

压力流输水系统中缓闭式液控蝶阀关闭规律研究

刘奕朗, 高学平, 蒋琳琳
(天津大学 建筑工程学院, 天津 300072)

摘要: 对于长距离、高扬程压力流输水系统, 一旦发生停泵水锤, 将对输水系统产生严重危害。在泵出口设置缓闭式液控蝶阀并以适当的方式关闭是一种简单有效的水锤防护措施。本文结合实际工程, 通过特征线法求解水锤基本方程, 比较不同关闭方式下管路沿程压力变化、泵站出口断面压力变化及水泵转速变化, 提出合适的关闭方式。研究成果可为停泵水锤防护措施的设置提供参考。

关键词: 压力流输水系统; 水锤; 缓闭式液控蝶阀; 关闭规律; 数值模拟

中图分类号: TV672.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-643X(2012)06-0107-04

Research on the closure law of hydraulic control slow closing butterfly valve in pressure flow water diversion system

LIU Yilang, GAO Xueping, JIANG Linlin

(School of Civil Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Water diversion system of long - distance and high - lift pressure flow will produce serious damage once pump - stopping water hammer takes place. It is a simple and effective water hammer protection measure to set one hydraulic control slow closing butterfly valve at the outlet of pump with appropriate closure way. The thesis, combining practical engineering, solve the water hammer basic equations by the method of characteristics, compare the results of different valve closure way, including the envelope line of piezometric head, pressure change at outlet of pump station and rotate speed change, then proposes the appropriate way of valve closure. The results can provide a reference for the setting of pump - stopping water hammer protective measures.

Key words: pressure flow water diversion system; water hammer; hydraulic control slow closing butterfly valve; closure law; numerical simulation

0 引言

当压力管道中的流体因某些原因而产生流速的急剧变化时, 由于流体的惯性作用而引起管道内流体压力急剧变化。这种现象称为水锤现象或流体瞬变过程^[1]。高扬程长距离压力流输水线路中一旦发生由于停电或误操作引起的停泵水锤, 往往产生很严重的危害, 导致管道爆裂、水泵飞逸破坏甚至淹没泵房。

泵后设缓闭式液控蝶阀是一种简单有效的水锤防护措施。《泵站设计规范》^[2]: “在扬程高、管道长的大、中型泵站, 事故停泵可能导致机组长时间超速倒转或造成水锤压力过大, 因而推荐在水泵出口安装两阶段关闭的缓闭蝶阀。”但是, 由于不同管路适合不同的关闭规律, 所以规范并没有指出相应的关

闭方式。国内已有学者对发生停泵水锤时泵后阀门关闭方式对管路中水锤的影响进行了研究, 秦明海^[3]研究了不同结构阀门以不同时间匀速关闭对管路水锤压力和流量的影响; 王文全等^[4]研究了发生停泵水锤时不同缓闭蝶阀关闭方式下长距离压力流输水管路内的空化体积及空化区域; 吴建华等^[5]进行了高扬程输水工程缓闭式蝶阀消除水锤的计算机仿真和现场测试研究, 得到了水锤消除器与逆止阀联合控制水锤的规律。

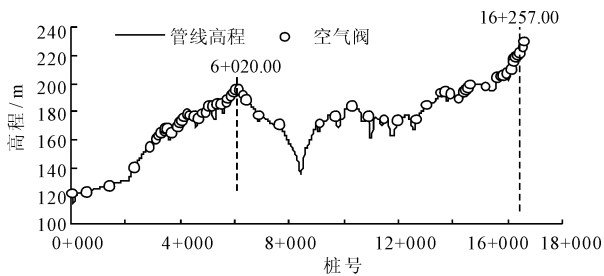
由于实际工程之间的差异, 不同工程应进行专项研究以得到相应的最优关闭方式。本文参考已有的研究成果, 结合某长距离、高扬程、起伏大的实际输水工程, 采用特制线法求解水锤控制方程, 研究比较不同关闭方式的影响, 总结规律。

收稿日期: 2012-09-24; 修回日期: 2012-10-08

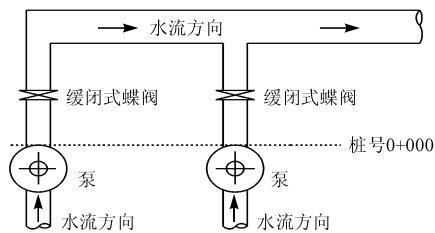
作者简介: 刘奕朗(1989-), 男, 安徽滁州市人, 在读硕士生, 主要研究方向: 管流水力过渡过程及水利工程可视化。

1 研究对象

某压力流输水工程,采用一级泵站加压输水,输水管直径为 DN800,管道全长 16.257 km,管材为球墨铸铁管。管道设计流量 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$,前池设计水位为 126.261 m,末端设计水位为 238 m,水泵设计扬程 151.80 m。2 台水泵,水泵型号为 OTS250-800A/1-2。泵后设缓闭式液控蝶阀,全程共设 66 个空气阀,管路末端设有拍门,拍门前设直径 150 mm 的通气管。水泵额定转速为 1350 r/min,转动惯量 20 kg/m^2 。空气阀进气孔面积为 2.002 cm^2 ,排气孔面积为 0.024 cm^2 。输水管路沿线布置面如图 1(a),图中标出了两个较为特殊的断面:桩号 6+020.00 断面处于管路中突起的位置;桩号 16+257.00 断面为管路末端出口。图 1(b)为泵站平面布置示意图,该图表示出了泵和缓闭式液控蝶阀的相对位置,泵后断面即为图 1(a)中的桩号 0+000 断面。



(a) 输水管路布置图



(b) 泵站布置平面示意图

图 1 输水管路及泵站布置图

2 数学模型及计算方法

水锤基本微分方程组包括运动方程和连续性方程。

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

$$\frac{\partial H}{\partial t} + V \left(\frac{\partial H}{\partial x} + \sin \alpha \right) + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

式中: H 为管路中某点的测压管水头, m ; D 为管道的直径; f 为管路摩阻系数; V 为管内流速, m/s ; α 为管路与水平面间夹角; a 为水锤波传播速度, m/s 。

对长距离输水管路,采用牛顿-拉普森算法求

解恒定流动;采用特征线法将方程(1)和(2)两个偏微分方程变换为全微分方程,用差分方法求解瞬态流动任一瞬时各断面上的水力参数。将恒定流的计算结果作为瞬态流动水力计算的初始状态,对瞬态流动中的水锤压力进行精确计算。

3 计算结果及分析

根据已有的研究成果^[6-8],将泵后缓闭式液控蝶阀的关阀方式定为两段关阀,即 $0 \sim t_1$ 时间内阀门由全开关闭至 75° , $t_1 \sim t_2$ 时间由 75° 关闭至 90° ,将此关阀方式记作 $t_1 - (t_2 - t_1)$ 关阀。

拟定 8 种关阀方式,见表 1。假设两台水泵同时因故障停机,泵后缓闭止回阀从水泵停机时刻即开始关闭,研究以上 8 种关阀方式下管路沿程压力、泵站出口断面压力及水泵转速变化。

表 1 管路沿程压力最大值, kPa

编号	关阀方式	最大压力	最大负压	稳态最大压力
1	10~100	2042.35	-15.40	1304.10
2	10~150	1603.40	-15.89	1304.10
3	15~100	1935.36	-17.64	1304.10
4	15~150	1591.68	-17.64	1304.10
5	15~200	1514.71	-17.65	1304.10
6	20~150	1587.44	-17.97	1304.10
7	20~200	1505.91	-17.97	1304.10
8	20~400	1457.15	-17.97	1304.10

3.1 管路沿程压力变化

图 2 为 8 种关阀方式下沿程测压管水头包络线。

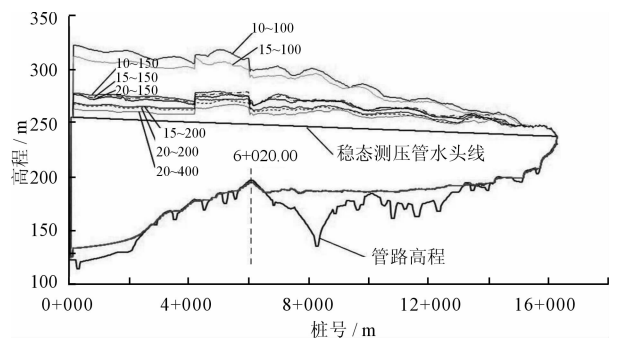


图 2 8 种关阀方式下的测压管水头包络线

从图 2 看出,8 种关闭方式下管路最小压力基本相同,最大负压均出现在 6+020.00 断面附近,沿程最大压力均出现在泵站出口断面处。表 1 为 8 种关阀方式对应的沿程最大压力和最小压力。表中数据显示,沿程最大压力主要与关阀过程中慢关阶段的时长有关,慢关阶段用时越长,沿程最大压力越小,这一点在图 2 中不同关阀方式下的沿程压力包

络线中也有直观的体现;沿程最大负压主要与关阀过程中的快关阶段用时有关,快关过程用时越短沿程最大负压越小,这是由于在水泵因故障停机后阀门快关过程越短对水体回流的阻碍越大。

3.2 泵站出口断面压力变化

图 3 为 8 种关阀方式下泵站出口处压力随时间的变换情况。从图中看出,不同关阀方式下泵站出口处的压力均在 6.5s 时达到最小值,其值为 119.74 kPa;不同关阀方式下泵站出口处的压力变化曲线在 0~43s 内基本相同,且均在 105 s 左右达到最大值,

然后逐步衰减;图(a)中 10~100 s 和 15~100 s 两种关阀方式的曲线基本重合,压力最大值均在 1900 左右;图(b)中 10~150 s、15~150 s、20~150 s 三种关阀方式的曲线基本重合,压力最大值均在 1500 kPa 左右;图(c)15~200 s、20~200 s 两种关阀方式的曲线基本重合,压力最大值均在 1400 kPa 左右,且图中显示 20~400 s 关阀方式下的压力波动明显更为平缓。这和 3.1 中得出的沿程最大压力主要与关阀过程中慢关阶段的时长有关,慢关阶段用时越长,沿程最大压力越小的结论相符合。

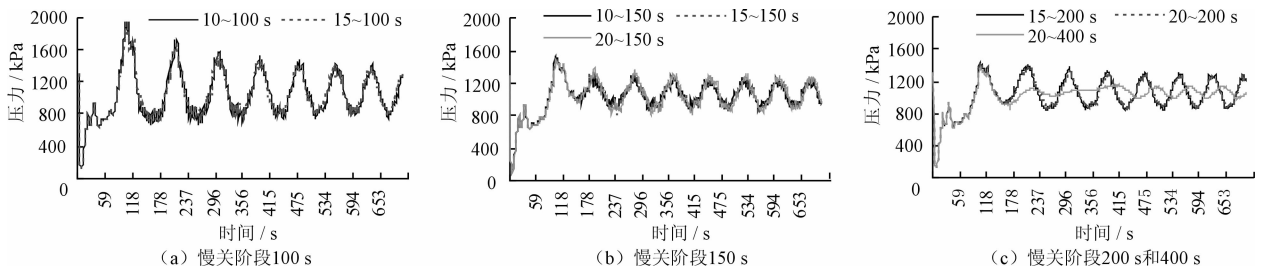


图 3 泵站出口处压力随时间的变化

3.3 水泵转速变化

图 4 为 8 种关阀方式下水泵转速随时间的变化情况。从图中看出,自水泵因事故停机开始,在 0~43.4s 的时间内不同关阀方式下水泵转速的变化基本相同,且都在约 9s 时刻转速降为 0;在 43.4s 之后 8 种关阀方式按慢关阶段时间不同明显分为 4 组:10~100s 和 15~100s;10~150s、15~150s 和 20~150s;15~200s 和 20~200s;20~400s。其中前三组中,快关时间短的关阀方式水泵最大反转速度相对较小。表 2 为不同关阀方式下水泵的最大反转速度和反转的持续时间。表中数据显示,水泵的最大反转速度主要与慢关阶段的时长成正相关关系,持续反转时间和关阀总时长成正相关关系。

输水管道最大水锤压力不超过 1.3~1.5 倍最大工作压力。对加压输水管道,事故停泵后的水泵反转速度不应大于其额定转速的 1.2 倍,超过额定转速的持续时间不应超过 2 min。可见,管道最大水锤压力、水泵最大反转速度和反转时间是保证出现停泵水锤时输水系统安全的 3 个主要考虑因素。

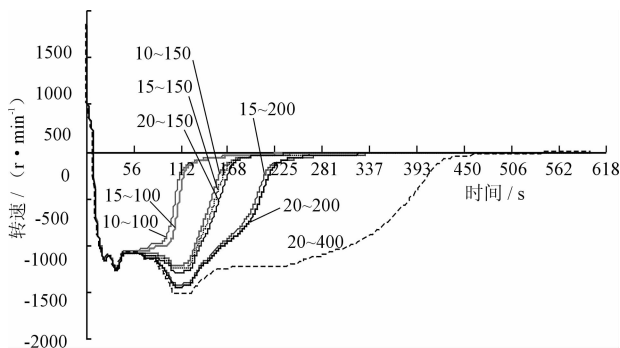


图 4 8 种关阀方式下水泵转速随时间的变化曲线

表 2 水泵最大反转速度和持续时间 s, r/min

编号	关阀方式	最大反转速度	持续反转时间
1	10~100	-1232.1	197.7
2	10~150	-1244.5	215.2
3	15~100	-1241.7	198.1
4	15~150	-1248.8	232.4
5	15~200	-1406.4	301.5
6	20~150	-1277.3	201.9
7	20~200	-1430.6	294.3
8	20~400	-1518.8	502.4

3.4 关阀方式选择

《城镇供水长距离输水管(渠)道工程技术规程 CECS193:2005》规定^[9]:水锤防护措施设计应保证

本文的 8 种关阀方式,除 10~100 s 关阀方式下沿程最大水锤正压力为稳态情况下最大压力的 1.57 倍外,其余关阀方式沿程最大水锤正压力均满足规范要求;所有关阀方式的水泵最大反转速度和反转时间均满足规范要求。考虑水泵反转会导致机组发热等问题,出于安全考虑,发生停泵水锤时沿程最大压力越小、水泵反转速度越小、水泵反转时间越短,则关阀方式越优。综合比较 8 种关阀工况的计算结果,对于该输水管路,推荐采用 15~200 s 的关阀方式,即自停泵开始,0~15 s 内阀门关闭至 75°,

15~215 s 关闭至 90°。在该种关闭方式下,发生停泵水锤时管路沿程的最大压力为 1514.71 kPa,最大负压为 -17.65 kPa,水泵最大反转速度为 -1406.4 r/min,持续反转时间为 301.5 s。

4 结 语

高扬程长距离有压流输水系统中,泵后缓闭式液控蝶阀一般采用两阶段关闭方式。本文以某输水工程为例,针对泵后缓闭式液控蝶阀,设定 8 种不同关闭方式,研究突然停泵时管路沿程压力变化、泵站出口处压力时间变化和水泵转速随时间变化。

(1) 采用两阶段关闭方式时,发生停泵水锤不同关闭方式下压力最大值出现的位置相同。且慢关阶段时间越长沿程最大正压越小,快关阶段时间越短沿程最大负压越小。

(2) 泵站出口处压力随时间的变化主要由慢关阶段的时间决定:快关阶段时间不同、慢关阶段时间相同时,泵站出口处压力随时间变化相似。

(3) 慢关阶段的时间越长水泵的最大反转速度越小,关闭总时间越长水泵持续反转时间越长。

(4) 对于本文输水工况,综合比较沿程最大压力、水泵最大反转速度和水泵持续反转时间后,推荐

采用 15~200 s 的两阶段关闭方式。

参考文献:

- [1] 刘竹溪,刘光临. 泵站水锤及其防护[M]. 北京:水利电力出版社, 1988.
- [2] 中华人民共和国水利部. GB 50265-2010 泵站设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2011.
- [3] 秦明海. 阀门过流特性对水击影响的分析[J]. 水力电力机械,1997(5):9-13.
- [4] 王文全,张立翔,闫妍. 压力供水管路事故停泵时缓闭蝶阀关闭方式的优化[J]. 北京理工大学学报,2011,31(10):1135-1138.
- [5] 吴建华,魏茹生,赵海生,等. 缓闭式蝶阀消除水锤效果仿真及试验研究[J]. 系统仿真学报,2008,20(3):586-592.
- [6] 陈培兴. 小舜江输水泵站液控蝶阀关闭时间及停泵方式改进[J]. 给水排水,2012,38(2):105-106.
- [7] 蒋劲,赵红芳,张成波,等. 火电厂循环水系统事故停泵过渡过程的仿真研究[J]. 计算机仿真,2004,21(4):129-131.
- [8] 贲岳,高学贞,韩磊,等. 电厂循环水供水系统事故水锤过程的仿真研究[J]. 供水技术,2009,3(5):26-29.
- [9] 中国市政工程东北设计研究院,长安大学. CECS 193:2005 城镇供水长距离输水管(渠)道工程技术规程[M]. 北京:中国计划出版社,2005.

(上接第 104 页)

坡面防护,并对边坡采用适当的加固方法,有效减小雨水渗流,降低施工中产生滑坡的可行性。

(2) 在进行仰坡防护钢管及管棚施工时,围岩注浆十分关键。在按设计实施注浆前,必须先进行压浆试验,并根据试验效果调整注浆参数,保证最终注浆后的固结体强度应达到 5.0 MPa。

(3) 隧道北洞口仰坡出口部位的明洞暗作施工时,为了尽量减小施工影响,采用人工开挖,每循环进尺不大于 1 m,施工中等左洞暗挖及支护完成后,再进行右洞的施工。

(4) 在隧道出口仰坡加固处理过程中进行的坡面沉降和爆破震动监测,对坡面稳定和隧道的顺利通车都至关重要,及时反馈信息并对施工工艺进行优化调整,为同类工程提供了可借鉴的经验。

参考文献:

- [1] 齐景岳,刘正雄,张儒林,等. 隧道爆破现代技术[M]. 北京:中国铁道出版社,1995.
- [2] 孙均. 地下工程设计理论与实践[M]. 上海:上海科学

技术出版社,1996.

- [3] 张永安,李峰,陈军. 红层泥岩水岩作用特征研究[J]. 工程地质学报,2008,16(1):22-26.
- [4] 郭华,顾启英. 北京市西六环路膨胀土路堑边坡及路基设计实践与研究[J]. 特种结构,2010,27(4):22-25.
- [5] 赵志刚,曾智. 预应力锚杆网格梁联合加固既有挡墙的设计与施工[J]. 施工技术,2007,36(8):22-24.
- [6] 海龙,梁冰. 考虑降雨入渗条件的土体边坡稳定性分析[J]. 水资源与水工程学报,2010,21(4):46-50.
- [7] 王运永,高永涛,崔波,等. 基于自预应力锚固法的泥质软岩边坡加固设计与分析[J]. 中国矿业,2008,17(3):82-84.
- [8] 赵占彪,申向东. 高速公路边坡滑动失稳机理分析与加固研究[J]. 内蒙古农业大学学报,2007,28(4):159-162.
- [9] 浙江省交通规划设计研究院. 萧山区新城路人防一期工程施工图设计[R],2010.5.
- [10] 中华人民共和国国家标准. 建筑边坡工程技术规范(GB50330-2002)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2002.