

基于覆盖技术的块体搜索及程序开发

王述红, 王斐笠, 张紫杉

(东北大学 资源与土木工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 基于单元块体间相互覆盖构建独立块体的原理,探讨块体搜索问题.研究了同向面、异向面的覆盖原理和方法,给出了包括三维结构面网格划分、结构面与边界面的交线分析、关键块体搜索等切割搜索过程.提出一种基于覆盖技术的块体搜索新方法,并将该搜索技术接入自主开发的三维数值分析系统GeoSMA-3D,进行块体搜索.同时,通过工程实例进一步验证了覆盖技术的有效性和软件GeoSMA-3D的优越性.
关 键 词: 覆盖技术;块体搜索;GeoSMA-3D;关键块体;程序开发
中图分类号: TU 45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-3026(2017)02-0265-06

Blocks Searching and Program Development Based on Overlapping Technology

WANG Shu-hong, WANG Fei-li, ZHANG Zi-shan
(School of Resources & Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: WANG Fei-li, E-mail: wangfeili109@126.com)

Abstract: Based on the principle of constructing independent blocks by overlapping, the paper discusses the problem of blocks searching. And the overlapping principle and method of the surfaces with the same and opposite directions are studied. At the same time, the cutting and searching process of blocks is given, which includes the meshing of three-dimensional structural surface, the analysis of intersection about structural plane and boundary, and the searching of key blocks. Based on the principle of overlapping technology, a new searching technique is proposed for identifying the key blocks. With the searching technique introduced into the 3D digital analysis system—the three-dimensional geotechnical structural modeling and analysis system (GeoSMA-3D) developed by ourselves, the searching technique is available to identify the key blocks. Meanwhile, an engineering application is performed to validate the effectiveness of overlapping technology and the superiority of GeoSMA-3D software.
Key words: overlapping technology; block searching; GeoSMA-3D; key block; program development

块体搜索是岩石力学非常重要的基础性研究课题,其研究方法正从经验到理论、由定性到定量、由传统理论和方法判断向新方法、新技术、新理论发展^[1].传统的块体理论^[2-4]是以大量结构面和工程开挖面切割所形成的块体为研究对象,即对工程岩体的结构面进行块体分析,根据几何拓扑学原理,运用矢量分析和全空间赤平投影方法进行块体搜索.但在实际工程中,块体间并没有

组的限制,所以此方法存在局限性.全空间块体搜索方法^[5]针对整个块体系统进行分析,而不是针对某一类或某一个块体,同时该方法采用交线闭合回路的方法识别块体,不仅分析过程繁琐,而且不利于程序的开发和应用.

本文采用一种新的块体搜索方法——基于覆盖技术的块体搜索方法.这种方法采用动态的切割算法进行块体搜索,同时基于覆盖技术,有效地

删除覆盖的单元块体,不仅提高了关键块体搜索^[6-7]的精确度,而且大大简化了复杂的分析过程,具有很强的可操作性和便捷的程序开发过程,为边坡稳定性分析提供了一种新的高效可行的方法.

1 块体覆盖原理

块体覆盖,显而易见就是两个块体进行覆盖,是一种几何覆盖方法,即块体几何形态的重新归类和整合.块体由面定义,面面接触的块体,如果去除它们之间的结构面,就会导致两个块体的覆盖,但应满足两个面属于不同的块体,且在同一平面拥有交集的条件,其具体的研究思路和运算流程如图 1 所示.

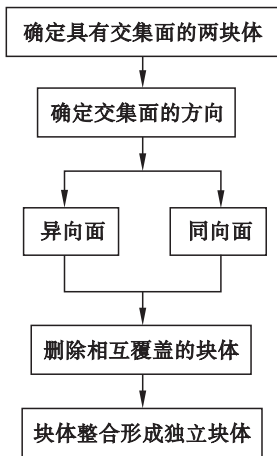


图 1 覆盖技术的研究思路
Fig. 1 Flow chart of overlapping technology

1.1 覆盖技术的基础知识

1.1.1 面的方向性判断

无论多么复杂的块体都是由各个有向面组成的.在块体理论中,定义面的方向以法向量指向块体内部为正,并且其方向与构成其边的方向遵循右手法则,如图 2a 所示.

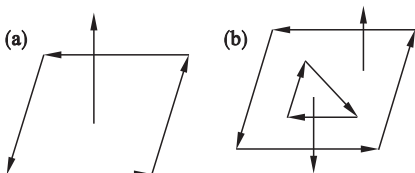


图 2 面的方向
Fig. 2 Direction of surfaces

但是,对于带有空腔的面,空腔的方向为该面相反的方向,即以法向量指向块体外部为正,同样遵循右手法则,如图 2b 所示.

1.1.2 同向面和异向面的判断

同向面和异向面的判断是根据 1.1.1 节所说的方向矢量进行定义,如果方向矢量相同即为同向面,否则为异向面.

1.2 覆盖的条件

两块体间覆盖的条件是两个块体分别位于虚拟结构面的两侧且存在面的交集,而两面覆盖的条件是两面存在线或面的交集.

1.3 覆盖的原则

块体是有向面的集合,面是有向边的集合,故块体及面的覆盖均是以有向边的覆盖为基础.有向边的覆盖存在以下原则:

- 1) 重合且方向相反的两边覆盖后,则两边都删除,其他情况不予覆盖.
- 2) 同向共线两边,首尾顺次相接,则合成一条边,由第一条边的起点指向第二条边的终点.

1.4 覆盖的方法

1.4.1 异向面的覆盖

同一平面内两多边形构成的面形成交集面,以每一个多边形的边为界,均会把另一个多边形分成内外两部分,且分割后边的方向保持不变.如图 3a 所示,根据右手法则判断,面 \overrightarrow{ABCD} 的方向矢量为逆时针,而面 \overrightarrow{EFGH} 的方向矢量为顺时针,即面 \overrightarrow{ABCD} 和面 \overrightarrow{EFGH} 为两异向面,其具体覆盖方法如下.

第一步:确定两个块体中构成交集面的两个面,即异向面 \overrightarrow{ABCD} 和 \overrightarrow{EFGH} 构成交集面 \overrightarrow{EBCH} (\overrightarrow{EHCB}),如图 3b 所示,阴影部分即为覆盖区域.

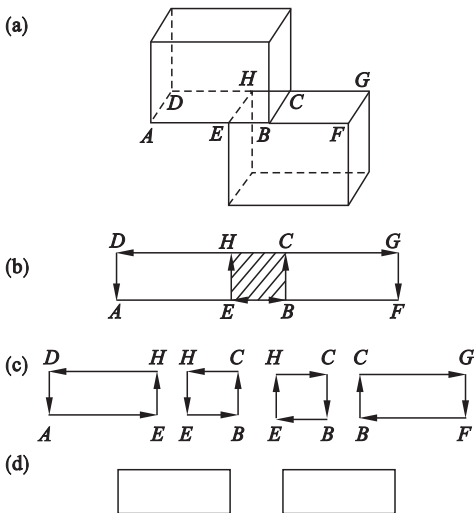


图 3 异向面的覆盖
Fig. 3 Overlap of surfaces with opposite directions

第二步:根据多边形的封闭性和有向性,如图 3c 所示,面 \overrightarrow{EBCH} 和面 \overrightarrow{EHCB} 覆盖后删除,然后对面进行整合,得到的若干个多边形就是覆盖后的

多边形,如图 3d 所示,即为经过覆盖后整合得到的最终多边形面.

1.4.2 同向面的覆盖

和异向面的判断方法相同,如图 4a 所示,根据右手法则判断,面 \overrightarrow{AJIB} 和面 \overrightarrow{EFKL} 的方向矢量均为顺时针,即面 \overrightarrow{AJIB} 和面 \overrightarrow{EFKL} 为同向面,其具体覆盖方法如下.

第一步:面 \overrightarrow{AJIB} 中的各边和面 \overrightarrow{EFKL} 中的各边存在交点 E 和交点 B ,它们把所在的线段分成若干份,但每份的方向保持不变,如图 4b 所示,边 \overrightarrow{EF} 和边 \overrightarrow{BA} 存在交线 \overrightarrow{EB} (\overrightarrow{BE}).

第二步:同样根据多边形的封闭性和有向性,删除由于覆盖得到的交线,即图 4b 中的虚线部分;然后将剩下的边组成新的多边形,在新的多边形内部进行边的整合,首尾相接且共线的两个边进行加和形成新的边,图 4c 为同向面经整合后得到的多边形面 $\overrightarrow{AJIBFKLE}$.

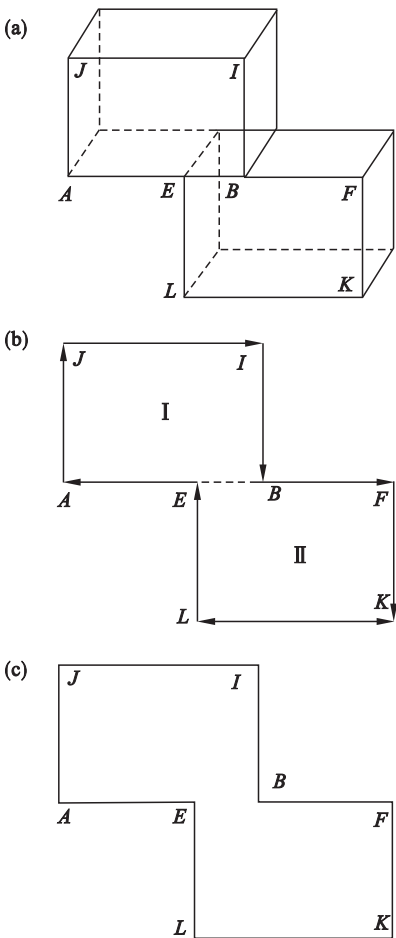


图 4 同向面的覆盖

Fig. 4 Overlap of surfaces with same directions

2 基于覆盖技术的块体搜索

块体搜索是岩体工程中一项重要的基础性

研究课题,研究方法多种多样,但是都存在一定的局限性.基于几何拓扑学原理进行块体搜索的方法,一方面违背了实际工程中结构面产状的杂乱无章性,另一方面该搜索方法在块体分析过程中仅考虑了结构面和开挖面产状而未考虑其具体位置,给出的仅仅是边坡中可能存在危险块体的定性分析;同样,全空间块体搜索方法仅仅针对整个块体系统进行分析,并且采用过程繁琐的交线闭合回路识别方法.显然,这些传统的块体搜索方法都存在着不可忽略的弊端,所以本文提出基于覆盖技术的块体搜索方法,操作步骤如下:

- 1) 利用虚拟的结构面正交模型对岩体进行网格划分;
- 2) 依次添加结构面,切割与结构面相交的单元块体;
- 3) 去除虚拟网格,删除覆盖的小单元,形成独立的块体.

2.1 网格划分

网格的划分有效减小了计算中结构面尺寸增加值,并且增加值可以由网格尺寸及网格布置来控制.网格的大小根据结构面的平均尺寸和密度而定:一般地,结构面尺寸较大、密度较大时,网格尺寸相对小些;另外,一般采用正交且各组间距相等的网格,即采用结构面的正交模型对岩体进行网格划分.虚拟结构面的间距即单元的边长,其半径应该大于岩体模型尺寸,图 5 为网格的划分^[8].

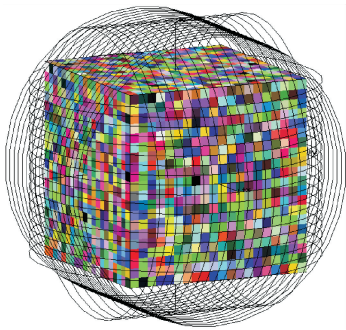


图 5 网格的划分
Fig. 5 Meshing

2.2 结构面切割单元块体

结构面切割块体的具体方法^[9]如下:

- 1) 为了避免因不必要的切割而增加计算量,首先要进行结构面与单元块体间的接触性判断;
- 2) 按照编号加入真实结构面,把与其接触的单元块体一分为二,而与其不接触的块体保持不变;
- 3) 依次加入结构面,每添加一个结构面,遍历一次现存的块体,判断块体是否与结构面相交,

如果相交就进行切割,删除母体,继续判断下一块体,不相交则直接进入下一块体的判断.

2.3 块体覆盖

利用虚拟的结构面将岩体划分为单元块体.虚拟结构面是指实际岩体中并不存在的结构面,所以切割完成后要对其进行删除,从而完成单元块体间的覆盖,形成一些独立的复杂块体,得到由真实结构面切割而形成的块体.

3 基于覆盖技术的块体搜索程序开发

3.1 GeoSMA-3D 程序功能

GeoSMA-3D 是“岩土工程结构与模型分析系统”的简称,它是基于块体理论,利用 VC++ 语言,采用 OpenGL 技术自主开发的三维岩体结构分析软件^[10-11].该软件能实现工程岩体空间结构的建模,结构面的三维网络模拟、模型表面迹线显示等多项功能.本文在此基础上,对该程序进行了进一步的开发和利用,将覆盖技术扩充到该程序中,从而实现可对移动块体更快速的搜索以及对关键块体更精准的筛选,同时还实现了对关键块体体积、滑动面数量、安全系数等完整信息的输出.

3.2 GeoSMA-3D 程序操作

GeoSMA-3D 采用以下两种方式建模:对于复杂模型,以面为单位进行描述,每个面内的顶点按照一定的顺序排列,然后写入文本导入软件中;对于简单模型,采用对话框的方式进行快速建模.图 6 显示了边坡模型的建立过程.

通过网格的划分,对确定性结构面和非确定性结构面进行添加,实现块体的单元切割.基于此,采用覆盖技术,对满足覆盖原则、符合覆盖条件的块体进行覆盖处理,同时,通过众多有限长结构面下块体的全空间识别方法,实现对关键块体的准确搜索和综合分析.可以看出该方法具有较强的通用性和可靠性.

4 工程实例

4.1 工程概况及结构面信息

本文选取辽宁省小盘岭边坡^[12]为研究对象,全长约 160 m,从边坡开挖路面至开挖顶面的高度约 30.10 m,由于岩体风化严重,比较破碎,节理裂隙发育,岩体条件较差,成为该工程的攻克难关.通过 ShapeMetriX3D 软件^[13]获取结构面信息,见表 1.

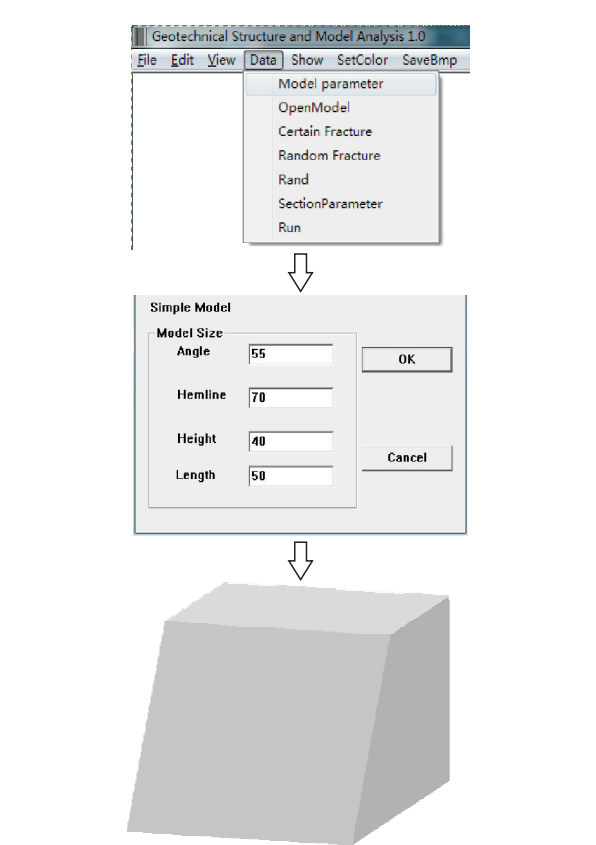


图 6 边坡实体三维简化模型
Fig. 6 Simplified 3D model of slope

表 1 结构面信息表
Table 1 Structural surface information table

结构面 编号	中心点坐标			倾向	倾角
	x	y	z	(°)	(°)
01	2.452	-12.961	5.481	72.29	32.56
02	3.154	-12.013	3.891	160.50	78.38
03	2.894	-11.954	3.446	113.36	50.15
04	-1.406	-13.160	2.509	34.58	62.38
05	-0.671	-12.901	0.794	121.98	88.36
06	-6.265	-15.188	2.113	96.00	80.20
07	-15.542	-18.730	5.662	50.84	17.28
08	-14.287	-18.187	6.644	57.04	18.67
09	-5.977	-15.013	2.467	121.41	34.29
10	-1.994	-13.076	3.687	347.85	75.28
11	1.543	-11.795	0.844	335.07	81.25
12	-12.123	-17.518	2.883	142.49	35.23
13	-14.513	-17.685	4.871	77.05	64.36
14	-12.586	-18.141	7.800	5.89	52.60
15	-12.047	-17.862	7.057	159.37	69.20
16	-6.691	-16.013	4.543	353.53	83.85
17	-0.082	-12.342	3.581	139.20	76.14
18	-3.864	-14.580	2.689	147.44	52.22

4.2 基于覆盖技术建立边坡模型及搜索块体

将 ShapeMetriX3D 系统分析得到的结构面信息输入到 GeoSMA - 3D 软件中,建立边坡空间表征模型,然后根据结构面搜索出全空间内所有独立块体,如图 7 所示。

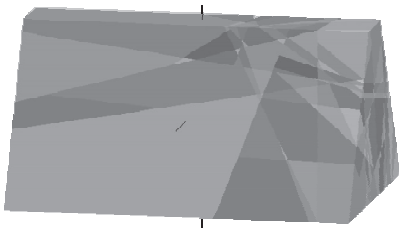


图 7 被结构面切割形成的所有块体
Fig. 7 All blocks generated through structural plane cutting

经网格划分、单元切割、单元覆盖等过程,最终搜索出关键块体共 5 个,如图 8 所示。

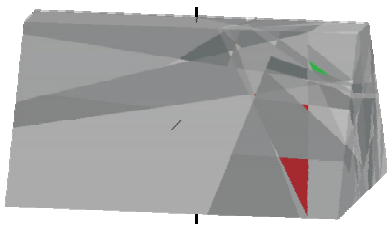


图 8 被结构面切割形成的关键块体
Fig. 8 Key blocks generated through structural plane cutting

基于覆盖技术实现了对关键块体更精确的搜索及稳定性分析,表 2 为通过 GeoSMA - 3D 导出的关键块体信息,关键块体数量为 5 个。

表 2 关键块体数据信息
Table 2 Data of the key blocks

块体 编号	体积 m ³	面的 数量	滑动面 数量	安全 系数	形成块体 结构面编号
01	0.369 1	4	2	0.141	3,7,12
02	0.039 6	4	1	0.967	5,8,13
03	0.001 9	4	1	0.934	4,15,17
04	0.001 2	4	1	0.200	8,16,17
05	9.778 7	5	2	0.569	2,5,17,18

采用传统方法进行的块体搜索和关键块体稳定性分析得到的关键块体信息如表 3 所示,关键块体数量为 7 个。传统方法中繁琐的搜索过程和不切实际的简化,导致搜索的关键块体信息不精确,不符合工程实际。

比较表 2 和表 3 中的关键块体信息,显然,基

于覆盖技术的块体搜索方法不仅搜索过程简单易行,而且搜索到的关键块体更加精准,同时,该过程易于程序的实现,可操作性强。

表 3 关键块体数据信息(传统方法)
Table 3 Data of the key blocks(traditional method)

块体 编号	体积 m ³	面的 数量	滑动面 数量	安全 系数	形成块体 结构面编号
01	0.178 2	4	1	0.336	1,5,17
02	0.053 9	4	1	0.842	7,9,13
03	1.287 1	4	2	0.203	3,8,15
04	0.003 8	4	1	0.969	4,12,18
05	3.067 2	5	2	0.764	9,12,15,17
06	0.593 1	4	2	0.522	2,6,16
07	5.327 5	5	2	0.635	5,9,17,18

5 结 论

1) 本文基于单元块体间相互覆盖构建独立块体的原理,探讨块体搜索的问题,建立了一种基于覆盖技术的块体搜索新方法。该方法一方面通过删除覆盖的块体,减少了复杂的计算过程,另一方面,有效地避开了常规的基于交线闭合回路块体搜索方法带来的一些技术问题,如程序不易于实现,不能有效地处理多连通及孤悬裂隙等问题。

2) 基于团队自主开发的 GeoSMA - 3D 软件,采用较为流行的开发工具及图形接口,结合所提出的覆盖技术,将块体搜索模块进行了进一步的开发和利用,不仅提高了关键块体搜索的准确性,而且拓展了该搜索方法的使用范围,具有很强的适用性和可操作性。

参考文献:

[1] Wang S H,Ni P P. Application of block theory modeling on spatial block topological identification to rock slope stability analysis [J]. *International Journal of Computational Methods*,2014,11(1):1350044(1 - 24).

[2] Shi G H, Goodman R E. Two dimensional discontinuous deformation analysis [J]. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*,1985, 9:541 - 556.

[3] Goodman R E,Shi G H. Block theory and its application to rock engineering[M]. Englewood Cliff:Prentice Hall,1985.

[4] Boyle W J,Goodman R E,Yow J L. Field cases using key block theory [C]// *Proceedings of the International Symposium on Large Rock Caverns*. Helsinki,1986:88 - 95.

[5] Lin D,Fairhurst C,Starfield A M. Geometrical identification of three-dimensional rock block systems using topological techniques[J]. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*,1987,24(6): 331 - 338.