

气压罐在长距离高起伏输水管线水锤防护中的应用

李鹏

(山东电力工程咨询院有限公司 山东 济南 250013)

摘要:长距离高起伏复杂输水工程水锤发生概率相对较为频繁,且防护难度较大,单靠一两种常规水锤防护措施,很难满足要求。本文结合滕州某输水工程实际情况,通过AFT水锤模拟分析计算,将防水锤气压罐与常规水锤防护措施相结合,达到了理想的效果,气压罐在长距离高起伏复杂输水工程水锤防护中具有广泛的应用前景。

关键词:长距离高起伏输水管线;水锤防护;气压罐

0 引言

一般长距离输水管道大多会承担整个系统供水,供水压力相对较高,水锤发生概率相对较大,一旦压力超过系统设计限值,将对沿线设备、管道系统造成损坏,会造成严重损失,同时也会大范围影响供水管线服务区域的供水,对周围安全生活、生产产生重大影响。近年来,输水管道安全可靠运行日益引起人们重视,而长距离高起伏输水管道布置形式及线路特点更加复杂,单纯依靠常规一两种防护措施,很难满足要求。若水锤防护措施不当,事故工况时管线局部会产生液体汽化或水柱分离^[1-2],影响管道的正常运行,甚至可能会引起爆管,因此应采取必要的保护措施^[3-5],来控制消减水锤不利影响。本文对气压罐在长距离高起伏输水管线水锤防护中的应用进行研究。

1 目前长距离输水工程常规防水锤防护措施

1.1 泵出口设置缓闭止回阀

目前工程中主要使用的阀门为水泵水力控制阀、液控蝶阀。水力控制阀一般同时具有缓闭止回阀、电动阀两种阀门的功能,以一代二,主阀板的速闭和缓闭可有效消减水锤压力峰值。液控蝶阀可按设定程序启闭,在正常和事故工况时按设定的时间和角度分快慢两阶段关闭,可消减水锤,有效降低管网系统压力波动,保障设备安全运行。

1.2 泵房连接管路设置水锤泄放阀

水锤泄放阀有标准角型、直通式两种形式结构,

可通过阀体内的弹簧力与泄放阀前的压力比较,从而设定泄压至正常压力数值。在“正压波”阶段,系统压力升至设定值时,水锤泄放阀打开,阀门打开至必要的开度以限制压力上升,使压力在最“安全”的范围内。系统压力降至设定值以下时,重新缓慢关闭。

1.3 管道沿线局部高点设置弥合水锤预防排气阀

水锤发生过程如图1所示。当管道出现水柱拉断的负压时,排气阀大孔口开启补气。由于惯性原因,水柱分离补气的区间两端水又会回流,排气阀由补气状态转变成排气状态。这时的排气速度有可能极高,两股水流可能以很高的速度撞击在一起,产生水锤。

弥合水锤预防排气阀在有压条件下内充满气体时,大、小两个排气口同时开启排气,具有在输水管道内存在多个不连续气囊或多段水柱相间情况下,大量或快速排出管道系统内气体的功能;在出现负压时可向输水管道内补气。

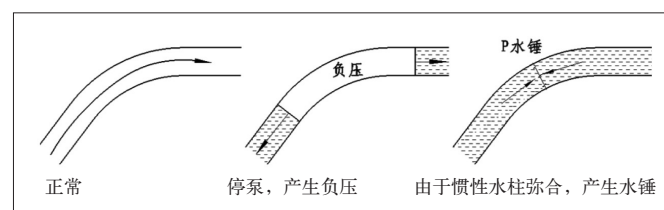


图1 水锤发生过程

1.4 输水管道末端设置调流调压阀

管网末端设置流量调节阀,通过设置阀门开启度,以保持管网末端压力在一定范围内,可在一定程度上缓解水锤危害。

2 长距离输水工程特殊防水锤措施

2.1 气压罐

2.1.1 气压罐的种类和原理

气压罐可分为气水自然分离式、隔膜式、气囊式等,其中目前以气囊式应用最为广泛。气囊式气压罐内部有安装气囊内胆,起到缓冲压力的作用。在运行过程中,系统压力上升时,气囊和罐体内气体被压缩,以缓解管道内压力上升;当管道系统内压力降低时,罐体内部的水被气体挤压至管道系统中,可有效避免出现水柱分离等,水锤消除原理如图2、图3所示。

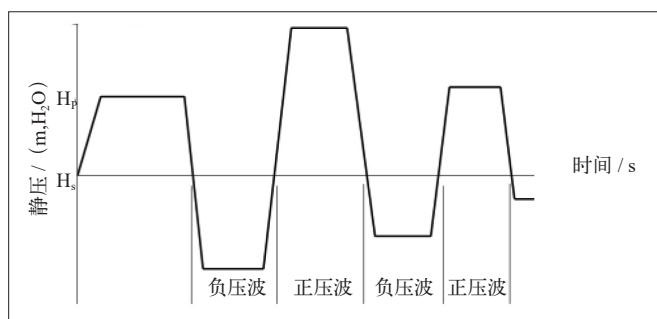


图2 未装设气压罐时,水锤发生情况

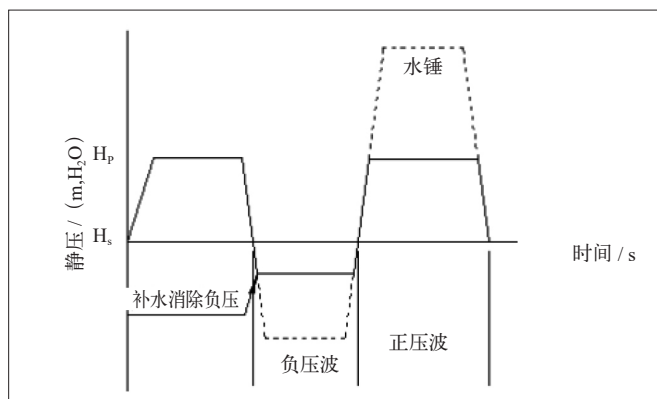


图3 装设气压罐后,水锤发生情况

气压罐橡胶内胆应具备良好的弹性,以保证在泵站正常启停和管道水锤事故工况下橡胶内胆能以合适的速度吸入和补出流体介质,避免发生水锤事故破坏泵、阀门及其他管道附件等。空气罐橡胶内胆制造材料的选择,要考虑到安装位置和作用,特别注意各种制造材料之间的电解反应、锈蚀、磨损作用以及介质中杂物的腐蚀。

2.1.2 气压罐的优点

气压罐的优点^[6]有:

(1) 罐中内部气体压力和体积随管道压力而相应

变化调整,可适用于不同的地形。

(2) 气压罐抗水锤效果好,它同时具备消减正压和平衡负压的功能,减少压力上下波动,从而将水锤对管道系统的各种不利降低到最小。

(3) 运行安全可靠,设备一般无需日常维修维护,检测非常方便,可以通过监测设备等检查工作状态是否正常。

2.1.3 气压罐的安装

气压罐可设在高落差复杂地形管线高点或泵房内水泵出水侧的压力供水管道上。考虑到日常监测维护方便,可与泵集中设置在水泵房内,一般多设在水泵出水侧的压力供水管道上。防水锤压力罐一般包括压力罐、橡胶气囊、压力变送器、安全阀、压力表等附属设备。气压罐选用应充分考虑到介质特殊性和工况特殊性,对于相对较差的水质,气压罐应选用具有耐磨损、防粘附淤积的特性,保障工程安全运行。气压罐利用气体体积与压力的特定定律工作,随着管路的压力变化,起到补水或缓冲压力作用。

气压罐一般安装位置如图4所示,安装后,通过注气孔注入一定的压力(通常为管线正常工作压力的1/3)的气体,气体将橡胶内胆挤瘪;水泵启动,管道中压力上升,水进入橡胶内胆,气体被压缩,气体和内胆中水的压力与管道压力一致。水泵停止,管道中压力下降,气体挤压橡胶内胆,内胆中的水进入管道,防止负压形成,也就防止了水锤。

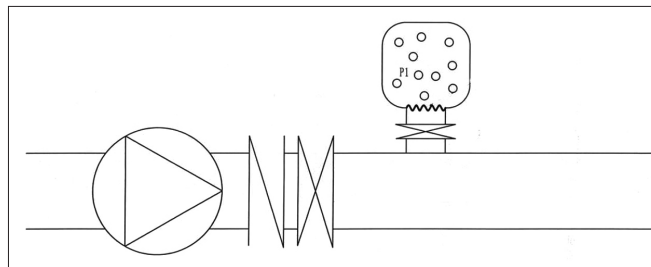


图4 气压罐安装位置

2.2 调压塔

2.2.1 单向调压塔

单向调压塔是消减断流弥合水锤过高升压和防止产生负压的有效的水锤防护措施。单向调压塔在泵站附近或管道的适当位置修建,它的主要组成有安装有止回阀的注水管、一定体积的水箱或容器、充水的满水管等。塔中设计水位一般不需要达到正常工作时的水力坡降线。当管道系统出现负压时,塔

内水可向管道内补水，避免水柱拉断和弥合水锤的产生；但是当出现管道升压情况时，管道内水流无法流入塔内。在设计中，单向调压塔一般主要考虑如何减轻可能出现的水柱拉断和断流空腔，但当正压比较高时，安装单向调压塔的位置仍会出现升压。

2.2.2 双向调压塔

双向调压塔内水面高度一般要比输水系统终端水池的水面高度要高。双向调压塔类似于一开放水池，可向管道系统内注水和泄水，能有效防止压力输水管道产生负压。当管道系统压力增大时，它可以允许管道内压力水流流入调压塔内；当管道系统出现负压时，塔内水可向管道内补水。双向调压塔有溢流式和非溢流式两种，对于输水管道而言，双向调压塔实际是一种兼具补水和泄水功能的输水系统水锤防护措施。

2.3 气压罐与调压塔的选择

气压罐与调压塔的选择比较如表 1 所示。

表 1 气压罐与调压塔的选择比较

序号	气压罐	调压塔
1	气压罐抗水锤效果好，具备双向调压塔的平衡负压和降低正压的功能和减少压力来回摆动的效果	双向调压塔具有平衡负压和降低正压的功能；单向调压塔可以平衡负压，当正压比较高时，安装单向调压塔塔点仍会产生升压
2	不受地形条件限制，应用灵活	受地形条件限制
3	使用方便，可集中设置在泵房内，方便维护	在泵站附近或管道的适当位置修建，一般无法与泵房集中布置
4	应用范围广，泵房内集中布置，可适应不同地区、不同季节工况需求	北方冬季需要考虑防冻措施，防冻实施难度大，增加额外造价；需考虑水质污染问题等

本文结合工程实际情况，考虑到冬季防冻、水质污染、运行维护方便等因素，特殊防水锤措施推荐采用气压罐。

3 气压罐在工程实际中应用

输水管道的设计选线是一项非常重要而复杂的工作。线路选择得合适与否，对工程投资、系统安全、经营管理等都具有十分重要的意义，有时甚至是决定性因素。滕州某输水工程部分管道与雨污分流管网同槽敷设，节省造价，是最优路径。输水工程提

升泵站出水通过 2 条 DN600 管线直接送至工园区用水点，全线封闭。管道管线长，管道起伏大，输水保证率要求高，中间部分管段地势高差较大，中间途径制高点，与两端高差达到 73m，且地势标高并非突然增高，而是沿途逐渐升高，故较难避开制高点。

通过 AFT 水锤模拟分析来看，采用常规防护措施（每台泵出口设置水力控制阀、泵房设置水锤泄放阀、沿程管线设置水锤预防排气阀、末端设置调流调压阀等），虽然能在一定程度上削弱水锤的影响，无论正常停泵还是事故停泵工况，上坡段均出现负压，事故停泵工况时部分管段负压达到约 -5.0m，不能满足相关要求。

由于水锤预防排气阀等作用效果有限，尤其在高起伏长距离输水管道中，通常需要设置数量众多的排气阀，而且尚需在阀门出口处安装超压泄压阀，才能控制调整关阀压力，防水锤效果依然不理想。而防水锤气压罐的缓冲作用恰好可以弥补。防水锤气压罐的运行工作原理简单，但选型要考虑诸多因素，如水流的连续性、运动性以及罐体内可能发生的空气温度变化对空气体积的影响等因素。

兼顾以上因素，经初步分析计算，考虑在上述常规措施基础上，在泵出口母管处设置 1 个 15m³ 的气囊式防水锤气压罐。

本文确定了停泵时各泵出口水力控制阀两阶段关阀时间最佳设定。(1) 正常停泵工况：泵出口水力控制阀先在 2s 内从全开位置快关 70%，然后联锁 3s 关闭水泵，水泵控制阀门在 28s（可调）内缓闭至完全关闭。(2) 事故停泵工况：两阶段（快关缓闭）关闭出口水泵控制阀，2s 内阀门快关 70%，28s 内（可调）阀门全关。

对于管网末端调流调压阀：正常情况，调流调压阀维持开启度 50%，以保持管网末端压力维持在 0.2MPa 左右；当主管调流调压阀发生故障时，末端压力高于 0.25MPa 并持续上升，应立即报警，相应开启相应旁通管上调流调压阀，开启度同样维持在 50%。

事故停泵水锤一般发生在水泵机组因突发停电或其他原因而造成开阀状态下突然停止运行，系统中因流速变化导致发生一系列的压力交替上下急剧波动，通常此工况下停泵水锤最为常见，且较为严重，对泵和管线等都会造成重大影响。将防水锤气压罐和常规防护措施配合使用，经 AFT 水锤模拟，研究事故停泵工况下水锤变化情况，事故停泵工况水锤

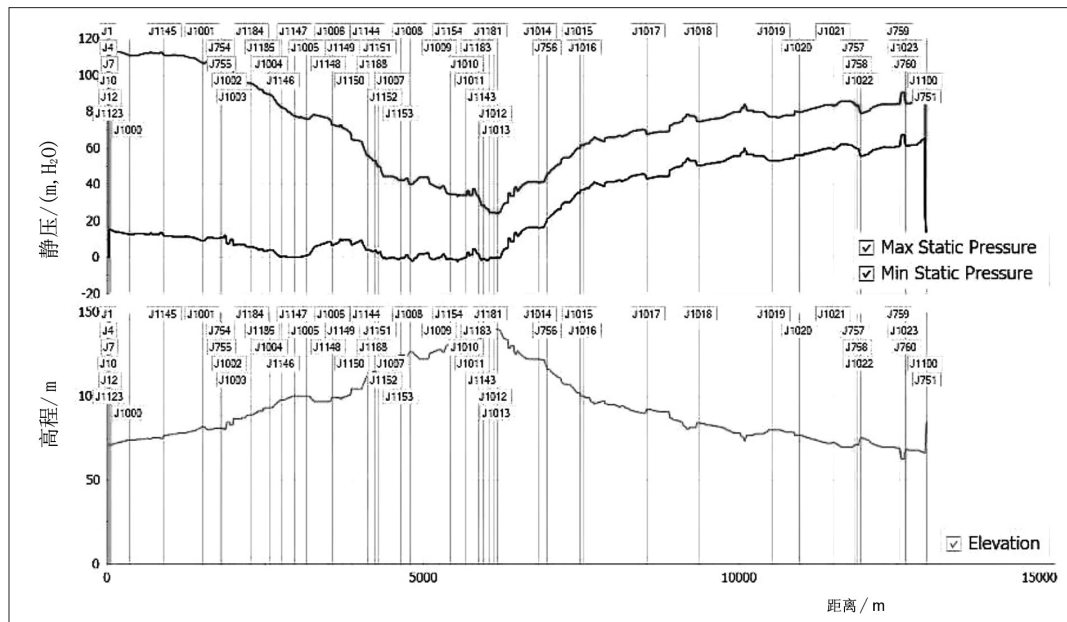


图5 事故停泵工况水锤曲线

曲线如图5所示。事故工况局部个别点虽然存在负压，最大值仅为 -2.0m ，在允许范围内，较常规不设置气压罐方案（负压约达到 -5.0m ），水锤防护效果有了明显较大提升，满足了相关要求。且全线最大压力均未超过1.5倍的系统承压能力，根据《城镇供水长距离输水管（渠）工程技术规程》（CECS193-2005）中提到^[7]“水锤防护措施设计应保证输水管道最大水锤压力不超过1.3~1.5倍的最大工作压力”，可见水锤防护达到了理想的效果。

同时分析发现运行中气压罐内气体压力随时间变化而变化。当出现水泵骤然停止运行工况时，在供水管道起端位置压力减小，气压罐开始向管道内补水，如此可有效平衡避免出现负压；气压罐中水量随之减少，气体发生膨胀。当输水系统水锤波出现折返时，供水管道起端位置压力增大，气压罐开始进水，吸收缓冲输水管道系统内过高的压力，气压罐中水量随之增加，罐体内气体被挤压，发挥气垫缓冲作用，从而有效削弱了水锤对管道系统产生的不利影响。为了防止在系统压力较低时，避免空气气囊局部进入管道而被卡住损坏，在空气压力罐的底部，设有相应的保护措施。可见，在长距离高起伏输水管线中，设置防水锤气压罐具有较好的防水锤效果。

4 结语

采取常规防护措施，如泵出口设置水力控制阀、沿线设置水锤预防阀等，虽然能在一定程度上削弱

水锤的影响，但对于长距离高起伏输水工程，通常并不能达到理想的效果。本文将防水锤气压罐和常规防护措施配合使用，经AFT水锤模拟研究发现，大大增加了管道水锤防护安全性，达到了理想的效果，防水锤效果远优于常规防护措施。虽然目前防水锤气压罐在国内应用不多，但经过长时间国外大量工程设计实践经验

验证，其已经发展成了一项技术成熟的防水锤措施，且气囊式气压罐具有构造简单、安装方便、不受地形限制、可与泵集中设置在泵站内、管理维护方便等优点，在国内长距离高起伏输水管线水锤防护设计中具有广泛的应用前景。

参考文献：

- [1] 刘政, 桂波, 李晓一, 等. 长距离输水管线负压控制规范要求及防护措施探讨[J]. 水科学与工程技术, 2021(2): 52-56.
- [2] 熊水应, 关兴旺, 金锥. 多处水柱分离与断流弥合水锤综合防护问题及设计实例(上)[J]. 给水排水, 2003, 29(7): 1-5.
- [3] 巫京京, 李政帅, 祝丹丹, 等. 长距离重力流输水管线首次回供水工程实例[J]. 供水技术, 2017, 11(03): 36-39.
- [4] 结少鹏, 张健, 黎东洲, 等. 多支线长距离重力流输水管线系统的水锤防护[J]. 人民黄河, 2014, 36(08): 130-133.
- [5] 周小兵, 张立德, 刘广林. 长距离调水工程管理信息系统[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007: 12-31.
- [6] 刘奕, 陈敏. 浅议抗水锤气压罐在消减停泵水锤中的应用[J]. 有色冶金设计与研究, 2003(09): 59-60+63.
- [7] 中国工程建设标准化协会. 城镇供水长距离输水管（渠）工程技术规程: CEC193-2005[S]. 北京: 中国计划出版社, 2006: 14-16.

作者简介: 李鹏(1984.10-), 男, 汉族, 山东临沂人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 水工供水。