

泵站水锤防护技术的研究与应用

袁鑫颖¹ 张 洁² 戈 飞³

- 1. 中国矿业大学、徐州市南水北调工程管理中心 江苏 徐州 221000
- 2. 徐州市水利工程建设管理中心 江苏 徐州 221000
- 3. 徐州市南水北调工程管理中心 江苏 徐州 221000

摘 要：本文深入探讨了泵站水锤防护技术的重要性、技术原理及其在实际应用中的效果。通过对不同水锤防护技术的详细分析，旨在为泵站设计与运行提供科学的参考依据，以减少水锤现象对泵站设备和管道造成的损害，确保泵站安全、高效地运行。

关键词：泵站；水锤；防护技术；研究；应用

引言

泵站作为水利设施的重要组成部分，其安全稳定运行对于水资源调配和供水系统至关重要。然而，在泵站运行过程中，由于阀门突然开启或关闭、水泵突然停止等原因，常导致水锤现象的发生。水锤产生的压力波动会对泵站设备和管道造成严重的损害，甚至引发安全事故。因此，研究并应用有效的水锤防护技术显得尤为重要。

1 水锤产生的原因及危害

水锤产生的原因主要是由于在压力管道中，水流流速的急剧变化导致压力水流的惯性，产生水流压力的大幅度波动。这种波动可能由多种因素引发，其中最常见的包括阀门操作不当，如快速关闭或开启，以及水泵的突然停电或故障。当这些情况发生时，管道内的水流会由于惯性作用继续向前流动，直到遇到阻碍，此时水流压力会迅速上升，形成水锤。水锤的危害不容小觑。首先，高强度的水锤压力可能导致管道壁受到过大的应力，进而引发管道破裂，造成大量的水资源浪费，甚至可能危及周边环境。其次，水锤产生的强烈震动和冲击力会对泵站内的设备造成损坏，如损坏水泵的密封件、轴承等关键部件，缩短设备的使用寿命。此外，严重的水锤还可能导致整个供水系统停机，影响正常的供水服务，给社会和经济带来不良影响。因此，深入了解水锤产生的原因及其潜在的危害，对于采取有效的预防措施，确保泵站和供水系统的安全稳定运行至关重要。

2 水锤防护技术的研究

2.1 传统水锤防护技术

2.1.1 减压阀

减压阀是一种广泛应用于水锤防护的传统技术，它通过有效地调节管道中的压力来减少水流的突然变化，进而降低水锤的发生概率。这种阀门能够自动或手动地

调整管道内的压力，确保其维持在一个相对稳定的范围内，从而避免因压力突变而引发的水锤现象。减压阀的工作原理主要基于其内部的弹簧和活塞机构。当管道内的压力升高超过设定值时，弹簧受到压缩，活塞会相应移动，从而增大阀门的流通面积，使部分水流通过阀门旁路流回水源或排入低压区域，以达到减压的目的。反之，当管道压力降低时，弹簧逐渐恢复原状，活塞移动减小阀门的流通面积，从而维持管道内的压力稳定。在实际应用中，减压阀的选择需根据泵站的具体工况和压力需求来确定。不同类型的减压阀，如直接作用式、先导式等，各有其特点和适用范围。例如，直接作用式减压阀结构简单、响应迅速，适用于小型泵站或低压系统；而先导式减压阀则具有更高的精度和稳定性，更适用于大型泵站或高压系统^[1]。此外，减压阀的安装位置也至关重要。通常，减压阀应安装在靠近可能发生水锤的管道段，以便及时调节压力，减少水锤的危害。同时，为确保减压阀的正常运行，还需定期进行检查和维护，如清理阀门内部的杂质、更换磨损的密封件等。

2.1.2 缓冲罐

缓冲罐是另一种在泵站水锤防护中广泛应用的传统技术。其主要功能是通过自身的储水能力来吸收水锤产生的多余能量，从而有效地减少管道内的压力波动。缓冲罐的设计和应用对于保障泵站安全、稳定运行具有重要意义。缓冲罐通常被安装在泵站的压力管道系统中，特别是在可能出现大幅压力变化的关键节点。其工作原理相对简单但效果显著：当管道内水流压力突然升高时，缓冲罐能够吸收部分多余的水量，从而减轻对管道的冲击；反之，在压力突然下降时，缓冲罐可以释放储存的水量，以平稳管道内的压力变化。缓冲罐的设计需考虑多个因素，包括泵站的规模、管道系统的特性以及

预期的水锤压力等。罐体的容积要足够大,以便在极端情况下也能有效缓冲压力波动。同时,缓冲罐的材料选择和结构设计也至关重要,需确保其能承受高压和长期使用的考验。在实际应用中,缓冲罐的维护同样重要。定期检查罐体的完整性、密封性能以及水位控制系统的工作状态是必不可少的。此外,对于长期未使用的缓冲罐,还应进行必要的清洗和保养,以确保其随时处于最佳工作状态。缓冲罐作为一种被动防护设备,虽然无法完全消除水锤现象,但能够显著降低水锤对管道系统造成的损害风险。通过合理的设计和维护,缓冲罐可以成为泵站安全防护体系中不可或缺的一部分。

2.2 新型水锤防护技术

2.2.1 空气阀技术

空气阀技术是近年来在水锤防护领域中出现的一种创新技术。该技术通过在管道系统中巧妙地设置空气阀,实现了对水锤现象的有效控制。当管道内的水流压力异常升高时,这些空气阀能够自动打开,及时释放部分过高的压力,从而显著减轻水锤对管道的冲击力。空气阀的工作原理主要依赖于其内部的精密机械结构和压力感应机制。在正常情况下,空气阀处于关闭状态,确保管道系统的正常运行。然而,一旦管道内的压力超过预设的安全阈值,空气阀的压力感应机构会立即触发,推动阀门打开。这一过程中,部分高压水流会通过空气阀迅速排出,有效降低管道内的压力峰值。空气阀技术的优势在于其响应速度快、自动化程度高,且无需人工干预。这不仅提高了水锤防护的效率和可靠性,还大大降低了操作成本和人力负担。此外,空气阀的设计也充分考虑了耐久性和维护便捷性,确保其能在各种恶劣环境下长期稳定运行^[2]。在实际应用中,空气阀的选择和安装位置是关键。通常,这些阀门会被安装在管道的关键节点,如弯头、分支处或泵站附近,以最大限度地发挥其防护效果。同时,根据管道系统的具体特点和运行需求,还可以灵活调整空气阀的开启压力和流量,以实现最佳的水锤防护效果。

2.2.2 水锤消除器

水锤消除器是一种先进的水锤防护设备,专门设计用于迅速响应水流产生的压力波动,通过释放部分管道中的压力水来缓冲压力的急剧上升,从而有效防止水锤现象的发生。这种设备在近年来得到了广泛的应用,成为泵站安全防护体系中不可或缺的一环。水锤消除器的工作原理基于其独特的内部结构,通常包括一个敏感的压力感应装置和一个快速响应的阀门系统。当管道内的水流产生压力波动时,压力感应装置能够立即捕捉到这

种变化,并迅速传递给阀门系统。阀门系统随即作出反应,自动调整开度,允许一部分压力水流出,从而降低管道内的压力峰值。这种设备的核心优势在于其快速响应能力和精准的控制机制。它能够在极短的时间内作出反应,有效地将压力波动控制在安全范围内,避免因水锤而产生的管道破裂、设备损坏等严重后果。同时,水锤消除器还具有很高的灵敏度,能够根据管道内的实际压力变化自动调整阀门的开度,确保防护效果的精准和可靠。在实际应用中,水锤消除器的选择和安装也是至关重要的。不同类型的泵站和管道系统可能需要不同规格和性能的水锤消除器,因此,在选择时必须充分考虑泵站的实际情况和运行需求。此外,正确的安装位置和方式也是确保水锤消除器有效工作的关键。通常,水锤消除器应安装在可能出现水锤的关键位置,如泵站的出口、管道的转弯处等。

3 泵站水锤防护技术的应用策略

3.1 定期检测与维护

在泵站水锤防护中,定期检测与维护是确保水锤防护设备性能处于最佳状态的关键环节。这不仅关系到泵站的安全稳定运行,还直接影响着水资源的有效利用和供应。对于减压阀,定期校准是必不可少的。由于减压阀的工作原理依赖于其内部的弹簧和活塞机构,长时间使用后,弹簧可能会因疲劳而失去原有的弹性,活塞也可能会因磨损而影响密封性能。因此,需要定期对减压阀进行校准,确保其能够在设定的压力阈值下准确动作。此外,还要检查减压阀的密封件是否完好,以防止因泄漏而影响减压效果。缓冲罐作为被动防护设备,其密封性和结构完整性同样重要。定期检查缓冲罐的焊缝、法兰连接等部位,确保其没有渗漏现象。同时,要检查罐体的腐蚀情况,必要时进行防腐处理。对于缓冲罐的水位控制系统,也要定期测试其准确性和灵敏度,以确保在需要时能够及时启动或停止补水。空气阀和水锤消除器的定期清洁和调试也是维护工作的重点。由于这些设备经常与水接触,容易受到水中杂质和微生物的侵蚀。因此,需要定期拆卸清洗,去除内部的污垢和生物膜。在清洗过程中,还要注意检查设备的各个部件是否完好,如有问题及时更换。调试方面,主要是测试空气阀和水锤消除器的动作是否灵敏、准确,确保其能够在关键时刻发挥应有的防护作用。除了对具体设备的检测与维护外,还需要建立完善的维护记录和档案管理制度。每次检测和维护后,都要详细记录设备的运行状态、发现的问题以及采取的处理措施等信息^[3]。这些数据不仅可以为后续的维护工作提供参考,还可以帮助管理人员分

析设备的性能变化趋势,提前预判潜在的风险点。

3.2 智能化监控与管理

智能化监控与管理是现代泵站水锤防护的重要策略之一。通过引入先进的智能化监控系统,可以实时监测管道内的压力、流速等关键参数,以及水锤防护设备的工作状态,从而及时发现并应对潜在的水锤风险。智能化监控系统的核心在于高精度传感器和数据分析技术。传感器能够实时采集管道内的压力、流速等数据,并将这些信息传输到中央控制系统。通过数据分析,系统能够自动识别异常波动,如压力突然升高或流速急剧变化,这些可能是水锤现象的预兆。一旦检测到异常情况,系统可以迅速做出反应,自动或提示工作人员手动调整防护设备的设置,如调整减压阀的开度、控制缓冲罐的水位等,以应对不同情况。除了实时监测和预警功能外,智能化监控系统还可以提供历史数据分析、趋势预测等高级功能。通过对历史数据的挖掘和分析,可以掌握泵站运行的长期趋势,为设备的预防性维护提供科学依据。同时,趋势预测功能有助于提前预判潜在的水锤风险,从而采取更加精准的防护措施。在智能化监控的基础上,建立完善的管理制度和应急预案也是至关重要的。管理制度应明确各类设备的操作规程、维护保养计划以及应急响应流程等内容。应急预案则需要针对可能的水锤事件制定详细的处置措施,包括人员疏散、设备关闭、紧急抢修等步骤,以确保在发生水锤事件时能够迅速响应,最大限度地减少损失。此外,智能化监控与管理还需要与泵站的其他系统(如自动控制系统、信息管理系统等)紧密集成,实现数据的共享和协同工作。这样不仅可以提高泵站的整体运行效率,还能进一步提升水锤防护的及时性和有效性。

3.3 人员培训与演练

在泵站运营中,人员培训与演练是提升水锤防护能力的关键环节。定期对泵站工作人员进行水锤防护知识的培训和应急演练,不仅可以增强他们对水锤现象的认识,还能显著提高他们在紧急情况下的应急处理能力。水锤防护知识的培训应涵盖基础理论和实际操作两方面。在基础理论方面,需要向工作人员深入讲解水锤的产生原因、发展过程以及可能带来的危害,使他们充分

认识到水锤防护的重要性。同时,还应介绍各种水锤防护设备的工作原理和使用方法,以便工作人员在日常操作中能够正确运用。在实际操作方面,培训应着重于模拟水锤事件的处置流程。通过模拟演练,工作人员可以亲身体验水锤事件的处理过程,从而加深对理论知识的理解和应用。培训中还可以设置不同的故障场景,让工作人员在模拟环境中进行排查和修复,以提高他们的实际操作能力^[4]。除了基础培训和模拟演练外,定期的应急演练也是必不可少的。应急演练应针对可能的水锤事件制定详细的演练计划,包括演练目标、参与人员、物资准备、演练步骤等。在演练过程中,要重点考察工作人员在紧急情况下的反应速度、决策能力和协作精神。演练结束后,还需对演练效果进行评估和总结,以便不断完善应急预案和提升应急响应能力。通过全面、系统的人员培训与演练,泵站工作人员将更加熟悉水锤防护设备的操作和维护,能够在面临水锤风险时迅速做出正确判断并采取有效措施。这不仅有助于保障泵站的安全运行,还能为泵站的高效、稳定运行提供有力的人力保障。

结语

泵站水锤防护技术的研究与应用对于保障泵站安全稳定运行具有重要意义。本文通过对传统和新型水锤防护技术的深入探讨,为泵站设计与运行提供了科学的参考依据。在实际应用中,应根据泵站的规模和特点选择合适的水锤防护技术,并加强设备的检查和维护工作,以确保泵站的高效、安全运行。未来随着科技的进步和新型材料的研发,相信会有更多创新的水锤防护技术涌现出来为泵站的安全运行保驾护航。

参考文献

- [1] 闫沛鑫.高扬程泵站停泵水锤防护技术对策[J].甘肃科技,2021,37(19):56-58.
- [2] 张洁.高扬程泵站输水管道水锤防护研究[J].水利规划与设计,2024,(06):134-137.
- [3] 马全,蒋丽云,厉忠庆.泵站停泵水锤事故溯源分析及防护[J].水电能源科学,2024,42(05):163-165+196.
- [4] 李小周,惠治国,张言禾,等.泵站供水工程停泵水锤分析及防护方案[J].给水排水,2022,58(S1):969-974.