

海 船 船 员 适 任 考 试 培 训 用 书



中国航海学会船舶机电专业委员会组织编写

轮机工程基础

(上册·管理级)

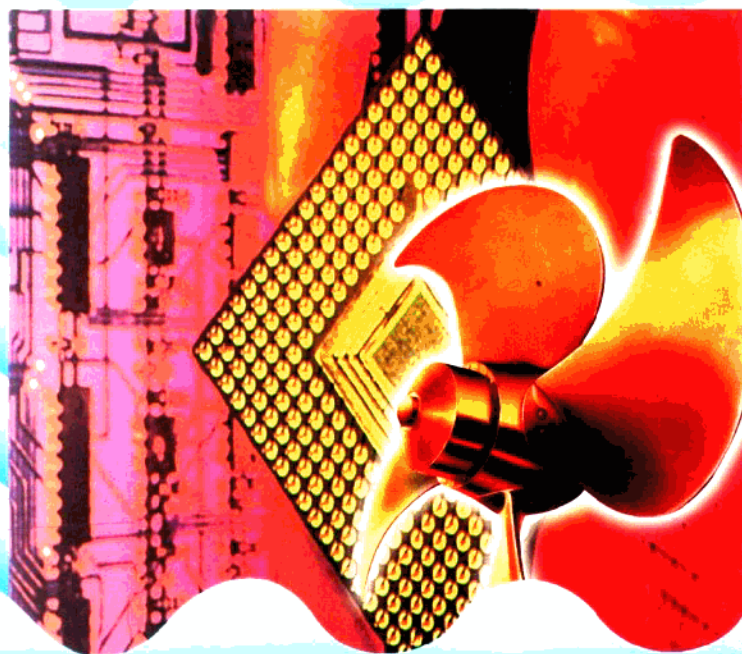
郭祖平 主 编

任福安 副主编

王宏志

金以铨 主 审

大连海事大学出版社



海船船员适任考试培训用书

中国航海学会船舶机电专业委员会组织编写

轮机工程基础

(上册·管理级)

郭祖平 主编

金以铨 主审

大连海事大学出版社

内 容 提 要

本书依据《STCW 78/95 公约》制定的《海船船员适任考试和评估大纲》而编写,作为参加管理级轮机员考试用书。其内容包括:工程热力学、传热学、工程力学、流体力学、材料工艺学等基础知识,并配有大量例题,便于自学。

图书在版编目(CIP)数据

轮机工程基础/郭祖平主编. —大连:大连海事大学出版社,2000.4
海船船员适任考试培训用书

ISBN 7-5632-1384-8

I. 轮… II. 郭… III. 轮机-技术培训-教材 IV. U676.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 16690 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4728394 传真 4727996)

(<http://WWW.dmupress.com> E-mail: cbs @ dmupress.com)

大连海事大学印刷厂印装 大连海事大学出版社发行

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月第 1 次印刷

字数:396 千字 印张:15.875 印数:0001—5000 册

责任编辑:程策群 封面设计:王 艳

责任校对:陈校澄

定价:上册 29.00 元 全套定价:58.00 元
下册 29.00 元

序

在世纪之交,中国航海学会船舶机电专业委员会,又一次不失时机地积极倡导、精心组织轮机界的学者和专家推出这套《海船船员适任考试培训用书》,将它奉献给 21 世纪以及日夜奋战在海洋运输战线上的广大船员,这是一件令人称道的大好事。

海船船员适任考试培训用书符合经 1995 年修正案修正的《1978 年海员培训、发证和值班标准国际公约》(STCW 78/95 公约),满足中华人民共和国海事局于 1998 年颁布的《海船船员适任考试和评估大纲》(简称“新大纲”)的要求,由具有丰富教学经验和实践经验的教授、专家所撰写。应该说,这套系列丛书已是第三版了,它的前两版《高级船员适任证书考试用轮机培训教材》,分别在 1989 年和 1993 年出版,先后在数十次的轮机员培训中使用,深受广大船员及考试、发证单位的欢迎和赞许,许多分册一经问世即被购买一空,以致多次重印。几年中,各分册先后印刷 1.3 万册至 2.6 万多册,平均每分册印刷 2 万余册,全书总印量约 18 万册之巨。

作为第三版的《海船船员适任考试培训用书》正是在前两版的基础上,以原作者为主体编写而成。它由十个分册组成,分别是:《轮机长业务》、《船舶主推进动力装置(船舶柴油机)》、《船舶辅机》、《船舶电气》、《轮机自动化》、《轮机维护与修理》、《船舶管理》、《轮机工程基础》、《轮机英语》和《机工业务》。与前两版比较,在丛书的组成上做了如下变更:将原先的《轮机管理》一书分成两册,即《轮机长业务》和《船舶管理》,借以增强轮机长所需知识的广度和深度;新增了《轮机维护与修理》和《机工业务》两书;删去了《造船大意》一书。

调整改编后的这套培训用书,充分保持了前两版教材较好的针对性、适用性和系统性,篇幅适中,简明易懂,以及理论与实际密切结合的特点,并根据近年来轮机技术和轮机管理的发展变化,以往教学中发现的问题和不足,对全书的内容进行精选、调整、充实和更新,对文章结构进行推敲和雕琢,做到了有一定的深度而不艰涩,有必要的广度而不琐乱,主次分明,详略得宜。使得这套培训用书,在整体上更好地体现了“新大纲”的要求,在知识体系上更具针对性,在内容上更具适用性和先进性,因而也就更具科学性、实用性和易读性。它无论是对海船轮机人员的考试培训,还是对考试、发证单位的命题,以及对船员的业务学习和提高都是大有裨益的。

在本书出版之际,我作为该书前两版的编委会主任委员,对此额手称庆,相信它一定会像前两版一样,受到广大船员和读者的关心、爱护和支持,并期望成为大家的良师益友。

钱耀鹏

1999 年 8 月

海船船员适任考试培训用书编委会

(以下按姓氏笔画为序)

主任委员 吕登有

副主任委员 刘德洪 刘福生 孙培廷 林建清
袁林新 殷佩海

委	员	毛道彬	史际昌	刘建军	刘宗德
		许乐平	朱 峰	陆卫东	芦庆丰
		李玉平	李 凯	李忠华	李明昌
		李成玉	吴树雄	吴 恒	杜荣铭
		时培育	陈景杰	金以銓	郑为民
		郑凤阁	徐正兴	钱耀鹏	钱 闵
		郭祖平	顾宣炎	费 千	黄海波
		韩秀廷	谢群威	满一新	詹玉龙
		蔡振雄			

前 言

为适应经 1995 年修正案修正的《1978 年海员培训、发证和值班公约》(STCW 78/95 公约)及中华人民共和国海事局 1998 年颁布的《海船船员适任考试和评估大纲》的实施和要求,中国航海学会船舶机电专业委员会组建了海船船员适任考试培训用书编写委员会,选聘有丰富教学经验和实践经验的教授、专家为各本书的主编。编委会对各本书的编写大纲进行了审定。

这套船员考试培训用书有较强的针对性、适用性、先进性,符合船员考试和评估大纲要求,篇幅适中,取材切题,联系实际,简明扼要,适用于海船轮机人员适任考试培训用,对船员的业务学习也有参考价值。

这套系列丛书共分十册:《轮机长业务》、《船舶主推进动力装置(船舶柴油机)》、《轮机工程基础》、《船舶辅机》、《船舶电气》、《轮机自动化》、《轮机维护与修理》、《船舶管理》、《机工业务》、《轮机英语》。

本套系列丛书在编审、出版和征订工作中得到中华人民共和国海事局、各航运企业、大连海事大学出版社等单位的关心和大力支持,特致谢意。

海船船员适任考试培训用书编写委员会

编 者 的 话

本书是根据中华人民共和国港务监督局制定的《海船船员适任考试和评估大纲》而编写的,其内容符合《STCW 78/95 公约》,全面覆盖考试大纲。

本书内容贯彻理论联系实际、少而精的原则,既参考了以往各类考证教材,又注重最新知识的补充,由浅入深,具有系统性、实用性,便于自学。

本书分上、下两册。上册作为参加管理级轮机员考试用书,下册作为参加操作级轮机员考试用书。本书也可供轮机管理人员及船舶工程技术人员参考。

本书由郭祖平副教授主编,金以铨主审。参加编写的有杨华、李文双、卢春琦、左春宽、赵虹、韩学胜、尹峰等。

由于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,欢迎使用者批评指正。

编者

1999 年 11 月

目 录

第一篇 工程热力学

第一章 基本概念	1
第一节 工质	1
第二节 热力学系统	2
第三节 热力学平衡态	3
第四节 热力状态参数	4
第五节 准静态过程和可逆过程	7
第二章 热力学第一定律	10
第一节 热力学第一定律的内容及实质	10
第二节 热量和容积功	10
第三节 封闭系统的热力学第一定律	12
第四节 开口系统的热力学第一定律	13
第三章 热力学第二定律	17
第一节 热力学第二定律	17
第二节 卡诺循环与卡诺定律	20
第三节 逆向卡诺循环	21
第四章 理想气体	23
第一节 理想气体状态方程	23
第二节 理想气体比热	26
第三节 理想气体的内能和焓	30
第四节 理想气体的热力过程	31
第五章 水蒸气	44
第一节 水的定压汽化过程	44
第二节 水蒸气的 $p-v$ 图和 $T-s$ 图	46
第三节 水蒸气表和水蒸气的 $h-s$ 图	48
第四节 水蒸气的基本热力过程	57
第六章 气体和蒸汽的流动	60
第一节 稳定流动的基本方程	60
第二节 喷管和扩压管的截面变化规律	61
第三节 气体和蒸汽在喷管中的流速和质量流量	64
第四节 绝热节流	67
第七章 压缩机的热力过程	69

第一节	单级活塞式压缩机的工作原理	69
第二节	单级活塞式压缩机所消耗的机械功	70
第三节	容积效率	72
第四节	二级活塞式压缩机的工作过程	73
第五节	叶轮式压缩机的工作原理	75
第八章	气体的动力循环	78
第一节	柴油机理想循环	78
第二节	定容加热理想循环与定压加热理想循环	82
第三节	提高往复式内燃机功率的途径	83
第四节	燃气轮机装置的理想循环	85
第九章	蒸气压缩制冷循环	87
第一节	蒸气压缩制冷的理想循环	87
第二节	制冷剂的 $p-h$ 图	89
第三节	影响制冷系数 ϵ 的主要因素	89
第十章	湿空气	93
第一节	湿空气概述	93
第二节	湿空气的 $h-d$ 图	97
第三节	湿空气的典型过程	100

第二篇 传热学

第一章	传热过程	104
第一节	热传递的三种基本方式	104
第二节	导热	105
第三节	对流换热	106
第四节	辐射换热	108
第二章	强化传热与削弱传热	111
第一节	传热	111
第二节	热绝缘	112
第三节	热交换器	113

第三篇 工程力学

第一章	静力学基本概念和公理	119
第一节	基本概念	119
第二节	静力学公理	120
第三节	约束和约束反力	121
第四节	受力分析	123
第二章	平面力系	126
第一节	平面汇交力系	126
第二节	平面力偶系	129

第三节 平面任意力系·····	133
第三章 摩擦 ·····	139
第一节 滑动摩擦·····	139
第二节 滚动摩擦的概念·····	140
第四章 点的运动 ·····	142
第一节 点的直线运动·····	142
第二节 点的平面曲线运动·····	143
第五章 刚体的平动和定轴转动 ·····	146
第六章 机械振动 ·····	150
第一节 机械振动概述·····	150
第二节 自动振动·····	150
第七章 轴向拉伸与压缩 ·····	155
第一节 材料力学的任务和基本变形形式·····	155
第二节 杆件的轴向拉伸与压缩·····	156
第三节 拉(压)杆变形虎克定律·····	158
第四节 拉伸和压缩时材料的机械性质·····	159
第五节 拉(压)杆的强度计算·····	162
第八章 剪切和挤压 ·····	165
第一节 剪切变形与剪切虎克定律·····	165
第二节 剪切的实用计算·····	166
第三节 挤压及其实用计算·····	167
第九章 扭转变形 ·····	170
第一节 扭转的概念与扭矩·····	170
第二节 圆轴扭转时的应力·····	172
第三节 圆轴扭转时的强度计算·····	174
第四节 圆轴扭转时的变形和刚度计算·····	176
第十章 直梁的弯曲 ·····	179
第一节 梁的简化及计算简图·····	179
第二节 梁弯曲时的内力——剪力和弯矩·····	179
第三节 梁弯曲时横截面上的正应力·····	184
第四节 矩形和圆形截面的惯性矩·····	187
第五节 梁弯曲的强度计算·····	187
第六节 提高弯曲强度和刚度的措施·····	189
第十一章 交变应力的概念 ·····	192
第一节 构件在交变应力下破坏的特点·····	192
第二节 材料的持久极限与静载条件下的破坏关系·····	193
第三节 影响持久极限的主要因素·····	194
第四节 提高构件持久极限的措施·····	195
第五节 薄壁圆筒上的应力计算·····	195

第六节 应力集中的概念.....	197
------------------	-----

第四篇 流体力学

第一章 流体的主要物理性质.....	198
第一节 流体的主要物理性质.....	198
第二节 流体的粘度.....	202
第二章 流体静力学基本方程.....	205
第一节 流体静力学基本方程.....	205
第二节 流体静力学基本方程的意义.....	206
第三节 流体静力学基本方程的应用.....	208
第三章 流体运动学基础.....	210
第一节 流体流动的基本概念.....	210
第二节 连续性方程及其应用.....	212
第四章 流体动力学基础.....	213
第一节 流体流动的两种形态.....	213
第二节 流动阻力和水头损失.....	215
第三节 理想流体的伯努利方程.....	216
第四节 实际流体的伯努利方程.....	219
第五节 伯努利方程的应用.....	220

第五篇 材料工艺学

第一章 塑性变形对金属材料的影响.....	224
第一节 金属塑性变形简介.....	224
第二节 加工硬化.....	224
第三节 回复与再结晶.....	226
第四节 热加工与冷加工.....	227
第二章 金属材料加工工艺简介.....	229
第一节 金属材料加工工艺.....	229
第二节 金属材料的热处理工艺.....	233
第三章 金属材料表面加工工艺及其应用.....	236
第一节 表面化学热处理.....	236
第二节 表面淬火.....	237
第三节 材料表面改性技术简介.....	238

第一篇 工程热力学

热力学是研究热能和其他形式的能量相互转换规律的学科。工程热力学是热力学的一个分支,是从工程应用的角度研究热能和机械能相互转换规律的。工程热力学是船舶轮机部管理级船员必须掌握的轮机工程基础理论之重要内容。工程热力学研究的内容:热能与机械能相互转换的媒介物——工质的性质;热能与机械能相互转换的过程;提高热力设备和装置经济性的有效途径和方法。

第一章 基本概念

本章介绍工质、热力系统、热力平衡状态、热力状态参数、准静态过程、可逆过程等基本概念。掌握和运用这些概念,对工程热力学理论的研究和分析并用来解决工程实际问题是十分重要的。

第一节 工质

实现热能与机械能相互转换的媒介物称为工质。如往复式内燃机(见图 1-1-1)的工质为

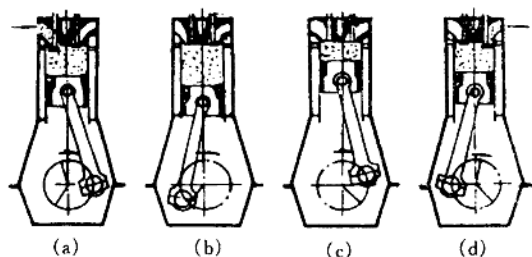


图 1-1-1 四冲程内燃机工作原理示意图

空气和燃气,蒸汽动力装置(见图 1-1-2)的工质为水和水蒸气,蒸气压缩制冷装置的工质为制冷剂(R12、R22、R134a 等)。作为工质的物质应具有良好的膨胀性和良好的流动性。因此,往复式内燃机的工质完全处于气态,而蒸汽动力装置和蒸气压缩制冷装置的工质在进行主要的热、功转换过程时(分别在汽轮机和压缩机中)也是处于气态。空气和燃气可当作理想气体(将在第四章讨论)看待,而水蒸气和制冷剂蒸气(分别在第五章和第九章讨论)则是不可视为理想气体的实际气体。研究和掌握工质的性质是十分必要的。

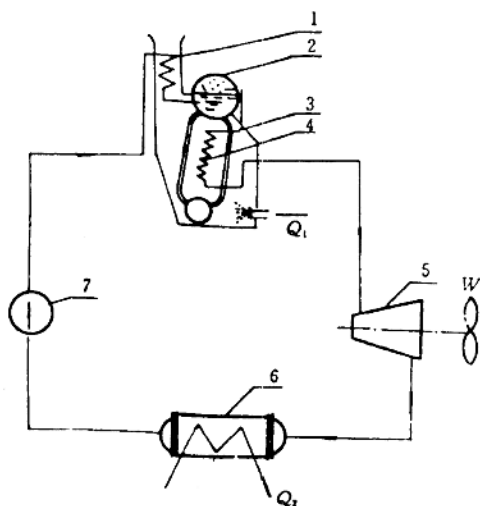


图 1-1-2 蒸汽动力装置示意图

第二节 热力学系统

以蒸气压缩制冷装置为例,见图 1-1-3,其中的压缩机、冷凝器、膨胀阀和蒸发器等,从热力学的观点来看,都是相互作用的实现能量转换或传递的热力设备。为了进行热力学分析,首先要在相互作用的各种热力设备中划分一个(或几个)热力设备作为研究对象。在热力学中,这种被划分出来的研究对象称为热力学系统,简称系统。系统之外的其他热力设备统称为外界。系统与外界的分界面称为边界。边界在图上通常用虚线标出,它可以是真实的,例如取压缩空气瓶内的空气为系统,瓶的内壁面就是真实的边界;也可以是设想的,例如取废气涡轮内的空间为系统,则进、出口处的边界是设想的。

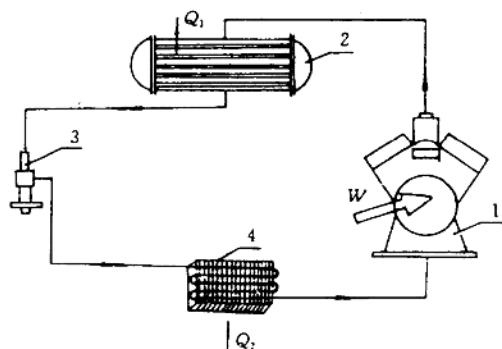


图 1-1-3 蒸气压缩制冷装置示意图

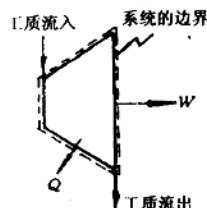


图 1-1-4 开口系统

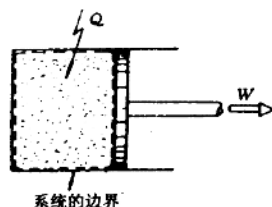


图 1-1-5 封闭系统

热力系统与外界的相互作用有三种:系统与外界的物质交换、功的交换和热的交换。按照系统与外界相互作用的特点,在热力学中把系统分为下述几类。

开口系统:系统与外界有物质的交换,例如把废气涡轮选作系统,它有工质的流入和流出,这就是开口系统,如图 1-1-4 所示。开口系统与外界可以有热和功的交换,也可以没有。

封闭系统:系统与外界没有物质的交换。例如把柴油机气缸中正进行膨胀的燃气选作系统。尽管燃气会从气缸与活塞的缝隙间漏泄一点,但漏泄量极小,可以足够精确地看作与外界没有物质交换,这就是封闭系统,如图 1-1-5 所示。封闭系统是由闭合表面包围的质量恒定的物质集合。

绝热系统:系统与外界没有热量的交换。图 1-1-4 所示的汽轮机如包以绝热材料,当工质流经汽轮机时,其散热量比传输给外界的功量小到可忽略不计,则此开口系统可认为是绝热系统。又如图 1-1-5 中的燃气膨胀时有热传给冷却水,如取燃气和冷却水(通常称为冷源)为系统,则包括燃气和冷却水的系统与外界没有热交换,因而该系统为绝热系统,如图 1-1-6 所示。

孤立系统:系统与外界没有物质交换,也没有热和功的交换。如果把所有

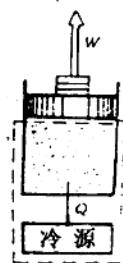


图 1-1-6 把冷源包括在内的绝热系统

发生相互作用的各种设备作为一个整体,并把这个整体选定为所研究的系统,虽然这个系统内部的各部分可以有物质交换、热和功的交换,但这个系统作为一个整体与外界没有任何相互作用,那么这个系统就是孤立系统。

与系统发生作用的外界也可分为以下几种。

热源:与系统进行热量交换的外界。实际热力装置(如动力装置、制冷装置等)的运行通常需要两个外界的热源,我们把温度高的热源称为高温热源,简称热源;把温度低的热源称为低温热源,简称冷源。动力装置从高温热源吸热,将吸热量的一部分放给低温热源,其余部分转变为机械功;而制冷装置则以消耗外界机械功为代价,从低温热源吸热(从而得到低于环境的温度),并将其与由功变的热一起放给高温热源。一般认为热源的热容量无限大,即其温度不因吸热或放热而变化。在热力分析中,可以有某一范围的温度连续变化的无穷多个高温热源和(或)低温热源。习惯上,系统从热源吸热为正值,系统向热源放热为负值。

功源:与系统进行功的交换的外界。功源与封闭系统交换的功是直接通过系统中工质膨胀或压缩引起的容积改变实现的,称为“容积功”。功源与开口系统交换的功通过转轴传递,称为“轴功”。习惯上,系统对外界(功源)作功为正值,外界(功源)对系统作功为负值。

质源:与系统进行物质交换的外界。

第三节 热力学平衡态

为了对系统中能量转换的情况进行分析计算,首先需要对系统的热力状态进行描述。在热力学中,把描述系统宏观特性的物理量称为“系统的热力状态参数”,简称“状态参数”。为了简化对系统热力状态的描述,只用很少几个状态参数来描述系统,提出了热力学平衡态这一重要概念。

这里先讨论两个具体例子。在一个与外界隔热良好的量热器内,将冷热程度不同的水加以混合,冷水将变热,热水将变冷,经过足够长的时间,水的冷热程度便均匀一致,而且此后不随时间而变,则认为该系统处于热平衡。再看一个例子,如图 1-1-7 所示,在与外界隔热良好的封闭气缸内用活塞将压力不同的两种气体 A 和 B 分隔开,设 A 的压力大于 B 的压力。如活塞与气缸间无摩擦,则活塞将向右移动, A 的压力下降, B 的压力升高;经过足够的时间, A 和 B 便达到某一平衡压力,活塞停止移动,而且此后 A 和 B 将保持这一压力不变,即该系统处于力平衡。

对不发生化学反应的系统,同时具备热和力的平衡,系统就处于“热力学平衡态”。处于热力学平衡态的系统,只要不受外界的影响,它的状态就不会随时间而改变,平衡不会自发地破坏,这是热力平衡态的特点。上面讨论的两个例子也说明了不平衡态若没有外界条件的影响,总会自发地趋于平衡态的。

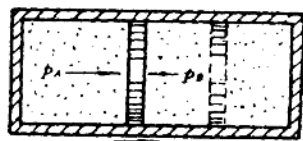


图 1-1-7 压力平衡

系统的平衡态与非平衡态相比较,前者的描述最为简单。

这是因为:其一,平衡态与时间无关;其二,处于平衡态的系统,其内部的压力和冷热程度都是均匀一致的。对应于系统的每一平衡态,有一个而且只有一个压力和一个描述系统冷热程度的状态参数——温度。反之,不平衡态则不仅与时间有关,而且系统内部状态是不均匀的,因此描述系统的不平衡态极其复杂。大多数热力设备在稳定运行时所处的状态,只要系统选得恰当,均可看作平衡态。因此,平衡态是工程热力学的一个重要的基本概念。工程热力学只讨

论处于平衡态的系统。非平衡态热力学是一个专门的学科,本书不讨论这个问题。以后,凡不致混淆时,所提到系统的状态均指平衡态。

第四节 热力状态参数

由上节讨论可知,对于处于平衡态的任一系统,只需用确定的压力和温度等很少几个状态参数来描述它。在工程热力学里,常用的状态参数有六个,即压力、温度、容积、内能、焓和熵。工程热力学里之所以引用这些状态参数,是因为它们全部直接或间接地与系统的能量或能量转换有关。

状态参数的数值由系统的状态惟一确定。当系统从初态变为终态时,状态参数的变化量,只与系统的初、终状态有关,而与变化的途径无关。因此,状态参数是系统状态的单值函数。在热力学中,还有一类参数,它们的变化量不仅与系统的初、终状态有关,而且还与变化的途径有关。这类参数不是状态参数,而是路径参数。功和热量是这类参数的例子。

系统的状态参数依照其特性可分为两类:“尺度量”和“强度量”。尺度量是描述系统总体特征的状态参数,如系统的容积、内能、焓、熵等,其数值为系统中各部分数值的总和,具有可加性。对于均匀系统,尺度量的数值与系统的质量成正比。强度量是描述系统内各点特征的状态参数,如系统的压力、温度、比容、比内能、比焓、比熵等,其数值与系统的质量无关,具有不可加性。

工程上把可直接观察和测量的状态参数称为基本状态参数,它们是压力、温度和比容。下面对六个状态参数分别加以介绍。

一、压力

在工程热力学中,把工质指向系统表面(真实的容器壁或假想的分界面)单位面积上的垂直作用力,称为“压力”(即压强)。分子运动论把气体压力看作是气体分子撞击壁面的宏观表现。实际上,容器内的气体分子非常之多,撞击也非常频繁,因此就产生了一个持续的有一定大小的压力,这个压力就是大量分子撞击壁面的平均结果。按分子运动论的观点,气体压力等于单位容积内的分子数与分子的平均动能乘积的 $2/3$ 。

1. 压力的单位

压力 p 的单位是由压力的定义式来确定的:

$$p = P/f$$

式中, P 为工质指向表面的垂直作用力, f 为表面面积。

由于力 P 和面积 f 选用的单位不同,压力单位也不同。根据“中华人民共和国法定计量单位”(简称法定单位)规定,压力单位为 N/m^2 ,称为“帕”,符号为 Pa 。由于 Pa 这一单位所表示的压力太小,实际应用时可用 MPa (10^6Pa) 作为压力单位。

2. 大气压力

大气压力是由地面上几百公里高的空气层的重量引起的,以符号 p_b 表示。大气压力的大小随纬度、高度以及空气温度和水蒸气含量而变化。历史上,物理学中把纬度 45° 平均海平面上常年大气压的平均值定为标准大气压,以符号 atm 表示。现已规定 $1 \text{ atm} = 0.101325 \text{ MPa}$ 。

3. 表压力、真空度、绝对压力

系统的压力可用压力表测定,并以大气压力作为测量的基准。由压力表测得的压力数值称为“表压力”,以 p_g 表示。系统的实际压力数值称为“绝对压力”,以 p 表示。用压力表测得

的压力数值不是绝对压力,而是绝对压力与当地大气压力的差值,即

$$p_g = p - p_b \quad (1-1-1)$$

例如,在图 1-1-8 的排出管上,用 U 形管压力计测得的排出压力 $p_g = \rho gh = 0.00196$ MPa,就是排出管中空气的绝对压力与当地大气压力之差。如用气压计测出当地大气压力 $p_b = 0.10132$ MPa,则其绝对压力

$$p = p_g + p_b = 0.00196 + 0.10132 = 0.10328 \text{ MPa}$$

对于绝对压力低于当地大气压力的系统,其表压力将为负值。工程上用“真空度”来表示这种表压力的绝对值,以符号 p_v 表示。可见真空度 p_v 是当地大气压力与绝对压力的差值,即

$$p_v = p_b - p \quad (1-1-2)$$

例如,在图 1-1-8 的吸入管上,用 U 形管真空计测得的吸入真空度 $p_v = \rho gh = 0.00098$ MPa,就是吸入管中空气的绝对压力比当地大气压力低的数值,其绝对压力

$$p = p_b - p_v = 0.10132 - 0.00098 = 0.10034 \text{ MPa}$$

表压力和真空度是以当地大气压力为基准的相对压力,前者表示比大气压力高的压力值,后者表示比大气压力低的压力值,如图 1-1-9。由于当地大气压力是会变化的,作为系统的状态参数应该是绝对压力,而不是表压力或真空度。

在工程计算中,当 $p_g \gg p_b$ 时,由于当地大气压力变化不大,可近似认为 $p_b = 0.1$ MPa,则

$$p = p_g + 0.1 \text{ MPa} \quad (1-1-3)$$

但当被测压力较小,其数值与当地大气压力相近时,则不能将大气压力看作常数,而应测定 p_b 的具体数值。

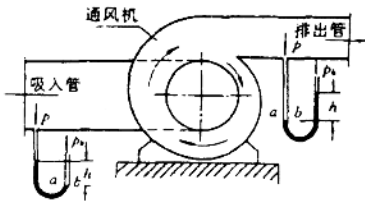


图 1-1-8 吸入端和排出端中的表压力

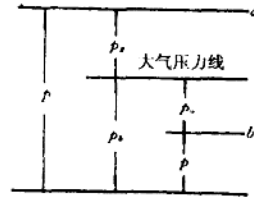


图 1-1-9 表压力、真空度和绝对压力的关系

二、温度

1. 温度的概念

从热力学角度来看,温度是描述热平衡物体宏观特性的物理量。人们通常用温度来表示物体冷热的程度,感觉越热,温度越高;反之,感觉越冷,温度越低。从分子运动论看,物体温度与组成该物体的分子能量有关,随着温度升高,分子运动加剧。具体来说,温度与物体内分子的平均动能成正比。这符合通常所观察到的热现象。如有两个具有不同分子平均动能的物体相接触,由于接触面分子相互碰撞的结果,能量就由分子平均动能较大的物体传递给平均动能较小的物体,直到两个物体的平均动能相等为止。换句话说,就是高温物体把热量传递给低温物体,直到两者温度相等时热传递才停止。可见,温度的微观本质就是物体内部分子和原子不规则热运动的度量,物体温度越高,其内部分子的热运动就越剧烈。

2. 温标

要定量地确定温度,必须对不同的温度给以具体的数量标示。温度的数值表示方法叫做温标。常用的温标有以下三种:

(1)摄氏温标:即在标准大气压力下,纯水的冰点规定为 0 度,沸点为 100 度,在这两点之间均分 100 等份,取其中的 1 份称为摄氏 1 度,记作:1℃,摄氏温标用符号 $t^{\circ}\text{C}$ 表示。

(2)华氏温标:即在标准大气压力下,纯水的冰点规定为 32 度,沸点为 212 度,在这两点之间均分为 180 等份,取其中的 1 份称为华氏 1 度,记作 1°F,华氏温标用符号 $t^{\circ}\text{F}$ 表示。

(3)热力学温标:又称绝对温标,它是以摄氏零下 273.15 度作为绝对温标的零度,每度的间隔与摄氏温标相同,1 度记作 1 K,开氏温标用符号 TK 表示。

大部分国家应用摄氏温标,英、美等国家采用华氏温标,工程热力学计算中常用绝对温标,因此必须掌握它们之间的换算。

根据上述三种温标的定义,如果已知摄氏温度为 $t^{\circ}\text{C}$,则相当于华氏温度为

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}t^{\circ}\text{C} + 32 \quad (1-1-4)$$

若已知华氏温标为 $t^{\circ}\text{F}$,则相当于摄氏温度为

$$t^{\circ}\text{C} = 5(t^{\circ}\text{F} - 32)/9 \quad (1-1-5)$$

若已知摄氏温度为 $t^{\circ}\text{C}$,则绝对温度为

$$\text{TK} = t^{\circ}\text{C} + 273.15 \quad (1-1-6)$$

若摄氏温度为 45℃,则华氏温度为 $t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} \times 45^{\circ}\text{C} + 32 = 113^{\circ}\text{F}$;若华氏温度为 -40°F ,则摄氏温度 $t^{\circ}\text{C} = 5(-40^{\circ}\text{F} - 32)/9 = -40^{\circ}\text{C}$ 。

三、容积和比容

一定质量的工质所占有的空间称为工质的容积,用 V 表示,单位是 m^3 。单位质量工质的容积称为比容,用符号 v 表示,单位为 m^3/kg 。设质量为 m kg 的工质所占容积为 V m^3 ,则其比容为

$$v = V/m \quad (1-1-7)$$

容积和比容均为工质的热力状态参数。

一立方米工质所具有的质量称为密度,用符号 ρ 表示,单位为 kg/m^3 。设 V 立方米工质的质量为 m kg,则其密度为

$$\rho = m/V \quad (1-1-8)$$

由以上两式可知,比容 v 和密度 ρ 互为倒数,即

$$\rho = 1/v \quad \text{或} \quad v = 1/\rho$$

四、内能和比内能

物质内部具有各种能量,如由原子结合成为分子的化学能、原子内部的原子能以及分子无规则运动的热能。工程热力学研究的是热能与机械能之间的相互转换,因此把工质具有的热能称为内能。用 U 表示,单位是 kJ。单位质量工质的内能称为比内能,用 u 表示,单位是 kJ/kg。可见

$$u = U/m \quad (1-1-9)$$

工质内能由分子无规则热运动具有的内动能(包括分子的平动动能、转动动能和分子内部原子的振动能)和分子间相互作用力产生的内势能两部分组成。前者是温度的函数,后者取决于容积(或比容)。因此工质内能(或比内能)是温度和容积(或比容)的函数,即