

输水系统水锤与爆管防护技术规程

Technical specification for water hammer protection and pipe burst
prevention in water transmission systems

(征求意见稿)

前言

本规程是在总结实践经验，按照 GB/T1.1-2020 规则并参考有关国内外标准，在广泛征求意见的基础上编制而成。

本规程主要制定内容有：总则、术语、基本规定、泵站和管线水锤防护整体策略、水锤防护设计审核、调试及验收、运行维护。

本规程由湖南省城乡建设行业协会管理并负责解释。本规程在执行过程中，请各单位结合工程建设实践，认真总结经验、积累资料，如发现本规程条文中需要修改和补充之处，请将有关资料和意见函寄至 XXX 有限公司（地址：XXX，邮政编码：XXX）。

本规程主编单位：

本规程参编单位：

本规程主要起草人员：

本规程主要审查人员：

目录

1 总则	1
2 术语	2
3 基本规定	4
4 水锤分析	5
4.1 水锤分析所需基础数据	5
4.2 水锤分析计算方案编制	5
4.3 瞬态分析的工况	6
4.4 水力模型的校核和验证	6
5 水锤防护整体策略	8
5.1 水锤防护整体策略的制定	8
5.2 水锤防护整体策略的优化	8
5.3 常用水锤防护组件的选择	8
5.4 监测与控制系统	9
5.5 应急保障	10
6 调试与验收	10
6.1 调试	10
6.2 验收	10
7 运行维护	11

1 总则

1.0.1 为提高城市韧性，提升输水系统全生命周期的安全、节能、可维护性和可扩展性，便于工程技术人员更好地熟悉和掌握输水系统的工程设计、工程调试验收、日常运行及应急管理，确保输水系统的安全可靠运行，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、改建和扩建的城镇供排水、长距离调水、建筑给排水、工业循环水工程中的输水系统，包括泵提升和重力流输水系统。

1.0.3 本规程所涉及到的水锤防护组件、监测与控制设备、材料应符合国家现行相关标准的要求。

1.0.4 输水系统水锤与爆管防护的设计、调试、验收、运行维护及应急处置除应符合本规程的规定外，尚应符合现行相关国家标准的规定。

下列文件中的条款通过本规程的引用而成为本规程的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本规程，然而，鼓励根据本规程达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规程。

GB 50013 室外给水设计标准

GB 50014 室外排水设计规范

GB 50015 建筑给水排水设计标准

GB 50265 泵站设计规范

GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范

CJJ 207 城镇供水管网运行、维护及安全技术规程

CECS 193-2005 城镇供水长距离输水管(渠)道工程技术规程

CECS 419 中小型给水泵站设计规程

2 术语

2.0.1 输水系统 water transmission system

利用泵提升或重力流输送原水、清水、污水、雨水的管道系统，由水力组件和仪器仪表等组成。

2.0.2 水力组件 hydraulic unit

组成输水系统的单一水力部件，如水池、泵、管道、止回阀、空气阀、控制阀、空气罐等。

2.0.3 管网拓扑结构 network topology

组成输水系统的各水力组件连接的关联性。

2.0.4 水锤 water hammer

也称水击，指由于某种外界原因（如阀门突然关闭、水泵机组突然停车）使管道中水的流速突然发生变化，从而引起压力急剧变化的现象。

2.0.5 稳态水力模型 steady-state hydraulic model

对输水系统中的管段流量、节点压力及水池水位等水力参数进行状态模拟和分析的计算机仿真系统。

2.0.6 瞬态水力模型 transient hydraulic model

对输水系统从某一稳态工况到另一稳态工况的过渡过程进行状态模拟和分析的计算机仿真系统。

2.0.7 模型校核 model calibration

通过核实基础数据、调整模型参数，使模型状态变量（压力、流量、水质等）计算值与实测值的误差在可接受范围内的过程。

2.0.8 水锤与空气监测系统 water hammer monitoring system

能够实现输水系统水锤与空气信息的采集、记录、分析、判定、告警与上传等功能的系统。

2.0.9 止回阀动态特性 dynamic characteristics of check valve

止回阀关闭减速度与逆流速度的关系，需通过流体动力学仿真计算或试验得出。

2.0.10 空气阀动态特性 dynamic characteristics of air valve

空气阀吸排气过程中的进/排气流量系数、阀门启闭动作等参数与压力的关系，需通过流体动力学仿真计算或试验得出。

2.0.11 水锤防护整体策略 integrated strategy of water hammer protection

水锤防护综合措施，包含水锤防护组件配置、瞬态过程优化、管网优化、监测控制、应急处置等。

2.0.12 全生命周期 life cycle

工程项目从规划、设计、施工、调试验收、运行维护、应急处置、改造到服役结束的全过程。

3 基本规定

3.0.1 水锤分析应贯穿输水系统的全生命周期，并采用水锤防护整体策略，确保输水系统的安全可靠运行。

3.0.2 输水系统应优先选用国家推荐并经过鉴定且符合安全节能要求的产品。

3.0.3 水力组件的稳态和动态特性应通过试验测试或 CFD 仿真验证。

[说明]

通常管道系统的设计往往侧重于稳态和动态水力模型分析，瞬态水力模型分析由于缺少水力组件真实的稳态和动态特性参数，往往将止回阀、空气阀动态特性理想化。止回阀是泵站系统中重要的水锤防护设备，动态特性是指止回阀在停泵时逆流速度和逆流减速度的关系曲线，是反映止回阀性能优劣的重要指标。空气阀在不同压差下的吸排气性能是空气阀性能的重要指标，直接决定了管线运行的安全性和输水效率。经过试验测试或 CFD 仿真验证的水力组件特性参数，有助于工程设计和管理人员选择适合工程的水力组件，提高工程运行的安全可靠性和降低工程造价。

3.0.4 工程验收时，在管道静压试验和正常工况运行试验的基础上，还应进行极端工况（包括全停泵、全关阀等）试验，以确认输水工程的安全可靠性。

[说明]

工程竣工调试时，目前一般只做到静压试验和正常运行工况试验，未进行极端工况试验，无法验证设计和工程实际运行状况的一致性和安全性，可能在充水和停泵、关阀等工况下存在安全隐患。通过极端工况的试验，可以及时发现问题和风险，及时进行优化和调整。

4 水锤分析

4.1 水锤分析所需基础数据

4.1.1 水锤分析需要的基础数据，应包含以下内容：

- 1 输水管线平面布置图、纵剖面图、横剖面图。
- 2 管道及配件的物性参数：长度、直径、壁厚、糙率、材料弹性模量。
- 3 阀门的规格、型号和特性参数：止回阀动态特性曲线、开度阻力曲线，空气阀进排气特性曲线或进气系数、排气系数，控制阀开度阻力曲线。
- 4 水泵机组的型号、转动惯量、全特性曲线、QHE 曲线、工作方式。
- 5 当地海拔高程、空化压力、气温等参数。
- 6 输水管线在每种可能运行方式下的边界条件和初始条件。

4.1.2 水泵的全特性曲线、QHE 曲线宜通过实验获得。

4.2 水锤分析计算方案编制

4.2.1 计算方案编制应包括稳态工况计算方案编制、瞬态工况计算方案编制、水锤防护计算方案编制三部分工作。

4.2.2 稳态工况计算方案编制应满足以下要求：

- 1 依据计算工况，确定满足计算目的的计算模型，设置边界条件，确定计算结果的输出内容及方式。
- 2 计算工况应覆盖输水系统可能的运行方式。

[说明]

输水系统可能的运行方式包括：单泵运行、多泵运行、管道事故工况、水源不同水位（洪水位、常水位、枯水位）、供水规模（近期、中期、远期）等。

- 3 计算结果可以表格或图形的方式输出。
- 4 计算结果应满足瞬态工况计算所需初始条件的要求。

4.2.3 瞬态工况计算方案编制应满足以下要求：

- 1 依据计算工况及水锤防护要求，确定满足计算目的的计算模型，获取边界条件，确定时间持续时长，确定计算结果的输出内容及方式。
- 2 应以稳态水力模型为基础建立瞬态水力模型。
- 3 计算工况应覆盖输水管线可能的最不利工况，工况选择应结合水锤防护设施的布置方案进行。
- 4 计算采用的时间步长应满足库朗条件要求。

[说明]

库朗条件为 $\Delta t \leq \frac{\Delta x}{a}$ ，式中， Δt 为时间步长； Δx 为分段长度； a 为波速。为了保证计算结果稳定，

有时需对管长进行微量调整，使其满足库朗条件。

5 宜通过加密计算时间步长和空间网格步长的方法，提高水力模型的计算精度。

[说明]

若加密前和加密后计算的结果只有较小变化，则数值解已具有一定的精度，否则应进一步缩小时间步长和空间网格步长，直至数值解收敛至所要求的允许误差范围内为止。

6 计算结果宜包括管网压力包络线、指定位置的时间压力变化曲线、时间流量变化曲线。

7 计算的初始条件应通过稳态工况计算得到。

4.2.4 水锤防护计算方案编制应满足以下要求：

1 水锤防护计算的内容应包括：停泵、启泵、关阀、开阀及流量调节水锤分析。

2 所选择的水锤防护设施应便于施工和维护，投资省，与工程等级相匹配。

3 水锤防护设施的布置应满足《室外给水设计标准》GB 50013、《室外排水设计规范》GB 50014、《建筑给水排水设计标准》GB50015、《泵站设计规范》GB 50265、《城镇供水长距离输水管(渠)道工程技术规程》CECS 193-2005 和《中小型给水泵站设计规程》CECS 419 的相关要求。

4.2.5 水锤防护标准应达到下列要求：

1 管路最高压力应不大于正常工作压力的 1.5 倍，且小于管道公称压力。

2 管路负压应控制在 2.0m 以内。

3 对于泵提升输水系统，水泵机组反转转速值应小于额定转速的 1.2 倍，超过额定转速的持续时间应不超过 2min。

4 输水管线系统任何部位不应出现水柱拉断。

4.3 瞬态分析的工况

4.3.1 工程在正常运行状态下，宜选择下列工况进行瞬态水力分析：

- 1 管道充水；
- 2 水泵的启动；
- 3 水泵的正常停机；
- 4 水泵切换；
- 5 调试试验；
- 6 管道排空；
- 7 阀门启闭。

4.3.2 工程在事故或应急状态下，宜选择下列工况进行瞬态水力分析：

- 1 事故停泵；
- 2 阀门非正常启闭、拒动；
- 3 爆管；
- 4 分水口多阀协联启闭。

4.4 水力模型的校核和验证

4.4.1 应采用具有实测数据的输水系统对水力模型进行校核和验证。

4.4.2 水力组件的特性参数应在工程调试时进行实测。

[说明]

实测的水力组件包含水泵、止回阀、减压阀、泄压阀、调流阀等。

4.4.3 管道摩阻系数、水锤波速应通过实验方法确定。

5 水锤防护整体策略

5.1 水锤防护整体策略的制定

5.1.1 输水系统的水锤防护设计应在满足所需的水力性能标准的基础上，同时控制建设成本和运营成本。

5.1.2 在制定水锤防护整体策略时应考虑水锤防护组件配置、瞬态过程优化、管网优化、监测控制、应急处置等措施，以创建更全面的防护策略。

5.2 水锤防护整体策略的优化

5.2.1 无水锤防护配置的系统必须列出应对最不利瞬态工况的水锤防护方案。

5.2.2 无水锤防护设施且水锤增压超限时，宜选择下列解决方案：

- 1 调整直径、管线走向；
- 2 调整波速（管材、壁厚）；
- 3 调节瞬态流速变化；
- 4 调整泵组转动惯量；
- 5 设置水锤防护装置。

5.2.3 水锤防护应优先采取优化水泵与阀门启闭规律的方式。

5.2.4 当优化水泵与阀门启闭规律无法满足水锤防护要求时，可在管道系统中优先加装两阶段关闭止回阀、空气阀、水击预防阀、水击泄放阀，其次考虑加装空气罐、调压井等水锤防护措施。

5.2.5 应考虑水泵和阀门性能、管道摩阻系数等模型参数随时间变化对输水系统的影响。

5.3 常用水锤防护组件的选择

5.3.1 水泵出口止回阀宜优先选用水锤自适应防护的止回阀。

[说明]

多台水泵并联运行的泵站，不同台数的水泵在停泵时零流速的时间点不同，所对应的最佳关阀规律也不同。具有水锤自适应防护功能的止回阀，可以自动找到不同工况下的零流速点，实现零流速快关，如多功能水泵控制阀、多功能斜板阀。

5.3.2 止回阀后宜安装防水锤空气阀。

5.3.3 水击泄放阀或水击预防阀应设在泵站止回阀下游或出水母管起端、重力流输水管道末端的控制阀上游，输水管道中间是否需要设置，需经分析计算后确定。

5.3.4 水击预防阀和水击泄放阀的设定开启压力宜为稳态工作压力的 105%~110%，或经水力计算确定。若有多个水击泄放阀并联，其设定压力应以相差 5~10m 递增，响应高压水锤快速开启时间不宜超过 1s，关阀时间建议不小于 15s，水击泄放阀的口径宜为主管道口径的 1/4~1/3，水击预防阀口径应小于水击泄放阀 1~2 级。

5.3.5 空气阀的设置应符合 CECS 193 的规定，对于管线上容易产生断流弥合水锤的局部高点和坡度大于 1%的长下坡段且坡度突然增大的点应安装具有防水锤功能的空气阀。

5.3.6 当仅设置空气阀无法消减管线内负压，应设置调压罐或调压室/调压塔抑制水柱分离，降低弥合水锤。调压罐或调压室/调压塔安装位置和尺寸需根据具体情况经水锤计算而定。

5.4 监测与控制系统

5.4.1 监测指标应包含输水系统的水力参数、设备运行状态、管道水锤与空气等。

[说明]

水力参数包括流量、压力、水位；设备运行状态包括水锤防护设备的运行状态、水泵转速以及设备故障状态、管道振动等。

5.4.2 压力监测点应选择在水泵进出口、止回阀出口、空气阀进口、控制阀进口。

5.4.3 流量监测点应选择 in 泵站出水母管、重力流输水管线的起始端、支管起始端。

5.4.4 管道振动监测点应选择 in 泵站出水母管、控制阀进口。

5.4.5 每台水泵应进行转速监测。

5.4.6 压力传感器的采样频率应不低于 50Hz，流量传感器、加速度传感器、转速传感器的采样频率应不低于 10Hz。

5.4.7 输水系统的监控系统包括感知模块、分析模块、控制模块以及系统平台等。

5.4.8 感知模块应具备对输水系统的水力参数、设备运行状态、管道水锤与空气等进行监测的功能。

5.4.9 分析模块应具备对水锤分析、设备运行状态、故障等数据处理、分析的功能。

5.4.10 控制模块应具有就地控制和远程控制两种模式，可实现水力目标参数的闭环控制和位置目标参数的开环控制。

5.4.11 系统平台应具备基于数学模型的水锤分析和基于策略库的策略制定的功能，调度控制完成后，应能对控制效果进行目标与安全评估。

5.4.12 监测与控制系统应在输水系统压力超过设定阈值时自动触发应急控制机制，工程调试时，应对应急控制机制进行验证。

5.4.13 水锤防护组件应具有水力状态和设备运行状态的监测功能以及远程控制功能,同时设置信息通讯接口。

5.5 应急保障

5.5.1 对断电、电气故障、断网、爆管等突发事件引发的水锤风险,应进行冗余设计并编制应急处置预案。

5.5.2 发生爆管事故后会造成较大次生灾害的管段,应设置紧急切断阀。

[说明]

爆管事件发生时,在短时间内即可造成水淹等次生灾害,影响重大。推荐在易发爆管现象的陈旧管网系统、地震带蓄水出水系统、管网基础设施较脆弱的环节、易发机械故障的管网系统、易发生地质灾害等次生灾害的区域安装爆管紧急切断阀,如高位水池的出水端,管线穿越铁路、高等级公路、隧洞等重点保护基础设施,低洼的人口密集区域或重点建筑物、构筑物区域。

6 调试与验收

6.1 调试

6.1.1 工程完工后应编制调试方案,进行系统的通电、通水、通网调试。

6.1.2 监测与控制系统应按照设计要求进行单体调试。

6.1.3 止回阀、水击泄放阀和水击预防阀的启闭规律应按照设计要求进行调试。

6.2 验收

6.2.1 在工程验收前应重点检查下列内容:

- 1 管道糙率;
- 2 阀门的开度-流阻系数;
- 3 极端工况下的输水系统安全性;
- 4 监测与控制系统的可靠性;
- 5 水泵性能。

6.2.2 工程质量验收应按现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268、《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242、《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 执行。

6.2.3 设备安装应按现行国家标准《机械设备安装工程施工及验收通用规范》GB 50231 执行。

6.2.4 电气工程验收应按现行国家标准及行业标准《电气装置安装工程低压电器施工及验收

规范》GB 50254、《建筑电气工程施工质量验收规范》GB 50303 执行。

6.2.5 水锤综合防护效果应满足本文件中 4.2.5 的要求。

7 运行维护

7.0.1 应制定运维管理细则，符合《城镇供水管网运行、维护及安全技术规程》CJJ 207 等相关标准的要求。

7.0.2 运维管理满足以下要求：

- 1 仪器仪表等应定期进行检测、校核；
- 2 水锤防护组件应定期进行维护或更换；
- 3 应定期对系统数据进行备份，保障系统数据安全；
- 4 宜配备专门技术人员对系统平台进行日常维护；
- 5 宜采用远程方式对系统进行故障诊断和软件维护。

7.0.3 水力模型的维护和管理应包括下列内容：

- 1 定期采用实测数据对管道糙率进行修正；
- 2 定期对管道及系统中水力元件的局部阻力系数进行率定；
- 3 定期对泵的特性曲线进行修正；
- 4 当整个输水系统元件增加或减小时，对模型进行修正；
- 5 对管网老化后的波速进行修正。