

相模道空

轻工业出版社



4.00

辊道窑

马育才、范起泰、王名智等 编著

轻工业出版社

内 容 简 介

自一九七四年以来,我国推广先进陶瓷窑炉辊道窑已取得很大成绩。据不完全统计,全国各地建成的辊道窑已不下百余条,而且实践证明这种新型窑炉在我国陶瓷工业生产中已起了越来越大的作用。

本书是根据我国多年来试验推广辊道窑的实际经验,并参考国外大量先进技术资料写成的。书中取材以日用陶瓷工业中推广辊道窑的经验为主,除叙述辊道窑的有关基础理论外,还从设计、砌筑和实际操作技术上作了详细介绍。因而,本书可供从事辊道窑设计、施工和操作的技术人员和工人阅读。当然,科研单位和有关中等以上专业院校中的广大科研人员和师生也可参考。

辊 道 窑

马育才、范起泰、王名智等 编著

轻工业出版社出版

(北京阜成路3号)

北京印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 $1/32$ 印张: 5 字数: 107 千字

1983年10月 第一版第一次印刷

印数: 1—5,000 定价: 0.47元

统一书号: 15042·1777

前 言

烧成是陶瓷制造工艺中关键的工序，产品质量，很大程度上决定于烧成的好坏。烧成是在热工设备——窑炉中进行的，因此，窑炉在陶瓷工业中非常重要。第二次世界大战后，许多国家都十分注重窑炉的改进，出现了各种新型窑炉，如辊道窑、推板窑、梭式窑、高帽窑和气垫窑等。

辊道窑是陶瓷工业中的新型窑炉，也称辊底窑。它利用辊子作为传送工具，通过辊子的转动，传送制品，完成烧成工艺。

辊道窑是一种不用窑车的小截面隧道窑，但具有许多普通隧道窑所没有的优点。通道截面呈扁平形，所以又称辊道式隧道窑、扁口或缝式辊道窑。辊道上下能够同时加热，升温快，温度分布均匀，便于控制，易于点火和停窑，可以保证正确的烧成制度。制品直接在高温下烧成，适于制品的单元（单层放置）快速烧成。

辊道窑有利于实现烧成工序（包括装卸制品）的机械化和自动化，彻底摆脱繁重的体力劳动，且能与前后工序连成完整的连续生产线，提高生产效率。

辊道窑不用窑车和匣钵，有的只用垫板，其重量仅为制品重量的二分之一或更少些；有的还不用垫板，因此热耗大为降低，可节省燃料10~30%。如宜兴日用精陶厂的辊道窑与隧道窑对比可节约燃料50%。

此外，辊道窑还具有操作简便，有利于提高质量，降低成本，减少占地面积和投资少等许多优点。

辊道窑是一种快速烧成的先进窑炉，通常适于烧面砖。

地砖、陶瓷餐具、电子陶瓷元件和彩烧陶瓷制品。但是，辊道窑也有不足之处。由于用辊子代替窑车作为传送工具，带来不少麻烦，同时受辊子及其材质限制，一般使用温度为 $600\sim 1300^{\circ}\text{C}$ ，与隧道窑相比，高度大的制品则不适用。

辊道窑从本世纪二十年代开始应用在冶金工业上，从三十年代开始应用于陶瓷工业。美国首先修建了一条辊道试验窑，最初用于日用陶瓷制品的彩烧。四十年代末期，意大利开始研究快烧面砖的辊道窑。六十年代中期，苏、英、日等国开始修建辊道窑。六十年代末期，意大利修建许多快烧面砖和玻化瓷的多通道辊道窑，达到较为完善的程度，并向世界各国出售。美国修建了烧成96%氧化铝基片的辊道窑，烧成温度达 1530°C 。七十年代，国外修建辊道窑的水平大大提高，并将辊道窑并入整个陶瓷生产线中，组成一条包括辊道窑的完整快速生产线。意大利的玻化瓷盘生产线，从成形到成瓷的周期从 $100\sim 150$ 小时减少到 $6\sim 7$ 小时，烧成温度为 $1180\sim 1200^{\circ}\text{C}$ 。其中烧成周期减少到三小时，整个生产线仅二十三人，日产量达一万三千件。意大利西蒂公司最近生产F1型辊道窑，适用于中型企业生产，面砖和地砖的烧成时间为 $20\sim 40$ 分钟，日产量达 $1200\sim 2300\text{米}^2$ ，每公斤制品的热耗量为 $400\sim 600$ 千卡。美国得克萨斯州的马沙尔陶器公司 (Marshall Pottery, Inc.)，修建自动化生产粘土花盆工厂，采用辊道窑，烧成周期为 $2.5\sim 3$ 小时。英国吉朋斯兄弟窑炉公司 (Gibbons Brothers Ltd.) 销售装配式辊道窑，最高温度可达 1400°C 。该公司和英国伟奇伍德公司 (Wedgewood Ltd.) 等单位密切合作，采用西德内奇公司的杯类生产设备、连续干燥器、自动储存器、装配式辊道窑等设备，从泥料到素坯组成一条计算机自动控制的陶器生产线，并附有故障报警装

置。日产杯子三万件，混装产品（包括咖啡壶）约一万九千件。其中素烧周期四小时，烧成温度 1200°C 。该生产线的自动储存器可以储存白坯，供辊道窑夜间运行使用，素坯和白坯可以同时储存，采用电子系统计数，且能随时显示素坯和白坯的数量。苏联建筑陶瓷科学研究院也设计了不少辊道窑，有关轴子方面作了较多的研究工作。目前几乎所有的窑炉制造厂商都销售辊道窑，尤其是意大利和美国这类窑达到较为完善的程度。随着陶瓷烧成工艺不断的改革，快烧工艺不断的完善，窑结构、炉材和烧嘴等设备进一步改进，辊道窑必将在陶瓷工业中得到更广泛的应用。

解放以来，我国陶瓷工业有了很大发展，新型窑炉不断涌现。我国修建辊道窑起步虽较晚，但是发展迅速，一九七四年辽宁省海城县陶瓷四厂首次试制成功日用瓷釉烧烤花辊道窑。随着日用陶瓷工业的发展，辊道窑的类型也日益增多，如辽宁省锦州陶瓷厂的烧瓷辊道窑，山东省博山陶瓷厂的双层烤花辊道窑，山西省闻喜县陶瓷厂的煤烧烤花辊道窑，江苏宜兴日用精陶厂的釉中彩彩烤辊道窑等等。辊道窑的显著特点之一是适用于快速彩烧，尤其是釉中彩彩烧。由于窑内温度均匀，通风条件良好，可以降低铅溶出量，提高产品质量，保证了日用陶瓷的出口，所以烤花辊道窑在日用陶瓷工业中得到了普遍应用与推广。据不完全统计，我国已拥有辊道窑近百条，在我国陶瓷生产上起着巨大作用。我国采用辊道窑时间较短，还需要不断探索和不断总结。我们相信在全国共同努力下，一定能够设计和修建更先进的陶瓷辊道窑，为我国陶瓷工业发展做出更大的贡献。

本书写作过程中，承蒙轻工业部张锡秋高级工程师给予热情指导和大力支持，一些工厂提供了宝贵的技术资料，这里

一并表示深切的谢意。参加本书写作的还有杜品元、杨品升和刘明国、吕忠孝四位同志。由于时间仓促和作者水平所限，书中一定有许多不妥之处，敬请读者批评指正。

著者

于1981年8月

目 录

第一章 陶瓷烧成基本原理	(1)
第一节 坯体在烧成过程中的物理化学变化	(1)
第二节 快速烧成技术	(11)
第二章 辊道窑的传热	(19)
第一节 传热的基本形式	(20)
第二节 辊道窑内的实际传热过程	(31)
第三节 辊道窑窑体向外散热计算	(32)
第三章 辊道窑的结构	(34)
第一节 概述	(34)
第二节 辊道窑的窑体	(37)
第三节 燃烧设备和通风设备	(56)
第四节 辊道及其传动	(68)
第四章 辊道窑实例	(88)
第一节 单层烤花辊道窑	(88)
第二节 双层烤花辊道窑	(99)
第三节 煤烧烤花辊道窑	(107)
第四节 瓷器烧成辊道窑	(118)
第五节 精陶釉中彩彩烤辊道窑	(128)
第五章 辊道窑的砌筑与操作	(139)
第一节 辊道窑的砌筑	(139)
第二节 辊道窑的烘窑	(141)
第三节 煤烧辊道窑的操作	(146)
第四节 生产中易出现的问题及处理	(147)
本书主要参考资料	(149)

第一章 陶瓷烧成基本原理

烧成是陶瓷生产工艺过程中关键的工序，它的目的是固定坯体的形状，并使陶瓷制品具有使用上的各种性能。制品质量的优劣，很大程度决定于烧成工序，而烧成的质量又与制品的烧成工艺（温度制度、气氛制度和压力制度）、窑炉的选择与设计等有密切的关系。因此，必须了解与烧成有关的一些基本原理，如陶瓷坯体在烧成过程中的物理化学变化，燃料及其燃烧，传热，辊道窑的结构和操作原理等，以期达到优质、高产、低消耗和改善操作条件的目的。

第一节 坯体在烧成过程中的物理化学变化

辊道窑的工作系统和窑炉的结构是根据陶瓷制品的烧成制度来确定的，而烧成制度又与制品在烧成过程中的物理化学变化有关。陶瓷坯体的组成不同，它在窑内发生的物理化学变化也不同。烧成工艺还必须考虑到坯体的形状、大小、厚薄、水分含量和窑炉的结构等因素。

日用陶瓷坯体在辊道窑内和在普通隧道窑（或倒焰窑）内的烧成过程相比，既有类似之处，又有其自身的特殊性。但从总的方面来看，也可根据温度的变化，把制品从入窑到出窑的烧成周期分为如下几个阶段：（1）低温阶段；（2）分解及氧化阶段；（3）高温阶段；（4）保温阶段；（5）冷却阶段。

以高岭石类粘土制品为例，分别叙述如下：

1. 低温阶段（或水分蒸发阶段）

常温至300℃为低温阶段或称烘烧阶段。本阶段主要是排除坯体中的残余水分（指干燥后残留在坯体毛细管内的机械水和吸附于坯体表面的吸附水），其中无任何化学变化发生。为了使坯体中的残余水分得到充分排除并彻底干燥坯体，必须加强烧成初期的窑内通风。

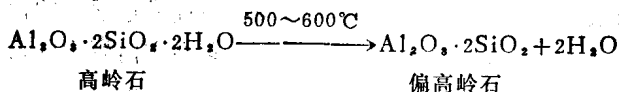
在本阶段内均匀的快速升温，不会引起坯体开裂。但是，若坯体的水分较大，且在窑内上下温差较大的情况下，升温速度又快，容易造成坯体的开裂。

本阶段终了时，坯体的气孔率增加并引起了体积密度的变化，透气性也相应增大，与此同时，坯体呈现微量的收缩。

2. 分解及氧化阶段

300~950℃为分解及氧化阶段。在此阶段中，坯体中发生的主要化学变化，是粘土中结构水的排除和碳酸盐、硫酸盐类的分解，硫化物的氧化以及有机物的氧化分解和石英的晶型转化等。其反应有：

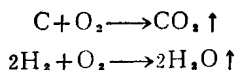
（1）结构水的排除



粘土矿物中结构水的分解温度和速度随升温速度而变化。如高岭石的分解属于一级化学反应，升温速度每提高100℃，其分解速度就加快一倍。

（2）有机物的氧化

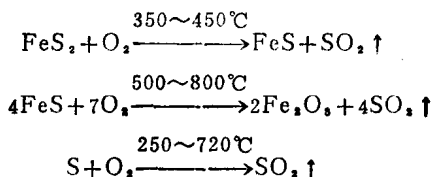
大体上可认为是按下式进行（400℃以后氧化较好的气氛）：



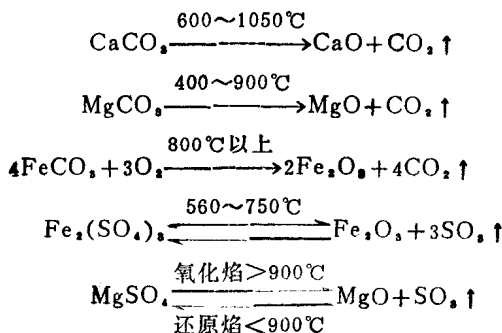
400℃以前沉积于坯体表面的碳素在600℃以后逐渐被氧化而减少。

坯体内外的碳素，在氧化较好、充分氧化时间、升温合理、温差小的情况下，可在900~1000℃完全烧尽。

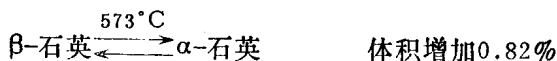
(3) 坯体中一些杂质的氧化，如：



(4) 碳酸盐、硫酸盐类的分解，如：



(5) 多晶转变



本阶段中的石英多晶转变，β-石英变成α-石英，这是同一类型的低温与高温形态间的转化，仅仅是硅氧键发生了一些扭曲，即键与键之间的角度稍有变动，因此转化速度较

快。在差热分析曲线中，升温速度对这类转化反应的热峰性质影响不大，只要窑内温度均匀，制品不会因快速升温而使坯体开裂。

为此，本阶段必须要有足够的时间和充足的氧气，以保证上述杂质的充分氧化与分解。

此阶段的升温速度，取决于原料的纯度与坯体的厚度。当原料较纯，坯体较薄时，气体易于排出，升温可以快。反之，升温则不宜过快。

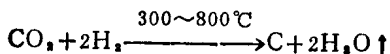
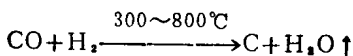
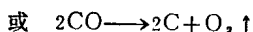
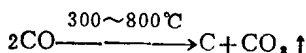
这一阶段中坯体内发生了如下的变化：

(1) 重量急速减轻，气孔率进一步增加。这是由于坯体中的结构水的排除，碳酸盐、硫酸盐、硫化物及有机物的分解氧化的结果。

(2) 硬度与强度增加。这是因为坯体中有一定的低熔点共融物产生，使部分颗粒熔结的缘故。

(3) 体积稍有增大（大约在1%以下），因坯体中 β -石英转变为 α -石英引起体积膨胀。

如果明焰烧成，因在本阶段陶瓷坯体呈多孔状，具有较大的吸附能力，燃料燃烧时析出的碳氢化合物和烟气中的CO，在气孔表面进行分解反应而生成碳素及挥发性碳氢化合物的冷凝物。尤其当窑内升温过快或存在还原气氛，即烟气中同时存在CO、CO₂与H₂时，更容易生成碳素，其反应为：



反应生成的碳素及碳氢化合物的冷凝物大部分被多孔的坯体所吸收，从而使坯体变成灰色。碳素的沉积多发生在低于 800°C 的温度范围，因此，这些碳素必须在釉玻化以及坯体烧结前烧尽。否则，会使坯体气孔率增加，并形成断面为蓝灰色和深灰色的坯泡。

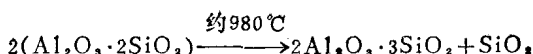
3. 高温阶段

从 950°C 左右开始直到坯体烧成的最高温度的阶段为高温阶段（或瓷化阶段）。在此阶段，各种物质已经发生的氧化及分解反应将更趋完全，物理变化也得到比较充分的发展，以达到坯体烧成的最终要求。由于各地原料特点的不同，陶器在隧道窑内一般都用氧化焰烧成；瓷器的烧成，我国北方各瓷区因原料中铁的含量较低，大部分采用氧化焰烧成。我国南方各瓷区因原料中铁的含量较多则采用还原焰烧成。当采用还原焰烧成时，本阶段又分为氧化保温期（约 $950\sim 1050^{\circ}\text{C}$ ），强还原期（ $1050\sim 1200^{\circ}\text{C}$ ）与弱还原期（ $1200\sim$ 最高烧成温度）。对于日用陶瓷的辊道窑，目前我国多采用隔焰式（马弗式）的氧化焰烧成，则此阶段可分为：

（1） $950\sim 1050^{\circ}\text{C}$

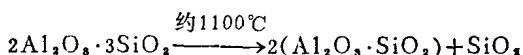
此温度范围一般叫氧化保温期，氧化保温期的目的是为了上阶段所发生的氧化及分解等作用进行得更为充分。这些反应都应在釉玻化前完成，否则，当温度继续升高釉熔融后，氧化和分解反应还在进行着，气体排不出去，势必产生坯泡。

在此期间，高岭石分解产物（偏高岭石）约在 980°C 左右转变为铝硅尖晶石，发生了差热分析中第一个放热反应，并同时出现少量液相。有关偏高岭石转化为莫来石的转化过程为：



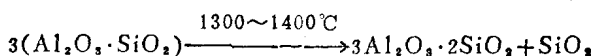
铝硅尖晶石

铝硅尖晶石中空位多，因而它也很不稳定。当加入的热量能使离子活动量增大后，就会转化成假莫来石（过渡型莫来石）而分离出方石英：



假莫来石

方石英



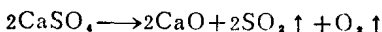
莫来石

方石英

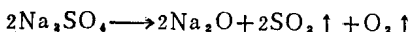
这种在粘土残骸上形成的莫来石是鳞片状的原生莫来石。

(2) 1050~1200℃

这一阶段是上述氧化分解反应最终趋于完全的时期，易熔性物质熔融并迅速增加而开始玻化。本阶段的主要反应有：



$$t_{\text{始}} = 800^\circ\text{C}, \quad t_{\text{终}} = 1370^\circ\text{C}$$



$$t_{\text{始}} = 1200^\circ\text{C}, \quad t_{\text{终}} = 1330^\circ\text{C}$$

由于氧化铁的存在，用氧化焰烧成瓷器，产生泛黄色调。为了得到白中泛青的色调而在坯料中加入氧化钴（加入量为坯料量的十万分之五到万分之一）。

从950℃开始玻璃态液相逐渐出现，随着温度升高，它的数量越来越多，至1100℃左右出现假莫来石而发生了差热分析中第二次放热效应。至1300~1400℃，假莫来石转变为莫

来石和方石英而发生差热分析第三次放热效应。通常由于瓷坯中含有熔剂，形成玻璃的吸热反应使第三个放热反应难以发现，甚至第二个放热反应也难以发现。

此阶段的升温速度，决定于窑内温度的均匀性，装载密度以及坯体的收缩程度。当窑内温度均匀，高温反应也均匀，坯体收缩小的情况下，升温可以快。反之，则不宜过快。

(3) 1200℃——最高烧成温度

为坯体的烧结阶段，在此阶段内坯体物化反应进行得更完全，釉面进一步玻化，坯体进行烧结。

1170~1200℃左右时，坯体中的长石开始熔融形成玻璃态的物质。长石的熔融物将促进扩散和莫来石结晶的生成与发展。此外，还有碱金属和碱土金属氧化物和石英构成的低共熔物。在1200℃以上，玻璃态液相大量增加。此玻璃相的出现，使粘土颗粒和石英在其中部分溶解。1200℃时熔融物中的莫来石已饱和；莫来石析出，并逐渐发育为针状莫来石；同时会因为熔体的表面张力而使晶体得到均匀分布，使制品的孔隙度降低，从而提高了制品的机械强度。

在此阶段坯体中发生了如下的物理变化：

(1) 硬度与强度增加：由于坯体的玻化和针状莫来石结晶的增加，使坯体的强度增加。

(2) 气孔率及透气性减小：玻化过程中所生成的玻璃态物质填充了坯体内的孔隙，使气孔率迅速降低。

(3) 体积收缩：坯体的玻化促使晶体聚结成为致密的物质，同时，晶体增多，比重增大，体积呈现急剧收缩。

(4) 色泽变白，光泽增强。

4. 高温保温阶段

此阶段的温度与上一阶段末期的温度基本一致，其波动

范围应予较严格的控制。进行高温保温的目的是为了促使坯体内部的物理变化和化学变化最后进行得更完善，同时还可以调整窑内各部位的温差，使窑内的温度更趋于一致。这是由于刚烧好的坯体，其莫来石结晶与玻璃态物质在坯体内是相互交织的，而不是一个均匀的系统。因此，需有一段适宜的保温时间，这样莫来石晶体可以在液相中有一个扩散过程，使固相与液相得到比较均匀的分布。晶体的比较均匀的分布就形成了坯体的骨架，而在骨架中充满了粘稠的玻璃态物质，这样就可得到性能良好的制品。保温时间的长短与烧成温度的高低，升温速度，窑内温度的均匀性，坯体厚度和大小以及制品所要求达到的玻化程度等有关。

在高温保温阶段，坯体发生了如下的物理变化：

- (1) 熔融物增加到允许的最高量；
- (2) 坯体中莫来石的晶体逐渐长大；
- (3) 坯体组织均匀一致。

为了控制坯体的烧成，使制品达到相同的烧结程度，一般可采用以下两种方法：

(1) 快速升温，烧成温度稍高而保温时间稍短。这种方式是辊道窑及其它快速烧成窑炉所使用的方法，它可以节省燃料消耗和缩短烧成时间，因而是今后的发展方向。

(2) 升温较慢，烧成温度稍低而保温时间较长。这种方法比较适用烧成范围窄的容易变形的坯釉料的烧成。

5. 冷却阶段

陶瓷制品由高温降至常温的冷却阶段，也是坯体中的玻璃态液相的凝固阶段。液相硬化后和残余游离石英的热膨胀差别较大，新生成的方石英的晶形转化，均可能使制品内部产生应力，因此冷却方式及冷却的快慢，对制品的性能有较

大影响。冷却速度取决于坯体的厚薄、形状、窑炉结构和窑内各部的温差等。

从工艺上看冷却阶段又可分为下列三段：

(1) 自最高烧成温度 $\sim 700^{\circ}\text{C}$ 左右为急冷阶段。此时制品还处于熔融的塑性状态，不容易产生应力，可以急冷而不开裂（但是必须均匀冷却，否则也会造成开裂）。因为高温下的热应力大部分被液相的弹性和流动性所补偿。这样可以防止坯体内的低价铁的重新氧化，避免制品发黄，并能使坯体中形成的细晶体不致变为粗晶体，从而提高了制品的白度、光泽度和强度，同时缩短烧成周期，提供大量余热。

(2) $700\sim 400^{\circ}\text{C}$ 为缓冷阶段：制品已由塑性变脆性，石英晶型转化，如在 $600\sim 530^{\circ}\text{C}$ 的范围内， α -石英转变成 β -石英，其体积发生收缩。冷却速度应适当减慢，尤其对形状复杂和大件的厚壁制品更要注意，以免使制品出现炸裂和后期龟裂。

(3) $400\sim 80^{\circ}\text{C}$ ：制品出窑前也可均匀的快冷，但在生产上因为种种原因而常常不能快冷。如果对于含有方石英的制品，则要注意 $220\sim 270^{\circ}\text{C}$ α -方石英转变成 β -方石英时，要发生体积收缩，此时冷却速度也不宜过快。

如果陶瓷坯体中氧化铁的含量较高时，可采用还原焰烧成。还原焰烧成的主要作用是使坯体中所含的 Fe_2O_3 还原成 FeO ，而 FeO 能与 SiO_2 等形成 FeSiO_3 ，可以适当降低烧结温度，扩大烧结范围，并且使瓷器白里泛青。此外，还原气氛可促使硫酸盐在较低的温度下分解。在氧化气氛中硫酸盐在较高温度下才可分解，故坯体在还原气氛中烧成，就可提前排出气体，减少坯体的起泡危害。其反应为：