

# 热工学及陶瓷厂热工设备

上册

杜海清編著

湖南科学技术出版社

书号：0282

## 热工学及陶瓷厂热工设备

杜海清編著

譚尔康装帧

\*

湖南科学技术出版社出版(长沙市新村路)  
湖南省新华印刷厂印刷 湖南省新华书店发行

开本：787×1092毫米1/32·印张：11 7/16·字数：242,000

1961年10月第一版

1961年10月第1次印刷

印数：1——1,500 定价：(6) 0.90元

统一书号：15162·65

## 內 容 簡 介

本書分上、下二冊，上冊主要為熱工學理論部分，下冊主要為陶瓷窯爐結構、設計原則研究、干燥理論和它的設備以及熱工測量等。

這本書上冊分為四大部分：第一部分為燃料，介紹了燃料的性質；固體、液體及氣體燃料；燃料燃燒及其計算。第二部分為窯爐理論基礎，主要介紹了氣體力學；傳熱原理，廢氣余熱的利用。第三部分為燃燒裝置，介紹了固體燃料的燃燒裝置；氣體和液體燃料的燃燒裝置；燃燒室結構的尺寸和它的熱工計算。第四部分為氣體燃料的製造，介紹了煤氣發生爐的構造與操作控制；煤氣發生爐的計算；煤氣化的新方法。各章內容的敘述採取了實際與原理并重的辦法，并有例題說明。

本書可供中等專業學校的硅酸鹽專業——陶瓷專業、電瓷專業、耐火材料專業、建築材料專業及砂輪專業作為教材用。也可供從事上述專業窯爐熱工工作的工程技術人員作為參考用書。

## 編者的話

根据国务院文教办公室今年大抓教材編写工作、提高教学质量的指示，第一机械工业部分配我院編写电瓷专业等有关专业教材，电瓷教研組的同志根据几年来的教学經驗，重点編写了四門課程。

从事硅酸盐热工工作，我国已經有了广泛的群众基础，国内設有这类专业的中等专业学校为数已很多，各校在授課时虽可采用外文翻譯的教材，在許多地方則不能結合我国实际情况，特别是与国内工厂的生产状况和实际設備条件不相联系，因此，編写一本能反映我国硅酸盐热工工作实际情况和我国科学水平的热工窑爐学教科書，就显得十分必要了。

編著这本书的主要根据是我在院内課堂教学中的講义和編著者在國內杂志上发表过的一些論文，并且翻譯了这方面的一部分国外的著作，其中最主要的有 A·Hermansen 所著的工业爐工艺(Industrial Furnace Technique); Trinks 所著的工业爐(Industrial Furnaces); Edward P·Mc NAMARA 所著的陶瓷学卷三 (Ceramics·Vol. III) 及日本矢木荣所著的工业用爐等四本書。并且，我們也尽可能地結合了国内工厂实际情况，和利用了苏联等先进国家的一些宝贵資料。从内容上来说，較我們过去在本院教学的教材又进一步的作了修改和充实。

本書特別对气体力学、廢气余热的利用、倒焰窑、隧道窑、窑爐設計及热工測量等有重点的作了詳細的介紹与討論，如作为

中等专业学校教材，内容一般偏多，但是各单位采用时可以根据专业性质及课程分配时数，去粗取精，重点讲解。

本书系初次公开付印，尽管我在工作中付出了一定的努力，但由于水平和经验的限制，准备工作也还不够，缺点一定不少，诚恳地希望读者多多提出宝贵的意见，以便日后修订时能使内容进一步充实丰富，使之能更好地为促进我们伟大祖国的社会主义建设事业服务。

編者 1961年7月1日

# 上册目录

編者的話

引言 ..... (1)

第一編 燃料 ..... (11)

第一章 燃料的主要性質 ..... (11)

§ 1 緒論 ..... (11)

§ 2 燃料的分类 ..... (11)

§ 3 我国各种燃料的分布情况 ..... (13)

§ 4 燃料的成分 ..... (17)

§ 5 燃料中各成分在燃燒时的反应 ..... (26)

§ 6 測定发热量的方法 ..... (29)

§ 7 气体燃料发热量的測定 ..... (34)

第二章 固体、液体和气体燃料 ..... (35)

§ 8 木质燃料 ..... (35)

§ 9 矿物燃料 ..... (35)

§ 10 液体燃料 ..... (43)

§ 11 石油燃料的性質 ..... (45)

§ 12 我国石油工业的展望 ..... (45)

§ 13 石油的提炼 ..... (46)

§ 14 重油的质量 ..... (47)

§ 15 氢化液体燃料 ..... (48)

§ 16 气体燃料的优点 ..... (48)

§ 17	天然煤气	(49)
§ 18	人工制造气体燃料	(50)
§ 19	煤的地下气化	(51)
<b>第三章</b>	<b>燃料燃燒及其計算</b>	<b>(53)</b>
§ 20	燃燒理論	(53)
§ 21	第一、二类型的燃燒过程	(54)
§ 22	固体碳的燃燒	(55)
§ 23	层状煤的燃燒	(57)
§ 24	燃燒速度	(60)
§ 25	燃燒計算的意义	(61)
§ 26	空气消耗量和廢气量的計算	(62)
§ 27	煤炭的燃燒計算	(65)
§ 28	气体燃料的計算	(70)
§ 29	燃燒的快速計算公式	(70)
§ 30	燃料的燃燒溫度	(72)
<b>第二編</b>	<b>窑爐的理論基础</b>	<b>(84)</b>
<b>第四章</b>	<b>气体力学</b>	<b>(84)</b>
§ 31	緒論	(84)
§ 32	給呂薩克定律	(84)
§ 33	流体流动的数量、速度 和烟道横断面积的关系	(85)
§ 34	稳定流动的連續性方程式	(86)
§ 35	几何压头	(87)
§ 36	靜压头	(88)
§ 37	动压头	(92)

§ 38	气体流动的性质	( 96 )
§ 39	克服阻力的损失压头	( 99 )
§ 40	柏努力方程式和气体的压头	(103)
§ 41	气体在窑爐內的流动	(106)
§ 42	气体的分流法則	(111)
§ 43	自然通风	(112)
§ 44	空气压力輸送和人工通风	(116)
§ 45	通风与燃燒的关系	(123)
<b>第五章 窑爐的傳热</b>		(126)
§ 46	概論	(126)
§ 47	傳导	(128)
§ 48	对流	(135)
§ 49	輻射傳热	(145)
§ 50	放热气体的溫度降低	(164)
§ 51	由窑外壁的热損失	(165)
§ 52	对加热物的热供給	(168)
<b>第六章 廢气中热量的利用</b>		(177)
§ 53	引言	(177)
§ 54	廢气余热利用方法的种类	(177)
§ 55	廢气余热利用功率	(178)
§ 56	預热空气对理論燃燒溫度的提高	(181)
§ 57	蓄热室	(182)
§ 58	气体換向装置	(203)
§ 59	換热器	(205)
§ 60	針状換热器	(208)



§ 61	陶瓷块制成的换热器	(209)
§ 62	陶瓷管状换热器	(212)
§ 63	蓄热器与换热器的比较	(217)
<b>第三編 燃燒装置</b>		(219)
<b>第七章 固体燃料燃燒装置</b>		(220)
§ 64	块状固体燃料的燃燒	(220)
§ 65	固体燃料燃燒的分类	(220)
§ 66	依爐柵装置情况不同而分类	(221)
§ 67	燃燒室中半煤气化的过程	(228)
§ 68	机械化的燃燒室	(230)
§ 69	自动添煤机燃燒室	(230)
§ 70	螺旋加料机的燃燒室	(231)
§ 71	活动的鏈式爐柵燃燒室	(232)
§ 72	固体燃料燃燒室的操作	(233)
§ 73	燃燒室的爐柵	(234)
§ 74	粉煤的燃燒及其应用范围	(237)
§ 75	粉煤燃燒过程討論	(238)
§ 76	粉煤的制造	(242)
§ 77	粉煤的加料装置	(245)
§ 78	粉煤燒嘴的构造	(247)
§ 79	粉煤装置在操作时的保安措施	(249)
<b>第八章 气体和液体燃料的燃燒装置</b>		(250)
§ 80	气体燃燒器的分类	(250)
§ 81	长焰燃燒器	(252)
§ 82	短焰燃燒器	(255)

§ 83	无焰燃燒器	(257)
§ 84	液体燃料的燃燒及其燃燒設備	(258)
<b>第九章 燃燒室結構的尺寸及其熱工計算</b>		(263)
§ 85	燃燒室个数的決定	(263)
§ 86	燃燒室的爐柵面积	(265)
§ 87	燃燒室中的火屏与噴火口	(267)
§ 88	燃燒室效率的測定	(268)
§ 89	燃燒室大小的确定	(270)
§ 90	燒重油的低压燃燒器的計算	(275)
§ 91	气体燃燒器的計算	(276)
<b>第四編 气体燃料制造</b>		(277)
<b>第十章 煤气发生爐的构造与操作控制</b>		(277)
§ 92	引言	(277)
§ 93	煤气产生的机理和提高煤气化效率的討論	(280)
§ 94	煤气发生爐設計討論	(292)
§ 95	几个簡易方形煤气发生爐的介紹	(297)
§ 96	具有活动爐柵的圓形发生爐	(301)
§ 97	魏德曼机械煤气发生爐的构造	(304)
§ 98	制造水汽設備	(306)
§ 99	焙燒倒焰窑的煤气发生爐集中 与分散的討論	(309)
§ 100	煤气的淨化	(311)
§ 101	空气管道与煤气管道	(316)
§ 102	地下煤气管道的敷設	(318)
§ 103	煤气发生爐操作情况的检查	(322)

§104	煤气发生爐的操作	(324)
§105	煤气发生爐的安全技术条件	(327)
<b>第十一章</b>	<b>发生爐煤气計算</b>	<b>(330)</b>
§106	計算概論	(330)
§107	燃料的組成及其发热量	(330)
§108	燃料的干馏計算	(331)
§109	煤气化过程的計算	(332)
§110	发生爐煤气計算一例	(334)
<b>第十二章</b>	<b>煤气化的新方法</b>	<b>(347)</b>
§111	水—氧气的煤气化	(347)
§112	高压煤气化	(350)
§113	沸腾料层煤气化	(355)
§114	地下煤气化过程簡介	(357)

# 引 言

## 陶瓷厂热工設備的目的和要求

陶瓷厂的热工設備是各种各样不同类型的窑爐,干燥設備,煤气发生爐,热交換設備(蓄热室、換热器等)所組成的。这是因为所制造的陶瓷是多种多样的,同时也由于它們的生产过程各有其特点所决定。

主要的热工設備用于煅燒陶瓷制品或原料的窑爐,所以窑爐工学是一門科学。它研究在窑爐內完成的热工过程(燃料燃燒,热傳导,气体流动),研究不同用途的窑和爐构造的普通原理。

陶瓷制造过程最后是在高溫下进行的。因此窑爐是陶瓷生产的基本設備。窑爐是这样一种設備,在它里面产生出的热量,或者完成加热到高溫,或者物質在高溫下改变的物料性能的目的。因制品或原料在高溫加热过程中,发生一系列复杂的物理——化学变化。如干燥,熔化,晶体結構的轉变,物料的分解,分解后产物的再化合等。因此获得与原料性质完全不同的新产品。

陶瓷内部結構即它的构造随溫度之不同而不同。其性质又随化学成分不同而改变。因此在高溫处理后,可以使陶瓷具有一种能保証它的优良品质的构造。例如,陶瓷及耐火材料制造中,坯件在窑中燒成时,就会发生原料的脱水,粘土的分解, $Al_2O_3$ 与 $SiO_2$ 的化合,硅酸钠,硅酸鉀等低熔点化合物的生成与熔融等。使燒成后的产品具有固定的性状与很高的机械强度和吸水性极

端的减少,甚至无吸水性。加热某些其它物质也可以发生固态性质物理或化学变化而形成新物质。例如;坯件含水物及结晶水的除去,碳酸盐或硫酸盐的分解,  $\text{SiO}_2$  变成鳞石英结晶等。所以陶瓷部门的各工业均为高温化学工业的范围。烧成温度大半都在  $1100^\circ\text{C}$  以上,非建筑符合这样条件的窑炉就不能达到这样高的温度。且窑炉的热源须用焰烧方式方可以达到窑炉有平均的高温。

如果把窑炉中加热的效果仔细地分析,可以发现它的作用是多方面的,如干燥、烘焙、煨烧(分解)、熔融(烧结与硬化)等。

工作温度也随要求不同而不同。例如:干燥一般在  $300^\circ\text{C}$  以下,烘焙则在  $600^\circ\text{C}\sim 800^\circ\text{C}$  左右,煨烧在  $800^\circ\text{C}\sim 1100^\circ\text{C}$  左右,熔融(玻化或烧结)则在  $1200^\circ\text{C}$  以上,有时高至  $1500^\circ\text{C}\sim 1600^\circ\text{C}$ 。

烧成温度既然这样高,燃料的消耗量当然大。温度在  $700^\circ\text{C}$  以下的易于达到,燃烧时也易上升。超过这一限度的温度上升就比较困难,要达到  $1250^\circ\text{C}$  以上较前阶段为难,  $1350^\circ\text{C}$  以上更难,使用一般固体燃料要想达到  $1450^\circ\text{C}$  以上时,燃料消耗甚大。要想达到  $1500^\circ\text{C}$  以上时必须有助燃的设备,如想达到  $1600^\circ\text{C}$  以上的高温,更不是容易的事。故窑炉构造设计稍欠周密,要想达到高温将有困难,燃料消耗也相差很大。

玻璃、水泥等的烧成,只须氧化焰烧成与火焰的性质没有什么关系,这样的窑炉还比较容易设计。但陶瓷的烧成,必须转变火焰的性质,并且陶瓷的烧成不能与火焰直接接触,都要有特别设备或特别设计的窑炉。总之陶瓷制品的烧成,是高温工业。陶瓷制品必须经过高温,在高温时所起的物理化学变化,直接关系到成品的完好率和成品的品质以及成本的高低。故陶瓷工业的

成敗完全決定于燒成的好壞，而燒成的好壞又完全依靠窑爐的構造來決定，我們通常稱陶瓷工業簡稱為窑業。窑爐與陶瓷的關係的密切，由這裡也就可以得到解答了。

陶瓷工業是以窑爐為主體的工業，應用的目的，就是加熱物質使起物理和化學變化，依制品的性質有各種形式及操作法的不同，然而均須採用燃料對制品進行熱處理。這一點是各窑所共同的要求。所以先考察窑的一般共同點認識各種窑的特性，以便使操作合理化。這就是我們作為改良設計的根據和必須注意的事項。

窑爐的目的，不僅加熱而已，更重要的是經濟的利用熱能。所以，構築窑爐的基本原則必須符合下面所說的幾項基本要求：

1. 就窑爐本身來說，就要求能夠使燃料所發生的熱量不易散失，助燃的空氣供給可以自由調節，這樣才能使窑爐內溫度易于上升和易于轉變火焰性質。

2. 就窑爐內利用熱的內容物來說，它的構築的目的不外乎兩點：(a) 窑爐內在燒成過程中最後能產生所需要的高溫；(b) 熱能消耗量要少。這樣，便能節省燃料減低成本。所以，一般窑爐的構築必須使燃料所蘊藏的熱能完全發生，並且能使燃料所發生的熱能完全利用。否則，還是不能達到理想的目的。

3. 窑爐的壽命要長，要能增加運動時間提高產量并能減低成本，這就決定于耐火材料的性能。

4. 生產率要高，要能在保持一定的質量要求下使單位面積或體積的產量提高。

5. 勞動條件要好，要能或有利于逐步趨向于機械化和自動化的方向。

这些要求都是相互联系,相互制约着的,单纯追求一方面的满足,往往会引起更坏的结果。

干燥也是陶瓷工业生产过程的重要部分之一。如长石,粘土等在进厂之前需要干燥,使它不至于粘結,或在配料前干燥,使配料均匀,陶瓷耐火材料成型后的半制品,要使它具有一定的强度,便于运输和装窑,以及减少入窑水分,加速烧成,首先要将制品放在干燥器内进行干燥,控制干燥速率,使它能符合干燥要求。因而干燥器的选择和设计,就受到了限制,经常采用的在间歇操作时是室状干燥器,在连续操作时用隧道式干燥器。

### 陶瓷窑炉的演变与发展

窑炉最原始的形式为土窑,即在泥质山上挖洞做成的,依靠气流形成自然通风。后来逐渐改进为室窑,最初为升焰式的,因窑内温度不够均匀,故又有倒焰窑的产生。我国是世界上首先造窑制瓷的国家,今将我国陶瓷窑的演变与发展经过简单的在后面加以叙述。

中国的陶瓷制造开始于上古时代,其演进程度可分为三个时期:(1)瓦窑时代;(2)素瓷时代;(3)彩器时代。窑炉构造的进步,使烧成温度逐渐能达到高的温度,是促进陶瓷生产日益进步的主要因素。中国在公元前二千年前,有了彩陶(距今4000多年),也就是说,这时已有烧制彩陶的窑炉了,其制成品属于陶器。它的烧成温度估计约在 $900^{\circ}\text{C}$ 左右。到晋代开始有瓷器的名称。那时是公元265年到公元419年,这时在北京故宫陶瓷馆陈列的有人骑兽尊、莲花尊等实物可以为证。这也就是说我国的陶瓷在晋代已有了飞跃的发展。其坯质坚而细致,且色泽极为匀泽。距今

1700年左右,中国已发展到半陶半瓷的阶段,那时的窑爐溫度估計已提高到 $1100^{\circ}\text{C}$ 到 $1200^{\circ}\text{C}$ 左右了。到唐代(公元618年到公元907年,即距离現在1336年前)武德年間,南昌鎮民載瓷進貢給皇帝,称为假玉,其瓷细致华美而光泽,名聞天下。中国首先創建了純白瓷,窑爐的溫度已提高到 $1300^{\circ}\text{C}$ 以上(指制品瓷器的燒成溫度)。所以,景德窑已有一千三百多年的历史了。山彩陶制品的証实还說明,我国远在四千年前就有燒制陶器的窑爐了。

中国古代的陶瓷燒成窑,大概分为三个系統,現在下面概略的加以叙述:

1. 宜兴窑——宜兴的蜀山与鼎山所用以燒制陶器与精炆器,沿坡建筑,燃燒时自下而上是一长条,晚上远看好象火龙一样,所以又称龙窑。长度有达到一百几十尺的。各地的土窑都屬这一类,有二千年以上的历史了(如图1)。

2. 景德窑——江西景德镇的瓷器燒制窑。它是平焰式松柴窑,只有前面一个燒火口,廢气与火焰从窑尾的烟囱跑出。窑式前大后小,前部窑頂高約十八尺左右,

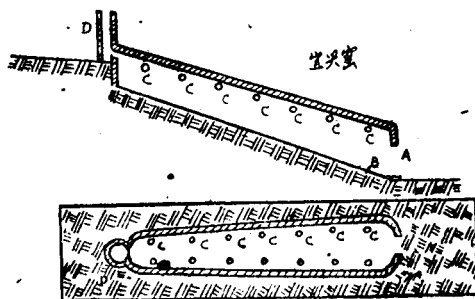


图1. 宜兴窑

寬約十五尺,長約五十余尺,后部窑頂約九尺,寬約七尺,烟囱为圓形,下部直徑約七尺,頂口尺徑約四尺,高度約相等于窑室的长度,耐火牆与外墙之間有三寸左右空隙,为受热膨脹及空气



絕熱之用。这种窑創始于唐武德年間，至今已有一千三百多年的历史了(如图2)。在1956年景德鎮式窑已有改进，用煤代替松柴作燃料了。

(3)德化窑  
——为福建德化的瓷器燒制窑。它由龙窑改进而来。因为龙窑是一长条窑室，中間沒有隔墙，德化窑也是依山坡建筑成一长条，

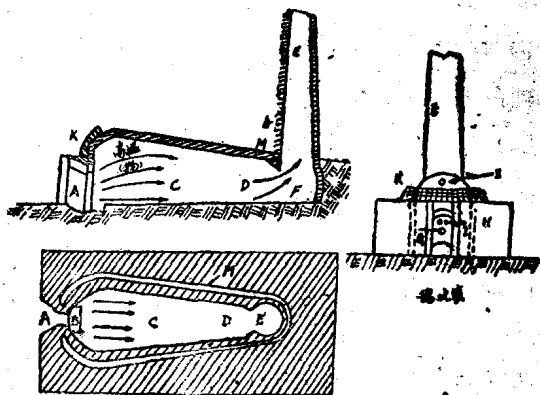


图2. 景德窑

却是靠着斜坡筑成階級式，也就叫“階級窑”。它的每一級由一道墙隔开，在高一級后墙下脚留若干吸火孔，火由下一間燒至二間……第一級燒好繼續燒第二級，是半連續的倒焰窑。窑室有四級至七八級不等。它出現在龙窑与景德窑之后，但也有千年的历史了(如图3)。1957年在輕工业部的领导下对这种窑进行了积极改进，目前的階級式窑已不用松柴作燃料了，改用煤气发生爐所发生的气体燃料。

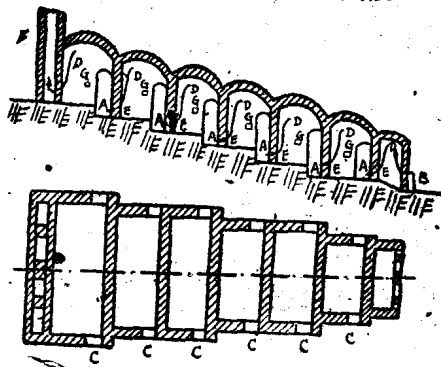


图3. 德化窑