



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属

理论与技术前沿丛书
SERIES OF THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL FRONTIERS OF
NONFERROUS METALS

采矿环境再造理论方法及应用

THEORY AND METHODS OF PRECONDITION ROCK MASS FOR MINING

周科平 古德生 著
Zhou KePing Gu DeSheng



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属理论与技术前沿丛书

采矿环境再造理论方法及应用

周科平 古德生 著
Zhou Keping Gu Desheng



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团

图书在版编目(CIP)数据

采矿环境再造理论方法及应用/周科平,古德生著. —长沙:中南大学出版社,2012. 12

ISBN 978-7-5487-0725-7

I. 采... II. ①周...②古... III. 矿区环境保护 IV. X322

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 283054 号

采矿环境再造理论方法及应用

周科平 古德生 著

☐责任编辑 刘 辉

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙利君漾印刷厂

☐开 本 720 × 1000 B5 ☐印张 23.75 ☐字数 405 千字

☐版 次 2012 年 12 月第 1 版 ☐2012 年 12 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0725-7

☐定 价 78.00 元

图书出现印装问题,请与出版社调换

内容简介

Introduction

本书紧扣“采矿环境再造”这一科学命题，重点介绍采矿环境再造的理论、方法和技术应用的最新成果，探索矿山工程领域新技术未来发展的表现形式，并介绍新技术部分应用案例，为深部复杂难采、残矿资源、低品位及含水松软破碎等矿体的开发利用指出发展方向，并提供了相应的技术支撑。

本书可供金属矿与非金属矿地下开采领域的科研与工程技术人员，以及该领域高等院校的教师、高年级本科生和研究生参考使用。

作者简介

About the Authors

周科平,男,1964年6月生,湖南衡阳人,博士,教授,博士生导师。1983—1987年在重庆大学采矿工程系采矿专业学习,获学士学位,1987—1990年在重庆大学攻读采矿工程硕士学位。1997年师从我国著名采矿专家古德生院士,2000年毕业于中南大学,获工学博士学位,2001年在中南大学资源与安全工程学院任教至今。

现任中南大学资源与安全工程学院副院长,教育部新世纪优秀人才(2006年),湖南省学科带头人(2008年)。教育部地矿学科教学指导委员会秘书长,湖南省岩石力学与工程学会理事,中国有色金属学会采矿学术委员会委员,全国金属矿山安全与装备学术委员会委员,《矿业研究与开发》杂志社编委等。

目前主要从事金属矿山开采、环境控制与灾害防治方面的研究工作,先后主持和承担了《大范围隐患区下顶板诱导崩落综合技术研究》、《高价值软破矿体开采环境再造综合技术研究》、《缓倾斜含水多层矿体深孔合采矿废分离连续采矿综合技术研究》等20余项国家与省部级科研课题。获国家科学技术进步二等奖1项,省部级科技进步一等奖4项,二等奖2项,三等奖2项,在国内外发表学术论文100余篇,其中SCI检索6篇,EI检索48篇。

作者简介

About the Authors

古德生，男，汉族，1937年10月生，广东省梅县人。现任中南大学教授、博士生导师，湖南省政协委员、全国政协委员。中国工程院院士。

长期从事采矿设备和工艺的教学、科研工作。创立了以振能有效作用范围、受振矿石性态、振能耗散规律及振机埋设参数优化等内容为核心的振动出矿原理，和以采矿连续工艺系统、连续作业的大块管理及连续作业机组优化配套为主要内容的采矿连续工艺优化理论。创立的振动出矿技术和地下矿连续开采技术具有重大的工程意义和社会经济效益。先后荣获中国有色金属工业“劳动模范”；“国家级中青年有突出贡献专家”；国务院“政府特殊津贴”。在“七五”和“九五”的国家科技攻关中，两次荣获国家科技部、国家财政部、国家计委和国家经贸委联合颁发的“国家重大科技攻关突出贡献者”奖牌。

学术委员会

Academic Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主 任

王淀佐 中国科学院院士 中国工程院院士

委 员 (按姓氏笔画排序)

于润沧	中国工程院院士	古德生	中国工程院院士
左铁镛	中国工程院院士	刘业翔	中国工程院院士
刘宝琛	中国工程院院士	孙传尧	中国工程院院士
李东英	中国工程院院士	邱定蕃	中国工程院院士
何季麟	中国工程院院士	何继善	中国工程院院士
余永富	中国工程院院士	汪旭光	中国工程院院士
张文海	中国工程院院士	张国成	中国工程院院士
张 懿	中国工程院院士	陈 景	中国工程院院士
金展鹏	中国科学院院士	周克崧	中国工程院院士
周 廉	中国工程院院士	钟 掘	中国工程院院士
黄伯云	中国工程院院士	黄培云	中国工程院院士
屠海令	中国工程院院士	曾苏民	中国工程院院士
戴永年	中国工程院院士		

编辑出版委员会

Editorial and Publishing Committee

国家出版基金项目
有色金属理论与技术前沿丛书

主 任

罗 涛(教授级高工 中国有色矿业集团有限公司总经理)

副主任

邱冠周(教授 国家“973”项目首席科学家)

田红旗(教授 中南大学副校长)

尹飞舟(编审 湖南省新闻出版局副局长)

张 麟(教授级高工 大冶有色金属集团控股有限公司董事长)

执行副主任

王海东(教授 中南大学出版社社长)

委 员

苏仁进 文援朝 李昌佳 彭超群 陈灿华

胡业民 刘 辉 谭 平 张 曦 周 颖

汪宜晔 易建国 李海亮

总序

Preface

当今有色金属已成为决定一个国家经济、科学技术、国防建设等发展的重要物质基础，是提升国家综合实力和保障国家安全的关键性战略资源。作为有色金属生产第一大国，我国在有色金属研究领域，特别是在复杂低品位有色金属资源的开发与利用上取得了长足进展。

我国有色金属工业近 30 年来发展迅速，产量连年来居世界首位，有色金属科技在国民经济建设和现代化国防建设中发挥着越来越重要的作用。与此同时，有色金属资源短缺与国民经济发展需求之间的矛盾也日益突出，对国外资源的依赖程度逐年增加，严重影响我国国民经济的健康发展。

随着经济的发展，已探明的优质矿产资源接近枯竭，不仅使我国面临有色金属材料总量供应严重短缺的危机，而且因为“难探、难采、难选、难冶”的复杂低品位矿石资源或二次资源逐步成为主体原料后，对传统的地质、采矿、选矿、冶金、材料、加工、环境等科学技术提出了巨大挑战。资源的低质化将会使我国有色金属工业及相关产业面临生存竞争的危机。我国有色金属工业的发展迫切需要适应我国资源特点的新理论、新技术。系统完整、水平领先和相互融合有色金属科技图书的出版，对于提高我国有色金属工业的自主创新能力，促进高效、低耗、无污染、综合利用有色金属资源的新理论与新技术的应用，确保我国有色金属产业的可持续发展，具有重大的推动作用。

作为国家出版基金资助的国家重大出版项目，《有色金属理论与技术前沿丛书》计划出版 100 种图书，涵盖材料、冶金、矿业、地学和机电等学科。丛书的作者荟萃了有色金

属研究领域的院士、国家重大科研计划项目的首席科学家、长江学者特聘教授、国家杰出青年科学基金获得者、全国优秀博士论文奖获得者、国家重大人才计划入选者、有色金属大型研究院所及骨干企业的顶尖专家。

国家出版基金由国家设立，用于鼓励和支持优秀公益性出版项目，代表我国学术出版的最高水平。《有色金属理论与技术前沿丛书》瞄准有色金属研究发展前沿，把握国内外有色金属学科的最新动态，全面、及时、准确地反映有色金属科学与工程方面的新理论、新技术和新应用，发掘与采集极富价值的研究成果，具有很高的学术价值。

中南大学出版社长期倾力服务有色金属的图书出版，在《有色金属理论与技术前沿丛书》的策划与出版过程中做了大量极富成效的工作，大力推动了我国有色金属行业优秀科技著作的出版，对高等院校、研究院所及大中型企业的有色金属学科人才培养具有直接而重大的促进作用。

王淀佐

2010 年 12 月

序

Foreword

有色金属矿床赋存条件复杂多变,不少矿床岩体破碎不稳固,存在高地应力或地下水等不利因素,开采技术条件复杂,采矿难度大,往往导致采矿效率低,安全保障程度差,资源浪费严重。尤其是近十几年来,我国易于开采的优质矿产资源逐渐被消耗,复杂难采矿体及残矿资源的储量占总储量的比重越来越大,针对这类矿体进行的采矿技术是许多矿山正面临的难题。

可喜的是,广大矿业科技工作者通过科技攻关,取得了多项复杂难采资源开采的技术成果。如丰山铜矿研究出破碎矿体的非均质矿体矿块崩落采矿技术,针对上盘围岩破碎中厚矿体的台阶顶板水平分层充填采矿法;铜绿山铜矿结合大红山铜矿缓倾斜中厚矿体联合出矿空场采矿法,在分支复合矿体开发了分层进路充填采矿工艺;个旧矿区“大马芦”多层缓倾斜含水松软破碎矿体的水平凿岩硐室下向平行深孔崩矿采矿法,采用大直径深孔回采多层松软矿体,实现了深孔合采连续采矿;铜坑锡矿、高峰锡矿、柿竹园多金属矿、厂坝铅锌矿和栾川钼矿等矿山的群空区条件下的残矿回采技术,在工艺和技术上都取得了创新,获得了很好的应用效果。

“十一五”期间,中南大学一直致力于创新和突破复杂难采矿体的开采技术难题,并提出了“采矿环境再造”的学术思想。其含义是通过相关工程技术手段,自主地改造客观存在的松软、破碎、含水等不利于地下开采的矿体赋存地质条件,以创造安全的开采环境,实现复杂难采矿体的安全、高效开采的工艺目标。“采矿环境再造”学术思想的提出,为人们主动去改造采矿环境开创了广阔的技术空间,为复杂难采

资源的开采提供了新的技术思路。

本书紧扣“采矿环境再造”这一科学命题，重点介绍了采矿环境再造的理论、方法及工程应用情况，具有以下几个方面的特色：①系统介绍了“采矿环境再造”科学命题的理论架构，奠定采矿学科发展的新高度；②详细介绍了应力环境、地下水环境和围岩环境再造技术的机理和技术，以及近年来在应用方面取得的相关成果；③站在采矿学科发展的前沿，利用 TRIZ 理论预测采矿环境再造各项技术的发展趋势；④为复杂难采资源的开发利用及其矿业领域内多学科交叉指出了创新思路。

本书内容丰富、逻辑性强、重点突出，具有较高的学术价值和实用性。愿该书的付梓问世，能为我国松软破碎矿体、“三下”矿床、残矿资源、深部矿床等复杂难采资源的开发利用提供借鉴和启迪。我期待该书早日出版，并乐意为之作序！

中南大学教授
中国工程院院士
2012 年 8 月



前言

Foreword

矿产资源是一种不可再生的自然资源，是人类社会赖以生存的重要物质基础，是国家安全与经济发展的重要保证。自旧石器时代以来，人类社会就是在不断发现和扩大开发利用矿产资源的过程中获得发展和进步的。即使在进入信息社会和知识经济时代的今天，仍有 70% 的农业生产资料与矿产资源有关，80% 以上的工业资料和 95% 以上的能源都来自矿产资源，采矿业与以矿产品为原料的加工业总产值占工业总产值的 70% 左右，因此，矿产资源无疑是国家实现工业化和现代化最为重要的物质基础之一。

然而，矿业给人类带来巨大财富的同时，也成为人类对地球环境破坏的主要破坏者、污染源和灾害源。矿业的无序开发，不仅引起了全球性严重的环境负效应与环境生态问题，主要表现在废石、尾矿、废水及废气等带来的生态景观破坏，土壤基质污染，土壤结构变差，养分缺乏，采矿水和下游水质受影响以及生物多样性锐减等方面；而且造成了不少矿产资源严重短缺，给全球经济发展带来了严重的影响和危害，并日益威胁着人类的生存。

事实上，采矿与环境之间的关系，并不是矛盾不可调和。由全球采矿业创新举措(GMI)所支持的关于采矿和可持续发展(MMSD)项目及其 2002 年关于采矿与可持续发展推荐大会，让人们看到了全球采矿工业向可持续方向发展所迈出的重要步骤，世界采矿工作者们正在向着绿色、可持续矿业的发展目标努力着。矿业可持续发展的最重要的内容与手段为：如何合理利用资源、减少废料的排放、保护及修复生态环境，充分利用矿石资源，避免技术上支离分散的设计，

实施高效率采矿。

基于此,本书从采矿环境基本构成以及采矿工程系统的复杂性入手,提出了“采矿环境再造”这一科学命题,通过试验研究、理论分析、数值模拟、现场实测以及工业试验相结合的方法,对采矿环境再造理论、方法及工程应用进行了系统的分析与研究。本书共分8章,第1章采矿环境再造理论架构,第2章应力环境再造技术,第3章地下水环境再造技术,第4章围岩环境再造技术,第5章采矿环境再造多学科优化设计,第6章环境再造深孔诱导崩矿嗣后充填采矿法相似模型研究,第7章非爆破开挖开采环境再造技术及工程应用,第8章采矿环境再造技术发展趋势预测。

全书由周科平教授策划与主持撰稿,中国工程院院士古德生教授终审。参加本书编写的有:周科平(第1章),胡建华(第2章),邓红卫(第3章),高峰(第4章),杨念哥(第5章),肖雄、陈庆发(第6章),李杰林(第7章、第8章)。

本书写作中参阅了大量的文献资料,谨向有关作者表示由衷的谢意。

由于作者水平有限,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批判指正,不胜感激。

编 者

2012年8月于中南大学

目录

Contents

第 1 章 采矿环境再造理论架构	1
1.1 采矿环境再造提出的背景	1
1.2 采矿业引起的环境负效应	2
1.3 采矿环境基本构成	5
1.4 采矿环境再造的基本概念和内涵	6
1.5 采矿环境再造的科学意义	12
1.6 采矿环境再造与绿色开采	13
1.7 采矿环境再造技术体系	14
第 2 章 应力环境再造技术	16
2.1 引 言	16
2.2 采动应力环境特征与再造理念	17
2.3 采动时变卸荷应力分析原理	19
2.4 采动应力诱导矿岩致裂机理与诱导控制	23
2.5 采动应力环境再造实例分析与研究	32
第 3 章 地下水环境再造技术	64
3.1 引 言	64
3.2 天然地下水环境的本构特性	65
3.3 地下水灾害及主动利用	72

2 / 采矿环境再造理论方法及应用

3.4 采动对地下水环境的改变迹象与规律	85
3.5 地下水环境恢复与再造技术	120
3.6 地下水环境再造实例分析与研究	126

第4章 围岩环境再造技术 164

4.1 引言	164
4.2 松软破碎围岩环境再造技术	164
4.3 缓倾斜厚矿体采矿环境再造连续开采综合技术	169
4.4 喀拉通克铜镍矿松软破碎矿床环境再造高效开采 综合技术	209

第5章 采矿环境再造多学科优化设计 241

5.1 多学科优化设计理论	241
5.2 采矿环境再造工程设计中的过程集成与多学科 优化	248
5.3 多学科优化设计软件	251
5.4 采矿环境再造多学科优化设计实例分析	256

第6章 环境再造深孔诱导崩矿嗣后充填 采矿法相似模型试验 259

6.1 相似模型试验目的及方案	259
6.2 相似模型试验原理及配比试验研究	261
6.3 相似模型试验装置、设备	271
6.4 模型构建及试验结果分析	277

第7章 非爆破开挖开采环境再造技术及 工程应用 304

7.1 非爆破开挖开采环境再造技术的提出	304
7.2 非爆破开挖开采环境再造技术的理论基础	307

7.3 非爆破开挖开采环境再造技术的工程应用概况	312
7.4 非爆破开挖开采环境再造工程稳定性分析	321
7.5 非爆破开挖柱井的施工	335
第8章 采矿环境再造技术发展趋势预测	341
8.1 引 言	341
8.2 TRIZ 创新理论及技术进化理论	342
8.3 基于 TRIZ 技术进化理论的应力环境再造技术 发展趋势预测	346
8.4 破碎矿体采矿环境再造技术发展趋势预测	349
8.5 地下水环境再造关键技术发展预测	354