

文章编号: 1000-7598-(2006)04-0594-03

结构面三维网络模拟在岩体质量评价中的应用

汪 斌¹, 唐辉明¹, 简文星¹, 张显书^{1,2}

(1. 中国地质大学 工程学院, 武汉 430074; 2. 贵州省水利水电勘测设计研究院, 贵阳 550002)

摘 要: 岩石质量指标 RQD 是反映工程岩体完整程度的定量参数, 广泛用于水利水电、矿山、地下工程、交通工程等岩体稳定性评价, 但是传统的 RQD 定义不能满足实际工程岩体各相异性要求。针对贵州黔中水利枢纽工程拱坝坝基岩体结构面特征, 利用 Monte-Carlo 法在计算机上生成岩体节理三维网络图, 建立了模拟计算不同阈值 t 的岩石质量指标 RQD_t 的计算机模拟方法。该方法能较真实客观地描述岩石质量。

关 键 词: 岩体质量指标; 工程岩体; Monte-Carlo 模拟; 各相异性

中图分类号: TU 45

文献标识码: A

Application of 3D network modeling rock mass discontinuities to evaluating rock mass quality for dam foundation

WANG Bin¹, TANG Hui-ming¹, JIAN Wen-xing¹, ZHANG Xian-shu^{1,2}

(1. Engineering Faculty, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Guizhou Institute of Hydroelectric Survey and Design, Guiyang 550002, China)

Abstract: Rock quality designation (RQD) is a quantitative parameter that used to reflect the degree of integrality of engineering rock mass. And it has been applied to assess the stability of rock slope in the field of water resources and hydropower engineering, mining, underground engineering, transportation engineering. However, the traditional RQD definition isn't able to take into account the anisotropy of the engineering rock mass. Aiming at the structural properties of the arch dam of Qianzhong Hydraulic Project in Guizhou Province, and based on the joint network of rock mass simulated by the computer with Monte-Carlo method, a method of deciding RQD_t under different threshold values is proposed. Many engineering practices have validated that this method is able to reflect the engineering rock mass quality objectively.

Key words: rock quality designation; engineering rock mass; Monte-Carlo stimulation; anisotropy

1 引 言

岩体质量的好坏直接关系到岩体的工程特性和稳定性, 在大型工程建设中的岩体质量评价中具有重要意义。长期以来, 人们运用结构面野外测量或钻孔资料定量确定工程岩体质量的探索已取得了丰硕的成果, 国内外已提出的岩体分类方案有数十种之多, 其中最为流行的 RMR 岩体工程分类系统和 Q 分类体系中, 岩石质量指标 RQD 都作为重要评定参数。

2 传统 RQD 定义的评述及改进

Deere (1964 年)根据金刚石钻进的岩芯采取率提出了 RQD , 定义其为 10 cm 以上的整段岩芯的累计长度占钻孔总长度的百分比。虽然, RQD 指标已在工程岩体分类中广泛应用, 但也存在如下明显的缺点:

(1) 在 Deere 的 RQD 定义中, 块径界线值为 10 cm 并没有得到充分的论证。钻探中岩芯长度小于 10 cm 时, 钻孔测得的 RQD 为零, 相反, 如果岩芯长度都大于 10 cm, 所获得的 RQD 值均为 100 %, 显然不切实际。由于岩体工程性质的各向异性, 相应的 RQD 值也是各向异性的, 例如对仅发育一组节理的水平层状岩体, 在层厚为 9 cm 时 铅直钻孔测得的 RQD 值为零, 而水平钻孔测得的 RQD 值却为 100 %。实际上岩体是三维的地质体, 用于反映岩体完整性的 RQD 指标也应该是三维的参数, 仅凭钻探得到的一维的 RQD 指标来说明三维的完整性程度会产生偏差。

(2) 在实际工程中, 经常出现在同一结构区、同一岩体中的不同钻孔所测得的 RQD 指标离散性很大, 有时甚至与实际岩体完整性完全不符的情况, 这主要与岩体工程地质特征的复杂性有关。裂隙发育程度、充填特征的不均一性以及岩体风化程

度的差异,常引起岩体工程性质的不均一性,不同地点的 RQD 值都不同。

为了解决以上问题,引进阈值 t ,把 RQD 概念延拓为:岩体中某一给定方向上大于某一确定值 t 的间距的总长与该方向上所有间距总和的百分比,记为 RQD_t 。笔者运用 Monte-Carlo 法在计算机上生成岩体节理网络图,然后模拟计算不同阈值的岩石质量指标 RQD_t 。

3 RQD 的延拓^[2]

虽然在 Deere 的 RQD 定义中块径界线值为 10 cm 值得商榷,但目前还没有根据实测或者统计理论给出的最佳阈值。而结构面间距(岩块长度)是随机分布的, RQD_t 指标是据岩块长度统计得出的,因此 RQD_t 也是随机的,其随机分布性质可以用间距的概率密度函数来表达。 RQD 的延拓又可称为广义的 RQD_t , 定义为

$$RQD_t = 100 \times \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n x_i^* \quad (1)$$

式中 x_i^* 为沿某个测线方向第 i 个大于给定阈值 t 的整段岩块的长度; RQD_t 为对应于阈值 t 的岩石质量指标。对于具体工程,给出不同阈值 t 就可以得出一系列的 RQD_t 值进行综合评价。

4 用 Monte-Carlo 法模拟 RQD_t 值

岩体结构面网络模拟分析的基本原理是:根据实测得到的结构面几何参数的概率分布函数,推求服从这些分布规律的结构面网络几何图形,由此得到岩体结构模型。常用的方法是蒙特卡洛(Monte-Carlo)方法,又称随机模拟方法。因此在进行计算机模拟之前,首先要确定随机变量的概率分布形式,即对各随机变量(方位、规模、间距、隙宽)建立合适的概率模型,诸如正态分布、负指数分布或对数分布等。由于模拟网络中各组结构面的几何参数与现场结构面分布具有相同的概率模型和统计参数,因此生成的模拟网络可以看成岩体实际结构面的仿真图像,潘别桐和井如兰、黄运飞^[4]等已在岩体结构面网络模拟方面进行了深入地研究。

不连续面网络模拟可分为二维和三维两种情况。对于二维不连续面网络模拟,根据 Sen^[6]和 Eissa 的研究,主要在野外露头上用精测线法对节理岩体进行量测,统计大于某一阈值的完整岩石的长度的概率分布密度函数。但是,由于结构面频率是随方位变化的,因此 RQD_t 也是方位的函数,通过不连续面三维模拟可以实现二维网络模拟的全部功能,还能得到其在三维空间的分布状态,并由网

络图显示,这样就可以解决岩体质量的各向异性问题。具体方法是:首先进行野外地质调查,对节理等不连续面的产状、迹线长度、隙宽等进行统计;通过三维网络的计算机模拟,得到迹线在三维空间的分布,再根据实际工程要求,在所关心的某一方向上布线,测得每条测线上的有效 RQD_t 值并在此基础上的某一方向上建立相应的 RQD_t 值的概率分布函数,求得相应的 RQD_t 的均值和方差,从而确定此剖面在该方向的 RQD_t 值。以上均由笔者自制模拟程序实现。

5 工程实例

5.1 工程概况

用不连续面网络模拟法来分析岩体的 RQD_t 值已在多项工程中应用成功,这里笔者仅以该法对黔中水利枢纽工程坝基岩体结构面网络模拟及 RQD_t 进行估算。

在大坝坝基两岸沿裂隙面布置了较多的勘探平硐,在其硐顶用精测线获得结构面的几何参数等资料。勘探坝线,出露岩层全部为 T_{1yn}^1 ,按岩性可细分为:上部 T_{1yn}^{1-2} 为灰色薄至中厚层灰岩,下部 T_{1yn}^{1-1} 为灰色薄层灰岩、泥质灰岩夹泥岩,厚 20~40 m, T_{1yn}^{1-1} 顶部在河床附近。岩体主要发育两组裂隙:①组,走向 $NW10^\circ \sim NE5^\circ$ / $E \angle 68^\circ$, ②组,走向 $E \sim W$, 正交河床,倾下游 S 方,倾角为 68° 。坝基岩体基本完整,属硬质岩,不存在缓倾裂隙,岩体软弱面为薄层泥质夹层层面,两岸坝基及河床坝基属 $B_{III}1$ 类。

5.2 岩体结构面模拟

在坝基稳定性评价中,人们最关心的是沿裂隙面的结构面的岩体质量,由于此裂隙面为受剪时主要潜在滑动面,并几乎近水平,所以在求取 RQD_t 时主要沿水平剖面进行切割。采用 Monte-Carlo 模拟技术进行结构面网络模拟后得到岩结构面网络图,如图 1 所示。

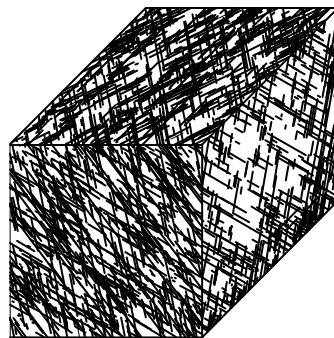


图 1 坝基岩体结构面三维网络图
Fig.1 3-D network of dam rock discontinuity

通过以上分析, 根据网络图可以确定出截面上各个方向的线密度分布图(图 2)。为了便于研究岩体结构特征, 以 $t=0.1, 0.3, 0.5, 0.7 \text{ m}$ 作为阈值, 分别计算相应的岩体随空间方位的 RQD_t 值(图 3)和坝基裂隙面在不同阈值下沿坝轴走向的 RQD_t 概率密度分布类型及均值和方差, 计算结果见表 1。

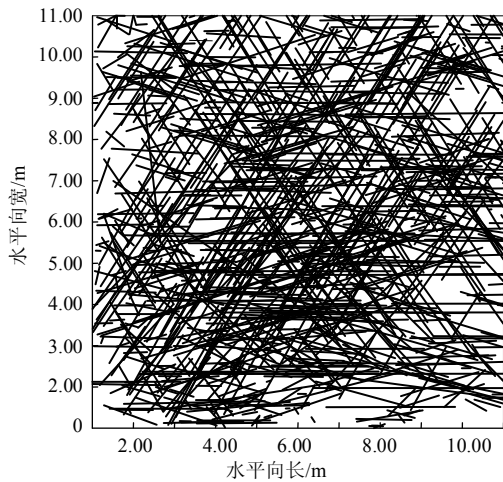


图 2 垂直坝轴向水平切面网络
Fig.2 Plane network of vertical dam axes

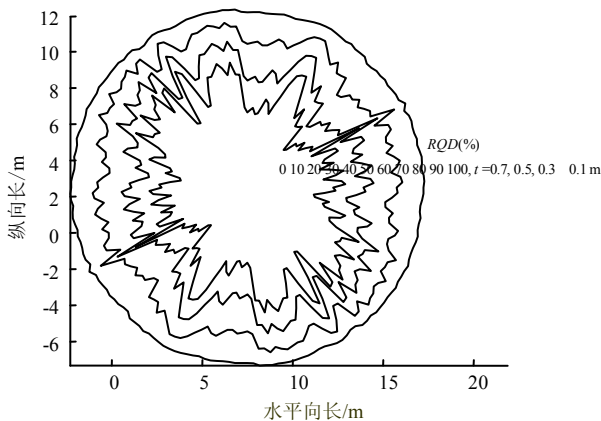


图 3 RQD_t 值随空间方位变化图
Fig.3 Spatial variation of RQD_t in direction dam axis

表 1 坝轴向 RQD_t 的均值和方差

Table 1 Mean and Variance of RQD_t in direction of dam axis

参数	λ /条·米 ⁻¹	坝轴/m			
		0.1	0.3	0.5	0.7
概率分布密度分布	负指数	正态分布	正态分布	正态分布	正态分布
RQD_t 均值/%	1.36	97.6	82.8	68.4	48.3
RQD_t 方差/%	0.87	0.005 6	0.006 3	0.014 5	0.018 7

从图 3 及表 1 可以得出结构面的密度都不大, 但具有各向异性, 不同方向结构面密度值有差别。平面上结构面平均密度为 2.860 条/米, 最大线密度值 3.865 条/米。由图 3 可知, RQD_t 在不同方位值变化很大, 说明该区结构面的发育情况及岩体的完整性都呈明显的各向异性, 这必然导致岩体在不同方

向上物理、力学性质差别较大。由于该坝基岩体质量为 B_{III} 类, 其 RQD_t 值基本上在 80 %~85 % 区间内, 可以求得相应的 RQD_t 阈值 t 的最佳取值, 再由此阈值来决定每一个均值区的岩体质量评价的阈值 t 。

6 结 语

应用 Monte-Carlo 模拟技术, 在计算机中生成的岩体结构面的模拟网络可以用来建立岩体的结构模型, 进行岩体质量评价。引入阈值 t 解决了由于传统的 Deere 所定义的 RQD 中 “ $t=10 \text{ cm}$ ” 所带来的缺陷。网络模拟是评价岩体质量的各向异性、不同阈值 t 所对应的岩体质量方面行之有效的手段, 从而为 RQD_t 的分析提供了更为直观和准确的方法, 分析不同阈值 t 所对应的 RQD_t 统计值, 并利用实际测区岩体质量得到的 $RQD_{t \text{ 实}}$ ^[7], 以求得最佳阈值 t , 再通过最佳阈值的选取来求同类均匀区岩体质量指标, 其能对岩体的稳定性做出更真实可靠的评价。

参 考 文 献

- [1] 刘佑荣, 唐辉明. 岩体力学[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1999.
- [2] 杜时贵, 王思敬. 岩体质量定量描述研究现状及趋向[J]. 工程地质报, 1998, 6(3): 230—237.
DU Shi-gui, WANG Si-jing. Review and trend quantifying rock quality[J]. *Journal of Engineering Geology*, 1998, 6(3): 230—237.
- [3] 章杨松. 岩石质量指标的计算机模拟及其风险分析[J]. 地质灾害与环境保护, 2002, 3(13): 44—47.
ZHANG Yang-song. Computer simulation of rock quality designation and its risk analysis[J]. *Journal of Geological Hazards and Environmental Preservation*, 2002, 3(13): 44—47.
- [4] 潘别桐, 井如兰. 岩体结构面概率模型和应用[A]. 岩石力学新进展[M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1988.
- [5] 徐光黎, 潘别桐, 唐辉明, 等. 岩体结构模型与应用[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1993.
- [6] Sen Z. RQD models and fracture spacing[J]. *Journal of Geomechanical Engineering*, 1984, 110(2): 202—216.
- [7] 王国欣, 肖树芳, 陈剑平, 等. 不连续面三维网络在 RQD 中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 12(12): 1 761—1 764.
WANG Guo-xin, XIAO Shu-fang, CHEN Jian-ping, et al. Study on application of discontinuities 3D net work to RQD[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2002, 12(12): 1 761—1 764.