

灌区量水技术及其自动化

© 孙西欢 马娟娟 周义仁 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

灌区量水技术及其自动化

孙西欢 马娟娟 周义仁 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书共分 10 章, 主要内容包括国内外灌区测流技术及其自动化研究进展、灌区测流的基础知识、水工建筑物测流法、特设量水设备量水、流速仪法测流、仪表法量水、灌区测流自动化、灌区自动测流系统实际应用中应考虑的问题以及灌区信息化建设与发展等。本书较系统地总结了近年来国内外在灌区测流方法方面所取得的科研成果及最新进展, 并重点介绍了各种测流方法的应用条件与适用性等问题。

本书可供水利工程技术人员在灌区规划设计和管理工作使用, 也可供相关专业院校师生及科研人员在教学科研工作中参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

灌区量水技术及其自动化 / 孙西欢等编著. — 北京:
中国水利水电出版社, 2014. 1
ISBN 978-7-5170-1609-0

I. ①灌… II. ①孙… III. ①灌区—灌溉水—测量—
自动化 IV. ①S274.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第147712号

书 名	灌区量水技术及其自动化
作 者	孙西欢 马娟娟 周义仁 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京时代澄宇科技有限公司
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 23.5 印张 558 千字
版 次	2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—1000 册
定 价	68.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

我国水资源严重匮乏，农业用水占国民经济用水总量的60%以上，而农业灌溉中普遍存在灌溉效率低和用水浪费严重的现象，因此建立节水型农业已成为我国现代农业可持续发展的必然选择。

灌区量水是推进节水农业的重要手段。自20世纪50年代起，我国开始对灌区测流技术进行研究和推广，但过程曲折，各地的研究不够集中，未形成合力，加之当时人们节水意识不强，对量测水的认识不足，所取得的成功经验没有及时推广。自20世纪90年代后期以来，我国逐步投入大量资金开始大中型灌区工程续建配套和节水改造，并计划于2020年全部完成。经过十几年的努力，在灌区测流技术方面取得了一些新进展，研制了一批实用的仪器设备，特别是随着计算机技术和通信的迅速发展，自动化计量已经成为灌区测流的发展趋势。但是就目前全国范围内的现状来看，许多灌区急需提高灌区测流技术的管理水平。因此有必要在灌区测流技术方面加强培训和技术推广。作者结合多年实践总结编写了本书，供水利工程技术人员在设计和和管理时参考，为广大从事灌区量水人员提供学习、借鉴的实用性技术资料。这对于实施节水型灌区具有十分重要的现实意义。

本书由孙西欢、马娟娟、周义仁、张帆、杨培育、郭向红、李永业合作完成，其中，孙西欢负责编写第一章、第二章，马娟娟负责编写第五章，周义仁负责编写第八章、第十章，张帆负责编写第三章、第六章，杨培育负责编写第四章、第七章，郭向红、李永业负责编写第九章。全书由孙西欢统稿。

感谢研究生樊晓波、尹燕喆、刘浩、龙远莎、张亚琼、默月、彭婷婷、张永青、原超、王林、王慧聪、郑利剑、王军、马艳荣、张文锦、张敏、王颖苗、雷涛、严亚龙、李俊杰对本书的文字进行了校对。

特别感谢山西省水利厅对灌区量水技术研究的大力支持。

在本书编写过程中，得到了中国国家灌溉排水中心李仰斌主任等有关专家和领导的指导与帮助，并参考和引用了许多国内外文献，在此一并表示衷心的感谢！

由于编写时间仓促，加之受所掌握资料和作者水平限制，错误和疏漏之处在所难免，诚恳希望各位领导、专家、工程技术人员和读者提出补充修改意见，批评指正。

作者

2013年9月

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 灌区测流技术概述	1
1.2 灌区测流自动化概述	11
参考文献	24
第 2 章 灌溉相关基本知识	27
2.1 概述	27
2.2 灌区灌溉渠道系统	34
2.3 灌区灌溉管道系统	43
2.4 灌区泵站出流测定基本原理	49
2.5 灌溉水利用系数实测	51
参考文献	69
第 3 章 与灌区量水有关的水力学知识	71
3.1 液体的主要特性	71
3.2 静水的基本规律	71
3.3 描述液体运动的方法	76
3.4 液体流动的基本要素	77
3.5 液体流动的分类	79
3.6 水力学基本方程	80
3.7 水头损失	84
3.8 液体流动的两种形态	86
3.9 明渠流	87
3.10 水工建筑物出流	116
参考文献	121
第 4 章 水工建筑物测流法	123
4.1 水工建筑物测流概述	123
4.2 利用水工建筑物测流的条件	127
4.3 水工建筑物测流原理和步骤	128
4.4 常见水工建筑物测流的方法	132
4.5 水工建筑物量水存在的问题及改进方法	149

参考文献	151
第 5 章 特设量水设备量水	152
5.1 概述	152
5.2 特设量水设备量水的发展现状	153
5.3 特设量水设备量水的分类与选型	157
5.4 常用特设量水设备	162
5.5 特设量水设备的应用	176
5.6 几种量水设施简介	179
参考文献	224
第 6 章 流速仪法测流	227
6.1 流速仪测流原理	227
6.2 流速仪测流的条件及误差	227
6.3 流速仪测流的方法	231
6.4 流速仪测量方法的精简分析	238
6.5 流速仪测流的优缺点及应用	240
6.6 流速仪的使用与保养	240
6.7 流速仪的分类	242
6.8 国内外对流速仪测流的研究	243
参考文献	244
第 7 章 仪表法量水	245
7.1 流量计测流	245
7.2 水位计量水	281
参考文献	286
第 8 章 灌区测流自动化	290
8.1 灌区自动化测流的任务和意义	290
8.2 灌区自动测流系统	291
8.3 系统供电	310
8.4 传感器	318
8.5 灌区测流自动化的应用	323
参考文献	327
第 9 章 灌区自动测流系统实际应用中应考虑的问题	329
9.1 泥沙淤积问题	329
9.2 设备的安全防盗	335
9.3 渠道防渗与防冻胀衬砌问题	336
9.4 量水的误差分析	343
参考文献	350

第 10 章 灌区信息化建设与发展 351

10.1 信息与信息化 351

10.2 灌区信息化 353

10.3 我国灌区灌溉管理和信息化的现状 357

10.4 大型灌区信息化建设目前存在的主要问题 359

10.5 灌区信息化建设的主要内容 360

10.6 灌区信息化的应用 363

10.7 大型灌区信息化试点建设成效 366

参考文献 368

第 1 章 绪 论

1.1 灌区测流技术概述

灌区测流技术，也叫灌区量水技术，是合理调度灌溉水、正确执行用水计划、加强用水管理的必要措施，也是衡量灌溉管理水平和灌溉水利用率高度的重要技术手段。

1.1.1 灌区测流的意义和重要性

水是生命之源、生产之要、生态之基。随着全球水资源供需矛盾的日益加剧，合理利用水资源，提高水的利用率成为世界各国重要而迫切需要解决的问题。

我国是一个水资源严重短缺的国家，据资料表明，我国水资源总量约为 28000 亿 m^3 ，人均水资源量约为 2200 m^3 ，仅为世界平均水平的 1/4，据预测到 2030 年我国人口增至 16 亿时，人均水资源量将下降到 1760 m^3 ，按国际上公认的标准，人均水资源量少于 1700 m^3 时为用水严重紧张的国家。同时，我国水资源时空分布不均，水土资源不匹配，用水效率不高，用水浪费和污染严重，更加剧了水资源的短缺。目前我国正常年份缺水量约 400 亿 m^3 ，水危机直接制约着我国经济社会的可持续发展。由于水资源短缺，部分地区江河断流，地下水位持续下降，生态环境日益恶化，部分地区工业与城市生活、农业生产及生态环境争水矛盾突出。

我国又是一个农业大国，农业是用水大户。根据 2011 年国家的公告，我国全年用水总量为 6080 亿 m^3 ，农业用水 3790 亿 m^3 ，农业用水占全国用水总量的 62.4%，其中农田灌溉用水量占农业总用水量的 90%。随着社会经济的发展，特别是工业化和城镇化进程的加快，城市和工业用水挤占农业用水的问题将日益突出，农业用水面临的挑战越来越大。与此同时，我国农业灌溉普遍存在灌溉效率低和用水浪费严重的现象，截至 2011 年年底我国的农田灌溉水利用系数仅为 0.51，单方水粮食生产率只有 1kg 左右，远远低于发达国家灌溉水利用系数 0.7~0.8、单方水粮食生产率 2kg 以上的水平。2012 年 3 月，国务院 3 号文件明确提出农田灌溉水有效利用系数，到 2015 年要达到 0.53，到 2020 年要达到 0.55。发展节水型农业不仅是我国国民经济和社会可持续发展所要求的，也是我国农业资源，尤其是水资源短缺、水土资源配置失衡等严峻形势所决定的。因此，大力推广节水灌溉新技术、不断提高灌溉管理水平对保障国家水安全和粮食安全，保护生态环境，实现水资源高效可持续利用，推动农业和农村经济可持续发展，具有重要的战略地位和作用。

灌区量水是推进节水农业的重要手段。建立节水农业是现代农业发展的必然选择，它

的核心是减少水量浪费,提高水分利用效率。在灌区实施灌溉和管理的多个过程中,都需进行量水工作。通过灌区量水,可测算不同时段渠道水位流量变化过程,为编制渠系用水计划提供依据;根据用水计划和水量调配方案,灌区管理人员可及时准确地从水源引水,并配水到各用水单元;灌溉之后,对照灌溉面积和作物布局,可检查用水户的灌水效率,加强田间水分管理,减少水量浪费,另外还可准确评价各种措施的节水效果,大大推动节水经验的推广;在灌区管理中,准确地测算出水源引入渠系和分配给各级渠道及各用水单位的水量,据此可分析出各级渠道的输水损失,为灌区的续建配套和节水改造提供依据;还可为灌区实施用水“总量控制”、“定额管理”、“按方计费”等提供依据。总之,准确、完善配套的量水设施是灌区搞好灌溉管理工作的基础性设施。准确的水量计量不仅为评价灌区水利用率提供可靠数据,还起到树立农业灌溉水“量”的概念、提高灌区农民的节水意识,促进节约用水的作用。所以应当在灌溉管理工作中,充分认识到准确量水的重要意义,积极做好水的准确计量工作,建立节水型灌溉农业。

灌区量水是合理配置水资源的基础。水资源的合理配置主要是根据需水要求和可供水资源状况,在不同地区和作物不同生育阶段进行水量的优化调度。有限水资源条件下科学的水量调配必须有精量灌溉,因此量水设施是水资源合理配置得以实施的基本条件,灌区量水是实行计划用水、调整供配水方案的基础工作。

灌区量水是加强水价管理的基本条件。2001年国家下达了按实际供水和规定的水价标准征收水费的通知,但由于缺少量水设施,因此我国大多数灌区仍采用按灌溉面积收费的形式,这不仅助长了水量的浪费,而且也容易导致管理单位和用水户之间的矛盾,给水费计收带来难度。而灌区量水成为计收水费的依据,是通过经济手段促进节水,实行定额供水、超量加价的基本条件。

灌区量水是改善水环境的有效措施。灌区量水能够在一定程度上避免大水漫灌,有效减少渗漏,合理控制地下水,减轻土壤次生盐碱化,同时能减少氮磷流失,减轻农业面源污染和环境负荷。

1.1.2 灌溉量水的任务

我国水资源十分紧缺,实施节水措施非常必要。作为用水大户的灌区,则是节水的重点。灌区节水,除了采取先进的灌水方法外,更重要的是搞好计划用水,科学用水。而想要做到这些,则应有完善的水位、水量资料,灌区量水正是提供这些资料的手段。灌区量水工作的任务有:

(1) 按照用水计划的规定和水量调配组织的意见,调节、控制渠道水量,准确地从水源引水,向输水渠道配水和按定额向田间供水。

(2) 检查灌水质量和灌溉效率,指导改进用水工作。

(3) 掌握水量供需状况,合理修正、调整供水和配水方案。

(4) 整理观测资料,为改进灌区管理工作,为水利规划、设计、施工和科学研究等提供和积累数据。

主要资料项目有:

- (1) 每一年度,灌溉季度和每次灌溉引水的总水量,田间用水量,排泄和退弃水量。
- (2) 渠道及其建筑物的输水能力,渠道、田间水和灌溉水有效利用系数。
- (3) 测站水位—流量关系图表和水工建筑物的流量系数。
- (4) 水源测站的水位、流量、含沙量过程线。
- (5) 特定地段或田块的灌溉定额。
- (6) 渠道输水量、输水时间、灌水次数和灌水量。
- (7) 灌溉用水的经济指标,分析水量成本,提供按水量征收水费的依据等。

1.1.3 灌区测流的基本方法

1.1.3.1 灌区量水的特点

灌区量水,与大江大河的水文测流不同。灌区量水实测流量一般较小,但观测次数频繁,时间要求严格,精度要求亦较高。因此,在选择量水设施时,应符合下列基本要求。

(1) 量水设施应具有较高的量水精度和准确度。各种量水设施的精度和准确度不同,对于使用者来说,应根据自己的量水目的,选取精度和准确度能满足要求的量水设施。

(2) 量水设施的过水能力应与渠道的过水能力相适应,并力求经济耐用,观测方便。

(3) 造价低廉,施工简易。应尽量利用当地的建筑材料建造量水建筑物,不宜选用造价太高或施工太复杂的型式。

(4) 测算要简捷,观测和计算水量要简单、易行,便于群众掌握。管理工作量要小,以免占用过多的人力。

(5) 水头损失要小,测流范围要大。选用的量水设施水头损失越小越好,而测流范围则越大越好。

(6) 量水设施应具有较高的灵敏度,能够正确及时感知水情的变化。量水设施的灵敏度越高,可以测准的流量就越小。

(7) 抗干扰能力要强。农业用水中泥沙和杂物常常较多,量水设施应能让这些泥沙和杂物顺利通过,不致影响量水设施的安全和量水精度。量水设施还应能抵抗如高温、冰冻等不利因素的影响。

1.1.3.2 灌区常用的量水方法

灌区量水监测的基本要素通常为流量或水位。灌区流量测量主要是明渠水流的测量,明渠断面的形式主要有梯形断面及梯形断面的演变形式(如弧脚梯形断面,弧底梯形断面)、矩形断面、U形断面、抛物线形断面、马蹄形断面以及复合断面等。明渠测流比较复杂,具有自由面,其过水断面面积和流速会随着流量的变化而变化。目前,灌区采用的量水方法有以下几种。

1. 流速面积法

通过测量河渠某过水断面的流速和面积来测流。其依据是流量等于某一过水断面上流速的积分,这种方法可用于特定的时间和地点的临时测流。

2. 坡降—水力半径—面积法

根据明渠均匀流的理论,测出渠道正常水深,渠道某一渠段的水面坡降,平均过水断面面积和湿周,代入曼宁公式或流速对数律或指数律这样的阻力公式计算流量。

3. 稀释法

稀释法测流是采用适当比例的盐溶液,等量注入所测量河渠的入口断面处,并在下游某一断面测量化学盐的浓度,渠道中注入溶液中化学盐的浓度与下游断面化学盐的浓度之比乘以化学盐溶液注入量即得渠道中水流的流量。稀释法要求渠道中水流的紊动程度高,以便使注入溶液与全部水流充分融合,并贯穿于整个流程。这种测流方法常用于山区河流和洪水中。

4. 水工建筑物量水

包括启闭式水闸、跌水口(陡坡)、拱涵、渡槽、倒虹吸、标准断面、小水库台阶式卧管、涵洞放水口、叠梁式闸门等。利用水工建筑物量水,其方法是比较简单,也比较经济,因为它一物多用,无需另建量水设施,节省造价;而且所用的仪器设备较少,一般只需通过设立水尺根据上下游水位差就可求得流量。利用水工建筑物量水大多数适合于清水或含沙量小,基本没有淤积现象的渠道,一般只能采用少数比较规则的水工建筑物,局限性较大。而且量水时需要事先对其量水性能进行研究,针对其不同形式,逐个进行流态的校核,另外它对边界条件要求也很严格。同时,用作量水的渠系建筑物,须符合下列条件:

(1) 建筑物本身完整无损,无变形,无剥蚀,不漏水。

(2) 调节设备良好,启闭设备完整,闸门无歪斜漏水、无扭曲变形、无损坏现象、闸门边缘与闸槽能紧密吻合。

(3) 建筑物前后、闸孔或闸槽中无泥沙淤积及杂物阻水。

(4) 符合水力计算要求,水头损失不大于5cm,水流呈潜流状态时,其淹没度(下游水深与上游水深之比)不大于0.95。

(5) 当侧面引水时,水流速度不大于0.7m/s,并须平稳地流入建筑物。当正面引水时,水流沿建筑物整个孔口宽度对称的进入建筑物。

(6) 利用多孔建筑物量水时,各孔闸门提起高度应尽量一致。

(7) 建筑物高度或上面填土封闭高度,须高出最高水位,不允许由上面漫水。

用以量水的建筑物的几何尺寸应与有关资料规定相符。多孔建筑物要注意各孔的宽度及高程是否一致,每孔的上、下宽度是否一致,并作出相应的处理。建筑物的尺寸应当用钢尺进行现场测量,并计算出几何尺寸的平均值及其标准差。几何尺寸的绝对误差应小于0.01m,相对误差应小于0.2%。

5. 特设量水设备量水

灌区量水常用的特设量水仪器设备有矩形量水堰、三角形量水堰、梯形堰、复式量水堰、巴歇尔量水槽、长喉槽、无喉段量水槽、各种量水槛、闸前套管式量水建筑物、农用水分流计、文丘里量水计、孔板、管嘴等。

特设量水设备的定义,一般认为它是具有单一水头流量关系的专供量水的特设建筑物和设备,其水流条件主要受到建筑物尺寸和上下游水流特性的影响。完整的量水设备通常

由四部分组成，即上游收缩段、量水建筑物、下游扩散段及观测设备，这四个部分都会影响流量测量的总精度。

一般在没有水工建筑物或现有水工建筑物不能用以量水时，或是要求的量水精度超过水工建筑物量水能达到的精度时，可用特设量水设备。当渠系上水工建筑物不能满足量水的需要，或为取得特定渠段、地段的量水资料，也可以利用特设量水设备进行量水。特设量水设备量水的成果比较精确，但要增加设备或加大水头损失。特设量水设备，可以就地施工，也可以预制成装配式构件；可做成固定式的，也可以做成活动式的。在选择特设量水设备时，应按以下原则进行考虑：

(1) 水头损失较小，并且不影响渠道水流的正常通过，有相当的过水能力。

(2) 操作、使用、计量、计算方便可行。

(3) 应有一定的过泥沙及漂浮物的能力。

(4) 上游应有一定长度的平直渠段，一般来说，明渠水流要求有 40 倍水力半径的平直上游段。

(5) 上游的泥沙淤积不超过一定范围，不可使流速水头过大而产生较大的水头测量误差。

(6) 出流水舌应该保持下缘通气良好，负压的出现会引入较大的误差。

在安装特设量水设备前，应先收集资料，包括渠道的比降、正常水位、加大水位及流量等，供选择量水设备时参考。通过量水设备量水，一般比较坚固、经济、量程大，比较适用于明渠量水。

6. 利用流速仪测流法量水

利用流速仪测流，就是通过量测标准渠道断面的水位及断面特征点的流速，推求过水断面面积及过水平均流速，再以此计算渠道过水流量及累计水量。流速仪包括有转子式流速仪，旋杯和旋桨流速仪，声波流速仪及电磁式流速仪等，其测量结果比较精确，但测流及计算费时较多，且设备费用高，多在无水工建筑物及特设量水设备可利用的情况下使用。利用流速仪还可校正其他测流水工建筑物的系数，测定量水设备的过水能力。

利用流速仪测流时，要求测流渠段平直，测流断面渠床比较规则完整，无显著变形现象；水流均匀平稳，无旋涡及回流现象；渠段内无阻碍水流的杂草、杂物及建筑物，测流渠段长约 50~100m，设两个辅助断面及一个测流断面，辅助断面设在渠段两端，测流断面设在上、下两辅助断面之间；对测流断面应进行断面测量。

7. 利用浮标测流法量水

利用浮标测流是一种简单易行的测流方法。测流时先选择测流渠段及测流断面，然后施测流速，最后计算流量。该测流方法，经济简单，容易实施，但精度低，成果比较粗糙，一般在缺乏水工建筑物、特设量水设备及要求量水精度不高的情况下采用。

8. 利用水尺测流法量水

利用水尺测流，应选择（或专门修建）一段断面比较稳定均直、没有回流影响的顺直渠段，在渠道内设立一水位尺，利用流速仪测定不同水位时的相应流量，绘制水位流量关系曲线。测流时，只要根据渠中水位测出水尺读数，便可从水位流量关系曲线中直接查得相应的流量。在没有条件利用水工建筑物、特设量水设备和仪器测流的地区，可以直接利

用在渠道内设置的水尺测流,也可以安设经过测量换算制成的流量尺,直接观读流量。

此法虽然简单,易掌握,但要求所选点处的水流条件能够长期维持稳定。而且通常要求所选点处的渠段断面较为稳定,渠道有较长的平直上游段。另外,对于渠中水流还要求均匀、恒定并且无回流的影响。通常,为满足以上条件,将渠道的测流段加以人工衬砌。

对于此种测流方式,一定要定期对水头—流量关系曲线进行重新测定与校核。渠道本身因为水流冲刷作用、泥沙淤积以及渠道演变、生物作用所产生的影响,几乎不可能长期维持相同的情况,应该考虑是否因局部漏水改变水头—流量关系,并对渠道进行清草、清淤。此方法对于已有资料比较成熟的水工建筑物同样适用。

测流时,测流渠段的水流应不受下游节制闸或壅水建筑物回水的影响,以免影响量水精度。利用水尺测流,方法简便易行,设备费用低,且容易为群众所掌握,但精确度稍差。这种方法对于含沙量大、经常有落淤现象的渠道不宜采用。

1.1.4 量水站网的设置

要切实做到科学量水、配水、按方量计征水费,首先要在灌区全渠系建立必须的测水站网,进行全面和局部的用水计量工作。测水站网按其所在位置和功能的不同,可分为基本测站和辅助测站,一般在水源、干、支、斗、农渠设置测站(或测点),便于引水、配水和分水。辅助测站包括平衡测站或专用测站。根据量水的目的和作用不同,灌区量水站规划一般考虑以下几方面。

1. 基本测站

(1) 水源测站。

其任务是观测水源水位、流量、含沙量变化情况;分析它们与渠首引入流量之间的关系;降雨与河道径流的关系。凡是在河道上直接取水的灌区,水源测站应该布设在引水口上游约20~100m的平直河段上,水源测站的位置应以不受闸门启闭和拦水建筑物壅水的影响为原则。若从山塘和水库取水,应在水库上游河段加设测站。

(2) 引水渠(如总干渠、干渠)渠首测站。

其任务是观测从水源引入的流量和水位,分析引水口水位、引水流量的变化关系和引水渠水位—流量关系,指导配水工作。测站布设在引水渠进水口以下约50~100m范围内的水流平稳渠段处。亦可利用进水建筑物量水。

(3) 配水渠渠首(如支渠、斗渠)测站。

其任务是观测从上一级渠道配得的水量及渠道的输水损失。测站布设在配水闸以下30~80m范围内的水流平稳渠段处。亦可利用配水闸量水。

(4) 分水点(如斗渠、农渠)测站。

其任务是观测从配水渠分得的水量及渠道的输水损失。测站布设在分水渠渠首以下10~30m范围内的水流平稳渠段处。亦可利用进水建筑物量水。

2. 辅助测站

(1) 平衡测站。

其任务是观测水源下泄水量及灌区的退泄和排出水量,为灌区水量平衡的分析计算提

供数据。平衡测站应分别布设在渠首引水口下游河段，各级灌溉渠首的末端及排水渠道枢纽上。

(2) 专用测站。

这是为观测、收集专门资料（如渠道的输水损失、糙率系数、流速、流量与冲淤关系等）而设置的。测站布设位置根据实际需要选定。

3. 布设测站的步骤和要求

(1) 根据任务和要求，在灌区、渠系平面图上全面规划、统一布设。

(2) 实地勘察，按规定确定测站位置。

(3) 设立标志，施测断面，鉴别建筑物类型，或安设量水设备。

(4) 测站布设完成后，将测站类别、位置、使用方法等编表成册，并分别标示在渠系平面图上，以备查用。

此外，测站的布设应以经济适用为原则，尽量使一个测站能兼作其他测站的用途。

1.1.5 灌区量水规划的一般原则

灌区量水规划一般应遵循以下原则：

(1) 布设原则：充分利用现有建筑物量水，并视实际需求与可能，逐步安装特设量水设备。

(2) 设置顺序：一般应从源头开始，先上后下，先干支渠后斗农渠，逐级延伸；优先保证用水单元分界点的计量和满足特定目的及需求；

(3) 方法选择：水源及引水渠宜采用水工建筑物量水；配水渠（支、斗）、分水点（斗、农）宜采用特设量水设备量水。

(4) 单元划分：条件有限时，宜适当放大用水单元，单元内部分摊；条件成熟后，缩小计量单元。

(5) 精度要求：计量的精确度不应片面要求过高。一般仪表量水误差不超过 5%；特设量水设备不超过 8%；水工建筑物量水不超过 10%。

1.1.6 灌区测流技术的发展、现状和趋势

1. 国外渠道量水研究发展及现状

20 世纪初，随着社会经济水平和科学技术的发展，国外专家和学者开始了进行灌区量水技术和设备研究。1915 年文丘里量水槽首先问世 (Cone 1917)，1922 年美国人 Ralph Parshall 对文丘里槽进行了全面改进，研制出了一直沿用至今的巴歇尔量水槽。Parshall 先后用了数十年时间对量水槽进行了大量的研究工作 (Parshall and Rowber 1921; Parshall 1926, 1936, 1941, 1950)，并最终将其应用到农业领域。随之，在工业和市政领域也快速得到应用，并成为世界上至今仍被广为应用的量水设备之一。巴歇尔量水槽喉道较短，水头损失及壅水高度均较小。在自由流条件下，其量水精度较高，另外，由于其具有不易淤积的特点，在含沙量较大或沉降较为严重的渠道中仍然适用。在淹没出流情况

下,该量水槽流量计算比较复杂。巴歇尔量水槽由于结构比较复杂,且缺乏灵活性,只能选择与灌区要求最为接近的标准型号进行定型,所以施工难度比较大。

1967年,Skogerboe在巴歇尔量水槽的基础上,改进研制出了矩形无喉道量水槽(Skoogerboe et al. 1967a, 1967b, 1972)。矩形无喉道量水槽槽底水平,上游进口段以1:3的折线收缩,下游出口段以1:6的折线扩散,进口和出口的宽度相等。在距进口和出口段各为1/9槽长的地方设置水尺,观测量水槽上下游水头。矩形无喉道量水槽结构较为简单,经济实用,易于施工,且同巴歇尔量水槽一样具有不易淤积的特点,在渠水自由出流或者淹没出流时,该量水槽测流精度均较好。但该量水槽的进口尺寸选择对量水精度有影响,而且在淹没度过大或壅水较为严重的情况下并不适用(Ramamurthy et al. 1985, 1988)。此外,矩形无喉道量水槽在其水头观测位置,渠水容易产生流线与边壁分离的现象,水力特性复杂,量测难度较大,同时,在算流量之前,必须对矩形无喉槽进行率定,才能确定其流量公式中各指数和系数。

根据临界流原理,Ackers提出了长喉道量水槽的原型,后Bos等(1981)、Clemmens等(1984, 1987)对长喉道量水槽流量系数、水头损失、淹没度计算等方面进行了深入研究。长喉道量水槽是一种改进型的宽顶堰,由上游收缩段、喉道段以及下游扩散段组成。该量水槽最大的优点就是喉道断面可根据渠道流量的变化幅度以及其他水力条件而采用矩形、梯形、三角形、U形等任意曲线形状,所以对灌区的适应性很强。而且,长喉道量水槽结构简单、成本较低、水头损失较小、临界淹没度和测流精度均比较高。经过多年的研究与改进,该种量水槽已经有了较为完善和成熟的设计和计算方法,因而在国外灌区得到了广泛推荐和大面积推广。但是,该种量水槽由于其狭长的喉道和对渠底抬高形成较长的底坎,并不适合在含沙量较高的渠道中应用。

1993年,Samani. Z和Magallanez. H提出了一种用于梯形渠道量水的简易量水槽—圆柱体量水槽(Samani. Z et al. 1991; Samani. Z and Magallanez. H. 1993),是在渠道轴向的中心位置设置一根圆柱或者圆筒,从而使渠道过水断面变窄并达到临界流状态,最终测算出渠道流量。该种量水槽的优点是不需要改变原有渠道断面,并可以根据灌区量水需要做成固定式或移动式,在断面对称的矩形、梯形、U形等渠道上均可以使用。但该量水设备在灌区应用受杂草生长的影响,而且使用移动式圆柱量水槽还会干扰水流,使水流条件在放置设备前后不同,导致量测流量小于渠道实际通过流量。2000年,Samani. Z. 和Magallanez. H. 提出了半圆柱量水槽,即在渠道两侧修筑直径为 d 的半圆柱体,形成侧收缩,使过流达到临界流状态而具备有稳定的水位流量关系,最终计算出过流流量。与其他量水槽相比,该种量水槽流线形的内壁对过流没有显著影响。而且,量水槽结构简单,设计与施工十分方便,非常适合在已建成的小型渠道上使用。另外,半圆柱量水槽流量公式简明实用,淹没度与量水精度均较高,满足灌区量水要求。

2. 国内渠道量水研究发展及现状

我国自20世纪50年代开始了灌区量水技术的研究与应用,20世纪70年代,灌区量水工作取得了较大的进步。与早期灌区所用较为单调的量水设备相比,现在的量水设备无论在种类上还是在规模上都得到了很大发展。1985年7月,国务院发布了《水利工程水费核订、计收和管理办法》后,发展灌区量水技术的工作日益得到重视。1987年国际灌排

委员会把“水量量测与调节”这一课题纳入其工作计划之中,其后由于单片机及计算机的普及和推广,一大批用于灌区自动化量水的观测仪表相继问世。20世纪90年代以后灌区用水进行计量的呼声越来越高,随后,国家将“灌区量水新技术”作为“九五”攻关内容之一。这促进了量水技术的进展,涌现了不少的新型技术及设备。与此同时,我们不断地向国外学习,也引进了一批先进的设备、技术。2002年颁布的新“水法”中又明确规定用水应当计量,并应按照批准的用水计划用水,实行计量收费。经过50多年的发展,我国灌区量水方法在形式、适用性、精度等方面得到逐步提高,目前使用的量水设备达100余种。其中最为常用的就是各种量水槽及量水堰。同时,对江、河及大型渠道,流速仪量水得到广泛的使用。但由于我国灌区众多,工程技术和设备与灌区实际需求仍有较大的差距,突出表现在对利用水建筑物量水的研究不够,量水设施消耗的水头较大,数据存储记录传输手段落后等。同时,由于基础设施建设和资金投入等方面的限制,到目前为止,我国除设有研究项目的灌区外,绝大多数灌区只在骨干渠道上有一些简便的量水设施,水量计量仍采用传统的人工模式,精度低、设施不配套。

U形渠道是20世纪70年代我国首创的渠道断面形式,是针对我国人口众多、水资源缺乏、耕地资源有限及河道多泥沙等特点提出来的。U形渠道结构简单、占地面积较少,具有接近水力最佳断面、过流能力大、输沙能力强、抗外力性能好等诸多优点,因而在我国灌区得到了大范围的推广与应用,目前国内大中型灌区斗渠以下的配水渠道采用的基本都是U形渠道。对U形渠道量水问题,国际上研究较少,国内学者对灌区U形渠道量水问题进行了大量研究。

1987年,西北农业大学研制出了平底抛物线形量水槽。该量水槽是在抛物线形薄壁堰的基础上增加了两个扭面组成。抛物线形量水槽外形呈流线形,可与U形渠道平顺连接,而且,其具有喉槽长度短、水头损失与壅水高度小、过流能力强、测流精度高等多方面的优点,但该量水槽流量计算公式运用较为繁琐。

1989年,原水利部西北水利科学研究所提出了U形渠道长喉槽量水槽,试验研究表明U形长喉道量水槽使用方便,量水精度高,误差小于4%且施工简单。1990年,对U形渠道圆形底长喉道量水槽进行了研究,探讨了其在非标准U形渠道的适用性,表明其可以用于各种标准和非标准U形渠道。

1989年,陕西省交口抽渭管理局提出了适用于U形渠道的三角剖面堰,并进行了实验率定。三角形剖面堰是国际标准介绍的一种适合较大流量的测流设施,它是针对梯形和矩形渠槽提出来的,堰的上游坡比为1:2,下游坡比为1:5,两个坡度相交形成一个三角形剖面,故称三角形剖面堰。它不需缩小渠道宽度,过流能力较大,且水流平顺;但由于要抬高堰底,易淤积,结构也较为复杂,限制了它的应用。

1992年,原陕西机械学院提出了U形渠道直壁式量水槽,体形由喉道段、上下游过渡段和水尺组成。由于喉道段为两面垂直边墙与渠道断面直接相交,故称直壁式。过渡段为椭圆曲线。喉道底部又分为两种形式,即弓形底和三角底。前者底部施工较简单,后者提高了小流量的测量精度。U形渠道直壁式量水槽的优点是施工简单,测流精度高,测流范围大,不用改变原渠道比降,喉道和过渡段均为平面连接。

1994年,西北农业大学王智等提出了新型平底抛物线形无喉段量水槽,并进行了大

量试验研究。与传统文丘利槽相比,它具有显著优点:过流能力强,低水位测流精度高;方便泥沙及漂浮物通过;结构简单,呈良好流线形,工程量小;具有较高的临界淹没度($S>0.85$)和可变的喉口断面收缩比($\epsilon=0.2\sim0.7$)。

以上U形渠道直壁槽式量水堰、U形(圆底形)喉道测流槽和U形渠道平底抛物线型量水槽,均属固定式,且槽身长,造价高。为了觅求一种体积小,重量轻,携带方便,制作简单,美观实用,过流能力大,测流断面水流平稳,不易淤积的测流设备。1995年,西安理工大学提出了U形渠道便携式测流槽,由两端过渡段和短喉道段构成。短喉道段的上部为矩形,下部为三角形底,夹角为 120° 。该测流槽体积较小、制作简单,适用于渠道直径 $D\leq 60\text{cm}$ 的小型U形渠道,但仍存在着重量较大、移动测流时不便携带的缺点。

2005年,西北农林科技大学提出了一种新的量水设施,机翼形量水槽。该量水槽由机翼形喉口、上下游过渡段和上游水尺组成,其结构简单,有良好的流体力学特征,具有临界淹没度高、不淤积、壅水高度小、测流误差小、施工简便、造价低廉,水流经过时水头损失小等特点。西北农林科技大学还提出堰板式量水槽,其过水断面为抛物线形,使用时只需往渠道预留的缝隙中一插即可,非常方便,但其精度尚需进一步研究。

3. 灌区量水新形势

随着水资源的紧缺,灌区量水任务更加艰巨,灌区量水技术发展趋势如下。

(1) 灌区量水设施向低水头损失,低造价方向发展。现有的量水设备大多数是通过加大水头损失来提高量测精度,对于地形平坦的平原区,如何维持有效水头,扩大自流灌溉面积,减少由于量水而引起的水头损失,将是人们在研制和开发量水设备时必须关注的问题。加强斗农渠的量水工作,斗农渠量水面广量大,其量水设施的价格要符合老百姓的承受能力,在当前农村经济欠发达的情况下,造价低廉,精度符合要求的量水设施必将是未来一段时间的主要发展方向。

(2) 灌区量水技术向标准化、装配式、便携化方向发展。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,灌溉用水条件将趋于一致,田间配水渠道也将趋于标准化。再者,田间量水设备数量庞大,由于施工队伍的技术水平和野外条件的限制,现场浇筑难以保证尺寸规范,材料和用工消耗也很高,不利于田间量水设备的正常运行。因此发展装配式的量水设备,使用便携式仪表进行测量,是灌区田间量水技术发展的必然趋势。

(3) 灌区量水向信息化、自动化方向发展。随着我国灌区体制改革的普遍推行和农业现代化水平的提高,自动化测量和调控已成为量水发展的趋势。计算机网络技术的发展“3S”技术的不断完善,使得数据传输更加便捷,可靠性大大提高,也为灌区量水信息化、自动化提供了条件。对于干、支渠量水,可考虑结合分水闸、节制闸的改建,采用性能优越的水位传感器和数据采集、处理系统,形成技术上较先进的自动量测系统。对于有条件的灌区,还可以配置合适的数据传输系统,实现整个灌区输水系统的自动量测和控制。随着网络、自控、多媒体等技术的进一步发展,灌区量水最终将实现用水管理的信息化、自动化和智能化。

加大灌区量水设施的研究和推广应用,是我国节水农业的一项重要内容。水利部在1999年5月下发的《关于全面加强节约用水的指导意见》,明确要求逐步完善计量设施,