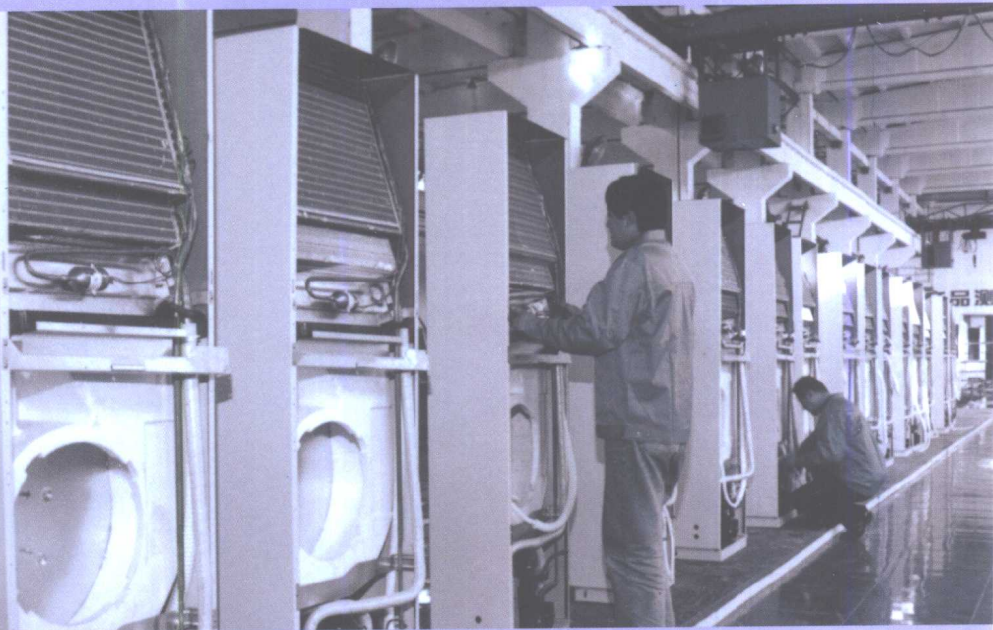


机械工业技师考评培训教材

制冷设备维修工 技师培训教材

机械工业技师考评培训教材编审委员会 编



- ★ 机械行业首套技师培训教材
- ★ 按照技师考评要求编写
- ★ 集教材与试题库于一体



机械工业出版社
China Machine Press

机械工业技师考评培训教材

制冷设备维修工技师 培训教材

机械工业技师考评培训教材编审委员会 编



机械工业出版社

本书系统介绍了制冷空调技术的理论基础知识和制冷原理、空调原理,介绍了制冷压缩机、辅助设备、制冷系统、制冷空调设备的结构、工作原理和电气控制,以及设备的安装、调试、管理、操作、维护、检修和故障处理,还介绍了有关机电一体化、可编程控制器、计算机辅助设计(CAD)、企业管理等方面的基本知识。书中附有大量图表,书后还附有习题和答案。

本书是从事制冷空调行业制造、安装、使用、维修、管理等各类技术工人进行制冷工技师考评的培训教材,也可作为本行业工程技术人员和大专院校有关专业师生的工作和学习参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

制冷设备维修工技师培训教材/机械工业技师考评培训教材编审委员会编. —北京:机械工业出版社, 2001.7

机械工业技师考评培训教材

ISBN 7-111-08850-6

I. 制… II. 机… III. 制冷—设备—维修—技术培训—教材
IV. TB657

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 051751 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:郑文斌 版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:方 芬 责任印制:郭景龙

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷

890mm×1240mmA5·14.25 印张·1 插页·421 千字

0 001—4 000 册

定价:26.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

机械工业技师考评培训教材

编审委员会名单

主 任：郝广发 苏泽民

副 主 任：施 斌 李超群

委 员：(按姓氏笔画排序)马登云 边 萌 王兆山
王听讲 朱 华 朱为国 刘亚琴 江学卫
何月秋 张乐福 余茂祚 卓 炜 季连海
荆宏智 姜明龙 徐从顺

技术顾问：杨溥泉

主 编：毛永年

参 编：刘晓俊 何元季 张 力 易 涛 葛 君
韩旭东 孙燕华 倪森寿 吴宜平 周桂瑾
朱福祥

主 审：刘凤田

参 审：李 枫 韩希春 汪木兰 郁汉琪 陈瑞彬

前 言

技师是技术工人队伍中具有高级技能的人才，是生产第一线的一支重要力量，他们对提高产品质量、提高产品的市场竞争力起着非常重要的作用。积极稳妥地开展技师评聘工作，对于鼓励广大技术工人钻研业务、提高技能水平、推动企业生产技术进步以及稳定技术工人队伍有积极的促进作用。

为适应经济发展和技术进步的客观需要，进一步完善技师评聘制度，以加快高级技能人才的培养，拓宽技能人才成长通道，促进更多的高级技能人才脱颖而出，1999年，劳动和社会保障部发出了《关于开展技师考评社会化管理试点工作的通知》，《通知》中提出了如下指导意见：扩大技师考评的对象及职业范围，完善技师考评的依据及内容，改进技师考评方式方法，实行技师资格认定与聘任分开等，并在全国部分省市开始技师考评社会化管理试点。

为配合技师评聘工作的开展，满足机械行业对工人技师培训和考评的需要，加快技师培训教材建设，我们经过到上海、江苏、四川等地进行广泛的调研，并结合《通知》精神，确立了教材编写的总体思路；组织了一批由工程技术人员、教师、技师、高级技师组成的编写队伍，编写了这套《机械工业技师考评培训教材》。全套教材共22种，包括四种基础课教材和车工、钳工、机修钳工、工具钳工、铣工、磨工、焊工、铸造工、锻造工、热处理工、电工、维修电工、冷作工、涂装工、汽车维修工、摩托车调试修理工、制冷设备维修工、电机修理工等18个专业工种教材。

基础课教材以原机械工业部、劳动部联合颁发的机械工业《工人技术等级标准》和《职业技能鉴定规范》相关工种高级工“知识要求”中的“基本知识”和“相关知识”为主编写；专业工种教材则以本工种高级工“知识要求”中的“专业知识”为主编写，在此基础上，加强了工艺分析方面内容的比重，并增加了新知识、新工艺、新

技术、新方法等方面的内容，以适合新形势的需要。

每本书的内容包括两大部分：第一部分为培训教材，第二部分为试题库，试题库后还附有考核试卷样例。教材部分内容精炼、实用，有针对性和通用性，主要介绍应重点培训和复习的内容，不强求内容的系统性；试题部分出题准确、题意明确，有典型性、代表性、通用性和实用性，试题题型有是非题、选择题、计算题和简答题等，并附有答案。书末还附有技师论文写作与答辩要点。

全套教材汲取了有关教材的优点，略去了低起点的内容，同时采用了最新国家标准和法定计量单位。全套教材既适合考前短期培训用，又可作为考前复习和自测使用，也可供技师考评及职业技能鉴定部门在命题时参考。

由于我们是首次尝试编写技师培训教材，因此教材中难免存在不足和错误，诚恳地希望专家和广大读者批评指正。

机械工业技师考评培训教材编审委员会

目 录

前 言

第一章 热力学基础	1
第一节 热力学的基本概念	1
第二节 热力学第一定律及其应用	7
第三节 热力学第二定律及其应用	12
第四节 气液集态变化和蒸气的热力性质	14
第二章 流体力学、传热学基础	20
第一节 流体力学基本概念	20
第二节 流动阻力和能量损失	22
第三节 传热与换热器	25
第三章 制冷剂、载冷剂、冷冻机油	31
第一节 蒸气压缩式制冷常用制冷剂	31
第二节 吸收式制冷机常用工质	35
第三节 载冷剂	36
第四节 冷冻机油	37
第四章 制冷原理	39
第一节 蒸气压缩式制冷	39
第二节 吸收式制冷	45
第三节 热电制冷	48
第四节 热泵	50
第五章 空气调节原理	52
第一节 湿空气	52
第二节 空调负荷	57

第三节	送风状态和送风量	61
第四节	空气热湿处理过程与设备	63
第六章	制冷压缩机	70
第一节	活塞式制冷压缩机	70
第二节	回转式制冷压缩机	74
第三节	离心式制冷压缩机	78
第七章	换热器及压力容器	80
第一节	冷凝器	80
第二节	蒸发器	83
第三节	其他热交换器	85
第四节	制冷装置用压力容器	88
第八章	节流机构及辅助设备	92
第一节	节流机构	92
第二节	辅助设备	96
第九章	制冷系统	100
第一节	单级压缩制冷系统	100
第二节	两级压缩制冷系统	104
第三节	复叠式制冷系统	107
第十章	常见制冷空调设备	111
第一节	冷藏冷冻设备	111
第二节	低温与环境试验设备	118
第三节	车、船用制冷设备	120
第四节	压缩冷凝机组	125
第五节	冷水机组	130
第六节	空气调节设备	136
第七节	中央空调系统	145
第十一章	制冷空调设备的自动控制	152
第一节	制冷空调设备的自控器件	152

第二节	制冷空调设备常用测量仪表	165
第三节	空调系统用控制元件	169
第四节	制冷空调设备常见控制电路	173
第十二章	制冷系统的安装与调试	192
第一节	制冷设备的安装	192
第二节	制冷系统管路的安装	195
第三节	制冷系统的调试	200
第十三章	空调系统的安装与调试	209
第一节	独立式空调设备的安装与调试	209
第二节	中央空调系统的安装、使用和空调试调	218
第十四章	制冷空调设备的管理与操作	223
第一节	制冷空调设备的常规管理	223
第二节	制冷压缩机的运转管理	225
第三节	制冷系统的运转管理	228
第十五章	制冷空调设备的维护与检修	234
第一节	日常维护和定期检修	234
第二节	设备检修基本知识	240
第三节	检测仪表的使用与检修	246
第十六章	常见设备故障分析与处理	259
第一节	制冷压缩机常见故障与处理	259
第二节	制冷系统常见故障与处理	267
第三节	电冰箱常见故障与处理	271
第四节	冷库常见故障与处理	274
第五节	房间空调器常见故障与处理	275
第六节	单元式空调机常见故障与处理	277
第七节	汽车空调常见故障与处理	280
第八节	冷水机组常见故障与处理	282
第九节	风机盘管常见故障与处理	286

第十七章 四新知识	287
第一节 机电一体化概论	287
第二节 可编程控制器的应用	304
第三节 计算机辅助设计基础	321
第四节 现代管理	332
试题库	343
一、是非题 试题 (343) 答案 (405)	
二、选择题 试题 (361) 答案 (406)	
三、计算题 试题 (388) 答案 (407)	
四、简答题 试题 (389) 答案 (410)	
考核试卷样例	394
第一套试卷	394
第二套试卷	397
第三套试卷	401
附录	424
附录 A 制冷工程常用单位换算表	424
附录 B 制冷剂的热力性质表	426
附录 C 制冷剂和湿空气的热力性质图	433
附录 D 技师论文写作与答辩要点	439
参考文献	443

第一章 热力学基础

培训要点 本章从工程技术的角度介绍了热力学的基本概念，热力学第一定律和热力学第二定律的表述及应用，以及气液集态变化和蒸气的热力性质等方面的基本知识。

第一节 热力学的基本概念

一、热力系统与工质

1. 热力系统 热力学研究中指定的具体研究对象称为热力系统，简称系统。系统以外的周围环境称为外界或环境，系统与外界的分界面称为边界。与外界无质量交换的系统称为闭口系统（或闭口系）；与外界有质量交换的系统称为开口系统（或开口系）；与外界没有热量交换的系统称为绝热系统。在工程中，应以合理和方便解决问题为原则，恰当地选取热力系统。

2. 工质 凡是用来实现热能与机械能的转换或用来传递热能的工作物质统称为工质。工质应具有良好的膨胀性（或可压缩性）和流动性，各种气体、蒸气及其液体是工程上常用的工质。在制冷系统中，工质又称为制冷剂，如氨、氟利昂等。

二、系统的热力状态及基本状态参数

1. 热力状态 系统中工质在某一瞬间表现在热力现象方面的总状况，称为系统的热力状态，简称状态。描述系统状态的物理量称为状态参数。状态参数的取值由状态所决定。工质的状态变化时，初、终两态状态参数的差值仅与初、终两态有关，而与状态变化的过程无关。在不受外界影响时，经过一定时间，系统内各处工质的状态参数达到均匀一致，且不随时间而变化的状态称为热力平衡状态，简称平衡态。处于平衡态的系统才具有确定的状态参数，而非平衡态系统的状态参数是不确定的。工程热力学中研究的状态均为平衡态。

2. 基本状态参数 热力学中常见的状态参数有：温度（ T 、 t ）、

压力 (p)、质量体积 (v)、内能 (U 、 u)、焓 (H 、 h)、熵 (S 、 s) 等, 其中温度、压力、质量体积可以直接或间接地用仪表测量出来, 称为基本状态参数, 其余参数可以通过基本状态参数推导出来, 称为导出状态参数。

(1) 温度 宏观上温度是表示物体冷热程度的物理量; 微观上温度标志物质内部分子热运动的激烈程度。温度可用各种测温仪表来测量。衡量温度的标尺称为温标。常用温标有热力学温标, 用 T 表示, 单位为 K ; 摄氏温标用 t 表示, 单位为 $^{\circ}C$; 华氏温标, 用 θ 表示, 单位为 $^{\circ}F$ 。三种温标的换算关系见式 (1-1)、(1-2)。

$$T \approx t + 273 \quad \text{或} \quad t \approx T - 273 \quad (1-1)$$

$$t = \frac{5}{9} (\theta - 32) \quad \text{或} \quad \theta = \frac{9}{5} t + 32 \quad (1-2)$$

(2) 压力 流体作用于容器单位面积上的垂直作用力称为压强, 而在工程上, 人们习惯上常把液体或气体的压强统称为压力, 用 p 表示, 压力的国际制单位 (SI 单位) 为 Pa , $1Pa = 1N/m^2$, 使用中常采用 kPa 、 MPa 作压力单位。

(3) 质量体积 (比体积) 单位质量工质所占空间体积称为质量体积, 用 v 表示, 单位为 m^3/kg 。设容器内有均质流体质量为 m , 单位为 kg , 所占空间体积为 V , 单位为 m^3 , 则该工质的质量体积为

$$v = \frac{V}{m} \quad (1-3)$$

三、理想气体的状态方程

理想气体就是不考虑分子本身的体积, 分子之间没有相互作用力, 分子之间的碰撞为弹性碰撞的气体。工程常用的气体, 如氢、氧、氮等在多数情况下均可作理想气体看待。理想气体在任何平衡状态下其压力、质量体积、温度之间存在下列关系

$$1kg \text{ 理想气体} \quad pv = RT \quad (1-4a)$$

$$m \text{ kg 理想气体} \quad pV = mRT \quad (1-4b)$$

式 (1-4) 称为理想气体的状态方程, 简称气态方程。式中各量单位必须采用国际制单位, 式中的比例系数 R 称为气体常数, 单位为 $J/(kg \cdot K)$ 。不同气体的 R 是不同的, 如空气和水蒸气的 R 相应为 287

和 $461.5 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。对于一定质量的某种理想气体, mR 为定值, 当其由状态 1 (p_1 、 V_1 、 T_1) 变化到状态 2 (p_2 、 V_2 、 T_2) 时, 由式 (1-4b) 可推得

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (1-5)$$

由式 (1-5) 可推导出理想气体是严格遵守物理学中的三条气体实验定律 (波 - 马定律、盖·吕定律和查理定律) 的气体, 式 (1-5) 也是理想气体状态方程的另一种表达形式。

四、内能、焓、熵及状态参数坐标图

1. 内能 内能是储存在系统工质内部的能量。在分子尺度上内能是工质分子热运动动能和分子间相互作用而产生的分子势能的总和。单位质量工质的内能用 u 表示, 单位为 J/kg 或 kJ/kg ; $m \text{ kg}$ 工质的内能用 U 表示, 单位为 J 或 kJ 。分子热运动动能与工质的温度有关, 分子势能与工质的质量体积有关, 因此内能取决于工质的温度和质量体积, $u = f(t, v)$, 是系统的导出状态参数。对于理想气体, 由于不考虑分子间作用力而与质量体积无关, 因而 $u = f(t)$ 。系统的内能增加时 Δu 取正号, 反之取负号。

2. 焓 焓是系统的组合状态参数, 是物质进出开口系统时带入或带出的内能与流动功之和, 是随物质一起转移的能量。单位质量工质的焓称为比焓, 用 h 表示, 单位为 J/kg 或 kJ/kg , $h = u + pv$ 。 $m \text{ kg}$ 工质的焓用 H 表示, 单位为 J 或 kJ , $H = mh = U + pV$ 。对于理想气体, $h = u + pv = f(t)$, 可见, 理想气体的焓和内能一样也仅由温度决定。

3. 熵 熵是系统的一个导出状态参数。热力学熵用它在微小的可逆状态变化过程中的微小变化量来定义。在微元可逆过程中, 1 kg 工质的传热量为 δq , $m \text{ kg}$ 工质的传热量为 δQ , 工质的温度为 T , 则

$$1 \text{ kg 工质熵的微小变化量 } ds = \frac{\delta q}{T} \quad (1-6a)$$

$$m \text{ kg 工质熵的微小变化量 } dS = \frac{\delta Q}{T} = mds \quad (1-6b)$$

4. 状态参数坐标图 由两个相互独立的状态参数为坐标轴所构

成的直角坐标系称为状态参数坐标图。状态参数坐标图可用于描述气态工质的平衡态，不平衡态则不能在图上表示，工质的状态、过程均可以在坐标图上以点或曲线形式进行标注。常见的坐标图有压-容图 ($p-v$ 图)、温-熵图 ($T-s$ 图)、压-焓图 ($\lg p-h$ 图)，如图1-1所示。 $p-v$ 图中的过程线与横轴所围的面积可以代表容积功，因而又称为示功图； $T-s$ 图的相应面积可以表示为传热量，因而又称为示热图，同时还可以根据 $\Delta s > 0$ 、 $\Delta s < 0$ 、 $\Delta s = 0$ 确定过程是吸热、放热还是绝热，对过程进行理论分析； $\lg p-h$ 图中的横坐标线段即表示热量，可用于热力计算和过程分析。

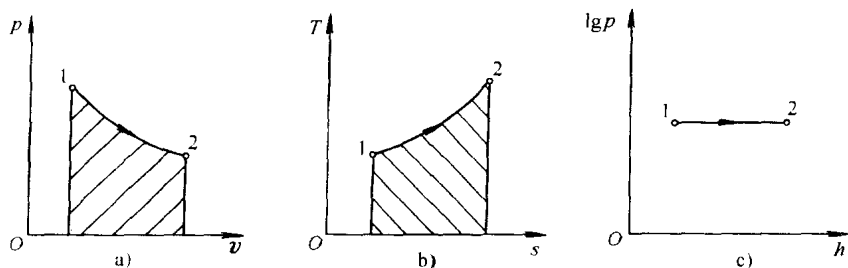


图 1-1 状态参数坐标图

a) 压-容图 b) 温-熵图 c) 压-焓图

五、热力过程

1. 热力过程和热力循环 系统与外界存在相互作用时，该系统状态参数将发生变化，这种系统状态连续变化的过程叫作热力过程，简称过程。如果系统从某一状态出发经历一系列状态变化后又回到初态，这种封闭的热力过程称为热力循环，简称循环。热机和制冷机都是利用热力循环来实现能量的转换或转移的。

2. 准静态过程 如果系统从一个状态向另一个状态变化时，所经历的各个中间状态为一系列连续的、依次相差为无穷小的平衡态，这种热力过程称为准静态过程。工程上的热力过程，通常视为准静态过程。准静态过程可以在状态参数坐标图上用连续曲线表示。

3. 可逆过程和不可逆过程 当某一准静态过程结束后，若系统能沿原路线（即经历完全相同的中间平衡态）反向回复到原态，且对外界不留下任何影响，则称此过程为可逆过程。可逆过程是一种理想

过程，其实现条件为做功无摩擦，传热无温差。而在实际过程中，没有温差就不能传热，做功必有摩擦，因此都是不可逆过程。不可逆过程的精确分析计算是十分困难的，工程上常将接近准静态过程的热力过程近似当作可逆过程来研究。

六、功和热量

功和热量是系统与外界之间通过边界进行能量传递的两种本质不同的方式。做功和传热都与系统的状态变化相联系，并与实现状态变化的具体热力过程相关。功和热量都不是系统的状态参数，而是过程量。

1. 功 热力学中，功是指除温差以外的其他不平衡势差所引起的系统与外界之间传递的能量。热力学涉及的功包括容积功和流动功。热力学规定：系统对外界做功时，功为正值；而外界对系统做功时，功为负值。在国际单位制中，功的单位为 J， $1\text{J} = 1\text{N} \cdot \text{m}$ 。单位时间内系统与外界通过做功交换的能量称为功

率，单位为 W， $1\text{W} = 1\text{J}/\text{s}$ 。

(1) 容积功 在工质与外界间的压力差的作用下，工质的容积发生变化，工质对外界所作的功（膨胀功）或外界对工质所作的功（压缩功）统称为容积功。1kg 工质的容积功用 w 表示， $m\text{kg}$ 工质的容积功用 W 表示。如图1-2所示，若 1kg 工质气体经可逆过程膨胀，从状态 1 变化到状态 2 时，其微元过程所作微功 δw 及总容积功 w 的计算式分别为

$$\delta w = p dv \quad (1-7a)$$

$$w = \int_1^2 p dv \quad (1-7b)$$

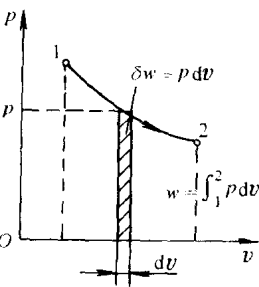


图 1-2 气体膨胀过程曲线

图 1-2 中气体膨胀过程线 1→2 与横轴所围面积就代表总容积功 w 。无论气体是膨胀还是压缩，只要过程可逆，其容积功都可以用式 (1-7) 进行计算。如为等压过程，则有 $w = p (v_2 - v_1)$ ，或 $W = p (V_2 - V_1)$ 。

(2) 流动功 在制冷与空调工程中，系统的工质是流动的，而且

通常是在稳定的工况下做稳定流动,即流道中任意截面处工质的状态参数(如 p 、 v 、 T)及宏观运动参数(如流速 c)都保持一定,不随时间改变。当工质流入或流出系统界面时,它必须推开前方的流体,对前方的流体做功,这种功称为流动功。 1kg 工质的流动功用 w_f 表示。流动功的计算式为 $w_f = pv$ 。对系统而言,流进系统的工质给系统带入流动功,流出系统的工质从系统带出流动功,可引起系统能量变化的是工质流出和流入系统时所作流动功的差值,即净流动功。设入口和出口两截面处工质的状态分别为 p_1 、 v_1 和 p_2 、 v_2 ,则净流动功 w_f 的计算式为

$$w_f = p_2 v_2 - p_1 v_1 \quad (1-8)$$

由于 pv 表示流动工质在流道某处的流动功,因此,工质的焓 $h = u + pv$ 就是流动工质在流道某处的内能与流动功之和,可见 h 具有能量的意义。

2. 热量 热量是系统中工质与外界之间依靠温差而传递的非功形式的能量。热量是随系统进行热力过程而出现的,是与过程所经历途径有关的过程量,因而说工质在某状态下具有多少热量是没有意义的。在国际单位制中,热量的单位为 J 或 kJ 。单位质量的物体与外界交换的热量称为比热量 q ,单位为 J/kg 或 kJ/kg ; $m\text{kg}$ 质量物体与外界交换的热量为 Q ,单位为 J 或 kJ 。热力学规定:系统吸热时热量取正号,反之取负号。热量有显热和潜热之分。工质吸收或放出热量,其温度上升或下降,但集态不变,这种传递的热量称为显热;工质吸收或放出热量,其温度不变,只是集态变化(汽化或冷凝),这种传递的热量称为潜热。

热量的计算方法很多,理论上可用熵计算可逆过程的热量;工程上常用质量热容来计算显热,用汽化潜热来计算工质汽化或冷凝的潜热。

(1) 用熵计算可逆过程的热量 根据熵的定义式(1-6),微元可逆过程中工质与外界交换的热量为 $\delta q = Tds$ 或 $\delta Q = TdS$ 。对有限的可逆过程,其热量为各微元过程交换热量的总和,即

$$q = \int_1^2 Tds \quad \text{或} \quad Q = \int_1^2 TdS = mq \quad (1-9)$$

如图 1-3 所示, 可用温-熵图中 $T-s$ (或 $T-S$) 曲线与 s (或 S) 轴所围面积, 表示由 $1 \rightarrow 2$ 的可逆过程中工质与外界交换的热量。若是等温的可逆过程, 显然有 $q = T(s_2 - s_1)$ 或 $Q = T(S_2 - S_1)$ 。

(2) 显热计算 单位质量工质温度变化 1K (或 1°C) 所需吸收或放出的热量称为工质的质量热容, 用 c 表示, 单位为 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 或 $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。气体的质量热容与热力过程的特性有关, 在定压过程中有质量定压热容 c_p , 在定容过程中有质量定容热容 c_v , c_p 大于 c_v , 两者的差值等于该气体的气体常数 R , 即 $c_p - c_v = R$;

气体的质量热容也随温度的变化而变化。为方便使用, 在工程计算中可把质量热容当作常数处理, 称为定值质量热容, 因此得到显热的一般计算式

$$q = c(t_2 - t_1) \quad (1-10a)$$

$$Q = mq = mc(t_2 - t_1) \quad (1-10b)$$

式 (1-10) 适用于物质温度发生变化时的热量得失计算, 式中的 c 由物质的特性及状态所决定, 式中 c 对应于气态工质时, 还应区别过程是定压的还是定容的, 两者取值不同。

(3) 潜热计算 单位质量工质在某压力下沸腾汽化或冷凝时, 需吸收或放出的热量称为汽化潜热, 用 r 表示, 单位为 kJ/kg 。常见工质的 r 值可查表获得。 $m \text{ kg}$ 工质汽化或冷凝时所吸收或放出的潜热为

$$Q = mr \quad (1-11)$$

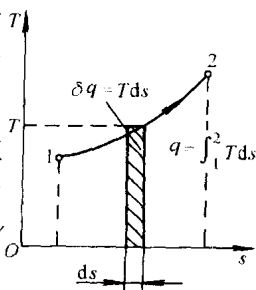


图 1-3 用熵计算
可逆过程的热量

第二节 热力学第一定律及其应用

一、热力学第一定律的基本表达式

热力学第一定律是能量转换及守恒定律在热力过程中的具体表述, 并应用于确定各种热力系统与外界交换能量的数量关系——包括热能与机械能转换或热能转移在内的能量方程。热力学第一定律的表述是: 无论何种热力过程, 在机械能与热能的转换或热能的转移中,