

普通高等学校教材

Lunji Gailun

轮机概论



王克/主编



武汉理工大学出版社
WUTP Wuhan University of Technology Press

高等学校教材

轮机概论

主 编 王 克

武汉理工大学出版社
· 武 汉 ·

内 容 提 要

本书主要根据我国航海类航海技术专业的教学需要编写而成。全书分三大篇,共十二章,对现代船舶“轮机”设备组成、工作原理和基本作用作了比较完整的介绍,分别讲述:热工基本知识;船舶主推进动力装置,包括柴油机的基本知识,柴油机的基本结构及部件,柴油机系统,柴油机的启动、换向、调速、操纵及运行管理,船舶推进装置等;船舶辅机,包括船用泵,甲板机械,船舶制冷和空气调节,船用辅助锅炉和废气锅炉,船舶防污染装置,船舶通用系统等。本书除作为航海技术、海事管理专业的教材外,亦可供航海类有关专业的师生及轮机工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

轮机概论/王克主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2006.12

ISBN 7-5629-2483-X

- I. 轮…
- II. 王…
- III. 轮机-概论
- IV. U664.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 150710 号

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070

<http://www.techbook.com.cn>

印刷者:武汉理工大印刷厂

经销者:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16

印 张:13

字 数:333 千字

版 次:2006 年 12 月第 1 版

印 次:2006 年 12 月第 1 次印刷

定 价:24.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

本社购书热线电话:(027)87394412 87383695 87384729

版权所有,盗版必究。

前 言

随着科学技术的发展,国际交往和合作越来越频繁,世界航运事业得到了快速发展。为了履行国际海事组织《1978年海员培训、发证和值班标准国际公约》(1995年修正)(简称《STCW78/95公约》),提高我国船员的安全技能,武汉理工大学能源与动力工程学院的教师特编写了此教材,并扩充了大量的新内容和技术。

本书除作为航海技术、海事管理专业的教材外,也可供相关专业的师生及轮机工程技术人员参考。本书由武汉理工大学李之义副教授主审。郭国平副教授、王当利副教授、扬帆副教授、赵在里教授参加了编写大纲的修订。向阳教授、胡国梁副教授、周宏基副教授、成凯夫副教授、李鹤鸣副教授、杨志勇副教授和戴忠讲师等同仁对此教材提出了宝贵的编写意见,在此一并表示衷心的感谢。

本书由王克副教授主编定稿,绪论、第五、六、十一、十二章由王克编写;第二、三、四章由成春祥副教授编写;第七、八、九、十章由胡甫才讲师编写;第一章由甘念重实验师编写。本书内容涉及面广,编者的学识水平、实践经历有限,难免会有不妥之处,欢迎读者给予批评指正。

编 者

2005年9月

目 录

绪论	(1)
----	-----

第一篇 热工基本知识

第一章 热工基础知识	(3)
第一节 工质的基本状态参数	(3)
一、温度	(3)
二、压力	(4)
三、比体积(质量体积)	(5)
四、理想气体及其状态方程	(6)
第二节 船舶动力装置中压力和温度的测量	(8)
一、测压仪表	(8)
二、测温仪表	(10)
第三节 功和热量	(12)
一、功	(12)
二、热量	(12)
三、热功当量	(13)
四、功热转换定律	(13)
五、功热转换装置及其效率	(13)
第四节 水蒸气与湿空气	(16)
一、水蒸气的形成和性质	(16)
二、湿空气	(18)
第五节 传热学基础	(20)
一、导热	(21)
二、对流换热	(21)
三、辐射换热	(21)
四、传热过程	(22)
复习思考题	(23)

第二篇 船舶主推进动力装置

第二章 柴油机的基本知识	(24)
第一节 柴油机的基本概念	(24)
一、热机的概念	(24)
二、内燃机与外燃机	(24)
三、柴油机与汽油机	(24)

第二节 柴油机的工作原理	(25)
一、柴油机工作原理常用术语	(25)
二、四冲程柴油机工作原理	(26)
三、二冲程柴油机工作原理	(28)
四、增压柴油机工作原理	(30)
第三节 柴油机的主要性能指标	(31)
一、动力性指标	(31)
二、经济性指标	(32)
三、排气污染指标	(33)
第四节 柴油机的分类	(33)
一、按工作循环分类	(33)
二、按进气方式分类	(33)
三、按曲轴转速和活塞平均速度分类	(34)
四、按行程缸径比 S/D 分类	(34)
五、按结构特点分类	(34)
第五节 柴油机在船舶上的应用和发展	(35)
一、船舶柴油机的应用	(35)
二、船舶柴油机的发展	(36)
复习思考题	(36)
第三章 柴油机的基本结构及部件	(37)
第一节 燃烧室部件	(37)
一、气缸盖	(37)
二、气缸	(37)
三、活塞	(38)
第二节 曲柄连杆机构	(40)
一、十字头和导板	(40)
二、连杆和连杆螺栓	(41)
三、曲轴	(43)
第三节 机架、机座和贯穿螺栓	(44)
一、机架	(44)
二、机座	(45)
三、贯穿螺栓	(45)
第四节 喷油设备	(46)
一、喷油泵	(46)
二、喷油器	(47)
第五节 换气机构及增压	(49)
一、气阀机构	(49)
二、气阀传动机构	(50)
三、凸轮轴及传动机构	(51)

四、柴油机增压	(52)
复习思考题	(54)
第四章 柴油机系统	(55)
第一节 燃油系统	(55)
一、燃油系统的作用和组成	(55)
二、燃油系统的主要设备与作用	(55)
三、燃油系统中的换油操作	(56)
第二节 润滑系统	(57)
一、润滑系统的组成	(57)
二、润滑系统的设备	(58)
第三节 分油机	(59)
一、分油机的分类和基本工作原理	(59)
二、分油机的结构	(60)
第四节 冷却系统	(61)
一、冷却系统的组成和分类	(62)
二、冷却系统的设备	(63)
第五节 压缩空气系统	(63)
一、压缩空气在船上的应用	(63)
二、对压缩空气系统的要求	(64)
三、压缩空气系统的组成	(64)
复习思考题	(65)
第五章 柴油机的启动、换向、调速、操纵及运行管理	(66)
第一节 启动装置	(66)
一、概述	(66)
二、压缩空气启动装置的组成和工作原理	(66)
第二节 换向装置	(68)
一、换向原理和方法	(68)
二、双凸轮换向原理及换向装置	(69)
三、单凸轮换向原理及装置	(70)
第三节 调速装置	(71)
一、柴油机调速的必要性	(71)
二、调速器的类型	(71)
三、超速保护装置	(72)
第四节 柴油机的操纵系统	(73)
一、操纵系统的基本要求	(73)
二、操纵系统的类型	(73)
三、几种典型的操纵系统	(74)
复习思考题	(76)
第六章 船舶推进装置	(77)

第一节 船舶推进装置的传动方式	(77)
一、直接传动	(77)
二、间接传动	(77)
三、Z形传动	(77)
四、电力传动	(78)
第二节 传动轴系	(79)
一、传动轴系的组成、作用和工作条件	(79)
二、传动轴系的结构	(80)
三、传动轴系的管理	(84)
第三节 螺旋桨	(85)
一、螺旋桨的结构和几何参数	(85)
二、螺旋桨的工作原理	(86)
三、螺旋桨的特性	(87)
第四节 可调螺距螺旋桨	(89)
一、调距桨的工作特性	(89)
二、调距桨的优缺点	(90)
三、调距桨装置的动作原理和组成	(91)
复习思考题	(92)

第三篇 船舶辅机

第七章 船用泵	(93)
第一节 船用泵概述	(93)
一、泵的功用及分类	(93)
二、泵的性能参数	(93)
第二节 往复泵	(95)
一、往复泵基本工作原理	(96)
二、往复泵的流量	(97)
第三节 回转泵	(98)
一、齿轮泵	(99)
二、叶片泵	(100)
三、螺杆泵	(102)
第四节 离心泵	(105)
一、离心泵的基本结构和工作原理	(105)
二、离心泵的定速特性曲线	(106)
三、离心泵的工作特点	(106)
第五节 喷射泵	(107)
复习思考题	(108)
第八章 甲板机械	(109)
第一节 舵机	(109)

一、总述	(109)
二、液压舵机的基本组成和工作原理	(112)
三、液压舵机油泵	(114)
四、转舵机构	(119)
五、液压舵机实例	(120)
第二节 锚机和绞缆机	(122)
一、概述	(122)
二、电动锚机	(125)
三、液压锚机	(128)
第三节 船舶起货机	(130)
一、概述	(130)
二、油马达	(131)
三、液压起货机的基本组成和工作原理	(132)
复习思考题	(134)
第九章 船舶制冷和空气调节	(135)
第一节 制冷概述	(135)
一、制冷技术在船舶上的应用	(135)
二、船舶冷藏食品的条件	(135)
三、制冷方法	(136)
第二节 蒸气压缩式制冷	(136)
一、压缩制冷基本原理	(136)
二、压缩式制冷装置的基本组成和工作原理	(137)
三、理论制冷循环	(137)
第三节 制冷剂与载冷剂	(139)
一、制冷剂	(139)
二、载冷剂	(140)
第四节 活塞式制冷压缩机	(141)
一、活塞式制冷压缩机的工作原理	(141)
二、活塞式制冷压缩机的基本结构	(142)
第五节 船舶伙食冷库制冷装置及其自动化	(144)
一、制冷装置的组成部件	(144)
二、制冷装置的自动化元件	(146)
第六节 船舶空气调节	(149)
第七节 货舱干燥系统	(152)
复习思考题	(153)
第十章 船用辅助锅炉和废气锅炉	(154)
第一节 概述	(154)
第二节 船用辅助锅炉	(154)
一、火管锅炉	(155)

二、水管锅炉	(156)
三、火管锅炉与水管锅炉的性能比较	(157)
第三节 船用废气锅炉	(157)
第四节 燃料及其燃烧设备	(158)
一、燃料油及其特性	(158)
二、辅助锅炉的燃烧设备	(159)
第五节 船用锅炉装置的主要系统	(163)
一、燃油系统	(163)
二、汽-水系统	(165)
第六节 锅炉的自动调节	(166)
一、自动调节系统的组成	(166)
二、锅炉蒸汽压力和水位的自动调节	(167)
第七节 锅炉的运行和保养	(169)
一、锅炉的冷炉点火和升汽	(169)
二、运行中的管理	(170)
三、锅炉的留汽和熄火	(170)
四、锅炉停用时的保养	(170)
五、锅炉水垢的清洗	(171)
复习思考题	(171)
第十一章 船舶防污染装置	(172)
第一节 概述	(172)
一、船舶对航行水域的污染	(172)
二、防止船舶污染的措施	(173)
第二节 油水分离器	(174)
一、油水分离的基本方法	(174)
二、影响油水分离器性能的因素	(175)
三、油水分离器的结构和工作原理	(176)
第三节 船舶生活污水处理装置	(179)
一、船舶生活污水的处理方法	(179)
二、船舶典型的生活污水处理装置	(180)
第四节 船用焚烧炉	(182)
一、污油燃烧器	(182)
二、焚烧炉的结构	(183)
复习思考题	(184)
第十二章 船舶通用系统	(185)
第一节 船舱系统及其遥控	(185)
一、舱底水系统	(185)
二、压载系统	(186)
三、舱底、压载系统的遥控和自动化	(187)

第二节 卫生系统.....	(188)
第三节 消防系统.....	(190)
第四节 真空蒸发式造水装置.....	(191)
复习思考题.....	(193)
参考文献.....	(194)

绪 论

船舶动力在其发展史上,经历了以人力和风力等自然力作为推进手段的漫长岁月,直到18世纪人们发明了蒸汽机并成功地在船舶上应用之后,才揭开了船舶机械化的新篇章。因此,从某种意义上来说,“轮机”也可认为就是船舶机械化的一种简称。然而,随着科学技术的进步以及船舶在功能上向着多样化、专业化和完善化的方向发展,今天,一艘现代化船舶实际上已成了一个现代工业技术成就的集合体,并涉及到机械、电气、电子等等一系列技术设备的综合运用,甚至使人们很难为“轮机”一词下一个十分确切的定义。本书仅就船舶动力装置、甲板机械和船舶系统等内容,从一个船舶驾驶人员的角度出发,对现代船舶轮机的基本知识作一扼要的论述和介绍。

通常,船舶动力装置可分为主动力装置(主机)和辅助动力装置(辅机)两类。前者包括主机、轴系和推进器以及为主机服务的各种泵和换热器等,它是推进船舶的动力,所以总称为推进装置,这是船舶上最主要的机械能源。后者是指为了保证船舶在正常情况和应急时的供电需要,在船上设有发电机组和配电屏等机电设备以构成船舶电站,作为船舶的供电能源。但是,在电力推进的船舶上,或是以主机来直接带动发电机的船舶,主、辅助动力装置的概念又突破了原有的“界限”而有了新的含义。在有的船舶上,还用主机来带动高压油泵以建立一个集中式的液压能源,通过油马达来驱动发电机、制冷机、货油泵、压载泵以及各种甲板机械,实现所谓的“全液化”。

船舶锅炉是船舶上的汽源,它无论在蒸汽动力装置船舶或内燃动力装置船舶上都是—种不可缺少的动力设备。锅炉产生的蒸汽可以用来满足船舶在动力、油水等的加热、炊事以及消防等方面的需要。

甲板机械包括船舶舵机、起货机、起锚机、自动系统机以及滚装船上的开门与跳板控制设备等。顾名思义,所有甲板机械对于船舶的营运性能和航行安全都有着十分重要的意义。像动力装置—样,甲板机械亦在朝着自动化的方向发展。

制冷设备是向船舶供冷的一种“冷源”,以便冷藏食品、运输冷藏货物和进行空气调节等。目前,除了一般船舶上所用的小型冷库和将部分舱室用来贮运冷藏货物外,还有专门用来运输冷藏货物的冷藏船。

船舶系统是指包括压载、舱底、消防、卫生、空调等为船舶的正常营运创造条件而与动力装置无关的各种专门化管网。

随着全球性对开展海洋环境保护工作的重视,船舶—污染源不能不受到国际海协(IMCO)各种公约条款的约束,从而为防止船舶的污染提出了一系列新的课题,例如粪便处理、污水处理、船舶气体的排放等等。于是像污水的生化处理—些边缘科学也都开始介入了“轮机工程”的范畴。

按照惯例,我们通常都把推动船舶运动的机械称为“主机”,而相应地把其他的一些机械设备则定义为“辅机”。

船舶动力装置—般按主机的形式进行分类。

1. 蒸汽动力装置

将锅炉所产生的蒸汽的热能转换为机械功的热机叫蒸汽机。蒸汽机分为往复蒸汽机和汽轮机两种。往复蒸汽机是利用蒸汽的压力来推动活塞作往复运动,再通过连杆将活塞的往复运动变为曲轴的回转运动。汽轮机俗称透平机,它用蒸汽的热能来转动叶轮从而使轴作回转运动。习惯上所说的蒸汽机是指往复蒸汽机。用往复蒸汽机作为主机的动力装置称为蒸汽机动力装置。现代船舶已不采用蒸汽机作为主机,因此这类动力装置本书不再加以介绍。用汽轮机作为主机的动力装置称为汽轮机动力装置。

2. 内燃机动力装置

利用燃料直接在机器内部燃烧所产生的燃气来工作的机器叫内燃机。根据所用燃料(如煤气、汽油、柴油等)的不同,内燃机分为煤气机、汽油机和柴油机等。大多数内燃机是往复式,有气缸和活塞。内燃机只能将燃料热能的 25%~45%转换成机械能,其余部分大多数被排气或冷却介质带走。因此,如何利用内燃机排气中的能量就成了提高内燃机动力性和经济性的主要问题。随着科学技术的发展,绝热柴油机、全电子控制内燃机、燃用天然气、醇类代用燃料等新型发动机相继问世。进入 21 世纪,由于环境问题日益突出,研制新一代高效、低排放的发动机已成为科学家们共同努力的目标。采用柴油机作为主机的动力装置称为柴油机动力装置。

3. 燃气轮机动力装置

利用燃料燃烧所产生的燃气去推动叶轮回转的机器称为燃气轮机。燃气轮机和蒸汽机最大的不同是,它不是以水蒸气作工质,而是以气体作工质。燃料燃烧时所产生的高温气体直接推动燃气轮机的叶轮对外做功,因此以燃气轮机作为热机的船舶不需要锅炉,采用燃气轮机作为主机的动力装置称为燃气轮机动力装置。

4. 原子(核)能动力装置

实现大规模可控核裂变链式反应的装置称为核反应堆,简称反应堆,它是向人类提供核能的关键设备。这类装置利用原子(核)反应堆产生的蒸汽供给汽轮机进行工作。如按主机形式分类,它应属于汽轮机动力装置。但为了突出它是采用原子反应堆的装置,所以称之为原子(核)能动力装置。

随着国际贸易的发展和造船技术的不断提高,以及机电设备和装卸机械的日渐改进,当前世界海上运输船舶正向大型化、专用化和自动化的方向发展。从 20 世纪 60 年代开始,各国相继发展了自动化船舶。至 70 年代初,船舶自动化的内容还只局限于机舱的自动化和舾装自动化。现在随着电子技术的发展和电子计算机在船上的应用,已开始了导航、机舱、舾装、装卸、报务甚至机器故障自动诊断等的全面自动化,即所谓的“超自动化”,并发展成为各部分的集中遥控。

第一篇 热工基本知识

第一章 热工基础知识

第一节 工质的基本状态参数

工质是指在热力设备中实现热能与机械能相互转换的媒介物质,在动力装置中用来做功的各种流动介质,如燃气、蒸汽、水、空气等,都可称之为“工质”。作为工质的物质必须具有良好的膨胀性和流动性,一般为气态物质。工质的状态参数很多,压力、温度及比体积(质量体积)是最常用的三个状态参数,称为基本状态参数。经验表明,这三个状态参数中,只要知道两个,就能确定气体工质处于什么状态。工质在动力装置中进行工作时,它的压力、温度是不断地发生变化的,通常在船舶动力装置中确定工质的状态是用温度和压力两个参数。

一、温度

1. 定义

描述物体冷热程度的物理量称为温度。物体越冷,温度越低;反之,物体越热,温度越高。

(1) 从宏观角度来看,温度是一个描述热力系统平衡特性的状态参数。热力学第零定律指出:“无论多少个物体互相接触,都能达到热平衡”。它表明,达到热平衡的所有物体必定具有一个共同的宏观特性,表征这个宏观特性的物理量就是温度,即一切处于热平衡的物体必具有相同的温度。

(2) 从微观角度来看,温度是物体内部分子、原子等微观粒子不规则热运动强度的量度。微观粒子热运动越剧烈,物体的温度就越高。

2. 温标

温度的数值表示方法称为温度标尺,简称温标。它是表示温度高低的尺度。常用的温标有以下三种:

(1) 摄氏温标。规定在标准大气压下,纯水的冰点为 0 度,沸点为 100 度,其间 100 等份,每等份为摄氏 1 度,记作 1°C ;摄氏温标用符号 $t^{\circ}\text{C}$ 表示。

(2) 华氏温标。规定在标准大气压下,纯水的冰点为 32 度,沸点为 212 度,其间 180 等份,每等份为华氏 1 度,记作 1°F ;华氏温标用符号 $t^{\circ}\text{F}$ 表示。

(3) 开氏温标。规定纯水的三相点温度(即固、液、气三相平衡态的温度)为基本点,定义为 273.16 度,每度的间隔与摄氏温标相同,1 度记作 1K;开氏温标用符号 TK 表示。

摄氏温标和华氏温标的标定都依赖于测温物质的物理特性,温度数值与测温物质有关,称为经验温标;而开氏温标则与测温物质的物理特性无关,是国际上规定的最基本温标,开氏温标又称热力学绝对温标,简称绝对温标。

公制系统采用摄氏温标,英制系统采用华氏温标,而国际单位制系统则采用开氏温标,因

此,必须掌握它们之间的换算。

摄氏温标与华氏温标的换算关系为:

$$t^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}t^{\circ}\text{C} + 32^{\circ}\text{C}$$

摄氏温标与开氏温标的换算关系为:

$$\text{TK} = t^{\circ}\text{C} + 273.15^{\circ}\text{C}$$

在工程上采用下式计算已足够准确:

$$\text{TK} = t^{\circ}\text{C} + 273^{\circ}\text{C}$$

二、压力

1. 定义

热力系统内单位面积上所受到的工质的垂直作用力称为压力(在物理学中又称压强),用符号 p 表示,即:

$$p = \frac{F}{A}$$

式中 F ——工质对系统内壁的垂直作用力;

A ——系统内壁受力面积。

从分子运动论观点来看,气体压力是大量气体分子无规则热运动对容器壁面的平均撞击力,数值与单位体积内的分子数和分子的平均移动动能成正比。液体系统除传递压力外,在重力场中还有由于液体的重量而产生的静压力,静压力与液柱垂直高度有关。平衡态时热力系统中各处压力均匀一致。

2. 单位

根据力 F 和面积 A 选用单位的不同,压力的单位可分三类:

(1) 国际制单位:帕斯卡(Pa), $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ 。工程上因 Pa 太小而常用巴(bar)和 MPa, $1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$, $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$ 。

(2) 英制单位:磅/平方英寸(lbf/in²)或英寸水银柱(inHg)。

(3) 公制单位:工程大气压(at)、毫米水银柱(mmHg)、米水柱(mH₂O)、标准大气压(atm)。

三类单位之间的换算归纳如下:

$$1\text{atm} = 760\text{mmHg} = 10.33\text{mH}_2\text{O} = 1.01325\text{bar} = 1.01325 \times 10^5\text{Pa} = 1.033\text{at}$$

$$1\text{at} = 1\text{kgf}/\text{cm}^2 = 735.6\text{mmHg} = 10\text{mH}_2\text{O} = 0.981\text{bar} = 9.81 \times 10^4\text{Pa} = 14.22\text{lbf}/\text{in}^2 = 29\text{inHg}$$

3. 大气压力(p_b)

大气压力是由地面上几百千米厚的空气层的重量所造成的,大小随纬度、高度和气候等条件而变化,可用气压表测定。通常所说的大气压均指当时当地大气压。在物理学中,把纬度 45°海平面上常年平均气压定义为标准大气压(atm)。

4. 表压力、真空度及绝对压力

工质的压力可用压力表测定,由于工程上测压仪表本身常处于大气压力作用下,因此表上所指示的压力并非被测系统的真实压力,而是系统压力与当时当地大气压力的某种差值。绝

对压力就是指系统的真实压力,用符号 p 表示;表压力是指系统压力高于大气压力时,压力表的读数,用符号 p_g 表示;真空度则是指系统压力低于大气压力时,压力表的读数,用符号 p_v 表示。下面以 U 开管压力计测量风机吸入管与排出管的空气压力为例来说明绝对压力、表压力、真空度及大气压力之间的关系,如图 1-1 所示。

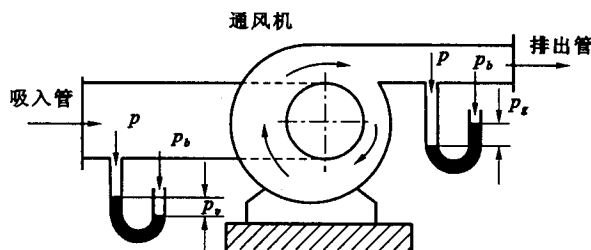


图 1-1 表压力与真空度

显然,在风机入口处有

$$p = p_b - p_v \tag{1-1a}$$

$$p_v = p_b - p \tag{1-1b}$$

即真空度等于大气压力减去绝对压力。

在风机出口处则有:

$$p = p_b + p_g \tag{1-2a}$$

$$p_g = p - p_b \tag{1-2b}$$

即表压力等于绝对压力减去大气压力。

图 1-2 绘出上述关系示意图。

注意,只有绝对压力 p 才是状态参数。在计算高压容器的绝对压力时,可将大气压力视为常数,近似取作 $p_b = 0.1\text{MPa}$ 或 1at 。但当被测系统压力较小,其数值与大气压力相近时,则不能将大气压力视为常数,而应利用气压测定其具体数值。

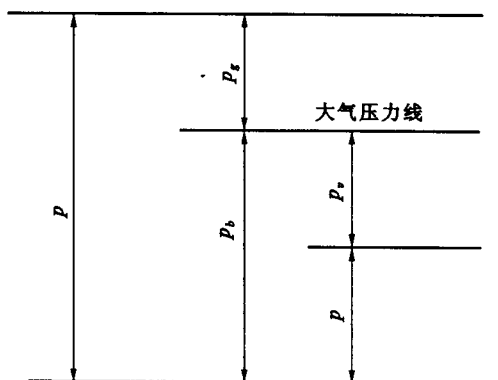


图 1-2 p 、 p_g 、 p_v 、 p_b 之间的关系

三、比体积(质量体积)

单位质量的工质所占的体积称为比体积,用符号 v 表示,单位为 m^3/kg 。其定义式为:

$$v = \frac{V}{m} \tag{1-3}$$

式中 m —— 系统内工质质量, kg ;

V —— 系统所占体积, m^3 。

单位体积的工质所具有的质量称为密度,用符号 ρ 表示,单位为 kg/m^3 。仍然用 m 表示工质质量,用 V 表示工质体积,则有

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1-4}$$

显然,比体积和密度互为倒数,即:

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

对于一定的气体工质而言,比体积、密度均为描绘分子聚集疏密程度的物理量,比体积越大,密度越小,表明气体越稀疏。

四、理想气体及其状态方程

1. 理想气体

所谓理想气体是一种实际上不存在的假想气体,其分子假设为弹性的,不占据体积的质点,分子之间没有作用力。

气体是远离液态的气态工质,当气体处于压力低、温度高、比体积很大的状态时,其分子浓度小,分子本身所占的体积与整个气体所占体积相比要小得多,这时,分子间平均距离大,相互作用力很弱,就很接近理想气体。理想气体实质上是实际气体压力 $p \rightarrow 0$ 、比体积 $v \rightarrow \infty$ 的极限状态。实际气体压力越低、温度越高,越接近理想气体。

2. 理想气体的意义

(1) 理想气体模型忽略了气体分子之间复杂的作用力,使分析计算成为可能。如能简便地定性分析气体的许多热力学现象,并能简捷地定量计算气体状态参数。

(2) 常温常压下,一些常用的气体工质都非常接近理想气体,如 O_2 、 N_2 、 CO_2 、 CO 及空气、燃气、烟气等;另外,大气或燃气中的水蒸气,因其分压力很小,分子浓度很低,亦可看做理想气体。

3. 实际气体

不能当作理想气体的工质,统称为实际气体。实际气体其分子运动规律极其复杂,往往要借助由实验得来的图或表才能进行分析计算。

通常,液态工质和离液态不远的气态工质(蒸汽)都必须当作实际气体处理。如蒸汽动力装置中的水蒸气、制冷装置中的制冷剂氨(NH_3)、氟利昂(R-12, R-22)等就不能作为理想气体。

4. 理想气体状态方程式

我们已知道,气体的状态可以用状态参数来确定,其中温度 T 、压力 p 和比体积 v 是三个基本状态参数。实践证明,要确定处于平衡状态的气体的状态,并不需要知道全部状态参数的值,而只要知道其中任意两个独立状态参数的值,其他参数可以通过它们之间的关系式计算出来。这些关系式中最为重要的是状态方程式。

早在分子运动学说系统化之前,许多物理学家已对气体的状态变化作了大量的观察和实验研究,建立了一系列的实验定律。克拉贝龙根据前人的大量实验,提出了理想气体在状态变化时三个基本状态参数:绝对压力 p 、比体积 v 及绝对温度 T 之间的关系式,即理想气体的状态方程式:

$$pv = R_g T \quad (1-5)$$

式中 p ——气体的绝对压力, Pa;

v ——气体的比体积, m^3/kg ;

T ——气体的热力学温度, K;

R_g ——气体常数, $J/(kg \cdot K)$ 。

式(1-5)是质量为 1 千克的理想气体的状态方程式,也称克拉贝龙方程式。

气体常数 R_g 值,仅取决于气体的性质,与气体的状态无关。几种常见气体的气体常数见表 1-1。