

洞桩法暗挖车站施工过程中对周边环境的影响分析

韩子安

沈阳地铁集团有限公司, 辽宁 沈阳
Email: 824612818@qq.com

收稿日期: 2021年4月3日; 录用日期: 2021年4月22日; 发布日期: 2021年4月29日

摘要

地铁车站的施工将不可避免扰动周围地层, 有可能导致一定范围内的既有建筑物发生过大沉降或差异沉降, 从而影响邻近建筑物的正常使用和安全。本文研究密切结合施工难度和风险极大的某地铁暗挖车站工程而展开, 针对工程建设中存在的主要难题, 采用数值模拟方法分别从空间效应、邻近建筑物差异沉降分析几个方面探讨了地铁洞桩法施工对邻近既有建筑的影响, 并提出了相应的风险控制措施。

关键词

PBA, 暗挖车站, 数值模拟, 影响分析

Research on the Environmental Effects Caused by Metro Station Construction with Pile-Beam-Arch Method

Zian Han

Shenyang Metro Corporation, Shenyang Liaoning
Email: 824612818@qq.com

Received: Apr. 3rd, 2021; accepted: Apr. 22nd, 2021; published: Apr. 29th, 2021

Abstract

The construction of subway station will inevitably disturb surrounding ground, which may cause excessive settlement or differential settlement of existing buildings within a certain range. Due to

this, the normal use and safety of adjacent buildings will be affected. In this paper, a history case about an underground excavation subway station with difficult construction processes and high risk was studied. For the key problems during construction, the space effect and differential settlement of adjacent building were analyzed using numerical simulation method, and the effect of construction with PBA method on adjacent buildings was discussed. The crucial risk control measures were proposed.

Keywords

PBA, Underground Excavation Station, Numerical Simulation, Effect Analysis

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. 引言

地铁工程的线路敷设常常穿越市区繁华地段, 为避免中断地面交通, 多数地铁线路都结合地面交通及地下管线敷设情况采用浅层埋设的地下敷设方案[1] [2]。地下工程开挖卸载过程将直接扰动地层原有的应力平衡状态, 必然会引起开挖洞室周边地层的移动与变形。通常情况下因洞室开挖或基坑开挖卸载导致的有明显位移的地层范围统称为施工影响范围。当暗挖隧道的覆土厚度较浅时, 隧道开挖卸载导致的施工影响范围会直接延伸至地表, 在地表形成施工沉降槽。施工沉降槽的形成对周边的路面、市政管线、既有建筑物等基础设施造成不利影响, 当施工沉降槽引起的不均匀沉降过大时, 直接影响到周边建(构)筑物的正常使用, 甚至出现结构开裂或倒塌等风险事故[3] [4]。

在城市主干道区域往往因为地面交通繁忙、地下管线多且复杂等原因无法采用明挖法进行施工, 在上述条件下往往被动选择暗挖法作为车站及区间隧道的施工工法。当前国内城市轨道交通领域主要采用 PBA 工法、中洞法等工法建造浅埋暗挖地铁车站; 其中 PBA 工法因其对周边环境影响较小且灵活性强等原因应用最为广泛。洞桩法结合了传统盖挖法和暗挖法优点, 能较好地限制地层移动及沉降, 在北京地铁首次成功应用后, 被广泛推广应用于国内其它城市的地铁建设, 已逐渐成为城市繁华区域暗挖车站的主流施工工法。

一些学者对洞桩法施工对周围环境的影响展开了相关研究。刘运思等[5]通过现场实测和数值计算, 研究了不同覆跨比、导洞的不同开挖顺序和不同土层参数下对地表沉降的影响规律。李金奎等[6]通过 Midas-GTS 建立有限元模型, 研究 PBA 工法施工时产生的群洞效应对地层变形的影响, 得到在多导洞施工期间, 作业方式的选取对地表沉降影响较大。宗翔[7]结合某工程概况, 研究洞桩法开挖引起的地面沉降规律, 结合施工步序和沉降曲线特征, 发现主要沉降量发生在边桩施工和中导洞开挖期间。

本文以采用 PBA 工法施工的沈阳地铁 4 号线太原街站为工程依托背景, 结合数值计算软件 MIDAS-GTSNX 建立三维计算模型, 分析了 PBA 暗挖车站施工过程对周边环境的影响机制及安全风险控制关键技术。

2. 工程概况

沈阳地铁 4 号线太原街站为 4 号线一期工程与既有 1 号线换乘站, 站台宽度为 14 m, 车站总长度为 231 m, 标准段结构宽度 25.3 m, 底板埋深约 27 m, 顶板覆土为 10.92 m, 为地下两层双柱三跨结构。车

站主体结构采用 PBA 暗挖法施工，扣拱后二次衬砌采用逆作法施做，内支撑采用一道钢支撑，采用坑外降水方案。边桩采用 $\phi 1000@1200$ 规格钻孔灌注桩。车站主体结构施工工序如图 1 所示。

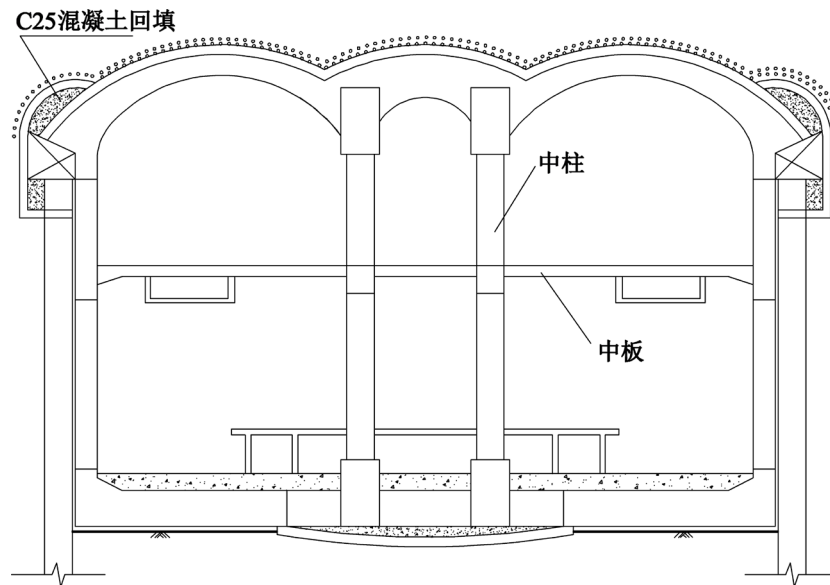


Figure 1. Construction section of Taiyuan Street Station
图 1. 太原街站施工断面图

3. 施工过程数值模拟分析

3.1. 计算模型及边界条件

为研究 PBA 暗挖车站施工过程中产生的地层变形规律及对周边环境的影响机制，本文基于 MIDAS-GTSNX 软件建立三维数值计算模型，详见图 2。所建立的计算模型尺寸为 $75\text{ m} \times 260\text{ m} \times 230\text{ m}$ (分别对应模型的高 \times 宽 \times 长)。为了确保数值模拟计算结果的准确性，有限元模型的相关参数选取参考已有文献[5][8]。喷射混凝土初期支护结构采用软件中的 Shell 单元进行模拟，两侧钻孔灌注桩采用 Pile 单元进行模拟，车站周边既有地下管线及车站内部钢管混凝土柱采用 Beam 单元进行模拟，车站主体结构

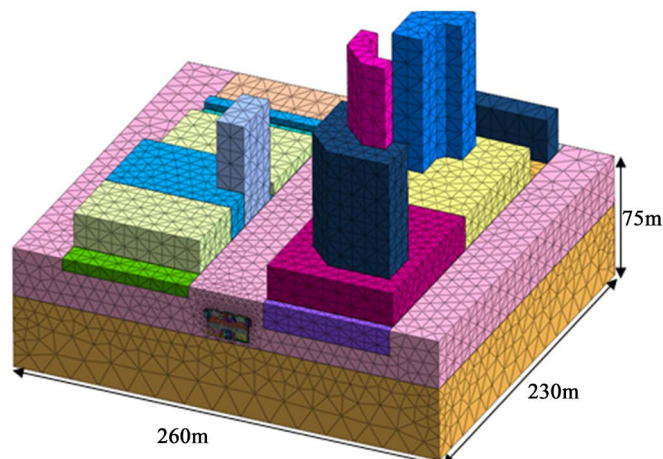


Figure 2. Numerical calculation model
图 2. 数值计算模型

二次衬砌同样采用 Shell 单元模拟，地层采用实体单元模拟，桩、土间设置接触面属性，整体网格模型见图 2。建筑物楼层荷载按 15 kPa/层考虑，路面施加 20 kPa 活荷载。计算模型四周采用法相约束边界条件，模型底部采用固定边界条件。

地层物理力学特性参数根据勘察报告进行选取，支护结构体系的力学参数根据规范选取，具体参数取值详见表 1。

主要施工工序：

- 1) 首先施加自重荷载进行初始地应力计算，并对模型计算结果位移进行清零。
- 2) 根据图 1 所示 PBA 施工工序，一次施作边导洞、中导洞、两侧围护桩，并结合工序图分步开挖，模型中每次开挖循环长度为 10 m。
- 3) 结合施工工序图，依次拆除临时支护结构体系，拆撑步长为 5 m。
- 4) 施作主体结构二次衬砌。

Table 1. Formation mechanics parameters
表 1. 地层力学参数

层号	地层名称	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	ν	E/MPa	c/kPa	$\phi/(\text{°})$
3-1	粉质粘土	19.5	0.30	20	10	25
3-3	中粗砂	21.3	0.29	77	3	30
3-4	砾砂	20.3	0.26	90	2	34
3-5	圆砾	21.0	0.25	97	2	34
4-4	砾砂	20.3	0.26	90	2	34
5-5	圆砾	20.5	0.23	97	2	35

3.2. 计算结果分析

PBA 暗挖车站施工结束时地表沉降云图及地面最大沉降点随开挖步骤变化曲线详见图 3 和图 4。结

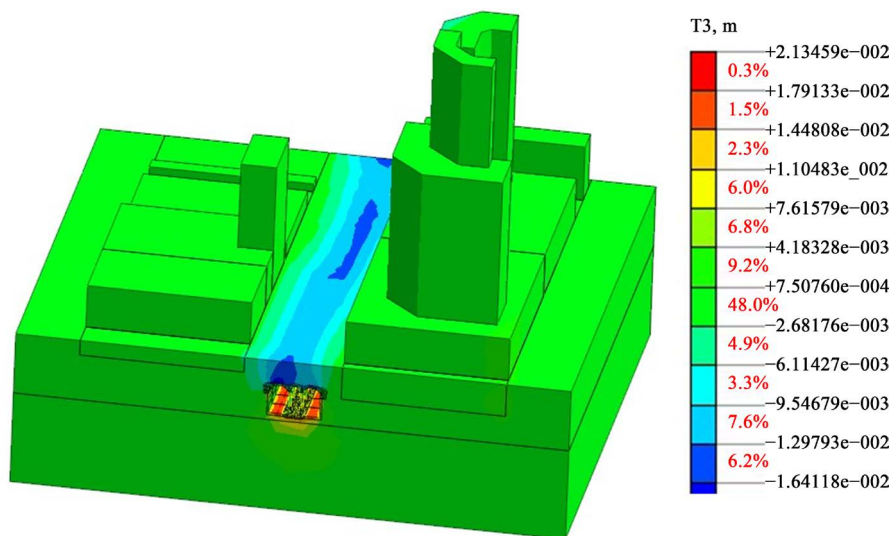


Figure 3. Vertical displacement cloud map
图 3. 竖向位移云图

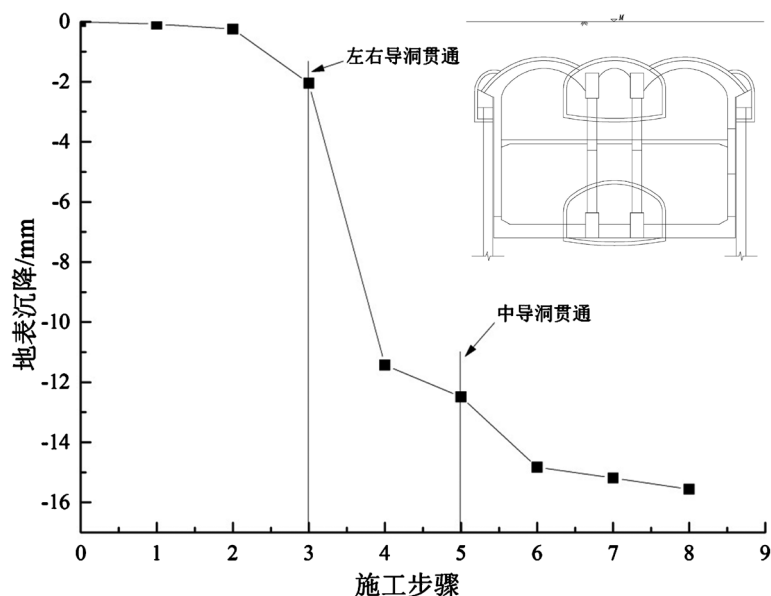


Figure 4. Settlement history curve of the center point of the ground surface
图 4. 地表中心点沉降历程曲线

果表明,当左、右侧边导洞施工结束后地表最大竖向位移约为 2 mm,而中上导洞、中下导洞施工完成后地表最大竖向位移增量值为 10 mm,表明中间上、下导洞对地表沉降的影响较为显著。对 PBA 工法开挖步序而言,开挖导洞过程所产生的地面沉降量占最终沉降量的 79%,而扣拱施工及二次衬砌结构施工对地表沉降的影响较小。车站施工完成后,地面最大竖向位移约为 16.16 mm。

考虑到文章篇幅所限,本文主要选取了新世界一期、新世界二期等对差异沉降较为敏感的既有建筑物作为研究对象。开挖结束后新世界一期的沉降及水平位移,见图 5。

由图 5 可看出,虽然洞桩法车站施工引起的地表沉降较大,但是其影响范围有限,施工结束时新世界一期的最大沉降量仅为 2.48 mm,这主要是因为洞桩法施作完边导洞及边桩时对邻近既有建筑物起到保护作用,抑制地层移动,其作用机理类似于隔离桩,有效阻断了地层移动的延伸。两侧围护桩水平变形情况如图 6 所示,在主体结构开挖阶段边桩作为围护结构承受两侧主动土压力,其最大水平位移为 8.4 mm。施工结束后该建筑最大水平位移为 6.09 mm,位于结构顶部位置,表明受到邻近隧道施工的影响该建筑物向地铁车站方向发生了一定的倾斜,经计算其倾斜率为 0.033‰。

新世界一期沉降及倾斜率历程曲线见图 7。可以看出,在导洞开挖阶段及扣拱阶段,建筑物沉降和倾斜增速较快,基本呈现线性增加趋势,而主体结构施工阶段其增速相对较为缓慢,结果表明边桩在控制地层移动方面起到的作用。PBA 工法施作过程中,导洞施工完成后,一期建筑物沉降为 1.28 mm,负一层和负二层施工完成后的地表沉降为 1.78 mm 和 2.3 mm,施工完成后该建筑最大沉降约为 2.48 mm,结果表明导洞施工引起的沉降占总沉降的 50%左右,负一层和负二层开挖引起的沉降基本相同,分别为 0.5 mm 和 0.52 mm,满足规范要求。而施工期间引起的建筑物倾斜与沉降规律基本一致,最大建筑物倾斜为 0.032‰,且满足规范要求。

车站施工完成后新世界二期的竖向及水平位移如图 8 所示,其变化趋势与一期的结果相似。新世界二期沉降及倾斜率历程曲线如图 9 所示,表明施工期间该建筑的沉降和倾斜也表现出两头增速缓慢,中间阶段增速较快的发展规律,建筑物沉降和倾斜主要集中在导洞施工和扣拱阶段。负一层和负二层开挖完成后,建筑物沉降分别为 2.9 mm 和 3.6 mm,而施工完成后最大沉降量为 4.01 mm,则开挖阶段完成后,

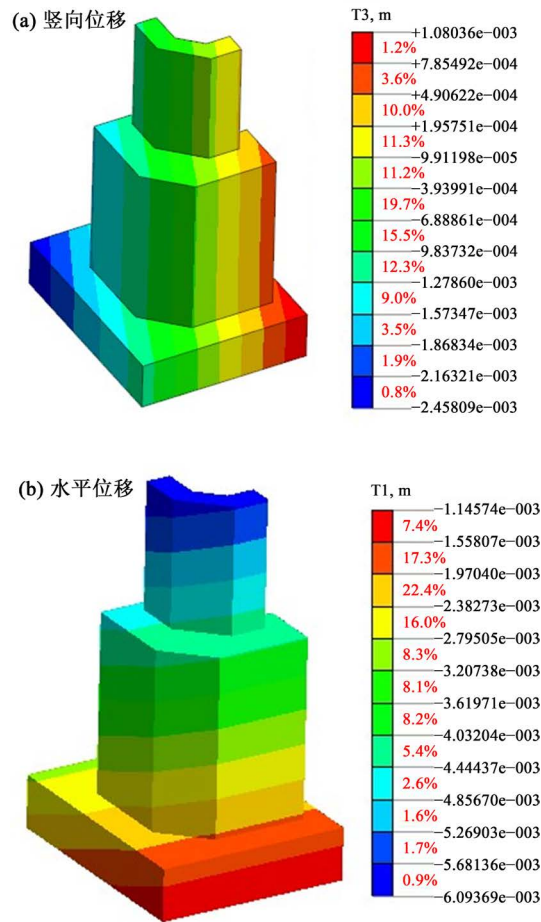


Figure 5. Post-construction deformation cloud map of New World Phase I
图 5. 新世界一期工后变形云图

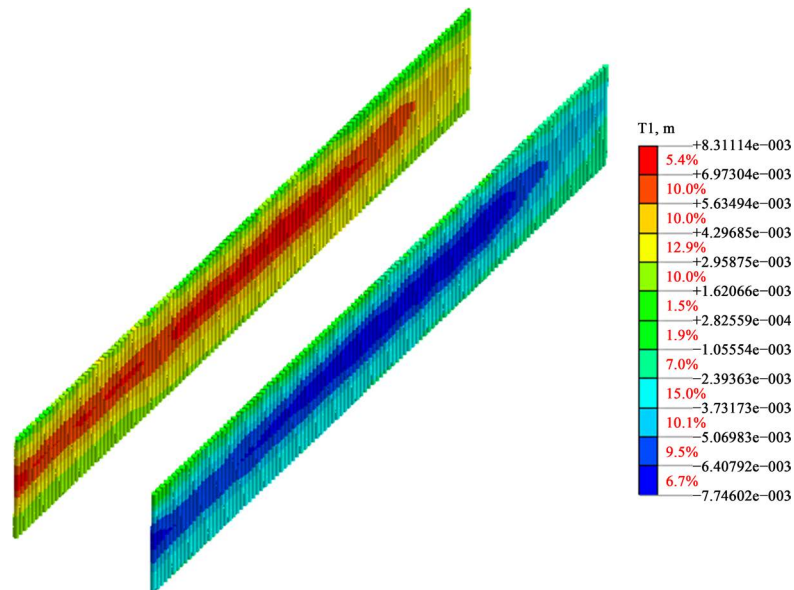
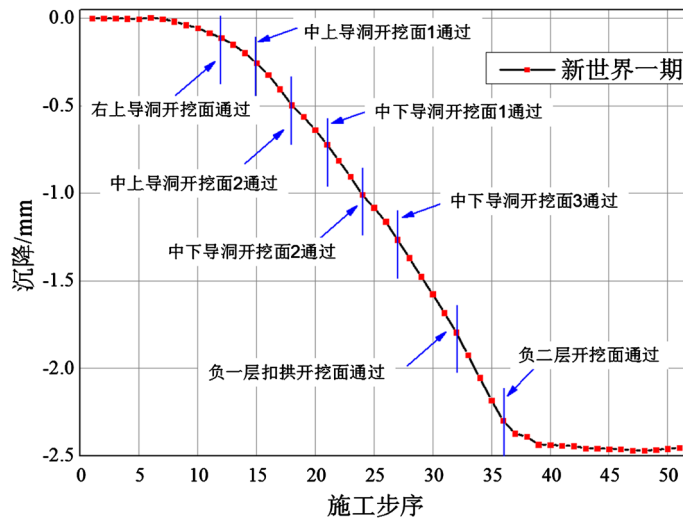
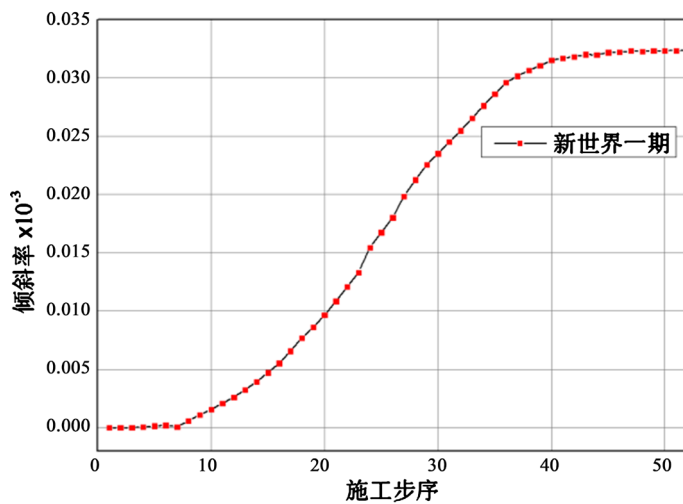


Figure 6. Horizontal deformation cloud diagram of side piles
图 6. 边桩水平变形云图



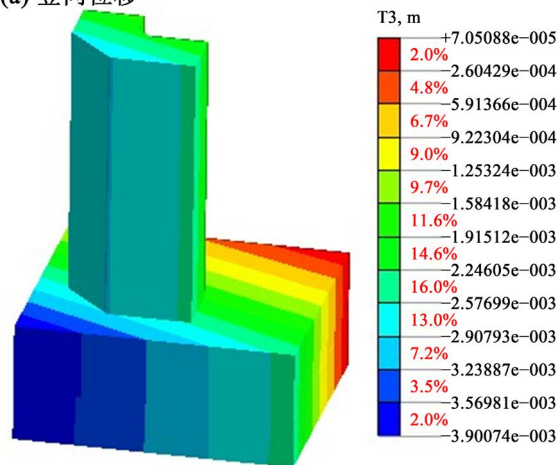
(a) 沉降历程曲线



(b) 倾斜率历程曲线

Figure 7. Settlement and slope history curve of the first phase of the New World
图 7. 新世界一期沉降及倾斜率历程曲线

(a) 竖向位移



(b) 水平位移

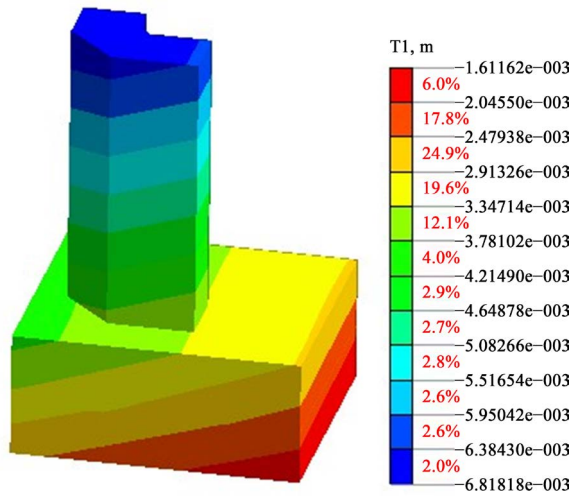
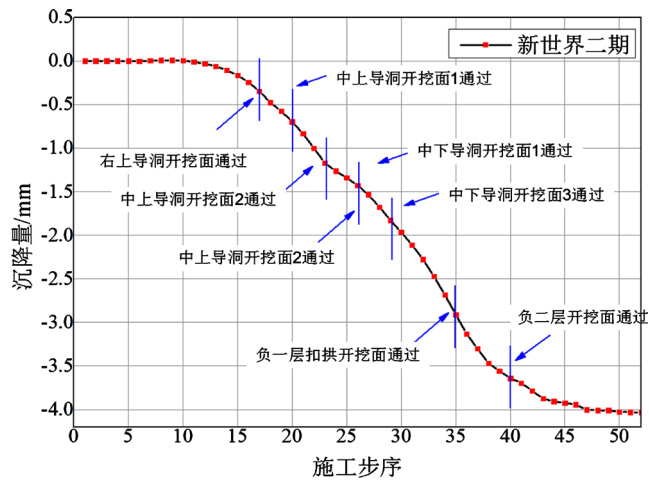
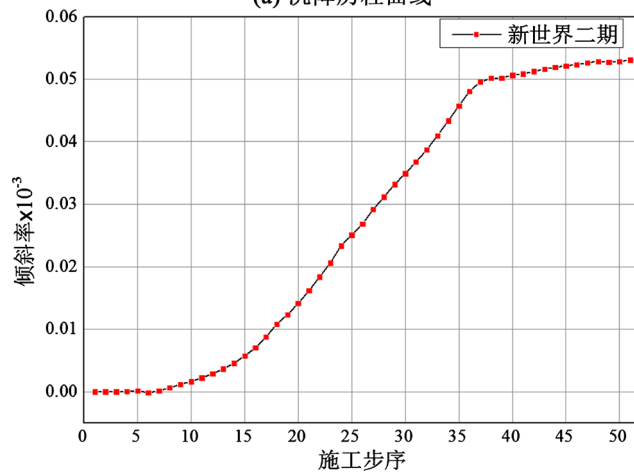


Figure 8. Post-construction deformation cloud map of New World
图 8. 新世界二期工后变形云图



(a) 沉降历程曲线



(b) 倾斜率历程曲线

Figure 9. Settlement and slope history curve of the second phase of the New World
图 9. 新世界二期沉降及倾斜率历程曲线

建筑物沉降占总沉降量的 90%左右。建筑物倾斜的发展规律基本和建筑物沉降一直, 施工完成后最大倾斜率为 0.052‰, 均满足规范要求。

4. 结论

1) 洞桩法在城市复杂环境下适用于建设暗挖地铁车站, 建设过程对周边环境的影响基本在可控范围以内。

2) 对于采用 PBA 工法建造的地铁暗挖车站, 地层移动及沉降等风险较大阶段主要发生在导洞开挖及扣拱施工阶段, 应在该阶段采取地层超前加固、既有建筑物沉降监测频率加大等风险控制措施, 保证工程自身及周边环境的安全。

3) 由于两侧围护桩的隔离作用, 洞桩法开挖车站地面沉降槽主要位于上导洞影响范围, 对周边环境的影响有限, 适用于复杂环境下地铁暗挖车站的建造。

参考文献

- [1] 生根, 付卓, 吴军林. 洞桩法施工引起土体变形的规律研究[J]. 铁道工程学报, 2018, 232(1): 11-16.
- [2] 刘加柱, 孙礼超, 张壮, 等. 地铁车站 PBA 洞桩法施工力学效应研究[J]. 地下空间与工程学报, 2018, 14(S1): 240-247.
- [3] 孙智勇. 新管幕法的工程应用与技术要点分析[J]. 现代城市轨道交通, 2013(4): 48-51.
- [4] 张传庆, 冯夏庭, 周辉, 黄书岭. 应力释放法在隧洞开挖模拟中若干问题的研究[J]. 岩土力学, 2008(5): 1174-1180.
- [5] 刘运思, 牟天光, 郭磊, 等. 不同覆跨比下洞桩法导洞开挖引发地表变形规律研究[J]. 公路交通科技, 2020, 37(12): 100-107.
- [6] 李金奎, 陈朋. 地铁车站洞桩法施工时群洞效应对比分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(14): 5737-5742.
- [7] 宗翔. 洞桩法开挖引起的地面沉降规律及实用估测方法研究[J]. 结构工程师, 2020, 36(6): 150-157.
- [8] 秦晓英. 城市地铁车站 PBA 功法施工力学效应的数值模拟研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2008.