

匡忠祥 宋卫东 著

地下金属矿山

灾害

防治技术



冶金工业出版社
<http://www.cnmip.com.cn>

地下金属矿山灾害防治技术

匡忠祥 宋卫东 著

北京
冶金工业出版社
2008

内 容 简 介

本书系统地总结了近十年来,在复杂难采地下铁矿山开采过程中灾害防治技术研究方面取得的最新理论成果和工程实践,是一本关于如何预防和治理地下金属矿山常见特重大灾害技术方面的专著。主要内容包括:金属矿床采矿与安全概述,深埋破碎松软矿体采准巷道综合维护技术与实践,主溜井特大塌方综合治理及稳定性分析,崩落法开采围岩错动机理及工程对策,深凹露天转地下安全开采技术等五个部分。

本书可供大专院校相关专业的研究生和教师使用,也可供从事采矿工程技术的设计研究人员,以及矿山安全生产管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下金属矿山灾害防治技术/匡忠祥,宋卫东著. —北京:
冶金工业出版社,2008.11

ISBN 978-7-5024-4291-0

I. 地… II. ①匡… ②宋… III. 金属矿—矿山安全
IV. TD7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 109912 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 戈 兰 美术编辑 王耀忠 版式设计 张 青

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4291-0

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2008 年 11 月第 1 版,2008 年 11 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 27.25 印张; 657 千字; 422 页; 1-2500 册

75.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

《地下金属矿山灾害防治技术》

编 委 会

主 任 匡忠祥

副 主 任 宋卫东

委 员(按姓氏笔画为序)

王永清 王金安 王 剑 王艳辉 尹小鹏

匡忠祥 朱殿柱 杜建华 李长洪 李克顺

李利武 李铁一 肖金发 吴顺川 何明华

宋卫东 明世祥 夏金瑞 夏敬欢 高永涛

高 谦 郭廖武 唐国友 梅林芳 梅智学

章启忠 鲁炳强 雷远坤 谭玉叶

序

我国是世界上灾害最严重的国家之一,除了频繁的自然灾害外,大规模的工程活动也很容易诱发诸多形式的灾害事故。随着我国工业化高潮对矿产品需求的急剧增长,矿业工程的灾害事故也频频发生。金属矿业类工程的重大灾害防治内容涉及松软破碎岩体中的片帮冒顶、高应力区开采诱发的岩爆、开采引起的地面塌陷、井下施工开采过程中的突水、深凹露天矿高陡边坡的稳定性、隔离矿柱应力集中带来的安全问题、井下内外因火灾、深井开采的热害问题、矽尘及放射性危害等。

无底柱分段崩落法自 20 世纪 60 年代初从瑞典引入我国,因其具有结构简单、采切比小、机械化程度高、安全性好、采矿强度大等优点,在铁矿山得到广泛应用。但这种方法存在松软破碎岩体中采准巷道稳定性和安全性差,采区溜井及主溜井易遭受严重破坏,岩层错动及地表塌陷的影响范围和程度难以准确预测,深凹露天矿转地下开采高陡边坡极易失稳形成冲击地压等问题,这一系列灾害的预防和控制的关键性难题需要研究和解决。

该书全面系统地总结了崩落法开采复杂铁矿体的主要灾害类型、预防和治理的基础理论与工程实践,初步形成了用崩落法开采金属矿山的灾害防治系列技术,为该类矿山的安全生产提供了技术保证,也有利于拓宽崩落法的使用范围。书中涉及的工程依托矿山程潮铁矿、金山店铁矿、大冶铁矿和小官庄铁矿是具有代表性的复杂难采铁矿山。该书是在十几年来针对武汉钢铁集团所属地下铁矿山开展科研攻关所取得的成果基础上撰写而成的,理论与实际紧密结合,以理论指导生产实践并最终解决实际问题是该书的最大特色。因此,该书不仅具有较高的学术价值,对矿山防治灾害的实际工作也具有指导意义。

目前,国内还缺乏系统论述防治金属矿山崩落法开采引起重大灾害的专业书籍,该书论述的基础理论知识,先进的研究方法和手段,以及用崩落法开采时防治灾害的工程技术措施,无疑对黑色、有色、黄金矿山都具有很好的参考价值。

中国工程院院士



2008 年 3 月

前 言

我国是一个采矿大国,20世纪80年代后期以来,由于国家经济的迅速发展对矿产品的需求量急剧增大,金属矿山重大工程地质灾害事故不断发生,特别是近几年,严重的矿山灾害性问题呈明显上升势头,而且各类安全隐患显著增多。金属和非金属矿山安全事故在各类事故中仅次于道路交通、铁路交通、煤矿、火灾,居第五位,在工矿事故中仅次于煤矿居第二位。

金属矿山灾害的主要形式有地表塌陷、冒顶片帮、深部岩爆和井下突水等,具体情况如下:

(1) 地表塌陷。地表塌陷在金属矿较为普遍,造成危害较大。当爆破诱发或岩层移动到一定程度时,将爆发采空区大范围塌落。由于采空区的突发性崩塌,还会产生巨大的地震波、空气冲击波等灾害。据初步统计,我国因采矿引起的塌陷超过180处,塌陷面积达1150 km²,发生采矿塌陷灾害的城市近40个,造成严重破坏的25个,每年因此造成的损失达4亿元人民币以上。

(2) 冒顶片帮。冒顶片帮事故是地下矿山最为普遍,也是事故率最高的灾害之一,冒顶片帮包括岩层脱落、块体冒落不良地层塌落,以及由于采矿和地质结构引起的各种垮塌。特别是矿岩稳定性差的难采矿体及软弱夹层,易发生较大规模的垮落,引起采场冒顶和片帮事故。

(3) 深部岩爆。近年,部分金属矿山进入了1000 m以下深部开采,高应力条件下的硬岩层往往会发生岩爆。冬瓜山铜矿开拓达1100 m,深部有岩爆声和岩石弹射现象;红透山铜矿开拓达1337 m,在采深1100 m左右,大片采区花岗岩柱及上下盘发生多次大的岩爆,井巷工程严重破坏,给生产造成危害。

(4) 地下水穿透和突发涌水。突发性大量涌水虽然不是直接由地压引起,但与采矿作业密切关联,一旦接近积水的巷道和采空区,或遇到溶洞和地下暗河等,在隔离岩层突然失稳的情况,易造成灾害。

(5) 露天转地下矿山的过渡期,过渡带为应力集中区,存在复杂的岩石力学问题,易引发灾变。其主要安全问题包括:地下开采对岩体及边坡的破坏规律、地下开采的通风系统与防洪排水措施、露天挂帮矿的安全回采、露天与地下联合开采的地下空间问题等。

地下金属矿山工程灾害是导致矿山安全事故的主要内因,其灾害主要是指因开采引起矿山地应力重新分布,导致岩层移动和岩体破坏等灾变状况。这些灾害原本可以通过矿山岩石力学研究、工程设计和矿山安全监控等措施加以消除。但由于地下金属矿山地质条件恶劣,地应力环境复杂,岩层软弱带、岩体裂隙、地下水以及开挖等方面影响因素复杂,均相互制约着采矿工程和围岩的稳定性。

武汉钢铁集团矿业有限责任公司是国有大型矿山企业,现有铁精矿生产能力 400 万 t、球团矿生产能力 700 万 t、熔剂矿生产能力 200 万 t,职工 1.5 万余人,专业技术人员 300 多人。近年来先后完成了程潮铁矿和金山店铁矿 300 万 t 原矿生产能力的扩建,以及大冶铁矿露天转地下开采等工程问题,同时与高等学校和科研院所开展技术合作,对采场结构参数、地压及塌陷区控制、地下水管理、边坡保护、挂帮矿安全回收、巷道维护和提升系统等进行科研攻关,确保了生产安全,提高了劳动生产力和降低了生产成本。

本书以大冶铁矿、程潮铁矿和金山店铁矿为主要工程研究对象,系统地总结了近十年来,在复杂难采地下铁矿山开采过程中灾害防治技术研究方面取得的最新理论成果和工程实践经验。该书由金属矿床采矿与安全概述,深埋破碎松软矿体采准巷道综合维护技术与实践,主溜井特大塌方综合治理及稳定性分析,崩落法开采围岩错动机理及工程对策,深凹露天转地下安全开采技术等五部分组成。

该书是在总结多个科研项目的基础上撰写完成的,这些项目均通过省部级科学技术鉴定,并获得相应的科学技术进步奖。其中:“程潮铁矿溜破系统稳定性及主溜井特大塌方治理综合技术”获 1999 年度国家冶金局科技进步一等奖;“程潮铁矿淹井后井下巷道坍塌的综合治理与研究”获 2000 年度冶金科技进步二等奖;“小官庄铁矿高应力软破矿岩采场巷道变形控制技术的研究”获 2001 年度冶金科技进步三等奖;“岩土工程特大塌方预防与治理综合技术研究及工程应用”获 2002 年度国家安全生产监督管理局科技进步一等奖;“缓倾斜、深埋、破碎铁矿床高强度综合开采研究”获 2004 年度湖北省科技进步二等奖;“程潮铁矿西区地下开采围岩错动机理及工程对策研究”获 2004 年度冶金科技进步二等奖;“地下金属矿山灾害预防治理与安全开采技术”获 2006 年度冶金矿山科技进步一等奖。

该书较为全面系统地总结了崩落法开采复杂铁矿体的主要灾害类型、预防与治理的基础理论和工程实践,基本形成了崩落法开采金属矿山的灾害防治综合技术,可以说,该书是一部关于如何预防和治理地下金属矿山常见特重大灾害方面的技术专著。

在本书的撰写过程中得到了武汉科技大学许梦国教授、马建军教授、武汉理工大学张世雄教授、中南大学颜容贵教授、武汉化工大学陈清运教授和中国冶金建设集团鞍山冶金设计研究总院于耀国教授级高级工程师的关心和帮助,在提供宝贵的技术资料同时提出了许多建设性的修改意见,对提高本书的科学性和实用性起到了关键作用,在此表示衷心的感谢。

由于水平和掌握的资料有限,本书可能存在一些不足之处,恳请读者批评指正。

作 者
2008 年 3 月

目 录

1 概述	1
1.1 金属矿床的分类与特性	1
1.1.1 金属矿石的种类	1
1.1.2 金属矿床的分类	1
1.1.3 金属矿床的特性	2
1.2 金属矿床采矿与安全	2
1.2.1 采矿方法分类	2
1.2.2 地下金属矿山灾害分类	3
1.3 武钢矿业公司主要矿山简介	7
1.3.1 程潮铁矿	7
1.3.2 大冶铁矿	8
1.3.3 金山店铁矿	8
2 深埋破碎松软矿体采准巷道综合维护技术与实践	9
2.1 软岩的分类及其工程特点	9
2.1.1 软岩的分类及力学特性	9
2.1.2 基于三轴实验的软岩破坏准则	10
2.1.3 软岩采准巷道的变形规律	13
2.1.4 软岩巷道的工程特征	18
2.1.5 软岩巷道的支护原则	18
2.2 矿岩水理特性研究	19
2.2.1 矿岩所含矿物成分类型及含量	19
2.2.2 亲水性	19
2.2.3 崩解特性	21
2.2.4 膨胀特性	23
2.2.5 矿岩的软化性	24
2.2.6 水理性机理分析	25
2.3 采动应力分布规律与围岩变形机理	28
2.3.1 采动地压显现的宏观特征	28
2.3.2 采动应力分布规律	30
2.3.3 无底柱采场巷道围岩变形机理	33
2.3.4 围岩变形破坏机制	38
2.3.5 联巷岔口稳定性分析	40
2.4 井巷综合维护技术与工程实践	41

2.4.1	概述	41
2.4.2	垮冒巷道直接维护技术	42
2.4.3	采场巷道间接综合维护措施	44
2.4.4	采场巷道支护技术改进	49
2.4.5	采场巷道垮冒综合治理效果	52
2.5	采准巷道支护专家系统的研究与实践	54
2.5.1	采准巷道分级支护设计	54
2.5.2	BP神经网络算法的基本原理	60
2.5.3	支护专家系统开发可行性研究	65
2.5.4	程潮铁矿支护专家系统的开发与应用	75
3	主溜井特大塌方综合治理及稳定性分析	85
3.1	绪论	85
3.1.1	问题的提出	85
3.1.2	国内溜井使用及研究的现状	88
3.1.3	岩石预应力锚固技术的研究概况	89
3.1.4	锚固工程设计方法及存在的主要问题	91
3.1.5	灌浆技术的发展现状及理论研究	92
3.1.6	技术路线	94
3.2	主溜井破坏因素分析	95
3.2.1	溜破系统岩体工程稳定性评价	95
3.2.2	岩体力学计算参数的确定	97
3.2.3	数值计算方法的选择	97
3.2.4	主溜井稳定性主要影响因素分析	98
3.3	主溜井加固工程实例	109
3.3.1	新城金矿主溜井加固工程	109
3.3.2	小官庄铁矿主溜井截堵工程	113
3.3.3	焦家金矿1号主溜井加固	117
3.4	程潮铁矿2号主溜井返修加固的工程结构	119
3.4.1	传统加固方法存在的问题	119
3.4.2	2号主溜井垮冒后围岩稳定性评价	120
3.4.3	主溜井整体加固结构设计	129
3.5	二次高压灌浆预应力锚固技术的施工工艺及作用机理	142
3.5.1	岩层二次高压灌浆预应力锚固技术的特点及实施过程	142
3.5.2	岩层高压灌浆作用机理研究	144
3.5.3	锚索与灌浆体相互作用机制的分析研究	145
3.6	高压灌浆预应力锚索参数的设计与优化	152
3.6.1	预应力锚索参数的理论设计	153
3.6.2	预应力锚索参数的优化	154
3.7	主溜井加固效果稳定性数值分析及工程验证	156

3.7.1	2号主溜井加固效果稳定性数值分析	156
3.7.2	2号主溜井加固效果稳定性的工程验证	174
3.8	结论	177
4	崩落法开采围岩错动机理及工程对策	179
4.1	概述	179
4.1.1	金属矿地表移动研究的特点和难点	179
4.1.2	地表移动的研究方法及现状	180
4.1.3	金属矿岩层移动研究进展	182
4.1.4	岩层移动的工程控制研究状况	182
4.2	地下金属矿山崩落法采矿岩层移动规律调查	183
4.2.1	影响地表变形的方面和因素	183
4.2.2	无底柱分段崩落采矿法矿地表移动调查实例	186
4.3	无底柱分段崩落采矿岩移动过程与机理	195
4.3.1	基本工艺及特点	195
4.3.2	矿岩崩落与地表移动机理	195
4.4	东主井地表岩层变形监测与错动机理	199
4.4.1	矿区地质概况	199
4.4.2	开采过程调查	200
4.4.3	东区地表塌陷情况调查	200
4.4.4	东区近期地表移动监测	206
4.4.5	东主井地表变形破坏机理	212
4.5	程潮铁矿西区地表围岩崩落机理与移动规律预测	222
4.5.1	岩石力学性质实验和岩体绝对应力量测	222
4.5.2	西区地表移动规律神经网络智能预测	225
4.5.3	西区开采地表移动变形预测数值模拟研究	242
4.5.4	西区地表变形预计的随机介质理论	274
4.5.5	西区开采围岩错动对工程建设影响和对策	282
4.6	金山店铁矿地表围岩崩落机理与移动规律预测	285
4.6.1	地表变形的宏观表现及其特征	285
4.6.2	地表变形地质分析及围岩移动过程	286
4.6.3	地表变形离散单元法模拟计算分析	287
4.6.4	平行矿体同步开采相似材料模拟	294
5	深凹露天转地下安全开采技术	308
5.1	概述	308
5.1.1	国外露天转地下开采的技术发展现状	309
5.1.2	国内露天转地下开采的技术发展现状	309
5.1.3	金属矿山露天转地下开采的安全技术问题	310
5.1.4	露天工作的安全措施	311
5.2	大冶铁矿工程背景	313

5.2.1	矿区地质	314
5.2.2	矿体地质特征	316
5.2.3	矿床开采技术条件	316
5.2.4	矿床开拓	317
5.2.5	开采顺序	318
5.2.6	开采现状	319
5.3	大冶铁矿最终边坡稳定性研究	320
5.3.1	东露天边坡稳定性研究总结	320
5.3.2	东露天转地下开采岩体力学指标研究	324
5.3.3	本次计算参数的确定	328
5.3.4	计算剖面的选取	329
5.3.5	边坡岩体稳定性监测	331
5.3.6	极限平衡理论计算边坡稳定性	334
5.3.7	数值模拟计算	339
5.4	露天转地下开采巷道围岩应力场变化规律	348
5.4.1	问题的提出	348
5.4.2	采场地压显现和巷道稳定性调查	349
5.4.3	采准巷道稳定性模拟计算分析	350
5.5	深凹露天转地下开采对边坡稳定性的影响	369
5.5.1	模拟计算方案	369
5.5.2	剖面VI'露天转地下开采	370
5.5.3	剖面V'露天转地下开采	378
5.5.4	剖面I-2露天转地下开采	384
5.6	东露天转地下开采地表错动范围	388
5.6.1	VI'剖面开采错动范围	389
5.6.2	V'剖面开采错动范围	391
5.6.3	I-2剖面开采错动范围	393
5.6.4	东露天转地下开采错动范围的确定	393
5.7	露天转地下开采的井下防洪排水	396
5.7.1	设计频率暴雨径流渗入量计算	397
5.7.2	工程实例	398
5.8	露天矿残留矿柱的安全回采	403
5.8.1	露天坑底矿柱回采	403
5.8.2	露天边帮残留矿体回采	407
5.8.3	露天矿残留三角矿柱回采	410
5.8.4	工程实例	411
	参考文献	421

1 概 述

我国是世界上自然灾害最严重的国家之一。近 10 年来,每年平均灾害损失近 1600 亿元,相当于国民生产总值的 3.8%,国民收入的 30%。除了自然灾害之外,大规模的工程活动也在不同程度地改变和重塑地质环境,诱发诸如边坡失稳、地表塌陷和地基失效等灾变灾害。重大工程的灾变灾害极其复杂,我国防灾减灾技术落后,相关的科学研究还远不能适应现代化的经济建设,国务院通过的《21 世纪议程》中,“防灾减灾”是其中的一项重要内容。

“重大工程灾害与防治”涉及的研究领域和内容十分广泛。其中,岩土工程灾害与环境损伤防治是重要的组成部分。具体到矿业类工程应包括:(1) 高应力深部地下工程的诱发灾害与防治;(2) 高应力、大采深条件下开挖的岩体动力学特征及其与围岩变形破坏、顶板灾害、瓦斯突出、岩爆的关系;(3) 大型地下开挖工程和城市地下空间利用所引起的地表沉降和控制,地下含水层和地表水的破坏机理及保护措施;(4) 结合重大工程研究边坡稳定性、灾变机理、风险评估与防治决策支持系统等。

1.1 金属矿床的分类与特性

1.1.1 金属矿石的种类

根据所含金属种类的不同,金属矿石可分为贵金属矿石(金、银、铂等)、黑色金属矿石(铁、锰、铬)、有色金属矿石(铜、铅、锌、铝、镍等)、稀有金属矿石(钽、铌等)和放射性矿石(铀、钍等)。按所含金属成分数目,金属矿石又可分为单一金属矿石和多金属矿石。

金属矿石按其所含金属矿物性质、矿物组成和化学成分可分为:

- (1) 自然金属矿石。金属以单一元素存在于矿床中的矿石,如金、银、铂等。
- (2) 氧化矿石。矿石矿物的化学成分为氧化物、碳酸盐和硫酸盐,如赤铁矿(Fe_2O_3)、红锌矿(ZnO)、软锰矿(MnO_2)、赤铜矿(Cu_2O)等。
- (3) 硫化矿石。矿石矿物的化学成分为硫化物,如黄铜矿(CuFeS_2)、方铅矿(PbS)、辉钼矿(MoS_2)等。
- (4) 混合矿石。矿石中含有前三种矿物中两种以上的混合物。

品位表示矿石中有用成分的含量,金属矿石按品位高低可分为富矿和贫矿。以磁铁矿矿石为例,品位超过 55% 为平炉富矿,品位在 50%~55% 之间为高炉富矿,品位在 30%~50% 之间为贫矿。

1.1.2 金属矿床的分类

金属矿床的矿体形状、厚度及倾角,对矿床开拓和采矿方法的选择有直接影响。因此,金属矿床的分类,一般按其矿体形状、倾角和厚度三个因素进行分类。

(1) 按矿体形状分类,可分为:

- 1) 层状矿床。多为沉积或变质沉积矿床。其特点是矿床规模大、赋存条件稳定,有用矿物成分组成稳定,含量较均匀。多见于黑色金属矿床。

2) 脉状矿床。主要是指由于热液和气体作用,矿物质充填于地壳的裂隙中生成的矿床。其特点是矿床与围岩接触处有蚀变现象,矿床赋存条件不稳定,有用成分含量不均匀。有色金属、稀有金属及贵金属矿床多属于此类。

3) 块状矿床。主要是充填、接触交代、分离和气化作用形成的矿床。其特点是矿床大小不一,形状呈不规则的透镜状,矿体与围岩的界限不明显。有些金属矿床(铜、铅、锌等)属于此类。

(2) 按矿体倾角分类,可分为:

- 1) 水平或微倾斜矿床,倾角小于 5° 。
- 2) 缓倾斜矿床,倾角为 $5^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。
- 3) 倾斜矿床,倾角为 $30^{\circ}\sim 55^{\circ}$ 。
- 4) 急倾斜矿床,倾角大于 55° 。

(3) 按矿体厚度分类。矿体的厚度是指矿体上盘与下盘间的垂直距离或水平距离。前者为垂直厚度或称为真厚度,后者为水平厚度。开采急倾斜矿床时,常用水平厚度,而开采倾斜矿床、缓倾斜矿床和水平矿床时,常用垂直厚度。

- 1) 极薄矿体,厚度在0.8 m以下。
- 2) 薄矿体,厚度在0.8~4.0 m之间。
- 3) 中厚矿体,厚度在4.0~10.0 m之间。
- 4) 厚矿体,厚度在10.0~40.0 m之间。
- 5) 极厚矿体,厚度大于40.0 m。

1.1.3 金属矿床的特性

金属矿床的地质条件较为复杂,对矿床开采有较大影响的因素包括以下五个方面:

(1) 矿体的厚度、倾角及形状均不稳定。在同一个矿体内,在走向方向上或倾斜方向上,其厚度、倾角经常有较大的变化,且常出现尖灭、分枝复合等现象。这就要求有多种采矿方法和采矿方法本身具有一定的灵活性,以适应复杂的地质条件。

(2) 矿石品位变化大。在金属矿床中,矿石品位在矿体的走向上及倾斜上,经常有较大的变化。这种变化有时有一定的规律,如随着矿体赋存深度的增加,矿石品位变贫或变富。在矿体中还经常存在夹石。有些硫化矿床的上部有氧化矿床,使同一矿体产生分带现象。这些均对采矿提出特殊的要求:如按不同品种、不同品级进行分采,品位中和,剔除夹石以及确定矿体边界等。

(3) 地质构造复杂。在矿床中经常有断层、褶皱、穿入矿体中的岩脉、断层破碎带等地质构造。这些都给采矿和探矿工作带来很大的困难。

(4) 矿石和围岩的坚固性大。多数金属矿山均有这个特点。因此,一般采用凿岩爆破方法来崩落矿石和围岩,这给实现综合机械化开采带来一定的困难。

(5) 矿床的含水性。某些金属矿床含水量大,对开采有很大的影响。矿床含水大,不仅增加排水设备及设施,而且对回采工作造成很大的困难。如含水的碎矿石容易结块和堵塞漏斗,大量的含水会降低矿岩的稳固性等。

1.2 金属矿床采矿与安全

1.2.1 采矿方法分类

采矿方法就是研究矿块的开采方法,它包括采准、切割和回采三项工作。考虑到矿石和

围岩的物理力学性质与采矿方法的使用条件、结构和参数、回采工艺等有密切关系,并且最终影响到开采的安全、效率和经济效果,将采矿方法划分为空场采矿法、崩落采矿法和充填采矿法三大类,见表 1-1。

表 1-1 金属矿床地下采矿方法分类表

类别	组别	典型采矿方法	
空场采矿法	全面采矿法	全面采矿法	
	房柱采矿法	房柱采矿法	
	留矿采矿法	留矿采矿法	
	分段矿房法	分段矿房法	
	阶段矿房法		水平深孔落矿阶段矿房法
			垂直深孔落矿阶段矿房法
垂直深孔球状药包落矿阶段矿房法			
崩落采矿法	单层崩落法	长壁式崩落法	
		短壁式崩落法	
		进路式崩落法	
	分层崩落法	分层崩落法	
	分段崩落法		无底柱分段崩落法
			有底柱分段崩落法
	阶段崩落法		阶段强制崩落法
阶段自然崩落法			
充填采矿法	单层充填采矿法	壁式充填采矿法	
	分层充填采矿法	上向水平分层充填采矿法	
		上向倾斜分层充填采矿法	
		下向水平分层充填采矿法	
	分采充填采矿法	分采充填采矿法	
支架充填采矿法	方框支架充填采矿法		

空场采矿方法是将矿块划分为矿房和矿柱,分两步回采。回采矿房时所形成的采空区可利用矿柱和矿岩自身的强度进行维护。因此,矿石和围岩均稳固是使用该类采矿方法的基本条件。

崩落采矿方法为一个步骤回采,并且随工作面推进的同时,崩落围岩充填采空区,从而达到管理和控制地压的目的。因此,崩落围岩充填采空区是应用该类采矿方法的必要前提。

充填采矿方法的大部分采矿方法也是分为两步骤进行回采。回采矿房时,随着回采工作面的推进,逐步用充填料充填采空区,防止围岩垮落,即用充填采空区的方法管理地压。因此,矿石和围岩稳固或不稳固,均可应用该类采矿方法。

1.2.2 地下金属矿山灾害分类

1.2.2.1 影响矿山安全的主要因素

影响金属矿山安全的因素有很多,归结起来,主要是技术因素和自然因素。

自然因素包括:矿体的赋存和埋藏状况、围岩和矿体的性质、节理裂隙发育程度、地下水情况等。一般来讲,矿体埋藏越深,地压越大、巷道失稳及岩爆发生的可能性越大。围岩的岩性、稳定性决定着井巷的稳定性和生产安全性。地下水蕴含丰富与否则决定着生产中水害严重程度大小。

总之,地下矿山的地质构造、地应力、地下水、地质裂隙、不良地层、地下溶洞及老采区等自然因素直接影响到矿山的生产安全。

技术因素则包括:采矿方法、井巷支护方式、开采顺序、采矿设计参数等。

金属矿山地下开采一般按矿体赋存条件采用崩落法、空场法或充填法开采,各种采矿法均需要兼顾效益和安全,地压处理便成为其技术关键难点。如崩落法,若完全崩通地表,空区得到填充,释放了压力,将有效缓解采区地压,避免突发性垮塌冲击和空气冲击灾害;空场法若适当分隔和及时封堵空区,并留保安矿柱,按顺序回采,可大大减少灾害事故的发生;采用充填法的矿山若顺序控制适当,可消除空区隐患,但也可能存在应力转移和采矿工作面地压问题,充填料浆未干时,密闭墙失稳易发生突出等事故。大范围开采情况下,特别在下向分层充填法中,充填体以及松散充填层的稳定性也存在一定隐患。此外,较浅部的开采可能部分影响到地表,控制不当则构成地质灾害。

井巷支护作为控制因采矿引起地压问题的有效措施,在保障井下安全生产方面起着非常重要的作用。而支护方式依据矿体及围岩稳定性不同,有较大差异。针对不同地质条件,选择相应的支护方式,对避免顶板冒落、采场坍塌等灾害具有十分重要的意义。

在矿山开采中,要求采掘平衡,保有的三级生产准备矿量匹配,及时进行空区处理和严格的地质管理,而近年来有些矿山,见矿就挖,留下巨大空区不及时处理,隐患极大。

1.2.2.2 地下金属矿山灾害分类

A 地表塌陷

由于浅部空区或较大范围的采动影响,在近地表的岩移活动中,有可能对地表建筑和道路等构成一定危害,有些甚至引起山体滑坡。这在金属矿中较为普遍,危害较大。同时也有可能由爆破诱发或岩层移动到一定程度时爆发采空区大范围塌落,产生巨大的地震波和空气冲击波。

B 采场冒顶

矿山开采中冒顶事故最为普遍,也是事故率最高的灾害之一,包括岩层脱落、块体冒落、不良地层塌落以及由于采矿和地质结构引起的各种垮塌。特别是矿岩稳定性差的难采矿体及软弱夹层,易发生较大规模的垮落。如云锡老厂锡矿,氧化弱面曾引起较多的采场和巷道冒顶事故。

C 深部岩爆和矿震

近年来,部分金属矿山进入了1000 m以下深部开采,高应力条件下的岩层特别容易发生岩爆。在高地质应力区,地下采矿活动可能引起地质动力重新分布,导致局部应力场变化,诱发地震。因为该地震发生在生产矿区,与采矿活动密切相关,所以又被称为“矿震”。如冬瓜山铜矿开拓已达1100 m,深部有岩爆声和岩石弹射现象;红透山铜矿开拓达1337 m,在采深1100 m左右,大片采区花岗岩柱及上下盘发生多次大的岩爆,井巷工程破坏严重,给生产造成较大危害;大厂105矿体埋深1000 m,民采开挖形成高大的采空区,2001年3月~4月发生多次巨大的岩爆和微震,深部民采区段发生大面积垮塌,震动波及地表。

D 地下水灾害

地下水灾害主要表现为突水淹井、海水入侵、破坏水资源、产生井下泥石流、引起地面塌陷等,给采矿安全带来危害,甚至危及矿山生存。如莱芜铁矿的顾家台矿区,由于顶板突水,造成 29 人死亡,矿山至今不能恢复开采。又如南丹拉甲坡锡矿,由于老窿突水,造成 80 余人死亡。

E 尾矿坝废石场崩塌、滑坡、泥石流

我国矿山历年废石的堆存量已达 127 亿 t,其中金属矿尾矿累计存量已达 50 余亿吨,许多废石、尾矿堆场因处置不当或受地形、气候条件及人为因素的影响,易于发生崩塌、滑坡、泥石流等事故,给人民生命财产和环境带来重大损失。据 2004 年国家经贸委对尾矿库的安全检测及评价,我国有 1/3 的尾矿库存在一定的问题,还有 1/3 的尾矿库属险库,大量的尾矿库带病运行,又得不到有效的治理,一旦发生事故,其后果不堪设想。如 2000 年 10 月 18 日,广西南丹县鸿图选矿厂尾砂库突然塌坝,共造成下游 28 人死亡,沿途民房、土地被冲毁或淹埋。

F 露天矿边坡滑坡

随着露天矿山开采深度的增加,其边坡高度也在加大,滑坡等失稳现象逐年增多。根据我国大中型露天矿山的不完全统计,不稳定边坡或具有潜在滑坡危险的边坡占矿山边坡总量的 15%~20%左右,个别矿山高达 30%。

G 露天转地下开采的灾害

根据我国金属矿床赋存的特征和规模,以及国内外露天转地下开采所取得的实践经验,对于露天转地下开采的矿山应主要考虑技术和安全两方面的问题。开采的技术问题包括:确定合理的露天开采极限深度、露天转地下开采过渡时期的采矿方法和产量衔接等。安全问题包括:地下开采对岩体及边坡的破坏规律、地下开采的通风系统与防洪排水措施、露天挂帮矿的安全回采、露天与地下联合开采的地下空间问题等。

本书是在总结武钢矿业公司下属程潮、大冶和金山店铁矿多年的科研成果基础上,着重进行四个方面的地下金属矿山灾害防治技术的论述,它们分别是:深埋破碎松软矿体采准巷道综合维护技术与实践、主溜井特大塌方综合治理及稳定性分析、崩落法开采围岩错动机理及工程对策、以及深凹露天转地下安全开采技术。

1.2.2.3 无底柱分段崩落法采场不安全因素分析

无底柱分段崩落法自 20 世纪 60 年代初从瑞典引入我国,因其具有结构简单、灵活、采切比小、机械化程度高、安全性能好、采矿强度大等特点,在我国地下金属矿山得到了广泛应用,特别是在黑色冶金地下矿山应用得更加普遍。据统计,截止到 2004 年底,采用该方法开采矿山的矿石产量占全国主要地下冶金矿山总产量的 85%以上。典型的开采布置如图 1-1 所示。

尽管无底柱分段崩落法具有安全性较好的优点,但是,在实际生产过程中也暴露出如下的不安全因素。

A 巷道地压

无底柱分段崩落法采矿过程中,巷道地压可分为变形地压和松脱地压,具体显现为巷道发生变形、下沉、片帮、裂纹、冒落、冒顶等现象,造成矿石回采强度降低,回采率低,危及人员和设备安全。巷道地压主要为应力控制和构造控制作用的复合形式,一般由矿床地质条件、

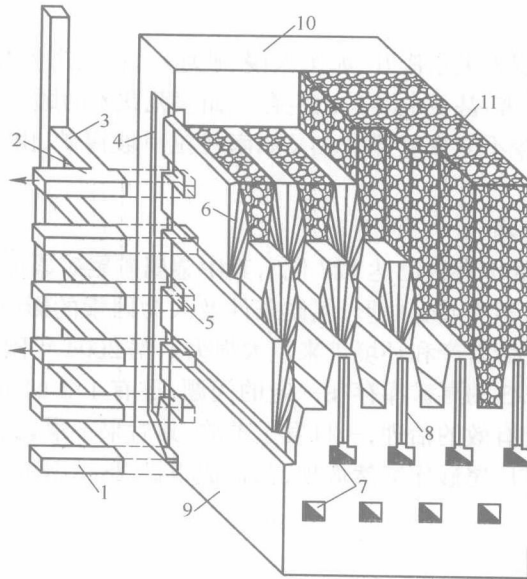


图 1-1 无底柱分段崩落采矿法基本方案示意图

1—阶段运输巷道；2—分段巷道；3—联络巷道；4—放矿溜井；5—溜井联络巷道；6—回采扇形炮孔；
7—回采进路；8—切割天井；9—矿体；10—下盘岩石；11—崩落的废石覆盖层

采矿技术水平和生产组织管理等方面原因综合作用形成的。引起该采矿法采场巷道地压的原因具体有：

- (1) 矿体内软弱夹层揭露后风化、冒落，影响附近巷道稳定；
- (2) 采准工程布置不合理，不稳定矿岩暴露过多；
- (3) 三级矿量比例失调，保有采准或备采矿量过多，导致巷道暴露时间过长；
- (4) 矿石回采时，常引起距工作面 15 m 前后巷道和下盘三角矿柱附近局部应力升高；
- (5) 上一分段回采不完全，存在实体矿柱，造成本分段相应位置应力集中；
- (6) 一条进路回采滞后，将承受较大压力；
- (7) 巷道支护方法选择不当或支护不及时；
- (8) 爆破造成巷道支护破坏，爆破振动使矿石节理面张开，甚至使巷道围岩破碎；
- (9) 爆破后，巷道顶板检查不及时，浮石处理不当。

B 工作面悬顶、隔墙

工作面悬顶、隔墙是无底柱分段崩落法采矿过程中常出现的安全隐患。悬顶是由于深孔孔底距过大，孔口交错装药不够，孔口药量集中，深孔深度没达到设计要求或深孔堵塞炸药装不到位，造成爆破在孔口横向击穿，纵向击碎，而深孔底部爆能不足，形成悬顶。隔墙是由于深孔太密，药量集中，或由于前排深孔放矿贫化较大，废石中含有塑性的泥土，吸收了大量爆能，造成爆破从横向击穿，正面矿石没有充分破碎而无法放出，形成隔墙。处理悬顶、隔墙通常采用埋炮、补孔压顶或重开切割槽等方法。埋炮作业对爆破人员不安全，大量炸药裸露爆破，冲击波对设备设施安全也不利。补孔压顶或重开切割槽，都将打乱矿块回采秩序，造成进路滞后，引起局部应力集中，发生地压活动。