

基于工程优化与系统管理的东风渠灌区水资源高效利用研究

王怀斌

四川省都江堰水利发展中心东风渠管理处

DOI:10.12238/hwr.v9i6.6438

[摘要] 本文针对四川省东风渠灌区眉山丘陵片区水资源短缺、输水效率低、管理粗放等问题,通过实地调研与数据分析,从工程改造、技术升级、管理创新三个维度提出系统性解决方案。重点分析半挖半填渠道渗漏防控、长距离输水损耗优化、水质污染治理及用水秩序规范化建设,为丘陵灌区水资源高效利用提供理论支撑与实践路径。本文旨在研究:区域概况与问题诊断、水资源高效利用的工程技术对策、水资源管理体系创新、眉山丘陵片区改造试点。

[关键词] 东风渠灌区; 水资源利用; 渠道工程; 输水效率; 灌区管理; 节水改造; 水质保护
中图分类号: TV146+.1 文献标识码: A

Research on Efficient Utilization of Water Resources in Dongfeng Canal Irrigation Area Based on Engineering Optimization and System Management

Huaibin Wang

Dongfeng Channel Management Office of Dujiangyan Irrigation Project Water Resources Development Center
Dujiangyan Irrigation Project

[Abstract] This article addresses the problems of water scarcity, low water delivery efficiency, and extensive management in the Meishan hilly area of Dongfeng Canal Irrigation District in Sichuan Province. Through field research and data analysis, a systematic solution is proposed from three dimensions: engineering transformation, technological upgrading, and management innovation. The focus is on analyzing the prevention and control of leakage in semi excavated and semi filled channels, optimizing long-distance water transmission losses, controlling water pollution, and standardizing water use order construction, providing theoretical support and practical paths for the efficient utilization of water resources in hilly irrigation areas. This article aims to study: regional overview and problem diagnosis, engineering and technical countermeasures for efficient utilization of water resources, innovation of water resources management system, and pilot projects for the transformation of Meishan hilly areas.

[Key words] Dongfeng Canal Irrigation District; Water resource utilization; Channel engineering; Water delivery efficiency; Irrigation district management; Water-saving renovation; water quality protection

随着全球气候变化和人口增长带来的水资源压力日益增大,高效利用和管理水资源成为当前社会发展的迫切需求。特别是在农业灌溉领域,传统的水利设施和管理方法已难以满足现代农业对水资源高效利用的要求。本文以四川省都江堰灌区“十四五”续建配套与现代化改造工程为研究对象,探讨了通过工程改造和智能管理相结合的策略,实现水资源利用效率的显著提升。通过对眉山丘陵片区改造试点的实证研究,本文详细介绍了包括水力荷载计算、配筋设计、伸缩缝处理、防渗层设置、高边坡稳定化处理、排水系统设计、监测与动态反馈等在内的综合改造措施,并提出了水资源管理体系创新的建议。研究结果表明,现代化改造后的水利工程不仅显著提高了灌溉效率,还为区域高质量发展

提供了坚实的水资源保障。本文旨在为类似水利工程的现代化改造提供参考,并为水资源的高效利用和管理提供新的思路和方法。

1 研究区域概况与问题诊断

1.1 东风渠灌区眉山丘陵片区特征

1.1.1 地理特征。灌区尾部高程差显著(平均坡度>5%),渠道穿越第四系松散堆积层与侏罗系泥岩互层地质单元,丘陵地形导致渠道比降大,半挖半填段占比30%,高边坡段(>10m)占比15%。东风渠灌区作为都江堰核心灌区,承担四川盆地农业与生态供水任务。

眉山丘陵片区地处灌区尾部,受地形(半挖半填渠道、高边坡)、工程老化及管理问题制约,水资源短缺矛盾突出。

1.1.2工程特征。输水距离超120km,半挖半填渠道占比达37%(2022年灌区年报数据),其中服役超30年的老化渠段占比62%,混凝土衬砌破损率25%,年渗漏损失平均达18%。

半挖半填渠道渗漏、滑坡频发,严重影响正常输供水,东风渠新南干工程建设标准低。

高边坡段水土流失加剧淤积,新南干渠、眉彭干渠河道沿山腰而建,河道弯曲淤积严重。由于资金不足,每年选取部分淤积段进行清理,没能彻底清淤。

1.1.3水文特征:年输水损失率高达22%(对比都江堰灌区平均15%,水质污染事件年发生率8.3次/百公里(2021-2023年监测数据),干渠以下部分支渠的土渠比例大,输水损失高达50-60%,水资源利用效率低。工程优化与系统管理的东风渠灌区水资源高效利用研究的意义在于:东风渠眉山片区100%依赖东风渠单一水源,旱季供需缺口达30%,破解尾部灌区供水瓶颈,提升水资源利用效率,助力乡村振兴与粮食安全迫在眉睫^[1]。

1.2关键制约因素分析

1.2.1工程性缺水。渠道衬砌破损、边坡滑塌出现险情。2024年12月4日因工程出现漏水险情,从总干进口准备断流,因流程长,直到12月6日才减小到能抢险施工,直到12月12日早上新南干进口开始恢复20m³/s流量,这次险情导致向黑龙滩水库少供水量达1000多万m³。同时,红光支渠停止供水,龚家堰水库少进水量150多万m³。2025年3月15日,新南干再次出现险情,直到3月20日水量逐渐恢复,影响春季蓄水工作正常进行。

1.2.2结构性缺水。东风渠眉山站所管区域,新南干渠长度13公里,跨眉山天府新区、仁寿县,节制闸2座,支渠1条,泄洪闸4座,渡槽2座,分水洞25座,隧洞4座,暗渠2座;眉彭干渠管辖长度17.8公里,末端接东坡区管辖的金花分干渠,眉彭干渠跨仁寿县、眉山天府新区、彭山区、东坡区,节制闸1座,支渠2条,泄洪闸4座,渡槽1座,分水洞38座,暗渠8座,倒虹管1座。支渠、分水洞配套不足(仅68%),末端供水保证率<75%,沿渠采用软管虹吸方式取水屡见不鲜。

1.2.3管理型缺水。因管理不善,堰塘、水库出现渗漏,除险加固未落实,随意弃水,造成用水困难。造成管理不善的原因也是多方面的,最重要的就是块状分割,行政区域的交叉,导致“三不管”的灰色地段^[2]。红光支渠进水口以下3公里,有东坡区、眉山天府新区、彭山区从该渠道取水,大小取口10多个,都属于有口无闸工程,无法有效控制,致使部分水资源通过低槽沟流失。另外,有部分支渠内部斗渠无闸,水资源浪费也时有发生。通过现场突击检查及日常巡查发现,因管理原因造成水流损失近10%,约200万m³。

2 水资源高效利用的工程技术对策

2.1半挖半填段防渗处理

推荐采用“土工膜+混凝土复合衬砌”(参考《渠道防渗工程技术规范》GB/T50600),文字说明:

2.1.1现浇钢筋混凝土面板。厚度:15~25cm(根据水力荷载计算)。

配筋:双层双向Φ12@150mm,C30抗渗混凝土(W6)。

伸缩缝:纵向间距4~6m,嵌填闭孔泡沫板+聚硫密封胶。

2.1.2复合土工膜防渗层。

规格:两布一膜(600g/0.6mmHDPE/600g)。

搭接:热熔焊接,搭接宽度≥10cm,T型接缝处附加补强条。

保护层:土工膜上下铺设5cm厚中砂垫层,防止机械损伤。

2.1.3填方区过渡层。

结构:30cm级配碎石(粒径≤5cm)+20cm黏土压实层(压实度≥95%)。

功能:均衡地基应力,防止不均匀沉降。

2.1.4原状地基处理。

挖方区:清除表层腐殖土,夯实至承载力≥150kPa。

填方区:分层回填碾压(每层≤30cm),坡比1:1.5-1:2。

2.1.5设置反滤层与排水盲沟(坡降>1:1.5段强制实施)。

2.2高边坡稳定化处理

建议方案:分级放坡+格构锚杆支护

2.2.1分级放坡设计。(1)坡体分级参数。单级坡高:8-12m,软岩取低值,硬岩取高值,降低单级下滑力。坡率:综合岩土内摩擦角及稳定性要求,坡率取1:0.75(硬岩)~1:1.25(软土)。平台设置:每级间设2.5-3.0m宽平台,兼作截排水及施工通道,平台向外3%横坡排水。(2)坡面防护。植被防护:坡面覆土50cm,采用三维网植草+灌木护坡,增强抗冲刷能力。结构性防护:局部破碎带设置拱形骨架植草,骨架混凝土标号C25,截面30×30cm。

2.2.2格构锚杆支护体系设计。(1)格构梁结构。网格尺寸:2.5×2.5m(强风化层)至3.5×3.5m(弱风化基岩),与坡面密贴。梁截面:C30混凝土,截面300×400mm,主筋4Φ20(上下各2根),箍筋Φ8@200mm。节点加强:交汇处增设2Φ16斜向加强筋,提升整体刚度。(2)锚杆参数:材料:HRB400级螺纹钢,直径28-32mm,抗拉强度≥400MPa。布置:间距2.0-3.0m,梅花形布设,入射角15°-25°,穿越潜在滑裂面≥3m。注浆工艺: M30水泥浆,水灰比0.4-0.45,压力0.5-1.0MPa,确保浆体充盈率>90%。(3)预应力锚索(必要时)。适用部位:坡脚或深层滑移区,采用4×Φs15.2钢绞线,设计拉力800kN,超张拉至110%锁定。锚固段:长度6-8m,二次高压注浆(压力2.0-2.5MPa)形成扩大头。

2.2.3排水系统设计。(1)地表排水。截水沟:坡顶外5m设梯形截水沟,断面0.6×0.6m,M7.5浆砌石衬砌。平台排水:每级平台内侧设0.3×0.3m排水沟,纵坡≥2%,接入主排水系统。(2)地下排水。仰斜孔:孔径110mm,间距4-5m,长度8-12m,内置软式透水管+反滤包,外倾5°-10°。盲沟:坡脚设碎石盲沟(1.0×1.0m),与集水井连通,防止孔隙水压力升高。

2.2.4监测与动态反馈。(1)监测布点。表面位移:每级平台布设GNSS监测点,精度±2mm,间距20-30m。深层位移:布置3-4个测斜孔,深度进入稳定层≥5m。锚杆应力:选取5%锚杆安装钢筋计,实时监控轴力变化。(2)预警阈值。坡顶水平位移速率>3mm/d或累计位移>50mm时,启动应急预案。锚杆应力超设计值80%时,排查荷载异常原因。

3 水资源管理体系创新

3.1 智慧水务系统构建

目前四川省都江堰水利发展中心智慧水利系统已经运行一段时间,效果很好。设想建议:

(1)建设“1+3+N”监测体系:1个数据中心;3级监测网络(干渠、支渠、斗渠);N类传感器(流量、水质、墒情等)。(2)开发用水决策支持系统:集成GIS平台与水文模型(建议采用SWAT模型);实现72小时供水预报(精度>85%)。

3.2 用水秩序规范化建设

(1)推行“三权分置”水权制度。所有权:政府监管;使用权:定额分配(按作物需水定额核定);经营权:市场化交易。(2)建立“三级巡查”机制。市级季度巡查;县级月度检查;镇级日常巡查。

4 实证研究——眉山丘陵片区改造试点

4.1 工程实施效果

4.1.1 眉彭干渠红光支渠整治,取得非常好的经济和社会效益。2023年,在四川省都江堰水利发展中心的大力支持下,眉山市彭山区东山水利工程维护中心实施了都江堰灌区“十四五”续建配套与现代化改造工程红光支渠整治工程,项目总投资4822.73万元,2023年8月25日开工,2024年8月已完工,计划2025年11月完成竣工验收。渠道整治总长17.852公里,其中:明渠12.4km,暗渠3.7km/40座,整治隧洞0.582km/2座,拆除重建渡槽0.135km/2座,倒虹管0.971km/2座和闸门9座,其余机耕桥、人行桥和放水洞等小型渠系建筑物309处。项目建成后恢复和改善灌面2.22万亩,渠道过水流量从2.0m³/s提升到3.4m³/s,年供水量从2200万m³提升到3740万m³,渗漏率由30%降至9%,输水效率提升50%,彻底改变彭山东山片区长期以来干旱缺水的局面,为灌区提供充足的农业灌溉用水及满足彭山区30多万人日益增长的用水需求,为区域高质量发展筑牢水资源保障基石。

4.1.2 金花支渠作为1974年建成的东风支渠灌区组成部分,年代久远,沟渠老化,沿渠渗漏、垮塌、淤积、阻塞严重,输水效率十分低下,老百姓用水困难。2023年,由四川省都江堰水利发展中心作为业主,实施“十四五”续建配套与现代化改造,整治改造工程和红光支渠一样,实行项目管理,这项工程属都江堰东风渠灌区眉彭干渠的重要配套渠道,位于东坡区岷江东部丘陵地带,是东风支渠灌区的核心输水渠道之一^[3-4]。工程项目总投资5700万元,2023年8月开工,2025年5月完工,由于多种原因造成工程整治工期较长,整治总长度53.98公里。该工程主要覆盖富牛、崇礼、复兴3个镇的32个村社主要承担农业灌溉任务,同时向牯牛坡等水库输水。改善灌面4.5万亩,恢复历史灌面约1.4万亩,对保障粮食生产、促进丘陵地区经济作物种植具有关键作用。

此次整治主要通过边坡衬砌、清淤疏浚、混凝土镇底等方

式,将灌溉水利用系数大大提高,输水时间大大缩短。整治前,从红光断面以3m³/s的流量向牯牛坡水库输水,流程需72-96个小时,输水损失更是大的惊人,1立方米水从进口到牯牛坡只有0.5立方米,另外0.5立方米就损耗掉了,农民望水兴叹。整治后,以同样的流量向下游输水,流程减少到36小时,流速加快1倍以上,灌溉水利用系数从0.5提升至0.7,年节水量近1000万立方米,年粮食增产量预计500万公斤以上,经济社会效益明显。

作为都江堰灌区“十四五”续建配套与现代化改造工程的重点项目,金花支渠的升级显著提高了岷江东部丘陵地带的灌溉效率,支撑了东坡区乡村振兴和水网建设。

实践充分证明水利工程的现代化改造对水资源的高效利用有着不可或缺的推动作用^[5]。

4.2 管理创新成效

除上述硬件整治外,软件建设也十分重要。

眉山水利管理站着力建立健全水利保护联动联控制度,与地方街道办签订《防汛减灾联防联控合作协议》,共同做好辖区水资源保护、水环境治理;针对渠道“四乱现象”联合地方河长办对辖区内乱挖乱种进行整改、清除;积极做好水利保护宣传工作,向水公司员工传达学习《节约用水条例》,提升居民的节水意识;落实“检察长+水利工程管理单位”合作机制,与省检察院、市检察院开展合作,签订协议,推动涉水公益诉讼方面的协作。

5 结论与展望

综合来看,充分把握“两重”项目的历史机遇,运用“工程改造+智能管理”的组合策略,能够使灌区水资源利用效率提升25%以上;基于此,建议开展《丘陵灌区节水防污技术导则》的编制工作,并加强新型防渗材料(如纳米改性混凝土)的研发应用,以进一步推动灌区节水事业的发展。

【参考文献】

- [1]陈慧珍.水利工程渠道施工技术及管理措施探究[J].江西农业,2024(9):88-90.
- [2]杜宣逸,马越.水资源管理的中国方案[J].环境经济,2024(2):11.
- [3]肖丽梅.现代生态水利工程灌区节水改造技术探究[J].黑龙江水利科技,2016,44(07):108-110.
- [4]严聪.长距离有压重力流输水的设计探讨[C]/2024工程技术与施工管理交流会论文集(下).2024.
- [5]吕凤撰写/摄影.院领导带队拜访四川省都江堰水利发展中心[J].长江科学院院报,2023,40(8):2.

作者简介:

王怀斌(1969--),男,汉族,四川眉山人,本科,高级工程师,研究方向:水资源保护及充分利用。