

DOI: 10.11779/CJGE201401021

岩体分级 BQ 与 RMR 的关系及其力学参数估计

许宏发, 陈 锋, 王 斌, 华中民, 耿汉生

(解放军理工大学国防工程学院爆炸冲击防灾减灾国家重点实验室, 江苏 南京 210007)

摘 要: 在国标《工程岩体分级标准》(GB50218—94) 岩体质量分级的基础上, 提出了岩体基本质量指标 BQ 的简化计算方法。根据规范中建议的岩体物理力学参数取值范围, 编制了各参数与 BQ 关系曲线图, 通过非线性拟合分析, 建立了各物理力学参数与 BQ 之间关系的经验公式。基于内摩擦角等效原则, 通过比较已有的分别用 RMR 和 BQ 表达的岩体内摩擦角经验公式, 推导出 1 个 BQ 和 RMR 之间的关系方程。同样基于变形模量等效原则, 通过比较已有的分别用 RMR 和 BQ 表达的岩体变形模量经验公式, 推导出 4 个 BQ 和 RMR 之间的关系方程。这 5 个关系方程与实测结果进行了比较分析, 得到了上限线和下限线方程; 由内摩擦角等效获得的关系方程趋势较好, 取上限线和下限线的中间线对其进行修正, 得到了本文建议的 RMR 和 BQ 之间的关系方程。

关键词: 岩体; 质量分级; BQ; RMR; 关系方程; 参数估计

中图分类号: TU45 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 4548(2014)01 - 0195 - 04

作者简介: 许宏发(1964 -), 男, 江苏泰州人, 教授, 博士生导师, 从事岩土工程方面的教学与研究。E-mail: xuhongfa126@126.com。

Relationship between RMR and BQ for rock mass classification and estimation of its mechanical parameters

XU Hong-fa, CHEN Feng, WANG Bin, HUA Zhong-min, GEN Han-sheng

(State Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation of Explosion and Impact, College of Defence Engineering,

PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: On the basis of rock mass quality classification in China's national standard, Standard for Engineering Classification of Rock Masses (SECRM, GB50218—94), a simplified calculation method for the basic quality index (BQ) of rock mass is proposed. According to the value ranges of various physical mechanical parameters of rock mass in SECRM, the graphs of the relationship between various parameters and BQ are established. Empirical formulas for the relationship between various parameters and BQ are established using the nonlinear fitting analysis method. Based on the equivalent principle of internal friction angles, through comparing the existing equations for describing internal friction angles using BQ and RMR respectively, a relation equation between RMR and BQ is derived. Similarly, based on the equivalent principle of deformation modulus, through comparing the existing equations for describing deformation modulus using BQ and RMR respectively, four relation equations between RMR and BQ are derived. By comparing five relation equations between RMR and BQ with the existing the field test data, the equations for the upper limit and the lower limit lines are found. The results show that the relation equation obtained using the equivalent internal friction angle has good trend, but its value is a little larger, and a correcting relation equation between RMR and BQ is suggested by means of taking medium line between the upper limit and the lower limit lines.

Key words: rock mass; quality classification; BQ; RMR; relation equation; parameter estimation

0 引 言

随着科学技术的不断进步发展以及土地资源的日益减少, 各种地质条件下的岩体工程日益增加, 如何准确而及时地进行工程岩体的稳定性判断, 对保证工程安全施工和运营具有重要的意义。而合理的工程岩体分级是工程岩体稳定性判断的基础。当前, 国内外的岩体分级方法多种多样, 例如国家标准《工程岩体

分级标准》^[1], Bieniawski 于 1973 年提出的岩体地质力学 RMR 分类法^[2], Barton 等于 1974 年提出的 Q 分类法^[3], 张立松等于 2011 年提出了用测井信息预测煤岩质量等级的方法^[4]等等。全世界还没有统一的岩体分级方法, 各种分类方法, 在分级指标的选用和等级

基金项目: 国家 973 计划项目 (2010CB732003)

收稿日期: 2013 - 08 - 19

划分标准上,均存在较大的差异。因此很多学者研究各分类系统之间的关系。如 Bieniawski 于 1976 提出了 RMR 与 Q 之间的关系; Barton^[5]于 2002 年进一步修正了他们之间的关系为 $RMR = 15 \lg Q + 50$ 等等。

为了借鉴国外基于岩体分级进行工程设计的成功经验,有必要建立国标岩体基本质量指标 BQ 与国外分类等级之间的关系,这方面国内较少的学者进行了研究。如 2001 年蔡斌等^[6]对不同工程现场实测数据进行了统计分析,建立了 BQ 修正值与 RMR、Q 分类之间的关系。2004 年姜平等^[7]结合宁杭高速公路宜兴段公路边坡 54 个实测值进行了统计分析,研究了 BQ 与 RMR 之间的关系。2009 年闫天俊等^[8]结合大岗山水电站地下洞室围岩现场实测资料,得到了 BQ 修正值与 RMR、Q 之间的关系公式。但这些研究引用了少量的试验结果,有较大局限性。

本文基于国标《工程岩体分级标准》(GB50218—94),根据规范中建议的岩体物理力学参数取值范围,编制了各参数与 BQ 关系曲线图,进而通过非线性拟合分析,建立了各物理力学参数与 BQ 之间关系的经验公式。基于内摩擦角和变形模量等效原则,构建了 5 个 BQ 和 RMR 之间的关系方程,与已有的实测结果进行了比较,规律基本吻合。对其中规律较好的关系方程进行了修正,得到了较合理的描述 BQ 和 RMR 之间关系的经验公式,为工程设计和施工评估岩体质量和参数提供了依据。

1 岩体基本质量指标 BQ 的简化计算

根据《工程岩体分级标准》(GB 50218—94),岩体基本质量指标 BQ,应根据分级因素的定量指标岩块饱和单轴抗压强度 R_c 的兆帕数值和完整性指数 K_v 按下式计算:

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

在应用此公式过程中,应遵循以下条件:①当 $R_c > 90K_v + 30$ 时,应以 $R_c = 90K_v + 30$ 和 K_v 代入计算 BQ 值;②当 $K_v > 0.04R_c + 0.4$ 时,应以 $K_v = 0.04R_c + 0.4$ 和 R_c 代入计算 BQ。

可以将式(1)简化为

$$BQ = \begin{cases} 180 + 520K_v & (R_c > 90K_v + 30) \\ BQ = 190 + 13R_c & (K_v > 0.04R_c + 0.4) \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)计算 BQ 和确定岩体分级仍非常繁琐。文献[9]根据式(2)画出在不同岩体完整性系数 K_v 下,岩块的单轴饱和抗压强度 R_c 和岩体基本质量指标 BQ 间的关系曲线,如图 1 所示。然后根据规范中的有关规定和岩体基本质量分级表,画出了各级围岩所在区

间。由图 1 可以方便地确定岩体基本质量指标 BQ 和岩体质量等级(I~V)。

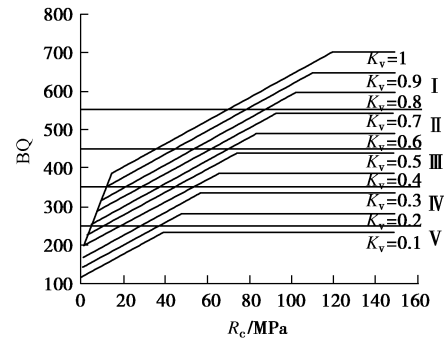


图 1 BQ 和岩体质量等级划分图

Fig. 1 Graph of BQ and rock mass quality classification

2 估计岩体物理力学参数的经验公式

在工程设计和施工中,仅仅知道岩体的质量等级是不够的,还需要知道岩体的各项物理力学指标,如岩体的内摩擦角 φ ($^\circ$),黏聚力 c (MPa),变形模量 E (GPa),泊松比 μ 和重度 γ (kN/m^3)等。为此根据规范 C.0.1 提供的岩体物理力学参数表,编制了各物理力学参数随 BQ 修正值[BQ]变化的曲线图,如图 2 所示。

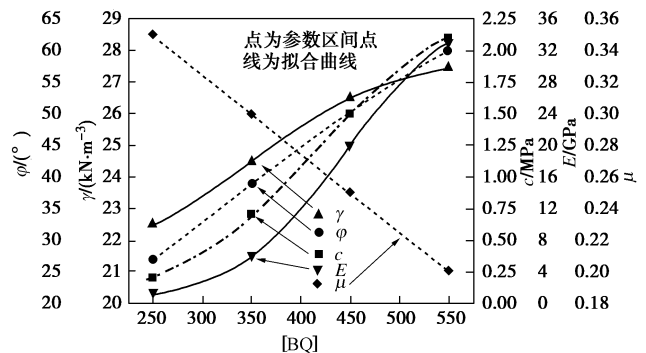


图 2 岩体物理力学参数与 BQ 之间的关系

Fig. 2 Relationship between various physical mechanical parameters of rock mass and BQ

由图 2 可以看出,各物理力学参数与[BQ]之间存在很好的相关性。利用非线性拟合方法,对图 2 中各项物理力学参数与[BQ]之间的关系进行分析,得到经验公式如下:

$$\gamma = 28.3 - \frac{6.6}{1 + ([BQ]/371)^5} \quad (R^2 = 0.9976) \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{71.11}{1 + 8.69 \exp(-0.0062[BQ])} \quad (R^2 = 0.9992) \quad (4)$$

$$c = \frac{2.42}{1 + 335 \exp(-0.014[BQ])} \quad (R^2 = 0.9986) \quad (5)$$

$$E = \frac{37.73}{1 + 2900 \exp(-0.018[BQ])} \quad (R^2 = 0.9960) \quad (6)$$

$$\mu = \frac{0.55}{1 + \exp[0.0037([BQ] - 400)]} \quad (R^2 = 0.9998) \quad (7)$$

3 BQ 与 RMR 之间的关系分析

BQ 与 RMR 分级方法都是对岩体各因素的综合考虑, 两者实质上存在一定的相关性。由于目前有关 BQ 与 RMR 之间关系的研究局限性较大, 有必要进行进一步的研究。按照岩体内摩擦角等效与变形模量等效的原则研究了 BQ 与 RMR 之间的关系。

3.1 按照岩体内摩擦角等效

2000 年 Aydan 等研究了岩体内摩擦角 φ_{RMR} 与 RMR 之间的关系, 得到如下经验公式^[10]:

$$\varphi_{RMR} = 20 + 0.5RMR \quad (8)$$

比较式 (4)、(8), 得到[BQ]与 RMR 之间的关系式:

$$[BQ] = 161.3 \ln \frac{20 + 0.5RMR}{5.88 - 0.058RMR} \quad (9)$$

关系曲线如图 3 所示。

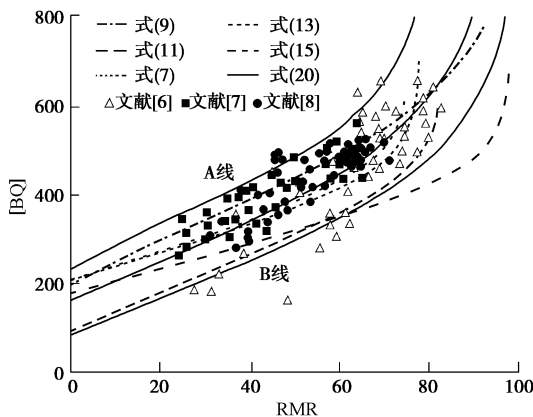


图 3 BQ 与 RMR 之间的关系

Fig. 3 Relationship between BQ and RMR

3.2 按照岩体变形模量等效

2003 年 Gokceoglu 等在前人研究的基础上, 结合试验数据, 提出了岩体变形模量 E_{RMR} (GPa) 与 RMR 之间关系的经验公式^[11]:

$$E_{RMR} = 0.0736e^{0.0755RMR} \quad (10)$$

比较式 (6)、(10) 得到[BQ]与 RMR 之间的关系式:

$$[BQ] = 55.56 \ln \frac{2900 \exp(0.0755RMR)}{512.64 - \exp(0.0755RMR)} \quad (11)$$

1983 年 Serafim 等根据试验数据提出了关于 RMR 与变形模量间的经验公式^[12]:

$$E_{RMR} = 10^{((RMR-10)/40)} \quad (12)$$

比较式 (6) 和 (12), 推导得到[BQ]与 RMR 之间的数学关系式:

$$[BQ] = 55.56 \ln \frac{10^{\frac{RMR-10}{40}}}{0.013 - 0.0003 \times 10^{\frac{RMR-10}{40}}} \quad (13)$$

2006 年 Chun 等根据韩国忠清道、庆尚道等地区的 205 组试验资料进行回归分析, 得到了岩体变形模量的经验公式^[13]:

$$E_{RMR} = 0.3228 \exp(0.0485RMR) \quad (14)$$

比较式 (6) 和 (14) 得到[BQ]与 RMR 之间的关系式:

$$[BQ] = 55.56 \ln \frac{2900 \exp(0.0485RMR)}{116.88 - \exp(0.0485RMR)} \quad (15)$$

2010 年 Mohammadi 等基于其他学者的 171 组试验数据, 通过回归分析得到了岩体变形模量的经验公式^[14]:

$$E_{RMR} = 0.5439 \exp(0.0544RMR) \quad (16)$$

比较式 (6)、(16) 得到[BQ]与 RMR 之间的关系式:

$$[BQ] = 55.56 \ln \frac{2900 \exp(0.0544RMR)}{69.37 - \exp(0.0544RMR)} \quad (17)$$

3.3 与已有试验资料比较分析

2001 年蔡斌等^[6]对三峡、水布娅、皂市、宁波周公宅等地的岩体同步用 RMR 和 BQ 分类系统进行了质量分级计算, 得到了 100 多组现场试验数据, 见图 3 中“ Δ ”点。

2004 年姜平等^[7]对宁杭高速公路宜兴段公路边坡岩体同步进行了 RMR 和 BQ 分级计算, 得到了 54 组现场试验资料, 见图 3 中“ \blacksquare ”点。

2009 年闫天俊等^[8]结合大岗山水电站地下洞室岩体同步进行了 RMR 和 BQ 现场分类, 得到了 66 组实测数据, 见图 3 中“ \bullet ”。

由图 3 可以看出, 上面推导得到的[BQ]和 RMR 之间的关系曲线与文献[6~8]的实测数据的变化规律基本一致。式 (9) 计算值偏大, 式 (11)、(15) 计算值偏小。但实测数据和关系曲线大多介于上限 A 线和下限 B 线之间。

上限线 A 线的方程为

$$[BQ] = 126 \ln \frac{35 + 1.27RMR}{5.6 - 0.07RMR} \quad (18)$$

下限线 B 线的方程为

$$[BQ] = 160 \ln \frac{9.5 + 0.16RMR}{5.5 - 0.055RMR} \quad (19)$$

进一步分析发现, 式 (9) 关系曲线趋势较好, 但计算值偏大。因此对式 (9) 进行修正, 取上限 A 线和下限 B 线的中间线, 得到本文推荐的经验公式:

$$BQ = 170 \ln \frac{15 + 0.24RMR}{5.7 - 0.06RMR} \quad (20)$$

4 结 论

(1) 依据《工程岩体分级标准》(GB 50218—94), 得到岩体基本质量指标 BQ 的计算简化公式, 编制了简化为图表, 可方便地得到岩体的 BQ 值和等级。

(2) 根据规范中所提供的岩体物理力学参数表 C.0.1, 编制了岩体基本质量指标[BQ]与各项物理力学参数间的关系曲线图, 通过拟合分析, 得到了岩体基本质量指标[BQ]与各项物理力学参数间的经验公式。

(3) 通过内摩擦角等效和变形模量等效的原则, 得到了 5 个 BQ 与 RMR 之间的关系方程, 与实际工程试验数据进行了比较分析, 获得了上限线和下限线方程, 认为用内摩擦角等效获得的关系方程趋势较好, 但值偏大; 取上限线和下限线的中间线对其进行了修正, 得到了本文建议的 BQ 与 RMR 之间的关系方程。

参考文献:

- [1] GB50218—94 工程岩体分级标准[S]. 1994. GB50218—94 Standard for engineering classification of rock masses[S]. 1994. (in Chinese))
- [2] BIENIAWSKI Z T. Engineering rock mass classifications[M]. New York: The Wiley-Interscience Publication, 1989.
- [3] BARTON N R. A review of the shear strength of filled discontinuities in rock[C]// Norwegian Geotech Inst Publ NO.105. Oslo: Norwegian Geotech Inst. 1974.
- [4] 张立松, 闫相祯, 杨恒林, 等. 基于测井信息的煤岩 GSI-JP 破碎分级预测[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(7): 1091 - 1096. (ZHANG Li-song, YAN Xiang-zhen, YANG Heng-lin, et al. GSI-JP crushed classification prediction method of coal rock based on logging information[J]. Chinese Journal Geotechnical Engineering, 2011, 33(7): 1091 - 1096. (in Chinese))
- [5] BARTON N. Some new Q-value correlations to assist in site characterisation and tunnel design[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2002, 39: 185 - 216.
- [6] 蔡斌, 喻勇, 吴晓铭. 《工程岩体分级标准》与 Q 分类法及 RMR 分类法的关系及变形参数估计[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(增刊): 1677 - 1679. (CAI B, YU Y, WU X M. Relationship among national code, Q system and RMR in rock mass classification and evaluation of deformation parameter[J]. Chinese Journal Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(S0): 1677 - 1679. (in Chinese))
- [7] 姜平, 孟伟. 基于岩体质量分级的岩石力学参数研究[J]. 三峡大学学报, 2004, 26(5): 424 - 427. (JIANG Ping, MENG Wei. Research on rock mechanics parameters of rock quality grade-oriented[J]. Journal of China Three Gorges University (Natural Sciences), 2004, 26(5): 424 - 427. (in Chinese))
- [8] 闫天俊, 吴雪婷, 吴立. 地下洞室围岩分类相关性研究与工程应用[J]. 地下空间与工程学报, 2009, 5(6): 1103 - 1109. (YAN Tian-jun, WU Xue-ting, WU Li. Correlation study on surrounding rock mass classification for underground cavern and its application[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2009, 5(6): 1103 - 1109. (in Chinese))
- [9] 许宏发, 周建民, 吴华杰. 国标岩体质量分级的简化方法[J]. 岩土力学, 2005, 26(增刊 2): 88 - 90. (XU Hong-fa, ZHOU Jian-min, WU Hua-jie. Simplified method for national standard for engineering classification of rock mass[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(S2): 88 - 90. (in Chinese))
- [10] AYDAN Ö, KAWAMOTO T. The assessment of mechanical properties of rock masses through RMR rock classification system[C]// GeoEng2000, UW0926. Melbourne, 2000.
- [11] GOKCEOGLU C, SONMEZ H, KAYABASI A. Predicting the deformation moduli of rock masses[J]. Int J Rock Mech Min Sci, 2003, 40: 701 - 710.
- [12] SERAFIM L J, PEREIRA P J. Consideration on the geomechanical classification of bieniawski[C]// Proc of the International Symposium on Engineering Geology and Underground Construction. Lisbon, 1983(2): 33 - 42.
- [13] CHUN B S, LEE Y J, SEO D D, et al. Correlation of deformation modulus by PMT with RMR and rock mass condition[J]. Tunneling and Underground Space Technology, 2006(21): 231 - 232.
- [14] MOHAMMADI H, RAHMANNEJAD R. The estimation of rock mass deformation modulus using regression and artificial neural networks analysis[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2010, 35(1): 205 - 217.