

U形渠道测流

张志昌等 编著



西北工业大学出版社

PDG

U形渠道测流

张志昌 等编著

西北工业大学出版社

1997年1月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】《U形渠道测流》是适应U形渠道的迅速发展提出来的。本书是在试验研究和实际应用的基础上,收录了U形渠道直壁槽式量水堰等六种测流设施的最新科研成果,介绍了U形渠道测流设施的发展与应用情况、设计方法、理论分析、水力计算、应用条件等,并根据边界层理论推求了长喉道测流槽不分离水流流量的理论计算方法。本书图文并茂,内容详实,理论联系实际,使用方便。可供水利设计、管理、施工等专业以及有关技术人员参考。

U形渠道测流

张志昌等编著

责任编辑 陈洁 孙华荃

责任校对 耿明丽

*

© 1997 西北工业大学出版社出版发行

(邮编 710072 西安市友谊西路 127 号 电话 8493844)

全国各地新华书店经销

西安理工大学印刷厂印装

ISBN 7-5612-0898-7/TV·5

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 7.5 625 字数 189 千字

1997 年 1 月第 1 版 1997 年 1 月第 1 次印刷

印数: 1—1 000 册 定价: 15.00 元

前 言

U形渠道是一种节水型渠道,正在我国大力推广应用。相应的适合于U形渠道的测流设施也得到了研究和发展。但迄今为止,尚无这方面的专著。为了系统地介绍U形渠道的测流技术,实施计划用水,科学用水,贯彻执行国务院发布的《水利工程水费核订、计收和水费管理办法》,作者根据系列试验研究和实际应用成果,并参考国内外有关文献,编写成本书。

全书共分9章。第1章绪论,介绍U形渠道测流设施的发展和应用。第2~6章介绍U形渠道直壁槽式量水堰等6种测流设施的测流技术。第7章介绍用边界层理论计算U形渠道长喉道测流槽的流量的方法。第8章介绍计算机程序。第9章介绍流量量测误差的计算。

本书由张志昌任主编,参加编写的有张志昌(前言、第1章、第2章、第3章、第4章、第7章);张志昌、刘亚菲(第6章);雷雁斌(第5章);张宗孝(第8章);王伟(第9章),由张志昌统稿。编写过程中得到了李建中教授和阎晋垣教授的指导和审阅,韩星明同志参加了编辑工作,在此一并表示感谢。

由于作者水平有限,经验不足,书中缺点和错误在所难免,请读者批评指正。

张志昌

1994年10月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 问题的提出	1
1.2 U 形渠道测流设施的研究现状	1
1.3 U 形渠道测流设施的特点	3
第 2 章 U 形渠道直壁槽式量水堰	6
2.1 U 形渠道直壁槽式量水堰的设计	6
2.2 U 形渠道直壁槽式量水堰的特点和水流流态	7
2.3 U 形渠道直壁槽式量水堰过流量的理论分析	8
2.4 U 形渠道直壁槽式量水堰的试验研究	13
2.5 U 形渠道直壁槽式量水堰的水力计算	23
2.6 U 形渠道直壁槽式量水堰的应用条件	29
2.7 算例	29
2.8 小结	33
第 3 章 U 形渠道有坎缺口式测流槽和直壁式测流槽	36
3.1 U 形渠道有坎缺口式测流槽	36
3.2 U 形渠道直壁式测流槽	42
3.3 有坎缺口式测流槽和直壁式测流槽的应用条件	48
3.4 算例	48
3.5 小结	50
第 4 章 U 形(圆底形)喉道测流槽	52

4.1	U形(圆底形)喉道测流槽的设计	52
4.2	U形(圆底形)喉道测流槽的理论分析	53
4.3	U形(圆底形)喉道测流槽能量损失的计算	56
4.4	U形(圆底形)喉道测流槽的水力计算	59
4.5	U形(圆底形)喉道测流槽的试验研究	64
4.6	U形(圆底形)喉道测流槽的应用限制	69
4.7	算例	70
4.8	小结	73
第5章	平底抛物线形量水槽	75
5.1	平底抛物线形量水槽的设计	75
5.2	平底抛物线形量水槽的理论分析	77
5.3	平底抛物线形量水槽的水力计算	78
5.4	平底抛物线形量水槽的应用条件、量水幅度和雍水 高度	82
5.5	算例	82
5.6	小结	83
第6章	U形渠道便携式测流槽	85
6.1	U形渠道便携式测流槽的设计	85
6.2	U形渠道便携式测流槽的理论分析	86
6.3	U形渠道便携式测流槽的水流流态和水尺位置	88
6.4	U形渠道便携式测流槽的水力计算	90
6.5	U形渠道便携式测流槽的应用条件	93
6.6	算例	94
6.7	小结	95
第7章	用边界层理论计算U形渠道长喉道测流槽的流量	97

7.1	理论分析	97
7.2	边界层位移厚度 δ_1 的计算	99
7.3	用边界层理论计算测流槽的流量	101
7.4	边界层理论在测流槽设计中的应用	107
7.5	小结	108
第 8 章	计算机程序	112
8.1	U 形渠道测流(简称 UXQDCL)计算程序	112
8.2	计算公式与程序中引用符号对照表	112
8.3	程序框图	113
8.4	计算程序	118
第 9 章	流量量测误差的计算	129
9.1	误差的基本概念和来源	129
9.2	误差的类型	130
9.3	各种系数值的误差和测量数据的误差	131
9.4	不确定度的合成	133
9.5	单次流量的不确定度	134
9.6	算例	134
附录		136
附表 1	U 形渠道直壁槽式量水堰尺寸表	136
附表 2	弓形底直壁槽式量水堰自由流量水手册	151
附表 3	三角底直壁槽式量水堰自由流大水深量水手册	185
附表 4	三角底直壁槽式量水堰自由流小水深量水手册	217
附表 5	U 形渠道便携式测流槽量水手册	225
附表 6	混凝土 U 形渠道不同直径时正常水深与比降的	

流量值表 228

参考文献 232

第 1 章 绪 论

1.1 问题的提出

U 形渠道是由半圆弧上切一直线段组成的 U 形断面渠道。它接近水力最佳断面,具有过流能力大、输沙能力强、防渗效果显著、抗外力性能好等优点。更重要的是 U 形渠道的渠口窄,渠道占地面积仅为梯形渠道的 $1/2 \sim 1/4$,因而大大的节省了耕地^[1]。正是由于这些优点,近几十年来,国内外的渠道衬砌都大力推广 U 形渠道,如苏联、日本、英国、美国和非洲一些国家在工业排污和农业灌溉上均应用 U 形渠道。我国于 70 年代开始采用 U 形渠道,现在已推广应用于 20 多个省市,渠道衬砌约 20 万公里,并已应用于工厂的污水排放中。近十几年来,随着 U 形渠道开渠机、土方压实机和 U 形渠道衬砌机的应用,U 形渠道的发展速度越来越快。可以预料,U 形渠道以它优越的水力条件和显著的经济效益,将逐步成为国内外渠道断面的主要形式。

随着 U 形渠道的发展和 water 制度的改革,以及计划用水、科学用水和节约水资源的要求,U 形渠道的测流问题成为迫切需要解决的问题。

1.2 U 形渠道测流设施的研究现状

国外 30 年代在对圆形水路无压流动的测流研究中,提出过一种 U 形(圆底形)喉道测流槽^[2,3,4]。这种测流槽的喉道断面是由两个垂直边墙中间夹一圆弧形槽底组成。槽底为水平段,主要用于排水系统,设置在污水处理厂的入口处量测圆形断面非满流管函或 U 形渠道的流量。测流范围为 $0.0024 \sim 1.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。U 形(圆底形)

喉道测流槽的喉道底部有两种形式,一种是升高喉道内底,其比渠道底升高的高度等于渠道直径与喉道宽度差的一半;另一种是不升高喉道内底,其水平喉道内底与渠底连接。前者的优点是渐变段的几何形状比较简单,后者则适用于多泥沙渠道。U形(圆底形)喉道测流槽是用喉道与渠道断面的面积比值在任何流量时渠道测流断面的 $F_c < 0.5$ 作为控制指标,以保证上游测流的稳定性,用边界层的位移厚度来估算测流槽的阻力,减少了繁琐的试验率定。缺点是喉道长,底部施工难度大,工艺要求高;在用边界层理论求解流量时,根据 ISO 规定,须通过一系列的图表对流量系数,流速系数和形状系数进行试算,计算十分复杂;测流槽的过渡段形式对流量的影响考虑的也不周到。因此,使这种测流槽的推广应用受到一定的限制。

我国的 U 形渠道测流工作的发展过程。在开始,有人借用巴歇尔测流槽和平底无喉段测流槽进行测流,可是巴歇尔测流槽和平底无喉段测流槽只适应于梯形或矩形断面,在 U 形渠道上应用由于渠槽不匹配造成水面波动大,测流精度差。因此,不得不在测流槽的上、下游另加一段很长的梯形或矩形渠道以使水流平稳过渡,这样既不经济,又增加了施工难度,还破坏了 U 形渠道的完整性和美观。解决 U 形渠道流量的量测问题是关系着 U 形渠道广泛推广采用的关键问题,许多人对这一问题进行了探索和研究。

1987 年,陕西机械学院水利科学研究所为解决东雷抽黄 U 形渠道的测流问题,提出了 U 形渠道直壁槽式量水堰^[5](原名叫 U 形量水槽^[6])。后来又结合陕西省三原县清惠渠 U 形渠道的测流问题,进一步进行了深入的研究。这种量水堰是由喉道段及两端过渡段组成,喉道底部又分为两种形式,即弓形底(原渠底)和三角底。前者底部施工简单,后者提高了小流量的测流精度。测流范围为 $0.002 \sim 8 \text{ m}^3/\text{s}$,目前原型已通过的最大流量为 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 。U 形渠道直壁槽式量水堰的优点是体型简单,不改变渠底比降,施工容易,不易淤积,测流精度高,测流范围大,计算公式简单。所以该量

水堰不仅用于渠道测流,而且被用于实验室测定浑水流量^[7]。缺点是喉道较长,弓形底(原渠底)量水堰在很小流量时由于不受堰的控制,仍处于渠道正常水深流量关系之中。

1992年,陕西机械学院水利科学研究所为了简化U形渠道直壁槽式量水堰的施工方法,又提出了有坎缺口式测流槽^[6]和U形渠道直壁式测流槽。前者是将U形渠道直壁槽式量水堰的喉道底部简化为有坎缺口式;后者是将椭圆曲线过渡段改成直线段,这样使施工更加简单。并通过试验率定了流量系数,提出了水力设计方法。

1987年,西北农业大学水利系结合泾惠渠灌区斗渠以下U形渠道的测流问题,提出了平底抛物线形量水槽^[9]。这种量水槽是在原抛物线形薄壁堰的基础上^[10]加两端扭曲面过渡段组成,属无喉道测流槽。同长喉道测流槽相比较,该测流槽长度较短,用料较少,但是测流范围小,抛物线形喉口施工难度较大,计算也比较复杂。

1987年,陕西省水利科学研究所结合宝鸡峡灌区U形渠道的测流问题,应用了U形(圆底形)喉道测流槽,研究了不同边坡倾角对流量的影响。为了简化计算,重新率定了流量系数^[11]。

1993年,陕西机械学院水利科学研究所在水利水电基金的资助下,提出了U形渠道便携式测流槽^[12]。这种测流槽是由短喉道段和两端短过渡段组成,喉道段上部为矩形,下部为三角形,称为三角底,三角底的夹角为 120° 。该测流槽体积小,制作简单,放置灵活,方便群众。适用范围为渠道直径 $D \leq 60\text{cm}$ 的小型U形渠道。除此之外,在U形渠道上应用的还有圆孔薄壁堰、三角形剖面堰等。这两种形式的初步研究成果在文献[13,14]已有介绍,本文不在一一赘述。

1.3 U形渠道测流设施的特点

综上所述,目前在U形渠道上应用的测流设施有8种形式,

这些测流设施有以下特点。

1.3.1 体型特点

U形渠道测流设施的体型特点体现为：

(1)形式多样。上面介绍的8种测流设施，有薄壁堰、长喉道测流槽、短喉道测流槽和无喉道测流槽等，有9种不同的底部形式，可谓形式多样。

(2)体型简单。总的来讲，上述几种测流设施施工都比较简单。尤其是U形渠道直壁槽式量水堰和直壁式测流槽的喉道和过渡段均为平面连接，喉道底部为原渠底或三角底，这些形式均为直线连接。另外，该测流设施改变了以往测流槽内底到上游水尺前某段一定水平的要求，而是采用原渠底、原比降，体型更加简单。

(3)小型化。除长喉道测流槽和无喉道测流槽外，还有便携式测流槽，使之小型化。这种便携式测流槽不仅可以作为管理单位使用，而且可以直接为群众服务。

1.3.2 水力计算特点

水力计算除应用传统的方法拟合流量系数外，还有以下发展：

(1)用半经验理论求解流量系数和流速系数^[16]。即用临界水深理论推求出流量系数和流速系数与临界水深的关系，然后找出临界水深同堰上水深的经验关系^[35]。这种计算方法物理意义明确、方法简单、精度高，且适合各种不同断面形式的测流渠槽。

(2)用边界层理论和临界水深理论计算长喉道不分离水流的流量^[16]，可以简化试验程序，有利于测流堰槽的标准化发展，值得大力推广。

(3)在淹没出流的计算中，重视流速水头的影响，打破了一往常规的淹没系数与淹没度的相关关系，而是采用流速水头与下游水深的比值作为相对淹没度，使分散的点据集中起来。

1.3.3 量水特点

U形渠道测流设施的测流范围最小为 $0.002\text{m}^3/\text{s}$, 最大为 $8\text{m}^3/\text{s}$, 目前原型已通过的最大流量为 $5\text{m}^3/\text{s}$ 。这个范围基本上概括了我国 U形渠道目前发展的水平。

以上所述的测流设施对 U形渠道的测流作出了贡献。为了进一步推动 U形渠道的发展, 提高灌区计划用水和科学用水, 贯彻国务院关于《水利工程水费核订、计收和水费管理办法》, 提高经济效益, 发展堰流理论, 普及、推广和提高测流技术。本书以 U形渠道直壁槽式量水堰为主线, 系统介绍 U形渠道有坎缺口式测流槽、直壁式测流槽、U形(圆底形)喉道测流槽、平底抛物线形量水槽和 U形渠道便携式测流槽的基本理论、设计、测流方法、水力计算等最新试验研究成果; 并根据边界层理论, 借鉴前人对边界层位移厚度 δ_1 的研究成果, 推导出了 U形渠道长喉道测流槽不分离水流流量的理论计算方法。这种应用边界层理论求解明渠测流槽中通过的流量的方法, 对于研究测流槽的测流特性, 发展测流堰槽的标准化和应用计算机求解流量有着重要的意义。

第 2 章 U 形渠道直壁槽式量水堰

2.1 U 形渠道直壁槽式量水堰的设计

U 形渠道直壁槽式量水堰是在原来的 U 形断面中做成缩窄式喉道。喉道长 $L = 1.25B_0$ ，上、下游过渡段为椭圆曲线，过渡段长均为 $0.7B_0$ ，其方程为

$$\frac{x^2}{(0.7B_0)^2} + \frac{y^2}{[(B_0 - b)/2]^2} = 1 \quad (2.1)$$

式中， B_0 为渠深与直径之比 $H_1/D = 0.82$ 时渠深处的宽度； b 为喉道宽度。

U 形渠道直壁槽式量水堰有两种底部形式，即弓形底直壁槽式量水堰和三角底直壁槽式量水堰，以下简称弓形底量水堰和三角底量水堰，如图 2.1 所示。

2.1.1 弓形底量水堰

弓形底量水堰是在原来的 U 形断面中，只缩窄原断面宽度，不改变渠底形状和比降，借以形成无坎式宽顶堰的水流现象，利用宽顶堰原理测定流量，如图 2.1(a) 所示。

2.1.2 三角底量水堰

三角底量水堰是为了提高弓形底量水堰量测小流量的精度而提出的另一种测流设施，其与弓形底量水堰的区别是将弓形底做成三角形（底坡仍不变），如图 2.1(b) 所示。

U 形渠道直壁槽式量水堰的上、下游水尺控制位置在距堰的进、出口均为 $1.5B_0$ 处。水尺直接印制在 U 形槽壁上，其零点为水尺断面处渠底中心高程。

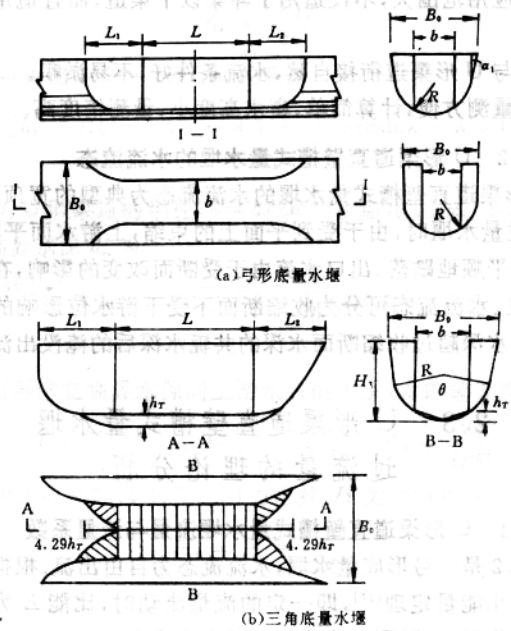


图 2.1 直壁槽式量水堰图

2.2 U形渠道直壁槽式量水堰的特点和水流流态

2.2.1 U形渠道直壁槽式量水堰的特点

- (1) 紧密结合工程实际,不改变原渠底比降,不仅适用于新建工程,而且适宜在已有工程上建造。
- (2) 喉道和过渡段均为平面连接,堰底部为原渠底或用三角形直线连接,因而几何形状简单,施工方便,造价低廉。
- (3) 三角底量水堰提高了小流量的量测精度。

(4) 应用范围大,不仅适用于斗渠以下渠道,而且适用于干支渠。

(5) 与 U 形渠道衔接自然,水流条件好,不易淤积。

(6) 量测方便,计算简单,壅水高度小,量测精度高。

2.2.2 U 形渠道直壁槽式量水堰的水流流态

U 形渠道直壁槽式量水堰的水流流态为典型的宽顶堰流。当水流通过量水堰时,由于受到平面上的束缩,上游水面平稳,水流经过渡段平顺地跌落。出口水流由于受断面改变的影响,在下游形成菱形波。水流流态可分为收缩断面不受下游水位影响的自由出流和下游水深超过收缩断面水深的共轭水深后的淹没出流。

2.3 U 形渠道直壁槽式量水堰过流量的理论分析

2.3.1 U 形渠道直壁槽式量水堰流量与流量系数

图 2.2 是一弓形底量水堰,水流流态为自由出流。根据巴赫米吉夫的最小能量定理^[17],即一定的流量流动时,比能 E 为最小时的水深叫临界水深。堰顶比能的一般表达式为

$$E = h + \frac{\alpha v^2}{2g} = h + \frac{\alpha Q^2}{2gA^3} \quad (2.2)$$

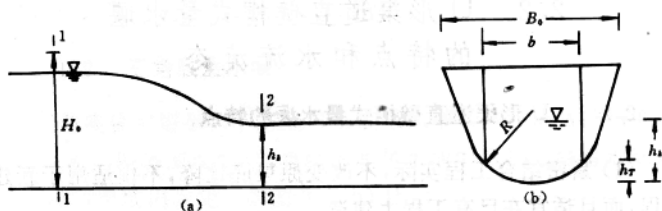


图 2.2 理论计算简图

对式(2.2)求导并令 $dE/dh = 0$,可得堰顶比能最小时临界流速 V_c 和过水断面面积 A_c 的关系式

$$A_k = \frac{\alpha V_k^2}{g} b \quad (2.3)$$

式中 A_k 可由图 2.2(b) 的几何关系得

$$A_k = b[h_k - R(1 - \sqrt{1 - \lambda^2})] + \frac{R^2}{b}(\arcsin \lambda - \lambda \sqrt{1 - \lambda^2}) \quad (2.4)$$

式中, R 为 U 形渠道的半径; $\lambda = b/2R$ 为收缩比。由式(2.3)、(2.4) 可解出临界水深 h_k 为

$$h_k = \frac{\alpha V_k^2}{g} + R(1 - \sqrt{1 - \lambda^2}) - \frac{R^2}{b}(\arcsin \lambda - \lambda \sqrt{1 - \lambda^2}) \quad (2.5)$$

下面再建立临界水深同上游水头的关系, 由能量方程得

$$H + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = h_k + \frac{\alpha V_k^2}{2g} + \xi \frac{V_k^2}{2g} = h_k + \frac{V_k^2}{2g\varphi^2} \quad (2.6)$$

式中, φ 为流速系数; ξ 为局部阻力系数; H 为上游水深。令

$$H_0 = H + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g}$$

则式(2.6)变为

$$H_0 = h_k + \frac{V_k^2}{2g\varphi^2} = h_k + \frac{Q^2}{2g\varphi^2 A_k^2} \quad (2.7)$$

式中 H_0 为计入行近流速的上游水头。由式(2.7) 解出

$$Q = \varphi A_k \sqrt{2g(H_0 - h_k)} \quad (2.8)$$

将式(2.5)代入式(2.7)得

$$H_0 = \frac{1 + 2\alpha\varphi^2}{2\varphi^2} \frac{V_k^2}{g} + R(1 - \sqrt{1 - \lambda^2}) - \frac{R^2}{b}(\arcsin \lambda - \lambda \sqrt{1 - \lambda^2}) \quad (2.9)$$

或

$$\frac{V_k^2}{g} = \frac{2\varphi^2}{1 + 2\alpha\varphi^2} [H_0 - R(1 - \sqrt{1 - \lambda^2}) + \frac{R^2}{b}(\arcsin \lambda - \lambda \sqrt{1 - \lambda^2})] \quad (2.10)$$