

中等专业学校试用教材

硅酸盐工业热工设备

陈一鹏 湯家养 潘石梅 编

中国财政经济出版社

中等专业学校試用教材

硅酸盐工业热工設備

陈一鹏 湯家养 潘石梅 编

中國財政經濟出版社

1964年·北 京

中等专业学校試用教材

硅酸盐工业热工設備

陈一鹏 湯家养 潘石梅 編

中国財政經濟出版社

1964年·北 京

編 者 的 話

本书是根据中等专业学校“硅酸盐工业热工设备”课程教学大纲（草案），结合轻工业部齐齐哈尔化工学校几年来的教学工作以及参考有关书籍、资料编写而成的。编写分工是：第1、2、3章——陈一鹏；第4、5、6、11、12章——湯家养；第7、8、9、10章——潘石梅。在编写过程中，王玉琴、张清珍两同志参与了讨论定稿工作，并负责全书部分插图描制工作。陈一鹏同志负责全书的校核工作。

本书编写定稿后，曾送請轻工业部北京轻工业设计院金效先副总工程师、轻工业部轻工局徐肇和工程师、北京化工学校化工科主任花芝裕等同志审阅，并提出了较详细的修改意见，经两次修订最后定稿。本书中第七章陶瓷制品烧成窑是請轻工业部硅酸盐处姜思忠同志负责补充修改的；搪瓷工业炉一章则是由轻工业部硅酸盐处组织天津市搪瓷厂童传萃工程师及杨庆贞同志协助编写的。在此都向他们蒙

本书只是一个试用教材。由于我们的水平不高，经验有限，书中的缺点一定不少，甚至会有错误，希望选用本书的教师及广大的读者多加批评与指正。

編 者

一九六三年四月

目 录

緒 論	(7)
第一章 气体力学	(11)
第一节 流体的基本概念	(11)
第二节 流体流动的性质	(16)
第三节 流体流动的基本方程式	(20)
第四节 气体运动的阻力	(31)
第五节 窑炉内气体运动的情况	(37)
第六节 引导气体流动的方法	(38)
复习思考题	(58)
第二章 燃料及燃料燃烧	(59)
第一节 对工业燃料的要求及燃料的分类	(59)
第二节 燃料的组成、表示方法和换算	(60)
第三节 燃料的物理化学性质	(63)
第四节 燃料的种类与特性	(71)
第五节 燃料的贮存	(76)
第六节 燃料燃烧的基本概念	(78)
第七节 燃料燃烧的计算	(79)
第八节 燃烧温度的计算	(88)
第九节 燃烧的简捷算法	(93)
复习思考题	(98)
第三章 燃烧设备	(99)
第一节 燃烧室的分类	(99)
第二节 块状固体燃料燃烧室	(100)
第三节 煤粉燃烧设备	(111)
第四节 液体燃料燃烧设备	(114)
第五节 气体燃料燃烧设备	(118)

复习思考题	(126)
第四章 传热学基础及废热利用设备	(127)
第一节 传热的基本概念	(127)
第二节 传导传热	(129)
第三节 对流传热	(134)
第四节 辐射传热	(137)
第五节 综合传热	(158)
第六节 不稳定传热的概念	(163)
第七节 废热利用设备及空气加热器	(165)
复习思考题	(180)
第五章 固体燃料的气化	(182)
第一节 固体燃料气化的物理化学原理	(182)
第二节 煤气发生炉	(189)
第三节 煤气的净化及输送	(199)
第四节 煤气发生炉操作的实际知识	(207)
第五节 煤气发生站的计算	(211)
复习思考题	(212)
第六章 干燥与干燥设备	(214)
第一节 概述	(214)
第二节 湿空气的参变数	(215)
第三节 湿空气的I—d图	(222)
第四节 干燥过程的计算	(226)
第五节 废气循环的干燥过程	(240)
第六节 陶瓷耐火材料制品的干燥器	(242)
第七节 转筒干燥器	(255)
复习思考题	(259)
第七章 陶瓷制品烧成窑	(261)
第一节 陶瓷制品合理的烧成制度	(261)
第二节 窑的分类和比较	(264)

第三节	中国陶瓷窑	(265)
第四节	间歇式倒焰窑	(273)
第五节	轮窑	(287)
第六节	多室窑	(292)
第七节	隧道窑	(293)
第八节	电炉	(314)
	复习思考题	(318)
第八章	玻璃熔窑及退火窑	(319)
第一节	概述	(319)
第二节	坩埚窑	(320)
第三节	池窑	(330)
第四节	玻璃熔窑的发展趋向	(354)
第五节	玻璃退火窑	(357)
	复习思考题	(360)
第九章	搪瓷工业爐	(361)
第一节	瓷釉熔炉	(361)
第二节	搪瓷制品的烧成炉	(366)
	复习思考题	(376)
第十章	块状及散粒物料煨烧窑	(377)
第一节	立窑	(377)
第二节	回转窑	(382)
	复习思考题	(386)
第十一章	窑爐結構要件及砌筑材料	(387)
第一节	窑基	(387)
第二节	窑墙	(389)
第三节	窑顶	(392)
第四节	窑的加固	(393)
第五节	筑窑用耐火材料及绝热材料的选择	(397)
	复习思考题	(397)

第十二章 热工设备操作的检查测量和自动调节..... (398)

第一节 热工设备操作检查测量和自动调节的任务 (398)

第二节 温度的测量..... (399)

第三节 压力和负压的测量..... (415)

第四节 气体流速及流量的测量..... (420)

第五节 玻璃液面的测量..... (426)

第六节 热工设备操作的自动调节..... (427)

复习思考题..... (432)

附 录..... (433)

主要参考書..... (437)

緒 論

陶瓷、玻璃、搪瓷、耐火材料、水泥等硅酸盐工业产品，在国民经济和人民生活 中占着重要的地位。

各种硅酸盐工业产品，都需要经过高温处理，如陶瓷制品的烧成、玻璃和釉料的熔制、搪瓷制品的搪烧、水泥熟料的煅烧等等。高温处理是最关键的一道工序，如果处理不当会影响产品质量，甚至造成废品，给生产带来不可挽回的损失。而且高温处理的费用在产品成本中占有较大比重，处理不当会使产品成本提高。因此，重视高温处理在整个生产中的作用是十分必要的。

干燥也是硅酸盐工业生产的一个重要过程。各种原料的干燥、陶瓷生坯及搪瓷铁坯施釉后的干燥等都是为生产的顺利进行创造条件的。干燥过程掌握不当会导致产品出现缺陷或造成废品。

高温处理和干燥是在各种窑炉和干燥器中进行的，这些窑炉和干燥器等热工设备已成了硅酸盐工厂极其重要的技术装备。

最早烧成陶瓷制品的窑炉是挖地为穴、用石块砌成的“窖窑”。后来改为在地面上砌筑，逐渐发展成为室式窑。烧窑最初用木柴作燃料，以后逐渐采用煤炭。室式窑是间歇操作的，因而有生产能力小、燃料消耗量大等缺点。随着生产技术的不断发展，又出现了各种连续操作的窑，如轮窑、多室窑、隧道窑等，并逐渐采用了气体燃料和液体燃料。近年来，还有使用电能作热源，建立了各种型式的电炉。

玻璃最初用坩埚窑熔制。由于坩埚窑生产能力小、热量消耗大，后来便砌筑了池窑，还利用废气将空气、煤气进行预热。但是，初期的池窑还是间歇操作的，随着生产的发展，逐渐改进成

为现代连续操作的池窑，并广泛采用气体燃料和液体燃料；还有采用电热及燃料电气联合加热的方式。

搪瓷釉熔制也由采用间歇式的坩锅窑进展到使用连续式的池窑和回转窑。搪瓷制品的烧成则由使用室式马弗炉发展为各种形式的输送带隧道马弗炉和电炉。

硅酸盐工业煅烧散粒状及块状的物料，最初用石头堆砌的“堆窑”，后来砌筑了固定的立窑，进而发展到使用回转窑。

干燥最初是在露天进行，即自然干燥。以后，为加速干燥使用了火炕，进而发展为热炕式和架式的室式干燥器。为适应连续性生产的需要，出现了连续式的转筒干燥器、隧道干燥器和链式干燥器等。近年来，还采用了电干燥、红外线干燥等新式干燥设备。

硅酸盐工业用的热工设备就是这样从简单到复杂、从间歇操作到连续操作，逐渐发展起来的。随着科学技术水平的提高，硅酸盐工业热工设备的机械化和自动化有了迅速的发展，建立了不少有效的自动控制系统，大大强化了操作和减轻了工人的劳动强度。

我国是创造窑炉最早的国家。从陕西西安半坡遗址发掘中，证明我国早在五千多年前就使用直焰室式窑烧成陶器。一千多年前，又创造了依山建筑的龙窑和阶级窑，有效地利用了废热和提高了窑的产量，它们是现代隧道窑、轮窑、多室窑的前身。在窑炉砌筑上，我们的祖先巧妙地运用气体力学和传热学规律作出了巨大贡献。但是，近百年来由于帝国主义侵略和封建主义、官僚资本主义的反动统治，我国硅酸盐工业，奄奄一息，窑炉热工技术处于落后停滞的状态。

解放后，在党和政府的正确领导下，我国硅酸盐工业获得飞速发展，窑炉热工技术取得了巨大的成就。不但对旧的热工设备进行了技术改造，还有计划地添设了许多新的大型热工设备，现在我国热工技术人员已能自己进行现代化的热工设备设计。在高

等及中等专业学校中，已培养了大批能掌握窑炉技术的专门人材，有效地支援了社会主义建设。

在热工设备发展方面，今后应该在用科学方法总结国内外生产经验的基础上，对现有窑炉进行有效的技术改造，提高机械化和自动化的水平，以期提高窑炉的热效率和劳动生产率，改进产品质量和降低劳动强度；并大力开展科学研究工作，提高理论水平，以指导生产的改进和提高；不断地培养具有一定工作能力技术力量等等。

为了适应生产技术水平日益发展的要求，学校必须大力提高教学质量，提高学生的基本理论水平和一定的独立工作能力。为此，编好一套切合实际需要的教材是非常重要的。在这种情况下，我们根据中等专业学校“硅酸盐工业热工设备”课程教学大纲（草案），结合齐齐哈尔化工学校几年来的教学工作经验，参考有关资料编写成这本书。

本书前半部主要是关于高温处理的基本理论知识，包括气体力学、燃料及燃料燃烧、传热学基础、固体燃料气化及干燥等方面的基本理论。在有关章节中，还讨论了燃料燃烧设备、废热利用设备、煤气发生炉等。本书后半部主要讨论了干燥器和各种窑炉的工作原理、结构、操作要点、设计计算原理以及窑炉的砌筑、窑炉操作的检查和自动调节等。这部分特别注意面对轻工业，着重介绍轻工业用的陶瓷烧成窑、玻璃熔窑和搪瓷工业用烧成炉。

我们在编写过程中，注意到中等专业学校的教育特点，着重扼要介绍基本的理论知识，避免涉及过深的理论；还适当注意到理论联系实际，结合我国实际生产情况，培养学生初步的设计计算能力。

本书的内容主要以硅酸盐工业热工技术的基本理论知识为主，并对硅酸盐工业主要热工设备的构造及筑窑材料、性能、操作原理、检查测量、自动调节，以及设计计算方法等也作了简要

的介绍。因而，通过本书的学习，学生可对各种热工设备的构造和性能有一定的理解，并能通过下厂实习初步掌握一定的实际操作技能。

第一章 气体力学

第一节 流体的基本概念

流体物质分为液体和气体。凡物体的存在状态几乎丝毫不能压缩，而且受热时膨胀很小，则此物体的存在状态称为液态，此种物体总称为液体。

与此相反，气体的特征，压缩性很强，而且体积膨胀系数较大。

由上述可知，液体的密度几乎不随压力和温度而改变，而气体的密度则随温度和压力的变化有很大的改变。但只要气体的运动速度还没有达到音速，其运动规律仍与液体的运动规律类似。

气体力学是研究气体运动的工程科学。在绝大多数情况下，窑炉、干燥器及其他热工设备中的热交换过程是与气体的运动有着重大关系。气体力学理论在发展窑炉设计的知识方面以及正确的进行窑炉操作方面，都是不可缺少的。因此，它是“硅酸盐工业热工设备”课程的基本理论。

关于气体的运动，M.B. 罗蒙诺索夫早先给了正确的说明。他认为气体在矿井里或烟囱中流动的原因，是由于里面的热气体被外面的冷气体挤压出来的缘故。

在本世纪初，B.E. 哥路姆-哥尔瑞迈罗教授提出了火焰炉的流体力学理论。在这个理论中，他发展了罗蒙诺索夫的观点。

下面介绍一下流体的一些参数。

一、重 度

每单位容积之物体的重量称为重度 (γ)。

令： G ——物体的重量，公斤；

V ——物体的体积，米³；

则：
$$\gamma = \frac{G}{V}, \text{ 公斤/米}^3. \quad (1-1)$$

水的重度（在 4°C）为 1,000 公斤/米³。

气体的重度等于其比容之倒数（比容即 1 公斤气体所占有之容积，米³/公斤）。

$$\gamma_{\text{气}} = \frac{1}{V}, \text{ 公斤/米}^3 \quad (1-2)$$

根据理想气体状态方程式：

$$PV = RT \quad (1-3)$$

式中： P ——气体之绝对压力，公斤/米²；

V ——气体之比容，米³/公斤；

R ——气体常数 = $\frac{848}{M}$ 公斤·米/度， M ——气体分子量；

T ——气体绝对温度，°K；

将（1—3）式中比容之值代入（1—2）式中得：

$$\gamma_{\text{气}} = \frac{1}{V} = \frac{P}{RT} = \frac{P}{\frac{848T}{M}} = \frac{MP}{848T} \text{ 公斤/米}^3 \quad (1-4)$$

混合气体的重度：

$$\gamma_{\text{混}} = \frac{1}{100} [\gamma_1 a_1 + \gamma_2 a_2 + \dots + \gamma_n a_n] \text{ 公斤/米}^3 \quad (1-5)$$

式中： $\gamma_1 \gamma_2 \dots \gamma_n$ ——混合物中每一组分的重度，公斤/米³；

$a_1 a_2 \dots a_n$ ——各组分的体积，%。

例题：求空气在标准状况下的重度。已知： N_2 在标准状况下重度为 1.25 公斤/米³， O_2 在标准状况下重度为 1.42 公斤/米³。

解：因空气中含 N_2 与 O_2 的体积分别为 79% 与 21%，故：

$$\gamma_{\text{空气}} = \frac{1}{100} [\gamma_{N_2} a_{N_2} + \gamma_{O_2} a_{O_2}] = \frac{1}{100} [1.25 \times 79 + 1.42 \times 21]$$

$$=1.29 \text{ 公斤/米}^3。$$

混合气体的重度的另一种计算方法是利用公式 (1-4'), 只不过是将式中的分子量用混合气体之分子量代入而已:

$$\gamma_{\text{混}} = \frac{M_{\text{混}} P}{848 T} \text{ 公斤/米}^3 \quad (1-4')$$

式中: $M_{\text{混}} = \frac{1}{100} [M_1 a_1 + M_2 a_2 + \dots + M_n a_n]$; $M_1, M_2,$

$\dots M_n$ ——混合气体中各气体之分子量;

$a_1, a_2, \dots a_n$ ——各气体之体积百分组成。

二、密 度

每单位体积物质的质量称为密度, 以 ρ 表示。

令: m ——物质的质量等于 $\frac{G}{g}$ (G 为物体重量, 公斤; g 为重力加速度, 米/秒²);

V ——物质的体积, 米³。

则:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{G}{gV} = \frac{\gamma}{g} \text{ 公斤} \cdot \text{秒}^2 / \text{米}^4. \quad (1-6)$$

三、比 重

一物质的重度与水的重度之比谓之该物质的比重, 以 Δ 表示。

已知: $\gamma = \rho g$ $\gamma_{H_2O} = \rho_{H_2O} g$

则:

$$\Delta = \frac{\gamma}{\gamma_{H_2O}} = \frac{\rho g}{\rho_{H_2O} g} = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \quad (1-7)$$

$$\gamma = \Delta \gamma_{H_2O} \quad \rho = \Delta \rho_{H_2O}$$

四、压 力

流体每单位面积上所受垂直方向的力，叫做单位压力，又称压强，以 p 表示。

令： P ——作用在流体表面上垂直方向的力，公斤；

F ——表面面积，米²。

则： $p = \frac{P}{F}$ 公斤/米²。 (1-8)

压力常以大气压 (aT)、毫米水银柱 (mmHg)、米或毫米水柱 (M或mmH₂O) 表示。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 物理大气压} &= 760 \text{ mmHg} = 10.33 \text{ MH}_2\text{O} \\ &= 10,330 \text{ mmH}_2\text{O} = 10,330 \text{ 公斤/米}^2 \\ &= 1.033 \text{ 公斤/厘米}^2 \end{aligned}$$

工程上为了计算方便起见，常以较物理大气压为小一点的单位表示，它称为工程大气压。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 工程大气压} &= 735.6 \text{ mmHg} = 10.0 \text{ MH}_2\text{O} \\ &= 10,000 \text{ mmH}_2\text{O} = 10,000 \text{ 公斤/米}^2 \\ &= 1.0 \text{ 公斤/厘米}^2 = \frac{\text{物理大气压}}{1.033} \end{aligned}$$

测量液体或气体在导管或容器内的压力所用的仪器（压力计），一般都表示出容器内的绝对压力与大气压力之差。这种压力称为表压。

用绝对压力表示流体压力时，是指容器内实际压力。在大气中，地面上任何物体所受的绝对压力都是一个大气压 (1.033公斤/厘米²)；在绝对真空中，绝对压力等于零。

当容器内的压力小于外界大气压时，此时表上之读数称为真空度。

图 1—1 表示容器内的压力高于大气压的情况，而图 1—2 则为容器内压力小于大气压时的情况。工程上通常采用表压力。

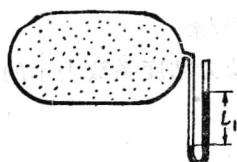


图 1—1 容器内的压力高于大气压力的情况，
 l_1 ——表压力

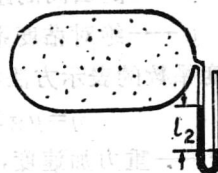


图 1—2 容器内的压力低于大气压力的情况，
 l_2 ——真空度

绝对压力、表压力及真空度三者之关系可用下列各式及图 1—3 表示。

绝对压力 = 表压力 + 大气压力；

表压力 = 绝对压力 - 大气压力；

真空度 = 大气压力 - 绝对压力；

或绝对压力 = 大气压力 - 真空度。

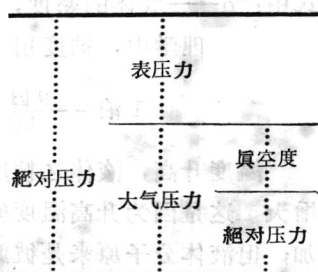


图 1—3 绝对压力、表压力和真空度之关系图

五、粘 度

实际气体运动时，与容器发生外摩擦。气体分子间因速度不同也发生内摩擦。内摩擦用粘度系数来表示。

在速度不同的两层流间，单位面积上产生的摩擦力（剪应力）可用下式求出：

$$f = \mu \frac{d\omega}{dy} \quad (1-9)$$

式中： f ——内摩擦力，公斤/米²；

$\frac{d\omega}{dy}$ ——垂直于气流层的方向上的速度梯度，1/秒；

ω ——第一层对应于第二层的相对速度，米/秒；