

Feasibility Analysis of 3 Benches Excavation of Deep Buried Subway Station in Steep Dip Rock Stratum

Han Wang¹, Xin Liu¹, Jingtao Xie¹, Shixing Hu^{2*}

¹China Construction Traffic Construction Group Co., Ltd., Sichuan Branch, Chengdu Sichuan

²School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing

Email: *2227393213@qq.com

Received: Feb. 14th, 2019; accepted: Feb. 28th, 2019; published: Mar. 7th, 2019

Abstract

The subway station construction in the rock stratum mostly adopts the double side wall guide method. In the engineering practice, it is found that the 3 benches method is used in the local section of the deep buried subway station. Taking a deep-buried metro station in steep inclined rock stratum as an example, the variation of stress-strain characteristics of surrounding rock with time and space in the process of three-bench excavation of the station is studied by using three-dimensional finite element numerical simulation method from three aspects of deformation, stress characteristics and plastic zone distribution characteristics of surrounding rock. Finite element analysis shows that the displacement, stress and plastic zone of surrounding rock of deep-buried metro station in rock stratum can meet the requirements of stability and safety. It also shows obvious asymmetry and displacement dislocation on both sides of sandy mudstone-sandstone interface. The excavation location which has great influence on the study section is basically located in three construction steps (6 m) before and after the section. During the construction of the station, attention should be paid to the influence of the rock layer on the stability of the surrounding rock, and the monitoring and support of the inclined side should be strengthened.

Keywords

Steep Dip Strata, Deep Buried Station, 3 Benches Method, 3 Dimensional Finite Element Method

陡倾岩层深埋地铁车站3台阶开挖可行性分析

汪涵¹, 刘信¹, 谢景涛¹, 胡世兴^{2*}

¹中建交通建设集团有限公司四川分公司, 四川 成都

*通讯作者。

²重庆大学土木工程学院, 重庆
Email: 2227393213@qq.com

收稿日期: 2019年2月14日; 录用日期: 2019年2月28日; 发布日期: 2019年3月7日

摘要

岩石地层中的地铁车站施工多采用双侧壁导坑法, 工程实践中发现深埋地铁车站局部地段有采用3台阶法施工的案例。以陡倾岩层某深埋地铁车站为例, 采用三维有限元数值模拟方法, 从围岩变形、应力特征及塑性区分布特征三个方面, 对车站采用3台阶开挖过程中的车站围岩应力应变特征随时间和空间的变化规律进行研究。有限元分析表明: 岩石地层深埋地铁车站围岩的位移、应力大小及塑性区范围可以满足稳定和安全要求, 且表现出明显的非对称性, 在砂质泥岩-砂岩接触面两侧出现明显的位移错动; 对研究断面影响较大的位置, 基本上位于断面前后3个施工步(6.0 m)内。在车站施工过程中要注意岩层层面对围岩稳定性的影响, 加强顺倾侧的监测和支护。

关键词

陡倾岩层, 深埋车站, 3台阶法, 3维有限元

Copyright © 2019 by author(s) 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

随着时代的发展及隧道和地下工程技术的不断进步, 城市地下空间的开发和利用得到了充分的发展, 由于地质条件的复杂性, 一些地下(隧道)工程不得不修建在倾斜的层状中。由于地层的倾角较大, 加之节理裂隙的影响, 地下工程的开挖往往引起倾斜岩层向临空侧滑动。为了及时分析地下工程围岩的稳定性, 采用数值模拟分析是非常必要的。岩石地层中的地铁车站施工多采用双侧壁导坑法。刘伟伟以地铁大断面隧道为背景, 利用有限元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[1]; 黄木田等应用有限元方法对重庆地铁暗挖车站双侧壁导坑法施工核心土直立开挖安全宽度进行了研究[2]; 张玉兰等结合青岛地铁车站对双侧壁导坑法施工步序、工法优化、初支及二次衬砌施工技术进行了研究[3]; 崔振东以重庆轨道交通上桥车站为例, 对双侧导洞先行贯通、中隔墙后续开挖的双侧壁导坑工法进行了研究, 形成了临时中隔墙岩柱开挖的施工关键技术[4]; 黄木田等对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进行了研究, 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[5]; 钟良健等对陡倾岩层深埋地铁车站双侧壁导坑法和台阶法2种施工方法进行了对比分析, 认为采用双侧壁导坑法比台阶法更有利于车站围岩的稳定, 但其围岩应力、位移、初期支护结构轴力等相差较小, 两种开挖方法均能满足车站围岩稳定性的要求[6]。工程实践中也发现深埋地铁车站局部地段有采用3台阶法施工的案例。本文以重庆某陡倾岩层深埋地铁车站为例, 采用有限元数值模拟方法, 从围岩变形特征、应力特征及塑性区分布特征三方面, 对车站开挖过程中的力学行为进行深入研究。该地铁车站围岩岩层倾角约为 60° , 为陡倾角岩层, 围岩级别为IV级, 施工过程对围岩的变形与破坏影响大。

2. 计算模型的建立

2.1. 模型范围及边界条件

地铁车站三维模型的长度取 40 m，宽度取 144 m，在车站两侧各取约 2.5 倍跨度，模型底边界取 2 倍洞高，顶面取至地表。有限元模型地表为自由边界，底部采用固定约束，其余各面施加法向约束。三维模型中围岩采用四面体实体单元，锚杆采用 GTX NX 提供的桁架单元，喷射混凝土采用平板单元。围岩材料采用莫尔 - 库伦屈服准则。锚杆和喷射混凝土可将其视为弹性体，初始地应力由岩体自重计算求得。在模型的格划分时，车站隧道周边和软弱夹层网格密，经过有限元网格划分，整个三维模型共有单元 172,809 个，节点 32,701 个。有限元模型见图 1。

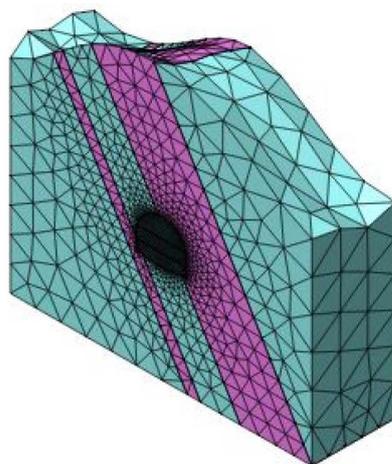


Figure 1. Finite element analysis model
图 1. 有限元分析模型

2.2. 计算参数

根据实际工程的地勘资料 and 同地区类似工程的地勘资料，地铁车站围岩力学参数及支护参数如表 1 所列。

Table 1. Surrounding rock and initial support parameters of metro station

表 1. 地铁车站围岩及初期支护参数

围岩	重度 γ (kN/m ³)	内聚力 c (kPa)	内摩擦角 φ (°)	抗拉强度 (kPa)	弹性模量 E (MPa)	泊松比 μ
砂质泥岩	25.6	600	32.6	168	1382	0.37
砂岩	24.8	1620	40.5	500	4132	0.30
喷射混凝土	25.0	-	-	-	15,000	0.20
锚杆	78.5	-	-	-	200,000	0.30

注：喷射混凝土为 C25 厚 350 mm；锚杆直径 25.0 mm，环向间距 1.0 m。

2.3. 施工过程控制

根据工程施工现场调研，结合数值模拟实际，从偏于不安全的角度考虑，车站分部开挖的短台阶长度取为 8.0 m，施工进尺取 2.0 m。车站相邻的上、中、下台阶间隔 4 个施工步(8.0 m)，每开挖一个台阶后及时进行初期支护，依次循环。有限元分析模型共 122 个施工步，地铁车站施工工序如图 2。



Figure 2. Schematic diagram of excavation step of station
图 2. 车站开挖步序示意图

3. 计算结果分析

为了合理地分析地铁车站的围岩应力及变形特征, 选取模型纵向中间断面作为研究对象, 在研究断面选取拱顶、拱底、两侧拱肩和拱腰以及两侧拱脚 8 个代表点进行分析。选取的断面及特征点如图 3~图 4。

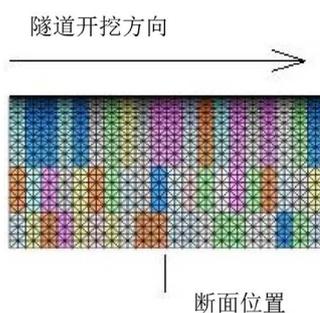


Figure 3. Study section location
图 3. 研究断面位置

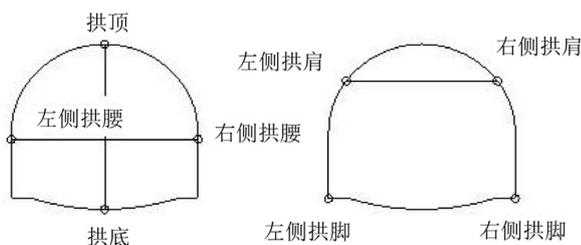


Figure 4. Feature points location
图 4. 特征点位置

3.1. 围岩变形位移

地铁车站(分析模型)开挖完成后, 车站围岩 X、Y、Z 方向合位移矢量云图如图 5。

由图 5 可以看出, 车站围岩的合位移呈拱顶下沉、底板隆起、两侧向内收敛的变化特征, 其中拱顶最大下沉位移为 8.80 mm, 底板隆起最大位移为 15.30 mm, 左侧边墙水平最大位移 9.27 mm, 右侧边墙水平最大位移 5.13 mm。从合位移矢量方向变化可以看出, 车站围岩整体向内收缩, 受地层陡倾角的影响, 在左侧拱肩顺岩层倾向的位移方向有明显平行于岩层层面的趋势, 右侧反倾向的位移方向则有垂直

于岩层层面的趋势。其中车站左侧边墙位移明显比右侧边墙位移变化大，车站围岩的变形表现出了明显的非对称性。

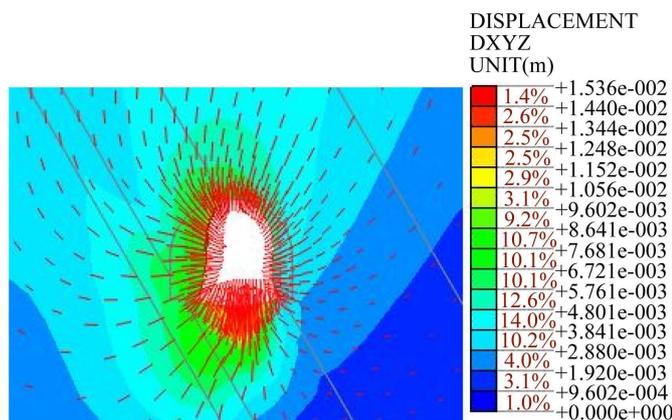


Figure 5. Vector map of complex displacement of surrounding rock of station
图 5. 车站围岩合位移矢量图

3.2. 围岩应力特征

1) 围岩最小主应力(P1)

地铁车站(分析模型)开挖完成后，车站围岩最小主应力云图及受拉塑性区范围如图 6~图 7 所示。

由图 6 可以看出，围岩最小主应力基本为压应力，在边墙底部及开挖进尺接触带局部出现拉应力，压应力最大值为 2.86 MPa，拉应力最大值为 0.43 MPa，在车站的左、右拱脚处出现了明显的应力集中现象。拉应力出现在地铁车站左、右拱腰处，左侧拱腰拉应力区范围明显大于右侧。

由图 7 可以看出，① 在地表局部出现了拉应力，这与地表土层局部有裂缝的现象是一致的。② 在车站右侧拱腰局部出现了拉应力，这与车站右侧砂岩岩层有关，砂岩的抗压强度和抗拉强度大于砂质泥岩，在砂岩层发生了应力集中现象；③ 在车站左侧拱腰位置拉应力较右侧明显，这与左侧的顺层岩层陡倾角有关，在左侧拱腰可能出现局部掉块、坍塌现象。施工过程中，车站左侧收敛位移较大，施工单位及时采取了支护加强措施，控制住了围岩的进一步变形。这同时也验证了施工过程有限元数值分析结果的合理性和正确性。

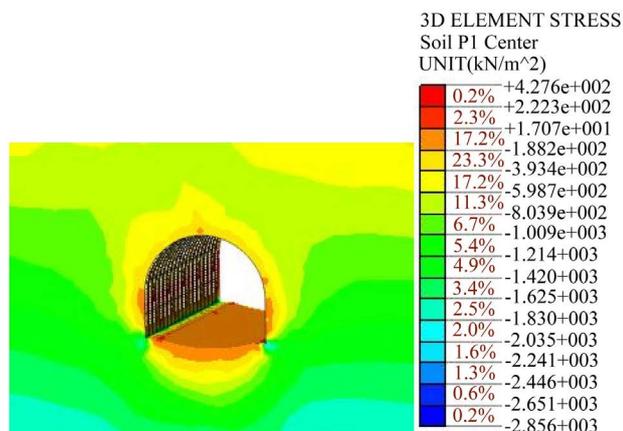


Figure 6. Minimum principal stress nephogram
图 6. 最小主应力云图

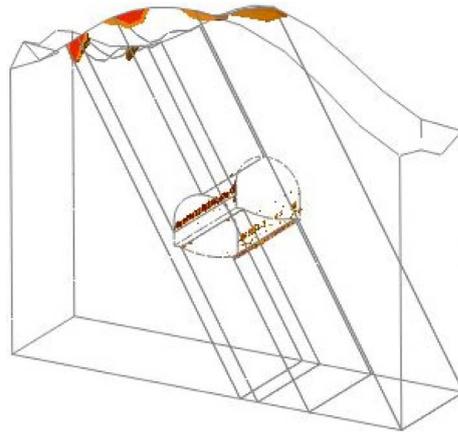


Figure 7. Schematic map of surrounding rock and surface tension zone
图 7. 围岩及地表受拉区示意图

2) 围岩最大主应力(P3)

地铁车站(分析模型)开挖完成后, 车站围岩最大主应力云图如图 8 所示。

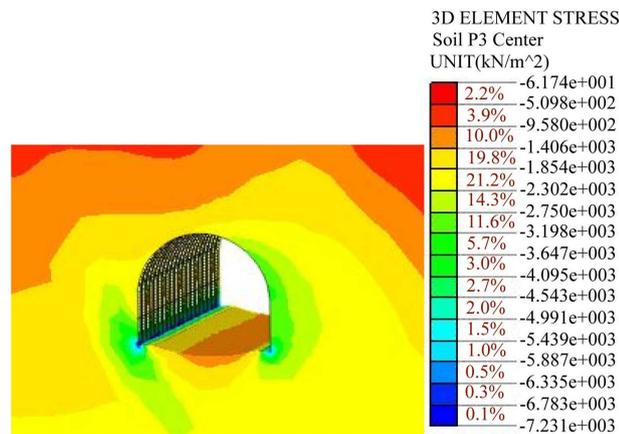


Figure 8. Maximum principal stress nephogram
图 8. 最大主应力云图

可以看出, 车站围岩最大主应力(P3)均为压应力, 在车站左、右两侧拱脚围岩出现了明显的应力集中现象, 最大主应力最大值为 7.23 MPa, 位于车站左侧拱脚处, 小于砂质泥岩的抗压强度, 不会引起围岩的屈服破坏。车站左、右两侧拱腰处的最大主应力也有明显的不对称性, 左侧大于右侧, 左侧最大主应力为 3.30 MPa, 右侧最大主应力为 2.1 MPa, 这也与该车站陡倾角地层有关。

3.3. 隧道洞周塑性区分布特征

隧道开挖完成后, 围岩塑性区分布图如图 9 所示。

由图 9 可以看出, 车站围岩塑性区主要分布在车站左、右拱脚及左侧拱腰, 但塑性区整体没有贯通。

- ① 车站左、右侧拱脚塑性区沿车站纵向断续分布, 左侧最大影响半径为 4.0 m, 右侧最大影响半径为 4.30 m;
- ② 左、右侧拱肩塑性区的最大影响半径分别为 3.90 m 和 2.90 m;
- ③ 车站左侧拱腰塑性区的分布范围最大, 最大影响半径为 5.30 m, 但基本都在锚杆长度控制范围之内。同样可以看出, 车站围岩塑性区的分布范围和最大影响半径也表现出了明显的非对称性, 车站左侧塑性区分布范围和最大影响半径明显大于右侧, 这同样与左侧为顺层结构面(岩层层面)、右侧为反倾结构面(岩层层面)有关。

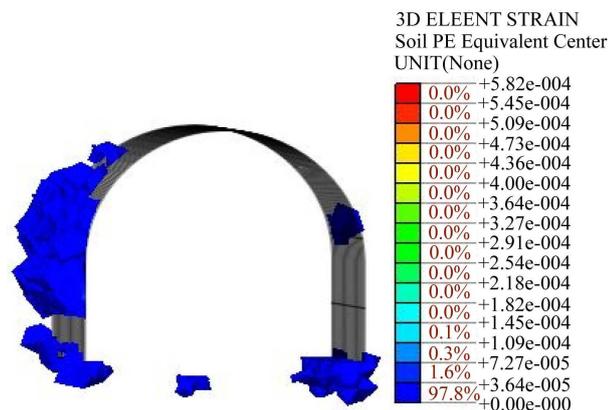


Figure 9. Characteristics of plastic zone of surrounding rock
图 9. 围岩塑性区特征

4. 结论

1) 地铁车站(模型)开挖完成后, 车站左侧边墙位移明显比右侧边墙位移大, 围岩变形表现出明显的非对称性, 围岩变形受结构面(岩层层面)控制明显。

2) 车站围岩最小主应力以压应力为主, 局部出现了拉应力, 其分部范围和大小也与岩层倾角有关。左侧的最小主应力(压应力和拉应力)值大于右侧, 这与车站施工过程中在左侧拱腰位移较大且局部出现掉块现象是一致的。

3) 车站围岩的最大主应力均为压应力, 左侧大于右侧, 在两侧拱腰表现出明显的不对称性, 也与该车站围岩陡倾角岩层有关。

4) 车站左右侧围岩塑性区的分布范围和最大影响半径也表现出了明显的非对称性, 左侧大于右侧, 同样与左侧为顺层结构面、右侧为反倾结构面有关。

5) 在山地城市暗挖地下车站施工中, 要注意岩层层面或主要结构面倾角对围岩变形、应力及塑性区的影响, 加强顺倾侧的监测和支护。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 黄木田, 于金龙, 李文光, 等. 大断面车站双侧壁导坑法核心土直立开挖安全宽度的确定[J]. 工业安全与环保, 2018, 44(7): 36-38.
- [3] 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.
- [4] 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, 37(9): 1140-1145.
- [5] 黄木田, 巩天才, 于金龙, 等. 深埋大断面地铁车站双侧壁导坑法核心岩直立开挖施工技术研究[J]. 土木工程, 2019, 8(1): 144-152.
- [6] 钟良健, 石多金, 谢景涛, 等. 陡倾岩层深埋地铁车站 2 种施工方法的对比分析[J]. 土木工程, 2019, 8(1): 89-96.

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