

城市富水砂卵石地层大断面 隧道浅埋暗挖工法研究

唐国荣¹, 刘招伟², 李建华³

(1. 铁道部工程设计鉴定中心, 北京 100844; 2. 中铁隧道集团有限公司,
河南洛阳 471009; 3. 中铁隧道集团技术中心, 河南洛阳 471009)

[摘要] 针对北京富水砂卵石地层大断面隧道地层稳定性差、工程周边环境复杂、对沉降控制要求高等诸多难题,在大断面隧道中采用CRD法、洞桩法进行施工,有效控制了工程结构、沿线及周围建筑物和地下管线的变形,确保了工程及周围环境的安全。

[关键词] 砂卵石地层;大断面;CRD法;洞桩法;隧道施工

[中图分类号] U455 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)12-0098-05

1 前言

在周边环境复杂的城市进行大断面隧道暗挖施工,关键是选择合适的施工方法及工艺以控制地表过大沉降,确保周围建(构)筑物的安全。目前,在城区大断面暗挖隧道施工中,CRD法和洞桩法是常用的两种施工方法,例如:北京地铁10号线10标段^[1]、厦门翔安海底隧道陆域段^[2,3]均采用CRD法施工;北京地铁10号线东段5个暗挖车站^[4,5]均采用洞桩法施工,由于地质条件及施工工艺不同,控制地表沉降的效果也不一样。总体讲,有必要进一步研究其工艺,确保将沉降控制到允许范围。根据地质条件,北京地下直径线隧道工程西段选择了CRD和洞桩法两种施工方法,并在施工中进行了改进,确保了施工安全,并将地表沉降控制在允许范围内,其成功经验对后续工程具有指导意义。

2 工程概况

北京地下直径线工程的DK6+804~DK7+433之间的富水砂卵石地层段,采用浅埋暗挖法施工。隧道开挖断面尺寸为11.60 m×10.58 m(宽×高),覆土为5~15 m。

DK6+803.5~DK7+060段位于北京市天宁寺桥西北角至白云观南里10#楼东侧,隧道与天宁寺立交桥桩基础净距仅为6.97 m。DK7+060~DK7+433段隧道位于莲花池西路北辅路下,北侧紧邻白云观南里9#、10#楼,南侧为白云桥东侧引桥,周边环境条件复杂,对地表沉降要求高。

工程难点分析:

1) 地层结构组成复杂。浅埋段隧道洞身主要穿过卵石、圆砾及少量粉质粘土层,围岩自稳能力差,在地下水作用下易发生涌水、涌砂等情况。

2) 地下水对施工影响大。地下水位低,隧道部分区段处于层间潜水水位以上,隧道结构底板所处岩层在地下水作用下自稳能力差,易坍塌,易引起拱顶冒落和边墙变形,影响施工安全。

3) 周边环境复杂,环境安全控制要求高。隧道线路两侧紧邻五交化大楼,白云观9#、10#楼等砖混结构建筑物,房屋年代久远,且隧道上方管线密集,沉降控制要求高。

4) 施工难度大。隧道断面大、施工步骤多,结构力学转换复杂,地表沉降控制难度大,施工安全风险大。

[收稿日期] 2010-08-10

[作者简介] 唐国荣(1964—),男,江苏江阴市人,高级工程师,主要从事隧道及地下工程设计审查、咨询等工作;E-mail: tanggr@sina.com

3 施工方案研究

为控制沉降及保证周围环境安全,根据实际施工条件,在盾构始发井至隧道出口之间的富水砂卵石地层段,分别采用 CRD 法和洞桩法施工。如图 1 所示。

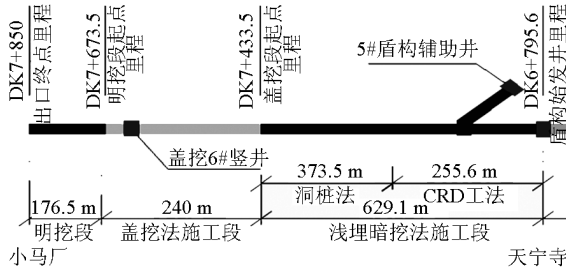


图 1 北京地下直径线浅埋暗挖段工程平面示意图

Fig. 1 The plan diagram of Super Shallow-buried Section of Beijing underground straight diametral wire

3.1 施工方案研究

3.1.1 采用浅埋暗挖法的原因

隧道位于莲花池东路的北侧辅路下,南侧为天宁寺匝道桥、白云桥及东西端引桥,北侧为密集建筑物群,其中,建筑物承重墙与隧道净距仅 1.14 m,不具备明挖施工的场地条件。在西端小马厂至天宁寺之间线路上受地表交通及建筑物的影响,不具备设置盾构始发井条件,同时天宁寺至小马厂区段隧道覆土厚度小,不具备盾构法施工的条件。

由于浅埋暗挖法具有良好的适应性,同时满足各种复杂边界条件,经过比选,最终选择浅埋暗挖法作为该段的施工方法。

3.1.2 浅埋暗挖施工工法选择

大量的施工实例资料的统计结果表明,就控制地表沉降而言,双侧壁导坑法、CRD 法优于 CD 法,但双侧壁导坑法工序相对多,防水处理难度大。因此,根据北京地下直径线的地层条件、严格的沉降控制要求等因素,在周边建筑物相对较少,可进行地表降水的,原设计 DK6 + 804.1 ~ DK7 + 060 段采用工程量相对较小,施工速度相对较快的 CRD 工法施工,而在 DK7 + 060 ~ DK7 + 433.5 段采用了工程量相对较大,施工速度较慢的洞桩法施工,洞桩段主要考虑以下因素:

1) 临近建筑物和隧道上方有管线保护的需,但地表无加固保护建筑的条件,必须从洞内采取加固措施。

2) 富水条件下采用 CRD 工法难度较大,而洞桩法,在围护桩的保护下带水作业开挖下断面较安全。

3) 施工沉降较小,洞桩的桩体不仅起到了隧道的围护支撑作用,同时也对隧道开挖引起的变形起到隔断作用,减小隧道施工对建筑物的影响。

3.2 暗挖法施工模拟分析

根据全断面法、台阶法和 CRD 工法的实际施工顺序和区段实际地层分别建立模型,对其进行数值模拟分析,得出地表横向沉降槽曲线,如图 2、图 3 所示。

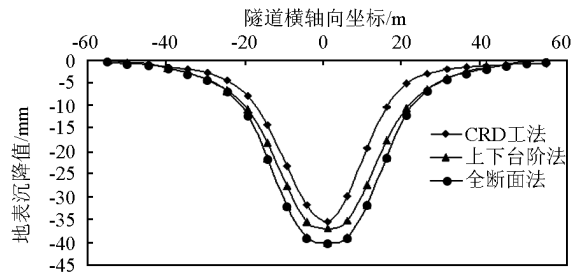


图 2 不同工法开挖隧道地表横向沉降槽曲线

Fig. 2 Curve of transverse subsidence tank of ground surface of different construction method

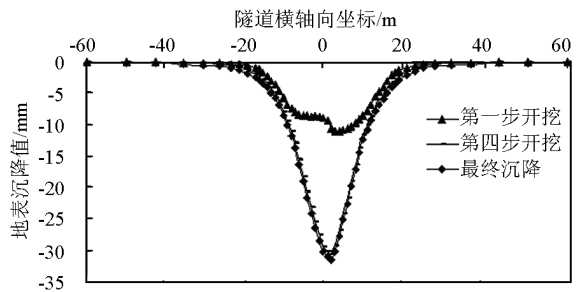


图 3 洞桩法施工阶段地表沉降槽曲线

Fig. 3 Curve of subsidence tank of ground surface of hole pile method construction stage

总体上 CRD 法施工对地表的沉降控制效果较好,由于本工程所在繁华城区,对周围环境安全控制要求极高,因此本区段根据地层和环境条件分别选用 CRD 法和洞桩法施工是合适的。

分析表明,洞桩法施工引起地表沉降 31 mm,横向沉降槽范围为 55 m 左右,施工中地表沉降较大的是第一步导洞的开挖与第四步扣拱的施工,两者分别约占总沉降量的 40 % 和 55 %。因此,严格控制第一步小导洞开挖,以及第四步中洞超前支护和扣拱,将会使地表沉降有效的控制在 30 mm 以内。

4 CRD 法施工技术

4.1 工艺特点

CRD 工法特点为:a. 适用于IV ~ VI级围岩浅埋大跨隧道。b. 采用分步开挖、分步支护技术,及时封闭成环。c. 上半断面的导坑能够起到超前地质预报的作用。d. 6个作业面可以平行施工。

4.2 施工工艺流程

CRD 工法施工工艺流程如图 4 所示。

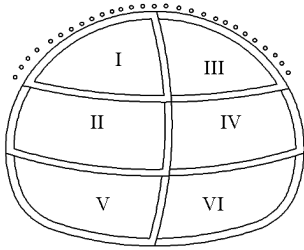


图 4 CRD 工法施工步序图

Fig. 4 CRD construction steps drawings

4.3 关键施工工艺

1) 超前支护(注浆)。区段隧道主要以卵砾石、圆砾石为主,全线均采用超前小导管加固。选择合理的注浆参数,浆液要满足固结地层与防止涌水的需要,选择普通水泥水玻璃浆液为浆材,并在水泥浆中加少量膨润土,增加可灌性。

2) 开挖施工。如图 4 所示,分 6 部开挖,各部采用台阶法施工,台阶长度控制在 2 ~ 2.5 m,开挖严格按照 1→2→3→4→5→6 的顺序执行,下一步的开挖滞后上一步的开挖按照 5 m 控制。

3) 初期支护施工。采用 C25 网喷早强混凝土及格栅钢架进行支护。锁脚锚管施作与掌子面开挖错开两榀进行,锚管施作与掌子面超前小导管施作同步开展。为最大限度的发挥锁脚锚管作用,起到扩大拱脚的目的并最终控制隧道沉降,小导管施作俯角控制在 15° ~ 30°。在初支封闭成环后及时进行初支背后回填注浆,以达到充填初支孔隙,控制局部渗漏的作用。

4) 衬砌施工。在沉降变形稳定后进行。采用“纵向分段跳段拆撑”法,纵向采取间隔 2 组跳段拆撑的方法进行施工,分组长度为 7.5 m。模板全部采用可调弧形钢模板,支撑体系采用钢管碗扣式脚手架+门式框架满堂红架设、步距 900 mm 配合方木,中间留施工通道。混凝土浇筑时,采用两侧对撑浇筑。

4.4 沉降分析

CRD 法开挖引起的地表沉降为 11 ~ 15 mm,二衬施工阶段为 7 ~ 13 mm,地表累计最大沉降

为 29.9 mm。

二衬施工中因拆除临时支撑等工序引起的沉降相对较小,主要是因为采取了跳段拆除支撑工序,二衬施工中严格遵循分段跳槽、托梁换柱、先撑后拆以维持原结构受力状况不变来完成力的转换的原则,即先用支撑替换法施工底板,分段拆除中壁铺设防水板和施工底板,再用支撑恢复中壁,最后分段拆除中壁和临时仰拱,由其他部分初期支护承受荷载,完成墙、拱衬砌,较好地控制了地表沉降。

5 洞桩法施工技术

5.1 工艺特点

洞桩法是具有中国特色的设计施工方法,将传统的地面框架结构施工法和暗挖法进行有机结合,即在地面不具备施工基坑围护结构条件时,改在地下提前暗挖好的导洞内施作。围护边桩、桩顶纵梁、顶拱共同构成桩、梁、拱承载支撑框架体系,然后在顶拱和边桩的保护下进行隧道开挖和结构施工。适用于少水松散软弱地层的单跨、双跨或多跨结构施工。

5.2 洞桩法施工流程

洞桩法施工流程如图 5 所示。

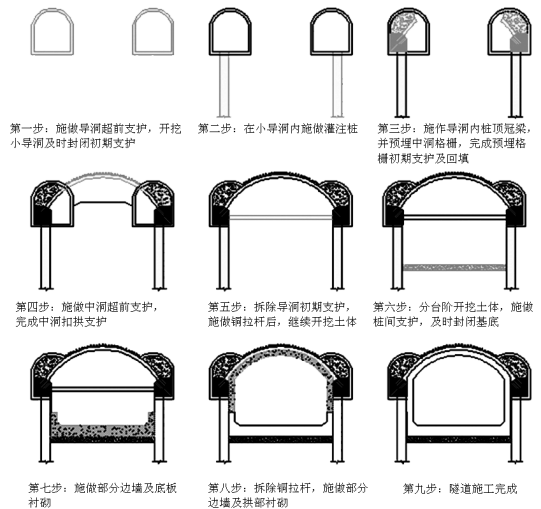


图 5 洞桩法施工流程图

Fig. 5 Hole pile method construction steps drawings

5.3 关键施工工艺

5.3.1 小导洞开挖

小导洞采用上下台阶法施工,在靠近建筑物一侧采用无缝钢管作超前管棚,小导洞完成后,在洞内进行深孔注浆加固,加固地表建筑的地基,根据监测信息反馈进行注浆参数调整。

5.3.2 洞内桩及冠梁施工

通过改进的反循环钻机在导洞内施做钻孔灌

注桩,钻孔桩为跳孔施做以防止成孔过程中的塌孔现象,洞桩施工完成后,剔除桩头,施做桩顶冠梁,同时在冠梁顶预埋中洞扣拱格栅。

5.3.3 中洞扣拱施工

施工沿线高层建筑密集及重要市政管线较多,为有效控制地面沉降和周边构筑物变形,施工中洞前,在已完成的南北侧导洞对中洞拱部土体采用WSS工法深孔注浆,以改良、加固被施工扰动的土体。

在中洞注浆结束扣拱开挖之前打设中洞超前小导管,每环打设一次,注入水泥水玻璃双液浆。中洞预留核心土开挖上层土方,割除与中洞拱架相交的格栅拱架,架立中洞格栅,并喷射C25混凝土。

近邻白云观南里9#、10#楼施工场地,在北导洞开挖支护完成后,对居民楼基础采用二重管无收缩双液WSS工法进行基础深层注浆加固,见图6。监测表明,注浆后地表隆起值控制在4mm内,地面建筑物最大差异沉降2mm。深层注浆工艺加固了地面建筑物地基,保证了地面建筑物安全。

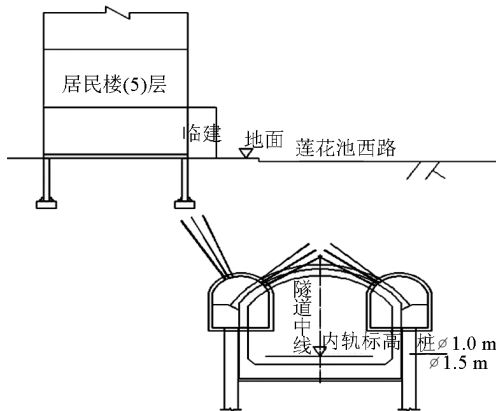


图6 中洞扣拱施工时深层注浆示意图
Fig.6 Drawings of deep grouting of construction with middle tunnel method

5.3.4 下部开挖及衬砌

下部土方边开挖边进行边墙喷锚支护及底板垫层施工,随后进行底板混凝土及拱墙衬砌浇筑。

5.4 沉降分析

洞桩法施工引起的地表沉降为15~20mm,最大沉降为26mm。

6 施工效果对比分析

工程实践表明,在富水砂卵石地层采用超前小

导管注浆预加固、跳段拆撑施工的CRD工法,充分利用围岩自承能力,步步成环,控制隧道位移及地表沉降效果明显。真正实现了“管超前、严注浆、短开挖、强支护、早封闭、勤量测”的十八字方针。

洞桩法施工,先做桩后开挖,在桩的保护下施工更安全,地层变形沉降更小,更有利于建筑物的保护,洞桩的桩体起到了隧道的围护支撑作用,桩间注浆加固,起到止水帷幕的效果。

暗挖隧道地表沉降一般在20~60mm;58%以上地表沉降均超过了30mm。北京地下直径线的CRD和洞桩法对地表沉降控制均好于国内外类似工程。

7 结语

1)北京地下直径线在富水砂卵石地层中,采用洞桩法和CRD法,通过加强施工管理、优化工艺、采取针对性的措施等,取得了比以往类似工程更加明显的地表沉降控制效果,确保了工程结构及周边环境的安全,达到了预期目标。

2)大断面隧道通常划分为小断面施工,从而增加了大量的临时支护结构,常规人工风镐凿除临时结构,效率低下,施工环境恶劣,建议开发便携式高效破碎机械或破碎材料,提高混凝土凿除的效率,提高作业效率,满足环保要求。

3)采用超前小导管注浆预加固、跳段拆撑施工的CRD工法,步步成环,充分利用围岩自承能力,对控制洞室变形及地表沉降效果明显。

4)洞桩法比CRD法施工可以更好地控制沉降,对周边环境的影响明显减小,但CRD工法初支施工进度较快、衬砌时间较长;洞桩法则施工进度慢,施工难度大,实践结果表明,应根据地层条件和周边环境及时调整和确定相应的施工方案。

参考文献

- [1] 熊兴国. 北京地铁区间隧道浅埋暗挖法穿越高层建筑施工技术[J]. 铁道标准设计, 2007, (5): 77-79.
- [2] 张建斌. 大断面浅埋暗挖隧道CRD法施工安全性分析[J]. 铁道建筑, 2008, (8): 67-70.
- [3] 梁巍, 黄明利. 大跨度隧道CRD法穿越含水软弱层沉降变形控制[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(增2): 3738-3742.
- [4] 申国奎. 地铁隧道区间“PBA”洞桩法施工对地表沉降影响研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2009.
- [5] 朱泽民. 地铁暗挖车站洞桩法(PBA)施工技术[J]. 隧道建设, 2006, 26(5): 63-65, 100.

Research on shallow tunneling construction method of large section tunnel under the water-rich sandy gravel stratum

Tang Guorong¹, Liu Zhaowei², Li Jianhua³

(1. Identification Center of Engineering Design, Ministry of Railways, Beijing 100844, China; 2. China Railway Tunnel Group, Luoyang, Henan 471009, China; 3. Technology Center of China Railway Tunnel Group, LuoYang, Henan 471009, China)

[**Abstract**] The CRD(cross diaphragm) and hole pile method were adopted in the large section tunnel, aiming at poor geological stability, complex engineering environment and the higher control requirements of subsidence in water-rich sandy gravel stratum of Beijing, which controlled the deformation of engineering structure, surrounding buildings along and underground pipeline effectively and ensured the safety of surrounding environment.

[**Key words**] sandy gravel stratum; large section; CRD method; hole pile; tunnel construction

(上接 97 页)

参考文献

[1] 铁道部第三勘察设计院.北京市地下直径线工程盾构区间详细地质勘察报告[R].天津:第三勘察设计院,2004:20-25.

[2] 徐永福.盾构推进引起地面变形的分析[J].地下工程与隧道,2000,(1):21-25.

[3] 刘招伟,赵运臣.城市地下工程施工监测与信息反馈技术[M].北京:科学出版社,2006.

Study on ground settlement of large diameter slurry shield construction in water-rich sandy gravel stratum

Zhao Baohua¹, Hu Xibo², Zhang Bing¹, Li Wenjun¹

(1. Technology Center of China Railway Tunnel Group, Luoyang, Henan 471009, China; 2. China Railway Tunnel Group, Luoyang, Henan 471009, China)

[**Abstract**] Beijing underground diameter project is located in the water-rich sandy gravel formation, which is through many structures. Through the analysis of actual monitoring results, the law of tunneling parameters to surface subsidence and deformation law of important buildings around were summarized. Deformation control was successful compared with similar projects.

[**Key words**] water-rich sandy gravel; large diameter; slurry shield; settlement law