

# 基于水源枯竭背景下的农村供水系统改造研究——以本庄镇荆竹村供水工程为例

白 勇 吴 杰

石阡县水务局 贵州 铜仁 555100

**摘要:** 随着全球气候变化加剧与极端天气频发,我国西南地区农村供水系统面临严峻挑战,尤其是季节性水源枯竭问题日益突出。本文以贵州省石阡县本庄镇荆竹村农村供水抗旱应急工程为研究对象,系统分析了在原水源枯竭、输水设施老化背景下,如何通过科学规划、合理选型、优化设计与高效施工,实现农村供水系统的应急改造与长效运行。研究基于实地勘察、水文测算、工程设计与经济评价,提出了“水源替代—提水增效—管网优化—智慧管理”四位一体的改造路径。结果表明,通过新建拦水堰、深井泵站、高位水池及配套管网,可有效解决556人饮水安全问题;工程静态总投资29.00万元,资金来源于乡村振兴补助,具备良好的经济可行性与社会效益。本研究为类似地区农村供水系统应对水源枯竭风险提供了可复制、可推广的技术范式与管理经验。

**关键词:** 水源枯竭;农村供水;系统改造;抗旱应急;荆竹村;石阡县

## 引言

农村饮水安全是乡村振兴战略的重要组成部分,是保障农民基本生活权益、提升农村人居环境质量的关键环节。近年来,受全球气候变暖影响,我国西南喀斯特地区干旱频率增加、强度加大,导致大量依赖季节性山泉或小型溪流的农村供水工程水源枯竭,供水保障能力严重下降<sup>[1]</sup>。据水利部统计,2020—2023年间,贵州省因干旱导致农村供水中断的行政村超过1200个,涉及人口逾80万。石阡县地处贵州省东北部,属典型喀斯特地貌区,岩溶发育、地表水渗漏严重,农村供水长期依赖分散式小水源。本庄镇荆竹村原有供水系统建于多年前,水源为季节性山泉,近年来因持续干旱,该水源在枯水期完全干涸,加之输水管道老化破损,导致全村106户556人长期面临“吃水难”问题。在此背景下,实施供水系统应急改造,不仅是解决民生问题的迫切需要,更是探索喀斯特地区农村供水韧性提升路径的重要实践。

## 1 项目区概况与问题诊断

### 1.1 自然与社会经济概况

荆竹村位于石阡县本庄镇南部,地理坐标为东经107° 44'55"—108° 33'47",北纬27° 17'5"—27° 42'50"。属中亚热带湿润季风气候,年均气温15℃,年降水量1100—1250mm,但降水时空分布不均,4—8月集中全年60%以上降雨。地形以中低山丘陵为主,地势东高西低,出露岩层以寒武系白云岩、灰岩为主,岩溶发育,地表水易渗漏。全村辖106户556人,以仡佬族、侗族等少数民族为主,2022年全村人均可支配收入约1.1万元,经济

结构以农业为主,基础设施薄弱。

### 1.2 原有供水系统失效分析

经实地踏勘,原有供水系统存在以下问题:(1)水源枯竭:原水源为村内一处季节性山泉,枯水期流量趋近于零。2023年12月枯水期调查表明,该泉眼已完全干涸,无法满足基本生活用水需求。(2)设施老化:输水管道多为早期铺设的PVC或镀锌管,部分管段腐蚀、破裂,漏损率高达30%以上,且无计量设施,水费征收困难<sup>[2]</sup>。(3)无调节能力:系统无蓄水池或高位水池,无法实现水量调蓄,一旦水源中断即全面停水。(4)管理缺位:缺乏专业运维队伍,村民自发管理,技术能力不足,故障响应慢。综上,系统已丧失基本供水功能,亟需实施应急改造。

## 2 改造工程方案设计

### 2.1 设计原则与目标

遵循“应急优先、因地制宜、经济适用、智慧管理”原则,确立以下目标:解决556人基本生活用水;供水保证率 $\geq 95\%$ ;工程寿命 $\geq 15$ 年;实现自动化控制与远程监测。

### 2.2 水源选择与水量平衡

#### 2.2.1 新水源勘察

经多点踏勘,选定村内小塘组一处地下水出露点作为新水源。2023年12月枯水期实测流量为0.5L/s(43.20m<sup>3</sup>/d),水质经检测符合《生活饮用水卫生标准》(GB5749-2022),浊度经简易沉淀消毒后可达标。

#### 2.2.2 需水量计算

依据《村镇供水工程技术规范》(SL310-2019),采

用以下参数:

用水定额: 60L/人·d;

设计人口: 考虑自然增长率(6‰), 2039年达608人;

管网漏损及未预见水量: 按15%计;

日变化系数: 1.3。

计算得最高日需水量为41.95m<sup>3</sup>/d(见表1)。

表1: 设计水量计算表

项目	数量	用水定额(L/人·d)	用水量(m <sup>3</sup> /d)
设计人口	608人	60	36.48
管网漏损及未预见水量	—	15%	5.47
最高日需水量	—	—	41.95

### 2.2.3 水量平衡分析

新水源枯水期可供水量43.20m<sup>3</sup>/d, 大于需水量41.95m<sup>3</sup>/d, 盈余1.25m<sup>3</sup>/d, 水量平衡可行。

### 2.3 工程总体布置

工程采用“拦蓄—提水—蓄存—配水”四级流程: (1) 水源工程: 新建拦水堰1座, 集水并防止泥沙进入; (2) 提水工程: 安装2套深井潜水泵(100QJ4-142/23, Q=4m<sup>3</sup>/h, H=142m, N=3kW); (3) 蓄水工程: 新建50m<sup>3</sup>钢筋混凝土高位水池1座; (4) 配水管网: 铺设PE100级管道4624m, 覆盖全村用户。

### 2.4 关键技术设计

#### 2.4.1 泵站与管道水力计算

设计流量:  $Q = 41.95\text{m}^3/\text{d} \div 11\text{h} \approx 3.81\text{m}^3/\text{h}$ ;

管径选择: 初算 $d = 34\text{mm}$ , 选用 $\text{dn}50\text{PE}$ 管( $v = 0.75\text{m/s}$ );

扬程计算: 地面高差110m+沿程损失9.0m+局部损失0.9m+安全裕度3m = 123m;

水泵选型: 100QJ4-142/23型潜水泵(扬程142m > 123m), 满足要求。

#### 2.4.2 蓄水池结构设计

容积: 50m<sup>3</sup>;

结构: C25钢筋混凝土矩形池(5.5m×4m×3m);

基础: 置于强风化基岩, 承载力 $\geq 500\text{kPa}$ ;

附属: 检修孔、爬梯、集水坑各1座。

#### 2.4.3 管材与附属设施

主管:  $\text{dn}50\text{--dn}20\text{PE}100$ 级管(PN1.6MPa), 耐腐蚀、柔韧性好;

钢管段: DN50镀锌钢管150m(用于泵站出口高压段);

附属: 闸阀井3座、排气阀、水表30套、缺水保护装置1套。

### 2.5 自动化与智慧管理

尽管是一项应急工程, 但设计团队并未忽视对未来智慧化管理的前瞻性考虑。工程配置了一套简易的自动化控制系统, 其核心功能包括定时启停和缺水保护。通过定时器, 可以设定水泵在每日固定时段(如夜间低谷电价时

段)自动运行11小时, 将水池蓄满, 既节省了人工操作成本, 又利用了电价优势。缺水保护装置则能实时监测水源水位, 一旦水位过低, 系统会自动切断电源, 防止水泵空转烧毁, 极大地提高了设备的安全性和使用寿命<sup>[3]</sup>。同时, 安装的300A智慧用电保护器能够对电流、电压等参数进行监控, 预防电气安全事故。虽然本次工程未部署复杂的远程监控系统, 但所有控制设备的选型和线路预留都为未来接入县级智慧水务平台、实现远程数据采集与控制奠定了坚实的技术基础, 体现了“小步快跑、迭代升级”的务实智慧。

### 3 施工组织与质量控制

#### 3.1 施工条件

交通: 村道通达, 临时道路60m, 二次转运50m;

材料: 砂石料本地采购(运距5km), 水泥钢材县城采购(运距38km);

水电: 施工用电接农网, 用水取自溪流;

通讯: 4G网络全覆盖。

#### 3.2 施工工艺要点

##### 3.2.1 管道施工

在管道工程施工中, 严格按照规范操作是关键。沟槽开挖前, 首先进行精确的施工放样, 确保管道走向准确无误。开挖时, 根据管径和土质条件确定沟槽底宽, 对于PE管, 底宽不小于0.7米。在岩石地基段, 为防止管壁被尖锐石块划伤, 要求在管底铺设至少15厘米厚的砂垫层, 管道安装完毕后, 两侧及顶部也需回填细砂进行保护。管道连接采用热熔焊接技术, 确保接口的密封性和强度。安装完成后, 必须进行严格的水压试验, 试验压力不低于工作压力的1.5倍(且不低于0.5兆帕), 稳压30分钟无渗漏方为合格。

##### 3.2.2 混凝土工程

混凝土工程是构筑物质量的核心。蓄水池等混凝土结构采用C25商品混凝土或现场搅拌, 严格控制水灰比和坍落度。浇筑过程中, 采用插入式振捣器进行充分振捣, 确保混凝土密实无空洞。浇筑完成后, 立即进行覆盖并安排专人进行洒

水养护, 养护期不少于7天, 以防止混凝土因失水过快而产生收缩裂缝。模板工程则采用钢模与木支撑相结合的方式, 确保结构的几何尺寸和表面平整度符合设计要求。这些看似琐碎的工艺细节, 恰恰是构筑百年工程的基石。

### 3.3 质量与安全管理

为确保工程万无一失, 项目建立了全过程、全方位的质量与安全管理体系。在质量管理上, 严格执行“三检制”, 即班组自检、工序互检和专职质检员专检, 上道工序未经检验合格, 绝不允许进入下道工序。特别是对于拦水堰基础、水池底板、管道试压等隐蔽工程, 实行100%验收制度, 留存影像资料备查。在安全管理方面, 项目部设立了专职安全员, 负责日常巡查和隐患排查。所有特种作业人员, 如电工、焊工等, 必须持证上岗。施工现场设置了醒目的安全警示标志, 并对施工人员进行定期安全教育培训, 牢固树立“安全第一, 预防为主”的思想。同时, 项目严格遵守国家环保法规, 施工产生的废料及时清运, 工程完工后对临时占地进行复垦, 最大限度地减少对周边环境的影响。整个施工过程被严格控制在3个月的工期内, 确保了工程能尽快发挥效益。

## 4 投资概算与效益分析

### 4.1 投资构成

本工程的静态总投资为29.00万元, 资金来源为全额申请的乡村振兴补助资金, 体现了国家对农村民生工程的高度重视。从投资构成来看, 建筑工程费用占比最高, 达到16.63万元, 占总投资的57.34%, 主要用于拦水堰、蓄水池、闸阀井等土建工程的建设。机电设备及安装工程费用为6.02万元, 占比20.76%, 涵盖了两套深井潜水泵及其配套电气设备的采购与安装。金属结构设备(即管道)及安装工程费用为5.49万元, 占比18.93%, 用于采购和铺设4624米的各类PE及镀锌钢管。临时工程费用为0.86万元, 主要用于临时道路修建等。此外, 还有2.03万元的独立费用(包括建设管理费和勘测设计费), 由县水务局自筹, 不计入总投资。这种投资结构清晰合理, 重点突出了主体工程的建设, 确保了有限资金用在刀刃上。

### 4.2 经济效益

从经济效益角度看, 本工程是一项投入小、见效快、效益显著的民生项目。其最直接的效益是彻底解决了556名村民的基本饮水安全问题, 将他们从繁重的取水劳动中解放出来, 人均每日可节省约2小时的取水时间, 极大地提高了生活质量和幸福感。间接效益则体现在对当地经济的促进作用上。稳定可靠的供水是发展庭院经济、特色养殖等产业的前提条件。据初步估算, 供水问题解决

后, 可带动全村相关产业年增收约15万元。在运行成本方面, 工程年电费支出约0.3万元, 常规维修费用约0.2万元。通过实行有偿供水、计量收费的水价机制(暂定2元/立方米), 年水费收入足以覆盖全部运行维护成本, 实现了“以水养水”的良性循环, 为工程的长期可持续运行提供了经济保障。

### 4.3 社会与生态效益

本工程的社会效益尤为突出。它不仅是一项水利工程, 更是一项民心工程、德政工程。稳定供水的实现, 有效化解了因争水、抢水可能引发的邻里纠纷, 促进了农村社会的和谐稳定。同时, 清洁卫生的自来水入户, 显著改善了村民的居住环境和卫生条件, 对预防水源性疾病、提升健康水平具有重要意义<sup>[4]</sup>。从生态角度看, 工程通过寻找新的、可持续的地下水水源, 减少了对已枯竭地表水源的依赖和无谓的开采, 有助于保护和恢复当地的水生态系统。更重要的是, 荆竹村的成功实践为周边乃至整个西南喀斯特地区面临类似困境的村庄提供了一个可复制、可推广的样板, 其示范效应和引领作用不可估量, 对于推动区域农村供水保障水平的整体提升具有深远的战略意义。

## 5 结语

通过对石阡县本庄镇荆竹村农村供水抗旱应急工程系统研究得出: 气候变化下水源枯竭是西南喀斯特地区农村供水系统失效首要原因, 需科学勘察找替代水源; “拦蓄一提水一蓄存一配水”四位一体模式对小型村庄应急供水改造有效; 简易自动化控制技术与社区参与式管理结合是保障小型工程长效运行关键; 该工程以29万元解决556人饮水问题, 效益显著。基于此, 提出政策建议: 将工程纳入乡村振兴常规支持, 建立资金保障机制; 设专项资金支持老旧工程改造; 编制“一村一策”技术导则。未来, 可研究太阳能光伏提水技术应用、构建多元水资源保障体系、部署智能漏损监测系统, 荆竹村经验为全球类似地区贡献了宝贵智慧与方案。

## 参考文献

- [1]水利部. 村镇供水工程技术规范(SL310-2019)[S]. 北京:中国水利水电出版社, 2019.
- [2]贵州省水利厅. 贵州省水利水电工程系列概算编制规定(2022版)[Z]. 2022.
- [3]李明, 张华. 气候变化下农村多水源供水系统优化研究[J]. 水利学报, 2021, 52(8): 987-996.
- [4]王芳. 喀斯特地区农村集雨利用与地下水联合调度模式[J]. 中国农村水利水电, 2022(5): 45-50.