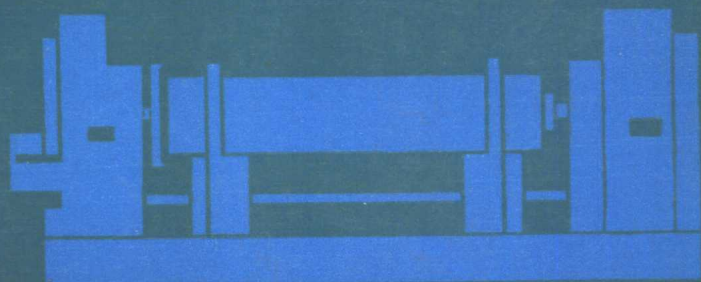
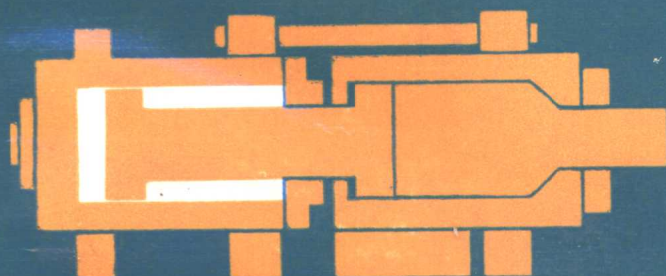


TANSU
CAILIAO
JIXIE
SHEBEI

李其祥 编

炭素材料机械设各

冶金工业出版社



9401161

78.133

炭素材料机械设备

李其祥 编

冶金工业出版社

(京) 新登字036号

内 容 提 要

本书系统地介绍了炭素材料工业常用的专用机械设备和通用机械设备的主要类型、结构、工作原理、主要参数的计算以及安装、操作和维修,对部分设备的选型和典型结构件的设计也作了扼要介绍。根据我国生产实际,适当反映了我国炭素设备的新成就,也适当介绍了国外先进设备。

本书可供炭素、电碳、冶金、化工、电子、航天及核工业等部门从事炭素材料研制、设计和生产的工程技术人员、技术人员和管理人员阅读,也可作为高等院校教材或参考书。

炭素材料机械设备

李其祥 编

责任编辑 许晓海

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店总店科技发行所经销

北京昌平百善印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张 10.625 字数 277 千字

1993 年 8 月第一版 1993 年 8 月第一次印刷

印数 1~2000册

ISBN 7-5024-1289-1

TQ·56 定价 12.00 元

前 言

炭素生产的机械化、自动化，对于促进炭素工业的发展，满足冶金、化工、电子、航空及核工业等各个部门用炭-石墨制品的需要，具有十分重要的意义。

在炭素生产过程中，从原料到产品，需用许多类型的机械设备。按其生产工艺流程，可分为煅烧、粉碎、筛分、贮料和给料、配料、混捏、成型、浸渍、焙烧、石墨化、机加工等机械设备，以及各种辅助设备。其中，根据来源和用途，可分为专用设备和通用设备两大类。本书主要介绍炭素工业常用的专用设备和通用设备的基本知识和资料。对于专用设备着重介绍基本构造、工作原理、性能特点、主要参数、典型结构与主要零部件的设计；对于通用设备着重介绍选型和使用。对于煅烧、焙烧和石墨化三大窑炉设备，本书只介绍回转窑和其他窑炉的辅助设备。

本书由童芳森高级工程师审稿，陶著教授、李哲浩教授、许斌讲师、辛力田高级工程师和徐存敬工程师对该书的编写给予了热情支持并提出了许多宝贵的意见，此外还得到有关厂矿、贵阳铝镁设计研究院等设计研究部门、武汉钢铁学院化工系老师们的大力支持，编者在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限和编写时间仓促，书中难免有缺点和不足之处，祈望读者和专家批评指正。

编者

1993年 8月

目 录

第一章 粉碎机械	(1)
第一节 粉碎概论	(1)
第二节 颚式破碎机	(16)
第三节 辊式破碎机	(26)
第四节 反击式破碎机	(32)
第五节 残极破碎机	(38)
第六节 球磨机	(41)
第七节 悬辊式磨机	(48)
第八节 其他粉碎机械	(55)
第二章 筛分设备	(60)
第一节 概述	(60)
第二节 振动筛	(69)
第三节 筒形筛	(75)
第四节 其他筛分设备	(77)
第三章 贮料和给料设备	(81)
第一节 料仓	(81)
第二节 圆盘给料机	(85)
第三节 电磁振动给料机	(88)
第四节 星形给料机	(93)
第五节 螺旋给料机	(94)

第四章 配料设备	(97)
第一节 概述	(97)
第二节 台秤和电动配料车	(97)
第三节 电子自动秤	(99)
第四节 微机自动控制配料系统	(101)
第五节 其他配料设备	(104)
第五章 混捏机械设备	(108)
第一节 概述	(108)
第二节 卧式双轴混捏机	(109)
第三节 KKM3500 混捏机简介	(114)
第四节 连续混捏机	(116)
第五节 轧辊机械	(124)
第六节 国外几种新型混捏设备	(125)
第六章 成型设备	(129)
第一节 概述	(129)
第二节 液压传动的基本知识	(130)
第三节 卧式电极挤压机	(137)
第四节 35MN(3500t) 旋转料室电极 挤压液压机简介	(151)
第五节 螺杆电极成型机	(156)
第六节 模压成型机	(157)
第七节 振动成型机	(163)
第八节 等静压成型设备	(172)
第九节 糊类成型机	(177)
第七章 浸渍设备	(178)
第一节 概述	(178)

第二节	浸渍罐	(184)
第三节	沥青熔化、贮存和输送设备	(190)
第四节	预热与冷却系统设备	(194)
第五节	电动托车和送料小车	(197)
第六节	真空与加压设备	(199)
第七节	沥青烟气净化装置	(201)
第八章	炭-石墨制品机械加工设备	(203)
第一节	概述	(203)
第二节	石墨电极和接头加工设备	(205)
第三节	电极和接头加工组合机床	(209)
第四节	石墨阳极加工设备	(219)
第五节	炭块加工设备	(221)
第六节	加工用刀具和量具	(222)
第七节	切削原理简介	(228)
第九章	煅烧、焙烧和石墨化炉设备	(231)
第一节	回转窑设备	(231)
第二节	罐式炉的辅助设备	(236)
第三节	环式炉的辅助设备	(241)
第四节	石墨化炉的供电设备	(249)
第十章	起重运输设备	(256)
第一节	概述	(256)
第二节	天车	(256)
第三节	斗式提升机	(266)
第四节	振动输送机	(271)
第五节	溜管输送设备	(273)
第六节	气力输送装置	(276)
第七节	其他运输设备	(286)

第十一章 除尘设备(296)

第一节 除尘设备的分类及净化效率的计算(297)

第二节 重力沉降室(299)

第三节 旋风除尘器(302)

第四节 袋式除尘器(311)

第五节 静电除尘器(319)

第六节 除尘器的卸尘装置(322)

第七节 除尘系统的主要设备(325)

主要参考文献(328)

第一章 粉碎机械

在炭素材料生产中，很多产品所用的各种原料都是由不同的粒度组成的。而各种颗粒的大小、数量、形状和表面状况等，对炭素材料生产工艺过程及制品性能都有较大的影响。为了使配方后的物料达到密堆积，提高假密度，减少孔隙度，提高强度，通常利用合适的粉碎机械来处理炭质原料，使其满足工艺所要求的粒度大小。由此可见，粉碎作业是炭素材料生产中的一个重要环节。

目前工业上采用的粉碎机械，根据破碎粒度大小划分，大体可分为两大类：一类是破碎机，另一类是磨粉机。破碎机一般用于处理较大的块状物料，其构造特征是破碎部件之间有一定间隙，不互相接触，所得的粗粒产品一般在 1mm 以上。磨粉机所处理的物料较细，产品是很小的粒状颗粒，可达到 0.044mm 或更细。其结构特点是破碎部件（或介质）互相接触，所采用的破碎介质通常是球、棒或被破碎物料本身。但是这样的分类并不严格，有许多破碎机械就介于两者之间或兼有两种作用。

炭素工业的粗碎（或称预碎），一般多采用颚式破碎机或双齿辊破碎机；中碎一般采用对辊破碎机、反击式破碎机，而较少采用锤式破碎机；磨粉一般采用球磨机和雷蒙磨等。

第一节 粉碎概论

一、粉碎和粉碎比

用外力克服固体物质分子之间的内聚力，由大块碎解为小块或细粉的操作过程，统称为粉碎。通常将固体由大块破裂成小块的操作称为破碎；将小块碎裂成细粉的操作称为磨粉。其相应的机械称为破碎机和磨粉机。但严格说来，破碎与磨粉之间没有严

格的界线。

依据被破碎物料的大小及破碎后物料颗粒的不同，可以把物料的粉碎操作分为粗碎、中碎、细碎、磨粉和超细磨等五个级别。在炭素材料工业中，通常把粉碎操作分为三个级别：

(1) 粗碎（或称预碎）：将 200mm 左右的大块物料破碎到 50 ~ 70mm（一般指原料在进入煅烧炉前的破碎）；

(2) 中碎：将 50mm 左右块度的物料破碎到 1 ~ 20mm（一般指煅后料进一步破碎到配料所需的粒度）；

(3) 磨粉（或称细磨）：将 1mm 左右的物料磨到 0.075mm 以下。

在粉碎过程中，原料粒度与产物粒度的比值，称为粉碎比。粉碎比的计算方法有以下几种：

(1) 用平均粒度来表示：

$$I = \frac{d_{\text{前均}}}{d_{\text{后均}}} \quad (1-1)$$

式中 I —— 粉碎比；

$d_{\text{前均}}$ —— 破碎前物料的平均直径，mm；

$d_{\text{后均}}$ —— 破碎后物料的平均直径，mm。

对于形状不规则的物料来说，平均直径按下式计算：

$$d_{\text{均}} = \frac{a+b+c}{3} \quad (1-2)$$

$$\text{或 } d_{\text{均}} = \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c} \quad (1-3)$$

式中 a 、 b 、 c —— 分别为物料的颗粒沿三个垂直方向的尺寸（即：长、宽、高），mm。

用式 1-1 计算出的粉碎比，能较真实地反映出物料粉碎前后粒度变化的程度，因而多用于理论研究中。

(2) 用物料在粉碎前的最大粒度与粉碎后的最大粒度的比值来表示：

$$I = \frac{D_{\text{max}}}{d_{\text{max}}} \quad (1-4)$$

式中 $D_{\max}$ ——粉碎前物料的最大块直径, mm;
 $d_{\max}$ ——粉碎后物料的最大块直径, mm.

对于物料的最大块直径, 各国的技术标准各不相同, 英、美等国取物料的 80% 能通过的筛孔宽度为最大直径。我国取物料的 95% 能通过的筛孔尺寸来表示。在设计中, 通常是依据物料最大块的直径来选择粉碎机的给料口宽度。

(3) 用粉碎机进料口的有效宽度和排料口的宽度的比值来表示:

$$I = \frac{0.85B}{b} \quad (1-5)$$

式中 B ——粉碎机进料口的宽度, mm;
 b ——粉碎机排料口的宽度, mm.

式 1-5 中的 $0.85B$ 是粉碎机进料口的有效宽度, 因为给入粉碎机的最大粒度应当比粉碎机进料口宽度约小 15%, 才利于粉碎机钳住物料。这种计算方法在生产中应用较广, 因为只要知道粉碎机的进料口和排料口的宽度, 就可以很方便地估算出粉碎比。

粉碎比对于粉碎机械是一项很重要的指标, 其大小与粉碎设备以及工艺所要求的颗粒大小和产量有关, 必须根据生产对设备的要求适当选择。粉碎比过大, 会使物料受到过分研磨或破碎, 使小粒度增多, 产量下降, 增加了能量消耗。粉碎比过小, 则使粉碎的物料粒度不符合要求, 增加了物料在设备间的循环次数, 造成浪费。

(4) 总粉碎比 炭素材料工业中为了使大块原料能满足工艺要求, 常采用多级粉碎的方法。就是将几台破碎机或磨粉机依次串联起来, 构成破碎和磨粉流程, 整个破碎和磨粉流程的粉碎比就叫总粉碎比 (I_{Σ}), 各阶段的粉碎比 ($I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$) 叫部分粉碎比。

设: $D_{\max}$ 为原料最大块直径, mm; d 为破碎最终产物里的最大粒直径, mm; $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ 是第一级、第二级、第三级... 第 n 级破碎的物料中的最大粒直径, mm。

$$\begin{aligned}\text{所以: } I_{\text{总}} &= I_1 \times I_2 \times I_3 \times \cdots \times I_n = \frac{D_{\text{max}}}{d_1} \times \frac{d_1}{d_2} \times \cdots \times \frac{d_{n-1}}{d_n} \\ &= \frac{D_{\text{max}}}{d}\end{aligned}\quad (1-6)$$

因此物料的粉碎比是确定粉碎工艺以及机械设备选型的重要依据。

二、粉碎物性

与粉碎过程有关的一些物理性质（如物料的抗压强度、硬度和含水量等）统称为粉碎物性。

(1) 粉碎强度 一般将抗压强度视为粉碎强度。粉碎时，当粉碎机施加的力超过该物料的抗压强度极限时，就发生碎裂。粉碎机动力消耗的大小与被碎物料的抗压强度直接有关。因此，在粉碎过程中必须十分重视物料的抗压强度。

(2) 硬度 在粉碎过程中，常采用普氏硬度系数来评定原料的硬度。所谓普氏硬度系数（ f ），是指以原料的极限抗压强度（ $\sigma_{\text{压}}$ ）除以 100 来计算的。

被碎物料的硬度对粉碎机动力消耗和机件磨损的关系十分密切，所以它影响到粉碎机的结构设计和对材质的要求。

(3) 含水量 固体物料含水一般都会降低其抗压强度。在磨粉作业中，湿磨效率比干磨高，但在干磨中，物料含水量的增加反而会降低粉碎效率，这是由于含少量水分的细粉会产生粘结现象，阻碍了物料粉碎的进行。

一般固体原料越硬，机械强度越大，越难粉碎，粉碎功消耗越大。因此，强度大的物料对机件磨损较大，但往往由于脆而易于粉碎。反之，强度小也可能因其韧性大而难于粉碎。所以，要针对具体原料的特性选取不同的粉碎方法。

三、粉碎方法及粉碎机分类

目前炭素材料工业中采用的粉碎方法，主要是靠机械力的作用来达到粉碎物料的目的。常用的有以下几种方法。

(1) 压碎 将物料置于两破碎表面之间并施加压力，使被破碎的物料达到它的压碎强度极限而破碎（图 1-1a）。此种方法多用于大块物料的破碎。

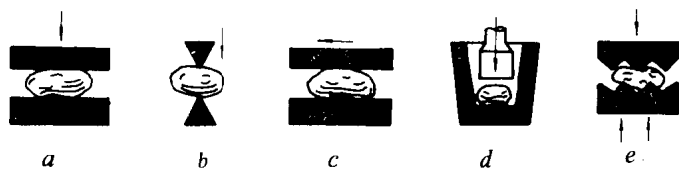


图 1-1 物料的粉碎方法

a—压碎； b—劈碎； c—磨碎； d—击碎； e—剪碎

(2) 劈碎 物料由于受到楔状物体的作用而被破碎（图 1-1b）。此种方法的特点是力的作用范围小，受力集中而产生局部破碎。此法适用于脆性大的物料的破碎。

(3) 磨碎 物料在两工作面或各种形状的研磨体之间，受到摩擦、剪切和磨削作用而成细粒（图 1-1c）。此种方法消耗能量大，效率低，适用于小块物料或韧性物料的粉碎。

(4) 击碎 物料在瞬间受到外来的冲击力作用而破碎（图 1-1d）。这种冲击破碎方法效率高，粉碎比大，能量消耗较少，适用于脆性物料的破碎。

(5) 剪碎 物料在两个破碎工作面间如同受集中载荷的两支点（或多支点）梁，除了在外力作用点受剪力外，还发生弯曲折断（图 1-1e）。此种方法多用于硬、脆性的大块物料的破碎。

目前使用的粉碎机械，往往同时具有多种粉碎方法的联合作用，其中以某一种方法为主。粉碎方法的选择，主要取决于物料的物理机械性质和被碎物料块的尺寸和所要求的粉碎比。

炭素材料工业常用的粉碎机械种类较多，其主要的机械如表

1-1 所示。除了考虑被碎物料的性质及粉碎比外，尚有下列条件，可供选择粉碎机时参考。

表 1-1 炭素材料工业常用的粉碎机械

类别	简易示图	粉碎机名称	主要粉碎方法	运动方式	粉碎比	适用范围	
						粉碎程度	适用物料
破 碎 机 械		颚式破碎机	压碎为主	往复	4 ~ 6	粗碎 中碎	石油焦、沥青焦、无烟煤
		辊式破碎机	压碎为主	旋转 (慢速)	10 左右	粗、中碎 (带齿的) 细碎 (不带齿的)	石油焦、沥青焦、无烟煤、带齿的更适于焙烧块和石墨制品
		反击式破碎机	击 碎	旋转 (快速)	10 ~ 40	中碎 细碎	炭素填充料、煤沥青、各种焦炭、无烟煤
		锤式破碎机	击 碎	旋转 (快速)	10 ~ 40	中碎、 细碎	炭素填充料、煤沥青、各种焦炭、无烟煤
		圆锥式破碎机	压碎为主	回转	3 ~ 17	粗碎 中碎	石油焦、沥青焦、无烟煤等
		残极破碎机	挤压为主	往复	几十	粗碎	已焙烧，或未焙烧阳极或电极残极等
磨 粉 机 械		球磨机	击碎、研磨	旋转 (慢速)	数百 以上	细磨	石油焦、沥青焦、天然石墨等
		雷蒙磨	压碎、研磨	旋转 (慢速)	数百 以上	细磨 超细磨	石油焦、沥青焦、天然石墨等
		振动磨	研磨、击碎	振动	数百 以上	超细磨	石油焦、沥青焦、天然石墨、炭墨、沥青粉
		自磨机	击碎、研磨	旋转 (慢速)	数百 以上	细磨 超细磨	石油焦、沥青焦、天然石墨等

(1) 粉碎机的结构简单，在操作过程中噪音应尽量小；其结构、尺寸与被碎料的强度、尺寸相适应；

(2) 粉碎机应保证所要求的产量，并稍有多余，以免在给料量增加时超载；

(3) 粉碎机加工后的物料尺寸要均一，粉碎过程形成的灰尘要少；

(4) 粉碎机的粉碎过程应均匀不断，粉碎后的物料应能迅速和连续排出；

(5) 粉碎比的调整要方便，能量消耗应尽可能小；

(6) 机械的工作部件经久耐用，且便于拆换；

(7) 粉碎机应具有保险装置，以免损坏贵重部件，保证安全生产；

(8) 粉碎机的重量要轻，尺寸要小，价格要便宜，所需管理人员少。

现有粉碎设备的结构仅能满足上述部分要求，还存在不少缺点，如：笨重、非生产性动力消耗大，同时在操作中产生很大的噪音，影响操作人员的身心健康。

四、粉碎操作

(1) 粉碎原则 被碎物料的加入与碎成料的调节是粉碎作业的重要环节。粉碎时，必须遵守“不作过粉碎”的原则。过粉碎往往带来碎成料质量降低，生产率下降，能耗增加。要作到“不作过粉碎”必须采取下列措施：

1) 尽量作到“自由粉碎”。碎成料不作滞留，尽快离开粉碎机，避免“闭塞粉碎”。

2) 物料在进行粉碎前，必须先行筛分处理。

3) 使粉碎功真正地只用在物料的粉碎上面，因粉碎机金属部件的磨损无疑会降低粉碎效率。

(2) 粉碎流程 在粉碎操作中，有间歇粉碎、开路粉碎和闭路粉碎三种流程。

1) 间歇粉碎 (图 1-2a) 将一定量的被碎料加入粉碎机

内，关闭排料口，粉碎机不断运转，直至全部被碎物达到要求的

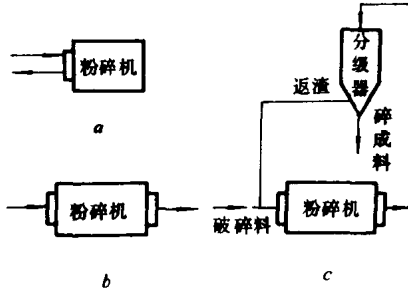


图 1-2 粉碎流程

a—间歇粉碎；

b—开路粉碎；

c—闭路粉碎

粒度为止。一般适用于处理量不大而粒度要求很细的粉碎作业。

2) 开路粉碎 (图 1-2b) 被碎料不断加入，碎成料连续排出。碎成料被控制在一定粒度下，被碎料一次通过粉碎机。开路粉碎操作简便，适用于破碎作业。

3) 闭路粉碎 (图 1-2c)。被碎料在经过粉碎机一次粉碎后，除粗粒子留下继续粉碎外，其他粒子立即被运载流体（水或空气）夹带而强行离机。再经分离处理，取出其粒度合格的部分，而较粗的不合格粒子返回粉碎机继续被粉碎。闭路粉碎是一种循环连续作业，它严格遵守“不作过粉碎”原则。它和开路粉碎比较，生产能力可增加 50 ~ 100%，单位质量碎成料所需要的功可减少 40 ~ 70%。

表 1-2 为三种粉碎流程比较。

表 1-2 粉碎流程比较

粉碎流程	破碎料加入	碎成料排出	碎成料粒度分布幅度	生产能力	机件磨损	适用范围	设备费用
间歇	方便	不方便	广	小	大	磨粉	少
开路	方便	方便	广	中	大	破碎	少
闭路	方便	方便	窄	大	小	细碎、磨粉	多

(3) 粉碎方式

1) 干式粉碎 被碎物料的含水量在 4% 以下者称为干式粉碎。干式粉碎需设置收尘设备, 以回收粉尘。干式粉碎的最大优点是得到的产品是干燥的, 不需作烘干处理。但干式粉碎在细磨时效率较低, 粉尘较多。干式粉碎的排料较为困难。一般适用于物料的破碎。

2) 湿式粉碎 被碎物料含水量在 50% 以上, 而且有流动性者称为湿式粉碎。湿式粉碎较易排料, 粉碎效率高, 输送方便, 操作场所无粉尘, 颗粒的分级较易实现。但湿式粉碎的产品需作烘干处理。溶于水的物质不宜用此方法。

因为炭素生产中炭质原料必须不含水分(煤沥青也要进行脱水处理), 否则会影响混捏、压型和焙烧的成品率, 因此炭素生产中炭质物料的粉碎全部采用干式粉碎。

五、粉碎理论

(1) 粉碎机理的新解析方法 粉碎机理是一个极为复杂的问题, 曾有众多学者对此进行过研究, 到目前为止, 还未能全面掌握它的规律性, 也就是说需要新的解析方法。

1) 粒度分布 当固体物料受到第一次打击粉碎之后, 将产生数量较少的大粒子和为数很多的小粒子。若继续受到打击, 小粒子将逐渐增多, 最终将趋近于构成单元块, 即微小颗粒。然而这些物料粒度的变化是一个复杂的过程, Heywood 认为: 在粉碎过程中, 粒度分布的变化决不是连续的, 而是从一个高峰向另一个高峰进行不连续地移动(图 1-3)。因此可以认为, 成一直线的所表示的移动只是特殊的情况, 而一般的情况则是由几个分布直线组合而成。

关于对粒度分布的研究, 近些年来, 国内通常采用沉积天平法。此法是根据斯托克斯溶液内颗粒自然沉积速度的原理, 对微小粒子进行的定量分析。在测定中因为颗粒的大小和沉降速度之间有一定关系, 因而通过沉降速度的不同即可以算出颗粒的大小。在沉降过程中及时测定不同时间沉降量的变化。若能求出相