

000000

国外 水泥机械 进展

《国外水泥机械进展》编写组

06
中国建筑工业出版社

国外水泥机械进展

《国外水泥机械进展》编写组

中国建筑工业出版社

全书内容包括回转窑机械结构、悬浮预热器窑、窑外分解技术、熟料冷却机、粉磨设备、收尘设备、水泥原料预均化及其设备和包装运机械等八章。

本书采用大量插图和照片(共541幅)系统介绍了国外水泥机械的现状和发展,对各类设备做了综合分析、对比,对新的机械结构介绍更为细致,也适当介绍了有关设备工艺方面的内容。

本书供水泥工业的科研、设计和生产厂矿有关技术人员、工人、干部阅读参考,也可供高等、中等工科院校有关专业师生参考。

* * *

责任编辑 侯廷久

国外水泥机械进展

《国外水泥机械进展》编写组

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 22 $\frac{1}{4}$ 字数: 551 千字

1982年3月第一版 1982年3月第一次印刷

印数: 1—2,500册 定价: 3.55元

统一书号: 15040·4141

前 言

任何工业部门，其发展水平在很大程度上取决于机械设备完善与否。在水泥工业中，工艺过程无疑是重要的，但任何一条工艺线都要由相应的机械设备来实现。因此，和其它工业部门一样，在水泥行业，人们在研究新工艺的同时，总是致力于新型设备的研制工作。近十多年来，国外水泥机械向以高效、低耗、大型化为方向的发展过程中，在设计、制造、安装、操作和维护等方面都有许多改进，取得了不少成功的经验。本书旨在比较系统地、尽量详细地介绍国外水泥机械的发展情况，以供水泥行业研制新机械和革新旧设备时参考。

1971年以来各项科研设计项目的开展，尤其是大型设备的设计，要求提供必要的情报资料。客观需要促进了情报工作的开展。历年来，我们通过多种方式从国外杂志、专利文献、有关著作以及国外参考资料中，搜集、翻译和积累了大量国外水泥机械技术情报资料。本书是根据上述资料，按照水泥机械的设备类别，整理归纳编纂而成。编写中，除一般性叙述外，力求突出机械结构部分，同时还适当包括设备工艺方面的内容。书中引用的计算公式和技术数据与外刊报道常有不尽相同之处，编写中择其要者做了必要的推导和复核。此外，对各类设备做了综合性分析和说明。

把参考的全部资料都开列出来没有必要，每章之后只列了部分参考文献。本书引用的资料一般截止于1977年，78、79年资料略有收入。

全书包括回转窑机械结构、悬浮预热器窑、窑外分解技术、熟料冷却机、粉磨设备、收尘设备、水泥原料预均化及其设备和包装装运机械等八部分。限于资料关系，破碎机械部分没有编入。

由于水平有限，时间仓促，加之搜集的资料有限，遗漏、不妥、错误之处在所难免，请读者批评指正。

唐山水泥机械设计研究所
〈国外水泥机械进展〉编写组

1980年9月

目 录

前 言

第一章 回转窑机械结构	1
第一节 回转窑概述	1
一、水泥窑发展简史	1
二、水泥生产方法的演变	3
三、水泥回转窑的大型化	5
四、水泥回转窑的功能分解	7
五、窑内物料填充率、斜度、转数及功率计算	7
第二节 回转窑机械结构	11
一、筒体	11
二、轮带	21
三、筒体的试验研究	26
四、筒体应力和变形计算	29
五、托轮支承装置	35
六、液压挡轮	40
七、传动装置	41
八、窑口结构及窑端密封	43
九、大型窑衬里	51
第二章 悬浮预热器窑	57
第一节 悬浮预热器窑的发展	57
第二节 悬浮预热器基本原理与类型	60
一、同流热交换型悬浮预热器	62
二、逆流热交换型悬浮预热器	67
三、混流热交换型悬浮预热器	69
第三节 悬浮预热器的一些结构资料	70
第四节 悬浮预热器的结皮及其防止技术	72
一、碱、硫和氯的内部循环和富集	72
二、结皮和堵塞的原因	72
三、防止结皮的方法和装置	73
第三章 窑外分解技术	76
第一节 概述	76
第二节 日本的窑外分解技术	77
一、SF型	77
二、RSP型	88
三、MFC型	95

四、KSV型	101
五、D-D型	106
第三节 丹麦史密斯型窑外分解技术	108
一、带分解炉的窑外分解	108
二、不带分解炉的窑外分解	113
第四节 西德窑外分解技术	114
一、普列波尔型	114
二、皮罗克隆型	117
第五节 其它窑外分解技术	117
一、GG法	117
二、槽型窑	118
三、捷克的分解炉	118
四、法国FCB型窑外分解法	119
第四章 熟料冷却机	120
第一节 熟料冷却机的发展和类型	120
第二节 多筒冷却机	123
一、新旧多筒冷却机的比较及发展	123
二、带多筒冷却机的窑体结构	125
三、多筒冷却机的内部装置	126
四、多筒冷却机的主要部件	128
五、多筒冷却机的水冷却系统	132
第三节 富勒型篦式冷却机	133
一、概述	133
二、富勒型篦式冷却机结构和篦床的斜度	134
三、大型富勒型篦式冷却机的结构特点	139
第四节 福拉克斯型篦式冷却机	144
第五节 台阶型篦式冷却机	148
第六节 莱柯波尔型篦式冷却机	149
第七节 振动篦式冷却机	153
第八节 单筒冷却机	154
第九节 立筒式冷却机	156
第十节 “g”型冷却机	157
第十一节 几种主要冷却机的比较	159
一、地域影响	159
二、主要投资费用	160
三、操作费用	161
四、结构和工艺问题	162
第五章 粉磨设备	166
第一节 生料粉磨	166
一、原料粉磨的目的	166
二、生料磨系统	166

三、生料磨大型化	167
四、干法生料粉磨系统	169
五、湿法生料粉磨设备	187
第二节 水泥粉磨	193
一、水泥粉磨的意义	193
二、水泥磨大型化	194
三、几个国家的水泥磨发展概况	197
四、开流粉磨	199
五、圈流循环粉磨	201
六、水泥的冷却	202
第三节 辊式磨	208
一、莱歇磨	210
二、MPS辊式磨	214
三、伯力鸠斯辊式磨	216
四、雷蒙磨	217
五、环球磨(皮特斯磨)	218
六、用MPS磨粉磨水泥	219
第四节 新型磨	220
一、爆炸磨	220
二、行星球磨机	222
三、喷射磨	224
第五节 选粉机	224
一、空气选粉机概说及发展	224
二、空气选粉机的种类和规格	225
三、新型选粉机	232
第六节 管磨机的机械结构	236
一、管磨机的磨体	237
二、磨体内部装置	248
三、主轴承及其润滑	260
四、进出料装置	265
五、管磨机的传动装置	266
第六章 收尘设备	284
第一节 概述	284
一、一些国家关于防止粉尘污染的规定	284
二、水泥工厂废气	285
三、常用的收尘装置	287
第二节 袋收尘器	287
一、概述	287
二、玻璃纤维袋收尘器	288
三、新型袋收尘器	288
第三节 电收尘器	290
一、宽极距电收尘器	290

二、EP-ES、PAC-ES型电收尘器	292
三、那夫柯(Nafco)型电收尘器	294
四、干湿法混合型电收尘器	295
五、电收尘器的选型	296
六、降低粉尘比电阻值的措施	297
第四节 颗粒层收尘器	299
一、概述	299
二、介绍几种国外颗粒层收尘器	301
第七章 水泥原料预均化及其设备	307
第一节 预均化堆场的布置及种类	307
一、原料预均化的意义	307
二、原料堆场概述	307
三、堆场的布置方式	310
四、堆料方式	310
五、取料方式	312
第二节 预均化堆场设备	312
一、堆料机	312
二、取料机	322
第三节 国外水泥厂预均化堆场的一些情况	342
一、国外水泥厂预均化堆场的一些实例	342
二、国外为提高预均化堆场的均化效果所采取的一些方法	342
第八章 包装装运机械	345
第一节 包装机	345
一、固定式包装机	345
二、回转式包装机	346
三、包装机套袋自动化	347
第二节 掣包机与装车机	351
一、掣包机	352
二、掣包装车机	352

第一章 回转窑机械结构

第一节 回转窑概述

一、水泥窑发展简史

水泥的生产，自1824年出现以后，迄今已有150多年的历史了。作为熟料的煅烧设备，当时只是简单的间歇操作的土立窑^[1]，如图1-1所示。限于当时的技术水平，使这种简陋的生产方法持续了约半个世纪之久。十九世纪末叶回转窑的出现，给水泥工业带来了革命性的变化。兰萨姆(F.Ransome)于1885年在英国首先取得了专利并将第一台回转窑投入了生产，图1-2为兰萨姆水泥回转窑的专利图。当初使用的燃料为天然气，接着改为烧油，最后才开始烧煤。

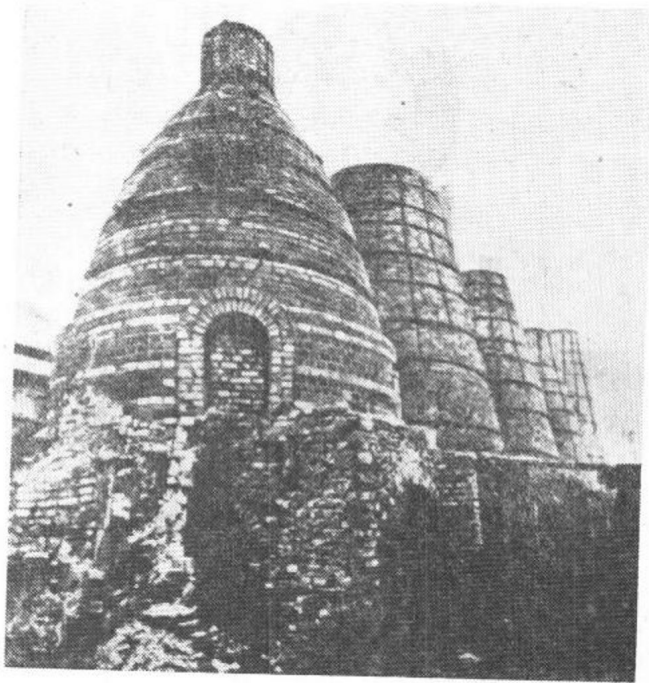


图 1-1 原始的阿斯丁土立窑

第一批回转窑的尺寸约为 $\phi 1.6\sim 1.9\times 19.5\sim 24.0$ 米，日产量约为30~50吨/日^[2]。从断面中可看到为促进热交换用耐火砖砌筑了扬料装置。这一技术一直沿用了好几十年。另一份资料^[3]介绍说，最初的兰萨姆窑直径仅为0.46米，长4.57米，后来在1900年前后窑的规格已发展到直径1.83米、长18.29米。图1-3所示的回转窑规格为 $\phi 1.5\times 18$ 米，系1899年史密斯公司向英国一家水泥厂提供的。

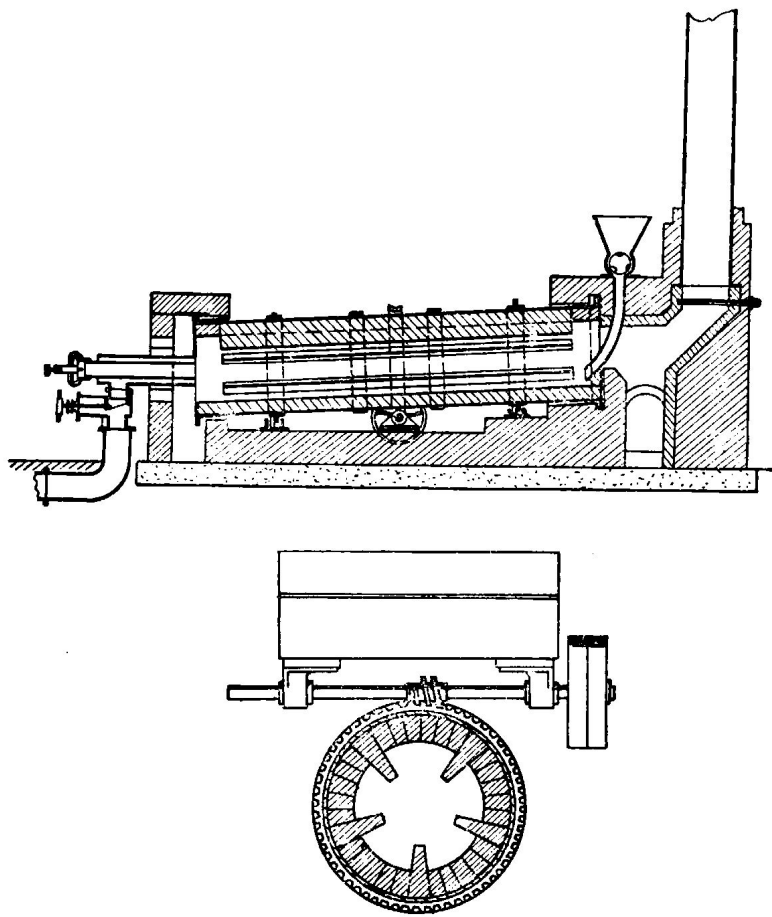


图 1-2 兰萨姆水泥窑专利图

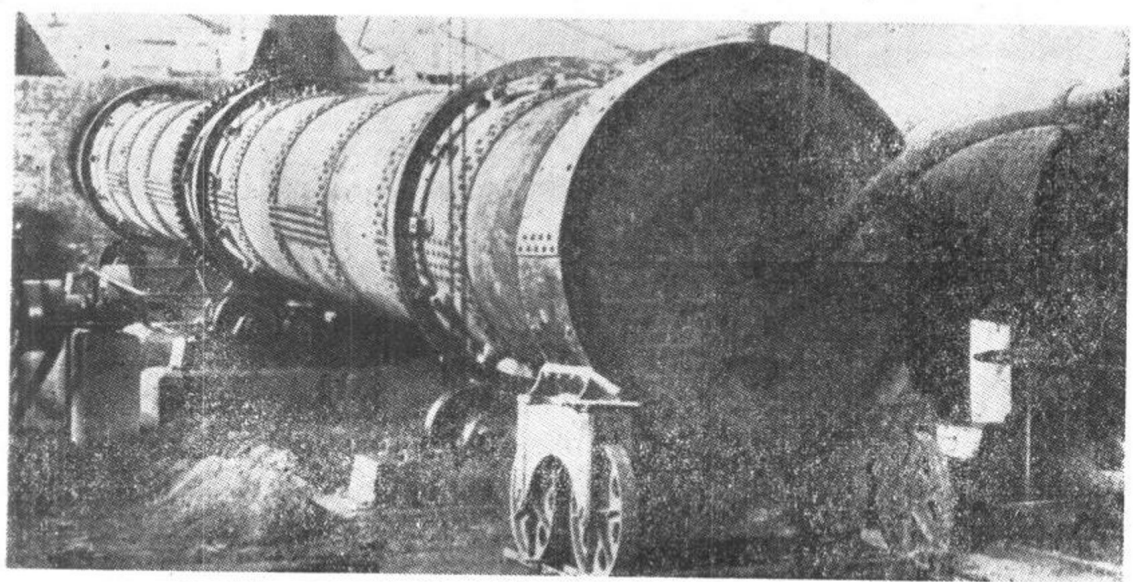


图 1-3 1899年制造的 $\phi 1.5 \times 18$ 米回转窑

回转窑初期的规格与今天超限运输的大型窑相比，小得简直无法比拟。可是，就是这样的小窑却是今天用于水泥、冶金等工业部门中各种回转窑的始祖。随着生产的发展和技术的进步，水泥生产方法经历了各种演变。但无论是哪一种生产方法，到目前为止，都仍然离不开回转窑这个基本设备。

二、水泥生产方法的演变

如上所述，早期生产波特兰水泥是采用象烧石灰那样的立窑。入窑的生料是经过略为粗碎并与燃料煤的混合物，这种方法只能用以煨烧在化学成分上近于符合生料要求的那种石灰石。为了能使用其他原料，就需要用两种或两种以上的原料制备出一种混合生料，然后成球喂入窑内。

初期的回转窑喂入的生料象立窑那样也是料球。但后来发现，将很稠的料浆喂入窑内也可以生产出熟料，料浆在窑的后部受到烘干并成球，然后继续向前在低端烧成熟料。

湿法窑的出现，曾是水泥生产技术上的大进步，与初期的干法窑相比，在工艺上有许多优点。

为了解决回转窑烧成能力和预烧能力的矛盾，以及为了提高质量和增加产量，回转窑的窑型及其结构也都出现了新的发展。

为了延长物料在窑内的停留时间，以便获得较高的热传递，出现了窑头（烧成带）扩大（1893年）、窑尾扩大或两端扩大的哑铃型窑型（如图1-4所示），以及在窑尾装设各种热交换装置，如格子式热交换器，悬挂链条（见图1-5）等。有的在格子式热交换器内还装有载热体。但是窑体扩大后，却破坏了物料在窑内运动的均衡性，有碍于窑的操作。在由大直径到小直径的过渡段，容易积料和扬尘。此外还有火砖易坏、筒体制造较繁等缺点。过渡段节还需导型耐火砖，其砌筑也较一般段节麻烦而费时。

实践经验和理论探讨表明，没有扩大带的回转窑是当今最有效的旋窑结构。现代的预热器窑一般都是直筒窑，苏联在总结变直径回转窑反面经验的基础上，已开始专门制造直筒窑了。

1930年，德国伯力鸠斯公司研制了立波窑，用半干法生产水泥。物料先在成球器内成球，然后进到回转的炉篦子上进行预热烘干和部分分解再入窑内继续煨烧。

1950年，西德洪堡公司成功地研制了悬浮预热器窑，称洪堡窑。随后又相继出现多波尔型、史密斯型、克虏伯型、米亚格型等各种悬浮预热器窑。在六十年代，悬浮预热器窑发展很快，各国普遍采用，而且日趋大型化。

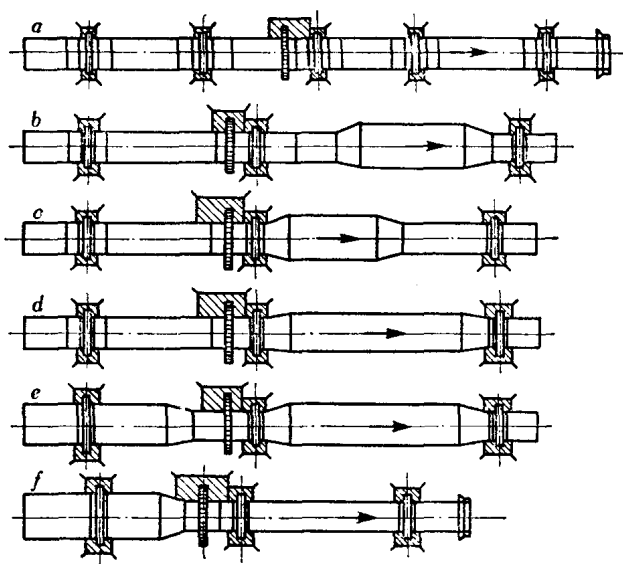


图 1-4 回转窑的局部扩大

a—直筒窑；b—烧成带扩大；c—分解带扩大；d—分解带、烧成带扩大；e—干燥带、分解带、烧成带扩大（湿法窑）；f—干燥带或预热带扩大（干法窑或湿法窑）

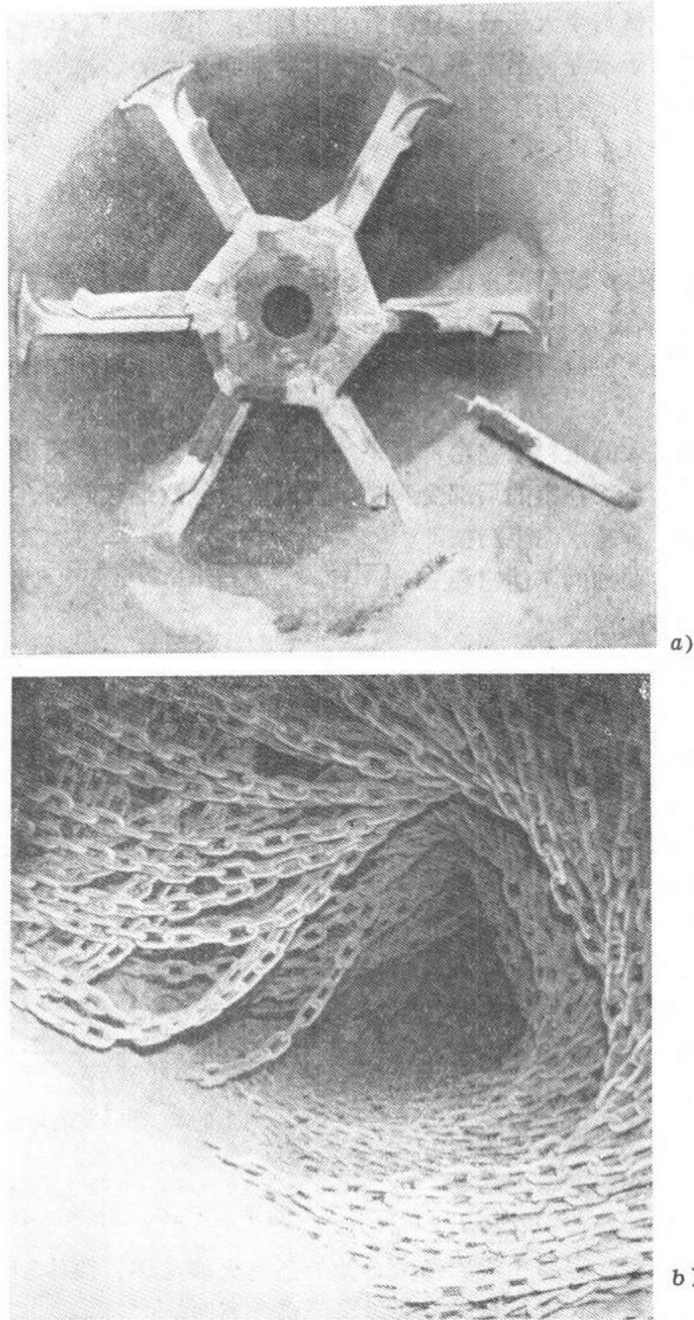


图 1-5 窑内热交换器装置
a) 格子式; b) 链条式

七十年代初，首先由日本石川岛公司和秩父水泥公司开始，研制出窑外分解法，称SF法。随后其它公司也陆续成功地研制出RSP法、MFC法、KSV法、DD法等等窑外分解技术。

窑外分解技术出现后，受到了世界各国的普遍重视。国际上著名的水泥机械制造厂都竞相研制，并且很快就出现了很多各具特点的窑外分解技术。

有关悬浮预热器窑及窑外分解技术，将在本章第三、四节里较详细地介绍。

窑的规格（窑径和长度）随产量而加大，参见表1-1，日产量为3600吨的湿法长窑直径达七米以上，长度达二百多米。这对制造、运输、安装、火砖的砌筑和剥落等带来一系列的问题。随着生产方法演变出现的各种窑型，其根本途径就是用单元装置（炉篦子加热机，预热器、窑外分解炉等）来起到窑尾预热，分解带的作用。这样可以缩小窑规格（在相同产量情况下）或提高产量（在相同规格窑情况下）。图1-6为湿法长窑，带一、二和四级悬浮预热器以及带窑外分解炉的窑型比较。

回转窑直径与产量的关系^[1]

表 1-1

窑 型	窑 直 径		
	5 米	6 米	7 米
湿 法 长 窑 吨/日	7000~7300	1700~2200	3000~3500
干 法 长 窑 吨/日	1500~2000	2500~3000	4000~4500
SP 窑 吨/日	2500~2800	4000~4500	5500~6000

如上所述，无论哪一种水泥生产方法，都离不开回转窑这个基本设备。近年来，人们正研制不采用回转窑的水泥沸腾烧成法，其中有Fuller-Pyzel法，Fluo-Solid-Reactor法，SPF (Small Pellets Fluidization) 法等等。

三、水泥回转窑的大型化

这里所说的大型化有两个含义。一是回转窑本身规格增大；二是窑的单机产量提高。国际上早期出现的回转窑，无论其规格或产量都是很小的。随着工业发展和技术的进步，回转窑的规格逐渐扩大，单机产量也日趋提高。所谓大型化，在不同的年代有不同的标准。例如在三十年代，直径3~4米的窑就是大型的了。1957年以前日产1000吨的窑也已经很引人注目。但到了六十年代之后，日产4000吨的窑已在运转，而进入七十年代以来，随着窑外分解技术的出现，一条工艺线的日产量实际已达9000吨。一般认为，产量大于2000吨/日的干法窑和产量大于1500吨/日的湿法窑就称为大型窑。

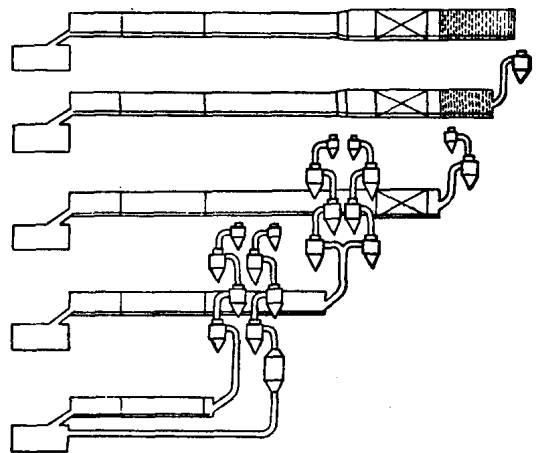


图 1-6 各种窑型长度比较

据报道，1974年，国外几家主要水泥机械制造厂已售出和接受订货的470台窑中（不包括苏联和东欧自制的窑），直径在4.1~4.9米（估计日产量为2000~3000吨熟料）的窑已有300台，占64%；直径5.0~5.9米的窑有150台，占32%；其余20台窑的直径为6.0~6.9米。

大型窑，不仅在一些工业发达的国家发展很快，就是在第三世界发展中国家里，也日趋增多。以伊朗为例，自1974年起，在拟建和建成的23台窑中，日产2000~3000吨熟料的窑11台，占48%；日产3000~4000吨熟料的窑5台，占22%；其余日产2000吨以下的小型窑仅占30%。目前世界上日产量为2000~4000吨的窑已很普遍。表1-2列出了截至1977年

投产的各种窑型的最大规格和产量。

各种窑型的最大规格和产量

表 1-2

生产方法 (窑型)	国家	水泥公司	水泥厂	窑规格(米)	产量 (吨/日)	备注
干法	日本			$\phi 6.2 \times 165$	3300	
湿法	美国	Dundee	Clarksville	$\phi 7.62/6.40/6.91 \times 232$	3600	
立波窑	西德		勒格多尔夫	$\phi 5.6 \times 90$	3300	
悬浮预热器窑	日本	宇部	伊佐	$\phi 6.2 \times 125$	5500	维达格型
窑外分解	日本	宇部	伊佐	$\phi 6.2 \times 125$	9000	KSV型

图 1-7 为丹麦史密斯公司自 1950 年出售的水泥窑单机生产能力曲线，由此可以看出窑向大型化发展的趋势。

从图中可以看出，以产量计的大窑规格，每十年翻一翻以上，或每十年递增 60%（平均规格）。若就最大规格而论，其递增率就更大些，即每年 7.5%。

图 1-8 为水泥窑单机产量的发展趋势曲线，由此可看出，1985 年前后，可能出现 10000 吨/日的大窑。事实上，现有最大能力已达 9000 吨/日了。

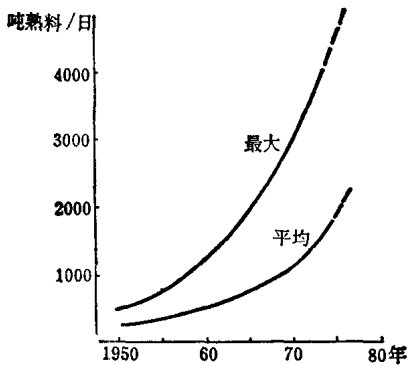


图 1-7 史密斯公司历年出售窑

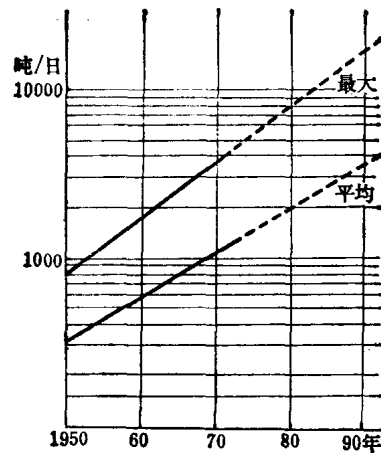


图 1-8 水泥窑发展趋势

但是必须指出，自从出现窑外分解技术后，虽然窑的产量急剧增长，但是回转窑本身的规格尺寸并没有与产量成比例的加大。现在直径最大的回转窑仍保持为十多年前投产的 $\phi 7.6 \times 232$ 米窑。回转窑大型化，据认为，虽然制造技术上是可能的，但也绝非轻而易举，尤其对超大零件更有运输上的困难。

水泥设备大型化是过去十多年来国外水泥工业发展中极为突出的一个特点。它具有占地面积小，设备投资少，管理简单，便于自动化，劳动生产率高，生产成本低（参见图 1-9^[51]），以及单机产量高和热耗低等优点。所以国外新建的水泥厂，有不少都是由大型设备组成的单一生产线。但是，大型化的发展不是没有限度的。由于设备尺寸加大后，不仅效率没有显著提高，反而带来一些新的问题。

就回转窑本身结构而论，这不仅在制造运输方面造成了困难，而且在技术经济指标方面，也是有局限性的。如图 1-10 和图 1-11^[51] 所示，当产量高于 2500~3000 吨/日时，单位产品的设备投资就看不出有优越性了。而全厂投资的经济性也几乎不存在了。此外，由于

回转窑规格过大，各配件费用高，窑衬寿命也短，6米直径窑的窑衬寿命只有半年，约等于4米直径窑使用寿命的三分之一（参见图1-12）。因此，回转窑本身的规格尺寸似乎出现了不会再进一步增大的趋势。

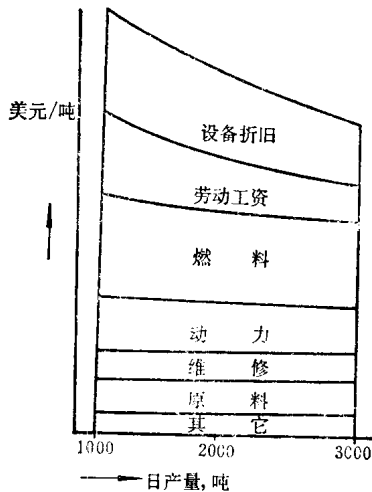


图 1-9 产量与成本关系

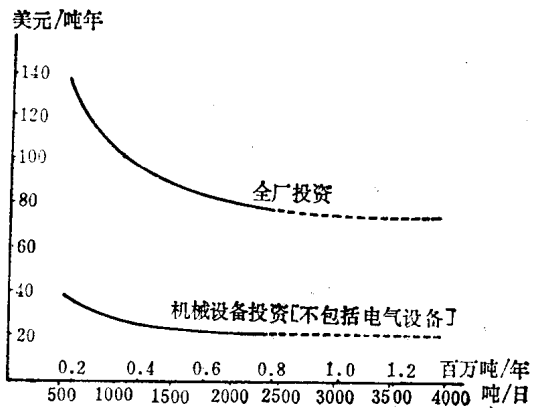


图 1-10 产量与设备投资的关系

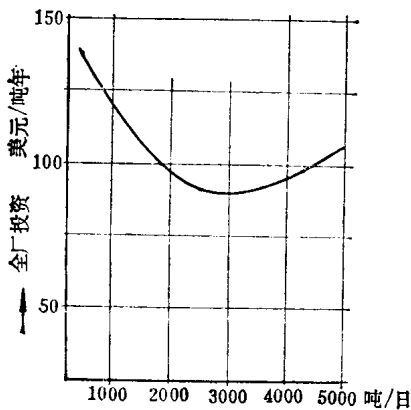


图 1-11 日产量与投资关系

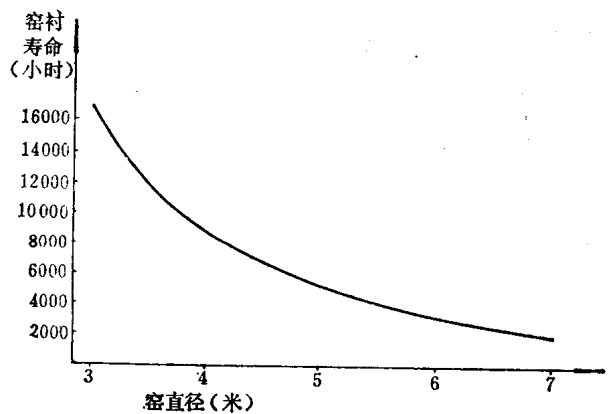
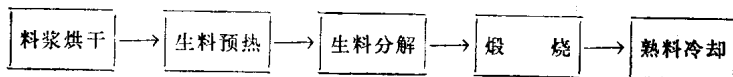


图 1-12 窑衬寿命与窑直径的关系

四、水泥回转窑的功能分解

水泥窑型的几经变化直到现在采用的窑外分解技术，实际上是把早期发展的水泥回转窑分解为几个功能单位，即：



上述功能分解可由图1-13表示。

五、窑内物料填充率、斜度、转数及功率计算^[2]

（一）窑内物料填充率

物料在窑的横断面上呈一弓形。该弓形面积与窑的横断面净空面积之比的百分数称为

物料填充率。该填充率的波动范围，一般界于5~17%之间。不论窑的直径大小，中心角和填充率总有一定的对应关系。

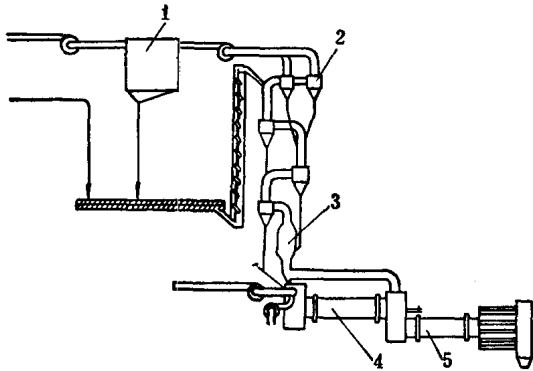


图 1-13 史密斯窑外分解系统
1—料浆烘干；2—生料预热；3—生料分解；
4—熟料煅烧；5—熟料冷却

填充率对回转窑的产量影响较大，根据经验，图1-14给出两者的一般关系。

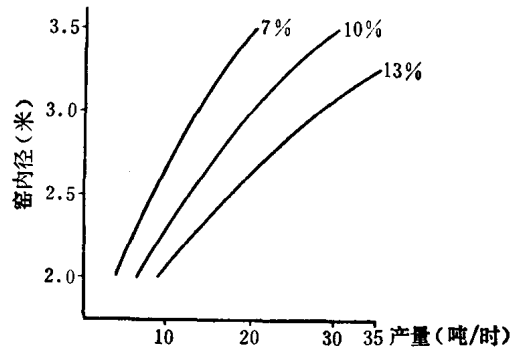


图 1-14 回转窑填充率与产量的关系

(二) 窑斜度

还没有一个通用的规律来确定窑的适当斜度，回转窑的斜度一般在2~6%之间，但多数窑的斜度为2~4%。起初回转窑的斜度较大，转速较低，仅为0.5~0.75转/分。当斜度较小时，要求较高的转速，这样有助于窑内物料的混合和热交换。较小的斜度还可使填充率（窑的负荷）加大。窑的实际操作经验表明，根据窑的不同斜度，有其相应的平均负荷，详见表1-3。

回转窑斜度与平均负荷的关系 表 1-3

窑 斜 度 (%)	相 应 负 荷 (%)
4.5	9
4.0	10
3.5	11
3.0	12
2.5	13

此外，窑内负荷还同窑的长径比 L/D 有关，湿法窑 L/D 为40或更大些，窑内负荷可达17%，不论在什么情况下，窑的斜度都决定着窑内的负荷；同时，增大 L/D 值也能加大窑内负荷。在窑的实际运转中，窑内负荷不可高于13%，否则，过高的负荷不利于热传递。

美国干法和湿法长窑，斜度约为3.5%，因此其转速都较高(80~110转/时)。

苏联则更进了一步，在一台9'10"×115'0"的SP窑上，试验转数达19~20转/分。在此高转数下，窑内物料呈流态状，当窑速为20转/分时，物料在窑内的流速达850英尺/时，在烧成带内停留时间仅为3分钟，据称这个时间对熟料的烧成足够了，因为生料中含有矿化剂，窑的产量为632吨/日。

(三) 回转窑转数

过去，当窑的直径为2~3米时，通常以窑的转数来表示；而如今窑径已达6米或更大，则常常以圆周速度来表示窑的转数。为取得良好经济效果采用周速为13.8英寸/秒。最近已把窑速提高到16~27英寸/秒。图1~15表示了窑速与窑径的关系。

西德洪堡公司已将窑速提高到27英寸/秒。

(四) 窑功率计算

计算窑的传动功率基于下列两个因素：

(1) 摩擦功率;

(2) 负荷功率。

摩擦功率为:

$$HP = \frac{W \cdot bd \cdot td \cdot N \cdot F \cdot 0.0000092}{rd}$$

式中 W ——各托轮轴承上总垂直负荷, 磅;

bd ——托轮轴承直径, 英寸;

rd ——托轮直径, 英寸;

td ——轮带直径, 英寸;

N ——窑转数, 转/分;

F ——托轮轴承摩擦系数;

稀油润滑: 0.018

干油润滑: 0.06

负荷功率为:

$$HP = (D \cdot \sin\theta)^3 \cdot N \cdot L \cdot K$$

式中 D ——窑内耐火砖内径, 英寸;

$\sin\theta$ 按窑负荷百分数从图1-16曲线中查出。

N ——窑转数, 转/分;

L ——窑长度, 英寸;

K ——干法或湿法水泥窑休

止角为 35° 时, $K=0.00076$;

石灰窑休止角为 40° 时, $K=0.0092$;

筒体内带扬料板(回转冷却机或烘干机)休止角为 40° 时, $K=0.0018$ 。

对变直径回转窑来说, 每一直径的负荷功率需分别计算。

举例: 按下列数据计算一台SP窑的传动功率, 直径 $D=13'6''$, 长度 $L=190'$, 总垂直负荷 $W=16 \times 10^5$ 磅, 窑衬厚 $9''$, 托轮轴承直径 $bd=16''$, 轮带直径 $td=174''$, 窑转数 $N=1.7$ 转/分, $F=0.018$, 托轮直径 $rd=42''$, 窑内负荷 12% , $\sin\theta=0.77$, $K=0.00076$ 。

$$\text{摩擦功率} = \frac{1600000 \times 16 \times 174 \times 1.7 \times 0.018 \times 0.0000092}{42}$$

$$= 30 \text{ 马力 (22.35 千瓦)}$$

$$\text{负荷功率} = (11.5 \times 0.77)^3 \times 1.7 \times 190 \times 0.00076 = 170 \text{ 马力 (126.65 千瓦)}$$

二者之和为200马力。事实上, 这种规格的回转窑就是由200马力电动机驱动的。

威兰特 (Vailant) 提出的计算回转窑功率的公式与此相似。

(五) 回转窑容积与需用功率之比

如果按上例计算的传动功率, 则容积与其之比为: $\frac{27,227}{200} = 136 \text{ 英尺}^3/\text{马力}$

表1-4列出了现有SP窑的容积与其传动功率之比, 其值介于119和126英尺³/马力之间。

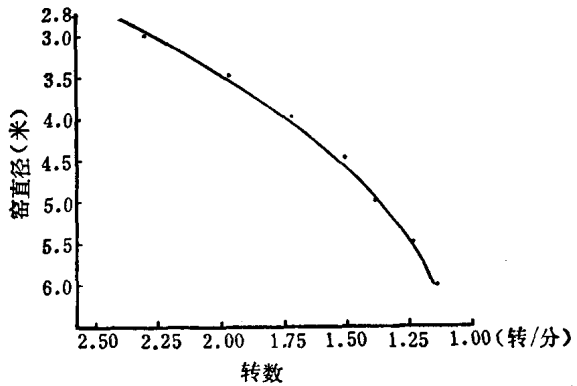


图 1-15 窑直径与转数 (周速为14.7英寸/秒)

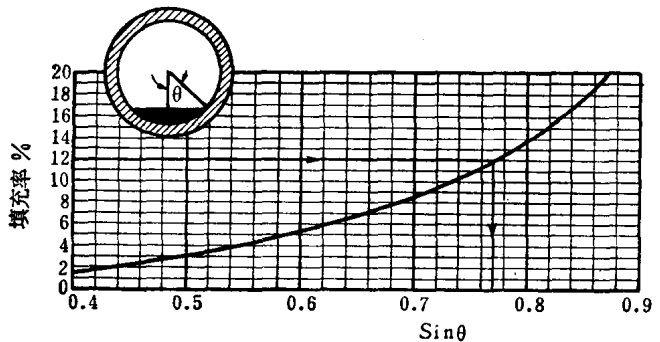


图 1-16 $\sin\theta$ 与填充率的关系