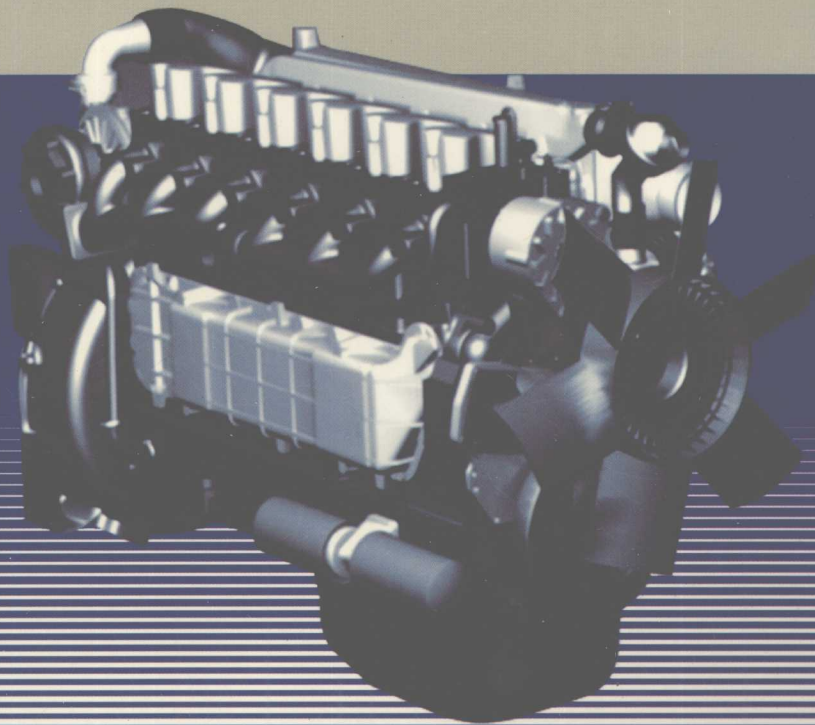


动力机械概论

Dongli Jixie Gailun

周斌◎编著



动力机械概论

周 斌 编著

董天伟 审核

西南交通大学出版基金资助出版

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

人类的生存和社会的发展离不开动力, 动力的发展和进步标志着社会与科学技术的发展和进步。本书根据工科非动力类学生对动力机械知识的需要, 以能量的转换和有效利用为主线, 以能源利用的主要形式——热能利用为例, 以在热能利用中效率最高、应用范围最广的内燃机为重点, 以点带面、由浅入深地介绍了能量转换的基本原理、动力机械的组成及工作原理、动力机械的性能参数与特性、动力机械环保、动力机械与工作机械的匹配以及新能源利用等有关内容。

本书可用做工科院校非动力类专业本科学生的教材, 也可供从事工程机械、物流机械、车辆工程、交通运输等方面工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

动力机械概论 / 周斌编著. — 成都: 西南交通大学出版社, 2005.11

ISBN 7-81104-056-5

I. 动... II. 周... III. 动力机械—高等学校—教材 IV. TK05

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第053359号

动力机械概论

周 斌 编著

*

责任编辑 孟苏成

责任校对 李 梅

封面设计 王 可

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段111号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 178 mm×232 mm 印张: 14.125

字数: 325千字

2005年11月第1版 2005年11月第1次印刷

ISBN 7-81104-056-5/TK·020

定价: 22.00元

图书如有印装问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

当今时代是一个与动力的应用和发展息息相关的时代。现代工业、农业、交通运输以及国防等各个部门无不以动力为先行，没有现代动力机械的大量生产和各种动力机械的广泛应用，就谈不上现代工业、现代农业、现代国防和现代科学技术。为适应 21 世纪培养人才的需要和满足加强基础、拓宽知识面的要求，作者在机械工程及自动化试点班授课的基础上，对其讲义进行整理，并在西南交通大学重点教材基金的资助下编写了本教材。该书旨在使工科非动力类专业本科学生对动力机械及相关知识有一个基本的认识，并为其继续深入学习某一专业的知识和适应毕业后工作的需要奠定基础。

本书结合工科非动力类学生对动力机械知识的需要，以能量的转换和有效利用为主线，以能源利用的主要形式——热能利用为例，以在热能利用中效率最高、应用范围最广的内燃机为重点，以点带面、由浅入深地介绍了能量转换的基本原理、动力机械的组成及工作原理、动力机械的性能指标、动力机械环保、动力机械与工作机械的匹配以及新能源利用等有关内容。全书共分四章。第一章主要介绍有关热能利用装置和动力机械的共同性技术基础知识；第二章较详细地介绍了内燃机的组成、工作原理、性能参数和特性、与从动机械的匹配以及内燃机排放控制等；第三章简要介绍其他动力机械，包括汽轮机、燃气轮机、火箭发动机、喷气发动机和水轮机等；第四章简要介绍太阳能、燃料电池、风能、海洋能、地热能、核能等新能源的利用。

本书由西南交通大学周斌编写。编写过程中得到西南交通大学热能与动力工程系许多老师的帮助。初稿完成后，由董大伟教授进行了仔细的审核和修改，在此谨表谢意。

本书编写过程中参考了大量资料，在此向这些资料的作者表示衷心感谢。

感谢西南交通大学出版基金的资助。

由于编者水平有限，书中难免有错漏之处，诚恳欢迎使用本书的师生和广大读者给予批评指正。

编 者

2005 年 6 月

目 录

绪 论	1
第一章 基本概念	4
第一节 热能及其利用	4
一、能量的形式	4
二、热能的产生	5
三、热能的转换与储存	7
四、热能的利用	8
第二节 能量转换与利用的基本定律	9
一、热力循环	9
二、热力学第一定律与能量平衡	10
三、热力学第二定律与能量品质	13
第三节 动力机械与动力传动	18
一、动力机械的形式与分类	18
二、动力机械的性能	19
三、动力传动	20
第四节 热能利用与环境	20
一、环境污染的主要方面	21
二、环境污染的防治	22
第二章 内燃动力系统与装置	24
第一节 内燃机的总体构造与工作原理	25
一、内燃机的常用术语	25
二、内燃机的工作原理	26
三、内燃机的总体构造	30
四、内燃机的分类	31
第二节 内燃机的热力循环与性能指标	32
一、内燃机的理论循环与评价指标	32
二、内燃机的实际循环与评价指标	38
三、内燃机的热平衡	45
第三节 内燃机的换气过程	47
一、四冲程内燃机的换气过程	47

二、二冲程内燃机的换气过程	50
三、内燃机的增压	52
第四节 内燃机的燃料供给与燃烧	55
一、内燃机的燃料	55
二、燃料燃烧所需的空气量	59
三、汽油机的燃料供给与燃烧	61
四、柴油机的燃料供给与燃烧	88
第五节 内燃机的特性与匹配	116
一、内燃机的特性	116
二、内燃机与工作机械的匹配	130
第六节 内燃机的排气污染与控制	144
一、内燃机排气的组成	144
二、内燃机排气污染物的形成与危害	145
三、内燃机的排放控制	150
第三章 其他动力机械	159
第一节 汽轮机	159
一、汽轮机的基本工作原理	160
二、汽轮机的热力循环	164
三、汽轮机的分类	167
四、汽轮机的优缺点	167
第二节 燃气轮机	168
一、燃气轮机的工作原理	170
二、燃气轮机的热力循环	171
第三节 火箭及喷气式发动机	172
一、火箭发动机	173
二、燃气涡轮发动机	175
第四节 水轮机	177
一、水轮机的基本工作原理	177
二、水轮机的基本类型	178
三、水轮机的工作参数	179
四、水轮机的特点	180
第四章 新能源利用	181
第一节 太阳能热利用	181
一、太阳能的特点	181
二、太阳能的利用方式	182
三、太阳能集热器	182

四、太阳能的热储存	183
五、太阳能热动力与热发电	188
第二节 燃料电池	196
一、燃料电池的工作原理	197
二、燃料电池发电系统的组成及特点	198
三、燃料电池的分类	200
四、燃料电池开发现状与发展趋势	202
第三节 其他新能源的利用	204
一、风能利用	204
二、海洋能利用	207
三、地热能利用	210
四、核能利用	213
参考文献	217

绪 论

机械是机器和机构的统称。任何机械都是由若干个零件、部件和装置组成的一个特定系统，是一个由确定的质量、刚度和阻尼的物体组成并能完成特定功能的系统。在工农业生产、交通运输、国防、科研以及人们的日常生活中，应用着各式各样的机械。机械的种类很多，但就其用途而言，不外乎两大类：一类是提供或转换机械能的机械，如电动机、内燃机等动力机械；另一类则是利用机械能来实现预期工作的机械，如起重运输机、机床、插秧机、纺织机等各种工作机械。

动力机械是指将各种能源转换为机械能的机械，如风力机、汽轮机、内燃机、电动机、液压马达、气动马达等。

动力的来源是能源。所谓能源是指可向人类提供各种能量和动力的物质资源。迄今为止，由自然界提供的能源有：水力能、风能、太阳能、地热能、燃料的化学能、原子核能、海洋能以及其他一些形式的能量。能源可以根据来源、形态、使用程度和技术、污染程度以及性质等进行分类。

按来源分，能源大致可分为三类：第一类是来自地球以外的太阳辐射能。除了直接的太阳能外，煤炭、石油、天然气，以及生物能、水力能、风能和海洋能也都间接地来源于太阳能。第二类是来自地球本身的能量。一种是以热能形式储存于地球内部的地热能（如地下蒸气、热水和干热岩体）；另一种是地球上的铀、钍等核燃料所具有的能量，即原子核能。第三类则是来自月球和太阳等天体对地球的引力（以月球引力为主），如海洋的潮汐能等。

按形态分，能源可按其有无加工、转换分为一次能源和二次能源。一次能源是自然界现成存在、可直接取得而未改变其基本形态的能源，如煤炭、石油、天然气、水力能、风能、海洋能、地热能和生物能等。一次能源又可根据能否再生分为可再生能源和非再生能源。可再生能源是指那些可以连续再生，不会因使用而逐渐减少的能源。这类能源大都直接或间接来自太阳，如太阳能、水力能、风能、地热能等；非再生能源是指那些不能连续再生的能源，它们会随着人类不断地使用而逐渐减少，如煤炭、石油、天然气和核燃料等。由一次能源经过加工转换成另一种形态的能源称为二次能源，如电力、焦炭、煤气、沼气、氢气、高温蒸汽、汽油和柴油等各种石油制品等。

按使用程度和技术分，在不同历史时期和不同科技水平条件下，能源使用的技术状况不同，从而可将能源分为常规能源和新能源。常规能源是指那些在现有技术条件下，人们已经大规模生产和广泛使用的能源，如煤炭、石油、天然气和水力能等。新能源是指在目前科技水平条件下尚未大规模利用或尚在研究开发阶段的能源，如太阳能、地热能、潮汐能、生物能、风能和原子核能等。常规能源与新能源的分类是相对的。例如，原子核能在我国属新能源，因为将核裂变产生的原子能作为动力（主要应用于发电）在我国时间还不

长, 还有一些技术是引进的, 有一些新的问题尚待解决, 目前还未成为成熟而常用的常规能源。但在发达的西方国家和俄罗斯, 应用核裂变作为动力和发电已经成为成熟技术, 并得到广泛应用, 因此核能开始成为常规能源。然而, 如果考虑和平利用核聚变作为能源, 则无论在我国还是在工业发达国家都还有大量技术问题需要解决, 从这个意义上讲, 核能仍被视为新能源。即使是一般意义上的常规能源, 当研究利用新的技术进行开发时又可被视为新能源。如磁流体发电, 利用的燃料仍是常规的煤、石油和天然气等, 和常规火电厂不同的是将气体加热成高温等离子体通过强磁场而直接发电, 此时的常规燃料又是新能源。又如风能和沼气亦是如此。

按对环境的污染程度分, 能源又可分为清洁能源和非清洁能源。无污染或污染很小的能源称为清洁能源, 如太阳能、风能、水力能、氢能和海洋能等。对环境污染大或较大的能源称为非清洁能源, 如煤炭和石油等。

按能源本身性质, 可分为含能体能源和过程性能源。含能体能源是指集中储存能量的含能物质, 如煤炭、石油、天然气和核燃料等。而过程性能源是指物质运动过程产生和提供的能量, 此种能量无法储存并随着物质运动过程结束而消失, 如水力能、风能、潮汐能等。

还有一些其他分类方法和基准。但对于能源工作者而言, 更多的是采用一次能源和二次能源的概念, 即着眼于一次能源的开发和利用, 并按常规能源和新能源进行研究。

能源是人类社会赖以生存与发展的重要物质基础, 是推动国民经济发展的强大动力。能源可以直接或通过转换间接地被利用, 并为生产和生活服务。就现有的能源转换与利用技术而言, 能源资源中除水力、潮汐能、风能等少数能源外, 基本上都是直接地以热能的形式利用或间接地将热能转换成其他的能量形式进行多种方式的利用。如煤炭、石油一类矿物燃料的能源资源, 可以通过燃烧将化学能转变成热能直接加以利用, 或通过热力发动机转换成机械能, 或再通过发电机转换成电能。核燃料(核能)的利用, 可以通过核分裂或核聚变产生热能而直接加以利用, 或再通过转换, 进行核发电、磁流体发电或核聚变发电。太阳能的利用是光能转换成热能, 用于洗浴、供暖、制冷等, 或再转换成机械能进行太阳能热发电等。地热能, 则可直接将地热水(或地热蒸汽)的热能用于供热, 或直接、间接地用于地热发电等。海洋能的利用, 可通过热能—机械能—电能的转换, 实现海水温差发电。如果把能源的利用从一次能源扩展到二次能源, 诸如煤气、焦炭、汽油、酒精、沼气, 等等, 它们中的绝大多数也都是以热能的能量形式被直接或间接地利用。据统计, 经过“热”这个环节而被利用的能量, 在我国占 90% 以上, 世界各国平均达 85% 以上。所以, 上述情况充分表明热能是能源利用最基本和最主要的能量形式。

人类的生存和社会的发展离不开动力, 而动力的发展和进步也同样标志着社会与科学技术的发展和进步。人类早期利用的动力是风力, 在 5 000 多年前人类就开始使用帆船, 此后又掌握了用畜力和简单的水力从事生产活动。11 世纪, 荷兰人使用了风车泵水和碾谷。18 世纪, 蒸汽机的产生促进了第一次工业革命。19 世纪, 内燃机的崛起打破了蒸汽机动力的统治地位, 并导致了汽车的产生和发展。19 世纪末, 蒸汽轮机的出现使火力发电得到了很快的发展, 进而促进了工业生产的大发展。20 世纪以来, 随着科学技术的进步, 各式各样的汽油机、柴油机、汽轮机、燃气轮机、喷气发动机、火箭发动机等新型动力机械相继

出现,多种新型高效的动力循环及新能源(太阳能、地热能、风能、潮汐能等)动力装置应运而生。动力技术的发展促使全球经济得到迅速发展,而当今时代又是一个与动力的应用和发展息息相关的时代。现代工业、农业、交通运输以及国防等各个部门无不以动力为先行,没有现代动力机械的大量生产和各种动力机械的广泛应用,就谈不上现代工业、现代农业、现代国防和现代科学技术。

现代生产和生活中消耗着各种能量,但其中使用最广的是电能和热能。电能在各种能源中占有特殊的地位,因为它具有一系列无可比拟的优越性。电能便于在损耗很小的情况下远距离传输,又可方便地分配到任意多和大小用户中去。用户可借助各种电机或电器,把电能转变成工业、农业和生活等需要的其他形式的能量。众所周知,电力按其生产方式来讲,有火电、水电和核电等。目前在我国火电占电力中的绝大部分,而火电是从热能动力转换而来的,可见热能动力生产是电力生产的重要组成部分。

综上所述,热能动力是主要的动力形式。本书以热能动力为例,以在热能利用中效率最高、应用范围最广的内燃机为重点,介绍能量转换的基本原理、动力机械的基本组成及基本工作原理、动力机械的性能参数与特性、动力机械环保以及动力机械与工作机械的匹配等问题。此外,还特别介绍了适应能源可持续发展和环保需要的新能源及其利用情况,使读者不仅能掌握以内燃机为代表的动力机械的合理选用甚至设计,而且还能对其他常规能源、非常规能源、新能源等有一个概略的了解,为进一步深入进行专业课程的学习奠定基础。

第一章 基本概念

工程上的多种形式的热能利用装置和动力机械，它们都属于能量的传递、转换和利用的设备，因而必然遵循某些共同的规律和包含共同的内容。基于这一基本观点，本章主要简述有关热能利用装置和动力机械的共同性技术基础知识；并作为后续各章的导论。

第一节 热能及其利用

一、能量的形式

构成客观世界的三大基础是物质、能量和信息。科学史观认为，世界是由物质构成的，没有物质，世界便虚无缥缈；能量是物质的属性，是一切物质运动的动力，没有能量，物质就静止不动；信息是客观事物和主观认识相结合的产物，没有信息，物质和能量既无从认识，也毫无用处。

宇宙间一切运动着的物体都有能量的存在和转化。人类一切活动都与能量及其使用紧密相关。人类很早就从风力、太阳的照射、水的流动认识到能量的存在和作用，现代科学技术和各种工业过程更反映出能量的功用。简言之，所谓能量，就是产生某种效果或变化的一种能力。而且，产生某种效果或变化的过程必然要伴随着能量的消耗和转化。例如，煤燃烧产生热，在这一过程中，可燃物质的化学能以热能的形式释放。

到目前为止，人类所认识的能量有以下六种形式：

① 机械能。它包括固体和流体的动能、势能、弹性能以及表面张力能等。动能和势能统称为宏观机械能，是人类最早认识的能量。机械能常以功的形式来实现，并且能方便而有效地转换为其他形式的能。

② 热能。构成物体微观分子运动的动能表现为热能。它的宏观表现是温度的高低，反映了分子运动的强度。热能是一种基本的能量形式，所有其他能量形式都能够转换为热能。

③ 电能。它是和电子的流动与积累有关的一种能。电能可以静电场能或感应电场能的形式来储存。电能的传递形式就是电流，它能方便而有效地转换为其他形式的能。

④ 辐射能。物体以电磁波形式发射的能量称为辐射能，也称电磁能。这种能量仅以传递如光速变迁能量的形式存在。辐射能常依电磁波的波长分为几种不同的电磁射线，通常可分为 γ 射线、X射线、热辐射、微波和毫米波射线及无线电波。其中，热辐射是一种由原子振动而产生的电磁能，包含紫外线、可见（光）射线和红外线。因它们的辐射强度与物质的温度有关，而且常常会产生热效应，故称为热辐射。

⑤ 化学能。这是一种仅以储存能的形式存在的能量，是不同物质的原子和（或）分子相结合时释放出来（或储存起来）的。例如，燃料燃烧就是物质间发生放热的化学反应，使化学能转换成热能。所以，按照化学热力学的定义，化学能就是物质或物系在化学反应过程中以热能形式释放的内能。

⑥ 核能。核能（原子能）也是一种仅以储存能形式存在的能量，它是蕴藏在原子核内部的物质结构能，故又称核内能。通常在粒子相互作用或原子核中的粒子相互作用时，即发生原子核反应并释放出能量。原子核反应通常有放射性衰变、核裂变和核聚变三种类型，其中核裂变和核聚变反应可释放大量能量，有着广阔的应用前景。

二、热能的产生

热能可以通过各种其他形式能量的转换而获得，如通过摩擦和搅拌可以将机械能转换成热能；通过电阻可以使电能转换成热能；通过燃料燃烧可以使化学能转换为热能。在能源利用中热能主要来自以下几个方面：

① 燃料燃烧。燃料燃烧是获取热能的最主要方式。燃烧反应是一个氧化反应，燃料中的可燃元素碳、氢、硫和空气中的氧激烈化合时就会发出显著的光和热。同氢和硫相比，碳的氧化较为缓慢和困难，因此在任何燃烧过程中氢和硫都是在碳之前完全燃烧的，其中氢燃烧最为激烈。

单位质量（对固体、液体燃料）或体积（气体燃料）的燃料完全燃烧，且燃烧产物冷却到燃烧前的温度时所放出的热量称为燃料的发热量（发热值或热值），单位为 kJ/kg 或 kJ/m^3 。应用上又将发热量分为高位发热量和低位发热量。高位发热量是指燃料完全燃烧，且包括燃烧产物中的水蒸气全部凝结成水时所放出的热量；低位发热量是燃料完全燃烧，而燃烧产物中的水蒸气仍以气态存在时所放出的热量。显然，低位发热量在数值上等于高位发热量减去水的汽化潜热。由于燃烧设备（如锅炉）中燃料燃烧时，燃料中原有的水分及氢燃烧后生成的水均呈蒸汽状态随烟气排出，因此低位发热量接近实际可利用的燃料发热量。所以，在热力计算中均以低位发热量作为计算依据。表 1-1 为各种不同燃料低位发热量的概略值。

通过燃料燃烧将化学能转换为热能的装置称之为燃烧设备。锅炉就是典型的燃烧设备，它是通过化石燃料的燃烧将燃料的化学能转换为高温燃气的热能，并利用热能将水加热，使之变为水蒸气，再利用蒸汽推动汽轮机做功，带动发电机发电。由锅炉获得的热水或蒸汽也可供采暖或其他热用户使用。

② 核能转换。获得热能的另一个重要途径是将核能转换为热能。核裂变和核聚变都能产生巨大的热量。反应堆就是将核裂变能转换成热能的装置，它是核电站的核心，它的作用相当于火力发电厂中的锅炉。

③ 太阳能转换。物体吸收太阳辐射后就会发热，因此，可以通过各种集热器将太阳能转换成热能。

④ 地热。地球是一个庞大的热库，它能以热水或蒸汽的形式提供热能。

⑤ 电能转换。通过电阻可以将电能转换成热能，转换的热量 Q 可用下式计算：

表 1-1 各种不同燃料低位发热量的概略值

固 体 燃 料	天然固体燃料/ (MJ/kg)	木 材	13.80
		泥 煤	15.89
		褐 煤	18.82
		烟 煤	27.18
	加工成的固体燃料/ (MJ/kg)	木 炭	29.27
		焦 炭	28.43
焦 块		26.34	
液 体 燃 料	天然液体燃料/ (MJ/kg)	石油 (原油)	41.82
	加工成的液体燃料/ (MJ/kg)	汽 油	45.99
		液化石油气	50.18
		煤 油	45.16
		重 油	43.91
		焦 油	37.22
		甲 苯	40.56
		苯	40.14
		酒 精	26.76
气 体 燃 料	天然气燃料/ (kJ/m ³)	天 然 气	37.63
	加工成的气体燃料/ (kJ/m ³)	焦 炉 煤 气	18.82
		高 炉 煤 气	3.76
		发 生 炉 煤 气	5.85
		水 煤 气	10.45
		油 气	37.63
		丁 烷 气	125.45

$$Q = IE = I^2 R \quad (\text{W}) \quad (1-1)$$

式中, I 为通过电阻的电流, A; E 为电阻两端的电位差, V; R 为电阻值, Ω 。

从能量利用的角度看, 通过电阻将电能直接转换成热能是不经济的。因为根据能量贬值原理, 电能是从其他一次能源转换而得到的, 在转换过程中能量已经贬值过一次了。即任何形式的能量转换成电能时其效率都不可能是百分之百, 因此, 即使电能能 100% 地转换成热能, 在使用上也是不合算的。

值得注意的是, 除了特殊场合需要通过电阻由电能来获得热能 (如电炉) 外, 绝大多

数电路中电阻所产生的热能都是不希望有的热损耗，是人们希望尽量避免的。它不但消耗了有用的电能，使电能的利用率降低，而且在大多数情况下人们还不得不采取冷却措施将这部分热量带走，以免由于散热不良而造成电路故障。这就是为什么要对复杂的电子设备，如计算机、电子仪器等采取冷却的原因。

三、热能的转换与储存

人类利用的各种形式的能量基本上都是由一次能源经过一次或多次转换而来的。例如，太阳照射使植物内叶绿素产生光合作用，将太阳辐射能转换储存于生物体中，而成为植物所具有的生物质能。又如，燃料在锅炉中燃烧，把燃料的化学能转换成蒸汽的热能，再通过汽轮发电机组，完成热能转换为汽轮机的机械能，并继而通过发电机转换为电能输出。概括起来，通过一次转换，热能可成为两种能量形式：① 机械能，如内燃机、汽轮机。② 电能，如热电发电。

热能除了能与其他形式的能量进行转换外，也是可以传递的。换热器就是基本的热传递装置。在热传递装置中，不同温度的流体可以通过固体壁面或直接混合或借助于物体的蓄热能力进行换热，使热能从较高温度物体传给较低温度物体。

热能还具有可储存的特点。热能储存的方法一般可以分为显热储存、潜热储存和化学能储存三大类。

① 显热储存。显热储存是通过使蓄热材料温度升高来达到蓄热的目的。蓄热材料的比热容越大、密度越大，所蓄的热量也就越多。表 1-2 给出了某些显热蓄热材料的蓄热性质。从表中可以看出，水的比热容最大，单位体积的热容也最大，因此水是一种比较理想的蓄热材料。在蓄热材料的选择方面，价格便宜且易大量取得，无疑也是一个重要的因素。在太阳能采暖系统中都必须配备蓄热装置。对于采用空气作为吸热介质的太阳能采暖系统，通常选用岩石床作为热储存装置中的蓄热材料；对采用水作为吸热介质的太阳能采暖系统，则选用水作为蓄热材料。

表 1-2 某些显热蓄热材料的蓄热性质

材 料	密 度 / (kg/m ³)	比热容 / [J/ (kg · °C)]	单位体积热容/[MJ/ (m ³ · °C)]	
			无空隙	30%的空隙
水	1 000	4 180	4.18	
碎铁块	7 830	460	3.61	2.53
碎铝块	2 690	920	2.48	1.74
碎混凝土块	2 240	1 130	2.53	1.78
岩 石	2 680	879	2.33	1.63
砖 块	2 240	879	1.97	1.38

② 潜热储存。潜热储存是利用蓄热材料发生相变来储热。由于相变的潜热比显热大得多，因此，潜热储存有更高的储能密度。通常潜热储存都是利用固体—液体相变蓄热，

因此, 熔化潜热大、熔点在适当范围内、冷却时结晶率大、化学稳定性好、热导率大、对容器的腐蚀性小、不易燃、无毒、价格低廉等, 是衡量蓄热材料性能的主要指标。表 1-3 给出了常用的低温潜热蓄热材料的热物理性质。

表 1-3 常用的低温潜热蓄热材料的热物理性质

材 料	熔点/ (°C)	熔化热/ (kJ/kg)
六水氯化钙	29.4	170
十水碳酸钠	33	251
十二水碳酸二钠	36	280
十水硫酸钠	32.4	253
五水硫代硫酸钠	49	200
正十八烷	28.0	243
正二十烷	36.7	247
聚乙二醇 600	20~25	146
硬脂酸	69.4	199
水	0.0	333.4
甘油三硬脂酸酯	56	190.8
十水硫酸钠/氯化钠/氯化铵 低熔共晶盐	13	181.3

液体—气体相变蓄热应用最广的蓄热材料是水, 因为水有汽化潜热较大、温度适应范围较大、化学性质稳定、无毒、价廉等许多优点。不过水在汽化时有很大的体积变化, 所以需要较大的蓄热容器, 只适用于随时储存或短期储存。

③ 化学能储存。化学能储存是利用某些物质在可逆化学反应中的吸热和放热过程, 来达到热能的储存和提取。这是一种高能量密度的储存方法, 在应用上还存在不少技术上的困难, 目前尚难于实际应用。

四、热能的利用

热能, 不论是直接利用还是转换为其他能量形式后的利用, 在各生产部门和民用事业中均占有极大的比重。下面列出热能在工农业方面的一些主要应用:

- ① 电力工业, 如燃烧煤、天然气、油等火力发电及使用核燃料的核发电等。
- ② 钢铁工业, 如平炉、转炉、电炉炼钢, 轧钢加热炉, 高炉炼铁等。
- ③ 有色金属工业, 如铝、铜等各种有色金属的冶炼。
- ④ 化学工业, 如酸、碱、合成氨等生产过程。
- ⑤ 石油工业, 如油的开采、炼制、输送等。
- ⑥ 建材工业, 如水泥、陶瓷等行业中各种窑炉的大量耗热。
- ⑦ 机械工业, 如各种设备制造过程中所需要的铸造、锻压、焊接等。
- ⑧ 轻纺工业, 如造纸、制糖、化纤、印染等过程中需要消耗的大量蒸汽。

- ⑨ 交通运输, 如汽车、火车、船舶、飞机等的动力拖动。
- ⑩ 农业及水产养殖业, 如电力灌溉、温室培植、鱼池加温等。
- ⑪ 生活需要, 如供暖、空调、烹饪等。

现代化社会是大量消耗能源的社会, 有关热能的利用需要关注两大问题:

一是提高能源利用率。目前, 世界各国基本上都是以石油、煤炭、天然气等非再生燃料能源为主要能源。而这些燃料能源的储量有限, 因而, 提高能源利用率和节能就显得极为重要。因为它们的利用方式主要是热能或由热能转换为机械能或电能, 提高能源利用率也就意味着提高热能利用率, 以及热能在动力等装置中转换为其他形式能量的效率问题。

二是减少环境污染。燃料能源的使用, 将含有有害物质的废气排放到大气, 进而对环境造成严重污染, 危害人类健康, 破坏自然界的生态平衡。随着工业的不断发展, 这一问题日益严重。目前, 在考虑全社会的可持续发展中, 已把它列为首要关注的问题。

第二节 能量转换与利用的基本定律

一、热力循环

要使热能连续不断地转变为机械能, 工质(如水蒸气、燃气等)从初始状态开始, 就必须经历包含作功过程在内的一系列连续过程, 并回到原状态。例如, 蒸汽动力装置, 水在锅炉中吸热变成高温高压的蒸汽, 再进入汽轮机膨胀作功, 排汽在冷凝器中凝结为水, 经水泵加压送回锅炉, 重新吸热变成蒸汽, 如此周而复始、循环不已。所谓热力循环, 就是工质由某一热力状态经过一连串的状态变化过程, 完成热与功转换的任务, 并回复到原来起始时的热力状态。当以状态参数坐标图表示这一系列热力过程时, 循环便成为一封闭曲线, 如图 1-1 所示。

循环按性质来分有可逆循环(全部由可逆过程组成的循环)和不可逆循环(含有不可逆过程的循环)。按目的来分有正循环(即热机循环)和逆循环(即制冷循环或热泵循环)。如图 1-1 所示, 当循环按顺时针 $1a2b1$ 的方向进行时, 沿 $1a2$ 过程所作的功即膨胀功 W_{1a2} (相当于曲线 $1a2$ 下面积 $1a2V_2V_11$) 要大于沿 $2b1$ 过程所消耗的功即压缩功 W_{2b1} (相当于曲线 $2b1$ 下面积 $2b1V_1V_22$)。故该循环的总功或循环净功大于零, 即

$(|W_{1a2}| - |W_{2b1}|) > 0$ 。意味着这是属于对外作功的一类热力系统的循环, 常称热机循环或正循环, 如实现火力发电的循环。反之, 当循环按逆时针即 $1b2a1$ 进行时, 膨胀功 W_{1b2} 的值小于压缩功 W_{2a1} 的值, 循环净功 $(|W_{1b2}| - |W_{2a1}|) < 0$ 。意味着这是属于消耗外功的一类热力系统的循环, 称为逆向循环, 压缩式制冷机所进行的制冷循环就属于这一类。当然, 工程上实际的热力循环要比图 1-1 所示情况复杂, 且有多种形式, 但从其进行的总方

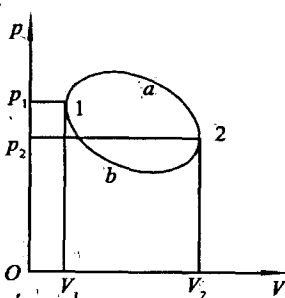


图 1-1 循环在 p - V 图上的表示

向或总结果来看可分属为这两种或为这两者的复合。

图 1-2 为热力循环示意图。正循环的工作过程如图 (a) 所示, 其目的是实现热功转换, 即从高温热源吸热 Q_H , 而对外作净功 W_0 ; 逆循环的工作过程如图 (b) 所示, 其目的是把热量从低温物体取出并排向高温物体。

循环中能量利用的经济性是指通过循环所得收益与所付出代价之比。对于正循环, 这一指标是热效率 η_t , 即

$$\eta_t = \frac{W_0}{Q_H} \quad (1-2)$$

对于逆循环, 当用于制冷装置时, 其目的在于将热量 Q_L 从低温冷源取出, 它的经济指标是制冷系数 ε , 即

$$\varepsilon = \frac{Q_L}{W_0} \quad (1-3)$$

当逆循环用于热泵时, 其目的是向高温热源 (供暖房间等) 提供热量 Q_H , 它的经济指标称为供热 (供暖) 系数 ε' , 即

$$\varepsilon' = \frac{Q_H}{W_0} \quad (1-4)$$

逆循环的经济性指标还常用工作性能系数 COP 来表示, 其含义与 ε 和 ε' 相同。

二、热力学第一定律与能量平衡

1. 热力学第一定律及其实质

能量转换与守恒定律是自然界一条普遍适用的定律。它指出: 自然界中一切物质都具有能量, 能量有各种不同的形式, 它可以从一个物体或系统传递到另外的物体或系统, 能够从一种形式转换成另一种形式。在能量的传递和转换过程中, 能量的“量”既不能创生也不能消灭, 其总量保持不变。将这一定律应用到涉及热现象的能量转换过程中, 即是热力学第一定律。它可以表述为: 热可以转变为功, 功也可以转变成热; 一定量的热消失时, 必然伴随产生相应量的功; 消耗一定的功时, 必然出现与之对应量的热。换句话说: 热能可以转变为机械能, 机械能也可以转变为热能, 在它们的传递和转换过程中, 总量保持不变。焦耳的热功当量实验和瓦特蒸汽机的成功, 以及以后所有的热功转换装置都证实了热力学第一定律的正确性。

历史上, 热力学第一定律的发现和建立正处在资本主义的发展初期。当时有人曾幻想制造一种可以不消耗能量而连续做功的所谓“第一类永动机”, 由于它违反了热力学第一定律, 因而注定了其失败的命运。因此热力学第一定律也可以表述为: 第一类永动机是造不成的。

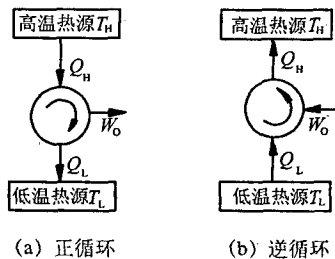


图 1-2 热力循环示意图