

职业 技术 培 训 教 材

黄磷及热法磷酸 制作工

HUANGLIN JI REFA LINSUAN ZHIZUOGONG

人力资源和社会保障部教材办公室 组织编写

 中国劳动社会保障出版社

职业 技 术 培 训 教 材

黄磷及热法磷酸 制作工

HUANGLIN JI REFA LINSUAN ZHIZUOGONG

主编	李红响		
编者	李红响	王跃立	李晓清
	撒汝斌	施国文	周超
审稿	杨发辉	李兴富	



中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

黄磷及热法磷酸制作工/人力资源和社会保障部教材办公室组织编写. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2009

职业技术培训教材

ISBN 978-7-5045-7514-2

I. 黄… II. 人… III. ①黄磷-生产-技术培训-教材②热法磷酸-技术培训-教材
IV. TQ126.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 085275 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销
787毫米×1092毫米 16开本 12.5印张 266千字

2009年6月第1版 2009年6月第1次印刷

定价: 23.00元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

内 容 简 介

本教材由人力资源和社会保障部教材办公室组织编写。全书从职业能力培养的角度出发，力求体现职业培训的规律，满足职业技能培训与鉴定考核的需要。

本教材在编写中贯穿“以企业需求为导向，以职业能力为核心”的理念。全书分为三个单元，主要内容包括磷矿及其预加工、电炉法黄磷生产工艺、热法磷酸生产工艺等。每一单元的内容都详细介绍了黄磷及热法磷酸制作工岗位工作中要求掌握的实用知识理论和技能。

本教材可作为黄磷及热法磷酸制作工职业技能培训考核教材，也可供相关从业人员就业上岗、在岗进修使用。

编者的话

为满足黄磷生产企业技术技能人才培养和各类职业学校教学的需要，促进磷化工产业的发展，云南省综合技工学校与云南马龙产业集团股份有限公司合作编写了该培训教材。合作编写教材是学校面向企业、服务企业的实际行动，是企业开发人力资源、提高企业竞争力的重要步骤，是校企合作培养高技能人才的重要举措。

教材编写以无机化学反应工和磷酸生产工的国家职业标准为主要依据，介绍了磷矿石热法加工黄磷、热法磷酸、食品级磷酸生产和泥磷制酸工艺，同时介绍了安全生产、三废治理与综合利用等知识，紧密联系生产实际。磷矿及其预加工由李红响编写，电炉法黄磷生产工艺由王跃立、撒汝斌编写，电炉变压器及短网部分由施国文编写，热法磷酸生产工艺由李晓清编写，生产过程中的操作控制部分由周超编写。在教材编写中，云南马龙产业集团股份有限公司昆明马龙公司、安宁分公司的有关部门提供了大量的帮助和支持，许岗、杨发辉、李兴富等领导和技术人员参与了教材审订，提出了大量宝贵的意见和建议，以上编审人员做了大量创造性的工作，付出了辛勤的劳动。

本书内容适用于从事磷矿石破碎、筛分、矿石烧结、磷炉操作、黄磷精制、热法磷酸、食品级磷酸、泥磷制酸等工艺操作和控制的企业生产人员的初、中、高级职业资格培训和各类职业学校的教材，也可用于各类磷化工生产人员的参考资料。

由于时间仓促及编者水平所限，书中错误和不足难免，恳请读者给予批评指正。

编者

2009年5月

目 录

● 第1单元 磷矿及其预加工

- 1.1 磷化工发展简介 (2)
- 1.2 磷矿的基本知识 (3)
- 1.3 磷矿的粉碎加工 (6)
- 1.4 磷矿石的烧结 (39)

● 第2单元 电炉法黄磷生产工艺

- 2.1 概述 (46)
- 2.2 电炉法黄磷生产的基础知识 (47)
- 2.3 原料对电炉操作的影响 (55)
- 2.4 黄磷电炉的主要参数 (62)
- 2.5 粗磷的精制 (67)
- 2.6 大型磷炉及其操作控制 (74)
- 2.7 除尘器及收磷系统主要设备 (90)
- 2.8 电炉变压器及短网 (98)
- 2.9 有关化工计算 (122)
- 2.10 三废的治理和利用 (126)
- 2.11 安全防护知识 (140)

● 第3单元 热法磷酸生产工艺

- 3.1 磷酸概述 (145)
- 3.2 热法磷酸 (147)
- 3.3 一步法热法磷酸生产操作控制 (157)
- 3.4 食品级磷酸生产 (171)
- 3.5 泥磷制酸 (174)
- 3.6 安全生产、三废治理与综合利用 (182)

- 参考文献 (192)



第 1 单元

磷矿及其预加工

- 1. 1 磷化工发展简介 /2
- 1. 2 磷矿的基本知识 /3
- 1. 3 磷矿的粉碎加工 /6
- 1. 4 磷矿石的烧结 /39



1.1 磷化工发展简介

磷化工是以磷矿石为原料, 经过物理、化学加工制得各种含磷制品的工业, 其范畴包括含磷农药、元素磷、磷酸、磷化物、磷酸盐、磷酸酯等, 广泛应用在工业、农业、国防、食品、医药等领域。

1.1.1 磷矿石的加工路线

目前, 磷矿石的利用基本上形成了湿法加工和热法加工两条工艺路线。

1. 磷矿石的湿法加工

磷矿石的湿法加工是指利用硫酸等强酸把磷矿石中的磷萃取出来直接得到磷酸, 并进一步衍生出一系列产品的过程。湿法加工主要用于高浓度磷复肥、饲料磷酸氢钙等生产。在国家产业政策的大力扶持下, 一些品牌知名度较高的大型企业也在市场上脱颖而出。我国高浓度磷复肥具有较强市场竞争力, 磷肥产量仅次于美国, 消费量居全球第一。

2. 磷矿石的热法加工

磷矿石的热法加工是指在高温下采用焦炭还原剂把磷矿石中的磷还原为单质磷, 然后通过燃烧水合得到磷酸, 并进一步衍生出一系列产品的过程。黄磷、热法磷酸、三聚磷酸钠等是主要产品。我国的黄磷生产始于1942年, 近20年发展迅速, 产量也逐年大幅度增长, 由1980年的4.2万吨增长到2001年的80万吨, 成为世界上黄磷第一大生产国。

1.1.2 黄磷和热法磷酸的应用前景

世界磷化工格局正在向着国际化、大型化、精细化和专业化的方向发展。由于黄磷的生产会消耗大量的能源, 并对周围环境带来极大影响, 属于高能耗、高污染的产业。从表1—1中可以看出, 发达国家正在将黄磷的生产逐步转移到发展中国家。

表 1—1 1985—2001 年世界黄磷生产能力的变化表 (万吨)

国家	年份	1985年	1989年	1994年	1997年	2001年
美国		41.5	34	27	23.5	23.5
哈萨克斯坦		47.5	47.5	36	20	20
西欧		22.5	15	10.5	8.5	8.5
俄罗斯		6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
印度		0.5	1	1	1.5	1.5
加拿大		9	2.5	0	0	0
日本		1.5	0	0	0	0
南非		0.5	0.5	0	0	0
墨西哥		1	0	0	0	0
中国		10	20	30	40	80

尽管黄磷和热法磷酸的加工受到能源紧张和环境保护因素的影响，但其巨大的战略地位不可替代。一方面，加大科研的力度，尽量做好节能减排降耗工作；另一方面，大力发展精细磷化工，加大下游产品的开发力度，不断提高我国磷化工产品的精细化率。目前，我国除食品级磷酸、食品级三聚磷酸钠、有机磷农药等的生产外，还研究开发生产了多种磷酸盐产品，如过氧化磷酸钠、活性磷酸三钙、聚磷酸铵、偏磷酸铵、尿素磷酸盐、含氟磷酸钠、六氟磷酸锂、磷酸钛、磷酸铝、磷酸锆、有机磷酸酯和磷酸盐以及一些重要的磷化物。可见，黄磷和热法磷酸的应用前景也是非常广阔的。

1.2 磷矿的基本知识

1.2.1 磷矿的形成、类型和化学构成

天然磷矿按照矿石的成因可分为磷灰石和磷块岩两大类。它们的主要化学成分都是氟磷酸钙，其化学式通常写作 $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ 。实际上，氟磷酸钙是由三个分子的正磷酸钙 $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ 和一个分子氟化钙 (CaF_2) 构成的复盐，其分子式应为 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{CaF}_2$ ，也可以写成 $\text{Ca}_{10}\text{F}_2(\text{PO}_4)_6$ ，上述化学式 $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ 是简写的形式。

1. 磷灰石

磷灰石矿一般是由熔融的岩浆冷却结晶而成的，属于分布在火成岩中的矿物。它具有六角形晶体结构，不含结晶水。纯粹磷灰石中约含 42% 的五氧化二磷。其颜色由于所含杂质的不同或共生矿物的不同，而有灰白色、灰绿色或紫色等，以带灰绿色较常见。有工业开采价值的磷石灰矿床是比较少见的，目前世界上较大的磷灰石矿床是科拉半岛的希宾磷矿。

2. 磷块岩

磷块岩是由几百万年前海洋、湖泊中许多含磷物质的极小颗粒在海底或湖泊底沉积而成的沉积岩，也可以说分散状态的磷灰石是形成磷块岩的原始物质。磷块岩一般为细小的结晶体或呈隐晶质状态（隐晶质就是矿物体晶体细小，肉眼无法分辨而只能在显微镜下看出的矿物颗粒），颜色有灰白色、浅绿色、黄褐色或灰黑色等。把成块磷块岩敲开，有沥青臭味；把碎块摩擦得厉害时，可以嗅到一种像火柴头燃烧时所发生的刺激性气味。

磷块岩常含有结晶水，且多与含碳酸钙的矿物共生，故其结构式可以写成 $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3 \cdot n\text{CaCO}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ 。

磷块岩的主要成分虽然也是氟磷酸钙，但常含有若干杂质，除碳酸盐外，尚有硅石（石英）、海绿石、高岭土及少量铁矿石或长石等。这些杂质，对于用作磷酸、磷肥的原料来说，最有害的是氧化铁 (Fe_2O_3) 和氧化铝 (Al_2O_3)，在这里铁铝都是三价，氧是二价，故通常把氧化铁和氧化铝称为倍半氧化物。氧化铁和氧化铝在海绿石、高岭土和铁矿石中含量较多，因此，有时需将磷块岩进行水洗、水选或浮选，以达到工业上可以应用的程度。

磷块岩因矿床的性质不同，又可以分成层状和结核状（或卵石状）两类，也有层状和结核状同时存在的。其中，层状的磷块岩是片状的氟磷酸钙与碳酸钙或硅酸盐共生的磷



矿,我国开阳、昆阳、瓮福等较大的磷矿、越南磷矿、摩洛哥磷矿及美国佛罗里达磷矿都属于这一类。这类磷块岩的特点是含五氧化二磷较高,铁、铝杂质一般较低。结核状的磷块岩则以不规则的卵石状存在于砂石或黏土中,有时与石灰石、硅酸盐、黏土等胶结在一起。一般砂质的结核状磷块岩含五氧化二磷较低,酸不溶物较高;黏土型的结核状磷块岩含五氧化二磷较高、碳酸盐较多,酸不溶物较低。

3. 磷矿的化学组成

根据化学分析结果,磷矿的化学成分主要是 P_2O_5 、 MgO 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 CO_2 、 CaO 、 SiO_2 、 F 等,表 1—2 列出了云南昆阳磷矿的主要化学成分及组成,但不同矿床的化学成分及组成是不一样的。

表 1—2 云南昆阳磷矿主要化学成分及组成表

成分	P_2O_5	MgO	Fe_2O_3	Al_2O_3	R_2O_3	CO_2	SiO_2	CaO	F
组成 (%)	26.16	2.02	1.20	1.25	2.45	6.33	15.02	42.28	2.57

根据光谱半定量分析结果,磷矿中主要微量元素为 As 、 Ba 、 Cr 、 Cu 、 Ga 、 Mn 、 Mo 、 Na 、 Ni 、 Pb 、 Sn 、 Sr 、 Ti 、 V 等,表 1—3 列出了云南昆阳磷矿的主要微量元素及组成,由于含量低,一般无综合利用价值,但其存在对后续的加工和产品性能有较大影响。

表 1—3 云南昆阳磷矿主要微量元素及组成表

微量元素	As	Ba	Cr	Cu	Mn	Na	Pb	Sn	Sr	Ti
组成 (%)	0.003	0.01	0.003	0.03	0.3	0.3	0.005	0.003	0.5	0.03

1.2.2 磷矿的品位和产品特征

1. 磷矿的品位

品位是指矿石中有用元素或化合物含量的百分数,含量的百分数越大,品位越高。对于磷矿是以五氧化二磷 (P_2O_5) 的含量来划分品位的。一般含五氧化二磷在 30% 以上的称为富矿,在 20% 以下的称为贫矿,在 20%~30% 之间的称为中等品位的磷矿。从化学加工的角度来看,如果所用的原料磷矿都采用富矿,当然最好,但事实上,即使同一矿区的磷矿也还有部分矿块品位较高,部分矿块品位较低。如果都要用富矿,势必造成一部分贫矿无法利用,或者必须选矿后才能应用,这对于资源的利用不是很合理的。

在工业生产中为了便于技术经济指标(如每吨产品的矿石消耗量等)的比较,规定某一品位的矿石作为标准矿(简称“标矿”)。标准磷矿石规定为含五氧化二磷 (P_2O_5) 30% 的矿石,其他含量的磷矿石折算成标矿来比较。

2. 中国磷矿资源的特点

世界磷矿资源的品位呈不断下降的趋势,结合分布、品位、采选、应用分析,中国磷矿资源总体上具有以下几个主要特点:

(1) 储量较大,分布集中。我国探明的资源储量比较丰富,但大部分地区所需磷矿均

依赖云、贵、川三省供应，从而造成了“南磷北运，西磷东调”的局面，给交通运输、企业原料供应、生产成本带来较大影响。

(2) 中低品位矿多，富矿少。我国磷矿品位较差， P_2O_5 平均含量在17%左右，富矿磷矿石只有13.83亿吨，占磷矿石总量的约8.5%，并主要分布在云、贵、鄂三省。因此，我国大部分的磷矿必须经过选矿富集后才能满足磷酸和高浓度磷复肥生产的需求。

(3) 难选矿多，易选矿少。在我国磷矿探明储量中，沉积型磷块岩（胶磷矿）较多，占全国总储量的85%，其大部分为中低品位矿石。同时，我国磷矿90%是高镁磷矿，其矿石中有用矿物的粒度细，和脉石结合紧密，不易解离，一般需要磨细到200目颗粒占90%以上才能单体解离。因此，我国磷矿是世界上难选的磷矿石之一。

(4) 矿床开采难度大。我国磷矿床大部分成矿时代久远，埋藏深，岩化作用强，矿石胶结致密，且约有75%以上的矿层为薄层和中厚层分布，通过倾斜或缓倾斜方式采出。这种特征给磷矿开采带来一系列技术难题，往往造成损失率高、贫化率高和资源回收率低等问题。

由于生产的产品不同，加工方法不同，对于磷矿的成分和杂质的要求也不同。

根据 P_2O_5 含量常把矿石的工业品级共分为下列四级：

- 第一品级：30%以上。
- 第二品级：25%~30%。
- 第三品级：15%~25%。
- 第四品级：8%~15%。

1.2.3 焦炭和硅石

1. 焦炭

焦炭是由煤等经干馏而得的固体产物。根据干馏温度、煤种和用途的不同，有高温焦、中温焦、低温焦、冶金焦、煤气焦炭等。此外，还有石油焦、沥青焦等。人们常说的焦炭是指煤经高温干馏而成的高温焦，主要成分是固定碳，挥发物很少，燃烧时无烟，热值约为58.8~73.5 kJ/kg，呈银白色或灰黑色，有金属光泽，坚硬多孔。冶金焦要求挥发物小于1.5%、灰分小于15%、硫分小于1%、气孔率约为40%，主要用于钢铁与其他金属的冶炼和铸造，也可用作燃料。焦炭在化学工业上被用作原料和燃料，如合成氨、尿素等氮肥工业用焦炭作汽化原料，在电炉或高炉生产磷、热法磷酸中，焦炭是作为还原剂或燃料使用的。

焦炭还有一个重要的成分指标——固定碳，是焦炭在850℃左右干馏时不挥发的含碳量。生产黄磷所用的焦炭，一般要求其中的固定碳在86%以上，水分10%左右，但由于资源的日益紧张短缺，现实生产中使用的焦炭固定碳含量在77%左右。

2. 硅石

硅石俗称石英，其主要成分为二氧化硅（ SiO_2 ），在自然界分布很广，如石英、石英砂等。硅石呈白色或无色，含铁量较高的呈淡黄色；密度为2.2~2.66 g/cm³；磷石英的熔点为1670℃，方石英的熔点为1710℃；不溶于水合酸（除氢氟酸外），微粒时能与熔

融的碱类起作用。硅石主要用于制造玻璃、水玻璃、陶器、搪瓷、耐火材料、硅铁、型砂、元素硅等的原料。在生产黄磷时，加入二氧化硅作为助熔剂，控制酸度系数，可以降低还原温度，降低电耗。同时，可使氧化钙（CaO）变成易熔的炉渣——正硅酸钙，易于从炉中流出。通常，生产黄磷的硅石规格要求二氧化硅含量大于90%，水分在2.5%左右。

1.3 磷矿的粉碎加工

1.3.1 磷矿的粉碎

无论湿法加工或热法加工，磷矿都必须经过一定的加工过程才能符合工艺要求，粉碎是必不可少的工序，所以掌握粉碎的基础知识、工艺过程、设备结构及操作是非常必要的。

1. 磷矿粉碎的目的

粉碎包括破碎和磨碎。破碎就是依靠外力（主要是机械力）克服固体物料内力而将其由大块分裂成小块的过程。破碎通常指产品的粒度在1~5 mm的加工过程。磨碎就是将小块矿石磨成粉末的加工过程。磨碎通常指产品的粒度在1~5 mm以下的加工过程。

对固体物料进行粉碎加工的目的是增加物料的比表面积。比表面积是单位质量物质所具有的总表面积（ m^2/g ）。同一单位质量的物料，颗粒越小，总比表面积越大。当固体物质发生化学反应时，其接触表面积越大，化学反应的速度就越快，这样可以缩短接触时间。所以粉碎作业在工业上极为重要，制磷中磷矿入炉前需要破碎；烧结中要使磷矿与焦炭达均匀混合需要破碎；磷矿的擦洗、选矿也需要粉碎。

2. 粉碎常用的术语

(1) 能耗和钢耗。在粉碎加工中都是采用粉碎机械进行加工，这样就要消耗能量。在加工过程中粉碎工具受到磨损，这就叫做钢耗。能耗和钢耗通常是以磨碎一吨物料计算的指标，这个指标与磨碎物料的性质和磨碎的粒度有关。粉碎过程的生产费用主要就是能耗和钢耗产生的费用。

(2) 过粉碎。粉碎物料时要求把全部或大部分（如80%或95%）物料粉碎至要求的粒度以下，但在粉碎过程中会产生小于规定粒度下限的产品，就叫做过粉碎。在生产中应力求减少过粉碎，因为一方面过粉碎增大能耗和钢耗，另一方面过粉碎的产品有的当作废品处理，有的需大幅度减价处理，使经济上蒙受损失。但在黄磷生产中，原料制备采用烧结工艺，可以把过粉碎的原料全部回收。

(3) 粉碎比。设给料中最大块的粒度为 D ，粉碎后产品中最大颗粒为 d ，则 D/d 比值称为粉碎比，通常用 i 表示，也就是物料经过破碎或磨碎后其粒度减小的倍数。各种破碎机或磨碎机的粉碎比互不相同，对于坚硬物料，破碎机的粉碎比在3~10之间，磨碎机的粉碎比可达40~400以上。

对一定性质的物料而言，破碎比是确定作业程序和选择机械设备类型尺寸的主要依据。常用破碎比见表1—4。

表 1—4 常用破碎机的破碎比

破碎机型式	破碎比
颚式破碎机	3~5
圆锥式破碎机	3~5
单辊破碎机	4~8
锤式破碎机	10~25
反击式破碎机	10~25

(4) 粗、中、细碎的划分。按进料的块度大小将粉碎分成粗碎、中碎、细碎及相应的粗碎机、中碎机和细碎机，粗、中、细碎的划分见表 1—5。在实际生产中，有些破碎机可兼有粗、中、细碎的作用，但为了节省动力，一般多是分成几级破碎，将各种破碎机配合使用。

表 1—5 粗、中、细碎的划分 (mm)

项目	给料粒度	出料粒度
粗碎	300~900	100~350
中碎	100~350	20~100
细碎	50~100	5~15

(5) 破碎段数。破碎段数取决于矿石进料粒度和产品粒度的比例，即取决于总破碎比。用一种破碎机就能满足破碎比及产量要求时，就称为单段破碎系统（一次破碎系统）；选用两种或三种破碎机进行分段破碎才能满足要求的，即为二次破碎系统或三次破碎系统。物料破碎的段数愈多，系统愈复杂。各种破碎机分别有最适宜的破碎比，以总破碎比除以选用的破碎机的最适宜破碎比，即为应该选用的破碎段数。

3. 破碎和磨碎典型流程

在实际应用中，总粉碎比往往较大，如把 600 mm 的给料粉碎至 0.2 mm 以下，总粉碎比达 3 000 以上，这不是一台破碎机或磨碎机能完成的，而需要使物料经过几次破碎和磨碎以达到最终粒度。例如，先将粒度为 600 mm 的给料送入一台旋回破碎机破碎至 250 mm 以下，再送入中碎和细碎圆锥破碎机分别破碎至最终产品粒度 0.2 mm，如图 1—1 所示。这种表示破碎和磨碎过程的作业图称作破碎流程和磨碎流程，或统称碎磨流程。由图 1—1 还可以看出，物料在给入旋回破碎机、中碎和细碎圆锥破碎机之前，先进行过筛，筛子的筛孔大致等于破碎机排料（破碎产品）的粒度，在这里分别为 250 mm、50 mm、8 mm，以分出给料中已经小于破碎机排料粒度的那部分物料减轻破碎机的负荷，这种筛分称作“预先筛分”，在细碎圆锥破碎机之后有“检查筛分”，其筛孔尺寸（此处为 8 mm）大致等于预先筛分的筛孔尺寸。筛上产品的粒度太粗（大于 8 mm）为不合格产品，被送回破碎机再破碎，筛下产品（小于 8 mm）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，送螺旋分级机进行“检查分级”，得出合格的（小于 0.2 mm）

细粒产品及粒度太粗（大于 0.2 mm）的不合格产品，后者应送回球磨机再度进行磨碎。检查分级得出的细粒产品，有时还送至第二次检查分级，以得到更细的产品。第二次检查分级也称作“溢流控制分级”，在许多情况下，将球磨机的给料送入所谓“预先分级”，在分出给料的合格细粒后，才送入球磨机。

凡是在破碎系统中不带筛分或仅有预先筛分设备的称为开路流程；凡是在破碎系统中带有筛分设备，破碎产品中含有尚未充分破碎的物料，过筛后就必须将产品返回该台破碎机重新破碎，这称为闭路流程。

开路流程简单，设备少，扬尘点也少。但当要求破碎粒度较细时，破碎效率低，产品含有少量大于合格产品的大块物料。

闭路流程可将大块筛选，保证产品粒度合格，破碎效率比开路高，使破碎机生产能力增加，并能防止过度破碎，故在大型破碎流程中使用。但闭路流程设备多，流程较复杂。

在雨季和潮湿的环境下，原料水分较高，给破碎和筛分造成极大困难，在原料的制备过程中可进行烘干等预处理，便于破碎和筛分。

4. 物料的性质对磷矿粉碎的影响

(1) 物料的强度、硬度影响着粉碎物料时的阻力、机械的选型、受力等。

(2) 物料的表面水分和泥质在破碎、磨碎、储藏、运输时易于粘连和堵塞。

(3) 物料的腐蚀性对粉碎工具会产生磨蚀，尤其磷矿中的石英对物料的腐蚀性有较大影响。

(4) 矿石的晶体结构和内部组织影响粉碎的难易程度，有明显解理面的物料易发生粉碎。

5. 粒度的表示方法

粒度常以网目来表示，即每英寸长度的筛孔数目，目数越高，粒度越小，物料越细。为了表示物料细度范围，常在两个筛目数字前加“+”“-”，加“-”号的为可通过某号筛（或多少目筛）的细粉，加“+”号的为不

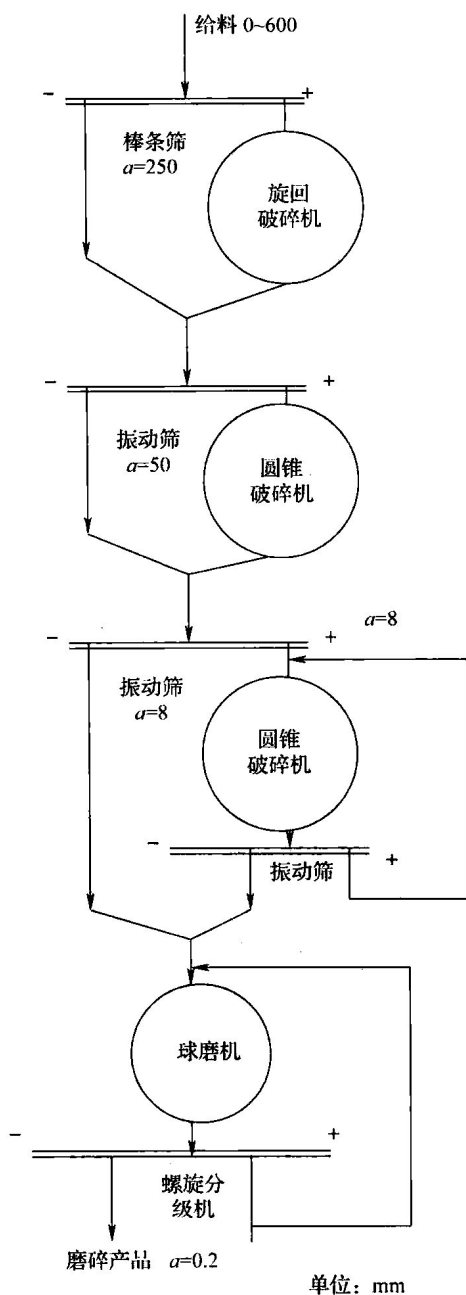


图 1—1 破碎和磨碎流程

能通过某号筛（或多少目筛）的细粉。筛分组成的含义可用表 1—6 进一步说明。

表 1—6 筛分组成的含义

筛目 (目)	含量 (%)	表示的含义
+80	1.0	大于 80 目的物料占 1%，或不能通过 80 号 (目) 筛的物料占 1%
-80+100	1.3	小于 80 目、大于 100 目的物料占 1.3%，或通过 80 号 (目) 筛而不能通过 100 号 (目) 筛的物料占 1.3%
-200	11.7	小于 200 目的物料占 11.7%，或能通过 200 号 (目) 筛的物料占 11.7%

1.3.2 磷矿的分级

1. 筛分

(1) 筛分的应用。筛分的应用很广，大体上可分为以下 4 种：

1) 准备筛分。准备筛分是指将松散物料筛分成若干粒级，送至下一步作业分别处理。这种筛分作业是为下一步作业准备，因此称为准备筛分。在选矿之前将原料筛分成各种粒级，可提高选矿指标。

2) 预先筛分和检查筛分。这两种筛分作业是配合破碎作业以改善破碎作业的指标。预先筛分是在物料送入破碎机之前将给料中的细粒级（指小于破碎产品的粒度的粒级）筛分出来的作业，以减少破碎机的负荷及物料的过粉碎。几乎所有破碎作业都设置预先筛分。检查筛分是为实现闭路破碎而设置的，它把破碎产品中的粗粒级筛分出来并送回破碎机再度破碎。

3) 最终筛分。最终筛分是指对原料和加工后的最终产品进行筛分，以便于使用的筛分作业。如在土木工程中常需对石块、沙子按规范或用户的要求筛分成各粒级，在冶金、焦炭、建材、化工等工业部门也对某些原料的粒度有要求。

4) 脱水、脱泥、筛选。当物料水分或泥质含量较高时，可以使物料在筛孔很小的筛面上进行脱水、脱泥或脱出重介质等操作。这时，水、泥或重介质可通过筛孔而成为筛下产品排除，物料不能排出筛孔而成为筛上产品。筛选是当物料中各粒级所含有成分有显著差别时，利用筛分作业将有用成分富集的粒级同那些有用成分含量低的粒级相分离，这实质上是利用筛子进行选别的一种作业，故称为筛选。

筛分机械筛子有圆筒筛、棒条筛、振动筛、共振筛、弧形筛、击振细筛等类型。前三种类型由于筛分效率低、质量大等缺点，一般不再使用。按筛面是否运动，筛子可分为固定筛和运动筛。振动筛和共振筛属于运动筛，其筛面依圆形、椭圆形、直线的轨迹往返振动。弧形筛和击振细筛属于固定筛。按筛分的粒度，筛子可分为粗、中、细筛。同粗碎机配套的属于粗筛，筛孔在 1 mm 以下属于细筛（如弧形筛和击振细筛），在两者之间的属于中筛，包括同中、细碎破碎机配套的筛分和最终筛分等各种用途的筛子。在工业上，当分级粒度较大（大于 2.25~3 mm）时使用筛子，较小时使用分级机。同破碎作业配套时使用筛子，同磨碎作业配套时使用分级机。分级机的分级粒度除了与颗粒的粒度有关外，还与密度有关。

(2) 筛序。将物料分成若干粒级时,可以按大小粒级的筛出顺序分为重叠法、序列法和混合法。

1) 重叠法(见图1-2a)。重叠法是指将具有不同筛孔的筛面重叠起来,筛孔大的筛面在上,越往下,则筛面的筛孔越小。优点是物料首先接触的是具有较大筛孔的筛面,结构紧凑。具有较大筛孔的筛面往往造得坚固耐磨,只有较细的粒级能够通过上层各筛面而接触在下面的、具有小筛孔的筛面上,从而这些较脆弱的筛面不易破损。缺点是下面各层筛面的更换不便,监管、操作困难,下层筛面的面积未能充分利用,各层筛面的筛上产品集中在筛子末端排出,使运送较困难等。

2) 序列法(见图1-2b)。序列法是指将具有不同筛孔的筛面前后安置,具有细筛孔的筛面在前面(给料端),越往后则筛面的筛孔越大。其优点除操作和更换筛面方便以外,各粒级以筛下产品形式分别在不同的地点排出,运输方便。缺点是粗、中粒级都在小筛孔的筛面上流动,使这些筛面的磨损高。如果往筛面上的物料喷水冲洗,则序列法较重叠法适宜。

3) 混合法(见图1-2c)。混合法兼有以上两种方法的优点和缺点。

(3) 影响筛分效率的因素。筛分效率是指单位时间内筛下产品的产量与给料中细粒级重量的比值。以筛孔尺寸为分界限,将给料分为粗粒级和细粒级两种产品,细粒级通常指小于筛孔尺寸的粒级,粗粒级指大于筛孔尺寸的粒级。实际生产中,少量细粒级会夹杂在粗粒级产品中排出,筛上产品中夹杂的细粒级越少,筛分的效率越高,筛分越完善。影响筛分效率的因素主要有以下四个方面:

1) 给料粒度组成。不同粒度的颗粒通过筛孔的机会是不一样的,粒度越小的颗粒通过的机会越大。粒度大于筛孔的颗粒、颗粒不是球形的颗粒属于“难筛粒”,其含量越大,筛分效率越低。

2) 给料的水分含量。水分的存在会使物料黏附变大,难以下筛,严重的甚至会堵塞筛孔。当给料中水分含量较低时,筛分效率较高;当水分含量增加至5%~8%时,筛分效率大大降低;当水分含量增加至10%~14%以上时,出现空隙水分,筛分效率又增高。

3) 筛孔的尺寸和形状。筛孔尺寸较大时,筛面的有效面积较大、筛分效率较高、水分对筛分效率的影响很小,一般情况下可使用方形筛孔。因为当筛孔较小且给料的水分含量较高时,在方孔的四角附近易于发生粘连而堵塞筛孔,所以可以采用圆孔。长方形筛孔适用的筛孔尺寸较小,给料中片状、条状颗粒较少的情况下,其筛面有效面积和筛分效率较高,长孔方向与物料在筛面上的运动方向一致。当长方形筛孔用于脱水等作业时,可使长孔方向垂直于物料在筛面上的运动方向,以利于水、细泥、细粒级颗粒等经筛孔往下排出。

4) 筛子的工作参数。筛子的工作参数对筛分效率影响较大,包括筛面的倾角、振动筛的振幅、筛面的长度和宽度、筛子的生产量等。

2. 分级

分级作业主要用于闭路磨碎作业,将磨碎产品分为细粒级和粗粒级两部分。细粒级是最终产品,可以直接应用或送至下一步工序进行处理;粗粒级则送回磨碎机械再进行磨

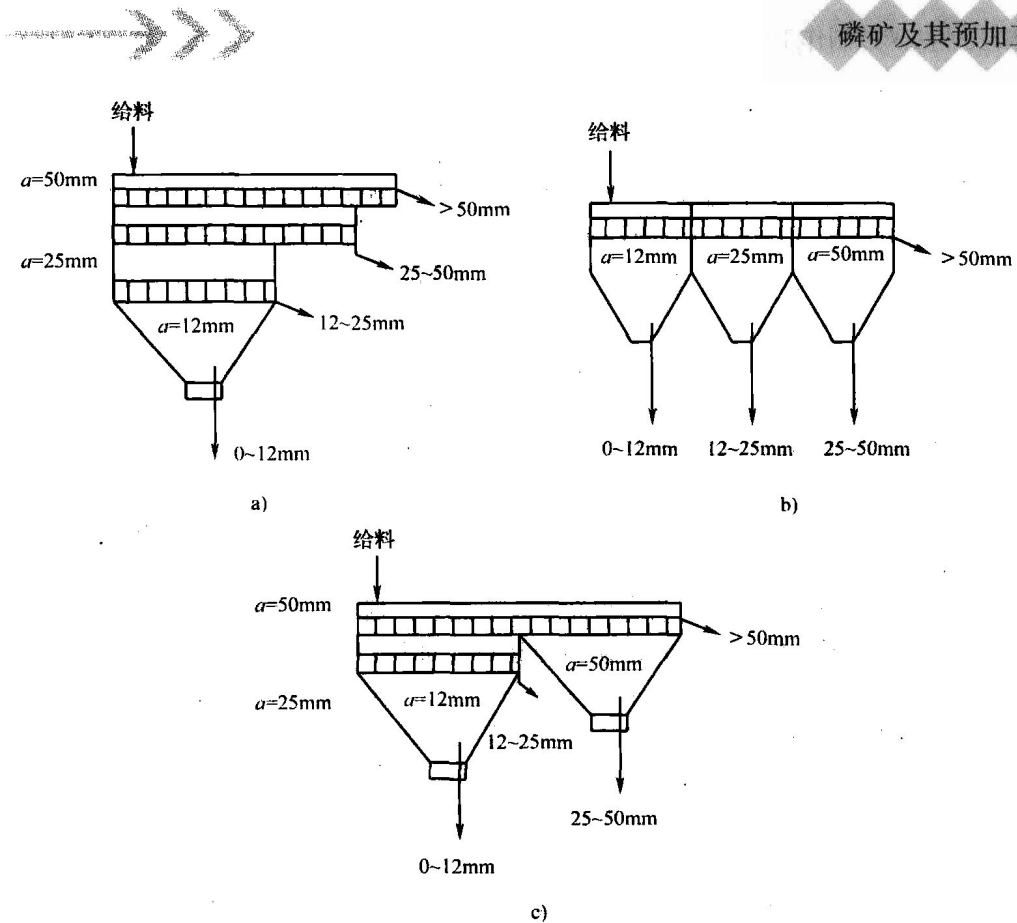


图 1—2 筛序

a) 重叠法 b) 序列法 c) 混合法

碎。这些送回磨碎机械再次进行磨碎的物料，称为返砂或循环负荷。在闭路磨碎时，返砂的量很大，可以是磨碎作业生产量的 1~8 倍。返砂量与生产量的比值，称为循环负荷系数，以百分率表示。闭路磨碎的循环负荷系数在 100%~300% 之间。

分级可以用干法和湿法。干法分级用空气作介质，称为风力分级，又称选粉。风力分级可以利用重力，如沉淀室，还可以利用离心力，如离心式、叶轮式、轮筐式、甩盘式等。湿法分级用水作介质，称为水力分级。

3. 磷矿石粉碎筛分流程

把储存、破碎、筛分等设备合理地连接起来，就能形成磷矿进一步加工前的粉碎筛分流程。

采自不同矿点的矿石的品位往往有较大的差异，为保证黄磷生产中磷炉的稳定运行，要把不同品位的矿石进行混合使用，这个过程称为原料的均化，一般的均化采用“平铺直取”的方法。

由矿山开采出来的磷矿石，一般均为大小不等的块状，凡大于 50 mm 以上的就需要进行粗碎。粗碎是在颚式破碎机中进行。通常在粉碎时将大块的磷矿破碎至 30~50 mm