

灌区量水槽的应用研究现状与进展

潘志宝¹, 吕宏兴¹, 魏 溪²

(1 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2 石头河水库管理局, 陕西 眉县 722300)

[摘 要] 对国内外灌区槽类量水设备的应用研究成果进行了分类综述, 详细评价比较了几种灌区常用量水槽的各项量水性能及优缺点, 介绍了量水槽的最新研究进展, 指出了目前量水槽应用研究中存在的主要问题, 并在此基础上从实现形式多样化、规格系列化、测控一体化、量测管理现代化方面, 指明了适合我国灌区推广应用的量水槽的发展方向。

[关键词] 灌区量水设备; 量水槽; 性能比较

[中图分类号] S274.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2007)04-0213-05

Current applied research and advances of measuring flume in irrigation district

PAN Zhi-bao¹, LÜ Hong-xing¹, WEI Xi²

(1 College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 The Reservoir Management of Stone-River, Meixian, Shaanxi 722300, China)

Abstract: This paper summarized and classified applied research products of flume-type water measuring facilities in irrigation districts both home and abroad. Disadvantages and advantages of measuring flume commonly used in irrigation districts were evaluated and compared in details, and the latest advances was also introduced. Based on to the main problems existing in the applying and researching of flume in our country at present, it is pointed out the orientation for measuring flume development in future: diversification in type, specification seriation, integration of measurement and control, water measurement and management modernization.

Key words: equipment of water measuring in irrigation district; measuring flume; performance comparison

灌区量水是实行计划用水和准确引水、输水、配水、灌水的重要手段, 是利用价格杠杆、遵循价值规律、密切用水量与水费征收关系的主要依据。特别是由于当前对水资源问题的广泛关注, 进而引起了用水大户, 即灌区管理部门的高度重视, 使得准确量水、配水在合理调配水资源、提高灌溉管理水平和灌区灌溉水利用率中的地位日益突出。目前灌区使用

的量水技术方法很多, 但对于现有的量水设施, 从经济实用、稳定可靠角度考虑^[1], 槽类量水建筑物将是灌区最适合、最易大范围推广应用的一种明渠量水设施。

我国地域辽阔, 灌溉面积居世界之首, 但灌区量水工作却很落后。随着节水灌溉和灌区科学管理工作的深入, 科研单位研制、推广和广大灌区新建、改

[收稿日期] 2006-03-20

[基金项目] 国家自然科学基金项目(59979023); 国家“十五”重大科技专项(2002AA 2Z4131, 2001AA 242111)

[作者简介] 潘志宝(1980—), 男, 河南项城人, 在读硕士, 主要从事渠道量水技术研究。

建量水设施特别是量水槽的工作正在进行,如果对量水槽的现状和今后的发展趋势缺乏全面、正确的认识,或对各类量水槽的结构和量水性能没有清晰、明确的了解,盲目应用将势必带来很大的浪费,这是当前量水工作中值得注意的问题^[2]。为此,本文对国内外现有量水槽的以上问题进行了总结,以期对相关工作者提供有益的参考。

1 量水槽的分类

通常的明渠量水槽都是在宽顶堰的基础上,根据文丘里(Venturi)流量计的测流原理,基于临界流的概念设计发展而成的量水建筑物,在外形和量水原理上有很好的继承性。从 19 世纪 20 年代起,国外学者就着手应用量水槽进行灌区水量量测的研究。从巴歇尔量水槽到无喉道量水槽^[3-6],从柱形量水槽^[7-11]到半圆柱形简易量水槽^[12-14],明渠量水槽较快发展。我国也于上世纪 50 年代开始了量水槽的引进和研发工作。

由于量水要求日趋迫切,对量水技术和设备的研究也有了更多进展。与以前较为单调的量水槽相比,目前国内外灌区使用较多的量水槽,无论是在种类还是在规格上,都得到了大幅度的扩充、改进和提高。可大致按以下原则进行分类:

(1)按喉道的长短和喉段有无划分,长喉道的有 Palmer-Bowles 量水槽^[5]、H 系列量水槽^[5]、U 形(圆底形)长喉道量水槽^[15-17]、U 形渠道直壁式量水槽^[18]、U 形渠道有坎缺口式量水槽^[19]、抛物线形渠道长喉道测流槽^[20]和梯形渠道、矩形渠道长喉道量水槽^[21-22]等;长喉道槽一般由上游收缩段、喉道段和下游扩散段组成,槽的喉道长度有所加长,一般应大于测流槽上游的最大水头,以保证喉道段内的水面线与槽底相平,水深近似为临界水深。短喉道的有巴歇尔量水槽和 U 形渠道便携式测流槽^[23]等;这些槽的喉道长度较短、尺寸较小。没有喉段的有无喉道量水槽、柱形量水槽、U 形渠道平底抛物线形量水槽^[24]、墩形棱柱体量水槽^[25]、半圆柱形简易量水槽和 U 形渠道机翼形量水槽^[26]等。

(2)按收缩段形成方式的不同,可划分为:①有束窄渠道宽度的侧收缩型量水槽,如 H 系列量水槽、柱形量水槽、U 形渠道平底抛物线形量水槽、有坎缺口式量水槽、直壁式量水槽、便携式测流槽、U 形(圆底形)长喉道量水槽、抛物线形渠道长喉道测流槽、墩型棱柱体量水槽、半圆柱形简易量水槽、U 形渠道机翼形量水槽及梯形、矩形渠道长喉道量水

槽等。②有束窄渠道深度的垂直收缩型量水槽,如梯形渠道、矩形渠道长喉道量水槽等。③既有侧收缩又有垂直收缩型量水槽,如 Palmer-Bowles 量水槽、巴歇尔量水槽和无喉道量水槽及梯形、矩形渠道长喉道量水槽等。

(3)按量水槽的工作方式不同,可将其分为移动式 and 固定式两种。一般装配或建筑成移动式的有 U 形渠道便携式测流槽等,其常常不构成渠道的一部分,放置灵活,移动方便;除此之外,以上所提到的其他各种量水槽常常被修筑为固定式建筑物,其有待测渠道合为一体,设置量水槽所选择的站址应符合相关要求。

2 典型量水槽的评价比较

巴歇尔量水槽是国内外灌区明渠流量测量中广泛使用的量水设施之一,因其水头损失不大、壅水高度小、不易产生泥沙淤积和漂浮物阻塞、测量精度高($\pm 3\% \sim \pm 4\%$)且不受泥沙和行进流速的影响及测流范围大($0.006 \sim 93.04 \text{ m}^3/\text{s}$)等特点,赢得了广大灌区用户的青睐。但缺点是其结构和施工复杂、造价高,淹没出流时流量计算繁琐,且当淹没度大于 0.95 时,流量的计算精度大大降低。此外文献^[3]还指出,Peck 的最新研究表明,淹没出流校正方程依水面上升或下降而有 12% 的不连续性。因此巴歇尔量水槽只适宜于在可提供足够水头且不经常发生严重壅水的干、支渠上使用。另外,巴歇尔槽系列间不是几何相似,虽然定型化程度较高,但对于小型槽(喉口宽度 $W = 0.075 \sim 0.152 \text{ m}$)、标准型槽(喉口宽度 $W = 0.25 \sim 2.40 \text{ m}$)和大型槽(喉口宽度 $W = 3.05 \sim 15.24 \text{ m}$)中任一槽体系列而言,其喉道长、槽顶高度及出流段长度均保持不变,其他尺寸为喉道宽和槽底高的函数,在使用时只能根据渠道及水流条件选择与之测流要求最接近的标准尺寸,缺乏一定的灵活性。建筑装配误差对该槽量水精度影响较大,对喉口宽度 W 为 30.50 cm 与 61.00 cm 的两种标准槽的试验表明,槽底板横向或纵向坡度都在 $\pm 5\%$ 内变化时,水槽最大量水误差分别近似为 10% 和 28%^[27]。此类短喉道槽因喉道短,喉道上的水面曲线明显弯曲,水压力不按静压分布,流量 Q 也不再与上游水头 $H^{3/2}$ 成比例。其流量公式常采用指数形式,但其系数和指数都是个别率定的。近年来,巴歇尔槽在欧美不再被大力推荐使用,除了其本身的缺陷外,更多是因为更先进的长喉道槽的推广使用。

无喉道量水槽是在巴歇尔量水槽的基础上经过研究改进而提出的,已在我国的引沁、引渭等灌区中得到较广泛的应用,其最大的优点在于结构简单、省工省料、经济实用。与巴歇尔量水槽相比,其没有喉道,且不同于巴歇尔量水槽收缩段槽底水平、喉道槽底为正坡、扩散段槽底为负坡,其整个槽底水平。无喉道量水槽的临界淹没度(0.65~0.80)与巴歇尔量水槽(0.70~0.80)相当,但型号不如巴歇尔量水槽多,测流幅度(0.004~6.368 m³/s)也明显小于后者^[3-4]。该槽量水精度受建筑装配误差的影响也很大,有试验表明,小型无喉槽($W < 0.80$ m)的横向或纵向坡度在 $\pm 4\%$ 内变化时,量水精度为 $\pm 3\% \sim \pm 23\%$ ^[28]。无喉道量水槽宜在支、斗中型渠道且壅水不严重的条件下使用,并且有必要对各种型号进行测试,以确定精确的参数。由于无喉道量水槽的水位测点位于上下游易发生流线与边壁分离的渐变段内,水力特性复杂,故目前国外资料显示已不推荐在渠道上使用无喉道量水槽测流^[5,29],国内灌区在应用时应考虑上述意见,慎重对待。

上述两种经典型量水槽适于矩形和梯形断面渠道,将其应用到U形断面渠道时会造成流态紊乱,水面波动大,影响测流精度。对于U形渠道的量水问题,国外研究较少,仅有国际标准推荐的U形(圆底形)长喉道量水槽^[17],该量水槽仅适用于底弧半圆、边墙垂直的标准U形渠道,对国内大量应用的侧墙直线段外倾、底弧为圆弧或抛物线形的非标准U形渠道则难以适用。国内针对U形渠道量水进行了大量研究^[15-16,18-20,23-24,26,30],其中,平底抛物线形量水槽在量水精度($\pm 3.5\%$)及渠道壅水等性能方面与巴歇尔量水槽和无喉道量水槽相当,临界淹没度(0.85~0.91)明显高于后二者,其喉口断面收缩比可根据渠道坡降有较大的选择范围(0.2~0.7),同时较无喉道量水槽节省工程量约30%,较巴歇尔量水槽节约资金近80%^[24,31-32]。与同类直壁式量水槽、(圆底形)长喉道量水槽相比,又具有适用面广、工程量小的优点,在斗渠以下U形多泥沙渠道测流时常优先选择。其建筑安装时采用原渠底、原比降,体形较为简单,但也存在抛物线形喉口施工难度较大、计算比较复杂等问题。

另外,应用较广的还有梯形、矩形渠道长喉道量水槽。梯形长喉道量水槽适用于流量变幅较大以及要求精确测量最小流量的渠道,目前其体形可以实现优化设计^[33]。矩形长喉道量槽采用哪种收缩方式,取决于最大流量的大小、相应各种流量的下游条

件、允许水头损失、实测水头与喉宽比的限制以及水流是否夹带泥沙等,其适用于流量变化较小或不需要精确测量小流量的渠道。长喉道量水槽在国外明渠测流中被推荐使用,对其的研究比较全面系统,设计理论和计算方法也较为完善,其主要优点是喉道断面可以根据渠道流量的变化幅度和水力条件而采用多种规则的曲线形状,如矩形、梯形、三角形、U形等,因而其适应性较强。长喉道量水槽可以采用与现行渠道相同的断面尺寸,只采用垂直收缩时,仅需要在底部设计一个升高的底坎,因而造价低,仅为巴歇尔量水槽与无喉道量水槽造价的10%~20%^[3]。其不但形式简单,且对施工工艺要求不高,只需要堰面保持水平即可。流量率定误差在 $\pm 5\%$ 以内,临界淹没度高(> 0.85),水头损失小且可以利用边界层理论精确计算^[34-35],同时抗泥沙干扰能力优于其他形式的量水槽。长喉道量水槽的最大缺点是喉道长、尺寸大。

柱形量水槽是在渠道轴向中心设置一圆柱(筒)来达到缩窄渠道过流断面的目的^[9],并利用此圆柱(筒)使水流在柱体最窄过流断面处形成临界流状态,从而实现渠道量水。这种量水槽无需改变原有渠道断面,既可以做成移动式也可以做成固定式,适宜在对称的矩形、梯形、U形、圆形这些棱柱体渠道上使用,其作为灌区小型渠道的量水设备,具有结构简单、造价低廉、量测方便的特点。墩型棱柱体量水槽也属此类,只是节流物件的不同而已。

半圆柱形简易量水槽(图1)、U形渠道机翼形量水槽(图2)都是通过在渠道边壁上修筑槽体所形成的新型量水槽,其结构新颖、制作方便,淹没度较高(0.85),流量公式简明实用,精度($\pm 5\%$)也能满足灌区对量水设备的要求^[14,26]。与其他收缩控制断面两侧为锐缘边角的量水槽不同,其流线型内壁对过流没有显著影响,在水中泥沙杂物的摩擦碰撞作用下不易造成测流系统误差。除了U形渠道的各种量水槽外,柱形、半圆柱形、机翼形量水槽也都是近年的最新研究成果,目前后三种量水槽还均处于实验室模型试验阶段,尚未进行大量野外试验研究和推广,且模型到原型只能按相似原理比尺放大,不能任意应用。但该类槽型却对灌区量水槽的发展提供了一个新的思路。

3 量口槽应用研究中存在的主要问题

现在灌区经常使用的量水设备有4种,即水工建筑物、特设量水设施、流速仪及自记量水仪表。其

中利用水工建筑物量水最为经济简单,但建筑物的建筑标准对量水精度影响很大。流速仪的精度较高,但对水流条件有要求且施测和计算极为繁琐。各种量水仪表及流量计由于费用问题,现在还不能

为广大灌区所接受^[36-37]。槽类量水建筑物可以避免以上限制而在灌区中得到了大量应用,但在目前的应用研究中还存在诸多问题:

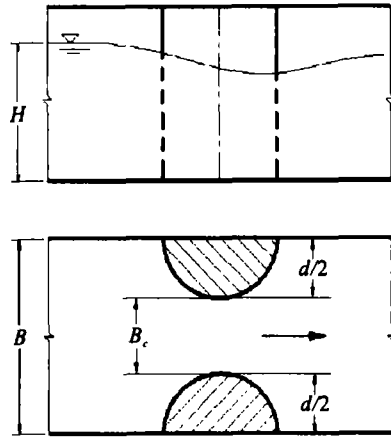


图 1 半圆柱形量水槽的平面与纵剖面图
Fig. 1 Plan view and longitudinal profile of the semicircular cylinder flume

1) 目前研制的不同结构的量水槽很多,但很少能同时满足结构简单、价格适中、精度合理、水头损失小、操作简便等要求^[38],或者只注重量水功能而忽视阻水问题,且性能价格比问题也未能解决。

2) 考虑到不同渠系的特性(包括水力特性、挟沙能力、运行条件等),如对于小比降或宽浅式多泥沙等特殊渠道而言,缺乏与之相配的新型结构量水槽,针对性较强的量水槽形式还十分有限。

3) 量水槽与灌区渠道及渠系建筑物配套时往往不协调,配套率较低^[36,39],标准化程度差,通用性不强。

4) 对如何利用量水槽与渠系其他类型量水建筑物共同量水的技术研究不够,二者的测流融合程度不高。

5) 在灌区进行量水槽现场实验是量水槽开发研制的重要环节之一,但实际操作中由于经济等原因仍存在用户不积极配合现象。这也是导致量水槽的研究成果较多但实际应用较少的一个因素。

4 量水槽的发展方向

1) 形式应该多样化。纵然槽类量水建筑物的种类较之以前有了很大发展,但对于管理水平、级别规模、经济实力存在差异的众多灌区的需求来说,仍显不足^[40],可供选择的量水槽形式比较单调。灌区用户、科研单位应紧密结合,凡符合测流原理的槽类建

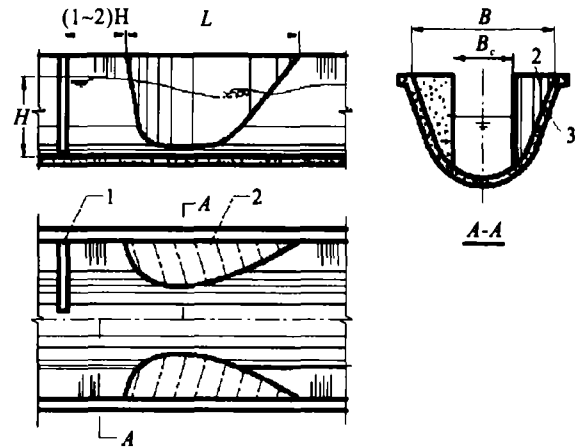


图 2 机翼形量水槽的结构
1. 水尺或水位传感器;2. 量水槽槽壁;3. U形渠道
Fig. 2 Structure of plane wing flume

1. Water gauge or sensor; 2. Flume side wall; 3. U-shaped channel
筑物都可以作为研究开发的对象,同时应协调好各种量水槽量水性能间的矛盾关系,摸清特定情况下的量水特性,在使用时进行优化选型,从而扩展灌区对量水槽的选择空间。

2) 规格能够系列化。随着灌区节水改造工程的实施,灌区基础设施状况将会明显改善,农业生产集约化程度将大大提高,灌区用水条件将趋于一致,田间配水渠道也将趋于标准化。因此,今后应做好灌区调查,有针对性地开展量水槽的标准化研究工作^[41],走工厂化生产、装配式发展道路,使其规格能够定型,并形成系列,提高量水槽的通用性。

3) 测控实现一体化。努力使量水槽的水流阻力最小化,减少因量水而引起的水头损失,这对于灌区特别是对于自流灌溉的平原灌区和坡度较缓的灌溉渠道来说意义很大^[36,40]。其中一个思路就是,视量水槽为闸墩,将布置在同一渠道内分别用于流量调节和量测的闸门与量水槽合二为一,实现闸槽结合联合测流,研发一种水头损失低、测控功能结合的新型量水设备。

4) 量测管理现代化。灌区现代化管理的需求,也促使量测调控工作的自动化和信息化^[36,39]。将传感器、直读式仪表、计算机网络、遥测设备等先进仪器与技术方法和量水槽结合起来用于灌区渠系的量水,不但可以提高量测工作效率,而且还可以对流量和水量进行实时监控,从而为实现灌区量水自动

化和信息化提供必要的条件。同时也易取得灌溉水用户的信任和监督,便于量水工作的开展。

[参考文献]

- [1] 吉庆丰,沈波,李国安.灌区量水设施研究开发进展[J].灌溉排水学报,2001,20(4):65-68.
- [2] 王长德.我国灌溉量水技术的应用[J].中国水利,2005(7):26-28.
- [3] 王长德.量水技术与设施[M].北京:中国水利水电出版社,2006.
- [4] 水利部农村水利司.灌溉管理手册[M].北京:水利电力出版社,1994.
- [5] US department of the interior bureau of reclamation. water measurement manual[M]. 3d edition. Washington: US Government Printing Office, 2001.
- [6] 蔡勇,周明耀.灌区量水实用技术指南[M].北京:中国水利水电出版社,2001.
- [7] Hager W H. Modified venturi channel[J]. J Irrig and Drain Engrg, ASCE, 1985, 111(1): 19-35.
- [8] Hager W H. Mobile flume for circular channel[J]. J Irrig and Drain Engrg, ASCE, 1987, 113(3): 520-534.
- [9] 吴高巍,周子奎.柱形量水槽的研制及应用[J].灌溉排水学报,1991,10(3):46-51.
- [10] Samani Z, Magallanez H. Measuring water in trapezoidal canals[J]. J Irrig and Drain Engrg, ASCE, 1993, 119(1): 181-186.
- [11] 蔡勇,李同春,吉庆丰,等.梯形渠道圆柱形量水槽的试验研究[J].中国农村水利水电,2005(8):63-66.
- [12] Samani Z, Magallanez H. Simple flume for flow measurement in open channel[J]. J Irrig and Drain Engrg, ASCE, 2000, 126(2): 127-129.
- [13] Vito Ferro. Discussion of "Simple flume for flow measurement in open channel" by Samani Z, Magallanez H[J]. J Irrig and Drain Engrg, ASCE, 2002, 128(2): 129-131.
- [14] 吕宏兴,余国安,陈俊英,等.矩形渠道半圆柱形简易量水槽试验研究[J].农业工程学报,2004,20(6):81-84.
- [15] 尚民勇. U形长喉道量水槽的试验研究及其应用[J].陕西水利,1991(3):41-44.
- [16] 张志昌,张漫丽,王开民. U形(圆底形)长喉道测流槽水力特性的研究[J].陕西水利发电,2000,16(2):5-8.
- [17] ISO 标准手册 16:明渠水流测量[S].水利电力部水文局,等译.北京:中国标准出版社,1985.
- [18] 张志昌,张宗孝,刘亚非. U形渠道直壁槽式量水槽的研究与应用[J].陕西水利,1992(1):29-34.
- [19] 张志昌,刘亚非.有坎缺口式量水槽的流量系数和水力计算[J].陕西水力发电,1993(3):43-49.
- [20] 张志昌,刘松舰,刘亚非.抛物线形渠道长喉道测流槽的水力设计方法[J].西安理工大学学报,2003,19(1):51-55.
- [21] 吴高巍,葛淑芳.灌溉渠道上一种新型简易量水槽[J].灌溉排水学报,1985,4(2):14-20.
- [22] 陈建康,沈波.长喉道量水槽的应用研究[J].灌溉排水学报,2001,20(4):26-29.
- [23] 张志昌,刘亚非. U形渠道便携式测流槽的研究[J].陕西水利,1995(1):31-33.
- [24] 王智,朱凤书,刘晓明.平底抛物线形无喉段量水槽试验研究[J].水利学报,1994(7):12-23.
- [25] Peruginelli A, Bonacci F. Mobile prisms for flow measurement in rectangular channels[J]. J Irrig and Drain Engrg, ASCE, 1997, 123(3): 520-534.
- [26] 洪成,吕宏兴. U形渠道机翼形量水槽试验研究[J].灌溉排水学报,2005,24(1):63-65.
- [27] Genovez A, Steven R A, Florentin C B. Correction for settlement of parshall flume[J]. J Irrig and Drain Engrg, ASCE, 1993, 119(6): 1080-1091.
- [28] Steven R A, Bryan C R, Skowron E M. Rating adjustment for settlement of cutthroat flumes[J]. J Irrig and Drain Engrg, ASCE, 1998, 124(6): 311-313.
- [29] Bos M G, Replogle J A, Clemmens A J. Flow measuring flumes for open channel[M]. New York: John Wiley and Sons, 1984.
- [30] 吕宏兴,朱凤书,董鹏.抛物线形喉口式量水槽的简化流量公式[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2000,28(3):107-110.
- [31] 张志昌. U形渠道测流[M].西安:西北工业大学出版社,1997.
- [32] 马孝义,王文娥,吕宏兴. U形渠道量水槽的性能分析与筛选研究[J].农业工程学报,2002,18(4):44-48.
- [33] 阮新建,王长德,柳树票.明渠测流长喉槽结构优化及设计理论研究[J].农业工程学报,2001,17(5):22-26.
- [34] Bos M G, Reinink Y. Required head loss over long-throated flumes[J]. J Irrig and Drain Engrg, ASCE, 1981, 107(1): 87-102.
- [35] 王长德,管光华,崔巍,等.长喉槽水头损失公式的修正[J].武汉大学学报:工学版,2005,38(2):1-5.
- [36] 蔡勇,李同春.灌区量水设施分析研究[J].中国农村水利水电,2005(2):13-15.
- [37] 陈梦华,韩克敏,宋向荣.灌区量水技术的研究进展[J].中国农村水利水电,2001(9):44-45.
- [38] 陈毓陵,王靖波.灌区量水方法及应用对策[J].水利水电科技进展,2000,20(6):39-42.
- [39] 俞双恩,左晓霞,赵伟.我国灌区量水现状及发展趋势[J].节水灌溉,2004(4):35-37.
- [40] 谢崇宝,高占义,朱嘉英.灌区量水技术与设备发展现状及趋势[J].节水灌溉,2003(6):27-28.
- [41] 吴景社,朱凤书,康绍忠,等. U形渠道适宜量水设施及标准化研究[J].灌溉排水学报,2004,23(2):38-41.