

穿越南水北调干渠热力隧道设计研究

朱永全, 高新强

(石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043)

摘要:随着城市和工程建设的迅速发展,新建隧道下穿既有建筑或构筑物也大量出现。浅埋、松散砂土地层隧道施工中,随着地层应力状态的改变和调整,引起地层和地表在一定范围内的不均匀沉降变形,它对既有建筑物或构筑物的功能及安全使用则可能产生较大影响。介绍石家庄市热力隧道下穿南水北调中线干渠建设中的主要相互影响因素、设计中重点研究的问题,分析了位置关系、隧道施工变形、隧道防洪与防渗等设计处理措施,供类似工程应用参考。

关键词:南水北调;下穿;隧道;设计;施工

中图分类号:U451 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-0373(2010)02-0007-06

0 引言

隧道是“以某种用途、在地面下用任何方法按规定形状和尺寸修筑的断面积大于 2 m^2 的洞室”,按照用途隧道可分为交通隧道、水工隧道、市政隧道和矿山隧(巷)道,本文论述市政隧道的热力管线隧道。

随着城市和工程建设的迅速发展,大量出现各类近接工程。作为近接工程中的下穿工程即新建隧道下穿既有建筑或构筑物也大量出现,并呈现快速增加的趋势。现阶段城市及周边的隧道下穿工程多以浅埋形式,新建隧道与既有建筑物或构筑物间距离极近。浅埋、松散砂土地层隧道施工中,随着地层应力状态的改变和调整,引起地层和地表位移与变形,这种施工变形可在较短时间、地表一定范围内形成不均匀的沉降凹槽,它对既有建筑物或构筑物的功能及安全使用则可能产生较大影响^[1]。

以既有公路工程为例,新建隧道施工过大不均匀沉降变形可对沥青路面将产生路面裂缝,对水泥混凝土路面将产生水泥混凝土路面板断裂、纵向贯穿裂缝或接缝碎裂;或将影响乘客舒适度。同样对于既有铁路线路工程,新建隧道施工过大的不均匀沉降变形,铁路轨枕的支撑面形成沉陷坑,道床结构列车冲击荷载增大;轨道的差异沉降使得列车振幅增大,列车摇摆增大,使列车运行平稳性、舒适性、安全性降低;增大钢轨侧面、表面波状磨损。

南水北调中线石家庄市区的干渠工程,其渠深 $7.0\sim 17\text{ m}$ 、渠底宽 14.0 m 、边坡坡率 $1:2.5$ 、从渠底每 7.0 m 左右设 4.0 m 宽平台一道,渠底混凝土面层后 10 cm 、坡面混凝土厚 8.0 cm 。根据干渠的特点和重要性^[2],热力管线隧道设计过程中多次与南水北调干渠设计单位、河北省南水北调管理处、国家南水北调中线工程管理局沟通协商,提出管线隧道设计中应重点研究解决下列问题:管道隧道与南水北调工程交叉段其隧道拱顶到渠底应有一定距离,隧道后于干渠施工时其施工沉降应严格控制在 10 mm 以内,隧道先于干渠施工时隧道结构能承受干渠施工荷载的影响,如果总干渠底出现渗漏破坏、存在的隧道不能有负面作用,隧道进出口竖井的位置应满足总干渠管理与穿越工程施工安全距离,隧洞设计应按南水北调中线渗控设计技术规定^[3,4],隧洞内衬应设置结构缝、并完善分缝止水,满足有关穿越总干渠对水源保护和环保的有关要求等。

1 热源及管网规划

根据2006年—2020年石家庄市城区热电联产和集中供热规划,在石家庄市西部远郊建设鹿华热电

收稿日期:2010-04-13

作者简介:朱永全,男,1960年出生,博士,教授。研究方向为隧道及地下工程。获国家科技进步二等奖1项,省部级科技进步二等奖3项,省部级科技进步三等奖4项,发表论文80余篇。石家庄铁道大学岩土工程学科学术带头人。

项目,主要由 6×300 MW 热电联产机组、一级网($4 \times \text{DN}1400$ 热电厂出线、 $2 \times \text{DN}1400$ 北线、 $2 \times \text{DN}1400$ 南线,管内高温供热水温 130°C 、最大压力 $1.6 \text{ MPa}^{[2]}$)和 $\text{DN}1000 \sim \text{DN}800$ 二级网组成,负担市西部城区 $6\,000 \text{ 万 m}^2$ 居民供热负荷。 $\text{DN}1400$ 热网主干管道分南、北两条管网进入石家庄市西区,于槐安路北侧和 G307 国道北侧分别穿越南水北调中心总干渠。该项目的建设对于优化河北省的电源结构,提高能源利用效率和减轻小火电机组、小型采暖锅炉对环境的污染具有重要作用,经济效益和社会效益显著。

北线管网由幼师路现状终点向北至获铜公路北侧,沿获铜公路向北至北方联合大学大门处后,向北沿鹿泉申后村规划路敷设至 307 国道(获铜公路宽 25 m)。过 307 国道(红线宽 50 m)后沿 307 国道快车道直埋敷设向东先后穿越西三环、南水北调中线总干渠、铁路,再至西郊供热站,管网全长 11.17 km 。

南线管网由幼师路现状终点向东至获铜公路后南延至上庄镇中路折向东,穿越南水北调、西三环、铁路,后折向南至槐安路快速道至裕西供热站。然后沿槐安西路至时光街,沿时光街向南至新石北路后,沿新石北路东延先后跨越民心河、隧道穿越广平大街至热电一厂西厂区,该路段全长 17.8 km 。

一般区段管路采用直埋敷设方式施工,下穿南水北调中线总干渠和西三环路段采用暗挖隧道及隧道内敷设管道方式施工,穿越铁路段采用顶涵及箱涵内敷设管道方式通过。

2 工程与水文地质条件

隧道所处区域在地貌单元上属于太行山冲洪积平原,地势开阔,地形较平坦。南、北线穿越南水北调工程段地层条件大致相同,由上至下地层分别为杂填土①、黄土状土②、砾砂③和粉质粘土④。隧道穿越粉质粘土④层,根据隧道稳定性围岩为 V 级。

北干线在隧道沿线有影响的勘察深度范围内,地下水类型属于上层滞水,主要赋存于砂砾中,隔水层为粉质粘土④层,稳定水位深度为 $16.5 \sim 28.0 \text{ m}$ 。地下水主要接受大气降水及上游地表水补给,排泄方式主要为蒸发、径流及人工开采。地下水对混凝土结构及混凝土结构中的钢筋无腐蚀性,但对钢结构具弱腐蚀性。

3 隧道与干渠相互关系及影响分析

3.1 位置关系分析

管线交叉段以暗挖隧道形式通过,隧道两端竖井设在南水北调干渠防护栏 5.0 m 外,隧道热网独立运行,隧道两端出口位于南水北调总干渠封闭管理区以外。北线穿越南水北调干渠段隧道起点高程(底板)为 62.659 m ,穿越南水北调水渠结构下覆土深度为 4.0 m 。南线穿越南水北调及西三环干渠段隧道起点高程(底板)为 62.636 m ,穿越南水北调水渠结构下覆土深度为 4.0 m ,穿越西三环埋深为 15 m 。渠底段隧道拱顶覆土厚度为 4.0 m ,北干线隧道纵断面图如图 1 所示。

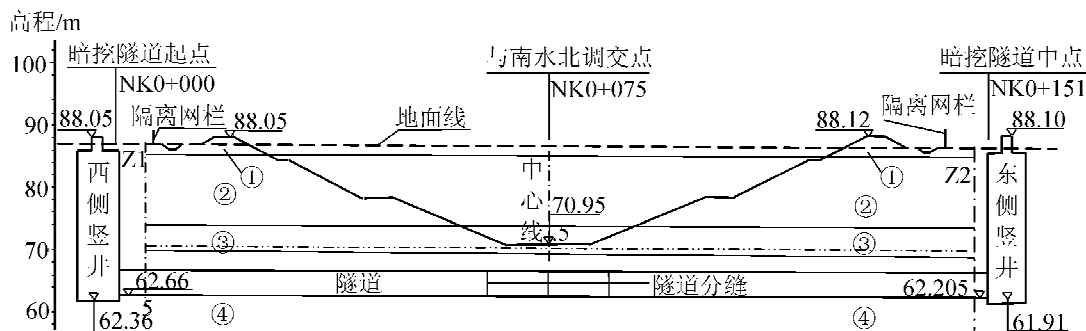


图 1 北干线隧道纵断面图

3.2 隧道施工变形影响分析

经隧道施工过程变形有限元数值模拟分析,热力管道隧道先于南水北调工程施工时,北线隧道施工地表最大沉降为 15.1 mm ;南线隧道施工时地表最大沉降为 5.4 mm ,过西三环地表沉降为 12.5 mm 。后期南水北调施工碾压对隧道基本不产生影响,附加地表位移为 4 mm 。竖井初支向井内的最大变形为 32

mm,竖井支护、衬砌结构安全度满足相关要求。

3.3 隧道结构安全性分析

经安全性检算,暗挖隧道结构的初期支护、二次衬砌安全系数均满足规范要求,竖井初期支护、二次衬砌安全系数均满足规范要求。暗挖隧道二次衬砌、竖井二次衬砌裂缝宽度均满足《混凝土结构设计规范》(GB50010—2002)和《水工隧洞设计规范》规范限裂性要求(限裂裂缝宽0.2 mm),结构耐久性满足相关要求。

隧道内热力管漏水或隧道口地表洪水进入并充满隧道时,计算隧道内水压力按洪水进管及爆管后管内充水(水从井口冒出)形成的水压力考虑,计算水头按防洪堤顶标高。检算结果表明其衬砌截面安全系数和裂缝宽度满足规范要求。

总干渠土工膜出现渗漏破坏(此属正常情况)时,隧道顶部渗径长度较短,渗水可能沿着一衬外壁形成接触渗漏通道。此种情况在计算模拟时,计算水头按防洪堤顶标高,围岩压力为水压力和土压力之和,水土压力采用水土分算的方法,检算结果表明其衬砌截面安全系数和裂缝宽度满足规范要求。

3.4 隧道防洪分析

南线下穿南水北调左堤(同时作为石家庄市防洪堤,设计防洪标准为200 a),为满足遇200 a洪水防洪,设计西侧竖井井口高程按干渠左堤高程确定;东侧竖井井口高程按右堤高程确定。

3.5 隧道结构防渗分析

隧道顶部距总干渠渠底仅有4.0 m,如果总干渠土工膜出现渗漏破坏(此属正常情况),隧道顶部渗径长度较短,渗水可能沿着一衬外壁形成接触渗漏通道。因此,设计采用初期支护后回填注浆、衬砌和施工缝防水体系构成防水体系;隧道顶范围区域的总干渠基底换填2.0 m厚粘性土隔水层。

4 热力隧道结构

4.1 隧道结构

北线隧道起点高程(底板)为62.636 m,隧道全长范围内为3‰下坡。隧道埋深为4.0~20 m,隧道全长148 m。穿越南水北调水渠结构下覆土深度为4.0 m。

南线隧道起点高程(底板)为62.636 m,隧道全长范围内为3‰下坡。隧道埋深为4.0~11 m,隧道全长266 m。穿越南水北调水渠结构下覆土深度为4.0 m,穿越西三环埋深为15 m。

南、北管线隧道内净空限界:4 800 mm×3 100 mm,马蹄形断面形式、内净空4 800 mm×3 100 mm。隧道采用复合式衬砌结构,分别由小导管超前支护、喷混凝土和钢架支护、模筑钢筋混凝土衬砌组成。拱部超前小导管注浆 $\Phi 42$, $L=3.5$ m,环向间距0.3 m;25 cm厚C25 S6喷混凝土,支护格栅主筋为4 $\Phi 20$ 、15 cm×15 cm矩形钢架,间距0.5 m,如图2所示。

4.2 竖井结构

竖井作为施工和运营维护通道。为方便管道安装,两端(东、西)矩形竖井内净空6 000 mm×5 600 mm。北线西竖井地下部分深24 363 mm,地面部分高3 052 mm;东竖井地下部分深24 219 mm,地面部分高2 901 mm。南线西竖井地下部分深14 639 mm,地面部分高4 983 mm;东竖井地下部分深15 374 mm,地面部分高3 104 mm。

南、北干线竖井结构初支均为25 cm厚的C25格栅钢架网喷混凝土,南干线隧道竖井支护无对角钢管斜撑,北干线隧道竖井支护设 $\Phi 300$ 、竖向间距2 m的对角钢管斜撑,支护钢架的主筋为4 $\Phi 20$ 、15 cm×15 cm矩形钢架,间距0.5 m。南干线竖井二衬为40 cm厚的C30模筑钢筋混凝土,北干线竖井二衬为50 cm厚的C30模筑钢筋混凝土。北干线西侧竖井结构如图3所示。

5 施工方法和组织

5.1 隧道施工方法和工序

采用预留核心土全断面法施工。①超前支护,②弧形开挖留底板核心土,③立钢架、挂网、喷混凝土

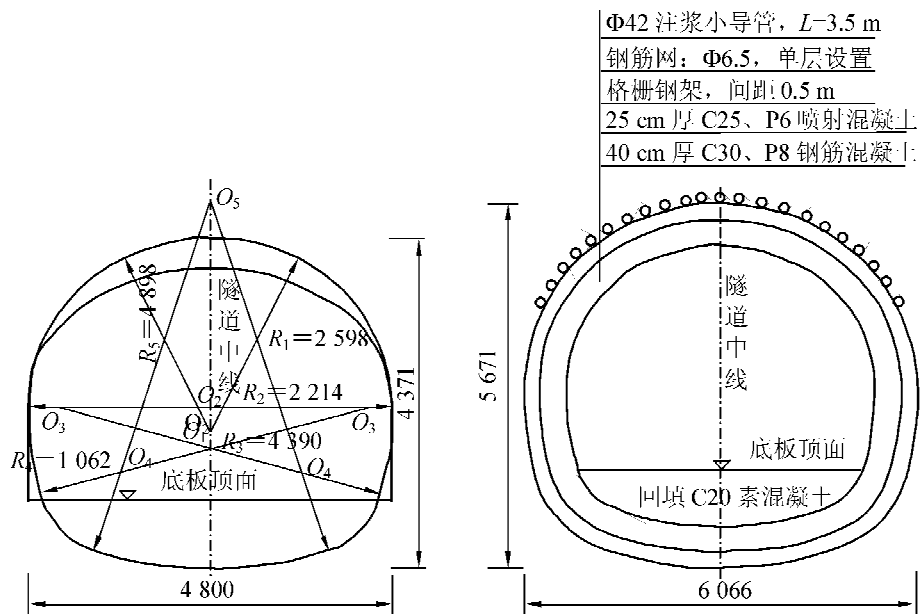


图 2 北干线隧道净空和横断面(单位:mm)

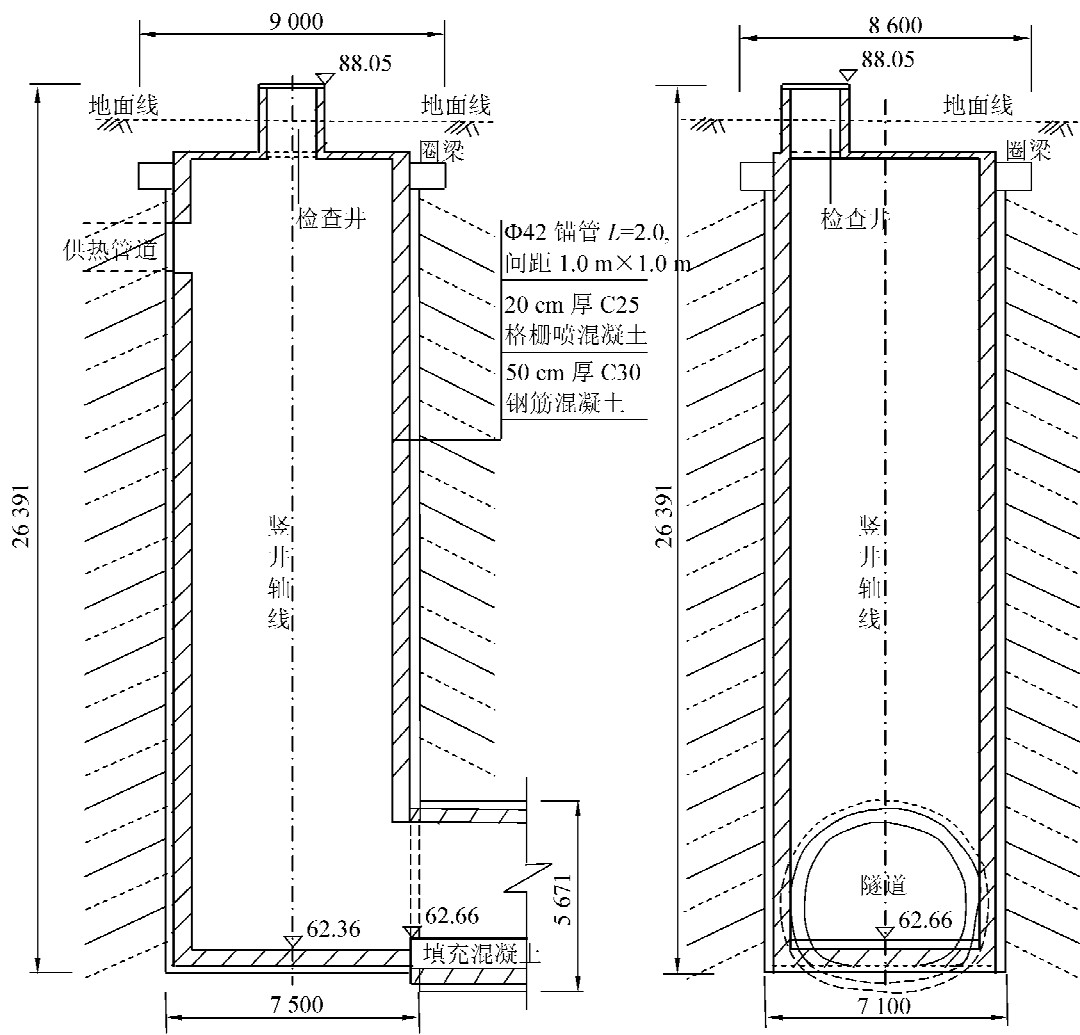


图 3 北干线西侧竖井结构(单位:mm)

施作拱墙初期支护,④核心土开挖,⑤施作仰拱初期支护,⑥支护背后回填注浆,⑦分次施作二衬仰拱、拱

墙。

5.2 竖井施工方法和工序

采用分层开挖、分层支护、整体衬砌、竖立提升运输的方法。①开挖至圈梁设计标高,②施作钢筋混凝土圈梁,③继续向下开挖 1.0 m,④施作已开挖的井壁锚杆、喷混凝土支护并施作钢管斜撑,⑤重复步骤③、④,每步 1.0 m 依次进行开挖、支护至竖井设计标高,⑥预留隧道开口部分,施作竖井钢筋混凝土二衬,供热管道安装完成后,施作钢筋混凝土盖板和检查井。

5.3 工程风险分析与处理措施

根据设计勘探地质资料,对比以往同类隧道工程经验,运用专家调查法,整理出施工图设计阶段主要风险因素包括隧道施工塌方、过量地表沉降变形、工期延误等。

(1)隧道施工塌方。隧道所处地层为粉土,施工塌方将对地面环境存在风险。通道施工防塌方措施:在注浆小导管超前支护下,每循环 0.75 m 短进尺,采用预留核心土全断面法施工,5 m 左右即可实现支护及时封闭。施工中严格执行设计要求,精细化施工,可有效降低施工塌方的风险。施工中制定防止塌方预案,有塌方预兆时应喷混凝土及时封闭工作面,型钢支撑,喷混凝土支护补强,周边锚杆,掌子面地层纤维锚管注浆加固等。

(2)隧道施工过量地表沉降变形。根据类似工程经验,在松散地层浅埋隧道施工中,地表沉降变形在 10 ~ 30 mm 之间。但施工塌方及坍塌土体损失、施工工艺不严格等可造成过量的地表沉降。施工过量地表沉降对地面环境存在风险。因此,加强施工变形监测,对监测变形建立Ⅲ级管理标准,对实际变形等级采用相应施工处理措施;控制变形技术措施可采用加密型钢钢架间距,加厚喷混凝土支护补强,支护背后回填注浆等。

(3)隧道施工工期延误。因开工延误、工程中事故、施工组织失误等都有可能造成工程工期延误。若工期延误将出现在南水北调中心总干渠后施工,对施工地表不均匀沉降要求更严,施工塌方和过量地表沉降变形所造成的风险更大。因此,隧道工程应尽可能提前干渠施工,选择信誉好、能力强、有丰富工程经验的施工单位承担该工程施工。

6 结论

(1)南水北调中线石家庄市区段的干渠工程,其渠深 7.0 ~ 17 m、渠底宽 14.0 m、边坡坡率 1: 2.5、从渠底每 7.0 m 左右设 4.0 m 宽平台一道,渠底混凝土面层后 10 cm、坡面混凝土厚 8.0 cm,干渠的特点和重要性对新建下穿隧道建设提出系列要求。

(2)马蹄形断面内净空 4 800 mm × 3 100 mm 的热力管线隧道,穿越南水北调水渠结构下覆土深度为 4.0 m。暗挖隧道采用复合式衬砌结构,分别由小导管超前支护、喷混凝土和钢架支护、模筑钢筋混凝土衬砌组成。

(3)为满足干渠运营安全,隧道竖井井口高出地面,并高于防洪堤和干渠堤顶高程。

(4)为减少对干渠的影响,管线隧道应先于干渠施工。

参 考 文 献

- [1]北京城建设计研究总院. GB50157 地铁设计规范[S]. 北京:中国建筑出版社,2003.
- [2]北京市煤气热力工程设计院. CJJ34 城市热力网设计规范[S]. 北京:中国建筑出版社,2002.
- [3]长江勘测规划设计研究院. SL191 水工混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
- [4]成都勘测设计研究院. DL/T5195 水工隧洞设计规范[S]. 北京:中国水利水电出版社,2004.

(下转第 20 页)

Model Test Study on Assembly Steel Frame with Mortise and Tennon Joints and Its Load-displacement Curve

Duan Shujin, Yu Yan, Li Meng, Liu Jie, Deng Hai, Zhao Jing

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: A new kind of assembly steel tube frame with the mortise and tennon joints is proposed in this paper. The plane frame models along the two directions are made and the loading tests are conducted respectively to investigate their mechanical behaviours. Both of the generalized vertical and horizontal load-displacement curves are obtained. The results show that the curve is ranged between the rigid joint frame and the hinged frame, which belong to a semi-rigid connection frame.

Key words: assembly steel frame; mortise and tennon joint; model test; load-displacement curve



(上接第 11 页)

Design of Heating Power Tunnel Undercrossing Main Channel of South-to-North Water Transfer Project

Zhu Yongquan, Gao Xinqiang

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: With the rapid development of cities and engineering construction, large numbers of new tunnels beneath the existing buildings or structures have appeared. During the construction of shallow, loose sand stratum tunnel, uneven surface settlement appears as the formation stress state changes and adjustments, which may have great influence on the existing buildings or structures. In this paper, the interaction factors and the design problems are introduced and position relationship, construction deformation, treatment measures of flood prevention and seepage are analyzed in the construction of Shijiazhuang heating power tunnel under-crossing the main channel of the mid-route of South-to-North Water Transfer Project, which can be used as reference for similar projects.

Key words: South-to-North Water Transfer Project; beneath; tunnel; design; construction