



中华人民共和国国家标准

GB/T 21303—2017
代替 GB/T 21303—2007

灌溉渠道系统量水规范

Specifications for water measurement of irrigation canal system

2017-11-01 发布

2018-05-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 灌溉渠道系统量水站网布设	3
4.1 一般规定	3
4.2 测站布设	4
5 量水方法	4
5.1 量水方法	4
5.2 量水设施	4
6 量水基本要素	5
6.1 水位测量	5
6.2 流速测量	5
7 流速仪量水	6
7.1 一般规定	6
7.2 垂线布设	6
7.3 断面测量	7
7.4 流速测量	7
7.5 断面流量计算	8
8 标准断面量水	10
8.1 一般规定	10
8.2 水位流量关系及其率定	10
9 渠系建筑物量水	11
9.1 一般规定	11
9.2 涵闸量水	11
9.3 倒虹吸量水	14
9.4 跌水量水	15
9.5 渡槽量水	17
10 量水堰量水	18
10.1 一般规定	18
10.2 薄壁堰	18
10.3 量水槛	23
11 量水槽量水	26
11.1 一般规定	26
11.2 巴歇尔槽	26

11.3	矩形无喉段量水槽	28
11.4	抛物线形喉口量水槽	30
11.5	直壁式量水槽	33
11.6	机翼型量水槽	35
11.7	长喉道量水槽	36
12	仪表量水	39
12.1	一般规定	39
12.2	浮子式水位计	40
12.3	压力式水位计	40
12.4	超声波水位计	41
12.5	电子水尺	41
12.6	遥测水位计	41
12.7	水表	42
12.8	电磁流量计	43
12.9	超声波流量计	43
12.10	其他量水仪表	43
13	观测实施与资料整理	43
13.1	一般规定	43
13.2	量水工作要求	44
13.3	量水成果整理	44
13.4	量水设施维护	44
附录 A (规范性附录)	计量单位和符号	45
附录 B (资料性附录)	流速仪测流记录计算	46
附录 C (资料性附录)	流量测量不确定度估算	47
附录 D (规范性附录)	涵闸流量公式	54
附录 E (资料性附录)	涵闸流量系数	57
附录 F (规范性附录)	标准量水槛与抛物线性喉口量水槽尺寸、临界水深及流量公式系数表	59
附录 G (资料性附录)	长喉槽的设计与计算	62
附录 H (资料性附录)	其他量水仪表	78
	参考文献	79
图 1	测流断面面积划分示意图	9
图 2	明渠直立式单孔平板闸示意图	11
图 3	矩形暗涵直立式单孔平板闸示意图	12
图 4	圆形暗涵单孔平板闸	12
图 5	明渠矩形直立式多孔平板闸示意图	12
图 6	单孔平底弧形闸示意图	13
图 7	薄壁堰堰口锐缘加工图	18
图 8	三角形薄壁堰示意图	19
图 9	矩形薄壁堰示意图	20
图 10	梯形量水堰及其水流形态示意图	21

图 11	抛物线形移动式量水堰板的构造	23
图 12	量水槛纵横剖面示意图	24
图 13	C_d 与 h_1/L_1 之间的函数关系图	25
图 14	标准巴歇尔量水槽结构示意图	26
图 15	矩形无喉段量水槽结构示意图	28
图 16	自由流系数 K_1 与指数 n_1 关系曲线	29
图 17	抛物线形喉口量水槽示意图	30
图 18	直壁式量水槽结构图	34
图 19	机翼形量水槽结构示意图(梯形渠道)	35
图 20	梯形长喉槽示意图	37
图 21	测量处横断面及控制段的上游视图	39
图 22	C_v 和比值 $\sqrt{\alpha_1} C_D A^* / A_1$ 的函数关系	39
图 G.1	长喉槽的设计步骤	62
图 G.2	(表 G.2 附图)	67
图 G.3	(表 G.3 附图)	69
图 G.4	(表 G.4 附图)	71
图 G.5	长喉槽计算示意图(假定 $\alpha_1 = \alpha_c = \alpha_2 = 1.0$)	72
图 G.6	长喉槽非淹没限试算流程图	72
图 G.7	C_d 与 H_1/L 之间的函数关系图	73
图 G.8	函数关系图	73
图 G.9	试算法计算长喉槽流量流程图	76
表 1	垂线流速测点的分布位置	7
表 2	不同水深的测速方法	8
表 3	标准断面水位流量关系式率定误差限值	10
表 4	倒虹吸局部抗阻系数表	15
表 5	矩形和台堰式跌水口流量系数 M 表	16
表 6	梯形跌水流量系数 M 表	16
表 7	直角三角形量水堰结构尺寸	19
表 8	梯形薄壁量水堰几何尺寸关系	21
表 9	巴歇尔量水槽尺寸表	27
表 10	无喉段量水槽尺寸表	28
表 11	无喉段量水槽自由流系数和指数查用表	29
表 12	无喉段量水槽淹没流系数、指数和临界淹没度(S_c)查用表	30
表 13	U 形渠道参数与量水槽收缩比 ϵ 关系表(糙率 $n=0.015$)	31
表 14	不同渠道机翼形量水槽流量公式	36
表 15	水表计量特征表(计量等级 A 级)	42
表 A.1	计量单位和符号	45
表 B.1	流速仪测流记载及计算表	46
表 C.1	X'_m 取值表	48
表 C.2	X'_c 取值表	48
表 C.3	X'_p 取值表	48
表 C.4	X'_c 取值表	48

表 C.5	95%置信水平的 t 值表	50
表 C.6	X_c 的取值表	51
表 C.7	水头 h 及尺寸 b 的不确定度	52
表 C.8	矩形、梯形、U形渠道流量测验不确定度估算 γ 、 β 、 ψ 数值表	52
表 D.1	闸门全开水流形态下涵闸的流量计算公式	54
表 D.2	有闸控制水流形态下涵闸的流量计算公式	54
表 D.3	有压水流形态下涵闸流量计算公式	55
表 E.1	不同水流形态及不同翼墙类型涵闸的流量系数	57
表 E.2	在不同水流形态及不同翼墙类型闸涵的流量系数	57
表 E.3	涵、闸建筑物无闸淹没流淹没系数	58
表 F.1	各种量水槽参数和适用范围及标准量水槛流量系数	59
表 F.2	矩形和梯形渠道渠道量水槛临界水深计算表—— h_c/h_1 与渠道 m 及 h_1/B 的函数关系表	60
表 F.3	标准抛物线形喉口量水槽尺寸及流量公式系数表	61
表 G.1	长喉量水槽水位—流量关系	64
表 G.2	梯形控制断面 h_c/H_1 与 m 和 H_1/b_c 的函数关系	65
表 G.3	圆形断面宽顶堰长喉槽流量确定表	67
表 G.4	管内宽顶堰流量确定表	69

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 21303—2007《灌溉渠道系统量水规范》，与 GB/T 21303—2007 相比，除编辑性修改和准确性修改外，对原标准框架、结构进行了调整，其主要技术内容变化如下：

- 对术语和定义，修订为 30 条，其中保留完善 27 条，新增 3 条，删减 27 条；
- 保留并完善了 GB/T 21303—2007 中反映灌溉渠道系统量水特色的“灌溉渠道系统量水站网布设”“标准断面量水”和“渠系建筑物量水”等主要内容；
- 增加了“量水方法”和“量水基本要素”两个章节；
- 将 GB/T 21303—2007 中的“堰槽量水”分别设为“量水堰量水”和“量水槽量水”两章；
- 在量水堰量水中增设“U 形渠道抛物线形量水堰板”，修正“长喉道量水槽”对“量水槛”的包含关系，将“量水槛”纳入量水堰量水中；
- 在量水槽量水中增设了“机翼型量水槽”和“长喉道量水槽”量水方法和要求，强化了灌溉渠道系统量水槽量水的主要方法；
- 在“仪表量水”中新增了“电子水尺”量水方法和要求，以满足灌溉渠道系统自动化量水和特定的使用环境技术要求；
- 将近年来国外一些新的量水设备和国内一些传统量水方法作为资料性附录予以列出；
- 将 GB/T 21303—2007 第 10 章“流量测量不确定度估算”作为资料性附录予以列出；
- 以“观测实施与资料整理”替代 GB/T 21303—2007 中“灌溉渠系量水管理”，并删除了原标准中的行政管理规定条文，突出了渠系量水的技术要求。

本标准由水利部提出并归口。

本标准起草单位：中国灌溉排水发展中心、中国农业大学、西北农林科技大学、武汉大学、河北省石津灌区管理局、浙江省水利河口研究院、中国农业科学院农田灌溉研究所、陕西省泾惠灌区管理局。

本标准主要起草人：谢崇宝、张昕、李铁光、邱流潮、马孝义、王晓玲、管光华、郭宗信、郑世宗、高峰、党永仁。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 21303—2007。

灌溉渠道系统量水规范

1 范围

本标准规定了灌溉渠道系统量水的主要技术要求,主要量水设施及仪器的使用方法、要求和指标。本标准适用于新建、扩建、改建和续建的灌溉渠道系统量水,也适用于排水系统量水。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 778(所有部分) 封闭满管道中水流量的测量

GB/T 11828(所有部分) 水位测量仪器

GB/T 50095—2014 水文基本术语和符号标准

GB 50179 河流流量测验规范

CJ/T 122 超声多普勒流量计

JB/T 9248 电磁流量计

SL 56 农村水利技术术语

SL 482 灌溉与排水渠系建筑物设计规范

ISO 772 水文测验 术语和符号(Hydrometry—vocabulary and symbols)

3 术语和定义

GB/T 50095—2014、SL 56、ISO 722 界定的下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,重复列出了以下术语和定义。

3.1

灌溉渠道系统 irrigation canal system

由干渠、支渠、斗渠和农渠及其附属建筑组成的固定灌溉渠道网络。

3.2

量水 water measurement

确定通过某一已知断面的水体随时间变化的物理量的过程。

3.3

水尺 staff gauge

安装在测站用来观测渠道水体水位的标尺。

3.4

堰顶水头 head over the weir

在堰上游某一点所测量的堰顶最低点以上水体的高度。

3.5

流量 discharge

单位时间内通过河流、渠道或管道某一过水断面的水体体积。

3.6

流量系数 discharge coefficient

在流量公式中,表达实际流量与理论流量相联系的系数。

3.7

量水站网 water-measuring station network

将量水测站按灌溉渠道系统位置组成的分布网。量水测站主要包括渠首测站、分水测站、配水测站和专用测站。

3.8

测量断面 measuring section

进行水深和流速测量的明渠横断面。

3.9

标准断面测流 standard section flow measurement

选择顺直渠段上某一断面,用流速仪率定通过该断面流量与水位的关系,利用该关系,根据水位读数测出渠道流量的方法。

3.10

量水建筑物 water-measuring structures

用于测量渠道流量的建筑物。

3.11

涵闸量水 culvert or sluice water measurement

利用涵洞或水闸量测流量的方法。

3.12

渡槽量水 aqueduct water measurement

利用渡槽量测水位确定流量的方法。

3.13

倒虹吸量水 inverted siphon water measurement

利用倒虹吸量测其水位差确定流量的方法。

3.14

跌水(陡坡)量水 drop water measurement

利用渠道上跌水(陡坡)量测其水位确定流量的方法。

3.15

流速面积法(流速仪法) flow velocity and cross-section area method

(利用流速仪)实测断面上的流速和过水断面面积来推求流量的方法。

3.16

基本水尺断面 basic staff gauge cross-section

为经常观测量水堰(槽)或测流断面水位而设置的断面。

3.17

量水设施 water-measuring device

为了准确量测流量而设置的量水建筑物。

3.18

薄壁堰 thin-plate weir; sharp-crested weir

堰顶厚度小于堰上水头,具有锐缘堰口,溢流时水舌离开堰壁(形成自由流)的薄板堰的总称。

3.19

量水槽 water-measuring flume

渠道或明槽内设置一收缩段(水平或垂直方向收缩),使之发生临界流以量测流量的量水设施。

3.20

喉道 throat

测流槽内缩窄段的最小横断面区段。

3.21

巴歇尔槽 Parshall flume

一种自收缩段、窄颈段及扩散段所组成,剖面上具有反坡的短喉道测流槽。

3.22

长喉道量水槽 long-throated flume

修建于渠道或明槽中水流断面缩窄的槽形建筑物,其喉道较长的量水设施。

3.23

无喉道量水槽 throatless flume

修建于渠道或明槽中水流断面缩窄的槽形建筑物,没有喉段,喉口底部可与渠底齐平或高出渠底的渠道量水设施。

3.24

量水槛 water-measuring weir

在渠道中修建迎水面倾斜的宽顶堰,使其在槛顶产生临界流,用以进行渠道流量量测的量水设施。

3.25

抛物线形喉口式量水槽 parabolic throat flume

修建于U形渠道中,喉口为抛物线形,上下游以渐变段与U形渠道连接,且喉口底部与渠底齐平的量水设施。

3.26

直壁式量水槽 flume with straight wall

修建于U形渠道中一底弧直壁式收缩段,使之发生临界流的量水设施。

3.27

渠首测站 station at the head of canal

观测从水源引入的渠首流量及水位的测站。

3.28

分水测站 distribution station

观测从上一级渠道分得流量的测站。

3.29

专用测站 special station

为观测、收集专门资料(如渠道的输水损失、糙率、含沙量、渠道水利用系数等)而设的测站。

3.30

机翼型量水槽 wing-shaped flume

机翼形量水槽是在渠道两侧修筑仿机翼形槽壁,使水流通过时产生临界流,用以量测流量的量水设施。

4 灌溉渠道系统量水站网布设

4.1 一般规定

4.1.1 应根据其规模、渠系布局以及管理任务布设量水站网。

4.1.2 量水站网布局应满足水量调配、用水管理要求。

4.1.3 量水测站宜设在渠系建筑物和水量交接处。

4.1.4 量水测站布设应遵循下列原则：

- a) 量水测站布点顺序及控制范围宜遵循“由上到下”和“先粗后细”，逐步缩小监测单元；
- b) 交通、通讯便利；
- c) 渠道顺直、渠基稳固、断面规则，便于布置测流断面和安装量水设备；
- d) 水流平顺，不受闸门启闭和渠系建筑物壅水影响；
- e) 枢纽工程处设置测站时宜与枢纽工程管理部门相结合；
- f) 测流断面布置应便于节约用水管理。

4.2 测站布设

4.2.1 应设置渠首测站，测站位置宜在渠段顺直、水流平稳处设置，也可与引水闸结合设置。

4.2.2 干渠、支渠各级渠道应在分水闸下游或闸后设分水测站，位置宜设置在渠段顺直、水流平稳处。

4.2.3 具有退水功能的灌溉渠道系统末端、退水闸及排水沟渠应设置量水测站，观测退水量。

4.2.4 为观测、收集专门资料(渠道或管道的输水损失、糙率含沙量等)，需要设置测站时，可在满足需求条件的位置增设专用测站。

4.2.5 测站应设专门标志，宜将测站位置标示在灌区渠系平面图上。

5 量水方法

5.1 量水方法

5.1.1 灌溉渠道系统宜采用流速仪量水、标准断面法量水、渠系建筑物量水、量水堰量水、量水槽量水等方法。

5.1.2 流速仪量水宜用于要求水头损失小、易受下游水位影响的大型渠道量水及其他量水方法的率定。

5.1.3 标准断面法量水宜用于渠段顺直、断面规则、水流均匀、测流断面不受建筑物泄流影响的渠道。

5.1.4 渠系建筑物量水宜利用已有的涵闸、倒虹吸、跌水(陡坡)、渡槽等渠系建筑物。

5.1.5 支斗渠及以下小型渠道，根据渠道纵坡、水流含沙量等情况宜选用量水堰槽。

5.1.6 输水管道等宜采用管道流量计。

5.1.7 除特殊说明外，量水方法涉及的计算公式符号和单位见附录 A。

5.2 量水设施

5.2.1 量水设施种类

灌溉渠道系统量水主要采用以下仪器、设施、方法：

- a) 流速仪；
- b) 标准断面；
- c) 渠系建筑物，如跌水、渡槽、倒虹吸、涵闸等；
- d) 量水堰；
- e) 量水槽；
- f) 量水仪表，如水位计、水表、电磁流量计、超声波流量计等。

5.2.2 量水设施选型

量水设施选型主要考虑以下要素：

- a) 量测精度。以满足实际需求为宜，流量测量不确定度宜不超过±5%(95%置信水平)。

- b) 水头损失。应选择水头损失小的量水设施,减少对渠道过流能力的影响。
- c) 测流范围。量水设施的适宜量测范围应与渠道运行期流量变化幅度相适应。
- d) 抗干扰性。量水设施应具有对现场条件的适应性,并具备通过泥沙和漂浮物的能力。

6 量水基本要素

6.1 水位测量

6.1.1 一般规定

6.1.1.1 水位是渠道系统量水的基本要素之一,渠道量水中的水位为规定基准面以上的水面高度。

6.1.1.2 水位测量点应选在断面规整、水流平顺、渠底无淤积的渠段。

6.1.1.3 水尺刻度应清晰易读,最小刻度值可取 0.005 m。

6.1.1.4 利用建筑物量水时水位测量点宜布置在距离建筑物前缘上游,距离建筑物 3 倍~4 倍最大水头处。

6.1.1.5 大型渠道宜设置静水井测量水位。

6.1.1.6 仪表测量水位应具有消除波浪影响的功能。

6.1.2 水尺零点设置规定

6.1.2.1 水尺零点应低于或等于零流量时的水面高程。

6.1.2.2 水尺零点一经选定,不宜变动。

6.1.2.3 水尺零点应准确率定,其允许误差为 ± 0.002 m。

6.1.3 测量方法

6.1.3.1 测量方法应按下列要求选择:

- a) 通常可采用水尺、浮子水位计、压力传感器、超声波水位计等设备测量水位;
- b) 如需连续、自动测量水位,应选取自记式水位计、数字记录仪等。

6.1.3.2 对于安装在渠道边坡上的水尺刻度应按坡比换算成铅直高度。

6.1.4 水位计的安装

6.1.4.1 水位计宜采取防冻、防破坏、防盗、防淤塞等保护措施。

6.1.4.2 水位计的量程应满足水位测量要求。

6.1.5 水位滤波及静压井

6.1.5.1 静压井井壁应竖直,现场安装的高度应高于最高水位 0.3 m 以上。

6.1.5.2 静压井及连通管应采用防渗材料,内径应满足设备安装及清淤要求。当内置浮子或其他水位测量设备时,其深度、内径需满足设备尺寸大小需求,且设备与井壁间隙不得小于 0.08 m,连通管底缘应高于井底板 0.15 m。

6.1.5.3 连通管走向应垂直于水流方向,安装高度应位于最低水位 0.06 m 以下。

6.1.5.4 连通管管径与静压井内径比例宜取为 1/10~1/30。

6.1.5.5 应定期清理静压井及进水口,保持连通管畅通。

6.2 流速测量

6.2.1 流速是渠道系统量水的基本要素之一,流速测量可采用转子式流速仪、电磁流速仪、多普勒流速

仪等设备。

6.2.2 转子式流速仪测量时应与水流流向平行。

6.2.3 渠道水深较浅时,水深应满足流速仪最小测流水深要求。

6.2.4 流速测量宜采用专用测桥,可利用满足测流条件的跨越渠道的桥梁等。

6.2.5 流速测点应布置在水流平顺处,不应设在淤积严重、水草或杂物较多处。

7 流速仪量水

7.1 一般规定

7.1.1 流速仪测流条件

采用流速仪测流时,应符合下列条件:

- a) 测流断面内测点流速不超出流速仪的测速量程;
- b) 垂线处水深不小于用一点法测速的必要深度;
- c) 水中漂浮物不影响流速仪正常运转;
- d) 水位平稳,一次测流的起止时间内水位涨落差不大于平均水深的2%。

7.1.2 测流断面选择

测流断面选择应满足下列条件:

- a) 测流渠段平直、水流均匀;
- b) 测流渠段纵横断面比较规则、稳定;
- c) 测流断面与水流方向垂直;
- d) 测流断面附近不应有影响水流的建筑物、树木或杂草等,测流断面在建筑物下游时,不受建筑物泄流的影响;
- e) 在不规则的土渠测流时,应将测流渠段衬砌成规则的标准段(如梯形断面等)。

7.1.3 流速仪测流成果应用

流速仪测流成果可用于分析率定水工建筑物流量系数、确定断面水位流量关系曲线、渠道水利用系数等。

7.2 垂线布设

7.2.1 测流断面上测深、测速垂线的数目和位置,应满足过水断面和平均流速测量精度的要求。

7.2.2 任意两条测速垂线的间距,应不大于渠道水面宽的1/5。

7.2.3 垂线间距在水面宽20 m~50 m时为2.0 m~5.0 m;测线间距在水面宽5 m~20 m时为1.0 m~2.5 m;测线间距在水面宽1.5 m~5.0 m时为0.25 m~0.6 m。

7.2.4 测深垂线应分布均匀,能控制渠床变化的主要转折点。渠岸坡脚处、最大水深点、渠底起伏转折点等处都应设置测深垂线。

7.2.5 主流摆动剧烈或渠床不稳的测站,垂线宜加密布置,垂线位置应优先分布在主流上,并避开水流不平稳和紊动大的岸边或回流区。

7.2.6 规则的灌溉渠道断面上,测深垂线与测速垂线可合并设置。

7.2.7 垂线可等距离或不等距离布设。若过水断面和水流对称,则垂线应对称布设。

7.3 断面测量

7.3.1 测深垂线间距测量

7.3.1.1 在测桥上测流时,应在布置测线时设置固定标志,其间距应事先测出,并应测量出靠近岸边垂线外侧的水边宽度。

7.3.1.2 缆道测流时,测线间距由循环索行进计数器计量,计数器读数与循环索行进距离之间的对应关系应准确核定。

7.3.1.3 测线间距测量允许误差为±0.01 m。

7.3.2 水深测量

7.3.2.1 用铅鱼悬索测深时,偏角应不大于 10°。

7.3.2.2 用测杆测深时,应保持测杆垂直状态,直接读数。有壅水现象时,应修正壅水影响的水深误差。

7.3.2.3 在衬砌的标准测流断面上,应设置固定水尺。当水流稳定时,应用水准仪测出水尺零点与各测线处渠底的高差,按式(1)计算出每条测线处的实际水深值:

$$H_n = h \pm \Delta h_n \dots\dots\dots(1)$$

式中:

H_n ——第 n 条垂线处的实际水深,单位为米(m);

h ——水尺读数,单位为米(m);

Δh_n ——第 n 条垂线处渠底与水尺零点的高差,单位为米(m)。

7.3.2.4 水深测量允许误差为±0.01 m。

7.3.3 测流断面绘制

断面测量完毕后,应根据施测数据绘制测流断面图。

7.4 流速测量

7.4.1 流速测点的分布

流速测点的分布应符合下列规定:

- a) 测量水面流速时,流速仪旋转部件上边缘应置于水面以下 0.05 m 左右;
- b) 测量渠底流速时,流速仪旋转部件下边缘应离渠底 0.02 m~0.05 m;
- c) 垂线上相邻两测点的间距,不应小于流速仪旋桨或旋杯的直径。

7.4.2 垂线测点布置方法

7.4.2.1 测点位置应符合表 1 规定。

表 1 垂线流速测点的分布位置

测点数	相对水深/m
一点	0.6
二点	0.2、0.8
三点	0.2、0.6、0.8
五点	0.0、0.2、0.6、0.8、1.0
注:相对水深为仪器入水深度与垂线水深之比。	

7.4.2.2 测速方法应根据垂线水深来确定,不同垂线水深的测速方法应符合表 2 规定。

表 2 不同水深的测速方法

总干、干、分干渠	垂线水深/m	>3.0	1.0~3.0	0.8~1.0	<0.8
	测速方法	五点法	三点法	二点法	一点法
支、斗、农渠	垂线水深/m	>1.5	0.5~1.5	0.3~0.5	<0.3
	测速方法	五点法	三点法	二点法	一点法

7.4.3 流速测量要求

7.4.3.1 单个测点的测速历时,不宜少于 100 s。当流速变率较大或垂线上测点较多时,可采用 60 s~100 s。

7.4.3.2 流速仪应保持平行于水流流向状态,仪器转轴中心或驮架(旋转部件的支撑框架)中心与测点的偏距不应超过水深的 1/20。

7.4.3.3 测点流速可按式(2)计算:

$$V = KN/t + c \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- V —— 测点流速,单位为米每秒(m/s);
- K —— 流速仪旋转螺距,单位为米每转(m/r);
- N —— 转数,单位为转(r);
- t —— 测速历时,单位为秒(s);
- c —— 摩阻系数(起步流速),单位为米每秒(m/s)。

7.4.3.4 垂线平均流速测量方法有一点法、二点法、三点法和五点法:

a) 一点法:

$$V_m = V_{0.6} \dots\dots\dots (3)$$

b) 二点法:

$$V_m = \frac{V_{0.2} + V_{0.8}}{2} \dots\dots\dots (4)$$

c) 三点法:

$$V_m = \frac{V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8}}{3} \dots\dots\dots (5)$$

$$V_m = \frac{V_{0.2} + 2V_{0.6} + V_{0.8}}{4} \dots\dots\dots (6)$$

d) 五点法:

$$V_m = \frac{V_{0.0} + 3V_{0.2} + 3V_{0.6} + 2V_{0.8} + V_{1.0}}{10} \dots\dots\dots (7)$$

上述式中:

- V_m —— 垂线平均流速,单位为米每秒(m/s);
- $V_{0.0}, V_{0.2}, V_{0.6}, V_{0.8}, V_{1.0}$ —— 分别为 0.0(水面)、0.2、0.6、0.8、1.0(渠底)相对水深处的测点流速,单位为米每秒(m/s)。

7.4.3.5 多点法断面概化垂线流速分布测量方法按 GB 50179 规定执行。

7.5 断面流量计算

7.5.1 各测线的垂线平均流速 $V_1, V_2 \dots\dots V_n$,应符合 7.4.3.4 的规定。

7.5.2 部分面积的平均流速按下列公式计算：

a) 两测速垂线间的平均流速可按式(8)计算：

$$V_{i,i+1} = (V_i + V_{i+1})/2 \quad \dots\dots\dots(8)$$

b) 水边平均流速($V_{0,1}$ 或 $V_{n,n+1}$)可按式(9)、式(10)计算：

$$V_{0,1} = \alpha V_1 \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$V_{n,n+1} = \alpha V_n \quad \dots\dots\dots(10)$$

上述式中：

- i ——垂线序号, $i=1,2,3,\dots,n$, n 为测线总数;见图1;
- $V_{i,i+1}$ ——第*i*和第*i+1*两条垂线间断面平均流速,单位为米每秒(m/s);
- V_i ——第*i*条垂线平均流速,单位为米每秒(m/s);
- α ——岸边流速系数,与渠道的断面形状、渠岸的糙率、水流条件等有关。

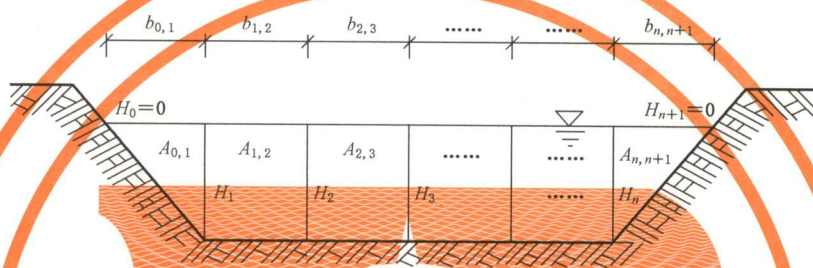


图1 测流断面面积划分示意图

7.5.3 岸边流速系数 α 应实测率定。无实测资料时可根据渠道岸边情况选用以下参考值：

- a) 规则土渠的斜坡岸边: $\alpha=0.67\sim 0.75$;
- b) 梯形断面混凝土衬砌渠段: $\alpha=0.8\sim 0.9$;
- c) 不平整的陡岸边: $\alpha=0.8$;
- d) 光滑的陡岸边: $\alpha=0.9$;
- e) 死水边: $\alpha=0.6$ 。

7.5.4 面积可按式(11)计算：

$$A_{i-1,i} = 0.5(H_{i-1} + H_i)b_{i-1,i} \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中：

- $A_{i-1,i}$ ——第*i-1*和第*i*条两条垂线间的面积,单位为平方米(m^2);
- H_{i-1} ——第*i-1*条垂线的实际水深,单位为米(m);
- H_i ——第*i*条垂线的实际水深,单位为米(m);
- $b_{i-1,i}$ ——第*i-1*和第*i*条两条垂线之间的断面宽,单位为米(m)。

7.5.5 两水边面积可按式(12)、式(13)计算：

$$A_{0,1} = 0.5H_1b_{0,1} \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$A_{n,n+1} = 0.5H_nb_{n,n+1} \quad \dots\dots\dots(13)$$

7.5.6 两条垂线间的流量可按式(14)计算：

$$q_{i-1,i} = V_{i-1,i}A_{i-1,i} \quad \dots\dots\dots(14)$$

式中：

- $q_{i-1,i}$ ——第*i-1*和第*i*条两条垂线间的流量,单位为立方米每秒(m^3/s);
- $V_{i-1,i}$ ——第*i-1*和第*i*条两条垂线间的流速,单位为米每秒(m/s);
- $A_{i-1,i}$ ——第*i-1*和第*i*条两条垂线间的断面面积,单位为平方米(m^2)。

7.5.7 断面流量可按式(15)计算;实测流量计算参见附录B;流量不确定度估算参见附录C。

$$Q = q_{0,1} + q_{1,2} + q_{2,3} + \dots + q_{n,n+1} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

Q——断面流量，单位为立方米每秒(m³/s)。

8 标准断面量水

8.1 一般规定

8.1.1 符合标准断面量水的渠段应上下游渠道顺直、渠床稳定坚固、水流平稳、无冲刷或淤积现象，且不受下游建筑物回水影响，其长度应大于 20 倍渠段的最大水深。

8.1.2 土渠应采用衬砌工程措施。

8.1.3 测流断面处应设置固定水尺观测水位，水尺可设为直立式或斜坡式，宜采用流速仪法建立稳定的水位流量关系曲线或关系式，并定期进行校核与修正。

8.1.4 水位宜采用静压井的方式观测。

8.2 水位流量关系及其率定

8.2.1 水位流量关系曲线

8.2.1.1 用于建立水位流量关系曲线的观测资料应符合以下要求：

- a) 施测宜采用流速仪法，测量断面应为标准断面；
- b) 测量过程中应保持水位平稳，观测记录测量断面水位上升、下降过程中不同水位对应流量，并根据下游渠道不同分水情况予以分类统计；
- c) 在满足量水需要的水位范围内，应取 20 次以上不同点位的水位流量观测资料。

8.2.1.2 水位流量关系曲线应以水位为纵坐标，流量为横坐标。

8.2.1.3 绘制水位流量关系曲线图时，应注意下列事项：

- a) 不同年份的点据应用不同符号表示；
- b) 不同灌溉季节的测流资料应分别分析；
- c) 不同含沙量情况的资料应分别分析；
- d) 高低水位部分宜取不同比例尺分别绘制，保证足够的绘图精密度，流量允许误差为 2.5%。

8.2.1.4 水位流量关系曲线的校核与修正应注意以下事项：

- a) 水位流量关系线应作检验，计算出曲线的标准差；
- b) 校核时可根据曲线的适用范围，施测高、中、低水位时的流量，且不应少于 5 点次~7 点次；
- c) 当校核点位于曲线同侧，或者平均误差超过表 3 误差限值时，应增加测次，并根据具体情况修正原曲线。

表 3 标准断面水位流量关系式率定误差限值

累积频率 95%	累积频率 75%	系统误差
±5%	±3%	±0.5%

8.2.2 水位流量关系函数式

8.2.2.1 水位流量关系式宜用幂函数(16)表示：

$$Q = KH^a \dots\dots\dots (16)$$

式中：

Q——断面流量，单位为立方米每秒(m³/s)；

H ——断面水深,单位为米(m);

K ——拟合系数;

u ——拟合指数。

8.2.2.2 根据水位流量观测资料,可采用回归分析法建立水位流量关系式。

8.2.2.3 新建、校核与修正水位流量关系式时,其计算流量与实测流量之间的误差均应满足表 3 的要求。

9 渠系建筑物量水

9.1 一般规定

9.1.1 用作量水的渠系建筑物,应符合下列条件:

- 建筑物本身完整无损,无变形、剥蚀或渗水;
- 调节设备良好,启闭设备完整、灵活,闸门无歪斜、不漏水,无扭曲变形,无损坏现象;
- 建筑物前、后,闸孔或闸槽中无泥沙淤积及杂物阻水;
- 符合水力计算要求,水位差大于 5 cm,水流呈淹没流状态时,其淹没度不应大于 0.9;
- 侧面引水时,水流速度应小于 0.7 m/s,并平稳地流入建筑物;正面引水时,水流应沿建筑物整个孔口宽度对称进入建筑物;
- 利用多孔建筑物量水时,各孔闸门提起高度应一致。

9.1.2 建筑物尺寸测量与误差,应符合下列要求:

- 用以量水的多孔建筑物,各孔宽度及高程应一致;
- 建筑物尺寸应用钢尺测量,计算出几何尺寸的平均值作为计算值;
- 建筑物几何尺寸的允许误差为 ± 0.01 m。

9.2 涵闸量水

9.2.1 涵闸量水建筑物分类

9.2.1.1 第一类:明渠矩形直立式单孔平板闸。按闸底情况不同分为两组(见图 2):

- 第一组:闸底水平,闸后无跌坎,闸后底宽等于入口底宽;
- 第二组:闸后有跌坎,坎高不超过 0.4 m,闸后底宽不小于入口底宽。

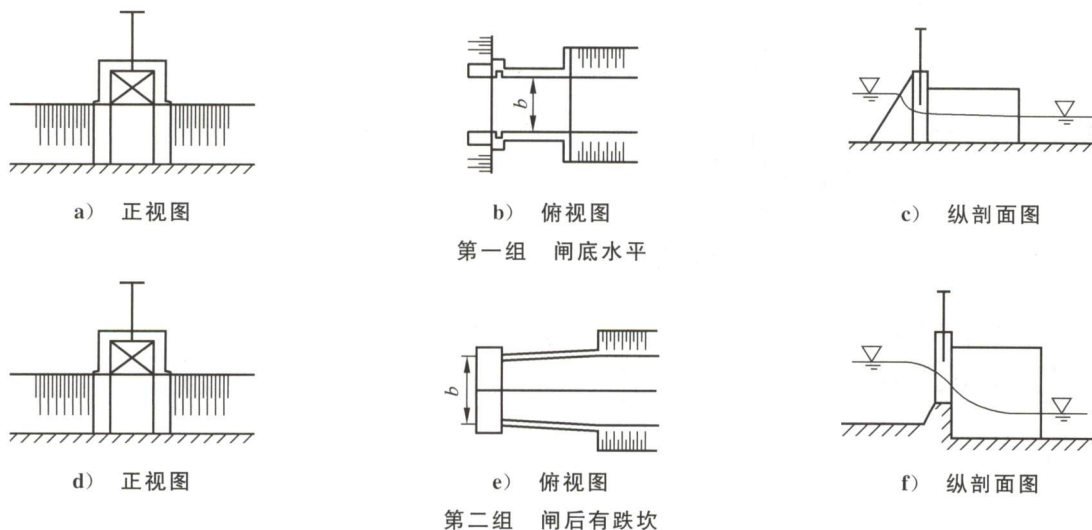


图 2 明渠直立式单孔平板闸示意图

9.2.1.2 第二类:矩形暗涵直立式单孔平板闸(见图3)。

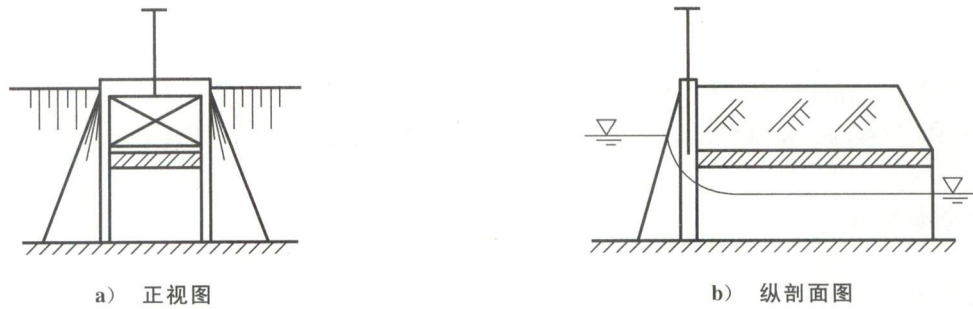


图3 矩形暗涵直立式单孔平板闸示意图

9.2.1.3 第三类:圆形暗涵单孔平板闸。按进水口翼墙与闸门形式不同分为两组(见图4):

- a) 第一组:直立式平板闸门,进口有翼墙;
- b) 第二组:斜立式平板闸门,进口无翼墙。

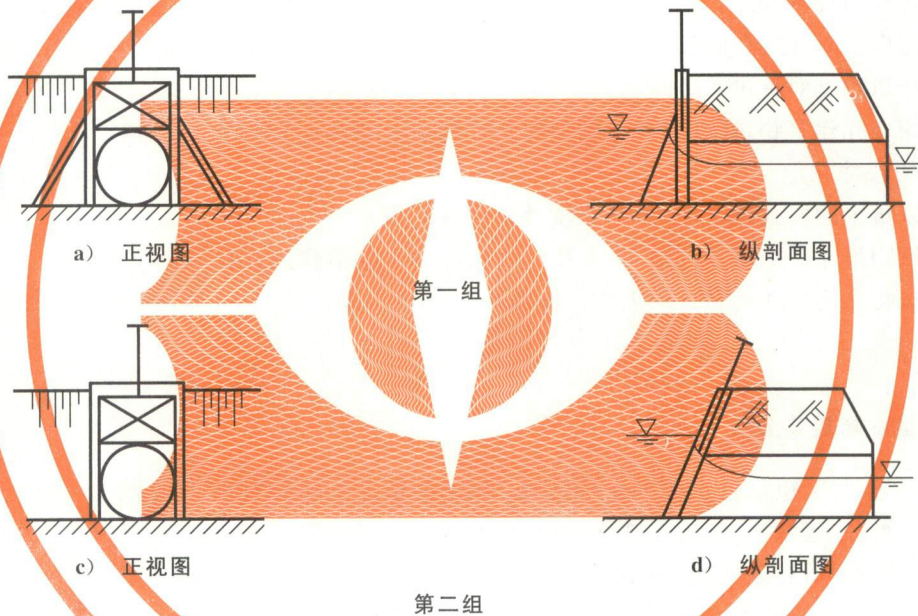


图4 圆形暗涵单孔平板闸

9.2.1.4 第四类:明渠矩形直立式多孔平板闸(见图5)。按其闸底及闸墩形式分为三组:

- a) 第一组:短闸墩,闸底水平,闸后无跌坎;
- b) 第二组:短闸墩,闸后有跌坎;
- c) 第三组:长闸墩,闸底水平,闸后无跌坎。

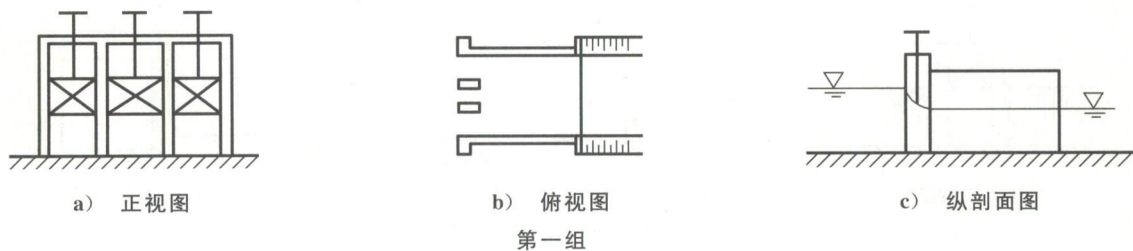


图5 明渠矩形直立式多孔平板闸示意图

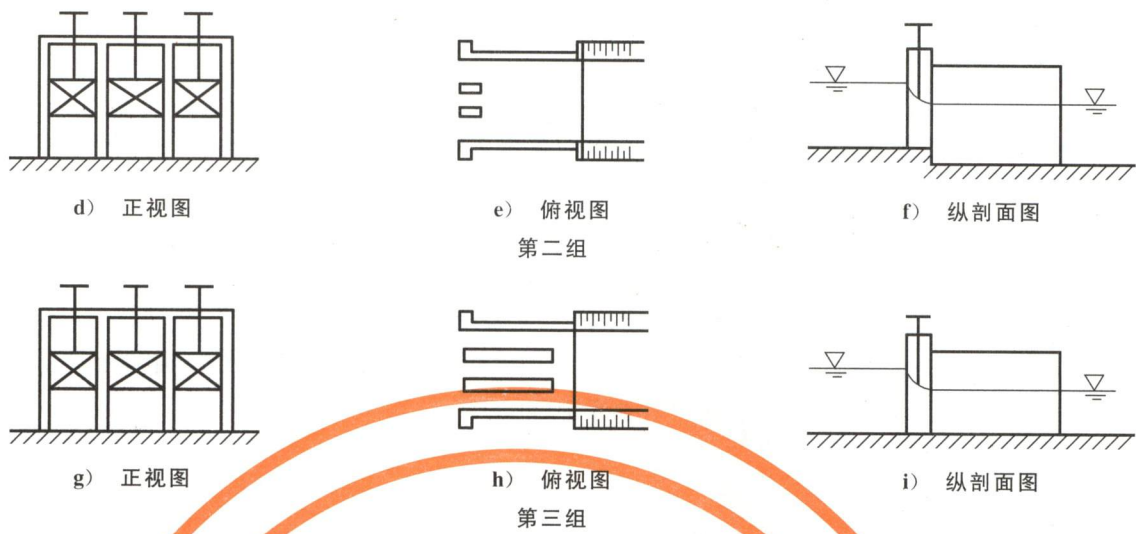


图 5 (续)

9.2.1.5 第五类:单孔平底弧形闸(见图 6)。



图 6 单孔平底弧形闸示意图

9.2.2 水尺布设与安装

9.2.2.1 上游水尺应设在闸前渐变段上游以闸前最大水深值的 3 倍~5 倍长度为距离的相应位置处。当闸前无渐变段时,水尺断面距离应从闸门处算起。

9.2.2.2 下游水尺应设在下游水流平稳处。有消力池时,水尺距离消力池末端不应小于消力池进口至闸门距离的 3 倍。当闸门下游设测流断面时,下游水尺可设在测流断面处。

9.2.2.3 闸前水尺可直接绘设在闸前侧墙上,水尺距离闸门等于 1/4 单孔闸宽;当入闸水流不对称时,闸前两侧均需安设水尺,水尺读数取二者的平均值。

9.2.2.4 闸后水尺可直接绘设在闸后侧墙上,水尺距离闸门等于 1/4 单孔闸宽并不得超过 0.4 m。

9.2.2.5 闸门启闭高度标尺可直接绘设在闸槽边缘的边墩上,标尺零点与闸孔完全关闭时的闸门顶部齐平。若闸门底部有门槽,则标尺零点应根据门槽深度确定,也可将闸门启闭高度标尺设在启闭机丝杠上。

9.2.2.6 各水尺零点均应与闸底位于同一高程,允许误差为 ± 0.002 m。

9.2.2.7 上下游水尺可绘制在渠道边坡上或设在靠桩上,也可设置在观测井内。

9.2.3 水流形态判别

9.2.3.1 闸门全开自由流,符合下列条件之一者即可:

- a) 闸后无跌坎时,闸门开启高度(h_g)与闸前(上游)水深(H)之比大于 0.65,且闸后(下游)水深

(h_H)与闸前水深(H)之比小于 0.7;

b) 闸后有跌坎时,下游水位低于闸槛高程。

9.2.3.2 闸门全开淹没流,符合下列条件之一者即可:

a) 闸后无跌坎时,闸门开启高度(h_g)与闸前(上游)水深(H)之比大于 0.65,且闸后(下游)水深(h_H)与闸前水深(H)之比大于 0.7;

b) 闸后有跌坎时,下游水位高于闸槛高程。

9.2.3.3 有闸控制自由流:闸门开启高度与闸前水深之比不大于 0.65,水流触及闸门下缘;闸后水深(h_1)小于闸门开启高度(h_g),而闸门底边未被下游水面淹没。

9.2.3.4 有闸控制淹没流:闸后水深(h_1)大于闸门开启高度(h_g),闸门下缘被上、下游水面淹没。

9.2.3.5 有压淹没流:暗涵被水流充满,出口处完全淹没于水中。

9.2.4 流量计算公式

渠系建筑物量水应根据涵闸的不同类型和水流形态,选择相应的流量公式,见附录 D 中表 D.1~表 D.3。

9.2.5 流量系数确定

9.2.5.1 渠系建筑物流量计算公式中的流量系数应实测率定,率定方法参见 9.2.5.3。

9.2.5.2 无实测资料时,流量系数可选用表 E.1 和表 E.2 中的数值,淹没系数可选用表 E.3 中的数值。

9.2.5.3 流量系数率定方法如下:

a) 在涵闸下(上)游 50 m~200 m 范围内水流平稳处,设置测流断面,利用流速仪实测不同水位的流量,同时观测水流形态及其相应的水尺读数;

b) 将实测流量和相应水深代入已选定的流量公式中,计算该涵闸的实际流量系数,绘制出流量系数曲线;

c) 水位变幅较小(0.10 m~0.30 m)时,流量系数可取平均值,其实测次数不应少于 5 次,每次实测的流量系数与平均流量系数之差应小于±3%。

9.2.5.4 流量系数无实测资料选用表 E.1 和表 E.2 中的数值时,闸前水尺、闸后水尺的位置应严格按照 9.2.2 规定设置。

9.3 倒虹吸量水

9.3.1 水尺位置

水尺应安设在倒虹吸上下游距进出口渐变段边缘各约 4 倍渠道正常水深处,上下游水尺零点高程与进口渠底高程一致。

9.3.2 流量计算公式

9.3.2.1 利用倒虹吸量水的流量可由经验公式法或理论公式法计算。

9.3.2.2 经验公式法可由式(17)实测资料分析确定:

$$Q = CZ^n \dots\dots\dots(17)$$

式中:

Q ——流量,单位为立方米每秒(m^3/s);

C ——待率定系数;

Z ——上下游水位差,单位为米(m);

n ——待率定指数,率定方法按 9.2.5.3 的规定。

9.3.2.3 理论公式法可按式(18)~式(21)水力学方法计算:

$$Q = \mu A \sqrt{2gZ} \quad \dots\dots\dots(18)$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\lambda L/d + \sum \zeta}} \quad \dots\dots\dots(19)$$

$$\lambda = 8g/C^2 \quad \dots\dots\dots(20)$$

$$C = (1/n)R^{1/6} \quad \dots\dots\dots(21)$$

上述式中:

Q —— 流量,单位为立方米每秒(m³/s);

A —— 过水断面面积,单位为平方米(m²);

g —— 重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s²);

Z —— 上下游水位差,单位为米(m);

μ —— 流量系数,与水头损失(包括拦污栅、进口、出口、摩擦、弯曲及各处局部损失)有关。流量系数应通过积累实测资料利用式(18)反推计算得出。无实测资料时,可用式(19)计算;

λ —— 管内沿程损失系数;

L —— 管道长度,单位为米(m);

d —— 管道内径,单位为米(m),当倒虹吸管为方形横断面时,以 4R 代替 d 值,其中 R 为水力半径;

ζ —— 局部损失抗阻系数,包括拦污栅、进口、出口、弯道等水头损失,其数值见表 4;

C —— 谢才系数;

n —— 糙率,其值与倒虹吸管材有关;可根据水力计算手册选取:混凝土 n=0.011~0.015,浆砌石 n=0.017~0.025;

R —— 水力半径,单位为米(m)。

表 4 倒虹吸局部抗阻系数表

抗 阻 名 称	抗 阻 系 数
1 拦污栅	ζ ₁ =0.11~0.16
2 进水口 管口未呈圆形 管口略呈圆形 管口呈圆形	ζ ₂ =0.50 ζ ₂ =0.20~0.25 ζ ₂ =0.05~0.10
3 弯曲管成平滑圆形 当 R>2d 时 在最佳比值 R=3d~7d 时	ζ ₃ =0.50 ζ ₃ =0.30
4 出水口 从导管通水面时	ζ ₄ =1.00

9.4 跌水量水

9.4.1 水尺位置

利用跌水量水时,水尺应安设在距跌水口边缘上游以渠道正常水深值的 3 倍~4 倍长度为距离的相应位置处,水尺零点高程与跌水口底坎高程一致。

9.4.2 流量计算公式

9.4.2.1 矩形和台堰式跌水口,当进口底与上游渠底齐平或台堰顺水流方向宽度大于 2 倍堰上水头时,

可用宽顶堰公式计算；当台堰顺水流方向宽度在 0.67 倍~2 倍堰上水头时，应按实用堰公式计算。自由流宽顶堰流量计算公式为：

$$Q = m\epsilon b_c (2g)^{1/2} H_0^{3/2} \dots\dots\dots (22)$$

$$Q = Mb_c H_0^{3/2} \dots\dots\dots (23)$$

上述式中：

Q ——流量，单位为立方米每秒(m^3/s)；

m ——流量系数；

ϵ ——侧收缩系数；

b_c ——缺口底宽，单位为米(m)；

H_0 ——计入流速水头的堰上水头，单位为米(m)；

M ——第二流量系数，其值与连接渐变段形式和堰上水头及缺口宽度有关；其数值应由实测得出，无实测资料时，可按表 5 中公式计算。

表 5 矩形和台堰式跌水口流量系数 M 表

渐变段形式	M	适用范围
扭曲面	$2.1 - 0.08b_c/H_0$	$L = (2 \sim 10)H_0; b_c/H_0 = 1.5 \sim 4.5$
八字墙	$2.08 - 0.075b_c/H_0$	$L = (2 \sim 10)H_0; b_c/H_0 = 1.5 \sim 4.5$
横隔墙	$1.78 - 0.085b_c/H_0$	$b_c/H_0 = 1.0 \sim 4.5$

注： L 为渐变段长度。

9.4.2.2 梯形跌水口，自由流流量计算公式为：

$$Q = Mb_{平均} H^{3/2} \dots\dots\dots (24)$$

$$b_{平均} = b_c + 0.8n_c H \dots\dots\dots (25)$$

上述式中：

Q ——流量，单位为立方米每秒(m^3/s)；

M ——流量系数，与连接渐变段形式和堰上水头及缺口宽度有关，其数值应由实测得出，无实测资料时可按表 6 中公式计算；

$b_{平均}$ ——缺口平均宽度，单位为米(m)；

H ——堰上水头，单位为米(m)；

b_c ——缺口底宽，单位为米(m)；

n_c ——缺口边坡系数。

表 6 梯形跌水流量系数 M 表

渐变段形式	M	适用范围
扭曲面	$2.25 - 0.15b_{平均}/H$	$L > 3H_{max}; m = 1 \sim 2; n_c = 0.25 \sim 1.00$
八字墙	$2.15 - 0.15b_{平均}/H$	$L > 2.5H_{max}; m = 1 \sim 2; n_c = 0.4 \sim 0.9$
横隔墙	$A - 0.15b_{平均}/H$	$m = 1 \sim 2; n_c = 0.4 \sim 0.9$ 。 当 $n_c = 0.9, m = 2, A = 2.18$ ； 当 $n_c = 0.4, m = 1, A = 2.08$ ； 当 n_c 与 m 值介于二者之间时， A 值可用内插法求得。

注： m 为上游渠道边坡系数。

9.4.2.3 多缺口跌水流量可用式(23)及(24)计算。流量系数 M 值应由实测得出,无实测资料时可用式(26)计算。

$$M = \frac{M_1 + (n - 1)M_2}{n} \dots\dots\dots(26)$$

式中:

- $M_1、M_2$ ——分别为边孔和中孔按其边界条件计算出的流量系数;
- n ——缺口数量。

9.4.2.4 流量经验公式:

$$Q = \xi H^n \dots\dots\dots(27)$$

式中:

- Q ——流量,单位为立方米每秒(m^3/s);
- ξ ——待定系数;
- H ——上游水头,单位为米(m);
- n ——待定指数。

9.5 渡槽量水

9.5.1 水尺位置

- 9.5.1.1 水尺应固定在渡槽进口、中部和出口侧壁上,水尺零点与进口处槽底齐平。
- 9.5.1.2 渡槽下游不应有引起槽中壅水或降水的建筑物。

9.5.2 流量计算公式

- 9.5.2.1 利用渡槽量水的流量可由经验公式法或理论公式法计算。
- 9.5.2.2 经验公式可由实测资料分析确定:

$$Q = \xi H^n \dots\dots\dots(28)$$

式中:

- Q ——流量,单位为立方米每秒(m^3/s);
- ξ ——待定系数;
- H ——上游水头,单位为米(m);
- n ——待定指数。待定系数 ξ 及待定指数 n 率定方法可按 9.2.5.3 的规定执行。

9.5.2.3 理论公式法应根据渡槽槽身长度选择相应的流量计算公式:

- a) 当渡槽槽身长度大于进口前渠道水深的 20 倍时,槽中流量可按均匀流公式计算:

$$Q = AC\sqrt{Ri} \dots\dots\dots(29)$$

$$C = (1/n)R^{1/6} \dots\dots\dots(30)$$

上述式中:

- Q ——流量,单位为立方米每秒(m^3/s);
- A ——槽身过水断面面积,单位为平方米(m^2);
- C ——明渠谢才系数;
- R ——水力半径,单位为米(m);
- i ——渡槽底的比降;
- n ——糙率,其值与槽身建筑材料有关。应实测流量反求糙率值。在无实测资料时,可根据渡槽建筑材料从水力计算手册中选取;其中:混凝土 $n=0.011\sim 0.015$,浆砌石 $n=0.017\sim 0.025$ 。

- b) 当渡槽槽身长度小于 20 倍渠道最大水深时,槽中流量应按堰流流量公式计算,水尺应按堰闸量水要求设置。

10 量水堰量水

10.1 一般规定

10.1.1 量水堰应设置于顺直渠段,上游行近渠段壅水高度不应影响进水口的正常引水,渠床稳定坚固、水流平稳、无冲刷和淤积现象,且不受下游建筑物回水影响,长度应大于渠宽的 5 倍~15 倍;行近渠内水流佛汝德数 Fr 不应大于 0.5。

10.1.2 量水堰产生的水位壅高应保证渠段上游安全及正常运行。

10.1.3 测流断面处应设置固定水尺观测水位,可使用流速仪法建立水位流量关系曲线或关系式,并定期进行校核与修正。

10.2 薄壁堰

10.2.1 一般规定

10.2.1.1 薄壁堰堰板厚度 δ 与堰上水头 H 之比(δ/H)应小于 0.67,适用于量测低含沙量水流、且具有富余水头的渠道测流。

10.2.1.2 薄壁堰堰板应与侧墙和水流方向垂直。堰口应制成锐缘,锐缘水平厚度为 0.001 m~0.002 m,当厚度大于 0.001 m~0.002 m 时,缺口下缘要加工成斜面,堰顶下游斜面和堰顶的夹角不宜小于 45° (见图 7)。小型薄壁量水堰堰板可用钢板制成,大型薄壁量水堰可由钢筋混凝土制成堰板,安装在混凝土的基座上,堰口应由钢板制成。

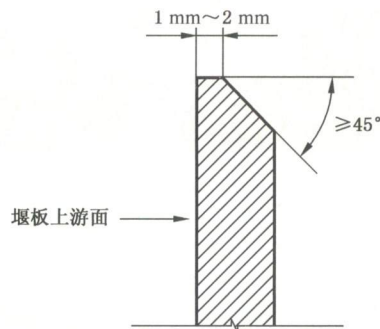


图 7 薄壁堰堰口锐缘加工图

10.2.1.3 水流通过薄壁堰板形成的水舌应完全挑离堰顶射出。水舌上下表面应与大气接触、通气良好。为保证水舌稳定,应在矩形薄壁堰下游侧壁上设通气管。下游最高水位应低于堰顶 0.1 m。

10.2.1.4 堰上水头应大于 0.03 m。

10.2.1.5 水头测量断面应设置在距堰口上游 3 倍~6 倍堰顶最大水头处。薄壁量水堰水尺零点高程与堰顶高程应相同,水尺零点高程用水准仪确定。当堰顶宽(b)与行近渠宽(B)之比 $b/B \geq 0.5$ 时,行近渠槽的长度至少应为槽宽的 10 倍;当 $b/B < 0.5$ 时,可适当缩短。行近渠槽应断面整齐、顺直、坚固。

10.2.1.6 水头可用水尺测量,水尺分辨力应不低于 0.005 m。

10.2.2 薄壁堰的主要类型

10.2.2.1 三角形薄壁堰

10.2.2.1.1 三角形薄壁堰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° 、 90° ,

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 P ，不应小于最大堰上水头 H_{\max} ，结构尺寸应符合图 8 及表 7 的规定。

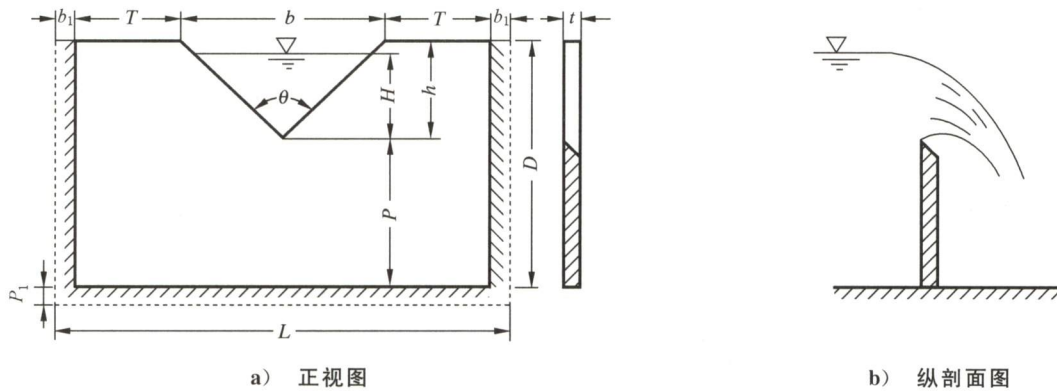


图 8 三角形薄壁堰示意图

表 7 直角三角形量水堰结构尺寸

序号	渠道流量 $Q/(m^3/s)$	最大水头 H_{\max}/cm	口高 h/cm	槛高 P/cm	安装高度 P_1/cm	堰高 D/cm	边宽 T/cm	安装宽度 b_1/cm	堰口宽 b/cm	堰宽 L/cm
1	0.05~0.07	30	35	30	10	75	30	10	70	150
2	0.07~0.10	35	40	35	10	85	35	10	80	170
3	0.10~0.14	40	45	40	10	95	40	10	90	190
4	0.14~0.185	45	50	45	10	105	45	10	100	210
5	0.185~0.24	50	55	50	10	115	50	10	110	230
6	0.24~0.30	55	60	55	10	125	55	10	120	250
7	0.30~0.375	60	65	60	10	135	60	10	130	270

10.2.2.1.2 流量计算公式：

a) 自由流流量计算公式：

$$Q = \frac{8}{15} \mu \tan \frac{\theta}{2} \sqrt{2g} H^{2.5} \dots\dots\dots (31)$$

式中：

Q —— 流量，单位为立方米每秒 (m^3/s)；

μ —— 流量系数；

θ —— 三角堰堰顶夹角，单位为度 ($^\circ$)；

H —— 堰上水头，单位为米 (m)。

当 $\theta=90^\circ$ (直角三角堰)，其尺寸应符合表 7 的规定，且最小堰上水头大于 0.06 m 时， $\mu=0.593$ ，则流量可用式(32)计算：

$$Q = 1.343 H^{2.47} \dots\dots\dots (32)$$

式(32)适用范围：槛高 $P \geq 2H$ ，渠槽宽 $L \geq (3 \sim 4)H$ 。

b) 淹没流流量计算公式：淹没流三角形堰限于田间量水，对于直角三角堰：

$$Q = 1.4 \sigma H^{2.5} \dots\dots\dots (33)$$

$$\sigma = \sqrt{0.756 - \left(\frac{H_{\text{下}}}{H} - 0.13\right)^2} + 0.145 \dots\dots\dots(34)$$

上述式中:

- σ ——淹没系数;
- $H_{\text{下}}$ ——下游水尺读数,单位为米(m);
- H ——上游水尺读数,单位为米(m)。

10.2.2.2 矩形薄壁堰

10.2.2.2.1 矩形薄壁堰分无侧收缩和有侧收缩两类。当堰顶宽度 b 与行近渠槽 B 等宽时,为无侧收缩矩形薄壁堰;堰顶宽度小于行近渠槽宽度时,为有侧收缩的矩形薄壁堰。堰口宽度 $b \geq 0.15$ m,堰的安装宽度 b_1 为 0.08 m,安装深度 P_1 为 0.05 m。如图 9 所示。

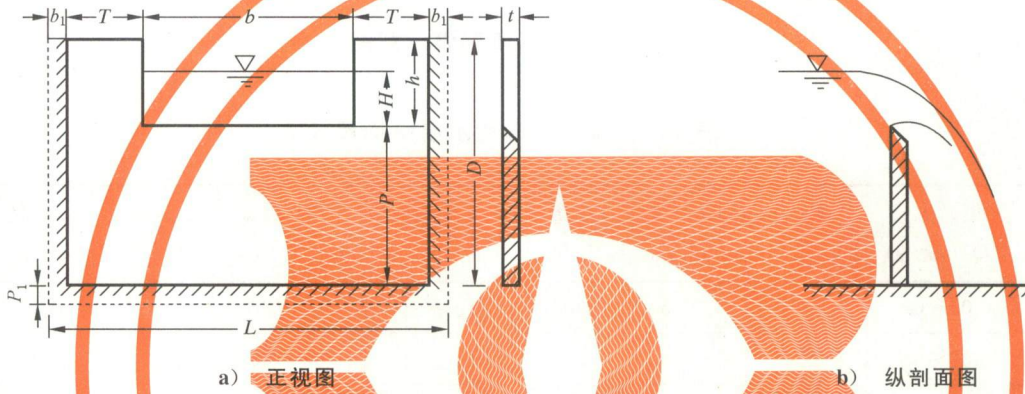


图 9 矩形薄壁堰示意图

10.2.2.2.2 流量计算公式:

a) 无侧收缩的流量公式:

$$Q = mb\sqrt{2g}H^{1.5} \dots\dots\dots(35)$$

流量系数 m 用雷卜克公式计算:

$$m = 0.407 + 0.053 \frac{3H}{P} \dots\dots\dots(36)$$

公式适用范围: $0 < H/P < 6$ 。

上述式中:

- b ——堰宽,单位为米(m);
- H ——堰上水头,单位为米(m);
- P ——堰高,单位为米(m)。

b) 有侧收缩的流量公式:

$$Q = m_0 b \sqrt{2g} H^{1.5} \dots\dots\dots(37)$$

流量系数 m_0 用巴赞公式计算:

$$m_0 = \left[0.405 + \frac{0.0027}{H} - 0.03 \frac{B-b}{B} \right] \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{H+P} \right)^2 \left(\frac{b}{B} \right)^2 \right] \dots\dots\dots(38)$$

公式适用范围: $P \geq 0.5H, b > 0.15$ m, $P > 0.10$ m。

上述式中:

- B ——渠宽,单位为米(m);
- b ——堰宽,单位为米(m)。

10.2.2.3 梯形薄壁堰

10.2.2.3.1 梯形薄壁堰结构尺寸

- a) 梯形薄壁堰结构为上宽下窄的梯形缺口,堰口侧边比应为 1:4(横:竖)。尺寸要求: $B \leq 1.5 \text{ m}$;
 $b = B + h/2$; $h = B/3 + 0.05 \text{ m}$; $T = B/3$; $P \geq B/3$; $D = P + h + P_1$; $L = b + 2T + b_1$;见图 10。

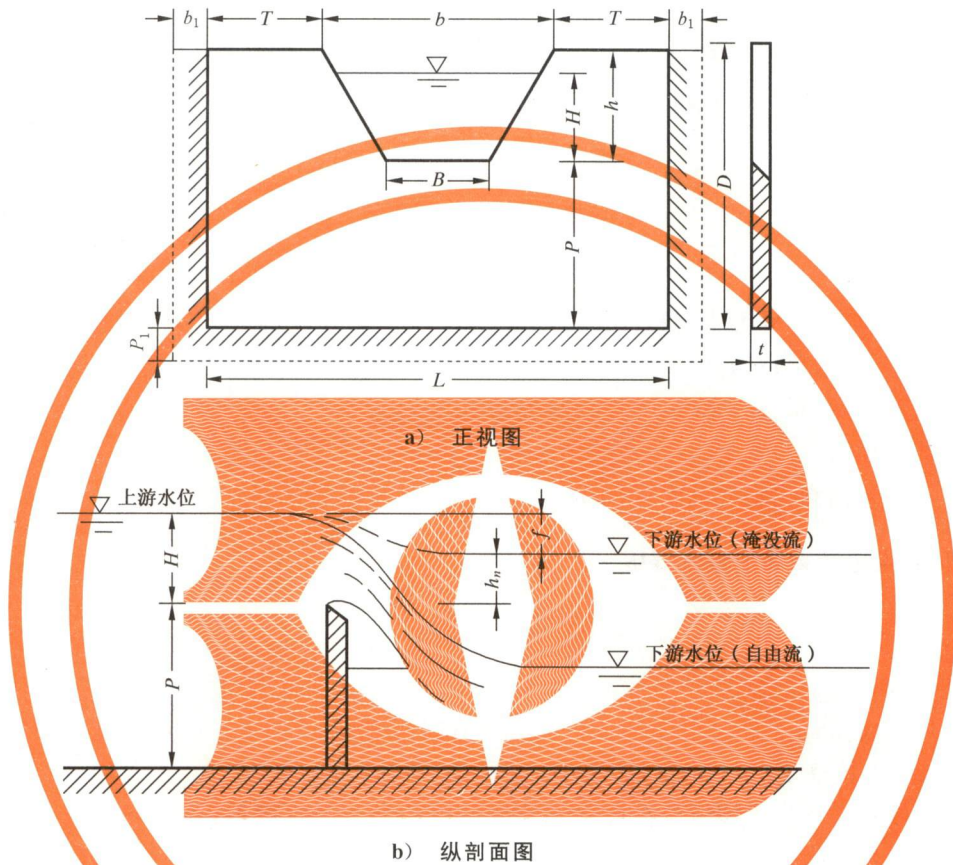


图 10 梯形量水堰及其水流形态示意图

- b) 梯形薄壁堰几何尺寸应符合表 8。

表 8 梯形薄壁量水堰几何尺寸关系

序号	渠道流量范围 $Q/(m^3/s)$	堰口下 底宽 B/cm	堰口上 顶宽 b/cm	最大 水头 H/cm	口高 h/cm	边宽 T/cm	槛高 P/cm	安装 深度 P_1/cm	堰高 D/cm	安装 宽度 b_1/cm	堰宽 L/cm
1	0.002~0.012	25	31.6	8.3	13.3	8.3	8.3	5	26.6	8	64.2
2	0.010~0.063	50	60.8	16.6	21.6	16.6	16.6	5	43.2	8	110.0
3	0.030~0.178	75	90.0	25.0	30.0	25.0	25.0	5	60.0	8	156.0
4	0.061~0.365	100	119.1	33.3	38.3	33.3	33.3	5	76.6	8	201.7
5	0.102~0.640	125	148.3	41.6	46.6	41.6	41.6	5	93.2	8	247.5
6	0.165~1.009	150	177.5	50.0	55.0	50.0	50.0	5	110.0	8	293.5

10.2.2.3.2 流量计算公式

考虑水头损失和堰流收缩等情况,流量公式为:

$$Q = \frac{2}{3} m_0 \sqrt{2g} \left(b + \frac{4}{5} H \tan \alpha \right) H^{1.5} \dots\dots\dots (39)$$

当梯形堰口侧边与铅垂线的夹角 $\alpha = 14.036^\circ$ (即 $\tan \alpha = 1/4$) 的情况下,流量可用下式计算:

$$Q = 1.856 B H^{1.5} \dots\dots\dots (40)$$

公式适用范围: $0.25 \text{ m} \leq B \leq 1.5 \text{ m}$, $0.083 \text{ m} \leq H \leq 0.5 \text{ m}$, $0.083 \leq P \leq 0.5 \text{ m}$ 。

当下游水位高于梯形堰的堰槛,上下游水位差与堰槛高之比 $f/P < 0.7$ 时,梯形堰为淹没出流,淹没流流量公式:

$$Q = 1.86 \sigma_n B H^{1.5} \dots\dots\dots (41)$$

$$\sigma_n = \sqrt{1.23 - (h_n/H)^2} - 0.127 \dots\dots\dots (42)$$

上述式中:

- Q —— 流量,单位为立方米每秒(m^3/s);
- H —— 堰上水头,单位为米(m);
- B —— 堰口底宽,单位为米(m);
- σ_n —— 淹没系数;
- h_n —— 下游水面高出堰槛的水深(m)。

10.2.2.4 U形渠道抛物线形量水堰板

10.2.2.4.1 适用范围

适用范围如下:

- a) 适用于底弧直径 $D = 0.2 \text{ m} \sim 0.6 \text{ m}$,渠道衬砌深度 $H = 0.3 \text{ m} \sim 0.6 \text{ m}$,直线段外倾角 $0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$,渠底比降 $I = 1/300 \sim 1/1500$ 的小型 U 形渠道量水;
- b) 抛物线形喉口量水堰板应在自由流条件下使用,临界淹没度不宜大于 0.7;
- c) 佛汝德数 $Fr \leq 0.5$;
- d) 断面收缩比 ϵ ,应按堰板插入渠道后灌溉渠道中水位升高不超过渠顶,并保证自由出流的原则确定,一般宜在 0.45~0.65。

10.2.2.4.2 结构形式及尺寸

抛物线形量水堰板是由塑料板制成抛物线形喉口,并在上部留横档以维持强度,将其放置在 U 形渠道中专门刻制的横槽中,堰板喉口底端与渠底齐平,不必改变渠底坡度,见图 11。量水堰板抛物线形喉口断面方程为:

$$y = P x^2 \dots\dots\dots (43)$$

式中:

- y —— 以渠底为原点的纵坐标,单位为米(m);
- P —— 抛物线形喉口断面形状系数,单位为米的负一次方(m^{-1});
- x —— 以渠底为原点的横坐标,单位为米(m)。

$$P = \frac{16 H_0^3}{9 \epsilon^2 A_0^2} \dots\dots\dots (44)$$

式中:

- H_0 —— U 形渠道的衬砌深度,单位为米(m);

ϵ ——断面收缩比,其值为喉口断面面积与 A_0 的比值;
 A_0 ——U形渠道衬砌断面面积,单位为平方米(m^2)。

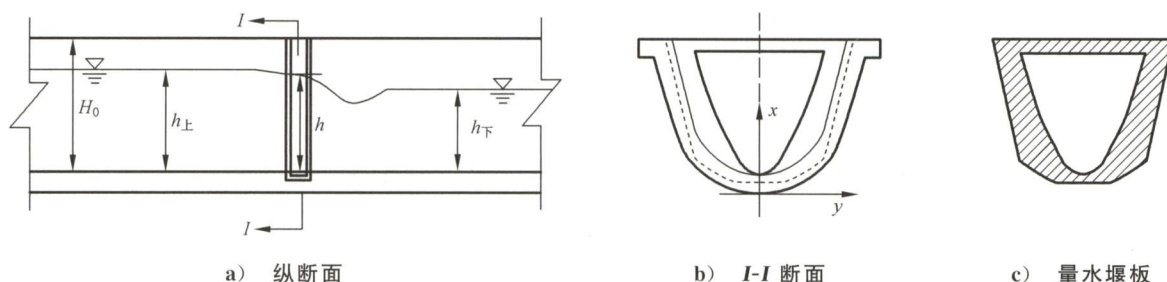


图 11 抛物线形移动式量水堰板的构造

10.2.2.4.3 自由流流量计算公式

喉口的流量可用式(45)~式(48)计算。

$$Q = C_1 \cdot \frac{A^2}{h} \left[1 - \sqrt{1 - C_1 \cdot \frac{h^2}{A^2}} \right] \dots\dots\dots (45)$$

$$C_1 = \frac{\sqrt{gP}}{2.828\alpha_0 C_d} \dots\dots\dots (46)$$

$$C_2 = \frac{\alpha_0 C_d^2}{P} \dots\dots\dots (47)$$

$$C_d = 0.4336 \left(\frac{\epsilon}{Ph} \right)^{0.0277} \dots\dots\dots (48)$$

上述式中:

C_1, C_2 ——系数;

A ——喉口水深为 h 时喉口过水断面的面积,单位为平方米(m^2),其值为 $A = 4h^{1.5}/P^{0.5}$;

h ——喉口,水深,单位为米(m);

g ——重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2), $g = 9.81 m/s^2$;

P ——抛物线形喉口断面形状系数,单位为米的负一次方(m^{-1});

α_0 ——流速修正系数,取 1.08;

C_d ——流量系数,无量纲。

10.3 量水槛

10.3.1 适用范围

适用范围如下:

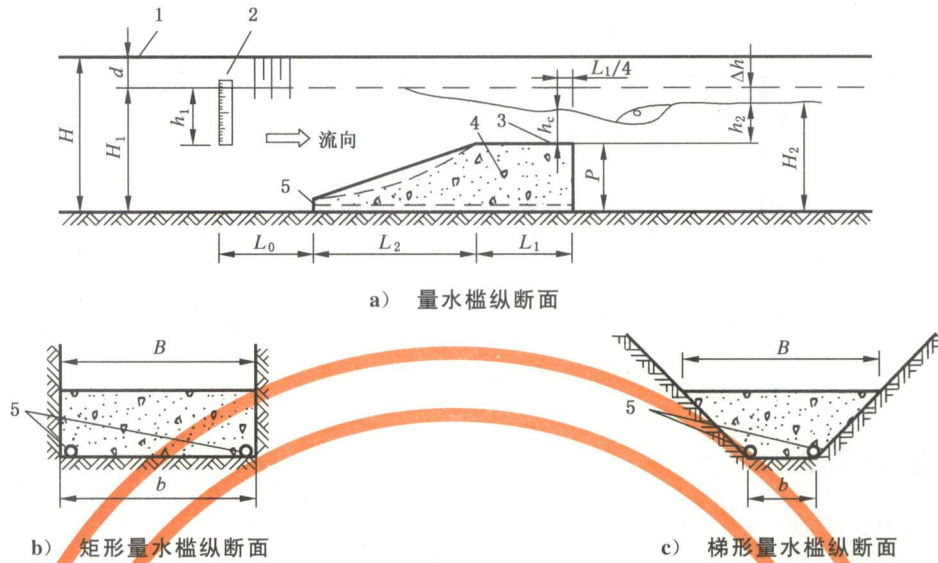
- a) 量水槛用于自由流和淹没流状态下测流;
- b) 量水槛用于矩形、梯形或抛物线渠道测流,水头损失宜在 $0.1h_{max} \sim 0.13h_{max}$,最大流量与最小流量比 $Q_{max} : Q_{min} = 10 : 1$ 。见图 12。

10.3.2 结构及尺寸

结构及尺寸如下:

- a) 量水槛由上游行近渠道和底槛组成,无侧收缩(见图 12)。
- b) 量水槛顶长度是堰前最大水深的 1.5 倍~2.5 倍,迎水面用 1 : 3 的斜坡与原渠底连接。堰后

用较缓的斜面与渠底衔接,也可不设斜面,垂直与渠底衔接。底部应设排水管。



说明:

- 1 ——渠顶;
- 2 ——水尺;
- 3 ——底槛参考位置;
- 4 ——底槛;
- 5 ——排水管;
- H ——渠道深度,单位为米(m);
- H_1 ——上游渠道水深,单位为米(m);
- H_2 ——下游渠道水深,单位为米(m);
- d ——超高,单位为米(m);
- P ——量水槛高度,单位为米(m);
- Δh ——量水槛壅水高度,单位为米(m);
- h_c ——临界水深,单位为米(m);
- h_1 ——以底槛顶部为基准面的上游水深,单位为米(m);
- h_2 ——以底槛顶部为基准面的下游水深,单位为米(m);
- B ——量水槛顶宽度,单位为米(m);
- b ——渠底宽度,单位为米(m);
- L_0 ——水尺至量水槛起点距离,单位为米(m),一般采用 1.0 m;
- L_1 ——量水槛顶长度,单位为米(m);
- L_2 ——渐变段长度,单位为米(m)。

图 12 量水槛纵横剖面示意图

10.3.3 流量计算公式

流量计算公式如下:

a) 理论计算公式

1) 矩形控制断面流量计算公式:

$$Q = C_d C_v (2/3)^{3/2} \sqrt{g} B h_1^{3/2} \dots\dots\dots (49)$$

2) 梯形控制断面流量计算公式,应用范围 $0.1 \leq h_1/L_1 \leq 1.0$ (见图 13):

$$Q = C_d (B h_c + m h_c^2) [2g (h_1 - h_c)]^{1/2} \dots\dots\dots (50)$$

$$C_d = (h_1/L_1 - 0.05)^{0.013} \dots\dots\dots (51)$$

$$C_v = \left[\frac{h_1 + \alpha_1 v_1^2 / (2g)}{h_1} \right]^u = \left(1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2gh_1} \right)^u \dots\dots\dots (52)$$

上述式中：

- Q —— 流量,单位为立方米每秒(m³/s);
- C_d —— 流量系数,适用于 0.1 ≤ h₁/L ≤ 1.0;
- C_v —— 流速系数;
- u —— 形状系数。矩形:u=1.5,抛物线形:u=2.0;梯形: B > h₁ 时, u=1.7, B < h₁ 时, u=2.3;
- B —— 量水槛顶宽度,单位为米(m);
- h₁ —— 上游水头,单位为米(m);
- h_c —— 临界水深,单位为米(m);
- v₁ —— 上游流速,单位为米每秒(m/s);
- α —— 流速均匀系数;
- g —— 重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s²)。

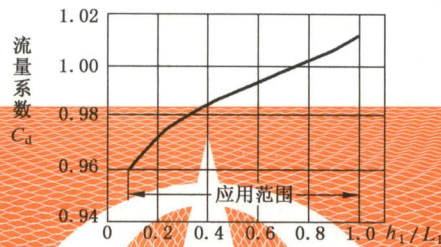


图 13 C_d 与 h₁/L₁ 之间的函数关系图

梯形断面 h_c/h₁ 与渠道边坡 m 和 h₁/b_c 的函数关系见附录 F.2。

- b) 流量经验计算公式
由实测资料分析确定：

$$Q = Ah_1^n \dots\dots\dots (53)$$

式中：

- Q —— 流量,单位为立方米每秒(m³/s);
- A —— 待定系数(由试验或现场率定);
- h₁ —— 上游水头,单位为米(m);
- n —— 待定指数(由试验或现场率定)。

标准量水槛尺寸及系数查附录 F.1,矩形与梯形控制断面临界水深查附录 F.2。

10.3.4 量水槛设计

量水槛设计要求如下：

- a) 量水槛高度 P,应按修建量水槛后灌溉渠道中水位升高不超过渠顶,并保证自由出流的原则确定。量水槛淹没度 h₂/h₁ 应控制在 0.85 左右,渠道超高 d 一般为正常水深的 20%,量水槛槛顶最小水深应大于 0.05 m。
- b) 量水槛槛顶长度 L₁ = (1.5~2.5)h_{1max}。根据已知渠道水力要素,通过试算进行淹没度校核,并确定渠道超高 d、量水槛高度 P 及槛顶长度 L₁。
- c) 量水槛几何尺寸应符合附录 F.1 的规定。

10.3.5 量水槛施工

量水槛施工应符合以下要求：

- a) 量水槛采用混凝土材料,过流面和边墙表面应光滑平整,无变形、裂缝。现场浇筑的量水槛,可用水泥素浆抹光,糙率应不超过 0.012;
- b) 量水槛顶部应保持水平,顶面高程允许误差为 0.002 m,槛顶宽度误差不宜大于 0.01B,最大值不超过 0.01 m;
- c) 量水槛斜坡面与槛顶平面应紧密结合;斜坡面的底部可留有 0.05 m~0.1 m 的直立边。

11 量水槽量水

11.1 一般规定

11.1.1 量水槽应设置于顺直渠段,上游行近渠段壅水高度不应影响进水口的正常引水,长度应大于渠宽的 5 倍~15 倍;行近渠内水流佛汝德数 Fr 不应大于 0.5。

11.1.2 槽体表面平滑,轴线应与渠道轴线一致。

11.1.3 量水槽上游不应淤积,下游不应冲刷。

11.1.4 量水槽产生的水位壅高应保证渠段上游安全及正常运行。

11.2 巴歇尔槽

11.2.1 结构及尺寸

11.2.1.1 巴歇尔量水槽由进口收缩段、喉道、出口扩散段及上下游水尺组成,上下游水尺设置在观测井内(见图 14)。

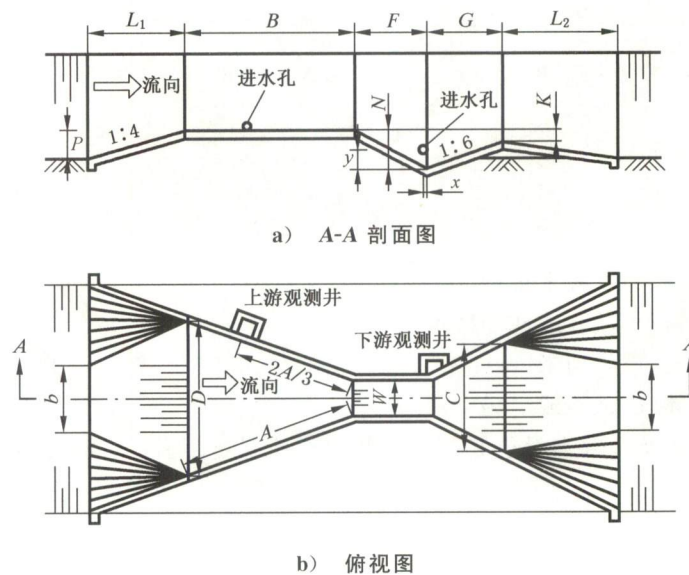


图 14 标准巴歇尔量水槽结构示意图

11.2.1.2 进口收缩段底板应保持水平,进口收缩段的侧墙与轴线应成 $11^{\circ}19'$ 的扩散角,出口扩散段的侧墙与轴线应成 $9^{\circ}28'$ 的扩散角,喉道底板的坡降为 3 : 8,出口扩散段底板的逆坡坡度为 1 : 6。

11.2.1.3 巴歇尔量水槽尺寸应符合表 9 的规定:

- a) 量水槽中 A 、 B 、 C 、 D 尺寸是喉口宽度 W 的函数,其关系为: $A = 0.51W + 1.22$, $B = 0.5W + 1.20$, $C = W + 0.30$, $D = 1.2W + 0.48$;
- b) 其他常数项经实验确定为: $F = 0.6$ m, $G = 0.9$ m, $K = 0.08$ m, $N = 0.23$ m, $X = 0.05$ m, $Y = 0.08$ m;

- c) 量水槽上下游护底长为槽底高 P 的函数:上游护底长 $L_1=4P$,下游护底长 $L_2=(6\sim 8)P$;
- d) 量水槽上下游水尺分别在进口收缩段距喉道首端 $2A/3$ 和距喉道末端 X 长度上游处。水尺零点高程均与进口收缩段底板高程一致。喉道宽度在 0.75 m 以下且水流平稳的量水槽,水尺可设在侧壁上;喉道宽度在 0.75 m 以上和水流不稳的量水槽,宜在槽外设静压井。

表 9 巴歇尔量水槽尺寸表

W/m	A/m	(2/3)A/m	B/m	C/m	D/m	量测范围/(m ³ /s)	
						最小	最大
0.250	1.351	0.900	1.325	0.550	0.780	0.006	0.561
0.500	1.479	0.986	1.450	0.800	1.080	0.012	1.159
0.750	1.606	1.070	1.575	1.050	1.380	0.016	1.772
1.000	1.734	1.156	1.700	1.300	1.680	0.021	2.330
1.250	1.861	1.241	1.825	1.550	1.980	0.026	2.920
1.500	1.988	1.326	1.950	1.800	2.280	0.032	3.500
1.750	2.116	1.411	2.075	2.050	2.580	0.037	4.080
2.000	2.243	1.495	2.200	2.300	2.880	0.041	4.660
2.250	2.370	1.580	2.325	2.550	3.180	0.046	5.240
2.500	2.498	1.665	2.450	2.800	3.480	0.051	5.820
2.750	2.625	1.750	2.575	3.050	3.780	0.056	6.410
3.000	2.753	1.835	2.700	3.300	4.080	0.060	6.990

11.2.2 槽型选择要求

11.2.2.1 槽型选择应考虑流量变化范围、有效水头、最大淹没度、渠道特性、水头损失、水流含沙情况、经济条件等因素。

11.2.2.2 不应随意改变或按比例缩放标准设计中给定的各部尺寸,应根据工程地点渠道的实际情况及水流条件,选择与之最接近测流要求的标准尺寸。

11.2.3 流量计算公式

- a) 自由流流量公式:淹没度 $S=h_2/h_1<0.7$ 。

$$Q = 0.372W \left(\frac{h_1}{0.305} \right)^{1.569W^{0.026}} \dots\dots\dots (54)$$

式中:

h_1 ——上游水尺读数,单位为米(m);

h_2 ——下游水尺读数,单位为米(m);

W ——喉道宽度,单位为米(m);当喉道宽度 $W=0.5\text{ m}\sim 1.5\text{ m}$ 时,可用简化公式:

$$Q = 2.4Wh_1^{1.57} \dots\dots\dots (55)$$

- b) 淹没流流量公式:淹没度 $0.7<h_2/h_1<0.95$ 。

$$Q_s = Q - \Delta Q \dots\dots\dots (56)$$

$$\Delta Q = 0.0746 \left\{ \left[\frac{h_1}{\left(\frac{0.928}{S} \right)^{1.8} - 0.747} \right]^{4.57-3.14S} + 0.093S \right\} W^{0.815} \dots\dots\dots (57)$$

上述式中：

ΔQ ——流量修正值，单位为立方米每秒(m^3/s)；

S ——淹没度，其值为 h_2/h_1 。

11.3 矩形无喉段量水槽

11.3.1 结构尺寸(见图 15)

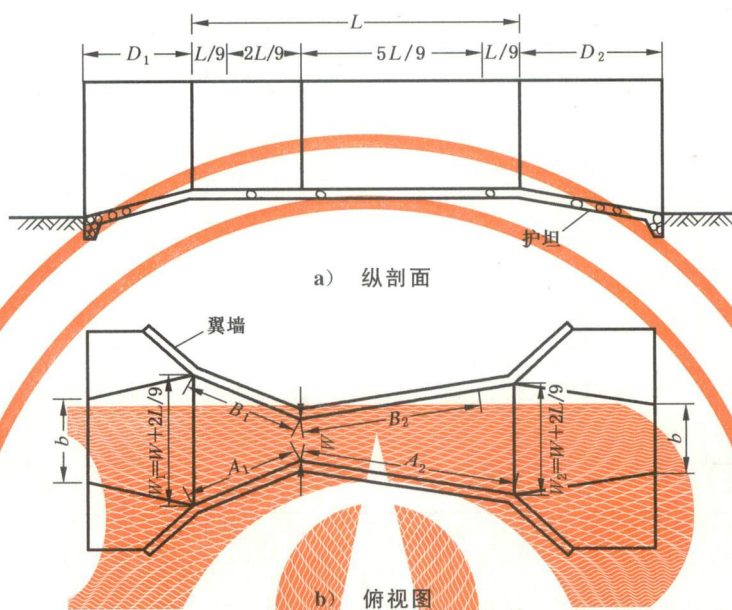


图 15 矩形无喉段量水槽结构示意图

11.3.1.1 矩形无喉段量水槽由进口收缩段、矩形喉口、出口扩散段及上下游水尺组成，上游进口段以 1:3 折角收缩，下游出口段以 1:6 折角扩散，进口和出口宽度相等。标准无喉段量水槽尺寸见表 10。

11.3.1.2 量水槽的上、下游水尺分别设置在距进口和出口 $1/9L$ 处，水尺应垂直于槽底，零点与槽底齐平。小型量水槽(喉宽在 0.8 m 以下)，水尺可设在侧墙壁上。

表 10 无喉段量水槽尺寸表

单位为米

槽型 $W \times L$	槽宽 W	槽长 L	上游侧墙长度 A_1	下游侧墙长度 A_2	上游水尺位置 B_1	下游水尺位置 B_2	进、出口宽度 B_2	上游护坦长度 D_1	下游护坦长度 D_2
0.3×0.9	0.3	0.9	0.316	0.608	0.211	0.507	0.40	0.60	0.80
0.4×1.35	0.40	1.35	0.474	0.913	0.316	0.760	0.70	0.80	1.20
0.6×1.80	0.60	1.80	0.632	1.217	0.422	1.014	1.00	1.00	1.60
0.8×1.80	0.80	1.80	0.632	1.217	0.422	1.014	1.20	1.20	2.00
1.0×2.70	1.00	2.70	0.950	1.825	0.632	1.521	1.60	1.40	2.40
1.2×2.70	1.20	2.70	0.950	1.825	0.632	1.521	1.80	1.60	2.80
1.4×3.60	1.40	3.60	1.265	2.433	0.843	2.028	2.00	1.80	3.20
1.6×3.60	1.60	3.60	1.265	2.433	0.843	2.028	2.20	2.00	3.60
1.8×3.60	1.80	3.60	1.265	2.433	0.843	2.028	2.40	2.20	4.00
2.0×3.60	2.00	3.60	1.265	2.433	0.843	2.028	2.60	2.40	4.40

11.3.2 流量计算公式

11.3.2.1 自由流流量计算公式

$$Q = C_1 H^{n_1} \dots\dots\dots (58)$$

$$C_1 = K_1 W^{1.025} \dots\dots\dots (59)$$

上述式中：

- Q —— 过槽流量,单位为立方米每秒(m³/s);
- C₁ —— 自由流系数,查表 11;
- H —— 槽内上游水深,单位为米(m);
- n₁ —— 自由流指数,受槽长影响,查表 11,见图 16;
- K₁ —— 自由流槽长系数,受槽长影响,查表 11,见图 16;
- W —— 喉宽,单位为米(m)。

表 11 无喉段量水槽自由流系数和指数查用表

槽宽 W/m	0.2	0.4	0.6	0.8	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
槽长 L/m	0.9	1.35	1.80	1.80	2.70	2.70	3.60	3.60	3.60	3.60
自由流系数 C ₁	0.696	1.042	1.40	1.88	2.16	2.60	2.95	3.38	3.82	4.24
自由流指数 n ₁	1.80	1.71	1.64	1.64	1.57	1.57	1.55	1.55	1.55	1.55
自由流槽长系数 K ₁	3.65	2.68	2.36	2.36	2.16	2.16	2.09	2.09	2.09	2.09

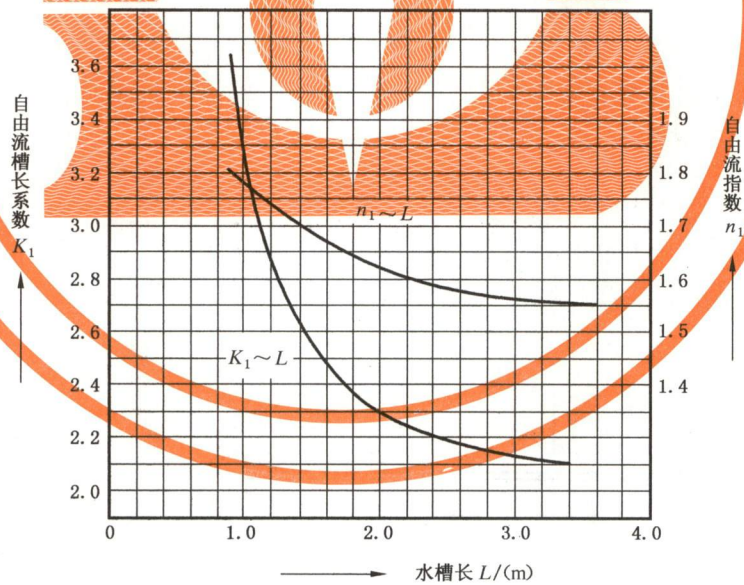


图 16 自由流系数 K₁ 与指数 n₁ 关系曲线

11.3.2.2 淹没流计算公式

$$Q = \frac{C_2 (H - h_d)^{n_1}}{(-\log S)^{n_2}} \dots\dots\dots (60)$$

$$C_2 = K_2 W^{1.025} \dots\dots\dots (61)$$

上述式中：

- C₂ —— 淹没流系数,查用表 12;

- h_d ——槽内下游水深,单位为米(m);
- S ——淹没度, $S = h_d/H$,表 12 中 S_c 表示临界淹没度;
- n_2 ——淹没流指数,查用表 12;
- W ——喉宽,单位为米(m);
- K_2 ——淹没流指数。

表 12 无喉段量水槽淹没流系数、指数和临界淹没度(S_c)查用表

槽宽 $W/(m)$	0.2	0.4	0.6	0.8	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
槽长 $L/(m)$	0.9	1.35	1.80	1.80	2.70	2.70	3.60	3.60	3.60	3.60
淹没流系数 C_2	0.397	0.79	1.17	1.57	2.03	0.598	1.06	1.41	1.80	2.25
淹没流指数 n_2	1.46	1.36	1.34	1.34	1.34	1.40	1.38	1.34	1.34	1.34
淹没流指数 K_2	2.08	1.33	1.17	1.11	1.11	1.53	1.33	1.17	1.11	1.11
临界淹没度 S_c	0.65	0.70	0.75	0.80	0.80	0.70	0.70	0.85	0.80	0.80

11.4 抛物线形喉口量水槽

11.4.1 适用范围

11.4.1.1 适用于具有下列参数的 U 形渠道量水:

- a) 底弧直径 $D=0.3\text{ m}\sim 2.0\text{ m}$;
- b) 渠道衬砌深度 $H=0.4\text{ m}\sim 1.5\text{ m}$;
- c) 直线段外倾角 $0^\circ\leq\alpha\leq 15^\circ$;
- d) 渠底比降 $I=1/300\sim 1/1\ 500$ 。

11.4.1.2 抛物线形喉口量水槽应在自由流条件下使用,临界淹没度不宜大于 0.88。

11.4.1.3 量水槽水尺前的佛汝德数 Fr 应小于或等于 0.5。

11.4.2 结构形式及尺寸

11.4.2.1 抛物线形喉口量水槽由进口收缩渐变段、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 17)。

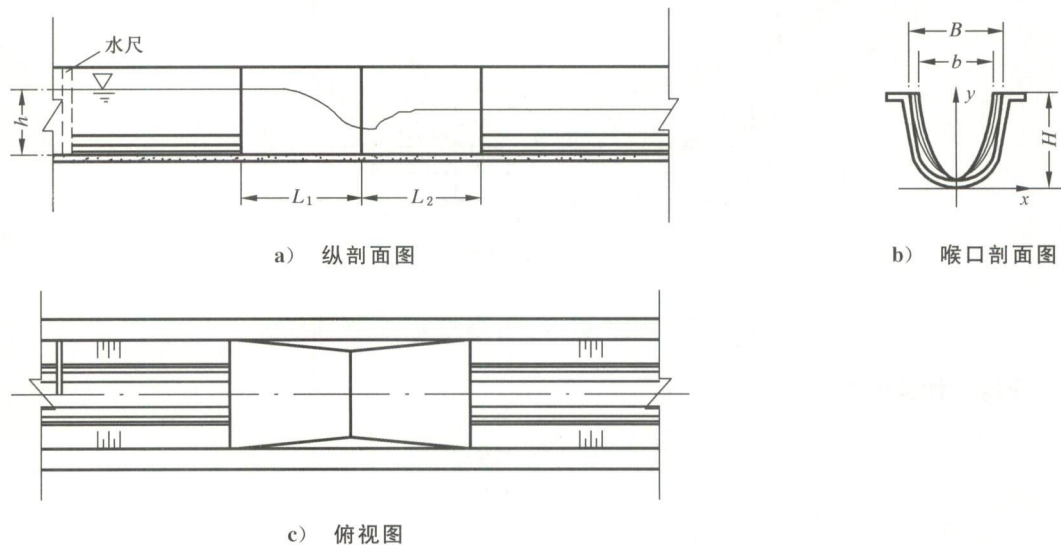


图 17 抛物线形喉口量水槽示意图

11.4.2.2 抛物线形喉口断面的方程为：

$$y = Px^2 \quad \dots\dots\dots(62)$$

$$P = \frac{16H^3}{9\epsilon^2 A_0^2} \quad \dots\dots\dots(63)$$

$$A_p = 4H^{1.5} / 3P^{0.5} \quad \dots\dots\dots(64)$$

上述式中：

y ——以槽底为原点的纵坐标,单位为米(m)；

x ——以槽底为原点的横坐标,单位为米(m)；

P ——抛物线的形状系数,单位为负一次方米(m^{-1})；

H ——U形渠道衬砌深度,单位为米(m)；

ϵ ——量水槽喉口断面收缩比,为 $\epsilon = A_p / A_0$,其值可由表 13 确定；

A_0 ——U形渠道衬砌断面面积,单位为平方米(m^2)；

A_p ——抛物线形喉口断面面积,单位为平方米(m^2),其值根据式(64)确定。

表 13 U形渠道参数与量水槽收缩比 ϵ 关系表(糙率 $n = 0.015$)

渠道断面参数		渠道比降									
渠道底 弧半径 $R/10^{-2}$ m	渠道 高度 $H/10^{-2}$ m	1/200~ 1/300	1/400	1/500	1/600	1/700	1/800	1/900	1/1 000	1/1 200	1/1 500
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

11.4.2.3 渐变段长度及水尺位置:

a) 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。

$$L_1 = L_2 \geq 3(B - b) \quad \dots\dots\dots (65)$$

$$b = 2(H/P)^{0.5} \quad \dots\dots\dots (66)$$

上述式中:

B —— U 形衬砌渠道渠口宽,单位为米(m);

b —— 抛物线形喉口断面上口宽,单位为米(m);当用式(66)计算得出的渐变段长度小于 0.3 m 时,取 0.3 m。

b) 水尺应设置距进口渐变段前沿的上游 2 倍最大水深的距离处。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 0.005 m。

11.4.3 流量计算

11.4.3.1 流量计算公式

$$Q = C_d C_v h^2 / \sqrt{P} \quad \dots\dots\dots (67)$$

$$C_v = \left(1 + \frac{\alpha_0 C_d^2 C_v^2 h^3}{2gPA^2} \right)^2 \quad \dots\dots\dots (68)$$

$$C_d = 1.96P^{0.011} / \epsilon^{0.13} \quad \dots\dots\dots (69)$$

上述式中:

Q —— 流量,单位为立方米每秒(m³/s);

α₀ —— 行进渠流速分布不均匀系数,对顺直渠道,α₀ ≈ 1.08;

A —— 水尺处过水断面面积,单位为平方米(m²);

h —— 水尺处实测水深,单位为米(m);

C_d —— 流量系数;

C_v —— 流速系数。由式(67)求解流量时,先由式(68)迭代计算出 C_v 值。

11.4.3.2 流量也可用式(70)计算

$$Q = C_1 A^2 h^{-1} [1 - \sqrt{1 - C_2 h^3 / A^2}] \quad \dots\dots\dots (70)$$

$$C_1 = \frac{gP^{0.5}}{2\alpha_0 C_d} \quad \dots\dots\dots (71)$$

$$C_2 = \frac{4\alpha_0 C_d}{gP} \quad \dots\dots\dots (72)$$

上述式中:

C₁ —— 第 1 系数(s⁻¹);

C₂ —— 第 2 系数(m);其余符号意义同前。

11.4.4 水力要求

量水槽设计尺寸应满足自由流对淹没度的要求。

11.4.5 抛物线形喉口制作要求

抛物线形喉口可用钢板或五合板预制喉口堰板;或用钢板制作喉口模具,其他部分采用现浇的施工方法。预制喉口堰板尺寸或喉口模具应精确到毫米。

11.4.6 小型 U 形渠道标准量水槽

对于具有下列参数的小型 U 形渠道,可用标准量水槽:

- 底弧直径 $D=0.3\text{ m}\sim 0.8\text{ m}$;
- 衬砌深度 $H=0.3\text{ m}\sim 0.8\text{ m}$;
- 直线段外倾角 $5^\circ\leq\alpha\leq 14^\circ$;
- 渠底比降 $I=1/300\sim 1/1\ 500$ 。

11.4.7 标准抛物线形喉口量水槽规格

标准抛物线形喉口量水槽共有 18 个种,其抛物线形状系数 $P(1/\text{m})$ 值分别为:5.60;5.90;6.25;6.37;6.75;7.00;7.50;8.00;8.50;9.50;10.00;10.50;12.00;13.00;16.00;17.00;18.00;20.00。

11.4.8 标准抛物线形喉口量水槽设计要求

标准抛物线形喉口量水槽的喉口断面方程、喉口宽度、上下游渐变段长度及其适用渠道规格由附录 F.3 中查出。

11.4.9 标准抛物线形喉口量水槽的流量公式

抛物线形喉口标准量水槽的流量公式为:

$$Q = CH^3 + DH^2 \quad \dots\dots\dots (73)$$

式中:

- Q ——流量,单位为升每秒(L/s);
 C, D ——系数,各个标准量水槽的流量公式中的系数 C 及 D 值及其适用渠道的规格列入附录 F.3;
 H ——水尺读数,单位为米(10^{-2} m)。

11.4.10 标准量水槽的选则

标准量水槽的选用,应根据 U 形渠道的技术参数以及渠道比降,选择相应的断面收缩比 ϵ ,计算出相应渠道的标准量水槽的抛物线形状系数 P 值。根据计算出的 P 值,在附录 F.3 中选用与 P 值相近的量水槽及其有关尺寸。

11.5 直壁式量水槽

11.5.1 适用范围

11.5.1.1 适用于具有下列参数的 U 形渠道的量水:

- 底弧直径 $D=0.3\text{ m}\sim 0.8\text{ m}$;
- 衬砌深度 $H=0.3\text{ m}\sim 0.8\text{ m}$;
- 直线段外倾角 $0^\circ\leq\alpha\leq 15^\circ$ 。

11.5.1.2 直壁式量水槽应在自由流条件下使用,临界淹没度不宜大于 0.83。

11.5.1.3 量水槽水尺前水流的佛汝德数 Fr 应小于或等于 0.5。

11.5.1.4 槽前最小水深 $h_1\geq 0.06\text{ m}$ 。

11.5.1.5 渠底比降 $I=1/200\sim 1/1\ 000$ 。

11.5.2 结构形式及尺寸

11.5.2.1 直壁式量水槽进口与出口由椭圆形曲线与 U 形渠道衔接,量水槽底部不改变原渠道底坡。其结构形式如图 18 所示。

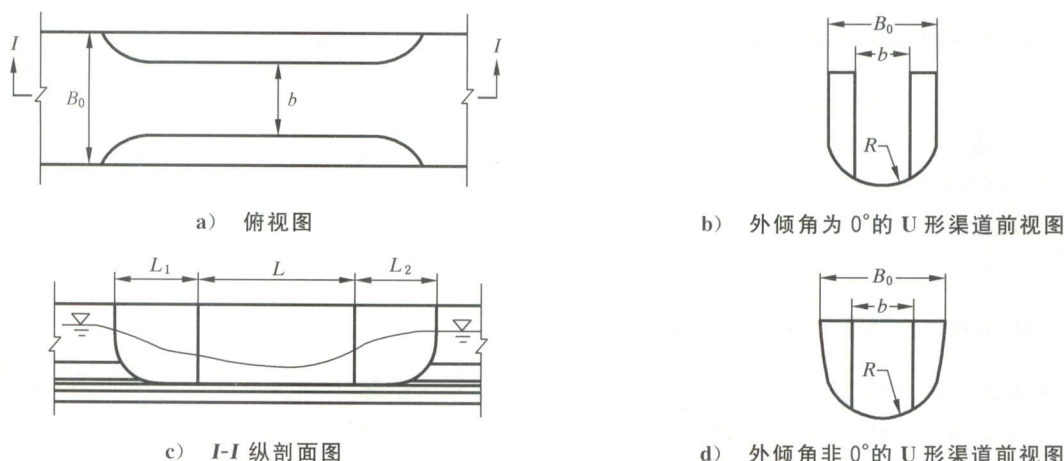


图 18 直壁式量水槽结构图

11.5.2.2 水尺位置在量水槽进口上游 $1.5B_0$ 处,水尺零点为该断面渠底中心高程。

11.5.2.3 量水槽结构参数为:

a) 喉口收缩比:

$$\epsilon = \frac{b}{D} = 0.5 \sim 0.65 \quad \dots\dots\dots(74)$$

b) 喉道长度:

$$L = 0.7B_0 \quad \dots\dots\dots(75)$$

c) 进出口过渡段长:

$$L_1 = L_2 = 1.25B_0 \quad \dots\dots\dots(76)$$

d) 过渡段椭圆曲线方程:

$$\frac{x^2}{(0.7B_0)^2} + \frac{y^2}{[(B_0 - b)/2]^2} = 1 \quad \dots\dots\dots(77)$$

上述式中:

x ——顺水流方向的坐标,单位为米(m);

y ——垂直于水流方向的坐标,单位为米(m);

B_0 ——渠深与直径之比为 0.82 处断面宽度,单位为米(m);

b ——量水槽喉口宽度,单位为米(m),其值不应小于 0.1 m。

11.5.3 量水槽流量公式

$$Q = 0.261D^2 \sqrt{2gb} (0.516h_1/R + 0.0187)^{1.5476} \quad \dots\dots\dots(78)$$

上述式中:

Q ——流量,单位为立方米每秒(m^3/s);

D ——U形渠道底弧直径,单位为米(m);

g ——重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2);

h_1 ——量水槽上游水尺读数,单位为米(m);

R ——U形渠道底弧半径,单位为米(m)。

流量公式(78)适用条件为喉口收缩比 $\epsilon = 0.5 \sim 0.65$ 。

11.5.4 水力要求

量水槽应保证自由流。在设计阶段应根据渠道设计最大流量、最小及中间流量分别校核临界淹没度。

11.6 机翼型量水槽

11.6.1 结构及尺寸

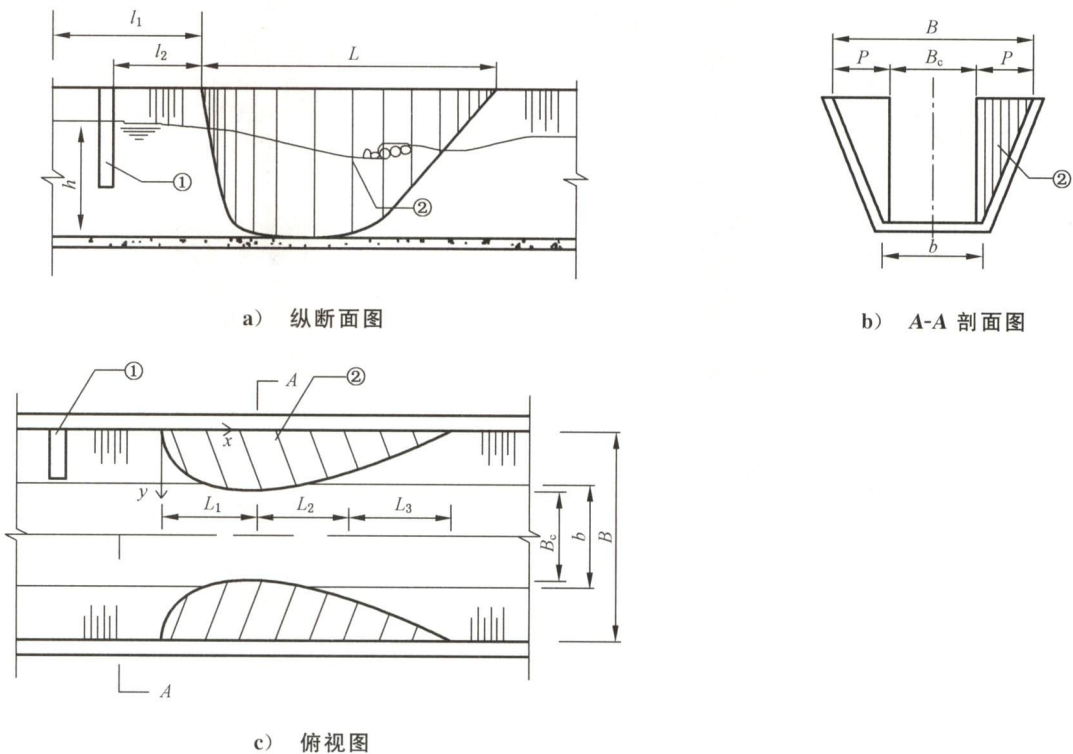
机翼形量水槽是在渠道两侧修筑仿机翼形槽壁,使水流通过时产生临界流,具有不受下游水位影响的单一水位—流量关系。因此只需测得上游水深,就可以计算出过槽流量。

机翼形量水槽包括垂直设置的量水槽壁,量水槽壁外缘体形呈机翼状,相对渠道一侧边缘是流线型,上游一端较宽。如图 19 所示。机翼形外缘曲线由以下曲线方程控制:

$$y = 10P \left[0.2969 \left(\frac{x}{L} \right)^{0.5} - 0.126 \left(\frac{x}{L} \right) - 0.3516 \left(\frac{x}{L} \right)^2 + 0.2843 \left(\frac{x}{L} \right)^3 - 0.1015 \left(\frac{x}{L} \right)^4 \right] \dots\dots\dots (79)$$

式中:

- y —— 机翼形槽壁外形曲线 y 坐标,单位为米(m);
- P —— 为量水槽壁水平方向的厚度,单位为米(m), $P = (B - B_c)/2$, B 是 U 形渠道的渠口宽度, B_c 是量水槽的喉口宽度,曲线方程的坐标原点为流线型的上游端点;
- x —— 机翼形槽壁外形曲线 x 坐标,单位为米(m);
- L —— 为量水槽壁的长度,单位为米(m)。



- 说明:
- ①——水尺;
 - ②——机翼形量水槽槽壁;
 - ③——梯形渠道。

图 19 机翼形量水槽结构示意图(梯形渠道)

11.6.2 流量公式

机翼型量水槽处于自由流时的流量公式为:

$$Q = a^{1.5} \sqrt{g} B_c^{(2.5-1.5n)} h^{1.5n} \dots\dots\dots (80)$$

式中:

- Q —— 流量,单位为立方米每秒(m³/s);
- a —— 流量系数参数;
- g —— 重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s²);
- B_c —— 喉口宽度,单位为米(m);
- h —— 量水槽上游水尺读数,单位为米(m);
- n —— 流量指数参数,a 和 n 的值可通过试验数据拟合确定,不同类型渠道的机翼形量水槽流量公式见表 14。

表 14 不同渠道机翼形量水槽流量公式

渠道类型	流量公式
U 形渠道	$Q = 0.5416 \sqrt{g} B_c^{0.9093} h^{1.5008}$
矩形渠道	$Q = 0.5964 \sqrt{g} B_c^{0.9820} h^{1.5180}$
梯形渠道	$Q = 0.6095 \sqrt{g} B_c^{0.9157} h^{1.5843}$

11.6.3 流态要求

机翼型量水槽的临界淹没度为 0.90。

11.6.4 设计要求

11.6.4.1 机翼型量水槽设计时,根据所选渠道断面尺寸包括渠顶宽度和渠深、设计流量、渠道比降、糙率等参数,选择合适的收缩比 ε,收缩比宜在 0.45~0.65 之间,保证量水时处于自由出流状态,喉口收缩比定义为喉口面积与渠道衬砌面积之比,对矩形渠道,ε 由式(81)计算,梯形和 U 形渠道类似:

$$\epsilon = \frac{A_c}{A} = \frac{B_c}{B} = \frac{B - 2P}{B} \dots\dots\dots (81)$$

式中:

- A —— 矩形渠道面积,单位为平方米(m²);
- A_c —— 喉口面积,单位为平方米(m²);
- B_c —— 矩形渠道宽度,单位为米(m);
- P —— 机翼形槽壁厚度,单位为米(m)。

11.6.4.2 选定量水槽断面收缩比后,利用渠道尺寸的几何关系,计算得出喉口宽度进而得出流线型曲线控制方程。

11.7 长喉道量水槽

11.7.1 一般规定

- 11.7.1.1 长喉槽喉道应有足够的平行于渠底的长度,保证喉道内流线平行出现临界流段。
- 11.7.1.2 进口收缩段应足够平顺,保证上游水位测量断面与喉道间的水头损失可以忽略。
- 11.7.1.3 喉段上游收缩段应有适当的收缩比,保证临界流的产生。
- 11.7.1.4 长喉槽断面形状常用的有矩形、梯形、U 形及抛物线形。
- 11.7.1.5 长喉槽控制断面的收缩形式为侧收缩、底收缩和侧底双向收缩。
- 11.7.1.6 有关长喉槽的其他规定按照 SL 482 灌排与排水渠系建筑物设计规范执行。

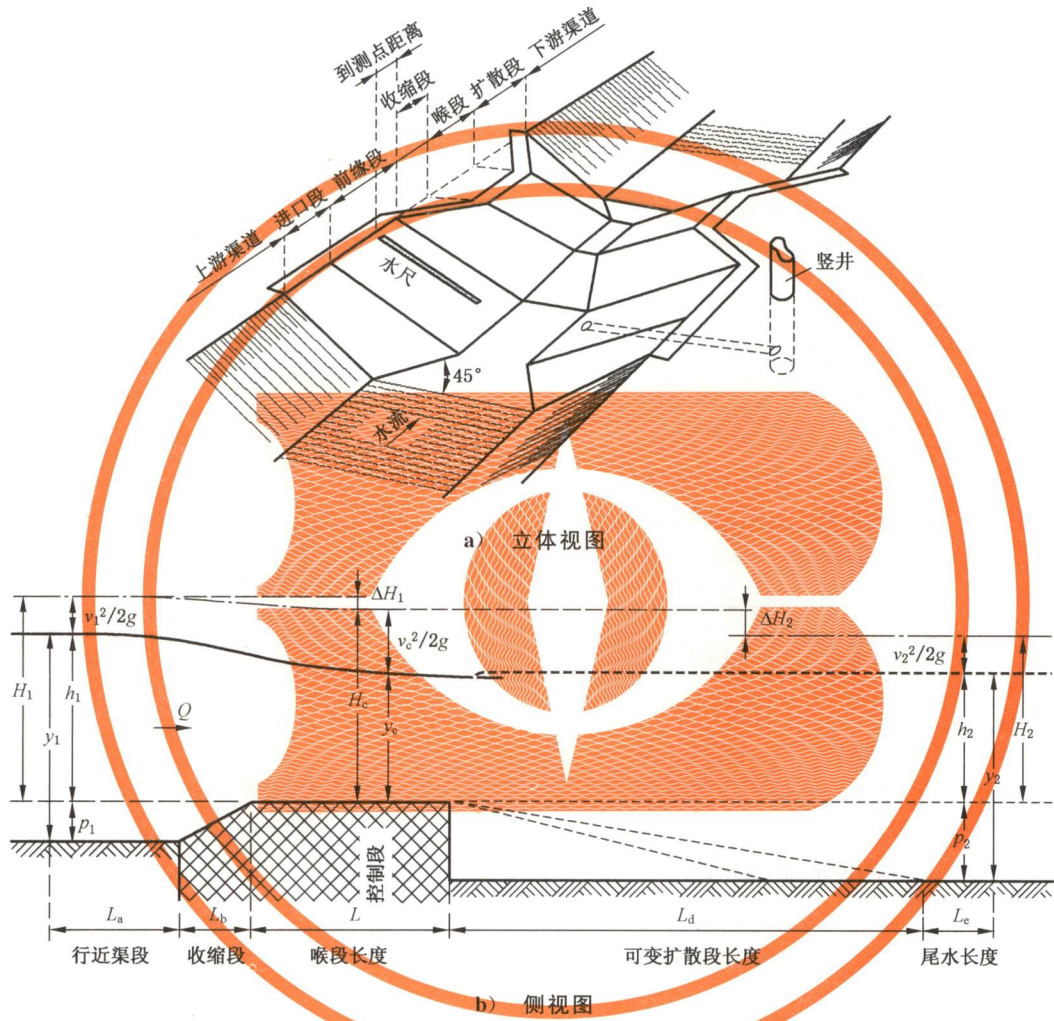
11.7.2 适用范围

11.7.2.1 长喉槽收缩比应使整个测流范围内为自由出流,喉道水流为临界流。

11.7.2.2 长喉槽的断面形式宜与渠道断面形式一致,矩形、梯形渠道水流含沙量较大时宜采用侧收缩形式,渠道纵坡缓于 1/500 时,宜采用侧底双向收缩形式。

11.7.3 设计

11.7.3.1 长喉槽由进口段、前缘段(部分长喉槽无前缘段)、收缩段、喉段、扩散段组成,梯形长喉槽的结构形式如图 20 和图 21 所示。



说明:

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| H_1 —— 上游能量水头,单位为米(m); | y_1 —— 行近渠段水位,单位为米(m); |
| h_1 —— 相对底坎上部的上游水位,单位为米(m); | p_1 —— 上游底坎高度(相对于渠底),单位为米(m); |
| H_c —— 喉段部分能量水头,单位为米(m); | y_c —— 喉段处水位,单位为米(m); |
| H_2 —— 下游能量水头,单位为米(m); | y_2 —— 下游渠道实际水位,单位为米(m); |
| h_2 —— 相对底坎上部的下游水位,单位为米(m); | p_2 —— 下游底坎高度(相对于渠底),单位为米(m); |
| ΔH_1 —— 上游渠道水头损失,单位为米(m); | ΔH_2 —— 下游渠道水头损失,单位为米(m); |
| v_1 —— 上游平均流速,单位为米每秒(m/s); | v_2 —— 下游平均流速,单位为米每秒(m/s); |
| v_c —— 喉段处平均流速,单位为米每秒(m/s); | Q —— 喉段处的流量,单位为立方米每秒(m^3/s); |
| g —— 重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s^2); | L_a —— 行近渠段的长度,单位为米(m); |
| L —— 喉段长度,单位为米(m); | L_e —— 尾水渠的长度,单位为米(m); |
| L_b —— 收缩段长度,单位为米(m); | L_d —— 扩散段长度,单位为米(m)。 |

图 20 梯形长喉槽示意图

11.7.3.2 长喉槽渐变段侧收缩比和底收缩比进口段宜取 1 : 3, 出口渐变段宜取 1 : 6, 自由出流时可将出口渐变段后半段截除。

11.7.3.3 长喉道槽的喉道长度 L 可在 $1.0H_{\max} \sim 10.0H_{\max}$ 范围内选取, 宜选用 $1.5H_{\max} \sim 1.7H_{\max}$ 。

11.7.3.4 长喉道槽的收缩后的喉道断面过流面积值 A_c 与上游渠道原过流面积值 A_1 的比值对于矩形断面宜取 $A_c/A_1 \leq 0.7$, 梯形断面宜取 $A_c/A_1 \leq 0.5$ 。

11.7.3.5 长喉槽的设计方法参见附录 G。

11.7.4 施工

11.7.4.1 长喉槽的平面中心线应与渠道中心线重合, 两边对称布置。

11.7.4.2 长喉槽施工精度要求如下:

- a) 喉段底宽允许相对误差 $\pm 0.2\%$, 且允许绝对误差 ± 0.01 m;
- b) 喉段表面不平整度允许误差 $\pm 0.1\%L$ (L 为喉段长度);
- c) 喉段顶宽允许误差 $\pm 0.2\%$, 且允许绝对误差 ± 0.01 m;
- d) 喉段纵向、横向底坡允许误差 $\pm 0.1\%$;
- e) 喉段边坡坡度允许误差 $\pm 0.1\%$;
- f) 喉段长度允许误差 $\pm 1\%L$;
- g) 上游收缩段偏离圆柱形或圆锥形的允许误差 $\pm 0.1\%L$;
- h) 进口段表面不平整度允许误差 $\pm 0.1\%L$;
- i) 长喉槽下游渐变段允许误差 $\pm 0.3\%L$;
- j) 其他铅直、斜面的平整度允许误差 $\pm 1\%L$;
- k) 行近渠段底部平整度允许误差 $\pm 0.1\%L$ 。

11.7.5 流量计算

11.7.5.1 推荐采用 Replogle 基于边界层理论的计算法计算长喉槽在可能测流范围内的水头损失和非淹没限, 具体计算法见附录 H。

11.7.5.2 长喉槽流量计算的通用公式为:

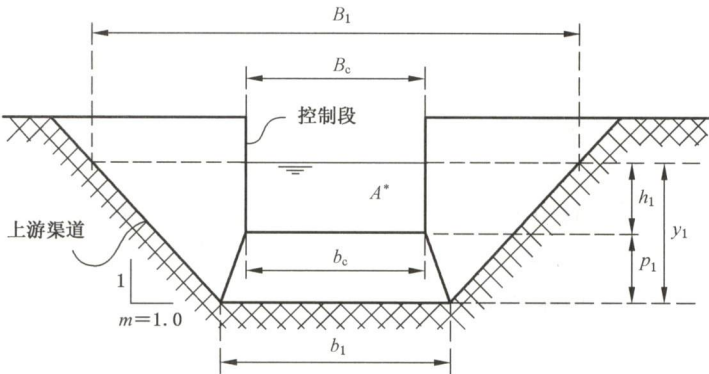
$$Q = C_D C_V 2/3 (2/3g)^{1/2} b_c h^{3/2} \dots\dots\dots (82)$$

$$C_D = (H_1/L - 0.07)^{0.018} \dots\dots\dots (83)$$

上述式中:

- Q ——通过长喉槽的流量, 单位为立方米每秒 (m^3/s);
- C_D, C_V ——流量系数、行近流速系数;
- b_c ——喉段宽度 (梯形长喉槽为喉道底宽), 单位为米 (m);
- h ——水位计实测水头, 单位为米 (m);
- μ ——水位流量公式中水深 h_1 的幂, 当控制断面堰口为矩形时, $\mu = 1.5$, 其他形式断面的 μ 值参见图 22;
- H_1 ——上游渠段总水头 (喉道槛顶算起), 单位为米 (m), $H_1 = h_1 + (v^2/2g)$, h_1 和 v 分别为堰上水深和流速。

公式适用范围: $0.1 \leq H_1/L \leq 1.0$, C_V 值可按图 21 和图 22 查用。



说明：
 B_1 ——上游渠道的水面宽度，单位为米(m)； b_1 ——上游渠道的水面和渠底宽度，单位为米(m)；
 B_c ——喉段的水面宽度，单位为米(m)； b_c ——喉段的渠底宽度，单位为米(m)；
 A^* ——假设喉段水深 h_c 等于上游水深 h_1 时喉段的过流面积 $A^* = b_c h_1$ ，单位为平方米(m^2)。

图 21 测量处横断面及控制段的上游视图

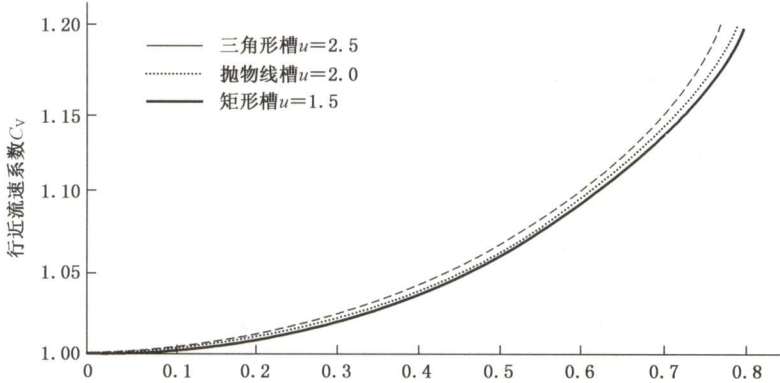


图 22 C_v 和比值 $\sqrt{\alpha_1} C_d A^* / A_1$ 的函数关系

各种不同形式的长喉槽流量计算公式及相关参数取值参见附录 G。

11.7.5.3 自由流出流态条件和满足的方法：

自由流出流态条件为：

$$H_1 + P \geq y_1 + \Delta H \quad \dots\dots\dots(84)$$

式中：

- P ——长喉道槽堰顶高于上游渠底的高度，单位为米(m)；
- y_1 ——上游渠道的设计水深，单位为米(m)；
- ΔH ——过槽的总水头损失，单位为米(m)。

满足自由流出流条件的方法：在已成渠道上设置长喉道槽时应满足上项所述条件。在新建渠道上设置长喉道槽时应将下游渠底高程降低 ΔH 。

12 仪表量水

12.1 一般规定

12.1.1 仪表量水主要包括水位计量水、流量计量水和水量计量水。选用量水仪表应满足本标准及相

关的国家标准规定的技术指标与精度要求,应具备可靠的防干扰和防雷电要求。

12.1.2 水位计可用于标准断面、堰槽、渠系建筑物等量水设施的水位测量。水位计主要有浮子式、压力式和超声波式等。

12.1.3 流量计主要是监测管道流量,通过监测管道过流断面平均流速计算流量。流量计主要有电磁流量计和超声波流量计。

12.1.4 水量计主要是监测通过管道或渠道断面的累计水量,包括机械式水表、远传水表和转轮式水量计等。指针式水表水量计的安装应保证水流满管通过。转轮式水量计应保证在渠道上的安装精度。

12.1.5 用于量水的仪表应符合国家规定。

12.2 浮子式水位计

12.2.1 浮子直径一般不应大于250 mm,宜采用250 mm、200 mm、150 mm、120 mm四种规格,特别情况下可加大或缩小直径。

12.2.2 浮子水位计测量范围:一般为0~10 m,可扩大至0~40 m;分辨率应不大于1 cm,推荐采用0.1 cm、0.5 cm、1 cm;能适应的水位最大变率应不低于40 cm/min;测量范围在0~10 m时,允许误差限应不大于±0.02 m,测量结果的合格率应在95%以上;当测量范围扩大时,其误差限均不应超出水位变幅的0.2%;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。

12.2.3 在满足仪器正常维护条件下,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 5×10^5 测次,一般是以水位变化1 cm,完成一次编码为一测次。使用非接触式编码装置水位计的平均无故障工作次数应在 5×10^6 次以上。

12.2.4 水位计宜采用直流供电,电源电压采用6 V、12 V和24 V。应有自动记录存储水位变化过程的功能。

12.2.5 工作环境温度:−10℃~+50℃,测井内水面不应结冰。

12.2.6 工作环境相对湿度:20%~95%(40℃时)。

12.2.7 浮子式水位计的产品分类、技术要求、试验方法、检验规则以及包装、标志、运输、贮存和保修期限等具体要求按照GB/T 11828(所有部分)执行。

12.3 压力式水位计

12.3.1 压力式水位计测量范围为0~5 m、0~10 m、0~20 m、0~40 m,分辨率为0.1 cm、0.2 cm、0.5 cm、1.0 cm;适应的最大水位变率应不低于60 cm/min;在0~10 m测量范围内允许误差±3 cm,测试结果的合格率应在95%以上,回差应小于该压力式水位计基本误差,重复性误差应小于该压力式水位计基本误差的0.5倍,再现性误差应小于1.5倍基本误差(试验周期一般为2 d)。

12.3.2 水下传感器应采用耐压、耐腐蚀的材料做外壳,并保证密封性能良好;吹气引压管采用耐压、耐腐蚀、密封性好的材料制作,传感器与被测水体之间宜采取保护隔离措施,既保证水体与传感器良好连通又不造成传感器的扰动;采用空气作为测量介质的气泡式水位计,应对空气介质进行干燥。压力传感器在0℃~40℃环境温度下温度漂移误差不大于基本误差;24 h输出漂移不超过基本误差。

12.3.3 压力式水位计平均无故障工作时间(MTBF)为4 000 h、6 000 h、8 000 h、10 000 h、16 000 h、25 000 h。应有数字显示、自动存储记录的功能。

12.3.4 对于输出信号为4~20 mA的压力式水位计,电源有直流和交直流两用两种,以直流为主;使用直流电源时电压为12 V和24 V,优先选用12 V,静态功耗应满足长期值守设计要求。

12.3.5 工作环境温度:显示记录装置为−10℃~+50℃;水下压力传感器为0℃~+40℃(接触的水不结冰)。

12.3.6 工作环境相对湿度:显示记录装置为不大于95%。应具有抗干扰能力,适合恶劣环境使用。

12.3.7 压力式水位计的产品分类、技术要求、试验方法、检验规则以及包装、标志、运输、贮存和保修期

限等具体要求按照 GB/T 11828(所有部分)执行。

12.4 超声波水位计

12.4.1 超声波水位计分为液介式超声波水位计和气介式超声波水位计,应具备声速补偿和消除波浪影响功能,同时应具备预置换能器安装高程、实时时间、测量周期等参数的功能。

12.4.2 液介式超声波水位计测量范围可分为:0~1 m、0~5 m、0~10 m、0~20 m、0~40 m 及以上。分辨率为 0.1 cm、0.5 cm、1.0 cm,盲区不大于 0.5 m。气介式超声波水位计测量范围可分为 0~5 m、0~10 m、0~20 m,分辨率为:0.1 cm、0.5 cm、1.0 cm,盲区不大于 0.8 m。

12.4.3 在测量范围内,以静水施测的结果为准,超声波水位计的最大允许误差应不超过 ± 3 cm;重复性标准差应小于最大允许误差的 0.5 倍。

12.4.4 对于输出信号为 4-20 mA 的超声波水位计,供电电源可用直流或交流,推荐 12 V 直流电源,允许偏差 $-15\% \sim 10\%$;交流电源为 220 V,允许偏差 $\pm 20\%$,频率 50 Hz。

12.4.5 超声波水位计可靠性特征量以平均无故障工作时间(MTBF)表示,即在满足仪器正常维护条件下,其平均无故障工作时间应大于 16 000 h。

12.4.6 液介式超声波水位计水下工作环境:温度 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,应能承受不小于 1.5 倍的工作水压力;水上工作环境:温度 $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $\leq 95\%$ ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时)。气介式超声波水位计工作环境:温度 $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $\leq 95\%$ ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时)。

12.4.7 超声波水位计的术语和定义、产品分类、技术要求、试验方法、检验规则、标志及使用说明书、包装、运输、贮存等具体要求按照 GB/T 11828(所有部分)执行。

12.5 电子水尺

12.5.1 电子水尺主要可分为触点式、磁致伸缩式和电容式。

12.5.2 工作环境温度: $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,所测环境水体应不结冰;显示记录装置的工作环境相对湿度应不大于 95%。

12.5.3 测量范围为 0~0.5 m 或 0.5 m 的整数倍。分辨率为 1 mm、5 mm、1 cm。最大水位变率应满足不低于 40 cm/min。电子水尺的最大允许误差应不超过 ± 1.0 cm,置信水平应不小于 95%;回差应小于最大允许误差;重复性标准差应小于最大允许误差的 0.5 倍。

12.5.4 材料及密封性,电子水尺结构应满足潮湿及水下环境的防护要求,测体一般应采用不吸水且防锈蚀材料制成,使用其他材料时应作表面防锈蚀处理,且整个传感器应良好密封,并可承受额定工作水压力的 1.5 倍。

12.5.5 电源应采用直流供电,推荐采用直流 12 V,允许偏差 $-10\% \sim 15\%$;显示记录装置可采用 220 V (50 Hz)交流供电,允许偏差 $\pm 10\%$;静态值守电流应不大于 3 mA。

12.5.6 电子水尺可靠性特征量以平均无故障工作时间(MTBF)表示,即在满足仪器正常维护条件下,电子水尺的平均无故障工作时间应大于 8 000 h。

12.5.7 电子水尺的术语和定义、产品结构组成、技术要求、试验方法、检验规则、标志及使用说明书、包装、运输、贮存等具体要求按照 GB/T 11828(所有部分)执行。

12.6 遥测水位计

12.6.1 按传感原理可分为浮子式、跟踪式、压力式、声波式、电子水尺式、导压式、雷达式、激光式。遥测水位计宜具备一体化结构、内置电源、无线公网远程传输等功能。

12.6.2 测量范围可分为 0~5 m、0~10 m、0~20 m、0~40 m 及以上。

12.6.3 水位检测时间周期:3 min、5 min、10 min,水位记录时间周期:30 min、1 h,水位上报时间周期:实时、1 次/天~24 次/天,分辨率为 0.1 cm、0.5 cm、1.0 cm,水位变幅一般应不低于 40 cm/min。

12.6.4 工作环境,传感器:工作环境温度 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,工作环境相对湿度 $\leq 95\%$ ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时);显示记录器:工作环境温度 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$,工作环境相对湿度 $\leq 95\%$ ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时)。

12.6.5 工作电源,首选内置电池,采用直流方式,其电压为 6 V 、 12 V 、 24 V 、优选 12 V ,允许偏差 $\pm 15\%$,辅助电源宜采用太阳能或外接交流电源。

12.6.6 遥测水位计可靠性特征量以平均无故障工作时间(MTBF)表示,可为 $8\ 000\text{ h}$ 、 $10\ 000\text{ h}$ 、 $16\ 000\text{ h}$ 、 $25\ 000\text{ h}$ 。

12.6.7 遥测水位计的产品分类、要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输、贮存、使用说明书等具体要求按照 GB/T 11828(所有部分)执行。

12.7 水表

12.7.1 水表主要有旋翼式和螺翼式两类,其主要技术参数见表 15。

12.7.2 最大流量时,水表压力损失不应超过 0.1 MPa ,水平螺翼式水表不应超过 0.03 MPa 。水表流量与水头损失关系曲线由水表制造厂提供。

12.7.3 水表可用于固定和移动两种环境条件下,移动式水表可用于田间测流;被测水中杂物较多时,不宜采用水表测流。

12.7.4 水表口径应根据管道设计流量、水头损失要求及产品水表流量—水头损失曲线选择。应选择管道设计流量接近公称流量的水表(不应直接以管道直径大小选定水表的口径)。

12.7.5 在渠道或管道上安装固定水表,宜选用湿式水表,并应设表井等保护设施。当需要实施计量传输水量数据时,应配备具有标准通讯接口的水表。

12.7.6 螺翼式水表前应有不短于 $8\text{ 倍}\sim 10\text{ 倍}$ 公称直径的直管段,旋翼式水表前后应有不小于 0.3 m 的直管段。水表前应设过滤网,滤水网过水面积应大于水表公称直径对应的截面积。

12.7.7 水表的术语和定义、技术特性、计量特性、压力损失、试验方法、安装要求等具体要求按照 GB/T 778(所有部分)执行。

表 15 水表计量特征表(计量等级 A 级)

种类	公称直径	最大流量	公称流量	分界流量	最小流量
	D/mm	$q_{\text{max}}/(\text{m}^3/\text{h})$	$q_n/(\text{m}^3/\text{h})$	$q_t/(\text{m}^3/\text{h})$	$q_{\text{min}}/(\text{m}^3/\text{h})$
小口径旋翼式水表	15	3	1.5	0.15	0.045
	20	5	2.5	0.25	0.075
	25	7	3.5	0.35	0.105
	32	12	6	0.6	0.18
	40	20	10	1.9	0.3
水平螺翼式水表	50	30	15	4.5	1.2
	80	80	40	12	3.2
	100	120	60	18	4.8
	150	300	150	45	12
	200	500	250	75	20
	250	800	400	120	32
	300	1 200	600	180	48
400	2 000	1 000	300	80	

12.8 电磁流量计

12.8.1 电磁流量计是根据法拉第电磁感应定律进行流量测量的流量计。电磁流量计的优点是压损极小,可测流量范围大。输出信号和被测流量成线性,精确度较高,可测量电导率满足一定要求的流体的流量。电磁流量计主要由传感器(变送器)、智能转换器和显示仪表等组成。

12.8.2 流量测量范围,单台传感器使用时,流量测量范围上限值换算为流速应在 $1\text{ m/s}\sim 10\text{ m/s}$ 范围内任意选定,下限值的流速为上限值的 $1\%\sim 5\%$;一台传感器与 $N(N\leq 9)$ 台仿真传感器共用时,流量范围上限值为单台传感器的 $(N+1)$ 倍。

12.8.3 应选用满量程输出时允许误差 $\pm 2.5\%$ 的流量计,宜选用满量程输出时允许误差 $\pm 1.5\%$ 的流量计。传感器最大潜水深度应为 10 m (相当于耐 0.1 MPa 水密封能力)。

12.8.4 对于可变量程的流量计,在可变换的任一量程上,基本误差均应不大于相应的基本误差限。仪表的重复性误差应不大于其基本误差限绝对值的三分之一。仪表应能经受 30 d 稳定性试验,其零点漂移应不大于基本误差限绝对值的二分之一。

12.8.5 变送器可装在垂直或水平管道上,应避免安装在管道内呈负压或可能有水流脱壁的管段。当管道内径与变送器导管内径不同时,允许在变送器两端安装圆锥角不大于 15° 的渐变管。变送器本体不可作荷重支点,宜在紧靠变送器的管道上增加支撑。变送器前后直管段长度应能保证水流平稳。

12.8.6 电磁流量计的技术要求、试验方法、检验规则、安装要求和标志、包装、运输、贮存等具体要求按照 JB/T 9248 执行。

12.9 超声波流量计

12.9.1 超声波流量计是通过检测流体流动对超声束(或超声脉冲)的作用以测量流量的仪表。根据对信号检测的原理超声波流量计可分为传播速度差法、波束偏移法、多普勒法等。超声波流量计由超声波换能器、转换器及流量水量显示器三部分构成。

12.9.2 超声波流量计是一种非接触式仪表,它既可以测量大管径的介质流量也可以用于不易接触和观察的介质的测量。它的测量准确度很高,几乎不受被测介质的各种参数的干扰。

12.9.3 被测水体固体悬浮物含量不小于 60 mg/L ;流速: $0.3\text{ m/s}\sim 10\text{ m/s}$ 。

12.9.4 流量计的精确度等级、重复性在测量范围内应满足基本误差不大于 2.5% ,重复性不大于 1.3% 。

12.9.5 换能器应安装在平直的、内表面平滑、圆度好的直管段上,上下游所需直管段长度应满足过流平稳的要求。流量计标准管段的轴线应与管道轴线相一致,法兰面之间密封圈压紧后应不突入管内。

12.9.6 超声多普勒流量计产品型号、技术要求、安装要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存等具体要求按照 CJ/T 122 执行。

12.10 其他量水仪表

见资料性附录 H。

13 观测实施与资料整理

13.1 一般规定

13.1.1 灌区管理单位应根据本灌区实际情况制定量水工作制度,规范灌溉渠道系统量水工作。

13.1.2 灌区管理单位应在建筑物显要位置标注设计水位、最高水位、设计流量、最大流量的指标。

13.1.3 量水方法应简便易行、经济合理,水位观测要准确及时。

13.2 量水工作要求

13.2.1 灌溉渠道系统输水运行期间,应做好水量调配、流量观测等有关资料的记录和积累工作。

13.2.2 用于推算流量的水位流量关系曲线、堰闸流量系数、岸边流速系数等不可擅自变动;如误差较大需变动时,应根据充分的资料依据进行分析论证,经有关主管部门核准。

13.2.3 测站配备的测流人员应保持相对稳定。如有人员变动,应交接仪器设备及档案资料,保持量水资料的连续性。

13.2.4 水位、流量变化不大时,每日观测水位不应少于4次,可采用等时段观测法;水位、流量变化频繁时,应增加观测次数。

13.2.5 具备自动记录条件的测站,应定期对自动记录成果进行人工校核。

13.2.6 观读水尺时,如水位变化较大时,应将最高、最低的读数记下,取其平均值。

13.2.7 观测记录需要改正时,可将错误的数字用斜线划去,另填以正确数字;不可采用涂抹、挖补的方法修改原始记录。

13.2.8 观测记录表内规定的栏目应全部观测,逐栏填写,如有特殊情况不能观测时,应在备注栏内说明。

13.3 量水成果整理

13.3.1 测流资料整理可分为下列步骤:

- a) 校核实测资料;
- b) 分析确定流量推算曲线、图表或流量公式参数;
- c) 校核逐日水位过程线;
- d) 核定或重新计算逐日流量;
- e) 编写测流资料整编技术报告。

13.3.2 量水成果资料主要包括:

- a) 各测流断面的水位、流量(需要时包括观测水温、含沙量)等;
- b) 年度、灌溉季度和每次灌溉引水的总水量,田间用水量,排泄及退弃水量;
- c) 渠道水利用系数和渠系水利用系数;
- d) 各种量测设备的性能、精度等指标。

13.4 量水设施维护

13.4.1 测流人员应经常检查渠道、建筑物等工程,如岸坡、闸门、启闭机、量水设施、水情自动测报设备等。

13.4.2 阶段性运行的渠道,输水运行前应安装、描绘水尺,校核水尺的零点高程;检查测桥及测流断面尺寸,标注有关数据等。

13.4.3 长期不用的流速仪,应清洗上油,置于通风干燥处,需检修的要及时送检。

13.4.4 测流资料及各种报表应妥善保存,不可损坏或遗失。

13.4.5 停水期间,应将量水设备内的积水、淤泥、杂物等清除干净。

13.4.6 量水设备的活动部分,在停水期间应取下,置放在室内,妥善保存。固定部分应遮盖,防止暴晒或冻结变形损坏。

13.4.7 加强安全防护,保证人身安全及设备安全。

附 录 A
(规范性附录)
计量单位和符号

表 A.1 规定了本标准中变量的符号和单位。

表 A.1 计量单位和符号

量的名称	符号	单位名称	计量单位符号
水深,水头,水尺读数	H, h	米	m
水位,水位差	Z	米	m
面积,过水断面面积	A	平方米	m^2
渠道宽,堰宽	B	米	m
渠道底宽,闸孔宽	b	米	m
堰高,槛高	P	米	m
渠道底坡	i	—	1
薄壁堰堰板顶部厚度	δ	米	m
长度	L	米	m
流速	V, v	米每秒	m/s
流量	Q	立方米每秒	m^3/s
倒虹吸流量系数	μ	—	1
堰流流量系数,渠道边坡系数	m	—	1
水力半径,弧形闸门半径	R	米	m
管道直径,U形渠道底弧直径	D, d	米	m
管道半径,U形渠道底弧半径	r	米	m
闸孔开度	e	米	m
谢才系数	C	—	1
雷诺数	Re	—	1
佛汝德数	Fr	—	1
侧收缩系数,垂直收缩系数	ϵ	—	1
淹没系数	σ_s	—	1
淹没度	S	—	1
糙率系数,指数	n	—	1
局部水头损失系数	ζ	—	1
沿程水头损失系数	λ	—	1
重力加速度	g	米每二次方秒	m/s^2
旋浆流速仪旋转螺距	k	米每转	m/r
旋浆流速仪转数	N	转数	m
旋浆流速仪的摩阻系数	c	米每秒	m/s
旋转历时,时间	t	秒	s
直径比,角度	β, α	度或弧度	$^\circ$ 或 rad

附录 B
(资料性附录)
流速仪测流记录计算

表 B.1 给出了流速仪测流记载及计算表。

表 B.1 流速仪测流记载及计算表

渠道名称				地点									
施测时间		年 月 日		时 分至 时 分		流速公式							
天气		风向		风力		流向			仪器号码				
点次	起点距/m	水深/m	测点深/m	时间/s	转数/转	测点流速/ (m·s ⁻¹)	垂线平均流速/ (m·s ⁻¹)	部分流速/ (m·s ⁻¹)	部分宽/m	部分平均水深/m	部分面积/m ²	部分流量/ (m ³ ·s ⁻¹)	
大事记				闸孔宽度/m				断面平均流速/(m·s ⁻¹)					
				提闸高度/m									
				上游水位/m				断面平均水深/m					
				下游水位/m									
				闸前水位/m				流态					
				闸后水位/m									

校核：

计算：

附录 C
(资料性附录)
流量测量不确定度估算

C.1 一般规定

C.1.1 流量测量误差按性质分为随机误差、未定系统误差、已定系统误差和伪误差。随机误差可按正态分布采用置信水平 95% 的随机不确定度描述,未定系统误差采用系统不确定度描述,已定系统误差应予修正,含有伪误差的测量结果应予剔除。

C.1.2 流量不确定度与测量方法以及流量计算的相关水力因素的测量精度有关。可先计算各单项因素的测量不确定度,再估算流量不确定度。根据误差传递与综合理论分别估算随机不确定度和系统不确定度,然后估算综合不确定度:

$$X'_Q = (X'^2_1 + X'^2_2 + X'^2_3 \cdots + X'^2_n)^{1/2} \cdots \cdots (C.1)$$

$$X''_Q = (X''^2_1 + X''^2_2 + X''^2_3 \cdots + X''^2_n)^{1/2} \cdots \cdots (C.2)$$

$$X_Q = (X'^2_Q + X''^2_Q)^{1/2} \cdots \cdots (C.3)$$

式中:

- X'_Q —— 流量随机不确定度, %;
- X''_Q —— 流量系统不确定度, %;
- X_Q —— 流量综合不确定度, %;
- X'_1, X'_2, \dots, X'_n —— 各单项随机不确定度, %;
- $X''_1, X''_2, \dots, X''_n$ —— 各单项系统不确定度, %。

C.2 流速仪测流不确定度估算

C.2.1 不确定度组成:

- a) 测深不确定度和测宽不确定度:由观测的随机不确定度和仪器本身所造成的未定系统不确定度组成;
- b) 流速仪检定不确定度:由检定的随机不确定度和仪器本身在测量中所造成的未定系统不确定度组成;
- c) 由测点有限测速历时导致的不确定度:由于流速脉动影响的随机不确定度;
- d) 由测速垂线测点数不足导致的垂线平均流速计算不确定度:由随机不确定度和已定系统不确定度组成;
- e) 由测速垂线数目不足导致的不确定度:由随机不确定度和已定系统不确定度组成。

C.2.2 随机不确定度可按式(C.4)计算:

$$X'_Q = \pm \left[X'^2_m + \frac{1}{m} (X'^2_b + X'^2_d + X'^2_e + X'^2_p + X'^2_c) \right]^{1/2} \cdots \cdots (C.4)$$

式中:

- X'_m —— 取决于垂线数目的随机不确定度, %;取值可参照表 C.1;
- X'_b —— 宽度测量的随机不确定度, %; $X'_b = \pm(0.1 \sim 0.5)$;
- X'_d —— 水深测量的随机不确定度, %; $X'_d = \pm(1 \sim 3)$;
- X'_e —— 取决于测速历时的随机不确定度, %;取值可参照表 C.2;

X'_p ——取决于垂线上测点数目的随机不确定度,%;取值可参照表 C.3;

X'_c ——流速仪率定的随机不确定度,%;取值可参照表 C.4;

m ——垂线数目。

表 C.1 X'_m 取值表 %

m	5	10	15	20~25	30~40
X'_m	20	10	7	5	3

表 C.2 X'_e 取值表 %

流速 ($m \cdot s^{-1}$)	测速垂线上的测速点位置							
	0.2、0.4 或 0.6 相对水深				0.8 或 0.9 相对水深			
	一点测速历时/min							
	0.5	1	2	3	0.5	1	2	3
0.05	50	40	30	22	80	60	50	40
0.1	27	22	16	13	33	27	20	17
0.15	19	16	12	9	22	20	14	12
0.2	15	12	9	7	17	14	10	8
0.25	12	9	7	6	13	10	7	6
0.3	10	7	6	5	10	7	6	5
0.4	8	6	6	5	8	6	6	5
0.5	8	6	6	4	8	6	6	4
0.5~1.0	7	6	6	4	7	6	6	4
>1.0	7	6	5	4	7	6	5	4

表 C.3 X'_p 取值表 %

流速测量方法(测点数目)	五点法(5)	五点法(3)	二点法(2)	一点法(1)
X'_p	1	5	7	15

表 C.4 X'_c 取值表 %

流速/($m \cdot s^{-1}$)	0.03	0.1	0.15	≥ 0.5
X'_c	20	10	7	5

C.2.3 系统不确定度可按式(C.5)计算:

$$X''_Q = \pm (X''_b{}^2 + X''_d{}^2 + X''_p{}^2)^{1/2} \dots\dots\dots (C.5)$$

式中:

X''_b ——水面宽的系统不确定度,%,采用 $\pm 0.5\%$;

X''_d ——水深的系统不确定度,%,采用 $\pm 0.5\%$;

X_p'' ——垂线平均流速的系统不确定度,%,采用±(0.5%~1.0%)。

C.2.4 综合不确定度可按式(C.6)计算:

$$X_Q = (X_Q'^2 + X_Q''^2)^{1/2} \dots\dots\dots (C.6)$$

C.3 渠系建筑物量水的误差来源与不确定度估算

C.3.1 渠系建筑物量水误差来源

渠系建筑物量水误差来源如下:

- a) 建筑物尺寸测量不确定度:过水断面宽度、洞管直径、堰高等测量不确定度等;
- b) 闸门开启高度不确定度:开启高度读数不确定度、标尺刻划不确定度、闸底零点高程测量不确定度、弧形闸门开启弧线换算为垂直开高的不确定度等;
- c) 水位观测不确定度:水尺零点高程测量不确定度、水尺刻划不确定度和读数不确定度等;
- d) 流量系数不确定度:当现场率定流量系数时,其不确定度受流速仪测流的不确定度、水位观测不确定度和闸门开启高度观测不确定度等多种因素影响。采用模型试验的流量系数时,其不确定度取决于所用流量系数是否符合原体建筑物的实际情况,可用现场实测流量系数值与模型流量系数值对比,估算流量系数的不确定度。

C.3.2 渠系建筑物量水的不确定度

C.3.2.1 分析渠系建筑物流量不确定度的流量公式采用式(C.7):

$$Q = JCbeH^\beta \dots\dots\dots (C.7)$$

式中:

- Q——流量,单位为立方米每秒(m³/s);
- J——包括 $\sqrt{2g}$ 的不含误差的常数项;
- C——流量系数;
- b——建筑物过水断面净宽或圆洞半径,单位为米(m);
- e——闸门开启高度,单位为米(m),堰、管出流无闸门时,此项等于1;淹没堰流用水头差公式时,此项为下游水头;
- H——上游水头或水头差,单位为米(m);
- β ——指数。

C.3.2.2 建筑物尺寸测量不确定度应通过多次精确测量进行控制。过水断面宽度、洞管直径、堰高测量的随机误差绝对值应不大于0.02 m,其系统不确定度可以忽略。

C.3.2.3 闸门开启高度综合不确定度可按式(C.8)、式(C.9)计算:

$$X_e = E_e/e \times 100\% \dots\dots\dots (C.8)$$

$$E_e = (E_{e1}'^2 + E_{e2}''^2)^{1/2} \dots\dots\dots (C.9)$$

上述式中:

- X_e ——闸门开启高度综合不确定度,%;
- E_e ——闸门开启高度综合误差,单位为米(m);
- E_{e1}' ——闸门开启高度观测随机误差,单位为米(m),可根据实际观测情况确定,一般在0.01 m~0.02 m;
- E_{e2}'' ——闸门开启高度标尺零点测量的系统误差,单位为米(m),一般在0.001 m~0.002 m。

C.3.2.4 水头观测综合不确定度可按式(C.10)、式(C.11)、式(C.12)、式(C.13)计算:

$$X_H = E_H/\overline{H} \times 100\% \dots\dots\dots (C.10)$$

$$E_H = (E_H'^2 + E_H''^2)^{1/2} \dots\dots\dots (C.11)$$

$$E_H' = 2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (H_i - \bar{H})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (C.12)$$

$$E_H'' = (E_{H_1}''^2 + E_{H_2}''^2)^{1/2} \dots\dots\dots (C.13)$$

上述式中：

- X_H ——水头观测综合不确定度，%；
- E_H ——水头观测综合误差，单位为米(m)；
- E_H' ——水头观测随机误差，单位为米(m)；
- E_H'' ——水头观测系统误差，单位为米(m)；
- E_{H_1}'' ——水尺零点高程系统不确定度，单位为米(m)，一般为 0.001~0.002 m；
- E_{H_2}'' ——水尺刻划系统不确定度，单位为米(m)，一般为 0.001~0.002 m；
- H_i ——第 i 次水尺读数；
- N ——观测次数；
- \bar{H} —— N 次水尺读数平均值。

C.3.2.5 流量系数综合不确定度可按式(C.14)、式(C.15)、式(C.16)计算：

$$X_c = (X_c'^2 + X_c''^2)^{1/2} \dots\dots\dots (C.14)$$

$$X_c' = t \cdot S_c \left[\frac{1}{N} + \frac{(\ln y_i - \overline{\ln y})^2}{\sum_{i=1}^N (\ln y_i - \overline{\ln y})^2} \right]^{1/2} \times 100 \dots\dots\dots (C.15)$$

$$X_c'' = \pm [X_b''^2 + X_e''^2 + X_H''^2 + (X_H''/2)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (C.16)$$

上述式中：

- X_c ——流量系数综合不确定度，%；
- X_c' ——流量系数随机不确定度，%；
- X_c'' ——流量系数系统不确定度，%；
- S_c ——实测流量系数值对关系线的标准差；
- y_i ——与流量系数对应的相关因素值；
- $\ln y_i$ ——流量系数对应的相关因素值 y_i 的自然对数值；
- $\overline{\ln y}$ —— $\ln y$ 的算术平均值；
- X_b'' ——闸孔宽度系统不确定度，%；
- X_e'' ——闸门开高系统不确定度，%；
- X_H'' ——水头不确定度，%；
- t ——在 95% 置信水平上对于 N 次测量的 t 值，测次与 t 值的关系见表 C.5。

表 C.5 95%置信水平的 t 值表

N	1	2	3	6	7	10	15	20	30	60	无穷大
t	2.7	4.3	3.2	2.4	2.4	2.2	2.1	2.1	2.0	2.0	1.96

C.3.2.6 渠系建筑物量水一次流量推算值综合不确定度用式(C.17)估算：

$$X_Q = \pm [X_c^2 + X_b^2 + X_e^2 + (\beta X_H)^2]^{1/2} \dots\dots\dots (C.17)$$

式中：

X_b ——建筑物过水断面净宽(圆洞半径)测量不确定度，%。当流量系数为率定值时， X_b 项可省略，当 X_b 为定系统误差时，式中取零；
其余符号意义同前。

C.4 量水堰槽的流量误差来源及不确定度估算

C.4.1 量水堰槽的流量误差来源：

- a) 建筑物尺寸测量不确定度，包括堰顶(喉道)宽度、堰顶角等测量不确定度；
- b) 行近流速系数(C_v)、流量系数(C_d)等实验值的不确定度；
- c) 实测水头读数的不确定度；
- d) 对于梯形量水槽，边坡系数值的不确定度。

C.4.2 分析量水堰槽流量不确定度的流量公式采用式(C.18)：

$$Q = JC_d C_s C_s b h^\beta \dots\dots\dots (C.18)$$

式中：

- C_s ——形状系数；
 - b ——堰顶(喉道)宽度，单位为米(m)；
 - h ——实测水头，单位为米(m)；
 - β ——指数；
- 其余符号意义同前。

C.4.3 单次流量测验综合不确定度估算公式：

$$X_Q = (X_c^2 + \gamma^2 X_b^2 + \beta^2 X_h^2 + \psi^2 X_m^2)^{1/2} \dots\dots\dots (C.19)$$

式中：

- X_Q ——单次流量测验综合不确定度，%；
 - X_c ——流量系数不确定度；取值可参照表 C.6；
 - X_b ——堰顶(喉道)宽度测量不确定度，%；取值可参照表 C.7；
 - X_h ——实测水头读数的不确定度，%；取值可参照表 C.7；
 - X_m ——边坡系数的不确定度，%；
 - γ, β, ψ ——取决于量水槽几何形状系数。
- 对于矩形、梯形和 U 形喉道量水槽， γ, β, ψ 值可由表 C.8 查取。

表 C.6 X_c 的取值表

名称	X_c / %
三角形薄壁堰(90°)	±(1~1.5)
矩形薄壁堰(全宽)	±(1~4)
矩形薄壁堰(收缩)	±(1~4)
梯形薄壁堰	±(4~6)
长喉道量水槽(梯形、矩形)	±(2~5)
巴歇尔量水槽	±(2~5)
抛物线形喉口量水槽	±(3~5)
分流式量水计(管道)	±(1~3)
分流式量水计(明渠)	±(3~7)

表 C.7 水头 h 及尺寸 b 的不确定度

测量项目	测量设备	误差项目	不确定度/%
水头 h	自记设备	零点测定	$\pm(1\sim 2)$
		水位观测	$\pm(3\sim 5)$
	水尺读数	零点测定	$\pm(1\sim 3)$
		水位观测	$\pm(5\sim 10)$
尺寸 b	钢尺	一次测定	$\pm(1\sim 2)$
		平均值	$\pm(0.5\sim 1)$

表 C.8 矩形、梯形、U形渠道流量测验不确定度估算 γ 、 β 、 ψ 数值表

矩形、梯形渠道				U形渠道		
mh/b	γ	β	ψ	h/D	γ	β
0.00	1.00	1.50	0.00	0.10	0.53	1.97
0.01	0.99	1.51	0.01	0.20	0.55	1.94
0.03	0.97	1.53	0.03	0.50	0.65	1.85
0.10	0.93	1.57	0.07	1.00	0.81	1.69
0.20	0.88	1.62	0.12	2.00	0.91	1.59
0.50	0.73	1.77	0.27	5.00	0.97	1.53
1.00	0.57	1.93	0.43	10.00	0.98	1.51
2.00	0.41	2.09	0.59			
5.00	0.20	2.30	0.80			
10.00	0.11	2.39	0.89			
20.00	0.06	2.44	0.94			
50.00	0.02	2.48	0.98			
100.00	0.01	2.49	0.99			

注： m 为梯形渠道边坡系数， $m=0$ 为矩形渠道； h 为渠道水深； b 为渠道底宽； D 为 U 形渠道直径。

C.5 孔板及文丘利管的流量误差来源与不确定度估算

C.5.1 孔板及文丘利管的量水误差来源

孔板及文丘利管的量水误差来源：

- 管道及孔口(文丘利管喉口)直径的量测误差；
- 流出系数 C 的误差；
- 差压 Δp 值测量误差。

C.5.2 孔板及文丘利管流量不确定度估算

C.5.2.1 流量计算公式：

$$Q = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \dots\dots\dots (C.20)$$

式中:

- Q ——流量,单位为立方米每秒(m³/s);
- C ——流出系数;
- β ——喉口直径与管道直径比;
- d ——喉口直径,单位为米(m);
- Δp ——差压值,单位为帕斯卡(Pa);
- ρ ——水的密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

C.5.2.2 单次流量测验综合不确定度估算公式:

$$X_Q = \left(X_c'^2 + \left(\frac{2\beta^4}{1-\beta^4} \right)^2 \cdot X_D'^2 + \left(\frac{2}{1-\varphi^4} \right)^2 \cdot X_d'^2 + \frac{1}{4} X_{\Delta p}'^2 + \frac{1}{4} X_\rho'^2 \right)^{1/2} \dots\dots\dots (C.21)$$

式中:

- X_Q ——单次流量测验综合不确定度,%;
- X'_c ——流出系数的不确定度,%。孔板:β≤0.6, X'_c = ±0.6%; 0.6 < β ≤ 0.75, X'_c = ±β%。
文丘利管:粗铸收缩段, X'_c = ±0.7%; 机械加工收缩段, X'_c = ±1%; 粗焊铁板收缩段, X'_c = ±1.5%;
- X'_D ——管径测量不确定度,% ,取±0.4%;
- X'_d ——孔口或喉口测量不确定度,% ,取±0.07%;
- X'_{Δp} ——差压测量不确定度,% ,取决于测量手段,可取±1%;
- X'_ρ ——水密度的不确定度,% ,取决于温度与压力,可取±0.03%。

附录 D
(规范性附录)
涵闸流量公式

表 D.1~表 D.3 给出了涵闸在不同类型和水流形态下的流量公式。

表 D.1 闸门全开水流形态下涵闸的流量计算公式

涵闸类型		水流形态	
		闸门全开自由流	闸门全开淹没流
第一类 明渠矩形直立 单孔平板闸	第一组	$Q = mbh \sqrt{2gH}$	$Q = \phi b h_H \sqrt{2g(H-h_H)}$
	第二组 (有跌坎)	$Q = mbh \sqrt{2gH}$	$Q = \phi b \sigma H \sqrt{2gH}$
第二类 矩形暗涵直立 单孔平板闸		$Q = mbh \sqrt{2gH}$	$Q = \phi b h_H \sqrt{2g(H-h_H)}$
第三类 圆形暗涵单孔 平板闸	第一组	$Q = m \left(\frac{1.12H}{r} - 0.25 \right) r^2 \sqrt{2gH}$	$Q = \phi \left(\frac{1.8h_H}{r} - 0.25 \right) r^2 \times \sqrt{2g(H-h_H)}$
	第二组 (斜闸门)	$Q = m \left(\frac{H}{r} - 0.25 \right) r^2 \sqrt{2gH}$	$Q = \phi \left(\frac{1.8h_H}{r} - 0.25 \right) r^2 \times \sqrt{2g(H-h_H)}$
第四类 明渠矩形直立 式多孔平板闸	第一组	$Q = mbh \sqrt{2gH}$	$Q = \phi b h_H \sqrt{2g(H-h_H)}$
	第二组 (有跌坎)	$Q = mbh \sqrt{2gH}$	$Q = \phi b \sigma H \sqrt{2gH}$
	第三组 (长闸墩)	$Q = mbh \sqrt{2gH}$	$Q = \phi b h_H \sqrt{2g(H-h_H)}$
第五类 单孔平底弧形闸		$Q = mbh \sqrt{2gH}$	$Q = \phi b h_H \sqrt{2g(H-h_H)}$

表 D.2 有闸控制水流形态下涵闸的流量计算公式

涵闸类型		水流形态	
		有闸控制自由流	有闸控制淹没流
第一类 明渠矩形直立 式单孔平板闸	第一组	$Q = \mu b h_g \sqrt{2g(H-0.65h_g)}$	$Q = \mu' b h_g \sqrt{2gZ_1}$
	第二组 (有跌坎)	$Q = \mu b h_g \sqrt{2g(H-0.5h_g)}$	$Q = \mu' b h_g \sqrt{2gZ_1}$
第二类 矩形暗涵直立 式单孔平板闸		$Q = \mu b h_g \sqrt{2g(H-0.65h_g)}$	$Q = \mu' \left(1 + \frac{0.65h_g}{H} \right) \times b h_g \sqrt{2gZ_H}$

表 D.2 (续)

涵闸类型		水流形态	
		有闸控制自由流	有闸控制淹没流
第三类 圆形暗涵单孔平板闸	第一组	$Q = \mu \left(\frac{1.8h_g}{r} - 0.25 \right) r^2 \times \sqrt{2g(H - 0.7h_g)}$	$Q = \mu' \left(1 + \frac{0.65h_g}{H} \right) \times \left(\frac{1.8h_g}{r} - 0.25 \right) r^2 \sqrt{2gZ_H}$
	第二组 (斜闸门)	$Q = \mu \left(\frac{1.8h_g}{r} - 0.25 \right) r^2 \times \sqrt{2g(H - 0.65h_g)}$	$Q = \mu' \left(1 + \frac{0.65h_g}{H} \right) \times \left(\frac{1.8h_g}{r} - 0.25 \right) r^2 \sqrt{2gZ_H}$
第四类 明渠矩形直立式多孔平板闸	第一组	$Q = \mu b h_g \sqrt{2g(H - 0.65h_g)}$	$Q = \mu' b h_g \sqrt{2gZ_1}$
	第二组 (有跌坎)	$Q = \mu b h_g \sqrt{2g(H - 0.5h_g)}$	$Q = \mu' b h_g \sqrt{2gZ_1}$
	第三组	$Q = \mu b h_g \sqrt{2g(H - 0.65h_g)}$	$Q = \mu' b h_g \sqrt{2gZ_1}$
第五类 单孔平底弧形闸		$Q = \left[0.4 \left(\frac{h_u - h_g}{R} \right)^2 + 0.5 \right] \times b h_g \sqrt{2g(H - 0.7h_g)}$	$Q = \left[0.42 \left(\frac{h_u - h_g}{R} \right)^2 + 0.52 \right] \times b h_g \sqrt{2gZ_1}$

表 D.3 有压水流形态下涵闸流量计算公式

建筑物类型	水流形态	有压淹没流
第一类 明渠矩形直立式单孔平板闸	第一组	
	第二组 (有跌坎)	
第二类 矩形暗涵直立式单孔平板闸		$Q = m' \sqrt{\frac{1}{0.06 + \left(\frac{m' h_g}{\alpha} \right)^2 + \left(1 - \frac{m' h_g}{\alpha} \right)^2}} \times b h_g \sqrt{2gZ_H}$
第三类 圆形暗涵单孔平板闸	第一组	$Q = m' \left\{ 1 \div \left\{ 0.06 + \left[0.2 \left(\frac{1.8h_g}{r} - 0.25 \right) \right]^2 + \left[1 - 0.2 \times \left(\frac{1.8h_g}{r} - 0.25 \right) \right]^2 \right\} \right\}^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1.8h_g}{r} - 0.25 \right) r^2 \sqrt{2gZ_H}$
	第二组 (斜闸门)	$Q = m' \left\{ 1 \div \left\{ 0.06 + \left[0.16 \left(\frac{1.8h_g}{r} - 0.25 \right) \right]^2 + \left[1 - 0.16 \times \left(\frac{1.8h_g}{r} - 0.25 \right) \right]^2 \right\} \right\}^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1.8h_g}{r} - 0.25 \right) r^2 \sqrt{2gZ_H}$
第四类 明渠矩形直立式多孔平板闸	第一组	
	第二组 (有跌坎)	
	第三组 (长闸墩)	
第五类 单孔平底弧形闸		

上述式中：

- Q ——过闸流量,单位为立方米每秒(m^3/s)；
 H ——上游水深或闸前水深,单位为米(m)；
 $m, \varphi, \mu, \mu', m'$ ——流量系数；
 σ ——淹没系数；
 b ——闸、涵孔宽,单位为米(m)；
 α ——涵洞孔高,单位为米(m)；
 Z_H ——上下游水位差,单位为米(m), $Z_H = H - h_H$ ；
 h_H ——下游水深,单位为米(m)；
 h_g ——启闸高度,单位为米(m)；
 h_1 ——闸后水深,单位为米(m)；
 Z_1 ——闸前闸后水位差,单位为米(m), $Z_1 = H - h_1$ ；
 r ——圆管的内半径,单位为米(m)；
 R ——扇形闸门半径,单位为米(m)；
 h_u ——扇形闸门转动轴心距闸床高度,单位为米(m)；
 g ——重力加速度, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

附录 E
(资料性附录)
涵闸流量系数

表 E.1~表 E.2 给出了涵闸在不同类型和水流形态下的流量系数。
表 E.3 给出了涵、闸建筑物无闸淹没流淹没系数。

表 E.1 不同水流形态及不同翼墙类型涵闸的流量系数

建筑物		闸门全开自由流				闸门全开淹没流			
		扭面翼墙	平翼墙	八字翼墙	平行侧翼墙	扭面翼墙	平翼墙	八字翼墙	平行侧翼墙
第一类 明渠矩形直立 式单孔平板闸	第一组	$m=0.325$	$m=0.310$	$m=0.330$	$m=0.295$	$\varphi=0.850$	$\varphi=0.825$	$\varphi=0.860$	$\varphi=0.795$
	第二组 (有跌槛)	$m=0.380$	$m=0.365$	$m=0.390$	$m=0.355$	$m=0.380$	$m=0.365$	$m=0.390$	$m=0.355$
第二类 矩形暗涵直立 式单孔平板闸		$m=0.325$	$m=0.310$	$m=0.330$	$m=0.295$	$\varphi=0.850$	$\varphi=0.825$	$\varphi=0.860$	$\varphi=0.795$
第三类 圆形暗涵单孔 平板闸	第一组	$m=0.55$				$\varphi=0.90$			
	第二组 (斜闸门)	$m=0.52$				$\varphi=0.80$			
第四类 明渠矩形直立 式多孔平板闸	第一组 (闸底平)	$m=0.33$				$\varphi=0.86$			
	第二组 (有跌坎)	$m=0.325$				$m=0.390$			
	第三组 (长闸墩)	$m=0.295$				$\varphi=0.795$			
第五类 单孔平底弧形闸		$m=0.33$				$\varphi=0.86$			

表 E.2 在不同水流形态及不同翼墙类型闸涵的流量系数

建筑物		有闸控制自由流				有闸控制淹没流				有压淹没流			
		扭面翼墙	平翼墙	八字翼墙	平行侧翼墙	渐变翼墙	平翼墙	八字翼墙	平行侧翼墙	渐变翼墙	平翼墙	八字翼墙	平行侧翼墙
第一类 矩形明渠单 孔放水口	第一组	$\mu=0.60$	$\mu=0.58$	$\mu=0.62$	$\mu=0.61$	$\mu'=0.62$	$\mu'=0.60$	$\mu'=0.64$	$\mu'=0.63$				
	第二组 (有跌坎)	$\mu=0.625$	$\mu=0.60$	$\mu=0.64$	$\mu=0.65$	$\mu'=0.625$	$\mu'=0.60$	$\mu'=0.64$	$\mu'=0.65$				
第二类 矩形暗涵 放水口		$\mu=0.60$	$\mu=0.58$	$\mu=0.62$	$\mu=0.61$	$\mu'=0.62$	$\mu'=0.60$	$\mu'=0.64$	$\mu'=0.63$	$\mu'=0.62$	$\mu'=0.60$	$\mu'=0.64$	$\mu'=0.63$

表 E.2 (续)

建筑物		有闸控制自由流				有闸控制淹没流				有压淹没流			
		扭面翼墙	平翼墙	八字翼墙	平行侧翼墙	渐变翼墙	平翼墙	八字翼墙	平行侧翼墙	渐变翼墙	平翼墙	八字翼墙	平行侧翼墙
第三类 圆形暗涵管 防水口	第一组	$\mu=0.63$				$\mu'=0.63$				$m'=0.63$			
	第二组 (斜闸门)	$\mu=0.51$				$\mu'=0.51$				$m'=0.51$			
第四类 明渠矩形 直立多 孔平板闸	第一组 (闸底平)	$\mu=0.64$				$\mu'=0.64$							
	第二组 (有跌坎)	$\mu=0.615$				$\mu'=0.630$							
	第三组 (长闸墩)	$\mu=0.58$				$\mu'=0.60$							

表 E.3 涵、闸建筑物无闸淹没流淹没系数

$\frac{h_H}{H}$	σ	$\frac{h_H}{H}$	σ	$\frac{h_H}{H}$	σ
0.00	1.000	0.81	0.767	0.935	0.514
0.10	0.990	0.82	0.755	0.940	0.484
0.20	0.980	0.83	0.742	0.945	0.473
0.30	0.970	0.84	0.728	0.950	0.450
0.40	0.956	0.85	0.713	0.955	0.427
0.45	0.947	0.86	0.698	0.960	0.403
0.50	0.937	0.87	0.681	0.965	0.375
0.55	0.925	0.88	0.662	0.970	0.344
0.60	0.907	0.89	0.642	0.975	0.318
0.65	0.885	0.90	0.621	0.980	0.267
0.70	0.856	0.905	0.608	0.985	0.225
0.72	0.843	0.910	0.595	0.990	0.175
0.74	0.828	0.915	0.580	0.995	0.115
0.76	0.813	0.920	0.565	1.00	0.00
0.78	0.800	0.925	0.549		
0.80	0.778	0.930	0.532		

附录 F
(规范性附录)

标准量水槛与抛物线性喉口量水槽尺寸、临界水深及流量公式系数表

表 F.1~表 F.3 给出了标准量水槛与抛物线性喉口量水槽的尺寸参数、流量系数和适用范围。

表 F.1 各种量水槽参数和适用范围及标准量水槛流量系数

量水设备	主要几何尺寸(m)			流量系数 ^a A	流量指数 ^b n	测流范围 m ³ /s	约束条件		应用说明
	槛宽 B m	槛顶长 L m	槛高 P m				h_{min}	H_{max}	
梯形控制断面	1.219	0.914	0.305	3.570	1.738	0.034~1.133	0.658	0.829	梯形断面边坡 ($m=1$)的型式, 用于水头 有保障的斗、农渠
	1.372	0.762	0.381	3.850	1.738		0.665	0.886	
	1.524	0.61	0.457	3.830	1.660		0.715	0.943	
	0.762	0.61	0.229	3.000	1.860		0.085	0.615	
	0.914	0.457	0.305	3.100	1.760		0.078	0.669	
	1.067	0.305	0.381	3.600	1.783		0.070	0.725	
	1.562	1.066	0.381	4.279	1.691	0.057~1.70	0.071	1.079	梯形断面边坡 ($m=1.25$)的型式, 用于水头 有保障的斗、农渠
	1.753	0.914	0.457	4.316	1.628		0.066	1.132	
	1.947	0.762	0.533	4.657	1.622		0.062	1.187	
量水槛 矩形控制断面	0.300	0.400	0.100	0.653	1.581	0.009~0.9	0.067	0.293	水头条件较好的 中、小型 矩形断面渠道
	0.400	0.500	0.100	0.912	1.611		0.080	0.396	
	0.500	0.800	0.25	1.070	1.605		0.082	0.392	
	0.600	0.600	0.15	1.310	1.611		0.083	0.699	
	0.600	0.800	0.250	1.274	1.605		0.083	0.630	
	0.700	0.800	0.350	1.444	1.605		0.083	0.695	
	0.800	0.800	0.200	1.750	1.611		0.083	0.695	
	0.800	0.800	0.250	1.712	1.605		0.083	0.695	
	0.900	0.800	0.300	1.819	1.605		0.083	0.695	
	1.000	0.800	0.250	2.100	1.611		0.083	0.964	
	1.000	1.000	0.300	2.090	1.605		0.084	0.983	
	1.100	1.000	0.250	2.310	1.605		0.083	0.964	
	1.200	1.000	0.300	2.440	1.611		0.083	0.964	
	1.300	1.000	0.300	2.710	1.605		0.083	0.964	
	1.400	1.000	0.500	2.884	1.605		0.083	0.964	
1.500	1.000	0.500	2.960	1.590	0.084	0.983			

^a 流量系数 A 为式(53)中的待定系数。

^b 流量指数 n 为式(53)中的待定指数。

表 F.2 矩形和梯形渠道渠道量水槛临界水深计算表—— h_c/h_1 与渠道 m 及 h_1/B 的函数关系表

h_1/B	渠道边坡 m (横:竖)									
	垂直	0.25:1	0.5:1	0.75:1	1:1	1.5:1	2:1	2.5:1	3:1	4:1
0.00	—	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667
0.01	0.667	0.667	0.667	0.668	0.668	0.669	0.670	0.670	0.671	0.672
0.03	0.667	0.668	0.669	0.670	0.671	0.673	0.675	0.677	0.679	0.683
0.04	0.667	0.668	0.670	0.671	0.672	0.675	0.677	0.680	0.683	0.687
0.05	0.667	0.668	0.670	0.672	0.674	0.677	0.680	0.683	0.686	0.692
0.06	0.667	0.669	0.671	0.673	0.675	0.679	0.683	0.686	0.690	0.696
0.07	0.667	0.669	0.672	0.674	0.676	0.681	0.685	0.689	0.693	0.699
0.08	0.667	0.670	0.672	0.675	0.678	0.683	0.687	0.692	0.696	0.703
0.09	0.667	0.670	0.673	0.676	0.679	0.684	0.690	0.695	0.698	0.706
0.10	0.667	0.670	0.674	0.677	0.680	0.686	0.692	0.697	0.701	0.709
0.12	0.667	0.671	0.675	0.679	0.684	0.690	0.696	0.701	0.706	0.715
0.14	0.667	0.672	0.676	0.681	0.686	0.693	0.699	0.705	0.711	0.720
0.16	0.667	0.672	0.678	0.683	0.687	0.696	0.703	0.709	0.715	0.725
0.18	0.667	0.673	0.679	0.684	0.690	0.698	0.706	0.713	0.719	0.729
0.20	0.667	0.674	0.680	0.686	0.692	0.701	0.709	0.717	0.723	0.733
0.22	0.667	0.674	0.681	0.688	0.694	0.704	0.712	0.720	0.726	0.736
0.24	0.667	0.675	0.683	0.689	0.696	0.706	0.715	0.723	0.729	0.739
0.26	0.667	0.676	0.684	0.691	0.698	0.709	0.718	0.725	0.732	0.742
0.28	0.667	0.676	0.685	0.693	0.699	0.711	0.720	0.728	0.734	0.744
0.30	0.667	0.677	0.686	0.694	0.701	0.713	0.723	0.730	0.737	0.747
0.32	0.667	0.678	0.687	0.696	0.703	0.715	0.725	0.733	0.739	0.749
0.34	0.667	0.678	0.689	0.697	0.705	0.717	0.727	0.735	0.741	0.751
0.36	0.667	0.679	0.690	0.699	0.706	0.719	0.729	0.737	0.743	0.753
0.38	0.667	0.680	0.691	0.700	0.708	0.721	0.731	0.738	0.745	0.754
0.40	0.667	0.680	0.692	0.701	0.709	0.723	0.733	0.740	0.747	0.756
0.42	0.667	0.681	0.693	0.703	0.711	0.725	0.734	0.742	0.748	0.757
0.44	0.667	0.681	0.694	0.704	0.712	0.727	0.736	0.744	0.750	0.759
0.46	0.667	0.682	0.695	0.705	0.714	0.728	0.737	0.745	0.751	0.760
0.48	0.667	0.683	0.696	0.706	0.715	0.729	0.739	0.747	0.752	0.761
0.50	0.667	0.683	0.697	0.708	0.717	0.730	0.740	0.748	0.754	0.762
0.60	0.667	0.686	0.701	0.713	0.723	0.737	0.747	0.754	0.759	0.767
0.70	0.667	0.688	0.706	0.718	0.728	0.742	0.752	0.758	0.764	0.771
0.80	0.667	0.692	0.709	0.723	0.732	0.746	0.756	0.762	0.767	0.774
0.90	0.667	0.694	0.713	0.727	0.737	0.750	0.759	0.766	0.770	0.776

表 F.2 (续)

h_1/B	渠道边坡 m (横:竖)									
	垂直	0.25:1	0.5:1	0.75:1	1:1	1.5:1	2:1	2.5:1	3:1	4:1
1.00	0.667	0.697	0.717	0.730	0.740	0.754	0.762	0.768	0.773	0.778
1.20	0.667	0.701	0.723	0.737	0.747	0.759	0.767	0.772	0.776	0.782
1.40	0.667	0.706	0.729	0.742	0.752	0.764	0.771	0.776	0.779	0.784
1.60	0.667	0.709	0.733	0.747	0.756	0.767	0.774	0.778	0.781	0.786
1.80	0.667	0.713	0.737	0.750	0.759	0.770	0.776	0.781	0.783	0.787
2.00	0.667	0.717	0.740	0.754	0.762	0.773	0.778	0.782	0.785	0.788
3.00	0.667	0.730	0.753	0.766	0.773	0.781	0.785	0.787	0.790	0.792
4.00	0.667	0.740	0.762	0.773	0.778	0.785	0.788	0.790	0.792	0.794
5.00	0.667	0.748	0.768	0.777	0.782	0.788	0.791	0.792	0.794	0.795
10.00	0.667	0.768	0.782	0.788	0.791	0.794	0.795	0.796	0.797	0.798

表 F.3 标准抛物线形喉口量水槽尺寸及流量公式系数表

型号	P (1/cm)	喉口断面方程	适宜渠道规格			堰口宽	渐变段长度(cm)			$Q=CH^3+DH^2$		收缩比
		x -横坐标(cm)	R	H	a	b	外倾角(°)			流量公式系数		
		y -纵坐标(cm)	cm	cm	(°)	cm	14	10	5	C	D	
56	0.056	$y=0.056x^2$	40	≤ 80	14	75.6	80			112.50	949.54	0.65
59	0.059	$y=0.059x^2$	40	≤ 80	14~9.5	73.6	86	63		109.90	922.38	0.63~0.65
62.5	0.0625	$y=0.0625x^2$	40	≤ 80	14~5	71.6	93	69	47	105.34	894.17	0.61~0.65
62.5	0.0625	$y=0.0625x^2$	35	≤ 70	14	66.9	68			127.16	898.83	0.65
67.5	0.0675	$y=0.0675x^2$	35	≤ 70	14~9.5	64.4	76	55		118.68	863.08	0.63~0.65
70	0.07	$y=0.070x^2$	35	≤ 70	14~5	63.2	79	58	39	118.46	845.21	0.62~0.65
75	0.075	$y=0.075x^2$	30	≤ 60	14	56.6	61			131.87	822.48	0.65
80	0.08	$y=0.080x^2$	30	≤ 60	14~9.5	54.8	66	48		126.30	793.73	0.63~0.65
85	0.085	$y=0.085x^2$	30	≤ 60	14~5	53.1	71	53	37	120.97	768.70	0.61~0.64
95	0.095	$y=0.095x^2$	25	≤ 55	14	48.1	55			129.39	732.38	0.65
100	0.1	$y=0.100x^2$	25	≤ 55	14~9.5	46.9	59	41		129.28	710.65	0.62~0.65
105	0.105	$y=0.105x^2$	25	≤ 55	14~5	45.8	62	45	30	128.47	690.98	0.61~0.65
120	0.12	$y=0.120x^2$	20	≤ 50	14	40.8	46			137.32	652.49	0.65
130	0.13	$y=0.130x^2$	20	≤ 50	14~9.5	39.2	51	34		133.21	623.44	0.63~0.65
160	0.16	$y=0.160x^2$	20	≤ 50	14~5	35.4	92	74	30	102.04	562.96	0.56~0.62
170	0.17	$y=0.170x^2$	15	≤ 40	14	30.7	38			137.93	550.90	0.64
180	0.18	$y=0.180x^2$	15	≤ 40	14~9.5	29.8	41	30		143.07	531.76	0.62~0.65
200	0.2	$y=0.200x^2$	15	≤ 40	14~5	28.3	45	32		133.85	502.09	0.59~0.65

附录 G
(资料性附录)
长喉槽的设计与计算

G.1 长喉槽设计步骤

长喉槽的设计步骤如图 G.1 所示。

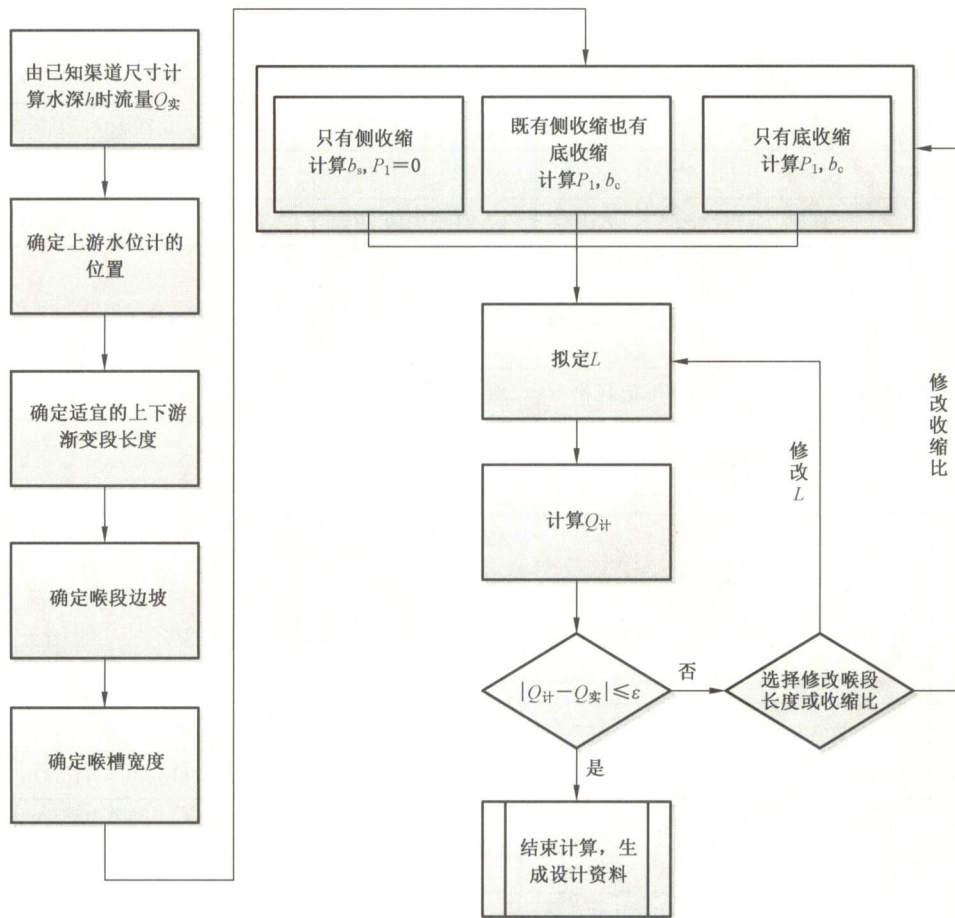


图 G.1 长喉槽的设计步骤

- 由已知渠道断面尺寸及边界条件,利用明渠均匀流计算式求得渠中水深为 h 时渠道的实际过流能力 $Q_{实}$ 。其中 R 为水力半径; A 为过水断面面积; i 为渠道坡降; n 为渠道糙率。
- 确定上游水位计位置。一般取水位计与长喉槽上游收缩段起点间距离 L_a 为上游观测点处最大水头 H_{1max} 的 1 倍~2 倍。
- 确定适宜的上下游渐变段长度。对于矩形、梯形及 U 形等不同形式的长喉槽而言,可根据实际需要将上下游渐变段设计成不同形式,其上游收缩段应尽量使得水头损失最小,同时又要保证流线比较平顺。两侧边收缩比宜采用 $EN' = 1 : 3$,底收缩比宜采用 $EN = 1 : 3$ 。喉槽出口段扩散比宜采用 $EM = 1 : 6$,当尾水抬升影响不显著时,可将渐扩段截短。

- d) 确定喉槽边坡。建议采用与引渠一致的喉槽边坡,即 $m_c = m_1$ 。
- e) 确定喉槽宽度。要首先确定出采用最小二分法进行函数值逼近的解的区间,即确定出求解的两个端点值。考虑施工方便,暂定收缩值的下限为 0.1 m,即: $P_{1下} = 0.1 \text{ m}$ ($b_{s下} = 0.1 \text{ m}$);喉槽收缩的上限值为渠道底宽的一半,即: $P_{1上} = b_1/2$ (或 $b_{s上} = b_1/2$)。这样便可确定出二分逼近的初值,计算喉槽底宽:
- 1) 对于只有侧收缩的长喉槽,首先确定侧收缩的初值: $b_s = (b_{s上} + b_{s下})/2$ (此时底收缩 $P_1 = 0$);然后计算以下参量:收缩段水平长度 $L_b = 3b_s$;对于梯形、矩形喉槽计算其喉槽底宽 $b_c = b_1 - 2b_s$;对于 U 形喉槽计算其圆弧直径 $d_c = d_1 - 2b_s$;
 - 2) 对于只有底收缩的长喉槽,首先确定底坎初值: $P_1 = (P_{1上} + P_{1下})/2$;从而计算出收缩段水平长度 $L_b = 3P_1$;对于梯形、矩形喉槽,计算其底宽 $b_c = b_1 + 2m_c P_1$ (U 形喉槽不存在该种形式);
 - 3) 对于既有侧收缩又有底收缩的长喉槽,首先确定底坎值 $P_1 = (P_{1上} + P_{1下})/2$;然后计算收缩段的水平长度 $L_b = 3P_1$;对于梯形、矩形喉槽,计算其底宽 $b_c = b_1 + 2m_c P_1 - 2b_s$;对于 U 形喉槽计算其圆弧直径 $d_c = d_1 - 2b_s$;
- f) 确定了收缩值以后,下一步拟定喉长 L 。喉槽的测流精度主要决定于 H_1/L 的比值 (H_1 为堰上水头,它是上游堰上水深 h_1 与行进流速水头 $\alpha_1 v_1^2/2g$ 之和)。当 $0.07 < H_1/L < 0.6$ 时,允许误差 1.0%,但此时淹没度略低;当 $0.6 \leq H_1/L \leq 0.7$ 时,允许误差 1.5%,此时淹没度较高。由于堰上水头 H_1 在实际量水工作中很难测得,而行近流速水头 $\alpha_1 v_1^2/2g$ 在总水头中所占比例很小,因此可用堰上水位深 h_1 来代替堰上水头 H_1 进行喉长初值的拟定。采用式 $L = h_1/0.6$ 来拟定喉槽初始长度,这样既可以得到较高的淹没度限值,又可以保证在加大流量时 H_1/L 值亦不超过 0.7,从而确保在整个测流范围内均能满足测流精度要求。
- g) 将 a)~f) 各步所拟定的几何尺寸带入长喉槽流量公式计算喉槽的过流能力,比较 $Q_{计}$ 与 1) 中计算的渠道实际过流能力 $Q_{实}$ 是否满足 $|Q_{计} - Q_{实}| \leq \epsilon$ (ϵ 为计算精度)。若满足则该组设计参数作为最终设计结果;否则对结果进行比较分析,若 $Q_{计} > Q_{实}$,说明此时收缩值 b_s 或 P_1 的值偏小,应逐渐加大,此时取 $P_{1new} = (P_1 + P_{1上})/2$ [或 $b_{snew} = (b_s + b_{s上})/2$];若 $Q_{计} < Q_{实}$,说明收缩值 b_s 或 P_1 值偏大,应该逐渐减小,此时取 $P_{1new} = (P_1 + P_{1下})/2$ [或 $b_{snew} = (b_s + b_{s下})/2$]。然后再调用流量计算程序模块计算喉槽的过流能力,判断计算结果是否满足计算精度要求: $|Q_{计} - Q_{实}| \leq \epsilon$,若满足该式,则将计算结果作为喉槽几何尺寸的最终设计值加以保存;否则,将收缩变量 b_s 或 P_1 固定为常量,通过喉长变量 L 的变化来计算喉槽的过渡能力,若 $Q_{计} > Q_{实}$,说明 L 值偏小,测流精度偏低,应该逐渐加大,故取 $L_{new} = (L + h_1/0.07)/2$;若 $Q_{计} < Q_{实}$,说明 L 值偏大,此时测流精度较高,但淹没度偏低,应该逐渐减小,故取 $L_{new} = (L + h_1/0.7)/2$ 。然后再重复 e)、f)、g) 各步,直到 $Q_{计}$ 与 $Q_{实}$ 两者误差的绝对值满足精度要求为止,并将此时的计算结果作为长喉槽几何尺寸的最终设计值。
- h) 最后应用 g) 中所得到的长喉槽设计值,再调用长喉槽流量计算程序模块,进行水位流量关系计算,并将计算结果连同长喉槽几何参量一并予以输出。

G.2 长喉槽各种不同断面形状流量计算

长喉槽各种不同断面形状流量计算见表 G.1。

表 G.1 长喉量水槽水位—流量关系

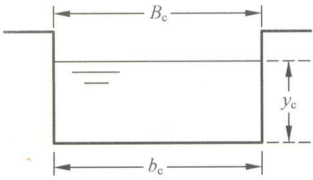
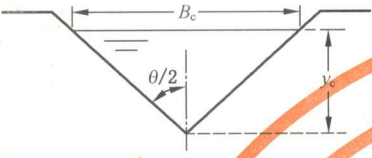
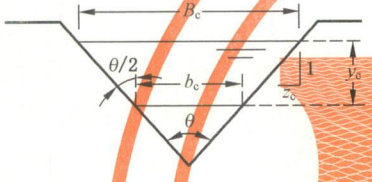
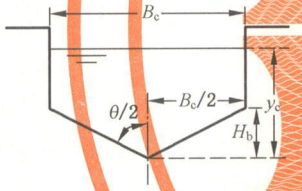
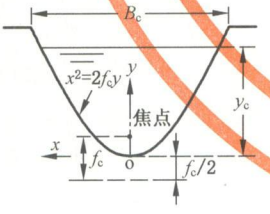
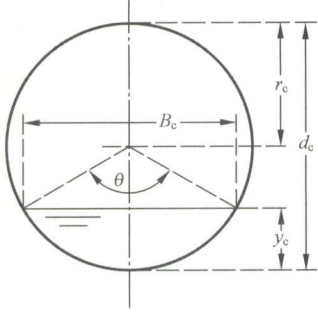
喉部断面形状	水位—流量关系	相应的 h_c
	$Q = C_d C_v \frac{2}{3} \left(\frac{2}{3} g \right)^{1/2} b_c h_1^{3/2}$	$h_c = \frac{2}{3} H_1$
	$Q = C_d C_v \frac{16}{25} \left(\frac{2}{5} g \right)^{1/2} \left(\tan \frac{\theta}{2} \right) h_1^{5/2}$	$h_c = \frac{4}{5} H_1$
	$Q = C_d (b_c h_c + m h_c^2) [2g(H_1 - h_c)]^{1/2}$	查表 G.2
	<p>若 $H_1 \leq 1.25 H_b$</p> $Q = C_d C_v \frac{16}{25} \left(\frac{2}{5} g \right)^{1/2} \left(\tan \frac{\theta}{2} \right) h_1^{5/2}$ <p>若 $H_1 > 1.25 H_b$</p> $Q = C_d C_v \frac{2}{3} \left(\frac{2}{3} g \right)^{1/2} B_c \left(h_1 - \frac{1}{2} h_b \right) h^{3/2}$	$h_c = \frac{4}{5} H_1$ $h_c = \frac{2}{3} H_1 + \frac{1}{6} H_b$
	$Q = C_d C_v \left(\frac{3}{4} f_c g \right)^{1/2} h_1^2$	$h_c = \frac{3}{4} H_1$
	$Q = C_d d_c^{5/2} \sqrt{g} [f(\theta)] f(\theta)$	查表 G.3

表 G.1 (续)

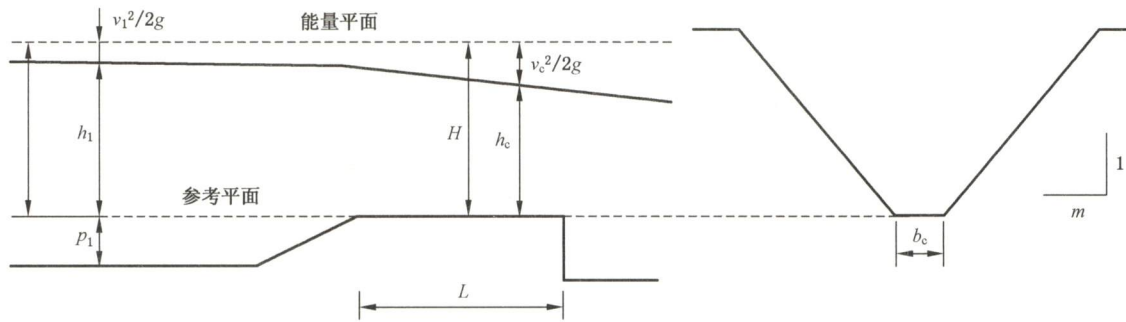
喉部断面形状	水位—流量关系	相应的 h_c
	<p>若 $H_1 \leq 0.70d_c$</p> <p>$Q = C_d d_c^{5/2} \sqrt{g} [f(\theta)]$, $f(\theta)$ 查表 G.3</p> <p>若 $H_1 > 0.70d_c$</p> <p>$Q = C_d C_v 2d_c (2g)^{1/2} \left(\frac{1}{3} h_1 - 0.035 8d_c \right)^{3/2}$</p>	<p>查表 G.3</p> <p>$y_c = \frac{1}{2} H_1 + 0.152d_c$</p> <p>$h_c = \frac{1}{2} H_1 + 0.152d_c$</p>
	<p>$Q = C_d d_c^{5/2} \sqrt{g} f(\phi, \theta)$</p> <p>$f(\phi, \theta)$ 查表 G.3</p>	<p>h_c 可变</p>

表 G.2 梯形控制断面 h_c/H_1 与 m 和 H_1/b_c 的函数关系

$\frac{H_1}{b_c}$	渠道边坡 横向:竖向(m)									
	竖向	0.25:1	0.50:1	0.75:1	1:1	1.5:1	2:1	2.5:1	3:1	4:1
0.00	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667	0.667
0.01	0.667	0.667	0.667	0.668	0.668	0.669	0.670	0.670	0.671	0.672
0.02	0.667	0.667	0.668	0.669	0.670	0.671	0.672	0.674	0.675	0.678
0.03	0.667	0.668	0.669	0.670	0.671	0.673	0.675	0.677	0.679	0.683
0.04	0.667	0.668	0.670	0.671	0.672	0.675	0.677	0.680	0.683	0.687
0.05	0.667	0.668	0.670	0.672	0.674	0.677	0.680	0.683	0.686	0.692
0.06	0.667	0.669	0.671	0.673	0.675	0.679	0.683	0.686	0.690	0.696
0.07	0.667	0.669	0.672	0.674	0.676	0.681	0.685	0.689	0.693	0.699
0.08	0.667	0.670	0.672	0.675	0.678	0.683	0.687	0.692	0.696	0.703
0.09	0.667	0.670	0.673	0.676	0.679	0.684	0.690	0.695	0.698	0.706
0.10	0.667	0.670	0.674	0.677	0.680	0.686	0.692	0.697	0.701	0.709
0.12	0.667	0.671	0.675	0.679	0.684	0.690	0.696	0.701	0.706	0.715
0.14	0.667	0.672	0.676	0.681	0.686	0.693	0.699	0.705	0.711	0.720
0.16	0.667	0.672	0.678	0.683	0.687	0.696	0.703	0.709	0.715	0.725
0.18	0.667	0.673	0.679	0.684	0.690	0.698	0.706	0.713	0.719	0.729

表 G.2 (续)

$\frac{H_1}{b_c}$	渠道边坡 横向: 竖向(m)									
	竖向	0.25 : 1	0.50 : 1	0.75 : 1	1 : 1	1.5 : 1	2 : 1	2.5 : 1	3 : 1	4 : 1
0.20	0.667	0.674	0.680	0.686	0.692	0.701	0.709	0.717	0.723	0.733
0.22	0.667	0.674	0.681	0.688	0.694	0.704	0.712	0.720	0.726	0.736
0.24	0.667	0.675	0.683	0.689	0.696	0.706	0.715	0.723	0.729	0.739
0.26	0.667	0.676	0.684	0.691	0.698	0.709	0.718	0.725	0.732	0.742
0.28	0.667	0.676	0.685	0.693	0.699	0.711	0.720	0.728	0.734	0.744
0.30	0.667	0.677	0.686	0.694	0.701	0.713	0.723	0.730	0.737	0.747
0.32	0.667	0.678	0.687	0.696	0.703	0.715	0.725	0.733	0.739	0.749
0.34	0.667	0.678	0.689	0.697	0.705	0.717	0.727	0.735	0.741	0.751
0.36	0.667	0.679	0.690	0.699	0.706	0.719	0.729	0.737	0.743	0.752
0.38	0.667	0.680	0.691	0.700	0.708	0.721	0.731	0.738	0.745	0.754
0.40	0.667	0.680	0.692	0.701	0.709	0.723	0.733	0.740	0.747	0.756
0.42	0.667	0.681	0.693	0.703	0.711	0.725	0.734	0.742	0.748	0.757
0.44	0.667	0.681	0.694	0.704	0.712	0.727	0.736	0.744	0.750	0.759
0.46	0.667	0.682	0.695	0.705	0.714	0.728	0.737	0.745	0.751	0.760
0.48	0.667	0.683	0.696	0.706	0.715	0.729	0.739	0.747	0.752	0.761
0.50	0.667	0.683	0.697	0.708	0.717	0.730	0.740	0.748	0.754	0.762
0.60	0.667	0.686	0.701	0.713	0.723	0.737	0.747	0.754	0.759	0.767
0.70	0.667	0.688	0.706	0.718	0.728	0.742	0.752	0.758	0.764	0.771
0.80	0.667	0.692	0.709	0.723	0.732	0.746	0.756	0.762	0.767	0.774
0.90	0.667	0.694	0.713	0.727	0.737	0.750	0.759	0.766	0.770	0.776
1.00	0.667	0.697	0.717	0.730	0.740	0.754	0.762	0.768	0.773	0.778
1.20	0.667	0.701	0.723	0.737	0.747	0.759	0.767	0.772	0.776	0.782
1.40	0.667	0.706	0.729	0.742	0.752	0.764	0.771	0.776	0.779	0.784
1.60	0.667	0.709	0.733	0.747	0.756	0.767	0.774	0.778	0.781	0.786
1.80	0.667	0.713	0.737	0.750	0.759	0.770	0.776	0.781	0.783	0.787
2.00	0.667	0.717	0.740	0.754	0.762	0.773	0.778	0.782	0.785	0.788
3.00	0.667	0.730	0.753	0.766	0.773	0.781	0.785	0.787	0.790	0.792
4.00	0.667	0.740	0.762	0.773	0.778	0.785	0.788	0.790	0.792	0.794
5.00	0.667	0.748	0.768	0.777	0.782	0.788	0.791	0.792	0.794	0.795
10.00	0.667	0.768	0.782	0.788	0.791	0.794	0.795	0.796	0.797	0.798
∞		0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800



说明:图中的变量意义参见图 20 说明。示意图为下游突降的简易量水槛,其淹没度仅能达到 0.85。若渠道可用水头不足时下游宜采用 1:6 的渐变段过渡,淹没度可达 0.95。在自由出流条件下两者流量相同。

图 G.2 (表 G.2 附图)

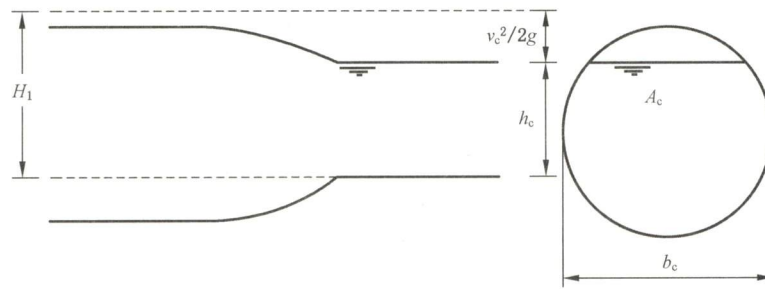
表 G.3 圆形断面宽顶堰长喉槽流量确定表

$\frac{h_c}{d_c}$	$\frac{v_c^2}{2gd_c}$	$\frac{H_1}{d_c}$	$\frac{A_c}{d_c^2}$	$\frac{h_c}{H_1}$	$f(\theta)$	$\frac{h_c}{d_c}$	$\frac{v_c^2}{2gd_c}$	$\frac{H_1}{d_c}$	$\frac{A_c}{d_c^2}$	$\frac{h_c}{H_1}$	$f(\theta)$
0.01	0.003 3	0.013 3	0.001 3	0.752	0.000 1	0.23	0.081 1	0.311 1	0.136 5	0.739	0.055 0
0.02	0.006 7	0.026 7	0.003 7	0.749	0.000 4	0.24	0.084 8	0.324 8	0.144 9	0.739	0.059 7
0.03	0.010 1	0.040 1	0.006 9	0.749	0.001 0	0.25	0.088 7	0.338 7	0.153 5	0.738	0.064 7
0.04	0.013 4	0.053 4	0.010 5	0.749	0.001 7	0.26	0.092 5	0.352 5	0.162 3	0.738	0.069 8
0.05	0.016 8	0.066 8	0.014 7	0.748	0.002 7	0.27	0.096 3	0.366 3	0.171 1	0.737	0.075 1
0.06	0.020 3	0.080 3	0.019 2	0.748	0.003 9	0.28	0.100 2	0.380 2	0.180 0	0.736	0.080 6
0.07	0.023 7	0.093 7	0.024 2	0.747	0.005 3	0.29	0.104 2	0.394 2	0.189 0	0.736	0.086 3
0.08	0.027 1	0.107 1	0.029 4	0.747	0.006 8	0.30	0.108 1	0.408 1	0.198 2	0.735	0.092 2
0.09	0.030 6	0.120 6	0.035 0	0.746	0.008 7	0.31	0.112 1	0.422 4	0.207 4	0.734	0.092 2
0.10	0.034 1	0.134 1	0.040 9	0.746	0.010 7	0.32	0.116 1	0.436 1	0.216 7	0.734	0.098 2
0.11	0.037 6	0.147 6	0.047 0	0.745	0.012 9	0.33	0.120 2	0.450 2	0.226 0	0.733	0.104 4
0.12	0.041 1	0.161 1	0.053 4	0.745	0.015 3	0.34	0.124 3	0.464 3	0.235 5	0.732	0.110 8
0.13	0.044 6	0.174 6	0.060 0	0.745	0.017 9	0.35	0.128 4	0.478 4	0.245 0	0.732	0.128 9
0.14	0.048 2	0.188 2	0.068 8	0.744	0.021 4	0.36	0.132 6	0.492 6	0.254 6	0.731	0.131 1
0.15	0.051 7	0.201 7	0.073 9	0.744	0.023 8	0.37	0.136 8	0.506 8	0.264 2	0.730	0.138 2
0.16	0.055 3	0.215 3	0.081 1	0.743	0.027 0	0.38	0.141 1	0.521 1	0.273 9	0.729	0.145 5
0.17	0.058 9	0.228 9	0.088 5	0.743	0.030 4	0.39	0.145 4	0.535 4	0.283 6	0.728	0.152 9
0.18	0.062 6	0.246 2	0.096 1	0.742	0.034 0	0.40	0.149 7	0.549 7	0.293 4	0.728	0.160 5
0.19	0.066 2	0.256 2	0.103 9	0.742	0.037 8	0.41	0.154 1	0.564 1	0.303 2	0.727	0.168 3
0.20	0.069 9	0.269 9	0.111 8	0.741	0.041 8	0.42	0.158 6	0.578 6	0.313 0	0.726	0.176 3
0.21	0.073 6	0.283 6	0.119 9	0.740	0.046 0	0.43	0.163 1	0.593 1	0.322 9	0.725	0.184 4
0.22	0.077 3	0.297 3	0.128 1	0.740	0.050 4	0.44	0.167 6	0.607 6	0.332 8	0.724	0.192 7

表 G.3 (续)

$\frac{h_c}{d_c}$	$\frac{v_c^2}{2gd_c}$	$\frac{H_1}{d_c}$	$\frac{A_c}{d_c^2}$	$\frac{h_c}{H_1}$	$f(\theta)$	$\frac{h_c}{d_c}$	$\frac{v_c^2}{2gd_c}$	$\frac{H_1}{d_c}$	$\frac{A_c}{d_c^2}$	$\frac{h_c}{H_1}$	$f(\theta)$
0.45	0.172 3	0.622 3	0.342 8	0.723	0.201 2	0.71	0.328 6	1.038 6	0.596 4	0.684	0.483 5
0.46	0.176 9	0.636 9	0.352 7	0.722	0.209 8	0.72	0.337 1	1.057 1	0.605 4	0.681	0.497 1
0.47	0.181 7	0.651 7	0.362 7	0.721	0.218 6	0.73	0.345 9	1.075 9	0.614 3	0.679	0.510 9
0.48	0.186 5	0.666 5	0.372 7	0.720	0.227 6	0.74	0.355 2	1.095 2	0.623 1	0.676	0.525 2
0.49	0.191 4	0.681 4	0.382 7	0.719	0.236 8	0.75	0.364 8	1.114 8	0.631 9	0.673	0.539 7
0.50	0.196 4	0.696 4	0.392 7	0.718	0.246 1	0.76	0.374 9	1.134 9	0.640 5	0.670	0.554 6
0.51	0.201 4	0.711 4	0.402 7	0.717	0.255 6	0.77	0.385 5	1.155 5	0.648 9	0.666	0.568 9
0.52	0.206 5	0.726 5	0.412 7	0.716	0.265 2	0.78	0.396 7	1.176 7	0.657 3	0.663	0.585 5
0.53	0.211 7	0.741 7	0.422 7	0.715	0.275 0	0.79	0.408 5	1.198 5	0.665 5	0.659	0.601 5
0.54	0.222 4	0.757 0	0.432 7	0.713	0.285 1	0.80	0.421 0	1.221 0	0.673 5	0.655	0.618 0
0.55	0.227 6	0.772 4	0.442 6	0.712	0.295 2	0.81	0.434 3	1.244 3	0.681 5	0.651	0.635 1
0.56	0.227 9	0.787 9	0.452 6	0.711	0.305 6	0.82	0.448 5	1.268 5	0.689 3	0.646	0.652 8
0.57	0.233 5	0.803 5	0.462 6	0.709	0.316 1	0.83	0.468 3	1.293 8	0.696 9	0.641	0.671 2
0.58	0.239 3	0.819 3	0.472 6	0.708	0.326 8	0.84	0.480 3	1.320 3	0.704 3	0.636	0.690 3
0.59	0.245 1	0.835 1	0.482 2	0.707	0.337 6	0.85	0.498 2	1.348 2	0.711 5	0.630	0.710 2
0.60	0.251 1	0.851 1	0.492 0	0.705	0.348 7	0.86	0.517 7	1.377 7	0.718 6	0.624	0.731 2
0.61	0.257 2	0.867 2	0.501 8	0.703	0.359 9	0.87	0.539 2	1.409 2	0.725 4	0.617	0.753 3
0.62	0.263 5	0.883 5	0.511 5	0.702	0.371 3	0.88	0.563 2	1.443 2	0.732 0	0.610	0.776 9
0.63	0.269 9	0.899 9	0.521 2	0.700	0.382 9	0.89	0.590 0	1.480 0	0.738 4	0.601	0.802 1
0.64	0.276 5	0.916 5	0.530 8	0.698	0.394 7	0.90	0.620 4	1.520 4	0.744 5	0.592	0.829 3
0.65	0.283 3	0.933 3	0.540 4	0.696	0.406 8	0.91	0.655 5	1.565 5	0.750 4	0.581	0.859 2
0.66	0.290 2	0.950 2	0.549 9	0.695	0.418 9	0.92	0.696 6	1.616 6	0.756 0	0.569	0.892 3
0.67	0.297 4	0.967 4	0.559 4	0.693	0.431 4	0.93	0.745 9	1.675 9	0.761 2	0.555	0.929 7
0.68	0.304 8	0.984 8	0.568 7	0.691	0.444 0	0.94	0.806 5	1.746 5	0.766 2	0.538	0.973 1
0.69	0.312 5	1.002 5	0.578 0	0.688	0.456 9	0.95	0.884 1	1.834 1	0.770 7	0.518	1.024 8
0.70	0.320 4	1.020 4	0.587 2	0.686	0.470 1						

注: $f(\theta) = (A_c/d_c^2) [2(H_1/d_c - h_c/d_c)]^{0.5} = (\theta - \sin\theta)^{1.5} / [8(8\sin 1/2\theta)^{0.5}]$



说明：图中的变量意义参见图 20 说明。

图 G.3 (表 G.3 附图)

表 G.4 管内宽顶堰流量确定表

$$f(\phi, \theta) = \frac{(\theta - \phi + \sin\phi - \sin\theta)^{1.5}}{8 \left(8 \sin \frac{1}{2}\theta\right)^{0.5}}$$

$\frac{P_c + H_1}{d_c}$	$\frac{P_c}{d_c} = 0.15$	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.16	0.000 4							
0.17	0.001 1							
0.18	0.002 1							
0.19	0.003 2							
0.20	0.004 5							
0.21	0.006 0	0.000 4						
0.22	0.007 6	0.001 2						
0.23	0.009 4	0.002 3						
0.24	0.011 3	0.003 6						
0.25	0.013 3	0.005 0						
0.26	0.015 5	0.006 6	0.000 5					
0.27	0.017 7	0.008 4	0.001 3					
0.28	0.020 1	0.010 3	0.002 5					
0.29	0.022 6	0.012 4	0.003 8					
0.30	0.025 2	0.014 5	0.005 4					
0.31	0.028 0	0.016 9	0.007 1	0.000 5				
0.32	0.030 8	0.019 3	0.009 0	0.001 4				
0.33	0.033 7	0.021 9	0.011 0	0.002 6				
0.34	0.036 8	0.024 5	0.013 2	0.004 0				
0.35	0.039 9	0.027 3	0.015 5	0.005 7				
0.36	0.043 2	0.030 2	0.017 9	0.007 5	0.000 5			
0.37	0.046 5	0.033 2	0.020 5	0.009 4	0.001 5			

表 G.4 (续)

$f(\phi, \theta) = \frac{(\theta - \phi + \sin\phi - \sin\theta)^{1.5}}{8\left(8\sin\frac{1}{2}\theta\right)^{0.5}}$								
$\frac{P_c + H_1}{d_c}$	$\frac{P_c}{d_c} = 0.15$	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.38	0.050 0	0.036 3	0.023 2	0.011 5	0.002 7			
0.39	0.053 5	0.039 6	0.026 0	0.013 8	0.004 2			
0.40	0.057 1	0.042 9	0.028 9	0.016 2	0.005 9			
0.41	0.060 9	0.046 3	0.032 0	0.018 7	0.007 7	0.000 5		
0.42	0.064 7	0.049 8	0.035 1	0.021 4	0.009 7	0.001 5		
0.43	0.068 6	0.053 4	0.038 3	0.024 2	0.011 9	0.002 8		
0.44	0.072 6	0.057 1	0.041 7	0.027 1	0.014 3	0.004 3		
0.45	0.076 7	0.060 9	0.045 1	0.030 1	0.016 7	0.006 0		
0.46	0.080 9	0.064 8	0.048 7	0.033 2	0.019 3	0.007 9	0.000 5	
0.47	0.085 1	0.068 8	0.052 3	0.036 5	0.022 0	0.010 0	0.001 5	
0.48	0.089 5	0.072 9	0.056 1	0.039 8	0.024 9	0.012 2	0.002 8	
0.49	0.093 9	0.077 0	0.059 9	0.043 2	0.027 9	0.014 5	0.004 3	
0.50	0.098 4	0.081 3	0.063 8	0.046 8	0.030 9	0.017 0	0.005 1	
0.51	0.103 0	0.085 6	0.067 8	0.050 4	0.034 1	0.019 7	0.000 5	0.000 5
0.52	0.107 6	0.090 0	0.071 9	0.054 1	0.037 4	0.022 4	0.001 5	0.001 5
0.53	0.112 4	0.094 5	0.076 1	0.057 9	0.040 8	0.012 3	0.002 8	0.002 8
0.54	0.117 2	0.099 0	0.080 3	0.061 8	0.044 3	0.014 7	0.004 4	0.004 4
0.55	0.122 1	0.103 7	0.084 7	0.065 8	0.047 9	0.017 2	0.006 1	0.006 1
0.56	0.127 0	0.104 8	0.089 1	0.069 9	0.051 5	0.034 6	0.019 8	0.008 0
0.57	0.132 0	0.113 2	0.093 6	0.074 1	0.055 3	0.037 9	0.022 6	0.010 1
0.58	0.137 2	0.118 0	0.098 1	0.078 3	0.059 2	0.041 3	0.025 5	0.012 3
0.59	0.142 3	0.123 0	0.102 8	0.082 6	0.063 1	0.044 8	0.028 5	0.014 7
0.60	0.147 6	0.128 0	0.107 5	0.087 0	0.066 7	0.048 4	0.031 6	0.017 2
0.62b		0.138 2	0.117 2	0.096 0	0.075 4	0.055 9	0.038 1	0.022 5
0.64		0.148 6	0.127 1	0.105 3	0.084 0	0.063 7	0.044 9	0.028 3
0.66		0.159 3	0.137 3	0.114 9	0.092 9	0.071 8	0.052 2	0.034 6
0.68		0.170 3	0.147 7	0.124 7	0.102 0	0.080 2	0.059 7	0.041 2
0.70		0.181 5	0.158 4	0.134 8	0.111 4	0.088 8	0.067 6	0.048 1
0.72		0.192 9	0.169 2	0.145 1	0.121 1	0.097 8	0.075 7	0.055 4
0.74		0.204 5	0.180 4	0.155 6	0.131 0	0.107 0	0.084 1	0.062 9
0.76		0.216 3	0.191 7	0.166 3	0.141 1	0.116 4	0.092 8	0.070 7

表 G.4 (续)

$$f(\phi, \theta) = \frac{(\theta - \phi + \sin\phi - \sin\theta)^{1.5}}{8 \left(8 \sin \frac{1}{2}\theta\right)^{0.5}}$$

$\frac{P_c + H_1}{d_c}$	$\frac{P_c}{d_c} = 0.15$	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
0.78		0.228 3	0.203 1	0.177 3	0.151 4	0.126 0	0.101 6	0.078 8
0.80		0.240 5	0.214 8	0.188 4	0.161 8	0.135 8	0.110 7	0.087 0
0.82		0.252 8	0.226 7	0.199 7	0.172 5	0.145 8	0.120 0	0.095 5
0.84		0.265 3	0.238 6	0.211 1	0.183 3	0.155 9	0.129 4	0.104 2
0.86		0.278 0	0.250 8	0.222 7	0.194 3	0.166 2	0.139 0	0.113 0
0.88		0.290 7	0.263 0	0.234 4	0.205 4	0.176 7	0.148 7	0.122 0
0.90		0.303 6	0.275 4	0.246 2	0.216 6	0.187 2	0.158 6	0.131 1
0.92		0.316 6	0.287 9	0.258 1	0.227 9	0.197 9	0.168 6	0.140 4
0.94		0.329 7	0.300 5	0.270 1	0.239 4	0.208 7		
0.96		0.342 8	0.313 1	0.282 3	0.250 9			
0.98		0.356 1	0.325 9	0.294 4				
1.00		0.369 4	0.338 7					
1.02		0.382 7						
1.04		0.396 1						

注：上表中计算流量时， $C_d=1.0$ ； $\alpha_d=1.0$ ； $H_1=H_c$ 。

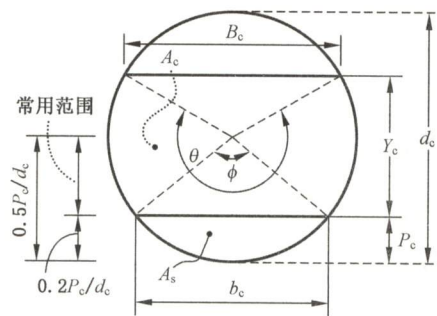
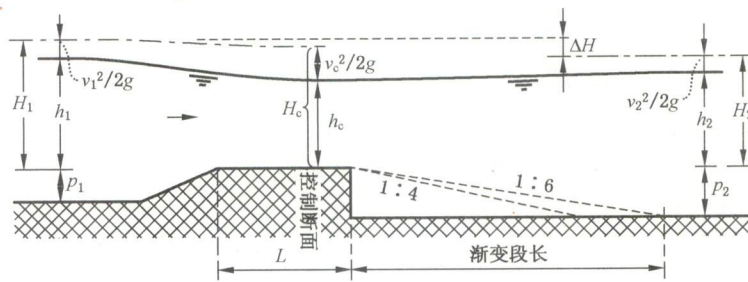


图 G.4 (表 G.4 附图)

G.3 长喉道槽非淹没限试算法

长喉槽淹没限值 H_1/H_2 试算过程(图 G.5), 流程图参见图 G.6。



说明:本图中的公式符号参见图 20 说明。

图 G.5 长喉槽计算示意图(假定 $\alpha_1 = \alpha_c = \alpha_2 = 1.0$)

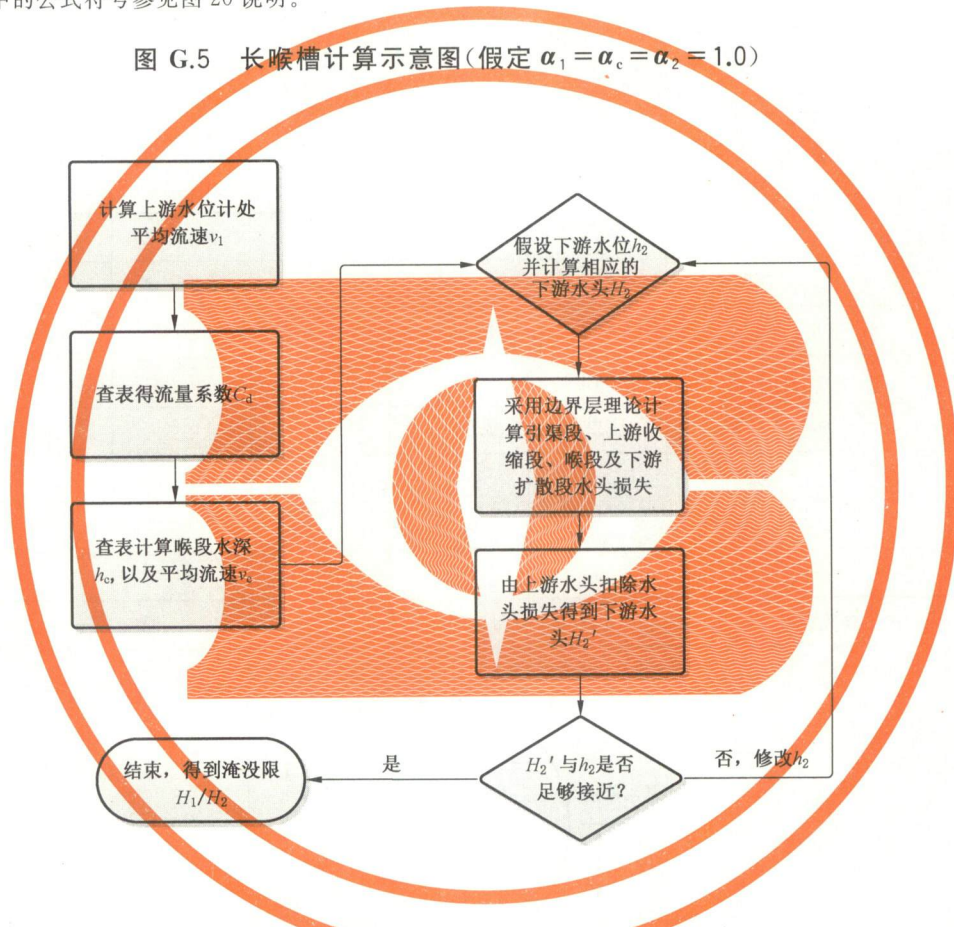


图 G.6 长喉槽非淹没限试算流程图

- a) 计算量测上游水头 h_1 处的过流面积及平均流速 v_1 。
- b) 为使喉道内流线接近直线并平行, 水流方向喉道长 L 与堰上水头 H_1 之间必须满足关系式 $0.1 < H_1/L \leq 1.0$, 此时流量修正系数 C_d 与 H_1/L 间有足够精确的数量关系。故需计算 H_1/L , 以确定 C_d (查图 G.7)。

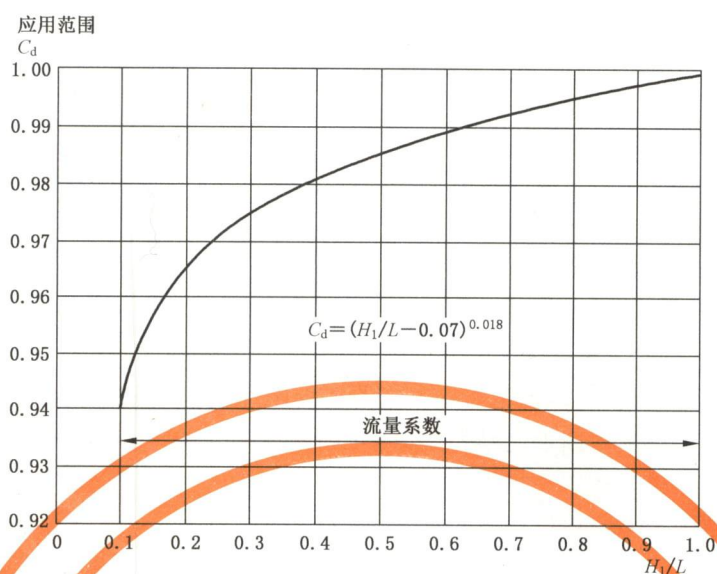


图 G.7 C_d 与 H_1/L 之间的函数关系图

- c) 从水位-流量方程中读取 μ 值(11.7.5 式 81)。
- d) 计算 $C_d^{1/\mu}$ 。
- e) 计算控制断面 h_c 值(查表 G.2)。
- f) 确定控制段水深处的过流面积并计算该断面的平均流速。
- g) 查函数关系图,找出 ξ 值(图 G.8)。

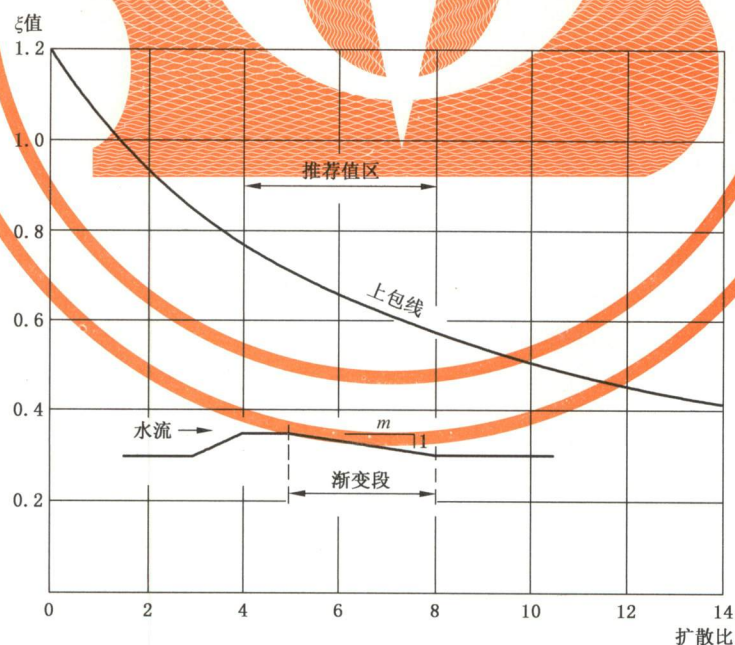


图 G.8 函数关系图

- h) 估计 h_2 的初值并求出相应的 v_2 。
- i) 计算出 $\xi (v_2 - v_c)^2 / 2gH_1$ 。
- j) 采用边界层理论方法计算从上游 h_1 断面到 h_2 量测断面由摩擦而引起的水头损失,基本公式为:

$$\Delta H = \frac{Lv^2}{R} \frac{C_F}{2g} \dots\dots\dots (G.1)$$

式中:

- ΔH ——水头损失,单位为米(m);
- L ——沿水流方向的边界层长度,单位为米(m);
- v ——计算断面的平均流速,单位为米每秒(m/s);
- C_F ——边界层阻力系数;
- R ——计算断面的水力半径,单位为米(m);
- g ——重力加速度,单位为米每二次方秒(m/s²)。

下面依次计算喉槽段、上游测量断面与收缩段坡脚之间的渠段(简称为引渠段)、上游收缩段、下游渐扩段到下游测量断面之间的尾渠段的水头损失。

1) 水流流经喉槽段的水头损失 ΔH_L

喉槽段边界层阻力系数可以用下式求出:

$$C_F = C_{F,L} - \frac{L_x}{L} C_{F,x} + \frac{L_x}{L} C_{f,x} \dots\dots\dots (G.2)$$

式中:

- $C_{F,L}$ ——喉槽段边界层全部为紊动流动边界层时的阻力系数;
- $C_{F,x}$ —— L_x 段为紊流边界层时的阻力系数;
- $C_{f,x}$ —— L_x 段为层流边界时的阻力系数。

其中 L_x 可以联立下面两式求得:

$$Re_x = 350\ 000 + L/k \dots\dots\dots (G.3)$$

$$Re_x = \frac{v_c L_x}{v_i} \dots\dots\dots (G.4)$$

上面两式中,(G.3)为经验公式,(G.4)为雷诺数的定义式。

上述式中:

- Re_x ——层流边界层的雷诺数;
- L ——喉道长度,单位为米(m);
- k ——绝对粗糙高度,单位为米(m);
- L_x ——层流边界层长度,单位为米(m);
- v_i ——运动粘性系数,单位为平方米每秒(m²/s)。

Harrisonp 依据边界层理论推导出计算紊流边界层阻力系数的试算公式:

$$C_{F,L} = \frac{0.544 C_{F,L}^{0.5}}{5.61 C_{F,L}^{0.5} - 0.638 - \ln[(Re_L C_{F,L})^{-1} + (4.8 C_{F,L}^{0.5} L/k)^{-1}]} \dots\dots\dots (G.5)$$

$$Re_L = \frac{v_c L}{v_i} \dots\dots\dots (G.6)$$

分别用 $C_{F,x}$ 、 Re_x 、 L_x 替换(G.5)上述式中的 $C_{F,L}$ 、 Re_L 、 L 后,便可求出 $C_{F,x}$ 。层流边界层阻力系数用 Schlichting(1960)建议的公式计算:

$$C_{f,x} = \frac{1.328}{Re_x^{0.5}} \dots\dots\dots (G.7)$$

如果 $Re_L < Re_x$,则整个边界层处于层流边界层状态,此时,用 Re_L 代替式(G.7)中的 Re_x 得:

$$C_F = C_{f,L} = \frac{1.328}{Re_L^{0.5}} \dots\dots\dots (G.8)$$

这时将所有相关值代入(G.1)式后便可求出喉槽段水头损失 ΔH_L 。

2) 引渠段的水头损失

因为该渠段水流边界层已充分发展为紊流边界层,所以 C_F 值取为常数:0.002 35。用边界层理论计算该段水头损失的公式如下:

$$\Delta H_a = \frac{L_a v_1^2 C_F}{R_1 2g} \dots\dots\dots (G.9)$$

式中:

L_a ——引渠段的长度,单位为米(m),一般不小于上游观测点处最大水头 H_1 ;

R_1 ——上游测量断面的水力半径,单位为米(m);

v_1 ——上游测量断面的平均流速,单位为米每秒(m/s)。

3) 上游收缩段的水头损失

因为上游收缩段水流边界层也处于紊流状态,故 C_F 值亦取为 0.002 35。

上游收缩段水头损失的计算采用平均水头损失公式计算:

$$\Delta H_b = \frac{0.002\ 35 L_b}{4g} \left(\frac{v_1^2}{R_1} + \frac{v_b^2}{R_b} \right) \dots\dots\dots (G.10)$$

式中:

L_b ——收缩渠底沿水流方向的水平投影长度,单位为米(m);

v_b ——喉槽入口断面的水流平均流速,单位为米每秒(m/s);

R_b ——喉槽入口断面的水力半径,单位为米(m)。

为求 v_b 和 R_b ,必须知道喉槽入口断面的水深 y_b ,我们采用如下的近似计算公式,计算长喉槽入口断面水深:

$$y_b = h_c + 5/8(h_1 - h_c) \dots\dots\dots (G.11)$$

这样,图 G.1 中 h_1 断面到 h_c 断面的水头损失就可用下式求解:

$$\Delta H_1 = \Delta H_a + \Delta H_b + \Delta H_L \dots\dots\dots (G.12)$$

4) 下游段水头损失

从喉槽控制段末端到下游水位测量断面之间的能量损失可分为两个组成部分:磨擦损失和紊流损失(水流迅速扩散使得能量转换不充分而引起)。从控制段到下游测量断面间的磨擦损失比紊流损失要小,采用边界层理论来分析已能够满足计算精度要求,其水流边界层也处于紊流状态,故 C_F 值亦取为 0.002 35。

下游扩散段长度为: $L_d = P_2 \times EM$ (对于有底坎形式, P_2 为坎高,EM 为扩散段底坎坡降);
 $L_d = b_s \times EM'$ 对于只有侧收缩形式, b_s 为扩散值,EM 为扩散比)。

下游扩散段末端到下游水位测量位置的长度为: $L_e = 10(P_2 + L/2)L_d$ (对于有底坎形式, P_2 为坎高);
 $L_e = 10(b_s + L/2)L_d$ 对于只有侧收缩形式, b_s 为扩散值)。

这样确定的下游水位测量位置既远离扩散段、受扩散段尾水波动影响小,又不会因距离控制段过远而引起过大的沿程水头损失。有了扩散段各部分计算长度和边界层系数,即可计算相应的水头损失。

扩散段磨擦引起的水头损失为:

$$\Delta H_d = \frac{0.002\ 35 L_d}{4g} \left(\frac{v_2^2}{R_2} + \frac{v_c^2}{R_c} \right) \dots\dots\dots (G.13)$$

式中:

L_d ——渐扩段渠底沿水流方向的水平投影长度,单位为米(m);

v_2 ——下游水位测量断面的水流平均流速,单位为米每秒(m/s);

R_2 ——下游水位测量断面的水力半径,单位为米(m);

v_c ——喉段的水流平均流速,单位为米每秒(m/s);

R_c ——喉段的水力半径,单位为米(m)。

扩散段末端到下游水位测量断面间尾渠段的水头损失 ΔH_e ;

因为该渠段水流边界层已充分发展为紊流边界层,所以 C_F 值取为 0.002 35。用边界层理论计算该段水头损失的公式如下:

$$\Delta H_e = \frac{0.002\ 35}{4g} \left(\frac{L_e v_2^2}{R_2} \right) \dots\dots\dots (G.14)$$

式中:

L_e ——尾渠段的长度,单位为米(m);

v_2 ——下游测量断面的平均流速,单位为米每秒(m/s);

R_2 ——下游测量断面的水力半径,单位为米(m)。

所以下游段的总摩擦损失为:

$$\Delta H_f = \Delta H_d + \Delta H_e \dots\dots\dots (G.15)$$

下游段的扩散损失,即:下游扩散段由于动能未完全转化为势能而造成的水头损失,可用下面的方程计算:

$$\Delta H_k = \xi \frac{(v_c - v_2)^2}{2g} \dots\dots\dots (G.16)$$

其中: ξ 为能量损失系数,是下游扩散段坡降的函数。可由下式计算出 ξ 的值:

$$\xi = \frac{\lg[114.59 \arctg(1/m)] - 0.165}{1.742} \dots\dots\dots (G.17)$$

其中 m 为下游扩散段坡降。对于只有底收缩的长喉槽,扩散坡降 m 即为底部扩散坡降 EM;对于只有侧面收缩的长喉槽,其下游扩散段坡降即为侧面扩散比 EM;对于既有侧收缩又有底收缩的长喉槽,底部扩散率对能量损失与恢复的影响要大,因此,应将底部扩散坡降 EM 应用到水头损失计算中去。对于最后一种情况,由于采用式(G.16)计算出的 ξ 值是偏于保守的,因而适用于大多数实际渠道。

下游段的总水头损失为:

$$\Delta H_2 = \Delta H_f + \Delta H_k \dots\dots\dots (G.18)$$

k) 计算 $H_2 = H_1 - \Delta H_1 - \Delta H_2$ 。

l) 求 H_1/H_2 。

淹没度限值是依上游水位 h_1 不同而变化,因此,必须求出测站水位最大和最小情况下对应的淹没度限值,以便检验水头损失($H_1 - H_2$)是否满足设计要求。

G.4 长喉道槽流量试算法

长喉槽流量试算法变量意义及示意图参见图 20,计算流程图^{[1][2]}参见图 G.9。

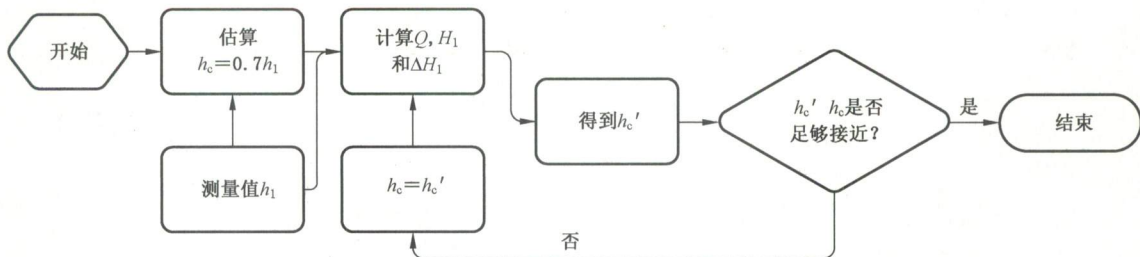


图 G.9 试算法计算长喉槽流量流程图

a) 由已知的上游水位 h_1 假设喉段水深 h_c 。

- b) 由假设的 h_c 计算临界流对应的流量 Q :

$$Q = \sqrt{gA_c^2/B_c} \quad \dots\dots\dots (G.19)$$

式中:

A_c ——控制段的过流面积,单位为平方米(m^2)。

B_c ——控制段的过流顶宽,单位为米(m);两者都是控制段水深 h_c 的函数。

- c) 采用边界层理论计算上游段水头损失(参见附录 G.3 第 10 条)。
 d) 计算喉段水头 H_c' ,然后计算对应的喉段水位 h_c' 。
 e) 判断 h_c' 与假设的 h_c 是否足够接近,如果误差较大则用 h_c' 代替 h_c 。返回第二部迭代计算直至两者相差小于允许精度。
 f) 得到 h_c 返并带入式(G.19)得到此时的计算流量 Q 。



附 录 H
(资料性附录)
其他量水仪表

H.1 差压式流量计

差压式流量计是由节流件、取压装置和节流件前后直管段等组成。根据节流件的不同,推荐用于灌溉系统的差压式流量计包括孔板式流量计、文丘利管流量计及圆缺孔板流量计。

H.2 分流水量计

分流水量计以文丘利管作为节流件和过水主管,在喉管处连接一支管,支管上安装水表,支管进口与上游水体连接,出口与喉管连接。分流水量计分为管道式和渠用式两种。管道式分流水量计用于有压管道量水。渠用式分流水量计用于明渠量水,可安置在渠首或渠中处。渠道流量大时,可选用并联分流水量计。

H.3 旋杯式水量计

旋杯式水量计是由量水涵洞和量水仪表两部分组成。量水仪表一般由旋杯式转子、轮轴和计数表三部分组成。计数表分机械型和电子智能型。量水涵洞的尺寸及量水仪表安装位置由产品要求确定。

H.4 转轮式水量计

转轮式水量计包括转轮、水槽和计数表三部分组成,转轮轴横跨在渠道或水槽的边墙上。渠道水流推动转轮旋转,每旋转一周,计数器记录增加一次。计数器的大小反映通过的水量多少。适宜水中无水草和大的漂浮物,不宜在高淹没度的条件下使用。

H.5 测控一体闸水量计

测控一体闸为堰顶高度可调的顶面溢流堰,以太阳能等为动力来源,通过实时监测闸门上下游水位和闸门开度来计算流量。测控一体闸为铝合金轻型结构,配备有通讯系统、能源系统和调控系统。可根据控制模式选择实现对闸门的上游水位控制、下游水位控制、开度控制、流量控制等。在满足上下游水位差大于 4 cm 的条件下,流量测量允许误差±5%以上。

参 考 文 献

[1] A.J.Clemmens, T.L.Wahl, M.G.Bos, J. A.Replogle, Water Measurement with Flumes and Weirs [M], International Institute for Land Reclamation and Improvement(ILRI), Wageningen, The Netherlands, 2001.

[2] Marinus G.Bos, John A.Replogle, Albert J.Clemmens, Flow Measuring Flumes for Open Channel Systems [M], A Wiley-interscience publication, 1984.
