

铜罐驿长江提水工程管道运行安全分析

雷晓玲 程 巍

(重庆交通大学河海学院,重庆 400074)

摘要:针对铜罐驿长江提水工程输水管线线路长、输水提升流量大、扬程高、施工范围地形陡峭的特点,对该工程运行过程中的管道安全风险进行了深入分析,并结合该工程实际情况提出了相应的管道运行安全保障措施及建议。

关键词:铜罐驿长江提水工程;管道运行安全;安全分析;措施及建议

中图分类号:TV672+.2 文献标识码:B 文章编号:1006-7647(2009)S1-0143-02

铜罐驿长江提水工程是至今我国西南地区最大的源水提水工程,是重庆市西部供水的重点工程之一。工程总投资预算为 43 000 多万元。其输水管线总长 105.44 km,工程设计日供水量 26.5 万 m³,近期(2015 年)年调长江水规模达 4 999 万 m³,远期(2025 年)年调长江水规模达 7 025 万 m³。该工程设有长江一级提水泵站、马家沟水库二级提水泵站、3 座隧洞、1 座沉沙池、1 座高位水池、1 座干化吸泥池、5 个加压泵站及 12 个供水点。

针对该工程输水管线线路长、输水提升流量大、扬程高、施工范围地形陡峭等特点,笔者拟对工程运行过程中的管道安全风险进行分析,并结合工程实际情况提出相应的输水管道安全运行保障措施及建议。

1 铜罐驿长江提水工程运行过程水锤分析

在压力管道中,由于流速的剧烈变化而引起一系列急剧的压力交替升降的水力冲击现象,称为水锤(又叫水击)^[1]。

长江一级提水泵站设计扬程 95 m,设计流量为 2.493 m³/s,泵站出水管采用 DN1400 mm×14 mm 钢管,管道长度为 345.91 m;马家沟二级泵站设计扬程 100.8 m,设计流量为 3.068 m³/s,泵站出水管采用 DN1600 mm×16 mm 钢管,管道长度为 368.89 m。水泵机组在设计扬程、设计流量停泵时,由于水锤产生的水泵出口最大压力常常超过正常运行时的压力。为确保水泵和水泵出口阀门安全,在泵站出水总管上设置了相应的恒压阀。

该工程输水管线呈树状布置,以重力自流输水为主。经分析,运行中可能造成输水管线破坏的主要原因,为关闭阀水锤。根据对各干、支输水管线布置长度和流量分配的初步分析,选取输水流量大、线路长的沉沙池—马家沟水库干线和高位水池—大学城输水干线进行关阀水锤分析。

1.1 管道水锤特征值计算

采用“截肢法”将分岔管道简化为串联管道^[1-2],并按照“当量管道”确定管道水锤特征值。即:将输水管道从起点到终点整个长度视为 1 个当量管长(1.0L),以管道起点为“0”点,将整个管道按照沿程长度划分为若干个计算管段(如:0.1L,0.2L,...,0.9L,1.0L),由管道初设条件(恒定流)和边界条件(上游端为沉沙池或高位水池恒定水位、下游端为阀门),计算确定管道水锤特征值。

铜罐驿长江提水工程各计算管段管道水锤特征值计算结果如表 1 所示。

表 1 铜罐驿长江提水工程各计算管段管道水锤特征值^[3]

管段	当量管长/m	当量流速/(m·s ⁻¹)	当量流速/(m·s ⁻¹)	当量水锤相/s
沉沙池—马家沟水库计算管段	9 639	934.6	1.425	20.7
高位水池—大学城计算管段	25 264	934.2	1.347	54.1

1.2 管道关阀水锤压力水头沿程变化分析

根据铜罐驿长江提水工程各计算管段管道水锤特征值和不同关阀时间,结合管道水力损失,采用特征线法求解管道非恒定流偏微分方程组^[2],逐时刻、

逐管段计算管道沿程各计算管段处的管道水锤压力,计算结果如表 2、表 3 所示,不同关阀时间管道水锤压力水头沿程变化如图 1、图 2 所示。

表 2 沉沙池—马家沟水库段不同关阀时间 管道水锤压力 ^[3] MPa						
计算 断面	关阀时间 60 s		关阀时间 120 s		关阀时间 180 s	
	最高 动水压	最低 动水压	最高 动水压	最低 动水压	最高 动水压	最低 动水压
0	0.977 0	0.977 0	0.977 0	0.977 0	0.977 0	0.977 0
0.1 L	1.023 3	0.946 3	1.006 7	0.961 3	1.001 2	0.957 9
0.2 L	1.047 8	0.907 7	1.009 2	0.945 6	0.997 9	0.945 6
0.3 L	1.080 8	0.874 9	1.019 1	0.929 9	1.003 1	0.929 9
0.4 L	1.112 9	0.843 3	1.032 6	0.914 3	1.011 3	0.914 3
0.5 L	1.144 0	0.812 7	1.045 8	0.898 6	1.019 6	0.898 6
0.6 L	1.174 4	0.782 8	1.058 8	0.882 9	1.027 9	0.882 9
0.7 L	1.204 7	0.752 9	1.071 5	0.867 3	1.035 7	0.867 3
0.8 L	1.240 0	0.718 2	1.084 8	0.851 6	1.043 2	0.851 6
0.9 L	1.273 8	0.685 3	1.098 9	0.835 9	1.050 7	0.835 9
1.0 L	1.285 1	0.674 2	1.113 3	0.820 3	1.058 3	0.820 3

表 3 高位水池—大学城段不同关阀时间 管道水锤压力 ^[3] MPa						
计算 断面	关阀时间 60 s		关阀时间 120 s		关阀时间 180 s	
	最高 动水压	最低 动水压	最高 动水压	最低 动水压	最高 动水压	最低 动水压
0	1.075 0	1.075 0	1.075 0	1.075 0	1.075 0	1.075 0
0.1 L	1.129 5	1.022 2	1.102 8	1.040 0	1.096 7	1.040 0
0.2 L	1.164 1	0.990 9	1.114 6	1.005 1	1.098 2	1.005 1
0.3 L	1.202 2	0.970 2	1.130 5	0.970 2	1.108 4	0.970 2
0.4 L	1.146 0	0.935 3	1.146 6	0.935 3	1.118 7	0.935 3
0.5 L	1.265 6	0.900 4	1.158 3	0.900 4	1.129 0	0.900 4
0.6 L	1.291 1	0.865 5	1.170 6	0.865 5	1.139 3	0.865 5
0.7 L	1.312 6	0.830 6	1.183 3	0.830 6	1.149 1	0.830 6
0.8 L	1.330 1	0.795 7	1.196 3	0.795 7	1.158 2	0.795 7
0.9 L	1.346 0	0.760 8	1.209 5	0.760 8	1.167 3	0.760 8
1.0 L	1.387 2	0.725 9	1.222 9	0.725 9	1.176 5	0.725 9

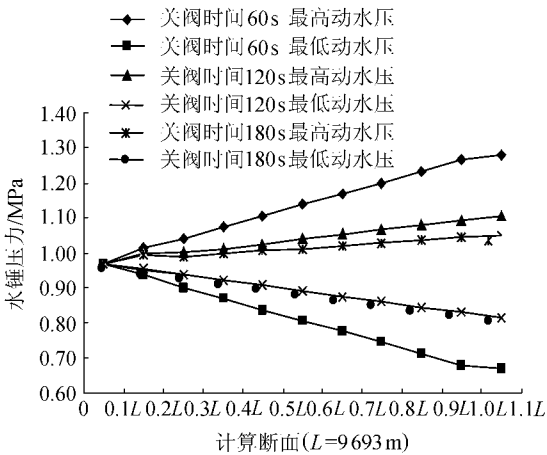


图 1 沉沙池—马家沟水库段不同关阀时间管道水锤压力水头沿程变化曲线

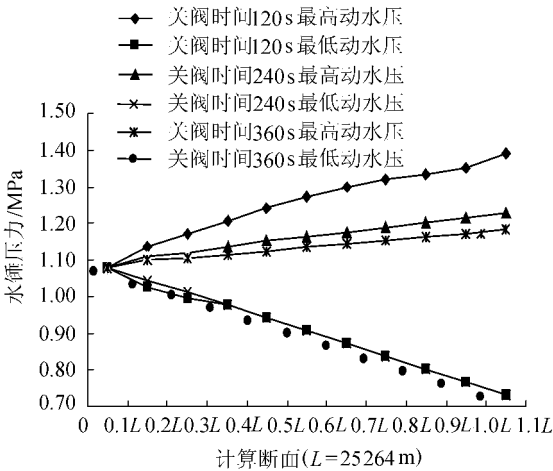


图 2 高位水池—大学城段不同关阀时间管道水锤压力水头沿程变化曲线

2 铜罐驿长江提水工程管道运行安全分析

综合以上管道水锤压力水头计算结果及管道水锤压力水头沿程变化情况,结合该工程各计算管道沿线实际地形条件,可得出以下结论:

- a. 沉沙池—马家沟水库输水管道:当关阀时间大于或等于 120 s 时,管道最大水锤压力升值约为 0.3 MPa,管道沿线最高动水压力为 0.85 MPa,最低动水压力均大于零,该管段采用工压 0.8 MPa 的 PCCP 管(预应力钢筒混凝土管),能够满足安全运行要求。
- b. 高位水池—大学城输水管道:当关阀时间大于或等于 240 s 时,管道最大水锤压力升值约为 0.5 MPa,管道沿线最高动水压力为 0.75 MPa,最低动水压力均大于零,该管段采用工压 0.6 ~ 0.8 MPa 的 PCCP 管,能够满足安全运行要求。

因此,在采取合理保护措施后,该工程提水泵站关阀水锤对输水管道的安全运行不会产生影响。

3 铜罐驿长江提水工程管道运行保护措施

3.1 提水泵站水泵出口压力控制^[2-4]

工程运行期提水泵站水泵出口压力控制措施包括:根据对水泵机组的参数分析液控缓闭止回阀关闭时间和水泵出口最大压力,在总出水管上设置相应恒压阀。具体措施如下:

- a. 长江一级提水泵站:水泵机组在设计扬程、设计流量停泵时,液控缓闭止回阀关闭时间为 11 s 时,水泵出口最大压力为 1.35 MPa。为确保水泵和水泵出口阀门安全,在泵站出水总管上设置相应恒压阀。
- b. 马家沟二级泵站:水泵机组在设计扬程、设计流量停泵时,液控缓闭止回阀关闭时间为 10 s 时,水泵出口最大压力为 1.40 MPa。

(下转第 147 页)

研制开发的这些地面机械产品与挖掘用的疏浚机具具有相同或相似的入土机理及黏附机理,为研制减黏降阻仿生疏浚机具提供了有益的借鉴。

5 结 语

资料表明,挖掘机和装载机等工程机械由于触土部件表面土壤的黏附作用而消耗的能量占总消耗能量的 30% ~ 50%,降低技术生产率 20% ~ 30%^[11]。疏浚中疏浚机具由于土壤的黏附作用而消耗掉的能量更多,开发仿生疏浚机具能降低能耗,达到提高疏浚作业生产效率和节约能源的效果。

根据目前土壤黏附机理和脱附理论的发展状况,减黏降阻仿生疏浚机具的研制开发是可行的,而且有着很好的应用前景。可以借鉴现有的、发展成熟的减黏降阻仿生产品的成功经验,在土壤黏附机理和脱附理论的指导下,研制开发减黏降阻仿生绞刀、耙头,取得成功以后可推广到其他的疏浚机具领域,具有较大的现实意义。

参考文献:

[1] 杨年浩,倪福生,孙丹丹. 高压水射流技术发展及其在疏浚工程中的应用[J]. 采矿技术, 2006, 6(1): 67-69.

[2] 尚涛,王昕,李建桥. 开发减黏降阻仿生钻具的可行性[J]. 吉林大学学报:工学版, 2002, 32: 101-104.

[3] Os, Van, LEUSSEN A G, Van W. Basic research on cutting forces in saturate sand[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1987, 12(113): 12-36.

[4] MIEDEMA S A. Calculation of the cutting forces when cutting water saturated sand[D]. Delft: Delft University of Technology, 1987.

[5] 任露泉,陈德兴,胡建国. 土壤动物减黏脱土规律初步分析[J]. 农业工程学报, 1990, 6(1): 15-20.

[6] NEINHUIS C, BARTHOLOTT W. Characterization and distribution of water-repellent, self-cleaning plant surfaces[J]. Annals of Botany, 1997, 388: 431-432.

[7] FOUNTAINE E R. Investigation into the mechanism of soil adhesion[J]. Soil Sci, 1954(5): 1-7.

[8] L. D. 贝弗尔. 土壤物理学[M]. 北京: 农业出版社, 1983: 60-62.

[9] 张际先. 土壤对固体材料黏附和摩擦的研究[D]. 江苏: 江苏工学院, 1985.

[10] 李建桥,任露泉,刘朝宗,等. 减黏降阻仿生犁壁的研究[J]. 农业机械学报, 1996, 27(2): 1-4.

[11] B. K. 鲁德耶夫. 关于挖掘机铲斗黏土现象及其减少方法[J]. 国外工程机械, 1981, 3: 167-173.

(收稿日期: 2009-01-12 编辑: 方宇彤)

(上接第 144 页)为确保水泵和水泵出口阀门安全,在泵站出水总管上设置相应恒压阀。

3.2 输水管道水锤控制^[1-2]

该工程运行过程输入管道水锤控制措施主要包括: ①严格控制关阀时间。为防止关阀水锤对管道的破坏,必须严格控制管道的关阀时间,避免出现关闭水锤。沉沙池—马家沟水库输水管线关阀时间应大于或等于 120 s;高位水池—大学城输水管线的关阀时间应大于或等于 240 s。②加强排气措施。该工程输水管线较长,起伏较多,在凸起处容易产生气囊。当管道中气囊两端的压差为 0.1 kPa、水流速度波动为 1 m/s 时,最大水锤压力升值(直接水锤)将达 1 MPa,是管道事故的主要原因之一。为防止管道因气囊引起的气爆型水锤,管道在凸起处均设置自动排气阀,确保排气畅通。该工程线路总长 105.44 km,共布置有 232 套排气阀,保证排气阀排气畅通,是消除管道气爆型水锤的重要保证。

4 结论与建议

- a. 铜罐驿长江提水工程运行过程所产生的管道安全风险主要表现在提水泵站闭阀水锤的影响。
- b. 工程运行期提水泵站出水口压力可根据对水泵机组的参数分析液控缓闭止回阀关闭时间和水

- 泵出口最大压力,在总出水管上设置相应恒压阀。
- c. 该工程运行过程应严格控制关阀时间,避免出现关闭水锤。其中,沉沙池—马家沟水库输水管线关阀时间应大于或等于 120 s;高位水池—大学城输水管线的关阀时间应大于或等于 240 s。
- d. 运行过程中应在管道凸起处设置排气阀,确保排气畅通,避免气爆型水锤影响。
- e. 在采取合理保障措施后,该工程运行过程中的管道运行风险能得到很好的控制。
- f. 由于该工程规模较大,管线较长,在很多问题上还需要在工程运行过程中进行跟踪分析和研究,不断地调整和改进保障措施,以达到安全运行的目的。

参考文献:

[1] 姜乃昌,许仕荣,张朝升,等. 泵与泵站[M]. 第 5 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007: 143-246.

[2] 金锥,姜乃昌,汪兴华,等. 停泵水锤及其防护[M]. 第 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004: 262-300.

[3] 长江水利委员会长江勘测规划设计院. 重庆市铜罐驿长江提水工程初步设计报告[R]. 武汉: 长江水利委员会长江勘测规划设计院, 2005.

[4] GB/T50265—97 泵站设计规范[S].

(收稿日期: 2008-09-17 编辑: 方宇彤)