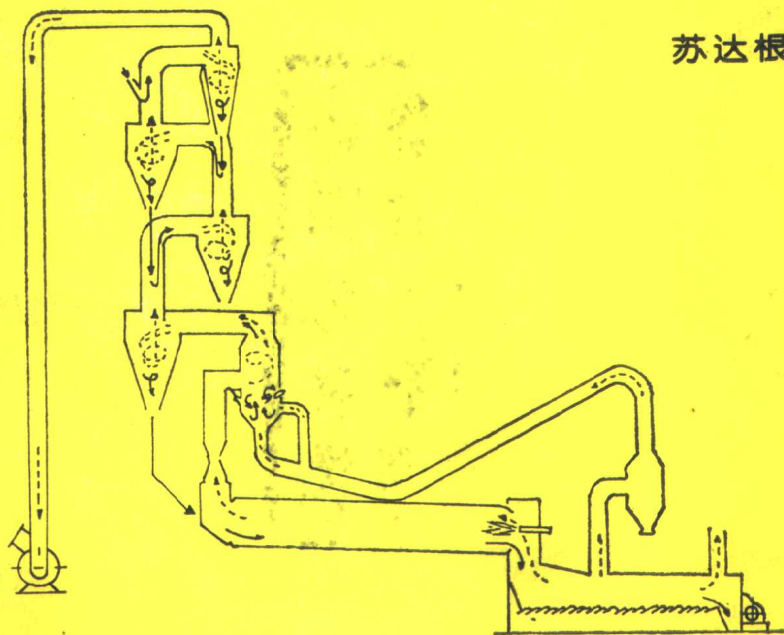


旋

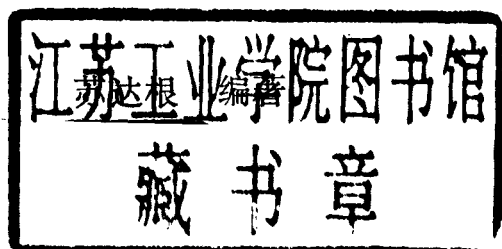
窑水泥生产 新技术及应用

苏达根



华南理工大学出版社

旋窑水泥生产 新技术及应用



华南理工大学出版社
• 广 州 •

图书在版编目 (CIP) 数据

旋窑水泥生产新技术及应用 / 苏达根编著. —

广州: 华南理工大学出版社, 1994. 9

ISBN 7-5623-0684-2

I. 旋…

I. 苏…

II. 水泥—技术—应用

IV. TQ

华南理工大学出版社出版发行

(广州五山·邮码510641)

封开县人民印刷厂印装 广东省新华书店经销

1994年9月第1版 1994年9月第1次印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 12 字数: 270千

印数: 1—2000册

定价: 12.00元

前 言

水泥是国民经济建设重要的建筑材料。水泥生产分为旋窑与立窑生产。旋窑生产包括湿法回转窑、干法中空长窑、带余热锅炉的干法短窑、立波尔窑、悬浮预热器窑(SP窑)与预分解窑(NSP窑)。SP窑与NSP窑又称为新型干法窑。尽管各种旋窑生产有不同,但至今我国仍按旋窑、立窑两类企业来考核,旋窑生产企业在水泥包装上还需标上“旋窑”二字。

国家建材局1992年10月15日颁发的《建材工业节能技术政策大纲》中指出,迅速发展日产水泥熟料1000、2000和4000吨的低能耗窑外分解新型干法生产线,要在沿江沿海地区建立一批技术先进的、能耗低的外向型水泥企业。对现有湿法窑进行三种方式的节能技术改造,第一种是将湿法窑改造成悬浮预热器干法窑;第二种是将湿法窑改造成压滤法和抽滤法湿磨干烧生产线;第三种是将湿法窑各种成熟的节能技术措施集中在一条窑上采用,进行综合节能改造,使熟料热耗有较大幅度降低。对于干法中空窑采用新型立筒窑、五级旋风预热器窑和余热发电窑进行改造。

为适应旋窑生产,特别是新型干法水泥生产的发展与湿法窑的改造,特编著了本书。本书既可作高等学校无机非金属材料、硅酸盐工程专业的教材,又可供有关工程技术人员培训、研讨之用。本书的特点是:

(1) 综合性。工程生产实际问题往往是综合性的问题，需要作多方面的综合研究分析。本书把工艺、热工、机械设备、耐火材料、环保、自动化及生产控制融为一体作详细的阐述，并结合化学、物理化学、流体力学、热工学等基本原理解加以分析研究。以拓展视野，拓宽知识面。

(2) 先进性与实用性。旋窑水泥生产，特别是新型干法水泥生产技术正在不断发展，本书把近年的新技术及应用加以取舍、加工，并结合编著者与其他合作者的研究成果整理而成。在取材上不是一一罗列，而是点面结合，理论与实际结合，重点地剖析一些典型的例子及问题，以开拓思路达到举一反三的效果和增强分析解决工程实际问题的能力。各章后的习题与思考题大多源自生产实际。

(3) 客观性。对有争论的技术问题不作回避，既客观地引用有代表性的观点，又通过分析来表达有关的意见。为便于读者对有关问题作进一步的探讨，各章所引用的文献均一一标明。

由于学识所限，不当之处在所难免。恳请有关专家和读者批评指正。

本书由何俊元教授主审。珠江水泥厂潘三女、麦活、刁宇江，英德水泥厂苏东奕，云浮水泥厂侯其福、陈铮、江肇深、徐伟华、苏侃，柳州水泥厂温日光，华南理工大学文璧璇、杨东生，广东国际信托投资公司欧阳东等对本书的编著提供了有关资料或宝贵意见。广东花都水泥厂对本书的编著、出版给予大力的支持帮助，在此一并致谢。

编著者

1994年3月

目 录

第一章 绪论	(1)
一、水泥工业与水泥工业窑发展概况	(1)
二、旋窑水泥生产特点及其新技术应用概况	(3)
习题与思考题	(10)
参考文献	(11)
第二章 原料与生料制备	(12)
第一节 原料	(12)
一、水泥原料质量的一般要求	(12)
二、原料挥发性组分的控制和调系元素微量组分的利用	(13)
三、原料的性能及研究	(17)
第二节 均化技术及生料质量控制	(23)
一、原料预均化与生料均化	(23)
二、生料质量指标及评价	(35)
第三节 配料	(37)
一、回转窑熟料形成特点	(37)
二、配料方案的选择	(39)
第四节 粉磨	(41)
一、烘干磨系统	(41)
二、粉磨系统新技术	(46)
习题与思考题	(49)
参考文献	(50)

第三章 燃料和燃烧	(53)
第一节 燃料	(53)
一、煤组分及其对生产的影响	(53)
二、气体液体燃料.....	(55)
第二节 燃料的制备	(55)
一、安全问题	(55)
二、煤粉制备	(57)
三、燃料的输送.....	(64)
第三节 煤的燃烧与燃烧器	(65)
一、煤的燃烧过程.....	(65)
二、燃料与空气量.....	(66)
三、三通道煤粉燃烧器的基本结构型式	(66)
四、三通道煤粉燃烧器的技术特点.....	(67)
五、PYRO-JET燃烧器.....	(72)
第四节 火焰的控制	(74)
一、火焰长度	(74)
二、火焰形状	(75)
三、火焰方向	(78)
四、火焰温度	(80)
第五节 预分解窑燃料的燃烧	(81)
一、分解炉与回转窑煤粉燃烧特点.....	(81)
二、煤粉质量对分解炉内燃烧的影响.....	(83)
三、分解炉温度与燃料燃烧	(86)
习题与思考题.....	(87)
参考文献.....	(87)
第四章 悬浮预热器与悬浮预热器窑	(89)
第一节 悬浮预热器的作用原理	(89)

第二节 旋风预热器	(92)
一、旋风预热器的性能特点	(92)
二、旋风预热器结构参数	(93)
三、低阻高效旋风筒的开发研制	(97)
四、分离效率及其匹配	(105)
五、影响预热器技术经济指标的主要因素	(107)
第三节 立筒预热器与复合型悬浮预热器	(110)
一、立筒预热器	(110)
二、复合型悬浮预热器	(112)
第四节 悬浮预热器窑	(112)
一、生产能力的确定	(112)
二、几种预热器窑的技术特点与生产情况	(115)
三、立筒预热器窑的改进发展	(120)
习题与思考题	(121)
参考文献	(121)
第五章 预分解窑	(124)
第一节 分解炉内物料碳酸盐分解	(124)
一、碳酸盐分解过程	(124)
二、碳酸盐分解速度的影响因素	(126)
第二节 分解炉内的传热	(132)
第三节 分解炉分类及其特性	(134)
一、旋流式分解炉	(135)
二、喷腾式分解炉	(137)
三、旋风-喷腾式分解炉	(140)
四、沸腾式分解炉	(144)
五、悬浮式分解炉	(146)
第四节 预分解窑的性能	(150)

一、预分解窑的产量计算公式	(150)
二、分析评价分解炉结构性能要点	(152)
三、分解炉的生产能力	(154)
四、几种类型预分解窑性能对比分析	(155)
第五节 预分解技术的新进展	(161)
一、PYRORAPID 型短窑	(161)
二、RSP的预燃及优化	(162)
三、二次燃烧工艺	(168)
四、循环喂料分解炉	(169)
五、两级分解炉系统	(175)
六、流态化床熟料煅烧法	(179)
习题与思考题	(181)
参考文献	(182)
第六章 湿法窑的技术改造	(184)
第一节 湿法水泥厂改造方案的选择及实例	(184)
一、湿法水泥厂改造方案的选择	(184)
二、湿法窑改造为干法预热窑实例	(187)
第二节 湿磨干烧水泥生产工艺	(192)
一、料浆过滤法	(192)
二、混合法	(197)
三、料浆法	(198)
第三节 湿法窑的节能技术	(202)
一、稀释剂降低料浆水分	(202)
二、复合矿化剂	(202)
三、降低废气热损失	(203)
四、湿法回转窑应用晶种技术	(204)
五、其它	(204)

习题与思考题	(205)
参考文献	(205)
第七章 耐火材料	(207)
第一节 窑系统耐火材料的发展	(207)
第二节 水泥窑用耐火材料的主要性能	(210)
一、耐火材料的主要性能	(210)
二、新一代水泥窑用耐火材料的性能特点	(211)
第三节 窑系统耐火材料的损坏	(217)
一、窑用耐火材料承受的应力	(217)
二、窑用耐火材料损坏分析	(219)
第四节 水泥回转窑耐火材料的使用	(222)
一、传统回转窑耐火材料的使用	(222)
二、新型干法水泥窑用耐火材料	(223)
三、不定型耐火材料喷涂工艺	(225)
习题与思考题	(226)
参考文献	(227)
第八章 熟料冷却机及其控制	(228)
第一节 熟料冷却机的结构性能及发展	(228)
一、熟料冷却机的分类与工艺技术特性概述	(228)
二、单筒冷却机	(229)
三、多筒冷却机	(230)
四、篦式冷却机	(232)
五、篦式冷却机的发展	(237)
第二节 熟料冷却机的控制	(243)
一、冷却机控制的关键性变量	(243)
二、篦底压力和空气流量控制	(244)
三、熟料粒度	(245)

四、冷却机中熟料与空气的分布	(246)
五、窑头负压的控制	(246)
六、二次风温度的控制	(247)
七、篦冷机堵塞实例分析	(249)
习题与思考题	(250)
参考文献	(251)
第九章 窑系统操作控制	(252)
第一节 废气成分	(252)
一、氧化氮	(253)
二、一氧化碳与氧气含量	(259)
三、生产实例分析	(260)
第二节 窑尾温度及排风控制	(261)
一、窑尾温度	(261)
二、窑尾排风控制	(263)
第三节 风、煤、料和窑速的配合	(265)
一、燃料用量的控制	(266)
二、喂料量控制	(268)
三、窑速	(271)
四、窑转动力矩	(274)
第四节 窑皮和结圈	(276)
一、窑皮的形成	(276)
二、挂窑皮与保护窑皮	(278)
三、窑结圈及其处理	(280)
第五节 回转窑的控制	(282)
一、回转窑的基本变量	(282)
二、一般控制方法	(283)
第六节 窑的紧急情况及其处理	(290)

一、窑胴体出现红斑点	(290)
二、烧成带温度过高	(290)
三、窑尾温突然急剧升高	(291)
四、欠烧生料进入冷却机	(292)
五、窑头突然高正压	(292)
第七节 结皮堵塞与旁路放风	(293)
一、结皮	(293)
二、堵塞	(299)
三、旁路放风	(303)
习题与思考题	(304)
参考文献	(304)
第十章 自动化控制	(307)
第一节 水泥工业的自动化	(307)
一、水泥工业自动化控制的发展	(307)
二、中心控制室	(308)
三、集散控制系统	(312)
第二节 生料质量控制系统	(316)
一、POLAB系统	(316)
二、QCRM生料质量控制系统	(317)
三、X射线荧光分析	(321)
第三节 磨机喂料控制	(323)
一、电耳控制 磨机喂料	(323)
二、用选粉机功率控制磨机喂料	(325)
三、提升机功率消耗控制磨机喂料	(327)
四、选粉机、提升机和声响信号控制磨机喂料	(328)
五、控制磨机的其它方法	(329)
第四节 窑系统自动控制	(330)

一、窑系统自动控制的发展·····	(330)
二、模糊逻辑控制·····	(331)
三、LINK man 系 统·····	(335)
四、窑自动控制系统实例分析·····	(339)
第五节 红外线温度扫描系统·····	(344)
一、工作原理·····	(344)
二、主要功能·····	(344)
习题与思考题·····	(345)
参考文献·····	(345)
第十一章 环保技术·····	(349)
第一节 降低水泥窑排放 NO_x 与 SO_2 技术·····	(354)
一、降低 NO_x 排放量技术·····	(354)
二、水泥窑废气中 SO_2 的防治·····	(357)
第二节 除尘·····	(359)
一、回转窑窑尾废气除尘·····	(359)
二、增湿塔·····	(366)
三、高效除尘器·····	(368)
第三节 噪声治理·····	(369)
习题与思考题·····	(370)
参考文献·····	(370)

第一章 绪 论

一、水泥工业与水泥窑的发展概况

加水拌和成塑性浆体，能胶结砂石等适当材料并能在空气和水中硬化的粉状水硬性胶凝材料称为水泥⁽¹⁾。水泥的名字在拉丁语和古法语中，本来指现在所谓的人工火山灰质材料，后又用来表示三组分混合而成的砂浆⁽²⁾。直到近代才确定了上述定义。

而水泥工业的发展是与窑系统的发展紧密相连的。英国人阿斯普丁于1824年获得第一个专利。初时以间歇式土窑烧制水泥熟料。至1877年用回转窑煅烧水泥熟料获专利权，继而出现了单筒冷却机及增设余热发电，单仓钢球磨等粉磨技术设备亦得以发展，有效地提高了产质量。由于在当时条件下，干法生产对多组分原料适应性差，工艺控制困难，推动着干法窑向对立面转化，1905年诞生湿法回转窑水泥生产。1910年立窑实现了机械化连续生产，从而在水泥煅烧领域形成干法窑、湿法窑、立窑三足鼎立发展。1928年立波尔窑出现了，生料球在运动着的篦板带上被高温废气穿透时加热、干燥及部分分解，显著降低了热耗及大幅度提高窑单位容积产量。

受流态化技术发展的启发，生料粉在换热单元中，在气固稀相悬浮状态下，多次进行有效的热交换，回收窑尾烟气的热量，此构思由德国人 F. Muller 发明，于1951年洪堡

公司率先在 $\phi 2.5\text{m} \times 40\text{m}$ 立波尔窑上改造为四级旋风筒串联而成的悬浮预热器窑。由于悬浮换热优于穿过传热，故产量提高，热耗降低。虽然本质上干法生产是必然取胜的，但由于原料的均化、预均化技术尚未过关，使悬浮预热器窑在当时还难以发挥优势，难以迅速推广，故50年代干法窑未能形成优势，而湿法窑得以迅速发展，并向大型化和内部装置与结构形式多样化发展。由于湿法生产热耗大，湿法回转窑的这种发展只是暂时的、过渡性的。60年代生产自动化控制、原材料的均化及预均化技术发展起来，湿法窑走向了被改造的道路，逐步被新型干法生产取代。1965年又出现了立筒预热器，即在立式圆筒内设置若干缩口，使料粉在变速气流中进行气固悬浮换热。立筒预热器热回收效果比不上旋风预热器，但具有结构简单、对原料适应性强等特点。以后，至近期又发展了立筒预热器与旋风预热器复合的复合型预热器。

由于生料煅烧成熟料其大量吸热为碳酸盐分解反应，悬浮预热器利用气固稀相系统悬浮换热的成功经验，诱发了把生料分解过程移至窑外以流态化方式完成的技术新构思。而仅利用窑尾烟气的热，碳酸盐分解所需热量还难以满足，故需另辟第二热源，故在预热器与回转窑之间加设了分解炉，使燃料燃烧放热与碳酸盐分解吸热在炉内同步进行。1971年日本首先于 $\phi 3.9\text{m} \times 51.37\text{m}$ 的立波尔窑上改建成预分解窑。这一新技术在世界各国得到迅速推广应用。我国窑外分解技术的研究工作起步不算晚，早在1970年就以“窑尾加把火”设立了研究课题。后由于十年动乱影响，研究工作中断，1973年又重新开始此课题研究，第一台以油为燃料的 $\phi 2.4\text{m} \times 10\text{m}$ 窑外分解窑于1976年在四平石岭水泥厂建成投产，1977年10月通过部级鉴定^[8]。以后建成了本溪、邳县、

新疆、江西等预分解窑生产线，并先后引进了冀东、宁国、柳州、珠江、云浮等预分解窑生产线。对湿法窑也进行了技术改造，如广州、金山、白马山等。

现在，水泥旋窑系统已不是狭义的回转窑，而是包括预热器、分解炉、回转窑胴体及冷却机的整个煅烧系统。

二、旋窑水泥生产特点及新技术应用概况

水泥熟料的煅烧设备可分为旋窑与立窑两大类。立窑是填充床式的反应器，设备简单、钢材耗用量少、单位容积产量高、热耗不高、投资省、建设周期短，但其单机产量低、劳动生产率低、通风动力消耗亦高。故在工业发达国家，立窑生产已难适应需要，濒于被淘汰，如美国、日本等已完全废弃这种窑型。但是，我国幅员广大，运输能力有限，且对建材质量要求有多层次，且资金短缺，故在相当长的时间内，立窑仍存在和发展。对于那些经济实力尚不雄厚的发展中国家，立窑同样有一定的应用价值。

回转窑一般具有劳动生产率高、熟料质量好、操作较稳定等主要优点，新型干法窑的热耗低，但回转窑一般投资较大、建设周期较长。对回转窑水泥生产特点，主要从湿法回转窑与新型干法窑两种典型生产方法予以对比。

（一）湿法回转窑水泥生产

湿法生产顾名思义是将原料加水粉磨成生料浆后喂入湿法回转窑煅烧成熟料。湿法回转窑可分为湿法长窑与湿法短窑，有的还再分为湿法中等长度回转窑。湿法长窑内通常装有链条、格子式热交换器等热交换装置；湿法短窑窑尾通常装有料浆蒸发器、料浆过滤机或料浆喷雾装置等。不过，湿法回转窑的外装热交换器如料浆蒸发机等目前已很少使用。

我国几台有代表性的湿法回转窑的主要技术指标见表

1-1^[4]。

表 1-1 湿法窑的主要技术指标

窑规格 (m)	产量 (t/h)	热耗 (kJ/kg熟料)	窑截面热力强度 (kJ/m ² ·h)
φ2.5×78	7.5	6280	12.40×10 ⁶
φ3.0/2.5×90	10	6280	10.98×10 ⁶
φ3.5×145	25	6070	18.94×10 ⁶
φ5.0/5.5×180	68.8	6070	24.88×10 ⁶

从湿法回转窑内物料的反应历程来看，沿窑长可分为 6 个带，各带的相对长度、物料温度及相对运动速度见表 1-2。

表 1-2

	干燥带	预热带	分解带	放热及 反应带	烧成带	冷却带
各带约占窑 长比例(%)	~30	~15	~25	~10	~15	~5
各带物料温 度范围(℃)	~110	130 ~650	650 ~950	950~ 1350	1350~ 1450~1350	1350 ~1100
相对运动速 度比值	1.5	1.0	1.1→1.25 →5.6	2.0	1.0	1.1

物料运动速度以放射性物质（同位素Na²⁴和Mn⁵⁶）喂入窑内测定的结果表明^[6]：物料在烧成带内通过速度最慢，以其为1.0，而分解带内随着碳酸钙大量分解、生料颗粒表面被CO气体包裹而呈流态化，速度由1.1增至1.25，再增至5.6，达最快速度。