

罗定市原水工程关阀水锤分析

陈伟文

(广东省建科建筑设计院有限公司, 广东 广州 510000)

摘要: 本文结合罗定市原水工程工程, 运用 BentleyHammer 软件, 对新建原水管在不同关阀时间的工况下, 管道内水锤产生的数值进行计算分析。分析得出, 在阀门启闭时, 选择合适的关阀时间, 对阀门关闭瞬间管道内流速的急速变化而产生的水锤现象有很好的控制作用。

关键词: 原水工程; 关阀水锤; 有压重力流

中图分类号: TU991.39

文献标识码: A

文章编号: 1004-7344(2022)44-0085-03

0 引言

由于输水工程的特殊性和复杂性, 长距离输水中存在很多的问题, 其中最常见、最突出的问题是长距离输水管线水锤保护^[1]。目前, 水锤计算分析方法和软件在工程设计中的应用越来越广, 输水配水工程设计当中针对水锤防护内容的研究成果日渐增多^[2]。其中, 目前常用的水击现象数值计算方法有有限差分法、有限元法、有限体积法、以及特征线法等, 其中特征线法处理简单、精度较高, 应用最为广泛^[3]。延长阀门关闭时间是减小水锤危害的有效途径^[4]。本文结合实例, 通过对末端阀门不同关闭时间进行比较, 结合测压管水头和沿程管道压力包络线分析, 得出合理的水锤防护方案从而优化了管道设计。

1 工程概况

随着罗定市的各项各业日益发展扩大, 原金银河供水管(内径 1.2m)已不能满足市民及各项业发展的需求, 现急需铺设一条从金银河水库至七和水厂的源水供水管确保市民及各项业用水需求。经线路比选后, 确定了总长 9.5km 的推荐方案, 推荐方案起点位于金银河水库原取水点, 终点接入七和水厂絮凝池, 由于金银河水库地势较高, 计算后原水可不经加压泵站, 通过地势差输送到现状七和水厂。本次设计管径 DN1400, 输水能力 23 万 t/d, 水力坡降 3‰。管材为球磨铸铁管, 壁厚 14mm。

2 模拟建立

2.1 水库参数

罗定市金银河水库位于罗定市中部——罗定江中游右岸群山, 跨越罗平、素龙、生江三个镇, 距城区 15km。金银河水库是一座集供水、灌溉、防洪、发电等综合效益的中型水库, 是罗定市最大的供水水源, 是我们

共同的大水缸。供水范围覆盖罗城、生江、附城、双东、素龙、围底、华石、莘塘等 8 个镇(街), 受益人口 50 多万人。

金银河输水工程于 2008 年 5 月动工兴建, 2009 年 6 月建成通水, 设计日供水量 14 万 m³, 日最大供水量可达 22 万 m³。现有取水口 1 个, 位于金银河水库副坝下游, 总供水能力 0.5 亿 m³/年, 已建成日供水量 8 万 m³, 规划金银河水库取水口继续保留, 扩建到日后最大供水量 31m³, 以满足用水量要求。正常水位 100.60m, 相应库容 3225 万 m³。

2.2 管道参数

由于本次从水库向城区水厂供水, 不需要泵站加压, 故不考虑经济流速。

2.2.1 满流或压力流的输水管管径

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}} \quad (\text{m}) \quad (1)$$

式中: Q ——输水管计算流量, m³/s; V ——管道流速, m/s。

2.2.2 沿程水头损失

$$hy = iL \quad (2)$$

式中: hy ——沿程水头损失, m; L ——计算管段长度, m; i ——管道单位长度的水头损失(水力坡降)。

由于本次采用的是内衬水泥砂浆的球墨铸铁管道, 《室外给水设计标准》(GB 50013—2018) 推荐采用的管渠沿程水头损失计算公式如式(3)所示。

$$i = \frac{hy}{L} = \frac{v^2}{C^2 R} \quad (3)$$

式中: i ——管道单位长度的水头损失(水力坡降); R ——水力半径; C ——流速系数, 采用曼宁公式 $c = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$

计算, n 为管道的粗糙系数, 糙率 n 根据《水力学》(清华大学出版社) 6.3 取 0.011。

2.2.3 位置水头

金银河水库常蓄水位约 95m, 终点七和水厂第一个处理设备网格絮凝调节池设计水位约 67m, 则位置水头约 28m。

2.2.4 计算结果

综上所述计算结果如表 1 所示。

表 1 水力计算

内容	数值
设计流量 $Q/(m^3/s)$	2.660
管道长度/m	9450.000
材料糙率 n	0.011
确定出管道直径 D/mm	1.400
设计流速 $v/(m/s)$	1.728
水力半径	0.350
水力坡降	0.001
总沿程水损/m	13.842
局损占沿损比例/%	10.000
总局部水头损失/m	1.384
总水头损失 $z(m)=hj+hf$	15.226
允许水头损失/m	28.000

2.3 瞬态参数

波速计算采用以下公式计算。

$$a = \frac{\sqrt{Kg/\gamma}}{\sqrt{1 + \frac{DK}{\delta E}}} = \frac{1435}{\sqrt{1 + \frac{DK}{\delta E}}} \text{ (m/s)} \quad (4)$$

式中: K ——水的体积弹性模量, (本次选取 hammer 软件中自带 20°C 时水的弹性模量); E ——管壁材料的纵向弹性模量(本次选取 hammer 软件中自带熟铁管(球墨铸铁管)的杨氏模量及泊松比由软件算出弹性模量); g ——重力加速度; D ——管道内径; δ ——管壁厚度(取 14mm); $\sqrt{Kg/\gamma}$ ——为声波在水中的传播速度, 随水温度和压力的升高而加大。

本项目 DN1400 球墨铸铁管壁厚 14mm 波速计算结果为 982.31m/s。

管道选用球墨铸铁管, 公称压力 1.6MPa。应用水力瞬变的特征线方法, 定位阀门边界进行求解计算。

3 停泵水锤分析

3.1 稳态模拟

稳态运行时的水力坡度(总水头线)曲线和有压输水管道高程曲线, 如图 1 所示。

终点处设流量控制阀, 控制流量为 23 万 m^3/d , 稳态运行时最大压力水头 46m, 管道没有产生负压。

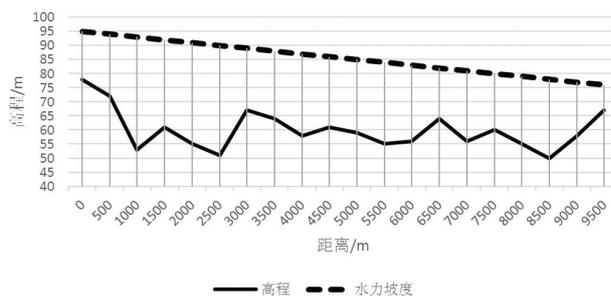


图 1 稳态高程曲线

3.2 无排气阀防护水锤模拟

根据前述波速计算公式, 管径 DN1400 球墨铸铁管波速为 982.31m/s, 末端设计 DN1400 控制阀和流量调节阀, 本系统水锤相为 $U=2L/a=19.64s$ 。应控制关闭时间大于水锤相, 避免产生直接水锤。

没有设置排气阀的情况下, 末端阀门分别按 10s 内匀速关闭(图 2), 30s 内匀速关闭(图 3), 60s 内匀速关闭(图 4), 60s 内分两阶段(前 20s 相对快速关闭 80%, 后 40s 内缓慢关闭另外的 20%) (图 5), 120s 内匀速关闭(图 6)为例。对关闭水锤模拟结果进行分析。

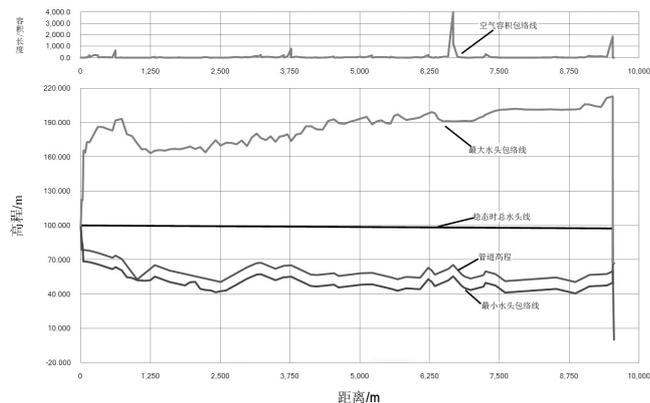


图 2 10s 匀速关闭

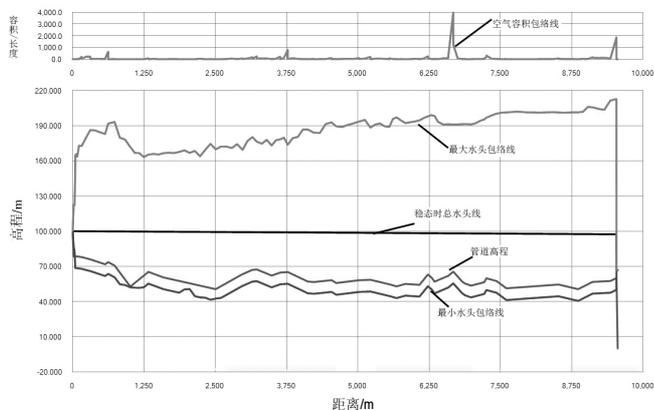


图 3 30s 匀速关闭

图 2 中, 红线为最大压力水头包络线, 黑线为稳态时总水头线, 绿线为管道高程, 蓝线为最小压力水头包

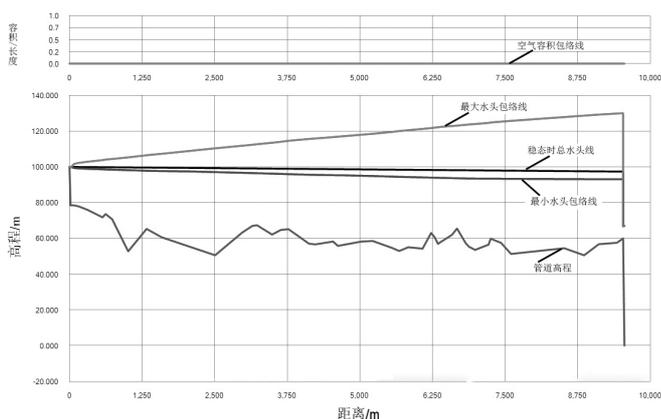


图4 60s 匀速关阀

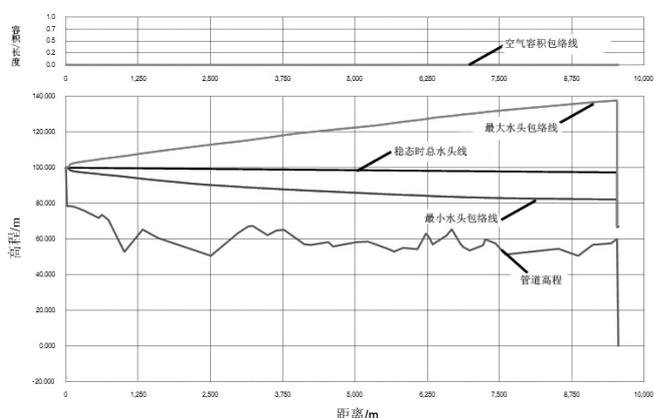


图5 60s 两阶段关阀

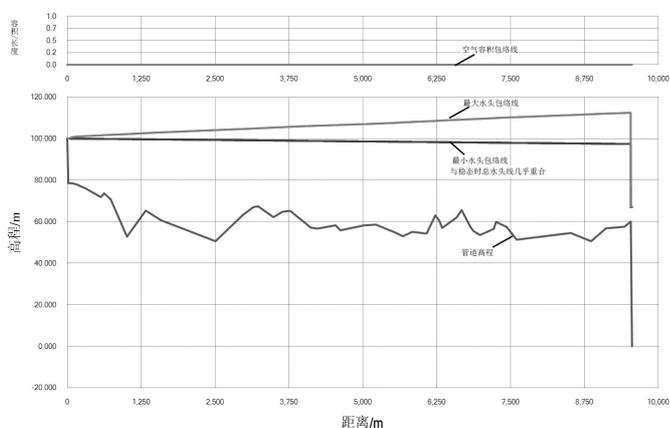


图6 120s 匀速关阀

络线。在不设排气阀的情况下,10s内匀速关阀末端阀前压力约212.776mH₂O(扣除地面高程60m后约1.5MPa压力,虽然未超过管道工作压力1.6MPa,也没超过管道实验压力),但为了保证系统安全稳定运行,防止潜在的爆管风险,需要寻求更好的关阀方案,尽量降低最高水锤压力值。

图3中,30s内匀速关阀末端阀前压力约

207.032mH₂O。与10s匀速关阀相差不大,需要寻求更好的关阀方案,尽量降低最高水锤压力值。

图4中,60s内匀速关阀末端阀前压力约130.07mH₂O。与10s,30s匀速关阀相比有较大下降。

图5中,60s内两阶段关阀末端阀前压力约137.748mH₂O。与60s匀速关阀相差不大。

图6中,120s匀速关阀末端阀前压力约112.404mH₂O。与60s匀速关阀相差不大。

根据表2的结果,可见60s匀速,60s分阶段,120s匀速均能较好降低水锤影响,综合操作和管理简约性和运行效果。本次选择出现特殊情况需要关阀时末端60s匀速关阀的操作方式。

表2 各种工况管道压力

序号	关阀时间	管线末端阀前压力(mH ₂ O)	有无负压
1	10s	212.776	全线负压
2	30s	207.032	全线负压
3	60s	130.070	无负压
4	60s(两阶段)	137.748	无负压
5	120s	112.404	无负压

4 结语

长距离有压管道输水水流条件复杂、沿程磨损较大,且运行过程中阀门的调节或事故的发生等都会导致沿线的流量、流速、压力等水力参数发生急剧变化^[9]。采用 Bentley.Hammer 水锤分析技术,用建模方法对水锤效应的管段进行分析,多次模拟分析后,确保管道在正常运行工况、关阀等工况下,管道全线不产生负压,水锤影响控制在工程可接受范围内。

参考文献

- [1] 王炜.重力流输水管道关阀水锤仿真计算与防护[J].河南水利与南水北调,2020(2):74-76.
- [2] 周小红.水锤现象及防护措施[J].冶金动力,2016(7):46-48,51.
- [3] 王福军,白绵绵,肖若富,等.在泵站过渡过程分析中的应用[J].排灌机械工程学报,2010,28(2):144-148.
- [4] 杨晓蕾,沈来新,俞锋,等.重力流输水管道关阀水锤模拟研究[J].水利水电技术,2017(5):95-96.
- [5] 万五一.长距离输水系统的非恒定流特性研究[D].天津:天津大学,2004.

作者简介:陈伟文(1994—),男,汉族,广东湛江人,本科,助理工程师,主要从事市政给水排水设计工作。