

|| 特大型镍矿充填法开采技术著作丛书 ||

Ni

特大型镍矿数字化矿山 建设与进展

包国忠 乔富贵 何煦春 / 著
王永才 李德贤



科学出版社

特大型镍矿充填法开采技术著作丛书

特大型镍矿数字化矿山 建设与进展

包国忠 乔富贵 何煦春 王永才 李德贤 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》的第八册,主要介绍了金川特大型镍矿数字化矿山建设及研究进展。

本书全面介绍了金川镍矿在数字化矿山建设方面所取得的成果及安全生产管理与风险控制方面的理论与工程实践成果。首先介绍了金川矿山信息化概况;然后介绍了金川矿区数字化矿山建设的框架结构;在此基础上,分别介绍了三维可视化系统、智能化控制系统、网络通信系统及监测与监控系统等;最后介绍了金川矿区数字化矿山发展展望。

本书可供采矿、地质、水电和土木工程等领域从事采矿设计、生产实践及科学研究的科研人员使用,也可供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

特大型镍矿数字化矿山建设与进展/包国忠等著. —北京:科学出版社, 2014. 12

(特大型镍矿充填法开采技术著作丛书)

ISBN 978-7-03-043444-9

I. ①特… II. ①包… III. ①超大型矿床-镍矿床-金属矿开采-数字化
IV. ①TD864

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 036028 号

责任编辑:周 炜/ 责任校对:郭瑞芝

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

*

2014 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014 年 12 月第一次印刷 印张:10 1/4

字数:212 000

定价:68.00 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、生产集中化和管理的科学化,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

金川集团股份有限公司是集地质、采矿、选矿、冶炼、化工、材料和科研为一体的国家大型企业,是中国最大的有色金属冶炼企业之一,其下属矿山的生产装备均采用国内外先进的大型采选及提升运输设备,代表了国内矿山采矿业先进技术水平。

近年来,金川集团股份有限公司信息化建设在矿山勘察、规划、设计、生产、管理、全过程监控等领域有了较大发展。信息化技术已渗透到矿山作业的每一个环节,大大地提高了矿山采矿生产效率,不仅降低了采矿成本,而且全面改善了采场作业条件,从而提高了采矿作业安全性和舒适度,为金川企业发展注入了新的发展动力。

数字化矿山是国内外采矿界研究与建设的热点,也是未来采矿发展的必然选择。根据金川矿山工程特点及现代化采矿技术要求,金川矿区开展了数字化矿山建设的理论研究和工程建设。尤其近年来结合矿山“六大系统”的建设,研究和丰富了矿山的安全与环境的监测系统,由此大大提高了金川矿山数字化建设步伐。

本书全面概括了金川矿山数字化建设的理论研究与工程建设成就,是对金川矿山多年来研究成果的总结。本书主要分四部分内容。第1、2章分别介绍了数字化矿山及金川矿区信息化概况;第3~6章分别对金川矿区数字化矿山建设框架体系、三维可视化系统、智能化控制系统、网络通信系统及监测与监控系统进行了详细的阐述;第7~13章重点介绍了金川二矿区数字化矿山的建设和发展;第14章对金川矿区数字化矿山的发展进行了展望。

矿山数字化建设是一项长期研究与发展的工作。自建矿以来,金川矿山虽然投入巨额资金开展了数字化建设的理论研究和工程建设,但是由于复杂的矿床地质条件,矿山数字化研究与发展存在诸多技术难题,导致矿山数字化建设面临诸多问题。金川数字化矿山研究成果及在建设中的经验与教训,可为矿山数字化建设提供参考。

限于作者水平,书中难免存在疏漏和不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

2014年6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 概述	1
1.2 数字化矿山的概念	1
1.3 数字化矿山的体系	3
1.4 数字化矿山建设目的	5
1.5 数字化矿山研究内容与关键技术	9
1.5.1 数字化矿山研究内容	9
1.5.2 数字化矿山的理论基础	11
1.5.3 构建数字化矿山关键技术	11
1.5.4 数字化矿山地质保障信息系统	12
1.6 数字化矿山研究现状与发展趋势	13
1.6.1 国外数字化矿山研究现状	13
1.6.2 国内数字化矿山研究现状	13
1.6.3 数字化矿山研究发展趋势	14
1.7 我国数字化矿山建设存在问题及原因	16
第 2 章 金川集团公司信息化概况	19
2.1 企业概况	19
2.2 企业信息化战略	20
2.3 基础设施建设	21
2.4 管理信息系统建设	21
2.4.1 企业资源计划平台	22
2.4.2 集团协同工作管理平台	22
2.4.3 人力资源系统	22
2.4.4 生产管理平台	22
2.4.5 资金管理平台	23
2.4.6 项目管理系统	23
2.4.7 矿产资源管理平台	23

2.4.8 内控监督平台	23
2.4.9 网络教育平台	23
2.4.10 网站平台	23
2.5 自动化系统建设	24
2.5.1 采矿过程	24
2.5.2 选矿过程	24
2.5.3 冶炼过程	24
2.6 企业公共信息化服务建设	25
2.7 全面提升信息化理念和技术创新水平	25
2.8 信息化建设成果与经验	26
第3章 金川矿区数字化矿山建设框架体系	28
3.1 金川集团公司数字化矿山建设目标	28
3.1.1 长远目标	28
3.1.2 具体目标	28
3.2 数字化矿山系统建设原则	28
3.3 数字化矿山建设总体架构	29
3.3.1 数字化矿山基本架构	29
3.3.2 金川矿区数字化矿山结构	31
3.4 数字化矿山管理系统实现层次	32
3.4.1 网络通信平台	32
3.4.2 矿山地理信息系统	34
3.4.3 自控数据采集系统	35
3.4.4 业务管理信息系统	37
3.5 数据资源标准建设	40
3.5.1 数据资源标准的作用和意义	40
3.5.2 数据资源建设目标	41
3.5.3 矿山安全生产监测监控信息分类编码标准	42
第4章 金川矿区数字化矿山三维可视化系统	44
4.1 系统简介	44
4.2 工作原则与流程	45
4.3 金川矿山数据库建立	45
4.4 阶段工作成果	46
4.4.1 地质数据库的建立	46
4.4.2 地质可视化模型	50
4.4.3 矿块模型建立	51
4.4.4 采空区模型的建立	52
4.4.5 地表及地表工程模型的建立	54

4.4.6 井巷工程可视化模型	56
4.4.7 采掘工程量计算	57
4.4.8 绘制实测平面	58
4.4.9 贫化率量化管理	59
4.4.10 工程质量评价	61
4.4.11 矿石堆场动态管理	61
4.4.12 切采设计	61
4.4.13 工程设计工作中的应用	62
4.4.14 矿山品位预测中的应用	63
第5章 金川矿区智能化控制系统	66
5.1 提升机远程集中控制	66
5.1.1 系统简介	66
5.1.2 提升系统集中控制的网络控制措施	66
5.1.3 系统的主要功能	67
5.2 运输系统远程集中控制	68
5.2.1 系统概述	68
5.2.2 系统组成结构	68
5.2.3 系统主要功能	68
5.3 排水排污控制系统	69
5.3.1 排水排泥方式	69
5.3.2 坑内排水排泥设施	70
5.4 供配电系统	70
第6章 金川矿区网络通信系统	71
6.1 井下人员定位系统	71
6.1.1 系统简介	71
6.1.2 系统实施的意义和必要性	71
6.1.3 系统功能结构	72
6.1.4 项目分步实施	77
6.2 工业电视监控系统	85
6.2.1 项目简介	85
6.2.2 实施必要性、目的及意义	85
6.2.3 实施内容及技术方案	86
6.2.4 实施效果	86
6.3 金川矿区工业以太网	86
第7章 金川二矿区紧急避险系统	88
7.1 自救器配备	88
7.1.1 技术参数	88

7.1.2 配备数量	88
7.2 避险设施建设方式及位置	88
7.2.1 紧急避险设施建设方式	88
7.2.2 紧急避险设施方案比选	89
7.2.3 紧急避险设施建设位置	90
7.3 避灾硐室设计方案	91
7.4 避灾硐室设计	92
7.4.1 避灾硐室规格及配置	92
7.4.2 内部设备配备	92
7.4.3 自给性及密闭性设计	94
7.5 避灾硐室的维护与管理	95
7.6 避灾路线设计	96
7.7 应急预案	97
第8章 金川二矿区压风自救系统	98
8.1 系统现状	98
8.2 系统设计	98
8.2.1 压风系统设计原则	98
8.2.2 压风管道设计	99
8.2.3 需风量计算	99
8.2.4 供风管管径计算	100
8.2.5 系统布置	102
8.3 安装及调试	103
8.3.1 系统安装	103
8.3.2 使用、维护及管理	103
第9章 金川二矿区供水施救系统	104
9.1 系统现状	104
9.2 系统设计	104
9.2.1 供水系统设计原则	104
9.2.2 供水量计算	105
9.2.3 系统布置	106
9.3 安装及调试	106
9.3.1 安装要求	106
9.3.2 调试及使用	107
9.4 管理及维护	107
第10章 金川二矿区通信联络系统	108
10.1 设计原则	108
10.2 通信系统现状及改造	108

10.2.1 系统现状	108
10.2.2 系统改造方案	109
10.3 管理与维护	109
第 11 章 金川二矿区人员定位系统	110
11.1 设计思路	110
11.2 系统现状	111
11.3 主流技术的比较	111
11.3.1 语音通信系统	111
11.3.2 WiFi 与 3G 技术的参数对比	112
11.3.3 人员定位系统	114
11.4 系统功能	116
11.5 系统组成	117
11.5.1 系统结构与设备	117
11.5.2 语音网关	119
11.6 人员定位系统布置及安装	120
11.7 管理与维护	120
第 12 章 金川二矿区监测与监控系统	122
12.1 有毒有害气体监测	122
12.1.1 有毒有害气体监测现状	122
12.1.2 有毒有害气体离线监测	122
12.1.3 有毒有害气体在线监测	122
12.2 通风系统监测	124
12.2.1 风速风压监测	124
12.2.2 风机开停机传感器	125
12.3 视频监控	125
12.3.1 视频监测系统现状	125
12.3.2 视频监测系统补充设计	125
12.4 管理与维护	126
第 13 章 监测数据传输及监控调度指挥中心建设	128
13.1 总体架构	128
13.2 监测数据传输	129
13.3 矿山监控中心建设	129
13.3.1 监控中心结构	130
13.3.2 计算机服务器及网络子系统	130
13.3.3 大屏幕信息显示子系统	130
13.4 监测监控软件系统	131
13.4.1 系统运行环境	131

13.4.2 系统功能	131
13.5 监控调度指挥中心运行管理	133
第 14 章 金川矿区数字化矿山发展展望	135
14.1 数字化矿山建设方向	135
14.1.1 数字化矿山建设发展战略方面	135
14.1.2 数字化矿山基础设施建设方面	135
14.1.3 数字化矿山理论研究方面	136
14.1.4 矿产资源管理信息化方面	136
14.1.5 矿山地、测、采专业的信息化方面	136
14.1.6 矿山安全管理信息化方面	136
14.1.7 矿山管理信息化方面	137
14.1.8 生产过程自动化方面	138
14.2 数字化矿山研究与发展途径	139
14.2.1 加大矿山企业数字化矿山建设的试点和推广	139
14.2.2 加快数字化矿山技术研发	139
14.2.3 产学联合,加大信息化人才储备	139
14.3 数字化矿山效果分析	139
14.3.1 系统运行集成化	140
14.3.2 业务流程合理化	140
14.3.3 绩效监控动态化	140
14.3.4 库存管理高效化	141
14.3.5 管理改善持续化	141
参考文献	142

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

金川集团公司作为我国重要的有色金属生产基地,矿产资源丰富,但矿体厚大、矿岩破碎不稳固、矿体埋藏深、地应力高,由此给矿产资源开发带来严重困难。随着二矿区二期工程的建设,采矿深度增加,开采深度接近千米,开采面积达到 10 万平方米。因此,金川矿产资源的安全、高效开发和综合利用,不仅关系到金川集团公司的发展,而且必将影响我国有色金属在国际上的竞争力。

随着信息时代的到来,数字化矿山的构建已经成为实现矿山企业安全、高效、绿色开采的有效途径,是当今采矿科学、信息科学、人工智能、计算机技术和 3S 技术高度结合的产物,它将深刻地改变传统的采矿生产活动和人们的生活方式。因此,构建金川数字矿山,不仅有利于矿山的科学管理和安全生产,而且能够提高矿山采矿生产能力。

金川镍矿自建成投产以来,十分重视采矿技术攻关及科学技术在采矿生产中的应用。几十年来不断技术攻关,不仅解决了一期工程建设中的技术难题,实现了一期工程无矿柱大面积连续开采,而且在二期工程的开发建设中,也成功解决了 1150m 中段以上厚大矿体的安全开采,成功推广了一期工程的大面积连续开采经验。针对二期工程的采矿技术条件,开展了广泛而深入的研究。研究开发了金川二矿区安全信息管理系统,实现了金川采矿生产和数据管理信息化;首次引进数字矿山建模软件,构建了金川矿产资源的三维地质模型,实现了矿产资源的信息化评估和可视化设计;首次采用光纤光栅传感技术,建立了二矿区采场围岩和充填体的变形监测网,开发了变形监测信息的预警预报系统,实现了采矿生产过程的动态监测和灾变预警;2000 年建立全矿地表 GPS 变形监测网,进行长期动态、实时监测,并开发信息管理系统,实现地表沉降信息的监测与监控;在二矿区膏体充填系统中,引进和完善充填自动控制系统,实现充填系统的精确控制。这些技术的研究与发展,不仅大大提高了金川镍矿生产管理信息化、数字化、网络化水平,而且为金川数字化矿山的建设与发展奠定了坚实基础。

随着金川矿区开采深度的逐步增加,采矿难度增大,深井采矿面临严峻考验,潜在诸多技术难题和安全隐患。因此,金川二矿区深井矿床开采,不仅需要继续开展重大技术难题攻关,更重要的是开发建设金川数字化矿山。通过采用先进的信息技术、人工智能、数值分析和 3S 技术综合集成系统,进行采矿方案优化设计、生产调度系统规划、回采过程动态管理、监测信息动态监测监控,从而实现二矿区千米深井采场地压的有效控制、采场灾变风险的最优决策,为金川大型难采矿床的安全、高效开采提供可靠的保证。

1.2 数字化矿山的概念

综观历史,采矿业曾受到大大小小技术进步的巨大冲击。如今数字地球(digital

earth, DE)和数字中国(digital China, DC)战略的提出及数字农业、数字海洋、数字交通、数字长江、数字城市等一系列示范工程的着手实施,不断激励人们进行数字化矿山的开发与建设。

数字化矿山(digital mine, DM)是数字地球在矿山开发中的应用,所以定义数字化矿山首先要理解数字地球。数字地球是指“一个多种分辨率、三维的表述方式,使人们能嵌入巨大数量的地理坐标系数据系统”,就是指在全球范围内建立一个以空间位置为主线,将信息组织起来的复杂系统,即按照地球坐标整理并构造一个全球的信息模型,描述地球上每一点的全部信息,按地理位置组织、存储起来,并提供有效、方便和直观的检索手段和显示手段,使每一个人都可以快速、准确、充分和完整地了解及利用地球上各方面的信息。在这个意义上,数字地球就是一个全球范围的以地球位置及其相联系为基础而组成的信息框架,并在该框架内嵌入所能获得的信息的总称。因此,可以从两个层次上来理解数字地球。一个层次是将地球表面每个点上的固有信息(即与空间位置直接有关的相对固定的信息,如地形、地貌、植被、建筑、水文等)数字化,按地理坐标组织起来一个三维的数字地球,全面、详尽地刻画人们居住的这个星球,也即通常所指的地球本身;另一个层次是在此基础上再嵌入所有相关信息(即与空间位置间接有关的相对变动的信息,如人文、经济、政治、军事、科学技术乃至历史等)组成一个意义更加广泛的多维的数字地球,为各种应用目的服务。

数字化矿山的特征与数字地球是一致的,只是尺度和范围上不同。所谓数字化矿山就是指在矿山范围将矿山信息以三维坐标为主线,构建成一个矿山信息模型,来描述矿山中每一点的全部信息,按三维坐标组织,存储起来,并提供有效、方便和直观的检索手段和显示手段,使有关人员都可以快速准确、充分和完整地了解及利用矿山各方面的信息。从这个意义上说,数字化矿山就是一个矿山范围内的以三维坐标信息及其相互关系为基础而组成的信息框架,并在该框架内嵌入所获得的信息的总称。因此,可以从三个层次上来理解数字化矿山。

(1) 第一个层次是将数字化矿山中的固有信息(即与空间位置直接有关的固定的信息,如地面地形、井下地形、地质、开采方案、已完成井下工程等)数字化,按三维坐标组织起来形成一个数字化三维空间,全面、详尽描述矿山及采掘工作体系。

(2) 第二个层次是在此数字化三维空间上再嵌入所有相关信息(即与空间位置间接有关的相对变动的信息——网络化离散的管理信息数据,如井下监测监控、供电管理、通风管理、排水管理、生产管理、调度管理等)。

(3) 第三个层次是数字化空间的动态性和业务、管理的多元化。

数字化矿山是一个动态的概念。因为新的数据不断更新,采掘面不断更新,数字化三维空间和空间中的数据都在发生变化。从这个角度来讲,数字化矿山首先是资源的数字化,以大量信息构成的资源量可直观显示出来;其次是信息资源的立体化,而不是平面的;最后业务在这个数字化空间中是多层次、多角度的,管理也是多层次、多角度的,这个数字化空间是多元的。用一些场景来真实感受以下各数字化空间:技术人员可以使用鼠标在模拟的三维矿井中下矿,真实地感受矿井的工作现场和查看现场数据,如现场安全检测设备处于矿山中的何种位置,发挥着何种作用,设备状态如何,谁在进行操作,如何使设备在