

长距离大管径平坦地区输水管道水锤防护技术

陈国标

上海勘测设计研究院有限公司 上海长宁 200335

摘 要: 在平原地带, 大口径、长距离输水管线经常发生水击事故, 但往往忽略了它的保护。本文以实际工程实例为基础, 采用水锤法数值仿真技术, 对大口径、大口径平板区域的水锤保护技术及其应用进行了探讨。

关键词: 长距离; 大管径; 平坦地区管道; 水锤防护

Water hammer protection technology of water transmission pipeline in long distance, large diameter and flat area

Guobiao Chen

Shanghai survey, design and Research Institute Co., Ltd. Shanghai Changning 200335

Abstract: in plain areas, water hammer accidents often occur in large-diameter and long-distance water transmission pipelines, but its protection is often ignored. Based on practical engineering examples, this paper discusses the water hammer protection technology and its application in large-diameter and large-diameter flat plate areas by using the numerical simulation technology of water hammer method.

Keywords: long distance; Large pipe diameter; Pipeline in flat area; Water hammer protection

1 长距离大管径平坦地区输水管道的汽水两相流压力特点

在平面区域内, 管线的充水量和工作过程中, 存在六种流动状态: 分层流动、波浪流动、段塞流、团流、泡沫流、环形流。分层流波形流动只发生于管线充填初期。气泡、气团和环形气流的出现都是短暂的, 也就是所谓的过渡性流动, 所以通常, 在这种状态下, 管线中的气体大多是以段塞形式或者单独的大气泡形式出现的。长期以来, 由于管线中包含气体的复合气、液两相瞬变流场, 其数值模拟多为一维, 且有许多简单性。另外, 由于该模型忽视了空气压缩机的某些性能, 例如泄漏、摩擦损失等, 从而导致了计算结果的偏差。传统的特征线和有限元分析法是目前国内外学者普遍采用的计算方法, 但在相同的数学建模中, 往往会出现插补问题, 从而使计算结果产生很大的偏差, 从而对预报的准确性产生很大的影响。由于常规的预测方法只能考虑局部的影响, 因此预报准确率和工期都很短, 而且只能用于某一具体的路线。在传统的预测模式中, 一般都是使用最小的错误选择最优化的方法, 而没有对其进行更深

层次的讨论。在进行预报时, 单靠一个模式很难充分反映其变化的特点, 会导致某些有用的资料流失, 从而使预报的精度产生偏差。而且, 由于多采用了一个单一的模式, 不能有效地解决各个模式的缺陷, 从而导致了预报不够准确和完整。为了解决以上问题, 可以将灰色预测模型和系统动力学模型结合起来, 从而使模型更加精确。

有压输水管中的天然气以段塞流动为主, 也就是以多个或几个不间断的单独的气袋为特征。其安全气囊的长短和所占据的截面面积由气态成分、管径尺寸以及管路的纵向状况决定。从原理和实际应用中可以看出, 当气流沿着管子顶部流动时, 会在管线拐角、变径、阀门等部位形成积聚, 从而引起压力波动。经国内外相关测试, 其高压可达200mH₂O以上, 对常规给水管线造成严重的损害。由于长输管线的阻力较小, 地形平整的输油管线通常处于较低的工作状态。在大口径、大直径平板地区, 管道水锤防护的重点是管道的安全、气爆型水锤防护、断流修复。长期以来, 由于管道内含有混合气和液体两相瞬变的流动, 其数值模拟大多是一维的, 存

在着很多简单的问题。传统的特征线与有限元分析法是目前国际上比较流行的一种计算方法,但是在同一模型中,经常会遇到插补问题,导致计算结果偏离较大,严重影响预测精度。在传统的预测模型中,通常采用最小的误差来确定最优解,而没有深入探讨。

2 长距离大管径平坦地区输水管道水锤防护措施

大口径长输水管的水锤保护的基本方法及重点顺序有:①根据废气的需要,设置定速度的缓冲式排气阀,以排除管线安全,防止断水冲击;②在抽油器的出口设置一个缓慢关闭的单向阀门;③将超压减压阀门设置在管线的重要位置。④尽可能使用管线来进行供水,可以在很大程度上降低蒸汽在输送时的挥发,有利于在压裂后进行管线的拆卸。⑤输水管位置、埋设深度和排水管道位置要与工地的建设相适应。⑥因为管子是预制的,所以不能进行分层堆放,所以在现场的规划中要充分考虑储存空间的大小,以确保各管道之间有一个安全的间距来进行封闭。⑦润滑系统、密封系统、冷却系统及油水系统管路应保持清洁和畅通;其压力部分必须严格按照装置技术规范要求进行。

2.1 恒速缓冲排气阀

在国内,一般在07~08km的地方设置一个排放阀(以下称为“排气阀门”),而在外国,一般为05~0.6km。在进行排气阀的安装位置时,应根据管道的纵高或水锤防护等因素来确定。在仅有排出作用的情况下,其进气道的直径应该是管道的1/12至1/8;当同时进行进、排出时,推荐采用1/8~1/5的管道,或者采用数值方法进行设计,但在较低、较宽的地区,管道的工作压力较低,容易产生气流的阻力,故推荐采用具有一定转速的减震排气阀。等速减速排气阀是一种具有恒定转速的排气系统,能保证管道内的空气流通,并能在管道内形成一股气流。

达到了某种程度的气垫,并在排气后具有缓冲功能,可有效地消除气囊断水的影响。一般认为,在通过阀门的节气门之后,由于过流的突然减小,所以流速增大,而压强降低,并且每个弯头、断面的凸起处和凸出都会引起局部的压降,但出口的压强低于输入端。

2.2 缓闭止回阀

目前,我国有多种类型地缓闭阀,其运行状况参差不齐,其中,有一些性能欠佳的,有可能会变成水锤产生装置。在国内,从有关的施工实践来看,采用二段式的蝶式阀门和抽油式调节器是比较安全的。如果管道直径较短($DN \geq 400$),最好采用泵调节器;两类中型

(400以下 $DN < 1000$)的阀门都有各自的优点;通常情况下,采用大直径($DN > 1000$)的液控式蝴蝶阀门具有更大的技术优越性。通常,缓闭式单向阀门的管径是泵的出口。

2.3 超压泄压阀

在泵房出水管处设置有超压减压阀门。在管线中部有没有超压减压阀门,必须经过分析和计算,得出:超压减压阀门的额定口径应为主管路的1/5~1/4,或者通过水力计算,得出*4,超压减压阀门的主要功能就是在管路内出现水力瞬变流某个位置的高压时,该位置的超压泄压阀会自动开启,使其排出一定的流速,保持管线在这个位置的气压,在压力下降到安全位置时,阀门会自行闭合。在压力管路中,如在紧急情况下,在紧急停机或启动时,因瞬间流量的剧烈改变,导致流体的动量会快速改变,造成了很大的压力改变。该气压的波动范围很大,它的加压比平时的工作压强数十到数百倍,并且会造成极度的负压。管道内的压力和流速稍有改变,就会导致管道的工作状况发生改变,甚至出现水锤现象,造成管道破裂,设备损坏等。

3 案例分析

在东北地区,一座电站管线全长100公里,直径1200mm,管线采取了两段式供水方式,其中,一段管线比较平整,二段高度差异很大。重点对平原地带一级供水管线的水击特性和保护方法进行了研究。在同样的横截面下,曲线型沟道的水流半径和流量都较低,需要的水量也比较少,只要有施工条件,就尽量选择。在管线布局中,在管线布局中,以降低阻力损耗、节约物料为主,管线布局中多为直管区,在管线的弯曲部位设置L型或Z型天然补偿管。管子的直径要尽可能大,弯曲和变化的管子要越小越好,特别是从横向到纵向的弯曲越小。管子成形时,必须尽量使其直径(半径超过100毫米);管道应横向垂直,管道内应平坦,不得有明显的凹坑和裂缝。在管道水力学条件最差的情况下,对3台水泵在运行过程中停机水泵的水力学性能作了较

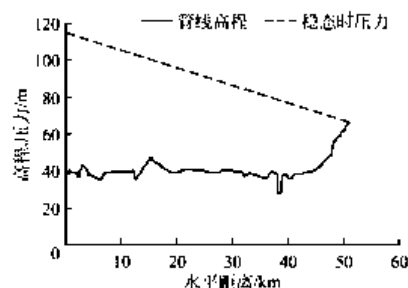


图1 稳态时压力

为详尽的分析。对管线的损伤最大的是横向管线,斜线管线次之,共线管线破坏最少。较大的挖掘径向对管道产生不良的作用。为了便于分析,排气阀门按800米等间距设置。而在具体的管道上,则要依据高度来进行相应的调节。在稳定状态下,管道的水压梯度显示在图1中。

缓慢闭合的单向阀的快关速度是4秒,关到60秒,慢停的时候是116秒,气缸全封闭,水冲击的仿真结果如图2所示。

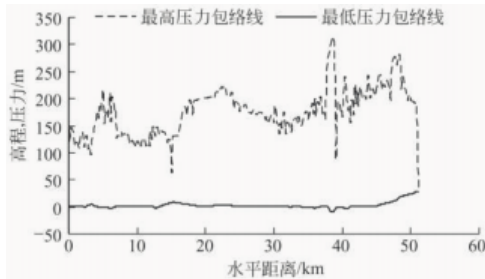


图2 缓闭止回阀4s快关60, 116s完全关闭水锤分析

根据水锤的数值(见图2),发现管线在管路中突然停止后,会产生大量的空气阻力,造成管线爆炸的风险。随着压强的增大,油侵、气侵等因素的增加,其作用的有效程度愈高,则其作用的延续时间愈久。在此条件下,从爆炸开始至气流速度稳定,其整个爆炸周期为自顶部和两侧爆炸的2-4次(大约1-3秒)。因此,排气门的选用和位置非常关键,它要能在任意低压力和流量状态下,实现持续的大量排放,确保管线在充满后和之后的使用过程中不会有气体积累,这对确保管线的正常使用是非常必要的。在各种压力水平下,法兰、垫片、螺栓、阀门都应选用高压级别,以便在紧急状况下使用切换阀门和关闭阀门,避免在低压水平较小的一面受到影响。此外,当出现诸如管线爆裂、管线串压等紧急情况时,由于气体流量的突然变动,无法及时地检测出问题并采取相应的处理。在压力管道中,例如在紧急关停或启动过程中,由于瞬间流量的急剧变化,使液体的动量会迅速变化,从而引起很大的压力变化。

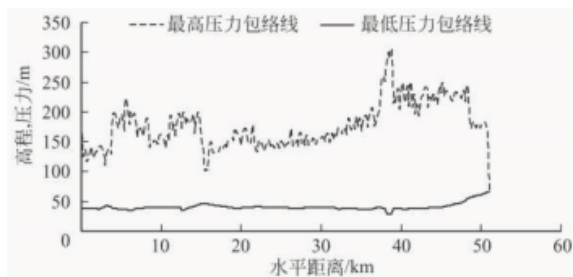


图3 安装普通排气阀压力线

从图3可以看出,在15千米处,有些地方的气压比没有安全气囊的地方升高了五十多米,说明在气体堵塞的情况下,管线爆炸的风险增加了。在高通气速率(高通气率)、流速缓慢的情况下,管路中会发生气体倒灌,这是化工、冶金等行业普遍存在的问题,严重影响生产和运行。管道安全阀、进排气阀(铁)是管道的防护设备,能将管道中的负压力排出,避免管道被抽干,从而避免水击。如果受排气阀门的影响,会产生更多的空气阻力。使用带有恒速缓冲器的泄流器,在相同工况下,污水锤的压力上升特性如图4所示。

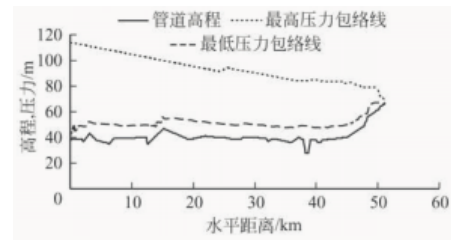


图4 安装具有恒速缓冲功能排气阀的水锤计算曲线

从图4可以看出,定速度的缓冲式排气门,其排出速度不变,压强控制作用显著,使管路的安全性得到了极大的改善。在系统工作压力超过工作压力时,能快速关闭阀门,避免过电压,确保设备的正常工作。通过对管线进行抽空,产生了一个负压力,悬浮球体向下移动,外部气体流入管线,减少了管道内部的压力,加速了管道的排泄。当管路发生故障时,管路会产生负压,使管路发生震动或断裂,而排气阀门则会将气体快速抽吸进管路,避免管路发生震动或断裂。另外,通过对管道的摆动、振动和冲击进行调节,使管道的振动幅度减小。通过在管线的合适部位设置减震装置,增大管路的阻尼,可以改善管路的自振,并能起到抑制谐振作用,从而达到抑制管路振动的目的。鉴于管道内仍然存在的压强振动,在泵的出口设置了一个超压减压阀门,在相同的关闭模式下,污水锤击的压力分布见图5。

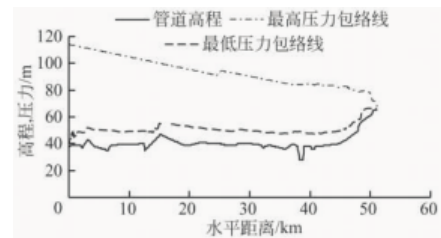


图5 安装超压泄压阀后的水锤计算曲线

通过比较,可以看出,这种方法的压力没有很大的改变,而且没有显著的影响。

4 结论

在平缓地带, 管线的沿程波动比较小, 在输送过程中会消耗能量; 因此, 适合采用高速输送管线。在平缓地带, 大直径、远距离输水管的逆压 (也就是操作压) 通常很低, 不管是在紧急停机或在常规操作过程中, 都会产生带气体的断流空洞, 而在空穴发生的瞬间变化会造成断水冲击, 所以此类管线的水击保护应该以管线稳定放气为主, 其他保护手段为辅。根据管线废气的需求, 选用一种性能优异的恒速排出系统, 并在任意流状态下都可以排出较多的废气, 这一点从相关的工程算例中得到证实。为了保证系统的安全性能, 必须选用具有较高安全等级、影响系统安全、失效后难以修复的管线, 应用相应频谱方法进行分析。在满足安全性需要和特殊需要时, 应用响应频法进行分析和计算。

参考文献:

- [1]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.
- [2]陈建明.长距离压力污水管道工程水锤防护技术探讨[J].工程技术研究, 2021, 6 (3): 2.
- [3]张舒婕.长距离输水管道的水锤防护设计[J].科技风, 2020 (23): 2.
- [4]魏勇, 郑帅, 鲍磊, 等.长距离输水管道水锤计算及防护措施研究[J].水利科技与经济, 2021, 27 (6): 5.
- [5]薛俊杰.原水长距离输水管道水锤防护分析[J].净水技术, 2020, 39 (S01): 4.
- [6]周江松, 李剑锋, 赵承宗, 等.一种长距离大管径输调水泵站泵组自动控制启动方法: CN112196783A[P]. 2021.