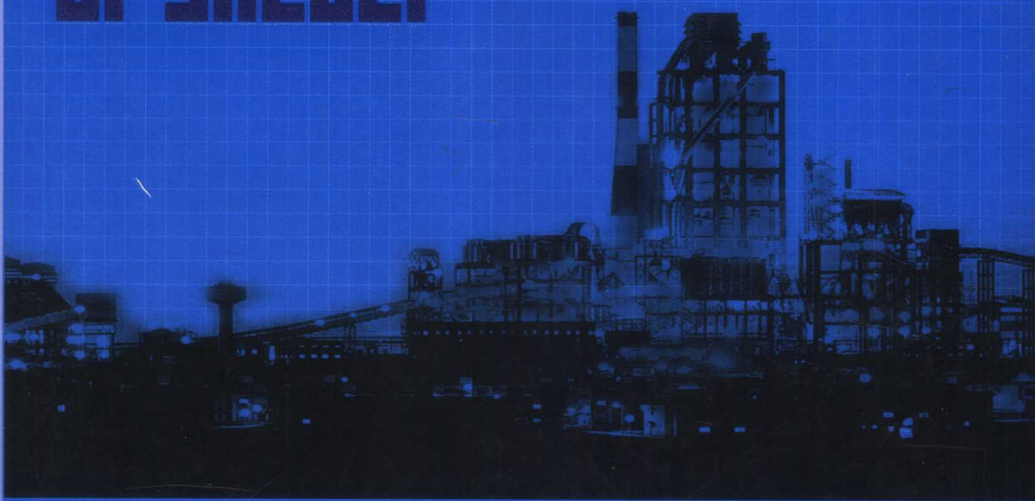


水泥生产技术丛书

水泥生产破碎与粉磨 工艺技术及设备

陈绍龙 张朝发 李福州 编著

SHUINI SHENGCHAN
PUOSUI YU FENMO
GONGYI JISHU
JI SHEBEI



化学工业出版社

水泥生产技术丛书

水泥生产破碎与粉磨 工艺技术及设备

陈绍龙 张朝发 李福州 编著



化学工业出版社

·北京·

本书是《水泥生产技术丛书》的一个分册。全书从五个方面介绍了水泥生产破碎与粉磨工序的工艺技术及设备,一是有关水泥生产破碎与粉磨技术的基本知识;二是目前我国水泥生产中常用的破碎机械、粉磨机械和选粉设备;三是水泥生产粉碎系统的工艺平衡计算、破碎与粉磨车间的工艺布置及其设计计算;四是分别介绍了破碎系统、球磨机粉磨系统、立式磨粉磨系统、带辊压机的粉磨系统的生产工艺技术,包括优化应用实例、节能高产途径、常见故障分析及其处理;五是分别介绍了破碎系统、生料制备系统、水泥粉磨系统的质量控制与管理,并介绍了粉磨系统技术标定、设备故障诊断技术以及设备管理的基本知识。

本书集“知识系统性、技术先进性、技能实用性、管理规程可操作性”于一体,深入浅出,简明扼要,适合水泥生产企业,尤其是中小型水泥企业的高级工、技师和中高级技术人员、管理人员学习阅读,也可作为大专院校有关专业师生作为理论联系实际的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水泥生产破碎与粉磨工艺技术及设备/陈绍龙,张朝发,李福州编著. —北京:化学工业出版社,2006.12

(水泥生产技术丛书)

ISBN 978-7-5025-9789-4

I. 水… II. ①陈…②张…③李… III. ①水泥-破碎-生产工艺②水泥-破碎-设备③水泥-粉化-生产工艺④水泥-粉化-设备 IV. TQ172.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第161321号

责任编辑:常青

装帧设计:张辉

责任校对:顾淑云

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装订:三河市延风装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张21 $\frac{3}{4}$ 字数421千字 2007年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:47.00元

版权所有 违者必究

《水泥生产技术丛书》编委会

主任：陈益民

副主任：顾惠元

委员：（按姓氏笔画排列）

| | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 丁奇生 | 王文义 | 王迎春 | 刘 龙 | 江丽珍 | 杨华全 |
| 李维新 | 肖忠明 | 辛志军 | 张大同 | 张绍周 | 张朝发 |
| 陈绍龙 | 陈益民 | 金烈火 | 赵介山 | 赵洪义 | 赵慰慈 |
| 顾惠元 | 倪竹君 | 郭随华 | 焦永道 | 颜碧兰 | |

丛书前言

水泥是社会经济发展最主要的建筑材料之一，在今后几十年甚至上百年内仍然是无可替代的基础材料，对人类生活文明的重要性不言而喻。我国是水泥生产和消费大国，自1985年以来，我国水泥年产量一直居世界首位，目前占世界总产量的比重已近50%，2005年的产量已超过10亿吨。全国有水泥生产企业数千家，从业人员数百万人。在今后相当长的时期内，我国水泥的产量仍将持续增长，最终稳定在一个较高的水平上。

水泥工业的快速发展，以及水泥生产装备水平和生产技术水平的逐步提高，使越来越多的工程技术人员投入到水泥行业中。一方面，很多企业规模扩张较快，一些技术人员的专业水平跟不上生产技术的发展；另一方面，由于高等院校对于学生的培养趋于重基础、宽专业，专业授课时数减少，从事水泥生产的专业技术人员需要在生产实践中学习和掌握更多的专业知识。为此我们组织编写了这套水泥生产技术丛书，以期对水泥生产企业的技术人员有所帮助。

本套丛书共有《水泥的原料与燃料》、《水泥熟料烧成工艺与装备》、《水泥生产破碎与粉磨工艺技术及设备》、《水泥化学分析》、《水泥物理检验》、《水泥岩相》、《水泥工业大气污染治理》、《水泥窑用耐火材料》、《水泥混合材和混凝土掺合料》和《水泥工艺外加剂技术》10个分册，基本上涵盖了水泥生产工艺全过程、产品性能控制、生产装备及其维护保养等各方面的知识。丛书的作者均为长期从事水泥行业科研、教学和生产一线工作的高级专业技术人员，有较高的专业技术水平和丰富的实践经验，丛书中包含了作者们多年的经验积累和部分研究成果。考虑到目前我国水泥工业的生产装备仍然是窑外分解窑和机械化立窑共存的局面，虽然新型干法窑逐步占据主导地位，但是在今后一段时期仍然会有部分机立窑存在，在提高新型干法窑水泥企业技术水平的同时，提高机立窑企业技术人员的技术水平进而提高机立窑水泥质量和降低资源消耗，也有利于经济可持续发展。因此，本套丛书的内容既力求全面系统地反映水泥新型干法生产工艺技术，也兼顾机立窑存在的客观需求。丛书尽可能从实用的角度总结和反映近年来国内外水泥生产技术方面的新进展和新成果，并给出一些生产实例，相信对于水泥生产企业的技术人员及管理人员会有所帮助，对于从事水泥专业研究和教学的科技人员、教师和研究生也会有较好的参考价值。

由于作者的知识水平和掌握的资料有限，丛书所述内容难免有疏漏和不妥之处，我们真诚欢迎读者提出宝贵的意见和建议，以便再版时使其得到改进和完善。

《水泥生产技术丛书》编委会

2006年11月

前 言

21 世纪以来，国家大力推进对水泥工业的产业结构调整，使行业淘汰落后的步伐加快，技术进步使水泥生产工艺及装备水平跃上新的台阶；在破碎与粉磨工艺及设备方面，不仅引进、消化、吸收了许多国外先进技术，国内自主创新成果应用也十分活跃。因此，水泥企业广大科技人员和技术工人十分需要针对性较强的专业指导书，以了解、掌握这方面的新理论、新设备及其应用技术。本书正是为满足这一需求而编写。在内容上，本书以新型干法水泥生产技术为主，兼顾中小型水泥企业的生产技术及装备，力求较为全面地反映水泥工业破碎与粉磨的新工艺、新技术、新设备以及管理新理念，突出现代生产适用技术、科学管理方法、实际操作技能及设备维护知识。

全书的核心思路表现在如下三个方面。

一、破碎与粉磨工艺技术是一个系统工程，它与烧成技术及化验室质量控制技术一样不可忽视。水泥生产过程简称为“两磨一烧”，每生产 1 吨水泥大约需要粉碎各种物料 3~4 吨，粉碎工艺过程的电耗占全厂生产总电耗的 60%~70%。因此，选择先进的粉碎工艺，简化粉碎流程，改善传统粉碎作业方式，提高粉碎岗位操作水平等，对水泥工业生产实现优质、高产、低消耗、安全、清洁生产，具有重要意义。

二、生产设备管理是企业管理技术的重要组成部分，它必须从水泥生产线建设时就开始做起。随着生产过程机械化和自动化水平的逐渐提高，设备的结构日趋复杂，技术性能日益先进，设备在生产中的作用和影响愈来愈重要。现代设备管理理念，就是要对所有设备从机械制造、工艺设计、合理选型、优化购置、安装调试、使用维修、创新改造、技术诊断直至更新报废的全过程，都作为管理和研究的对象，并使之系统化、规范化。

三、水泥生产过程的“节能高产”是一个永恒的话题，各企业具体情况有所不同，但都应该理论联系实际，强化求真务实的力度。本书以三分之一以上的篇幅，列举了大量行之有效的破碎与粉磨工艺实用技术，以及多家水泥企业在破碎与粉磨工艺技术方面的应用实例，供读者在生产实践中借鉴与参考。

本书集作者长期从事粉体工程技术教学、科研、设计、咨询及现场技术服务的工作体会总结编著而成，主要特色是集知识系统性、技术先进性、技能实用性、管理可操作性于一体，文字叙述通俗、易懂，适合于水泥企业，尤其是中小

型水泥企业的高级工、技师及中、高级工程师技术人员阅读，也可供大专院校有关专业师生学习参考。

本书在编著过程中，得到了李俭之教授、黄有丰教授、王涤东教授、赵介山教授等水泥界资深专家的指导和帮助，得到了水泥界同仁的关心并给予文献、资料的鼎力支持，在此深表衷心感谢！

由于作者水平所限，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作 者
2006 年 12 月于济南大学

目 录

第一篇 水泥生产破碎与粉磨工艺基本知识

第一章 粉碎基本概念

| | |
|---------------------|----|
| 第一节 粉碎与粉碎比 | 1 |
| 一、粉碎的定义、目的和意义 | 1 |
| 二、粉碎比 | 2 |
| 第二节 水泥物料性质 | 2 |
| 一、晶体结构 | 2 |
| 二、强度、硬度和脆性 | 3 |
| 三、含水量 | 3 |
| 四、易碎性与易磨性 | 4 |
| 第三节 颗粒大小表示方法 | 5 |
| 一、平均粒径法 | 6 |
| 二、筛析法 | 7 |
| 三、比表面积法 | 8 |
| 四、颗粒组合法 | 8 |
| 第四节 粉碎产品粒度特征 | 9 |
| 一、筛余累计 | 9 |
| 二、粒度特征曲线 | 9 |
| 三、筛析曲线的应用 | 10 |

第二章 粉碎理论

| | |
|--------------------|----|
| 第一节 粉碎理论简介 | 11 |
| 一、强度理论 | 11 |
| 二、能耗理论 | 11 |
| 三、粉碎机械化学理论 | 14 |
| 第二节 粉磨理论简介 | 15 |
| 一、球磨机粉磨理论 | 15 |
| 二、球磨机粉磨动力学理论 | 16 |
| 三、料床粉碎理论 | 18 |

第三章 粉碎方法与设备分类

| | |
|----------------|----|
| 第一节 粉碎方法 | 19 |
|----------------|----|

| | |
|-------------------|----|
| 一、挤压粉碎 | 19 |
| 二、研磨粉碎 | 19 |
| 三、折断粉碎 | 20 |
| 四、劈裂粉碎 | 20 |
| 五、冲击粉碎 | 20 |
| 第二节 粉碎设备的类型 | 20 |
| 一、粉碎机械分类 | 20 |
| 二、破碎机类型 | 21 |
| 三、破碎机械发展趋势 | 22 |

第二篇 水泥生产破碎与粉磨机械设备

第四章 破碎机械设备

| | |
|-------------------|----|
| 第一节 锤式破碎机 | 23 |
| 一、工作原理及类型 | 23 |
| 二、机械构造及工作性能 | 24 |
| 第二节 反击式破碎机 | 30 |
| 一、工作原理及类型 | 30 |
| 二、机械构造与工作性能 | 32 |
| 第三节 辊式破碎机 | 36 |
| 一、工作原理及类型 | 36 |
| 二、机械构造与工作性能 | 37 |
| 第四节 颚式破碎机 | 40 |
| 一、工作原理及类型 | 40 |
| 二、机械构造与工作性能 | 41 |
| 第五节 其他破碎机 | 46 |
| 一、圆锥破碎机 | 46 |
| 二、冲击式黏土破碎机 | 49 |

第五章 粉磨机械设备

| | |
|-------------------|----|
| 第一节 球磨机 | 52 |
| 一、工作原理及类型 | 52 |
| 二、机械构造与工作性能 | 53 |
| 第二节 立式磨 | 59 |
| 一、工作原理与类型 | 59 |
| 二、机械构造与工作性能 | 60 |
| 第三节 辊压机 | 64 |
| 一、工作原理与类型 | 64 |

| | |
|----------------------|----|
| 二、机械构造与工作性能 | 66 |
| 第四节 其他新型磨机 | 70 |
| 一、高细高产管磨机 | 70 |
| 二、滑履磨 | 73 |
| 三、筒辊磨 | 73 |
| 第五节 选粉机 | 76 |
| 一、工作原理与类型 | 76 |
| 二、机械构造与工作性能 | 78 |
| 三、选粉机技术发展的综合评析 | 87 |

第三篇 水泥生产粉碎系统设计计算与工艺布置

第六章 粉碎系统及其工艺平衡计算

| | |
|---------------------|-----|
| 第一节 工艺流程与系统级数 | 95 |
| 一、粉碎系统 | 95 |
| 二、系统级数 | 97 |
| 三、工艺流程图的绘制方法 | 102 |
| 第二节 工艺平衡计算 | 103 |
| 一、水泥生产的工艺平衡 | 103 |
| 二、物料平衡计算 | 104 |
| 三、主机平衡计算 | 106 |

第七章 生产车间工艺布置

| | |
|--------------------------|-----|
| 第一节 生产车间工艺布置的依据 | 109 |
| 一、生产车间工艺布置的任务 | 109 |
| 二、主要设计规范和规定 | 109 |
| 三、基础资料 | 109 |
| 第二节 生产车间工艺布置的要求 | 110 |
| 一、生产车间工艺布置重点考虑的问题 | 110 |
| 二、厂房布置 | 110 |
| 三、设备布置 | 111 |
| 第三节 生产车间工艺布置的内容和方法 | 113 |
| 一、生产车间工艺布置内容 | 113 |
| 二、车间工艺布置的方法 | 113 |

第八章 破碎系统设计计算

| | |
|--------------------|-----|
| 第一节 破碎设备选型计算 | 115 |
| 一、破碎系统的工艺流程 | 115 |
| 二、破碎设备选型 | 117 |

| | |
|--------------------|-----|
| 三、破碎系统选型计算 | 120 |
| 第二节 破碎系统工艺设计 | 123 |
| 一、破碎车间的位置 | 123 |
| 二、粗碎破碎机的喂料 | 124 |
| 三、中、细碎破碎机的喂料 | 124 |
| 四、破碎机的检修 | 125 |

第九章 粉磨系统设计计算

| | |
|--------------------|-----|
| 第一节 粉磨设备选型计算 | 126 |
| 第二节 粉磨系统工艺设计 | 128 |
| 一、生料制备系统 | 128 |
| 二、水泥粉磨系统 | 136 |
| 三、混合材粉磨工艺 | 143 |

第四篇 水泥生产破碎与粉磨系统生产工艺技术

第十章 破碎系统生产工艺技术

| | |
|------------------------|-----|
| 第一节 破碎系统应用实例 | 150 |
| 一、石灰石破碎 | 150 |
| 二、黏土破碎 | 156 |
| 三、水泥熟料破碎 | 158 |
| 四、石膏破碎 | 162 |
| 第二节 破碎系统的节能高产途径 | 163 |
| 一、工艺因素的影响 | 164 |
| 二、设备因素的影响 | 166 |
| 三、管理因素的影响 | 171 |
| 第三节 破碎机常见故障分析及处理 | 173 |
| 一、锤式破碎机 | 173 |
| 二、反击式破碎机 | 174 |
| 三、辊式破碎机 | 175 |
| 四、颚式破碎机 | 175 |
| 五、圆锥式破碎机 | 176 |

第十一章 球磨机粉磨系统生产工艺技术

| | |
|--------------------------|-----|
| 第一节 球磨机粉磨系统应用实例 | 178 |
| 一、生料粉磨 | 178 |
| 二、水泥粉磨 | 182 |
| 第二节 球磨机粉磨系统节能高产的途径 | 190 |
| 一、球磨机节能高产的现实意义 | 190 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 二、目前粉磨工艺存在的主要问题 | 192 |
| 三、影响球磨机产量和质量的工艺因素 | 193 |
| 四、影响球磨机产量和质量的机械因素 | 196 |
| 五、球磨机优质节能高产的主要途径 | 198 |
| 六、水泥厂粉磨技术经验荟萃 | 210 |
| 第三节 球磨机粉磨系统常见故障分析及处理 | 225 |
| 一、干法球磨机常见故障与处理办法 | 225 |
| 二、烘干球磨机常见故障与处理办法 | 227 |

第十二章 立式磨粉磨系统生产工艺技术

| | |
|----------------------------|-----|
| 第一节 立式磨粉磨系统应用实例 | 228 |
| 一、国产立式磨 | 228 |
| 二、ATOX 型立式磨 | 232 |
| 三、LM 型莱歇磨 | 239 |
| 四、CK 型立式磨 | 240 |
| 第二节 立式磨粉磨系统节能高产途径 | 241 |
| 一、影响立式磨产量和质量的因素 | 241 |
| 二、立式磨粉磨系统的操作 | 250 |
| 三、立式磨粉磨系统节能高产的途径 | 252 |
| 第三节 立式磨粉磨系统常见故障分析及处理 | 257 |
| 一、国产立式磨常见故障及处理办法 | 257 |
| 二、ATOX 立式磨常见故障及处理办法 | 258 |

第十三章 辊压机粉磨系统生产工艺技术

| | |
|----------------------------|-----|
| 第一节 辊压机粉磨系统应用实例 | 260 |
| 一、辊压机在技术改造中的应用 | 260 |
| 二、辊压机在新建生产线中的应用 | 264 |
| 第二节 辊压机粉磨系统节能高产的途径 | 268 |
| 一、辊压机的正常操作与运行 | 268 |
| 二、影响辊压机产质量的主要因素 | 270 |
| 三、辊压机粉磨系统节能高产的途径 | 276 |
| 第三节 辊压机粉磨系统常见故障分析及处理 | 280 |
| 一、辊压机设备故障 | 280 |
| 二、辊压机粉磨系统故障 | 282 |

第五篇 水泥生产粉碎系统质量控制及设备管理

第十四章 质量管理体系与生产过程质量控制

| | |
|-----------------------|-----|
| 第一节 破碎系统质量控制与管理 | 283 |
|-----------------------|-----|

| | |
|-------------------------|-----|
| 一、质量控制基本知识 | 283 |
| 二、破碎系统及原料质量控制 | 285 |
| 第二节 生料制备系统质量控制与管理 | 287 |
| 一、粒度及水分控制 | 287 |
| 二、生料易烧性控制 | 288 |
| 三、率值配料在线控制 | 290 |
| 四、全黑生料配热控制 | 291 |
| 第三节 水泥粉磨系统质量控制与管理 | 291 |
| 一、混合材及石膏的质量控制与管理 | 291 |
| 二、水泥粉磨质量控制内容 | 293 |
| 三、水泥质量指标制定的原则 | 295 |
| 四、出磨水泥的管理 | 296 |
| 第四节 粉磨系统的技术标定 | 297 |
| 一、粉磨系统技术标定的基本知识 | 297 |
| 二、粉磨系统技术标定报告举例 | 301 |
| 第十五章 设备管理及维护技术要点 | |
| 第一节 设备管理基本知识 | 321 |
| 一、设备管理概述 | 321 |
| 二、设备故障理论和维修原则及方法 | 324 |
| 第二节 设备故障诊断技术 | 328 |
| 一、设备故障诊断技术的进展 | 328 |
| 二、设备故障诊断技术的常用诊断方法 | 329 |
| 三、设备故障诊断方法的选择 | 329 |
| 四、设备故障排除方法 | 332 |
| 参考文献 | 334 |

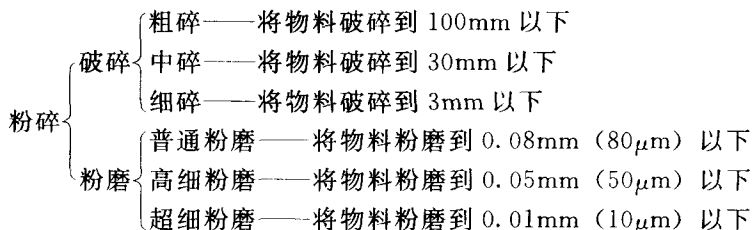
第一篇 水泥生产破碎与粉磨工艺基本知识

第一章 粉碎基本概念

第一节 粉碎与粉碎比

一、粉碎的定义、目的和意义

依靠外力（爆破力、机械力、人力、电力等）克服固体物料分子之间的内部凝聚力，使固体物料破坏、分裂，由大块变小块，由粗颗粒变细粉的过程，称为粉碎。行业内又习惯将大块变小块的过程称为破碎；将粗颗粒变细粉的过程称为粉磨；破碎与粉磨统称为粉碎。按粉碎后的产品颗粒大小，有如下分类：



固体物料经粉碎后，内部晶体结构发生变化，表面能增大，其单位质量的表面积（比表面积）也增加，可以提高物理化学反应的速度，容易混合均匀，提高均化效果，并为烘干、储存和输送创造有利条件。

以水泥生产为例，主要原料石灰石从矿山开采出来，小则 300~500mm，大则 1000~2000mm。通过生产过程后，它们要变成 0.08mm 以下的颗粒，相差一万多倍，这必须经过破碎机械破碎后，再经过粉磨机械粉磨才能达到。每生产 1t 水泥，大约需要粉碎各种物料 3~4t，粉碎工艺过程的电耗占全厂生产总电耗的 60%~70%，因此选择先进的粉碎机械，简化全厂粉碎流程，改善传统粉碎作业，提高粉碎岗位操作水平等，对水泥生产线整体运营实现优质、高产、低消

耗、安全、清洁生产，具有重要意义。

二、粉碎比

1. 粉碎比与平均粉碎比

物料被粉碎前、后的颗粒大小、尺寸之比，称为粉碎比。如果物料的大小是以平均尺寸表示，则该粉碎比又称为平均粉碎比。其计算式如下：

$$i = \frac{D}{d}$$

式中 i ——粉碎比（或平均粉碎比）；

D ——粉碎前物料的颗粒尺寸（或平均尺寸），m；

d ——粉碎后物料的颗粒尺寸（或平均尺寸），m。

2. 公称破碎比

对于破碎机械而言，粉碎比又可以称为：破碎比。当一台破碎机还没有工作时，也可以将其入料口的宽度与出料口的宽度之比称为：公称破碎比。用它可以代表破碎机工作时的性能。由于进破碎机的物料一般比入料口的宽度小，所以往往 $i = 0.85i_{\text{公称}}$ 。

$$i_{\text{公称}} = \frac{D_{\text{进口}}}{d_{\text{出口}}}$$

式中 $i_{\text{公称}}$ ——破碎机的公称破碎比；

$D_{\text{进口}}$ ——破碎机进料口宽度，m；

$d_{\text{出口}}$ ——破碎机出料口宽度，m。

3. 多级破碎的总破碎比

当进厂物料的尺寸较大时，经常要采用几台破碎机串联使用，以达到入磨物料尺寸较小的要求。通常把这个破碎过程称为：多级破碎。工艺流程中串联了几台破碎机，该破碎系统则称为：几级破碎系统或几级破碎流程。多级破碎的总破碎比等于各级破碎比之乘积。

$$i_{\text{总}} = i_1 i_2 \cdots i_n$$

式中 $i_{\text{总}}$ ——多级破碎的总破碎比；

$i_1 i_2 \cdots i_n$ ——1~ n 各级破碎的破碎比。

第二节 水泥物料性质

与粉碎过程有关的物料性质包括：晶体结构、强度、硬度、脆性、含水量、易碎性和易磨性等。

一、晶体结构

水泥生产过程使用的物料大部分是各种矿物晶体或质点的结合体。按理想晶

体结构分类,有离子结构、分子结构和原子结构。其中以离子结构的矿物最多,属中硬性物料。构成晶体的基本质点——离子、原子或分子,在空间为有几何规则的周期性排列,每个周期就构成了一个晶胞,这是构成晶体的基本单元。构成晶体的质点相互之间具有吸引力和排斥力,这两种力的综合效果就是质点间的相互作用力,并在晶体内部形成平衡状态产生了晶体的结合能。当晶体受到外力作用时,如果是压缩,斥力的增大超过引力的增大,剩余的斥力支撑外力的压迫;如果是拉伸,引力的减少少于斥力的减少,多余的引力抗御着外力的拆散作用。质点间的平衡力是有限的,当外力再增加,晶体终于抵制不住外力的作用,晶体结构发生破坏、断裂,产生永久性变形。这与物理学中,材料在外力作用下从弹性变形到塑性变形是一致的。变形导致晶体内部能量的增加,这种增加主要是晶体在外力作用下,使其破坏、断裂的结果,使部分内能转化为新断裂面的表面能。

二、强度、硬度和脆性

强度是物料抗破坏的能力,一般用破坏应力表示,按破坏时外力的作用方式可分为:抗压强度、抗折强度、抗弯强度、抗剪强度、抗拉强度等。水泥生产过程使用的物料抗拉强度都很小,一般为抗压强度的 $1/20 \sim 1/30$ 。行业内习惯用抗压强度将物料分类为硬质物料(抗压强度 $\geq 160\text{MPa}$)、中硬物料(抗压强度 $80 \sim 160\text{MPa}$)和软质物料(抗压强度 $\leq 80\text{MPa}$)。

硬度是物料抗变形的能力。非金属材料一般用莫氏(Moh)相对硬度表示,分为十个等级,用刻痕法测定。金刚石为10,最硬;滑石为1,最软(见表1-1)。硬度用单位数值表示法一般用于金属材料,如布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HRC)、维氏硬度(HV)、肖氏硬度(HS)等。

强度高、硬度大的物料都难以粉碎。

表 1-1 非金属材料的莫氏硬度

| 物料 | 滑石 | 石膏 | 方解石 | 萤石 | 磷灰石 | 长石、玻璃 | 石英 | 黄晶 | 刚玉 | 金刚石 |
|----|----|----|-----|----|-----|-------|----|----|----|-----|
| 等级 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |

脆性是表示物料被断裂的性能,与其相对应的性质称为韧性。韧性是表示物料抗断裂的能力。脆性高的物料,韧性小,容易断裂、粉碎;脆性低的物料,韧性大,不易断裂,难以粉碎。

三、含水量

物料中的水分有三种形式:非结合水、结合水和结晶水。

物料表面的润湿水、空隙中的水和粗毛细孔的水,属于非结合水,它是物料与水接触时直接吸收的,结合力很弱,容易干燥。

渗透到物料内部被毛细孔吸附的水，与物料成物化方式结合，称为结合水，在干燥时很难除去。

物料中与其成化学结合状态的水，是物料矿物组成的一部分，称为结晶水，干燥时不能排除。常说的含水量是指前两项，又称其为物料水分，以百分数(%)表示。

在物料被粉碎的过程中，非结合水和结合水对生产的产量和质量有着直接的影响，如在干法破碎、储存、粉磨、输送过程中产生黏结、堵塞。只有增设烘干过程，除去这些水分，才能进行正常的粉碎作业。在水泥生产规程中经常有这方面的规定，如：进破碎机的物料水分不得超过3%；干法球磨机入磨物料平均水分不得大于1.5%等。

四、易碎性与易磨性

1. 易碎性

物料被破碎的难易程度称为易碎性。易碎性的好、坏，与物料本身的强度、硬度、密度、晶体结构、裂纹、含水量和脆性等有关。物料的易碎性常用相对易碎性系数表示，它是以标准物料单位产量的电耗为基准做相对比较而得出来的，计算式如下：

$$K_m = \frac{E_b}{E_c}$$

式中 K_m ——物料的相对易碎性系数；

E_b ——标准物料的单位产量电耗，kW·h/t；

E_c ——被测物料与标准物料破碎条件相同时的单位产量电耗，kW·h/t。

相对易碎性系数的测定方法目前国家没有明确规定。各企业可以自行选定标准物料来测定自己需要测定的物料相对易碎性系数，科学地进行破碎工艺过程的生产控制。值得注意的是，被测物料与标准物料的破碎条件一定要相同。主要是指要使用同一台破碎机进行试验，入破碎机的物料粒度和出破碎机的产品粒度一定要尽量接近。这样测得的单位产量电耗才可以代入公式计算。标准物料的相对易碎性系数为1，被测物料的相对易碎性系数如果大于1，说明其易碎性好，比标准物料容易破碎；反之，小于1，则易碎性不好，比标准物料难于破碎。

2. 易磨性

(1) 易磨性及其表示方法 物料被粉磨的难易程度称为易磨性。影响易磨性好坏的因素与易碎性相同，但二者没有明显的规律关系。一般情况下，易碎性好的物料易磨性也好。但是，在水泥生产中经常出现一些易碎性好的物料，其易磨性并不好。易磨性的好坏以易磨性系数表示，其测定方法已有国家标准《水泥原料易磨性试验方法》(GB 9964-88)和建材行业标准(JC/T 734-1996)给出明确规定。