

基于现场实测的缓倾硬性结构面连通率统计

胡耀飞¹, 张 勇², 靳晓光³

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 成都 610059; 2. 四川大学水利水电学院, 成都 610065;
3. 重庆大学土木工程学院, 重庆 400030)

摘要: 通过对缓倾角硬性结构面数据的分析、判别, 现场实测结构面几何特征的基本要素, 如结构面坐标、结构面产状、结构面间距、结构面的连续性、结构面迹长等, 运用三维空间投影图解, 最终求解结构面连通率, 取代以往现场用线连通率经验判断的传统模式。本方法已应用于水电工程施工过程, 效果良好。

关键词: 缓倾硬性结构面; 三维空间投影; 面连通率

中图分类号: P313 文献标识码: A 文章编号: 1000-3665(2011)04-0078-04

1 缓倾硬性结构面连通率统计原理

坝基岩体中硬性结构面的分布状况对岩体的宏观力学特性有着重要作用, 尤其是缓倾结构面, 是大坝安全、稳定的重要边界条件。而硬性结构面又呈随机分布, 在工程应用中通常采用节理岩体的连通率作为坝基抗滑稳定评价中重要的参数指标。

节理岩体连通率的研究, 主要采用两种方法^[1-3]: 一种是在大量实测数据的基础上, 通过对结构面几何参数概率分布的分析, 采用基于蒙特卡罗法的网络模拟法, 来推求服从这些分布规律的结构面网络几何图形, 再采用路径搜索法来搜索岩石发生剪切破坏时在结构面网络模拟成果图中所形成的破坏路径当中结构面所占比例, 即:

$$k = \frac{\sum L}{\sum L + b}$$

式中: $\sum L$ 、 b ——剪切路径上结构面和岩桥的总长度。

另一种是采用现场实测的带宽投影法, 是指在一定带宽范围内与剪切破坏方向夹角小于允许值的所有结构面占有的比例, 多用于缓倾结构面的连通率统计, 计算方法为:

$$k = \frac{\sum TL}{L}$$

收稿日期: 2011-02-21; 修订日期: 2011-03-23

作者简介: 胡耀飞(1969-), 男, 博士研究生, 主要从事水电地质工程工作。

E-mail: 467521062@qq.com

式中: $\sum TL$ ——剪切方向上结构面的投影总长度;
 L ——剪切方向总长度。

带宽投影法的具体原理如图 1 所示。带宽投影法多用于前期勘探阶段, 对平硐内缓倾结构面的连通率进行统计, 带宽通常取 2~3 m。

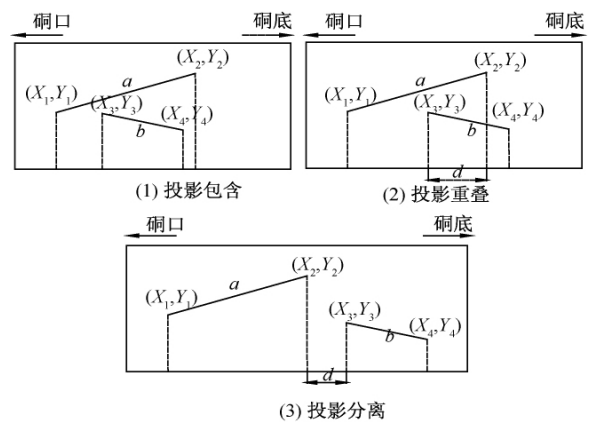


图 1 带宽投影法原理

Fig. 1 Band width projection principle

现阶段有关坝基岩体连通率的研究, 一是属于前期勘探阶段对平硐揭露结构面的统计、研究, 难以准确代表开挖面上岩体硬面的分布特征, 连通率的计算成果也就不具太大实际意义; 二是基于概率模型的二维连通率模拟和基于蒙特卡罗法的三维网络模拟, 均是由一定概率性的事物再次进行衍生, 获得的连通率符合坝基岩体一定范围内的规律, 但不能代表实际开挖面上的结构面的连通率; 此外, 即便是施工阶段坝基岩体连通率的测得, 也多是采用测线法获得单一剖面或局部地段的连通率。而对于开挖面总体岩体连通率, 采用现场实测、原地判别的研究方法, 获得的坝基岩体连通率是最为合理和符合实际的。所谓原地判别即现

场实测缓倾结构面的分布特征,不通过其余的概率或是模拟手段,实际计算的缓面连通率可代表统计范围内真实的连通率。

为了获取开挖面原地判别的缓倾结构面连通率,需要通过以下基本步骤来实现:

(1) 现场实测缓倾结构面各项要素:坐标、产状、迹长等,通常分坝段进行精测;

(2) 由实测数据建立缓倾结构面的圆盘模型,将圆盘投影至同一平面上^[4];

(3) 由圆盘投影的三种存在方式(图2),对缓倾结构面的投影面积进行统计,剔除重叠部分;

(4) 计算连通率:投影到平面上的结构面面积总和与平面面积的比值,即为统计范围内缓倾结构面的面连通率,即:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{S}$$

式中: A_i ——缓倾结构面圆盘的投影面积;

S ——统计范围总面积;

n ——统计范围内圆盘个数。

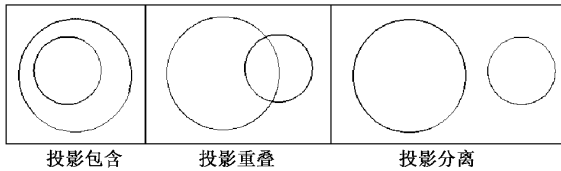


图2 统计投影面积原理

Fig.2 Statistics projected area principle

2 缓倾角结构面数据的分析、判别

高混凝土重力坝坝基岩体最基本的安全要求是抗滑稳定,缓倾结构面是抗滑稳定最主要的边界条件,也是建基岩体中潜在威胁最大的结构面。混凝土重力坝均是分坝块、分坝段浇筑,每一坝段均需要保证其抗滑稳定,对缓倾结构面的分布及性状要求则更高^[5-7]。

通常缓倾软弱结构面需作专门的工程特性研究,作为特定的边界条件进行抗滑稳定计算。而缓倾硬性结构面由于其随机分布,通常采用连通率来表征缓倾硬面的发育规律和密集程度,在开挖至建基面后,直接测量建基面上分布的缓倾硬性结构面,原地判别建基面上总体面连通率。

缓倾硬性结构面的现场资料收集,为实际的建基面岩体结构建立相应的数据文件,主要包括:

(1) 现场实测的结构面几何特征基本要素:结构

面坐标、结构面产状、结构面间距(密度)、结构面的连续性、结构面迹长。

(2) 求解或计算结构面相关要素:结构面面积、结构面剔除重叠部分的投影面积、结构面在建基面上的展布模型、结构面连通率。

3 缓倾硬性结构面的连通率统计实例

在对某电站坝基岩体中缓倾弱面的分布进行超前分析后,发现16~19坝段声波孔中虽然低波速段分布频率较高,但相互之间连通性较差,对应的规模较大的缓倾弱面较少;在开挖至建基面后,开挖面上缓倾角结构面多为硬性结构面,成组发育,有一定的延伸长度。由于缓倾硬性结构面分布范围较广,发育密度也较大,需要对结构面与岩桥之间的连通率进行计算,以便分析缓倾结构面对坝基岩体抗剪强度的弱化程度。

以17坝段为例(图3.4),坝基范围内主要分布两组缓倾硬性结构面,分别倾向上游和下游方向。



图3 坝段缓倾下游结构面典型照片

Fig.3 Dam section gentle dip downstream structural plane typical picture

对开挖面缓倾结构面开展精细测量,获得各条结构面的坐标、产状和迹长等信息。表1为17坝段缓倾结构面测量数据,限于篇幅,在此仅列出部分数据。由现场实测成果来看,缓倾硬性结构面迹长多在0.5~5m之间,结构面间距变化相对较大,局部集中地段间距为10~50cm,而最大结构面间距达6~8m。由表中数据建立结构面圆盘模型,植入建基面模型,图5为结构面与建基面三维模型展示图,并分别对缓倾上游和下游的结构面进行了标示。可看出上游区1191m高程位置倾向下游缓倾结构面较为发育,而下游区1193m高程则倾向上游结构面所占比例较大。

将三维图形俯视(图6),根据投影的三种投影交互原则剔除重叠部分,计算17坝段范围内缓倾结构面的面积,分别对倾向上游和倾向下游的结构面进行统计,与坝段面积的比值即为17坝段缓倾结构面的面连

通率:倾向上游缓倾结构面连通率为 17.9%;倾向下游缓倾结构面连通率为 29.7%。

表 1 缓倾结构面圆盘数据及投影面积计算(部分)

Table 1 Gentle dip structural plane disc data and projected area computation (part)

节理编号	X	Y	倾向 (°)	倾角 (°)	半径 (m)	投影面积 (m ²)
L3-16	41 884.9	936 647	5	8	0.6	1.12
L2-62	41 897.3	936 628	10	15	1.4	5.95
L2-64	41 898.2	936 627	47	19	1.6	7.6
L4-1	41 884.3	936 645	61	20	0.65	1.25
L1-29	41 903.7	936 641	65	22	1.0	2.91
L1-31	41 903.1	936 642	82	18	1.0	2.99
L2-52	41 897.1	936 641	90	26	1.4	5.53
L2-72	41 898.4	936 626	90	24	1.55	6.9
L2-57	41 897.1	936 632	272	12	0.9	2.49
L3-10	41 886.9	936 654	354	30	0.75	1.53
L1-28	41 904	936 645	112	17	1.9	10.85
L3-13	41 887	936 647	112	24	2.4	16.53
L2-49	41 897.7	936 643	115	24	1.4	5.63
L2-50	41 898.1	936 643	115	24	0.95	2.59
L2-51	41 898.5	936 642	115	24	1.75	8.79
L2-46	41 898	936 646	119	27	1.75	8.57
L2-37	41 894.7	936 647	120	15	1.3	5.13
L1-34	41 902.2	936 633	127	25	1.25	4.45
L1-16	41 903.3	936 657	128	30	1.55	6.54
L2-23	41 896.7	936 656	130	16	5.85	103.35
L4-10	41 884	936 663	130	25	1.9	10.28
L1-47	41 904.5	936 614	135	17	3.75	42.25
L2-43	41 896.3	936 643	135	27	3.15	27.77
L2-45	41 897.7	936 646	135	22	2.35	16.09
L1-23	41 903.3	936 648	140	29	5.0	68.69
L2-41	41 895.4	936 644	140	26	2.25	14.29
L2-11	41 895.2	936 659	144	29	4.1	46.19
L1-43	41 902.5	936 618	145	18	1.0	2.99
L1-24	41 903.5	936 648	150	26	4.25	51
L1-4	41 901.3	936 664	150	26	2.3	14.94
L2-36	41 895.7	93 6647	150	14	4.0	48.77
L3-1	41 887	936 667	150	25	2.25	14.41
L3-9	41 886.8	936 655	150	18	2.2	14.46
L2-35	41 894.9	936 648	154	16	2.4	17.39
L2-40	41 889.9	936 651	155	9	0.8	1.99
L1-5	41 904.7	936 664	160	17	2.5	18.78
L1-20	41 905	936 653	161	24	4.15	49.43
L1-21	41 905.4	936 652	162	18	2.25	15.13
L1-22	41 902.3	936 650	165	19	5.0	74.26
L2-54	41 897.3	936 637	170	10	1.75	9.47
L1-11	41 905	936 658	172	23	1.75	8.86
L1-46	41 906	936 614	173	30	7.25	143.01

参考国外的岩体强度的计算方法^[8-10],结合坝基实际情况,计算由结构面和岩桥组成的整个坝段总体强度参数为: $f' = 1.02$, $C' = 1.07\text{MPa}$,达到Ⅲ1级岩体标准,可满足大坝建基要求。



图 4 坝段缓倾上游结构面典型照片

Fig. 4 Dam section gentle dip upstream structural plane typical picture

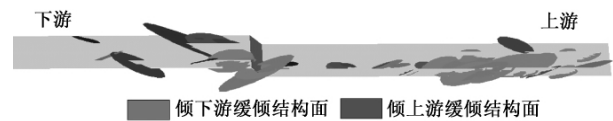


图 5 坝段建基面及缓倾结构面圆盘

Fig. 5 Dam foundation plane and the gentle dip structural plane disc

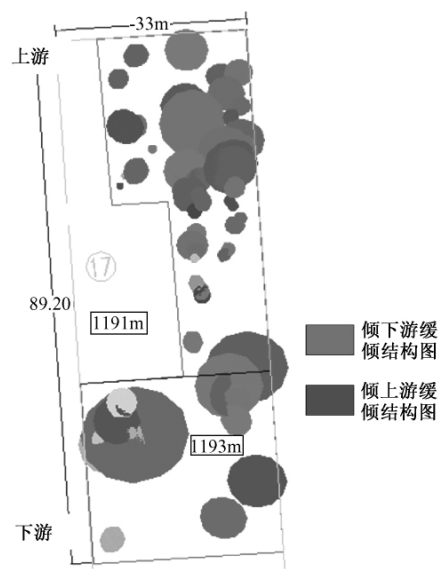


图 6 坝段缓倾结构面分布图

Fig. 6 Dam section gentle dip structural plane distribution map

4 结论

运用缓倾角硬性结构面的原地判别方法,经工程检验取得了良好的效果,具有较强的实用性。由开挖面上现场实测的缓倾结构面,开展建基岩体缓倾硬性结构面的原地判别,计算获得的连通率为具有实际意义的面连通率,取代常用经验判断的线连通率,为坝基岩体抗滑稳定计算提供更为准确的结构面参数。

参考文献:

- [1] 汪小刚,贾志欣,陈祖煜. 岩石结构面网络模拟原理在节理岩体连通率研究中的应用[J]. 水利水电技术, 1998 (10): 43 - 47. [WANG X G, JIA Z X, CHEN Z Y. Application of rock structural plane network simulation principle in jointing rock mass persistence ratio research [J]. Water conservation and waterpower technology, 1998 (10): 43 - 47. (in Chinese)]
- [2] 汪小刚,陈祖煜. 应用蒙特卡洛法确定节理岩体的连通率和综合抗剪强度指标[J]. 岩石力学与工程学报, 1992, 11 (4): 345 - 355. [WANG X G, CHEN Z Y. The determination of jointing rock mass persistence ratio and synthesis shearing strength target using Monte - Carlo law [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1992, 11(4): 345 - 355. (in Journal of Chinese)]
- [3] 张斌,聂德新. 利用岩石结构面网络模拟计算岩体带宽连通率及岩体强度参数[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2003, 14(4): 90 - 93. [ZHANG B, NIE D X. The computation of rock mass band width persistence and ratio rock mass strength parameter using rock structural plane network simulation [J]. The Chinese Journal of Geological Hazards and Control, 2003, 14(4): 90 - 93. (in Chinese)]
- [4] 张勇,魏玉峰,聂德新,等. 岩质边坡关键块体的搜索方法及工程应用[J]. 工程地质学报, 2010, 18 (3): 320 - 324. [ZHANG Y, WEI Y F, NIE D X, et al. Search method of key block in rock slope and its application [J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 18(3): 320 - 324. (in Chinese)]
- [5] DL5108 - 1999 混凝土重力坝设计规范 [S]. [DL5108 - 1999 Code for Concrete gravity dam design. (in Chinese)]
- [6] SL319 - 2005 混凝土重力坝设计规范 [S]. [DL5108 - 1999 Code for Concrete gravity dam design. (in Chinese)]
- [7] 聂德新,杨建宏,崔长武,等. 岩体结构、岩体质量及可利用性研究[M]. 北京:地质出版社, 2008. [NIE D X, YANG J H, CUI C W, et al. The rock mass structure, the rock mass quality and the exploitability study the [M]. Beijing: The Geological Publishing House 2008. (in Chinese)]
- [8] Byung-sik chun, Woong Ryul Ryu. Indirect estimation of the rock deformation modulus based on polynomial and multiple regression analyses of the RMR system [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2009(46): 649 - 658
- [9] Viana Da Fonseca A, Coelho S. Characterization of highly variable rock weathering by using DPR [J]. American Society of Civil Engineers, 2006 (150): 127 - 134.
- [10] Shafiei A, Heidari M, Dusseault M B. Weathering and geomechanical properties of Alvand granitic rocks, western Iran [J]. Taylor and Francis/ Balkema, 2007(1): 835 - 842.

Statistics of gentle angle rigid structural plane persistence ratio

HU Yao-fei¹, ZHANG Yong², JIN Xiao-guang³

(1. School of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. School of Hydraulic and Hydroelectric Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

3. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Through gentle angle rigid structural plane data analysis, judgment, measures each base element of structural plane geometry characteristic in site, such as structure plane coordinates, structural plane strike and dip, structural plane spacing, structural plane continuity, structural plane length, using three-dimensional space projection graphic solution, solves the structural plane persistence ratio finally, and substitutes the former traditional pattern which judges with the line persistence ratio by experience. This method which has already applied and be tested in the hydropower project construction process has obtained a good result.

Key words: gentle angle rigid structural plane; three - dimensional space projection; structural plane persistence ratio

责任编辑:汪美华