

Comparative Analysis of Two Construction Methods for Deep-Buried Subway Station in Steep Rock Formation

Liangjian Zhong¹, Duojin Shi¹, Jingtao Xie¹, Yan Ge², Xiaoguang Jin^{2*}

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

²School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing

Email: *jxgcqu@163.com

Received: Dec. 24th, 2018; accepted: Jan. 7th, 2019; published: Jan. 14th, 2019

Abstract

Taking a large-span underground excavation station in the steep rocky stratum of Chongqing rail transit as an example, the three-step method and the double-side wall guide pit method are used to simulate the construction process. The comparative analysis of the surrounding rock stress, displacement, plastic zone and the initial support structure stress after excavation shows that the double-side wall guide pit method is more conducive to the stability of the surrounding rock of the station than the step method, but the surrounding rock stress, displacement, axial force of the initial support structure and so on differ little, both excavation methods can meet the requirements of station surrounding rock stability. Considering the construction schedule, construction cost, flexibility and construction difficulty, the 3-step method is more suitable for the construction of this metro station and the similar stations and similar geological conditions.

Keywords

Metro Station, Three-Step Method, Double Side Wall Guide Pit Method, Numerical Simulation

陡倾岩层深埋地铁车站2种施工方法的对比分析

钟良健¹, 石多金¹, 谢景涛¹, 葛岩², 靳晓光^{2*}

¹中建交通建设集团有限公司四川分公司, 四川 成都

²重庆大学土木工程学院, 重庆

Email: *jxgcqu@163.com

*通讯作者。

收稿日期：2018年12月24日；录用日期：2019年1月7日；发布日期：2019年1月14日

摘要

以重庆市轨道交通陡倾岩石地层某大跨地下暗挖车站为例，采用3台阶法与双侧壁导坑法两种开挖方法进行施工过程的数值模拟，车站开挖后围岩应力、位移、塑性区及初期支护结构受力特征的对比分析表明：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。综合考虑施工进度、施工成本、灵活多变及施工难度等因素，3台阶法比较适合该车站及类似地质条件的地铁车站施工。

关键词

地铁车站，3台阶法，双侧壁导坑法，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

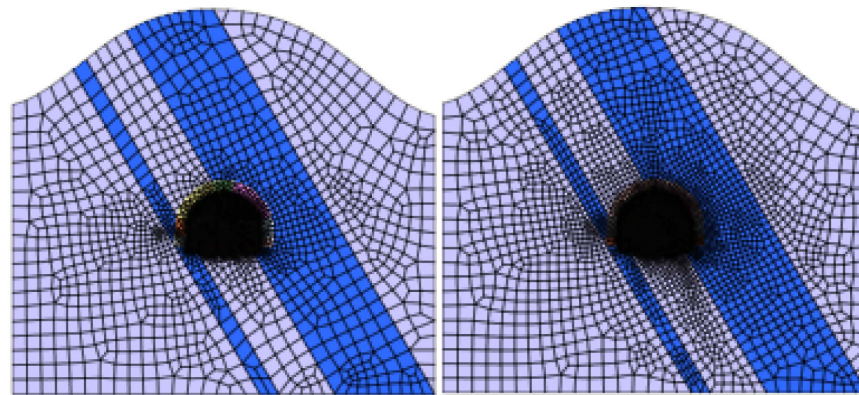
隧道的断面越大，开挖后形成的塌落拱一般也越大，承受的拱部荷载也较大。大断面隧道的施工过程对围岩的稳定性影响很大。目前城市深埋暗挖地铁车站，设计提出的一般是双侧壁导坑法，施工难度大，进度慢。一些学者对地铁车站的双侧壁导坑施工方法进行了研究。刘伟伟以哈尔滨地铁大断面隧道为背景，利用 MIDAS/GTS 对双侧壁导坑法施工诱发的地面沉陷及隧道本身的变形规律进行了研究[1]；黄木田、于金龙、李文光等应用 Ansys10.0 对重庆轨道交通 10 号线红土地站、鲤鱼池站双侧壁导坑法施工核心土直立开挖安全宽度进行了研究[2]；张玉兰、叶云金、顾鑫等结合青岛地铁 1 号线沧安路站对双侧壁导坑法施工开挖步序、工法优化、二次衬砌施工、初支施工技术进行了阐述与总结[3]；崔振东以重庆轨道交通环线上桥车站工程为依托，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分析，并研究临时中隔墙岩柱开挖的稳定性和加固措施，形成临时中隔墙岩柱开挖的施工关键技术[4]。在工程实践中，发现有的深埋车站局部有采用 3 台阶法开挖的做法，并且取得了成功。双侧壁导坑法和 3 台阶法这两种方法对围岩稳定性的影响差距有多大，在理论上是否可以，未见文献报导。因此，以重庆市轨道交通某暗挖大断面深埋车站为例，通过地铁车站双侧壁导坑法和 3 台阶法两种开挖方法施工过程的数值仿真模拟，分析两种开挖方法对围岩稳定性的影响程度。从保证施工安全，缩短施工工期，节约工程成本等方面考虑，提出更加合理的施工方法。依托车站跨度 23.60 m，高度 21.09 m，为曲墙圆拱型，上覆土层薄，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 $290^\circ \angle 60^\circ$ ，为陡倾角地层，岩层倾向与车站左侧壁围岩倾向基本一致，车站左侧围岩易沿结构面滑塌，成洞条件较差。

2. 模型的建立

2.1. 模型范围及边界条件

地铁车站二维计算模型取 YDK29 + 760 断面为研究对象，模型宽度取车站开挖轮廓两侧 2.5 倍洞径，宽 144 m，模型底边界取 2 倍车站开挖高度，顶面取至地表。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。模型中围岩采用平面四边形单元，锚杆采用 GTX NX 提供的桁架单元，喷射混凝土采用直线单元。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。在模型网的格划分时，车站隧道周边和软弱夹层网格密，经过有限元网格划分，二维模型共有单元 51,085 个，节点 9369 个。有限元数值分析模型如图 1 所示。



(a) 台阶法

(b) 双侧壁导坑法

Figure 1. The numerical model of step method and double-sided guide pit method
图 1. 台阶法与双侧壁导坑法数值模型

2.2. 计算参数

根据该地铁车站实际的地勘和施工图设计资料，围岩物理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

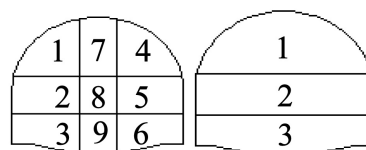
表 1. 地铁车站围岩及初期支护参数

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

车站双侧壁导坑法开挖模型将车站断面分为 1~9 个施工步；台阶法开挖模型将车站断面分为上、中、下 3 个台阶开挖。模型的施工过程控制示意图见图 2。



(a) 双侧壁导坑法 (b) 3 台阶开挖法

Figure 2. Schematic diagram of excavation sequence depending on the section of metro station
图 2. 依托地铁车站断面开挖顺序示意图

3. 计算结果分析

3.1. 围岩变形特征

车站断面采用双侧壁导坑 9 步开挖法开挖完成后, 车站围岩的水平位移和竖向位移云图如图 3~图 4 所示; 采用 3 台阶法开挖完成后车站围岩的水平位移和竖向位移云图如图 5~图 6 所示。根据其位移云图, 提取两种开挖方法车站两侧围岩的水平位移、拱顶的竖向沉降位移和车站底的竖向隆起位移如表 2 所列。

由图 3~图 6 及表 2 可以看出:

① 两种开挖方法车站左侧围岩的位移大于右侧, 左侧约为右侧的 2 倍; 车站拱顶的最大沉降位移点并非中间顶部, 而是偏向左侧。这与车站左侧为顺倾结构面有关。

② 不同开挖方法车站左侧、右侧围岩的位移非常接近, 3 台阶法与双侧壁导坑法相比, 左侧最大水平位移差百分比((3 台阶法-双侧壁导坑法)/双侧壁导坑法)仅为 4.4%, 右侧最大水平位移差百分比仅为 0.7%。

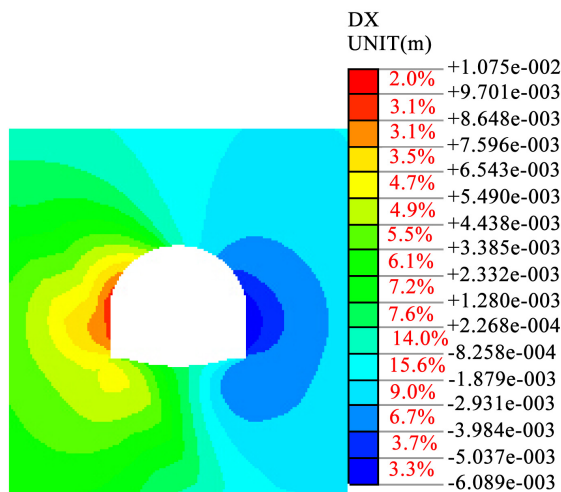


Figure 3. Horizontal displacement of surrounding rock excavated by double-sided pit method
图 3. 双侧壁导坑法开挖围岩水平位移

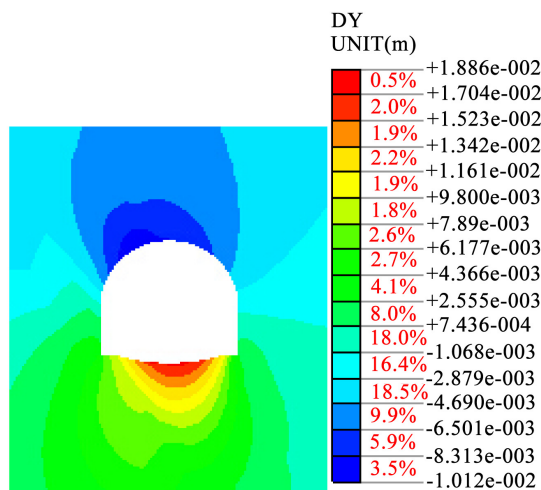


Figure 4. Vertical displacement of surrounding rock excavated by double-sided pit method
图 4. 双侧壁导坑法开挖围岩竖向位移

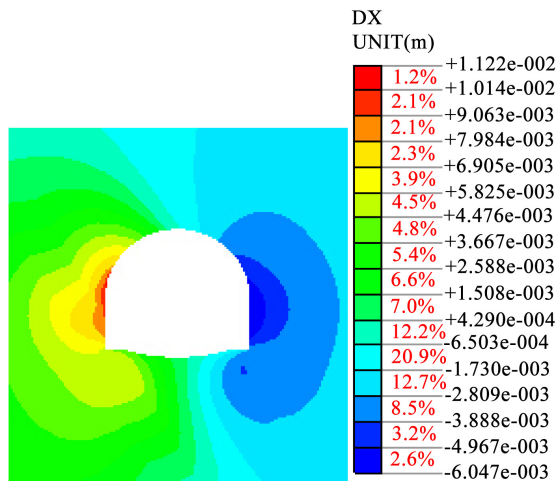


Figure 5. Horizontal displacement of surrounding rock excavated by 3-step method
图 5. 3 台阶法开挖围岩水平位移

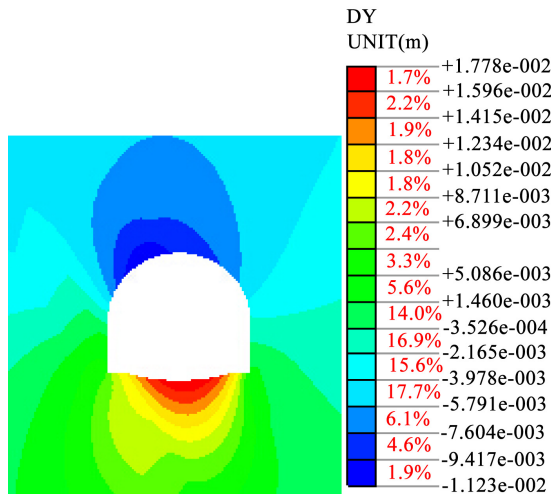


Figure 6. Vertical displacement of surrounding rock excavated by 3-step method
图 6. 3 台阶法开挖围岩竖向位移

Table 2. Displacement of key points of station surrounding rock by two excavation methods

表 2. 两种开挖方法车站围岩各关键点的位移(mm)

开挖方法	左侧最大水平位移	右侧最大水平位移	站顶最大沉降位移	站底最大隆起位移
双侧壁导坑法	10.75	6.09	10.12	18.86
3 台阶法	11.22	6.05	11.23	17.78

③ 3 台阶法与双侧壁导坑法相比, 两种开挖方法车站顶、底围岩的最大位移差仅为 1.11 mm 和 1.08 mm。

根据城市轨道交通设计规范和施工图设计要求, 双侧壁导坑法和 3 台阶法两种开挖方法引起的围岩变形位移均未超过预警值。从车站围岩的变形来看, 3 台阶法与双侧壁导坑法相比, 除车站顶最大沉降位移稍大(也仅为 1.11 mm)外, 水平最大位移和站底隆起位移基本一致。因此, 可以说两种开挖方法对车站围岩的扰动程度差不多, 均能够满足车站围岩稳定性要求。但 3 台阶法比双侧壁导坑法的施工工序简单, 进度也快得多。

3.2. 围岩应力特征

采用双侧壁导坑法和3台阶法开挖完毕后，车站围岩的最大主应力云图如图7~图8所示。

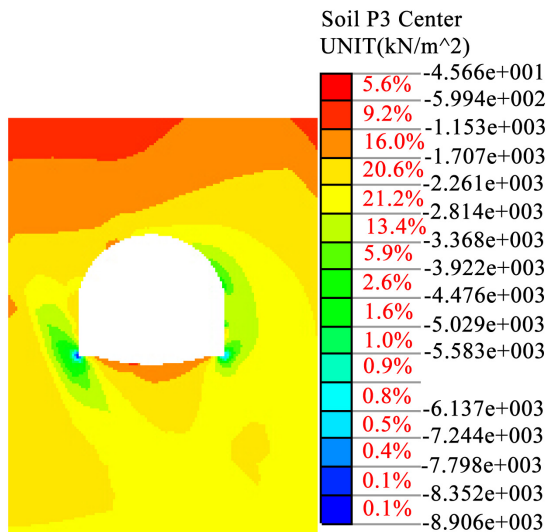


Figure 7. Nephogram of maximum principal stress in double-sided pit excavation
图 7. 双侧壁导坑法开挖最大主应力云图

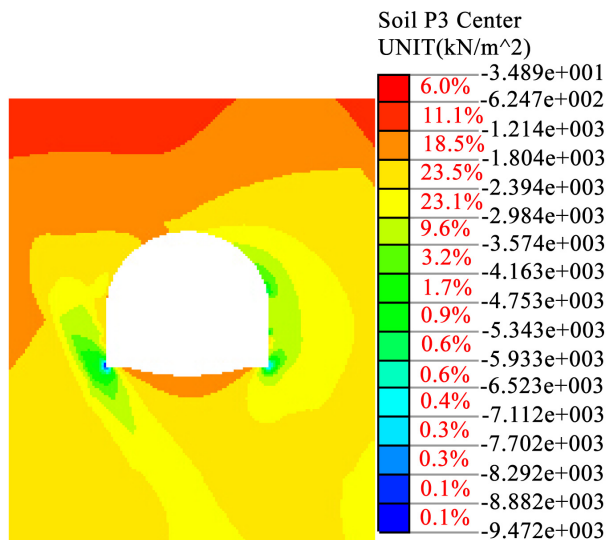


Figure 8. Maximum principal stress nephogram of 3-step method excavation
图 8. 3 台阶法开挖最大主应力云图

可以看出，双侧壁导坑法和3台阶法开挖完毕后围岩的最大主应力分别为8.906 MPa和9.472 MPa，3台阶法增加了0.566 MPa，增加百分比为6.3%。同样可得到双侧壁导坑法和3台阶法开挖完毕后围岩的最小主应力分别为3.156 MPa和3.319 MPa，3台阶法增加0.163 MPa，增加百分比为5.2%。两种开挖方法主应力的变化对围岩的稳定性影响很小，都是可行的。

3.3. 初期支护轴力

双侧壁导坑法和3台阶法开挖完毕后，锚杆轴力及喷射混凝土轴力变化如表3所列。

Table 3. Axial force of two excavation methods for station initial support
表 3. 两种开挖方法车站初期支护的轴力

开挖方法	锚杆最大轴力(kN)	初期支护最大轴力(kN)
双侧壁导坑法	89.5	2357
3 台阶法	74.5	1500

由表 3 可以看出, 3 台阶法开挖锚杆和喷射混凝土的轴力比双侧壁导坑法开挖的还小。这是因为, 3 台阶法施工对围岩的扰动次数少, 围岩应力释放均匀且比较快, 较好地发挥了围岩的自承能力, 支护结构承受的荷载减小; 双侧壁导坑法由于开挖步序多, 围岩荷载释放慢, 且在不同分部交接处围岩应力发生集中, 致使初期支护局部轴力增大。

3.4. 围岩塑性区

双侧壁导坑法和 3 台阶法开挖完毕后, 车站围岩塑性区分布特征如图 9~图 10 所示。

从分布位置和范围来看, 双侧壁导坑法开挖围岩的塑性区主要分布在车站底部、拱顶偏左及左侧拱腰; 3 台阶法开挖围岩的塑性区主要分布在左侧边墙和底部拱脚, 在左侧边墙分布范围较大, 在施工过程中通过加强左侧边墙的支护是可以解决的, 相比双侧壁导坑法开挖的复杂程度是可以弥补的。

4. 结论

1) 从地铁车站围岩变形特征来看, 双侧壁导坑法和 3 台阶法开挖围岩的最大位移和分布范围相差很小, 均未超过城市轨道交通设计规范和施工图设计要求的预警值, 均能够满足车站围岩稳定性要求。但 3 台阶法比双侧壁导坑法的施工工序简单, 进度也快得多。

2) 从初期支护锚杆和喷射混凝土的轴力来看, 3 台阶法开挖锚杆和喷射混凝土的轴力比双侧壁导坑法开挖的还小, 这与 3 台阶法施工对围岩的扰动次数少, 围岩应力释放均匀且比较快, 较好地发挥了围岩的自承能力, 初期支护及时封闭成环, 支护结构承受的荷载减小有关。

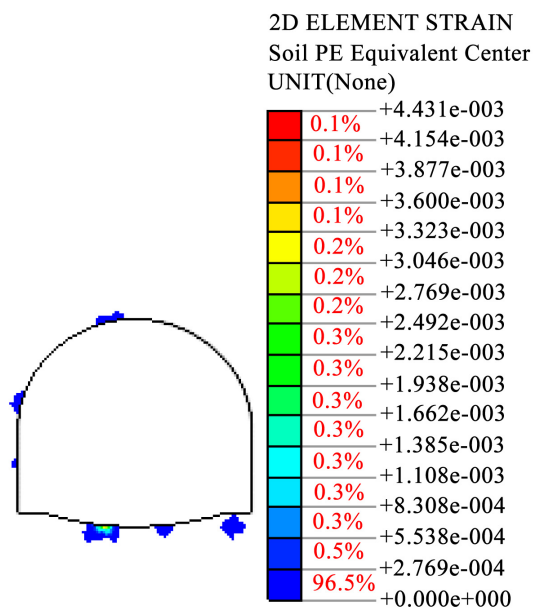


Figure 9. Plastic zone of surrounding rock excavated by double-sided pit method
图 9. 双侧壁导坑法开挖围岩的塑性区

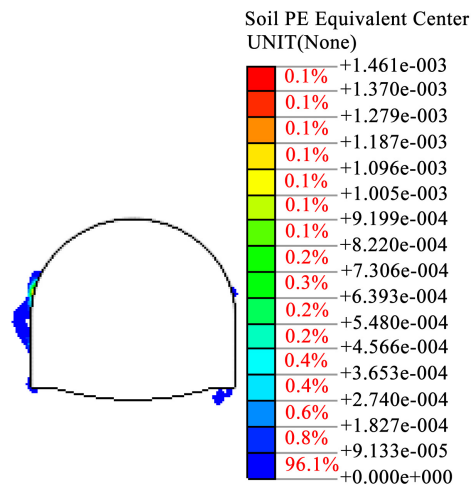


Figure 10. Plastic zone of surrounding rock by 3-step method excavation
图 10. 3 台阶法开挖围岩的塑性区

3) 从塑性区分布位置和范围来看, 两种开挖方法的差别也较小, 双侧壁导坑法开挖围岩的塑性区主要分布在车站底部、拱顶偏左及左侧拱腰; 3 台阶法围岩的塑性区主要分布在左侧边墙和底部拱脚, 左侧边墙分布范围较大, 在施工过程中通过加强支护是可以解决的。

4) 岩石地层深埋地铁车站两种开挖方法对围岩位移、应力及初期支护结构的轴力影响差别不大, 均能满足围岩及支护结构稳定性的要求。但 3 台阶法施工步骤少, 施工进度快, 能够更好地发挥围岩的自承能力。

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(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(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