



T/CECSxxx-202x

中 国 工 程 建 设 标 准 化 协 会 标 准

供水工程水锤防护技术规程

Technical specification for water hammer protection

（征求意见稿）

（提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上）

XXX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

供水工程水锤防护技术规程

Technical specification for water hammer protection

T/CECS xxx—202x

主编单位：株洲南方阀门股份有限公司

中国市政工程中南设计研究总院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X 年 XX 月 XX 日

中国 XX 出版社

202X 年 北 京

前 言

《供水工程水锤防护技术规程》（以下简称“规程”）是根据中国工程建设标准化协会《关于印发 2021 年第二批协会标准制订、修订计划》的通知（建标协字〔2021〕20 号）的要求进行编制。规程编制组经过调查研究，认真总结工程实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分为 8 章和 2 个附录，主要内容包括：总则、术语、基本规定、水锤计算、水锤防护设计、水锤监测、安装调试与验收、运行维护等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利。本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会建筑与市政工程产品应用分会归口管理，由中国建筑标准设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中如有意见或建议，请寄送中国建筑标准设计研究院有限公司（地址：北京市首体南路 9 号，邮政编码：100048）。

主 编 单 位：株洲南方阀门股份有限公司

中国市政工程中南设计研究总院有限公司

参 编 单 位：×××××××××××××××

×××××××××××××××

×××××××××××××××

主要起草人：××× ××× ××× ××× ××× ××× ×××

××× ××× ××× ××× ××× ××× ×××

主要审查人：××× ××× ××× ××× ××× ××× ×××

目次

1 总则	1
2 术语	3
3 基本规定	4
4 水锤计算	5
4.1 一般规定	5
4.2 泵加压输水系统的水锤计算	5
4.3 重力流有压输水系统的水锤计算	6
5 水锤防护设计	8
5.1 设计要求	8
5.2 水锤防护组件	8
6 水锤监测	11
7 安装调试与验收	12
7.1 安装调试	12
7.2 验收	12
8 运行维护	13
附录 A 水锤风险等级分类	14
附录 B 水锤分析报告大纲	15
用词说明	16
引用标准名录	17
附：条文说明	18

Contents

1 General provisions	1
2 Terms	2
3 Basic Requirements	3
4 Water Hammer Calculation	4
4.1 General requirements	4
4.2 Water Hammer Calculation for Pump-Pressurized Water Transmission Systems	4
4.3 Water Hammer Calculation for Gravity-Pressurized Water Transmission Systems	5
5 Water Hammer Protection Design	6
5.1 Design Requirements	6
5.2 Water Hammer Protection Components	7
6 Water Hammer Monitoring	9
7 Installation, Commissioning & Acceptance	10
7.1 Installation & Commissioning	10
7.2 Acceptance	10
8 Operation & Maintenance	10
Appendix A Water Hammer Risk Level Classification	11
Appendix B Water Hammer Analysis Report Outline	13
 Explanation of wording	 14
List of quoted standards	15
Addition: Explanation of provisions	16

1 总 则

1.0.1 为了有效防范城镇供水管道工程中的水锤风险，规范水锤分析计算，使供水工程水锤防护系统的设计、调试与验收、水锤监测及运行维护工作中做到安全可靠、技术先进、经济合理、节约能源、维护方便，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于新建、扩建和改建的城镇供水管道工程水泵加压输水系统及重力流有压输水系统中的水锤分析计算及水锤防护系统的设计、调试与验收、水锤监测和运行维护。

1.0.3 城镇供水管道工程中的水锤分析计算及水锤防护系统的设计、调试与验收、水锤监测和运行维护除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术语

2.0.1 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）使有压管道中水的流速突然发生变化，从而引起压力急剧变化的水力现象。

2.0.2 水锤防护组件 water hammer protection hydraulic unit

与供水工程水锤防护相关的水力组件，如泵、止回阀、空气阀、控制阀、空气罐、水锤消除器、调压塔、管道等。

2.0.3 水锤风险等级 water hammer risk grade

依据水锤最高压力、最低压力、水泵运行状态，对水锤风险进行等级分类。

2.0.4 稳态水力模型 steady-state hydraulic model

对供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。

2.0.5 瞬态水力模型 transient hydraulic model

对供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。

2.0.6 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、流量等）计算值与实测值的误差在可接受范围内的过程。

2.0.7 水锤监测系统 water hammer monitoring system

能够实现供水系统水锤瞬态压力信息的采集、记录、分析、判断、上传与报警等功能的成套装置或设施。

3 基本规定

3.0.1 应根据供水工程水锤风险等级、重要程度、所处环境、使用要求等因素，因地制宜的制定水锤防护技术方案。

3.0.2 供水工程水锤防护系统应贯穿供水系统的全生命周期，并采用水锤防护整体策略，保证水锤防护系统整体性、接口兼容性、功能协同性。

3.0.3 供水工程的水锤防护应在总结和借鉴工程实践经验的基础上，结合工程实际情况和特点，选用技术性能可靠和符合国家相关标准要求的水锤防护组件。

3.0.4 供水工程水锤防护组件的性能参数宜通过试验测定或仿真验证，确保水锤分析边界条件的准确性。关键水锤防护组件如水泵的 QHE 或 suter 特性曲线数据、极惯性矩数据；止回阀动态特性曲线及数据、防水锤空气阀吸排气稳态曲线及数据、控制阀关闭规律曲线及数据等。

3.0.5 水锤监测点应覆盖供水系统的重要节点，并能反映系统的运行状态和水锤风险。

3.0.6 工程验收时，应进行最不利工况试验，评估供水系统水锤防护的可靠性。

3.0.7 输水系统稳态和瞬态工况下，输水系统压力应满足以下要求：

1 输水系统所有稳态工况，输水管线顶部的最小压力不应低于 2m。

2 输水系统所有可能瞬态工况，对于最大稳态压力 $\leq 20\text{m}$ 的水力组件，各节点瞬态最高压力不宜超过最大稳态压力的 2 倍；最大稳态压力 $> 20\text{m}$ 的水力组件，各节点最高压力不宜超过最大稳态工作压力（包含最大静水压力）的 1.3~1.5 倍，工作压力较大、输水距离较长的工程宜选择较低的倍数。当瞬态最高压力值不满足以上要求时，应进行经济、技术论证。

3 输水系统所有可能瞬态工况，任何部位不应出现水柱拉断现象。钢管、球墨铸铁管顶部最小瞬态压力不宜低于-4m，PCCP 管、有压隧洞及其它材质的管路顶部最小瞬态压力应满足相应规范要求，不满足以上要求时，应进行经济、技术论证。虹吸式出水流道驼峰顶部的最低压力在考虑海拔修正后不应低于-8.0m。

3.0.8 水锤防护标准应达到下列要求：

1 机组事故停机时，水泵最大反转速度应满足以下要求：

1) 离心泵机组最高反转速度不应超过额定转速的 1.2 倍，超过额定转速的持续时间不应超过 2min；

2) 混流泵机组最高反转速度不应超过额定转速的 1.5 倍，超过额定转速的持续时间不应超过 2min；

3) 轴流泵机组最高反转速度不应超过额定转速的 1.8 倍，超过额定转速的持续时间不应超过 2min。

4) 水泵机组在低于额定转速 40%的持续运行时间不应超过 2min。

2 对于各种可能发生的瞬态工况，水泵出口工作阀门后的最高压力不应超过水泵出口额定工作压力的 1.3~1.5 倍，输水系统最大、最小压力值应满足本标准 3.0.7 条的要求。

4 水锤计算

4.1 一般规定

4.1.1 对有可能产生水锤危害的供水工程，可行性研究及设计阶段均应进行水锤计算，并根据计算结果，采用安全可靠、经济合理的水锤防护措施。

4.1.2 供水工程采用的流量及压力调节阀型式、启闭运行特性应满足水锤计算要求。

4.1.5 水锤计算应包括稳态工况计算、瞬态工况计算，并根据计算结果确定水锤防护措施。

4.1.6 稳态工况计算应满足本标准 4.2.2 条的要求。

4.1.7 稳态工况计算应满足以下要求：

- 1 计算工况应覆盖输水系统可能的运行方式。
- 2 依据计算工况，建立满足计算目的的稳态水力模型，明确计算边界条件，确定计算结果的输出内容及方式。
- 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。
- 5 宜对重要的输水系统主要工况的水力采用多方计算，来对计算结果进行校验校核，计算结果应一致。

4.2 泵加压输水系统的水锤计算

4.2.1 瞬态工况计算应满足以下要求：

- 1 计算工况选取应满足本规范 4.2.2 条的要求。
- 2 应以稳态水力模型为基础建立瞬态水力模型。
- 3 依据计算工况及水锤防护要求，明确计算边界条件，确定计算步长。
- 4 计算采用的时间步长应满足库朗条件要求。
- 5 宜通过加密空间网格步长的方法，提高水力模型的计算精度。
- 6 计算及仿真计算时间应大于输水系统主要节点压力趋于稳定的最短时间。
- 7 计算结果应包括以下内容：
 - 1) 输水系统压力包络线；
 - 2) 水泵及出口止回阀、水泵并联汇流出水总管、输水管线最高最低处及已设置水锤防护设施等重要位置的时间—压力变化曲线；输水系统各重要位置瞬态及稳态最大、最小压力表格。
 - 3) 水泵时间—转速变化曲线；
 - 4) 设有调压室（调压塔或调压井）或调节水池等防护措施时，应提出其水位变化规律；
 - 5) 水泵出口止回阀、输水管线控制阀、闸门的开启及关闭规律；
 - 6) 机组正常启、停机的合理间隔时间；
 - 7) 利用梯级泵站输水的工程，应提出某级泵站事故停机后，其它泵站机组的停机方案；
 - 8) 输水系统水锤防护组件设置及水锤防护方案。

4.2.2 水锤防护计算工况应满足以下要求：

- 1 计算应包含输水系统可能发生的最不利工况。对于多台水泵并联汇流出水的泵站，输水系统最大、最小压力值，应根据连接于泵站出水总管上的泵组台数和电气主接线的连接方式，按照可能最多的泵组台数同时发生断电事故工况，必要时按各种可能的组合工况进行计算；机组最大反转速，应对多台并联机组正常运行时最大或最小的一台机组事故停机的工

况进行计算；

2 对于利用梯级泵站提水的工程，某一座泵站机组事故停机，应通过水锤计算提出其它泵站的停机方案，复核调节水池容积等及其它水锤防护措施；

3 对于输水管线有多条分水支管的工程，应通过水锤计算提出泵站事故停机后各分水支管控制阀或闸门关闭方案，复核水锤防护措施；

4 应分别对最大、设计、最小扬程下机组工频运行时突然事故停机工况进行计算；

5 应分别对机组正常启、停机工况进行计算。

4.2.3 水锤计算模型参数的复核

1 在水锤计算模型建立前，应对计算所使用的各种水锤防护组件特性参数的准确性进行复核。

2 在水锤防护组件安装前，应根据工程布置和水锤防护组件特性参数对水锤计算结果进行复核。

3 在工程试运行阶段，应根据工程运行的实测数据对水锤防护组件的特性参数和管道粗糙度系数进行复核。

4.2.4 经水锤计算，现有水锤防护措施无法满足 3.0.8 条要求时，宜经过经济技术比较后选择下列解决方案。

1 调整水泵出口工作阀门型式及关闭规律；

2 增加管道直径或局部调整输水管线布置；

3 在允许范围内适当增加泵组的转动惯量；

4 在输水管线合适位置增设调节水池；

5 增设调压塔、空气罐、空气阀、泄压阀等水锤防护组件。

4.3 重力流有压输水系统的水锤计算

4.3.1 瞬态工况计算应满足以下要求：

1 依据计算工况及水锤防护要求，明确计算边界条件，建立满足计算目的水力模型，确定计算步长；

2 应以稳态水力模型为基础建立瞬态水力模型；

3 计算工况选取应满足本标准 4.2.2 条的要求；

4 计算采用的时间步长应满足库朗条件要求；

5 宜通过加密空间网格步长的方法，提高水力模型的计算精度；

6 计算及仿真计算时间应大于输水系统主要节点压力趋于稳定的最短时间；

7 计算结果应包括以下内容：

1) 输水系统压力包络线；

2) 输水管线流量、压力调节工作阀门或闸门、输水管线最高、最低处及设置水锤防护组件等重要位置的时间—压力变化曲线；输水系统重要位置瞬态及稳态最大、最小压力表格；

3) 设有调压室（调压塔或调压井）或调节水池等防护措施时，应提出其水位变化规律；

4) 管线流量、压力控制阀门、闸门的开启及关闭规律；

5) 有多条分水支线或一条输水管线布置多台工作阀门的工程，应提出各工作阀门开启或关闭的合理间隔时间；

6) 输水系统水锤防护设施设置及水锤防护方案。

4.3.2 水锤防护计算工况应满足以下要求：

1 计算应包含输水系统可能发生的最不利工况；

- 2 应对输水系统关阀、开阀及压力、流量调节等工况进行水锤计算；
 - 3 应在最大、最小流量和设计流量工况下，计算开启和关闭管道控制阀门或闸门后输水系统最大、最小水锤压力，确定最优启闭规律。
 - 4 对有多条分水支线或一条输水管线由多台工作阀门并联工作的输水系统，应提出各阀门的关闭规律。
- 4.3.3** 水锤计算模型的校核应满足本标准 4.2.3 条的要求。
- 4.3.4** 输水系统最大、最小压力值应满足本标准 3.0.7 条的要求，经水锤计算，现有水锤防护措施无法满足时，经经济技术比较后，可选择下列解决方案。
- 1 增加管道直径或局部优化输水管线布置；
 - 2 对于输水流量较大或阀门调节较为频繁的重要供水工程，经经济技术比较后，宜选择多台调节阀门并联工作的方案；
 - 3 适当延长工作阀门或闸门的开启或关闭时间，对于有多条分水支线或一条输水管线布置多台工作阀门的输水系统，宜尽量避免多台阀门同时开启或关闭的操作，且可增加各阀门动作的间隔时间；
 - 4 在输水管线合适位置增设调节水池；
 - 5 增设调压塔、空气阀、泄压阀等水锤防护设施。

5 水锤防护设计

5.1 设计要求

5.1.1 供水工程水锤防护设计应在满足所需的水力要求及安全性的基础上，考虑建设和运营成本。系统复杂、重要的大中型供水工程应进行水锤防护。

5.1.2 应以预防为主，工程的可行性研究、初步设计阶段应根据水锤计算结果进行水锤防护措施的设计。

5.1.3 对应不同风险等级的水锤防护设计，风险等级较低的工程宜采用多功能控制阀、多功能斜板阀等具有二阶段关闭规律简单的防护措施，避免不采取防护措施。

5.1.4 水锤防护设计应考虑管道阻力系数等参数随运行时间变化对供水工程的影响。

5.1.5 水锤防护设计应保证工程在任何可能出现的工况下，输水系统压力满足 3.0.7 的要求，泵组转速应满足本标准 3.0.8 中 1 项的要求。

5.1.6 水锤防护组件的型式、规格、数量、布置位置的确定应以安全可靠为前提，通过水锤计算及技术、经济综合比较后确定，并应满足下列条件：

1 应与实际工程的安全性要求及技术管理水平相适应，并应与工程总体布置相协调，以技术安全可靠、经济合理和运行管理维修方便为总目标；

2 对中高风险等级高的供水工程，应采用综合性水锤防护方案来提高水锤防护的安全可靠性及总体防护效果；

5.1.7 冬季寒冷地区，水锤防护设施应采取合适的防冻措施。

5.1.8 对采用防空气、泄压阀或空气阀等水锤防护组件作为主要的水锤防护措施时，应考虑设置备用设施或设备发生故障后相应的水锤防护方案。

5.1.9 输水管线穿越公路、铁路、城镇等，且经过水锤计算后存在较高爆管风险的重要区域，经技术经济比较后，宜设置爆管后自动关断的阀门等方式，防止以上区域不会因管线爆管被水长时间淹没和引发次生灾害。

5.2 水锤防护组件

5.2.1 采用止回阀断流的离心泵机组，水泵出口宜优先选用两阶段关闭的缓闭式或零流速关闭的速闭式阀门，工作阀门的型式及启闭规律应满足水锤计算的要求。

5.2.2 工程中常用的空气阀主要包括：复合式空气阀、防水锤型空气阀、真空破坏阀、，其选型及配置应满足下列规定：

1 有压输水管线上，坡度不超过 1‰时，宜每隔 0.8~1.0km 设置一组空气阀，其公称直径宜取输水管道直径的 $1/10 \sim 1/8$ ，对于坡度较高或管线起伏较大的工程，空气阀数量可适当增加。

2 空气阀的设置位置、数量、型式，应根据管路纵断面高程情况，经水锤计算以及正常运行管线排气、检修时管线补气要求计算确定。

3 对于管线上较为陡峭的局部高点和斜率变化较大的转折点，宜设置具有防水锤功能的空气阀，对于可能产生严重断流弥合水锤的管线高点宜设置真空破坏阀，其数量及公称直径应通过水锤计算确定。

4 根据水锤计算要求，水泵出口止回阀后或管线末端调节阀后宜设置具有节流排气功能的防水锤空气阀，拍门前管道应设置补气阀或补气管。

5 空气阀有效排气直径不宜小于其公称通径的 70%，防水锤空气阀节流排气孔公称直

径应通过水锤确定。

6 空气阀作为主要的水锤防护措施时，应设置备用空气阀。

5.2.3 工程中常用的泄压阀包括：水击泄放阀、水锤预防阀、安全阀等，其选型和配置应符合下列规定：

1 泄压阀宜设在泵站出口总管起始端、每台水泵止回阀下游侧或重力流输水管道工作阀上游侧，输水系统中间段是否需要设置超压泄压阀，需经水锤防护计算后确定。

2 泄压阀开启关闭的设计压力、时间及阀门公称直径及数量的选择应根据水锤计算要求确定，单台泄压阀的公称直径不宜过大。开启压力宜选取设置节点最高稳态工作压力的 1.05~1.3 倍，关闭压力应大于设置节点最大静水压力；响应高压水锤快速开启时间不宜超过 1s，关闭时间不宜小于 10s（复核一下），防止由于阀门关闭过快而产生更严重的二次水锤；工作阀门数量不宜小于两台，优先采用多台阀门并联的方式，各阀门开启设定压力以相差 5~8m 递增。

3 对于输水工程复杂，水锤增压较大的泵供水工程，可选择带有低压开启控制的泄压阀，停泵时压力瞬时下降设定值时提前开启泄压，低压开启压力根据水锤防护计算确定且应小于阀前最大静压。

4 对于水中泥沙或杂物含量较高的工程，应研究泄压阀防泥沙淤堵的措施。

5.2.4 单向调压塔应符合下列规定：

1 单向调压塔宜设置在泵站附近或输水管线中易于发生水柱分离的高点或折点处。

2 单向调压塔的布置位置、数量、容积、注水流速、水位标高、注水管公称直径等，应根据水锤计算要求确定。

3 单向调压塔可与超压泄压阀组合设置。

4 单向调压塔注水管上应选择可靠的控制阀门，宜选用 2 台阀门并联工作的方式。

5.2.5 双向调压室（调压塔或调压井）应符合下列规定：

1 双向调压室宜设置在泵站出水侧附近或输水干管上易于发生水柱分离的高点或折点处；

2 双向调压室型式、布置位置、公称直径、高度、容积等，应根据水锤计算要求确定；

3 双向调压室应有足够的断面，在调压过程中，塔内水位波动不宜过大；

4 双向调压室应有足够的容积，在调压过程中，宜防止调压室漏空，空气进入主干管内；

5 双向调压室布置宜与工程其它建筑物相协调。

6 双向调压室宜设置溢流排水设施，没有设置溢流排水设施的双向调压室应有足够的高度，避免调压过程中产生溢流。

5.2.6 箱式双向调压塔应符合下列规定：

1 箱式双向调压塔宜设置在泵站汇水总管或输水干管上易于发生水柱分离的高点或折点处；

2 箱式双向调压塔的布置位置、高度、容积等，根据水锤计算要求确定；

3 箱式双向调压塔一般安装在管道阀门井内，高出地面部分应设塔室；

4 箱式双向调压塔公称直径一般为主管道直径的 $1/2 \sim 1/3$ ，理论上，调压塔直径越大，水锤防护效果越好，但也带来成本越高问题，其直径应通过技术经济比较后确定；

5 当管道断流空腔很长需较大注水量时，应设置注水箱。

5.2.7 防水锤压力罐包括：囊室、隔膜式，其选型和配置应符合下列规定：

1 防水锤空气罐宜设置在泵站汇水总管或输水干管上易发生水柱分离的高点或折点前；

2 当稳压泵启闭频繁时，应设置气压水罐用于调节，气压水罐有效储水容积不宜小于

150L;

- 3 防水锤空气罐的布置位置、容积、高度、初始充气压力等，根据水锤计算要求确定；
- 4 防水锤空气罐于主管相连支管口径宜为主管口径的 20%~30%截面积换算，理论上防水锤空气罐的初始充气气压大于或等于后端负压位置高度，补水效果越好，但相应要求的罐体体积越大，成本增高，因而应通过技术经济比较后确，防水锤空气罐动作时，罐体不应空罐；
- 5 在寒冷地区，防水锤空气罐应设置必要的保温措施。

6 水锤监测

6.0.1 对于水锤风险中、高等级的供水工程，应设置水锤监测系统。

6.0.2 水锤监测系统的设计应满足工程安全、可靠、经济运行及自动控制和试验测量的要求，监测内容包含输水系统的压力、流量等水力参数、水泵和调节阀门等设备及水锤防护设施的工作状态等。

6.0.3 水锤监测系统应具备采集和存储、显示和告警基本功能；水锤监测系统宜具备水锤识别、水锤风险分析、风险分级及输水系统异常情况预警与报警、事故地点及原因判断等系统功能；能定期提供水锤防护组件的健康报告；对于重要的引调水工程，应具有预演功能。

6.0.4 水锤监测点的布设应根据水锤计算结果及工程总体布置确定，宜布置在管线阀室或阀井中。地形起伏较小的供水管线水锤压力监测，宜间隔 3~5km 布设一处，地形起伏较大的供水管线，宜间隔 1~2km 布设一处。

6.0.5 宜监测水泵的转速、振动、摆度等参数，具有流量或压力调节功能的阀门或闸门宜监测其开度、流量、压力、振动、等参数。止回阀、超压泄压阀、防水锤空气罐、调压室等水锤防护组件宜监测其水力状态和设备运行状态。

6.0.6 应选择可靠、准确、实用、经济的监测设备，且具有一定的通用性和可互换性的产品。量程范围应根据被监测指标的最大范围值确定。

6.0.7 输水系统的监测系统应包括感知模块、分析模块、控制模块以及系统平台等。

6.0.8 监测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。

6.0.9 水锤监测系统应设置信息通讯接口，软件系统应支持标准通信协议，通信网络可选用工业以太网、现场总线网、无线网络等。

6.0.10 监测系统宜采用电网供电、太阳能供电、风光互补发电装置供电、以及蓄电池供电等方式，供电方式应安全、经济、可靠。

6.0.11 压力脉动传感器量程要求负压可达到-100kPa，正压不小于管道公称压力的 2 倍，采用 4~20mA 模拟量信号，精度不小于满量程的 $\pm 0.1\%$ ，采集频率不小于 200Hz。

6.0.12 宜配备专门技术人员对系统平台进行日常维护，定期对系统数据进行备份；

6.0.13 宜采用远程方式对系统进行故障诊断和软件维护。

6.0.14 水锤监测系统宜选用以太网、Wi-Fi 的局域网或广域网；4G/5G、北斗通讯等运营商网络。

6.0.15 监测系统应具备对不同监测站点数据、不同类型的数据采集与解析的功能，所有数据时钟同步，应满足统一的时间源，并小于 50ms。

6.0.16 监测系统宜具备各管道基本属性、监测数据和管道特征的展示功能，为工程管理及维护提供支持。

7 安装调试与验收

7.1 安装调试

- 7.1.1** 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。
- 7.1.2** 监测与控制系统应按照设计要求进行单体调试。
- 7.1.3** 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。
- 7.1.4** 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。
- 7.1.5** 监测系统应按照设计要求进行单体调试。
- 7.1.6** 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。

7.2 验收

7.2.1 在工程验收前宜重点检查下列内容：

- 1) 管道粗糙度系数；
- 2) 阀门的开度-流阻系数；
- 3) 最不利工况下的供水系统安全性；
- 4) 监测与控制系统的可靠性；
- 5) 水泵性能。

7.2.2 设备安装应按现行国家标准 GB 50231 执行。

7.2.3 电气工程验收应按现行国家标准及行业标准 GB 50254、GB 50303 执行。

7.2.4 工程验收时，在管道静压试验、正常工况运行试验以及瞬态水力模型校核的基础上，还应进行最不利工况（包括全停泵、全关阀等）试验，试验结果应满足本规程中 3.0.7 的要求。

8 运行维护

8.0.1 应制定运维管理细则，符合 CJJ 207 等相关标准的要求。

8.0.2 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；
- 3) 宜配备专门技术人员对系统平台进行日常维护，定期对系统数据进行备份；
- 4) 宜采用远程方式对系统进行故障诊断和软件维护。

8.0.3 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粗糙度系数进行修正；
- 2) 定期对管道及系统中水力元件的阻力系数进行修正；
- 3) 定期对泵的特性曲线进行修正；
- 4) 当整个供水系统元件增加或减少时，对模型进行修正；
- 5) 对管网老化后的波速进行修正。
- 6) 宜采用远程方式对系统进行故障诊断和软件维护。
- 7) 工程运行期间，应定期对水锤防护设施进行检查、维护。

附录 A 水锤风险等级分类

表 A 水锤风险等级分类表

水锤风险	正常	低风险	中风险	高风险
分类条件	1)最高压力为正常运行压力的 1.3 倍以内; 2)最低压力大于等于 0; 3)水泵反转速度 <1.2 倍额定转速, 且超过额定转速持续时间 $<2\text{min}$ 。	1)最高压力为正常运行压力的 1.3~1.5 倍; 2) $-2\text{m}\leq$ 最低压力 $<0\text{m}$; 3)水泵反转速度 <1.2 倍额定转速, 且超过额定转速持续时间 $\geq 2\text{min}$ 。	1)最高压力超过正常运行压力的 1.5 倍, 不超过管道的公称压力; 2) $-4\text{m}\leq$ 最低压力 $<2\text{m}$; 3)水泵反转速度 ≥ 1.2 倍额定转速, 超过额定转速持续时间 $<2\text{min}$ 。	1)最高压力超过正常运行压力的 1.5 倍, 并超过管道的公称压力; 2)最低压力 $<-4\text{m}$; 3)水泵反转速度 ≥ 1.2 倍额定转速, 超过额定转速持续时间 $\geq 2\text{min}$ 。
分类说明: 1) 分类条件 1)、2)、3) 中, 任意一项不符合就转为高一级风险等级。 2) 隧洞工况最低压力不允许低于 2m, 水锤振荡低压高于 2m 时, 仅根据水锤压力峰值判断分类, 水锤振荡低压低于 2m 时, 均为高风险。 注: 特殊水泵, 应根据水泵厂家运行要求另作分析。				

附录 B 水锤分析报告大纲

B.0.1 水锤分析报告大纲应包括以下内容：

- 1 封面；
- 2 封二；
- 3 摘要；
- 4 目录；
- 5 报告正文；
- 6 结论与建议；
- 7 参考文献和资料。

B.0.2 封面应包括以下内容：

- 1 报告名称；
- 2 版次；
- 3 编写单位；
- 4 编写日期。

B.0.3 封二应包括以下内容：

- 1 项目名称；
- 2 项目负责人；
- 3 项目主要参加人；
- 4 报告编写人；
- 5 报告审查人。

B.0.4 报告正文应包括以下内容：

- 1 前言；
- 2 工程概况：宜包括工程简要介绍、枢纽布置、工程规模及主要特点、水库水位、参数、输水系统的平面布置图、沿管线纵剖面图，以及水道的断面形式、尺寸等参数、隧洞和管道的衬砌方式、材料及糙率、进/出水口、引水隧洞、岔管、压力钢管、渐变段、转弯段、尾水隧洞等形状参数及局部水头损失系数、调压室结构图、阀门几何参数及水头损失系数等；机组参数及运行曲线等；
- 3 项目任务：介绍水力过渡过程计算的目的与要求；
- 4 计算模型与计算方法；
- 5 计算工况：对计算工况的选择理由、工况参数进行说明；
- 6 计算结果与分析：可分多章进行介绍。

用词说明

为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用于本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

《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》GB 50015

《泵站设计规范》GB 50265

《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268

《城市给水工程设计（施工）项目规范》GB 50268

《城镇供水管网运行、维护及安全技术规程》CJJ 207

《城镇供水长距离供水管(渠)道工程技术规程》CECS 193-2005

《中小型给水泵站设计规程》CECS 419

中国工程建设标准化协会标准

供水工程水锤防护技术规程

T/CECS xxx—2025

条 文 说 明

制 定 说 明

本规程《供水工程水锤防护技术规程》制定过程中，编制组进行了供水工程水锤防护项目研究，通过查阅国内外文献资料，进行系列试验数据分析和多方验证，组织专家评审，与归口单位、起草单位及相关单位共同探讨标准内容，确保了本标准技术要求的可行性、科学性和适用性，同时参考了 GB 50013 室外给水设计标准、GB 50265 泵站设计规范；GB 50014 室外排水设计规范、GB 50015 建筑给水排水设计标准、GB 50268 给水排水管道工程施工及验收规范、GB 50268 城市给水工程设计（施工）项目规范、CECS 193-2005 城镇供水长距离供水管（渠）道工程技术规程、CECS 419 中小型给水泵站设计规程；CJJ207 城镇供水管网运行、维护及安全技术规程等相关标准，对水锤防护的应用场景、防护要求和调试验收、系统运维等进行了规范化要求。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程《供水工程水锤防护技术规程》时能正确理解和执行条款规定，编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与规程正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

1	总则	21
2	术语	22
3	基本规定	23
4	水锤计算	24
4.1	一般规定	24
4.2	泵加压输水系统的水锤计算	24
4.3	重力流有压输水系统的水锤计算	25
5	水锤防护设计	27
5.1	一般规定	27
6	水锤监测	30

1 总 则

1.0.1 供水工程等级划分按照 GB/T50265-2022《泵站设计标准》规定。

2 术 语

2.0.1 供水管道中流速突然变化时，水的惯性力所引起的内水压力升高（正水锤）及压力下降（负水锤）的水力现象。

3 基本规定

3.0.1 生供水系统属于典型的复杂系统，具有时变性、非线性和多变量的水力脆弱性特征。根据调研，部分项目存在水锤防护装置孤立运行，未经系统调试验证，忽略了水锤防护是一个系统工程，需要应用水锤防护整体策略，满足工程安全运行需求。

3.0.2 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供水效率。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。

3.0.3 供水系统的泵站和管线是城镇的“心脏”和“血管”，行业内通常认为管道老化、施工质量是产生爆管和漏损的主要原因。近年来，国内外研究表明，水锤是导致管道老化和损坏的主要原因。因此需要在供水系统的重要节点装设水锤监测点，对管道进行体检，及时发现水锤风险。

3.0.4 工程竣工验收时，目前一般只做到静压试验和正常运行工况试验，未进行最不利工况试验和瞬态水力模型校核，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。通过最不利工况的试验，如所有运行水泵全部断电、重力流管线上所有分水口和管线末端的调节阀全部关闭等工况，和瞬态水力模型分析结果互馈分析，可以及时发现问题和风险，及时进行优化和调整。

4 水锤计算

4.1 一般规定

4.1.1 对于可能产生水锤危害的供水系统，尤其是当水泵机组事故失电时，管道系统将产生水锤（包括正压水锤和负压水锤）以及机组反转。水锤压力的大小是管路系统的重要设计依据之一。泵站过渡过程的计算以及计算水泵在失去动力后管道系统各参数的变化情况，并采取必要的水锤防护措施，确保机组及管道系统的安全，是泵站设计的一项重要内容。

针对高扬程、长压力距离管道的泵站，应采用特征线法、波特特性法等可靠的水锤计算方法对过渡过程进行精确计算，避免用图解法或经验公式简单估算。计算工况应该覆盖泵站运行期间可能出现的各种不利工况。

由于供水工程在全生命周期中面临改线、设计变更、调试阶段验证和优化、运行维护、水锤防护设备性能失效等情况，因此，水锤计算应贯穿供水工程全生命周期。

4.1.2 流量及压力调节阀门是供水工程的关键设备，其选型关系输水系统运行效率及安全，应尽可能选择能精确调节流量和压力的阀门，如调流调压阀或锥形阀等，启闭操作方式应满足水锤防护要求。

4.1.4 随着运行年限增长，水泵运行特性曲线、阀门流阻特性曲线以及管道摩阻系数会发生变化，进而导致输水系统水力状态的改变，影响水锤防护效果。因此，需要根据实测数据修正计算参数，使模型与实际工程水力参数一致，保证计算结果的准确性。

4.1.5 水锤计算中，在稳态工况下需复核输水系统是否满足设计流量、扬程、调压等要求；瞬态工况计算中应考虑最不利工况下（如无防护措施时），输水系统的水力瞬变过程过程及特点。评估水锤风险和水锤防护设计方案，需针对水锤风险提出经济且合理的水锤联合防护措施，使水锤风险控制在安全范围内，确保工程安全运行。

4.2 泵加压输水系统的水锤计算

4.2.1 泵站加压水锤系统可能发生的最不利工况为多台水泵同时断电停泵和启泵等工况，对于多台水泵并联汇流出水的泵站，输水系统最大和最小压力值，应根据连接于泵站出水总管上的泵组台数和电气主接线的连接方式，按照可能最多的泵组台数同时发生断电事故工况进行计算，必要时可按各种可能的工况进行组合计算。为保证工程安全运行，水锤计算应满足最不利工况下安全运行的要求。如对于泵站较近处设置有分水阀或闸门的工程，可分析计算阀门或闸门关闭过程中泵站停机事故工况下的最大和最小压力及水泵反转速是否满足安全运行的要求。

多座梯级泵站供水的工程，输水需求及构筑物设施需要相互匹配，当某一座泵站机组发生事故停机时，将影响上游或下游泵站水池水位，应通过水锤计算复核各调节水池容积，提出其它泵站的停机方案及相应的水锤防护措施等。

最不利工况计算完成后，应进行设计、最大和最小扬程下泵站事故停机工况计算，全面了解输水系统水力状态，复核水锤防护措施是否满足要求。

应进行输水系统在正常运行工况下的启泵和停泵水锤计算，全面了解输水系统水力状态，复

核水锤防护措施是否满足要求。

4.2.2 包括：输水系统的管道粗糙度或阻力系数、相关液体介质的水锤波速、水泵机组的转动惯量、工作阀门开度流量特性及阻力系数等参数、空气阀动力特性等。

输水系统的管道粗糙度与阻力系数、相关液体介质的水锤波速、空气阀特性曲线、水泵机组的转动惯量、水泵性能曲线、工作阀门流量特性及阻力系数和主要水力组件水力特性参数是影响水锤计算准确性的重要因素，为保证计算的准确性，在水锤模型建立前，应对计算所使用的各种水力组件水力特性参数的准确性进行复核。对于泵和阀门等设备的水力特性参数，前期设计可采用参考或假设的方式进行，在设备招标后可通过采用中标厂家提供的水力组件特性参数对水锤计算成果进行复核。试验阶段或正式运行阶段会对压力和流量等参数监测，可采用实测结果数据对前期理论计算或厂家给定的理论特性参数及设计采用的沿程阻力系数进行复核，修正模型，使模型能反映实际工程输水系统水力状态。

4.2.3 以下方案中宜优先采取优化水泵出口工作阀门启、闭规律方式。

当输水系统无法满足最大和最小压力水锤防护要求时，可通过增大管道直径、局部调整输水管线布置、降低输水管线运行流速等方式降低流速变化梯度，减少水锤增压。

输水管线布置时，减少管道布置的陡峭度，尽量布置平缓管道，应考虑尽量避免出现峰点或坡度剧变。

水泵出口工作阀门及关闭规律对水锤的影响极大，水泵出口工作阀门建议选用水力自适应两阶段关闭的阀门，合理的关阀特性需通过水锤计算确定。

选用转动惯量较大的电动机或加装有足够惯性的飞轮，可在一定程度上降低水锤值。

泵站输水系统中，当首末端静高程差较大时，宜选取合适位置增设调节水池，减少泵站运行扬程，从而降低水锤风险等级。

当优化水泵出口工作阀门启和闭规律等无法解决水锤危害时，可通过增设调压塔、防水锤空气罐、空气阀、超压泄压阀等防护措施，降低水锤增压并缓解负压，保障输水系统的安全运行。

4.3 重力流有压输水系统的水锤计算

4.3.1 重力流输水系统可能发生的最不利工况主要源于末端阀门开阀或关阀，有多条分水支线的还包括多分水口阀门同时关闭等造成的不利工况；此时，应根据输水系统工程特点确定输水管线流量及压力调节阀门的类型，并根据阀门形式在可能的最大和最小流量和设计流量工况下进行开阀、关阀、流量或压力调节的水锤计算，确定合理的关阀、开阀规律，减小产生过高水锤增压及管线负压引起弥合水水锤风险；重力流输水系统因检修或维护，不可避免的进行管线中间检修阀门启闭操作时，应在可能的最大和最小流量和设计流量工况下，对检修阀门进行合力的开阀、关阀的水锤计算，确定最优的开阀和关阀规律；对于有多条分水支线或一条输水管线布置多台工作阀门的输水系统，应进行多台工作阀门同时关闭等的最不利工况的水力分析，提出各阀门开启或关闭的合理间隔时间，保障输水系统安全和稳定运行。

4.3.2 以下方案中宜优先选取延长工作阀门或闸门的关闭时间。

当输水系统无法满足最大和最小压力水锤防护要求时，可通过增大管道直径和局部优化输水管线布置，降低输水管线运行流速，从而降低流速变化梯度，减少水锤增压。

输水管线布置时，减少管道布置的坡度，尽量布置平缓管道，尽量避免出现峰点或坡度剧变。对于输水流量较大或阀门调节较为频繁的重要引调水工程，单个阀门频繁调节操作会造成其使用寿命的减少，同时可能出现故障导致水锤事故。因此，通过经济和技术比较后，宜选择多台调节阀门并联工作，互为备用，以保障工程安全运行。

重力流输水管线中，应延长工作阀门的开启或关闭时间，避免多台阀门同时开启或关闭的操作，增加各阀门动作的间隔时间，减少流速变化梯度，以此降低开阀或关阀引起的水锤增压并避免出现负压，保障工程安全运行。

当输水管线首末端静高程差较大时，宜选取合适位置增设调节池，降低输水管线运行压力，在防水锤的同时也可降低部分管道及设备的承压等级。

宜优先选取延长工作阀门或闸门的关闭时间解决水锤问题，当调节阀门关阀时间等无法解决水锤增压及负压时，可通过增设调压塔、防水锤空气罐、空气阀、超压泄压阀的防护措施，降低水锤增压并缓解负压，保障输水系统安全运行。

5 水锤防护设计

5.1 一般规定

5.1.1 输水系统在运行过程中，由于水锤的产生会使管道中压力急剧增大至正常压力的几倍甚至几十倍，过高的压力会引起水泵、阀门或管道的破坏；当水锤压力过低时，应力交替变化，引起管道或设备的振动。此外，过低的压力会在管道中产生不利的真空，造成水柱断流，再次结合后形成弥合水锤，对管道造成更为严重的破坏。水泵反转速度过高、水泵机组的临界转速相重合以及突然停止反转过程或电动机再启动，可能引起电动机转子的永久变形、水泵机组的剧烈震动和联结轴的断裂。因此，输水系统压力以及泵组转速应满足相关要求。

5.1.2 水锤防护措施的布置选型应优先保证输水系统运行的安全和可靠性，与工程总体布置相协调，兼顾工程管理能力、技术水平以及经济能力。水锤防护设计理念应贯穿工程全生命周期，对于规模较大、复杂或较重要的输水系统，可考虑采用综合性水锤防护措施。且水锤防护措施的选择应经专门论证或实测检验，并满足水锤计算的要求。

5.1.3 水锤防护设施应在任何时候都保持其有效性，北方寒冷地区温度较低，水锤防护措施在低温时可能出现故障无法正常工作，为保证输水系统的安全可靠性，应使水锤防护设施在任何工况下都保持其有效性。

5.1.4 水锤防护措施中如防水锤压力罐、泄压阀或真空破坏阀等关键机械设备的，对水锤的影响较大，一般在易产生水锤的部位布置数量较少的关键设备即可满足水锤防护要求，但若关键设备发生故障，如压力罐泄漏、超压泄压阀或真空破坏阀故障失效时，输水系统中的水锤压力无法释放，将会对泵站、阀门或管道造成破坏。因此，应考虑关键设备发生故障后的应急预案。

5.2 水锤防护组件

5.2.1 空气阀对输水管道的安全运行至关重要，如果空气阀的选型、布置位置和动作设置不合适，可能产生很多新的问题，如加剧断流弥合水锤引发爆管、液阻增大、输送能力降低等等。故实际工程中应根据管道具体工况选用安全可靠经济适用的空气阀，选用的基本技术要求如下：

1. 自由进出气-空气阀的排气速度和排气量适中，排气速度不能过快，也不能太缓慢。

符合工程实际的空气阀应在任何气液两相状态下都能以安全的速度排气，既不能过快也不能过慢地排气，现场工程实际中大量的断流弥合水锤爆管事故都是因为排气难而造成的，很多情况都是因为排气阀在大多数工况只能微量排气，故要求空气阀能够以安全稳定的速度排出管道内任何一段气体，既不会因为过快排气引起断流空腔弥合水锤，也不因为排气过慢遗留空气腔被压破造成断流空腔弥合水锤。空气阀还应保证在管道内充满液体时阀门关闭不泄漏。

2. 管道条件和工况较复杂且水锤压力波动较大时，对水锤防护要求较高，应采用具有缓冲功能的只进气不排气-空气阀和自由进出气-空气阀组合使用。

符合断流空腔弥合水锤综合防护要求的空气阀，不仅应具有缓冲弥合水锤升的功能，保证管道中因空腔溃灭造成的弥合水锤升值在安全范围内，还必须保证水锤过后在管道气液两相

间的任何压力和状态下，都能够安全可靠连续地排出管道内存气。

排气阀造价占输水管道工程的比例很小，但对输水管道安全运行至关重要。排气不畅可能产生如下问题：爆管，造成严重事故；水阻增大，输水能力降低；管道压力不稳，接口松动，漏水量增大；管道使用寿命降低，维护管理量增加。根据国外相关技术资料 and 国内近年来的工程实践经验，输水管道上排气阀的布置方式为在管道坡度小于 1‰ 时，每隔 0.5~1.0km 设一处，一般情况下约 1.0km 设一处，每个排气阀都设在该管段的最高点，当管道起伏较多时，可根据其起伏高度分析是否需要增加，必要时进行相应的水力计算。排气阀的安装方式一般可每处只装一台，经水锤分析计算后，认为特别重要的位置可在一处安装大小排气阀各一台，其中较小直径的排气阀装于管顶，而较大的排气阀装在管道中心线 30°~45° 角的侧面，也可以只安装一台带缓闭装置的排气阀。

输水管上所用排气阀规格与主管道直径的关系，在实际供水工程上有很大差别，以前有关文献建议排气阀的公称直径采用主管道直径的 1/12~1/10，但实际应用的一般比较大。如山西某工程主管道直径 DN3000，排气阀一处安装 2 台，直径 DN300；某电厂输水管，主管道直径 DN1000，排气阀一处安装 DN200 和 DN80 各一台；内蒙某工程主管道直径 DN2000，排气阀选用直径 DN300；某引水管直径 DN1600、DN1400，排气阀选用直径 DN200；某市输水管道直径 DN1200，排气阀选 DN150，DN100 两种。总结近年来排气阀实际使用规格，公称直径大多为主管道直径的 1/8~1/4 之间，故根据实际应用及相应理论，推荐兼有注气、排气两种功能的排气阀公称直径宜取主管道直径的 1/8~1/5，仅考虑排气功能的取 1/12~1/8。根据国内外相关理论和有关文献，较平坦的有压输水管道在充水和运行期间可能有六种水气相间的形态，即层状流、波状流、段塞流、气团流、泡沫流和环状流，为及时排出管道存气，理想的排气阀应在管道任何状态下都能高速大量排气，而不是仅能微量排气，工程实践证明，不能保证在管道内任何水流状态下都高速排气，在大多数工况下只能微量排气，是造成有压供水管道排气难的根源，也给输水工程造成了大量的爆管事故和巨大的经济损失。因此，符合有压供水管排气要求的排气阀，必须具有在管道水气相间的任何压力和状态下，只要阀体内充满气体，就可以打开大、小排气口，高速、大量地排出管道内存气；同时还应具有缓闭功能，保证管道排净气体后在主管道中产生水柱弥合流速小于 0.3m/s，或升压值小于 0.3MPa。选择排气阀应首先按有关规程和标准提出排气阀技术要求，必要时，可经专门论证或进行实测检验，以确保确实满足所提出的技术要求。

5.2.2 超压泄压阀的主要作用是当管道中发生水力瞬变流时，当某点的压力过高时，在此点的超压泄压阀自动打开，泄流掉一定流量，维持管道在此点的压力，保持管道在此点的压力，当压力降到安全值后，泄压阀再自动关闭。

超压泄压阀的安装位置不是任意确定的，它常安装在水泵出水总管起端，当为重力流输水系统时，则安装在管路末端阀门上游，实际工程中也常根据具体的水锤分析计算在管道系统适当位置设置一定数量的超压泄压阀。

先导式超压泄压阀在目前工程中应用较为广泛，它通过用先导辅阀来控制主阀的启闭，进而达到泄水降压的目的，实际选用时，要根据具体防护的水锤类型来最终确定是否选用超压泄压阀或者选用何种类型的超压泄压阀。

超压泄压阀释放压力应等于或大于最大正常使用压力加 0.15MPa~0.2MPa，公称直径常按主管道直径的 1/5~1/4 选取。

先导式超压泄压阀由于是通过辅阀间接控制主阀，在实际工程中常常发生动作滞后现象，对于升压较缓慢类型的水锤防护效果较好，而对于快速升压型水锤几乎没有降压作用。

5.2.3 单向调压塔的具体安装位置、数量、液箱体积、注液速度、液箱的液位标高、注液管主要尺寸等，都必须根据管线的实际工况，考虑不同水锤影响因素下制定出多种单向调压塔选型和安装方案，根据计算机数值模拟结果进行方案对比，选出最佳方案。

单向调压塔主要是针对管线上容易因为水锤减压波造成液柱分离的特殊点如主要峰点、膝部折点、驼峰及鱼背处等进行水锤防护，在管中的液压降到事先设定的数值时，通过向管道内注液，防止出现体积较大的断流空腔来控制水锤过程中的低压和高压。

单向调压塔对管线上某些高程较低不会发生液柱分离的点因为水锤增压波的传递造成的压力升高作用不大，所以在管线水锤综合防护方案的制定过程中应考虑在管线高程低点选用超压泄压阀等与高点的单向调压塔的配合使用，从而满足整条管线的水锤综合防护。

在管线受水锤增压波作用升压时，能够通过注液管上的止回阀阻止管内液体反向流入调压塔内。

5.2.4 双向调压室（调压塔或调压井）是一种兼有注水与泄水缓冲式的水锤防护设备，其构造为一开口的水池，其主要设置目的是：防止压力输水干管中产生负压，一旦管道中压力降低，调压塔迅速向管道补水。当管道中水锤压力升高时，它允许高压水流入调压塔中，从而起到缓冲水锤升压的作用。

5.2.5 箱式双向调压塔从结构原理上来说属于普通双向调压塔的一种改进形式。普通双向调压塔必须按照水位线设置安装高度，而箱式双向调压塔则通过设置下箱体内部的导流活塞，大幅度降低了调压塔的安装高度，从而更易于实现、防止和消除输水或输液压力管道内流速突然变化引起的水锤升压，很好的达到保护管道系统安全的目的。箱式双向调压塔在水锤防护性能方面几乎具有普通双向调压塔的所有优点，但其高度却可以大幅度降低，一般仅需 4~10 米即可，特大型工程也只要 10 米左右即可满足要求，扩大了双向调压塔的使用范围，大大降低了工程造价，保证了工程的安全性，带来了很大的经济效益。

6 水锤监测

6.0.1 根据输水工艺的复杂程度规模环境条件、经济性等因素确定监测和控制系统的水平。输水系统流量超限会导致事故或资源损失,且为便于发现事故以及漏失水量,应对输水流量、压力(或水位)进行检测及控制,同时可协助管理人员掌握输水生产情况,提高安全运行和管理水平。

6.0.2 水锤监测系统需满足实时采集运行数据并显示,依据采集数据识别水锤,并进行风险分析和风险分级,依据相关采集信息实现异常事件报警,溯源异常事件发生原因,将水锤事件的发生控制在可控范围之内。

6.0.3 水锤监测点一般布设在管线阀室或阀井中,同时结合水锤计算结果以及工程总体布置,起伏较小的供水管线宜间隔 3~5km 布设一处水锤监测点,地形起伏较大的供水管线,宜间隔 1~2km 布设一处水锤监测点。

6.0.4 对于整个输水系统,泵站的关键设备主要是水泵及阀门;水泵一般可通过转速、振摆判断其运行状况;具有流量或压力调节功能的阀门或闸门可通过监测开度及振动等判断其有效性;对于管线关键的水锤防护设备,为确保其有效性,需对其设置相关的监测设备,判断其运行状态。

6.0.5 水锤监测系统监测与控制设备的选用应考虑可靠性、准确性、适用性和经济性,且具有一定的通用性和可互换性,在设备发生故障时,可以有多种解决方案并能尽快解决出现的问题。设备的选用应依据相关的监测指标;控制设备应考虑在远程控制失效时,可以在现地进行操作实现控制。

6.0.6 感知模块具备对输水系统的水力参数、设备运行状态、管道水锤等进行监测的功能。分析模块具备对关键水力参数、设备运行状态、运行故障等数据统计、处理、查询、分析、存储的功能。控制模块具有现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。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,应能对功能和效果进行目标与安全评估。