

粘土制品快速烧成

冶金工业出版社

粘土制品快速烧成

重庆钢铁公司

冶金陶瓷研究所 合著

钢铁研究院

冶金工业出版社

粘土制品快速烧成

重庆钢铁公司

冶金陶瓷研究所 合著

钢铁研究院

編輯：徐忠本 設計：周广、童煦菴 校對：李慧英

— * —

冶金工业出版社出版（北京市灯市口甲45号）

北京市書刊出版業營業許可証出字第093号

冶金工业出版社印刷厂印 新华書店发行

— * —

1959年7月 第一版

1959年7月 北京第一次印刷

印数 5,020 册

開本 850×1168·1/32·40,000 字·印張 1 $\frac{16}{32}$ ·

— * —

統一書号 15062·1664 定价 0.22 元

出版者的話

耐火材料的快速燒成，特別是重慶鋼鐵公司耐火材料車間創造的粘土制品的快速燒成經驗，是耐火材料工業大躍進中的一项重大技術革新。

本書對粘土制品的快速燒成在理論上作了一些分析和總結，包括快速燒成的經驗及其理論，粘土制品快速燒成中原料特性、磚坯入窯水分、結合粘土含量、磚坯單重與燒成速度的關係，以及快速燒成窯的熱平衡等問題。

本書可供耐火材料工作者，特別是熱工技術人員參考。

目 录

序言	5
第一章 快速烧成的經驗总结及其理論解释	7
一、操作經驗总结	7
1. 重鋼生产簡况	7
2. 經驗总结	3
3. 快速烧成窑的各部位升溫情况及其 烧成时间与装窑密度、煤耗之調整关系	14
二、快速烧成中操作經驗討論	18
1. 全抽力操作	18
2. 稀装	22
3. 提高燃烧强度	24
第二章 粘土制品快速烧成中有关問題的討論	26
一、原料的特性問題	27
二、砖坯入窑水份問題	31
三、結合粘土含量的問題	34
四、砖坯单重与烧成速度的关系	36
第三章 快速烧成窑的热平衡討論	38
附 錄 I	43
附 錄 II	45
附 錄 III	46

序 言

1958年是不平常的一年，是跃进的一年。在超英超美的伟大号召之下，全国到处都在跃进。钢铁工业一马当先，飞跃前进。耐火材料怎样跟上去？这个课题就摆在了耐火材料工作者的面前。是消极等待增加设备，扩建厂房，让钢铁工业等着耐火材料呢？还是积极想办法，挖掘潜力，革新技术，以满足冶金工业的需要呢？重庆钢铁公司第二耐火材料车间采取了后一种态度。该车间党支部在公司党委的领导下，从领导到群众，从党内到党外，开展了一场猛攻保守，革新技术，保证满足炼钢需要的斗争。经过廿余天的奋战，破除了多年来对粘土制品慢速升温的迷信，将制品的烧成时间由84~98小时缩短到9小时20分，创造了惊人的奇迹，此后又连续创造了7小时、6小时20分的烧成纪录。

这一创举具有巨大的经济效果：大大提高了窑炉利用系数，由原来的77公斤/公尺³/日增至174公斤/公尺³/日；煤耗量由每吨制品450公斤降低为150~239公斤；成品率由91.63%提高到94.87%。把这个先进经验推广到全国，就可以使现有耐火材料厂的产量大大提高。把它应用在今后设计上，就可以使用于耐火材料的投资大大减少。

快速烧成法在技术上是具有革命意义的，它推翻了旧的技术理论，创立了粘土制品干燥及烧成理论的新见解，建立了崭新的快速烧成法。（通过重钢生产实践充分证明：半干成型的多熟料粘土制品，不经干燥直接装窑，在采取全抽力操作的前提下，自点火开始就采用快烧猛烧的措施，对制品的质量并无影响）由于粘土制品快速烧成法的试验成功，目前在耐火材料工业上正在掀起一个技术革命的高潮。

像一切新思想、新事物的生长发展必然会遇到阻力一样，快速烧成法的整个试验过程，同时也是一个先进思想同保守思想的

斗争过程。它在試驗和推广过程中，曾經遭遇到保守思想的阻挠和反对。在党的支持和工人同志的努力下，克服了各种保守思想的障碍，才使快速烧成法得到成功，并开花結果。

这个奇迹再次証明：党不仅能领导政治，而且能领导科学；党不仅可以取得阶级斗争的伟大革命的胜利，而且可以取得社会主义建設事业飞速跃进的胜利。只要有党的领导，发挥群众积极創造精神，任何困难都能克服，任何事情都能办到。

为了对这个先进經驗进行总结，冶金工业部指定由钢铁研究院与重庆钢铁公司共同进行这项工作，并邀請了中国科学院冶金陶瓷研究所的同志参加协助。首先，我們对该公司耐火材料車間的生产、快速烧成的操作过程进行了詳細的观察，并加以总结。接着对快速烧成的操作經驗作了些理論解释。同时，为了打破一些“条件論”收集了有关的資料或进行了简单的試驗工作：例如，有关原料、結合土的含量，砖坯入窑水份，砖坯的单重等問題。为了提高现有的窑爐利用系数，对快速冷却亦进行了简单的試驗工作。最后，就快速烧成窑的热平衡进行了計算和討論。但是，因時間关系，亦限于該公司生产任务繁重，未能为总结工作进行更多的試驗研究項目，所以还有一些問題有待今后在生产实践中进一步确定。例如，最适当的装窑密度、装窑方法等方面，现在只是在现有生产水平的基础上进行了初步的总结。又由于对生产实践的認識不深及技术水平的限制，可能有些新的事物在实践中已有所启示，在总结中尙未能很好的提出引起注意；也可能有些总结出的論点尙有不够恰当甚至錯誤之处。希今后通过生产实践，有关方面能提出补充及修正的意见。

第一章 快速烧成的經驗总结 及其理論解释

一、操作經驗总结

1. 重鋼0生产簡况

原料 在配料內，用作瘠化料部份的有叙永、乐山、奉节熟料、泡沙石、后山熟料；作为結合粘土，則采用白泥和奉节粘土。一些原料的理化指标如下。

原料的理化性能

表 1

原料名称	化 学 组 成, %						吸水率, %
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	灼 減	
奉节粘土熟料	32.54	65.22	1.54				2~8
	~33.36	~64.85	~1.58				
白 泥	28.96	55.26	1.48	0.22	0.24	7.97	
	~31.37	~61.59	~1.50	~0.92	~0.50		
后山粘土	34.60	51.14	1.34	0.48	微量	11.20	

品种 生产的品种为浇鋼砖（流鋼砖、圓筒砖、漏斗砖、模底砖、中心砖等）、标准型砖及单重为15公斤以下的大型砖。配料的組成如表 2 所示。

配料的組成

表 2

名称	砖种	<2.38 公厘 乐山熟料	<3公厘 叙永熟料	<3公厘 后山熟料	<2.38 公厘 泡沙石	<0.54 公厘 奉节粘土	<0.5 公厘 后山白泥	煤层粘土
半砂砖	下注用砖	35			45	20		20
粘土砖	下注用砖			50	废砖 20		30	
	塞头砖	80						
	鑄口砖 鑄抽	40	40				20	

标准型砖的成型水份为4.0~4.5%。大型砖为手工成型，水份在11%左右。

干燥情况 除大型手工成型的砖坯需经干燥后入窑外，其他砖种成型后，原则上不经干燥，直接装窑，或在空气中进行自然干燥。这要视窑炉周转情况而定。

快速烧成窑的主要部位的尺寸 快速烧成窑的主要部位的尺寸如下：

	A. 倒焰圆窑	B. 带二次空气口的 半煤气倒焰窑
窑内径，公尺	7	6.975
窑的总高度，公尺	4.45	4.05
窑顶拱半径，公尺	4.5	—
窑底面积，平方公尺	38.5	38.23
窑的几何容积，立方公尺	127	126.4
窑的有效容积，立方公尺	107	100
吸火孔总面积，平方公尺	1.85	1.038
吸火孔面积/窑底面积，%	4.81	2.72
爐柵总面积，公尺 ²	5.81	9.6
爐柵面积/窑底面积，%	15.69	25.14
火箱个数	8	8
烟囱高，公尺	34 (二窑共用)	30
挡火墙高，公尺	0.91	0.84

2. 經驗总结

快速烧成的經驗，基本上可归纳为下列三点：

1. 稀装；
2. 全抽力操作；
3. 提高燃烧强度。

现分别詳述如下：

入窑水份不作控制 旧的操作规程规定，空心砖及8公斤以上的实心砖入窑水份不超过3%，8公斤以下的实心砖不超过4%。这样，成型好的砖坯就必须经过烘干干燥。实践证明，完全不用耽心水份影响开裂，即使刚刚压制出的砖坯（水份6.5~

9.0%) 立即装窑, 无论实心砖或空心砖, 甚至单重达 10 公斤 (水份 7~9%) 的砖坯, 因开裂而造成的废品, 其数量并不因此而增加。

稀装 装窑方法及挡火墙的高矮对快速烧成有很大影响。不合适的火墙高度及装窑方法往往会导致上下各部较大的温度差。这样, 为了使下部砖坯免于欠烧, 就必须延长保温时间。在第一次试验快速烧成时, 出窑后成品分析中, 欠烧品占有 18%, 上下温度差别甚大。检查发现, 装窑不恰当, 架子砖横置过密, 局部砖坯亦装得过密, 同时挡火墙太高 (1.45 公尺)。经调整, 降低挡火墙高度至 0.84 公尺, 在装窑上就克服了上述缺点, 情况大为好转, 基本上消灭了欠烧现象。目前, 在装窑时将圆筒砖、漏斗砖等装在窑的中、下部, 流钢砖及圆筒砖间隔地装在窑的上部。在装窑密度的分配上形成上密下稀, 同时把中间三列的列间距由原来的 60~80 公厘放宽至 120 公厘, 其余各列之间距离仍维持原来的 60~80 公厘, 并适当地放宽砖坯间距离以增加受热面积。这些措施都有助于快速烧成的顺利进行。

全抽力操作 在快速烧成经验中应着重提出的是全抽力操作。抽力曲线见图 1 和 2, 最高为 13 公厘水柱。低温烧大火, 这是快速烧成的关键所在。整个烧成操作中, 从发火开始一直到窑门热电偶指示温度略低于止火温度前, 烟道闸门始终处于全部提起状态, 即利用烟道最大抽力。直到烧成最后阶段, 为了使全窑各部温度更趋于一致, 才开始将闸门下降一半, 同时将二次空气口闸门降下。在这以前二次空气口闸门亦全部提起, 且不作控制。闸门下降不宜过早, 不然将会延长高温阶段升温时间。纵使发现窑内中、下部温度差很大, 也不应过早降下闸门。除非窑门热电偶指示温度已近于止火温度, 才降落闸门一半。此时煤层加厚, 采用半煤气操作, 加长火焰, 燃烧中, 下部。此时, 即见中, 下部温度迅速上涨, 上部及四周砖坯温度维持不变。经过不长时间的保温, 全窑温度即能基本上趋于一致。闸门是逐渐降落的, 直到煅烧終了时闸门才全部降落。

因而，从发火开始，在低温阶段 $120\sim 600^{\circ}\text{C}$ ，几乎每小时以 200°C 的速度升温，完全推翻了以往旧的规定所谓低温（指残余水份的排除以及粘土分解脱水）阶段不准烧大火加快升温速度的陈旧论调。目前可以这样说，从发火开始即应保一切可能采取措施加速升温，尽窑炉升温能力之所及，快速升温。对砖坯本身来说，决不致因此而增加废品数量。

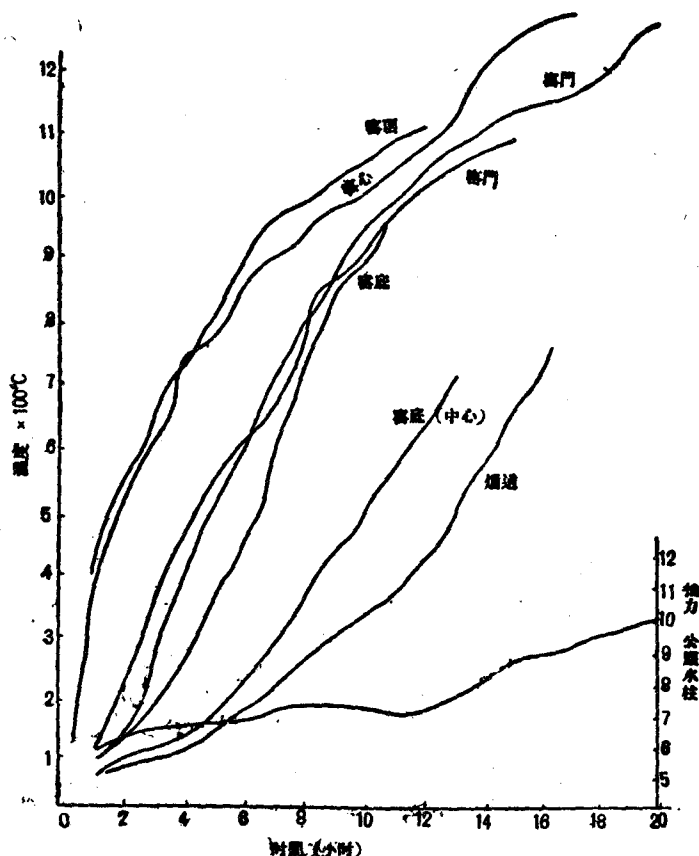


图1 快速烧成窑内各部分升温曲线和抽力曲线（密装）

提高燃烧强度 在全抽力操作的前提下，为了保证达到快速（10小时以下）烧成，在发火后加煤操作上均应作一系列相应的措施。必须意识到在每一操作上均应做到分秒必争。

i. 发火。发火要快。在爐柵上鋪置干燥的易于发火的木材，并在其上薄薄地复盖一层块煤。爐門口稍放多些，然后在爐柵下部引火，待煤炭烧着，即行关闭爐門。爐門关闭过早，有时会引起倒焰现象。

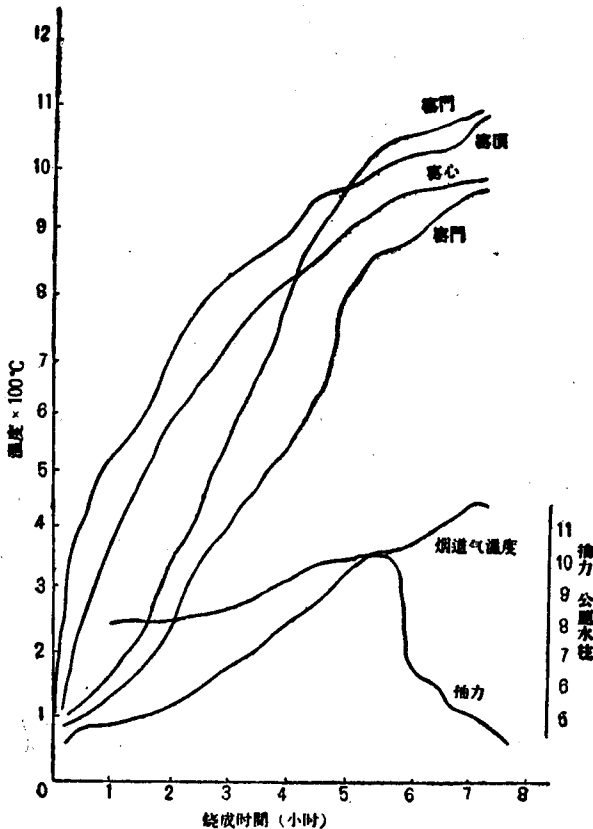


图 2 快速烧成窑内各部分升温曲线和抽力曲线（稀装）

ii. 增强燃烧强度。贯彻三勤操作：勤加煤，勤撬火，勤清灰，使爐柵下面始終維持通紅光亮。加煤特点是：先将預置在爐門口的經部份干燥而灼热的煤炭推向燃烧带，然后将大量（約 5~6 鍾）冷煤加在爐門口（加至不能再加）。在两次加煤間隔之間进行

清灰或掃火。原則是8个火箱同时进行同类操作，改变以往間隔加煤、交替通火的操作。但是，还得視各个火箱的燃烧情况及两端窑門升溫情况而作适当調整。因此，要求操作同志紧密协作，互相联系。

发火后一直到烧成終了，加煤間隔相差不大。基本上在較低溫度时加煤間隔为20分鐘，在高溫时則为10~15分鐘。随加煤間隔的縮短，应适当减少加煤量。

在一般慢速烧成窑內，燃烧强度約为70公斤煤/小时/平方公尺爐棚，而快速烧成窑的燃烧强度則为148—191公斤煤/小时/平方公尺爐棚（計算时已扣除由于机械上的不完全燃烧而引起的損失）。燃烧强度几乎提高了1~1.7倍。

快速冷却 以往，烧成時間限制在80—100小时的情况下，冷却制度亦有清規戒律。操作规程规定：“須在止火后6小时才能打开窑門，并将窑頂天眼及周圍眼子打开，但不准鉤出火膛內的灰渣。閘門于止火后6小时才全部提升，12小时后开始鼓风。开始鼓风时用小風扇距窑門3公尺，以后每隔3小时移近1公尺，最后可靠近窑門鼓风。小風扇使用6小时后才能換用大風扇，其距离与小風扇同”。冷却時間約在100小时左右。事实上这样的謹慎小心是完全沒有必要的。在烧成時間很长的情况下，冷却時間过长的矛盾似乎并不突出。但是，当烧成時間一再縮短时，特别是在快速烧成試驗成功后，如果不配合以快速冷却，那末窑爐利用系数的提高是有限的，因此在研究快速烧成的同时必須研究快速冷却。

我們知道粘土制品的冷却过程总要比它的煅烧过程容易得多，其理由①是：

1. 在煅烧过程終了时，在坯体内的矽酸盐熔融物具有較大的稠度。在冷却时，莫来石的結晶过程仅能获得微弱的发展，对制品質量影响不大。

2. 粘土制品与其他耐火制品相比較，具有較高的热稳定

① П.С.Мамкин. Огнеупорные изделия, 1955, стр.347.

性，因此它們的冷却可以用較大的速度进行。

前已述及，快速烧成已縮短到7小时。同时，A. A. 舒米林也指出，粘土砖的煅烧速度甚至每小时高达 $300 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 亦不致开裂；煅烧高铝砖的冷却和加热如合适，可达6小时。他同时还認為，快烧对砖的质量并无不良影响。根据上述理論及論証，完全有理由認為冷却速度可以大大提高，甚至高于它的烧成速度。在理論上有可能把冷却時間縮短到7小时以內。

当然，在倒焰窑內，粘土砖的冷却受到它的低的热传导性以及較小的冷却表面的限制。

因此，在不断縮短烧成時間的同时进行了快速冷却試驗，把冷却時間縮短至30小时左右。采取的方法是：在窑爐止火1~2小时后，立即扒开窑門，将天眼全部打开；用水浇灭爐条上的余烬，扒出灰渣；在窑門口强烈鼓风；待两端最外层砖块呈暗紅色后，开始噴霧；同时将冷却砖块及时地取出，以加速窑中間砖塊的冷却，从而冷却時間降至30~40小时。从出窑的成品分析看来，开裂废品并无显著增加。

冷却速度对砖块的质量究竟会起何种程度的影响呢？为了进一步弄清这个問題，进行了下列試驗研究。

在刚打开窑門时，立即取出最外层的砖块，使一部份砖块在空气中自然冷却，另一部份砖块直接噴水冷却，再一部份砖块則在自然冷却至外表不发黑时再噴水冷却。結果发现，砖坯均无开裂征象。砖的显气孔率及常温耐压强度的变化列于表3。

由上表可见，不同形式的冷却表现在显气孔率及常温耐压强

冷却試驗砖的显气孔率和常温耐压强度

表3

冷却方式	显气孔率，%	常温耐压强度，公斤/公分 ²
窑內冷却	21~27	130~350
长条方砖		
自然冷却	23.7	350
黑后噴水	23.7	330
立即噴水	22.6	300

度上均无悬殊差别。无论采用何种冷却方式，制品质量完全符合规格要求。若在窑内进行适当的喷水，冷却时情况根本不会这样激烈，在质量的影响方面，应该更加微小。最合适的快速冷却方法尚有待进一步研究（比如窑顶抽风、窑门强力鼓风喷雾等）。同时，进一步试验及研究快速烧成及冷却对砖块组织所起的变化机理（如晶态转化等）以及在其他窑业特性方面的变化（对扩充粘土砖快速烧成的新理论说来）有重大的意义。

3. 快速烧成窑的各部位升温情况及烧成时间与装窑密度、煤耗之间的关系 在窑的各部位事先安插了热电偶及测温锥测温，进行升温速度的记录，并测量抽力的大小。

不同部位的升温速度及抽力大小，温度分布并与文献介绍升温曲线作比较如图1、2和表4所示。

由这些图表可见：

（1）快速烧成曲线的特征：为了进一步分析文献介绍的升温曲线及快速升温曲线的特点，现将各阶段的烧成速度及所需时间作如下的比较（表4）。

上述比较清楚地表明，文献上建议的升温曲线在低温（900℃以下）阶段最不合理。实际上在实行快速烧成之前，200℃以下的烧成时间已经比文献建议的缩短了25%。快速烧成更是将这一阶段时间大大地缩短，几乎缩短了21.5倍。200~600℃阶段缩短了4.7倍，600—900℃阶段缩短了2.25倍。烧成时间的缩短随温度的增高而逐渐降低，虽在900℃以上，升温速率也还是没有达到文献建议的升温速度的最大值。事实上，提高高温阶段的升温速率要比提高低温阶段的升温速率费事得多，因为在高温阶段坯体热容较低温时平均增加了17%，同时坯体与烟气之间温度差，随坯体温度的增高而逐渐降低。所以，缩短低温煅烧时间是快速烧成的主要成就。

（2）快速烧成窑内各部温度分布情况如图3所示。

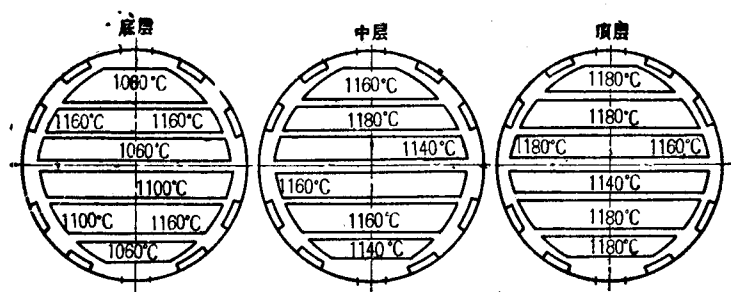
根据几次测定的数字，窑内各部的升温情况（为便于比较起见）列于表5。

表 4

文献介绍的和快速的升温曲线和烧成时间的比较

	20~200°C		与文献介绍升温速度比较, %		200~600°C		与文献介绍升温速度比较, %		600~900°C		与文献介绍升温速度比较, %		900~1250°C		与文献介绍升温速度比较, %	
	温度, °C/小时	时间, 小时	速度, °C/小时	时间, 小时	速度, °C/小时	时间, 小时	速度, °C/小时	时间, 小时	速度, °C/小时	时间, 小时	速度, °C/小时	时间, 小时	速度, °C/小时	时间, 小时	速度, °C/小时	时间, 小时
文献介绍升温曲线①	6~10	18~20	100		20~40	10~13	100		50~70	4~6	100		50~70	5~7	100	
快速升温曲线	7~30	6~27	125		16~40	10~25	—20		14~30	10~21	—63		12~25	14~30	—70	
快速升温曲线	180	1	2150		200	2	470		225	1.5	225		55	(1100) 2.5	—8	

① Г.Г. Аристов. Технический контроль производства огнеупоров, 1955, стр. 186.



(离窑底0.3—0.5公尺) (离窑底1.5—2.5公尺)

图3 快速烧成窑温度分布情况(稀装)

窑内各部的升温情况

表5

温 度 范 围		0~200°C	200~600°C	600~900°C
窑内 部 位				
窑	顶	发火~7分钟	1.5小时	2.5小时
窑	心	30分钟	2.0 "	2.5 "
窑	门	1~1.5小时	2.5 "	1.75 "

装窑密度平均为0.5吨/公尺³

窑	顶	30分钟	2.5小时	3.5小时
窑	心	30分钟	2.5 "	4 "
窑	门	2小时	4 "	3.5 "
窑	底	3.5小时	4 "	4 "

装窑密度平均为1.0吨/公尺³

由表5可见,窑内各部升温速率并不一致。在稀装的窑内,窑顶温度几乎一发火就升到200°C,而在窑心则需要30分钟,在窑门约需一个多小时。在密装的窑内,达到同样温度所需的时间要长得多。根据试验窑测温锥弯倒情况来看,窑温的分布——上下温度差别较大,在100°C左右。对于烧结温度范围较广的配料来说,在质量上不致波动太大。例如以白泥作结合土,在窑内烧出,上下部位砖坯的气孔率为21~24%。如果结合粘土烧结温度范围较窄,则在窑内热电偶指示温度接近止火温度时开始降窑,并继续