

doi: 10.12068/j.issn.1005-3026.2017.10.028

高放废物处置北山预选区地表岩体 质量评价及其应用

魏翔^{1,2}, 杨春和^{1,3}, 陈世万¹, 霍亮⁴

(1. 重庆大学 煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆 400044; 2. 西南石油大学 土木与建筑学院, 四川 成都 610500; 3. 中国科学院 岩土力学与工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430071; 4. 东华理工大学 地球科学学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 在利用测线法对地表节理调查统计的基础上,提出了基于 JSR (jointing structure rating) 指标的地表岩体质量评价方法. 以高放废物地质处置北山预选区地表岩体为研究对象,利用 JSR 指标对芨芨槽、算井子和新场地地表岩体进行节理发育程度和地表岩体质量评价. 结果表明:芨芨槽地段地表岩体比算井子地段节理发育程度低,地表岩体质量等级高,从而为高放废物地质处置场址比选提供依据. 同时研究了 JSR 指标与传统 Q 指标的定量关系,并修正了 JSR 指标的分级范围.

关键词: 岩体质量;高放废物处置;节理调查;JSR;节理发育程度

中图分类号: TU 45 文献标志码: A 文章编号: 1005-3026(2017)10-1507-05

Surface Rock Mass Quality Evaluation for High-Level Radioactive Waste Disposal of Beishan Preselected Area and Its Application

WEI Xiang^{1,2}, YANG Chun-he^{1,3}, CHEN Shi-wan¹, HUO Liang⁴

(1. State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing University, Chongqing 400044, China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 3. State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China; 4. School of Earth Sciences, East China University of Technology, Nanchang 330013, China. Corresponding author: WEI Xiang, E-mail: 9031534232@qq.com)

Abstract: Based on the use of surveying method for surface joint investigation and statistics, a surface rock mass quality evaluation method based on the index-JSR was proposed. Taking the high-level radioactive waste disposal of Beishan preselected area as research object, the index-JSR was used to evaluate rock mass joint development degree and quality in the Jijicao section, Suanjingzi section and Xinchang section. The results showed that joints in the Jijicao section are less developed and the rock mass quality for Jijicao section is higher than that of Suanjingzi section. The results can provide site select basis for high-level radioactive waste geological disposal. At the same time, the quantitative relationship between JSR and Q was studied, and the scope of JSR index classification was corrected.

Key words: rock mass quality; high-level radioactive waste disposal; joint investigation; JSR; joint development degree

岩体质量评价是随着各种工程的开展而发展起来的,在工程建设的各个阶段中具有重要的作用. 在高放废物地质处置工程中,处置库围岩作为

隔绝放射性核素和生物圈的最后一道屏障,是影响地下处置库长期稳定性和安全性的关键因素^[1]. 因此围岩岩体质量研究显得尤为重要.

收稿日期: 2016-04-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51104144,51574218).

作者简介: 魏翔(1989-),男,山西阳泉人,重庆大学博士研究生; 杨春和(1962-),男,江西丰城人,重庆大学教授,博士生导师,中国科学院武汉岩土力学研究所研究员.

近几十年,随着岩土工程的发展,国内外很多专家对不同工程领域的岩体质量评价进行了深入研究,并提出相应的评价方法.例如传统的 RQD 法、RMR 法、 Q 系统分类法、国标《工程岩体分级标准》水利水电工程围岩工程地质分类 HC 法等围岩分级和岩体质量评价方法.随着科学技术的不断进步,一些系统理论被引入到围岩分级和岩体质量评价中,如可拓学理论、分形理论、未确知测度理论、粗糙集和人工神经网络.

针对高放废物地质处置工程,文献[2]根据高放废物地质处置工程不同阶段的特点建立与之相适应的岩体工程质量评价体系;McEwen 等^[3]提出了 RSC 指标进行岩体质量评价;宗自华等^[1]开展了高放废物地质处置岩体评价技术及其应用研究,初步获得了甘肃北山预选区岩体结构面分维特征参数,并采用 Q 法、RMR 等方法对预选区岩体质量进行了分析;陈亮等^[4]以 Q 系统为基础提出了中国高放废物地质处置工程岩体质量评价方法.总体而言,与高放废物地质处置工程不同阶段的特点相对应的岩体质量评价技术体系尚未形成.

目前我国高放废物地质处置工程还处在场址比选阶段,此阶段主要进行预选区地表岩体节理调查工作.基于地表露头节理调查统计结果,本文提出了利用 JSR 指标进行岩体质量评价,并应用到茂苾槽、算井子和新场地段岩体质量分级中,为高放废物地质处置场址比选提供依据,同时讨论了 JSR 指标与传统 Q 指标的关系,并修正了 JSR 指标的分级范围.

1 节理调查方法和内容

在野外节理调查中,首先通过实际踏勘,在研究范围内选择发育良好的露头,用 GPS 确定露头的位置,然后采用测线法进行节理调查.图 1 给出了节理与测线的关系,将节理分为 I (相交型)、II (延长线相交型) 和 III (不相交型) 三种类型,并测量露头内每一条节理几何参数.为了准确快捷测量,布置测线时,应尽量使测线与所有节理迹线相交.主要调查节理产状、间距(密度)和迹长等几何参数^[5].

2 JSR 指标

岩体质量评价是指利用岩体质量指标评定岩体的工程地质性质.由于各类工程考虑的侧重点

不同,故岩体质量评价指标和参评因素也不相同.目前国内外各类岩体质量评价分级所考虑的主要因素大致可概括为岩体完整性、结构面条件和环境因素^[6].

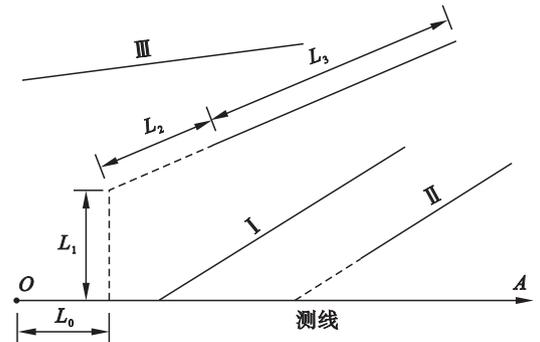


图 1 测线法节理调查

Fig. 1 Line method for joint investigation

随着高放废物处置工程的不断发展,其相应的工程岩体质量评价方法和围岩分级研究也越来越受重视.目前我国高放废物处置研究正处在场址筛选阶段,因此有必要建立适合于我国的处置库场址评价方法.

围岩作为处置库的天然屏障,是高放废物与人类生存环境隔离的关键.花岗岩作为高放废物处置的首选围岩,通过实验得出:花岗岩具有孔隙度小、含水率极低和吸水性差且单轴抗压强度 R_c 多在 170 MPa 左右,大于 60 MPa 属于坚硬岩石^[7-9].但花岗岩中含有一些节理裂隙,这些裂隙是核素伴随地下水运移的主要通道,这样就容易对生物圈造成破坏.而高放废物处置场址比选工程主要考虑两方面的问题:核素迁移和围岩稳定.由于花岗岩属于硬岩,故围岩稳定性基本可以保证;而花岗岩岩体中节理分布特征成为主要研究方向.因此岩体完整性成为高放废物处置地表岩体质量评价中的主要影响因素.

鉴于岩体完整性对高放废物处置地表岩体质量起决定性作用,根据国际岩石力学学会的建议^[5],岩体完整性可以用岩石块体大小来定量描述.目前岩石块体大小用节理间距或 J_v (节理体密度)来计算.

但是在实际工程中,尤其是当节理组数较多时,不可能看到一个露头全部的岩体块体构成情况.而地表岩体的块体大小主要由节理间距、组数和延伸情况等决定.图 2 给出了节理间距、组数和延伸情况对岩石块体大小的影响.鉴于上述原因,针对高放废物处置场址比选阶段,利用 JSR 指标进行节理发育程度和地表岩体质量评价:

$$JSR = W_n \bar{D}_a \bar{L} \quad (1)$$

式中： D_a 为全部露头的平均迹线中点面密度； L 为全部露头的平均迹长； W_n 为节理优势组数量。由式(1)可知，JSR 的 3 个参数可以通过地表节理调查统计获得，根据它们各自的评分值就可以算出 JSR 值的大小，从而进行岩体质量分级^[10]。表 1 给出了 JSR 值对应的节理发育程度和地表岩体质量等级。

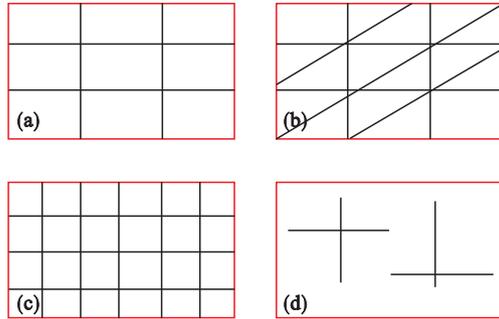


图 2 块体大小的影响因素

Fig. 2 Effect factors for block size

(a) — 参照图；(b) — 节理组数对块体大小的影响；(c) — 节理间距对块体大小的影响；(d) — 节理延伸性对块体大小的影响。

级结构面，即节理。地表岩体大量发育的构造节理形成雨水和地下水连通的通道，对高放废物处置工程长期稳定性具有一定的影响。因此在地表调查构造结构面的基础上，如何对预选区岩体进行比选是工程的关键问题。本文将通过对新场、芨芨槽和算井子岩体质量评价来确定处置库建设场址。



图 3 地表岩体节理发育情况

Fig. 3 Joint development in surface rock mass

表 1 地表岩体质量分级

Table 1 Rating for surface rock mass quality

JSR	节理发育程度	岩质	地下水状态	地表岩体质量分级特征
0 ~ 24	I 很轻微	—	—	I 坚硬 完整 稳定
24 ~ 144	II 轻微	—	—	II 坚硬 较完整 基本稳定
144 ~ 432	III 中等	坚硬岩	无	III 坚硬 较破碎 稳定性差
432 ~ 960	IV 发育	—	—	IV 坚硬 破碎 不稳定
960 ~ 1 500	V 很发育	—	—	V 破碎 极不稳定

3.2 岩体质量评价

通过数学与概率统计法对新场、芨芨槽和算井子地段地表野外地质调查获得的节理几何特征进行统计处理，对 3 个参数进行评分，最后计算每个露头点的 JSR 值并绘制等值线图。以算井子地段为例，露头点 N_2 节理组数为 2 组，相应的评分值为 3；节理中点面密度统计值 0.02 m^{-2} ，相应的评分值为 4；节理迹长为 23.09 m，相应的评分值为 15。故露头点 N_2 的 JSR 值为 180。同时得出表 2 算井子地段地表露头点对应的 JSR 值。根据表 2 的结果绘制 JSR 指标等值线图，如图 4 所示。

表 2 算井子地段地表露头点对应的 JSR 值

Table 2 JSR values for outcrops in Suanjingzi

点号	JSR	点号	JSR	点号	JSR
N_1	108	N_{19}	210	N_{37}	216
N_2	180	N_{20}	225	N_{38}	216
N_3	180	N_{21}	180	N_{41}	270
N_5	162	N_{22}	288	N_{43}	216
N_7	162	N_{24}	300	N_{44}	180
N_8	360	N_{25}	165	N_{45}	162
N_9	150	N_{26}	180	N_{47}	315
N_{10}	90	N_{27}	180	N_{48}	150
N_{11}	198	N_{29}	135	N_{49}	198
N_{13}	120	N_{30}	198	N_{52}	180
N_{14}	192	N_{31}	132	N_{53}	198
N_{16}	165	N_{32}	180	N_{54}	360
N_{17}	360	N_{34}	180	N_{55}	225
N_{18}	360	N_{36}	204	N_{56}	360

3 工程应用

3.1 工程背景

高放废物处置甘肃北山预选区新场、芨芨槽和算井子岩体位于甘肃省西北部，属于塔里木板块北缘北山地区南带。研究区内岩体主要为花岗岩类，岩性主要是花岗闪长岩和二长花岗岩且呈大面积岩基广泛发育。花岗岩的岩体露头出露新鲜，几乎没有蚀变，地貌特征均为强烈夷平和平缓起伏的石漠或低丘^[11]。

图 3 给出了地表岩体节理发育情况。可以看出：在甘肃北山预选区地表岩体发育大量的 IV

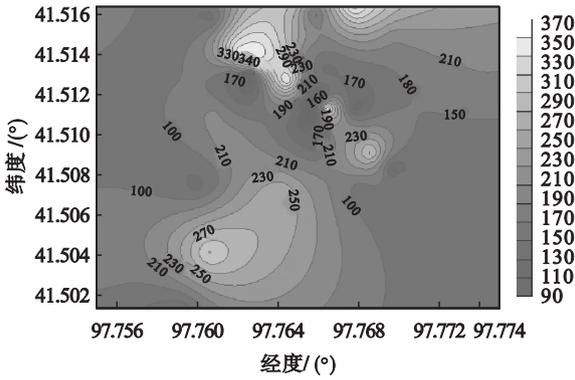


图 4 地表岩体 JSR 指标等值线图

Fig. 4 JSR index isogram of surface rock mass

根据地表岩体 JSR 指标等值线图统计各级 JSR 值所占面积分数并计算整个地段的 JSR 指标的期望值,由表 3 可知:芨芨槽地段地表岩体 JSR 期望值小,说明芨芨槽地段地表岩体节理发育程度轻微、岩体坚硬、完整性较好且基本稳定,岩体质量等级为 II 级;而算井子地段地表岩体节理发育程度中等,岩体坚硬但比较破碎,稳定性较差,岩体质量等级为 III 级.因此可以认为芨芨槽地段地表岩体质量较好,更适合作为高放废物处置库建造预选场址.

表 3 JSR 指标期望值

Table 3 Expected value for JSR index

地段	I 级	II 级	III 级	JSR 期望值
	面积 分数/%	面积 分数/%	面积 分数/%	
新场	0	58	42	140
芨芨槽	12	65	33	126
算井子	0	32	68	206

4 讨 论

在高放废物地质处置场址比选阶段,针对同一场址,利用不同的方法评价岩体质量的结果可能存在差异,因此以算井子地表岩体为研究对象,建立 JSR 指标与传统 Q 指标之间的定量对应关系并修正其分级范围.图 5 给出了 JSR 与 Q 的定量关系,在相关系数为 0.65 的情况下,关系式为

$$JSR = 373.09 - 50.34 \ln Q. \quad (2)$$

利用式(2)和 Q 指标分级结果对 JSR 指标进行修正,具体结果为:JSR 值区间 $[0 \sim 25]$, $[25 \sim 141]$, $[141 \sim 373]$, $[373 \sim 489]$ 和 $[489 \sim 720]$ 相对应的岩体质量等级分别为 I, II, III, IV 和 V.

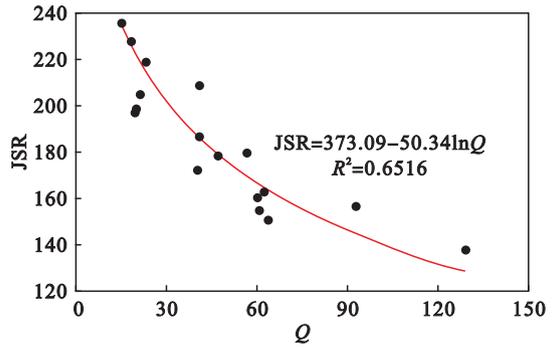


图 5 JSR 和 Q 的关系

Fig. 5 Relation of JSR and Q

5 结 论

1) 采用测线法调查地表露头节理几何特征,利用概率论和数理统计方法进行节理几何特征统计,然后提出了基于 JSR 指标进行地表岩体质量评价方法.

2) 利用 JSR 指标对甘肃北山地表岩体进行节理发育程度和地表岩体质量评价,结果表明,芨芨槽地段地表岩体质量较好,更适合作为高放废物处置库建造预选场址.

3) 研究了 JSR 指标与传统 Q 指标的关系并修正了 JSR 指标的分级范围,即修正后的分级区间为 $[0 \sim 25]$, $[25 \sim 141]$, $[141 \sim 373]$, $[373 \sim 489]$ 和 $[489 \sim 720]$.

4) 在我国高放废物地质处置北山预选区地表岩体质量评价中,因 JSR 指标既考虑了影响工程的主要因素又容易获取所需参数而被使用.但是 JSR 指标在其他工程如隧道开挖或地下洞室中并不适用.因此有必要对 JSR 指标进行进一步的研究以应用到其他工程岩体质量评价中.

参考文献:

[1] 宗自华,陈亮,陈强,等.高放废物处置北山预选区地表岩体结构与岩体质量相关性及其应用研究[J].岩土力学,2013(sup1):279-284,292.
(Zong Zi-hua, Chen Liang, Chen Qiang, et al. Study of relationship between rock structure and rock quality and its application to site evaluation of Beishan HLW repository[J]. Rock and Soil Mechanics, 2013(sup1):279-284,292.)

[2] Hagros A. Host rock classification (HRC) system for nuclear waste disposal in crystalline bedrock [D]. Helsinki: University of Helsinki, 2006.

[3] McEwen T, Kapyaho A, Hella P, et al. Rock suitability classification RSC 2012[R]. Helsinki: Posiva Oy, 2012.