

山地城镇长距离串联增压输水系统水锤防护

王颖^{1,2}, 王圃², 郑怀礼², 周志强², 曾国明³

(1. 重庆大学建筑规划设计研究总院有限公司, 重庆 400045; 2. 重庆大学 城市建设与环境工程学院, 重庆 400045; 3. 重庆科技学院 建筑工程学院, 重庆 401331)

摘要: 山地城镇长距离串联增压输水系统的水锤特性不同于传统的单级泵站输水系统, 基于实际工程案例中出现的水锤爆管等问题, 分析了输水系统水锤的成因及其过程, 提出采用流量控制阀合理分配多个不同高程高位水池的水量, 采取超压泄压阀和注气微排阀综合防护措施消除失电停泵引起的断流弥合水锤, 这些措施可提高串联增压输水系统的安全可靠性。

关键词: 串联增压输水系统; 水锤防护; 流量控制阀; 注气微排阀; 超压泄压阀

中图分类号: TU991 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)13-0053-04

Water Hammer Prevention in Long Distance Serial Pressurized Water Transfer System in Mountain Town

WANG Ying^{1,2}, WANG Pu², ZHENG Huai-li², ZHOU Zhi-qiang²,
ZENG Guo-ming³

(1. General Architectural Planning & Design Research Institute of Chongqing University Co. Ltd., Chongqing 400045, China; 2. College of Urban Construction and Environmental Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China; 3. School of Civil Engineering and Architecture, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing 401331, China)

Abstract: The characteristics of water hammer in long distance serial pressurized water transfer system are different from those in single-stage pumping station. The causes and the processes of the water hammer in the system were analyzed based on problems in the real project case, such as pipe burst. It was suggested to use flow control valves to properly distribute the water volumes in reservoirs of different elevations. The water hammer of cavities collapsing caused by tripping pump due to electric supply failure was eliminated using overpressure relief valves and gas injection micro-discharge valves. These measures could improve the safety and reliability of the series pressurized water transfer system.

Key words: series pressurized water transfer system; water hammer prevention; flow control valve; gas injection micro-discharge valve; overpressure relief valve

为了节约能源、保证水质、节省土地资源, 中间泵站不设调节水池而采用水泵直接串联增压的长距离输水系统越来越多^[1]。相对于设置调节水池的

输水系统, 串联增压输水系统的水锤现象较为严重, 而山地城镇长距离输水系统通常会进一步加剧水锤现象, 造成输水安全性降低。因此, 笔者以典型的西

南地区某山地小城镇长距离串联增压输水系统实际工程为例,通过计算结果对输水系统投产运行阶段存在的供水安全问题进行分析研究,优化运行管理方案,并针对造成水锤破坏严重的泵站失电停泵情况,采取合理的综合防护措施,经技术改造使原有长距离串联增压输水系统恢复正常运行。

1 工程概况

西南某山地小城镇清水输水工程近期规模为 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 管线总长为 31.5 km, 输水系统共有 3 个加压泵站和 4 个不同标高的水池, 各高位水池分别向 4 个小城镇用水区重力流供水。输水系统管材采用钢丝网骨架 PE 管, 管道沿线承压能力为 1.0~2.0 MPa 不等, 管线起伏大, 最大落差达到 140 m。原有长距离输水系统投产运行后, 出现了如下工程问题: ①部分管道被吸瘪; ②部分管道多次出现爆管现象; ③4 个高位水池进水量难以控制, 管理不便。输水系统示意图见图 1。1#泵站(水厂二泵站)将水厂出厂水输送至 2#泵站和 3#泵站处, 经 2#泵站提升后输水至高位水池 A, 经 3#泵站提升后输水至高位水池 B、C、D, 4 个高位水池分别向 4 个小城镇用水区供水。泵站增压方式为直接从输水管上串联供水, 泵后设置止回阀。泵站水泵参数如下: 1#泵站, 2 用 1 备, 单泵流量为 $230 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 70 m; 2#泵站, 1 用 1 备, 单泵流量为 $52 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 38 m; 3#泵站, 2 用 1 备, 单泵流量为 $206 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程为 92 m。

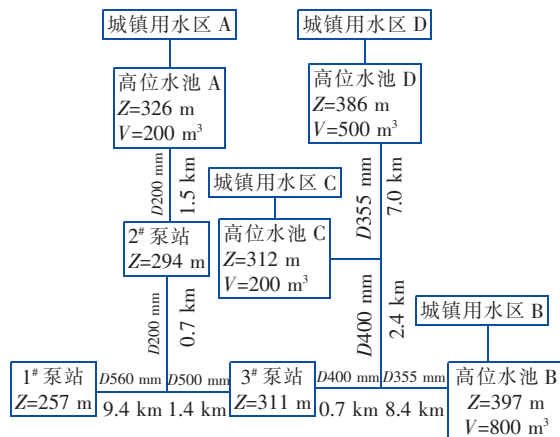


图1 输水系统示意

Fig. 1 Schematic diagram of water transfer system

2 输水系统稳态计算及运行管理优化

2.1 原输水系统稳态计算

以 1#泵站至高位水池 B 的管段计算结果为例, 在无水锤防护措施且所有输水管路同时工作的情况

下, 其纵断面及稳态运行水力坡降计算结果见图 2。

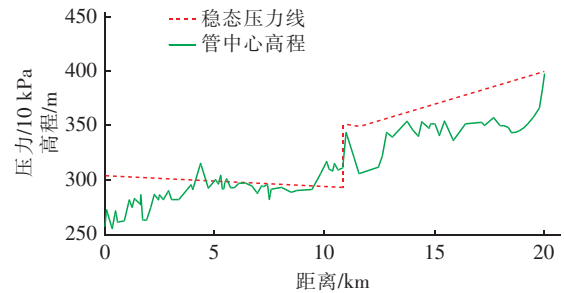


图2 无防护措施时管道纵断面及稳态运行水力坡降计算结果

Fig. 2 Calculation results of pipeline longitudinal section and hydraulic slope in steady-state without protective measures

在 1#泵站至 3#泵站间的多个局部高位凸点处出现真空现象, 存在低于水流汽化压力为 -8 m (1 m 水柱产生的压力约为 10 kPa, 下同) 的负压水头, 最低负压水头达到 -22 m, 系统无法正常运行。工程实际运行中, 3#加压泵站前端高位凸点处的管道已出现被吸瘪的现象。

3#泵站后干管分支点至高位水池 B 的管段, 高位水池 B 的水体倒流至高位水池 C。因输水系统中由 3#泵站统一加压供水的高位水池 B、C、D 的需水量以及水池容量、水池底高程各不相同, 在 $1 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 的供水情况下, 距 3#泵站近且高程低的高位水池 C 先被注满水。工程实际运行中, 当向输水系统最高点的高位水池 B 供水时, 需要将高位水池 B 输水管的闸阀全开, 高位水池 C、D 输水管的闸阀开启 10%~20%, 才能使高位水池 B 获得足够的供水, 因此系统运行管理麻烦, 既影响了供水安全, 又造成了能量浪费。

2.2 输水系统运行管理优化

为了保证输水系统正常运行, 根据各不同标高高位水池需水量的情况, 将流量控制阀设置在各高位水池的进水管上, 调节进入各高位水池的流量和压力, 这一措施既解决流量分配问题, 又使得系统末端水量和水压得到有效控制, 避免了局部高位凸点产生真空的现象。同时在水池内安装浮球阀, 当水满时自动关闭浮球阀, 对进入各高位水池的水量进行控制, 避免了低标高高位水池的溢流现象。

在设置流量控制阀且所有高位水池同时工作的情况下, 1#泵站至高位水池 B 的管道纵断面及稳态运行水力坡降计算结果见图 3。采用在原有输水系

统设流量控制阀的改造措施,实际工程1年的运行结果表明,输水管线的多个局部高位凸点处均未再出现负压现象,各高位水池可根据用水需求同时进水,全线自由水头均在合理范围之内,管线承压能力满足稳态运行时的需求,输水系统正常运行。流量控制阀的设置有效解决了管道被吸瘪现象,实现了不同标高处各高位水池水量的合理分配,管理方便。

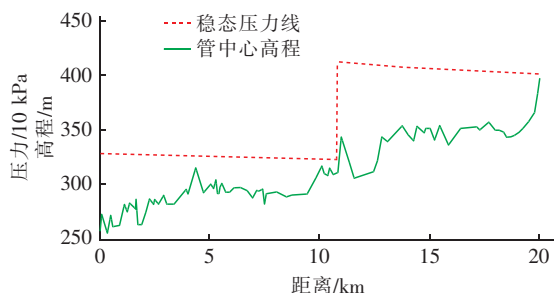


图3 设置流量控制阀后管道纵断面及稳态运行水力坡降计算结果

Fig. 3 Calculation results of pipeline longitudinal section and hydraulic slope in steady-state with flow control valve

3 输水系统水锤防护

3.1 输水系统无水锤防护设施的水锤计算

在各高位水池进水管前端设置流量调节阀,输水系统在稳态正常运行条件下,对泵站失电停泵水锤进行研究。输水系统存在多泵站联动运行,对各种不利工况的计算分析表明,一旦1[#]、2[#]、3[#]泵站全部机组同时失电停泵,各级泵站失电引起的水压叠加造成压力波动加剧,高点处易发生断流空腔水锤及断流空腔再弥合水锤,产生的水锤压力大、危害高。因此,以所有泵站同时失电停泵的不利工况进行水锤防护,并校核其他不利工况。

所有泵站同时失电停泵时,1[#]泵站至高位水池B管道沿线瞬态流计算结果见图4。

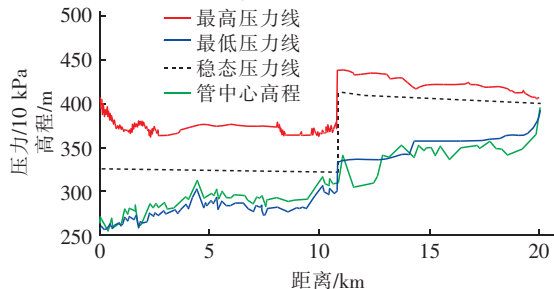


图4 无水锤防护措施时管道沿线瞬态流计算结果

Fig. 4 Transient results along pipeline without protective measures

1[#]泵站至3[#]泵站的输水管路,1[#]泵站停泵引起的低压波和2[#]泵站、3[#]泵站停泵引起的高压波耦合叠加,引起压力强烈波动。管段出现负压水头,大部分管内产生汽化现象,最低压力水头为-10.1 m。压力最高点出现在1[#]水泵的出口处,压力水头为149.3 m,达到了稳态运行时最高压力的2.13倍。

3[#]泵站至高位水池B的输水管路,局部高位凸点处存在负压,最低压力水头达到-10 m。最高压力水头(128.9 m)出现在3[#]泵站后,比稳态运行时升压25.9 m。最高压力线沿高位水池B方向逐渐降低,在该段末端与稳态运行水力坡降线趋于重合。

由计算结果可知,1[#]泵站至3[#]泵站的输水管路,既要防止由于1[#]泵站停泵引起的低压波,也要防止因2[#]、3[#]泵站停泵引起的高压波。3[#]泵站至高位水池B的输水管路,高压水锤并不严重,重点在于防止由低压真空导致的管道破坏。工程实际运行中,原有输水系统管线已多次出现爆管现象,部分管段出现管道被吸瘪现象,因此需在原有输水系统中增加防水锤设施,以提高供水安全性。

3.2 输水系统设置注气微排阀的防护效果

在管线上设置空气阀是防止真空和断流弥合水锤升压过高的有效措施^[2]。注气微排阀是一种具有较大的进气系数和进气面积、较小的排气系数和排气面积的空气阀,在水柱弥合时能形成有效的空气囊缓冲压力波动,减少再弥合水锤的危害。因输水系统距离较长且地势起伏较大,故采用注气微排阀进行防护。通过计算,在停泵水锤严重的高位凸点处设置注气微排阀,优化其数量和位置,1[#]泵站至高位水池B管道沿线瞬态流计算结果如图5所示。

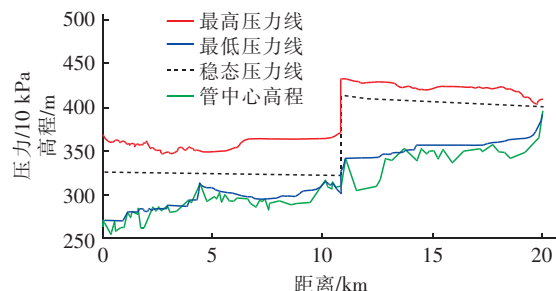


图5 注气微排阀防护后管道沿线瞬态流计算结果

Fig. 5 Transient results along pipeline under gas injection micro-discharge valve

通过设置注气微排阀,除局部地段外,管路基本消除负压,局部负压也达不到汽化压力,不会对管路

造成破坏,系统负压水锤得到了较好的控制。1#泵站至3#泵站的输水管路最高压力线整体下降,水泵出口出现的最大压力水头由无防护时的149.3 m降至111.5 m,防护效果明显,但压力仍然超过泵站设计规范要求,需要进一步采取水锤防护措施来降低管道中水锤升压的问题。

3.3 输水系统采用综合防护方案的效果

除在管道系统上布置注气微排阀外,还采用直接作用式超压泄压阀作为正压水锤防护措施。当管路系统内的压力持续升高至超过额定的极限值时,阀门迅速开启,泄水降压,维持管路系统压力稳定。通过计算,在1#泵站出水总管起端以及3#泵站上游管路末端设置超压泄压阀,防止断流弥合水锤过高的升压和3#泵站停泵引起的高压。在输水系统中设置超压泄压阀与注气微排阀综合防护时,1#泵站至高位水池B管道沿线瞬态流计算结果见图6。

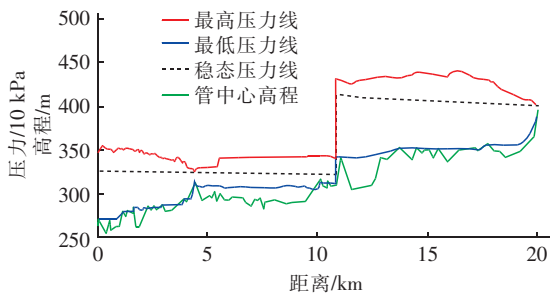


图6 超压泄压阀与注气微排阀防护后管道沿线瞬态流计算结果

Fig. 6 Transient results along pipeline under the protection of overpressure relief valve and gas injection micro-discharge valve

1#泵站至3#泵站的输水管路最高压力线整体下降到管道承压范围之内,1#泵站水泵出口最大压力水头降至92.9 m。输水系统全线压力均满足管材承压条件,管路中无负压导致的汽化现象,各水泵出口压力和反转速度均符合泵站设计规范要求。该输水工程技术改造后1年的运行结果表明,上述水锤综合防护措施解决了实际工程运行中出现的管道被吸瘪和爆管现象,提高了输水系统供水安全性。

4 结论

针对实际工程案例出现的供水安全性问题,以

输水系统计算结果和实际运行效果为分析依据,结合对西南某山地小城镇长距离串联增压输水系统实际工程的技术改造,提出了采用流量控制阀、超压泄压阀和注气微排阀综合防护措施,这既可对不同标高的高位水池水量进行合理的流量分配,又能有效地防止水锤现象,提高供水安全性。该方法具有投资少、设置条件要求低的特点,可为其他类似山地城镇长距离串联增压输水工程提供参考。

参考文献:

- [1] 冯婷,贾亚军,谢仁杰. 梯级泵站串联加压长距离输水的水锤特点及防护措施[J]. 中国给水排水, 2008, 24(14): 51-54.
Feng Ting, Jia Yajun, Xie Renjie. Characteristics and protective measures of water hammer in cascade pumping station for long distance pressure water delivery [J]. China Water & Wastewater, 2008, 24(14): 51-54 (in Chinese).
- [2] 金锥,姜乃昌. 停泵水锤及其防护[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004.
Jin Zhui, Jiang Naichang. Pump-stop Water Hammer and Its Protection [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2004 (in Chinese).



作者简介:王颖(1993-),女,重庆人,硕士,主要从事给水工程理论与技术方面的优化设计及研究,曾在2015年获“中国给水排水杯”全国高校给排水专业科技创新优秀奖。

E-mail: 459678973@qq.com

收稿日期: 2018-12-13