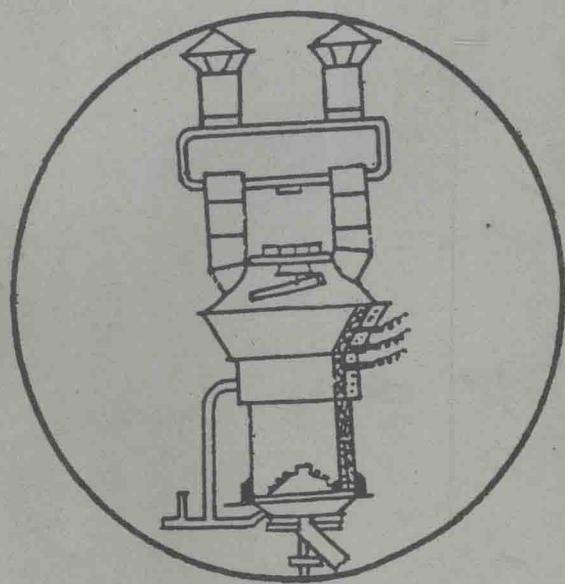


水泥技术工人培训试用教材

立窑水泥煅烧工艺技术

国家建材局江油水泥工业技工学校

李雄飞 主编



武汉工业大学出版社

水泥技术工人培训试用教材

立窑水泥煅烧工艺技术

国家建材局江油水泥工业技工学校

李雄飞 主编

武汉工业大学出版社

内 容 提 要

本书是水泥立窑煅烧短训班、中级技工、高级技工培训实用教材。系统而详尽地讲述了立窑系统的工艺结构,阐明了熟料形成的化学原理、立窑煅烧的工艺原理、正常煅烧的工艺技术条件等内容,着重讲解立窑着火操作技术,并讲述了立窑熟料质量分析和立窑热工标定,介绍立窑煅烧“四新”知识和立窑煅烧安全防火。本书可供立窑水泥企业工程技术人员参考,亦可供大、中专教学参考。

水泥技术工人培训试用教材
立窑水泥煅烧工艺技术
国家建材局江油水泥技工学校
李雄飞 主 编

武汉工业大学出版社出版(武昌珞狮路14号)
武汉工业大学出版社发行 各地新华书店经销
成都铁二局印刷厂印刷

开本:787×1092毫米 1/16 印张:22 3/8 字数:587千字 印数:1~5,000

1990年3月第1版 1990年3月第1次印刷

书号:ISBN7-5629-0336-0/TQ.0016 定价:8.50元

前 言

本教材是根据国家建材局制定的全国水泥技工培训《教学计划与大纲》的要求编写的，是水泥专业高级技工、中级技工培训实用教材之一。

立窑在我国遍地开花，占据我国水泥工业的主导地位。随着工业革新和技术改造的不断深入，八十年代建材系列新技术运用于立窑水泥生产，立窑水泥已进入从“量”的发展到“质”的提高的转变阶段，成为我国有特色的现代化水泥工业体系的重要组成部分。必须指出，我国立窑水泥在八十年代才得到迅速发展，以地方水泥企业为主，从总体上看，工艺装备不完善，生产技术水平低，存在着煅烧产量低、质量差、热耗高、操作不安全等十分严峻的问题。培养和造就一支强大的立窑生产技术工人队伍，尤其是有计划地培训立窑煅烧看火操作高、中级技术工人队伍，在立窑看火岗位担当车间主任的参谋、技术员的助手、操作工的师傅，成为解决看火操作疑难问题的能手，是立窑水泥企业最紧迫的任务，也是决定立窑生产能否进一步发展和提高的关键。

本书在全面分析研究我国立窑生产现状与未来、认真总结各地技工培训教学经验、综合参考各类水泥技工培训教材的基础上，把技工培训的教学要求同立窑煅烧岗位的实际需要相结合，把立窑煅烧工艺理论同我国立窑煅烧特点相结合，注重立窑煅烧操作经验与立窑煅烧“四新”知识，详尽而系统地阐述了立窑水泥煅烧工艺技术的有关内容。

本书包括立窑煅烧高级看火工和中级看火工培训的教学内容，根据教学大纲的规定各选相应的有关部分组织教学，*部分供选学。书中编入了立窑煅烧操作安全规程，立窑煅烧中级看火工培训教学大纲，立窑煅烧高级看火工培训教学大纲、自学辅导材料。

本书由国家建材局江油水泥技工学校李雄飞主编。编写分工：第十章熊辉（国家建材局江油水泥技工学校）；第九章第二节杨迅（四川省西昌市水泥厂）；第二章第四节朱占华、桑欣荣（四川开县国营水泥厂）；第六章第五节李纯（四川广汉金鱼水泥厂）；其余各章节均由李雄飞编写。

本书由武汉工业大学李应开教授主审，湖南省建材学校冯正良、北京建材学校齐广利、阜新市建材技工学校王伟、上海水泥厂技校杨智勇、武汉工业大学张华新、德阳市建材总公司杨荣、涪陵地区建材总公司陈青龙、广汉新华水泥厂江忠兴、福建省建材技工学校戴三法、南充地区高顶山煤矿水泥厂胥锦浩等同志参加审稿。国家建材局江油水泥技校田碧莲负责全书语言文字处理和编辑加工。定稿时，得到武汉工业大学曹文聪教授、冯培植付教授的指教，四川什邡清泉水泥厂刘世福、绵竹县水泥厂曾英明、涪陵酒店水泥厂何品福、江油市明镜水泥厂贺模宝提供了大量生产数据，谨此表示感谢。

本书是国家建材局江油水泥技工学校教材编审委员会编审的，编审过程中得到学校领导、校办公室、教务科、图教科的大力支持和帮助，水泥教材编审小组和水泥工艺教研组的老师们做了大量工作。

由于我们水平有限，时间短促，书中缺点错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

一九九〇年三月

目 录

第一章 概述	1
第一节 立窑车间生产工艺流程	1
一、生料供给	2
二、生料成球	4
三、熟料煅烧	4
四、熟料破碎与输送	5
五、空气供给与净化	6
第二节 立窑热工特性	5
一、立窑内燃料燃烧特点	6
二、立窑内传热特点	6
三、立窑内温度场	6
四、立窑的热力强度	6
五、立窑的热效率	6
第三节 立窑煅烧工艺改革	7
一、普通煅烧工艺	7
二、差热煅烧工艺	7
三、等温煅烧工艺	7
四、复合矿化剂加速煅烧	8
五、立窑闭门煅烧工艺	8
第四节 立窑煅烧技术经济分析	8
一、立窑的特点	8
二、我国立窑发展状况	9
三、我国立窑正面临战略性的挑战	9
四、立窑的工艺前景	10
练习思考题	11
第二章 立窑的结构	12
第一节 立窑系统的组成	12
一、立窑的种类	12
二、普通立窑的组成及其特点	12
三、机械立窑的组成及其特点	13
四、自动化立窑的组成及其特点	14
第二节 窑体的结构	14
一、窑体的内部形状	14
二、窑体的组成与技术要求	15
三、窑体的结构参数	17
四、立窑喇叭口设计计算方法	18
第三节 窑衬及其砌筑	19
一、隔热保温材料的填充	19

二、耐火砖的选配	20
三、耐火胶泥的制备	20
四、耐火砖的砌筑	21
第四节 立窑的卸料装置	22
一、普通立窑的卸料装置	22
二、机械立窑的卸料装置	22
第五节 立窑的附属装置	25
一、机械加料装置	25
二、排气装置	26
三、鼓风装置	27
四、传动装置	28
五、卸料密封装置	30
六、自动监测装置	30
练习思考题	31
第三章 熟料形成的化学原理	32
第一节 硅酸盐水泥熟料的组成	32
一、熟料的矿物组成	32
二、熟料的化学组成	35
三、熟料的率值	37
第二节 熟料的形成过程	39
一、立窑的煅烧工艺带的划分	39
二、熟料形成过程中发生的变化	40
第三节 碳酸盐分解动力学	42
一、碳酸盐分解过程	43
二、碳酸盐分解动力学方程的推导	43
三、碳酸钙分解动力学方程的应用	45
第四节 固相反应动力学	45
一、相的基本概念	45
二、固相反应的机理	46
三、动力学方程推导	49
四、影响固相反应的因素	50
五、硅酸盐熟料的固相反应程序	53
第五节 熟料烧成动力学	54
一、石灰吸收过程	54
二、烧成反应的特点	54
三、熟料液相	55
四、氧化钙溶解动力学	60
五、加速烧成反应的工艺措施	61
第六节 水泥熟料形成的热化学	62
一、熟料形成过程的热效应	62
二、熟料矿物的形成热	62

三、熟料形成的理论热耗	63
练习思考题	64
第四章 立窑煅烧的工艺原理	66
第一节 立窑内物料的运动	66
一、立窑内料球受力分析	66
二、窑内各带物料运动的形式及特点	67
三、物料运动的速度	68
四、影响物料运动的因素	69
第二节 立窑内气流的运动	69
一、立窑内气流运动的特点	69
二、窑内气流的阻力	70
三、窑内气流的分布	73
四、改善立窑通风的工艺措施	75
第三节 燃料在立窑内的燃烧	76
一、燃料在立窑内的燃烧过程	76
二、完全燃烧的工艺条件	78
三、燃料燃烧与熟料煅烧的关系	82
四、燃料燃烧计算	83
第四节 立窑内的传热	89
一、传热的基本知识	89
二、立窑内各带的传热	95
三、强化传热的工艺措施	95
练习思考题	97
第五章 正常煅烧的技术条件	99
第一节 生料质量与正常煅烧	99
一、原料品质对煅烧的影响	99
二、生料化学组成及其均化度对煅烧的影响	103
三、生料细度对煅烧的影响	106
第二节 生料球质量与正常煅烧	107
一、立窑煅烧对生料球的质量要求	107
二、生料成球的工艺过程	108
三、影响生料成球质量的因素	108
四、预加水成球工艺	110
五、成球操作控制要点	112
第三节 立窑结构与正常煅烧	113
一、立窑窑体结构与煅烧的关系	113
二、卸料装置与煅烧的关系	117
三、立窑通风性能与煅烧的关系	118
* 四、新型立窑初探	119
第四节 立窑用煤与正常煅烧	123
一、燃煤品质与煅烧的关系	123

二、煤粉细度与煨烧的关系	124
三、配煤与煨烧的关系	124
第五节 矿化剂加速煨烧	126
一、水泥矿化剂的种类	126
二、矿化剂的作用机理	126
三、复合矿化剂的作用机理	129
* 四、关于烧成温度的讨论	132
* 五、使用复合矿化剂的技术经济效果	135
练习思考题	135
第六章 看火基本操作	138
第一节 开窑点火	138
一、开窑前的准备工作	138
二、试车	138
三、烘窑	139
四、点火	141
第二节 看火操作基本方法	143
一、立窑煨烧操作方法	143
二、立窑看火方法	145
第三节 正常煨烧操作方法	149
一、加料操作	149
二、卸料操作	151
三、用风操作	154
四、综合操作	156
五、停窑操作	159
※第四节 立窑煨烧操作经验	159
一、料变我变操作方法	159
二、八字煨烧操作方法	163
三、底火状况判别法	164
※第五节 煨烧操作新方法	165
一、立窑的煨烧工艺特点	165
二、新操作方法的优点	166
练习思考题	168
第七章 立窑煨烧不正常窑况	170
第一节 中间火深	170
一、中间火深的症状	170
二、中间火深的成因	171
三、中间火深的危害	172
四、转化处理措施	172
第二节 偏火	174
一、偏火的症状	174
二、偏火的成因	175

三、偏火的危害	176
四、偏火的判断方法	176
五、偏火的转化处理	176
第三节 龅火	177
一、龅火的症状	177
二、龅火的成因	178
三、龅火的危害	178
四、龅火的预兆	179
五、龅火的转化处理	179
第四节 垮边、抽心、塌窑	180
一、垮边、抽心、塌窑的症状	180
二、垮边、抽心、塌窑的成因	181
三、垮边、抽心、塌窑的危害	182
四、垮边、抽心、塌窑的处理	182
五、处理垮边、抽心、塌窑后的操作	183
第五节 粘边、结圈、炼窑	183
一、粘边、结圈、炼窑的症状	183
二、粘边、结圈、炼窑的成因	184
三、粘边、结圈、炼窑的预防及处理	184
第六节 架窑	185
一、架窑的症状	185
二、架窑的原因	185
三、架窑的处理	186
第七节 立窑窑喷事故	187
一、窑喷及其分类	187
二、一般窑喷的成因	188
三、一般窑喷的预防	189
四、一氧化碳爆炸窑喷的研究	190
※五、典型窑喷事故实例分析	194
※六、机立窑窑喷爆炸机理的探讨	197
练习思考题	200
※第八章 立窑煅烧新工艺	202
第一节 机立窑闭门操作	202
一、机立窑闭门操作工艺	202
二、闭门操作自动控制	203
三、闭门操作与安全煅烧	204
第二节 立窑闭门操作技术措施	205
一、改革生产工艺与设备	205
二、加强质量管理	206
三、改进操作方法	206
四、仪器仪表的选用	207

五、综合技术经济效益	208
第三节 立窑煅烧自动化技术探讨	208
一、立窑机械化向自动化发展	208
二、实现立窑闭门操作的关键	208
三、立窑煅烧过程的微机自动控制	209
四、立窑应用微机实现闭门操作的社会经济效益	212
五、应用微机控制实行闭门操作应注意的问题	213
第四节 立窑等温煅烧技术	214
一、等温煅烧技术的研究过程	214
二、立窑等温煅烧技术原理	215
三、立窑等温煅烧技术经济效益	216
四、立窑煅烧等速卸料	217
第五节 黑生料立式分解炉煅烧	218
一、黑生料立式分解炉烧成工艺过程	218
二、黑生料立式分解炉的工艺热工特性	218
三、黑生料立式分解炉烧成系统特点	220
练习思考题	222
第九章 立窑熟料质量分析	223
第一节 立窑熟料质量要求	223
一、水泥熟料的化学成分	223
二、熟料的标号	223
三、熟料的煅烧程度	223
四、熟料的显微结构	223
五、熟料平均标号计算方法	224
第二节 熟料质量的外观分析	226
一、优良熟料	226
二、还原熟料	226
三、欠烧生烧料	227
四、粉化料	227
第三节 熟料质量的物理检验	229
一、简易物理检验	229
二、熟料的常规物理检验	229
三、熟料特性物理检验	231
四、高温法快速测定熟料强度	231
第四节 熟料质量的化学分析	232
一、熟料的化学分析项目	232
二、由熟料矿物组成或率值推算熟料的强度和标号	233
三、化学法直接测定熟料的强度	235
第五节 熟料质量的岩相分析	235
一、熟料的矿物组成	236
二、熟料显微结构的基本类型	238

三、熟料显微结构与质量之间的关系	239
四、煅烧工艺条件对熟料显微结构的影响	240
五、立窑水泥熟料显微结构的特征	241
六、立窑熟料外观、显微结构与强度的关系	243
练习思考题	244
第十章 立窑热工标定	246
第一节 概述	246
一、立窑热工标定的目的意义	246
二、立窑热工标定的实施要求与组织形式	246
第二节 热工标定的要求及项目	247
一、热平衡区域	247
二、热工标定的要求及项目	247
第三节 立窑热工标定测定	249
一、烟囱部分的测量	249
二、窑面部分的测量	256
三、窑内部分的测量	258
四、窑下部分的测量	261
五、单项目点的测量	262
六、物理及化验分析部分的测定	263
七、热工标定的使用仪器与药品	269
第四节 立窑热工标定计算	273
一、单项计算	273
二、全窑物料平衡	277
三、全窑热平衡	279
练习思考题	284
附录	287
一、立窑煅烧操作安全规程	287
二、立窑中级看火工培训教学大纲	299
三、立窑高级看火工培训教学大纲	305
四、《立窑煅烧工艺技术》学习指导	313
五、附表	339
主要参考资料	342

第一章 概述

第一节 立窑车间生产工艺流程

立窑车间生产工艺流程简单，整个工艺过程可分为生料供给、生料成球、熟料煅烧、熟料破碎和输送、空气供给和净化五个部分。立窑车间工艺流程如图 1-1。

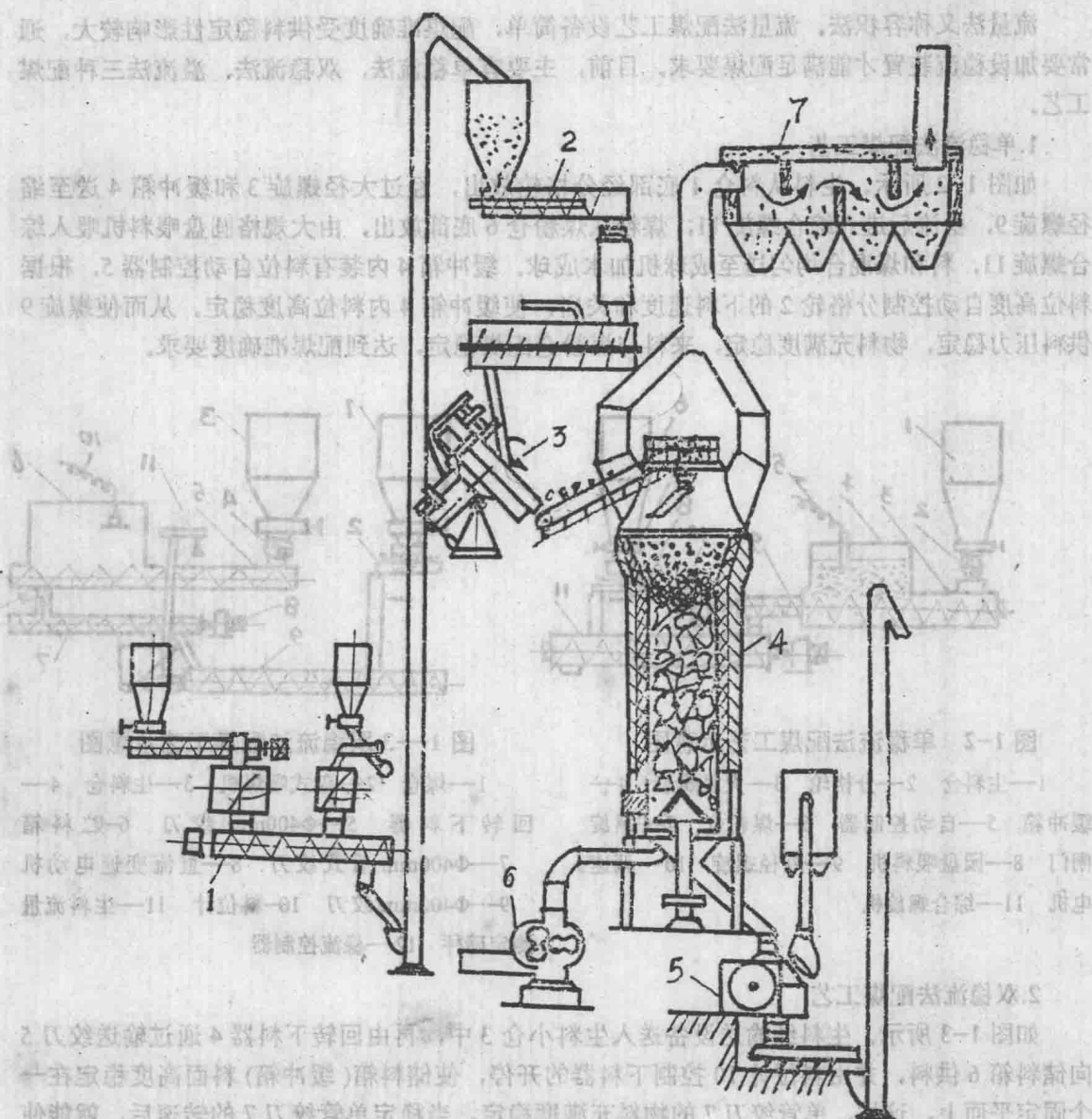


图 1-1 立窑车间生产工艺流程图

1. 生料供给 2. 生料稳流 3. 生料成球 4. 熟料煅烧 5. 熟料破碎与输送 6. 立窑鼓风 7. 废气除尘

化学成分和细度符合要求的生料，同燃煤均匀混合后提至立窑料粉仓，生料通过计量稳

流送至成球机加水成球，料球从窑顶部均匀加入窑内煅烧，熟料由窑下部卸出，经破碎后输送至熟料储存库。空气由风机鼓入窑内助燃，含尘废气经窑罩和管道进入收尘设备净化后从烟囱排入大气。

一、生料供给

立窑煅烧要求生料和煤按比例配合，混合均匀，成球后再加入窑内。根据立窑煅烧的要求，生料制备有全黑生料法、部分黑生料法和白生料法。生料车间供给白生料或部分黑生料时，立窑车间需设置配煤系统。立窑配煤有流量法和质量法两种配煤工艺。

(一) 流量法配煤

流量法又称容积法。流量法配煤工艺设备简单，配煤准确度受供料稳定性影响较大，通常要加设稳流装置才能满足配煤要求。目前，主要有单稳流法、双稳流法、溢流法三种配煤工艺。

1. 单稳流法配煤工艺

如图 1-2 所示。生料从料仓 1 底部经分格轮 2 放出，经过大径螺旋 3 和缓冲箱 4 送至缩径螺旋 9，稳流后进入综合螺旋 11；煤粉从煤粉仓 6 底部放出，由大规格圆盘喂料机 8 喂入综合螺旋 11，料和煤混合均匀送至成球机加水成球。缓冲箱 4 内装有料位自动控制器 5，根据料位高度自动控制分格轮 2 的下料速度和关闭，使缓冲箱 4 内料位高度稳定。从而使螺旋 9 供料压力稳定，物料充满度稳定，来料与煤粉仓配煤稳定，达到配煤准确度要求。

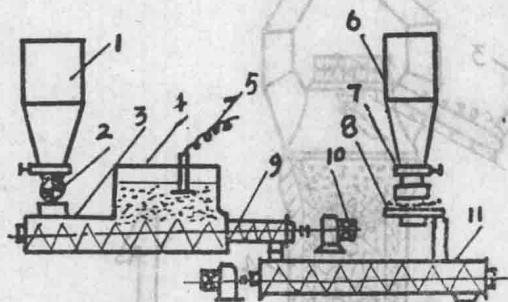


图 1-2 单稳流法配煤工艺示意图

1—生料仓 2—分格轮 3—大径螺旋 4—缓冲箱 5—自动控制器 6—煤粉仓 7—螺旋闸门 8—圆盘喂料机 9—缩径螺旋 10—调速电机 11—综合螺旋机

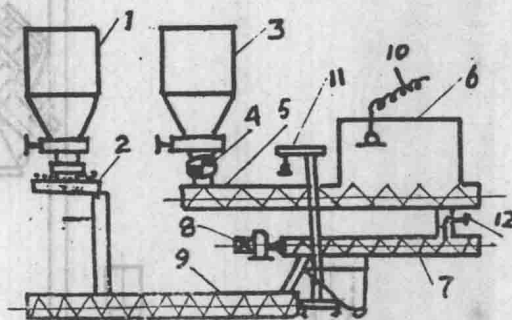


图 1-3 双稳流法配煤工艺示意图

1—煤仓 2—圆盘喂煤机 3—生料仓 4—回转下料器 5— $\Phi 400\text{mm}$ 绞刀 6—贮料箱 7— $\Phi 400\text{mm}$ 管式绞刀 8—直流变速电动机 9— $\Phi 400\text{mm}$ 绞刀 10—料位计 11—生料流量测定磅秤 12—稳流控制器

2. 双稳流法配煤工艺

如图 1-3 所示。生料经输送设备送入生料小仓 3 中，再由回转下料器 4 通过输送绞刀 5 向储料箱 6 送料，并由料位计 10 控制下料器的开停，使储料箱(缓冲箱)料面高度稳定在一个固定平面上，这样，单管绞刀 7 的物料充满度稳定，当稳定单管绞刀 7 的转速后，就能使生料流量接近一个定值，达到稳定供料的目的。当需要改变生料供料量时，可通过调速电机 8 来调整。为了准确计量，还设有流量抽查磅秤 11，抽查单管绞刀 7 的流量，并在单管绞刀 7 内装设稳流自动控制器 12，再次稳定单管绞刀的供料量，这样通过两次稳流，使生料流量准确、稳定。煤的计量经圆盘喂料机 2 计量配入综合螺旋 9，煤、料混合均匀后送至成球

盘。

(二)质量法配煤

质量法配煤工艺流程较复杂,设备精度高,煤料配比准确度高,有利于稳定立窑煅烧热工制度。立窑车间常见质量法配煤系统有以下几种。

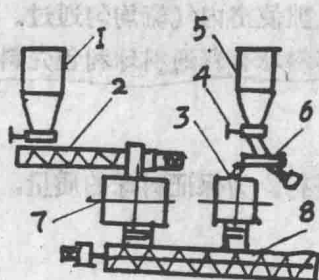


图 1-4 自动斗式计量秤

1—缓冲仓 2—管式喂料绞刀 3—煤计量秤 4—螺旋闸板 5—煤仓 6—喂料机 7—生料计量秤 8—搅拌机

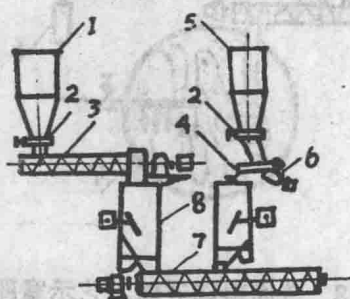


图 1-5 冲击式流量计配煤工艺

1—生料仓 2螺旋闸板 3—管式螺旋喂料机 4—煤冲击式流量计 5—煤仓 6—电磁振动喂料机 7—混合螺旋机 8—生料冲击式流量计

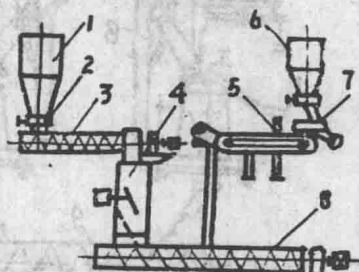


图 1-6 皮带电子秤—冲击式流量计

1—生料仓 2螺旋闸板 3—管式螺旋喂料机 4—生料冲击式流量计 5—皮带电子秤 6—煤仓 7—电磁振动喂料机 8—混合螺旋机

2.冲击式流量计配煤工艺

如图 1-5 所示,生料从缓冲仓 1 由螺旋闸板 2 放出,经管式螺旋喂料机 3 喂入冲击式流量计 8,再进入综合螺旋 7。煤粉从煤粉仓 5 由螺旋闸板 2 放出,经电磁振动喂料机 6 喂入煤冲击式流量计 4,再进入综合螺旋 7。冲击式流量计对生料和煤连续测量和显示,并由标准比例积算仪对流量进行累计。流量的输出电信号反馈到各自的喂料机控制器里,以调节管式螺旋喂料机和电磁振动喂料机的喂料量,从而实现自动定量给料,达到煤料配合准确。

3.皮带电子秤—冲击式流量计配煤工艺

如图 1-6 所示,该工艺是在冲击式流量计配煤工艺基础上改进而成,将煤冲击式流量计换成皮带电子秤。当煤含水较高时,冲击式流量计粘稠严重而误计流量,造成配煤不准。

(三)煤料配比抽查工艺

为确保煤料配比的准确与稳定，必须定期抽测配入煤、料量是否符合既定方案。有些厂采用人工取料抽测，但最好在配煤系统增设常测机械自控装置。如图 1-7 所示，按煅烧工艺要求定期自动抽测料、煤配量并及时调整。

二、生料成球

立窑煅烧要求生料成球后再加入窑内，料球之间的堆积孔隙使窑内气流均匀通过。料球的质量对立窑内通风、燃烧、传热和熟料形成影响较大。入窑料球有普通料球和包壳料球两种。

(一) 普通料球成球工艺

普通料球含煤含水表里一致，成球过程在普通成球盘内进行。为保证料球的质量，成球前需设置料水双稳系统。如图 1-8 所示。

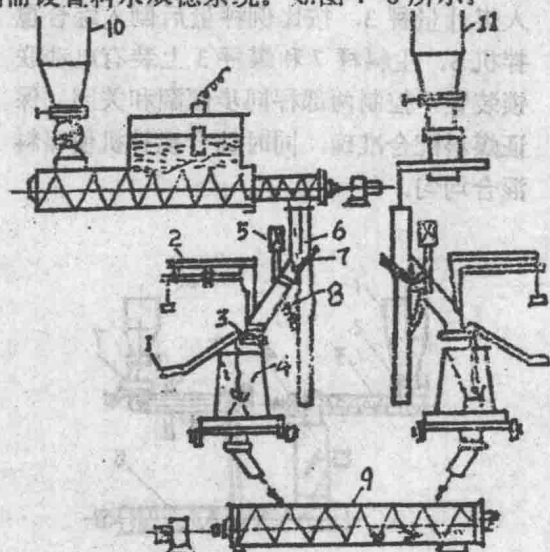


图 1-7 煤料配比抽查工艺示意图

- 1—手柄 2—磅秤 3—软连接 4—料斗
5—电磁铁 6—三通滴子 7—闸板 8—弹簧
9—混合螺旋机 10—生料小仓 11—配煤小仓

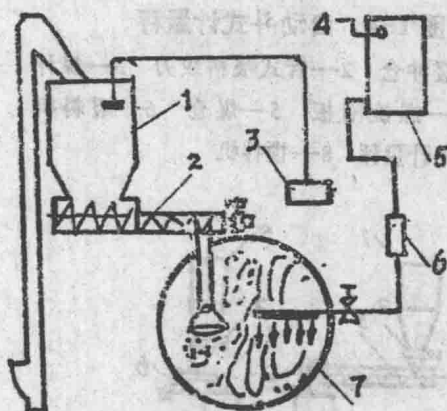


图 1-8 普通料球成球工艺示意图

- 1—缓冲料仓 2—喂料绞刀 3—料位计
4—浮标 5—水箱 6—流量计 7—成球盘

合格生料从缓冲料仓 1 经穿仓管式喂料绞刀 2 喂入成球盘 7。水从水箱 5 中放出经流量计 6 计量后流入成球盘 7 同料粉混合成球。生料缓冲仓 1 中装设料位指示器控制来料大小，使穿仓管式喂料机喂料稳定。水箱 5 中装设浮标水位控制器控制水位，流量计 6 控制水流量，使水流量稳定。料、水流量稳定，保证成球含水均匀、质量稳定。

为进一步提高料球质量，在成球盘前增设双轴搅拌机，使料球的结粒和长大分别在双轴搅拌机和成球盘内进行，称为预加水成球工艺。其工艺流程如图 1-9 所示。

(二) 包壳料球成球工艺

包壳料球是在普通生料球表面包裹一层白生料壳。包壳料球可先在普通成球盘内形成黑料球，在成球筒内包白料壳，亦有阶梯成球盘一次形成包壳料球。除料球形成过程有些区别，成球工艺流程与普通料球成球工艺流程相似。成球筒和阶梯成球机分别如图 1-10 (a)、(b) 所示。

三、熟料煅烧

合格料球从窑顶部加入窑内煅烧，机械化立窑是由回转下料器向窑料面均匀布料，料球

在窑内被干燥、预热、烧结并在烧结过程中发生一系列物理化学反应形成熟料。熟料由卸料装置破碎并从立窑下部卸出。工艺过程如图 1-11 所示。

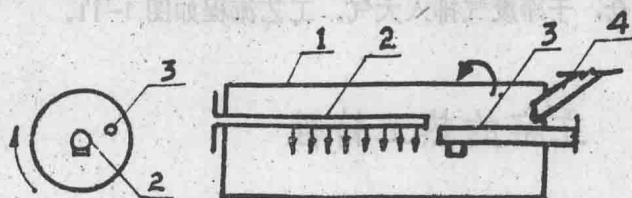


图 1-10(a) 成球筒示意图

1—成球筒 2,3—喷水管 4—喂料管

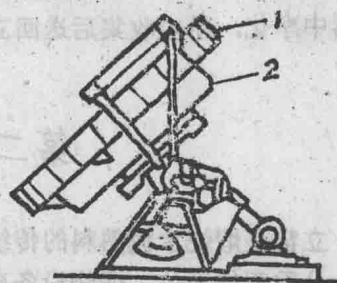


图 1-10(b) 阶梯式成球盘

1—外盘 2—内盘

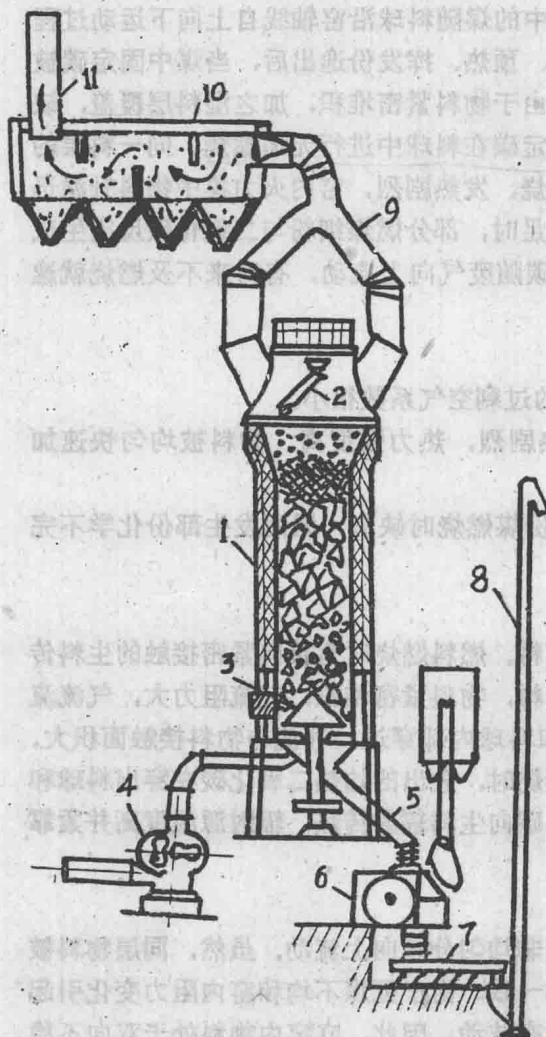


图 1-11 熟料煅烧工艺过程示意图

1—窑体 2—加料装置 3—卸料装置 4—鼓风装置 5—料封装置 6—破碎机 7—熟料输送机 8—提升机 9—烟道 10—沉降室 11—排风烟囱

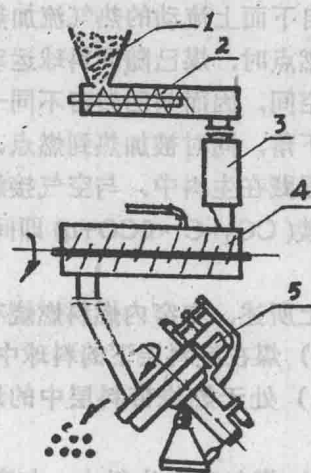


图 1-9 预加水成球工艺流程图

1—料仓 2—稳量螺旋喂料机 3—冲量流量计自控系统 4—预加水搅拌机 5—成球机

四、熟料破碎和输送

出窑熟料经熟料破碎机破碎，由熟料输送机送出，再由熟料提升机提至熟料储存库存放。熟料破碎机一般有颚式破碎机、锤式破碎机和反击式破碎机。熟料输送一般用链斗输送机、链板输送机、振动筒式输送机，也有用胶带输送机。熟料破碎机一般要设收尘系统收取扬尘。生产工艺流程如图 1-12 所示。

五、空气供给与净化

新鲜空气由高压定容回转鼓风机从立窑下部鼓入窑内，冷风穿过窑内熟料层冷却熟

料,同时空气被灼热熟料预热。热空气进入高温带为煤燃烧供氧,燃烧产物同物料中逸出的其它气体混合,穿过湿料层,同漏入的冷风一起通过窑罩和烟囱进入收尘器。含尘废气在收尘器中净化,粉尘收集后送回立窑生料仓,干净废气排入大气。工艺流程如图 1-11。

第二节 立窑的热工特性

立窑是煅烧水泥熟料的传统设备,其热工特点决定了它与其它煅烧设备长期共存,并占据十分重要的地位。煅烧设备高速发展的今天,立窑仍有很强的生命力,在水泥熟料煅烧中发挥重要作用。

一、立窑内燃料燃烧特点

生料和煤均匀混合后加水成球入窑煅烧,料球中的煤随料球沿窑轴线自上向下运动过程中,被自下而上流动的热气流加热升温,完成干燥、预热、挥发份逸出后,当煤中固定碳被加热到燃点时,煤已随同料球运动到湿料层以下,由于物料紧密堆积,加之湿料层覆盖,缺乏燃烧空间,因而与回转窑不同——立窑燃煤中固定碳在料球中进行无焰燃烧。同一料层的煤同步下落,同时被加热到燃点,同时被点燃和燃烧,发热剧烈,窑内火力集中物料升温迅猛。煤埋藏在生料中,与空气接触困难,当供风不足时,部分燃煤细粉与二氧化碳反应生成一氧化碳($\text{CO}_2 + \text{C} \rightarrow 2\text{CO} + \text{q}$)即间接燃烧,一氧化碳随废气向上流动,有时来不及燃烧就逸出料面。

综上所述,立窑内燃料燃烧有三个显著特点:

(一) 煤在湿料层下的料球中无焰燃烧,需要的过剩空气系数很小。

(二) 处于燃烧带料层中的煤均匀燃烧,发热剧烈,热力强度高,物料被均匀快速加热。

(三) 煤包裹在生料中,与空气接触困难,部份煤燃烧时缺氧,因而发生部份化学不完全燃烧,窑内产生还原气氛并造成热损失。

二、立窑内传热特点

煤均匀分布在料球中,料球相当于高灰分的燃料。燃料燃烧时直接向紧密接触的生料传导传热,短距离下传导,传热效率高;全窑充满物料,物料紧密堆积,气流阻力大,气流流动路线迂迴曲折,气流在高压下强行从料球之间和料球内部穿过,气流与物料接触面积大,接触时间长,热交换充分,对流传热效率高;煤燃烧时,放出的灼热二氧化碳在穿出料球和穿过料层时向生料辐射传热,固定碳燃烧后,灼热碳向生料辐射传热,辐射源温度高并紧靠受热体,辐射传热效率高。

三、立窑内温度场

立窑内物料按层依次下落,入窑风沿窑横截面非均匀分布向上流动。虽然,同层物料被同步加热和冷却,同一横截面上燃料燃烧速度基本一致,由于配煤不均和窑内阻力变化引起供风量变化,窑内物料的温度随窑高和截面径向时有波动,因此,立窑内物料处于双向不稳定温度场。但当操作稳定时,窑内物料温度对应窑的高度变化很小,可视为单向稳定温度场。

四、立窑的热力强度

立窑内物料填充率较高,燃烧带堆积的燃料多,燃料和助燃空气预热充分。燃料燃烧猛烈,燃烧带集中,窑热力强度高,熟料烧成快,单位容积产量高。

五、立窑的热效率