

# 基于 WinCC 软件的大口径调水管道水流监测分析

滕守钦,周雪杨,许国栋

(山东省调水工程运行维护中心福山管理站,山东 烟台 264000)

**【摘要】**文章应用 WinCC 软件系统,以胶东调水工程高疃泵站—桂山调流阀管道段为例,设计了一套管道水流监测系统,通过对管道充水阶段的水流状态及水头变化进行模拟,实现对水头走向的实时监控与预测,为调水工程的安全稳定运行提供了有力保障。

**【关键词】**WinCC 软件;胶东调水;管道充水;水流模拟

**【中图分类号】**TV85

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1009-6159(2025)-05-0048-04

## Analysis of Water Flow Monitoring System for Large-Diameter Water Diversion Pipes Based on WinCC Configuration Software

TENG Shouqin, ZHOU Xueyang, XU Guodong

(Fushan Management Station, Water Diversion Project Operation and Maintenance Center of Shandong Province, Yantai, Shandong 264000, China)

**Abstract:** This paper taking the Gaotuan Pumping Station – Guishan Flow Regulating Valve pipeline section of the Water Diversion to Jiaodong Area Project as an example, this paper designs a set of pipeline water flow monitoring system using WinCC software. By simulating the water flow state and water head changes during the pipeline water filling stage, it realizes real-time monitoring and prediction of water head trends, providing a strong guarantee for the safe and stable operation of the water diversion project.

**Key words:** WinCC software; Water diversion in Jiaodong area; Pipeline water filling; Water flow simulation

丘陵地带大口径地理式调水管道工程往往具有流量大、输水量大、控制结构多、水体流动复杂等特点,对工程的稳定性和可靠性要求极高。管线布置须顺应地形起伏,往往由多个连续的 U 型曲折管段组成,进一步增加了水流运动的复杂性。在工程建成验收、检修后或者正式通水前,通常需要先对管道进行充水。然而,管道在充水过程中常受人为、自身结构、外部条件等多重因素的影响,可能会产生瞬变流和管道水锤。水流监测追踪是研究管道水流运动规律的重要手段,能够及时掌握水流的走向和动态变化,有助于调水工程的信息化和智能化管理。

WinCC 软件作为一种人机相互的视窗控制中心,以其灵活的开发和应用优势,为工程管理提供了强大的技术支持。通过 WinCC 技术,能够

实现对管道充水全过程的远程监视、数据储存及分析诊断,提升了工作效率和工程安全性。

## 1 设计背景

### 1.1 工程背景

胶东调水工程高疃泵站—桂山调流阀管道段,总长 29.46 km,主要位于烟台市福山区和莱山区,地质构造属胶东地盾的胶北隆起区,地势呈西南高,而东北低的特点,以低山丘陵地形为主。该段管道先从河道爬坡至义井村山顶,随后下山穿越农用地并再次爬坡至盛家山顶,接着下山沿河道及公路周边绿化带延伸,爬坡至集贤村山顶,最后下山穿越外夹河并爬坡至桂山调流

收稿日期:2025-02-28

作者简介:滕守钦(1973—),男,副主任

阀。输水管道顺应地形起伏铺设如图 1 所示,随地形多次升降,形成了由 5 个“U”形管串联而成的复杂输水系统。

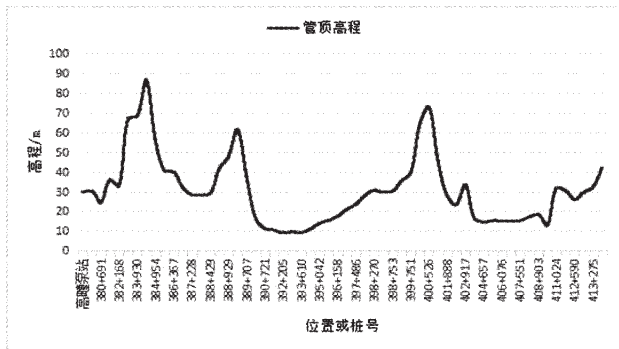


图 1 胶东调水工程高疃泵站—桂山调流阀管道段走向图

该段管道为单管,设计流量  $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ,管径分为 DN2200 和 DN2000 两种,管材有螺旋钢管、PCCP 管和玻璃钢管 3 种,输水方式为加压输水和有压重力输水相结合的输水方式。在距离高疃泵站 4.8 km 处设无压高位水池 1 座,高位水池上游管道段通过高疃泵站加压输水,下游管道由桂山调流阀控制进行有压重力输水。沿线共设阀门井 13 座,排气井 42 座,排水井 13 座,每座阀门井内均配套有蝶阀、PLC 设备等,管线中部设置压力传感器各 2 台,因此每处阀门井的管道压力值可通过 PLC 实时传输到自动化系统平台。每座排气井内设 DN300mm 恒速缓冲排(补)气阀 2 台,达到对管道进行排补气的作用。

### 1.2 管道充水的水力特性

由于管道运行时容易受气体的作用引发水锤,严重影响管道安全,因此通常在正式运行前先对管道进行小流量充水。胶东调水工程高疃泵站—桂山调流阀管道段充水流量一般为  $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,管线全部空管状态下需要充水量  $12.7 \text{ 万 m}^3$ 。管道充水是一种水体进入、气体排出的过程,充满水后管内气体被全部排出,大大降低了管道水锤破坏的风险。

因高疃泵站—桂山调流阀管道段工程较长,管道随地形多次起伏,形成了由 5 个“U”形管串联而成的复杂输水系统。管道在空管或者不满管的工况下,小流量充水时,由于气体的特性,在“U”形管逆坡上升段,气囊随水流方向前进,较易排出;而在“U”形管顺坡下降段或长水平段,气囊受水体、摩擦力作用,或滞留于管壁顶部,或随水流方向前进或逆向流动,容易引发水锤或卡组。

根据测算,当充水流量小于临界积气流量时,管道内气囊可沿管道顺坡升到高点而从排气阀排出,防止气体随水流向下游迁移,气囊聚积,引发管道水锤。因此,在管道充水期间,追踪和监测管道水流走向和动态是非常有必要的。

### 1.3 管道充水存在的问题

胶东调水工程高疃泵站—桂山调流阀管道段为大口径埋地式有压管道,管线长、直径大、起伏大,管道充水过程极其复杂,排气时间长,排气阀的排气量会随着管道空管—满管的状态由小到大变化。在排气过程中,若排气阀喷出少量水可判定管内充水已到达此处。当排气阀不再排出空气时,说明该处已满管。充水期间管道内排气是否顺畅、水流到何处是管道安全运行的关键,传统的水流追踪方式是运维人员在现场蹲守,人工观察复合式排气阀的排气情况,再汇报至调度中心,由技术人员整理分析,从而判断管道内水流走向及水头动态,这种追踪方式存在较大弊端。

一是工作效率和可靠性存在明显不足。人工现场观察难以实现实时监控,无法保证 24 h 不间断监测,尤其是夜间或者交接班时段容易出现监测真空。此外,人工监测容易受到主观因素影响,如视觉疲劳或经验差异出现判断错误的情况。更为严重的是,现场运维人员往往难以及时捕捉瞬时压力变化或管道泄露等异常情况,从而对工程安全构成潜在威胁。

二是工作强度大,耗费大量人力。以胶东调水工程高疃泵站—桂山调流阀管道段为例,沿线近 30 km,共设置了 60 余处阀门井,若想全面跟踪,则需要同时安排几十余人在现场蹲守,耗费大量的人力物力,如若只安排在关键节点,则无法同时采集多个位置的数据,数据全面性、准确度不高,对管道运行状态的判断误差较大。并且管线往往布置在偏远地区,现场环境比较恶劣,夏天高温冬天寒冷,工作难度较大,工作人员容易疲劳,严重影响工作质量。

三是数据管理缺陷较大,准确度难以保证。人工现场采集数据后,需要先汇报至调度中心,再由技术人员进行整理和分析后才能得出结论。这种方式不仅工作效率较低,而且过度依赖人员的经验。若技术人员经验不足,则可能无法准确判断充水过程中的异常或潜在问题,不同人员对

同一种情况的解读和理解也存在差异,导致决策缺乏一致性。此外,人工记录数据主观性较大,受个人习惯的影响,可能会出现记录延迟或者估读数据的情况,从而降低后期分析的可信度,难以与实时视频、传感器数据联动形成完整的证据链。

## 2 程序设计与实现

### 2.1 程序基本构成

胶东调水工程高疃泵站—桂山调流阀管道段水流监测系统,包括 29.84 km 的调水管道、3 台充水泵、流量计、13 处阀井压力传感器以及 PLC 系统和 WinCC 组态软件等。系统软件程序主要包括 PLC 程序、WinCC 组态软件设计 2 个部分。PLC 软件编程采用 GE 的 ProficyME 平台,组态软件采用 SIEMENS 的 WinCC 平台,两者的通信方式为 Modbus-TCP,具体算法使用 WinCC 自带的 C 语言脚本编辑器实现。框架图如图 2 所示。

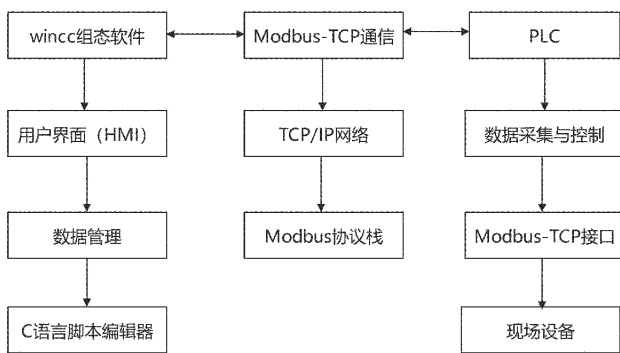


图 2 水头监测系统框架图

### 2.2 程序的实现

水流由充水泵进入起始点高疃泵站处的管

道,通过加压经过福山 1#~4# 阀门井,流至管线最高点高位水池,然后通过自流向下游输送至桂山调流阀。沿线 13 处阀井现场都安装有 2 套压力传感器,位于管道蝶阀上下游的中部位置,因传感器自身存在的精度限制、信号影响等问题,管顶与管中水压力误差可忽略不计,压力传感器监测到的数值即为管道的相对压力值。

根据胶东调水工程高疃泵站—桂山调流阀的高程桩号图,按一定比例在软件的图形编辑界面中绘制出相同的图像。通过软件将曲线离散化为点集,再采用描点成线的方法,由此绘制出等比例的高疃泵站—桂山调流阀管道走向高程图。图中以颜色来定义管道的状态,红色表示空管状态,蓝色表示满管状态,控制变色的效果可通过编程语言控制每个点对象的颜色属性可实现。

要精准追踪管道内水流状态,根据工程的实际情况,将胶东调水工程高疃泵站—桂山调流阀走向高程图分割为 5 段,每一段视为一个 U 型管,U 型管的最低点为相对高程基准点,分别为高疃泵站—高位水池(段 1)、高位水池—福山 14# 排气井(段 2)、福山 14# 排气井—福山 30# 排气井(段 3)、福山 30# 排气井—福山 33# 排气井(段 4)、福山 33# 排气井—桂山调流阀站(段 5),最低点分别为高疃泵站、福山 5# 阀门井、福山 7# 阀门井、福山 11# 阀门井、莱山 2# 阀门井,它们所处的高程依次是 29.83 m、28.74 m、10.36 m、23.2 m、12.72 m。如图 3 所示。

文章以第二段 U 型管线为例说明软件的编程思路及方法。如图 4 所示,将此段高程图等效

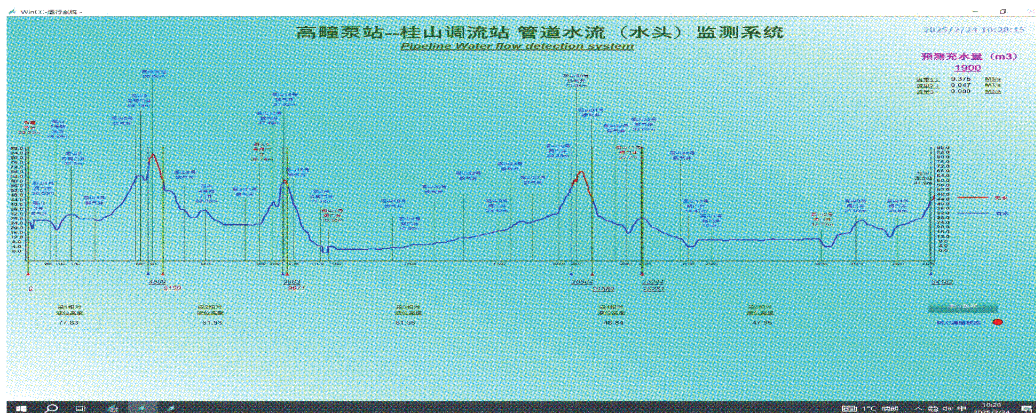


图 3 高疃泵站—桂山调流阀管道水流监测系统

类比为 U 型连通器,U 型连通器的线分割为无数个点连接。

该连通器的相对液位高度  $h$  为最低点福山 5# 阀门井的水头压力,相对液位高度  $h$  可与压力



图4 第二段U型管示意图

传感器数值  $P$  建立一次线性代数关系,即:

$$h=P \cdot 1000/g$$

式中: $g$  为重力加速度,取值  $9.8 \text{ m/s}^2$ 。

AB 线为 U 型管的相对液位高度,以纵坐标数值  $Y$  为界限 AB 线的高程值, $Y=h+28.74$ 。当该 U 型管中的某点高程值小于或等于  $Y$  值时,表示该点满水,标识蓝色;反之,当某点的高程值大于  $Y$  值时,表示该点无水,标识红色。同时,当液位高度确定 A、B 点之后,可获得 A、B 点相对应的横坐标,即可确定水头位置(桩号),A、B 两点之间的桩号差即为满水管道的长度  $L$ ,水量为:

$$Q=\pi R^2 \cdot L$$

式中: $R$  为管道管径,取值  $1 \text{ m}$  或  $1.1 \text{ m}$ 。

### 3 展望及建议

#### 3.1 应用前景展望

高疃泵站—桂山调流阀管道段水流(水头)监测系统具有实时性强、可拓展性强、人机界面直观等优势,通过与胶东调水工程现有的 PLC 自动化系统有效结合,能够从阀门井现场的 PLC 设备中实时获取管道压力数据,实现了实时监测管道内水流的目的。系统功能强大,支持实时数据计算和分析,水流动态波动会导致管道压力持续变化,系统都能够及时捕捉并做出响应处理,满足调水管道内复杂水流条件的需求。系统的应用有利于管理人员随时掌握管道内部的运行状态,及时发现充水期间管道出现的异常情况,因此可推广到整个调水系统甚至整个水利、农业领域的输水管道使用,具有极强的推广价值。

#### 3.2 建议

该系统具备出色的实时性和强大的功能性,能够满足管道充水运行期间水流的实时追踪需求。然而,由于当前尚处于研发和实验阶段,还需进一步优化和完善。

一是扩大系统模块平台,支持与 PLC、现场多种传感器、执行元件的高效集成。通过专业的通信技术,实现对工程运行全流程的实时监控与智能管控,包括运行参数管理、报警记录存档、运行数据归档,以及水泵启停和蝶阀开关的远程控制等,确保工程安全可靠。

二是引入人工智能算法,优化流态数学模型,提高模拟精度。系统可增设高精度流量监测模块,通过充水泵流量采集设备,与管道内实际充水量做动态对比。当监测数据超出预设渗漏阈值时,则系统启动多级预警自动报警,确保问题得到快速响应和处理。

三是开发移动终端应用,实现远程监控和管理。通过构建跨平台的移动应用系统,管理人员可以通过移动设备,随时随地查看管道运行状态、接收预警信息。同时,结合 GIS 技术,利用空间数据库技术,将管道属性数据与地理信息深度融合,构建三维管网模型,实现管道的精确定位和状态监测,实现管道运行状态的可视化展示和分析。还可结合历史数据进行趋势预测,实现异常状态的智能诊断和预警,为胶东调水管道的智能化管理提供支持。

### 4 结语

基于 WinCC 组态软件的胶东调水工程高疃泵站—桂山调流阀管道段水流监测系统,成功实现了对调水管道充水阶段的实时监控和远程追踪,能够实时采集处理和显示管道内的流态,确保充水过程的可控性和安全性。系统自动化程度高,大大减少了对现场运维人员的需求,降低人力成本,有效避免人为干预,规避了操作失误的风险。系统能够高效处理大量实时数据,运行稳定,监测准确度和及时性较高,具有良好的应用前景,能够为类似工程提供参考和借鉴价值。

(责任编辑 崔春梅)