



教育部高职高专规划教材



水泥设备巡检技术



周 来 王继达 主编



化学工业出版社
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

水泥设备巡检技术

周 来 王继达 主编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

本书共分七章,可划分为两部分。前三章为基础部分,主要介绍水泥设备巡检时应具备的基础知识。在这一部分中主要介绍了水泥设备巡检的工艺路线、水泥机械设备的动力控制及新型干法水泥设备的润滑,通过这三章的介绍使学习者了解和明确新型干法水泥生产过程中主要生产工艺路线有哪几条,每一条巡检路线上使用的机械、电气、液压、鼓风送气设备有哪些,这些设备在水泥生产中各起什么作用,它们又是采用哪种润滑装置和润滑剂进行润滑的等。后四章为设备的巡检部分,主要是根据水泥生产工艺流程划分的巡检路线讲述设备的使用要求、运行中的检查及设备常见故障的原因分析和排除方法,目的:一是使学习者首先要了解水泥生产过程中各主要设备的巡检位置和润滑点;二是明确主要设备的巡检内容和方法;三是在巡检过程中能简单的判别设备运行中常见故障和排除方法。

本书是根据新型干法水泥企业岗位的变化(由固定岗位演变成巡检岗位)编写的,内容涉及面广,接近企业实际、贴近岗位,既有工艺流程方面的知识、电气设备和变频调速及 PLC 控制的基本知识、液压、气动和风机等通用设备的基本知识,又较详细地介绍了水泥生产过程中使用的主要设备的巡检位置、润滑点及各巡检位置的巡检内容和方法。

本书可作为高职、中职学校硅酸盐专业的补充教材,也可作为水泥企业巡检岗位培训参考教材。

图书在版编目(CIP)数据

水泥设备巡检技术/周来,王继达主编. —北京:化学工业出版社,2006.5

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-8739-X

I. 水… II. ①周…②王… III. 水泥-生产-化工设备-巡回检测-高等学校:技术学院-教材 IV. TQ172.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 058694 号

教育部高职高专规划教材

水泥设备巡检技术

周来 王继达 主编

责任编辑:程树珍 王文峡

文字编辑:宋薇

责任校对:郑捷

封面设计:潘峰

*

化学工业出版社 出版发行

教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12 字数 286 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8739-X

定价:24.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

序

全国建材职业教育教学指导委员会为建材行业的高职、高专教育发展做了一件大好事，他们组织行业内职业技术学院数百位骨干教师，在对有关企业的生产经营、技术水平、管理模式及人才结构等情况进行深入调研的基础上，经过几年的努力，规划开发了材料工程技术和建筑装饰技术两个专业的系列教材。这些教材的编写含有课程开发和教材改革的双重任务，在规划之初，该委员会就明确提出课程综合化和教材内容必须贴近岗位工作需要的目标要求，使这两个专业的课程结构和教材内容结构都具有较多的改进和新意。

在当前和今后的一段时期，我国高职教育的课程和教材建设要为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式服务，更好地适应于生产、管理、服务第一线高素质的技术、管理、操作人才的培养。然而我国高职教育的课程和教材建设当前面临着新的产业情况、就业情况和生源情况等多因素的挑战，从产业方面分析，要十分关注如下三大变革对高职课程和教材所提出的新要求：

1. 产业结构和产业链的变革。它涉及专业和课程结构的拓展和调整。

2. 产业技术升级和生产方式的变革。它涉及课程种类和课程内容的更新，涉及学生知识能力结构和学习方式的改变。

3. 劳动组织方式和职业活动方式的变革——“扁平化劳动组织方式的出现”；“学习型组织和终身学习体系逐步形成”；“多学科知识和能力的复合运用”；“操作人员对生产全过程和企业全局的责任观念”；“职业活动过程中合作方式的普遍开展”。它们同样涉及课程内容的更新与调整，还涉及非专业能力的培养途径、培养方法、学业的考核与认定等许多新领域的改革和创新。

建筑材料行业的变化层出不穷，传统的硅酸盐材料工业生产广泛采用了新工艺，普遍引入计算机集散控制技术，装备水平发生根本性变化；行业之间的相互渗透急剧增加，技术创新过程中学科之间的融通加快，又催生出多种多样的新型材料，使材料功能获得不断扩展，被广泛应用于建筑业、汽车制造业、航天航空业、石油化工业和信息产业，尤其是建筑装饰业，是融合工学、美学、材料科学及环境科学于一体的新兴服务业，有着十分广阔的市场前景，它带动材料工业的加速发展，而每当一种新的装饰材料问世，又会带来装饰施工工艺的更新；随着材料市场化程度的提高，在产品的检测、物流等领域形成新的职业岗位，使材料行业的产业链相应延长，并对从业人员的知识能力结构提出了新的要求。

然而传统的材料类专业课程模式和教材内容，显然滞后于上述各种变化。以学科为本位的教学模式应用于高职教育教学过程时，明显地出现了如下两个“脱节”，一是以学科为本的知识结构与职业活动过程所应用的知识结构脱节；二是以学科为本的理论体系与职业活动的能力体系脱节。为了改变这种脱节和滞后的被动局面，全国建材职业教育教学指导委员会组织开展了这一次的课程和教材开发工作，编写出版了这一系列教材。其间，曾得到西门子分析仪器技术服务中心的技术指导，使这批教材更适应于职业教育与培训的需要，更具有现

代技术特色。

随着它们被相关院校日益广泛地使用，可望我国高职高专系统的材料工程技术和建筑装饰技术两个专业的教学工作将出现新的局面，其教学水平和教学质量将上一个新的台阶。

中国职业技术教育学会副会长、学术委员会主任

高职高专教育教学指导委员会主任

杨金土

2006 年 1 月

前 言

进入 21 世纪,我国的建材生产取得了空前的发展。以悬浮预热和预分解技术为核心的新型干法水泥生产,迅速把现代科学技术和工业生产高新技术成就广泛地应用于水泥干法生产的全过程,使水泥生产全过程具有了高效、优质、低耗,符合环保要求和大型化、自动化的特征,与之相适应的水泥生产管理水平 and 岗位工种内涵与传统生产发生了巨大变化。为适应这种变化和满足市场需求,经过一年多的调研和资料收集,在多次水泥企业职工培训的基础上,编写了《水泥设备巡检技术》。在编写过程中,我们力求贴近岗位实际,以巡检岗位能力要求为目标,打破专业、学科体系,以岗位巡检路线为主线,将水泥制造过程中的工艺流程、机械设备与控制三大部分内容有机的结合;知识内容按岗位要求和标准分层递进,满足企业、学员的双重需求;编排上形式活泼,图文并茂,并配有最新实物图片,力求实用性、趣味性相结合,增强其可读性和亲和力;坚持能力本位,体现新的职教理念和行业最新技术和信息。

本教材由北京市建材工业学校周来、山东职业技术学院王继达任主编,安徽职业技术学院刘春英、内蒙化工职业学院李宽圣任副主编。参加编写有北京市建材工业学校常健、肖德安;昆明冶金高等专科学校向丽坤、赵明清;山东第二职业技术学院马庆余。

本教材在编写过程中,得到了浙江光宇集团、邯郸前景水泥厂、北京琉璃河水泥厂等有关企业领导、技术人员和学校领导的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于时间紧、任务重,书中若有不妥之处,恳切希望广大读者提出批评和建议,以利及时改进。

编者
2006 年 2 月

目 录

1 水泥设备巡检的工艺路线	1
1.1 新型干法水泥生产概述	1
1.1.1 水泥制造所需原料和燃料	1
1.1.2 新型干法水泥生产概述	3
1.2 水泥设备巡检工艺路线和主要设备	3
1.2.1 水泥制造原料的破碎—输送—预均化	3
1.2.2 生料的粉磨—收集—输送—生料粉的均化	5
1.2.3 水泥生料的烘干—预热分解—煅烧—冷却—熟料输送	6
1.2.4 熟料输送和计量—挤压—粉磨—选粉—水泥输送入库	10
思考题	13
2 水泥机械设备的动力和控制	14
2.1 水泥生产企业使用的电机和电气控制	14
2.1.1 直流电机	14
2.1.2 交流电机	17
2.1.3 PLC 控制	21
2.2 水泥机械设备的机械传动	24
2.2.1 带传动	24
2.2.2 链传动	26
2.2.3 齿轮传动	26
2.2.4 轴的连接和分离	26
2.3 水泥机械设备的液压装置及控制	32
2.3.1 液压传动系统的组成	32
2.3.2 水泥设备用来压送液体的动力源——液压泵	32
2.3.3 活塞式液压缸	38
2.3.4 液压控制阀	40
2.3.5 液压系统辅助装置	45
2.3.6 液压控制系统的维护和检查	47
2.4 水泥机械设备常用风机和压缩机	51
2.4.1 水泥机械送风排尘的动力源——风机	51
2.4.2 压送气体的动力源——压缩机	63
思考题	67
3 新型干法水泥生产设备的润滑	68
3.1 机器设备的润滑原理	68
3.1.1 机器设备的液体润滑原理	68
3.1.2 机器设备的边界润滑	70

3.2 水泥机器设备常用润滑剂	71
3.2.1 润滑油	71
3.2.2 润滑脂	73
3.2.3 润滑油脂的选用	75
3.3 新型干法水泥生产设备的润滑方式和现场管理	75
3.3.1 润滑油和润滑脂的润滑方式	76
3.3.2 主要润滑方式介绍	76
3.3.3 机器设备的现场润滑管理制度和检查维护	81
思考题	83
4 石灰石的破碎—输送—预均化	84
4.1 石灰石破碎站	84
4.1.1 石灰石破碎站设备的操作要求	84
4.1.2 破碎站主要设备的巡检	85
4.2 石灰石远程输送设备——胶带输送机	95
4.2.1 胶带输送机的巡检位置和润滑	95
4.2.2 胶带输送机的检查维护	96
4.2.3 带式输送机常见故障及处理方法	98
4.3 石灰石的预均化	99
4.3.1 预均化堆场的悬臂堆料机的检查维护	100
4.3.2 桥式刮板取料机的检查维护	103
思考题	106
5 生料粉磨设备的巡检	107
5.1 原料配料站	107
5.1.1 原料配料站设备的操作要求	108
5.1.2 原料配料站主要设备的巡检	108
5.1.3 称重计量装置常见故障和排除方法	109
5.2 辊式磨的巡检	110
5.2.1 辊式磨的操作要求	111
5.2.2 辊式磨的巡检	112
5.2.3 辊式磨常见故障分析和排除	115
5.3 组合式旋风收尘器的巡检	118
5.3.1 组合式选粉机操作要求	118
5.3.2 组合式选粉机的巡检	119
5.3.3 组合式选粉机常见故障分析和排除方法	120
5.4 高效斗式提升机	121
5.4.1 高效斗式提升机的操作要求	121
5.4.2 高效斗式提升机的运行巡检	122
5.4.3 高效斗式提升机常见故障分析和排除方法	124
5.5 生料均化	125
5.5.1 均化库的操作要求	126
5.5.2 均化库运行时的巡检	127

5.5.3 均化库常见故障分析和排除方法	129
思考题	129
6 熟料煨烧工艺设备的巡检	131
6.1 悬浮预热器和分解炉的巡检	131
6.1.1 旋风预热器和分解炉的操作要求	131
6.1.2 旋风预热器和分解炉运行中的巡检	132
6.2 回转窑的巡检	133
6.2.1 回转窑的操作要求	134
6.2.2 回转窑运行中的巡检	137
6.2.3 回转窑常见故障分析和排除方法	141
6.3 算式冷却机和板链斗式输送机	141
6.3.1 算式冷却机和链斗输送机的操作要求	142
6.3.2 算式冷却机和拉链机的运行巡检	143
6.3.3 算式冷却机和拉链机的常见故障分析与排除方法	148
6.4 废气处理装置的巡检	149
6.4.1 废气处理装置的操作要求	150
6.4.2 高温风机的巡检	152
6.4.3 增湿塔的巡检	154
6.4.4 电收尘器的巡检	155
6.4.5 废气处理装置常见故障分析和排除方法	157
思考题	158
7 水泥制成设备的巡检	159
7.1 水泥制成系统的操作要求	159
7.1.1 水泥制成系统启动前的准备	159
7.1.2 水泥制成系统设备正常开、停车顺序	160
7.1.3 设备故障停车和紧急停车	160
7.2 辊压机的巡检	161
7.2.1 辊压机的操作要求	161
7.2.2 辊压机运行的巡检维护	162
7.2.3 辊压机常见故障分析和排除方法	168
7.3 滑履磨的巡检	168
7.3.1 滑履磨的操作要求	169
7.3.2 滑履磨运行中的检查维护	171
7.3.3 滑履磨常见故障分析和排除方法	174
7.4 O-SEPA 选粉机的巡检	175
7.4.1 O-SEPA 选粉机的操作要求	175
7.4.2 O-SEPA 选粉机运行中的检查维护	176
7.4.3 O-SEPA 选粉机的常见故障分析和排除方法	177
思考题	178
参考文献	179

1 水泥设备巡检的工艺路线

水泥制造是个复杂的过程，所使用的设备种类繁多，为保证水泥的制造质量，在水泥生产过程中，设备的正常运行是关键的一环，而水泥生产设备的巡检是保证设备正常运行必不可少的主要内容。

1.1 新型干法水泥生产概述

水泥熟料中的主要化学成分和波动范围为氧化钙（62%~67%）、氧化硅（20%~24%）、氧化铝（4%~7%）、氧化铁（2%~6%）。

水泥熟料中各种氧化物的含量对水泥的质量有很重要的影响，因此制备生料时需要合适的原料来满足各种氧化物的含量要求。

1.1.1 水泥制造所需原料和燃料

提供水泥熟料中氧化钙成分的主要是石灰质原料，提供氧化硅、氧化铝、氧化铁的主要是黏土质原料，若某些成分不足可用铁矿粉、砂页岩、河泥、河砂、煤矸石等校正原料来补充。

1.1.1.1 石灰质原料

新型干法水泥生产使用的天然石灰石质原料是石灰石，是水泥熟料中氧化钙的主要来源。

天然石灰质原料有石灰岩、泥灰岩、白垩、贝壳等。

石灰石呈致密块状，纯净的石灰石是白色的，常见的大多含有不同的杂质而呈青灰、灰黑、浅黄或浅红色，若将其击碎，断面呈贝壳状或瓷状。

在石灰石中常见有方解石细脉穿插，方解石是一种碳酸钙矿物，透明、无色或白色，完好的晶体呈棱形，表面有玻璃光泽。

石灰石通常还含有白云石、燧石、黏土、石英及硫酸钙等杂质。纯净的白云石为无色或白色，常见为灰白色。由于含有杂质，有的呈浅黄色或浅红色。燧石中的主要成分为结晶 SiO_2 ，颜色通常为黑褐色，凸出在石灰石的表面或呈结核状掺杂其中，质地非常硬，耐磨性强，反应能力差。燧石含量高，但难磨，且在熟料煅烧过程中不易与氧化钙反应，对熟料的产量、质量都有不良的影响。石英的存在同样有上述弊端。因此，对水泥原料石灰石中的白云石、燧石、石英一定要加以控制，根据生产经验，一般控制在4%以下。

1.1.1.2 黏土质原料

新型干法水泥使用的天然黏土质原料的种类较多，经常使用的有黏土、黄土和页岩等。黄土与黏土均是由花岗岩、玄武岩等经风化分解、沉积而成的。黏土质原料是含碱和碱土的铝硅酸盐，主要提供水泥熟料所需的酸性氧化物。黏土中的碱含量对熟料生产有一定影响，必须严格控制。

页岩是黏土受地壳压力胶结而成的黏土岩，层理明显，一般为灰、褐或黑等颜色，其主要化学成分与黏土相似。

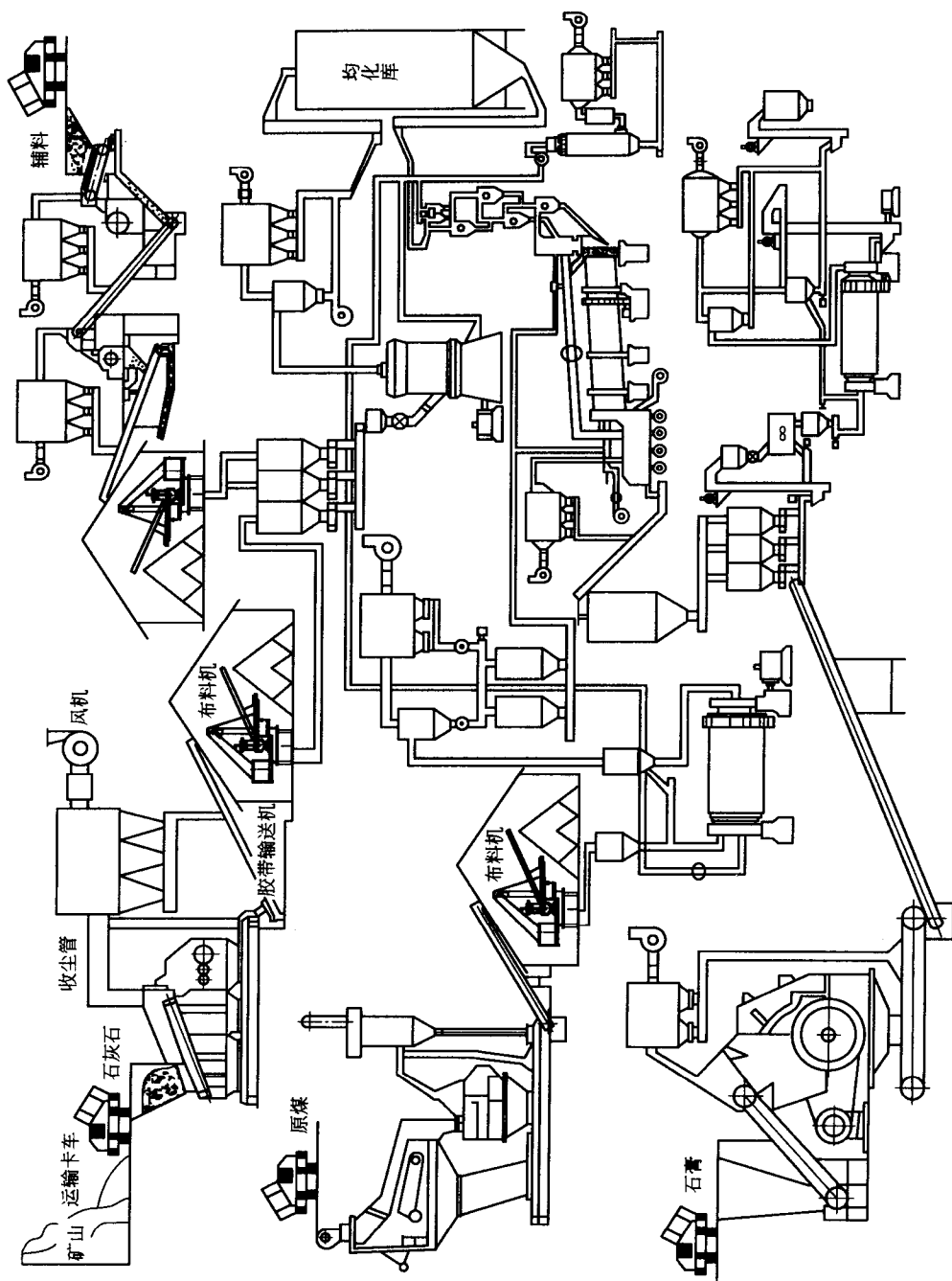


图 1-1 新型干法水泥工艺流程示意图

1.1.1.3 校正原料

在实际生产中，只用石灰质和黏土质原料远远不能满足生产水泥的要求。因为有的原料中不是氧化硅含量不足，就是氧化铁及氧化铝含量不足。为了保证正常生产，提高熟料质量、改善操作条件和弥补这些成分的不足，需在原料中添加铁质、硅质和铝质等校正原料。

铁质校正原料主要用来补充水泥生料中的氧化铁含量，凡是含氧化铁较高的矿石或工业废渣都可作为补充原料。

目前，新型干法水泥企业常用的是硫铁矿渣，是硫酸厂的废渣。铁矿石、冶铁厂的尾矿、铜矿渣、铅矿渣也都可以用来作为水泥熟料的校正料。

硅质校正原料有硅藻土、硅藻石、蛋白石、砂岩等，因砂岩含有结晶 SiO_2 ，对粉磨、煅烧不利，故一般不采用。

铝质校正原料有炉渣、煤矸石、铁矾土及铝矾土等。

1.1.1.4 煤粉

新型干法水泥生产一般是用煤作为燃料，也有用油、天然气的。中国大多新型干法水泥企业使用烟煤，近几年来，无烟煤在预分解系统的开发，成功应用于诸多新型干法水泥企业。

水泥熟料的烧成是一多组分、复杂的选矿过程，不管是分解炉燃烧还是回转窑内燃烧，煤既作为燃料使用，其中燃烧的灰分又参与物化反应成为熟料的一部分。因此煤的质量直接影响熟料煅烧的工艺控制和热工制度，其灰分、挥发分、热值及硫分有严格的规定。

1.1.1.5 缓凝剂

在水泥生产的过程中为了延缓水泥的凝结速度，增进水泥的强度及改善水泥的某些性能（如降低干缩性、提高耐蚀性和抗冻性），常在水泥熟料粉磨时添加缓凝剂。中国水泥生产过程中采用的缓凝剂是天然石膏，貌似石灰石，呈灰白或深灰色，质软。

1.1.1.6 混合材料

为改善水泥质量、提高产量、降低成本或改善水泥的某种性能，在水泥粉磨过程中加入一定量的混合材料。常用的混合材料有高炉矿渣、粉煤灰、火山灰等，可达到工业废渣的综合利用，减少环境污染的目的。

1.1.2 新型干法水泥生产概述

从 20 世纪 50 年代至今，新型干法水泥生产经历了五个阶段。特别是从 20 世纪 90 年代以后新型干法水泥生产在中国有了突飞猛进的发展，其生产规模在不断扩大，预计 2020 年将达到 90% 甚至更高（见图 1-1）。

新型干法水泥生产具有三大特点：一是以悬浮预热技术和预分解技术为核心；二是将数字控制技术应用原料的破碎和均化、生料的粉磨和均化、熟料的煅烧及水泥粉磨等生产的全过程；三是使水泥的生产成为高效、优质、节约资源、清洁生产和符合环保要求的现代化绿色企业。

1.2 水泥设备巡检工艺路线和主要设备

水泥生产根据工艺流程分为原料破碎、生料粉磨、熟料煅烧和水泥制成四个阶段。

1.2.1 水泥制造原料的破碎—输送—预均化

水泥生产的主要原料大多需先进行破碎，再通过皮带输送，经过预均化堆场的均化处

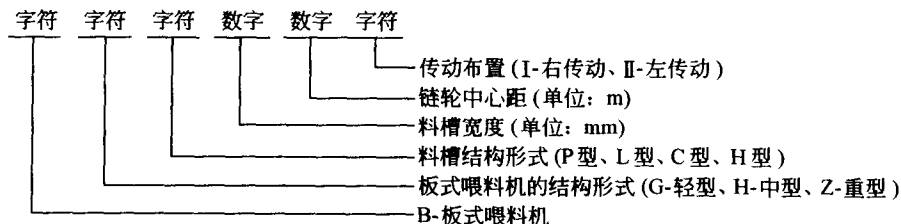
理，才能入磨粉磨。

1.2.1.1 原料的喂料设备

水泥生产过程中，喂料设备需要将破碎加工的石灰石、页岩、煤、石膏等原料连续不断地、均匀地送入破碎机的进料口。一般来讲，新型干法水泥生产企业大多以板式喂料机作为破碎机的喂料设备。

板式喂料机适合大喂料量的破碎设备，分为轻型、中型和重型三种结构形式，物料粒度在 200~300mm 范围内宜选择轻型；物料粒度在 350~450mm 范围内宜选择中型；物料粒度超过 450mm 宜选择重型。石灰石的破碎多使用重型板式喂料机。

板式喂料机的规格表示如下。



如：BGL1000-9-I，标示轻型板式喂料机，导料槽为“L”形，槽宽 1000mm，链轮中心距为 9m，传动布置形式为“右传动”。

1.2.1.2 原料的破碎

破碎作业是通过不同的破碎系统来完成的，破碎系统包括破碎的级数和每级中的流程两部分。破碎的级数取决于企业对该种原料的破碎比（来料的粒径和经过破碎设备破碎后的物料粒径的比值）与所选用破碎设备的破碎比。高破碎比的破碎设备只需一级即可，若达不到要求就需二级或三级破碎。水泥生产的破碎流程多采用系统最简单的直通式和筛分式流程。

现在大型水泥企业石灰石的破碎常采用单段锤式破碎机，通过一级破碎即可达到破碎粒度要求。而页岩的破碎多用二级破碎，采用的设备主要有颚式破碎机、圆锥式破碎机、锤式破碎机和反击式破碎机。黏土、煤的破碎由于水分较高、黏附性大可采用齿辊式破碎机。

1.2.1.3 破碎原料的输送

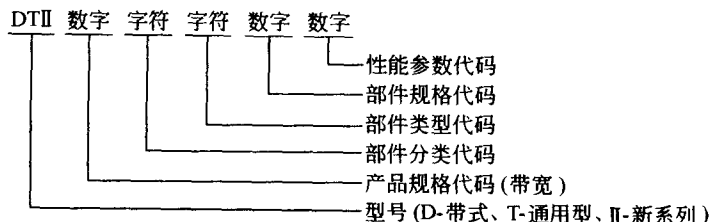
从原料的开采到水泥产品的出厂都离不开输送设备，在水泥企业主要输送设备有胶带输送机、提升机、空气输送斜槽、螺旋输送机等。

(1) 胶带输送机

胶带输送机结构简单、制造容易、维护方便，广泛应用于石灰石、黏土、铁粉、原煤、矿渣等块度在 300mm 以下的散粒状物料的输送。但平皮带倾斜输送物料时受最大倾角限制，在水平面不便改变输送方向，更不宜输送温度较高的物料。

胶带输送机种类较多，有 TD75 型、QB80 型、DX 型钢绳芯式、CH69 型高倾角花纹胶带式、DT II 型固定带式等。DT II 型带宽从 500mm 到 2400mm 有 11 种宽度，应用范围较广。

其规格标记如下。



如：标注托辊、带宽、 35° 槽角、辊径 108mm、轴承 205。标记为：DT II 03C0122。

在一些水泥企业，石灰石经破碎后有时不用汽车或火车运输，而是采用长距离胶带输送机运至预均化堆场，总的输送距离有的长达 8.4km，这样的输送长廊有时需要由几段胶带输送机连接而成，可爬山越河，蜿蜒起伏。

(2) 螺旋输送机

螺旋输送机常用来输送粉状、粒状物料，在原料破碎过程中主要作为袋式收尘器的排料装置使用。

1.2.1.4 破碎原料的预均化

为了稳定原料和燃料的化学成分，保证熟料和水泥的质量，新型干法水泥企业都设置有石灰石、原煤预均化堆场。

目前，新型干法水泥企业采用的预均化堆场有长形和圆形两种。长形预均化堆场设置两个长形料堆，一个堆料、一个取料。其布置可根据企业场地采用直线或平行布置方式。圆形预均化堆场只有一个圆形料堆，可同时堆料和取料。

长形预均化堆场常采用人字纵向堆料、端面取料。堆料机以一定的速度（一般为 $0.1 \sim 0.6\text{m/s}$ ）沿料堆的轴线直线移动，并将石灰石（石灰石堆场）或煤（煤堆场）一层一层地铺在料堆上，达到一定的厚度，即完成堆料。取料机在料堆的一端通过不断左右移动的料耙将料堆整个断面上的物料耙下，取料机的输送刮板再将不同时间下落的物料通过刮板刮走，每一个刮板刮走的物料，均基本包含在一段堆放的、成分波动大的各层物料，从而达到均化原料的目的。

圆形预均化堆场与长形基本相似，但堆料机在堆完一定层数后会向前移动一段距离，使形成的料堆面为一斜面，这时料堆就一点一点、连续不断地向前推进。

堆料设备有多种形式，新型干法水泥企业多采用侧式悬臂胶带堆料机。长形堆场采用具有升降臂的轨道式、悬臂式堆料机，其臂架可随料堆的高度俯仰升降，以降低物料的落差。若在堆料机胶带机的头部装有料位计，可自动控制落料的高度，从而保证合理的堆料，减少扬尘。圆形预均化堆场采用围绕中心旋转的悬臂胶带堆料机。

新型干法水泥企业石灰石预均化堆场常采用桥式刮板取料机，煤均化堆场采用桥式斗轮取料机。

1.2.1.5 破碎作业的收尘设备

由于物料的溅落会产生粉尘飞扬，为减少粉尘对环境的污染和对人的危害，在粉尘飞扬的位置应设置收尘设备。新型干法水泥原料破碎作业常采用收尘效率高、运行稳定、适应能力强、符合环保要求、应用广泛的袋式收尘器和电收尘器，有的也采用旋风收尘器。

1.2.2 生料的粉磨—收集—输送—生料粉的均化

水泥熟料的煅烧基本上是一种固相反应，而固相反应的速率与物料颗粒尺寸有直接关系，因此，石灰石和其他原料粉磨得越细则反应速率越快。

1.2.2.1 生料粉磨

新型干法水泥生产过程中，原料的粉磨作业常有以下形式：辊式磨粉磨系统、中卸磨粉磨系统和尾卸磨粉磨系统。

辊式磨是一种将原料的破碎、烘干、粉磨、选粉和输送合为一体的高效节能设备，与球磨相比具有入磨粒度大、粉磨效率高、能耗低等优点，广泛应用于生料粉磨系统。

辊式磨结构有所不同，但粉磨原理是一样的，均以料床粉磨生料，差异在于磨辊的几何

形状、磨辊的数量及加压方式等。

1.2.2.2 合格生料粉的收集

常用的辊式磨工艺系统，多采用一级和二级产品的收集和气流的排放。二级系统工艺复杂、设备多、占用较多的面积和空间，且第一级设备磨损严重、主风机叶轮寿命不到一年、维护量大，因而影响产量和工艺参数控制。使用高效气箱脉冲袋式收尘器可处理高达 $1000\text{g}/\text{m}^3$ 的含尘浓度，可改善二级系统的某些弊端，使系统的级数减少。

生料二级粉磨系统，第一级常采用离心式旋风静态收尘器和高效组合式选粉机，其作用主要是产品收集；第二级有的采用电收尘或袋收尘器，其目的是使气固分离，使排入大气的气体达到环保要求。

1.2.2.3 生料粉的输送

近几年，合格的生料粉由螺旋输送机、胶带输送机或空气输送斜槽送入生料均化库旁的斗式提升机，由提升机将生料粉提升到均化库顶，完成水泥生料的输送。

1.2.2.4 生料粉的均化

新型干法水泥生产过程中，生料的均化是非常重要的生产环节。生料均化分为气力均化和机械均化，气力均化效果好，机械均化较差。为了保证熟料的质量，大型水泥企业常采用气力均化。

气力均化有间歇式和连续式均化库两种形式。均化库的作用是消除生料粉具有的短周期成分波动的影响，使生料的质量达到入窑煅烧的要求。

连续式均化库是将生料进料、均化和出料连续不断地进行，既是生料均化设施又是一个生料粉储存库。该库工艺流程简单、占地面积少、操作方便、结构布置紧凑，并易于实现自动化控制。

连续式均化库类型很多，但原理基本一样，通常在库底设置充气装置，靠具有一定压力的空气对生料粉充气，使物料松动流态化并翻腾搅拌，达到混合均匀的目的。

1.2.3 水泥生料的烘干—预热分解—煅烧—冷却—熟料输送

预分解窑煅烧系统是在悬浮预热器和回转窑间加一个分解炉，与冷却装置一起组成熟料煅烧系统。

1.2.3.1 生料粉的预热烘干

生料库的生料由高效斗式提升机提升到一级预热旋风筒下料位置，进入悬浮预热器，预热器的主要作用是利用窑尾废气对生料粉进行预热烘干。中国使用的悬浮预热器根据结构不同，主要有旋风型悬浮预热器和立筒型悬浮预热器两种形式，目前五级旋风悬浮预热器以其优良的实用性能得到了广泛的应用。

旋风悬浮预热器主要由旋风筒及上下管道组成。换热管道是旋风预热器中的重要装备，它不仅承担上下两级旋风筒间的连接和气固流的输送工作，更重要的是还承担料粉的分散、均布、锁风和气固两相间的换热及相应的化学反应。在各级旋风筒内主要工作是完成气固的分离，换热仅占 $20\%\sim 30\%$ 左右。

1.2.3.2 生料粉的分解

生料粉的碳酸盐分解绝大部分是在分解炉内进行的，虽然分解炉的种类繁多，但特点和功能均属高温气固多相流反应器，具有悬浮床的特点。

料粉在炉内要完成气固分散、换热、燃料燃烧、碳酸盐分解、传质和输送等过程。气固

分散主要利用旋流效应、喷腾效应、流态化效应等达到迅速、充分、均匀分散的要求。因此对分解炉来说,物料的分散是前提、燃料的燃烧是关键、碳酸盐分解是目的。实践证明,喷旋或湍流旋叠加的分解炉效果很好。

(1) RSP 分解炉(强化悬浮式)

旋流-喷腾式分解炉的特点是气体带料,煤粉在分解炉内形成漩流及喷腾两种运动形态。典型结构形式如 RSP 型分解炉,料粉从分解炉上部入料口进入,煤粉从侧面喷管喷入,来自冷却机的热气流沿切线方向进入分解炉的上部形成旋流运动,供燃料燃烧和料粉分解,继而携带料粉向下,在混合室与喷腾向上的窑气流相遇形成喷腾层,气体则沿五级旋风筒出口进入级间换热管道,其分解率可达 85%~95%。

(2) D-D 型分解炉

D-D 型分解炉分为还原区(下部锥体),主要作用是将出窑废气中的 NO_x 分解;燃料分解燃烧区(中间下部);主燃烧区(中间上部)和后燃烧区(最上部)。料粉从分解炉的中部进入,窑废气经过设置的喉管(通过闸门可调节窑的燃烧气体量与来自冷却机的热空气量之间的比例)进入还原区并与侧面进入冷却机的高温气体相遇形成喷流层,继续上升到分解炉的分解燃烧区,由于颈口的截流作用,在主燃烧区内完全燃烧后,喷腾到后燃烧区的顶盖后翻转进入五级旋风筒,使夹带于气体中的料粉充分混合搅拌,分解率可达 90%~95%。

1.2.3.3 水泥熟料的煅烧

新型干法水泥生产的过程中承担煅烧工作的设备是回转窑,主要由燃烧器、回转筒体、窑头窑尾密封、支撑装置、挡轮装置、传动系统和润滑装置组成。由于入窑的物料分解已达到 85%~95%,一般情况下分解窑被划分为过渡、烧成和冷却三个工艺带。

过渡带温度为 900~950℃,料粉大量吸热,料粉上升温度较慢,有利于三铝酸五钙的形成;烧成带温度 900℃-1300℃-1450℃-1300℃,由于温度的升高,生成硅酸二钙和铝酸三钙,液相量增加;冷却带温度低于 1200℃,液相完全消失。

(1) 燃烧器

中国新型干法水泥回转窑使用的燃烧器多为三通道燃烧器,近几年也有使用性能更好的四通道燃烧器,其作用就是将燃料与空气混合,提高燃料燃烧的热效率,保证熟料烧成的质量。

三通道燃烧器利用直流、旋流组成的射流方式来强化煤粉燃烧过程。旋转射流在初期湍流强度大、混合强烈,动量和热量传递迅速。可以在中心造成内部回流,以便卷吸高温烟气。

煤、风采用高压输送,煤粉浓度高,流速较低,且风量较小,这样,着火所需的热量就比较少,所以有良好的着火性能。

直流射流早期湍流强度并不很大,但具有很强的穿透能力,使得煤粉气流着火后的末端湍流强度增加,大大强化了固定碳的燃烬。外风风压依然很高,风速一般也较高,风量并不大,故可以增强外风卷吸炽热燃烧烟气的能力。

内旋风、煤风和直流风(外风)的通道,通常采用同轴套管方式制作成不等径的通道,喷出后的混合过程是逐渐进行的。三通道燃烧器的特点是内旋风、直流风和煤风三者的总风量用得很少,故可大大减少煤粉气流着火所需的热能,还可充分利用熟料冷却机排出的热气流。

高湍流强度、高煤粉浓度和高温回流区的存在,是三通道燃煤器强化煤粉着火、燃烧和

燃尽的根本原因。

四通道燃烧器与三通道燃烧器的重要区别就是多加了中心风和拢烟罩。中心风一般只占一次风量的1%左右，它的作用为：一是抵消射流中心负压的回流，防止煤粉回流堵塞喷燃管头部的孔隙，以免使喷燃管头部烧坏；二是从中心提供一部分氧气，使煤粉更易燃烧。

(2) 回转筒体

新型干法水泥回转窑的回转筒体是根据结构设计和生产能力用一定厚度（厚度一般为40~50mm）的钢板卷制成不同规格（如： $\phi 6.0\text{m} \times 90\text{m}$ ）的圆筒，长度为40~90m，内镶砌100~200mm厚的耐火材料。目的就是使料粉在其内完成热交换和化学反应；同时在筒体回转和“上窜下移”过程中将物料混合和输送。

根据支撑点的数量，圆形筒体外面套装有不同挡数的轮带。轮带是由铸钢制成截面为矩形的一个坚固圆环，套装在筒体外圆上，整个回转窑的重力由轮带传递给托轮。筒体与水平呈3%~5%的斜度放置在托轮上。

(3) 托轮装置

每挡托轮装置由一对托轮、四个滑动轴承和一个支撑底座组成，为保证回转窑回转时轮带与托轮全接触，托轮宽度应稍大于轮带，两托轮的轴心线与回转筒体的轴心线成 60° 夹角。大型托轮多采用实心结构，托轮与托轮轴采用过盈配合，轴的两端支撑在滑动轴承上。

(4) 挡轮装置

回转窑在工作过程中，为保持筒体的直线性，促使轮带和托轮表面的均匀接触和磨损，延长使用寿命，一般要求在每8h上下窜动3~6次。目前，新型干法水泥生产过程中多采用液压挡轮。

液压挡轮的作用就是既能承受窑体的下滑力又能控制窑体的轴向窜动。锥形挡轮内装有向心球面滚柱轴承，可使挡轮有一个微小角度的摆动，以保持轮带侧面与挡轮侧面的良好接触。推力轴承的下方采用球面座结构，且与向心球面滚柱轴承的球心同心，起到调心作用。挡轮通过空心轴两侧的导瓦支撑在两根平行的导向轴上，导向轴由左右两个支座固定在机架上，使挡轮能沿导向轴移动。

(5) 传动装置

回转窑分为主传动和辅助传动，主传动大多采用减速器的机械传动，可根据窑规格大小采用单传动或双传动。

主传动电机使用时应满足：调速范围在1:3以上；启动力矩应是额定力矩的2.5倍；具有防尘和冷却通风装置。因此可采用可控硅整流、直流电机调速、绕线型转子异步电机、电阻调速或可控硅串级调速、电磁调速异步电机、整流子变速异步电机、鼠笼形异步电机等。

大齿轮安装在窑体的末挡托轮偏下靠近轮带的位置，采用切向弹簧板与窑体连接在一起。大齿轮齿数一般在90~150间选取偶数值；小齿轮一般在18~26之间选取奇数值。传动比一般在5~7左右，最高可达8~9。

(6) 密封装置

为了保持回转窑内的工艺平衡，防止物料外溢和冷风进入，在窑头、窑尾均设置有密封装置。

密封形式很多，近几年来，在窑头大多采用弹簧压紧石墨块密封，效果较好。其密封元件采用碳素石墨或利用电炉废电极制造成一定尺寸的扇形块，装在“Z”形楔铁内，下端与