

2007

全国勘察设计 注册公用设备工程师

暖通空调专业

考试宝典

基础部分

主编 闫全英

A GUIDE TO HVAC HEATING VENTILATION AND
AIR CONDITIONING SPECIALTY TESTS FOR
NATIONAL REGISTERED PUBLIC UTILITIES ENGINEER
OF SURVEY AND DESIGN
(ELEMENTARY)

**全国勘察设计注册公用设备工程师
暖通空调专业考试宝典
基础部分**

主编 闫全英

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

全国勘察设计注册公用设备工程师暖通空调专业考试宝典——基础部分/闫全英 主编. —武汉: 华中科技大学出版社, 2007 年 6 月

ISBN 978-7-5609-4045-8

I. 全… II. 闫… III. ①采暖设备-建筑设计-工程师-资格考核-自学参考资料 ②通风设备-建筑设计-工程师-资格考核-自学参考资料 ③空气调节设备-建筑设计-工程师-资格考核-自学参考资料 IV. TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 074436 号

全国勘察设计注册公用设备工程师暖通空调专业考试宝典
——基础部分

闫全英 主编

责任编辑:许闻闻

封面设计:张璐

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:天津兴宇广告有限公司

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:880mm×1230mm 1/16

印张:14

字数:388 000

版次:2007 年 6 月第 1 版

印次:2007 年 6 月第 1 次印刷

定价:28.00 元

ISBN 978-7-5609-4045-8/TU·152

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内容提要

本书是为参加全国注册公用设备工程师(暖通空调专业)的考生复习专业技术而编写的复习指导丛书。全书共分四篇,第一篇为工程热力学,共分十章;第二篇为传热学,共分九章;第三篇为流体力学,共分十二章;第四篇为热工测试技术,共分九章。第篇内容包括根据考试大纲编写的全面而且精练的复习内容、例题和习题,例题中附有详细的解题方法和解题过程,习题附有答案,书中内容具有较强的指导性和实用性。

本书可作为注册公用设备工程师(暖通空调专业)的考前复习资料,也可作为相关专业院校的教师和学生的参考书。

前 言

为适应注册公用设备工程师(暖通空调专业)执业资格考试的需要,有针对性地指导考生复习、应试,特编写了这本基础部分考试宝典。本书作为全国勘察设计注册公用设备工程师考试的专业基础考试复习参考书,完全是依据《全国勘察设计注册公用设备工程师(暖通空调专业)执业资格考试大纲》编写的。

全书共分四篇,第一篇由北京建筑工程学院的陈红兵编写,第二篇由北京建筑工程学院的闫全英编写,第三篇由北京建筑工程学院的冯圣红编写,第四篇由北京建筑工程学院的史永征编写。全书由闫全英主编、统稿。

本书既可作为注册公用设备工程师(暖通空调专业)基础部分考试的考前辅导,也可作为相关学校建筑环境与设备工程专业教师和学生的参考用书。

本书在编写过程中得到研究生赵婧婧的帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,若有错误和不足之处请读者指正,并提出宝贵意见,以利于进一步改进本书的内容。

编者

2007 年 3 月

目 录

第一篇 工程热力学	1
第一章 基本概念	3
第一节 热力系统	3
第二节 状态与状态参数	3
第二章 热力过程	5
第一节 准静态过程与可逆过程	5
第二节 热力循环	5
第三章 气体性质	7
第一节 状态方程	7
第二节 气体性质	8
第四章 热力学第一定律	11
第一节 系统能量	11
第二节 能量方程	12
第五章 理想气体的热力过程及气体压缩	14
第一节 气体的基本热力过程	14
第二节 压气机的理论压缩轴功	16
第三节 活塞式压气机的余隙影响	17
第四节 多级压缩及中间冷却	17
第六章 热力学第二定律	18
第一节 热力学第二定律的实质及表述	18
第二节 卡诺循环和卡诺定理	18
第三节 熵与熵方程	19
第四节 孤立系统熵增原理	19
第七章 水蒸气和湿空气	21
第一节 水蒸气的定压发生过程	21
第二节 水蒸气表和图	22
第三节 水蒸气的基本热力过程	22
第四节 湿空气	23
第八章 气体和蒸汽的流动	27
第一节 喷管和扩压管	27
第二节 稳定流动基本方程	27
第三节 喷管中流速及流量计算	28
第四节 绝热节流	29
第九章 动力循环	30
第一节 朗肯循环	30
第二节 回热循环与再热循环	30
第三节 热电循环	30
第四节 内燃机循环	32

第五节 燃气轮机循环	32
第十章 制冷循环	34
第一节 空气压缩制冷循环	34
第二节 蒸汽压缩制冷循环	34
第三节 吸收式制冷循环	35
第四节 热泵	36
习题及答案	37
第二篇 传热学	41
第一章 导热基本定律	43
第一节 导热基本概念	43
第二节 傅里叶定律	43
第三节 导热微分方程和单值性条件	44
第二章 稳态导热	47
第一节 通过平壁的一维导热	47
第二节 通过圆筒壁的一维导热	49
第三节 临界绝缘直径	50
第四节 通过肋壁的导热	51
第五节 通过接触面的导热	52
第六节 二维稳态导热问题	52
第三章 非稳态导热	58
第一节 非稳态导热过程的特点	58
第二节 集总参数法	59
第三节 第三类边界条件下的非稳态导热	59
第四节 常热流通量边界条件下的非稳态导热	60
第四章 导热问题数值解基础	63
第一节 有限差分法原理	63
第二节 稳态导热问题的数值计算	64
第三节 非稳态导热问题的数值计算	65
第五章 对流传热原理及分析	67
第一节 对流传热过程的特点及影响因素	67
第二节 流动边界层和热边界层	68
第三节 对流传热微分方程组及其边界层方程的求解	69
第四节 边界层对流传热积分方程组及其求解	70
第五节 动量、热量传递现象的类比	71
第六节 相似原理	72
第七节 实验数据的整理	73
第六章 单相流体对流传热及准则方程式	75
第一节 管内强迫对流传热	75
第二节 外掠圆管强迫对流传热	77
第三节 自然对流传热	78
第四节 自然对流与受迫对流并存的混合流动传热	80
第七章 凝结和沸腾换热	82
第一节 凝结换热	82

第二节 沸腾换热	83
第八章 辐射传热	89
第一节 热辐射的基本概念	89
第二节 黑体和灰体辐射的基本定律	89
第三节 黑表面间的辐射换热	90
第四节 灰表面间的辐射换热	91
第五节 角系数的确定方法	93
第六节 气体辐射	94
第九章 传热过程和换热器	97
第一节 肋壁传热过程分析及计算	97
第二节 复合换热计算	97
第三节 传热过程的强化与削弱	98
第四节 换热器的热工计算	98
习题及答案	100
第三篇 流体力学	107
第一章 流体的主要物理性质	109
第一节 密度和容重	109
第二节 流体的黏滞性	109
第三节 流体的压缩性与膨胀性	110
第二章 流体静力学	113
第一节 流体静压强	113
第二节 流体静压强分布规律	113
第三节 压强的测定	116
第三章 流体动力学	119
第一节 流体运动基本概念	119
第二节 理想流体运动方程式	120
第四章 流动阻力和水头损失	123
第一节 层流和紊流的概念和判定	123
第二节 圆管中层流与紊流的速度分布	123
第三节 沿程阻力和局部阻力的计算	124
第五章 恒定流	127
第一节 孔口和管嘴出流	127
第二节 明渠恒定均匀流	129
第六章 渗流定律井和集水廊道	132
第一节 概述	132
第二节 渗流基本定律	132
第三节 井和集水廊道	134
第七章 相似原理和量纲分析	137
第一节 相似定理	137
第二节 模型实验	139
第八章 流体运动参数的测量	141
第一节 流体流动速度测量	141
第二节 流量测量方法	142

第三节 测量气体压力的仪表及测量方法	145
第九章 管路计算	148
第一节 简单管路的计算	148
第二节 串联管路的计算	148
第三节 并联管路的计算	149
第十章 特定流动分析	151
第一节 势函数和流函数概念	151
第二节 简单流动分析	151
第十一章 气体动力学	156
第十二章 泵与风机	158
第一节 离心式泵与风机的工作原理	158
第二节 离心式泵与风机的性能参数	158
第三节 泵、风机与管网系统匹配的工作状态点	158
第四节 管网系统中泵、风机的联合运行	161
习题及答案	164

第四篇 热工测试技术 173

第一章 测量技术的基本知识	175
第一节 测量基础	175
第二节 测量误差与测量精度	175
第三节 常用测量方法	176
第四节 测量仪表的基本技术指标	177
第五节 测量系统的组成及其功能	178
第二章 温度的测量	179
第一节 概述	179
第二节 热电偶温度计	180
第三节 电阻温度计	181
第四节 非接触温度计	182
第五节 温度变送器	182
第六节 温度测量布置技术	182
第三章 湿度的测量	184
第一节 概述	184
第二节 干湿球湿度计	184
第三节 露点仪	185
第四节 湿度测量布置技术	186
第四章 压力的测量	187
第一节 概述	187
第二节 压力计	187
第三节 压力变送器	188
第四节 压力测量布置技术	188
第五章 流速的测量	190
第一节 概述	190
第二节 流速测量仪表	190
第三节 流速测量布置技术	192

第六章 流量的测量	194
第一节 概述	194
第二节 差压流量计	194
第三节 其他流量计	195
第四节 流量测量布置技术	197
第七章 液位的测量	198
第一节 液位测量方法及液位计	198
第二节 液位测量布置技术	199
第八章 热流量的测量	200
第一节 概述	200
第二节 热流计	200
第三节 热流测量布置技术	200
第九章 误差与数据处理	201
第一节 概述	201
第二节 直接测量值的处理	201
第三节 间接测量值的处理	202
第四节 最小二乘法和组合测量	202
第五节 实验结果的处理	203
第六节 误差处理	203
习题及答案	204
参考文献	212

第一篇

工程热力学

第一章 基本概念

第一节 热力系统

一、系统、边界与外界的概念

系统:为了便于研究与分析问题,将所要研究的对象与周围环境分隔开来,这种人为分隔出来的研究对象,称为热力系统,简称系统。

边界:分隔系统与外界的分界面,称为边界。系统的边界可以是实际存在的,也可以是假想的,可以是固定不变的,也可以是运动的或可变形的。

外界:边界以外与系统相互作用的物体,称为外界或环境。

二、热力系统的分类

在热力过程中,系统与外界之间通过边界可以有能量的传递,也可以有物质的流入或流出。

闭口系统:没有物质穿过边界的系统称为闭口系统,有时又称为控制质量系统。闭口系统的质量保持恒定,取系统时应把所研究的物质都包括在边界内。

开口系统:有物质流穿过边界的系统称为开口系统。取系统时只需把所研究的空间范围用边界与外界分隔开来,故又称开口系统为控制体积系统。

绝热系统:系统与外界之间没有热量传递的系统。

孤立系统:系统与外界之间不发生任何能量传递和物质交换的系统。

第二节 状态与状态参数

一、状态

系统中工质某瞬间表现的热力性质的总状况,称为工质的热力状态,简称为状态。热力状态反映工质大量分子热运动的平均特性。系统与外界之间能够进行能量交换的根本原因,在于二者之间的热力状态存在差异。

二、状态参数

描述工质状态特性的各种物理量称为工质的状态参数。状态参数有如下性质。

- (1) 状态参数是状态的函数,对应一定的状态,状态参数都有唯一确定的数值。
- (2) 状态参数的变化仅与初、终状态有关,而与状态变化的途径无关。当系统经历一系列状态变化而恢复到初态时,其状态参数的变化为零,即它的循环积分为零。
- (3) 状态参数的数学特征为点函数,它的微分是全微分。

三、基本状态参数

热力学中常见的状态参数有:温度(T)、压强(p)、比容(v)或密度(ρ)、内能(u)、焓(h)和熵(S)。其中温度、压强、比容或密度可以直接或间接地用仪表测量出来,称为基本状态参数。其他的状态参数可依据这些基本状态参数之间的关系间接导出。这些状态参数按其工质数量的关系,可分为强度性参数(与系统内所含工质的数量无关)和广延性参数(与系统内所含工质的数量有关)。如温度(T)、压强(p)等为强度性参数,内能(u)、焓(h)和熵(s)为广延性参数。广延性参数具有可加性,在系统中,它的总和等于系统内各部分同名参数值之和。单位质量的广延性参数具有强度性参数的性质,称为比参数。

1. 温度(T)

温度 T 是确定一个系统是否与其他系统同时处于热平衡的状态函数。换言之,温度是热平衡的唯

一判据。温度的数值标尺,简称温标。

任何温标都要规定基本定点和每一度的数值。国际单位制(SI)规定热力学温标,符号为(T),单位符号为 K(Kelvin),单位名称为开。热力学温标规定纯水三相点温度(即水的气、液、固三相共存时的温度)为基本定点,并定为 273.16 K,1K 为水三相点温度的 1/273.16。

SI 还规定摄氏(Celsius)温标为实用温标,符号用 t ,单位为摄氏度,单位符号为 $^{\circ}\text{C}$ 。摄氏温标的 1°C 与热力学温标的 1K 相同,它的定义式为: $t = T - T_0$ ($T_0 = 273.15\text{K}$)。摄氏温度的零点相当于热力学温度的 273.15 K,而且这两种温标的温度间隔完全相同。

2. 压强 (p)

压强是指器壁单位面积上的垂直作用力。对于气体,压强实质上是气体分子做不规则的热运动,撞击容器壁面,在单位面积的容器壁面上所呈现的平均作用力。压强的单位是帕(斯卡)(Pa),有时也用千帕(kPa)和兆帕(MPa)。工质的真实压强 p 称为绝对压强。流体的压强常用压强表或真空表来测量,压力表测量的压强为表压 p_g ,真空表测量的压强为真空度 H ,表压和真空度又称为相对压强,相对压强是绝对压强与外界大气压强 B 的差值。

当 $p > B$ 时, $p = B + p_g$

当 $p < B$ 时, $p = B - H$

3. 比容 (v)

单位质量工质所占有的容积称为工质的比容。

四、平衡状态

1. 定义

系统在不外界影响(重力场除外)的条件下,如果宏观热力性质不随时间变化而变化,系统内外同时建立了热和力的平衡,这时系统的状态称为热力平衡状态,简称为平衡状态。

2. 实现平衡的充要条件

系统内部及系统与外界之间不存在各种不平衡势差(力差、温差、化学势差)。

在平衡状态时,参数不随时间改变只是现象,不能作为判断系统是否平衡的条件;只有系统内部及系统与外界之间的一切不平衡势差消失,才是实现平衡的本质,也是实现平衡的充要条件。例如,在稳态导热中,系统的状态参数不随时间改变,但此时在外界的作用下,系统有内、外势差存在,该系统的状态只能称为稳态,而不能称为平衡态。所以,平衡必定稳定,而稳定未必平衡。

五、状态公理

状态公理提供了确定热力系统平衡态所需的独立参数数目的经验规则,即对于组成一定的物质系统,若存在着几种可逆功(系统进行可逆过程时和外界交换的功量)的作用,则决定该系统平衡态的独立状态参数有 $n+1$ 个,其中“1”是系统与外界的热交换作用。

根据状态公理可知,简单可压缩系统平衡态的独立参数只有两个。原则上,可以选取可测量的参数 p 、 v 和 T 中的任意两个独立参数作为自变量,其余参数(u 、 h 、 s 等)则为 p 、 v 和 T 的因变量。

六、状态方程式

根据状态公理,纯物质简单可压缩系统的三个基本状态参数之间关系为:

$$p = f_1(T, v), T = f_2(p, v), v = f_3(p, T) \text{ 或 } F(p, v, T) = 0$$

这三个基本状态参数之间的函数关系,称为状态方程式。

第二章 热力过程

第一节 准静态过程与可逆过程

一、准静态过程

定义:由一系列连续的平衡态组成的过程称为准静态过程。

实现条件:系统内部状态在变化过程中的每一个瞬间都非常接近平衡状态,推动过程进行的势差无限小。

特点:准静态过程是理想化了的实际过程,是实际过程进行得非常缓慢时的一个极限过程。

实际过程都不是平衡状态的连续过渡过程,但在通常情况下可以当作准静态过程来处理。工程中的许多热力过程,虽然主观看来很迅速,但实际上按热力学的时间标尺来衡量,过程的变化还是比较慢的,可以按准静态过程来进行分析。

建立准静态过程概念的好处是:可以用确定的状态参数变化描述过程;可以在参数坐标图上用一条连续曲线表示过程。

二、可逆过程

定义:系统完成某一热力过程后,如果再沿原来路径逆向进行,系统和外界均能完全回复到初始状态,则这样的过程称为可逆过程,否则为不可逆过程。

可逆过程的实现条件:一是过程没有势差(或势差无限小),如传热没有温差;二是过程没有耗散效应,如机械运动没有摩擦,导电没有电阻等。这是实现可逆过程的充要条件。无耗散效应的准静态过程为可逆过程。

可逆过程和准静态过程都是由一系列平衡状态所组成的,但它们又存在区别:可逆过程要求系统与外界随时保持力平衡和热平衡,并且不存在任何耗散损失;而准静态过程的条件仅限于系统内部的力平衡和热平衡。可逆过程必然是准静态过程,而准静态过程则未必是可逆过程,它只是可逆过程的条件之一。

三、功和热量

热力过程中,系统与外界在不平衡势差的作用下会发生能量转换。能量转换的方式有两种——做功和传热。

功是系统与外界之间在力差的推动下,通过宏观的有序运动(有规则运动)的方式传递的能量。换言之,借做功来传递能量总是和物体的宏观位移有关。

热量是系统与外界之间在温差的推动下,通过微观粒子的无序运动(无规则运动)的方式传递的能量,也就是说,借传热来传递能量,不需要有物体的宏观移动。

功和热量不是状态参数。只有当系统状态发生变化时,才可能有功和热量的传递,所以功和热量的大小不仅与过程的初、终状态有关,而且与过程的性质有关,它们是过程量。

可逆过程的功和热量可分别用 $p-v$ 图和 $T-s$ 图上的相应面积表示。

热力学中规定,系统对外做功时取为正,外界对系统做功时取为负;系统吸热时热量取为正,放热时取为负。

第二节 热力循环

1. 定义

工质从某一初态开始,经历一系列状态变化,最后又回复到初始状态的全部过程称为热力循环,简

称循环。

全部由可逆过程组成的循环称为可逆循环,含有不可逆过程的循环称为不可逆循环。按目的来分,有正循环(动力循环)和逆循环(制冷循环或热泵循环)。

2. 热力循环效率

循环热效率 = $\frac{\text{循环中转换为功的热量}}{\text{工质从热源吸收的总热量}}$

循环热效率

$$\eta_1 = \frac{w_0}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1}$$

制冷系数

$$\epsilon_1 = \frac{q_2}{w_0} = \frac{q_2}{q_1 - q_2}$$

供热系数

$$\epsilon_2 = \frac{q_1}{w_0} = \frac{q_1}{q_1 - q_2} = 1 + \epsilon_1$$

第三章 气体性质

第一节 状态方程

一、理想气体状态方程

理想气体是一种经过科学抽象的假想气体模型,它被假设为:气体分子是一些弹性的、不占有体积的质点,分子相互之间没有作用力(引力和斥力)。

在实际中,有许多气体,如常温常压下的 H_2 , O_2 , N_2 , CO_2 , CO , He 及其混合物,空气,燃气,烟气等,计算时可作为理想气体处理。

理想气体状态方程为:

适用于 1 kg 气体	$pV=R_gT$
适用于 m kg 气体	$pV=mR_gT$
适用于 1 mol 气体	$pV=RT$
适用于 n mol 气体	$pV=nRT$

式中 R_g ——气体常数,与气体所处状态无关,随气体种类不同而异;

R ——通用气体常数,不仅与气体所处状态无关,而且与气体种类无关,任何气体都是相同的。当采用国际单位制时, $R=8.314 \text{ kJ}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。通用气体常数与气体常数之间的关系为 $R_g=R/M$ 。

【例题】某活塞式压气机将某种气体压入储气箱中,压气机每分钟吸入温度为 $t_1=14^\circ\text{C}$, 压强为当地大气压强 $B=100 \text{ kPa}$ 的气体, $V_1=0.3 \text{ m}^3$ 。储气箱的容积 $V=10 \text{ m}^3$ 。压气机开始工作前,储气箱仪表指示为 $p_2=50 \text{ kPa}$, $t_2=16^\circ\text{C}$ 。问经过多少分钟后压气机才能把箱内压力提高到 $p_3=0.6 \text{ MPa}$ 和温度 $t_3=50^\circ\text{C}$ 。

【解】储气箱内气体的初始压强 $p_2=(100+50)\text{kPa}=150 \text{ kPa}$

初始温度 $T_2=(273+16) \text{ K}=289 \text{ K}$

储气箱最终温度 $T_3=(273+50) \text{ K}=323 \text{ K}$

储气箱内原有气体的质量 $m_2=\frac{p_2V}{RT_2} \text{ (kg)}$

储气箱内最终气体的质量 $m_3=\frac{p_3V}{RT_3} \text{ (kg)}$

压气机每分钟压入的气体质量(即压气机的质量流量) $m_1=\frac{BV_1}{RT_1} \text{ (kg/min)}$

由此得所需时间为:

$$\begin{aligned}
 \tau &= \frac{m_3 - m_2}{m_1} = \frac{p_3V/RT_3 - p_2V/RT_2}{BV_1/RT_1} \\
 &= \frac{V(p_3/T_3 - p_2/T_2)}{BV_1/T_1} \\
 &= \left[\frac{10 \times (600/323 - 150/289)}{100 \times 0.3/287} \right] \text{ min} \\
 &= 128.1 \text{ min}
 \end{aligned}$$

二、实际气体状态方程

按照理想气体状态方程式可知,在给定温度下,一定质量的气体, $pV=\text{常数}$,而与压强无关。实际气体则或多或少有偏差,即在给定温度下, $pV \neq \text{常数}$,且随压强变化而变化。

实际气体对理想气体的偏差,主要来自于实际气体分子之间相互作用力与分子本身体积的影响。