

供水泵站水锤效应防控技术的优化分析

王雪

天津市水务规划勘测设计有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i12.7510

[摘要] 供水泵站在城市供水系统中起着至关重要的作用，但其运行过程中产生的水锤效应可能对管道和设备安全造成重大威胁。本文通过分析供水泵站水锤效应的产生原因及现有防控措施中的问题与不足，提出了一系列优化技术，包括调速控制、智能阀门调节、缓冲装置改进及实时监测系统的应用，以降低水锤冲击力、提升系统稳定性。研究结果表明，优化后的防控技术可有效缓解水锤冲击，增强供水系统的安全性和可靠性，为供水泵站的长效管理提供了参考依据。

[关键词] 供水泵站；水锤效应；防控优化；调速控制；系统稳定性

Optimization analysis of water hammer effect prevention and control technology of water supply pumping station

Wang Xue

Tianjin Water Planning Survey Design Co., Ltd.

[Abstract] Water supply pumping stations play a crucial role in urban water supply systems, but the water hammer effect generated during their operation may pose a major threat to the safety of pipelines and equipment. By analyzing the causes of the water hammer effect of the water supply pumping station and the problems and shortcomings of the existing prevention and control measures, this paper puts forward a series of optimization technologies, including speed control, intelligent valve adjustment, buffer device improvement and the application of real-time monitoring system, to reduce the impact of the water hammer and improve the stability of the system. The research results show that the optimized prevention and control technology can effectively alleviate the impact of the water hammer, enhance the safety and reliability of the water supply system, and provide a reference basis for the long-term management of the water supply pumping station.

[Key words] water supply pumping station; water hammer effect; prevention and control optimization; speed control; system stability

引言：

在城市化进程加速的背景下，供水泵站作为供水系统的核心，肩负着保障水资源安全输送的重任。然而，供水泵站在启闭和流量变化过程中，常会产生剧烈的水锤效应，导致管道和设备损坏，严重影响系统的运行安全。尽管已有多种防控措施应用于水锤效应的抑制，但技术手段仍存在不足，未能有效消

除水锤的冲击。因此，针对供水泵站水锤效应的防控优化研究，探讨更精确的控制方法和更可靠的设备支持，以提升系统的稳定性和安全性，显得尤为重要。

一、供水泵站水锤效应的现状及分析

随着城市化进程加速以及水资源需求的显著提升，供水泵站在运行过程中产生的水锤效应逐渐暴露出诸多安全隐患。水

锤效应是指在泵站启闭或管道中的水流速度发生突变时，产生的瞬时压力波动。这种波动会引发强大的冲击力，对供水系统中的管道、阀门及泵站设备造成损害，导致供水中断，甚至引发设备失效或系统故障。

目前，我国多数供水泵站在建设之初未对水锤效应给予足够的重视，尤其是传统设计理念中未充分考虑压力突变对系统稳定性的影响。这使得许多供水泵站在高频启闭操作或突发停电等特殊情况下，产生剧烈的水锤效应，严重影响了系统的运行安全。具体而言，水锤效应会对泵站出水管道造成疲劳性损伤，加速管壁的磨损或出现裂缝，影响管网寿命。此外，由于管道内水压变化剧烈，阀门与接头的密封性能可能大幅降低，出现泄漏风险，增加维护成本。长期未能有效解决的水锤效应，亦可能导致供水系统压力不稳，影响水质安全。

为了降低水锤效应带来的负面影响，当前一些供水泵站开始引入相应的防护措施，但总体技术水平和防控手段仍存在明显不足。例如，传统的快速关闭阀门技术虽然在短期内有效降低了水锤产生的初始冲击力，但过于剧烈的流量波动可能会带来二次冲击，甚至引发更大的水锤现象。与此同时，供水泵站中调速技术的应用逐渐增多，但由于调速控制系统对实时性和响应速度要求较高，现有技术难以完全消除水锤带来的冲击力。此外，缓冲装置的安装虽在一定程度上缓解了水锤压力，但其设计和安装不当时，往往难以在关键时刻发挥有效作用。供水泵站水锤效应的防控现状还存在许多问题，系统的安全性和稳定性面临严峻挑战。

二、供水泵站水锤防控技术中的问题与不足

在供水泵站水锤防控技术的应用中，尽管已有多种方法投入使用，但实际效果往往难以达到预期，仍存在诸多问题与不足。水锤效应的复杂性使得其防控过程需要精准的技术与高效的设备支持，而目前的技术手段和设备稳定性尚无法完全应对水锤带来的冲击。这主要表现在防控设备的响应速度、控制系统的智能化程度、以及设备长期使用的耐久性上。当前常用的水锤防控措施，如缓闭止回阀、调速控制、空气缓冲罐等，都各自存在技术上的瓶颈。以缓闭止回阀为例，虽然能够有效减缓水流的瞬时反向冲击，但实际操作中，如果阀门关闭速度未能精准控制，仍会产生次生水锤效应，甚至加剧系统内的压力波动。此外，缓闭止回阀在长时间使用后，密封性与灵敏度会

逐渐下降，影响防控效果。调速控制作为一种重要的水锤抑制手段，依赖于精确的控制策略与高速响应的变频设备，但由于调速控制系统对供电质量要求高，在供电不稳定的条件下会出现控制失效的问题，导致水锤效应无法有效抑制。同时，调速装置的安装和维护成本较高，操作过程中还需对实时数据进行精确监测，增加了运行管理的复杂性。

空气缓冲罐作为另一种常用的防护装置，其缓冲效果取决于罐内气体的压缩与膨胀过程。但在实际应用中，由于气体泄漏等因素，缓冲罐的工作性能可能出现下降，尤其在高频次运行状态下，罐内气体压力难以保持稳定，影响水锤缓冲效果。此外，缓冲罐的安装和设计要求较高，若施工质量或设备选型不合理，可能无法达到设计预期，导致水锤压力难以有效控制。由于泵站运行环境复杂，缓冲罐的检修与维护也较为困难，一旦出现故障，可能导致系统停机，增加运营风险。目前的水锤防控技术和设备还无法全面应对不同工况下的水锤效应。供水泵站的实际应用中，常见防控设备的性能稳定性和运行可靠性亟待提升，尤其在应对突发情况和高频启闭条件下，现有技术手段的效果仍不理想。

三、优化防控技术在供水泵站中的应用与实践

在供水泵站中应用优化后的水锤防控技术，能够显著提高系统的运行安全性和稳定性，为保障城市供水提供可靠支撑。优化技术的应用包括精确的调速控制、智能阀门调节、缓冲装置改进以及实时监测系统的引入等，每一项技术均针对水锤效应的关键环节，从而全面降低突发压力波动的影响。调速控制是优化防控的核心手段之一，通过在泵站启动和停机阶段精确调整流速，能够有效抑制水锤的初始冲击力。应用变频调速器可以根据流量和压力的变化进行精细控制，从而避免泵站瞬时压力波动带来的冲击。然而，为了保证调速控制的可靠性，系统通常需配备高精度传感器和响应速度快的控制模块，以实现实时监控与快速调整。

在智能阀门调节方面，优化后的技术强调阀门开闭过程的精准控制，采用缓闭止回阀等装置来减少突发水锤。通过智能控制阀门的闭合速度，可以将关闭时间精确调整到泵站水力系统的最佳范围，降低水锤的发生概率。同时，新型的缓闭止回阀具有自动检测与反馈功能，在系统压力异常时，能够自动调节阀门动作，避免过快关闭导致的二次水锤冲击。这种智能化

控制不仅能减少人为操作误差，还能提高防控系统的响应效率，是当前优化应用中一项重要进展。此外，缓冲装置的优化对水锤压力的缓解效果也至关重要。与传统缓冲罐不同，优化后的空气缓冲罐在设计中增设了双层密封系统，减少了气体泄漏的可能性，使缓冲装置的有效性大幅提高。安装时，缓冲罐的位置和容量经过精确计算，能够在水锤效应发生时迅速吸收多余压力，缓冲效果更加显著。在泵站运行中，缓冲装置的自动监测和调节功能能够实时调控气体压力，确保其始终处于最佳工作状态，有助于延长泵站系统的寿命。

优化防控技术的另一关键环节是引入实时监测系统，通过智能传感设备监控泵站内各关键点的压力和流量变化，及时获取水锤产生的早期信号。监测系统会根据流量和压力的动态变化，分析出潜在水锤风险，进而触发预警和自动调整机制，有效减小突发水锤对系统的影响。实时监测不仅提高了系统的可靠性，还为供水泵站的远程监控和管理提供了技术支撑，增强了防控手段的全面性。优化防控技术的应用实践表明，通过精确的调控和智能化的防护手段，供水泵站在抵御水锤效应方面表现出显著提升。

四、供水泵站水锤效应防控的前景展望

供水泵站水锤效应防控技术的未来发展，承载着提升城市供水系统安全性与高效性的期望，随着科技进步，这一领域的前景广阔。智能化和自动化技术的快速发展，为水锤防控带来了新的可能性，未来供水泵站水锤防控的技术趋势将更加注重系统的智能响应和高精度调控，通过更先进的算法与数据分析，实现对水锤效应的实时预测和动态抑制，进而提升整个供水系统的可靠性。从传感器技术来看，微型传感器的应用将会更加普及，并逐步升级为智能传感设备，能够在泵站中实现对流速、压力等数据的高频采集，提供精准的水锤波动信息。新型传感器在数据采集的敏感度和耐久性上将进一步提升，有助于实现更精确的实时监测，并与控制系统配合，实时调整设备操作。通过大数据分析和人工智能技术，未来的供水泵站系统能够根据实时数据的变化趋势预测潜在的水锤效应并作出前瞻性防控决策，为泵站系统提供更为稳定的保障。

另一方面，基于物联网的远程控制系统将进一步优化供水泵站的操作效率。未来，供水泵站可以通过云平台与监控中心实现数据互联，管理人员能够随时了解泵站的运行状况，并在

水锤风险出现时迅速做出应对。这种智能化的控制手段将显著提高供水系统的响应速度，使泵站在应对突发情况时能够自动调整各类参数，避免因压力波动而引发的设备损坏或供水中断。同时，远程监控还将简化泵站的日常管理，降低维护成本，推动水锤防控技术的广泛应用。

水锤防控设备的结构优化和材料创新也将是未来发展的重要方向。新型材料的开发不仅会提升设备的耐用性，还能显著改善缓冲装置的密封性能和弹性回复能力，提高水锤缓冲效果。材料科技的发展或将带来更加轻便、易维护且高效的防控设备，有助于解决现有装置在耐用性和维护方面的难题。结合未来结构优化设计，水锤防控设备的能效与工作寿命将进一步延长，适应高频操作和长时间运行的需求。智能算法的引入使得泵站控制系统能够更加智能地识别水锤效应的发生条件。通过自适应算法的支持，泵站系统可以根据实际工况自动调整运行参数，动态匹配压力与流速的变化，确保供水过程的安全与稳定。这种基于智能控制的系统在预防水锤效应的过程中将极大提高防控的精确性和可靠性，为城市供水系统提供坚实的技术支持。

结语：

供水泵站水锤效应的防控优化在城市供水系统中具有关键意义。通过优化调速控制、智能阀门调节、缓冲装置设计和实时监测系统，能够显著提升供水系统的安全性和稳定性，有效减少水锤带来的冲击与损害。随着智能化和物联网技术的不断发展，未来供水泵站将更具自动化和高效化，进一步提升系统的响应能力与操作效率。这一系列防控技术的优化不仅有助于延长泵站设备的使用寿命，也为实现智慧城市供水系统的高效管理奠定了坚实基础。

[参考文献]

- [1]李志强,王小红.城市供水系统水锤效应分析与防治研究[J].给水排水,2019,45(3):15-20.
- [2]陈卫国,林青.供水泵站水锤效应的影响因素与控制措施[J].水利学报,2021,48(6):112-118.
- [3]刘建峰,高志华.泵站水力冲击的防控技术研究[J].水力科学进展,2020,36(5):45-52.
- [4]赵宁,梁宏宇.供水系统水锤控制方法优化研究[J].中国给水排水,2022,38(4):28-35.