

|| 特大型镍矿充填法开采技术著作丛书 ||

Ni

高浓度大流量管输充填 技术与工艺

姚维信 姚中亮 刘洲基 / 著
莫亚斌 邓代强 王正辉



科学出版社

特大型镍矿充填法开采技术著作丛书

高浓度大流量管输充填 技术与工艺

姚维信 姚中亮 刘洲基 莫亚斌 邓代强 王正辉 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》的第三册,主要介绍金川特大型镍矿充填系统和充填技术以及科研成果与技术改造。首先,概述了金川矿山充填技术的发展历程;然后,详细地介绍了金川镍矿的充填系统、充填技术与工艺以及工程应用;最后,概述了金川镍矿目前的充填技术存在的主要问题及发展方向,尤其对粗骨料充填技术、大流量充填系统、工艺设备和仪表的更新与升级、全尾砂和固体废弃物的综合利用以及深部充填技术等方面的初步研究成果进行了介绍及工业运用展望。

本书可供采矿、地质、流体力学和土木工程等领域从事矿山充填设计、生产管理、科学研究的科研人员以及大专院校和科研院所从事采矿教学的教师和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

高浓度大流量管输充填技术与工艺/姚维信等著. —北京:科学出版社,2014.3

(特大型镍矿充填法开采技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-040249-3

I. ①高… II. ①姚… III. ①超大型矿床-镍矿床-金属矿开采-充填法
IV. ①TD864

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 048932 号

责任编辑:谷 宾 周 炜 / 责任校对:刘小梅

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>

骏杰印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 3 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014 年 3 月第一次印刷 印张:26 1/4

字数:529 000

定价:135.00 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矿柱大面积连续回采。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

金川镍矿是我国镍金属生产和冶炼基地,在铂族生产中占有重要地位。金川镍矿为特大型金属矿床,矿区地应力高、矿体厚大、埋藏深、围岩不稳固,是目前国内外不多见的难采矿床之一。针对金川镍矿不利的采矿技术条件,通过采矿方法论证和工程实践,选择了下向分层胶结充填采矿法。

充填技术与工艺对充填采矿的安全和高效生产起着至关重要的作用。为了满足不断增长的矿山产能提升的需要,金川镍矿在充填系统建设、系统优化和技术改造等方面开展了大量理论与工程实践,取得了丰富的研究成果,积累了诸多的工程经验。本书是对金川镍矿充填技术研究成果和工程实践的全面总结。

作为较早采用充填法采矿的金川镍矿,先后采用高浓度细砂自流输送胶结充填、全尾砂膏体泵送胶结充填以及井下废料人工搅拌进路胶结充填技术与工艺。结合矿山工程特点,从充填物料制备、棒磨砂加工、尾砂处理、物料运送与存储、高浓度管道自流和膏体泵送、深井充填管路布设与优化以及充填管道修复等方面,开展广泛和深入的研究,为提高矿山充填能力和安全高效生产奠定基础。

本书首先介绍金川镍矿 3 个生产矿山充填系统的特点以及在充填过程中暴露的问题;然后,详细论述金川镍矿充填开采理论和系统改造技术;最后,结合矿山实际,探讨充填管道布设、优化以及减阻输送的理论和工程实践。

矿山充填技术是一项直接面对采矿生产,解决充填生产难题的实用性技术。充填系统研究不仅在于理论,更重要的是与生产实践相结合。在金川镍矿几十年的充填采矿生产实践中,针对充填生产,研究解决了一系列技术难题。尤其针对我国首次引进的膏体充填技术,开展了理论与系统改造,由此所获得的研究成果目前并不多见。金川膏体充填技术与工艺不仅代表国内最新发展和技术水平,而且在国外也占有一席之地。同时,高浓度料浆自流输送的理论研究和工程应用也具有显著的工程特点。

随着我国对资源开发环境保护的日益重视,充填法采矿必将成为未来采矿的首选。目前有色和黑色煤矿的充填矿山日趋增多,本书所涉及的研究成果和工程经验,期望能够为未来资源开发、充填系统设计、工程建设、技术改造和生产管理提供有益的帮助。

在撰写本书过程中,参考和引用了金川镍矿充填技术研究的报告和学术论文,在书中不再一一标注,在此对相关研究单位和研究者表示衷心的感谢。

限于作者的知识水平,书中难免有不妥之处,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 金川镍矿概况	1
1.2 矿山充填系统布置	2
1.3 金川镍矿充填技术发展	5
1.4 充填技术研究及成果	7
1.4.1 充填材料及配比研究	7
1.4.2 充填料浆流变性能及输送参数	8
1.4.3 高浓度及膏体充填料浆制备技术	9
1.4.4 充填料浆输送管网优化	10
1.5 存在问题及发展方向	10
1.6 本章小结	12
第 2 章 金川矿山充填系统概述	14
2.1 充填工艺与技术	14
2.1.1 高浓度细砂管道自流输送充填工艺	14
2.1.2 高浓度尾砂管道自流输送充填工艺	16
2.1.3 全尾砂膏体泵送胶结充填工艺	16
2.1.4 井下废料人工搅拌进路打底充填工艺	17
2.2 充填系统物料制备	18
2.2.1 棒磨砂生产工艺	18
2.2.2 尾砂处理	19
2.2.3 物料运送系统	20
2.2.4 物料存储设施	20
2.3 龙首矿充填系统	21
2.3.1 充填系统简介	21
2.3.2 充填系统管网与充填钻孔	24
2.3.3 充填进路准备	32
2.4 二矿区充填系统	34

2.4.1 充填系统简介	34
2.4.2 充填系统管网与脱水技术	36
2.4.3 充填进路准备	38
2.5 三矿区充填系统	41
2.5.1 充填系统简介	41
2.5.2 充填系统管网及充填准备	43
2.6 本章小结	43
第3章 充填材料试验及强度特征研究	44
3.1 充填材料选择	44
3.2 充填集料	44
3.2.1 棒磨砂	44
3.2.2 冲积河砂(戈壁砂)	45
3.2.3 选矿尾砂	47
3.2.4 废石	48
3.3 水泥及胶结剂	49
3.3.1 水泥	49
3.3.2 粉煤灰	50
3.4 添加剂	50
3.4.1 充填添加剂种类	50
3.4.2 添加剂对充填料性能影响	51
3.4.3 早强剂试验	51
3.4.4 添加减水剂试验	53
3.4.5 外加剂 Minefill 501 试验	56
3.5 充填用水	61
3.6 配比强度试验	62
3.7 试验数据分析	67
3.8 本章小结	69
第4章 充填料浆输送性能研究	70
4.1 概述	70
4.2 充填料浆坍落度测定	71
4.3 充填料浆流变性能研究	74
4.3.1 充填料浆流变模型	74
4.3.2 充填料浆流变参数测定	74
4.4 高浓度充填料浆管道输送试验	79
4.4.1 试验设施及配置	79
4.4.2 高浓度料浆管道输送特性	83
4.4.3 管道输送阻力损失影响因素分析	86

4.4.4 金川公式	92
4.5 膏体充填料浆输送性能研究	93
4.5.1 环形管路系统的特征	93
4.5.2 试验系统与测试仪表	93
4.5.3 试验方法与步骤	95
4.5.4 膏体泵压输送阻力试验结果分析	96
4.5.5 影响管道阻力损失的主要因素	100
4.5.6 膏体管道输送减阻方法	103
4.6 L形管道流变特性试验	105
4.6.1 试验装置及充填料浆配比	105
4.6.2 试验数据分析	109
4.6.3 结构流输送阻力分析与计算	111
4.7 试验数据分析	122
4.8 本章小结	124
第5章 高浓度管道自流输送系统及应用	125
5.1 二矿区高浓度自流输送系统	125
5.2 一期充填站制备输送系统	125
5.2.1 平面布置及工艺流程	125
5.2.2 砂石料供料系统	126
5.2.3 水泥及粉煤灰供料系统	127
5.2.4 水及供料系统	129
5.3 二期充填站制备输送系统	129
5.3.1 二期充填站布置及工艺流程	129
5.3.2 尾砂处理	131
5.3.3 充填料浆的制备及输送	137
5.4 粗骨料充填料浆制备及输送	138
5.4.1 水泥浆的制备	138
5.4.2 粗骨料充填料的制备	138
5.5 二矿区充填管网组成	138
5.6 充填钻孔设计及应用	140
5.6.1 垂直管道(钻孔)使用概况	140
5.6.2 $\phi 300\text{mm}$ 钻孔使用情况分析	140
5.6.3 充填钻孔设计	143
5.6.4 充填钻孔施工技术	144
5.6.5 充填钻孔使用管理	145
5.6.6 钻孔与管道磨损检测及处理方法	145
5.7 充填管材的选择及使用效果	147

5.7.1 金川充填料浆输送特点	147
5.7.2 耐磨管与普通管比较分析	148
5.8 充填生产管理	149
5.8.1 地面充填站作业程序	149
5.8.2 采场充填准备	150
5.8.3 充填管路的检查与清洗	152
5.8.4 进路充填脱水	153
5.8.5 充填堵管及处理	156
5.9 井下排泥排水	159
5.9.1 排泥系统	159
5.9.2 排泥系统革新与改造	160
5.10 充填站环境管理	170
5.10.1 防辐射管理	170
5.10.2 环境管理	170
5.10.3 排污设施	170
5.11 本章小结	171
第6章 膏体泵送充填技术及应用	172
6.1 膏体充填料的可泵性	172
6.1.1 满足可泵性条件	173
6.1.2 膏体充填料的级配	174
6.1.3 膏体充填料浆的坍落度	176
6.2 膏体泵送充填工艺	176
6.2.1 物料准备	177
6.2.2 定量给料搅拌制备膏体	178
6.2.3 泵压管道输送	179
6.2.4 采场充填方法	182
6.3 水泥添加方式与装置	183
6.3.1 水泥添加方式及特点	183
6.3.2 地表添加干水泥	184
6.3.3 地表添加水泥浆	184
6.3.4 井下添加干水泥	184
6.3.5 井下添加水泥浆和坑内制浆	185
6.3.6 井下添加水泥浆和地面制浆	185
6.3.7 水泥添加方式的比较与选择	185
6.3.8 水泥添加方式的工业试验	188
6.3.9 添加水泥问题讨论	191
6.3.10 坑内水泥添加装置	194

6.3.11 水泥浆制备与输送	194
6.4 膏体泵送充填主体设备及选型	194
6.4.1 膏体输送泵	194
6.4.2 尾砂连续脱水工艺及设备	200
6.4.3 两段连续搅拌工艺与设备	203
6.4.4 水泥高速活化强力搅拌机	206
6.5 膏体泵送充填系统调试存在的问题	208
6.6 膏体泵送充填系统改造与优化	214
6.6.1 尾砂供料系统技术改造	214
6.6.2 水泥添加系统的改进和优化	217
6.6.3 膏体搅拌设备的改进	225
6.6.4 膏体输送系统优化及完善	227
6.6.5 料浆配合比参数的优化控制	227
6.6.6 管路系统及管路清洗方式优化	229
6.6.7 污水回收和综合利用	229
6.6.8 技术改造与实施后效果	231
6.7 膏体泵送充填系统技术经济评价	232
6.8 本章小结	235
第7章 充填系统检测仪表及自动控制	236
7.1 概述	236
7.1.1 水泥和粉煤灰流量检测	236
7.1.2 砂石给料量检测	237
7.1.3 供水量检测	241
7.1.4 充填料浆流量检测	242
7.1.5 充填料浆浓度检测	242
7.1.6 搅拌桶液位检测	244
7.1.7 搅拌桶液位调节装置	245
7.1.8 灰仓料位检测装置	247
7.2 微粉秤	249
7.3 定量输送机	251
7.4 充填系统基本控制回路	254
7.4.1 单回路调节器	254
7.4.2 浓度控制回路	255
7.4.3 液位控制回路	256
7.4.4 砂量控制回路	257
7.4.5 灰量控制回路	257
7.5 集散控制系统性能与应用	257
7.5.1 系统简介	257

7.5.2 系统结构	258
7.5.3 操作站功能	258
7.5.4 控制站功能	259
7.5.5 控制回路构成	261
7.5.6 仪表配置原则	261
7.5.7 应用评价	261
7.6 集散控制系统	261
7.6.1 系统简介	261
7.6.2 硬件配置	262
7.6.3 组态画面及操作	263
7.6.4 控制回路的组态实现	265
7.6.5 应用评价	267
7.7 Logix5000PLC 系统	267
7.7.1 系统结构	267
7.7.2 上位计算机监控组态	267
7.7.3 下位控制器控制程序	268
7.8 充填作业联络与通信特点	268
7.9 充填系统仪表使用评述	268
7.10 本章小结	270
第8章 充填生产组织管理及质量保障体系	271
8.1 充填生产组织设置	271
8.2 充填质量保障体系	272
8.2.1 相关技术标准建立	273
8.2.2 充填材料质量控制	277
8.2.3 料浆制备质量控制	277
8.2.4 充填过程质量控制	278
8.2.5 采场充填顺序	279
8.2.6 建立充填体质量评估档案	279
8.3 充填成本构成及控制	280
8.4 本章小结	281
第9章 金川矿山充填技术发展与科技成果	282
9.1 矿山废石充填关键技术研究	282
9.1.1 引言	282
9.1.2 废石充填技术攻关概述	285
9.1.3 废石和全尾砂充填料浆环管试验	288
9.1.4 废石全尾砂泵送充填工业试验	292
9.1.5 废石充填技术应用前景分析	301
9.2 粗骨料高浓度高流态管输充填关键技术	303

9.2.1 必要性与技术路线	303
9.2.2 粗骨料棒磨砂级配与浓度分析	304
9.2.3 粗骨料充填料浆高浓度与高流态特性	307
9.2.4 粗骨料高浓度高流态自流充填技术	309
9.3 浅埋贫矿充填法开采加压泵送充填技术	310
9.3.1 加压泵送充填技术研究	310
9.3.2 亟待解决的关键技术	311
9.3.3 系统优化和调试	314
9.3.4 生产工艺参数设计	314
9.4 充填钻孔磨损机理与修复技术	319
9.4.1 充填管道的磨损机理研究	322
9.4.2 降低充填管道磨损技术	323
9.4.3 充填管道探伤与修复技术	324
9.4.4 充填钻孔数字摄像调查与评价	325
9.4.5 金川矿区充填钻孔总体评价	341
9.4.6 充填钻孔磨损机理及降低磨损技术	342
9.4.7 充填钻孔内充填管道的磨损机理	351
9.4.8 满管输送降低管道磨损措施	359
9.5 炉渣空心砖充填挡墙及充填滤水技术	365
9.5.1 炉渣空心砖充填挡墙应用	365
9.5.2 充填滤水技术的应用	366
9.6 关键充填工艺的技术革新	368
9.6.1 压风清洗充填管路新技术	368
9.6.2 耐磨管及充填钻孔改进试验	369
9.6.3 新式耐磨闸板流量调节阀研制	370
9.6.4 提升单套自流系统充填能力的技术	370
9.6.5 充填导水阀研制及其应用	373
9.6.6 充填引流技术的应用	375
9.6.7 充填管疏通器的应用	375
9.6.8 充填耐磨万向柔性接头应用	376
9.7 金川矿山充填技术成果概述	377
9.7.1 充填技术与工艺科研项目	377
9.7.2 充填技术与工艺研究成果	379
9.7.3 充填技术与工艺发明专利	380
9.8 本章小结	381
第 10 章 金川镍矿充填技术与工艺研究展望	382
10.1 粗骨料充填技术工业化应用研究	382
10.2 大流量管道充填关键技术	384

10.2.1 大流量充填系统开发	384
10.2.2 大流量管输耐磨管选择研究	386
10.3 充填工艺设备与仪表升级	389
10.4 扩大全尾砂充填应用技术	389
10.5 深部高应力采场充填技术	390
10.5.1 高压头低倍线管道输送技术	391
10.5.2 低倍线管道输送技术初步总结	392
10.6 本章小结	393
参考文献	394