

## 长距离输水管线管道工程设计要点

陈 然

郑州市水利建筑勘测设计院, 河南 郑州 450003

**[摘要]**在我国城市的不断建设和发展中,对于很多资源和能源的需求都在不断增加,尤其是水资源已经成为当前国际关注的一个大问题,而且就我国的水资源而言,南北分布不均的矛盾更是日趋严重。在这样的环境下,水资源的运输是当下需要解决的一个重要问题,也正是因此,长距离输水工程的数量呈现出了逐年递增的状态。当前阶段,在长距离输水工程中,大口径长距离输水管道是我国跨区域进行水资源调配的常用方式,并且在保证运输过程中水质不会发生变化、施工材料选择、施工线路设计以及施工的便捷程度方面都存在着极为明显的优势,这也是以往的渠道输水所无法比拟的。基于此,文章结合了一些实际的案例,针对长距离输水管道工程在设计初期的线路铺设、管材的选取以及远距离下水力的情况等方面都进行了详细的论述,同时针对长距离输水管线工程设计过程中可能会出现的一些突发情况以及注意事项进行了分析研究,希望能够更好地促进我国长距离输水工程的发展。

**[关键词]**长距离调水;输水管道;设计重点;管材选择;沿程水头损失

DOI: 10.33142/aem.v4i6.6262

中图分类号: TV22

文献标识码: A

## Key Design Points of Long-distance Water Transmission Pipeline Engineering

CHEN Ran

Zhengzhou Water Conservancy Construction Survey and Design Institute, Zhengzhou, He'nan, 450003, China

**Abstract:** In the continuous construction and development of China's cities, the demand for many resources and energy is increasing, especially water resources has become a major issue of international concern, and in terms of China's water resources, the contradiction of uneven distribution between the north and the south is becoming more and more serious. In such an environment, the transportation of water resources is an important problem to be solved. Therefore, the number of long-distance water transmission projects is increasing year by year. At the present stage, in the long-distance water transmission project, the large-diameter long-distance water transmission pipeline is a common way for cross regional water resources allocation in China, and it has very obvious advantages in ensuring that the water quality will not change in the transportation process, the selection of construction materials, the design of construction line and the convenience of construction, which is unmatched by the previous channel water transmission. Based on this, combined with some practical cases, this paper discusses in detail the line laying, pipe selection and hydraulic conditions in the early design stage of long-distance water transmission pipeline project, and analyzes and studies some emergencies and precautions that may occur in the design process of long-distance water transmission pipeline project, which is hoped to better promote the development of long-distance water transmission projects in China.

**Keywords:** long distance water transfer; water pipeline; key points of design; pipe selection; frictional head loss

### 引言

在我国,降雨量稀少的区域多集中的西北部分,而且很多地区由于水资源的严重匮乏,已经导致区域内的工业和农业生产都处在了一种停滞的状态,这也严重阻碍了当地经济的发展。一直以来,我国的水资源都呈现出一种南多北少的状态,时空分布不均的情况极为明显,如果在将这些区域进行详细的划分就会发现时空分布不均的情况愈加严重。为了能够从根本改善水资源分布不均的问题,就必须考虑到长距离输水和跨流域调水的方案,以此来实现水资源的高效利用以及有资源的优化配置,而且相关技术人员必须要明确,水资源的优化配置通常会受到多个不同目标影响的大系统问题。从目前的实际输水现状来看,大口径长距离输水管道在进行水资源调配的过程中已经

比较常见,可以说是其中最为基础的结构,在其输水的过程中,既能够保证运输过程中水资源不会被污染,而且管道整体的安全性极高,所以说,长距离大口径输水管道在实际应用的过程中有着极强的优越性,是其他渠道输水所无法比拟的<sup>[1]</sup>。

### 1 长距离输水工程案例

以我国西北某地区供水工程为例,该工程主要是为附近的工业园区输水,工程线路的总长度约为 69km,在流量的控制上保证在  $4\text{m}^3/\text{s}$ ,在设计上主要运用单管输水,单管的直径为 2m,在管道末端设计了水库用于备水。但由于园区内用水高程相较于管道首端高程要高出 130m 左右,这样就必须借助加压泵来实现对园区的供水。

该工程主要为工业园区提供水资源,而且整个区域内

的地形属于南高北低、东高西低,并且处在山前冲洪积区,而且在其东西两侧已经修建了道路,铁路的位置也是与之相平行的,在与公路距离 1km 左右的北侧,属于煤矿开采区,水源为西北方向冲击下游平原水库。

## 2 管线布置原则

(1) 在供水线路的设计上,要尽量避免弯曲铺设,确保供应地和被供应地的距离最短,而且要选择一些地势较为平坦的区域,避开砂石区,最大程度上减少穿越障碍的次数,以免给施工造成阻碍,增加项目成本。此外,还要尽量避免重大的拆迁区域,而且最好不要占用农田,如果是无法避免的情况下,也要在保障工程建设前提下,占用最小的区域。

(2) 在输配水管线走向和位的设计中,需要考虑到多方面的因素,并且要结合区域内城市和工业的整体规划目标,同时要尽量不开辟新的线路,这样在后期的施工和维护中也会更加方便。在设计管线末端备用水池时,一定要保证其离园区的距离不能太远,这样才能更有利于向园区及下级管网的有效输水<sup>[2]</sup>。

(3) 为了能够给施工过程造成不必要的麻烦,所以在管道铺设路线的选择时,一定要避开山脊、沼泽、河谷等区域。另外,铁路周边也是需要重点避开的区域,如果需要经过山路沿线,一定要选择不容易发生泥石流和塌方的位置。

(4) 在管道线路的选择中,一定要充分利用沿线的地形优势,尽量能够实现重力输水,这样会节省能够的能源消耗。如果一些区域内的地形条件无法满足重力输水,需要安装加压泵,那么就需要减少输水管道的长度,并结合周边所有有利和不利因素对最初的布置方案进行优化和调整。

(5) 在输水管道铺设时,矿区也是需要避开的重要区域,但是如果必须经过时,需要重点避开采油区或者是一些露天开采的矿区。

(6) 当输水管道的铺设需要经过公路、铁路周边时,一定要选择与道路平行铺设,尽量不要选择交叉式铺设,这样不仅会增加工程量,而且后期的维护工作也会比较困难<sup>[3]</sup>。

(7) 在输水管道线路的选择上,除了需要考虑到上述这些因素外,还应结合设备和管材的特性特征已经工程的造价控制等方面,选择最优方案。以上述西北地区某工程为例,在线路的选择上,就充分结合了地形优势以及园区周边的环境,在线路的布置选择上利用了稳压水池,并保证其水位能够始终保持在 850m,在扬水管道的设计上使其长度保持在 12km。稳压水池后管线在铺设时,需要经过铁路,所以在规划的过程中从沿线铺设,直接与工业园区距离最近的备用水库相连接,这样就轻松实现了重力自流,流段为 56km,备用水库的水位为 800 米。这样规划的优势就在于:第一,使扬水管道保证在一个最短的

距离内;第二,不会经过煤矿区域;第三,所有管路都是与道路平行铺设,不仅给施工带来了便利,而且无论是材料运输,还是管道的后期维护检修都比较方便,而且避免了一些危险的发生。

## 3 管材选择

一般情况下,输水工程的管道布置长度如果超出一定的阈值,则其实际的管道布置成本就会激增,此时,无论是管道的布置线路,还是管道的实际应用材质,都会对工程投资的实际成本产生相对明显的影响。管道工程在总工程中的投资比重一般不会低于一半,具体的范围会维持在 55%-75%之内,此时的投资比重相对较高。本工程属于长距离管道供水工程,实际的管道规划总线长度达到了 70km,这就对管材的选择提出了更高的要求<sup>[4]</sup>。在本次管道施工中,途径的施工地势相对复杂,地貌变化也相对明显,此时,就需要根据此类地势或者地貌的具体形态,对管道材质的选择结果进行具体地优化,促使其可以更好地符合施工规范和相关的设计要求。在具体的优化过程中,可以针对管材的抗压能力、抗腐蚀能力以及实际的耐久性、稳定性和经济适应性进行评估,尤其是抗腐蚀能力和耐久性,其对长距离管道输水的实际质量影响最为明显。另外,也需要结合地势地貌,兼顾具体的施工难度以及后期维护的便利程度等,这样才能在多方面考察影响管道输水质量的因素。

### 3.1 管材选择原则

管材选择原则应以管材本身的尺寸规格为基础,在不同规格尺寸的影响下,管道本身的应力强度也会有明显的差异,其中,管道的长度和实际的直径对管道强度的影响较大,并且也会直接影响管道路线选择的实际情况。从运行方式角度分析,管道线路的运行方式需要具备相对灵活的调节设施,包括管道的流量调节以及实际的管道压力调节等。在针对管道的强度系数进行选择时,需要重点考虑的问题是常规工况下应力载荷以及非常规工况下的应力载荷,而这种非常规工况下(低温高压等)的应力载荷表现结果对管材选择结果的影响相对较大。在此基础上,需要考虑到管材本身的供货情况、运输便利程度以及实际的管道线路布置工期等,这样才能从安装实际的角度出发,确保管道线路安装状态稳定可靠。另外,管道材料本身的水密性需要相对较好,并且需要在长时间的运行状态下,不会出现相对明显的水密性差异,此间,相关工作人员应对管道进行压力试验,确保漏水量不会超出管道运行阈值<sup>[5]</sup>。最为关键的是,管材需要适应长距离输水工程施工的实际要求,包括地势地貌要求、气候条件要求以及土壤化学状态要求等。在此类要求之下,工作人员还应注意统计沿线地区的温差表现或者地势地貌变化特征,这样才能确保管材的选择综合效果好,实际的施工适应性也较强。

### 3.2 各类常用材质管道特性分析

首先, 钢管 (SP 管) 是柔性连接管道, 此类管道的生产工艺相对成熟, 施工的实际效果也有相对较好的保障, 其机械强度高, 本身的应用适应性也相对较强, 具有较好的可修复性, 并且维护成本较低。在选择连接形式时, 此类管道可以同时适应承插连接以及焊接, 只需要根据具体的管道布置尺寸进行选择即可; 其次, 球墨铸铁管 (DIP 管) 也属于柔性承插连接管道, 但是此类管道的抗腐蚀性能相对突出, 并且在实际的应用过程中可以表现出良好的封闭性, 实际的安装效果也较好。需要注意的是, 虽然此类管道具有较好的韧性和抗压强度, 但这并不代表此类管道的稳定较好, 其实的稳定性需要结合具体的施工环境进行试验评定; 再者, 预应力钢筒混凝土管 (PCCP 管) 也有所应用。此类管道的管芯是带钢筒的混凝土, 这就促使此类管道具有较好的抗渗水特性。再加之管道外壁缠绕覆盖的高强度钢丝, 促使此类管道的刚度表现明显, 属于刚性承插连接管道, 一般适用于相对较大的输水口径, 实际的抗压能力额相对较强。另外, 玻璃纤维增强塑料夹砂管 (RPMP 管) 是一种新型的复合管道材料, 此类材料具有较强的抗压特性, 延展性也相对较好, 是一种柔性承插连接管道, 但是此类管道的应用成本相对较高, 一般情况下, 并不会在长距离输水过程中全程应用此类管道材料。

### 3.3 管材选取结果

管材选择的实际结果基于管段的实际压力情况, 其中, 有 50% 以上的管道区段的压力超出了 1MPa, 这一方面与长距离输水的地势地貌条件相关, 另一方面也与线路布置的实际形态相关。这就导致管道的整体压力相对较大, 为此, 应选择抗压能力相对较好的管道材料。再加之施工区域存在冻土, 并且冻土层的深度接近 3m, 导致对管道的抗压能力要求更高。综合此类要求, 最终选择了 PCCP 管道作为主要的管道布置材料<sup>[6]</sup>。在实际的施工过程中, 经常会出现接口处漏水的情况, 这是因为接口处容易出现变形, 进而影响接口处的密封性, 此时, 则需要在接口处应用压力适应性较强的管道材料。在本次工程施工中, 接口处应用的材料为涂塑钢管, 此类管道材料的承重压力一般大于 1MPa。同时, 将此类管道的应用距离限定在了 6km, 其余的管道部分采用 PCCP 管, 此类管道的抗外压能力相对明显, 并且实际的应用成本相对涂塑钢管较低, 可用于长距离的输水管道施工, 其实际的施工距离超过了 60km, 是本次长距离管道施工中的主要管道材料。另外, 为了做好工程维护工作, 在实际的管材应用中, 也对其管道动态性能进行了跟踪统计, 在一些地形相对复杂的地段, 重新规划了实际的管道布置形式和结构, 提升可管道材料的应用适应性。各类管道的管材对比选择情况如下表 1 所示。

表 1 DN2000mm 管材对比表

项目	涂塑钢管	球墨铸铁管	预应力钢筒管	玻璃钢管
抗渗性能	利用管道材料自身作为防渗结构, 防渗性能强	利用管道材料自身作为防渗结构, 防渗性能强	采用 1.5mm 钢管筒作为防渗, 防渗性能强	利用管道自身材料作为防渗结构, 防渗性能强
耐腐蚀性能	内涂层: 环氧树脂粉末。外涂层: 聚乙烯。强腐蚀环境考虑阴极保护	内衬水泥砂浆, 外壁喷电弧镀锌+高氧化聚乙烯涂层, 强腐蚀段外加 PE 套, 耐腐蚀性能强, 一般不考虑管道阴极保护	外防腐为环氧煤沥青, 内防腐为水泥砂浆。需考虑阴极保护	内、外均为涂树脂, 耐腐蚀性强, 无需考虑阴极保护
承受内、外压	抗内压能力强, 抗外压能力主要取决于回填土料物理特性及回填质量	可深埋能承受较大内压, 抗外压能力主要取决于回填土料物理特性及回填质量	可承受较高压力, 承受内压主要靠预应力钢丝。可深埋能承受较大内压, 抗外压性能好	可承受较高压力, 抗外压能力主要取决于回填土料物理特性及回填质量
承受内压能力: 涂塑钢管 > 球墨铸铁管 > PCCP > 玻璃钢管 承受外压能力: PCCP > 涂塑钢管 > 球墨铸铁管 > 玻璃钢管				
管节长度及接口型式	管节 12, 管节长, 接口少, 大管径一般采用焊接。焊接接口密封性能好, 刚性接口透应变形能力稍弱	管节最长 9m, 承插式单橡胶圈止水。柔性接口适应一定的变形	管节常用 5~6m, 承插式双橡胶圈止水, 柔性接口可适应一定的变形	管节最大 18m, 管节长、套筒连接, 两管链接处有两个接口, 承插式橡胶圈止水, 半柔性接口可适应一定的变形
重量/管材运输	重量较小, 施工运输时内部需支撑, 运输方便	重量较大, 施工运输时内部需要支撑, 运输一般	重量大, 运输困难	重量轻, 施工运输时内部需要支撑, 运输方便
使用寿命	50a 左右	50a 左右	50a 左右	50a 左右
综合造价	较低	高	较低	低

### 4 管道沿程水头损失计算

此类损失计算的具体结果并非硬性的技术引用结果, 而是需要根据长距离输水的具体情况, 加入一些经验因子, 在此基础上, 再结合一些技术性的计算公式, 包括达西公式、谢才公式等, 得到最终的相对有效的水头损失计算结果。在实际的计算过程中, 一般情况下, 应用的公式类型相对较多, 但并非所有的公式均需要得到固定的结果, 而是需要以一种检验性的标准参与到水头损失计算的过程中。综合而言, 谢才公式和海曾-威廉公式是相对常用的公式, 并且此类公式在应用参数上也有较好的参数统一性<sup>[7]</sup>。需要注意的是, 参数的选择范围在实际的计算过程中往往具备选择差异性, 而这种差异性又会收到参数计算单位的影响。一般而言, 公式计算需要以固定的标准文件为



参考,同时,需要严格遵守公式中参数的计算选择范围。在本工程的参数选择和计算过程中,参考的标准为GB50013-2018《室外给排水设计标准》中对PCCP管道施工的相关说明内容,最终得到的流量为4/s,管径为2m。在计算过程中,结算的实际结果会由于计算公式的不同而表现出相对明显的差异,但是其水头损失基本一致,差值为0.018m/km,末端水头差值为1.2m,此差异与施工距离相比,并不会影响实际的实际效果,为此,采用常用的谢才公式对PCCP管道的沿程水头损失进行结算即可<sup>[8]</sup>。具体的计算表格如下表2所示。

表2 谢才/海曾-威廉公式沿程水头损失计算对比表

公式	糙率 n	海曾威廉系数 C <sub>h</sub>	沿程水头损失/(m/km)	中值参数结果/(m/km)
谢才公式	0.011~0.0125		0.49~0.64	0.56

### 5 结束语

在我国经济发展与建设中,对水资源的需求更是与日俱增,也正是因此长距离水工程开始被国家重视起来。在其设计规划的过程中,需要综合多种因素,才能是设计方案更合理,文章也是从案例的实际出发,对其整体设计进行了详细的分析论述,希望能够为相关设计人员以启发。

### 【参考文献】

- [1] 缪晶广.长距离输水管线优化设计与研究[J].中华建设,2019(17):128-129.
  - [2] 王仁坤,张春生.水工设计手册:第二版[M].北京:中国水利水电出版社,2013.
  - [3] 谢兆歌,吴成泽.长距离输水管线的设计要点[J].能源与环境,2016(3):94-95.
  - [4] 李强,彭鹏,付冰冰.浅析长距离输水管道技术在引白水源工程中的应用[J].水利建设与管理,2016(12):50-52.
  - [5] 程万达.赣东地区供水工程长距离输水管道设计要点[J].中华市政工程,2018,197(2):47-49.
  - [6] T/CWHIDA 002-2018 水利水电工程球墨铸铁管道技术导则[S].
  - [7] GB50013-2018 室外给排水设计标准[S].
  - [8] 石硕,苏思.长距离输水管道工程设计[J].山西建筑,2017,43(1):144-145.
- 作者简介:陈然(1988.10-),毕业院校:华北水利水电大学,所学专业:水工结构,当前就职单位:郑州市水利建筑勘测设计院,员工,中级工程师。