



普通高等教育“十一五”国家级规划教材


工程热力学

童钧耕 主编

第4版



高等教育出版社
Higher Education Press

 普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工程热力学

第 4 版

童钧耕 主 编

高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第3版的基础上,根据教育部新制定的“高等学校工科本科工程热力学(多学时)教学基本要求”,并总结近年来教学研究和教学改革成果修订而成的。本书第3版是面向21世纪课程教材、教育部热工课程“九五”规划教材和首届国家级精品课程主讲教材。

本书基本保持了第3版的体系,全书共13章,以能量传递、转移过程中数量守恒和质量蜕变为主线,讲述了工程热力学的基本概念、基本定律,气体及蒸汽的热力性质,各种热力过程和循环的分析计算及热力学在化学过程中的应用等内容。本书在加强基础理论的同时注意吸收当今热工科技的新成果,注意联系工程实践和学生创新能力的培养。本书所附光盘内包含的工程热力学导论录像、多媒体课件、各章习题的提示及答案、气体热力性质查询软件及工程热力学名词和术语查询软件等,为读者深入学习工程热力学构筑了新的平台。

本书既继承了前几版便于自学的特点,又进一步拓展了内容的广度和深度,可作为高等学校能源动力类、化工与制药类、航空航天类、机械类、交通运输类、核工程与技术类及土建类等专业的工程热力学教科书,也可供有关科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程热力学/童钧耕主编. —4版. —北京:高等教育出版社,2007.6

ISBN 978-7-04-021447-5

I. 工… II. 童… 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(2007)第056222号

策划编辑 宋 晓 责任编辑 宋 晓 封面设计 张志奇 责任绘图 朱 静
版式设计 余 杨 责任校对 杨凤玲 责任印制 韩 刚

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京中科印刷有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	1982年3月第1版
印 张	31		2007年6月第4版
字 数	570 000	印 次	2007年6月第1次印刷
		定 价	36.00元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 21447-00

第 4 版 前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在第 3 版的基础上根据教育部新制定的“高等学校工科本科工程热力学(多学时)教学基本要求”,并总结近年来教学研究和教学改革成果修订而成的。本书第 2 版在“文化大革命”后不久出版,鉴于当时的情况,在工程热力学新概念、新理论等方面的引入有所欠缺。针对第 2 版的不足,第 3 版做了较多的修订以满足进入 21 世纪后教学的需要。第三版如同前两版一样,得到了广大师生的认可,出版以来多次重印。笔者所负责的工程热力学课程在 2003 年获得了教育部首批国家精品课程的称号,本教材也列入高等教育出版社“高等教育百门精品课程教材建设计划”项目。但是在教学进程中发现:本书第 3 版的内容与当前世界科技发展及国家建设紧密结合方面还有很大的改进空间;有些章节的编排尚可更符合教学规律;教材立体化方面尚待突破。基于这样的认识,第 4 版做了如下的改进:

(1) 在保持原教材体系的框架下对教材做了一定的变动:把原“第七章水蒸气”拆分成水蒸气的性质和水蒸气的热力过程两部分,分别与原“第三章理想气体的性质”及“第四章理想气体的热力过程”两章结合,组成“气体和蒸汽的性质”及“气体和蒸汽的基本热力过程”两章;把原“第三章混合气体”部分内容移至“理想气体混合物及湿空气”一章中。

(2) 增加了热力学在生物过程、核电二回路循环的应用等方面的介绍。

(3) 每章增加本章小结,并增加了一定数量与工程实践紧密联系的例题和习题。

(4) 配套研制了多媒体辅助教学系统光盘。光盘内包含了工程热力学导论录像、多媒体课件、较为详尽的各种数据表、第 4 版各章习题的提示及答案、气体热力性质查询软件及工程热力学名词和术语查询软件等。

希望这些工作能使第四版在工程热力学的教学工作中受到更大的欢迎。

本书初稿承蒙严家骏教授仔细审阅,严教授不仅对教材的全局取舍提出了中肯的意见,而且也指出了一些细节的错误和不妥,充分体现了严教授博大精深的学识及一丝不苟的治学风范。第四版在编写过程中得到了上海交通大学吴慧英教授、刘振华教授、胡国新教授、石玉美教授、范卫东副教授、王平阳副教授、汪国山副教授、朱亚平高工及上海海事大学吴孟余教授等的帮助。在此一并表示感谢。

在第 3 版出版前,蒋智敏教授远赴澳洲定居,虽多次相邀共同完成第 4 版的

II 第4版前言

编写,终因各种原因未能如愿。第3版出版后不久先师沈维道教授驾鹤西去,在他仙逝前把积累的工程热力学教学资料交给了笔者,因此第4版也包含了沈维道先生的一些想法。希望第4版不会让远在澳洲和天国关注着本书的蒋教授和沈先生失望。

书中的错误和不妥之处,望能不吝指正。

上海交通大学机械与动力工程学院 童钧耕

2007-01-15

上海闵行东川路800号

邮编:200240

电子信箱:jgtong@sjtu.edu.cn

目 录

绪论	1
0-1 热能及其利用	1
0-2 热力学发展简史	2
0-3 工程热力学的主要内容及研究方法	4
第一章 基本概念及定义	6
1-1 热能和机械能相互转换的过程	6
1-2 热力系统	9
1-3 工质的热力学状态及其基本状态参数	11
1-4 平衡状态、状态方程式、坐标图	16
1-5 工质的状态变化过程	18
1-6 过程功和热量	21
1-7 热力循环	27
本章小结	30
思考题	30
习题	32
第二章 热力学第一定律	36
2-1 热力学第一定律的实质	36
2-2 热力学能和总能	36
2-3 能量的传递和转化	38
2-4 焓	40
2-5 热力学第一定律的基本能量方程式	41
2-6 开口系统能量方程式	43
2-7 能量方程式的应用	47
*2-8 人体的能量平衡	52
本章小结	55
思考题	56
习题	57
第三章 气体和蒸汽的性质	61
3-1 理想气体的概念	61

II 目录

3-2 理想气体的比热容	65
3-3 理想气体的热力学能、焓和熵	72
3-4 水蒸气的饱和状态和相图	78
3-5 水的汽化过程和临界点	80
3-6 水和水蒸气的状态参数	82
3-7 水蒸气表和图	85
*3-8 水及水蒸气热力性质程序简介	90
本章小结	92
思考题	93
习题	94
第四章 气体和蒸汽的基本热力过程	99
4-1 理想气体的可逆多变过程	99
4-2 定容过程	102
4-3 定压过程	104
4-4 定温过程	109
4-5 绝热过程	111
4-6 理想气体热力过程综合分析	118
4-7 水蒸气的基本过程	125
*4-8 非稳态流动过程	128
本章小结	132
思考题	133
习题	134
第五章 热力学第二定律	142
5-1 热力学第二定律	142
5-2 卡诺循环和多热源可逆循环分析	145
5-3 卡诺定理	150
5-4 熵、热力学第二定律的数学表达式	152
5-5 熵方程	162
5-6 孤立系统熵增原理	166
5-7 焓参数的基本概念 热量焓	173
5-8 工质焓及系统焓平衡方程	182
*5-9 热力学温标	190
本章小结	192
思考题	193
习题	195

第六章 实际气体的性质及热力学一般关系式	201
6-1 理想气体状态方程用于实际气体的偏差	201
6-2 范德瓦尔方程和 R-K 方程	203
6-3 对应态原理与通用压缩因子图	208
6-4 维里方程	212
6-5 麦克斯韦关系和热系数	213
6-6 热力学能、焓和熵的一般关系式	219
6-7 比热容的一般关系式	223
*6-8 通用焓图与通用熵图	226
*6-9 克拉贝隆方程和饱和蒸气压方程	228
*6-10 单元系相平衡条件	232
本章小结	234
思考题	235
习题	236
第七章 气体与蒸汽的流动	239
7-1 稳定流动的基本方程式	239
7-2 促使流速改变的条件	243
7-3 喷管的计算	246
*7-4 背压变化时喷管内流动过程简析	253
7-5 有摩阻的绝热流动	254
7-6 绝热节流	257
本章小结	261
思考题	263
习题	264
第八章 压气机的热力过程	267
8-1 单级活塞式压气机的工作原理和理论耗功量	267
8-2 余隙容积的影响	269
8-3 多级压缩和级间冷却	272
8-4 叶轮式压气机的工作原理	275
*8-5 引射式压缩机简述	279
本章小结	280
思考题	281
习题	281
第九章 气体动力循环	284
9-1 分析动力循环的一般方法	284

IV 目录

9-2	活塞式内燃机实际循环的简化	286
9-3	活塞式内燃机的理想循环	288
9-4	活塞式内燃机各种理想循环的热力学比较	295
*9-5	活塞式热气发动机及其循环	296
9-6	燃气轮机装置循环	299
9-7	燃气轮机装置的定压加热实际循环	303
*9-8	提高燃气轮机装置循环热效率的措施	306
*9-9	喷气式发动机简介	309
	本章小结	310
	思考题	310
	习题	312
第十章	蒸汽动力装置循环	316
10-1	简单蒸汽动力装置循环——朗肯循环	316
10-2	再热循环	325
10-3	回热循环	328
*10-4	热电合供循环	333
*10-5	蒸汽-燃气联合循环	335
*10-6	蒸汽动力装置循环的焓分析	337
	本章小结	343
	思考题	343
	习题	345
第十一章	制冷循环	348
11-1	概述	348
11-2	压缩空气制冷循环	349
11-3	压缩蒸气制冷循环	353
11-4	制冷剂的性质	357
*11-5	其他制冷循环	359
11-6	热泵循环	362
	本章小结	363
	思考题	364
	习题	364
第十二章	理想气体混合物及湿空气	367
12-1	理想气体混合物	367
12-2	理想气体混合物的比热容、热力学能、焓和熵	372

12-3	湿空气	375
12-4	湿空气的状态参数	378
12-5	湿球温度和绝热饱和温度	382
12-6	湿空气的焓-湿图	385
12-7	湿空气过程及其应用	389
	本章小结	395
	思考题	396
	习题	397
第十三章	化学热力学基础	400
13-1	概述	400
13-2	热力学第一定律解析式	402
13-3	赫斯定律和基尔霍夫定律	405
13-4	绝热理论燃烧温度	409
13-5	化学平衡和平衡常数	413
13-6	平衡移动原理	416
13-7	化学反应方向判据及平衡条件	419
13-8	等温等压反应的平衡常数	425
*13-9	热力学第三定律, 熵的绝对值	429
	本章小结	432
	思考题	432
	习题	433
附录		436
附表 1	一些常用气体的摩尔质量和临界参数	436
附表 2	一些常用气体 25℃、100 kPa [*] 时的比热容	437
附表 3	低压时一些常用气体的比热容	438
附表 4	一些气体在理想气体状态的比定压热容	439
附表 5	理想气体的平均比定压热容	440
附表 6	气体的平均比定压热容的直线关系式	441
附表 7	空气的热力性质	442
附表 8	气体的热力性质	444
附表 9	氨(NH ₃)饱和液和饱和蒸气的热力性质	446
附表 10	过热氨(NH ₃)蒸气的热力性质	447
附表 11	氟利昂 134a 的饱和性质(温度基准)	449
附表 12	氟利昂 134a 的饱和性质(压力基准)	451
附表 13	过热氟利昂 134a 蒸气的热力性质	453

VI 目录

附表 14	0.1 MPa 时饱和空气的状态参数	455
附表 15	一些物质在 25 °C 时的燃烧焓 ΔH_c^0	457
附表 16	一些物质的标准生成焓、标准吉布斯函数和 25 °C、100 kPa 时的绝对熵	458
附表 17	一些反应的平衡常数 K_p 的对数 (lg) 值	459
部分习题参考答案	460
索引	473
主要参考文献	481

绪 论

0-1 热能及其利用

能源是人类社会不可缺少的物质基础之一,人类社会的发展史与人类开发利用能源的广度和深度紧密相连。

所谓能源,是指提供各种有效能量的物质资源。自然界中可被人们利用的能量主要有煤、石油等矿物燃料的化学能以及风能、水力能、太阳能、地热能、原子能、生物质能等。其中风能和水利能是自然界以机械能形式提供的能量,其他则主要以热能的形式或者转换为热能的形式供人们利用。可见,能量的利用过程实质上是能量的传递和转换过程(图0-1)。据统计,世界上经过热能形式而被利用的能量平均超过85%,我国则占90%以上。因此,热能的开发利用对人类社会的发展有着重要意义。

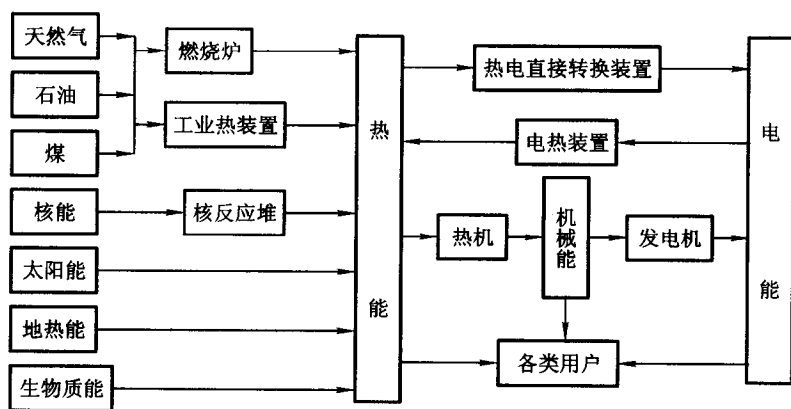


图0-1 热能及其工程应用

热能的利用通常有两种基本形式:一种是热利用,如在冶金、化工、食品等工业和生活上应用;另一种是热能的动力利用,即把热能转化成机械能或电能,为人类社会的各方面提供动力等。18世纪中叶以后,蒸汽机的发明实现了热能大规模、经济地转换成机械能,使工业生产、科学技术和人们的生活有了突飞猛进的变化。

在当今科技条件下,利用得最多的能源是燃料的化学能。通过燃烧,燃料的

2 绪论

化学能转换成热能,再将热能转换成机械能或电能供人们使用。20世纪60年代以来,人们已开始把原子能内部蕴藏的巨大能量通过裂变反应释放出来,加以和平利用。目前,世界上已有包括中国在内的数十个国家的数百座核电厂正在源源不断地输出电力。此外,人们也在努力把太阳能、地热能等转化为动力,供人们利用。热能通过热能动力装置转换为机械能的效率较低,即使是当代最先进的大型燃气-蒸汽联合发电装置的热效率也只有57%。因此,人们一直在寻求使热能或燃料化学能直接转换为电能的方法,如磁流体发电、太阳能电池、燃料电池等。

自然界所发生的一切运动,都伴随着能量的变化,生命过程也不例外。例如,肌肉收缩时高能磷酸键的化学能转变为机械能而做功,光合作用中光能转变为化学能,视觉过程中光能转变为电能而产生视觉,等等,都是能量的转化和利用。生物系统主要由四种元素构成:氢、氧、碳和氮。人体质量的72%是水;人体原子的63%为氢,25.5%是氧,9.5%为碳,1.4%是氮,其余的0.6%是生命必须的其他20种元素。生物系统可以小到一个细胞,也可以是平均直径为0.01 mm的100万亿细胞构成的人体。在生命的运动中广泛地包含着复杂的热运动,生物系统的能量转换和传递错综复杂,但是热力学的基本原理在生命运动中也是适用的。

能源的开发利用一方面为人类社会的发展提供了必需的能量,另一方面也造成了对自然环境的破坏和污染。与能源开发利用密切相关的温室效应、酸雨、核废料辐射等对地球的生态系统造成了严重威胁,因此人们正以极大的热情关注节能、可再生能源的开发等,努力在满足人类社会对能量需求的同时不破坏或少破坏自然环境,实现可持续发展,为后代留下良好的生存空间。

热力学是一门研究物质的能量、能量传递和转换以及能量与物质性质之间普遍关系的科学。工程热力学是热力学的工程分支,是在阐述热力学普遍原理的基础上,研究这些原理的技术应用的学科,它着重研究的是热能与其他形式能量(主要是机械能)之间的转换规律及其工程应用。掌握工程热力学的基本原理,必将为在能源、动力、机械、航空航天、化工、生物工程及环境工程等领域内的深入研究打下坚实的基础。

0-2 热力学发展简史

人类的生产实践和探索未知事物的欲望是科学技术发展的动力。热现象是人类最早广泛接触到的自然现象之一,但是直到18世纪初,在欧洲,由于煤矿开采、航海、纺织等产业部门的发展,产生了对热机的巨大需求,才促使热学的发展得到积极的推动。1763—1784年间,英国人瓦特(James Watt, 1736—1819)对当

时用来带动煤矿水泵的原始蒸汽机做了重大改进,且研制成功了应用高于大气压的蒸汽和配有独立凝汽器的单缸蒸汽机,提高了蒸汽机的热效率。此后,蒸汽机为纺织、冶金、交通等部门广泛采用,使生产力有了很大的提高。

蒸汽机的发明与应用,刺激、推动了热学方面的理论研究,促成了热力学的建立与发展。1824年,法国人卡诺(Sadi Carnot, 1796—1832)提出了卡诺定理与卡诺循环,指出热机必须工作于不同温度的热源之间,并提出了热机最高效率的概念,这在本质上已阐明了热力学第二定律的基本内容。卡诺用当时流行的“热质说”作为其理论的依据,虽然他的结论是正确的,但证明过程却是错误的。在卡诺所做工作的基础上,1850—1851年间克劳修斯(Rudolf Clausius, 1822—1888)和汤姆逊(William Thomson, 即开尔文 Lord Kelvin, 1824—1907)先后独自从热量传递和热转变成功的角度提出了热力学第二定律,指明了热过程的方向性。

在热质说流行的年代,一些研究者用实验事实驳斥了其错误,但由于没有找到热功转换的数量关系,他们的工作没有受到重视。早在1778年,伦福德(Conat Rumford)就根据制造枪炮所切下的碎屑的温度很高,而且在工作中高温碎屑不断产生出来,证实了热是一种运动的表现形式。一年后,戴维(H. Davy)用两块冰块相互摩擦使之完全熔化,再次用实验支持了热是运动的学说。1842年,迈耶(Julius Robert Mayer, 1814—1878)提出了能量守恒原理,认为热是能量的一种形式,可以与机械能相互转换。1850年,焦耳(James Prescott Joule, 1818—1889)在他的关于热功相当实验的总结论文中,以各种精确的实验结果使能量守恒与转换定律,即热力学第一定律得到了充分的证实。能量守恒与转换定律是19世纪物理学的最重要发现。1851年,汤姆逊把能量这一概念引入热力学。

热力学第一定律的建立宣告第一类永动机(即不消耗能量的永动机)是不可能实现的。热力学第二定律则使制造第二类永动机(只从一个热源吸热的永动机)的梦想破灭。这两个定律奠定了热力学的理论基础。

热力学理论促进了热动力机的不断改进与发展,而人类生产实践又不断为热力学的前进提供新的驱动力。1906年,能斯特(Walter Nernst, 1869—1941)根据低温下化学反应的大量实验事实归纳出了新的规律,并于1912年将之表述为绝对零度不能达到原理,即热力学第三定律。热力学第三定律的建立使经典热力学理论更趋完善。1942年,凯南(Joseph Henry Keenan, 1900—1977)在热力学基础上提出有效能的概念,使人们对能源利用和节能的认识又上了一个台阶。近代能量转换新技术(如等离子发电、燃料电池等)及1974年人们确定了作为常用制冷剂的氯氟烃物质CFC和含氢氯氟烃物质HCFC与南极臭氧层空洞的联系等问题向热力学提出了新的课题。热力学理论将在不断解决新课题中继续

发展。

0-3 工程热力学的主要内容及研究方法

工程热力学的研究对象主要是能量转换,特别是热能转化成机械能的规律和方法,以及提高转化效率的途径,以提高能源利用的经济性。它的主要内容包括:

(1) 基本概念与基本定律,如热力系统,状态参数,平衡态,热力学第一定律、第二定律,等等。这些基本概念和基本定律是全部工程热力学的基础。

(2) 能量的转化过程特别是热能转化为机械能,是由工质的吸热、膨胀、排热等状态变化过程实现的,因此过程和循环的分析研究及计算方法是工程热力学的重要内容。

(3) 常用工质的性质。工质性质对其状态变化过程有着极重要的影响。

(4) 通常的热工设备中涉及燃烧,而且近年来关于燃料电池等新型能量转换技术及有关生物和环境问题的研究与化学过程的能量转换和利用有关,所以工程热力学中还包括化学热力学等方面的有关内容。

热力学有两种不同的研究方法:一种是宏观的研究方法;另一种是微观的研究方法。

宏观研究方法的特点是以热力学第一定律、第二定律等基本定律为基础,针对具体问题采用抽象、概括、理想化和简化的方法,抽出共性,突出本质,建立分析模型,推导出一系列有用的公式,得到若干重要结论。由于热力学基本定律的可靠性以及它们的普适性,所以应用热力学宏观研究方法可以得到很可靠的结果。但是,由于它不考虑物质分子和原子的微观结构,也不考虑微粒的运动规律,所以由之建立的热力学宏观理论并不能说明热现象的本质及其内在原因。

应用宏观方法研究的热力学叫做宏观热力学,也叫做经典热力学。工程热力学主要应用宏观研究方法。

应用微观的研究方法的热力学叫做微观热力学,也称统计热力学。气体分子运动学说和统计热力学认为,大量气体分子的杂乱运动服从统计法则和概率法则,应用统计法则和概率法则的研究方法就是微观的研究方法。由于它是从物质是由大量分子和原子等粒子所组成的事实出发,将宏观性质作为在一定宏观条件下大量分子和原子的相应微观量的统计平均值,利用量子力学和统计方法,将大量粒子在一定宏观条件下一切可能的微观运动状态予以统计平均,来阐明物质的宏观特性,导出热力学基本规律,因而能阐明热现象的本质,解释“涨落”现象。在对分子结构作出模型假设后,利用统计热力学方法还可对这种物质的具体热力学性质作出预测。但统计热力学也有局限性,因为对分子微观结

构的假设只能是近似的,尽管运用了繁复的数学运算,但所求得理论结果往往不够精确。

工程热力学主要应用热力学的宏观方法,但有时也引用气体分子运动理论和统计热力学的基本观点及研究成果。随着近代计算机技术的发展,计算机愈来愈多地介入工程热力学的研究中,成为一种强有力的工具。

学好工程热力学,首先要掌握学科的主要线索——研究热能转化为机械能的规律、方法以及怎样提高转化效率和热能利用的经济性;其次是在深刻理解基本概念的基础上运用抽象简化的方法抽出各种具体问题的本质,应用热力学基本定理和基本方法进行分析研究;第三是必须重视习题、实验等环节,通过习题等环节可以培养抽象和分析问题的能力,加深对基本概念的理解。

第一章 基本概念及定义

工程热力学是在基本概念和基本定律的基础上通过严密的推理建立起来的,对概念的理解将在很大程度上影响本门课程的学习。本章讨论工程热力学的基本概念。这些概念有些是建立热力学基本理论必不可少的,例如温度、平衡态、可逆过程等,称为基本概念,有些是工程科学所共有的,如(热)效率,还有些则是工程热力学特有的,如热机、循环等。

1-1 热能和机械能相互转换的过程

从燃料燃烧中得到热能以及利用热能得到动力的整套设备(包括辅助设备),统称热动力装置。热动力装置可分为蒸汽动力装置及燃气动力装置两大类。下面简要介绍各类热动力装置中的能量转换情况。

内燃机是最常见的热动力装置之一,其主要部分为气缸、活塞(图 1-1)。发动机工作时活塞作往复运动,由于这一运动并借助于连杆和曲柄使发动机曲轴转动,以带动工作机器。

燃料和空气的混合物在气缸中燃烧,释放出大量热能,使燃烧后产生的气体——燃气的温度、压力大大高于周围介质的温度和压力,因而具备作功的能力。燃气在气缸中膨胀作功,推动活塞,这时气体的能量通过曲柄连杆机构传给装在发动机曲轴上的飞轮,转变成飞轮的动能。飞轮的转动带动曲轴,向外输出轴功,同时完成活塞的逆向运动,排出废气,为下一轮进气做好准备。

每经过一定的时间间隔,空气和燃料被送入气缸中,并在其中燃烧、膨胀,推动活塞作功。这样,活塞不断地往复运动,曲轴则连续回转。飞轮从气体那里所得到的能量,除了部分作为带动活塞逆向运动所需的能量外,其余部分传递给工作机械加以利用。此外,排出的废气把一部分燃料化学能转换来的热能排向环境大气。

燃气轮机装置和喷气发动机也是典型的燃气动力装置,在这些设备中燃料和助燃的气体在燃烧设备中燃烧,化学能转换成燃气的热能,燃气膨胀作功,作功后的废气排出装置同时向环境介质排热。

电厂蒸汽动力装置系统简图如图 1-2 所示。这是由锅炉、汽轮机、冷凝器、

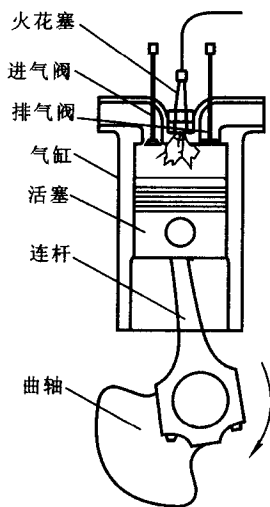


图 1-1 内燃机示意图