

建材情报资料	总第8027号
	陶瓷类

陶瓷工业节能的技术改造方向

(建材节能专题报告之三)

建材部技术情报标准研究所

1980年8月



陶瓷工业节约能源的技术改造方向

七十年代以来，能源成为全球性的问题，随着世界性的能源危机，使燃料价格高昂，已影响到生产成本不断的提高。国外一些工业发达的国家都很重视能源有效利用。如美国能量有效利用率57%，其它工业发达国家约为50%。我国由于经营管理落后，工艺、技术落后，结构不合理，能源利用效率低，仅达28%，所以我国节能工作潜力很大。

陶瓷工业是属于能源消耗量占比重很大的部门之一，因此，减少热能消耗，已成为每个陶瓷工作者的首要任务。陶瓷烧成窑炉的热效率比一般其它工业窑炉的热效率都低。如隧道窑用于焙烧制品的热量只有10~20%，废气带走的热量占30~40%，从窑墙和窑车又散失了大量的热量，80~90%的热量都白白地跑掉了。我国的陶瓷工业燃料消耗浪费很大，单位制品的燃料消耗相当于日本的2~3倍。

在陶瓷工业中，节约能源的措施，从国内外的经验来看，是从改进烧成技术、改革窑炉结构和生产的经营管理等方面，进行研究。本文仅从降低烧成温度、缩短烧成时间、加快烧成速度、改进制品原料配方、快速干燥、改革窑炉结构、采用节能材料等方面，来谈谈陶瓷工业的节约能源的问题。

一、研究和发发展低温快烧和一次烧成

1) 低温快烧 美国研究的最早，现已达到成熟阶段。意大利、西德、法国、苏联等仍在大力研究这种新工艺。按正常烧成需要50~90小时，快速烧成一般在4小时以内，甚至几十分钟。另外，烧成温度越高，燃料消耗就越大，尤其是烧成后期的高温阶段，每升高100℃，热耗很大。因此，降低温度、缩短烧成时间，能够节约燃料、降低成本具有很大的技术经济意义。另外，低温快烧也促进了与它相适应的机械设备的的发展，单机的组合得到了协调，从而实现生产连续化、自动化。

国内研制了硅灰石低温快速釉面砖，并进行了小型生产试验。实践证明，低温快烧可以大幅度地节约燃料消耗。仅素烧一项工艺，油耗量由原来的2.2公斤/平方米降为1.05公斤/平方米。如果按年产100万平方米面砖计算，连同釉烧耗油量可节约1800吨左右。据美国报道，面砖采用快速烧成后成本降低38%，卫生陶瓷燃料消耗比常规烧成减少四分之一。另外，在表1中列出了国内外低温快烧的实例。从表1看出我国在这方面还存在着差距。面砖工业的低温快烧是重要的发展方向。为了尽快建成一条我国的陶瓷釉面砖低温快烧生产流水作业线，提高工艺过程的机械化、自动化水平，尚需在现有基础上，重点研究低温快速烧成技术及其配套的工艺装备。

低温快烧的实例

表 1

国别或单位	生产情况	制品名称	容 型	烧成方式	烧成温度℃	烧成周期 (分钟)	备 注
建材研究院等	试验	釉面砖	小型隧道窑	素烧 釉烧	1080 1035	18小时	硅灰石
温州陶瓷所等	试验	釉面砖	辊道窑	一次	980	90—120	磷矿渣—叶腊石
沈阳陶研所等	试验	釉面砖	辊道窑	一次	1100—1150	90—150	粘土长石质
西 德	生产	马赛克	推板窑	一次	1200	40—45	
英 国	试验	釉面砖	辊道窑	素烧	1160	17	
		地 砖		釉烧	1050	30	
				一次	1160	40	
意 大 利	试验	面砖	煤气试验窑	素烧	1000—1080	15—20	合成钙长石
				釉烧	1000	15—20	合成硅灰石
		地砖		素烧	1000—1200	20—40	粘土质坯

2) 一次烧成 陶瓷釉面砖的传统生产流程是二次烧成，即生坯素烧，施釉后再经釉烧。这种工艺烧成周期太长，燃料消耗大，而且传统的釉面砖生产需用匣钵，这不仅耗费大量的燃料，而且使成本也相应提高。

七十年代初，面砖一次烧成自动化生产线在国外出现，虽然一次烧成比传统生产工艺二次烧成有许多优越性：简化了装出窑工序，缩短了生产周期，提高了劳动生产率，节约能源30~50%，并且有利于实现生产过程的机械化和自动化。但是目前还不能完全取代二次烧成。对于一些技术性能要求较高，装饰性强的，尺寸要求更准的产品，仍然要采用二次烧成。在国外一次快烧一般用于烧制外墙砖、地砖、锦砖等，釉面砖大多数还是二次快速烧成或二次烧成。美国卫生陶瓷采用一次烧成，地砖、釉面砖一半产量用一次烧成，一半产量是二次烧成。

二、扩大原料品种，采用低质、易熔原料，改进原料配方

低温快速烧成和一次快烧要求坯釉配方能适应这种新工艺要求，各国都在研究和发展低温烧成和低收缩原料。采用低质原料，作出高级产品，釉料要求高遮盖力的乳浊釉提高产品白度。同时发展各种色釉、增加花色品种。

美国采用硅灰石和滑石配方，同时还充分利用变质花岗岩，细晶岩等矿物原料。日本采用陶石、蛙目土、磷矿渣的原料配方。英国使用煨烧磷渣和粘土的原料配方。苏联坯料配方以粘土和石英为基础，另掺些熔点较低的碎玻璃，同时还采用含霞石正长岩、珍珠岩、硅藻土、滑石和白垩的配方。法国利用高炉矿渣生产面砖。意大利、西班牙等国利用地方粘土作地、面砖，一次烧成。近年来又研制出了合成透辉石，比合成硅灰石烧成温度低，而且湿膨胀小、制品强度高。

三、采用微波干燥和远红外线辐射干燥技术

1. 微波干燥法 是利用波长在1厘米至1米的电磁波进行干燥。因为微波比红外线长，

其穿透深度在几毫米至几十厘米之间，几乎可以对一切陶瓷坯件进行加热干燥，干燥速度极快。有利于节约能源，引起了国内外陶瓷界的注意。用微波加热干燥的主要缺点是热应力，由于加热条件不适当而引起温度不均匀，所造成的。

日本名工试最近确定了陶瓷坯体微波干燥的最适宜的加热条件，避免了过去的一些缺点，如尺寸不均、导热率和热效率不均衡等问题。选择适当的频率和找出不发生干燥缺陷的加热条件，认为薄的小型坯体频率为2450兆赫芝为适宜，坯体耗电量为0.01~0.03千瓦小时/公斤制品。大型的厚的坯体干燥频率为915兆赫芝为适宜，电耗量为0.05~0.1千瓦小时/公斤制品。为了防止急剧的升温干燥，使用低输出功率管和其它热源并用获得良好效果。由于微波干燥设备较复杂，投资费用较高，目前尚未广泛采用。

2. 远红外线辐射干燥技术 远红外线干燥是最近几年在国内外发展起来的新技术。它与蒸气、热风、近红外线辐射、微波等干燥方法相比较，有它的独特优点：大幅度地节约能源，干燥功效高质量好，而且投资费用低，使用安全、维修方便，而且用途很广泛。

远红外线是利用4~400微米的电磁波，这种热线与被干燥物体分子产生共振现象，由于许多物质包括陶瓷坯体与远红外线加热器辐射的波长是一致的，所以干燥效率高。

根据实际应用的结果，可知采用远红外干燥比近红外线干燥，可节约电30~50%，与热风相比节电更多了。例如广东潮安瓷七厂利用隧道窑的余热为热源，应用远红外线技术，提高干燥温度，干燥生坯收到了良好的效果。又如广东大铺彩瓷厂釉上贴花作业的烘道，应用远红外线干燥比原来的电热干燥，节约电耗47%，并克服了过去的花纸翘边与瓷面剥离现象，质量也得到了提高。湛江陶瓷厂研制成功锆英砂质远红外电热器，并已成批投产。目前已被广泛用于制糕饼、糖果、制人造革、制塑料，以及用于陶瓷坯体干燥和烤花等方面。使用结果由于干燥时间的缩短，提高产量110%，烘道电耗比原来镍铬丝干燥节电56%。

四、提高喷雾干燥器的泥浆比重

七十年代以来喷雾干燥器在陶瓷面砖工业生产中广泛应用制备原料及坯料。由于泥浆的水份，影响颗粒的密实和燃料的消耗，所以提高喷雾干燥器的泥浆比重关系是很重大的。陶瓷生产中一般都希望有高密度的密实球粒，进行压型。因此，制备泥浆时尽可能使水份降低。我国喷雾干燥器的泥浆比重低，一般在1.33~1.45左右，日本为1.6左右。由于比重小，表明泥浆水份高，这样不仅影响到干燥后的坯料颗粒的密实性，而且经济上也很不合理，热效率非常低。国内喷雾干燥燃料消耗量是很大的，每顿粉料需63.5~138公斤重油。日本每吨陶瓷粉料需20升原油，相差是很大的。按蒸发水计算，每吨蒸发水需要69~89.5公斤油耗。因此，国内各厂应考虑将泥浆比重提高到1.6左右，从技术和经济两方面来看都是合理的。沈阳陶瓷厂仅把泥浆比重由1.33提高到1.45，生产一吨粉料油耗可降低一倍左右，按蒸发水计其油耗可降低30%左右。

另外，提高泥浆比重后，如果泥浆粘度增大时，可采用解胶剂，国外采用硅酸钠粉末0.2%，添加到原料里。国内有的单位也正在研究AST减水剂用于喷雾干燥，但由于原料不同、国情不同，采用什么解胶剂或减水剂需要结合具体情况进行研究，以便提高喷雾干燥的热效率。

五、陶瓷烧成窑炉结构的改革

为了节约能源必须提高陶瓷烧成窑炉的热效率、节约燃料消耗，首先要采取各种措施减少热损失。从表2间歇窑热计算实例可知，陶瓷制品进行烧成所需要的热量仅仅是9.8%，而用于蓄热、废气传导散失热量及其它的热损失合算起来几乎达到90.2%。

1.减少废气热损失 陶瓷烧成窑炉一般的空气过剩系数高，燃烧效率不好。在不影响烧成制品的质量的条件下，使空气过剩系数往往接近理论值，减少空气过剩系数，就减少了废气的量，带走的热量也就减少了。窑温在1300℃，如果把空气过剩系数由1.4减少到1.2，燃料可节约25%。

间歇式窑炉的热计算

表 2

项 目		热 输 入		热 输 出	
		10 ⁶ 千卡	%	10 ⁶ 千卡	%
热 输 入	燃料的燃烧热	3715.3	98.4		
	燃料的显热	1.8	0.0		
	用于燃烧空气带人的热	14.9	0.4		
	窑体的蓄热量	45.6	1.2		
热 输 出	烧成需要的热			370.5	9.8
	向窑体的蓄热量			1000.1	28.5
	废气的显热			1529.0	40.5
	用其它辐射传导的热损失			877.4	23.2
烧成制品的热效率				10.0%	

2.减少从窑墙、窑顶、管路等散热损失 从这几方面的散热来看是大量的能量损失，因此，必须加强窑的隔热保温，应多研究窑进行施工的隔热材料和保温材料。在窑墙、窑顶、管路的外壁，有效地使用适当厚度的隔热材料和保温材料，降低外表面温度，防止散热。在窑的里面也应安装适当厚度的隔热材料，使之减少向窑墙的传热，降低窑墙内表温度。由于向窑墙所传的热量减少，所以也就降低了窑墙外部的温度。但是，由于在窑墙外表面使用了隔热保温材料的情况下，会使窑墙里面的温度上升相当高，应引起注意。窑内的隔热材料的选择，必须适应窑内的温度，要选择充分耐高温的材质。

3.减少窑体的蓄热量 燃烧的热量加热所烧成的产品同时，也使窑体进行蓄热加热。如果是间歇式窑炉，烧成制品出窑时必须使窑体冷却，因此，窑体的蓄热量原封不动就成为热损失了，那么能减少窑体的蓄热量，就是减少了供给热量，减少了燃料消耗。为了减少蓄热量必须使窑体的温度降低，也就是使热量传导到窑体的热量减少。为此，也需要在窑的内壁上有效的安装绝热材料。

4.改变传统隧道窑的高度和长度 卫生瓷的快烧窑应适当缩短隧道窑长度和降低窑的高度，使窑的截面呈扁平状。为了适应快速烧成，窑的宽与高之比，应改为1:0.2~0.5，过去设计的是1:0.8。由于窑身缩短，窑内的阻力就会减少，减少窑内负压，也就能减少漏入的冷风。适当降低隧道窑的高度，以减少上下温差，减少窑内气体分层，可以缩短烧成时间。美国一家窑业公司认为，以200英尺(约61米)长较为合适。这类小型扁口隧道窑的快速

烧成时间为十几小时，比改革前，每公斤产品的燃料消耗可减少四分之一。

5. 明焰窑采用高速等温喷嘴 这种喷嘴喷出气流速度高，可达100~200米/秒，不但本身降温小，而增加了窑内气流速度，增加了动压，削弱了几何压头作用，而且加剧窑内气流循环和扰动。由于增强窑内对流传热，使窑内温差减少，促进了陶瓷制品烧成反应的加速进行。采用高速等温喷嘴后，使窑内温度均匀，不仅提高了产品质量，而且提高了热效率，有利于快速烧成。例如，焙烧卫生瓷，国外在台车式倒焰窑即梭式窑上，采用了高速等温喷嘴。同时采用了高强轻质绝热材料砌窑，大大缩短了烧成周期，减少了燃料消耗，改善了劳动条件，用这种窑焙烧卫生陶瓷甚至可与一般的隧道窑相竞争。

6. 改进窑具 制品装窑和运输方面应尽量减少匣钵、棚板、棚柱等窑具的比例或不用窑具。增加产品装窑比例，使窑车重量减轻，以减少运载工具的散热损失，节约燃料，而且可增加陶瓷产品产量。由于国内的窑具制作的大而厚，装载的产品相应地就少了，生产效率低，同时浪费了燃料。焙烧面砖时，面砖与耐火材料重量的比值，国外高达4:1，而我国约为1-1.5:1。卫生瓷与匣钵重量的比值为1:2.8~10.0。也就是说，国外面砖在烧成中产品重量约占80%，而我国仅占50~60%，尤其是卫生瓷，在一般隧道窑的烧成中产品重量仅占10~30%，而耐火材料的重量高达70~90%。昂贵的燃料毫无意义的损失掉。所以，为了提高产量、降低能耗，也必须改进窑具。

六、几种快速烧成的窑炉

辊道窑：国外从六十年代末期发展并逐渐完善起来的新型热工设备，其窑是由许多辊子组成，制品放在辊子上，通过辊子转动来输送制品。这种窑炉的优点是温度均匀、操作方便、不用匣钵，易于实现快速烧成，而且窑炉结构较简单，投资费用省，热耗低，并利于连续化、自动化生产。国外已大量使用，如苏联的面砖工业70%采用辊道窑生产。我国也能自行设计建造，但还不够完善，存在的问题是单位时间产量低、热能利用率低以及辊子易变形。所以还不能适应大规模生产的要求。辊道窑的生命力在于研究和改善。我国辊道窑材料采用氧化铝瓷管易产生变形造成故障，国外一般采用耐热合金钢管。最近美国辊道窑烧成带采用碳化硅材料作辊子，每小时可烧出14000件产品。

推板窑：制品放在垫板上推送入窑烧成。耐高温的垫板是由堇青石材料和碳化硅材料制成，所以烧成温度可以高至1400℃，可供陶瓷坯体的素烧、釉烧和彩烧和一次烧成等用。国内外使用得都比较广泛。

小截面隧窑：制品放在极轻便的窑车上滚动或滑动入窑，功效类似上述的推板窑。这种窑的窑车热容量比一般隧道窑的小，但比推板窑的高。

传送带式窑(网带窑)：制品放在金属网带上，靠网带的不断运动，输送制品入窑烧成它的使用温度为900℃，适用于烤花及陶器的生产。目前，我国由于高温耐热合金钢材料短缺，尚未采用。

步进梁式窑：制品直接放在步进杆上，靠步进杆的运动，输送制品入窑烧成。最高烧成温度为1100℃，周期最快可达30分钟，这种窑的结构比较复杂，也不适于烧成收缩大的制品。

其它窑炉：还有梭式窑、抽屉窑、气垫窑等类型。在国外有的已用于生产，有的尚在试

验中。

这些快烧窑的特点是占地面积小，投资少，见效快，易装、卸，操作人员少，设备利用率高，产量大，质量好，燃料消耗少。有利于实现机械化、自动化，形成完整的连续生产线。

七、使用节能材料——陶瓷纤维

陶瓷工业节约能源，除上述一些措施外，在窑炉的窑墙和窑车上采用陶瓷纤维作为耐火、保温、隔热材料，也是节约能源的有效途径之一，应引起我们的足够的重视。由于这种材料具有蓄热低、耐热度高、重量轻、导热率小、耐急冷急热性能好，而且在高温炉中施工和维修都很简便等特性。因此，陶瓷纤维各种制品与普通耐火砖、耐火隔热砖相比，有着不可比拟的优点，见表3陶瓷纤维与耐火砖、耐火隔热砖特性表。因此，陶瓷纤维能显著的降低热量的散失，从而获得良好的节能效果。由于能源的关系，国外在窑炉隔热技术上，得到了广泛应用。我国在陶瓷纤维的生产和应用上也取得了一些成效。有北京、唐山、上海、浙江、江苏等地耐火材料厂和瓷厂生产硅酸铝质短纤维，其性能接近国外同类产品，产品最高使用温度为1400℃。为了减少热能消耗，必须大力推广使用陶瓷纤维作窑炉的隔热、保温材料。

陶瓷纤维与耐火砖、耐火隔热砖特性

表 3

材 质	耐热度 (℃)	纤维直径 (微米)	纤维长度 (毫米)	融 点 (℃)	比 热 (千卡公斤·℃)	体比重	组 成		热传导率 (千卡/米·时·℃)
							Al ₂ O ₃	SiO ₂	
硅酸铝纤维	1260	2—3	45—100	1760	0.27	0.1—0.13	51.7	47.6	
	1430	2—3	40—100	1930	0.27		63.2	37.2	
硅酸铝纤维	1260	2.5	100	1760	0.26	0.1—0.16	50.1	49.3	0.1(350℃)
	1400	2.9	75				60.2	38.7	
氧化铝纤维	1600	3	40	2000	0.24	0.1—0.15	95.0	5.0	0.23(1000℃)
依索拉托耐火砖	—	—	—	—	—	0.5—0.7	—	—	0.13(350℃)
高铝隔热砖	—	—	—	—	—	1.0—1.4	75—98	1.5—25	0.63(350℃)

各种工业窑炉在选择陶瓷纤维的类型、导热系数和厚度时，要考虑以下几个因素：使用最高温度即窑衬受热面温度；冷却面要求降至的温度；窑内气流速度；窑内气氛；所使用燃料的种类；在刚性外壳上最适应的固定方法等。因为，不同类型的陶瓷纤维，在超过一定的高温时就会产生再结晶和脱落现象，而当气流流速高时，就要考虑采用硬度高的窑衬或一种喷涂涂料的陶瓷纤维窑衬。陶瓷纤维与刚性外壳上的铆固件，可选用耐热合金钢的或陶瓷元件的，取决于窑炉的类型和窑内最高温度。

采用陶瓷纤维砌筑工业炉，可使窑墙厚度减少二分之一，窑墙重量可减轻到五分之一到十分之一。这样大大减轻窑炉结构，同时也节省金属结构20%左右。由于这种窑墙耐急冷急热性好，显著地提高了窑炉的使用寿命。

节能效果 间歇式陶瓷烧成窑炉使用陶瓷纤维，节能效果极其显著，一般可节省燃料

40%。烧成陶瓷的隧道窑采用陶瓷纤维作窑衬，可节约能源25%。

在国外陶瓷纤维应用于焙烧陶瓷的各种窑炉实例：

意大利的平顶装配式隧道窑，窑顶及窑墙均采用陶瓷纤维预制构件保温，减少了热损失，在1200℃的窑温下，总的燃料消耗量减少35~40%，蓄热量减少40~50%，热损失减少40~50%，由于窑墙的减薄，使有效装载容积增加25~30%。

法国烧成陶瓷的隧道窑，温度为1250℃，在原有耐火砖上铺贴38毫米厚的氧化铝陶瓷纤维，可节约燃料25%。隔热层变薄，使窑的重量减轻。由于耐热冲击性能好，往往不需要修理。因窑墙蓄热小，操作方便。

英国，1200℃精烧用的电窑，由于采用硅酸铝陶瓷纤维作窑衬，大大缩短了烧成周期，提高烧成效率一倍，节约电能37%。

英国梭式窑采用厚度50毫米的硅酸铝纤维窑衬，一次烧成，气体燃料的消费量从623立方米降低到368立方米，烧成效率每周提高到14次。

美国在陶瓷制品的二次烧成用的间歇式窑中，使用硅酸铝陶瓷纤维窑衬，窑衬由4层2.5厘米厚度的陶瓷纤维组成，在陶瓷纤维上再铺上5厘米厚的矿棉，窑衬总厚度为15厘米，窑炉使用煤气作燃料，可节约煤气用量25%。

我国陶瓷纤维的应用有待于进一步推广，在陶瓷烧成窑炉上尚未采用。目前用于扩散炉作隔热保温材料，以及各种退火炉、中频感应加热炉、有色金属冶炼炉、炼油炉等各种工业炉作隔热保温材料，节能效果十分显著。

国内高温精密等温电阻炉，采用硅酸铝陶瓷纤维作保温材料，炉体比以前减小近一半，重量减轻了30公斤。由于炉内保温效果好，升温速度快，节电效果显著。上海江湾铸钢厂，箱式电阻炉改制后，节电效率可达50%。每台电阻炉每月可节电7215度。

国营七七二厂硅碳棒电炉，炉膛内采用高温型的硅酸铝纤维，改制后由于保温性能好、散热量少、温度均匀，升温速度加快，节电率达到52.2%。

山东炼铝厂台式热处理退火炉，采用硅酸铝纤维——矿棉结构代替老式的粘土砖——保温砖——红砖结构。炉壁厚度减薄到原来的六分之一。炉体重量减少80%，由于炉内有效容积扩大，使装料量增加了60%，生产率提高了一倍多。另外，由于炉体自重减轻了，因而大大降低了炉子的蓄热量，单位燃料消耗显著下降，燃油绝对耗量下降70%。

炼油厂管式加热炉中采用陶瓷纤维炉衬后，一般可使炉壁厚度减薄二分之一左右，炉壁散热损失减少50%，每台炉一年可节省燃料油110吨左右。由于炉体的体积减小同时减少了设备占地面积，相应提高了热效率。

八、窑车结构的改革

降低窑车的热损耗往往容易被忽视，窑车在窑内是四个受热面的一个面，窑车向下面的热损失也是很高的，所以许多工厂不得不在窑车下鼓入冷风，防止窑车轴承受热变形而运转失灵。另外，窑车的车衬蓄热所带走的热能损失也是很大的。因此，如何减少这两方面的热损失是不可忽视的。

在窑车顶上衬垫一层陶瓷纤维特制板，然后放置上棚板。这样减轻了窑车重量，减小了蓄热量和散热量，同时由于温度的降低，也保护了窑车的轴承，使它能正常运转。如果超过

1200℃，有风速的情况下，使用陶瓷纤维有飞散的可能性，使用陶瓷纤维涂料板。采用陶瓷纤维车衬，吸热量比传统窑车显著减少，升温快降温快，可以加快烧成速度，缩短烧成周期，提高产量。在焙烧陶瓷的隧道窑窑车上采用陶瓷纤维特制板，燃料消耗可降低10~15%。

另外，窑车经改造后不但节约了能源，而且窑车减少了维修，由于陶瓷纤维比以前的耐火材料耐剥落性好，热稳定性好，所以窑车的使用寿命变长了，并且烧成温度变得均匀，也提高了产品质量。

(情报一室张颂弟编写)

