

文章编号: 1000-7598-(2007)增刊-0202-05

采用综合评判方法确定工程岩体力学参数研究

王树仁¹, 周洪彬¹, 武崇福¹, 刘成禹²

(1. 燕山大学 建筑工程与力学学院, 秦皇岛 066004; 2. 中国矿业大学(北京)岩土工程研究所, 北京 100083)

摘要:如何将室内岩块试验得到的力学参数合理转化为现场工程岩体的力学参数,一直是困扰岩土工程实践带有挑战性的难题。结合安太堡露天煤矿边坡工程,基于现场调查、钻孔取芯、室内岩块试验,分别应用RMR法和BQ法,对自地表至取芯深度的钻孔岩样进行评价和分级,综合评判确定了边坡工程岩体的力学参数,应用效果良好,其成果对类似工程设计和施工有重要指导意义。

关键词:边坡工程;岩体质量;力学参数;综合评判方法

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

Research on rock mechanics parameters by using comprehensive evaluation method of rock quality grade-oriented

WANG Shu-ren¹, ZHOU Hong-bin¹, WU Chong-fu¹, LIU Cheng-yu²

(1. School of Civil Engineering and Mechanics, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China;

2. Geotechnical Engineering Institute, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: It is really a challenging problem always going with geotechnical engineering to transfer the rock mechanics parameters to the engineering rockmass mechanical parameters. On the base of the in-situ investigation, field engineering coring and laboratory experiment, research is done into the rockmass mechanics parameters by combining with RMR system and BQ system, the comprehensive evaluation results have provided the basic data for the design and construction of the slope engineering. The engineering practice has benefited technically and economically from the theoretical results. Our research has an important theoretical significance to direct the practice in similar projects.

Key words: slope engineering; rockmass quality; mechanics parameters; comprehensive evaluation method

1 引言

在岩土工程稳定性研究中,工程岩体力学参数的研究及确定是关键问题之一。如何将室内岩块试验得到的力学参数合理转化为现场工程岩体的力学参数,一直是困扰岩土工程实践带有挑战性的难题^[1, 2]。

工程岩体力学参数的取值,应反映工程岩体的工程环境、地质特性、尺寸效应等,既要考虑数学上的统计分析,也要考虑岩体材料的物理力学特性。在目前情况下,基于现场取样岩芯的质量分类,选用几种通用、较成熟分类方法相互验证,最后采用综合评判方法,将室内岩块试样的试验数据弱化为

现场工程岩体的力学参数,不失为一种可取、有效的方法。

本文拟以安太堡露天矿边坡工程为背景,根据现场勘探资料、室内试验数据,综合考虑边坡工程施工特性等因素,分别采用RMR法和BQ法,首先对边坡工程岩体的质量进行分级评判,得到工程岩体质量优劣的浮动范围;然后,采用综合评判方法,确定工程岩体力学参数的合理取值^[3]。

2 工程岩体质量评价方法

2.1 RMR方法

RMR(Rock Mass Rating)岩体质量分类方法^[4],是由Bieniawski于1974年提出、1979年作了进一

收稿日期: 2007-04-27

基金项目: 燕山大学博士基金项目(No.B245)。

作者简介: 王树仁,男,1968年生,博士,副教授,主要从事岩土工程和岩土力学数值计算等方面的科研与教学工作。E-mail: w_88sr@sina.com

步修改后所建立起来的一套岩体分类系统，它综合考虑岩石单轴抗压强度（ R_1 ）、岩石质量指标 RQD （ R_2 ）、节理间距（ R_3 ）、节理状态（ R_4 ）和地下水条件（ R_5 ）5 个通用参数和一个取决于节理方向对工程影响的修正参数 R_6 ，给出一个随岩体质量情况从 0 递增到 100 的总评分值，作为衡量岩体工程质量的综合特征值 RMR 。即

$$RMR = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 \quad (1)$$

根据 RMR 值，将工程岩体的质量分为 5 级，见表 1。

该分类方法还给出了各级岩体 c 、 φ 的分布区间（见表 2）。

表 1 RMR 法岩体质量分级标准

Table 1 Rockmass quality grade of RMR system

岩体质量级别	岩体描述	岩体评分值 RMR
I	很好的岩体	81~100
II	好的岩体	61~80
III	较好的岩体	41~60
IV	较差的岩体	21~40
V	很差的岩体	0~20

表 2 RMR 法岩体级别对应的力学指标建议值

Table 2 Rockmass mechanical parameters according to quality grade of RMR system

岩体质量级别	I	II	III	IV	V
岩体凝聚力 /kPa	>400	300~400	200~300	100~200	<100
岩体摩擦角 / (°)	>45	35~45	25~35	15~25	<15

Z. T. Bieniawski 总结大量工程实践经验，得出 RMR 与岩体变形模量 E 间存在如下的关系式：

$$E = 2RMR - 100 \quad (2)$$

根据工程岩体的 RMR 评分，当 $RMR < 50$ 时，Sarafim 和 Dereira 建立了得到工程界证实、并被广泛应用的 RMR 与岩体变形模量 E 间的关系式：

$$E = 10^{\left(\frac{RMR-10}{40}\right)} \quad (3)$$

2.2 BQ 方法

由于 RMR 法未考虑岩体的应力状态，本文将我国工程岩体分级标准 BQ（Rock Mass Basic Quality）法（GB50218-94），作为 RMR 法的补充与参照提出，对拓展 RMR 法的实用性有积极意义^[4]。

BQ 法综合考虑了岩体的抗压强度、岩体的完整性、地下水、主要软弱结构面产状对工程的影响，

以及初始应力状态对工程的影响等，进行工程岩体分级时，先按下式计算岩体的基本质量指标 BQ ：

$$BQ = 90 + 3R_c + 50k_v \quad (4)$$

式中： R_c 为岩体饱和单轴抗压强度； k_v 为岩体完整性指标。

计算出岩体的基本质量指标（ BQ ）后，再结合工程实际情况，按下式计算岩体基本质量指标修正值 $[BQ]$ ：

$$[BQ] = BQ - 100 \times (K_1 + K_2 + K_3) \quad (5)$$

式中： K_1 、 K_2 、 K_3 分别为地下水影响、主要软弱结构面产状影响和初始应力状态影响修正系数。

按照我国工程岩体分级标准，工程岩体质量共分为 5 级，相应的岩体基本质量指标 BQ 值见表 3。由 BQ 法确定的工程岩体质量等级所对应的岩体力学参数建议值见表 4。

表 3 BQ 法岩体质量分级标准

Table 3 Rockmass quality grade of BQ system

岩体质量级别	岩体质量的定性特征	岩体质量指标 BQ 值
I	坚硬岩，岩体完整。	>550
II	坚硬岩，岩体较完整；较坚硬岩，岩体完整。	451~550
III	坚硬岩，岩体较破碎；较坚硬岩或软硬岩互层，岩体较完整；较软岩，岩体完整。	351~450
IV	坚硬岩，岩体破碎；较坚硬岩，岩体较破碎~破碎；较软岩或软硬岩互层，且以软岩为主，岩体较完整~破碎；软岩，岩体完整~较完整。	251~350
V	较软岩，岩体破碎；软岩，岩体较破碎~破碎；全部为极软岩或全部为极破碎岩。	<250

表 4 BQ 法岩体级别对应的力学指标建议值

Table 4 Rockmass mechanical parameters according to quality grade of BQ system

岩体质量级别	I	II	III	IV	V
岩体峰值凝聚力 /MPa	>2.1	1.5~2.1	0.7~1.5	0.2~0.7	<0.2
岩体峰值摩擦角 / (°)	>60	50~60	39~50	27~39	<27
变形模量 E /GPa	>33	20~33	6~20	1.3~6	<1.3
泊松比 μ	<0.2	0.2~0.25	0.25~0.3	0.3~0.35	>0.35

3 确定边坡工程岩体力学参数

3.1 工程背景

安太堡露天煤矿，是 20 世纪 80 年代我国第一批重点建设的中美合作项目，为年产煤炭 1 500 万吨的特大型露天煤矿。

安太堡矿区为典型的黄土丘陵地貌，海拔高度为 1 190~1 470 m。矿区地层可以分为 3 个表土层和

5 个沉积岩组, 主要可采煤层 4 号煤、9 号煤和 11 号煤皆分布于太原组中。太原组上覆岩层的石盒子组 and 山西组地层基本缺失。太原组的下伏地层有本溪组 and 朔县组。综合地层柱状图如图 1 所示^[5]。

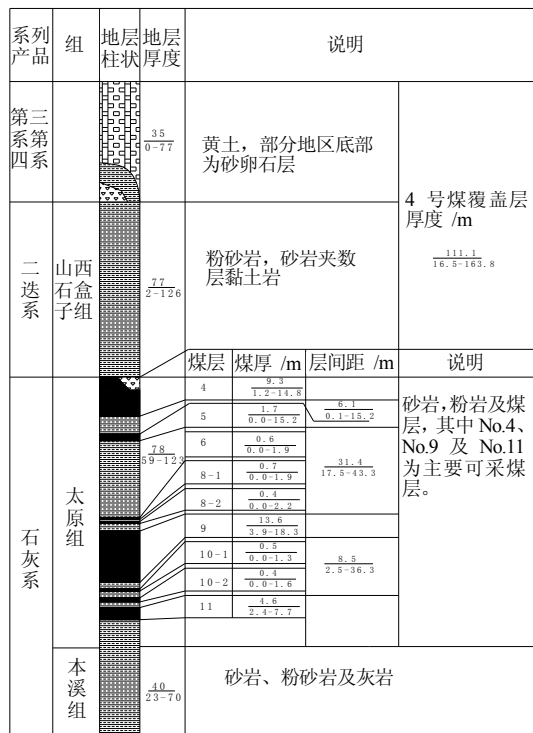


图 1 安太堡矿区综合地层柱状图 (单位: m)

Fig.1 The geological columnar section of Antaibao surface mine (unit: m)

安太堡露天矿位于二铺背斜区域, 矿区发育有褶皱、断层、节理以及环形陷落构造等。

边坡工程稳定性不仅取决于岩块的力学性质, 而且与岩体结构面的力学性质紧密相关。因此, 在西端帮及矿坑内采集了岩块和岩体结构面试样, 进行了室内岩样的物理力学性质试验研究。

对岩样主要进行了岩石单轴抗压、抗拉和三轴抗压强度试验, 并进行了沿试样层面抗剪、节理面抗剪与软弱夹层岩样的剪切试验等内容。

3.2 工程岩体参数确定

本文选用较有代表性且地质资料较为完备的 84~61 地质钻孔, 将地表至取芯深度的钻孔柱状岩芯, 按 RMR 值和 BQ 值分别对钻孔不同深度、不同岩性的岩芯进行质量评价分级, 评判结果见图 2、图 3 及表 5 和表 6, 依工程岩体质量分级, 确定地层柱状中各类岩体相应的力学指标幅值范围, 评定结果分别见表 7 和表 8 中数据。

综合表 7 和表 8 的评判结果及边坡工程岩样室内物理、力学试验的结果, 确定安太堡露天矿边坡

工程岩土体的物理力学参数, 取值见表 9 中所列数据。

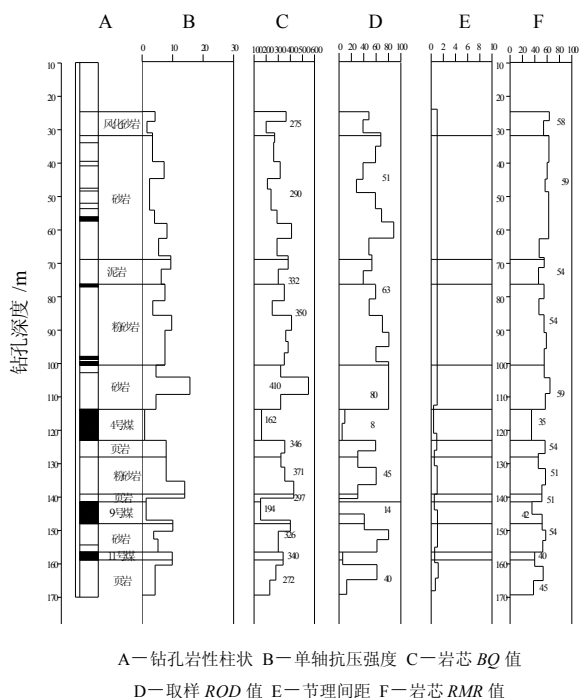
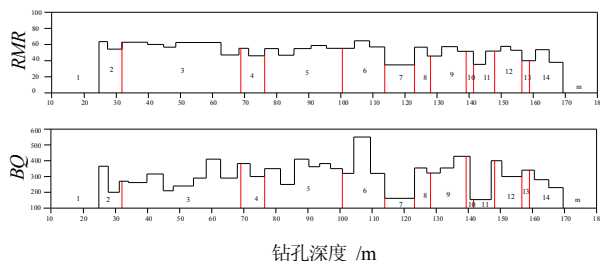


图 2 煤系地层钻孔柱状采样信息参数图

Fig.2 The coring geological information columnar section of Antaibao



1—黄土 2—风化砂岩 3—砂岩 4—泥岩 5—粉砂岩 6—砂岩 7—4 号煤 8—页岩 9—粉砂岩 10—页岩 11—9 号煤 12—砂岩 13—11 号煤 14—页岩

图 3 煤系地层各类岩体 RMR 和 BQ 值图

Fig.3 The rockmass quality grade of RMR system and BQ system columnar section of Antaibao

表 5 地层柱状岩体的 RMR 值及质量分级

Table 5 The rockmass parameters and quality grade of RMR system in Antaibao

地层序号	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
RMR 值	18	59	54	54	59	12	54	51	51	16	54	14	45
岩体质量级别	III	III	III	III	III	IV	III	III	III	IV	III	IV	III
变形模量 E/GPa	1.5	16.8	126	126	16.8	1.1	12.6	10.6	10.6	1.4	12.6	1.3	7.5

注: 地层序号 2~14 依次代表风化砂岩、砂岩、泥岩、粉砂岩、4 号煤、页岩、粉砂岩、页岩、9 号煤、砂岩、11 号煤、页岩。

应用表 9 中所列边坡工程岩土体的物理力学参数, 进行了露天与井工联合采动条件下, 安太堡露天矿西北帮变形稳定性分析 (见图 4 西北帮工程

表 6 地层柱状各类岩体的 BQ 值及质量分级
Table 6 The rockmass parameters and quality grade of BQ system in Antaibao

地层序号	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
BQ 值 /kPa	275	290	332	350	410	162	346	371	297	194	326	340	272
岩体质量级别	IV	IV	IV	IV	III	V	IV	III	IV	V	IV	IV	IV

注：土层序号代表的岩性同表 5。

表 7 RMR 法各类岩体力学参数取值范围表
Table 7 The rockmass parameters of RMR system in Antaibao

地层序号	2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 14	7, 11, 13
岩性	风化砂岩、粉砂岩、黏土岩、砂岩、泥岩、页岩	4 号、9 号煤、11 号煤
摩擦角 /($^{\circ}$)	25~35	15~25
凝聚力 /kPa	200~300	100~200
变形模量 /GPa	1.5~16.8	1.1~1.4

表 8 BQ 法各类岩体力学参数取值范围表
Table 8 The rockmass parameters of BQ system in Antaibao

地层序号	6, 9	2, 3, 4, 5, 8, 10, 12, 13, 14	7, 11
岩性	砂岩、粉砂岩	风化砂岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、页岩、11 号煤	4 号煤、9 号煤
峰值摩擦角 /($^{\circ}$)	39~50	27~39	<27
峰值凝聚力 /kPa	700~1500	200~700	<200
变形模量 /GPa	6~20	1.3~6	<1.3
泊松比 μ	0.25~0.3	0.3~0.35	>0.35

表 9 安太堡露天矿工程岩土体计算参数取值表
Table 9 The rockmass mechanical parameters of calculating mode

岩石名称	重度 / $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	弹性模量 /kPa	泊松比	抗拉强度 /kPa	凝聚力 /kPa	内摩擦角 /($^{\circ}$)
黄土	19.60	150	0.42	1.0	50	20
风化砂岩	23.00	200	0.36	50	1 000	33
砂岩	23.80	4200	0.32	100	1 200	35
粉砂岩	24.90	2800	0.34	10	100	31
黏土岩	23.80	4600	0.32	150	1 000	36
砂岩	23.80	5500	0.30	250	1 500	39
4 号煤	14.40	1000	0.38	100	500	26
页岩	24.50	2400	0.33	100	1 200	34
粉砂岩	26.00	4800	0.32	300	1 600	40
页岩	25.80	3000	0.35	100	1 200	35
9 号煤	13.30	1200	0.36	100	600	27
砂岩	23.80	6900	0.28	300	1 500	38
11 号煤	14.00	1300	0.35	110	630	25
页岩	24.60	3500	0.27	150	1 300	35
粉砂岩	26.00	1200	0.25	100	3 700	43

地质模型图、图 5 露天与井工复合采动位移矢量场图、图 6 露天与井工复合采动垂向位移场图), 工程实践表明, 选用参数合理, 计算结果可靠。

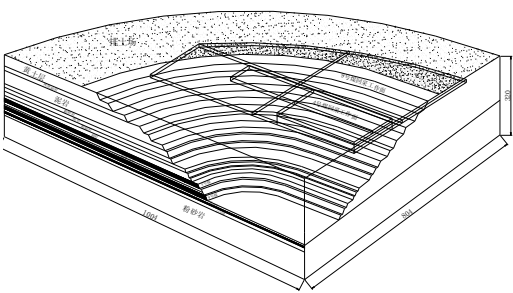


图 4 西北帮工程地质模型图
Fig.4 The engineering geological model of the west edge slope

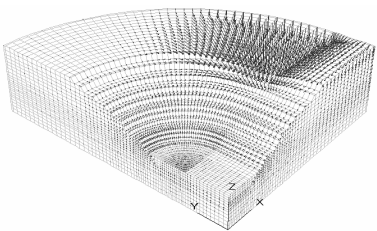


图 5 露天与井工复合采动位移矢量场图
Fig.5 The subsidence vector of the slope after mining No.9 coal seam

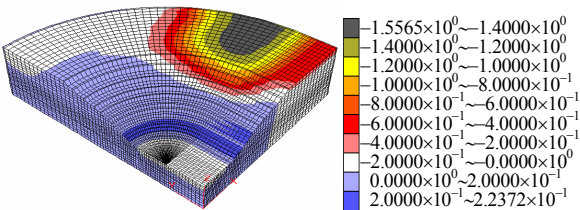


图 6 露天与井工复合采动沉降位移场图
Fig.6 The subsidence of the slope after mining No.9 coal seam

4 结 论

结合安太堡露天矿边坡工程实践, 基于现场工程地质调查结果、室内试验数据和理论分析, 采用岩体质量综合评判方法, 对边坡钻孔岩芯进行了质量评价和分级, 由此确定了边坡工程岩体的物理力学参数。本文在解决室内岩块试验数据向现场工程岩体力学参数的微宏转化方面, 进行了有益的探索和尝试, 主要工作内容与成果如下:

(1) 对安太堡露天矿边坡工程, 自地表至取芯深度的整个煤系地层, 进行了钻孔取芯、地质素描和编录等工作。

(2) 对矿坑内有代表性的不同种类岩样进行单轴压缩试验、单轴抗拉试验、三轴压缩试验和对结构面、软弱夹层进行剪切试验, 详细研究了煤系地层不同岩性岩样及弱面的力学特性。

(3) 根据现场钻探资料和室内试验数据, 并考

虑边坡开挖等工程特性,采用综合研究方法,对安太堡露天矿边坡的工程岩体进行了质量评价和分级,由此确定了边坡工程岩体的物理力学参数,为边坡工程稳定性计算分析提供了基础数据。

(4) 工程应用实例表明,选用参数合理,计算结果可靠,值得借鉴和推广,对类似工程实践有重要指导意义。

参 考 文 献

- [1] 张飞, 颜春军, 赵玉仑. 白云鄂博铁矿主矿岩石力学参数的确定[J]. 包头钢铁学院学报, 1998, 17 (1): 1—4.
ZHANG Fei, YAN Chun-jun, ZHAO Yu-lun. Determination of mechanics parameters of Baiyunebo mine[J]. *Journal of Baotou University of Iron and Steel Technology*, 1998, 17(1): 1—4.
- [2] 罗一忠, 叶粤文. 大厂 91 号矿体岩石力学参数工程处理[J]. 江西有色金属, 1998, 12 (3): 9—12.
LUO Yi-zhong, YE Yue-wen. Engineering treatment of Dachang No.91 mine rock mechanical parameters[J]. *Jiangxi Nonferrous Metals*, 1998, 12(3): 9—1.
- [3] 王树仁. 安太堡露天煤矿边坡工程稳定性及其控制对策研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2005.
- [4] 刘佑荣, 唐辉明编著. 岩体力学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999.
- [5] Chen Ping-shuo. Project Antaibao mine geotechnical investigation highwall stability[R]. Lexington: Associates Consulting Geotechnical Engineers, 1985.