

岩质边坡关键块体的搜索方法及工程应用*

张勇 魏玉峰 聂德新 刘彬

(成都理工大学环境与土木工程学院 成都 610059)

摘要 工程边坡开挖所揭露的某些结构面组合块体在破坏原有静力平衡状态后,进行应力重新分配,进而块体会发生失稳、滑动等变形,甚至影响到整个边坡发生破坏,因此,结构面组合块体的稳定性是决定岩质边坡稳定的重要因素。本文通过对某工程开挖边坡地形和结构面三维实体模型的建立,实现了边坡结构面与开挖地形实体模型在 AutoCAD 平台上的可视化操作,剖切不同位置的二维图形预测分析了边坡开挖后可能存在的结构面组合块体,采用块体计算程序 (Swedge) 验证关键块体并进行稳定性评价。结果表明:三维实体模型及剖切技术与块体计算方法的结合,易于搜索关键块体。事实证明,该方法操作简便,计算结果准确,搜索方法具备可行性。

关键词 岩质边坡 实体模型 关键块体 可视化

中图分类号: TD824⁺. 7⁺ 1 文献标识码: A

SEARCH METHOD OF KEY BLOCK IN ROCK SLOPE AND ITS APPLICATION

ZHANG Yong WEI Yufeng NIE Dexin LIU Bin

(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059)

Abstract Cut slopes are usually formed during excavating in rock mass. The rock structural surfaces are exposed and rock blocks are formed. They influence the cut slope and cause it breaking. The failure would occur after the original static equilibrium state is destroyed and the stress is redistributed. Therefore, the stability of rock blocks formed with structural surfaces is the important factor that determines the stability of rock slope. This paper establishes a 3D solid model to realize the visible operation of cut slope and structural planes and excavation terrain model on an AutoCAD Platform. It then makes sectional cutting of two-dimensional graphs in different locations. It further makes a forecast and analysis of structural surface assembly blocks possibly existed after excavation. It adopts the block computational procedure (Swedge) to verify the key block and makes an evaluation on its stability. The results show that it's easily to search the key block of rock slope through 3D solid model and the slice technology in combination with block calculation. It is proved that this method is simple. The calculation result is accurate. The search method is feasible.

Key words Rock cut slope, Solid model, Key block, Visualization, Slope stability

* 收稿日期: 2009-06-04 收到修改稿日期: 2009-09-24

第一作者简介: 张勇, 工程地质专业. Email: zhangenhual@163.com

1 引言

岩质边坡稳定性是西南山区工程建设中经常遇到的主要的工程地质问题,由于开挖、爆破及建筑荷载等对原有坡体的改造,边坡稳定性和对人类生命财产的危害性均发生了巨大的变化。边坡的破坏形式主要为崩塌、滑坡以及弯折或倾倒等,这些破坏形式大都与坡体内结构面的组合形式密切相关,即边坡的稳定性很大程度上决定于结构面组合块体的稳定性。

边坡块体计算方法大多在传统块体理论的基础上提出,在块体理论的基本假设中只考虑了结构面的产状,而未考虑结构面的具体位置及延伸长度等。赤平投影法和矢量分析法均是结构面平移或结构面迹长延伸进行计算。而由于边坡岩体的不连续性和坡体内部结构面的延伸、交错,以及与边坡开挖面或临空面的组合关系不一致,对于由这些结构面所组合的潜在块体的位置以及稳定性均存在着不可确定性^[1,2]。本文利用三维实体模型,将各种结构面信息植入模型,展示不同结构面在开挖面或临空面的位置和相互关系,可在 CAD 平台下实现可视化搜索,并通过不同方向实体模型剖切,根据结构面之间的组合关系确定边坡关键块体,利用边坡块体计算程序对块体稳定性进行评价。

2 三维实体模型的建立

2.1 边坡三维模型的生成

目前,国内外对三维实体模型的建立开展了很多研究,开发了许多计算方法和相关程序。^[3-9]本文中三维实体模型的生成是在运用 surfer 程序进行前处理的基础上,采用多个循环处理的差分数据计算,借助 AutoCAD 平台实现三维实体模型的展示,简单的建模过程如下:

(1)建立地形三维实体模型首先需要获取地形坐标点数据(X, Y 和高程),将数据导入 surfer 程序;(2)采用 kringing 方法进行差分,形成一定数量的网格数据,一般网格划分越密,与地形的契合程度越高,但在 CAD 下程序运算过程越长;(3)在 CAD 环境下编写程序,用多个循环处理 surfer 差分完毕后的数据,形成三维地形实体模型。开挖边坡则需要获取边坡设计开挖地形数据,运用 CAD 强大的三维

实体建模技术,建立边坡实体模型,嵌入原始地形模型中,再通过布尔运算,获得开挖边坡三维实体模型(图 1)。

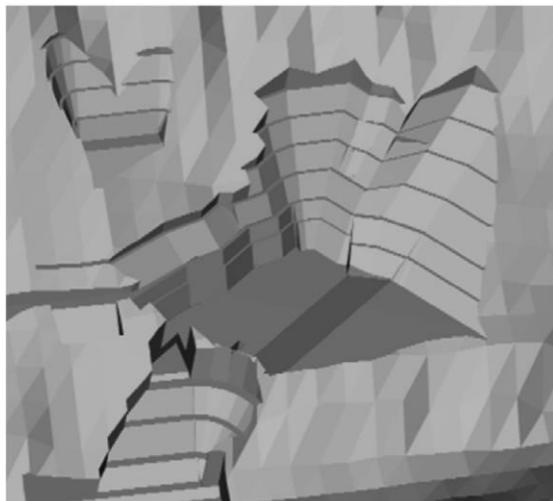


图 1 某水电工程边坡三维实体模型

Fig. 1 3D solid model of a waterpower engineering slope

2.2 结构面实体模型的建立

通常假定结构面的空间性状为圆盘模型,按照结构面产状的延伸方向,给与一定的厚度和迹长。依照结构面的坐标、位置,建立结构面空间展布方程:

已知结构面的倾向 α_i 、倾角 β_i 、迹长 L_i , 结构面方程为:

$$A_i x + B_i y + C_i z = D_i$$

其中,

$$A_i = \sin\alpha_i \cdot \sin\beta_i$$

$$B_i = \sin\alpha_i \cdot \cos\beta_i$$

$$C_i = \cos\alpha_i$$

已知结构面坐标 (x_i, y_i, z_i) , 圆盘方程为:

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = (L_i/2)^2$$

其中结构面圆盘模型的直径即结构面迹长的确定方法有两种:一是在边坡坡表能够直观观察,可测量获得可见迹长;二是通过现场测得的大量结构面数据,建立结构面厚度与迹长的相关关系,对局部无法观察可见迹长的结构面,通过测量厚度大致估算结构面延伸长度。

通过简单的程序编写,可在 CAD 下生成结构面三维实体模型(图 2)^[10,11]。

将结构面模型与地形模型组合,采用布尔运算,得到结构面在地形上的出露位置,与地表出露的该条结构面位置进行对比,通过不断调整结构面的产



图 2 结构面空间模型

Fig 2 Space models of structural planes

状与迹长,与地表位置一致后,可认为结构面模型准确,再植入三维边坡开挖模型中,可从实体模型中直接观察结构面与边坡设计开挖面的交切关系,实现边坡组合块体的可视化。

在结构面数据量较多的情况下,在三维空间内组合或通过结构面之间两两组合计算,则工作量较大,而通过二维图形观察并进行组合,搜索可能组合形成的块体,则将简化关键块体的确定过程。

3 二维平面关键块体搜索

在建立了地形模型和结构面模型后,将两个模型组合,可在 CAD 平台下直观观察。通过剖切或截面技术获得各个位置的平切图和剖面图,并得到任意地段结构面的具体位置和交切情况,与地质图件进行比较,再次进行调整,结构面的位置、产状、延伸方向和长度均是确定性的,因此,剖切得到的结构面组合块体同样也是确定性的块体。^[12]

边坡开挖卸荷松弛,在工程作用力和自重作用下那些首先失稳滑动的块体称为“关键块体”。结构面在空间上的组合是确定的,但由于开挖面和坡形的影响,组合块体不一定在边坡表面出露。块体在没有临空面的条件下,位于坡体深部的组合块体对于边坡的稳定性影响甚微,因而,需要对边坡岩体各种结构面组合形成的关键块体(即具备临空面和计算失稳的块体)进行搜索,搜索方法如下:

(1)以平行边坡走向的横剖面作为块体组合可能存在的判断依据,可通过对三维实体模型进行剖切实现,剖切方位和位置则为边坡开挖面。如果结

构面组合能够在开挖边坡上组合成块体,则在边坡开挖面横剖面上将有所表现。

(2)以垂直开挖面的纵剖面作为块体搜索和稳定性计算剖面。在横剖面上搜索结果的基础上,根据纵剖面上结构面在斜坡上的交切关系,以及结构面方位特征,对组合块体进行搜索,并与横剖面上搜索结果进行对比,分别从横向和纵向上对可能存在块体进行判断。

(3)通过二维图形中组合块体的确认,利用边坡块体稳定性计算程序(Swedge)对各个组合块体稳定性一一进行计算。Swedge程序是由加拿大多伦多大学 E.Hock 等开发的,也是基于石根华提出的块体理论,程序适合于分析岩质边坡开挖形成块体的稳定性。采用 Swedge 程序计算组合块体稳定性,确定关键块体。

4 工程应用

以金沙江中游某水电工程右岸进水口边坡为例,开挖边坡开口线高程 1360m,底部高程 1180m,边坡开挖高度达 180m。前期勘探成果显示,自然边坡坡表和勘探平洞内均揭露一定数量的软弱结构面,需对边坡开挖后可能形成的结构面组合块体进行搜索并计算块体稳定性。

首先建立边坡开挖地形模型,并嵌入结构面空间模型(图 3),为图形展示需要,图中仅嵌入部分结构面圆盘模型。通过 CAD 的三维动态观察可直接实现部分组合块体的可视化。

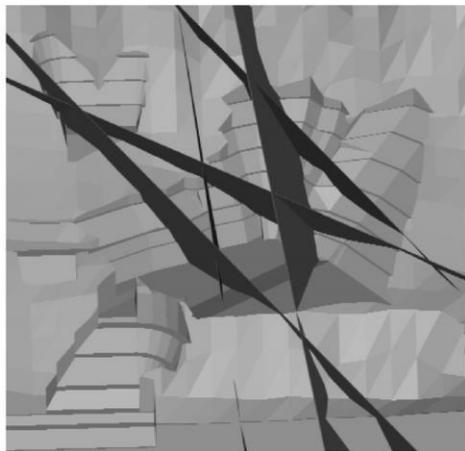


图 3 部分结构面模型与地形模型

Fig 3 Models between structural plane and terrain

仅利用三维立体模型观察、分析组合块体,对关键块体的搜索难度较大。因此,在实体模型中利用

剖切方法首先获得与开挖面平行的横剖面。如对上游边坡组合块体进行搜索, 根据上游开挖边坡的走向线即横剖面方向, 对实体模型进行剖切, 横剖面上结构面之间交切关系即为边坡开挖后直接出露在边坡上的结构面组合形式, 从横剖面上可进行判断结构面可组合形成的块体 (图 4), 为上游横剖面上结构面的分布特征, 可观察到结构面之间组合可形成的块体, 由边坡开挖底部高程筛除深部块体, 如边坡横剖面中 f16 与 f20 组合。



图 4 上游边坡横剖面 f20 与 f17 组合块体
Fig 4 Assembly block with f20 and f17 in bench section of upstream slope

横剖面上展示了边坡开挖后坡表结构面之间的组合关系, 而对于结构面在垂直坡面方向的组合关系, 需要进一步从纵剖面上对结构面交切关系进行确认, 以便更为准确和全面的确定结构面组合形成的块体。从图 5 纵剖面中可观察到结构面相互组合形成块体空间组合信息, 并可与横剖面上的块体相互对应 (图 5)。

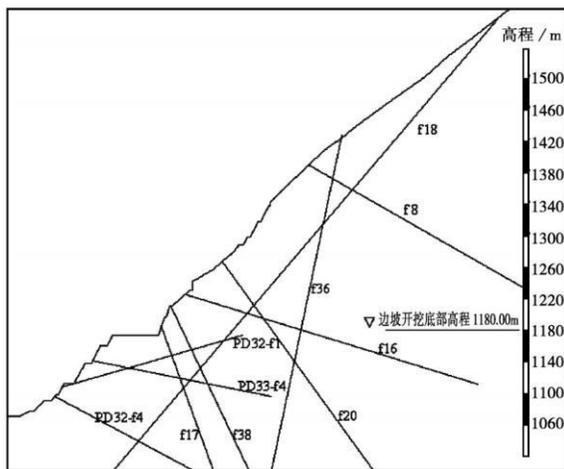


图 5 上游边坡纵剖面主要结构面展布图
Fig 5 Distribution of structured plane in longitudinal section of upstream slope

通过横、纵剖面组合块体对照, 可能形成块体的弱面组合 (表 1)。

表 1 上游边坡可能形成块体的结构面组合

Table 1 Potential structural surface assembly block in upstream slope

块体编号	结构面编号	倾向	倾角	结构面编号	倾向	倾角
①	f20	210	58	f38	230	73
②	f20	210	58	f17	270	80
③	f13	250	80	f5	240	35
④	PD14-f1	247	65	f5	240	35
⑤	f18	40	57	f8	215	35
⑥	f18	40	57	f16	261	63
⑦	f18	40	57	PD32-f1	310	24
⑧	f18	40	57	PD33-f4	235	19
⑨	f18	40	57	PD32-f4	215	28
⑩	PD32-f1	310	24	PD33-f4	235	19

对结构面组合块体进行搜索后, 利用边坡块体稳定性分析程序 (Swedge) 对上述结构面组合进行计算。结构面计算参数取值为: $C = 30\text{kPa}$ $f = 0.35$

计算结果显示能够形成块体的为 4 组结构面之间的组合, 稳定性系数均在 1.3 以上 (表 2), 因此计算无失稳滑动块体, 则无关键块体分布。^[13] 图 6 为典型块体不同方向展示图。工程边坡开挖后, 实际揭露到了表 1 中的各条结构面, 但边坡稳定, 未有失稳块体, 验证了搜索方法及计算成果的准确性。

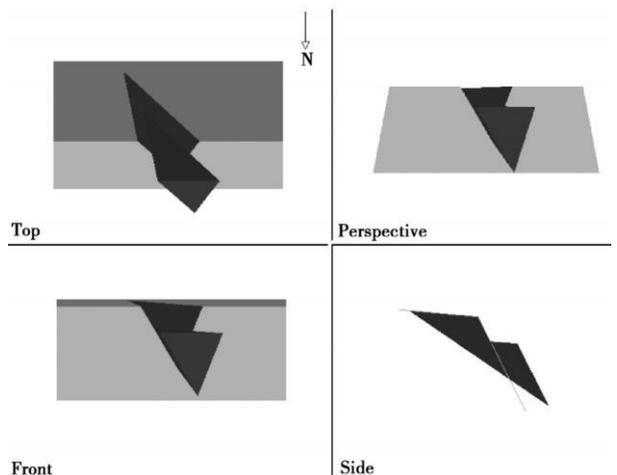


图 6 f16 与 f18 组合块体展示图
Fig 6 Assembly block with f16 and f18

5 结 语

借助 AutoCAD 强大的三维实体建模功能, 建立了三维地形实体模型和结构面空间模型, 实现了开挖边坡与结构面交切关系的可视化操作, 利用二维剖切图件从各个方向上搜索结构面组合块体, 简化

表2 结构面组合块体稳定性计算成果表

Table 2 Stability analysis of structural surface assembly block

结构面编号	倾向	倾角	结构面编号	倾向	倾角	工况	稳定性系数	质量/t	交线倾向	交线倾角
f16	261	63	f18	40	57	天然状况下	2.3	3678.18	333	31
						暴雨情况下	2.212			
						地震工况下	1.759			
f18	40	57	PD32-f1	310	24	天然状况下	1.94	16607.7	326	23
						暴雨情况下	1.869			
						地震工况下	1.381			
f18	40	57	PD33-f4	235	19	天然状况下	11.47	660288	312	4
						暴雨情况下	10.22			
						地震工况下	3.61			
PD32-f1	310	24	f38	230	73	天然状况下	2.099	6401.03	312	23
						暴雨情况下	1.752			
						地震工况下	1.509			

了组合块体搜索过程,并利用 Swedge程序对各个块体的稳定性进行计算,确定组合块体是否为关键块体。通过工程实际应用表明,该方法直观可靠、简单易用,通过计算机程序易于实现。后期将对岩质边坡关键块体的展示方面作进一步的改进。

参 考 文 献

- [1] 赵奎,王晓军,赵康等. 节理面构成块体的概率公式及其工程应用. 岩土力学, 2006, 27(3): 369~372.
Zhao Kui Wang Xiao-jun Zhao Kang et al. A new probability formula of blocks cut by joint planes and its engineering application. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(3): 369~372
- [2] 刘建东,邵长云,陈征宙等. 裂隙岩体边坡稳定性分析方法. 东华理工学院学报, 2004, 27(3): 255~259.
Liu Jian-dong Shao Chang-yun, Chen Zheng-zhou et al. Stability analysis methods of rock mass slope. Journal of east China institute of technology, 2004, 27(3): 255~259.
- [3] 钟登华,李明超,杨建敏. 复杂工程岩体结构三维可视化构造及其应用. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(4): 575~580.
Zhong Deng-hua Li Ming-chao Yang Jian-min. 3D visual construction of complex engineering rock mass structure and its application. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(4): 575~580
- [4] 柴贺军,黄地龙,黄润秋,等. 岩体结构三维可视化及其工程应用研究. 岩土工程学报, 2001, 23(2).
Chai He-jun, Huang Di-long Huang Run-qiu et al. 3-D visualization of rock mass structure and its application in engineering. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(2).
- [5] 王京卫,丁宁,赵同龙. 场地平整中土石方量计算的三维可视化方法. 测绘工程, 2006, 15(6): 15~19.
Wang Jing-wei Ding Ning Zhao Tong-long. 3D-visualization method of earthwork computation in leveling off the construction ground. Engineering of surveying and mapping, 2006, 15(6): 15~19.
- [6] 潘炜,刘大安,钟辉亚,等. 三维地质建模以及在边坡工程中的应用. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(4): 597~602.
Pan Wei Liu Da'an, Zhong Huiya. 3D geological modeling and its application to slope engineering. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(4): 597~602.
- [7] 李晓军,胡金虎,朱合华,等. 基于Kriging方法的煤层厚度估计及三维煤层建模. 煤炭学报, 2008, 33(7): 765~769.
Li Xiao-jun Hu Jin-hu Zhu He-hua et al. The estimation of coal thickness based on Kriging technique and 3D coal seam modeling. Journal of China coal society, 2008, 33(7): 765~769
- [8] John H Schuenemeyer, Helen C Power. Uncertainty estimation for resource assessment: an application to coal [J]. Mathematical Geology, 2000, 32(5): 521~541.
- [9] Houking SW. 3D geosciences modeling: computer technique for geological characterization[M]. Hong Kong: Springer, 1994.
- [10] 柴贺军,黄地龙,黄润秋. 岩体结构面计算机三维扩展模型研究. 地质灾害与环境保护, 1999, 10(2): 73~76.
Chai He-jun, Huang Di-long Huang Run-qiu. Studies on 3D spread ing model of rock mass structure. Journal of geological hazards and environment preservation, 1999, 10(2): 73~76
- [11] 崔银祥,岳良彬,聂德新. AutoCAD三维模型在大型洞室块体稳定性评价中的应用. 水文地质工程地质, 2005(3), 19~22.
Cui Yin-xiang Yue Liang-bin Nie De-xin. Application of AutoCAD 3D model in block stability assessment in huge underground cavity. Hydrogeology and engineering geology, 2005(3), 19~22
- [12] 高文杰,张子新. 围岩中关键块体的真伪识别及具体位置的确定. 地下空间与工程学报, 2005, 1(6): 825~828.
Gao Wen-jie Zhang Zi-xin. A new method to distinguish the key block in the adjacent rock and confirm its location. Chinese journal of underground space and engineering, 2005, 1(6): 825~828
- [13] Swedge User's Guide, 2001, Rocscience, Inc.