

文章编号: 1674—8247(2022)01—0054—06
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.01.010

高地应力互层软岩隧道支护方案与支护时机优化

刘建勋

(中铁十四局集团第三工程有限公司, 济南 272100)

摘 要:西部山区分布有大范围的层状地层,在地下洞室建设过程中大变形灾害问题突出,严重危及地下洞室的施工及运营安全。为探究高地应力作用下层状软岩隧道支护施工方案与合理支护时机,本文以甘肃尖山隧道为工程依托,设计了3种支护施工方案并考虑3种支护施作时机,运用FLAC3D软件计算分析各工况下隧道变形和支护结构受力并与实际监测结果进行对比。结果表明:(1)3种支护方案下,方案三对隧道变形控制效果最为明显且使得支护受力更为合理;(2)3种支护时机下,考虑到允许二衬承担一部分变形,故当隧道变形达到极限位移为90%时,隧道变形与支护受力最为合理;(3)数值结果均小于实际监测数据,两者差值在可接受范围之内。

关键词:隧道工程;软弱围岩;二次衬砌;施作时机;数值模拟

中图分类号:U455.7 **文献标志码:**A

54

Support Schemes and Optimization of Support Timing for Tunnels in Interlayers of Soft Rock under High Geo-stress

LIU Jianxun

(The 3rd Engineering Co. Ltd. of the 14th Bureau Group of China Railway, Jinan 272100, China)

Abstract: There is a wide range of layered strata in the mountainous areas of the western part of China. During the construction of underground tunnel chambers, the problem of large deformation is prominent, which seriously endangers the construction and operation safety of underground tunnel chambers. The purpose of this paper is to explore the construction scheme of the support of tunnels in the layered soft rock under high geo-stress, and the reasonable timing of the support. Taking Jianshan Tunnel in Gansu Province as the case, three supporting construction schemes are designed and three opportunities of support are considered in this paper. Furthermore, the tunnel deformation and supporting structure stress under various working conditions are calculated and analyzed by FLAC3D and compared with the actual monitoring results. The results show that: (1) Among the three support schemes, the third one has the most obvious effect on tunnel deformation control and makes the support stress more reasonable. (2) Considering that the inner lining is allowed to bear part of the deformation under the three support opportunities, the tunnel deformation and support stress are the most reasonable when the tunnel deformation reaches the limit displacement of 90%. (3) The results of numerical simulation are less than the actual monitored data, and the difference between them is within the acceptable range.

Key words: tunnel engineering; weak rock; inner lining; timing of construction; numerical simulation

收稿日期:2021-11-30

作者简介:刘建勋(1982-),男,高级工程师。

引文格式:刘建勋.高地应力互层软岩隧道支护方案与支护时机优化[J].高速铁路技术,2022,13(1):54-59.

LIU Jianxun. Support Schemes and Optimization of Support Timing for Tunnels in Interlayers of Soft Rock Under High Geo-stress[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(1):54-59.

我国西部山区地质构造较为复杂,其中不乏互层或夹层等层状软岩,如某隧道沿线地层中,砂岩与千枚岩互层地层占总长的 95% 以上^[1-2]。层状结构岩体,其产状有水平的或倾斜的,有单一的也有复杂多样的^[3-5]。层状岩体中层面为主要结构面,结构面沿层面产生错动带,导致层面之间的连接力弱于其他岩体,有显著的层状组合特征^[6-8]。深埋长大互层隧道的围岩初始地应力很高,变形量大,岩体的流变特性就更加的明显,增大了隧道修建的难度。

何永旺^[9]通过对比不同因素下隧道二次衬砌承载性能,得出当岩性较差时可采用大矢跨比的仰拱结构,同时为保证隧道稳定性建议采用侧压力系数(可选规范中的下限);黄雄军^[10]针对某铁路隧道二次衬砌结构病害,采用有限元软件 ANSYS 对二次衬砌受力和配筋进行模拟分析,得出拱顶部位的实际配筋量不满足构造配筋要求;田鹏^[11]以大梁隧道为背景,对高地应力条件下软岩隧道围岩压力作用规律及二衬受力特征进行研究,得出围岩压力呈现“两侧大,中间小”的分布规律,二次衬砌承担 45% ~ 70.3% 围岩压力;张新金^[12]等以北京地铁 10 号线三元桥站为例,从地表沉降和隧道结构内力两方面对隧道横通道开挖之前和之后施作二衬两种方案进行分析,最终得出车站施工过程中,站厅隧道二衬应在横通道开挖之前施作。

目前,国内关于高地应力的研究着重于施工技术和变形控制方面,关于二次衬砌施作时机的研究还较少。本文以甘肃尖山隧道为背景,通过数值模拟同时结合现场实际监测的方式,对比不同支护方案 and 不同二衬支护时机下隧道变形与支护结构受力规律,得到适用于高地应力互层软岩条件合理支护方案与支护时机,为相关工程提供借鉴。

1 工程背景

尖山隧道位于甘肃省白银市平川区大营水至水泉镇附近,穿越水泉尖山山脉。隧道起讫里程为 DK 109 + 780 ~ DK 115 + 750,全长 5.97 km,最大埋深约 519 m (DK 112 + 780),主要包括志留系下马沟营组变质砂岩夹千枚岩、砂岩夹片岩、板岩互层等,根据现场水压致裂法所测地应力,水平最大主应力 12.40 MPa,最大竖向主应力 11.46 MPa。本文主要以 DK 113 + 635 ~ DK 113 + 735 段为研究背景,该段软岩主要多为砂岩与千枚岩呈互层分布,层状倾角为 70° 左右,隧道通过此区域的长度为 100 m,采用三台阶 + 临时仰拱法开挖施工。

2 高地应力互层软岩隧道支护方案与时机研究

2.1 计算模型与计算参数

根据尖山隧道工程概况和设计要求,运用软件 ANSYS 建立隧道计算模型,运用软件 FLAC3D 对隧道的开挖及支护进行计算。模型在 X、Y、Z 3 个方向几何尺寸为 100 m × 80 m × 100 m,隧道采用三台阶 + 临时仰拱法施工,其计算模型图如图 1 所示。围岩物理力学参数和支护参数如表 1 所示。

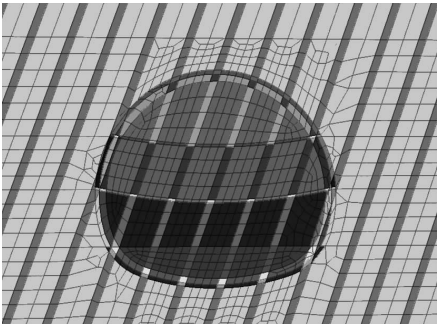


图 1 三台阶临时仰拱法示意图

表 1 围岩与支护参数表

围岩类型	弹性模量 E /GPa	泊松比	密度 /(kg/m^3)	摩擦角 /($^\circ$)	粘聚力 /MPa
砂岩	1.5	0.45	1 800	25	0.1
千枚岩	2.2	0.4	2 000	27	0.2
初期支护	15	0.2	2 200	—	—
二次衬砌	30	0.17	2 500	—	—
注浆	2.0	0.26	2 600	20	1.0

55

2.2 支护方案对比分析

支护方案有 3 种。方案一:原隧道断面支护设计方案为每根锚杆长 3.5 m,环向间距为 1 m,纵向间距为 1.2 m,弹性模量为 45 GPa,横截面积为 $1.57 \times 10^{-3} \text{ m}^2$,屈服轴力为 130 kN,呈梅花型布置。方案二:改变上台阶的锚杆长度,使用 6 m 长锚杆,加强对隧道的支护。方案三:在方案二的基础上改变上台阶锚杆的角度,为便于在具体施工中锚杆的打入,且能够更好的控制岩层的滑动,使上台阶左侧锚杆与层状岩层呈 90° 夹角,右侧锚杆对称分布,从而充分发挥锚杆的支护作用。各支护方案如表 2 所示。

表 2 3 种支护方案表

名称	锚杆长度	锚杆布置形式
方案一	全范围 3.5 m	梅花型
方案二	上台阶 6 m,下台阶 3.5 m	梅花型
方案三	上台阶 6 m,下台阶 3.5 m	上台阶锚杆垂直岩层,下台阶梅花型

(1)隧道变形分析

为减少边界对计算结果的影响,选取隧道中间断面($Y=40\text{ m}$)为监测断面,对隧道结构变形进行分析。不同锚杆支护方案下,隧道结构的竖向位移和水平收敛位移时呈曲线如图2和图3所示。

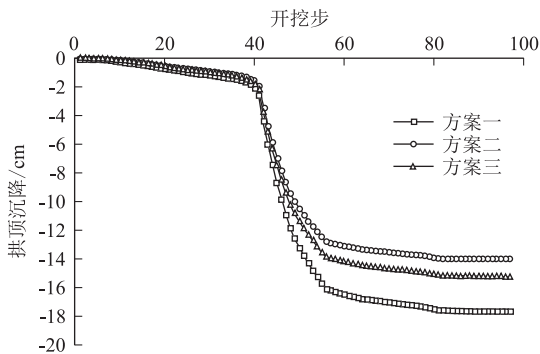


图2 不同方案拱顶沉降图

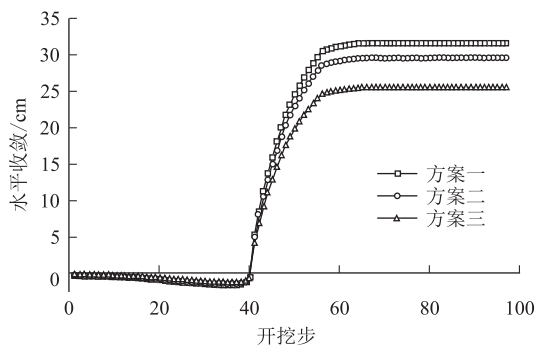


图3 不同方案水平收敛图

施工模拟过程中,需对围岩及支护结构应力位移分量等进行监测,考虑边界效应带来的影响,选取开挖段的中间断面($Y=40\text{ m}$)作为监测断面,测点布置如图4所示。

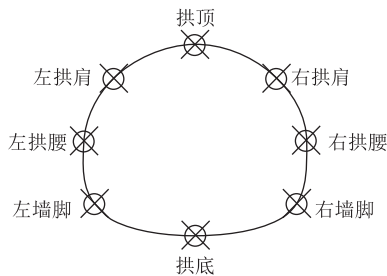


图4 模型测点布置图

从图2、图3可以看出,在控制隧道变形上,方案三>方案二>方案一。拱顶沉降方面,采用锚杆支护方案一时,拱顶沉降为 17.68 cm ,方案二和方案三的拱顶沉降分别为 14.05 cm 和 15.27 cm ,减少幅度分别为 20.53% 和 13.63% 。水平收敛方面,采用支护方案

一时,水平收敛为 31.73 cm ,方案二和方案三的水平收敛分别为 28.68 cm 和 23.55 cm ,减少幅度分别为 9.61% 和 25.78% 。

究其原因在于方案二在方案一的基础上,通过对上台阶每根锚杆从 3.5 m 增长至 6 m ,锚杆对围岩的控制区域增大,减少了更多的滑动面。较好的控制了隧道围岩的变形,尤其对隧道拱顶沉降量的控制。方案三通过调整锚杆与互层之间的夹角,可以更好地限制层理之间的滑动,对控制隧道的水平收敛有很好的效果。

(2)锚杆轴力分析

3种锚杆支护方案锚杆轴力分布如图5所示。

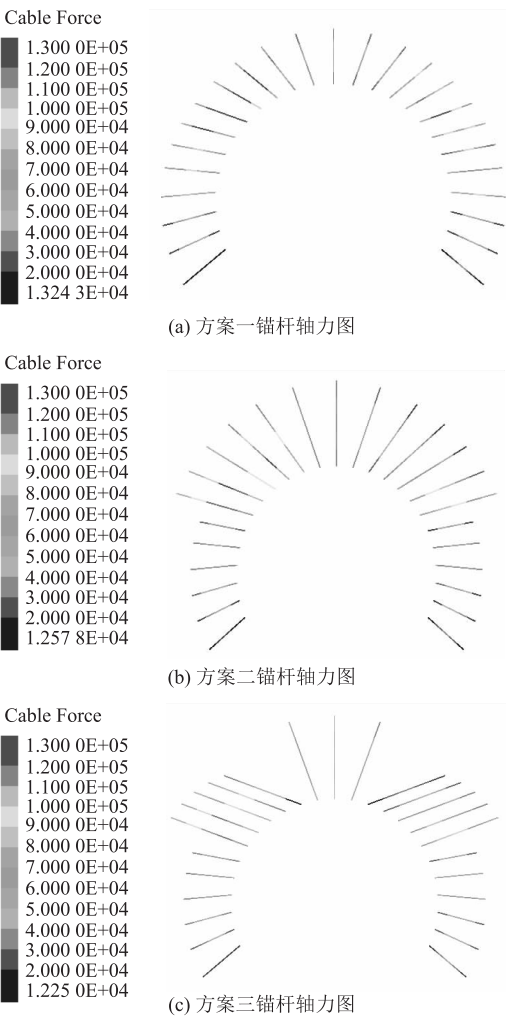


图5 3种支护方案锚杆轴力图(N)

在方案一锚杆支护方案中,最大锚杆轴力分布在左右拱肩部位,且左拱肩大于右拱肩。其中左拱肩有4根锚杆右拱肩有1根锚杆已达到锚杆的屈服轴力 130 kN ,当锚杆轴力达到屈服时,锚杆的支护能力减弱。这是由于高地应力互层软岩隧道在开挖过程中,

围岩互层之间滑动力明显,隧道位移变化大,因此锚杆受力也比较大,锚杆的最大轴力均发生在位移变形较大的区域。

当隧道锚杆支护方式采用方案二和方案三时,最大锚杆轴力也均分布在左右拱肩部位,且左拱肩大于右拱肩。其中当采用方案二时,左拱肩有 2 根锚杆达到屈服,当采用方案三时没有锚杆达到屈服,且左拱肩的锚杆整体上受力更加均匀,能够更加充分发挥锚杆的支护作用,有效的控制隧道围岩的变形。

2.3 二衬施做时机对比分析

对于高地应力互层软岩,围岩比较松散且自承力相对较低,隧道开挖以后围岩的变形比较明显,围岩的受力随着隧道的开挖也在不断地变化。因此,支护结构在隧道开挖时发挥着重要的作用,合理的支护时机可以发挥围岩的自承能力和支护结构的调节能力,既可以提高施工效率又可以节约成本。

为了比较准确分析隧道在施做初期支护以后,围岩的自承能力和初期支护结构的受力情况,通过模拟隧道变形达到极限位移(用 λ 表示)为 85%、90%、95% 3 种工况,根据不同支护时机对围岩的变形和支护结构的受力情况,对各方案计算结果进行对比,选出最佳方案。

(1)隧道变形分析

不同二衬支护时机隧道结构关键部位位移变化对比如表 3 所示。

表 3 不同二衬支护时机隧道变形表

位置	不同支护时机 λ				
	85%	90%	增幅/%	95%	增幅/%
拱顶沉降/mm	131.3	151.5	15.38	162.3	7.13
左拱肩沉降/mm	162.8	189.1	16.15	202.9	7.30
右拱肩沉降/mm	118.9	130.2	9.50	138.5	6.37
拱底隆起/mm	85.1	95.7	12.46	102.2	6.79

由表 3 可知,隧道关键部位的位移变化值随着 λ 的增大而增大。当 λ 从 85% 变化到 90% 时,隧道关键部位位移变化值的增长幅度在 9.5% ~ 16.15% 之间,当 λ 从 90% 变化到 95% 时,位移变化值增长幅度在 6.37% ~ 7.30% 之间。无论 λ 为何值,左拱肩增长幅度均为最大,高地应力互层软岩隧道的变形大于其他常规隧道,且软岩隧道的变形具有明显的流变特性,隧道的变形是评价围岩稳定性的一个重要指标。因此当 λ 值达到 85% 时,隧道的变形还在持续变化,但变化值比较小,当 λ 达到 95% 时,隧道的变形逐渐趋于稳定。

(2)初期支护结构受力分析

不同二衬支护时机隧道支护结构关键部位位移变

化对比受力如表 4 所示。

表 4 不同二衬支护时机隧道初期支护结构受力表

不同支护时机 λ /%	最大压应力/MPa	最大拉应力/MPa
85	15.94	0.09
90	17.34	0.13
95	20.76	0.25

由表 4 可知,随着 λ 值增大,即二衬支护的时间越晚,初期支护结构所受到的最大压应力和最大拉应力也越大。当 λ 从 85% 增加至 90% 时,最大压应力增大率为 8.78%,最大拉应力的增大率为 44.44%,当 λ 从 90% 增加至 95% 时,最大压应力增大率为 19.72%,最大拉应力的增大率为 92.31%。当 λ 从 90% 增加至 95% 时,初期支护受力增长的速度最快。最大拉应力值发生在拱脚附近,且初期支护结构拉应力值都未超过 C25 混凝土轴心抗拉强度。当 λ 为 90% 和 95% 时压应力值超过了 C25 混凝土极限抗压强度。究其原因在于二次衬砌支护的越晚,使得围岩的承受能力越低,荷载将主要由初期支护结构承担,因此初期支护结构所受到力越大。

(3)二次衬砌受力分析

3 种不同二衬支护时机工况下,对监测断面的二衬压力进行分析,二衬压力分布包络图如图 6 所示。

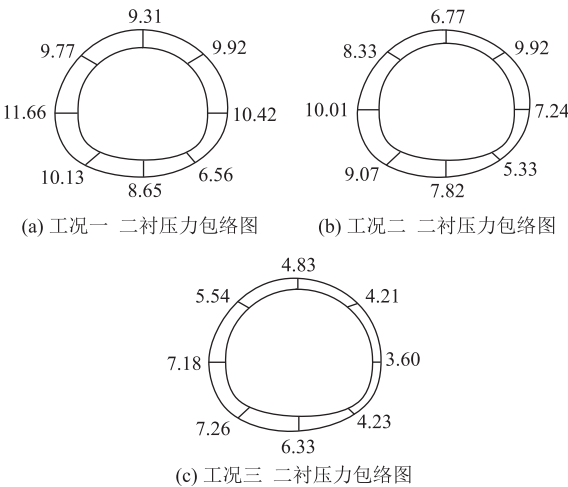


图 6 3 种工况下二衬压力分布包络图(MPa)

从图 6 可以看出,随着 λ 值增大,即二衬支护的时间越晚,二衬所受到的压力越小。且受到水平地应力的影响,两侧的压应力大于拱顶的压应力。当 λ 值为 85% 时,二次衬砌所受到的最大压应力为 11.66 MPa;当 λ 值为 90% 时,二次衬砌所受到的最大压应力为 10.01 MPa,最大压应力减小了 14.15%;当 λ 值为 95% 时,二次衬砌所受到的最大压应力为 7.18 MPa,最大压应力在上一个基础上减小了 28.27%。当 λ 从

90%增加至 95% 时,二衬所受到的压力减小的速度最快。

由于高地应力互层软岩隧道的特殊性,隧道的变形和支护结构的受力往往比其他隧道要大。由于二次衬砌施做的时间越晚,二衬所要承担的荷载就越小,但此时初期支护受力反而更大,则隧道的变形更大。高地应力互层软岩隧道由于围岩自身的承载能力比较差,隧道施工过程中变形比较大,二衬往往要承担一部分变形,因此二衬需要承担一部分压力,才能更好的控制隧道的变形。

3 监测数据对比分析

对每个监测断面的拱顶沉降和水平收敛进行监测,共 3 个监测点,如图 7 所示,每个监测断面的距离为 10 m。

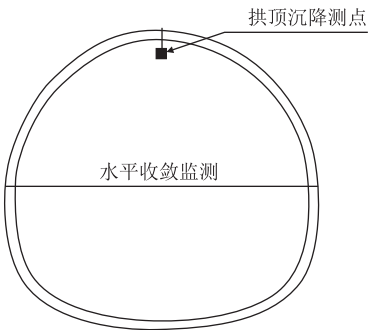


图 7 隧道变形监测点布置图

选取 DK 113 + 655 ~ DK 113 + 715 段进行监测,每个监测断面距离为 10 m,监测断面隧道变形统计如表 5 所示。

表 5 隧道变形监测数据表

断面里程	拱顶沉降		水平收敛	
	累计沉降值 /mm	平均速率 /(mm/d)	累计沉降值 /mm	平均速率 /(mm/d)
DK 113 + 655	86	2.4	193	7.4
DK 113 + 665	73	2.8	189	6.9
DK 113 + 675	102	3.5	224	8.4
DK 113 + 685	86	2.2	202	7.7
DK 113 + 695	95	3.1	207	7.2
DK 113 + 705	81	2.6	189	7.1
DK 113 + 715	79	1.9	172	6.8
平均值	86	2.64	196.57	7.36

由监测数据可以得出:

(1)隧道总体变形量较大,且水平收敛大于拱顶沉降,监测断面的平均累计拱顶沉降量达 86 mm,平均累计水平收敛值达 196.57 mm。

(2)根据表 5 现场隧道变形监测结果,对比图 4 数值模拟分析可知:数值模拟结果略小于现场监测结

果,但两者整体规律基本保持一致,表明数值模拟结果准确,具有一定的借鉴意义。

4 结论

本文研究了高地应力互层软岩隧道的变形控制措施,对不同的控制措施进行数值模拟计算,主要从锚杆支护方式及二衬施作时机等方面进行分析,对比在不同控制措施下隧道的变形和支护结构的受力情况,选取每种控制措施下最佳方案并得到以下结论:

- (1)通过对高地应力互层软岩隧道提出 3 种支护方案,对 3 种支护方案进行对比分析得出,采用方案一时,其中有 5 根锚杆达到了屈服,方案三可以更好的减少层理间的滑动,并且锚杆的受力也更加的均匀,可以充分发挥锚杆的支护作用,控制隧道的变形。
- (2)通过对 3 种二衬支护时机 λ 值(隧道变形达到极限变形的 85%、90% 和 95%)的对比分析得出,当 λ 值为 90% 时,使初期支护结构和二衬结构共同发挥作用,更好的控制高地应力互层软岩隧道的变形。
- (3)通过对 3 种二衬支护时机 λ 值(隧道变形达到极限变形的 85%、90% 和 95%)的对比分析得出,当 λ 值从 90% 增加至 95% 时,初期支护结构受力增长率与二次衬砌受力减小率均明显大于 λ 值从 85% 增加至 90% 时幅度,考虑到二衬需要承担一部分压力,才能更好的控制隧道的变形,故综合考虑建议 λ 值为 90%。
- (4)通过对比现场隧道变形的监测数据,并与数值模拟计算结果进行对比,结果表明虽然数值模拟结果略小于现场监测数据,但结果相对可靠且对施工具有一定指导意义。

参考文献:

[1] 邹飞. 汶马高速公路千枚岩板岩隧道瓦斯溢出机理及预测研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2017.

ZOU Fei. Wen Ma Expressway Tunnel Phyllite Slate Gas Overflow Mechanism and Prediction Research [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2017.

[2] 马俊杰, 李天斌, 孟陆波, 等. MSVM 在汶马高速公路隧道围岩分级中的应用 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2019, 46(3): 373 - 380.

MA Junjie, LI Tianbin, MENG Lubo, et al. Application of MSVM to the Classification of Surrounding Rock in Wenchuan-Barkam Highway Tunnels, Sichuan, China [J]. Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition), 2019, 46(3): 373 - 380.

[3] 李深圳, 沙鹏, 伍法权, 等. 层状结构岩体变形的各向异性特征

分析[J]. 岩土力学, 2018, 39(S2): 366–373.

LI Shenzhen, SHA Peng, WU Faquan, et al. Anisotropic Characteristics Analysis of Deformation of Layered Rock Mass[J]. Rock and Soil Mechanics, 2018, 39(S2): 366–373.

[4] 赵景彭. 节理倾角对层状岩体大断面隧道稳定性研究[J]. 铁道建筑, 2011, 51(9): 58–61.

ZHAO Jingpeng. Study on the Influence of Joint Inclination on the Stability of Large Section Tunnel in Layered Rock Mass [J]. Railway Engineering, 2011, 51(9): 58–61.

[5] 林森, 代树林. 层状岩体顺层滑动边坡破坏机制及锚固机制的研究[J]. 铁道建筑, 2010, 50(8): 97–99.

LIN Sen, DAI Shulin. Study on Failure Mechanism and Anchorage Mechanism of Bedding Sliding Slope of Layered Rock Mass [J]. Railway Engineering, 2010, 50(8): 97–99.

[6] 邓祥辉, 赵志清, 王睿, 等. 不同倾角和层厚的层状围岩隧道稳定性数值分析[J]. 西安工业大学学报, 2018, 38(3): 232–238.

DENG Xianghui, ZHAO Zhiqing, WANG Rui, et al. Numerical Analysis of the Stability of Layered Surrounding Rock Tunnel under the Conditions of Different Inclination and Thickness[J]. Journal of Xi'an Technological University, 2018, 38(3): 232–238.

[7] 李赤谋, 吴忠仕, 褚存, 等. 层状节理对软岩隧道的变形影响及对策研究[J]. 中外公路, 2020, 40(6): 219–222.

Li Chimou, Wu Zhongshi, Zhu Cun, et al. Research on Influence of Stratified Cleavage on Tunnels in Soft Rock and Its Countermeasure [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2020, 40(6): 219–222.

[8] 张敦福, 王相玉, 朱家明, 等. 偶应力对层状岩体结构面边界层效应的影响[J]. 岩土力学, 2012, 33(7): 2181–2188.

ZHANG Dunfu, WANG Xiangyu, ZHU Jiaming, et al. Influence of Couple Stress on Interfaces Boundary Layer Effect of Layered Rock Mass[J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(7): 2181–2188.

[9] 何永旺. V级围岩深埋双线铁路隧道衬砌结构设计影响因素分析[J]. 铁道建筑, 2017, 57(5): 58–61.

HE Yongwang. Lining Structure Design Influence Factor Analysis for Deep-Buried Double-Track Railway Tunnel in V-Class Surrounding Rock[J]. Railway Engineering, 2017, 57(5): 58–61.

[10] 黄雄军. 隧道二次衬砌安全评价及缺陷预防探讨[J]. 铁道建筑, 2018, 58(8): 67–70.

HUANG Xiongjun. Discussion on Safety Evaluation and Defect Prevention of Tunnel Secondary Lining[J]. Railway Engineering, 2018, 58(8): 67–70.

[11] 田鹏. 高地应力软岩隧道围岩压力及二衬受力特征研究[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(8): 108–112.

TIAN Peng. Study on Surrounding Rock Pressure and Mechanical Characteristics of Secondary Lining in Weak Rock Tunnel with High Geo-Stress[J]. Railway Standard Design, 2016, 60(8): 108–112.

[12] 张新金, 刘维宁, 彭智勇, 等. 盾构法与浅埋暗挖法结合建造地铁车站站厅隧道二衬施作时机的研究[J]. 中国铁道科学, 2012, 33(4): 25–30.

ZHANG Xinjin, LIU Weining, PENG Zhiyong, et al. Study on Construction Time for Installing Secondary Lining in Station Hall Tunnel during the Construction Process of Metro Station by Shield Method Combined with Shallow-Buried Tunneling Method[J]. China Railway Science, 2012, 33(4): 25–30.

(上接第 42 页)

在航空枢纽的基础上, 高度融合高速铁路、轨道、高速公路、快速路等多种交通方式。形成“空、铁、公”紧密衔接、集疏运可靠的综合交通体系, 发展新一代综合交通枢纽, 将更加有利于有客流便捷出行、物流顺畅流通。

参考文献:

[1] 中国民航工程咨询有限公司. 关于昆明长水国际机场改扩建工程预可行性研究报告的评估报告[R]. 北京: 中国民航工程咨询有限公司, 2021.

China Civil Aviation Engineering Consulting Co., Ltd. Evaluation Report on Pre-feasibility Study Report of Kunming Changshui International Airport reconstruction and expansion project [R]. Beijing: China Civil Aviation Engineering Consulting Co., Ltd., 2021.

[2] 中国国家铁路集团有限公司. 关于新建重庆至昆明高速铁路云贵的初步设计的批复[R]. 北京: 中国国家铁路集团有限公司, 2021.

China Railway. Approval of Preliminary Design of New-built

Chongqing-Kunming High Speed Railway (Yunnan-Guizhou section) [R]. Beijing: China Railway, 2021.

[3] 昆明市人民政府. 昆明市城市快速轨道交通建设规划修编[R]. 昆明: 昆明市人民政府, 2012.

Kunming Government. Revision of Kunming Urban Rapid Rail Transit Construction Plan[R]. Kunming: Kunming Government, 2012.

[4] 赵巍. 依托机场建设新一代城市综合交通枢纽[J]. 民航管理, 2014(2): 36–38.

ZHAO Wei. Relying on Airport to Build New-Generation Urban Integrated Traffic Hub[J]. Civil Aviation Management, 2014(2): 36–38.

[5] 李盈霖. 大型机场综合交通枢纽规划研究[J]. 综合运输, 2017, 39(9): 41–44.

LI Yinglin. Research on Large Airport-Based Comprehensive Transportation Hub Planning [J]. China Transportation Review, 2017, 39(9): 41–44.

[6] 张国华. 大型空港综合交通枢纽规划设计技术体系研究[J]. 城市规划, 2011, 35(4): 61–68.

ZHANG Guohua. Planning and Design Technique System of Large-Scale and Comprehensive Airport Transport Hub[J]. City Planning Review, 2011, 35(4): 61–68.