

贵安腾讯数据中心隧道群围岩岩石力学性质及质量分级研究

余跃新

中铁隧道集团二处有限公司, 河北 廊坊
Email: w426429@126.com

收稿日期: 2021年1月23日; 录用日期: 2021年2月15日; 发布日期: 2021年2月24日

摘要

岩体质量评价结果对岩土工程设计与施工具有重要的参考价值, 是岩土工程安全高效开展的重要保障。本文以贵安腾讯数据中心隧道群为工程实例, 通过开展声波测试和室内岩石力学试验, 分别对隧道群围岩的岩石力学性质和质量分级进行了研究。研究表明: 贵安腾讯数据中心隧道群中围岩的力学性质差异较大, 单轴抗压强度范围为14.5~51.3 MPa, 弹性模量范围为15.9~45.8 GPa; 隧道群围岩完整性较差, 完整性系数 K_v 变化范围为0.35~0.51, 大多数围岩处于较破碎状态~破碎状态; BQ岩体质量评价结果表明, 贵安腾讯数据中心隧道群围岩岩体质量为VI级岩体和V级岩体, 这为后续的隧道设计施工提供了重要的参考, 具有重要的研究意义。

关键词

贵安腾讯数据中心, 声波测试, 岩石力学性质, 岩体完整性, BQ岩体质量分级

Study on Rock Mechanical Properties and Quality Classification of Surrounding Rock of Tunnel Group in Gui'an Tencent Data Center

Yuexin Yu

China Railway Tunnel Group Erchu Co., Ltd., Langfang Hebei
Email: w426429@126.com

Received: Jan. 23rd, 2021; accepted: Feb. 15th, 2021; published: Feb. 24th, 2021

Abstract

The results of rock mass quality evaluation have important reference value for the design and construction of geotechnical engineering, and it is an important guarantee for the safe and efficient development of geotechnical engineering. In this paper, taking the tunnel group of Gui'an Tencent data center as an example, the rock mechanical properties and quality classification of the surrounding rock of the tunnel group are studied respectively through the acoustic test meeting and indoor rock mechanics test. The results show that: the mechanical properties of surrounding rock in the tunnel group of Gui'an Tencent data center are quite different; the uniaxial compressive strength range is 14.5~51.3 Mpa; the elastic modulus range is 15.9~45.8 GPa; the integrity of surrounding rock of the tunnel group is poor; the integrity coefficient K_v range is 0.35~0.51; most of the surrounding rock is in a relatively broken state~broken state. BQ rock quality evaluation results show that the surrounding rock mass quality of data center tunnel group is grade VI rock mass and grade V rock mass, which provides an important reference for the subsequent tunnel design and construction, and has important research significance.

Keywords

Gui'an Tencent Data Center, Acoustic Testing, Mechanical Properties of Rock, Rock Mass Integrity, BQ Rock Mass Quality Classification

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

岩体质量评价结果对岩土工程设计与施工具有重要的参考价值，是岩土工程安全高效开展的重要保障。许多学者在这方面进行了大量的研究，牛文林等[1]对岩爆隧道中的岩体质量评价方法进行了优化，并将优化后的岩体质量评价方法应用于四川泥巴山隧道。结果表明，优化的岩体质量分级结果与实际情况更吻合。沙鹏等[2]采用 Jaeger-Donath 与 Mogi-Coulomb 强度准则提出针对层状岩体的结构面产状修正系数 K_2 以及初始地应力状态修正系数 K_3 的计算公式，并对木寨岭铁路隧道层状围岩进行了岩体质量评价。马世伟等[3]将人工智能算法引入岩体质量分级中，建立了基于智能动态分级的 KNN 方法的岩体质量评价体系，并在延庆 - 崇礼高速公路中进行应用，结果表明，与传统的 BQ 岩体质量评价结果相比，此方法的准确率高达 90%，极大提高了施工效率。葛丽娜[4]等采用数字摄影测量技术对夏甸金矿矿区的结构面进行快速识别，并根据岩体质量指标 BQ 值进行了岩体质量分级评价。张超等[5]以蚕庄金矿为工程背景，推导了能反映岩体质量评价的分形维数 D ，并与现有的岩体质量分级方法进行对比。结果表明，Q 系统分级结果与分形维数 D 的分级结果最接近。谭文辉等[6]鉴于深部地下工程“高地应力、高温、高渗透压”的特点，对 Q 系统分级方法进行了修正，建立了适合深部工程岩体的质量评价方法。陈卫忠等[7]在综合考虑了隧道埋深、跨度、围岩强度应力比、地下水、岩体结构面等影响岩体挤压变形的多种因素下，研究了一种新的适用于国内岩体基本质量指标修正值[BQ]的挤压变形预测方法。研究成果对高地应力软岩隧道确定支护强度及提前采取超前加固措施具有十分重要的指导作用。王章琼等[8]以鄂西北地区武当群片岩为例，分析了武当群片岩水敏性、各向异性、构造偏压、水平构造应力等特征，建立了考

考虑岩块强度、岩体完整性、地下水、地应力、片理面产状等因素的修正 Q 分级方法，并在十房高速通省隧道进行应用。结果表明，修正的 Q 分级结果与围岩的实际质量等级基本一致。

本文通过开展声波测试和岩样力学试验等测试，对贵安腾讯数据中心隧道群围岩的岩石力学性质进行探讨，并结合现场的水文地质调查结果，应用 BQ 岩体质量分级体系对其进行岩体质量分级研究。研究结果对贵安腾讯数据中心隧道群的设计与施工具有重要的意义。

2. 工程背景

贵安腾讯数据中心位于贵安新区马场科技场内[9] [10]，共设置 8 条隧道，分别为 A1 隧道、B1-B6 隧道和油库隧道，图 1 为隧道群地理位置图。

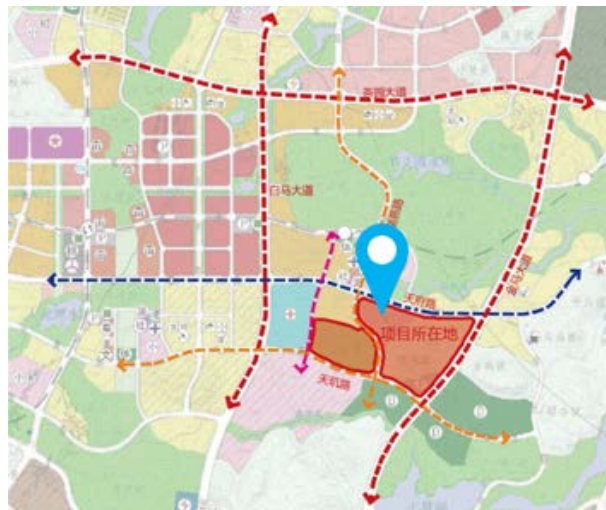


Figure 1. Geographic location map of tunnel group in Gui'an Tencent data center

图 1. 贵安腾讯数据中心隧道群地理位置图

3. 岩石力学性质研究

3.1. 岩样制备

根据《水利水电工程岩石试验规程》中的规定[11]，对贵安腾讯数据中心隧道群围岩进行钻孔取芯，对得岩芯进行进一步加工，保证试样两端面不平整度误差不大于 0.05 mm。试样编号及详细信息如表 1 所示。

Table 1. Sample number and details

表 1. 试样编号及详细信息

试样编号	取样位置	岩性	岩石尺寸(mm)		密度(g/cm ³)	试验类别
			高	直径		
1#	A1 隧道	白云岩	140.60	70.22	2.71	单轴压缩
2#	油库隧道	白云岩	142.46	70.20	2.72	
3#	B1 隧道	白云岩	140.88	70.22	2.70	
4#	B2 隧道	白云岩	138.82	68.92	2.72	
5#	B3 隧道	白云岩	140.96	69.72	2.71	

Continued

6#	B3 隧道	白云岩	140.34	70.00	2.71	
7#	B3 隧道	泥质白云岩	138.24	69.44	2.66	
8#	B4 隧道	泥质白云岩	70.22	70.52	2.60	
9#	B5 隧道	泥质白云岩	68.44	69.64	2.56	单轴压缩
10#	B5 隧道	泥质白云岩	72.12	69.98	2.63	
11#	B6 隧道	泥质白云岩	68.34	69.48	2.58	
12#	B6 隧道	泥质白云岩	68.14	68.66	2.61	
13#	B1 隧道	白云岩	139.66	71.12	2.72	
14#	B1 隧道	白云岩	141.02	70.84	2.70	
15#	B2 隧道	白云岩	137.84	70.34	2.71	
16#	B2 隧道	白云岩	138.36	69.52	2.71	直剪试验
17#	B3 隧道	白云岩	140.72	71.40	2.72	
18#	B3 隧道	白云岩	138.82	70.60	2.72	

3.2. 岩样力学试验结果及分析

分别对表 1 中的试样进行相对应的试验，其中单轴压缩试验设备为 100 吨万能材料试验机，加载方式为位移加载，加载速率为 0.1 mm/min。直剪试验设备为直剪仪，加载方式为位移加载，加载速率为 0.8 mm/min。表 2 和表 3 对试样破坏时的信息进行了统计，并计算了表征岩石变形力学特征参数的弹性模量、泊松比、粘结力和内摩擦角等。其中弹性模量的计算方法为岩石应力-应变曲线中线弹性阶段直线的斜率，图 2 是弹性模量计算示意图，图 3 和图 4 是计算得到的试验结果。

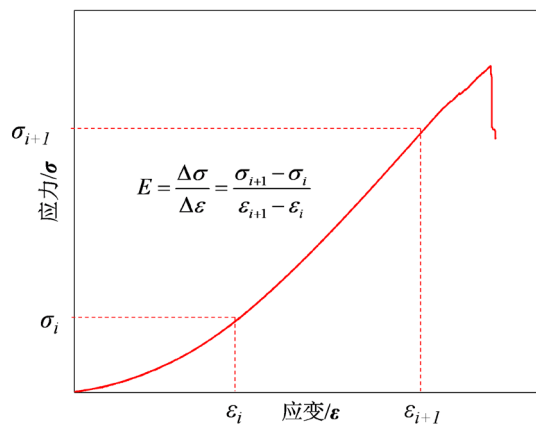


Figure 2. Calculation diagram of elastic modulus

图 2. 弹性模量计算示意图

Table 2. Uniaxial compression test results

表 2. 单轴压缩试验结果

试样编号	破坏荷载/KN	单轴抗压强度/MPa	弹性模量/GPa	泊松比
1#	171.5	42.6	39.4	0.25
2#	207.7	51.3	45.8	0.22
3#	151.2	38.4	36.9	0.27

Continued

4#	176.7	47.4	44.2	0.23
5#	158.0	41.4	38.2	0.26
6#	172.1	44.2	40.5	0.24
7#	117.8	31.1	28.4	0.26
8#	67.8	17.4	22.6	0.27
9#	55.3	14.5	15.9	0.30
10#	86.7	22.6	20.3	0.28
11#	57.5	15.2	18.1	0.29
12#	68.0	18.4	16.6	0.30

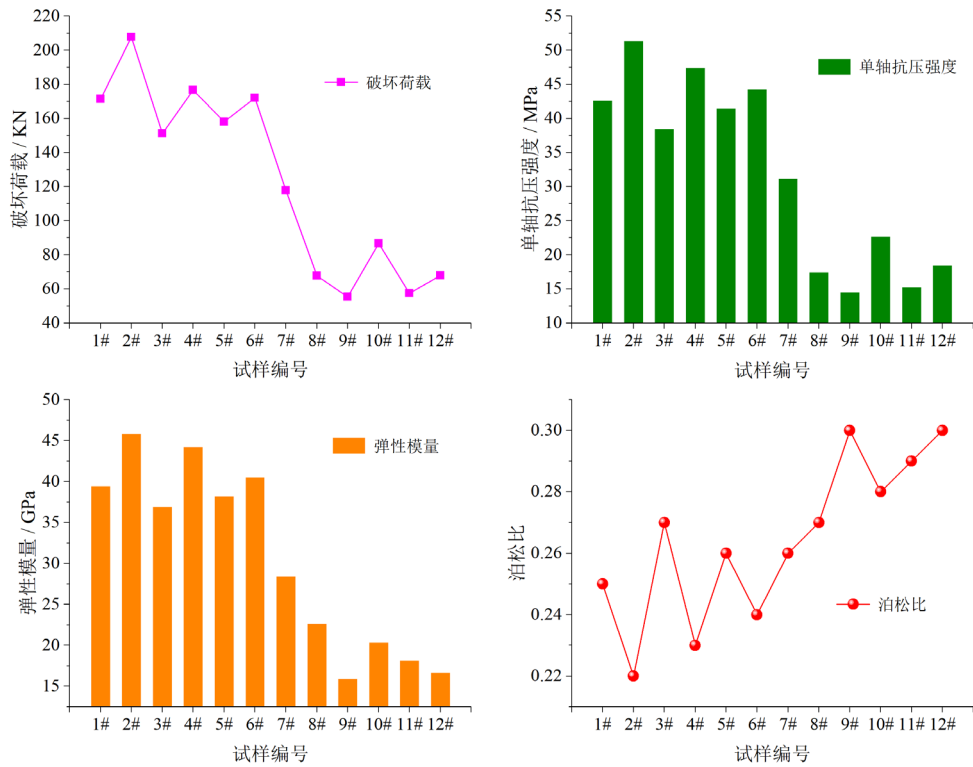


Figure 3. Calculation results of uniaxial compression test
图 3. 单轴压缩试验计算结果

Table 3. Direct shear test results
表 3. 直剪试验结果

试样编号	法向荷载 /KN	剪切荷载 /KN	法向应力 /MPa	剪应力 /MPa	内摩擦角 ϕ /°	粘结力 C/MPa
13#	10.0	20.4	2.519	5.14	55.8	1.46
14#	20.0	35.9	5.080	9.12		
15#	30.0	49.8	7.729	12.83		
16#	40.0	64.2	10.544	16.92		
17#	50.0	78.1	12.488	19.51		
18#	60.0	95.2	15.327	24.32		

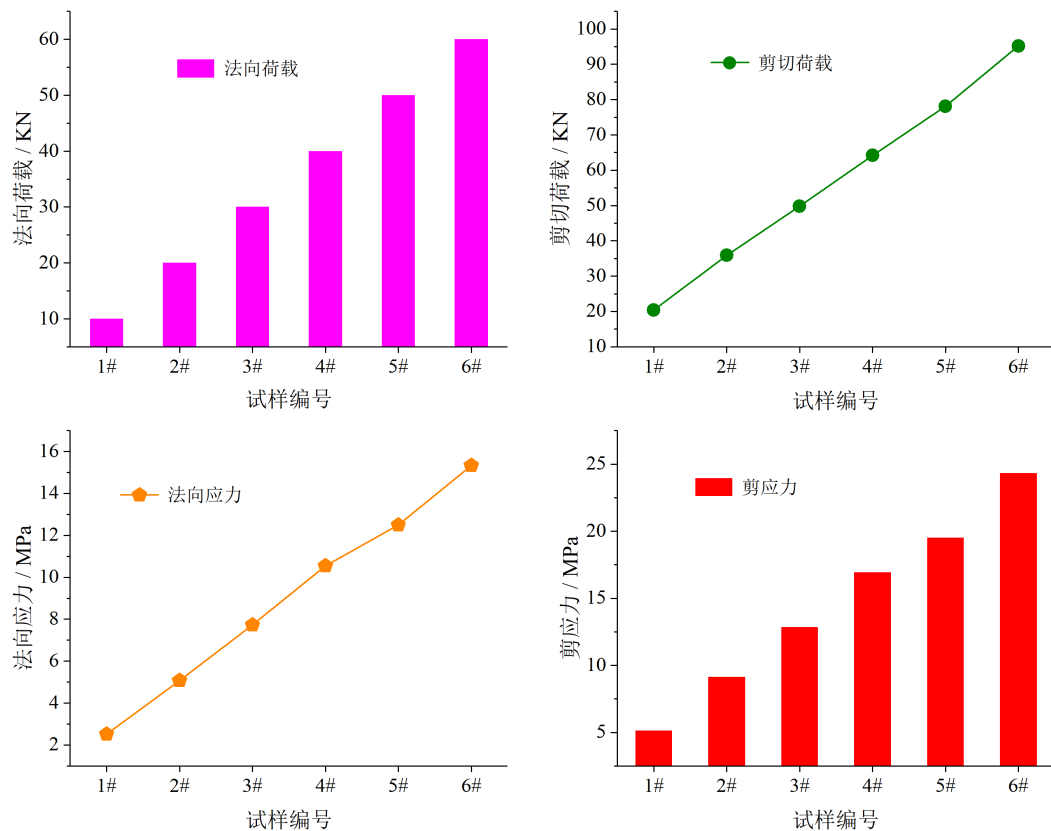


Figure 4. Calculation results of direct shear test
图 4. 直剪试验计算结果

由岩样力学实验结果可知, 贵安腾讯数据中心隧道群中围岩的力学性质差异较大, 单轴抗压强度范围为 14.5~51.3 MPa, 弹性模量范围为 15.9~45.8 GPa, 对隧道的开挖要求较高, 需要及时根据隧道开挖出的工程情况进行炸药单耗设计, 否则极易容易造成超挖或欠挖情况发生。

3.3. 岩石完整性测试

波速测试是岩土工程勘察工作的重要组成部分, 对岩体进行波速测试可计算岩体的完整性系数, 其计算方法如下所示:

$$K_v = \left(\frac{V_{ml}}{V_{cl}} \right)^2 \quad (1)$$

式中, V_{ml} 为岩体中弹性波纵波传播速度, V_{cl} 为岩样中弹性波纵波传播速度, K_v 为岩体的完整性系数。表 4 为岩体完整性评价表。

Table 4. Evaluation table of rock mass integrity coefficient
表 4. 岩体完整性系数评价表

岩体完整性系数 K_v	>0.75	0.75~0.55	0.55~0.35	0.35~0.15	<0.15
完整程度	完整	较完整	较破碎	破碎	极破碎

本次测试中共对贵安腾讯数据中心隧道群的 26 个钻孔进行了声波测试, 测试结果如表 5 所示。

Table 5. Analysis results of rock mass acoustic wave test
表 5. 岩体声波测试分析结果表

孔号	项目	参数		测试位置
		平均波速 V_p (m/s)	完整系数 K_v	
ZK1	岩体	2763	0.42	A1 隧道进口
	岩样	4272		
ZK4	岩体	2607	0.37	A1 隧道竖井
	岩样	4272		
ZK7	岩体	2570	0.36	B1 隧道进口
	岩样	4272		
ZK3	岩体	2668	0.39	B1 隧道 1#竖井
	岩样	4272		
ZK5	岩体	2764	0.42	B1 隧道 2#竖井
	岩样	4272		
ZK12	岩体	2741	0.41	B1 隧道出口
	岩样	4272		
ZK13	岩体	2649	0.38	B2 隧道进口
	岩样	4272		
ZK15	岩体	2624	0.38	B2 隧道 1#竖井
	岩样	4272		
ZK16	岩体	2640	0.38	B2 隧道 2#竖井
	岩样	4272		
ZK18	岩体	2791	0.43	B2 隧道出口
	岩样	4272		
ZK19	岩体	2989	0.49	B3 隧道进口
	岩样	4272		
ZK23	岩体	3004	0.49	B3 隧道 1#竖井
	岩样	4272		
ZK22	岩体	2745	0.41	B3 隧道 2#竖井
	岩样	4272		
ZK25	岩体	3044	0.51	B3 隧道出口
	岩样	4272		
ZK26	岩体	2758	0.42	B4 隧道进口
	岩样	4272		
ZK29	岩体	2838	0.44	B4 隧道 1#竖井
	岩样	4272		
ZK30	岩体	3042	0.51	B4 隧道 2#竖井
	岩样	4272		
ZK32	岩体	2660	0.39	B4 隧道出口
	岩样	4272		
ZK33	岩体	2576	0.36	B5 隧道进口
	岩样	4272		

Continued

ZK38	岩体	2960	0.48	B5 隧道 1#竖井
	岩样	4272		
ZK39	岩体	2891	0.46	B5 隧道 2#竖井
	岩样	4272		
ZK41	岩体	2544	0.35	B5 隧道出口
	岩样	4272		
ZK6	岩体	2653	0.39	B6 隧道起点
	岩样	4272		
ZK8	岩体	2752	0.41	B6 隧道终点
	岩样	4272		
ZK34	岩体	2752	0.41	油库隧道起点
	岩样	4272		
ZK35	岩体	2967	0.48	油库隧道终点
	岩样	4272		

由表 5 可知, 贵安腾讯数据中心隧道群围岩的完整性较差, 大多数处于较破碎状态~破碎状态, 没有完整或较完整状态岩体, 这为后续岩体质量评价提供了必要的准备工作。

4. 围岩质量分级研究

4.1. BQ 岩体质量评价体系

由《工程岩体分级标准》(GBT50218-2014) [12]可知, BQ 方法主要考虑了岩石坚硬程度和岩体完整程度对围岩稳定的影响, 用两个指标计算出围岩基本质量指标 BQ 值。岩体基本质量指标 BQ 按下式计算:

$$BQ = 90 + 3\sigma_c + 250K_v \quad (2)$$

式中: σ_c 为饱和岩石的单轴抗压强度; K_v 为岩体完整性系数。BQ 岩体质量评价结果如表 6 所示。

注意: 在使用时, 应遵守两点限制条件: ① $\sigma_c > 90K_v + 30$ 时, 应以 $\sigma_c = 90K_v + 30$ 代入上式计算 BQ 值; ② $K_v > 0.04\sigma_c + 0.4$ 时, 应以 $K_v = 0.04\sigma_c + 0.4$ 代入上式计算 BQ 值。

Table 6. Basic quality classification standards of rock mass

表 6. 岩体基本质量分级标准

基本质量级别	岩体基本质量的定性特征	岩体的基本质量指标 BQ
I	岩石极坚硬, 岩体完整	>550
II	岩石极坚硬~坚硬, 岩体较完整; 岩石较坚硬, 岩体完整。	550~450
III	岩石极坚硬~坚硬, 岩体较破碎; 岩石较坚硬或软硬互层, 岩体较完整; 岩石为较软岩, 岩体完整。	450~350
IV	岩石极坚硬~坚硬, 岩体破碎; 岩石较坚硬, 岩体较破碎~破碎; 岩石较软或软硬互层软岩为主, 岩体较完整~较破碎; 岩石为软岩, 岩体完整~较完整。	350~250
V	较软岩, 岩体破碎; 软岩, 岩体较破碎或破碎; 全部极软岩及全部极破碎岩。	<250

4.2. 岩体质量评结果

将前面得到的岩石力学参数结果和岩体完整性系数结果分别代入 BQ 岩体质量评价体系, 便可得到贵安腾讯数据中心隧道群的岩体质量评价结果。表 7 为贵安腾讯数据中心隧道群岩体质量评价结果的详细信息。

Table 7. Basic quality classification standards of rock mass

表 7. 贵安腾讯数据中心隧道群岩体质量分级结果

隧道名称	单轴抗压强度 R_c/MPa	完整性系数 K_v	BQ 值	地下水影响 修正系数 K_1	软弱结构面产状影响 修正系数 K_2	修正 BQ 值	岩体质量 等级
A1 隧道	42.6	0.37~0.42	310.3~322.8	0.4	0.2	250.3~262.8	VI
B1 隧道	38.4	0.36~0.42	295.2~310.2	0.42	0.19	234.2~249.2	V
B2 隧道	47.4	0.38~0.43	327.2~339.7	0.44	0.23	260.2~272.7	VI
B3 隧道	38.9	0.41~0.51	309.2~334.2	0.44	0.21	244.2~269.2	V
B4 隧道	17.4	0.39~0.51	239.7~269.7	0.46	0.25	168.7~198.7	V
B5 隧道	18.55	0.35~0.48	233.2~265.6	0.44	0.23	166.2~198.6	V
B6 隧道	16.8	0.39~0.41	237.9~242.9	0.42	0.24	171.9~176.9	V
油库隧道	51.3	0.41~0.48	346.4~363.9	0.48	0.24	274.4~291.9	VI

由表 7 岩体质量分级结果可知, 贵安腾讯数据中心隧道群围岩岩体质量为 VI 级岩体和 V 级岩体, 其中 A1 隧道、B2 隧道和油库隧道为 VI 级岩体, B1 隧道、B3 隧道、B4 隧道、B5 隧道和 B6 隧道为 V 级岩体, 这为隧道的设计与施工提供了重要的参考, 具有重要的参考价值。

4.3. 工程应用意义

鉴于贵安腾讯数据中心隧道圈的岩体质量情况, 特对隧道开挖提出了以下两点建议:

- 1) 隧道应早进洞、晚出洞, 浅埋段尽量以明洞形式通过, 减少边仰坡开挖。
- 2) 隧道围岩为可溶岩, 岩溶为微发育。隧道开挖过程中可能揭露隐伏岩溶, 溶洞易发生涌水、突泥及坍塌, 施工中应加强超前地质预报工作。

5. 结论

本文通过对贵安腾讯数据中心隧道群围岩开展了声波测试和室内岩石力学试验, 对岩石的力学性质进行了研究, 并运用 BQ 岩体质量评价体系对其进行岩体质量评价工作, 主要得到以下结论:

- 1) 贵安腾讯数据中心隧道群中围岩的力学性质差异较大, 单轴抗压强度范围为 14.5~51.3 MPa, 弹性模量范围为 15.9~45.8 GPa, 这需要在隧道施工时及时调整炸药单耗参数, 否则易造成超挖或欠挖情况发生;
- 2) 声波测试结果表明, 贵安腾讯数据中心隧道群围岩的完整性较差, 完整性系数 K_v 变化范围为 0.35~0.51, 大多数围岩处于较破碎状态~破碎状态;
- 3) BQ 岩体质量评价结果表明, 贵安腾讯数据中心隧道群围岩岩体质量为 VI 级岩体和 V 级岩体, 这为后续隧道设计施工提供了重要参考。

参考文献

- [1] 牛文林, 李天斌. 岩爆隧道岩体质量评价的 BQ 法优化[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2015, 42(6): 658-664.

-
- [2] 沙鹏, 赵逸文, 高书宇, 等. 隧道层状岩体质量评价的 BQ 分级改进[J]. 工程地质学报, 2020, 28(5): 942-950.
- [3] 马世伟, 李守定, 李晓, 等. 隧道岩体质量智能动态分级 KNN 方法[J/OL]. 工程地质学报: 1-10 [2021-01-10]. <http://www.gcdz.org/article/doi/10.13544/j.cnki.jeg.2019-406>
- [4] 葛丽娜, 易富, 王涛. 基于数字摄影测量的结构面信息表征及应用研究[J]. 计算力学学报, 2020, 37(5): 616-622.
- [5] 张超, 宋卫东, 付建新. 分形理论在岩体质量评价中的研究[J]. 矿业研究与开发, 2020, 40(2): 71-75.
- [6] 谭文辉, 武洋帆, 刘景军, 等. 深部岩体质量分级 Q 系统的改进[J]. 中国矿业, 2020, 29(2): 161-165.
- [7] 陈卫忠, 田云, 王学海, 等. 基于修正[BQ]值的软岩隧道挤压变形预测[J]. 岩土力学, 2019, 40(8): 3125-3134.
- [8] 王章琼, 晏鄂川, 王亚军. 基于修正 Q 值的武当群片岩岩体质量分级方法研究[J]. 现代隧道技术, 2018, 55(1): 65-70.
- [9] 李晓军, 李栋, 王子茂, 等. 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.
- [10] 王子茂, 郭红静, 李晓军. 特大断面浅埋隧道围岩变形控制技术研究[J]. 土木工程, 2020, 9(1): 17-26.
- [11] 长江水利委员会长江科学院. SL2645-2001 水利水电工程岩石试验规程[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [12] 蔡美峰, 何满朝, 刘东燕. 岩石力学与工程[M]. 北京: 科学出版社, 2002.