

文章编号: 1673- 9469(2011) 01- 0030- 04

# 岩体结构面模拟方法探析

韩春秀, 胡英, 施继余

(昆明冶金高等专科学校 建筑工程学院, 云南 昆明 650033)

**摘要:** 结合盐津桥水库右岸岩体结构面的实际情况, 综合考虑结构面的几何特征和力学特征, 针对不同类型的结构面, 先运用蒙特卡洛(Monte- Carlo)方法获得随机结构面的几何参数, 再利用有限元软件ANSYS对确定性结构面进行数值模拟, 以获得有效的结构面模拟方法。此方法有效地解决了难以对数量多、尺寸小的随机节理进行逐条模拟的问题, 又从变形和强度的弱化方面把节理考虑进去, 与现实情况近似, 是一种行之有效的方法。

**关键词:** 岩体结构面; 模拟方法; 蒙特卡洛网络模拟; ANSYS数值模拟

中图分类号: TU457

文献标识码: A

## Analysis of simulation method in rock mass discontinuities

HAN Chun-xiu, HU Ying, SHI Ji-yu

(Faculty of Architectural Engineering, Kunming Metallurgy College, Yunnan Kunming 650033, China)

**Abstract:** By studying on rock mass discontinuities of Yanjinqiao Reservoir right bank and analyzing discontinuity's geometric and mechanics property, with different types of discontinuities, random discontinuity's geometric parameters are obtained with the method of Monte- Carlo simulation and the certainty discontinuities are simulated with finite element software ANSYS to get effective method of discontinuity's simulation. The method could be not only deal with a problem of large quantity and small site random discontinuity's simulation one by one, but also be considered with deformation and strength for weakening factor. The results are near to practical situation and this method is effective.

**Key words:** rock mass discontinuity; method of simulation; Monte- Carlo network simulation; numerical simulation with software ANSYS

国际岩石力学学会将岩体中的断层、软弱层面、大多数节理、软弱片理和软弱带等各种力学作用形成的破裂面和破裂带定义为结构面(Discontinuity)。据统计, 全球350座水库坝址区的基岩滑坡, 有50%以上的岸坡失稳是因岩体结构面的影响而引发的。因此, 准确认识和描述结构面特性对研究岩体的工程稳定性具有重要意义。由于结构面的复杂性, 关于岩体中结构面的模拟, 仍是至今未能得到妥善解决的一个重要问题。

## 1 岩体结构面的模拟技术

目前对岩体结构面进行模拟的方法有两种, 一种是为获得表征结构面几何关系的网络模拟, 另一种是为获得表征结构面力学特征的数值模

拟。笔者认为只采用一种方法进行是不合适的, 因为不同类型的结构面所表现的形态、大小、特征等方面都存在差异, 所以首先应对结构面进行分类, 再有针对性采取不同方法进行模拟分析。

### 1.1 结构面的分类

结构面按其是否可由地质调查完全确定分为确定性结构面和随机性结构面。确定性结构面(工程分级为iv、⊕级的结构面)通常是指发育规模较大的结构面, 这种结构面近似连续, 有确定的延伸方向, 延伸长度为数十米至数百米不等, 可有一定的厚度或影响带。如: 断层面或断层破碎带、软弱夹层、长大缓裂隙, 长大裂密带, 贯通性结构面等。

收稿日期: 2010- 10- 07

作者简介: 韩春秀(1980-), 女, 广西贺州市人, 讲师, 从事水工结构方面的教学与研究。

随机结构面(工程分级为 Ⅳ 级的结构面)指大量随机分布于岩体中的短小节理,这类结构面属于硬性结构面,它们随机断续分布,延伸长度为米级至十几米,具有统计优势方向,主要是各类原生裂隙和构造裂隙。

## 1.2 岩体结构面的模拟方法分析

确定性结构面构成岩体力学作用边界,控制岩体变形破坏的演化方向,对岩体稳定性具有很大的控制意义,主要通过数值模拟进行分析。就目前模拟技术来说,无论是有限元、边界元、离散元,还是它们的耦合计算,以及它们与模糊数学、概率统计、分形几何或损伤力学、断裂力学的结合等等,其计算结果的可靠性均取决于岩体结构模型的正确与否以及结构面的参数选取。

随机结构面的分布具有随机性、形态多样、分布不均匀和空间组合的复杂性,所以很难表征结构面的分布。目前在这方面的工作主要遵循两条途径:(1)统计模型方法。(2)概率模型方法。第一种方法往往需要大量的现场调查和测量,受测量露头限制的影响较大,而第二种方法对岩体结构的描述较为笼统,不够具体。实际上结构面在岩体的分布既具有随机的一面,也有其确定性的一面,应该结合这两种方法进行分析。

笔者认为应综合考虑现场调查测量的局限性,充分利用统计、概率模型的优势以及数值模拟技术,从综合的角度探讨结构面的模拟技术。具体做法是:把模型看成是一个等效连续复合体,先针对短小、非贯通的随机结构面,采用蒙特卡洛方法对其进行网络模拟,以获得这些结构面的倾角、迹长等几何特征,并计算出力学参数;再利用 Ansys 模拟技术对规模较大的确定性结构面进行数值模拟,按非均质体处理,同时看成宏观的连续体,随机结构面对模型的影响在岩体参数选择中考虑,而不是在模型的尺寸上考虑。

表 1 各种迹长分布的均值转换(据 Priest 和 Hudson, 1981)

Tab. 1 Transformation of typical value for all kinds of distributed trace lengths  
(Base on Priest and Hudson, 1981)

	分布函数	负指数分布	均匀分布	对数正态分布
总体迹长	概率密度 $f(l)$	$\frac{1}{\mu_L} e^{-l/\mu_L}$	$\frac{1}{2\mu_L}, l \leq 2\mu_L$	$\frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp[-\frac{1}{2} (\frac{\ln l - \mu_L}{\sigma})^2]$
	均值 $\mu_L$	$\mu_L$	$\mu_L$	$\mu_L$
与测线 交切迹长	概率密度 $g(l)$	$\frac{1}{\mu_L^2} e^{-l/\mu_L}$	$\frac{l^2}{2\mu_L^2}$	$\frac{1}{\sigma \mu_L \sqrt{2\pi}} \exp[-\frac{1}{2} (\frac{\ln l - \mu_L}{\sigma})^2]$
	均值 $\mu_{gl}$	$2\mu_L$	$4\mu_L/3$	$\mu_L + \sigma^2/\mu_L$

## 2 工程应用分析

盐津桥水库位于贵州省仁怀市境内,是一个以灌溉、发电、供水及旅游为目的的综合水利工程。坝址河床高程为 569m,正常水位高 650m。右岸坝肩下游为复式谷坡,地形为陡崖,地形坡角  $70^\circ \sim 80^\circ$ ,为斜向坡,相对高差约 124m。597~ 660m 高程内距坝端下游 20~ 50m 左右岩体为临空面。边坡坡体出露地层为寒武系中上统娄山关群第二段的浅灰至灰色中厚层夹薄层含硅质粉、细晶白云岩、砂屑白云岩及薄层泥质白云岩,白云岩偶夹软弱夹层。第四系主要由残、坡积堆积的亚粘土夹块石、碎石和石灰石组成,厚约 0.5~ 1.0m。由于坝肩岩体为顺层边坡,再加上裂隙发育,严重影响坝肩的稳定性。

### 2.1 随机结构面的蒙特卡洛模拟

随机结构面的统计模型:在右坝肩下游处,首先由测网数据统计出裂隙的优势方位,确定出三组裂隙组,其产状为:①  $N72^\circ E/80^\circ NW$ 、④  $N23^\circ E/40^\circ SE$  及 ④  $N33^\circ W/20^\circ NE$ 。采用统计软件 SPSS 分别对三组裂隙进行倾角分布拟合(图 1(a)、图 2(a)、图 3(a)),通过假设检验得到,样本中三组裂隙的倾角均服从正态分布;对各组的裂隙迹长进行分布拟合(图 1(b)、图 2(b)、图 3(b)),得到第 ① 组样本的裂隙迹长服从对数正态分布,第 ④ ④ 样本的裂隙迹长服从负指数分布。

随机结构面的概率模型。上节中计算的迹长属于测线迹长,而我们需要的是总体迹长,总体迹长取测线迹长时的概率有多大呢?迹长的分布情况不同,两者参数的转换结果也不一样,表 1 列出的是 Priest 和 Hudson 推导出的全迹长与测线交切迹长参数的转换关系。从而可算出三组裂隙的总体迹长均值分别为  $\mu_{L1} = 0.56m$  ( $\mu_L + 0.1^2/\mu_L = 0.74$ ),  $\mu_{L2} = 2.47/2 = 1.235m$ ,  $\mu_{L3} = 2.88/2 = 1.44m$ 。

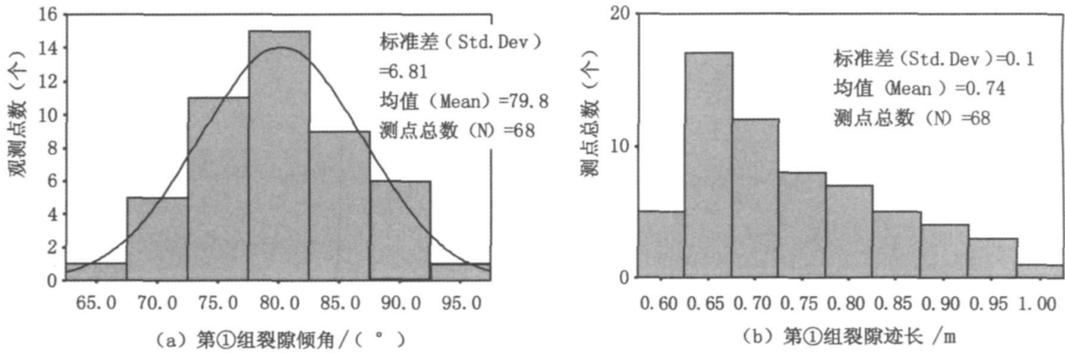


图1 第①组裂隙倾角、迹长分布拟合图

Fig.1 Flaw inclined angle and flaw trace length distribution fitting of ① set

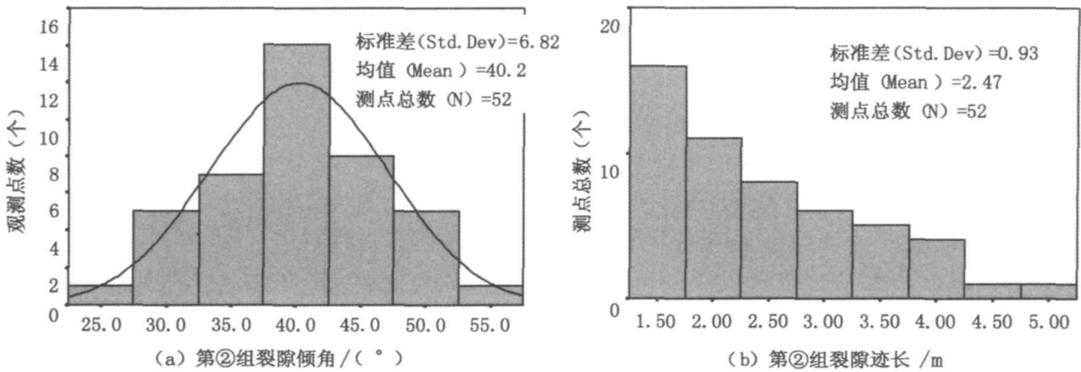


图2 第②组裂隙倾角、迹长分布拟合图

Fig.2 Flaw inclined angle and flaw trace length distribution fitting of ② set

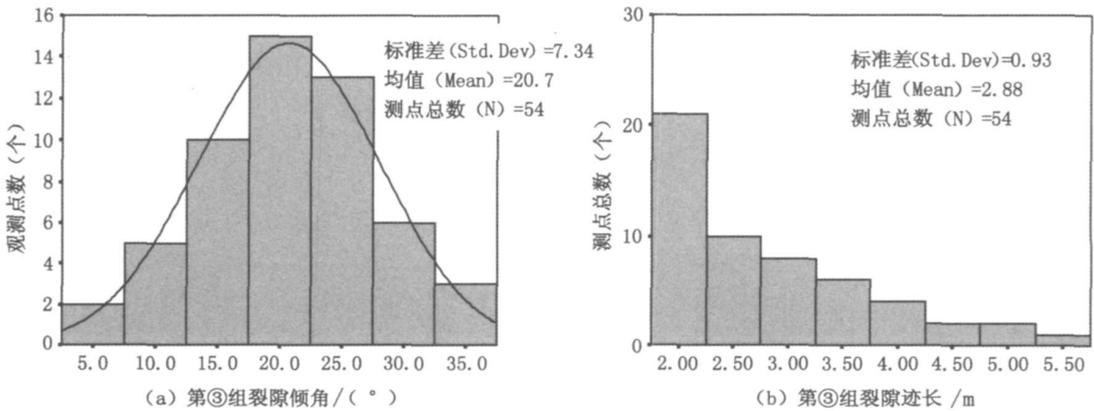


图3 第③组裂隙倾角、迹长分布拟合图

Fig.3 Flaw inclined angle and flaw trace length distribution fitting of ③ set

随机结构面的蒙特卡洛模拟。采用 Monte-Carlo 方法,在右岸下游研究区进行裂隙网络的模拟,二维裂隙网络是由不同长短、不同倾角的裂隙形成的图形(图4)。该图从直观上描述了随机裂

隙的几何分布,分布的结果可用于推求岩体的综合统计力学参数。论文在进行数值模拟时,计算复合模型力学参数就用到该成果。

表 2 计算模型各材料力学参数选用表

Tab. 2 All kinds of parameters of mechanics of materials in computation module

内容	密度/(g/cm <sup>3</sup> )	变形模量 M/GPa	泊松比 $\mu$	粘聚力 $c'$ /MPa	摩擦系数 $f$	
原始模型	白云岩	2.3	9.0	0.30	1.5	1.2
结构面模型	卸荷裂隙面	1.0	2.5	0.34	0.1	0.45
	软弱夹层	0.6	2.0	0.38	0.1	0.3
	含随机结构面的复合体	2.3	8.0	0.33	1.28	1.05

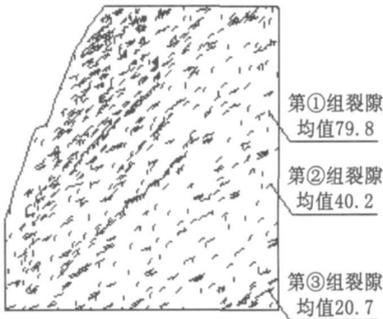


图4 研究区剖面1-1裂隙网络图

Fig. 4 Rock network of section 1-1 in research region

### 2.2 确定性结构面的数值模拟

结构面的参数选取: 岩体的参数确定一直是岩土工程中的一个重要及困难的问题, 岩体力学参数的合理取值, 是计算机模拟结果合理的关键。根据结构面的规模情况, 本论文中岩体材料力学参数的选取分两部分: 一是完整岩块、卸荷裂隙、软弱夹层及随机裂隙的力学参数均参考水利水电勘测设计研究院提供的地质资料以及相关岩石室内试验资料。二是含随机结构面的力学参数采用等效连续复合模型, 通过理论计算获得(表 2)。

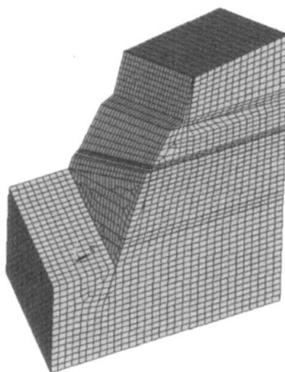


图5 结构面模型计算图

Fig. 5 Calculation chart of discontinuity's model

其它计算要素说明: 采用有限元软件 ANSYS 进行模拟, 为了研究岩体的某些特定的性质(例如结构面变形的影响程度), 忽略了一些次要的因素(例如岩石内部的一些微观缺陷), 而着眼于岩体的最主要的性质。因此, 论文在模拟时进行以下假设: 力学模型为宏观连续体, 本构关系采用弹塑性模型; 不考虑岩石内部微观孔洞等缺陷的影响; 结构面是平滑的, 不考虑粗糙度的影响; 结构面两侧岩体的变形为小变形; 岩体的屈服破坏符合德鲁克-普拉格准则; 结构面模型如图 5。

### 3 结论

1) 采用蒙特卡洛(Monte-Carlo)方法可以对结构面进行由局部到整体、由表及里的模拟, 能在统计意义上了解在一般情况下难以观察、测量到的岩体内部结构面的发育情况。

2) 此方法有效解决了无法对数量多、尺寸小的节理进行逐条模拟的问题, 又从变形和强度的弱化方面把节理考虑进去, 与现实情况近似, 是一种行之有效的方法。

#### 参考文献:

- [1] 黄润秋. 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.
- [2] 魏云杰. 金沙江白鹤滩水电站岩体结构及其对坝肩抗滑稳定性的控制作用[D]. 成都: 成都理工大学, 2004.
- [3] 张有天. 岩石水力学与工程[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [4] 博弈创作室. ANSYS7.0 基础教程与实例详解[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.
- [5] 小飒工作室. 最新经典 ANSYS 及 Workbench 教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
- [6] 龚曙光. ANSYS 操作命令与参数化编程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.



图2 入口透视图

Fig. 2 The entrance perspective of main street



图3 整体鸟瞰图

Fig. 3 The bird view

## 4 结语

地域性建筑设计是当今全球化与独特民族化磨合交融的有益探索。为避免自身文化在全球化的背景下遭到吞噬,我们在设计现代的公共建筑时可以采用温和的手法,改变现代主义给人的冷冰冰的形象。通过对当地文化传统和建筑传统的理解折射到具体的建筑形式、材料和空间上,以清新愉悦又不失严谨的建筑语言来引导公众对地域传统建构文化的体验和感受。

### 参考文献:

- [1] 罗文兵,李跃红,艾茗,等.探索地域文化的现代建筑表现手段[J].建筑学报,2009(11):37-43.
- [2] 葛少恩.丽江传统民居营造艺术及其现代启示[D].大连:大连理工大学,2007.
- [3] 陈曦.行政办公建筑地域文化特殊性设计探索[J].低温建筑技术,2009(10):25-26.
- [4] 鲁华,武怒凡.现代主义与地域主义的融合-海宁市博物馆设计[J].浙江建筑,2004,2(1):6-8.
- [5] J·约狄克.建筑设计方法论[M].武汉:华中工学院出版社,1983.

(责任编辑 刘存英)

(上接第33页)

- [7] 赵建锋.岩体弱面的分形性与含弱面岩体破坏的力学行为研究[D].辽宁:辽宁工程技术大学,2001.
- [8] 李达仕.岩体结构面网络模拟及工程应用研究[J].工程技术,2009(12):60-60.
- [9] 徐卫亚,杨圣奇.节理岩石剪切流变特性试验与模型研究[J].岩石力学与工程学报,2005,26(6):1323-1336.
- [10] 沈明荣,张清照.规则齿型结构面剪切特性的模型试验研究[J].岩石力学与工程学报,2009,29(4):713-

719.

- [11] 陈新朝,李斌,张永央.盘石水库右坝头岩体结构面工程特性浅析[J].山西建筑,2009,35(23):127-129.
- [12] 杨锡祥,周英芳,赵小稚.蚕庄金矿上庄矿区岩体结构面分析及应用[J].黄金,2010(2):27-30.
- [13] 方俊彦.边坡岩体结构面特征[J].研究科学与管理,2010(4):95-96.

(责任编辑 刘存英)