

# 无间柱连续采矿与两步骤采矿的地压规律对比研究

邓 建, 古德生, 李夕兵

(中南工业大学资源环境与建筑工程学院, 长沙 410083)

**摘 要:** 无间柱连续采矿是井下高阶段、一步骤回采的高效采矿技术。本文在阐明无间柱连续采矿内涵和具体方案的基础上, 采用有限元数值分析, 对阶段开采中用传统的两步骤开采技术和无间柱连续采矿技术的地压规律进行分析比较, 得出地下金属矿阶段无间柱连续开采的地压转移规律, 为无间柱连续采矿的应用和推广提供理论依据。

**关键词:** 无间柱连续采矿; 两步骤采矿; 地压; 数值模拟

**中图分类号:** TD321+.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0211 (2000) 04-0001-03

采矿连续工艺系统可分为三类, 即采场连续工艺系统, 区域连续工艺系统和全矿连续工艺系统。80年代中期以来, 在“七·五”和“八·五”科技攻关中, 我们在采场连续工艺系统方面做了一些理论和设备工艺的现场试验工作, 取得了一定的成果<sup>[1]</sup>。在此基础上, 开始探索区域采矿连续工艺系统, 提出无间柱连续采矿这一科学命题, 并在安徽某矿山进行现场试验。无间柱连续采矿技术能否在地下金属矿山顺利实施, 在地压规律方面与传统的两步骤采矿有何区别, 是矿山工程中急待解决的问题。

本文运用三维有限元法, 对无间柱连续采矿进行数值模拟, 对阶段开采中用传统的两步骤开采技术和无间柱连续采矿技术的地压规律进行分析比

较, 得出地下金属矿阶段无间柱连续开采的地压转移规律, 为无间柱连续采矿的应用和推广提供理论依据。

## 1 无间柱连续采矿法

### 1.1 试验矿区采矿技术条件

本次无间柱连续采矿试验阶段位于安徽省某铜矿Ⅱ号主矿体, 矿体长500m, 平均厚度20m, 矿体倾角75°-85°, 矿石为浸染状含铜磁铁矿,  $f=16-26$ ; 上盘为花岗闪长岩,  $f=6-8$ , 下盘为大理岩,  $f=8-12$ 。试验阶段设计回采高度60m (-360m/-300m), 平均品位0.93%。试验矿块的矿石围岩和充填体物理力学性质见表1<sup>[3]</sup>。

### 1.2 无间柱连续采矿法

表1 四种主要岩体物理力学参数

矿岩名称	抗压强度 MPa	抗拉强度 MPa	弹性模量 MPa	泊松比 $\mu$	内聚力 MPa	内摩擦角度	体重 $10^3 \text{kg/m}^3$
上盘围岩	74.0	1.8	18000	0.16	1.5	53	2.80
下盘围岩	63.3	3.3	63000	0.26	10.8	50	2.80
矿石	203.4	9.5	95000	0.31	21.5	51	4.04
充填体	3.5	0.5	1000	0.30	0.655	35	2.214

传统的矿床开采方法是两步骤采矿法, 即将阶段划分为矿房和矿柱<sup>[2]</sup>, 先回采矿房, 后再回收矿柱 (也称间柱)。这种留间柱的开采方式, 存在许多问题。为了彻底地改变这一状况, 变革传统开采方法, 在已实现采场连续工艺的基础上<sup>[1]</sup>, “九

·五”期间提出“地下金属矿无间柱连续采矿技术与装备研究”科技攻关课题。其主要的技术思路是: 将矿体划分为阶段, 再将阶段划分为矿段; 以矿段为回采单元, 矿段间不留间柱, 采用下向平行深孔侧向崩矿 (矿段中部拉切割槽), 无二次破碎水平的组合式振动机出矿的底部结构, 用分节式振动运输列车运搬矿石, 形成采场出矿、运矿连续作业线, 崩矿过程中靠充填空区一侧留临时隔离矿壁, 待本矿段出矿工作行将结束时再行一次崩落, 强采强出, 并跟随快速充填。采切、回采和充填作

收稿日期: 2000-01-07  
基金项目: 国家“九五”科技攻关计划基金资助项目  
作者简介: 邓 建 (1972-), 男, 博士; 中南工业大学采矿与岩土工程研究所

80/263

业在三个相邻块段间平行进行，相互衔接，分别转移，采矿工作面在阶段上连续推进，故称之为“连续采矿”。显然，这里是采用爆破落矿技术的连续采矿，它有别于采用硬岩连续切割机实现的连续采矿。由于这里的连续采矿是以矿段为回采单元、矿段间不留矿柱为其主要特征，故又称为“无间柱连续采矿”，其技术方案如图 1 所示。

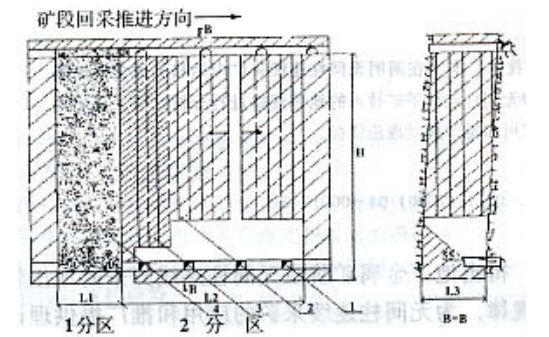


图 1 无间柱连续采矿技术方案

1-无二次破碎水平振动出矿底部结构；2-φ165 垂直深孔；  
3-最后回收的临时矿壁；4-高水速凝尾砂胶结充填体；  
L1-1 分区长度；L2-2 分区长度；L3-矿体厚度；H-阶段高度  
Fig.1 Scheme of non-pillar continuous mining

## 2 无间柱连续采矿与两步骤采矿的地压规律对比

为方便起见，选取 3 个相邻矿段。用有限元数值模拟法<sup>[4-7]</sup>，比较无间柱连续采矿与传统的两步骤采矿的地压活动规律。方案布置如图 2 所示。

从两步骤回采各个时期沿走向最大主应力图，

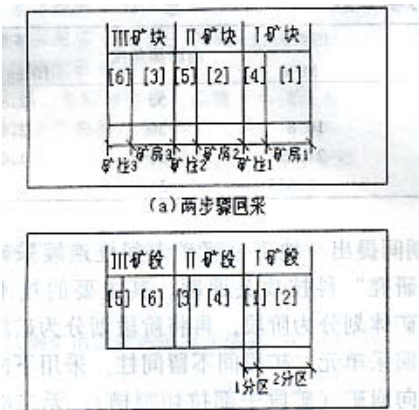


图 2 阶段三个相邻矿段（块）回采布置图

图中方括号中数字代表回采步骤，回采后均立即充填  
Fig.2 Scheme of three adjoining stoping units

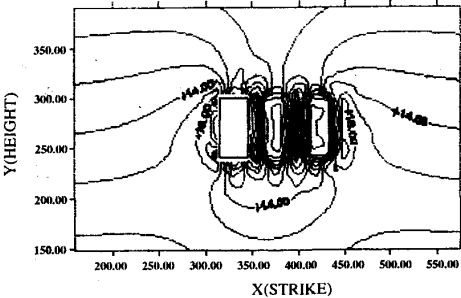


图 3 两步骤回采开挖第 3 矿房后的沿走向最大主应力图（第 1、2 矿房已充填）

Fig.3 Maximum principal stress distribution for pillar mining

可以非常明显地看出应力随回采过程进行的转移规律。当回采第 1 矿房后，应力在矿房的四角及侧壁处集中。当回采第 2 矿房并充填第 1 矿房后，两矿房中间的第 1 间柱应力高度集中，第 1 间柱靠第 1 矿房一侧的单元应力达 28.3MPa，集中系数达 1.94。当回采第 3 矿房并充填第 1、2 矿房后，第 1、2 矿房中间的第 1 间柱应力继续增加，达 29.9MPa，集中系数达 2.10。第 2、3 矿房中间的第 2 间柱应力为 30.8MPa，集中系数达 2.15。如图 3 所示。第 1 间柱的应力小于第 2 间柱，可能是第 1、2 矿房充填的缘故，充填体吸收和转移了部分应力。但是，两间柱内的应力都很高，给后期回采间柱带来了极大的危险和不便。这就是提出无间柱连续采矿的原因之一。从应力图上还可以看出，当第 1 间柱回采后，第 2 间柱应力集中更加严重，应力值为 32.5MPa，集中系数达 2.30。在生产实际中，这样的矿柱要么已破坏而无法回收，要么因回收太危险最终不得不弃采。

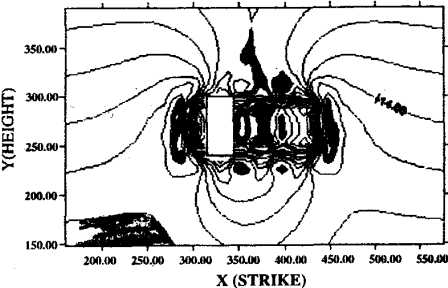


图 4 无间柱连续采矿开挖第三矿段 2 分区后沿走向最大主应力图（第 1、2 矿段和第 3 矿段 1 分区已充填）

Fig.4 Maximum principal stress distribution for non-pillar continuous mining

地下金属矿无间柱连续采矿技术与传统的两步骤回采技术截然不同。根据沿走向最大主应力图, 也可以非常明显地看出地压随无间柱连续回采过程进行的转移规律。无间柱连续采矿可以避免在大面积应力高度集中下的采矿作业。诚然, 单个矿段的无间柱回采在凿岩硐室的临时点柱和临时矿壁也存在应力集中, 但它只是“临时”存在, “临时”点柱和“临时”矿壁在还没有来得及变形和破坏时, 此“临时”点柱和“临时”矿壁已经被崩落。

随着无间柱连续采矿矿段回采的依次进行, 应力转移的规律非常明显。第一矿段回采的地压规律与传统的两步骤回采一个矿房的规律相似。以后随着矿段的往前回采, 应力集中逐渐往后转移, 如图4所示。虽然在已采并充填的矿段围岩中存在应力集中, 但这并不妨碍正常的采矿作业。相反, 在未采或正在回采的矿段中, 应力状况却明显好于传统两步骤回采时矿柱内的应力状况。因此, 从地压控制的角度来讲, 无间柱连续采矿是切实可行的。但是为了消除已采并充填的矿段围岩的地压活动, 必须正确合理地选择好无间柱连续采矿中充填体的强度和刚度。

比较两种采矿技术的顶板垂直位移, 二者并没有多大差别。从位移的角度来讲, 也说明无间柱连

续采矿技术是切实可行的。

### 3 结论

本文运用地下岩体工程开挖与充填三维弹塑性有限元程序, 通过阶段中三个相临矿段开采的数值模拟, 对阶段开采中用传统的两步骤开采技术和无间柱连续采矿技术的矿压规律进行分析比较。得出以下几点结论:

(1) 计算结果表明, 从地压控制的角度看, 在试验矿山采矿技术条件下, 垂直深孔落矿的无间柱连续采矿在理论上是可行的, 具有许多优点。它避开了传统两步骤采矿技术中回收间柱带来的很多问题, 如工艺复杂、安全性差、工作效率低、作业成本高等。

(2) 地下金属矿无间柱连续采矿的地压转移规律是: 在阶段开采过程中, 随着矿段的往前回采, 应力集中逐渐往后转移; 虽然在已采并充填的矿段围岩中存在应力集中, 但这并不妨碍正常的采矿作业。相反, 在未采或正在回采的矿段中, 应力状况与传统两步骤回采矿房时相类似, 明显好于传统两步骤回采时矿柱内的应力状况。这为无间柱连续采矿法在地下金属矿山中的运用和推广奠定了理论基础。

### 参 考 文 献

- 1 古德生, 王惠英, 李觉新. 振动出矿技术. 长沙: 中南工业大学出版社, 1988
- 2 采矿手册编辑委员会. 采矿手册 (第一卷). 北京: 冶金工业出版社, 1988
- 3 邓建, 古德生, 李夕兵. 中南工业大学学报, 1999, 30 (5): 445
- 4 Gu Desheng, Deng Jian, Li Xibing, et al. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 1999, 9 (2): 417
- 5 姚宝魁等. 矿山地下开采稳定性研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1994
- 6 于学轸. 信息时代岩土力学与采矿计算初步. 北京: 科学出版社, 1991
- 7 Zienkiewicz O C. Finite element method (3rd edition), McGraw-Hill, London, 1977

## CONTRAST STUDY OF GROUND PRESSURE BETWEEN NON-PILLAR MINING AND PILLAR MINING

DENG Jian, GU Desheng, LI Xibing

(College of Resource, Environment and Civil Engineering, Central South University of Technology, Changsha 410083)

### ABSTRACT

There is a general tendency to use continuous mining in underground metal mine. Non-pillar continuous mining is regarded as a high-efficient, high-level and one-step mining technology. Based on the concept of non-pillar continuous mining, this paper employs finite element numerical method to contrast the ground pressure of non-pillar continuous mining and pillar mining in underground metal mine. Stability status (including stress and displacement) is analyzed and results provide theoretical basis for application of non-pillar continuous mining.

**KEY WORDS:** non-pillar continuous mining; ground pressure; numerical simulation