

长距离输水管道设计中的若干问题探讨

刘芳

(华东建筑设计研究院有限公司市政工程设计院, 上海市 200041)

摘要: 随着我国城市化发展的水平越来越高,城市单一供水水源的水质水量问题越来越突出。科学、合理地进行水资源分配,打破地区供水限制,能够有效地解决上述问题。目前很多城市已经建成或正在建设一定规模的长距离输水工程,对有限的水资源进行更合理的分配,保证居民生活生产用水安全。优化长距离输水管道设计,对供水工程的安全性、可靠性、经济性有重要意义。因此,以浙江某工厂的长距离输水管道工程为例,研究长距离输水管道的管径、管材和安全防护等问题。

关键词: 长距离输水;管径;管材;安全防护

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)02-0214-03

0 引言

近年来,我国出现越来越多的长距离输水工程。长距离输水模式打破了传统模式下不同区域条件分割的供水局面,将水资源重新分配。长距离输水不仅有效解决了饮用水源的水质水量问题,同时还带动了供水产业的发展,促使大型供水企业的形成。长距离输水对保障城市供水安全、促进各产业经济发展都起到了积极作用。

长距离输水管道的设计是否合理,对整个输水工程的投资、建设、运营管理等方面的影响都极大。合理的管道设计不仅可以减少工程投资,还对整个输水系统的安全运行有重要作用。本文以浙江某工厂取水项目为例,对长距离输水管道设计中的管径确定、管材选择和安全防护等问题进行探讨。

1 项目概况

该工厂计划建造一座取水泵房和 14.2 km 输水管道进行取水、输水,以满足生产需要。根据建设单位水量需求,一期输水管末端最大取水量为 2 200 m³/h(每年按 8 000 h 计),二期输水管末端最大取水量为 4 500 m³/h(每年按 8 000 h 计)。设计按远期规划考虑,同时满足近期取水功能要求。河道给水输送工程按二期规模一次建成,取水泵站设备按一期规模安装,并预留二期泵位和管道接口。

参考相关工程,本次设计输水管道的漏损水量

按 8% 考虑,则输水管道起点处(即取水泵房)的水量见表 1。

表 1 本工程输水管道水量

项目	输水管末端水量 / (m ³ ·h ⁻¹)	输水管起始端水量 / (m ³ ·h ⁻¹)
一期流量	2 200	2 376
二期流量	4 500	4 860

根据表 1 得出,本工程输水管道一期输水量为 2 376 m³/h,二期输水量为 4 860 m³/h。

由于该工厂内设有一座 4 万 m³ 蓄水池,并引入一根 DN800 市政给水管作为应急水源,可保证用水安全,符合《室外给水设计标准》(GB 50013—2018)和《城镇供水长距离输水管道工程技术规程》(CECS193:2005)中只设置一根输水管道的条件,因此本次输水管道按照仅敷设一根管进行设计。

2 管径确定

根据《城镇供水长距离输水管道工程技术规程》(CECS193:2005)中对有压输水管道流速的要求,结合本工程一期、二期输水量进行初步测算,有 DN900、DN1000、DN1200 三种管径基本满足流速、水量要求。

进一步对上述三种管径进行比选,计算其水头损失和水泵所需扬程。

管道总水头损失 $h =$ 管道沿程水头损失 $h_y +$ 管道局部水头损失 h_j

其中,管道沿程水头损失根据海曾威廉公式计算:

$$h_y = \frac{10.67q^{1.852}l}{C_h^{1.852}d_j^{4.87}}$$

收稿日期: 2020-06-29

作者简介: 刘芳(1988—),女,本科,工程师,主要从事市政给排水设计工作。

本工程采用焊接钢管, C_h 取 120, 管道长度为 14 200 m。

局部水头损失按下式进行计算:

$$h_j = \xi \frac{v^2}{2g}$$

本工程设计范围内包括 2 个 90°弯头、140 个 45°弯头、38 个 30°弯头、13 个 10°~29°弯头、46 个蝶阀、60 个伸缩接头、2 个流量计, 总局部阻力系数 ξ 为 104。

水泵扬程 H 按“管道总水头损失 h + 输水管起终点高差 + 出水富余水头”计算, 根据建设单位提供的资料, 输水管起终点高差 = 原水预处理系统高密池最高设计水位 9.97 m- 取水泵房内最低水位 0.16 m=9.81 m, 出水富余水头取 2 m。

计算结果见表 2。

表 2 三种管径水头损失和水泵扬程比选

管径	流量 Q / (m ³ ·h ⁻¹)	流速 v / (m ³ ·s ⁻¹)	沿程 水头 损失 /m	局部 水头 损失 /m	管道 总水 头损 失 h/m	水泵 扬程 H/m
DN900	2 376	1.033	16.6	5.7	22.3	34.1
	4 860	2.113	62.8	23.7	86.5	98.1
DN1000	2 376	0.840	10.1	3.8	13.9	25.8
	4 860	1.719	38.1	15.7	53.8	65.7
DN1200	2 376	0.584	4.2	1.8	6.0	17.9
	4 860	1.194	15.8	7.6	23.4	35.3

从表 2 中可以看出, DN900 管道在二期工况下运行时, 所需水泵扬程较高, 导致输水管道内压较大, 整个输水系统存在较大安全隐患, 不利于输水管道稳定运行。因此, 从管道安全运行角度来看, DN900 不是最优选择。

从管道流速和运行安全上, DN1000、DN1200 均属于合理的选择。接下来需从经济角度对上述两种管径进行比较。管径的确定既要考虑工程的一次性

投资, 也要考虑今后长期的运行费用。DN1200 管道在初期管道成本上投入更多, 而 DN1000 管道需要配套高扬程水泵, 后期运行电费增加。

本工程一期、二期水量变化较大, 有两种水泵选型思路: (1) 按二期水量、扬程选择变频泵, 一期时变频至低流量低扬程运行; (2) 根据一期、二期流量、扬程进行大小泵搭配, 一期运行低流量低扬程泵, 二期运行高流量高扬程泵。根据建设单位的需求, 本工程一期、二期建设时间不超过 3 a, 方案 (2) 中低流量低扬程泵使用时间短, 闲置率较高, 造成资源浪费, 因此本工程选择方案 (1) 采用变频泵来满足一期、二期不同的水量要求。

根据流量、扬程和水泵参数样本, 进行水泵选型如下:

(1) 管径为 DN1000 时, 选择 $Q=1\ 800\ \text{m}^3/\text{h}$, $H=70\ \text{m}$, 电机功率 560 kW 的立式斜流变频泵, 一期时采用 2 用 1 备, 变频至 66% 运行; 二期时增加 1 台泵, 3 用 1 备。

(2) 管径为 DN1200 时, 选择 $Q=1\ 800\ \text{m}^3/\text{h}$, $H=38\ \text{m}$, 电机功率 315 kW 的立式斜流变频泵, 一期时采用 2 用 1 备, 变频至 70% 运行; 二期时增加 1 台泵, 3 用 1 备。

电费按照当地电单价 0.68 元计算, 水泵运行时间按每年 8 000 h 计算。

两种管径条件下水泵运行成本具体计算, 见表 3。

从表 3 中可以看出: 一期工况下, DN1000 管道配套水泵每年运行的电费比 DN1200 管道配套水泵每年运行的电费增加 57 万元; 二期工况下, DN1000 管道配套水泵每年运行的电费比 DN1200 管道配套水泵每年运行的电费增加 400 万元。而根据当地管道材料价格, DN1000 管道比 DN1200 管道节省的材料费在 400 元 /m 左右, 整个工程输水管道按 14 200 m 计算, 最多节省 568 万元的材料费用。在

表 3 两种管径条件下水泵运行成本具体计算

流量	管径	水泵扬程 H/m	水泵台数和参数	水泵总功率 /kW	水泵年运行 电费 / 万元	备注
一期流量 2 376 m ³ /h	DN1000	25.8	水泵采用立式斜流泵, 2 用 1 备 (每台水泵流量 1 800 m ³ /h, 扬程 70 m, 电机功率 560 kW, 变频至 66% 运行)	322	175	一期 DN1000 管道每年水泵运行电费较 DN1200 管道增加 57 万元
	DN1200	17.9	水泵采用立式斜流泵, 2 用 1 备 (每台水泵流量 1 800 m ³ /h, 扬程 38 m, 电机功率 315 kW, 变频至 70% 运行)	216	118	
二期流量 4 860 m ³ /h	DN1000	65.7	水泵采用立式斜流泵, 3 用 1 备 (每台水泵流量 1 800 m ³ /h, 扬程 70 m, 电机功率 560kW)	1680	914	二期 DN1000 管道每年水泵运行电费较 DN1200 管道增加 400 万元
	DN1200	35.3	水泵采用立式斜流泵, 3 用 1 备 (每台水泵流量 1 800 m ³ /h, 扬程 38 m, 电机功率 315 kW)	945	514	

一期工况运行3 a,二期工况运行1 a后, DN1000管道的投入成本就超过了DN1200管道投入成本。

因此,综合安全运行、节约成本等方面考虑,本工程采用DN1200管道较为合理。

3 管材选择

目前,长距离输水管道中常用的管材主要有钢管、球墨铸铁管、钢筋混凝土管和玻璃钢管。上述管材优缺点对比,见表4。

表4 四种管材优缺点对比

管材种类	优点	缺点
钢管	应用范围广,易加工,强度较高,工期短,能穿越特殊地质	防腐要求高
球墨铸铁管	适用于各种地质条件,易安装,工期短,使用寿命长	造价高,管壁薄,施工时容易变形
钢筋混凝土管	价格低廉,密封性能好	质量重,工期长
玻璃钢管	强度高,质量轻,水头损失小,耐腐蚀	刚度低,易破损

针对本工程线路较长、地质条件多变、穿越多处河道、公路等障碍物的特点,设计中选择采用钢管。钢管整体性好,能适应不同地质条件,并可以通过架设管桥、顶管等方式穿越河道、公路等障碍物。

针对钢管防腐性能较差的问题,本次设计钢管内防腐采用液体环氧涂料防腐层。防腐做法详见《钢制管道液体环氧涂料内防腐层技术标准》(SY/T 0457—2010),普通级防腐,防腐厚度不小于200 μm 。

钢管外防腐不同区段采取不同的外防腐措施:

(1)一般埋地段

本工程埋地钢管外防腐采用环氧煤沥青涂料。按特加强级(六油二布)构造设置,干膜厚度不小于600 μm 。

环氧煤沥青涂料外防腐层结构:底漆—面漆—面漆—玻璃布—面漆—面漆—玻璃布—面漆—面漆。

(2)跨河道桥梁段

本工程跨河道桥梁段钢管外防腐采用环氧煤沥青涂料。按加强级(四油一布)构造设置,干膜厚度不小于400 μm 。

环氧煤沥青涂料外防腐层结构:底漆—面漆—面漆—玻璃布—面漆—面漆。

(3)过路顶管段

本工程过路顶管段钢管外防腐采用熔结环氧粉末涂层,相应涂装质量标准按《熔融结合环氧粉末涂层的防腐蚀涂装》(GB/T 18593—2010)执行,涂层厚度不小于400 μm 。

4 安全防护

长距离输水管道的安全防护问题主要包括水锤防护和事故取水两个方面。由于本工程仅设置一根取水管道,管道事故检修时由厂区内的蓄水池和市政给水管供水,事故取水能得到保障。因此,本次设计中安全防护的重点在于水锤防护。

本工程设计中采用以下措施防止水锤:

(1)防水锤型排气阀

本工程在输水管道局部高点设置防水锤型排气阀,在管道运行时能排出集结的空气,同时在管道内出现负压时,可以迅速吸入空气,消除管道负压,保护管道运行安全。

(2)重锤式液控止回阀

在水泵出水管后设置重锤式液控止回阀可有效减少水泵停止时产生的水锤,保护管道运行安全。

(3)控制阀门启闭时间

阀门启闭过快是产生直接水锤的主要原因,延长阀门启闭时间可明显减小直接水锤,有利于管道运行安全。

根据相关单位提供的《长距离供水管道水力分析研究计算报告》(以下简称《报告》),对本次设计方案进行复核算。《报告》认为:本次设计管道在稳态运行时满足承压标准,在故障停泵时管道中各管段压力均满足要求,无须再采取额外的水锤防护措施。《报告》建议当水泵发生反转时,调节阀门关闭规律(调整为第一段40 s关闭80%,第二段200 s关闭20%)和开启规律(调整为一段直线40 s开启),从而缓解停泵时水泵发生反转和启泵时泵后存在较大压强的问题。

5 结论

在长距离输水工程设计中,输水管道的管径确定、管材选择、安全防护等工作都至关重要。选用的管道口径过小,会加大水头损失,需要选用扬程较高的水泵,直接增加后期泵站运行费用;选用的管道口径过大,会导致管道流速过低,造成固体杂质沉积,加大压力管道后期运维难度;管材选择直接影响工程造价、施工难度等方面;而安全防护设计决定了管道的使用寿命。在设计中,应根据工程实际情况进行技术、经济综合比较,并需要考虑输水系统安全运行的措施,选择最合理的管径、最合适的管材、最安全的防护。本文根据实际案例对长距离输水管道设计中的若干问题进行探讨,综合安全性、可靠性、经济性等方面进行管径确定、管材选择、安全防护等。