

王 启 标 等 編 著

轮窑快速烧砖的理论与实践

建 筑 工 程 出 版 社

2085

X72(53)

輪窯快速燒磚的理論和實踐

王启标等 編著

四

建筑工程出版社出版

• 1960 •

輪窯快速燒磚的理論與實踐

王启标等 編著

1959年12月第1版 1960年3月第2次印刷 1,561—3,570册

850×1168 $\frac{1}{32}$ • 166千字 • 印張 $6\frac{3}{8}$ • 定价 (9) 0.77元

建筑工程出版社印刷厂印刷 • 新华书店发行 • 書号: 1783

建筑工程出版社出版 (北京市西郊百万庄)

(北京市書刊出版业营业許可証出字第052号)

前 言

解放前，我国輪窑燒磚，产量低，每立方米容积月产量仅1000块左右；煤耗高，每万块磚的煤耗量高达1.2~1.5吨以上，技术很落后。解放后，特别是1958年大跃进以来，在党的领导下，吸取了苏联的先进經驗，使我国磚瓦焙燒技术得到了显著提高。高产和低煤耗的新纪录一个接一个地出現，輪窑每立方米容积月产量一般为2500块，最高已达3500块以上。每万块磚的耗煤量一般为0.8吨左右，最低已降至0.6吨以下，很多輪窑的生产指标已达到了世界先进水平。

我国磚瓦生产技术，吸取了苏联稀碼快燒先进經驗，打破了以往密碼慢燒的陈規，使我国制磚工业走上了新的道路。在此基础上，我国各地制磚工作者又結合我国具体条件，不断地改进碼窑形式，在稀碼的原則下，初步摸索到与設備条件、气候条件相适应的碼窑密度，以減少气体流动阻力加强窑內通风，并尽量改善燃料在坯垛断面上分散的均匀程度，同时，还广泛地推行了“小量勤添”的操作法，以适应强力通风和燃燒条件的变化；創造了加强坯子預热的烘小灶、燒大灶等方法，以保証磚坯迅速燒成等經驗，这就不仅提高了輪窑生产率，而且大大降低了煤耗。

为了总结以上快速燒磚經驗，我局曾派王启标同志到江苏省利农磚瓦厂研究試点，在該厂领导和职工的支持和协助下，編成了“輪窑快速燒磚的理論和实践”这本书。因系初次尝试难免錯誤。我們不奢望同时也不可能通过它来闡明和解决輪窑焙燒技术的許多复杂的理論問題；我們仅仅希望通过这本书介紹輪窑作业的一般原理和实现快速燒磚的基本条件及其采取的一些措施，供我国制磚工作者参考，以便于促进生产和更广泛地开展羣众性的科学研究工作，把我国制磚工业从实践逐步提高到更高的理論水

平，生产更多、更好的磚来滿足国家建設日益发展的需要。

本書由王启标、朱瑚两同志負責編写，利农磚瓦厂燒火班全体同志以及孙月高、赵璋等同志提供很多有益的資料。

本書不妥和錯誤之处，希讀者多多批評指正。

建筑工程部非金屬矿及地方建筑材料工业管理局

1959年11月

目 录

前 言

第一章 輪窑工作的理論基础	(1)
第一节 輪窑內的气体运动	(2)
一、气体为什么会发生运动	(2)
二、气体运动的阻力	(3)
三、烟囱——使气体发生运动的装置	(21)
四、气体在輪窑內流动的分析	(24)
第二节 燃料的燃燒	(29)
一、燃料燃燒的化学反应	(29)
二、完全燃燒和不完全燃燒	(30)
三、燃料完全燃燒所需要的空气量和烟气生成量	(30)
四、燃料完全燃燒的基本条件	(34)
五、燃料在輪窑內燃燒的特点	(36)
第三节 傳热	(39)
一、傳导傳热	(40)
二、对流傳热	(41)
三、輻射傳热	(43)
第二章 影响輪窑生产率的因素	(51)
第三章 实现快速燒磚的措施	(57)
第一节 輪窑結構特点的分析	(58)
一、輪窑的結構	(58)
二、輪窑結構的分析	(59)
三、輪窑的操作特点	(64)
第二节 加强通风	(64)
一、發揮烟囱的抽力作用	(65)
二、減少阻力	(83)
三、使用排风机增大窑的通风能力	(85)
第三节 碼窑	(87)

一、碼窖在焙燒制度中的重要性	(87)
二、鑑別碼窖形式的几个重要指标	(90)
三、确定碼窖制度的基本原則及碼窖形式的選擇	(93)
第四节 加强燃料的燃燒过程	(120)
一、燃料处理	(121)
二、小量勤添	(122)
三、分段投入不同的燃料	(126)
四、在坯燥中散布燃料	(127)
五、在磚坯中掺入可燃物	(129)
六、适当提高燒成溫度	(130)
第五节 加强磚坯在輪窖內的干燥和預热过程	(130)
第四章 輪窖測定結果的分析	(146)
第一节 試驗窖的工作制度和操作特点	(146)
第二节 輪窖內坯子干燥和預热过程的分析	(153)
第三节 輪窖內通风条件的分析	(162)
第四节 三种焙燒制度的热平衡分析	(169)
第五章 輪窖技术測定	(178)
第一节 窖內溫度的測量	(179)
第二节 窖內压力的測量	(182)
第三节 烟气成分的測定	(186)
第四节 坯子脫水速度的測定	(194)
第五节 坯子溫度及坯子水分的測定	(195)
第六节 出窖磚溫度的測定	(196)
参考書籍	(198)

第一章 輪窑工作的理論基础

磚的焙燒，是一个复杂的物理—化学过程。它是受热作用的过程。

用輪窑燒磚，磚是按一定形式碼放在窑道內，并向火眼投入燃料进行焙燒的。燃料燃燒所产生的热量不断地傳給磚坯，而把磚坯燒成磚。燃料燃燒及其热量傳送給磚坯，都需借助于气体，因此，气体在燒磚过程中起着重要作用。气体的作用是这样：首先，从外界进入窑內的气体（空气）提供燃料燃燒所需的氧气，以帮助燃燒；其次，气体又以其自身作为热交換的媒介，使磚坯焙燒获得充分的热作用。气体的媒介作用是这样的：当气体（空气）一入窑內，碰到已燒好的磚（这时磚的溫度比空气的溫度高），磚将热量傳給空气（愈往窑里去，磚的溫度愈高，則傳給空气的热量愈多，空气的溫度也因之愈高），空气在窑內这一段起着冷却磚和自身吸热的作用，而使自身获得很高的溫度。接着，高溫的空气进入窑的焙燒带（向火眼投煤的窑段），同投入的燃料相接触而发生激烈的燃燒，气体又吸收燃料放出的热量而变成熾热的火焰（空气与烟气混合物），用以燒結磚坯。火焰穿过焙燒带之后，又与溫度較自身为低的磚坯相遇，而把热量傳給磚坯，并降低自己的溫度（愈往前进，烟气散失的热量愈多，溫度就愈低），至最后，携同坯子所蒸发的水蒸汽一道經由总烟道、烟囱排出窑外。气体（烟气）在窑內这一段起着自身放热作用和加热、燒結磚坯的作用。

由此可知，磚的焙燒是和气体运动、燃料燃燒、傳热等过程密切相关的。热气体在輪窑的窑道断面上均匀地分布和流动，能使断面上的溫度趋于均衡；气体在窑內的运动速度和流量愈大，

則热交換效率愈高，單位時間內可能燃燒的燃料量也愈多，因而燃燒条件和傳热条件就愈为有利。所有这一切都影响到焙燒進度的快慢，以及生產率的高低和耗煤量的多少。因此，在研究輪審快速燒磚之前，首先要对气体运动，燃料燃燒以及傳热等过程有个概括的了解。

第一节 輪審內的气体运动

一、气体为什么会发生运动

大家都知道，气体不同于固体、液体，它对热的敏感性很大，溫度有稍許增降，就会引起气体体积的变化，即溫度增高，則气体体积脹大；反之，則体积縮小。所以气体具有热脹冷縮的特性。当气体在受热或冷却的同时，随着气体体积的变化，它的單位体积重量（又称重度）也发生变化：当受热时，气体的重度变小；当冷却时，气体的重度变大。

气体体积随溫度变化的关系可用公式（1）表示：

$$V_t = V_0 \frac{273 + t}{273} \quad (1)$$

式中： V_t ——溫度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时的气体体积，米³；

V_0 —— 0°C 时气体的体积，米³；

273——絕對溫度， $^{\circ}\text{K}$ ，攝氏 0°C 等于絕對溫度 273°K ；

t ——气体的溫度， $^{\circ}\text{C}$ 。

气体重度随溫度变化的关系可用公式（2）表示：

$$\gamma_t = \gamma_0 \frac{273}{273 + t} \quad (2)$$

式中： γ_t ——溫度为 $t^{\circ}\text{C}$ 时气体的重度，公斤/米³；

γ_0 ——溫度为 0°C 时气体的重度，公斤/米³；

t ——气体的溫度， $^{\circ}\text{C}$ 。

我們也知道，气体和液体一样，是很容易流动的，只要受到

一点点外力的作用就会引起形状上的任意变化和发生运动。

由于气体有热胀冷缩，热时变轻，冷时变重和容易流动的特性，所以当气体的某一部份受热以后，由于体积膨胀而变轻，就有往上升的趋势，而在其周围的冷气体则较重，就发生下沉而欲填补上升热空气所留下的空间的趋势，这就是气体发生运动的根本原因。现将气体在窑内发生运动的情况举例说明如图 1 所示：

AB和CD是高度相等的两个烟囱，在D处用木柴生火，CD段内的气体因受热而变轻，

而AB却充满了冷而重的空气，形成一边重一边轻，两下不平衡。于是，CD段内的热空气因轻而上升，而AB段内的冷空气则因重而下降，从B处向D处流动。这样就使气体发生运动。

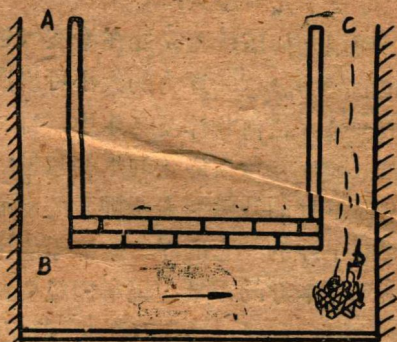


图 1 热气体在窑内流动的情况

气体的运动由于作用力的性质不同而分为两种：

如上述因气体本身重度差而引起的气体运动叫做自然运动；因受外力作用而引起的气体运动叫做强制运动。

二、气体运动的阻力

气体运动时，由于它本身的分子互相碰撞而产生内摩擦阻力；特别是当通道面积改变或运动方向变更时，分子碰撞的机会愈多，内摩擦阻力就愈大。当气体与固体碰撞或接触时则产生外摩擦阻力；特别是当与粗糙的表面摩擦时，外摩擦阻力就愈大。气体在运动途中需要克服一切阻力才能维持运动状态，气体为克服阻力所消耗的能量叫做阻力压头损失。

在气体力学中，通常用压力或压头来表示气体的能量。

压力是用公斤/厘米²、大气压等单位来表示。

压头是用液柱高度(毫米)来表示。

1 大气压 = 760 毫米水銀柱 = $1033 \text{ 公斤/厘米}^2 = 10330 \text{ 毫米水柱}$ 。

为了計算方便起见，往往用压头(即毫米水柱高度)表示气体的能量。

气体的压头一共有四种：即几何压头，静压头，动压头和阻力损失压头。

(1) 几何压头：

所谓几何压头就是处在冷空气包围之中的热气体所具有向上升起的浮力。这一浮力的大小可以应用阿基米德原理来计算。这一原理是：任何物体浸在水中，都将失去其全部或部分重量，其失重数值等于它所排开的水的重量。也就是说，物体的下沉力等于物体本身的重量减去所排开的水的重量。对于热气体来说，它是要向上浮的，它的浮力就等于它上升时所排开的冷空气重量减去热气体本身的重量。现举例说明如下：

设有一容器，高为 H 公尺，截面积为 1 平方公尺，下面开口，其中充满了温度为 $t^\circ\text{C}$ 之热气体，其重度为 γ_t ；四周是 0°C 的冷空气，其重度为 γ_0 。

则：热气体排开的冷空气重量 = $H \times 1 \times \gamma_0$

热气体本身的重量 = $H \times 1 \times \gamma_t$

所以热气体在单位面积上的浮力(几何压头)等于：

$$h_{\text{几}} = H(\gamma_0 - \gamma_t) \text{ 公斤/平方公尺或毫米水柱} \quad (3)$$

应该注意，所谓几何压头是指在某一水平面下某一点对该平面来说的，如图 2 所示：图中容器内充满重度为 γ_t 的热气体，周围是重度为 γ_0 的空气，则在 $A \sim A$ 平面上的 A 点来说，对 $C \sim C$ 平面所具有的压头是 $H(\gamma_0 - \gamma_t)$ ，而在 $B \sim B$ 平面上的 B 点来说，对 $C \sim C$ 平面所具有的几何压头是 $H_1(\gamma_0 - \gamma_t)$ 。显然，对 $C \sim C$ 平面来说， B 点的几何压头比 A 点减少了，关于这一点在下面再讨论。

另外，还有一点应该注意的，几何压头只能通过计算方法来求得而不能仪器来测量。

(2) 静压头:

密内的气体压力与密外大气压力之差叫做静压头。在自然流动中, 静压头是由几何压头转变而来的, 也就是气体受下面热气柱的上升压力; 在强制流动中, 静压头是由通风机产生的。静压头是使气体发生运动的能力指标。静压头可以用压力计来测定, 见图 3, U 形压力计中装有带颜色的水, 一端与大气相通, 另一端与管道垂直相接。从压力计测出的高度 h , 就是静压头。

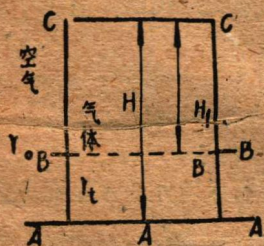


图 2 气体的几何压头

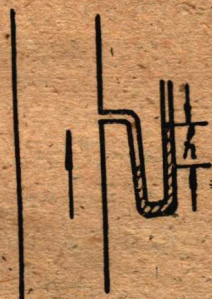


图 3 气体的静压头

密内气体压力大于大气压力时, 则静压头为正值 (正压); 当密内外压力相等时, 静压为 0; 当密内气体压力小于大气压力时, 则静压头为负值 (负压), 也就是我们通常所说的抽力。

前面说过在自然运动中, 静压头是由几何压头转变而来的, 关于这一转变过程可用下面的图解来分析说明: 如图 4, 在底下开口的容器内盛满重度为 γ_t 的热气体, 周围是冷空气 (重度为 γ_0), 这时在容器内不同高度的 A、B、C 三点上各具有什么压头呢? 先看点 A, 它在容器的底部与大气相通, 这时它的压力等于大气压力, 我们在这里用压力计量不出有静压头, 也就是说 A 点的静压头为零 ($P_{静A} = 0$)。但是它对 C 点的水平面来

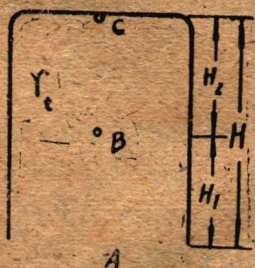


图 4 几何压头转变为静压头的图解

說則具有上升的浮力（几何压头），它的大小为：

$$P_A^{\text{几}} = H(\gamma_0 - \gamma_t)$$

所以在 A 点上的总压头为：

$$P_A^{\text{总}} = P_A^{\text{静}} + P_A^{\text{几}} = 0 + H(\gamma_0 - \gamma_t) = H(\gamma_0 - \gamma_t)$$

再看点 B，B 点位于容器的中部，它受着下面 AB 热气柱的上升压力，所以从 B 点的平面上用压力计可以量出有静压头，它的大小为： $P_B^{\text{静}} = H_1(\gamma_0 - \gamma_t)$ ；同时 B 点对 C 点来说它又具有上升的浮力，它的大小为： $P_B^{\text{几}} = H_2(\gamma_0 - \gamma_t)$ 。因此，B 点上的总压头为：

$$\begin{aligned} P_B^{\text{总}} &= P_B^{\text{静}} + P_B^{\text{几}} = H_1(\gamma_0 - \gamma_t) + H_2(\gamma_0 - \gamma_t) \\ &= (H_1 + H_2)(\gamma_0 - \gamma_t) = H(\gamma_0 - \gamma_t) \end{aligned}$$

C 点位于容器的最高部位，它对于本身所处的水平面来说，几何压头为零，即 $P_C^{\text{几}} = 0$ ；但它受到下面整个热气柱（AC）的上升压力，它具有的静压头为： $P_C^{\text{静}} = H(\gamma_0 - \gamma_t)$ 。因此，C 点上的总压头为：

$$P_C^{\text{总}} = P_C^{\text{几}} + P_C^{\text{静}} = H(\gamma_0 - \gamma_t) + 0 = H(\gamma_0 - \gamma_t)$$

从分析以上三点的压头变化中，我们得出很重要的结论：

A. 尽管 A、B、C 三点在容器内所处的位置不同，但它们所具有的总压头是相等的，即：

$$P_A^{\text{总}} = P_B^{\text{总}} = P_C^{\text{总}} = H(\gamma_0 - \gamma_t)$$

B. 虽然它们的总压头相等，但是由于所处的位置不同而所具有的几何压头和静压头的大小是不同的。对于一定的水平面来说，它所处的位置愈低，所具有的几何压头愈大，而静压头则愈小；随着位置的愈向上，则几何压头愈减小，而静压头则愈增大。

C. 由于热气体有上升的趋势，故几何压头可转变为静压

头，但热气体没有下降的趋势，所以静压头不能转变为几何压头。

(3) 动压头:

这是由于气体运动时产生的压力，静止的气体是没有动压头的。气体的运动速度和它的重度愈大，则产生的动压头也就愈大。动压头是表示气体的动能，它可用下式来计算：

$$P_{\text{动}} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{\gamma_t v^2}{2g} \quad (4)$$

式中： m ——气体的质量，等于 $\frac{\gamma_t}{g}$ ；

v ——气体的运动速度，米/秒；

γ_t ——温度为 $t^\circ\text{C}$ 时气体的重度，公斤/立方米；

g ——重力加速度，等于 9.81 公尺/秒²。

气体的动压头可以用示差压力计（毕特管）来测量（见图 5）。在 A 点处测得的是静压与动压的总和，在 B 点处测得的是静压，所以 A、B 两点的压力差（U 形压力计表示的液面差 h ）就等于动压值。

气体的动压是由静压转变而来的，同时动压又可转变为静压，它们的互换关系可用图 6 来说明。

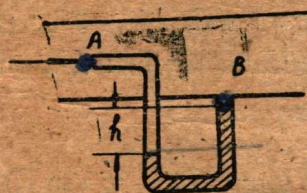


图 5 气体的动压

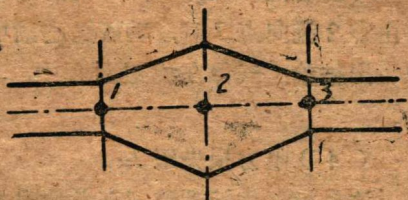


图 6 静压和动压的互换

设有体积为 V 的气体在图 6 中的管道内流动。1、2、3 点处的管道断面积各为 F_1 、 F_2 、 F_3 ，其中 $F_1 = F_3$ ， $F_2 > F_1$ 和 F_3 。通过各个断面的流速分别为 v_1 、 v_2 、 v_3 。当体积 V 不变时，我们得到：

$$F_1 v_1 = F_2 v_2 = F_3 v_3 = V$$

因为

$$F_2 > F_1 = F_3$$

所以

$$v_2 < v_1 = v_3$$

假设气体通过管道时没有摩擦压头损失；又由于 1、2 和 3 三点在同一水平面上，因此它们对任何一个水平面来说，所具有的几何压头都是相同的，即 $P_1^L = P_2^L = P_3^L$ ；1、2 和 3 三点的静压分别为 $P_1^{\text{静}}$ 、 $P_2^{\text{静}}$ 和 $P_3^{\text{静}}$ ；它们的动压头是：

$$P_1^{\text{动}} = \frac{\gamma v_1^2}{2g}, \quad P_2^{\text{动}} = \frac{\gamma v_2^2}{2g} \text{ 和 } P_3^{\text{动}} = \frac{\gamma v_3^2}{2g}$$

因为 1、2 和 3 三点的总压头是相等的，所以：

$$P_1^L + P_1^{\text{静}} + \frac{\gamma v_1^2}{2g} = P_2^L + P_2^{\text{静}} + \frac{\gamma v_2^2}{2g} = P_3^L + P_3^{\text{静}} + \frac{\gamma v_3^2}{2g}$$

因 $P_1^L = P_2^L = P_3^L$

故 $P_1^{\text{静}} + \frac{\gamma v_1^2}{2g} = P_2^{\text{静}} + \frac{\gamma v_2^2}{2g} = P_3^{\text{静}} + \frac{\gamma v_3^2}{2g}$

因为 $v_2 < v_1 = v_3$ 即 $\frac{\gamma v_2^2}{2g} < \frac{\gamma v_1^2}{2g} = \frac{\gamma v_3^2}{2g}$

所以 $P_2^{\text{静}} > P_1^{\text{静}} = P_3^{\text{静}}$

可以看出：气体从点 1 流向点 2 时，动压减小，而静压增加；再由点 2 流向点 3 时，动压又逐渐增加，而静压减小。因此，可以得出结论：气体在流动过程中，它的动压和静压是互相转换的。

(4) 阻力损失压头：

这是指气体运动消耗在各种阻力上的压头损失，压头损失是气体动能的消耗，所以压头损失的数值是用动压头的倍数来计算，其单位则用毫米水柱来表示。

气体在运动途中所遇到的阻力按其形式可分为两种：由于气体与其接触物体的表面摩擦而产生的阻力叫做摩擦阻力；由于气体运动方向的改变，或通过不同断面时，其气体流股发生收缩或

擴張，以及氣體同物體碰撞而形成渦流……等等所產生的阻力叫做局部阻力。

用以克服摩擦阻力而消耗的壓頭可用下式計算：

$$h_{\text{摩}} = \mu \frac{L}{d} \times \frac{\gamma v_i^2}{2g} \quad (5)$$

式中： μ ——摩擦阻力係數，它的大小取決於接觸物表面的粗糙程度，就磚砌築物的表面來說，其摩擦阻力係數通常為0.05；

L ——管道的長度，米；

v_i ——溫度為 $t^\circ\text{C}$ 時氣體的運動速度，米/秒；

γ_i ——氣體在 $t^\circ\text{C}$ 時的重量，公斤/立方米；

g ——重力加速度，等於9.81米/秒²；

d ——當量直徑，米； $d = \frac{4 \times \text{通道斷面積}}{\text{通道周邊長}}$ 。

用以克服局部阻力而消耗的壓頭可用下式來計算：

$$h_{\text{局}} = k \frac{\gamma v_i^2}{2g} \quad (6)$$

式中： γ_i ——氣體在 $t^\circ\text{C}$ 時的重量，公斤/立方米；

v_i ——溫度為 $t^\circ\text{C}$ 時氣體的運動速度，米/秒；

g ——重力加速度，等於9.81米/秒²；

k ——局部阻力係數，通常通過實驗求得。

綜合以上所述，氣體運動的幾種壓頭的互相關系可以概括如下：幾何壓頭只能轉變為靜壓頭，是不可逆的；靜壓頭與動壓頭則可以互相轉變；而只有動壓頭變成壓頭損失。四者間的互換關系可用圖7來表示。其次，氣體在密內作穩定流動時，任何一密段內的氣體均保持其四種壓頭的總和不變，而只有壓頭的轉換，即：

$$P_{\text{几}} + P_{\text{靜}} + P_{\text{動}} + P_{\text{損}} = P_{\text{總}} = \text{常數} \quad (7)$$

式中任一壓頭有所增長，則必定有另

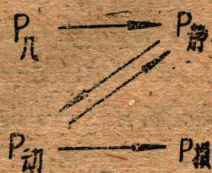


圖7
壓頭的互相關系

一压头在减少，而总压头 $P_{总}$ 不变。

在輪窯燒磚过程中，气体在运动途中遇到的阻力有：气体在窑道内运动时与窑壁摩擦而产生的摩擦阻力；气体一进入窑内就与磚垛碰撞，从很多連續的或不連續的孔洞中通过，与磚面摩擦并形成渦流，給以气体很大的阻力，坏垛碼得愈密、坏垛愈長，則阻力愈大；气体經過弯窑时因运动方向改变而发生局部阻力；气体从很大的窑道断面进入狹窄的哈风洞并通过风閘进入总烟道，最后流經烟囱排出窑外，在这一段路程中，气体流股因发生縮小、擴張和轉弯而形成局部阻力，同时，又与通道壁摩擦而产生摩擦阻力等等。在所有这些阻力中，一部分阻力如与窑壁的摩擦阻力，以及气体通过弯窑、哈风洞、风閘、烟道等所形成的局部阻力均取决于輪窑的結構，就固定結構的窑來說，若气体在單位時間內的流過量为一定时，則其对气体的阻力是不变的，阻力的大小是不能通过人为的努力来改变的；另一部分阻力則与操作有关，是可以人为地加以改变的，例如因坏垛碼放不当就会增大气体的阻力，这一部分阻力是可以通過調整碼窑密度和改进碼窑形式来減小的。在快速燒磚的討論中，一定的窑体結構所引起的阻力变化不大(應該說这一部分阻力对燒磚的进度是有影响的，但本書不涉及到窑爐的結構問題)，所以不作詳細的討論。这里仅討論影响快速燒磚最大的坏垛阻力問題。

碼窑是焙燒前的一道重要工序。碼窑形式的好坏直接影响磚的焙燒进度，所以研究快速燒磚必須研究碼窑形式。輪窑燒磚，通常是将生坯按一定的形式和要求，順次地碼放在窑的断面上而使之成多孔洞的連續坏垛，空气从这些坏垛孔洞通入窑内以供給燃料燃燒所需的氧。空气通过坏垛大大小小的孔洞时：一方面与坯子表面摩擦；另一方面又和坯子碰撞，因而发生气流的擴張和收縮。所有这一切都要消耗气体的动能，阻力愈大則消耗的动能愈多。在这一情况下就要加大气体通过坏垛的力量，就是說要加大窑的抽力才能使窑内气体保持一定的运动速度。当烟囱的有效抽力为一定时，若坏垛对气体的流动阻力愈大，則进入窑内的空气