

切换水源对重力流输水系统水锤影响研究

杨书统

河南省水利勘测设计研究有限公司 河南 郑州 450003

摘要:随着社会经济的发展,供水城市日益增多,调水工程也逐渐增多,在工程实施过程中,部分线路改变水源或增加管道分支线,都会对已有输水管道的水力过度过程产生影响。以河南省南水北调配套工程为例,建立输水管道数学模型,通过对输水管道开关阀模拟,研究改变水源对重力流输水系统的水锤影响,并提出相应的保护措施。

关键词:南水北调;切换水源;重力流;水锤复核

1 工程概况

11号口门叶县输水管道起点为白龟山水库南干渠引水闸,终点为叶县规划水厂,管道总长度21.75km,设计流量 $1.0\text{m}^3/\text{s}$,管径DN1400,管材为预应力钢筒混凝土管(PCCP)。平顶山市城区南水北调供水配套工程起点位于鲁山县张良镇贺塘村南总干渠右岸,在平顶山市河滨办事处褚庄经泵站加压后,进入白龟山水厂和九里山水厂。共铺设管道37.71km,其中主管道管道长度26.12km,采用DN2000球墨铸铁管道,支管道长度11.59km,采用K9级DN1600球墨铸铁管道。

平顶山城区南水北调供水配套工程输水管道在鲁山县洼陈村东输水管道桩号SG0+085.604处通过管道及阀门与11号口门叶县输水管道相连接。工程实施后,叶县规划水厂既可以直接使用南水北调中线总干渠水源,也可以使用白龟山水库水源。输水系统在实际运行过程中运行工况负责,在水源切换过程中,已建输水系统会发生水利过渡过程现象,威胁输水系统的供水安全。为保证新建管道、已建管道的运行安全,在此对改变水源对原供水管道的水锤影响进行研究分析,以确定切换水源对输水系统的影响并提出相应的措施。

2 计算原理及边界条件

2.1 计算原理

本次水力过渡过程研究分析应用特征线法进行水锤计算,首先通过设定可能的阀门启闭规律来满足水锤防护要求,当通过设定阀门操作规律就可满足水锤防护要求时,管道沿线设置的复合式空气阀按规范要求设置主要起到管道充气排水作用,否则应考虑设置空气罐、调压塔等水锤防护措施,以保证重力流输水系统的安全运行。水锤基本方程表达式如下:

$$\text{运动方程: } g \frac{\partial H}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{f|V|V}{2D} = 0 \quad (1)$$

$$\text{连续方程: } \frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

式中: H —测压管水头(m); D —管路的摩阻系数和管直径(m); V —管内流体的流速(m^3/s); x 、 t —水锤波沿管轴线传播的距离和时间; a —水锤波速(m/s);

2.2 边界条件

对于本工程来说,其实际边界状况往往比较复杂,故在处理各种边界条件时要进行适当简化,但应以基本上不影响原有的物理状态为原则。本次研究分析边界条件如下:①泵站前池,对于前池具有较大面积的自由睡眠,可假定在过渡过程计算中,前池水位保持不变;②分岔管及串联管,分岔点和串联点处的局部水头损失和流速水头,按压力和流量连续条件考虑;③空气阀假设条件:空气等熵地流进流出阀门;管内的空气质量遵守等温规律;进到管道的空气留在它可以排出的阀附近;液体表面的高度基本上保持不变,而空气的体积和管段里的液体体积相比很小。

3 水力过渡过程复核

3.1 原供水管道水力过渡过程复核

通过对重力有压流正常工况和最危险工况水力过渡过程进行预测、分析和数值计算,提出重力输水管道合理的关阀和开阀规律及水锤防护措施,确保管路安全。

3.1.1 关阀计算

11号口门输水管道以关闭末端阀门作为设计控制工况,经多次试算,末端调节阀采用双阶段关闭10-70-300-100关闭时,管道最大压力为 $20.6\text{mH}_2\text{O}$,正常工作压力 7.9m ,管道最小压力 7.9m ,最大压力是正常工作压力的2.61倍,而所选管材设计压力为 0.4MPa ,因此采用10-70-300-100双阶段关闭时,系统是安全的。

3.1.2 开阀计算

由于过快的开阀容易在管道中造成较大的负压,选择适当的阀门开启规律,可以有效的防止负压的产生。通过试算,选择400s匀速开阀。

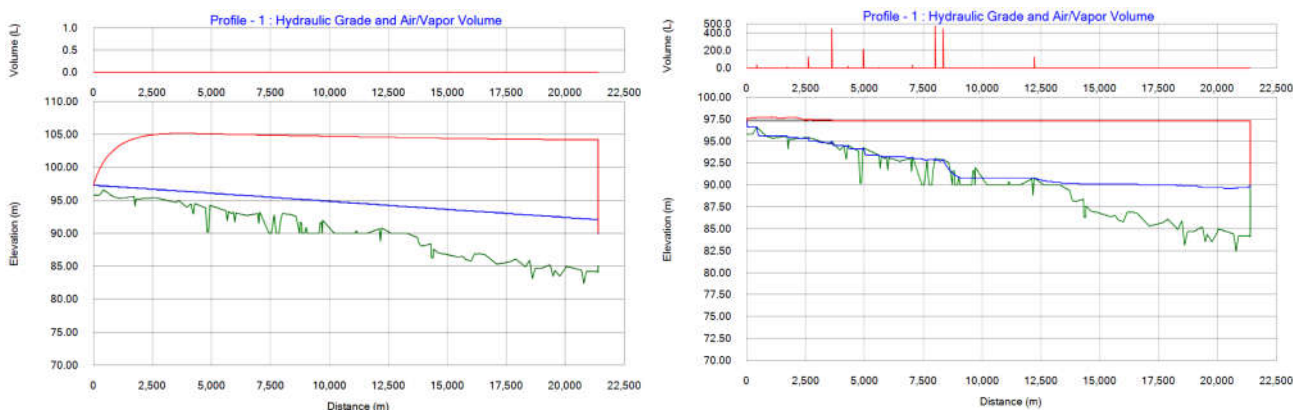


图1 原11号口门输水管道开关阀水头包络线

通过对重力有压流正常工况和最危险工况水力过渡过程进行预测、分析和数值计算,重力输水管道合理的关阀和开阀规律及水锤防护措施,原11号口门输水管道水锤对管线运行安全影响不大。

3.2 切换水源后供水管道水力过渡过程复核

切换水源后叶县规划水厂由原南水北调水经白龟山水库调蓄供水,调整为由南水北调总干渠通过管道直接供水。

3.2.1 关阀计算

为了保证管道输水安全,同时尽量不影响叶县水厂阀门关闭规律,当将主管线末端阀门的关闭规律设置为二阶段关阀10-70-300-100时,经过计算,管道中的压力超出正常工作压力的4倍,不满足规范要求。当将主管线末端阀门的关闭规律设置为600s线性关阀、叶县管道末端阀门的关闭规律设置为二阶段关阀10-70-300-100时,经

过计算,管道中的压力不超出正常工作压力的1.3倍,满足规范要求。

3.2.2 开阀计算

为了保证管道输水安全,同时尽量不影响叶县水厂阀门开阀规律,当将主管线末端阀门的开阀规律设置与叶县管道关阀规律一致时,经过计算,管中最小压力为 -9.0m ,不满足规范要求。当将主管线末端阀门的开阀规律设置为600s线性开阀、叶县管道关阀规律与原开阀规律一致时,经过计算,叶县管道管中最小压力为 -1.819m ,主管线管中最小压力为 -1.346m 。当将主管线末端阀门的开阀规律与叶县管道关阀规律同时设置为600s线性关阀时,经过计算,叶县管道管中最小压力为 -1.634m ,主管线管中最小压力为 -1.181m ,满足规范要求。

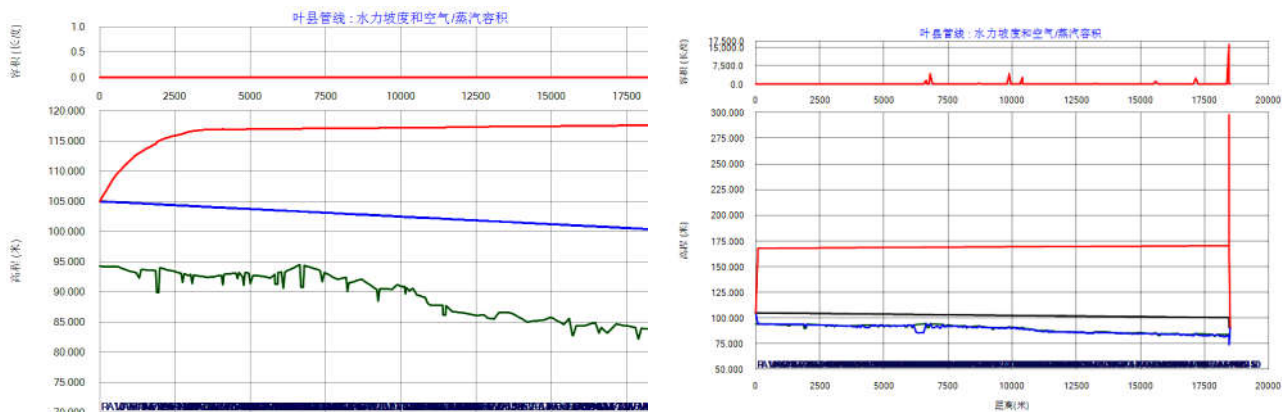


图2 切换水源后11号口门输水管道开关阀水头包络线

通过对重力有压流正常工况和最危险工况水力过渡过程进行预测、分析和数值计算,切换水源后叶县供水管道关阀规律与原设计保持不变,开阀时需要将原设计

400s匀速开阀调整为600s匀速开阀,才能保证管道的最小压力满足规范要求。

4 水锤防护措施的研究与应用

4.1 设置空气阀

在输水系统中,空气阀的设置是一种有效的水锤防护措施。在管道内出现负压时,空气阀能够及时吸入空气,有效防止管道出现真空状态,保护管道不因负压而受到损害。这种及时补充空气的功能,确保了管道内部的压力平衡,避免了由于压力波动引起的管道破损风险。此外,当管道内正压过高时,空气阀同样发挥着重要的作用^[1]。它可以排出管道内的部分空气,从而降低管道内的压力,保持管道在安全的压力范围内运行。这种调节功能,使得空气阀成为输水系统中不可或缺的一部分,为管道的正常运行提供了有力的保障。空气阀在输水管道中起到了关键的保护作用,无论是负压还是正压过高的情况,它都能有效地调节管道内的压力,确保管道的安全运行。

4.2 应用减压阀

减压阀在输水系统中扮演着至关重要的角色,它是一种非常有效的水锤防护措施。当管道内的压力异常增高,超出安全范围时,减压阀便能自动发挥作用。这种阀门设计精妙,能够在感应到过高压力时自动开启,及时将管道内多余的压力释放出去,确保整个输水系统的压力维持在安全水平。减压阀的工作原理基于其内部感应和压力调节机制。一旦管道内压力超过预设的安全阈值,减压阀便会迅速响应,自动打开阀门,释放多余压力。这种自动调节的功能,不仅保护了管道不受过高压力的破坏,同时也确保了供水系统的稳定性和安全性。

在实际应用中,减压阀被广泛安装在关键部位,如水泵出口、管道分支处等,以实现对整个输水系统的全面保护。通过合理设置减压阀,可以大大降低因水锤引起的管道破损风险,提高供水系统的可靠性和耐久性^[2]。

结语

在重力流输水系统中,由于工程建设需要对已建输水管道切换水源,应进行水力过度过程计算分析其对原输水管道的的影响。以切换水源前后的输水系统为模型,进行水锤复核,合理设定输水系统各水厂阀门的运行时间,减小水锤压力对整个输水系统的影响,保证供水安全。

针对本输水工程,除了在输水管道设置空气阀、减压阀等阀件设备,有效降低输水线路的沿线最大压力,使新建和已建输水系统的水锤压力大幅控制。同时对原输水管道的末端调流阀的开关阀规律进行调整,使整个输水系统的水锤压力在规范要求的范围之内。

参考文献

- [1]刘科妍、康海、鞠厚磊等,增加分支线对重力流输水系统影响模拟研究[J].河南水利与南水北调,2018.47(12) 76-79.
- [2]白泽昌,浅析供水管道减压及排气设施的必要性[J].水上安全,2023(16) 145-147.
- [3]李甲振、孙丽萍、霍顺平,长距离多分支重力流的水锤防护[C].中国水利学术大会论文集,2023.11.04.(15)56-58.