



灌区农业用水量控 一体化技术及管理模式

张晴雯 晏清洪 展晓莹 等 编著

非外借



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



灌区农业用水量控 一体化技术及管理模式

张晴雯 晏清洪 展晓莹 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书在分析了我国灌区农业用水计量管理现状,以及发达国家农业用水先进经验的基础上,明确了灌区农业用水的计量监测指标,构建了农业用水效率评价体系,研发了灌区用水计量监控一体化关键技术,建立了农业用水的管理制度体系。本书还分别列举了渠灌区与井灌区两种用水计量监控一体化管理模式下的典型案例。本书可供农业、水利部门的研究人员及高等院校相关师生等参考。

图书在版编目(CIP)数据

灌区农业用水量控一体化技术及管理模式 / 张晴雯
等编著. — 北京:中国水利水电出版社, 2020. 11
ISBN 978-7-5170-9177-6

I. ①灌… II. ①张… III. ①农业灌溉—用水管理—
研究 IV. ①S275

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第228615号

书 名	灌区农业用水量控一体化技术及管理模式 GUANQU NONGYE YONGSHUI LIANGKONG YITIHUA JISHU JI GUANLI MOSHI
作 者	张晴雯 晏清洪 展晓莹 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 (营销中心)
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	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.25印张 206千字
版 次	2020年11月第1版 2020年11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,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《灌区农业用水量控一体化技术及管理模式》

编 委 会

主 编：张晴雯 晏清洪

副主编：展晓莹 王俊杰

编 委：朱 洁 董月群 刘芳芳 张彦群 任贺靖
吴亚丽 肖美佳 殷 哲 徐景东 郭洪亮
王庆梅 李唐友 莫 彦 冯云强 冷启兴
陈位政 闫 鹏 宋庆波 罗 强 张 杰
石慧娟

前言

水资源是基础性的自然资源和重要的战略资源。我国是一个水资源严重短缺的国家，水资源供需矛盾突出仍然是可持续发展的主要瓶颈。农业是用水大户，近年来农业用水量约占经济社会用水总量的62%，部分地区高达90%以上，农业用水效率不高，节水潜力很大。

近年来，党中央、国务院高度重视农业用水管理工作，农业用水管理是我国实施最严格水资源管理制度的重要内容。农业用水计量监控工作是实现农业用水有效监管的基础，可为农业用水实行最严格水资源管理提供基础数据和技术支持。农业用水计量监控设施不完善、农业用水计量监控技术落后，对农业用水进行有效管理就缺少最基本的支撑。目前我国普遍缺乏支撑农业用水管理的基础设施条件和现代计量监控技术，研究适应新形势、新需求的农业用水管理的农业用水计量监控技术是非常有必要的。农业水资源计量监控一体化技术是对传感器技术、计算机技术、自动控制技术、网络传输技术等现代信息技术的集成，不仅提供了准确、及时、稳定的用水计量监测数据，而且把农业用水计量监测数据直接应用于农业用水管理过程参数的控制，避免了中间数据传递环节的失真和滞后，以最短路径形成控制闭环，从而真正发挥了计量在农业用水管理中的作用。农业水资源计量监控一体化技术可为实现农业用水总量控制，实施农业用水定额管理，明晰农业水权，推进农业水价综合改革提供基础支撑。

本书是在国家科技重大专项水体污染与治理重大专项海河下游多水源灌排交互条件下农业排水污染控制技术集成与流域示范课题（2015ZX07203-007）、中国农业科学院“农业清洁流域”科技创新工程，水资源管理、节约与保护项目“基于计量监控一体化技术的农业用水管理制度体系建设”，中央

分成水资源费项目“农业计划用水方案编制与管理制度研究”等课题的支持下完成的。本书梳理了国内外农业用水计量监控和农业用水管理现状与问题，构建了灌区农业用水计量的监测体系与农业用水效率的评价体系，研发了灌区水源与输配水计量监控一体化的关键技术，在分析了计量监控一体化技术对农业用水管理的基础上提出了灌区农业用水管理制度体系。并针对海河下游、宁蒙灌区农田在用水计量监控与管理方面存在的具体问题，分别提出用水计量监控一体化的管理模式。

基于用水计量监控一体化技术的农业水资源管理制度体系建设是加强和完善农业用水管理的一项新任务和新挑战，开展相关课题研究具有一定的难度。受研究水平和时间所限，研究成果还有许多不足之处，敬请批评指正。

作者

2020年8月

目录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 我国农业用水现状	1
1.2 灌区用水计量监测现状	2
1.2.1 大型灌区用水计量监控现状	2
1.2.2 中型灌区用水计量监控现状	3
1.2.3 小型灌区用水计量监控现状	6
1.2.4 农业用水计量监控技术梳理	6
1.2.5 信息化建设	8
1.3 灌区用水效率评价现状	9
1.4 灌区用水管理现状	10
1.4.1 灌区农业用水定额管理现状	10
1.4.2 灌区用水管理模式及用水计划编制	12
1.4.3 灌区量水技术与设备应用现状	14
1.4.4 灌区信息化建设情况分析	18
1.5 发达国家农业用水的经验借鉴	19
1.5.1 美国	19
1.5.2 法国	20
1.5.3 日本	22
1.5.4 墨西哥	23
1.5.5 以色列	24
1.5.6 澳大利亚	26
1.6 存在问题及建议	27
1.6.1 我国农业用水计量监控方面存在问题	27
1.6.2 我国用水管理方面存在问题	29
1.6.3 我国农业用水管理发展对策建议	31

第 2 章 灌区农业用水计量监测体系	34
2.1 农业取用水特点分析	34
2.2 农业用水效率影响因素分析	36
2.3 农业用水计量监测指标确定	36
2.3.1 监测内容	36
2.3.2 监测方法	37
2.3.3 灌区用水效率测算	38
2.4 农业用水计量监测技术	38
2.4.1 按自动化程度划分的灌区农业用水计量监测技术模式	38
2.4.2 按取水口类型划分的灌区用水计量监测技术模式	40
第 3 章 灌区农业用水效率评价	42
3.1 农业用水效率评价指标体系构建	42
3.1.1 农业用水效率评价指标选取原则与方法	42
3.1.2 指标体系结构	43
3.1.3 指标体系构建	44
3.1.4 指标筛选方法	45
3.1.5 农业用水效率评价指标选定	49
3.2 农业用水效率评价方法研究	50
3.2.1 常见用水效率评价方法	50
3.2.2 用水效率评价方法对比分析	55
3.2.3 典型农业用水效率评价	56
3.3 评价信息反馈机制	58
第 4 章 灌区用水计量监控一体化关键技术	59
4.1 水源计量监控一体化技术	59
4.1.1 智能装配式井筒泵站	59
4.1.2 井电双控智能取水控制系统	65
4.2 输配水计量监控一体化技术	68
4.2.1 渠道量测水系统	68
4.2.2 一体化闸门测控系统	79
第 5 章 灌区农业用水管理制度体系建设	90
5.1 计量监控一体化技术对农业用水管理的影响	90
5.2 构建现代农业水权制度	90

5.3	建立健全农业水价制度	92
5.3.1	分级制定农业水价	92
5.3.2	探索实行分类水价	92
5.3.3	逐步推行分档水价	92
5.4	农业计划用水管理制度	92
5.4.1	农业计划用水方案的申报和核准	93
5.4.2	农业计划用水监督考核制度	95
5.5	农业用水奖惩制度	97
5.5.1	节水评分考核办法	97
5.5.2	奖惩标准	97
5.5.3	利益补偿机制	99
第6章	案例分析：渠灌区用水计量监控一体化管理模式	101
6.1	渠灌区计量监控一体化技术	101
6.1.1	信息采集技术	101
6.1.2	灌区网络组网技术	114
6.1.3	移动信息管理平台	117
6.1.4	太阳能远程闸门控制系统	120
6.2	引黄渠灌区计量监控一体化技术模式研究	125
6.2.1	潘庄引黄灌区概况	125
6.2.2	潘庄引黄灌区工程现状	126
6.3	水稻田灌区计量监控一体化技术模式研究	132
6.3.1	水稻田量控一体化灌溉系统	132
6.3.2	水稻田量控一体化应用试验研究	136
6.3.3	水稻田量控一体化应用模式研究	141
第7章	案例分析：井灌区用水计量监控一体化管理模式	146
7.1	井灌区用水计量监控和管理需求分析	146
7.2	井灌区计量监控一体化的农业用水管理系统	149
7.2.1	系统说明	150
7.2.2	系统参数设置	150
7.2.3	数据通信	150
7.2.4	数据库管理	152
7.2.5	信息查询	154

7.2.6	决策管理	154
7.2.7	模型管理	156
7.2.8	工程控制	156
7.3	山东省平原井灌区计量监控一体化管理模式	159
7.3.1	山东省平原井灌区现状	159
7.3.2	系统工作原理	160
7.3.3	应用情况	160
7.3.4	适用性分析	161
7.3.5	前景展望	162
第8章	展望	163
8.1	农业用水计量监控方面	163
8.1.1	加强农业用水计量政策宣传	163
8.1.2	分类推进量测水设施建设	163
8.1.3	设立量测水设施建设专项资金	163
8.1.4	研究推广经济实用的量水设施	164
8.2	农业用水管理方面	164
	参考文献	166

第1章 >>

绪 论

1.1 我国农业用水现状

水资源是基础性的自然资源和重要的战略资源。我国是一个水资源严重短缺的国家，水资源供需矛盾突出仍然是可持续发展的主要瓶颈。农业是我国国民经济的基础，而水利是农业的命脉。与工业、生活用水相比，农业仍是我国第一用水大户。根据《2019年中国水资源公报》，2019年全国总用水量6021.2亿 m^3 ，其中农业用水量为3682.3亿 m^3 ，占全国经济社会用水总量的61.2%，部分地区高达90%以上，见图1-1。近年来，由于现代化和城镇化进程不断加快，工业、生活和生态用水需求不断增加，农业用水比重明显下降，尤其是在经济发达但水资源紧张地区，农业用水被挤占现象越来越严重，行业争水问题非常突出。

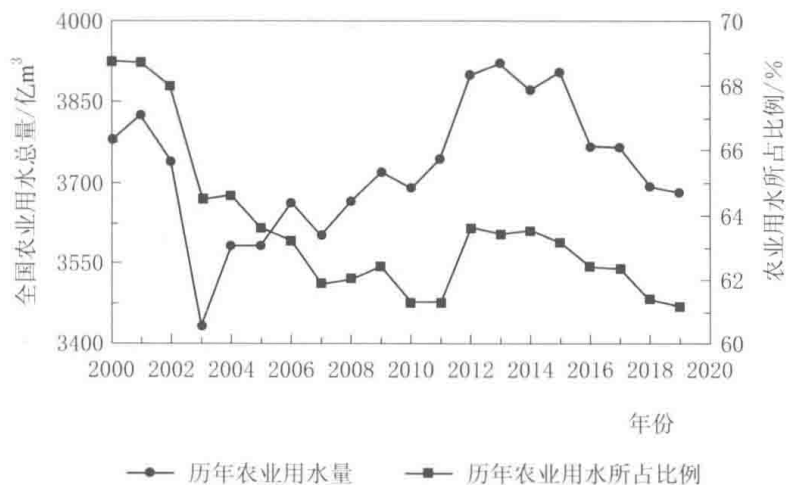


图1-1 我国历年农业用水量变化和农业用水所占比重变化图

就农业用水本身而言，水资源供需矛盾也非常突出。农业用水量的90%用于种植业灌溉，其余用于林业、牧业、渔业以及农村饮水等。

中华人民共和国成立之初，我国的农田水利设施十分薄弱，仅有22座大中型灌溉水库，2.4亿亩的灌溉面积根本无法抵御频发的自然灾害，粮食安全得不到有力保障。经过多年来的发展，截至2018年年底，全国灌溉面积7574.2万 hm^2 ，其中耕地灌溉面积6827.2万 hm^2 ，占全国耕地面积的50.7%。我国已建成设计灌溉面积大于2000亩及以上的灌区共22873处，耕地灌溉面积为3775.2万 hm^2 。其中50万亩以上灌区为175处，耕地灌溉面积为1239.9万 hm^2 ；30万~50万亩大型灌区286处，耕地灌溉面积540.0万 hm^2 。我国仍有大量耕地为雨养农业，农业灌溉用水缺口巨大。与此同时，我国农田灌溉水有效利用系数达0.55，农业用水效率仍然较低，浪费问题普遍存在，造成水资源供需矛盾进一步加剧。因此，如何有效开展灌区农业用水计量监控管理工作，从而促进灌区农业用水效率提高，是目前水资源管理工作的重要研究内容。

1.2 灌区用水计量监测现状

通过实地调研结合统计资料查阅，目前全国大中型灌区（含捆绑大型灌区）农业灌溉用水最主要的量测方式为人工观测，自动化观测程度较低，人工观测设施所占比例达到90%以上。渠首自动化观测程度最高，所占比例在20%左右。

1.2.1 大型灌区用水计量监控现状

1. 水设施数量

现有量水设施总数约28万处，其中人工观测约26万处，占比94%，自动观测约2万处，占比6%。渠首自动化观测程度最高，渠首现有1347处量水设施，其中392处自动观测，占29%。全国大型灌区量水设施处数见表1-1。落实量水设施管护经费6亿元。

表1-1 全国大型灌区量水设施处数

项目	总数量/处	人工观测		自动观测		
		数量/处	占比/%	数量/处	占比/%	
合计	279536	262791	94	16745	6	
渠首	1347	955	71	392	29	
渠系	小计	142226	130576	92	11650	8
	干渠	18868	16586	88	2282	12
	支渠	39426	35355	90	4071	10
	斗渠	83932	78635	94	5297	6
田间	135963	131260	97	703	3	

2. 主要量水方法

全国大型灌区主要量水方法有：流速仪法、标准断面法、建筑物法、堰槽法、仪表法、其他方法。其他方法主要有：用电推算法、浮标法、水尺法、电磁明渠流量计法、利用上下游水位计闸门开度测算法、计算法、涵洞量水法、机井水表法等。渠首测量方法以流速仪法、标准断面法、建筑物法为主，分别占有所有方法的 27%、28%、22%。渠系量水方法以流速仪法、标准断面法、建筑物法为主，占比均在 20% 左右。田间以堰槽、其他方法为主，分别占 25%、26%。全国大型灌区量水方法情况见表 1-2。

表 1-2 全国大型灌区量水方法

项目	流速仪法		标准断面法		建筑物法		堰槽法		仪表法		其他方法		
	数量/处	占比/%	数量/处	占比/%	数量/处	占比/%	数量/处	占比/%	数量/处	占比/%	数量/处	占比/%	
合计	43926	16	38431	14	53950	19	61146	22	26435	9	55828	20	
渠首	369	27	377	28	298	22	69	5	160	12	88	7	
渠系	小计	31885	22	25367	18	32163	23	26893	19	5932	4	19774	14
	干渠	3751	20	3927	21	4975	26	2127	11	1166	6	2842	15
	支渠	12434	32	6508	17	11308	29	3871	10	1946	5	3315	8
	斗渠	15700	19	14932	18	15880	19	20895	25	2820	3	13617	16
田间	11672	9	12687	9	21489	16	34184	25	20343	15	35966	26	

1.2.2 中型灌区用水计量监控现状

1. 量水设施数量

目前，全国中型灌区农业灌溉用水最主要的量测方式为人工观测，自动化观测程度较低。现有量水设施总数约 11 万处，其中人工观测约 10 万处，占比 91%，自动观测约 1 万处，占比 9%。渠首自动化观测程度最高，渠首现有 4318 处量水设施，其中 703 处自动观测，占 16%。全国中型灌区量水设施处数见表 1-3。

表 1-3 全国中型灌区量水设施处数

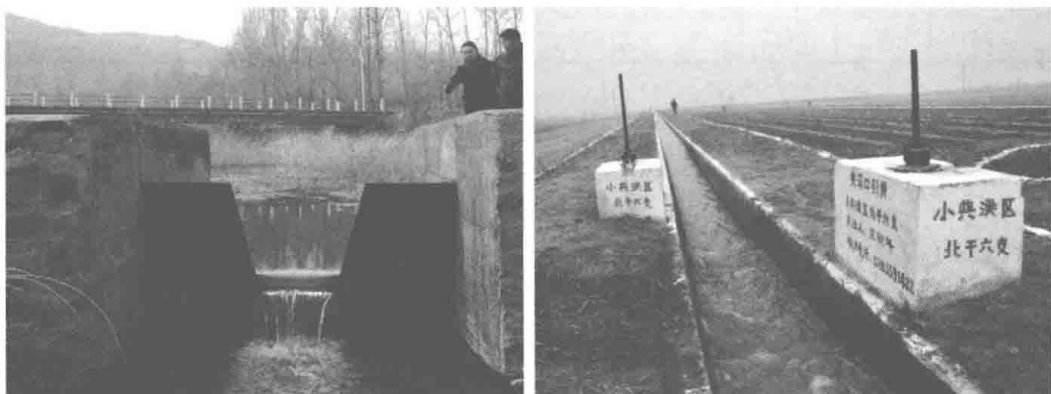
项目	总数量/处	人工观测		自动观测		
		数量/处	占比/%	数量/处	占比/%	
合计	108950	99154	91	9796	9	
渠首	4318	3615	84	703	16	
渠系	小计	47907	43587	91	4320	9
	干渠	10911	10004	92	907	8
	支渠	15426	13853	90	1573	10
	斗渠	21569	19729	91	1840	9
田间	56725	51952	92	4774	8	

2. 主要量水方法

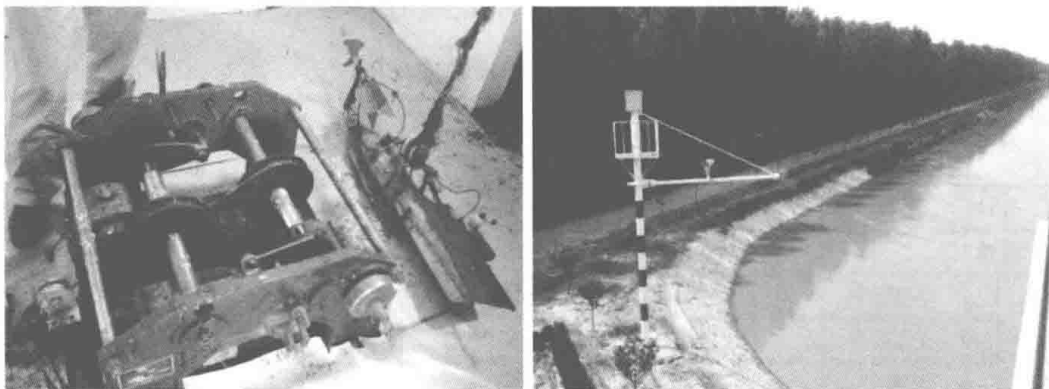
全国中型灌区主要量水方法有：流速仪法、标准断面法、建筑物法、堰槽法、仪表法、其他方法。其他方法主要有：用电推算法、浮标法、水尺法、电磁明渠流量计法、利用上下游水位计闸门开度测算法、计算法、涵洞量水法、机井水表法等。渠首量水方法以标准断面、建筑物为主，分别占有所有方法的25%、21%。渠系量水方法以标准断面、建筑物、堰槽为主，占比均在20%左右。田间以建筑物、仪表方法为主，分别占40%、42%，见图1-2。灌区设施设备见图1-3。全国中型灌区量水方法情况见表1-4。



(a) 利用水工建筑物法量水



(b) 利用堰槽量水



(c) 利用流速仪、超声波水位计量水

图1-2 灌区量水方法



(a) 泵站



(b) 水泵和引水渠



(c) 水渠



(d) 田间引水口



(e) 田间出水口



(f) U形田间水渠



(g) 室外智能机井灌溉装置



(h) 室外智能机井灌溉装置

图 1-3 灌区设施设备图

表 1-4 全国中型灌区量水方法

项目	流速仪法		标准断面法		建筑物法		堰槽法		仪表法		其他方法		
	数量 /处	占比 /%	数量 /处	占比 /%	数量 /处	占比 /%	数量 /处	占比 /%	数量 /处	占比 /%	数量 /处	占比 /%	
合计	8617	8	16531	15	35372	32	19703	18	32126	29	8813	8	
渠首	755	17	1075	25	903	21	500	12	662	15	469	11	
渠系	小计	6515	14	12362	26	11531	24	10102	21	7529	16	3034	6
	干渠	1745	16	2289	21	2847	26	2409	22	788	7	820	8
	支渠	2714	18	4203	27	3477	23	2971	19	2336	15	986	6
	斗渠	2055	10	5870	27	5208	24	4722	22	4405	20	1228	6
田间	1347	2	3093	5	22938	40	9101	16	23935	42	5310	9	

1.2.3 小型灌区用水计量监控现状

小型灌区调查范围包括地面灌溉和机电提水灌溉两部分内容。小型灌区已建量水设施总数为 68 万处，其中地面灌溉量水设施为 8 万处，机井计量设施为 60 万处。

根据上述资料可知，目前，我国农业用水计量监控基础设施建设落后。而用水量是合理调配、高效利用水资源的基础。为切实贯彻落实习近平总书记关于保障水安全的重要讲话和“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的治水思路，国家“十三五”规划纲要中强化水安全保障，明确提出“要加快完善水利基础设施网络，推进水资源科学开发、合理调配、节约使用、高效利用，全面提升水安全保障能力”。“十三五”水利发展规划中也高度重视大中型灌区用水计量工作，提出在“十三五”期间实现大型灌区和重点中型灌区农业灌溉用水计量率达到 70% 以上的目标。《国家水资源监控能力建设项目实施方案（2016—2018 年）》也把大中型灌区用水的在线监测能力建设列为重要内容，其中具体目标是 5 万亩以上灌区渠首取水全部实现在线监测。

1.2.4 农业用水计量监控技术梳理

灌区量水设备和量水技术是实现计划用水和控制灌水质量的基本措施，是实行按方收费、促进节约用水的必要工具和手段。量水虽然不是直接的节水措施，但它是灌区农业用水合理分配及采取高新节水措施的前提性工作，没有量水，就无法实现水资源的有偿使用，就无法衡量节水灌溉措施的成效。针对灌区不同的取水和输水方式，可选择的监测方式也有所不同。通常情况下，对于灌区渠首为渠道输水方式的应采用明渠（河道）型流量自动监测设备；对于管道输水方式的应采用管道型流量自动监测

设备；对于部分泵站提水工程，如果出水口管道埋入地下比较深，或难以安装管道流量自动监测设备，亦可以根据泵站机组特性曲线推算流量，此种情况下只要监测泵站机组的功率，通过泵站效率曲线就可推算提水流量，但此种方法取得的流量精度较低，仅适合在难以采用其他监测方式时使用。

1. 明渠流量自动监测设备

目前常用的明渠（河道）在线流量监测的方法主要有以下几种：

(1) 超声波时差法。超声波时差法是利用超声波换能器测量 2 个换能器之间超声波传播的历时差实时监测流体流速，进而计算明渠渠道的过水流量。

(2) H-ADCP 法。H-ADCP 是水平式声学多普勒流速剖面仪，是利用声学多普勒流速剖面仪测量水体中颗粒物的运动速度，以其代表流层的流速，进而推算得到断面流量。

(3) 水工建筑物测流法。水工建筑物测流法是利用河、渠、湖、库上已有的水工泄水建筑物，通过实测水头（水头差）、闸门开启高度等水力因素，经率定分析或利用经验公式确定流量或效率系数，用水力学公式计算流量的一种测流方法。

(4) 比降面积法。比降面积法是根据选定的比降观测渠段的断面平均面积和水面比降，以及根据渠段特征、渠道衬砌的糙率等因素，用水力学公式计算观测渠段瞬时流量的方法。

(5) 堰槽法。堰槽法是采用专门制造或现场制作的测流堰槽，根据过堰水流的水位，通过水力学公式计算出通过堰槽的流量。

可用于明渠（河道）在线流量监测的各类方法具体应用场景及比选情况如图 1-3 所示。根据各种明渠在线流量监测方法的比选可知，超声波时差法和 H-ADCP 法的测验精度相对较高，但前期投资和后期维护的费用相对较高；水工建筑物测流法、比降面积法和堰槽法的前期投资较小，后期维护方便，费用较低，但堰槽法的适用场景相对受限。

综合我国当前经济发展水平和农业灌区管理现状，对农业地表水源灌区渠首明渠方式的取水口计量设施进行方案设计时，在对取用水计量精度要求不是很高的情况下，建议对具备适用场景的灌区渠首计量尽量选用水工建筑物测流法或比降面积法。两种测流方法对项目投资要求较少，且配套设施简单，安装方便，后期运维费用较低，维护相对简单，对系统维护人员的技能要求相对较低，有利于灌区管理单位长久使用和运维。而且对于间歇性供水特征更加突出的北方灌区，需要在较长的非灌溉期将计量设施拆回保管，这两种方法由于传感器相对简单，易于管理单位的养护和拆装。当然，在有较好土建配套建设条件的地方，堰槽法测流可获得更高的测验精度。