

复杂开采技术条件下无底柱 分段崩落法开采理论与实践

FUZA KAICAI JISHU TIAOJIANXIA WUDIZHU
FENDUAN BENGLUOFA KAICAI LILUN YU SHIJIAN

张志贵 陈星明 苏华友 谭宝会 著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

复杂开采技术条件下无底柱 分段崩落法开采理论与实践

张志贵 陈星明 苏华友 谭宝会 著

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2018

内 容 提 要

本书结合我国无底柱分段崩落法矿山生产存在的突出问题,开展了针对复杂矿体条件下无底柱分段崩落法应用研究,发现其矿石的回采及回收具有明显的特殊性,需要在切割、爆破以及出矿等环节采用一些特殊的技术手段解决矿石回采与回收困难的问题,并且下盘退采范围确定的方法也应进行必要的改革,以保证下盘残留矿石的回收;同时,对厚大急倾斜矿体加大结构参数的原则及方法,以及加大结构参数后的矿岩移动规律和合理放矿方式等问题进行了较为系统的研究,研究成果为无底柱分段崩落法结构参数优化奠定了重要的理论及技术基础。

本书可供采矿等相关领域的工程技术人员阅读,也可供高等院校采矿工程专业的本科生、研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

复杂开采技术条件下无底柱分段崩落法开采理论与实践/
张志贵等著. —北京:冶金工业出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-5024-7927-5

I. ①复… II. ①张… III. ①矿山开采—无底柱分段
崩落法—研究 IV. ①TD853. 36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 254480 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcb@cnmp.com.cn

责任编辑 高 娜 美术编辑 彭子赫 版式设计 禹 蕊

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7927-5

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2018 年 11 月第 1 版, 2018 年 11 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 17.5 印张; 340 千字; 266 页

78.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

无底柱分段崩落法是一种不留任何矿柱，可在矿体走向及延深方向都实现连续开采的崩落采矿法，主要用于地表允许崩落、矿石稳固性较好、厚大急倾斜矿床的开采。无底柱分段崩落法自 20 世纪 50 年代在瑞典出现并基本定型后，因其具有结构简单、机械化程度高、回采效率高、采矿成本低、安全性好以及灵活性高等诸多突出优点，在中外大中型地下矿山得到广泛使用。

随着我国经济的快速发展，矿产资源的需求也越来越大，无底柱分段崩落法这种高效、安全、低成本的采矿方法逐渐被运用到矿体破碎、形态复杂、厚度不大（10~20m）、倾角较缓（30°~50°）等所谓的复杂矿体条件中。事实上，我国金属矿产资源的开采条件普遍不佳，多数矿床为矿体破碎、形态复杂、倾角缓而厚度不大的复杂矿体条件。可以说，我国无底柱分段崩落法很多时候是在一种相当不利的复杂矿体条件下使用。对于厚大急倾斜矿体，随着无底柱分段崩落法采矿结构参数的不断加大，一定程度上增加了无底柱分段崩落法采矿及矿石回收的困难与复杂程度。因此，我国无底柱分段崩落法总体上是在一种所谓的复杂开采技术条件下的应用。

但是，目前国内采矿界并没有对复杂开采技术条件特别是复杂矿体条件下无底柱分段崩落法开采理论与技术进行系统深入的研究，实际生产缺乏科学的理论指导及技术支持，多数国内生产矿山仍然沿用传统工艺进行生产，导致矿山普遍出现生产秩序不正常、矿石回收效果差等严重问题。因此，本书作者结合我国无底柱分段崩落法矿山存在的突出生产及技术问题，以科研项目为依托，开展了针对复杂开采技术条件，特别是复杂矿体条件下无底柱分段崩落法应用的理论、实

验及应用试验研究，并取得重要研究进展。

研究表明，复杂矿体条件特别是缓倾斜中厚矿体条件下的无底柱分段崩落法具有显著区别于厚大急倾斜矿体的开采及矿石回收特点，需要在切割、爆破以及出矿等工艺采用一些特殊的技术及手段解决矿石回收与回收困难的问题。同时，下盘残留矿石的回收成为影响矿石回收效果的关键，目前按照边界品位法或边际盈亏平衡法确定下盘退采范围的方法存在较大缺陷，容易导致矿石回收不充分或出现过度贫化的问题，应该进行必要的改革。更为重要的是，在缓倾斜中厚矿体条件下，分段下盘约有10%的矿量难以在无底柱分段崩落法采矿系统下得到有效回收，必须考虑其他更为有效的方法进行回收，而辅助进路回收是一种比较有效的方法。应该说，这些研究和发现突破了无底柱分段崩落法的传统认识，为解决复杂矿体条件下无底柱分段崩落法正常应用及矿石有效回收等问题奠定了一定的理论与技术基础，并在实际矿山的生产实践中取得了显著效果。

对于无底柱分段崩落法加大结构参数特别是结构参数的优化研究，国内采矿界仍处于探索的过程中。一段时间以来，基于“椭球体排列”理论而提出的所谓“大间距结构参数”方案成为了国内无底柱分段崩落法矿山加大结构参数的主要技术及方法。但是，几年来的矿山生产实践证明，“大间距结构参数”方案的效果并不理想，甚至在相当程度上影响到了矿山的正常生产以及矿石的正常回收。近年来，西南科技大学项目组结合国内几个矿山加大结构参数的项目研究，对厚大急倾斜矿体加大结构参数后的矿岩移动规律、加大结构参数的原则及方法以及大结构参数条件下无底柱分段崩落法合理放矿方式等问题进行了较为系统的研究，取得了一些有价值的研究成果，一定程度上弥补了目前国内对大结构参数无底柱分段崩落法或者说复杂结构参数条件下无底柱分段崩落法研究的不足，为无底柱分段崩落合理加大及优化结构参数奠定了重要的理论及技术基础。

本书全面总结了作者近十年来对复杂开采技术条件下无底柱分段

崩落法采矿理论与技术工艺的研究过程与研究成果，相信对于进一步完善无底柱分段崩落采矿法、扩大无底柱分段的应用范围以及提高无底柱分段崩落法的采矿技术和经济效益等都具有积极的推动作用。

本书在撰写过程中，得到了四川锦宁矿业有限责任公司陈忠华、覃顺平、康文、韩方建、李英碧、卢国民、叶青、谭虎等，酒钢集团公司陈永祺，酒钢集团宏兴股份有限公司于国立，镜铁山矿田宏海、程国华、任国芳等企业领导及工程技术人员的大力支持与帮助；同时，也得到了西南科技大学朱强、钟敏、陈诗墨等老师及同学的支持与帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于复杂开采技术条件下无底柱分段崩落法开采理论及技术问题较为复杂，一些问题仍处于探索之中，加之作者水平有限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者谅解并批评指正。

作 者
于四川绵阳
2018 年 4 月

目 录

1 绪论	1
1.1 国内外无底柱分段崩落法应用现状	1
1.2 复杂开采技术条件下无底柱分段崩落法的应用现状	3
1.3 复杂开采技术条件无底柱分段崩落法研究现状	5
1.4 无底柱分段崩落法放矿过程中的放矿控制与管理技术	7
1.5 本章小结	10
参考文献	12
2 复杂矿体条件无底柱分段崩落法矿石回采与回收特点	14
2.1 概述	14
2.2 上下盘三角矿体矿岩混采问题	14
2.3 分段转移矿量	17
2.4 下盘矿石残留	19
2.4.1 分段下盘残留矿石的构成与形态	20
2.4.2 分段下盘残留矿石的特点	22
2.4.3 分段下盘残留矿石量的计算	23
2.5 上下盘三角矿体的回采特点与回收工艺	28
2.6 本章小结	33
参考文献	35
3 复杂矿体条件无底柱分段崩落法下盘合理退采范围及 下盘残留矿石回收技术	36
3.1 问题的提出	36
3.2 对目前下盘退采范围确定方法合理性的讨论	37
3.2.1 计算依据	37
3.2.2 下盘残留矿石的回收方法	38

3.2.3 可操作性	39
3.3 下盘退采范围与下盘残留损失的关系	39
3.4 下盘残留矿石辅助进路回收技术	42
3.5 合理下盘退采范围及下盘残留矿石回收方法的确定	43
3.6 本章小结	44
参考文献	45
4 复杂矿体条件无底柱分段崩落法合理回采工艺及降低矿石 损失贫化技术措施	47
4.1 概述	47
4.2 “垂直分区、组合放矿”无底柱分段崩落法技术方案	48
4.2.1 “垂直分区、组合放矿”回采方案主要技术特征	48
4.2.2 “垂直分区、组合放矿”回采方案拟解决的主要问题	51
4.2.3 “垂直分区、组合放矿”实施方案	51
4.2.4 “垂直分区、组合放矿”无底柱分段崩落法方案的主要优点	52
4.3 “垂直分区、组合放矿”回采方案实验研究	53
4.3.1 实验模型及实验方案设计	53
4.3.2 实验过程与实验结果分析	54
4.4 降低矿石损失贫化的主要技术措施	56
4.4.1 “垂直分区”回采方案	57
4.4.2 “组合放矿”方案	57
4.4.3 辅助进路回收下盘残留矿石	57
4.4.4 合理的切割及爆破参数	58
4.4.5 精细化的采矿及放矿技术管理	58
4.5 尖灭矿体的回收	59
4.6 本章小结	60
5 复杂矿体条件无底柱分段崩落法加大结构参数的可行性以及 结构参数过渡时矿石回收与矿岩移动规律	62
5.1 问题的提出	62
5.2 影响矿石回收主要因素分析	62
5.3 加大结构参数的可行性分析	65
5.4 加大结构参数的放矿实验模拟研究	67

5.4.1 实验模型及装料	67
5.4.2 实验结果与数据分析	68
5.4.3 实验研究主要结论	70
5.5 过渡分段矿石回收与矿岩移动规律	71
5.5.1 概述	71
5.5.2 模型设计与模型实验	72
5.5.3 放矿过程观察与实验数据分析	72
5.5.4 实验研究主要结论	78
5.6 加大结构参数对开采工艺、矿石回收及生产管理的影响分析	78
5.6.1 加大结构参数对下盘回采矿量回收的影响	79
5.6.2 加大结构参数对回采工艺的影响	80
5.6.3 加大结构参数对矿石回收效果的影响	81
5.6.4 加大结构参数对矿山生产管理的影响	81
5.7 大结构参数条件下降低矿石损失贫化的技术措施	81
5.7.1 改革放矿方式,减少无效贫化	81
5.7.2 提高凿岩设备能力及效率	82
5.7.3 提高炮孔质量防止塌孔与堵孔现象发生	82
5.7.4 更加重视下盘残留矿量的回收	83
5.7.5 减少矿石损失贫化的其他技术措施	83
5.8 本章小结	84
6 破碎难采矿体无底柱分段崩落法回采巷道支护技术	86
6.1 概述	86
6.2 回采巷道周围地压活动规律	87
6.3 破碎难采矿体回采巷道主要支护理论及支护材料	90
6.3.1 回采巷道主要支护理论	90
6.3.2 回采巷道主要支护技术及材料	93
6.4 破碎难采矿体无底柱分段崩落法回采巷道支护设计优化 与数值模拟计算	113
6.4.1 回采巷道支护设计优化	113
6.4.2 回采巷道管缝式锚杆与 TECCO 网支护数值模拟分析	116
6.5 大顶山矿区回采巷道锚网支护工程应用	124
6.5.1 大顶山矿区回采巷道锚网支护现场试验分析	125
6.5.2 工程应用中值得改进与重视的地方	135

6.6 本章小结	140
参考文献	142
7 大结构参数无底柱分段崩落法合理结构参数	144
7.1 问题的提出	144
7.2 桦树沟项目背景	144
7.3 国内外无底柱分段崩落法结构参数现状与趋势	145
7.4 对椭球体排列理论及大间距参数方案的分析与讨论	150
7.5 无底柱分段崩落法结构参数设计与优化的原则及方法	159
7.5.1 概述	159
7.5.2 结构参数的优化计算	159
7.5.3 关于桦树沟矿区结构参数调整与优化的思考	163
7.6 桦树沟矿区无底柱分段崩落法结构参数的实验模拟研究	165
7.6.1 概述	165
7.6.2 实验方案设计	165
7.6.3 实验模型与结构参数实验方案	166
7.6.4 实验过程观察与分析	167
7.6.5 实验数据统计与分析	168
7.6.6 问题讨论	172
7.6.7 实验研究主要结论	173
7.7 采矿结构参数优化相关的技术与经济分析	174
7.7.1 概述	174
7.7.2 优化后结构参数的确定及与现有结构参数的技术经济比较	174
7.8 本章小结	176
参考文献	177
8 大结构参数无底柱分段崩落法矿岩移动规律及合理放矿方式	179
8.1 问题的提出	179
8.2 矿山概况	179
8.3 大结构参数无底柱分段崩落法放矿方式实验研究	180
8.3.1 概述	180
8.3.2 实验研究内容及实验方案设计	181
8.4 实验过程观察与分析	183

8.4.1 放矿过程中的矿岩界面及矿岩混杂情况	184
8.4.2 放矿过程中的矿石残留体	184
8.4.3 步距出矿量的变化及矿石损失贫化情况	186
8.4.4 实验数据统计与分析	189
8.5 本章小结	191
参考文献	191
9 复杂开采条件无底柱分段崩落法典型矿山合理生产工艺研究及应用	192
9.1 引言	192
9.2 矿山开采技术条件及开采现状	192
9.2.1 矿床开采技术条件	193
9.2.2 开采现状 (截止到 2012 年)	196
9.3 矿山生产存在主要问题及原因调查与分析	198
9.3.1 概述	198
9.3.2 矿山生产存在的主要问题	198
9.3.3 存在问题的原因调查与分析	199
9.4 改进大顶山矿区爆破设计、施工及爆破效果的技术及管理措施	207
9.4.1 概述	207
9.4.2 扇形中深孔设计	208
9.4.3 爆破工艺的改进	215
9.4.4 保证爆破质量的管理措施	217
9.5 提高大顶山矿区采切工程质量的技术与管理措施	217
9.5.1 概述	217
9.5.2 回采进路的设计与施工	218
9.5.3 切割工程的设计与施工	219
9.5.4 悬顶的预防及处理	222
9.6 下盘三角矿体合理回收工艺	224
9.7 放矿管理方式及放矿工艺的改进	226
9.7.1 概述	226
9.7.2 合理放矿方式的确定	227
9.7.3 合理放矿截止品位的确定	227
9.7.4 截止放矿时出矿工作面矿岩比例的确定	230
9.7.5 精细化的放矿管理	231
9.7.6 恢复矿山正常回采顺序实现地压有效管理	231

9.8 大顶山矿区无底柱分段崩落法合理结构参数	233
9.8.1 概述	233
9.8.2 主要结构参数对缓倾斜矿体矿石回收效果的影响分析	234
9.8.3 大顶山矿区不同结构参数的物理实验模拟研究与数据分析	236
9.8.4 降低过渡分段矿石损失贫化的技术措施	238
9.9 合理回采工艺及参数研究成果在大顶山矿区的应用及效果	239
9.9.1 概述	239
9.9.2 合理中深孔设计及施工管理制度的应用	239
9.9.3 合理切割工艺及参数的应用	243
9.9.4 处理悬顶新技术的应用	245
9.9.5 辅助进路回收下盘残留矿石技术的应用	246
9.9.6 矿废分采分运措施的应用效果	248
9.10 合理生产工艺及技术研究项目取得的主要成效	248
9.10.1 主要成效	248
9.10.2 技术经济效益分析	249
9.11 大结构参数试验项目的应用及成效	250
9.11.1 概述	250
9.11.2 解决大顶山矿区生产及技术问题所采取的措施	251
9.11.3 项目取得的主要成效及经济效益分析	254
9.12 本章小结	258
参考文献	259
 结束语	 260

1 绪 论

1.1 国内外无底柱分段崩落法应用现状

无底柱分段崩落法是一种不留任何矿柱、可在矿体走向及延深方向都实现连续开采的崩落采矿法（如图 1-1 所示），主要适用于地表允许崩落、矿石稳固性较好、厚大急倾斜矿床的开采。无底柱分段崩落法自 20 世纪 50 年代在瑞典出现并基本定型后，因其具有的结构简单、机械化程度高、回采效率高、采矿成本低、安全性及灵活性好等诸多突出优点，在国内外大中型地下矿山得到广泛使用。

目前，我国地下铁矿山使用无底柱分段崩落法的矿山数量及采出矿石量均在 80% 以上，有色金属矿山达 40% 左右，化工、黄金以及磷矿等矿山也有较广泛使用^[1,2]，如武钢程潮铁矿、武钢金山店铁矿、宝钢南京梅山铁矿、首钢杏山铁矿、酒钢镜铁山铁矿（桦树沟矿区）、河北邯钢矿山（张家洼铁矿、玉石洼铁矿、西石门铁矿）、昆钢大红山铁矿、攀钢兰尖铁矿以及鞍钢弓长岭铁矿等都是国内典型的无底柱分段崩落法矿山。

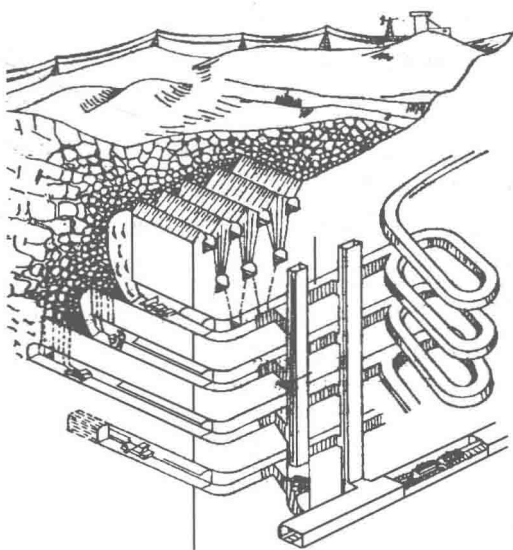


图 1-1 无底柱分段崩落法开采示意图^[3]

可以说,对于地表允许崩落的厚大急倾斜矿体条件的地下矿山,特别是地下铁矿山来讲,无底柱分段崩落法在我国已经成为其绝对主要的采矿方法。在国外,无底柱分段崩落法也是大型地下矿山的主要采矿方法,表 1-1 为国外几个典型的无底柱分段崩落法矿山基本情况。

表 1-1 国外几个典型无底柱分段崩落法矿山基本情况^[4]

矿 山	所属公司	位置 (国家)	主产金属	产能/ $t \cdot d^{-1}$
Kiruna	LKAB	瑞典	铁	76000
Malmberget	LKAB	瑞典	铁	45000
Perseverance	BHP Billiton	澳大利亚	镍	5000
Ridgeway	Newcrest	澳大利亚	金/铜	16500
Stobie	CVRD Inco	加拿大	镍	5000

当然,在引入该采矿方法初期,国内外无底柱分段崩落法矿山都普遍出现了矿石损失贫化大、采场通风困难等问题。为此,国内外都进行了大量研究和试验,研究和试验的重点集中在对采矿方法结构改进和参数优化上面,例如,“高端壁无底柱分段崩落法”“双巷菱形无底柱分段崩落法”“高低分段或留护顶柱的无底柱分段崩落法”“分段留矿崩落法”和“矿石隔离层下放矿”“楔形柳槽或筒仓结构”^[5],以及近年来在国内比较受关注的无(低)贫化放矿^[6,7]及大结构参数方案^[8]等。

应该说,经过几十年的发展,矿石稳固、急倾斜厚大矿体条件下的无底柱分段崩落法已经比较成熟和完善,回采进路上下菱形交错布置的结构形式基本固定,矿石损失贫化大以及通风困难等问题得到较好解决。特别是无贫化放矿方式的提出以及无贫化放矿理论的建立,为无底柱分段崩落法从根本上解决采出矿石贫化大的问题奠定了极为重要的理论及技术基础。例如,酒钢镜铁山铁矿 1993 ~ 1997 年进行了无贫化放矿方式的现场工业试验,试验及推广应用的初步实践表明,无贫化放矿方式可以在矿石回采率不降低的情况下大幅度地降低矿石贫化率至 8% ~ 10% 左右。随后,无贫化放矿理论降低矿石贫化的基本原理和方法在国内多个无底柱分段崩落法矿山得到试验和应用并取得明显的成效;在保持矿石正常回收情况下,采出矿石贫化率(岩石混入率)由过去的 20% ~ 25% 以上大幅度降到 10% ~ 15% 左右^[9,10]。

可以说,当今的无底柱分段崩落法已经成为一种同时具有损失贫化低、生产能力大、采矿效率高、工艺成熟、生产可靠、作业安全、采矿成本低、机械化程度高、适应性广等诸多突出优点的先进采矿方法,成为许多大中型金属地下矿山采矿方法的首选。无贫化放矿方式的提出以及无贫化放矿理论的建立,使从根本上解决无底柱分段崩落法采出矿石贫化大问题成为可能。而从根本上解决采出矿

石贫化大的问题, 又为这种高效安全的采矿方法进一步扩大应用范围奠定重要的基础, 这就包括具有复杂开采技术条件的矿山。

1.2 复杂开采技术条件下无底柱分段崩落法的应用现状

就无底柱分段崩落法来讲, 其矿体开采技术条件主要包含两个方面的内容: 一是矿体的形态及产状; 二是矿岩体的破碎程度及稳固性。其中矿体形态及产状是衡量复杂矿体条件的重要考量, 而倾斜矿体特别是缓倾斜中厚矿体则是复杂矿体条件中最为典型的一种情况。其实, 矿体倾角在 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 左右的倾斜厚大矿体也应该纳入复杂矿体条件范畴, 其上下盘三角矿体的开采与回收也比较困难和复杂, 矿山的开采技术指标也不够理想。当然, 矿岩体破碎、地压大等也是复杂矿体条件的重要表现。此外, 随着无底柱分段崩落法采矿结构参数的不断加大, 一定程度上增加了无底柱分段崩落法采矿及矿石回收的困难与复杂程度。

由于大结构参数条件下的无底柱分段崩落法矿岩移动规律及矿石回采与回收等问题的研究还不够充分, 实际生产过程中还存在生产不够正常、矿石回收指标不理想等突出问题。因此, 厚大急倾斜矿体条件下的大结构参数无底柱分段崩落法也应该列入复杂开采技术条件之中进行进一步的研究。

为便于分析与研究, 这里将无底柱分段崩落法应用在矿体破碎、形态复杂、厚度不大 ($10 \sim 20\text{m}$)、倾角较缓 ($30^{\circ} \sim 50^{\circ}$) 的矿体开采条件称之为复杂矿体条件, 而将厚大急倾斜矿体条件下的大结构参数 (分段高度或进路间距通常应大于等于 15m) 无底柱分段崩落法采矿称之为复杂参数条件, 两者统称为复杂开采技术条件。

随着我国经济的快速发展, 对矿产资源的需求越来越大, 无底柱分段崩落法这种高效、安全、低成本的采矿方法也逐渐被运用到矿体破碎、形态复杂、厚度不大、倾角较缓等所谓的复杂矿体条件中。事实上, 我国金属矿产资源的开采条件普遍不佳, 多数矿床为矿体破碎、形态复杂、倾角缓而厚度不大的复杂矿体条件, 例如西石门铁矿、玉石洼铁矿、张家洼铁矿、北洺河铁矿、小官庄铁矿、漓渚铁矿以及四川锦宁矿业的大顶山矿区都是比较典型的复杂矿体条件。有些矿山虽属于厚大矿体, 但局部也呈现缓倾斜、破碎等复杂矿体的特征。

可以说, 我国无底柱分段崩落法很多时候是在一种相当不利的复杂矿体条件下使用。同时, 对于厚大急倾斜矿体, 国内外无底柱分段崩落法矿山都出现了基本一致的发展趋势, 即都在朝着无轨化、大参数、高产能的方向发展, 其采矿方法的主要结构参数基本上都已过渡到所谓的“大结构参数”状态, 分段高度及进路间距一般都在 $15 \sim 20\text{m}$ 以上, 个别矿山的结构参数甚至接近了 30m 。也就是说, 厚大急倾斜矿体的无底柱分段崩落法也都进入了所谓复杂参数开采条件。

矿山生产实践证明, 当无底柱分段崩落法用于矿体形态复杂、厚度小、倾角

较缓以及矿体破碎、地压大以及大结构参数等复杂开采技术条件时,由于矿石回采及回收条件有了很大的变化,其采矿方法结构及参数、生产技术及工艺等,就不一定能适应复杂的开采技术条件,因而需要进行必要的调整或优化,甚至需要一些特殊的技术措施才能保证矿山正常生产以及矿石正常回收。但是,目前国内外采矿界并没有对复杂开采技术条件特别是复杂矿体条件下无底柱分段崩落法开采理论与技术进行系统深入的研究,实际生产缺乏科学的理论指导及技术支持,多数生产矿山仍然沿用传统工艺进行生产,导致矿山普遍出现生产秩序不正常、矿石回收效果差等严重问题。

据了解,矿山生产秩序不正常、矿石回收指标差的状况在复杂矿体条件无底柱分段崩落法矿山是一个普遍现象。与开采条件相对简单的急倾斜厚大矿体相比较,具有复杂矿体条件的无底柱分段崩落法矿山,不仅生产秩序很不正常,悬顶、大块、隔墙以及巷道垮塌与冒落等事故频繁发生,矿石回收指标也严重恶化。不少矿山的实际回收率仅为 60% ~ 70% 左右,而贫化率却高达 20% ~ 30% 以上。这不仅严重影响了矿山的技术经济效益,也造成国家矿产资源的巨大浪费^[11-13]。

表 1-2 为我国几个典型复杂矿体条件无底柱分段崩落法矿山主要参数及矿石回收指标,表 1-3 是四川某铁矿山 2008 ~ 2011 年矿石回收指标统计情况。从两个表的数据可以看出,复杂开采条件下无底柱分段崩落法矿山的主要回收指标是相当差的。

表 1-2 部分相关地下矿山主要参数及指标^[14]

矿 山	程潮铁矿	小官庄铁矿	漓渚铁矿	金山店铁矿
矿体厚度/m	48 ~ 53	25 ~ 50	30 ~ 100	25
矿体倾角/(°)	30 ~ 46	10 ~ 30	20 ~ 60	60 ~ 80
结构参数/m × m	17.5 × 15	12 × 15	12 × 10	12 × 10
贫化率/%	23.8	27.39	28.54	25.06
回采率/%	76.3	73.68	72.96	72.09

表 1-3 四川某铁矿山矿石损失贫化指标统计表^[15]

年 度	矿石回收率/%	岩石混入率/%
2008	64.99	35.87
2009	58.40	36.47
2010	60.32	38.40
2011	57.10	36.23

而对于具有较好矿体条件的稳固急倾斜厚大矿体来讲,从传统的“小结构参

数”过渡到大结构参数条件及所谓的复杂参数条件下后,国内外无底柱分段崩落法的应用状况差别较大。总体来说,国外矿山由于技术、装备及管理水平和矿体条件较好等原因,特别是在结构参数优化方面采用比较科学和成熟的技术及方法,大结构参数无底柱分段崩落法应用的整体状况好于国内矿山。不过,国外也开始关注复杂参数条件特别是过大的结构参数给无底柱分段崩落法采矿生产及矿石回收可能造成的不利影响,结构参数不断加大的趋势开始减缓甚至已经停滞下来。

而国内矿山大结构参数无底柱分段崩落法的应用情况要复杂一些,部分矿体开采技术条件较好、技术装备及管理水平的生产矿山,在加大结构参数的过程中,由于采用了与国际上比较一致的方法和技术,大结构参数无底柱分段崩落法的应用取得较好的效果。但是,也有相当一部分国内矿山,虽然其矿体条件、装备技术及管理条件都相当不错,但由于在加大结构参数的过程中采用了不够科学合理的技术及方法,导致其结构参数不合理,或者是因为对复杂参数条件下的矿岩移动规律了解不够准确而采用了不合理的放矿方式,影响了矿山的正常生产及矿石回收,矿山生产及矿石回收效果处于一种不正常或不稳定的状态,结构参数的调整与优化进程仍在进行中。

1.3 复杂开采技术条件无底柱分段崩落法研究现状

采矿活动的根本目的是高效、安全、经济地采出有价值的矿石。然而,无底柱分段崩落法在上述任何一种复杂开采技术条件下都可能出现采下矿石无法有效回收问题。如果矿体条件既具有矿体破碎、地压大的特点,又同时具有倾角缓、厚度小的特点,则情况就更加复杂,采矿的难度就更大。现实的情况是,不仅具有复杂矿体条件的无底柱分段崩落法矿山普遍出现矿山生产不正常、矿石回收指标差的问题,许多具有厚大急倾斜矿体条件的无底柱分段崩落法矿山,在采用了大结构参数方案后也普遍出现了生产不正常、矿石回收指标差的问题。因此,要想无底柱分段崩落法能在复杂开采技术条件下得到成功应用并取得良好的矿石回采及回收效果,就必须深入分析和研究复杂开采技术条件下无底柱分段崩落法矿石回采与回收的特殊性,有效解决复杂开采技术条件下无底柱分段崩落法矿石回采与回收的理论及技术问题。

相对来说,国外无底柱分段崩落法矿山的开采条件一般较好,多数矿体属于稳固的急倾斜厚大矿体,即具有所谓的简单矿体开采条件。因此,其研究重点主要集中在如何提高开采效率、降低采矿成本以及提高生产安全性等方面,而加大采矿方法结构参数以及提高采矿方法的机械化与自动化程度则成为其主要的发展方向。近年来,数字化矿山、智能矿山以及绿色矿山正逐步成为地下矿山发展的趋势。但是,国外矿山对于复杂矿体条件下无底柱分段崩落法的应用研究则相对