

Research on Construction Technology of Core Rock Erecting Excavation of Double Side Wall-Heading Method in Deep Buried Large Section Metro Station

Mutian Huang¹, Tiancai Gong¹, Jinlong Yu¹, Lin Huang^{2*}

¹China Railway Sixth Group Co. LTD., Beijing

²School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing

Email: *1259177570@qq.com

Received: Jan. 2nd, 2019; accepted: Jan. 17th, 2019; published: Jan. 24th, 2019

Abstract

The Hongtudi station of Chongqing Rail Transit Line No. 10 has a depth of 94.467 m. The maximum excavation width of the section is 26.2 m, the height is 21.567 m, and the cross-sectional area is 475.8 m². It is the largest large-section subway station with the largest depth in China. The design uses traditional double side wall heading method for construction. In order to improve operability and speed up the construction progress, the core rock upright excavation technology was adopted in the construction. The three-dimensional finite element calculation model of metro station was established by Midas-GTS (NX), and the influence of the construction process of double-wall core rock upright excavation on the stress, displacement characteristics and stability of surrounding rock and initial support structure of the station was verified. The rationality and safety of the core rock vertical excavation technology of the double-wall guide pit method in deep-buried large-section subway station are verified, which is of guiding significance for the follow-up construction of the Hongtudi station and similar geological conditions subway construction.

Keywords

Subway Station, Double Side Wall Heading Method, Core Rock, Vertical Excavation, Numerical Simulation

深埋大断面地铁车站双侧壁导坑核心岩直立开挖施工技术研究

黄木田¹, 巩天才¹, 于金龙¹, 黄林^{2*}

*通讯作者。

¹中铁六局集团有限公司, 北京
²重庆大学土木工程学院, 重庆
Email: 1259177570@qq.com

收稿日期: 2019年1月2日; 录用日期: 2019年1月17日; 发布日期: 2019年1月24日

摘要

重庆轨道交通10号线红土地站埋深94.467 m, 断面最大开挖宽度26.2 m, 高度21.567 m, 断面面积475.8 m², 是目前国内埋深最大的大断面地铁车站, 设计采用传统的双侧壁导坑法施工。为提高可操作性和加快施工进度, 施工中采用了核心岩直立开挖技术。利用Midas-GTS (NX)建立地铁车站三维有限元计算模型, 分析双侧壁核心岩直立开挖法施工过程中对车站围岩和初期支护结构的应力、位移特征及稳定性的影响, 验证了深埋大断面地铁车站双侧壁导坑法核心岩直立开挖技术的合理性和安全性, 对红土地站后续施工和类似地质条件地铁工程建设具有指导意义。

关键词

地铁车站, 双侧壁导坑法, 核心岩, 直立开挖, 数值模拟

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

隧道围岩压力的大小与埋置深度直接相关, 深埋隧道的荷载一般按塌落拱厚度或经验公式计算。隧道的断面越大, 开挖后形成的塌落拱一般也越大, 承受的拱部荷载也较大。大断面隧道的施工过程中对围岩的稳定性影响很大。目前岩石地层暗挖地铁车站的施工, 设计提出的多是双侧壁导坑法, 核心岩采用的是曲面开挖, 施工难度大, 进度慢。一些学者对地铁车站的施工方法进行了研究。卢晓玲等采用理论分析和数值模拟方法对特大断面隧道双侧壁导坑工法施工中核心岩的稳定影响因素进行了分析, 认为采用对拉锚杆来加固核心岩是一种简单有效的方法[1]; 刘伟伟以哈尔滨地铁大断面隧道为背景, 利用MIDAS/GTS对双侧壁导坑法施工诱发的地面沉陷及隧道本身的变形规律进行了研究[2]; 黄木田等应用Ansys10.0对重庆轨道交通10号线红土地站、鲤鱼池站双侧壁导坑法施工核心岩直立开挖安全宽度进行了研究[3]; 张玉兰等结合青岛地铁1号线沧安路站对双侧壁导坑法施工开挖步序、工法优化等进行了阐述与总结[4]; 崔振东以重庆轨道交通上桥车站为例, 对双侧导坑先行贯通、中隔墙后续开挖的双侧壁导坑工法进行分析[5]。在工程实践中, 发现在岩石地层有一些深埋车站在施工时对传统的双侧壁导坑法进行了改进, 采用了双侧壁导坑核心岩直立开挖法, 并且取得了成功。但在理论分析和基础研究方面少有人提及。本文以重庆市轨道交通10号线深埋大断面红土地车站为例, 通过施工过程的三维有限元分析, 为深埋大断面地铁车站双侧壁导坑核心岩直立开挖法提供理论支撑和实践验证。重庆轨道交通10号线红土地站埋深94.467 m, 断面最大开挖宽度26.2 m, 高度21.567 m, 断面面积475.8 m², 是目前国内埋深最大的大断面地铁车站, 设计采用双侧壁导坑法施工。车站穿越的地层为侏罗系中统沙溪庙组砂质泥岩夹砂岩, 围岩分级为IV级。岩层产状120°∠5°, 为近水平地层, 岩层面为贯通性软弱结构面。

2. 数值分析模型的建立

2.1. 边界条件和本构模型

车站围岩以砂质泥岩为主, 上覆少量土层(厚度约 4.0 m)。数值计算中假定岩体为各向同性, 采用 Mohr-Coulomb 屈服准则。Mohr-Coulomb 屈服准则认为材料的破坏属于剪切型破坏, 即:

$$\tau = c + \sigma \tan \varphi \quad (1)$$

式中 c 为粘聚力, σ 为破坏面上的法向应力, φ 为内摩擦角。用三轴试验可测定发生某破坏面时主应力表达的破坏准则, 在 $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ 已知的条件下, 且三轴试件内破坏面与最小主应力方向之间的倾角为 β , 则破坏面上的剪应力和法向应力为:

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\beta \quad (2)$$

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\beta \quad (3)$$

其中: $\beta = 45^\circ + \varphi/2$ 。

将式(1)、(2)代入式(3)中, 可以得到:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = c \cos \varphi + \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \varphi \quad (4)$$

以应力不变量及偏应力不变量表示的屈服准则为:

$$\frac{1}{3} I_1 \sin \varphi - \left(\cos \theta_\sigma + \frac{1}{\sqrt{3}} \sin \theta_\sigma \sin \varphi \right) \sqrt{J_2} + c \cdot \cos \varphi = 0 \quad (5)$$

式中 θ_σ 为洛德角, 其取值范围为:

$$-\frac{\pi}{6} \leq \theta_\sigma = \frac{1}{3} \sin^{-1} \left(\frac{-3\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{J_3}{J_2^{3/2}} \right) \leq \frac{\pi}{6} \quad (6)$$

在主应力空间中, Mohr-Coulomb 屈服面的形状是一个不等角的六边形锥体。

三维有限元模型中, X 轴垂直车站隧道走向方向, Z 轴垂直向上, Y 轴沿隧道轴线方向。计算模型边界条件为: 水平边界上采用横向位移约束, 底部边界采用竖向位移约束, 顶部地表为自由面。建立的数值模型范围为: 左、右边界取隧道外边缘侧 80 m, 下边界取隧道下边缘 40 m, 上边界为地表面; 沿隧道前进方向取 78 m, 建立的数值模型划分网格之后共有 25,593 个单元, 20,782 个节点。有限元分析模型如图 1 所示。

2.2. 材料参数

根据地勘和施工图设计资料, 数值模拟采用的岩土物理力学参数如表 1 所列。

2.3. 开挖方法和施工步序

红土地车站施工采用双侧壁导坑核心岩直法开挖, 开挖步序如图 2 所示, 纵向开挖的基本原则是: 单次进尺 2.0 m, 先行洞开挖 6.0 m 并完成初期支护后再进行下一步序(后行洞)的开挖。车站左右上导坑施工完毕的现场照片如图 3 所示。

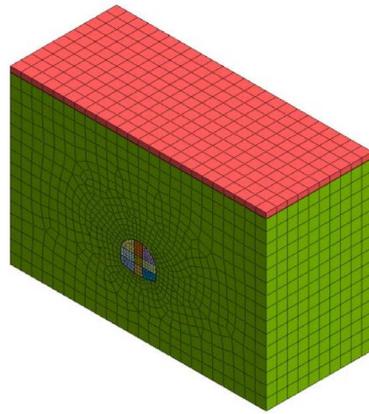


Figure 1. Finite element model
图 1. 有限元模型

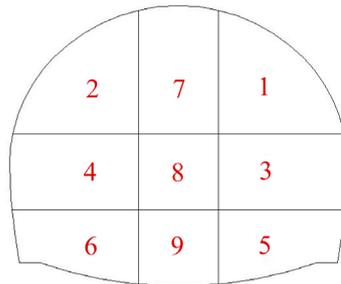


Figure 2. Double-side wall vertical excavation construction step sequence diagram
图 2. 双侧壁直立开挖法施工步序图



Figure 3. Station construction site photo
图 3. 车站施工现场照片

Table 1. Physical and mechanical parameters of rock and soil
表 1. 岩土体物理力学参数

材料	E/MPa	μ	$\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	c/kPa	$\varphi/(\text{°})$
素填土	100	0.35	20	50	27
砂质泥岩	3700	0.30	24.8	700	39
车站初期支护	3.0×10^4	0.20	25.0		
直立壁临时支护	3.5×10^4	0.20	25.0		

3. 模拟结果分析

3.1. 围岩位移

地铁车站开挖完成后 X 方向围岩最大位移出现在车站核心岩上部两侧位置，最大值为 6.00 mm；Y 方向围岩最大位移出现在车站核心岩上部前侧位置，最大值为 1.66 mm；Z 方向围岩最大竖向位移出现在车站拱顶(图 4)，最大值为 9.67 mm。

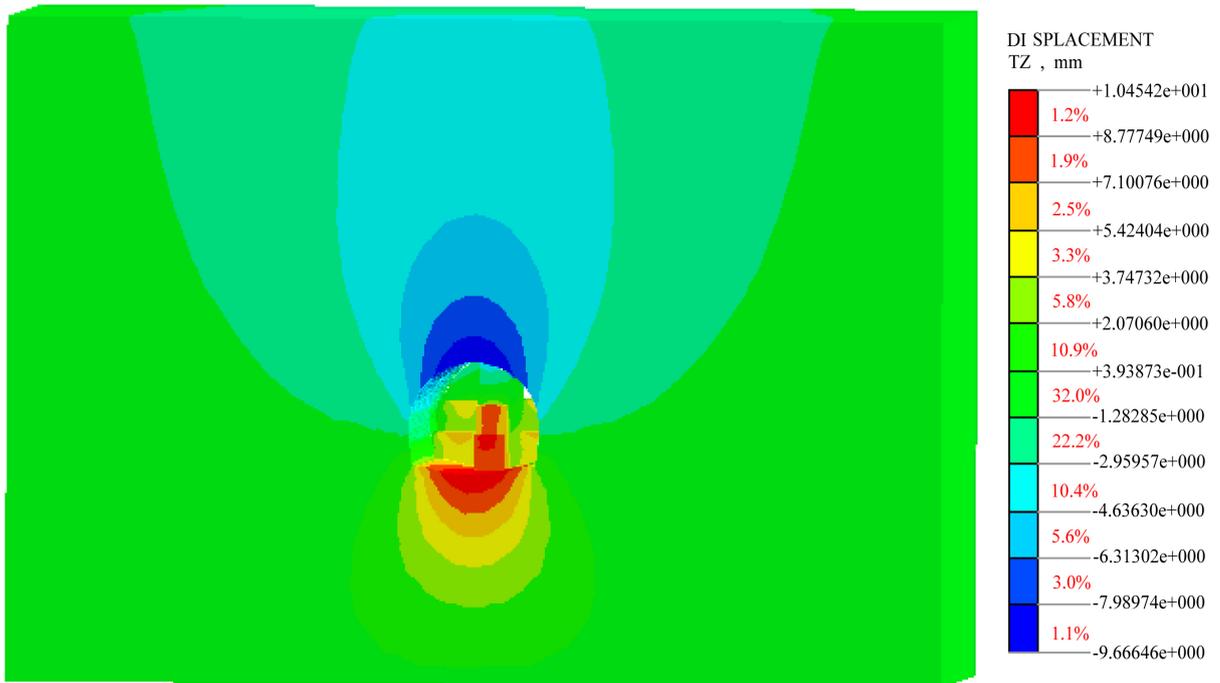


Figure 4. Vertical displacement cloud map of surrounding rock caused by station excavation
图 4. 车站开挖引起的围岩竖向位移云图

提取车站拱顶、拱底竖向位移及核心岩两侧水平位移，其随施工开挖步距的变化曲线如图 5~图 6 所示。

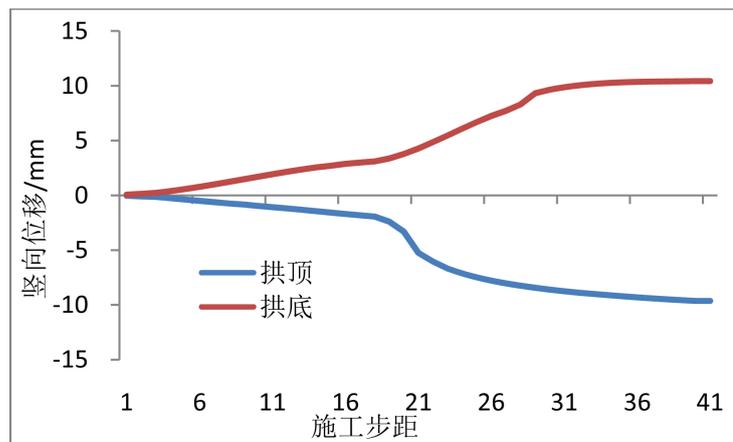


Figure 5. Curve of station vertical displacement with construction step
图 5. 车站竖向位移随施工步距变化曲线

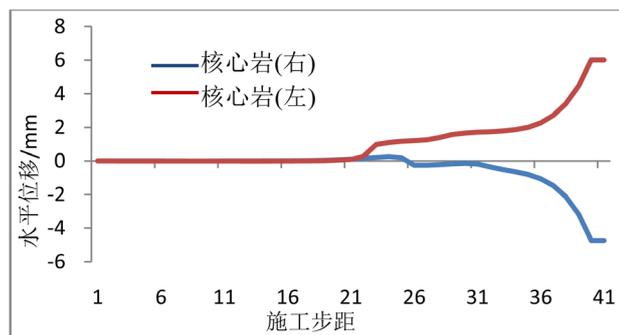


Figure 6. Curve of horizontal displacement of station core rock with construction step
图 6. 车站核心岩水平位移随施工步距变化曲线

由图 5 可知, 车站开挖初期, 拱顶、拱底竖向位移随着左、右导洞的开挖而逐渐增大, 变化曲线斜率较小, 位移值变化不明显; 当核心岩开挖时, 竖向位移增长速度变快, 变化曲线斜率较大, 位移值达到最大; 随着车站开挖的进行, 位移变化逐渐趋于稳定, 最终拱顶沉降量为 9.64 mm, 拱底隆起量为 10.44 mm。因此, 车站核心岩开挖后应及时施做支护结构, 尽早封闭成环, 加强监控量测并及时反馈。由图 6 可知, 当左、右导洞开挖至特征点位置时, 水平位移变化不明显, 曲线斜率基本为零; 随着核心岩的开挖, 特征点位移迅速增大, 变化曲线斜率较大, 核心岩左侧最大位移为 6.0 mm 左右, 右侧最大位移为 4.0 mm 左右。

3.2. 围岩及支护结构应力

① 围岩应力

地铁车站围岩的最小主应力在车站导洞及核心岩台阶处相对较大, 最大值出现在车站核心岩下台阶前侧, 其主应力值达到 0.73 MPa (拉应力); 在车站拱脚及台阶与车站隧道连接处出现了明显的应力集中, 其应力值达到 1.35 MPa (压应力)。车站围岩的最大主应力皆为压应力, 围岩的最大主应力在车站的拱腰和核心岩上台阶处相对较大, 而在拱顶和仰拱处相对较小, 最大值发生在车站核心岩上台阶前侧, 其值达到 5.38 MPa。在施工过程中应加强对核心岩上台阶的保护和监测, 避免出现挤压破坏。

② 支护结构应力

车站初期支护结构的最小主应力以拉应力为主(图 7), 其最大拉应力为 9.06 MPa, 出现在核心岩中台阶两侧; 在车站拱顶和拱底位置的拉应力在 3.0 MPa~3.8 MPa 之间, 均超过混凝土的抗拉强度, 在施工过程中应重视应力集中的影响, 加强防范。最小主应力的压应力一般分布在核心岩台阶交接部位, 有明显的应力集中现象, 最大值为 2.97 MPa, 不会引起支护结构的破坏。

车站施工完成后初期支护结构的最大主应力以压应力为主(图 8), 左、右导洞底部初期支护局部出现拉应力。在车站核心岩上台阶两侧压应力值最大, 其值达到 17.79 MPa; 最大拉应力为 1.87 MPa, 已超过初期支护混凝土的抗拉强度, 出现在左导洞上台阶下部。因此, 在施工过程中应重视导洞台阶底部支护结构的施工质量, 以免由于拉应力过大而产生开裂。

选取车站核心岩中台阶临时支护结构两侧两特征点, 提取其最小、最大主应力值, 其应力值变化随施工开挖步距的变化如图 9~图 10 所示。

由图 9 可知, 在特征点断面支护结构施工完成时, 其最小主应力变化不明显, 变化曲线斜率较小; 当左、右导洞下台阶开挖至特征点位置时, 最小主应力发生突变, 应力值迅速增大, 随着施工的进行, 其值又逐渐稳定, 其最小主应力值为 6.79 MPa (拉应力), 超过混凝土的抗拉极限强度, 混凝土有被拉裂破坏的可能。

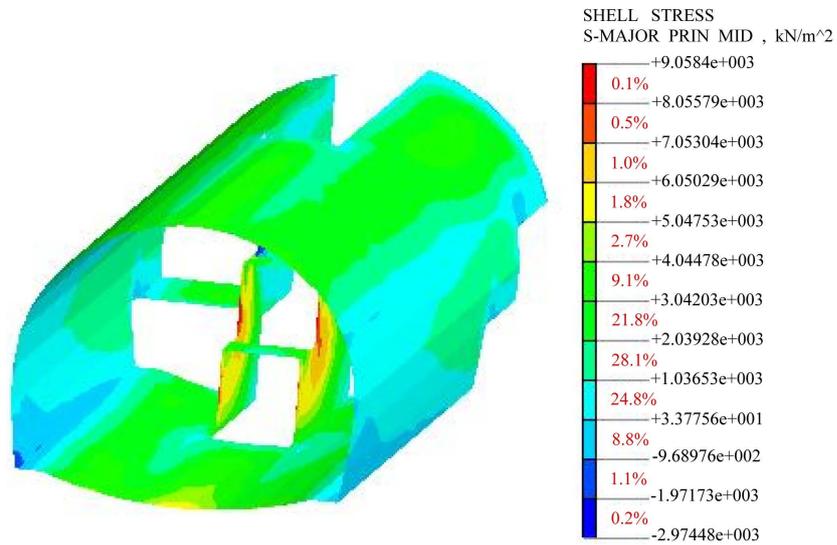


Figure 7. Minimum principal stress cloud map of initial support
图 7. 初期支护结构最小主应力云图

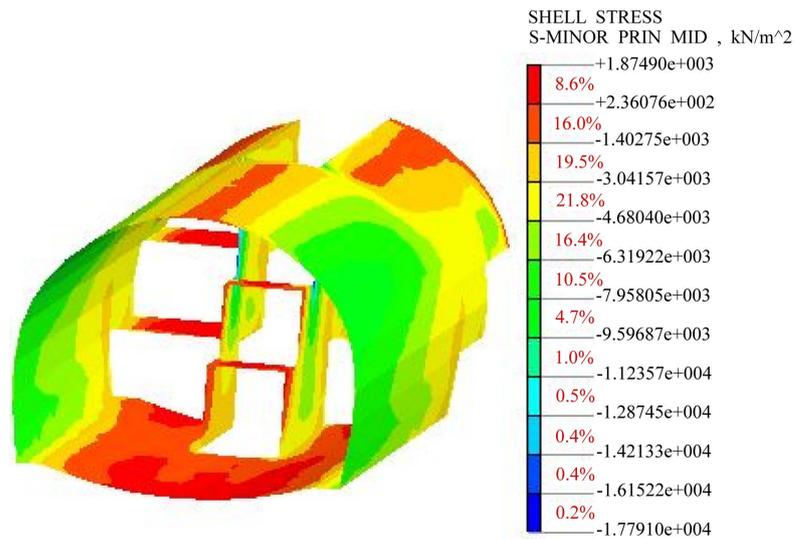


Figure 8. Maximum principal stress cloud map of initial support
图 8. 初期支护结构最大主应力云图

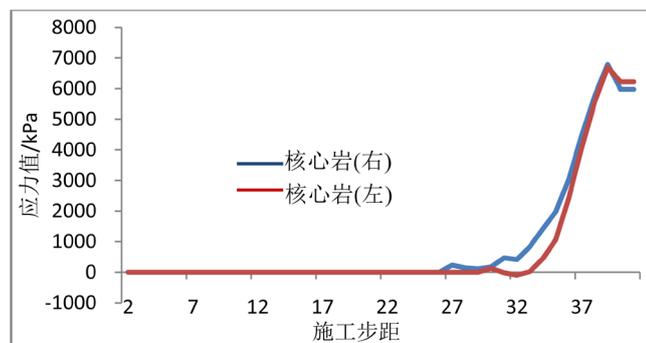


Figure 9. Curve of minimum principal stress of core rock support with construction step
图 9. 核心岩支护最小主应力随施工步距变化曲线

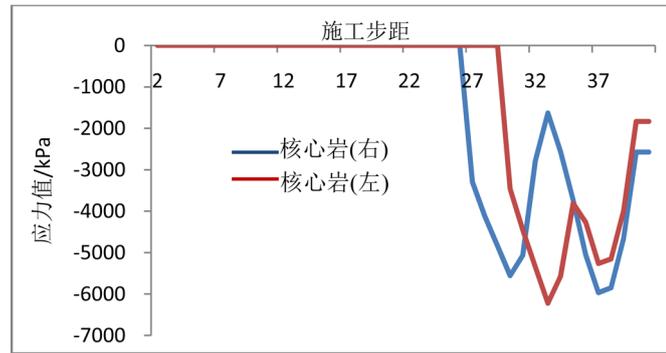


Figure 10. Curve of maximum principal stress of core rock support with construction step

图 10. 核心岩支护最大主应力随施工步距变化曲线

由图 10 可知, 当核心岩右侧特征点断面支护结构施工完成时, 最大主应力均迅速增大, 变化曲线斜率陡增; 随着左侧导洞的开挖, 支护应力又迅速减小。而当右侧下导洞开挖时, 最大主应力发生突变, 应力值迅速增大; 随着核心岩施工接近特征点位时, 应力值又迅速减小。核心岩左、右侧支护应力变化基本相似, 在变化过程中一直处于压应力状态, 其最大值为 6.22 MPa。

3.3. 围岩塑性区

围岩塑性区(图 11)主要集中在车站两侧拱腰和拱脚及核心岩两侧, 拱顶、拱底和左右导洞基本无塑性区出现。车站隧道施工完成后围岩的整个塑性区发展较为均匀。

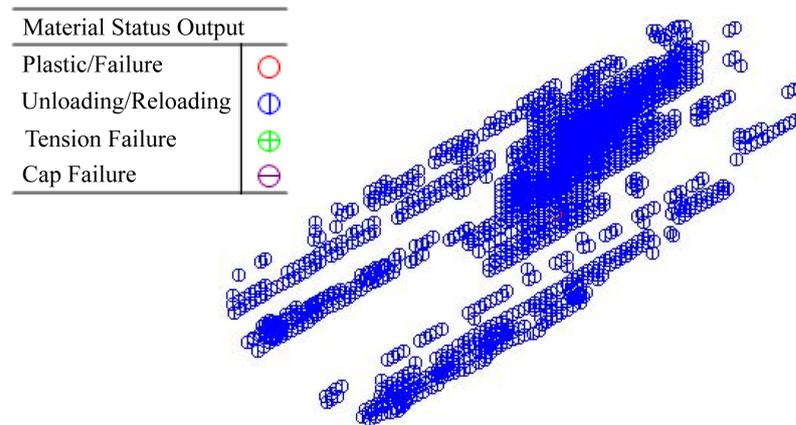


Figure 11. Distribution map of plastic zone of surrounding rock of station

图 11. 车站围岩塑性区分布图

4. 结论

- 1) 车站围岩水平位移相对较小, 而沉降位移变化量较大, 核心岩的施工对车站空间位移影响显著。
- 2) 围岩的最小主应力在车站拱脚及台阶交接位置处有应力集中现象, 而在核心岩中台阶前侧出现拉应力, 其最大值为 0.74 MPa; 最大主应力均为压应力, 其最大值出现在核心岩上台阶, 为 5.38 MPa。
- 3) 车站左、右导洞的施工对核心岩临时支护结构影响较大, 核心岩交接处支护应力集中明显。车站拱顶和拱底支护结构最小主应力以拉应力为主, 局部超过混凝土的抗拉强度, 在施工过程中应加强防范。
- 4) 深埋大断面地铁车站采用双侧壁导坑核心岩直立开挖施工是可行的, 可操作性强, 能够满足设计要求和保证施工安全, 同时可加快施工进度, 具有较好的经济效益。

参考文献

- [1] 卢晓玲, 胡蔓宁. 双侧壁工法核心岩稳定性分析[J]. 公路, 2013(8): 334-337.
- [2] 刘伟伟. 双侧壁导坑法隧道施工引起的地表沉降分析[J]. 铁道勘察, 2018(6): 87-92.
- [3] 黄木田, 于金龙, 李文光, 等. 大断面车站双侧壁导坑法核心岩直立开挖安全宽度的确定[J]. 工业安全与环保, 2018(7): 36-38.
- [4] 张玉兰, 叶云金, 顾鑫, 等. 暗挖地铁车站双侧壁导坑法施工技术[J]. 施工技术, 2018(13): 103-107.
- [5] 崔振东. 双侧壁导坑法施工大断面地铁车站中隔墙岩柱开挖稳定性分析及施工关键技术[J]. 隧道建设, 2017(9): 1140-1145.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org