

特大型镍矿开采方案与 回采工艺

刘育明 高建科 王怀勇 / 著
束国才 王贤来 王五松



科学出版社

特大型镍矿充填法开采技术著作丛书

特大型镍矿开采方案与 回采工艺

刘育明 高建科 王怀勇 束国才 王贤来 王五松 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》的第二册,主要介绍金川大型镍矿的矿床开采方案与回采工艺的研究成果。

金川大型镍矿矿床采矿技术条件极为复杂,给采矿设计带来很大困难。金川矿床在开采设计和生产实践中,开展了大量的研究和采矿技术攻关。本书首先介绍金川镍矿资源与矿床赋存条件,简要概述三个矿山矿床开拓与主要工程;其次分别介绍龙首矿、二矿区和三矿区的采矿方法发展与演化;最后介绍金川深部矿体开采规划与关键技术及矿山充填工艺与充填系统。

本书可供采矿和地质等领域从事地质勘探、采矿设计等工作的生产和科研人员使用,也可供大专院校相关专业的教师和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

特大型镍矿开采方案与回采工艺/刘育明等著. —北京:科学出版社,2014

(特大型镍矿充填法开采技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-041494-6

I. ①特… II. ①刘… III. ①超大型矿床-镍矿床-金属矿开采②超大型矿床-镍矿床-回采工艺 IV. ①TD864

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 174071 号

责任编辑:周 炜 / 责任校对:桂伟利

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 10 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014 年 10 月第一次印刷 印张:31 3/4

字数:720 000

定价:180.00 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”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。试验成功的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的宝贵经验总结,凝结了矿山工程技术人员的聪明智慧,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,特别是为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、生产集中化和科学化的进程,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 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矿床之一。金川镍矿矿床具有埋藏深、地应力高、矿体厚大和围岩破碎不稳固等特点,由此也给矿床的开采设计和回采生产带来诸多问题。

针对金川镍矿复杂的采矿技术条件,自矿山开发建设以来,围绕着矿山的开采方案和回采工艺开展了大量工程地质和岩石力学研究。对矿山采矿技术条件的研究和工程实践,使其逐步得到了发展与演变。不断调整回采方案和结构参数使得矿山的采矿方法能够适应于金川矿床的工程地质条件。

矿床开采设计是一项艰巨而又十分困难的研究工作。矿床采矿方法与回采工艺不仅要适应矿床采矿技术条件,而且还要考虑矿山生产能力及作业环境和安全生产。对于埋藏深、地应力高、矿岩不稳固的厚大的金川矿床开采设计,采场地压控制和安全生产是采矿设计的主要影响因素,而充填采矿法为首选。但如何提高充填法采矿的生产能力,在采矿模式和回采方案上一直存在分歧。尤其对于多中段留盘区间柱两步骤回采和不留矿柱的连续回采,是矿山开采设计所面临的艰难抉择,其问题的核心是采矿方法与回采工艺对地压的控制以及采矿安全生产。为此,金川镍矿针对采矿方法和回采工艺,开展了大量的理论研究和工业试验,并根据研究成果进行生产实践。因此,金川镍矿采矿方法的发展和演化都与采矿技术攻关与生产实践密切相关。实践是检验真理的唯一标准。通过大量的采矿技术攻关和工程实践,最终探索出适用于金川矿床开采条件的机械化下向分层胶结充填采矿方法,并衍生六角形进路回采和双穿脉道回采方案。该种采矿方法不仅提高了矿山生产能力,使矿石产量以每年 10% 的速度递增,而且还能有效控制采场地压,实现矿山安全生产,成功地实现了二期工程的无矿柱大面积连续开采。更值得关注的是,正是采用变革的采矿方法,完成了对水平矿柱和垂直矿柱的全面回采,避免宝贵资源的永久丢失。不仅是提升矿山生产能力的重要组成部分,而且也为企业可持续发展作出了巨大贡献。本书是对建矿 30 年来金川镍矿采矿设计的发展与演化过程的全面分析和系统总结,全面而详细地介绍金川镍矿采矿方法与回采工艺的理论研究、技术发展、生产实践和工程经验。

限于作者水平,书中难免有疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

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 金川镍矿资源简述	1
1.2 采矿方案与回采工艺的发展与演化	2
1.2.1 金川镍矿开发与建设与生产规模	2
1.2.2 金川镍矿采矿技术条件与特征	3
1.2.3 采矿方案与回采工艺	4
1.3 金川镍矿不同开采方案的争论	7
1.4 金川二矿区开采设计技术难题	8
1.5 本章小结	11
第2章 金川矿床地质环境和特征	12
2.1 金川矿床地质环境	12
2.1.1 区域主要构造位置	12
2.1.2 沉积建造	12
2.1.3 岩浆岩	13
2.1.4 成岩成矿构造背景	13
2.2 金川矿床地质特征	14
2.2.1 含矿岩体规模、形态与产状	14
2.2.2 含矿岩体的主要矿物成分及岩相划分	17
2.2.3 矿床类型与矿体划分	22
2.2.4 铜镍矿体圈定的工业指标及矿石工业类型	23
2.3 成矿模式	24
2.4 本章小结	24
第3章 金川矿床开拓及主要工程	25
3.1 金川露天矿开采	25
3.1.1 露天矿开采概况	25
3.1.2 露天矿开采工程	26
3.1.3 露天转井下开采工程	33

3.2 龙首矿矿床开拓与主要工程	36
3.2.1 龙首矿建设历程	36
3.2.2 龙首矿目前主要生产系统	40
3.3 二矿区矿床开拓与主要工程	48
3.3.1 二矿区一期工程建设	48
3.3.2 二期工程建设与主要系统	52
3.3.3 二矿区改扩建工程	59
3.3.4 二矿区 850m 深部开拓工程	62
3.4 三矿区矿床开拓与主要工程	62
3.4.1 发展历程与现状	62
3.4.2 F ₁₇ 以东矿山主要工程	64
3.4.3 F ₁₇ 以西开采工程	67
3.4.4 东部贫矿开采工程	68
3.4.5 三矿区主要系统	71
3.5 本章小结	77
第4章 龙首矿采矿方法研究、发展与演化	78
4.1 龙首矿采矿方法发展演化简述	78
4.2 露天开采方法	80
4.3 龙首矿分层和分段崩落采矿法试验研究	81
4.3.1 分层崩落采矿法	81
4.3.2 分段崩落法方案设计	82
4.3.3 封闭矿房分段崩落法试验研究	97
4.4 上向水平分层胶结充填采矿工艺与试验	118
4.4.1 上向多漏斗出矿方案	118
4.4.2 上向电耙出矿方案	120
4.4.3 铲运机出矿方案	122
4.4.4 ZYQ-12G 装运机出矿方案	122
4.4.5 龙首矿深部采矿工艺	124
4.5 下向倾斜分层胶结充填采矿法	130
4.5.1 普通下向倾斜分层胶结充填法	130
4.5.2 下向高进路胶结充填采矿法试验研究	132
4.6 下向六角形进路胶结充填采矿工艺与试验	152
4.6.1 下向六角形进路胶结充填采矿法概述	152
4.6.2 六角形开采的优化理论	155
4.6.3 普通下向六角形进路胶结充填采矿法试验研究	158
4.6.4 机械化下向六角形进路采矿法工艺研究	164
4.6.5 三角钢筋桁架吊挂支护技术在下向胶结充填采矿中的应用	169

4.6.6 六角形进路的优化与发展	172
4.7 本章小结	179
第5章 二矿区采矿方法发展与演变	180
5.1 二矿区采矿方法与岩石力学研究	180
5.1.1 二矿区工程地质与岩石力学研究	180
5.1.2 中瑞合作研究的试验采区岩体力学研究	184
5.1.3 试验采区工程地质条件	184
5.1.4 岩石物理力学性质	185
5.1.5 现场监测及其规律	188
5.1.6 数值分析	188
5.1.7 中瑞合作岩石力学研究总结	191
5.2 二矿区 VCR 采矿法采矿工艺与试验	191
5.2.1 技术论证	192
5.2.2 试验选点及采切工程布置	193
5.2.3 爆破漏斗试验与凿岩爆破参数	196
5.2.4 大直径深孔凿岩	198
5.2.5 采场爆破	200
5.2.6 采场爆破观测与分析	206
5.2.7 采场出矿	209
5.2.8 采场空区嗣后充填	210
5.2.9 主要技术经济指标	210
5.2.10 试验结论	211
5.3 普通上、下向水平分层胶结充填采矿工艺	212
5.3.1 二矿区上向水平分层胶结充填采矿法	213
5.3.2 二矿区下向水平分层胶结充填采矿法	215
5.3.3 下向水平分层(高进路)胶结充填采矿法	216
5.3.4 机械化下向倾斜分层胶结充填采矿法	217
5.4 机械化上向进路胶结充填采矿法试验研究	218
5.4.1 概况	219
5.4.2 回采工艺	227
5.4.3 无轨设备的使用和维修	260
5.4.4 试验指标	264
5.4.5 试验结论	265
5.5 机械化下向水平进路胶结充填采矿法试验研究	266
5.5.1 概况	266
5.5.2 试验采区概况	268
5.5.3 试验采区的采准工程	271

5.5.4 分层回采设计	279
5.5.5 回采工艺试验	285
5.5.6 无轨设备的使用维护和保养	319
5.5.7 试验指标	321
5.5.8 劳动组织	322
5.5.9 试验应用分析评价	323
5.5.10 试验小结	324
5.6 二矿区采矿工艺评价与改进	325
5.6.1 主要采矿方法的优劣评述	325
5.6.2 机械化盘区下向水平进路充填法早期生产中存在的问题	326
5.6.3 机械化盘区开采工艺及技术革新	328
5.6.4 二矿区高效、低耗采矿方法研究方向	337
5.7 金川矿山采矿工艺科研规划	338
5.8 本章小结	338
第6章 金川矿山崩落采矿法理论研究与发展	341
6.1 概述	341
6.1.1 自然崩落法应用状况	341
6.1.2 金川矿山崩落采矿法的研究历程	342
6.2 龙首矿西部贫矿崩落法研究与设计	345
6.2.1 采矿方法选择	345
6.2.2 大区阶段连续崩落法	351
6.2.3 采矿工艺评价	353
6.3 金川Ⅲ矿区自然崩落法设计	354
6.3.1 概述	354
6.3.2 采矿方法的选择	354
6.3.3 主矿体回采工艺及设备选择	355
6.4 金川Ⅲ矿区自然崩落法前期研究	360
6.4.1 中南大学自然崩落法前期研究	360
6.4.2 长沙矿山研究院自然崩落法前期研究	371
6.4.3 北京科技大学自然崩落法前期研究	374
6.4.4 自然崩落法底部结构巷道稳定性和支护技术研究	378
6.5 本章小结	379
第7章 二矿区回采工艺优化与矿柱开采技术	381
7.1 概述	381
7.2 二矿区机械化盘区采切优化设计与实践	382
7.2.1 机械化盘区矿房矿柱回采方案	382
7.2.2 金川镍矿井下开采面积	386

7.2.3 二矿区1 矿体采矿模式的探索与争论	388
7.2.4 二矿区大面积连续开采研究历程	390
7.2.5 二矿区矿房、矿柱两步回采与大面积连续回采的对比理论研究	392
7.2.6 二期工程无矿柱大面积连续回采的技术攻关	394
7.2.7 机械化盘区采切工程优化	398
7.3 双穿脉道回采方案设计与实践	403
7.3.1 单穿脉道存在的问题	403
7.3.2 双穿脉分层道技术的应用特点	404
7.3.3 双穿脉循环分层道的主要设计方案及要点	405
7.3.4 双、单穿脉分层道的综合对比分析	406
7.3.5 双穿脉分层道布置形式的优点及综合效果分析	407
7.4 二矿区16 行垂直矿柱安全回采设计与回采工艺	409
7.4.1 垂直矿柱简介	409
7.4.2 行矿柱开采的理论研究	409
7.4.3 垂直矿柱回采研究结论	411
7.4.4 垂直矿柱回采方案实施及效果	412
7.4.5 项目实施情况与经济效益	413
7.5 二矿区水平矿柱开采的稳定性研究	414
7.5.1 二矿区水平矿柱回采现状	414
7.5.2 水平矿柱稳定性分析与控制技术研究	417
7.5.3 水平矿柱回采应力场分布规律及安全评价	418
7.5.4 水平矿柱开采的工程措施	420
7.6 金川二矿区充填体作用机理试验研究	421
7.6.1 二矿区1 矿体下向胶结充填大面积充填体作用机理试验研究	421
7.6.2 充填体作用机理分析	433
7.7 本章小结	434
第8章 金川矿山深部开采工程与关键技术	435
8.1 龙首矿深部开采工程	435
8.1.1 概述	435
8.1.2 龙首矿中西采区深部开拓系统工程	436
8.1.3 辅助生产设施	437
8.1.4 深部工程建设情况	438
8.2 二矿区深部开采工程	438
8.2.1 概述	438
8.2.2 二矿区深部开采关键技术研究	439
8.2.3 二矿区深部850m 中段采矿技术条件评价	442
8.2.4 深部开拓工程与布置	445

8.2.5 深部 850m 中段开采回采工艺·····	454
8.2.6 存在的问题与建议·····	457
8.3 三矿区深部开采工程·····	460
8.4 本章小结·····	461
第 9 章 金川矿山充填工艺与系统·····	462
9.1 龙首矿充填系统·····	462
9.1.1 东部充填系统·····	463
9.1.2 西部充填系统·····	464
9.1.3 西二采区充填系统·····	465
9.1.4 西二采区 58 矿体充填系统·····	465
9.2 二矿区充填工艺技术研究·····	466
9.2.1 充填工艺现状·····	466
9.2.2 西部一期充填搅拌站·····	466
9.2.3 西部二期充填搅拌站·····	469
9.2.4 存在问题及改造·····	473
9.2.5 二矿区自流充填系统扩能改造·····	475
9.3 三矿区充填系统·····	476
9.4 本章小结·····	478
结束语·····	479
参考文献·····	481

第 1 章 绪 论

1.1 金川镍矿资源简述

金川镍矿是我国最大的硫化铜镍矿,也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,集中分布在龙首山下长 6.5km、宽 500m 的范围内,已探明矿石储量为 5.2 亿 t,镍金属储量 550 万 t,列世界同类矿床第三位,铜金属储量 343 万 t,居中国第二位,近年来的地质勘探成果表明金川镍矿的深部、边部及外围具有良好的找矿前景。金川矿石还伴生有钴、铂、钯、金、银、钨、铋、钼、铀、镭、锶、碲、硫、铬、铁、镓、铟、锗、铊、铋等元素,目前可供回收利用的有价值元素已有 16 种。矿床之大、矿体之集中、可供利用金属之多,在国内外都极其罕见。

金川铜镍矿石产于超基性岩体中,地质勘探时期,该矿床被划为四个矿区(图 1.1)。位于矿床中部的 II 矿区资源丰富,矿石品位高,其主矿体有两个,即西部的 1# 矿体和东部的 2# 矿体。2# 矿体被成矿后期断层错断,分为 F_{17} 以东和 F_{17} 以西两部分。

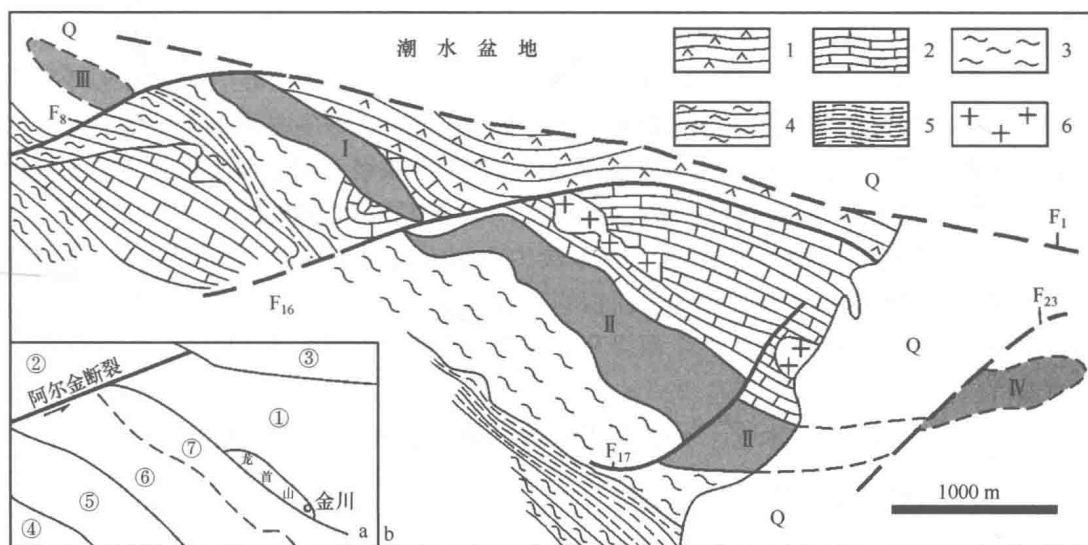


图 1.1 金川镍矿矿区地质构造简图

1. 斜长角闪岩; 2. 大理岩; 3. 混合岩、混合花岗岩; 4. 片麻岩; 5. 构造片岩; 6. 晚期花岗岩;
- ①华北地台; ②塔里木地台; ③准噶尔晚古生代褶皱系; ④南祁连褶皱带;
- ⑤中祁连中间地块; ⑥北祁连优地槽; ⑦河西走廊沉降带

II 矿区 1# 矿体规模最大,长 1600 多米,厚 10~200m,平均厚度 98m。矿体倾角 $60^{\circ}\sim 75^{\circ}$,在地表以下 228~380m 见矿,延深 230~905m,以富矿为主,矿石储量占矿区总储量的 76.5%,为一超大型富矿体。II 矿区 2# 矿体为第二大矿体,矿体长 1300 多米,最

大厚度 118m,延深 350~550m,见矿标高在地表以下 200m 左右,以贫矿为主, F_{17} 断层以西 1250~1350m 中段以富矿为主,还有相当数量的特富矿。

根据 1973 年 3 月提交的Ⅱ矿区最终地质勘探报告,矿石资源量为 3.28 亿 t,镍金属量为 409 万 t,铜金属量为 268 万 t。

金川矿床开发始于 20 世纪 60 年代初,历经 50 余年的开采与建设,形成了现今龙首矿、二矿区和三矿区 3 座矿山的生产格局。

龙首矿是金川矿床最早发现、勘探、开发利用的矿区,于 1959 年开始基建施工,1962 年正式组建龙首矿。现龙首矿全部为地下开采,从东往西分为:东部采区、中部采区、西部采区和西二采区四部分,开采对象分别为Ⅱ矿区 1[#]矿体 6 行~Ⅰ矿区 8 行的矿体、Ⅰ矿区的全部贫富矿体和 F_8 以西的Ⅲ矿区。

二矿区开采对象为Ⅱ矿区 1[#]矿体 6 行以东的富矿、下盘贫矿和上盘部分贫矿(小于 20m),在高程上分为两个中段同时开采。目前开采的两个中段分别为 1150m 和 1000m; 850m 中段正在建设,将接替 1150m 中段开采。

三矿区开采范围包括Ⅱ矿区的 2[#]矿体 F_{17} 以西边角矿体、 F_{17} 以东矿体和Ⅳ矿区。Ⅱ矿区 2[#]矿体 F_{17} 以东富矿开采工程设计的开采范围为 1182.5m 以下 40~54 行矿体。

金川矿山建设初期,为满足国家对镍金属的急需,并结合当时的矿山技术(包括采矿、选矿和冶炼)发展水平,1971 年国家计划委员会 2 号文件要求金川“矿山设计坚持优先开发富矿,采富保贫的方针”。此后,在金川资源综合利用的多次会议和设计方案论证会议上,就金川矿山的采矿方法问题进行过各种形式和规模的讨论,最终在各矿山富矿开采中采用了以下向胶结充填为基本形式的采矿法。龙首矿的富矿开发采用下向六角形进路胶结充填采矿法,其中大部分采场采用铲运机出矿,少部分采场采用电耙出矿。二矿区和三矿区 F_{17} 以东富矿开采工程采用机械化盘区进路下向胶结充填采矿法。

如今,各矿山在下向胶结充填采矿法采场内应用凿岩台车凿岩、铲运机出矿,在提高采场回采作业机械化水平和单位回采面积的矿石产量、减轻井下工人劳动强度等方面进行了不懈努力,加快了矿山建设,全面提升了金川集团公司的国际竞争能力。

1.2 采矿方案与回采工艺的发展与演化

1.2.1 金川镍矿开发与生产规模

金川镍矿发现于 1958 年,1959 年开始建设,1978 年金川被列入国家资源综合利用三大基地之一。金川矿山工程一期工程分为两期建设,一期设计龙首井下开采年产矿石 72.6 万 t,露天矿年产矿石 170 万 t,1966 年 10 月正式投产。1967 年以后又进行了一期工程扩建。

1982 年露天开采到原设计境界。此后,对露天与地下开采之间的三角矿柱部分扩大露天开采境界,延长服务年限,形成年产 70 万 t 矿石的露天生产能力,为选冶提供年产 2 万 t 电镍的矿石资源。2009 年 3 月以前,龙首矿的开采范围包括Ⅰ矿区和Ⅱ矿区 6 行以西的矿体,自东向西依次划分为东部、中部、西部 3 个采区。东部采区正在回采 1100m 中