

高应力深井安全开采理论与控制技术

杨志强 高 谦 王 虎 / 著
陈仲杰 王小平 王永定



科学出版社



特大型镍矿充填法开采技术著作丛书

高应力深井安全开采 理论与控制技术

杨志强 高 谦 王 虎 陈仲杰 王小平 王永定 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是《特大型镍矿充填法开采技术著作丛书》第十册,主要介绍金川深部矿体大面积连续开采的支撑理论与保障技术。

本书首先介绍了金川镍矿在 1150m 中段以上成功实施的无矿柱大面积连续开采的生产实践情况与工程经验,然后阐述了金川深部矿体大面积开采面临的困难及需要解决的关键技术。在对深部工程地质深化研究的基础上,论述了深部矿床实施大面积连续开采的支撑理论与保障技术,包括留矿柱和不留矿柱两种回采方案地压规律与优劣比较、采场围岩变形的光纤光栅监测技术、地表岩移 GPS 监测体系以及变形信息管理和采场稳定性与岩移的预测预报;最后探讨了受采动影响的竖井工程稳定性控制技术。

本书可供采矿、地质、水电和土木工程等领域从事采矿设计、采矿生产和科学研究的工程与科研人员以及从事采矿教学工作的大专院校和科研院所的教师与研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高应力深井安全开采理论与控制技术/杨志强等著. —北京:科学出版社,2013

(特大型镍矿充填法开采技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-036598-9

I. ①高… II. ①杨… III. ①超大型矿床-镍矿床-深井-金属矿开采-研究-金昌市 IV. ①TD864

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 020786 号

责任编辑:周 炜 韩 默 / 责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩 / 封面设计:陈 敬

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>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 2 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2013 年 2 月第一次印刷 印张:31

字数:705 000

定价:128.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



《特大型镍矿充填法开采技术著作丛书》编委会

主 编:杨志强

副 主 编:王永前 蔡美峰 姚维信 周爱民 吴爱祥 陈得信

常务副主编:高 谦

编 委:(按姓氏汉语拼音排序)

把多恒	白拴存	包国忠	曹 平	陈永强	陈忠平	陈仲杰
崔继强	邓代强	董 璐	范佩骏	傅 耀	高创洲	高建科
高学栋	辜大志	顾金钟	郭慧高	何煦春	吉险峰	江文武
靳学奇	康红普	雷 扬	李 马	李德贤	李国政	李宏业
李向东	李彦龙	李志敏	廖椿庭	刘 剑	刘同有	刘育明
刘增辉	刘洲基	马 龙	马成文	马凤山	孟宪华	莫亚斌
慕青松	穆玉生	乔登攀	乔富贵	侍爱国	束国才	孙亚宁
汪建斌	王 虎	王 朔	王海宁	王红列	王怀勇	王五松
王贤来	王小平	王新民	王永才	王永定	王玉山	王正辉
王正祥	吴满路	武栓军	肖卫国	颀国星	辛西宁	胥耀林
徐国元	许瀛沛	薛立新	薛忠杰	颜立新	杨长祥	杨金维
杨有林	姚中亮	于长春	余伟健	岳 斌	翟淑花	张 忠
张光存	张海军	张建勇	张钦礼	张周平	赵崇武	赵千里
赵兴福	赵迎洲	周 桥	邹 龙	左 钰		

《特大型镍矿充填法开采技术著作丛书》序一

金川镍矿是一座在世界上都享有盛誉的特大型硫化铜镍矿床。自 1958 年被发现以来,金川资源开发和利用一直受到国内外采矿界的高度关注。由于镍钴金属是一种战略资源,对有色金属工业和国防工程具有举足轻重的作用。因此,加快和扩大金川镍钴矿资源的开发和利用,是金川镍矿设计与生产的战略指导思想。

采矿作业的连续化、自动化和集中化是地下金属矿采矿技术的发展方向。自 20 世纪 80 年代以来,国际矿业界对实现连续强化开采给予高度关注,把它视为扩大矿山生产、提高经济效益最直接和最有效的重要途径。随着高效的采、装、运设备的出现和大量落矿采矿技术的发展,井下生产正朝着大型化和连续化方向发展。金川特大型镍矿的无间柱大面积连续机械化分层充填采矿技术,正是适应了地下金属矿山开采的发展趋势。该技术的应用使得金川镍矿采矿生产能力逐年提高,目前已建成年产 800 万吨的大型坑采矿山。

金川镍矿所固有的矿体厚大、埋藏深、地压大、矿岩破碎和围岩稳定性差等不利因素,使金川镍矿连续开采面临巨大挑战。在探索适合金川镍矿采矿技术条件的采矿方法和回采工艺的过程中,大胆引进国际上最先进的采矿设备,在国内首次应用下向机械化分层胶结充填采矿技术,成功地实现了深埋、厚大矿体的大面积连续开采,为深部矿体的连续安全高效开采奠定了基础。

金川镍矿大面积连续开采获得成功,受益于与国内外高等院校和科研院所合作开展的技术攻关,也依赖于金川人的大胆创新、勇于实践、辛勤劳动和无私奉献。40 多年的科学研究和生产实践,揭示了金川特大型镍矿高地应力难采矿床的地压规律,探索出采场地压控制技术,逐步形成了特大型金属矿床无间柱大面积连续下向分层充填法开采的理论和

技术。

该丛书全面系统地总结了金川镍矿采矿生产的实践经验和攻关成果。该丛书的出版为特大型复杂难采矿床的安全高效开采提供了技术和经验,极大地丰富了特大型金属矿床下向分层胶结充填法的开采理论与实践;是我国采矿科技工作者对世界采矿科学发展做出的重要贡献,也是目前国内外并不多见的一套完整的充填法开采技术丛书。

王思敬

中国科学院地质与地球物理研究所研究员

中国工程院院士

2012 年 6 月

《特大型镍矿充填法开采技术著作丛书》序二

金川镍矿是我国最大的硫化铜镍矿床。矿体埋藏较深、地应力高、矿体厚大、矿岩松软破碎,具有蠕变性,很不稳固,且贫矿包裹富矿,给工程设计和采矿生产带来极大困难。

针对金川镍矿复杂的开采技术条件及国家对镍的迫切需求,在二矿区采取“采富保贫”方针。20世纪80年代中期,利用改革开放的有利条件,金川镍矿委托北京有色冶金设计研究总院与瑞典波立登公司和吕律欧大学等单位合作,进行了扩大矿山生产规模的联合设计。在综合引进瑞典矿山7项先进技术的基础上,结合金川的具体条件,在厚大矿体中全面采用了机械化进路式下向充填采矿法,并且在进路式采矿中选用了双机液压凿岩台车和 6m^3 铲运机等大型无轨设备,这在世界上没有先例。这种开发战略为金川镍矿资源的高效开发奠定了坚实基础。

在随后的建设和生产过程中,有当时国务院副总理方毅亲自主持的金川资源综合利用基地建设的指引,金川集团股份有限公司历届领导都非常重视科技攻关工作,长期与国内高等院校和科研院所合作,开展了一系列完善采矿技术的攻关。先后通过长时期试验,确定了巷道开凿的“先柔后刚”的支护系统,并利用喷锚网索相结合的新工艺,使不良岩层中巷道经常垮塌的现象得以控制。开发出棒磨砂高浓度胶结充填技术,改进了频繁施工的充填挡墙技术,提高了充填体强度和充填质量。试验成功全尾砂膏体充填工艺,进一步降低了充填作业成本。优化了下向充填法的通风系统,改善了作业条件。为了有效地控制采场地压,通过采矿系统分析和参数优化,调整了回采顺序,改进了分层道与上下分层进路布置形式,实现了多中段大面积连续开采,并实现了大面积水平矿柱的安全回收。这些科研成果不仅提高了采矿效率和资源回收率,而且还降低了矿石贫化,获得巨大的经济效益和社会效益;同时也极大地提高了企业的竞争力。金川镍矿通过数十年的艰辛努力,将原本属于辅助性的采矿方法发展成为一种适合大规模开采的采矿方法,二矿区年生产能力突破了400万吨;把原本是低效率的采矿方法改造成为高效率的安全的采矿方法,为高应力区矿岩不稳固的金属矿床开采提供了丰富的技术理论和实践经验。对采矿工艺技术的发展做出了可贵的贡献。

该丛书全面论述了金川特大型镍矿在设计和采矿生产中所取得的技术成果和工程经验,内容涉及工程地质、采矿设计、地压控制、充填工艺、矿井通风和安全管理等多专业门类,是目前国内外并不多见的充填法,特别是下向充填法采矿的技术丛书。该丛书中的很多成果出自于产、学、研结合创新与矿山在长期生产实践中宝贵经验的总结,凝结了矿山工程技术人员们的聪明智慧,具有非常鲜明的实用性。该丛书的出版不仅方便读者及相关工程技术人员了解金川镍矿充填法开采的理论与实践,也为国内外特大型金属矿床,特别是高应力区矿岩不稳固矿床的充填法开采设计和规模化生产提供了难得的珍贵技术参考文献。



中国恩菲工程技术有限公司研究员

中国工程院院士

2012年7月

《特大型镍矿充填法开采技术著作丛书》序三

近 20 年来,地下采矿装备正朝着大型化、无轨化、液压化和智能化方向发展,它推动着采矿工艺技术逐步走向连续化和智能化。在采掘机械化、自动化基础上发展起来的地下矿连续开采技术,推动着地下金属矿山的作业机械化、工艺连续化、生产集中化和管理的科学化进程,大大促进了矿山生产现代化,并从根本上解决了两步回采留下的大量矿柱所带来的资源损失,它是地下金属矿山采矿工艺技术的一项重大变革,它代表着采矿工艺技术的变革方向,是采矿技术发展的必然。

金川镍矿是我国最大的硫化铜镍矿床,矿床埋藏深、地应力高、矿岩稳定性差。针对这一采矿技术条件,金川镍矿与国内外科研院所和高等院校合作,采用大型无轨设备的下向分层胶结充填采矿方法,开展了一系列采矿技术攻关。通过“强采、强出、强充”的强化开采工艺,使采场围岩暴露时间缩短,有利于采场地压控制和安全管理,实现了安全高效的多中段无间柱大面积连续回采。在采矿方法与回采工艺、充填系统与充填工艺、采场地压优化控制及采矿生产管理等关键技术方面,取得了一系列重大成果,揭示了大面积连续开采采场地压规律,探索出有利于控制地压的回采顺序与采矿工艺。在科研实践中,对采矿生产系统、破碎运输系统、提升系统、膏体充填系统,进行了优化与技术改造,扩大了矿山产能,降低了损失与贫化,提高了矿山经济效益,为金川集团股份有限公司的高速发展提供了重大技术支撑。

该丛书全面系统地介绍了金川镍矿在采矿技术攻关和生产实践中所获得的研究成果和实践经验,是一套理论性强、实践性鲜明的充填采矿技术丛书。该丛书体现了金川工程技术人员的聪明才智,展现了我国采矿界的研究成果和工程经验,是国内外不可多得的一套完整的特大型矿床充填法开采技术丛书。



中南大学教授
中国工程院院士
2012 年 8 月

《特大型镍矿充填法开采技术著作丛书》编者的话

金川镍矿是我国最大的硫化铜镍矿床,已探明矿石储量 5.2 亿吨,含有镍、铜等 23 种有价稀贵金属。矿区经历了多次地质构造运动,断裂构造纵横交错,节理裂隙十分发育。矿区地应力高,矿体埋藏深、规模大、品位高,是目前国内外罕见的高地应力特大型难采金属矿床。不利的采矿技术条件使采矿工程面临严峻挑战。剧烈的采场地压活动,导致巷道掘支困难;大面积开采潜在着采场整体灾变失稳风险,尤其在水平矿柱和垂直矿柱的回采过程中面临极大困难。巷道剧烈变形,竖井开裂和垮冒,使“两柱”开采存在重大安全隐患,采场地压与岩移得不到有效控制,不仅造成两柱富矿永久丢失,而且将破坏上盘保留的贫矿,使其无法开采,造成更大的矿产资源损失。

众所周知,高地应力、深埋、厚大不稳固矿床的安全高效开采,关键在于采场地压控制。金川镍矿的工程技术人员以揭示矿床采矿技术条件为基础,以安全开采为前提,以控制采场地压为策略,以提高资源回收和降低贫化为目标,综合运用了理论分析、室内实验、数值模拟和现场监测等综合技术手段,研究解决了高应力特大型金属矿床安全高效开采中的关键技术。

本丛书揭示了高地应力复杂构造地应力的分布规律,探索出工程围岩特性随时空变化的工程地质分区分级方法,实现了对高地应力采场围岩分区研究和定量评价;探索出与采矿条件相适应的大断面六角形双穿脉循环下向分层胶结充填回采工艺,实现了安全高效机械化盘区开采;采用系统分析方法进行了采矿生产系统分析,实现了对采场地压的优化控制;建立了矿区变形监测与灾变预测预报系统;完善了高浓度尾砂浆充填理论,解决了深井高浓度大流量管道输送的技术难题,形成了高地应力特大型金属矿床连续开采的理论体系与支撑技术,成功地实践了 10 万平方米的大面积连续开采。矿山以每年 10% 的产能递增,矿石回采率 $\geq 95\%$,贫化率 $\leq 4.2\%$;建成了我国年产 800 万吨的下向分层胶结充填法矿山,丰富了特大型金属矿床安全高效开采理论与技术。

本丛书是金川镍矿几十年来采矿技术攻关和采矿生产实践的系统总结。内容涉及矿山工程地质、采矿设计、充填工艺、地压控制、巷道支护、矿井通风、生产管理、数字化矿山、产能提升和深井开采等 10 个方面。本丛书不仅全面反映了国内外科研院所和高等院校在金川镍矿的科研成果,而且更详细地总结了金川矿山工程技术人员的采矿实践经验,是一套内容丰富和实践性强的特大型复杂难采矿床下向分层充填法开采技术丛书。

《特大型镍矿充填法开采技术著作丛书》编委会

2012 年 9 月于甘肃金昌

前 言

大面积连续开采是实现连续采矿作业和提高机械化生产水平的采矿技术,是未来大型矿床开采的发展趋势。大型矿床的大面积连续开采关键在于采场地压控制,对于高地应力矿区和稳固矿岩采场地压控制尤其重要。为了实现金川深埋厚大矿床的无矿柱大面积连续开采,金川镍矿开展了采矿技术攻关和采矿试验,研究了大面积连续开采面临的技术难题以及潜在的灾变风险,实施控制大面积采场地压显现、提高高应力采场巷道支护技术以及监控围岩变形监测和岩层移动等综合技术,成功地实现了 1150m 中段以上厚大矿体的无矿柱大面积连续开采。

随着金川矿体开采深度的增加,采场地压升高,采场面积扩大,使得深部矿床实施大面积连续开采的困难更大。本书首先深入分析和系统总结上部矿体实施大面积连续开采的工程经验,在深化矿山工程地质条件研究的基础上,研究和探索了深部高应力厚大矿体大面积连续开采的支撑理论研究和保障技术。

首先,针对深部矿床采矿技术条件,进行了留矿柱和不留矿柱两种回采方案的数值仿真分析,揭示了沿矿体走向留盘区间柱的两步回采和不留盘区间柱的大面积连续回采两种开采方案的采场地压显现规律,优化采矿工艺与回采顺序,实现了对大面积采场地压的优化控制。

其次,建立矿区采场围岩和地表岩移全方位变形监测体系,研究开发了变形信息管理与采场稳定性和岩移预测预报系统,实现了对深部大面积连续开采过程的围岩变形和岩层移动的实时监控和灾变预报。

最后,开展了受采动影响的重要竖井工程的稳定性研究灾变失稳风险分析,提出了竖井工程稳定性控制措施,为竖井工程的安全运行奠定了基础。

本书发展了三维数值模型在采矿过程的仿真分析方法,首次采用光纤光栅传感变形监测技术进行采场围岩的变形监测,探索出矿山采场围岩和充填体的变形监测新技术。基于 GPS 监测技术建立了全矿区岩移监测体系,开发了监测信息的数据管理、分析和预测系统。特别是基于监测信息和模式识别理论建立的等效数值模型,不仅提高了深部大面积采场稳定性分析和风险预测的可靠性,而且也为深部矿床的大面积采场地压优化控制提供了技术支撑。

本书所介绍的研究内容以及所获得的研究成果,为深部矿床开采提供了支撑理论,同时也为无间柱大面积安全高效开采提供了技术保障。主要研究成果是对金川矿山几十年来采矿生产经验的系统总结,同时还引用金川镍矿近年来与研究单位合作开展的采矿技术攻关成果。本书参考和引用了金川镍矿的研究报告和学术论文,在此向有关研究单位和作者表示衷心的感谢。

限于作者的知识水平,书中难免有不当之处,请读者不吝指正。

目 录

《特大型镍矿充填法开采技术著作丛书》序一

《特大型镍矿充填法开采技术著作丛书》序二

《特大型镍矿充填法开采技术著作丛书》序三

《特大型镍矿充填法开采技术著作丛书》编者的话

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 二矿区简介与开采现状	1
1.2 二矿区一期资源开发研究与进展	2
1.2.1 技术储备阶段开展的科学研究	3
1.2.2 理论探索与采矿实践阶段研究	4
1.2.3 一期工程研究成果和重要贡献	8
1.3 二期连续开采面临挑战与技术攻关	9
1.3.1 二矿区深部开采面临问题与抉择	9
1.3.2 二期工程连续开采灾变失稳风险	10
1.3.3 二期工程技术攻关与研究成果	12
1.4 二矿区连续开采支撑理论与关键技术	18
1.4.1 概述	18
1.4.2 金川镍矿资源开发采矿技术条件	19
1.4.3 二矿区深部采矿技术难题与成功经验	20
1.4.4 二矿区深部连续开采的技术攻关	22
1.4.5 金川镍矿深部连续开采的关键技术	24
1.5 本章小结	25
第 2 章 矿山工程地质深化研究与综合分析	26
2.1 矿山工程地质条件概述	26
2.1.1 工程地质条件复杂多变性	26
2.1.2 矿床开采的工程地质问题	27
2.2 矿山工程地质研究与进展	28
2.2.1 矿山岩体结构效应与岩体分类	28
2.2.2 矿山结构岩体力学特性	28
2.2.3 金川岩石力学试验成果	32
2.2.4 金川岩体力学与变形参数估计	33
2.2.5 金川岩体结构面的力学特性	35
2.2.6 矿区地应力测试与变化规律	36

2.3 矿区深部地应力分布规律回归分析	39
2.3.1 深部矿岩地应力随深度的变化规律	39
2.3.2 深部两个水平主应力之比随深度的变化规律	41
2.3.3 深部原岩平均侧压系数 k 随深度的变化规律	41
2.3.4 不同岩性和矿区位置地应力分布规律	43
2.4 本章小结	47
第3章 二期工程 1000m 中段开采效应与方案对比	48
3.1 二矿区 1# 矿体回采方案数值仿真分析	49
3.1.1 两种回采方案简介	49
3.1.2 回采方案数值模型	50
3.1.3 同时回采分段、转段的时空关系与数值模拟	51
3.2 1000m 中段连续开采方案回采水平矿柱分析	52
3.2.1 水平矿柱逐段回采 15 行剖面上的开采效应	52
3.2.2 水平矿柱双分段同时回采 998m 水平剖面的开采效应	59
3.3 留间柱两步开采方案 1000m 中段水平矿柱回采分析	74
3.3.1 水平矿柱逐步分段变薄过程中 15 行线剖面开采效应	74
3.3.2 水平矿柱逐步分段开采过程 998m 水平剖面的开采效应	81
3.4 两种回采方案双中段同时开采对比分析与综合比较	97
3.4.1 两种回采方案的 15 行剖面开采效应对比分析	98
3.4.2 两种回采方案的 998m 水平剖面开采效应对比分析	102
3.4.3 水平矿柱厚度对采场应力和位移的影响	103
3.4.4 水平矿柱 Z 方向位移沿倾向变化规律	106
3.4.5 998m 水平剖面塑性破坏区分布对比分析	107
3.5 本章小结	109
第4章 二期工程 850m 中段开采方案对比分析	110
4.1 918m 分段开采效应分析	110
4.1.1 垂直剖面的开采效应	110
4.1.2 水平剖面的开采效应	118
4.2 898m 分段开采效应分析	130
4.2.1 垂直剖面的开采效应	130
4.2.2 水平剖面的开采效应	138
4.3 858m 分段开采效应分析	150
4.3.1 垂直剖面的开采效应	150
4.3.2 水平剖面的开采效应	158
4.4 二矿区 850m 中段两步回采模式分析	169
4.4.1 一步矿房回采后矿柱位移	169
4.4.2 二步矿柱回收采场效应分析	171
4.5 二矿区 850m 中段两种开采模式开采效应综合分析	175

4.5.1 850m 中段不同采矿模式在水平剖面的开采效应	175
4.5.2 850m 中段不同采矿模式在垂直剖面的开采效应	181
4.5.3 最小主应力与收敛位移沿矿体走向的变化规律	185
4.6 本章小结	188
第 5 章 矿区地表变形 GPS 监测技术与岩层移动规律	190
5.1 概述	190
5.2 地表变形 GPS 监测点布设与施测	192
5.2.1 地表岩移测区概况	192
5.2.2 GPS 岩移监测网点布设及施测	193
5.3 地表变形 GPS 监测结果与特征分析	196
5.3.1 二矿区 GPS 监测位移特征分析	196
5.3.2 龙首矿 GPS 监测位移特征分析	209
5.3.3 全矿区地表控制网测点的位移特征	219
5.3.4 全矿区地表岩移规律与变形特征	226
5.4 本章小结	262
第 6 章 采场围岩变形光纤光栅传感监测技术与应用	266
6.1 竖井变形光纤传感监测技术	266
6.1.1 光纤传感变形监测技术简介	266
6.1.2 布里渊 OTDR 监测技术简介	267
6.1.3 光纤光栅 FBG 传感监测技术	269
6.1.4 光纤传感器类型与优缺点	271
6.1.5 本节小结	273
6.2 基于梁弯曲变形监测的光纤传感技术试验研究	274
6.2.1 第一次试验研究	274
6.2.2 第二次试验研究	278
6.2.3 本节小结	284
6.3 光纤传感变形监测技术在竖井工程变形监测中的应用	284
6.3.1 主副井变形光纤光栅传感器监测方案设计	284
6.3.2 三矿主井变形光纤光栅监测方案实施过程	289
6.3.3 FBG 传感器现场初次测试结果	294
6.3.4 本节小结	298
6.4 光纤传感监测技术在破碎站硐室变形监测中的应用	298
6.4.1 分布光纤监测设计与实施情况	298
6.4.2 FBG 传感监测技术在破碎站硐室的变形监测	302
6.4.3 现场实施过程	305
6.5 分布式光纤在二矿区 14 行风井围岩变形监测中的应用	305
6.5.1 二矿区 14 行风井注浆钻孔光纤监测设计	305
6.5.2 光纤钻孔埋设现场实施	306

6.5.3	二矿区 14 行风井监测钻孔测试	311
6.5.4	本节小结	312
6.6	分布式光纤在采场围岩与充填体变形监测中的应用	312
6.6.1	连接 14 行风井水平巷道围岩变形监测方案设计	313
6.6.2	光纤埋设的实施过程	320
6.6.3	本节小结	323
6.7	本章小结	323
第 7 章	矿区地表岩移信息管理与分析系统开发及应用	325
7.1	地表岩移信息管理及分析系统	325
7.1.1	概述	325
7.1.2	系统总体设计	325
7.1.3	数据库的构建	329
7.1.4	数据库管理功能	330
7.1.5	岩移分析功能的实现	335
7.1.6	岩移信息管理系统	337
7.2	充填法采矿岩移机理与岩移速率分析	344
7.2.1	构造应力场对金属矿山岩层移动影响	344
7.2.2	采动影响下金川矿山岩层移动机理分析	350
7.2.3	采动影响下金川矿山岩层沉降机理分析	351
7.2.4	二矿区 GPS 监测地表岩移速率分析	353
7.2.5	地表岩移速率折返点分析	355
7.2.6	陡倾矿体开采地表岩移速率的空间分布	357
7.3	等效数值模型建立与深部采矿岩移预测	358
7.3.1	二矿区充填法开采情况简介	358
7.3.2	基于正交数值试验建立等效数值模型	360
7.3.3	基于遗传算法的等效岩体参数识别	371
7.3.4	优化参数的可靠性检验	373
7.3.5	二矿区多中段连续开采地表岩移预测	375
7.4	基于等效数值模型双中段开采分析与风险评价	377
7.4.1	二矿区 1 [#] 矿体双中段开采模拟	377
7.4.2	双中段开采采场稳定性分析	377
7.5	本章小结	383
第 8 章	大面积采场围岩变形信息管理与安全分析	384
8.1	系统总体设计	384
8.1.1	系统可利用信息	384
8.1.2	系统主要功能	384
8.1.3	系统开发技术	385
8.1.4	系统总体框架图	386

8.2 系统详细设计	386
8.2.1 数据库设计	386
8.2.2 系统功能设计	387
8.3 信息管理系统的实现	389
8.3.1 数据库功能	389
8.3.2 系统功能	391
8.3.3 系统管理	393
8.3.4 数据管理	393
8.3.5 数据处理	395
8.3.6 三维显示	398
8.3.7 安全预测	399
8.4 地表岩移预测网络设计与实现	401
8.4.1 Elman 神经网络简介	401
8.4.2 地表岩移预测网络设计	403
8.4.3 地表岩移预测系统的实现	405
8.5 地表岩移预测系统测试	410
8.5.1 各行线地表岩移预测结果测试	413
8.5.2 地表岩移预测结果测试	416
8.5.3 地表岩移预测系统可靠性测试	419
8.6 本章小结	419
第9章 矿山竖井工程变形机理与稳定性控制	420
9.1 竖井工程变形破坏机理及影响因素	420
9.1.1 竖井工程稳定性调查与分析	420
9.1.2 竖井围岩变形破坏机制	424
9.1.3 金川竖井工程稳定性影响因素	425
9.2 二矿区 14 行风井破坏机理分析	427
9.2.1 井筒工程地质及水文地质特征	427
9.2.2 回风井破坏过程的数值仿真分析	428
9.2.3 采动影响下竖井破坏机理	436
9.3 二矿区 14 行风井返修支护方案数值分析	442
9.3.1 矿区竖井稳定状况	442
9.3.2 14 行风井返修支护方案	443
9.3.3 喷锚网支护作用分析	443
9.3.4 14 行风井返修方案数值分析	446
9.3.5 支护效果评价	451
9.3.6 深部开采对 14 行风井稳定性影响	451
9.4 深部开采对西主井稳定性影响分析	456
9.4.1 概述	456

9.4.2 西主井工程地质和水文地质条件	457
9.4.3 二矿区西主井数值分析模型	458
9.4.4 二矿区西主井数值分析结果	459
9.4.5 西主井稳定性分析和安全评价	467
9.4.6 本节小结	469
9.5 本章小结	470
第 10 章 结束语	472
参考文献	473

第 1 章 绪 论

1.1 二矿区简介与开采现状

金川镍矿是 1958 年由甘肃省煤田地质勘探公司一四五队在甘肃省永昌县宁远堡白家嘴子地区的地质普查中发现。1959 年 1 月由甘肃省地质局祁连山地质队(后更名为甘肃省地质六队)开始勘探,至 1973 年勘探完毕。4 个矿区共探明矿石储量 51 910.8 万 t,含镍 549.4 万 t,铜 343.1 万 t。此外,矿石还伴生有钴、铂、钯、金、银、钼、铀、钨、锡、锑、碲、硫、铬、铁、镓、锗、铟等稀有元素。其中可回收利用的元素有 14 种。镍和铂族金属储量分别占全国储量的 70%和 80%左右。铜、钴金属储量仅次于江西德兴铜矿和四川攀枝花矿区,居全国第二位。

金川硫化铜镍矿区位于甘肃河西走廊中部,龙首山北麓,巴丹吉林沙漠南缘的金昌市,永昌—河西堡—雅布赖公路穿过矿区,在永昌与 312 国道相接。矿区距兰新铁路金昌站(河西堡站)20km,有专用铁路支线与兰新线接轨。矿区东西长 6.5km,宽不足 1km,包括金川硫化铜镍矿床被成矿后期活动切割成 4 个相对独立的含矿超基性岩段以及与该含基性岩有成因关系的各类矿体的分布地区。按勘探先后,4 个含矿超基性岩段的分布被分别称为 I、II、III 和 IV 共 4 个矿区,矿区的位置分布如图 1.1 所示。

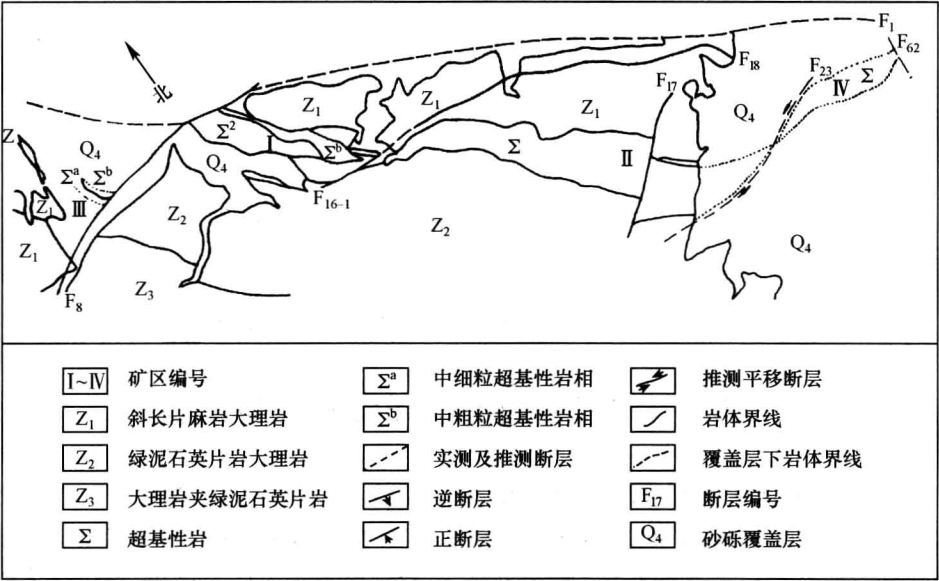


图 1.1 金川硫化铜镍矿床地质略图

二矿区是目前正在开采 II 矿段的大型地下矿山。二矿区开采的主矿体有 1# 和 2# 两

个,占二矿区总储量的 99.31%。1# 矿体为二矿区的最大矿体,以富矿为主,占全区总储量的 76.45%。目前主要开采 1# 矿体,是金川集团公司的主要原材料供应基地。二矿区建设分一期和二期工程(包括二期改扩建工程)开发建设。一期工程设计生产能力年产矿石 99 万 t,始建于 1974 年,1982 年投产,1994 年结束。二期工程 1987 年开始建设,1995 年开始投产,设计生产能力 264 万 t/a,后经过改扩建将设计生产能力提高到 297 万 t/a。

二矿区一期工程开采 1250m 中段以上的富矿体,二期工程开采 1250m 以下矿体,采用 1150m 和 1000m 两个中段同时开采。2010 年底 1150m 中段开采结束,转入 850m 中段进入深部开采,此时形成 1000m 和 850m 两中段开采。850m 中段矿体埋深接近千米(地表平均标高 1750m)。因此,从 2011 年起,二矿区开始进入深部开采(600~1500m)阶段。图 1.2 为二矿区 1# 矿体一期和二期工程及深部开采范围的示意图。

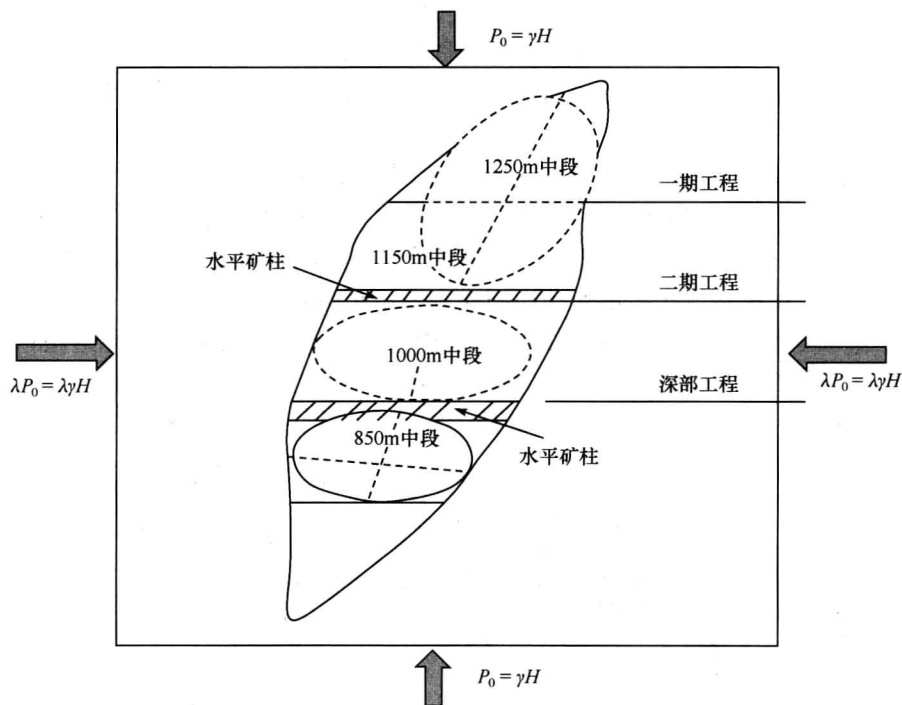


图 1.2 二矿区一、二期工程及深部开采矿体示意图

1.2 二矿区一期资源开发研究与进展

金川矿床是世界上少有的矿石储量大、矿石品位高以及矿岩不稳固的大型硫化铜镍矿床。矿区地应力高、埋藏深和矿岩破碎,开采难度之大在国内外也并不多见。矿床在采矿过程中面临岩层移动、井筒垮塌、掘支困难、围岩变形等诸多技术难题,不仅给采矿生产带来严重困难,而且还使采矿方法和回采方式面临艰难抉择。因此,自建矿以来,金川镍矿资源的开发利用受到国内外采矿界的高度关注,也备受国家领导和科技部重视,1978 年被列为国家三大资源综合利用基地之一。