

Study on Optimization of Construction Method for Shallow Buried Soft Rock Extra Large Section Tunnel

Yuanpeng Liu, Zimao Wang, Fuqiang Jiang

China Railway Tunnel Group Erchu Co. Ltd., Yanjiao Hebei
Email: 511152537@qq.com

Received: Sep. 1st, 2019; accepted: Sep. 12th, 2019; published: Sep. 19th, 2019

Abstract

This paper takes the shallow-buried soft rock super-large section tunnel project in Gui'an New Area as the engineering background. The new tunnel construction technology combining CD method and bench method is proposed creatively, under the premise of taking into account the safety and construction period requirements. Firstly, the rock mass quality classification of the surrounding rock of the tunnel is calculated according to the [BQ] value. It is concluded that the construction section should be constructed according to the V-class surrounding rock. Secondly, the CD method and a new method combined the CD method with the bench method are used to simulate the surrounding rock stability value based on the FLAC3D software. The results show that compared with the CD method, the new method has less influence on the surrounding rock, which indicates that the new method is more conducive to maintaining the stability of the surrounding rock. Finally, the horizontal convergence of the two gangs and the amount of collapse of the arch are within the control target through the monitoring of surrounding rock during the excavation of the new method, which indicates that the surrounding rock and the initial supporting structure are in a safe state after tunnel excavation. This new construction method has been successfully applied in the shallow-buried soft rock super-large tunnel project in Gui'an New Area. The construction results can provide reference for other related projects, such as tunnel engineering and underground space engineering, and have certain practical guiding significance.

Keywords

Extra Large Section, Soft Rock Tunnel, CD Method, Bench Method

浅埋软岩特大断面隧道施工方法优化研究

刘远鹏, 王子茂, 蒋富强

中铁隧道集团二处有限公司, 河北 燕郊

Email: 511152537@qq.com

收稿日期: 2019年9月1日; 录用日期: 2019年9月12日; 发布日期: 2019年9月19日

摘要

本文以贵安新区浅埋软岩特大断面隧道项目为工程背景,在兼顾安全性和工期要求的前提下,提出了CD法与台阶法相结合新型隧道施工工艺。根据[BQ]值对隧道围岩进行岩体质量分级计算,得出该施工段应考虑按V级围岩进行施工设计;利用FLAC3D软件对CD法和CD法与台阶法相结合的新方法进行围岩稳定性数值模拟,结果表明,相比于CD法,新方法对围岩变形的影响更小,这说明该新方法更有利于保持围岩稳定;通过对新方法开挖过程中的围岩监测表明,隧道两帮水平收敛和拱顶下沉量均在控制目标以内,这说明隧道开挖后围岩和初期支护结构处于安全状态。此种新型施工方法已在贵安新区浅埋软岩特大断面隧道项目中成功应用,施工结果可为其他相关工程,如隧道工程、地下空间工程提供参考,具有一定的实用价值。

关键词

特大断面, 软岩隧道, CD法, 台阶法

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

近些年来,随着我国地下工程建设的迅速发展,隧道工程的开挖技术、施工方法、支护技术在不断的创新和应用[1][2]。邓永峰[3]等在大断面黄土隧道施工中采用上台阶CD法施工,通过监测沉降数据表明,上台阶CD法能有效控制隧道围岩稳定和施工安全。周永[4]介绍了CD法在厦门站预留隧道中的施工应用,施工中采用CD法施工,取得了较好的施工效果。张新亮[5]针对大断面隧道CD法开挖后围岩稳定性不均衡的情况,通过设置锚杆加固区提高稳定性差的一侧的围岩参数,使得隧道稳定达到均衡,总结出加固区围岩参数与隧道稳定性之间的影响规律。赵俊澄等[6]采用数值模拟的手段对三种典型的隧道施工方法CD法、台阶法、双侧壁导坑法进行模拟,通过相互对比研究,确定了三种施工方法各自适用的开挖场地。雷丙超介绍了软岩隧道短台阶法开挖的机械化施工的工艺过程[7],而为今后类似工程施工提供借鉴。根据以上研究可以发现,对于隧道项目工程,CD法和台阶法是较为适用的常规施工方法。

由于贵安新区五线并行隧道工程项目施工环境比较复杂,施工工期紧张,因此,需要优化施工工法,通过查阅相关文献[8][9][10][11][12],并进行理论推导和模拟仿真等多种技术手段对设计方案进行反复优化与论证,最终提出了CD法与台阶法相结合隧道施工工艺,该施工工艺在兼顾“安全”“工期”和“造价”等条件下,具有“作业空间大,施工速度快,灵活多变和适用性强”等优点,可以满足此次施工需求。

2. 工程概况

本项目隧道土建部分为5条主体隧道+1条油库隧道+1条人防指挥中心隧道+排风井+联络横洞+联络通道,均为复合式衬砌结构。本文研究特大断面隧道断面净空宽度为13.964 m、高度为11.35 m,

内轮廓净空断面为 159.9 m^2 ，图 1 是该隧道的横断面示意图。

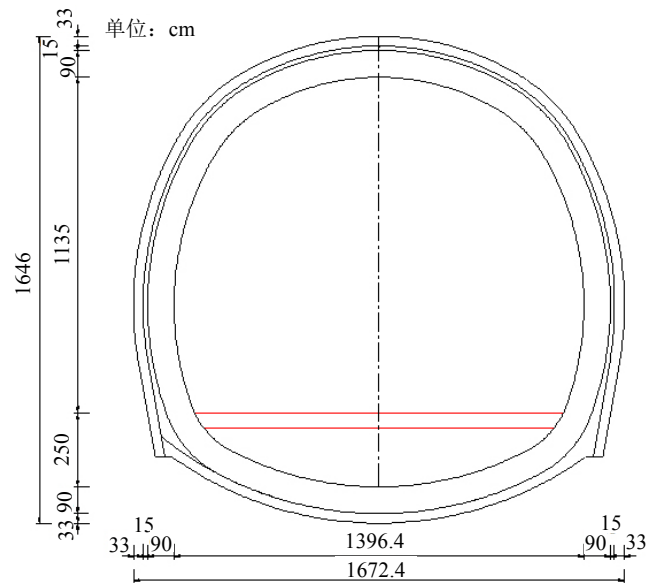


Figure 1. Diagram of tunnel cross section
图 1. 隧道横断面示意图

3. 岩体质量分级及施工工艺

3.1. 岩体质量分级

目前岩体质量分级种类繁多，我国根据工程实际，颁布了国家工程岩体分级标准。按照该标准，工程岩体分级分两步进行。首先从定性判别与定量测试两个方面分别确定岩石的坚硬程度和岩体的完整性，计算出岩体基本质量指标 BQ 。岩体基本质量指标 BQ 用下式表示：

$$BQ = 90 + 3\sigma_{cw} + Kv \quad (1)$$

式中： σ_{cw} 为岩石单轴饱和抗压强度(MPa)； Kv 为岩体完整性系数； $Kv = (v_{pm}/v_p)^2$ ， v_p 、 v_{pm} 分别为岩石与岩体纵波速度。

岩体工程的稳定性，除与岩体基本质量的好坏有关外，还受地下水、主要软弱结构面、天然应力的影响。结合工程特点，考虑地下水、初始应力场以及软弱结构面走向与工程轴线的关系等因素，对岩体基本质量指标 BQ 加以修正，以修正后的岩体基本质量 BQ 作为划分工程岩体级别的依据，对地下工程修正值 $[BQ]$ 按下式计算：

$$[BQ] = BQ - 100(K_1 + K_2 + K_3) \quad (2)$$

式中： K_1 ——主要结构面产状影响修正系数； K_2 ——地下水影响修正系数； K_3 ——天然地应力影响修正系数。

根据贵安新区腾讯七星数据中心工程现场实际调研情况来看，该特大隧道长 271.09 m，隧道埋深 5.2~58 m，地表土层零星分布，基岩出露较好，围岩为主要为三叠系下统安顺组强~中风化白云岩夹泥质白云岩，岩体节理裂隙较发育，呈碎石状松散结构、碎裂状结构，有覆盖层孔隙水和基岩裂隙水，雨季呈淋雨状出水。场地整体稳定性较好，适宜隧道建设，隧道开挖后应及时支护。施工设计围岩参数选取值表 1 所示，根据地下工程修正值 $[BQ]$ 的计算结果建议该段按 V 级围岩进行施工设计。

Table 1. Surrounding rock grade and recommended design parameter values
表 1. 围岩级别及建议设计参数值

围岩级别 V	
岩体重度 $r/(\text{kN}/\text{m}^3)$	20
弹性抗力系数 $K/(\text{MPa}/\text{m})$	180
弹性模量 E/GPa	1.8
泊松比 μ	0.38
计算内摩擦角 $\Phi/^\circ$	48
岩石单轴饱和抗压强度 R_c/MPa	16
围岩基本质量指标修正值[BQ]	218

3.2. 施工工艺简介

隧道开挖模式是将 CD 法与台阶法相结合使用, 采用四台阶施工方式, 对其上台阶、中上台阶采用 CD 法施工, 待开挖贯通后, 再利用台阶法对中下台阶、下台阶进行施工掘进。隧道开挖采用控制爆破掘进, 采用无轨装、运机械化设备进行配套作业, 将贯穿整个施工过程的综合超前地质预测预报和监控量测工作, 纳入正常施工工序, 对隧道开挖作业进行实际指导。隧道施工作业简图如图 2 所示。

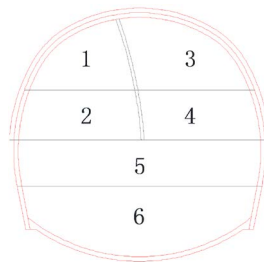
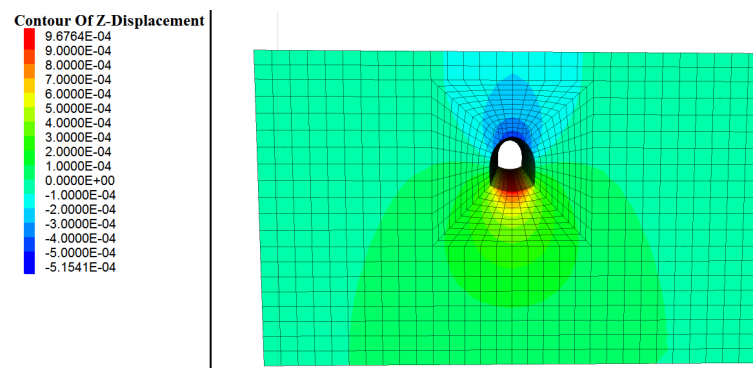


Figure 2. Schematic diagram of tunnel construction method combining CD method and step method
图 2. CD 法与台阶法相结合的隧道施工方法简图

4. 围岩变形数值模拟

利用 FLAC3D 软件对特大隧道全断面开挖法及 CD 法与台阶法相结合的新方法开挖过程进行数值模拟, 其中围岩参数选自表 1。采用 CD 法隧道开挖时, 其竖向位移和水平位移分布云图分别如图 3(a)、图 3(b)所示, 采用 CD 法与台阶法相结合隧道开挖时, 其竖向位移和水平位移分布云图分别如图 4(a)、图 4(b)所示。



(a) 竖向位移云图

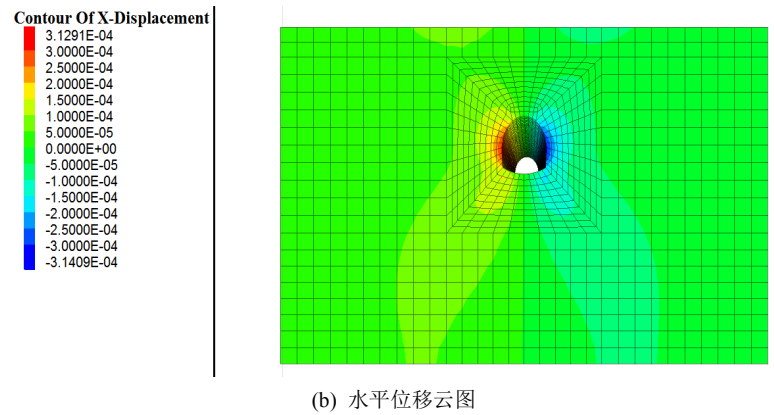


Figure 3. Numerical simulation of excavation by CD method
图 3. CD 法开挖数值模拟图

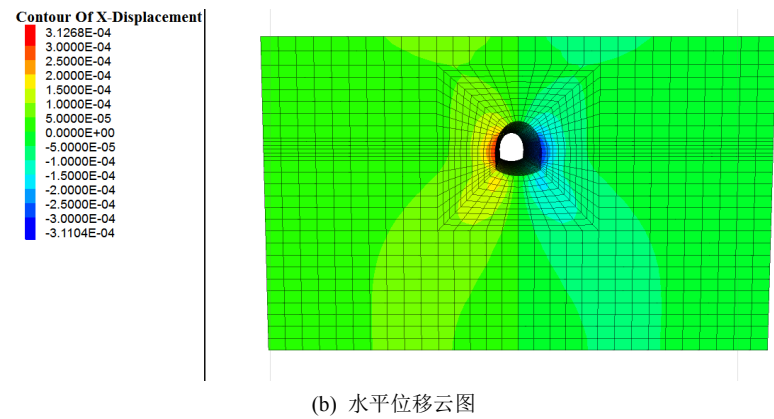
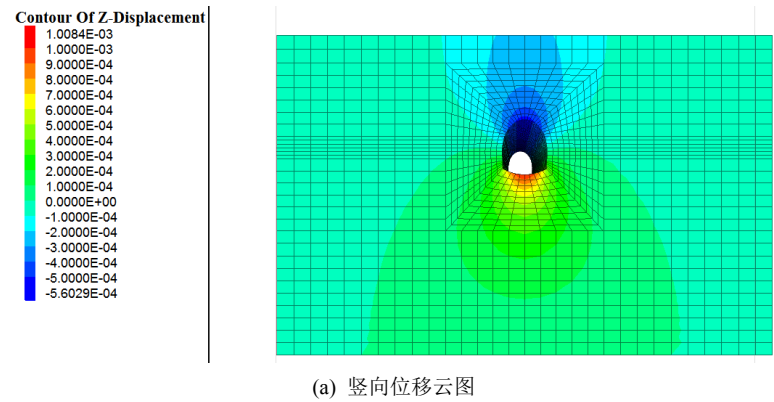


Figure 4. Numerical simulation diagram of excavation combined with CD method and step method
图 4. CD 法与台阶法相结合开挖数值模拟图

对比分析可以发现，采用新方法开挖的拱顶竖向位移稍大于 CD 法开挖隧道拱顶的竖向位移，但是新方法开挖的拱底位移却远小于 CD 法开挖时拱底的隆起位移，说明三台阶法有利于控制拱底的围岩的稳定，减小拱底隆起的程度。通过图 3 与图 4 的对比可以发现，CD 法与新方法对拱腰的水平位移的影响相差不多。

为具体对比 CD 法和新方法关于特定位置位移条件的对比，现将 FLAC3D 中关于隧道拱顶的位移监

控曲线进行对比分析。

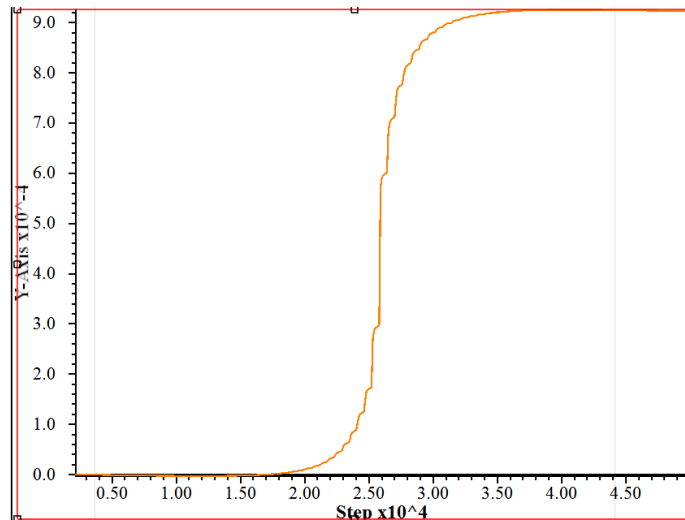


Figure 5. Vertical displacement curve of CD method vault

图 5. CD 法拱顶的竖向位移变化曲线

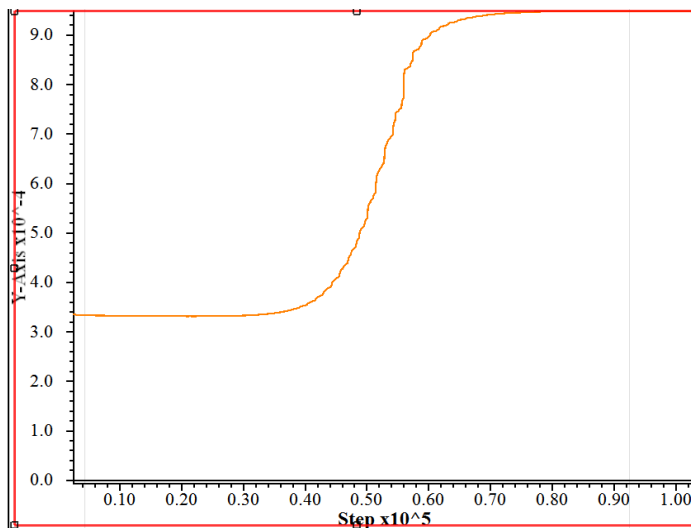


Figure 6. Vertical displacement curve of vault with new method

图 6. 新方法拱顶的竖向位移变化曲线

对比图 5 和图 6 可知, 新方法开挖隧道中间拱顶的竖向位移比用 CD 法拱底位移出现的时间早, 这是由于新方法开挖上部过程中对拱顶产生影响, 而 CD 法只有在隧道开挖快到隧道中间的时候才会对拱顶产生影响。由于台阶法拱底位移变化相对 CD 法缓慢, 有助于围岩应力的缓慢释放, 同时新的施工方法有利于控制隧道开挖上覆土层的位移沉降, 说明其对围岩的影响相比于 CD 法开挖时小, CD 法与台阶法相结合的新方法更有利于保持围岩稳定。

5. 围岩变形监测

隧道开挖后, 围岩的位移是围岩和支护形态变化最直接、最明显的反映, 净空的变化(收缩和扩张)是围岩变化最明显的体现。通过周边收敛和拱顶下沉监测, 反馈围岩变化信息, 及时指导施工。

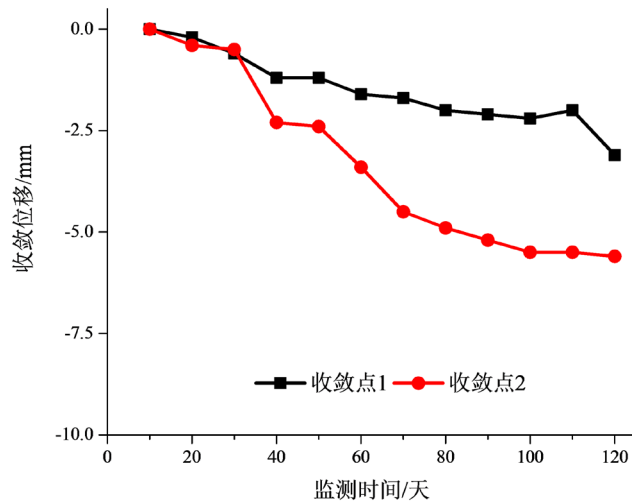


Figure 7. Convergence law of two tunnels over time
图 7. 隧道两帮随时间的收敛规律

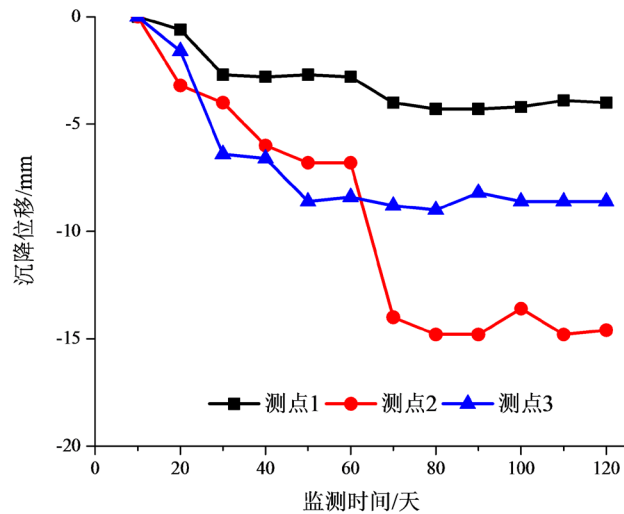


Figure 8. Settlement law of tunnel vault over time
图 8. 隧道拱顶随时间的沉降规律

根据隧道布置的拱顶下沉测点和水平收敛测线的实测结果, 图 7、图 8 所示, 从中可以看出: 隧道开挖后, 围岩和支护结构变形总体较小; 随开挖时间增加, 隧道两帮收敛位移和隧道拱顶沉降位移均呈缓慢增加至趋于平稳的趋势, 开挖 80 天后, 变形位移基本稳定。其中, 水平收敛均在 6 mm 以内, 最大值仅为 5.6 mm (图 7); 拱顶下沉均小于 18 mm, 最大下沉值仅为 17.6 mm (图 8), 小于控制指标(35 mm)。以上结果表明, 隧道开挖后围岩和初期支护结构处于安全状态。

6. 结论

1) 本文以贵安新区浅埋软岩特大断面隧道项目为工程背景, 提出了 CD 法与台阶法相结合新型隧道施工工艺。2) 数值模拟结果表明, 相比 CD 法, 优化方法对围岩变形的影响更小, 表明优化方法能有效控制围岩的稳定性。3) 围岩监测结果表明, 优化方法在开挖过程中隧道两帮水平收敛和拱顶下沉量均在控制目标值以内, 能保证隧道施工安全。

参考文献

- [1] 中交第一公路工程局有限公司. 公路隧道施工技术规范[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009.
- [2] 黑龙江省公路桥梁建设总公司, 中华人民共和国交通部. 中华人民共和国行业标准: 公路工程施工安全技术规程 JTJ 076-95[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [3] 邓永峰, 王龙, 韩冰凌. 王村隧道采用上台阶 CD 法施工监测结果与分析[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017(7): 82-83.
- [4] 周永. CD 法在厦门站预留隧道穿越既有股道段工程中的应用[J]. 山西建筑, 2018, 44(32): 185-187.
- [5] 张新亮. 大断面隧道 CD 法施工围岩应力行为研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2008.
- [6] 赵俊澄, 陈文龙, 任益. 超浅埋隧道下穿高速公路典型施工方法比选研究[J]. 现代城市轨道交通, 2019(2): 34-39.
- [7] 雷丙超. 软岩隧道短台阶法开挖的机械化施工[J]. 建筑机械, 2018(4): 79-83.
- [8] 刘红轲. 半部 CD 法在超大断面隧道中的应用[J]. 山东交通科技, 2018(2): 25-27.
- [9] 王志坚. 郑万高铁隧道大断面机械化施工关键技术研究[J]. 隧道建设, 2018, 38(8): 1257-1270.
- [10] 臧春雷, 余鸾鸢. 超大跨度隧道上台阶 CD 法施工技术探讨[J]. 公路交通技术, 2018, 34(S1): 154-159.
- [11] 宋战平, 王童, 周建军, 于文山. 浅埋偏压大断面隧道施工优化及受力特征分析[J]. 地下空间与工程学报, 2017, 13(2): 459-468.
- [12] 李晓军, 李栋, 王子茂, 刘远鹏. 腾讯七星数据中心隧道群围岩压力分析[J]. 土木工程, 2019, 8(6): 1045-1051.