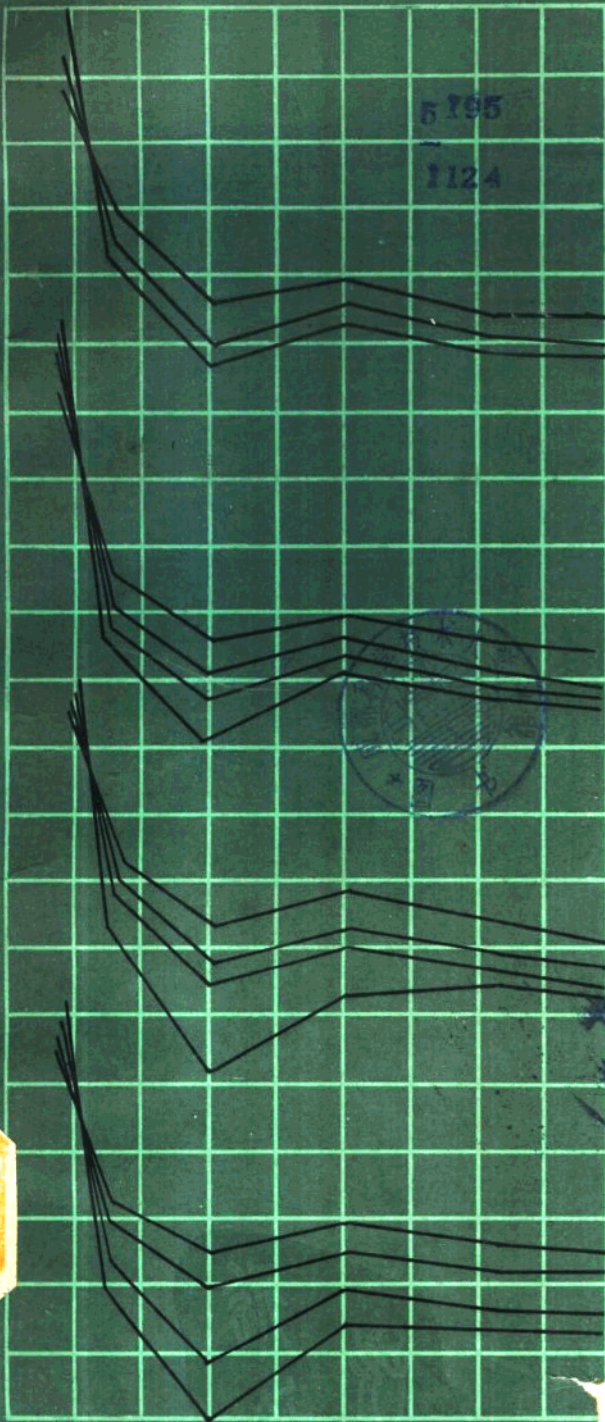


850851

堰闸水力设计

张绍芳



前 言

溢流坝和水闸都是水利工程中重要的水工建筑物。堰、闸的水力设计经长期的工程实践和科学研究，已积累了丰富的经验和资料，但据作者多年的实践和研究，也发现有不少问题还需进一步探讨、完善和补充。本书介绍了作者对实用堰和平底闸的研究成果及其它方面的经验。把他们整理出来是为了求教于从事这方面工作的同行；也是为了给从事设计工作的同志提供些参考资料。

为使本书较完整、系统，便于应用，除实用堰和平底闸外，书中还编入了堰、闸水力设计方面的其它内容，包括薄壁堰、三角形剖面堰、宽顶堰、非直线堰以及各类水闸。书中尽可能地收集国内外常用的方法和资料，并对其作必要的评析，以便于读者使用时进行比较、选择。

作者的研究工作是在山东省水利科学研究所进行的，不少同志直接参加了这些工作，本书得以问世与他们的工作是分不开的，在此表示感谢。

限于水平，书中谬误在所难免，敬请读者批评指正。

张绍芳 1987年5月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 堰闸在水利工程中的作用	1
第二节 闸坝的组成及其水力设计问题	1
第二章 薄壁堰和三角形剖面堰	5
第一节 薄壁堰设计	5
第二节 薄壁堰的制造、安装和水位观测	6
一、薄壁堰的制造与安装	7
二、堰上游水位的观测	7
第三节 薄壁堰的流量计算	9
一、矩形薄壁堰	9
二、三角形薄壁堰	14
三、矩形薄壁低堰	15
第四节 薄壁堰下游水位的限制	16
一、矩形薄壁堰的限制条件	16
二、三角形薄壁堰的限制条件	17
第五节 薄壁堰水舌下缘曲线	17
第六节 三角形剖面堰概述	19
第七节 水平堰顶的三角形剖面堰	20
一、基本流量公式	20
二、非淹没流量系数	21
三、淹没界限	22
四、淹没系数	24
五、流量计算	25
六、设计注意事项	26
第八节 矩形渠槽内V形堰顶的三角形剖面堰	27
一、流量公式	27
二、非淹没溢流流量系数	28
三、淹没界限	29
四、淹没系数	31
五、V形堰顶的三角形剖面堰的综合运行特性	32
六、流量计算	34
第九节 梯形渠槽上V形堰顶的三角形剖面堰	43
一、流量公式	43

二、 试验结果	44
第三章 实用堰	45
第一节 国内常用的几种高坝堰型及其水力特性	45
一、 克-奥 堰	45
二、 WES 堰	51
三、 长研 I 型堰	57
四、 极值曲线堰	59
五、 综合曲线堰	66
六、 各种高坝堰型的比较	67
第二节 负压堰型及其设计法	70
一、 问题的提出	70
二、 负压堰型的试验研究	71
三、 负压堰型的设计	73
四、 算例及负压堰型的水力、经济效益分析	76
第三节 低堰水力设计方法评介	78
一、 标准曲线低堰	79
二、 非标准曲线低堰	86
三、 评析	92
第四节 低堰的水力特性	96
一、 堰面压力	96
二、 流量系数	100
第五节 高、低堰界限的判定	108
第六节 实用堰溢流能力计算	111
一、 下游堰高无影响的流量系数	111
二、 下游堰高有影响的流量系数	113
第七节 低堰的堰型、堰高、定型水头的选择	119
一、 堰型选择	119
二、 定型水头和堰高的选择	122
第八节 桥(闸)墩对实用堰溢流的影响	124
一、 计算桥(闸)墩侧收缩影响的主要方法	124
二、 评析	130
三、 我们的算法	139
第九节 实用堰流的淹没影响	144
一、 求算堰没系数的主要方法	144
二、 计算方法评析	149
三、 对堰流淹没影响新算法的探讨	150
第四章 宽顶堰、平底闸	152
第一节 概述	152
第二节 宽顶堰非淹没溢流	153

一、 别列津斯基方法	154
二、 苏联规范的方法	156
第三节 平底闸非淹没溢流	161
一、 问题的提出	161
二、 平底闸的水力特性	161
三、 直渠平底闸的泄流能力计算	165
四、 进口收缩平底闸的泄量计算	176
五、 算例	177
第四节 下游水位对宽顶堰、平底闸过流的淹没影响	178
一、 别列津斯基算法	179
二、 苏联规范的方法	181
三、 南京水利科学研究所方法	183
第五章 非直线堰	187
第一节 环形堰	187
一、 环形堰的剖面设计	189
二、 竖井溢洪道的泄量计算	198
三、 环形堰的来流条件和防涡设施	199
第二节 拱形和连拱形溢流堰	201
一、 拱坝溢流	201
二、 连拱坝溢流	205
第三节 迷宫堰	206
一、 迷宫堰的主要参数	207
二、 迷宫堰的水力特性	208
三、 迷宫堰的水力设计	212
第六章 闸孔和胸墙孔口	214
第一节 闸孔过流的水力学问题	214
第二节 闸孔非淹没过流	217
一、 宽顶堰（包括平底闸）和平板闸门组成的闸孔	217
二、 宽顶堰（包括平底闸）和弧形闸门组成的闸孔	218
三、 实用堰和平板闸门组成的闸孔	221
四、 实用堰和弧形闸门组成的闸孔	223
第三节 胸墙下孔口的非淹没泄流	231
一、 曲线型溢流坝上胸墙孔口泄流	231
二、 宽顶堰和驼峰堰上胸墙孔口	238
第四节 下游水位对闸孔出流的影响	242
一、 宽顶堰或平底闸上平板闸门下的孔口淹没过流	242
二、 宽顶堰或平底闸上弧形闸门下孔口的淹没过流	246
第五节 关于闸孔过流水力计算的讨论和建议	249
一、 闸孔非淹没过流	249

二、 胸墙孔口的非淹没过流.....	258
三、 淹没对闸孔过流的影响	259
参考文献	260

第一章 绪 论

第一节 堰、闸在水利工程中的作用

水利工程的根本任务是除水害、兴水利，包括防洪、灌溉、发电、供水、航运等。为了达到这些目的，通常要修建各种水工建筑物，用来挡水、泄水、输水、排沙等。溢流坝和水闸是最常用的水工建筑物。

水利事业的范围很广，而重新分配径流及调节洪、枯水量的主要手段，是建造挡水坝或水闸拦河截流。挡水坝本身不少就是溢流堰，即使是采用非溢流坝挡水的水库，一般也要修建溢洪道，而溢洪道上则常需设置溢流堰或节制闸控制洪水位和宣泄洪水。所以，水库枢纽中一般都离不开溢流堰或水闸。

堰、闸用途的广泛性，在很大程度上是由于其具有挡水和泄水的双重功能。除了以上所述堰、闸在水库枢纽中的应用外，为了满足农田灌溉、水力发电或其它用水需要，在河道、湖泊的岸边，常需建造进（取）水闸；在低洼地区，为了防止江河洪水倒灌和排除积水，常需设置排水闸；在滨海河口，为了挡潮、御卤、排水、蓄淡，常需建造挡潮闸；在天然河道行水能力不足的区段，常需设置分洪闸分泄洪水进入湖泊、洼地，削减洪峰。此外，为数众多的桥孔和无压涵洞，就水流条件而言，也属于堰、闸的范围。由上可见，堰和闸在防洪、发电、灌溉、排涝、挡潮、航运以及交通等方面都起着重要的作用。因此，堰、闸的水力设计与计算是工程水力学所研究的重要内容之一。

第二节 闸、坝的组成及其水力设计问题

闸和溢流坝都是兼有挡水和泄水功能的建筑物，一般由溢流堰和其上的挡水闸门（有时在闸门上还加设胸墙）组成。为了支持闸门、胸墙或桥梁等，堰顶上还需设置桥（闸）墩（图1-1）。不设闸门、胸墙，或水面低于闸门、胸墙底的闸坝溢流，属于堰流；而闸门或胸墙起阻水作用，水流自闸门或胸墙下泄出时，属于孔流。

堰流是指水流受突然升高的建筑物所阻拦而壅高并从其上溢流的水力现象，这种从顶部溢流的壅水建筑物称为溢流堰或溢流坝。

根据堰顶对过堰水流的影响情况，堰一般可分为薄壁堰、实用堰和宽顶堰（图1-2）。薄壁堰水流受尖顶的堰壁所阻挡，底部水流向上收缩，水面下降，从堰向下游形成一水舌。水舌底缘自堰顶起，先上升、后下降，降至堰顶高程时，与堰顶上游端的水平距离约为 $0.67H$ 。当堰顶宽度（顺水流方向） $\delta < 0.67H$ 时，其变化不影响水舌形状，也不影响过流能力，因此，顶宽在 $0 \sim 0.67H$ 范围的堰统称为薄壁堰。薄壁堰水流不受堰顶边界影响的特点使其成为重要的量水设备，其水力设计问题主要就是溢流量的计算。另外，薄壁堰

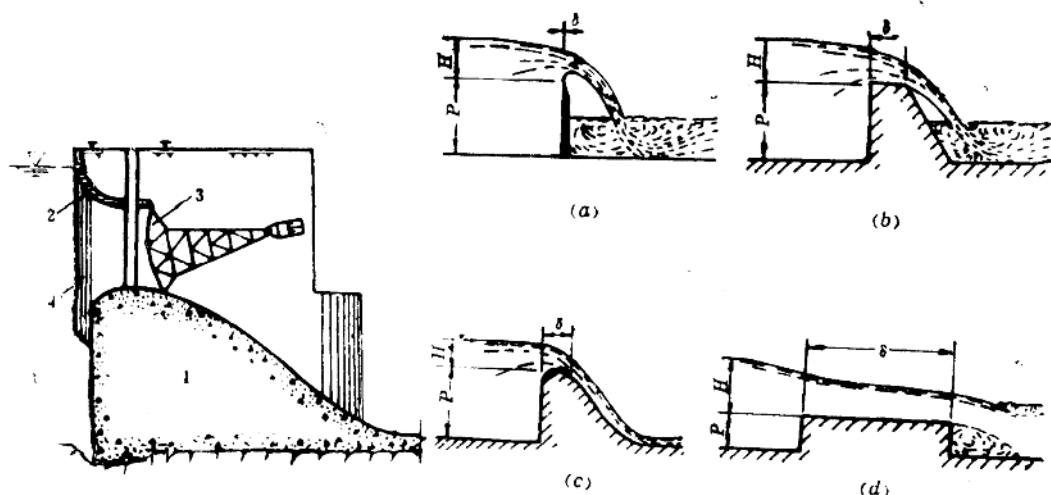


图 1-1 闸坝示意图
1—溢流堰；2—胸墙；3—闸门；
4—桥(闸)墩

图 1-2 堰的分类
(a)薄壁堰, $\delta < 0.67H$; (b)实用堰(折线形), $0.67H < \delta < 2.5H$;
(c)实用堰(曲线形); (d)宽顶堰, $H < \delta < 10H$

溢流水舌形状, 作为设计实用堰堰面曲线的依据, 也是人们所关心的。薄壁堰水舌形状和溢流量计算已有不少资料, 我们摘录了这些资料, 并进行了必要的分析、比较, 推荐其优者。另外, 用薄壁堰来量水, 还需根据具体的量水要求合理地选择堰型(矩形薄壁堰、三角形薄壁堰或其它形式的薄壁堰)、尺寸、上下游布置, 正确地选择和布设量测仪器等, 对此也作了介绍。

一般规定, 顶宽 δ 大于 $0.67H$, 小于 $2.5H$ 范围的堰都称为实用堰。工程上为了减少堰顶对水流的阻力, 增大过水能力, 常把堰剖面的棱角修圆或做成曲线形。前者也称为非标准堰或简易堰型。曲线形剖面多以薄壁堰水舌下缘曲线为基础构成。这种曲线堰也称标准曲线堰, 是用得最广的堰型, 其特点是定型水头溢流时堰面压力分布均匀, 其值接近于零(大气压力); 但超定型水头溢流时, 堰顶上游端压力很小(负压很大), 而大部分区域压力较高。这种按零压设计的剖面, 虽在定型水头溢流时水力特性较好, 但在大部分溢流范围压力分布特性不好, 不能合理利用负压提高堰的溢流能力以改善堰的经济性能。因此, 堰的研究一方面固然仍需继续改善现有按零压原则设计的堰型, 另一方面更需跳出零压原则的局限, 根据容许最大负压设计剖面, 使超定型水头溢流时, 堰顶压力分布较均匀, 且其值正好接近容许负压。研究表明, 这样设计堰型, 既可保证溢流坝在抗气蚀方面的安全, 又能提高溢流能力, 同样的设计条件下, 明显地节省坝体方量。本书除汇集有关传统的按零压原则设计的堰型(标准曲线堰)资料以外, 还将介绍按负压原则设计的堰型(负压堰)的成果, 供设计参考。

实用堰方面的另一个问题, 是低堰的水力设计问题。实用堰的实践已有很久的历史, 研究工作也进行过很多。但有关溢流堰方面的成果, 多只限于高坝条件。而实际工程中, 特别是中、小型工程中, 低堰的应用是十分广泛的。堰高对堰流特性的影响方面, 以往由

于担心负压危害和流量系数低,对非标准堰(简易堰型)的采用,多持否定态度。这只是根据高堰的水力特性得来的认识。在低堰条件下,特别是在上、下游堰高都很小的情况下(水闸中的堰一般都属于这种情况),出现负压的机会很少,堰型对溢流能力的影响也不大,简易堰型完全不失其实用价值。再如,在溢流水头的选择上,为避免过大负压,在高堰设计中常把最大溢流水头限制在1.3倍定型水头以内(对按零压原则设计的堰来说),低堰的设计也常沿用这样的限制,致使设计的堰体特别肥胖。了解了低堰的水力特性,就可突破这样的限制,把工程设计得较为合理。据此,全面、系统地研究低堰的水力特性和设计方法,不仅在理论上是必要的,对工程实践来说,也是迫切需要的。为此,本书除汇集高堰水力设计的资料外,还根据我们的研究成果着重地论述了低堰的水力特性和设计方法,供设计参考。

顶宽 δ 在 $(2.5\sim 10)H$ 范围的堰,称为宽顶堰,习惯上还把桥、涵、闸等的过流也当作宽顶堰来处理,其范围是十分广泛的。这类过水建筑物的水流情况虽很复杂,但它们的过流能力相近,把它们统一处理,有其可取之处。但是,研究表明,桥、涵、闸等只是在其墩(洞)长与水头之比和宽顶堰顶宽与水头之比相当时,才具有与宽顶堰相近的溢流能力;当桥、闸墩或涵洞的长度较小时则水力特性差别颇大。同时,考虑到桥、涵、闸多为平底,其水力现象主要以桥、闸墩、涵洞进口的侧收缩影响为特征,我们主张把它们从宽顶堰中分离出来,并以平底闸为典型,单独研究。无论是宽顶堰还是平底闸,其水力设计,主要是溢流能力的计算(包括非淹没和淹没条件下的)。

以上按堰顶顺水流方向的宽度来分类堰型只是大致的,有些特殊堰型,并不明显地属于上述三类,如水文和工农业上用于量水的三角形剖面堰,虽有类似薄壁堰的尖顶,但其上、下游堰面坡度较缓,对过堰水流有重要的影响,有类似实用堰的特征,对于这种堰,我们暂且不去深究其分类,只是考虑到其量水用途而把它们和薄壁堰放在一起叙述。

按堰顶轴线在平面上的几何形状来分类,堰又可分为直线正堰、直线斜堰、侧堰、折线堰、曲线堰和环形堰等。直线正堰一般可按二元问题来处理,桥、闸墩的影响则用侧收缩影响系数来反映。直线正堰以外的其它堰型除受竖向的几何和水力条件的影响外,还与平面上的布置有关。这样的堰形种类繁多,有些问题的处理还涉及专门的知识,本书不可能全面讨论这些问题,只对竖井溢洪道(环形堰),拱形、连拱形溢流堰以及迷宫堰的水力设计作简要的叙述,其它堰型的设计、计算,可参阅有关资料。

闸孔流出包括闸门孔口和胸墙孔口的流出,其水流条件主要受孔口上、下边界的影响。孔口下边界一般是实用堰、宽顶堰或平底(闸),而上边界包括平板闸门、弧形闸门和胸墙底缘。胸墙底缘最简单的形式是直角;为了过流顺畅,工程上常做成圆弧或椭圆曲线。为此,孔口的边界条件可归纳为实用堰、宽顶堰、平底闸和平板门、弧形门(胸墙)和椭圆胸墙的不同组合。孔口水力设计的主要问题是泄流量的计算,对于胸墙孔口来说,胸墙底缘的曲线形式也是设计所关心的问题。

一座闸或坝的整体,往往都离不开桥(闸)墩(包括中墩和边墩),所以,桥(闸)墩对堰(闸)过流的侧收缩影响,也是闸坝水力设计的重要内容。闸坝中桥(闸)墩的存在,使堰、闸的溢流明显地形成三元水流,但在处理方法上,多把堰、闸溢流视作二元堰

(孔)流加上桥(闸)墩侧收缩影响的结果。桥(闸)墩对闸坝溢流侧收缩影响的计算已有不少方法,但是,一些方法在物理概念或具体系数上也存在一定的问题。例如,以往给定的有桥(闸)墩影响的堰闸“有效宽度”多小于桥(闸)孔的净宽;或者,侧收缩影响系数多小于1,且随水头的增大而减小。但实际的闸坝溢流,在某些条件下,特别是在低堰和平底闸的条件下,按“有效溢流宽度”法求得的“有效宽度”比桥(闸)孔净宽还大;相应地,侧收缩影响系数也大于1,并且有随水头的增大而增大的规律。这样的事实说明,以往对桥(闸)墩侧收缩影响的计算,不仅在系数取值方面欠妥,在物理概念方面也值得商榷。本书对此将在有关章节中加以讨论,并给出相应的算法。

第二章 薄壁堰和三角形剖面堰

薄壁堰主要用于实验室或工程现场量水,构造标准曲线型实用堰时,也要用到薄壁堰水舌形状的资料,因此,薄壁堰研究的重点为溢流量的计算和水舌形状的确定。

薄壁堰按要求的不同,可做成矩形、三角形、梯形和圆形(图2-1),其中以矩形和三角形为最常用,本书也只介绍这两种。

按下游水位对溢流是否有影响,薄壁堰还分为非淹没和淹没溢流。淹没溢流的流量不太稳定,计算精度较低,实际的薄壁堰一般都设计成非淹没的,故本书只提供淹没界限而不介绍淹没堰的流量计算。

按堰轴线在平面上几何形状的不同,薄壁堰又分为正堰、斜交堰、侧堰、折线堰、曲线堰以及环形堰等。一般用来量水的多为轴线与渠槽垂直的直线正堰,这里介绍的也仅限于这种。

三角形剖面堰是一种顶角向上的三角形实体堰。这种堰型就堰顶宽来说,与薄壁堰类似;但就堰体和流量系数来说,又与实用堰相近,我们暂不拘泥于其分类,只是考虑到这种堰也主要用于量水而把它和薄壁堰放在一起来叙述。

三角形剖面堰从50年代起就在国外广泛应用,并从堰顶线为水平的发展为平缓横坡的V形堰顶的三角形剖面堰。我国1982年作为量水建筑物引进了这种堰型[●]。实用表明,这种量水建筑物在水力特性、结构、施工等方面都有明显的优点,这里介绍它是为其推广提供一些参考资料。

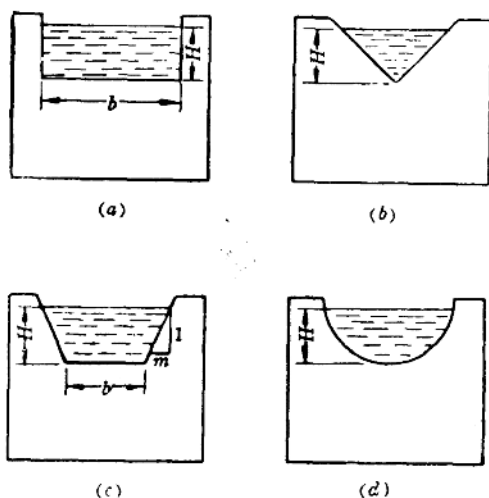


图 2-1 不同几何形状的薄壁堰
(a)矩形堰; (b)三角形堰; (c)梯形堰; (d)圆形堰

第一节 薄 壁 堰 设 计

设计的第一步是要根据所要求的测流范围选择适当的堰型。表2-1、表2-2给出等宽矩形堰和三角形堰的流量范围。等宽矩形堰的流量是按英国水力试验站公式求得的⁽¹⁾,有收缩的矩形堰的流量,比几何尺寸相当的等宽堰稍小,但在选择堰时可参照表2-1的数值。三角形薄壁堰的流量按渡边公式求得⁽¹⁾。

● 王淑卿,平坦V形堰。水利电力部农田水利司,江苏省水利厅选编,灌区量水技术与设备,1986年。

表 2-1

等宽矩形薄壁堰的流量范围 (流量单位: L/s)

P_1 (m)	0.3			0.5			1.0		
b (m)	0.3	1.0	2.0	0.3	1.0	2.0	0.3	1.0	2.0
$H_{min}=0.03$ m	2.9	9.8	19.6	2.9	9.7	19.5	2.9	9.7	19.4
$H=0.20$ m	52.5	175.1	350.1	50.6	168.7	337.4	49.2	163.9	327.8
$H=0.50$ m	234.9	782.9	1565.7	216.1	720.2	1440.4	202.0	673.2	1346.5
$H=1.00$ m				689.8	2299.4	4598.9	610.2	2034.0	4068.1
$H_{max}=2P_1$	320.9	1069.8	21395.1	689.8	2299.4	4598.9	1949.7	6499.0	12997.9

注 (1) 表中 P_1 、 b 、 H 分别为上游堰高、堰宽和水头;

(2) 表列流量按英国水力试验站公式求得⁽¹⁾。

表 2-2

三角形薄壁堰的流量范围 (流量单位: L/s)

顶角 θ	30°	60°	90°
$H_{min}=0.07$ m	0.45	1.06	1.81
$H=0.2$ m	4.30	14.19	24.60
$H=0.5$ m	36.04	138.94	241.81
$H=1.0$ m	196.61	783.49	1365.40

注 表列流量按渡边公式求得, 此式求得的流量不是精确的数值, 仅作参考其范围用⁽¹⁾。

一般来说, 如果最大、最小流量之比小于10, 而且待测流量又较大时, 宜选用矩形堰。至于选等宽堰还是有侧收缩的, 取决于周围环境情况和量水堰的用途。等宽堰流量计算精度较高, 一般用于实验室; 有侧收缩的矩形堰用于宽水渠、蓄水池或池塘的量水。当最大、最小流量比大于10, 流量较小而堰高、渠槽宽都较大时, 宜选用三角形堰; 流量越小应取的顶角也越小。

薄壁堰设计还要遵循所用流量公式的有关限制条件, 所以在选择矩形堰的堰宽、三角形堰的顶角、堰高、水头等时, 都必须与选用流量公式一并考虑。另外, 还要注意下游渠道的水力条件, 解决好消能和水流重新分布以及避免淹没流出的问题。

第二节 薄壁堰的制造、安装和水位观测

用薄壁堰量水是利用其溢流时流量与水位较稳定的关系。这些关系是通过室内外的试验观测建立的。试验用的薄壁堰一般都要精心地加工和安装, 水位的量测也有一定的要求。试验室或工程现场采用薄壁堰量水时, 一般都利用前人试验的资料或导出的流量计算公式, 因此, 堰的制造、安装和水位观测也必须与试验堰的条件相一致。

一、薄壁堰的制造与安装

量水薄壁堰的堰板，一般由金属或耐久的材料制成，要求有一定的刚度。堰的迎水面要平直、光滑（特别是堰顶以下10cm的范围），堰顶剖面的形状、尺寸更有严格的要求。

按照堰的分类，凡堰顶宽度（顺水流方向） δ 小于 $0.67H$ 的堰均算作薄壁堰。但由于液体表面张力和粘滞性的作用，量水薄壁堰的堰顶宽度对水流有重要的影响。其规律目前还不完全清楚，研究者试验时一般都采用固定的较小的堰顶宽度。除特别说明者外，矩形薄壁堰的顶宽可做成2mm，三角形薄壁堰可做成1mm；相应地，下游坡角分别为 45° 和 60° （图2-2）。堰顶与上游面应加工成 90° 角而不可修圆。这样加工的堰，一般的流量公式都能适用。

堰顶经锈蚀而出现坑凹，或经碎石、泥沙磨损后，会对堰的运行特性产生不良的影响，所以，对量水薄壁堰还要注意检查、维修，对于严重损坏的要及时更换。

量水薄壁堰一般设在矩形的渠槽中，槽壁和槽底要光滑、平整，特别是靠近堰板部分。量水堰上游，渠槽要有足够长的顺直段，以保证行近流速分布较均匀（接近长渠槽的正常流速分布）。对堰上游顺直段的长度，目前还没有统一的规定，一般可按不小于10倍槽宽考虑^(1, 2)；对于有侧收缩的矩形堰和三角形堰，可适当减小。如果因条件所限，顺直段的长度达不到这个要求时，应设置整流格栅以调整流速分布。

如果量水堰设于非矩形的渠槽中（渠槽的断面要求对称），堰上游一段也需做成矩形的，其长度应在水位观测位置向上游延伸一倍最大水头的距离（水位观测位置见下述），然后用曲线扩散的翼墙与渠槽连接，曲线翼墙的转弯半径不应小于两倍最大水头。

一般量水薄壁堰都做成正槽式，堰板平面不仅要直立，还要与水槽轴线相垂直。对于矩形堰来说，堰顶要保持水平；三角堰的对称线要做到竖直。

为保证等宽矩形薄壁堰水舌下通气良好，堰的下游侧应设置尺寸足够大的通气孔。按下式求算的通气孔直径，可保证水舌下部的压力降低不超过0.2%大气压，式中各量均以米（m）计。即

$$D_v = 0.11 H b^{0.5} \quad (2-1)$$

试验室设置的矩形薄壁堰通气孔一般都比式（2-1）的要求高些，以保证流量测量的精度更高。

二、堰上游水位的观测

通过量水堰的流量取决于量水堰的几何尺寸及堰上水头。量水堰的几何尺寸是不变

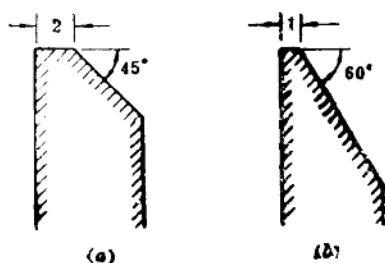


图 2-2 薄壁堰堰顶剖面（单位：mm）
(a) 矩形堰；(b) 三角形堰

的，其精度也好控制，因此，量水堰的量水精度在很大程度上取决于水位测量的精度。

进行水位测量需解决的第一个问题是如何确定水位观测的合适位置。量水堰上游的水面线不是水平的；紧靠量水堰上游的水面线是一降水曲线，压力也不按静水压力分布；再往上游，摩阻力又使水面有一定的坡降。因此，一般称之为“测流断面”的上游水位观测位置，应当避开降水曲线区，但又不宜离量水堰太远，以免摩擦损失的影响过大。根据大多数流量计算公式所依据的试验条件，一般可把水位观测位置定在堰上游3~4倍最大水头处，但参考文献[2]建议观测断面设在堰上游6倍最大水头处。

确定了水位观测位置后，还要考虑用什么方法及设备来观测水位。水位通常是在井中测定，试验室内常用的是观测筒。观测筒用柔性管道在测流断面处与渠槽相连，管的进口要保持与渠槽壁齐平和垂直，口径小于2 mm⁽²²⁾。观测井与渠槽的连通管可以是刚性或柔性的，进水口上有时装有多孔盖板。观测井的尺寸不宜过大而连通管的尺寸则不宜过小，以保证流量随时间变化时，渠槽与观测井之间不出现明显的水位差。

试验室水位测量通常采用专用的测针，野外水位测量则多用木尺。木尺最小刻度为cm，可估读至mm。自动测量和记录水位的仪器种类很多，可根据具体情况进行选购或自行设计制做。

计算流量所用的水头，是指水位与堰顶的高程差，这意味着不仅要精确测定水位，还要精确测定堰顶高程（对于三角形薄壁堰是指堰顶的最低位置）。但不必每次都测量它们，而是在测量水位之前，确定水位观测仪器（测针、木尺等）的零点与堰顶高程的差值，即可根据仪器测读水位的数值通过计算求得堰上水头。具体计算如下（图2-3）：

对于图2-3（a）、（b）的正尺

$$H = \nabla - \Delta h \quad (2-2)$$

对于图2-2（b）的倒尺

$$H = \Delta h - \nabla \quad (2-3)$$

式中 H ——堰上水头；

∇ ——测针或测尺测得的水位读数；

Δh ——测针零点与堰顶上的高程差（图中所示为正，反之为负）。

此高程差要用光学仪器仔细测定，一般不宜根据停水或刚放水时的水位来确定，并要定期校正，以保持测量的可靠性。

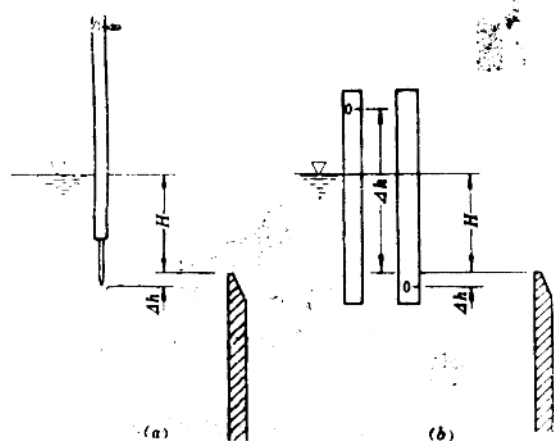


图 2-3 水头计算示意图

第三节 薄壁堰的流量计算

一、矩形薄壁堰

(一) 无侧收缩矩形薄壁堰

直立矩形薄壁堰的计算简图如图 2-4 所示。对断面 0-0 与 1-1 写能量方程可得

$$H + \frac{\alpha v_0^2}{2g} = \left(\frac{p_1}{\gamma} \right)_{c.p.} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \zeta \frac{v_1^2}{2g} \quad (2-4)$$

式中 v_0 、 v_1 ——断面 0-0 和 1-1 的平均流速；

α 、 α_1 ——断面 0-0 和 1-1 的动能修正系数；

ζ ——局部水头损失系数；

$\left(\frac{p_1}{\gamma} \right)_{c.p.}$ ——断面 1-1 的平均压强水头。

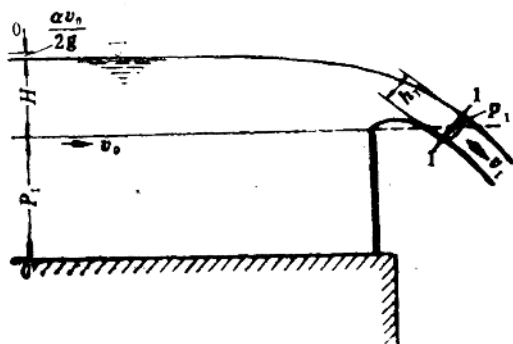


图 2-4 矩形堰计算简图

$$\text{令} \quad H_0 = H + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$$

$$\varphi = 1 / \sqrt{\alpha_1 + \zeta}$$

$$\text{则} \quad v_1 = \varphi \sqrt{2g \left[H_0 - \left(\frac{p_1}{\gamma} \right)_{c.p.} \right]} \quad (2-5)$$

设断面 1-1 的水舌厚度为 kH_0 以及 $\left(\frac{p_1}{\gamma} \right)_{c.p.} = \xi H_0$ ，则流量 Q 可表示为

$$Q = kH_0 b v_1 = k\varphi b \sqrt{1 - \xi} \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (2-6)$$

$$\text{令} \quad m = k\varphi \sqrt{1 - \xi} \quad (2-7)$$

$$\text{则} \quad Q = mb \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (2-8)$$

$$\text{或} \quad Q = Mb H_0^{3/2} \quad (2-8')$$

以上各式中 M 、 m ——相应于总水头的流量系数（有时也称 M 为大流量系数， m 为小流量系数）。

流量系数由反映水股收缩程度的 k 值，反映水头损失的 φ 值和反映水舌压强分布的 ξ 值所组成，随几何边界而变。对于二元堰（无侧收缩矩形堰）来说，当堰高很大即高堰时（高、低堰界限见第三章）， m 值基本不变，所以式（2-8）的流量表达式较简单，也为实用堰和宽顶堰所采用。但在量水堰量水时测得的是水头 H ，用 H_0 来表示流量，对计算来说有不便之处。所以，薄壁堰流量计算一般采用下式

$$Q = m_0 b \sqrt{2gH^{3/2}} \quad (2-9)$$

或

$$Q = M_0 b H^{3/2} \quad (2-9')$$

上两式中 M_0 、 m_0 ——不包括流速水头的大、小流量系数。

M_0 和 m_0 随堰高、水头的变化关系较复杂，在拟合经验公式时，不得不作一定的简化，加上考虑表面张力和粘滞性的影响，不同的研究者得出不同的计算公式。

1. 巴赞公式^[1]

巴赞计算矩形薄壁堰流量的公式是最早的公式之一，在我国较常用，其表达式为

$$Q = \left(1.793 + \frac{0.0119}{H} \right) \left[1 + 0.55 \left(\frac{H}{H+P_1} \right)^2 \right] b H^{3/2} \quad (2-10)$$

不难看出，巴赞公式中方括号项反映行近流速水头的影响，而 $0.0119/H$ 项反映表面张力的作用。此式的适用条件为

$$b = 0.2 \sim 2 \text{ m} \quad H = 0.1 \sim 0.6 \text{ m} \quad H/P_1 \leq 2$$

巴赞的试验在堰壁顶宽 7 mm 的条件下进行的，适用于野外量水设施。

2. 雷伯克公式^[1]

雷伯克公式也较早，在许多国家都被采用，有以下两式：

(1) 1912年式

$$Q = \left(1.782 + 0.24 \frac{H + 0.0011}{P_1} \right) b (H + 0.0011)^{3/2} \quad (2-11)$$

(2) 1929年式●

$$Q = \left(1.777 + 0.246 \frac{H}{P_1} \right) b (H + 0.00125)^{3/2} \quad (2-12)$$

雷伯克将 m_0 表示为水头与堰高比的线性关系，而对液体表面张力的影响则采用在水头项中加一固定值（0.0011~0.00125m）的方法，这也是拟合薄壁堰流量经验公式时经常采用的简化方法。

雷伯克公式的适用条件为

$$\begin{aligned} b &> 0.3 \text{ m} & P_1 &> 0.3 \text{ m} \\ 0.03 \text{ m} &< H < 0.75 \text{ m} & H/P_1 &\leq 2^* \end{aligned}$$

3. 琼斯怀特-卡特公式^[1]

此公式是在美国佐治亚技术学院所做的250次试验的基础提出的，其形式为

$$Q = \left(1.777 + 0.221 \frac{H}{P_1} \right) (b - 0.001) (H + 0.001)^{3/2} \quad (2-13)$$

式(2-13)的特点是除采用“有效水头”的概念外，还引进了一个“有效宽度”的

● 雷伯克公式发表较早，几经转引，有人还作过一些变换，不同资料中给出的形式和系数有些差异，这里提供的是国际标准化组织(ISO)采用的形式。

* ISO把雷伯克公式适用的 H/P_1 限定为小于1，但考虑到许多材料都对 H/P_1 规定为小于或等于2，我们的计算也表明，在 $H/P_1 \leq 2$ 范围内，雷伯克公式的计算结果与一些常用的公式很一致，所以这里采用 $H/P_1 \leq 2$ 的限制条件。

概念,以计入流体粘滞性引起的槽壁边界层效应。琼斯怀特-卡特坚持他们所提出的公式形式是基本的,可以推广于任何尺度的堰,因为有效水头和有效宽度这两个概念已考虑了尺度的影响,所以在利用他们提出的流量公式时,唯一的限制条件就是要求堰的几何尺寸必须与他们的试验相符合。当然为了避免表面张力可能引起溢流水舌贴附于堰板上, P_1 和 b 的最小值还应作必要的限制。这些限制为

$$\begin{aligned} b &> 0.15\text{m} & P_1 &> 0.10\text{m} \\ H &> 0.03\text{m} & H/P_1 &< 2.0 \end{aligned}$$

琼斯怀特-卡特的方法无疑有其可取之处,但是,一般的堰宽多在 $0.3 \sim 0.5\text{m}$ 以上,计入有效宽度与否,流量误差将在 0.33% 以下,影响不大;另外,从比较计算看,式(2-13)的结果似有偏小的趋势。

4. 杜帕斯公式^[1]

$$Q = \left(1.815 + \frac{0.000182}{H+0.0016} \right) \left[1 + 0.5 \left(\frac{H}{H+P_1} \right)^2 \right] b H^{3/2} \quad (2-14)$$

它是杜帕斯在苏黎士技术大学实验室 0.8m 宽的渠道和阿克沙电站 3.5m 宽的渠道中所做的6000个实验数据的基础上建立的,并已为瑞士的工程师和建筑师学会所采用。此公式的适用条件为

$$\begin{aligned} b &> 0.3\text{m} & P_1 &> 0.3\text{m} \\ 0.025\text{m} &< H < 0.8\text{m} & H/P_1 &> 1.0 \end{aligned}$$

5. 全苏水利科学研究院公式^[4]

苏联水工建筑物设计规范《溢流堰水力计算》中给出的计算无侧收缩直立薄壁堰流量的公式为

$$Q = \left(1.780 + 0.239 \frac{H}{P_1} \right) b H^{3/2} \quad (2-15)$$

上式的适用条件为(对于I、II级技术设计,应进行试验验证)

$$H \geq 0.1\text{m} \quad 1 < H/P_1 \leq 2$$

6. 法国图卢兹流体力学研究所公式^[1]

$$Q = \left(1.851 + 0.0531 \frac{H_0}{P_1} \right) b H_0^{3/2} \quad (2-16)$$

在法国图卢兹流体力学研究所长 8m 、宽 0.3m 的试验槽中进行试验的7个堰的堰高为 $0.1 \sim 0.5\text{m}$, H_0/P_1 为 $0.03 \sim 2.5$ 。在这些试验资料的基础上导得式(2-16)后,又用流量为 $2\text{m}^3/\text{s}$ 的其它5个量水堰的数据进行了验证。该式与其它公式最大的区别是采用了总水头 H_0 ,而不是测管水头 H 。式(2-16)的适用条件为

$$\begin{aligned} b &> 0.2\text{m} & P_1 &> 0.1\text{m} \\ H &> 0.03\text{m} & H/P_1 &< 2.5 \end{aligned}$$

7. 英国水力试验站公式^[1]

$$Q = \left(1.766 + \frac{0.265H}{P_1} \right) b (H + 0.001)^{3/2} \quad (2-17)$$

此式是在为检验现有公式而进行的精度较高的试验基础上建立的。试验的目的是研究