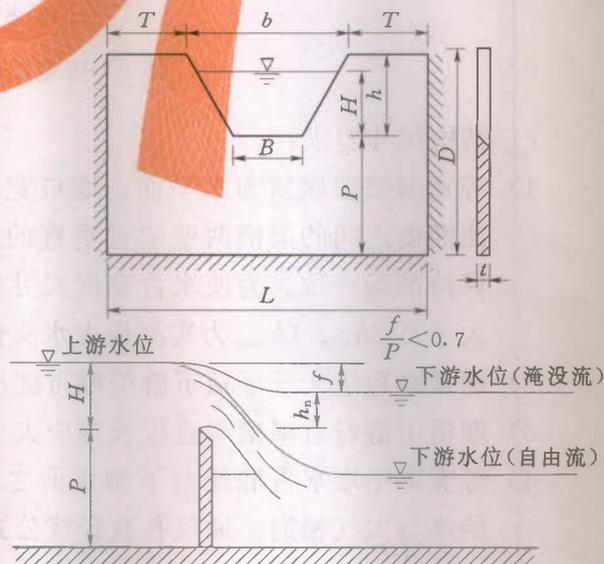


图 8 梯形薄壁堰及其水流形态示意图



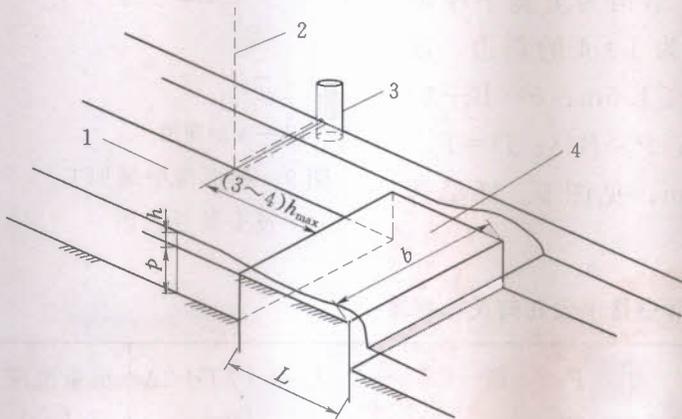
式中：

$Q$ ——流量， $m^3/s$ ；

$C$ ——流速、流量综合系数，由表 5 查取，应用范围不包括灰框内的数据；

$b$ ——堰宽， $m$ ；

$h$ ——上游实测水头， $m$ 。



1—流向；2—水位观测断面；3—静水井；4—水平堰顶

图 10 矩形宽顶堰

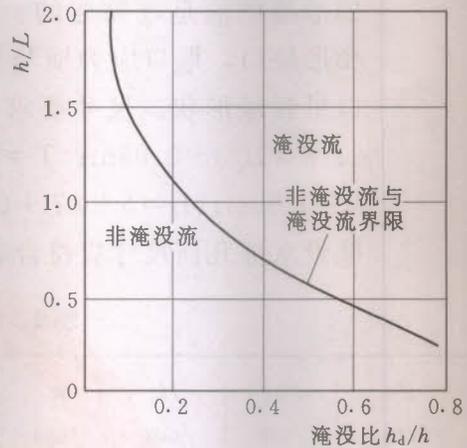


图 11 矩形宽顶堰非淹没流与淹没流界限

b) 公式 (9) 适用条件：

1) 矩形宽顶堰限于在非淹没流状态下应用。根据  $h/L$  和  $h_d/h$  值判别非淹没流和淹没流的界限，由图 11 查出 ( $L$  为顺水流方向堰长； $h_d$  为下游水位)。

2) 为避免表面张力和黏滞力影响，矩形宽顶堰限制在  $h \geq 0.06m$ ， $b \geq 0.30m$ ， $p \geq 0.15m$  条件下应用；为避免水面不稳定，要求  $\frac{h}{p} < 1.6$ 。

表 5 矩形宽顶堰流速、流量综合系数  $C$  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	0.884	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

表 5 矩形宽顶堰流速、流量综合系数 C 值表 (续)

$h/L$	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	
$h/p$	$C$																		
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	0.988	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	

c) 结构尺寸要求:

1) 堰体上游垂直面与堰顶平面成  $90^\circ$ , 堰顶面与矩形行近渠槽槽壁垂直。

2) 堰顶面为一光滑的水平面, 表面粗糙度应小于 25。

3) 堰槽面四周糙率  $n$  应控制在 0.013 左右。

4.1.2.2 圆缘宽顶堰

a) 流量计算:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} C C_v b \sqrt{g} h^{3/2} \quad (10)$$

式中:

$Q$  —— 流量,  $m^3/s$ ;

$b$  —— 堰宽,  $m$ ;

$h$  —— 上游实测水头,  $m$ ;

$C_v$  —— 考虑行近流速对堰上游实测水

头影响的无量纲系数。 $C_v = f(C_d b h / A)$  可由附录 A 中图 A.6 查出; 也可按公式 (11) 计算:

$$C_v = \left(\frac{H}{h}\right)^{3/2} \quad (11)$$

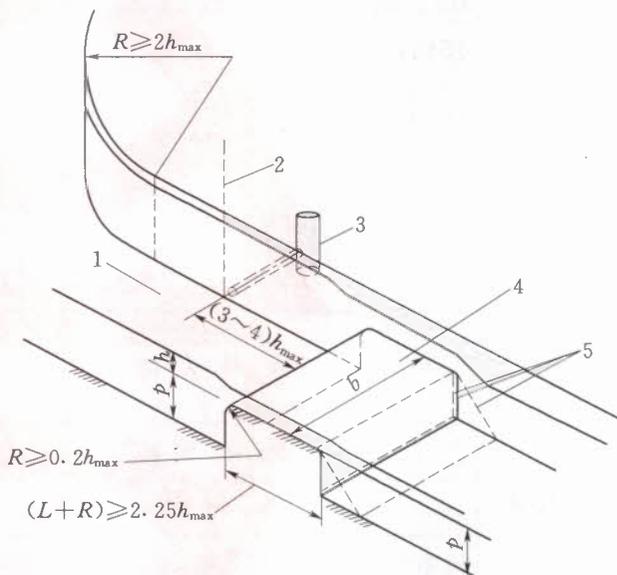
其中

$$H = h + \alpha \frac{v^2}{2g}$$

$$C = \left(1 - \frac{2xL}{b}\right) \left(1 - \frac{xL}{h}\right)^{3/2} \quad (12)$$

$H$  —— 堰上总水头,  $m$ ;

$v$  —— 测量断面处流速,  $m/s$ ;



1—流向; 2—水位观测断面; 3—静水井;  
4—水平堰顶; 5—下游面可变化范围

图 12 圆缘宽顶堰

$\alpha$ ——流速系数，在一般情况下  $\alpha = 1$ ；

$A$ ——测量断面面积， $m^2$ ；

$C$ ——流量系数；

$L$ ——顺水流方向堰顶水平段长度， $m$ ；

$x$ ——堰顶边界层影响系数， $x = \delta^* / L$ ， $\delta^* / L$  值根据雷诺数  $Re = \frac{vL}{\nu}$  和  $L/K$  曲线查

出，见附录 A 中图 A.7。 $K$  为材料粗糙度，由表 6 查出。 $\delta^*$  为边界层厚度。

对于具有光滑表面的建筑物，流量系数  $C$  可按公式 (13) 计算：

$$C = \left(1 - 0.006 \frac{L}{b}\right) \left(1 - 0.003 \frac{L}{h}\right)^{3/2} \quad (13)$$

b) 公式 (10) 适用条件：

$h \geq 0.06m$ ，或  $h \geq 0.01L$ ，当同时满足上述条件时选大值；

$b > 0.3m$ ，同时  $b > h_{max}$  或  $b > 0.2L$ ；

$p \geq 0.15m$ ；

$\frac{h}{L} \leq 0.57$ ；

$\frac{h}{p} \leq 1.5$ 。

表 6 材料粗糙度  $K$  值

单位：mm

材料表面分类		K	
		良好	一般
塑料类	有机玻璃、聚氯乙烯或表面光滑的塑料	—	0.003
	石棉水泥制品	—	0.015
	树脂玻璃纤维（用光滑金属模板成型或打磨、油漆木材模板）	0.03	0.06
金属类	机加工和抛光的光滑金属面	0.003	0.006
	无防锈涂层金属板面	0.015	0.03
	油漆金属面	0.03	0.06
	镀锌金属面	0.06	0.15
	油漆或涂层铸件	0.06	0.15
	铸件毛面	0.15	0.30
混凝土类	钢模板现场和预制浇注面	0.06	0.15
	胶合和压制模板现场和预制浇注面	0.3	0.6
	光滑的水泥砂浆抹面	0.3	0.6
	混凝土表面有污水粘膜	0.6	1.5
木材类	刨平的木材或胶合板	0.3	0.6
	打磨和油漆的木材	0.03	0.06

c) 圆缘宽顶堰流态:

圆缘宽顶堰仅适用于非淹没流流态。在下游面为竖直面情况下, 非淹没流判别条件:

$$\frac{h}{p_2} < 0.5 \text{ 时, } \frac{h_d}{h} \leq 0.63;$$

$$\frac{h}{p_2} = 0.5 \text{ 时, } \frac{h_d}{h} \leq 0.75;$$

$$\frac{h}{p_2} \geq 1.0 \text{ 时, } \frac{h_d}{h} \leq 0.80;$$

上述  $p_2$  为下游河底以上堰高。数值之间可以内插。

d) 结构尺寸要求:

- 1) 堰体上游垂直面与堰顶平面成  $90^\circ$  角, 堰顶面与矩形行近渠槽槽壁垂直。
- 2) 堰顶面为一光滑的水平面, 表面粗糙度应小于 25。
- 3) 堰槽面四周糙率  $n$  应控制在 0.013 左右。
- 4) 堰体上游竖直迎水面与堰顶交界处为一圆弧, 圆弧半径不得小于  $0.2h_{\max}$ 。下游面可为竖直面, 或坡面。堰顶长度不得小于  $1.75h_{\max}$ , 堰顶长度包括圆弧段总长不得小于  $2.25h_{\max}$ 。
- 5) 堰顶宽度允许偏差为堰顶设计宽度的 0.2%, 堰顶水平面允许有 0.1% 的坡度。

4.1.3 三角形剖面堰

a) 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 13。

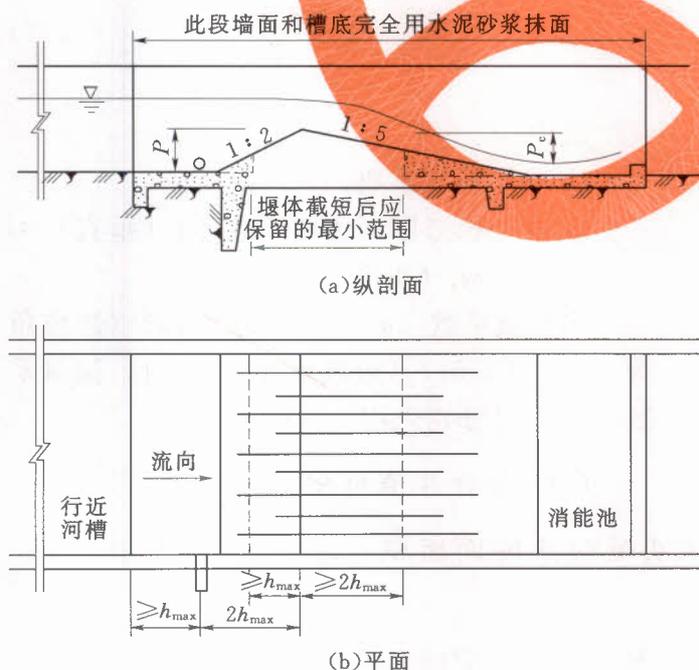


图 13 三角形剖面堰图

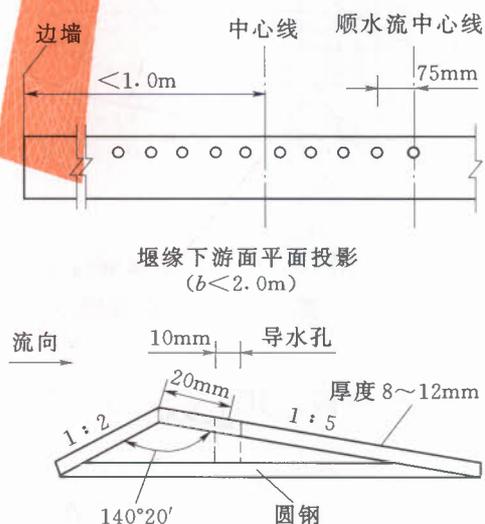


图 14 堰顶导水管装置图

b) 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。

式中:

$h_p$  ——堰下游水头, m;

$H$  ——堰上游总水头, m。

c) 矩形河槽中的三角形剖面堰的流量计算, 可按公式 (14) 计算:

$$Q = C_D C_v C_f \sqrt{g b h^{3/2}} \quad (14)$$

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 ( $C_D$ ) 可按公式 (15) 计算:

$$C_D = 0.633 \left( 1 - \frac{0.0003}{h} \right)^{3/2} \quad (15)$$

当自由流时,  $C_f = 1$ , 行近流速系数 ( $C_v$ ) 可由图 15 直接查得。图中  $A = b(h + P)$ 。

当淹没流时, 可从图 16 中查得行近流速系数 ( $C_v$ ) 和淹没系数 ( $C_f$ ) 的合并值 ( $C_v C_f$ )。

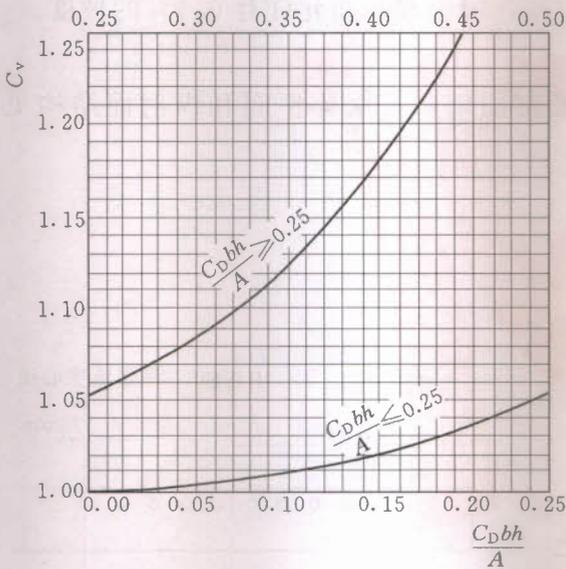


图 15 三角形剖面堰行近流速系数  $C_v$  查算图

d) 梯形河槽中的三角形剖面堰的流量可按公式 (16) 计算:

$$Q = C_D C_v C_s C_f \sqrt{g b h^{3/2}} \quad (16)$$

$$C_s = 1 + \frac{4m_a h}{5b} \quad (17)$$

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。

$C_v C_s$  的合并值可根据  $\frac{C_D b h}{A}$  和  $\frac{m_a h}{b}$  值从

图 17 中查得。其中,  $A$  为上游观测水头处过水断面面积 ( $\text{m}^2$ ), 应按公式 (18) 计算:

$$A = (h + P)[B + m_a(h + P)] \quad (18)$$

淹没系数 ( $C_f$ ) 可根据  $\frac{h_p}{H}$  值从表 7 中查得。

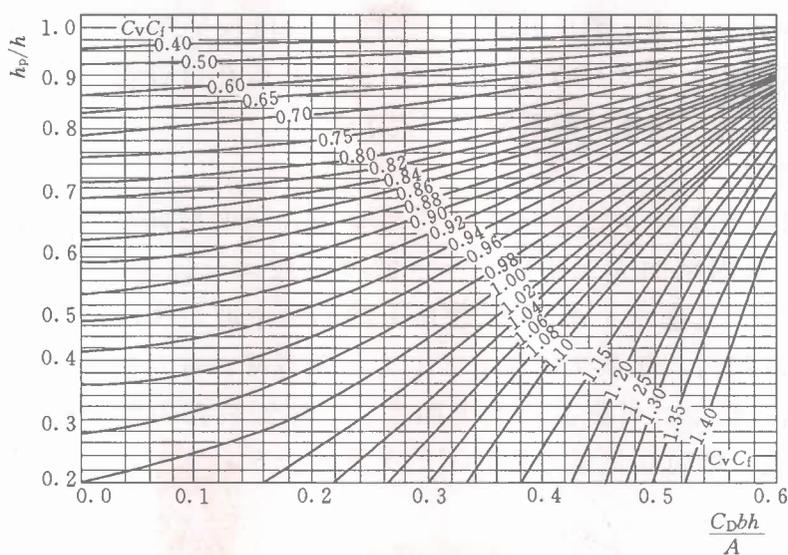


图 16 三角形剖面堰行近流速系数 ( $C_v$ ) 和淹没系数 ( $C_t$ ) 乘积 ( $C_v C_t$ ) 查算图

表 7 梯形槽三角形剖面堰  $h_p/H \sim C_t$  关系表

$h_p/H$	0.16	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55
$C_t$	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	
$C_t$	0.872	0.852	0.822	0.790	0.740	0.685	0.570	0.500	

e) 三角形剖面堰流量公式的应用限制条件:

- 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)  $P \geq 0.06m$ ,  $b \geq 0.3m$ 。

f) 结构尺寸要求:

- 1) 堰顶必须坚固、耐磨、形成光滑的棱。可用不锈蚀的金属板镶嵌, 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, 见图 14。

- 3) 下游水头观测设备是与堰顶线平行设置的一排测压孔, 见图 14。测压孔的中心间距为 75mm, 直径为 10mm。孔下面用直径为 10mm 的导管与之连通引入岸边

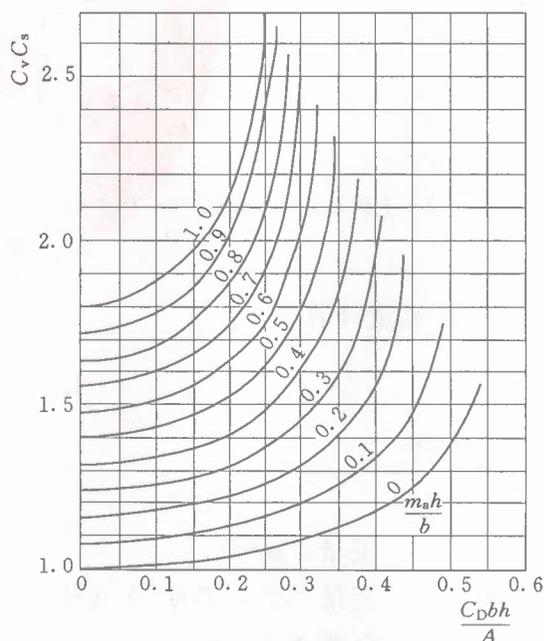
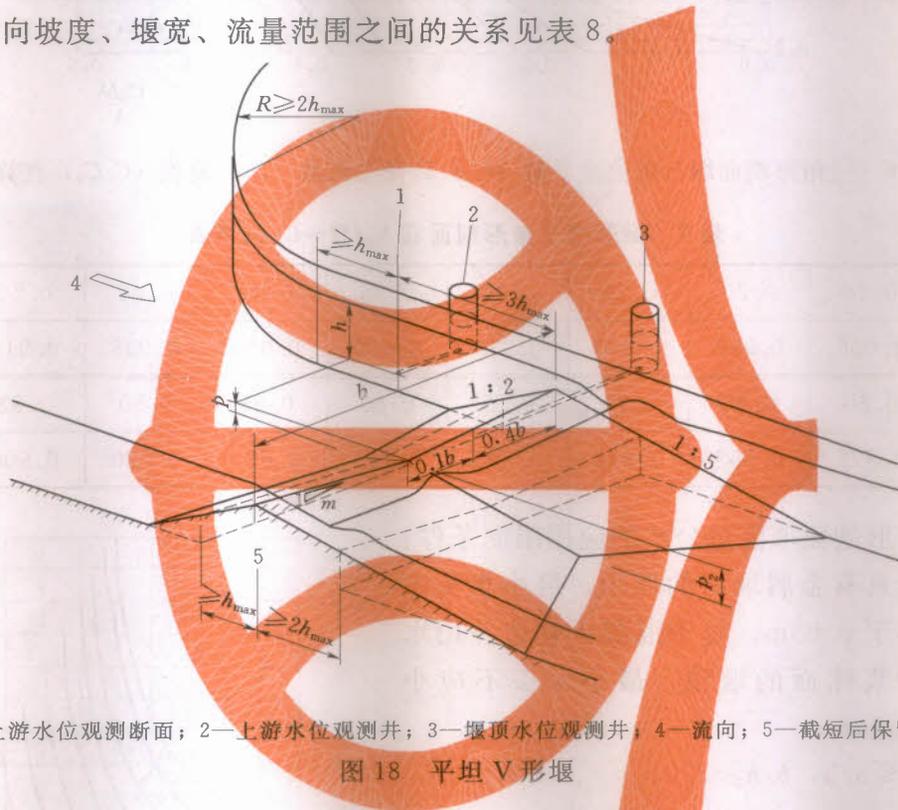


图 17 梯形槽三角剖面堰  $C_v C_s \sim C_D b h / A$  关系图

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升降与下游水位同步。当堰顶宽 (b) 小于 2.0m 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。

4.1.4 平坦 V 形堰

平坦 V 形堰堰顶线呈 V 形，从两侧边墙至中心线的横向坡度限于 1:10、1:20、1:40。平坦 V 形堰纵剖面为三角形，上下游两个坡面与边墙交线的坡度分别为 1:2 (垂直:水平)、1:5 (垂直:水平)。堰顶上游的两个坡面和堰顶下游的两个坡面均从两侧边墙向中心线倾斜。堰顶交线在平面上为一条直线，并与渠槽中心线正交。小流量时水流从 V 形堰口流过，可提高测流准确度。堰体安装在矩形渠槽内。堰顶最低点高程、堰顶横向坡度、堰宽、流量范围之间的关系见表 8。



1—上游水位观测断面；2—上游水位观测井；3—堰顶水位观测井；4—流向；5—截短后保留范围

图 18 平坦 V 形堰

a) 流量计算：

$$Q = 0.8CC_v \sqrt{g} m Z_h h_e^{5/2} \tag{19}$$

其中

$$h_e = h - K_h$$

式中：

Q —— 流量，m<sup>3</sup>/s；

C —— 流量系数，查附录 A 中表 A.2；

h<sub>e</sub> —— 有效水头，m；

h —— 上游实测水头，m；

K<sub>h</sub> —— 水头改正系数，查附录 A 中表 A.2；

Z<sub>h</sub> —— 形状系数，当 h ≤ h'，Z<sub>h</sub> = 1.0；当 h > h' 时，Z<sub>h</sub> = 1 - (1 - h'/h)<sup>5/2</sup> (h' 为 V 形堰

口高度，即堰顶最高和最低高程之差， $h' = b/2m$ ， $m$  为 V 形堰顶线横向坡度系数）；

$C_v$ ——流速系数，可根据  $h/p_1$  和  $h_e/h'$  值查附录 A 中表 A.3，同时得出  $C_v Z_h$  值（ $p_1$  为上游渠底至堰顶最低点高度）；

$b$  ——堰体宽度，m。

表 8 平坦 V 形堰结构形式及流量范围

堰顶最低点高度/m	堰顶横向坡比	堰宽/m	流量/(m <sup>3</sup> /s)
0.2	1 : 10	4	0.015~5
0.5	1 : 20	20	0.030~180 (最大水头<3.0m)
1.0	1 : 40	80	0.055~630 (最大水头<3.0m)

b) 公式 (19) 条件：

$h \geq 0.03\text{m}$  (堰顶为光滑表面)； $h \geq 0.06\text{m}$  (堰顶为混凝土表面)；

$h'/p_1 \leq 2.5$ ；

$Fr \leq 0.5$ 。

非淹没界限、系数不确定度、 $h'/p_1$  与  $h'/p_2$  限制值见附录 A 中表 A.2 ( $p_1$ 、 $p_2$  分别为上、下游渠底至堰顶最低点的高度)。

淹没流态时流量计算公式：

$$Q_s = 0.8 C C_v f \sqrt{g} m Z_h h_e^{5/2} \quad (20)$$

淹没流折减系数  $f$  与  $C_v$  乘积，根据  $h_e/h'$  和  $h_{pe}/h_e$  值查附录 A 中表 A.4~表 A.8 得出。表中：

$$h_{pe} = h_p - K_h \quad (21)$$

式中：

$h_{pe}$ ——不贴流区有效水头，m；

$h_p$ ——不贴流区实测水头，m；

$K_h$ ——水头改正系数，查附录 A 中表 A.2。

c) 结构尺寸要求：

- 1) 堰体上下游坡面可以截短，但应满足下列尺寸：上游 1 : 2 坡面段的水平距离不得小于  $1.0h_{\max}$ ；下游 1 : 5 坡面段的水平距离不得小于  $2.0h_{\max}$ 。
- 2) V 形堰口的顶点在行近渠槽中心线上。
- 3) 堰体施工的允许偏差：堰顶宽度相对偏差 0.2%；上下游坡面相对偏差为 1.0%；堰顶横向坡度相对偏差为 1.0%；堰顶线上最大偏差点距平均堰顶线的相对偏差为堰宽的 0.2%。
- 4) 静水井中通往渠槽的连通管管底距最低水位应大于 0.06m，连通管管口附近渠槽表面要求平整、光滑，最小范围为  $10d$  ( $d$  为连通管直径)。

- 5) 水位观测：上游水位观测断面位置在堰顶线上游  $10h$  处。如果此距离小于  $3h_{\max}$ ，则应按  $3h_{\max}$  布置。淹没流态（界限  $H_e/h > 70\% \pm 5\%$ ）时采用双水位观测，具体要求见表 9 和 4.1.3 中的有关规定（ $H_e$ ——堰上游总水头）。

表 9 堰顶测压孔布置

测压孔尺寸及布置	堰宽/m			
	0.3~0.99	1.0~1.99	2.0~3.99	>4.0
孔径/mm	5	5	10	10
各孔中心线间距/mm	25	25	40	50
测压孔数量/孔	3	5	7	9
中心孔距堰中心线距离/mm	0.1b	0.1b	0.1b	0.1b
堰顶线下游成排测压孔距堰顶线距离/m	10	15	20	20
连通管钻孔直径/mm	15	20	25	30

## 4.2 量水槽

### 4.2.1 长喉道量水槽

长喉道量水槽的喉段形状较多，广泛应用的有三种类型，分别为矩形喉道、梯形喉道和 U 形喉道见图 19~图 21。

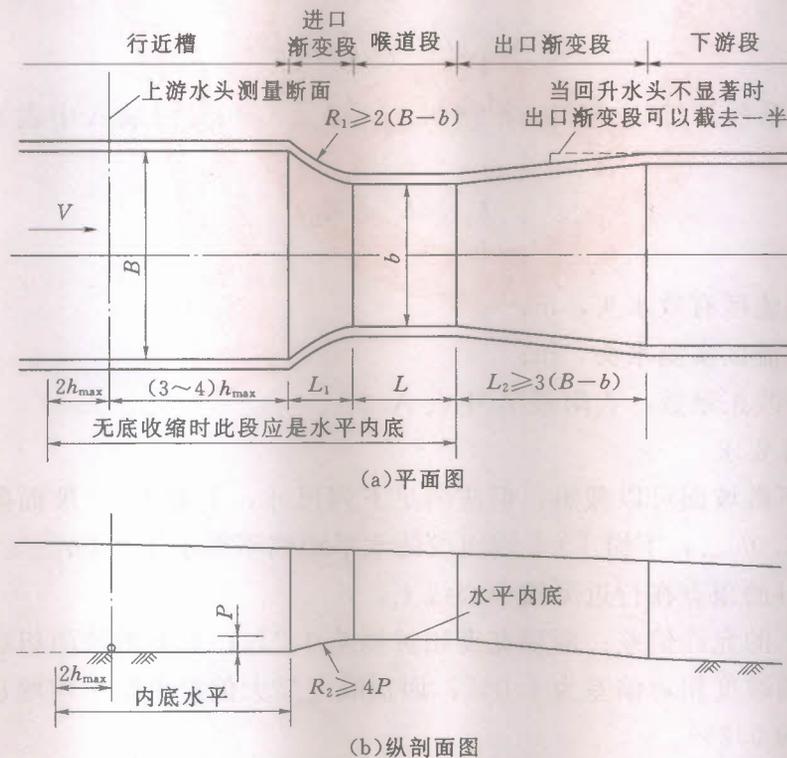


图 19 (一) 矩形喉道测流槽示意图

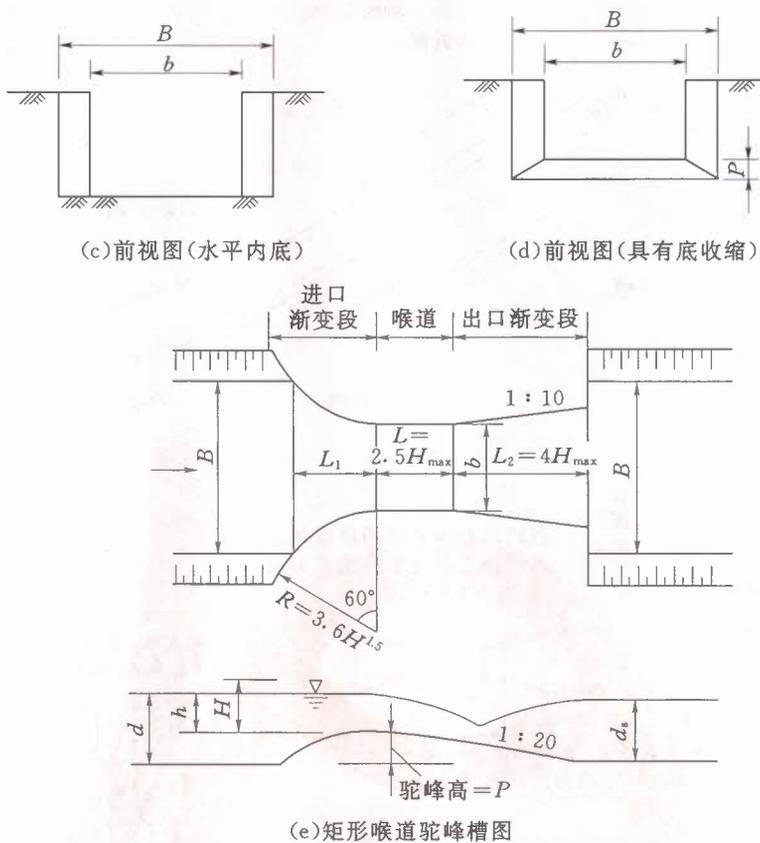


图 19 (二) 矩形喉道测流槽示意图

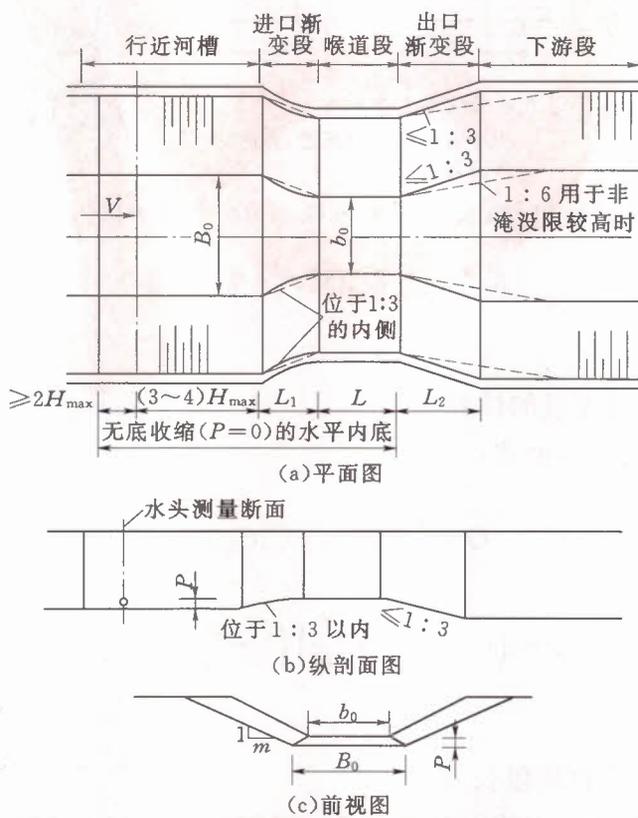


图 20 梯形喉道测流槽示意图

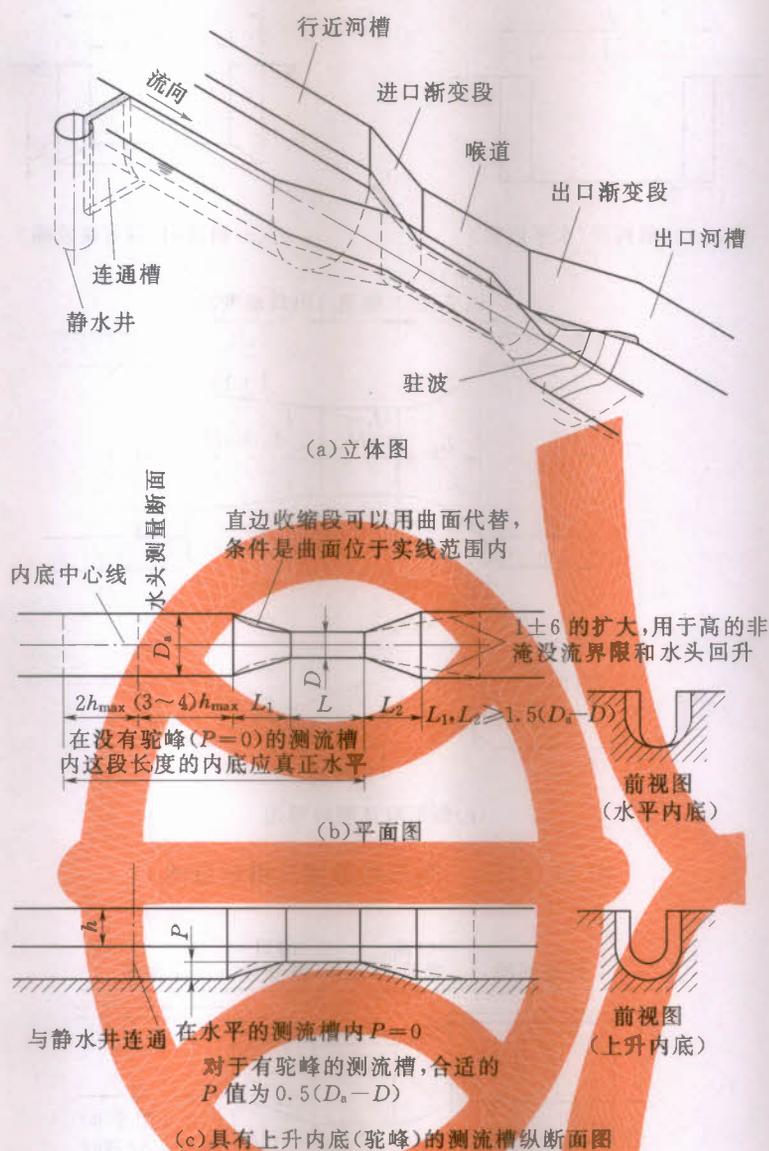


图 21 U 形喉道测流槽示意图

a) 流量计算:

1) 矩形喉道量水槽流量的计算

矩形喉道测流槽的基本公式:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_v C_D b h^{3/2} \quad (22)$$

$$C_D = \left(1 - 2 \frac{\delta^*}{L} \times \frac{L}{b}\right) \left(1 - \frac{\delta^*}{L} \times \frac{L}{h}\right)^{3/2} \quad (23)$$

式中:

$L$ ——测流槽棱柱形收缩段长度。

对于具有良好表面光洁度的大多数设备,可按公式(24)计算:

$$C_D = \left(1 - \frac{0.006L}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \quad (24)$$

由这个公式求得的各  $C_D$  值列于表 10, 这些数值适用于如上详述过的施工良好的设备。

表 10 矩形喉道测流槽的流量系数  $C_D = \left(1 - \frac{0.006L}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2}$

$\frac{L}{b}$	$\frac{h}{L}$													
	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05
0.2	0.9924	0.9919	0.9913	0.9906	0.9898	0.9888	0.9876	0.9860	0.9839	0.9809	0.9764	0.9690	0.9542	0.9103
0.4	0.9912	0.9907	0.9901	0.9894	0.9886	0.9876	0.9864	0.9848	0.9827	0.9797	0.9752	0.9678	0.9530	0.9092
0.6	0.9900	0.9895	0.9889	0.9883	0.9875	0.9865	0.9852	0.9836	0.9815	0.9785	0.9741	0.9667	0.9519	0.9081
0.8	0.9888	0.9883	0.9878	0.9871	0.9863	0.9853	0.9840	0.9825	0.9803	0.9774	0.9729	0.9655	0.9502	0.9070
1.0	0.9876	0.9872	0.9866	0.9859	0.9851	0.9841	0.9829	0.9813	0.9792	0.9762	0.9717	0.9644	0.9496	0.9059
1.2	0.9865	0.9860	0.9854	0.9847	0.9830	0.9829	0.9817	0.9801	0.9780	0.9750	0.9706	0.9632	0.9485	0.9048
1.4	0.9853	0.9848	0.9842	0.9835	0.9827	0.9818	0.9805	0.9789	0.9768	0.9739	0.9694	0.9620	0.9474	0.9038
1.6	0.9841	0.9836	0.9831	0.9824	0.9816	0.9806	0.9793	0.9778	0.9757	0.9727	0.9683	0.9609	0.9462	0.9027
1.8	0.9829	0.9824	0.9819	0.9812	0.9804	0.9794	0.9782	0.9766	0.9745	0.9715	0.9671	0.9598	0.9451	0.9016
2.0	0.9818	0.9813	0.9807	0.9800	0.9792	0.9782	0.9770	0.9754	0.9733	0.9704	0.9660	0.9586	0.9440	0.9005
2.2	0.9806	0.9801	0.9795	0.9789	0.9781	0.9771	0.9758	0.9743	0.9722	0.9692	0.9648	0.9575	0.9429	0.8995
2.4	0.9794	0.9787	0.9784	0.9777	0.9769	0.9759	0.9747	0.9731	0.9710	0.9681	0.9637	0.9563	0.9417	0.8984
2.6	0.9783	0.9778	0.9772	0.9765	0.9757	0.9748	0.9735	0.9720	0.9699	0.9669	0.9625	0.9552	0.9406	0.8973
2.8	0.9771	0.9766	0.9761	0.9754	0.9746	0.9736	0.9724	0.9708	0.9687	0.9658	0.9614	0.9541	0.9395	0.8963
3.0	0.9759	0.9755	0.9749	0.9742	0.9734	0.9724	0.9712	0.9696	0.9676	0.9646	0.9602	0.9529	0.9384	0.8952
3.2	0.9748	0.9743	0.9733	0.9731	0.9723	0.9713	0.9701	0.9685	0.9664	0.9635	0.9591	0.9518	0.9373	0.8941
3.4	0.9736	0.9731	0.9726	0.9719	0.9711	0.9701	0.9689	0.9673	0.9653	0.9623	0.9580	0.9507	0.9362	0.8931
3.6	0.9725	0.9720	0.9714	0.9708	0.9700	0.9690	0.9678	0.9662	0.9641	0.9612	0.9568	0.9495	0.9350	0.8920
3.8	0.9713	0.9708	0.9703	0.9696	0.9688	0.9678	0.9666	0.9651	0.9630	0.9601	0.9557	0.9484	0.9330	0.8909
4.0	0.9702	0.9697	0.9691	0.9685	0.9677	0.9667	0.9655	0.9639	0.9618	0.9589	0.9546	0.9473	0.9328	0.8899
4.2	0.9690	0.9685	0.9680	0.9673	0.9665	0.9656	0.9643	0.9628	0.9607	0.9578	0.9534	0.9462	0.9317	0.8888
4.4	0.9679	0.9674	0.9668	0.9662	0.9654	0.9644	0.9632	0.9616	0.9596	0.9566	0.9523	0.9451	0.9306	0.8878
4.6	0.9667	0.9663	0.9657	0.9650	0.9642	0.9633	0.9621	0.9605	0.9584	0.9555	0.9512	0.9439	0.9295	0.8867
4.8	0.9656	0.9651	0.9646	0.9639	0.9631	0.9621	0.9609	0.9594	0.9573	0.9544	0.9500	0.9428	0.9284	0.8857
5.0	0.9645	0.9640	0.9634	0.9628	0.9620	0.9610	0.9593	0.9583	0.9562	0.9533	0.9490	0.9418	0.9274	0.8847

$C_v$  从图 22 查得, 或从表 11 求得一个十分接近的近似值。 $B$  可按公式 (25) 计算:

$$B = \frac{\text{横断面面积}}{h + p} \quad (25)$$

表 11 矩形喉道测流槽的流速系数  $\frac{4}{27} \left(\frac{b}{B}\right)^2 \left(\frac{h}{h+p}\right)^2 C_v^2 C_c^2 - C_v^{2/3} + 1 = 0$

$\frac{b}{B}$	$\frac{b}{h+p} C_D$								
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
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	0.0429	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	1.0163	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：各栏给出的流速系数的有效数字不能理解为具有相应的精度，它仅用来内插和分析。

对于初步设计来说，在图 19 所示的测流槽的情况下，流量公式可表示为：

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_b H^{3/2} \quad (26)$$

式中：

$C$ ——总系数，对设计来说，可取 0.97~1.00 之间的数值。

当建筑物在喉道上与有桥墩的桥相结合时，式 (26) 中的  $b$  用公式 (27) 取代：

$$(b - n_p b_p - 2C_c n_p H) \quad (27)$$

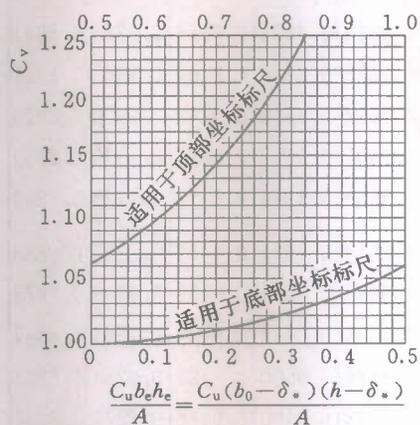
式中：

$b_p$ ——桥墩宽度；

$n_p$ ——桥墩数；

$C_c$ ——收缩系数=0.045，圆墩；=0.040，尖墩。

2) 梯形喉道量水槽流量的计算



注：对于梯形喉道测流槽用  $C_v$  代替  $C_u$ 。在 U 形测流槽中  $b=D$ 。

图 22 行进流速系数  $C_v$  图

梯形喉道测流槽的基本流量公式:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} C_D C_v C_s \sqrt{g} b h^{3/2} \quad (28)$$

非淹没流流量系数  $C_D$  是用类似于矩形喉道的公式 (29) 来表达:

$$C_D = \left(1 - 2\eta \frac{\delta^*}{L} \times \frac{L}{b}\right) \left(1 - \frac{\delta^*}{L} \times \frac{L}{h}\right)^{3/2} \quad (29)$$

式中:

$\eta$ —— $m$  的函数,  $m$  为测流槽边坡 (水平  $m$  与垂直 1 之比)。

对于具有良好表面光洁度的设备:

$$C_D = \left(1 - 0.006\eta \frac{L}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \quad (30)$$

式中:

$\eta$  值由图 23 查得。

$C_v$  值由公式 (31) 计算:

$$(C_v^{2/3} - 1)^{1/2} = \frac{2}{3\sqrt{3}} \frac{b_e h_e}{A} C_v C_{s或u} \quad (31)$$

$$A = [B + m_a(h + p)](h + p) \quad (32)$$

式中:

$A$  —— 行进河槽的过水面积,  $m^2$ ;

$B$  —— 行进河槽的宽度,  $m$ ;

$m_a$  —— 行进河槽侧墙边坡。

算出, 假定取  $b_e = b$ ,  $h_e = h$ 。

公式 (28) 中的  $C_s$  值利用公式 (33) 进行逐步逼近。

$$\frac{mH_{C_e}}{b_e} = \frac{mh}{b} C_v^{2/3} \quad (33)$$

对一个已知几何形状的梯形测流槽的给定水头来说, 流量计算的第一近似值进行如下:

- ① 把  $m$ 、 $m_a$ 、 $b$ 、 $B$ 、 $p$ 、 $L$  和  $g$  值列入表中。
- ② 根据行进河槽的形状, 计算行进河槽横断面面积。
- ③ 计算  $\eta = \sqrt{1+m^2} - m$ , 或者由图 23 查得。
- ④ 用已知的  $\eta$ 、 $L$ 、 $b$  和  $h$  值由公式 (30) 计算  $C_D$  值。
- ⑤ 对给定的  $h$  值, 假定  $mH_{C_e}/b_e \approx mh/b$ , 从图 24 查得  $C_s$ , 作为第一近似值。
- ⑥ 假定  $h_e \approx h$  和  $b_e \approx b$ , 用  $C_s b h / A$  查图 22, 求得  $C_v$  的初始值。
- ⑦ 根据上面的  $C_D$ 、 $C_s$  和  $C_v$  值, 用公式 (28) 计算  $Q$  的第一个近似值。

完成第一近似计算后,  $C_s$ 、 $C_v$  和  $Q$  值需要修改。 $C_D$  用它的最后值。第二次近似计算继续进行如下:

- ① 由公式 (33) 求得  $mH_{C_e}/b_e$ 。
- ② 从图 24 查得新的  $C_s$  值。

③现在可以算出  $C_s b_e h_e / A$  值 (假定  $b_e \approx b$ ,  $h_e \approx h$ ), 并由图 22 查得新的  $C_v$  值。

④ $C_D$  值同修正过的  $C_v$  和  $C_s$  值一起代入 (28), 求得一个更准确的  $Q$  值。

重复进行上述计算, 直至求得充分准确的数值为止。

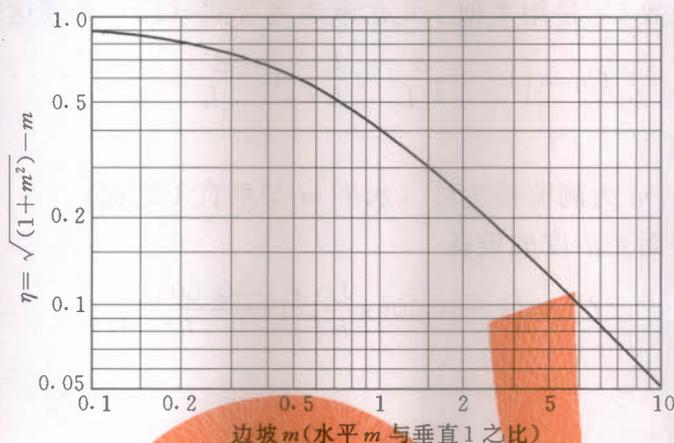


图 23 确定  $C_D$  用的  $\eta$  值: 梯形喉道测流槽

### 3) U 形喉道量水槽流量的计算

U 形喉道测流槽的基本流量公式:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_v C_u C_D D h^{3/2} \quad (34)$$

$$C_D = \left(1 - 2 \frac{\delta^*}{L} \times \frac{L}{b}\right) \left(1 - \frac{\delta^*}{L} \times \frac{L}{h}\right)^{3/2} \quad (35)$$

对于具有良好表面光洁度的设备,  $\delta^*/L$  可取为 0.003, 公式 (34) 可简化为:

$$C_D = \left(1 - \frac{0.006}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \quad (36)$$

为了计算一给定的  $h$  值的  $Q$  值, 必须计算  $C_v$ 、 $C_u$  和  $C_D$ 。  
 $C_D$  值利用公式 (37) 进行逐步逼近。

$$\frac{H_{Ce}}{h_e} \approx \frac{H_{Ce}}{h} \approx C_v^{2/3} \quad (37)$$

假定  $h_e \approx h$ 、 $b_e \approx b$ ,  $C_v$  值可由图 22 可得出。

图 22 中采用的行进河槽面积是由给定水位下的行进河槽几何形状求得。如果行进河槽是 U 形的, 水位位于半圆形底部内:

对于  $d_a < \frac{D_a}{2}$

$$A_a = \frac{1}{4} D_a^2 (\theta - \sin\theta \cos\theta) \quad (38)$$

$$\theta = \cos^{-1} \left(1 - \frac{2d_a}{D_a}\right) \quad (39)$$

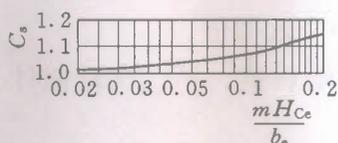
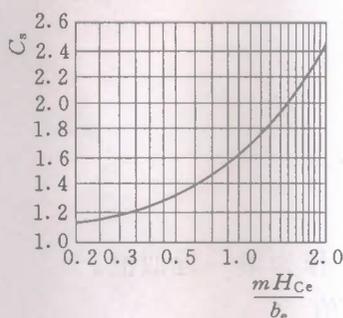
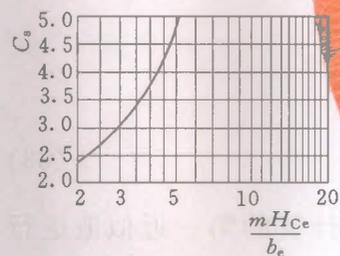


图 24 梯形测流槽的形状系数图

其中:

$d_a = h + p$ , 即行进河槽测量断面的水深与该处河槽内底的高程有关。

对于  $d_a \geq \frac{D_a}{2}$

$$A_a = \frac{\pi}{8} D_a^2 + \left( d_a - \frac{1}{2} D_a \right) D_a \quad (40)$$

对于已知几何形状的 U 形测流槽的一给定水头来说, 流量计算如下:

- ①把  $D$ 、 $L$ 、 $D_a$  和  $p$  值列入表中。
- ②计算行进河槽断面面积。如果河槽是 U 形的, 用公式 (38) 或公式 (40) 计算。
- ③对给定的  $h$  值, 假定  $H_{ce}/D_e \approx h/D$ , 并从图 25, 查得  $C_u$ , 作为第一近似值。
- ④计算  $C_u D h / A$ , 并从图 22 中查得  $C_v$ , 作为第一近似值。
- ⑤由公式 (36) 算出  $C_D$ 。
- ⑥用上述  $C_v$  值由公式 (37) 计算  $H_{ce}$ 。

完成第一近似计算后,  $H_{ce}$ 、 $C_v$  和  $C_u$  值需要修正。第二近似计算进行如下:

- ①假定  $D_e \approx D$ , 计算  $H_{ce}/D_e$ , 从图 22 查得  $C_u$  的值。
- ②计算  $C_u D h / A$ , 从图 22 查得新的  $C_v$  值。
- ③用公式 (37) 计算新的  $H_{ce}$  值。

重复进行上面的计算。直至求得充分精确地值为止。

然后用公式 (34) 算出流量。

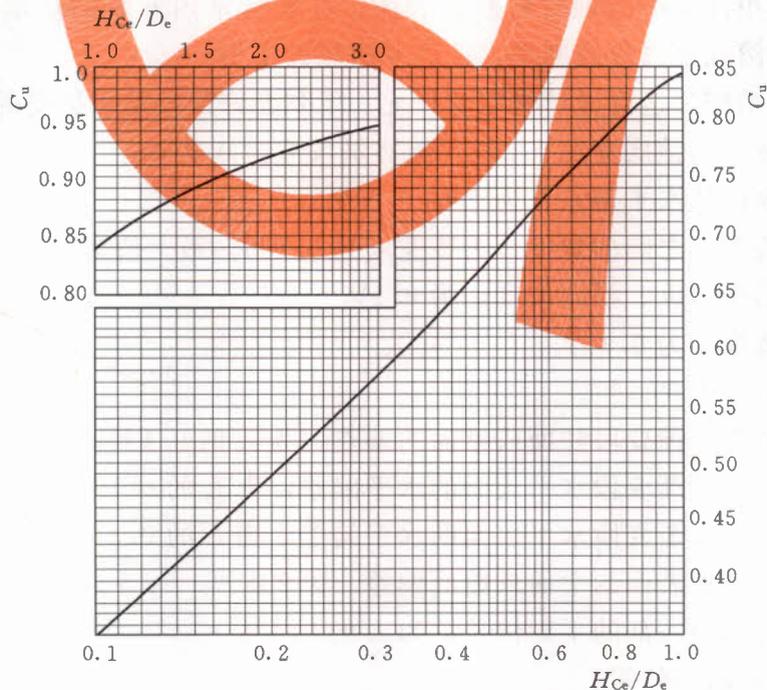


图 25 U 形测流槽的形状系数

## b) 流量公式应用条件:

- 1) 长喉道量水槽应在自由流 (即非淹没流) 状态下进行测流, 即测流槽上游必须是亚临界流, 其后水流经收缩段加快并在喉段处形成临界水深, 建筑物的下游水位足够低, 对量水槽的出流没有影响。
- 2) 上游水头  $h$  实际的下限与液体性质和边界糙率影响的大小有关, 下限为  $0.05\text{m}$  或  $0.05L$ , 采用其中较大的。
- 3) 行近渠槽与喉道的面积比率宜使行近河槽的弗劳德数  $Fr$  都不超过  $0.5$ 。
- 4)  $b$  或  $D$  小于  $0.1\text{m}$ ;  $h$  不应大于  $2\text{m}$ 。
- 5)  $h_1/L$  不宜超过  $0.5$ ,  $h_{\max}/L$  最大允许上升至  $0.7$ 。

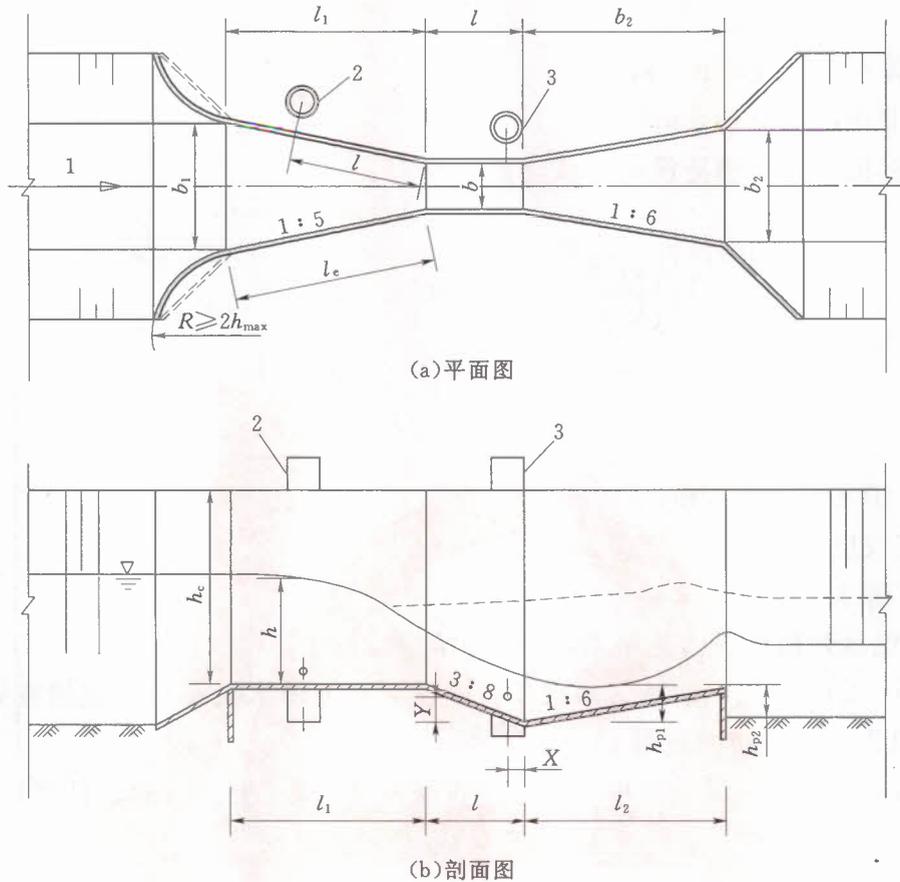
## c) 结构尺寸要求:

- 1) 喉道的收缩段应有足够长度, 保证喉道内产生平行水流, 即在量水槽内出现临界水流, 宜取  $0.1 \leq H_1/L \leq 0.5$ ,  $H_1/L$  最大不超过  $0.7$ 。
- 2) 矩形、梯形及 U 形等不同形式的长喉槽上游收缩段采用  $1:2 \sim 1:3$  的收缩比下游出口段采用  $1:6$  的扩散比。
- 3) 喉部断面宜取与渠道相同的断面, 喉道收缩断面与行近渠道断面比率不应大于  $0.7$ 。
- 4) 量水槽宜用于稳定流或近似稳定流的渠道, 用于自由流状况下测流。
- 5) 量水槽可用于不同形状渠道断面和不同水流状态下的水流测量, 水头损失宜在  $(0.1 \sim 0.13)h_{\max}$ , 最大流量与最小流量比  $Q_{\max} : Q_{\min} = 10 : 1$ 。
- 6) 量水槽喉道及其紧接的行进河槽表面应光滑平整, 可用混凝土制造, 用优质水泥抹面或用优质不腐蚀材料修整表面。在实验室内安装的量水槽, 表面光洁度应相当于滚扎金属板或刨平、沙磨并涂漆的木板。
- 7) 要求量水槽施工达到设计规定的尺寸。下列允许误差是可接受的:
  - ①喉道的底宽, 为该底宽的  $0.2\%$ , 绝对最大值为  $0.01\text{m}$ 。
  - ②喉道水平表面的水平偏差, 为  $L$  的  $0.1\%$ 。
  - ③喉道两竖直表面之间的宽度, 为该宽度的  $0.2\%$ , 最大值为  $0.01\text{m}$ 。
  - ④喉道底部的平均纵、横向坡度, 为  $0.1\%$ 。
  - ⑤喉道斜面坡度, 为  $0.1\%$ 。
  - ⑥喉道长度, 为  $L$  的  $1\%$ 。
  - ⑦喉道以上的进口渐变段柱面或锥面的偏差, 为  $L$  的  $0.1\%$ 。
  - ⑧喉道以上的进口渐变段水平表面的水平偏差, 为  $L$  的  $0.1\%$ 。
  - ⑨喉道以下的出口渐变段水平表面的水平偏差, 为  $L$  的  $0.3\%$ 。
  - ⑩其他竖直或倾斜表面的平面或曲面偏差, 为  $1\%$ 。
  - ⑪衬砌的行进河槽底部的平面偏差, 为  $L$  的  $0.1\%$ 。
- 8) 水头测量断面的位置:

水头测量断面设置在进口渐变段前缘上游  $(3 \sim 4)h_{\max}$  之间。

## 4.2.2 短喉道量水槽

4.2.2.1 巴歇尔量水槽



1—流向；2—上游水位观测井；3—下游水位观测井

图 26 巴歇尔量水槽图

巴歇尔量水槽喉道段横断面为矩形（见图 26），堰体由喉道上游均匀收缩段、喉道段和喉道下游均匀扩散段组成。根据喉道宽度尺寸分为二种类型：标准槽（ $b=0.152\sim 2.40\text{m}$ ）和大型槽（ $b=3.05\sim 15.24\text{m}$ ）。标准巴歇尔槽结构尺寸见附录 A 中表 A. 10；大型巴歇尔槽结构尺寸见附录 A 中表 A. 11。

a) 非淹没流流量计算

$$Q = Ch^n \tag{41}$$

式中：

$Q$ ——流量， $\text{m}^3/\text{s}$ ；

$C$ ——流量系数；

$h$ ——上游实测水头， $\text{m}$ ；

$n$ ——指数。

标准巴歇尔槽水位～流量关系见附录 A 中表 A. 12；大型巴歇尔槽水位～流量关系见附录 A 中表 A. 13。

b) 淹没流流量计算

1) 标准巴歇尔槽淹没流流量  $Q_s$  按公式 (42) 计算：

$$Q_s = Q - Q_K \quad (42)$$

式中:

$Q_s$  ——淹没流流量,  $m^3/s$ ;

$Q$  ——非淹没流流量,  $m^3/s$ ;

$Q_K$  ——标准巴歇尔槽淹没流折减流量,  $m^3/s$ 。

$$Q_K = 0.07 \left\{ \left[ \frac{h}{\left[ \left( \frac{1.8}{\sigma} \right)^{1.8} - 2.46 \right] 0.305} \right]^{4.57-3.14\sigma} + \sigma \right\} b^{0.815} \quad (43)$$

其中

$$\sigma = \frac{h_d}{h}$$

式中:

$h$  ——上游实测水头,  $m$ ;

$\sigma$  ——淹没度;

$h_d$  ——下游水头,  $m$ 。

2) 大型巴歇尔槽淹没流流量  $Q_E$  分两种情况计算:

①对于  $b=3.05m$  巴歇尔槽, 可根据淹没比  $\sigma$  和上游水头  $h$  值, 直接查附录 A 中图 A. 8 求得淹没流折减流量  $Q_E$ ;

②对于  $b>3.05m$  的巴歇尔槽, 淹没流折减流量  $Q_E$  按公式 (44) 计算:

$$Q_E = Q_{E_3} C_s \quad (44)$$

式中:

$Q_E$  ——大型巴歇尔槽淹没流折减流量,  $m^3/s$ ;

$Q_{E_3}$  —— $b=3.05m$  巴歇尔槽淹没流折减流量,  $m^3/s$ ; 根据上游水位  $h$  查附录 A 中图 A. 8 求得;

$C_s$  ——根据喉道宽度查附录 A 中表 A. 13。

c) 结构尺寸要求:

- 1) 对于给定的巴歇尔槽各部位尺寸不得改变和舍零取整。
- 2) 进口收缩段底面要求严格水平, 两侧边墙与底面垂直并与纵轴线成 1:5 的比值对称收缩。喉道段两侧边墙互相平行。进口收缩段边墙高度应比最高水位增加 0.15~0.2m, 防止超出设计标准的水流漫溢。
- 3) 堰体收缩段与上游行近渠槽的连接和扩散段与下游河渠的连接翼墙需与底面垂直, 垂直翼墙与纵轴线夹角一般为  $45^\circ$ 。垂直翼墙形式也可做成其半径为  $2h_{max}$  圆弧形。对于喉道宽小于 0.5m 的堰槽, 两侧垂直翼墙也可与渠槽边墙成直角连接。
- 4) 大型巴歇尔槽可用混凝土材料建造, 糙率要求  $n<0.014$ 。喉宽小于 0.25m 的巴歇尔槽可用塑料或玻璃钢材料建造。
- 5) 设计的喉道宽度宜为行近渠槽宽度的  $1/2\sim 1/3$ 。在有泥沙输移的渠槽, 堰底应与渠底齐平。如只允许在非淹没流状态下运行, 可适当抬高槽底高程。

- 6) 巴歇尔槽进口前端和出口段应加以防护。上游护底长一般为  $4h_{\max}$ ，下游护底长度为  $(6\sim 8)h_{\max}$ 。
- 7) 槽体尺寸允许偏差：
- ① 喉道宽度  $b$  的允许偏差：设计值的 0.2%，最大绝对值 0.01m；
  - ② 喉道段表面局部偏差：喉道长  $l$  的 0.1%；
  - ③ 喉道两边垂直面之间的宽度偏差：设计宽度  $b$  的 0.2%、最大值 0.01m；
  - ④ 喉道段底面纵横向的平均坡度：0.1%，横向应水平；
  - ⑤ 喉道段斜面的坡度：0.1%；
  - ⑥ 喉道段长度：设计喉道长度的 1.0%；
  - ⑦ 进口渐变段表面局部偏差：喉道长度  $l$  的 0.1%；
  - ⑧ 出口渐变段表面局部偏差：喉道长度  $l$  的 0.3%；
  - ⑨ 平面或曲面对其他垂直面或斜面的偏差：1%；
  - ⑩ 衬砌的行近渠槽底面偏差：喉道长度  $l$  的 0.1%。
- 8) 水位观测：非淹没流水位观测位置在堰顶上游  $L_a = \frac{2}{3}L_1$  处。淹没流时下游静水井位置及连通管位置见图 26 的 X、Y 交点处。

#### 4.2.2.2 孙奈利量水槽

孙奈利量水槽在平面上，两侧边墙由进口向出口收缩呈梯形布置，横断面为矩形，底面水平。槽体进、出口横断面垂直于渠槽纵轴线。出口末端为跌坎，形成跌水进入下游河渠中。

孙奈利槽的几何尺寸是槽出口断面宽度  $b$  的函数。各部尺寸按下列关系计算：

- 1) 进口断面宽度： $b_1 = 1.7b$ ，m；
- 2) 堰槽长度： $L = 2b$ ，m；
- 3) 出口断面宽度范围： $0.3 \leq b \leq 1.0$ ，m；
- 4) 底坎的高度： $h_p \geq 0.5h_{\max}$ ，m；
- 5) 河渠下游衬砌段长度： $l_5 \approx 3h_{\max}$ ，m；
- 6) 边墙高度： $h_c = h_{\max} + (0.15 \sim 0.20)$ ，m。

标准孙奈利量水槽尺寸及水头、流量范围见表 12 所示。

a) 非淹没流流量计算：

$$Q = Cb\sqrt{2gh}^{1.5} \quad (45)$$

$$C = 0.5 - \frac{0.109}{6.26h + 1} \quad (46)$$

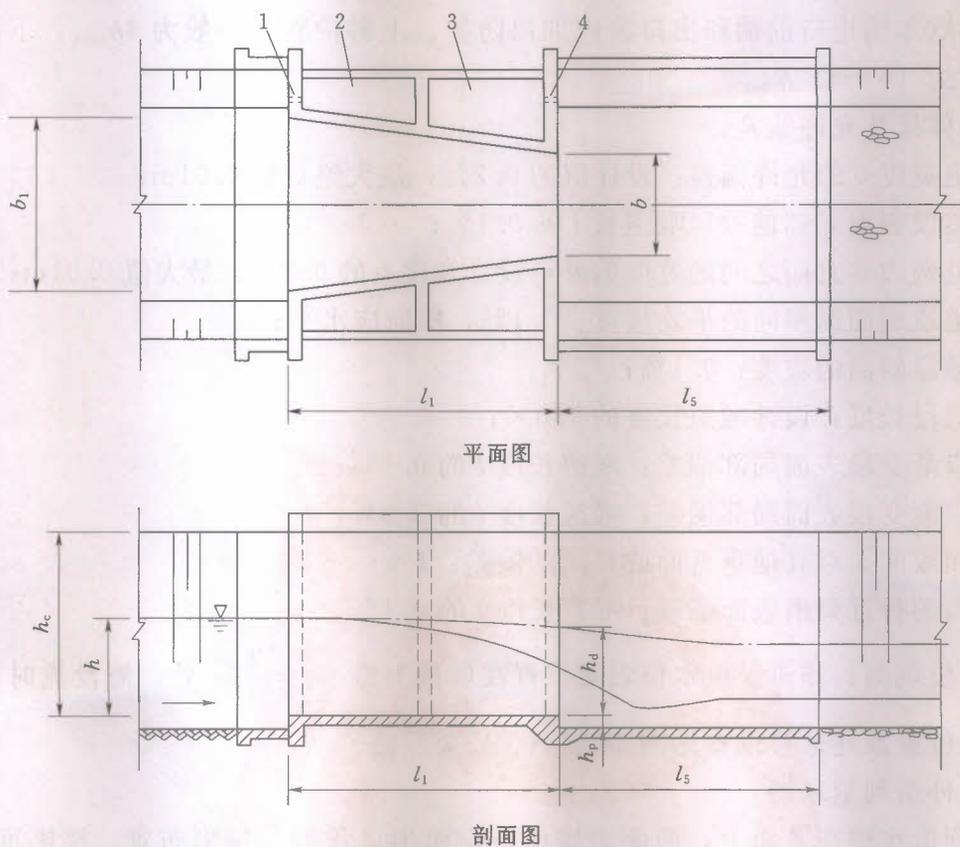
式中：

$Q$  —— 流量， $m^3/s$ ；

$C$  —— 流量系数；

$h$  —— 上游实测水头，m。

公式 (46) 适用条件： $\sigma\left(\frac{h_d}{h}\right) < 0.2$ 。



1—静水井 2 的连通管；2—观测  $h$  (上游水位) 的静水井；  
3—观测  $h_d$  (下游水位) 的静水井；4—静水井 3 的连通管

图 27 孙奈利量水槽

表 12 标准孙奈利槽尺寸及水头、流量范围

序号	$b$ /m	$l_0=l_1$ /m	$b_1$ /m	$h_p$ /m	$h_c$ /m	$l_5$ /m	水头范围 /m		自由流流量范围 $Q$ /( $m^3/s$ )	
							min	max	min	max
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
1	0.3	0.6	0.51	0.40	0.7	1.8	0.14	0.55	0.03	0.25
2	0.4	0.8	0.68	0.50	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	0.60	1.2	1.02	0.80	1.0	2.5	0.20	0.85	0.10	1.00
5	0.75	1.5	1.275	1.00	1.2	3.0	0.22	1.0	0.16	1.60
6	1.0	2.0	1.70	1.20	1.3	3.0	0.24	1.1	0.25	2.50

b) 淹没流流量计算:

$$Q_s = C_s Q \quad (47)$$

$$C_s = 1.085 \left[ 1 - \frac{1}{11.7(1-\sigma) + 1} \right] \quad (48)$$

式中:

$Q_s$ ——淹没流流量,  $m^3/s$ ;

$C_s$ ——淹没系数。

c) 公式 (48) 适用条件:  $\sigma \geq 0.2$ 。

淹没比  $\sigma$  在 0.2~0.9 范围内,  $C_s$  值见表 13。

表 13 孙奈利槽淹没系数

$\sigma$	$C_s$	$\sigma$	$C_s$	$\sigma$	$C_s$	$\sigma$	$C_s$
0.2	0.98	0.58	0.9	0.75	0.81	0.83	0.72
0.26	0.97	0.6	0.89	0.76	0.8	0.85	0.69
0.32	0.96	0.62	0.89	0.77	0.79	0.86	0.67
0.38	0.95	0.65	0.87	0.78	0.78	0.87	0.65
0.42	0.95	0.67	0.86	0.79	0.77	0.88	0.63
0.47	0.93	0.7	0.84	0.8	0.76	0.89	0.61
0.5	0.93	0.72	0.83	0.81	0.75	0.9	0.59
0.55	0.91	0.74	0.82	0.82	0.74		

d) 结构尺寸要求:

- 1) 带有坎高  $h_p$  的堰槽构筑在天然河渠中, 其底坎下游的河底和河岸应有一段距离的防护段。标准孙奈利槽防护段  $l_s$  长度由表 12 查出。
- 2) 如需增加非淹没流过流范围, 槽底可以高出上游河底, 产生一个高度为  $h_p$  的底坎 (图 27)。
- 3) 堰槽的进、出口与河渠两岸通过垂直翼墙连接, 垂直翼墙与槽的轴线成直角。
- 4) 河床的纵坡要保证水流呈缓流, 弗劳德数  $Fr$  小于  $\leq 0.5$  (最大不超过 0.7)。
- 5) 水位观测: 上下游水位测量断面与堰槽进、出口断面一致。通过连通管将水引入静水井中 (图 27)。连通管进口高程与槽底高程一致。水位测量均以渠底高程为零点。

#### 4.2.3 无喉道量水槽

无喉道量水槽由上游均匀收缩段和下游均匀扩散段组成。最窄处的喉部即喉宽断面为收缩段终点和扩散段始点, 无平行边墙的喉道段。

##### 4.2.3.1 矩形无喉道量水槽

矩形无喉道量水槽喉口横断面为矩形, 槽底为水平面。上游收缩段长度  $L_1$  与渠长  $L$  的关系为  $L_1 = \frac{1}{3}L$ , 收缩比为 1:3; 下游扩散段长度  $L_2$  与渠长  $L$  的关系为  $L_2 = \frac{2}{3}L$ , 收缩比为 1:6。进口和出口宽度相等  $B_1 = B_2 = b + \frac{2L}{9}$ 。下游水位观测断面分别从喉部算起, 上游距喉口  $2L/9$ , 下游距喉部  $5L/9$  (图 28)。无喉道槽进、出口连接翼墙与河槽

轴线的夹角在平面上以 90° 为宜。

矩形无喉道量水槽各部位尺寸见表 14。

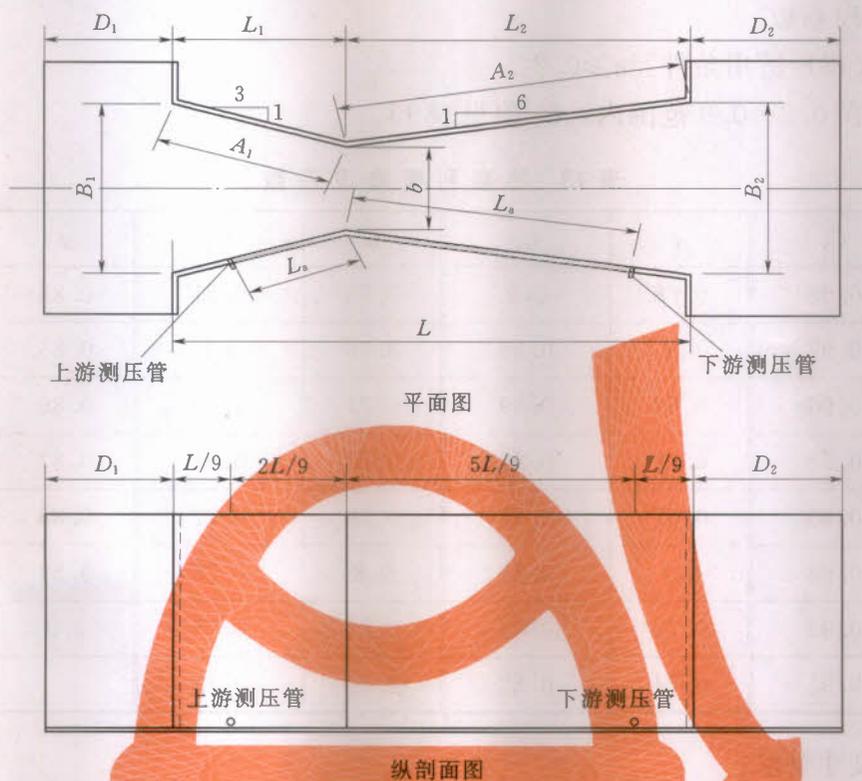


图 28 矩形无喉道量水槽

a) 非淹没流流量公式:

$$Q = C_1 h^{n_1} \tag{49}$$

$$C_1 = K_1 b^{1.025} \tag{50}$$

式中:

$Q$  —— 流量,  $m^3/s$ ;

$h$  —— 上游实测水头,  $m$ ;

$n_1$  —— 非淹没流指数;

$C_1$  —— 非淹没流流量系数;

$K_1$  —— 非淹没流槽长系数;

$b$  —— 喉宽,  $m$ 。

对于表 14 所给槽型, 参数  $C_1$ 、 $n_1$ 、 $K_1$  值列于表 15; 对于其他槽型, 参数  $C_1$ 、 $n_1$ 、 $K_1$  可通过图 29 中  $C_1 \sim L$  关系曲线和  $K_1 \sim L$  关系曲线获得。

b) 淹没流流量公式:

$$Q = \frac{C_2 (h - h_d)^{n_1}}{(-\lg \sigma)^{n_2}} \tag{51}$$

$$C_2 = K_2 b^{1.025} \tag{52}$$

其中

$$\sigma = h_d/h$$

式中:

$Q$ ——淹没流流量,  $m^3/s$ ;

$C_2$ ——淹没流流量系数;

$h_d$ ——下游水头,  $m$ ;

$\sigma$ ——淹没度;

$n_2$ ——淹没流指数;

$K_2$ ——淹没流槽长系数。

其余符号同非淹没出流。

表 14 矩形无喉道量水槽各部位尺寸

单位:  $m$

槽型 $b \times L$	喉宽 $b$	槽长 $L$	进、出口宽度 $B_1, B_2$	上游水尺位置 $L_a$	下游水尺位置 $L_b$	上游护坦长度 $D_1$	下游护坦长度 $D_2$
0.2×0.90	0.20	0.90	0.40	0.211	0.507	0.60	0.80
0.4×1.35	0.40	1.35	0.70	0.316	0.760	0.80	1.20
0.2×1.80	0.2	1.8	0.6	0.422	1.014	1.00	1.40
0.4×1.80	0.4	1.8	0.8	0.422	1.014	1.00	1.40
0.6×1.80	0.60	1.80	1.00	0.422	1.014	1.00	1.60
0.8×1.80	0.80	1.80	1.20	0.422	1.014	1.20	2.00
0.3×2.70	0.3	2.7	0.9	0.632	1.521	1.20	2.20
0.6×2.70	0.6	2.7	1.2	0.632	1.521	1.20	2.20
1.0×2.70	1.00	2.70	1.60	0.632	1.521	1.40	2.40
1.2×2.70	1.20	2.70	1.80	0.632	1.521	1.60	2.80

表 15 矩形无喉道槽非淹没出流系数和指数表

$b \times L$	$C_1$	$n_1$	$K_1$	$b \times L$	$C_1$	$n_1$	$K_1$
0.2×0.90	0.696	1.80	3.65	0.8×1.80	1.88	1.64	2.363
0.4×1.35	1.042	1.71	2.68	0.3×2.7	0.614	1.585	2.11
0.2×1.80	0.473	1.660	2.46	0.6×2.7	1.228	1.571	2.07
0.4×1.80	0.947	1.646	2.42	1.0×2.70	2.16	1.57	2.16
0.6×1.80	1.40	1.64	2.363				

对于表 14 所给槽型, 参数  $C_2$ 、 $n_2$ 、 $K_2$ 、 $\sigma$  值列于表 16; 对于其他槽型, 参数  $C_2$ 、 $n_2$ 、 $K_2$ 、 $\sigma$  值可通过图 30 中的  $n_2 \sim L$ 、 $K_2 \sim L$ 、 $\sigma \sim L$  关系曲线查得。

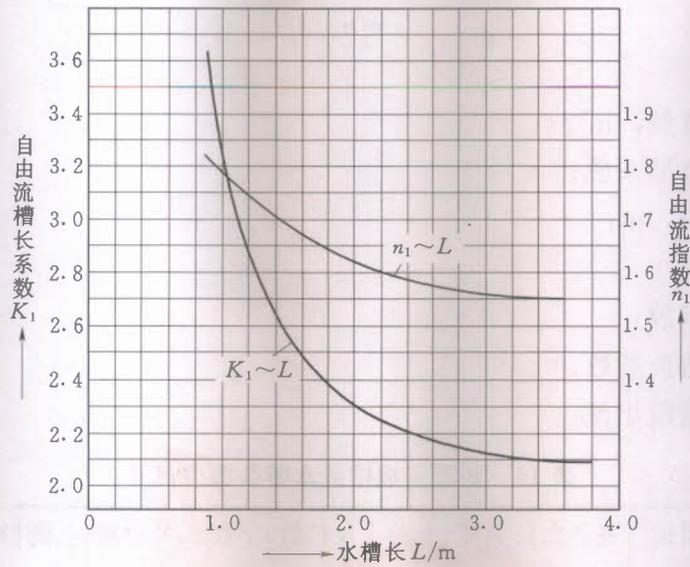


图 29 无喉道槽  $n_1 \sim L$ 、 $K_1 \sim L$  关系曲线图

表 16 矩形无喉道槽淹没出流系数和指数表

$b \times L$	$C_2$	$n_2$	$K_2$	$\sigma$	$b \times L$	$C_2$	$n_2$	$K_2$	$\sigma$
0.2 × 0.90	0.397	1.46	2.08	0.65	0.8 × 1.80	1.57	1.34	1.11	0.70
0.4 × 1.35	0.79	1.36	1.33	0.70	0.3 × 2.70	0.387	1.266	1.329	0.75
0.2 × 1.8	0.303	1.305	1.577	0.70	0.6 × 2.70	0.655	1.349	1.106	0.75
0.4 × 1.8	0.510	1.394	1.305	0.70	1.0 × 2.70	2.03	1.34	1.11	0.75
0.6 × 1.80	1.17	1.34	1.17	0.70	1.2 × 2.70	0.598	1.40	1.53	0.75

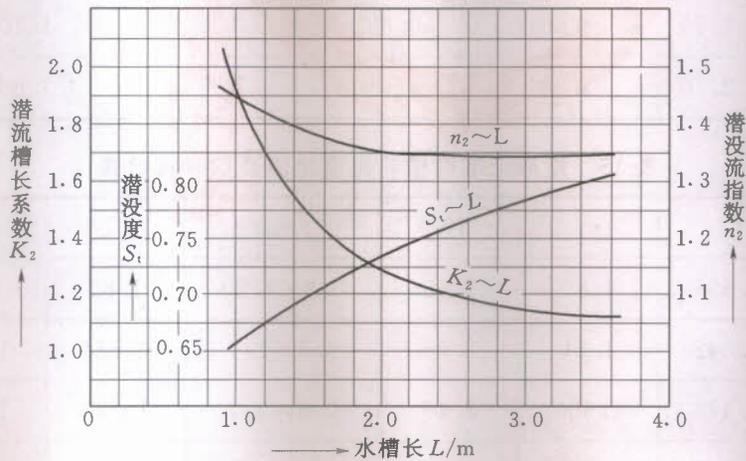


图 30 无喉道槽淹没流  $n_2 \sim L$ 、 $K_2 \sim L$ 、 $\sigma \sim L$  关系曲线图

c) 结构尺寸要求:

- 1) 进、出口翼墙与边墙的连接交角应为  $90^\circ$ 。
- 2) 为提高非淹没出流范围, 可适当抬高堰槽底板高程。

- 3) 堰槽进、出口与渠底的连接处应采取防护措施, 护砌长度参照表 14 所给尺寸。
- 4) 水位观测: 水位观测断面位置见表 14 所给尺寸。
- 5) 可在槽外设静水井测量水位。

4.2.3.2 抛物线形喉口量水槽

a) 形式及尺寸:

- 1) 由进口收缩渐变段、抛物线形喉口断面、出口扩散渐变段和水尺四部分组成。  
喉口上游 (4 ~ 5)H 渠段内的渠底高程应与抛物线形喉口底部高程齐平, 见图 31。

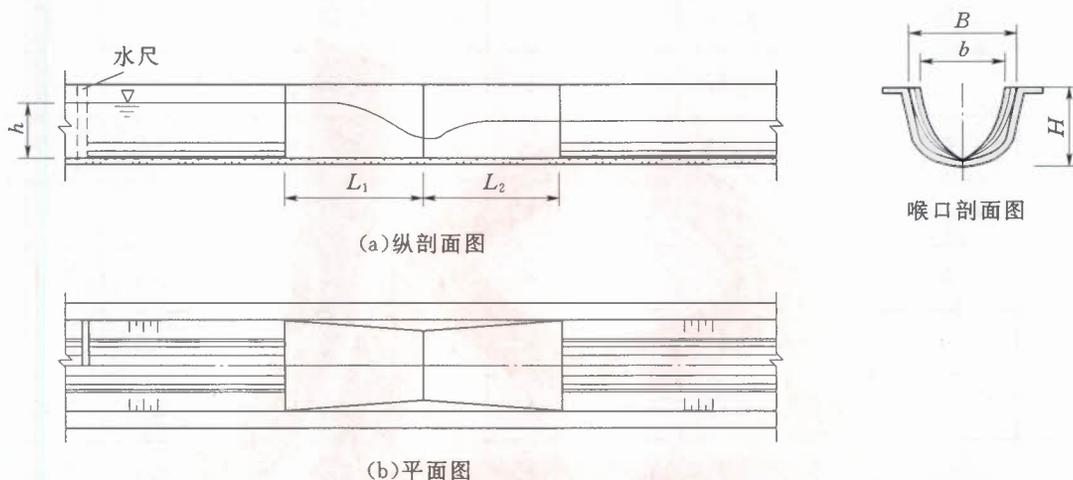


图 31 抛物线形无喉段量水槽

2) 抛物线形喉口断面的方程为:

$$y = Px^2 \tag{53}$$

$$P = \frac{16H^3}{9\epsilon^2 A_0^2} \tag{54}$$

$$A_p = \frac{4H^{1.5}}{3P^{0.5}} \tag{55}$$

其中

$$\epsilon = \frac{A_p}{A_0}$$

式中:

- $y, x$ ——以槽底为原点的纵横坐标, m;
- $P$ ——抛物线的形状系数,  $m^{-1}$ ;
- $A_0$ ——U形渠道衬砌断面面积,  $m^2$ ;
- $H$ ——U形渠道衬砌深度, m;
- $\epsilon$ ——量水槽喉口断面收缩比, 其值可由表 17 中确定;
- $A_p$ ——抛物线形喉口断面面积,  $m^2$ 。

表 17 U形渠道参数与量水槽收缩比  $\varepsilon$  关系表 ( $n=0.015$ )

渠道断面参数		渠道比降									
$R$ ( $10^{-2}m$ )	$H$ ( $10^{-2}m$ )	1/200~ 1/300	1/400	1/500	1/600	1/700	1/800	1/900	1/1000	1/1200	1/1500
10	30	0.65	0.6	0.5							
15	40	0.65	0.65	0.55	0.5	0.45					
20	50	0.65	0.65	0.55	0.5	0.45	0.45				
25	55	0.65	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45				
30	60	0.65	0.65	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	0.45		
35	60	0.65	0.65	0.65	0.65	0.55	0.55	0.5	0.45		
40	70	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.55	0.5	0.5	0.45	
45	80	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.55	0.5	0.5	0.45	
50	85	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.55	0.55	0.5	0.45	
55	90	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.55	0.55	0.5	0.45	
60	105	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	
65	105	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	
70	110	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45	
75	120	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.55	0.55	0.5	
80	125	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.6	0.55	0.5	0.45
85	130	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.6	0.55	0.5	0.45
90	135	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45
95	140	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45
100	150	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.6	0.55	0.5	0.45

3) 渐变段长度及水尺位置:

①进口收缩渐变段和出口扩散渐变段的收缩、扩散比皆为 1:3。进、出口渐变段的长度相同。

$$L_1 = L_2 \geq 3(B - b) \tag{56}$$

$$b = 2(H/P)^{0.5} \tag{57}$$

式中:

$B$  —— U 形衬砌渠道渠口宽, m;

$b$  —— 抛物线形喉口断面上口宽, m; 当用公式 (52) 计算得出的渐变段长度小于 0.3m 时, 取 0.3m。

② 水尺位于距进口渐变段前沿的距离为  $2H$ 。水尺可直接印在 U 形渠道的内壁上。水尺零点应高出喉口底部水平面以上 0.005m。

4) 临界淹没度

抛物线形喉口量水槽必须在自由流条件下使用, 临界淹没度不得大于 0.88。

b) 流量计算:

抛物线形无喉段量水槽自由流时, 流量计算公式:

$$Q = C_D H_0^2 / \sqrt{P} \quad (58)$$

过抛物线形量水槽的流量与上游总水头的平方成正比, 与量水槽的几何参数 ( $P$ ) 紧密相关。实践中仅可实测槽前水深  $h$ , 故以  $h$  代替  $H_0$ , 加入行近流速修正系数  $C_v$ , 可得  $Q \sim h$  关系为

$$Q = C_D C_v h^2 / \sqrt{P} \quad (59)$$

$$C_v = \left( 1 + \frac{\alpha_0 C_D^2 C_v^2 h^3}{2gPA^2} \right)^2 \quad (60)$$

式中:

$C_v$  —— 流速系数;

$\alpha_0$  —— 行近渠流速分布不均匀系数, 对顺直渠道,  $\alpha_0 \approx 1.08$ ;

$A$  —— U 形渠道中水深为  $h$  (m) 时的过水断面面积,  $m^2$ 。

已知行近渠水深  $h$  及抛物线形状系数  $P$ 、流量系数  $C_D$  时, 即可由公式 (59) 和公式 (60) 求得过槽流量  $Q$ 。

$C_D$  为流量系数由试验得出, 也可用公式 (61) 表示

$$C_D = 1.96 P^{0.011} \epsilon^{-0.013} \quad (61)$$

c) 结构尺寸要求:

1) 进口收缩渐变段和出口扩散渐变段的收缩、扩散比皆为 1:3。进、出口渐变段的长度相同。

2) 水尺位于距进口渐变段前沿的距离为  $2H$ 。水尺可直接印在 U 形渠道的内壁上。水尺零点应高出喉口底部水平面以上 0.005m。

3) 抛物线形量水槽应安装在衬砌良好、坡度均匀的 U 形渠道顺直段上。行近渠段的长度大于渠顶宽的 5 倍。量水槽离上游转弯、泄水闸或水跃的距离不小于渠中最大水深的 30 倍。量水槽出口处应不受下游节制闸、渠道淤积、渠底反坡或抬高等因素的影响。条件许可时, 可在出口附近设 5cm 以上跌坎。

4) 堰板安装: 在行近渠横断面侧墙上及渠底开出宽约 3cm 的窄缝, 插入抛物线形

堰板。应用铅垂及水准仪控制测量,使堰板竖直,堰口中心线与渠道中心线一致,堰口底部高程与水尺处的行近渠底严格水平。冻害地区堰板底部应作防冻处理。

- 5) 进、出口渐变段浇筑:固定堰板,用混凝土逐层填筑进、出口渐变段。填料充足后,以堰口抛物线断面和进、出口渐变段末端的行近渠断面为标准,用直尺水平地自下而上刮面,同时用优质水泥砂将抹面。

#### 4.3 水位计

##### 4.3.1 水位计类型与技术指标

水位计的类型有:水尺、浮子式水位计、压力式水位计和超声波水位计等。

水位计的选用应满足本规程规定的技术指标与精度要求。

##### a) 水尺:

- 1) 水尺应按照量水堰槽的结构尺寸要求直接标于渠道或量水堰槽的内壁上,或者标于测压井内壁上。
- 2) 水尺刻度应清晰,最小刻度应为 0.01m,误差不应大于 0.5mm。
- 3) 当水尺长度在 0.5m 以下时,累积误差不得超过 0.5mm;当水尺长度在 0.5m 以上时,累积误差不得超过长度的 1%。
- 4) 数字应清楚且大小适宜,数字的下边缘应靠近相应的刻度处。
- 5) 刻度、数字、底板的色彩对比应鲜明,且应用不溶于水、不易褪色和剥落的颜料或油漆。

##### b) 浮子式水位计:

- 1) 应有自动记录水位变化过程的功能。
- 2) 浮子直径不应大于  $\phi 0.25\text{m}$ ,测量范围宜在 0~5m,分辨力不应大于 0.01m,适应水位最大变化率不应低于 0.40m/min,允许误差限应小于  $\pm 0.02\text{m}$ ,测量结果的置信度应在 95% 以上,回差应小于该水位计允许误差限,重复性误差应小于该水位计允许误差的 0.5 倍。
- 3) 使用电源以直流电为主,电压宜为 6V 或 12V,使用石英自记钟干电池电压宜为 1.5V 或 3V。

##### c) 压力式水位计:

- 1) 应有数字显示、自动记录的功能。
- 2) 测量范围宜为 0~10m,分辨力应不大于 0.01m,适应水位最大变化率不应低于 0.60m/min,基本误差应不超过  $\pm 0.03\text{m}$ ,测量结果的置信度应在 95% 以上,回差应小于该压力式水位计基本误差,重复误差应小于该压力式水位计基本误差的 0.5 倍。
- 3) 压力传感器在 0~40℃ 环境温度下,温度漂移误差不应大于基本误差。
- 4) 传感器不应漏水,黏结面不得脱落。
- 5) 电源应以直流电为主,电压宜为 6V 或 12V,静态功耗在 1W 之内,交流电压宜为 180~260V,频率为 50Hz,记录周期系列应有日记、月记。

- d) 超声波水位计:
- 1) 分为液介式超声波水位计和气介式超声波水位计。
  - 2) 液介式超声波水位计测量范围宜在 0~10m, 分辨力不应大于 0.01m, 盲区不应大于 0.5m。
  - 3) 气介式超声波水位计测量范围宜为 0~10m, 分辨力不应大于 0.01m, 盲区不应大于 0.8m。
  - 4) 在 10m 测量范围内, 以静水及固定反射目标施测的结果为准, 最大允许误差应为  $\pm 0.03\text{m}$ , 重复性误差不应大于最大允许误差的 0.5 倍。
  - 5) 供电电源优先选用直流电, 直流电源为蓄电池优选 12V, 允许误差应为  $\pm 15\%$ 。交流电源为 220V, 允许误差应为  $\pm 10\%$ , 频率为 50Hz。
  - 6) 绝缘电阻: 换能器两信号线之间不应小于  $5\text{M}\Omega$ ; 机壳与交流电源线之间不应小于  $1\text{M}\Omega$ 。

#### 4.3.2 水位计使用要求

- a) 水尺:
- 1) 使用前应检查水尺零点是否符合堰槽流量计的结构尺寸要求。
  - 2) 测量水位时, 应该进行两次及以上读取, 并取其平均值。
- b) 浮子式水位计:
- 1) 平均无故障工作时间应大于 1 年, 使用接触式编码装置水位计的平均无故障工作次数不应低于  $2 \times 10^5$  测次 (一般以水位变化 0.01m, 完成一次编码为一测次)。使用非接触式编码装置的水位计平均无故障工作次数应在  $1 \times 10^6$  测次以上。
  - 2) 工作环境温度宜为  $-10 \sim +50^\circ\text{C}$ , 测井内水面不得结冰。
- c) 压力式水位计:
- 1) 应具有抗干扰能力, 适合恶劣环境使用。
  - 2) 平均无故障工作时间应大于 25000h, 易损件应为可更换部件或可修复产品。
  - 3) 工作环境温度, 显示记录装置宜为  $-5 \sim +40^\circ\text{C}$ ; 压力传感器宜为  $0 \sim +40^\circ\text{C}$ 。
  - 4) 工作环境相对湿度, 显示记录装置  $40^\circ\text{C}$  时应为  $20\% \sim 95\%$ 。
- d) 超声波水位计:
- 1) 应具有温度—声速补偿功能和消除波浪影响功能。
  - 2) 平均无故障工作时间应大于 25000h, 易损件为可更换部件或可修复产品。
  - 3) 工作环境温度, 显示记录装置宜为  $-10 \sim +45^\circ\text{C}$ ; 液介式换能器宜为  $0 \sim +40^\circ\text{C}$ ; 气介式换能器宜为  $-20 \sim +60^\circ\text{C}$ 。
  - 4) 工作环境相对湿度, 温度为  $40^\circ\text{C}$  时不应大于  $95\%$ 。

#### 4.4 明渠堰槽流量计准确度等级

- 4.4.1 明渠堰槽流量计准确度等级及首次检定应达到的示值误差限见表 18。
- 4.4.2 明渠堰槽流量计准确度等级及后续检定应达到的示值误差限见表 19。
- 4.4.3 重复性误差不得超过示值误差限的  $1/3$ 。

表 18 明渠堰槽流量计准确度等级及首次检定示值误差限

堰 槽 类 型		准确度等级	示值误差限/%		
量水堰	薄壁堰	三角形缺口薄壁堰	2	2	
		矩形薄壁堰	矩形缺口薄壁堰	4	4
			等宽薄壁堰	4	4
		梯形薄壁堰	4	4	
	宽顶堰	矩形宽顶堰	5	5	
		圆缘宽顶堰	5	5	
	三角形剖面堰	5	5		
平坦 V 形堰	5	5			
量水槽	长喉道量水槽		4	4	
	短喉道量水槽	巴歇尔槽	非淹没流	4	4
			淹没流	5	5
	孙奈利槽		4	4	
	无喉道量水槽	矩形无喉道量水槽	5	5	
		抛物线形喉口量水槽	5	5	

表 19 明渠堰槽流量计准确度等级及后续检定示值误差限

堰 槽 类 型		准确度等级	示值误差限/%		
量水堰	薄壁堰	三角形缺口薄壁堰	3	3	
		矩形薄壁堰	矩形缺口薄壁堰	5	5
			等宽薄壁堰	5	5
		梯形薄壁堰	5	5	
	宽顶堰	矩形宽顶堰	6	6	
		圆缘宽顶堰	6	6	
	三角形剖面堰	6	6		
平坦 V 形堰	6	6			
量水槽	长喉道量水槽		5	5	
	短喉道量水槽	巴歇尔槽	非淹没流	5	5
			淹没流	6	6
	孙奈利槽		6	6	
	无喉道量水槽	矩形无喉道量水槽	6	6	
		抛物线形喉口量水槽	6	6	

## 5 通用技术要求

### 5.1 标牌

5.1.1 明渠堰槽流量计应有标牌，标牌应清楚、牢固地固定在二次仪表上和测流堰槽槽体上。

5.1.2 标牌应安装在便于观看的位置，不得接触液体。

5.1.3 标牌应集中或分散地标记以下内容：

- a) 制造厂的厂名或施工单位名称；
- b) 堰槽流量计名称；
- c) 堰槽流量计的尺寸；
- d) 流量范围及单位；
- e) 流量示值误差；
- f) 制造年月或施工日期和出厂编号。

### 5.2 水位~流量换算及显示

在使用堰槽流量计测流时，水位为测量值，流量为计算值，应具备直观、准确和方便的水位~流量换算手段。它们可以是：水位~流量计算公式、水位~流量关系曲线、水位~流量关系数值表和具有水位~流量换算功能的仪表。

#### 5.2.1 水位~流量计算公式

除给出的各堰槽具体计算公式外，还可将计算公式转换成公式(62)的简单函数形式：

$$Q = \beta h^n \quad (62)$$

上述函数形式换算或检定试验：根据不同堰槽流量计算公式，在使用水头范围内，按水头间距为0.01m或工作水深的1/10水深计算或检定出流量值，拟合出上述函数式。

#### 5.2.2 水位~流量关系曲线

应根据不同堰槽流量公式计算或检定出相应的 $h$ 和 $Q$ 值，绘制水位~流量关系曲线。在运用时根据测量的水位值，在曲线上查出对应的流量值。曲线图水位坐标分辨力应小于1%水位最大量程；流量坐标分辨力小于1%流量最大量程。

#### 5.2.3 水位~流量对照数值表

根据不同堰槽流量公式计算或检定出相应的 $h$ 和 $Q$ 值，制作水位~流量关系数值表。运用时根据测量的水位值，在数值表中查出相应的流量值。水位和流量坐标分辨力要求同5.2.2。

#### 5.2.4 水位~流量换算仪表

在仪表上要求能显示水位值、瞬时流量值和累积水量值。水位、流量显示分辨力同5.2.2。

### 5.3 明渠堰槽流量计通用安装要求及选材

- 5.3.1 堰槽应安装在顺直、光滑、均匀的矩形、梯形或 U 形的渠槽内。在无特殊要求的情况下,渠底应水平、行近渠槽长度应大于渠宽的 5 倍。
- 5.3.2 堰槽中心线与行近渠槽中心线重合,横断面与水流方向垂直。
- 5.3.3 明渠堰槽流量计流量量程与堰槽流量计泄流范围相适应,经常出现的流量应在流量计量程的  $1/5 \sim 2/3$  之间。
- 5.3.4 按国家三等、四等水准测量要求测定堰槽、水位计安装高程,测量堰顶使其水平。渠底、堰顶、水位计零点等一系列安装高程应依据同一个水准点。
- 5.3.5 在堰体最低处设泄水管,用于检修或停水期间泄空堰体上游积水。泄水管直径  $50 \sim 75\text{mm}$ ,出口段安装阀门。流量测量过程中,阀门关闭不得漏水。
- 5.3.6 行近渠槽要有足够长度的顺直段,使其产生正常的流速分布。如果渠槽上游坡度较陡,则上游可能发生水跃,水跃距测流槽顶的距离不应小于最大设计水头的 30 倍。行近渠槽的水头测量断面至槽顶收缩段之间的一段水流状态特别重要,两边垂直岸墙与槽建筑物的衔接符合要求岸墙与槽底要用混凝土衬砌平整,槽体应坚固、不渗漏,槽体表面平滑光洁;槽体轴线应与渠道轴线一致。
- 5.3.7 观察测流建筑物引起上游水位升高的影响和过槽水流加速后对下游冲刷的影响。修改量水槽后,上游不应淤积,下游不应冲刷。
- 5.3.8 注意下游条件(包括水槽内杂物淤塞、节制闸、水坝等会引起淹没的控制特征)。
- 5.3.9 水位观测断面如无特殊要求,应位于堰顶线上游  $(3 \sim 4) h_{\max}$  处。
- 5.3.10 水位观测仪器可直接安装在渠槽水面不受边壁影响的规定断面处,也可在行近渠槽一侧建静水井,由连通管与行近渠槽水流相通,液位传感器安装在静水井中心位置,观测静水井中水位。
- 5.3.11 水位观测仪器应安装牢固、稳定,防止晃动和变形。
- 5.3.12 连通管安装位置与水位观测断面位置相同,安装高程应低于堰顶,高出堰槽底面  $0.05\text{m}$  以上。连通管进口面积不得小于静水井横断面面积的  $1\%$ 。连通管应与边壁垂直。管口与壁面齐平,管口不得有毛刺。
- 5.3.13 静水井的横断面尺寸应能使装在井内的所有仪器自由运转。井壁与水位计之间的间距不应小于  $75\text{mm}$ 。当静水井内装有两个以上浮筒时,浮筒之间的间距不得小于  $150\text{mm}$ 。静水井顶面高程应大于预计最高水位  $300\text{mm}$ ,连通管管口距静水井底面应大于  $300\text{mm}$ 。
- 5.3.14 应在堰体附近设固定水准点,用于测量行近渠槽底面高程、堰顶高程和仪器安装高程等,水尺零点应用水准仪或其他精确高程测量仪器确定。
- 5.3.15 堰体建造材料可根据情况选用浆砌石水泥砂浆抹面、钢筋混凝土、钢材、塑料、有机玻璃、玻璃钢等具有一定刚性、耐磨、耐腐蚀的材料。表面应光滑、平整,满足粗糙度要求。堰体与渠槽连接应无渗漏现象。
- 5.3.16 在渠槽运行期间,测流段不得出现淤积或生长水草和藻类等现象。
- 5.3.17 行近渠槽的水流必须呈缓流状态,弗劳德数  $Fr$  不应大于  $0.5$ 。

## 6 计量器具控制

### 6.1 检定项目

检定项目见表 20。

表 20 检定项目

序号	项 目	首次检定	后续检定	使用中检查
1	标牌检定	+	+	+
2	尺寸检定	+	+	+
3	水位计检定	+	+	—
4	流量示值误差检定	+	+	—

注：表中“+”号表示需要检定项目，“—”号表示不需要检定项目。

### 6.2 检定方法

#### 6.2.1 标牌检定

目测检查。

按本规程技术要求对被检流量计标牌内容逐项检查，结果应符合 5.1 的要求。

#### 6.2.2 尺寸检定

##### 6.2.2.1 检定用计量器具

- a) 钢尺或卷尺：分辨力小于 0.001m，准确度为 II 级。
  - b) 游标万能角度尺：分辨力 5'。
  - c) 水准仪：每公里往返测量随机误差不超过  $\pm 3\text{mm}$ ，系统误差不超过  $\pm 0.8\text{mm}$ 。
- 检定用计量器具均应检定合格，有检定证书并在有效期内使用。

##### 6.2.2.2 检定步骤

按本规程技术要求对堰槽流量计各部位尺寸、角度、底部高程等项内容逐项进行检定。

- a) 用钢尺或卷尺检定堰槽流量计各部位的长度；
- b) 用游标万能角度尺检定堰槽流量计关键结构的角度；
- c) 用水准仪检定堰槽流量计底部各部位高程。

结果均应符合 4.1 和 4.2 中的相关要求。对于没有给出结构尺寸容许误差的堰槽流量计，各部位结构尺寸误差不得超过该尺寸 1% 和 0.01m。

#### 6.2.3 水位计检定

##### 6.2.3.1 检定用计量器具

- a) 钢尺或卷尺：分辨力小于 0.0005m，准确度为 II 级。
  - b) 水准仪：每公里往返测量随机误差不超过  $\pm 3\text{mm}$ ，系统误差不超过  $\pm 0.8\text{mm}$ 。
- 检定用计量器具均应检定合格，有检定证书并在有效期内使用。

##### 6.2.3.2 检定步骤

a) 针对水尺, 主要检定水尺的零点位置和各刻度的精度。使用水准仪按 4.1、4.2 中的结构尺寸要求检定水尺的零点高程, 误差不得超过 0.001m; 使用钢尺或卷尺检定水尺各刻度的精度, 误差不得超过 0.001m。

b) 针对浮子式水位计、压力式水位计和超声波式水位计, 主要检定水位计的零点位置、基本误差(允许误差)和重复性误差。使用水准仪按 4.1、4.2 中的结构尺寸要求检定水位计的零点高程; 水位计检定方法参照 JJG 971, 应分别满足 4.3 中的各项要求。

#### 6.2.4 流量示值误差检定

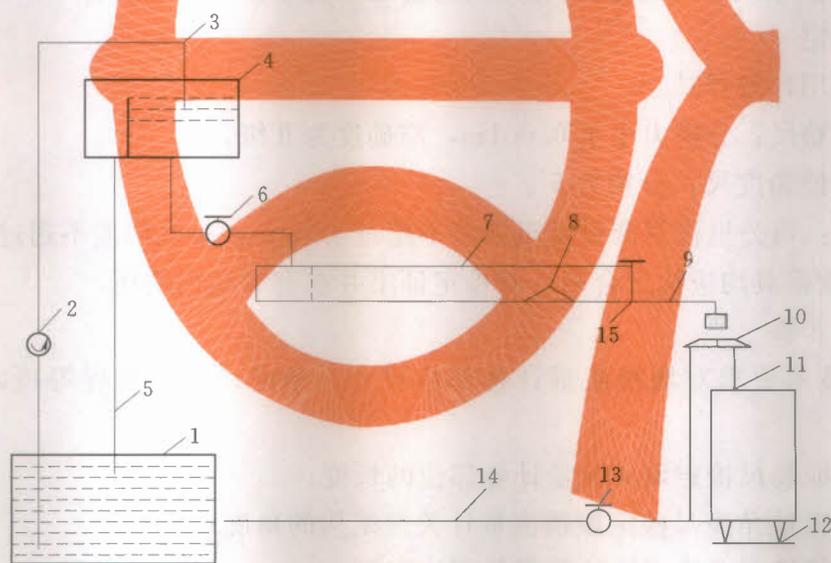
根据明渠堰槽流量计的体积大小、使用条件、精度要求, 示值误差检定可采取两种检定方式: 实验室检定和现场检定。

对体积较小、可移动、流量范围较小、精度要求较高的堰槽流量计, 应采用实验室检定; 对体积较大、无法拆卸、流量范围较大、现场施工完成的堰槽流量计, 应采用现场检定。

##### 6.2.4.1 实验室检定

###### 6.2.4.1.1 检定用计量器具

a) 明渠流量标准装置(体积质量法)(见图 32)或标准表法流量标准装置(见图 33):



1—水池; 2—水泵; 3—上水管; 4—恒定水头水箱; 5—溢流管; 6—截止阀; 7—试验水槽; 8—被检堰槽;  
9—喷嘴; 10—换向器; 11—容器; 12—量水箱; 13—放水阀; 14—回水管; 15—尾门

图 32 明渠流量标准装置示意图

明渠流量标准装置或标准表法流量标准装置的流量示值误差不应超过被检堰槽流量计流量示值误差的 1/5; 其流量测定范围应大于或等于被检堰槽流量计的流量测定范围。

明渠段长度应大于被检堰槽流量计要求的行近渠槽长度。被检堰槽流量计的有关技术要求, 标准装置均应满足。

b) 标准水位计: 分辨力 $\leq 1.0\text{mm}$ 。

- c) 计时器 (或秒表): 分辨力  $\leq 0.1\text{s}$ 。
- d) 方水平尺: 主水准刻度值  $2\text{mm/m}$ 。
- e) 水准尺: 分辨力  $1.0\text{mm}$ 。
- f) 水准仪: 每公里往返测量随机误差不超过  $\pm 3\text{mm}$ , 系统误差不超过  $\pm 0.8\text{mm}$ 。检定用计量器具均应检定合格, 有检定证书并在有效期内使用。
- 环境温度:  $5\sim 40^\circ\text{C}$ 。
- 堰槽、水位测量设施等应水平安装牢固, 不得有松动和晃动现象。
- 堰槽安装应符合本规程有关规定, 不得有渗漏现象。

#### 6.2.4.1.2 明渠流量标准装置法检定步骤

a) 将被检堰槽和水位计及标准水位计正确安装在规定位置上, 用水准仪测量渠底、堰槽顶和被检水位计、标准水位计零点高程。

b) 根据被检堰槽流量计的测量范围, 确定 10 个流量检定点, 即在最大流量的  $10\%\sim 100\%$  范围内 (包括  $10\%$  及  $100\%$ ) 均匀选取。检定顺序可由小到大或由大到小逐点进行。

c) 换向器处于导水状态。调节检定流量, 使检定流量稳定。待量水箱水位平稳后, 记录标准量水箱水位及相应水量  $V_{\text{始}}$ 。

d) 换向器由导水状态换至测量状态, 将过堰槽水流引入标准量水箱中, 计时器开始计时。经过预定时间  $t$  (大于  $200\text{s}$ ) 后, 换向器换向到导水状态, 同时计时器停止计时。观测标准量水箱水量  $V_{\text{终}}$ , 计算标准流量值:

$$Q_{\text{标}} = \frac{V_{\text{终}} - V_{\text{始}}}{t}$$

e) 记录被检水位计水位值  $h_{\text{被检}}$ , 将  $h_{\text{被检}}$  值代入相应的流量计算公式和流量关系式, 计算出被检流量计流量值  $Q_{\text{被检}}$ , 得出水位~流量关系; 有水位~流量换算并显示瞬时流量和累积流量功能的仪表, 可直接读取被检流量计水位值  $h_{\text{被检}}$  和流量值  $Q_{\text{被检}}$ 。在该流量点重复测量 3 次, 得出  $Q_{\text{被检}1}$ 、 $Q_{\text{被检}2}$ 、 $Q_{\text{被检}3}$ , 则该点被检流量  $\bar{Q}_{\text{被检}} = (Q_{\text{被检}1} + Q_{\text{被检}2} + Q_{\text{被检}3}) / 3$ 。

f) 计算重复性误差, 取步骤 ⑤ 中计算的三个示值中的最大值  $Q_{\text{被检} \max}$  和最小值  $Q_{\text{被检} \min}$ , 则重复性误差  $\delta = (Q_{\text{被检} \max} - Q_{\text{被检} \min}) / \bar{Q}_{\text{被检}}$ 。

g) 按检定顺序, 调节另一流量检定点, 仍按 c)、d)、e)、f) 步骤试验全部 10 个检测点。

h) 分别计算 10 个流量检定点的相对误差  $\Delta Q$

$$\Delta Q = (\bar{Q}_{\text{被检}i} - \bar{Q}_{\text{标}i}) / \bar{Q}_{\text{标}i} \quad i = 1, 2, \dots, 10$$

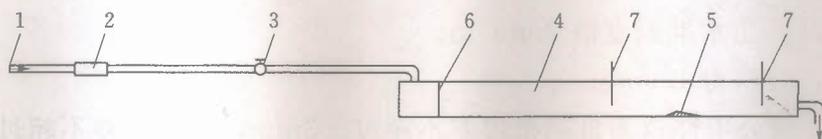
i) 选取各次检测中最大相对误差  $|\Delta Q|_{\max}$  绝对值作为该堰槽流量计的流量示值误差。

#### 6.2.4.1.3 标准表法检定步骤

a) 标准表与被检堰槽流量计串联, 标准表安装在上游 (见图 33)。

b) 安装要求、检定步骤、计算方法与 6.2.4.1.2 相同。标准流量值直接由标准表

中读取。



1—恒定水源；2—标准流量计；3—流量调节阀；4—渠槽；5—被检堰槽；6—稳水栅；7—水位计

图 33 标准流量计法装置示意图

### 6.2.4.2 现场检定

#### 6.2.4.2.1 现场实流标定法检定

##### 6.2.4.2.1.1 现场实流标定法检定用计量器具

a) 旋桨式流速仪、旋杯式流速仪、超声波流速仪、声学多普勒流速（流量）仪等。流速仪的性能要求见表 21。

表 21 流速仪的速度级分段及平均相对误差

速度级分段	$v_k \sim 0.5$	$0.5 \sim 1.5$	$1.5 \sim 3.5$	$> 3.5$
平均相对误差/%	$\leq 1.55$	$\leq 1.20$	$\leq 0.90$	$\leq 0.65$
$v_k$ 为流速仪的临界流速， $v_k \leq 0.15\text{m/s}$ 。				

b) 方水平尺：主水准刻度值 2mm/m。

c) 水准尺：分辨力 1.0mm。

d) 水准仪：每公里往返测量随机误差不大于±3mm，系统误差不大于±0.8mm。

检定用的计量器具均应检定合格，有检定证书并在有效期内使用。

环境温度：5~40℃。

堰槽、水位计等计量设施应水平安装牢固，不应有松动和晃动现象。

堰槽安装应符合本规程有关规定，不得有渗漏现象。

确定水流流态，施放最大流量（天然河道除外），测量上下游水位与堰槽顶高程，根据淹没流判断条件确定过堰槽水流为非淹没流态或淹没流态。用流速仪测量行近渠槽流速，根据急缓流判别条件确定渠槽流态是否为缓流。

##### 6.2.4.2.1.2 检定步骤

a) 将标准水位计正确安装在被检堰槽水尺位置，以堰槽体附近固定水准点高程为准，用水准仪测量标准水位计零点高程。

b) 根据被检堰槽流量计的使用范围，确定不少于 3 个流量检定点，即在现场最大流量和现场最小流量范围内均匀选取。检定顺序可由小到大或由大到小逐点进行。

c) 采用流速~面积法，用流速仪测量水位观测断面处流速，根据  $Q=VA$ （流速 \* 面积）关系，计算流过堰槽的标准流量值  $Q_{标}$ 。

d) 记录被检流量计水位值  $h_{被检}$ ，按被检流量计所用水位~流量换算方法计算被检流量值  $Q_{被检}$ 。在该流量点重复测量 3 次，得出  $Q_{被检1}$ 、 $Q_{被检2}$ 、 $Q_{被检3}$ ，则该点被检流量  $\bar{Q}_{被检} = (Q_{被检1} + Q_{被检2} + Q_{被检3}) / 3$ 。

e) 计算重复性误差, 取步骤 d) 中计算的三个示值中的最大值  $Q_{\text{被检max}}$  和最小值  $Q_{\text{被检min}}$ , 则重复性误差  $\delta = (Q_{\text{被检max}} - Q_{\text{被检min}}) / \bar{Q}_{\text{被检}}$ 。

f) 按检定顺序, 调节另一流量检定点, 仍按 c)、d)、e) 步骤试验全部 3 个检测点。

g) 分别计算所测点的相对误差  $\Delta Q$

$$\Delta Q = (\bar{Q}_{\text{被检}i} - \bar{Q}_{\text{标}i}) / \bar{Q}_{\text{标}i} \quad i = 1, 2, 3$$

h) 选取各检测点最大相对误差  $|\Delta Q|_{\text{max}}$  绝对值作为该堰槽流量计的流量示值误差。

#### 6.2.4.2.2 现场几何检验法检定

a) 堰槽顶高程: 以堰槽体附近固定水准点高程为准, 用水准仪测量行近渠槽高程和堰顶高程, 至少取 6 个测量点, 计算堰槽高。

b) 用长度尺和角度尺测量堰体断面在垂直方向的宽度, 测量点间距不小于 0.10m。

c) 水位观测断面位置: 根据上游水位测量断面要求, 量测水位观测断面距堰顶线的纵向距离。

d) 根据不同堰槽要求, 用钢卷尺测量行近渠槽长度; 在堰槽内测定中心线位置, 检验堰槽中心线与渠槽中心线重合程度。如偏离太大造成流量偏差超出允许偏差范围, 应进行修改。

e) 水头及水位计高程: 在流量固定条件下, 对水位计不少于 6 次水位测量, 求出水头平均值的不确定度; 以堰体附近固定水准点高程为准, 用水准仪测量水位计零点高程, 确定水位计高程不确定度。

f) 根据不同明渠堰槽流量计型式, 依据附录 E 相关条款进行不确定度计算。

6.2.4.2.3 实流标定法与几何检验法两种方法均能实现的情况下, 以实流标定法为准。

#### 6.3 检定结果的处理

6.3.1 经检定, 明渠堰槽流量计的流量示值误差符合示值误差限的, 发给检定证书 (见附录 B, 检定证书格式);

6.3.2 经检定, 明渠堰槽流量计的流量示值误差大于示值误差限的, 发给检定结果通知书, 给出误差分析结果 (见附录 C, 检定结果通知书格式)。

#### 6.4 检定周期

明渠堰槽流量计的检定周期为 2 年。

## 附录 A

## 有关图表

## A.1 符号说明

表 A.1 符号说明

符号	名称 意义	单位 SI 符号
$Q$	流量	$\text{m}^3/\text{s}$
$A$	水位观测断面处渠槽过水断面面积	$\text{m}^2$
$B$	行近渠槽宽度	$\text{m}$
$B_1$	巴歇尔槽收缩段进口宽度	$\text{m}$
$B_2$	巴歇尔槽扩散段出口宽度	$\text{m}$
$b$	堰口宽度或喉道宽度	$\text{m}$
$b_i$	三角形缺口薄壁堰缺口宽度	$\text{m}$
$C$	流量系数	—
$C_s$	淹没流流量系数	—
$f_v$	淹没出流折减系数	—
$C_v$	行近流速系数	—
$D$	渠槽边墙高度	$\text{m}$
$g$	重力加速度	$\text{m}/\text{s}^2$
$H$	堰上水头	$\text{m}$
$h$	上游实测水头	$\text{m}$
$h_d$	下游实测水头	$\text{m}$
$L$	顺水流方向堰顶长度	$\text{m}$
$L_1$	收缩段长度	$\text{m}$
$L_2$	扩散段长度	$\text{m}$
$L_a$	上游连通管至堰板或喉道距离	$\text{m}$
$L_b$	下游连通管至堰板或喉道距离	$\text{m}$
$L_0$	巴歇尔槽、无喉道槽总长度	$\text{m}$

表 A.1 符号说明 (续)

符号	名称 意义	单位 SI 符号
$n$	指数	—
$Fr$	弗劳德数	—
$h_i$	三角形缺口薄壁堰堰口的垂直高度	m
$K_b$	宽度修正系数	m
$K_h$	水头修正系数	m
$v$	行近渠槽断面平均流速	m/s
$\delta^*$	边界层厚度	m
$Z_h$	形状系数	—
$\theta$	三角形缺口薄壁堰缺口角度	°
$a$	动能修正系数	—
$X = \delta^* / L$	圆缘宽顶堰堰顶边界层影响的系数	—
$Q_K$	淹没流折减系数	
$Q_{K3}$	$b = 3.05\text{m}$ 淹没流折减流量	$\text{m}^3/\text{s}$
$Q_s$	淹没流流量	$\text{m}^3/\text{s}$
$n_s$	淹没流指数	
$p$	槛高	m
$h'$	平坦 V 形堰 V 形堰口高度	m
$P_1$	以上游河床面为基准的堰高	m
$P_2$	以下游河床面为基准的堰高	m
$\bar{h}$	多次平均实测水头	m
$h_i$	单次实测水头	m
$h_t$	堰口垂直高度	m
$b_t$	堰口水平宽度测量值	m
$h_{\max}$	上游最大水深	m

A.2 平坦 V 形堰建议的系数、限制和不确定度一览表

表 A.2 平坦 V 形堰建议的系数、限制和不确定度一览表

平坦 V 形堰	堰顶横向坡度		
	1/40 或更小	1/20 坡度	1/10 坡度
1. $h/h' \leq 1.0$			
非淹没流系数 $C$	0.625	0.620	0.615
水头改正系数 $K_h$	0.0004m	0.0005m	0.0008m
系数不确定度 $C_{de}$	$\pm 3.0\%$	$\pm 3.2\%$	$\pm 2.9\%$
非淹没界限	65%~75%	65%~75%	65%~75%
应用限制	$h'/p_1 \leq 2.5$	$h'/p_1 \leq 2.5$	$h'/p_1 \leq 2.5$
	$h'/p_2 \leq 2.5$	$h'/p_2 \leq 2.5$	$h'/p_2 \leq 2.5$
上游导水孔	$10h'$	$10h'$	$10h'$
2. $h_1/h' > 1.0$			
非淹没流系数 $C$	0.630	0.625	0.620
水头改正系数 $K_h$	0.0004m	0.0005m	0.0008m
系数不确定度 $C_{de}$	$\pm 2.5\%$	$\pm 2.8\%$	$\pm 2.3\%$
非淹没界限	65%~75%	65%~75%	65%~75%
应用限制	$h'/p_1 \leq 2.5$	$h'/p_1 \leq 2.5$	$h'/p_1 \leq 2.5$
	$h'/p_2 \leq 8.2$	$h'/p_2 \leq 8.2$	$h'/p_2 \leq 4.2$
上游导水孔	$10h'$	$10h'$	$10h'$
系数 $C$ 在淹没流情况下计算分别为: $C=0.631$ , $C=0.629$ 和 $C=0.620$ 。			

A.3 平坦 V 形堰根据  $h'/p_1$  和  $h_e/h'$  求  $C, Z_h$

表 A.3 平坦 V 形堰根据  $h'/p_1$  和  $h_e/h'$  求  $C, Z_h$

$h_e/h'$	$h'/p_1$												
	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
0.05	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.25	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001
0.30	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001

表 A.3 平坦 V 形堰根据  $h'/p_1$  和  $h_e/h'$  求  $C, Z_b$  (续)

$h_e/h'$	$h'/p_1$												
	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
0.35	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.002	1.002	1.002	1.002
0.40	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.002	1.002	1.002	1.002	1.003	1.003	1.003
0.45	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002	1.002	1.002	1.003	1.003	1.004	1.004	1.004	1.005
0.50	1.000	1.001	1.001	1.002	1.002	1.003	1.003	1.004	1.004	1.005	1.005	1.005	1.006
0.55	1.000	1.001	1.001	1.002	1.003	1.004	1.005	1.005	1.006	1.007	1.007	1.008	1.008
0.60	1.000	1.001	1.002	1.003	1.004	1.005	1.006	1.007	1.008	1.009	1.009	1.010	1.011
0.65	1.000	1.001	1.003	1.004	1.005	1.006	1.008	1.009	1.010	1.011	1.012	1.013	1.013
0.70	1.001	1.002	1.003	1.005	1.007	1.008	1.010	1.011	1.012	1.013	1.015	1.016	1.017
0.75	1.001	1.002	1.004	1.006	1.008	1.010	1.012	1.013	1.015	1.016	1.018	1.019	1.020
0.80	1.001	1.003	1.005	1.008	1.010	1.012	1.014	1.016	1.018	1.020	1.021	1.023	1.024
0.85	1.001	1.004	1.007	1.009	1.012	1.015	1.017	1.020	1.022	1.024	1.025	1.027	1.029
0.90	1.001	1.004	1.008	1.011	1.015	1.018	1.021	1.023	1.026	1.028	1.030	1.032	1.034
0.95	1.002	1.005	1.009	1.014	1.017	1.021	1.024	1.027	1.030	1.033	1.035	1.037	1.039
1.00	1.002	1.006	1.011	1.016	1.020	1.025	1.028	1.032	1.035	1.038	1.040	1.043	1.045
1.05	1.002	1.007	1.013	1.018	1.023	1.028	1.032	1.036	1.039	1.042	1.045	1.048	1.050
1.10	1.001	1.006	1.012	1.019	1.024	1.029	1.034	1.038	1.042	1.045	1.049	1.052	1.054
1.15	0.997	1.004	1.011	1.017	1.024	1.029	1.034	1.039	1.043	1.057	1.050	1.053	1.056
1.20	0.998	1.000	1.007	1.015	1.021	1.028	1.033	1.038	1.042	1.047	1.050	1.054	1.057
1.25	0.986	0.994	1.003	1.011	1.018	1.024	1.030	1.036	1.040	1.045	1.049	1.052	1.056
1.30	0.979	0.988	0.997	1.005	1.013	1.020	1.026	1.032	1.037	1.042	1.046	1.050	1.053
1.35	0.971	0.980	0.990	0.999	1.008	1.015	1.022	1.027	1.033	1.038	1.042	1.046	1.050
1.40	0.962	0.972	0.983	0.992	1.001	1.009	1.016	1.022	1.028	1.033	1.037	1.041	1.045
1.45	0.953	0.963	0.974	0.985	0.994	1.002	1.006	1.016	1.022	1.027	1.031	1.036	1.040
1.50	0.943	0.954	0.966	0.976	0.986	0.995	1.002	1.009	1.015	1.020	1.025	1.030	1.034
1.55	0.932	0.944	0.957	0.968	0.978	0.987	0.995	1.001	1.008	1.013	1.018	1.023	1.027
1.60	0.922	0.934	0.947	0.959	0.969	0.978	0.987	0.994	1.000	1.006	1.011	1.016	1.020
1.65	0.911	0.924	0.938	0.950	0.961	0.970	0.978	0.986	0.992	0.998	1.004	1.008	1.013
1.70	0.900	0.914	0.928	0.940	0.952	0.961	0.970	0.977	0.984	0.990	0.996	1.001	1.005
1.75	0.889	0.904	0.918	0.931	0.942	0.952	0.961	0.969	0.976	0.982	0.988	0.993	0.997
1.80	0.878	0.893	0.908	0.922	0.933	0.943	0.953	0.960	0.968	0.974	0.980	0.985	0.989

表 A.3 平坦 V 形堰根据  $h'/p_1$  和  $h_c/h'$  求  $C, Z_h$  (续)

$h_c/h'$	$h'/p_1$												
	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
1.85	0.867	0.883	0.898	0.912	0.924	0.935	0.944	0.952	0.959	0.966	0.971	0.977	0.981
1.90	0.856	0.873	0.889	0.903	0.915	0.926	0.935	0.943	0.951	0.957	0.963	0.968	0.973
1.95	0.845	0.863	0.879	0.893	0.906	0.917	0.926	0.935	0.947	0.949	0.955	0.960	0.965
2.00	0.835	0.852	0.869	0.884	0.896	0.908	0.917	0.926	0.933	0.940	0.946	0.952	0.957
2.05	0.824	0.842	0.859	0.874	0.887	0.899	0.909	0.917	0.925	0.932	0.938	0.944	0.949
2.10	0.814	0.833	0.850	0.865	0.878	0.890	0.900	0.909	0.916	0.923	0.930	0.935	0.940
2.15	0.804	0.823	0.841	0.856	0.869	0.881	0.891	0.900	0.908	0.915	0.921	0.927	0.932
2.20	0.794	0.813	0.831	0.847	0.861	0.872	0.883	0.892	0.900	0.907	0.913	0.919	0.924
2.25	0.784	0.804	0.822	0.838	0.852	0.864	0.874	0.883	0.891	0.899	0.905	0.911	0.916
2.30	0.774	0.795	0.813	0.830	0.843	0.855	0.866	0.875	0.883	0.891	0.897	0.903	0.908
2.35	0.764	0.785	0.804	0.821	0.835	0.847	0.858	0.867	0.875	0.883	0.889	0.895	0.900
2.40	0.755	0.776	0.796	0.812	0.827	0.839	0.850	0.859	0.867	0.875	0.881	0.887	0.893
2.45	0.746	0.768	0.787	0.804	0.819	0.831	0.842	0.851	0.860	0.867	0.874	0.880	0.885
2.50	0.737	0.759	0.779	0.796	0.811	0.823	0.834	0.843	0.852	0.859	0.866	0.872	0.878
2.55	0.728	0.751	0.771	0.788	0.803	0.815	0.826	0.836	0.844	0.852	0.859	0.865	0.876
2.60	0.720	0.742	0.763	0.780	0.795	0.808	0.819	0.828	0.837	0.844	0.851	0.857	0.863
2.65	0.711	0.734	0.755	0.772	0.787	0.800	0.811	0.821	0.829	0.837	0.844	0.850	0.856
2.70	0.703	0.726	0.747	0.765	0.780	0.793	0.804	0.814	0.822	0.830	0.837	0.843	0.849
2.75	0.695	0.719	0.740	0.757	0.772	0.785	0.797	0.806	0.815	0.823	0.830	0.836	0.842
2.80	0.687	0.711	0.732	0.750	0.765	0.778	0.790	0.799	0.808	0.816	0.823	0.829	0.835
2.85	0.679	0.703	0.725	0.743	0.758	0.771	0.783	0.792	0.801	0.809	0.816	0.822	0.828
2.90	0.671	0.696	0.718	0.736	0.751	0.764	0.776	0.786	0.795	0.802	0.809	0.816	0.822
2.95	0.664	0.689	0.711	0.729	0.744	0.758	0.769	0.779	0.788	0.796	0.803	0.809	0.815
3.00	0.657	0.682	0.704	0.722	0.738	0.751	0.762	0.773	0.781	0.789	0.796	0.803	0.809
3.05	0.649	0.675	0.697	0.716	0.731	0.744	0.756	0.766	0.775	0.783	0.790	0.797	0.802
3.10	0.642	0.668	0.690	0.709	0.725	0.738	0.750	0.760	0.769	0.777	0.784	0.790	0.796
3.15	0.636	0.662	0.684	0.703	0.718	0.732	0.743	0.754	0.763	0.771	0.778	0.784	0.790
3.20	0.629	0.655	0.678	0.696	0.712	0.726	0.737	0.748	0.757	0.765	0.772	0.778	0.784
3.25	0.622	0.649	0.671	0.690	0.706	0.720	0.731	0.742	0.751	0.759	0.766	0.773	0.779
3.30	0.616	0.643	0.665	0.684	0.700	0.714	0.725	0.736	0.745	0.753	0.760	0.767	0.773

表 A.3 平坦 V 形堰根据  $h'/p_1$  和  $h_e/h'$  求  $C, Z_h$  (续)

$h_e/h'$	$h'/p_1$												
	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
3.35	0.610	0.637	0.659	0.678	0.694	0.708	0.720	0.730	0.739	0.747	0.755	0.761	0.767
3.40	0.603	0.631	0.653	0.672	0.688	0.702	0.714	0.724	0.733	0.742	0.749	0.756	0.762
3.45	0.597	0.626	0.648	0.667	0.683	0.696	0.708	0.719	0.728	0.736	0.744	0.750	0.756
3.50	0.591	0.619	0.642	0.661	0.677	0.691	0.703	0.713	0.723	0.731	0.738	0.745	0.751
3.55	0.586	0.613	0.637	0.656	0.672	0.686	0.697	0.708	0.717	0.726	0.733	0.740	0.746
3.60	0.580	0.608	0.631	0.650	0.666	0.680	0.692	0.703	0.712	0.720	0.728	0.735	0.741
3.65	0.574	0.602	0.626	0.645	0.661	0.675	0.687	0.698	0.707	0.715	0.725	0.730	0.736
3.70	0.569	0.507	0.620	0.640	0.656	0.670	0.682	0.692	0.702	0.710	0.718	0.725	0.731
3.75	0.563	0.592	0.615	0.635	0.651	0.665	0.677	0.687	0.697	0.705	0.713	0.720	0.726
3.80	0.558	0.587	0.610	0.630	0.646	0.660	0.672	0.683	0.692	0.701	0.708	0.715	0.722
3.85	0.553	0.582	0.605	0.625	0.641	0.655	0.667	0.678	0.687	0.696	0.704	0.711	0.717
3.90	0.548	0.577	0.600	0.620	0.636	0.650	0.662	0.673	0.683	0.691	0.699	0.706	0.712
3.95	0.543	0.572	0.596	0.615	0.632	0.646	0.658	0.668	0.678	0.687	0.694	0.701	0.708
4.00	0.538	0.567	0.591	0.611	0.627	0.641	0.653	0.664	0.674	0.682	0.690	0.697	0.704

A.4 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/H_e$  求  $fC_v$  值

表 A.4 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/H_e$  求  $fC_v$  值

$h_{pe}/H_e$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.4	1.000	0.996	0.993	0.99	0.987	0.983	0.98	0.977	0.973	0.97
0.5	0.998	0.962	0.958	0.955	0.951	0.947	0.943	0.939	0.935	0.931
0.6	0.927	0.922	0.918	0.913	0.908	0.904	0.898	0.893	0.888	0.883
0.7	0.877	0.872	0.865	0.858	0.852	0.845	0.837	0.828	0.82	0.81
0.8	0.801	0.790	0.779	0.768	0.754	0.738	0.723	0.706	0.685	0.663
0.9	0.638	0.611	0.582	0.55	0.513	0.475	—	—	—	—

应用举例：如对 0.6 的  $h_{pe}/H_e$  值，从第四行第五列查得  $fC_v$  值为 0.908； $H_e$  为堰上游总水头，

$$H_e = h_{pe} + \frac{v^2}{2g}$$

A.5 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v f_v$  值,  $0.0 \leq h'/p_1 \leq 0.5$

表 A.5 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v f_v$  值,  $0.0 \leq h'/p_1 \leq 0.5$

$h_{pe}/h_e$	$h_e/h'$				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.45	1.000	1.000	1.000	1.000	—
0.46	1.000	0.997	1.000	1.000	—
0.47	1.000	0.994	1.000	1.000	—
0.48	1.000	0.991	0.996	1.000	—
0.49	1.000	0.988	0.992	1.000	—
0.50	0.996	0.985	0.988	1.000	—
0.51	0.993	0.981	0.984	0.999	—
0.52	0.989	0.978	0.980	0.995	—
0.53	0.986	0.975	0.976	0.992	—
0.54	0.982	0.971	0.972	0.988	—
0.55	0.979	0.967	0.968	0.984	—
0.56	0.975	0.963	0.964	0.980	—
0.57	0.971	0.959	0.960	0.976	—
0.58	0.967	0.955	0.956	0.971	—
0.59	0.963	0.951	0.952	0.967	—
0.60	0.959	0.947	0.948	0.962	—
0.61	0.955	0.943	0.943	0.957	—
0.62	0.950	0.939	0.939	0.952	—
0.63	0.945	0.935	0.934	0.947	—
0.64	0.940	0.930	0.930	0.942	—
0.65	0.935	0.925	0.925	0.936	—
0.66	0.930	0.920	0.920	0.930	—
0.67	0.925	0.915	0.915	0.924	—
0.68	0.920	0.910	0.909	0.917	—
0.69	0.914	0.905	0.904	0.910	—

表 A.5 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v f_v$  值,  $0.0 \leq h'/p_1 \leq 0.5$  (续)

$h_{pe}/h_e$	$h_e/h'$				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.70	0.908	0.900	0.898	0.904	—
0.71	0.902	0.894	0.893	0.897	—
0.72	0.895	0.888	0.887	0.890	—
0.73	0.888	0.882	0.881	0.882	—
0.74	0.880	0.876	0.870	0.874	—
0.75	0.870	0.869	0.867	0.866	—
0.76	0.860	0.861	0.860	0.858	0.859
0.77	0.850	0.853	0.853	0.850	0.850
0.78	0.840	0.844	0.845	0.841	0.840
0.79	0.830	0.835	0.836	0.832	0.830
0.80	0.820	0.825	0.827	0.823	0.819
0.81	0.810	0.814	0.817	0.813	0.806
0.82	0.798	0.803	0.807	0.802	0.793
0.83	0.786	0.792	0.796	0.790	0.779
0.84	0.774	0.780	0.785	0.776	0.762
0.85	0.760	0.765	0.771	0.764	0.745
0.86	0.744	0.750	0.757	0.748	0.725
0.87	0.725	0.735	0.742	0.730	0.705
0.88	0.706	0.718	0.724	0.710	0.685
0.89	0.686	0.698	0.705	0.690	0.659
0.90	0.663	0.676	0.682	0.665	0.633
0.91	0.639	0.652	0.658	0.640	0.604
0.92	0.610	0.625	0.628	0.610	0.570
0.93	0.580	0.595	0.593	0.577	0.536
0.94	0.548	0.560	0.560	0.538	0.500

A.6 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v f_v$  值,  $0.5 < h'/p_1 \leq 1$

表 A.6 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v f_v$  值,  $0.5 < h'/p_1 \leq 1$

$h_{pe}/h_e$	$h_e/h'$				
	0.5	1	1.5	2	2.5
0.45	1	1	1	1	—
0.46	1	1	1	1	—
0.47	1	1	1	1	—
0.48	1	1	1	1	—
0.49	1	0.997	1	1	—
0.5	1	0.994	1	1	—
0.51	1	0.99	1	1	—
0.52	0.997	0.987	1	1	—
0.53	0.994	0.984	1	1	—
0.54	0.99	0.981	0.996	1	—
0.55	0.986	0.977	0.992	1	—
0.56	0.982	0.974	0.988	1	—
0.57	0.978	0.97	0.984	1	—
0.58	0.974	0.966	0.98	1	—
0.59	0.97	0.962	0.975	1	—
0.6	0.965	0.958	0.971	0.995	—
0.61	0.96	0.954	0.967	0.992	—
0.62	0.956	0.95	0.962	0.987	—
0.63	0.951	0.945	0.957	0.982	—
0.64	0.946	0.94	0.952	0.977	—
0.65	0.941	0.936	0.947	0.971	—
0.66	0.935	0.931	0.942	0.966	—
0.67	0.93	0.926	0.937	0.96	—
0.68	0.924	0.921	0.931	0.955	—
0.69	0.918	0.916	0.926	0.949	—

表 A.6 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v f_v$  值,  $0.5 < h'/p_1 \leq 1$  (续)

$h_{pe}/h_e$	$h_e/h'$				
	0.5	1	1.5	2	2.5
0.7	0.911	0.911	0.92	0.941	—
0.71	0.904	0.905	0.914	0.935	—
0.72	0.896	0.899	0.908	0.927	—
0.73	0.888	0.893	0.902	0.92	—
0.74	0.88	0.886	0.896	0.911	—
0.75	0.87	0.879	0.889	0.904	—
0.76	0.86	0.871	0.881	0.895	0.9
0.77	0.85	0.863	0.874	0.885	0.89
0.78	0.84	0.854	0.866	0.875	0.88
0.79	0.83	0.845	0.857	0.865	0.87
0.8	0.82	0.835	0.847	0.854	0.86
0.81	0.81	0.825	0.836	0.843	0.849
0.82	0.798	0.815	0.826	0.832	0.835
0.83	0.786	0.804	0.815	0.82	0.823
0.84	0.774	0.791	0.802	0.807	0.81
0.85	0.76	0.777	0.79	0.794	0.79
0.86	0.744	0.762	0.775	0.778	0.77
0.87	0.725	0.745	0.76	0.761	0.748
0.88	0.706	0.725	0.74	0.741	0.724
0.89	0.685	0.706	0.72	0.72	0.697
0.9	0.663	0.685	0.699	0.695	0.67
0.91	0.639	0.66	0.675	0.67	0.64
0.92	0.61	0.632	0.645	0.64	0.605
0.93	0.58	0.6	0.615	0.605	0.569
0.94	0.548	0.565	0.578	0.565	0.53

A.7 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_c/h'$  求  $C_v f_v$  值,  $1.0 < h'/p_1 \leq 1.5$

表 A.7 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_c/h'$  求  $C_v f_v$  值,  $1.0 < h'/p_1 \leq 1.5$

$h_{pe}/h_e$	$h_c/h'$				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.45	1.000	1.000	—	—	—
0.46	1.000	1.000	—	—	—
0.47	1.000	1.000	—	—	—
0.48	1.000	1.000	—	—	—
0.49	1.000	1.000	—	—	—
0.50	1.000	1.000	1.000	—	—
0.51	1.000	0.997	1.000	—	—
0.52	1.000	0.994	1.000	—	—
0.53	0.999	0.991	1.000	—	—
0.54	0.995	0.987	1.000	—	—
0.55	0.992	0.984	1.000	—	—
0.56	0.989	0.980	1.000	—	—
0.57	0.985	0.977	1.000	—	—
0.58	0.980	0.973	0.995	—	—
0.59	0.975	0.969	0.991	—	—
0.60	0.971	0.965	0.987	1.000	—
0.61	0.966	0.961	0.982	1.000	—
0.62	0.961	0.956	0.977	1.000	—
0.63	0.955	0.952	0.972	1.000	—
0.64	0.950	0.948	0.967	1.000	—
0.65	0.944	0.944	0.962	0.997	—
0.66	0.938	0.939	0.957	0.992	—
0.67	0.931	0.934	0.952	0.987	—
0.68	0.925	0.929	0.947	0.981	—
0.69	0.919	0.924	0.941	0.975	—

表 A.7 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v, f$  值,  $1.0 < h'/p_1 \leq 1.5$  (续)

$h_{pe}/h_e$	$h_e/h'$				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.70	0.912	0.919	0.936	0.970	—
0.71	0.904	0.913	0.930	0.963	—
0.72	0.896	0.906	0.923	0.956	—
0.73	0.888	0.900	0.916	0.949	—
0.74	0.880	0.894	0.910	0.941	—
0.75	0.870	0.886	0.903	0.933	—
0.76	0.860	0.878	0.896	0.924	—
0.77	0.850	0.870	0.889	0.915	—
0.78	0.840	0.861	0.881	0.905	—
0.79	0.830	0.853	0.872	0.894	0.903
0.80	0.820	0.842	0.862	0.883	0.893
0.81	0.810	0.831	0.851	0.871	0.880
0.82	0.799	0.820	0.841	0.859	0.867
0.83	0.786	0.809	0.830	0.845	0.854
0.84	0.773	0.797	0.817	0.830	0.838
0.85	0.760	0.783	0.804	0.814	0.820
0.86	0.744	0.767	0.789	0.795	0.800
0.87	0.725	0.751	0.771	0.775	0.779
0.88	0.706	0.731	0.752	0.755	0.753
0.89	0.686	0.712	0.732	0.733	0.728
0.90	0.663	0.690	0.710	0.707	0.700
0.91	0.639	0.666	0.685	0.682	0.670
0.92	0.610	0.640	0.655	0.653	0.633
0.93	0.580	0.606	0.626	0.620	0.595
0.94	0.548	0.570	0.585	0.580	0.553

A.8 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v f_v$  值,  $1.5 < h'/p_1 \leq 2.0$

表 A.8 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v f_v$  值,  $1.5 < h'/p_1 \leq 2.0$

$h_{pe}/h_e$	$h_e/h'$				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.45	1.000	1.000	—	—	—
0.46	1.000	1.000	—	—	—
0.47	1.000	1.000	—	—	—
0.48	1.000	1.000	—	—	—
0.49	1.000	1.000	—	—	—
0.50	1.000	1.000	1.000	—	—
0.51	1.000	1.000	1.000	—	—
0.52	1.000	0.998	1.000	—	—
0.53	1.000	0.995	1.000	—	—
0.54	1.000	0.992	1.000	—	—
0.55	0.996	0.989	1.000	—	—
0.56	0.992	0.985	1.000	—	—
0.57	0.988	0.982	1.000	—	—
0.58	0.984	0.979	1.000	—	—
0.59	0.979	0.975	1.000	—	—
0.60	0.974	0.971	0.998	1.000	—
0.61	0.969	0.967	0.994	1.000	—
0.62	0.964	0.963	0.989	1.000	—
0.63	0.958	0.959	0.985	1.000	—
0.64	0.952	0.955	0.980	1.000	—
0.65	0.946	0.950	0.975	1.000	—
0.66	0.940	0.945	0.969	1.000	—
0.67	0.933	0.940	0.964	1.000	—
0.68	0.926	0.935	0.959	1.000	—
0.69	0.920	0.930	0.953	0.998	—

表 A.8 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v f$  值,  $1.5 < h'/p_1 \leq 2.0$  (续)

$h_{pe}/h_e$	$h_e/h'$				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.70	0.913	0.925	0.948	0.992	—
0.71	0.905	0.918	0.942	0.986	—
0.72	0.898	0.912	0.936	0.980	—
0.73	0.889	0.905	0.930	0.973	—
0.74	0.880	0.898	0.923	0.965	—
0.75	0.870	0.890	0.916	0.957	—
0.76	0.860	0.882	0.909	0.949	—
0.77	0.850	0.875	0.901	0.940	—
0.78	0.840	0.866	0.894	0.930	—
0.79	0.830	0.857	0.885	0.920	—
0.80	0.820	0.847	0.875	0.909	—
0.81	0.810	0.837	0.865	0.896	0.908
0.82	0.799	0.826	0.854	0.883	0.896
0.83	0.787	0.815	0.842	0.870	0.884
0.84	0.774	0.800	0.830	0.854	0.870
0.85	0.760	0.786	0.815	0.836	0.854
0.86	0.744	0.771	0.800	0.817	0.834
0.87	0.725	0.755	0.781	0.798	0.813
0.88	0.706	0.736	0.761	0.776	0.791
0.89	0.686	0.716	0.740	0.754	0.766
0.90	0.663	0.695	0.718	0.728	0.740
0.91	0.639	0.672	0.691	0.699	0.706
0.92	0.610	0.645	0.664	0.668	0.670
0.93	0.580	0.611	0.630	0.634	0.630
0.94	0.548	0.575	0.595	0.597	0.588

A.9 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v f_v$  值,  $2.0 < h'/p_1 \leq 2.5$

表 A.9 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v f_v$  值,  $2.0 < h'/p_1 \leq 2.5$

$h_{pe}/h_e$	$h_e/h'$				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.45	1.000	1.000	—	—	—
0.46	1.000	1.000	—	—	—
0.47	1.000	1.000	—	—	—
0.48	1.000	1.000	—	—	—
0.49	1.000	1.000	—	—	—
0.50	1.000	1.000	—	—	—
0.51	1.000	1.000	—	—	—
0.52	1.000	1.000	—	—	—
0.53	1.000	0.998	—	—	—
0.54	1.000	0.995	—	—	—
0.55	1.000	0.992	1.000	—	—
0.56	0.996	0.989	1.000	—	—
0.57	0.991	0.986	1.000	—	—
0.58	0.987	0.982	1.000	—	—
0.59	0.982	0.979	1.000	—	—
0.60	0.977	0.975	1.000	1.000	—
0.61	0.972	0.972	1.000	1.000	—
0.62	0.966	0.968	1.000	1.000	—
0.63	0.961	0.964	0.995	1.000	—
0.64	0.955	0.960	0.990	1.000	—
0.65	0.949	0.956	0.985	1.000	—
0.66	0.942	0.951	0.980	1.000	—
0.67	0.935	0.947	0.974	1.000	—
0.68	0.928	0.942	0.969	1.000	—
0.69	0.921	0.937	0.963	1.000	—

表 A.9 平坦 V 形堰根据  $h_{pe}/h_e$  和  $h_e/h'$  求  $C_v, f_v$  值,  $2.0 < h'/p_1 \leq 2.5$  (续)

$h_{pe}/h_e$	$h_e/h'$				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
0.70	0.914	0.932	0.957	1.000	—
0.71	0.906	0.925	0.951	1.000	—
0.72	0.898	0.918	0.945	1.000	—
0.73	0.889	0.912	0.939	0.994	—
0.74	0.880	0.905	0.932	0.985	—
0.75	0.870	0.897	0.925	0.976	—
0.76	0.860	0.889	0.917	0.968	—
0.77	0.850	0.880	0.909	0.959	—
0.78	0.840	0.871	0.901	0.949	0.988
0.79	0.830	0.862	0.892	0.939	0.975
0.80	0.820	0.853	0.883	0.927	0.962
0.81	0.810	0.843	0.874	0.914	0.949
0.82	0.799	0.832	0.863	0.900	0.935
0.83	0.787	0.820	0.852	0.886	0.92
0.84	0.774	0.806	0.840	0.871	0.902
0.85	0.760	0.792	0.825	0.855	0.884
0.86	0.744	0.777	0.810	0.837	0.862
0.87	0.725	0.761	0.794	0.817	0.84
0.88	0.706	0.743	0.775	0.795	0.815
0.89	0.686	0.723	0.754	0.770	0.789
0.90	0.663	0.700	0.732	0.744	0.76
0.91	0.639	0.677	0.705	0.716	0.728
0.92	0.610	0.650	0.677	0.684	0.69
0.93	0.580	0.617	0.645	0.646	0.651
0.94	0.548	0.580	0.606	0.605	0.608

A.10 标准巴歇尔槽结构尺寸表

表 A.10 标准巴歇尔槽结构尺寸表

单位: m

序号	喉道段					进口段				出口段			边墙高
	$b$	$l$	$X$	$Y$	$h_{p1}$	$b_1$	$l_1$	$l_e$	$l_a$	$b_2$	$l_2$	$h_{p2}$	$h_c$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0.152	0.305	0.05	0.075	0.115	0.4	0.610	0.622	0.415	0.39	0.61	0.012	0.60
2	0.250	0.600	0.05	0.075	0.23	0.78	1.325	1.352	0.900	0.55	0.92	0.072	0.80
3	0.300	0.600	0.05	0.075	0.23	0.84	1.350	1.377	0.920	0.60	0.92	0.072	0.95
4	0.450	0.600	0.05	0.075	0.23	1.02	1.425	1.454	0.967	0.75	0.92	0.072	0.95
5	0.600	0.600	0.05	0.075	0.23	1.20	1.500	1.530	1.020	0.90	0.92	0.072	0.95
6	0.750	0.600	0.05	0.075	0.23	1.38	1.575	1.607	1.074	1.05	0.92	0.072	0.95
7	0.900	0.600	0.05	0.075	0.23	1.56	1.650	1.683	1.121	1.20	0.92	0.072	0.95
8	1.000	0.600	0.05	0.075	0.23	1.68	1.705	1.734	1.161	1.30	0.92	0.072	1.00
9	1.200	0.600	0.05	0.075	0.23	1.92	1.800	1.836	1.227	1.50	0.92	0.072	1.00
10	1.500	0.600	0.05	0.075	0.23	2.28	1.950	1.989	1.329	1.80	0.92	0.072	1.00
11	1.800	0.600	0.05	0.075	0.23	2.64	2.100	2.142	1.427	2.10	0.92	0.072	1.00
12	2.100	0.600	0.05	0.075	0.23	3.00	2.250	2.295	1.534	2.40	0.92	0.072	1.00
13	2.400	0.600	0.05	0.075	0.23	3.36	2.400	2.448	1.632	2.70	0.92	0.072	1.00

A.11 大型巴歇尔槽结构尺寸表

表 A.11 大型巴歇尔槽结构尺寸表

单位: m

序号	喉道段					进口段			出口段			边墙高
	$b$	$l$	$X$	$Y$	$h_{p1}$	$b_1$	$l_1$	$l_a$	$b_2$	$l_2$	$h_{p2}$	$h_c$
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14
1	3.05	0.91	0.305	0.23	0.343	4.76	4.27	1.83	3.68	1.83	0.152	1.22
2	3.66	0.91	0.305	0.23	0.343	5.61	4.88	2.03	4.47	2.44	0.152	1.52
3	4.57	1.22	0.305	0.23	0.457	7.62	7.62	2.34	5.59	3.05	0.203	1.83
4	6.1	1.83	0.305	0.23	0.686	9.14	7.62	2.84	7.32	3.66	0.305	2.13
5	7.62	1.83	0.305	0.23	0.686	10.67	7.62	3.45	8.94	3.96	0.305	2.13
6	9.14	1.83	0.305	0.23	0.686	12.31	7.93	3.86	10.57	4.27	0.305	2.13
7	12.19	1.83	0.305	0.23	0.686	15.48	8.23	4.88	13.82	4.88	0.305	2.13
8	15.24	1.83	0.305	0.23	0.686	18.53	8.23	5.89	17.27	6.1	0.305	2.13

A.12 标准巴歇尔槽流量特性

表 A.12 标准巴歇尔槽流量特性

序号	喉道宽度 $b/m$	自由流量 公式 $Q=Ch^n$ / $(m^3/s)$	水头范围 $h_s$ /m		流量范围 $Q$ / $(10^{-3}m^3/s)$		淹没限 $\sigma$	淹没流 流量 系数 $C_s$
			最小	最大	最小	最大		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.152	$0.381h^{1.580}$	0.03	0.45	1.5	100	0.6	0.55
2	0.25	$0.561h^{1.513}$	0.03	0.60	3.0	250	0.6	—
3	0.30	$0.679h^{1.521}$	0.03	0.75	3.5	400	0.6	0.62
4	0.45	$1.038h^{1.537}$	0.03	0.75	4.5	630	0.6	0.64
5	0.60	$1.403h^{1.548}$	0.05	0.75	12.5	850	0.6	0.66
6	0.75	$1.772h^{1.557}$	0.06	0.75	25.0	1100	0.6	0.67
7	0.90	$2.147h^{1.565}$	0.06	0.75	30.0	1250	0.6	0.68
8	1.00	$2.397h^{1.569}$	0.06	0.8	30.0	1500	0.7	—
9	1.20	$2.904h^{1.577}$	0.06	0.8	35.0	2000	0.7	0.7
10	1.50	$3.668h^{1.586}$	0.06	0.8	45.0	2500	0.7	0.72
11	1.80	$4.440h^{1.593}$	0.08	0.8	80.0	3000	0.7	0.74
12	2.10	$5.222h^{1.599}$	0.08	0.8	95.0	3600	0.7	0.76
13	2.40	$6.004h^{1.605}$	0.08	0.8	100.0	4000	0.7	0.78

A.13 大型巴歇尔槽流量特性

表 A.13 大型巴歇尔槽流量特性

序号	喉道宽度 $b/m$	自由流量 公式 $Q=Ch^{1.6}$ / $(m^3/s)$	水头范围 $h_s$ /m		流量范围 $Q$ / $(m^3/s)$		淹没度 $\sigma$	淹没流 流量 系数 $C_s$
			最小	最大	最小	最大		
1	3.05	$7.463h^{1.6}$	0.09	1.07	0.160	8.28	0.8	1.0
2	3.66	$8.859h^{1.6}$	0.09	1.37	0.190	14.68	0.8	1.2
3	4.57	$10.96h^{1.6}$	0.09	1.67	0.230	25.04	0.8	1.5
4	6.10	$14.45h^{1.6}$	0.09	1.83	0.310	37.97	0.8	2.0
5	7.62	$17.94h^{1.6}$	0.09	1.83	0.380	47.16	0.8	2.5
6	9.14	$21.44h^{1.6}$	0.09	1.83	0.460	56.33	0.8	3.0
7	12.19	$28.43h^{1.6}$	0.09	1.83	0.600	74.7	0.8	4.0
8	15.24	$35.41h^{1.6}$	0.09	1.83	0.750	93.04	0.8	5.0

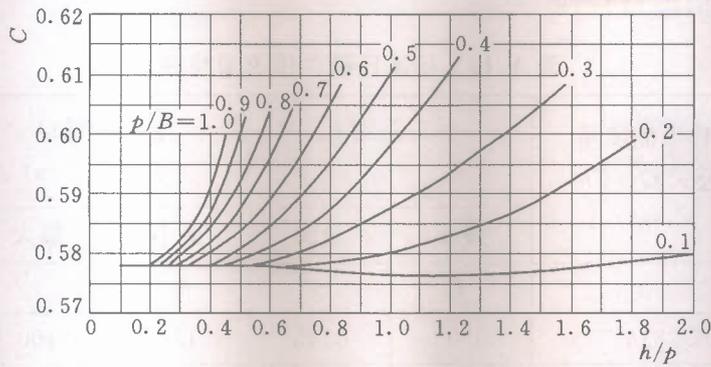


图 A.1 三角形缺口薄壁堰流量系数  $C$  值图 ( $\theta=90^\circ$ )

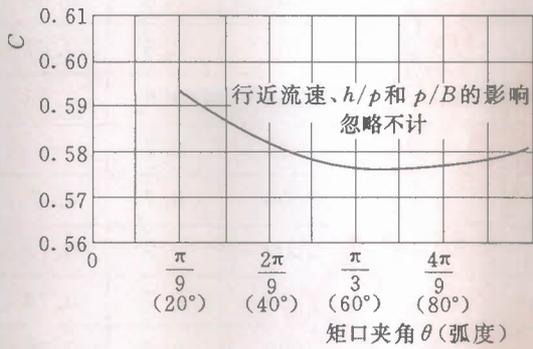


图 A.2 三角形缺口薄壁堰流量系数  $C$  值图 ( $\theta \neq 90^\circ$ )

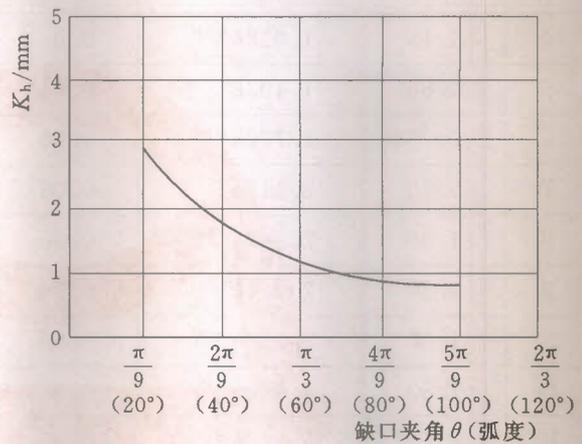


图 A.3 三角形缺口薄壁堰水头修正系数  $K_h$  值和缺口夹角的关系曲线图

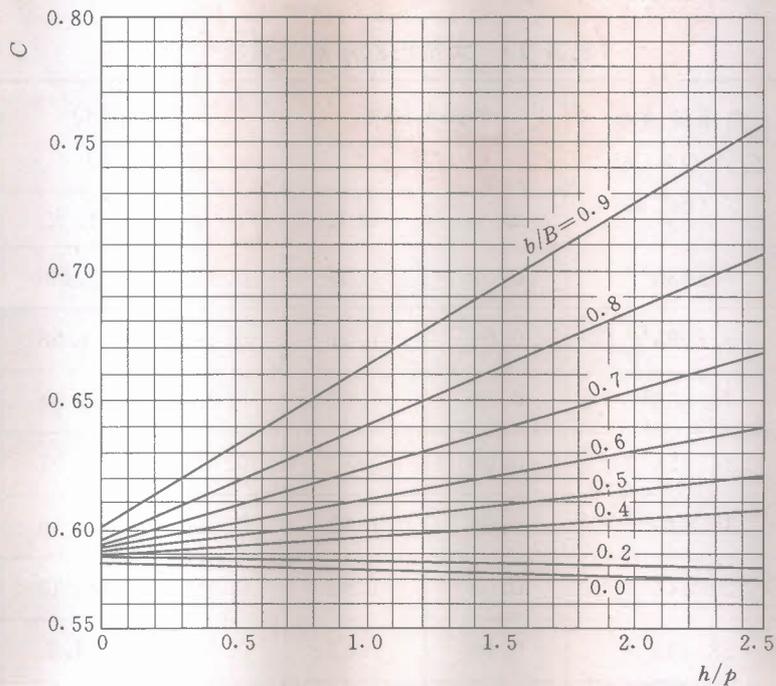


图 A.4 矩形缺口薄壁堰流量系数  $C$  值图

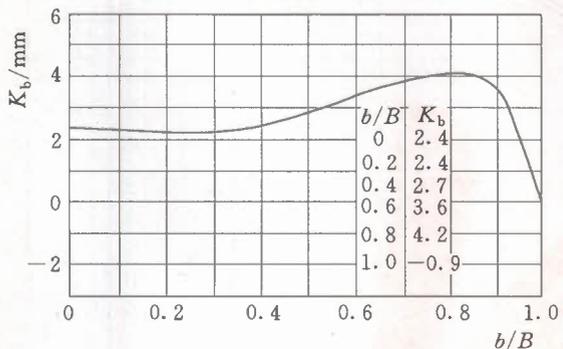


图 A.5 矩形缺口薄壁堰  $b/B$  与宽度修正系数  $K_b$  关系曲线图

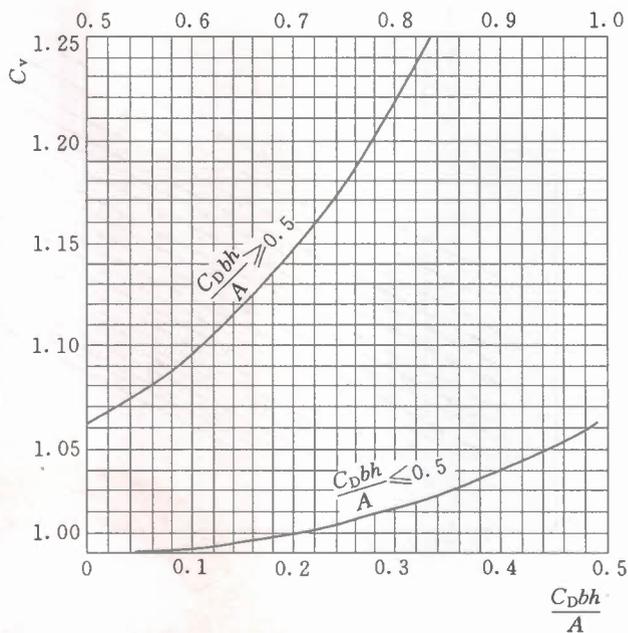


图 A.6 圆缘宽顶堰流速对实测水头影响的系数  $C_v$  图

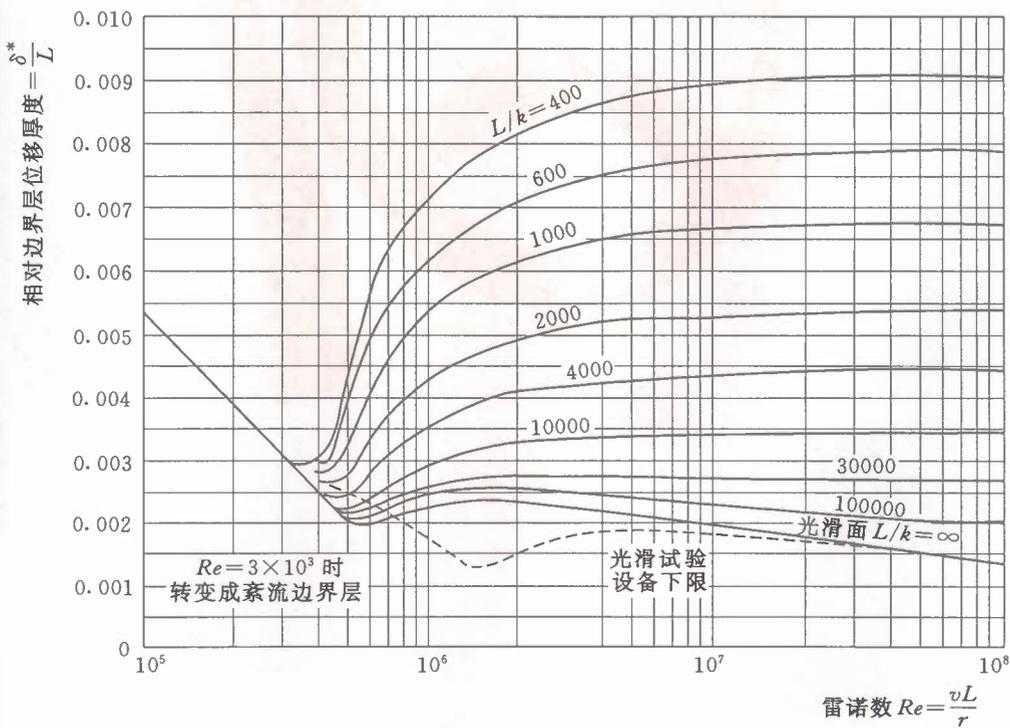


图 A.7 圆缘宽顶堰堰顶边界层影响系数

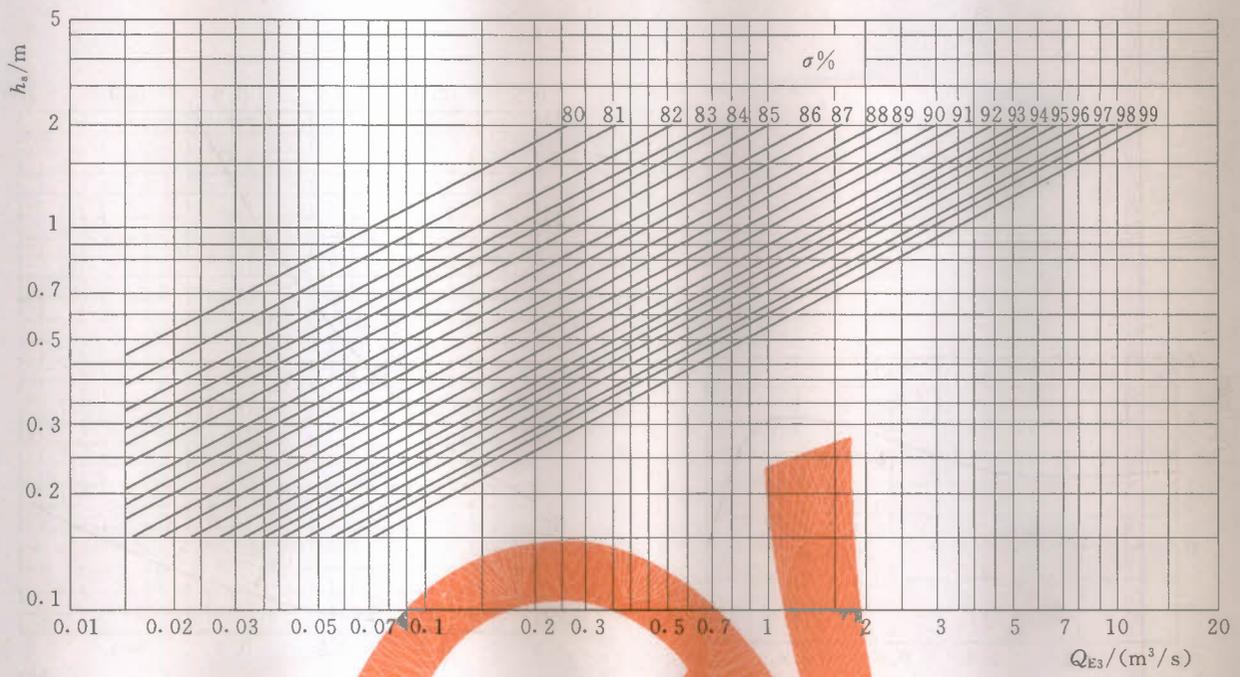


图 A.8  $b=3.05\text{m}$  巴歇尔槽淹没流量校正图

附录 B

检定证书格式

检定单位名称

# 明渠堰槽流量计检定证书

证书编号：\_\_\_\_\_

送检单位：\_\_\_\_\_

计量器具名称：\_\_\_\_\_

型号/规格：\_\_\_\_\_

生产单位：\_\_\_\_\_

检定依据：JJG (水利) 004—2015

检定结论：准予该堰槽流量计作为 级使用

批准人：\_\_\_\_\_

检定员：\_\_\_\_\_

检定日期：\_\_\_\_\_

有效期至：\_\_\_\_\_

计量检定机构授权证书号：\_\_\_\_\_

地址：\_\_\_\_\_

传真：\_\_\_\_\_

电话：\_\_\_\_\_

邮编：\_\_\_\_\_

Email：\_\_\_\_\_

### 检定单位名称

证书编号: \_\_\_\_\_

检定依据	JJG (水利) 004—2015	
计量标准装置名称		
不确定度/准确度/最大允许误差		
社会公用计量标准证书	编号	
	有效期至	
计量标准装置溯源性	本次使用的计量标准的量值可溯源值国家基准	
检定地点		
环境条件	温度: _____ °C; 相对湿度: _____ %; 大气压力: _____ kPa	

### 检定结果

流量范围: ( ~ ) m<sup>3</sup>/h

示值误差: \_\_\_\_\_

重复性: \_\_\_\_\_ (几何检验法除外)

注:

1. 本证书检定结果仅对该计量器具有效。
2. 本证书未加盖检定专用章无效。
3. 下次检定时需出示此证书。

附录 C

检定结果通知书格式

检定单位名称

明渠堰槽流量计检定结果通知书

通知书编号：\_\_\_\_\_

送检单位：

计量器具名称：

型号/规格：

生产单位：

检定依据：JJG (水利) 004—2015

检定结论：

批准人：

检定员：

检定日期：\_\_\_\_\_

计量检定机构授权证书号：

地址：

传真：

电话：

邮编：

Email：

检定单位名称

通知书编号: \_\_\_\_\_

检定依据	JJG (水利) 004—2015	
计量标准装置名称		
不确定度/准确度/最大允许误差		
社会公用计量标准证书	编号	
	有效期至	
计量标准装置溯源性	本次使用的计量标准的量值可溯源值国家基准	
检定地点		
环境条件	温度: _____ °C; 相对湿度: _____ %; 大气压力: _____ kPa	

检定结果

流量范围: ( ~ ) m<sup>3</sup>/h

检定结果: \_\_\_\_\_

重复性: \_\_\_\_\_ (几何检验法除外)

不合格项目:

附录 D

薄壁堰堰板加工及安装要求

D.1 堰板加工要求

D.1.1 堰口顶面  $e$  为一平面，与堰板上游面相交处呈锐缘状态，若堰口锐缘处被磨圆，其圆弧半径  $r$  不应大于  $0.25\text{mm}$ 。

D.1.2 堰口顶面宽度为  $1\sim 2\text{mm}$ ，允许宽度不得超出  $0.8\sim 3.0\text{mm}$ 。

D.1.3 堰口表面加工粗糙度优于  $3.2$  且无毛刺和刮痕。

D.1.4 当堰板厚度大于堰口顶面宽度 ( $1\sim 2\text{mm}$ ) 时，超出堰口顶面宽度部分的下游面应加工成斜面。斜面与顶面夹角不得小于  $45^\circ$ ，斜面表面粗糙度同堰口表面粗糙度。

D.1.5 堰板迎水面为一平面，其表面上任意两点间的连线与垂直于轴线的平面之间的斜率应小于  $1\%$ 。

D.1.6 堰板上游面距堰顶  $20\sim 50\text{mm}$  范围内要求加工成光滑表面，表面粗糙度优于  $3.2$ ，在此范围内不宜有突出物，如采用螺栓安装堰板时，其螺栓突出物不得超出与堰板上游面成  $1:10$  坡度的斜面。堰板加工要求见图 D.1~图 D.3。

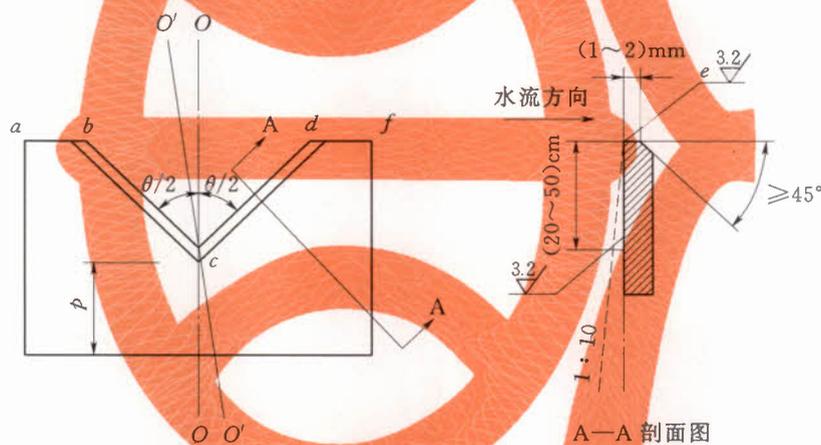


图 D.1 三角形薄壁堰加工及安装要求

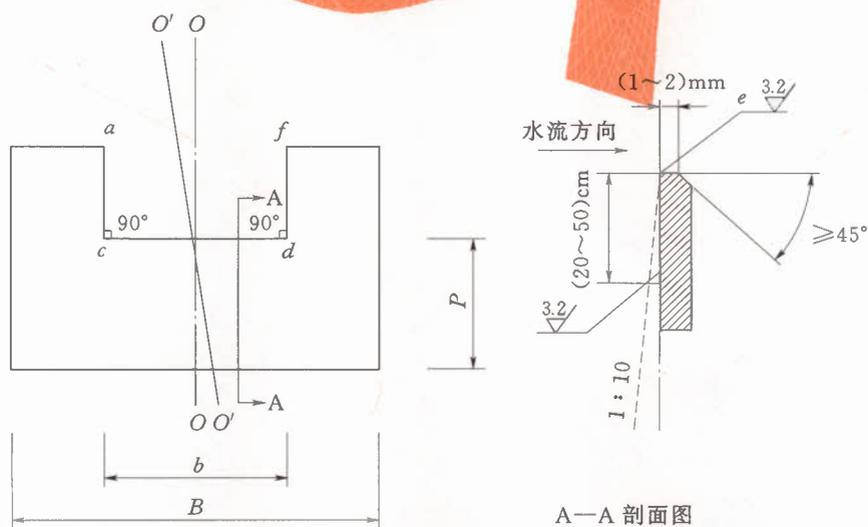


图 D.2 矩形缺口薄壁堰加工及安装要求

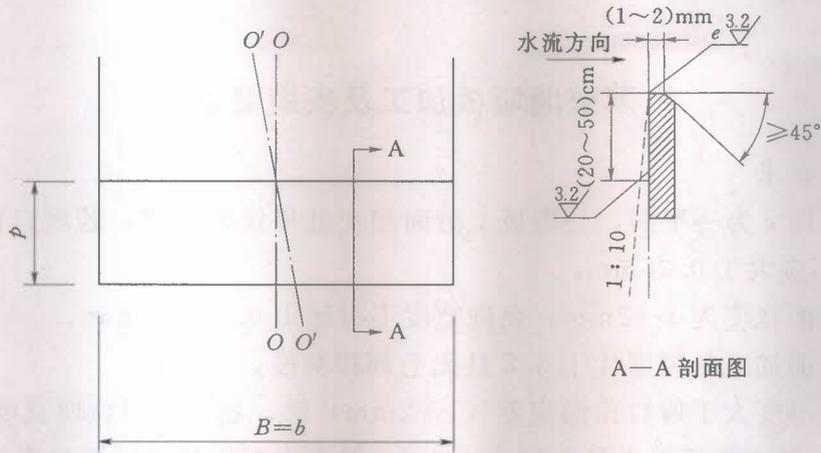


图 D.3 等宽薄壁堰加工及安装要求

D.2 安装要求

- D.2.1 堰板应垂直安装在顺直的、槽壁光滑的和渠底水平的矩形行近渠槽内。
- D.2.2 堰板立面与矩形行近渠槽水平轴线成  $90^\circ$ 。

## 附录 E

## 几何检验法不确定度分析

## E.1 薄壁堰

## E.1.1 薄壁堰不确定度

矩形薄壁堰，测流不确定度：

$$X_{Qr} = \pm \sqrt{X_c^2 + X_{be}^2 + 1.5^2 X_{he}^2}$$

对于三角形堰，测流不确定度：

$$X_{Qr} = \pm \sqrt{X_c^2 + X_{\tan\frac{\alpha}{2}}^2 + 2.5^2 X_{he}^2}$$

式中：

- $X$  —— 不确定度，%；
- $X_Q$  —— 流量计算值不确定度，%；
- $X_c$  —— 流量系数的不确定度，%；
- $X_{be}$  —— 矩形堰有效宽度的不确定度，%；
- $X_{\tan\frac{\alpha}{2}}$  —— 三角形堰堰口角度的不确定度，%；
- $X_{he}$  —— 有效水头的不确定度，%。

$b_e$  的不确定度如下式：

$$X_{be} = \pm \frac{100 \sqrt{e_b^2 + e_{kb}^2}}{b}$$

式中：

- $e_b$  —— 测量宽度的不确定度；
- $e_{kb}$  —— 宽度改正系数的不确定度；
- $h_e$  —— 的不确定度如下式：

$$X_{he} = \pm \frac{100 \sqrt{e_h^2 + e_{h0}^2 + e_{kh}^2 + (2s_{\bar{h}})^2}}{h}$$

式中：

- $e_h$  —— 测量水头的不确定度，%；
- $e_{h0}$  —— 水尺零点的不确定度，%；
- $e_{kh}$  —— 水头改正系数的不确定度，%；
- $2s_{\bar{h}}$  ——  $n$  次水头读数的平均值的 uncertainty，%。

$\tan \frac{\alpha}{2}$  的不确定度的计算，取决于所采用的测量方法。例如： $\tan \frac{\alpha}{2}$  可以用堰口项宽  $b_t$  的  $1/2$  和堰口的垂直商度  $h_t$  的商来确定。在  $b_t$  和  $h_t$  的测量中有关的误差用  $e_{bt}$ ， $e_{ht}$  表示，则  $\tan \frac{\alpha}{2}$  的不确定度为：

$$X_{\tan\frac{\alpha}{2}} = \pm 100 \sqrt{\left(\frac{e_{ht}}{h_t}\right)^2 + \left(\frac{e_{bt}}{b_t}\right)^2}$$

对于那些不包含有效水头和有效宽度概念的流量公式,上述公式中的  $e_{ht}$  和  $e_{bt}$  应取为零。

### E.1.2 薄壁堰不确定度举例

#### E.1.2.1 矩形堰

下例说明在一次矩形堰的流量测量中各种不确定度的计算,矩形堰的情况是:  $b=0.30\text{m}$ ,  $P=0.20\text{m}$ ,  $h=0.080\text{m}$ , 连续 10 次水头读数的标准离差  $=0.05\text{mm}$ 。

a) 本计算中给出的不确定度:

流量系数  $X_c = \pm 1.5\%$

水头改正  $e_{kh} = \pm 0.30\text{mm}$

宽度改正  $e_{kb} = \pm 0.30\text{mm}$

b) 由使用者估算的不确定度:

水头  $e_h = 0.20\text{mm}$

水头测量零点  $e_{h0} = \pm 0.30\text{mm}$

标准差(水头)  $s_h = 0.05\text{mm}$

宽度  $e_b = \pm 0.50\text{mm}$

c) 计算的不确定度:

$b_e$  的不确定度为:

$$X_{b_e} = \pm \frac{100 \sqrt{0.50^2 + 0.30^2}}{300} = \pm 0.19\%$$

$h_e$  的不确定度为:

$$X_{h_e} = \pm \frac{100 \sqrt{0.50^2 + 0.30^2 + 0.30^2 + (2 \times 0.05)^2}}{80} = \pm 0.6\%$$

堰流量的总不确定度为:

$$X_{Q_r} = \pm \sqrt{1.50^2 + 0.19^2 + 2.25^2 + 2.25 \times 0.6^2} = \pm 1.76\%$$

#### E.1.2.2 三角形堰

下例说明在一次三角形堰的流量测量中总的不确定度的计算。三角形堰的情况如下:  $a = \pi/2$  ( $90^\circ$ ),  $p = 0.30\text{m}$ ,  $h = 0.121\text{m}$ , 连续 15 次水头读数的标准离差  $= 0.03\text{mm}$ , 堰口角根据堰口上部宽度  $b_1$  和垂直高度  $h_1$  的测量值来定。

a) 本计算中给出的不确定度:

流量系数  $X_c = \pm 1.0\%$

水位改正  $X_{kh} = \pm 0.30\text{mm}$

b) 使用者估算的不确定度:

水头  $e_h = \pm 0.10\text{mm}$

水头测量零点  $e_{h0} = \pm 0.10\text{mm}$

标准差(水头)  $s_h = 0.03\text{mm}$

堰口宽度  $e_{bt} = \pm 0.50\text{mm}$

堰口高度  $e_{ht} = 1.0\text{mm}$

c) 计算的不确定度:

$\tan \frac{\alpha}{2}$  的不确定度为:

$$X_{\tan \frac{\alpha}{2}} = \pm 100 \sqrt{\left(\frac{1.0}{220}\right)^2 + \left(\frac{0.5}{440}\right)^2} = 0.47\%$$

$h_e$  的不确定度为:

$$X_{h_e} = \pm \frac{100 \sqrt{0.10^2 + 0.10^2 + 0.30^2 + (2 \times 0.03)^2}}{21} = \pm 0.28\%$$

堰流的总不确定度 (95% 的置信水平) 为:

$$X_{Qr} = \pm \sqrt{1.0^2 + 0.47^2 + 6.25 \times 0.28^2} = \pm 1.31\%$$

## E.2 宽顶堰

### E.2.1 矩形宽顶堰

流量的百分率随机不确定度  $X'_Q$  可按下式计算:

$$X'_Q = \pm (X'^2_c + X'^2_b + 2.25 X'^2_h)^{1/2}$$

$$X'_b = \frac{e_b}{b} \times 100$$

式中:

$X'_c$  ——  $C_D C_v C_{dr}$  的百分率随机不确定度, %;

$X'_b$  ——  $b$  的百分率随机不确定度, %;

$X'_h$  ——  $h$  的百分率随机不确定度, %;

$e_b$  —— 宽度测量的随机不确定度, %;

${}_1 X'_h$ 、 ${}_2 X'_h$ 、... —— 水头测量的百分率随机不确定度, %。

流量的系统不确定度  $X''_Q$  由下式计算:

$$X''_Q = \pm (X''^2_c + X''^2_b + 2.25 X''^2_h)^{1/2}$$

$$X''_h = \pm ({}_1 X''^2_c + {}_2 X''^2_h + \dots)^{1/2}$$

式中:

$X''_c$  ——  $C_D C_v C_{dr}$  的百分率系统不确定度, %;

$X''_b$  ——  $b$  的百分率系统不确定度, %;

$X''_h$  ——  $h$  的百分率系统不确定度, %;

${}_1 X''_h$ 、 ${}_2 X''_h$ 、... —— 水头测量的百分率系统不确定度, %。

将随机的和系统的的不同度合并, 得出总不确定度  $X_Q$ :

$$X_Q = \pm (X'^2_Q + X''^2_Q)^{1/2}$$

### E.2.2 矩形宽顶堰不确定度举例

下面是在自由流条件下, 在矩形河槽上应用梯形宽顶堰进行单次测流的流量及其不确定度计算的例子。堰是由上游坡度  $Z_1=2$  和下游坡度  $Z_2=3$  所构成的。行近槽河底以上的堰顶高度  $h_p$  为 1m, 实测水头  $h$  为 0.67m。堰顶宽度  $b$  和行近槽宽度  $b_1$  均为 10m。沿水流方向的堰项长度, 为 0.67m。采用浮子控制水位计。

对于  $Z_1=2$  和  $Z_2=3$ , 以及  $h/l$ , 值为  $l$  的堰, 从图 E.1 或表 E.1 可查得流量系数  $C_D$  为 1.054。行近流速系数  $C_v$  值为:

$$C_v = \left[ 1 + \frac{4}{27} C_v^2 \left( \frac{C_D b h}{A} \right)^2 \right]^{3/2}$$

可得出 1.041。对于自由流, 淹没流系数  $C_{dr}$  取作 1。

应用公式:

$$Q = \left( \frac{2}{3} \right)^{3/2} \times 1.054 \times 1.041 \times \sqrt{g} \times 0.67^{3/2} = 10.26 \text{ m}^3/\text{s}$$

系数值  $C=C_D C_v C_{dr}$ , 的百分率不确定度为:

$$X'_c = \pm 0.5\%$$

$$X'_c = \pm 4\%$$

如果假定对宽度作过多次测量, 则其不确定度的随机分量可忽略不计。在这种情况下, 宽度测量的系统不确定度可假定为 0.01m。

从而:

$$X'_b = 0$$

$$X''_b = 0.01/10 \times 100 = \pm 0.1\%$$

和水头测量设备有关的不确定度的量值, 与所用的特定设备有关。已经证明水位测量零点可准确定位到  $\pm 0.003\text{m}$ 。这是一个系统不确定度, 在零点调整之前, 真零的大小和符号是不变的, 不存在与零点有关的随机不确定度。因此:

$${}_1 X'_h = 0$$

$${}_1 X''_h = \pm 0.003/0.67 \times 100 = \pm 0.45\%$$

有关不同类型的水位观测设备的不确定度, 可以在控制条件下进行细致的试验来确定。不确定度的随机分量通过对某一给定的水位进行一系列的观读来确定。然而, 为了把这一不确定度同其他来源的不确定度区别开来, 这些试验往往必须在水位上涨 (或下落) 的过程中进行。

对本例中所用的设备, 水位测量的不确定度的随机分量可近似地取作  $\pm 0.001\text{m}$ 。对诸如由于仪器的室转、纸带的拉伸等原因所造成的水位测量出现系统的不确定度, 只要可能, 应加以改正, 但给定类型设备的控制性试验将会指出剩余系统的不确定度的大小。在这种情况下, 在使用浮子控制水位仪的地方, 这个值可近似地取作  $\pm 0.0025\text{m}$ 。

从而:

$${}_2 X'_h = 0.01/0.67 \times 100 = \pm 0.15\%$$

$${}_2 X''_h = 0.0025/0.67 \times 100 = \pm 0.37\%$$

按下面方法可将各个不确定度合并得出流量的总不确定度。

假定  $X'_m$  可忽略不计, 则水位测量的不确定度为:

$$X'_h = \pm ({}_1 X'^2_h + {}_2 X'^2_h)^{1/2} = (0 + 0.15^2)^{1/2} = \pm 0.15\%$$

$$X''_h = \pm ({}_1 X''^2_h + {}_2 X''^2_h)^{1/2} = (0.45^2 + 0.37^2)^{1/2} = \pm 0.58\%$$

流量测验总的随机百分率不确定度为:

$$X'_Q = \pm (X'^2_c + X'^2_b + 2.25 X'^2_h)^{1/2} = \pm (0.5^2 + 0 + 2.25 \times 0.15^2)^{1/2} = \pm 0.55\%$$

流量测验总的系统百分率不确定度为：

$$X''_Q = \pm (X''_c{}^2 + X''_b{}^2 + 2.25X''_h{}^2)^{1/2} = \pm (4^2 + 0.1 + 2.25 \times 0.58)^{1/2} = \pm 4.1\%$$

为了便于简化表示，用平方和再开方的法则可将随机不确定度和系统不确定度合并：

$$X_Q = \pm (X'_Q{}^2 + X''_Q{}^2)^{1/2} = \pm (0.55^2 + 4.1^2)^{1/2} = 4.1\%$$

因此，流量  $Q$  可记作  $10.26\text{m}^3/\text{s} \pm 4.1\%$  或  $10.26\text{m}^3/\text{s} \pm 0.42\text{m}^3/\text{s}$ 。

表 E.1 流量系数  $C_D$  的变化

$h/l$	对于下列坡度组合的流量系数 $C_D$					
	$z_1=1, z_2=5$	$z_1=2, z_2=2$	$z_1=2, z_2=3$	$z_1=2, z_2=5$	$z_1=3, z_2=3$	$z_1=3, z_2=5$
0.1	0.908	0.936	0.936	0.936	0.946	0.946
0.2	0.920	0.952	0.952	0.952	0.963	0.963
0.3	0.920	0.964	0.964	0.964	0.974	0.974
0.4	0.938	0.974	0.974	0.974	0.984	0.984
0.5	0.949	0.985	0.985	0.985	0.992	0.992
0.6	0.962	1.000	0.999	0.998	1.003	1.003
0.7	0.976	1.018	1.014	1.012	1.014	1.012
0.8	0.988	1.036	1.029	1.025	1.028	1.022
0.9	1.002	1.052	1.042	1.035	1.041	1.032
1.0	1.014	1.066	1.054	1.046	1.054	1.042
1.1	1.026	1.080	1.067	1.056	1.066	1.050
1.2	1.038	1.094	1.080	1.066	1.076	1.058
1.3	1.049	1.106	1.092	1.076	1.086	1.064
1.4	1.060	1.120	1.102	1.085	1.096	1.071
1.5	1.072	1.130	1.112	1.092	1.103	1.078
1.6	1.082	1.140	1.121	1.098	1.110	1.084
1.7	1.090	1.150	1.130	1.104	1.116	1.090
1.8	1.098	1.158	1.138	1.109	1.122	1.096
1.9	1.103	1.165	1.145	1.114	1.128	1.102
2.0	1.108	1.173	1.152	1.119	1.133	1.106
2.1	1.113	1.180	1.158	1.123	1.138	1.110
2.2	1.116	1.187	1.164	1.127	1.142	1.114
2.3	1.119	1.194	1.168	1.130	1.146	1.116
2.4	1.121	1.200	1.171	1.133	1.149	1.120
2.5	1.124	1.206	1.174	1.136	1.152	1.122
2.6	1.126	1.212	1.176	1.139	1.156	1.126
2.7	1.128	1.216	1.178	1.140	1.160	1.128
2.8	1.130	1.220	1.181	1.142	1.164	1.132
2.9	1.132	1.222	1.183	1.143	1.166	1.134
3.0	1.134	1.224	1.185	1.144	1.168	1.135

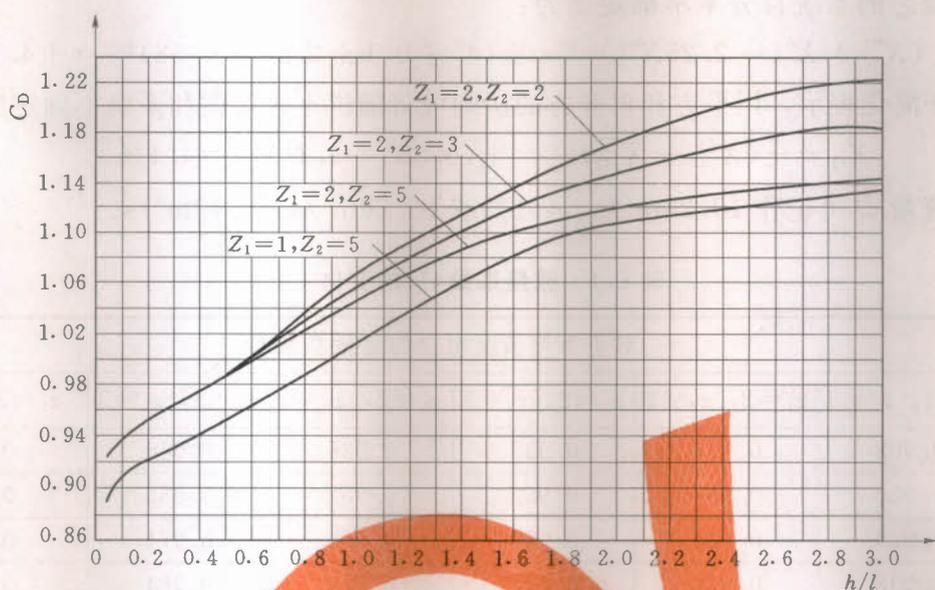


图 E.1 对于  $Z_1=1$  和  $Z_2=2$  的流量系数的变化

### E.2.3 圆缘宽顶堰

流量随机不确定度  $X'_Q$  由下式计算:

$$X'_Q = \pm \sqrt{X'_c{}^2 + X'_b{}^2 + 1.5^2 X'_h{}^2}$$

式中:

$X'_c$  ——  $C_D$  的随机百分不确定度, %;

$X'_b$  ——  $b$  的随机百分不确定度, %;

$X'_h$  ——  $h$  的随机百分不确定度, %。

$$X'_b = 100e_b/b$$

$$X'_h = \pm ({}_1X'_h{}^2 + {}_2X'_h{}^2 + \dots + X'_m{}^2)^{1/2}$$

式中:

$e_b$  —— 宽度测量的随机不确定度, %;

${}_1X'_h$ 、 ${}_2X'_h$ 、 $\dots$  —— 水头观测随机百分不确定度, %;

$X'_m$  —— 在同一水位观测时的一组水头观测读数的均值的随机百分不确定度, %。

流量的系统不确定度可用下式计算:

$$X''_Q = \pm \sqrt{X''_c{}^2 + X''_b{}^2 + 1.5^2 X''_h{}^2}$$

式中:

$X''_c$  ——  $C_D$  的系统百分不确定度, %;

$X''_b$  ——  $b$  的系统百分不确定度, %;

$X''_h$  ——  $h$  的系统百分不确定度, %。

$$X''_h = \pm ({}_1X''_h{}^2 + {}_2X''_h{}^2 + \dots)^{1/2}$$

式中:

${}_1X'_h$ 、 ${}_2X'_h$ 、 $\dots$ ——水头观测系统百分不确定度，%。

将随机的和系统的不确定度合并，得出总不确定度  $X_Q$ ：

$$X_Q = \pm \sqrt{X'_Q{}^2 + X''_Q{}^2}$$

#### E. 2.4 圆缘宽顶堰不确定度举例

下面为测流堰的单个测流流量及其不确定度的计算例子。已知行近河槽河床以上的堰顶高为 1m，实测水头  $h=0.67\text{m}$ ，堰顶宽  $b=10\text{m}$ ，堰长  $L=2\text{m}$ 。十次连续水头观测读数的均值标准差  $S_{\bar{h}}=1\text{mm}$ 。

计算流量

确定流量系数  $C_D$  值：

$$\begin{aligned} C_D &= \left(1 - \frac{0.006L}{b}\right) \left(1 - \frac{0.003L}{h}\right)^{3/2} \\ &= \left(1 - \frac{0.006 \times 2}{10}\right) \left(1 - \frac{0.003 \times 2}{0.67}\right)^{3/2} \\ &= 0.9853 \end{aligned}$$

用图 E. 2 确定行进流速系数：

$$C_D b h / A = 0.9853 \times 10 \times 0.67 / (10 \times 1.67) = 0.395$$

上式得  $C_v = 1.038$

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \sqrt{g} C_D C_v b h^{3/2} = 1.705 \times 0.9853 \times 1.038 \times 10 \times 0.67^{3/2} = 9.65\text{m}^3/\text{s}$$

为了计算  $Q$  值的不确定度，需先计算流量系数不确定度（%）：

$$X'_c = \pm 1\%$$

$$X''_c = \pm (2 + 0.15L/h) = \pm (2 + 0.15 \times 2/0.67) = \pm 2.45\%$$

若假定取宽度的若干次测量值，则宽度测量的随机不确定度可忽略不计在这种情况下，假定宽度的系统不确定度为 0.01m。于是：

$$X'_b = 0$$

$$X''_b = \pm \frac{0.01}{10} \times 100\% = \pm 0.10\%$$

水头观测的不确定度与所用的特定仪器有关。如已证明，数字穿孔纸带自计仪器的零点设置可精确至  $\pm 3\text{mm}$ 。这是系统不确定度。由于零点设置误差，在未重新设置零点之前是没有随机不确定的度，因此，真正的零点值有相同的大小和符号。于是：

$${}_1X'_h = 0$$

$${}_1X''_h = \pm \frac{0.003}{0.67} \times 100\% = \pm 0.45\%$$

在一定的控制条件下，仔细试验，可以确定不同类型的水位观测仪的不确定度。取给定水位的多次观测值就可确定不确定度的随机部分。但是，要区别这种不确定与其他

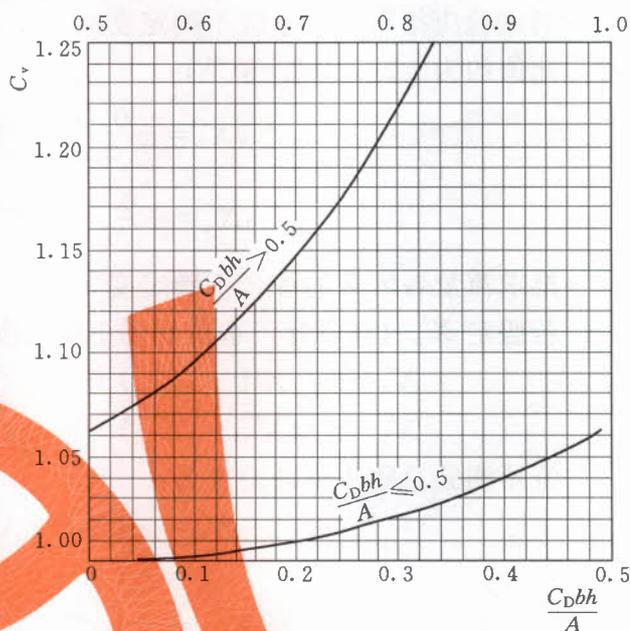


图 E. 2 行进流速系数  $C_v$

不确定度的不同来源,就必须在水位持续上涨(下落)时进行这种试验。本实例中所用的仪器,水位观测的随机不确定度为 $\pm 1\text{mm}$ 。水位观测的系统不确定度是因(刻划)间距、穿孔纸带的拉伸等原因产生的。但是要尽可能给予修正。同时,对于给定类型仪器的控制试验应指明剩余系统不确定度的大小。在这种情况下,当使用数字穿孔自记仪器时,此值约为 $\pm 2.5\text{mm}$ 。于是,

$${}_2X'_h = \pm \frac{0.001}{0.67} \times 100\% = \pm 0.15\%$$

$${}_2X''_h = \pm \frac{0.0025}{0.67} \times 100\% = \pm 0.37\%$$

推求流量各因素的综合不确定度如下:

若假定 $X'_m$ 忽略不计,水位观测不确定度为:

$$X'_h = \pm ({}_1X'^2_h + {}_2X'^2_h)^{1/2} = \pm (0 + 0.15^2)^{1/2} = \pm 0.15\%$$

$$X''_h = \pm ({}_1X''^2_h + {}_2X''^2_h)^{1/2} = \pm (0.45^2 + 0.37^2)^{1/2} = \pm 0.58\%$$

流量测验总随机不确定度为:

$$\begin{aligned} X'_Q &= \pm (X'^2_c + X'^2_b + 1.5^2 X'^2_h)^{1/2} \\ &= \pm (1^2 + 0 + 2.25 \times 1.5^2)^{1/2} \\ &= \pm 1.02\% \end{aligned}$$

流量测验总系统不确定度为:

$$\begin{aligned} X''_Q &= \pm (X''^2_c + X''^2_b + 1.5^2 X''^2_h)^{1/2} \\ &= \pm (2.45^2 + 0.1^2 + 2.25 \times 0.58^2)^{1/2} \\ &= \pm 2.60\% \end{aligned}$$

为简化成一个简单的百分数,可用平方和方根规则综合随机和系统不确定度:

$$X_Q = \pm (X'^2_Q + X''^2_Q)^{1/2} = \pm (1.02^2 + 2.60^2)^{1/2} = \pm 2.79\%$$

因此,流量为 $9.56\text{m}^3/\text{s}$ ,综合不确定度为 $\pm 2.8\%$ ,随机不确定度为 $\pm 1.02\%$ 。

### E.3 三角形剖面堰

流量的偶然不确定度 $X'_Q$ 由下式计算:

$$X'_Q = \pm \sqrt{X'^2_c + X'^2_b + 1.5^2 X'^2_h}$$

式中:

$X'_c$ —— $C_v f C_D$ 的百分率偶然不确定度,%;

$X'_b$ —— $b$ 的百分率偶然不确定度,%;

$X'_h$ —— $h$ 的百分率偶然不确定度,%。

$$X'_b = 100 \times \frac{\epsilon_b}{b}$$

$$X'_h = \pm ({}_1X'^2_h + {}_2X'^2_h + \dots + X'^2_m)^{1/2}$$

式中:

$\epsilon_b$  ——宽度测量的偶然不确定度,%;

${}_1X'^2_h$ 、 ${}_2X'^2_h$ 、 $\dots$  ——水头测量的百分率偶然不确定度,%;

$X'_m$  ——平均值的百分率偶然不确定度,%;但要求一系列水头测量值

是在恒定水位下读得的。

流量的系统不确定度  $X''_Q$  由下式计算：

$$X''_Q = \pm \sqrt{X''_c{}^2 + X''_b{}^2 + 1.5^2 X''_h{}^2}$$

式中：

$X''_c$ —— $C_v f C_D$  的百分率系统不确定度，%；

$X''_b$ —— $b$  的百分率系统不确定度，%；

$X''_h$ —— $h$  的百分率系统不确定度，%。

$$X''_h = \pm ({}_1 X''_h{}^2 + {}_2 X''_h{}^2 + \dots)^{1/2}$$

式中：

${}_1 X''_h$ 、 ${}_2 X''_h$ 、 $\dots$ ——水头测量的百分率系统不确定度，%。

将随机的和系统的不确定度合并，得出总不确定度  $X_Q$ ：

$$X_Q = \pm \sqrt{X''_Q{}^2 + X''_Q{}^2}$$

三角形剖面堰不确定度举例如下。

### E. 3.1 例 1

下面列出的是用三角形剖面堰在非淹没流情况下单次测流的流量及其不确定度计算的例子。在行近槽河床以上的堰顶高  $p$  为 1m，测得水头为 0.67m，堰顶宽  $b$  和行近槽  $B$  两者均为 10m。采用数字凿孔纸带式的自记水位计。

计算流量，因为测得水头大于 0.1m，故  $C_D = 1.163$ 。在非淹没流时，淹没流折减系数等于 1。

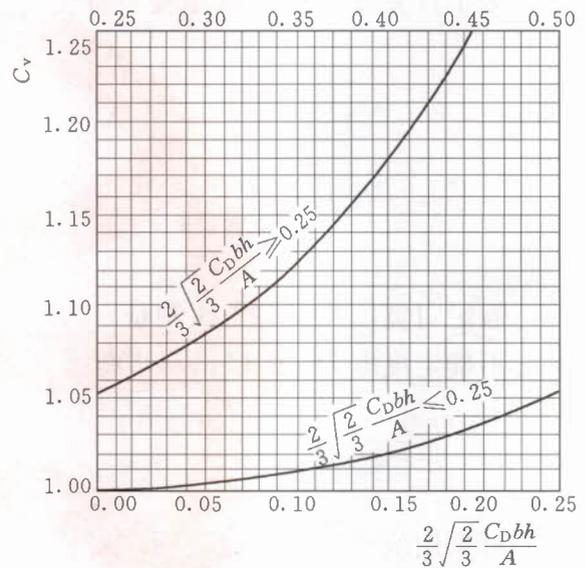


图 E.3 行进流速  $C$ 。

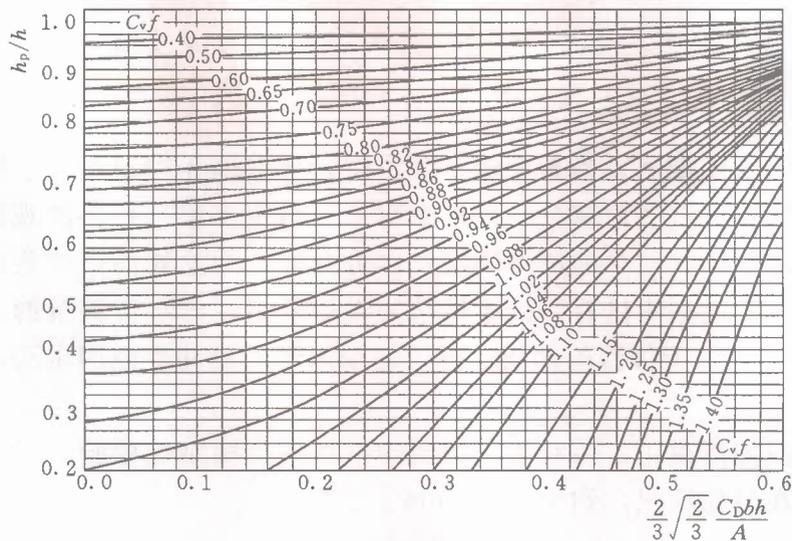


图 E.4 淹没流时的  $C_v f$

为了由图 E.3 查  $C_v$ , 必须计算  $2/3\sqrt{2/3}C_Dbh/A$ ,  $A$  是行近槽的断面面积。在这种情况下,  $A = B(h+P) = 10(0.67+1) = 16.7\text{m}^2$ 。

于是:

$$2/3\sqrt{2/3}C_Dbh/A = 2/3\sqrt{2/3} \times 1.163 \times 10 \times 0.67/16.7 = 0.254$$

从而由图 E.3 查得  $C_v = 1.054$ 。

用公式

$$\begin{aligned} Q &= \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} C_D C_v f \sqrt{g} b h^{3/2} \\ &= (2/3)^{3/2} \times 1.163 \times 1.054 \times 1 \times \sqrt{9.81} \times 10 \times 0.67^{3/2} \\ &= 11.46\text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

为了计算  $Q$  值的不确定度, 首先要确定系数值的不确定度:

$$X'_c = \pm 0.5\%$$

$$\begin{aligned} X''_c &= \pm \left( \frac{10C_v}{f} - 9 \right) \\ &= \pm \left( \frac{10 \times 1.054}{1} - 9 \right) \\ &= \pm 1.54\% \end{aligned}$$

假定对宽度作过若干次测量, 其不确定度的偶然部分可忽略不计。在长度测量中的系统不确定度取为  $\pm 0.01\text{m}$ , 从而:

$$X'_b = 0$$

$$X''_b = \pm \frac{0.01}{10} \times 100 = \pm 0.1\%$$

对采用的设备, 已经证明, 可使水尺零点的定位准确到  $\pm 3\text{mm}$  以内。这就是系统不确定度; 然而, 不确定度的大小与使用的设备有关。在零点定位的误差里, 不存在偶然不确定度, 因为在零点调整以前, 偏离真值的大小和符号是不变的。因此:

$${}_1X'_h = 0$$

$${}_1X''_h = \frac{0.003}{0.67} \times 100 = 0.45\%$$

与不同类型的水位观测设备有关的不确定度, 可根据在控制条件下所做的细致韵试验来确定。不确定度的偶然性部分, 可根据对某一给定水位进行多次观读来确定。为了把这一偶然不确定度同其他来源的不确定度区分开来, 无论如何, 这些试验一定要在逐渐上涨(或下落)的过程中进行。由于使用的设备所引起的水位测量的不确定度的偶然性成分约为  $\pm 1\text{mm}$ 。由于仪器的无效运行、记录纸带的延伸等原因也会造成水位测量的系统不确定度。

如有可能, 应加以改正。但对给定类型的设备进行控制性检验, 可以指出残余系统不确定度的量。在目前情况, 约为  $\pm 2.5\text{mm}$ 。于是:

$${}_2X''_h = \pm \frac{0.001}{0.67} \times 100 = \pm 0.15\%$$

$${}_2X''_h = \pm \frac{0.0025}{0.67} \times 100 = \pm 0.37\%$$

可按下述将各个不确定度合并得流量的总不确定度。

假定  $X'_m$  可忽略不计, 则水位测量的不确定度:

$$X'_h = \pm ({}_1X'^2_h + {}_2X'^2_h)^{1/2} = \pm (0 + 0.15^2)^{1/2} = \pm 0.15\%$$

$$X''_h = \pm ({}_1X''^2_h + {}_2X''^2_h)^{1/2} = \pm (0.45^2 + 0.37^2)^{1/2} = \pm 0.58\%$$

流量测验总随机不确定度为:

$$\begin{aligned} X'_Q &= \pm (X'^2_c + X'^2_b + 1.5^2 X'^2_h)^{1/2} \\ &= \pm (0.5^2 + 0.1^2 + 2.25 \times 0.15^2)^{1/2} \\ &= \pm 0.55\% \end{aligned}$$

流量测验总系统不确定度为:

$$\begin{aligned} X''_Q &= \pm (X''^2_c + X''^2_b + 1.5^2 X''^2_h)^{1/2} \\ &= \pm (1.45^2 + 0.1^2 + 2.25 \times 0.58^2)^{1/2} \\ &= \pm 1.77\% \end{aligned}$$

为简化成一个简单的百分数, 可用平方和方根规则综合随机和系统不确定度:

$$X_Q = \pm (X'^2_Q + X''^2_Q)^{1/2} = \pm (0.55^2 + 1.77^2)^{1/2} = \pm 1.85\%$$

流量  $Q$  可记作  $11.46\text{m}^3/\text{s} \pm 1.85\%$ ;

偶然不确定度  $= \pm 0.55\%$ 。

### E.3.2 例2

下面列出的是用三角形剖面堰在淹没流情况下单次测流的流量及其不确定度计算的例子。堰项高  $p$  为  $1\text{m}$ , 水位  $h$  为  $2.2\text{m}$ , 堰项导水孔水头  $h_p$  为  $1.7\text{m}$ 。堰项宽  $b$  和行近槽宽  $B$  两者均为  $10\text{m}$ 。使用与前例相同的凿孔纸带式自记水位计。

因为测得水头大于  $0.1\text{m}$ , 所以,  $C_D = 1.163$ 。

为了由图 E.4 查  $C_v f$ , 必须计算  $2/3 \sqrt{2/3} C_D b h / A$  和  $h_p / h$ 。

$$A = 10(2.2 + 1) = 32\text{m}^2$$

于是  $2/3 \sqrt{2/3} C_D b h / A = 2/3 \sqrt{2/3} \times 1.163 \times 10 \times 2.2 / 32 = 0.436$

又  $h_p / h = 1.7 / 2.2 = 0.773$ 。

于是由图 E.4 查得  $C_v f = 0.88$ 。

使用公式:

$$\begin{aligned} Q &= \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} C_D C_v f \sqrt{g} b h^{3/2} \\ &= (2/3)^{3/2} \times 1.163 \times 0.88 \times \sqrt{9.81} \times 10 \times 2.2^{3/2} \\ &= 56.94\text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

系数值的不确定度计算如下:

$$X'_c = \pm 0.5\%$$

查表, 按  $h_p / h = 0.773$  和  $2/3 \sqrt{2/3} C_D b h / A = 2/3 \sqrt{2/3} \times 1.163 \times 10 \times 2.2 / 32 = 0.436$ , 由内插法近似地得:

$$X'_c = \pm 7.6\%$$

E.3.3 如同前例:

$$X'_b = 0$$

$$X''_b = \pm 0.1\%$$

假定水尺零点的设置能准确至 $\pm 3\text{mm}$ 的范围内:

$${}_1X'_h = 0$$

$${}_1X''_h = \pm \frac{0.003}{2.2} \times 100 = \pm 0.14\%$$

采用如同前例水位设备使用中的相同的不确定度:

$${}_2X''_h = \pm \frac{0.001}{2.2} \times 100 = \pm 0.045\%$$

$${}_2X''_h = \pm \frac{0.0025}{2.2} \times 100 = \pm 0.11\%$$

假设 $X'_m$ 忽略不计,水位测量的综合不确定度为:

$$X'_h = \pm ({}_1X'^2_h + {}_2X'^2_h)^{1/2} = \pm (0 + 0.45^2)^{1/2} = \pm 0.05\%$$

$$X''_h = \pm ({}_1X''^2_h + {}_2X''^2_h)^{1/2} = \pm (0.14^2 + 0.11^2)^{1/2} = \pm 0.18\%$$

流量测验总的偶然不确定度:

$$\begin{aligned} X'_Q &= \pm (X'^2_c + X''^2_b)^{1/2} \\ &= \pm (0.5^2 + 0 + 2.25 \times 0.05^2)^{1/2} \\ &= \pm 0.51\% \end{aligned}$$

流量测量总的系统不确定度:

$$\begin{aligned} X''_Q &= \pm (X''^2_c + X''^2_b + 1.5^2 X''^2_h)^{1/2} \\ &= \pm (7.6^2 + 0.1^2 + 2.25 \times 0.18^2)^{1/2} \\ &= \pm 7.6\% \end{aligned}$$

为简化表示形式,偶然性和系统性不确定度可以合并为:

$$X_Q = \pm (0.51^2 + 7.61^2)^{1/2} = \pm 7.63\%$$

流量可以记作 $56.94\text{m}^3/\text{s} \pm 7.63\%$ 。

偶然不确定度为 $\pm 0.51\%$ 。

#### E.4 平坦V形堰

##### E.4.1 平坦V形堰不确定度计算

##### E.4.1.1 流量的不确定度,由下式给出:

$$X_Q = \pm \sqrt{X_{c,De}^2 + X_{c,v}^2 + X_{c,dr}^2 + X_m^2 + 6.25 X_{h,1e}^2}$$

式中:

$X_Q$ ——计算流量的百分比不确定度, %。

E. 4. 1. 2 流量不确定度对给定设备并非单一的数值，而是随流量变化的。包括所要求的不同流量测量范围的不确定度必须要考虑。

表 E. 2 建议的系数、限制和公差

平坦 V 形堰	堰横向坡度		
	1 : 40	1 : 20	1 : 10
a) $H_1/H_\Delta \leq 1, 0$			
非淹没流系数 $C_{De}$	0.625 <sup>a</sup>	0.620 <sup>a</sup>	0.615 <sup>a</sup>
水头校正系数 $k_h$	0.0004m	0.0005m	0.0008m
系数的不确定度 $X_{c,De}$	±3.0%	±3.2%	±2.9%
非淹没限	65%~75%	65%~75%	65%~75%
其他限制	$H'/p_1 \leq 2.5$ $H_1/p_2 \leq 2.5$	$H'/p_1 \leq 2.5$ $H'/p_2 \leq 2.5$	$H'/p_1 \leq 2.5$ $H'/p_2 \leq 2.5$
上游导水孔	$10H'$	$10H'$	$10H'$
b) $H_1/H' > 1, 0$			
非淹没流系数 $C_{De}$	0.630 <sup>a</sup>	0.625 <sup>a</sup>	0.620 <sup>a</sup>
水头校正系数 $k_h$	0.0004m	0.0005m	0.0008m
系数的不确定度 $X_{c,De}$	±2.5%	±2.8%	±2.3%
非淹没限	65%~75%	65%~75%	65%~75%
其他限制	$H'/p_1 \leq 2.5$ $H_1/p_2 \leq 8.2$	$H'/p_1 \leq 2.5$ $H_1/p_2 \leq 8.2$	$H'/p_1 \leq 2.5$ $H_1/p_2 \leq 4.2$
上游导水孔	$10H'$	$10H'$	$10H'$
a 在淹没流条件下计算分别基于： $C_{De}=0.631$ ， $C_{De}=0.629$ ， $C_{De}=0.620$ 。			
b 参见 9.5。			

表 E. 3 相对于  $h_{1c}/h'$  和  $H_{1c}/H'$  的  $Z_h$  和  $Z_H$  的估计

$h_{1c}/h'$ 或 $H_{1c}/H'$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0~0.9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
1.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999	0.999	0.999	0.998
1.1	0.998	0.997	0.996	0.996	0.995	0.994	0.993	0.992	0.991	0.990
1.2	0.989	0.987	0.986	0.985	0.984	0.982	0.981	0.979	0.978	0.976
1.3	0.974	0.973	0.971	0.969	0.968	0.966	0.964	0.962	0.960	0.958
1.4	0.956	0.954	0.952	0.950	0.948	0.946	0.944	0.942	0.940	0.938
1.5	0.936	0.934	0.932	0.929	0.927	0.925	0.923	0.921	0.918	0.916
1.6	0.914	0.912	0.909	0.907	0.905	0.903	0.900	0.896	0.898	0.895
1.7	0.891	0.889	0.887	0.884	0.882	0.880	0.877	0.875	0.873	0.871

表 E.3 相对于  $h_{1c}/h'$  和  $H_{1c}/H'$  的  $Z_h$  和  $Z_H$  的估计 (续)

$h_{1c}/h'$ 或 $H_{1c}/H'$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
1.8	0.868	0.866	0.864	0.861	0.859	0.857	0.855	0.852	0.850	0.848
1.9	0.846	0.843	0.841	0.839	0.837	0.834	0.832	0.830	0.828	0.825
2.0	0.823	0.821	0.819	0.817	0.814	0.812	0.810	0.808	0.806	0.804
2.1	0.801	0.799	0.797	0.795	0.793	0.791	0.789	0.787	0.784	0.782
2.2	0.780	0.778	0.776	0.774	0.772	0.770	0.768	0.766	0.764	0.762
2.3	0.670	0.758	0.756	0.754	0.752	0.750	0.748	0.746	0.744	0.742
2.4	0.740	0.738	0.736	0.734	0.732	0.731	0.729	0.727	0.725	0.723
2.5	0.721	0.719	0.717	0.716	0.714	0.712	0.710	0.708	0.707	0.705
2.6	0.703	0.701	0.699	0.698	0.696	0.694	0.692	0.691	0.689	0.687
2.7	0.685	0.684	0.682	0.680	0.679	0.677	0.675	0.674	0.672	0.670
2.8	0.669	0.667	0.665	0.664	0.662	0.661	0.659	0.657	0.656	0.654
2.9	0.653	0.651	0.649	0.648	0.646	0.645	0.643	0.642	0.640	0.639
3.0	0.637	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注释：由本表估计  $Z_h$  或者  $Z_H$ ，将  $h_{1c}/h'$  或者  $H_{1c}/H'$  合适数值插入第一列和第一行作为一个综合值，例如：相应于  $h_{1c}/h'=2.23$  的  $Z_h$  值，由水平行的 2.2 与垂直列的 0.03 的交叉点，因而  $Z_h=0.774$ 。

表 E.4 关于  $h'/p_1$  和  $h_{1c}/h'$  的  $C, Z_h$

$h_{1c}/h'$	$h'/p_1$												
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
0.05	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.15	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.20	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.25	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001
0.30	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001
0.35	1.000	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.001	1.001	1.002	1.002	1.002	1.002
0.40	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.001	1.002	1.002	1.002	1.002	1.003	1.003	1.003
0.45	1.000	1.000	1.001	1.001	1.002	1.002	1.003	1.003	1.003	1.004	1.004	1.004	1.005
0.50	1.000	1.001	1.001	1.002	1.002	1.003	1.004	1.004	1.004	1.005	1.005	1.006	1.006
0.55	1.000	1.001	1.001	1.002	1.003	1.004	1.005	1.005	1.006	1.007	1.007	1.008	1.008
0.60	1.000	1.001	1.002	1.003	1.004	1.005	1.006	1.007	1.008	1.009	1.009	1.010	1.011
0.65	1.000	1.001	1.003	1.004	1.005	1.006	1.008	1.009	1.010	1.011	1.012	1.013	1.013
0.70	1.001	1.002	1.003	1.005	1.007	1.008	1.010	1.011	1.012	1.013	1.015	1.016	1.017
0.75	1.001	1.002	1.004	1.006	1.008	1.010	1.012	1.013	1.015	1.016	1.018	1.019	1.020

表 E.4 关于  $h'/p_1$  和  $h_{1c}/h'$  的  $C, Z_h$  (续)

$h_{1c}/h'$	$h'/p_1$												
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
0.80	1.001	1.003	1.005	1.008	1.010	1.012	1.014	1.016	1.018	1.020	1.021	1.023	1.024
0.85	1.001	1.004	1.007	1.009	1.012	1.015	1.017	1.020	1.022	1.024	1.025	1.027	1.029
0.90	1.001	1.004	1.008	1.011	1.015	1.018	1.021	1.023	1.026	1.028	1.030	1.032	1.034
0.95	1.002	1.005	1.009	1.014	1.017	1.021	1.024	1.027	1.030	1.033	1.035	1.037	1.039
1.00	1.002	1.006	1.011	1.016	1.020	1.025	1.028	1.032	1.035	1.038	1.040	1.043	1.045
1.05	1.002	1.007	1.013	1.018	1.023	1.028	1.032	1.036	1.039	1.042	1.045	1.048	1.050
1.10	1.001	1.006	1.012	1.019	1.024	1.029	1.034	1.038	1.042	1.046	1.049	1.052	1.054
1.15	0.997	1.004	1.011	1.017	1.024	1.029	1.034	1.039	1.043	1.047	1.050	1.053	1.056
1.20	0.993	1.000	1.007	1.015	1.021	1.028	1.033	1.038	1.042	1.047	1.050	1.054	1.057
1.25	0.986	0.994	1.003	1.011	1.018	1.024	1.030	1.036	1.040	1.045	1.049	1.052	1.056
1.30	0.979	0.988	0.997	1.005	1.013	1.020	1.026	1.032	1.037	1.042	1.046	1.050	1.053
1.35	0.971	0.980	0.990	0.999	1.008	1.015	1.022	1.027	1.033	1.038	1.042	1.046	1.050
1.40	0.962	0.972	0.983	0.992	1.001	1.009	1.016	1.022	1.028	1.033	1.037	1.041	1.045
1.45	0.953	0.963	0.974	0.985	0.994	1.002	1.009	1.016	1.022	1.027	1.031	1.036	1.040
1.50	0.943	0.954	0.966	0.976	0.986	0.995	1.002	1.009	1.015	1.020	1.025	1.030	1.034
1.55	0.932	0.944	0.957	0.968	0.978	0.987	0.995	1.001	1.008	1.013	1.018	1.023	1.027
1.60	0.922	0.934	0.947	0.959	0.969	0.978	0.987	0.994	1.000	1.006	1.011	1.016	1.020
1.65	0.911	0.924	0.938	0.950	0.961	0.970	0.978	0.986	0.992	0.998	1.004	1.008	1.013
1.70	0.900	0.914	0.928	0.940	0.952	0.961	0.970	0.977	0.984	0.990	0.996	1.001	1.005
1.75	0.889	0.904	0.918	0.931	0.942	0.952	0.961	0.969	0.976	0.982	0.988	0.993	0.997
1.80	0.878	0.893	0.908	0.922	0.933	0.943	0.953	0.960	0.968	0.974	0.980	0.985	0.989
1.85	0.867	0.883	0.898	0.912	0.924	0.935	0.944	0.952	0.959	0.966	0.971	0.977	0.981
1.90	0.856	0.873	0.889	0.903	0.915	0.926	0.935	0.943	0.951	0.957	0.963	0.968	0.973
1.95	0.845	0.863	0.879	0.893	0.906	0.917	0.926	0.935	0.942	0.949	0.955	0.960	0.965
2.00	0.835	0.852	0.869	0.884	0.896	0.908	0.917	0.926	0.933	0.940	0.946	0.952	0.957
2.05	0.824	0.842	0.859	0.874	0.887	0.899	0.909	0.917	0.925	0.932	0.938	0.944	0.949
2.10	0.814	0.833	0.850	0.865	0.878	0.890	0.900	0.909	0.916	0.923	0.930	0.935	0.940
2.15	0.804	0.823	0.841	0.856	0.869	0.881	0.891	0.900	0.908	0.915	0.921	0.927	0.932
2.20	0.794	0.813	0.831	0.847	0.861	0.872	0.883	0.892	0.900	0.907	0.913	0.919	0.924
2.25	0.784	0.804	0.822	0.838	0.852	0.864	0.874	0.883	0.891	0.899	0.905	0.911	0.916
2.30	0.774	0.795	0.813	0.830	0.843	0.855	0.866	0.875	0.883	0.891	0.897	0.903	0.908
2.35	0.764	0.785	0.804	0.821	0.835	0.847	0.856	0.867	0.875	0.883	0.889	0.895	0.900
2.40	0.755	0.776	0.796	0.812	0.827	0.839	0.850	0.859	0.867	0.875	0.881	0.887	0.893
2.45	0.746	0.768	0.787	0.804	0.819	0.831	0.842	0.851	0.860	0.867	0.874	0.880	0.885
2.50	0.737	0.759	0.779	0.796	0.811	0.823	0.834	0.843	0.852	0.859	0.866	0.872	0.878

表 E.4 关于  $h'/p_1$  和  $h_{1e}/h'$  的  $C, Z_h$  (续)

$h_{1e}/h'$	$h'/p_1$												
	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6
2.55	0.728	0.751	0.771	0.788	0.803	0.815	0.826	0.836	0.844	0.852	0.859	0.863	0.870
2.60	0.720	0.742	0.763	0.780	0.795	0.808	0.819	0.828	0.837	0.844	0.851	0.857	0.863
2.65	0.711	0.734	0.755	0.772	0.787	0.800	0.811	0.821	0.829	0.837	0.844	0.850	0.856
2.70	0.703	0.726	0.747	0.765	0.780	0.793	0.804	0.814	0.822	0.830	0.837	0.843	0.849
2.75	0.695	0.719	0.740	0.757	0.772	0.785	0.797	0.806	0.815	0.823	0.830	0.836	0.842
2.80	0.687	0.711	0.732	0.750	0.765	0.778	0.790	0.799	0.805	0.816	0.823	0.829	0.835
2.85	0.679	0.703	0.725	0.743	0.758	0.771	0.783	0.792	0.801	0.809	0.816	0.822	0.828
2.90	0.671	0.696	0.718	0.736	0.751	0.764	0.776	0.786	0.795	0.802	0.809	0.816	0.822
2.95	0.664	0.689	0.711	0.729	0.744	0.758	0.769	0.779	0.788	0.796	0.803	0.809	0.815
3.00	0.657	0.682	0.704	0.722	0.738	0.751	0.762	0.773	0.781	0.789	0.796	0.803	0.809
3.05	0.649	0.675	0.697	0.716	0.731	0.744	0.756	0.766	0.775	0.783	0.790	0.797	0.802
3.10	0.642	0.668	0.690	0.709	0.725	0.738	0.750	0.760	0.769	0.777	0.784	0.790	0.796
3.15	0.636	0.662	0.684	0.703	0.718	0.732	0.743	0.754	0.763	0.771	0.778	0.784	0.790
3.20	0.629	0.655	0.678	0.696	0.712	0.726	0.737	0.748	0.757	0.765	0.772	0.778	0.784
3.25	0.622	0.649	0.671	0.690	0.706	0.720	0.731	0.742	0.751	0.759	0.766	0.773	0.779
3.30	0.616	0.643	0.665	0.684	0.700	0.714	0.725	0.736	0.745	0.753	0.760	0.767	0.773
3.35	0.610	0.637	0.659	0.678	0.694	0.708	0.720	0.730	0.739	0.747	0.755	0.761	0.767
3.40	0.603	0.631	0.653	0.672	0.688	0.702	0.714	0.724	0.733	0.742	0.749	0.756	0.762
3.45	0.597	0.625	0.648	0.667	0.683	0.696	0.708	0.719	0.728	0.736	0.744	0.750	0.756
3.50	0.591	0.619	0.642	0.661	0.677	0.691	0.703	0.713	0.723	0.731	0.738	0.754	0.751
3.55	0.586	0.613	0.637	0.656	0.672	0.686	0.697	0.708	0.717	0.726	0.733	0.740	0.746
3.60	0.580	0.608	0.631	0.650	0.666	0.680	0.692	0.703	0.712	0.720	0.728	0.735	0.741
3.65	0.574	0.602	0.626	0.645	0.661	0.675	0.687	0.698	0.707	0.715	0.723	0.730	0.736
3.70	0.569	0.597	0.620	0.640	0.656	0.670	0.682	0.692	0.702	0.710	0.718	0.725	0.731
3.75	0.563	0.592	0.615	0.635	0.651	0.665	0.677	0.687	0.697	0.705	0.713	0.720	0.726
3.80	0.558	0.587	0.610	0.630	0.646	0.660	0.672	0.683	0.692	0.701	0.708	0.715	0.722
3.85	0.553	0.582	0.605	0.625	0.641	0.655	0.667	0.678	0.687	0.696	0.704	0.711	0.717
3.90	0.548	0.577	0.600	0.620	0.636	0.650	0.662	0.673	0.683	0.691	0.699	0.706	0.712
3.95	0.543	0.572	0.596	0.615	0.632	0.646	0.658	0.668	0.678	0.687	0.694	0.701	0.708
4.00	0.538	0.567	0.591	0.611	0.627	0.641	0.653	0.664	0.674	0.682	0.690	0.697	0.704

## E.4.2 平坦 V 形堰不确定度举例

E.4.2.1 小流量的非淹没流 ( $h_{1e} < h'$ )

一个平坦 V 形堰，其堰顶横坡为 1 : 20.30。堰顶和行近槽的宽度均为 36m，上游河床平均高程在最低堰顶高程以下 0.82m。当上游实测水头为 0.621m 时，试计算其流量。10 次连续水头读数的平均值的标准差为 0.5mm，估算水尺零点的不确定度为

1mm。堰的基本尺寸连同估算的不确定度为：

$$\begin{aligned} m &= 20.30 (\pm 0.2\%) \\ B &= 36.00\text{m} (\pm 0.005\text{m}) \\ P_1 &= 0.82\text{m} (\pm 0.001\text{m}) \\ h_1 &= 0.621\text{m} (\pm 0.003\text{m}) \\ H' = h' &= 0.887\text{m} (\pm 0.001\text{m}) \end{aligned}$$

由表 E.2 得到合适的系数和水头校正值：

$$\begin{aligned} C_{De} &= 0.620 (\pm 3.2\%) \\ K_h &= 0.0005\text{m} (\pm 0.0002\text{m}) \end{aligned}$$

逐次近似法的解法如下。

适宜的流量公式为：

$$Q = 0.8 C_{De} \sqrt{g} m Z_H H_{1e}^{5/2}$$

式中： $h_{1e} = h_r - k_h = 0.6205\text{m}$ 。

$h_{1e} < h'$ ，因此，水流限定在 V 形口内，并且由表 E.3 得出  $Z_H = 1.000$

$$0.8 C_{De} \sqrt{g} m Z_H H_{1e}^{5/2} = 31.54\text{m}^{1/2}/\text{s}$$

于是， $Q = 31.54 H_{1e}^{5/2} \text{m}^3/\text{s}$ 。

断面面积  $A$  等于  $B(h_1 + p_1)$  为  $51.88\text{m}^2$ 。于是假设  $\alpha = 1.2$ ，流速水头则为：

$$\frac{\alpha \bar{v}_a^2}{2g} = \frac{\alpha Q^2}{2g B^2 (h_1 + p_1)^2} = \frac{Q^2}{44000}$$

由这些基本数值，表 E.5 给出了流量的计算。于是，流量为  $9.65\text{m}^3/\text{s}$ 。

表 E.5 非淹没流流量计算

近似次数	$\frac{\alpha \bar{v}_a^2}{2g}$ /m	$H_{1e} = h_{1e} + \frac{\alpha \bar{v}_a^2}{2g}$ /m	$Q$ / ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
第一次近似	0.0000	0.6205	9.57
第二次近似	0.0021	0.6227	9.65
第三次近似	0.0021	0.6227	9.65

流速系数法的解法如下。

适宜的流量方程为：

$$Q = 0.8 C_{De} C_v \sqrt{g} m Z_H h_{1e}^{5/2}$$

式中： $h_{1e} = h_1 - k_h = 0.6205\text{m}$ ； $C_{De} = 0.620$ ； $h'/p_1 = 1.08$ ； $h_{1e}/h' = 0.70$ 。

从表 E.4 得  $C_v Z_h = 1.008$ 。

于是流量公式给出流量为  $9.64\text{m}^3/\text{s}$ 。

计算流量的不确定度

由表 E. 2,  $X_{c,De} = \pm 3.20\%$

由公式  $X_{c,v} = 0.5h_1/p_1$ ,  $X_{c,v} = \pm 0.40\%$

由资料,  $X_m = \pm 0.20\%$

由公式

$$X_{h,1e} = \pm \frac{100\sqrt{e_{h,1}^2 + e_{h,1,0}^2 + e_{k,h}^2 + (2S_{h,1})^2}}{h_1} = \pm 0.53\%$$

由公式

$$X_{c,dr} = \pm 5(1 - C_{dr})\sqrt{1 + X_{h,1e}^2 + X_{h,pe}^2} = 0(\text{非淹没流})$$

由公式

$$X_Q = \pm \sqrt{X_{c,De}^2 + X_{c,v}^2 + X_{c,dr}^2 + X_m^2 + 6.25X_{h,1e}^2} = \pm 3.49\%$$

于是, 流量的不确定度 (95% 的置信水平) 为  $\pm 3.49\%$ 。

#### E. 4. 2. 2 大流量的淹没流

资料

一个平坦 V 形堰, 其堰项横坡为 1 : 10.1。堰顶和行近槽的宽度均为 25m, 上游河床平均高程在最低堰顶高程以下 0.56m。当上游和堰顶导水孔记录水头分别为 2.614 和 2.211m 时, 试计算其流量。5 次连续上游水头读数的平均值的标准差为 1.5mm, 估算水尺零点的不确定度为 2.0mm。5 次连续分离水头读数的平均值的标准差为 2.1mm, 估算水尺零点的不确定度也为 2.0mm。堰的基本尺寸连同估算的不确定度如下:

$$\begin{aligned} m &= 10.1 (\pm 0.20\%) \\ b &= 25.00\text{m} (\pm 0.004\text{m}) \\ p_1 &= 0.56\text{m} (\pm 0.002\text{m}) \\ h &= 2.614\text{m} (\pm 0.003\text{m}) \\ h_p &= 2.211\text{m} (\pm 0.003\text{m}) \\ H' = h' &= 1.238\text{m} (\pm 0.001\text{m}) \end{aligned}$$

由表 E. 2 得到合适的系数和水头校正值:

$$\begin{aligned} C_{De} &= 0.620\text{m} (\pm 2.900) \\ k_h &= 0.0008\text{m} (\pm 0.0002\text{m}) \end{aligned}$$

应用逐次近似法的解法

适宜的流量公式为:

$$Q = 0.8C_{De}C_v\sqrt{gm}Z_H h_{1e}^{5/2}$$

式中:

$$h_{1e} = h_1 - k_h = 2.6132\text{m}, \text{ 即 } 2.613\text{m}$$

$$h_{pe} = h_p - k_h = 2.2102\text{m}, \text{ 即 } 2.210\text{m}$$

$h_{1e} > h'$ , 于是水流高于 V 形堰整个堰口, 并且由表 E. 3 读取  $Z_H$

$$0.8C_{De}C_v\sqrt{gm} = 15.69\text{m}^{1/2}/\text{s}$$

于是:

$$Q = 15.69 C_{dr} Z_H H_{1e}^{5/2} \text{ m}^3/\text{s}$$

断面面积  $E$  等于  $B(h_1 + p_1)$  为  $79.35 \text{ m}^2$ 。于是假设  $\alpha = 1.2$ ，流速水头则为：

$$\frac{\alpha \bar{v}_a^2}{2g} = \frac{\alpha Q^2}{2gB^2(h_1 + p_1)^2} = \frac{Q^2}{102920}$$

表 E.6 给出了流量的计算过程。于是，流量为  $122.9 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

表 E.6 淹没流流量计算实例

近似次数	$\frac{\alpha \bar{v}_a^2}{2g}$ /m	$H_{1e} = h_{1e} + \frac{\alpha \bar{v}_a^2}{2g}$ /m	$h_{pe}/H_{1e}$	$C_{dr}$	$H_{1e}/H'$	$Z_H$	$Q$ / ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
第一次近似	0.000	2.613	0.845	0.746	2.110	0.799	103.2
第二次近似	0.103	2.716	0.814	0.786	2.194	0.781	117.1
第三次近似	0.133	2.746	0.805	0.796	2.218	0.776	121.1
第四次近似	0.142	2.755	0.802	0.799	2.225	0.775	122.4
第五次近似	0.146	2.759	0.801	0.800	2.229	0.774	122.8
第六次近似	0.147	2.760	0.801	0.800	2.229	0.774	122.9

流速系数法的解法  
适宜的流量方程为：

$$Q = 0.8 C_{De} C_v C_{dr} \sqrt{g m} Z_H h_{1e}^{5/2}$$

式中：

$$h_{1e} = h_1 - k_h = 2.6132 \text{ m}, \text{ 即 } 2.613 \text{ m}$$

$$h_{pe} = h_p - k_h = 2.2102 \text{ m}, \text{ 即 } 2.210 \text{ m}$$

$$C_{De} = 0.620; h_{1e}/h' = 2.210; h_{pe}/h_{1e} = 0.845;$$

$$h'/p_1 = 2.210$$

$$C_v C_{dr} = 0.870$$

$$Z_h = 0.799$$

$$h_{1e}^{5/2} = 11.037$$

递推流量方程给出流量  $120.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

计算流量的不确定度

$$X_{c, De} = \pm 2.90\%$$

$$X_{c, v} = \pm 2.11\%$$

由资料， $X_m = \pm 0.20\%$

由公式

$$X_{h, 1e} = \pm \frac{100 \sqrt{e_{h, 1}^2 + e_{h, 1, 0}^2 + e_{k, h}^2 + (2S_{\bar{h}, 1})^2}}{h_1} = \pm 0.16\%$$

由公式

$$X_{h,pe} = \pm \frac{100\sqrt{e_{h,p}^2 + e_{h,p,0}^2 + e_{k,h}^2 + (2S_{h,p})^2}}{h_p} = \pm 0.25\%$$

由公式

$$X_{c,dr} = \pm 5(1 - C_{dr}) \sqrt{1 + X_{h,1e}^2 + X_{h,pe}^2} = \pm 1.05\%$$

由公式

$$X_Q = \pm \sqrt{X_{c,De}^2 + X_{c,v}^2 + X_{c,dr}^2 + X_m^2 + 6.25X_{h,1e}^2} = \pm 3.77\%$$

因此, 流量的不确定度 (95%的置信度) 为  $\pm 3.77\%$ 。

## E.5 长喉道量水槽

### E.5.1 矩形喉道

- 测河槽的施工标准和表面光洁度;
- 流量系数公式的不确定度;
- 行近流速系数的不确定度;
- 安装条件的正确应用;
- 零点设置的不确定度;
- 测流槽几何形状测量的不确定度;
- 水头测量的精度。

若测流槽施工技术熟练, 仔细认真, 在顺利情况下, 例如  $C_D$  和  $C_v$  接近 1 时, 系数有可能到 1% 的不确定度。关于以百分率计的系数的组合不确定度 ( $X_c$ ) 的计算可由下式获得:

$$X_c = \pm [1 + 20(C_v - C_D)]$$

将其他误差来源引起的各种不确定度和系数的不确定度进行组合的方法。

### E.5.2 梯形喉道

E.5.2.1  $h$  的实际下限与流体性质和边界糙率影响的大小有关。建议采用的下限为 0.05m 或 0.05L, 采用其中较大的。

E.5.2.2  $h/L$  不应超过 0.50。对  $h/L$  的这个限制是因为要保证喉道临界断面的平行水流条件的需要而定的。 $H_{max}/L$  可容许提高至 0.67, 但要增加 2% 的系数不确定度。

E.5.2.3 行近河槽与喉道的面积比率最好应使其在任何流量时行近河槽的佛汝德数  $Fr$  都不超过 0.5。应在测流幅度的两端和中间流量用下式校核。

$$Fr_a = \bar{v}_a / \sqrt{(gA_a/W_a)}$$

E.5.2.4 在某些情况下 (如挟带可能沉积在行近河槽内的粗沙的地方), 有必要允许佛劳德数  $Fr$  增大到 0.6, 但因当佛劳德数  $Fr$  大时水面不平整, 水头测量和测流槽性能都不大可靠, 所以, 当  $0.6 > Fr > 0.5$  时允许增大 2% 的容许误差。

E.5.2.5 由于对过大过小的尺寸或几何形状未经充分试验证实而引起的其他限制:

- $b$  不应小于 0.1m。
- $h$  不应大于 2m。
- 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, 即无论在任何水面处都应当有收缩。

d) 喉道两侧斜边墙应连续向上延伸, 不能有坡度变化, 延伸高度应使喉道足以容纳需要测量的最大流量。

### E. 5. 3 U形喉道

- a) 测流槽的施工标准和表面光洁度;
- b) 流量系数公式的不确定度;
- c) 行近流速系数的不确定度;
- d) 安装条件的正确应用;
- e) 零点设置的不确定度;
- f) 测流槽几何形状测量的不确定度;
- g) 曲水头测量的精度。

对技术熟练精心施工的测流槽, 在顺利情况下, 例如  $C_D$  和  $C_v$  接近 1 时, 则基本公式和系数有可能达 1% 的不确定度。关于以百分率计的组合系数不确定度 ( $X_c$ ) 的计算可由下式求得:

$$X_c = \pm [1 + 20(C_v - C_D)]\%$$

### E. 5. 4 长喉槽不确定度举例

下面是不确定度公式应用的一个实例。在每种情况下, 各分量的不确定度 ( $X_c$ 、 $X_b$ 、 $X_h$  和  $X_m$ ) 可以取为 95% 置信水平的标准差 (%)。所以总不确定度  $X$  也具有 95% 置信水平。本假定水头是用数字穿孔纸带自记仪器观测的, 这种仪器具有 1mm 的分辨能力, 有  $\pm 3\text{mm}$  的不确定度 ( $\epsilon_h$ )。在每种情况下, 零点观测至  $\pm 1\text{mm}$  ( $\epsilon_z$ )。

本例假定恒定水头下一系列读数产生 1.5mm 的均值标准差。

矩形喉道测流槽, 其喉道宽度  $b=1.0\text{m}$ , 行近河槽宽度  $B=2.0\text{m}$ , 驼峰高度  $P=0.25\text{m}$ , 喉道长度  $L=3.0\text{m}$ 。宽度的不确定度可以取为  $\pm 2\text{mm}$ 。

一个给定水头 1.00m 的流量总不确定度计算如下:

$$h=1.00\text{m}$$

$$b/B=0.5$$

$$h/(h+p)=0.80$$

$$C_v=1.039$$

$$h/L=0.33$$

$$L/b=0.30$$

$$C_D=0.968$$

因此

$$X_c = \pm 2.4\%$$

$$X_h = \pm 0.44\%$$

$$X_b = \pm 0.2\%$$

$$X = \pm (2.42 + 0.22 + 1.52 \times 0.442)^{1/2} = \pm 2.5\%$$

### E. 6 巴歇尔槽和孔奈利槽

#### E. 6. 1 巴歇尔槽和孔奈利槽不确定度计算

流量的随机百分不确定度  $X'_Q$  用下式计算:

$$X'_Q = \pm \sqrt{X'^2_c + \gamma^2 X'^2_b + n^2 X'^2_{h_a}}$$

式中:

$X'_c$  ——流量系数  $C$  的随机百分不确定度, %;

$X'_b$  —— $b$  的随机百分不确定度, %;

$X'_{h_a}$  —— $h_a$  的随机百分不确定度, %;

$\gamma$ 、 $n$  ——分别为  $b$  和  $h$  的指数, 由测流槽的类型和尺寸确定。

流量的系统百分不确定度  $X''_Q$  可由下式计算:

$$X''_Q = \pm \sqrt{X''^2_c + \gamma^2 X''^2_b + n^2 X''^2_{h_a}}$$

式中:

$X''_c$  —— $c$  的系统百分不确定度;

$X''_b$  —— $b$  的系统百分不确定度;

$X''_{h_a}$  —— $h_a$  的系统百分不确定度。

将随机的和系统的不确定度合并, 得出总不确定度  $X_Q$ :

$$X_Q = \pm \sqrt{X'^2_Q + X''^2_Q}$$

### E. 6. 2 巴歇尔槽和孔奈利槽不确定度举例

E. 6. 2. 1 以下是一个在自由流状态下, 利用巴歇尔槽进行单次测流的流量计算及其不确定度计算的实例。喉道宽  $b=1.0\text{m}$ , 水头  $h_a=0.6\text{m}$ 。

E. 6. 2. 2 流量计算用公式:

$$\begin{aligned} Q &= 2.397 h_a \times 1.569 \\ &= 2.397 \times 0.6 \times 1.569 \\ &= 1.075 \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

E. 6. 2. 3 由于随机不确定度可以忽略不计, 因此流量  $Q$  的不确定度只与系统不确定度有关。

假定:  $X'_c=3\%$

E. 6. 2. 4 如果假定有若干个宽度测量值, 则宽度测量中的不确定度的随机部分可略去, 在这种情况下, 假定宽度测量的系统不确定度为  $0.01\text{m}$ , 由此

$$X'_b=0$$

$$X''_b = \pm \frac{0.01}{1.0} \times 100 = \pm 1\%$$

E. 6. 2. 5 与水头观测装置相联系的不确定度, 其值与所用的特定设备有关。现已证实, 水位记录器的水尺零点设置的精度为  $\pm 0.003\text{m}$ , 这是一种系统不确定度, 零点设置不存在随机不确定度, 因为在零点重新设置之前, 真实零点具有同一数值和符号。

所以有:

$$X'_{h_0}=0$$

$$X''_{h_0} = \pm \frac{0.1}{h_a} \times 100 = \pm \frac{0.01}{0.6} \times 100 = \pm 0.5\%$$

E. 6. 2. 6 有关的不同类型水位观测设备的不确定度，可以在控制条件下由严格测试来确定。不确定度的随机部分可在给定水位时列读数的办法确定。当然，为了把它与其他来源的不确定度区别开，有必要在水位持续上涨（或下落）时得出这些读数。对与本例所用的仪器设备，假定平均值的标准差为  $S_{\bar{h}} = 0.003\text{m}$ 。由于指示器的无效行程、纸带拉伸等使得水位观测产生系统不确定度，如果可能，应进行校正。为给定类型的仪器设备所进行的控制测试，可给出剩余的系统不确定度值。在这种情况下，当使用自记水位计时，该值近似地为  $0.0025\text{m}$ ，由此

$$S_{\bar{h}} = 0.003\text{m}$$

$$2S_{\bar{h}} = 0.006\text{m}$$

$$X'_{\bar{h}} = \pm 100 \times \frac{2S_{\bar{h}}}{h} = \pm 100 \times \frac{0.006}{0.6} = \pm 1\%$$

$$X'_{\text{h}} = \pm 100 \times \frac{0.0025}{0.6} = \pm 0.42\%$$

E. 6. 2. 7 为获得水头的总不确定度，各单个不确定度综合如下。

假定  $X'_{\text{ha}}$  略去不计，则水位观测的不确定度为：

$$\begin{aligned} X'_{\text{ha}} &= \pm \sqrt{X'^2_{\text{h}_0} + X'^2_{\text{h}}} \\ &= \pm \sqrt{(0 + 1^2)} \\ &= \pm 1\% \end{aligned}$$

以及

$$\begin{aligned} X''_{\text{ha}} &= \pm \sqrt{X''^2_{\text{h}_0} + X''^2_{\text{h}}} \\ &= \pm \sqrt{(0.5^2 + 0.42^2)} \\ &= \pm 0.65\% \end{aligned}$$

E. 6. 2. 8 为获得流量的总不确定度，各单个不确定度综合如下。

流量测验的总随机不确定度为：

$$X'_{\text{Q}} = \pm \sqrt{X'^2_{\text{c}} + \gamma^2 X'^2_{\text{b}} + n^2 X'^2_{\text{ha}}} = \pm 1.86\%$$

流量测验的总系统不确定度为：

$$X''_{\text{Q}} = \pm \sqrt{X''^2_{\text{c}} + \gamma^2 X''^2_{\text{b}} + n^2 X''^2_{\text{ha}}} = \pm 3.34\%$$

E. 6. 2. 9 为简化不确定度的表达，随机的和系统的不确定度用平方和再开平方根法综合如下：

$$X_{\text{Q}} = \pm \sqrt{X'^2_{\text{Q}} + X''^2_{\text{Q}}} = \pm 3.82\%$$

因此，流量  $Q$  为  $1.075\text{m}^3/\text{s} \pm 3.82\%$  或  $(1.034 \leq Q \leq 1.12) \text{m}^3/\text{s}$ 。

随机不确定度为  $\pm 1.86\%$ 。

## 水利水电技术标准咨询服务中心 中国水利水电出版社标准化出版分社

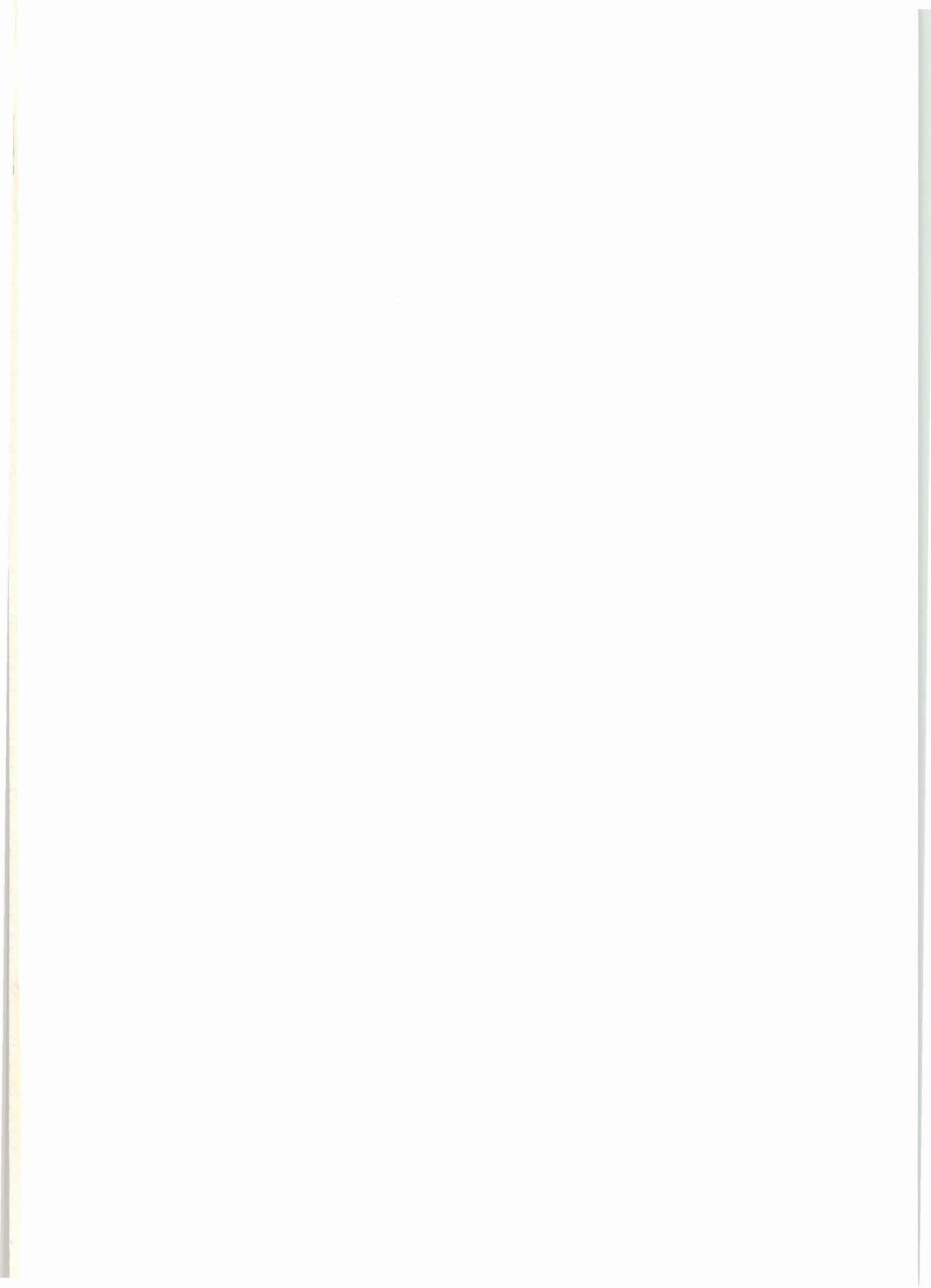
### 简介

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（中国水利水电出版社标准化出版分社）是水利部指定的行业标准出版、发行单位，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、发行及推广工作。

主任：王德鸿 010—68545951 电子邮件：wdh@waterpub.com.cn  
副主任：陈昊 010—68545981 电子邮件：hero@waterpub.com.cn  
主任助理：王启 010—68545982 电子邮件：wqi@waterpub.com.cn  
责任编辑：王丹阳 010—68545974 电子邮件：wdy@waterpub.com.cn  
章思洁 010—68545995 电子邮件：zsj@waterpub.com.cn  
覃薇 010—68545889 电子邮件：qwei@waterpub.com.cn  
刘媛媛 010—68545948 电子邮件：lyuan@waterpub.com.cn  
传 真：010—68317913





155170.221

JJG (水利) 004—2015

中华人民共和国水利部部门计量检定规程  
**明渠堰槽流量计计量检定规程**  
JJG (水利) 004—2015

\*

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

\*

210mm×297mm 16开本 6.5印张 196千字  
2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷

\*

书号 155170·221

定价 66.00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

版权所有·侵权必究

水利水电技术标准  
咨询服务中心



微信二维码,扫一扫  
信息更多、服务更快