

浅谈长距离压力输水管的水锤防护

刘宏伟

[合肥工业大学设计院(集团)有限公司, 安徽 合肥 230009]

摘要:长距离压力输水管很容易产生水锤压力,从而损坏输水管道。本文结合某水厂长距离输水管道工程进行水锤模拟计算,寻找消除水锤压力的方法,从而为长距离压力输水管道水锤防护效果的提升提供依据,进一步推动工程实现安全可靠的运行。

关键词:长距离压力输水管;水锤模拟;调压塔
中图分类号: TU991.39 文献标志码: A



在密闭管路系统(包括泵)内,因为开泵、停泵、开关阀门等操作,水流速度会发生急剧变化,由水锤产生的瞬时压强可达到管道中正常工作压强的几十倍甚至数百倍。瞬时压强不仅产生较大噪声,还会导致管道系统产生强烈振动,同时经常产生破坏性影响,如果防范措施不当,甚至可能引起爆管问题^[1]。近年来,随着长距离输水管工程数量的增多,水锤防护问题已成为输水管道工程设计中的重中之重。

本文结合某水厂输水管道工程,针对不同情况下水锤压力的计算结果进行计算和分析,并且对阀门控制时间进行研究,提出当前整个供水管道水锤发生现象的论证,并且整理科学、合理的水锤防护措施、开阀及关阀程序以及最佳控制时间,并且在其全线按同一时间的控制情况下对分段管道的最大水锤压力进行观察和记录,提出有效优化沿线进排气阀安全系数的具体建议、在管理方面应该注意的问题等。数值模拟方法进行使用,针对系统在过渡过程中存在的特性进行相应的研究,提出因受系统水锤作用而出现的最不利参数,同时选择与其相对应的保护措施,从而保证水锤实现安全运行。本文阐述长距离压力输水管的水锤模拟计算及防护,利用设置调压塔达到消除水锤的目的^[2-4]。

1 工程概况

该工程区域地势较平缓,变化起伏较小,全长约20.445 km。该工程采用双管输水,管材选用钢丝网骨架PE管(1.25 MPa),由取水口至流量分界处,管道管径为DN1000 mm,壁厚为37 mm,长度为20445 m,总流

量为154000 m³/d。水泵选型:卧式离心泵 $Q=2500$ m³/h,扬程为54 m(3台);卧式离心泵 $Q=1450$ m³/h,扬程为54 m(1台),管道承压值暂取1.25 MPa。本工程主要任务为调引淮河水进入自来水厂,处理后直接供水到户,以解决区域内用水紧张的问题,提高人民生活水平及改善投资环境。

2 水锤计算方法

为了便于计算机计算,将该偏微分方程组离散化,为此,在特征线方向将它转化为水锤全微分方程^[5]:

$$C^+ \begin{cases} \frac{dH}{dt} + \frac{a}{g} \frac{dV}{dt} + \frac{afV|V|}{2gD} = 0 \\ \frac{dx}{dt} = a \end{cases}$$

$$C^- \begin{cases} \frac{dH}{dt} - \frac{a}{g} \frac{dV}{dt} - \frac{afV|V|}{2gD} = 0 \\ \frac{dx}{dt} = -a \end{cases}$$

式中,自变量为沿管路的长度 x 和沿暂态过程的历时 t ,因变量为流速 V 和水头 H 。以 x 为横坐标,以 t 为纵坐标,则 $\frac{dx}{dt} = \pm a$;特征线为 C^+ 和 C^- ; g 为重力加速度

(m/s²); a 为水锤波传播速度(m/s); f 为管路摩阻系数; D 为管径(mm)。

3 长距离输水管道常用水锤防护方法

3.1 管道重要位置安装气压罐

空气罐是一种金属水罐装置，内部含有一定量的压缩空气，如果当前水锤管内出现压力升高的情况，此前的压缩空气受到二次压缩，就会起到气垫消能的作用。如果由于停泵出现管内压力骤降的问题，就可能在水柱分离时利用压缩空气向管中注入水，有效减小停泵水锤造成的危害。

3.2 管道重要位置安装超压泄压阀

超压泄压阀是由主阀和先导阀组成的先导式动作阀门。当水锤升压过高时，先导阀首先动作泄压，随后主阀动作泄压，借助泄压进行压力管道水锤防护。

3.3 管道重要位置装双向调压塔

箱式双向调压塔的调压方式实际上是在活塞上部承受水箱水深带来的压力，活塞下部主要承受来自管道的压力。活塞的上部面积较大，下部面积较小，上部、下部面积的比值根据箱式调压塔水深的具体数值以及内部压力的大小决定。在正常运行过程中，管道内压力与最大设计水压保持持平或小于状态，活塞上部的总压力大于下部，活塞在阀座上保持静止压，保持活塞和阀座的密封状态。

理论上来看，防止水锤升压问题出现需要采取以下三种方式：（1）管道应该排净气体，确保在任何状态下都不会出现气囊运动型断流弥合水锤。（2）可以使用空气罐以及同样类型的稳压升压装置，对水锤升压波进行吸纳或者消除。（3）可以用双向调压塔吸收升压波。方式（1）可采用性能良好的排气阀实现正常排气，对突然停泵产生的负压，可辅以单向调压塔充水而不注气。用单向调压塔造价相对较高，无法实现大规模的普及应用，只能在个别管道和特殊点上使用，同时管理维护操作比较困难。方式（2）造价甚高，难以应用在工程上。近年来方式（3）箱式双向调压塔应用较多。

4 非稳定流工况水锤计算与分析

4.1 方案一：指定桩号处安装缓冲排气阀的非稳定流计算

在管道桩号21+80、42+70、60+20、71+65、79+60、91+60、105+00、112+80、136+60、155+80、178+36、200+55处安装缓冲排气阀。

4.1.1 水锤计算

下面就管道水泵出口处阀门不同快慢关阀时间及角度时的管道水锤升压进行具体分析计算，见图1。

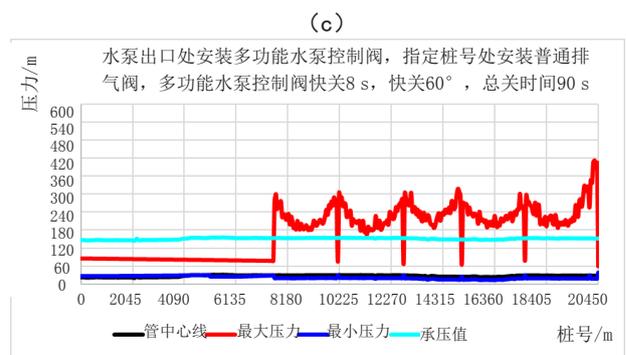
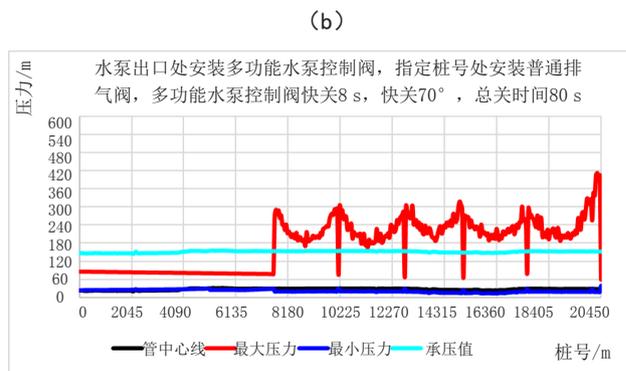
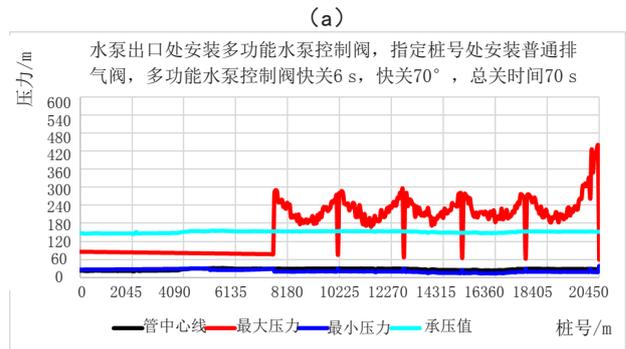
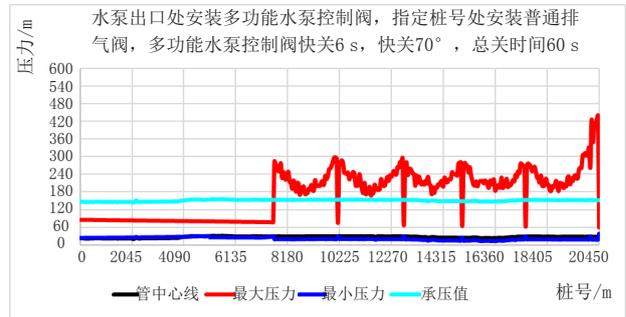


图1 水泵出口阀门不同快慢关阀时间及角度时水锤压力线

4.1.2 小结

由方案一可知，水泵出口阀门不同快慢关阀时间及角度时水锤压力线如图1所示，由此可以得出以下几点结论：首先，在指定桩号位置进行排气阀的安装时，通常情况下，如果多功能水泵控制阀的快慢时间介于6~8 s、快关角度为60°~70°，总关时间处于60~90 s之间时，突然执行停泵操作，就会导致当前管

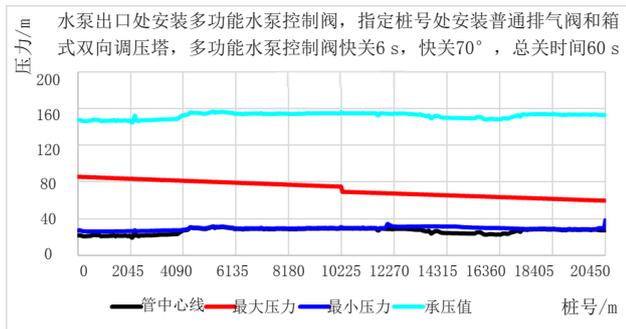
段内部的压力情况突然增加,管段水锤升压情况超出管道的承压强度,造成一定安全隐患。其次,水泵出口阀门快关时间的改变不会对管段水锤升压情况造成较大影响。

4.2 方案二:指定桩号处安装排气阀,桩号0+075、12+350处安装调压塔的非稳定流计算

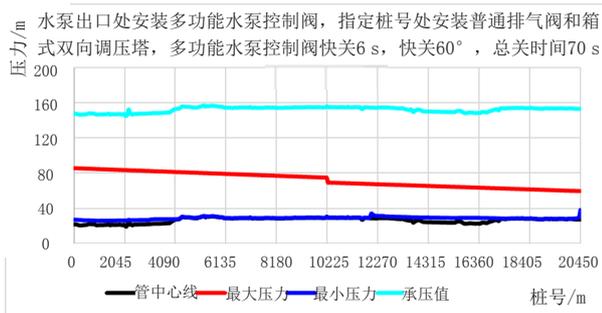
管道中缓冲排气阀的计算桩号同方案一。

4.2.1 水锤计算

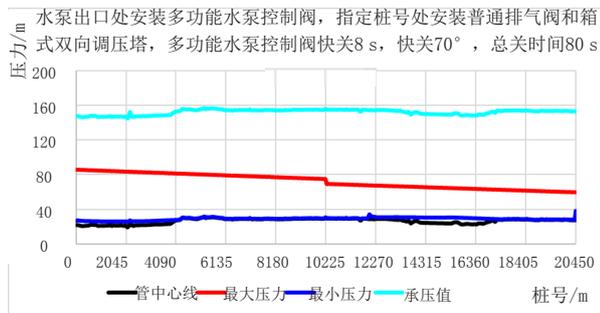
水锤压力线见图2。



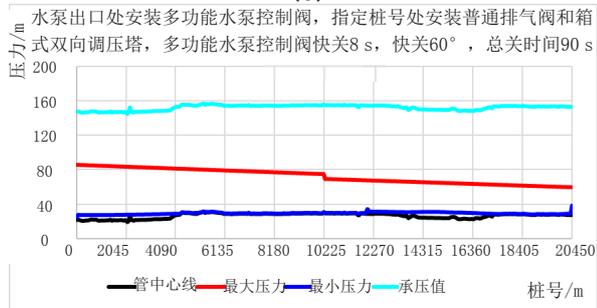
(a)



(b)



(c)



(d)

图2 水泵出口阀门不同快慢关阀时间及角度时水锤压力线

4.2.2 小结

对方案二水泵出口阀门不同快慢关阀时间及角度时水锤压力线(图2)进行分析,可以得出以下三点结论:首先,制定桩号位置进行排气阀的安装,在桩号0+075、12+350位置进行调压塔的设置,在多功能水泵控制阀快关时间处于6~8 s之间、快关角度在60°~70°之间、总关时间介于60~90 s之间时,管段的水锤升压基本控制在安全的承压范围之内,具有理想的降压效果,而且管道内能保持正常工作,不会出现断流、空腔问题。其次,水泵口阀门的快慢关阀时间和角度不同,不会对管道压力产生过大影响。最后,方案二具有较为优良的降压效果。

5 结束语

对以上水锤非稳定流工况进行计算分析可以得出以下结论:

泵房输水管道建议选择方案二:在指定桩号处安装排气阀,桩号0+075、12+350处安装调压塔,当多功能水泵控制阀的快关时间是6~8 s,快关角度是60°~70°,总关时间是60~90 s时,管道中的水锤升压都在安全承压范围之内,且管道中不出现断流空腔。末端阀门在不同总关时间的情况下,不会对管道压力产生较大影响,同时管道内部的压力相对来说较为稳定,能对管道水锤升压作用实现高效防护,从而能在保证当前工程安全运行的前提下,减小工程投资。

参考文献

- [1] 王川江.新疆准东五彩湾供水工程停泵水锤计算[J].中国给水排水,2014(11):55-57.
- [2] 薛松,张石磊,李进平,等.超长重力流输水系统水锤防护的顶部联通溢流式调压塔方案研究[J].中国农村水利水电,2022(7):158-163,174.
- [3] 杨玉思,高学贞,闫明.长距离大管径平坦地区输水管道水锤防护技术[J].给水排水,2010(9):174-176.
- [4] 魏永庆,杨玉思.长距离输水管道的箱式双向调压塔技术探讨[J].水利水电技术,2010(10):45-47.
- [5] 刘威,孟丽娜,崔晓丽.水锤偏微分方程组数值模拟的新方法研究[J].中国科技信息,2010(16):43-44.