

乌鲁木齐市大西沟管道引水工程设计要点及解决方案

孔晓阳,袁磊

(水利部新疆维吾尔自治区水利水电勘测设计研究院,新疆 乌鲁木齐 830000)

摘 要:文章介绍了乌鲁木齐大西沟管道引水工程总体布置,针对工程总水头落差大,单级压力高,压力分区多,输水距离长,冬季气温低,上游总输砂量大的特点,设计在全国范围内为首次应用了 DN2400 工作压力为 2.5 MPa 的 K9 球墨铸铁管,并结合 PCCP 管解决了输水距离长的难题;优选 4 级压力分区以降低单级压力,制定综合水锤综合防护措施确保管道压力合理和工程安全;采用淹没式套筒消能阀解决工作压力大和阀前阀后压差大等难题.上述解决方案兼具先进性和实用性,具有良好的推广和应用前景,为解决类似工程设计难题提供了重要依据.

关键词:设计要点;压力分区;管材选择;水锤综合;引水工程

中图分类号: TU991.3

文献标识码: B

文章编号: 1004-4701(2017)02-0108-04

1 概 述

随着城市用水规模的不断扩大,长距离输水工程日益增多,为确保工程的安全、可靠运行,设计工作是一个重要的工程建设环节,解决好设计要点尤为重要.新疆大西沟管道引水工程位于新疆乌鲁木齐河大西沟水库下游石门子渠首至乌拉泊水库河段上,为乌鲁木齐市引水工程.工程任务为将地表水利用管道输送原水至城区净水厂,以供应乌鲁木齐市城区的综合生活用水.工程设计水平年 2015 年、供水保证率取为 97%、最大日取水量为 110 万 m^3 ,设计引水流量为 12.73 m^3/s .

工程区多年平均气温为 1.53 $^{\circ}\text{C}$,月平均最低气温为 -19 $^{\circ}\text{C}$,极端最高气温 32 $^{\circ}\text{C}$,极端最低气温 -35.2 $^{\circ}\text{C}$.受大西沟水库影响下石门子渠首多年平均悬移质输沙量为 6.318 $\times 10^4 \text{ t}$,多年平均推移质输沙量为 0.1908 $\times 10^4 \text{ t}$,总输沙量为 6.509 $\times 10^4 \text{ t}$.工程地震动峰值加速度值均为 0.15 g,相应的基本烈度为Ⅶ度.管线及建筑物的基础基本均为第四系全新统冲洪积卵石混合土.

2 工程总体布置

本工程由取水首部、引水管道及消能减压稳压设施组成,引水管道全线采用地埋式,具备全年输水条件,采

用单管供水.取水首部位于乌鲁木齐河左岸,石门子渠首下游约 350 m 处,上游接乌鲁木齐河灌区续建配套与节水改造工程(四期)构筑物.取水首部主要由夏季引水闸、冬季引水涵洞、压力前池、压力管道、水质预处理厂等组成.水质预处理厂由配水井、4 组一体化沉淀池、汇流池、加药间等组成;引水管道全长 43.20 km,起点位于首部水质预处理厂末端,末点位于乌拉泊水库进水闸北侧,线路中部(幸福闸)留有分水口向西山水厂供水.引水管线基本同新老青年干渠平行布置,线路落差为 656.00 m,采用四级压力分区,每级管道末端均设消能减压设施,各级引水管道管材采用 PCCP 管+球墨铸铁管组合方案.各级管道管径、设计流量、长度和最大静水头见表 1,工程布置拓扑示意图见图 1.工程共设置 4 级消能减压设施,每级均由消能阀室、消能井、稳压池等组成.^[1]

3 设计要点及解决方案

本工程水头具有总水头落差大(656.00 m),单级压力高(静水压力 175.00 m,考虑水锤压力后控制工况的设计压力为 2.3 MPa),压力分区多(4 级压力分区),输水距离长(43.2 km),冬季气温低(极端最低气温 -35.2 $^{\circ}\text{C}$,冻土深度 1.62 m),上游总输砂量大(总输沙量为 6.509 $\times 10^4 \text{ t}$)的特点.针对这些特点,本着安全、可靠、经济、技术先进又在国内类似工程中有所突破的

收稿日期:2017-02-24

作者简介:孔晓阳(1983-),男,大学本科,工程师.

原则,本工程的设计要点为:选择合适的压力分区、管 建筑物的布置。
材、水锤综合防护措施、调流调压方式、稳压池、管道和

表 1 大西沟管道引水工程各级管道特性表

项目	管径/mm	设计流量 /(m ³ /s)	PCCP 管道长度/m	球墨铸 铁管长度/m	总长度/m	最大静水头/m	最大使 用水头/m
第一级引水管道	DN2400	12.7	6 550	3 984	10 534	154	200.2
第二级引水管道	DN2400	12.7	9 752	4 248	14 000	175	227.5
第三级引水管道	DN2200	10.2	4 990	2 600	7 590	153	197.6
第四级引水管道	DN2200	10.2	4 550	4 010	8 560	174	226.2
尾部引水管道	DN2200	10.2	1400	0	1400	26	54.5
合计			27 242	14 842	42 084		

注:第一级至第四级末端的总水头落差为 656.00 m,第四级末端已可将水泄入乌拉泊水库,尾部引水管道为直接至水厂的管道,压力分区时未考虑此段。最大使用水头压力为考虑水锤后的压力。

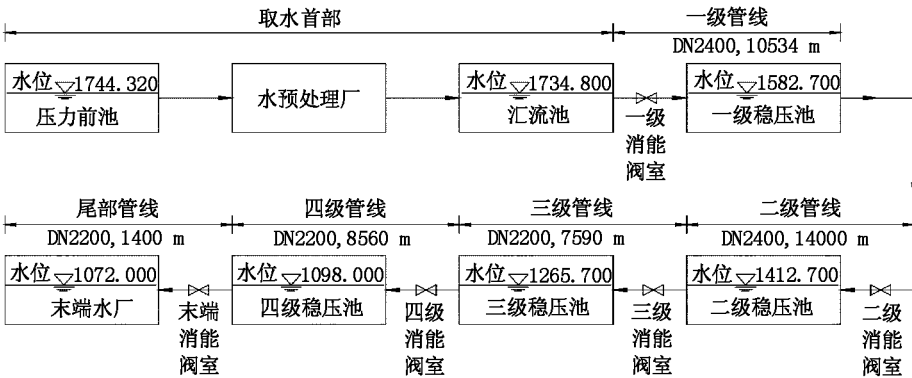


图 1 工程布置拓扑示意图

3.1 压力分区的选择

本工程起点位于石门子渠首后,末点位于乌拉泊水库进水闸北侧,起点比末点高程高 656.00 m。压力分区的确定直接影响到管材的选择,分段的长度,消能建筑物和消能形式的选择等各个方面,对工程整体的安全运行和运行便利程度起着决定性的作用。

一般来说分区越多,每级的高程差越小,管材的承压越低,分段长度越短,消能建筑物越多,消能形式的选择越多,整体安全运行程度虽高,但调度运行复杂。而分区越少,每级的高程差越大,管材的承压越大,分段长度越长,消能建筑物虽然减少,但消能形式的选择余地也减少,对水锤的控制越严格,但可能越经济且调度运行简单。

在充分考虑管材承压能力、消能方式和整体运行安全及参考同类工程后,拟定了压力分区 6 级(单级静水头 109.00 m)和压力分区 4 级(单级最大静水头 175.00 m)两个方案进行技术经济比选。通过比选,两个方案在技术上均可行,综合考虑投资和运行调度管理后,最

终确定采用压力分区 4 级的方案,每级特性见表 1。

辽宁大伙房输水工程压力分区控制在静水头 60.00 m 以内^[2],山西省万家寨引黄工程压力分区控制在静水头 80.00 m 以内^[3]、新疆阿拉山口供水工程压力分区控制在静水头 180.00 m 以内(高差 180.00 m 的段落管道长度仅为 1 880.00 m,其余长距离的分段静水头均在 120.00 m 和 140.00 m 左右)^[4],对比上述类似工程本工程单级静水头在国内同类工程中能够排在前列。

3.2 管材的选择

根据确定的 4 级压力分区,经过水力过渡过程计算,控制工况的设计压力为 2.3MPa,选择合适的管材对工程的运行安全和投资均有影响。参考全国多项长距离输水工程管材选择上的经验^[3],结合各种管材的应用情况,考虑本工程具有的管径大(DN2400 和 DN2200),设计压力高(最大使用压力水头为 227.50 m)的特点,在球墨铸铁管和 PCCP 两种管材中进行选择。

PCCP 管道目前常使用的工作压力范围为 0~1.6

MPa, DN2400 管径的 K9 球墨铸铁管能承受最大 2.5 MPa 的工作压力。从管道接口方面对比,都采用了柔性接口,球墨铸铁管的机械式(K型)柔性接口安装略复杂;从维修速度对比,在管道发生漏水事故时,球墨铸铁管一般为点状泄漏,比 PCCP 管维修快;从管道重量对比,相同管径的 PCCP 管比球墨铸铁管重很多,在安装时球墨铸铁管较 PCCP 管有优势;从每米综合造价对比,PCCP 管考虑防腐和阴极保护后依然比球墨铸铁管经济。工程最终采用了 PCCP 管+球墨铸铁管组合方案,工作压力 1.4 MPa 以下采用 PCCP 管,工作压力 1.4 MPa 以上采用 K9 球墨铸铁管。^[5]

本工程采用的 DN2400 工作压力为 2.5 MPa 的 K9 球墨铸铁管,在全国范围内为首次应用^[6]。

3.3 水锤综合防护措施

长距离输水工程水锤危害极大,往往是管道爆管的主要因素,需采取综合防护措施。本工程采用的 DN2400 的 K9 球墨铸铁管最大使用水头为 227.50 m,做好管道的水锤防护是工程安全运行的关键^[6]。做好水锤的综合防护,首先需在设计时选择适当的管径将流速控制在 3 m/s 以内,再通过水力过渡过程计算配置调压塔、调控阀、末端缓闭阀门、管道截止阀、复合式空气阀、缓排式空气阀、安全泄压阀等^[7]。

本工程为有压重力流输水,水锤的主要成因是关阀水锤,所以对全线检修阀、流量调节阀等控制性阀门设置合适的关闭时间尤为重要。管线充水时管道中有大量的空气需要排出;正常运行时水中会析出气体,不排出会影响到管道的过流能力;管线放空、瞬变流情况下可能会出现负压,所以在输水管道的适当位置设置不同类型的空气阀是保证输水管线安全、运行的经济且有效的方法。

通过水力过渡过程计算,水锤综合防护措施为:

(1) 全线控制性阀门的关闭时间均在 3 min 以上,停运时需由下到上(从尾部开始、然后四、三、二、一级)逐级关闭管线末端阀门;

(2) 在全线设置 71 处空气阀(平均间距 600 m),其中 60 处复合式空气阀,11 处三级缓排式空气阀。为避免空气阀出现事故时管道排气困难,每处空气阀由 2 个 DN200 空气阀并联组成,并在空气阀与管道连接处设置集气罐,集气罐高度为 1.10 m,口径为 DN700,可以兼顾进入人孔。

(3) 在各级减压消能设施前设置两个 DN500 超压泄压阀。

3.4 调流调压方式的选择

传统的压力管道出口调流消能形式有:(1)出口闸门调节流量、消力池消能;(2)挑流消能;(3)面流消能;(4)井流消能;(5)涵管冲击消能箱消能;(6)喷射扩散消能;(7)喷射消力室消能;(8)深筒式消能井消能;(9)消能阀调流消能等^[8]。

鉴于本工程线路长(单级最长 14.00 km),运行流量变化大($1 \text{ m}^3/\text{s}$ 至 $12.73 \text{ m}^3/\text{s}$),阀前工作压力高(2.3 MPa 左右),阀前阀后压差大的特点,主要在能调流且调压的阀门中进行选择。目前国内使用的调流调压阀主要有两种结构形式:一是活塞式,二是多喷孔套筒式。这两种阀在减压及调节方式上基本相同,不同点主要在结构方面。多喷孔套筒阀其结构比活塞阀要长很多,阀门行程比较大,消能喷孔是以螺旋梅花状布置,流量调节变化连续性好,全行程流量调节基本为线性变化,调节精度高^[9]。最后在满足输水线路安全运行的前提下,综合考虑造价、消能率、稳定性和震动噪音大小等因素后,选择了淹没式套筒消能阀,单阀最大过阀流量为 $5.1 \text{ m}^3/\text{s}$,阀前最大静水水头为 175.00 m。消能阀置于矩形的消能井内,消能井是消能的主体,水流在消能井内强劲紊动,水流充分碰撞消散大量的能量^[8],避免了阀体内的汽蚀现象。

本工程选用的淹没式套筒消能阀,工作压力、阀前阀后压差在国内同类工程中排在前列。

3.5 稳压池的设置

根据压力分区,在每级首部均设置稳压池,稳压池为钢筋混凝土结构,具有多种功能:(1)作为压力前池满足输水管道淹没深度要求,形成稳定的压力流。(2)调节功能,在正常运行水位和最低水位之间留有 15 min 最大流量的调节容积(上游不来水的情况),给上下游运行调度留出充裕的时间,防止因操作失误而造成的管道拉空。(3)溢流和放空功能,满足非正常工况和检修工况的使用要求。

3.6 高严寒多泥沙的解决方案

针对工程冬季运行气温低、泥沙多的特点,解决方案为:输水管道均采用地埋,管顶覆土厚度大于等于 1.65 m,管道附属建筑物埋置于地下,并对顶部和顶部以下 1 m 范围的顶板和边墙进行保温处理。本着进入管道前先将泥沙处理掉的思路,取水首部的压力前池设置在圆中环沉砂池(乌鲁木齐河灌区续建配套与节水改造项目(四期)建造)后,利用其处理掉推移质和大颗粒悬移质,再在压力前池后设置水质预处理厂将末端出水指标控制在 100~500 NTU 以内,减少泥沙对管道和

阀门的磨损。

4 结 语

乌鲁木齐大西沟管道引水工程特点突出,通过解决压力分区、管材、水锤综合防护措施、调流调压方式、稳压池、管道等建筑物布置等设计要点并逐条提出解决方案的方法,最终确定了设计方案,目前项目已完成施工并于2015年10月正式投入使用,管道没有出现爆管、拉空、冻裂、泥沙淤积及磨损等问题,截至今日运行良好,说明此设计理念和解决方案是合理、可靠和先进的,设计经验值得在类似长距离供水工程中推广。

参考文献:

- [1] 新疆水利水电勘测设计研究院. 大西沟管道引水工程初步设计报告[R]. 乌鲁木齐:新疆水利水电勘测设计研究院,2014:1~21.

- [2] 田华. 引黄工程联接段输水系统流量调节与消能[J]. 山西水利, 2003(3):53~54.
- [3] 张海森. 大伙房输水工程 PCCP 管安装静水压力试验[J]. 广西水利水电, 2012(6):51~53.
- [4] 赵经华,侍克斌,马亮,等. 阿拉山口输水管道消能井结构试验研究[J]. 人民黄河, 2010(3):92~93.
- [5] 孔晓阳. 大口径高工作压力球墨铸铁管在新疆大西沟管道引水工程中的应用[J]. 广西水利水电, 2016(3):81~83.
- [6] 张玲. 乌鲁木齐市大西沟管道引水工程水锤防护设计[J]. 水利水电技术, 2016(3):36~38.
- [7] 关志诚. 跨流域调水工程的关键技术与建设实践[J]. 水利水电技术, 2009(8):89~94.
- [8] 芦绮玲,陈刚. 输水工程中压力管道出口水流消能方法的试验研究[J]. 西安理工大学学报, 2008(01):80~85.
- [9] 李明. 万家寨引黄北干线输水工程调流调压阀应用技术[J]. 山西水利科技, 2014(02):1~3.

编辑:张绍付

Design solution and keypoints for Daxigou pipeline water diversion project in Urumqi

KONG Xiaoyang, YUAN Lei

(Xinjiang Survey and Design Institute for Water Resources and Hydropower, Urumqi 830000, China)

Abstract: General layout of Daxigou Pipeline Water Diversion Project in Urumqi is introduced, and engineering characteristics with large in total head, high in single pressure, difficult in pressure partition, long in diversion distance, low in winter temperatures, large in total upper - stream sand are presented in the paper, the K9 cast-iron pressure pipe with working pressure of 2.5MPa combined with PCCP pipe are adapted to solve design keypoint of long diversion distance, 4 stage pressure partition is selected to reduce single stage pressure, water hammer pressure comprehensive protective measures and submerged sleeve valve are designed for the safety of engineering. It is indicated that solution methods are helpful for safety and liability in engineering.

Key words: Design points; Pressure partition; Pipe selection; Water hammer protection; Water diversion project

翻译:孔晓阳