

高扬程输水管线停泵水锤防护措施研究

王斌

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]在现代水利系统中,高扬程输水管线对于克服地形障碍、实现远距离调水具有重大意义。然而,停泵时产生的水锤现象会给管线带来巨大冲击,威胁系统安全。为应对这一挑战,我们必须深入探讨有效的防护措施。文章结合了理论分析、数值模拟和工程实践经验,旨在提出一套系统性策略。通过深入研究水力学原理,模拟停泵过程中的水流动态,并结合实际工程案例,我们将提出一系列切实可行的防护措施,旨在确保高扬程输水管线在停泵过程中的安全稳定运行。

[关键词]高扬程输水管线;水锤;防护措施;安全运行

DOI: 10.33142/ect.v2i10.13686

中图分类号: TU991.39

文献标识码: A

Research on Water Hammer Protection Measures for High Lift Water Transmission Pipeline Stop Pump

WANG Bin

XPCC Surveying and Designing Institute Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: In modern water conservancy systems, high lift water pipelines are of great significance for overcoming terrain obstacles and achieving long-distance water transfer. However, the water hammer phenomenon generated during pump shutdown can cause significant impact on pipelines and threaten system safety. In order to address this challenge, we must delve into effective protective measures. The article combines theoretical analysis, numerical simulation, and engineering practice experience to propose a systematic strategy. Through in-depth research on hydraulic principles, simulation of water flow dynamics during pump shutdown, and combined with practical engineering cases, we will propose a series of practical and feasible protective measures aimed at ensuring the safe and stable operation of high lift water pipelines during pump shutdown.

Keywords: high lift water transmission pipeline; water hammer; protective measures; safe operation

引言

水锤现象在封闭管道中十分常见,尤其是在高扬程输水管线中尤为突出。当流体在管道中突然加速或减速时,压力急剧变化产生冲击波,这种现象可能导致管线受到严重的物理损害。此外,水锤还可能影响整个水利系统的正常运行,导致水质下降、供水不稳定等问题。因此,研究和实施有效的水锤防护措施是至关重要的。我们需要从设计、运行和管理等多个角度出发,综合考虑各种因素,制定出科学、系统的防护策略,以确保输水系统的安全与高效运行。

1 水锤现象的理论分析

水锤现象是管道系统中常见的物理现象,其产生与流体的惯性、管道材料的弹性特性及外部因素密切相关。当流体受到突然影响(例如泵停机或阀门快速关闭)时,由于惯性作用,流动的水体将继续向前推进并与管道或阀门形成冲击。这种冲击导致管道内压力瞬间增大,形成高压波,随后在管道内形成低压波,使得管道内的压力产生波动,即所谓的水锤现象。要深入理解水锤现象的产生机制,需要考虑多个因素。首先,流体的惯性是在短时间内改变流体运动状态的关键因素。其次,流体的弹性以及管道材

料的弹性特性也会影响压力波的形成和传播。另外,泵的工作状态变化、阀门的操作速度等外部因素也会对水锤现象产生影响。基于对水锤现象产生机制的理解,我们可以为管道系统设计更有效的防护措施,包括优化管道布局、选择合适的管道材料、合理设置阀门和泵的工作状态等。通过综合考虑这些因素,可以减少水锤现象的发生,确保管道系统的安全高效运行^[1]。

2 高扬程输水管线停泵水锤防护措施研究

2.1 优化管道设计

2.1.1 管道材料与壁厚选择

在构建管道网络时,选择既具备高抗拉强度又拥有良好延展性的材料对于确保系统整体性能至关重要。这些高性能材料不仅能够显著提升管道结构的物理强度,同时也能够优化其对恶劣外部环境的耐受性。以实际案例来说,例如某个城市的主供水管道项目。在这个项目中,考虑到管道需要承受高压以及外部环境的影响,选择了具有高强度和良好韧性的特种材料。这些材料在高压环境下展示了卓越的稳定性和承压特性,从而保证了其高效的承载能力。由于这些材料的抗冲击特性,它们能够有效地防止外部冲击和振动的侵袭,从而大幅度减少水锤现象的出现

概率。提升管道结构的抗压力的一种显著有效的策略是通过增加其壁厚。以该供水管道项目为例，管道壁采用了加厚设计。这种设计对于防止形变及破裂现象的发生起到了关键性作用。增加管道的壁厚不仅可以有效地提升系统的稳定性和安全性，还能够保障流体顺畅地在管道中流动。在挑选用于管道建设的材料时，除了评估其承重和抗拉能力，还需要全面评估材料的持久性、抗腐蚀特性及预算约束等关键要素。以这个项目为例，除了材料本身的性能，团队还考虑了材料的可持续性和成本效益，确保了项目的经济性和环保性。为了确保管道系统的安全稳定运行，合理的设计和安装是关键。这个项目严格遵守了相关的规范和标准，确保了管道系统的安全稳定运行。通过采用具有高强度与良好韧性的材料来制造管道并增加管道的壁厚设计，这一方法不仅提高了管道的抗压能力，还显著增强了整个系统的可靠性^[2]。

2.1.2 管道布局

管道系统在许多工业和设施应用领域中发挥着关键作用，其设计、布局和维护对于确保高效、安全且耐用的操作至关重要。合理的管道系统规划不仅能够优化流体传递过程，还可以显著提高资源利用效率，并减小故障可能性及后续修复成本。当流体快速在管道系统中流动并在转弯或尺寸改变点处突变，可能导致流速突增或突降，继而导致瞬时压力大幅度变化——这一现象称为“水锤效应”，对管道系统产生冲击力，长此以往可能导致管道损伤甚至断裂。避免水锤效应需要在系统设计阶段考虑到这些突变的可能性，并采用恰当的设计和布置来减轻影响。某天然气管线运营商在铺设长距离管线时面临高成本的保养与潜在的管道损坏风险。为解决这个问题，工程师采用了一项策略——在特定的转弯位置采用更大弧度的设计，减少转弯次数，并且使用具有缓冲特性的材料和设备（如波纹管 and 弹性接头），来有效减缓流速的变化，防止快速加压或释压导致的压力冲击。通过这些改进，他们不仅减轻了“水锤效应”的风险，还减少了例行维护的需求和成本，延长了系统的使用寿命，显著提升了运营效率与安全系数。

2.2 控制泵的启停

2.2.1 软启动/软停止

在管道系统中，实施软启动与软停止技术，能够有效减缓流体速度的变化率，从而减少水锤效应的发生概率，在管道体系中，流体速度的急速变动或流向的突然转变往往引致一个典型的现象，即所谓的“水锤”，压力波动可能会对管道系统带来损害，进而影响其正常运行，采用软启动技术，能够在流体启动过程中实现逐步加速，从而确保流体速度的平稳增长，防止出现急剧的速度波动。借助于技术手段，如对调节阀门的开启机制进行调整，或者利用变速泵等设备，可以达成相应目标，采用软停止技术，在流体流动过程中，通过逐步减速手段，实现流体速度的

平滑降低，流体在完全停滞之际，其速度突变的可能性得以消除，继而防止水锤效应的发生，运用软性启动与停止技术，不但减少了水锤现象的发生，而且有助于提升管道系统的耐用性，技术手段的应用能有效减轻流体对管道系统造成的冲击，进而降低整个系统的振动水平及其产生的噪音，技术的运用能够增强管道系统运作的效率，流体流动速率的稳定调节有助于降低能量耗损，进而优化系统整体的表现，在流体动力系统中，采用平滑的加速和减速策略，是有效减少速度突变及其导致的压力波动的关键技术手段，此方法有助于防范水锤效应的发生，在规划和实施管道系统的操作时，必须充分利用相关技术，保障系统运行的安全性与稳定性^[3]。

2.2.2 变频调速

利用变频控制器对泵的旋转速度进行调节，是达成流体速度平滑变动与高效控制的关键方法，在当代制造业中，泵担任着关键角色，负责将流体转移，其操作的稳定性和调节的精确度，对生产流程的连续性和产品品质起到了决定性的作用，达成特定目标的过程中，通过变频器对泵转速进行调控，此方法普遍而奏效显著，变频器是电力控制设备的一种，其功能在于对电机的转速进行调节。变频器通过调节电机的供电频率，精确实现了对其转速的控制，进一步可以控制泵的转速，采用此种调节手段，能够依据具体需求对泵的转速进行精细调整，从而达到流体速度平滑变动的效果，在泵的操控中，启动与停止阶段通过变频调控实现转速的渐进变化，因而能够使流体速度的变动趋向平稳，减少突兀的波动现象，流体流动时对管路产生的冲击力可以被有效降低，从而减少了水锤效应的发生概率，并且此举亦有助于增加泵与管道设施的运维周期，变频器设备能提供电动机的渐进启动与渐停功能，在系统开启阶段，逐步提升泵的旋转频率，从而使流体的流动速率匀称地提升；在进程的终止阶段，逐步减少泵的旋转速度，防止流体发生撞击现象，利用变频控制器对泵的旋转速度进行精准调控，从而使得泵能够平稳地启动和停止，有效地控制流体速度的波动，进而提升生产流程的稳定性及产品质量。

2.3 设置水锤防护装置

2.3.1 空气阀

在管道系统的局部高点安装空气阀，能够高效地吸收由水锤现象产生的冲击波，继而减轻相应的压力波动，在管道系统中，当流体突然加速或减速，会形成压力脉动，即所谓的“水锤效应”，阀门意外关闭、泵设备操作的启动或停止，均可能引起管道内流体速度的突变，此突变在管道中形成剧烈的压力波，当遭遇高强度能量波时，管道结构及附加设施可能遭受破坏性振动和噪声，进而引发物理损伤。在管道系统的局部高位安装空气调节装置，该装置基于阀门机制，通过阀瓣的开来控制空气在管道内的流入与排出过程，当水锤引发的冲击波抵达空气阀时，此

阀门能即时作出反应,通过排放或吸收空气调节管道压力,通过这种措施,能够高效地消解冲击波的能量,从而显著减轻水锤现象产生的压力波动影响,利用空气阀门能有效移除管道内的空气成分,防止气体阻碍,确保管道中水流无间断地流畅,该设备能排出由温度波动引发的蒸汽,从而降低了管道因压力过高可能遭遇的问题,在管道系统的关键高点安装空气阀,能够有效吸收由水锤现象产生的冲击波,进而减轻压力波动的影响,保障管道系统的稳定运行,并有望延长其使用寿命,确保管道系统的安全稳定性是本职工作中极为关键的一环^[4]。

2.3.2 水锤消除器

在管道系统中,水锤是一种突变的瞬时压力波动,可能会对管道构件造成破坏,因此安装水锤消除设备至关重要。水力控制阀和水锤吸收罐等装置能够直接吸收和减弱水锤能量,快速响应压力波动的水力控制阀属于水锤消除器范畴,并且能够在短时间内完成调节流体流动、吸收水锤能量、维持管道中流体稳定速度、降低涡流与紊流的产生等功能。另外,水锤吸收罐则通过将水锤携带的能量转换成热能,并使其消散,在水锤现象出现时可以高效地缓解并消耗水锤所蕴含的能量。为了保障管道系统稳定且安全地运行,构建一个实时监测机制是至关重要的。这样的实时监测系统具备连续追踪管道压力与流速变动、侦测异常状况并预先发出警示的能力,以确保在检测到异常情况时即刻激活预设的警示机制,通过音频、视觉或网络通讯手段传递相关人员,让操作人员能够在第一时间得知异常情况,并迅速作出反应。在检测到异常状况时,系统即时启动相应的防护程序,规避水锤可能引发的损害,同时收集异常状况数据并对其进行分析,为系统的持续优化与升级提供支持。案例中有一家企业通过构建一套实时的监控机制,成功规避了水锤等风险,并优化提升了管道系统的运作效率及其安全保障水平。执行此系统有利于管道系统实现智能化管理,减少人工操作的频率与复杂性,进而提升系统的自动化程度,最终实现生产流程的优化及经济效益的显著提升^[5]。

3 案例分析

关于某高扬程输水工程,其通过实施一系列全面的防护措施,成功地减少了水锤现象的发生,从而确保了整个输水系统的安全稳定运行。这项工程不仅仅是一项基础设施项目,更是一个集技术与智慧于一体的杰作。让我们深入探讨一下其成功背后的故事。该工程团队深入分析了水

锤现象产生的根本原因,并针对性地制定了一系列防护措施。这些措施包括但不限于优化管道设计、增强管道支撑结构、合理设置减压阀和压力传感器等。这些措施的实施,旨在从根本上解决水锤问题,从而保障输水系统的安全。经过严格的实施与监测,该工程的数据成果十分显著。自从实施这些防护措施以来,管道内的压力波动明显平稳。通过精密的监测系统,工程团队并未发现任何压力波动超出预设阈值的情况。这意味着管道内的水流状态得到了有效控制,避免了因压力波动过大而产生的水锤现象。更为值得一提的是,自从实施这些防护措施后,该工程再也没有发生过因水锤导致的管道损坏事件。这不仅避免了巨大的经济损失,更确保了周边居民的安全用水。这一显著成效充分证明了所实施的防护措施的有效性,为输水系统的长期稳定运行提供了强有力的保障。

4 结语

高扬程输水管线在停泵过程中,水锤防护是确保系统安全运行的关键环节。为了有效预防和控制水锤现象,我们采取了多种措施。通过优化管道设计,合理控制泵的启停速度,安装水锤防护装置,并建立实时监测与预警系统,我们能够及时响应并处理可能出现的问题。随着科技的不断发展,新材料和新技术的应用将进一步完善水锤防护措施,提升水利系统的安全性与可靠性,确保输水系统长期稳定运行。

[参考文献]

- [1]李茂侨,李贵雷,廖内平,等.高扬程输水管线停泵水锤防护措施研究[J].电力勘测设计,2024(6):37-41.
 - [2]王佳,孙玉涵,王全锋,等.大口径泵压输水管道系统停泵水锤防护方案分析研究[J].甘肃科技,2020,36(2):72-75.
 - [3]王彦祥,颜炳魁,田颖玲,等.长距离输水管线停泵水锤分析及防护[J].中国给水排水,2019,35(7):57-61.
 - [4]张毅鹏,刘梅清,刘志勇,等.长距离输水管线事故停泵水锤防护方法分析[J].中国农村水利水电,2018(8):198-203.
 - [5]张继昌,林碧花,涂郑鹏.长距离输水管线水锤防护案例分析[J].市政技术,2018,36(4):139-142.
- 作者简介:王斌(1989.1—),毕业院校:新疆农业大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位名称:新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司,职务:职员,职称级别:中职。