

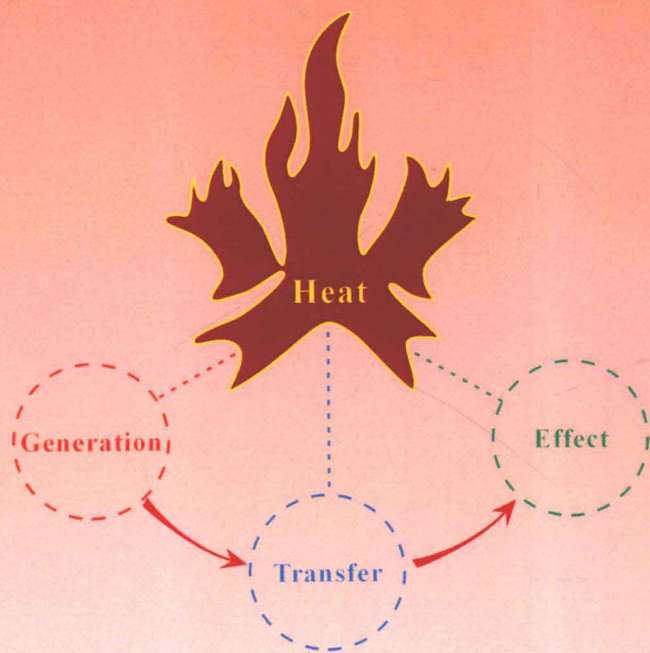
普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材

Thermal Fundamentals in Ceramics

无机非金属材料热工基础

主 编 姜洪舟 田道全

主 审 王志峰 傅正义 林发森



普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材

Thermal Fundamentals in Ceramics

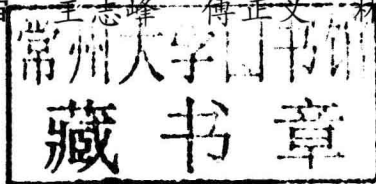
无机非金属材料热工基础

主 编 姜洪舟 田道全

副主编 周竹发 邱树恒 李娟娟

赵蔚琳 裴新美 刘怀艺

主 审 王志峰 傅正文 林发森



武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

内 容 提 要

本教材是“从广泛与新颖的视角、用科学与逻辑的次序、以实用与丰富的内容”来论述无机非金属材料热工基础方面的知识。重点强调:基本概念、相关理论、计算方法、新知识、新视野、新思路,尤其是将目前“节能减排”的理念与知识融入其中,以扩展读者的视野,更新人们的观念。

若无特别说明,本教材给出的物理量单位和量纲均为国际单位制(SI制)下的单位和量纲。另外,对于热工领域内的一些概念或术语,放弃了传统热工基础课程的高等教育中直接从前苏联翻译而来的称谓,而采用与我国科技领域在目前普遍用法相一致的称谓。当然,为了避免引起不必要的误解,在出现这些多称谓概念的地方也尽量注解了这些概念的其他称谓。例如,理论空气量(或称:化学计量空气量);热导率(或称:导热系数,也称:导热率);热扩散系数(或称:热扩散率,曾称:导温系数);湍流(曾称:紊流);辐射率(或称:发射率,曾称:黑度)等。

本教材是普通高等学校无机非金属材料工程专业(或材料科学与工程专业无机非金属材料专业方向)本科生的教学用书,也可作为该专业相关热工设备课程设计教学中热工计算部分的教学用书,还可作为有关专业研究生教育的教学用书。同时,也推荐作为相关领域内科技人员在热工计算方面的参考书。

另外,本教材配有PPT教学课件,任课教师可通过以下邮箱联系:boyever@126.com。

图书在版编目(CIP)数据

无机非金属材料热工基础/姜洪舟,田道全主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2012.12
ISBN 978-7-5629-3902-3

I. ① 无… II. ① 姜… ② 田… III. ① 无机材料-非金属材料-热工学-高等学校-教材
IV. ① TB321

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第296523号

项目负责人:田道全 责任编辑:田道全 万三宝
责任校对:万三宝 装帧设计:翰之林
出版发行:武汉理工大学出版社
社 址:武汉市洪山区珞狮路122号
邮 编:430070
网 址:<http://www.techbook.com.cn>
经 销:各地新华书店
印 刷:武汉理工大印刷厂
开 本:787×1092 1/16
印 张:29
彩 插:3
字 数:768千字
版 次:2012年12月第1版
印 次:2012年12月第1次印刷
印 数:1~3000册
定 价:48.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:027-87515778 87515848 87785758 87165708(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

普通高等学校材料科学与工程类专业 新编系列教材编审委员会

顾 问：郭景坤 袁润章 范令惠 杨南如
胡道和 王民权 岳文海 曹文聪

主任委员：张联盟

副主任委员：徐德龙 郑治祥

委 员：(以姓氏笔画为序)

万发荣	马保国	王国梅	王培铭	文梓芸
叶卫平	叶枝荣	叶 菁	田道全	曲祖源
刘亚云	刘 军	孙成林	吴建青	吴建锋
陈 文	宋晓岚	林宗寿	杨长辉	姜洪舟
钱觉时	钱春香	高建明	徐秋林	陶珍东
黄佳木	黄学辉	蒋 阳	程晓敏	程 新
谢峻林	曾令可	葛 勇	潘 伟	薛理辉

秘 书 长：田道全

总责任编辑：徐秋林 万三宝

出版说明

材料是社会文明和科技进步的物质基础和先导,材料科学与能源科学、信息科学一并被列为现代科学技术的三大支柱,其发展水平已成为一个国家综合国力的主要标志之一。教育部颁布重新修订的《普通高等学校本科专业目录》后,为适应 21 世纪人才培养需要,及时组织并实施了面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划、世界银行贷款 21 世纪初高等理工科教育教学改革项目,部分高等学校承担了其中材料科学与工程专业教学改革项目的研究与实践。已经拓宽了专业面的材料科学与工程专业,相应的业务培养目标、业务培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。原有的教材已经不能适应新专业的培养目标和教学要求,组织一套新的材料科学与工程专业系列教材已成为众多院校的翘首之盼。武汉理工大学出版社在教育部高等学校材料科学与工程专业教学指导委员会的指导和帮助下,经过大量的调研,组织国内几十所大学材料科学与工程学科的知名教授组成“普通高等学校材料科学与工程类专业新编系列教材编审委员会”,共同编写了这套系列教材。

本套教材的主、参编人员及编委会顾问,遵照教育部材料科学与工程专业教学指导委员会的有关会议及文件精神,经过充分研讨,决定首批编写出版 14 种主干课程的教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,以后再根据专业方向的需要逐步增补。本套新编系列教材的编写具有以下特色:

教材体系体现人才培养目标——本套系列教材的编写体现了高等学校材料科学与工程专业的培养目标和教学要求,从整体上考虑材料科学与工程专业的课程设置和各门课程的内容安排,按照教学改革方向要求的学时统一协调与整后合,组成一套完整的、各门课程有机联系的系列化教材。本套教材的编写除正文以外,还增加了本章内容提要、本章小结、思考题与习题等内容,以使教材既适合于教学需要,又便于学生自学。

教材内容反映教改成果——本套系列教材的编写坚持“少而精”的原则,紧跟教学内容和课程体系改革的步伐,教材内容注重更新,反映教学改革的阶段性成果,以适应 21 世纪材料科学与工程专业人才的培养要求。本套系列教材的编写中,凡涉及材料科学与工程学科的技术规范与标准,全部采用国家最新颁布实施的技术规范和标准。

教材出版实现立体化——本套教材努力使用和推广现代化的教学手段,实现立体化出版,凡具备条件的课程都将根据教学需要,及时组织编写、制作和出版相应的电子课件或教案,以适应教育方式的变革。

本套教材是在教育部颁布实施重新修订的本科专业目录后,组织全国多所高等学校材料科学与工程学科的具有丰富教学经验的教授们共同编写的一套面向新世纪、适应新专业的全新的系列教材。能够为新世纪我国材料科学与工程专业的教材建设贡献微薄之力,自是我们应尽的责任和义务,我们感到十分欣慰。然而,正因其为一套开创性的系列教材,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。嚶其鸣矣,求其友声,我们诚恳希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提宝贵的意见和建议,以便我们不断修改、完善全套教材,共同为我国高等教育事业的发展作出贡献。

武汉理工大学出版社

《无机非金属材料热工基础》

编写人员名单

主 编:姜洪舟^{1a} 田道全^{1b}

副主编:周竹发² 邱树恒³ 李娟娟^{1c}

赵蔚琳⁴ 裴新美^{1a} 刘怀艺⁵

1——武汉理工大学

(a-材料科学与工程学院;b-出版社;c-国家实验教学示范中心)

2——苏州大学材料与化学化工学部

3——广西大学材料科学与工程学院

4——济南大学材料科学与工程学院

5——武汉长利玻璃有限责任公司

参 编:

唐山学院环境与化学工程系:刘进强 郝 斌

济南大学材料科学与工程学院:刘晓杰

西南科技大学材料科学与工程学院:吕淑珍 陈雅斓 任雪潭

广西大学材料科学与工程学院:张 波

湖南理工大学材料科学与工程学院:叶 昌

武汉理工大学

材料科学与工程学院:何 峰 李应开 李相国 李洪斌 文 进 吉晓莉

硅酸盐建筑材料国家重点实验室:李福洲 王征平

材料复合新技术国家重点实验室:周 建 刘桂珍

《无机非金属材料热工基础》

主审专家

主 审:王志峰 中国科学院研究员、博士生导师,入选中国科学院百人计划,
中国科学院太阳能热利用与光伏系统重点实验室主任

傅正义 武汉理工大学材料科学与工程学科首席教授、博士生导师,
教育部“长江学者奖励计划”特聘教授

林发森 武汉理工大学能源与动力学院教授

前 言

Dedicated to diligent scientists and technicians in the field of ceramics!

将此书奉献给无机非金属材料领域内那些默默奉献的人们!

编写本教材的宗旨是将无机非金属材料领域内热工基础方面崭新而丰富的内容与知识奉献给读者。其特点是强调科学性、逻辑性、先进性、实用性。本教材的编写是在华南理工大学材料科学与工程学院院长余其俊教授,济南大学校长程新教授、材料科学与工程学院院长芦令超教授和材料工程系陶珍东教授、王志教授、张学旭教授等很多有识之士的热情关心下完成的。在工作中也得到了武汉理工大学国家级名师谢峻林教授、材料科学与工程学院主管教学院长董丽洁教授、武汉理工大学出版社杨学忠编审的有力支持。所以,它的编写凝聚了许多人的心血,也是我们全体编者共同努力的结果。

本教材是按40~60学时编写的,建议各章的授课学时数如下:第1章,12~20学时;第2章,20~28学时;第3章,8~12学时。

为了便于读者理解本教材在自然科学中的“坐标”,这里有必要简单地回顾一下“无机非金属材料热工基础”的发展历史:热工基础也称为“热工学”,尽管早期的物理学家对于“热工学”中的问题做过大量的理论研究和实验探索,但是真正地将“热工学”应用于无机非金属材料领域中,并建立起一套较为完整的热工理论体系,还是在化工行业(Chemical Engineering)充分发展后,人们才从中得到了借鉴与启迪。

早期的化工行业是按照产品种类的差异来各自发展的。后来,有关的科技工作者发现:化工产品尽管种类繁多,但是它们的生产工艺过程都是由燃料燃烧、流体流动、传热、蒸馏、吸收、萃取、相变、结晶、过滤等最基本的操作单元(Operation Unit)按照不同的方式进行组合而成。因而,人们便开始具体研究每一个“单元操作”(Unit Operation),于是就形成了一门新学科,被称为“化工原理”或“化学工程”。

与化工行业有所区别的是:无机非金属材料产品生产过程的几个主要操作单元都与“热”有关,所以人们专门将其从化工领域单元操作的概念中分离出来,形成该行业内具有特色的“热工学”,或称为:热工基础。当然,在对这门学科的具体研究过程中也大量借鉴了相邻领域(例如,化工、动力、金属冶炼等)在热工方面的研究成果和成功经验,从而形成了较为完备的热工基础理论体系。该理论体系主要包括:有关的热工理论及热工计算。如果从更广泛的分类学上来看,该理论体系则主要隶属物理学的范畴;在现代工程学上,人们将该理论体系归纳为:动量传递(主要指工程流体力学)、热量传递(简称:传热)、质量传递(简称:传质)和反应工程(包括燃烧反应以及原料被制备成为产品过程中的各种化学反应),简称“三传一反”。因此,本教材的核心内容也是围绕“三传一反”而展开的,只是关于传质理论的介绍已包括在其他相关课程(例如,“材料科学基础”课程)之中,因此本教材不再重述。但是,也应注意:现代“三传一反”工程领域所涉及的范围比热工基础更广,而热工基础中涉及的一些问题也超出了“三传一反”的范围。

至于本教材在无机非金属材料领域内的“坐标”，可以进行这样的比拟：如果将目前的无机非金属材料领域比拟成一棵根深叶茂、树枝繁多、硕果累累的“参天大树”的话，那么“热工基础”就是这棵大树的一个重要根系。对于将要迈向或者已经迈向这个领域的科技工作者——未来的科学家、未来的工程师或未来的企业家而言，只有通过这个根系汲取足够的营养，将来才能够结出丰硕的果实。这也正是从事无机非金属材料工程专业方向学习的学生及有关科技人员学习“热工基础”这部分知识的重要意义所在。

为保证本教材的质量，使其内容具备“新、广、深”的特点，在编撰过程中，我们查阅了大量的相关资料，并进行了有关调研工作。本教材主编在日本研修期间的主讲教师锅田恒之、佐藤哲等专家的讲课资料也给予了很大的启迪。对于所有前辈们所做的开拓性工作，我们表示由衷的钦佩和敬意。在本教材脱稿完成之际，我们衷心地感谢武汉理工大学出版社的领导、编辑们以及所有曾为本教材出版提供过帮助的人们。

另外，也感谢济南大学刘明亮、周宗辉等专家们曾给予的帮助，还要感谢武汉理工大学材料科学与工程学院的郝强、陈平方和帕丽娜等同学们在校稿方面所做的细致工作。

作为材料学科无机非金属材料工程专业方向完备教学体系中的一个重要环节，本教材的编者特别注意与本专业其他课程教材的衔接，也就是：尽可能减少有关交叉点，尽可能避免有关的空白点。当然，尽管我们这些编者都是长期在无机非金属材料领域内从事教学、科研、科技工作的人员，但是由于编写经验不足，虽加倍努力，但是个别错误在所难免。如果读者在阅读本教材时发现有什么问题，或者有什么更好的建议，欢迎和我们联系，我们将会不胜感激。

《无机非金属材料热工基础》全体编者

本教材主要内容

第 1 章 热量产生

第 2 章 热量传递

第 3 章 热量应用

人的一生可能燃烧也可能腐朽,我不能腐朽,我愿意燃烧起来!

——[俄]尼古拉·阿列克谢耶维奇·奥斯托洛夫斯基

目 录

绪论	(1)
1 热量产生	(3)
1.1 燃料燃烧产热	(5)
1.1.1 燃料的种类与组成	(6)
1.1.2 燃料的热工性质	(10)
1.1.3 燃料的选用原则	(18)
1.1.4 燃烧计算	(18)
1.1.5 燃料燃烧理论简介	(38)
1.1.6 燃烧过程中所产生污染物的防治	(54)
1.1.7 燃料的燃烧方法简介	(57)
1.1.8 煤气发生炉	(60)
1.2 电能产热	(86)
1.2.1 电阻加热法	(86)
1.2.2 电磁感应加热	(87)
1.2.3 电弧与弧像加热法	(87)
1.2.4 等离子体加热	(88)
1.2.5 电子束加热	(88)
1.3 电磁波产热	(89)
1.3.1 太阳能加热	(89)
1.3.2 激光加热	(90)
1.3.3 红外加热	(90)
1.3.4 微波加热	(91)
1.4 核能产热	(93)
1.5 地下产热	(94)
思考题	(94)
习题	(96)
参考文献	(99)
2 热量传递	(101)
2.1 传导传热	(103)
2.1.1 传导传热的基本概念	(103)
2.1.2 传导传热的基本定律及有关参数	(105)
2.1.3 导热微分方程	(107)

2.1.4	几种典型导热问题的简化与计算方法	(110)
2.1.5	导热问题的数值求解法简介	(132)
2.2	对流换热	(140)
2.2.1	关于流动规律的概述	(140)
2.2.2	对流换热	(142)
2.3	辐射换热	(178)
2.3.1	热辐射的基本概念	(178)
2.3.2	热辐射的性质	(179)
2.3.3	有关辐射的几个基本概念	(181)
2.3.4	辐射的五大基本定律	(183)
2.3.5	辐射换热过程	(192)
2.3.6	气体辐射	(211)
2.3.7	火焰辐射	(223)
2.4	综合传热	(226)
2.4.1	无限大平板的综合传热计算	(226)
2.4.2	无限长圆筒体的综合传热计算	(230)
2.4.3	流化床内的传热计算	(233)
2.4.4	悬浮态内的传热特点	(236)
	思考题	(237)
	习题	(239)
	参考文献	(245)
3	热量应用	(247)
3.1	水泥生产过程中热量的应用	(249)
3.1.1	“水泥熟料形成热”的计算	(249)
3.1.2	水泥熟料烧成系统的热平衡计算	(259)
3.1.3	水泥熟料烧成系统的热效率计算	(267)
3.2	玻璃生产过程中热量的应用	(268)
3.2.1	“玻璃形成热”的计算	(269)
3.2.2	玻璃池窑的热平衡计算	(276)
3.2.3	玻璃池窑的热效率计算	(286)
3.2.4	玻璃池窑内的传热分析与节能措施	(286)
3.3	陶瓷生产过程中热量的应用	(293)
3.3.1	隧道窑的热平衡计算	(293)
3.3.2	辊道窑的热平衡计算	(305)
3.3.3	隧道窑或辊道窑的热效率计算	(314)
3.4	物料干燥过程中热量的应用	(315)
3.4.1	湿空气的性质	(316)
3.4.2	湿空气的 $I-x$ 图	(321)

3.4.3 干燥过程的物料平衡计算及热量平衡计算	(327)
3.4.4 干燥的物理过程	(336)
3.4.5 干燥设备简介	(339)
3.5 高技术加热方法在材料制备方面的应用概要	(344)
3.6 其他一些无机非金属材料生产过程中的热量应用概要	(344)
思考题	(344)
习题	(345)
参考文献	(345)
附录 1 关于煤、重油以及其他燃料方面的文献资料	(347)
附录 2 有关工程流体力学方面的文献资料	(355)
附录 3 常用流体(气体与液体)的物性参数	(403)
附录 4 水与水蒸气的物性参数	(412)
附录 5 常用固体材料的物性参数	(417)
附录 6 某些材料的一些辐射参数	(424)
附录 7 典型情况下辐射角系数与核算面积的计算公式与简图	(433)
附录 8 有关玻璃熔化方面的部分资料	(441)
附录 9 湿空气的相对湿度表(%)	(446)

绪 论

材料由“材”与“料”两字所组成。顾名思义,“材”乃“有用之物”或“精制之物”;“料”则指“可塑之物”,即“可制造与可加工之物”。因此材料通常被理解为:通过人为的制备与加工,能够具有专门用途的制品或元、器件。这也就是说,材料需要由原料通过人们的制备与加工而成。

无机非金属材料(Ceramics^①)是三大基础材料体系之一,另外的两大基础材料体系是(无机)金属材料与有机(高分子)材料。当然,基于上述三大基础材料体系的复合材料目前也在兴旺发展之中。在无机材料中,由于金属材料单独成为一个材料体系,因此也就有人将无机非金属材料简称为无机材料,它对于国民经济建设至关重要。在国内,该类材料的名称曾经从窑业材料、陶瓷材料、矽酸盐材料^②、硅酸盐材料逐渐演变为无机非金属材料。这类材料中的分子主要是通过共价键、离子键、共价/离子混合键来结合而成。这些化合键具有很高的键能,尽管该特点是赋予了这类材料某些优良的性能,但是在制备这类材料时,破坏原料中原有的化合键而形成材料中新的化合键就需要很大的能量。这个能量往往是由热量来提供,通常需要高温才能够来完成。因此,无机非金属材料的特点之一就是该材料体系中几乎所有的产品都需要经过高温制备而成。

既然无机非金属材料的制备过程需要高温与热量,因此就需要弄清楚热量的来源、热量的传递、热量的应用这些关于“热量”的基本问题,然后才能够真正地掌握它们、优化地控制它们、高效地利用它们。这也正是无机非金属材料工程专业方向的本科教学需要设置与“热工”相关的课程之重要意义所在。基于上述理由,本教材从逻辑的角度将其内容按照以下的次序进行排布。

第1章的核心内容为热量的产生(简称:热源)。其主要内容包括:① 燃料燃烧型热源;② 电能生热型热源;③ 介质吸收电磁波型热源。对于这三种热源,第一种热源(即燃料燃烧热)的来源丰富、价格低廉,是工业规模生产的主要热源,但是常用的化石燃料属于不可再生的资源,且燃烧产物对环境的污染较大;第二种热源(即电能产热)的利用率高、易实现严格和精确的自动控制、操作条件好、环保程度高,更重要的是有利于提高产品质量,但成本较高,而且无法满足烧成工艺上的还原气氛要求;第三种热源(即吸收电磁波产热)在材料领域目前主要用于材料的实验研究过程。

第2章的核心内容为热量的传递(简称:传热),这是因为热源所产生的热量只有按照工艺的要求,有效、高效地传给被加热物料才能够最终热制备出合格产品。本章的教学目的是:让读者掌握热量传递的规律,从而为将来合理设计与正确操作传热系统打下牢固的理论基础。传热方式包括传导、对流和辐射。因此该章主要是讲述这三种传热方式的规律。这里需要特别指出的是:对流换热与流体流动密切相关,因此该章在对流换热这一节中设置了

① Ceramics 这个词来源于古希腊的单词 Keramos,是指用火烧成的制品,可理解为“火之物”。

② 我国曾将元素 Silicon 翻译为“矽”(现在我国台湾地区仍称之为矽),后来改译为“硅”。

工程流体力学基础这一附加内容。另外,第1章中所涉及的液态燃料、气体燃料、助燃空气(或氧气)、燃烧生成的烟气均属于流体,它们的规律也可以参考这一部分附加内容。

第3章的核心内容为热量在无机非金属材料领域内的应用(简称:热利用),这是由于热源产生的热量经过有效与高效的传递,最终还要得到有效的应用才能够发挥其应有的作用。本章的具体内容包括:① 热量在水泥熟料烧成过程中的应用;② 热量在玻璃熔制过程中的应用;③ 热量在陶瓷制品烧制过程中的应用;④ 热量在物料干燥方面的应用。

清楚了本教材的主要内容以后,在具体学习时还必须注意本教材中所涉及有关问题的研究方法。关于研究方法,不能不提到数学,这是因为数学就是一切科学的工具,一门科学只有通过数学的“装饰”才能够算是完美的。作为一门学科,热工基础当然也需要数学这一强有力的工具作其后盾。在热工基础领域,对每一个现象、每一个规律的定量描述最终都要归结到一个或一组方程。这里所说的方程可能是常规公式,也可能是只有一个自变量的常微分方程,更有可能是自变量较多的偏微分方程。这一点是初次接触该课程的读者所必需认识到的。不过,微分方程(尤其是偏微分方程)有时很难甚至无法解出来,但是这种研究方法的方向并没有错,因为数学本身也在不断地进步与发展之中。根据具体的问题求解这些微分方程就是寻找热工基础领域内有关规律的过程。至于具体的求解过程,人们当然会首选解析方法(即数学推导方法),这是因为解析方法在数学上较为严格。但是,解析方法的缺点是:其所能解决的问题有限,一般只能解决一些较规范、较简单的问题。随着计算机的普及和发展,计算机的运算速度和容量已大幅度提高,这使得较为复杂的问题也可以来利用数值计算方法由计算机来完成相关的数值求解过程。现在市面上也有一些专门用于计算机数值求解的软件可供选用,有些计算软件则可以用于在流动、传热方面实际问题的数值模拟计算。即便如此,对于十分复杂的问题,比如关于湍流脉动流场、对流换热系数的求解,迄今为止就是利用计算机技术也无法完全得到较精确的数值模拟计算结果。为此,人们不得不借助于一些工程研究方法,最常用的就是相似模拟方法。利用相似模拟方法得到的一些经验数据或经验公式。由此可看出:数学理论、数值计算方法、计算机编程技术、有关计算机软件的使用、相似模拟及其工程测试都与热工基础息息相关。尽管本教材在对有关内容的叙述上会采取深入浅出的方式、使用较为通俗的语言,以便于初学者的学习与掌握,但是读者若事先学习并掌握了上述知识,再来学习本教材的话,将会取得事半功倍的效果。

希望读者在阅读完本绪论以后,能够对本教材的设置有一个整体的了解。然后,可以有意识、有目的、有重点地学习各章节,真正地做到举一反三和相互融通,从而为以后的学习和工作打下牢固的基础。

1 热量产生

本章的内容是关于怎样有效地产生热量。在工业生产过程中,燃料燃烧产热因其价格低、气氛控制方便而获得广泛的应用,所以它构成了本章的主要内容。就无机非金属材料领域而言,其他一些产热方法也有一定的应用,这些产热方法包括:电能产热(通过电阻通电、电磁感应、电弧、等离子体、电子束等方法来产生热量)、电磁波产热(利用太阳能、红外线、激光、微波等电磁波产生热量)、核能产热(利用核裂变能、核聚变能产生热量)、地热(利用地球内部产生的热量)等。

本章中用楷体字印刷的内容为更深层次的内容,教学上可不作要求,仅供读者需要时阅读参考。

热量是能量的一种,要想弄清楚热量的来源,首先有必要知道能量产生的根源。为此,读者可以按照以下的思路进行思考:

首先来思考这样一个实例:你站在一条铁路的交叉路口旁等待一辆疾驰的火车通过该路口。当火车朝向你而来时,你会听到“嘟……嘟……”的尖叫声;当火车经过你面前然后背离开你而去时,你则会听到“昂轰……咔嚓……”的低沉声。现在需要弄清楚的是:同一个你、同一辆火车、同一个声源,为什么你会听到两种不同的声音呢?这是因为当火车朝向你而来时,你所听到的声音频率比火车所发出的声音频率要高;反之,当火车背离开你而去时,你所听到的声音频率比火车实际发出的声音频率要低。这就是物理学上的多普勒效应(Doppler^① Effect)的基本原理。

按照多普勒效应的原理,如果有一个波源发射体与一个波源接收体,当前者朝向后者移动时,后者接收的真实频率比前者实际发出的频率要高,即增加了一个频差 Δf ;而当前者背离开后者而去时,后者接收到的真实频率比前者发出的实际频率要低,即要减去一个频差 Δf 。频差 Δf 的大小与两者之间的相对速度有关。

在人类探索宇宙奥秘的过程中,美国天文学家哈勃^②经过长期的观测、思考、研究后发现:人类在地球上接收到的星体辐射光谱比星体实际发出的辐射光谱要向长波方向偏移,在可见光中,红光的波长最长(即频率最低),所以该现象被称为光谱红移。该结果用多普勒效应来解释就是:人类所观测的星体在离我们而去,这也就是所谓的宇宙“膨胀”现象。假如我们用逆向思维来考虑这个问题,也就是宇宙起源于某一处,这就是已经被大多数科学家所公认的宇宙起源的“大爆炸”理论(Big Bang),在爆炸的瞬间,是非常非常小的微观粒子,后来

① 克里斯琴·约翰·多普勒(Christian Johann Doppler)为奥地利历史上知名的物理学家及数学家。

② 爱德温·P·哈勃(Edwin P. Hubble)为美国历史上伟大的天文学家之一,重点研究星云、超新星,并首次发现银河系以外的星系以及宇宙膨胀,美国航空航天局(NASA)后来发射的一个环绕地球旋转的望远镜就以他的姓氏来命名——哈勃太空望远镜(Hubble Space Telescope,简称:HST)。

微观粒子组成了中子、质子、电子这样的基本粒子,中子与质子等组成了原子核,原子核与电子又组成了原子,原子再按照一定的规则排列就组成了分子,分子就是构成物质的基本单元。于是,大约 30 万年以后产生了氢分子,它代表了通常意义上的物质时代到来,后来的超新星爆炸等因素导致了自然界中其他物质的产生^①,有了物质就有了能量,这就是历史上最伟大的科学家之一阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein)提出的质能公式: $E=mc^2$,其中, E 为能量(J); m 为质量(kg), c 为光速, $c\approx 3\times 10^8$ m/s。

能量的转换遵循两个最基本的原则:一是质能守恒;二是最低能量原理。质能守恒,取决于上述质能公式 $E=mc^2$,但因 c^2 数值巨大(约 9×10^{16} m²/s²),所以质量“缺损”将会导致巨大的能量释放,例如,核爆炸(包括核裂变、核聚变);反过来,在能量转变导致热损失时,按照该质能公式,质量也会发生“缺损”,但是因为 $1/c^2$ 的值极小(约 1.1×10^{-17} s²/m²),所以在核能以外的领域,能量转换所导致的质量变化非常小(小到将其忽略不会造成明显的误差),于是质能守恒就简化为能量守恒与质量守恒。最低能量原理是指任何能量状态总是具有自发地向比它更低能量状态转变的趋势,即低能态比高能态能够更稳定地存在。

以上叙述可以引申出以下两个推论:第一,在地球上,除了核能以外,所有的能量均来自于太阳能(实质上太阳能就是核聚变能的释放);第二,地球上的能量在转换过程中,会遵循以下两个原理——能量守恒原理与能量最低原理。

在热学领域,能量守恒原理(Energy Conservation Principle)可以用热力学第一定律^②来描述;而能量最低原理(Minimum Energy Principle)则存在于热力学第二定律之中。

按照热力学第一定律,在热力过程中,系统从系统以外(环境)所吸收的热量 Q (该定律规定:系统吸热为正,系统放热为负)等于系统对外所做的功 W (该定律规定:系统对外做功为正,对内做功为负)加上系统内能增量 ΔU (该定律规定:内能增加为正,内能减少为负),即 $Q=W+\Delta U$ 。该定律可以再拓展一些,即这里的 W 是更广泛意义上的功,不仅包括所做的功,也包括能(如电能、电磁能、势能、变形能等)。于是,按照这三个物理量之间的相互转换关系,就可以分为以下六种基本情况:

(1) $Q\rightarrow W$:这就是热机工作的基本原理与目的,这种转换在动力驱动、热力发电、余热发电等领域最为常见。当然,根据热力学第二定律,这种转换的效率一定小于 100%(最大为卡诺循环效率 η_c)。

(2) $Q\rightarrow\Delta U$:这就是很多储热系统的工作原理与目的,这种转换最常见的实例有:物质的受热升温过程、物质的相变吸热过程、晶体的某些晶格转变中的吸热过程、化学分解反应的吸热过程等。

(3) $W\rightarrow\Delta U$:这就是动力贮存的原理与目的。这种转换最常见的实例有:蓄电池的充电过程、等离子体的产生过程、物质吸收电磁波能量后的内能增加过程、气体被压缩过程、水泵向上提水的过程、弹簧变形的储存能量过程等。

(4) $\Delta U\rightarrow W$:这就是工作介质对外做功的过程,该转换最常见的实例是:蓄电池的放电做功过程、燃料电池的对外发电做功、被压缩气体的膨胀做功过程、水流向下的流动过程、弹簧恢复形状时的释放能量过程等。

① 从核能的角度来说,自然界中能量最低的元素是铁(Fe),地球上自然存在的最重元素是铀(U)。

② 在无机非金属材料教学体系中,热力学的内容包括在“物理化学”这门课程之中。