

GUO WAI SHAO JIE JIAN ZHU
ZHI PIN JIN ZHAN

4

国外烧结建筑制品进展

中国建筑工业出版社

4.0
2

国外烧结建筑制品进展

第四辑

西北建筑设计院 编译

中国建筑工业出版社

414431

这套丛书介绍了国外近年来烧结建筑制品生产技术的进展。丛书分产品和性能、生产工艺和控制技术、原料制备和成型、干燥和焙烧等四辑，共选译了一百余篇文章和资料。

本书为第四辑，收译了干燥和焙烧方面的文章和资料，包括干燥工艺、干燥室（快速干燥室、隧道干燥室、间歇干燥室等）、焙烧工艺和燃烧系统（固体燃料系统、气体燃料系统），还介绍了平顶隧道窑、辊道窑、圆形隧道窑和大断面隧道窑。

本书可供砖瓦厂职工和烧结建筑制品生产、科研、设计和管理方面的人员阅读，亦可供建筑工程部门科研、设计和施工人员参考。

国外烧结建筑制品进展

第四辑

西北建筑设计院 编译

*

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 1/32 印张：6³/₈。字数：149 千字

1981年12月第一版 1981年12月第一次印刷

印数：1—2,350 册 定价：0.69元

统一书号：15040·4059

编译者的话

本辑收译了国外烧结建筑制品干燥和焙烧方面三十余篇技术资料 and 文章。

本辑第一部分为干燥工艺，介绍了关于砖坯最佳干燥曲线的研究，即在实验室条件下用专门的热工设备探讨某种粘土原料制成单坯的最佳干燥制度，然后在生产性干燥室设计中尽可能实现这种干燥曲线。这样设计出来的干燥室可以有效地降低干燥时间和成本。

本辑第二部分为干燥室。首先介绍了国外比较普遍采用的单坯、单层或少层砖坯的快速干燥室（其中有辊道传送式、悬吊式、车道式、悬挂小车式和传送带式等），这种干燥室干燥周期视泥料性能及产品而异，一般在30分钟至6小时；其优点是：受热断面小，温湿度均匀，干燥制度比较容易接近最佳干燥曲线，因而可以快速干燥，单层、单坯或少层砖坯入干燥室，比较容易实现机械化、自动化装出，可以连续生产。其次介绍了各有特色的隧道干燥室，其中“凯勒尔”型人工气候式隧道干燥室适用于高敏感性原料制备的砖坯，GGs型干燥系统可以达到低风量高效率，干燥效率仅与热量有关而与风量无关，有利于减小配用的供热风机。另外还介绍了欧洲比较普遍采用的机械装出的间歇干燥室，有西德“凯勒尔”公司及意大利“莫兰多”公司设计的几种间歇干燥室及装出系统。这类干燥室的主要优点是：对于多品种的

工厂，干燥制度可以调节，具有灵活性；成型和干燥的班次可以不同，即成型可以一班生产，而干燥可以三班作业，到晚间或假日，只要有值班人员即可，可以节省劳力；干燥室的装出有成套的机械设备，机械化程度高，节省劳力。它的缺点是每次干燥都要重复升温降温，在同一品种连续生产的条件下，热耗比隧道干燥室要高。此外，还有一种Z字形间歇干燥室，它是把现有的间歇干燥室通过轴流风机横向串联以降低热耗取得较好效果。

本辑第三部分为焙烧工艺，介绍了如何确定最佳焙烧曲线的方法，研究了影响焙烧工艺的因素以及最佳焙烧曲线在实际中的应用，为隧道窑的设计提供了较可靠的依据，阐述了采用废气循环，减少预热带气体分层，改进隧道窑焙烧制度等措施。

本辑第四部分为燃烧系统及在窑上的应用。首先介绍了“奥克多波斯”等三种燃煤系统，以及小型加煤机及其在窑上的应用。其次介绍了用高速烧嘴气体燃料燃烧系统及在窑上的应用。

本辑第五部分为窑炉发展动向，介绍了平顶隧道窑、辊道窑、圆形隧道窑（烧瓦）及大断面隧道窑。平顶隧道窑窑墙采用预制多孔状构件，以陶瓷纤维作保温材料，它可以提高有效装载容积，降低窑体蓄热及热损失，从而降低了燃料消耗35~40%，在建造方面可节省准备时间60~70%及总安装时间60~75%。一孔或三孔辊道窑用来烧瓦和薄片砖，取得了良好的经济及技术效果。美国建成的一座内宽6.4米的大断面隧道窑和土耳其建成的一座内宽为8米的大断面隧道窑，均已投入生产。

本辑最后还介绍了陶瓷纤维（耐火保温材料）制造过

程，及其在砖窑中应用的情况。

本辑编选工作主要由曹尔祺负责，周显祥、赵文科也参加一部分工作，最后由张钦楠总校审。编选过程中曾得到陕西省砖瓦研究所大力支持，并提供了部分译稿，特此表示感谢。

我们希望选译这些技术资料 and 文章，能对我国烧结建筑制品厂的技术革新和技术改造有所帮助。

由于我们的技术和外语水平有限，书中可能存在一些缺点或错误，希望读者批评指正。

西北建筑设计院

一九八〇年九月

目 录

编译者的话

一、砖瓦坯体最佳干燥条件的确定	1
二、按照最佳干燥曲线干燥砖坯	21
三、莫兰多公司快速干燥室	41
“伏及拉”型干燥室	42
“莫西亚”型干燥室	47
“西埃娜”型干燥室	47
四、运输带式连续干燥室	55
五、“瞬刻”干燥室	61
六、SG型快速连续蒸汽干燥室	64
七、D.O.L 砖厂两小时干燥系统	72
八、再循环式隧道干燥室	74
九、GGS——一种新的经济的干燥系统	76
十、新型的砖坯预干燥系统	83
十一、“凯勒尔”型人工气候式隧道干燥室	90
十二、水平循环式干燥室	92
十三、“阿脱纳—比泰克”型循环式干燥室	94
十四、“巴可”型循环干燥室	97
十五、“凯勒尔”型“气候”干燥室	99
十六、莫兰多公司间歇干燥室	101
“罗维戈”型干燥室	101
“费拉拉”型干燥室	102

“布雷斯查”型干燥室	103
“阿斯梯”型干燥室	104
十七、Z字形干燥室	106
十八、干燥车自动记数装置	110
十九、最佳焙烧曲线的确定和应用	113
二十、隧道窑焙烧制度的改进	122
二十一、英国燃煤系统简介	128
二十二、窑用“奥克多泼斯”粉煤燃烧系统	133
二十三、“凯勒尔”型自动化粉煤燃烧系统	138
二十四、侧烧隧道窑烧煤工艺	140
二十五、用固体燃料焙烧建筑陶瓷的 隧道窑新系统	145
二十六、在隧道窑上用ISO-JET系统快速烧成	152
二十七、高速烧嘴	156
二十八、焙烧砖和陶瓷的装配式隧道窑	162
二十九、降低装配式隧道窑的燃料消耗	169
三十、装配式隧道窑的特征及优越性	172
三十一、烧瓦的辊道窑	174
三十二、焙烧薄型砖的辊道窑	178
三十三、里斯勃罗瓦厂自动化圆形隧道窑	180
三十四、自动旋转窑底的环形窑	187
三十五、世界上最大的隧道窑——日产40万块 空心砖	191
三十六、陶瓷纤维在砖窑中的使用	195

一、砖瓦坯体最佳干燥条件的确定

[西德] P. 娄斯登

(一)目标的规定和问题的提出

本文是为制订砖瓦工业干燥室测量标准而进行的研究课题的一个组成部分。目的在于创立一种求得最佳干燥曲线的方法，即在保证干燥制品质量的前提下所能允许的最大脱水速度。与此同时，进行了质交换和热交换的研究，以及砖瓦坯体在对流干燥时干燥效应的研究。最后要将最佳干燥曲线和质交换及热交换的规律应用于干燥室的设计。因此，应详细测量制品干燥过程，并且在此基础上确定计算方法。

在若干年前，砖瓦研究所已研究了陶瓷坯体的“最佳焙烧曲线”，描述了一种最短的焙烧过程，依此曲线（不依赖于所应用的窑炉系统）烧出的产品不会由于烧成而产生质量缺陷。

与最佳焙烧曲线相似，要求取得每一干燥阶段脱水速度与时间的变化过程，以便尽可能在短的时间内得到无缺陷（无裂纹和无翘曲）的产品，并研究在干燥过程中坯体内的变化。“最佳干燥曲线”就是最大允许脱水速度表示为时间的函数。此函数取自用工厂中制备泥料和成型方法而生产的原坯，并将此原坯置于工业干燥设备所具有的气流条件之下进行试验。

本研究开始时是按照沙曼划分为三段干燥的工艺进行

的:

(1) 在较高的空气相对湿度下(无收缩)加热干燥制品。

(2) 在外部空气恒定条件下进行坯体干燥,直至收缩过程停止。

(3) 在提高空气温度和降低空气相对湿度下进行最终干燥。

在其它类似工业部门也是采用这种分段方法,它基于在较高温度下能较快的无损害地干燥制品的原理。将干燥速度 g 作为平均含水率 $\bar{X}$ 的函数描绘于图 1 中。加热阶段(A、B)应尽可能快地使制品达到较高的温度,以便达到较高允许干燥速度 $g_{\text{允许}}$ 的阶段。范围B、C、D同干燥阶段 I 和 II_a 相符,在这一阶段内,坯体内部的水分输送至坯体表面完全是由于毛细管作用。在起始范围和在第 I 干燥阶段中,整个表面上蒙覆着一薄层水膜,此层水膜在第 II_a 干燥阶段开始(至点C)时开始消失。在保持恒定空气状态和空气流速条件下,干燥速度 g 很快下降。在第 II_a 阶段结束时(在点D),

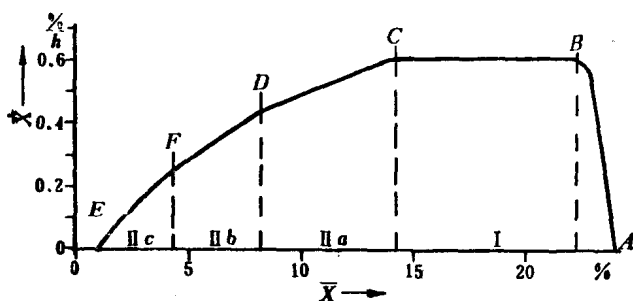


图 1 自平均含水率单位时间改变量 $\bar{X}$, 求出干燥速度 g 和平均含水率 $\bar{X}$

整个坯体表面开始干燥，收缩达到其最终值。此时，就不再需要保持外部条件不变，因为不会再因收缩而出现变形；此外，干燥制品已硬化，可以提高空气温度同时降低空气相对湿度，从而缩短整个干燥过程。

因此，最佳干燥曲线的最初意义仅限于起始范围A、B和第I、II干燥阶段。在II₀和II₁两阶段的干燥可仅从纯热耗的经济观点进行。

为了减少针对每种产品进行最佳干燥曲线的纯“经验测定”的试验过程，根据迄今熟知的雷阔夫、那乌莫夫、法尔克等的理论，确定干燥制品的物理性能（收缩、允许弹性膨胀量和湿传导指数）与干燥速度之间的关系。这样，“经验测定”的概念意味着对尚未知的干燥过程分为三个阶段：起始段（A、B），第I干燥阶段和II₀干燥阶段进行多次重复和不断缩小的工作。

（二）研究设备的叙述

为了进行研究和试验，建造了一套设备。图2示出此研

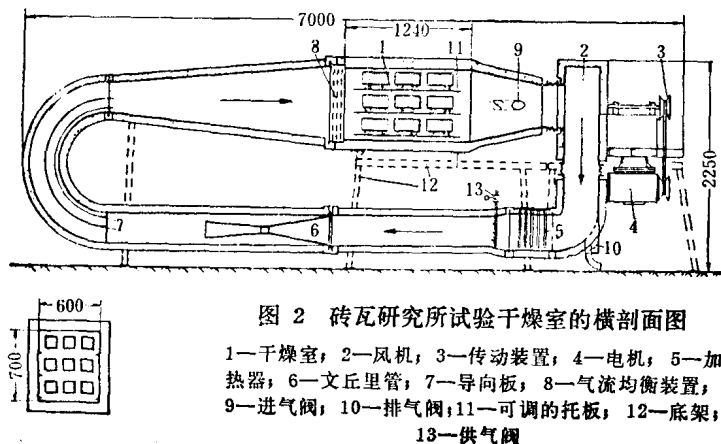


图2 砖瓦研究所试验干燥室的横剖面图

- 1—干燥室；2—风机；3—传动装置；4—电机；5—加热器；6—文丘里管；7—导向板；8—气流均衡装置；9—进气阀；10—排气阀；11—可调的托板；12—底架；13—供气阀

究干燥室的横剖面图。

穿流过干燥室(1)的干燥空气由风机(2)输入,在空气加热器(5)内加热。空气通过装有文丘里管的测量地段,经过导向板(7)及扩散器通过气流均衡装置(8)被导入干燥室内。

图中的干燥室装有 $1\frac{1}{2}$ -型标准砖(西德)。室长为1240毫米,高700毫米,宽600毫米,室的横断面示意图在图2的左下方。

通过调节风机电机(4)的转速和三角皮带传动装置(3),可以改变干燥室断面的气流速度从0.2米/秒至5米/秒。借助于文丘里管(6)的压差测量,可精确的确定空气流量和流入室内的速度。通过空气加热器(5)能将空气加热至150°C。经由排气阀(10)和进气阀(9)的伺服驱动装置的工作,可将干燥空气调整至所希望的相对湿度或经电机调节阀(13)引入蒸汽来调节湿度。

图3示出具有控制柜(右边)的干燥室的外貌。在干燥室的门(图中部)上安装有多种玻璃窗,用来观察干燥制品。

干燥空气所希望的温湿度变化过程由顺序发生器的凸轮机构(在控制柜中上部)控制。电子控制器按给定的额定温度值调整油压变压器(在图中控制柜左侧)以便调节加热功率。第二个独立的控制器通过小的蒸汽发生器(在图内干燥室下面)产生的蒸汽放出,或通过排气阀和进气阀的操作,保持由程序凸轮预定的空气相对湿度值。

用电阻温度计测量温度,空气湿度由相对湿度计(干湿)测量,原料的收缩用感应位移传感器测量。在干燥室坯垛中

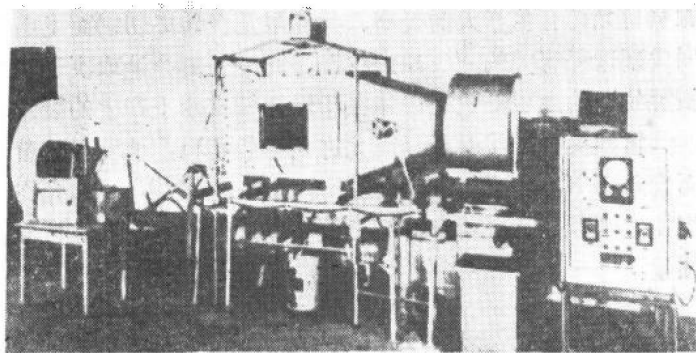


图 3 可自动调节和记录的试验干燥室总图

部的砖坯悬在室上部的线圈式补偿天平上。所有测量值(ϑ_{π} 、 φ 、 $\vartheta_{\text{н}}$ 、 A 、 $m_{\text{н}}$)用补偿记录器进行连续记录。

(三)工作的进行

在试验干燥室控制设备和记录装置安装并投入使用后，试验按三段干燥进行。

1. 按三段干燥的干燥试验和初步结果

象在工业用干燥设备一样，我们在相对小的试验设备中，加热阶段 A 、 B 也出现很大的困难（凝露和产生裂纹），因为在这一段内干燥制品的含水率应保持恒定。在同荷兰和南斯拉夫的陶瓷研究所交流经验之后，我们在恒定收缩情况下进行了若干试验，即利用了热膨胀所产生的补偿作用。为了缩短干燥时间，又作了进一步试验，在这些试验中允许较少量的收缩。可以看出，同在恒定含水率 $\bar{x}$ 下加热相比较，它在初始干燥阶段能有较大的干燥速度。

总的说来，通过本试验说明，如对三段干燥进一步划分并作更细致的探讨，就可能把干燥时间缩短到最低。例如，

在主体干燥段所确定的，在历经总收缩的大约50%之后，干燥负荷允许有相当大的提高。其界限是在砖坯切割面上出现同成型过程有关的“纹理裂纹”，此外还部分地取决于“坯板裂纹”的出现，它是坯体在干燥托板支承上产生的裂纹。

雷阔夫提出了对于提高允许负荷的解释，他发现随着表面含水率 X_0 的下降，允许含水率梯度 $(\partial X / \partial l)_0$ 和允许干燥速度可以提高。所获得测量值可以近似地用下列函数形式描述：

$$\left(\frac{\partial X}{\partial l}\right)_0 = \frac{k_m}{X_0} - k_n$$

2. 理论工作

依据波斯威尔兹关于湿度应力的理论工作，提出陶瓷材料的收缩——膨胀行为的假说。它的基础是受约束的收缩变形应等于允许的膨胀变形。根据这一假说，干燥速度为：

$$g = f(\chi, \varepsilon_{\text{允许}}, \alpha_0 d_1)$$

如此求得的“理论干燥速度”同在试验干燥器内在开始干燥阶段求得的允许干燥速度较好地符合。

进一步的干燥指出，干燥速度 g （单位为公斤 $\times$ 米⁻² $\times$ 小时⁻¹）虽然从质交换的研究来看是正确的，但对干燥过程的稳定则是不利的。

从含水率场和温度场之间的物理类似性可以明显地看出，可用第二弗克许扩散公式：

$$\frac{\partial^2 X}{\partial l^2} = -\frac{1}{\chi} \cdot \frac{\partial X}{\partial t} \quad \text{或} \quad \frac{d^2 X}{dl^2} = \frac{\dot{X}}{\chi} \quad (1)$$

（与付里叶温度场微分方程类似）作为进一步观察的基础。由此需要将由前面常用的干燥速度 g 过渡到用平均含水率的单位时间改变量 $\dot{X}$ （例如以单位小时⁻¹）。在无穷大平板情况下 $\dot{X}_{\text{平均}}$ 以下式表示：

$$\dot{X}_{\text{允许}} = \frac{\chi \cdot \varepsilon_{\text{允许}}}{d^2 \cdot \alpha_i} \quad (2)$$

依此式，平均含水率单位时间改变量 $\dot{X}$ 与等湿指数 χ 、弹性膨胀量 $\varepsilon_{\text{允许}}$ 成正比，与相对厚度 d 的平方（ $d = \text{体积}/\text{表面积}$ ），收缩系数 α_i 成反比。

$$\alpha_i = \frac{l}{l_0} \cdot \frac{dl}{dX} \quad (3)$$

克尼乌莱称 α_i 为“收缩系数”。

(1) 影响因素的求得

$\varepsilon_{\text{允许}}$ ：在本研究课题中没有影响因素能描述塑性膨胀。

如果在干燥开始时出现塑性变形，那么这一变形必将在干燥结束再回返原状。但因泥料在这段时间内硬化，使这一膨胀之平衡成为不可能，而应力则留在泥料中。塑性膨胀同分子的换位相联。与此相反，弹性膨胀没有换位而仅出现分子的距离改变。这些距离的改变可能同温度没有很大关系。

允许弹性膨胀 $\varepsilon_{\text{允许}}$ 用20毫米长，32毫米直径的圆柱式样借助于平行平板塑性仪求得。测定时试体在负荷下仅发生微小变形。以对应于试样原长度的弹性回弹长度作为允许弹性膨胀值（表1）。

α_i ：收缩系数等于对应于含水率改变量 ΔX 的相对长度改变量 $(l-l_0)/l_0$ 。它是由原料决定的物理量，最好用一伸长的圆柱样测量，而且测量时，含水率单位时间改变量 $\dot{X}$ 应保持很小，以便尽可能减少由内向外的含水率差 $X_{i,0}$ 。

χ ：湿传导指数取决于温度。按克瑞舍尔的说法，它与表面张力 σ 成正比，与动力粘土 η 成反比。 σ/η 比值显示出同温度存在实际上的线性关系（图4）。为了求得湿传导指数 χ ，把每一种待测原料制成圆柱形试体的圆表面粘在涂

表 1

序号	砖的种类及尺寸 (毫米)	空心率 (%)	χ (10^{-4} 米 ² /小时)	$\varepsilon_{\text{允许}}$ (%)	α_1 (1)	d (10^{-2} 米)	$(\bar{\chi}_{\text{允许}})_{\text{测量值}}$ (%/小时)	$(\bar{\chi}_{\text{允许}})_{\text{计算值}}$ (%/小时)	I/G (1)	附 注
1	粗砌墙砖 (240×115×52)	16.4	7.0	1.8	0.83	0.96	16.66	3.14	5.3	明显的成 型缺陷
2	粗砌墙砖 (240×115×52)	16.4	4.4	1.82	0.74	0.96	12.00	4.33	2.77	
3	粗砌墙砖 (240×115×52)	16.4	4.6	1.61	0.91	0.96	8.95	2.75	3.26	
4	粗砌墙砖 (240×115×71)	0	2.9	2.38	0.30	2.02	5.64	1.67	3.38	
5	粗砌墙砖 (240×115×65)	9.2	0.8	2.75	0.79	1.07	2.38	0.70	3.4	
6	粗砌墙砖 (240×115×65)	9.2	0.75	2.75	0.81	1.07	2.09	0.59	3.54	
7	砌墙砖 (265×125×75)	19.6	1.94	2.75	1.03	1.01	5.09	0.77	6.61	明显的成 型缺陷
8	屋面瓦 (447×267×12)	0	0.38	1.60	0.63	0.65	2.26	0.44	5.14	
9	屋面瓦 (447×267×12)	0	0.43	1.58	0.68	0.65	2.31	0.49	4.72	

复塑料的湿底板上，并且用一塑料薄膜包扎。多个试体在试验干燥室内悬于记录天平之上，以使这些试体由同样状态参数的恒速的空气垂直于圆柱轴向吹拂。将这些试体分别在不同时间间隔内取出，并切成圆盘。称重后求得含水率分布，并由此按定义公式求得湿传导指数 χ 。

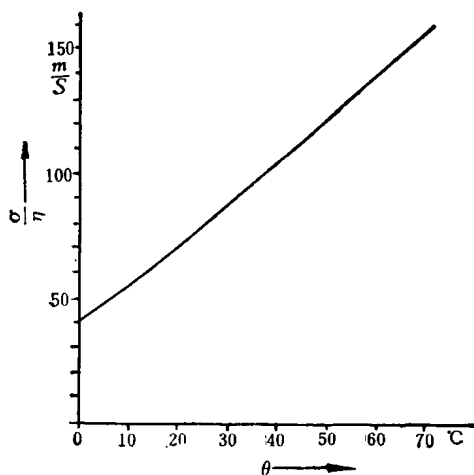


图 4 以温度函数表示的表面张力与水的粘度比值

$$\chi = \frac{\dot{m}}{\varphi_{\text{干}} \cdot A \cdot dX / \alpha_{le}} \quad (4)$$

在以制品表面蒙覆一层水膜为特征的第 I 干燥阶段中，在恒定外部条件下，经过一段时间后形成抛物线含水率分布图，它能用下式表示：

$$X = k \cdot l^2 \quad (5)$$

微分后得：

$$dX/dl = 2k \cdot l \quad (6)$$