



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

选矿工艺

XUANKUANG GONGYI

主编 解国辉

China University of Mining and Technology Press



China University of Mining and Technology Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

选矿工艺

主 编 解国辉
副主编 王 东 杨立忠 张红俊

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书是为煤炭高等职业院校选煤及煤炭深加工与利用专业编写的教材,主要阐述了选煤工艺中所用的重选法与浮选法及其他选煤法,并增加了煤泥水处理的内容。为培养学生的动手操作技能,书后增设了与课程相关的实验。

本书也可作为中职学校的教学用书,还可作为选煤企业现场技术人员、操作人员的培训教材,同时对选煤厂工程技术人员及管理人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

选矿工艺/解国辉主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2006.5

ISBN 7 - 81107 - 339 - 0

I. 选… II. 解… III. 选煤—生产工艺—高等学校:技术学校—教材 IV. TD94

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第058185号

书 名 选矿工艺
主 编 解国辉
责任编辑 褚建萍
责任校对 杨 廷
出版发行 中国矿业大学出版社
(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail cumtpvip@cumtp.com
排 版 中国矿业大学出版社排版中心
印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司
经 销 新华书店
开 本 787×1092 1/16 印张 35 字数 874 千字
版次印次 2006年5月第1版 2006年5月第1次印刷
定 价 48.00元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

《选矿工艺》编写人员名单

主 编 解国辉

副主编 王 东 杨立忠 张红俊

编写人员 (以姓氏笔画为序)

王 东 王 鹏 刘海霞

张红俊 杨立忠 尚连英

贺建忠 郭玉梅 彭建喜

解国辉

前 言

随着煤炭职业教育的兴起,煤炭企业所需的选煤技术人员及煤炭深加工与利用技术人员数量增加,相应院校相关教材有些缺乏。在此状况下,由山西煤炭职业技术学院、山西工业职业技术学院、北岳职业技术学院、长治职业技术学院、潞安职业技术学院五所院校相关专业教师组成编写组,本着“厚基础、重能力、求创新”的总体思路,优化整合课程内容,突出高职教育应用性、实用性的特色,在吸取各校多年教学实践经验的基础上,联合编写了这本书。

本书根据煤炭高职教育的特点,以突出能力培养,尽量避免高深理论,简要通俗并系统地介绍了重选、浮选的基本理论和基本原理,设备种类及工作原理、工作过程,选煤工艺中涉及到的各个环节,辅助设备的工作性能,并及时提到选煤新技术的前沿内容。最后增加了煤泥水处理部分。考虑到培养学生的动手、操作能力,在书后的实训教学要求中,安排了相关课程的实验项目。

全书分为绪论、第一篇重力选矿(第一至第七章)、第二篇浮游选矿(第八至第十一章)、第三篇煤泥水处理及除尘(第十二至第十八章)、第四篇实验。编写分工如下:绪论及第一、三、四章由山西煤炭职业技术学院解国辉编写;第二章由山西工业职业技术学院彭建喜编写;第五章、第六章第一节由潞安职业技术学院刘海霞编写;第六章第二节、第七章由山西工业职业技术学院王东编写;第八、九章由山西煤炭职业技术学院尚连英编写;第十章由山西煤炭职业技术学院杨立忠编写;第十一章由山西煤炭职业技术学院贺建忠编写;第十二、十五章及第四篇由山西煤炭职业技术学院郭玉梅编写;第十三章由长治职业技术学院王鹏编写;第十四、十六、十七、十八章由山西煤炭职业技术学院张红俊编写;北岳职业技术学院董令令提供了大量的资料。

本书由解国辉担任主编,王东、杨立忠、张红俊担任副主编。

由于编者水平有限,错误或不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2006年1月

目 录

绪论	1
思考题与习题	3
第一篇 重力选矿	
第一章 重选概论	7
第一节 重力选矿研究的对象及其应用范围	7
第二节 重力选矿发展概况	8
思考题与习题	10
第二章 重选的基本原理	11
第一节 颗粒及颗粒群沉降理论	11
第二节 粒群按密度分层理论	20
第三节 颗粒在离心力场中的运动规律	21
思考题与习题	22
第三章 重介质选矿	23
第一节 概述	23
第二节 重介质的性质	26
第三节 重介分选机	34
第四节 重介质旋流器	43
第五节 悬浮液的净化与回收	54
第六节 悬浮液密度的自动控制	61
第七节 重介质选煤的操作与调整	64
第八节 干法选煤	69
思考题与习题	77
第四章 跳汰选矿	79
第一节 概述	79
第二节 跳汰选矿原理	82
第三节 无活塞跳汰机	98
第四节 跳汰机的人料性质与操作工艺	128
第五节 跳汰机的操作与调整	132
思考题与习题	136

第五章 溜槽与摇床选矿	138
第一节 溜槽选煤.....	138
第二节 斜槽分选机选煤.....	141
第三节 摇床选煤.....	144
思考题与习题.....	152
第六章 重力选煤生产工艺流程	153
第一节 炼焦煤选煤典型重选工艺.....	153
第二节 动力煤选煤典型重选工艺.....	157
思考题与习题.....	160
第七章 物料的可选性及重选工艺效果评定	161
第一节 概述.....	161
第二节 物料粒度组成的研究方法.....	161
第三节 物料密度组成的研究方法.....	168
第四节 可选性曲线及其应用.....	179
第五节 原煤可选性分类.....	187
第六节 分配曲线及其特性参数.....	189
第七节 重选工艺效果的评定.....	197
思考题与习题.....	201

第二篇 浮游选矿

第八章 浮选的基本原理	205
第一节 矿物表面的润湿性与可浮性.....	205
第二节 矿物的结构与可浮性.....	210
第三节 界面现象.....	219
第四节 气泡的矿化.....	234
思考题与习题.....	241
第九章 浮选药剂	242
第一节 浮选药剂的分类与作用.....	242
第二节 起泡剂.....	244
第三节 捕收剂.....	252
第四节 调整剂.....	260
第五节 絮凝剂与助滤剂.....	264
思考题与习题.....	271
第十章 浮选机及辅助设备	273
第一节 浮选机的基本要求及分类.....	273
第二节 充气搅拌原理.....	275
第三节 机械搅拌式浮选机.....	281
第四节 非机械搅拌式浮选机.....	304

第五节 浮选机的发展趋势和研究动态	313
第六节 浮选机的选择、计算、调节和测定	315
第七节 浮选辅助设备	317
思考题与习题	322
第十一章 煤泥浮选工艺和实践	323
第一节 影响浮选的工艺因素	323
第二节 原煤性质对浮选的影响	324
第三节 粒度特性对浮选的影响	330
第四节 矿浆特征对浮选的影响	338
第五节 浮选药剂制度	344
第六节 浮选工艺流程	347
第七节 煤炭浮选脱硫	351
第八节 煤泥浮选生产实践	352
第九节 煤泥浮选工艺效果检查和评定	364
思考题与习题	372

第三篇 煤泥水处理及除尘

第十二章 概述	377
思考题与习题	379
第十三章 悬浮液的性质	380
第一节 液相的性质	380
第二节 固相的性质	382
第三节 固液体系的性质	383
思考题与习题	385
第十四章 水力分级	386
第一节 概述	386
第二节 水力分析	387
第三节 水力分级设备	390
思考题与习题	397
第十五章 煤泥水处理	399
第一节 粗颗粒煤泥水的处理	399
第二节 细颗粒煤泥水的处理	409
第三节 煤泥水处理中使用的药剂	417
第四节 洗水闭路循环	425
第五节 分级、浓缩效果的评定	427
思考题与习题	429
第十六章 脱水及脱水机械	430
第一节 物料中水分的赋存形态	430

第二节 粗颗粒物料的脱水·····	432
第三节 细颗粒物料的脱水·····	449
思考题与习题·····	467
第十七章 热力干燥·····	469
第一节 概述·····	469
第二节 干燥过程·····	470
第三节 干燥机·····	473
第四节 辅助设备与干燥流程·····	480
思考题与习题·····	488
第十八章 除尘与除尘设备·····	489
第一节 除尘·····	489
第二节 除尘器·····	494
思考题与习题·····	500

第四篇 实验

第一部分 重选实验·····	505
实验一 筛分实验·····	505
实验二 破碎实验·····	508
实验三 自由沉降实验·····	510
实验四 浮沉实验·····	512
实验五 摇床实验·····	515
实验六 磁介质回收实验·····	518
实验七 磁性物含量测定实验·····	521
第二部分 浮选实验·····	524
实验八 矿物接触角测定·····	524
实验九 可比性浮选实验·····	527
实验十 浮选工艺条件实验·····	534
实验十一 浮选速度实验·····	536
实验十二 矿浆浓度试验·····	539
实验十三 起泡剂性能的测定·····	541
第三部分 固液分离实验·····	544
实验十四 煤泥水沉降速度实验·····	544
实验十五 煤泥过滤实验·····	547
参考文献·····	550

绪 论

大家知道,人类在地球上生存,要从自然界获取大量的资源,其中包括金属矿产资源与煤炭资源。这种对资源的利用,是弃其糟粕,取其精华,有选择吸收的。对矿物,利用其物理或物理化学性质的差异,将有用矿物精矿富集与无用矿物脉石剔除的过程,我们称之为选矿。对煤炭而言,将有用矿物精、中煤富集与无用矿物矸石剔除的过程,则称之为选煤。

煤炭的分选,源于选矿技术。煤炭是我国的主要能源,占一次能源的70%左右。原煤在成煤过程中,混入了很多种矿物杂质,在开采和运输过程中,又混入了顶板或底板的岩石及其他杂质。原煤的矸石及其他杂质越多,它的灰分就越高,质量就会越差。随着采煤机械化程度的提高和可采煤层地质条件的变差,原煤质量将有可能越来越差。选煤的主要任务就是除去原煤中的杂质,降低煤炭的灰分和硫分,提高原煤质量,满足不同用户需求。例如,钢铁厂就需要低灰分的炼焦精煤。据资料统计,精煤灰分每降低1%,焦炭灰分可降低1.33%,而焦炭灰分每降低1%,炼铁焦比可降低2%,高炉利用系数可提高3%,同时,还可提高生铁的质量。煤中60%以上的硫将转入焦炭中,焦炭中硫分每增加0.1%,高炉用焦就多消耗2%,石灰多消耗2%,生铁产量将降低2%~5%,生铁质量也将变差。

煤炭是工业的粮食,也是我国最主要的能源。我国具有丰富的煤炭资源,但由于加工程度低,能源的利用率不高。为了改善产品结构,合理利用煤炭资源,满足各工业部门的要求,发展煤炭分选加工,即选煤业,至关重要,选煤在整个国民经济和煤炭行业中具有十分重要的作用。

(1) 对煤炭工业发展的作用

从矿井开采出的煤炭,总会含有一定量的矸石。特别是随着煤炭工业的发展,机械化采煤程度的提高,对煤炭开采的无选择性增高,势必造成混入煤炭中的矸石或其他杂物增加。因为机械化采煤不可能根据煤质的好坏,对煤层进行分层分采分运,也不可能在生产、运输过程中排矸,因此,必然导致原煤质量的下降。随着煤矿开采年限的增加,劣质煤层的比例增加,为了充分利用能源,低质煤也在逐步扩大开采。因此,如果说煤炭是工业的粮食,那么由地下直接开采出来的,使用前未先加工的粮食,我们称其为原煤。在许多情况下,原煤是不能直接利用的,要直接利用,也会造成很大的浪费。这就要求把提高煤质的工作放到地面上来做,原煤必须经过分选,再合理使用。正是高效率的机械化选煤业的发展,为机械化采煤业的大发展提供了坚实的基础。

(2) 使煤炭产品合理利用

目前,我国能源利用率约为30%,只有工业发达国家能源利用率的一半。如果将能源利用率提高到50%,按当前煤炭产量水平计算,每年就相当于增产原煤8亿t。能源利用率低的主要原因是原煤的直接使用。在现代工业中,各个工业部门对煤炭质量要求各不相同。钢铁工业要求低灰、低硫和具有粘结性的炼焦精煤,但是锅炉却不宜用强粘结性的煤炭,因为烧这种煤,易使炉渣粘结,导致排渣困难。不同形式的锅炉,对煤炭的要求也不一样,层状燃

烧的锅炉,希望使用块煤,而大型电厂的锅炉,却要用粉煤。无烟煤因其起火慢、火焰短,动力锅炉不适用,但却是生产化肥的造气原料,还可用于高炉喷吹,从而节约焦炭。煤炭品种的不对症使用,就是极大的浪费,反之,产销对路则是很大的节约。比如,机车锅炉具有通风强而烟囱短的特点,若煤的粒度太大,会燃烧不尽,从炉渣排出;若煤的粒度太小,则一部分会还未燃烧,已从机车烟囱冒出,这两种用煤方式都不经济。大型电厂恰好相反,它要求煤炭磨得很细,再喷入锅炉。电厂如使用原煤和块煤,就必须增加制备粉煤的成本和电耗。因此,为提高煤炭的利用效率,满足不同用户的要求,使产品对路适销,将原煤分选加工是十分必要的。选煤厂承担着将原煤加工成一定质量品种煤的任务,降低煤的灰分,提高煤的质量,得到合适粒度,做到合理利用。

(3) 对减少铁路运输量的作用

煤炭在铁路货运量中,占比例较大,煤炭的灰分高,就意味着矸石量与其他杂质多,运输煤炭等于额外做了很多无用功。现在我国每年产煤约 19 亿 t,如果通过加工,平均排除 1% 的矸石,则每年可节省近 32 万节运煤的火车车皮。因此,发展选煤业,除提高煤炭产品质量外,将煤中矸石剔出,另行处理,可减少铁路无效运输,降低火车运输的负担。

(4) 对环境保护的作用

目前探测得知,我国高硫煤约占总储量的 27%,每年高硫煤产量将达 2 亿 t 以上,随着深部煤层的开采,原煤中含硫量将逐步提高,脱除煤中硫分的要求越来越迫切。因为煤中的硫大部分以黄铁矿的形式存在于矸石中,煤炭在分选过程中,不仅能除掉大量的矸石,降低灰分,同时也脱除了大量黄铁矿硫,对于减轻煤炭燃烧时二氧化硫气体对大气的污染将起到很大作用。同时,以选煤脱除硫分,比用化学方法在烟气、煤气中脱硫成本要低,还可降低燃烧时煤中硫对设备、管道的腐蚀作用。

(5) 对煤炭综合利用的作用

随着科技的高速发展,煤炭的综合利用越来越为人们所重视,而选煤本身就具有综合利用的作用。如炼焦用煤,就得使用经过分选的精煤才可产出焦炭和煤气、苯、氨水等化工原料;选出的中煤或洗混煤用于发电;灰分不是很大的矸石还可用做沸腾炉燃烧,灰分高的矸石可用做建筑材料、井下充填或就地废弃,含高硫煤的矸石,可单独选出黄铁矿硫,作为制取硫酸的原料,浮选尾煤供发电或作内燃砖原料等。目前,很多煤炭综合利用的项目不断出现。

(6) 对提高煤炭企业经济效益的作用

近年来选煤的经济效益已被大家公认,仅生产原煤,其经济效益是不够的。选煤通过增加煤的品种,提高煤炭的质量和和使用价值,使企业扭亏增盈,增加就业率,可显著提高煤炭企业的经济效益,从而提高全社会效益。

那么,选煤既然这样重要,都是怎样选,采用什么方法呢?

选煤具体地说,就是使混在煤中的矸石、煤矸共生的夹矸煤与纯净的精煤,按照各自的物理或物理化学性质的差别加以分离。下面是常用的一些选煤方法:

(1) 重力选煤法

重力选煤,就是依据煤和矸石的密度差别,实现煤与矸石分离的选煤方法。煤中可燃物质的密度是较低的,在 $1.25 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$ 之间,而煤中其他矿物质密度都在 2.5 g/cm^3 左右。以煤与矸石密度差别为主要分选依据的重力选煤法,一直是选煤的主要方法。

重力选煤法又可分为两大类:以空气或空气与其他微细颗粒的混合物作为分选介质,称

为干选法；以水或重液、重悬浮液作为分选介质，叫做湿选法。湿法重力选煤应用最多，约占选煤方法的80%以上。湿法重力选煤又分为重介质选、跳汰选、溜槽选、斜槽选和摇床选等。

(2) 浮游选煤法

浮游选煤又称浮选，是依据煤和矸石表面物理化学性质的差别，分选粒度小于0.5 mm煤的选煤方法。煤粒的表面是疏水的，矸石的表面是亲水的，但其自然差别不大。通常在煤浆中加入浮选用药，即捕收剂，增加煤和矸石表面物理化学性质的差别，同时在煤浆中加入起泡剂，产生大量稳定的小气泡，疏水的煤粒附着在气泡上，通过浮力作用，气泡连同附在其上的煤粒，上浮至矿浆表面，从而形成泡沫产品，被浮选机刮出机外，亲水的矸石则不上浮，留在煤浆中，从尾矿槽排出，实现分选。浮选是目前处理0.5 mm以下煤泥的最有效办法。

除了上述两大类常用的选煤方法以外，还有多种多样利用煤和矸石各种自然性质作为分选依据的选煤方法，由于它们的应用范围有限，故统称为其他选煤法。这些方法主要是利用煤和矸石的电性、磁性、硬度、脆性、运动摩擦因数、射线穿透能力等的不同，使煤和矸石实现分离。它包括静电选、磁选、摩擦选、放射性同位素选和X射线选等。此外，还有手选，即人工拣矸，它是根据煤和矸石在颜色、光泽及外形上的差异来进行分选的。对煤和矸石硬度差别较大的大块原煤，还可以采用滚筒碎选机进行选择破碎，而实现煤与矸石的分离。

上述的各种选煤方法，湿法重力选煤应用最广。目前我国选煤厂采用最广泛的选煤方法是跳汰选和重介选，随着采煤机械化程度的提高，煤的细碎含量也越来越多，浮选法的使用也越来越广泛。这些都是本课程研究的主要内容。

湿法选煤要用去大量的水，怎样降低产品煤的水分，节约水资源，实现循环用水，使煤泥水做到合理处理，污水不排放，保护环境，也是本课程研究的重要内容。

思考题与习题

1. 什么叫选煤？其目的是什么？
2. 选煤在国民经济中有什么作用？
3. 常用的选煤方法都有哪些？



第一篇

重力选矿

第一章 重选概论

重力选矿,又称重选,在我国的发展已有很长的历史,近几十年,已取得了很大的成就。了解重力选矿研究的对象及应用范围,是本章的主要内容。

第一节 重力选矿研究的对象及其应用范围

选矿就是从原矿中把有用矿物(或有用成分)分离出来并加以富集的过程。这项任务的完成必须依据矿粒本身的某些特性。根据矿物的密度不同而进行分离的方法叫做重力选矿。许多金属矿物经过分选得到的重产物为精矿,轻产物为脉石或尾矿。而煤炭则和金属矿物相反,煤炭中可燃物质的密度总比其中不可燃矿物质密度低,所以煤的密度愈小,灰分愈低,质量也越好。选煤就是把有用矿物质富集到轻产物中,作为精煤,而脉石等矿物进入到重产物中,成为矸石或尾煤。

重力选矿与其他选矿方法一样,矿物的分离是在运动过程中逐步完成的。因此,应该使性质不同的矿粒在重力选矿设备中具有不同的运动状况,如运动的方向、速度、加速度和运动轨迹等,从而达到矿物分离的目的。另外,重力选矿过程都必须在某种介质中进行,所用的介质有空气、水、重液和重悬浮液。其中用的最多的介质是水,在干旱缺水的地区或处理某些特殊原料时,可用空气或空气与其他微细固体颗粒构成的介质,这就是目前有些地方用到的干法选煤。重液是密度大于水的液体或无机盐类的水溶液,矿物在其中可以严格地按密度分开,但是由于这类液体价格昂贵,故只限于在实验室中使用。重悬浮液是由密度较高的固体微粒与水组成的混合物,用这种混合物溶液作为分选介质的选矿方法则被称做重介质选矿。

介质是重力选矿的重要因素。物体在介质中的运动不仅受重力的作用,而且还受介质的浮力和阻力作用。物料在介质中运动,不同密度和粒度的颗粒产生不同的运动速度和轨迹,最后实现彼此分离。介质既是传递能量的媒介,同时还有使物料粒群松散和运输产物的作用。

使矿物分离,介质的作用是外因,根本原因还是它自身性质的差异,即颗粒的密度、粒度和形状。在重选过程中,矿石的分选基本上是按密度差来分离的。但当矿物间密度差别不大时,亦可按颗粒在介质中沉降速度的不同,达到按粒度分离的目的,这种分选作业称为分级。另外,矿粒的形状不同,在介质中的运动速度也不同,形状也是分离过程的一项重要因素。在第一篇重选部分,我们重点考虑密度的因素。

介质对物料的分选,其本身常处于运动状态,主要的运动形式有几种:等速的上升流动、等速的下降运动、垂直交变的流动、沿斜面的稳定流动和非流动回转运动等。根据介质的运动形式和分选原理的不同,重力选矿可分为如下几种,见表 1-1。

利用重力选矿法,如何衡量分选矿石的难易程度,关键取决于待分离矿物质之间的密度差,简单用式(1-1)近似评定:

表 1-1 重力选矿工艺方法应用范围

分选工艺方法	粒 度/mm		密 度/kg·m ⁻³	
	最小	最大	最低	最高
分 级	0.074	50	1 200	4 200
重介质选矿	0.100	300	1 200	8 000
跳汰选矿	0.074	250	1 200	15 600
摇床选矿	0.074	38	1 200	15 600
溜槽选矿	6.000	100	1 200	2 500

$$E = \frac{\sigma_2 - \rho}{\sigma_1 - \rho} \quad (1-1)$$

式中 E ——矿石的可选性评定系数；

σ_1 、 σ_2 、 ρ ——轻产物、重产物和介质的密度，kg/m³。

从式(1-1)可看出，可选性评定系数 E 值越大，矿粒间的密度差别越大，矿物越能较好地按密度分选，分选越容易；反之，则较困难。在入选前常常将矿粒先分级，减少粒度因素的影响。可选性评定系数 E 值大小可分成五个等级，见表 1-2。

表 1-2 矿物按密度分离的难易度

E 值	>2.5	2.5~1.75	1.75~1.5	1.5~1.25	<1.25
难易度	极容易	容易	中等	困难	极困难

目前，重力选矿法是最重要的选矿方法之一。普遍应用于处理很多金属矿物，如用来处理金、钨、锡及稀有金属(钽、钨、钼、铌、钽等)等矿石，在处理煤炭中应用也很普遍。在我国选煤行业中，重力选矿法担负着处理 70% 以上原煤的任务，是最主要的选煤方法。重力选矿法具有设备结构较简单、生产处理量大、作业成本较低等特点，在条件具备的情况下，通常优先予以采用。

第二节 重力选矿发展概况

一、重力选矿的历史发展

重力选矿是一种应用最早的选矿方法。远古时代，人们在河溪中用兽皮淘洗自然金属，就开始利用了重力选矿的分选原理。

18 世纪产业革命以后，重力选矿技术逐渐完善。1830~1840 年，在德国哈兹矿区出现了机械式的活塞跳汰机，1892 年发明了第一台空气驱动的无活塞跳汰机，即著名的鲍姆式跳汰机，19 世纪末，又研制出现代形式的机械摇床。在 20 世纪初浮选法应用以前，重力选矿法一直是主要的选矿方法。

重介质选矿是分选效率最高的重力选矿方法，1858 年开始在工业中使用。由于当时只能在氯化钙溶液中选煤，溶液的损耗量较大，因此没能得到推广使用。在 1917 年，出现了水