

非开挖技术及其在北京地铁施工建设中的应用

徐坤甲¹ 江 源²

(中铁二局股份有限公司, 高级工程师¹ 成都 610300; 北京深林科技发展有限公司, 副总工程师² 北京 100025)

〔摘要〕 介绍了非开挖技术的发展脉络,并着重论述了该项新兴技术在北京地铁五号线蒲黄榆车站超前长管棚施工中的应用。通过车站中洞内两侧土体开挖分析,超前长管棚在改善车站拱部地层、防止地表沉降方面效果显著。

〔关键词〕 非开挖技术 长管棚 注浆 沉降 [中图分类号] TU X4

〔文献标识码〕 A [文章编号] 1000-7857(2004)10-0038-03

THE APPLICATION OF TRENCHLESS TECHNOLOGY IN THE SUBWAY CONSTRUCTION OF BEIJING

XU Kun-jia¹ JIANG Yuan²

(1. China Railway No.2 Bureau Limited Corporation, Chengdu 610300, China;

2. Beijing Shenlin Company of Science & Technology, Beijing 100025, China)

Abstract: The application of trenchless technology in the construction of Puhuangyu Station, No. 5 Subway line of Beijing, is described. And it proved to be substantially effective in the protection against settlement of the station roof according to the monitoring result.

Key Words: trenchless technology, long pipe-roof, grouting, settlement

CLC Numbers: TU X4

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2004)10-0038-03

1 前言

现代非开挖施工技术^[1](Trenchless technology),是在上世纪 80 年代从发达国家兴起的,由岩土钻探技术衍生并逐渐发展成熟的一种新兴技术。它是传统的地下管线开挖铺设施工技术的一次革命,并受到欧美发达国家政府和科技界的重视和提倡,如:美国前总统克林顿在他 1994 年财政年度批准的 7 年期“先进的钻探和掘进技术国家计划”中^[2-4],就将研究、推广非开挖技术列入城市基础设施和建筑业的发展规划中,以增强美国在该领域的技术领先和市场竞争优势;英国的曼彻斯特工业大学、美国路易斯安娜理工大学、德国的波鸿大学等高等学校为培养急需的专门人才,已相继设立了非开挖技术专业和相应的研究机构。

与传统的挖路施工方法相比,非开挖施工技术具有不影响交通、不破坏环境、施工周期缩短、社会效益和经济效益显著提高等优点,可广泛应用于电信、供水、供电、供气等市政工程,尤其适合一些无法开挖区域,如建筑物、铁路、高速公路、河流及植被保护区的工程施工。

从上世纪 90 年代,非开挖技术开始传入我国,最初应用在石油行业,然后逐步扩展到市政建设等各个领域。随着我国经济快速稳定的发展,近年来非开挖技术在我国呈高速发展的势头,每年的工程量以 40%左右的速率增长,使城市建设和改造过程中的“拉锁马路”现象逐步有所减少^[5-6]。

经过 6 个月时间的实验研究,我们创造性地将非开挖技术应用在隧道工程超长支护施工上,并于 2004 年初成功地应用于北京地铁蒲黄榆车站的建设中。

2 工程概况

北京地铁蒲黄榆车站上部为交通繁忙的蒲黄榆主路,地表沉降有严格的要求,必须不超过 40mm。为确保工程质量,加快工程进度,并确保施工安全,我们在国内首次采用大跨度(宽 22.6m)单拱单柱双层岛式结构,浅埋暗挖施工,最小埋深 5.5 米左右。为降低工程施工风险,防止地表及初期支护拱部沉降,此工程超前支护采用长管棚钢管一次性通过车站拱部,管棚沿车站拱部开挖线外 0.2m 环向布置,环向间距 0.3m,纵向贯通整个车站主体,单根管棚钢管长 146.6m,从东南往东北纵坡为 0.3%,采用 $\phi 114 \times 5$ mm 钢管,共 103 根。蒲黄榆车站长管棚布置横断面如图 1 所示,纵断面如图 2 所示。蒲黄榆车站长管棚经过的地层为粉质粘土层、粉细砂层、中粗砂层。

超长管棚作为用来改善车站拱部地层稳定性、防止开挖过程中上部土体坍塌、有效减小地表沉降的技术手段,是一种行之有效的新技术,但它同时对每根管棚钢管的铺设精度提出了严格的要求,即每根钢管平、直铺管 146m 的长度,偏差不能超过 20cm;必须确保车站拱部超长管棚不得侵入开挖线,一旦侵界将影响开挖及初期支护格栅钢架的

收稿日期: 2004-08-16。

作者简介: 徐坤甲,男,1967~,四川成都市清白江新河路 8 号中铁二局股份有限公司(610300),主要从事城市地铁施工技术研究, E-mail: kjsxu@cre4e.com。

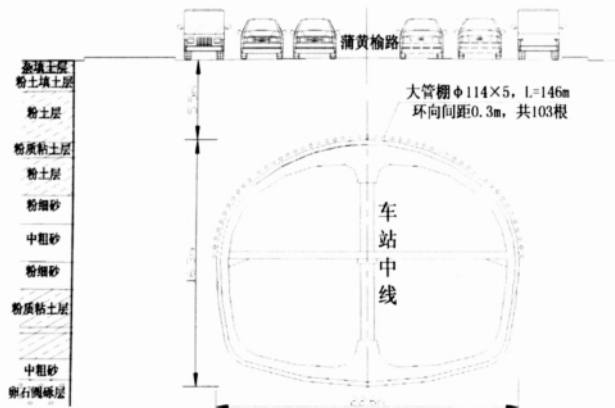


图1 蒲黄榆车站管棚布置横断面图



图2 蒲黄榆车站管棚布置纵断面图

安设,因此管棚偏差方向只能往环向外扩;其次为使管棚真正起到加固地层作用,管棚距开挖线距离必须小于30cm,同时还要保持环向间距0.3m的距离。

此次长管棚施工的精度之高、难度之大,在我国地铁施工中当属首例。经设计及施工部门反复研究,决定采用非开挖水平定向钻进铺管技术,进行管棚施工。定向钻技术的特点是利用钻杆的柔性,在导向系统的监测下,沿设计路线轨迹钻进,即实现人工导向钻进;然后再进行回扩拖管,完成长管的铺设,向管内注浆。

3 非开挖工程技术的实施 长管棚以车站两侧风道与车站结合部为工作室,从东南结合部往东北结合部进行导向孔钻进施工;导向孔钻进过程中根据地层情况采用不同的泥浆配置;导向孔施工完后从东北往东南进行回扩孔拖管;回扩孔拖管施工完后对管棚钢管进出口进行焊接、喷射混凝土封堵处理,并预留注浆孔和通气孔,最后进行管棚浆液压注,形成超前长管棚。

3.1 工艺流程 超前长管棚的非开挖技术施工,从管棚轴线测量定位、支架安设、导向孔钻进、回扩孔拖管到管棚注浆,大致有5道施工工序。由于管棚环向布置、间距仅为30cm,为防止窜管,采用间隔施工。由于管棚施工以车站两侧结合部为工作室,结合部采用CRD工法施工,单个洞室空间狭小,施工时必须根据管棚位置及钻机结构尺寸进行临时中隔壁的破除。同时为避免采用无线导向系统进行导向孔钻进施工时占道影响交通,该工序施工时间必须安排

在晚间进行。施工工艺流程图如图3所示。

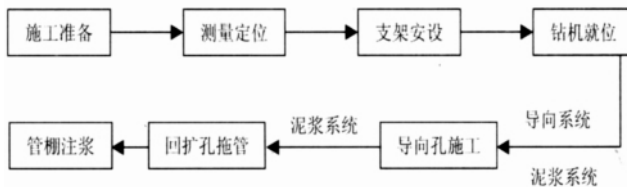


图3 超前长管棚施工工艺流程图

3.2 测量定位 (1)地下测量定位:长管棚施工采用水平定向钻机,钻机工作空间在地面下,首先在车站两侧结合部内采用全站仪定出管棚在进出口结合部掌子面位置,便于水平定向钻机定位及车站东北侧结合部出口破除初期支护格栅喷射混凝土。(2)地面测量定位:在蒲黄榆主路上进行管棚轴线测量定位,使地面轴线与地下长管棚轴线保持一致;同时为测定管棚埋深,在地面长管棚轴线上每隔1米测定地面标高,与设计长管棚标高比较,确定管棚理论埋深;导向孔钻进时地面接收器可沿地面管棚设计轴线对导向孔钻进线路进行监测。

3.3 导向系统 导向孔施工成功与否直接关系到管棚施工的成败,导向系统是导向孔钻进中的一个关键环节。蒲黄榆车站超前长管棚最大埋深14m,根据管棚埋深选择ECLIPSE无线导向系统和地磁地下定位系统。埋深在10m以下时采用ECLIPSE无线导向系统,配备普通探棒;埋深在10~12m时采用无线导向系统配备加强型探棒;埋深超过12m后采用地磁地下定位系统。

由于管棚位于车流繁忙的蒲黄榆主路下,地下管线多且车站结合部钢筋混凝土对导向系统信号及通讯指令传输有较强的屏蔽效应,因此导向系统信号传输及导向控制非常困难。为确保导向信号传输,特地配备加强型天线;同时为解决通讯指令传输问题,配备子、母机进行监测指令传输。这些技术手段,确保了导向的精度要求。

3.4 泥浆系统 泥浆系统是导向孔钻进过程中的又一关键环节,泥浆作为冷却钻头、悬浮钻屑的流动体,以膨润土及外加剂为原料按一定比例配置而成,不同地层对泥浆粘度有不同要求。蒲黄榆车站超前长管棚经过的地层变化大,上部为具有一定自稳能力的粉质粘土层,下部为粉细砂和松散的中粗砂层,特别是粉细砂和松散的中粗砂层对泥浆配置要求非常高。膨润土泥浆采用马氏漏斗粘度进行测定,膨润土泥浆适宜的PH值环境为8.5~10;粉质粘土层有一定自稳能力,膨润土泥浆粘度控制在20秒左右,粉细砂层膨润土泥浆马氏漏斗粘度控制在30~35秒,中粗砂层膨润土泥浆马氏漏斗粘度控制在35~45秒。

膨润土泥浆用量一般为孔体积的3~5倍左右,采用机械搅拌;泥浆流量较大,回收处理后必须检查粘度及PH值后循环利用。

膨润土泥浆用量计算式: $V=(3\sim5)L\times\pi R^2$
式中, V 表示膨润土泥浆用量 (m^3); L 表示钻孔长度(m); R 表示钻孔直径(m)。

随着导向孔钻进长度增加,由于钻杆装卸时必须关闭膨润土泥浆,重新启动泥浆阀门后泥浆到达钻头时间加长,为防止钻头堵塞导致探棒升温过高,必须根据地层情况控制跟进速度;在操作过程中为确保水流畅通,装上钻杆后须停留

一定时间,待膨润土泥浆到达钻头并形成压力后继续钻进。

上完钻杆停留时间计算公式为: $S=L\times\pi R^2/Q$
式中,S表示装上钻杆后泥浆到达钻头时间(秒);L表示钻头到水平定向钻机钻杆长度(m);R表示钻杆中心流水孔径(m);Q表示动力站泥浆泵对应档位排量(m³/秒)。

3.5 回扩孔拖管 回扩孔拖管施工受回扩孔径、膨润土泥浆配置、回拖钢管连接形式等因素影响。回扩孔径根据管棚钢管直径及管棚经过地层不同选用不同的回扩器直径。由于蒲黄榆车站长管棚采用φ114mm钢管,施工中粉质粘土层回扩器直径采用150mm,一次性边回扩孔边回拖钢管;粉细砂层中回扩器直径选择160mm,一次性边回扩孔边回拖钢管;中粗砂层中回扩器直径选择170mm,先回扩孔再回拖钢管。

由于车站结合部工作空间限制,回拖钢管单节长6m,为减小回拖阻力,钢管采用内丝连接,丝扣连接承受拉力在160kN以上;为确保连接承载力,在砂层中回拖时由于阻力过大,钢管丝扣连接后在接头处采用了焊接加强处理。

3.6 管棚注浆 根据实验确定管棚浆液采用水泥浆,每1m³水泥用量为900kg,外掺少量微膨胀剂;设计注浆量为2.8m³,注浆前分析钻屑总量与设计注浆量比较,确定浆液灌注量;并在管棚钢管出口上下部位预留两个φ10mm通气孔,浆液进口处钢管上焊接闸阀进行浆液控制;当管棚钢管出口下部通气孔流出浆液后进行下部通气孔堵塞,上部通气孔出现浆液后进行上部通气孔堵塞;为确保注浆压力,在注浆入口钢管上焊接闸阀控制注浆数量及注浆压力,注浆压力达2Mpa左右时关闭闸阀。

单根长管棚钢管长达146.6m,回拖钢管与回扩孔之间存在部分空隙,注浆水平输送距离长,注浆首先从东北结合部往东南结合部进行浆液压注,压注完毕后检查分析注浆效果,必要时再从东南结合部往东北结合部进行二次压浆。

3.7 管棚施工效果分析 现蒲黄榆车站拱部超前长管棚施工已经竣工,但车站主体两侧洞开挖尚在进行之中,我们只对车站中洞开挖情况进行分析。对长管棚钢管施工精度进行统计,拱部Ⅰ区及Ⅴ区上部粉质粘土层中埋深在8m以内,采用无线导向系统导向,管棚出口孔位偏差控制在20cm内,未出现侵入开挖线管棚;Ⅴ区下部粉细砂及中粗砂层中埋深在8~12m采用无线导向系统导向,管棚出口孔位偏差在25cm内,未出现侵界管棚。结果见表1。

表1 部分长管棚钢管施工精度统计表

孔位编号	横向偏差/cm	竖向偏差/cm	注浆数量/m³	注浆压力/MPa	施工时间
东侧1	偏左16	偏上19	3.5	1.2	2003-10-10
东侧2	偏左7	偏上8	3.7	1.1	2003-10-13
东侧3	偏右10	偏下13	3.6	1.0	2003-10-12
东侧4	偏右18	偏上3	3.8	1.0	2003-10-15
东侧5	偏右5	偏下6	3.6	1.0	2003-10-14
东侧6	偏左15	偏上17	3.4	1.1	2003-10-18
东侧7	偏左10	偏上8	3.7	1.0	2003-10-20
东侧8	偏右5	偏下7	3.5	1.0	2003-10-22
东侧21	偏左12	偏上18	3.7	1.1	2003-12-10
东侧10	偏右4	偏上12	3.5	1.0	2003-12-06
东侧19	偏右15	0	3.4	1.0	2003-12-08
东侧18	偏右5	偏下5	3.5	0.8	2003-12-02
东侧17	偏左18	偏上9	3.6	1.0	2003-12-04
东侧16	偏左8	偏下7	3.7	1.1	2003-11-28
东侧15	偏右5	偏上22	3.8	0.9	2003-11-30
东侧14	偏左5	偏下4	3.5	1.0	2003-11-26

单根长管棚钢管理论注浆量为2.95m³,而实际注浆基本在3.6m³左右,浆液填满回扩孔空隙。

通过对管棚施工前后车站中洞开挖地表及拱顶沉降监测,车站中洞南侧K2+942.1~K2+990段中洞开挖在超前长管棚未施工前进行,地表累计沉降最大高达52mm,拱顶沉降最大达44mm,土体开挖过程中甚至存在局部土体坍塌现象;北侧K2+990~K3+088段中洞开挖在管棚施工后进行,该段地表累计沉降最大为38mm,拱顶沉降最大为35mm,结果见表2。通过对车站拱部φ1200mm雨水管监测,在东南侧管棚未施工时土体开挖对管线造成的最大沉降为15mm,但在西北侧管棚施工后进行的土体开挖对管线造成的沉降仅为6mm。

表2 车站中洞管棚施工前开挖段和施工管棚后开挖段地表及拱顶沉降对比表 (mm)

测点	地表沉降		拱顶沉降		备注
	左1	右1	左1	右1	
K2+950	50	49	40	39	管棚施工前开挖段
K2+960	52	52	35	40	
K2+970	48	51	42	44	
K2+980	52	49	37	36	
K3+010	38	33	34	34	管棚施工后开挖段
K3+030	36	34	32	35	
K3+040	38	35	32	33	
K3+050	34	36	32	34	

4 结束语

通过对蒲黄榆车站拱部每根长管棚施工偏差及注浆分析,同时结合车站中洞开挖对地表和拱顶及管线沉降比较,显而易见,超前长管棚在改善土体、防止地表沉降方面效果显著。但由于地铁施工初期支护钢筋混凝土结构及地下管线多,尤其地下钢筋混凝土的屏蔽效应明显,对导向信号干扰较大,我们应继续探索强干扰条件下导向控制技术,进一步提高长管棚施工精度,使非开挖技术能够广泛运用于地铁超前长管棚施工。^[7]

我国应积极深入地开展非开挖技术的研究,并大力推广这一先进技术的应用。我们有理由相信,非开挖技术必将在我国的工程建设——无论是城镇化过程中的新市政管网建设或旧市政管网的修复更新,还是西气东输、南水北调等重大工程——中扮演越来越重要的角色,带来显著的经济和社会效益。

参考文献与注释(References)

[1] 李世忠. 非开挖技术市场面面观 [N]. 中国地质矿产报,1998-05-21

[2] ISTT:Introduction to Trenchless Tecnology. Sechan International Edition,1996

[3] ISTT:Trenchless Technology Guidelines[M]. London,1998

[4] Schaaf N H. 1998Mini/Midi-HDD Review. Directional Drilling[J]. 1998,(2): 38-42

[5] 王银献. 非开挖行业在我国市政工程中的应用展望[A]. 见:颜纯文. 北京国际岩土钻凿工程会议论文集[C]. 1997

[6] 王向荣. 非开挖技术的发展及我国对策 [J]. 岩土钻凿工程, 2002,(2):3-5

[7] 刘玉峰. 隧道施工中的管篷技术[N]. 中国铁道报,2003-05-02

(责任编辑 邱夜明)