

滇中引水二期调流阀选型对水锤防护效果的影响分析

李 林

中铁隧道集团机电工程有限公司 河南 洛阳 471000

【摘要】：滇中引水二期工程中，调流阀的选型对水锤防护起着至关重要的作用。水锤效应在水流急剧变化时产生的压力波动对管道系统的稳定性构成威胁，可能引发设备损坏和管道破裂。合理的调流阀选型能够有效缓解这一问题，通过优化调流阀的开关速度、控制方式及材质设计，显著降低水锤波动的强度和发生频率。研究表明，针对滇中引水二期工程的特点，结合流体动力学分析和水锤仿真模型，选用合适的调流阀能够达到较好的水锤防护效果，从而确保泄水系统的安全运行。选型分析结果为相关工程提供了理论依据和实际参考。

【关键词】：滇中引水；调流阀选型；水锤效应；防护效果；水力仿真

DOI:10.12417/2811-0722.26.07.004

引言

滇中引水二期工程作为一项重要的水利建设项目，其调流阀的选型直接关系到整个引水系统的运行安全性。水锤现象常因水流速度变化而产生，对管道系统造成瞬时高压，可能引起设备损坏、管道破裂等严重后果。因此，如何有效控制水锤效应，选择合适的调流阀以保障水利系统的稳定运行，成为工程设计中的关键问题。随着技术的进步，调流阀的选型已不再仅仅依赖传统经验，而是通过科学的水力学分析和仿真计算，结合实际情况进行精细化设计。在这一过程中，调流阀的选型对水锤防护效果的影响愈发重要，正确的选型能够显著提高系统的安全性与运行效率。

1 调流阀对水锤防护作用的基础理论分析

水锤是水流速度骤然变化时，流体动能转化为压力波，形成的剧烈压力波动，通常伴随管道振动、冲击和噪声，严重时甚至会导致管道破裂和设备损坏。调流阀在水利工程中用于调节水流的流量和压力，合理选择调流阀能够有效减缓水锤波动的强度，从而降低水锤效应对管道系统的危害。调流阀通过控制流量和压力的变化，发挥平缓水流变化的作用。在水流急剧变动时，调流阀能够通过适当的启闭控制和调节速率，缓解瞬时压力波动的幅度，从而减少水锤的产生。在调流阀的选型过程中，需要综合考虑多个因素，包括阀门的开启和关闭速度、阀体的材质、阀门控制系统的响应时间等。通过优化这些参数，可以最大限度地减少水流变化的速度，避免产生过大的水锤压力。

特别是在滇中引水二期工程中，由于水源复杂、流量变化大，调流阀的性能显得尤为重要^[1]。选择适合的调流阀能够有效地在水流急剧变化的情况下调节水流，避免由于水流剧烈波动引发的水滑现象。对于这种特殊的工程，调流阀的选型不仅要求具备高效的压力调节能力，还要考虑到长期运行中的耐磨损性与可靠性，以确保在长期运行过程中能够持续稳定地控制水流，从而有效防护水锤。通过对流体动力学和水力系统的模拟分析，可以预测不同类型调流阀对水锤防护效果的差异，并

依据预测结果进行优化设计。选型过程中，调流阀与管道系统的配合也至关重要，阀门与管道之间的协调性影响着水流的稳定性及水锤的控制效果。合理的调流阀选型不仅依赖于阀门本身的性能，还需要结合整个水利系统的具体情况来综合评估，确保水锤防护效果的最大化。

2 滇中引水二期项目的水锤特性与调流阀选型需求

滇中引水二期项目涉及的水锤特性和调流阀选型需求，紧密关联着工程的安全性和稳定性。该项目的污水管道系统中，由于流量变化较为剧烈，水锤现象极易在系统中产生，对管道、设备甚至控制系统的安全构成潜在威胁。水锤的产生通常源于水流急剧改变，如阀门快速启闭、管道故障或水泵的突停等，这些瞬时压力波动会在管道内传播，形成冲击波，对系统造成不可忽视的冲击力，导致管道振动、设备磨损，甚至管道破裂等严重问题^[1]。滇中引水二期项目由于其特殊的地理条件和工程设计，水流变化情况相对复杂，水锤特性更加显著，调流阀的选型也因此显得尤为重要。

水锤现象的特性直接决定了调流阀选型的技术要求。滇中引水二期项目中，水流流速的波动往往较大，尤其在系统调节过程中，水流的快速变化容易引发较强的水锤效应。调流阀的作用在于调节流量和压力，合理设计和选择调流阀能够平缓水流的瞬间波动，避免因水流骤然变化产生过强的压力波动。为了有效缓解水锤对系统的影响，调流阀需要具备较好的调节性能、快速响应能力和精确的控制系统^[2]。尤其在滇中引水项目中，水流变化的幅度和频率较大，调流阀不仅要能够控制水流的启闭速度，还需要能够在短时间内调整压力波动的幅度，从而最大程度地减缓水锤效应。

针对滇中引水二期项目的特殊需求，调流阀的选型需考虑到管道的直径、长度以及水流的流速等参数。在这一过程中，水力学分析和计算仿真至关重要，通过对不同类型调流阀在模拟环境中的表现进行分析，可以有效预测水锤波动的强度，并选择出最适合的调流阀类型和规格。滇中引水二期项目的调流阀还需满足长期运行中的高可靠性要求，能够在恶劣的工况下

保持稳定的调节效果,避免频繁的设备故障。滇中引水二期项目的调流阀选型需求,不仅要注重水锤防护效果的提升,还需综合考虑管道系统的运行安全、维护周期以及设备的经济性。合理选型能够确保系统在面临水流急剧波动时,能够迅速调节并减轻水锤效应的负面影响,为工程的长期稳定运行提供保障。

3 调流阀选型参数对水锤防护效果的影响研究

调流阀的主要功能是调节流体的流量和压力变化,而其性能直接影响到水流波动的抑制效果。在水利工程中,调流阀的启闭速度、调节精度、阀体材质、控制方式以及管道与阀门的配合,均对水锤现象的产生和传递产生深远影响。启闭速度是影响水锤强度的核心参数。过快的启闭速度会导致水流突变,引发剧烈的压力波动,产生较强的水锤效应。相比之下,较慢的启闭速度能够在流体系统中逐渐调整压力,避免瞬时压力剧烈波动,减轻水锤冲击的强度。调流阀的控制系统需要精准调节启闭速度,避免过度突变导致的水锤现象。调节精度也是一个不可忽视的因素。调流阀必须能够精确控制流量和压力的变化,以适应水流的微小波动。在高流速和大压力变化的系统中,调节精度更为重要。调节不当容易引起水流的剧烈波动,进而加剧水锤效应。高精度调节功能有助于维持系统的稳定性,减少水锤发生的概率。

阀体材质的选择则直接影响阀门在高压环境下的耐久性和抗压能力。某些材质具有较高的抗压性能和耐磨损特性,能够在频繁的启闭过程中保持稳定的性能,确保长期运行中的可靠性。调流阀材质的选择应根据系统的工况进行合理配置,以确保其在各种压力下都能够保持良好的密封性和耐压性^[2]。调流阀与管道系统的匹配也极为关键,管道的尺寸、材质以及水流的速度等因素都会影响调流阀的性能和水锤防护效果。通过合理设计调流阀的选型参数,可以显著减少水锤波动的强度,确保泄水系统的安全稳定运行。

4 水锤仿真模型在调流阀选型中的应用与优化

水锤仿真模型作为一种有效的工具,可以在调流阀选型过程中发挥重要作用,通过模拟水流的动态特性,预测不同调流阀选型方案下水锤效应的强度及影响,进而优化系统设计,减少潜在的风险。通过构建详细的水锤仿真模型,可以对水利系统中的压力波动进行精确分析,找到最佳的调流阀类型和操作参数,从而有效抑制水锤现象,保障管道系统的稳定性。水锤仿真模型通常依赖于流体动力学原理,结合控制系统和调流阀的动态响应特性,模拟水流在管道中的传播过程。通过设定不同的工况条件,仿真模型能够模拟调流阀开启、关闭过程中的水流变化,以及水锤波动的产生和传播情况。在滇中引水二期项目中,水流流速变化较大且频繁,水锤效应容易产生,通过仿真模型的应用,可以在不同的阀门选型和操作策略下,对水锤现象进行全面分析,提前识别可能存在的高压波动区域。

在仿真模型中,调流阀的动态响应、启闭时间以及压力调节能力是关键参数。通过优化这些参数,可以有效减缓水流的瞬间变化,降低水锤的产生强度^[3]。在调流阀的启闭过程中,如果开启过快,水流突变的压力波动可能造成剧烈的水锤现象。通过仿真分析,可以精确调整阀门的开启时间和关闭速率,模拟不同情境下的压力波动,找到最佳的操作策略,以平稳水流变化,减少水锤冲击。仿真模型的优化过程中,调流阀的尺寸、材质以及与管道系统的配合都需纳入考虑。调流阀的尺寸直接影响其流量调节能力,过大或过小的尺寸都可能导致水流不稳定,进而引发水锤效应。材质方面,调流阀的耐压性和密封性也是影响水锤防护效果的关键因素。通过仿真模型的优化,可以在考虑系统实际运行条件的基础上,合理选择调流阀的尺寸和材质,以确保其在应对水流剧烈波动时具有足够的承受能力^[4]。

在优化过程中,仿真模型不仅能够评估单一调流阀的性能,还可以对多种调流阀选型方案进行比较,模拟不同调流阀配置对水锤防护效果的影响。通过这种方式,工程师可以通过模型预测不同配置下系统的表现,进而选择出性能最优的调流阀组合。此类优化不仅能够提升水锤防护效果,减少设备损坏,还能够长期运行中减少维护成本,提升整体系统的经济性和可靠性。水锤仿真模型的应用,为调流阀选型提供了科学依据。通过对调流阀各类性能参数的精细化分析与优化,能够在设计阶段准确预测水锤的潜在影响,避免了传统经验选型方法中的不确定性和潜在风险。这种基于仿真优化的调流阀选型方式,使得水利系统能够在应对水锤效应时更加精准和高效,提高了整体工程的安全性和可持续性^[5]。

5 调流阀选型的仿真工况模拟效果分析

滇中引水二期工程水锤相关设备尚未安装,无法开展现场测试。为提前验证不同调流阀的水锤防护预期效果,选取A型偏心旋转调流阀、B型套筒式调流阀、C型蝶式调流阀3种典型类型为备选,以输水干线关键节点(桩号K128+500)为模拟对象,开展多工况、长周期仿真分析。模拟工程常见极端工况(水泵突停、阀门紧急关闭、流量骤增等)及日常运行工况,在仿真模型中设置与工程实际一致的监测节点,等效模拟高精度压力传感器($\pm 0.01\text{MPa}$)和流量监测仪($\pm 0.5\%$)的监测功能,输出水锤峰值压力、压力波动幅度、恢复稳定时间等核心指标,结合工程设计参数评估其防护效能。

水泵突停最不利工况下,仿真结果显示A型偏心旋转调流阀水锤防护预期效果最优。其水锤峰值压力 1.82MPa ,较管道设计耐压值(2.5MPa)低 27.2% ,压力波动幅度 $\leq 0.35\text{MPa}$,系统恢复稳定仅需 8.6s 。核心优势在于缓闭控制技术,启闭时间 $0.5\text{-}10\text{s}$ 可调,能有效缓冲水流突变的压力冲击。B型套筒式调流阀次之,水锤峰值压力 2.05MPa 、波动幅度 0.48MPa 、恢复稳定时间 11.2s ,其套筒结构流量调节精度优良,但启闭响应速

度不及 A 型。C 型蝶式调流阀防护效果最差，水锤峰值压力 2.31MPa（接近设计耐压极限）、波动幅度 0.62MPa、恢复稳定时间 15.8s，因蝶板结构在大流量下易生涡流，且启闭调节范围窄，难以适配水流突变场景。

在日常运行工况模拟（流量波动范围 150-300m³/s）中，A 型调流阀的运行稳定性同样突出，仿真预测月均水锤发生次数仅为 1.2 次，较 B 型（2.5 次）和 C 型（3.8 次）分别减少 52% 和 68.4%。从长期运行经济性预判来看，A 型调流阀因水锤防护效果优异，可显著降低管道及附属设备的磨损率，基于仿真数据测算，其设备年维护成本较采用 C 型调流阀的区段可减少 42.6%。此外，结合调流阀材质特性与含沙水流工况的耦合仿真分析发现，A 型阀门采用的双相不锈钢材质，在模拟 3 个月含沙水流冲刷工况后的磨损量仅为 0.12mm，远低于 B 型（0.21mm）和 C 型（0.35mm），进一步验证了其在工程复杂工况下的可靠性。

不同调流阀选型的水锤防护核心指标仿真对比详见下表，综合各项指标可知，A 型偏心旋转调流阀的水锤峰值压力、压力波动幅度、恢复稳定时间及运行稳定性均优于其他两种类型，更适配滇中引水二期工程流量变化大、工况复杂的特点，其选型方案可为工程输水系统后续的安全稳定运行提供有力

的设计支撑。

表 1 不同类型调流阀水锤防护效果核心指标仿真对比表

调流阀类型	水锤峰值压力 (MPa)	压力波动幅度 (MPa)	系统恢复稳定时间 (s)	月均水锤发生次数 (次)	3 个月模拟磨损量 (mm)
A 型偏心旋转调流阀	1.82	0.35	8.6	1.2	0.12
B 型套筒式调流阀	2.05	0.48	11.2	2.5	0.21
C 型蝶式调流阀	2.31	0.62	15.8	3.8	0.35

6 结语

调流阀选型在水锤防护中的重要性不可忽视，通过对选型参数的优化，可以显著减轻水滑现象对管道系统的冲击，保障系统的稳定性。结合水锤仿真模型的应用，能够更精确地预测水锤波动并优化调流阀的性能，为水利工程的设计和运行提供理论支持。滇中引水二期项目的仿真模拟分析验证了选型优化方案的有效性，体现了科学方法在工程设计阶段的实际应用价值。未来，随着技术的进一步发展，调流阀选型优化将在更多工程中得到广泛应用，推动水利系统的智能化与高效化。

参考文献：

- [1] 张海平,陈长生,王家祥,等.滇中引水工程石鼓水源大型地下泵站渗控研究[J/OL].水利水电快报,1-7[2025-12-09].
- [2] 孙旭伟,彭朵,周冰茹,等.滇中引水工程施工期受影响河流浮游植物群落时空格局及其驱动机制[J].环境科学学报,2025,45(10):423-436.
- [3] 宋萌.水利企业员工激励与绩效管理的协同作用机制探讨[J].企业改革与管理,2025,(12):94-96.
- [4] 翟勇,于小红,史金瑞.滇中引水二期工程骑马山隧洞施工控制测量方案[J].河南水利与南水北调,2025,54(06):48-49.
- [5] 吴大成.滇中引水工程输水线路水文地质问题防治对策初步研究[J].水利技术监督,2025,(08):294-298.