

Mechanics Analysis of Construction of Initial Arch-Cover Method of Expanding Arch in Metro Station

Waiguang Yang¹, Yantao Zhang¹, Qing Yang¹, Zhaobing Zhang², Xiaoguang Jing^{2*}

¹China Construction Tunnel Construction Co. Ltd., Chongqing

²School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing

Email: *jxgcqu@163.com

Received: Nov. 12th, 2019; accepted: Dec. 9th, 2019; published: Dec. 16th, 2019

Abstract

Relying on the construction process of initial arch-cover method of expanding arch in a metro station in soft rock stratum of Chongqing Rail Transit, the displacement and the stress of the surrounding rock, and the mechanics characteristics of the initial supporting structure were analyzed. The excavation of the expanded arch has a great influence on the deformation of the arch and the vault of the surrounding rock. The middle of the straight wall of the station tunnel, the intersection of the tunnel's straight wall and the bottom of the tunnel, the expanded arch and the vault are relatively weak. Therefore, the support should be strengthened during the design and construction. The research results provide a basis for the informatization design and construction using the initial arch-cover method of expanding arch in the metro station in soft rock stratum.

Keywords

Metro Station in Soft Rock Stratum, Initial Arch-Cover Method of Expanding Arch, Deformation, Stress, Numerical Simulation

地铁车站扩大拱脚初支拱盖法施工力学分析

阳外光¹, 张艳涛¹, 杨清¹, 张照秉², 靳晓光^{2*}

¹中建隧道建设有限公司, 重庆

²重庆大学土木工程学院, 重庆

Email: *jxgcqu@163.com

收稿日期: 2019年11月12日; 录用日期: 2019年12月9日; 发布日期: 2019年12月16日

*通讯作者。

文章引用: 阳外光, 张艳涛, 杨清, 张照秉, 靳晓光. 地铁车站扩大拱脚初支拱盖法施工力学分析[J]. 土木工程, 2019, 8(10): 1415-1422. DOI: 10.12677/hjce.2019.810165

摘要

依托重庆轨道交通某软岩地铁车站扩大拱脚初支拱盖法施工过程中,对围岩位移、应力及初期支护结构的受力特征进行了分析。扩大拱脚的开挖对拱脚和拱顶的围岩变形都有较大的影响,车站隧道直墙中部、隧道直墙与隧低交接处、扩大拱脚处和拱顶都是比较薄弱的部位,设计和施工过程中应加强支护。研究成果为软岩地铁车站扩大拱脚初支拱盖法信息化设计、施工提供了依据。

关键词

软岩地铁车站, 扩大拱脚初支拱盖法, 变形, 应力, 数值模拟

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

目前暗挖地铁车站多采用双侧壁导坑法,也有少数采用传统的拱盖法。拱盖法是适用于上软下硬、风化岩石地层的一种暗挖施工方法。该方法的核心思想是充分利用下覆围岩的承载能力和稳定性,在不爆破或弱爆破的条件下,采用小导洞形式进行初支扣拱施工,同时采用大拱脚方案,将拱部初支与二衬结构支撑在稳定基岩上,形成拱盖;在拱盖的保护下进行地下盖挖逆作或顺做施工。一些学者对大断面隧道拱盖法施工进行了研究[1]-[5]。传统的拱盖法对大拱脚处围岩要求高,且二次衬砌只能分段施作,对车站整体稳定性及有效防水有影响。近几年有学者提出了双层初支拱盖法或叠合梁双层初支拱盖法。张世杰依托青岛地铁2号线海川路站巧支拱盖法开挖工程实例,开展了模型试验、现场试验及数值模拟研究,以围岩变形、围岩应力、支护内力为主要指标,深入研究了不同地层条件下初支拱盖法开挖过程力学行为,分析了青岛“上软下硬”地层地铁车站初支拱盖法的适用性[6];张婕针对贵阳地铁油榨街车站,采用数值仿真的方法,研究了初支拱盖法开挖过程中车站变形及支护应力分布特征[7];张增峰以贵阳市轨道交通地铁车站拱盖法结构设计为背景,通过有限元数值模拟,分析拱盖法车站开挖时引起的地面沉降,初支拱盖以及加强拱盖在施工阶段的内力变化规律[8];邓昆以重庆轨道交通5号线凤西路站为研究对象,开展了相应的理论和数值模拟研究,建立了双层叠合初支拱盖法结构设计方法,提出了双层叠合初支拱盖法施工步序和监控量测技术[9]。可以看出,关于地铁车站暗挖初支拱盖法施工的研究刚刚起步,且主要针对“上软下硬”地层,对软岩地层地铁车站暗挖初支拱盖法施工的研究还很少,还有待进一步的研究。

本文采用数值模拟的方法,以重庆轨道交通九号线一期工程某软岩地铁车站为研究对象,对其扩大拱脚初支拱盖法施工力学行为进行研究,为信息化设计、施工提供依据。

2. 工程概况

依托工程为地下两层暗挖车站,车站总长262.3 m,总宽21.8 m。车站采用13 m岛式站台,长度140 m,单拱双层结构,车站隧道采用复合式衬砌,开挖净宽24.24 m,开挖高度21.23 m。车站隧道拱顶埋深约75~100 m,覆岩厚度约为61~89.6 m。车站共设两座风道,4个出入口(其中2个为预留),一个换乘

通道, 6 个安全出入口, 均为暗挖复合衬砌结构。风道净宽 13 m, 出入口净宽 8 m 和 6.5 m, 换乘通道净宽 12 m。设 2 组风亭, 1 号风亭组的新排风结合安全出口为高空风亭, 2 号风亭组为敞门低风亭, 风亭组分别位于车站的两侧。

车站隧道穿越地层主要为侏罗系中统沙溪庙组砂质泥岩及砂岩, 呈“软夹硬”状态, 围岩总体为软岩(图 1)。岩体呈中等风化状态, 节理裂隙不发育~较发育, 岩体较完整, 隧道围岩级别为 IV 级。砂质泥岩饱和抗压强度标准值为 10.5 MPa, 总体为软岩; 岩体完整系数 0.70~0.78, 为较完整~完整岩体, 岩体中存在 3 组构造裂隙, 呈块石状镶嵌结构, 受地质构造影响较严重, 裂隙较发育。砂岩饱和抗压强度标准值为 31.5 MPa, 总体为较硬岩, 呈中厚层状; 岩体完整系数 0.76~0.81, 为完整岩体, 岩体中发育 3 组构造裂隙, 呈大块状砌体结构, 受地质构造影响较重, 裂隙不发育~较发育。

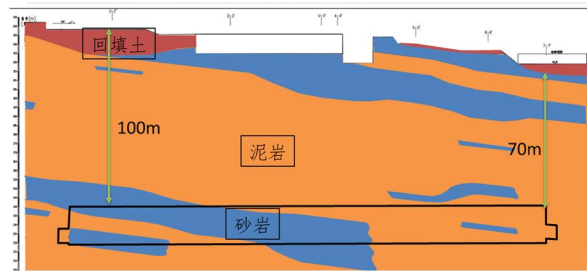


Figure 1. Schematic diagram of longitudinal section of the rock stratum of the metro station
图 1. 地铁车站纵断面岩层示意图

3. 数值分析模型

3.1. 模型的建立

为了减小边界效应对计算结果的影响, 通常取车站隧道左、右两侧的计算边界为隧道跨度的 3~5 倍, 隧道下方的计算边界为隧道总高的 2 倍以上。以地铁车站穿越砂质泥岩 - 砂岩 - 砂质泥岩地层的典型断面为分析断面建立模型。计算模型的尺寸取长 204.34 m, 高 131.28 m (图 2)。

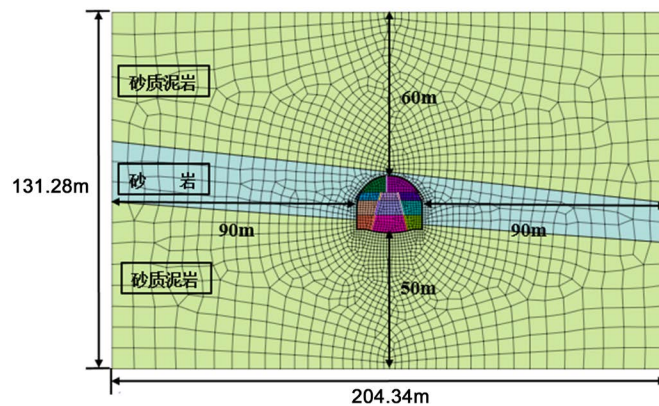


Figure 2. Calculation model
图 2. 计算模型

岩土材料为中风化砂岩和微风化砂质泥岩, 采用 Mohr-Coulomb 屈服准则; 初期支护和临时支护采用梁单元, 采用弹性模型; 锚杆采用植入式桁架单元, 弹性模型。模型网格划分采用混合网格生成器, 共生成 2749 个单元, 2631 个节点, 在保证计算精度的同时, 极大地提高了计算效率。对于模型边界

条件，模型底部进行三向位移约束，左、右边界进行法向位移约束。隧道的开挖和支护通过单元的激活和钝化功能来实现。

3.2. 参数的选取

计算模型岩土参数按照地勘报告并结合相关规范选取，初期支护和临时支护参数通过等效原则计算获得，等效计算公式如下：

$$E = \frac{E_g S_g + E_c S_c}{S_g + S_c} \tag{1}$$

式中： E —折算后混凝土弹性模量； E_c —原混凝土弹性模量； S_g —钢拱架截面积； S_c —混凝土截面积； E_g —钢材的弹性弹性模量。

$$\rho = \frac{\rho_g S_g + \rho_c S_c}{S_g + S_c} \tag{2}$$

式中： ρ —折算后混凝土密度； ρ_g —钢材的密度； ρ_c —原混凝土密度。具体参数值如表 1 所示。

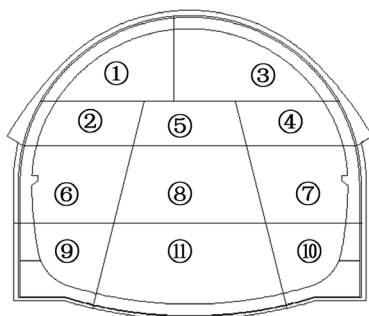
Table 1. Mechanical parameter of rock mass

表 1. 岩体力学参数表

岩土名称	重度(kN/m ³)	弹性模量(MPa)	泊松比 μ	内聚力 c (kPa)	内摩擦角 φ (°)
中风化砂质泥岩	25.7	2043	0.37	648	32
中风化砂岩	25.8	5681	0.30	2100	42
初期支护	23.0	22,890	0.20	-	-
临时支护	23.6	25,400	0.20	-	-
锚杆	78.5	210,000	0.30	-	-

3.3. 施工步骤

地铁车站初支拱盖法施工步骤如图 3 所示。



(1) 上台阶左侧导坑上断面开挖，施做初期支护和临时支护；(2) 上台阶左侧导坑下断面开挖，施做初期支护；(3) 上台阶右侧导坑上部断面开挖，施做初期支护；(4) 上台阶右侧导坑下部断面开挖，施做初期支护；(5) 拆除上台阶临时中隔壁，开挖上台阶中部核心土；(6) 中台阶左侧导坑开挖，施做初期支护；(7) 中台阶右侧导坑开挖，施做初期支护；(8) 中台阶中部导坑开挖；(9) 下台阶左侧导坑开挖，施做初期支护；(10) 下台阶右侧导坑开挖，施做初期支护；(11) 下台阶中部导坑开挖，施做初期支护。计算模拟分 22 个施工步(开挖、初支、拆除临时支护等为独立的计算施工步)。

Figure 3. Schematic diagram of the construction procedure of the initial arch-cover method of the subway station

图 3. 地铁车站初支拱盖法施工步骤示意图

4. 模拟结果及分析

4.1. 围岩位移

车站隧道开挖、初支完成后围岩竖向位移云图如图 4 所示，拱顶围岩竖向位移及左拱脚总位移随施工步的变化曲线如图 5 所示。

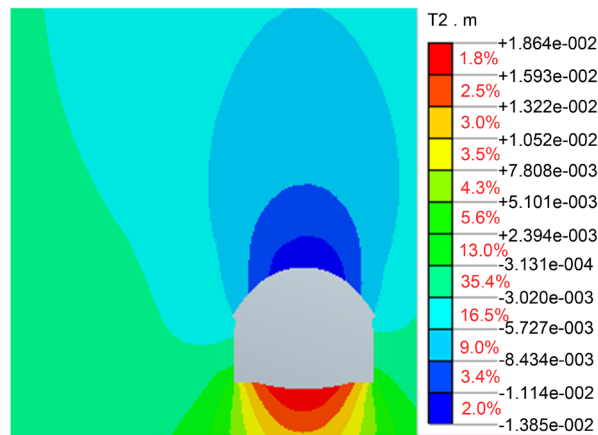


Figure 4. Cloud map of the vertical displacement of surrounding rock (Unit: m)

图 4. 围岩竖向位移云图(单位: m)

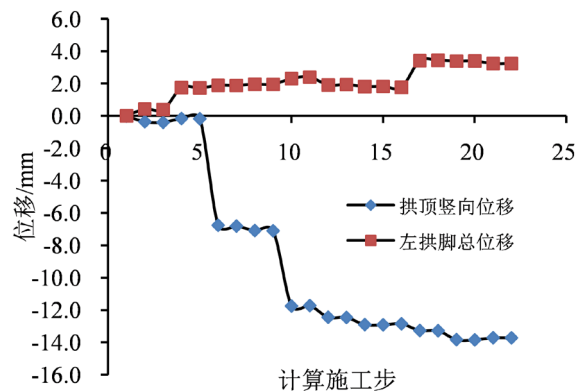


Figure 5. Changing curve of vertical displacement of surrounding rock of arch and total displacement of left arch with construction steps

图 5. 拱顶围岩竖向位移及左拱脚总位移随施工步的变化曲线

从图 4~5 可以看出，拱顶围岩最大竖向位移为 13.85 mm，左拱脚最大总位移为 3.44 mm。对拱顶竖向位移而言，第 6 和第 10 计算步位移变化最大，也正好对应着左侧和右侧大拱脚的开挖完成(图 6)，表明大拱脚的开挖对拱顶的竖向位移影响也很大。

4.2. 围岩平面剪应力

车站隧道开挖、初支完成后围岩平面剪应力云图如图 7 所示，围岩塑性状态云图如图 8 所示。由图 7 可以看出，围岩平面最大剪应力也分布在大拱脚开挖处，左拱脚为 2.59 MPa，表现为压应力；右拱脚为 2.85 MPa，表现为拉应力。由图 8 可以看出，围岩的塑性状态也主要分布在车站隧道直墙与隧低交接处和大拱脚开挖处，表现为卸荷破坏。这些位置是车站隧道加强支护的关键部位。因此，地铁车站初支拱盖法的设计除加强大拱脚开挖处的支护外，车站隧道直墙与隧低交接处也应该重点考虑，而不能忽视。

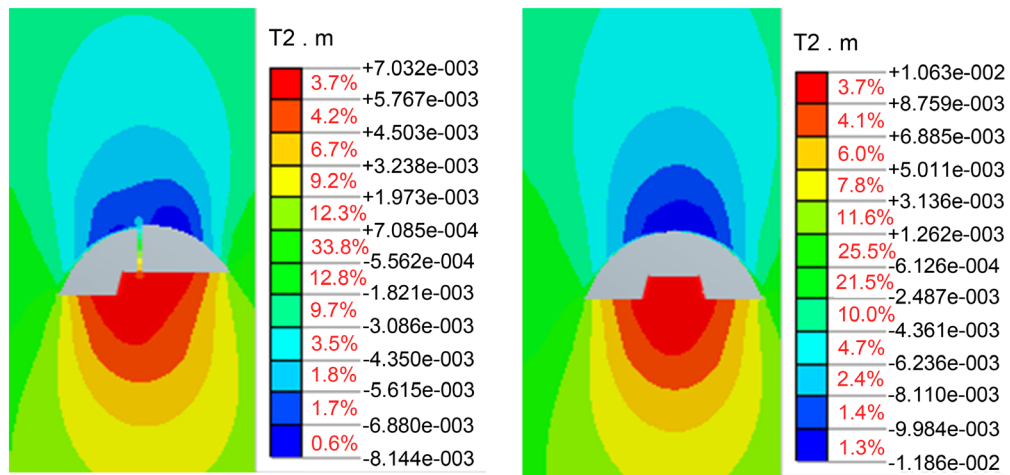


Figure 6. Cloud map of vertical displacement of the 6th and 10th calculation steps of the metro station (Unit: m)
 图 6. 地铁车站第 6 和第 10 计算步的竖向位移云图(单位: m)

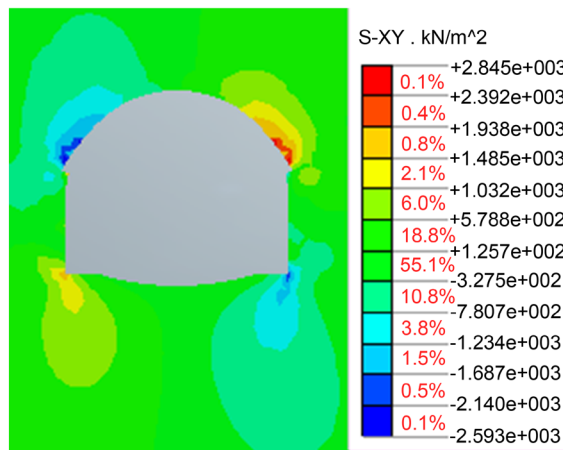


Figure 7. Cloud map of plane shear stress of surrounding rock of metro station (Unit: kN/m²)
 图 7. 地铁车站围岩平面剪应力云图(单位: kN/m²)

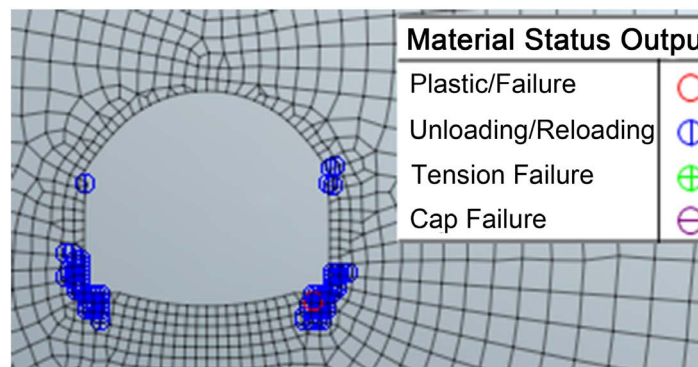


Figure 8. Cloud map of plastic state of surrounding rock of metro station
 图 8. 地铁车站围岩塑性状态云图

4.3. 初期支护应力

车站隧道开挖、初支完成后初期支护结构最大主应力、平面剪应力及最大剪应力云图如图 9 所示。

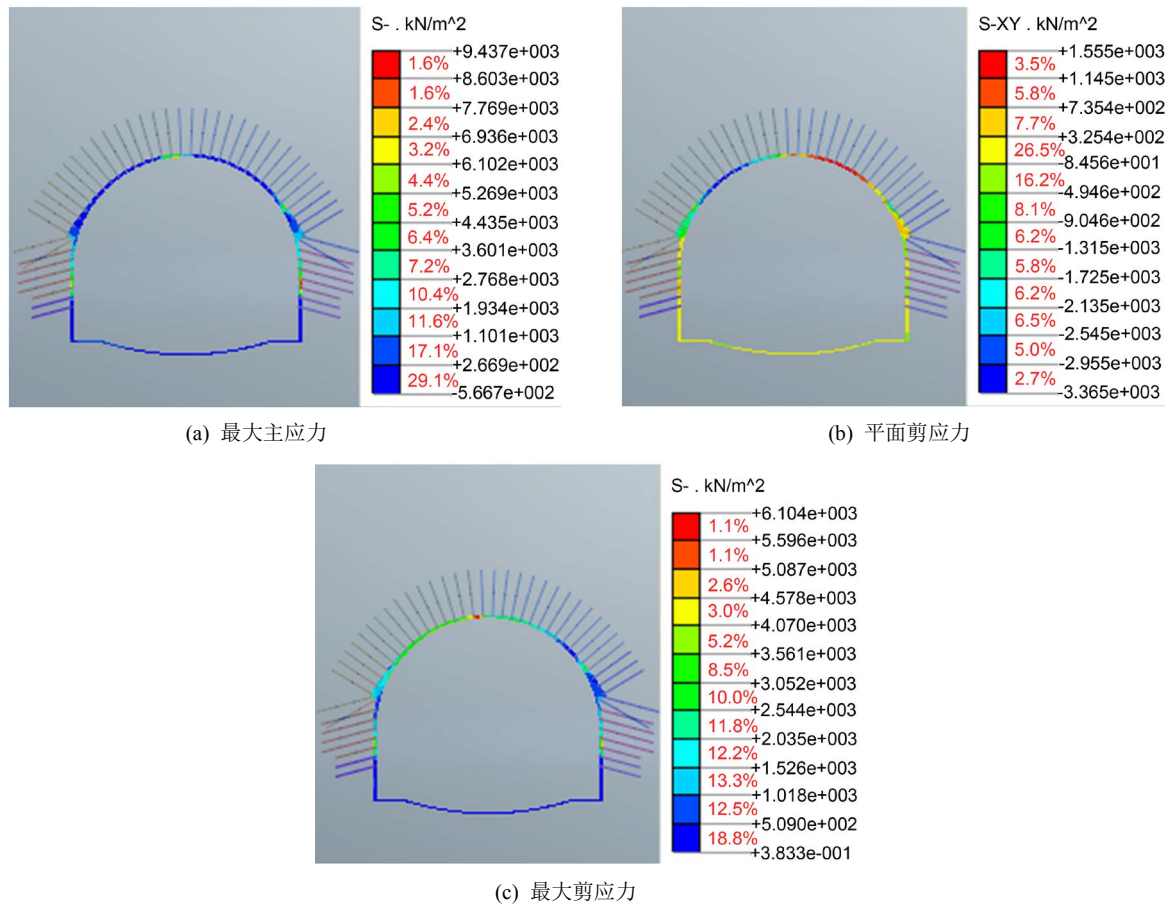


Figure 9. Cloud map of Stress state of initial support structure of metro station (Unit: kN/m²)

图 9. 地铁车站初期支护结构应力状态云图(单位: kN/m²)

可以看出, 地铁车站初期支护结构最大主应力为 9.44 MPa, 分布在直墙内侧(靠近围岩侧), 范围很小(1.6%); 扩大拱脚处为 1.40~1.50 MPa。最大平面剪应力为 3.37 MPa (压应力)和 1.56 MPa (拉应力), 分别分布在拱顶左、右两侧; 左侧大拱脚处的最大平面剪应力为 2.23 MPa, 而右侧较小, 小于 1.0 MPa。最大剪应力为 6.10 MPa, 分布在初期支护结构的拱顶, 分布范围很小(0.8%); 左侧大拱脚处的最大剪应力为 2.24 MPa, 右侧大拱脚处的最大剪应力为 1.17 MPa, 分布范围很小。总之, 从初期支护结构的受力来看, 隧道直墙中部、拱顶和扩大拱脚处是比较薄弱的部位, 设计和施工过程中应加强支护。

5. 结论

依托重庆轨道交通九号线一期工程, 对某软岩地铁车站扩大拱脚初支拱盖法施工过程中的围岩位移、围岩应力、围岩塑性状态及初期支护结构的受力特征进行了分析, 软岩地层地铁车站采用扩大拱脚初支拱盖法施工是可行的。扩大拱脚的开挖不仅对该范围的围岩变形有影响, 而且也加速了拱顶的竖向变形; 围岩的塑性状态主要分布在车站隧道直墙与隧低交接处和大拱脚开挖处, 表现为卸荷破坏; 隧道直墙中部、拱顶和扩大拱脚处初期支护结构的受力比较大。因此, 车站隧道直墙中部、隧道直墙与隧低交接处、扩大拱脚处和拱顶是比较薄弱的部位, 设计和施工过程中应加强支护。

致 谢

本文研究获中建隧道建设有限公司科技计划项目资助。

参考文献

- [1] 贾贵宝. 拱盖法在地铁车站施工中的应用[J]. 合作经济与科技, 2011(12): 126-127.
- [2] 吕波. 暗挖地铁车站拱盖法关键施工技术[J]. 现代隧道技术, 2014, 51(3): 181-187.
- [3] 杜子建. 大跨隧道拱盖法施工地层沉降分析[J]. 铁道标准设计, 2014(3): 110-113+118.
- [4] 王丹, 张海波, 王渭明, 等. 拱盖法地铁车站施工沉降规律及控制对策研究[J]. 隧道建设, 2015, 35(1): 33-40.
- [5] 李克先, 李术才, 赵继增. 大跨度暗挖地铁车站开挖工序优化研究[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(5): 1329-1337.
- [6] 张世杰. 若层地铁车站初支拱盖法开挖力学效应与适用性研究[D]: [博士学位论文]. 济南: 山东大学, 2017.
- [7] 张婕. 初支拱盖法地铁车站开挖施工研究[J]. 绿色交通, 2018(6): 278-279.
- [8] 张增峰. 叠合初支拱盖法在岩溶地区的应用分析[J]. 天津建设科技, 2018, 28(3): 57-61.
- [9] 邓昆. 双层叠合初支拱盖法设计方法及施工技术研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2018.