

无底柱分段崩落法无贫化放矿

——无贫化放矿理论及其在矿山的实践

张志贵 刘兴国 于国立 著



東北大學出版社
Northeastern University Press

无底柱分段崩落法无底化放矿

——无底化放矿理论及典型矿山的实践

徐厚康 彭中国 李国良 编



中国地质大学出版社
CHINA UNIVERSITY OF GEOSCIENCES PRESS

无底柱分段崩落法无贫化放矿

——无贫化放矿理论及其在矿山的实践

张志贵 刘兴国 于国立 著

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 张志贵 刘兴国 于国立 2007

图书在版编目 (CIP) 数据

无底柱分段崩落法无贫化放矿 / 张志贵, 刘兴国, 于国立著.
沈阳: 东北大学出版社, 2007.8

ISBN 978-7-81102-443-2

I. 无… II. ①张… ②刘… ③于… III. 金属矿开采—无底柱分段崩落法 IV. TD853.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 120661 号

出 版 者: 东北大学出版社出版

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83680267 (社务室) 83687331 (市场部)

传真: 024—83680265 (办公室) 83687332 (出版部)

网址: <http://www.neupress.com>

E-mail: neuph@neupress.com

印 刷 者: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 140mm×203mm

印 张: 6.625

字 数: 184 千字

出版时间: 2007 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2007 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 牛连功

责任校对: 王 玲

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-443-2

定 价: 36.00 元

前 言

无底柱分段崩落法由于具有效率高、安全性好以及成本低等突出优点，在国内外地下矿山特别是地下铁矿山开采中得到了广泛应用。但是，无底柱分段崩落法在使用中都普遍存在着比较严重的矿石贫化问题。为降低无底柱分段崩落法的矿石贫化程度，国内外采矿界在采矿方法结构、结构参数以及放矿管理等方面都进行了许多的尝试，提出并试验了相当多的改进方案和设想，如“矿石隔离层下放矿”、按“楔形槽”理论布置炮孔以及分段留矿崩落采矿法和高端壁无底柱分段崩落法等。虽然一些方案或设想在减轻矿石损失贫化方面不同程度地取得过一些效果，但最后都因为方案不完善或太复杂、要求的技术装备水平和管理水平过高等原因而被放弃使用，无底柱分段崩落法矿石贫化严重的问题依然存在。大多数使用无底柱分段崩落法的矿山，在15%~20%矿石损失率的情况下，采出矿石的贫化率仍维持在15%~25%的水平。

东北大学刘兴国教授结合我国鞍钢弓长岭铁矿的具体条件，基于崩落法放矿过程中矿石回收率与矿体倾角、出矿允许贫化程度关系的研究结果，于1987年首次提出了无贫化放矿的设想，并对弓长岭铁矿使用无贫化放矿方式的可行性进行了初步研究。西南科技大学张志贵教授，

1987—1990 年间作为刘兴国教授的硕士研究生，在大量理论分析和实验研究的基础上，对无贫化放矿的可行性进行了深入系统的研究，发现了无底柱分段崩落法放矿时崩落矿岩移动规律不同于一般崩落法放矿时放矿规律的特殊性；靠壁残留体及其对放矿取得良好效果重要作用的发现，就是其中最为重要和最有价值的发现。研究表明，导致无底柱分段崩落法矿石贫化大的最主要原因是采用了不合理的截止品位放矿方式。就对各种矿石残留体都具有良好回收条件的无底柱分段崩落法而言，采用无贫化放矿方式放矿是可行的；在保证充分回收矿石的情况下，从根本上解决无底柱分段崩落法矿石贫化严重的问题也是可能的。

为了研究应用无贫化放矿方式对生产矿山可能产生的影响以及寻求最佳的矿山应用方案，我们对无贫化放矿方式的应用问题进行了一系列全面深入的实验室研究和理论分析。研究表明，对于矿体条件较为理想状态下（直立或厚大矿体的中间部分可近似看作没有下盘损失的理想状态）的无底柱分段崩落法，其放矿过程中出矿贫化程度与矿石回收率之间没有明显的直接相关关系。也就是说，不存在如下规律：矿石贫化程度愈大，矿石的回收就愈高；或者，矿石贫化程度愈小，矿石的损失愈大。此外，实验结果还表明，生产矿山由截止品位放矿改用无贫化放矿，对矿山生产以及矿石回收率的影响基本是在两个分段的开采范围内。此次研究，不仅基本弄清了生产矿山改用无贫化放矿方式后可能产生的问题以及应采取的对策，为无贫

化放矿方式在生产矿山成功应用奠定了一定的基础，而且对放矿过程中矿石损失（回收率）与贫化（岩石混入率）关系的认识有了重大突破。

1992年，无贫化放矿的研究成果被介绍到我国最大的地下铁矿山——甘肃酒泉钢铁公司镜铁山矿。镜铁山矿桦树沟矿区的矿石属于难选贫矿，矿石品位较低，其地质品位仅为35%~37%，加之废石（围岩）中碱金属含量较高，废石混入矿石造成的矿石贫化对酒泉钢铁公司的整个生产都造成了十分不利的影响，经济损失巨大。为缓解这一不利影响，并减少由此产生的经济损失，在实验证明方法可行的情况下，酒泉钢铁公司决定在镜铁山矿桦树沟矿区试验使用无贫化放矿方式。1993年7月，无贫化放矿的工业试验在镜铁山矿桦树沟矿区二采区正式开始进行。

截至1996年3月，经过近三年的无贫化放矿工业试验，试验的各项主要指标均达到或超过了预期效果。经过约三个分段的回采，试验采区无贫化放矿的累计矿石回采率为85.18%，超过原截止品位放矿方式的回收水平（81.26%）；试验采区的岩石混入率一直保持在7%~8%，累计岩石混入率为7.64%，优于预期指标；试验采区共减少岩石19万余吨，创综合经济效益2000余万元。无贫化放矿在二采区试验取得成功后，被及时推广应用到镜铁山矿另一主要采区。随着应用范围的扩大，镜铁山矿总的岩石混入率由原来的13%~15%降至9.4%，创造了全国同类矿山最好水平，该指标在世界上同类矿山中也属于最佳指标。1996年8月，酒泉钢铁公司镜铁山矿无贫化放矿试

验研究项目通过冶金工业部组织的专家鉴定；1997年12月，该项目同鞍钢弓长岭铁矿的另一部级研究项目合并后获原冶金工业部科技进步一等奖；1998年12月，又获得国家科技进步三等奖。

由于具有方法简单、使用灵活以及经济效益明显等突出优点，无贫化放矿方式受到了国内采矿界的广泛关注。原冶金部有关专家及领导在1996年召开的全国冶金工作会议上，把无贫化放矿与边坡优化、矿石预选等项技术作为提高矿山企业技术经济指标和资源利用水平的新技术（新工艺）向全国冶金矿山企业加以介绍和推荐。据了解，马钢桃冲铁矿、甘肃白银公司深部铜矿以及山东小官庄铁矿等矿山，将无贫化放矿降低矿石贫化原理成功应用到矿山生产实践中，结合矿山实际情况改进原有的截止品位放矿方式，采取了“低贫化放矿”等方式降低放矿过程中的矿石贫化，取得了显著的技术经济效益。

无贫化放矿方式自1991年初首次正式提出后，经过10多年的研究和发展，其理论已逐步趋于完善。特别是在对矿石残留体的作用和价值、截止品位与截止品位放矿方式的合理性、多分段放矿时崩落矿岩规律、矿石损失与贫化的关系以及最优结构参数等一系列涉及无底柱分段崩落法矿山开采技术经济诸多方面的研究成果，更是崩落法放矿理论，特别是端部放矿理论研究的重大突破。应该说，无贫化放矿方式的提出以及无贫化放矿理论的建立，使无底柱分段崩落法矿石贫化问题从根本上得到解决成为可能。而无底柱分段崩落法矿石贫化大问题的根本解决，也

是该采矿方法应用研究上的一个突破。这预示着无底柱分段崩落法具有更为广阔的应用前景。

应该看到,采矿业作为为国民经济发展提供原料的基础工业,在提供原料的同时也产生了大量的废弃物,如废石和尾矿等,对环境造成了很大的破坏。在越来越强调可持续发展和环境保护的今天,由采矿产生的环保问题已引起社会越来越广泛的关注。如何减少矿石开采及加工过程中的废弃物,已成为采矿科学研究中最为紧迫的课题之一。因此,推广使用无贫化放矿,减少无底柱分段崩落法采矿过程中的岩石混入,不仅具有巨大的技术经济效益,而且还具有较为显著的环境和社会效益。相信,随着对无贫化放矿方式研究的不断深入和完善,以及无贫化放矿技术在矿山应用范围的扩大,无贫化放矿将对采矿科学的发展、采矿工业的技术进步和环境保护等产生积极影响。

本书是在综合作者长期对无底柱分段崩落法放矿研究,特别是无贫化放矿理论、实验以及现场工业试验的研究成果的基础上,以无贫化理论的建立和实践为主线,对无底柱分段崩落法放矿问题进行专门和系统的研究后写成的。同时,本书还对崩落法放矿过程中矿石损失贫化的经济评价与分析等问题进行了深入的探讨和研究,得出了一些相当有价值的结论。此外,作者还对影响放矿以及矿石回收指标的散体矿岩颗粒移动及分布规律进行了初步的探讨。本书可供从事地下矿山工作特别是在无底柱分段崩落法矿山工作的工程技术人员,从事矿山设计、研究以及在高校从事采矿教学与科研的人员参考使用。

需要说明的是,采矿界有不少专家、学者在我们刚开始提出“无贫化放矿”时,对崩落法放矿“无贫化”的提法持有异议。为便于大家接受和宣传这种新的放矿方式,我们曾试图将其改为一个大家比较容易接受的名称,如“低贫化放矿”“不贫化放矿”等。这也是为什么在我们发表的论文中对这种放矿方式曾使用不同名称的主要原因。但是,随着对这种新型放矿方式研究的不断深入,我们感到,所有这些新的名称,都不如“无贫化放矿”更能准确地表征出这种新的放矿方式的本质特征。“无贫化放矿”一词能充分体现出这种放矿方式充分利用无底柱分段崩落法崩落矿石具有多次回收机会,从而减少甚至避免矿石贫化的这一最重要的放矿特征。既然崩落矿石具有多次很好的回收机会,能够以纯矿石的形式进行回收,本身就没有必要被贫化,为什么我们还要以贫化的代价去回收它呢?在矿山的实际应用中,无贫化放矿的具体实施办法需要根据矿山以及矿体的具体条件作适当的调整,但其最本质的东西即利用矿石具有再次回收机会来降低矿石的贫化思想却总是存在和适用的。改变名称的结果,却造成了一定程度的混乱。因此,在权衡各方面情况后,本书仍然采用了“无贫化放矿”的提法。

著 者

2007年3月

目 录

前 言

第 1 章 绪 论	1
1.1 无底柱分段崩落法典型方案	1
1.2 无底柱分段崩落法使用现状及存在的主要问题	2
1.3 无底柱分段崩落法的改进	4
1.4 小 结	4
本章参考文献	5
第 2 章 崩落法放矿理论基础	6
2.1 概 述	6
2.2 椭球体理论与单孔放矿时的矿岩移动规律	7
2.3 多孔放矿时的矿岩移动规律	9
2.4 采场边界条件	12
2.5 对端部出矿时崩落矿岩移动规律的基本认识	14
2.6 小 结	18
本章参考文献	19
第 3 章 无贫化放矿方式及其崩落矿岩移动规律	20
3.1 对崩落法截止品位放矿方式的分析与评述	20
3.2 无底柱分段崩落法矿石损失贫化的原因分析	25
3.3 无贫化放矿的概念及其放矿方式	27
3.4 无贫化放矿降低矿石贫化的原理	30

3.5 靠壁残留体及其在放矿过程中的作用·····	34
3.6 无贫化放矿时的崩落矿岩移动规律·····	39
3.7 小 结·····	45
本章参考文献 ·····	46
第4章 无底柱分段崩落法出矿贫化程度与矿石回收指标的 关系 ·····	47
4.1 问题的提出·····	47
4.2 放矿实验基本情况·····	48
4.3 出矿贫化程度与矿石回收指标的关系·····	49
4.4 小 结·····	57
本章参考文献 ·····	58
第5章 关于无贫化放矿在矿山应用的若干问题 ·····	59
5.1 无贫化放矿对矿石回收指标的影响·····	59
5.2 过渡期的崩落矿岩移动规律·····	61
5.3 无贫化放矿在矿山应用的实施方案·····	62
5.4 无贫化放矿对矿山生产的影响·····	64
本章参考文献 ·····	66
第6章 无贫化放矿在镜铁山矿的应用 ·····	67
6.1 概 述·····	67
6.2 镜铁山矿桦树沟矿区开采技术条件及开采现状·····	70
6.3 镜铁山矿无贫化放矿工业试验研究方案·····	74
6.4 无贫化放矿工业试验的主要结果及技术经济分析·····	79
6.5 小 结·····	94
本章参考文献 ·····	95

第 7 章 崩落法放矿时矿岩颗粒的移动特点与块度分布规律	
研究	96
7.1 崩落法覆岩下放矿时矿岩的移动特点	96
7.2 崩落覆岩下放矿的矿岩块度分布规律	97
7.3 岩石混入对放出矿石块度组成的影响	99
7.4 提高镜铁山矿输出矿石块矿率的途径	103
7.5 小 结	105
本章参考文献	106
第 8 章 矿石损失贫化的经济评价与分析	107
8.1 概 述	107
8.2 矿石损失贫化的经济计算	108
8.3 矿岩量的变化及其经济价值计算	112
8.4 矿石损失贫化的经济评价与分析	113
8.5 小 结	117
本章参考文献	118
第 9 章 无底柱分段崩落法结构参数对矿石回收指标的影响	
研究	119
9.1 结构参数对矿石回收指标影响的回归分析	119
9.2 无底柱分段崩落法结构参数优化	128
9.3 结构参数对矿石回收指标影响程度的研究	134
9.4 关于无底柱分段崩落法最优结构参数的讨论	140
本章参考文献	148
第 10 章 无底柱分段崩落法减少矿石损失贫化的技术措施 ..	150
10.1 概 述	150
10.2 无底柱分段崩落法结构与工艺的改进与评价	150

10.3 改善无底柱分段崩落法矿石回收效果的技术措施	157
本章参考文献	160
第 11 章 无贫化放矿的实验模拟研究	162
11.1 概 述	162
11.2 无限边界条件下的无贫化放矿物理模型实验研究	162
11.3 倾斜边界条件下无贫化放矿方式的实验研究	174
11.4 无贫化放矿方式的计算机模拟研究	176
11.5 小 结	183
本章参考文献	184
结束语	185
后记 关于“无贫化放矿”与“低贫化放矿”的辨析	187
一、“无贫化放矿”及“低贫化放矿”概念的由来	188
二、无贫化放矿的概念及其放矿方式	189
三、提出无贫化放矿方式的实验基础	190
四、对“无贫化放矿”与“低贫化放矿”的分析	194

第1章 绪论

1.1 无底柱分段崩落法典型方案

无底柱分段崩落法是 20 世纪 50 年代以来随着新的采矿工艺和大型地下采矿设备的出现而逐步发展起来的一种高效率、高度机械化、结构简单、生产安全、成本低廉的采矿方法。其典型方案如图 1.1 所示。

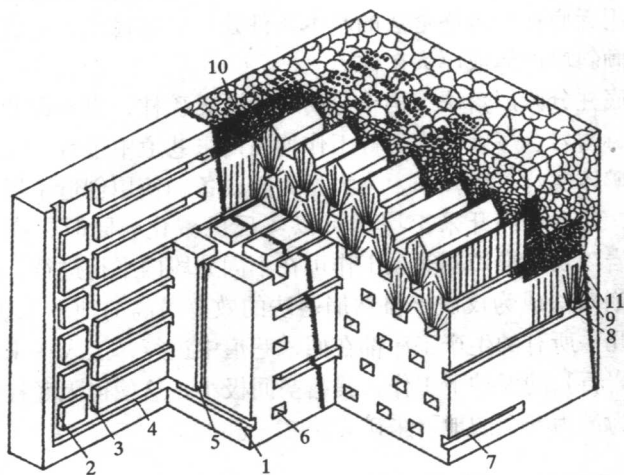


图 1.1 无底柱分段崩落法典型方案

1—阶段运输平巷；2—电梯井；3—设备井；4—穿脉巷道；5—溜矿井；6—分段运输联络巷道；7—回采进路；8—切割巷道；9—切割天井；10—扇形炮孔；11—切割炮孔

采用无底柱分段崩落法，需要首先将矿体按一定的高度（10～12m）用回采进路划分若干分段，同一分段内回采进路按一定间距

(8~10m) 平行布置, 将分段矿体划分成分间。上下分段回进路道采用交错布置, 相邻两个分段的回采进路在空间上呈菱形构造, 构成无底柱分段崩落法的基本结构形式。在回采进路中以一定间距布置上向扇形炮孔, 每次崩落 1~2 排炮孔, 崩矿步距在 1.2~1.8m 之间, 崩落矿石在崩落围岩的覆盖下从回采巷道的前端放出。出矿一般采用铲运机直接在工作面将崩落矿石运至溜井。当工作面放出矿石品位达到设定的截止品位时, 停止出矿并转入下一步距的开采工作。就这样一个步距一个步距、一条进路一条进路地回采, 直至整个分段矿石全部采下运出, 然后转入下一分段的回采。显然, 无底柱分段崩落法以步距作为最基本的回采单元, 每个步距的回采工作都包括崩矿和出矿这两项主要内容。回采工作的顺序是由上向下逐个分段连续进行, 在回采巷道内则从巷道的一端开始退采。

使用无底柱分段崩落法的基本条件是: 矿体稳固, 地表允许崩落; 急倾斜厚矿体或厚大矿体。

无底柱分段崩落法结构十分简单, 既无矿柱, 也不设专门的底部结构, 凿岩、爆破、出矿等工作均在回采巷道中进行, 在空间上对整个矿体实行连续开采, 为大型无轨设备的使用创造了极为有利的条件, 几乎全部开采工序都可以实现机械化。同时, 崩矿、出矿、凿岩以及采准切割等工作可在不同分段内平行进行, 使无底柱分段崩落法成为仅次于自然崩落法的效率最高的地下采矿方法。此外, 几乎所有的生产工序都在回采巷道中进行, 工人在未崩落矿石(或岩石)的保护下工作, 暴露空间极小, 这使得无底柱分段崩落法成为最为安全的地下采矿方法之一。

1.2 无底柱分段崩落法使用现状及存在的主要问题

1.2.1 无底柱分段崩落法使用现状

无底柱分段崩落法具有机械化程度高、作业安全且成本低等突出优点, 在世界上许多国家得到了推广应用。世界上最大的地下铁

矿山——瑞典的基鲁纳铁矿——每年用这种采矿方法采出矿石2000万吨左右。无底柱分段崩落法已成为世界上使用最为广泛的地下采矿方法之一。该采矿方法自20世纪60年代引入我国后，迅速在我国地下矿山特别是地下铁矿山中得到推广使用，并成为地下铁矿山的主要采矿方法。据统计，目前我国大中型地下铁矿山中，使用无底柱分段崩落法的矿山采出的矿石量约占大中型地下铁矿山采出矿石总量的80%以上。同时，该方法在有色金属矿山和化工矿山开采中也得到了较为广泛的应用。

1.2.2 无底柱分段崩落法存在的主要问题

无底柱分段崩落法虽然具有许多比较突出的优点，但实践证明，该法也存在一些比较严重的问题，矿石损失和矿石贫化严重就是其中两个最为突出的问题。据统计，我国无底柱分段崩落法矿山的矿石损失率一般为15%~20%，矿石贫化率在15%~30%。即便是国外发达国家的无底柱分段崩落法矿山，其矿石贫化率也都在15%~30%之间。表1.1和表1.2分别为国内外各主要无底柱分段崩落法矿山的矿石损失贫化指标统计表。

表1.1 部分国外无底柱分段崩落法矿山矿石损失贫化实际指标

序号	矿山名称	采矿方法	矿石损失率/%	矿石贫化率/%
1	瑞典基鲁纳铁矿	无底柱分段崩落法	10~20	20~25
2	赞比亚穆富拉铜矿	无底柱分段崩落法	15	20~30
3	加拿大克雷蒙特铜矿	无底柱分段崩落法	8~12	22~34

表1.2 部分国内无底柱分段崩落法矿山矿石损失贫化实际指标

序号	矿山名称	采矿方法	矿石损失率/%	矿石贫化率/%
1	大庙铁矿	无底柱分段崩落法	14.6	23.2
2	符山铁矿4#矿体	无底柱分段崩落法	22.4	19.8
3	酒泉钢铁公司镜铁山矿桦树沟矿区	无底柱分段崩落法	10.9	14.6
4	上海冶金公司梅山铁矿	无底柱分段崩落法	15~20	15~20