

公路隧道围岩动态分级方法研究

曾杰¹, 靳晓光¹, 高永², 张强³, 蒋阳⁴

(1. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 2. 同济大学 土木工程学院, 上海 200333;
3. 成都理工大学 环境与土木工程学院, 成都 610059; 4. 重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074)

摘要: 由于地质条件的复杂多变以及勘察方法和技术缺陷等原因, 导致在勘察设计阶段的公路隧道围岩分级与实际施工阶段的围岩分级差异很大, 应该寻求动态的对公路隧道围岩分级进行描述的定量评价方法, 以确保隧道围岩和支护结构体系在施工和运行过程中的稳定性。通过对走马岭隧道现场进行详细地质调查, 采用多变量分析法对走马岭隧道围岩进行了动态分级。结果表明, 隧道施工阶段围岩分级结果与原来勘察设计部门的结果有较大出入; 隧道施工阶段围岩分级结果更加真实, 正确反映了围岩的稳定性。

关键词: 公路隧道; 围岩分级; 动态分级

中图分类号: U452.1+2 文献标志码: A 文章编号: 1006-7329(2007)06-0076-04

Dynamic Classification of the Highway Tunnel Surrounding Rock

ZENG Jie¹, JIN Xiao-guang¹, GAO Yong², ZHANG Qiang³, JIANG Yang⁴

(1. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045; 2. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai, 200333; 3. College of Civil Engineering and Environment Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059; 4. College of civil Engineering and Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074)

Abstract: Numerous differences exist between the classification results in the investigation and design phases and those observed during construction. Complex geological conditions, inadequate investigative methods and technological limitations cause most of these differences. A quantitative assessment method for surrounding rock dynamic classification is introduced in order to assure stability in the surrounding rock and the supporting structures during construction and operation. A dynamic classification method based on the detailed geological investigation was used in the Zoumaling, Chongqing, China tunnel construction. The classification results show that the classification errors in the investigation and design phases are great. It also shows that the classification results in the construction phase accurately reflect the stability of surrounding rock.

Keywords: highway tunnel; surrounding rock classification; dynamic classification

由于地质条件的复杂多变, 也由于勘察方法和技术缺陷等原因, 勘察设计阶段的公路隧道围岩分级与实际施工阶段的围岩分级差异很大。如果按照设计进行施工, 可能会出现两种情况: (1) 实际围岩质量比设计阶段预计的围岩质量好, 设计的支护比实际需要的支护强, 如果仍按照设计支护施工, 就会造成巨大浪费; (2) 实际围岩质量比设计阶段预计的围岩质量差, 设计的支护比实际需要的支护弱, 如果仍按照设计支护施工, 就不安全, 可能造成巨大的人员伤亡和财产损失, 并影响工期。要避免这两种情况发生, 就必须建立

公路隧道施工阶段的围岩动态分级^{[1]~[3]}。

1 公路隧道围岩分级方法

以走马岭隧道为依托工程, 采用《公路隧道设计规范》(JTJ D70—2004) 中围岩分级([BQ]分级)、《水利水电工程地质勘察规范》(GB50287—99) 给出的分级方法(简称“HC 分级法”)、Bieniawski 提出的地质力学分级(简称“RMR 分级法”) 对围岩进行动态分级^{[4]~[5]}。

1) [BQ] 分级: [BQ] 分级标准是一种分两步进行

* 收稿日期: 2007-06-20

作者简介: 曾杰(1981—), 男, 河南南阳人, 博士生, 主要从事隧道稳定性研究。

的工程岩体分级方法。第一步为岩体基本质量分级,依据岩石的坚硬程度和岩体的完整程度两个基本控制要素确定“岩体基本质量”BQ 值,进行初步分级;第二步为工程岩体详细定级,考虑岩体质量的影响因素,如地下水状态、岩体初始应力状态、结构面的方向和组合等,对岩体的基本质量进行修正,得到详细定级。按照《公路隧道设计规范》(JTG D70—2004)的要求,围岩基本质量指标 BQ 应根据分级因素的定量指标 R_c 值和 K_v 值按式 1 计算:

$$BQ = 90 + 3R_c + 250K_v \quad (1)$$

式中: R_c —采用实测的岩石点荷载强度指数 $I_{S(50)}$ 的换算值。 R_c 按式 2 计算:

$$R_c = 22.82I_{S(50)}^{0.75} \quad (2)$$

K_v 值一般用弹性波探测值计算:

$$K_v = (V_{pm}/V_{pr})^2 \quad (3)$$

式中: V_{pm} —岩体岩石的弹性纵波速度(km/s), V_{pr} —岩石的弹性纵波速度(km/s)。围岩基本质量指标修正值[BQ]按式 4 计算:

$$[BQ] = BQ - 100(K_1 + K_2 + K_3) \quad (4)$$

式中: K_1 —地下水影响修正系数; K_2 —主要软弱结构面产状影响修正系数; K_3 —初始应力状态影响修正系数。

2)“HC 分类法”:《水利水电工程地质勘察规范》(GB50287—99),围岩工程地质分级以控制围岩稳定的岩石强度、岩体完整程度、结构面状态、地下水和主要结构面产状 5 项因素之和的总评分为基本判据,围

岩强度应力比为限定判据。5 项分类因素中,分为基本因素和修正因素。基本因素中,岩石强度以单轴饱和抗压强度 R_b 为定量指标,岩体完整程度以完整性系数 K_v 为定量指标。修正因素中,地下水评分按干、渗水或滴水,线流与涌水四种情况,结合基本因素总评分获得;主要结构面产状评分按其产状与洞轴线夹角取得,其处理方法与《公路隧道设计规范》(JTG D70—2004)类似,因此两种方法具有很好的兼容性。

3)RMR 分级:RMR 分级与水利水电围岩工程地质分级一样,也是一种定量与定性相结合的多参数综合分级法。根据地质描述和试验成果进行评分后,相加获得总评分(RMR)。

RMR 分级亦是岩石强度、岩体完整程度和结构面状态作为基本因素,岩石强度的量化指标亦采用岩石单轴饱和抗压强度,岩体完整程度则通过岩石质量指标 RQD 值与结构面间距量化。地下水状态在该分类中作为基本因素考虑,仅结构面产状与工程轴线关系作为分类修正因素。

2 走马岭隧道工程地质概况^[6]

区域上属新华夏系一级构造四川沉降带之川东北缘万县弧形构造。。隧道横穿方斗山山脉中段,山岭、槽谷走向为 NNE~SSW。走马岭隧道依次穿越的地层有侏罗系下统珍珠冲组(J_1zh),三叠系上统须家河组(T_3xj),中统巴东组(T_2b),下统嘉陵江组(T_1j)、大冶组(T_1d)(地表未出露),第四系零星分布(如图 1)。

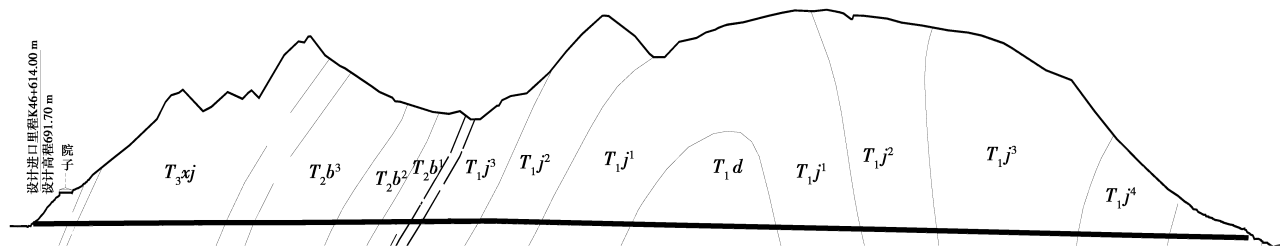


图 1 工程地质纵断面图

3 围岩动态分级的基本指标

3.1 岩石强度

表 1 岩石饱和单轴抗压强度

岩石类型	石灰岩	砂岩	泥灰岩	泥质砂岩	钙质泥岩	砂质泥岩	泥岩
饱和单轴抗压强度 /MPa	65.02	38.56	33.87	20.15	15.31	7.58	7.22

砂岩,砂质泥岩,钙质泥岩,泥灰岩和灰岩。岩石饱和单轴抗压强度是根据《走马岭隧道详细工程地质勘察报告》工程地质部分“岩石物理力学试验成果表和现场及室内试验数据”,并参照现场点荷载试验成果,确定出不同地段岩石饱和单轴抗压强度(表 1)。

3.2 岩体结构特征

走马岭隧道属地质构造影响较严重区域,据节理测量点资料统计,多数测点节理较发育,少数属节理不发育。区内以构造节理为主,并见有少量风化、卸荷裂隙。通过 500 余条构造节理裂隙的调查统计分析(表 2),构造节理主要分为 8 组。

隧道轴线穿越地层的主要岩性为砂岩、泥岩,泥质

表 2 走马隧道构造节理裂隙统计

编号	构造节理裂隙产状	张开度情况	延伸度 /m	发育情况
1	NW70~90°/	微张~	0.3~4	一般发育
	NE∠60~80°	闭合		
2	NW10~30°/	微张~	0.2~5	很发育
	SW ∠52~79°			
3	NW32~42°/	多张开	0.5~8	很发育
	SW ∠64~81°			
4	NE30~50°/	微张	0.5~5	一般发育
	SE∠14~35°			
5	NE40~50°/	微张~	0.5~5	一般发育
	NW ∠25~39°			
6	NE25~40°/	张开	0.6~15	很发育
	NW ∠55~67°			
7	NE25~42°/	微张~	0.5~6	一般发育
	SE∠40~50°			
8	NE25~30°/	微张~	0.5~6	一般发育
	NW ∠40~58°			

1) 由于缺乏岩体弹性波探测值, 岩体完整性系数 K_v 采用下述两种方法综合加以确定: 方法 1, 先根据现场实测结构面统计资料对岩体完整程度作定性划分, 再根据 K_v 与定性划分的岩体完整程度的对应关系确定 K_v 范围; 方法 2, 采用岩石质量指标 RQD 来确定 K_v 的大小, 因为 RQD 指标可直接从隧洞中测出, 而且能较准确地反映岩体的完整程度, 取值时取水平方向和垂直方向的平均值。建立 RQD 与 K_v 二者之间的回归方程:

$$K_v = 0.0102RQD - 0.093 \quad (6)$$

$$R = 0.988 \quad (7)$$

利用实测的 RQD 值即可推算出岩体完整性系数 K_v 。

2) 结构面组数、间距、优势方位是评价岩体结构和进行围岩分类的重要指标^[7]。通过对各隧段结构面发育分布特征及组合模式的跟踪调查, 采用 Dips 程序对各隧段进行快速有效的节理优势方位分组, 获得上述指标的取值。

整个隧段岩体完整性系数 K_v 值在 0.19~0.84 之间。根据《公路工程地质勘察规范》规定, 将隧道围岩结构划分为砌体结构, 镶嵌结构及松散结构。砌体结构主要见于三叠系上统须家河组 (T_3xj) 砂岩及下统嘉陵江组灰岩, 白云质灰岩中, 分布广, 长度约 1 667

m, 占隧道总长 67.7%。镶嵌结构长度共 359 m, 占隧道总长 14.6%, 松散结构仅现于进出口浅埋段、三叠系须家河组煤地层, 断层及其附近的破碎带, 长 437m, 占隧道总长 17.7%。

3.3 地下水状态

走马岭隧道地下水类型主要为砂岩裂隙水及岩溶裂隙、孔隙及溶洞水。通过现场调查测量, 出水量通常在 0.1 L/s~3.5 L/s。

3.4 地应力的影响

走马岭隧道岩体破碎, 节理发育, 大部分洞身围岩受构造影响轻微, 应属于低应力区域。但 K47+930~K48+030 段位于背斜核部, 岩体呈大块状砌体结构及块碎状镶嵌结构, 且埋藏较深, 地应力较为集中。

由于上述三种分级方法在基本思想和分类指标上都比较相似, 因此根据这些方法对围岩岩体质量进行分类的结果应该具有一定相关关系。据此, 将隧道围岩按各种分类方法所得的分类结果进行回归分析, 结果如图 2, 3, 4 所示。它们分别表示三种分类方法的分值 [BQ]、HC、RMR 之间的回归曲线、回归方程和相关系数。

可以看出, [BQ]、HC、RMR 之间是线性相关的, 线性相关系数都超过了 0.9。这不仅揭示出各分类方法之间的内部本质联系, 而且说明利用这三种方案对走马岭隧道进行围岩分类符合实际。此外, 通过对比可以看出, 三种分类方法虽然分类指标体系略有不同, 但所得结果是不矛盾的, 即对于各段围岩分出的类别基本一致, 个别段的结果即使有微小差异, 也往往局限于分类界限附近。这三种分类方法可以互相验证, 互相补充, 从而准确的确定隧道围岩的综合围岩级别。

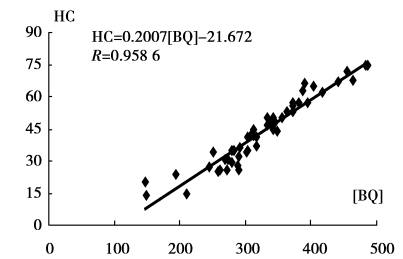


图 2 [BQ]与 HC 的关系

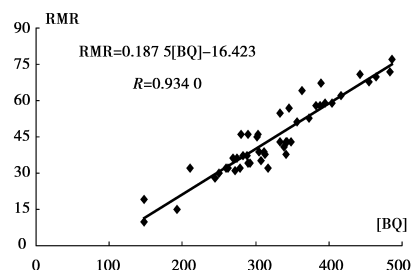


图 3 [BQ]与 RMR 的关系

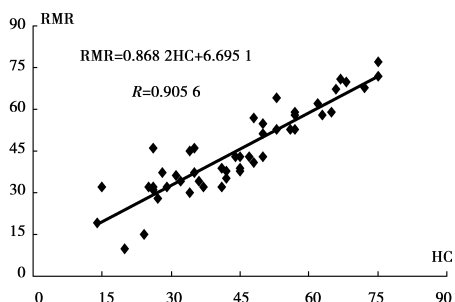


图 4 HC 与 RMR 的关系

4 走马岭隧道围岩动态分级结果

根据走马岭隧道岩体结构特征及有关分级指标的现场调查和统计分析,结合试验资料,参照岩体结构类型,岩体质量指标 RQD,岩石饱和单轴抗压强度,岩体完整性系数,以及已有的 3 个不同系统的岩体分类级别,采用上述三种不同方法对走马岭隧道段进行围岩动态分级。

表 3 围岩动态分级结果汇总表

项目	围岩综合级别			
	II	III	IV	V
长度/m	426	1 053	752	238
比例/%	17.25	42.65	30.46	9.64

表 4 勘查阶段围岩分级结果

项目	围岩综合级别		
	II	III	IV
长度/m	1 692	541	230
比例/%	68.7	22	9.3

从表 3、4 中可以看出,隧道施工阶段围岩动态分级结果与原来勘查设计部门的预测结果相比有较大出入,隧道施工阶段围岩动态分级较好的 II 级围岩由原来所占的 68.7% 降 17.25%, III 级围岩由原来的 22% 增加到 42.65%,而稳定性较差的 IV 级围岩则由原来的 9.3% 增加为 30.46%,动态围岩分级中增加了稳定性更差的 V 级围岩,所占比例为 9.64%。隧道施工阶段围岩动态分级结果更加详细,真实反映了围岩的稳定性。

5 结 语

1) 建立公路隧道围岩动态分级,可以进一步修改和完善设计的支护参数,并进而指导后续的施工,这样使得设计和施工更符合或接近现场实际,也能够适应多变的地质条件和各种不同的施工条件。

2) 比较了[BQ]、HC、RMR 用于公路隧道动态围岩分级三种方法的线性相关性,可以看出[BQ]和其他

两种方法的线性相关程度高于 HC 与 RMR 之间的相关程度。建议当采用公路隧道动态围岩分级时候,可以考虑采用[BQ]分级作为主要分级方法,而 HC 和 RMR 任意选择一种作为辅助方法。

3) 公路隧道围岩动态分级是非常重要和必要的。公正是市场经济的法则,要公正,就必须建立公路隧道施工阶段的围岩分级。

参考文献:

[1] 刘宝许,乔兰,李长洪. 基于动态围岩分类的高速公路隧道围岩稳定性评价方法[J]. 北京科技大学学报,2005,27(2):146-149.
 LIU Bao-xu, QIAO Lan, LI Chang-hong. Evaluation method of engineering construction stability for expressway tunnels based on dynamic classification of wall rock [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2005, 27(2): 146-149.

[2] 杜时贵,周庆良. 公路隧道围岩定量分类系统研究设想和建议[J]. 西安公路交通大学学报,1996,16(4):32-37.
 DU Shi-gui, ZHOU Qing-ling. Some Tentative ideas and Suggests on Quantitive System of Rock Classification of Highway Tunnel [J]. Journal of XI' AN Highway University, 1996, 16(4): 32-37.

[3] 童宏纲,刘佑荣,杜时贵. 高速公路隧道围岩质量评价系统初步研究[J]. 地质科技情报,2000,19(3): 81-86.
 TONG Hong-gang, LIU You-rong, DU Shi-gui. Preliminary study on surrounding rock quality evaluation system of highway tunnel [J]. Geological Science and Rechnology Information, 2000, 19(3): 81-86.

[4] JTG D70-2004, 公路隧道设计规范[S].
 JTG D70-2004, Design Specification of Highway Tunnel [S].

[5] GB50287-99, 水利水电工程地质勘察规范[S].
 GB50287-99, Standard for Geological Reconnaissance of Water and Hydropower Engineering [S].

[6] 走马岭隧道详细工程地质勘察报告[R]. 四川省煤田地质一三七总公司,2004.
 The detailed engineering geological investigation report of Zoumaling Tunnel [R]. The coalfield geological one three seven general corporation in Sichuan province, 2004.

[7] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,1997.
 ZHANG Zhuo-yuan, WANG Shi-tian, WANG Lan-sheng. The Principle of Engineering Geological Analysis [M]. Beijing. Geological Publishing House, 1997.