

第五章 工业窑炉

5.1 陶瓷与耐火材料工业窑炉

在陶瓷、耐火材料制品的生产过程中，烧成是一道重要工序。**窑炉**是用耐火材料砌成的用以煅烧物料或烧成制品的设备。常见的窑炉有两大类。一类是**连续加热窑**，如隧道窑；另一类为**间歇加热窑**，如倒焰窑。

本章学习目的在于通过间歇窑和连续窑比较，深入了解和掌握硅酸盐工业窑炉的共性与个性特点，以便据实际工况运用热工原理知识，培养发现和解决高温工程问题的基本技能。

隧道窑的主要优点是产量大、燃料消耗低、热效率高以及劳动条件好。其缺点是基建投资大、热工制度不易经常调整、钢材用量以及附属设备较多。故多用于产量大、品种单一的制品。

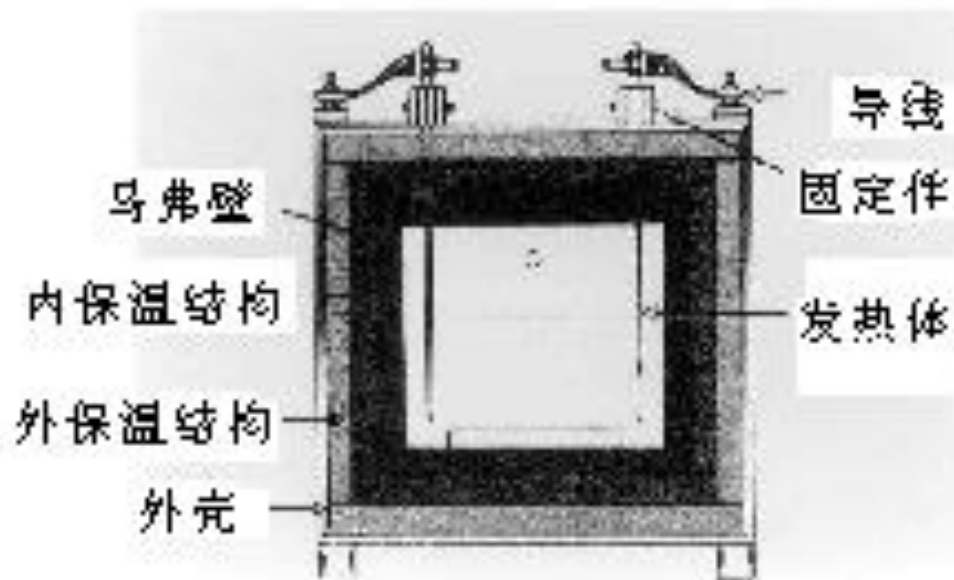
而**间歇窑**主要包括**倒焰窑**、**梭式窑**、**钟罩窑**、**蒸笼窑**等。70年代后由于高级耐火材料出现、高速烧咀的应用以及微处理机对窑温、窑压及气氛的自动控制，使得新型间歇窑比传统间歇窑更具有高的热效率、适应性强、烧成时间短、劳动强度小等优点。

第一节 间歇式窑炉

按其功能新颖性可分为电炉、高温倒焰窑、梭式窑和钟罩窑。

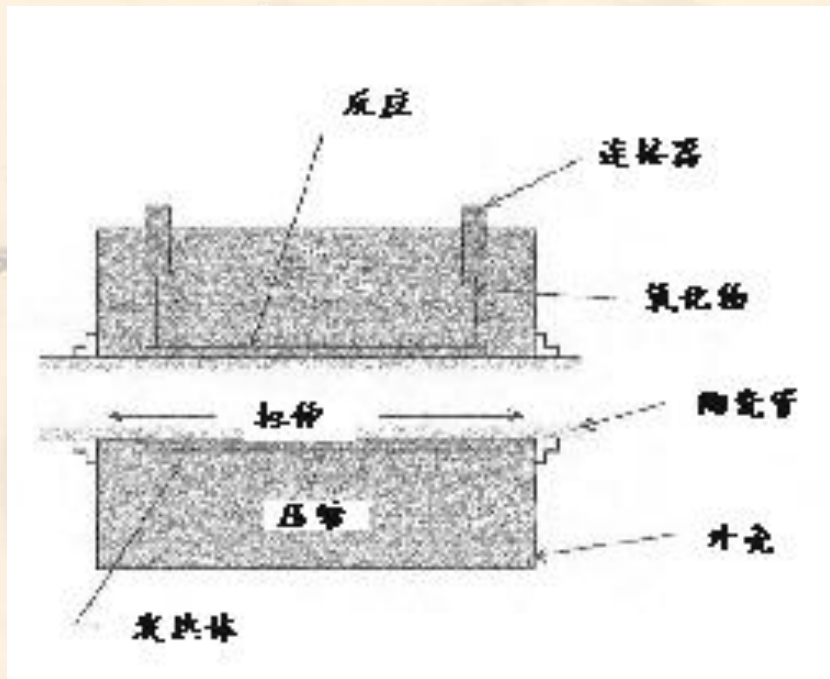
一、电炉

电炉 (electric furnace) 是电热窑炉的总称。一般是通过电热元件把电能转变为热能，可分为电阻炉、感应炉 (magnetic induction heating, 交变电磁场作用, 加热温度可达 1250°C , 熔炼温度可达 1650°C)、电弧炉 (arc induction heating, 通过金属电极或非金属电极产生电弧加热) 等。



箱式电阻炉实物图 (a) 和炉体结构示意图 (b)

发热体: 1700°C硅钼棒, 1400°C硅碳棒



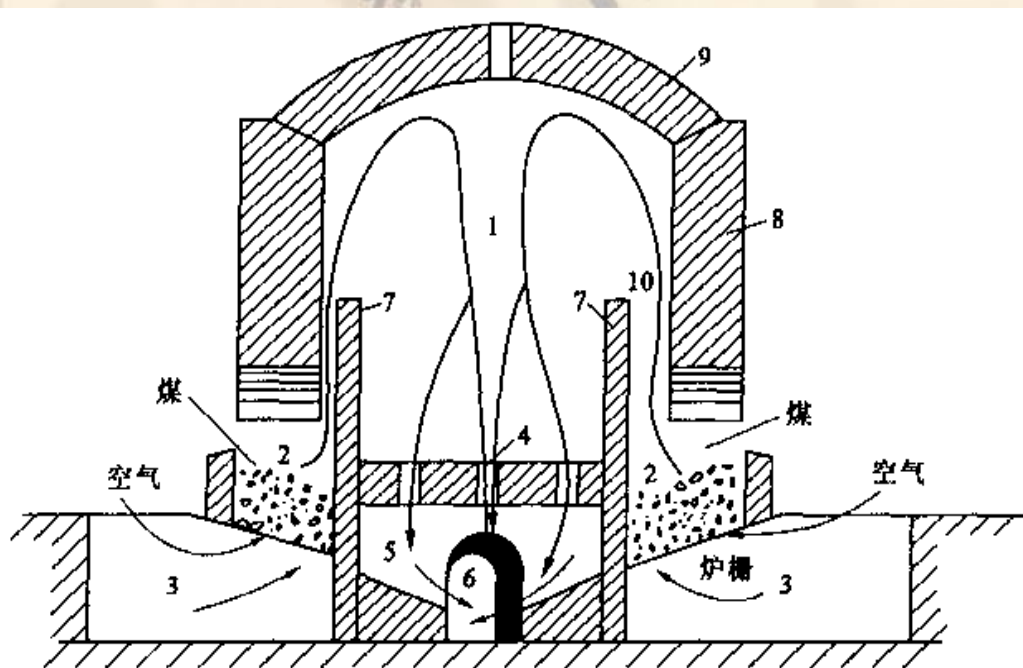
管式电阻炉炉体结构 (a) 和实物图示意图 (b)

二、高温倒焰窑（reverse flame kiln）

2.1 工作原理

因火焰在窑内倒流，故称倒焰窑。当烟气流经坯体，以对流与辐射将热量传给坯体。

其工作原理为：将煤加入燃烧室2的炉篦上，一次助燃空气由燃烧室下面的灰坑穿过炉篦，通过煤层并使之燃烧。燃烧产物自喷火口喷至窑顶，再自窑顶经过坯体倒流至窑底，经吸火孔4、支烟道5、主烟道6流向烟囱底部，最后由烟囱排出。坯体自装好至烧成出窑前一直停在窑内。



倒焰窑

1-窑室；2-燃烧室；3-灰坑；4-窑底吸火孔；5-支烟道；6-主烟道；7-挡火墙；8-窑墙；9-窑顶；10-喷火口

2.2 倒焰窑结构

窑墙与窑顶构成**窑体**：设计时要考虑足够的机械强度以及蓄热和散热问题。在焙烧时砌体所蓄积的热量占总耗量的10-15%，往往是外表面向外界散失热量的数倍。若厚度过薄，增加散热，劣化环境条件。所以**适当采用密度小，导热系数低的轻质材料作中间保温层**。一般窑墙的厚度为0.8-1.2m。

燃烧室：简称火箱。以液体燃料（重油）烧成的倒焰窑无需灰坑和炉篦；燃气倒焰窑可不设置燃烧室。以固体燃料（煤）燃烧必须有。

挡火墙：它的作用是使得火焰具有一定的方向与流速，并防止部分煤灰污染制品。其高度要合理选择并根据生产实践调整（一般0.5~1m），**使得大部分火焰送到窑顶**，小部分直接进入窑的下部。

喷火口：是挡火墙与燃烧室上部窑墙之间的空间。合理的截面积是炉篦水平面积的1/4~1/5。

窑门：一般1~2个，用于装卸制品。较大的窑门高:宽 = 1.8m : 0.8m。

倒焰窑容积

决定倒焰窑产量的是容积大小，容积大相对单位制品的能耗也小。但是容积过大，火焰达不到窑的中心位置，导致窑温不均，废品或欠烧品增加。故根据生产规模、产品对温度均匀性的要求、劳动组织条件、投资大小来决定倒焰窑的体积。

窑的容积计算分成两部分，即拱顶部分与拱顶以下的窑墙部分，后者计算简单。圆窑顶部容积及其表面积可按照如下计算式：

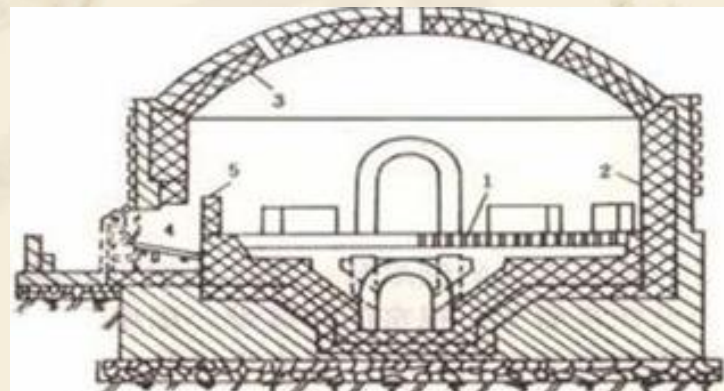
$$V = (\pi/6) \cdot f \cdot [3 \cdot (B/2)^2 + f^2] ; \quad A = \pi \cdot [(B/2)^2 + f^2]$$

式中：V：圆窑顶部容积，m³；A：圆窑顶部表面积，m²；B：窑的跨度，m；f：窑的拱高，m。

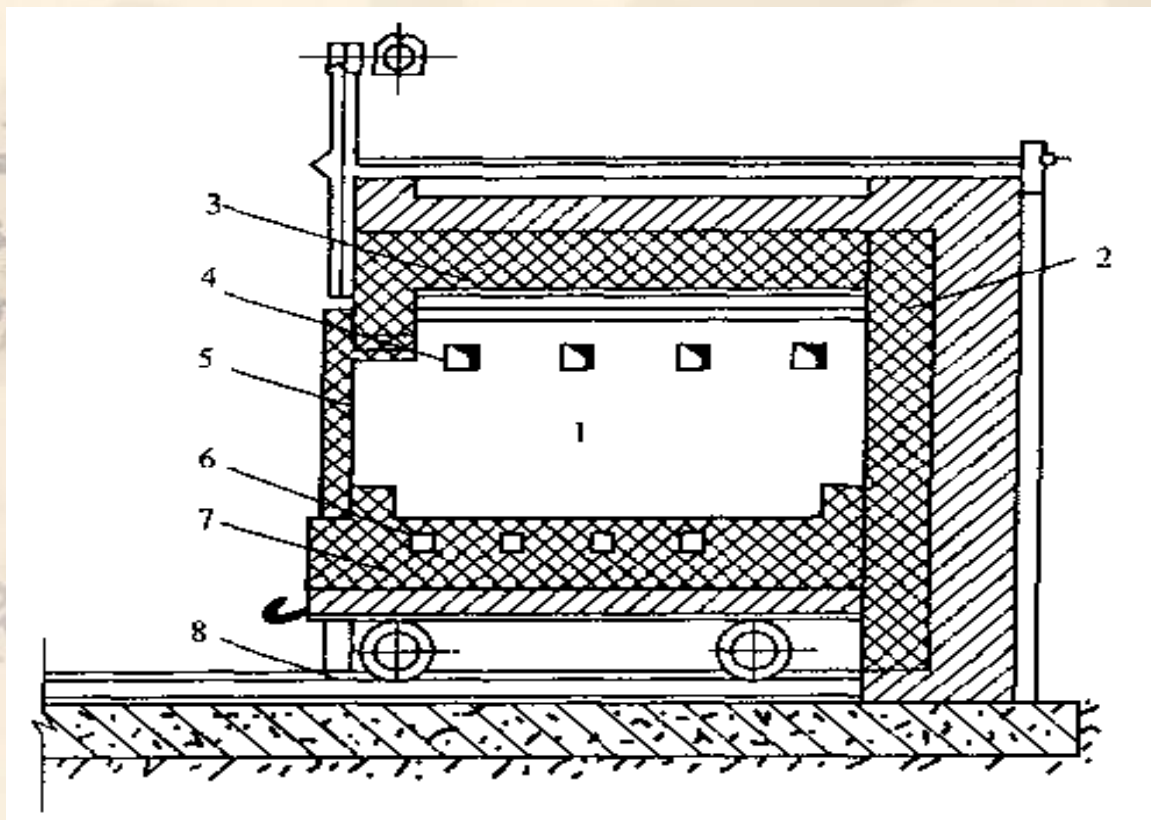
我国倒焰窑 30、50、80、100、150、270 m³等。

决定窑高的因素

制品在烧成过程中所允许的负荷，即高温荷重；沿窑高温分布的均匀性；是否方便装卸制品等。



三、梭式窑（drawer kiln）



梭式窑结构示意图

1-窑室； 2-窑墙； 3-窑顶； 4-烧嘴； 5-升降窑门；
6-支烟道； 7-窑车； 8-轨道



仿英国烧氮化硅梭式窑



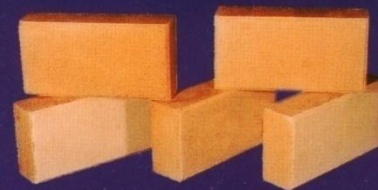
1.5 cubic meters shuttle kiln



碳化硅制品



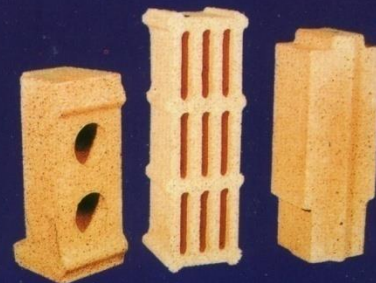
氮化硅结合碳化硅制品



玻璃窑用低气孔率粘土砖



热风炉用高铝砖



焦炉用粘土砖

第二节 隧道窑

一、分类

隧道窑有各种不同的分类方法，大致归纳为：

1. 按照**烧成温度**的高低可分为：
 - (1) 低温隧道窑($1000\sim 1350^{\circ}\text{C}$)；
 - (2) 中温隧道窑($1350\sim 1550^{\circ}\text{C}$)；
 - (3) 高温隧道窑($1550\sim 1750^{\circ}\text{C}$)；
 - (4) 超高温隧道窑($1750\sim 1950^{\circ}\text{C}$)。

2. 按照**烧成品种**可分为：

- (1) 耐火材料隧道窑；
- (2) 陶瓷隧道窑；
- (3) 红砖隧道窑。

3. 按**热源**可分为：

- (1) 火焰隧道窑；
- (2) 电热隧道窑。

4. 按**火焰是否进入隧道**可分为：

- (1) 明焰隧道窑；
- (2) 隔焰隧道窑；
- (3) 半隔焰隧道窑。

5. 按窑内运输设备可分为：

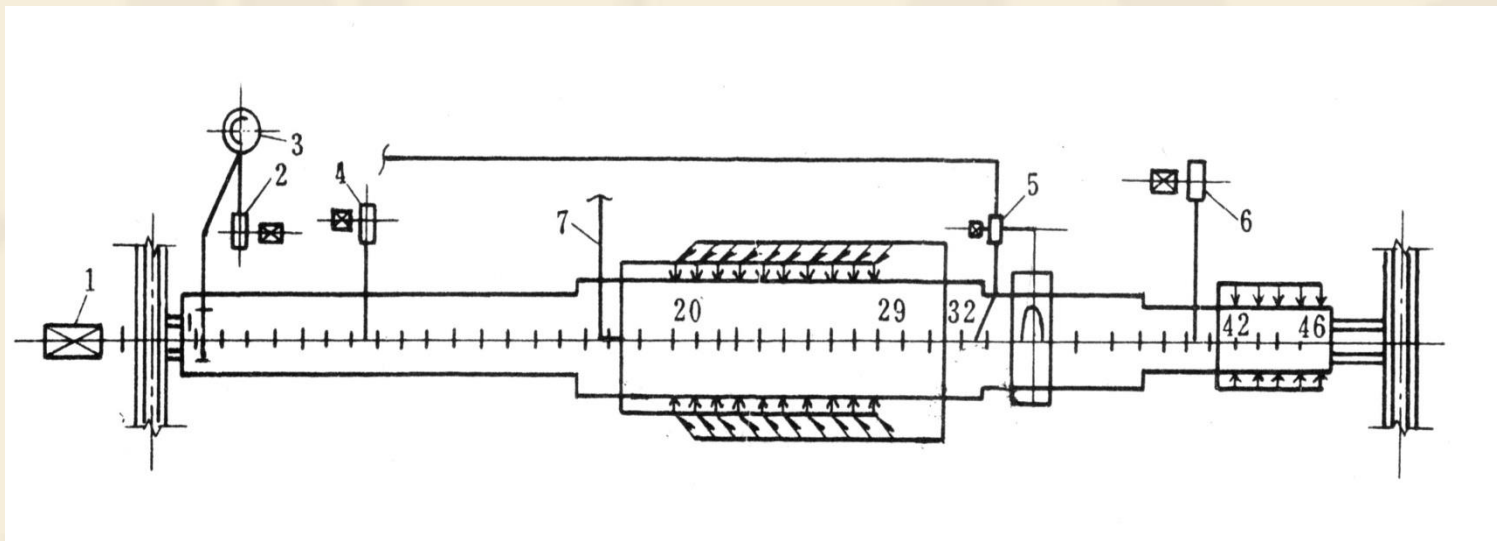
- (1) 车式隧道窑；
- (2) 推板隧道窑；
- (3) 辊底隧道窑；
- (4) 输送带隧道窑；
- (5) 步进式隧道窑；
- (6) 气垫式隧道窑。

6. 按通道多少可分为：

- (1) 单通道隧道窑；
- (2) 多通道隧道窑

二、工作系统

隧道窑因类似铁路山洞的隧道而得名，目前多用单通道明焰车式隧道窑。

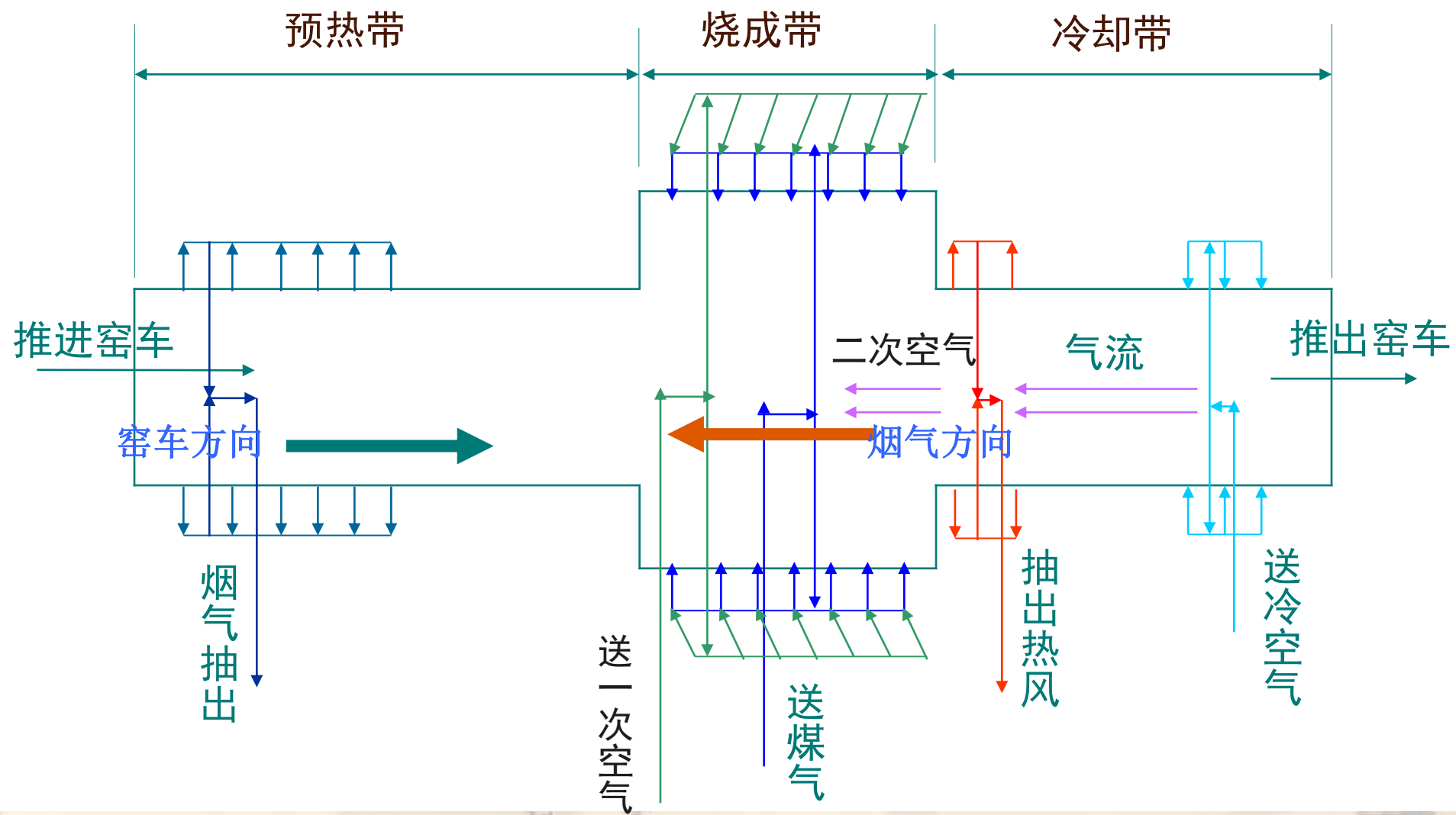


101.2×2.2×1.6m 粘土砖隧道窑系统图

- 1.推车机； 2.排烟机； 3.烟囱； 4.气幕风机；
5.抽烟风兼一次风机； 6.冷却送风机； 7.燃料管

隧道窑属于逆流操作的热工设备，即窑车上的坯体，由于推车机的推动，在隧道内与气流依相反方向连续或间歇移动，并完成预热、烧成、冷却过程。因此将隧道窑沿窑长分为预热/烧成/冷却三带。

窑车进入预热带后，车上的坯体首先与来自烧成带的燃料燃烧的烟气接触，并逐渐加热；进入烧成带后，借助燃料燃烧放出的大量热量，达到所要求的最高烧成温度，再经过一段时间的保温，坯体被焙烧成制品，高温烧成的制品进入冷却带，与窑尾鼓入的大量冷空气进行热交换，制品冷却后被推出窑外。



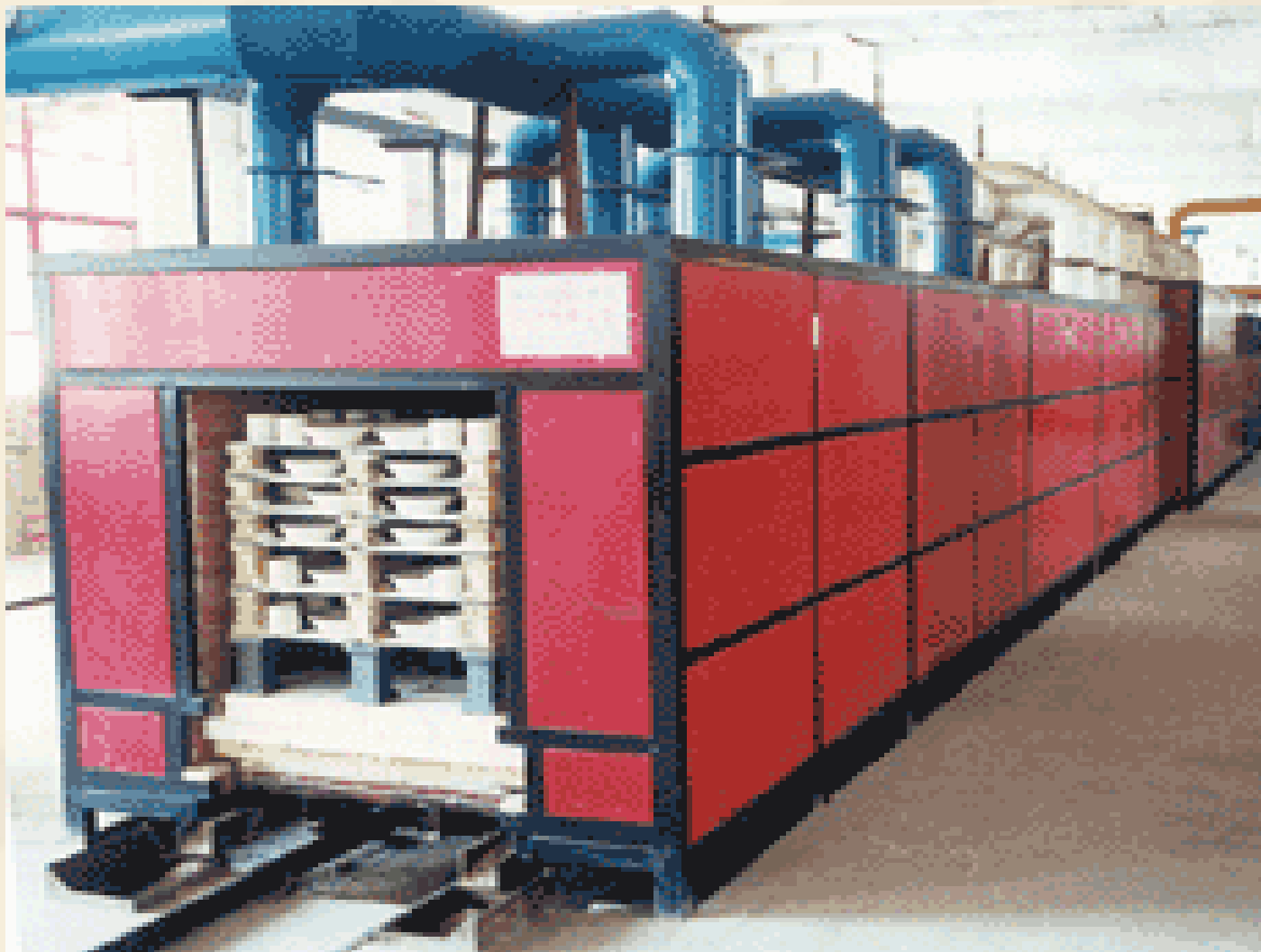
隧道窑工作原理图

被加热的空气一部分作为助燃空气，送往烧成带，另一部分抽出供坯体干燥或气幕用。燃料在烧成带燃烧后所产生的高温烟气，沿窑内通道流入预热带，在加热坯体时本身被冷却，最后自预热带排烟口、支烟道、主烟道经排烟机、烟囱被排出。

由于制品与气流按照逆流方向运动，热量得到充分利用，因此热效率较间歇窑炉高。



河北华玉股份有限公司78m日用瓷 宽断面明焰隧道窑



河南焦作陶瓷总厂二瓷厂42.8m小截面隧道窑

隧道窑的分带

三带：预热带、烧成带、冷却带，

以窑体长度分

预热带占窑总长的30—45%

烧成带占窑总长的10—33%

冷却带占窑总长的38—46%

以温度为界

预热带的温度范围：室温~950°C

烧成带的温度范围：950~最高温度

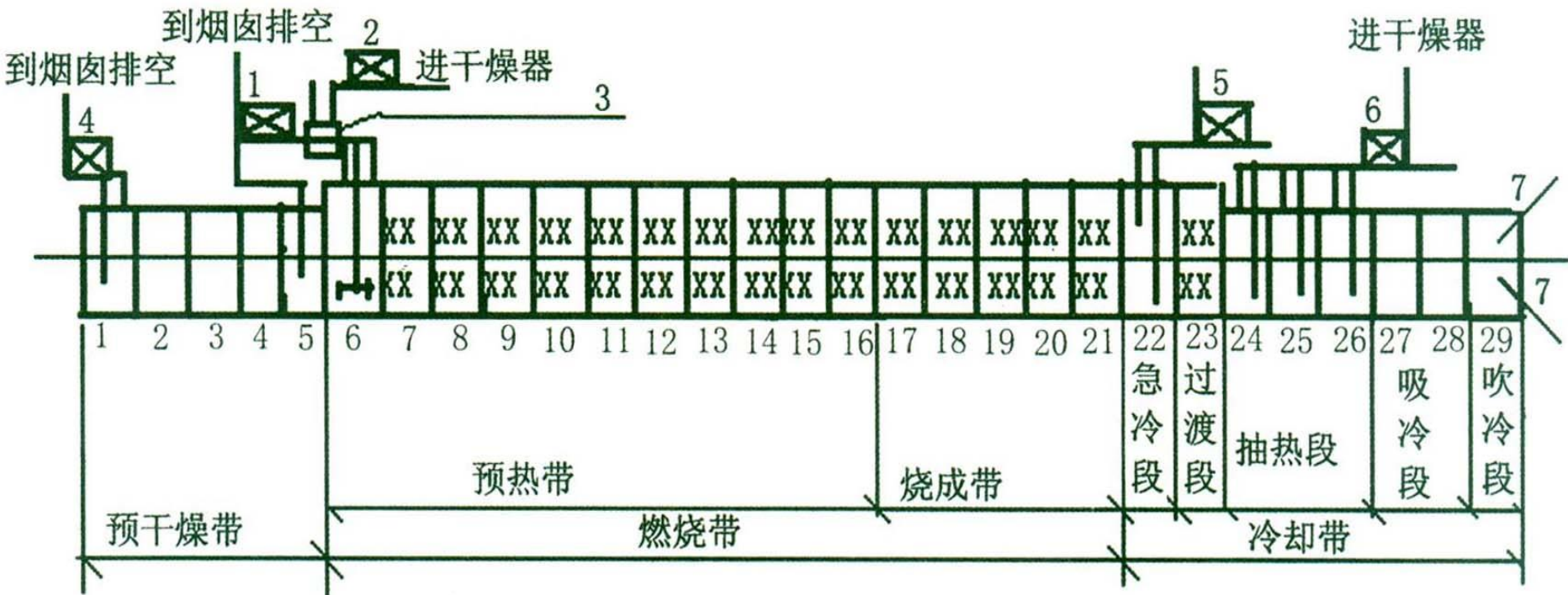
冷却带的温度范围：最高温度~制品出窑温度

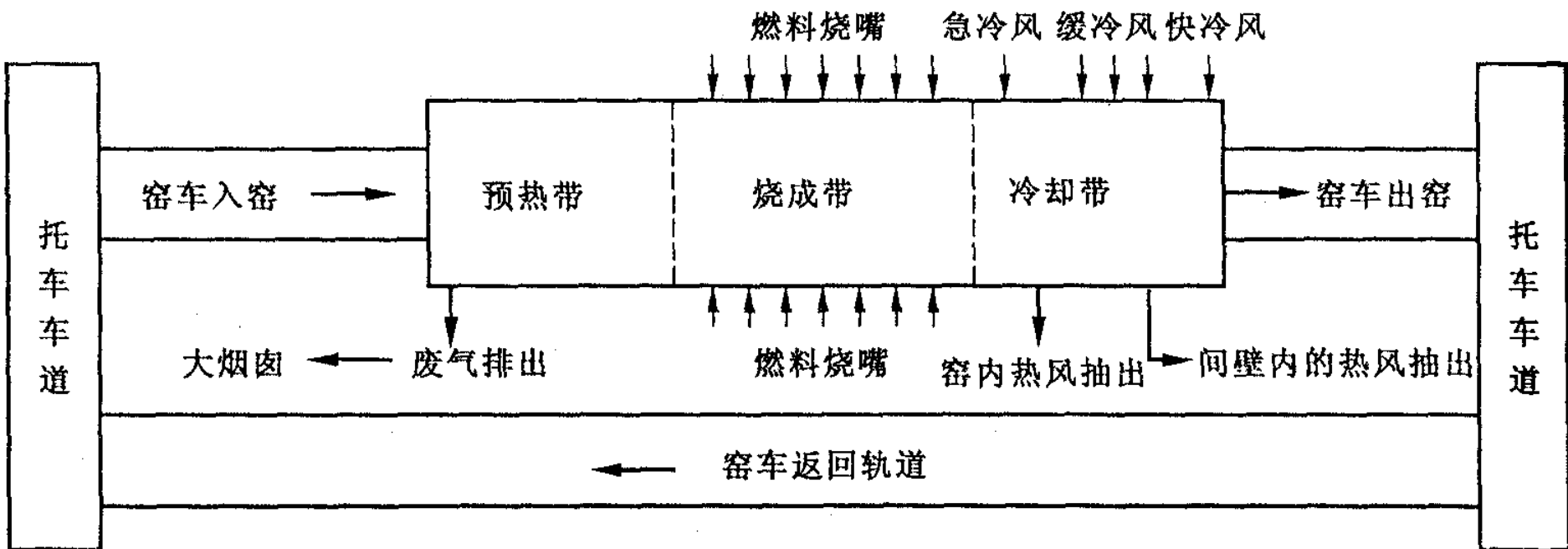
按燃烧室设置位置分（常用）

一、烧成制度

(一)烧成(工艺)过程

1. 20~200°C阶段:	排除残余水分	预热带 (20-900°C)
2. 200~500°C阶段:	排除结构水	
3. 500~600°C阶段:	石英晶型转变	
4. 600~1050°C阶段:	氧化阶段	烧成带 (900-1300°C)
5. 1050~1200°C阶段:	还原阶段	
6. 1200~1300°C阶段:	烧结阶段	
7. 1300~700°C阶段:	急冷段	冷却带 (1300-80°C)
8. 700~400°C阶段:	缓冷段	
9. 400~80°C阶段:	急冷段	





隧道窑分带及工作流程