

# 铜官山铜矿矿柱优化回采研究<sup>①</sup>

郭忠林<sup>1</sup>, 臧士勇<sup>1</sup>, 赖洪明<sup>2</sup>, 周登科<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 攀枝花钢铁(集团)公司, 四川, 攀枝花 617023)

**摘要** 针对铜官山铜矿-55 m 中段目前的空区、矿柱现状, 采用有限单元法对矿柱回采的多种方案进行了分步开挖模拟计算, 为安全回采矿柱提供了可靠依据。

**关键词:** 有限单元法; 矿柱回采; 前后处理功能

中图分类号: TD355 文献标识码: A 文章编号: 1007-855X(2002)01-006-04

## 0 引言

铜官山铜矿天马山矿体-55 m 中段, 顶板为白云质大理岩, 底板为角页岩, 矿体及顶底板围岩均质完整, 稳固性很好, 水文地质条件简单, 无大的构造破坏影响, 在该中段北端 2<sup>#</sup> ~ 5<sup>#</sup> 剖面线范围内 10<sup>#</sup> ~ 22<sup>#</sup> 采场回采后现已形成四个采空区和三个矿柱(如图 1 所示)。四个采空区中 11<sup>#</sup> ~ 14<sup>#</sup> 采空区的跨度为 37 m, 16<sup>#</sup> ~ 18<sup>#</sup> 采空区的跨度为 32 m, 20<sup>#</sup> 采空区的跨度为 17 m, 22<sup>#</sup> 采空区的跨度为 14 m。15<sup>#</sup>, 19<sup>#</sup> 及 21<sup>#</sup> 三个矿柱的宽度分别为 10 m, 10 m 和 12 m。其中 19<sup>#</sup> 矿柱的含金品位为 3.29 g/t, 含硫的品位达 29.50%。多年来这三个矿柱及四个采空区一直十分稳定, 为了最大程度地回收宝贵的矿产资源, 在保持空区稳定、安全的前提下, 能否回采一部分矿柱是当前生产中面临解决的一个课题。

针对上述问题, 采用有限单元法对回采矿柱的多种方案进行了分步开挖模拟计算和分析, 为该矿矿柱优化回采提供了可靠的依据。

## 1 计算模型

在计算范围内, 地质条件简单, 且距地表深度不大, 计算中略去构造应力的影响, 只考虑岩体的自重应力场, 这不仅可以使计算简化, 也完全可以满足采矿工程的计算精度需要, 因此计算模型采用平面应变模型按位移边界条件处理, 即地表为自由边界, 计算模型的两侧及底部边界以位移条件约束。使用二维非线性有限元方法进行计算与分析。

为了真实地反映工程开挖及开挖步骤对矿柱及围岩应力的影响, 计算中首先要确定在目前空区条件下的应力场, 将其结果作为初始应力场, 此后按各种回采方案计算各步开挖后形成的二次应力场, 分析矿柱及围岩的稳定性, 由此判断各种回采方案的可行性, 从而进行优化分析。根据计算范围要超过开挖空区影响范围的要求, 计算模型上部为地表, -55 m 矿柱回采计算模型(图 2)的范围为 300 m × 300 m, 采用四边形单元进行剖分, 共划分了 1 186 个单元、1 289 个节点。

## 2 岩体力学参数

矿岩物理力学参数由现场采样后在实验室测定。在本计算范围内虽无大的地质构造弱点, 但岩体受随机分布的裂隙的切割, 并考虑到空区不充填, 故可以从宏观上将岩体视为各向同性介质, 但其强度等力学参数应予弱化, 应低于室内岩块的力学参数。根据该矿体及围岩的具体条件, 参考有关资料并反复验算后, 选用以下的折减系数。

$$\text{弹模折减系数: 围岩: } k_E = \frac{1}{2}; \text{ 矿体: } k_B = \frac{1}{3};$$

① 收稿日期: 2000-12-02;

第一作者简介: 郭忠林, 男, 1963 年生, 教授; 主要研究方向: 采矿理论与应用。

强度折减系数:  $k_0 = 0.78$

在本研究的有限元计算中, 岩体力学的各参数值如表 1 所示. 判断准则采用 Drucker-Prager 塑性准则进行判断.

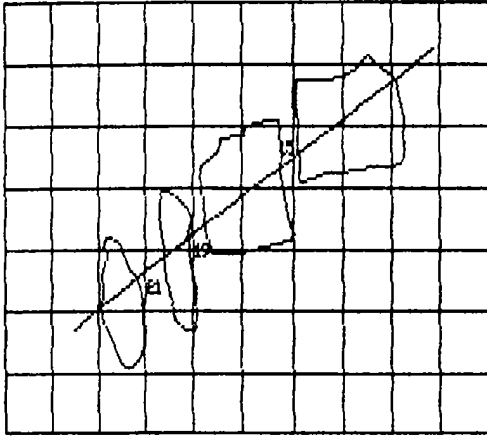


图 1 - 55 m 中段北端矿柱空区平面

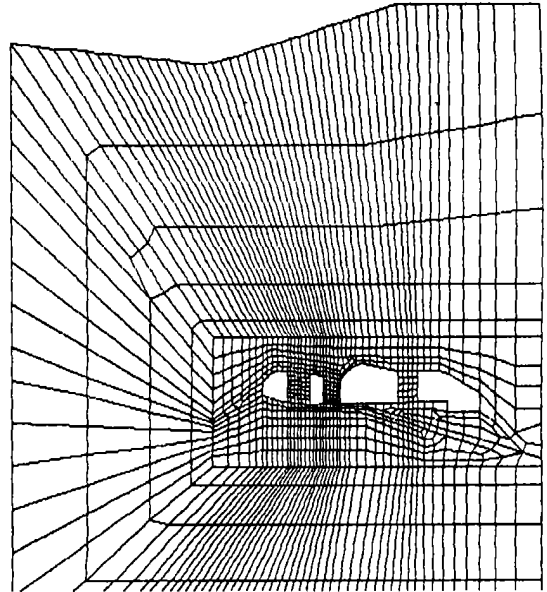


图 2 - 55 m 中段矿柱回采单元剖分

表 1 有限元计算用岩体力学参数

矿岩名称	容量 $\gamma$ / $\text{N} \cdot \text{m}^{-3}$	弹模 $E$ / MPa	泊松比 $\mu$	抗压强度 $S_c$ / MPa	抗拉强度 $S_t$ / MPa	内聚力 $C$ / MPa	内摩擦角 $\Phi$ / ( $^\circ$ )
角页岩	29 000	18 300	0.25	85.96	6.58	7.80	42
磁黄铁矿 白云质大理 岩	44 300 27 200	15 900 17 200	0.23 0.27	54.90 33.02	4.48 3.41	4.68 3.90	39 33

### 3 矿柱优化回采计算

针对 - 55 m 中段目前已形成的三柱四空区的现状, 对以下 8 种可能的矿柱回采方案分别进行了分步开挖模拟计算, 各方案的内容如表 2 所示.

表 2 - 55 m 中段矿柱回采计算方案

方案	描述	初始状态	第一步开挖	第二步开挖	第三步开挖
A-1	分步回采 21 <sup>#</sup> 矿柱, 保留 19 <sup>#</sup> , 15 <sup>#</sup> 柱	计算初始应力场	采 4 m 宽, 留 8 m	再采 4 m, 留 4 m	再采剩余的 4 m
A-2	分步回采 21 <sup>#</sup> 矿柱, 保留 19 <sup>#</sup> , 15 <sup>#</sup> 柱	计算初始应力场	采 6 m 宽, 留 6 m	采剩余的 6 m	
A-3	分步回采 21 <sup>#</sup> 矿柱后, 将 15 <sup>#</sup> 柱一 次采空, 保留 19 <sup>#</sup> 柱	计算初始应力场	采 21 <sup>#</sup> 柱 4 m, 留 8 m	再采 21 <sup>#</sup> 柱 8 m	15 <sup>#</sup> 矿柱一步采完
A-4	分步回采 19 矿柱, 保留 21 <sup>#</sup> , 15 <sup>#</sup> 柱	计算初始应力场	采 4 m, 留 6 m	采剩余的 6 m	
A-5	分步回采 19 <sup>#</sup> 矿柱, 保留 21 <sup>#</sup> , 15 <sup>#</sup> 柱	计算初始应力场	采 6 m, 留 4 m	采剩余的 4 m	
A-6	分步回采 15 <sup>#</sup> 矿柱, 保留 21 <sup>#</sup> , 19 <sup>#</sup> 柱	计算初始应力场	采 5 m, 留 5 m	采剩余的 5 m	
A-7	一次回采 15 m 矿柱, 保留 21 <sup>#</sup> , 19 <sup>#</sup> 柱	计算初始应力场	10 m 宽一次采完		
A-8	一次回采 15 <sup>#</sup> 矿柱后, 再分步回采 21 <sup>#</sup> 柱, 保留 19 <sup>#</sup> 柱	计算初始应力场	15 <sup>#</sup> 柱 10 m 宽一次采完	采 21 <sup>#</sup> 柱 6 m, 留 6 m	采 21 <sup>#</sup> 柱剩余的 6 m

将上述各方案的初始数据输入到计算机,并分别进行分步开挖计算,计算结果转换到 AUTOCAD 中自动绘制出塑性破坏区域图.

### 4 有限元计算中的前后处理功能

在有限元计算中,除了计算模型的准确,强度准则的确定及岩体参数的选取等问题需要研究外,数据的输入及计算数据的整理则是十分繁琐的工作,工作量大且极易出错.为了解决这些问题,在有限元计算软件开发中,加入了前后处理功能.在输入单元的有关数据信息后,可以在计算机上显示或打印出单元剖分图,便于检查输入信息的正确性和及时纠错,也可根据需要进行修正与调整,既可减少错误又便于用户的使用.该软件的后处理功能使计算结果除了以各组数据形式输出外,还能输出相应的塑性破坏区域图,大大简化了整理数据的工作,使计算结果一目了然,更便于各种方案的对比与选择.

### 5 计算结果及分析

1) 方案 A-1 及 A-2 回采 21# 矿柱,无论对该矿柱分三步回采或分两步回采,在 A-1 方案第二步回采或 A-2 方案第一步回采后剩余的矿柱及空区顶板是稳定的,但将剩余的矿柱全部回采后,空区顶板将出现塑性破坏,说明 21# 柱可以回采 6~8 m 宽,但必须保留 4~6 m 的矿柱.

2) 方案 A-3 的第一步开挖将 21# 矿柱采 4 m 留 8 m, 19# 和 15# 矿柱不开挖,计算结果所留矿柱及空区均稳定.第二步开挖 21# 矿柱所留 8 m 矿柱时,空区顶板出现回塑性破坏.第三步开挖将 15# 矿柱采完,只留下 19# 矿柱支撑采空区,形成距离 80 m 的大采空区时,空区顶板出现了大面积塑性破坏(如图 3 所示).

3) 方案 A-4 回采 19# 矿柱.第一步仅回采 4 m,保留 6 m 矿柱时,仅在该矿柱下部及上部的部分单元出现塑性区,与其他计算方案相比,塑性区相对较小(图 4).方案 A-5 回采 19# 矿柱时,第一步回采宽度 6 m,剩余的 4 m 宽矿柱将被破坏(图 5).上述二方案如继续进行第二步开挖,将 19# 矿柱全部回采后,均会引起空区顶板的大面积破坏(图 6,图 7).计算结果表明,如果对宽度为 10 m 的 19# 矿柱进行回采,至多只能回采 2 m,且以留宽度为 10 m 的点柱为宜.

4) 方案 A-6 保留 21# 和 19# 矿柱,回采 15# 矿柱的 5 m 留 5 m 后,所留 5 m 矿柱发生破坏,采空区的顶板和底板也发生破坏.再继续将所留 5 m 矿柱回采,采空区的顶板和底板发生大面积塑性破坏.

5) 方案 A-7 将 15# 矿柱一次回采完,保留 21# 和 19# 矿柱支撑采空区,这时采空区的顶底板发生大面积破坏.

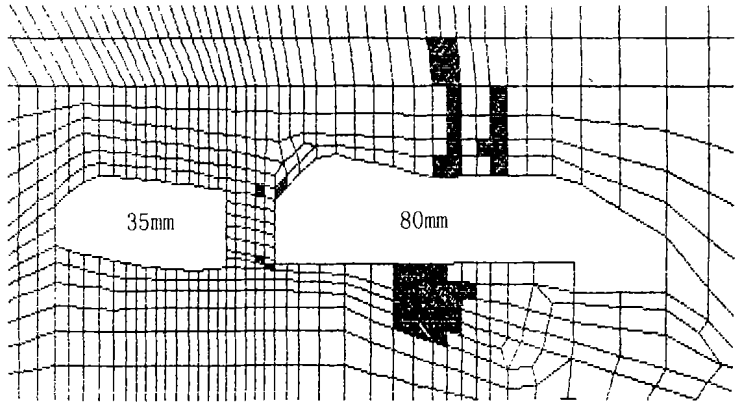


图 3 A-3 方案第三步开挖后的塑性区

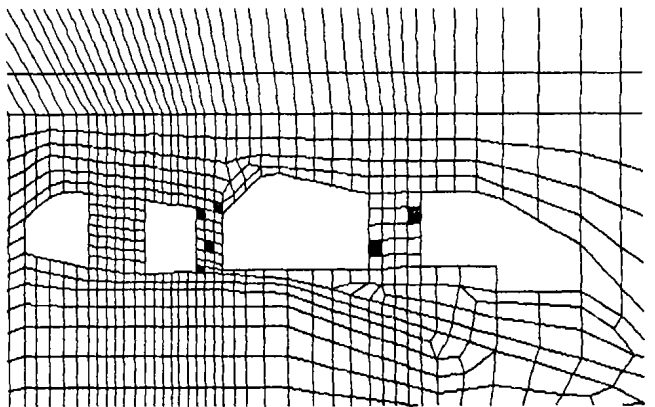


图 4 A-4 方案第一步开挖后的塑性区

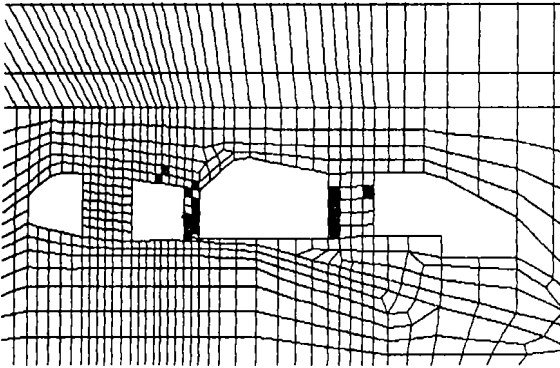


图 5 A-5 方案第一步开挖后的塑性区

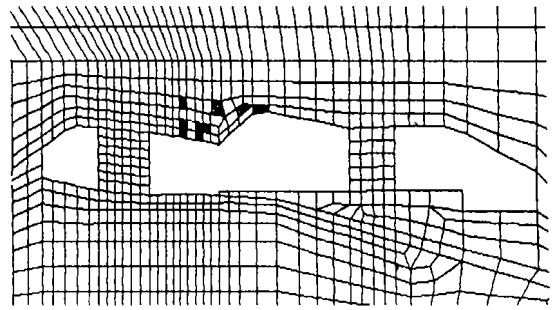


图 6 A-4 方案第二步开挖后的塑性区

6) 方案 A-8 保留 19# 矿柱, 将 15# 矿柱一次采完, 并回采 21# 矿柱的 6 m 留 6 m, 采空区的顶板和底板发生大面积破坏。

从上述计算结果可以看出: 在 21#, 19# 和 15# 三个矿柱中, 21# 矿柱可以回采 6~8 m 宽, 留 4~6 m 宽作永久矿柱; 19# 矿柱可以回采一部分, 但最好将矿柱改为 10 m × 10 m 宽的点柱作永久矿柱, 回采点柱之间的矿体; 15# 矿柱全部留作永久矿柱。

## 6 结语

有限单元法是数值模拟的方法之一。随着岩石力学的理论的发展及计算机软件的开发并不断提高, 这一计算方法在包括矿山在内的许多岩体工程中得到愈来愈多的应用。本课题研究中采用有限单元法模拟矿体开挖过程所得的主要结论对天马矿体-55 m 中段的矿柱回采提供了可靠依据, 为使采场工程设计施工从主要依靠经验及工程类比逐步走向量化或半量化的计算分析提供了一种有效的方法, 其良好的前后处理功能将使这一分析方法的应用前景更加广泛, 具有广泛的应用前景。

## 参考文献:

- [1] 于学馥等. 岩石力学新概念与开挖结构优化设计[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 1~50.
- [2] 长沙矿山设计研究院. 矿柱回采[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1960. 1~30

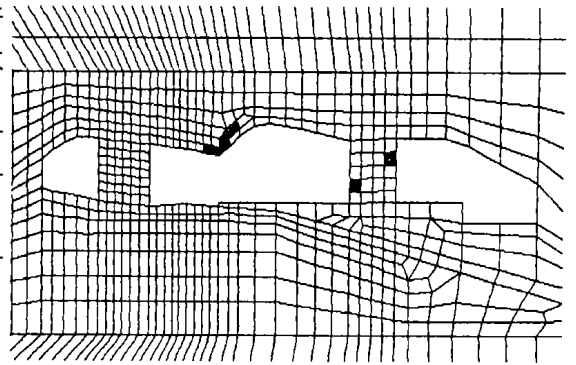


图 7 A-5 方案第二步开挖后的塑性区

## Study of the Best Pillar Stopping of Tongguanshan Copper Mine

GUO Zhong-lin, ZANG Shi-you

(Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

LAI Hong-ming, ZHOU Deng-ke

(Pan zhi-hua Steel bloc, Inc., Sichuan, Panzhihua 617023, China)

**Abstract** According to the vacant place's volume and the pillar's situation at -55 m level of Tong-guanshan Copper Mine, some excavating imitative calculation about the varied schemes of pillar stopping have been done by finit element method, which provided reliable basis to pillar safe stopping.

**Key words:** finit element method; pillar stopping; begining process function and end procss function