

# 穿越城市轨道交通软弱路基段施工工艺及周边环境响应分析

刘文艺, 秦启强

天津南站科技商务区发展有限公司, 天津  
Email: hoholiuwenyi@sina.com

收稿日期: 2021年3月31日; 录用日期: 2021年4月20日; 发布日期: 2021年4月27日

## 摘要

本文依托南京河西地区城际轨道交通8号线换乘通道暗挖法下穿既有轨道交通线路2号线油坊桥站折返线, 详细介绍了暗挖法大管棚施工、全断面注浆、CRD开挖方法、钢架安装及喷射混凝土施工等施工工艺, 并对施工过程中引起的路基隆沉变化及影响范围作了分析; 暗挖法施工过程前期注浆过程引起路基隆起最大值达到250.0 mm, 影响范围达到40.0 m; 暗挖法掘进过程地表出现下沉趋势, 下沉量最大到40.0 mm, 影响范围达到30.0 m; 通道暗挖法施工决定路基隆沉变化量主要因素是注浆压力, 路基载浆液凝固期间有所下沉, 数值相对较小。

## 关键词

轨道交通, 暗挖法, CRD, Peck曲线, 软弱路基

# Construction Technology and Surrounding Environment Response Analysis of Passing through Weak Subgrade Section of Urban Rail Transit

Wenyi Liu, Qiqiang Qin

Tianjin South Railway Station Technology Business District Development Co., Ltd., Tianjin  
Email: hoholiuwenyi@sina.com

Received: Mar. 31<sup>st</sup>, 2021; accepted: Apr. 20<sup>th</sup>, 2021; published: Apr. 27<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Based on the underground excavation method of transfer passage of Nanjing Hexi Intercity Rail Transit Line 8 to cross the turn back line of youfangqiao station of existing rail transit line 2, this paper introduces in detail the construction technology of underground excavation method such as large pipe shed construction, full section grouting, CRD excavation method, steel frame installation and shotcrete construction, and analyzes the subgrade heave change and influence scope caused by the construction process. In the early stage of excavation construction, the maximum value of subgrade heave caused by grouting reaches 250.0 mm, with an influence range of 40.0 m; in the process of excavation by excavation, the ground surface tends to sink, with a maximum subsidence of 40.0 mm, with an influence range of 30.0 m; the main factor determining the change of subgrade heave is grouting pressure, which sinks during the solidification of subgrade bearing slurry, with a relatively small value.

## Keywords

Rail Transit, Concealed Excavation Method, CRD, Peck Curve, Weak Subgrade

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

我国经济近年来的飞速发展, 城镇化进程不断加快, 城市轨道交通迎来了高速发展期, 全国各地都在大力发展城市轨道交通, 以满足人们出行需求; 城市轨道交通网络式布局, 穿越既有轨道交通线路工程情况将越来越频繁[1] [2] [3] [4] [5]。

穿越轨道交通软弱路基段工法主要有盾构施工和暗挖法施工, 国内学者从工程风险分析、安全控制理论、现场数据测试和理论分析多个角度, 讨论了穿越轨道交通路基段工程施工过程中风险控制、沉降控制标准、路基沉降规律等问题。本文基于南京河西地区城际轨道交通 8 号线换乘通道暗挖法下穿既有轨道交通线路 2 号线油坊桥站折返线, 介绍了施工工艺, 并对施工过程引起的路基隆沉变化量、路基隆沉规律及影响范围作了分析, 给后期类似工程项目提供一定的参考[6] [7] [8]。

## 2. 工程背景

### 2.1. 工程概况

南京地铁 2 号线油坊桥站为宁和城际轨道交通一期工程中间站, 该站是与既有 2 号线和规划 8 号线的换乘站, B 号换乘通道位于车站小里程端东侧, 换乘通道下穿折返线段采用暗挖法施工, 穿越折返线后为地面通道。出入口采用地下一层单跨箱型结构。2 号风道内部结构为地下一层双跨(局部两层单跨)箱形框架结构, 本文主要讨论 B 号换乘通道下穿折返段施工工艺和对周边环境的影响。

### 2.2. 工程地质

施工范围内地层由上至下依次为①-1 杂填土、①-2 素填土、②-1(粉质)黏土、②-2 淤泥质(粉质)黏土(夹砂)、围护结构底部局部在②-4 粉质黏土(夹砂)、K2p-1 全风化含砾泥质砂岩; 施工场地内土的详细物理

性质指标见表 1。

**Table 1.** Physical properties of soil (average value)

**表 1.** 土的物理性质指标(平均值)

层号	名称	含水量(%)	重度(kN/m <sup>3</sup> )	孔隙比	液限(%)	塑限(%)	塑性指数	液性指数
①-2	素填土	40.6	17.6	1.174	43.5	30.5	13.1	0.82
②-1	(粉质)黏土	34.1	19.2	0.884	40.0	21.4	19.1	0.78
②-2	淤泥质(粉质)黏土(夹砂)	39.6	17.9	1.127	36.3	20.9	15.5	1.20
②-2	粉土	32.2	17.7	1.016	26.8	20.6	6.2	1.16
②-2	粉砂	27.0	18.8	0.810				
②-3	粉砂	23.2	19.4	0.703				
②-4	粉质黏土(夹砂)	33.5	18.0	1.003	34.1	21.1	11.4	0.98
②-4	粉砂	25.0	19.1	0.745				
②-5	粉质黏土	34.4	19.3	0.894	36.4	19.7	16.7	0.88
②-5	粉、细砂	22.9	19.5	0.705				
④-4	粗砂、砾砂	21.0	20.1	0.601				

### 2.3. 地质评价

①-1 层杂填土：主要成分为混凝土、碎砖块、碎石、三合土混少量黏性土等建筑物垃圾组成。均匀性极差，经调查该层土堆填时间不超过 5 年，分布于场区表层。①-2 层素填土：主要成分为黏性土、粉土及砂土等，含植物根系及少量石块、碎石等。均匀性差，经调查该层土堆填时间不超过 5 年，分布于场区表层。上述填土成分复杂，均匀性差，厚度变化大，主要在场区表层分布，一般在场区整平时可直接挖除，但在局部厚度较大位置施工时容易导致坑壁失稳及发生掉块等现象。②-2 淤泥质粉质黏土，灰色，流塑，含水量高，孔隙比大，高压缩性，具中~高灵敏度，属第四系全新统淤积物，为不良工程地质层。K2p 风化含砾泥质砂岩，属极软岩，具遇水易崩解、易软化和暴露易风化的特性。

根据标准贯入试验液化判别结果：②-2 层粉土及②-2、②-3 层粉砂为液化土层，②-4 层粉砂不液化。单孔液化指数为 0.2~3.2，综合液化等级为轻微液化。

## 3. 暗挖法隧道施工

B 号换乘通道下穿 2 号线折返线段采用暗挖法施工采用  $\phi 159 \times 10$  mm 超前大管棚，并配合  $\phi 42 \times 3.5$  mm 超前小导管注浆加固，环向间距 0.35 m，开挖面采用  $\phi 42 \times 3.5$  mm 小导管全断面注浆加固。开挖过程中对仰拱径向采用  $\phi 42 \times 3.5$  mm 钢花管注浆加固作为地基加固，注浆深度 4 m。初支采用  $\phi 22$  钢筋焊接格栅钢架(3 榀/m)，厚度 350 mm，临时支撑采用工 20a 型钢支撑，临时支撑喷混厚度 250 mm。每榀钢架及临时支撑型钢环向均采用  $\Phi 22$  钢架连接，环距 1 m。暗挖通道总长 18.85 m，从轨面下覆土 5 m，开挖断面 6.2 m  $\times$  6.27 m。施工中应注意先施工地层预加固，再行施工超前支护，以保证现场施工质量和工序的连续。

### 3.1. 全断面注浆施工

下穿地铁 2 号线折返线部分，所处地层主要为②-2 淤泥质粉质黏土为软弱地层，为保证开挖面稳定性，先采取全断面劈裂注浆加固处理。全断面注浆加固由相向的 2 个暗挖断面分别进行地层预加固，注

浆管长 12.0 m,  $\Phi 42$ PVC 管。

施工中先施工地层预加固, 再施工超前支护, 以保证现场施工质量和工序的连续; 全断面注浆加固由内向外共四圈, 钻孔和注浆顺序由外向内, 同一圈孔间隔施工; 注浆加固范围为结构轮廓外不小于 2.0 m。待注浆结束后, 采用后退式注浆拔除拱部注浆管, 避免与拱顶超前支护相冲突, 其余注浆管保留于地层中。

注浆浆液采用水泥 - 水玻璃双液浆: 水泥浆的水灰比 1.5:1~1:1 (重量比)、水玻璃  $\geq 45\text{Be}$ 、水泥浆与水玻璃比值 1:0.5~1:1 (体积比)。注浆施工前, 应进行 1~2 孔注浆实验, 检验并调整注浆参数。

### 3.2. 管棚施工

为保证下穿二号线的顺利施工, 暗挖通道拟采取超前支护形式, 即暗挖通道拱部  $180^\circ$  范围内采用 1 度倾角  $\phi 159 \times 10 \text{ mm}$  超前大管棚注浆支护加固 + 15 度倾角  $\phi 42 \times 3.5 \text{ mm}$  超前小导管注浆支护加固; 端墙预埋超前管棚支护钢套管  $\phi 194 \times 5 \text{ mm}$ 。

### 3.3. CRD 开挖方案

CRD 工法施工中应严格遵循“管超前、严注浆、短进尺、强支护、勤量测、快封闭”的原则。CRD 工法中上导洞的施工应采用环形开挖预留核心土施工工序图施工。各部开挖及支护应自上而下, 开挖后及时施作初期支护、中隔壁、临时仰拱, 步步成环。上台阶每循环开挖进尺不得大于 2 榀钢架间距。同一层左右两部开挖工作面相距不宜大于 8 m, 上下层开挖工作面相距宜保持 2~3 m, 且待喷混凝土强度达到设计强度的 80% 后开挖相邻部位。

临时仰拱及临时中隔壁采用 250 mm 厚 C30 早强喷射混凝土、A8 钢筋网@ $150 \times 150 \text{ mm}$  (单层满铺)、工 20a 型钢支撑(间距同断面格栅钢架间距)、C22@1000 临时连接筋(单侧布置); 临时中隔壁外加,  $42 \times 3.5$  小导管注浆进行临时支护; 临时锁脚锚杆采用, 25 中空锚杆( $L = 3.5 \text{ m}$ )。根据监控量测结果, 中隔壁及临时仰拱在仰拱浇筑前逐段拆除, 每段拆除长度不宜大于 6 m, 并加强监控量测。

## 4. 环境响应监测分析

### 4.1. 监测方法

郑世杰(2018)基于 BIM 平台, 采用自动化远程数据采集方法对相应基坑监测数据进行有效采集[9], 本工程针对暗挖法施工影响范围道床采取 TM50 全站仪自动化监测方法, 由 GeoMos 组建成监测系统, 是由徕卡公司研发的自动化监测软件平台, 其软件主要由两部分组成: 监测器和分析器, 监测器已经拥有成熟的测量和计算程序, 能为要求极高精度的应用提供理想的解决方案。整个自动变形监测系统主要由数据采集、数据传输、控制系统、告警系统、数据处理、数据分析和数据管理等部分组成。

### 4.2 测点布置

依据南京资源公司对保护区监测要求, 在 B 换乘通道上方路基段布设相应沉降观测测点, 以便观测暗挖法施工注浆期间和掘进期间地表隆沉变化情况。布点图见图 1。

### 4.3. 数据分析

从监测数据看, 路基隆起变化较大主要在大管棚注浆和全断面注浆阶段, 大管棚注浆期间引起路基隆起最大值达到 75.0 mm, 全断面注浆阶段引起路基隆起最大值达到 175.0 mm, 超前导管施工期间路基隆沉变化较小; CRD 施工掘进期间路基有一定幅度的沉降, 路基沉降最大值达到 40.0 mm, 图 2 给出通道施工不同阶段主要测点隆起沉降变化时程曲线。

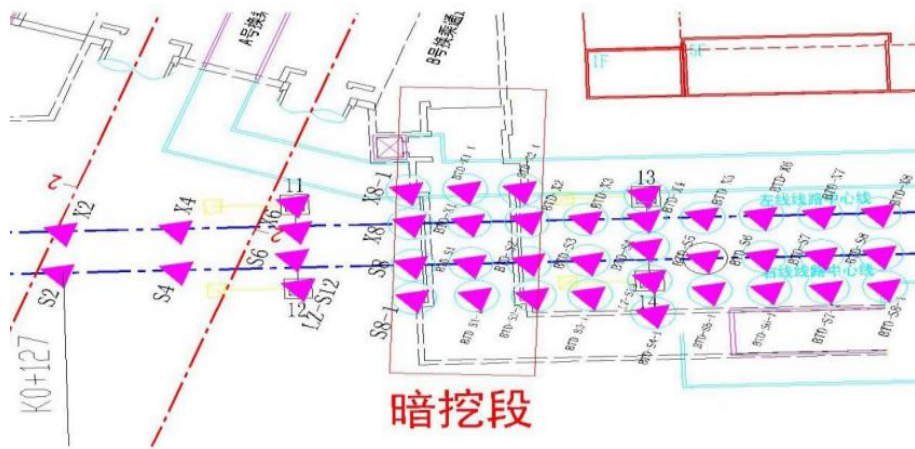


Figure 1. Layout of measuring points in subgrade section  
图 1. 路基段测点布置示意图

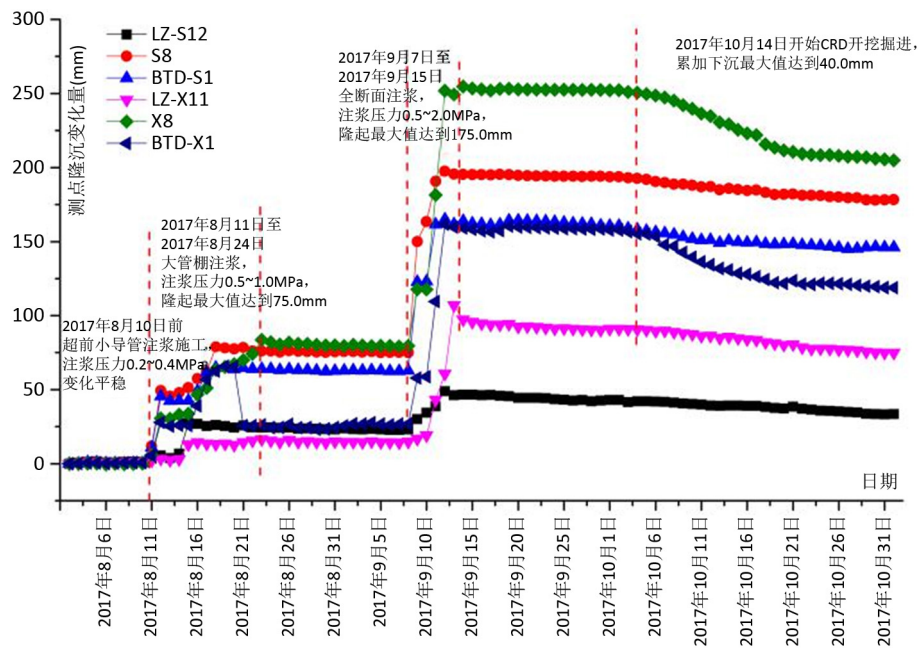


Figure 2. Time history curve of subgrade heave and settlement in the construction process of channel b  
图 2. B 通道暗挖法施工过程中路基沉降时程曲线

新建通道或隧道穿越既有线路, 路基沉降在空间上符合 Peck 公式[10] [11] [12]。路基段在通道施工过程中, 前期由于注浆发生隆起, 上下行测点隆起累计值空间曲线见图 3, 注浆引起路基 40.0 m (8 倍洞径)范围反应比较强烈; 路基段在后期 CRD 掘进过程中发生下沉, 上下行测点由于开挖下沉累计值空间曲线见图 4, 开挖引起路基 30.0 m (6 倍洞径)范围反应比较强烈。

### 5. 主要结论

依据实际工程宁和城际轨道交通一期工程 B 换乘通道穿越南京地铁 2 号线油坊桥站折返线, 介绍了软弱土体中暗挖法施工工艺, 并对通道施工过程中路基垂直位移进行全面的自动化监测, 结合施工过程对监测数据进行了一定分析, 主要结论如下:



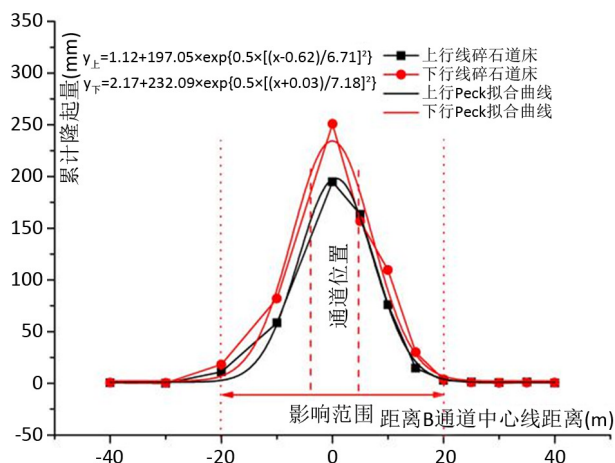


Figure 3. Spatial variation of vertical displacement of subgrade section during grouting

图 3. 注浆期间路基段垂直位移空间变化规律

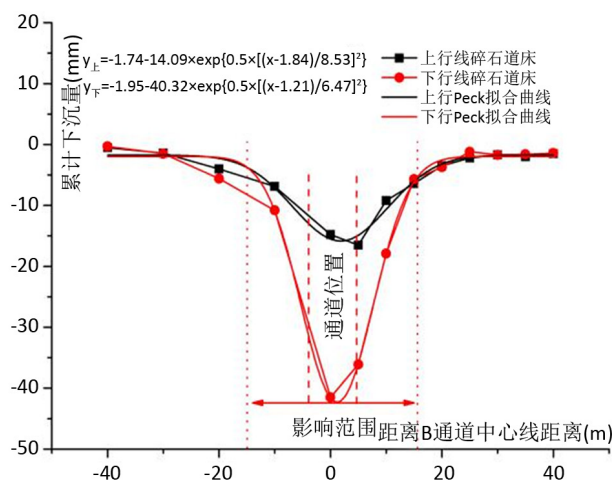


Figure 4. Spatial variation of vertical displacement of subgrade section during excavation

图 4. 开挖掘进期间路基段垂直位移空间变化规律

1) 南京市河西地区软弱土体中, 在对土体进行注浆加固的前提下, 换乘通道可采取浅埋暗挖法 CRD 施工工法, 并可有效保证工程顺利推进。

2) 通道施工前期的注浆加固地层过程会引起路基有较大的隆起, 大管棚注浆可引起路基隆起 75.0 mm, 全断面注浆可引起 175.0 mm 隆起, 隆起数值可注浆压力有加大关系, 注浆压力小于 0.5 MPa, 路基隆起变化不明显; 在开挖掘进期间, 路基呈现下沉趋势, 最大值达到 40.0 mm。

3) 路基隆沉数值从空间上看, 其符合 Peck 公式曲线, 峰值点位于通道正上方, 注浆过程影响范围达到 40.0 m (8 倍洞径), 开挖掘进过程影响范围达到 30.0 m (6 倍洞径)。

考虑到穿越位置位于折返线, 车速减速较多, 对行车安全影响较小, 本案例注浆压力控制值不适合常规区间路基段穿越施工。

## 参考文献

- [1] 我国 35 个城市开通轨道交通[J]. 施工技术, 2019, 48(7): 102.

- [2] 2020年成都形成“环+放射型”轨道交通网络[J]. 施工技术, 2013, 42(5): 71.
- [3] 安江伟. 城市轨道交通空间资源综合利用的经济效益研究[J]. 科技风, 2020(10): 223.
- [4] 钟贤. 城市常规公交与轨道交通协调发展研究[J]. 科技风, 2020(10): 265.
- [5] 万传风, 杨雨明, 秦暄阳. 中国城市轨道交通运营维保后市场发展分析[J]. 现代城市轨道交通, 2020(3): 7-11.
- [6] 董志勇. 大管棚超浅埋暗挖隧道下穿铁路路基段安全控制研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [7] 彭华. 地铁下穿干线铁路重大风险源测试研究[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(5): 1371-1377.
- [8] 矫永刚, 罗健林. 盾构掘进参数对铁路路基沉降变形的影响[J]. 施工技术, 2020, 49(3): 6-9+21.
- [9] 郑世杰, 杨锐, 郭树勋, 郑帅, 姜谔男. 基于BIM和自动化远程数据采集的地铁基坑信息化监测系统[J]. 施工技术, 2018, 47(S1): 1543-1547.
- [10] 郑俊, 丁振杰, 吕庆, 范祥, 娄宝娟. 新建隧道下穿运营公路引起的路面沉降控制基准[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2020, 52(3): 51-58+67.
- [11] 钟俊辉, 尹培林, 刘俊. 福州软土地区土压平衡盾构隧道地表沉降特性分析[J]. 现代隧道技术, 2019, 56(5): 180-186.
- [12] 孙鹤明, 张书香, 胡锡鹏, 王文广, 胡林浩. 硬岩地层TBM掘进引起地表变形的计算分析[J]. 施工技术, 2017, 46(19): 101-104.