

管磨机

主编

江旭昌

编著

王仲春

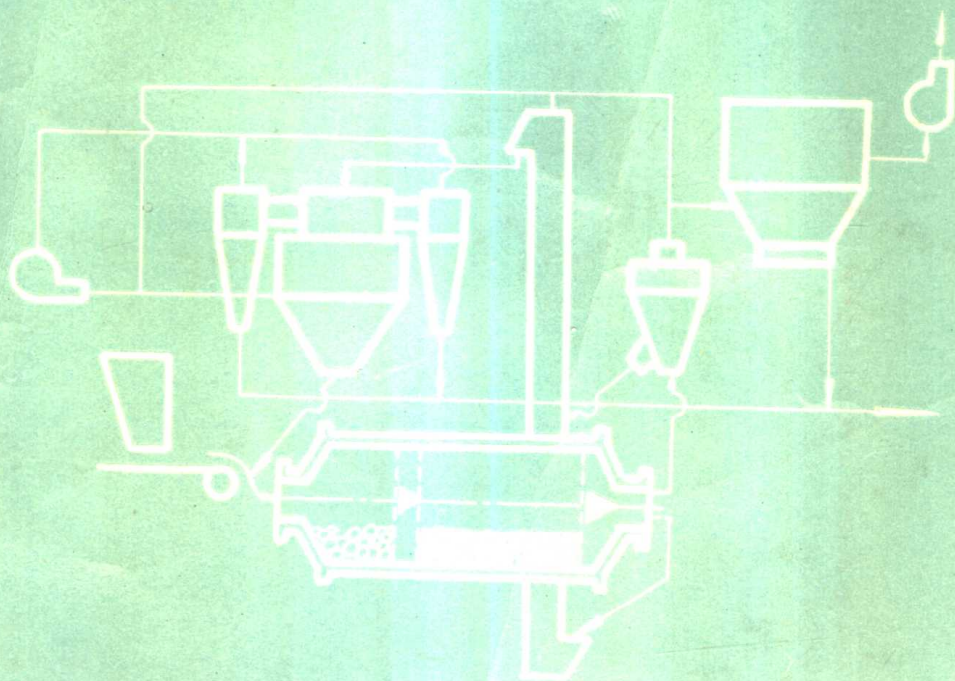
于雪英

王涤东

王绍兴

刘云茂

江旭昌



中国建材工业出版社

管 磨 机

江旭昌 主 编

王仲春 干雪英 王涤东

王绍兴 刘云茂 江旭昌

编 著

中国建材工业出版社

(京) 新登字 177 号

内 容 简 介

本书内容包括管磨机的机械设计和粉磨工艺设计两大部分：前三章是粉磨工艺设计部分，它系统地介绍了粉磨的基本知识和原理，详细地分析了各种粉磨工艺流程和设计原则，提出了正确选择、确定和设计计算的方法；以后各章是管磨机的机械设计及与管磨机设计有关的部分，它全面系统地介绍了国内外管磨机的现状和发展，对各种机械结构进行了详细地综合分析比较，对当前最适用的机械结构论述得更为细致，最后提出了正确的设计和计算方法。

本书参考了现有国内外大量的有关资料，总结了天津水泥工业设计研究院三十多年来在粉磨方面的科研和设计成果。书中所提供的机械结构、计算公式和数据以及设计计算方法等都是经过生产实践考验并已被证明是实用的。为了正确运用设计的基本原则，书中还列举了大量的应用和设计计算实例。内容全面系统、实用性强、叙述深入浅出，这些是本书的明显特点。

本书既可供从事水泥工业或其它有关工业中粉磨工作的科研、设计和生产厂矿工程技术人员、工人和干部的参考，亦可作为大专院校相应专业的教师、研究生和学生的参考。

责任编辑：默 祝 徐素莉

封面设计：江明强

管 磨 机

江旭昌 主编

中国建材工业出版社出版

(北京市西钓鱼台甲 57 号 邮编：100036)

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

北京桦星电脑应用部激光照排

北京师范大学印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/16 印张：58 字数：1538 千字

1992 年 12 月第一版第一次印刷

印数：1—5000 册

ISBN 7-80090-016-9/TH·1 定价：40.00 元

序

酝酿已久的《管磨机》一书终于问世了。这是天津水泥工业设计研究院在水泥工业粉磨方面比较系统而全面的一部技术应用书。本书的编著者都是长期从事粉磨工艺与粉磨机械设计和研究的高级工程师，他们积累了大量的国内外技术资料，具有丰富的实践经验。几年来，他们在承担日常繁重的设计和科研任务的同时，还大量地利用业余时间编著了这本书，付出了艰辛的劳动，实为难能可贵！

这本书的重要特点，是作者们运用系统工程学的观点，以大量的实际数据为基础，以基本理论为指导来编著的。她不仅包含了各种筒式磨机本身的工艺设计和机械设计，而且将粉磨系统、工厂的工艺布置、安装、操作、维护和检修等各个环节，统统囊括其中，形成一部完整的著作。这将大大地方便科研、设计、制造、安装、生产厂矿和教学等部门的粉磨工作者，从各种不同的角度利用本书来分析和处理实际问题，了解磨机的发展，展望其未来，并在实践中突破各自的专业局限。

这本书的另一特点，不仅是掌握了大量的国内外资料，总结了许多宝贵的实际经验，而且通过试验研究和理论分析，在许多方面都论述了问题的原理和规律，阐明了事物的本质。

我国的水泥工业，近10多年来又有很大的发展。现在，规模不同的水泥厂已有6000余座，共有各种规格的磨机13440多台在运转。水泥年产量已达20000多万吨，这在全世界是仅见的。但是，按人口平均的水泥年拥有量仅180公斤左右，仍处在较低的水平上，不能满足国民经济建设的需要，今后仍将继续发展。随着经济社会日益增长的需求，世界各国水泥厂的规模愈来愈大，从而要求所有单机的规格大型化。大，就带来一系列更多的复杂性，要求更高的技术能力与各种技术条件。该院从事磨机设计和研究的同志们，经过努力已把 $\phi 4.6$ 米功率达4000千瓦的特大型管磨机设计出来，这是令人十分可喜的进步。

《管磨机》一书的出版，一方面标志着水泥粉磨工艺和粉磨机械设计技术的成熟，另一方面对我国水泥工业粉磨技术的发展也是一个可贵的贡献，无疑也是带给广大读者一部有价值的好书。

何奇伟

1991年3月于北京

注：何奇伟同志是原北京水泥工业设计院建院时的老院长，后任建筑材料工业部基建局局长。

前 言

管磨机、球磨机、棒磨机、棒球磨机、锥式磨机和无介质磨机等都有一个或一段圆筒形的主体——磨体，故国外有人把它们统称为“筒式磨机”（Cylindrical Grinding Mills）。筒式磨机是水泥工业、选矿工业、电力工业和化学工业等重工业领域中最广泛采用的粉磨机械。在水泥工业中，应用最多的是各种管磨机，其次是各种类型的球磨机。

管磨机的筒体都比较长，长径比一般大于 2.5，形状似管，故称为“管磨机”。为了提高管磨机的粉磨效能，装入研磨体的大小和形状应与被粉磨物料的粒度及工艺对粒度的特性要求相适应。为使研磨体能永远保持初装状态，与被粉磨物料的粒度相适应，管磨机都要用隔仓装置将筒体隔成两个或两个以上的仓室，最多有分隔成五个仓室的，故亦称为“复式磨机”。球磨机的筒体都比较短，长径比在 2.5 以下，不需要分仓。由于其内部装入的研磨体为规格不同的球状，故而得名。为提高粉磨效率，其内部装入的研磨体为规格不同的钢棒，则称为“棒磨机”。根据生料的粒度要求，将管磨机的第一仓装入钢棒，后面仓室仍然装入规格不同的球状和段状研磨体，这种管磨机则称为“棒球磨机”。由于火力发电厂对煤粉粒度的要求不像水泥工业那样细，所以采用一种中间段为圆筒，两端各有一段不同锥度的锥形筒体，构成一个完整的磨体，形状似锥，故称它为“锥式磨机”。这种磨机在水泥工业中尚未见应用。长径比很小，接近于 1 或小于 1 的大直径磨机，其中不装研磨体或装入不超过 10% 的少量研磨体，主要靠被粉磨的大块物料自相冲击和研磨，所以称为“无介质磨机”或称“自磨机”。这种磨机的出料完全靠风力带出，故又称为“气落磨机”。它在水泥工业中曾一度有所应用，但十分稀少。

由上述可见，在筒式磨机中，管磨机的筒体最长，内部装入的研磨体种类最多，最少有一道隔仓装置，相对而言构造最复杂。诚然，它的负荷最重，对机件的要求也就最高，在设计计算时所考虑的因素亦应最多，才能保证运转的可靠性。因此，只要掌握了管磨机的规律，对其它筒式磨机的规律就不难掌握了。虽然本书是以管磨机为重点，但实际上许多内容对其它筒式磨机也是适用的。

球磨机的问世已有 160 多年的历史，管磨机的出现也有 100 多年之久。尽管人们进行了多方面的研究和改进，也取得了一定的效果，使其粉磨效率和使用寿命等在原有基础上都有较大的提高。然而，终未取得突破性的进展，仍未摆脱粉磨效率极为低下的状况。据安赛姆（Anselm）的测定，筒式磨机的效率只有 0.6%，大多数学者和专家认为最高也不超过 2~9%。所以，国内外许多专家从物理的，化学的各个角度进行了大量的研究工作，试图寻找一种粉磨效率较高的设备。可遗憾的是，一直没有得到十分完美的解决。在所研究的三十多种新型粉磨设备之中，当前比较有效的是立式磨，其中绝大多数是各种辊式磨。由于它们对物料的适应性不像筒式磨机那样强，尤其对含有游离 SiO_2 较高的物料更不适应。因而，目前在国内应用还不太普遍，用它们来磨制水泥熟料则更少。不过，随着辊式磨研究的深入，它们的应用已逐渐增多起来。国外在新建的大型干

法水泥厂中，用辊式磨来粉磨生料已较普遍，粉磨水泥熟料也有运转实例。国内已投产的顺昌水泥厂，正在筹建的 4000t/d 大连水泥厂、2000t/d 广东省云浮和北京琉璃河水泥厂都是用辊式磨来粉磨生料。大连水泥厂的煤磨也是辊式磨。小型辊式磨在白水泥厂中用来粉磨生料和水泥在国内已有运转实例，如牡丹江特种水泥厂用辊式磨粉磨生产白水泥的生料，衡阳白水泥厂用辊式磨来粉磨生料和白水泥熟料等。实际上，用辊式磨粉磨生料早就有应用，如 1950 年建厂的光华水泥厂，白水泥生料就是用 4R-3216 型雷蒙磨粉磨的。不过，那时的辊式磨均属于第一代或第二代产品，即靠离心力或弹簧加压，能力很小，效率也比较低。为适应技术的发展，我院在吴江水泥厂已进行了用辊式磨粉磨普通水泥生料的试验，加压装置由弹簧改为液压，经鉴定表明，效果良好。正当立式磨迅猛复苏之际的 80 年代，出现了利用料层高压挤压原理的辊压机，它的粉磨效率更高一些。当前大多与管磨机联用，设置在磨机之前，作为预粉磨设备使用或设计成混合粉磨流程。将辊压机作为单独的终粉磨设备而不用磨机的粉磨系统也已实现。它不仅可用于粉磨水泥熟料，也可用于粉磨石灰石、矿渣、煤等生产水泥的原燃料，还可用于粉磨金刚石围岩等的其它矿物。可见，立式磨和辊压机是两种很有发展前途的粉磨设备。由于辊压机的粉磨效率更高和迅速的发展，而使立式磨的发展有减缓的趋势。尽管如此，管磨机和球磨机等筒式磨机在当前仍不失为一种应用广泛的较好的粉磨设备。

管磨机在水泥工业中占有相当重要的位置。在回转窑水泥厂中，它与回转窑并驾齐驱，是两大主机设备。在一条生产线中，一条回转窑起码要有两台（以油气为燃料）或三台管磨机为之配套；如果采用二级圈流粉磨系统，所用的球磨机那就更多了。在立窑水泥厂中，它是比立窑更为复杂的主机设备，一台立窑至少也需两台磨机为之配套，总价值比机械立窑还要贵。在水泥厂中，每生产 1t 水泥，需要粉磨的各种物料就有 3~4t 之多；在总电耗中，粉磨生料、熟料和原煤这三种物料磨机的电耗约占 65~70%；它们的生产成本占水泥总成本的 35% 左右；这三种磨机的钢铁消耗占钢铁总消耗的 55% 以上；磨机及其附属设备的维修工作量约占全厂的 60%；磨机的噪音是环境噪音污染中较强的一种，它随磨机直径的增大而提高。根据测定，装金属衬板水泥磨的噪音声强为 105~125dB 以上，装金属衬板生料磨的噪音声强为 101~123dB。生料磨和煤磨的成品质量直接决定和影响着回转窑的各项技术参数和熟料质量；水泥磨则是控制水泥质量最后也是最关键的一环，在一定程度上，粉磨质量可以弥补熟料质量的缺欠，保证出厂水泥的合格率。

球磨机在选矿工业中占绝对优势。黑色金属的贫矿石和某些有色金属矿石，它们所含的有价矿物颗粒是很小的。对于这些矿石，磨矿细度与选矿技术指标有着密切的关系。适当减小矿石的磨碎细度可以提高金属的回收率或产量。球磨机在火力发电厂中也占有相当重要的位置。由于水泥要求磨得特别微细，所以球磨机在水泥工业中粉磨生料和熟料比较少用。只有采用二级开流和二级圈流粉磨系统时，才使用球磨机。在水泥厂中使用的煤粉，绝大部分都是采用球磨机或风扫式球磨机磨制的。只有近代较大的生产线，才采用带烘干仓的风扫式管磨机来磨制煤粉。不过，随着生产规模的大型化和新型干法生产的发展，利用带烘干仓的风扫式管磨机磨制煤粉的比重会越来越大。

由上述可见，磨机不仅要消耗大量的电力，而且还要消耗大量的钢铁。因此，从系统工程学的观点出发，正确地选择粉磨工艺系统和磨机型式，合理地设计计算各个零部件，提高它们的使用寿命，对提高粉磨效率、提高运转率、降低电耗和金属消耗，减少维修费用等具有十分重大的意义。

1968 年，我院为培训外国实习生编写了《水泥机械设计》（磨机部分）讲义。由于当时各种条件的限制，局限性很大。虽然如此，据不完全统计，先后有七个单位进行了翻印。这说明，我国

这方面比较系统而有实用价值的书籍是相当缺乏的。为此，中国建材工业出版社为满足广大读者的需要邀我们编著这本《管磨机》。

本书是我院研究和设计磨机三十五年来集体的经验总结，它包括工艺设计和机械设计两大部分。书中所提供的工艺系统、机械结构、计算公式和技术数据以及设计方法等都是大量的国内外生产经验和操作运行数据为基础，以基本理论为指导而整理分析归纳的，其中有些是经过国家、部和地方各级鉴定的科研成果，并且又都是经过生产实践考验并被证明是实用的。因此，本书具有内容广泛、生产实用的特点。

我国现有大中型水泥厂 67 个，小水泥厂 6000 多个，总共约有 265 台水泥磨、185 台生料磨的大中型管磨机和 13000 多台小型管磨机在运转。我们期望，本书的出版对我国磨机在科研上的发展，在设计上的提高，在管理上的科学化，在技术改造上的进步将起到一定的作用，进而有助于推动我国水泥工业的发展。

本书编著分工是：前言江旭昌；第一、二章王仲春；第三章干雪英（其中第四节王仲春）；第四、七（其中角螺旋衬板部分王绍兴）、八、九、十一、十四和十五章江旭昌；第五、六章王涤东；第十、十三章王绍兴；第十二章刘云茂。全书由江旭昌主编。

本书在编著过程中，始终得到本院、所有关领导和同志们的大力支持，有许多生产实际数据是生产厂矿提供的，在此一并谨致由衷谢意！

由于我们水平有限，编著时间仓促，书中不妥、错误之处在所难免，恳望批评指正。

目 录

序

前言

第一章 粉磨作业	(1)
第一节 基本概念	(1)
第二节 粉磨任务	(1)
第三节 粒度特性	(2)
第四节 粉磨动力学	(6)
第五节 粉碎定律	(9)
第六节 循环负荷和选粉效率	(15)
第二章 粉磨系统	(21)
第一节 湿法生料制备	(21)
一、开流磨	(21)
二、圈流磨	(24)
三、粉磨系统的选定	(28)
第二节 干法生料制备	(32)
一、分别烘干和粉磨系统	(32)
二、烘干兼粉磨系统	(35)
三、粉磨系统的选择	(53)
第三节 水泥粉磨	(57)
一、开流磨	(57)
二、圈流磨	(59)
三、系统比较	(63)
第三章 工艺参数及磨机规格	(72)
第一节 磨机的适宜转速	(72)
第二节 磨机的功率	(79)
一、托瓦洛夫公式	(80)
二、德国的未他克公式	(82)
三、美国的邦德公式	(83)
四、动力系数 K 的确定	(84)
五、结论	(88)

六、几点说明	(89)
第三节 磨机生产能力	(89)
第四节 烘干能力	(98)
第五节 研磨体	(104)
一、研磨体的种类及作用	(104)
二、研磨体的规格、技术性能及化学成分	(106)
三、研磨体的填充率	(109)
四、研磨体的级配	(110)
五、球径的选择	(111)
第六节 磨机工艺设计计算	(112)
一、对生料磨能力的要求	(112)
二、生料磨主要规格及工艺性能	(113)
三、热工计算	(115)
第四章 管磨机的总体布置及其典型构造	(121)
第一节 管磨机的总体布置	(121)
一、磨机的中心高度	(121)
二、磨机的间距	(122)
三、磨机传动装置的布置	(123)
四、磨机几个主要尺寸的概念	(124)
五、磨体的伸缩	(126)
六、磨机的转向	(128)
七、磨机的基础	(129)
八、磨机主轴承润滑用稀油站的布置	(133)
九、磨机的用水量	(133)
十、安全防护	(135)
十一、磨机与外部的联接	(135)
第二节 管磨机的典型构造	(138)
一、管磨机的一般构造	(138)
二、几种不同类型管磨机的具体构造简介	(140)
第三节 磨机的规格、性能及其外形尺寸	(149)
一、国内磨机的规格、性能及其外形尺寸	(149)
二、国外管磨机的规格、性能及其外形尺寸	(160)
第五章 管磨机的介质力学	(176)
第一节 概述	(176)
第二节 磨体转速与研磨体的运动	(177)
一、临界转速 n_c	(177)
二、理论适宜转速	(178)
三、适宜工作转速	(179)

第三节 抛落状态的分布及其动态力	(180)
一、抛落状态研磨体的分布规律	(180)
二、抛落状态研磨体产生的力	(184)
三、抛落状态的形成条件及应用	(189)
第四节 抛落状态的磨机传动功率	(191)
第五节 泻落状态的分布及其动力学	(194)
一、泻落状态研磨体的分布	(195)
二、泻落状态运动时产生的力	(196)
第六节 泻落状态运动的功率计算	(198)
第六章 磨体	(201)
第一节 磨体的类型	(201)
一、生料磨磨体	(202)
二、水泥磨磨体	(204)
三、煤磨磨体	(207)
第二节 筒体	(208)
一、筒体的结构	(208)
二、磨门与人孔	(210)
三、筒体的基本要求和规定	(213)
第三节 筒体计算	(215)
一、类比统计数据 and 许用应力	(215)
二、磨体的载荷计算	(218)
三、载荷分布及内力要素计算	(221)
四、筒体厚度及其应力计算	(225)
五、筒体变位量的计算	(229)
六、筒体计算举例	(230)
第四节 磨头	(240)
一、磨头类型	(240)
二、磨头结构	(244)
三、磨头计算	(249)
四、磨头计算举例	(257)
第五节 传动接管和齿圈固定法兰	(262)
一、传动接管	(262)
二、齿圈固定法兰	(266)
第七章 磨机衬板	(270)
第一节 概述	(270)
第二节 磨机衬板的分类	(270)
第三节 磨机的筒体衬板	(271)
一、磨机筒体衬板的种类	(271)

二、磨机筒体衬板的设计与计算	(271)
第四节 磨头衬板	(340)
一、磨头衬板磨损的原因	(341)
二、最大磨损半径的确定	(344)
三、最大磨损区的宽度	(348)
四、防止磨损的措施	(351)
五、磨头衬板的合理结构	(355)
第五节 磨门衬板	(360)
一、磨门衬板的设计原则	(360)
二、磨门衬板的型式	(363)
三、几种主要的磨门衬板结构	(363)
第六节 组合衬板	(371)
一、形状组合衬板	(371)
二、材料组合衬板	(372)
第七节 衬板的固定	(374)
一、衬板的螺栓固定	(374)
二、衬板的少螺栓固定	(378)
三、衬板的无螺栓固定	(379)
第八节 衬板的失效与选材	(384)
一、衬板材料的发展	(384)
二、衬板的受力性质	(389)
三、衬板的失效形式	(390)
四、衬板失效的影响因素	(394)
五、衬板材料的选择	(395)
第八章 隔仓装置	(397)
第一节 隔仓装置的作用	(397)
第二节 隔仓装置的类型及构造	(398)
一、单层隔仓装置	(398)
二、双层隔仓装置	(400)
三、三层隔仓装置	(406)
第三节 隔仓篦板及盲板	(406)
一、隔仓篦板的通过面积	(407)
二、隔仓篦板的篦孔断面形状	(408)
三、隔仓篦板的篦孔大小	(410)
四、隔仓篦板篦孔的排列形式	(413)
五、物料在隔仓篦板篦孔中的运动状态	(414)
六、物料在隔仓篦板篦孔中的运动规律	(415)
七、隔仓篦板篦孔的磨损和加工	(418)
八、隔仓篦板上的特殊用孔——选球孔	(420)

九、隔仓篦板及盲板的表面形状、分块、分圈和材料·····	(421)
第四节 篦板架、扬料板与中心件·····	(421)
一、篦板架·····	(421)
二、扬料板·····	(423)
三、隔仓装置的中心件·····	(440)
第五节 倾斜隔仓装置·····	(442)
一、倾斜隔仓装置的结构与工作原理·····	(442)
二、安装倾斜隔仓装置水泥磨的技术经济效益·····	(450)
三、磨体的轴向移动问题·····	(451)
四、仓数和仓长的确定·····	(453)
五、装有倾斜隔仓装置管磨机功率的确定·····	(456)
第九章 磨机橡胶衬板及隔仓装置 ·····	(461)
第一节 概述·····	(461)
第二节 橡胶衬板的优点·····	(462)
一、橡胶衬板比金属衬板耐磨、寿命长·····	(462)
二、橡胶衬板比金属衬板节电·····	(468)
三、磨机噪音降低、改善工人的劳动条件·····	(469)
四、研磨体消耗降低·····	(471)
五、可提高磨机运转率·····	(471)
六、生产成本降低·····	(472)
七、延长磨机筒体的使用寿命·····	(473)
八、安装和检修方便、安全·····	(473)
九、有利于机械传动·····	(473)
第三节 橡胶衬板的结构设计及计算·····	(473)
一、橡胶衬板的联接·····	(473)
二、筒体橡胶衬板的结构及主要参数的确定·····	(474)
三、磨头橡胶衬板·····	(479)
第四节 橡胶单层隔仓装置·····	(483)
一、橡胶单层隔仓装置的构造·····	(483)
二、橡胶单层隔仓装置主要部件的确定·····	(483)
第五节 橡胶双层隔仓和出料篦板装置·····	(486)
一、橡胶双层隔仓装置·····	(486)
二、橡胶出料篦板装置·····	(486)
第六节 橡胶衬板的使用条件及物性选择·····	(488)
一、橡胶衬板的使用条件·····	(488)
二、橡胶内衬物理性能的选择·····	(490)
第十章 磨机的支承装置 ·····	(491)
第一节 滑动主轴承·····	(491)

一、外球面滑动主轴承	(492)
二、内球面滑动主轴承	(493)
三、其它结构型式的主轴承	(496)
四、几种主轴承的比较	(501)
五、主要零件结构设计	(501)
第二节 动静压主轴承	(513)
一、工作原理	(513)
二、承载力和润滑油流量的计算	(513)
三、几个主要参数的确定	(516)
第三节 滚动主轴承	(518)
一、结构	(518)
二、滚动主轴承与动压滑动主轴承的比较	(520)
三、滚动轴承的选择	(520)
第四节 磨机的滑履支承装置	(521)
一、结构	(521)
二、供油系统	(523)
三、主要零件设计	(524)
四、滑履支承装置与滑动主轴承的比较	(531)
第五节 主轴承的润滑	(531)
一、油绳润滑	(532)
二、油垫润滑	(533)
三、油圈润滑	(534)
四、油勺润滑	(537)
五、集中润滑	(538)
六、润滑剂	(539)

第十一章 传动 (542)

第一节 传动的分类及选择	(542)
一、磨机传动的特点	(544)
二、传动方式的比较	(545)
三、电动机的选型	(552)
四、传动方式的确定	(557)
第二节 边缘传动	(561)
一、边缘单传动	(561)
二、边缘双传动	(637)
第三节 中心传动	(651)
一、中心单传动	(652)
二、中心双传动	(704)
第四节 无齿轮直接传动	(712)
一、无齿轮直接传动的特点	(714)

二、无齿轮直接传动装置的构造及原理	(715)
第五节 辅助传动装置	(721)
一、辅助传动的作用	(721)
二、辅助传动系统	(722)
三、辅助传动装置的构造	(722)
四、辅助传动装置功率的计算	(726)
第六节 磨机传动装置的润滑	(732)
一、润滑的作用与对润滑剂的要求	(733)
二、润滑油的主要物理化学性能	(733)
三、边缘传动装置的润滑	(741)
四、中心传动装置的润滑	(759)
五、齿轮联轴节的润滑	(775)
第七节 联轴节和离合器的选择	(776)
一、联轴节的分类	(776)
二、联轴节的构造	(777)
三、离合器的构造	(789)
四、联轴节的选择	(796)
第十二章 进料装置和出料装置	(800)
第一节 进料装置	(800)
一、物料自溜入磨的进料装置	(800)
二、强制性的进料装置	(802)
三、通热风的进料装置	(803)
四、湿法磨机的进料装置	(804)
第二节 出料装置	(805)
一、排料方式	(805)
二、出料圆筒筛的设计	(806)
三、出料罩的设计	(810)
第三节 回料装置	(811)
一、回料装置的设计要求与型式	(811)
二、湿法生料磨的回料或磨尾喂浆装置	(814)
第四节 进出料装置及回料装置中的密封结构	(814)
第十三章 安装、操作、维护与检修	(822)
第一节 安装	(822)
一、基础	(823)
二、地脚螺栓的安装	(829)
三、主轴承	(833)
四、磨体	(836)
五、传动装置	(840)

六、润滑系统.....	(842)
第二节 操作.....	(842)
一、磨机试运转.....	(842)
二、起动和停磨.....	(845)
第三节 维护.....	(846)
第四节 检修.....	(847)
第十四章 强化粉磨的新技术.....	(849)
第一节 磨内喷水.....	(849)
一、水泥磨的磨内喷水.....	(849)
二、生料磨的磨内喷水.....	(881)
第二节 磨尾喂浆.....	(882)
一、磨尾喂浆的作用.....	(882)
二、对泥浆的要求.....	(882)
三、磨尾喂浆系统及结构.....	(882)
四、采用磨尾喂浆时应注意的几个问题.....	(883)
五、效果.....	(884)
第三节 助磨剂和稀释剂.....	(885)
一、助磨剂的种类.....	(885)
二、助磨剂的助磨机理.....	(886)
三、助磨剂助磨效果的影响因素.....	(887)
四、助磨剂对产品性能的影响.....	(891)
五、助磨剂的选用.....	(892)
六、助磨剂的使用效果.....	(893)
第十五章 研磨体的填装、分选与补加.....	(895)
第一节 研磨体的填装.....	(895)
一、利用底锥式钢球提取器装球.....	(895)
二、利用翻板式钢球提升器装球.....	(899)
三、利用电磁吸盘式钢球提取器装球.....	(899)
第二节 钢球的分选.....	(899)
第三节 钢球的补充.....	(900)
一、钢球磨损规律.....	(901)
二、合理补球方法.....	(903)
三、补球装置.....	(906)
参考文献.....	(907)

第一章 粉磨作业

第一节 基本概念

用外力克服固体物料各质点间的内聚力，使物料块破坏并逐渐减小其粒度的过程，称为破碎和粉磨，统称为粉碎。

粉碎前后粒径的比值称为粉碎比。用下式表示：

$$i = \frac{d_q}{d_n} \quad (1-1)$$

式中 i —— 粉碎比；

d_q —— 粉碎前颗粒直径；

d_n —— 粉碎后颗粒直径。

一般粉碎后产品粒度大于 5mm 的称为破碎；产品粒度小于 5mm 的称为粉磨。

破碎过程用的设备称为破碎机；粉磨过程用的设备称为粉磨机或简称为磨机。

管磨机是粉磨机的一种。它是一个两端带有支承装置的圆筒，内装研磨体或称研磨介质。圆筒绕水平的中心轴线回转，研磨介质靠摩擦力被带到一定的高度后又降落。物料连续地通过圆筒，从而受到研磨介质不断地冲击，挤压和研磨，最后粉磨成为合格产品。

管磨机结构的主要工艺尺寸是筒体的直径和长度，筒体长度与直径之比称为长径比。

管磨机按照磨机筒体长径比的大小，可分成短磨、中长磨和长磨三种。一般长径比小于 2 的称为短磨；因为短磨不分仓，通常又按研磨介质命名，研磨介质为钢球的叫球磨机，研磨介质为钢棒的，叫棒磨机；研磨介质为砾石的，叫砾石磨机。长径比在 3 左右的称为“中长磨”；长径比大于 4 的称为长磨。

管磨机按照粉磨方式的不同，可分成开流和圈流。在粉磨过程中，物料一次通过磨机就为成品的，称为开流；当物料出磨后经过分选，细粉作为成品，粗粉返回磨内进行再次粉磨的，称为圈流。

管磨机的特点是粉碎比大，即产品比较细，对物料的适应性强，成品粒度易于调整，而且便于大型化。因此在水泥工业中得到了广泛的应用。

由此可见，用粉磨设备将所要粉磨的物料粉磨到所要求的合格产品的过程，就叫粉磨作业。

第二节 粉磨任务

粉磨的目的在于使物料获得一定的分散度，以满足各工艺过程的要求。

在水泥工业中需要粉磨的物料有原料、熟料、混合材和原煤。

熟料烧成与生料的分散度直接有关。众所周知：水泥熟料的烧成，基本上是一种固相反应。按反应动力学原理，反应速度与颗粒大小和温度有关。一般来说，分散度高、温度高，熟料就容易形成。换句话说，为获得满意的熟料，颗粒小，烧成温度就可以低一些。这就意味着节省燃料。但

是过细的粉磨又要消耗大量的能量。

此外，生料中原始组分不同，要求的分散度也不同。譬如，硅质组分中有结晶石英，因反应速率慢，就应该磨得比石灰石更细一些。

生料的分散度通常用细度（即筛余百分数）来表示。不过粉磨方法不同，即使同样的细度，各级的粒度组成也不同。如圈流磨的成品比开流磨的成品粒度范围窄，过粗和过细的颗粒均少，更有利于烧成。过粗颗粒使得反应不完全，而过细颗粒又容易过早地出现液相并且增加飞灰量。为此，生料适宜的细度应该根据易烧性试验，从工艺和经济的观点，结合粉磨和煅烧方式综合地加以确定。

在实际生产中，一般经验控制生料细度为 4900 孔/cm² 筛筛余 8~16%。

水泥的分散度可以用比面积或细度来表示。在同样的矿物组成条件下，分散度愈高，磨得愈细，水泥的水化速度愈快，强度愈高，特别是早期强度愈高。但是当比面积超过一定限度，强度不但不再增长，反而会下降。而且粉磨方式不同，即使比面积相同，强度也会有所差别。这些事实，不少学者也早已指明。水泥必须有一个合理的颗粒级配，才能获得最高的强度。

能发挥最高强度的具体粒级范围，各人意见不一。但对于一般规定的检验期龄来说，可以认为 3~30μm 的颗粒是起决定性作用的。小于 3μm 和大于 30μm 的颗粒要有，但不宜过多。

在我国实际生产中，根据矿物组成不同，一般 525 号水泥比面积控制在 3000~3400cm²/g 之间；425 号水泥比面积控制在 2600~3000cm²/g 之间；325 号水泥控制在 4900 孔/cm² 筛筛余在 3~8% 之间。

作为燃料用的煤粉，磨得粗就难烧，容易造成不完全燃烧；而进一步细磨又要增加粉磨能量；磨得过细还容易爆炸。不同的煤质，要求的细度也不一样。如挥发分高的煤容易烧完，在燃烧时间不变的条件下，就可以磨得粗一些。为此应该有一个适宜的经济细度。当然实际上要决定这一经济细度是比较困难的。

根据我国水泥厂实际生产经验，煤粉细度控制在 4900 孔/cm² 筛筛余 8~16% 之间较为合适。

第三节 粒度特性

物料粉碎以后，产品粒度不可能是均齐的，而是从大到小连续变化的。把某一个粒度范围规定为一个级别，其中各级别的重量比例就称为颗粒级配，它标志着物料的粒度特性。

粉碎产品的颗粒级配是否有一定的规律？它们之间能否用数学关系来表示？这一个问题很早就被人们所重视。A. O. Gates⁽¹⁾ 于 1916 年根据实验提出了粉碎产品的粒度关系式。

$$\omega'^{m'} = Cx \quad (1-2)$$

式中 ω' —— 通过筛孔 x 的累计重量百分数；

m' —— 指数，与物料和设备有关；

C —— 常数；

x —— 筛孔或颗粒的尺寸。

随后 A. M. Gaudin 于 1926 年根据自己的试验资料，发现均质岩石在粉碎以后，细级别重量在对数坐标上是一条直线，它们之间的关系可用下式表示⁽²⁾：

$$\omega = Cx^m \quad (1-3)$$

式中 ω —— 残留于 x 筛孔和通过下一级更大 px 筛孔的颗粒重量百分数；

C —— 常数；