

2006修订版

注册公用设备工程师考试 专业基础课精讲精练 暖通空调及 动力专业

赵静野 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

注册公用设备工程师考试

专业基础课精讲精练·暖通 空调及动力专业

赵静野 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

《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》内容分为公共基础部分和专业基础部分。本书紧扣专业基础部分考试大纲，由北京建筑工程学院相关课程富有教学和实践经验的教师编写，具有较强的指导性和实用性。

本书包括工程热力学、传热学、流体力学及泵与风机、自动控制、热工测试技术和机械基础六部分内容，并附有相应的复习题及解题指导，以提高考生复习备考的效率。

本书可作为注册公用设备工程师暖通空调及动力专业基础考试的复习资料，也可作为高等院校建筑环境与设备工程及相关专业师生的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

注册公用设备工程师考试专业基础课精讲精练·暖通空调及动力专业 / 赵静野主编. —北京：中国电力出版社，2005

ISBN 7-5083-2779-9

I. 注... II. 赵... III. 公用事业-基础设施-建筑设计-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（2004）第 126568 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑：刘 嵩 责任印制：陈焊彬

北京丰源印刷厂印刷·各地新华书店经售

2005 年 1 月第 1 版·2006 年 4 月第 5 次印刷

787mm×1092mm 1/16·22.75 印张·550 千字

定价：35.00 元

版权专有 翻印必究

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

本社购书热线电话（010-88386685）

编委会成员

主 编：赵静野

参 编：（排名不分先后）

邱林 许淑惠 马鸿雁 郝学军 王跃进

前 言

本书是按照 2003 年 5 月开始实行的《注册公用设备工程师执业资格制度暂行规定》和《勘察设计注册公用设备工程师制度总体框架实施规划》的规定，以《全国勘察设计注册公用设备工程师暖通空调及动力专业基础考试大纲》的专业基础部分为依据，组织相关课程富有经验的教师编写的。

本书内容包含工程热力学、传热学、流体力学及泵与风机、自动控制、热工测试技术和机械基础等六门课程。大纲要求的职业法规部分，因为有具体的法律、规范和标准文件无需再作为精讲内容，故未包含在本书中。参加本书编写的人员及分工如下：

第 1 章 工程热力学	邱 林
第 2 章 传热学	许淑惠
第 3 章 流体力学及泵与风机	赵静野
第 4 章 自动控制	马鸿雁
第 5 章 热工测试技术	郝学军
第 6 章 机械基础	王跃进

考虑到考生要在有限的时间内复习多门课程，本书对大学教材中的内容进行了提炼、归纳，精选重要复习题并附有解题指导，注重精炼、够用和高效。

本书可作为注册公用设备工程师暖通空调及动力专业基础考试的复习资料，也可作为高等院校建筑环境与设备工程及相关专业师生的参考用书。

在编写过程中，得到了北京建筑工程学院的大力支持，在此表示感谢！

受编者学识所限，加之时间仓促，不足和错误之处恳请广大读者批评指正。

编者

目 录

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 状态	1
1.1.3 平衡 (平衡状态)	2
1.1.4 状态参数	2
1.1.5 状态公理	2
1.1.6 状态方程式	2
1.1.7 热力参数及坐标图	2
1.1.8 功和热量	3
1.1.9 热力过程	3
1.1.10 热力循环	3
1.1.11 单位制	4
1.2 准静态过程、可逆过程与不可逆过程	4
1.2.1 准静态过程	4
1.2.2 可逆过程与不可逆过程	5
1.3 热力学第一定律	5
1.3.1 热力学第一定律的实质	5
1.3.2 内能	5
1.3.3 焓	5
1.3.4 热力学第一定律在闭口系统和开口系统的表达式	5
1.3.5 系统的储存能	6
1.3.6 稳定流动能量方程及其应用	7
1.4 气体性质	8
1.4.1 理想气体模型及其状态方程	8
1.4.2 实际气体模型及其状态方程	10
1.4.3 压缩因子	10
1.4.4 临界参数	10
1.4.5 对比态定律	10
1.4.6 理想气体的比热容	11
1.4.7 混合气体	11
1.5 理想气体基本热力过程及气体压缩	13
1.5.1 定压、定容、定温和绝热过程	13
1.5.2 多变过程	13
1.5.3 压气机的压缩轴功	16
1.5.4 余隙	17
1.5.5 多级压缩及中间冷却	17

1.6 热力学第二定律	17
1.6.1 热力学第二定律的实质及表述	17
1.6.2 卡诺循环和卡诺定理	18
1.6.3 熵	19
1.6.4 孤立系统熵增原理	20
1.7 水蒸气和湿空气	21
1.7.1 蒸发、冷凝、沸腾和汽化	21
1.7.2 水蒸气的定压发生过程	21
1.7.3 水蒸气图表	22
1.7.4 水蒸气的基本热力过程	23
1.7.5 湿空气的性质	23
1.7.6 湿空气的焓湿图	25
1.7.7 湿空气的基本热力过程	27
1.8 气体和蒸汽的流动	27
1.8.1 喷管和扩压管	27
1.8.2 稳定流动基本方程	28
1.8.3 流速、声速和流量	29
1.8.4 喷管流量的计算	29
1.8.5 临界压力比与临界流速	30
1.8.6 绝热节流	31
1.9 动力循环	32
1.9.1 朗肯循环 (Rankine Cycle)	32
1.9.2 回热、再热循环	32
1.9.3 热电循环	33
1.9.4 内燃机循环	33
1.10 制冷循环	34
1.10.1 空气压缩制冷循环	35
1.10.2 蒸汽压缩制冷循环	36
1.10.3 吸收式制冷循环	37
1.10.4 热泵	37
1.10.5 气体的液化	38
复习题	38
复习题答案与提示	47
第2章 传热学	51
2.1 导热理论基础	51
2.1.1 导热基本概念	51
2.1.2 傅里叶定律	52
2.1.3 导热系数	52
2.1.4 导热微分方程	53
2.1.5 导热过程的单值性条件	53
2.2 稳态导热	54

2.2.1 通过平壁的导热	55
2.2.2 通过圆筒壁的导热	56
2.2.3 临界热绝缘直径	57
2.2.4 通过肋壁的导热	57
2.2.5 通过接触面的导热	58
2.2.6 二维稳态导热问题	59
2.3 非稳态导热	59
2.3.1 非稳态导热的特点	59
2.3.2 对流换热边界条件下无限大平壁加热与冷却过程非稳态导热	59
2.3.3 常热流密度边界条件下非稳态导热	61
2.4 导热问题数值解	61
2.4.1 有限差分法原理	61
2.4.2 建立离散方程的方法	62
2.4.3 稳态导热问题的数值计算	63
2.4.4 非稳态导热问题的数值计算	64
2.5 对流换热分析	66
2.5.1 影响对流换热的一般因素	66
2.5.2 对流换热过程微分方程式	66
2.5.3 对流换热微分方程组	66
2.5.4 边界层换热微分方程组及其求解	67
2.5.5 边界层换热积分方程组及其求解	69
2.5.6 动量传递和热量传递的类比	70
2.5.7 相似理论基础	71
2.6 单相流体对流换热及准则关系式	73
2.6.1 管内受迫流动换热	73
2.6.2 管内受迫对流换热计算	75
2.6.3 外掠圆管流动换热	75
2.6.4 自然对流换热	76
2.6.5 自然对流与受迫对流并存的混合对流换热	77
2.7 凝结与沸腾换热	77
2.7.1 凝结换热	77
2.7.2 沸腾换热	78
2.8 热辐射的基本定律	79
2.8.1 热辐射基本概念	79
2.8.2 普朗克 (MPlanck) 定律	80
2.8.3 斯蒂芬-玻尔兹曼 (Stefen-Boltzmann) 定律	81
2.8.4 兰贝特 (Lambert) 余弦定律	81
2.8.5 基尔霍夫 (Kirchhoff) 定律	81
2.9 辐射换热计算	82
2.9.1 角系数	82
2.9.2 黑表面间的辐射换热	82
2.9.3 灰表面间的辐射换热	83
2.9.4 气体辐射	85

2.9.5 气体与外壳间的辐射换热	85
2.9.6 太阳辐射	86
2.10 传热与换热器	87
2.10.1 通过肋壁的传热	87
2.10.2 复合换热时的传热计算	88
2.10.3 传热的增强与削弱	88
2.10.4 平均温度差	89
2.10.5 换热器计算	89
复习题	91
复习题答案与提示	98

第3章 工程流体力学及泵与风机

104

3.1 流体动力学基础	104
3.1.1 描述流体运动的两种方法	104
3.1.2 恒定流动和非恒定流动	105
3.1.3 恒定元流能量方程	105
3.1.4 恒定总流能量方程	107
3.2 相似性原理和因次分析	109
3.2.1 力学相似	109
3.2.2 相似准数	110
3.2.3 因次分析法	111
3.2.4 模型实验	113
3.3 流动阻力和能量损失	114
3.3.1 流动阻力和能量损失的分类	114
3.3.2 层流和紊流现象	115
3.3.3 均匀流方程	115
3.3.4 圆管中的层流	116
3.3.5 紊流运动	117
3.3.6 沿程阻力的计算	117
3.3.7 非圆管的沿程损失	119
3.3.8 局部水头损失	119
3.3.9 减少阻力的措施	120
3.4 管路计算	121
3.4.1 简单管路的计算	121
3.4.2 串联管路的计算	123
3.4.3 并联管路的计算	123
3.5 特定流动分析	124
3.5.1 势函数和流函数概念	124
3.5.2 几种简单的平面无旋流动	125
3.5.3 圆柱形测速管原理	126
3.5.4 紊流射流的一般特性	127
3.5.5 特殊射流	129

3.6 气体动力学基础	130
3.6.1 理想气体一元恒定流动的运动方程	131
3.6.2 声速、滞止参数、马赫数	131
3.6.3 气体速度与断面的关系	132
3.7 泵与风机	133
3.7.1 泵与风机的性能曲线	133
3.7.2 管路性能曲线及工作点	134
3.7.3 泵或风机的联合运行	136
3.7.4 离心式泵或风机的工况调节	136
3.7.5 泵的气蚀与安装高度	137
3.7.6 泵或风机的选择	138
复习题	138
复习题答案与提示	149
第4章 自动控制	157
4.1 自动控制与自动控制系统的一般概念	157
4.1.1 控制工程的基本含义	157
4.1.2 信息的传递	158
4.1.3 反馈及反馈控制	158
4.1.4 开环及闭环控制系统的构成	159
4.1.5 控制系统的分类及基本要求	162
4.2 控制系统的数学模型	163
4.2.1 控制系统各环节的特性	164
4.2.2 控制系统微分方程的拟定与求解	170
4.2.3 拉普拉斯变换与反变换	172
4.2.4 传递函数及其方块图	176
4.3 线性系统的分析与设计	182
4.3.1 基本调节规律及实现方法	182
4.3.2 控制系统的一阶瞬态响应	187
4.3.3 二阶瞬态响应	188
4.3.4 频率特性基本概念	191
4.3.5 频率特性表示方法	192
4.3.6 调节器的特性对调节质量的影响	200
4.3.7 二阶系统的设计方法	202
4.4 控制系统的稳定性与对象的调节性能	205
4.4.1 稳定性基本概念	205
4.4.2 稳定性与特征方程根的关系	205
4.4.3 代数稳定判据	205
4.4.4 对象的调节性能指标	207
4.5 掌握控制系统的误差分析	208
4.5.1 误差及稳态误差	208
4.5.2 系统类型及误差度	208

4.5.3 静态（稳态）误差系数	208
4.6 控制系统的综合和校正	209
4.6.1 校正的概念	209
4.6.2 串联校正装置的形式及其特性	209
4.6.3 继电器调节系统（非线性系统）及校正	211
复习题	217
复习题答案与提示	227
第5章 热工测试技术	232
5.1 测量技术的基本知识	232
5.1.1 测量	232
5.1.2 测量精度与测量误差	233
5.1.3 常见测量方法	234
5.1.4 仪表的测量范围与测量精度	236
5.1.5 仪表的稳定性	237
5.1.6 静态特性和动态特性	237
5.1.7 传感器	238
5.1.8 传输通道	238
5.1.9 变换器	238
5.2 温度的测量	239
5.2.1 温度与温标	239
5.2.2 热电材料	240
5.2.3 热电效应测温原理	240
5.2.4 膨胀效应测温原理及其应用	241
5.2.5 热电回路性质及理论	241
5.2.6 热电偶结构及使用方法	242
5.2.7 热电阻测温原理及常用材料、常用组件的使用方法	242
5.2.8 温度计	243
5.2.9 温度变送器	244
5.2.10 测温布置技术	244
5.3 湿度的测量	245
5.3.1 干湿球温度计测量原理	245
5.3.2 干湿球电学测量和信号传送传感	245
5.3.3 露点仪	245
5.3.4 露点仪测湿布置技术	247
5.4 压力的测量	247
5.4.1 压力计	247
5.4.2 传感器	248
5.4.3 压力仪表的选用和安装	249
5.5 流速的测量	250
5.5.1 流速测量原理	250
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型动压管(毕托管)	251
5.5.5 测速仪	252
5.5.6 流速测量布置技术	252
5.6 流量的测量	253
5.6.1 节流法和容积法测流量	253
5.6.2 流量计	254
5.6.3 流量测量的布置技术	258
5.7 液位的测量	258
5.7.1 常见测液位方法	258
5.7.2 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	259
5.9 误差与数据处理	259
5.9.1 误差函数的分布规律	259
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	260
5.9.3 测量结果表达	260
5.9.4 间接测量最优值、标准误差、误差传播理论、微小误差原则、误差分配	261
5.9.5 组合测量原理	263
5.9.6 最小二乘法原理	263
5.9.7 经验公式法	263
5.9.8 相关系数	264
5.9.9 回归分析	264
5.9.10 显著性检验及分析	264
5.9.11 过失误差处理	264
5.9.12 系统误差处理方法及消除方法	264
5.9.13 误差的合成定律	264
复习题	266
复习题答案与提示	272
第6章 机械基础	275
6.1 概述	275
6.1.1 机械设计的一般原则和程序	275
6.1.2 机械零件的设计准则	278
6.1.3 许用应力和安全系数	278
6.2 平面机构的自由度	281
6.2.1 运动副及其分类	281
6.2.2 平面机构运动简图	282
6.2.3 具有确定运动的条件及平面机构自由度	283
6.3 平面连杆机构	285
6.3.1 铰链四杆机构的基本型式和特性	285

6.3.2 曲柄存在的条件	286
6.3.3 铰链四杆机构的演化	287
6.4 凸轮机构	289
6.4.1 凸轮机构的应用和类型	289
6.4.2 从动件的常用运动规律	290
6.4.3 直动从动件盘形凸轮机构的轮廓曲线的绘制	292
6.5 螺纹联接	294
6.5.1 螺纹的常用类型和主要参数	294
6.5.2 螺旋副的受力分析、效率和自锁	295
6.5.3 螺纹联接的基本类型	296
6.5.4 螺纹联接的强度计算	297
6.5.5 螺纹联接设计时应注意的问题	298
6.6 带传动	299
6.6.1 带传动的工作情况分析	299
6.6.2 普通 V 带传动的主要参数和选择计算	301
6.6.3 带轮的材料和结构	306
6.6.4 带传动的张紧与维护	307
6.7 齿轮机构	307
6.7.1 齿轮机构的特点与类型	307
6.7.2 直齿圆柱齿轮各部分名称和尺寸	307
6.7.3 渐开线齿轮的正确啮合条件和连续传动条件	309
6.7.4 齿轮的失效	309
6.7.5 直齿圆柱齿轮的强度计算	310
6.7.6 斜齿圆柱齿轮传动及其受力分析	314
6.7.7 齿轮的结构	315
6.7.8 蜗杆传动	316
6.8 轮系	317
6.8.1 定轴轮系及其传动比	318
6.8.2 周转轮系及其传动比	319
6.9 轴	320
6.9.1 轴的分类	320
6.9.2 轴的材料	321
6.9.3 轴的结构	321
6.9.4 轴的计算	322
6.9.5 轴毂联接类型	324
6.10 滚动轴承	326
6.10.1 滚动轴承的分类	326
6.10.2 滚动轴承的代号	328
6.10.3 滚动轴承的选择计算	330
复习题	332
复习题答案与提示	344
参考文献	350

第1章 工程热力学

考试大纲

1. 基本概念：热力学系统 状态 平衡 状态参数 状态公理 状态方程 热力参数及坐标图 功和热量 热力过程 热力循环 单位制
2. 准静态过程 可逆过程和不可逆过程
3. 热力学第一定律：热力学第一定律的实质 内能 焓 热力学第一定律在开口系统和闭口系统的表达式 储存能 稳定流动能量方程及其应用
4. 气体性质：理想气体模型及其状态方程 实际气体模型及其状态方程 压缩因子 临界参数 对比态及其定律 理想气体比热 混合气体的性质
5. 理想气体基本热力过程及气体压缩：定压 定容 定温和绝热过程 多变过程 气体压缩轴功 余隙 多级压缩和中间冷却
6. 热力学第二定律：热力学第二定律的实质及表述 卡诺循环和卡诺定理 熵 孤立系统 熵增原理
7. 水蒸汽和湿空气：蒸发 冷凝 沸腾 汽化 定压发生过程 水蒸气图表 水蒸气基本 热力过程 湿空气性质 湿空气焓湿图 湿空气基本热力过程
8. 气体和蒸汽的流动：喷管和扩压管 流动的基本特性和基本方程 流速 音速 流量 临界状态 绝热节流
9. 动力循环 朗肯循环 回热和再热循环 热电循环 内燃机循环
10. 致冷循环：空气压缩致冷循环 蒸汽压缩致冷循环 吸收式致冷循环 热泵 气体的液化

1.1 基本概念

1.1.1 热力学系统

1. 定义

根据研究问题的需要，人为地选取一定范围内的物质作为研究对象，称其为热力学系统，简称为系统。热力学系统以外的物质称为外界。热力学系统与外界的交界面称为边界。边界的选取可以是真实的、假想的、固定的，也可以是运动的；还可以是这几种边界面的组合。

2. 分类

按系统与外界的质量和能量交换情况的不同，热力学系统可分为：

闭口系：热力学系统与外界无质量交换的系统。由于系统所包含的物质质量保持不变，亦称之为控制质量系统。对于闭口系，常用控制质量法来研究。

开口系：热力学系统与外界有物质交换的系统。开口系通常总是取一相对固定的空间，又称为控制容积系统，对其常用控制容积法来研究。

绝热系：热力学系统与外界无热量交换的系统。

孤立系：热力学系统与外界无任何能量和物质交换的系统。

1.1.2 状态

热力学系统在某一瞬间所呈现的宏观物理状况称为系统的状态。热力状态反映着工质大

量分子热运动的平均特点，系统与外界之间能够进行能量交换的根本原因在于两者之间的热力状态存在差异。从热力学的观点出发，状态可分为平衡和非平衡两种。

1.1.3 平衡（平衡状态）

1. 定义

平衡态是指在没有外界影响（重力场除外）的条件下，系统的宏观性质不随时间变化的状态。

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的消失，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，而不是平衡态。可见，平衡必稳定，反之，稳定未必平衡。

平衡状态具有确定的状态参数，这是平衡状态的特点。

1.1.4 状态参数

描述系统工质状态的客观物理量称为状态参数。状态参数有如下性质：

(1) 状态参数的变化只取决于给定的初、终状态，与变化过程所经历的路径无关，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

($\oint dx = 0, x$ 为状态参数)。

(2) 状态参数是点函数，它的微分是全微分。

1.1.5 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，简单可压缩系统平衡态的独立参数只有 2 个。原则上，可以选取可测量参数 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。

1.1.6 状态方程式

对于平衡状态下基本状态参数之间，可以写成 $v = v(p, T)$ 或 $f(p, v, T) = 0$ 之间的关系，称为状态方程式。状态方程式的具体形式取决于工质的性质。

1.1.7 热力参数及坐标图

在热力学中，常用的状态参数有 6 个，即压力（ p ）、温度（ T ）、比体积（ v ）、内能（ U ）、焓（ H ）和熵（ S ）。这些参数可分为强度参数（与系统内所含工质的数量无关）和广延参数（与系统内所含工质的数量有关）。如 T 等为强度参数， U 、 H 、 S 为广延参数。广延参数具有可加性，在系统中，它的总和等于系统内各部分同名参数值之和。单位质量的广延参数具有强度参数的性质，称为比参数。

在常用的 6 个状态参数中，压力、比体积和温度可以直接用仪表测定，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。基本状态参数有：

(1) 比体积：比体积是单位质量的工质所占有的体积，单位为“ m^3/kg ”。

(2) 压力：压力是指单位面积上承受的垂直作用力。对于气体，实质上是气体分子运动撞击容器壁面，在单位面积的容器壁面上所呈现的平均作用力。压力的单位是帕（斯卡）（Pa），有时也用千帕（kPa）和兆帕（MPa）。工质的真实压力 p 称为绝对压力。流体的压力常用压力表或真空表来测量。压力表测量的压力为表压 p_g ，真空表测量的压力为真空度 H ，表压和真空度又称为相对压力，相对压力是绝对压力与外界大气压力 B 的差值。

$$\text{当 } p > B \text{ 时, } p = B + p_g \quad (1-1)$$

$$\text{当 } p < B \text{ 时, } p = B - H \quad (1-2)$$

(3) 温度 T ：温度 T 是确定一个系统是否与其他系统处于热平衡的状态函数。换言之，温度是热平衡的唯一判据。温度的数量表示法称为温标。温标的建立一般需要选定测温物质及其某一物理性质，规定基准点及分度方法。

热力学温标，是建立在热力学第二定律基础上的而完全不依赖测温物质性质的温标。它采用开尔文（K）作为度量温度的单位，规定水的气、液、固三相平衡共存的状态点（三相点）为基准点，并规定此点的温度为 273.16K。与热力学温度并用的有摄氏温度，其单位为摄氏度（ $^{\circ}\text{C}$ ）， $t = T - 273.15\text{K}$ 。显然，摄氏温度的零点相当于热力学温度的 273.15K，而且这两种温标的温度间隔完全相同。

对于只有 2 个独立参数的热力系，可以任选 2 个参数组成二维平面坐标图来描述被确定的平衡状态，这种坐标图称为状态参数坐标图。显然，不平衡状态由于没有一确定的参数，所以在坐标图上无法表示。经常应用的状态参数坐标图有压容图 $p-v$ 图和温熵图 $T-s$ 图等。利用坐标图进行热力分析，既直观清晰，又简单明了。

1.1.8 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。

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

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

1.1.9 热力过程

热力过程是指热力系从一个状态向另一个状态变化时所经历的全部状态的总和。

1.1.10 热力循环

工质由某一初态出发，经历一系列热力状态变化后，又回到原来初态的封闭热力过程称

为热力循环，简称循环。系统实施热力循环的目的是为了实现预期连续的能量转换。

循环按照性质来分有可逆循环（全部由可逆过程组成的循环）和不可逆循环（含有不可逆过程的循环）。按照目的来分，有正向循环（即动力循环）和逆向循环（即制冷循环或热泵循环）。

循环热效率 η_i 为

$$\eta_i = \frac{\omega}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} = 1 - \frac{q_2}{q_1} \tag{1-3}$$

制冷系数 ϵ 为

$$\epsilon = \frac{q_2}{\omega} = \frac{q_2}{q_1 - q_2} \tag{1-4}$$

供热系数 ϵ' 为

$$\epsilon' = \frac{q_1}{\omega} = \frac{q_1}{q_1 - q_2} \tag{1-5}$$

1.1.11 单位制

热工学中设计的物理量比较多，采用的单位制有工程单位制，国际单位制等等。本教材均统一采用国际单位制（SI）。工程热力学中常用量的国际单位见表 1-1。

表 1-1 工程热力学常用量国际单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
力	牛[顿]	N(kg·m/s ²)
压力,压强	帕[斯卡]	Pa(N/m ²)
能[量],功,热量	焦[耳]	J(N·m)
功率	瓦[特]	W(J/s)
热流密度	瓦[特]每平方米	W/m ²
比热容,比嫡	焦[耳]每千克开[尔文]	J/(kg·K)
热容,嫡	焦[耳]每开[尔文]	J/K
比内能,比焓	焦[耳]每千克	J/kg

1.2 准静态过程、可逆过程与不可逆过程

1.2.1 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：推动过程进行的势差无限小，以保证系统在任意时刻皆无限接近于平衡态。

特点：准静态过程是实际过程进行得足够缓慢的极限情况。

工程上的大多数过程，由于热力学系统恢复平衡的速度很快，可以作为准静态过程分析。建立准静态过程概念的好处：