



张国联 邱景平 著

软破矿岩大参数无底柱 开采的理论与实践



科学出版社
www.sciencep.com

软破矿岩大参数无底柱开采的 理论与实践

张国联 邱景平 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对国内外无底柱采矿的发展趋势,主要从理论和实验方法两方面探讨了无底柱分段崩落法最佳结构参数的形成机理、规律及确定方法,阐述了无底柱分段崩落法的放矿方式,介绍了加大结构参数后配套气液联动凿岩设备的新型管式钎具,同时书中通过引入机会成本新理念提出了软破矿岩条件下低成本地压管理对策及支护方法,探讨了软破矿岩条件下无底柱分段崩落法生产的集中化问题,并介绍了小官庄铁矿工程实例,最后对无底柱分段崩落法的发展新趋势——无底柱自然崩落法的应用前景进行了阐述。

本书可供冶金、矿山工程技术人员及高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

软破矿岩大参数无底柱开采的理论与实践/张国联,邱景平著. —北京:科学出版社,2007

ISBN 978-7-03-018658-4

I. 软… II. ①张…②邱… III. 无底柱采矿法—研究 IV. TD853.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 024880 号

责任编辑:童安齐 / 责任校对:赵 燕
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 3 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2007 年 3 月第一次印刷 印张:12

印数:1—2 500 字数:233 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(BZ08)

前 言

无底柱分段崩落法是我国地下铁矿山采用最多的一种采矿方法，其开采矿量占我国地下铁矿开采总量的80%以上。长期以来，受凿岩设备的限制，无底柱分段崩落法采用的结构参数较小，限制了采矿量的增加。

国内外的生产实践证明，加大分段崩落法的结构参数可大幅度降低采矿成本，给矿山带来经济效益。鲁中冶金矿业集团公司小官庄铁矿作为复杂难采软破矿床的代表，长期以来一直使用10m×10m结构参数的无底柱分段崩落法采矿，但随着采矿深度的增加，为了降低采矿成本，迫切需要加大结构参数。

小官庄矿是我国最难采矿山之一，对小官庄铁矿进行结构参数的研究不仅对小官庄矿，而且对其他矿山也具有很强的指导作用，为此我国将小官庄铁矿“大间距集中化无底柱采矿新工艺研究”列为国家“十五”攻关课题，要求对软破矿岩条件下结构参数规律、放矿方式、凿岩机具、地压管理对策和集中化开采模式等进行系统的理论和实验研究。

本书以作者从事的国家“十五”攻关课题“大间距集中化无底柱采矿新工艺研究”所取得的成果为依托，根据放出体理论，按放出体与矿石堆体形态最大吻合原则提出了确定最佳结构参数的标准；通过实验室实验方法，测定出放出体的形态，得到了放出体的偏心率曲线和回归方程；按矿石堆体高度等于两倍分段高度的纯矿石放出体相切条件，推导出最佳进路间距和放矿步距的计算公式，并通过理论分析证明了用该方法计算的结构参数能较好地满足矿石回收量和纯矿石回收率最大；以小官庄铁矿为条件，通过实验室放矿模型实验及结果分析，确定了小官庄铁矿不同分段高度下的结构参数；根据小官庄铁矿各种结构参数的推荐值提出了无底柱分段崩落法结构参数“高分段时小间距、低分段时大间距”的模式，同时对结构参数与分段数和分段的关系、下盘开岩界限及沿脉进路位置进行了优化和分析。

在理论、试验、随机模拟基础上，本书介绍了小官庄铁矿采用大结构参数的工业化实施方案和试验效果。书中作者从公司和矿山两个角

度分析了成本和价值变动时矿山截止品位变化特点，进行了低贫化理论和实验研究，提出了小官庄铁矿低贫化放矿的截止品位；通过对研制的大结构参数配套凿岩设备及新型钎具试验结果对比分析，证明了新型凿岩机具的可行性；通过对地压管理方式的研究及历年成本与规模的数据统计，提出了一整套适合软破矿岩的大参数低成本地压管理模式；对成本与规模关系进行定量分析，得出了小官庄铁矿、张家洼铁矿及鲁中冶金矿业集团公司的生产能力与矿石售价、采矿成本的关系及其规律；根据有关集中化理论，并针对软破矿岩稳固性差、崩落性好的特点提出了无底柱自然崩落法的新思路。

在本书撰写和相关研究工作中，鲁中冶金矿业集团公司李连华、刘新强、于言平、张文哲，长沙矿冶研究院甘海仁、赵统武、刘明琛，东北大学宋守志、刘兴国、唐春安、邢军、赵兴东、钟勇等参与了部分工作，在此表示衷心的感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 无底柱分段崩落法结构参数的应用现状	1
1.1.1 国外无底柱分段崩落法大结构参数应用概况	2
1.1.2 我国无底柱分段崩落法的大结构参数的应用	2
1.2 无底柱分段崩落法结构参数的研究现状	4
第二章 最佳结构参数的理论与确定方法	10
2.1 无底柱分段崩落法崩落矿岩移动的基本规律	10
2.1.1 矿石残留体	10
2.1.2 放出体	11
2.1.3 矿石堆体	13
2.2 放出体形态测定	14
2.2.1 实验原理	15
2.2.2 实验结果的整理与分析	18
2.2.3 小结	24
2.3 无底柱分段崩落法最佳结构参数的理论与确定方法	24
2.3.1 最佳结构参数理论	24
2.3.2 最佳结构参数确定方法	25
2.4 小官庄铁矿最佳结构参数的计算	26
第三章 无底柱分段崩落法最佳结构参数实验确定方法	28
3.1 小官庄铁矿最佳结构参数的实验确定方法	28
3.1.1 具体实验方案	28
3.1.2 实验待测指标	29
3.1.3 几何相似比	29
3.1.4 截止放矿的相似条件	30
3.1.5 实验结果	30
3.1.6 回归	30
3.1.7 小结	32
3.2 小官庄铁矿结构参数的随机模拟确定法	32
3.2.1 随机模拟原理	32
3.2.2 小官庄铁矿结构参数的随机模拟结果	35
3.2.3 小结	40

3.3	无底柱分段崩落法结构参数理论与实验方法对比	41
3.3.1	无底柱分段崩落法结构参数研究方法的对比	41
3.3.2	几种方法的研究结果的比较	45
3.3.3	结构参数的参考值	45
3.3.4	小结	46
3.4	小官庄铁矿生产矿块最佳结构参数的确定	46
3.4.1	方案表	46
3.4.2	实验结果回归	47
3.5	无底柱分段崩落法最佳结构参数图解确定法	51
3.5.1	确定 15m 分段高度最佳结构参数的图解法	51
3.5.2	确定 12.5m 分段高度最佳结构参数的图解法	52
3.6	无底柱分段崩落法结构参数的灰色决策确定法	53
3.6.1	灰色局势决策的基本原理	53
3.6.2	结构参数试验及结果	54
3.6.3	结构参数的灰色决策	55
3.6.4	小结	57
第四章	无底柱分段崩落法结构参数的规律性	58
4.1	结构参数与分段的关系	58
4.1.1	实验方案及结果	58
4.1.2	实验结果回归分析	61
4.1.3	小结	63
4.2	结构参数与分段数的关系	65
4.2.1	实验方案及结果	65
4.2.2	实验结果回归分析	68
4.2.3	小结	72
4.3	切岩高度的赢利分析	72
4.3.1	底板矿石残留量	72
4.3.2	开掘底板岩石的放矿模拟试验	73
4.3.3	最佳底板开掘高度和开岩界限的计算	73
4.3.4	小结	79
4.4	沿脉进路位置的优化	79
4.4.1	最佳开岩边界的判据	80
4.4.2	最佳开岩边界的几个规律	82
4.4.3	张家洼铁矿沿脉进路位置的优化	83
4.4.4	小结	85
第五章	放矿理论与实践	86
5.1	无底柱分段崩落法的放矿方式	86
5.1.1	现行截止品位放矿	86

5.1.2	无(不)贫化放矿	87
5.1.3	低贫化放矿	90
5.1.4	小结	90
5.2	鲁中冶金矿业集团公司截止品位放矿实践	91
5.2.1	两矿截止品位的计算模型	92
5.2.2	公司截止品位的计算模型	93
5.2.3	立足两矿确定的各年截止品位	94
5.2.4	立足公司确定两矿的截止品位	94
5.2.5	不同角度矿山截止品位的对比	95
5.2.6	统一截止品位和经济技术指标的计算	96
5.2.7	2005 年截止品位管理政策的调整	96
5.2.8	截止放矿时矿岩比值的讨论	97
5.3	小官庄铁矿低贫化放矿实践	98
5.3.1	放矿规律模拟研究	98
5.3.2	低贫化放矿方式的经济比较及最佳截止品位的优化	100
5.3.3	鲁中公司无底柱分段崩落法低贫化放矿的工业实验	101
5.3.4	小结	101
第六章	基于大结构参数的凿岩设备及配套钎具	103
6.1	气液联动凿岩设备的研制	103
6.1.1	地下中深孔凿岩	103
6.1.2	气液联动凿岩设备	104
6.2	气液联动凿岩设备的应用	105
6.3	气液联动凿岩设备的配套新型钎具	107
6.3.1	凿岩钎头结构创新	108
6.3.2	钎杆结构弊端分析与结构创新	112
6.3.3	工业试验成果	120
第七章	软破矿岩条件下低成本地压管理对策及支护方法	121
7.1	软破矿岩条件下低成本地压管理对策	121
7.1.1	鲁中冶金矿业集团公司地压显现特征	121
7.1.2	地压活动的成本分析	125
7.1.3	低成本地压管理对策	134
7.1.4	小结	137
7.2	软破矿岩条件下无喷射混凝土支护方法的实践	138
7.2.1	两矿巷道支护形式现状	138
7.2.2	无喷锚网支护试验	138
7.2.3	试验效果	143
第八章	小官庄铁矿大结构参数的工业试验	147
8.1	试验矿块选择	147

8.1.1 矿床赋存状况	147
8.1.2 试验地点的选取	147
8.2 结构参数及采准设计	149
8.3 施工掘进	151
8.3.1 施工方法	151
8.3.2 支护形式及工艺要求	152
8.4 地压控制技术	152
8.5 切割、凿岩、爆破	154
8.5.1 拉槽方式的选择和确定	154
8.5.2 采场的凿岩爆破及中深孔布置与设计	155
8.6 小官庄铁矿大结构参数试验矿块的攻关效果	158
8.7 小结	159
第九章 软破矿岩条件下无底柱分段崩落法生产的集中化	160
9.1 生产集中化的理念	160
9.2 小官庄铁矿生产集中化研究	161
9.2.1 生产集中化的基本概念	161
9.2.2 采区生产集中化的多目标优化	162
9.2.3 数学模型的建立	163
9.2.4 费用表达式的构思	164
9.2.5 多目标规划的求解	164
9.2.6 小官庄铁矿集中化生产实践	165
9.3 鲁中公司二期改造工程的集中化	167
9.3.1 鲁中公司二期改造的背景	167
9.3.2 矿山生产规模的确定	168
9.3.3 矿山生产规模的验证	169
9.3.4 二期工程产量平衡	172
第十章 无底柱分段自然崩落法应用前景	175
10.1 自然崩落法崩落采矿原理	175
10.2 有底柱自然崩落法在国内的应用现状	177
10.2.1 金山店铁矿	177
10.2.2 铜矿峪矿	178
10.2.3 丰山铜矿	179
10.2.4 镜铁山铁矿	179
10.2.5 滴渚铁矿	179
10.2.6 金川镍矿 II 矿区	179
10.3 无底柱与自然崩落法联合应用新思路	180
参考文献	183

第一章 绪 论

1.1 无底柱分段崩落法结构参数的应用现状

无底柱分段崩落法自 20 世纪 60 年代中叶从瑞典引进我国后,由于其具有操作简单、开采强度大、机械化程度高、安全可靠、采矿成本相对较低等优点,很快得到了广泛应用,为我国地下矿山的发展起到了积极的推动作用。

无底柱分段崩落法是我国地下开采铁矿目前采用最多的一种高效率采矿方法,其开采矿量占我国地下铁矿开采总量的 80% 以上,该采矿方法在国内化工、有色金属、建材等行业的地下矿山也有着广泛的应用。

尽管如此,无底柱分段崩落法仍然存在很多问题,其中最突出的就是结构参数小、作业点分散和损失贫化大。无底柱分段崩落法崩落的矿石与岩石直接接触,放矿在覆岩下进行,很容易增大矿石损失贫化,浪费资源,降低技术经济指标,且结构参数小、作业点分散则限制了无底柱分段崩落法生产的集中化和高效率。

围绕着降低损失贫化、提高生产效率这一主线,国内外对无底柱分段崩落法从地压管理、采矿工艺、放矿理论以及放矿方式等多方面,进行了大量的研究工作,获得了很多理论与实验的成果,从而指导了无底柱分段崩落法实际应用,取得很好的效果。

但是不能忽略的一个事实是,所有这些研究都是在一定结构参数下进行的,而结构参数对无底柱分段崩落法的损失贫化以及生产效率的影响是基础性的,全局性的。因此,研究无底柱分段崩落法的结构参数至关重要。

一般而言,无底柱分段崩落法的结构参数主要是指分段高度、进路间距和崩矿步距,只有这三者合理搭配,才能取得最优的经济技术指标。在这三者之中,分段高度是最缺乏弹性的,一旦确定之后,调整很困难,特别是对矿山生产而言,当一个中段已开始回采时,分段高度的调整几乎是不可能的。进路间距相对来说较为灵活些,即使分段中的矿块已经切出,进路间距还是可以改变;而步距就更灵活了,随时可以改变。

长期以来,受凿岩设备的限制,无底柱分段崩落法的分段高度多为 10m 左右,与此相对应的进路间距也为 10m,崩矿步距多为 1.5m 左右,即通常使用 $10\text{m} \times 10\text{m} \times 1.5\text{m}$ 结构。这样的参数可以说从 20 世纪 60 年代无底柱分段崩落法引进到我国,一直成为无底柱分段崩落法的结构的主导。至今仍然没有太大改变,某些矿山可能在该参数的基础上曾作过部分的改动,但都还局限在小参数、小间距的范围内。

1.1.1 国外无底柱分段崩落法大结构参数应用概况

瑞典基鲁纳铁矿是世界上使用无底柱分段崩落法的最先进的矿山,该矿从1956年到2000年,其分段崩落法的结构参数由小到大、逐渐演变(表1.1)。

表 1.1 基鲁纳铁矿结构参数演变情况

年代 结构参数	1956	20 世纪 60 年代	20 世纪 80 年代初期	1984~1988	1989	1990	2000
分段高度/m	7.5~9.0	10	12	12	20~22	27	30
进路间距/m	7.5~9.0	10	11	16.5	22.5	25	—
崩矿步距/m	1.0	1.5	1.8~2.0	1.8~2.5	2.5~3.0	3.5	3.5~4.0

可见,随着装备水平的提高,在矿床赋存条件允许的情况下,分段崩落法的结构参数也在逐步加大,矿石成本逐年下降,生产能力逐年提高。

瑞典的另一矿山马姆贝尔格特原来使用的分段高度15m、进路间距15m,后来改为分段高度为20m,进路间距为22.5m,生产能力和劳动率都得到了提高。

表1.1所示的结构参数变化过程表明,分段高度呈不断增大的趋势,而进路间距在低分段时比分段高度小,高分段时比分段高度大。

王彦武等曾于1989年对基鲁纳铁矿增大进路间距的合理性问题采用物理模拟和电子计算机仿真技术进行了研究,研究结果表明分段高度一定时,改变进路间距,其正常分段的矿石回收率存在一个相对平稳区,即矿石回收率基本保持不变,而且分段高度12m,进路间距16.5m是合理的,不会影响矿石回收率指标的条件下,并且可降低采掘工作量,降低矿石成本。

1.1.2 我国无底柱分段崩落法的大结构参数的应用

(1) 河北铜矿高端壁放矿无底柱分段崩落法的试验研究

1978年马鞍山矿山研究院和北京科技大学在河北铜矿2号矿体开展了高端壁放矿的无底柱分段崩落法的工业试验研究。

实验中,其端壁高达45m,出矿进路间距为12.5m。由于凿岩设备能力的限制,增设凿岩分段,其分段为10~13m,采用三分段凿岩,同时爆破,最下一分段出矿。从回采单元上看其基本参数为45m×12.5m。试验结果表明,采用高端壁后使得一次崩矿量增大到8000t以上,充分发挥了2m³铲运机的设备效率,取得了较好的技术经济指标。

(2) 浙江漓渚铁矿无底柱双巷菱形高分段崩落法的试验

马鞍山矿山研究院为解决无底柱分段崩落法矿石贫化大,进路通风困难两大难题,在浙江漓渚铁矿进行了双巷菱形高分段崩落法的试验研究工作。

实验中采用分段高度24m,其中上分段14m、下分段10m,进路间距10m,矿块

尺寸为 50m×50m,崩矿步距 1.8~3.0m。其上分段主要用于凿岩,下分段即为凿岩也为出矿和通风之用。

实验结果表明,其一次崩矿量达到 2000t 左右,回收率达到 83.5%,贫化率为 13.63%,采矿强度提高了 25%。

上述试验中并没有实现真正意义的高分段,因为中间分段制作为凿岩分段,只是放矿实现了高端壁。

(3) 酒钢镜铁山矿大结构参数无底柱分段崩落法试验

1988~1992 年马鞍山矿山研究院在镜铁山铁矿首次进行了我国真正意义上的高分段大参数研究,其分段高度达到了 20m,进路间距分为 20m 和 15m。

试验采用采用 SimbaH252 台车和 AtlasCop. CO1238 液压凿岩机凿岩,炮孔直径为 $\phi 64\text{mm}$,炮孔最大深度为 30m,炮孔排距 1.8m,每排炮孔崩矿量为 2500~3000t,装药采用 DZY-200 型装药车,出矿采用 WagnerST-SE3.8m³ 电动铲运机,高分段和机械化,使矿块生产能力大幅度提高,采矿成本显著降低。但是后来由于一些客观原因,该参数未能在全矿推广应用,但是实验结果还是它充分显示了大结构参数的优越性。

(4) 梅山铁矿无底柱分段崩落法加大结构参数试验研究

我国梅山铁矿是著名的大型地下矿山,矿体厚大、集中,矿床储量为 2.68 亿 t,采用无底柱分段崩落采矿法。该矿是一个大型盲矿体,呈大透镜状,平面投影为似椭圆形,长 1370m、宽 824m、平均厚度 134m,属于缓倾斜的极厚矿体。矿体水平面积大,-198m 以下,矿体长度一般为 400~700m,水平宽度在 300m 以上,分层矿量 980~1760 万 t,矿石主要成分为磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿,矿体稳固性较好,围岩易于崩落,具有较好的开采技术条件。

梅山铁矿多年来一直采用小结构参数。1987 年梅山铁矿开始着手加大分段高度和进路间距的研究,决定将分段高度由 10m 提高到 15m,进路间距由 10m 加大到 15m,并在北采区建立试验矿块,开展试验研究工作。1991 年开始由梅山铁矿组织马鞍山矿山研究院、青岛建筑工程学院、鞍山冶金设计研究院全面开展高分段大间距无底柱分段崩落法的研究工作。他们先后采用物理模拟、计算机仿真及工业试验等科学手段,开展了凿岩爆破参数及崩矿步距的研究,放出体工业试验、过渡分段方法、大型采掘设备合理配套的研究;同时为提高矿山生产能力,还开展了多级机站通风系统的研究,以及新技术、新工艺的研究和应用,并采用科学管理手段,取得了丰硕的成果。

经过多年的生产,特别是 20 世纪 90 年代梅山铁矿大结构参数无底柱分段崩落法的研究成功,由此在无底柱分段崩落法应用方面积累了丰富的实践经验,主要技术经济指标在国内处于领先水平。

1998 年完成新旧参数的过渡,-198m 以下全面采用 15m×15m 的结构参数,当年实现了年产铁矿石 250 万 t 的达产指标,主要技术经济指标全面刷新。

当时试验在北采区—198m 以上水平进行。矿体走向长约 250m,厚 30~50m, —186m 以上倾角达 60°,矿体稳定,赋存情况比较理想,且相对于南部矿体,北部矿体矿量少,回采速度快。试验矿块—138m 水平以上,其结构参数为 12m×10m,在不改变分段高度的前提下,进路间距由 10m 扩大到 15m。为了进一步增大参数,又将—150m~—198m 区段间的原 4 个分段改为 3 个分段,段高为 16m,进路间距为 15m,用 16m×15m 的参数代替 15m×15m 的参数进行研究。试验前后的主要技术经济指标见表 1.2。

表 1.2 主要技术经济指标对比

指标	单位	试验前	1998 年
掘采比	m/万 t	40	20
采矿强度	t/m ² ·年	26.5	42.58
采矿回收率	%	82.74	84.15
矿石贫化率	%	14.23	13.12
采矿台车效率	万 m/台·年	2.89(CTC-141)	5.58(H252)
回采出矿效率	万 t/台·年	16.53(2m ³)	36.80(3.8m ³)
		9.30(T ₄ G)	26.99(3.0m ³)
采出矿石品位	%	45.75	45.29
采出矿石成本	元/t	—	44.68
全员劳动生产率	t/人·年	862.9	1331.7

梅山铁矿进行的无底柱分段崩落法(15m×15m 高分段大间距)的试验研究和全面推广,对采用端部放矿矿石稳固的厚大矿体,可大大降低采准工程量,降低损失贫化,大幅度提高开采强度和劳动生产率。其在我国地下矿山首次进行了成功的探索,为推动我国冶金矿山的技术进步、提高经济效益作出了贡献。

综上所述,从国内外的实践不难看出,无底柱分段崩落法结构参数的大型化,具有采准工程量少,采矿成本低、可实现采矿作业的集中化、提高采矿效率等优点,是无底柱分段崩落法的发展趋势。

1.2 无底柱分段崩落法结构参数的研究现状

无底柱分段崩落法结构参数的研究包括结构参数的理论研究、计算机模拟研究、实验室研究以及工业实验研究。研究目的是为科学合理的确定无底柱分段崩落法的结构参数提供依据。国内近年主要研究进展,可概括为以下几点:

(1) 进路间距等于分段高度的方案并非最佳方案

长期以来无底柱分段崩落法一直使用 10m×10m 的结构参数,这似乎给人们一种感觉,即无底柱分段崩落法的分段高度应等于进路间距。因而无底柱分段崩落

采矿法的结构参数可以在 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 的基础上同步放大到 $15\text{m} \times 15\text{m}$ 、 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 等,这种参数在生产实践中可以应用,但从梅山铁矿放矿模拟分析来看,分段高度在 25m 之内时,分段高度等于进路间距的结构参数并不是最好的参数组合。

放矿模拟试验结果见表 1.3,在分段高度为 15m 条件下、进路间距变化在 $7 \sim 22\text{m}$ 时,其试验结果明显具有两头好中间差的特征。由此证明了两种结构的存在,即当分段高度在一定范围(25m 以下)内时,无底柱分段崩落采矿法的结构参数存在高分段与大间距两种最优的放矿结构。

表 1.3 梅山铁矿放矿模拟试验结果

参数 $H \times B / (\text{m} \times \text{m})$	贫化率/%	回收率/%
15×7	16.82	97.2
15×9	18.88	89.80
15×10	15.85	91.39
15×11	16.18	80.10
15×13	16.12	89.00
15×14	12.75	88.98
15×16	12.5	91.44
15×18	14.01	91.08
15×20	13.84	92.98
15×22	15.10	75.30

(2) 大间距结构模式及高分段结构模式的理论研究

放矿模拟实验的结果,结构参数有两种趋势,一种是分段高应大于进路间距,另一种是分段高度小于进路间距。但究其原因,理论上缺少依据,为此梅山铁矿在这方面做了工作,提出了有理论依据的定量标准。

梅山铁矿的研究认为“爆破堆积体的形态应尽可能地与放出体体形相吻合”的实质就是采矿结构参数优化问题,而优化的实质就是放出体空间排列的优化问题,密度大者为优。

“爆破堆积体的形态应尽可能地与放出体体形相吻合”,这一原则是设计采矿主要结构参数的基本准则,但在具体操作上不易掌握,如把它等价地转换为“纯矿石放出体互相相切的结构参数为最优”的原则,就很直观了,而且可操作性也好。

从这一基本点出发,略去一些次要因素,纯矿石放出体有两种最优的排列形式,一种为高分段结构形式,一种为大间距结构形式。通过分析简单的几何关系,即可得出较为简明的计算方法。

高分段结构形式如图 1.1 所示,根据坐标变换,可等价转换成图 1.3 的形式,左右两球相切,上下两球被左右两球分开,且与之相切。设椭球体长轴半径为 a ,短轴半径为 c ,则按椭球体布置进路时,则

分段高度为

$$H = \sqrt{3} a \quad (1.1)$$

进路间距为

$$B = 2c \quad (1.2)$$

显然

$$\frac{H}{B} = \frac{\sqrt{3}a}{2c} \quad (1.3)$$

大间距结构形式如图 1.2 所示,根据坐标变换,可等价转换成图 1.4 的形式,上下两个球体相切,左右两个球体被分开,且分别相切,则

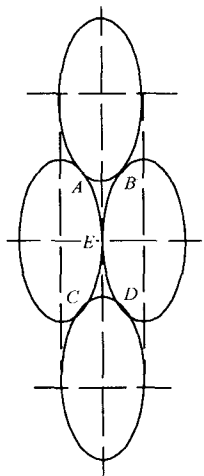


图 1.1 高分段结构形式
纯矿石放出体排列

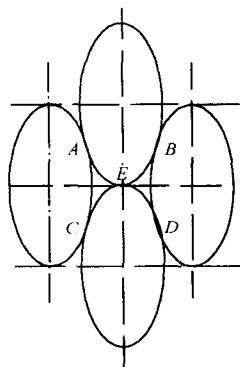


图 1.2 大间距结构形式
纯矿石放出体排列

分段高度为

$$H = a \quad (1.4)$$

进路间距为

$$B = 2\sqrt{3}c \quad (1.5)$$

显然

$$\frac{H}{B} = \frac{a}{2\sqrt{3}c} = \frac{\sqrt{3}a}{6c} \quad (1.6)$$

可以看出,高分段结构形式分段高、进路间距小,一般分段高度大于进路间距,而大间距结构形式进路间距大,分段高度小,一般进路间距大于分段高度。这两种排列应当说是最密实的排列结构形式,即放出体在整个矿石堆体中所占的空间是最大的,从理论上分析,大间距和高分段两种结构形式的密实度是等价的。

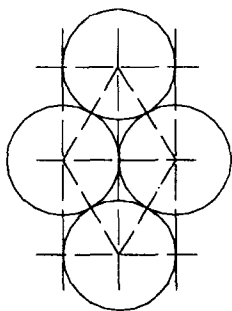


图 1.3 高分段结构形式

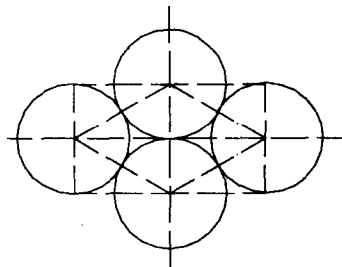


图 1.4 大间距结构形式

(3) 加大进路间距是我国当前无底柱分段崩落法结构参数的主要趋势

上述的两种结构形式都有节约采准工程量、一次崩矿量大、采矿强度大等优点，但在具体操作过程中却有很大的区别，相比较之后，大间距结构形式有如下优点：

1) 灵活性大，特别对生产矿山而言，要改变分段高很困难，而改变进路间距则更容易得多，因此采用的机会较多；因为对于大多数矿山而言，为了持续生产，一般都必须进行三级矿量的适当储备，亦即矿山在生产过程中已经对多个分段进行准备，当该工作进行后其分段高度已经被固定而难以改变。当采用大间距结构进行改造时，可以在已经开口掘进的分段直接加大进路间距而实现大间距采矿工艺，因此该工艺在现场推广起来极为简便。

2) 由于分段高度较低，凿岩深度较小，因此凿岩效率较高、精度易保证、炮孔质量较高、装药也较容易，这样爆破质量就可以得到保证，为后续工序奠定了良好的基础；就经济效益而言，由于炮孔平均深度小于高分段结构形式，因此凿岩的费用有较大幅度的下降。

大间距采矿结构可以大幅度地减少矿山采准工程量、减少矿石开采成本。由于该工艺在原来参数的基础上，加大了进路间距，使矿山的千吨采切比减少，减少了每吨采出矿石的工程投入，从而可以大幅度地减少矿石开采成本。初步测算，当矿山由 $10\text{m} \times 10\text{m}$ 的结构参数改用大间距结构开采后，矿山可降低千吨采切比 30% 左右，矿山开采成本可降低 30% 以上。

3) 由于加大了进路间距，间距相对较大，减少了对岩体的削弱破坏，增大了应力分布区域，减少了应力集中程度，从而简化了矿山采场地压管理。这为地压较大、矿岩不够稳固的矿山提供了有利条件，并为进一步拉宽进路提供了条件。

基于上述原因，大间距结构形式是一种很好的结构模式，应大力推广应用。我国除了梅山铁矿之外，桃冲铁矿、板石沟铁矿、北铭河铁矿等矿山也已经或正在进行工业应用。

梅山铁矿的大间距结构应用是在原来 $15\text{m} \times 15\text{m}$ 结构参数的基础上，通过重新排列放出椭球体的空间关系及相关放矿模拟试验，于 2000 年在国内首先进行了

试验与应用,由于该矿所采用的凿岩设备为进口 Sinba 全液压凿岩设备,在凿岩能力上得到了提高,该矿山所采用的大间距参数是段高 $\times$ 间距为 $15\text{m}\times 20\text{m}$,该矿按此参数在 228m 水平北区进行了工程布置,到 2002 年进行生产出矿,之后在下部矿体开采中全面应用。

桃冲铁矿是一个年产 50 万 t 的中型矿山,自 20 世纪 70 年代改用无底柱分段崩落法以来,该矿山采用的结构参数一直为 $10\text{m}\times 10\text{m}$,直到 1995 年在放矿模拟的基础上进行变革,准备在六中段采用 $12.5\text{m}\times 12.5\text{m}$ 的结构参数,并已经按此参数进行了分段布置,形成了 12.5m 段高的分层结构。但随着放矿技术的发展,为进一步减少采准工程量,减少矿石开采成本,该矿于 2001 初进行小参数条件下的大间距结构研究与应用,通过相关模拟试验表明,在保持分段高度 12.5m 不变的情况下,其进路间距可加大到 15~16m,该矿在实际应用中采用了 $12.5\text{m}\times 15\text{m}$ 的大间距结构形式,并已经在 -53m 水平之下进行了工程布置;由于该矿采用的是小结构参数下的大间距结构,其中深孔的最大孔深为 16~18m,该深度的炮孔可以在不改变矿山现有的国产凿岩设备情况下应用,充分发挥了该工艺的优点。

板石沟铁矿原是以露天采矿为主,随着露天开采矿量的逐步减少及露天转地下的进行,该矿地下开采矿量所占比重愈来愈大,原来采用的结构参数是段高 $\times$ 间距为 $12\text{m}\times 10\text{m}$,为扩大产量,减少采准工程量,提高井下矿开采能力,该矿于 2001 年也开展了大间距结构的采矿试验研究,试验表明,在 520m 水平以上保持分段高度 12m 不变的条件下,其进路间距可以放大到 14~15m,目前该矿已经在生产中按 $12\text{m}\times 15\text{m}$ 的参数进行了布置,预计该结构形式的应用将使该矿的千吨采切比下降 20% 以上,矿石开采成本下降 30% 以上。到 520m 以下,随着凿岩设备的更新,该矿还将进一步进行大结构参数条件下的大间距应用与研究。

邯邢矿山局的北铭河铁矿在分析研究的基础上也已经采用了 $15\text{m}\times 18\text{m}$ 的大间距无底柱采矿工艺。

(4) H/B 的最优值是变量

无底柱分段崩落法的放出体形态为一扁椭球缺,长半轴 a 与横半轴 c 之比是个变量,放出高度越大, a/c 越大,根据表 1.4, a/c 一般在 2.5~3.5 之间。

表 1.4 河北铜矿工业放出体参数

放矿高度 /m	放出体 体积/ m^3	长半轴 a /m	横半轴 c /m	纵半轴 b /m	轴角/ $\tan\theta$	放出体 厚度/m	a/c
15	54	6.5	2.3	1.1	0.062	1.7	2.82
18	142	8.0	3.0	2.0	0.062	2.8	2.66
27	570	12.5	5.0	3.5	0.060	4.8	2.50
34	1160	16.0	6.1	4.4	0.058	5.7	2.62
47	2140	22.5	7.0	5.3	0.056	6.5	3.21
50	2400	24.0	7.2	5.4	0.052	6.6	3.33
55	2850	26.0	7.5	5.6	0.047	6.8	3.46