



卓越工程师教育培养计划用书

矿物加工工程

KUANGWU JIAGONG GONGCHENG SHIXI YU SHIJIAN JIAOCHENG

实习与实践教程

主 编 张汉泉

副主编 夏剑雄 陈永彬



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

主要内容

卓越工程师教育培养计划用书

矿物加工工程实习与实践教程

主 编 张汉泉

副主编 夏剑雄 陈永彬

北 京

冶金工业出版社

2013

内 容 提 要

本书是以武钢大冶铁矿实践教育与创新基地为背景,为配合“卓越工程师教育培养计划”的实施,由武汉工程大学和武钢大冶铁矿专业技术人员共同组织编写而成。

本书第一部分介绍了武钢大冶铁矿的企业概况和发展历程,第二部分全面概括了矿物加工的基本知识以及大冶铁矿的选矿工艺、竖炉球团、生产操作规程与规范、尾矿库管理、安全生产与环境保护,最后附有实习思考题以及矿物加工工程专业认识实习、生产实习、毕业实习指导书,旨在提高矿物加工工程专业的教学质量与培养工程实践应用型复合人才。

本书可作为矿物加工工程专业实习与实践教材,也可供在大冶铁矿进行实践教育、职业培训的学生和职工参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿物加工工程实习与实践教程/张汉泉主编. —北京:
冶金工业出版社, 2013. 6

卓越工程师教育培养计划用书

ISBN 978-7-5024-6169-0

I. ①矿… II. ①张… III. ①选矿—教材 IV. ①TD9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 120890 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 曾 媛 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6169-0

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 6 月第 1 版, 2013 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16 印张; 383 千字; 242 页

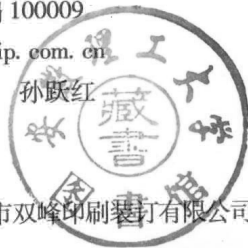
45.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿信箱: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)



目 录

走进百年矿山	1
1 矿物加工基本知识	7
1.1 矿物加工	7
1.1.1 矿物加工常用的术语、工艺指标及计算	7
1.1.2 矿物加工的依据和方法	8
1.1.3 矿物加工基本工艺流程	8
1.2 粉碎工艺与设备	9
1.2.1 破碎流程	9
1.2.2 球磨、棒磨流程	9
1.2.3 自磨流程	9
1.2.4 筛分	9
1.2.5 磨矿分级设备	10
1.3 浮选工艺及设备	10
1.3.1 浮选工艺	10
1.3.2 浮选设备	12
1.4 重选	13
1.4.1 重选过程及特点	14
1.4.2 重选的应用	15
1.4.3 重选设备	15
1.5 磁选	17
1.5.1 磁选中矿物的分类	18
1.5.2 磁选设备	19
1.5.3 磁选机的基本结构	21
1.6 电选工艺	21
1.6.1 电选流程及应用	21
1.6.2 电选设备	22
1.7 固液分离	23
1.7.1 浓缩机	23
1.7.2 过滤机	24
1.7.3 干燥机	25
1.8 烧结球团	25
1.8.1 烧结法	27

1.8.2	球团法	34
1.8.3	竖炉工艺	40
1.8.4	链算机一回转窑焙烧球团	43
2	大冶铁矿选矿工艺	45
2.1	矿石特点	45
2.2	选矿工艺沿革	47
2.2.1	地理位置	47
2.2.2	发展简史	47
2.2.3	水源、电源状况	48
2.2.4	选矿生产概况与技术进步	49
2.3	选矿工艺流程技术改造过程及特点	54
2.3.1	破碎筛分流程改造	55
2.3.2	磨矿分级流程改造	58
2.3.3	浮选流程改造	59
2.3.4	磁选流程改造	61
2.3.5	浓缩脱水流程改造	63
2.3.6	尾矿处理	64
2.4	选矿厂现状	67
2.4.1	设备大型化及自动化	67
2.4.2	工作制度与生产能力	69
2.4.3	现生产矿石性质	69
2.4.4	设计指标	70
2.5	新技术新设备的技术特点	71
2.5.1	水力旋流器	71
2.5.2	电磁振动高频振网筛	71
2.5.3	磁选柱	71
2.5.4	磁场筛选机	72
2.6	自动化控制	75
2.6.1	控制方案设计依据及目的	75
2.6.2	控制范围及原理	75
2.6.3	给矿量控制	75
2.6.4	球磨机磨矿浓度控制	76
2.6.5	分级溢流浓度控制	77
2.6.6	旋流器控制	77
2.6.7	矿浆泵池液位控制	77
2.6.8	磁选柱控制	78
2.6.9	细筛给矿浓度控制	79
2.6.10	精矿品位、尾矿品位控制	79
2.6.11	控制系统网络结构	79

2.7 尾矿	80
2.8 供排水	80
2.8.1 给水系统	80
2.8.2 排水系统	81
2.9 通风收尘	81
2.10 选矿生产技术经济指标	81
2.11 选矿厂环境保护	82
2.11.1 设计依据	82
2.11.2 污染源及治理措施	83
2.11.3 绿化	83
2.11.4 周围地区环境影响	83
2.11.5 环境管理监测	84
2.11.6 环保设施投资	84
2.12 劳动安全卫生	84
2.12.1 设计依据	84
2.12.2 职业危害分析及防范措施	84
2.12.3 安全防范措施	84
2.12.4 安全卫生机构	85
2.12.5 预期效果	86
2.13 节能	86
2.14 技术经济	86
2.14.1 主要技术经济指标	86
2.14.2 劳动组织与定员	88
3 大冶铁矿竖炉球团	95
3.1 概述	95
3.2 工艺及设备	99
3.2.1 工艺流程	100
3.2.2 工艺特点	100
3.2.3 设备设施	100
3.2.4 生产组织	102
3.3 竖炉生产	102
3.3.1 竖炉结构	102
3.3.2 竖炉工作原理	104
3.3.3 竖炉正常炉况的特征	105
3.3.4 竖炉事故处理	105
3.4 球团安全生产	108
3.4.1 生产过程中的危险、有害因素	108
3.4.2 突出安全管理标准化和现代化	109

4 生产操作规程与规范	111
4.1 选矿安全规程	111
4.1.1 范围	111
4.1.2 定义	111
4.1.3 管理	111
4.1.4 厂址选择及厂区布置	112
4.1.5 基本规定	113
4.1.6 工艺	115
4.1.7 尾矿设施	120
4.1.8 运输与起重	121
4.1.9 电气安全	123
4.1.10 防火	125
4.1.11 工业卫生	126
4.2 选矿岗位操作规程	127
4.2.1 颚式破碎机操作规程	127
4.2.2 中细碎破碎技术操作规程	128
4.2.3 干式磁选工技术操作规程	129
4.2.4 直线筛工技术操作规程	130
4.2.5 圆振筛工技术操作规程	130
4.2.6 湿式磁选工技术操作规程	131
4.2.7 细筛工技术操作规程	131
4.2.8 过滤工技术操作规程	132
4.2.9 真空泵工技术操作规程	133
4.2.10 皮带运输机技术操作规程	133
4.2.11 浮选工技术操作规程	136
4.2.12 制给药工技术操作规程	136
4.2.13 浓缩机工技术操作规程	136
4.2.14 砂泵工技术操作规程	137
4.2.15 选矿水泵工技术操作规程	138
4.2.16 压风机工技术操作规程	138
4.2.17 衬板、过滤布工技术操作规程	139
4.2.18 球磨技术操作规程	139
4.2.19 旋流器工操作规程	140
4.2.20 尾矿坝工技术操作规程	141
4.2.21 充磁工技术操作规程	142
4.2.22 尾矿再选工技术操作规程	142
4.2.23 振动放矿工技术操作规程	143
4.2.24 选厂工序取样检查工技术操作规程	143
4.2.25 快速测定技术操作规程	145
4.2.26 化验工技术操作规程	146

4.3 球团岗位操作规程	154
4.3.1 干燥工技术操作规程	154
4.3.2 辊筛工技术操作规程	155
4.3.3 配料工技术操作规程	157
4.3.4 强力混合技术操作规程	158
4.3.5 造球技术操作规程	159
4.3.6 抓斗吊技术操作规程	163
4.3.7 风机(常温和高温)技术操作规程	164
4.3.8 竖炉焙烧工艺操作要求与参数	165
4.3.9 煤气系统操作程序与检查维护要求	168
4.3.10 竖炉的开炉与停炉操作	171
5 尾矿库管理	175
5.1 洪山溪尾矿库	175
5.2 洪山溪尾矿坝	177
5.3 白雉山尾矿库	177
5.4 法律法规	178
6 安全生产与环境保护	179
6.1 安全生产权利和义务	179
6.2 企业职工安全生产守则	179
6.3 考勤、交接班、请假制度	181
6.3.1 考勤制度	181
6.3.2 交接班制度	182
6.3.3 请假制度	182
6.4 安全管理与文明生产	183
6.4.1 职工安全准则	183
6.4.2 文明生产制度化	184
6.5 环境保护与治理	185
矿物加工工程实习与实践思考题	187
附 录	227
矿物加工工程专业认识实习指导书	227
矿物加工工程专业生产实习指导书	230
矿物加工工程专业毕业实习指导书	235
参考文献	242

走进百年矿山

一、企业概况

武汉钢铁集团公司（以下简称武钢）是新中国成立后兴建的第一个特大型钢铁联合企业，1958年9月13日建成投产，本部厂区坐落在湖北省武汉市东郊、长江南岸。联合重组鄂钢、柳钢、昆钢后，已成为生产规模近4000万吨的大型企业集团。武钢现有三大主业：钢铁制造业、高新技术产业和国际贸易。冷轧硅钢片和船板钢获“中国名牌产品”称号、全国驰名商标。武钢先后获得国家技术创新奖、质量管理奖、质量效益型先进企业、全国企业管理杰出贡献奖等荣誉称号。

大冶铁矿是武钢重要的原料基地，坐落于湖北省黄石市铁山区，东邻三楚第一山——东方山，西界大冶古八景之一“雉山烟雨”——白雉山。大冶铁矿地处黄石长江南岸，沪蓉高速公路、铁路、黄金水道穿城而过，106国道、武九铁路横贯矿区，交通极为便利，现隶属于武钢集团矿业有限责任公司。

大冶铁矿是中国近代钢铁工业曲折发展的缩影，文化底蕴深厚。自三国·吴·黄武五年（公元226年）开采迄今，已有1700多年的历史。吴大帝孙权在这里造过刀剑，隋炀帝杨广在这里铸过钱。1890年（光绪十六年）湖广总督张之洞兴办钢铁，引进西方先进设备、技术和人才，建成中国第一家用机器开采的大型露天铁矿——大冶铁矿，成为汉阳铁厂的原料基地、汉冶萍公司的一个主要组成部分，世界瞩目。

大冶铁矿坐落在湖北省黄石市铁山区，地理坐标为东经114°54'43"、北纬30°13'10"，位于黄石市西北25公里，距武汉—黄石铁路线3公里。矿区属丘陵地区，一般海拔高为100~487m，地形起伏不大，属构造侵蚀的地貌类型，年平均气温17℃，最高月平均气温28.9℃，最低月平均气温4.1℃，无霜期256天，年日照总时数1888h，平均蒸发量1415mm，常年主导风向为东南风，平均风速2.8m/s，年静风率25%。

新中国成立后，中央决定重建大冶铁矿，作为中国第二钢都的原料基地。1952年在这里组建中国第一支大型地质勘探队429队，并在此诞生了中国第一批女地质队员。1955年开工重建，改小机械作业为大型机械化开采，1958年7月1日投产，设计年产铁矿石290万吨，1960年达产，成为中国十大铁矿生产基地之一，武钢的主要铁矿石供给地。

大冶铁矿是毛泽东主席生平视察过的唯一一座铁矿山。1958年9月15日，毛泽东主席视察大冶铁矿。遵照领袖的指示，大冶铁矿引进新设备、新材料、新工艺、新技术，不断对采场、选厂进行扩建改造。到20世纪70年代初，采场形成年产原矿440万吨、选厂形成年处理原矿430万吨的综合生产能力，最高年采原产达505.1万吨，可生产7种矿石产品，可直接和间接回收铁、铜、硫、钴、金、银等金属和非金属元素，并先后攻克了混合矿选别难关，治理好了东露天采场世界第一高陡边坡。

大冶铁矿主要产品有球团矿、铜精矿、铁精矿、硫钴精矿，从1958~2003年，露天

累计采出原矿 11261.23 万吨，生产铁精矿 7220.64 万吨，矿山铜 338927 吨，硫钴精矿 200.88 万吨，球团矿 228.05 万吨，附产黄金 13874.435 千克，白银 195.374 千克。1990 年前，为武钢提供的铁金属量占武钢生产全部生铁产量的 70%；有色金属产品行銷国内 15 个省市自治区的 60 多家冶炼、化工、建材行业。

铁精矿 特级 TFe=(68±0.5)%
一级 TFe≥66%



铜精矿 品位：Cu≥18%



球团矿 品位：TFe≥65%；抗压强度≥2500N/球



硫精矿 品位：S≥38%



大冶铁矿主要成品矿

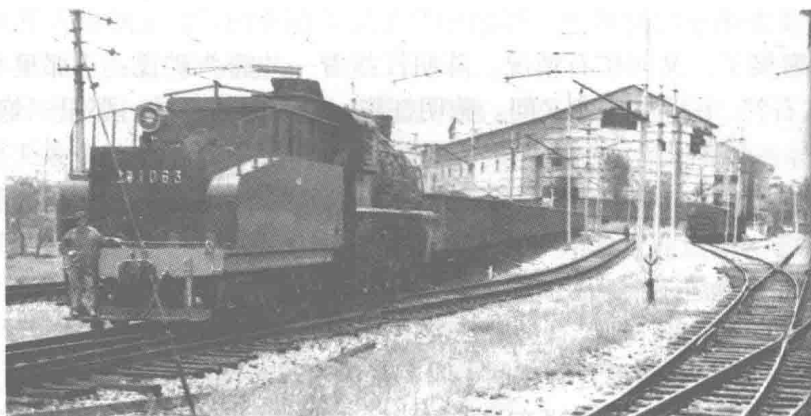
大冶铁矿属大型矽卡岩型矿床，主要有用组分为铁、铜、硫，伴生金、银、钴等多金属，矿藏储量大，品位高，可供综合回收元素多。大冶铁矿经过不断完善与改扩建，处理能力一度达到 430 万吨/年，经过四十年生产，露天矿闭坑，转入地下开采，供矿能力目前选矿维持在 260 万吨/年（含外购部分矿石）。

到 20 世纪 90 年代，大冶铁矿矿石储量逐减，产量下降，老矿山的资源匮乏问题日益突出，被列为全国九个危机矿山之一。矿山及时掀起“第二次创业”高潮，全矿上下团结一心，奋发图强，依次开工建设接续矿山生产的地下采场，使矿山仍保持一定的生产规模；兴建年产 80 万吨氧化球团矿的球团厂，对矿石产品进行深加工，以提高经济效益。用现代科技对选厂进行改造，提高生产自动化水平，降低产品成本；顺应形势，大力发展多种经营，创办非矿产业。

大冶铁矿建成了亚洲第一的硬岩复垦基地，昔日的废石场已绿树成荫。矿区环境优美，多次被评为湖北省花园式工厂、清洁无害工厂、安全生产文明单位。拥有文化活动中心、室内体育馆、大型健身房、电视台、图书馆，组建有足球队、文艺演出队、时装表演队，职工体育文化生活多姿多彩，多次获湖北省文明单位及全国模范职工之家称号。

大冶铁矿是一座具有百年大型机械化开采历史的老矿山，驰名中外。大冶铁矿现有职工 3100 余人，其中中级以上工程技术人员 785 人，固定资产 8 亿多元。

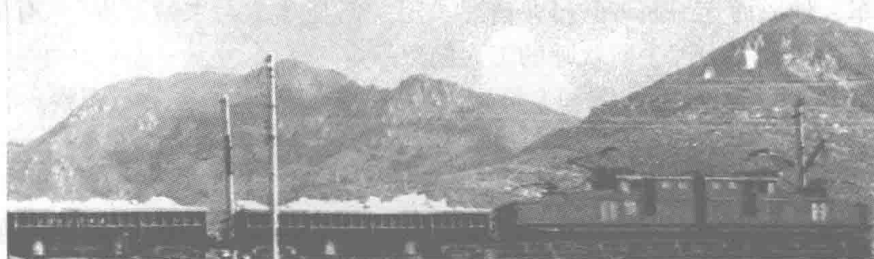
今日的大冶铁矿，基础设施成龙配套，管理方式先进，矿区局域网络全线贯通，办公实现自动化。大冶铁矿正在以新的姿态迎接新的挑战，古矿将再展新颜。



精矿仓库外景



电机车满载矿石开往选矿厂



建设在武黄公路上的立交桥

二、辉煌历史

1958年9月15日，毛泽东主席来到大冶铁矿视察。陪同毛泽东主席视察的有国防委员会副主席张治中，中共湖北省委第一书记王任重、书记张平化，黄石市委书记杨锐等。

毛泽东主席在东露天采场180米水平处下车，与迎接他的矿山负责人亲切握手，举目环视采场，指划着尖山和狮子山问：“这两个山头在搞什么？”“在进行剥离工程。”站在毛泽东主席身边的大冶铁矿矿长陈明江说。“矿石在哪里？”毛泽东主席又问。“压在下面。”陈明江回答。“有多少矿石？”“一亿零三百万吨。”陈明江说。毛泽东主席望着陈明江，风趣地说：“就是这么多，不能再多一点？”“工业储量报告是这么写的。”陈明江解

释说。

毛泽东主席笑了，又问矿石情况。陈明江指着一片露头矿说：“那里有200多公尺厚。”“哪是矿石？”毛泽东主席又问。陈明江说：“前面就是的，那里一炮放了40多吨炸药。”

这时，王任重捡起一块矿石，递给毛泽东主席。毛泽东主席接过矿石，在手上掂了掂说：“品位多少？”

张平化说：“60%左右。”

毛泽东主席十分高兴，把矿石递给张治中，并向他介绍矿石的含铁量、什么是富矿、什么是贫矿、铁矿石中一般都含有哪些矿物。张治中听着连连点头。

“矿石里再有什么东西？”毛泽东主席又问。“有铁、铜等五种。”陈明江回答说。

毛泽东主席听了，不无担心地说：“光有铁，其他不要了？”“不，其他矿物也准备选。”陈明江说。

毛泽东主席听后，似乎松了一口气。忽然问：“这里有没有铜草花？”

采矿车间主任张松益一边回答说“有”，一边跑去摘下铜草花，递给王任重。王任重把铜草花递给毛泽东主席。

毛泽东主席观赏紫色的铜草花说：“矿石里有铜，开一个矿等于开几个矿，综合利用好。”

接着，大家请毛泽东主席到工棚里休息。工棚里放了一张藤椅和几条板凳。毛泽东主席不坐藤椅，和大家一起坐在板凳上。当王任重、张平化、杨锐等向他汇报大冶铁矿的建设情况及工人们解放思想、创造一个又一个新纪录时，毛泽东主席不断点头微笑。

当陈明江谈到矿山实行建设资金大包干节省3000多万元时，毛泽东主席赞许说：“还是包干好。”在工棚休息20多分钟，毛泽东主席站起来，大家陪同他到掌子面看电铲装汽车、电机车，他一面走一面询问作业情况。工人们高呼“毛主席万岁”，有的还跑来和他握手。他一边走，一边挥手向欢呼的工人们致意。

11时15分，毛泽东主席及陪同人员乘车离开大冶铁矿，前往黄石视察。

三、举世闻名的国家矿山公园

大冶铁矿自公元226年三国时期就开始采矿，一直到今天，已有1787年的历史。尤其在1890年，湖广总督张之洞开办大冶铁矿作为汉阳铁厂的原料基地，开始了大规模的开采。到1908年，盛宣怀奏请清政府合并汉阳铁厂、大冶铁矿和萍乡煤矿成立汉冶萍钢铁有限公司，故此，大冶铁矿便成为亚洲最大最早的钢铁联合企业——汉冶萍公司一个主要的组成部分。这座百年老矿发展到今天已有110多年的历史，并形成了举世闻名的“十大”看点：

- (1) 中国第一家用机器开采的大型露天铁矿；
- (2) 亚洲最大最早的钢铁联合企业——汉冶萍公司的一个主要组成部分；
- (3) 张之洞创办的洋务企业唯一保留下来的正在运作的一家企业；
- (4) 一代伟人毛泽东视察过的唯一一座铁矿；
- (5) 有中国第一支大型地质勘探队——429地质勘探队；
- (6) 中国第一批女地质队员在这里诞生；

(7) 1923 年大冶铁矿参与的下陆大罢工是中国第一次胜利结束的大罢工，为京汉铁路“二七”大罢工提供了组织经验；

(8) 见证日本帝国主义掠夺中国矿产资源的第一家矿山；

(9) 东露天采场经过多年开采，形成了落差 444 米的世界第一高陡边坡；

(10) 亚洲最大的硬岩绿化复垦基地。

根据百年老矿山的这一丰厚的文化资源，大冶铁矿开发工业旅游，建成生态保护园林、采矿工业园和矿史展览馆，使古矿逢春，弘扬古矿山文化，成立了黄石国家矿山公园。

(一) “亚洲第一坑”——建成采矿工业园

大冶铁矿东露天采场于 1951 年开始地质勘探，1955 年 7 月动工基建，1958 年 7 月 1 日正式投产，2003 年露天开采结束，大冶铁矿转入地下开采。经过 40 多年大规模的机械开采，东露天采场形成了一个巨大的漏斗形深凹矿坑，开采最高标高 276 米，最低标高 -168 米，最大深度 444 米，形成了世界第一高陡边坡。“漏斗”上部面积为 118 万平方米，底部面积为 8150 平方米。大冶铁矿以“亚洲第一坑”——东露天采矿坑轴心，构成采矿工业园，主要的看点有：

- (1) 亚洲第一深凹开采矿坑；
- (2) 毛主席视察手托矿站立处；
- (3) 落差达 444 米的世界第一高陡边坡；
- (4) 前人遗留下来的采矿坑道；
- (5) 再现当年采矿生产全流程。



亚洲第一深凹开采矿坑

以上五大看点形成一个浓缩的大冶铁矿。2005 年 8 月，天坑大型观看平台建成，游人只要站在平台上，就能一目了然看到一代又一代矿山人艰苦创业、劈山取宝的感人场景。

(二) 亚洲最大的硬岩复垦基地——建成旅游生态保护园林

大冶铁矿从 1955 年至今，共排放废石 3.7 亿吨，废石厂占地面积 300 万平方米。

1989 年大冶铁矿着手硬岩绿化复垦，在几乎寸草不生的废石厂大面积植树造林，当时国内尚无成功经验。

1990 年，一大批技术专家抵达废石场，因地制宜，确立种植以豆科植物为主的抗旱、耐贫、繁殖容易树种，如刺槐、马尾松、侧柏、旱柳、石榴、火棘、紫荆等。经过几代矿山人的不懈努力，昔日寸草不生的废石厂如今变成了绿树成荫的生态园林，复垦面积达到 247 万平方米，成为亚洲最大的硬岩复垦基地。在这个硬岩绿化生态园，满眼郁郁葱葱，人似乎被染“绿了”。阳光透过刺槐浓密的枝叶投下斑斑点点，鸟儿在枝头鸣唱，山鸡在林间奔跑，野花在竞相怒放，清新的空气迎面扑来，令人心旷神怡。

生态园中将建设文化走廊、观赏林和楼台亭阁，并配合在东方山景区西部开发，成为市民休闲娱乐的场所。



矿山公园一角

（三）矿史展馆——展示百年古文化

“孙权筑炉炼兵器，岳飞锻铁铸刀剑”，正是描述大冶铁矿有着深厚的文化底蕴，为此，要在大冶铁矿修建矿史展馆作为工业旅游开发的一个重要组成部分。目前展馆共 5 层，占地面积 2000 多平方米。展馆分为八大部分：

- （1）矿物陈列；
- （2）党和国家领导视察；
- （3）古代开采；
- （4）近代开采；
- （5）日本掠夺；
- （6）古矿逢春；
- （7）改革开放中的矿山；
- （8）精神文明建设。

大冶铁矿存有珍贵的图片和实物，史馆建成后，成为爱国、爱矿的教育基地。

1 矿物加工基本知识

【本章提要】 本章主要介绍矿物加工基本概念、术语，原料粉碎筛分、磨矿分级、重选、磁选、浮选、脱水、烧结球团等工艺过程基本特点等内容。

1.1 矿物加工

矿物加工是利用矿物的物理化学性质的差异，借助各种分离、加工的手段和方法将矿石中有用矿物和脉石分离，达到有用矿物相对富集并进行加工和利用的方法。

矿物加工学是专门研究矿物分离与加工、利用的学科。它在内涵和外延上比传统的选矿学都要宽广。矿物加工学的外延可扩大到一般意义上的分离与加工过程。

1.1.1 矿物加工常用的术语、工艺指标及计算

脉石：矿石中没有使用价值或不能被利用的部分。

围岩：矿体周围的岩石。

夹石：夹在矿体中的岩石。

废石：矿体围岩和夹石。

传统上，把矿石加以破碎，使之彼此分离（解离），然后将有用矿物加以富集提纯，无用的脉石被抛弃，这样的工艺过程叫选矿。

原矿：所处理的给入的原料矿石。

精矿：经分选后富集了有价值成分的最终分选产品。

中矿：分选过程中产出的中间未完成产品，需要返回原分选流程中处理或单独处理。

尾矿：经过分选后残余的可弃去的物料。

品位：给矿或产品中有价值成分的质量分数，常以百分数表示（金、银用 g/t）。原矿的品位常以 α 表示；精矿品位以 β 表示；尾矿品位以 θ 表示。

产率：产物对原矿计的质量分数，常以百分数表示，通常以 γ 表示，设 Q_H 、 Q_K 、 Q_X 分别为原矿的质量、精矿的质量、尾矿的质量（单位为吨），对单一有用矿物的精矿产率 γ ，有：

$$\gamma = \frac{Q_K}{Q_H} = \frac{\alpha - \theta}{\beta - \theta} \times 100\%$$

回收率：精矿中有价值成分质量与原矿中有价值成分质量之比，总的回收率通常用 ε 表示。对单一有用组分矿石，有：

$$\varepsilon = \frac{\beta \gamma}{\alpha} = \frac{\beta(\alpha - \theta)}{\alpha(\beta - \theta)} \times 100\%$$

富集比：精矿品位 β 对原矿品位 α 的比值，即选矿过程中有用成分的富集程度。

选别比：原矿质量与精矿质量的比值，即选得1t精矿所需原矿的吨数，以 K 表示。

金属平衡：选矿厂入厂原矿中金属含量和出厂精矿与尾矿中的金属含量之间具有的平衡关系。

1.1.2 矿物加工的依据和方法

选矿工艺与选矿设备的发展是同步的，设备技术水平不仅是工艺水平的最好体现，其生产技术状态也直接影响着生产过程、产品的质量和数量以及综合经济效益。

矿物加工主要依据矿物的各种物理化学性质及表面性质所存在的差异，主要有密度、磁性、导电性、润湿性等。根据不同的矿石类型、不同的特性参数和对产品的要求不同，在生产实践中，可采用不同的矿物加工方法。

矿物加工的主要方法和用途见表1-1。

表1-1 常用矿物加工方法

矿物加工方法	主要用途
重选法	黑色、有色、稀有金属及煤炭的分选；固体废弃物处理
浮选法	金属及非金属矿物的分选；废水处理；菌种分离
磁选法	黑色金属、稀有金属的分选；非金属矿物原料中除铁
电选法	有色金属矿石和稀有金属矿石、黑色金属（铁、锰、铬）矿石的分选；非金属矿石（煤粉、金刚石、石墨、高岭土等）的分选
化学分选	煤炭等
生物分选	硫化矿物、煤炭等
特殊选矿	金属和非金属矿

1.1.3 矿物加工基本工艺流程

矿物加工，以选矿过程为典型，一般都包括以下三个基本工艺过程：（1）矿物选前的准备作业；（2）分选作业；（3）选后产品的处理作业。

矿物经过分选加工后，所得到的精矿产品，其有用矿物含量高，可直接用于冶炼加工、炼焦，或作为矿物材料进行进一步加工利用。某种矿物是否需要分离加工，或达到什么样的质量标准，一般要从技术和经济两方面同时考虑。只有当产品的销售价格高于所有生产费用总和时，对矿物进行分离加工才是合算的。

选矿厂或选煤厂为生产其产品而配置的方式如图1-1所示。流程实际上是选矿厂为生产某种质量标准的产品所安排的作业顺序。选矿产品的质量标准主要包括成分和（或）粒度等方面。当要求成分达到某种标准时，一般需深度粉碎以使各种矿物相互解离，其分选或富集过程才得以进行。

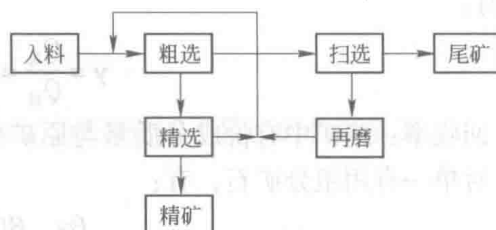


图1-1 粗选、扫选和精选构成的基本选矿流程

1.2 粉碎工艺与设备

粉碎是大块物料在机械力作用下粒度变小的过程。粉碎是矿物加工过程的重要环节。粉碎可分为四个阶段：破碎、磨矿、超细粉碎、超微粉碎。粉碎过程是高能耗的作业，粉碎过程的基本原则是“多碎少磨”。

1.2.1 破碎流程

破碎流程可分为：

(1) 一段破碎流程。一段破碎流程一般用来为自磨机提供合适的给料，常与自磨机构成系统。该工艺流程简单，设备少，厂房占地面积小。

(2) 两段破碎流程。该流程多为小型厂采用。

(3) 三段破碎流程。该流程的基本形式有三段开路和三段一闭路两种。

(4) 带洗矿作业的破碎流程。当给料含泥（ -3mm ）量超过 $5\% \sim 10\%$ 和含水量大于 $5\% \sim 8\%$ 时，应在破碎流程中增加洗矿作业。

1.2.2 球磨、棒磨流程

对选矿而言，采用一段或两段磨矿，便可经济地把矿石磨至选矿所需要的任何粒度。两段以上的磨矿，通常是由进行阶段选别的要求决定的。

一段和两段流程相比较，一段磨矿流程的主要优点是：设备少，投资低，操作简单，不会因一个磨矿段停机影响到另一磨矿段的工作，停工损失少。但磨机的给矿粒度范围宽，合理装球困难，不易得到较细的最终产物，磨矿效益低。当要求最终产物最大粒度为 $0.2 \sim 0.15\text{mm}$ （即 -0.074mm 占 $60\% \sim 79\%$ ），一般采用一段磨矿流程。小型工厂，为简化流程和设备配置，当磨矿细度要求 -0.074mm 占 80% 时，也可用一段磨矿流程。

两段磨矿的突出优点是能够得到较细的产品，能在不同磨矿段进行粗磨和细磨，特别适用于阶段处理。在大、中型工厂，当要求磨矿细度小于 0.15mm （即 $80\% - 0.074\text{mm}$ ），采用两段磨矿较经济，且产品粒度组成均匀，过粉碎现象少。根据第一段磨机与分级设备连接方式不同，两段磨矿流程可分为三种类型：第一段开路；第二段全闭路；第一段局部闭路，第二段总是闭路工作的磨矿流程。

1.2.3 自磨流程

自磨工艺有干磨和湿磨两种。选矿厂多采用湿磨。为了解决自磨中的难磨粒子问题，提高磨矿效率，在自磨机中加入少量钢球，称为半自磨。

自磨常与细碎、球磨、砾磨等破磨设备联合工作，根据其联结方式可组成很多种工艺流程。

现代工业中应用的破碎设备种类繁多，其分类方法也有多种。破碎设备可按工作原理和结构特征划分为颚式破碎机、圆锥破碎机、辊式破碎机、冲击式破碎机和磨碎机等。

1.2.4 筛分

将颗粒大小不同的混合物料，通过单层或多层筛子而分成若干个不同粒度级别的过程