

# 宁夏引黄灌区农业灌溉测控闸门 应用现状调查与评估

朱洁, 侯峥, 李金泽

(宁夏水利科学研究院, 宁夏 银川 750021)

**摘要:**测控设施作为灌区用水管理的重要工具、数字化灌区建设的基础硬件支撑,可有效帮助管理者准确掌握水源来水及用户实时用水量情况,也可为灌区水费收取、用水总量控制与定额管理提供有力保障。以宁夏引黄灌区测控闸门为例,系统分析其应用现状,重点从提高灌区管理水平、夯实用水确权成果、提高水费计收透明度等方面总结凝练了取得的主要成效,从设备硬件水平、规划设计、运行维护等方面提出了应用中存在的关键问题,并对今后测控设施选型设计提出了相关意见和建议。

**关键词:**引黄灌区;数字化灌区;测控闸门;选型设计

**中图分类号:**TV93

**文献标识码:**B

**DOI:**10.12396/znsd.230683

朱洁, 侯峥, 李金泽. 宁夏引黄灌区农业灌溉测控闸门应用现状调查与评估[J]. 中国农村水利水电, 2024(1): 56-61. DOI: 10.12396/znsd.230683.

ZHU J, HOU Z, LI J Z. Investigation and evaluation of the application status of agricultural irrigation monitoring and control gates in Ningxia Yellow Irrigation Area[J]. China Rural Water and Hydropower, 2024(1): 56-61. DOI: 10.12396/znsd.230683.

## Investigation and Evaluation of the Application Status of Agricultural Irrigation Monitoring and Control Gates in Ningxia Yellow Irrigation Area

ZHU Jie, HOU Zheng, LI Jin-ze

(Ningxia Research Institute of Water Resources, Yinchuan 750021, Ningxia, China)

**Abstract:** As an important tool for water management in irrigation areas and basic hardware support for digital irrigation area construction, measurement and control facilities can effectively help managers accurately grasp the water source and real-time water consumption of users, and can also provide a forceful guarantee for water fee collection, total water consumption control and quota management in irrigation areas. Taking the measurement and control gate in Ningxia Huanghuang irrigation area as an example, this paper systematically analyzes its application status, summarizes and condenses the main results from the aspects of improving the management level of irrigation area, consolidating the results of confirming practical water rights, and improving the transparency of water fee collection, puts forward the key problems in application from the aspects of equipment hardware level, planning and design, operation and maintenance, and it puts forward relevant opinions and suggestions on the selection and design of measurement and control facilities in the future.

**Key words:** Ningxia; yellow irrigation area; digital irrigation area; measurement and control gate; selection and design

收稿日期: 2023-05-04

接受日期: 2023-06-01

基金项目: 宁夏回族自治区自然科学基金(2022AAC03726); 自治区重点研发计划重大项目(2018BBF02022)。

作者简介: 朱洁(1991-), 工程师, 主要从事水利工程新材料、新技术等方面研究。E-mail: 546760280@qq.com。

## 0 引言

宁夏作为我国唯一全境属于黄河流域的省份,90%的水资源来自黄河,70%的耕地靠黄河水浇灌。受黄河水资源分配指标的限制,加之黄河流域水资源供需矛盾日趋突出,经济社会发展因水而受到严重制约。实行最严格的水资源管理制度,在取水总量指标下,居民生活用水以及工业发展、生态建设用水的刚性需求增长,只能通过农业节水挖潜解决。灌区农业用水量占自治区总用水量的84%左右,亩均用水量偏大,现状灌溉水利用系数0.561,与国内先进水平仍有较大差距。因此,灌区仍是我区农业节水的重要领域。

量测水作为灌区管理工作的重要组成部分,是灌区水资源优化配置、科学调度、计划用水、水费计费的重要依据,更是提升灌区管理水平的重要手段。多年来,灌区测控设施配套与调控手段相对落后,传统管理方式已难以满足灌区高质量发展需求。2020年,国家发展改革委、水利部发布《关于开展“十四五”大型灌区续建配套与现代化改造实施方案编制工作的通知》,进一步明确了完善渠首工程、开展骨干工程达标建设、完善计量监测设施、推进灌区标准化规范化管理等重点工作任务。因此,依靠科技创新,精准量水控水,提高灌溉水利用率,实现灌溉用水管理手段的现代化与信息化,做到适时、适量供水,是推动农业可持续健康发展的必经之路,也是破解宁夏经济社会发展用水瓶颈、缓解供用水矛盾的根本出路<sup>[1-5]</sup>。

2016年至今,宁夏结合现代化生态灌区改造、农业水价综合改革、用水确权等工作,利用自动化、信息化等先进技术,在农业灌溉测控设施的引进应用与推广方面进行了积极地探索<sup>[6-8]</sup>。测控设施的应用,有力助推了我区灌区管理体制机制的创新,但因宁夏引黄、扬黄灌区输配水运行工况差别较大,测流设施多样,在应用中也存在测流精度不一、数据传输不稳定、安装适宜性不匹配等问题。

鉴于此,本文在对灌区测控闸门应用调研的基础上,深入分析存在的主要问题及取得的成效,以期为灌区测控设施配套建设、充分发挥设备功能与优势提供参考借鉴。

## 1 测控闸门应用现状

宁夏量测技术发展大致经历了起步探索、发展和提高三个阶段,从干渠一级量水单元逐步向最适宜量水单元转变,由传统的人工量测技术逐步发展为智能高效的量测水技术。近年来,宁夏积极推进立体感知、智慧决策、自动控制、多维显示的现代化灌区建设,灌区用水计量设施配套建设得到了高度重视,超声波/雷达水位计、电磁流量计、雷达流量计、测控一体化闸门等先进测控设备已在灌区广泛应用。尤其在2018年,依托现代化生态灌区建设,在利通区、贺兰县、唐徕渠、固海扬水建设测控闸门1341处<sup>[9]</sup>。测控闸门的建设,创新了管理理念、建设模式,在提高了用水管理水平和灌溉效率的同时,也带动了国内外测控设施制造业的大发展。如澳大利亚潞碧垦公司在宁夏利通区投资建设国内第一家闸门生产企业,在降低生产成本的同时,一定程度上缩短了供货周期,国内多家测量设备生产企业借助测控设备大力引进应用的契机,实现了研发

能力、生产规模的大幅提升。

### 1.1 现场安装情况

据调研统计,截止2021年,全区共安装测控闸门近4000套,数量庞大,涉及生产厂家众多。灌区常见测控模式<sup>[10-12]</sup>主要有原位拆除重建测控一体化闸门模式、前控后测集成改造模式。不同类型测控闸门详见图1~3所示。

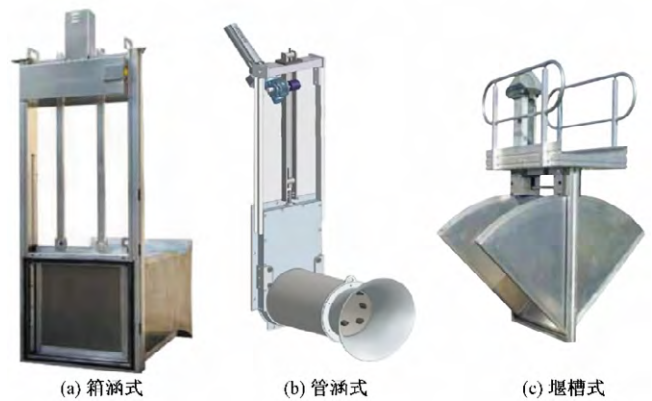


图1 测控一体化闸门示意图

Fig.1 Schematic diagram of integrated measurement and control gate

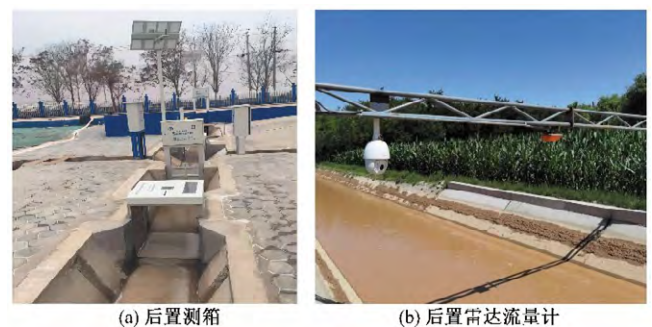


图2 前控后测集成改造模式

Fig.2 Integrated transformation mode of pre-control and post-test



图3 自动控制闸门(改造)

Fig.3 Automatic control gate (transformation)

(1)原位拆除重建测控一体化闸门模式:①箱涵式测控一体化闸门,即测箱与闸门门板、启闭机、传动机构及控制装置通过门框连接在一起安装;②堰槽式测控一体化闸,通过自动量测上下游水位,依据堰流原理,在自由流或者淹没流条件下,计算出过闸流量,主要用于节制闸;③管涵式测控一体化闸,根据具体应用场景,管涵式测控一体化闸门代替箱涵式测控一体化闸门。

(2)前控后测集成改造模式:①前闸后箱式,即启闭机、传动机构及控制装置与闸门门板通过门框连接在一起安装在进

水口,测箱安装在下游水流平稳位置;②前闸后槽(水位计/流量计)式测控闸门,即闸后顺直段利用原有无喉道量水槽、巴歇尔槽,或安装水位计、流量计等计量设施,进水口安装自动控制闸门或在原有闸门基础上加装电机。

测流方式主要以箱式超声波时差法为主,部分采用前后水

位法流量计,电磁流量计测箱等测流方式。干渠进水口以测控一体化闸板为主,测箱以800 mm×800 mm、1 000 mm×1 000 mm等型号居多。不同测控模式安装情况见表1、表2所示。田间进水口数量庞大,测控模式主要以前闸后箱式为主,测箱以600 mm×800 mm、800 mm×800 mm型号为主。

表1 自流灌区干渠进水口不同测控模式安装情况汇总

Tab.1 Summary of installation of different measurement and control modes of dry canal inlet in artesian irrigation area

测控模式	自动控制闸门	测控一体化模式				前控后测集成模式		
		箱涵式 测控闸门	管涵式 测控闸门	堰槽式 测控闸门	闸前闸后 水位	前闸 后箱	前闸后 水位计	前闸后 流量计
占比/%	6.71	80.05	1.96	1.64	0.16	7.93	0.41	1.14

表2 扬水灌区干渠进水口不同测控模式安装情况汇总

Tab.2 Summary of installation of different measurement and control modes of the main canal inlet in Yangshui irrigation area

测控模式	自动控制闸门	测控一体化模式				前控后测集成模式		
		箱涵式 测控闸门	管涵式 测控闸门	堰槽式 测控闸门	闸前闸后 水位	前闸 后箱	前闸后 水位计	前闸后 流量计
占比/%	1.92	89.66	-	1.15	-	2.68	0.38	4.21

## 1.2 测控闸门测量精度

测量精度作为衡量计量设备是否可行的主要技术指标之一,是体现用水效率的主要指标之一,在实际应用中也是供水用户最为关心的问题之一。宁夏安装应用测控一体化闸涉及多家生产厂家,多采用超声波时差法测量原理,但在灌区应用中各厂家现场流量测量精度相差较大。根据《灌溉渠道系统量水规范》(GB/T 21303-2017)《取水计量技术导则》(GB/T 28714-2012)相关规定,流速仪法的测量成果可作为率定或校核其他测流方法的标准<sup>[13-15]</sup>。因此,为准确判断灌区测控闸门测流精度,对2020年前干渠及支渠进水口安装的部分测控闸门进行野外试验,并根据不同流量级别,选用适宜量程范围的流速仪<sup>[16]</sup>。按照同一闸门在闸前水位或闸门开启度不同的工况条件下,根据测控一体化闸门测流数据与流速仪法测流数据偏差与绝对差值的范围,将测量精度分为T<sub>1</sub>~T<sub>4</sub>四个梯度,对部分测流相对偏差在±(5~20)%范围内,但绝对偏差值在0.02 m<sup>3</sup>/s之内的测控一体化闸门,因比测流量较小及系统偏差的因素,归类为T<sub>1</sub>层级,具体测试结果详见表3所示。

表3 现场测试不同型号测控一体化闸门测量结果汇总

Tab.3 Summary of measurement results of different types of integrated measurement and control gates in field testing

厂家	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>
	-5%≤δ≤5%	-5%<δ≤-10% 5%<δ≤10%	-10%<δ≤-20% 10%<δ≤20%	δ>±20%
A	185	23	9	23
B	12	22	23	32
C	25	9	14	15
D	18	12	36	60
E	0	0	3	12

试验设备覆盖灌区各厂家、不同规格型号,从现场测试数据分析来看,A厂家设备数据稳定性较好,T<sub>1</sub>层级设备占比77.08%,T<sub>2</sub>~T<sub>4</sub>层级设备占比22.92%,大部分设备测流数据与人工实测流量数据有显著相关性,B、C、D厂家设备T<sub>1</sub>层级设备占

比较低,E类T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>层级无满足要求设备,均为T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>层级,测量误差离散性最大。当测箱为下游渠道安装时,现场测试其测量精度相对较高,堰槽式测控一体化闸门在保证上下游水位差满足规范要求时,其测量精度高。因此,针对灌区不同工况条件,设备安装适宜性、数据精准性还需长期开展试验探索。

## 1.3 投资建设模式

多年来,国家和地方政府应用于灌区水利建设的资金有限,测控一体化闸门一次性投入较高,传统模式下单纯依靠国家和自治区政府拨款进行建设,不仅建设周期长,效益发挥慢,地方政府财政压力大,而且与国家当前大力提倡的在公共服务领域推广政府和社会资本合作模式的建设方式也存在差距。为加快水利现代化建设的速度与规模,按照中央提出的“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发力”的新时期治水思路和自治区《关于深化改革保障水安全的意见》的部署和“引金入宁”计划,自治区结合当前国家政策,转变思路、勇于创新,以建设节水型社会为目标,深化治水用水体制机制改革,积极探索构建“政府参与,市场主导”的多元化水利投融资体系,开展投融资体系顶层设计,通过国家投资建设水利投资基金,充分撬动社会资本,利用资产证券化等金融创新手段,运用各类金融工具组合应用于水利项目,实现水利项目能在多层次股权与债权资本市场上的多元化融资,同时鼓励企业采用PPP模式投入水利建设,解决水利投资来源单一和资金缺口问题,加快水利工程基础设施建设步伐,提高水利行业资金使用效率和管理服务水平。如利通区,分别与澳大利亚潞碧垦、大禹节水等5家企业签订PPP项目合作框架协议,积极引进社会资本,采取投、建、管、服一体化模式参与水利项目建设,包括测控闸门建设、信息化平台建设等。

## 1.4 运行管理模式

“专管与群管+基层水管组织”相结合的管理模式。目前,灌区管理实行“统一管理,分级负责”的原则,干渠及支干渠(含)以上供水管理由各管理处负责,小型水利工程(支渠及以

下)管理由各市水务局负责。针对测控一体化闸门建设,水利厅所属灌溉管理处按照水利厅下达的建设计划,自行建设与管理,供应商协助3~5年的运维,或采用EPC模式。各市县(区)水务部门按照市县(区)现代化灌区建设计划,自行建设与管理,供应商协助3~5年的运维。

专业化灌溉服务公司模式。随着灌区建设模式和多元化投融资方式的变化以及市场经济体制的不断健全和完善,水利管理体制与运行机制也在逐渐适应新形势的发展而发生变革。如成立专业化灌溉服务公司(SPV公司),此种模式一方面可降低组织成本和交易费用、有利于水利设施的建设与管护,另一方面又有利于提高用水效率,进一步提高水利设施治理效果,并保持了适当的盈利。但目前我区所成立的SPV公司管理还存在不足,仍然为基层水管组织或农民用水合作组织管理。

行政村级基层水管单位模式。在还没有全部实现公司化管理的部分灌区,以行政村为单位成立用水合作社、基层水管组织等,明确了管护主体,进一步完善了基层水管单位的功能定位。通过目标管理,落实岗位责任,从硬件设施、组织建设、管理制度建设、经费来源等方面不断规范基层水管单位建设,为充分发挥其在田间水利工程管护和灌溉服务中的作用奠定良好基础。在灌溉用水管理中,基层水管单位根据章程、制度等,在用水服务、水费计收、工程维修养护等方面都起到了积极作用。如利通区高闸镇根据乡镇实际情况,制定农村水利基层服务体系改革实施方案,依托现代化灌区建设,将镇上225个最适宜计量单元全部安装了测控一体化闸门,改革前高闸镇共计投入灌溉管理人员40人,改革后投入人员13人,人员投入大大减少,管理效率不断提升。

## 2 取得的主要成效

从现场调研情况来看,测控闸门的引进,起到了示范带动作用,相较于传统简易的闸门有着显而易见的优势,充分依托了无线网络广覆盖、高带宽、可移动的特点,实现了集数据传输、视频监控、报警等多功能为一体的综合应用,改变了人工开关闸门及测流量水工作模式,有效提升了全区灌溉管理工作水平和工作效率,同时也可作为终端水价核算、和谐用水、保障农民用水权益提供数据支撑,符合灌区高质量发展需求和方向。

(1)为提高水资源利用水平创造了条件。测控闸门的引进与应用,既是我区践行黄河流域生态保护和高质量发展先行区的有效举措,也是实现节约用水与助农增收双赢的具体体现。目前,宁夏共安装测控闸门4000余套,通过对灌区用水信息进行采集、传输、储存及处理,可为灌区管理部门提供科学的决策依据,与人工管理手段相比,能全面提高灌区管理的效率和水平,达到精准计量的目标。据调研,利通区、贺兰县通过安装测控一体化设备、发展高效节水灌溉等,2021年灌溉水利用系数分别达到了0.538、0.535。利通区高闸镇安装测控一体化闸门225套,全镇用水量3005万 $m^3$ (进水口数据),亩均水费60元,亩均水费下降30%,实现了年节水1000万 $m^3$ 的目标。

(2)为提升灌区规范化管理水平注入了新动力。近年来,通过不断引进测控一体化设备,干渠进水口安装测控闸门,配

套建立各种信息平台和手机APP模块到所段、县区信息化调度中心,基本实现了远程控制、测量水数据实时传输、无人值守或少人值守等,有效解决了配水人员手摇启闭机配水的问题。通过远程遥控遥测,水管员可在控制室对所有测控闸门开度、流量等信息进行远程监测,水量调度感知能力得到进一步提升。同时,测控设备发生故障时,控制台会显示故障警告信号,维修人员可及时进行故障处理,故障处理效率明显提升。在水量测算方面,测配水和交接水工作人员可通过信息中心传输的数据进行水量交接核算,杜绝多测少记、只测不计等现状,减少了测水人为偏差,极大地提高了工作效率。在保障部分渠段引水、供水、用水动态管理的基础上,实现了干渠调水、供水一体化、自动化,为推进全渠道控制和灌区高效管理创造了必要条件,初步取得了“控得住、管得好、用得顺”的效果。

(3)为提高水费计收的透明度、收缴率强化了数据支撑。农业用水计量系统是实现农业节水灌溉、形成农田灌溉设施长效管护机制的重要手段。在测控闸门计量准确度满足要求灌区,通过调节闸门开度来自动控制灌溉所需水量,能够让用户查看和控制配水口的瞬时流量以及当前输水流量和灌季总流量,杜绝了偷水、抢水和人情水,群众节水意识增强,水事纠纷大幅减少,有效提高了供水调控能力和用水计量精准度、透明度以及用水户节水意识,有利于保护用水户、供水户各方的权利和利益。据了解,在灌溉面积、种植结构未发生大的变化情况下,如利通区高闸镇,水事纠纷大大减少,灌区群众亩均水费从60元减少到54元,七星渠管理处安装测控一体化闸门的管理所夏秋灌用水量减少180万 $m^3$ ,水费可减少8.7万元,有效减轻了农民的负担,实现了水资源高效利用。

(4)为助推农业水价综合改革提供了硬件支持。随着现代化生态灌区建设的不断推进,宁夏区持续完善信息化计量设施建设,按照“因地制宜、经济实用”的原则,在干渠及干渠以下最适宜计量单元配套安装用水计量设施,通过建立智能化、精准化的监测服务体系,实现了“按亩收费”到“按方收费”,降低了管理成本,促进了用水公开透明,水利工程良性运行、群众满意度和获得感明显增强,逐步实现了传统水利向现代水利的转变,同时也有力助推了灌区农业水价综合改革。据调研,利通区根据水资源稀缺程度、节水潜力、工程成本等实际情况,将自流灌区农业供水价格由每立方米3.05分调整为7.1分,奖罚并举促进节水增效,2021年,全区节水量达4000万 $m^3$ 、节水率9%,全社会节水意识和支持改革的积极性显著增强。农业水价综合改革试点五里坡扬水灌区亩均水费下降12.5元,节水总量同比下降80.1万 $m^3$ ,节水率达13%,粮食亩均增产20kg,实现了节水、增效、增收的目标。

(5)为夯实水权改革奠定了基础。自治区《关于建设黄河流域生态保护和高质量发展先行区的实施意见》进一步明确要推进水权水价水市场改革、优化用水结构,转变用水方式。如利通区高闸镇,按照“总量控制、定额分配、灵活调度”的原则,积极开展用水权确权,将“十四五”水管控指标准确权到各行政村,分解细化到最适宜计量单元(干渠进水口)及村级用水交界断面,已建成的高效节水灌溉工程和测控一体化闸门

覆盖区全部按照计量系统测定的水量核算水量水费,通过精准确权、刚性约束,改变了过去权属不清、用水粗放的现象,测控一体化设备作为破解精准计量难题的重要抓手,更是为用水权改革奠定了工作基础。

### 3 存在的主要问题

宁夏乃至全国,测控一体化闸门尚在应用初期。在测控一体化闸门推广应用中虽然取得了较为显著的成效,但对标数字化灌区发展需求尚有一定差距。

(1)设备厂家众多,硬件水平参差不齐,尚未形成规范的标准体系。截止2021年12月,宁夏区仅用3~5年时间安装测控闸门近4000套,且“十四五”阶段规划仍有大量设备新增,供货厂家多达二十余家,设备硬件存在较大的差异性,主要表现如下:①不同生产厂家设备自身差异性较大,如测箱尺寸规格不一、探头层数设置4~8层不等,如图4所示。受建设主体不同和建设模式影响,各水管单位、各闸门厂家开发的软件应用平台差异较大,缺乏统一的建设标准。②在实际运行中,供用水户反映设备与农户认可的无喉道量水槽、流速仪测流数据相差较大,导致一些测量数据并未参与到水费计算中,设备量测数据误差波动较大。③测控一体化闸门发展迅速,但从产品、设计、施工、运维、后期精度标定等方面并未形成完善的技术标准体系,目前仅有宁夏水利厅印发了《宁夏引黄灌区骨干渠道测控闸门建设运行管理办法》(试行)(宁水农发[2022]1号)和中国灌区协会2020年12月发布的《测控一体化闸门技术规程》团体标准,而在设备硬件、工程建设、运行及验收等环节仍缺乏规范依据,且测控闸门测量精度范围、测量比较对象无明确规范规定,也影响了相关单位和行业对设备计量准确度的认识与理解。



图4 不同厂家超声波探头布局图

Fig.4 Layout diagram of ultrasonic probe from different manufacturers

(2)规划设计与灌区发展契合度不高,设备设计选型不准确。部分灌域在规划设计时未充分考虑统一规划、因地制宜原则。主要存在以下问题:①与高效节水灌溉发展规划匹配性不高,部分进水口将面临设备利用率不高情况,个别田间进水口控制灌溉面积仅为几十亩,在使用过程只实现了控制功能,测流功能并未发挥作用,资源浪费较为严重;且田间进水口因流速较小,泥沙淤积严重。②设备设计选型未充分考虑实际过流能力、运行工况与闸门流量的匹配性。对测控闸门开度数据分析发现,在实际运行中仅有惠农渠贺兰段部分进水口闸门开度

在80%以上。自流灌区其他干渠安装测控闸门在运行中开启度在50%以上的占比不超过15%,固海、盐环安装的测控闸门在运行中最大开启度均不超过50%,田间安装的测控闸门最大开启度也多在50%以下。



图5 田间进水口泥沙淤积现状

Fig.5 Sediment siltation status in field water intake

(3)专业化能力不足,运维难以高效保证,与信息化发展需求仍有差距。目前灌区测控设施大范围覆盖安装,但对标灌区高效管理也还存在一些不足:①上下联动机制尚未不健全,暂未全部实现与支渠引水量与各斗口配水量的自动化调度、支渠及以下田间用水的良好匹配。②自动化测控设施涉及通讯、控制、供电等多个专业领域,但现有干渠运行管护队伍专业化能力不足,支渠以下专业化运营队伍更难以保证,设备出现故障后不能自行解决,只能依赖现有设备供应商。③测控一体化设备系统较复杂、材质与结构特殊,年维护与维修费率一般为3%~5%,相较于传统设备维修费用高,且通信费用也有不同程度增加。目前,设备建设多采用“1+5”运维模式,待运维期满后设备运行维护存在着一定隐患。

### 4 对策和建议

随着用水权确权、农业水价综合改革等工作的不断推进,对测控设施配套建设也提出了更高要求。如何发挥好新型测控设施功能作用,有效解决设施计量精度界定、设施优化选型布局、技术标准规范制定等问题,真正促进灌区综合效益提升仍是当下的重点任务。综上研究分析,主要结论与发展建议如下:

(1)重视灌区测控设施的整体规划,根据区域灌溉面积、农业水价综合改革、用水权确权等因素综合规划范围内的计量设施配套,测控设施布点顺序及控制范围应遵循“由上到下”和“先粗后细”,逐步缩小监测单元,保持灌区上下游量测控设备选型和计量精度的合理一致性。

(2)测控一体化设备规划设计应结合区域特点,适应当地灌溉管理水平、经济发展水平、水利现代化发展和现代化生态灌区建设要求,达到工程设计合理、设备选型科学、设施运行可靠、便于维护和管理。因支渠以下斗渠、农渠,运行工况复杂,进水口泥沙淤积严重,缺乏专业管理人员,现有安装的测控一体化闸门很难发挥该有的控制与计量作用,现阶段不建议在支渠以下新建测控一体化闸门,对确需计量的进水口,根据支渠情况,选择适宜测控模式。

(3)测控一体化设备工程应着重以水资源高效利用为目

的,提高量测水精度,实现灌溉管理自动化和信息化;应充分考虑灌区渠道工况条件,如衬砌形式、坡降、泥沙、水质、运行管理及漂浮物等,以及量测水准确度、灌区工程运行管理水平、用户经济承受能力等多因素,合理计算过闸流量及最小淹没深度,因地制宜选择测控一体化闸门、前闸后箱式测控闸门、自动控制闸门+电子水尺(水位计、流量计、无喉道量水槽)等测控模式,不断提高设备费效比。并且应高度重视寒冷地区和多泥沙水介质的问题,如宁夏属季节性冻土区,在冬季泥沙淤积结冰后产生的冻胀力易把闸门顶裂或变形而导致漏水,特别是冬灌期间对水位传感器也会产生不利影响,影响其使用寿命,在闸门选型上应综合考虑板材防冻胀性能及增加相关防冻胀措施。

(4)建议对已安装测控闸门定期开展计量准确度现场测试,保障计量设施在满足计量要求的基础上正常运行,并从建设、规划、设计、应用、成效等多方面开展后评估,为测控闸门推广应用提供技术支撑。

(5)积极开展不同工况条件下的测控闸门计量准确度试验,探究测量设备准确度影响因素,科学优化测控设施工程建设布局,不断提高设备计量准确度。

#### 参考文献:

- [1] 侯文涛,白美健,陈炳坤,等.测控一体化闸门及其调控技术研究分析[J].节水灌溉,2021(8):47-51.  
HOU W T, BAI M J, CHEN B K, et al. An analysis of the integrated measurement and control gate and its control technology [J]. Water Saving Irrigation, 2021(8):47-51.
- [2] 李小龙,邱勇,苗正伟,等.闸堰测控一体化系统在扬水灌区的应用研究[J].人民黄河,2016(12):144-148.  
LI X L, QIU Y, MIAO Z W, et al. Study on the application of integrated automatic measurement and control system of gates and weir for trunk straight opening flow in pumping irrigation area [J]. Yellow River, 2016(12):144-148.
- [3] 高军,谈晓珊,周亚平,等.测控一体化闸门在灌区的研究与应用[J].中国农村水利水电,2020(9):45-48.  
GAO J, TAN X S, ZHOU Y P, et al. Study and application of the integrated monitoring and controlling gates in irrigation districts [J]. China rural water and hydropower, 2020(9):45-48.
- [4] 罗强,崔崑,张杰,等.测控一体化闸门的设计与应用[J].四川水利,2019(6):129-132.  
LUO Q, CUI K, ZHANG J, et al. Design and application of integrated gate for measurement and control [J]. Sichuan Water Conservancy, 2019(6):129-132.
- [5] 史中兴,张师玮,张彦蕊,等.大型灌区渠道闸门一体化测控系统[J].排灌机械工程学报,2020(2):145-151.  
SHI Z X, ZHANG S W, ZHANG Y R, et al. L. Integrated measurement and control system for irrigation canal gates in large-scale irrigation districts [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2020(2):145-151.
- [6] 侯 峥,鲍子云.宁夏引黄灌区自动化测控设施应用效果分析[J].中国水利,2013(22):49-51.  
HOU Z, BAO Z Y. Application effect analysis of automatic measuring and controlling equipment in Yellow River Diversion Irrigation Areas of Ningxia [J]. China Water Resources, 2013(22):49-51.
- [7] 马 萍.测控一体化闸门在宁夏回族自治区七星渠灌区的应用[J].乡村科技,2021,12(26):115-117.  
MA P. Application of integrated measurement and control gate in Qixingqu irrigation area of Ningxia Hui Autonomous Region [J]. Rural technology 2021, 12(26):115-117.
- [8] 刘秀娟,朱小明.测控一体化闸门在宁夏红寺堡扬水灌区中的建设及应用[J].现代农业科技,2021(17):152-154.  
LIU X J, ZHU X M. Construction and application of integrated measurement and control gate in Ningxia Hongsibao Yangshui irrigation area [J]. Modern agricultural technology, 2021(17):152-154.
- [9] 丁学岐.宁夏自动化测控闸门推广应用[J].民营科技,2018(12):138-143.  
DING X Q. Ningxia automatic measurement and control gate promotion and application [J]. Private Technology, 2018(12):138-143.
- [10] 谢崇宝.大中型灌区取用水量测控设施计量能力提升探讨[J].中国水利,2022(1):52-55.  
XIE C B. Discussion on improving measuring capacity of water metering and control equipment for water intake and utilization in large and medium-sized irrigation districts [J]. China Water Resources, 2022(1):52-55.
- [11] 武慧芳,陆立国,鲍子云,等.宁夏测控一体化闸门应用技术标准研究[J].人民黄河,2022,44(1):116-119+123.  
WU H F, LU L G, BAO Z Y, et al. Study on application technical standards of integrated gates for sedimentary water measurement and control in Ningxia [J]. Yellow River, 2022, 44(1):116-119+123.
- [12] 王海峰.寒冷地区多泥沙介质测控一体化闸门应用研究[J].人民黄河,2020,42(增2):267-269.  
WANG H F. Application research of integrated gate for measurement and control of multi-sediment medium in cold region [J]. Yellow River, 2020, 42(S2):267-269.
- [13] 张泽宏,张 松,刘亚辉.流速仪在明渠流量计检测中的应用[J].中国计量,2012(4):90-92.  
ZHANG Z H, ZHANG S, LIU Y H. Application of flow meter in open channel flow meter detection [J]. China Metrology, 2012(4):90-92.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 21303-2017,灌溉渠道系统量水规范[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [15] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.GB/T 28714-2012,取水计量技术导则[S].北京:中国标准出版社,2012.
- [16] 王怀博,徐利岗,刘学军,等.宁夏引黄灌区斗渠量测水设备比测试验研究[J].水资源与水工程学报,2018(6):250-255.  
WANG H B, XU L G, LIU X J, et al. Study on comparing measurement of colume of water equipmnt in lateral canal of the yellow river irrigation district in Ningxia [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2018(6):250-255.