

化工工人技术理论培训教材



粉碎与筛分

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

化工工人技术理论培训教材

粉碎与筛分

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

粉碎与筛分/化学工业部人事教育司、化学工业部教育培训
中心组织编写. —北京: 化学工业出版社, 1997
化工工人技术理论培训教材
ISBN 7-5025-1910-6

Ⅰ. 粉… Ⅱ. ①化… ②化… Ⅲ. ①粉碎 技术培训 教材
②筛分 技术培训-教材 N. TQ028

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 20536 号

化工工人技术理论培训教材

粉碎与筛分

化学工业部人事教育司 组织编写
化学工业部教育培训中心

责任编辑: 高 钰

责任校对: 陈 静

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市通县京华印刷厂印刷

北京市通县京华印刷厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 5 $\frac{3}{4}$ 字数 158 千字
1997 年 12 月第 1 版 1997 年 12 月北京第 1 次印刷

印 数: 1-5000

ISBN 7-5025-1910-6/G·516

定 价: 10.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

为了适应化工系统工人技术等级培训的需要,提高工人的技术理论水平和实际操作技能,我们依据《中华人民共和国工人技术等级标准》和《化工系统工人技术理论培训教学计划和教学大纲》的要求,组织有关人员编写了这套培训教材。

在教材编审过程中,遵循了“坚持标准,结合实际,立足现状,着眼发展,体现特点,突出技能,结构合理,内容精炼,深浅适度”的指导思想,以“等级标准”为依据,以“计划和大纲”为蓝图,从有利于教师教学和方便工人自学出发,力求教材内容能适应化工生产技术和现代化生产工人培训的要求。

按照“中华人民共和国工人技术等级标准”规定的化工行业168个生产工种的有关内容,在编制教学计划和划定大纲时,在充分理解等级标准的基础上,吸取了国外职业教育的成功经验,对不同工种、不同等级工人围绕技能所要求掌握的技术理论知识进行分析和分解,作为理论教学的基本单位,称之为“单元”。在计划和大纲中,168个工种按五个专业大类(及公共课)将不同等级的全部理论教学内容分解为301个教学单元。为了方便各单位开展培训教学活动,把教学计划中一些联系较为密切的“单元”合在一起,分成112册出版。合订后的全套教材包括以下六部分。

无机化工类单元教材共25册:《流体力学基础》、《管路的布置与计算》、《物料输送》、《气相非均一系分离》、《液相非均一系分离》、《物料混合》、《固体流态化与应用》、《加热与冷却》、《蒸发》、《结晶》、《浸取与干燥》、《制冷》、《焙烧与工业炉》、《粉碎与筛分》、《电渗析》、《吸附分离》、《离子交换》、《常见的无机化学反应》、《电解及其设备》、《物料衡算与热量衡算》、《合成氨造气》、《合成氨变换》、《合成氨净化》、《合成氨压缩》和《氨的合成》。

有机化工类单元教材共7册:《吸收》、《蒸馏》、《萃取》、《有机化学反应(一)》、《有机化学反应(二)》、《有机化学反应(三)》和《化学反应器》。

化工检修类单元教材共13册:《电镀》、《腐蚀与防护》、《机械传动及零件》、《液压传动与气动》、《金属材料热处理知识》、《机械制造工艺基础》、《化工检修常用机具》、《工程力学基础》、《测量与误差》、《公差与配合》、《化工机器与设备安装》、《化工压力容器》、《展开与放样》、《化工管路安装与维修》、《钳工操作技术》、《装配和修理》、《钢材矫正与成型》、《电工材料及工具》、《焊工操作技术》、《焊接工艺》、《阀门》、《化工用泵》、《风机》、《压缩机》、《化工分析仪表(一)》、《化工分析仪表(二)》、《化工测量仪表》、《电动单元组合仪表》、《化工自动化》、《集散系统》、《仪表维修工识图与制图》、《仪表常见故障分析与处理》、《过程分析仪表》、《化工检修钳工工艺学》、《化工检修铆工工艺学》、《化工检修管工工艺学》、《化工检修焊工工艺学》、《化工防腐橡胶衬里》、《化工防腐金属喷涂》、《化工防腐金属铝焊》、《化工防腐砖板衬里》、《化工防腐塑料》以及《化工防腐玻璃钢》。

化工分析类单元教材6册:《化学分析的一般知识及基本操作》、《化学分析》、《电化学分析》、《仪器分析》、《化验室基本知识》和《有机定量分析》。

橡胶加工类单元教材共11册:《橡胶、配合剂与胶料配方知识》、《再生胶制作机理、工艺及质量检验》、《橡胶加工基本工艺》、《轮胎制造工艺方法》、《力车胎制造工艺方法》、《胶管制造工艺方法》、《胶带制造工艺方法》、《橡胶工业制品制造工艺方法》、《胶鞋制造工艺方法》、《胶乳制品制造工艺方法》和《炭黑制造工艺方法》。

另外还有公共课及管理课类单元教材共20册:《电工常识》、《电工基础》、《电子学一般常识》、《电子技术基础》、《机械识图》、《机械制图》、《化工管路识图》、《工艺流程与装备布置图》、《工厂照明与动力线路》、《电气识图与控制》、《电机基础及维修》、《工厂电气设备》、《工厂电气技术》、《安全与防护》、《三废处理与环境保护》、《化工计量常识》、《计算机应用基础知识》、《化工应用文书写》、《标准化基础知

识》和《化工生产管理知识》。

按照“单元”体系组织编写工人培训教材，尚是一种尝试，由于我们经验不足和教材编审时间的限制，部分教材在体系的合理性、内容的先进性、知识的连贯性和深度的准确性等方面还不尽如人意，为此建议：

一、各单位在组织教学过程中，应按不同等级的培训对象，根据相应的教学计划和教学大纲的具体要求，以“单元”为单位安排教学。

二、工人技术理论的教学应与操作技能的培训结合起来。技术理论的教学活动除应联系本单位生产实际外，还应联系培训对象的文化基础、工作经历等实际情况，制订相应的教学方案，确定相应的教学内容，以提高教学的针对性和教学效率。

三、在教学过程中发现教材中存在的问题，可及时与我们联系，也可与教材的编者或出版单位联系，使教材中的问题得到及时更正，以利教学。

本套教材的组织编写，得到全国化工职工教育战线各方面同志的积极支持和帮助，在此谨向他们表示感谢。

化学工业部人事教育司

化学工业部教育培训中心

1996年3月

内 容 提 要

本书为化工工人技术理论培训教材。本书包括粉碎和筛分两部分内容、分别叙述了粉碎和筛分的基本原理、工艺过程、所用的设备及有关的计算方法。

本书可供从事化工生产的工人阅读和学习。

目 录

化工常用粉碎设备 (无 032)	1
第一章 粉碎	2
第一节 基本概念	2
第二节 化工生产对粉碎的要求	21
第三节 粉碎机械的分类与选用	23
第四节 粉碎功能及粉碎规则	30
第五节 常用的耐磨材料	10
第二章 化工常用的粉碎设备	44
第一节 破碎机械	44
第二节 磨碎机械	94
第三章 粉碎助剂	152
筛分及其设备 (无 033)	157
第一章 筛分的基本概念	158
第一节 概述	158
第二节 筛和筛析	159
第三节 影响筛分能力和过筛效率的因素	161
第二章 常用筛分设备	165
第三章 筛分效率和筛分能力的计算	168

化工常用粉碎设备 (无 032)

太原化学工业集团公司化工厂	宫顺全	编
山 西 省 太 原 制 药 厂	段 敏	
太原化学工业集团公司化工厂	郝五棉	
太原化学工业集团公司化工厂	罗全奎	
太原化学工业集团公司化工厂	药树德	审

第一章 粉 碎

粉碎是将物料——原料及其加工的中间产品用机械方法粉碎为小粒度物料的过程。粉碎大量应用于化工、轻工、矿冶等对物料颗粒有一定要求的工艺过程中，是化工生产中必需的单元操作。

第一节 基 本 概 念

一、粉碎的常用术语

1. 粉碎

粉碎是将松散物料用机械方法粉碎为小粒度的过程。通常粉碎产品粒度在 $1\sim 5\text{mm}$ 以上的作业称为破碎，粒度在 $1\sim 0.5\text{mm}$ 以下的作业称为磨碎。破碎和磨碎可统称为粉碎。

2. 粉碎比

令给料粒度（即给料中最大块的颗粒）为 D ，破碎或磨碎产品的粒度（即产品中最大颗粒的粒度）为 d ，则 D/d 比值称为粉碎比，也就是物料经过破碎或磨碎后其粒度减少的倍数，通常用 i 表示。各种破碎机和磨碎机的粉碎比不同，对于坚硬物料，破碎机的粉碎比在 $3\sim 10$ 之间，磨碎机的粉碎比可达 $40\sim 400$ 以上。

3. 粉碎流程

在化工生产中，总粉碎比往往较大，例如把 500mm 的给料粉碎至 0.2mm 以下，总粉碎比达 2500 以上。这不是任何单台粉碎机械能够独立完成的，而需要多台粉碎、分级机械使物料经过多次破碎或磨碎才能达到最终的粒度要求。例如，先将粒度为 500mm 的给料送入一台旋回破碎机破碎至 250mm 以下，再送入中碎和细碎圆锥破碎机分别破碎至 50mm 和 8mm 以下，最后送入磨碎机内磨碎至最终产品粒度（即 0.2mm ）。在这个过程中，物料经过 3 次破碎和 1 次磨碎，如图 1-1 所示。这种按粉碎要求使物料依次经过一系列粉碎、筛分和分级机械，构

成所谓的粉碎流程。由图还可以看出,物料在送入3种破碎机(旋回破碎机、中碎和细碎圆锥破碎机)之前,先进行过筛,筛子的筛孔大小大致等于破碎机排料(破碎产品)的粒度(在此分别为250、80、8mm),目的在于把给料中大于破碎机排料粒度的那部分物料分出来,减轻破碎机的负荷。这种筛分称作“预先筛分”。在细碎圆锥破碎机之后有所谓“检查筛分”,其筛孔尺寸(此处为8mm)大致等于或略大于预选筛分的筛孔尺寸,筛上产品粒度大于8mm的不合格产品被送回破碎机再度破碎,筛下产品粒度小于8mm的为合格产品,送至后面的球磨机进行磨碎。球磨机的磨碎产品送至后面的螺旋分级机进行检查分级,分出合格的($<0.2\text{mm}$)细粒产品以及粒度太粗($>0.2\text{mm}$)的不合格产品,后者应送回球磨机再度进行磨碎。

物料每经过一次破碎机或磨碎机,称为一个破碎段或磨碎段。图1-1的粉碎流程中有3个破碎段和1个磨碎段,分别称为粗碎段、中碎段、细碎段和磨碎段。有的磨碎段还分为粗磨段和细磨段。与此对应,用于粗碎、中碎和细碎段的破碎机分别称为粗碎机、中碎机和细碎机。通常各个破碎段和磨碎段的粒度划分大致如表1-1所示。

这种分类方法只适用于颚式、旋回、圆锥、辊式等破碎机或只具有磨碎功能的磨碎机,而对一台兼有粗、中、细碎或磨碎功能的机

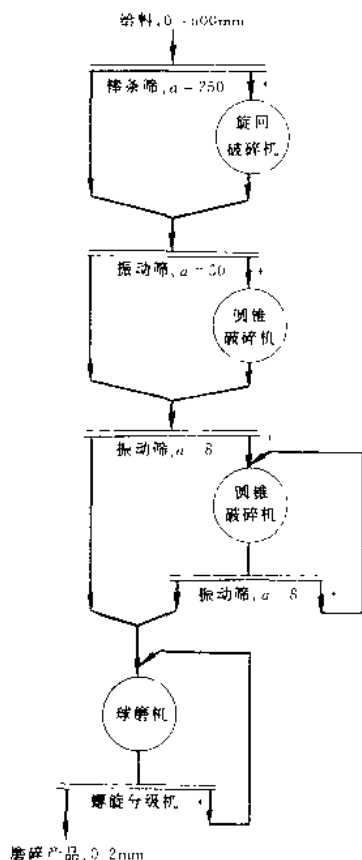


图1-1 破碎和磨碎流程

a 粒度, mm

器，例如锤式或冲击式破碎机和一段自磨机等，这种分类方法就不适用了。

表 1-1 各个破碎段和磨碎段的划分

划 分	给料粒度, mm	排料粒度, mm	备 注
粗碎	> 1500	100 ~ 300	包括一、二次粗碎
中碎	100 ~ 450	32 ~ 125	
细碎	19 ~ 150	5 ~ 25	
二次细碎	6 ~ 50	0.83 ~ 9.5	
粗磨		0.1 ~ 0.3	
细磨		< 0.1	

4. 过粉碎

虽然在粉碎物料时要求把全部或大部分（例如 80% 或 95%）物料粉碎至要求的粒度以下，但其中小于某一粒度下限的产品应力求减少，这种在粉碎过程中产生小于规定粒度下限的产品称为过粉碎。例如，高纯煤气发生炉对焦炭粒度要求为 30~60mm，在破碎焦炭过程中产生粒度小于 30mm 的焦炭（俗称焦粉，作废品处理），这就是过粉碎。

5. 磨碎效率

磨碎效率是用来评价磨碎机的重要参数，目前无统一定义，通常有以下几种表示方法。

(1) 当磨碎机的产量恒定时，以磨碎产品的细度来表示磨碎效率；或者当磨碎产品的细度恒定时，以磨碎机产量来表示磨碎效率。

(2) 以磨碎 1t 物料至规定细度时所消耗的能量 (kW · h/t) 表示磨碎效率。由于各种物料的可磨性不同，这种表示方法只在不同磨碎机磨碎同一物料至相同细度时进行比较才有用。

(3) 用磨碎后每增加 1t 0.074mm (200 目) 以下的细产品所消耗的能量来表示磨碎效率。这种表示方法可用于对比同一物料磨碎至不同细度时的磨碎效率。

(4) 综合考虑既要磨碎至要求的细度，又要减少过粉碎的表示方法，可按下式：

$$E = \left[\frac{\beta_p - \beta_r}{100 - \beta_r} - \frac{\beta'_p - \beta'_r}{100 - \beta'_r} \right] \times 100 \quad (11)$$

式中 E ——磨碎效率，%；

β_r, β_p ——分别为给料和磨碎产品中小于要求细度的粒级含量，%；

β'_r, β'_p ——分别为给料和磨碎产品中小于过粉碎粒度的粒级含量，%。

二、物料的粉碎性质

就粉碎而言，物料的下述性质与粉碎机械的选型与计算、流程的确定、产品的粒度组成及颗粒形状和粉碎工具的磨损有直接关系。

1. 可碎性

可碎性表示破碎物料的难易程度。由于物料性质和破碎的物理过程很复杂，可碎性仅近似地同待破碎物料的抗压强度、硬度和冲击强度等有关。抗压强度大于 245MPa 者称为坚硬物料，39~245MPa 者称为中硬物料，小于 39MPa 者称为软物料。岩石的平均抗压强度列于表 1-2。可碎性还用物料的普氏硬度系数 f 表示，物料的 f 值大致等于抗压强度的 1/100。中国一些金属矿石的 f 值列于表 1-3。常用的物料硬度分类列于表 1-4。

表 1-2 岩石的平均抗压强度

类 别	矿 石	密度, g/cm ³	抗压强度, MPa
侵入火成岩	花岗岩	2.63	172.5
	正长石	2.71	185.2
喷出火成岩	安山岩	2.63	117.6
	玄武岩	2.81	324.4
硅质沉积岩	砾石	2.64	137.2
	页岩	2.66	68.6

续表

类 别	矿 石	密度, g/cm ³	抗压强度, MPa
钙质沉积岩	石灰石	2.63	120.5
	白云石	2.71	147
	碳酸钙	2.71	36.9
接触变质岩	大理石	2.71	94.1
区域变质岩	石英岩	2.68~2.71	185.8~213.6

表 1-3 中国一些金属矿石的普氏硬度系数 f

矿 石	系数 f	矿 石	系数 f
大孤山赤铁矿	12~18	恒仁铅锌矿	8~12
大孤山磁铁矿	12~16	新冶铜矿	8~10
东鞍山铁矿	12~18	水口山铅锌矿	8~10
南芬铁矿	12~16	青城子铅锌矿	8
海南铁矿	12~15	因民铜矿	8~10
大冶铁矿	10~16	双塔山铁矿	9~13
通化铜矿	8~12		

表 1-4 常用的物料硬度分类

软质	中硬	坚 硬	最 坚 硬
石棉矿	石灰石	花岗岩, 石英岩	铁燧岩, 硬质石英岩
石膏矿	白云石	铁矿石, 暗色岩	花岗岩, 硬质暗色岩
板石	砂岩	砾石, 玄武岩	花岗岩砾石
软质石	泥灰石	斑麻岩, 辉绿岩	刚玉
灰石			
烟煤	岩盐	辉长岩, 金属矿	碳化硅
褐煤	杂有石	矿渣, 电石	硬质熟料
粘土	块的粘土	烧结产品, 韧性化工原料	烧结镁砂

2. 冲击强度

冲击强度决定物料是韧性物料（冲击强度高）还是脆性物料。冲

击强度可用摆锤法测定 Bond 冲击功指数来表示。

3. 可磨性

可磨性表示磨碎物料的难易程度，通常用可磨性试验装置测出的 Bond 功指数 W_i 来表示。 W_i 是将粒度假定为无限大的 1t 物料磨碎至粒度为 $100\mu\text{m}$ 时所消耗的能量。煤炭的可磨性用 Hardgrove 试验机测定的 HGI 可磨性系数表示。煤炭的 HGI 通常在 45~55 之间，系数越高表示可磨性越好。

4. 磨蚀性

磨蚀性表示物料对粉碎工具在粉碎时产生的磨损。粉碎工具的磨损以钢耗 (g/t) 表示，钢耗是粉碎 1t 物料时粉碎工具的金属消耗量 (g)。物料的磨蚀性虽然同物料的强度、硬度有关，但受许多其它因素影响，例如抗压强度、普氏硬度系数 f 基本相等的不同矿石，对粉碎机部件的磨蚀性相差很大。物料的磨蚀性同岩石中的自由石英含量、煤炭中的灰分含量、石灰石中的磁石球含量、矿物颗粒大小和表面粗糙度等因素有关，可以用磨蚀性试验机测定。

5. 晶粒结构及内部组织

许多粉碎物料是矿物晶粒或质点的集合体。就晶粒大小而言，有粗粒或细粒结构之分；就结构形状而言，有块状结构、纤维状结构、海绵状结构之分。这些性质对粉碎能耗、粉碎产品的颗粒形状及粒度分布等产生影响。

某些物料有明显的解理面。解理是由分子或原子定向排列所造成，在粉碎时易于沿着这些解理面发生粉碎。物料颗粒可以有一个、两个或多个解理面。有些物料没有明显的解理面，它们沿着不同方向粉碎的难易程度是相似的。

物料颗粒粉碎后具有不同形状的断裂面，这也是由物料的内部组织决定的。

6. 水分和泥质含量

物料的表面水分对粉碎有一定的影响。如原料的水分含量较高且有较多的泥质，在粉碎过程中易粘连和堵塞，故通常水分应限制在 10% 以下。如果原料水分过高，可采取湿法磨碎，采用粉碎与干燥联

合装置，在破碎机某些部件上加热等措施。

7. 化学性质

化工生产中的原料及产品多是有腐蚀性和易燃易爆的物质，故在选择粉碎机造型、粉碎流程、工艺条件时应充分考虑防腐、安全等问题。

三、颗粒的形状

1. 颗粒的形状

物料的颗粒形状与其成分、解理、结构等因素有关，主要有以下几种。

(1) 块状。其中有的近似于球形体，有的近似于立方体。

(2) 棱角状。如图 1-2 (a) 所示。

(3) 扁尖状，一头略尖，又称鱼状。如图 1-2 (b) 所示。

(4) 片状。如图 1-2 (c) 所示。

(5) 柱状。如图 1-2 (d) 所示。

(6) 不规则形状，如卵石状、树枝状、海绵状、盘状、洋葱状等。如图 1-2 (e) 所示。

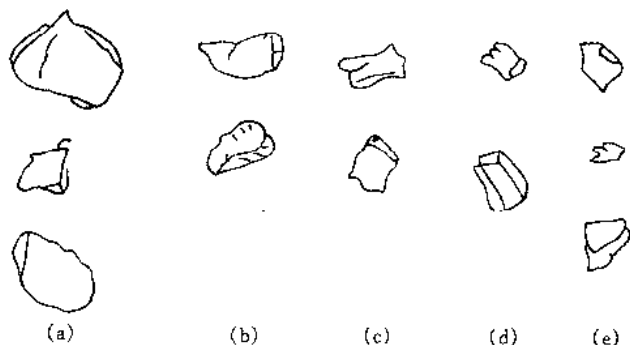


图 1-2 物料的颗粒形状

(7) 纤维状。石棉一类物料，破碎后产品呈柱状，也可能分散成纤维状。

随着粉碎技术的不断进步，工业上破碎时不仅只对产品的粒度和过粉碎等方面有要求，而且对破碎产品的颗粒形状也有要求，例如德国公路规程规定铺路石料中立方体颗粒不得少于 80%，以保证公路

质量。

2. 颗粒形状系数

物料颗粒的形状（特别是颗粒群的颗粒形状）可用颗粒形状系数 ϕ_m 表示。对一个颗粒来说，其比表面积是颗粒的表面积与颗粒体积或重量的比值。球形颗粒的比表面积 S_{sb} 最小。令球的直径为 D ，其表面积为 πD^2 ，体积为 $\frac{1}{6}\pi D^3$ ，故 $S_{sb} = 6/D$ ，由于一般颗粒不是球形，其比表面积 S 较大，颗粒形状系数 ϕ_m 定义为：

$$\phi_m = \frac{S_{sb}}{S} \quad (1-2)$$

从定义式可看出，颗粒的形状同球形差别越大则 ϕ_m 越小。

鉴于物料颗粒群通常由各种粒度的颗粒组成，且实际的颗粒形状不是球形，故颗粒群的平均比表面积可用实验方法求出，然后求出颗粒群的平均形状系数。表 1-5 列出几种物料的形状系数。

表 1-5 物料的形状系数

物 料	砂	焦炭	煤粉	钢灰	六母片	纤维半
平均形状系数 ϕ_m	0.75	0.55~0.70	0.65	0.55	0.28	0.30

四、物料的粒度和粒度分布

（一）单体颗粒的粒度表示方法

1. 颗粒的三维尺寸

把颗粒放稳（重心最低），设想一个外切于颗粒的长方体，则长方体的长度×宽度×高度即表示颗粒的三维尺寸。

这种方法只适用于大块颗粒（>200mm），特别是当颗粒运动时要通过一个孔口（如破碎机的给料口、料仓的排出口等）的场合。例如，某厂生产 3 种不同规格的圆锥破碎机，其最大给料粒度分别规定为 350mm×250mm×150mm、500mm×300mm×200mm、600mm×400mm×300mm。

2. 用筛孔尺寸表示

用筛孔尺寸来表示颗粒粒度是常用的方法，试验很简便，适用于