

文章编号: 1000-7598 (2014) 02-0565-08

基于岩体精细化描述的围岩分类 及力学参数概率分布特征分析

申艳军¹, 徐光黎², 杨更社¹, 叶万军¹

(1. 西安科技大学 建筑与土木工程学院, 西安 710054; 2. 中国地质大学 岩土钻掘与防护教育部工程研究中心, 武汉 430074)

摘 要: 针对目前水电站地下厂房工程中不同围岩分类方法存在评价结果不一致、围岩力学参数存在室内试验值与实际值不吻合的现象, 现推荐采用岩体精细化描述体系对围岩岩体结构进行定量化评价。将常用围岩分类方法 (RMR、Q、RMI、GSI、BQ、HC) 评价指标予以归纳分组, 并通过各组内不同指标对比分析获得围岩分类方法中的基础评价指标。以大岗山水电站主厂房某区段为分析对象, 采取现场岩体精细化地质素描与后期数据挖掘、拟合相结合方法, 并依据评价指标间的关联关系, 获得了基础、非基础评价指标的分布概型及对应参数, 实现对该段围岩岩体精细化描述认知; 基于精细化描述结果, 应用 Monte Carlo 法生成符合各评价指标分布概型的大量随机数, 而后参照各分类方法评价思路与评分流程, 得到评价指标在各分类方法对应的大量随机评分值, 通过归纳统计获得不同围岩分类方法评价结果的分布概型; 基于各围岩分类方法评价结果与力学参数值之间的关联关系实现对力学参数概率特征分析。该分析方法与思路可为类似工程围岩质量及力学参数的精确确定提供一定借鉴, 并可为实现围岩支护极限状态设计提供必要的原始参数支持。

关 键 词: 岩体精细化描述; 围岩分类; 力学参数; Monte Carlo 法; 概率分布特征

中图分类号: TU 45

文献标识码: A

Probability distribution characteristics of rock mass classification and its mechanical parameters based on fine description

SHEN Yan-jun¹, XU Guang-li², YANG Geng-she¹, YE Wan-jun¹

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China;

2. Engineering Research Center of Rock-Soil Drilling and Excavation and Protection of Ministry of Education,
China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: According to the drawbacks that the evaluation results by different rock mass classification systems are not consistent and the rock mass mechanical parameters between indoor tests and current situation have a great gap, a method named rock mass fine description system is recommended to describe surrounding rock mass structures quantitatively. Firstly, these evaluation indexes of the common rock mass classification systems (RMR, Q, RMI, GSI, BQ, HC) are summarized as some groups, and basic indexes are selected from these groups by the in-detail comparative analysis. Then, some sections of powerhouse in Danggangshan hydropower station are chosen as the research objects; we use the method combining the in-situ rock mass fine geological sketches with post-data mining and fitting, and based on the association relationship between the ranking parameters and the basic ones, these probabilistical distribution models and their relevant parameters of evaluation indexes are able to be required; thus the surrounding rock mass elaborate descriptions of the section can be obtained. Based on the rock mass fine description, lots of random numbers that meeting the probabilistical distribution models and relevant parameters of these evaluation indexes can be produced by the Monte Carlo simulation; and then according to the evaluation idea and rating process of each rock mass classification system, plenty of corresponding random rating-values of these evaluation indexes are also gained; the surrounding rock mass evaluation results and these probabilistical distribution characteristics by six rock mass classification systems can be attained easily by the inductive statistics. At last, these probabilistical distribution characteristics and their relevant parameters of these rock mass mechanical parameters can be decided by the correlation formulas between them and the rock mass classification indexes. This research can

收稿日期: 2012-12-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 41272340, No. 41172262, No. 41302228); 陕西省教育厅专项科研计划项目 (No. 2013JK0948); 西安科技大学校级科研培育基金项目 (No. 201232)。

第一作者简介: 申艳军, 男, 1984 年生, 博士, 讲师, 主要从事地下工程岩体质量与稳定性评价方面的工作。E-mail: shenyanjun993@sina.com

provide some references to estimate accurately the rock mass classification and mechanical parameters in some similar projects, and offer the essential primary data for supporting limit state design to the surrounding rock mass.

Key words: rock mass fine description system; rock mass classification; mechanical parameters; Monte Carlo simulation; probabilistical distribution characteristics

1 引言

现今,我国水电地下岩体工程规模日益增大,施工难度亦在不断增大,为支护设计方案的选取提出更高要求,而实现合理、准确支护设计的前提在于围岩质量状况及力学参数的准确认知。目前,水电行业地下工程围岩质量评价多基于 HC 评价法展开,结合其他通用分类方法(如 RMR、Q、BQ 等)综合确定。而力学参数多采用现场随机采样,基于室内力学试验、原位测试、相关规范推荐综合选取^[1]。

在实际应用过程中,往往会出现不同围岩分类方法评价结果不一致的状况,究其原因,一方面因不同围岩分类方法评价指标及评分准则迥异所致;另一方面,源自对现场围岩缺乏细致描述,导致在实际应用分类方法时,对某些定量指标值确定存在“估”和“蒙”情况。同样,对于围岩力学参数值的确定,也存有“以点代面”的弊端,与现场围岩分类结果脱节,难以满足工程准确性要求。解决以上问题显然有待于提高围岩岩体结构特征的定量化认知程度,而岩体结构精细化描述体系无疑是目前最佳的实现手段。

岩体结构精细化描述体系最先由黄润秋等^[2]系统提出,建立了详尽岩体结构描述方法、描述体系等,为实现对围岩特征的准确认知奠定了地质基础,此后,胡波等^[3]扩充了精细化描述体系,提出了统计窗数码成像综合精细描述法,夏才初等^[4-5]将其应用于金鸡山隧道节理特征描述,并展开隧道围岩变形破坏及局部块体稳定性分析,取得了较好的工程效果。

本文将岩体精细化描述体系引入对围岩分类及力学参数确定,在对各围岩分类方法中评价指标进行内在对比分析后,选取最为基础、且易于现场描述的评价指标进行精细化描述,确定各自概率分布模型及相关参数,进而通过内在关联公式获得非基础评价指标分布概型及参数,而后,将精细化描述结果与围岩分类方法结合,通过 Monte Carlo 方法生成评价指标随机评分值,通过归纳统计确定待评区段围岩类别的概率分布特征,最后,基于围岩分类方法评价结果与力学参数估算关联式,对评价区围岩力学参数概率分布状况评价。该研究思路及方法可为围岩分类及力学参数精细化确定提供借

鉴,亦可为围岩支护极限状态设计提供原始参数支持。

2 围岩岩体精细化描述体系构建

2.1 常用围岩分类方法基础评价指标选取

对经常用围岩分类方法(RMR、Q、RMI、GSI、BQ、HC)^[1,6-10]评价指标,均可归纳 3 部分:围岩结构发育特征指标、赋存地质环境特征指标和工程因素指标,其中岩体结构发育特征指标包括完整岩块强度特征指标、岩体结构空间分布几何形态指标及岩体结构面自身发育状况指标,赋存地质环境特征指标包括地应力特征和地下水状况两大指标。

描述完整岩块强度特征状况时,目前常用分类方法采用岩块饱和单轴抗压强度指标值 σ_{ci} (MPa)或点荷载强度指数 $I_{s(50)}$ 表示,其中单轴饱和抗压强度指标值 σ_{ci} 应用更为广泛,故本文选其为该指标进行关联性分析。当获得实测岩块饱和单轴抗压强度 σ_{ci} 后,利用各自分类方法评价标准,可得到各自对应的完整岩块强度特征指标评价价值。

岩体结构空间几何分布特征主要反映待评岩体结构在空间上的展布状态,但若站在工程地质评价角度来选取易知:结构面组数、长度、间距、连通率及产状是影响岩体结构空间几何分布特征基础性指标,若站在现场地质素描难易性角度,结构面组数、可见迹长、间距、产状是较方便获取的,一般工程条件及技术水平可满足以上指标的准确确定。

据此,不妨选取现场易获得的结构面组数、可见迹长、间距、产状作为岩体结构空间几何分布特征的基础评价指标,其他评价指标可通过大量工程经验归纳、总结,探讨其与基础指标的内在关联式或等效换算关系,在基础指标的精细化描述基础上,可获得相对准确的评价价值。

岩体结构面自身发育特征反映待评岩体内结构面自身抵抗剪切变形的能力,主要包括有:结构面微观光滑程度、结构面宏观起伏状态、结构面蚀变度及张开度等评价指标,归纳 6 种分类方法^[1,6-10]的评价指标(见表 1)可知,结构面粗糙度、蚀变度、张开度及胶结充填 4 个指标被更多选用。

对地应力水平特征评价而言,一般选用围岩强度应力比 S 为评价指标来判别围岩区所处的应力状

态,故本文选用该指标作为地应力水平状态基础评价指标;对地下水状况定量评价,多采用每10 m段洞长地下水流量 q (L/min·10 m)和压力水头 H (m),其中地下水流量 q (L/min·10 m)测定较为简单,且准确度相对较高,故此处选用该指标作为基础评价指标。而对于工程因素指标,目前被引入围岩分类方法中的主要为开挖走向与结构面产状组合关系评价指标,故仅选取该指标作为工程因素基础评价指标。据此,常用分类方法基础评价指标归纳见表2。

表1 常用围岩分类方法中结构面自身发育特征指标对比
Table 1 Contrast of discontinuity conditions indexes among the common surrounding rock mass classification systems

分类方法	粗糙度	蚀变度	张开度	风化度	胶结充填	连续度
RMR	○	×	○	○	○	○
Q	○	○	×	×	×	×
RMi	○	○	×	×	×	○
GSI	○	○	×	○	×	×
BQ	○	×	○	×	○	×
HC	○	×	○	×	○	×

注:○为考虑;×为未考虑。

表2 常用围岩分类方法基础评价指标汇总表
Table 2 Summary of these basic evaluation indexes of the common surrounding rock mass classification systems

评价因素	基础评价指标
完整岩块强度特征	岩块饱和单轴抗压强度实测值 σ_{ci}
岩体结构空间几何分布特征	结构面组数、可见迹长、间距、产状
岩体结构面自身发育特征	粗糙度、蚀变度、张开度及胶结充填
地应力水平特征	围岩强度应力比 S
地下水状况	地下水流量 q (L/min·10 m)
工程因素	开挖走向与结构面产状组合关系

2.2 围岩岩体基础评价指标精细化采集描述

基于表2选取的围岩岩体基础评价指标,以大岗山水电站主厂房第Ⅶ层上游边墙厂横桩号:0+120.2~0+90.1 m段,高程941.3~946.5 m段为研究对象,通过现场布置十字交叉精测线、大型测网、随机统计窗,并辅助于罗盘、卷尺、钢尺、测绳、自制简易粗糙度测试仪、地质锤、塞尺、回弹仪、野外地质卡片等测试工具对围岩岩体结构特征指标予以现场精细化地质素描与统计。

基于现场精细化地质素描,依据表2的围岩分类方法基础评价指标,采用统计模型与概率模型相结合的统计演绎方法,获得了围岩岩体结构特征指标实测数据、各自的分布规律及参数。

选取结构面自身发育特征基础评价指标时,目

前很难实现应用完善的测试手段获得精确的量化数值,故现多采用定性描述分类与定量评分的对应关系来表示。本文对结构面粗糙度采用JRC指标,张开度采用塞尺测量并依据标准进行分类,而蚀变度、胶结充填指标用1~6(5)数字表示其各自对应的发育程度。而岩块饱和单轴抗压强度值 σ_{ci} 、围岩强度应力比值 S 现场难以快速实测,故此处岩块饱和单轴抗压强度值 σ_{ci} 采用了室内试验报告实测值,围岩强度应力比 S 基于地应力专题报告推荐范围值,通过设计最大地应力 σ_1 -强度指标 σ_{ci} 正交数据试验获得。各基础评价指标的分布概率模型及相关参数如图1所示。

2.3 分类方法中非基础评价指标分布模型估算

对照以上6种围岩分类方法评价指标(见表2),采用以下指标:RQD(RMR、Q法)、 V_b (RMi、GSI法)、 J_v (RMi、GSI、BQ、HC法)、 K_v (BQ、HC法)、 J_c (RMi、GSI法),通过其与基础评价指标关联性公式予以估算,各评价指标的换算关系式归纳如下^[11-14]:

关联指标RQD- s ,内在关联计算公式为

$$RQD = 100e^{-t/s}(1+t/s) \quad (t \text{ 一般取} 0.1 \text{ m}) \quad (1)$$

关联指标RQD- J_v ,内在关联计算公式为

$$RQD = \begin{cases} 100 & (J_v < 3) \\ 110 - 2.5J_v & (3 \leq J_v < 44) \\ 0 & (J_v \geq 44) \end{cases} \quad (2)$$

关联指标 V_b -(s 、 p 、 γ),内在关联计算公式为

$$V_b = \frac{S_1 S_2 S_3}{\sqrt[3]{p_1 p_2 p_3} \sin \gamma_1 \sin \gamma_2 \sin \gamma_3} \quad (3)$$

式中: V_b 为块体体积(m^3); s 为节理间距(m); p 为连通率(%); γ 为夹角($^\circ$)。

关联指标 J_v -(n 、 s),内在关联计算公式为

$$J_v = \sum_{i=1}^n 1/s_i + n_t/5 \quad (4)$$

式中: J_v 为体积节理数(条/ m^3); n 为优势节理组数(组); n_t 为随机节理数(条)。

关联指标 J_v - m ,内在关联计算公式为

$$J_v = \sum_{i=1}^n m_i + m_k \quad (5)$$

式中: m_i 为优势节理每米长测线上条数(条); m_k 为随机节理每立方米岩体上条数(条)。

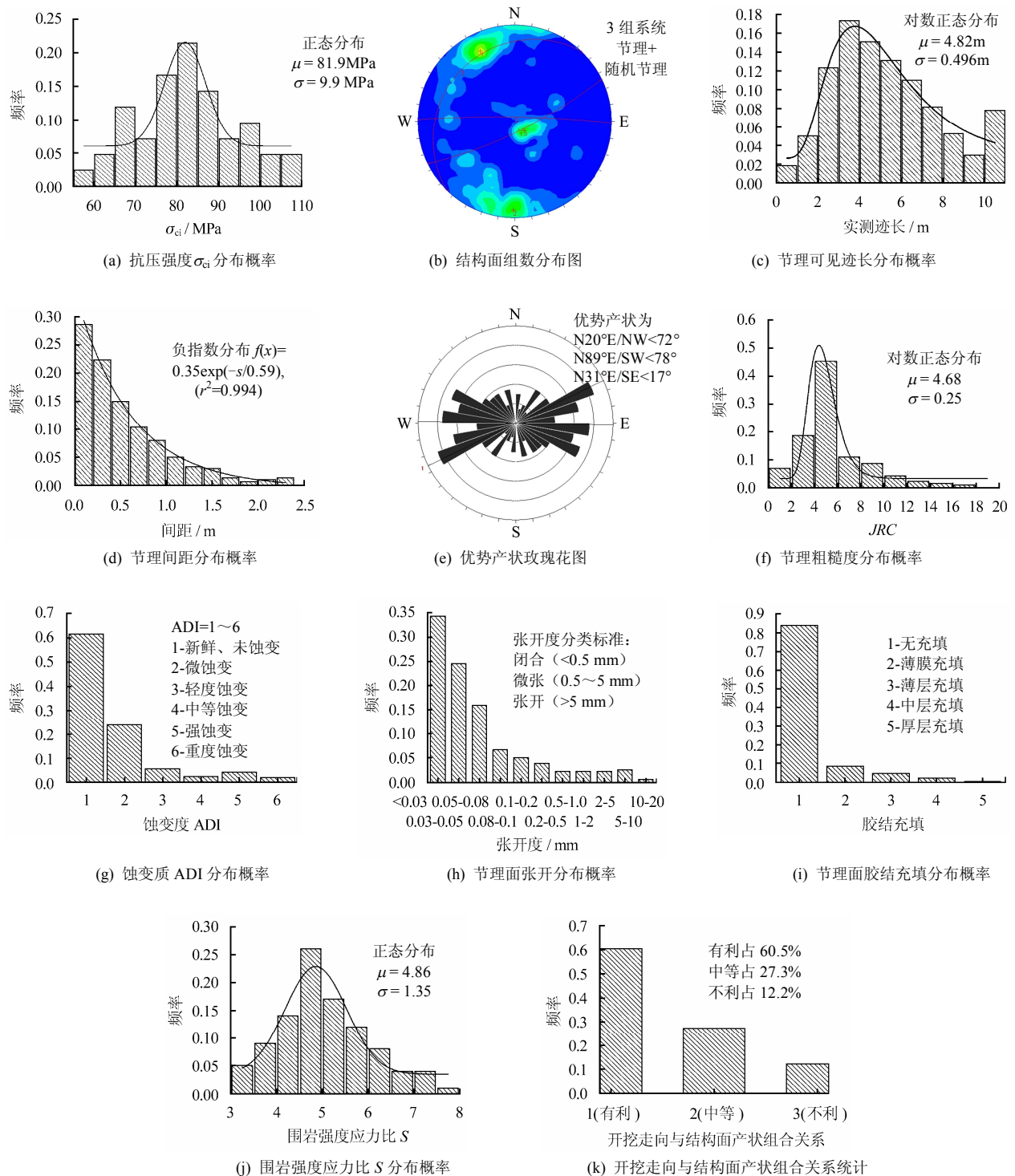


图1 各基础评价指标的分布概率模型及相关参数

Fig.1 Probabilistical distribution models and their relevant parameters of basic evaluation indexes

关联指标 J_v -(s 、 p 、 K_γ)，内在关联计算公式为

$$J_v = K_\gamma \sum_{i=1}^n (p_i / s_i) \quad (n \leq 3) \quad (6)$$

式中： K_γ 为节理夹角。

关联指标 V_b - J_v ，内在关联计算公式为

$$V_b = \beta J_v^{-3} \quad (\text{常规岩体状态}, \beta = 36) \quad (7)$$

关联指标 J_c -(J_R 、 J_A)，内在关联计算公式为

$$J_c = J_R / J_A = (J_w J_s) / J_A \quad (8)$$

式中： J_R 为粗糙度指标； J_A 为蚀变质指标。

关联指标 K_v - J_v ，内在关联计算公式为

$$K_V = \begin{cases} 1 - 0.08J_V & (J_V < 3) \\ -0.0175J_V + 0.8 & (3 \leq J_V < 44) \\ 0 & (J_V \geq 44) \end{cases} \quad (9)$$

国内常用的完整性系数 K_V 的确定, 可参考完整性系数 K_V 与体积节理数 J_V 规范推荐对应表^[10], 进行其线性拟合得到。基于基础评价指标的分布模型及相关参数, 利用 Excel 相关函数生成满足其模型的大量随机数, 此后, 利用以上公式推荐关联式, 可在 Excel 中获得非基础评价指标随机数, 进而对得到的随机数进行统计、拟合可产生分布模型及参数。

其中, V_b -(s 、 p 、 γ) 关联式因涉及到非基础评价指标偏多, 需进行必要简化处理, 据 Kim 等^[15] 研究, 节理间距、连通率、节理倾角因素对岩块体积 V_b 的影响程度 F 值权重分别为: 节理间距 s (12.151) > 连通率 p (4.409) > 节理倾角 γ (2.306), 故本文仅选取节理间距 s 、连通率 p 进行分析, 另据笔者统计、拟合得到, 连通率 p 与节理迹长 T (m) 大体满足以下经验公式:

$$p \approx 0.3 \ln T + 0.1 \quad (r^2 = 0.896) \quad (10)$$

而涉及到 J_V 的等效换算公式有: J_V -(n 、 s)、 J_V - m 、 J_V -(s 、 p 、 K_γ)。因 J_V -(s 、 p 、 K_γ) 考虑了节理倾角、连通率等因素, 与实际情况更为吻合, 故本文推荐采用该式进行体积节理数 J_V 的换算, 进而, 可得到围岩分类方法中非基础评价指标的分布模型及对应参数见图 2。

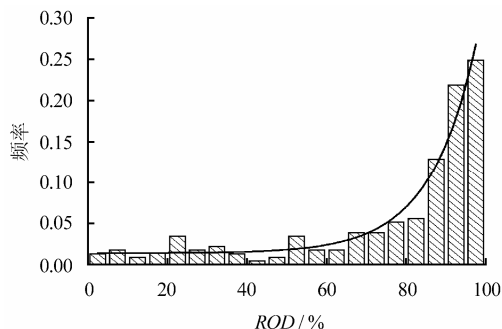
3 围岩分类结果概率分布特征分析

3.1 评价思路

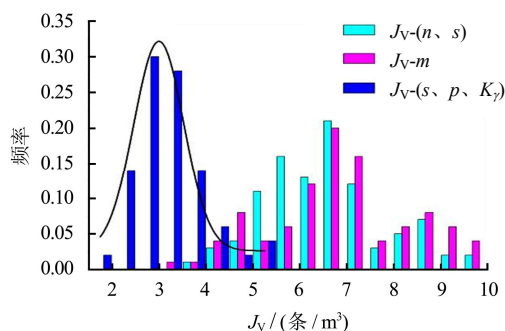
基于以上围岩岩体结构精细化描述结果, 应用 Monte Carlo 方法生成符合各评价指标分布模型及参数的大量随机数, 而后参照各分类方法 (RMR、Q、RMi、GSI、BQ、HC) 评价指标及思路, 建立评价指标描述体系与分类评分体系的对应关系, 进而得到不同分类方法的大量随机评分值, 通过归纳统计评价结果的分布状况, 得到应用概率统计方法实现对围岩分类结果的概率分布特征评价。

3.2 不同分类方法结果统计及概率分布特征分析

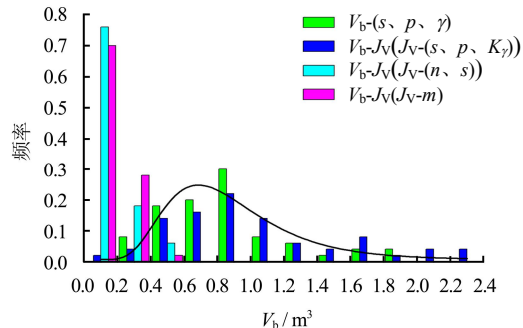
应用 Monte Carlo 方法获得评价指标大量随机数 (取 $n=300$), 参考 6 种常用分类方法 (RMR、Q、RMi、GSI、BQ、HC) 评分标准, 应用 Excel 程序提供的 RAND、LOOKUP、IF...THEN 等函数, 构建评价指标与评分标准的对应关系, 获得其对应的不同方法围岩类别概率统计图 (见图 3)。



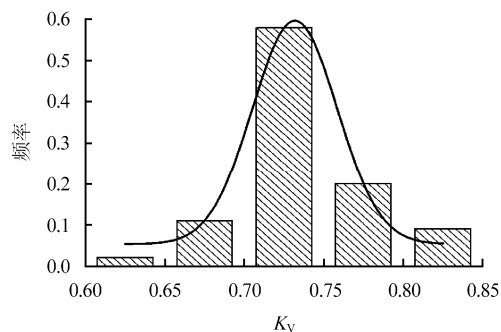
(a) RQD 统计值分布特征
(模型: 指数分布)



(b) 体积节理数 J_V 统计值分布特征
(模型: 正态分布, 均值: 2.995, 标准差: 1.07)



(c) 块体体积 V_b 统计值分布特征
(模型: 对数正态分布, 均值: 0.811 8 m³, 标准差: 0.41 m³)



(d) 完整性系数 K_V 统计值分布特征
(模型: 正态分布, 均值: 0.732, 标准差: 0.053)

图 2 围岩分类方法中非基础评价指标的分布模型及参数
Fig.2 Probabilistical distribution models and parameters of ranking evaluation indexes in classification systems

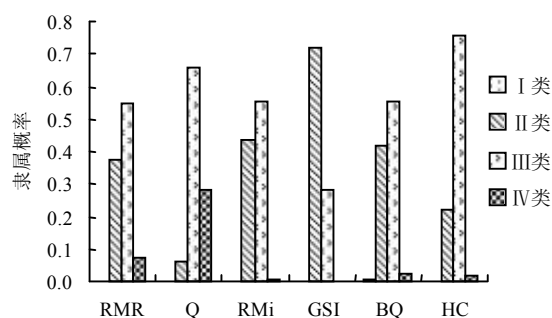


图3 不同围岩分类方法的围岩类别概率统计图
Fig.3 The probabilistical distribution statistical graph of different rock mass classification systems

从图3可知:

(1) 除 GSI 法外, 其余分类方法结果均认为评价区岩体质量主要隶属于 III 类围岩, 各自对应的概率为: 0.550、0.660、0.553、0.553、0.757, 定性判别该段围岩质量属于 III 类。且 II 类围岩隶属概率要远大于 IV 类, 若将 III 类围岩进一步细化为 1、2 等级时, 该区段应属于 III₁ 类围岩。

(2) Q 法相较其他分类方法, 其评价结果显著偏低, 认为评价区段隶属于 IV 类围岩概率为 0.283, 而其他方法隶属 IV 类围岩概率仅为 0.020~0.076。同样结果亦体现在其对 II 类围岩隶属概率评价要远小于其他方法。其主要原因是: Q 法相较其他方法, 更为强调地应力水平特征指标 SRF 对围岩质量的控制作用, 造成高地应力区围岩质量急剧降低, 出现与其他方法评价结果的脱节。

(3) GSI 法评价结果要优于其他分类方法, 其认为评价区段围岩隶属 II 类围岩, 究其原因, 主要由于 GSI 法仅考虑岩体结构特征指标, 而不考虑岩体强度特征、赋存地质环境特征指标劣化影响, 造成评价结果的“虚高”, 据此, 本文不推荐采用 GSI 法进行围岩分类评价, 仅用于对力学参数的估算。

(4) HC 法较其他分类方法其评价结果离散水平最低, 对统计样本挖掘分析发现, 该结论与 HC 法独有的围岩强度应力比 S_m ($S \times K_v$) 降级限项指标密切相关, 该指标将地应力水平特征与岩体完整性系数揉合, 并进行有差异的降级方案 (I、II 类降级阈值 S_m 为 4, 而 III、IV 类为 2), 造成统计数据的有效集中, 对围岩质量水平辨识度有利。

4 围岩力学参数概率分布特征分析

4.1 基于围岩分类结果估算围岩力学参数

目前应用围岩分类表示的力学参数估算关联式很多, 其中采用 RMR 表示的围岩力学参数关联式应用最广泛, 篇幅所限, 本文仅罗列由 RMR 表

示的 σ_{cm} 、 E_m 的拟合关联式^[16-17], 如下:

关联指标 σ_{cm} -RMR, 内在关联计算公式为

$$\sigma_{cm} / \sigma_c = \exp[(RMR - 100) / 24] \quad (11)$$

关联指标 σ_{cm} -RMR, 内在关联计算公式为

$$\sigma_{cm} / \sigma_c = \exp[(RMR - 100) / 18.75] \quad (12)$$

关联指标 σ_{cm} -RMR, 内在关联计算公式为

$$\sigma_{cm} / \sigma_c = \exp[7.65(RMR - 100) / 100] \quad (13)$$

关联指标 σ_{cm} -RMR, 内在关联计算公式为

$$\sigma_{cm} / \sigma_c = \exp[(RMR - 100) / 20] \quad (14)$$

关联指标 E_m -RMR, 内在关联计算公式为

$$E_m = 2RMR - 100 \quad (RMR > 50) \quad (15)$$

关联指标 E_m -RMR, 内在关联计算公式为

$$E_m = 10^{(RMR-10)/40} \quad (RMR \leq 50) \quad (16)$$

关联指标 E_m -RMR, 内在关联计算公式为

$$E_m = 0.5[0.0028RMR^2 + 0.9\exp(RMR/22.82)] \quad (17)$$

关联指标 E_m -RMR, 内在关联计算公式为

$$E_m = 0.1(RMR/10)^3 \quad (18)$$

观察 σ_{cm} -RMR 推荐式, 以上推荐式均满足: $\sigma_m / \sigma_c = \exp[(RMR - 100) / k]$ 形式, 选取 k 为表中推荐式的平均值: 18.95 进行抗压强度估算。而 E_m -RMR 对照其曲线分布图, 选取: $E_m = 10^{(RMR-10)/40}$ ($RMR \leq 50$), $E_m = 0.1(RMR/10)^3$ ($RMR > 50$) 进行估算。

此外, Hoek-Brown 经验准则^[18]目前已广泛应用于围岩力学参数估算, 围岩抗压强度 σ_{cm} 、抗拉强度 σ_{tm} 估算式分别为

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci} s^a \quad (19)$$

$$\sigma_{tm} = -\frac{s\sigma_{ci}}{m_b} \quad (20)$$

式中: 依据准则, m_b 、 s 、 a 可由 m_i 、GSI 进行表示。

Hoek 等^[19]据来自我国大量变形模量 E_0 与 GSI 指标实测数据研究, 提出了适合我国区域岩体发育特征的围岩变形模量 E_0 经验关系式为

$$E_0 = 100\,000 \left(\frac{1 - D/2}{1 + \exp((75 + 25D - GSI)/11)} \right) \quad (21)$$

式中： D 为岩体扰动系数，本文评价区段开挖方式为控制性爆破方式， $D=0$ 。

基于式(19)~(21)，实现应用 Hoek-Brown 经验准则及相关参数对围岩力学参数的估算。

4.2 围岩力学参数概率分布特征对比分析

对 RMR、GSI 法评价结果予以概率模型分析，得到 RMR、GSI 评分值概率模型如图 4。

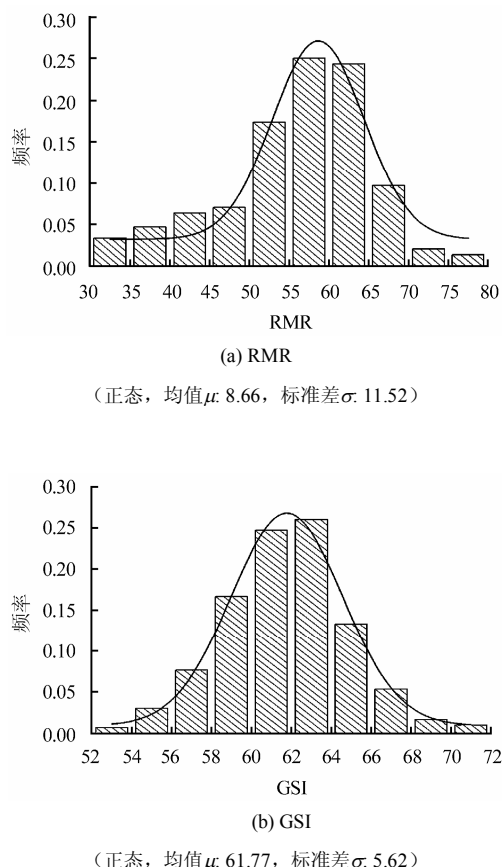


图 4 RMR、GSI 评分值概率模型及相关参数

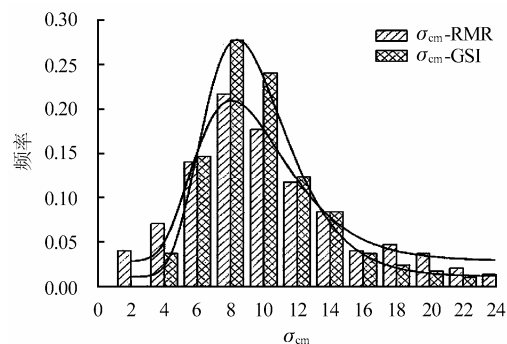
Fig.4 Probabilistical distribution models and their relevant parameters of the rating values by RMR and GSI

应用 Monte Carlo 随机数方法 ($n=300$), 获得两种估算方法力学参数概率分布特征 (见图 5)。

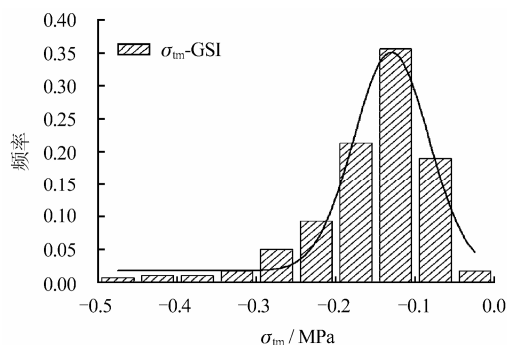
从图 5 知, 评价区围岩力学参数存在以下特征:

(1) 两种围岩力学参数估算方法计算结果大体相同, 说明计算方法的合理性, 在进行围岩力学参数估算时, 建议采用两种估算方法予以综合确定。

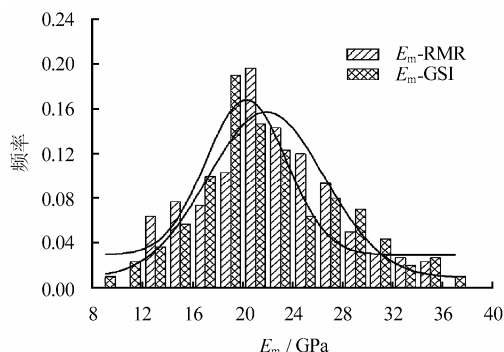
(2) 评价区围岩抗压强度 σ_{cm} 呈现对数正态分布特征, 均值大体在 9.05~9.15 MPa 之间, 围岩抗拉强度 σ_{tm} 呈现正态分布特征, 均值大体为 -0.130 4 MPa, 围岩变形模量 E_m 呈现正态分布特征, 均值大体在 20.3~21.9 GPa 之间。



(a) 抗压强度指标 σ_{cm} 分布特征统计
(对数正态, σ_{cm} -RMR 均值 μ : 9.061, 标准差 σ : 0.34;
 σ_{cm} -GSI 均值 μ : 9.155, 标准差 σ : 0.296)



(b) 抗拉强度指标 σ_{tm} 分布特征统计
(正态, σ_{tm} -RMR 均值 μ : -0.130, 标准差 σ : 0.095)



(c) 变形模量指标 E_m 分布特征统计
(概型: 正态, E_m -RMR 均值 μ : 20.261, 标准差 σ : 6.451;
 E_m -GSI, 均值 μ : 21.874, 标准差 σ : 9.319)

图 5 评价区围岩力学参数概率分布特征及相关参数
Fig.5 Probabilistical distribution characteristics and parameters of mechanical parameters in the sections

5 结 论

(1) 岩体精细化描述体系是目前对围岩岩体认知的最佳分析手段, 据此可实现围岩岩体质量及力学参数的概率分布特征的精确确定。

(2) 正确选取围岩分类方法中的基础评价指标, 并对其进行详尽描述、分析是实现围岩质量及力学参数准确评价的关键所在, 现场地质素描应针对此类基础评价指标展开量化精细描述。

(3) 不同围岩分类方法所侧重点各不相同, 如 RMR 法侧重岩体结构对围岩质量的控制作用, 而不考虑地应力作用影响; Q 法侧重地应力作用对围岩质量的影响; GSI 法仅考虑岩体结构的控制作用, 忽视岩块强度与赋存地质环境指标影响; 而 HC 法更侧重岩块强度对围岩质量的控制作用, 各方法的侧重点不同是导致分类结果差异的根本原因。

(4) 基于围岩分类及力学参数的概率分布特征分析, 为实现围岩支护极限状态设计提供必要的原始数据支持, 可体现围岩动态化设计、施工思路。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准编写组. GB50287—2006 水力发电工程地质勘察规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2006.
- [2] 黄润秋, 许模, 胡卸文, 等. 复杂岩体结构精细描述及其工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] 胡波, 王思敬, 刘顺桂, 等. 基于精细结构描述及数值试验的节理岩体参数确定与应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(12): 2458—2465.
HU Bo, WANG Si-jing, LIU Shun-gui, et al. Determination and application of jointed rock mass parameters based on fine structure description and numerical experiment[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2007, 26(12): 2458—2465.
- [4] 夏才初, 陈孝湘, 许崇帮, 等. 特大跨度连拱隧道岩体节理的精细化描述及其块体稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(增刊 1): 2598—2603.
XIA Cai-chu, CHEN Xiao-xiang, XU Chong-bang, et al. Fine description of rock joint combined with block theory and its applications to extra-large cross-section multiple-arch tunnel[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2010, 29(Supp.1): 2598—2603.
- [5] 许崇帮, 夏才初, 陈孝湘. 基于节理精细化描述的隧道围岩变形[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(10): 1997—2003.
XU Chong-bang, XIA Cai-chu, CHEN Xiao-xiang. Characteristics analyses of deformation and failure on tunnel surround rock based on fine description of joints[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2011, 30(10): 1997—2003.
- [6] BIENIAWSKI Z T. Engineering classification of jointed rock masses[J]. **Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng.**, 1973, 15(12): 335—344.
- [7] BARTON N, LIEN R, LUNDE J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support[J]. **J. Rock Mech.**, 1974, 6(4): 189—236.
- [8] PALMSTROM A. RMI——A rock mass characterization system for rock engineering purposes[D]. Oslo: University of Oslo, Department of Geology, 1995.
- [9] HOEK E, KAISER P K, BAWDEN W F. Support of underground excavations in hard rock[M]. Rotterdam: Balkema, 1995.
- [10] 中华人民共和国国家标准编写组. GB 50218—94 工程岩体分级标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1995.
- [11] HASHEMI M, MOGHADDAS S, AJALLOEIAN R. Application of rock mass characterization for determining the mechanical properties of rock mass: A comparative study[J]. **Rock Mechanics and Rock Engineering**, 2010, 43: 305—320.
- [12] PALMSTROM A, SINGH R. The deformation modulus of rock masses comparisons between in situ tests and indirect estimates[J]. **Tunnelling and Underground Space Technology**, 2001, 16: 115—131.
- [13] CAI M, KAISER P K, UNO H, et al. Estimation of rock mass deformation modulus and strength of jointed hard rock masses using the GSI system[J]. **Int. J. Rock Mech. Min. Sci.**, 2004, 41: 3—19.
- [14] 李攀峰, 杨建宏, 杨建, 等. 节理岩体体积节理数 J_V 的新计算公式[J]. 工程地质学报, 1996, 4(1): 8—13.
LI Pan-feng, YANG Jian-hong, YANG Jian, et al. New formulae for volumetric joint count J_V of jointed rockmass[J]. **Journal of Engineering Geology**, 2009, 17(2): 240—243.
- [15] KIM B H, CAI M, KAISER P K. Estimation of block sizes for rock masses with non-persistent joints[J]. **Rock Mechanics and Rock Engineering**, 2007, 40(2): 169—192.
- [16] DINC O S, SONMEZ H, TUNUSLUOGLU C. A new general empirical approach for the prediction of rock mass strengths of soft to hard rock masses[J]. **Int. J. Rock Mech. Min. Sci.**, 2011, 48(4): 650—665.
- [17] HASHEMI M, MOGHADDAS S, AJALLOEIAN E R. Application of rock mass characterization for determining the mechanical properties of rock mass: A comparative study[J]. **Rock Mechanics and Rock Engineering**, 2010, 43(5): 305—320.
- [18] HOEK E, CARRANZA-TORRES C, CORKUM B. Hoek-Brown failure criterion-2002 edition[C]// Proceedings of 5th North American Rock Mechanics Symposium and Tunneling Association of Canada Conference: NARMS-TAC. [S. l.]: [s. n.], 2002, 267—271.
- [19] HOEK E, DIEDERICHS M S. Empirical estimation of rock mass modulus[J]. **Int. J. Rock Mech. Min. Sci.**, 2006, 43: 203—215.