

文章编号: 1000-7598-(2008)05-1334-05

# 基于SURPAC的复杂地质体FLAC<sup>3D</sup>模型生成技术

罗周全, 吴亚斌, 刘晓明, 刘望平, 杨彪

(中南大学 资源与安全工程学院, 长沙 410083)

**摘 要:** 针对FLAC<sup>3D</sup>软件在复杂地质体模型构建及单元网格划分等前处理问题上存在的不直观、工作量大等不足, 提出了一种新型的基于SURPAC软件的直观、快速的FLAC<sup>3D</sup>模型生成技术。在利用SURPAC软件构建地质体块体模型的基础上, 将模型以数据文件的形式输出, 然后对输出的数据文件运用ACCESS数据库进行处理, 形成FLAC<sup>3D</sup>命令流, 再将命令流调入FLAC<sup>3D</sup>软件中执行, 从而实现了FLAC<sup>3D</sup>的直观、快速建模。该建模方法在广西大厂铜坑矿的空区稳定性分析建模中得到了实际应用, 结果表明该方法是完全可行的和有效的。

**关 键 词:** SURPAC; FLAC<sup>3D</sup>; 地质体; 模型

**中图分类号:** O 241

**文献标识码:** A

## FLAC<sup>3D</sup> modeling for complex geologic body based on SURPAC

LUO Zhou-quan, WU Ya-bin, LIU Xiao-ming, LIU Wang-ping, YANG Biao

(School of Resources and Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

**Abstract:** Aiming at the disadvantages of FLAC<sup>3D</sup> modeling, such as the modeling process is not intuitionistic and mesh generation has great workload, a new kind of modeling method is proposed based on SURPAC software. On the base of building SURPAC block model of the complex geologic body, the SURPAC block model data in the manner of data file are exported and processing it using the Access database; and then the modeling order flow is generated and to run the order flow in FLAC<sup>3D</sup> to construct the FLAC<sup>3D</sup> model automatically and fleetingly. The new FLAC<sup>3D</sup> modeling method has been used in building the cavity stability analysis model of Tongken Copper mine in Guangxi Autonomous Region; and the result shows that the new modeling method is feasible and effective.

**Key words:** SURPAC; FLAC<sup>3D</sup>; geologic body; model

## 1 引 言

在数值模拟分析中, 往往存在着模型建立、空间单元划分等前处理工作烦琐、甚至难于准确进行的弱点, 不仅妨碍了数值模拟技术的推广, 而且模拟过程不得不采用简化地质模型, 影响了模拟效果, 因此数值模拟的前处理是一个值得研究的重要问题, 若数值模拟直接继承和利用三维地质建模数据, 可以大大简化数值模拟前处理的难度<sup>[1]</sup>。

FLAC<sup>3D</sup> 软件是率先将连续体的快速拉格朗日分析法应用于岩土工程问题的计算软件。该软件在解决岩土工程计算问题上具有许多优越性, 已逐渐成为工程技术人员理想的三维数值模拟工具。然而, 该软件在模型建立以及单元网格划分等前处理

问题上存在一些不足, 造成其建模的不便性, 不足之处主要表现在: (1) 模型的建立只能用数据文件来实现, 不能直观显示, 建模过程可视化程度低;

(2) 对于复杂的大型工程地质体建模, 需要控制各个边界节点的坐标数据, 容易出错, 检查也不方便;

(3) 建模工作量大, 花费时间长, 直接导致模拟计算的周期长<sup>[2]</sup>。大型三维矿山设计软件 SURPAC 具有强大的三维地质建模能力, 用它能够进行复杂地质体的三维可视化建模, 且在空间剖分方面与数值模拟具有一定的相似性<sup>[3]</sup>。SURPAC 中提供了强大的地质统计功能, 对于岩石力学参数的随机分布可以根据地质统计功能为每个单元赋力学参数。在有了各种岩性和试验数据后, 可用输入质心的方法从数据库和图形文件中提取数据, 给各单元赋以属性

收稿日期: 2006-07-26

基金项目: 国家自然科学基金资助 (No. 50490274)。

作者简介: 罗周全, 男, 1966 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事矿山开采数字化理论与技术的研究。E-mail: lzq505@hotmail.com

数据，采用了大量的估算方法，如赋值法、相反距离法和通用的克里克法等，让数值模拟软件 FLAC<sup>3D</sup> 直接继承和利用 SURPAC 三维地质建模数据，大大简化了数值模拟前处理的难度，而且提高了计算参数赋值的准确性。本文在运用 SURPAC 软件建立地质体的块体模型基础上，将模型以数据文件的形式输出，对输出的数据文件采用 ACCESS 数据库进行处理，并形成 FLAC<sup>3D</sup> 命令流，再将模型导入 FLAC<sup>3D</sup> 软件中实现了 FLAC<sup>3D</sup> 快速、精确建模。

2 FLAC<sup>3D</sup>模型生成

FLAC<sup>3D</sup> 模型的生成就是要直接继承和利用 SURPAC 中建立的三维地质模型数据。SURPAC 用于对地质体的三维表达的模型有两种：一种是实体模型，另一种是块体模型。实体模型可以准确表达岩层边界、空区形态、地表等，但实体模型之间以及实体内部空间没有剖分为单元，使导出数据后还需对此空间重新剖分，过程复杂。而 SURPAC 块体模型通过建立实体模型的约束文件，对实体模型之间以及实体模型内部运用规则六面体进行剖分<sup>[3]</sup>。本文以 SURPAC 块体模型为基础形成 FLAC<sup>3D</sup> 模型。

2.1 SURPAC块体模型构建

SURPAC 块体模型实际上是一个数据库，其模型构成单元为规则六面体。地质体 SURPAC 块体模型的构建步骤如图 1 所示，其中地表实体模型、岩层实体模型的建立可通过 SURPAC 直接调用地表等高线和岩层线 CAD 图(.dxf 格式文件)自动生成。

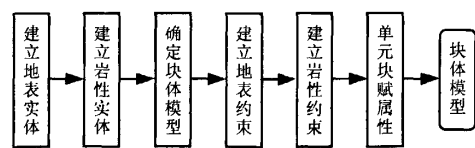


图 1 块体模型构建步骤  
Fig.1 The steps of constructing block model

确定块体模型的主要参数包括：方位、倾角、插入的参照点等参数和 X、Y、Z 三个方向的范围。方位角指模型主轴与水平方向的角度，倾角指垂直方向的角度，也就是与模型方位角平面正交方向的倾角，倾伏角指模型旋转前的水平线在旋转后与水平面的夹角，这也是模型的倾斜度的参照。用户块尺寸是指用户块 X、Y、Z 方向的大小，取决于建模的目的<sup>[3]</sup>。

建模范围决定原点坐标。方位角、倾角、倾伏

角的选取考虑到模型导入 FLAC<sup>3D</sup> 后方便施加边界约束条件，地质模型需要底面为平行 XY 平面的水平面，侧面为垂直与底面的平面，因此取方位角、倾角、倾伏角都为 0，此时所建立的模型满足 FLAC<sup>3D</sup> 中计算模型施加边界约束的条件。用户块尺寸的选取取决于建模目的，本文所建模型要导入 FLAC<sup>3D</sup> 进行计算，对于边界块单元选取较小尺寸以准确描述实体边界。

2.2 模型单元数据转换

要使 SUPAC 生成的模型数据为 FLAC<sup>3D</sup> 所继承和利用，将 SURPAC 块体模型转换为 FLAC<sup>3D</sup> 模型，必须进行 SURPAC 与 FLAC<sup>3D</sup> 单元数据之间的转换。SURPAC 的块体模型单元数据可以应用 SURPAC 中导出模型质心信息文件的功能输出，导出模型质心文件为 EXCEL 文件，数据格式见表 1。

表 1 SURPAC 导出文件的数据格式  
Table 1 The data format of the document exported from SURPAC

X	Y	Z	SIZE(X)	SIZE(Y)	SIZE(Z)	矿岩类型	比重	弹性模量	内摩擦角	凝聚力
---	---	---	---------	---------	---------	------	----	------	------	-----

表 1 列出 SURPAC 块体模型中每一个单元的信息，单元形状为规则六面体，其中 X、Y、Z 为单元质心坐标；SIZE(X)、SIZE(Y)、SIZE(Z) 分别为六面体单元的三边长，其他则为该单元的属性。

FLAC<sup>3D</sup> 前处理数据文件格式为 .dat 文本文件。在该文件中包括了模型定义、单元划分、单元力学参数定义、边界条件和本构关系定义等前处理内容。前处理数据文件中对模型定义、格网剖分和单元力学参数的定义语句如下<sup>[4]</sup>：Gen zone brick P0 x0, y0, z0 P1 x1, y1, z1 P2 x2, y2, z2; P3 x3, Y3, z3 size n1, n2, n3 group 2 (定义模型的边界范围、单元数和单元的分组)；Prop 力学参数 range x 范围 y 范围 z 范围 (或者 group 2) (定义某一区域的力学参数)。图 2 为 FLAC<sup>3D</sup> 中规则六面体单元，其中 P0~P7 为节点顺序。

SURPAC 中构成块体模型的基本单元仅有规则六面体，且所定义单元块的大小是 2 的倍数关系，符合 FLAC<sup>3D</sup> 中相邻单元合并节点的要求，在模型导入后有利于网格间的连接。因此，以 FLAC<sup>3D</sup> 中的基本单元六面体为基础实现模型数据的转换。由于在 SURPAC 中单元不存在节点顺序的问题，所以由 SURPAC 中规则六面体单元质心点坐标、单元大小，并结合图 2 所示 FLAC<sup>3D</sup> 中六面体单元每一节点位置即可算出 P0~P3 节点的 X、Y、Z 坐标 (4

个节点即可确定 FLAC<sup>3D</sup> 中的六面体), 实现模型单元数据的转换。

上述模型单元数据的转换只是实现了 SUPAC 块体模型在 FLAC<sup>3D</sup> 中重现, 但模型的网格往往还不能满足 FLAC<sup>3D</sup> 中模型计算的要求, 需要进行网格调整。

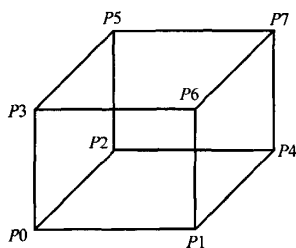


图2 单元体  
Fig.2 Unit body

### 2.3 模型网格调整

离散元的核心思想是分块近似。网格密度或结构离散化程度对于计算误差的影响很大, 一般情况下, 在计算数据变化梯度较大的部位(如应力集中处), 为了较好地反映数据变化规律, 需要采用比较密集的网格, 而在计算数据变化梯度较小的部位, 为减小模型规模则应划分相对稀疏的网格, 整个结构便表现出疏密不同的网格划分形式。因此, 为了更好地反映数据变化规律, 减小模型规模以增加计算速度, 需要按要求进行网格调整。通常根据地质体各岩层的平均厚度和计算的需要来确定网格大小和剖分数。理想网格划分应遵循以下基本原则:

- (1) 网格划分应有利于获得更精确的计算结果;
- (2) 网格的外形趋于一致, 以提高计算精确性;
- (3) 如果需要划分不同大小的单元, 从最小的单元到最大的单元变化梯度越小越好<sup>[4]</sup>。

通过在 ACCESS 数据库中对完成转换后的模型数据进行修改以实现网格调整, 方法如下:

①单元的细分。对需要网格加密的区域单元细分, 运用 FLAC<sup>3D</sup> 中生成六面体单元的命令将每一个单元划分为多个单元, 命令为: `gen zone brick size XYZ`, 其中  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个参数控制细分的程度( $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  为六面体的三边的剖分数)。可根据该六面体至研究区域的距离, 确定网格加密的程度, 即分别确定这 3 个参数大小, 形成的六面体在 3 个坐标方向分别有  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  个网格<sup>[4]</sup>;

②单元的合并。一般情况下, 对于计算空区稳

定性的地质体模型, 离空区中心距离大于空区半径 5 倍以上的区域, 其单元大小不影响空区周围单元计算准确度, 因此不需要很小单元, 为了避免计算量过大, 需对这些单元块进行合并。合并单元块的要求必须是单元大小、矿岩类型相同且相邻的单元。

### 2.4 模型自动生成

完成网格调整后将数据从 ACCESS 数据库中导出, 形成\*.txt 文本格式的命令流。利用 FLAC<sup>3D</sup> 命令“CALL”调入命令流自动生成模型, 然后加入边界条件、初始条件以及地质体模型的力学计算参数, 最终生成 FLAC<sup>3D</sup> 计算模型。为简化操作、提高效率, 避免数据量过大, 可根据矿岩类型的分组赋值计算参数值<sup>[5]</sup>, 赋值命令格式为: `prop bulk =  $1 \times 10^8$ , shear =  $0.3 \times 10^8$ , fric = 35 group 11`。

## 3 应用实例

本文应用上述方法建立了广西铜坑矿 92<sup>#</sup>矿体空区稳定性模拟分析的 FLAC<sup>3D</sup> 计算模型<sup>[6-9]</sup>。运用 SURPAC 建立涵盖 92<sup>#</sup>矿体西南采区所有空区的块体模型。在导出块体模型的质心文件(.csv 文件)时加载地表约束文件。导出约束后的块体模型单元信息文件后, 在 ACCESS 数据库中打开.csv 导出文件按上文所述原理进行转换<sup>[10]</sup>, 形成包含空区的块体模型, 如图 3 所示, 其中每个空区命名为不同的“group”, 以便于模拟实际开采顺序。

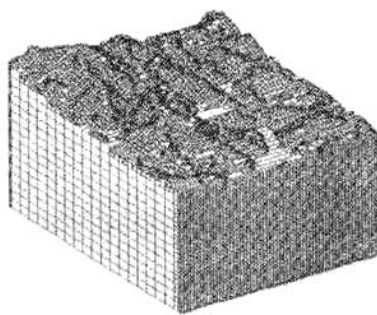


图3 SURPAC 块体模型  
Fig.3 SURPAC block model

在 FLAC<sup>3D</sup> 软件中采用“CALL”命令调入命令流文本文件, 自动生成地质体模型如图 4 所示; 在 FLAC<sup>3D</sup> 中对地质体模型赋值, 生成 FLAC<sup>3D</sup> 计算模型, 见图 5。图 6 为计算后空区位移和最大主应力 FLAC<sup>3D</sup> 等色图。

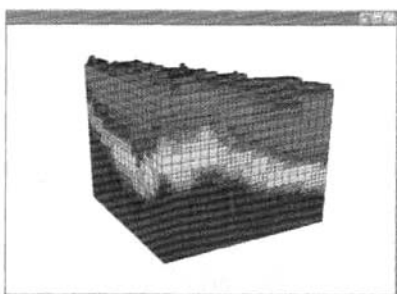
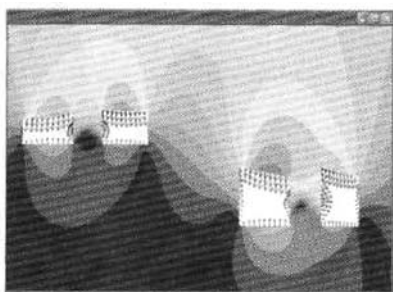
图4 FLAC<sup>3D</sup>地质模型Fig.4 The FLAC<sup>3D</sup> geological body model

图5 位移等色图

Fig.5 Contours of displacement map

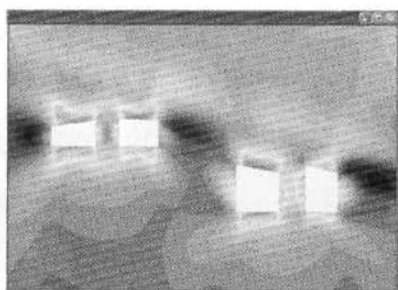


图6 最大主应力等色图

Fig.6 Contours of maximum principal stresses

## 4 结 论

(1) 对于复杂地质体,应用 SURPAC 软件构建 FLAC<sup>3D</sup> 计算的初始模型,然后将其转换成 FLAC<sup>3D</sup> 计算模型,与 FLAC<sup>3D</sup> 命令交互式建模相比具有建立模型准确、快速的突出优点,数值计算前处理得到了简化,拓宽了 SURPAC 等三维地质模拟软件的应用领域;

(2) 复杂地质体的三维数值模拟本身相当复杂,影响因素众多, SURPAC 软件能够准确反映相关信息,如岩性、地质结构、和空区形态等<sup>[11]</sup>。而且 SURPAC 软件提供了强大的地质统计功能,对于随机分布的岩石力学参数可根据钻孔信息赋值。因

此,应用 SURPAC 软件建立复杂地质模型导入 FLAC<sup>3D</sup> 进行计算,使数值模拟结果更加准确。

## 参 考 文 献

- [1] 侯恩科, 吴立新, 李建民, 等. 三维地质模拟与数值模拟的耦合方法研究[J]. 煤炭学报, 2002, 27(4): 388—392.  
HOU En-ke, WU Li-xin, LI Jian-min, et al. Study on the coupling of 3D geoscience modeling with numerical simulation[J]. Journal of China Coal Society, 2002, 27(4): 388—392.
- [2] 廖秋林, 曾钱帮. 基于 ANSYS 平台复杂地质体 FLAC<sup>3D</sup> 模型的自动生成[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(6): 1 010—1 013.  
LIAO Qiu-lin, ZENG Qian-bang. Automatic model generation of complex geologic body with FLAC<sup>3D</sup> base on ANSYS Platform[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 24(6): 1 010—1 013.
- [3] Surpac Software International 国际软件公司. SURPAC Vision 软件用户使用手册(第四版)[M]. [s. l.]: SURPAC Software International 国际软件公司发行, 2000.
- [4] Itasca Consulting Group. Fast Lagrange Analysis of Continua in Three Dimensions[M]. America: Itasca Consulting Group., 1997.
- [5] 胡斌, 张俾元, 黄润秋, 等. FLAC<sup>3D</sup> 前处理程序的开发及仿真效果检验[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(9): 1 387—1 391.  
HU bin, ZHANG zhuo-yuan, HUANG run-qiu, et al. Development of pre-processing package for FLAC<sup>3D</sup> and verification of its simulating effects[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(9): 1 387—1 391.
- [6] 李廷春, 李术才, 邱祥波. 三维快速拉格朗日法在安全顶板厚度研究中的应用[J]. 岩土力学, 2004, 25(6): 935—939.  
LI Ting-chun, LI Shu-cai, QIU Xiang-bo. Application of fast Lagrangian analysis of continua to researching on safe rock covers of Xiamen subsea tunnel[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(6): 935—939.
- [7] 朱维申, 李晓静, 郭彦双, 等. 地下大型洞室群稳定性的系统性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(10): 1 689—1 693.  
ZHU Wei-shen, LI Xiao-jing, GUO Yan-shuan, et al. Systematical study on stability of large underground



- houses[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23(10): 1 689—1 693.
- [8] 刘春玲, 祁生文, 童立强, 等. 利用FLAC<sup>3D</sup>分析某边坡地震稳定性[J]. *岩石力学与工程学报*, 2004, 23(16): 2 730—2 733.
- LIU Chun-ling, QI Sheng-wen, TONG Li-qiang, et al. Stability analysis of slope under earthquake with FLAC<sup>3D</sup>[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23(16): 2 730—2 733.
- [9] 缪协兴, 陈荣华, 浦海, 等. 采场覆岩厚关键层破断与冒落规律分析[J]. *岩石力学与工程学报*, 2005, 24(8): 1 289—1 295.
- MIAO Xie-xing, CHEN Rong-hua. Analysis of breakage and collapse of thick key strata around coal face[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2005, 24(8): 1 289—1 295.
- [10] 萨师煊. 数据库系统概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1984.
- [11] 陈佩佩, 叶勇, 张守仁. SURPAC Vision在煤矿中的应用[J]. *煤炭科学技术*, 2002, (3): 29—31.
- CHEN Pei-pei, YE Yong, ZHANG Shou-ren. Mine engineering software-SURPAC Vision applied to coal mine[J]. *Coal Science and Technology*, 2002, (3): 29—31.

### 第十届全国渗流力学学术会议(一号征文通知)

渗流力学是研究多孔介质内流体流动规律及应用的科学。自创立至今,在地下水、石油、天然气、煤层(成)气、地热、核能等资源能源开发及水利、水电、采矿、公路、铁路等工程建设中得到广泛应用,同时在生物渗流力学、环境渗流力学、物理化学渗流力学、地下水污染控制等科技问题的研究中得到了长足发展,而在非达西、非牛顿、非等温、非线性及多尺度、多场多相耦合渗流理论与应用等研究领域面临新的挑战。渗流力学已成为众多工程、技术领域的理论基础,对科学技术的发展起到重要作用。为了推动渗流力学研究成果的交流,迎接渗流力学发展的新挑战,促进科研工作者对渗流力学理论与应用的战略思考,第十届全国渗流力学学术会议将于2009年4月在武汉召开。欢迎各位专家、学者以及工程技术人员踊跃投稿,参加本次学术会议。具体事宜如下:

**主题** 渗流力学的新进展、新挑战与战略思考

**主办单位** 中国力学学会 中国石油学会 中国岩石力学与工程学会

**承办单位** 武汉工业学院

**协办单位** 武汉大学 华中科技大学 中国地质大学(武汉) 渗流流体力学研究所 **学术委员会** 荣誉主任: 郭尚平(中石油勘探开发研究院, 中国科学院院士) 主任: 韩大匡(中石油勘探开发研究院, 中国工程院院士)

**组织委员会** 主任: 刘建军(武汉工业学院) 副主任: 王来贵(辽宁工程技术大学) 郁伯铭(华中科技大学) 刘莉(渗流流体力学研究所) 胡斌(中国地质大学)

**征稿范围** 1、渗流力学的新进展、新挑战与战略思考 2、资源能源开发(石油、天然气、煤层/成气、地热、核能等)与渗流力学 3、实验渗流力学 4、计算渗流力学 5、非达西、非牛顿、非等温、非线性渗流力学新理论 6、生物渗流力学 7、环境、化工与渗流力学 8、物理化学渗流力学 9、地下水渗流与污染控制 10、岩土、水利工程与渗流力学 11、多尺度渗流理论 12、多场多相耦合渗流理论及应用 13、多孔介质传热与传质分析 14、其他与渗流相关内容。

**形式** 特邀报告、专题报告、专题讨论相结合

**时间与地点** 2009年4月在武汉举行 **征文要求** 2008年6月20日前提交400字的论文摘要。包括题目、作者姓名、工作单位、职务职称、最高学历、主要研究方向、联系方式、Email等信息。论文摘要及全文电子文档发到会议指定信箱(shenliu10@sina.com或shenliu10@163.com)。录用后的论文将由《辽宁工程技术大学学报》(自然科学版)(EI源刊、中文核心期刊)2009年增刊出版,格式以《辽宁工程技术大学学报》(自然科学版)要求为准。来稿恕不退还,请自留底稿。

**时间安排** 1、第一轮通知(征文通知): 2008年3月15日 2、提交摘要截至日期: 2008年6月20日 3、第二轮通知(摘要录用): 2008年7月10日 4、提交全文截至日期: 2008年9月20日 5、论文修改截至日期: 2008年10月30日 6、第三轮通知(特邀报告和主题报告安排) 7、第四轮通知: 2009年3月10日

**会务组联系方式** 通讯地址: 湖北省武汉市常青花园武汉工业学院153信箱渗流会务组, 430023

联系电话: 027-83950207 传真: 027-83950207 联系人: 黄小兰 曲琳莉 张传成

E-mail: shenliu10@163.com; shenliu10@sina.com

(信息来源: 河海岩土网, 编辑部编辑)

作者: [罗周全](#), [吴亚斌](#), [刘晓明](#), [刘望平](#), [杨彪](#), [LUO Zhou-quan](#), [WU Ya-bin](#), [LIU Xiao-ming](#), [LIU Wang-ping](#), [YANG Biao](#)  
作者单位: [中南大学, 资源与安全工程学院, 长沙, 410083](#)  
刊名: [岩土力学](#) **ISTIC EI PKU**  
英文刊名: [ROCK AND SOIL MECHANICS](#)  
年, 卷(期): 2008, 29(5)  
被引用次数: 7次

## 参考文献(11条)

1. 侯恩科, 吴立新, 李建民 [三维地学模拟与数值模拟的耦合方法研究](#)[期刊论文]-[煤炭学报](#) 2002(04)
2. 廖秋林, 曾钱帮 [基于ANSYS平台复杂地质体FLAC3D模型的自动生成](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2005(06)
3. Surpac Software International国际软件公司 [SURPACVision软件用户使用手册](#) 2000
4. Itasca Consulting Group [Fast Lagrange Analysis of Continua in Three Dimensions](#) 1997
5. 胡斌, 张倬元, 黄润秋 [FLAC3D前处理程序的开发及仿真效果检验](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2002(09)
6. 李廷春, 李术才, 邱祥波 [三维快速拉格朗日法在安全顶板厚度研究中的应用](#)[期刊论文]-[岩土力学](#) 2004(06)
7. 朱维申, 李晓静, 郭彦双 [地下大型洞室群稳定性的系统性研究](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2004(10)
8. 刘春玲, 祁生文, 童立强 [利用FLAC3D分析某边坡地震稳定性](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2004(16)
9. 缪协兴, 陈荣华, 浦海 [采场覆岩厚关键层破断与冒落规律分析](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2005(08)
10. 萨师煊 [数据库系统概论](#) 1984
11. 陈佩佩, 叶勇, 张守仁 [SURPAC Vision在煤矿中的应用](#)[期刊论文]-[煤炭科学技术](#) 2002(03)

## 相似文献(10条)

1. 期刊论文 [寇向宇, 贾明涛, 王李管, 吴霞 用于FLAC3D力学分析的矿床块段模型优化建模技术研究](#) -[中国铝业](#) 2010, 34(3)

FLAC3D主要是模拟计算地质材料和岩土工程的力学行为, 可以对矿山开采中产生的空区及地表移动问题进行数值模拟, 并进行稳定性分析, 但对于复杂的工程和地质条件, FLAC3D本身的前处理能力不强, 建立的模型不能准确反映实际情况, 要做大量简化, 因此, 本文探讨依据FLAC3D网格划分的原则和三维矿床软件SURPAC构建块段模型的方法, 对于力学分析的块段模型构建的步骤、原则等进行研究, 使建立的模型得到优化, 使其能够直接作为FLAC3D分析的前处理模型进行模拟计算, 并结合弹性力学的原理验证了其正确性, 同时用优化后的前处理模型结合云南某铜矿的实际进行力学分析, 验证了该方法的可行性和准确性。

2. 期刊论文 [林杭, 曹平, 李江腾, 江学良, 何忠明, LIN Hang, CAO Ping, LI Jiang-teng, JIANG Xue-liang, HE Zhong-ming 基于SURPAC的FLAC3D三维模型自动构建](#) -[中国矿业大学学报](#)2008, 37(3)

为了将岩土工程分析软件FLAC3D在数值计算方面的独特优势和矿山工程软件SURPAC在三维建模方面的优势相结合, 研究了2种软件单元数据之间的关系, 提出数据之间的转换方法; 采用Fortran语言编制了SURPAC-FLAC3D的接口程序, 并通过某大型铁铜矿区建模实例说明程序实施的具体步骤。结果表明: 提出的转换方法以及相应的接口程序能够实现SURPAC模型到FLAC3D模型的转换, 使FLAC3D建模快捷化, 拓展了FLAC3D和SURPAC的应用空间。

3. 期刊论文 [杨彪, 罗周全, 刘晓明, 陆广, 鹿浩 基于有限元分析的复杂采空区群危险度分级](#) -[矿业工程研究](#) 2010, 25(1)

针对某矿山大型复杂采空区群的实际情况, 应用空区三维激光探测技术获得了复杂空区的真实形态及相对位置关系, 结合SURPAC软件构建了包含复杂采空区群在内的矿山三维地学模型, 将地学模型分别转换导入FLAC3D和Phase2有限元软件形成数值计算模型, 经计算获得围岩变形和应力分布状况。通过对数值计算结果分析并参考空区形态、体积及周边环境等因素, 确定了采空区的危险度等级。运用空区实测模型进行数值模拟提高了计算结果的可靠性, 同时运用不同计算软件, 降低了计算误差, 所得结果更为可靠, 更有利于指导生产实际。

4. 期刊论文 [柴红保, 万文 露天矿边坡与地下采空区相互作用的数值分析](#) -[矿业工程研究](#)2009, 24(3)

利用SURPAC建立露天矿边坡和地下采空区相互关系的三维数值模型, 然后, 通过自编的SURPAC-FLAC3D转换接口, 将所建立的三维模型导入FLAC3D进行计算, 对比了边坡岩体中存在空区和无空区情况下, 岩体的应力和变形特征, 得到: (1) 有采空区情况下, 空区周围出现明显应力集中现象, 应力形式主要为压应力; 采空区的存在阻隔了应力的传递; (2) 采空区使边坡开挖后的水平位移明显增大, 而边坡的开挖也使采空区周围的应力场发生了相应的变化, 空区周围出现破坏区; (3) 采空区对边坡塑性区分布造成一定影响, 降低了边坡的稳定性。

5. 学位论文 [刘希灵 基于激光三维探测的空区稳定性分析及安全预警的研究](#) 2008

我国金属矿山安全事故频发, 由于地压导致的空区特重大事故严重危害矿山生产。尤其是一些露天开采矿山, 由于历史原因, 在矿山现有露天开采境界内, 存在大量以往正规开采留下的空区和无规则的民采空区, 严重威胁着露天开采作业人员和设备的安全。此外, 一些地面建筑物如高速公路下覆空区也是这些地面建筑极大的隐患。因此, 准确探测空区三维形状以直观指导空区评判和处理意义重大; 如何根据探测所得模型准确的了解这些下覆空区的应力分布状况及稳定性, 是保证矿山安全生产和地面人员设备安全的必要手段; 同时, 在此基础上如何实时、准确的监控空区以防事故发生也是矿山安全生产所必需的。鉴于此, 本文主要研究内容如下:

运用先进的激光探测系统, 对露天开采境界内下覆不明空区进行激光三维探测, 给出空区三维模型和详细的信息, 为矿山安全开采提供可靠的信息

基于所测三维数据对露天开采境界下覆空区的稳定性进行分析。把激光探测所得空区的三维模型导入SURPAC建立空区块体模型, 研究SURPAC和数值模拟软件FLAC3D的数据转换方法, 编制相应的程序将SURPAC中空区三维块体模型嵌入FLAC3D, 以取代以往数值模拟建模所用的虚拟模型进行数值计算, 以此来了解露天开采境界下覆空区更真实的地压分布和稳定性状况。

通过对岩石在动载下的声发射特性进行实验研究, 得到岩石在动载下的声发射规律; 与静载下岩石声发射特性进行比较分析, 总结静载下岩石的声发射特性, 为合理解释爆破、冲击等动载作用下声发射监测数据提供理论支持, 由此为频繁爆破和大型机械作业的露天开采境界下覆空区稳定性声发射监控提出指导性的意见。

以空区三维精确探测、稳定性分析、岩石动载下声发射实验为基础, 研究以声发射监测为主, 其他监测手段为辅的监测系统在开采境界下有空区的露天矿山安全预警中的实施方案, 并对现场监测数据进行科学、合理的分析, 保障矿山安全生产。

## 6. 期刊论文 [刘科伟](#), [李夕兵](#), [宫凤强](#), [刘希灵](#), [王卫华](#), [LIU Kewei](#), [LI Xibing](#), [GONG Fengqiang](#), [LIU Xiling](#), [WANG](#)

### [Weiuhua](#) 基于CALS及Surpac-FLAC3D耦合技术的复杂空区稳定性分析 -岩石力学与工程学报2008, 27 (9)

由于受地质条件和探测技术的限制, 传统探测方法很难获得复杂空区精确的实际空间分布形状, 由此得到的空区用于建立数值分析模型显得过于粗糙, 在此基础上进行空区稳定性分析的可靠性程度不高. 采用空区激光自动扫描系统(CALS)对复杂空区进行激光扫描, 在获得精准三维点云数据的基础上, 运用Surpac软件模拟出空区的三维地质模型, 通过耦合方法可以在FLAC3D中生成与实际空区空间分布一致的数值模型, 提高复杂空区稳定性计算的准确性和可靠性. 选取三道庄露天矿的地下空区作为工程实例, 利用CALS获得不规则空区的实际空间边界. 在此基础上, 运用Surpac进行三维块体模拟, 研究Surpac与FLAC3D模型耦合技术, 成功地将三维模型数据导入FLAC3D中, 结合现场实际勘测的围岩力学参数, 对空区进行静力计算, 分析空区的稳定性.

## 7. 学位论文 [曾凌方](#) 采川三道庄矿三维模型的建立与地下空区可视化研究 2008

矿床三维模型是“数字矿山”的基础, 是矿床的数字表征。随着“数字矿山”的提出, 三维模型越来越被从事矿山管理和研究的人员所重视。

金属矿床地下开采形成的大量采空区不仅危及矿山的安全, 而且对资源的充分回收造成严重的困难。因此, 以先进的空区探测系统为手段, 开展以空区精密探测为基础的相关技术的研究与应用, 已经成为我国金属矿山安全生产所面临的重大前沿研究课题。

河南三道庄钼矿是大型矿床, 不仅有可观的钼储量, 而且在矿区范围内还有一定量的金、银等伴生金属。由于矿山原先采用的空场法采矿所留下的采场、硐室以及巷道成为露天开采时的地下空区, 地下空区对矿山的生产带来严重的威胁。因此, 地下空区的可视化对露天台阶的稳定性分析是至关重要的。

本文通过对不同类型的三维建模软件的对比, 选择澳大利亚Surpac Minxe Group开发的Surpac Vision 5.1-F版软件作为三道庄矿三维建模平台。利用矿山提供的钻孔资料, 选择Microsoft Access 2000数据库类型, 运用Surpac软件系统, 建立了矿体模型、露天坑模型、地表模型等。

准确建立力学计算模型是岩土工程稳定性数值模拟研究的基础。采空区的实际三维形态和准确的空间位置是影响采空区稳定性数值模拟可靠性的重要因素。然而, 在传统的采空区稳定性数值模拟中, 往往将采空区的形态视为空区开挖设计时确定的规则形态, 或者是利用人工的简化模型进行模拟, 严重影响了数值模拟结果的可靠性。本文应用空区全自动激光探测系统(简称C-ALS), 精确地获取了空区的三维形态和准确的空间位置, 借助于Surpac建立起的地质模型, 使空区模型和矿山整体模型耦合起来, 并提出了一种空区稳定性数值模拟建模的Surpac和Flac3D耦合方法, 形成了基于实测的采空区稳定性数值模拟耦合新技术, 有效地提高了采空区稳定性数值模拟结果的准确性和可靠性。

## 8. 会议论文 [罗周全](#), [吴亚斌](#), [刘晓明](#) 基于实测的采空区群稳定性数值模拟耦合技术 2007

通过研究得出结论:

(1) 以精密探测获得的采空区实际三维形态和空间位置为基础进行空区(群)稳定性数值模拟, 比传统方法将采空区的形态视为空区开挖设计时确定的规则形态或者利用人工的简化模型进行模拟更具可靠性。

(2) 复杂地质体的三维数值模拟本身相当复杂, 影响因素众多, Surpac软件能够准确反映相关信息, 如岩性, 空区位置和形态等。因此, 应用Surpac软件构建FLAC3D计算的初始模型, 然后将其转换成FLAC3D计算模型, 不仅从理论上实现了“可视”与“可算”的结合, 而且很好地解决了FLAC3D对复杂地质体模型构建困难等问题。

## 9. 学位论文 [江学良](#) 岩石地下洞室与边坡的相互影响研究 2008

地下洞室包括各类天然形成的地下空区(溶洞等)、矿山生产过程中形成的地下采空区以及各类人工开挖形成的洞室(如人防洞、隧道等)。地下洞室与边坡的相互影响问题是随着工程建设的开展而出现的。根据地下洞室与边坡存在的先后顺序将地下洞室与边坡的关系分为两种情况, 第一种情况是地下洞室先于边坡存在, 如地下开采转为露天开采条件下矿山的地下采空区与露天开挖的边坡; 另一种情况是边坡先于地下洞室存在, 如山区隧道开挖形成的洞口边坡与隧道。地下洞室与边坡的相互影响问题一般可以分为两个方面来研究: 一方面是地下洞室的存在对边坡稳定的影响; 另一方面是边坡施工对地下洞室稳定性的影响。另外, 根据地下洞室与边坡的相对空间位置还会带来另外一个十分重要的问题, 即地下洞室顶板的安全厚度问题。顶板的安全厚度关系到地下洞室的安全与正常运营, 甚至关系边坡的稳定。本文结合湖南省自然科学基金资助项目“GFRP锚杆加固岩质边坡基本理论与设计方法研究”(07JJ6084)与高等学校博士点学科专项基金项目“复杂岩体边坡最危险滑动面的滑移线分条自动搜索研究”(20060533071)以及贵州宏福实业开发有限公司“瓮福磷矿穿岩洞矿段地下转露天开采中地下采空区对露天开采的影响研究”等研究课题, 对地下洞室与边坡之间的相互影响以及顶板安全厚度进行了深入的研究。主要研究内容与结论如下:

建立了边坡下伏地下岩石洞室深埋与浅埋的计算模型, 应用弹性力学理论与相同映射函数的复变函数解法推导了边坡下伏浅埋圆形洞室的应力解析解, 将深埋洞室视为一个双向受压无限板孔应力集中问题, 得到了边坡下伏深埋圆形洞室的应力解析解, 对于复杂形状洞室, 采用Christoffel-Schwarz积分确定映射函数或采用近似方法和数值方法来研究。

采取弹性折减方法, 利用自编的有限元程序对瓮福磷矿穿岩洞矿段地下采空区与露天边坡的相互影响进行了研究, 模拟露天边坡开挖过程对边坡与地下采空区的影响, 得到了各部开挖过程中边坡与采空区的应力、应变与塑性区分布以及边坡的安全系数。

对工程上常用来估算地下洞室顶板安全厚度的简支梁与固支梁模型进行了改进, 应用结构稳定理论, 考虑地下洞室水平应力对安全顶板厚度的影响, 分别建立集中力与均布荷载作用下改进的简支梁与固支梁模型。对改进的梁模型考虑岩石本构关系的影响, 将岩石视为理想弹塑性材料, 建立了改进梁模型的广义弯矩-曲率-轴力关系, 并取假设挠曲线的近似解法得到了最大承载力的广义弯矩-轴力-侧向均布荷载的相关方程。运用裂隙张量理论, 将岩体中的裂隙看作初始损伤, 对含随机分布裂隙的顶板岩体进行了分析, 推求了裂隙岩体的等效变形模量和等效泊松比, 研究裂隙密度对地下洞室顶板厚度的影响。

应用突变理论建立了地下球形洞室与地下巷道式洞室顶板的突变模型, 得到地下洞室顶板失稳破坏的必要条件与充分条件。经过分析可知, 地下洞室顶板安全厚度与岩石弹性模量、泊松比、洞室跨度、自重以及板顶荷载与板端水平应力有关。

将顶板上车辆荷载视为简谐荷载, 研究在车辆简谐荷载作用下顶板的动力响应, 得到了在匀速移动的车辆简谐荷载下, 考虑基本振型时, 共振发生在 $\omega=\varphi_p$ , 动力放大因子将取决于车辆移动的速度。在一般阻尼情况下, 动力放大因子取决于阻尼比 $\xi$  1的大小, 匀速移动车辆荷载作用下动力响应只有固定于跨中的车辆荷载作用下的动力响应的一半。建立了车队荷载作用下, 地下洞室顶板失稳的突变理论模型, 得到了顶板失稳破坏的充要条件。将地下洞室顶板视为单向厚板或矩形厚板, 在车辆荷载作用下进行了动力学分析, 分析了不同边界条件的影响, 得到了在车辆振动荷载作用下顶板的动力放大系数。

采用FLAC3D软件与强度折减理论对地下采空区的顶板厚度与稳定性进行了分析, 并且研究了地下采空区的采高与跨度对顶板厚度的影响。针对瓮福磷矿穿岩洞矿段地下转露天开采中的地下采空区与露天边坡, 采用SURPAC软件建立了地下采空区的三维地质模型, 编制了模型与FLAC3D的接口程序, 将三维模型导入FLAC3D计算程序, 在边坡与空区设置监测点, 研究分析地下采空区与露天边坡之间的相互影响。

本文立足于学科前沿, 运用最新数学计算方法和手段, 对地下洞室与边坡的相互影响进行了深入研究, 具有较高的理论和应用价值。

## 10. 期刊论文 [罗周全](#), [鹿浩](#), [刘晓明](#), [李畅](#), [张保](#), [LUO Zhou-quan](#), [LU Hao](#), [LIU Xiao-ming](#), [LI Chang](#), [ZHANG Bao](#) 基于

### [CMS](#)实测的采空区群稳定性数值模拟方法 -化工矿物与加工2008, 37 (1)

应用空区探测系统(Cavity Monitoring System, 简称CMS), 精确地获取地下矿山采空区的三维形态和准确的空间位置, 并借助大型三维矿床软件

SURPAC建立起了空区的三维形态模型,在此基础上,研究提出了空区稳定性数值模拟建模的SURPAC和FLAC3D耦合方式,形成了基于实测的采空区稳定性数值模拟分析的新方法,有效地提高了采空区稳定性数值模拟结果的准确性和可靠性.该方法已在铜坑矿采空区群稳定性数值模拟研究中成功应用,验证了该技术的有效性和可靠性.

## 引证文献(7条)

1. 王树仁, 张海清. MIDAS/GTS-FLAC<sup>3</sup>(3D)耦合建模新方法及其应用[期刊论文]-土木建筑与环境工程 2010(1)
2. 刘培正, 胡永泉, 张传信, 寇永渊, 郭宏东. 残留矿柱回采及监测点布置的研究[期刊论文]-金属矿山 2009(12)
3. 徐能雄, 田红. 三维无缝工程地质建模系统的研制[期刊论文]-岩土力学 2009(8)
4. 柴红保, 龙雪鸣. 复杂地质体FLAC3D模型快速生成[期刊论文]-矿业工程研究 2009(2)
5. 王树仁, 张海清, 慎乃齐, 曹海莹. 下伏采空区桥隧工程变形及受力响应特征分析[期刊论文]-岩石力学与工程学报 2009(6)
6. 刘晓明, 杨承祥, 罗周全. 深井开采回采顺序数值模拟优化研究[期刊论文]-南华大学学报(自然科学版) 2008(4)
7. 寇向宇, 贾明涛, 王李管, 吴霞. 基于CMS及DIMINE-FLAC3D耦合技术的采空区稳定性分析与评价[期刊论文]-矿业工程研究 2010(1)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_ytlx200805036.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_ytlx200805036.aspx)

授权使用: 长沙矿山研究院(csksyjy), 授权号: 2102d82e-9946-4230-9225-9dff0136d62f

下载时间: 2010年9月28日