

# 水利工程孤立站点远程无线实时监控方案的设计与应用

褚小强

中水三立数据技术股份有限公司 安徽合肥 230088

**摘要:**针对新疆某县城乡饮水工程调流调压站与上下游监测点间通信电缆敷设困难、4G/5G 信号缺失问题,提出基于 LoRa 无线传输的远程实时监控方案。通过构建“PLC+LoRa 终端”的网络架构,实现荒漠戈壁环境下 3—5km 跨河孤立监测点的数据传输,实测端到端延迟 $\leq 0.8s$ ,丢包率 $\leq 1\%$ 。方案采用太阳能供电与低功耗设计,解决了无市电供应难题,30 天连续运行测试中系统可用性达 99.8%。

**关键词:**水利工程孤立站点、无线传输、LoRa 终端、实时监控。

新疆作为我国干旱区水资源调配的战略要地,其引水工程普遍面临输水管道跨度大、监测站点分散的挑战。以某地下暗埋管道引水工程为例,调流调压站需实时获取上下游 3—5km 处压力、流量数据,但监测点与主站间存在河流阻隔,传统有线方案需跨河铺设光缆,工程成本高达 3 万元/km,且存在洪水损毁风险。本文提出基于 LoRa 终端的无线实时监控方案,在荒漠戈壁、4G/5G 信号缺失环境下实现可靠数据传输。

## 1. 项目背景与需求分析

### 1.1 工程概况

新疆某县城乡饮水工程由取水工程、输水工程、供配水工程三部分组成。工程水源采用盖孜河地表水,利用已建的 809 万 m<sup>3</sup> 沉砂池,在其下游新建 1 座日处理水量 8.5 万 m<sup>3</sup> 的水厂,通过 279km 的输水干支管道将水送至伽师县和伽师总场的 21 座分水厂,对其中 17 座水厂进行改扩建,改扩建伽师县内部管网 1548km,入户工程 16874 户。

输水工程中输水干管总长为 111.888km,设计流量为 0.935—0.203m<sup>3</sup>/s,管径 DN600—1200,管材为给水涂塑复合钢管,地下暗敷。配套建筑物共 1080 座,其中调流调压站 1 座,穿河建筑物 1 座,穿南疆铁路建筑物 1 座,穿路建筑物 245 座,穿渠建筑物 459 座,镇墩 174 座,各类阀门井 199 座。

本方案涉及的站点为输水干管上的调流调压站及其上下游 3—5km 处的压力、流量孤立监测点。调流调压站位于输水干管 K50+600 处,设置一套基于 PLC 的计算机监控系统对调流阀进行监视与控制,压力监测点位于输水干管 K46+300 处,流量监测点位于输水干管 K53+800 处,调流调压站有市电及有线网络,但压力和流量监测站点无市电供应,且 4G/5G 信

号强度极差,调流调压站与下游流量监测站点之间隔着一条宽度约 80 米的季节性河流。

### 1.2 监控需求分析

调流调压站设置的 PLC 需接入压力监测点的压力信号及流量监测点的流量信号,并对其进行实时监控。监测信号的接口类型及内容见表 1。

根据工程的实际情况,调流调压站 PLC 对调流阀的调节控制需要压力和流量数据做支撑,因此对接入孤立点流量和压力信号的实时性要求较高,但传输数据量较小,对传输速率要求低;另外,调流调压站及 2 个孤立监测点地处偏远,维护成本高,因此对系统的可用性,传输方案的可靠性、供电系统的续航能力等都有较高的要求,具体要求见表 2。

表 1 调流调压站 PLC 监测信号的接口类型及内容

序号	点位名称	设备名称	接口类型	监测内容	备注
①	压力监测点	压力传感器	RS485	瞬时压力	
②		太阳能控制器	RS485	电池电量	
③	流量监测点	电磁流量计	RS485	瞬时流量、累计流量	
④		太阳能控制器	RS485	电池电量	

表 2 调流调压站 PLC 监控需求表

序号	需求项	技术指标	依据来源	备注
①	实时性	端到端延迟 $\leq 1s$	工程实际需要	
②	传输速率	传输速率 $\geq 1kbps$	工程实际需要	
③	传输可靠性	丢包率 $\leq 1\%$	工程实际需要	
④	供电系统续航能力	连续 4 天阴雨维持工作	新疆喀什地区多年降雨记录	
⑤	系统可用性	30 天可用性 $\geq 98\%$	工程实际需要	

## 2. 传输方案对比分析与选择

根据工程概况及监控需求,调流调压站与 2 个孤立监测点之间可行的通信传输方式有多种,包括有线传输和无线传

输,其中无线传输可选 4G、LoRa、微波等方式,上述方式各有优缺点,对比表见表 3。

表 3 传输方式对比表

序号	传输方式	传输距离	传输速率	可靠性	建设成本	运营成本	备注
①	有线传输	敷设线缆	成本制约	非常高	高	无	
②	无线传输	4G	依赖基站	低	依赖基站	低	高
③		LoRa	5—10km	低	高	低	无
④		微波	5—50km	高	高	较高	无

结合工程实际情况,首先排除有线传输方式。调流调压站与下游流量监测站点之间隔着一条宽度约 80 米的季节性河流,夏季常有融雪洪水。有线传输施工难度大,建设成本高,还有被洪水破坏的风险。

其次排除 4G 无线传输方式,调流调压站及 2 个孤立监测点地处偏远,周围无基站,实地测试 4G 信号强度低于 -110dBm,信号极差,传输速率和可靠性无法保证。

LoRa 和微波两种方式都可以很好的满足本工程的实际需求,但微波方式建设成本较高,LoRa 方式虽然传输距离和传输数量均低于微波方式,但能满足本工程实际需求且建设成本低,而且 LoRa 方式采用 433MHz 频段绕射性能优于微波,

跨越障碍物的能力好。综上所述,本工程传输方案最终选择了无线传输中的 LoRa 方案。

### 3. 方案总体设计

#### 3.1 系统结构设计

本方案在调流调压部署一套 PLC 控制柜,主要用于监控站内设备及其上下游 3—5km 处的压力、流量孤立监测点,在 PLC 柜内安装一套通信主站设备,通信主站设备的天线安装在调流调压站房的屋顶;在压力和流量孤立监测点的管道井边上各安装一套立杆及设备箱,用于安装太阳能电源、压力显示仪表及流量计主机、通信从站设备,通信从站设备的天线安装在设备箱顶部。

PLC 控制器与通信主站设备之间通过 RS485 通信线连接,通信主站设备配置了 5 米长的带 SMA-K 接口的射频天线,天线安装在调流调压站房屋顶,PLC 控制器及通信设备主站安装在 PLC 控制柜内。

流量计主机及压力显示仪表与通信从站设备之间通过 RS485 通信线连接,通信从站设备配置了 0.5 米长的带 SMA-K 接口的射频天线,天线安装在设备箱顶部,设备箱及太阳能板安装在立杆上,流量计及压力传感器安装在管道井内,蓄电池、充电控制器、流量计主机及通信从站安装在设备箱内。系统结构图见图 1。

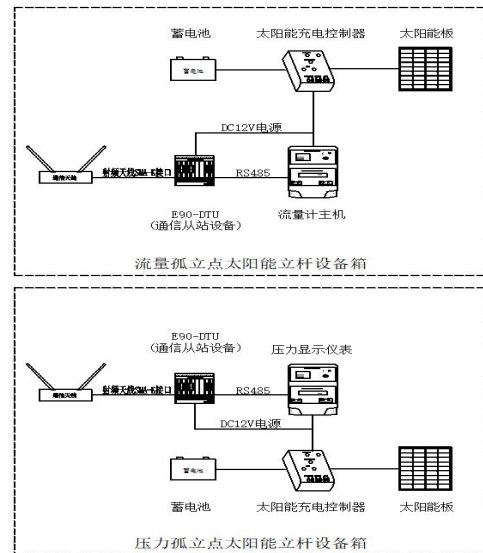
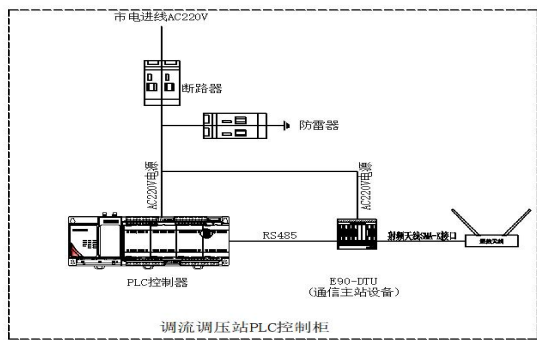


图 1 系统结构图

#### 3.2 硬件设计

调流调压站 PLC 控制柜采用市电 AC220V 电源为 PLC 及通信主站设备供电,在供电回路中配置了断路器和防雷器,起到开关、防短路、防浪涌等保护作用。压力和流量计孤立点

周围无市电,配置了太阳能供电系统,包括蓄电池、充电控制器、太阳能板。

本方案选用的 LoRa 通信设备型号为 E90-DTU,是一款工业级无线数传电台,采用 LoRa 扩频调制技术,通信距离更远,

抗干扰能力更强。E90-DTU 采用 433MHZ 载波频段，最大发射功率 30dBm，通信方式可选择 RS232/RS485、通信速率可配置为 0.3kbps~19.2kbps；理论通信距离可达 10KM，发射功率为 5w；本方案选用 E90-DTU 的配置为：通信方式 RS485，通信速率 9.6kbps，工作模式为透传模式，其通信方式、通信速率、通信距离及功率均满足本项目实际需求。

选定 LoRa 通信设备后，孤立站点的整体功耗就已经确定

了。压力孤立点的整体功耗为 8W，流量孤立点的整体功耗为 10W。跟新疆喀什地区多年降雨记录确定太阳能供电系统续航能力为连续 4 天阴雨天维持工作；平均日照时长为 8 小时，通过计算，压力孤立点配置 100W 太阳能板，100AH 胶体蓄电池，流量孤立点配置 100W 太阳能板，120AH 胶体蓄电池。主要设备选型见表 4。

表 4 主要设备选型表

序号	设备名称	主要指标	设备型号	单位	数量	备注
一 调流调压站						
①	断路器	2P 额定电流 10A	NXB-63 2P C10	个	1	
②	电源防雷器	In:20kA, Uc:275V~	NXU-II G-40kA/275V 2P	个	1	
③	PLC 控制器	小型可编程逻辑控制器，32 点 DI，16 点 DO，2 个 RS485	NA200	台	1	
④	LoRa 通信主站设备	LoRa 模块，RS485 接口	E90-DTU	台	1	
二 压力孤立点						
①	太阳能板	100W	XKD-100W	块	1	
②	蓄电池	胶体蓄电池 100AH	NPG12-100	块	1	
③	充电控制器	20A	XKD220N	台	1	
④	LoRa 通信从站设备	LoRa 模块，RS485 接口	E90-DTU	台	1	
⑤	压力传感器及显示仪表	-0.1MPa~10MPa，RS485 接口	MPM480	套	1	
三 流量孤立点						
①	太阳能板	100W	XKD-100W	块	1	
②	蓄电池	胶体蓄电池 100AH	NPG12-100	块	1	
③	充电控制器	20A	XKD220N	台	1	
④	LoRa 通信从站设备	LoRa 模块，RS485 接口	E90-DTU	台	1	
⑤	流量计及其主机	DN1200，RS485 接口	DN1200	套	1	

4. 结论

新疆某县城乡饮水工程在 2021 年 9 月通过投入使用验收，自投入使用以来，调流调压站与上下游孤立监测站之间的通信状态良好，未出现通信长时间中断的情况，实测端到端延迟≤0.8s，丢包率≤1%，30 天连续运行测试中系统可用性达 99.8%。“PLC+LoRa 终端”无线传输的远程实时监控方案的稳定性、可靠性得到了充分的验证。当然在项目建设期间，尤其是在系统调试阶段也出现了因前期设计考虑不充分导致的问题。例如，调试期间正值夏季，当地日照时间长，强度大，孤立点立杆上的设备箱受太阳直射，箱内温度高，导致充电控制器停止工作，后期通过遮挡阳光直射解决了此问题。

此外，此孤立站点远程无线实时监控方案仍有可以进一步优化提升的地方。其一，在选择无线传输方案及 LoRa 通信设备选型时未考虑安全性问题，在安全性要求高的场景中，应选择配有硬件加密芯片的 LoRa 通信设备。其二，两个孤立

监测站点的整体功耗仍然较高，在压力、流量传感器以及 LoRa 通信设备选型时可选择更低功耗的设备，以减少太阳能供电系统的投资，达到节约资源的目的。

参考文献：

[1] 基于 GPRS 的水利数据采集及远程监控系统研究[J]. 孙学. 宏车进. 张成. 安徽农业科学, 2009, 37(36).  
 [2] 基于移动网络的水利工程远程监控系统研究[J]. 秦文海. 水上安全, 2024, (13):65-67.

作者简介：褚小强，一级建造师（水利水电专业、机电工程专业）、高级工程师，主要从事水利工程自动化、信息化等研究。