

某能源化工企业复杂水资源输供水工程安全运行研究

董茹 王小东 刘聪 杜娟

榆林学院 建筑工程学院, 中国·陕西 榆林 719000

摘要:榆林市能源化工企业日益增多,长距离输水工程也日益增多,水资源的稳定供应也是确保产品质量和安全生产的关键因素。因此,能源化工企业的供水可靠性已成为亟待研究的问题,尤其泵站或输水管道中的断流弥合水锤问题最为突出。论文重点以防护管道断流弥合水锤为原则,结合某能源化工企业复杂的长距离、高扬程、多起伏、大管径、输水工程实例,通过分析这种输水管道布置的特殊性,对此工程管道各工况进行全面具体水锤内容分析,并对缓闭止回阀、排气阀、超压泄压阀水锤防护设备进行组合形成三种防护方案,为本输水工程安全运行提供一定参考。

关键词:长距离高扬程多起伏大管径输水工程;断流弥合水锤;水锤防护

Research on Safe Operation of Complex Water Resources Transmission and Supply Project in an Energy and Chemical Enterprise

Ru Dong Xiaodong Wang Cong Liu Juan Du

School of Architecture and Engineering, Yulin University, Yulin, Shaanxi, 719000, China

Abstract: The number of energy and chemical enterprises in Yulin City is increasing, and the number of long-distance water transmission projects is also increasing, and the stable supply of water resources is also a key factor to ensure product quality and safe production. Therefore, the water supply reliability of energy and chemical enterprises has become an urgent problem to be studied, especially the water hammer problem in the pumping station or water pipeline. This paper focuses on the principle of protecting pipeline break and eliminating water hammer. Combined with a complex long-distance, high-lift, multi-relief, large-diameter and water-conveyance project example of an energy and chemical enterprise, this paper analyzes the particularity of the layout of such water conveyance pipeline, and conducts a comprehensive and specific water-hammer content analysis for each working condition of this project pipeline. And the water hammer protection equipment of slow closing check valve, exhaust valve and overpressure relief valve is combined to form three protection schemes, which provide certain reference for the safe operation of the water transmission project.

Keywords: long distance, high lift, multiple undulations, large pipe diameter water conveyance project; cut off and bridge water hammer; water hammer protection

0 前言

水对能源化工企业非常重要。水资源是能源化工企业正常运转的基础,缺乏水资源可能导致工厂停产或减产,增加生产成本。同时,水资源的稳定供应也是确保产品质量和安全生产的关键因素。当前,很多大型能源化工企业供水起来长距离输水工程,但此类工程往往具有管线长、管径大、扬程高、管线起伏大、沿线障碍多、附属设施构筑物种类多等特殊性和复杂性,导致该类输水系统设计难度大、施工要求高、实际运行中面临事故多、安全运行难度大,管理难度大等诸多问题,直接影响供水的安全可靠性。特别是不断频繁的长距离压力输水管道断流弥合水锤安全事故,成为当前研究者最关心及最亟待解决的问题^[1]。虽然在水锤防护问题方面已有所改善,但断流弥合水锤防护工作却仍存在许多问题^[2],如认识不到位、防护方式不合理等,这些问题严重威胁着用水安全及操作人员的生命安全。所以,确保管道运行

的安全性成为需要当前工程人员及国家重点关注的问题,论文结合某能源化工企业长距离、高扬程、多起伏、大管径输水工程实例,研究此类特殊输水工程的防护方案,提出具有指导工程实际运行的防护方案,确保能源化工企业用水可靠性和安全性。

1 长距离、高扬程、多起伏、大管径输水工程水锤发生严重性

近 50 年,国内外大型的输水工程蓬勃发展,如中国的“南水北调”工程、天津市的“引滦入津”等^[3],这些工程都具有距离长、扬程高、起伏多、管径大等特点,容易出现输水管道内压力变化、排气不畅、事故停泵等引起的水锤压力的升高而造成的危害的问题。根据中国各地区 200 次以上有记录的水锤事故结果调查表明:轻则水管破裂、大量漏水、造成暂时输水中断;重则酿成泵站被淹毁、损坏设备、人员伤亡等^[4]。其中,以发生断流弥合水锤产生的破坏力最大。

对于断流弥合水锤的问题，无论是实验研究，还是模型建立或是数学模拟等方面都比较薄弱，没有形成统一的认识，断流弥合水锤理论方面尚需加强，指导实践更无从谈起。因此，断流弥合水锤安全防护等课题的研究不仅是水力过渡科学领域迫切需要解决的难题，而且是优化工程设计、降低工程造价、确保工程安全运行的关键，也具有重大的工程技术价值。

2 长距离、高扬程、多起伏、大管径输水工程水锤问题解决的对策

2.1 选择正确的水锤模型

以往对断流弥合水锤的研究的成果主要是简单或者水平管路仅仅在一处（多为水泵出口处）发生水柱分离实验的情况下得到的，对于两处及以上部位发生水柱分离与断流弥合水锤的问题有待进一步研究。目前，较为常用的水锤计算模型有三种^[4]：①不考虑断流的水锤计算模型，即在水力过渡的过程中，忽略水柱的中断的模型；②指定断流点水锤计算模型，即计算模型中指定某一高点位置，作为断流出现点；③断流弥合水锤计算模型^[5]，即计算模型中，通过对断流边界点进行处理，任意位置只要出现压力降低导致水柱中断，均认为发生断流。由此看出，在以上三种水锤计算模型中，无断流弥合水锤的计算模型与定点断流弥合水锤计算模型都存在人为控制断流发生的情况，与实际复杂工程中水力过渡过程的复杂变化不适用。因此，论文选用更有效性和的实用性的断流耦合水锤计算模型作为水锤分析的模型^[2]。

2.2 选择正确的水锤防护设备

水锤防护是保证供水工程安全运行的一项重要措施^[5]，供水工程中破坏性最大的事故是停泵水锤，目前采用较多的三种措施水锤防护措施是：①水泵出水管上应设防止水倒

流的单向阀^[6]，泵站中采用的单向阀主要包括普通止回阀、多功能水泵控制阀、缓闭止回阀、液控蝶阀等，普通止回阀价格低但不能消减停泵水锤，多功能水泵控制阀、缓闭止回阀和液控蝶阀价格高但能消减停泵水锤，应根据具体情况选定。泵站内出水管上装设水锤消除装置阀等可减缓管道内流速的急剧变化，降低管道内的水锤增压；②泵站外出水管上装设自动进（排）气阀^[7]。可避免管道内的负压破坏和排除管道内的空气。理想的排气阀应在任何一种流态时均能高速排气，并缓冲关闭，而不是仅能微量排气。只有保证在任何流态下能够高速排气并缓冲关闭的排气阀才能保证管道安全。几乎所有任何种类的浮球式排气阀，甚至大多数进口的排气阀，都仅能在层状流、波状流条件下排气。这种排气不稳的排气阀在很多供水工程中造成了大量事故，应严格限制使用。检验排气阀是否合格的方法如下：在保持 0.1MPa 以上的恒压条件下，交替向排气阀体内充水或充气，排气阀能够做到充水关闭严密，不漏水，充气可打开大排气口（不是小排气口）高速排气，反复三次，即为合格产品。选用具有缓冲功能的气缸式排气阀性能比较好。③采用单一的水锤防护措施不能实现安全防护，重点部位采用超压泄压、低压注水防断流的箱式双向调压塔或超压泄压阀对长距离低扬程大管径多起伏输水工程具有很好锤防护的效果，并且其高度大幅度降低，建造、维护、管理方便和造价低，提高了其使用范围，具有广泛的实际应用价值和社会价值^[6]。

3 某长距离、高扬程、多起伏、大管径输水工程水锤防护实例

3.1 工程基本概况

工程管线及泵站基本情况详见表 1 和图 1。
加压泵站管道纵断面图及稳态运行压力如图 1 所示。

表 1 泵站水泵的具体参数

序号	站名	型号	台数	电动机转动	流量	进 / 出水池 水位	扬程	额定转速	效率	轴功率	比转速	备注
				惯量						（电机功率）		
				kg/m	m ³ /h		m	转 / 分	%	kW		
1	泵站	400-710B	3	130	900	140.0/240.0	40	1480	5	850	6	三用一备

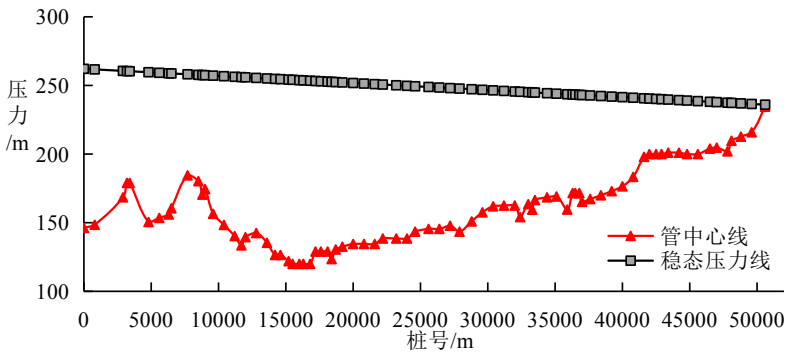


图 1 加压泵站管道纵断面图及稳态运行压力

3.2 防护方案比选

本输水工程属于长距离、高扬程、多起伏、大管径输水工程。而且,从管道纵断面图可以看出,输水管线背压较高,此类工程,在水锤波降压过程中,管道末端先断流,进而导致全线断流发生断流弥合水锤,并造成严重的水锤危害,水锤防护难度最大。针对该工程管线特点,本项目的水锤计算与研究以保证管线运行安全、避免水锤事故为宗旨,对本输水系统在运行过程中可能出现的水锤问题进行预测分析,并确定最经济、合理、可靠的水锤防护措施实现输水系统的安全稳定运行。制定三种防护方案进行必选。

3.2.1 方案一断流弥合水锤分析计算

方案一:安装缓闭止回阀防护方案。

水泵出口处(桩 0+00)安装一处缓闭止回阀,防止水倒流,并控制关阀速度,降低水锤。

方案一输水管道中水锤压力线如图 2、图 3 所示。

3.2.2 方案一断流弥合水锤分析计算

方案二:增加缓冲排气阀防护方案。

在方案一的基础上,在桩号处安装 0+850、1+690、2+530、3+370、5+240、6+000、7+000、7+960、9+950、10+900、11+850、12+710、14+650、15+550、16+400、17+250、19+060、19+970、20+880、21+790、23+530、24+450、25+400、26+250、28+120、29+120、30+100、30+880、32+970、34+000、34+970、35+740、37+420、38+340、39+260、40+180、42+150、43+060、43+970、44+880、46+580、47+340、48+100、48+930、49+760 等处安装 45 处缓冲排气阀。

方案二输水管路中水锤压力线如图 4、图 5 所示。

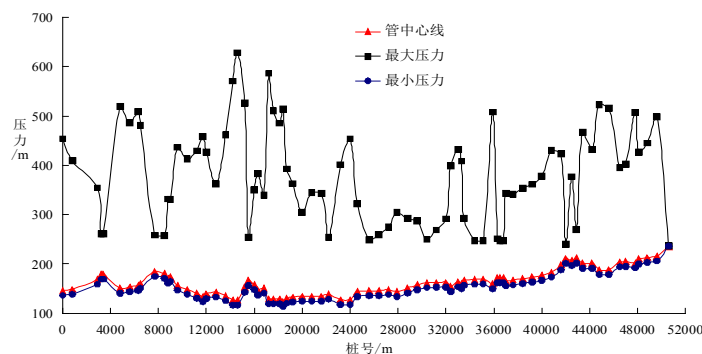


图 2 方案一: 只在水泵出口安装缓闭止回阀, 快关 5s、快关 60°、总关 120s 水锤压力线

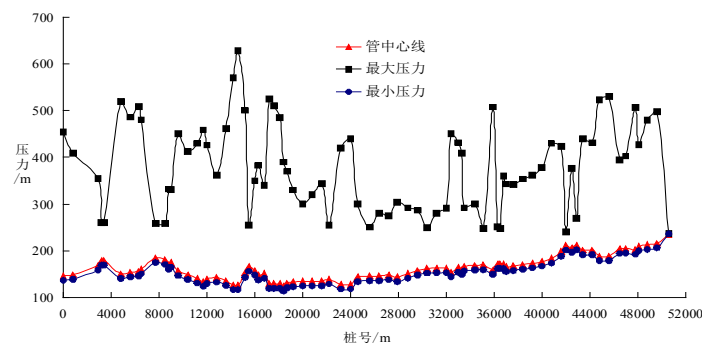


图 3 方案一: 只在水泵出口安装缓闭止回阀, 快关 20s、快关 70°、总关 360s 水锤压力线

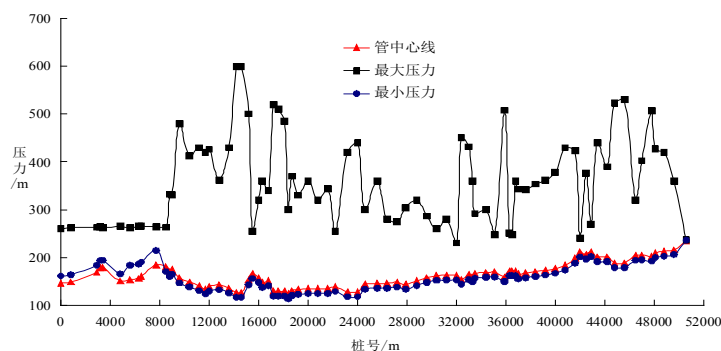


图 4 方案二: 缓冲闭合速度 0.5m/s, 缓闭止回阀, 快关 5s、快关 60°、总关 120s 水锤压力线

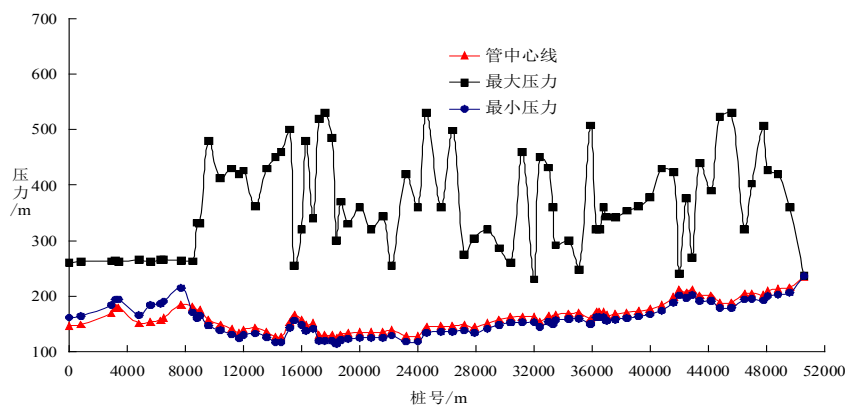


图 5 方案二：缓冲闭合速度 0.3m/s，缓闭止回阀，快关 20s、快关 70°、总关 360s 水锤压力线

3.2.3 方案一断流弥合水锤分析计算

方案三：超压泄压阀防护方案。

在方案二的基础上，新增 3+100、4+000、4+700、40+800、41+700、42+700、50+200 缓冲排气阀 7 处，共 62 处缓冲排气阀；并在水泵出口处、桩号 8+000、42+500 桩处安装 3 处超压泄压阀^[8]。

方案三输水管道水锤升压的变化情况如图 6、图 7 所示。

由上述图中水泵出口处缓闭止回阀快关角度为 60°、70°，缓闭止回阀快关 5s、20s，总关 120s、360s、缓冲排气阀闭合流速为 0.3m/s、0.5m/s 等不同组合情况下三种方案最大水头包络线和最小水头包络线管道水锤升压的变化情

况可以得出：无论是方案一还是方案二，在改变缓闭止回阀的关阀速度、关阀角度以及改变缓冲排气阀的排气速度等组合下，都不能将输水管道的断流弥合水锤降至安全管道的承压范围内，管线出现大范围的断流弥合水锤，水锤升压在 300~600m 不等，可以看出这两种方案并不能保证管道的安全稳定运行。而方案三在安装超压泄压阀后，缓闭止回阀不同关阀速度和角度以及缓冲排气阀的不同排气速度下，管道中压力均低于管道承压值，有效地控制了管道中断流弥合水锤造成的危害，使管道运行安全稳定。因此，建议选用方案三为水锤防护最佳方案，选用该方案中的水锤防护设备进行管道水锤防护。

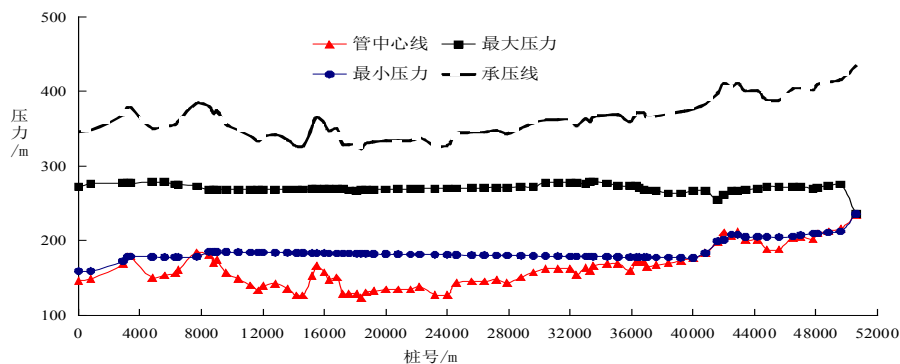


图 6 方案三：缓冲闭合流速 0.5m/s，缓闭止回阀，快关 5s、快关 60°、总关 120s

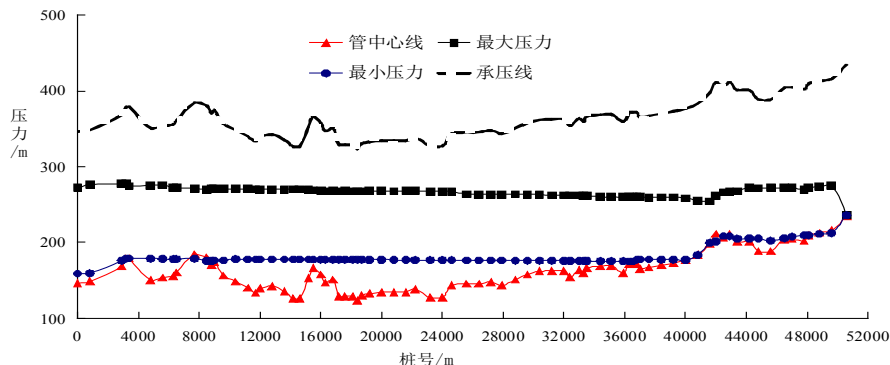


图 7 方案三：缓冲闭合流速 0.3m/s，缓闭止回阀，快关 20s、快关 70°、总关 360s

4 结语

综上所述，并某能源化工企业的输供水实例，提出长距离、高扬程、多起伏、大管径输供水工程水锤问题解决的对策，提出了切实有效的断流弥合水锤防护方案即：在泵户口安装缓闭止回阀、管线高点等安全缓冲排气阀、重点部位安装超压泄压阀的防护方案。此方案能保障管线的安全运行，能指导当前很多能源化工企业长距离供水工程在断流弥合水锤防护，具有重大的工程技术价值。

参考文献：

[1] 胡卫娟,胡建永,李柏庆.长距离供水工程水锤联合防护研究[J].给水排水,2022,48(9):5.

[2] 董茹,张伟东,闫朝.长距离压力输水管道水锤防护技术研究[J].能源与环保,2021,43(6):6.

[3] 董茹.某市长距离低扬程大管径多起伏有压输水工程水锤分析

及防护技术研究[D].西安:长安大学,2012.

[4] 刘燕珍.阜新大唐国际引白水源输水工程水锤防护研究[D].西安:长安大学,2012.

[5] 杨瑞虎,王彤,尚渝钧,等.供水管网气液两相流关阀水锤[J].排灌机械工程学报,2022(6):40.

[6] 程学远,武明皓.阀门关闭速度对水锤效应的影响分析[J].中国设备工程,2022.

[7] 梅青,王洋,杨力,等.陡峭地形高压供水工程水锤计算分析及消除方案[J].给水排水,2020(S1):345-348.

[8] 孙婷.延川供水管线长距离压力输水系统最佳运行工况和水锤防护方案计算分析[D].西安:长安大学,2013.

基金项目：榆林市产学研项目（项目编号：2024-CXY-090、2023-CXY-157）；陕西省自然科学基金基础研究计划项目（项目编号：2023-JC-QN-0333）。