

LINKUANGSHAN SHENBU KUANGTI
DIXIA KAICAI JISHU

磷矿山深部矿体 地下开采技术

李耀基 李小双 张东明 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

云南磷化集团有限公司深部矿体开采方法研究项目资助

国家“十二五”支撑计划项目《难采选中低品位胶磷矿高效开发关键技术及工程示范》资助

国家“十二五”支撑计划项目《绿色矿山关键技术集成及综合示范》资助

中国博士后第 51 批科学基金项目《缓倾斜薄至中厚磷矿体开采技术研究》资助

磷矿山深部矿体地下开采技术

李耀基 李小双 张东明 著

冶金工业出版社

2013

内 容 简 介

本书主要介绍了国内外磷矿山深部矿体开采现状,我国磷矿资源开采现状,以及在不同倾角、不同开采矿层数目、不同采矿方法、不同开采矿层厚度、不同顶板硬度、不同夹层厚度条件下,倾斜中厚磷矿山深部矿体地下开采过程中采场顶板、围岩的稳定性及矿压活动规律与采场覆岩的采动破坏特征及移动规律,倾斜中厚磷矿床深部矿体地下开采过程中的安全隐患与灾害防治措施。

本书为磷矿山深部矿体地下开采现场工程实践提供理论依据与技术支撑,可供采矿、安全专业的学生及从事磷矿山开采方面工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

磷矿山深部矿体地下开采技术/李耀基,李小双,张东明著.

—北京:冶金工业出版社,2013.5

ISBN 978-7-5024-6248-2

I. ①磷… II. ①李… ②李… ③张… III. ①磷矿床—
非金属矿开采—地下开采 IV. ①TD871

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 093379 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 李 雪 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 李 娜 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6248-2

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2013 年 5 月第 1 版,2013 年 5 月第 1 次印刷

169mm×239mm;14 印张;271 千字;210 页

49.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)





李耀基，男，1962 年 6 月出生，教授级高级工程师、云南省科技创新人才，国家磷资源开发利用工程技术研究中心主任，云南省磷资源采选工程研究中心主任，云南省中低品位胶磷矿选矿创新团队带头人，云南磷资源高效开发利用产业技术创新战略联盟理事长，云南磷化集团有限公司总经理，获云南省政府特殊津贴的中青年专家，全国化工优秀科技工作者。现兼任重庆大学矿业工程博士后合作导师，武汉工程大学兼职教授。先后参与和主持完成国家、云南省重点科技计划项目 20 多项，云南省重点建设项目（产业化项目）4 项。主编可行性研究报告和试验研究报告 20 余篇，在国内国际学术刊物上发表论文 20 余篇。共获得国家科技进步二等奖 1 项，省部级一等奖 2 项，二等奖 1 项，三等奖 3 项，获得发明专利 3 项，出版专著 2 部。



李小双，男，1983 年 5 月出生，博士后，工程师，国家磷资源开发利用工程技术研究中心研发总控部部长，云南省中低品位胶磷矿选矿创新团队核心成员。先后参与和主持完成国家、省重点、企业科技计划项目 10 多项。主编可行性研究报告和试验研究报告 10 余篇，在国内国际学术刊物上发表论文 20 余篇，其中 SCI 收录 4 篇，EI 收录 10 篇，申请发明专利 6 项，出版专著 2 部。

序

磷矿是指在经济上能被利用的磷酸盐类矿物的总称，是一种重要的化工矿物原料。磷矿在工业上的应用已有一百多年的历史。磷矿主要用于生产磷肥，是磷矿的主要消费产品；磷矿也可以用来制造黄磷、磷酸、磷化物及其他磷酸盐类产品，这些产品被广泛应用于医药、食品、火柴、染料、制糖、陶瓷、国防等工业部门。

磷是植物生长必不可少的三大营养元素之一，是生物细胞质的重要组成部分，它与氮、钾营养元素一样，对植物的生长和发育都是同等重要的，而且不可代替。植物幼苗缺磷，则茎薄、叶小，分蘖或侧枝受到限制，致使成熟期推迟和籽粒不实，显著影响产量。此外，缺磷的土壤往往也缺氮，磷氮这两种养分配合施用可以产生协同效应，相互促进氮的利用率和磷的利用率的提高，收到叠加的效果。如水稻单施时，磷的利用率为14%；当氮磷配合施用时，磷的利用率可提高至30%。因此，磷肥及磷复肥对农作物的生长及增产具有较大的作用。

磷矿主要用来生产磷肥及磷复肥，磷肥是三大基础化学肥料之一，我国用于磷肥生产所消耗的磷矿石约占磷矿石消费总量的85%。我国是农业大国，农业是我国的国民经济基础，但是我国农业资源禀赋条件差，人多地少，人均耕地仅1.2亩，只及世界人均耕地的40%。受工业经济发展和城市化步伐加快的影响，我国耕地逐年减少，而人口数量还在不断地增加。要在占世界9%的耕地上养活占世界20%的人口，在耕地减少和人口增加的双重压力下，农业的种植强度必须提高。因此，化肥对农业生产及提高农作物产量具有非常重要的作用。

生产磷肥及磷复肥的原料磷矿石，是一种不可再生的矿产资源。据美国地质调查局统计：我国磷矿石储量为37亿吨，仅次于摩洛哥，居全球第二；2006年我国磷矿石产量超过美国成为世界第一大生产国，2010年我国磷矿石产量7260万吨，约占世界产量的39%，我国是磷矿资源大国，也是生产大国。我国磷矿资源储量占全国前五位的依次是云南、贵州、湖北、湖南和四

川, 五省共占全国探明资源储量的 78.3%, 磷矿石产量占全国的 92%, 我国北方和东部地区可供利用的磷矿资源很少, 磷矿资源分布相对集中。我国磷资源禀赋条件较差, 贫矿多、富矿少, 平均品位 17% 左右; 矿体以中厚度缓倾斜层状为主, 开采难度大; 沉积型磷块岩绝大多数是含硅钙镁的胶磷矿型, 约占探明资源储量的 85%, 磷矿物和脉石矿物共生紧密, 嵌布粒度细, 选矿技术难度大和生产成本高。为了确保农业生产需求, 农业部提出农业对磷肥的需求量为 1300 万吨 P_2O_5 。2010 年我国磷肥表观消费量 1312 万吨 P_2O_5 , 其中化肥用矿占 85.2%。从 2007 年开始, 彻底改变了我国农业生产所需磷肥依赖进口的局面, 磷肥工业发展适合国情、具有中国特色得益于我国磷矿资源供给的基本保障。国产磷肥价廉物美, 惠及农民, 为保证国家粮食安全作出了巨大贡献。因此, 磷资源高效开发利用是关系到我国的粮食生产安全的重大课题, 磷矿资源的可持续发展, 将会对我国农业的生产、丰产及国民经济产生重要影响, 具有战略意义。

云南是我国磷资源大省, 也是磷矿开发和磷肥生产大省, 2010 年磷矿和磷肥产量分别占全国 31.3% 和 22.8%, 支撑磷肥生产的磷资源开发主要以滇池周边露天矿山为主。随着浅部资源逐渐耗尽, 矿山转入露天-地下联合或地下开采将迫在眉睫。因此, 解决深部复杂赋存地质条件下开采缓倾斜/薄至中厚磷矿体的技术难题, 将突破制约云南磷矿资源高效开发利用、实现可持续供给的瓶颈。

目前, 国内缺乏系统研究磷矿山深部矿体地下开采技术的专业性书籍, 该书在系统理论研究的基础上, 以环滇池周边磷矿为实例, 用全面的、系统的研究方法和手段, 提供了矿山高效、安全和绿色的采矿新工艺, 解决了磷矿工艺与设备等关键问题以及地质灾害防治技术措施, 是对我国磷矿山深部矿体地下开采具有较好参考价值的图书。

中国化学矿业协会秘书长

袁俊宏

2013 年 1 月

前 言

磷矿是国家重要的战略资源，在我国粮食生产、现代化学工业、新能源、新材料及国防等领域中具有广泛用途。磷是农业中不可替代的磷肥的生产原料，磷资源的高效开发利用是关系到我国的粮食生产安全的重大课题。磷也是国土资源部列为 2010 年后不能满足国民经济发展需求的 20 个矿种之一。

磷矿物按其成矿起源可分为沉积岩、变质岩和火成岩。目前，工业开采约 85% 是海相沉积岩磷矿，其余主要为火成岩磷矿。我国磷矿绝大部分属于海相沉积岩磷矿，缓倾斜、薄至中厚难采磷矿床占已探明工业储量的 70% 以上，而地下开采的矿山又约占缓倾斜、薄至中厚难采磷矿的 70% 左右，最具有代表性的矿山为贵州的开阳磷矿。矿山采用露天或者地下开采后，其相应的采矿方法、采矿工艺、生产及运输程序以及由采矿活动引起的边坡、采场覆岩、围岩与地表的采动破坏特征、顶板与采场围岩矿压活动规律是截然不同的。经过几十年持续高强度的开采，20 世纪末以来，随着我国露天磷矿山浅部资源逐渐枯竭，许多露天磷矿山已经进入深凹露天开采阶段，部分磷矿山正在或者已经转入露天和地下联合开采或者全部地下开采阶段。因此对磷矿床深部矿体开采的研究，显得尤为迫切与突出。

本书共 10 章。第 1 章为绪论，主要介绍了国内外矿山深部矿体地下开采现状、国内外采场覆岩矿压与采场覆岩变形理论研究现状；第 2 章主要介绍了矿区工程地质概况与深部矿体地下开采分析；第 3 章通过正交配比试验，得出云南磷化集团晋宁磷矿 2 号坑口北部采区各岩层相似材料试验配比方案；第 4~7 章通过相似材料模拟试验，对不同倾角、不同开采矿层数目、不同采矿方法、不同矿体厚度条件下倾斜中厚磷矿山深部矿体地下开采过程中采场顶板、围岩的稳定性及矿压活动规律，采场覆岩的采动破坏特征及移动规律进行了系统研究；第 8 章通过 FLAC^{3D} 拉格朗日有限差分方法数值软件对不同倾角、不同开采矿层数目、不同采矿方法、不同开采矿层厚度、不同顶板硬

度、不同夹层厚度条件下倾斜中厚磷矿山深部矿体地下开采过程中采场顶板、围岩的稳定性及矿压活动规律；采场覆岩的采动破坏特征及移动规律进行系统研究；第9章结合云南磷化集团有限公司晋宁磷矿2号坑口北采区深部矿体开采具体的地质条件和采矿技术水平，在参考国内外类似磷矿山地下开采经验基础上，对云南磷化集团深部矿体地下开采安全隐患与防治措施进行研究。

作者特别感谢重庆大学的尹光志教授、许江教授、黄滚副教授在书本撰写过程中提出的宝贵建议，感谢重庆大学的王维忠高工在实验过程中提供的悉心帮助，感谢云南磷化集团有限公司的王清生副总经理、崔周全副总经理、科技处陆伟才处长、科技处张晖副处长、“835”项目部何林书记、晋宁磷矿台国光副矿长、国家磷资源开发利用工程技术研究中心冯碧元常务副主任、国家磷资源开发利用工程技术研究中心方世祥书记、国家磷资源开发利用工程技术研究中心综合管理部沈潜部长在书本出版过程中的悉心帮助。

本书的出版得到了云南磷化集团有限公司深部矿体开采方法研究项目、国家“十二五”支撑计划项目《难采选中低品位胶磷矿高效开发关键技术及工程示范》、国家“十二五”支撑计划项目《绿色矿山关键技术集成及综合示范》、中国博士后第51批科学基金项目《缓倾斜薄至中厚磷矿体开采技术研究》的资助，作者在此深表谢意。由于作者水平有限，书中难免有不足和欠妥之处，恳切希望读者予以批评指正。

作 者
2013年1月

目 录

1 绪论	1
1.1 问题的提出及研究的意义	1
1.1.1 问题的提出	1
1.1.2 研究的意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 国内外磷矿山深部矿体开采现状	2
1.2.2 国内矿山压力研究现状	3
1.2.3 国内矿山岩层与地表采动损害研究现状	7
1.2.4 国内外磷矿采矿方法研究现状	11
1.2.5 国内外磷矿资源赋存现状	12
1.2.6 磷矿开采关键技术研究现状	15
1.2.7 磷矿开采相关知识产权及技术市场需求	16
1.3 当前存在的主要问题	16
1.4 本书研究的主要内容与技术路线	17
1.4.1 主要内容	17
1.4.2 技术路线	19
2 矿区工程地质概况与深部矿体开采分析	20
2.1 晋宁磷矿概况	20
2.1.1 矿区地理、交通位置	20
2.1.2 自然经济地理概况	20
2.1.3 矿山现状	20
2.1.4 矿山地质概述	21
2.2 晋宁磷矿 2 号坑口北采区概况	23
2.2.1 自然地理	23
2.2.2 矿区地层	24
2.2.3 矿区构造	26
2.2.4 矿床地质特征	26

2.2.5 矿体围岩和夹石	27
2.2.6 晋宁磷矿2号坑口北采区开采现状	27
2.3 晋宁磷矿深部矿体开采分析	28
2.3.1 1号坑口	28
2.3.2 2号坑口	28
2.3.3 3号坑口	29
2.3.4 4号坑口	29
2.3.5 5号坑口	30
2.3.6 6号坑口	30
2.3.7 7~10号坑口	31
2.3.8 深部开采分析	31
2.4 岩石基础物理力学参数测定	32
2.4.1 岩样采集与制备	32
2.4.2 试验设备和仪器	33
2.4.3 岩石物理力学参数测定	35
2.4.4 岩体力学参数研究	39
2.5 本章小结	39
3 相似材料配比试验	41
3.1 相似材料的选取	41
3.2 相似材料配比试验	43
3.2.1 配比试验仪器与试验方案	43
3.2.2 配比试验结果测试	46
3.3 本章小结	49
4 不同倾角磷矿地下开采矿压活动规律与采场覆岩变形特征	50
4.1 概述	50
4.2 不同倾角磷矿地下开采相似模拟试验	50
4.2.1 相似模拟试验理论	51
4.2.2 相似模拟试验概况	53
4.2.3 相似模拟试验结果与分析	63
4.3 本章小结	87
5 不同矿层数目磷矿地下开采矿压活动规律与采场覆岩变形特征	89
5.1 概述	89

5.2 不同矿层数目磷矿地下开采相似模拟试验	90
5.2.1 相似模拟试验理论	90
5.2.2 相似模拟试验概况	90
5.2.3 相似模拟试验结果与分析	92
5.3 本章小结	107
6 不同采矿方法磷矿地下开采矿压活动规律与采场覆岩变形特征	110
6.1 概述	110
6.2 不同采矿方法磷矿地下开采相似模拟试验	110
6.2.1 相似模拟试验理论	110
6.2.2 相似模拟试验概况	111
6.2.3 相似模拟试验结果与分析	111
6.3 本章小结	125
7 不同矿体厚度磷矿地下开采矿压活动规律与采场覆岩变形特征	127
7.1 概述	127
7.2 不同采矿方法磷矿地下开采相似模拟试验研究	127
7.2.1 相似模拟试验理论	127
7.2.2 相似模拟试验概况	128
7.2.3 相似模拟试验结果与分析	128
7.3 本章小结	142
8 深部磷矿体地下开采矿压活动规律与采场覆岩变形特征的数值模拟	145
8.1 概述	145
8.2 FLAC ^{3D} 概述	145
8.2.1 FLAC ^{3D} 计算程序简介	145
8.2.2 FLAC ^{3D} 计算基本原理与理论	146
8.3 模型的建立与计算方案	148
8.3.1 基本假设	148
8.3.2 模型的几何尺寸	148
8.3.3 模型的边界条件	149
8.3.4 模型计算本构关系	149
8.3.5 模型岩体参数的确定	150
8.3.6 数值模拟计算方案	151
8.4 计算结果及分析	152

8.4.1 深部磷矿地下开采矿压活动规律	152
8.4.2 深部磷矿地下开采采场覆岩变形特征	165
8.5 本章小结	180
9 深部磷矿体地下开采安全隐患与防治措施	183
9.1 概述	183
9.2 深部磷矿地下开采安全因素分析	183
9.2.1 自然危险、有害因素	183
9.2.2 露天坑	184
9.2.3 开拓系统危险、有害因素	184
9.2.4 运输系统危险、有害因素	184
9.2.5 通风系统危险、有害因素	185
9.2.6 排水系统	185
9.2.7 供电系统	185
9.2.8 采矿系统	186
9.2.9 矿山设备	187
9.2.10 矿山火源	187
9.2.11 安全管理	187
9.2.12 职业卫生	188
9.2.13 矿山基建期	188
9.3 深部磷矿地下开采安全预防措施	189
9.3.1 自然因素	189
9.3.2 露天坑	189
9.3.3 开拓系统	189
9.3.4 运输系统	190
9.3.5 通风系统	190
9.3.6 排水系统	190
9.3.7 供电系统	191
9.3.8 采矿系统	191
9.3.9 矿山设备	193
9.3.10 矿山火源	193
9.3.11 安全管理安全对策措施	193
9.3.12 职业卫生安全对策措施	193
9.3.13 矿山基建期安全对策措施	194
9.4 本章小结	194

10 结论与展望	196
10.1 结论	196
10.2 展望	199
参考文献	201

1 绪 论

1.1 问题的提出及研究的意义

1.1.1 问题的提出

磷矿是国家重要的战略资源，在我国粮食生产、现代化学工业、新能源、新材料及国防等领域中具有广泛用途。磷是农业中不可替代的磷肥生产原料，因此磷资源的高效开发利用是关系到我国粮食生产安全的重大课题。并且，磷是国土资源部列为 2010 年后不能满足国民经济发展需求的 20 个矿种之一。磷矿物按其成矿起源可分为沉积岩、变质岩和火成岩。目前，工业开采约 85% 是海相沉积岩磷矿，其余主要为火成岩磷矿。我国磷矿绝大部分属于海相沉积岩磷矿，缓倾斜、薄至中厚难采磷矿床占已探明工业储量的 70% 以上，而地下开采的矿山又约占 70% 左右，最具有代表性的矿山为贵州的开阳磷矿。矿山采用露天或者地下开采后，其相应的采矿方法、采矿工艺、生产及运输程序以及由采矿活动引起的边坡、采场覆岩、围岩与地表的采动破坏特征、顶板与采场围岩矿压活动规律是截然不同的。经过几十年持续高强度的开采，20 世纪末以来，随着我国露天磷矿山浅部资源逐渐枯竭，许多露天磷矿山已经进入深凹露天开采阶段，部分磷矿山正在或者已经转入露天和地下联合开采或者全部地下开采阶段。因此对磷矿床深部矿体开采的研究，显得尤为迫切与突出。

1.1.2 研究的意义

当前我国磷资源开发利用面临的复杂赋存地质条件下磷矿开采（即缓倾斜/软夹层/薄至中厚磷矿体开采）技术难题，同时由于其特殊的供给对象（80% 供应保证粮食生产的化肥），价格方面又面临国家的管制，金属矿山和煤矿的许多成熟经验、技术在磷矿山不能推广应用，如何在资源禀赋条件差和价格受限的双重压力下，实现磷矿山深部矿体的安全、高效开采已经成为当前国内大型磷矿山企业亟待解决的难题，制约着磷资源的高效开发利用。这已成为磷资源可持续开发利用正在面临的和迫切需要解决的关键性技术问题。

云南磷化集团有限公司是我国最大的国有大型现代化露天磷矿采选企业，公司磷矿开采规模占全国 18%，中低品位胶磷矿浮选规模占全国的 40%，磷矿石生产量占全国的 24%，磷矿石销售量占全国的 15% 和云南省的 50% 以上。在磷

矿开采、洗选、磷产品的加工方面一直位于国内领先地位,长期以来一直为露天开采方式。近年来随着矿山露天采场开采水平的持续延伸,部分矿区露天采矿的优势逐渐消失,继续实施的可行性很小。如何对公司部分矿区深部矿体开采,为公司部分矿山未来进行深部矿体开采提供指导性和方向性建议,以确保矿山可持续发展,已成为公司所面临的一项重要课题。公司所属的昆阳、海口、晋宁、尖山等大型磷矿山基本上属于倾斜、缓倾斜、薄至中厚磷矿床,为矿山提供高效、安全、经济、环保可靠的采矿新工艺显得十分重要。本书以《云南磷化集团深部矿体开采技术》科研项目与国家“十二五”科技支撑计划2011BAB08B01课题为依托,针对复杂赋存地质条件下磷矿开采(即倾斜/软夹层/薄至中厚磷矿体开采)技术难题,通过采矿工艺创新、技术革新与完善,研究适合新形势条件下矿山开采技术条件的新工艺和新技术。相关的研究成果不仅对云南磷化集团有限公司具有重要的经济、环境和社会意义,而且对整个中国大量类似赋存条件的磷矿资源的开采具有重要的指导和推动意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国内外磷矿山深部矿体开采现状

据美国地质调查局统计,截至2009年,世界磷酸盐岩经济储量180亿吨,基础储量500亿吨(经济储量是指开采成本低于35美元/吨的磷矿,基础储量是指开采成本低于100美元/吨的磷矿),主要分布在非洲、北美、亚洲、中东、南美等60多个国家和地区,其中80%以上集中分布在摩洛哥、美国、南非、约旦和中国。按基础储量计算,摩洛哥位居第一位,中国居第二位,美国居第三位。目前世界上共有30多个国家生产磷矿,年生产能力约为1.72亿吨,年产量约1.38亿吨。主要生产国有美国、摩洛哥、中国和俄罗斯,四国的产量约为总产量的67.6%。国外进行深部矿体开采的磷矿山较少,绝大多数国外磷矿山主要开采浅部矿体资源,美国、摩洛哥、巴西、突尼斯、澳大利亚、约旦、埃及、沙特、以色列、南非、秘鲁和委内瑞拉等主要磷矿开采大国几乎全部采用露天开采方式;而同为磷矿开采大国的俄罗斯及前苏联地区则主要以露天开采方式为主,部分矿山进行了深部开采。

我国蕴藏丰富的磷矿资源,约占世界磷矿远景资源总储量的8.33%,仅次于摩洛哥以及西撒哈拉地区。已探明资源仅次于摩洛哥,约占世界磷资源总量的35%,位居世界第二位。截至2008年底,我国共有磷矿产地578处,其中大型93处,中型168处,小型317处,所查明磷矿床以中、小型为主。磷矿床数量上以中小型为主,但储量规模以大型为主。我国磷矿资源分布在全国29个省、市、自治区,查明资源储量总量189.90亿吨,其中经济储量13.60亿吨,基础储量46.40亿吨,资源量143.50亿吨,平均品位17%。其中,品位大于30%的富矿

储量 3.30 亿吨, 基础储量 7.85 亿吨, 保有查明资源量 13.20 亿吨, 富矿查明资源量占总资源量的 6.95%。据国土资源部统计, 截至 2008 年底, 全国共有磷矿生产企业 376 家, 其中大型企业 10 家, 磷矿石年生产量约 3000 万吨; 中型企业 50 家, 磷矿石年生产量约 1000 多万吨; 小型企业 281 家, 年采矿石量 5 万吨以下的小矿有 74 家, 磷矿石年生产量合计约 2000 万吨, 形成了大中小矿山并举、共同发展的局面, 年开采总规模达 6600 多万吨。我国磷矿开采分为露天和地下开采两种, 其中, 深部矿体资源的地下开采约占 60%, 浅部矿体资源的露天开采约占 40%。露天磷矿多为山坡露天, 以公路开拓运输为主。大型露天磷矿回采率可达到 95%~98%, 部分中小型露天磷矿回采率在 70% 左右, 露天开采代表性的磷矿山有云南磷化集团有限公司、贵州翁福集团、湖北黄麦岭磷矿以及湖北荆襄大裕口磷矿。地下开采主要有空场法和崩落法, 采矿回采率一般在 60%~70% 之间, 部分特大型矿山的回采率可达到 80% 左右, 大部分小型磷矿山的回采率仅为 50% 左右, 地下开采代表性的磷矿山有贵州开磷集团有限公司、四川金河磷矿集团有限公司。

1.2.2 国内矿山压力研究现状

人类进行地下深部采矿活动已经有几千年的历史, 但人类开始认识矿山压力还只是近百年来事情。未经开挖和采动影响的岩体, 在原始应力场作用下, 处于一种相对稳定状态, 即自然平衡状态。人类进行矿体开采活动后, 岩体受开挖和采动影响, 改变了原始应力场的分布状态, 作用于岩层边界上或存在于岩层中促使围岩向已采空间运动的力(促使围岩运动的力)即为矿山压力。它既是指分布于岩层内部各点的应力, 又包括了作用于围岩任何一部分边界上的力。矿体采动后, 新出现的应力场称为次生应力场。岩体在此新出现的不平衡的应力场作用下, 就要发生变形, 甚至破坏, 一直达到新的平衡为止。在矿山压力的作用下通过围岩运动与支架受力所表现出的岩体变形、破坏和移动的全过程称为矿山压力显现现象。矿体采动前原岩中已存应力是矿山压力产生的根源。原岩中各点主应力的方向、垂直应力与水平应力之间的比值等决定了采动后围岩应力重新分布的规律, 地压显现给采矿工程带来了巨大的灾害, 地压控制的关键就是掌握开采过程中巷道和采场围岩的应力、应变分布及其变化规律, 以及主要开采系统的变形和破坏情况, 对岩体的稳定性进行评价, 并采取合理的措施, 控制开采系统有害的变形和破坏, 保持开采系统的稳定性, 保障生产的安全。在国内外的矿山中, 各式各样的大小事故屡见不鲜。如采场顶板大冒落造成严重的伤亡以及由于岩体移动所造成的破坏, 多年之后才恢复了原有的生产水平。甚至, 有的矿山因岩爆引起的强烈破坏而被迫封闭矿井。

矿山压力是采矿工程的基础学科, 矿山压力以矿山岩石力学为基础, 与矿山

工程、采矿工艺理论和实践密切结合,其涉及的内容主要包括:采矿工程岩体结构的本质、采矿工程的移动特性、采矿工程中围岩的大变形和支护体的可缩特性、采矿工程中的能量原理与动力特性,矿山压力理论研究与工程实践的发展,使得采矿工业成为具有坚实理论基础和先进技术手段的经济产业。虽然人类已在矿压的研究方面取得了很大的进展,但仍有大量未解决的问题。因此,对地压规律与采动覆岩变形特征进行专门研究对于发展采矿工业有着重要的意义。

依据地质赋存条件、采矿工艺以及成矿成因等相关因素,目前矿山可分为煤矿、金属矿山和非金属矿山三大类。由于历史关注度、投入的人力、物力不平衡等多种原因,总的来讲,国内外煤矿矿山压力理论体系基本完善,相关成果的推广与应用较为成熟;而金属与非金属矿山,特别是非金属磷矿山的矿山压力理论体系尚处于初步建立阶段,相关的研究成果还远未达到成熟推广应用的阶段。目前关于采场矿山压力有六种理论,它们都在不同程度上解释了不同地质条件、不同开采方式和不同开采阶段,围岩破坏和地表移动的特征。

(1) 早期的矿山压力假设。我国是世界上最早研究矿山压力的国家之一,明代末年出版的《天工开物》一书中,已经提及矿山压力的相关知识。欧洲国家对矿山压力的认识始于15世纪,19世纪末到20世纪初,开始利用比较简单的力学原理解释一些出现在矿山的压力现象。其中最具代表性的为:德国学者 Hack W 和 Gillizer Z 于1928年提出,后经前苏联工程师许普鲁特发展的“压力拱假设”、德国学者 Stoke K 和英国学者费里德 Friend L 于1916年提出的“悬臂梁假说”、比利时学者拉巴斯 A 1947年提出“预成裂隙假说”以及前苏联学者库兹涅佐夫 T H 1954年提出的“铰接岩块假说”。

“压力拱假设”认为,在采场作业面上方由于岩层自然平衡的结果而形成了一个“压力拱”。前拱脚为采场作业面前方的矿体,后拱脚为采空区已垮落的废石或采空区的充填体。在两个拱脚之间形成一个减压区,采场支架仅需承担压力拱内岩石重量。“压力拱假设”可以解释煤矿、金属及非金属矿山壁式开采的某些矿山压力现象,但难以解释矿体开采过程中采场周期来压等现象,现场也难找到定量描述拱结构的参数,所以“拱”说只停留在对矿压现象的一般解释上,不能很好地用于实际。“悬臂梁假说”认为,顶板岩层是一种连续介质,初垮以后,可以看作一端固定在采场矿壁前方矿体上的悬臂梁。这种岩梁随采场推进有规律地折断,进而导致采场来压的现象。“悬臂梁假说”可以较好地解释煤矿、金属及非金属矿山壁式开采和空场法开采采场周期来压现象,但该假设没有考虑采场支承压力预破坏顶板岩层的影响,因而对矿体开采过程中覆岩结构形态的描述不够全面、科学。

“预成裂隙假说”认为,由于采空区前方支承压力的作用,使顶板岩层中形成了裂隙,上覆岩层的连续性遭到破坏,从而形成非连续“假塑性体”,在矿体