

特大型镍矿充填法开采技术著作丛书

Ni

高应力碎裂围岩巷道变形 控制技术

高 谦 高建科 武拴军 / 著
杨有林 穆玉生 邹 龙



科学出版社

特大型镍矿充填法开采技术著作丛书

高应力碎裂围岩巷道 变形控制技术

高 谦 高建科 武拴军 杨有林 穆玉生 邹 龙 著

科 学 出 版 社

北 京

TD864
G165

内 容 简 介

本书是《特大型镍矿充填法开采技术著作丛书》第五册,主要介绍金川镍矿高应力围岩巷道掘进和变形控制技术的研究成果。

巷道掘进与支护技术是高应力围岩巷道工程的重要研究课题。本书全面介绍了金川高应力采场围岩的巷道掘进与支护以及巷道稳定性控制技术。首先概述了金川镍矿在不同时期巷道掘进支护的现场实践与工程经验;然后阐述了金川高应力矿区采场巷道围岩变形机理与控制技术;最后针对高应力巷道围岩的变形机理和工程特性,深化了巷道一次强化支护技术,并简要概述了巷道掘进机的引进、现场试验以及技术攻关研究成果。

本书可供采矿、水电和土木工程等领域从事采矿设计、生产实践的从业人员使用,也可供进行科学研究的工程技术和科研人员以及大专院校、科研院所的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高应力碎裂围岩巷道变形控制技术/高谦等著. —北京:科学出版社,2013.2

(特大型镍矿充填法开采技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-036604-7

I. ①高… II. ①高… III. ①超大型矿床-镍矿床-巷道围岩-巷道变形-围岩控制 IV. TD864

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第020887号

责任编辑:周 炜 谷 宾 / 责任校对:包志虹

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:24 1/4

字数:575 000

定价:98.00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

金川高地应力矿床开采面临的重大挑战是采场巷道支护和围岩变形控制。由于建矿初期对矿山工程岩体力学特性和变形破坏机理认识不清,大量的开拓工程和采场的巷道发生坍塌、冒顶以及内挤和底鼓等变形破坏。随着采矿深度的增加,采场地压增大,高应力采场巷道的变形控制仍是采矿生产中面临的重大难题。为了解决巷道掘支与稳定性控制问题,在优化和调控采场地压的基础上,开展了高应力采场不良地层中的巷道支护技术与工程实践。本书将全面介绍金川镍矿在一期和二期工程中针对巷道支护开展的技术攻关成果以及大量的现场工程实例。

首先,全面介绍了各种不同支护技术在金川高应力采场巷道支护中的应用现状、存在的问题以及工程经验与失败教训,不仅为深部采场巷道支护提供经验,也为国内外同类矿山巷道支护提供参考。

然后,深入阐述了高应力采场巷道综合支护技术。高应力围岩变形控制不仅取决于支护型式,更依赖于与巷道围岩变形相适应的综合控制技术。其技术核心包括复合支护结构、优化设计参数以及与围岩变形相适应的支护体柔度,从而使支护与围岩相互作用,变形协调,共同承载;与支护相适应的施工技术,包括支护时机、施工质量与配套机具。在高应力巷道围岩变形机理研究的基础上,阐述了以长锚索为核心的综合支护技术与工程实践。

第三,发展了高应力破碎围岩巷道支护理论,提出并实践了一次强化支护技术。对于以变形地压为主的巷道支护,通常遵循先柔后刚,先让后抗的支护指导原则。但对于金川镍矿节理发育的高应力破碎围岩,一旦掘进巷道,围岩应力迅速释放,导致在未支护前,围岩发生有害变形,恶化围岩质量。同时,支护前的变形难以准确监测。在此情况下,分析了该类巷道的变形破坏机理以及主要影响因素,提出了一次强化支护的变形控制技术。

最后,介绍巷道掘进机的引进、试验和攻关研究成果。对于高应力破坏围岩,减少对围岩的爆破损伤,维护围岩自身强度和发挥围岩承载能力至关重要。为此,金川镍矿引进硬岩巷道掘进机,并开展现场试验和技术攻关。硬岩掘进机在国内矿山的应用尚属首次,在试验研究中存在诸多困难和问题。本书详细介绍掘进机在金川矿山的应用情况、存在的问题以及获得的技术攻关成果,为同类矿山巷道掘进机的应用提供参考。

高应力采场巷道掘进与支护是一项极为困难的研究课题。采场应力环境、岩体质量、工程类型以及掘进技术均直接影响围岩的稳定性。巷道变形控制不仅取决于支护设计,更与施工工艺、施工设备以及施工管理密切相关。显然,高应力采场巷道掘支技术不仅在于精确的设计,更重要的还在于工程经验。本书提供了金川镍矿巷道、竖井以及斜坡道等大量的工程实例,可为矿山工程技术人员提供参考。本书参考和引用了金川镍矿的研究报告和学术论文,在此对相关单位和作者表示衷心的感谢。

限于作者的水平,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 金川镍矿简介	1
1.2 矿山工程概况	2
1.3 矿山开采面临的主要问题	3
1.3.1 露天矿边坡倾倒变形破坏	3
1.3.2 上部巷道工程塌方垮冒	3
1.3.3 巷道支护结构破坏严重	3
1.3.4 深部巷道变形地压凸显	4
1.4 围岩变形与稳定性控制研究综述	4
1.4.1 巷道掘进支护研究阶段划分	4
1.4.2 巷道掘进支护研究成果简介	6
1.5 高应力碎裂巷道变形控制技术	10
1.5.1 高应力碎裂围岩变形机理	11
1.5.2 支护设计的理论与方法	11
1.5.3 施工设备开发与应用	14
1.5.4 施工管理和评价体系	14
1.6 本章小结	14
第 2 章 二矿区一期工程井巷支护试验	15
2.1 开拓巷道变形破坏调查与分析	15
2.1.1 变形破坏类型与特征	15
2.1.2 巷道变形破坏影响因素	16
2.1.3 巷道围岩变形测量与控制	19
2.2 采准巷道喷锚支护设计与现场	23
2.2.1 试验采准巷道岩层特性	23
2.2.2 类似岩层支护巷道松动破坏分析	24
2.2.3 试验巷道支护型式与支护参数	25
2.2.4 锚杆锚固性能拉拔试验与分析	26
2.2.5 现场试验效果与总结	29
2.3 不良岩层巷道注浆与支护试验	30
2.3.1 试验地点与地质条件	30

2.3.2	支护结构与施工工艺	32
2.3.3	试验巷道注浆加固参数与工艺	35
2.3.4	试验巷道应力和位移量测与分析	40
2.3.5	试验巷道注浆效果检测与评价	45
2.3.6	主要研究结论	49
2.4	不良岩层钻进天井井壁支护试验	50
2.4.1	概述	50
2.4.2	工程地质条件	50
2.4.3	试验方案	53
2.4.4	护壁工艺	54
2.4.5	结果与结论	60
2.5	格栅桁架喷锚网支护在斜坡道中的应用	61
2.5.1	斜坡道工程地质	61
2.5.2	斜坡道工程概况	62
2.5.3	格栅桁架加喷锚网支护	62
2.5.4	格栅桁架的制作	64
2.5.5	施工工艺	64
2.5.6	效果评价	65
2.6	不良岩层巷道支护关键技术	67
2.6.1	网格钢拱架喷锚网联合支护技术	67
2.6.2	巷道长锚索支护加固技术	71
2.6.3	巷道光面爆破与锚喷支护技术	76
2.7	不良地层巷道冒顶处理技术与实践	84
2.7.1	巷道冒顶的喷锚支护处理技术	84
2.7.2	巷道冒顶的高压注浆处理技术	88
2.7.3	处理冒顶的注浆充填联合技术	92
2.8	本章小结	93
第3章	二矿区二期工程巷道变形与控制技术	96
3.1	不良岩层深埋巷道新奥法施工技术	96
3.1.1	工程概况与地质条件	96
3.1.2	工程设计与施工	97
3.1.3	新奥法施工试验	101
3.1.4	主要经验与结论	107
3.2	二矿区 1000m 破碎站硐室支护试验	107
3.2.1	工程概况	107
3.2.2	硐室围岩的工程地质条件	108
3.2.3	硐室围岩稳定性评价与失稳模式	109
3.2.4	硐室围岩变形监测与稳定性评价	111
3.2.5	硐室稳定性综合评价	114
3.3	二矿区 1150m 中段巷道变形监测与稳定性分析	115

3.3.1	工程概况	115
3.3.2	巷道工程地质条件	115
3.3.3	巷道变形监测与稳定性评价	118
3.3.4	巷道变形破坏调查与分析	121
3.3.5	巷道稳定性判断准则	124
3.4	二矿区 1000m 运输道变形控制技术	124
3.4.1	工程概况	124
3.4.2	巷道变形破坏调查与分析	125
3.4.3	巷道变形机理与维护原则	129
3.4.4	巷道支护总体思路	130
3.4.5	巷道支护型式与关键技术	131
3.4.6	长锚索支护参数设计	134
3.4.7	锚喷网注联合支护设计	136
3.4.8	支护类型的经济分析	137
3.4.9	支护方案对比分析	138
3.4.10	基于灰色理论的优化决策	139
3.4.11	基于关联分析的优化决策	140
3.4.12	小结	142
3.5	二矿区 1178m 分段巷道支护试验	144
3.5.1	二矿区 1178m 分段道工程概况	144
3.5.2	支护方案与施工工艺	147
3.5.3	数值模拟方案与评价指标	151
3.5.4	不考虑采动影响的数值分析	153
3.5.5	初次支护巷道的数值分析	158
3.5.6	非动压巷道二次支护数值分析	160
3.5.7	采动影响巷道稳定性数值分析	164
3.5.8	巷道稳定性与影响因素	165
3.5.9	试验巷道施工与变形观测	167
3.5.10	小结	174
3.6	本章小结	175
第 4 章	巷道工程变形机理与失稳模式	178
4.1	深部巷道破坏调查与变形监测	178
4.1.1	巷道破坏调查与分析	178
4.1.2	巷道围岩变形水准监测	186
4.1.3	巷道围岩变形收敛监测	195
4.1.4	巷道围岩变形综合分析	211
4.2	巷道稳定性影响因素与支护作用机理	220
4.2.1	巷道稳定性影响因素分析	220
4.2.2	巷道变形破坏失稳模式	225
4.2.3	巷道变形破坏机理分析	232

4.2.4	金川巷道主要支护型式	235
4.2.5	锚喷网支护作用原理	236
4.2.6	全长锚杆锚固作用机理	247
4.2.7	钻锚注浆加固作用机理	249
4.3	本章小结	253
第5章	深部高应力碎裂围岩变形控制综合技术	255
5.1	高应力巷道影响因素与控制策略	255
5.1.1	深部巷道围岩变形影响因素	255
5.1.2	深部巷道变形失稳模式	256
5.1.3	巷道工程特点与变形特征	256
5.2	高应力巷道围岩变形控制综合技术	258
5.2.1	变形控制的指导思想	258
5.2.2	变形地压巷道支护设计	259
5.3	深部巷道围岩变形综合控制技术	260
5.3.1	巷道围岩初次支护设计	260
5.3.2	深部巷道二次支护的关键技术	266
5.3.3	深部巷道支护的配套控制技术	268
5.3.4	深部巷道稳定性综合控制技术	270
5.4	深部巷道围岩支护材料与设备开发	272
5.4.1	支护材料设计	272
5.4.2	强力锚杆支护材料	275
5.4.3	施工机具的选型与配套	278
5.4.4	适用于金川矿区凿岩设备	291
5.5	本章小结	292
第6章	双层改单层锚喷网强化支护试验探索	294
6.1	问题的提出	294
6.2	深部巷道围岩变形破坏调查与分析	295
6.2.1	深部高应力巷道变形调查	295
6.2.2	深部巷道变形破坏原因分析	299
6.3	双层改单层锚喷网试验设计	300
6.3.1	试验研究目的和任务	300
6.3.2	试验研究主要技术指标	300
6.4	双层改单层锚喷网支护试验方案	300
6.4.1	初次支护结构厚度试验	300
6.4.2	单层锚喷网支护工艺试验方案	303
6.4.3	单层锚喷网支护工艺现场试验段	305
6.5	双层改单层锚喷网支护工艺试验总结	315
6.5.1	提高巷道支护效率	315
6.5.2	简化施工工艺与工序	316
6.5.3	确保初次支护施工质量	318

6.6 本章小结	324
第7章 工程地质超前预报与巷道掘进新技术	325
7.1 概述	325
7.2 工程地质超前预报技术	325
7.2.1 问题的提出	325
7.2.2 巷道围岩构造控制失稳预测	327
7.2.3 巷道围岩应力控制失稳预测	329
7.2.4 巷道工程地质超前预报系统开发	341
7.3 不良地层硬岩巷道掘进机掘进技术	344
7.3.1 引言	344
7.3.2 EBZ300 硬岩掘进机简介	346
7.3.3 EBZ300 掘进机现场试验研究	348
7.3.4 试验存在问题与解决办法	354
7.3.5 掘进试验分析与效果评价	358
7.3.6 试验成果与效益分析	359
7.4 本章小结	364
结束语	366
参考文献	367

第 1 章 绪 论

1.1 金川镍矿简介

金川镍矿位于我国西部甘肃省金昌市,河西走廊中东部(图 1.1)。矿床地处腾格里沙漠西南边缘、龙首山北麓。龙首山呈北西走向,为中山地形,海拔 1600~1800m。气候干燥少雨,春秋多风沙,为典型的温带大陆性气候。山下的金昌市区原为戈壁荒滩,海拔 1500~1800m,地势较为平坦。南距欧亚大陆桥——兰新铁路线 22km,矿区有铁路与之相连。目前有铁路、高速公路和机场,交通运输十分便利。



图 1.1 金川镍矿地理位置

金川镍矿是世界上为数不多的金属共生大型硫化铜镍矿床,最早发现于 1958 年,集中分布在河西走廊中部的龙首山下。矿体长 6.5km、宽 500m。已探明矿石储量达到 5.2 亿吨,镍金属储量 550 万吨,列世界同类矿床的第三位,占全国总储量的 70%以上;含铜金属储量 343 万吨。伴生钴、铜、银、铂族等 17 种元素,可回收利用的金属元素达到 14 种。铜和钴金属储量居全国第二位,铂族贵金属居全国第一位。

金川镍矿床分为 4 个矿区(图 1.2)。从东向西分别为四、二、一、三矿区,其中二矿区最大,已探明镍金属储量占整个矿床的 76.5%。自 1959 年建矿以来,矿山生产规模不断扩大,目前已形成一矿区 200 万吨/年、二矿区 450 万吨/年和三矿区 100 万吨/年的矿石生产规模,每年产镍 13 万吨、铜 40 万吨、钴 1 万吨、铂族金属 3500kg、金 8t、银 150t、硒 50t 和 150 万吨无机化工产品。金川集团公司在世界镍生产企业中列第八位,镍产量占

世界总产量的 4.6%。镍、钴和铂金属分别占国内总产量的 80%、30%和 90%以上,在我国国民经济中占有十分重要的地位。

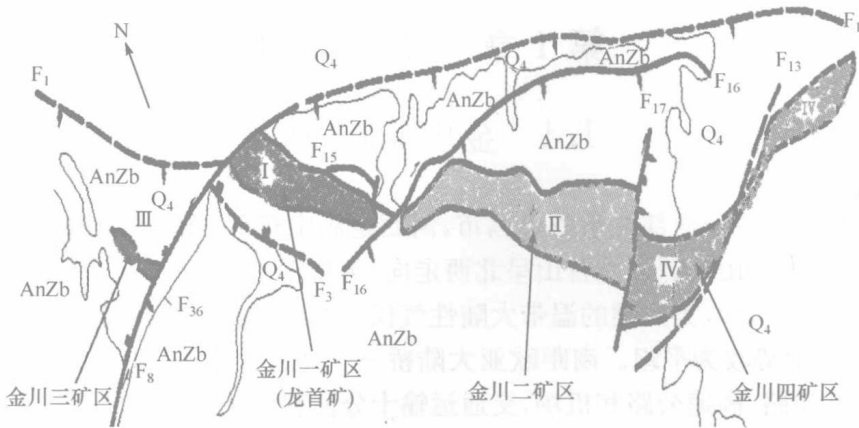


图 1.2 金川镍矿 4 个矿区的分布位置

1.2 矿山工程概况

金川矿体走向产状 $N38^{\circ}W$, 倾向 SW。矿床主矿体倾角 $60^{\circ}\sim 75^{\circ}$, 部分矿段倾角较缓, 倾角在 $25^{\circ}\sim 65^{\circ}$ 。矿体从西向东侧伏。三矿区矿体原为一矿区矿体的一部分, 受 F_8 断层的错动作用, 使矿体向西南平移 800m, 形成一个独立的矿体, 定为三矿区。由于矿体侧伏, 矿床西段的一矿区矿体埋藏较浅, 采用露天开采。露采结束后转为地下开采, 形成目前的龙首矿区。二矿区矿体埋藏深度 400~1100m, 采用地下充填法开采。三矿区目前正在开发建设中的矿山, 四矿区目前正在详细勘探和可研之中。

1. 露天矿

露天矿位于矿床西段一矿区西端, 主要开采浅部的贫矿。1964 年底开始基建剥离, 1966 年 10 月正式投产, 1982 年老采场闭坑, 共采出矿石 2187 万吨, 提供镍金属量 10.9 万吨, 铜金属 6.8 万吨。为了接替老采坑闭坑消失的部分生产能力, 充分利用人员和露采设备, 将露天老采场向东扩大开采范围 236m, 形成露天东部采场, 将龙首矿西部贫矿改为露天开采, 1991 年闭坑, 使露天开采延长 10 年的生产时间。

2. 龙首矿

龙首矿主要开采一矿区东部深部的富矿体, 1980 年开始深部开拓, 1988 年 8 月建成投产, 形成 1500t/d 的生产能力。

3. 二矿区

二矿区是金川公司的主力矿山, 1966 年开发, 目前采矿生产能力已经突破 430 万吨, 成为目前国内最大的充填矿山之一。矿山采用竖井-斜坡道-平巷开拓系统和机械化下向分层水平进路胶结充填采矿法。