

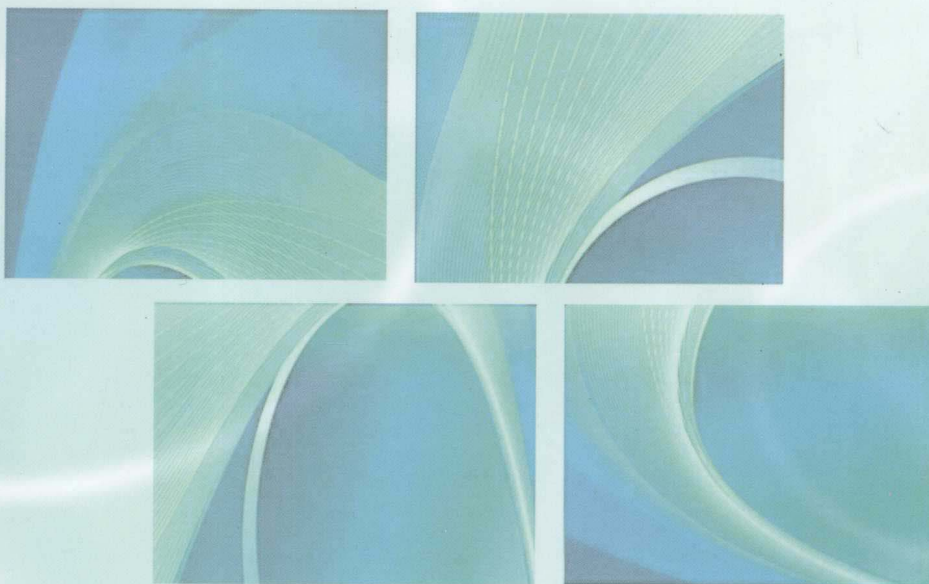



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

# 现代充填理论与技术

蔡嗣经 王洪江 编



 冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

·通高等教育“十二五”规划教材

# 现代充填理论与技术

蔡嗣经 王洪江 编

北 京

冶 金 工 业 出 版 社

2012

## 内 容 提 要

本书系统阐述充填采矿法所涉及的基本理论和技术问题,介绍了近十几年来国内外充填采矿领域的主要研究成就和技术进展,其重点是全尾砂膏体胶结充填材料的制备及其管道输送。本书的基本内容是:充填材料的散体力学特性,充填材料管道输送所涉及的流体力学问题特别是高浓度条件下的流变力学问题,充填体支撑采场围岩及矿柱所涉及的力学机理问题,全尾砂膏体胶结充填材料的制备以及全尾砂膏体胶结充填系统和管道输送问题等。

本书为采矿工程专业本科教材,也可供从事矿山设计、研究以及矿山现场生产的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

现代充填理论与技术/蔡嗣经,王洪江编. —北京:冶金工业出版社, 2012. 5

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5933-8

I. ①现… II. ①蔡… ②王… III. ①金属矿开采—充填法—高等学校—教材 IV. ①TD853. 34

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 074406 号

出版人 曹胜利

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 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 宋良 美术编辑 李新 版式设计 孙跃红

责任校对 李娜 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5933-8

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销

2012年5月第1版,2012年5月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;12印张;289千字;183页

26.00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)

# 前 言

我国经济、文化、科技建设和社会发展，需要数量巨大的矿产资源，同时对环境保护提出了更高的要求。因此，近年来，采矿科学与技术迎来了难得的发展机遇和挑战。在高效开采矿产资源、有效保护自然环境、提高资源综合回收利用率等方面，充填采矿法具有独特的优势，使用范围正在进一步扩大。

《现代充填理论与技术》作为采矿工程本科高年级学生的专业课教材，在编写时除了注意系统阐述充填采矿法所涉及的基本理论和技术外，还考虑了两个重点部分：一是充分反映近十几年来矿山充填采矿理论研究与技术实践的新进展；二是主要突出近年来迅速发展在全尾砂膏体胶结充填的理论、技术和装备。本书的基本内容是：充填材料的散体力学特性，充填材料管道输送所涉及的流体力学问题特别是高浓度条件下的流变力学问题，充填体支撑采场围岩及矿柱的力学机理，全尾砂膏体胶结充填材料的制备以及全尾砂膏体胶结充填系统和管道输送等。

本书第1~4章以及6.5节由蔡嗣经负责编写，第5~6章（除6.5节外）由王洪江负责编写，全书由蔡嗣经统稿。在编写过程中，引用了许多专家、学者和矿山现场工程技术人员的重要研究成果，在此深表感谢。编者的同事吴爱祥、胡乃联、李长洪、吕文生、尹升华等，以及编者的多位博士生和硕士生如陈海燕、吴迪、陈一洲、杨威、吴慧、王勇、缪秀秀等提供了多种帮助。本书的编写和出版，得到了北京科技大学教材出版基金的资助。

由于编者水平有限，书中的不足或错误，敬请读者批评指正。

北京科技大学土木与环境工程学院资源工程系

蔡嗣经 王洪江

2012年2月

# 目 录

<b>1 充填采矿技术进展</b> .....	1
1.1 充填采矿法的使用现状和研究进展 .....	1
1.2 充填采矿法的发展趋向 .....	6
1.2.1 无间柱连续采矿方案 .....	6
1.2.2 大规模的机械化盘区开采 .....	7
1.2.3 充填采矿法与空场采矿法或崩落采矿法联合开采 .....	8
1.2.4 全尾砂膏体胶结充填技术 .....	8
1.3 矿山无废开采对充填技术的要求 .....	10
1.3.1 张马屯铁矿无废开采综合技术 .....	12
1.3.2 南京铅锌银矿无废开采 .....	13
1.4 充填力学问题 .....	14
1.4.1 充填材料物理力学特性研究 .....	15
1.4.2 充填料管道水力输送流体力学研究 .....	16
1.4.3 充填体支撑采场围岩和矿柱的力学作用机理研究 .....	16
1.5 全尾砂膏体胶结充填料的制备与输送 .....	16
复习思考题 .....	19
参考文献 .....	19
<b>2 充填材料散体力学特性</b> .....	21
2.1 充填材料的分类 .....	21
2.1.1 按充填材料粒级分类 .....	21
2.1.2 按力学性质分类 .....	24
2.2 充填材料的物理力学性质 .....	25
2.2.1 充填材料的密度和堆密度 .....	25
2.2.2 充填材料的孔隙率和孔隙比 .....	25
2.2.3 充填材料的渗透系数 .....	25
2.2.4 充填材料的颗粒分级 .....	26
2.2.5 充填材料的压缩特性 .....	26
2.2.6 非胶结充填料的强度特性 .....	27
2.2.7 胶结充填材料的强度特性 .....	27
2.3 胶结脱泥尾砂充填材料的优化 .....	30
2.4 充填材料散体介质力学基础 .....	36

2.4.1	基本概念	36
2.4.2	散体介质力学的状态方程	37
2.4.3	平面静力学问题	39
2.4.4	可压缩性散体介质	45
2.4.5	有限差分法数值模拟	47
	复习思考题	49
	参考文献	49
<b>3</b>	<b>充填料浆管道输送流体力学基础</b>	<b>51</b>
3.1	充填材料的输送方法	51
3.1.1	块石充填料干式输送	51
3.1.2	干式充填料风力输送	52
3.1.3	抛掷充填	52
3.1.4	脱泥尾砂充填料水力输送	53
3.1.5	全尾砂膏体充填料泵压输送	55
3.2	两相流流体力学问题	57
3.2.1	固体颗粒的沉降	57
3.2.2	伯努利方程	59
3.2.3	流动阻力计算	59
3.2.4	临界流速计算	62
3.3	膏体流变力学问题	62
3.3.1	膏体充填料的基本特征	62
3.3.2	膏体充填料的流变力学模型	63
3.3.3	膏体充填料流变参数的实验室测定	65
3.3.4	膏体充填料输送阻力的计算与测定	67
3.4	计算流体力学及其应用	70
3.4.1	概述	70
3.4.2	CFD 软件及应用现状	71
3.4.3	计算流体力学在充填中的应用举例	73
	复习思考题	77
	参考文献	77
<b>4</b>	<b>充填体支撑采场围岩与矿柱的作用机理</b>	<b>79</b>
4.1	地下采场稳定性的评价方法	79
4.1.1	马修斯经验方法	79
4.1.2	采场岩体指标方法	80
4.1.3	岩体工程分类法	80
4.1.4	模糊数学综合评判法	82
4.2	充填体支撑采场围岩和矿柱的力学作用机理	83

4.2.1 充填法采场围岩的力学响应特性 .....	83
4.2.2 干式充填料的支护力学特性 .....	86
4.2.3 水力输送充填料的支护作用机理 .....	91
4.2.4 回采工艺对水砂充填支护作用的影响 .....	97
4.2.5 矿山充填体支撑作用机理实例 .....	98
4.3 充填体支撑采场围岩和矿柱作用机理的研究方法 .....	101
4.3.1 实验室模型试验 .....	102
4.3.2 数值模拟方法 .....	105
4.3.3 现场实测方法 .....	114
4.4 胶结充填体的所需强度设计 .....	118
4.4.1 确定胶结充填体所需强度的方法 .....	120
4.4.2 下向进路式充填法胶结充填体的所需强度 .....	125
4.5 深部矿体充填法开采 .....	128
4.5.1 金川公司二矿深部矿体大面积无矿柱充填法开采 .....	128
4.5.2 冬瓜山铜矿深部矿体阶段空场嗣后充填法开采 .....	130
复习思考题 .....	133
参考文献 .....	133
<b>5 全尾砂膏体胶结充填材料的制备 .....</b>	<b>136</b>
5.1 全尾砂膏体胶结充填材料的基本特性 .....	136
5.1.1 水泥及其添加剂 .....	136
5.1.2 尾砂的基本特性 .....	138
5.2 膏体充填材料的测试方法 .....	140
5.2.1 充填骨料粒级组成的测试方法 .....	140
5.2.2 膏体凝结时间测试 .....	142
5.2.3 膏体抗压强度测试 .....	144
5.3 全尾砂膏体充填材料的制备方法 .....	144
5.3.1 尾砂浓密方法 .....	145
5.3.2 水泥的添加方式 .....	149
5.3.3 膏体制备方法 .....	151
复习思考题 .....	155
参考文献 .....	155
<b>6 膏体充填系统与管道输送 .....</b>	<b>156</b>
6.1 全尾砂膏体充填站和管道系统 .....	156
6.1.1 充填站的布置 .....	156
6.1.2 管道系统的布置 .....	164
6.2 输送系统的在线测试设备 .....	166
6.2.1 浓度在线监测 .....	166

6.2.2 流量在线监测 .....	166
6.2.3 压力在线监测 .....	166
6.3 膏体管道输送方式及其原理 .....	167
6.3.1 管道输送能量耗散 .....	167
6.3.2 自流输送 .....	168
6.3.3 满管流输送技术 .....	169
6.3.4 泵压输送 .....	170
6.3.5 泵压输送设备 .....	171
6.4 管道输送系统的维护与安全 .....	173
6.4.1 堵管事故的预防 .....	173
6.4.2 爆管事故的预防 .....	174
6.4.3 管道磨损监测与预防 .....	175
6.5 膏体充填系统的可靠性研究 .....	176
6.5.1 金川膏体充填系统的组成 .....	176
6.5.2 金川膏体充填系统的逻辑分析 .....	179
6.5.3 金川膏体充填系统基于可靠性条件的系统分析 .....	179
6.5.4 金川膏体充填系统可靠度分析 .....	180
复习思考题 .....	182
参考文献 .....	182



# 1 充填采矿技术进展

---

**本章学习重点：**(1) 国内外充填采矿法的使用现状、研究进展和发展趋向；(2) 充填采矿法对矿山无废开采的重要意义；(3) 矿山充填力学研究的主要问题；(4) 全尾砂膏体胶结充填技术需要研究的主要问题。

**本章关键词：**充填采矿法研究进展，充填采矿法发展趋向，矿山无废开采，充填力学，全尾砂膏体充填

---

## 1.1 充填采矿法的使用现状和研究进展

近年来，充填采矿法在世界范围内得到越来越广泛的使用。这一方面是由于地下开采深度加大后维护矿山和采场稳定的需要，另一方面是提高自然资源回收率和环境保护的需要。如澳大利亚的环境保护法要求采矿作业不得破坏地表风貌，因此，露天采矿坑必须进行复垦，地下开采只好使用充填法或空场法嗣后充填，几乎不使用崩落采矿法。在加拿大，充填采矿法的使用比重达 40% 以上，如果加上空场法嗣后充填，则占采矿方法的 70% ~ 80%。南非的黄金深井开采，差不多全部使用充填采矿法或壁式空场法嗣后充填。在我国，地下开采的有色金属矿山中，充填采矿法的使用比重达到 23% 左右（不包括空场法嗣后充填）<sup>[1]</sup>；而在地下开采的黄金矿山，充填采矿法的使用比重更高，达到 40% 以上<sup>[2]</sup>。据山东省 37 个黄金矿山的统计，使用充填采矿法的矿山有 11 个，使用留矿法和充填法的矿山有 9 个；充填采矿法采出的矿石量占这 37 个矿山矿石总量的 45% 以上<sup>[3]</sup>。

随着充填采矿法的广泛使用，其工艺技术和相应的理论研究也得到了迅速的发展。在国际上召开了多次充填采矿法学术研讨会。第一次会议于 1973 年在澳大利亚的芒特·艾萨 (Mt. Isa) 矿业公司召开，会议主题为“矿山充填”<sup>[4]</sup>；第二次会议于 1980 年在瑞典律瑞欧 (Lulea) 大学举行，会议主题为“岩石力学在分层充填采法中的应用”<sup>[5]</sup>；第三次会议于 1983 年也在瑞典律瑞欧大学举行，会议主题为“充填采矿法”<sup>[6]</sup>；第四次会议于 1989 年在加拿大蒙特利尔 (Montreal) 大学举行，会议主题为“充填采矿技术革新”<sup>[7]</sup>，在本次会议上还成立了国际充填采矿学术委员会；第五次会议于 1993 年 9 月在南非约翰内斯堡 (Johannesburg) 举行；第六次会议于 1998 年 4 月在澳大利亚布里斯班市 (Brisbane) 举行<sup>[8]</sup>；第七次会议于 2001 年 9 月原定在美国西雅图市 (Seattle) 举行，但由于“9·11”事件的发生而被迫取消，只出版了会议论文集<sup>[9]</sup>；第八次会议于 2004 年 9 月在中国北京举行<sup>[10]</sup>；第九次会议于 2007 年 4 月在加拿大蒙特利尔大学举行<sup>[11]</sup>；第十次会议于 2011 年 3 月在南非开普敦 (Cape Town) 举行<sup>[12]</sup>。在国内也召开了数次充填采矿

法学术研讨会：第一次会议于1982年在甘肃金川有色金属公司召开；第二次会议于1989年在山东省招远市举行；第三次会议于1994年在浙江省建德市举行；第四次会议于1999年在云南省昆明市举行。这四次会议均出版了学术论文集。第五次中国充填采矿技术与装备大会于2011年5月在安徽省合肥市召开，来自全国202个与充填采矿相关的矿山企业、学校、科研设计单位、设备制造商以及有关政府部门的397名代表出席了会议。本次会议出版了3本论文集和资料文集，是我国采矿界多年来大规模的专业盛会之一，会议的成功召开对宣传和展示中国充填采矿技术近年来的发展成就、了解我国充填采矿技术的现状与发展趋势、促进充填采矿领域的技术交流、加强我国充填采矿同行间的合作、推动充填采矿技术和采矿工业的可持续发展将产生深远影响。

从我国充填采矿法的使用现状来看，其主体依然是上向水平分层充填采矿法，使用胶结或非胶结的脱泥尾砂或全尾砂作为充填材料。我国应用上向水平分层充填法的部分矿山列于表1-1中。此外，还有下向进路胶结充填法、削壁充填法、分段充填法等等，使用的充填材料除脱泥尾砂和全尾砂外，还有块石、粗粒级碎石、磨砂、天然砂等。

表1-1 我国应用上向水平分层充填法的部分矿山<sup>[13]</sup>

矿山名称	采矿方法	使用充填法的主要原因
凡口铅锌矿	上向水平分层充填法；机械化盘区充填法	矿石品位高，要求限制围岩移动，防止岩溶水灌入井内
金川龙首矿	上向水平分层充填法	矿岩不稳定，矿石品位高，尽量减少损失贫化
金川二矿区	上向水平分层充填法；下向机械化进路充填	矿岩不稳固，矿石品位高，保护上部贫矿
黄沙坪铅锌矿	上向尾砂胶结充填采矿法	矿石品位高，矿体形态复杂
凤凰山铜矿	点柱式尾砂充填采矿法	保护地表河流
柏坊铜矿	上向分层胶结充填采矿法	矿石品位高，矿体形态复杂
红透山铜矿	上向机械化分层充填采矿法	控制地压，回采厚矿体
大冶丰山铜矿	上向尾砂充填采矿法	保护地表河流
三山岛金矿	点柱式机械化分层充填采矿法	防止海水渗入坑内
焦家金矿	上向分层胶结尾砂充填采矿法	矿岩不稳固，保护地表高产农田
新城金矿	上向分层胶结尾砂充填采矿法	保护地表，矿体上盘不稳固
白银小铁山铅锌矿	上向进路充填采矿法	矿岩破碎，矿石品位高
托里铬矿	上向分层胶结充填法	尽量减少损失和贫化
铜绿山铜矿	点柱水砂充填法	矿石品位高，矿体厚度大
哈拉通克铜镍矿	上向分层胶结充填法	回采特富矿，保护贫矿
青山铜矿	上向分层充填采矿法（带隔离墙）	矿体上盘不稳固，地表不允许崩落
铜山铜矿	上向分层充填采矿法	露天和地下同时开采，保护露天出入沟

机械化上向水平分层充填采矿法的典型布置方式如图 1-1 所示。为提高生产效率和设备利用率,国内外研究并试验了多种采场布置形式,如盘区式开采、长壁式回采、圆环式采场布置、多中段组合开采等,如图 1-2 ~ 图 1-5 所示<sup>[14,15]</sup>。

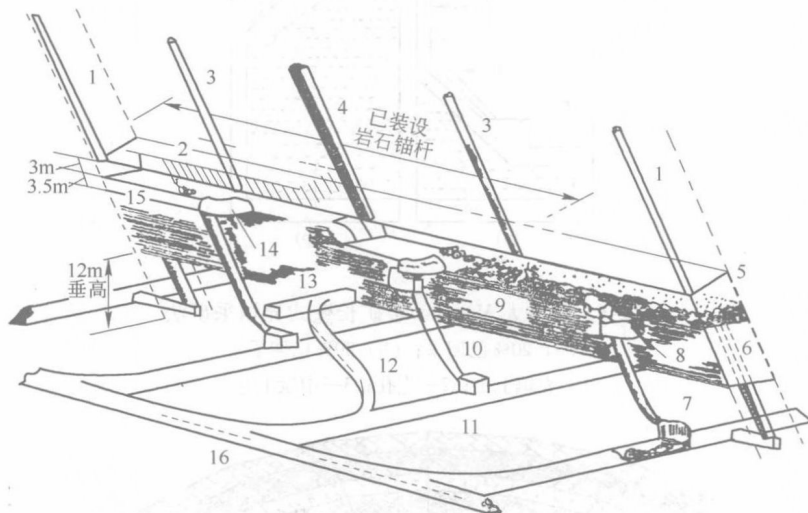


图 1-1 机械化上向水平分层充填采矿法典型布置方式

- 1—通风井; 2—上向炮孔; 3—人行井; 4—措施井; 5—采场顶板; 6—泄水井;  
7—漏斗; 8—挡墙; 9—充填料; 10—溜井; 11—穿脉巷道; 12—采场斜坡道;  
13—切割平巷; 14—充填料挡墙; 15—湿充填料; 16—中段主运输巷道

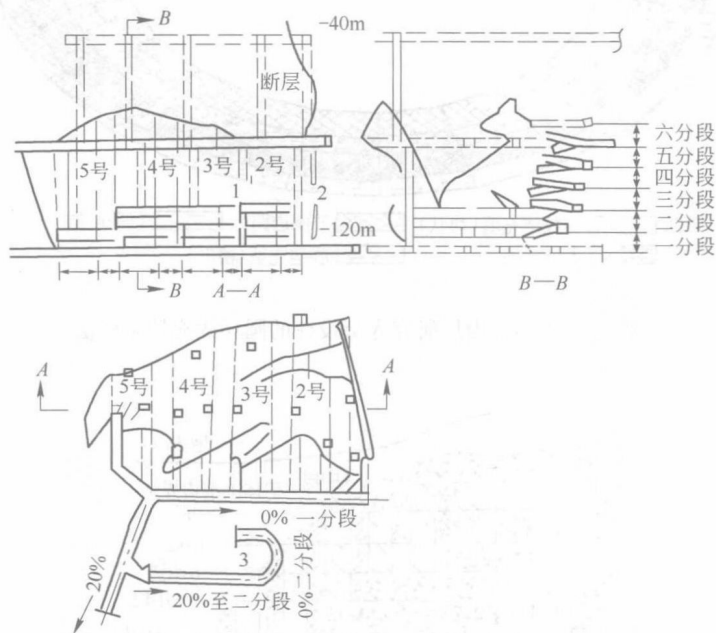


图 1-2 凡口铅锌矿机械化盘区式充填采矿法

- 1—顺路天井; 2—顺路人行井; 3—斜坡道

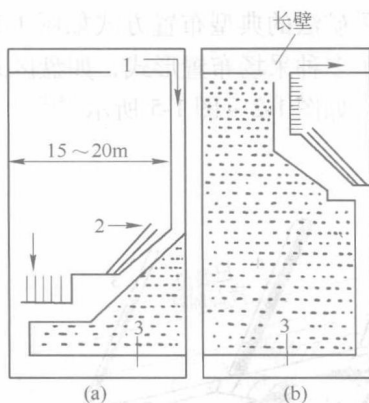


图 1-3 加拿大 Macassa 金矿长壁式充填采矿法

(a) 20% 已回采; (b) 80% 已回采

1—充填上山; 2—炮孔; 3—中段平巷

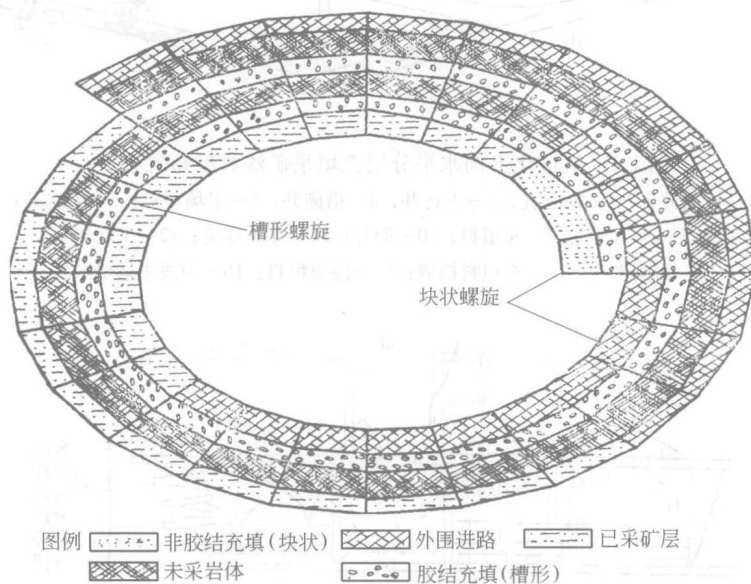


图 1-4 美国矿山局研究人员设计的圆环式充填采矿法

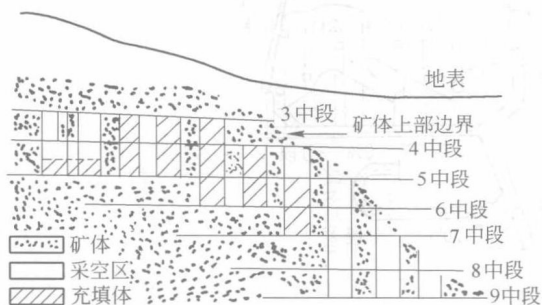


图 1-5 德国梅根 (Meggen) 矿的多中段组合充填采矿法

在充填工艺方面，主要的研究进展有：寻找新的充填材料，如挪威 Niruna 矿所报道的使用冰作充填料<sup>[4]</sup>，以及加拿大 Denison-Potacan 钾盐公司所报道的使用盐尾矿作充填料<sup>[5]</sup>；为降低充填成本，研究用不加水泥的粗粒级碎石充填料取代胶结脱泥尾砂充填料，这在我国锡矿山矿和会泽铅锌矿麒麟厂矿区得到了成功的应用。据麒麟厂矿区的试验资料，充填成本降低 42.7%<sup>[16]</sup>。

中国矿业大学（北京）孙恒虎等研制成功不脱水全尾砂速凝固化充填材料。这种充填材料是在不脱水的全尾砂中加入特种吸水胶凝混合料，使之快速凝固硬化。经测试，当这种混合料占全尾砂的 10%、料浆重量浓度（即质量分数）40% 时，速凝后的早期强度为 0.1 MPa；料浆重量浓度 60% 时，则早期强度可达到 0.5 MPa。由于这种充填料进入采场后无重力水渗透排出，解决了坑内充填水污染及排水问题。焦家金矿与中国矿业大学（北京）合作，对高水固结充填采矿法的部分工艺进行了合理的改进，现已趋于成熟。高水固结充填采矿法已经在焦家金矿得到了成功应用与推广。高水固结充填系统如图 1-6 所示<sup>[17]</sup>。

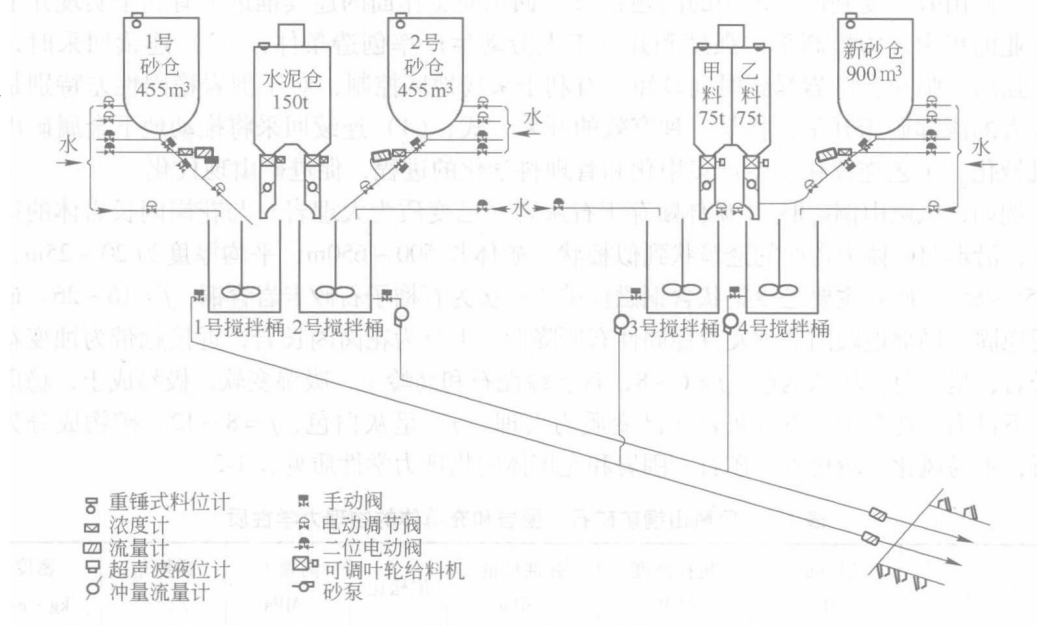


图 1-6 高水速凝尾砂胶结充填料制备工艺示意图

在充填料输送方面，最引人注目的研究成果是全尾砂膏体充填料泵压输送或自流输送技术。关于这一点，在随后的有关章节中作进一步的介绍和讨论。

在充填法采场生产方面，针对矿体和围岩的不稳固程度，广泛研究使用了长锚索预支护、注浆预加固、锚杆护顶以及光面爆破等施工技术。当采场用非胶结尾砂充填时，为方便矿柱的回收，一些矿山试验成功了挂柔性挡料帘、用块石砌隔离墙等工艺，国外一些矿山还进行了非胶结充填料的冻结和注浆固结等试验，以形成一定宽度的整体性隔离墙。

关于充填采矿法一些理论方面的研究课题及其进展，将在本章随后的段落中提及。

## 1.2 充填采矿法的发展趋向

在将来可以预见的一段时期内, 地下采矿方法变革的总趋向是: 把矿房、矿柱回采和采空区处理作为一个整体予以考虑, 有步骤地全面回采, 既减少矿石的损失贫化, 又消除采空区隐患; 同时, 改革采矿方法结构, 实现机械化、自动化的强化开采, 降低开采成本并提高劳动生产率。因此, 充填采矿法成为 21 世纪的最主要的采矿方法之一。

可以认为, 对于我国大中型地下矿山来说, 充填采矿法的发展趋向在目前主要集中在以下几个方面。

### 1.2.1 无间柱连续采矿方案

在中段上实现无间柱连续采矿, 被认为是金属矿床地下开采技术的一个重大进展<sup>[18]</sup>, 主要表现在: (1) 可解决长期以来因矿柱回采滞后给生产带来的被动, 致使国家资源大量损失、矿山效益受到严重影响的问题; (2) 回采时工作面的连续推进, 有利于实现井下采矿作业的集中, 为提高采矿强度和井下工人劳动生产率创造条件; (3) 连续回采时, 强采、强出、强充, 围岩暴露时间较短, 有利于采场地区控制, 对于围岩稳固性差特别是地压较大的深部矿床开采, 将是一种有效的开采方式; (4) 连续回采将推动地下金属矿山作业机械化、工艺连续化、生产集中化和科学化的进程, 促进矿山现代化。

例如, 凤凰山铜矿Ⅱ号主矿体赋存于石灰岩(已变质为大理岩)与花岗闪长岩体的接触带上, 沿走向矿体为弯曲的透镜状到似板状。矿体长 500~650m, 平均厚度为 20~25m, 倾角 75°~85°。矿石主要是浸染状含铜磁铁矿, 其次为石榴子石砂卡岩含铜,  $f=16\sim26$ 。矿石坚硬稳固, 局部地段因节理发育稳固性有所降低。上盘为花岗闪长岩, 近接触带为蚀变花岗闪长岩, 呈灰色, 块状构造,  $f=6\sim8$ , 含有绿泥石和高岭土, 吸湿变软, 极易成土, 稳固性差。下盘为二迭系中、下统灰岩(已变质为大理岩), 呈灰白色,  $f=8\sim12$ , 矿物成分为方解石, 不易风化, 较稳固。矿石、围岩和充填体的物理力学性质见表 1-2。

表 1-2 凤凰山铜矿矿石、围岩和充填体的物理力学性质

名称	抗压强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	弹性模量 /MPa	泊松比	内聚力 /MPa	摩擦角 /(°)	密度 /kg·m <sup>-3</sup>
花岗闪长石	38.00	1.20	8000	0.16	0.6	53	2800
大理岩	28.50	2.30	21000	0.26	2.16	50	2800
磁赤铁矿含铜	60.00	5.60	65000	0.31	4.3	51	4040
石榴子石含铜	53.00	5.20	63000	0.23	3.2	50	3280
充填体	3.50	0.50	1000	0.3	0.65	35	2210

凤凰山铜矿无间柱连续采矿工业试验方案见图 1-7。对于任一矿段, 在回采作业将其进一步划分为 1、2 两个分区, 并在 2 分区回采过程中, 在紧邻 1 分区的一端留临时矿壁。在凿岩硐室设临时点柱, 以支撑硐室顶板。在矿段回采过程中, 2 分区回采后期, 矿壁和点柱将被回收。矿段回采顺序为: 首先, 崩落 1 分区内的矿石, 出矿后随即用尾砂胶结充填 1 分区的空区; 然后, 崩落并放出 2 分区内的矿石, 待大量出矿工作快要结束时, 最后一

次性崩落临时矿壁，放出2分区的矿石，用尾砂充填空区，结束该矿段的回采作业。

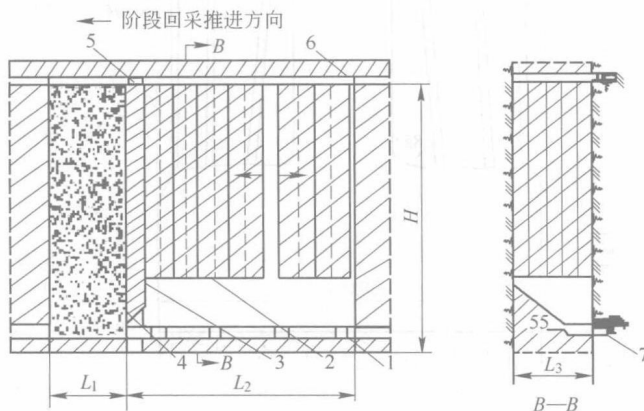


图 1-7 凤凰山铜矿无间柱连续回采试验方案剖面图<sup>[18]</sup>

- 1—无二次破碎水平振动出矿底部结构；2— $\phi 165$  垂直深孔；3—临时矿壁；  
4—分区充填体；5—临时点柱；6—凿岩硐室；7—振动出矿机与分节式振动运输列车；  
 $L_1$ —1分区长度； $L_2$ —2分区长度； $L_3$ —矿体厚度； $H$ —阶段高度

### 1.2.2 大规模的机械化盘区开采

传统的上向水平分层充填采矿法的主要缺点之一是采场生产能力低，以及工人劳动生产率低。凡口铅锌矿在 1992 年底试验成功了大型机械化盘区式上向中深孔水平分层充填采矿法。中深孔孔深 4.0m，由凿岩台车上向钻进。4~6 个采场组成一个盘区，其布置形式如图 1-8 所示<sup>[19]</sup>。采矿作业全部使用大型自行设备：凿岩作业设备为芬兰生产的 MonoMATICH S105X 型上向自动接杆凿岩台车，装药作业设备为芬兰生产的 NT30/NBB150 型井下装药车，采场装运设备为美国生产的 ST-31/2 型 3m<sup>3</sup> 铲运机和德国的 LF-4.1 型 2m<sup>3</sup> 铲运机，采场顶板处理设备为瑞典 Brokk300 型撬毛车，井下破碎大块设备为长沙矿山研究院制造的 SYG-2.5 型井下自行式碎石机，坑内材料运送及采场顶板和帮壁的安全检查设备为南昌通用机械厂生产的井下服务车等。由 6 名工人组成采矿作业队，操作所有种类的机械设备，经 7 个采场 16 个分层共生产约 15 万吨矿石的工业试验，其主要技术经济指标见表 1-3。

表 1-3 凡口铅锌矿机械化中深孔分层充填法主要技术经济指标

项 目		指 标
凿岩爆破平均效率/t·班 <sup>-1</sup>		523.0
铲运机出矿效率/t·d <sup>-1</sup>	2m <sup>3</sup> 铲运机	560.0
	3m <sup>3</sup> 铲运机	1160.7
掌子面工效/t·(工·班) <sup>-1</sup>		80
单个采场生产能力/t·d <sup>-1</sup>	2m <sup>3</sup> 铲运机	190.0
	3m <sup>3</sup> 铲运机	252.0
采矿贫化率/%		7.26
采矿损失率/%		0.39

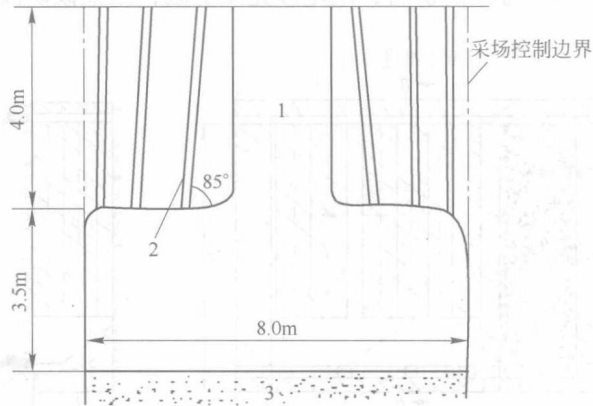


图 1-8 凡口铅锌矿中深孔上向水平分层充填采矿法  
1—采场通风天井；2—炮孔；3—充填体

由表 1-3 可见，这种大型机械化盘区分层充填采矿法的生产能力和生产工效甚至优于一般的空场采矿法或崩落采矿法，接近国际上采矿先进国家的水平。

### 1.2.3 充填采矿法与空场采矿法或崩落采矿法联合开采

为充分发挥充填采矿法和空场法或崩落法各自的优点，国内外很多矿山都设计使用了这种联合开采方案。如澳大利亚的芒特·艾萨矿 1100 号巨型矿体的开采，在平面上划分成  $40\text{m} \times 40\text{m}$  的棋盘式采场，在垂直方向上不划分中段，矿体全高  $90 \sim 260\text{m}$  为采场高度，使用分段空场法开采，然后用胶结块石充填。加拿大萨德伯里 (Sudbury) 国际镍公司的所属矿山，一般用水平分层胶结充填法回采矿房，再用 VCR 法回采矿柱。我国小铁山铅锌矿成功地试验应用了分段分条胶结充填采矿法，如图 1-9 所示<sup>[20]</sup>，该法结合了充填法进路回采和分段崩落回采两种回采方式的优点，分条宽  $3.5 \sim 4.5\text{m}$ ，分段高  $6 \sim 8\text{m}$ ；充填料为地表采集的风沙，容重  $2.65\text{t}/\text{m}^3$ ，孔隙率 47.17，平均粒径  $0.2044\text{mm}$ ，灰砂比为  $1:8$ ，设计充填体强度为  $0.5 \sim 0.8\text{MPa}$ ，经现场测试实际达到  $0.6 \sim 1.0\text{MPa}$ 。使用 YG-80 凿岩机打上向扇形中深孔，用斗容为  $0.75\text{m}^3$  的 EHST-1A 型电动铲运机出矿。主要技术经济指标为：采场生产能力  $170.5\text{t}/\text{d}$ ，采矿工班效率  $7.8\text{t}/(\text{工} \cdot \text{班})$ ，矿石损失率 6%，矿石贫化率 3.5%，采准比  $12.23\text{m}/\text{kt}$ 。

此外，山东省河西金矿也进行了类似的垂直分条胶结充填采矿法试验。

### 1.2.4 全尾砂膏体胶结充填技术

鉴于传统的分级尾砂充填的一些缺点，德国和前苏联等国家在 70 年代末开展了全尾砂膏体充填泵送技术研究。所谓“膏体”，是指料浆浓度很高，在管道排料口以牙膏状被挤出。德国 Preussage 金属公司于 1978 年首先在格隆德 (Grund) 铅锌矿进行该项研究，历时 6 年，形成了“Preussage Pumped Fill”泵压充填新工艺，并申请了专利。其后，南非、加拿大、美国、澳大利亚和我国也开展了试验研究。

凡口铅锌矿从 1982 年开始与长沙矿山研究院和长沙有色冶金设计研究院合作，进行



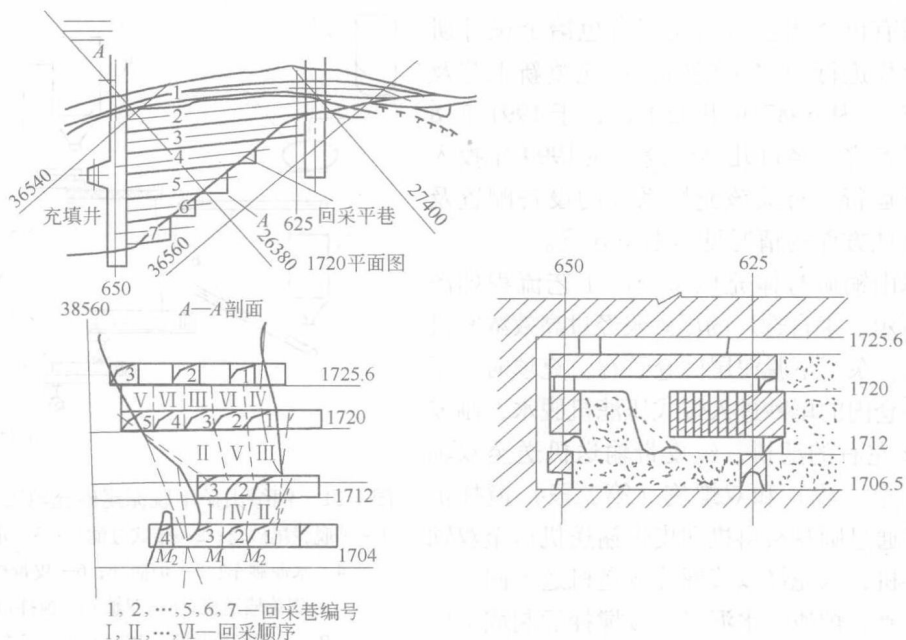


图 1-9 小铁山矿的分段分条充填采矿法

了高浓度全尾砂胶结充填新工艺和装备的试验研究。该项目于 1987 年转入现场工业试验，并于 1991 年 5 月通过了中国有色金属总公司组织的鉴定。高浓度全尾砂充填系统如图 1-10 所示，采用了活化搅拌、自动输送等新工艺，尾砂利用率超过 90%。充填料浆重量浓度为 70% ~ 76%，水泥耗量为  $210\text{kg}/\text{m}^3$ ，充填能力为  $48 \sim 55\text{m}^3/\text{h}$ 。

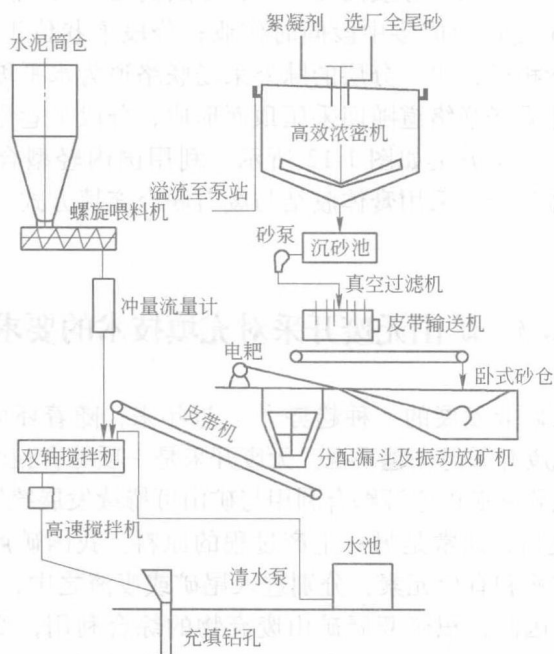


图 1-10 凡口铅锌矿高浓度全尾砂充填系统