

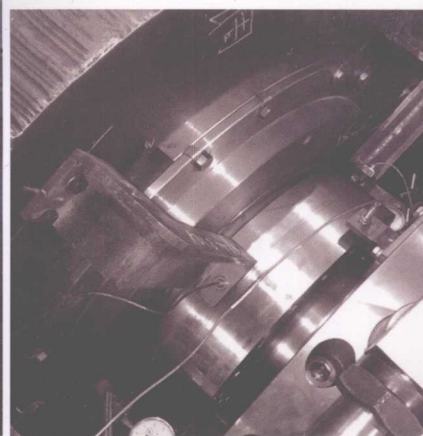
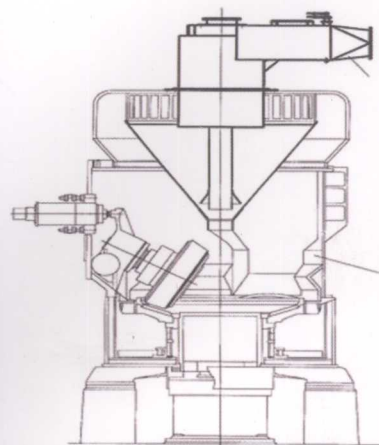


高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

热工学基础

RE GONG XUE JI CHU

主 编 贾永康 徐红梅
副主编 高志勇 张少飞



Wuhan University of Technology Press
武汉理工大学出版社

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

热工学基础

主 编 贾永康 徐红梅
副主编 高志勇 张少飞

武汉理工大学出版社
· 武 汉 ·

内 容 提 要

本书是高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材之一。全书分为工程热力学和传热学两部分。工程热力学部分介绍了工程热力学基本概念及气体状态方程式、热力学第一定律和第二定律、水蒸气、湿空气以及工程热力学原理应用举例等内容。传热学部分介绍了稳定导热、对流换热、辐射换热、稳定传热以及传热学应用举例等内容。每一单元的开始部分是“知识点”和“能力目标”，介绍本单元的主要内容和需要掌握的知识，便于学生按要求学习。每一单元的结尾部分是“思考与练习题”，方便学生课后复习，了解自己掌握知识的程度。

本书可作为高职类建筑设备工程技术专业、供热通风与空调工程技术专业教材，也可作为建筑设备工程从业人员的培训教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

热工学基础/贾永康,徐红梅主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2008.8
高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材
ISBN 978-7-5629-2780-8

I. 热… II. ①贾… ②徐… III. 热工学-高等学校:技术学校-教材 IV. TK122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 120405 号

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编 430070

<http://www.techbook.com.cn> 理工图书网

E-mail:yangxuezh@whut.edu.cn

ruozhang1122@163.com

印 刷 者:荆州市鸿盛印务有限公司

经 销 者:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16

印 张:13 插页:1

字 数:328 千字

版 次:2008 年 8 月第 1 版

印 次:2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数:3000 册

定 价:22.00 元

凡使用本教材的教师,可拨打 13971389897 索取电子教案。

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)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

出版说明

随着教学改革的不断深化和社会发展对人才的现实需求,根据教育部“高等职业教育应以服务为宗旨,以就业为导向,走产学研结合的发展道路”的办学方向和“要加强学生实践能力、技术运用能力的培养,充分反映新兴技术、新兴产业对技能培养的要求,满足经济结构战略性调整、技术结构优化升级和高科技产业迅速发展对人才培养的要求”的职业技术教育培养目标,以及职业技术教育“要逐步建立以能力培养为基础的、特色鲜明的专业教材和实训指导教材”的教材建设要求,武汉理工大学出版社经过广泛的调查研究,与全国 20 多所高等专科学校、高等职业技术学院的建筑设备和建筑电气工程技术方面的教育专家、学者共同探讨,组织编写了一套适应高等职业教育建筑设备相关专业人才培养和教学要求的、

具有鲜明职业教育特色的实用性教材《高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材》。

本套教材是根据教育部、建设部高职高专建筑设备类专业教学指导委员会制定的培养方案和各课程教学大纲组织编写的,具有如下特点:

(1)教材的编写坚持“以应用为目的,专业理论知识以必需、够用为度”的原则,着重培养学生从事工程设计、施工和管理等方面的专项能力,体现能力本位的教育思想。

(2)教材的理论体系、组织结构、编写方法,以突出实践性教学和使学生容易掌握为准则,同时全面体现本领域的新法规、新规范、新方法、新成果,与施工企业与机构的生产、工作实际紧密结合,力求达到学以致用目的。

(3)本套教材努力使用和推广现代化教学手段,将分步组织编写、制作和出版与教材配套的案例、实训教材、模拟试题、教学大纲及电子教案。

教材建设是我们全体编写者、出版者共同的事业和追求,出版高质量的教材是我们共同的责任和义务,我们诚挚地希望有关专家、学者和广大读者在使用这套教材的过程中提出宝贵意见和建议,以便今后不断地修订和完善。

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材编委会

2008 年 2 月

高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材

编委会名单

顾问：杜国城 刘春泽

主任委员：高文安 雷绍锋

副主任委员：(按姓氏笔画为序)

王蒙田 朱向军 危道军 李宏魁 李高斗 何 辉

胡兴福 范柳先 季 翔 贺俊杰 黄珍珍 杨学忠

委员：(按姓氏笔画为序)

丁文华 弓中伟 王 丽 王庆良 王国平 王晓燕

白 桦 孙 毅 孙景芝 冯光灿 李 文 李仁全

李庆武 李绍军 刘 兵 刘 玲 刘子林 刘华斌

汤延庆 邢玉林 苏 娟 张风琴 张宝军 张贵芳

张铁东 张思忠 张毅敏 陈旭平 陈宏振 陈志佳

陈思荣 吴建敏 余增元 郑 云 赵 亮 赵岐华

郭自灿 胡联红 贾永康 徐红梅 黄奕云 龚明树

谢社初 喻建华 鲍东杰 裴 涛 熊德敏 黎福梅

戴安全

总责任编辑：张淑芳

前 言

本书是高等职业技术教育建筑设备类专业规划教材之一。“热工学基础”作为建筑设备类专业的一门主要专业基础课程,在保证各门专业课所需基本理论深度、基本知识广度的前提下,为体现高职教育特点,在内容整合、章节编排等方面力求简约、实用,重视与其他相关课程的横向(如“流体力学·泵与风机”)和纵向(如各门专业课程)的衔接与联系,并将工程实际应用引入专业基础课程中来进行了尝试,使得专业基础课内容更加贴近专业课的需要。

本书参照相关指导性教学文件进行编写,全书包括工程热力学和传热学两部分内容。工程热力学在介绍了热力系统、气体方程、热力学第一定律、热力学第二定律等基本理论和基本概念后,较详细地讨论了水蒸气、湿空气这两种工程中常用工质的热力学性质及气体的压缩、制冷循环等工程应用。传热学部分介绍了稳定导热、对流换热、辐射换热、稳定传热等基本理论及换热器选择、热绝缘、围护结构热工计算等工程应用内容。总学时按 80 学时考虑,基本可以满足高职层次建筑设备类专业的教学需求。

本书可作为高职类建筑设备工程技术专业、供热通风与空调工程技术专业教材,也可作为建筑设备工程从业人员的培训教材和参考书。

本书的绪论,第一部分的单元 1、单元 2 及单元 5 的第 2、3、4 节由山西建筑职业技术学院贾永康编写;单元 3、单元 4 由徐州建筑职业技术学院徐红梅编写;第二部分的单元 6、单元 7、单元 8 由济南铁道职业技术学院张少飞编写;单元 9、单元 10 及第一部分单元 5 的第 1 节由山西建筑职业技术学院高志勇编写,全书由贾永康统稿。

本书编写过程中参考了大量文献著作和相关教材,在此向作者表示感谢!

由于编者的能力水平有限,书中缺点和不足之处难免,请读者指正。

编 者

2008 年 7 月

目 录

绪论	(1)
1 建筑设备工程中热工学应用举例	(1)
2 本课程的学习目的及主要内容	(3)
3 教学建议	(3)

第一部分 工程热力学

单元 1 工程热力学基本概念及气体状态方程式	(5)
1.1 工质及其状态参数	(5)
1.1.1 关于工质	(5)
1.1.2 工质的基本状态参数	(5)
1.2 热力系统	(10)
1.2.1 闭口系统	(10)
1.2.2 开口系统	(10)
1.2.3 绝热系统	(11)
1.2.4 孤立系统	(11)
1.3 理想气体状态方程式	(11)
1.3.1 理想气体与实际气体	(11)
1.3.2 理想气体状态方程式	(11)
1.4 混合气体的基本概念	(14)
1.4.1 混合气体的分压力和总压力	(15)
1.4.2 混合气体的分容积和总容积	(15)
1.4.3 混合气体各组成气体的成分表示	(15)
1.4.4 混合气体的折合相对分子质量及气体常数	(17)
思考与练习题	(18)
单元 2 热力学第一定律和第二定律	(20)
2.1 热力学系统涉及的能量形式	(20)
2.1.1 热力系统储存能	(20)
2.1.2 热力系统与外界传递的能量	(21)
2.2 热力学第一定律简介	(24)
2.2.1 热力学第一定律的实质	(24)

2.2.2 闭口系统的能量方程	(25)
2.2.3 开口系统稳定流动能量方程	(26)
2.2.4 稳定流动能量方程式的应用	(27)
2.3 利用量热学方法计算理想气体的热量、内能及焓	(30)
2.3.1 比热容的定义及影响因素	(30)
2.3.2 利用比热容计算气体的热量	(31)
2.3.3 利用比热容计算理想气体内能与焓的变化量	(34)
2.4 理想气体的主要热力过程	(35)
2.4.1 基本热力过程	(35)
2.4.2 多变过程	(40)
2.5 热力学第二定律简介	(42)
2.5.1 热力循环	(42)
2.5.2 热力学第二定律	(44)
2.5.3 卡诺循环与卡诺定律	(45)
2.5.4 熵与熵增原理	(47)
思考与练习题	(48)
单元3 水蒸气	(50)
3.1 水蒸气的基本概念	(50)
3.1.1 汽化	(50)
3.1.2 凝结	(51)
3.1.3 饱和状态	(51)
3.1.4 汽化热和凝结热	(51)
3.2 定压下水蒸气的生产过程	(52)
3.2.1 水蒸气的定压生产过程	(52)
3.2.2 水蒸气的 $p-v$ 图和 $T-s$ 图	(53)
3.3 水和水蒸气图表	(54)
3.3.1 水和水蒸气表	(55)
3.3.2 水蒸气的焓-熵图	(56)
3.4 水蒸气的基本热力过程	(57)
3.4.1 定压过程	(58)
3.4.2 定容过程	(58)
3.4.3 定温过程	(59)
3.4.4 绝热过程	(59)
思考与练习题	(60)
单元4 湿空气	(62)
4.1 湿空气的状态参数	(62)
4.1.1 湿空气的压力	(62)

4.1.2	湿空气的温度	(63)
4.1.3	绝对湿度和相对湿度	(63)
4.1.4	含湿量	(64)
4.1.5	湿空气的焓	(65)
4.1.6	湿空气的密度	(65)
4.1.7	露点温度和湿球温度	(66)
4.2	湿空气的焓湿图	(67)
4.2.1	焓湿图的构成及绘制原理	(67)
4.2.2	$h-d$ 图的应用	(69)
4.3	湿空气的基本处理过程	(72)
4.3.1	加热过程	(72)
4.3.2	冷却过程	(72)
4.3.3	加湿过程	(74)
4.3.4	绝热混合过程	(75)
	思考与练习题	(79)
单元5 工程热力学原理应用举例		(80)
5.1	活塞式压气机的基本原理	(80)
5.1.1	单级活塞式压气机的工作原理	(80)
5.1.2	压气机压缩过程的分析	(81)
5.1.3	余隙容积的必要性及其对压气机排气量的影响	(83)
5.1.4	余隙容积对压气机耗功的影响	(84)
5.1.5	多级压缩和中间冷却	(84)
5.2	蒸气压缩式制冷循环及热力计算	(86)
5.2.1	概述	(86)
5.2.2	蒸气压缩式制冷理论循环	(87)
5.2.3	单级蒸气压缩式制冷理论循环热力计算	(90)
5.2.4	蒸气压缩实际制冷循环	(93)
5.2.5	制冷运行工况及其对制冷循环性能的影响	(94)
5.3	吸收式制冷循环工作原理	(96)
5.3.1	溴化锂吸收式制冷机的工作原理	(96)
5.3.2	溴化锂吸收式制冷机的典型结构与流程	(97)
5.4	热泵循环简介	(97)
	思考与练习题	(98)

第二部分 传热学

单元6 稳定导热		(99)
6.1	导热的概念及傅里叶定律	(100)

6.1.1	导热的概念	(100)
6.1.2	温度场	(100)
6.1.3	等温线、等温面和温度梯度	(101)
6.1.4	傅里叶定律	(102)
6.1.5	导热系数	(103)
6.1.6	新型节能材料	(104)
6.2	通过平壁的稳定导热	(104)
6.2.1	单层平壁的稳定导热	(104)
6.2.2	多层平壁的稳定导热	(105)
6.2.3	复合平壁的导热	(106)
6.3	圆筒壁的稳态导热	(108)
6.3.1	单层圆筒壁的稳态导热	(108)
6.3.2	多层圆筒壁的稳态导热	(109)
6.3.3	圆筒壁稳态导热的简化计算	(110)
	思考与练习题	(112)
单元 7	对流换热	(114)
7.1	对流换热的概念及牛顿冷却公式	(114)
7.1.1	对流换热的概念	(114)
7.1.2	对流换热的机理	(115)
7.1.3	牛顿冷却公式	(116)
7.1.4	影响对流换热系数的主要因素	(116)
7.2	对流换热计算概述	(117)
7.2.1	对流换热准则数	(117)
7.2.2	准则数之间的关系	(119)
7.2.3	定性温度与特征尺寸	(119)
7.2.4	换热计算的一般步骤	(120)
7.3	单相流体对流换热计算	(120)
7.3.1	管内流体强制对流换热计算	(120)
7.3.2	管外流体强制对流换热计算	(123)
7.3.3	自然对流换热的计算	(125)
7.4	沸腾换热与凝结换热	(129)
7.4.1	沸腾换热	(129)
7.4.2	凝结换热	(133)
7.4.3	热管技术	(135)
	思考与练习题	(135)
单元 8	辐射换热	(137)
8.1	热辐射的概念和基本定律	(137)

8.1.1	热辐射的概念及特点	(137)
8.1.2	吸收、反射和透射	(138)
8.1.3	辐射力	(139)
8.1.4	热辐射的基本定律	(140)
8.1.5	太阳能的利用	(142)
8.2	物体间的辐射换热计算	(143)
8.2.1	角系数	(143)
8.2.2	两平行板之间的辐射换热	(144)
8.2.3	空腔内的物体与空腔内壁之间的辐射换热	(145)
8.2.4	气体的辐射换热	(147)
	思考与练习题	(149)
单元 9	稳定传热	(150)
9.1	复合换热	(150)
9.1.1	复合换热的概念	(150)
9.1.2	复合换热的计算思路和方法	(150)
9.2	通过平壁、圆筒壁的传热计算	(151)
9.2.1	通过平壁的传热计算	(151)
9.2.2	通过圆筒壁的传热计算	(154)
9.3	传热的增强	(156)
9.3.1	提高传热系数 K 的理论途径	(157)
9.3.2	增强传热在工程中的应用	(157)
9.4	传热的削弱(热绝缘)	(159)
9.4.1	热绝缘的目的和技术措施	(159)
9.4.2	热绝缘层的经济厚度	(160)
9.4.3	临界热绝缘直径	(160)
	思考与练习题	(161)
单元 10	传热学原理应用举例	(163)
10.1	换热器选型及计算	(163)
10.1.1	间壁式换热器的类型及特点	(163)
10.1.2	换热器的热力计算原理	(167)
10.1.3	换热器的选择及评价	(169)
10.2	维护结构热工计算	(170)
	思考与练习题	(174)
	附录	(175)
	参考文献	(195)

绪 论

1 建筑设备工程中热工学应用举例

(1) 建筑供热系统

我国北方地区冬季寒冷,室内需要有供暖设备,图 0.1 即为一般的供热系统示意,包括热源(设备 1、7、8、9 及 2、3、4、5、6)、室外管网及热用户(10、11、12、13)三部分。

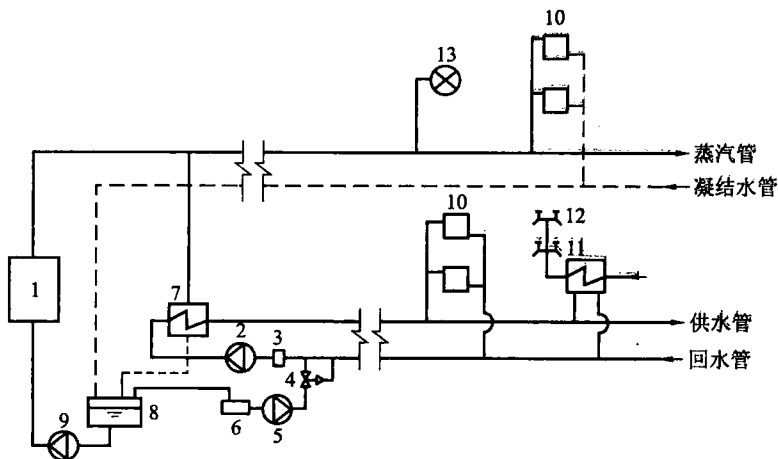


图 0.1 区域蒸汽锅炉房集中供热系统示意图

- 1—蒸汽锅炉;2—循环水泵;3—除污器;4—压力调节阀;5—补给水泵;
6—补充水处理装置;7—热网水加热器;8—凝结水箱;9—锅炉给水泵;
10—供暖散热器;11—生活热水加热器;12—水龙头;13—用汽设备

图中设备 1 为蒸汽锅炉,其作用相当于一个换热器,是将燃料(煤、燃气、燃油)的化学能通过燃烧转化为热能后,经锅炉换热面将水加热为高温高压的蒸汽(即将热能传递给蒸汽),蒸汽经过管道可直接送到热用户进行采暖(设备 10)或作其他用途(设备 13),也可通过设备 7(加热器)将水加热后用于热水供暖。蒸汽放热后凝结为水,进入设备 8,再经水泵 9 加压后进入锅炉继续吸热变为蒸汽。而设备 2 循环水泵则是使供热管网中的回水(约 $50\sim 70^{\circ}\text{C}$)经设备 7 加热到 $70\sim 95^{\circ}\text{C}$ 后输送到热用户进行供暖,散热后再返回吸热。

此例中至少是通过两个热力循环来实现热能转移的:第一个循环是由设备 1—7—8—9—1 及相连管道构成,作用是将燃料的化学能产生的热能利用水(蒸汽)这种工作物质的吸热、放热及其物态变化(汽化、凝结),通过设备 7 转移给供热外网中的循环水;第二个循环是由设备 2、设备 7、供水管、设备 10 或 11、回水管、设备 3 及 2 构成,作用是通过循环水将热能送至各个热用户(用于冬季采暖或其他用途)。

图中设备 10 即可认为是我们室内的散热器。

上述的供热系统运行涉及到水蒸气的定压汽化等热力学过程及工作物质通过换热器吸

热、放热等传热过程，所用工作物质为水或水蒸气。

(2)空气调节系统

空气调节系统的作用是将空气经过过滤、去湿或加湿、加热或冷却后，以一定的速度和方式送入空调房间以满足使用者在温度、湿度、洁净度(包括新鲜度)、速度(简称四度)等方面的要求。图 0.2 是夏季空调系统工作示意图。图中室外新风(如 35℃)经过风阀在混合室 1 中与部分回风(为节能而采用，温度约 26℃)混合后，经过滤器 2，在喷淋室 3 被冷冻水(供水 7℃，回水 12℃)冷却并去湿，经设备 5 再加热(尽量不再加热以节能)后(约 20℃左右)由风机 6 通过风管送至空调房间 7，吸收房间热量，温度升高，再将部分回风送至混合室，其余部分排至室外大气中。

上述的空气处理过程涉及降温去湿等热力学过程和吸热、放热等传热过程，所用工作物质为湿空气。

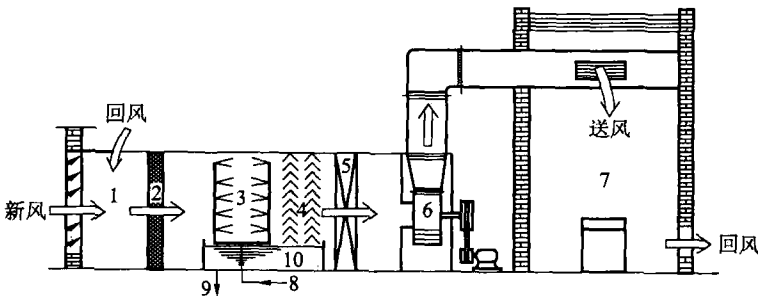


图 0.2 一次回风空调系统夏季工作示意图

- 1—混合室;2—空气过滤器;3—淋水室;4—后挡水板;5—加热器;6—送风机;
- 7—空调房间;8—低温水送水管;9—回水排出管;10—盛水池

(3)空调用冷源系统

图 0.2 中夏季用于冷却空气的冷冻水是由制冷装置制备的。图 0.3 即为常用的冷水机组工作原理图。冷冻水从空调系统返回时吸收空气热量温度由 7℃变为 12℃，在蒸发器 4 中将热量传给制冷剂，降温为 7℃后，再由冷冻水泵输送至空调系统。而蒸发器中的制冷剂吸收冷冻水的热量后由液态变为气态，再由压缩机 1 加压、在冷凝器 2 中被冷却(将热能传给冷却水)液化，经节流装置 3 降压后再送至蒸发器吸热，如此反复循环。而制冷剂在冷凝器中所放热量由冷却水吸收，而后冷却水(温度约 36℃)再被冷却水泵 5 送至冷却塔 6 由大气冷却(温度约 32℃)放热后，再返回冷凝器继续吸收制冷剂蒸气的热量，如此循环反复。而空调房间的热量则是由大气传入，最终又返回大气中的。

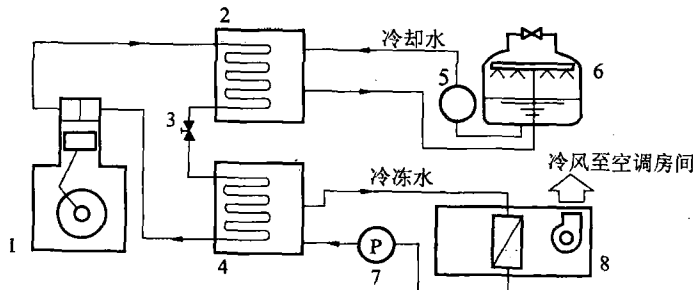


图 0.3 空调用冷源工作原理图(蒸气压缩式)

- 1—压缩机;2—冷凝器;3—膨胀阀;4—蒸发器;5—冷却水泵;6—冷却塔;7—冷冻水泵;8—空调器

此例中包含几种工作物质的热力循环:制冷剂的1—2—3—4—1制冷循环;冷冻水的7—4—8—7循环;冷却水的5—6—2—5循环。而空调风的循环(8—空调房间—风机—8)图中虽未反映,但实际中是不可或缺的。

从以上所列举的几个实例可以看出,建筑设备工程中主要涉及到热能的直接利用和热能(通过某种流体工作物质)的输送及热能的传递等问题。而这些热能的利用几乎均是通过热力循环和各种换热器来实现的。

2 本课程的学习目的及主要内容

大家都知道著名的能量守恒与转换定律:能量既不能被制造,也不会被消灭,至多只能由一种形式转换到另一种形式,但总量恒定、保持不变。既然如此,眼下充斥电视、报端、书刊的关于“能源枯竭”、“降低能耗”、推行“建筑节能”等等这些词汇的含义又何在呢?通过对本课程的学习,这些问题都会有一个明确的解答。

事实上,在当前世界范围内能源危机日趋严重的情况下,提高对能源,特别是热能的认识和利用率,不单单是相关专业人员之必需,而且对世界上每一个人来说,也具有非常重要的现实意义。对于人类未来可持续发展更是具有深远意义。

《热工学基础》包括工程热力学和工程传热学两部分。一般意义上说,二者均属于应用科学的范畴,即从工程技术的角度去研究热能利用、热能转换、热能传递、热能输送的规律和方法,以及实现上述目的所涉及的工作物质的热力学、传热学性质。作为建筑设备类专业的专业基础课程,从高职教育的要求上说,“热工学基础”的教学目的就是使学生对本专业工程实际所涉及到的工程热力学、工程传热学知识有一个基本的了解和掌握,从而为下一步的专业课程学习和今后的工作实践打下基础。

工程热力学的主要内容包括三个方面:

(1)基本理论:包括热力学基本概念、基本热力过程、热力学第一定律和能量方程、热力学第二定律等。

(2)常用工作物质的热力学性质:如湿空气、水及水蒸气等。

(3)工程应用:气体压缩、流体节流、制冷循环等。

工程传热学的主要内容包括两个方面:

(1)基本理论:包括稳定导热、对流换热、辐射换热及传热过程等。

(2)基本应用:包括工程中传热的增强与削弱、换热器的选用、围护结构热工计算等内容。

3 教学建议

(1)学时安排

具体学时安排见表0.1。

(2)本课程特点及学习建议

从前面所举的工程实例可以看出,建筑设备类专业所涉及到的能量问题几乎均是热能的直接利用、热能的转移(输送)以及各种流体机械(水泵、风机、压气机等)的功量消耗等问题,而不涉及到热能—机械能的转换问题。所以,本课程主要是讨论热能的利用、转移、传递等内容,

表 0.1 学时分配表

	名 称	内 容	理论教学 学时分配	实训实验 学时分配
第一部分	工程热力学	绪论	2	2
		单元 1 基本概念和气体状态方程	10	
		单元 2 热力学第一定律和第二定律	10	
		单元 3 水蒸气	8	
		单元 4 湿空气	8	
		单元 5 工程热力学原理应用举例	4	
		合计	42	
第二部分	传热学	单元 6 稳定导热	6	4
		单元 7 对流换热	6	
		单元 8 辐射换热	6	
		单元 9 稳定传热	6	
		单元 10 传热学原理应用举例	6	
		合计	30	
合计			72	6
共计			78	

以及工程中常遇到的用以携带、转移热能的工作物质(如水蒸气、湿空气等)。

作为一门专业基础课,热工学基础所包含的基本概念、基本公式、基本原理在今后的各门专业课程中都会涉及和有大量的应用,而且在将来的工作实践中也会不断地被用到。可以说,大多数专业课的内容都是在热工理论的基础上建立、阐述、应用的。所以,较好地掌握本课程内容,对后续课的学习关系重大。

本课程中有些较为抽象的概念(如熵、焓、黑度等),甚至包括一些最为基本的概念(如热、功、系统等),都需要大家在学习本课程的过程中、学习其他课的过程中,甚至在工作实践中,去反复琢磨、不断认识,才能逐渐理解到位。比如流动功的概念,就可借助流体力学中压强水头的概念来加深理解。所以,在学习本课程的过程中,要在把握本课程主干与分支、纲与目的同时,还要善于在横向、纵向上借鉴其他课程的概念,以期对本课程有较好的掌握,直至对本专业的整个课程体系和实质也有一个较好的认识和掌握。

第一部分 工程热力学

单元 1 工程热力学基本概念及 气体状态方程式

【知识点】

工质及其状态参数,理想气体状态方程式,热力系统,混合气体。

【能力目标】

掌握:工质、状态、状态参数、混合气体等基本概念。

理解:热力系统的划分及其特征。

熟悉:理想气体与实际气体的区别。

应用:能应用相关概念和公式进行分析和计算。

1.1 工质及其状态参数

1.1.1 关于工质

在绪论中我们列举的一些工程实例均涉及了利用某种工作物质(如水、湿空气、烟气、蒸汽等)来实现热能的输送或转移,最终达到热能利用的目的。这些可以用来携带、输送、转移热能或通过热力循环将热能转变为机械能(电能)的媒介物质或工作物质统称为工质。

工程实际中用到的工质(一般情况下均为流体)有气体状态,有液体状态,或者气-液共存。为了安全有效地进行热能利用和传输,研究工质的热工性质,选择合适的工质,是非常必要的。

1.1.2 工质的基本状态参数

工质是通过一系列的热力状态变化来完成热能转换和热能传递的。所谓热力状态,就是指工质在某一瞬间所呈现的宏观物理状况,而其状态及状态变化则是通过一些物理参数来描述或表示的。这些用来描述工质状态的物理量称为工质的状态参数。常用到的工质状态参数有温度、压强(压力)、比体积、内能、焓、熵等。其中温度、压强(压力)和比体积可以用仪器直接

或间接地测出来,称为工质的基本状态参数;而其余的参数则是通过基本状态参数来推导、计算得到的,故称为导出状态参数。

事实上,热力系统的宏观状态与其宏观状态参数是一一对应的关系,即工质或热力系统的状态发生变化时,其状态参数也相应变化。对应于某个确定的热力状态,工质的各个状态参数也都有各自确定的数值。反过来,当我们测出某状态下工质的一组确切的状态参数时,其热力状态也就确定了。这就是说,工质的状态参数只是状态的函数(态函数),而不是过程函数,即与过程无关。工质由初状态1变化到终状态2时,任何状态参数的变化量只等于初、终状态下该状态参数的差值,而与过程或路径无关。若工质从某状态开始经一系列状态变化过程后又回到原状态(即经历了一个循环过程),则工质的各个状态参数的变化量为零。

本节先讨论工质的三个基本状态参数。

1.1.2.1 温度

从宏观上讲,温度是用来描述物体冷热程度的参数,同时也反映自发过程中热能传递的方向:温度高的物体会自发地向温度低的物体传递热能。

从微观上讲,温度反映了物质内部分子平均平动动能的大小,也即物质分子运动的强烈程度。对于理想气体,宏观的温度与微观的热运动存在以下关系:

$$BT = \frac{m\bar{w}^2}{2} \quad (1.1)$$

式中 T ——气体的热力学温度;

B ——比例常数;

$\frac{m\bar{w}^2}{2}$ ——分子平均平动动能, m 为一个分子的质量, \bar{w} 是分子运动的均方根速度。

(1) 温标

描述或量度物体温度高低的统一衡量标尺称为温标。温标具体规定了温度的基准点和温度间隔的冷热程度。

① 热力学温标

热力学温标是国际单位制温度基本标准,也是我国法定计量温度标尺。按国际单位制(SI)规定:热力学温度用符号 T 表示,单位为开[尔文],符号为 K。热力学温标规定:纯水的三相点温度(即气相、液相、固相三相平衡时的温度)为基准点,规定为 273.16 K,而每 1 K 的间隔则为水的三相点温度值的 1/273.16。

② 摄氏温标

摄氏温标是我国广泛使用的另一个实用型法定温度标尺。温度符号为 t ,单位为摄氏度,符号为 $^{\circ}\text{C}$,摄氏温标每 1°C 的冷热程度与热力学温标的每 1 K 完全相同,它的定义式为

$$t = T - 273.15 \quad (1.2)$$

式中 T ——热力学温度, K;

273.15——一个标准大气压下纯水的冰点热力学温度值。

当 $t = 0^{\circ}\text{C}$ 时,对应的热力学温度为 $T = 273.15 \text{ K}$ (冰点)。

当 $t = 100^{\circ}\text{C}$ 时,对应的热力学温度为 $T = 373.15 \text{ K}$ (沸点)。

在工程中,采用下式换算已足够精确: