

南水北调中线一期工程天津干线输水方案论证

吴换营, 宁金钢, 王云静

(天津市水利勘测设计院, 天津 300204)

摘要: 南水北调中线一期工程天津干线输水线路长、引水流量大、流量变化幅度大,且具有一定的天然水头。现根据天津干线的特点,以技术可行、安全可靠、经济合理、运行控制简单、保证水质、减少水量损失、减少永久占地以及对当地社会环境的影响最小为原则,对天津干线输水方案进行了论证。

关键词: 南水北调工程; 天津干线; 输水方案

中图分类号: TV 68 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2014)02-0154-03

Demonstration of Water Delivery Scheme in Tianjin Section of the First Phase of the Middle Route of South to North Water Diversion Project

WU Huan ying, NING jin gang, WANG Yun jing

(Tianjin Municipal Water-conservancy Survey and Design Institute, Tianjin 300204, China)

Abstract: Tianjin section of the first phase of the Middle Route of South to North Water Diversion Project has a long water transfer route, large water diversion flow quantity, huge variation of flow quantity, along with a certain natural head. In this paper, based on the characteristics of Tianjin section, and according to following rules, including technically feasible, safe and reliable, economically reasonable, simple operation, aimed to guarantee the water quality, reduction of water loss, minimizing the permanent land occupation, as well as decreasing the impacts on the local social environment, the process and thoughts of water delivery scheme in Tianjin section were demonstrated.

Key words: South to North Water Diversion Project; Tianjin section; water delivery scheme

1 工程概况

天津干线为南水北调中线工程的重要组成部分,起点位于河北省徐水县西黑山村,终点位于天津市外环河西,总体走向由西向东,全长 155 km。天津干线设计流量 50 m³/s,加大流量 60 m³/s。中线总干渠向天津多年平均输水量为 10.15 亿 m³,其中向河北省多年平均输水量为 1.42 亿 m³。

天津干线采用全箱涵无压接有压自流输水方案,0+000~10+660 段采用无压箱涵输水型式,10+660~155+305 采用有压箱涵输水型式,10+660 处设调节池。主要建筑物有:西黑山进口闸枢纽、东黑山陡坡、调节池、保水堰、王庆坨连接井、分流井、检修闸、通气孔、外环河出口闸等控制性建筑物及河渠、铁路和公路交叉建筑物。

2 天津干线主要特点

2.1 沿线地形高差变化大

天津干线起点地面高程 65.2 m,终点地面高程为 1.2

m,高差为 64 m,但沿线地势高差变化较大,高差分布严重不均,上段地势陡,中下段地势平缓。前 20 km 地面高程由 65.2 m 降至 18.0 m,占总高差的 74%,后 135 km 地面高程由 18.0 m 降至 1.2 m,占总高差的 26%。天津干线的地形地势特点见图 1。

2.2 河渠交叉多,分滞洪区影响大

天津干线共与 49 条行洪、排涝河渠交叉。其中最大的是大清河,交叉断面以上集流面积 10154 km²。根据大清河的分洪洪水演进分析结果可知,分滞洪区洪水对天津干线波及的范围为西起京深高速公路、东至阿深高速公路(拟建)附近,总长约 53 km。

2.3 自然水头分布不均

天津干线起点处南水北调中线总干渠设计水位 65.289 m,终点设计水位 0.0 m,具有 65 m 的自然水头,但由于天津干线跨过太行山麓与华北平原,地形变化较大,因此水头分配极为不均。天津干线前 1.5 km 即集中了约 25 m 的自然

水头,约占总水头的 38.5%;前 30 km,集中了约 50 m 的自然水头,约占总水头的 76.9%;而后段 125 km 地势平缓仅有

15 m 的水头,约占总水头 23.1%。如何利用这 65 m 的水头是天津干线输水方案需解决的重点问题之一。

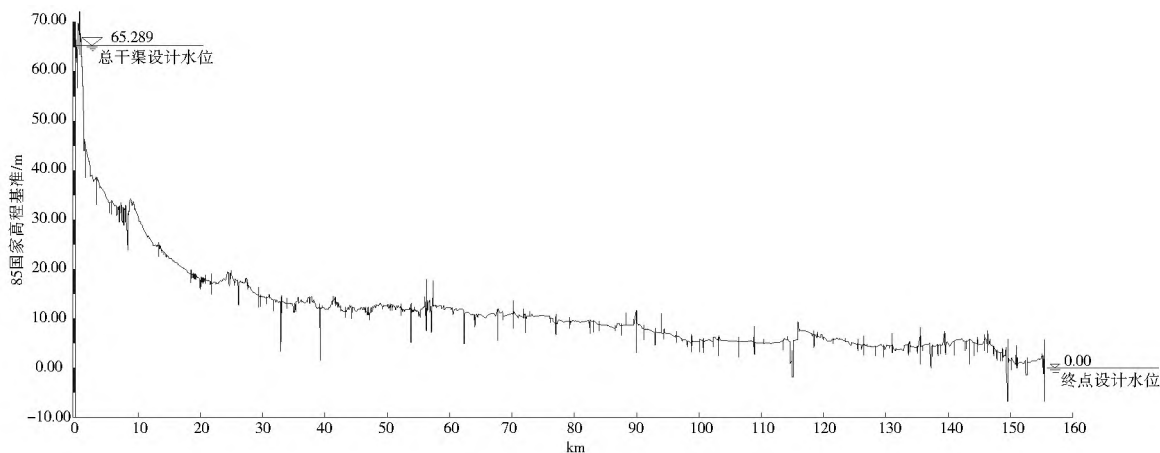


图 1 天津干线地形纵断面图

Fig. 1 Cross section of topography of Tianjin section

2.4 输水流量变化大

在南水北调中线总干渠向天津供水过程中,年际间、年内各旬间输水量不均匀,流量范围为 $0\sim 60\text{ m}^3/\text{s}$,其中输水流量为 $30\sim 40\text{ m}^3/\text{s}$ 的时段较长。因此,天津干线工程设计时既要满足 $60\text{ m}^3/\text{s}$ 的输水能力要求,又要适应中小流量的输水运行要求。

3 输水方案的论证

3.1 输水方式的比选

(1) 明渠方式。作为长距离调水工程通常采用明渠输水方式,天津干线虽然具有 65 m 的自然水头,但由于天津干线需穿越大清河滞洪区,与当地的行洪、排涝矛盾较大,且存在永久占地多、对当地灌排系统影响较大、水量损失较大、水质不易保证、工程管理难度大、冬季输水问题难以解决等诸多问题,故未予采用。

(2) 多种方式相结合。若考虑避免天津干线穿越大清河滞洪区时与当地行洪、排涝的矛盾,同时减少对天津市市区段土地及产业设施的占用,可以采用“穿越滞洪区地段采用 PCCP 管、天津市内段采用现浇混凝土箱涵”的方式。此方案虽解决了天津干线穿越大清河滞洪区的问题,但由于在上段水头较大地段采用了明渠,而两段管涵段自然水头又较小,全线自流能力小,且为保证大流量时输水能力,不得不在每段管涵的首端设加压泵站进行联合运行调度,工程运行较为复杂,泵站运行费用高。考虑大流量、高扬程的水泵国内尚缺少成熟的制造工艺,该方案明渠段仍有 80 km 长,存在与全明渠方案类似的一些问题。根据国民经济评价和财务评价,与全管涵方案相比,该方案并无明显优势,故最终也未采用。

(3) 全管涵方式。由于天津干线穿过经济较发达的平原地区,沿线村庄、人口密集,从减少人为活动对输水水质产生不利影响,以及减少水量蒸发、渗漏损失,减少工程永久占地、节约宝贵的土地资源等方面考虑,根据国内外大型城市调水工程建设经验,天津干线最终拟采用全管涵型式输水。

3.2 全管涵输水方案的拟定与比选

3.2.1 方案拟定

方案一:以 PCCP 管为主的高压自流输水方案。为了充分利用现有水头,利用高压管材将沿线水头均匀分配,设计针对 PCCP 管、现浇预应力圆涵两种高压管涵型式,布置了不同管材不同管径的方案进行技术经济比选。根据天津干线沿线铁路涵高度、较大河流公路桥承载能力、管厂生产能力及 PCCP 管厂建厂费用,同时考虑到施工质量和经济因素,最终选择以 2DN4 6 m PCCP 管为主的高压自流输水方案。

该方案在高压管涵末端设调流阀室来控制输水流量和消耗小流量输水时多余能头,并在上段设调压井以消减流量调节时产生的水击压力。经对弧门、套筒式调节阀和环喷式调节阀进行比较,认为调节阀具有调节灵活、调节精度高、振动小等优点,其中的环喷式较之套筒式又较为经济,故最终采用环喷式调节阀作为高压管道末端的调控设施。

方案二:全箱涵型式的低压自流输水方案。充分利用天津干线的地形特点,在首部地形较陡段采用与地形较为吻合的小断面无压箱涵输水方式;在地势平缓的中下游采用压力相对较低的有压箱涵输水方式;无压段与有压段通过调节池进行衔接。经对不同调节池位置方案进行比较,并结合过渡过程分析成果,最终确定调节池位于 10+ 660 处,有压段分配水头 26.13 m,正常运行时有压箱涵最大内水压力 0.14 MPa。

该方案仅通过进口闸控制输水流量,利用无压段中无压流对流量变化时水力波动的延缓、衰减作用以及有压段保水堰对水头的自动调节作用,以较为简单的调度运行程序,既保证了天津干线输水系统的安全,又达到了与总干渠西黑山节制闸共同维持总干渠定水位运行的目的。

方案三:PCCP 管与箱涵结合型式的高低压组合自流输水方案。针对天津干线上段地势落差大、中下段落差小、地势平缓的特点,充分利用高压管涵耐高压、现浇混凝土箱涵适应低水头的特点,在上段一定范围内采用较小过流断面的耐高压管涵,将上段的水头集中起来充分利用并预留一定的水头,在中下段利用预留水头采用箱涵输水。为尽可能多的利用天津干线上段水头,对 PCCP 管与箱涵结合型式的输水

方案作了探索。经对各种组合方案进行比选, 最终选定 2DN4 0 m PCCP 管与箱涵组合方案。

该方案在 PCCP 管末端 50+ 800 处设置了调流阀室来控制输水流量并对小流量输水进行消能; 在其后的有压箱

涵段, 设置了 4 座保水堰井来实现对有压箱涵段的水力控制。

3.2.2 方案的比选

上述 3 种方案的压坡线示意图见图 2。

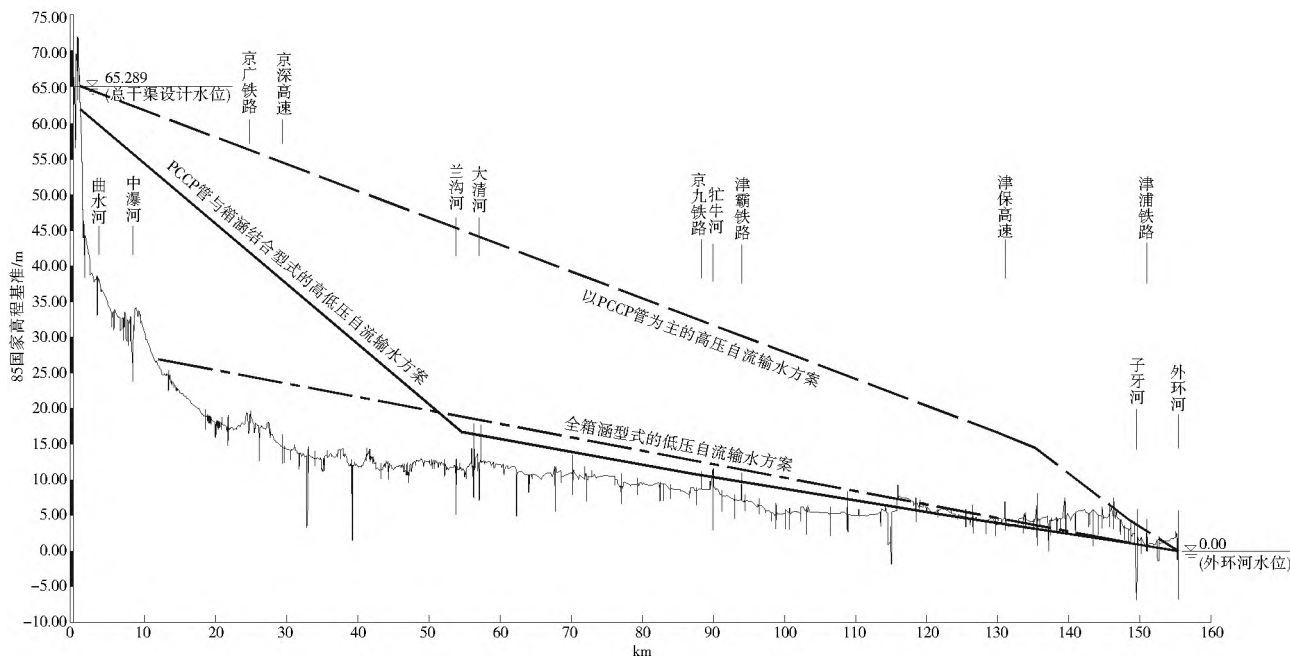


图 2 天津干线不同输水方案压坡线示意图

Fig. 2 Schematic diagram of hydraulic gradient line under different water delivery schemes in Tianjin section

从技术经济方面对上述 3 个方案作进一步分析比较如下。

(1) 在运行控制方面, 方案一中, PCCP 管末端设调流阀室、首端设调压井, 调压井高出地面 20 余 m, 小流量流态不稳定, 会产生较大的水力震荡和波动; 方案二中, PCCP 管末端设调流阀室、首端设调压井, 箱涵段设保水堰, 而调压井存在与高压管涵方案一样的问题; 方案三中, 利用无压流对水力波动的延缓作用和有压段保水堰对水头的调节作用, 自动调节水头, 运行控制最为简单。

(2) 在施工方面, 方案一受公铁铁路交通桥级别、涵洞高度的限制, 需设 5 个 PCCP 管厂, 预应力圆涵段施工工艺复杂, 质量不易保证; 方案二亦需设 2 个 PCCP 管厂; 而方案三箱涵属于常规混凝土工程, 施工工艺简单, 施工质量容易保证。

(3) 在投资方面, 方案一投资为 95 亿元, 投资最大; 方案二投资为 90 亿元投资居中; 方案三投资为 86.9 亿元, 投资最小。

综合分析可知, 在全管涵自流方案中, 方案三具有投资最小、调度运行简单、便于施工、易于维护等优点, 因此, 在全自流输水方式中选择全箱涵无压接有压全自流方案。

3.2.3 加压输水方案

为了进一步降低全管涵方案的工程投资, 又进行了加压输水方式的论证工作, 即通过设加压泵站以提高管涵内流速, 减小过水断面尺寸, 从而达到降低工程投资的目的。根据天津干线来水过程的特点和事故流量的要求, 考虑到天津干线具有 65 m 的自然水头, 本着大部分水量自流和泵站利用率不宜过低的原则, 确定了起始加压流量为 $45 \text{ m}^3/\text{s}$, 并对

3 种输水型式进行了均匀、两级加压方案的工程设计。由于天津干线本身具有较高的自然水头, 若采用加压输水方式, 则存在自流与加压切换, 甚至在某些流量还存在先消能后加压的问题。经综合分析, 在加压输水方式中, 选择全箱涵无压接有压加压方案, 该方案以 3 孔 $4.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$ 有压箱涵为主, 在 55+ 800 和 112+ 000 处分别设加压泵站。

3.2.4 全箱涵全自流方案与全箱涵加压方案的分析与比选

加压输水方式的主要意图是通过设置加压泵站减少箱涵尺寸, 以达到降低工程直接投资的目的, 但是经计算, 加压方案一次性投资并无明显的经济优势, 两者相差仅 1.4%, 况且考虑到加压方案中两座泵站长年运行电费, 加压方案无明显经济优势。另外, 全箱涵加压方案存在自流与加压的切换及两级泵站间扬程分配问题, 运行调度十分复杂。由于天津干线末端分别与西河泵站和外环河泵站相衔接, 若采用全箱涵加压方案则存在多级泵站联合运行问题, 调度运行控制异常复杂。

3.2.5 天津干线输水方案确定

天津干线作为特大型城市天津的生命线工程, 经对天津干线明渠方案、管渠结合方案、全管涵自流输水方案、全管涵加压输水等多种输水型式在工程安全性、利于保证供水水质、减少水量损失、节约土地资源以及调度运行控制、施工难度、工程检修维护和工程投资等方面进行综合对比分析, 最终确定全箱涵无压接有压全自流输水方案为天津干线的设计输水方案。

(下转第 177 页)

(3) 液压缓冲器运动特性、内部压力变化和最大吸收动能与传感器吊桶的冲击质量和冲击速度密切相关。对于相同结构和尺寸的小型液压缓冲器,不同质量的冲击负载所对应的最大冲击动量接近一个常数。这个结论可以用来指导液压缓冲器的选型和优化设计。

参考文献(References):

- [1] 易启林,孙毅,边少峰,等.海洋重力仪直接测量纬度技术探讨[J].海洋测绘,2012,(6):30-32.(YI Qi lin,SUN Yi,BIAN Shaofeng,et al.Discussion on Technology of Latitude Measurement by Marine Gravity Meter[J].Hydrographic Surveying and Charting,2012,(6):30-32.(in Chinese))
- [2] 张宁,席建中,韩成春.一种液压减震器的研制与开发[J].液压与气动,2012,(7):1-2.(ZHANG Ning,XI Jianzhong,HAN Chengchun.R&D of the New Hydraulic Shock Absorber[J].Chinese Hydraulics & Pneumatics,2012,(7):1-2.(in Chinese))
- [3] 谢清陆,高建尽,李应超.空气阻尼器在海洋重力仪上的应用设计[J].液压与气动,2012,(6):20-21.(XIE Qinglu,DAO Jianjin,LI Yingchao.The Design and Application of Air Damper for Marine Gravimeter[J].Chinese Hydraulics & Pneumatics,2012,(6):20-21.(in Chinese))
- [4] 赵立业,李宏生,周百令,等.高精度海洋重力测量中厄特弗斯改正误差分析[J].中国惯性技术学报,2008,(4):462-465.(ZHAO liye,LI Hongsheng,ZHOU Bailing,et al.Analysis on EOTVOS Correction Errors in Marine Gravimetry[J].Journal of Chinese Inertial Technology,2008,(4):462-465.(in Chinese))
- [5] 汪云峰,谭宗柒.基于AMESim/Matlab的液压缓冲器仿真与优化[J].机床与液压,2008,(3):167-169.(WANG Yurfeng,TAN Zongqi.Simulation and Optimization Shock Absorber

Based on AMESim/Matlab[J].Machine Tool & Hydraulics,2008,(3):167-169.(in Chinese))

- [6] 凌艺春.高响应温度传感器在液压系统中的应用分析[J].液压与气动,2012,(7):78-79.(LING Yichun.The Analysis of High Response Temperature Sensor in the Hydraulic System Applications[J].Chinese Hydraulics & Pneumatics,2012,(7):78-79.(in Chinese))
- [7] 梅怡.新型液体静压支承技术在机床导轨上的应用[J].液压与气动,2012,(6):83-86.(MEI Yi.Application of a New Hydrostatic Support Technology on Machine Tool Guide[J].Chinese Hydraulics & Pneumatics,2012,(6):83-86.(in Chinese))
- [8] 刘洋,李宇力,付英雄,等.基于缓冲力设计的变阻尼后倾缓冲装置特性研究[J].中国工程机械学报,2013,(1):83-87.(LIU Yang,LI Yuli,FU Yingxiang,et al.Property Study on Variable Damping Antir-backward Buffer Based on Buffering Force Design[J].Chinese Journal Of Construction Machinery,2013,(1):83-87.(in Chinese))
- [9] 孙强,李明叁,景竞,等.海洋测深网质量的检核与评估模型[J].海洋测绘,2011,(6):31-34.(SUN Qiang,LI Mingsan,JING Jing,et al.Models of Check and Evaluation for Sounding Data in Grid Pattern[J].Hydrographic Surveying And Charting,2011,(6):31-34.(in Chinese))
- [10] 欧阳永忠,陆秀平,米阳,等.通用走航式海洋测量作业平台的设计与实现[J].海洋测绘,2012,(6):1-6.(OUYANG Yongzhong,LU Xiuping,MI Yang,et al.Design and Realization of General Underway Platform for Marine Survey[J].Hydrographic Surveying And Charting,2011,(6):1-6.(in Chinese))
- [11] 柳云峰,刘源远.液压阻力系数的选取对液压制动装置设计的影响[J].机械工程与自动化,2011,(4):167-168.(LIU Yurfeng,LIU Yuan yuan.Influence of Hydraulic Resistance Coefficient on Hydraulic Arresting Apparatus[J].Mechanical Engineering & Automation,2011,(4):167-168.(in Chinese))

(上接第156页)

4 结语

根据南水北调中线天津干线的具体特点,经多方案综合比选论证,天津干线采用了全箱涵无压接有压全自流方案。该方案充分利用了地形地势特点,首部较陡段采用了小断面的无压箱涵输水,中、下游地形相对平缓地区则采用低压箱涵输水,并采取了多级保水堰联合运用的方式,既解决了小流量输水时的消能问题,满足了输送不同流量的要求,还避免了工程停水时重复充水的问题,具有一定的创新性。通过前段一定长度的无压流对流量调节时输水系统水力波动的延缓、衰减作用和有压段保水堰对水头的自动调节作用,极

大的简化了调度运行程序,保证了长距离有压流段的运行安全。

参考文献(References):

- [1] 肖智和,李涛.南水北调中线天津干线工程对沿线地下水环境影响[J].南水北调与水利科技,2012,10(1):6-10.(XIAO Zhihe,LI Tao.Effects of Tianjin Trunk Route of the Middle Route of South to North Water Diversion Project on Regional Groundwater Environment[J].South to North Water Transfers and Water Science & Technology,2012,10(1):6-10.(in Chinese))