

消防给水管网水锤现象的成因及防护技术分析

● 武凤杰 张福信



[摘要] 本文从消防给水管网的工作原理出发,分析了水锤现象的定义与成因。针对水锤现象的危害,提出了多种防护措施,包括阀门和水泵控制技术、水锤吸能装置、管道设计优化,以及实时监控与智能化防护等。探讨了水泵和阀门的软启动与软关断控制、水锤吸能装置的设计与应用,以及基于大数据和人工智能的实时监测和预警系统在水锤防护中的创新应用。优化水锤防护措施可以有效减少管道损伤和系统故障,提升消防系统的安全性和工作效率。通过本研究,期望为消防给水管网系统的优化设计和安全管理提供新思路和实践经验,增强消防系统的安全性和可靠性,确保火灾发生时迅速响应并有效处理,提供理论支持与技术指导。

[关键词] 消防给水管网;水锤现象成因;防护技术

水锤现象是指流体在管道中因流速突然变化而产生的冲击波,尤其是在水泵启动或停止、阀门快速开关时,容易引发瞬时高压波动。这种压力波动会在管网中传播,导致管道震动、设备损坏和泄漏等问题,严重时还可能引发系统故障。因此,深入研究水锤现象及其防护技术,对于保障消防给水管网的稳定性和可靠性,确保消防系统在火灾应急中的正常运作,具有重要意义。

消防给水管网中的水锤现象

(一)水锤现象的物理原理和特点

水锤是指管道内水流因流速突然变化而产生的压力波动。当流体运动发生急剧变化时,由于水流的惯性作用,冲击波会在水中形成并迅速传播,导致管道内产生强烈的压力波动。

水锤现象引起的压力波可能在瞬间使管道承受远超其设计承受能力的巨大压力。在管道中,压力波会随管道的传播而移动,导致距离水锤源较远的位置也会受到影响。尽管水锤的持续时间较短,但其引起的压力波影响会在管道系统中持续一段时间。

(二)消防给水管网中的水锤表现形式

1.压力波动。在阀门快速开关或水泵启动与停止时,管道内会出现急剧的压力波动。这些压力波会迅速传递至管网,引发水流剧烈波动,导致管道水压不稳。

2.管道震动。水锤产生的压力波在管道中迅速传播,会引起管道震动,可能导致管道支撑和连接部分松动或损坏。

3.阀门损坏。水锤现象下,阀门内部的机械部件由于承受瞬时压力波的冲击,容易受损。特别是在阀门快速启闭过程中,其密封性和机械结构可能被破坏,导致漏水或完全失效。

(4)水击声。水锤还会在管道中产生明显的水击声,这种声音由水流突然停止或反向流动时产生的冲击波引发。

(三)水锤的危害

水锤产生的瞬时高压波会对管道造成巨大的冲击力,导致管道壁承受过大压力,最终引发破裂或泄漏,尤其在管道老化或材质较差时,破裂的风险更高。水泵、阀门、接头等设备在水锤的作用下,会遭遇瞬时压力冲击,导致结构损伤或密封失效,影响系统的正常运行。特别是在阀门快速启闭时,水锤效应会加速阀门机械部件的磨损或故障。水锤引起的压力波动会导致管网内水流不稳定,严重时可能停水或供水压力不足。在消防应急中,由于水锤引起的水压波动,可能导致水压无法及时恢复,威胁消防员的生命安全。频繁的水锤现象增加了管道和设备的维修和更换频率,从而大幅提高了系统的维护成本。

消防给水管网水锤现象的成因分析

(一)快速启停操作

快速启停操作是水锤现象的主要原因之一,特别是在消防给水管网中,水泵和阀门的启停方式直接影响水流的稳定性。水泵的突然启动时,管道中的水流的惯性无法及时与水泵匹配,导致较大的冲击力,进而引发管道压力波动。类似地,泵突然停机时,水流惯性发生剧烈反转,形成高压

波，引发水锤现象。

阀门的快速开启和关闭也会导致类似问题。当阀门开启或关闭过快时，管道内水流突变，产生瞬时压力波，造成管道水流剧烈波动，进一步引起管道震动，甚至破坏管道。水泵和阀门的频繁启停，尤其是在没有软启动或软关断的情况下，流速变化过大，水流的惯性无法适应突变，水锤现象会更加明显。

(二)管道设计缺陷

管道的布局设计直接影响水流的稳定性。如果管道布置不当，如管段过长或分支管设计不合理，则会增加管道中的水流惯性。当水泵启停或阀门操作时，水流难以迅速调整，导致管道内水压过大，从而加剧水锤现象。长直管段会使水流的惯性增大，引起水流的急剧变化，进而产生较大的压力波动，引发水锤。

管道中的急转弯或过多弯头的设计确实会显著增加水锤的风险。当水流通过弯头时，水流方向发生突变，流速变化会导致水流惯性增大，从而产生压力波动。弯头附近水流的急剧变化流速的突然改变，使得部分地区出现了较大的压力波动。这样的压力波动不但会引起管道的振动，而且可能对设备，特别是在阀门及水泵的周围。管道的设计中弯头数量过多或转弯角度过大，会使水流产生剧烈波动，从而加大水锤的可能性。

管道尺寸设计在消防给水管网设计中也扮演着至关重要的角色，特别是管道的截面积。如果管道尺寸设计不合理，尤其是管道截面积过小或不均匀时，水流会受到很大的阻力，导致流速发生剧烈变化，增加水锤的风险。当管道尺寸过小时，水流速度过快，惯性增大，容易产生强烈的压力波。而当管道过大，水流的速度会突然减缓，导致水流反向流动或停滞，从而进一步加剧水锤现象。

(三)水流速度与流量波动

在消防给水管网中，水流量的变动与供水系统的负荷变化密切相关。尤其在负荷高峰期，系统用水需求突然增加，导致水泵必须提高供水量，从而使水流速度增加。而在系统负荷突然减少时，水量迅速下降，流速也会随之减慢，这种突如其来的变化引发了瞬态的压力波动。在管道中的水流压力波动不能及时平滑过渡时，水锤现象便会发生。

此外，水泵的调节方式对水流速度和流量也有显著影响。如果水泵调节不当，比如没有采取平稳的软启动和软停机控制，水泵启停时会引起水流速度的剧烈变化，产生较大的流量波动。在水泵启停过程中，如果流量调节过快或过慢，都可能引起瞬时压力变化，从而导致水锤的发生。

当水流速度和流量出现波动时，管道内的水量和压力会随之变化，流速和压力的变化会迅速在管网各部分传递，引

发管道的震动并可能导致设备损坏。由于管网中的其它设施往往难以承受这种急剧的变化，可能会导致设施的严重磨损或失效，进一步加剧水锤现象。因此，在设计和操作消防给水系统时，需要特别关注水泵的启动与停止控制、管道布局和尺寸设计，以减少水流波动和水锤现象带来的风险。

(四)系统压力波动

当水泵启动或停止时，若系统压力调节不平稳，会导致管网内压力急剧波动。特别是没有缓启动或缓停措施时，水泵的启动或停机会引起水流速度的剧烈变化，进而产生瞬时的高压或低压区，导致局部压力急剧升高或下降。这样，局部压力波动可能引起管道内水流反向流动或停滞，形成水锤现象。

在管网内，不同区域的压力变化不均匀，可能导致局部压力过高或过低。特别是在管网复杂的情况下，由于系统设计、操作或负荷变化，某些区域的压力会突然升高，甚至达到极限，而其他区域则由于流量不足出现低压。这些压力波动会导致水流速度剧烈变化，甚至引发水流湍动，从而形成水锤现象。

Q 消防给水管网水锤的防护技术

(一)阀门与水泵控制技术

通过软启动和软关断技术控制阀门开关速度，可以有效避免水锤现象。软启动技术通过逐渐增大增加阀门开度，防止流量突变引起的压力脉动；软关断技术则在关闭阀门时逐渐减小开度，平缓流量下降，防止突停或倒流，从而减轻水锤。这种方法通常通过调节阀门的开关或者使用缓冲装置实现，缓冲装置能在阀门关闭过程中吸收部分能量，减少系统中的压力波动。

在水泵启停过程中，若控制不当，会导致水流速度剧烈变化，引发水锤。采用变频驱动技术可以有效调节水泵的启动与停止。通过变频调节，水泵启动时逐步提高转速，避免瞬间全开，水流速度平稳增加；停机时逐渐降低转速，减缓水流速度的突然变化。

(二)水锤吸能装置

为高效吸收水锤现象过程中产生的撞击能，各种形式的水击吸能装置均可应用。气压罐利用气体的可压缩特性，吸收水锤引起的冲击波。气体在流动过程中通过压缩与膨胀，产生较大的压力波动，气压罐的设计有助于减小水流的突变，从而减小水流的冲击。缓冲罐是一种充满空气或气体的容器，利用气压减小水流的瞬时冲击。它能在供水管网出现较大的波动时，吸收或减缓水压的冲击，避免水压变化导致的破坏。消能器利用流体力学原理，吸收并消散流动过程中产生的能量，降低水流的冲击力，从而防止管道受损。

吸能装置的设计应根据管网的具体运行状况定制。其安装位置通常应选在水泵或阀门附近,以最大化吸收这些设备引起的水锤能量。在管网设计时,吸能装置的容量需根据流量、压力波动幅度和水锤持续时间进行精确计算。容量应足以有效吸收水锤产生的所有冲击能量,防止压力波影响整个系统。为确保长期有效性,吸能装置需要定期维护,主要工作包括检查气体压力,清理杂物和检查气体密封性。通过这些维护措施,可以保证设备在正常工作状态下,不会因失效而降低水锤保护效果。

(三)管道设计优化

管道结构的合理设计是防止水锤的关键,优化设计能显著降低水锤的发生与危害。管道布局应合理,避免使用过长的直线段,以减小水流的惯性,使流速波动平稳,降低反向流动的风险。合理的布局还能确保水流平稳过渡,防止设计不当而引发水锤。管道中的急转弯会导致流向急剧改变,从而增加水锤发生的可能性。采用较缓的弯道或大弯曲度的管道,有助于减少水流的惯性波动,减轻水锤的影响。缓和弯头结构可减小流速的突然变化,防止了水压波动引发水锤。此外,增加管道的截面积可有效延缓流速变化,降低因高速流动引发的压力波动。较大的管径能够提高输送能力,保持平稳流速,从而降低水锤风险。但要增加管道直径时,需平衡经济性和系统负荷要求,以确保其合理性。

水力计算软件在管网设计中的应用可以帮助预测和分析水锤效应及其对管道系统的影响。通过模拟水流速度、压力和及水锤产生的时效性,工程师能够在设计阶段优化管道布局、阀门开关控制和吸能装置的配置。这种优化设计不仅有助于减少水锤现象的发生,还能提高管道系统的效率与稳定性。

(四)实时监控与智能化防护

实时监控水锤现象对确保消防水管网的安全稳定运行至关重要。通过智能传感器和数据采集系统,可以实时监控管网关键节点的水流速度、压力波动等参数。这些传感器能够准确检测到水锤现象引起的压力变化和流速不稳定,一旦发生异常,系统会及时反馈信息,帮助操作人员早期识别水锤迹象。实时监控记录并分析相关数据,为管网管理人员提供全面的运行状态信息,帮助他们采取应对措施,避免水锤对系统的影响,防止事故的发生。这项技术显著提高了管网的实时监控能力和反应速度。

结合大数据和人工智能(AI)技术,智能管网管理系统可

以精确预测和预警水锤现象。通过分析管网历史数据、实时监测数据和外部环境因素,系统能够识别水锤风险并发出预警,从而减少事故发生的可能性。借助机器学习技术,智能系统还可以自动调整管网的运行参数,如水泵启停、阀门的开关等,优化管网运行状态。当出现异常流量波动时,系统能够快速响应,保持平稳运行,减小水锤产生,从而提高管道的安全性和可靠性。

Q 结束语

综上所述,水锤现象对消防水管网的稳定性和安全性造成了严重影响,可能导致管道破裂、设备损坏、系统供水中断等问题,甚至影响火灾应急响应。在防护技术方面,阀门软启动与软关断技术、水泵启停控制策略能够有效缓解水流速度的剧烈变化,减少压力波动。水锤吸能装置通过吸收水流的冲击能量,减缓压力波的传播。合理的管道设计与水力计算优化可以从源头减少水锤风险。而实时监控与智能化防护技术,结合大数据和人工智能,能及时监测和预警水锤现象,提高管网的自适应能力和故障防控水平。

参考文献

- [1]赵令晖,苏林山.长距离高扬程调水工程停泵水锤防护措施分析及优化[J].给水排水,2022,58(S2):501-506.
- [2]席志德,马建中,孙磊.考虑流-固耦合效应的空间管道水锤方法研究[J].核动力工程,2013,34(02):1-4,8.
- [3]杨竞远,刘荣,崔幸福.水锤效应产生的原因分析与预防措施[J].安装,2022(07):78-80.
- [4]金仲辉.什么是水锤现象[J].中学生数理化(八年级物理)(配合人教社教材),2021(Z2):42.
- [5]龙斌,张翔,杨昌世.高压供水泵站水锤算法探讨[J].中国水能及电气化,2019(09):59-62,20.
- [6]易平.长距离有压管道水锤预防措施[J].吉林水利,2019(04):22-25.
- [7]穆庆斌.市政输配管网水锤现象与防护[J].居舍,2019(11):194.

作者简介:

武凤杰(1990—),女,汉族,山东临沂人,本科,工程师,山东嘉城建设集团有限公司,研究方向:给排水工程。

张福信(1984—),男,汉族,山东潍坊人,本科,工程师,山东世纪华都工程咨询有限公司,研究方向:给排水工程。