

中国工程建设标准化协会标准

城镇供水长距离输水管（渠）道 工程技术规程

Technical specification for long distance water
transmission pipeline engineering of urban water supply

CECS 193 : 2005

主编单位：中国市政工程东北设计研究院
 长 安 大 学
批准单位：中国工程建设标准化协会
施行日期：2 0 0 6 年 3 月 1 日

中国计划出版社

2006 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会(2003)建标协字第 48 号文《关于印发中国工程建设标准化协会 2003 年第二批标准制、修订项目计划的通知》的要求,制定本规程。

随着城市供水工程建设规模的不断扩大,取水距离延长,长距离输水管(渠)道工程建设项目也越来越多。本规程是在总结国内实践经验的基础上,参考国外相关资料编制而成的。

根据国家计委计标[1986]1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求,现批准发布协会标准《城镇供水长距离输水管(渠)道工程技术规程》,编号为 CECS 193:2005,推荐给工程建设设计、施工和使用单位采用。

本规程由中国工程建设标准化协会城市给水排水专业委员会 CECS/TC 8 归口管理,由中国市政工程东北设计研究院(长春市工农大路 618 号,邮编 130021)负责解释。在使用中如发现需要修改和补充之处,请将意见和资料径寄解释单位。

主 编 单 位: 中国市政工程东北设计研究院

长 安 大 学

参 编 单 位: 株洲南方阀门制造有限公司

主要起草人: 杨玉思 厉彦松 刘喜光 王 彤 周 彤

陈树勤 陈立学 高俊发 郭文斗 韩大鹏

袁星明 罗建群 帅学华

中国工程建设标准化协会

2005 年 12 月 25 日

目 次

1	总 则	(1)
2	术 语	(2)
3	输水工艺	(4)
3.1	设计流量	(4)
3.2	输水方式	(4)
3.3	水力计算	(6)
4	输水线路	(7)
4.1	线路选择	(7)
4.2	管道敷设	(7)
4.3	管材选择	(8)
5	输水附属设施和管道附件	(11)
5.1	附属设施	(11)
5.2	管道附件	(11)
5.3	水力控制装置设置	(12)
5.4	设施连接	(13)
6	压力输水系统水锤防护	(15)
6.1	一般规定	(15)
6.2	水锤分析	(15)
6.3	水锤防护	(17)
7	压力输水系统运行	(18)
7.1	充水启动要求	(18)
7.2	有压重力输水管道运行要求	(18)
7.3	加压输水管道运行要求	(18)
8	监测和控制	(20)

8.1 一般规定	(20)
8.2 监测和通讯	(20)
8.3 自动化控制	(20)
本规程用词说明	(22)
附:条文说明	(23)

1 总 则

1.0.1 为确保长距离输水管(渠)道工程的设计、施工、运行质量,做到安全可靠、技术先进、经济合理,制定本规程。

1.0.2 本规程适用于城镇和工矿企业输送原水、清水管(渠)道工程的设计及运行管理。

1.0.3 长距离输水长管(渠)道工程的设计应符合下列要求:

- 1 符合城镇建设总体规划和区域规划;
- 2 优化设计方案,保证输水工艺和设计参数经济合理;
- 3 提高输水安全可靠,降低能耗,减少漏损,节约投资,采用行之有效的新技术、新材料和新设备;
- 4 减少拆迁,少占农田,保护环境;
- 5 施工、运行和维护管理方便;
- 6 穿越河流、铁路、公路等障碍物时应符合国家现行有关标准的要求。

1.0.4 长距离输水管(渠)道工程设计除应符合本规程外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 长距离输水管(渠)道工程 long distance water transmission pipeline engineering

距离超过 10km 的用管(渠)道输送原水、清水的建设工程。一般包括输水管(渠)道、加压泵站、管道穿越障碍物措施、附属设施和管道附件等内容。

2.0.2 管道附属设施 pipeline auxiliaries

调节水池、调压井(塔)、阀门井、仪表井、进气排气阀井、泄水井、管道支墩等构筑物的统称。

2.0.3 管道附件 pipeline accessories

检修阀门、泄水阀、进气排气阀、减压阀、泄压阀、调流阀、伸缩器、流量计、压力表等管道和计量仪表专用设备和部件的统称。

2.0.4 管道配件 pipe fittings

弯管、三通、四通、异径接头等配件的统称。

2.0.5 明渠输水 water transmission by opening channel

利用地形高差,采用天然河流或人工渠道输送原水的方式。

2.0.6 暗渠输水 water transmission by tunnel or covered channel

采用箱涵或加盖渠道输水的方式。

2.0.7 无压重力输水 water transmission by gravity and non-pressure pipeline

利用地形高差,采用无外加动力非满流管道、箱涵或加盖渠道输水的方式。

2.0.8 有压重力输水 water transmission by gravity and pressure pipeline

利用地形高差,采用无外加动力满流承压管道输水的方式。

2.0.9 加压输水 water transmission by pumping

利用水泵提供的压力能采用满流承压管道输水的方式。

2.0.10 压力输水 water transmission by pressure pipeline

有压重力输水和加压输水的统称。

2.0.11 水锤 surge or water hammer

压力管道中,由于流速剧烈变化而引起一系列压力急剧交替升降的水力冲击现象,又称水击。

3 输水工艺

3.1 设计流量

3.1.1 从水源至城镇净水厂的长距离原水输水管(渠)道的设计流量,应按净水厂最高日平均时供水量加输水管(渠)道的漏失水量和净水厂自用水量确定。从净水厂向配水管网输送清水的长距离输水管道设计流量,应按在最高日最高时用水条件下,净水厂的送水量确定。具有消防给水功能的输水管(渠)道,应包括消防用水补充流量或消防流量。

3.1.2 输水管(渠)道不宜少于两条。当多水源供水或有调节水池或其他安全措施时,也可修建一条输水管(渠)道。输水管(渠)道的连通管断面和根数,应按输水管(渠)道任何一段发生故障时仍能通过事故流量计算确定。

3.1.3 城镇供水事故流量不应低于设计水量的70%;工业企业事故流量应按有关工艺要求确定。

3.1.4 当采用明渠输送原水时,必须有可靠的水质保护和减少水量流失的措施。

3.1.5 压力输水管道的的设计流速不宜大于3m/s,不宜小于0.6m/s。

3.2 输水方式

3.2.1 输水方式包括无压重力输水、有压重力输水、加压输水、重力和加压组合输水等。

3.2.2 设计时可根据下列条件,通过技术经济比较后,确定输水方式:

1 有良好的卫生防护条件,输水过程中保证所输送的水不受

• 4 •

污染；

- 2 输水量稳定可靠；
- 3 调度方便；
- 4 运行安全可靠，维护管理方便。

3.2.3 当高差足够、地形适宜时且输送原水水量较大时，可采用明渠输水方式。当输水量较小时，不宜采用明渠输水方式。当采用明渠输水方式时，输水线路的选择应尽量避免人类生活和生产活动造成水质污染，且应有卫生防护措施，应计算输水过程中渗漏、蒸发等水量损失。

3.2.4 当高差足够、距离较长，在地形适宜时可采用无压重力暗渠输水方式。

1 采用无压暗渠输水时，应设置检查井和通气设施。当采用管径或当量直径小于 700mm 的圆形断面时，检查井间距不宜大于 200m；当管径或当量直径大于 700mm 时，不宜大于 400m。必要时还应设置跌水井或水位控制措施。

2 通气井或兼有通气作用的检查井，其井盖应考虑通气的可靠性，不宜采用普通不透气井盖。

3 明渠和无压暗渠输水方式的流量调节应通过管渠首端控制，宜根据流量调节响应时间和用水情况，合理设置相应的调节构筑物或其他措施。流量调节响应时间按下式计算：

$$t = \sum_{i=1}^n L_i / V_i \quad (3.2.4)$$

式中 t ——流量调节响应时间，即水流流达时间(s)；

L_i ——计算段管渠长度(m)；

V_i ——计算段管渠内水流平均速度(m/s)；

n ——计算管渠分段数。

3.2.5 在一般情况下，当有足够的可利用输水地形高差时，宜优先选择有压重力输水方式。

- 1 选择重力输水时，应充分利用地形高差，使输送设计流量

时所采用的管径最小,以求得最佳经济效益。

2 重力输水管道的最大流速不宜大于 3m/s。当流速大于 3m/s 时,应经过水锤分析计算设置减压消能装置和其他水锤防护措施。

3 当重力输水管道进口端水位变化较大时,应加装减压消能装置。

4 当重力输水管道在较低流量运行工况下产生较大富余水头时,也应加装减压消能装置。

3.2.6 当没有可利用的输水地形高差时,可选用水泵加压输水方式。

1 当水泵加压总扬程不大于 90m,且输水距离不大于 50km 时,宜采用单级加压方式。

2 当水泵加压总扬程大于 90m 时,应通过技术经济综合比较,选择加压级数。

3.2.7 在可利用输水地形高差较小时,可选用重力和加压组合输水方式。

1 当采用多级重力和加压组合输水方式时,应设置流量调节设施,避免造成管道发生断流水锤。

2 对有压输水管道,应根据管径大小设置适当数量的检修人孔。

3.2.8 当采用承压山洞或涵洞输水方式时,应保证其排气的可靠性。

3.3 水力计算

3.3.1 长距离压力输水管的管径应根据技术经济比较确定;重力输水管(渠)道断面应根据输水量、输水距离、地形高差、管(渠)道材料计算确定。

3.3.2 管(渠)道的水头损失应按现行国家标准《室外给水设计规范》GB 50013 的规定计算。

3.3.3 应核算压力输水管道的各种运行工况,尤其是投产初期未达到设计流量时的运行状况,避免在局部凸起点管道内出现负压。当受地形条件限制时,应采取防止管道内出现水柱拉断的措施。

4 输水线路

4.1 线路选择

- 4.1.1 应根据输水方式、地形、工程地质、交通运输等条件,经多方案比较后选择线路走向。
- 4.1.2 应少占农田和不占良田。在通过农田时,应结合农田水利等规划进行设计。
- 4.1.3 线路应力求顺直,宜沿道路定线。
- 4.1.4 应尽量避免经过地形起伏过大地区,尽量减少泵站数量。
- 4.1.5 应尽量避免避开滑坡、崩塌、沉陷、泥石流、沼泽、海滩、沙滩、河谷等工程地质不良地段、高地下水位地区、洪水淹没和冲刷地区、地震烈度高于七度地区的活动断裂带以及人口稠密区。当受条件限制必须通过时,应采取可靠防护措施。
- 4.1.6 应与障碍物穿跨越工程相结合,尽量减少与天然或人工障碍物交叉。当必须与河流、湖泊、公路、铁路等交叉时,应尽可能利用现有穿跨越设施。
- 4.1.7 线路不宜通过厂矿企业地区。

4.2 管道敷设

- 4.2.1 输水管道的埋设深度应根据冰冻情况、外部荷载、管材强度和与其他管道交叉等因素确定。
- 4.2.2 在土壤承载力较高,且地下水位很低时,输水管道可直埋在管沟中的天然地基上。在流沙、沼泽等土壤松软地区,应对输水管道进行基础处理,采用混凝土基础时,所采用混凝土强度等级不应低于 C15。
- 4.2.3 在岩石或半岩石地基上,管底应铺垫厚度 100~200mm

的砂垫层,且在铺管前整平压实。

4.2.4 露天管道应有调节管道伸缩的设施,并应根据需要采取防冻保温措施。

4.2.5 输送生活饮用水时,不应穿过毒物污染区和腐蚀性地区,如必须穿越时,应采取可靠的防护措施。

4.2.6 输水管道与建筑物、铁路和其他管道的水平净距,应根据建筑物基础结构、路面种类、卫生安全条件、管道埋深、管径、管材、施工条件、管内工作压力、管道上附属构筑物大小和有关规定等确定,不得小于现行国家标准《室外给水设计规范》GB 50013 的规定。输水管道应设在污水管上方。当输水管道与污水管平行设置时,管外壁净距不得小于1.5m。当输水管道必须设在污水管下方时,应外加密封性能好的套管,套管伸出交叉管的长度每边不应小于3.0m,且套管的两端应采用防水材料封闭。输水管道与给水管道交叉时,其净距不应小于0.15m。输水管穿越铁道、河流等人工和天然障碍物时,应经计算采取相应的安全措施,并应征得有关部门同意。

4.2.7 输水管道设在地下水位线以下时,应进行抗浮验算。

4.2.8 当两条输水管道并行时,应保持适当的间距,以保证事故状况下安全运行的要求。

4.3 管材选择

4.3.1 输水管道可采用预应力钢筒混凝土管、球墨铸铁管、钢管、夹砂玻璃钢管、预应力钢筋混凝土管以及塑料管等非金属材料。管材的选择,应考虑下列因素,并经技术经济分析比较后确定:

- 1 输水管道的重要程度;
- 2 管道根数和长度;
- 3 运行方式,有无调节设施;
- 4 管道直径;
- 5 正常工作压力和非稳定流极限压力;

- 6 外部荷载；
- 7 供货、运输、工期、安装条件等；
- 8 管道沿线地质条件、地形起伏程度；
- 9 管材机械、水力等特性。

4.3.2 输水管道所用管材应满足下列要求：

- 1 应符合现行国家标准《生活饮用输配水设备及防护材料的安全性评价标准》GB/T 17219 的规定；
- 2 有足够的强度，可以承受各种工况下的内外荷载；
- 3 水密性好，压力试验渗漏量符合要求；
- 4 管内壁光滑，水阻小；
- 5 接口连接可靠，施工方便；
- 6 综合造价合理，耐腐蚀，使用年限长。

4.3.3 当地质条件较好，使用压力较低(1.0MPa 以下)时，对中小口径输水管道(不大于 DN1200)，可通过比较选择球墨铸铁管、塑料管、夹砂玻璃钢管、预应力钢筋混凝土管等管材；对大口径输水管道(大于 DN1200)，可通过比较选择钢筒混凝土管、球墨铸铁管、钢管。当地质地形等条件良好，使用压力不高，经水锤分析计算确有可靠的安全保障时，大口径输水管道也可选用预应力钢筋混凝土管、夹砂玻璃钢管等非金属材料。

对单条重要的大口径输水管道，或地质条件较差、使用压力较高(1.0MPa 以上)时，宜选择钢管。当输水管道穿越河流、铁路等时宜选择钢管。对距离特别长(50km 以上)的大口径输水管道，当施工期短，或当地形起伏和使用压力变化大、地质条件变化大时，可通过技术经济比较选择组合管材。

4.3.4 当输水管道使用金属管材时，应考虑防腐措施，内防腐宜优先选用水泥沙浆衬里。生活饮用水管道的内防腐材料应符合现行国家标准《生活饮用输配水设备及防护材料的安全性评价标准》GB/T 17219 的规定。当钢管敷设在腐蚀性土壤中、电气化铁路附近或其他有杂散电流存在的地区时，应考虑发生电蚀的可能性，

应采取阴极保护措施。如最小保护电流值较高时,宜采用外加电流法。在条件允许时,敷设在其他区域中的钢管也可增设阴极保护措施。

4.3.5 压力输水管道的公称压力应根据最大使用压力确定,其值应为最大使用压力加 0.2~0.4MPa 安全余量。当选用非金属管材时,安全余量可根据经验适当放大。输水管道的最大使用压力,应经过水锤计算确定。

5 输水附属设施和管道附件

5.1 附属设施

5.1.1 输水管道上的各种阀门应安装在阀门井内。阀门井应具有足够的坚固性和阀门操作检修空间。

5.1.2 调节水池、调压井(塔)、阀门井等构筑物在地下水位线以下部分应防水,并进行抗浮验算。

5.1.3 寒冷地区的附属设施应采取必要的防冻措施。

5.1.4 进气排气阀井宜采用通气井盖。

5.1.5 在输水管道弯管、三通、异径管、分支管、阀门等处应设支墩。管道的承插口、自由端、伸缩节等处亦应考虑设置支墩,防止位移脱口。

5.1.6 当输水管道高差大或距离很长需要多级加压,或重力输水需要分段时,可设调节水池,其容积应根据工艺要求通过工况分析和水力计算确定。当输水规模不大或要求不高时,重力输水管道中间的水池容积可按不小于5min的最大设计水量确定。压力流输水管道中间水泵吸水池的容积不应小于泵站内一台大水泵15min的设计出水量。重力输水管道与压力输水管道间的连接水池,应按下游输水管道要求设计水池调节容积。

5.1.7 大口径输水管道($DN \geq 1200$),宜在必要的位置设置检查孔,可结合通气设施一并考虑。

5.2 管道附件

5.2.1 在一定长度的输水管道中应设置检修阀门。检修阀门的间距应根据管路复杂情况、管材强度、事故预期概率以及事故排水难易等情况确定,每5~10km宜设置一处。穿越大型河道、铁路、

公路(高速或干线)也应考虑设置检修阀。在安装水力控制阀,如单向阀、减压阀、超压泄压阀、水位和流量控制阀、进气排气阀等处,也应安装检修阀。

5.2.2 输水管道泄水阀直径应经水力计算确定,可取输水管道直径的 $1/5\sim 1/4$ 。当管道内静水压力很高时,泄水阀直径应根据静压力和泄水时间经水力计算确定。检修和泄水阀门应具有良好的密封性能,在工作压力范围内关闭状态下,泄漏量应为零,且有良好的可靠性。在运行或试运行时兼调节流量的泄水阀,宜采用闸板阀。

5.2.3 在输水管道安装各类阀门处,宜安装伸缩器(或柔性管接头)。为防止管道地基非均匀沉降和温差应力危害管道,亦应考虑安装伸缩器。

5.3 水力控制装置设置

5.3.1 在水泵出口总扬程不大于20m,且管道不易发生直接水锤时,可选用普通止回阀,或无缓闭装置的同类单向阀。当水泵扬程大于20m时,应使用缓闭式单向阀。当使用微阻缓闭止回阀和类似结构的单向阀时,应对其可靠性及在系统中是否适宜进行论证,确保安全方可使用。当水泵扬程较高,且输水系统复杂易产生很高水锤升压时,使用缓闭式单向阀或多功能水泵控制阀,应根据水锤计算确定其工作参数。

5.3.2 超压泄压阀应设在泵站出水总管起端、重力输水管道末端的关闭阀上游。输水管道中间是否需要设置超压泄压阀,需经分析计算后确定。超压泄压阀的公称直径宜为主管道直径的 $1/5\sim 1/4$,或经水力计算确定。超压泄压阀的泄压值应根据输水管道的最大使用压力和管材强度,经水力计算确定。泄压值也可采用最大使用压力加 $0.15\sim 0.20\text{MPa}$ 。

5.3.3 当重力输水干管的总作用水头超过 0.4MPa 时,应根据管道水锤防护需要、管道防漏、低流量运行时的消能等因素考虑是否设置减压阀。重力输水管道上使用的减压阀,应具有当进口压力

和流量在设计范围内变化时,出口压力基本恒定不变的性能;公称管径 $DN \geq 600\text{mm}$ 时,还应具有保证阀芯不振颤的措施。安装在输送原水管道上的减压阀,宜选用膜片式,并有防堵塞措施。

5.3.4 输水管道在坡度小于 1‰ 时,宜每隔 $0.5 \sim 1.0\text{km}$ 设置进气排气阀。一般情况下,每隔 1.0km 左右设置进气排气阀。进气排气阀的设置位置,应根据管路纵断面高程情况确定或经水锤防护计算确定。在寒冷地区,应采取保温措施保护进气排气阀。选用的进气排气阀应符合下列规定:

1 进气排气阀的口径在仅需要排气功能时宜取输水管道直径的 $1/12 \sim 1/8$ 。在进排气功能均需要时,宜取输水管道直径的 $1/8 \sim 1/5$,或经计算确定。排气阀有效排气口径不得小于其公称通径的 70% ;

2 进气排气阀必须具有在输水管道内多段水柱气柱相间或存在多个不连续气囊情况下,连续快速(或大量)排出管道内任何一段气体的功能,即在有压条件下,进气排气阀内充满气体时,大小排气口均开启排气,充满水时均关闭而不漏水,出现负压时可向输水管道注气;

3 安装前宜进行性能检测:在不小于 0.1MPa 的恒压条件下,交替向进气排气阀阀体内充水充气,排气阀大小排气口均做到充气开启高速排气,充水关闭不漏水,反复动作 3 次以上合格为止;

4 当管道压力较大,或工况复杂对水锤防护要求较高时,应采用具有缓冲功能的排气阀或大小排气阀组合使用。

5.3.5 当水池需要自动控制水位时,应设置水位控制阀。当工况需要时,该阀还应具有自动平衡水池的上、下游水量和缓闭功能。

5.3.6 当输水管道沿线地形等条件允许时,可设置调压塔(池),消除运行中可能产生的水锤压力。

5.4 设施连接

5.4.1 当输水管(渠)道末端连接多个高度不等的蓄水池时,应进

行水力计算,并采取相应措施满足水力平衡条件。

5.4.2 当重力输水管道末端直接与城市管网或众多用户相连时,宜根据计算结果设置减压装置,避免输水量较小时管网静压过高。

5.4.3 有压重力输水管道和加压输水管道中途设有较大出水量的支管时,应在连接处设置保压装置;当连接处压力大于用户需要时,应设置减压装置。

5.4.4 当输水管道中间有多个调节水池时,应设置保证上、下游流量配合和调节的水位流量控制调节装置。多级加压泵站应按最大设计输水流量和调节规律选择水泵,并应计算在非设计流量工况运行时,各泵站之间的流量差,必要时设置相应流量控制装置,平衡上、下游流量。流量水位控制装置的公称直径大于主管道直径的 $1/3$ 时,应具有缓冲功能,不得快速启闭。

5.4.5 当重力输水管道从城市管网直接取水时,连接处宜加装减压稳压阀或其他自动稳压装置。

5.4.6 当上游是无压重力输水渠道,下游是压力输水管道时,应在管渠衔接处设置调蓄水池或水库,其调节容积不应小于无压渠道流量调节响应时间所产生的上、下游流量差。

6 压力输水系统水锤防护

6.1 一般规定

6.1.1 对小口径(DN600 以下)简单输水管道的水锤分析和防护设计,可参考同类工程或根据一般理论和经验等进行。对复杂和高压输水管道应经过非稳定流分析计算,进行水锤防护设计。

6.1.2 中等口径(DN600~DN1200)输水管道的水锤分析和防护设计,应经专门的分析计算后,确定水锤防护措施。

6.1.3 大口径(DN1200 以上)和特长距离输水管道的水锤分析和防护设计,除专门分析计算外,还应进行适当的验证计算,确定水锤防护措施。在具备条件时,大口径输水管道水锤防护计算可结合数字模拟技术进行。

6.1.4 水锤防护措施设计应保证输水管道最大水锤压力不超过 1.3~1.5 倍最大工作压力。对加压输水管道,事故停泵后的水泵反转速度不应大于其额定转速的 1.2 倍,超过额定转速的持续的时间不应超过 2min。

6.2 水锤分析

6.2.1 压力输水管道应按运行工况进行停泵、启泵、关阀、开阀、正常运行及流量调节水锤分析。

6.2.2 停泵水锤分析的内容应包括:

1 未采取防护措施时,突然停泵引起的最大水锤升压、最大降压,以及水泵最大反转速可能引起危害的分析;

2 管道是否可能发生断流和断流弥合水锤,其升压危害和消减方案;

3 采取必要的防护措施后,应按下式核算输水管道各重点部位的最大压力是否小于管道的强度:

$$2\Delta H + H_0 \leq 1.5H_k$$

或式 ΔH ——停泵时该处的水锤升压；

H_0 ——该处的正常工作压力；

H_k ——该处管道的公称压力。

4 采取防护措施后水泵最大反转速度是否满足要求。

6.2.3 启泵水锤分析的内容应包括管道初次充水和突然停泵再次启动水泵,以及事故检修或正常停水后再次启动水泵的气爆型水锤分析。

6.2.4 关阀水锤分析的内容应包括:

1 在可能的最大、最小和设计流量下,按常规关闭管道末端阀门产生的最大水锤升压、最大降压及其危害的分析;

2 在各种流量下末端阀门最佳关闭程序的计算分析,产生水锤和断流弥合水锤升压、降压及其危害的分析;

3 管道较大支管阀门关闭对主输水管道可能产生的压力波动及危害;

4 确定管道末端控制阀的构造形式和技术要求。

6.2.5 开阀水锤分析的内容应包括:

1 突然开阀管道压力降低对管道的危害分析;

2 突然开阀是否可能引起管道断流弥合水锤的分析;

3 确定最佳开阀程序。

6.2.6 正常运行水锤分析的内容应包括:

1 水泵输水的压力管道气体释放量的分析;

2 管道存气对输水量影响的分析;

3 管道气囊运动引起的压力波动对管道强度危害的分析;

4 管道气囊突然聚积发生气堵造成破坏性水锤的分析。

6.2.7 流量调节水锤分析的内容应包括:

1 调节流量引起管道产生的压力波动是否导致水柱中断和气囊聚积及危害的分析;

2 气囊运动和水柱中断对支管压力波动和影响的分析;

3 确定合理的流量调节程序。

6.3 水锤防护

6.3.1 压力输水管道水锤防护设计应结合水锤计算分析,并按照下列要求进行:

- 1 各种可行的水锤防护措施及其防护效果计算分析;
- 2 水锤防护方案的技术经济比较;
- 3 最优方案的详细计算结果及其可靠性分析;
- 4 确定水锤防护的实施方案,明确防护装置的名称、类型、数量、安装位置;
- 5 提出防护装置的技术要求;
- 6 提出输水管道启动、停车、运行操作要求。

6.3.2 停泵水锤防护宜包括下列主要内容:

- 1 根据水锤分析计算结果,确定装在水泵出口处用于停泵水锤防护的单向阀的类型、技术要求、调节方式和工作参数等;
- 2 在突然停泵过程中计算确定输水管道某些重点部位是否有意外超过管道承压强度的冲击升压,是否需要安装超压泄压装置及其规格、工作参数等;
- 3 在突然停泵过程中输水管道出现负压的部分,宜采取哪些消除负压措施及其效果计算;
- 4 当输水管道单级加压很高,且坡度较大时,确定是否在管道中部设置降低停泵水锤的单向阀。

6.3.3 启泵水锤防护宜包括下列主要内容:

- 1 对有压输水管道,根据管道特点、地形复杂情况、水泵特性以及管路上所装附属设备的性能等,分析计算管道产生启泵水锤的可能性,并确定启泵水锤的类型、大小、危险程度及其防护措施等;
- 2 制定有压输水管道水泵的正常开启与切换、检修后再次充水、突然停泵后再次启动,泵站阀门的合理开启操作要求;
- 3 对误操作可能产生的启泵水锤,确定是否在水泵出口处安装启泵水锤控制装置。

7 压力输水系统运行

7.1 充水启动要求

- 7.1.1 大型和复杂的压力输水管道系统应制定充水启动运行操作规程,初次充水启动应在有经验的运行人员指导下进行。
- 7.1.2 压力输水管道充水时,宜控制充水流速不超过 0.3~0.5 m/s,最大不超过 1m/s。
- 7.1.3 压力输水管道充水时,应保证排气顺畅,并使充水流量低于排气装置的排气流量。

7.2 有压重力输水管道运行要求

- 7.2.1 末端出口为管道最低点时,将末端出口阀门完全或部分关闭,从管道起端充水启动,控制充水流速,观察沿线排气阀排气状态,直至所有排气阀终止排气,且管道已充满水为止。当输水管道含有倒虹吸式管段,充水前应开启管路末端阀门,当管路末端出口见水后,关闭或减小末端出水闸门开启度,继续充水至管道完全充满。
- 7.2.2 短期停水时,关闭管道末端阀门,保持输水管道的满流状态。应避免关闭上游阀门放空管道。
- 7.2.3 流量需要调节时,应采用下游阀门调节。应通过水力计算或水锤分析确定阀门调节的方式和速度。当输水管道设有末端水池时,宜采用具有缓闭功能的水位控制阀或电动阀等实现自动流量调节。

7.3 加压输水管道运行要求

- 7.3.1 启动水泵时,除应按正常启动操作步骤外,还应注意控制

阀门的开启速度不过快。突然停泵后,再次开启水泵时应控制输水管道流速,确保输水管道内不存在气囊后,再逐渐加大流速至设计值。输水管道初次通水的水泵启动应控制充水流速,当输水管道全部充满,沿线所有排气阀停止排气后,再逐渐加大充水流速至最大设计流量。

7.3.2 当离心泵停泵时,应首先关闭泵前出水阀门,再停水泵。当较长时间停运且考虑输水管道防冻时,可放空管内存水。在一般情况下不宜放空管道。

7.3.3 可采用增减并联水泵台数调节输水流量。当设有调速装置时,可采用增减水泵转速调节。在管路系统复杂或调节流量很大时,宜经过水力计算或水锤分析确定相关的操作流量调节规程。多级加压输水管道各泵站之间的流量差可通过流量控制装置平衡。

8 监测和控制

8.1 一般规定

- 8.1.1 输水管道工程的监测和自动化控制水平,应根据输水工程的规模、特点、管理和维护水平等因素确定,大型和复杂的输水管道工程宜设置监测和控制系统。
- 8.1.2 监测仪表和控制系统设置选型应统一,电源应可靠,关键设备应有备用。
- 8.1.3 在条件允许的情况下,可使用输水管道内的水作为水力控制阀门的水源。

8.2 监测和通讯

- 8.2.1 应对输水管(渠)道始末端的流量、压力(水位)进行监测。
- 8.2.2 通信和数据传输方式应结合自动控制系统的要求确定。
- 8.2.3 可在输水管(渠)管理所、泵站设中继站。
- 8.2.4 数据信号速率应根据数据传输量和水锤控制要求确定,但不宜小于4800bps,误码率小于 10^{-6} 。
- 8.2.5 可配备必要的输水管道事故抢修、巡回检查和日常维修的移动通信设备。大型泵站内生产区、辅助生产区应设联络电话。

8.3 自动化控制

- 8.3.1 宜设置输水管(渠)道系统异常工况和紧急事故的自动停运和关闭控制装置。
- 8.3.2 有条件时,可对输水设备进行远动控制。
- 8.3.3 重力输水压力和流量可采用压力调节阀自动控制。加压输水压力和流量宜采用水泵调速方式自动调节。

8.3.4 密闭多级泵站应设置进出压力控制装置。

8.3.5 大型水泵机组应设置轴承温度、电动机定子温度等的超限连锁停运控制装置。

8.3.6 输水管(渠)道的连接水池,宜采用具有缓闭功能的水位和流量控制阀。

本规程用词说明

1 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:

正面词采用“可”;

反面词采用“不可”。

2 条文中指定应按其他有关标准执行时,写法为“应符合……的要求(或规定)”或“应按……执行”。非必须按所指定的标准执行时,写法为“可参照……执行”。

中国工程建设标准化协会标准

城镇供水长距离输水管(渠)道
工程技术规程

CECS 193 : 2005

条文说明

目 次

1	总 则	(27)
2	术 语	(28)
3	输水工艺	(29)
3.1	设计流量	(29)
3.2	输水方式	(30)
3.3	水力计算	(32)
4	输水线路	(33)
4.1	线路选择	(33)
4.2	管道敷设	(33)
4.3	管材选择	(34)
5	输水附属设施和管道附件	(36)
5.1	附属设施	(36)
5.2	管道附件	(36)
5.3	水力控制装置设置	(37)
5.4	设施连接	(40)
6	压力输水系统水锤防护	(42)
6.1	一般规定	(42)
6.2	水锤分析	(43)
6.3	水锤防护	(44)
7	压力输水系统运行	(46)
7.1	充水启动要求	(46)
7.2	有压重力输水管道运行要求	(46)
7.3	加压输水管运行要求	(47)
8	监测和控制	(49)

8.1	一般规定	(49)
8.2	监测和通讯	(49)
8.3	自动化控制	(50)

1 总 则

1.0.1 随着我国城市建设的发展,长距离输水规划和建设工程日渐增多。由于目前尚无统一的技术标准,造成了工程安全问题较多。在短距离输水管道中可忽略不计的因素,在长距离输水管(渠)道中可能成为事故隐患。因此,本规程制定时,结合长距离输水管(渠)道的特点,以安全运行为主线,兼顾经济合理,使长距离输水管的设计、施工和运行做到有章可循、安全可靠、经济合理。

1.0.2 城镇输配水管道具有很相似的水力特性,本规程主要针对长距离输水管的设计运行给出规定,但其技术内容对一般有压输配水管道也有参考价值。

1.0.3 长距离输水管(渠)道对供水工程系统造价影响较大,因此,应紧密结合城市现状和发展规划,进行多种方案技术经济比较,优化设计方案,使工程获得良好的经济效益和社会效益。

2 术 语

2.0.1 参照有关泥浆管道输送规程和输水管道运行特点、水力特性和排气要求、流量调节响应速度等,本规程将超过 10km(含 10km)的输水管定为长距离输水管。不足 10km 的输水管但具有同样技术特点时,也可参照本规程。

2.0.2 管道附属设施主要是指,为保护管道运行安全可靠、方便检修维护,需要设置的辅助性构筑物。

2.0.3 管道附件是指,需要设置的直接与管道相连的各种阀门、计量仪表、伸缩器等。

3 输水工艺

3.1 设计流量

3.1.1 长距离输水管(渠)道的沿程漏水量可能占总设计流量的比重较大,故应纳入设计水量,尤其是无压渠道的漏失水量更不应忽略,对于明渠还应考虑蒸发水量。由于以往各地输水管道工程因距离长短不一、管材不同,计算中采用的漏失水量不同,例如,有的输水管道工程漏失率采用3%,有的工程漏失率则采用低于或高于3%,目前缺乏广泛的实测数据可供分析参考,因此,设计时应按输水量、距离、采用的管材和水源情况等因素,合理确定漏失水量。与管网直接相连的有压输水管道,供水量计算中已包含了管网漏失水量,故其设计流量无需另计漏失水量。从净水厂至配水管网的输水管,其设计流量可分两种情况考虑,当单水源且管网无调节构筑物时,应取最高日最大时用水量作为设计流量;当多水源或有调节构筑物时,应按最高日最大时条件下输水管连接的净水厂所负担的供水量计算。负有消防任务的输水管道,在技术经济比较或计算经济管径时可暂时不考虑消防水量,但在输水管管径选定后应加入消防水量进行输水能力校核。当消防工况输水压力不够时,应采取包括放大输水管管径在内的各种有效措施。

3.1.2 为保证输水安全,输水管宜设两条。当两条压力输水管并行时,还应考虑它们之间有一定的防冲刷间距,以保证一条输水管损坏时,另一条输水管仍可安全运行。防冲刷间距一般为15m或经水力计算确定。单水源或多水源中重要水源的两条并行输水管,为了保证事故输水量,还应设两处以上的连通管。等分连通管的数量可按事故时供水系统对该水源供水量最低保证率的要求近似计算,其公式为:

$$\alpha = \sqrt{\frac{m+1}{m+4}}$$

式中 α ——水源供水量的最低保证率；

m ——连通管道的数量。

单条输水管(渠)道的调节水池,应按其最低输水保证率要求和检修时间确定调节容积。

3.1.3 输水管道事故输水量,一般按城镇事故供水量要求,取设计供水量的70%。当情况特殊时,按实际要求确定供水保证率。

3.1.4 明渠输水易产生水量流失和受到水质污染。水量流失包括漏失、蒸发、未预见的和人为因素等。水质污染的因素也很多,若无切实可行的防护措施,将影响安全供水。

3.2 输水方式

3.2.1 输水方式主要按管(渠)道的动压形式分类。无压重力输水包括明渠、暗渠以及非满管的管道输水;有压重力输水为仅由首末端压差满管流的管道输水;加压输水为水泵提供压能的管道输水;重力和加压组合输水为既有压差可利用又需水泵提供压能的满管流管道输水。

3.2.2 应以保证输水水质和水量安全为主要条件选择输水方式,同时兼顾运行调度管理方便以及投资多少等技术经济因素,通过多方案比较确定。鉴于长距离输水难以控制水量的流失和水质保护,一般优先选择管道或暗渠输水方式。

3.2.3 在城镇供水工程中,明渠不得用来输送清水,一般只能用来输送原水。由于水量流失和水质污染较难控制,输水量小时,不宜采用明渠输水。

3.2.4 无压暗渠的构造形式有普通明渠加盖板、箱涵或圆管三种,其运行特点是非满流无压输水。因输水暗渠的密封条件一般低于有压管道,故其漏水量不容忽视,漏水量计算应参考同类管渠的经验进行。无压暗渠的流量调节通常在渠首进行,因流速变化

范围较小,主要取决于输水距离,输水距离越长流量调节越困难,输水量变化越大流量调节也越困难,所需的调节水池容积也越大。故使用暗渠方式输水必须注意输水量及其变化规律,并根据输水距离和输水量大小的变化规律设置所需的调节水池。为了保证安全,输水暗渠还应在末端和经过河流或有放水条件的地方设置退水口或超越管等。无压暗渠所设的通气孔或通气井盖,最好加装防护网,以防止人为污染物通过通气孔进入暗渠。

3.2.5 输水起末端的水力高度差为有压重力输水的可利用水头。在确定输水设计流量后,可利用水头越大,输水管管径可越小,投资越少,当然,输水管流速越大,运行时可能引起的水锤升压越高。为防止管道发生破坏性水锤事故,一般要求输水管流速不大于 3m/s 。当管材强度较弱,或地质、地形条件复杂时,还应经过水锤计算适当降低输水流速,以利管道安全运行。有压重力输水在以下三种情况下需消减富余能量:当可利用水头过大,管中流速超过 3m/s 或超过经水锤计算所确定的最大流速时;起端(如水库等)水位变幅较大时;低于设计流量运行,输水管下游管道因压力增加较多,不利于安全输水时。这三种情况较适宜的消能装置为减压恒压阀。第一、三种情况减压装置常设在输水管的中下游;第二种情况常设在输水管中上游;第一、三种情况设置的减压阀对输水管还具有较好的水锤防护和减少漏失水量的功能。当有压重力输水管输送清水与城市配水管网相连时,应注意其输水工况受管网工况影响:晚间输水量减小,压力升高,需减压、消能;最大用水量时,当水厂调节池容量不够时,管道将会被拉空,需控流。因此,在输水管与管网交接处有时设置既能消能又能控流的装置。

3.2.6 当加压输水所需水泵扬程较高时,往往需要多级加压。增加水泵加压级数,可降低管道承压等级,提高输水安全可靠。当输水距离很长,总扬程虽不很高,考虑流量调节或突然停泵后,可能使管道出现负压产生水柱中断,为防止产生气爆型水锤破坏,也可以考虑采用多级加压输水方式。

3.2.7 单级重力和加压组合输水是指当可利用的输水高差不足时,如仅利用高差输水可能会使输水管管径过大,不经济,因此,采用不仅利用地形高差,而且用水泵加压的输水方式。多级重力和加压联合输水,往往是因地形复杂,高低起伏很大,输水管路由两个以上单独的重力输水和压力输水部分构成。

3.2.8 如果承压输水山洞或涵洞排气不畅,气囊在洞内长期产生压力振荡,会造成水阻过大,甚至可能会造成洞涵局部坍塌。常用的排气方法是打竖直的通气孔,其数量原则上应等同于无压暗渠、有压重力或加压输水管道上排气阀安装的数量要求。但在很多情况下因成本高,难于实现。因此,应充分研究采用可行合理的排气方案,解决可能存在的气囊运动危害。

3.3 水力计算

3.3.1 长距离输水管(渠)的管径和断面尺寸对工程造价和安全运行都有很大影响,在选择时应进行技术经济比较。有压管道可用经济管径公式计算,或采用界限流量法。重力输水管道可采用经济水头损失的方法计算经济管径。除上述计算外,还应结合管道运行管理方面的经验和要求,以及安全调度等综合因素确定管径。

3.3.2 不同管材的输水管(渠)道水头损失,应按现行国家标准《室外给水设计规范》GB 50013 规定的公式计算。

3.3.3 长距离输水管(渠)道的总水头损失较大,考虑到建设较难,因此规划的供水年限往往较长。在初期供水时,输水流量可能较小,用水泵加压输水的管道,水压线低于设计工况。当管道地形较复杂时,应特别注意校核,保证运行中管道任何点都不出现负压,因一旦出现负压可能造成水质污染,水流产生气体释放,引发气蚀、断流水锤或管道长期积气而影响运行安全。当输水管末端为较陡的下坡时,低流量运行工况宜采取自动增加阻力系数的措施,以保证管路不出现负压管段以及满流与非满流交替运行的不良工况。

4 输水线路

4.1 线路选择

4.1.1~4.1.7 规定了输水管(渠)道线路选择的原则。

4.2 管道敷设

4.2.1 输水管一般应埋设在冰冻线以下。当浅埋时应进行抗外部荷载计算,抗冰冻热力计算,同时应考虑管道附件如排气阀等安装高度问题。一般不应使阀门井高出路面。

4.2.2 输水管道铺设于流沙、沼泽地或地下水位线高于管底地段时,应做稳固性基础,其型式应因地制宜,可参考同类工程的成熟经验,以及现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 规定的原则确定。

4.2.3 本条是关于管道铺设于岩石等硬基础地段上的管基处理要求。

4.2.4 露天管路采用钢管较多,其热胀冷缩量较大,工程上多采用伸缩节进行补偿调节。但在实际中伸缩节被拉脱的现象时有发生,故应该注意其伸缩量的计算和型式的选择。

4.2.5 输水管道常采用承插口连接,即非整体连接,不能保证连接处绝对无渗漏,故穿越有毒或腐蚀性地区时可能造成水质污染,应尽量避免。当必须通过时,需有可靠的防污染措施。

4.2.6 输水管与各种构筑物、管道等的间距,除按本条的规定确定外,还应执行现行国家标准《室外给水设计规范》GB 50013 的规定。

4.2.7 因事故检修时需放空管道,故输水管道抗浮校核应按空管计算。

4.2.8 两条输水管道并行铺设的间距应保证当一条输水管道发生事故而产生冲刷时,另一条输水管道仍能正常运行,不会造成整个输水系统瘫痪。

4.3 管材选择

4.3.1 长距离输水管管材选择时需考虑的因素很多,应在保证输水安全条件下寻找经济合理的管材。在一般情况下,强度越高的管材价格越高,强度较低的管材价格也低。既不浪费,又能保证安全,因此,要求决策建立在相应的技术分析和实践经验的基础上。输水线路复杂时,还应参考水锤计算结果,必要时,应组织专题论证。

4.3.2 长距离输水管管材应满足使用强度和年限、较好的水力条件、接口密封性能好、施工方便和综合造价合理等技术要求。

4.3.3 在工程实践中,当地质条件较好时,对中小口径输水管道(DN1200 及以下),球墨铸铁管、塑料管、夹砂玻璃钢管、预应力钢筋混凝土管等均可应用;对大口径输水管道(DN1200 以上)采用预应力钢筒混凝土管、球墨铸铁管、钢管较多。单条重要的大口径输水管线,或地质条件较差、使用压力较高(1.0MPa 以上)时,使用钢管较为安全可靠。输水管线穿越河流、铁路等时一般选择钢管。对距离特长(50km 以上)的大口径输水管道,为满足工期要求和适应使用压力、地质条件的变化,可通过比较选择组合管材。管材选择对输水管安全运行影响很大,保证输水管不发生爆管事故的主要途径之一就是选择高强度管材。工程实践表明,采用预应力钢筋混凝土管材,只要设计合理也可以保证使用安全,应根据具体情况,经技术经济比较确定。如南方某城市开发区输水管长 860m,管径 DN1200,运行一年爆管 6 次,后将这段管上所装的两台排气阀更换,解决了爆管问题。西北地区某市输水管长 10.2km,管径 DN1200,运行仅 2 个月爆管 3 次,后将排气阀更换,已安全运行了 4 年。由此可见,在一定条件下,只要做好管道排气和水锤

防护,使用预应力钢筋混凝土管等非金属管也可以保证长距离输水的安全,同时比金属管材节省资金。理论分析表明,不采取防护措施时输水管道水锤升压最高可达 2.0~4.0MPa,因此,仅靠增加管道强度也不能保证万无一失,应结合水锤分析采取防护措施,才能保证输水管道工程安全可靠、经济合理。

4.3.4 采用钢管、球墨铸铁管时应进行内外防腐处理。内防腐采用水泥砂浆衬里技术比较成熟,造价较低,施工应按照现行协会标准《埋地给水钢管道水泥砂浆衬里技术标准》CECS 10 的有关规定执行。

4.3.5 输水管道的最大使用压力应考虑采用不同设计工况和不同使用条件下的最大水压。

5 输水附属设施和管道附件

5.1 附属设施

5.1.1 为方便维护检修,埋地输水管道的各种阀门一般设在井内。应按照现行国家标准《室外给水工程设计规范》GB 50013 的要求设置各种阀门。

5.1.2 底部在地下水位线以下的构筑物,应采取防水、抗浮措施。

5.1.3 采取防冻措施,避免寒冷地区构筑物本身和管道附件受冻胀危害。根据气温等条件,井类一般采用双层防冻井盖等措施。

5.1.4 公称直径较大的进排气阀井盖,应通过计算或实验,确定其井盖的自然间隙能否满足管道各种不同工况下的注气排气要求。如不满足,宜采用具有通气功能的井盖或采取其他合理措施。

5.1.5 为避免管件受力发生脱口等问题,设置的支墩应经计算确定其形状和尺寸,个别重要部分还应经非稳定流计算校核。

5.1.6 重力输水管道中间的水池,主要用于分段降压和调节,保证正常运行和流量调节时匹配上下游流量。容积越大,越不容易产生溢流和拉空现象。取 5min 设计水量作为水池容积,是考虑最大不平衡流量为 20% 时允许调节时间约 0.5h,一般可满足运行要求。多级加压泵站间的水池贮水主要用于水泵启动、试泵和泵站间流量匹配,加压泵多为三用一备,故一台大泵 15min 水量大于整个泵站 5min 水量,也可满足一般流量匹配要求。

5.2 管道附件

5.2.1 输水管沿线的检修阀门,用于事故时分段放水检修。已往输水管的检修阀门设置间距差别很大,有的几十公里设一处,有的 1km 左右设一处。设置过密,虽方便检修时放水,减少放水量,但

增加投资;设置过少,检修时放水太难,放水量大。故建议根据输水管沿线的天然或人工河道等放水条件,每5~10km设一处检修阀。

5.2.2 输水管泄水阀设置的位置和数量,应按两个检修阀之间所限定检修段的地形和放水条件确定。泄水阀直径一般为主管道直径的 $1/5\sim 1/4$,这是目前工程通常的做法,应用情况良好。当两检修阀距离远,管道坡度又大时,下游泄水阀可能放水过快,易产生安全隐患,这种情况应经水力计算选定阀门规格。检修阀和泄水阀一般为手动阀门,应选用密封性能良好的阀门,应做到很多次开关后仍能密封良好无泄漏,尤其是泄水阀,其泄漏量必须为零。在管道运行或试运行期间,起调节流量作用的检修阀和泄水阀,需要在一定开度下较长时间运行,阀两端往往压差较大,易使蝶阀阀轴变形,无法关闭,故在此工况下应选用闸板阀。

5.2.3 用于输水管道的伸缩器(或称柔性管接头)种类很多,构造差别也很大。应选用在管道出现负压时能避免颗粒状杂质或泥土等进入密封部位的产品。伸缩器应具有满足要求的可变角度和伸缩量,并具有良好的密封性能。在柔性接口管道上阀门侧的伸缩器应采用传力型或防拉脱型。

5.3 水力控制装置设置

5.3.1 用于水泵压力出水管上的单向阀(或称止回阀、逆止阀),从关闭速度上分为快关、普通和缓闭三种类型。其中,快关型单向阀应用很少。普通单向阀结构简单,价格低,在突然停泵时也不会产生直接水锤的低压输水工程中可以采用。值得注意的是,有时输水泵站出口总扬程虽低于20m,但管路长度较大,或管路情况复杂,突然停泵时也可能发生直接水锤,也不应采用普通单向阀,应采用缓闭止回阀。在一般情况下,长距离输水系统的水泵压水管上应安装带有缓闭功能的单向阀。由于单向阀的种类很多,性能和可靠性差异很大,有的微阻缓闭止回阀存在结构和原理上的缺

陷,在实际应用中也出现过问题,在选用单向阀时,应做分析以确保使用安全。另外,在突然停泵时,一般要求缓闭式单向阀分快慢二阶段关闭,快关的目的是限制回冲流量,使水泵倒转速度不超过额定转速的 1.2 倍;慢关是为减少水锤升压,使其压力小于 1.3~1.5 倍正常使用压力,快慢关角度和历时对水锤防护效果影响很大,提倡通过水锤计算确定缓闭式止回阀的工作参数。

5.3.2 在实际应用中超压泄压阀的公称直径常按主管道直径的 $1/5\sim 1/4$ 选取,但当压力较大时,泄流量可能过大,故在这种情况下,应经计算确定超压泄压阀规格。目前工程上常用的超压泄压阀均为先导式,即用先导辅阀控制主阀启闭泄压,泄压动作滞后,在水锤升压过快时,往往失去泄压保护作用,因此,在选用泄压阀时要注意所要防护的水锤类型。

5.3.3 减压阀的种类很多,但用于重力输水管上的主要是减压恒压阀,无论减压阀进口端流量和压力如何变化,出口端保持恒压值不变,并且出口恒压值可方便地进行调节。重力输水管管径按充分利用作用水头选取,故在设计流量工况下运行时无剩余能量,在流量低于设计流量下运行时,水头损失减少,产生剩余能量,减压阀出口恒压值根据最大设计水量水压线调整出口压力值,可实现在最大设计流量时不减压消能,而仅消减小流量运行产生的富余能量。

5.3.4 进气排气阀(以下简称排气阀)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;水阻大增,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 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 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的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 $1/12\sim 1/10$,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,排气阀选用 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 $1/8\sim 1/4$ 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 $1/8\sim 1/5$,仅考虑排气功能的取 $1/12\sim 1/8$ 。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 6 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的技术要求,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。

5.3.5 当输水管道有支管相连接的水池时,池内安装的水位控制阀,可在水池充满水时自动关闭进水口,防止溢流。由于一般水位控制阀往往启闭速度较快,当支管直径较大时,水位控制阀突然开关引起的水锤波可能造成主管道内压力波动过大,影响安全供水,故应选用带有缓闭功能的水位控制阀。在分成多段的有压输水管道中,在各段连接处设有的开敞式水池,可采用自动调节主阀开度的水位控制阀,自动平衡上、下游水量和控制池内水位。

5.3.6 采用溢流方式的高位调压塔(池)是消除有压流输水管道内水锤压力的有效方法,但需要在输水管线附近有合适的高地或山坡可利用。高位调压塔(池)的溢流水位,可按照该处最大输水量对应的压力、允许的水锤压力升值等因素确定。

5.4 设施连接

5.4.1 当长距离输水管向多个终端输水时,每个终端的标高、距离和输水量差别可能很大。在各种不同工况下向每个终端输送所需的水量,应通过水力计算,必要时应采取相应的措施,保证每个终端所获水量都具有可靠的保证率。

5.4.2 重力流清水输水管直接与城市管网连接,输水管的设计水压线是按管网最高日最大时工况确定的,配水流量低时的管网水压可能接近最大静压值,从而造成城市管网因压力过高产生爆管事故和漏失水量增大。在输水管与管网连接点处设置减压恒压装置,使管网起端在任何流量下保持恒压不变(一般等于最高日最大时管网所需要的水压),有利于保证城市管网安全运行和降低漏失水量。

5.4.3 当长距离输水管中途有用户取水时,应注意用户的用水规律,尤其是分支水量较大时,应采取措施防止阀门的突开突闭可能产生的输水管压力波动,应在支管上安装保压阀门或相应的稳压装置。当连接支管下端的用户所需水压远低于支管所提供的水压时,设置减压装置也有利于保护支管安全,有利于安全运行和减少

漏失水量。

5.4.4 输水管间的连接水池如无流量控制调节装置,当上、下游流量不相等时,可能产生溢流或水池抽空现象,造成水量浪费。疏导不畅时,还可能造成较大的间接损失,水池抽空可能造成下游管道爆管事故。因此,水池内或水池外安装流量控制调节装置,自动地保证上、下游流量平衡是必要的,靠人工调节不够安全。水位流量控制装置公称直径一般与输水管相同,故其开关速度过快可能产生水锤升压,应根据其所控制的上游输水管长度确定合理的开关速度,必要时还需经水力计算确定其工作参数。

5.4.5 由于城市配水管网的水压波动很大,往往夜间需水量小、水压高,白天需水量大、水压低。当重力输水管以城市配水管网作为水源时,连接处安装减压稳压装置有利于保证输水管的运行安全,并可能降低输水管的压力等级。

5.4.6 无压重力输水渠道的流量调节,通常只能在渠首进行,而在渠尾产生调节效果的滞后时间,等于水的流达时间。有压管道流量调节的响应时间为管道长度除以水锤波速,响应时间很短。当上游为无压输水渠道,下游为有压输水管道时,必须在连接处设置具有一定容积的调节水池。例如,当下游的有压输水管道需要加大流量,下游有压管道可在几至几十秒内完成流量调节,同时通知渠首开大限流阀门,当加大的水量到达渠尾调节池时,池中已经多流出的水量等于所增加的流量与上游流达时间之积,故该调节池容积不应小于所增加的流量与流达时间之积,即上、下游流量之差。

6 压力输水系统水锤防护

6.1 一般规定

6.1.1 根据实际调查,直径不大于 DN600 的输水管道产生破坏性水锤的概率及其危害程度较大型管道小,且输水长度一般不大,故水锤防护要求较低,可经分析并参考同类型工程做出水锤防护措施。是否需进行非稳定流计算,可根据发生破坏性水锤的可能性大小确定。

6.1.2 直径 DN600~DN1200 的输水管道,产生破坏性水锤时,往往危害较大,修复困难。工程实践表明,不进行水锤分析计算容易产生事故,影响安全供水。仅凭经验采取的防护措施,常有不当之处,起不到应有的水锤防护作用,故应经专门计算分析确定其防护措施并预测防护效果。由于水锤计算和防护理论目前尚在发展中,实际应用的水锤防护技术和措施也有很大差异,经济合理地选择水锤防护方案和措施并非易事,难度较大的水锤分析计算,建议由专业水力分析机构操作,可与设计单位的计算互相验证,以保证计算的准确性及防护措施的有效性。

6.1.3 直径大于 DN1200 的大型输水管道,应特别重视水锤防护问题。应经过专门的非稳定流分析计算,确定水锤防护方案和预测防护效果。最好由两个以上单位进行分析计算,经专题论证确定最优水锤防护方案。

6.1.4 本条为保证输水管道、水泵设备的设计经济合理、安全运行,并依据现行国家标准《泵站设计规范》GB/T 50265 确定的水锤防护措施应达到的防护效果。

6.2 水锤分析

6.2.1 在以往的输水管线设计中水锤分析往往不够全面,大多数只进行了停泵水锤防护。事实上,输水系统不仅在停泵时可能产生破坏性水锤事故,在启泵、运行阶段也有产生破坏的可能性。启泵和运行水锤破坏是以往输水管道爆管事故的主要原因,因此,完整的水锤分析应该包括停泵、启泵、开阀、关阀、运行和流量调节各阶段的分析计算,并采取相应的防护措施。这样才能确保输水管道的安全运行。

6.2.2 停泵水锤分析可根据不同设计阶段的深度要求,参照相似的工程经验、相应的水锤计算图表进行近似估算,以及采用特征线法计算。可行性研究及初步设计阶段可进行近似估算,但应注意的是,有些水锤计算图表如帕马金(J. PARMAKIAN)图表是在泵前不安装止回阀条件下突然停泵的各种参数变化值,当有止回阀时,其压力升高等可能增大。施工图阶段的水锤分析及防护应采用特征线法计算。

6.2.3 启泵水锤主要在新建输水管道初次充水、检修或其他原因停运后再次启动、突然停泵后再次启动情况下发生的。这三种情况下产生的启泵水锤一般均为含气型断流水锤,主要原因是在停泵时可能造成管道内大量存气,启泵充水速度超过排气速度,产生气堵,出现水柱撞击现象。因此,启泵水锤分析应结合输水管路和泵站具体情况,结合管路上排气装置的排气性能、管道的含气量等,预测产生启泵水锤的可能性及其危害程度,提出合理的防护方法等。

6.2.4 重力输水管道关阀水锤分析应包括按常规人为关闭管道末端检修阀门和水位控制阀自动关闭两种工况。前者分析中应根据检修阀形式,确定合理的关阀程序。后者根据水位控制阀形式和水池容积大小,进行关阀水锤分析,确定水位控制阀性能参数和技术要求。

6.2.5 重力输水管道开阀水锤分析的重点是计算开启末端阀门可能产生的降压波,是否可能引起管道某些部位产生水柱中断,以及断流水锤升压的大小,是否可能引起爆管事故。

6.2.6 输水管正常运行及调节期间产生的破坏性水锤,最可能是含气型断流水锤。当管道内长期存气不能及时排出时,会产生持续不断的压力振荡,一定量的气体发生突然聚积,迅速截断管道过水断面,极易发生水柱中断,产生断流弥合水锤。理论分析表明,断流水锤产生的压力升高可达几兆帕,足以破坏一般输水管道。根据有关理论,饱和水中气体含量为水体积的2%,有很多因素可能引起输水管道内存气,由水泵加压的输水管道,水泵叶轮内的负压区内会产生气体释放。应通过对管道内气体释放聚集和气囊运动是否造成破坏性水锤升压的分析,采取迅速、及时、平稳地排出管道内存气的措施。

6.3 水锤防护

6.3.1 输水管水锤防护措施应完整,不仅要进行停泵水锤防护,还应对其他各种类型水锤如启泵、运行、开关阀门等引起的水锤都做到良好的分析和防护。水锤分析计算的目的是给出安全可靠、经济合理的水锤防护方案,计算结果的准确与否取决于各种边界条件、物理模型的正确程度,物理模型的建立应与管路附件即各种阀门、管道内水流形态等相关,准确掌握各种阀门的动态水力性能,提出切合实际的技术要求,是水锤防护取得良好效果的保证。各种水锤防护装置工作参数的调节都通过水锤计算确定,这样才能保证输水系统安全运行。

6.3.2 防止停泵水锤常用方法是在水泵出口处安装快慢二阶段关闭的缓闭止回阀。为获得最佳的防护效果,其工作参数即快慢二阶段关闭的角度和时间应通过水锤计算,经多方案比较后确定。当仅采用缓闭止回阀防护效果不够可靠时,还可加装超压释放装置进行辅助防护。超压释放装置安装的位置及其规格也应通过计

算确定。在有条件的输送原水的输水管道中,也可设单、双向调压塔作为水锤防护措施。单向调压塔通过向管道内注水消减真空,不向管道内注气,避免了管道气水两相流动造成压力波动的危险。防断流水锤效果好,但其工程投资大,运行管理难,还可能造成水质污染,故实际中应用较少。在输送清水的管道中不宜使用调压塔,而应使用注排气阀消除管道真空。经过水锤计算采用性能良好的注排气阀,通过快速注气,快速和缓冲排气,既可节省投资,又可获得良好的水锤防护效果,这是目前使用较多也会是将来使用较广的措施之一。

6.3.3 由于启泵水锤主要是含气型断流水锤,其防护方法应针对管道合理排气为重点,采用具有缓闭功能且在任何流态下都可快速排气的排气装置。用于检修后再次充水,突然停泵后再次启动时防止启泵水锤的排气阀,应具有缓闭功能;也可采用大、小排气阀结合的办法实现缓闭。还应保证在输水管道中存在水气相间或有多个不连续气囊时,都能大量连续排气和缓闭。

7 压力输水系统运行

7.1 充水启动要求

7.1.1 压力输水管道的充水启动应编制运行操作规程。运行操作规程的编制要考虑输水管道稳定流、非稳定流各种工况,并结合输水管道高差、距离长短、布置形式、管流形态和管道各种附件的动作性能等因素,必要时可请有关专家指导或参加编制。由于充水启动过程中流速、压力等流动参数处于调节渐变过程,意外影响因素很多,对于较复杂管道和大型管道的充水启动,有必要请有经验的专家进行现场指导。

7.1.2 根据有关工程实际经验和相应理论计算,有压输水管道充水时,充水流速控制在 $0.3\sim 0.5\text{m/s}$ 效果较好。太低流速带不走管道存气,不利于管道排气,也使通水时间过长;太高流速可能使管道充水速度大于排气速度,造成气堵,引起压力振荡。

7.1.3 保证输水管道安全充水启动的关键是排气顺畅,要求管道上所安装的排气阀做到无论管道处于何种流态,都能够打开大、小排气口高速排气。在水气相间时,仅微量排气是不能满足较大管径输水管道充水启动要求的。

7.2 有压重力输水管道运行要求

7.2.1 重力管道充水的关键是控制充水速度和管道排气。管道末端阀门的开启,有利于释放意外超压,但过量放水也会增长充水时间,故末端阀门的开关和开启度应结合管路情况适时改变。管道是否已充满水,一般可通过排气阀是否终止排气进行判断。但充水速度过慢,排气不畅的管道即使排气阀终止排

气,仍可能在很多部位大量存气,使水难以充满管道,留下安全隐患。

7.2.2 重力输水管道短期停水可采用关闭上游进水阀门放空全部管道存水,或关闭下游阀门保持管道充满状态两种操作方式。前者在停水期间管道无压,安全无忧,但在重新启动时,需重新进行充水排气,耗费人力和时间,还易因控制不当发生事故。后者保持管道充满状态,停水期间,管道承受最大静压力,但重力输水管道设计承压能力大于管道关阀时的最大静水压力,不存在危险,再次启动时,直接开阀即可,方便安全。

7.2.3 重力输水管道的流量调节分为上游和下游调节两种方式。上游调节易出现管道水柱中断,发生断流弥合水锤;下游调节也可能产生压力波动,但不是断流水锤,较为安全。

7.3 加压输水管运行要求

7.3.1 水泵启动充水一般有三种情况,即正常启动,初次通水启动和突然停泵后再次启动。应特别注意突然停泵后再次启动的操作,很多输水管道爆管事故都是在这种情况下发生的。突然停泵过程中产生的降压波往往会使管道中进入大量气体,若按正常情况增加管道流量而忽视管道中存在气体,会使充水速度大于排气速度,就可能产生断流弥合水锤。因此,突然停泵后再次启动应限制充水速度,并检查管道沿线排气阀的排气状态,直至所有排气阀均停止排气或保证管道无气体存在时,再逐步加大充水速度至正常流量,才能保证安全运行。

7.3.2 输水管水泵停泵,应按正常操作规程的要求做到先关阀,后停泵。一般不应采用直接断电停泵的方法,因为这样做相当于突然断电的非正常停泵,尽管有缓闭式止回阀,但仍不如先关阀、后停泵更利于输水管道安全运行。

7.3.3 采用多台水泵并联方式加压的输水管道,在进行流量调节时,应注意增加或减少工作水泵的操作方式,并制定缓开缓闭水泵

出口阀门的操作规程。除经水锤计算保证增减一台水泵不会使管道任何部位压力降低至零及产生过高水锤升压外,每一台水泵切换时均应遵循先关阀门后停泵以及关阀启动的操作原则。

8 监测和控制

8.1 一般规定

8.1.1 以往设计的输水管道一般管理水平较低,无法进行监测和控制。为了保证输水管道的安全运行,新建输水管道应考虑设置必要的监测和控制系统。可根据输水工艺的复杂程度、规模、环境条件、经济等因素确定监测和控制系统的水平。

8.1.2 在同一输水管道系统中,应使控制设备和仪表的品种、规格,尽可能取得统一,以便于维护管理。对于易出现故障和关键的控制设备应有备用。除根据生产操作要求考虑事故状态下的电源备用外,还应对控制和通讯设备,如电子计算机、可编程序控制器、备用信道等,根据其重要程度选取在线热备或冗余设备。

8.1.3 在供电不方便的部位,当其他条件允许时,可利用输水管道内的水压力作为水力控制阀门的动力。

8.2 监测和通讯

8.2.1 当输水流量需求变化大而又无调节水池时,输水流量超限会导致事故或资源损失,应对输水流量、压力(或水位)进行检测及控制。为了便于发现事故和漏失水量,应对输水管线首末端流量进行监测,并要求有一定的监测精度。应设置必要的监测设备,以便于操作人员掌握输水生产情况,积累数据,提高安全运行和管理水平。

8.2.2 监测和控制水平较高的输水系统,通讯和数据传输方式应与自动控制系统相协调,并符合当地的实际情况。

8.2.3 通讯和数据传输中继站应设在输水管道管理所、泵站,以便于利用公用设施和维护管理。

8.2.4 数据信号的传输速率应满足输水管道监控系统的功能要

求,按照目前通讯传输水平衡量,不应低于 4800bps,误码率应小于 10^{-6} 。

8.2.5 为了方便输水管道事故抢修、巡回检查、日常维修和投产时的通信联络,可配备移动电话等通信设备。在泵站等生产和管理设施内,应按有关标准配备通信装置。

8.3 自动化控制

8.3.1 为减少输水管(渠)道系统异常工况和紧急事故造成的损失,在监测和控制系统中可包括报警和紧急停运功能。

8.3.2 配备了水平较高的监测和通讯系统的输水管(渠)道,可增加远动控制功能,实行集中监测和控制。

8.3.3 自力式调节阀具有结构简单、维修方便、国内产品已基本形成系列、有成熟的使用经验等优点。性能较好的先导阀式调节阀适用于控制压力较高、流量较大的场合。直接作用式调节阀适用于流量较小的管道。加压输水的流量和压力调节,以往多采用增减加压水泵台数的方法实现,如果流量、压力变化较大,可通过技术经济综合比较选用调速水泵机组方式调节。

8.3.4 为保证密闭式梯级泵站输水安全运行,必须对泵站进、出压力进行调节。进泵压力不得低于设定值,出站压力不得高于管道的最高允许操作压力。进泵站压力超过低限会使泵产生气蚀。进站压力过高会损坏水泵和管道。国内外已越来越多地将自动式压力超限泄压阀用于保护。泄压阀动作的压力设定值应根据突然停电、阀门误动作等产生水锤时,进站压力最高值和泄压系统的设定值进行调节。

8.3.5 大型电机一般都设有轴承温度、电动机定子温度等的检测装置,应采集信号实现超限报警和连锁停车。

8.3.6 为保证连接水池上、下游流量配合,应调节进出水量。为防止快速开关造成破坏性水锤升压,应优先采用具有缓闭功能的水位和流量控制阀。