

注册公用设备工程师 执业资格考试 基础考试(下) 复习教程

王中铮 主编



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

注册公用设备工程师
执业资格考试基础考试(下)

注册公用设备工程师 执业资格考试基础考试(下) 复 习 教 程

王中铮 主编

本书为注册公用设备工程师执业资格考试基础考试(下)的复习教材。全书共分10章,主要内容包括:工程流体力学、传热学、工程热力学、燃烧学、制冷与空调、水力学、环境工程、工程材料、工程力学、工程数学。本书可作为注册公用设备工程师执业资格考试基础考试(下)的复习教材,也可供从事本专业工作的工程技术人员参考。



内 容 提 要

本书是由建设部注册中心基础考试专家组负责人委托天津大学组织编写的、以《注册公用设备工程师(暖通空调及动力专业)执业资格考试基础考试大纲》所涵盖的内容为基础的复习教材。

本书是基础考试大纲中的专业基础部分,全书共7章,包括工程热力学、传热学、工程流体力学及泵与风机、自动控制、热工测试技术、机械基础和职业法规等。

全书简明扼要,针对性强,可读性好,有益于复习、回顾和培考。

本书是供准备参加注册公用设备工程师(暖通空调及动力专业)执业资格考试的人员复习和培训用的教材,同时也可作为高等院校建筑环境与设备工程、热能与动力工程等专业师生及相关专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

注册公用设备工程师执业资格考试基础考试复习教程.
下/王中铮主编. —天津:天津大学出版社,2007.5
ISBN 978-7-5618-2443-6

I.注... II.王... III.城市公用设施—工程师—资格考核—自学参考资料 IV.TU8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 049752 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨 欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
短信网址 发送“天大”至 916088
印 刷 迁安万隆印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 185mm×260mm
印 张 25.75
字 数 643 千
版 次 2007 年 5 月第 1 版
印 次 2007 年 5 月第 1 次
定 价 49.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

序 言

执业资格注册制度为我国工程技术人员个人的执业资格确立了符合国际惯例的规格、标准及严格的认证程序,它的建立和实施,必将进一步推动人才的社会化、市场化和国际化的进程,为我国市场经济的可持续发展提供更加规范的人才保障。执业注册资格考试是资格认证程序的核心环节。执业注册资格考试必须严格按照相应的考试大纲执行。

全国勘察设计注册工程师执业资格考试大纲是在建设部执业资格注册中心的领导下,根据我国建设行业的具体情况以及与国际接轨的要求制定的。考试大纲由专业考试大纲和基础考试大纲两个部分组成,前者规定了申请者专业能力的测试标准,后者则体现对申请者工程科学背景的要求。

在执业资格考试中设立基础考试程序是基于下述两个方面的考虑:

(1)执业工程师的工程科学背景要求是从行业的角度对从业者提出的要求,它并不完全等同于工科院校的基础和专业基础教育的要求,执业注册资格基础考试并不是工科高校基础教学考试的简单重复;

(2)执业资格考试是一种按照独立标准进行的公平认证程序,它原则上不受申请者的学历、学位、职务等传统条件的严格限制。因此,申请者所受的工程基础教育背景差异甚大,有必要在统一的标准下进行检验。

所以,对于基础考试,申请者不可消极应考。正确的做法应当是:根据自身的具体情况,按照基础考试大纲的内容进行系统的学习与准备,切实地充实、强化自身的工程科学基础,从容应对考试。

鉴于申请者教育背景、毕业年限、工作性质、工作岗位及工作经历等诸多因素的影响,基础考试大纲的内容对申请者而言或缺或遗忘的情况是普遍存在的,所以为申请者提供适当的考试辅导是必要的、有益的。

天津大学出版社近年来组织出版的“勘察设计注册工程师基础考试”辅导系列教程,按照考试大纲的要求,全面地综合了各类基础课的主要内容,恰当地把握了各类课程的广度和深度,准确地体现了对我国执业资格注册制度及其认证程序的正确理解和对基础考试大纲条目的深入分析,为应考者提供了重要的学习资料。相信这些系列辅导教程能够为申请者的学习与考试准备提供切实的帮助。热切希望今后能够出版更多的分册,以帮助不同专业的申请者。

全国勘察设计注册工程师 林孔元
基础考试专家组组长

2007年4

前 言

本书是以建设部制定的《注册公用设备工程师(暖通空调及动力专业)执业资格考试基础考试大纲》所涵盖的内容为基础而编写的复习教程。我国执行注册公用设备工程师执业资格考试已有3年,相应的复习教材也有数种。为了进一步提高质量,规范考前的复习与培训,建设部注册中心勘察设计类执业资格考试基础考试专家组负责人林孔元教授和顾晓鲁教授委托天津大学具有丰富教学经验的教师编写本书。

执业资格考试基础考试大纲所涉及的内容可归纳为公共基础和专业基础两大部分,本书为专业基础部分。在编写过程中,一方面尽力符合大纲的内容要求,同时注意到保持内容的科学性和连贯性,从而使本书简明扼要、针对性强并具有可读性,避免复习教材成为手册式或词典式的读本。因而,本书主要服务于准备参加注册公用设备工程师执业资格考试的人员,同时对于该专业的大本生及工作人员同样具有参考价值。

全书共分7章。各章分工为:第1章,李汉炎;第2章,王中铮;第3章,杨俊红;第4章,孙政;第5章,郑宗和;第6章,陆锡年;第7章,韩明。主编由曾为建设部暖通专业评估专家组成员、试题库(工程热力学和传热学)建设负责人、天津大学教授王中铮担任。本书是七门课程合一的复习教程,为便于读者的阅读,某些相同的技术用语,在本书的不同章节中仍保持其原有不同的名称,或仍用不同的符号来表示,请读者注意。

本书是在去年已经试用的基础上修订编写而成的。虽已有初步经验,但由于对考试大纲的要求领会不深和学识有限,一定会有不足之处,期盼读者指正。

编 者

2007年4月

目 录

序 言

前 言

第1章 工程热力学	(1)
1.1 基本概念	(1)
1.1.1 热力学系统	(1)
1.1.2 功与热	(2)
1.1.3 状态、热力学平衡状态	(2)
1.1.4 状态参数、状态方程式	(2)
1.1.5 热力过程、准静态过程、可逆过程	(4)
1.1.6 热力循环	(5)
1.2 单位制	(5)
1.3 热力学第一定律	(7)
1.3.1 热力学第一定律的基本表达式	(7)
1.3.2 系统储存能	(10)
1.3.3 热力学第一定律在开口系统的表达式	(10)
1.3.4 稳定流动能量方程式的应用	(11)
1.4 气体的性质	(13)
1.4.1 理想气体模型及其状态方程式	(13)
1.4.2 理想气体的质量热容(比热容)	(15)
1.4.3 理想气体热力学能、焓和熵的计算	(16)
1.4.4 混合气体的性质	(18)
1.4.5 实际气体模型及其状态方程式	(21)
1.5 理想气体的基本热力过程及气体压缩	(22)
1.5.1 理想气体的基本热力过程	(22)
1.5.2 多变过程	(23)
1.5.3 气体压缩	(25)
1.6 热力学第二定律	(27)
1.6.1 热力学第二定律的表述及实质	(28)
1.6.2 卡诺循环和卡诺定理	(28)
1.6.3 克劳修斯不等式、熵	(29)
1.6.4 孤立系统熵增原理	(31)
1.6.5 烟	(32)
1.7 水蒸气和湿空气	(33)
1.7.1 水蒸气状态的确定	(33)

1.7.2	水蒸气图表及应用	(35)
1.7.3	湿空气的性质	(36)
1.7.4	湿空气焓湿图	(38)
1.7.5	湿空气的热力过程	(39)
1.8	气体和蒸汽流动	(41)
1.8.1	稳定流动的基本方程式	(41)
1.8.2	喷管和扩压管	(42)
1.8.3	绝热节流	(46)
1.9	动力循环	(47)
1.9.1	蒸汽动力循环	(47)
1.9.2	内燃机循环	(50)
1.10	制冷循环	(51)
1.10.1	空气压缩制冷循环	(51)
1.10.2	蒸汽压缩式制冷循环	(52)
1.10.3	吸收式制冷循环	(53)
1.10.4	热泵	(53)
1.10.5	气体液化	(54)
第2章	传热学	(55)
2.1	导热理论基础	(55)
2.1.1	导热基本概念	(55)
2.1.2	傅里叶定律	(56)
2.1.3	导热系数	(56)
2.1.4	导热微分方程	(57)
2.1.5	导热过程的单值性条件	(58)
2.2	稳态导热	(59)
2.2.1	通过平壁的导热	(59)
2.2.2	通过圆筒壁的导热	(61)
2.2.3	临界热绝缘直径	(62)
2.2.4	通过肋壁的导热	(63)
2.2.5	通过接触面的导热	(65)
2.2.6	二维稳态导热问题	(65)
2.3	非稳态导热	(66)
2.3.1	非稳态导热的特点	(66)
2.3.2	对流换热边界条件下非稳态导热	(66)
2.3.3	常热流密度边界条件下非稳态导热	(69)
2.4	导热问题数值解	(70)
2.4.1	有限差分法原理	(70)
2.4.2	节点离散方程的建立	(71)
2.4.3	稳态导热问题的数值计算	(72)

2.4.4 非稳态导热问题的数值计算	(72)
2.5 对流换热分析	(74)
2.5.1 影响对流换热的因素	(74)
2.5.2 对流换热过程微分方程式	(75)
2.5.3 对流换热微分方程组	(75)
2.5.4 边界层	(76)
2.5.5 边界层换热微分方程组及其求解	(77)
2.5.6 边界层换热积分方程组及其求解	(79)
2.5.7 动量传递和热量传递的类比	(80)
2.5.8 相似理论基础	(81)
2.6 单相流体对流换热及准则关联式	(84)
2.6.1 管内受迫流动换热	(84)
2.6.2 外掠圆管流动换热	(88)
2.6.3 自然对流换热	(89)
2.6.4 自然对流与受迫对流并存的混合对流换热	(90)
2.7 凝结与沸腾换热	(91)
2.7.1 凝结换热	(91)
2.7.2 沸腾换热	(92)
2.8 热辐射的基本定律	(94)
2.8.1 基本概念	(94)
2.8.2 普朗克定律	(95)
2.8.3 斯忒藩(斯蒂芬)—玻尔兹曼定律	(95)
2.8.4 兰贝特余弦定律	(96)
2.8.5 基尔霍夫定律	(96)
2.9 辐射换热计算	(97)
2.9.1 角系数	(97)
2.9.2 黑表面间的辐射换热	(98)
2.9.3 灰表面间的辐射换热	(99)
2.9.4 气体辐射	(101)
2.9.5 太阳辐射	(103)
2.10 传热与换热器	(104)
2.10.1 通过肋壁的传热	(104)
2.10.2 复合换热	(105)
2.10.3 传热的增强与削弱	(105)
2.10.4 平均温度差	(106)
2.10.5 换热器计算	(107)
第3章 工程流体力学及泵与风机	(110)
3.1 流体动力学基础	(110)
3.1.1 流体的作用力、力学性质和力学模型	(110)

3.1.2	研究流体运动的两种方法	(111)
3.1.3	稳定流动与非稳定流动	(112)
3.1.4	理想流体的运动方程式	(112)
3.1.5	实际流体的运动方程式	(113)
3.1.6	柏努利方程式及其使用条件	(113)
3.2	相似原理和模型实验	(118)
3.2.1	物理现象相似的概念	(118)
3.2.2	相似准数	(118)
3.2.3	相似三定理	(120)
3.2.4	因次分析法	(121)
3.2.5	流体力学模型研究	(122)
3.2.6	实验数据处理	(123)
3.3	流动阻力和能量损失	(123)
3.3.1	层流与紊流现象	(123)
3.3.2	圆管中层流和紊流的速度分布	(124)
3.3.3	流动阻力分类和能量损失计算	(127)
3.3.4	沿程阻力系数的计算	(128)
3.3.5	局部阻力产生的原因和计算方法	(131)
3.3.6	减少阻力的措施	(133)
3.4	管路计算	(134)
3.4.1	简单管路的计算	(134)
3.4.2	串联管路的计算	(134)
3.4.3	并联管路的计算	(135)
3.5	气体射流	(136)
3.5.1	紊流射流的结构及特性	(136)
3.5.2	温差或浓差射流	(137)
3.5.3	旋转射流	(138)
3.5.4	有限空间射流	(139)
3.6	特定流动分析	(140)
3.6.1	流体微团运动分析	(140)
3.6.2	有旋流动	(141)
3.6.3	无旋流动与势函数	(141)
3.6.4	平面流动与流函数	(142)
3.6.5	平面无旋流动	(143)
3.6.6	几种简单流动分析	(144)
3.6.7	势流叠加与圆柱形测速管原理	(145)
3.7	一元气体动力学基础	(148)
3.7.1	压力波传播、音速和马赫数	(148)
3.7.2	可压缩流体一元稳定流动的基本方程	(149)

3.7.3 渐缩喷管与拉伐尔管的特点	(151)
3.7.4 实际喷管的性能	(152)
3.8 泵与风机和网络系统的匹配	(154)
3.8.1 泵与风机的基本理论	(154)
3.8.2 泵与风机的性能曲线	(156)
3.8.3 网络系统中泵与风机的工作点	(157)
3.8.4 离心式泵与风机的工况调节	(162)
3.8.5 离心式泵与风机的选择	(162)
3.8.6 气蚀与安装要求	(163)
第4章 自动控制	(168)
4.1 自动控制与自动控制系统的一般概念	(168)
4.1.1 “控制工程”基本含义	(168)
4.1.2 信息的传递	(169)
4.1.3 反馈及反馈控制	(169)
4.1.4 开环及闭环控制系统构成	(170)
4.1.5 控制系统的分类及基本要求	(170)
4.2 控制系统数学模型	(171)
4.2.1 控制系统各环节的特性	(171)
4.2.2 控制系统微分方程的拟定与求解	(178)
4.2.3 拉普拉斯变换与反变换	(179)
4.2.4 传递函数及其方块图	(181)
4.3 线性系统的分析与设计	(188)
4.3.1 基本调节规律及实现方法	(188)
4.3.2 控制系统一阶瞬态响应	(196)
4.3.3 二阶系统的瞬态响应	(197)
4.3.4 频率特性基本概念	(200)
4.3.5 频率特性表示方法	(201)
4.3.6 调节器的特性对调节质量的影响	(202)
4.3.7 二阶系统的设计方法	(204)
4.4 控制系统的稳定性与对象的调节性能	(207)
4.4.1 稳定性基本概念	(207)
4.4.2 稳定性与特征方程根的关系	(208)
4.4.3 代数稳定判据	(209)
4.4.4 对象的调节性能指标	(210)
4.5 掌握控制系统的误差分析	(210)
4.5.1 误差及稳态误差	(211)
4.5.2 系统类型及误差度、静态误差系数	(212)
4.6 控制系统的综合与校正	(214)
4.6.1 校正的概念	(214)

4.6.2 串联校正装置的形式及其特性	(215)
4.6.3 继电器调节系统(非线性系统)及校正	(217)
第5章 热工测试技术	(222)
5.1 测试技术的基本知识	(222)
5.1.1 测量	(222)
5.1.2 测量精度与误差	(223)
5.1.3 常用测量方法	(224)
5.1.4 测量范围与测量精度	(225)
5.1.5 稳定性	(226)
5.1.6 静态特性与动态特性	(226)
5.1.7 传感器	(227)
5.1.8 传输通道	(227)
5.1.9 变换器(变送器)	(227)
5.2 温度的测量	(227)
5.2.1 温度与温标	(227)
5.2.2 膨胀效应测温原理及其应用	(229)
5.2.3 热电效应测温原理	(230)
5.2.4 热电回路性质及理论	(230)
5.2.5 热电材料	(232)
5.2.6 热电偶结构及使用	(233)
5.2.7 热电阻测温原理及常用材料、常用组件的使用方法	(235)
5.2.8 非接触测量方法	(236)
5.2.9 温度变送器	(237)
5.2.10 测温布置技术	(238)
5.3 湿度的测量	(239)
5.3.1 干湿球温度计测量原理	(239)
5.3.2 干湿球电学测量和信号传送传感	(239)
5.3.3 露点仪	(241)
5.3.4 露点仪测湿布置技术	(244)
5.4 压力的测量	(244)
5.4.1 液柱式压力计	(244)
5.4.2 活塞式压力计	(245)
5.4.3 弹簧管式压力计	(245)
5.4.4 膜式压力计	(246)
5.4.5 波纹管压力计	(246)
5.4.6 压电式压力计	(246)
5.4.7 传感器	(247)
5.4.8 压力仪表的选用和安装	(248)
5.5 流速的测量	(249)

5.5.1	流速测量原理	(249)
5.5.2	机械风速仪的测量及结构	(250)
5.5.3	热线风速仪的测量原理及结构	(250)
5.5.4	L形动压管	(250)
5.5.5	测速仪	(251)
5.5.6	流速测量布置技术	(252)
5.6	流量的测量	(253)
5.6.1	节流法测量流量原理	(253)
5.6.2	容积法测量流量	(254)
5.6.3	流量计	(254)
5.6.4	流量测量的布置技术	(256)
5.7	液位的测量	(257)
5.7.1	直读式测液位	(257)
5.7.2	压力法测液位	(257)
5.7.3	浮力法测液位	(258)
5.7.4	电容法测液位	(258)
5.7.5	超声波法测液位	(258)
5.7.6	液位测量的布置及误差消除方法	(259)
5.8	热流量的测量	(259)
5.8.1	热流计的分类	(259)
5.8.2	热流计的布置及使用	(260)
5.9	误差与数据处理	(260)
5.9.1	误差函数的分布规律	(260)
5.9.2	直接测量的平均值、方差、标准误差、有效数字和测量结果表达	(261)
5.9.3	间接测量最优值、误差传递理论、标准误差、误差分配	(262)
5.9.4	组合测量原理	(264)
5.9.5	最小二乘法原理	(264)
5.9.6	经验公式法	(266)
5.9.7	相关系数	(266)
5.9.8	回归分析	(266)
5.9.9	显著性检验与分析	(266)
5.9.10	过失误差处理	(266)
5.9.11	系统误差处理方法及消除方法	(267)
5.9.12	误差的合成定律	(267)
第6章	机械基础	(269)
6.1	机械设计的基本知识	(269)
6.1.1	机械设计的一般原则和程序	(269)
6.1.2	机械零件的计算准则	(270)
6.1.3	许用应力与安全因素	(272)

6.2 平面机构的自由度	(275)
6.2.1 概述	(275)
6.2.2 机构中的运动副及其分类	(275)
6.2.3 平面机构运动简图	(276)
6.2.4 平面机构的自由度及机构确定运动的条件	(278)
6.3 平面连杆机构	(281)
6.3.1 铰链四杆机构的基本型式	(282)
6.3.2 铰链四杆机构存在曲柄的条件	(282)
6.3.3 铰链四杆机构的演化	(284)
6.4 凸轮机构	(287)
6.4.1 凸轮机构的基本类型和应用	(287)
6.4.2 从动件常用运动规律	(289)
6.4.3 直动从动件盘形凸轮机构凸轮轮廓曲线的绘制	(292)
6.5 螺纹连接	(295)
6.5.1 螺纹的主要参数和常用类型	(296)
6.5.2 螺旋副的受力分析、效率和自锁	(297)
6.5.3 螺纹连接的基本类型和防松方法	(299)
6.5.4 螺纹连接的强度计算	(302)
6.5.5 螺纹连接设计时应注意的问题	(304)
6.6 带传动	(305)
6.6.1 普通带传动的工作情况分析	(306)
6.6.2 普通 V 带传动的主要参数和设计	(309)
6.6.3 带轮的材料和结构	(314)
6.6.4 带轮的张紧和带传动的维护	(315)
6.7 齿轮机构	(316)
6.7.1 齿轮机构的特点和类型	(316)
6.7.2 直齿圆柱齿轮的各部分名称和尺寸	(317)
6.7.3 渐开线齿轮的正确啮合条件和连续传动条件	(319)
6.7.4 轮齿的失效和齿轮传动设计准则	(321)
6.7.5 直齿圆柱齿轮的强度计算	(322)
6.7.6 斜齿圆柱齿轮传动及其受力分析	(325)
6.7.7 齿轮的结构	(326)
6.7.8 蜗杆传动	(327)
6.7.9 蜗杆与蜗轮材料	(329)
6.8 轮系	(329)
6.8.1 轮系的基本类型	(329)
6.8.2 定轴轮系传动比计算	(330)
6.8.3 周转轮系传动比计算	(332)
6.8.4 轮系的功用	(335)

6.9 轴	(335)
6.9.1 轴的分类	(335)
6.9.2 轴的材料	(336)
6.9.3 轴的结构	(337)
6.9.4 轴的强度计算	(339)
6.9.5 轴毂连接的类型	(341)
6.10 滚动轴承	(344)
6.10.1 滚动轴承的基本类型	(345)
6.10.2 滚动轴承的代号	(347)
6.10.3 滚动轴承的失效形式及计算准则	(350)
6.10.4 滚动轴承类型的选择	(353)
第7章 职业法规	(355)
7.1 职业法规概述	(355)
7.1.1 法规的基本概念	(355)
7.1.2 职业法规所调整的法律关系	(355)
7.1.3 注册公用设备工程师的执业要求	(356)
7.2 建设工程法规	(356)
7.2.1 中华人民共和国招标投标法	(356)
7.2.2 中华人民共和国城市规划法	(362)
7.2.3 建设工程合同法律制度	(364)
7.2.4 中华人民共和国环境保护法	(365)
7.2.5 建筑法	(371)
7.2.6 中华人民共和国城市房地产管理法	(376)
7.3 勘察设计管理条例	(380)
7.3.1 建设工程勘察设计文件的编制与实施	(380)
7.3.2 罚则	(380)
7.3.3 勘察设计资质分类和分级	(381)
7.3.4 勘察设计资质审批	(381)
7.3.5 资质年检	(381)
7.4 建设工程质量管理条例	(382)
7.4.1 建设工程参与各方的质量责任和义务	(382)
7.4.2 建设工程质量保修	(384)
7.4.3 建设工程质量监督检查	(384)
7.5 建设工程安全管理条例	(385)
7.5.1 安全生产责任	(385)
7.5.2 安全生产教育培训	(388)
7.5.3 生产安全事故的应急救援和调查处理	(388)
7.6 中华人民共和国节约能源法	(388)
7.6.1 总则	(388)

7.6.2 节能管理	(389)
7.6.3 节能技术进步	(389)
7.7 勘察设计职工职业道德	(390)
7.8 特种设备安全监察条例	(390)
7.8.1 基本规定	(390)
7.8.2 特种设备生产规定	(390)
7.8.3 特种设备使用规定	(391)
7.8.4 特种设备检测规定	(391)
7.8.5 特种设备监察规定	(392)
7.8.6 名词解释	(392)
参考文献	(394)

第1章 工程热力学

工程热力学讨论的是能量转换的一般规律在热能工程中的应用,重点研究热能与机械能相互转换的规律、热工设备的基本原理和寻找适合的工质,达到热能有效利用的目的。

热能利用是能源利用的主体。热能工程包括热能的生产与供应、热能转换为动力的利用(间接利用)和以加热为目的的直接利用,广泛涉及社会生产和生活的各个方面。建筑物采暖是热能直接利用的例子。采暖是使用矿物燃料还是使用其他能源好呢?面对蕴藏量有限的矿物燃料消费量日见增长,人们不能不努力地寻求能源多样化。对于在多样化能源构成中选用何种能源,而又该怎样利用才合理和有效,工程热力学可以提供评价方法。

1.1 基本概念

工程热力学研究问题的基本方法可以归结为:划分出系统;考察系统与外界之间的相互作用;根据热力学的基本定律分析系统发生的变化和对外界产生的影响。

1.1.1 热力学系统

热工设备的作用原理和性能决定于设备中的工质在外界作用下的行为。于是,进行热力学分析的时候要把设备中的工质作为分析对象。用分界面把与它发生作用的周围物体隔离开后的工质隔离体称为热力学系统,简称系统。分界面称为边界。边界以外的物体称为外界。

工质一般为气态物质。广而言之,热力学系统可以由任何形态的一个物体或一组物体、或物体的一部分、或一定范围的空间组成,依问题而定。

对于热能工程,热力学系统是简化的热工设备。分析热力学系统可以得到适用于同一类设备的普遍结果,不必计及设备大小、结构等差异。

适当选取热力学系统可以简化问题的分析。例如,炎热夏天打开电冰箱门的时候凉气扑面,是不是可以紧闭门窗让冰箱敞门运行使屋内温度降下来呢?以与屋内空气接触的屋子表面划分系统与外界可以发现,通过边界的相互作用只有两项:一是外界(环境空气)对系统加热,另一是外界向系统输入电能。凭直觉可以看出,系统的能量不断增加,屋内只会更热,不必追究电冰箱在里面起什么作用。如果根据热力学的基本原理来分析,可以做出清晰而规范的表述。

一般在热能工程遇到的问题中,系统与外界的相互作用有三种形式:功、热和物质的传递。按照相互作用中有没有物质传递,系统可以分为闭口系统和开口系统两大类。

闭口系统是与外界之间没有物质传递的系统,例如活塞式汽缸内的气体、屋内的空气整体。闭口系统的质量保持不变,有时也称为控制质量。闭口系统的边界可以是固定的,也可以

是活动的;可以是实体,也可以虚构。由可压缩流体构成的闭口系统常称为简单可压缩系统,是工程热力学研究的基本系统。

开口系统是与外界有物质传递的系统。大部分热工程设备有流体流进和流出,可以在流体的进口和出口都用假想的边界把与它相连的其他设备隔离开而构成系统。开口系统通常有相对固定的空间,这个空间范围称为控制体积。

与外界没有热量传递的热力学系统称为绝热系统。与外界既没有物质传递也没有任何能量传递的系统称为孤立系统。它们都是工程热力学研究的一些有代表性的系统。

热源(也称热库)也是一种热力学系统。

1.1.2 功与热

功与热是能量传递的两种形式。它们的区别在于:功是在力不平衡(压力差)条件下传递机械能,热的作用是在热不平衡(温度差)条件下传递热能。

1.1.3 状态、热力学平衡状态

系统在瞬间的宏观物理状况称为系统的状态。怎样描述和识别系统的状态呢?

如果系统各部分的状况不尽相同,系统的状态无法用少数几个物理量来描述。当系统受到外界作用时,例如汽缸内的气体在活塞移动瞬间,紧邻活塞的气体压力首先升高,汽缸内压力不均衡并且随时间而变化,无法说出它整体的压力数值。当系统没有受到外界的作用而内部仍然存在压力差、温度差、浓度差等不平衡时,系统在一段时间内宏观变化不止,系统的状态也无法用少数几个物理量描述。只有当系统内部一切宏观变化都停止了而达到力、热、化学平衡的时候,系统的状态才能用少数几个物理量来描述。实际上,系统在外界作用停止后,只要经过足够长的时间,最终会达到这种平衡的状态。

于是把系统在没有外界作用的影响(重力作用的影响可以忽略)而内部也不存在任何不平衡时所呈现出的宏观状态称为热力学平衡状态,简称平衡状态。平衡状态可以用若干物理量来描述。用来描述系统平衡状态的物理量称为系统的状态参数。系统处于某一平衡状态,各状态参数都具有完全确定的数值。知道了系统各状态参数的数值,系统所处的平衡状态也就完全确定了。

1.1.4 状态参数、状态方程式

1. 状态参数的数学特征

如上所述,系统状态参数的取值只决定于系统的平衡状态,与从何处或以怎样的方式到达这个平衡状态无关。状态参数的这一性质可以用点函数描述。平衡状态在以状态参数为坐标的图上为一完全确定的点;状态参数的微分是全微分;系统从一平衡状态点变化到另一状态点后的状态参数改变量 ΔX 等于两状态同名参数的差值,与积分路径无关,即

$$\Delta X = \int_1^2 dX = X_2 - X_1$$

式中 X 代表任一状态参数,数字 1 和 2 分别表示系统的初始平衡状态和终了平衡状态。

2. 基本状态参数

热力学常用的状态参数有温度(T)、压力(p)、质量体积(v)、热力学能(U)、焓(H)、熵(S)