

工程热力学

吴孟余 主编

上海交通大学出版社

GONGCHENG RELIXUE

内 容 简 介

本书是作者在长期教学与教改实践基础上,按照国家教育委员会制定的“工程热力学课程教学基本要求”(修订版)编写 DMJ DN。编写中注意面向 21 世纪热工教学的改革趋势,并紧密结合轮机工程的实践,力求简明扼要,理论和实际交融。

全书力图突出重点,而又不失其系统性。由热力学基本定律、工质的性质、热力过程和热力循环三篇内容组成。在基本概念中,引入恒温热源与变温热源的概念,在介绍恒温热源条件下的卡诺循环、逆卡诺循环同时,还涉及了变温热源条件下的洛伦兹循环,为进一步分析非共沸混合工质的应用提供了基础。此外,在第三篇中还专门介绍热力学第一定律分析法和热力学第二定律分析法,通篇对热能与机械能相互转换进行量和质的两方面分析,最后以远洋实习船主机为对象进行剖析。

为了更新教学方法和手段,培养学生使用计算机进行分析和计算的能力,在理想气体性质、热力循环内容中还引入计算机辅助分析的综合性例题与习题,为提高学生这方面的能力作了一些尝试。

本书可供水运高等学校轮机管理专业使用,也可作为其他动力专业的教材,还可以供轮机管理人员和船厂设计人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学/吴孟余主编. —上海:上海交通大学出版社,
2000

ISBN 7-313-02458-4

I. 工… II. 吴… III. 工程热力学-高等学校-教材
IV. TK123

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 29939 号

工程热力学

吴孟余 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

常熟市文化印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 19.25 字数: 477 千字

2000 年 12 月第 1 版 2000 年 12 月第 1 次印刷

印数:1—3050

ISBN 7-313-02458-4/TK·064 定价:26.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

在国家教委制定的《面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划》的指引下,本书根据该计划的改革精神,按照国家教育委员会 1995 年制定的“工程热力学课程教学基本要求”(修订版),并结合轮机工程学科特点,同时注意吸收航海类热工课程改革的经验,在原教材的基础上修订而成。

本书力图突出重点,而不失其系统性。注意结合轮机工程实践,培养学生应用所学热工理论,解决实际工程问题的能力。为使全书系统清晰、简明,本书由热力学基本定律、工质的性质、热力过程和热力循环三篇组成。在内容上,通过在热源概念中引入恒温热源与变温热源,以及变温热源条件下的洛伦兹循环,为进一步分析非共沸混合工质的应用提供基础。对于一些疑难点,如熵的导出、熵与热力学第二定律的关系、烟等都尽量阐述清楚,并在热力循环分析中加强热力学第二定律的分析。特别在第 10 章中,同时介绍了热力学第一定律分析法与热力学第二定律分析法之间的区别和联系。最后还对远洋实习船主机进行了这两种分析,从而使学生加深对于该分析的认识。

为了更新教学方法和教学手段,注意培养学生的分析能力与计算能力。在理想气体性质、压缩机的热力过程、气体动力循环、制冷循环内容中还引入了计算机辅助分析,并安排有关小型综合性例题与习题,为计算机应用作了一些尝试。今后还将做大量工作,以使计算机辅助分析在工程热力学教学中起重要的作用。

本书在内容阐述上,力求简明、深入浅出,以便于学生自学。在每一章后除配有相当数量的例题、思考题及习题外,还加以小结,以便学生复习。为了适应不同水平的学生需要,除基本教学内容外,书中还编有带“*”符号的选学内容。

全书采用“中华人民共和国法定计量单位”(GB3100~3102-93),并附有各种单位的换算。

本书由吴孟余(第 1、2、3、4、5、6、7、10、11、12 章)、章学来(第 13 章)、梅国梁(第 9 章)、曹红奋(第 8 章)分章编写。全书由主编吴孟余定稿。本书承上海交通大学沈维道教授主审,并得到上海海运学院有关部门的支持。对此,编者谨在此表示感谢。由于编者水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,希望读者批评指正。

编 者

目 录

0 绪论	1
0.1 热能的利用	1
0.2 轮机工程中的几种热力设备工作原理简介	2
0.3 工程热力学的研究对象及研究方法	5
0.4 法定计量单位简介	7

第一篇 热力学基本定律

1 基本概念	13
1.1 热力系统	13
1.2 工质的热力状态及其基本状态参数	14
1.3 平衡状态及状态方程式	19
1.4 准平衡过程和可逆过程	20
2 热力学第一定律	25
2.1 能量的传递与转化	25
2.2 热力学第一定律的实质	29
2.3 热力学能、闭口系统热力学第一定律能量方程	30
2.4 焓、开口系统热力学第一定律能量方程	32
2.5 稳定流动能量方程的应用	34
3 热力学第二定律	42
3.1 循环	42
3.2 热力学第二定律	45
3.3 卡诺定理和卡诺循环	47
* 3.4 热力学绝对温标	51
3.5 克劳修斯不等式	53
3.6 熵	55
3.7 孤立系统熵增原理	57
* 3.8 焓	60

第二篇 工质的性质

4 理想气体的性质	71
4.1 理想气体状态方程	71
4.2 理想气体的比热容	72

4.3	理想气体的热力学能、焓和熵	78
* 4.4	理想气体性质计算机辅助分析	81
5	蒸汽的热力性质	88
5.1	实际气体状态方程	88
5.2	定压下水蒸气的发生过程	91
5.3	水蒸气表和图	94
5.4	水蒸气的基本热力过程	98
6	理想气体混合物和湿空气	107
6.1	理想气体混合物的基本概念	107
6.2	理想气体混合物的比热容、热力学能、焓和熵的计算	110
6.3	湿空气及其状态参数	111
6.4	焓湿图	115
6.5	湿空气的基本热力过程	117

第三篇 热力过程和热力循环

7	理想气体的热力过程	125
7.1	基本热力过程	125
7.2	多变过程	135
8	气体和蒸汽的流动	143
8.1	稳定流动的基本方程式	143
8.2	喷管和扩压管的流动特性及其截面变化规律	144
8.3	喷管的流速与流量计算分析	147
8.4	喷管的设计计算	152
8.5	工作条件变化时喷管内流动过程的分析	153
* 8.6	有摩阻的绝热流动	155
* 8.7	定熵滞止	157
8.8	绝热节流	158
9	压气机的热力过程	164
9.1	活塞式压气机的压气过程	164
9.2	多级压缩和级间冷却	169
9.3	叶轮式压气机的工作原理	172
* 9.4	压气机的效率及焓分析	175
* 9.5	引射式压缩器	178
* 9.6	压缩机计算机辅助分析	178
* 10	动力循环分析的方法	183
10.1	热力学第一定律分析法	183
10.2	热力学第二定律分析法	185
10.3	两种分析方法的比较	188

11 气体动力循环	190
11.1 内燃机的理想循环	190
11.2 内燃机理想循环热效率	192
11.3 活塞式内燃机三种理想循环的比较	198
11.4 燃气轮机装置定压加热理想循环	199
11.5 燃气轮机装置定压加热实际循环	201
* 11.6 采用回热改进燃气轮机实际循环	204
11.7 增压内燃机的理想循环	206
* 11.8 增压柴油机的热力学分析	208
* 11.9 内燃机的计算机辅助分析	211
12 蒸汽动力装置循环	216
12.1 概述	216
12.2 基本蒸汽动力循环——朗肯循环	216
* 12.3 朗肯循环的改善	221
* 12.4 基本蒸汽动力装置热力学分析	225
13 制冷循环	234
13.1 理想制冷循环	234
13.2 压缩空气制冷循环	235
13.3 蒸汽压缩制冷循环	238
* 13.4 制冷工质的热力性质	242
13.5 吸收式制冷循环	246
* 13.6 蒸汽喷射制冷循环	247
* 13.7 吸附式制冷循环	248
13.8 热泵供热循环	250
* 13.9 蒸汽压缩制冷循环的焓分析	251
13.10 制冷循环的计算机辅助分析	256
附录	
附表 1 气体的热力性质	261
附表 2 饱和水与饱和水蒸气的热力性质表(按温度排列)	262
附表 3 饱和水与饱和水蒸气的热力性质表(按压力排列)	264
附表 4 未饱和水与过热水蒸气的热力性质表	266
附表 5 R134a 饱和液体与饱和蒸汽表	270
附表 6 R134a 过热蒸汽表	274
附表 7 R22 饱和液体与饱和蒸汽表	283
附表 8 R22 过热蒸汽表	285
附表 9 饱和空气表	289
附表 10 常用物理常数	291
附图 1 水蒸气的焓熵图	292
附图 2 R134a 的压焓图	293

附图 3 R22 的压焓图	294
附图 4 氨的压焓图	295
附图 5 湿空气焓湿图	296
主要符号	297
主要参考文献	299

0 绪 论

工程热力学这门学科的发展,始于对热机中所进行的热能与机械能的相互转化,但是,随着生产的发展和科学技术的进步,它的应用范围日趋扩大与深入,不但应用于传统的热机、制冷等方面,而且还应用于能源工程、新型动力装置、宇宙航行、海水淡化、热化学、生物工程等新领域。当前,它已发展为探索人类掌握能量转化的基本规律,合理利用自然界能源的一门学科;对于轮机管理工程来说,它提供了科学地管理机舱所必须具备的有关能量及其相互转换的知识。

0.1 热能的利用

人类几千年的文明史是和生产力的发展紧密相连的,而对于能源的开发和利用又是生产力发展的重要基础。近 30 年来,世界各国为了发展经济,对于能源的合理开发与利用越来越重视,我国已经将其作为实现四个现代化的一个重要方面。

迄今为止,自然界中可被利用的能源主要有:风能、水能、地热能、燃料的化学能和原子核能等。在这些能源中,大部分能源是直接或间接以热能形式提供给人们的。按我国的技术发展水平,当前主要能源仍将是煤炭、石油、天然气等矿物燃料燃烧所放出的热能。热能的利用分直接利用与间接利用两种:直接利用如工业生产中的采暖、加热、烘干、冶炼、蒸煮等;间接利用即把热能转换为机械能或电能等。

在远洋船舶营运中,除辅助锅炉、海水淡化、燃油加热等直接利用热能外,机舱中及甲板上的各种设备都是利用主机所产生的机械能及辅机所产生的电能,故皆属间接利用。因此,怎样有效地将热能转换为机械能或电能的问题,对于降低远洋船舶的能耗以提高营运的经济效益,有着重大意义。交通运输行业与其他经济部门相比较,热能的有效利用率显得更低,一般低于 35%,许多尚能利用的余热随废气而排放到大气与海洋中去,因而造成了能源的浪费、环境的污染。所以对于轮机管理人员来说,怎样科学地管理机器,很好地实行机舱节能,乃是一项重要的工作。

人类对于热能的利用,有着灿烂的历史,又有着光辉的未来。在 18 世纪中叶出现的蒸汽机,实现了热能对机械能的转换,一改原来单纯利用人力、畜力以及风力和水力的自然动力,从此开创了间接利用热能的历史。蒸汽机的广泛使用,有力地促进了工业革命。为了更有效地间接利用热能,人们开始对热能和机械能的相互转换进行研究,最初是对水蒸气和其他一些物质的热力性质进行研究,并且日渐扩展到对于热能与机械能相互转换的基本规律的研究。由此形成并发展了工程热力学这门学科。随着生产力的发展,在 19 世纪末期,出现了蒸汽轮机和内燃机。其中内燃机因具有热效率高、重量轻、机动灵活等特点,而广泛应用于交通运输业。在 20 世纪,又发明了燃气轮机、喷气发动机和核动力装置,并且被各工业部门所采用。近年来,人类对于间接利用热能进行更为广泛而深入的研究,热机的发展更是蓬蓬勃勃,方兴未艾,如热能直接转换成电能的装置——磁流体发电、燃料电池、太阳能发电、海洋能发电、核聚变反应堆等方面的研究,正处于积极试验研究的阶段。热机的迅速发展,提出了许多新的工程热力

学研究课题。

200 多年来,热能间接利用的实践,推动了工程热力学的发展,使工程热力学成为一门应用性很强的工程技术基础科学。工程热力学的发展反过来又促进了热能的利用和各种新型热机的发明。两者不断相互促进,不断向前发展。这两者的关系,是辩证唯物主义的很好例证。因此,可以预料,随着热能利用的不断推广与深入,一定会推动工程热力学更快发展。

作为轮机管理人员,应该很好地掌握有关能量及其相互转换的规律和知识,即工程热力学。在机舱中,科学地管理好各类热力设备,有效地实现各种能量转换,开展好节能工作,以提高海洋运输的经济效益,使我国的海洋运输事业得到更大的发展。

0.2 轮机工程中的几种热力设备工作原理简介

本节将简要介绍在轮机工程中所涉及的内燃机、燃气轮机装置以及蒸汽动力装置,以了解在这些装置中所进行的热能转换为机械能的过程。同时,还简略地介绍在制冷装置中热量从低温处传向高温处的过程。在以后的若干章节中,将对其进行热力学分析。

0.2.1 内燃机

内燃机是远洋船舶的主要动力机。在内燃机的气缸内反复进行着“进气、压缩、燃烧与膨胀、排气”这四个过程,从而将“燃油的化学能转变为热能”,再由“热能转变为机械能”。

在内燃机中,凡上述四个过程在活塞运动四个冲程内完成的,就称为“四冲程内燃机”;而其在两个冲程内完成的,就称为是“二冲程内燃机”。所谓“冲程”即活塞由上止点移动到下止点,或者由下止点移动到上止点的直线距离。下面将以四冲程内燃机为典型,简要介绍其工作原理。图 0-1 即为四冲程内燃机示意图。

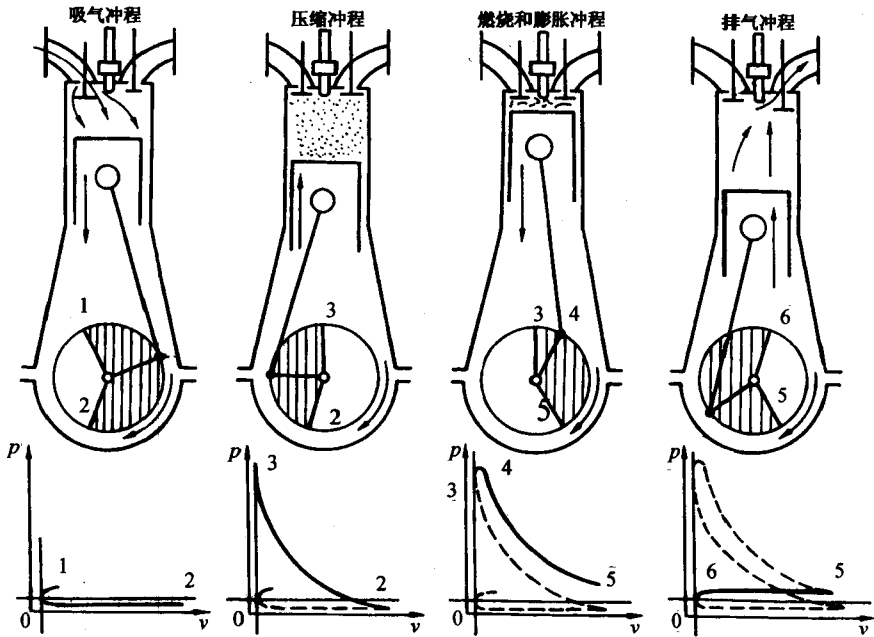


图 0-1

0.2.1.1 第一冲程——进气

活塞由于曲轴顺时针旋转,由初始位置上止点向下止点运动,进气阀打开,新鲜空气进入缸内。

0.2.1.2 第二冲程——压缩

继续转动曲轴,活塞由下向上运动。此时进、排气阀关闭,其压力与温度随体积减少而急剧上升。至上止点,空气已被压缩至高温高压状态,其温度已远超过燃油的自然温度。

0.2.1.3 第三冲程——燃烧与膨胀

在上止点前 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 曲轴转角,燃油由喷油器以雾状喷入高温高压空气中,燃油油滴蒸发与高温高压空气混合,发生自燃,气缸内空气压力与温度急剧上升,形成高温高压燃气,燃气发生膨胀,活塞由上止点至下止点移动。在膨胀初期,尚有燃烧延续进行,但活塞稍往下移动时,即燃烧结束。

0.2.1.4 第四冲程——排气

为排清废气,活塞快到达下止点,即排气阀打开,缸内压力和温度还较高的燃气经排气阀冲入大气。这时缸内燃气的压力已接近大气压力,活塞由下至上移动,强迫排出剩余燃气。

当活塞由上止点向下移动时,又开始重复上述过程,内燃机将源源不断地输出机械功。

二冲程内燃机的基本原理与四冲程内燃机基本相同,不同之处仅是前者的气缸下部的进、排气口代替后者的进、排气阀,使二冲程内燃机的进气、排气不占专门冲程。

0.2.2 燃气轮机装置

燃气轮机装置是近年来发展起来的一种新型动力机,由于其是回转式机械,故具有功率大、重量轻、体积小的优点,因而广泛应用于航空发动机及舰艇等特种用途船舶的发动机,其装置简图如图 0-2 所示。

燃气轮机装置由压气机 1、燃烧室 2、燃气轮机(透平)3 所构成,其工质是空气和燃气。空气进入压气机被压缩,从而提高压力与温度,然后进入燃烧室,一部分空气和喷入燃烧室的燃料混合燃烧,另一部分空气则用于和生成的高温燃气混合,以降低其温度,使混合后燃气温度低于燃气轮机叶片所能承受的温度。然后,混合的燃气进入燃气轮机膨胀做功,推动叶轮转子旋转,输出机械功。做功后的废气被排入大气。

0.2.3 蒸汽轮机动力装置

蒸汽轮机动力装置多应用于大型船舶,如大型油船等。图 0-3 为蒸汽轮机动力装置示意图。其主要由锅炉(预热器 1、汽包 2、沸水管 3、过热器 4 等)、蒸汽轮机 5、冷凝器 6、水泵 7 等组成。

燃油在蒸汽锅炉膛内,与空气混合燃烧,给水在预热器内被加热后流入汽包,再流进沸水管中,被燃气加热形成湿蒸汽。接着,湿蒸汽在过热器中进一步被加热为高温的过热蒸汽。过热蒸汽随后进入蒸汽轮机中膨胀做功,膨胀后的蒸汽进入冷凝器,放出余热凝结成水,重新由水泵压入锅炉。

在蒸汽轮机动力装置中,锅炉炉膛内的燃油燃烧,使燃油的化学能转换为热能。工质吸收了这些热能,在蒸汽轮机中,又将热能转换为机械能。所以,尽管蒸汽轮机的工质不是上述的空气和燃气,而是水和水蒸气,并没有直接参与燃烧,但在装置内进行的二次能量转换却是相同。

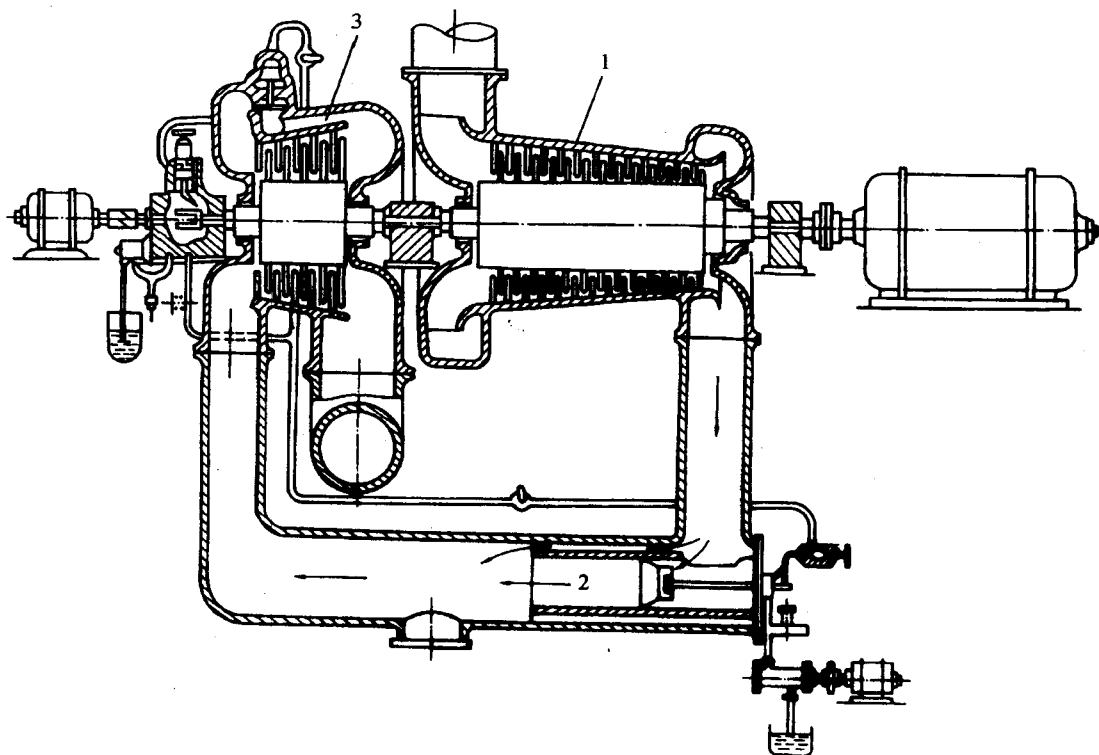


图 0-2

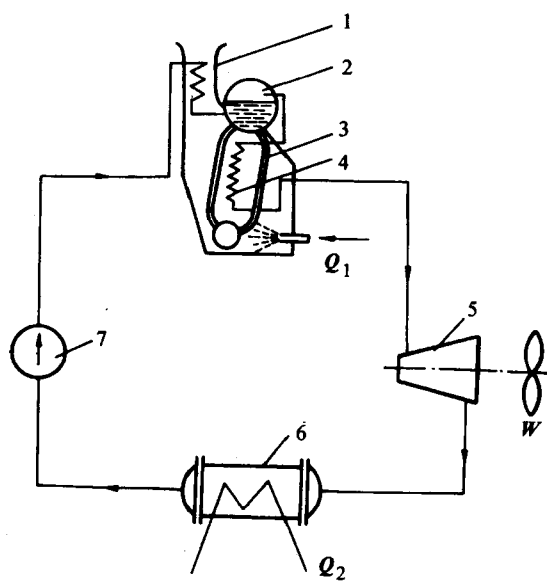


图 0-3

0.2.4 蒸汽压缩制冷装置

在船舶制冷与空调中,蒸汽压缩制冷装置是最常见的一种。在蒸汽压缩制冷装置中,进行着热量从低温处向高温处传递的过程。

蒸汽压缩制冷装置主要由压缩机 1、冷凝器 2、膨胀阀 3、蒸发器 4 所组成。如图 0-4 所示。由蒸发器出来的制冷剂,因吸收冷库内热量 Q_2 ,成为低温低压的气态制冷剂,进入活塞式压缩机后,被压缩为高压高温的蒸气,然后在冷凝器中放出热量 Q_1 给冷凝空气或水,凝结成高压常温的液体。高压常温的液体通过膨胀阀压力降低,急剧降温,变为低压低温的气液共存的混合物,进入蒸发器重新吸收冷库热量蒸发为低温低压的制冷剂蒸气。通过该制冷剂的实际工作循环,压缩机消耗外功 W ,吸收冷库热量 Q_2 ,向常温的冷凝水放热 Q_1 ,从而使热量 Q_2 由低温冷库传递到高温的周围环境中去。

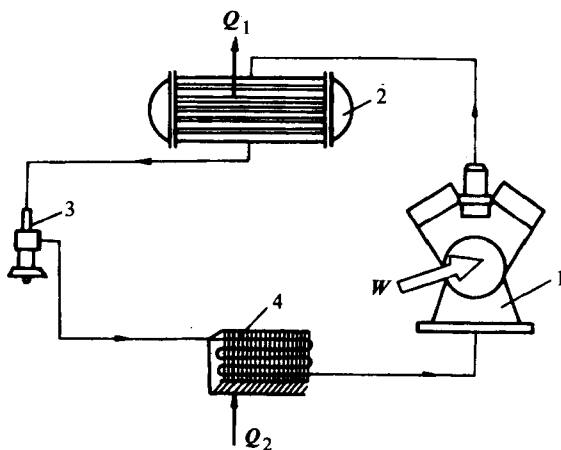


图 0-4

0.3 工程热力学的研究对象及研究方法

工程热力学是热力学的一个分支,冠之以“工程热力学”,正是说明其和热力工程联系的紧密性。它的发展与热力工程的发展,特别是热机生产实践的发展,息息相关。在热机的生产实践中,提出了各类问题,这些问题促进了工程热力学的形成与发展。这些问题可以归纳为:

1) 研究热能与机械能相互转换的基本规律。如热能与机械能在其相互转换中,从量的角度来看,有什么关系?热能与机械能相互转换是否不受限制?有无方向性?怎样从质的角度,来探讨热能与机械能的相互转换?这些问题是工程热力学的基本定律,即热力学第一定律与热力学第二定律所揭示的内容。

2) 研究工质的热力性质。即不同的热机中,往往采用不同的工质,这些工质对于热机中热功相互转换有何影响?怎样寻求理想的工质?等等。

3) 研究各种热力装置中进行的实际工作过程所组成的工作循环,将这些过程进行概括、抽象。理想化以便于研究的理想过程,然后再来分析计算该理想循环,探讨影响热能与机械能

相互转化的主要因素,寻找实现有效的热功转换的途径。

以上三个方面的问题,促进了工程热力学的形成和发展,也即构成为工程热力学主要的研究对象。

近年来,随着热力工程实践的飞跃发展,以及科学技术的突飞猛进,各种学科的相互渗透和相互促进,边缘学科的不断产生,工程热力学的研究领域已从传统的热功相互转换转向热能与各种其他形式能量的转换。其研究的范畴已涉及热化学、热泵、空气分离、化学精炼、高能激光、空气调节、生物工程、超导传输、太阳能利用、核发电等领域。昔日成熟的工程热力学正焕发出新的青春。目前已发展为揭示热能与其他能量相互转换的基本规律、合理利用能源的一门学科。工程热力学是动力类专业(包括轮机工程)的一门主干技术基础课,无论是设计或改造热力设备,还是管理维修热力设备,都要运用其基本知识和计算方法。

工程热力学是一门实践性很强的学科,它依据由经验所建立的热力学第一和第二定律,以及有关工质的热力性质实验数据,并根据各类热力设备的具体条件,推导出许多有用公式及重要结论,来指导我们研究与设计制造各种热力设备。这是种宏观的研究方法。由于主要依据是经验,没有人为的假设,所以其结果可靠、实用,在工程上得到广泛应用。但是这种宏观的研究方法,亦有其局限性和缺点。其缺点是不考虑物质的分子和原子的微观结构,也不考虑微粒的运动规律,因而尽管得出可靠的公式与结论,却不能说明其物理本质,而这一切可以由热力学的另一分支——统计热力学来解决。

统计热力学(又名统计物理学)是用微观的方法来研究热现象的学科,其应用微观粒子运动的力学定律和统计方法来研究热现象的本质及其内在原因。例如,认为热能是物体大量分子等微粒杂乱运动的动能,而机械能是宏观物体的运动动能。但热能与机械能有着本质上的不同:前者是无序的、杂乱的;后者是有序的。这一切说明了热力学第一定律热功转换的守恒性与热力学第二定律热功转换的方向性的实质。但是统计热力学也有其缺点,即分析过程复杂,计算要用高深的数学,结论也不像工程热力学那样可靠,必须用实验去验证。但是近年来,随着热力学的发展,对于一些综合性的复杂热力学问题,尚缺少实验数据,往往既借助于工程热力学的一些宏观结构,又沿用统计热力学的研究成果,如气体一些较难测量或较难准确测量的比热容数据,从而进行研究。所以随着热力学的发展,各分支学科互相渗透的现象会更普遍,这将促使热力学更快发展,并产生新的学科。

还应指出的是,近年来,无论是工程热力学,还是统计物理学,都随着计算机技术的应用与发展,改进了热力学计算方法,一些过去认为复杂问题变得简单了。如工程热力学编制各种工质热力性质表,可应用准确性高而复杂的实际气体状态方程式经计算机来计算,其参数范围大,是过去单依靠实验和人力计算所达不到的。又如在热机热力计算中,采用变比热容,并应用计算机来优化循环,计算出复杂循环的最佳参数。

根据前述,了解工程热力学的研究对象和方法,就不难知道应该怎样学习本课程。

1) 明确本课程的研究对象是研究热能转化为机械能的规律、方法以及怎样提高转化时的效率及热能利用的经济性。

2) 掌握本课程的宏观研究方法,在深刻认识热力学基本概念及掌握热力学基本定律基础上,要学会运用对复杂的实际工程问题进行抽象、概括、简化的方法,如在本课程中内燃机、燃气轮机工作循环抽象为理想循环就是很好的例子;又如工质的性质中,采用理想气体、实际气体等概念。

3) 重视习题作业与计算机计算方法。

本书尽量采用与轮机工程有联系的例题与习题。

通过分析、计算、解题,可以培养工程技术能力,以及独立解决实际问题的能力。

与本教材有关的一些实验也应该认真动手进行实验,并分析实验结果,有助于培养同学的实验技能。

本教材还引入了一些计算机计算的例题与作业,帮助同学掌握现代计算手段,培养采用计算机辅助分析方法解决工程的计算与分析问题的能力。这仅仅作为一个开端。

0.4 法定计量单位简介

工程热力学与其他学科一样,随着科学技术的迅猛发展,国际之间的交流日益频繁,因而世界各国决定逐步采用统一的国际单位制,简称 SI。我国为此作了很大的努力,在 1984 年 2 月 27 日由国务院颁布了“中华人民共和国法定计量单位”(简称法定单位),它以国际单位制为基础,同时适当选用了一些非国际单位制的单位。

国际单位制包括 SI 单位、SI 词头和 SI 单位的十进倍数与分数单位三部分。

中华人民共和国法定计量单位包括:

- 1) 国际单位制的基本单位。
- 2) 国际单位制的辅助单位。
- 3) 国际单位制中具有专门名称的导出单位。
- 4) 国家选定的非国际单位制单位。
- 5) 由以上单位构成的组合形式单位。
- 6) 由词头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位。

下面根据本课程的内容和需要,将以上有关内容摘要介绍如下:

0.4.1 国际单位制的基本单位及有关的导出单位

基本单位:基本单位共七个,如表 0-1 所列。

表 0-1 SI 基本单位

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
电流	安[培]	A
热力学温度	开[尔文]	K
物质的量	摩[尔]	mol
发光强度	坎[德拉]	cd

有关的导出单位:表0-2列出了与本书有关的一些主要导出单位。

表 0-2 SI 导出单位示例

量的名称	SI 导出单位			
	名称	符号	表示式	
			用 SI 单位	用 SI 基本单位
力,重力	牛[顿]	N	N	$\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
压力、压强,应力	帕[斯卡]	Pa	N/m^2	$\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
能[量],功,热量	焦[耳]	J	$\text{N} \cdot \text{m}$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
功率	瓦[特]	W	J/s	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
表面张力	牛[顿]每米	N/m	N/m	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$
热流密度	瓦[特]每平方米	W/m^2	W/m^2	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$
热容、熵	焦[耳]每开[尔文]	J/K	J/K	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
比热容、比焓	焦[耳]每千克开[尔文]	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
比能[量],比焓	焦[耳]每千克	J/kg	J/kg	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
摩尔体积	立方米每摩[尔]	m^3/mol	m^3/mol	$\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
摩尔热力学能,摩尔焓	焦[耳]每摩[尔]	J/mol	J/mol	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{mol}^{-1}$
摩尔热容,摩尔熵	焦[耳]每摩[尔]开[尔文]	$\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$	$\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$	$\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

0.4.2 SI 词头

SI 词头是用来构成十进倍数和分数单位的词头。常用国际单位制词头见表 0-3。

表 0-3 常用国际单位制词头

因 数	词 头 名 称	词 头 符 号
10^9	吉[咖](giga)	G
10^6	兆(mega)	M
10^3	千(kilo)	k
10^2	百(hecto)	h
10^1	十(deca)	da
10^{-1}	分(deci)	d
10^{-2}	厘(centi)	c
10^{-3}	毫(milli)	m
10^{-6}	微(micro)	μ

0.4.3 国家选定的非国际单位制单位

与本书有关的国家选定非国际单位、制单位见表 0-4

表 0-4 国家选定的非国际单位单位

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时 间	分	min	1 min = 60s
	[小]时	h	1 h = 60min = 3600s
	天[日]	d	1 d = 24h = 86400s

续表

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
平面角	[角]秒	($''$)	$1'' = (\pi/648000)\text{rad}$
	[角]分	($'$)	$1' = 60'' = (\pi/10800)\text{rad}$
	度	($^{\circ}$)	$1^{\circ} = 60' = (\pi/180)\text{rad}$
旋转速度	转每分	r/min	$1\text{r/min} = (1/60)\text{s}^{-1}$

0.4.4 国际单位制单位与其他单位制单位的换算

表 0-5 列出了与本书有关的主要物理量单位间的换算关系。

表 0-5 主要单位换算表

压 力	1MPa= 1at= 1lbf/in ² =	MPa (兆帕)	at (工程大气压)	1lbf/in ² (磅力/英寸 ²)
		1 0.0980665 0.0068947	10.1972 1 0.070307	145.038 14.2233 1
比体积	1m ³ /kg 1ft ³ /lb=	m ³ /kg (米 ³ /千克)	ft ³ /lb 英尺 ³ /磅	
		1 0.062428	16.0185 1	
比 焓	1kJ/kg= 1kcal/kg= 1Btu/lb=	kJ/kg (千焦/千克)	kcal/kg (千卡/千克)	Btu/lb (英热单位/磅)
		1 4.1868 2.326	0.238846 1 0.555556	0.429923 1.80 1
比 熵	1kJ/(kg·K)= 1kcal/(kg·K)= 1Btu/(lb·°R)=	kJ/(kg·K) [千焦/(千克·开)]	kcal/(kg·K) [千卡/(千克·开)]	Btu/(lb·°R) (英热单位/(磅·兰氏度))
		1 4.1868 4.1868	0.238846 1 1	0.238846 1 1
比热容	1kJ/(kg·K)= 1kcal/(kg·K)= 1Btu/(lb·°R)=	kJ/(kg·K) [千焦/(千克·开)]	kcal/(kg·K) [千卡/(千克·开)]	Btu/(lb·°R) (英热单位/(磅·兰氏度))
		1 4.1868 4.1868	0.238846 1 1	0.238846 1 1
能 量	1kJ= 1kcal= 1Btu=	kJ (千焦)	kcal (千卡)	Btu (英热单位)
		1 4.1868 1.0550	0.2388 1 0.2520	0.9478 3.9682 1
功 率	1kW= 1 马力= 1Btu/h=	kW (千瓦)	马力	Btu/h (英热单位/时)
		1 0.73549 2.93071×10^{-4}	1.3596 1 3.98467×10^{-4}	3.4121×10^3 2.5096×10^3 1

思 考 题

- 1) 由所介绍的几种船舶动力机的工作原理,来了解热能转变为机械能的普遍规律是什么。
- 2) 为什么要学习工程热力学? 工程热力学的研究对象是什么? 应该怎样学习工程热力学?
- 3) 热能与机械能在本质上有何异同点?