

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2020.04.027

综合管廊近距离上穿南水北调干渠 施工关键技术研究

胡平

(北京京投交通发展有限公司, 北京 102606)

摘要: 地下综合管廊工程近距离穿越既有工程施工时,如何保证既有工程的运行安全,是地下综合管廊工程施工的重点和难点;结合北京新机场高速公路地下综合管廊近距离上穿南水北调干渠实例,针对现况地质条件和工程特点,施工中采用了隔离桩、基底旋喷注浆加固、短距离分段开挖、增加配重、对称浇筑顺序等控制技术,减少了土体卸载面积,加快了施工进度,缩短了卸载时间,将南水北调干渠隧道变形值控制在允许范围内,保证了南水北调干渠供水的安全运行,为今后类似工程近距离上穿既有工程施工提供了借鉴。

关键词: 综合管廊;明挖法;近距离上穿;关键技术

中图分类号: U455.4

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2020)04—0160—05

Key Construction Technology of Utility Tunnel Crossing Main Canal of the South-to-North Water Diversion Project

HU Ping

(Beijing BII Transportation Development Co., Ltd., Beijing 102606, China)

Abstract: How to ensure the safe operation of the existing project is a very important issue during the construction of the utility tunnel especially when it passes through the existing project in a short distance. This paper takes the utility tunnel of Beijing New Airport Expressway which pass through the main canal of the South-to-North Water Diversion in a short distance as an example. The main canal passing through the South - to - North Water Diversion Project is based on the current geological conditions and engineering characteristics. During the construction, control technology such as isolation piles, basement rotary grouting reinforcement, short - distance segmental excavation, increased counterweights, and symmetrical pouring sequence were adopted. Which were very helpful to reduce removed soil volume, speed up the construction progress, reduce the unloading time, make sure the deformation of the main canal tunnel within the allowable range, make sure the safe operation of water supply in the main canal of South-to-North Water Diversion Project.

Keywords: utility tunnel; cut and cover method; short distance crossing; key technology

随着城市规模的快速扩张,城市地下综合管廊工程也得到了快速发展,其规划设计不可避免的与铁路、地铁、道路、桥梁及管道存在交叉,南水北调干渠工程亦是其中之一。

北京新机场高速公路地下综合管廊规划设计近距离明挖上穿南水北调干渠,目前同类工程中尚无先例,如何保证南水北调干渠供水正常运行情况下,顺利进行综合管廊基坑开挖、结构施工,是工程施工

中的重难点,值得深入研究。

1 工程概况

1.1 项目概况

北京新机场高速公路地下综合管廊(南五环—新机场)工程一期位于北京市大兴区,是北京市城市综合管廊规划建设网的重要组成部分,规划建设定位为干线型综合管廊。它是连接北京市区与北京

新机场的重要市政通道,主要为北京新机场及北京南部地区提供能源供给保障,主干管廊设计全长约27.881 km。

北京新机场高速公路地下综合管廊从新机场高速与南五环立交东侧匝道内穿过,斜交穿越南水北调干渠结构;新机场高速地下综合管廊下穿位于南水北调干渠 K18+919 处,平面交角为 74° 。南水北调南干渠埋深约 9.26 m,干渠隧道采用盾构法施工,干渠外径为 6.0 m,内径约 4.7 m,其中盾构衬砌厚度约 0.3 m,内部另设 0.35 m 厚内衬。

穿越南水北调干渠管廊段设计起点桩号 0+456,终点桩号 0+516,其中一期南水北调干渠穿越为 0+456—0+475,二期南水北调干渠穿越为 0+475—0+516,共计 60 m(见图 1)。

管廊明挖段断面设置为三舱,电力舱宽度 2.6 m,水信舱宽度为 3.9 m,燃气舱宽度 2.0 m,采用矩形断面,采用上跨明挖法施工(见图 2)。

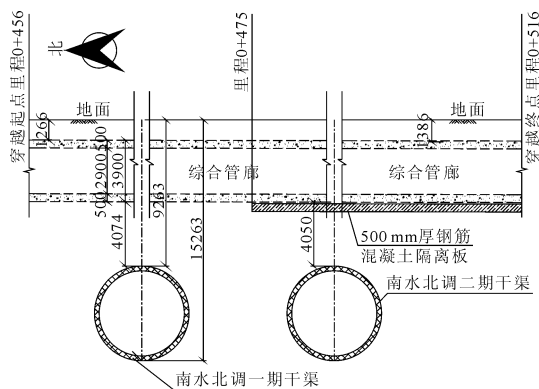


图1 新机场管廊上穿南水北调干渠剖面图

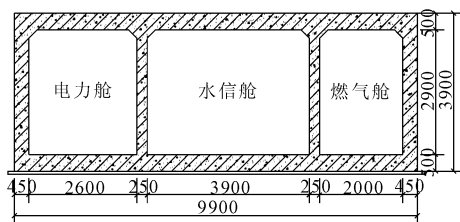


图2 综合管廊标准断面图(单位:mm)

1.2 工程地质情况

(1) 地质情况。拟建场区勘探范围内的土层划分为人工堆积层、新近沉积层、第四纪冲洪积层等。场区地质条件按地层岩性及其物理学性质可分为:① 粉土填土和杂填土层;② 粉土和粉细砂层;③ 粉土层;④ 粉质黏土层;⑤ 圆砾卵石层;⑥ 粉细砂层;⑦ 卵石层。

(2) 水文情况。本场区范围地下水主要为第四纪松散沉积物孔隙水,受地层岩性分布特点的影响,

地下水主要分布 3 层(上层滞水、潜水和层间水),上穿南水北调干渠工程范围主要为上层滞水层,标高约 33.11 m;潜水水位标高 23.01 m;层间水水位为 24.81 m~28.17 m,水位标高为 7.96 m~11.78 m,含水层为卵石层、中粗砂层和粉土层,主要以接受地下水侧向径流及越流方式补给,以地下水侧向径流及人工开采为主要排泄方式;抗浮设计水位高程为 34.00 m。

2 穿越工程方案研究

2.1 施工方案确定

穿越南水北调干渠施工工法有暗挖下穿法,分段明挖法,在工程实施前对每种工法进行详细论证,并结合综合管廊穿越南水北调干渠安全评估报告中对南水北调干渠变形影响分析,得出:

(1) 暗挖下穿对南水北调干渠隧道结构变形影响较大,另外管廊结构顶板最深点埋深约 20 m,暗挖结构位于潜水层中,需对地下水进行处理,施工风险和难度大,工程造价偏高,干渠结构变形量难以控制。

(2) 短距离分段明挖方案在满足管廊结构顶板覆土厚度达到北京地区冻土厚度要求的前提下,采用短距离分段开挖,大大减少卸土面积和土钉打设量,减少了对土体的扰动,缩短卸荷时间,加快施工进度,保证干渠管道隆起值在控制范围内,同时工程造价相对较低。

因此综合施工风险、工期、造价等因素,采用短距离分段明挖法,在结构顶板上配重一定重量的钢锭,以保证明挖施工时干渠管道上方荷载稳定;且分段开挖采取“小步快走,分步施工”方式,每施工完一段结构即可配重钢锭,在短时间内将开挖卸掉的荷载,快速稳定的补上,最大限度的减少干渠管道隆起量;经委托北京市水利规划设计研究院进行数值模拟安全评估和专家论证会,最终确定穿越南水北调干渠采用短距离分步明挖法,同时辅以隔离桩、基底旋喷注浆加固和增加配重等辅助措施,加强对南水北调干渠管道的保护。

2.2 变形控制指标

根据《其他工程穿越跨越或邻近北京市南水北调工程安全影响评价导则(试行)》^[1]、《其他工程穿越跨越或邻近北京市南水北调工程设计技术要求(试行)》^[2]和安评报告等文件要求,提出了综合管廊上穿南水北调干渠施工期间主要变形控制指标,具体详见表 1。

表 1 管廊上穿南水北调干渠变形控制指标

项目	沉降控制值 /mm	速率控制值 / (mm · d ⁻¹)	监测频率
穿越南干渠隆起/沉降值	≤5	1	L ≤ 20 m, 1 ~ 2 次/d; L ≤ 50 m, 1 次/2d; L > 50 m, 1 次/周;
穿越南干渠地表沉降	≤5	1	基本稳定后, 1 次/月

3 施工关键技术

3.1 隔离桩

南水北调一期、二期干渠中心间距 30 m。管廊向北 9 m 作为明挖过渡段, 为防止基坑加深开挖对一期南水北调干渠横向土层扰动。在南水北调干渠一期北侧管廊工程 0 + 456 明暗结合处采取 9 根钢筋混凝土隔离桩 $\Phi 800$ mm @ 1 200 mm; 隔离桩距离南水北调一期干渠中心线 12 m, 隔离桩桩长 16 m, 保证深入干渠底一倍洞径, 见图 3。

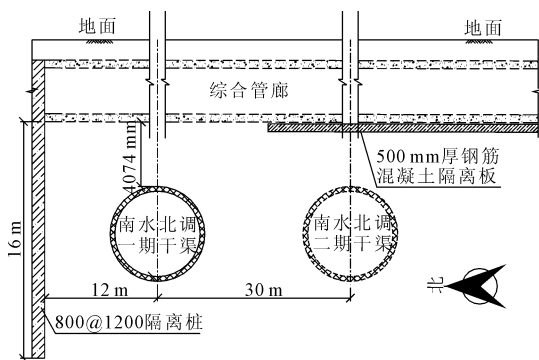


图 3 隔离桩剖面图

隔离桩施工采用长螺旋钻孔灌注桩施工工艺, 采用“隔一打一”施工顺序。

采用隔离桩措施后, 起到限制南水北调干渠结构水平横向变形的作用, 实现了保护干渠管道结构的目的。

3.2 基底旋喷注浆加固

基底旋喷桩土体加固范围结构底板下 2.0 m, 长度 41.0 m, 宽度 11.5 m。旋喷桩采用桩径 $\Phi 600$ mm @ 400 mm 的双重管高压旋喷桩加固, 桩间搭接 200 mm。针对工程水文地质情况, 采用水泥单液浆加固, 在旋喷之前按施工要求准备足够水泥, 采用 42.5 级普通硅酸盐水泥。旋喷桩施工时, 水泥浆水灰比控制在 1.0 左右。根据《建筑地基处理技术规范》^[3] (JGJ 79—2012) 要求注浆压力不得小于 20 MPa。

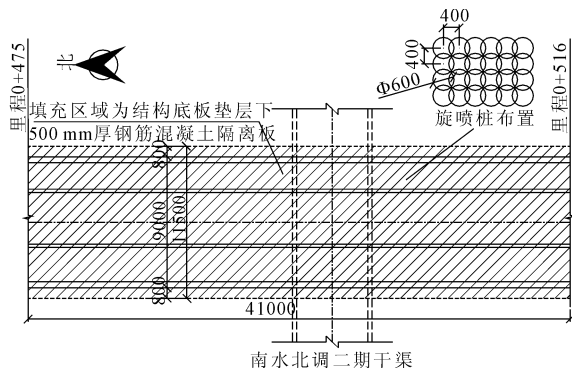


图 4 旋喷桩注浆加固平面图(单位: mm)

旋喷桩施工工艺流程为: 钻机就位→钻孔至设计深度→插入喷射管→高压喷射浆液并逐步提升喷射管→喷射结束→拔管。

旋喷桩采用跳孔施工, 隔 2 孔 ~ 3 孔, 在桩底部边旋喷稳定 1 min 后达到规定的喷射压力, 再逐渐边旋转边提升边喷射。为确保喷浆质量, 控制有 10% ~ 30% 的冒浆量。喷射提升至设计标高后应迅速拔管并及时清洗, 以免浆液凝固堵塞管路。

3.3 短距离分段开挖支护

管廊土方开挖借鉴类似盾构隧道上方基坑施工经验^[4-16], 施工步序采用分段开挖, 减小一次性卸载量, 基坑支护如图 5 所示。

基坑支护采用土钉墙形式, 施工工艺如下: 先 1:1 放坡开挖第一层 2 m 深, 厚度 80 mm、喷射 C25 细石混凝土支护, 然后施做 1.5 m 宽台阶, 再 1:0.3 放坡开挖第二层, 土方开挖至土钉下 30 cm 后进行土钉施工, 土钉间距 1 500 mm 梅花型布置, 面板厚度 80 mm, 喷射 C25 细石混凝土, 土钉成孔直径 100 mm, 钻孔倾角 10°, 土钉外露不小于 80 mm, 水平间采用钢筋拉结, 钢筋网片采用 $\Phi 6$ @ 150 mm × 150 mm 纵向搭接长度大于 300 mm, 横向搭接长度大于 200 mm, 面层沿坡顶向外延伸 1 m 形成护肩, 如土钉墙在开挖过程中坡面出现渗水现象, 需在坡面设置泄水孔进行引流, 将渗水引流至肥槽内的排水沟内, 导流管采用长 1 m $\Phi 50$ mm 的塑料管, 做成花管并缠 80 目尼龙纱网, 土钉采用长 5 m 的 $\Phi 22$ 钢筋, 注浆材料选用水泥浆。

3.4 对称开挖浇筑步序

基坑开挖时以南水北调干渠一期中心线为基准: 先向北开挖第 1 段 3 m 基坑, 基坑开挖支护后浇筑混凝土结构及回填覆土, 然后以基准线向南对称开挖第 2 段 3 m 基坑, 基坑开挖支护后浇筑混凝土结构及回填覆土, 随后同时对称开挖南北两侧第 3 段各 3 m 基坑, 浇筑混凝土结构及回填完成后对对称开挖第 4 段各 6 m 基坑, 该段管廊共计 24 m 施工

完成后;管廊再往南 36.9 m 范围以放坡 + 土钉形式进行基坑开挖支护,基坑垫层以下施 0.5 m 厚钢筋混凝土板和 2 m 厚旋喷注浆加固土层,为南水北调二期干渠远期施工预留条件,同时为避免基坑加深

开挖对干渠一期横向土层的扰动,在里程 0 + 456 位置增设长 16 m 9 根 $\Phi 800@1200$ 隔离桩。施工步序如图 6 所示。

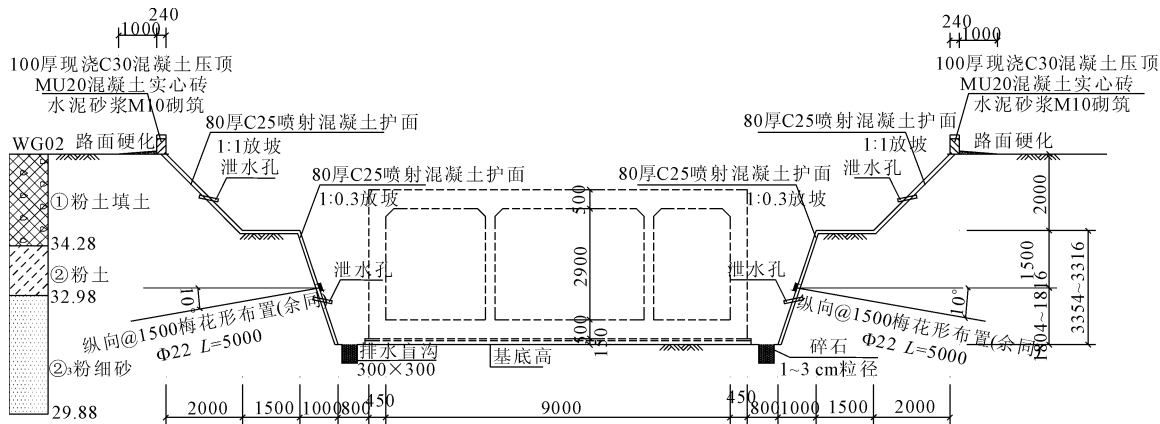


图 5 上穿南水北调干渠一期基坑开挖支护断面图(单位:mm)

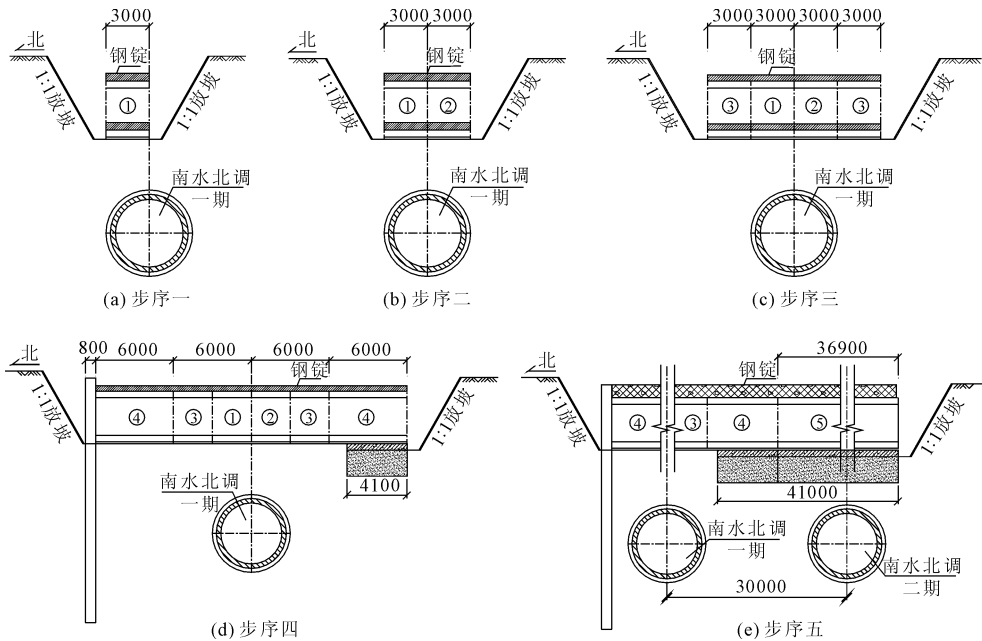


图 6 管廊上穿南水北调干渠施工步序(单位:mm)

3.5 增加配重

为确保施工期间南水北调干渠不发生上浮,在施工期间采取增加配重的抗浮措施:每段主体结构底板及顶板施工完成后及时满铺 2 排 8 寸钢锭,管廊主体结构浇筑完成达到回填设计强度后,管廊基坑肥槽回填时同步拆除顶板钢锭,顶板钢锭的拆除重量根据每次土方回填荷载量等量逐步拆除,同时根据现场监测结果,视情况移除底板钢锭,直至全部移除。

3.6 监控量测结果

目前综合管廊上穿南水北调干渠已施工完成,根据监测数据得到南水北调干渠累计隆起和地表沉

降变化趋势,如图 7、图 8 所示。

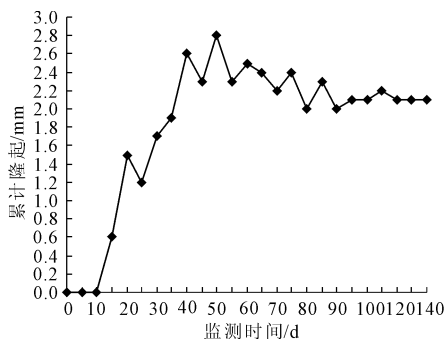


图 7 南水北调干渠累计隆起变形趋势

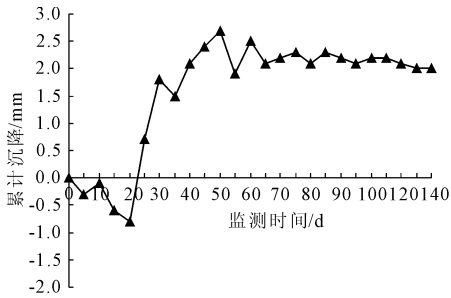


图 8 地表沉降监测点累计沉降变形趋势

由图 7、图 8 可以得出:

(1) 南水北调干渠隆起变形。南水北调干渠初期施工隔离桩和基底注浆加固时,隆起值为零,尚未引起隆起变形;随着基坑短距离分步对称开挖施工,干渠累计隆起值迅速增大,至施工第 4 步序时累计隆起值出现最大值 2.8 mm;随着管廊主体结构施工及配重的增加,干渠隆起慢慢趋于稳定,最终累计隆起变形稳定在 2.1 mm 左右。

(2) 地表沉降变形。监测数据从开挖初期的负值沉降至中期正值隆起到后期隆起稳定主要造成原因:初期分段分步明挖施工,因卸载量较小和土体扰动等影响,地表沉降呈下降趋势;随着分段分级基坑开挖,土体卸载量逐步增大,南水北调干渠隆起趋势增大,地表沉降也随之由负变正,呈现隆起趋势,最大累计隆起 2.7 mm,与干渠累计隆起同步;随着管廊结构浇筑施工开始,配重的增加和基坑回填土,基坑内荷载量逐渐增大,地表隆起慢慢下降稳定,最终地表累计隆起变形稳定在 2.0 mm 左右。

综上所述,管廊上穿南水北调干渠累计最大隆起值为 2.8 mm,地表累计最大沉降(隆起)控制值为 2.7 mm,均在安全评估控制指标范围内,施工过程中未发生监测及巡视预警情况,施工安全风险得到有效控制。

4 结 语

(1) 城市综合管廊穿越南水北调干渠施工,经过前期充分的技术论证和安全评估,对比分析明挖上穿和暗挖下穿方案的优缺点,选定明挖上穿方案,该方案风险较低、施工快速、经济更合理。

(2) 综合管廊明挖上穿南水北调干渠施工时,通过采取隔离桩、基底旋喷注浆加固、短距离分段开挖、对称浇筑、增加配重等一系列措施,能缩短土方卸载时间、减少一次性土方卸载量,有效避免南水北调干渠隆起风险,保证了工程安全风险可控,工程达到了预期目的。

(3) 该综合管廊近距离明挖上穿南水北调干渠

施工技术的成功实施,达到了地下综合管廊的规划建设目的,为今后类似工程穿越南水北调干渠的设计、施工提供宝贵经验。

参考文献:

- [1] 其他工程穿越跨越或邻近北京市南水北调工程安全影响评价导则(试行)[S].北京:北京市南水北调工程建设委员会办公室,2016.
- [2] 其他工程穿越跨越或邻近北京市南水北调工程设计技术要求(试行)[S].北京:北京市南水北调工程建设委员会办公室,2016.
- [3] 建筑地基处理技术规范:JGJ 79—2012 [S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [4] 杨喜,邹琦,王庆.地铁隧道穿越南水北调干渠施工影响分析[J].隧道建设,2013,33(7):562-566.
- [5] 孙佳伟.综合管廊近距离密集顶涵上穿地铁既有线工程关键技术[J].建筑技术,2019,50(5):519-523.
- [6] 叶跃鸿.地下通道施工引起下卧地铁隧道上浮规律及控制措施研究[D].杭州:浙江大学,2017.
- [7] 乔南.明挖箱型隧道基坑施工对下卧既有隧道变形影响及加固措施研究[D].成都:西南交通大学,2016.
- [8] 魏刚.基坑开挖对下方既有盾构隧道影响的实测与分析[J].岩土力学,2013,34(5):1421-1428.
- [9] 裴行凯.深基坑开挖对临近既有地铁隧道的纵向影响分析[J].水利与建筑工程学报,2019,17(1):205-210.
- [10] 贺希英,高强,张晓光,等.黄土地区基坑开挖对下卧变截面地铁隧道影响数值分析[J].水利与建筑工程学报,2019,17(1):221-226.
- [11] 吴显伟,刘媛,童欣.复杂条件下地下综合管廊深基坑支护技术研究[J].水利与建筑工程学报,2020,18(1):32-36.
- [12] 郭鹏飞,杨龙才,周顺华,等.基坑开挖引起下卧隧道隆起变形的实测数据分析[J].岩土力学,2016,37(S2):613-621.
- [13] 宗翔.基坑开挖卸载引起下卧已建隧道的纵向变形研究[J].岩土力学,2016,37(S2):571-577,596.
- [14] 郭院成,詹景元,杜浩鸣,等.郑州粉土基坑开挖对下卧地铁隧道的影响[J].建筑科学与工程学报,2019,36(5):11-20.
- [15] 刘长宝,邹金杰,彭加强.既有地铁隧道上方明挖基坑施工方案分析[J].城市轨道交通研究,2019,22(6):133-137.
- [16] 陈仁朋,孟凡衍,李忠超,等.邻近深基坑地铁隧道过大位移及保护措施[J].浙大学学报(工学版),2016,50(5):856-863.
- [17] 建筑基坑工程监测技术规范:GB 50497—2009 [S].北京:中国计划出版社,2009.
- [18] 城市综合管廊工程技术规范:GB 50838—2015 [S].北京:中国计划出版社,2015.