

中等专业学校轻工专业试用教材

# 陶瓷工业热工设备

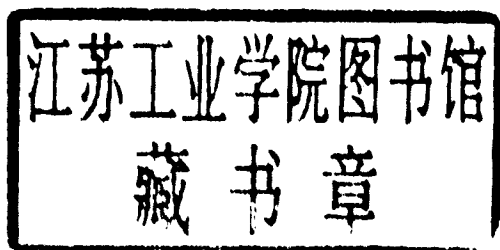
湖南省轻工业学校 编

轻工业出版社

中等专业学校轻工专业试用教材

# 陶瓷工业热工设备

湖南省轻工业学校 主编



轻工业出版社

## 内 容 提 要

本书分为八章。前三章系统地阐述了燃料燃烧、气体力学及传热学等陶瓷热工方面的基础知识。继后三章较为详细地介绍了隧道窑、倒焰窑的结构、性能、烧成曲线、具体操作和筑窑材料,分析了陶瓷制品产生缺陷的原因,提出了改进和防止的办法,还对一些新型窑炉作了简要的介绍。最后二章,介绍了干燥与干燥设备、热工测量与自动调节方面的知识。每章末附有习题,便于复习。本书可作为中等专业学校陶瓷专业的试用教材,也可供陶瓷行业有关人员参考。

中等专业学校轻工专业试用教材

### 陶瓷工业热工设备

湖南省轻工业学校 主编

\*

轻工业出版社出版

(北京阜成路3号)

重庆新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

\*

850×1168毫米 1/32 印张:  $15\frac{8}{32}$  插页: 2 字数: 378千字

1986年5月 第一版第一次印刷

印数: 1—8,000 定价: 2.85元

统一书号: 15042·2013

## 前 言

《陶瓷工业热工设备》是根据轻工业部教育司于一九七九年三月在宜兴召开的陶瓷专业中专教材编审会议所制订的教学大纲编写的。全书共分八章。前三章着重讲述燃料燃烧、气体力学及传热学等热工方面的基础知识，第四章较为详尽地介绍了目前国内陶瓷厂主要的烧成设备——隧道窑，第五章对近年来国内外出现的一些新型窑炉作了简要的介绍，第六章则对我国目前保存最多的传统窑炉——倒焰窑作了必要的介绍，第七章讲述干燥与干燥设备，第八章介绍热工测量与自动调节方面的知识。本书可作为中等专业学校陶瓷专业的试用教材，也可供陶瓷行业有关人员参考。

本书是在轻工业部教育司及中专教材编写组织单位——宜兴陶瓷工业学校的直接组织、领导下，由湖南省轻工业学校教师孟天雄同志编写的，并得到了广东省轻工业学校、宜兴陶瓷工业学校、河北轻工业学校、邯郸陶瓷工业学校、四川省轻工业学校的领导和专业教师的大力支持与指导。广东省轻工业学校的叶向荣老师为本书的主审人，认真、细致地审阅了全部书稿，提出了详尽的修改意见。参加审稿工作的还有广东省轻工业学校、四川省轻工业学校、宜兴陶瓷工业学校、河北轻工业学校的有关教师，他们对书稿提出了许多宝贵的意见。此外，湖南省轻工业学校、湖南省陶瓷玻璃公司也对本书的编写给予了支持与鼓励，谨在此向上述单位和同志致以衷心的感谢。

本书在编写过程中，根据中专教育的特点及少而精的原则，注意了教材的系统性、科学性与逻辑性以及叙述的深入浅出，但由于时间匆促及编者水平的限制，缺点错误在所难免，敬希读者批评指正。

编者

## 绪 论

我们伟大的祖国，是一个具有悠久历史、充满光辉业绩的文明古国。瓷器，是我国古代劳动人民的一大发明；窑炉，也是我国古代劳动人民最先创造出来的。

我国的窑炉，经历了一个漫长的发展过程。由低级到高级，由简单到复杂，由产量质量低、燃料消耗大到产量质量高、燃料消耗少，由手工操作到机械化、自动化。

在这个发展过程中，最早出现的是焙烧原始陶器的古窑，以后随着社会生产的发展，又出现了龙窑、阶级窑、景德镇窑、倒焰窑等窑型。近年来，又广泛采用了隧道窑。下面分别予以介绍。

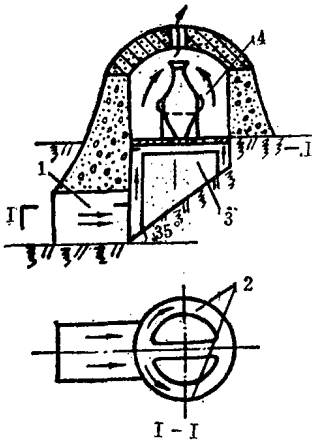


图1 古横穴窑复原示意图

- 1—燃烧室 2—环状火道
- 3—中火道 4—窑室

根据考古发掘，证明远在五千年前的原始社会中，我国就已经有了焙烧原始陶器的古窑。这种古窑分为竖穴窑、横穴窑两种。竖穴窑的特点是窑室在燃烧室之上，燃烧室是一个口小底大的袋状坑，窑室与燃烧室之间有几条火道相通。最有代表性的是横穴窑，图1是西安半坡村人类遗址发掘中发现的横穴窑复原示意图。

这种窑是升焰式窑，是我国古代劳动人民利用燃料燃烧的火焰一定向上这一自然道理而修建的。它可分为燃烧室、火道、火眼及窑室等部分。窑室很少，直径只有0.8米左右，大的陶器只能烧一件，较小的陶器可以烧四、五件，燃烧室的尺寸是：长约0.9米，宽

约0.7米，高约0.8米。窑底四周有环形火道，中部另有一条倾斜火道，将窑底平面分为两部分。火道宽约0.1米，平均深约0.6米，火道与燃烧室相通。窑室接近圆形，烟气经火道由火眼进入窑室。火眼的大小不一，接近燃烧室的较小，远离燃烧室的较大。这种差别，充分体现了我国古代劳动人民的智慧，知道利用火眼的大小来控制流过烟气的多寡，以减少窑内温差。

我国古窑中有一种称为龙窑的。龙窑多依山坡倾斜建筑，形状象条卧龙，故称为龙窑。1952年在广州西村发现北宋时期的一条龙窑，长约35米，宽约3米，内壁布满长期烧窑留下的釉质。这是我国目前发现较早的一条龙窑，距今约一千多年。1960年，在浙江龙泉，也发掘了宋明两代用来烧青瓷的龙窑。从这些龙窑的规模、结构及烧制的产品来推断，龙窑已经有了一段发展的历史，至少在唐代或五代十国时期已经出现龙窑了。龙窑在我国南方一些陶瓷产区，如江苏、浙江、广东、福建、江西、湖南等省，广泛采用。至今，这些地方尚保留了少量的龙窑。龙窑的窑身是一条倾斜的隧道，象一座倾斜放置的隧道窑(图2)。它与地平线构成 $10\sim 20^\circ$ 的

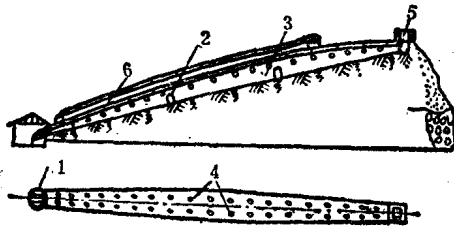


图2 龙窑结构示意图

- 1—预热燃烧室 2—窑门 3—窑室  
4—燃烧孔 5—烟囱 6—窑顶

角，窑头角度较大，约 $20^\circ$ ，中部约 $15^\circ$ ，后部约 $11^\circ$ 。窑室拱顶成弧形，两侧上部或窑顶各设一排或数排燃烧孔，沿窑长方向两孔间距约为 $0.8\sim 1$ 米，燃料(一般为松柴)就从这些孔道投入窑内。在窑墙的一侧，沿窑长开有 $2\sim 4$ 个高约 $1.8$ 米的窑门，供装坯和出窑

之用。窑头设有预热燃烧室，窑尾不设烟囱，也有设置一米多高烟囱的。这是因为龙窑倾斜向上，本身就起着烟囱的作用。窑长约20~80米，宽约1.5~2.5米，高约1.6~2米，容积约50~400米<sup>3</sup>。从横断面来说，窑头最小，窑中部最大，窑尾又较小。这样的安排，从热工观点来看，是十分有利的。烧窑开始，需要的热量较多，窑头横截面小，有利于热量的集中，流速较快，使热烟气顺利地沿窑长方向流动；中部最大，火焰流速较缓，可保证给制品传递热量，使传热效果更好，有利于制品烧成；窑尾又较小，烟气流速又增大，保持一定的动压，有利于排烟。

龙窑是半连续性的窑炉。装窑后，先在窑头点火烧窑，从窑尾排出废气，并将窑后段制品预热。随后，烧成带往窑尾移动，窑前段制品冷却，将空气预热，预热的空气进入烧成带。这样，龙窑就有效地利用了废气的热量与制品冷却时放出的热量，从而减少了单位产品的燃料消耗，提高了窑炉的热效率。此外，由于龙窑窑身倾斜，可以造成一定的几何压头，形成一定的抽力。当窑身倾斜角度及码窑方法合理时，这个抽力恰好能克服窑内气体流动时的阻力。这样，就有利于窑内温度、气氛较均匀的分布，这也是龙窑的一大优点。龙窑的主要缺点在于装窑与出窑的劳动强度大，难于实现机械化、自动化，在窑内的某些部位，温度与气氛的波动较大等等。

我国古窑中还有一种阶级窑。阶级窑大约在明代首创于我国福建德化，故又称为德化窑。象龙窑一样，它也是依山坡倾斜建筑，不同的是依斜坡筑成阶级式，由许多单独的烧成室串联成一个整体，故又称为阶级窑或串窑(图3)。

阶级窑的倾斜度一般为18~22°，有的地方(例如湖南)，习惯于用“分水”来表示其倾斜度。例如，说某阶级窑的倾斜度为4分水，也就是说该窑的倾斜度(垂直高度与底长之比)为40%。阶级窑各处的倾斜度并不完全一致，窑尾的倾斜程度总比窑头的倾斜程度小。整个窑是由5~10间烧成室连成，一般以8间居多。每

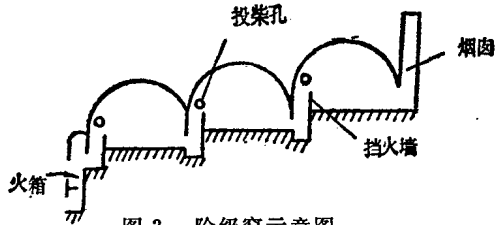


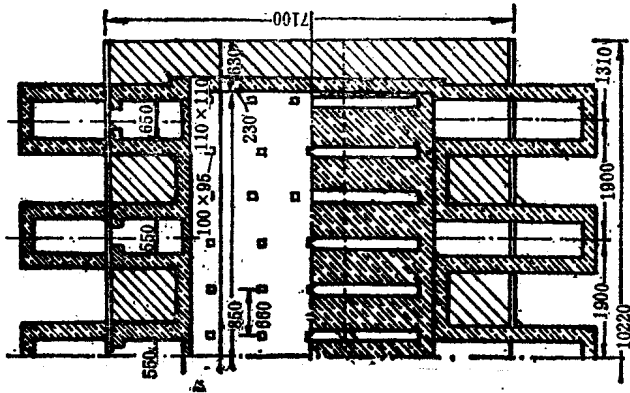
图3 阶级窑示意图

间容积也不同(约 $18\sim 40\text{米}^3$ )，一般是窑头、窑尾小，中间大。每一室的隔墙下面有通风孔(又称为囱脚眼)，每室前方靠墙处设有炉栅，后顶上开设排气孔，同时每边各开一个窑门，供装出窑用。窑的前端设有点火用的燃烧室。由于窑体倾斜上升，这就使窑体本身起了一部分烟囱的作用，故一般烧柴的阶级窑只须在窑后部设 $3\sim 4$ 个小烟囱。烧煤的阶级窑从第二间起，在每堵隔墙室顶上加设一个烟囱，这对加速升温有显著效果。窑体总长约为 $15\sim 30$ 米，窑容积一般在 $200\sim 250$ 立方米。

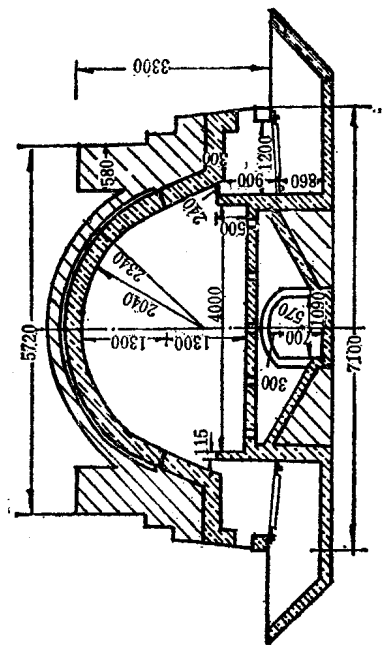
阶级窑的优点与龙窑差不多，可以利用烟气的余热预热生坯和用产品冷却放出的热量预热空气。前一间的燃烧废气通过隔墙下的通火孔进入后一间预热制品。往往头间产品烧成时，二间温度已达 $800\text{℃}$ 左右；在二间烧成时，三间温度可达 $900\text{℃}$ 以上；三间以后各间止火时，其最后一间的温度可达 $1000\text{℃}$ 左右；从五间开始，以后各间的烧成时间只需 $4\sim 5$ 小时，因此，阶级窑的燃料消耗比倒焰窑少，由于窑内多呈正压，控制还原气氛较易，故烧成质量比龙窑好。不及龙窑的是，窑内温差比较大，一般是前上部温度最高，整个下部温度较低，一般只好用几种坯、釉来适应这种状况。

在我国北方陶瓷产区，原有馒头窑，本世纪初逐渐为一种较新式的窑，叫倒焰窑代替。为了克服升焰式窑(如北方的馒头窑)、龙窑、阶级窑等温度不均匀的缺点，提高烧成质量，大约在1919年以后，我国北方采用了倒焰窑烧成瓷器，而南方仍用上述的龙





甲、平面图



乙、横剖面

图4 倒焰窑

窑、阶级窑、景德镇窑等。解放以后，倒焰窑才推广到我国南方各地。由于这种窑中的气体大部分为垂流流动，气流分布较为均匀，气体分层现象较少，因此，窑内温差较小，温度制度比较容易控制，产品质量也较好。同时，这种窑结构简单，使用钢材较少，容易砌筑，根据不同产品变动烧成制度也比较容易，适合于多品种、小批量以及大型、异型产品的焙烧。故至今不少中、小厂仍在使用。

倒焰窑是因火焰流动情况命名的。无论是倒焰圆窑或倒焰方窑，火焰都从燃烧室上升至窑顶，受到窑顶的阻挡，同时，窑底有烟道的吸力，使火焰下行，经钵柱间隙进入窑底吸火孔，经烟道由烟囱排出。因火焰在行进途中有一段是由上而下的，故称为倒焰窑(图4)。

这种窑在旧式窑炉中是比较合理的，但与隧道窑比较，如生产量相同，倒焰窑的燃料消耗量要多60%左右，加之装出窑的劳动强度也比较大，故这种旧式的倒焰窑不是发展的方向，目前，正逐渐被隧道窑及现代化的间歇窑所代替。

当代较新式的隧道窑，据文献记载，最早是法国的威塞尼斯在1751年为了陶器的彩烧而设计砌筑的。其后，法人保思克建造了一座如图5所示的隧道窑，但直到本世纪初以前，隧道窑在工业上都未能得到成功的应用。主要的原因是：(1)没有找到较为满意的筑炉材料；(2)没有掌握较完善的操作方法；(3)在高温下难以维持车轮轴承满意的运转。

1880年，瑞典技师波克发明了砂封装置，保护窑车金属部分不受高温影响，直到现在我们仍在运用。

二十世纪初期，英国人厥斯勒对隧道窑进行了大量的研究，对隧道窑的结构、操作方法等进行了许多改进，使烧成质量大大提高。1918年，又开始在隧道窑试用液体、气体燃料，使隧道窑的操作发生了根本的变化。

我国日用陶瓷工业使用隧道窑最早的是山东，1963年在山东

博山陶瓷厂建成投产了第一条烧日用瓷的隧道窑。1965年,在长沙建湘瓷厂新建了一座以重油为燃料的隧道窑。近十多年来,隧道窑

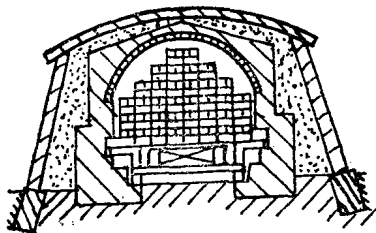


图5 保思克建造的隧道窑

在我国发展很快,辽宁、河北、山东、湖南、江西、江苏、广东等陶瓷产区兴建了大量煤烧或油烧隧道窑。目前,这种比较先进的窑炉已成为我国日用陶瓷工业的主要烧成设备。

隧道窑的突出优点是:烧成周期短,生产效率高,燃料消耗低,产品质量好。同时,由于装、出窑均在窑外进行,在近于室温的条件下操作,而且操作也比旧式窑炉方便得多,因而可以大大减轻工人的劳动强度,改善劳动条件。此外,由于操作连续,烧成制度比较稳定,易于实现机械化、自动化。隧道窑的主要缺点在于:建筑、设备费用大,烧成制度不易改变,当一个工厂制品种类复杂,而每一个品种的产量又不多时,使用隧道窑就较为困难。

窑炉种类繁多,分类方法各异,为便于掌握,可列表说明如下:

表1

分类方法	名称	主要特点
按使用燃料分	柴窑	以木柴为燃料
	煤窑	以煤为燃料
	油窑	以重油、轻柴油等为燃料
	煤气或天然气窑	以煤气(或天然气)为燃料
	电窑	利用电能转变为热能

续表

分类方法	名称	主要特点
按火焰流动方向分	升焰窑	火焰由下而上
	平焰窑	火焰流动方向近于水平
	半倒焰窑	火焰由前方上升, 倾斜地由后下方下部、从烟囱排出
	倒焰窑	火焰先上后下
按形状分	圆窑	外形为圆形
	方窑	外形为方形
	隧道窑	窑形为一隧道
	阶级窑	分许多间, 逐级倾斜向上
	龙窑	外形象一条龙, 斜伏在山坡上
按连续与百分的	间歇窑	装、烧、冷、出等操作周而复始地进行, 生产是间歇地、分批地进行的
	半连续窑	窑分若干段, 装、烧、冷、出等操作在各段分别进行, 具有连续窑的性质; 但这些段都不是固定存在的, 而是先后减短和消失, 最后又重新开始, 具有间歇窑的性质
	连续窑	窑分若干段, 装、烧、冷、出等操作在这些段固定地同时进行, 生产是连续的
按用途分	本烧窑	将已干燥的生坯挂釉后装入窑内烧成
	素烧窑	未上釉的生坯入窑用低温焙烧, 增加其强度, 便于进行装饰, 准备挂釉后再用高温烧成
	烤花窑	烘焙彩料

由于分类方法很多, 同一个窑炉, 会有许多名称。在实用上, 一般都以形状来命名, 在必要时再进行解释。例如, 龙窑、圆窑、方窑、隧道窑等等。如要说明某个特点, 例如, 要说明所使用的燃料, 又可以称为“煤气方窑”、“煤烧隧道窑”、“油烧隧道窑”等等。

# 目 录

<b>第一章 燃料、燃烧及燃烧设备</b> .....	( 1 )
<b>第一节 燃料的种类及特性</b> .....	( 1 )
一、燃料的种类.....	( 1 )
二、燃料的特性.....	( 2 )
三、燃料的比较.....	( 20 )
<b>第二节 燃料的成分及其表示方法</b> .....	( 21 )
一、固体燃料(煤)的成分表示方法.....	( 21 )
二、液体燃料成分表示法.....	( 24 )
三、气体燃料成分表示法.....	( 24 )
<b>第三节 燃料的热值</b> .....	( 25 )
一、热值的定义.....	( 25 )
二、低热值与高热值.....	( 25 )
三、热值的测定.....	( 26 )
四、热值的计算公式.....	( 27 )
五、标准燃料的概念及作用.....	( 30 )
<b>第四节 燃烧计算</b> .....	( 31 )
一、燃烧的定义.....	( 31 )
二、着火温度.....	( 32 )
三、完全燃烧与不完全燃烧.....	( 32 )
四、燃烧计算.....	( 33 )
<b>第五节 燃烧过程及设备</b> .....	( 50 )
一、固体燃料的燃烧及设备.....	( 52 )
二、重油的处理及燃烧过程.....	( 64 )
三、重油喷嘴.....	( 76 )

四、煤气的燃烧过程及设备	( 83 )
五、高速等温喷嘴	( 86 )
第六节 燃料的气化及气化设备	( 87 )
一、燃料的气化原理	( 87 )
二、煤的气化设备——煤气发生炉	( 90 )
三、煤气的净化	( 104 )
四、煤气净化设备	( 105 )
五、煤气炉的安全技术	( 108 )
复习题	( 108 )
<b>第二章 气体力学</b>	( 111 )
第一节 几个基本概念	( 111 )
一、重度和比重	( 111 )
二、密度	( 113 )
三、绝对压强与相对压强	( 113 )
四、流速与流量	( 114 )
五、标准状况下与实际状况下的气体 体积、流速和重度	( 115 )
六、层流与湍流	( 117 )
七、稳定流动与不稳定流动	( 119 )
第二节 气体流动连续方程式	( 119 )
第三节 压头的物理意义及其互相转变	( 120 )
一、几何压头	( 120 )
二、静压头	( 121 )
三、动压头	( 122 )
四、压头的转变	( 123 )
第四节 气体流动时的压头损失	( 125 )
一、摩擦阻力损失 ( $h_{摩}$ )	( 125 )
二、局部阻力损失 ( $h_{局}$ )	( 125 )
三、物料阻力损失 ( $h_{物}$ )	( 127 )

第五节	柏努利方程式及其在窑炉系统中的 应用	(129)
一、	柏努利方程	(129)
二、	柏努利方程在窑炉系统中的应用	(131)
第六节	流体动力相似的基本概念	(133)
第七节	通风设备	(135)
一、	自然通风与机械通风	(135)
二、	烟囱及其计算	(136)
三、	风机及其选型	(143)
四、	喷射泵	(148)
	复习题	(153)
<b>第三章</b>	<b>传热原理</b>	(155)
第一节	几个基本概念	(155)
一、	温度梯度	(155)
二、	传热的三种方式	(156)
三、	稳定传热与不稳定传热	(157)
四、	热流并联与串联	(158)
第二节	传导传热	(159)
一、	傅利叶方程式	(159)
二、	导热系数	(160)
三、	稳定情况下通过多层平壁的导热	(161)
四、	稳定情况下非平壁的导热	(164)
第三节	对流传热	(167)
第四节	辐射传热	(169)
一、	辐射传热的机理	(169)
二、	黑体、白体、透体、灰体及黑度的 概念	(170)
三、	固体辐射传热	(173)
四、	气体辐射传热	(175)

第五节	综合传热	(181)
第六节	不稳定传热	(182)
第七节	热相似的基本概念	(183)
第八节	窑炉热平衡计算	(185)
	复习题	(193)
<b>第四章</b>	<b>隧道窑</b>	<b>(195)</b>
第一节	隧道窑的结构	(197)
一、	三带的划分及比例	(197)
二、	窑体结构	(198)
三、	预热带结构	(214)
四、	烧成带结构	(223)
五、	冷却带结构	(226)
六、	其他结构	(231)
第二节	隧道窑的附属设备	(239)
一、	密车	(239)
二、	托车	(242)
三、	推车机	(242)
第三节	隧道窑的操作控制	(245)
一、	烘烤与调试	(245)
二、	装车	(249)
三、	烧成制度	(251)
四、	常见故障及排除	(258)
五、	窑炉设备的维护保养	(264)
六、	快速烧成	(266)
第四节	隧道窑的设计与施工	(270)
一、	设计原则	(270)
二、	设计前的准备	(271)
三、	隧道窑设计的基本方法	(272)
四、	隧道窑施工	(277)



第五节	砌筑材料	( 282 )
一、	耐火材料	( 282 )
二、	隔热材料(或称保温材料)	( 291 )
三、	普通材料	( 297 )
第六节	隧道窑热能的节省	( 300 )
一、	隧道窑烧成中热能的分配	( 300 )
二、	烟气带走的热量	( 301 )
三、	出窑物料带走的热量	( 304 )
四、	窑顶、窑墙散失的热量	( 306 )
五、	热风抽出带走的热量	( 307 )
六、	其它节省热能的措施	( 308 )
第七节	隧道烤花窑	( 310 )
一、	隧道烤花窑的结构	( 311 )
二、	隧道烤花窑的热工制度	( 312 )
	复习题	( 314 )
<b>第五章</b>	<b>新型窑炉</b>	( 317 )
第一节	辊道窑	( 317 )
一、	辊道窑发展简史	( 317 )
二、	辊道窑的优缺点	( 318 )
三、	辊道窑的结构	( 319 )
四、	辊道窑的辊子	( 322 )
五、	辊道窑的操作	( 326 )
第二节	推板窑	( 328 )
第三节	多孔隧道窑	( 333 )
一、	多孔隧道窑的优缺点	( 334 )
二、	多孔隧道窑的结构特点	( 334 )
三、	对多孔隧道窑的几点看法	( 335 )
第四节	气垫窑	( 337 )
第五节	电热隧道窑	( 338 )