

水泥回转窑的操作

中国建筑工程出版社

81
0

水泥回转窑的操作

[美] K. E. 帕雷 J. J. 瓦得尔 著

华新水泥厂编译组 译

中国建筑工业出版社

本书根据1972年美国化学出版公司出版的《水泥回转窑》一书译出。作者论述了水泥的化学知识、生料组成及其对易烧性的影响，传热、燃料和燃烧、火焰和窑内气流等理论基础，讨论了回转窑操作的理论和实际控制方法，对回转窑的手动控制和自动控制都作了阐述。书中还列举了操作中二十七种基本情况的处理方法。本书可供水泥工业和其他使用回转窑的工业的操作工人和技术人员参考。

THE ROTARY CEMENT KILN

By Kurt E. Peray and Joseph J. Waddell

Chemical Publishing Co., Inc 1972 New York

* * *

水泥回转窑的操作

华新水泥厂编译组 译

建筑材料研究院情报所 校

*

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

*

开本: 787×1092 毫米 1/32 印张: 6 11/16 字数: 150千字

1977年6月第一版 1977年6月第一次印刷

印数: 1—8,580册 定价: 0.43元

统一书号: 15040·3302

译 者 的 话

本书是美国K. E.帕雷和J. J.瓦得尔所著，可以作为水泥回转窑看火工人阅读的普及读物。书中主要讨论回转窑的操作控制方法，并就有关问题作了理论分析。所述看火操作技术以仪表控制为主，对自动控制也作了一般的介绍。

书中对一些有用的看火操作技术，介绍得比较具体，对看火工人有一定参考价值。但有一些内容，如红窑处理办法等，和我们的现行规定不一致。另外，对书中的资产阶级观点，读者阅读时应该予以批判。

原文中有些明显属排印错误的地方，作了更正；文义上有疑问的地方，加了译注；不必要的内容，作了删除。原文用的是英制单位，译时附注了公制，以利阅读。

限于水平，译文中难免有错误，希望读者指正。

华新水泥厂编译组

1975年12月

前 言

水泥窑常被称为水泥厂的“心脏”，是水泥厂投资中占比例最大的，并消耗全厂所需能量的大部分。生产过程中最重要的阶段是在水泥窑内进行的。不管在生料制备上作了多大努力，生料必须在窑内得到正确煅烧，始能有优质产品供给用户。由于这个原因，对煅烧操作必须给以充分重视，水泥窑能不能有效地运转，影响到工厂的利润。

由于回转窑具有复杂的测试仪表和多重的反应，因此看火人员必须具备有关的专门知识和经验，才能胜任他们的任务。看火人员的工作是水泥厂的关键性岗位之一。

《水泥回转窑》这本书，不仅论述了回转窑运转的理论，也阐明了对回转窑运转的实际控制。作者希望本书能起到指导水泥工业的看火人员和其他人员进行实践的作用。此外，书中许多资料对使用回转窑的其它工业也是有用的。

作者论述了包括波特兰水泥*的基础化学、生料组成及其对易烧性的影响、传热、燃烧、火焰、燃料以及窑内气流等的理论基础。这些都在论述回转窑操作控制时逐步加以讨论。本书所论及的煅烧方法和工艺，曾在各种规格的水泥窑上经过了多年试验，已经为数百台水泥窑所采用。经验证明它们是水泥窑稳定而经济地运转的基础。

附录中包括了换算表、有关回转窑常用名词的定义，以及训练新看火人员的计划和测验题。

* 我国称为硅酸盐水泥。——译者注

目 录

第一章 回转窑	1
历史 (1) 回转窑的类型 (4) 耐火材料 (8)	
第二章 燃料和燃烧	25
燃料 (25) 气体定律 (28) 燃烧 (32) 火焰 (42)	
传热 (58) 热损失 (61)	
第三章 煅烧和烧结	64
入窑生料 (64) 生料组成对易烧性的影响 (69)	
煅烧 (77) 在烧成带内窑皮的形成 (81)	
第四章 窑内物料的运动	86
空气环路 (86) 窑内的物料运动 (90)	
第五章 过程控制	94
回转窑操作方法 (94) 过程的手动控制 (97) 过程的 自动控制 (99)	
第六章 烧成带控制	123
烧成带控制 (123) 窑皮和窑圈 (131)	
第七章 窑尾控制	136
第八章 窑的稳定	144
第九章 熟料冷却机的控制	158
第十章 二十七种基本情况	178
第十一章 安全和事故防止	187
附录	191
一 名词解释	191
二 看火人员的测验题	194
三 换算系数表	203
四 新看火工训练计划	205

第一章 回 转 窑

历 史

两千多年前已有竖窑和简单的立窑用于烧制石灰。根据历史记载，古代罗马人曾用竖窑烧制火山灰质石灰。加利福尼亚的河边区附近有地下炉的遗迹（图 1-1），这种地下炉是十九世纪初期墨西哥移民把石灰石烧成石灰用的。此后人们使用了所谓瓶式窑和立窑。图 1-2 所示那种型式的立窑大约是十九世纪末二十世纪初在南加利福尼亚建造的。



图 1-1 早期加利福尼亚移民把石灰石烧成石灰的地下炉遗迹



图 1-2 十九世纪末通常使用的立窑

回转窑早期的发展约在1877年。一般认为第一台回转窑是由英国弗雷特里克·冉荪建成的。最初的冉荪窑在那时的水泥工业中是一个重要的突破，过了许多年以后，才有了比较完善的回转窑投入生产。使回转窑脱离幼稚期的，是1895年投产、由美国工程师赫雷和西门所发展的第一台有经济成效的回转窑。

连续喂料的立窑在欧洲仍在使用，但回转窑在北美洲大陆上占绝对优势。人们乐于采用回转窑是由于它比立窑节约劳动力，有更高的产量；尤其重要的是，它生产的产品质量更为稳定。但立窑生产每吨熟料所需的热量和动力较回转窑为低。

第一台冉荪窑的直径为18吋（0.46米），长度为15呎（4.57米）。后来约在1900年，回转窑已经有6呎（1.83米）直径、60呎（18.29米）长的规模。今天，巨型回转窑（图1-3）长度超过600呎（180多米），直径超过18呎（5.48米），日产量超过7000桶（1166吨）。现代回转窑的控制，已由高

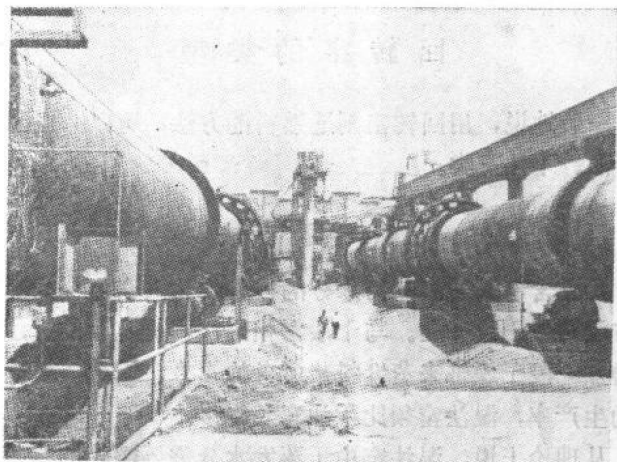


图 1-3 现代水泥厂的大型回转窑
窑直径16呎（4.88米），长度超过500呎（152米）

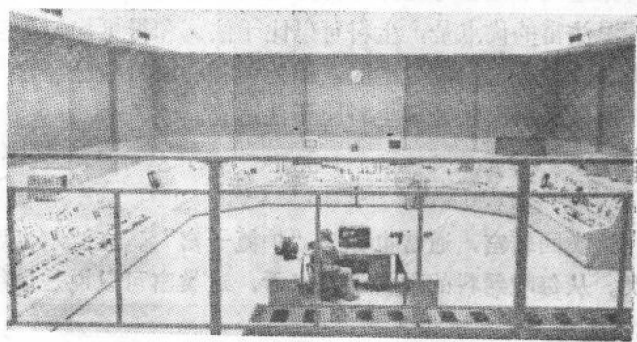


图 1-4 中心控制室。从这里能够监视和控制水泥厂
的全部操作

度精密的电子计算机控制室承担，由它对全厂的操作进行监视和指挥，如图1-4所示。

回 转 窑 的 类 型

一般地说，用回转窑制造熟料的方法，可以分成湿法、半干法、干法三类。

1-1 湿 法

凡以含有30%到40%水分的料浆作为入窑生料的所有加工方法都属于这一类。与干法窑相比，同样直径的湿法窑需要增加一段干燥带来蒸发料浆所含的水分。因此，要达到相同的生产率，湿法窑须比干法窑长得多。

从理论上说，湿法窑由于蒸发水分需要额外的热量，因此生产等量熟料比干法窑需用更多的燃料。但是，在窑的实际运转中，这个基本论据，并不总是正确的。本书的一些章节将论述这个论据与实际不符的原因。

湿法窑的优点是，生料可以比干法调和得更均匀，窑灰损失较少。在气候潮湿地区，因为调和的原料中已经含有水分，所以采用湿法处理生料比干法适宜。

1-2 半 干 法

这类回转窑，通常也称为“炉篦子窑”。立波尔窑属于此类。从每吨熟料的燃料消耗来看，这类窑可以说是最经济的。

在炉篦法中，首先把磨细的干料粉加水10~15%，制成料球，然后把料球喂到移动炉篦子上，使料球在进入回转窑之前得到部分分解。来自回转窑的热废气，在排风机的作用下，透过炉篦子，由上而下地经过料层，使料球得到加热。

部分分解了的物料从溜槽落入回转窑内，最后烧成熟料。由于生料在进窑以前已经部分分解，因此，这类回转窑本身的长度仅及一般回转窑的三分之一。图1-5是通过立波尔窑炉篦预热机的气体和物料流向的示意图。

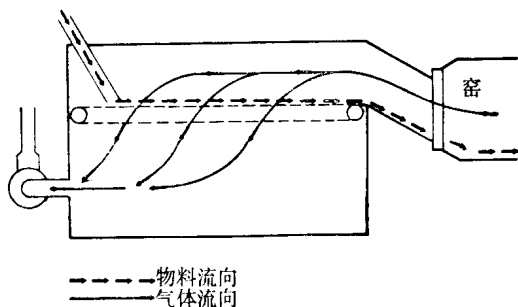


图 1-5 立波尔预热机的流向图。喂到移动炉篦子上的料球，在它进窑以前，被热废气加热和部分分解

炉篦子窑的一个优点是，出窑熟料粒度均匀，这对熟料的粉磨是有利的。它的特点是，需要制备料球和控制移动的炉篦子上料层厚度等。因此需要增加管理成球设备的工人。

1-3 干 法

干法生产喂入窑内的生料是干粉状态。现在，许多干法窑都从窑内废气的大量热量中回收部分余热，这些热量如不利用就会浪费掉。这种装置可以分为下列几类：

- 气体悬浮预热器窑；
- 带有窑内热交换器的窑；
- 带有余热发电设备的窑。

在气体悬浮预热器窑里，干料粉在一组热交换筒内被预热和部分分解，然后进入回转窑。筒内热气和干料粉之间的

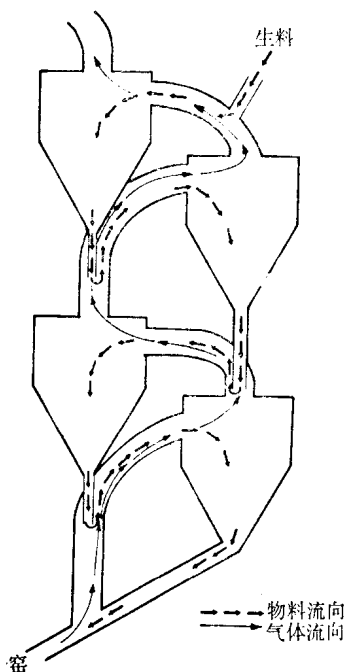


图 1-6 洪堡型气体悬浮预热器流向图。这是一个多级对流过程，它把窑内废气引入一组旋风收尘筒内。料粉迎着气流的方向喂入，使它在气流中悬浮，并在逐级旋风筒内受热，直到经由窑的喂料管输入窑内

热交换是在两者都处于悬浮状态下进行的。虽然许多制造厂设计的各种预热器窑已被采用，最普遍采用的一种是洪堡窑（图 1-6）。

另外一种从窑尾高温中回收热量的方法是利用链条，这和湿法窑中使用的链条几乎相同（图 1-7）。链条虽不如预热器那样效率高，但自 1950 年以来，已经发现链条在大型长窑中是有效和实用的。这种窑内热交换器，由于简单和易于操作，为看火工人所欢迎。

进入链条带的气体温度接近 1500°F (815°C)，废气排出窑尾时的温度在 850°F (450°C) 左右。逆废气流向而运动的生料，进入链条带时的温度为 120°F (50°C)，从链

条带流出时，它的温度接近 1350°F (730°C)。

干法窑余热利用系统的最后一类是利用废气的高温产生蒸气发电。由于成本增加和发电率不高，这种废气利用方

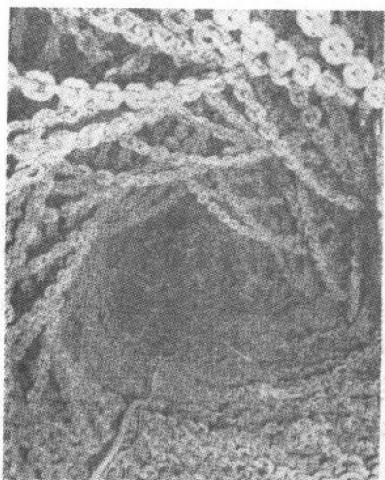


图 1-7 窑的链条带。链条吸收热气体的热量，再把热量传给生料

法，近年来在水泥工业中已不受欢迎，而由利用热量更为有效的预热器窑和带有内部预热器的窑所代替。

在短短的八十年内，回转窑经历了重大的变革，仅在燃料效能方面，已取得了许多重大的改进。新改进的燃料和设备已被采用。机械设计有了相当大的改革。窑的控制方法跟上了现代化的前进步伐。近年来的倾向是在回转窑系统内装备更多更好的精密仪器，朝着自动化方向发展。现在已有许多回转窑完全由电子计算机自动控制。

尽管这些年来取得了这许多改进，事实上，即使现在运转效率最高的水泥窑，比起其它工业的生产过程来，还是效率很低的。毫无疑问，现在对回转窑的设计下定论还为时过早。在不久的将来，为了降低大量热损失，在回转窑的许多方面，将会出现重要的突破。

耐火材料

在熟料生产过程中,窑内温度很高。因此,必须用耐火窑衬来保护窑胴体。如果没有耐火窑衬的保护,窑胴体在几小时内就会烧坏。耐火材料,一般是非金属材料,用来抵抗高温。窑内耐火材料一般由特殊成分和各种尺寸的耐火砖所构成(图1-8)。近年来已采用一种类似于建筑上浇制混凝土的方法,连续浇制窑衬。在这个方法中,它的内部是用特殊的板条、焊接的挂脚和钩扣逐渐构成的。在浇制每一段窑衬时,必须把窑转动,使浇制窑衬的工人们始终在同一水平面上工作。

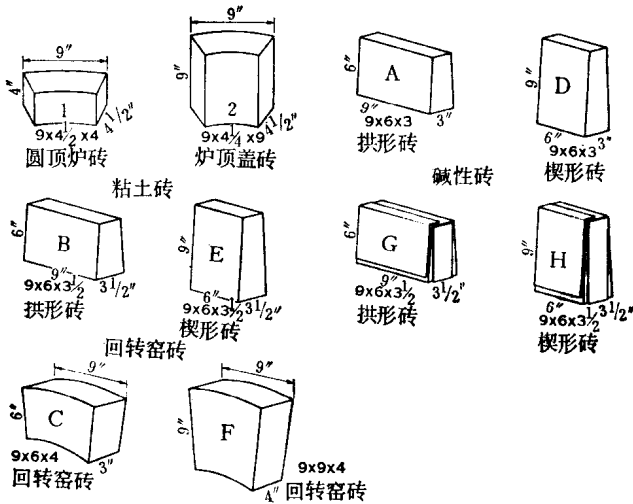


图 1-8 耐火衬料砖的几种通用尺寸和形状
(1吋=2.54厘米)

看火人员认为耐火窑衬的损坏是回转窑运转中最严重的事故。当窑胴体烧红的时候，说明回转窑内的耐火窑衬损坏了，因为在胴体过热的地方，耐火窑衬或是全部垮落了，或是已经耗蚀得很薄了。这种情况是很危险的，因为窑胴体一失去耐火窑衬的保护，就很容易翘曲，以至必须更换整段胴体。不过，很多实例证明，当一发现胴体开始大块发红时立即停窑，重砌耐火窑衬，就可以避免损坏。由于这种情况的关系重大，在本书6-5节里将叙述窑胴体发红的补救办法。

窑内耐火窑衬，特别是烧成带的窑衬经常需要重砌，使运转费用增大，并影响生产计划的完成。例如，重砌50呎（15.24米）长、16呎（4.88米）直径的全部烧成带窑衬，所需费用就要超过三万美元。这还仅仅是耐火砖本身的价值，没有包括镶砌费用，也没有包括减产损失以及使窑恢复到运转温度所额外消耗的燃料等费用。

回转窑烧成带耐火窑衬的使用寿命可以从五十天到一年或者更长一些。也就是说，一台窑的耐火窑衬寿命可能是另一台窑的十倍。耐火窑衬寿命之所以有这么大的差别，可以从所用耐火砖的类型、形状和镶砌工作等直接有关的因素中找到原因。此外，窑的运转情况，生料的类型以及转窑设备的机械完好性，对耐火窑衬的寿命，都有极大影响。在本章的后部分将对这些因素进行详细讨论。

1-4 耐火材料的要求和特性

根据耐火材料在窑内使用部位的条件，必须对它提出一定的要求。

（一）耐高温性 使用在窑内某一个带的耐火材料必须能经得起这个带在正常和不正常状况下出现的高温。不仅要

求它具有经得起这样的高温而不被熔化的能力，还必须保持它在低于熔点时的结构强度，并在长时间处于高温的情况下保持它的体积稳定。

(二) 抗碎裂性 任何停窑开窑或严重运转不正常，都会引起窑内温度的剧烈变化。因此，耐火材料必须具有必要的抗热震性来抵抗这种温度变化。否则，耐火材料就会破裂。这种破裂通常称为碎裂，在耐火砖的水平方向发展。

碎裂产生于热震。同样的反应可以发生在一个玻璃杯上，如果我们把一个冷玻璃杯放进极烫的水里，热震就会使这个玻璃杯破裂。但如果我们把放有玻璃杯的冷水慢慢升温，就不会有热震，这个玻璃杯也就不会损坏。这同样适用于窑内的耐火材料，当冷窑点火时，必须使耐火窑衬的温度缓慢地升高，防止碎裂。

(三) 抗化学侵蚀性（抗渣性） 在熟料烧成过程中，燃烧作用产生的蒸气、灰分和熔渣会与耐火砖起化学作用而侵蚀耐火砖（这取决于所用燃料的类型）。此外，进入窑内气体中的灰尘和碱质也能附着于烧成带的耐火砖上与之起反应。耐火砖抵抗化学侵蚀的能力称为它的抗渣性。不具备这种抗渣性，耐火砖会被化学侵蚀而显著削弱，使耐火窑衬过早地损坏。

(四) 耐磨性 回转窑内的条件，要求耐火砖必须能够经受得住滑动的生料层以及混杂在气流中的灰尘所产生的摩擦作用。砌在燃烧带前后通常不形成窑皮的各带的耐火砖都必须具备这种性能。

(五) 挂窑皮的能力 在具有最高温度的烧成带，耐火材料必须具备的最重要特性之一是能够挂上良好的窑皮，并能在较长时间内保持住这个窑皮。关于烧成带窑皮的重要

性，将在第六章里论述。正如耐火窑衬保护窑胴体一样，窑皮又对耐火窑衬起着保护作用，从而使烧成带的耐火砖可以延长寿命。

1-5 耐火材料的检验

为回转窑一定部位选择最合用的耐火材料，是一件不容易的工作。这对于没有实践经验可以用来作为选择根据的新厂更是这样。为了选择得当，须对许多耐火材料制造厂的数百种不同耐火砖的种类和形状逐个进行研究。任何一种耐火砖可能非常适用于某一回转窑，但对另一回转窑却很不适用。这是由于回转窑的情况各不相同，而生产熟料所用的生料也有许多差别。为特定的回转窑和它的特殊运转条件设计耐火材料，是很必要的。

耐火砖制造厂通常提供该厂产品性能的资料，如耐压和抗拉强度、弹性模量、化学分析、导热率、密度、气孔率、透气性等。此外，还有耐火材料工业某些标准化测试方法所测定的各种特性。这些检验得到的结果，虽然还不能百分之百地作为选择的依据，但它提供了耐火材料的性能及其在窑内各种条件下抵抗能力的指标，可以作为选择特别适用于回转窑一定部位的耐火材料的根据。

(一) 熔点 使耐火砖的结构或形态开始松弛变形时的温度称为熔点。但是，既定的熔点并不能保证耐火材料不在较低温度下开始松弛变形。耐火材料可能在低于理论熔点的温度出现熔化，这决定于耐火材料在窑内放置的部位存在着氧化气氛还是还原气氛，也决定于耐火材料本身的成分。经长期使用的和已经发生过化学反应的耐火砖的熔点可能比测定的熔点要低一些。