



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

热能与动力工程 专业实习教程

王立 童莉葛 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



本书是从专业角度为学生提供的与生产现场相关的、内容以感性为主、感性和理性相结合的实验指导书,再配以多媒体阅读材料,以期能给学生提供尽可能多的实习准备,提高实习效果和效率。

全书共分 11 章,主要内容包括:热动力设备与能源管理、锅炉及换热器、动力机械、制冷与低温工程、暖通空调、冶金热能、热力发电技术、新能源与可再生能源技术、水系统、城镇污水处理、环境保护等。本书内容丰富,涵盖面广,在内容选编上充分考虑到认识实习和生产实习的特点,从不同方面进行设计与组织。

本书可作为高等院校热能与动力工程专业学生的认识实习或生产实习的教材,也可作为高等职业院校或高等职业学校相近专业的实习参考用书,还可作为了解热能与动力工程专业的扩展读本。

图书在版编目(CIP)数据

热能与动力工程专业实习教程/王立,童莉葛主编. —北京:机械工业出版社, 2010.5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-29636-2

I. 热… II. ①王…②童… III. ①热能—高等学校—教材②动力工程—高等学校—教材 IV. TK

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 015763 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:刘小慧 周璐婷 版式设计:霍永明

封面设计:张 静 责任印制:乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2010 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·22.75 印张·562 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-29636-2

定价:45.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821 封面无防伪标均为盗版

前 言

“在高等教育体系中，实践性教学比理论教学更重要，而它目前却是一个薄弱环节”，周远清同志的这番讲话，一方面强调了实践环节的重要性，另一方面也说明了目前我国高等教育中实践教学的实际情况。

实习的过程就是让学生体验生产现场的过程，是理论与实践相结合的过程，在大学生综合素质培养中占有重要的地位。高等学校热能与动力工程专业学生通过认识实习和生产实习环节，可以获得有关热能与动力工程专业的感性认识和初步的实践知识，加深对本专业工作任务、工作性质和工作内容的了解，为今后的专业课程学习打下基础。

目前，我国高校工科院校学生在认识和生产实习中普遍存在的问题是：可选实习现场的局限和限制，造成学生参观多，动手实践机会少；实习经费不足，造成实习时间难以保证；实习在专业课学习之间进行，造成学生实习前的知识准备不足。

本书编写的目的之一，是从专业的角度为学生提供更多的与生产现场相关的实习指导，使学生在实习之前获得尽可能多的现场知识和专业知识准备，在实习过程中，手头能有一本有别于专业课教材，内容以感性为主、感性和理性相结合的实习指导书。再配以多媒体阅读材料，以期能给学生提供尽可能多的实习准备，提高实习效果和效率。

热能与动力工程属于宽口径大类专业，其特点是要求适用的实习教材具有宽口径的内容。基于此，本书力求内容丰富，涵盖面广，主要内容包括：热能动力设备与能源管理、锅炉及换热器、动力机械、制冷与低温工程、暖通空调、冶金热能、热力发电技术、新能源与可再生能源技术、水系统、城镇污水处理、环境保护。区别于课堂理论教学模式，本书采用多媒体形式（有配套文字教材），实习的素材优先选取国内、国际上最新的工艺流程、生产设备或相关技术。

本书在内容选编上充分考虑到认识实习和生产实习的特点，从不同方面进行设计与组织，具有如下特点：

1) 每章自成体系。每章包括基本理论知识、基本工艺过程和基本设备、具体案例介绍，其中基本理论不同于专业教材，充分考虑到学生的专业背景知识进行相应的扩展与延伸。

2) 理论与实践相结合。实习教材中选取的案例尽量围绕热能与动力工程专业的基本专业知识，一方面有助于学生将案例与相关的理论知识建立起有效的联系，另一方面可为后续专业课程的学习做好铺垫。

3) 内容的组织上留有充分的可扩展空间，有利于实习指导教师发挥主观能动性，教师可根据专业重点有针对性地进行实习内容的扩展与延伸。

4) 每章均包括相当数量的思考题和自测题目，方便教师和学生进行实习效果的监测。书后有自测题的参考答案，多媒体教材有测试题库供学生对学习效果进行自我检查。

5) 采用多媒体的形式，结合动画、配音、背景音乐等多种表现手段，力求生动、形象地表现实习内容。软件开发过程中使用 Authorware、Flash 5.0、Photoshop 6.0、After Effect、

3D Studio Max 等多种开发工具。

6) 自主学习模式的引入。为了更好地发挥学生的主观能动性,产生良好的实习和教学效果,本书在画面、动画制作、配音等多方面进行了有益的尝试,以调动学生的学习积极性,激发学生的学习兴趣。

本书可作为高等院校热能与动力工程专业学生的认识实习或生产实习教材,也可作为高等专业院校或高等职业学校相近专业的实习参考用书,还可作为了解热能与动力工程专业的扩展读本。

本书在编写过程中,参考了大量国内外公开发行的教材、著作和最新研究成果,还参考了佳工机电网、中国五金网、新浪财经、阿德采购网、无锡压缩机股份有限公司、成都星科数控技术有限公司、中智国际贸易有限公司、上海宁松锅炉设备有限公司、哈尔滨晨怡热管技术公司、中国汽车网、中国润滑油动态网、能动信息网、辽宁贸促网、内燃机教学网、武汉阿尔法激光有限公司、国际化工网、维信网、中国农业网、开封开利空分设备有限公司、东莞市弘景制冷机电工程有限公司、辉县市方圆滤清器有限公司、三菱制冷设备(深圳)有限公司、北京金康都环保设备中心、北京东方华诺科技有限公司、沈阳市环境保护局、中国矿业网、北京排水集团高碑店污水处理厂等相关资料。有些在参考文献中列出,有些未能一一列出,在此向他们一并表示衷心的感谢!清华大学张学学教授、北京科技大学李化治教授为本书的体系框架和内容提出了许多宝贵意见,平面设计师包丹、机械工业出版社的编辑等也为之付出了很多,在此表示衷心的感谢!

本书的体系框架、组织和定稿由王立教授、童莉葛副教授完成。参加本书编写及多媒体制作的人员有(排名不分先后):边琳、陈夏、李延辉、钱永刚、邱琳、童莉葛、王静静、王立、王永、徐根花、姚磊、尹少武。

本书的出版得到了“洛伊教育基金”和北京市高等教育研究经费的资助,在此表示衷心的感谢。

本书不仅反映了作者团队长期实践教学的心得体会,也融入了作者实践教学的研究成果。真诚希望本书的出版能为我国的热能与动力工程专业的实践教学作出一份贡献!

本书难免有不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 热能动力设备与能源管理 1

1.1 实习的基本要求与主要内容 1

1.2 能源概述 1

1.2.1 能源及其分类 1

1.2.2 能源结构 2

1.2.3 世界能源发展趋势 4

1.2.4 我国能源特点及能源战略 5

1.3 热能动力设备及分类 8

1.3.1 热能动力设备 8

1.3.2 热能动力设备的分类 9

1.4 热能动力设备的评价指标 10

1.4.1 热经济性 10

1.4.2 功率 12

1.4.3 体积质量 12

1.4.4 评价指标对热能动力设备 应用范围的影响 12

1.4.5 热能动力设备的主要技术参数 14

1.4.6 发电厂的热经济性指标 20

1.5 能源管理系统 25

1.5.1 量平衡 25

1.5.2 能源管理 26

1.5.3 企业能源管理 29

1.6 能源审计 32

1.7 思考题 32

1.8 自测题 33

参考文献 34

第2章 锅炉及换热器 35

2.1 实习的基本要求与主要内容 35

2.2 锅炉概述 35

2.2.1 锅炉分类及其主要部件 35

2.2.2 锅炉常见炉型 37

2.2.3 锅炉参数 38

2.3 锅炉燃料与热量守恒 38

2.3.1 燃料组成与分类 38

2.3.2 锅炉热量守恒 40

2.4 锅炉燃烧方式及设备 41

2.4.1 锅炉燃烧方式 41

2.4.2 层燃燃烧设备 42

2.4.3 煤粉炉悬浮燃烧设备 43

2.4.4 流化床燃烧设备 45

2.5 锅炉受热面 47

2.5.1 炉膛水冷壁 47

2.5.2 过热器和再热器 48

2.5.3 省煤器和空气预热器 49

2.6 锅炉水动力学及传热问题 50

2.6.1 自然循环锅炉水动力学 50

2.6.2 蒸发管传热恶化及其防治措施 51

2.6.3 并联换热管组热偏差 51

2.7 燃煤锅炉污染物排放控制 52

2.7.1 硫氧化物的生成与控制 52

2.7.2 氮氧化物的生成与控制 52

2.7.3 二氧化碳的控制技术 53

2.7.4 可吸入颗粒物的排放控制 54

2.7.5 重金属元素的排放控制 54

2.8 换热器 55

2.8.1 换热器及其分类 55

2.8.2 典型的高效无相变换热器 57

2.8.3 蒸发器 60

2.8.4 冷凝器 63

2.8.5 热管换热器 66

2.9 低压锅炉 69

2.10 思考题 70

2.11 自测题 71

参考文献 72

第3章 动力机械 73

3.1 实习的基本要求与主要内容 73

3.2 内燃机 73

3.2.1 内燃机的总体构造 73

3.2.2 内燃机主要性能指标与特性 75

3.2.3 内燃机可燃混合气的形成 和着火 77

3.2.4 内燃机的换气和增压	78	4.3.3 气调库和气调设备	127
3.2.5 内燃机废气的排放与控制	80	4.4 常用冷藏装置	129
3.3 往复式压缩机	82	4.4.1 电冰箱	129
3.3.1 往复式压缩机的实际工作过程	82	4.4.2 冰激凌机	132
3.3.2 往复式压缩机的主要机构	83	4.4.3 冷柜	133
3.4 汽轮机设备	85	4.4.4 陈列柜	134
3.4.1 汽轮机本体	85	4.5 冷藏运输设备	135
3.4.2 多级汽轮机的工作过程及特点	86	4.5.1 铁路冷藏车	135
3.4.3 汽轮机相对内效率	87	4.5.2 冷藏汽车	136
3.4.4 汽轮机的调节、保安和油系统	88	4.5.3 冷藏船	138
3.4.5 汽轮机辅助设备	89	4.5.4 冷藏集装箱	138
3.4.6 汽轮机的启动与停机	90	4.6 冷水机组	139
3.4.7 汽轮机正常运行中的维护	91	4.6.1 冷水机组的分类、特点	139
3.4.8 汽轮机常见事故	92	4.6.2 冷水机组的选择	141
3.5 燃气轮机装置	95	4.6.3 常用冷水机组	141
3.5.1 燃气轮机装置的热力循环	95	4.7 制冰和制干冰装置	145
3.5.2 燃气轮机类型及结构	97	4.7.1 盐水制冰装置	145
3.5.3 压气机	99	4.7.2 快速制冰装置和其他制冰装置	145
3.5.4 燃气透平	100	4.7.3 人造冰的储藏	146
3.5.5 燃烧室与燃料供应	101	4.7.4 制干冰装置	146
3.5.6 联合循环	103	4.7.5 人造冰场	146
3.6 涡轮机的调节与保护	104	4.8 现代大型空分装置	147
3.6.1 涡轮机与负载机组的自平衡特性	104	4.8.1 空分产品的性能和应用	147
3.6.2 涡轮机调速系统工作原理	105	4.8.2 空分产品的主要应用领域	148
3.6.3 调节系统的静态特性	106	4.8.3 空分流程实现的条件	148
3.6.4 涡轮机保护系统	107	4.8.4 空分流程的发展	148
3.7 离心泵与风机	108	4.8.5 新型大型空分装置的流程	149
3.8 轴流式泵与风机	110	4.8.6 规整填料塔及新型冷凝蒸发器	154
3.9 思考题	111	4.8.7 全精馏制氩技术	155
3.10 自测题	111	4.8.8 内压缩与外压缩空分流程	156
参考文献	112	4.8.9 氩的提取	157
第4章 制冷与低温工程	113	4.8.10 空气预冷系统	158
4.1 实习的基本要求与主要内容	113	4.8.11 离心式压缩机与透平膨胀机	158
4.2 人工制冷方法	113	4.9 思考题	159
4.2.1 液体汽化制冷	113	4.10 自测题	159
4.2.2 气体膨胀制冷	115	参考文献	161
4.2.3 热电制冷	116	第5章 暖通空调	162
4.3 冷库与气调设施	117	5.1 实习的基本要求与主要内容	162
4.3.1 冷库建筑	117	5.2 空气热湿处理过程与设备	162
4.3.2 冷库的制冷系统与速冻装置	121	5.2.1 空气热湿处理的依据与途径	162
		5.2.2 用喷水室处理空气	162
		5.2.3 用表面式换热器处理空气	164

5.2.4 其他加湿处理过程与设备	164	6.5 电厂燃气轮机组	194
5.2.5 其他减湿处理过程与设备	165	6.6 热电联产	195
5.3 室内空气品质及其评价	165	6.7 干熄焦及干熄焦发电	195
5.4 空气调节原理与技术	166	6.7.1 干熄焦工艺	195
5.4.1 空气调节的基础知识	166	6.7.2 干熄焦设备	197
5.4.2 空调系统负荷的确定	167	6.7.3 干熄焦锅炉	197
5.4.3 空气处理及其设备	167	6.7.4 干熄焦除尘	197
5.5 地源热泵系统	169	6.7.5 干熄焦发电	197
5.5.1 分类	169	6.8 燃气的产生与净化	199
5.5.2 特点	170	6.8.1 高炉煤气的产生与净化	199
5.6 采暖系统	170	6.8.2 焦炉煤气的产生与净化	199
5.6.1 热负荷	170	6.9 炼钢转炉蒸汽回收装置	200
5.6.2 散热器采暖	170	6.10 工业企业环境保护的实现	201
5.6.3 低温辐射采暖设计	171	6.10.1 清洁生产	201
5.6.4 热风采暖和热空气幕	172	6.10.2 完善污染治理措施,最大限度地 减少污染物的排放	201
5.6.5 采暖系统	173	6.10.3 合理利用次生资源,实现固体 废弃物资源化	202
5.6.6 分户采暖及热计量	176	6.10.4 营造绿色生态环境	202
5.7 思考题	177	6.10.5 加强环境监测以及按标准实施 绿色管理	203
5.8 自测题	178	6.11 思考题	203
参考文献	178	6.12 自测题	204
第6章 冶金热能	179	参考文献	205
6.1 实习的基本要求与主要内容	179	第7章 热力发电技术	206
6.2 钢铁生产流程	179	7.1 实习的基本要求与主要内容	206
6.2.1 铁矿粉造块	180	7.2 燃煤蒸汽发电	206
6.2.2 烧结过程	181	7.2.1 火力发电生产过程	206
6.2.3 球团过程	183	7.2.2 提高蒸汽动力循环热效率途径	207
6.2.4 烧结矿和球团矿的质量检验	183	7.3 热电联产及冷热电联产技术	209
6.3 高炉炼铁工艺	184	7.3.1 热电联产概念	209
6.3.1 高炉操作制度	184	7.3.2 热电联产的热经济性	211
6.3.2 装料制度	184	7.3.3 热化系数	213
6.3.3 高压操作	187	7.3.4 冷热电三联产	213
6.3.4 高风温操作	187	7.4 核能发电	214
6.3.5 喷吹补充燃料	188	7.4.1 核电站系统	214
6.3.6 富氧和综合鼓风操作	188	7.4.2 核电站中的反应堆	215
6.4 加热炉	189	7.4.3 核电站湿蒸汽汽轮机的特点	216
6.4.1 连续式加热炉	189	7.4.4 核电站环境与安全保护	216
6.4.2 加热炉技术经济性能指标	190	7.5 总能系统与联合循环发电	217
6.4.3 加热炉的冷却方式及汽化冷却	191	7.5.1 总能系统	217
6.4.4 加热炉的计算机自动控制	192		
6.4.5 加热炉的操作	193		
6.4.6 加热炉的维护和检修	193		

7.5.2 余热锅炉型联合循环	217	9.3 水的净化处理	251
7.5.3 排气补燃型联合循环	218	9.3.1 常用的水处理方法	251
7.5.4 增压燃烧锅炉型联合循环	218	9.3.2 胶体物质的性质	252
7.5.5 燃煤的燃气—蒸汽联合循环	218	9.3.3 混凝剂	252
7.5.6 燃气轮机功热联供系统	220	9.3.4 过滤	254
7.6 思考题	221	9.3.5 消毒	254
7.7 自测题	221	9.4 水的软化	255
参考文献	222	9.4.1 水软化的必要性	255
第8章 新能源与可再生能源技术	223	9.4.2 水的硬度	255
8.1 实习的基本要求与主要内容	223	9.4.3 水的软化方法	255
8.2 氢能与燃料电池	223	9.4.4 离子交换剂及其性质	256
8.2.1 氢能	223	9.5 冷却水系统	256
8.2.2 燃料电池	225	9.5.1 密闭式循环水系统和敞开式 循环水系统	257
8.3 太阳能	228	9.5.2 敞开式循环水系统的分类	257
8.3.1 太阳能集热器	228	9.5.3 冷却水循环使用后产生的 问题及对策	258
8.3.2 太阳能发电	229	9.6 给水系统	258
8.3.3 太阳能建筑	230	9.7 工业制水系统实例	259
8.3.4 太阳能制冷技术	231	9.7.1 给水处理的常用工艺流程	259
8.3.5 太阳池	232	9.7.2 第一中央水处理厂实例	260
8.4 风能	232	9.7.3 第二中央水处理厂实例	262
8.4.1 风能的特点与风力资源	232	9.8 典型水循环冷却系统实例	263
8.4.2 风能的利用	233	9.8.1 一般开路清循环系统	263
8.4.3 风力发电	234	9.8.2 一般纯水密闭循环系统	264
8.5 地热能	235	9.8.3 一般轧钢污循环系统	264
8.5.1 我国地热资源的储量与分布	235	9.8.4 一般煤气洗涤水循环系统	265
8.5.2 地热资源开发与利用	236	9.9 钢铁企业的环保及废水处理 实例分析	265
8.6 海洋能的开发与利用	239	9.9.1 全厂含油废水处理系统及 串接水应用	265
8.6.1 海洋能概述	239	9.9.2 焦化废水处理系统	266
8.6.2 海洋能转换与利用	239	9.9.3 冷轧废水处理系统	267
8.7 生物质能的开发、利用与 转化	242	9.10 思考题	269
8.7.1 概述	242	9.11 自测题	270
8.7.2 生物质能的开发利用和转化	242	参考文献	271
8.8 思考题	246	第10章 城镇污水处理	272
8.9 自测题	246	10.1 实习的基本要求与主要内容	272
参考文献	247	10.2 排水系统主要组成部分	272
第9章 水系统	248	10.2.1 城市污水排水系统主要 组成部分	272
9.1 实习的基本要求与主要内容	248		
9.2 水的基本知识	248		
9.2.1 天然水中含有的杂质	248		
9.2.2 天然水中杂质对水质的影响	249		

10.2.2 工业废水排水系统主要组成部分	273	11.4 清洁生产	304
10.2.3 雨水排水系统主要组成部分	274	11.4.1 清洁生产的定义	304
10.3 城市排水管网系统体制	274	11.4.2 清洁生产的四层含义	305
10.3.1 合流制排水系统	274	11.4.3 清洁生产的内容	305
10.3.2 分流制排水系统	275	11.4.4 实施清洁生产的主要途径	305
10.4 排水系统布置形式	276	11.4.5 清洁生产与末端治理的比较	306
10.5 污水水质指标及排放标准	278	11.4.6 清洁生产实例	306
10.5.1 主要污染物	278	11.5 环境质量评价和环境监测技术	309
10.5.2 主要水质指标	280	11.5.1 污染源的调查和评价	309
10.5.3 排放标准	282	11.5.2 环境影响评价	309
10.6 城市污水处理系统与技术	283	11.5.3 污染源监测技术	310
10.6.1 城市污水处理系统组成	283	11.5.4 环境监测技术	313
10.6.2 城市污水一级处理系统	284	11.6 温室气体的污染和治理	315
10.6.3 城市污水二级处理系统	284	11.6.1 温室气体的概念及其危害	315
10.6.4 城市污水深度处理及回用系统	285	11.6.2 工业领域的温室气体减排措施	315
10.6.5 城市污水处理工艺	285	11.7 工业废气的治理	318
10.6.6 城市污水处理厂技术经济指标	287	11.7.1 工业废气的分类和特点	318
10.7 污水处理厂实例	288	11.7.2 工业废气的处理	320
10.7.1 高碑店污水处理厂	288	11.8 工业废水的污染与治理	335
10.7.2 广州市某小区生活污水 处理厂	296	11.8.1 废水的水质控制方法分类	335
10.8 思考题	298	11.8.2 工业废水的处理方法	335
10.9 自测题	298	11.9 工业固体废物的污染与治理	340
参考文献	301	11.9.1 工业固体废物的分类及危害	340
第 11 章 环境保护	302	11.9.2 冶金工业固体废物处理的 原则和综合利用的意义	341
11.1 实习的基本要求与主要内容	302	11.9.3 冶金工业固体废物的处理与 利用方法	342
11.2 环境保护的意义	302	11.10 思考题	347
11.3 热能动力设备对环境的影响	302	11.11 自测题	347
11.3.1 热污染与水污染	302	参考文献	350
11.3.2 大气污染	303	自测题参考答案	351
11.3.3 噪声污染	304	读者信息反馈表	353
11.3.4 其他污染	304		

第 1 章 热能动力设备与能源管理

1.1 实习的基本要求与主要内容

能源动力产业既是国民经济的基础产业，又在各行各业有特殊的应用，也是国家科技发展的基础方向之一。燃烧设备、热能动力机以及它们的辅助设备统称为热能动力设备。能源的开发、管理、综合利用和热能动力设备的设计与优化、环境保护是热能与动力工程专业非常重要的研究方向。

实习基本要求：掌握能源的基本概念及其分类；掌握我国能源结构与发展趋势；掌握世界能源结构与发展趋势；掌握热能动力设备的分类及评价指标；重点掌握热能动力设备的主要技术参数；了解企业能源管理系统的构成、职责分工。

实习主要包括：能源及其分类；世界能源发展趋势、我国能源特点及能源战略；热能动力装置分类和能源特点及其评价指标；热能动力设备的主要技术参数、热经济指标；发电厂的热经济性指标；能源管理系统；企业能源管理实例和能源审计。

1.2 能源概述

1.2.1 能源及其分类

关于能源的定义，目前约有 20 种。《大英百科全书》说：“能源是一个包括所有燃料、流水、阳光和风的术语，人类用适当的转换手段便可让它为自己提供所需的能量”。《日本大百科全书》说：“在各种生产活动中，我们利用热能、机械能、光能、电能等来做功，可利用来作为这些能量源泉的自然界中的各种载体，称为能源”。我国的《能源百科全书》说：“能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任一形式能量的载能体资源”。确切而简单地说，能源是自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源，它在一定条件下可以转换成人类所需的各种形式的能量，如图 1-1 所示。

地球上有各种各样的能源，如煤炭、石油、天然气、植物燃料、水能、风能、太阳能、原子能、地热能、海洋能、潮汐能等。这些未经加工或转换的能源又称为一次能源。一次能源经过加工或转换而成的产品，例如电能、蒸汽、煤气、焦炭、各种石油制品、沼气、酒精、氢等，都称为二次能源（或称为人工能源）。一次能源根据它们能否“再生”分为再生能源和非再生能源。再生能源是指可重复产生的自然能源，如太阳能、水能、风能、海洋能、潮汐能等。它们是人类用之不尽、取之不竭的能源。非再生能源是指那些随着开采和使用将会枯竭的能源，如煤炭、石油、天然气、油页岩等。

能源还可以根据其性质分为燃料能源和非燃料能源。燃料能源包括矿物燃料、生物燃料（沼气等）、化工燃料（丙烷、甲醇、酒精等）、核燃料四种。非燃料能源包括机械能（风

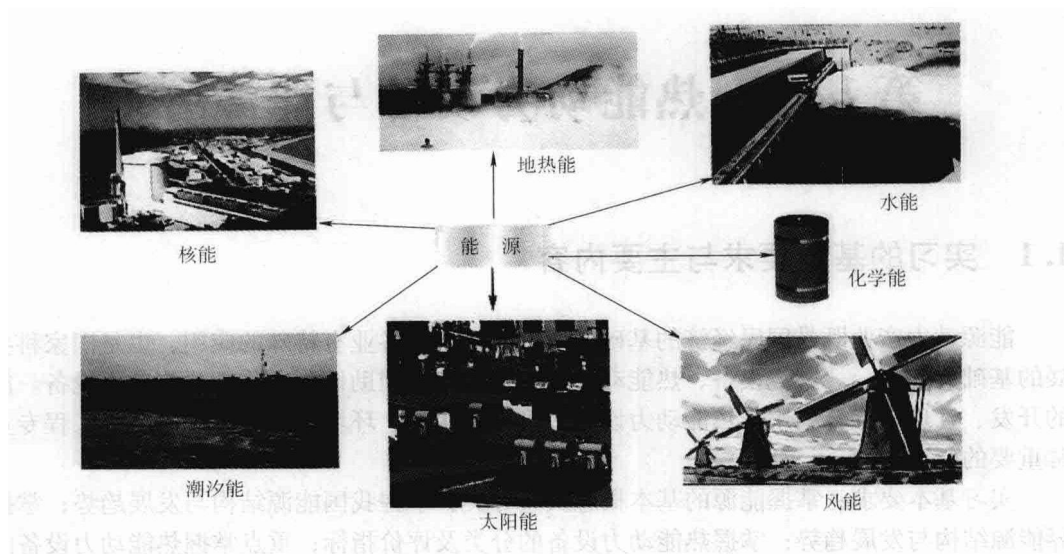


图 1-1 能源的分类

能、水能、潮汐能等)、热能（地热能、海水热能等）和光能（太阳光能）三种。

能源还可以分为清洁能源和非清洁能源。在开发和利用中对环境无污染或污染程度很轻的能源称为清洁能源，否则称为非清洁能源。清洁能源主要有太阳能、水力、风能、海洋能、氢能等。

此外，能源还可以分为新能源和常规能源。新能源是指在新技术基础上系统地开发利用的能源，如太阳能、风能、海洋能、地热能等。常规能源是指已能大规模生产和广泛利用的一次能源。

综上所述，能源分类见表 1-1。

表 1-1 能源分类表^[1]

类 别		第一类		第二类	第三类
		常规能源	新能源		
一次能源	再生能源	水能、植物燃料	太阳能、风能、生物质能、海水温差、海洋波浪、海水动力	地热能（火山能、地震能）	潮汐能
	非再生能源	各种煤、石油、天然气	油页岩	核燃料：铀、钍、氘、氚	
二次能源		焦炭、煤气、汽油、柴油、煤油、电能、石油液化气、蒸汽	酒精、沼气、氢能		

1.2.2 能源结构

能源是国民经济发展的重要物质基础之一。能源结构包括能源生产结构和能源消费结构两部分。能源生产结构是指各种能源的生产量在整个能源工业总产量中所占的比例。能源消费结构是指国民经济各部门所消费的各种能源占能源总消费量的比例。世界各国能源结构的

特点,一般与该国的资源、经济和科技发展等因素有关。例如,煤炭资源丰富的国家,在能源消费中往往以煤为主,煤炭消费比例较大,其中南非为 77.1%, 中国为 72.9%, 波兰为 68.1%, 印度为 56.8%, 澳大利亚为 44.5%, 美国为 24.9%。发达国家中石油在能源消费结构中所占比例均在 35% 以上,其中美国为 39.7% (占全球能源消费的 40%), 日本为 51.1%, 德国为 40.6%, 法国为 37.9%, 英国为 35.4%, 加拿大为 37.9%, 意大利为 58.4%, 澳大利亚为 36.3%。在天然气资源丰富的国家中,天然气在消费结构中所占比例均在 35% 以上,其中俄罗斯为 55.5% (世界上唯一一个天然气消费比例超过 50% 的国家), 伊朗为 43.8%, 沙特为 41.2%, 英国为 35.1%。煤油气能源缺乏的国家,则根据自身特点大力发展核电及水电,其中日本核能在能源消费结构中所占比例为 16.8%, 法国核能占 40.1%, 韩国核能占 13.8%, 乌克兰核能占 13.8%, 加拿大水电占 13.0%, 巴西水电占 19.8%。

世界前 20 个能源消费大国中,煤炭占第一位的有 5 个,占第二位的有 6 个,占第三位的有 9 个。当前就全世界而言,石油在能源消费结构中占第一位,但所占比例正在缓慢下降;煤炭占第二位,所占比例也在下降;天然气占第三位,所占比例持续上升。世界能源消费结构的部分数据如图 1-2、图 1-3 所示。

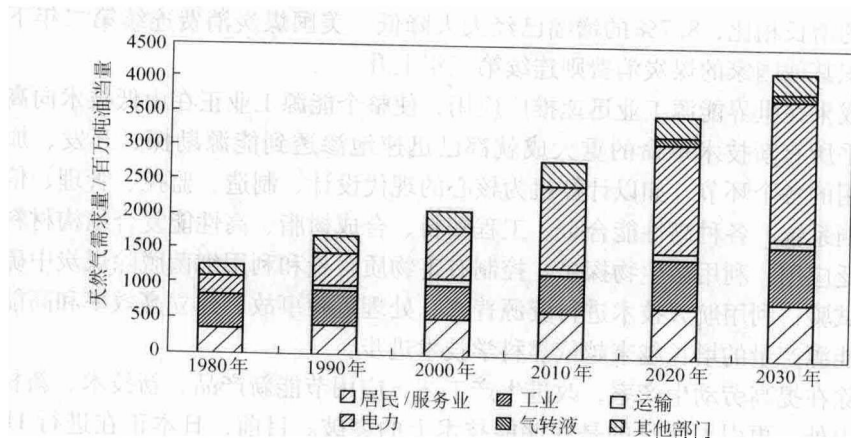


图 1-2 不同部门的世界天然气需求^[2]

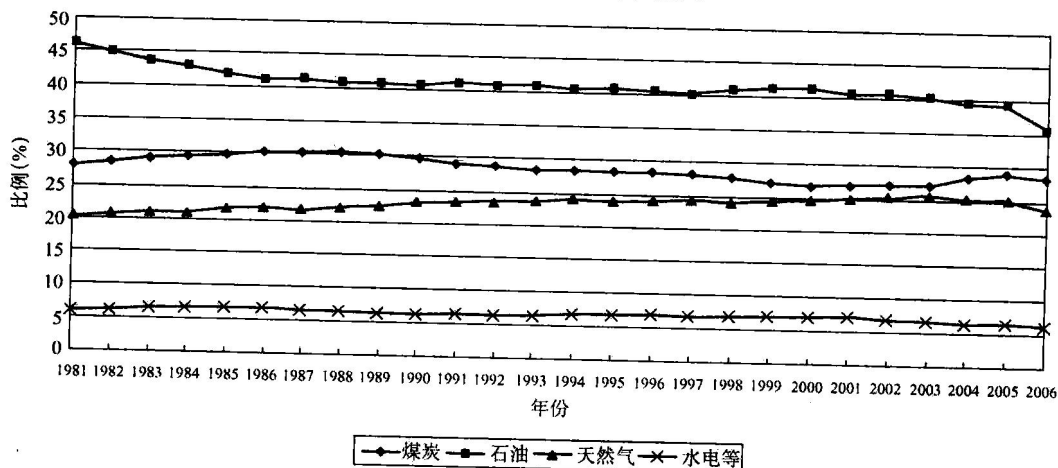


图 1-3 1981~2006 年全球一次能源消费结构图

1.2.3 世界能源发展趋势

据美国能源部能源情报署《国际能源展望 2004》基准状态预测,全球能源消费总量将从 2001 年的 102.4 亿吨油当量增加到 2025 年的 162 亿吨油当量,世界能源消费在 2001 ~ 2025 年将增加 54%。日本、欧盟等能源机构预计,全球能源消费峰值将出现在 2020 ~ 2030 年。全球化石能源的枯竭是不可避免的,将在本世纪内基本开采殆尽。国际能源署 2005 年分析认为,到 2030 年,世界能源需求将增长 60%,但届时仍将有“足够”的资源可满足需求。预测未来石油需求增长的大多数将来自运输部门,运输部门占全球石油需求的份额将从现在的 47% 增加到 2030 年的 54%。同时指出,CO₂ 排放也将增多,减排温室气体是一个严峻的挑战。

《BP 世界能源统计 2006》的数据表明,全球石油探明储量可供生产 40 多年,天然气和煤炭则分别可以供应 65 年和 155 年。天然气在俄罗斯和亚太地区需求增长带动下增长了 2.5%,接近于过去 10 年的平均水平。2006 年,俄罗斯的天然气需求增长了 7%,占全球增长的 40%,几乎相当于整个亚太地区的消费总量。中国的煤炭需求连续第八年增长,然而,与近年两位数的增长相比,8.7% 的增幅已经大大降低。美国煤炭消费连续第二年下降,而英国和经合组织其他国家的煤炭消费则连续第三年上升。

高新技术成果在世界能源工业迅速推广应用,使整个能源工业正在由低技术向高技术过渡。目前,几乎所有新技术革命的重大成就都已迅速地渗透到能源勘探、开发、加工、转换、输送、利用的各个环节,如以计算机为核心的现代设计、制造、监控、管理、信息处理系统和自动控制系统;各种高性能合金、工程塑料、合成树脂、高性能复合结构材料、光纤等新材料的广泛应用;利用微生物探矿、控制有害物质含量和利用细菌脱除煤炭中硫的各种研究与工业性试验;利用航天技术进行资源普查、处理危险事故,建立高效率和高能量太阳能发电站等。能源产量的增长越来越依靠科学技术进步。

许多国家除在提高劳动生产率,改进生产工艺,应用节能新产品、新技术、新材料、新工艺上积极努力外,更引人注目的是在储能技术上的突破。目前,日本正在进行 1kW 级—10kW 级—100kW 级电池的研究与试制。美国已设计成功最大储量为 10000MWH 的超导磁体储能装置,各种机械能、自然能、化学能、热能的储存研究更是成为研究的热点领域。在各种新能源和可再生能源的开发利用中,以太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能等可再生能源的发展研究最为迅速。目前,10 万 kW 的光电池电站、1 万 kW 的风力试验农场、19 万 kW 的地热发电站、24 万 kW 的潮汐发电站均已建成。2004 年,美国、德国、英国和法国可再生能源发电占总发电量的比例分别为 1%、8%、4.3% 和 6.8%;到 2010 年预计将分别达到 7.5%、20.5%、10% 和 22%;到 2020 年都将提高到 20% 以上;到 2050 年,德国和法国可再生能源发电将达到 50%。韩国可再生能源消费比例将由 2004 年的 2.1% 提高到 2010 年的 5%。日本和中国的可再生能源消费比例将由 2004 年的 3% 和 7.5% 提高到 2010 年的 10% 左右,2020 年分别达到 20% 和 15%。美国正在加大可再生能源研发和利用力度,2005 年美国能源部能源研发总投资 7.66 亿美元,其中可再生能源研发投资占总投资的 42%。美国制定了庞大的太阳能发电计划,克林顿政府出台的“百万屋顶计划”将在 1997 年到 2010 年里,安装总容量达 4.6 亿 MW 的光伏发电系统。日本官方报告指出,将从 2010 年正式启动生物能源计划,并与美国和欧盟共同开发可再生能源,建设 500 个示范区。预计

将投资 2600 亿日元，而与之有关的产品和技术将成为日本新工业战略的重要组成部分。太阳能发电同风能发电和其他可再生能源一样，在很大程度上取决于政府补贴，而其占全球电力生产的贡献就更小了。

国际能源署认为，中东地区将增加投资以扩增常规石油资源产能，非常规石油资源如油砂等将得到加快开发利用，氢能将有少量应用，可再生能源将有更大的发展潜力。到 2030 年，替代能源尤其是可再生能源，不仅将成为不可或缺的重要能源，而且将成为降低温室气体排放的重要举措。作为全球能源市场日趋重要的一个组成部分，目前中国的能源消费已占世界能源消费总量的 13.6%，世界能源消费将越来越向中国和亚太地区聚集。未来世界能源供应和消费将向多元化、清洁化、高效化、全球化和市场化方向发展。

1.2.4 我国能源特点及能源战略

随着我国经济的飞速发展，我国已经成为世界上第二大能源消费国，消费总量约占世界能源消费总量的 11%，人均能源消费量尚不及美国的 10%。但如果按照如此快速的经济增长速度持续下去，能源问题将会严重遏制我国的经济的发展。我国能源需求消费见表 1-2、图 1-4。

表 1-2 中国的一次能源需求总量 (单位：百万吨油当量)

年份 能源形式	1971	2000	2010	2030	2000 ~ 2003 年均 增长率 (%)
煤炭	192	659	854	1278	2.2
石油	43	236	336	578	3.0
天然气	3	30	57	151	5.5
核电	0	4	23	63	9.3
水电	3	19	29	54	3.5
其他可再生能源	0	1	4	9	6.8
一次能源需求总量	241	950	1302	2133	2.7

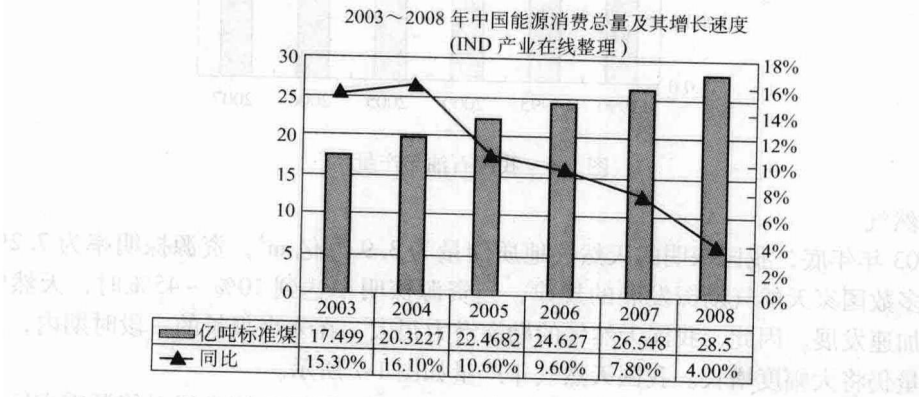


图 1-4 我国 2003 ~ 2008 年能源消费总量

1. 煤炭

煤炭长期以来一直是我国的第一大能源，不论在能源的生产还是消费领域，煤炭始终占

据 70% 以上的比例。最近几年,煤炭在我国能源构成中的比例为 65% 左右,即使到了 21 世纪中叶,这一比例仍旧会达到 50% 以上。可见,在相当长的一段时间里,煤炭都会是我国经济发展所依靠的基础能源,煤炭工业会越来越显现出无以替代的战略地位。我国 2000 ~ 2007 年煤炭产量如图 1-5 所示。

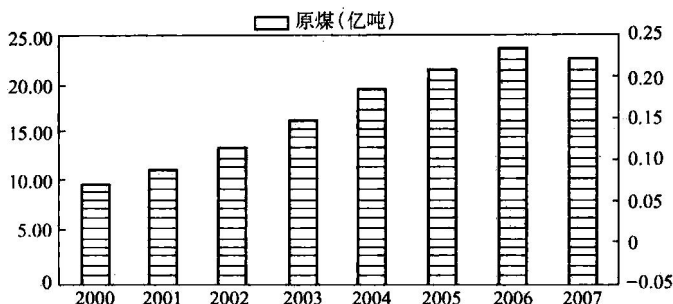


图 1-5 我国 2000 ~ 2007 年煤炭产量

2. 石油

2002 年,我国原油消费量达到 2.457 亿 t,排名超过日本,成为继美国之后的第二大石油消费国,2004 年消费量更是接近 3 亿 t。我国石油生产这几年增长缓慢。自 1995 年以来,我国国内石油生产年均增长仅为 1.7% 左右,而石油的需求年均增长达 6%。我国石油产量的增长还不能满足石油需求增长的要求,石油供给的缺口很大。我国石油年产量如图 1-6 所示。

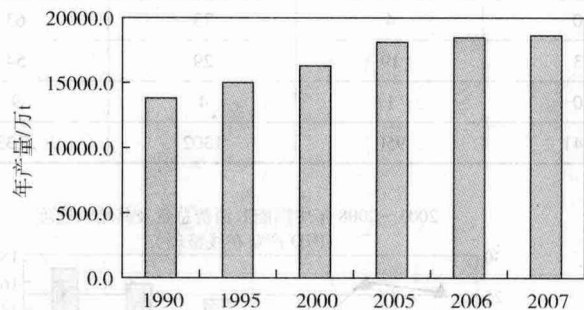


图 1-6 我国石油年产量

3. 天然气

至 2003 年年底,我国探明的天然气地质储量为 3.9 万亿 m^3 ,资源探明率为 7.2%。根据世界上多数国家天然气勘探发展的规律,当资源探明率达到 10% ~ 45% 时,天然气的探明工作将加速发展。因此,我国天然气的勘探潜力很大,在未来很长的一段时期内,天然气的探明储量仍将大幅度增长。我国天然气年产量如图 1-7 所示。

目前,我国正处在工业化和城镇化的重要发展阶段,国民经济发展对能源需求巨大,经济快速增长必然会带动能源消费的快速增长。2005 年,我国能源消费总量达到 222468 万 t 标准煤,一次能源生产总量为 206324 万 t 标准煤,发电量为 24146 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,均居世界第二位。当年新增发电装机容量达 7000 万 kW 。在能源消费结构中,煤品燃料占 68.7%,油

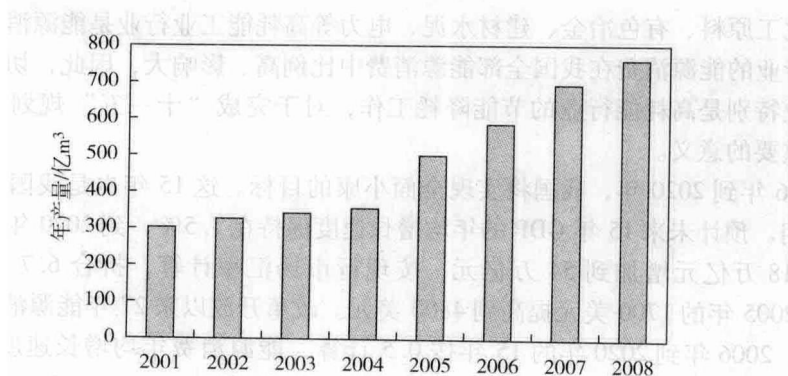


图 1-7 我国天然气年产量

品燃料占 21.2%，天然气占 2.8%，水电、核电和风电占 7.3%。

1993~2006 年，我国经济持续快速发展，GDP 由 35333.9 亿元增加到 209406.8 亿元，年平均增长 10%，相应地，能源消费总量也稳步增长，由 115993 亿 t 标准煤增加到 245669 亿 t 标准煤，年平均增长率达到 5.9%，经济增长与能源消费增长之比为 1.69:1，总体上能源消费增长慢于 GDP 的增长。统计数据表明，我国能源消费增长与 GDP 增长基本上是同向增长的，能源消费是经济持续稳定增长的重要推动力，为经济发展提供了重要的物质保障。今后，随着我国经济总量的不断增长，能源需求总量将在较长时期内保持较高的增长水平。图 1-8 为我国三次产业 2000~2005 年的能源消费弹性系数，其中能源消费总量等于三次产业能源消费与生活能源消费之和，后者占能源消费总量的比例在 10%~14% 之间。

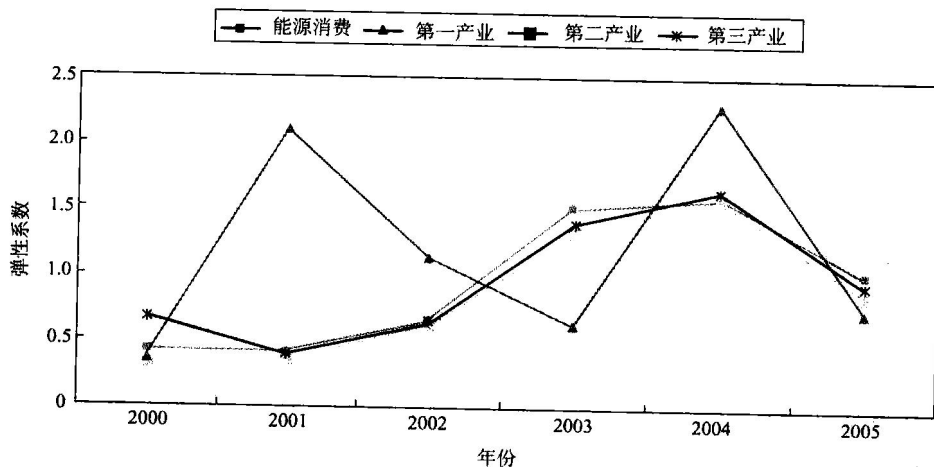


图 1-8 我国三次产业 2000~2005 年能源消费弹性系数

长期以来，我国的经济的发展形成了以第二产业为主体的经济结构。这种产业结构特征在一定程度上决定了我国工业是能源消费的最主要部门。1993~2005 年，我国工业能源消费年均增长 5.8%，工业能源消费占能源消费总量约 70%，同期，工业增加值年均增长 11.5%，工业增加值占 GDP 的比例超过 50%，工业能源消费每增加 1 个百分点，可拉动工业增加值增长近 2 个百分点。对主要高耗能行业能源消费情况的分析表明，采掘、钢铁、石

油加工、化工原料、有色冶金、建材水泥、电力等高耗能工业行业是能源消费的主要部门。

工业行业的能源消费在我国全部能源消费中比例高、影响大，因此，切实采取措施，重点抓好工业特别是高耗能行业的节能降耗工作，对于完成“十一五”规划的节能减排目标具有十分重要的意义。

从2006年到2020年，我国将实现全面小康的目标。这15年也是我国工业化和现代化的重要时期。预计未来15年GDP的年均增长速度保持在7.5%，到2020年，GDP总量将由2005年的18万亿元增加到54万亿元，按现行市场汇率计算，折合6.7万亿美元；人均GDP将由2005年的1700美元提高到4800美元。改革开放以来27年能源消费的弹性系数平均为0.54，2006年到2020年的15年按0.5计算，能源消费年均增长速度按3.75%计算，到2020年，我国能源消费总量大约将达到38亿t标准煤。

实现2020年的发展目标，能源、资源和环境是最大的制约因素。我国的第十一个五年规划，提出了转变增长方式，建设资源节约型、环境友好型社会的要求，提出“十一五”时期单位GDP的能源消耗要降低20%，年均降低约4.4%。实现这一要求，2020年能源消耗总量可降至31亿t标准煤。通过实行可持续发展的能源战略，到2020年达到如下的理想目标：一次能源需求少于25亿t标准煤，节能达到8亿t标准煤；煤炭消费比例控制在60%左右，可再生能源利用达到5.25亿t标准煤（其中，可再生能源发电达到1亿kW）；石油进口依存度控制在60%左右；主要污染物的削减率为45%~60%。

为满足到2020年的发展目标以及经济发展对能源的需求，必须采取以下能源战略：

- 1) 以提高能源利用效率为目标，加快转变经济增长方式。
- 2) 大力发展煤炭洁净燃烧技术和煤制油产业，降低对石油进口的依赖。
- 3) 大力发展可再生能源，调整优化能源结构。
- 4) 坚持开发与节约并重，把能源节约放在首要位置。
- 5) 加快发展石油天然气，增强对石油价格的调控能力。

1.3 热能动力设备及分类

1.3.1 热能动力设备

燃料在适当的设备中燃烧产生热能，热能在热能动力机中转变为机械能。燃烧设备、热能动力机以及它们的辅助设备统称为热能动力设备。

热能动力设备主要有两大类：一类是燃烧产生的燃气直接进入发动机进行能量转换，如内燃机和燃气轮机等；另一类是燃料燃烧产生的热能先传递给某种液体使其汽化，然后再将蒸汽导入发动机进行热功转换，如蒸汽机和汽轮机等。

尽管上述两类热能动力设备的构造及工作原理不同，但都必须使用某种媒介物质从高温热源获取热能，对机器做功，并把余热排向次温热源。这种实现热能和机械能相互转化的媒介物质称为工质。

工质是完成热功转换所必需的载体。内燃机及燃气轮机设备中的工质为空气和燃气，蒸汽机和汽轮机装置中的工质为水蒸气。如果密封问题能够彻底解决，还可采用水银、新型复合物质作为热能动力设备的工质。燃气作为工质在完成热功转换任务后通常被排出系统，而