



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中国矿业大学图书馆藏书



C01611526

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

深井矿山充填理论与管道输送技术

THEORY OF BACKFILLING ACTIVITY AND PIPELINE TRANSPORTATION TECHNOLOGY OF BACKFILL IN DEEP MINES

王新民 古德生 张钦礼 编著

Wang Xinmin Gu Desheng Zhang Qinli



中南大学出版社
www.csupress.com.cn



中国有色集团

TD853. 34
W-884. 2



内容简介

国家出版基金项目

NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

有色金属理论与技术前沿丛书

深井矿山充填理论与管道输送技术

THEORY OF BACKFILLING ACTIVITY AND PIPELINE
TRANSPORTATION TECHNOLOGY OF BACKFILL IN DEEP MINES

王新民 古德生 张钦礼 编著

Wang Xinmin Gu Desheng Zhang Qinli



中国矿业大学图书馆藏书



C01611526



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

深井矿山充填理论与管道输送技术/王新民,古德生,张钦礼编著.
—长沙:中南大学出版社,2010.12

ISBN 978-7-5487-0152-1

I. 深... II. ①王... ②古... ③张... III. 金属矿开采:①地下
开采—充填法②金属矿开采:地下开采—充填材料—管道运输
IV. TD853.34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 256825 号

深井矿山充填理论与管道输送技术

王新民 古德生 张钦礼 编著

-
- 责任编辑 胡业民
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 湖南地图出版社印刷厂
-

- 开 本 720×1000 B5 印张 23 字数 446 千字
版 次 2010 年 12 月第 1 版 2010 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5487-0152-1
定 价 90.00 元
-

图书出现印装问题,请与经销商调换

内容简介

Introduction

本书介绍了深井矿山充填理论、充填系统与工艺及管道输送技术。内容包括：深井矿山充填体作用机理、充填材料及充填质量控制、充填材料的制备工艺与管道输送、深井矿山充填系统、深井管道输送的可靠性及管道磨损。此外还介绍了国内外几个典型的深井矿山实例。

本书涵盖了大量的最新科研进展和工程经验，内容丰富、叙述简明。可供从事矿山采矿工程的研究与设计的技术人员参考，也可作为有关专业研究生教材或参考书。

作者简介

About the Author

王新民，男，1957年4月生，安徽省安庆市人，汉族，工学博士，中南大学教授，博士生导师。中南大学国家重点学科采矿工程学科矿山无废害开采方向学科带头人，采矿工程与技术研究所所长，现任湖南中大设计院总经理。

王新民教授长期以来一直从事采矿工程与安全技术领域教学科研设计工作，主持和完成科研与设计项目60余项，包括国家“九五”科技攻关项目和“十一五”国家科技部科技支撑计划项目。获国家科技进步二等奖一项，省部级科技进步一、二、三等奖九项，出版著作三部，特别是在矿山充填材料、充填理论与应用技术方面颇有建树。

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、科研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

前言

Foreword

近十年来,随着我国工业化过程的加速、世界制造业向中国的转移,我国矿产资源的勘探、开发和供给已成为国民经济持续、稳定、快速发展的重要条件。据不完全统计,2009年我国的钢、有色金属、黄金、煤、水泥等大宗资源产品总量均居世界第一,已成为名副其实的资源产出和需求最大的国家。但是作为全球制造业大国,与我国巨大的消费潜力相比,大多数金属矿产资源的供应远远不能满足国民经济快速增长的需求,如铁矿石进口量约占全世界铁矿石进口量的70%,铜的自给率不足40%。因此,资源的短缺已经成为我国经济可持续发展的瓶颈,其保障度已接近或低于底线,严重威胁国家经济安全,使我国面临巨大的危机与挑战。

矿产资源供应短缺的现状固然与消费过快增长有关,但更多的原因在于国内已探明的储量十分有限,而且主要都集中在地表浅部(+600 m)。我国除有限的几种资源(如稀土、锡、钨、煤)在世界上略占优势外,大部分金属探明储量都偏低。我国地下开采的平均深度不及印度,与南非、加拿大等资源生产大国相比还有很大差距。随着浅部资源的逐渐枯竭和深部资源勘探力度的加强,我国将步入深井开采国家行列。实际上,我国在深部勘探与开发方面已经取得了一定成绩,如胶东新城、夏甸等几个百吨以上的大型金矿都是在500 m以下的第二富集带找到的。山东新矿集团、安徽冬瓜山铜硫矿、广西高峰矿业等开采深度已经接近或超过1000 m。

众所周知,充填采矿法由于能够最大限度地回收矿产资源,保护地表环境和建构筑物。特别是近年来,随着充填材料、充填工艺及管道输送装备和技术的不断进步,在有色金属矿山和贵金属矿山得到了广泛应用。并且因充填成本的不断降低和资源性产品价格的持续走高,以及国家对环境保护的重视,充填法因其无可替代的优势,在煤矿、铁矿、化工矿山等传统上不宜采用充填

法的矿山,应用比重也越来越大。尤其是深井或超深井开采(以下简称“深井开采”)这一特殊环境将带来一系列安全问题,主要包括岩爆(rockburst)、高温、采场闭合和地震活动等,其中尤以岩爆为主要危害。国内外深井矿山开采实践表明,充填采矿法,特别是管道自流输送的胶结充填采矿法,由于充填效率高,可有效预防和控制岩爆,降低工作面温度,成为深井矿山首选的开采方法。深井充填在我国尚处于起步阶段,因此深井充填的技术研究成果相对匮乏。国外虽有研究,但并不系统,随着我国越来越多的矿山步入深井开采行列,采用深井充填工艺的矿山将越来越多。为提高深井充填效率和水平,必须尽快创建系统的深井充填技术体系,推进地下矿山采矿技术创新,从而实现在保护资源与环境,提高效益的前提下,确保矿山的可持续发展。

《深井矿山充填理论与管道输送技术》一书共分7章,针对深井开采涉及的充填技术问题,进行了较为系统的研讨,重点介绍了深井矿山充填体的作用机理、充填材料及质量控制、充填材料的制备工艺及管道输送工艺技术,探讨了适用于深井矿山的若干个充填系统的主要构成及适用性、深井充填管道输送系统的可靠性及管道磨损等问题,给出了国内外几个典型采用充填法的深井矿山实例。本书编著过程中参阅了大量近年来发表的相关科技文献,融入了编著者部分研究成果。本书尤其注重工程应用性,试图成为深井矿山充填系统设计、施工与管理的有价值的参考书,既可供采矿与安全工程专业的本科生和研究生作为教材使用,也可供相关领域设计、研究和生产技术人员参考。

本书在撰写与出版过程中得到了中南大学出版社文援朝总编辑的大力支持,在此表示衷心感谢。同时对本书所引用的文献与资料的单位、作者一并致谢。

因撰者学识与水平所限,错误与不足之处在所难免,衷心期盼同行专家、读者评判指正。



2010年9月

目录

Contents

第1章 绪论	1
1.1 深井矿山充填技术的特性	1
1.2 深井开采技术研究状况	3
1.3 深井矿山充填技术发展现状	6
第2章 深井矿山充填体作用机理	12
2.1 采场围岩及充填体稳定性的控制因素	12
2.2 充填体的作用机理	15
2.2.1 充填体的支护作用	15
2.2.2 充填体与系统的共同作用	16
2.2.3 充填体的充填作用	17
2.2.4 充填体的综合作用机理	17
2.3 胶结充填体的破坏机理	18
2.3.1 充填工艺及所形成的充填体的破坏形式	18
2.3.2 层状充填体顶板的冒落条件	20
2.3.3 充填体破坏过程	21
2.4 深井岩爆的能量诠释	24
2.5 深井矿山的充填支护系统	27
2.5.1 深井矿山充填区域支护的影响因素	27
2.5.2 连续矿柱与充填体组合的区域支护系统	31
第3章 充填材料及充填质量控制	34
3.1 常用充填材料的来源及分类	34
3.2 充填骨料	35
3.2.1 充填骨料的化学成份	35
3.2.2 充填骨料的密度	36

2 / 深井矿山充填理论与管道输送技术

3.2.3	充填骨料的孔隙率	36
3.2.4	充填骨料母岩的强度	36
3.2.5	松散充填骨料的沉缩	37
3.2.6	松散充填骨料的粒级组成	37
3.3	胶凝材料	40
3.3.1	水泥	40
3.3.2	高水速凝固结材料	45
3.3.3	全水胶固材料	49
3.3.4	工业废渣活性材料	51
3.3.5	磁黄铁矿和黄铁矿	53
3.4	改性材料	54
3.4.1	水	54
3.4.2	絮凝剂	56
3.5	充填体的含水与脱水	62
3.6	充填体的力学特性	63
3.6.1	充填体的强度	63
3.6.2	充填体的自立高度	68
3.6.3	充填体的压缩特性	69
3.6.4	充填材料制备和充填工艺对充填体力学特性的影响	70
3.7	充填质量控制	71
3.7.1	料浆的配合比	71
3.7.2	采场充填工艺	91
3.7.3	充填接顶	94
3.7.4	层状充填体顶板的质量控制标准	97

第4章 充填材料的制备工艺与管道输送 99

4.1	充填系统和充填量计算	99
4.1.1	充填系统	99
4.1.2	充填量计算	99
4.2	水砂充填系统	100
4.2.1	水砂充填的适用条件及优缺点	100
4.2.2	制备站及结构	101
4.2.3	充填管道和管件	103
4.3	分级尾砂充填	105
4.3.1	尾砂的分级	106

4.3.2	卧式砂仓和立式砂仓	110
4.3.3	尾砂胶结充填料制备站的主要设备	117
4.3.4	水泥的风力输送入仓	121
4.3.5	充填钻孔	124
4.3.6	尾砂充填和尾砂胶结充填的采场排水	127
4.4	全尾砂的浓密和过滤	127
4.5	膏体和混凝土充填	134
4.5.1	膏体和混凝土充填工艺	134
4.5.2	细石混凝土充填工艺	135
4.5.3	膏体和细石混凝土的可泵性	137
4.5.4	膏体和细石混凝土的泵送设备	140
4.6	非机械快速浓缩全尾砂胶结充填	142
4.6.1	全尾砂絮凝沉降浓缩试验	143
4.6.2	絮凝理论与药剂作用机理	151
4.6.3	全尾砂配比试验	156
4.6.4	工业试验及应用	160
4.7	两相流管道输送技术	163
4.7.1	充填材料水力输送特性	163
4.7.2	充填料浆的悬浮条件	163
4.7.3	充填料浆特性	168
4.7.4	水力坡度	170
4.7.5	临界流速及有关管道参数的计算	174
4.7.6	水力输送计算实例	175
4.7.7	管道两相流输送参数数值模拟	178
第5章	深井矿山可以选择的几种充填系统	182
5.1	细砂管道自流输送充填系统	183
5.1.1	物料制备系统	183
5.1.2	物料运送系统	186
5.1.3	物料存储设施	188
5.1.4	充填料浆制备系统	189
5.1.5	监测仪表与功能	190
5.1.6	细砂管道胶结充填生产工艺	191
5.1.7	井下排泥排水	192
5.1.8	充填站的环境管理	192

4 / 深井矿山充填理论与管道输送技术

5.1.9	深井矿山中应用自流充填系统需要解决的问题	193
5.2	膏体泵送充填系统	193
5.2.1	物料准备	194
5.2.2	膏体充填料的可泵性	194
5.2.3	膏体充填料浆管道阻力损失的计算	195
5.2.4	定量给料搅拌制备膏体	198
5.2.5	泵压管路输送	198
5.2.6	采场充填	199
5.2.7	水泥的添加方式	199
5.3	膏体自流充填系统	200
5.3.1	临界流态浓度的界定	203
5.3.2	料浆流态的转化措施	203
5.3.3	地表储料仓	207
5.3.4	膏体自流充填料浆的输送	208
5.3.5	膏体自流充填系统的生产	208
5.4	块石胶结充填系统	210
5.4.1	国内的块石胶结充填	210
5.4.2	井下充填料浆的混合方式	212
5.4.3	充填材料的制备及配合比选择	215
5.4.4	深井矿山废石胶结充填的生产	216
5.5	深井矿山充填系统的选择	216
5.6	深井矿山充填系统的水力计算	217
第6章	深井管道输送的可靠性及管道磨损	221
6.1	深井充填系统构成	221
6.1.1	自流输送管道充填系统的组成	221
6.1.2	充填系统工艺流程	222
6.1.3	深井充填系统的层次结构	223
6.2	深井充填系统的特性	224
6.2.1	原料及供给的不确定性	225
6.2.2	制备和输送系统的不确定性	227
6.2.3	充填效果的不确定性	228
6.2.4	充填系统失效模式的不确定性	231
6.3	深井充填系统故障模式与分析	231
6.3.1	FMEA 的起源与发展	232

6.3.2	FMEA 原理及方法	232
6.3.3	深井充填系统 FMEA 分析实例	237
6.4	深井充填管道输送系统的可靠性对策	242
6.4.1	充填料浆运动形式	242
6.4.2	深井充填管道的失效机理	243
6.4.3	充填管道系统可靠性对策	248
6.5	充填钻孔磨损机理及降低磨损技术	259
6.5.1	充填钻孔内管壁磨损的主要影响因素	259
6.5.2	充填钻孔磨损因素的 AHP 定量化分析	262
6.5.3	充填钻孔内管壁磨损机理	269
6.5.4	降低管道磨损措施	276
第 7 章	国内外深井矿山实例	278
7.1	冬瓜山铜矿深部充填技术	278
7.1.1	极细颗粒全尾砂高浓度连续放砂实践	279
7.1.2	充填挡墙	281
7.2	孙村煤矿深部制冷降温技术	287
7.2.1	矿井热源分析	288
7.2.2	矿井高温的危害	288
7.2.3	通风降温	288
7.2.4	冰冷辐射降温	291
7.2.5	应用价值和推广前景	294
7.3	龙首矿下向分层胶结充填采矿法	295
7.3.1	地质概况及开采技术条件	295
7.3.2	采矿方法简介	295
7.3.3	六角形进路的形成过程	297
7.3.4	充填工艺	298
7.4	南非威特沃特斯兰德超深薄矿脉开采	303
7.4.1	留走向矿柱的长壁采矿法	303
7.4.2	留倾斜矿柱的下行式水平采矿法	304
7.4.3	留倾斜矿柱的上行式水平采矿法	304
7.4.4	留倾斜矿柱的下行式倾斜采矿法	305
7.4.5	充填体的作用	305
7.4.6	通风和制冷系统设计时应考虑的因素	306
7.5	Kidd Creek 矿胶结充填系统	307

6 / 深井矿山充填理论与管道输送技术

7.5.1	块石胶结充填系统	308
7.5.2	膏体胶结充填系统	314
7.5.3	粉煤灰胶结充填系统	318
7.6	南非 Elandsrand 金矿 V 型梯段式房柱采矿法	330
7.6.1	地质概况及开采技术条件	330
7.6.2	V 型梯段式房柱采矿法	331

参考文献 **340**