

日用陶瓷窑炉译文集

《日用陶瓷窑炉译文集》翻译组 译

轻工业出版社

日用陶瓷窑炉译文集

《日用陶瓷窑炉译文集》翻译组 译

轻工业出版社

内 容 提 要

本书选译了国外近年来发表的有关陶瓷窑炉方面的技术资料共五十篇。内容包括：窑炉的结构、自动控制、燃烧与燃烧装置、耐火材料及窑具、热工技术、装出窑的自动化等。可供陶瓷工业生产、科研和设计部门的技术人员和工人参考，也可供陶瓷专业院校师生参考。译文由西北轻工业学院游恩溥、黄照柏，唐山陶瓷研究所刘可栋，陕西省轻工研究所李国楨，江西省陶瓷研究所王景圣等同志校订。插图由陕西省第一建筑设计院绘制。

日用陶瓷窑炉译文集

《日用陶瓷窑炉译文集》翻译组 译

*

轻工业出版社出版

(北京阜成路3号)

河北省张家口地区印刷厂印刷

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：11 $\frac{20}{32}$ 插页：1 字数：256千字

1977年10月 第一版第一次印刷

印数：1—4,000 定价：0.93元

统一书号：15042·1409

目 录

电窑在陶瓷工业中的应用	(1)
窑车型倒焰式连续烧成窑	(16)
远红外线加热与陶瓷器的烧结	(22)
烧制软质瓷的四通道电窑	(26)
快速烧成日用瓷的新型窑炉	(30)
素烧瓷器的辊道窑	(38)
最佳烧成曲线在陶瓷烧成中的应用	(42)
用气体燃料雾化或气化的液体燃料的隧道窑	
中烧嘴的排列方法	(48)
重烧陶瓷制品的隧道窑	(51)
新型的轻体窑	(56)
模件式砌窑法	(65)
降低现有窑炉燃料消耗的因素	(72)
关于隧道窑中烧成瓷器的冷却制度	(78)
隧道窑内焙烧电瓷的自动化系统	(84)
重油的气化燃烧	(88)
“气垫”输送系统的气体动力学参数	(100)
大容积梭式窑在使用中的经验	(105)
装配式隧道窑和低蓄热窑车	(117)
关于隧道窑中压力降及传热问题的研究	(124)
隧道窑预热带的热工分析——主要分析冷空	
气漏入窑中的影响	(149)

高效能隧道窑的新发展	(167)
用于快速烧成研究的实验隧道窑的设计、 结构与操作	(179)
隧道窑内气氛的自动控制	(208)
在陶瓷工业中纤维板衬里窑炉的展望	(213)
砖瓦工业中使用气体燃料出现的问题及影响	(218)
耐火纤维	(226)
窑炉的高效率作业	(234)
计测和控制	(239)
高温烧成窑炉的空气预热系统	(246)
加热并控制窑炉气氛的装置	(258)
脉冲式烧嘴	(265)
加速隧道窑中制品冷却的方法	(268)
预热带增设补充燃烧室	(272)
压力雾化油烧嘴	(275)
液体燃料烧嘴 (超声波雾化烧嘴)	(280)
内混合型烧嘴	(289)
改善隔焰式隧道窑温度均匀性的方法及装置	(295)
用于液体燃料燃烧的烧嘴的改进	(298)
陶瓷制品的连续还原烧成	(307)
烧釉面砖隔焰式隧道窑的改进	(314)
窑墙的结构	(317)
再循环式的液体烧嘴	(320)
窑车上棚架结构的改进	(325)
电热元件在电隧道窑中的安装方法	(331)
直焰式隧道窑	(336)

隧道窑的窑车装置·····	(340)
窑炉结构上的改进·····	(344)
快速高温窑·····	(349)
适用于焙烧陶瓷制品的带式窑·····	(352)
国外辊道窑情况简介·····	(357)

电窑在陶瓷工业中的应用

(日本) 铃木真

前 言

由于陶瓷制品离不开高温烧结和其它的加热过程，所以加热装置在陶瓷工业中就占有非常重要的地位。从前烧窑以柴草、木材为燃料。此后，由煤、重油进而发展到煤气、电等，热源日趋多样化。其中尤以电最为方便、清洁，并能进行精密地控制，但费用过高是很大的缺点。而且陶瓷烧结的温度一般比金属热处理的温度为高，因而在加热过程中燃料费用所占比重很大，这是影响使用电炉的重要原因。因此工业的加热设备基本上都是使用燃烧炉，电炉只用在试验或其它特定的用途上。

但是，陶瓷工业近来的高速发展已使其过去的面貌大为改观。由于新陶瓷制品的生产过程非常严密，产品价格高，产量不大，这就可以充分发挥电炉的特点，因而在新陶瓷生产的主机中，已日益广泛地采用电炉。

在陶瓷工业中，尽管电费贵，仍然采用电炉的原因在于：

1. 可在洁净的气氛中进行高温处理 在燃烧炉中，燃料、燃烧气体中的各种不纯成分、灰分很易污染制品。
2. 可以进行非常精确的温度控制 最近，温度控制的

技术发展甚为显著，温度调节精度为 0.1°C 的温度计已在市场上出售。又由于可控硅的出现取代了历来的变压器、电压调节器等，这就使精密温度计的性能得到了很好发挥。

3. 可在各种人工气氛中加热 隔绝外部空气，将所需要的气体引入窑内，控制烧结工序。例如在氢气气氛中粉末金属的烧结；在氮气气氛中烧结铁素体等。

4. 窑炉操作简便 按下电钮即可起动、停止。利用时间继电器，夜间、假日也可自动起动和停止。

所用的发热体

陶瓷工业所用电炉的温度范围很广，若不按不同温度选择发热体，则不但不经济，有时还会和来自制品的气体发生反应，发生不测事态。现将常用发热体的用法、特点说明如下：

一、镍·铬电热线 ($100\sim 1000^{\circ}\text{C}$)

为镍铬系统的合金发热体，加工方便，在 1000°C 以下可以长时间使用，为在该温度范围内使用最广泛的发热体。外形多为圆线或“带”状。圆线形的加工成蜷线；“带”状的加工成波纹形，装于炉墙、炉顶或炉床上。因为含镍 (Ni)，不能耐含硫 (S) 蒸气。因而当结合剂中含硫时，使用上要注意。在一般陶瓷制品烧结炉的排除结合剂部位，使用此种发热体时，由于排出的气体对于发热体会产生一些不良影响，有必要采取如下措施：加厚厚度、减小表面负荷密度、降低发热体温度、控制和气体的反应等。

二、铁·铬线 ($100\sim 1000^{\circ}\text{C}$)

使用方法和镍铬线基本相同。同镍铬线相比，加工性

能不好，长时间使用有发生结晶、脆化的缺点，但因价格只有镍铬线的 $1/3 \sim 1/4$ ，故仍多为使用。

三、铁·铬·铝系合金线（ $100 \sim 1300^{\circ}\text{C}$ ）

特点是使用温度较镍铬线、铁铬线高 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ ，外形为圆线或“带”状的。比铁铬线的加工性能还要差，过厚的只能在加热之下加工。在使用过程中结晶及脆化的情况更为严重，故只能在 $1000 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 之间使用。

四、碳化硅发热体（ $500 \sim 1600^{\circ}\text{C}$ ）

以碳化硅（ SiC ）为原料，成形为棒状，是高温烧结的硅酸盐发热体。适用于无法使用镍铬线的高温（ $1000 \sim 1500^{\circ}\text{C}$ 之间）烧结，由于这一温度范围正是陶瓷制品的烧结温度范围，因而是用于烧结陶瓷制品必不可少的发热体。

碳化硅发热体不是金属发热体，而是一种硅酸盐，所以发热体的电阻值因温度而变化（见图 1）：由室温至 700°C 左右呈逆温度系数；由 700°C 至高温则为正性。在 700°C 以下的逆温度特性范围内使用时，电流不稳定，温度控制困难，最好不要使用。

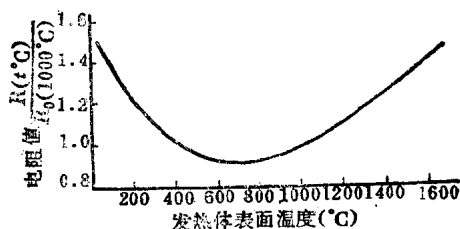


图 1 碳化硅发热体的电阻—温度特性

碳化硅在使用过程中与空气中的氧、水分发生反应生成硅酸，由于硅酸经过反复的急热和急冷，就会出现小裂缝等，所以在长时间的使用过程中发热体的电阻逐渐增加，用相同电压，则电流会慢慢减少。为此，当使用碳化硅发热体时，应安装能增加电压的抽头变压器和可控硅装置等可变电电压装置。电阻增加到最初电阻的四倍之前，增加的速度较为缓慢；超过四倍则急剧增加，所以电源装置应能调整到初期所用电压的两倍即可。

碳化硅发热体不耐酸，特别是 1000°C 上的水蒸汽能使它显著地劣化，所以在使用时应使炉体经常保持干燥，并将坯体中结合水的蒸汽迅速排出炉外。

碳化硅发热体虽有上述缺点，由于替换方便、价格比较低廉、而且其使用的温度范围又同陶瓷制品的烧结温度相适应，所以是陶瓷工业中应用最为广泛的发热体。

五、二硅化钼发热体（ $100\sim 1700^{\circ}\text{C}$ ）

以钼、硅化物为原料，经烧结的硅酸盐发热体。目前市场上出售的为U字型。电阻温度系数大，在通电初期电流就很大。缺点是在高温使用时发生结晶，并且脆化。在高温的氮气中很稳定，常用于烧结铁素体。

六、钼线（ $1000\sim 1800^{\circ}\text{C}$ ）

在空气中超过 500°C 即发生严重氧化，故必须在氢气或真空中使用。

发热体的电阻因温度不同而发生显著变化，如与 1600°C 时相比，室温下的电阻只有其 $1/10$ 左右。因而在设计电源时，应以起动时需要非常大的电流为前提。

七、铬酸镧发热体

市场出售的金属和非金属发热体还都不能在 1600°C 以上的高温氧化气氛中长时间使用。

铬酸镧发热体为发展电磁流体力学发电技术，所获得的特种氧化物半导体，是在氧化气氛中具有稳定的高耐热性能的陶瓷，在用途上克服了其它氧化物发热体的缺点。

特点

- (1) 熔点高，发热体常用表面温度一般为 1900°C 。
- (2) 由于是氧化物半导体，故能在氧化和开放性气氛中稳定地加热到高温。
- (3) 能使其表面负荷密度增高。
- (4) 在高温下的电阻温度系数接近于零，由于老化所引起的电阻变化系数甚小。
- (5) 可从室温直接通电。
- (6) 为黑色氧化物，因表面辐射率大，所以热效率高。
- (7) 抗热冲击性好，能在短时间内升温。
- (8) 接头是用高耐热材料特制的，故可在高温下安全使用。

性质

主要成分：铬酸镧 (LaCrO_3)

颜色：黑色

熔点： 2490°C

比重：6.5

体积比重：5.0~5.3

气孔率：20~25%

抗弯强度：400~500公斤/厘米²

辐射率：约0.96

传热系数：室温 0.0043卡/厘米·秒·度 500℃ 0.0047
卡/厘米·秒·度

膨胀系数：室温~1000℃ 9.7×10^{-6}

温度(℃)： 100 300 500 1000 1500 1800

电阻(欧姆·厘米)：1.0 0.25 0.14 0.11 0.105 0.104

电阻的历时变化(炉内温度1800℃，发热体1根)如图
2所示：

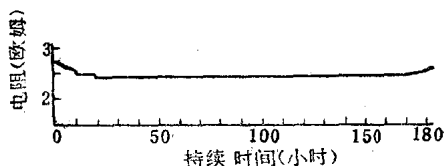


图2 电阻的历时变化

铬酸镧电炉之一例

电炉的尺寸：直径340×长度360毫米

有效内容积：直径30×长度100毫米

发热体的根数：6根

铬酸镧电炉的特点

(1) 常用温度1800℃(能在5小时内上升至该温度)；

发热体的使用寿命：

炉内温度 1800℃ 100小时以上

1700℃ 400小时以上

1600℃ 1500小时以上

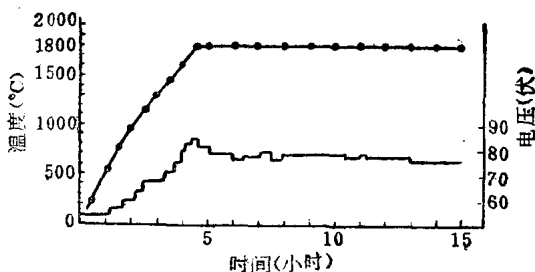


图3 铬酸镧电炉的温度与压力曲线

- (2) 能在氧化气氛中加热到高温，炉内等温范围宽；
- (3) 操作简单，控制容易，适于程序控制等自动操作；
- (4) 使用优质抗水绝热材料，炉体结构简单；
- (5) 表面辐射率高，故耗电量少，颇为经济。

所用的耐火材料

如上所述，电炉的最大缺点是电费昂贵，因而如何降低电费就成为电炉的主要问题。为了缩小炉体、充分保温、少耗电等，所用炉衬就得选用与窑炉尺寸相适应的特殊异形耐火材料。若用标准砖，则不可避免地要增大炉体，增加电耗。

1000℃以下镍铬线的窑炉耐火材料多用SK32上下的熟料粘土质砖；1000~1500℃之间的，从使用SK34上下的粘土质砖，一直到相应的使用含结晶氧化铝80%以上的高铝耐

火材料。

选择耐火材料时不仅是使用温度、使用的气氛及与加热物有无反应，都必须予以充分的注意。如上述，电炉多设计为小型的，由烧结物散发出来的少量气体，也会变成超出预料的高浓度气体，常与高温一起侵蚀衬砖。

虽然陶瓷制品及其原料本身，在高温中都很稳定，散发出气体的例子不多，但只要是成形体，使用结合剂，该结合剂因受热而发生气化或分解，其微量的成分滞留在炉内，在长期使用过程中，常使炉墙的耐火材料和发热体受到侵蚀。

特别是在1500℃以上的高温，为防止长期使用而产生的变形、变质，必须使用含氧化铝90%以上的结晶氧化铝质耐火材料。

最近，使用高纯度的铝氧和发泡剂制成的泡沫高铝砖，已在市场上出售，作为电炉的耐火材料，具有颇为有趣的特性。泡沫高铝耐火砖同历来所用的高铝耐火材料的特性比较，见表1。

表1 轻质泡沫高铝耐火砖的特性

	特 性			
	容积比重	气孔率 (%)	压缩强度 (公斤/厘米 ²)	导热率 (千卡/米·时·度) 荷重软化点 T ₂ (°C)
高铝泡沫砖	1.3	60	100	0.6 1600
高铝砖	2.8	25	400	2.0 1600

表 1 说明轻质泡沫高铝耐火材料与历来的高铝耐火材料相比，容积比重在 $1/2$ 以下，导热率在 $1/3$ 以下。重量在 $1/2$ 以下就意味着窑炉升温快，导热率小，就等于升温进入运转状态后，散发的热量小。两者均可降低电耗，所以作为电炉的耐火材料是很适宜的。

目前的缺点是生产的时间不长、价格昂贵、成形异形体尚有困难、棱角发脆等。一旦克服上述缺点，将是电炉上大有希望的耐火材料。

在连续式窑中，除上述内衬耐火材料之外，还要用棚板、匣钵、支柱等。用耐热钢的至多用到 1200°C ，即便有耐热性，也常易与结合剂发生反应，所以仍多用耐火材料，对于这种耐火材料有如下要求：（1）耐急冷急热；（2）高温强度大；（3）导热率大，热能瞬时分布均匀；（4）耐磨性大；（5）不和烧结物及炉中气氛发生反应。基本上可以满足上述要求的，首推碳化硅质耐火材料，但有时也能和烧结物及气氛发生反应，如直接接触铁素体制品、钛电容器等，若超过 1300°C 即发生反应，在氢气中大于 1350°C ，则还原发脆。

因此，烧结钛电容器时，使用碳化硅质底板，烧结成套面砖用锆质耐火材料，铁素体制品的烧结，也可以用铝氧耐火材料或莫来石制品，不过价格太贵，耐急冷、急热性能也不好。

氮化硅耐火材料抗热冲击性强，蠕变阻力大，同时抗氧化性能好，故为陶瓷制品烧成用棚板、匣钵、支柱等的良好材料。此外，用于氨、氢、氮气炉的炉衬或炉芯管等，也都是很好的材料。

陶瓷工业用电炉

烧结陶瓷制品，固然可以使用各种形式的电炉，但最主要的是连续式的隧道窑。以下介绍有代表性的隧道式烧结窑：

1. 推板式隧道窑 图4为推板式隧道窑之一。使用碳化硅发热体，水平装在窑顶和窑底，底部发热体之上盖以碳化硅耐火材料的窑床，载烧结物的底板，由入口处依次推到窑床上。窑体大致分为预热带、烧成带及冷却带。在预热带装3组独立的发热体，烧成带装2组，冷却带装1组。各组发热体和各部位的温度控制器相连接，调节本区域的电力，自动保持所规定的温度，从而使整个烧结温度曲线，能经常地自动地保持事先规定的曲线。

由入口将载烧结物的底板，以顺推的方式送入窑内，烧结物遂自动地在预热带受热，在烧成带烧结，经冷却带到达出口。这期间，各带经常保持规定的温度，所以烧结物等于经常用相同的烧成曲线烧结，得出质量稳定的产品。如图5所示，发热体平装在窑顶和窑底，则窑顶上的发热体，通过辐射直接传热到烧结物上；窑底的发热体，先是辐射传热到窑床上，其次再以传导方式由窑床传热到底板上，再将底板上的热传导到烧结物上。即上与下的传热方式不同，上为辐射传热，下为传导传热。因此，烧结物从上下所受到的热量不一定相等，为了尽量减少窑床和底板的温度降，通常要用导热率高的碳化硅质材料。同时，为了使温度分布均匀，一般多个别控制供给上下发热体的电力。

图6是将发热体垂直装在两侧，这时由两侧对称地辐射

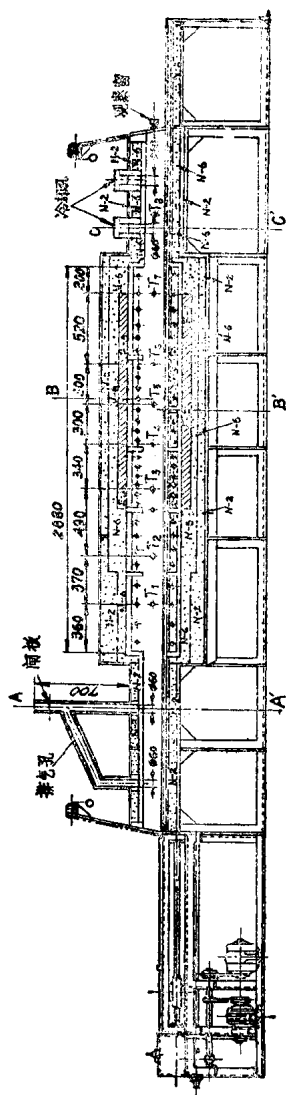
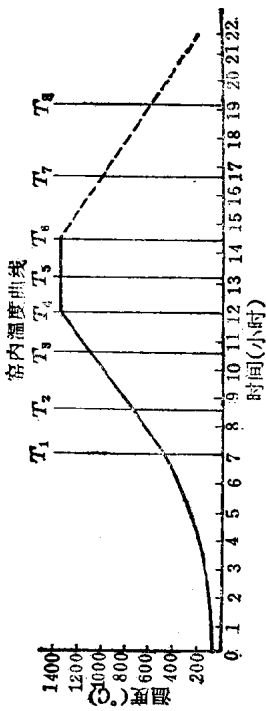


图 4 锥板式隧道窑