

|| 特大型镍矿充填法开采技术著作丛书 ||

Ni

特大型镍矿充填法开采理论与关键技术

陈得信 蔡美峰 王永前 / 著
高 谦 姚维信



科学出版社

特大型镍矿充填法开采技术著作丛书

特大型镍矿充填法开采 理论与关键技术

陈得信 蔡美峰 王永前 高 谦 姚维信 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》的第十一册,全面介绍金川特大型镍矿深部矿床多中段安全高效开采理论与关键技术。

本书以金川大型复杂难采矿床开采为工程实例,介绍了高应力条件下分层卸荷开采理论与采矿工艺技术、水平矿柱开采技术与回采工艺、高压头低倍线高浓度料浆管道输送阶梯增阻降压技术以及光纤光栅三维变形监测和灾变风险预测技术。

本书可供采矿、地质、水电和土木工程等领域从事采矿设计、生产实践、科学研究的科研人员,以及从事采矿教学的大专院校和科研院所的教师和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

特大型镍矿充填法开采理论与关键技术/陈得信等著. —北京:科学出版社,2014.6

(特大型镍矿充填法开采技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-041170-9

I. ①特… II. ①陈… III. ①镍矿床-金属矿开采-充填法-研究
IV. ①TD864

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 128286 号

责任编辑:谷 宾 周 炜 / 责任校对:钟 洋

责任印制:肖 兴 / 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>

北京源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2014 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014 年 6 月第一次印刷 印张:19 3/4

字数:394 380

定价:105.00 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	高创州	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	武拴军	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	赵迎州	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,对有色工业和国防工程起到举足轻重的作用。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无可争议的发展方向。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,有当时方毅副总理亲自主持的金川资源综合利用基地建设的指引,金川公司历届领导都非常重视科技攻关工作,长期与国内高校和科研院所合作,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,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

金川镍矿是我国最大的有色金属矿床,也是世界上不多见的特大型硫化铜镍矿床之一。矿床以埋藏深、地应力高、矿体厚大和围岩破碎不稳固等不利采矿技术条件著称于国内外,给矿床开采设计与采矿生产带来巨大的困难和安全隐患。随着开采深度的增加,地压随之加大,充填系统压力增大和倍线减小,多中段作业衔接难度加大以及开采条件趋复杂多变,由此导致深部矿床开采困难更大。为此,作为“十一五”国家科技支撑计划项目,长沙矿山研究院和北京科技大学与金川集团股份有限公司合作,共同开展了特大型矿床深部开采综合技术研究。本书是对该研究成果的全面总结,内容涉及高应力条件下卸荷开采技术、深部多中段作业衔接开采工艺、大范围充填体强度特性、深部高浓度尾砂充填工艺技术、高压头低倍线充填管路输送技术,以及大面积开采地压及灾变控制技术 6 个方面。

首先,通过对矿山工程地质、开采现状和前期研究成果的调查分析,采用理论分析、数值模拟、地压监测等集成技术和工业试验等综合手段,研究开发了特大型深部矿床开采的综合配套工艺技术,实现了大规模、低成本和安全高效开采,建成了盘区生产能力达到 1000t/d 的示范工程,并在金川二矿区深部开采得到推广应用。然后,在多中段矿柱水平工程地质调查的基础上,采用综合研究手段,开展了复杂难采特大型水平矿柱卸压开采理论研究,开发了相应的工艺技术,并得到了现场工业试验的验证,实现了复杂难采特大型水平矿柱的安全、经济和高效开采。其次,通过分析深部矿岩地质情况,调查采掘工程及回采工艺,结合数值模拟,建立了深部开采充填体与采矿工艺相匹配的力学模型,提出了满足不同采矿工艺条件下安全合理的充填体强度指标,开展了充填体强度随开采过程的变形监测,由此指导充填料的制备和输送。在此基础上,通过充填材料配比试验、充填料浆流变参数测试以及充填系统的工艺优化,使得膏体泵送充填系统实现制备输送能力达到 80m³/h,膏体浓度提高了 76%~80%,年充填能力达到 20 万 m³,为二矿区实现安全高效开采提供了技术保障。与此同时,在开展充填管路调压理论与管道压力计算研究的基础上,开发了高压头充填管路增阻圈调压装置与充填管路优化布置技术,在二矿区 978m 水平进路的高压头充填管道调压输送工业试验获得成功。最后,开展了大面积连续开采灾变预测预报与地压技术研究,揭示了大型难采矿床地压显现规律,提出了灾害防控技术及灾变预测预报理论和方法,实现了二矿区难采矿床的安全、经济和高效开采,为国内外大型难采矿床开采地压灾变控制奠定了基础。

大型复杂难采矿床的安全高效开采理论与技术研究属于世界性难题。针对金川镍矿开展此类研究并获得了丰富的研究成果,尤其在高应力卸压开采、多中段作业衔接开采、高浓度和低倍线尾砂充填、高压头低倍线充填管路输送,以及大面积开采地压监测等理论

和技术方面取得了创新性成果。但由于矿山开采技术条件的复杂多变性,本书所介绍的研究成果有待于进一步在生产实践中加以检验和深化研究。在编著本书过程中参考和引用了金川镍矿的研究报告和学术论文(在书中不再一一标注),在此对有关研究单位和作者表示衷心的感谢。限于著者的知识水平,书中难免有不当之处,请读者不吝指正。

著 者

2013 年 10 月于甘肃金昌

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 引言	1
1.2 矿床地质与开采技术条件	2
1.2.1 地质概况	2
1.2.2 矿区地质	4
1.2.3 矿体地质特征	9
1.2.4 矿石结构构造	10
1.2.5 矿区原岩应力	11
1.2.6 开采技术条件	12
1.2.7 矿区水文地质	13
1.3 本章小结	14
第2章 深井高应力卸荷开采理论	15
2.1 高应力条件下开采方法选择	15
2.1.1 开采技术现状调查分析	15
2.1.2 开采现状及发展趋势	16
2.1.3 卸荷开采方案选择	18
2.2 卸荷开采过程的数值模拟	25
2.2.1 计算模型和计算方案	25
2.2.2 矿区初始地应力条件	32
2.2.3 力学模型	33
2.2.4 计算结果与分析	34
2.3 本章小结	54
第3章 高应力采场卸荷充填回采工艺试验	55
3.1 进路高效回采爆破工艺试验	55
3.1.1 国内外掏槽爆破技术现状	55
3.1.2 进路开采掏槽爆破方案	57
3.1.3 进路开采掏槽爆破工艺试验	59

3.2 分层卸荷盘区进路充填采矿工业试验	63
3.2.1 分层卸荷开采工程布置	64
3.2.2 分层卸荷进路充填采矿回采工艺	64
3.2.3 多期进路回采凿岩爆破参数	65
3.2.4 二、三期进路开采控制爆破技术	67
3.2.5 分层卸荷开采顺序	69
3.2.6 分层卸荷开采盘区采场通风方式	70
3.2.7 分层卸荷开采主要设备配置优化	72
3.2.8 卸荷开采巷道及回采进路支护	74
3.2.9 分层卸荷开采充填工艺	75
3.2.10 主要技术经济指标和经济效益	77
3.3 本章小结	79
第4章 高应力卸荷开采地压与爆破震动监测	80
4.1 引言	80
4.2 分层卸荷开采应力监测	81
4.2.1 钻孔应力计工作原理及结构特点	81
4.2.2 钻孔应力计安装及使用	82
4.2.3 应力监测数据分析	83
4.3 巷道变形收敛监测	94
4.3.1 收敛监测仪构造	94
4.3.2 观测点布置及收敛观测	95
4.3.3 监测数据分析	96
4.3.4 回采矿柱的巷道收敛观测	101
4.4 分层卸荷开采声发射监测	102
4.4.1 声发射监测仪器特点及使用方法	103
4.4.2 应用方法及步骤	105
4.4.3 声发射监测数据	105
4.4.4 声发射监测数据分析	107
4.5 分层卸荷进路回采爆破地震监测	108
4.5.1 测震方案确定	108
4.5.2 测试方法	108
4.5.3 现场实测数据	109
4.5.4 测震结果分析	116
4.5.5 爆破减震方法	117
4.6 本章小结	117
第5章 深部多中段衔接及水平矿柱开采技术	119
5.1 深部多中段矿柱现状调查	119

5.1.1 水平矿柱工程地质调查	119
5.1.2 垂直矿柱的工程地质调查	123
5.1.3 多中段开采水平矿柱现状	124
5.1.4 小结	125
5.2 水平矿柱开采方案及数值模拟	125
5.2.1 深部多中段水平矿柱开采方案	125
5.2.2 水平矿柱开采稳定性分析	126
5.2.3 实际计算模型和计算方案	127
5.2.4 数值计算结果及分析	128
5.2.5 多中段作业矿柱开采采场围压变化分析	138
5.3 水平矿柱回采工艺方案	154
5.3.1 水平矿柱回采工艺	154
5.3.2 超前回采 2/5 水平矿柱	156
5.3.3 盘区卸压双穿脉分层道回采水平矿柱	156
5.4 本章小结	158
第 6 章 深部开采大范围充填体强度特性研究	160
6.1 引言	160
6.2 采场上覆充填体特性	160
6.3 深部充填体强度影响因素	163
6.4 深部充填体强度合理确定	166
6.5 下向进路胶结充填体强度确定	170
6.6 充填体稳定性数值模拟	174
6.7 本章小结	183
第 7 章 深部高浓度尾砂充填工艺技术试验研究	185
7.1 引言	185
7.1.1 主要研究内容	185
7.1.2 主要研究成果	186
7.1.3 主要技术指标	187
7.2 充填材料试验研究	187
7.2.1 充填物料基本物化参数测定	187
7.2.2 尾砂沉降性能测定	190
7.2.3 充填料浆坍落度测定	192
7.2.4 充填配比强度试验	197
7.2.5 小结	200
7.3 充填料浆输送性能研究	202
7.3.1 充填料浆流变参数测定	202
7.3.2 充填料浆输送阻力分析	206

7.3.3 充填倍线分析计算	216
7.3.4 小结	222
7.4 充填料浆制备及充填系统研究	223
7.4.1 高浓度自流输送系统	223
7.4.2 膏体泵送充填系统工艺及优化	225
7.5 充填工业试验	228
7.5.1 高浓度自流输送系统工业试验	228
7.5.2 膏体泵送充填系统工业试验	231
7.6 本章小结	232
第8章 高压头低倍线充填管道输送技术	234
8.1 引言	234
8.1.1 试验研究内容	234
8.1.2 试验研究成果	235
8.2 充填管道调压原理	236
8.2.1 充填管道压力计算	236
8.2.2 影响充填管道压力因素分析	236
8.2.3 充填管道调压方法	237
8.3 高压头充填管道压力分析计算	239
8.3.1 二矿区现有充填管网布置	239
8.3.2 充填料浆流变参数	245
8.3.3 不同布置形式管道压力分布	246
8.4 高压头充填管道调压装置研究	256
8.4.1 增阻圈的作用原理分析	256
8.4.2 增阻圈结构及布置形式	257
8.4.3 加设增阻圈后管道压力分布	257
8.4.4 增阻圈布置原则	258
8.5 充填管道布置优化研究	260
8.5.1 充填钻孔布置优化	260
8.5.2 水平管道布置优化	262
8.5.3 柔性接头及导水阀的应用	263
8.6 高压头充填管道调压输送工业试验	265
8.7 本章小结	267
第9章 二矿区大面积开采地压及灾变控制技术	269
9.1 引言	269
9.1.1 研究内容与技术路线	269
9.1.2 大面积开采灾变控制关键技术	270
9.2 二矿区14行风井围岩变形监测	272

9.2.1 现场安装光纤钻孔与数量	273
9.2.2 光纤与锚固钢丝绳头的固定	274
9.2.3 锚固钢丝绳下放过程	274
9.2.4 光纤随锚索下放过程	275
9.2.5 孔口光纤的保护	275
9.2.6 孔灌浆情况	276
9.2.7 钻孔光纤和光缆的熔接	276
9.2.8 二矿区 14 行风井钻孔光纤组网	278
9.2.9 光纤传感器在风机控制室线头的保护	278
9.2.10 监测钻孔测试与结果	279
9.3 二矿区采场围岩与充填体变形监测	280
9.3.1 连接风井水平巷道围岩变形监测设计	281
9.3.2 光纤埋设的实施过程	286
9.4 本章小结	289
参考文献	291

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

金川镍矿是世界著名的多金属共生的大型硫化铜镍矿床之一,发现于 1958 年。矿床集中分布在龙首山下长 6.5km、宽不足 1km 的范围内,已探明矿石储量约为 5.2 亿 t,镍金属储量约为 550 万 t,列世界同类矿床第三位;铜金属量约为 343 万 t,居全国第二位;伴生钴、铂族等 17 种元素,现可回收利用的有 14 种。

金川集团有限公司(简称金川公司)是我国最大的有色金属采、选、冶联合企业,是国内最大的镍钴生产和铂族金属提炼中心,生产镍、铜、钴、稀有贵金属、硫酸等化工产品和相应系列深加工及盐类产品,主要金属产量在全国的占比为:镍 90%以上,钴 70%以上,铂族金属 90%以上。1983 年公司镍产量首次突破万吨大关,1984 年突破 1.5 万 t,1985 年达到 2 万 t,实现了金川公司的第一次腾飞。1995 年,金川公司达到了 4 万 t 镍、2 万 t 铜以及相应的钴、贵金属和 40 万 t 硫酸的产能,实现了第二次腾飞。进入 21 世纪以来,金川公司放眼全球,大胆改革,锐意进取,按照走新型工业化道路的要求,依靠科技进步,立足全球发展,实施国际化经营,经济总量迅速壮大,经济增长的同时质量也显著提高,成为一业为主,相关产业共同发展的大型企业集团,步入了快速发展的新阶段。2009 年营业收入突破 700 亿元大关。2010 年有色金属产品总量突破 50 万 t,营业收入突破 900 亿元大关。

50 年来,金川公司累计产镍 137.4 万 t,铜 190.1 万 t,钴 4.2 万 t,铂族贵金属 26.3t,累计实现营业收入 2745 亿元、利税总额 477 亿元,是国家投资的 11 倍。目前,公司已具有年产镍 15 万 t、铜 40 万 t、钴 1 万 t、无机化工产品 250 万 t 的综合生产能力。镍产量居世界第四位,钴产量居世界第二位,国际地位和竞争力显著提升,已经成为世界同类企业中生产规模大、产品种类多、产品质量优良的知名企业。

二矿区是金川公司的主要生产矿山之一,目前主要开采 1[#] 矿体,年产矿石量稳定在 400 万 t 以上,是我国目前机械化程度最高的下向进路充填采矿法矿山。目前的主要生产中段是 1150m、1000m 和 850m 中段,开采深度达千米,开拓深度已达 1165.5m,属世界公认的深部开采矿山。随着开采深度加深,呈现高应力条件下矿岩碎胀蠕变明显、渗水压力大等现象,采矿作业环境更加复杂恶劣,面临着地热、岩爆、通风、充填等一系列问题,制约了企业的长期稳定发展。目前,我国很多大型矿山已逐渐进入深部开采,将面临同样的开采难题,为此,金川矿山与长沙矿山研究院和北京科技大学联合开展了特大型矿床深部开采综合技术研究。研究内容包括通深井高应力卸荷开采技术、深部多中段衔接及水平矿柱开采技术、深部开采大范围充填体强度特性、深部高浓度尾砂充填工艺与技术、高压头低倍线充填管道输送技术,以及大面积开采采场地压及灾变控制技术等 6 个专题。通

过该研究形成了金川矿床深部复杂条件下高效大规模成套开采技术,不仅解决金川矿山大型矿床的安全高效充填法开采的技术难题,同时也为我国类似深部矿床开采提供借鉴与参考。

1.2 矿床地质与开采技术条件

1.2.1 地质概况

金川公司镍矿区位于甘肃省河西走廊中部金昌市区,矿区坐落在市区以南的龙首山中东端北麓、阿拉善台地南缘,与市区连成一片。矿区铁路专线与兰—新铁路金昌站接轨,距省城兰州 372km。永昌—(河西堡)—雅布赖公路从矿区通过,向南 48km 于永昌县城与 312 国道相接。同周边市县形成公路网,四通八达,交通十分方便。

矿区中心地理坐标:东经 $102^{\circ}13'$,北纬 $38^{\circ}30'$ 。矿区北面为戈壁滩,地势西南高,东北低。市区平均海拔 1563m,矿山海拔 1700~1830m。矿区干旱,属大陆性气候,春季多风,一般 5~6 级,夏季酷热短促,仅一两个月,冬季寒冷漫长,达 5 个月,终年雨雪较少,蒸发量大于降水量,全年降水量 120~160mm,多集中在 6~8 月。据金昌市新近的气象资料统计,年平均最高气温 15.4°C ,年平均最低气温 3.9°C ,极端最高气温 39.5°C ,极端最低气温 -23.3°C 。年平均降水量 139.8mm,一日最大降水量 129.5mm,年最大降水量 282.16mm,年平均蒸发量 2837.4mm。

矿区处于阿拉善台块的南部边缘隆起区,北部为阿拉善台块内部区,南部为北祁连山加里东地槽边缘过渡拗陷带。矿区总体上属于阿拉善台块的边缘部分,具有地台区的主要地质特征。但北祁连山褶皱区强大的构造对矿区产生了巨大影响,其突出的表现是深断裂的存在和火成岩的多次侵入活动等。这些复合的地质构造作用促使本区成为内生矿作用的有利地区。

金川镍矿床赋存于中朝地台阿拉善地块西南边缘龙首山隆起的超镁铁岩侵入岩石中。南邻早古生代北祁连褶皱带,以龙首山南侧深断裂与祁连山地槽的走廊过渡带毗邻;北依晚古生代准噶尔褶皱带,以龙首山北侧深断裂 F_1 与阿拉善隆起区内部的潮水断陷相接。

金川矿区位于龙首山东段北东侧,主要出露地层为下元古界白家嘴子组的蛇纹石化白云质大理岩、黑云母片麻岩及云母石英片岩和条痕混合岩等深变质岩,这些露出地层构成了金川镍矿床的基底,地层总走向 $N35^{\circ}W$,倾向 SW,倾角 $40^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。矿区与整个龙首山一样经历了自吕梁运动以来的历次地质构造运动,留下了以断裂为主的构造形迹,大小断裂纵横交错,十分发育,主要由 NWW-NW 和 EW 向构造交织而成。矿区东北侧的大断裂 F_1 与地层走向大体一致,倾向南西,倾角 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$,长 200 多千米,断裂带宽十几米至几十米,是潮水盆地与龙首山区的分界。矿区内与其平行的断层较多,如 F_{16} 、 F_5 、 F_3 等;与 F_1 斜交的断层有 F_8 、 F_{16-1} 等断层,与 F_1 正交且规模较大的断层有 F_{17} 。矿区小断层和层间挤压带及节理也十分发育,矿区地质构造概况如图 1.1 所示。