

中/国/资/源/生/物/研/究/系/列

中国柴油植物

龙春林 宋洪川/编著



科学出版社

中国资源生物研究系列

中国柴油植物

龙春林 宋洪川 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书除对能源、生物质能及其转换技术、植物油与生物柴油等进行了介绍,还描述了含油量较高的 213 种(变种)中国重要柴油植物,包括名称(中文名、拉丁学名及别名)、植物学特性、分布和生态习性、含油情况、栽培、管理和采收、其他用途和信息等内容。

本书可供植物学、林学、农学、民族植物学及生物能源等领域的相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国柴油植物/龙春林,宋洪川编著. —北京:科学出版社,2012

(中国资源生物研究系列)

ISBN 978-7-03-033723-8

I. ①中… II. ①龙… ②宋… III ① 生物能源—无污染燃料—柴油—植物—栽培—概况—中国 IV. ①S3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 037342 号

责任编辑:马俊付 聪/责任校对:宋玲玲

责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码 100717

<http://www.sciencep.com>

盛 主 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2012 年 3 月第一次印刷 印张 18 1/2 插页 6

字数 418 000

定价: 75.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

大约 10 年前，苏明华兄打电话给我，谈到生物能源就一聊大半天。苏兄是我高中时的同学，从国防科学技术大学毕业后，留校任教，其时正在从事清洁能源特别是生物柴油的研究和产业化工作。电话中，他反复提及的问题是：中国有没有可以发展生物柴油的植物？当时我对生物柴油、生物能源的认识还十分肤浅，仅从网络和科技期刊获得过零星信息。虽然我知道油脂植物，可它是否就是柴油植物？我不知道。我的回答令苏兄有点失望，为了不扫老同学的兴，同时也意识到柴油植物值得研究，我答应开展一点点前期工作。

后来，我们得到了中国科学院知识创新工程项目和国家科技部国家科技基础性工作专项重点项目的支持，2009 年后又获得教育部“985 工程”项目的支持，可以真正做些相关的事情。我们团队先后有 40 余人参与了柴油植物的调查和研究工作，其中 10 名研究生专门以柴油植物作为他们学位论文的研究对象。我们调查、采集了柴油植物近 400 种，测定了其中 180 种植物储油器官（主要是种子或果实）的含油量、碘值、皂化值，以及脂肪酸的组成成分，有不少工作还在继续进行。

云南师范大学太阳能研究所的宋洪川副教授，一直致力于生物质能及其应用技术的研究。在我们合作之初，他们已经利用柴油机来测试不同类型植物油的性能，让我们看到了生物柴油应用的一线曙光。

然而，作为生物柴油原料的柴油植物，是制约生物柴油产业发展的瓶颈。

那么，什么是柴油植物呢？顾名思义，柴油植物是能形成储油器官的植物，或称油脂植物、油料植物。储油器官可以是种子、果实，也可以是植物的营养器官。储油器官的含油量、脂肪酸组成、碘值、十六烷值等指标或理化参数，是该植物是否具有优良柴油植物特质的决定因素。

柴油植物可用于生产植物柴油。植物柴油与用微藻、动物脂肪等生产出的脂肪酸甲酯，统称为生物柴油。相对于化石燃料，生物柴油具有可再生性、不污染环境、不受或者少受地域限制等优点，因而是全球未来最具广阔发展前景的重要新型能源。

美国、德国、巴西等国家利用人类食用的粮食、油料、糖料作为能源，如玉米、大豆、油菜、甘蔗等，来生产植物柴油或燃料酒精。但是在我国，人口多、耕地少，保障粮食供给是国家的首要问题，不可能利用耕地来发展柴油植物。因此，中国发展植物柴油应该遵循“不与人争粮，不与粮争地”的原则，充分利用我国丰富的油料植物资源，筛选出性状优良、具有较大发展前景、适合在荒山和荒地种植的柴油植物，并借助基因改良等种质创新方面的现代科技手段，培育出理想的柴油植物新品种。本书选择的 213 种（变种）重要柴油植物，绝大多数是适合在荒山、荒地种植的非粮食类油料植物。

本书的出版是植物柴油产业的一块铺路石。第一章至第三章分别介绍了能源概论、

生物质能及其转换技术、植物油燃料与生物柴油。第四章，我们选择了含油量超过或接近 30% 的柴油植物，用 202 个条目介绍了 213 种（变种）中国重要柴油植物，介绍内容包括名称（中文名、拉丁学名及别名）、植物学特性、分布和生态习性、含油情况、栽培、管理和采收、其他用途和信息等。

被子植物种类的顺序，按 1934 年哈钦松系统（J. Hutchinson, *The Families of Flowering Plants*）排列，附录中科名前编号为被子植物分类学惯用科号。为方便查找，书末附有植物中文名称索引和种子植物分类系统排序。

本书的编写和出版，得到了以下基金和项目的支持：①科技部国家科技基础条件平台项目（2004DKA30430 和 2005DKA21006）；②中央民族大学“985 工程”项目（MUC985-9 和 98506-01000101）；③科技部国家科技基础性工作专项重点项目（2008FY110400-2-2）；④中国科学院知识创新工程重要方向项目（KSCX2-SW-117 和 KSCX2-YW-Z-0925）；⑤国家外国专家局、教育部高等学校学科创新引智计划（B08044）。

本书的作者，除了我和宋洪川两位主编外，还有许多同事和研究生参加了编写工作，他们是：胡光万、王跃虎、罗吉凤、蒋柱檀、李苏梅、张雪梅、唐安军、刀志灵、刘怡涛、尹芳、余东波、曾国揆、郭建春、李志军、王新建、乌吉斯古楞、郭志永、王敖、马丽娟、刘宇婧、乌日汗、徐家星、黎平、黄雯、琚妍、王建军、唐雯、徐丽、韩春艳、龙波、刘艳春、杨春燕、李亚莉、孟博、瞿萍梅、秦虹、向振勇、王岩、石亚娜、王智、杨珺、王曦、易瑾等 40 余人。其中，宋洪川及其团队负责第一章至第三章的编写。

本书所附的全部照片，除署名外，均由我本人拍摄。

在编写和出版过程中，中央民族大学冯金朝教授、薛达元教授、周宜君教授、夏建新教授，中国科学院昆明植物研究所李恒教授、程治英教授、李德铎教授、孙航教授、裴盛基教授、彭华教授、邱明华教授、孙卫邦教授、龚洵教授、税玉民博士、刘恩德博士，中国科学院植物研究所宋松泉教授、路安民教授、韩兴国教授、石雷教授、马克平教授、洪德元院士、张明理教授、高天刚博士、王锦秀博士，中国科学院华南植物园邢福武教授、吴国江教授、张奠湘教授、杨亲二教授、魏孝义教授、夏念和教授、邓云飞教授，以及我的同行好友，都给予了帮助和支持。在此，谨向他们致以深深的谢意！

本书参阅了大量的文献，我们对作者们表示感谢！在野外调查过程中，各地群众为我们提供了柴油植物的传统用途等信息；在实验室分析过程中，我们得到李忠荣高级工程师的帮助，在此一并致谢。

柴油植物所涉及的学科领域广、植物种类多，加之我们学识粗浅，书中难免有不少错误，请读者多多批评指正。

本书可供植物学、林学、农学、民族植物学及生物能源等相关领域的研究人员、大专院校师生、生物柴油产业的从业人员参考。

龙春林

2011 年 7 月

目 录

前言

第一章 能源概论	1
第一节 能量	1
一、能量的构成和性质	1
二、能量的转换和传递	3
三、能量的科学利用	6
第二节 能源的概念、分类及评价	7
一、能源的概念	7
二、能源的分类	8
三、能源评价	10
第三节 能源资源与能源消费	11
一、资源	11
二、能源资源	11
三、能源消费	15
四、能源需求预测	19
第四节 能源与环境	20
一、环境和环境问题	21
二、大气污染	22
三、酸雨	23
四、温室效应	24
五、能源生产使用与环境问题的关系	27
六、能源对环境的影响	28
第二章 生物质能及其转换技术	32
第一节 生物质能概述	32
一、生物质能的特点	33
二、生物质的燃料特性	34
第二节 生物质能资源	42
一、生物质能的自然形成与转化	42
二、生物质的种类与资源估算	44
第三节 生物质能的利用和转换	51
一、生物质的直接燃烧	51
二、生物质压缩成型	53
三、生物质热解气化	54
四、生物质热解液化	54

五、沼气发酵	55
六、生物制氢	59
第三章 植物油燃料与生物柴油	60
第一节 植物油的化学组成和燃料特性	60
一、植物油的化学组成	61
二、植物油的燃料特性	62
三、植物油的燃烧性能	64
四、植物油代替柴油的优点、面临的问题和解决方法	65
第二节 生物柴油	67
一、生物柴油的化学组成	68
二、生物柴油的燃料性质	68
三、生物柴油的燃烧及排放特性	72
第三节 生物柴油对能源、环境的影响及社会效益	76
一、生物柴油对能源和环境影响的研究方法——生命周期分析法	76
二、生物柴油对能源的影响及能源效益	77
三、生物柴油对环境的影响	79
四、社会效益	83
第四节 生物柴油面临的挑战	84
一、发展生物柴油面临的机遇	84
二、生物柴油面临的挑战	87
三、我国生物柴油发展之路	91
第四章 各论	92
1. 吴茱萸五加 <i>Acanthopanax evodiaefolius</i>	92
2. 色木槭 <i>Acer mono</i>	92
3. 倒卵叶黄肉楠 <i>Actinodaphne obovata</i>	93
4. 八角枫 <i>Alangium chinense</i>	93
5. 红背山麻杆 <i>Alchornea trewioides</i>	94
6. 石栗 <i>Aleurites moluccana</i>	94
7. 巴旦杏 <i>Amygdalus communis</i>	95
8. 山桃 <i>Amygdalus davidiana</i>	96
9. 腰果 <i>Anacardium occidentale</i>	96
10. 大叶山楝 <i>Aphanamixis grandifolia</i>	99
11. 山楝 <i>Aphanamixis polystachya</i>	99
12. 花生 <i>Arachis hypogaea</i>	100
13. 杏 <i>Armeniaca vulgaris</i>	102
14. 山杏 <i>Armeniaca sibirica</i>	102
15. 黑沙蒿 <i>Artemisia ordosica</i>	103
16. 白沙蒿 <i>Artemisia sphaerocephala</i>	104
17. 重阳木 <i>Bischofia polycarpa</i>	105

18. 芥蓝 <i>Brassica alboglabra</i>	106
19. 油菜 <i>Brassica campestris</i> ssp. <i>oleifera</i>	108
20. 芥菜 <i>Brassica juncea</i>	110
21. 高油菜 <i>Brassica juncea</i> var. <i>gracilis</i>	110
22. 欧洲油菜 <i>Brassica napus</i>	110
23. 黑芥 <i>Brassica nigra</i>	111
24. 牛油树 <i>Butyrospermum parkii</i>	111
25. 糙果茶 <i>Camellia furfuracea</i>	111
26. 细叶短柱茶 <i>Camellia microphylla</i>	112
27. 钝叶短柱茶 <i>Camellia obtusifolia</i>	112
28. 油茶 <i>Camellia oleifera</i>	112
29. 单籽油茶 <i>Camellia oleifera</i> var. <i>monosperma</i>	114
30. 野山茶 <i>Camellia pitardii</i>	115
31. 滇山茶 <i>Camellia reticulata</i>	115
32. 广宁油茶 <i>Camellia semiserrata</i>	116
33. 橄榄 <i>Canarium album</i>	116
34. 方榄 <i>Canarium bengalense</i>	117
35. 乌榄 <i>Canarium pimela</i>	117
36. 山核桃 <i>Carya cathayensis</i>	118
37. 湖南山核桃 <i>Carya hunanensis</i>	119
38. 苦皮藤 <i>Celastrus angulatus</i>	120
39. 大芽南蛇藤 <i>Celastrus gemmatus</i>	121
40. 清江藤 <i>Celastrus hindsii</i>	121
41. 粉背南蛇藤 <i>Celastrus hypoleucus</i>	121
42. 南蛇藤 <i>Celastrus orbiculatus</i>	122
43. 灯油藤 <i>Celastrus paniculatus</i>	123
44. 菲律宾朴树 <i>Celtis philippensis</i>	123
45. 三尖杉 <i>Cephalotaxus fortunei</i>	124
46. 粗榧 <i>Cephalotaxus sinensis</i>	125
47. 海芒果 <i>Cerbera manghas</i>	126
48. 毛麻楝 <i>Chukrasia tabularis</i> var. <i>velutina</i>	126
49. 阴香 <i>Cinnamomum burmannii</i>	127
50. 樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	128
51. 云南樟 <i>Cinnamomum glanduliferum</i>	130
52. 天竺桂 <i>Cinnamomum japonicum</i>	131
53. 黄樟 <i>Cinnamomum porrectum</i>	132
54. 岩樟 <i>Cinnamomum saxatile</i>	133
55. 柠檬 <i>Citrus limon</i>	135
56. 柚子 <i>Citrus maxima</i>	136

57. 椰子 <i>Cocos nucifera</i>	137
58. 破布木 <i>Cordia dichotoma</i>	139
59. 红瑞木 <i>Cornus alba</i>	140
60. 光皮树 <i>Cornus wilsoniana</i>	141
61. 藏刺榛 <i>Corylus ferox</i> var. <i>thibetica</i>	141
62. 榛 <i>Corylus heterophylla</i>	143
63. 毛榛 <i>Corylus mandshurica</i>	143
64. 油砂豆 <i>Cyperus esculentus</i> var. <i>sativus</i>	144
65. 交让木 <i>Daphniphyllum macropodum</i>	145
66. 脉叶虎皮楠 <i>Daphniphyllum paxianum</i>	146
67. 茶条木 <i>Delavaya yunnanensis</i>	146
68. 播娘蒿 <i>Descurainia sophia</i>	147
69. 人面子 <i>Dracontomelon duperreanum</i>	147
70. 大果人面子 <i>Dracontomelon macrocarpum</i>	148
71. 锈毛梭子果 <i>Eberhardtia aurata</i>	148
72. 梭子果 <i>Eberhardtia tonkinensis</i>	149
73. 翅果油树 <i>Elaeagnus mollis</i>	149
74. 油棕 <i>Elaeis guineensis</i>	150
75. 卫矛 <i>Euonymus alatus</i>	151
76. 白杜 <i>Euonymus maackii</i>	152
77. 肉花卫矛 <i>Euonymus carnosus</i>	152
78. 扶芳藤 <i>Euonymus fortunei</i>	153
79. 大花卫矛 <i>Euonymus grandiflorus</i>	154
80. 西南卫矛 <i>Euonymus hamiltonianus</i>	154
81. 冬青卫矛 <i>Euonymus japonicus</i>	155
82. 大果卫矛 <i>Euonymus myrianthus</i>	156
83. 染用卫矛 <i>Euonymus tingens</i>	156
84. 续随子 <i>Euphorbia lathyris</i>	156
85. 绿玉树 <i>Euphorbia tirucalli</i>	157
86. 野鸦椿 <i>Euscaphis japonica</i>	158
87. 华南吴萸 <i>Evodia austrosinensis</i>	159
88. 牛斜吴萸 <i>Evodia trichotoma</i>	160
89. 水青冈 <i>Fagus longipetiolata</i>	160
90. 梧桐 <i>Firmiana simplex</i>	161
91. 大豆 <i>Glycine max</i>	162
92. 小葵子 <i>Guizotia abyssinica</i>	164
93. 平舟木 <i>Handeliodendron bodinieri</i>	166
94. 向日葵 <i>Helianthus annuus</i>	166
95. 橡胶树 <i>Hevea brasiliensis</i>	168

96. 油瓜 <i>Hodgsonia macrocarpa</i>	169
97. 风吹楠 <i>Horsfieldia glabra</i>	171
98. 琴叶风吹楠 <i>Horsfieldia pandurifolia</i>	172
99. 海南大风子 <i>Hydnocarpus hainanensis</i>	172
100. 毛叶山桐子 <i>Idesia polycarpa</i> var. <i>vestita</i>	173
101. 小桐子 <i>Jatropha curcas</i>	175
102. 野核桃 <i>Juglans cathayensis</i>	177
103. 胡桃楸 <i>Juglans mandshurica</i>	177
104. 胡桃 <i>Juglans regia</i>	178
105. 泡核桃 <i>Juglans sigillata</i>	181
106. 南五味子 <i>Kadsura longipedunculata</i>	182
107. 云南油杉 <i>Keteleeria evelyniana</i>	184
108. 轮叶戟 <i>Lasiococca comberi</i> var. <i>pseudoverticillata</i>	184
109. 尖叶桂樱 <i>Laurocerasus undulata</i>	185
110. 小蜡 <i>Ligustrum sinense</i>	185
111. 乌药 <i>Lindera aggregata</i>	186
112. 香面叶 <i>Lindera caudata</i>	187
113. 江浙山胡椒 <i>Lindera chienii</i>	187
114. 鼎湖钓樟 <i>Lindera chunii</i>	188
115. 香叶树 <i>Lindera communis</i>	189
116. 山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	189
117. 团香果 <i>Lindera latifolia</i>	190
118. 黑壳楠 <i>Lindera megaphylla</i>	191
119. 滇粤山胡椒 <i>Lindera metcalfiana</i>	192
120. 绒毛山胡椒 <i>Lindera nacusua</i>	193
121. 甘僵 <i>Lindera reflexa</i>	193
122. 红脉钓樟 <i>Lindera rubronervia</i>	194
123. 三股筋香 <i>Lindera thomsonii</i>	195
124. 豹皮樟 <i>Litsea coreana</i> var. <i>sinensis</i>	195
125. 毛豹皮樟 <i>Litsea coreana</i> var. <i>lanuginosa</i>	196
126. 山鸡椒 <i>Litsea cubeba</i>	196
127. 黄丹木姜子 <i>Litsea elongata</i>	198
128. 清香木姜子 <i>Litsea euosma</i>	199
129. 香花木姜子 <i>Litsea panamonja</i>	200
130. 木姜子 <i>Litsea pungens</i>	200
131. 圆叶豹皮樟 <i>Litsea rotundifolia</i> var. <i>oblongifolia</i>	201
132. 盾叶木 <i>Macaranga adenantha</i>	201
133. 博落回 <i>Macleaya cordata</i>	202
134. 滇木花生 <i>Madhuca pasquieri</i>	203

135. 玉兰 <i>Magnolia denudata</i>	204
136. 蒜头果 <i>Malania oleifera</i>	206
137. 陀螺果 <i>Melliodendron xylocarpum</i>	206
138. 铁力木 <i>Mesua nagassarium</i>	207
139. 平伐含笑 <i>Michelia cavaleriei</i>	208
140. 乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	208
141. 球花含笑 <i>Michelia sphaerantha</i>	210
142. 云南含笑 <i>Michelia yunnanensis</i>	212
143. 微孔草 <i>Microula sikkimensis</i>	212
144. 滇新樟 <i>Neocinnamomum caudatum</i>	213
145. 新樟 <i>Neocinnamomum delavayi</i>	214
146. 新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i>	215
147. 鸭公树 <i>Neolitsea chunii</i>	215
148. 显脉新木姜子 <i>Neolitsea phanerophlebia</i>	216
149. 油橄榄 <i>Olea europaea</i>	216
150. 叶轮木 <i>Ostodes paniculata</i>	218
151. 粉叶爬山虎 <i>Parthenocissus thomsonii</i>	219
152. 紫苏 <i>Perilla frutescens</i>	220
153. 鳄梨 <i>Persea americana</i>	221
154. 鱼鳞云杉 <i>Picea jezoensis</i> var. <i>microsperma</i>	222
155. 华山松 <i>Pinus armandii</i>	223
156. 云南松 <i>Pinus yunnanensis</i>	224
157. 黄连木 <i>Pistacia chinensis</i>	225
158. 斜脉暗罗 <i>Polyalthia plagioneura</i>	227
159. 青刺果 <i>Prinsepia utilis</i>	227
160. 檀梨 <i>Pyrularia edulis</i>	228
161. 华檀梨 <i>Pyrularia sinensis</i>	228
162. 萝卜 <i>Raphanus sativus</i>	229
163. 冻绿 <i>Rhamnus utilis</i>	229
164. 蓖麻 <i>Ricinus communis</i>	230
165. 比吉洛氏海蓬子 <i>Salicornia bigelovii</i>	232
166. 欧洲海蓬子 <i>Salicornia europaea</i>	234
167. 接骨木 <i>Sambucus williamsii</i>	234
168. 川滇无患子 <i>Sapindus delavayi</i>	236
169. 山乌柏 <i>Sapium discolor</i>	237
170. 山木乌柏 <i>Sapium japonicum</i>	238
171. 乌柏 <i>Sapium sebiferum</i>	239
172. 草珊瑚 <i>Sarcandra glabra</i>	241
173. 玖树 <i>Schleichera trijuga</i>	242

174. 无刺硬核 <i>Scleropyrum wallichianum</i> var. <i>mekongense</i>	243
175. 胡麻 <i>Sesamum indicum</i>	243
176. 仿栗 <i>Sloanea hemsleyana</i>	244
177. 猴欢喜 <i>Sloanea sinensis</i>	244
178. 缅桐 <i>Sumbaviopsis albicans</i>	245
179. 华山矾 <i>Symplocos chinensis</i>	245
180. 白檀 <i>Symplocos paniculata</i>	246
181. 榄仁树 <i>Terminalia catappa</i>	247
182. 扁担藤 <i>Tetrastigma planicaule</i>	248
183. 小漆树 <i>Toxicodendron delavayi</i>	249
184. 长梗大花漆 <i>Toxicodendron grandiflorum</i> var. <i>longipes</i>	249
185. 野漆树 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	250
186. 漆树 <i>Toxicodendron vernicifluum</i>	250
187. 银毛叶山黄麻 <i>Trema nitida</i>	252
188. 观光木 <i>Tsoongiodendron odorum</i>	252
189. 滑桃树 <i>Trewia nudiflora</i>	254
190. 糙点栝楼 <i>Trichosanthes dunniana</i>	254
191. 长方子栝楼 <i>Trichosanthes fissibracteata</i>	255
192. 趾叶栝楼 <i>Trichosanthes pedata</i>	257
193. 红花栝楼 <i>Trichosanthes rubriflos</i>	259
194. 密毛栝楼 <i>Trichosanthes villosa</i>	260
195. 石笔木 <i>Tutcheria championi</i>	262
196. 硬毛石笔木 <i>Tutcheria hirta</i>	263
197. 油桐 <i>Vernicia fordii</i>	263
198. 木油桐 <i>Vernicia montana</i>	265
299. 苍耳 <i>Xanthium sibiricum</i>	266
200. 文冠果 <i>Xanthoceras sorbifolia</i>	267
201. 簕欓花椒 <i>Zanthoxylum avicennae</i>	268
202. 毛脉枣 <i>Ziziphus pubinervis</i>	268
主要参考文献	269
附录一 种子植物分类系统排序	271
附录二 植物中文名称索引	280
图版	

第一章 能源概论

能源作为经济和社会发展的动力因素，始终是一个国家发展最重要的战略资源之一。如今，能源问题已成为困扰世界各国发展的共同难题，直接关系到社会经济的发展、环境的改善和人民生活水平的提高。能源的开发利用、能源对环境的影响、能源安全等问题，已成为 21 世纪国际社会的热点话题。

我国能源总量丰富，但人均占有量远远低于世界平均水平。我国能源生产和消费结构突出表现为煤多、油少、气少；能源消费增长迅速，消费水平低；能源利用率较低；能源供需矛盾十分突出；能源对环境产生了十分严重的影响；石油等能源的安全受到严重威胁。我国作为世界第二大能源消费国和第三大能源生产国，能源工业面临着协调经济增长与环境保护的双重压力。在不久的将来，随着经济的持续高速发展，能源的供需矛盾将会日益突出，能源已成为并将持续成为我国经济和社会发展的“瓶颈”。

第一节 能 量

能量是物质运动的量度。自然界一切物质都具有能量，能量不能被凭空创造，也不可自行消灭，而只能从一种形式转换成另一种形式，转换过程中能量总量守恒。广义上讲，能量就是产生某种效果（变化）的能力，产生某种效果（变化）的过程必然伴随着能量的消耗或转化。物理学上把能量定义为做功的本领。在国际单位制（international system of units, SI）中，为了方便，能量、功和热量的单位通常用 SI 导出的单位焦耳（J）表示，以代替牛顿·米（N·m）。

一、能量的构成和性质

1. 能量的构成

能量基本由外部能和内部能两部分构成。外部能以外界物质为参考坐标，是物质宏观运动所具有的能量。内部能是体系内粒子微观运动所具有的能量总和。广义的内部能是指当体系质心静止时，体系的微观粒子（包括分子、原子、电子、离子、光子等）的运动能量总和。能量具有状态性、可加性、传递性、转换性、做功性、贬值性等性质。外部能有机械能，内部能包括热能、电能、辐射能（量子能）、化学能、核能（原子能）等形式。

1) 机械能。人类最早认识的能量形式，包括动能和势能。动能与物质宏观机械运动相关，指物体（或系统）由于机械运动而具有的做功能力；势能与物体空间状态相关，指物体（或系统）因所处高度受重力作用而具有的重力势能，以及由于弹性变形或表面张力的存在而具有的弹性势能或表面能。

2) 热能。构成物质的分子所具有的动能与势能的总和, 宏观表现为温度的高低。热能反映了分子运动的程度或强度, 其他形式的能量都可能完全转换为热能, 并且绝大多数的一次能源都是首先以热能的形式被利用的。

3) 电能。有关电子流动和积累的一种能量形式, 通常由电池中的化学能或机械能转换得到。荷电物体所产生的吸力(斥力)或电流通过电动机转化成机械能的能力显示了电能做功的本领。

4) 辐射能(量子能)。物体以电磁波形式发射的能量。物体因热而发出的电磁波称为热辐射。从能量的利用角度来看, 太阳能等热辐射能具有深远的意义。

5) 化学能。物质(或体系)在化学反应过程中以热能形式释放的能量, 是物质结构能的一种。物质燃烧释放的化学能通常用发热值表示, 也称发热量或热值, 是单位质量(对固体、液体)或体积(气体、液体)的燃料经过完全燃烧, 燃烧产物冷却到燃烧前温度时所释放的热量, 单位通常为 kJ/kg 或 kJ/m^3 。化学能有高位热值和低位热值之分。高位热值指燃料完全燃烧, 并且燃烧产物中的水以水蒸气状态存在时所放出的热量; 低位热值在数值上等于高位热值减去水的汽化潜热。由于燃料在转化设备(如内燃机、锅炉)中燃烧时, 产生的水都呈蒸气状态, 因而在实际计算和应用中常用低位热值作为依据。

6) 核能(原子能)。又称核内能, 是蕴藏在原子核内部的能量, 也是物质的一种结构能。质量小的原子(如氘、氚等)与质量大的原子(摩尔质量数大于 182, 如铀等)核子之间的结合力比中等质量的原子核子之间的结合力小, 这两类原子核在一定条件下可以通过核聚变或裂变转化成更稳定的中等质量原子核, 同时因“质量亏损”释放出巨大的结合能——核能, 相应的反应称为核聚变反应或核裂变反应。

除核能外, 可以分别应用质量和能量守恒定律处理其他能量。但是核能是由核物质的一部分质量转化而来的结构能, 因此核能转化则需将质量和能量联系起来, 这种转化可以用著名的爱因斯坦质能方程式表示:

$$E=mc^2$$

式中, E 为物质释放的能量, 单位: J ;

m 为释放出能量的物质的质量, 单位: kg ;

c 为光速, $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

2. 能量的性质

1) 状态性。在热力学系统中, 能量的基本状态参数有两类: 第一类与物质的量无关, 不具有加和性, 称为强度量, 包括温度、压力、速度、电势、化学势等; 第二类与物质的量相关, 具有加和性, 称为广延量, 包括体积、动量、电荷量、物质的量等。

2) 可加和性。不同量的物质, 具有不同的能量, 即可加和; 不同物质所具有的能量也可相加, 即一个体系获得的总能量等于输入该体系的所有能量之和。

3) 传递性。能量可以从一个物质传递到另一个物质或从一个地方传递到另一个地方。

4) 转换性。各种形式的能量之间可以互相转换, 转换效率因转换方式、转换数量等因素的不同而不同。热力学是研究能量转换方式和规律的科学, 其目的是如何提高能量转换的效率。

5) 做功性。一般地, 做功通常指各种能量转换为机械功, 而各种转换能力和程度不同。按各种能量转换为功的程度可以将能量分成无限制转换能(全部转换能)、有限制转换能(部分转换能)和不转换能, 相应地又被称为高能、低质能和废能。

6) 贬值性。即能的质量损失, 也称内部损失、不可逆损失。在能量的传递和转换过程中, 由于存在多种不可逆因素, 致使能量损失, 主要表现为能量、质量或做功能力的降低。当达到与系统环境平衡的状态而失去做功能力时则成为废能, 即能量贬值。

二、能量的转换和传递

1. 能量的转换

能量的转换通常指能量形态的转换, 广义上看能量转换应包括以下 3 项内容:

- 1) 能量在形态上的转换, 即通常所说的能量转换;
- 2) 能量在空间上的转换, 即能量的传输;
- 3) 能量在时间上的转换, 即能量的储存。

任何能量的转换过程都必须遵守能量守恒定律, 即:

$$\text{输入能量} - \text{输出能量} = \text{储存能量的变化}$$

目前, 一次能源主要通过燃烧等环节, 以热的形式被直接利用(如在工艺设备中)或间接利用(如通过动力和发电设备), 因而热能、机械能和电能成为最普遍的能量形式。各种能量的转换都需要在一定的条件和设备或系统中才能实现。不同能源与热能的转换及利用情况如图 1.1 所示, 主要的几种能源的转换和利用如图 1.2 所示, 表 1.1 列出了能量转换过程及实现转换所需的设备或系统。

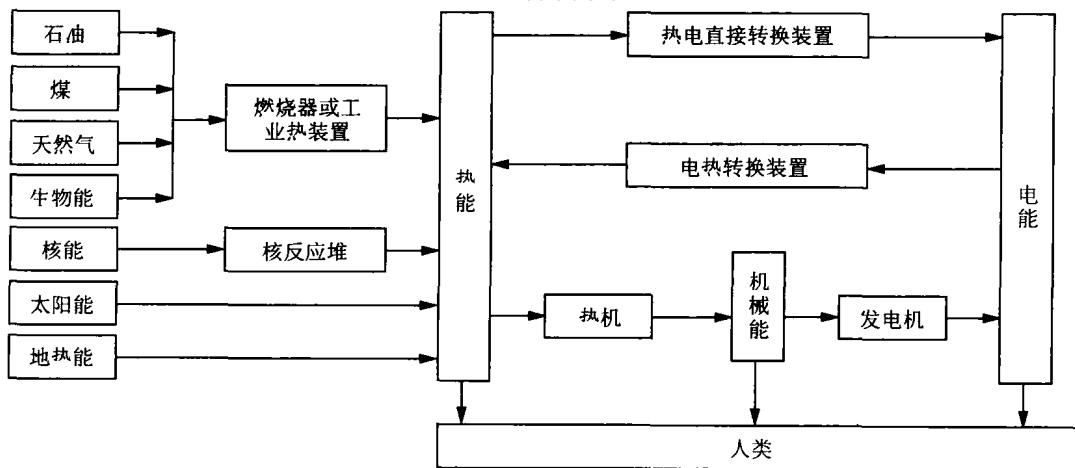


图 1.1 不同能源与热能的转换及利用

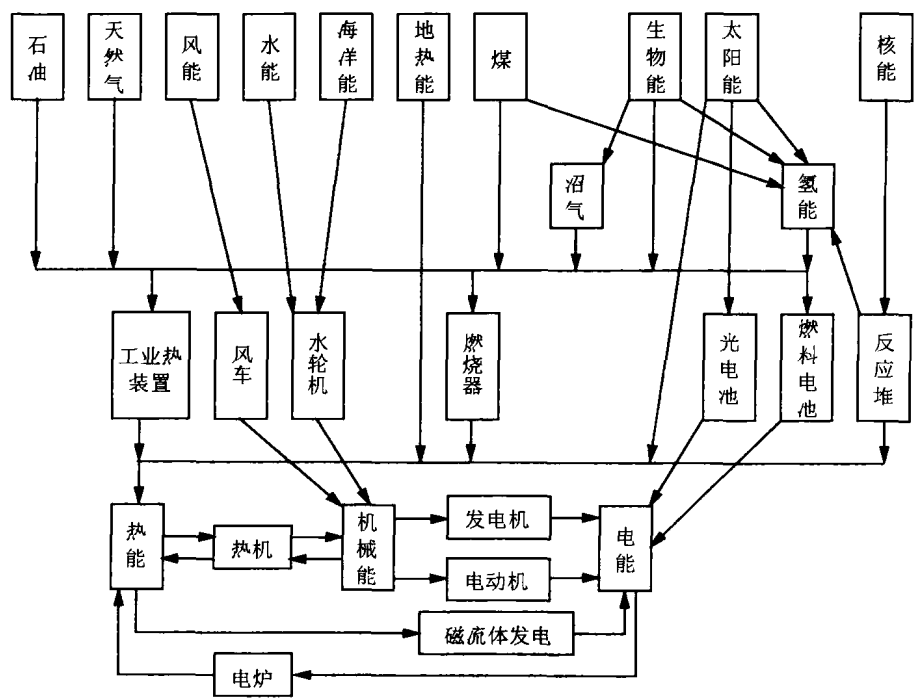


图 1 2 能源的转换和利用

表 1.1 能量转换过程及其所需设备或系统

能源	能量转换过程	设备或系统
石油、煤、天然气等一次能源	化学能→热能	炉子、燃烧器
	化学能→热能→机械能	各种热力发动机
	化学能→热能→机械能→电能	热机、发电机、磁流体发电、压电效应
氢、乙醇等二次能源	化学能→热能→机械能	热力发电、热电子发电
	化学能→电能	燃料电池
水能、风能、潮汐能、海流能等	一种机械能→另一种机械能	水车、水轮机、风力机
	一种机械能→另一种机械能→电能	水轮发电机组、风力发电机组、潮汐发电装置、海流能发电装等
太阳能	辐射能→热能	集热器、太阳房、干燥器、制冷
	辐射能→热能→机械能	太阳热发动机
	辐射能→热能→机械能→电能	太阳热发电机
	辐射能→热能→电能	热电发电设备、热电子发电设备
	辐射能→电能	光电池、光化学电池
	辐射能→化学能	光化学反应
	辐射能→生物质能	光合作用
海洋热能	辐射能→氢能	光化学分解水、光合产氢
	热能→机械能→电能	海洋温差发电（热力发动机）
海洋盐分（能）	化学能→电能	浓度发电
	化学能→机械能→电能	渗透压发电
	化学能→热能→机械能→电能	浓度差发电
地热能	热能→机械能→电能	热力发动机——发电机
	热能→电能	热电发电

续表

能源	能量转换过程	设备或系统
核能	核分裂→热能→机械能→电能	核发电、磁液体发电
	核分裂→热能	核能炼钢
	核分裂→热能→电能	热力发电、热电子发电
	核分裂→电磁能→电能	光电池
	核聚变→热能→机械能→电能	核聚变发电
生物质能	一种化学能→另一种化学能	压缩成型、热解液化、热解汽化、厌氧消化、发酵乙醇、发酵产氢
	化学能→热能	炉子、燃烧器
	化学能→热能→机械能	各种热力发动机
	化学能→热能→机械能→电能	热机、发电机
	一种化学能→另一种化学能→电能	发酵产氢、燃料电池

2. 能量的传递

能量的利用是通过能量的传递来实现的，即能量的利用过程也就是能量的传递过程。

1) 能量传递条件。能量传递的动力是所谓的“势差”，即能量密度差，如同热量的传递要有温差、导电要有位差、流动要有压差或势差、扩散要有浓度差、化学反应要有化学势差等。能量可以从能量密度大的物质或能量集中的地方向能量密度小的物质或能量分散的地方传递，并逐步达到平衡。

2) 能量传递规律。能量传递速率与传递的动力成正比，与传递阻力成反比，即：

$$\text{传递速率} = \frac{\text{传递动力}}{\text{传递阻力}}$$

例如，导电 $I=V/R$ （其中： I 为电流强度； V 为元件两端的电压； R 为电阻），传热 $Q=\Delta t/R_t$ （其中： Q 为传热速率； Δt 为温差； R_t 为热阻）。

3) 能量传递形式。能量的传递包括转移和转换两种形式。转移是某种形态的能从一个地方到另一个地方或从一物到另一物；转换则是能量由一种形态转变为另一种形态。这两种形式通常是同时或交替完成能量的传递过程。

4) 能量传递途径。能量传递的基本途径有两种：一是由物质交换和质量迁移而携带能量的途径称为携带能途径；二是在体系边界面上的能量交换途径称为交换能途径。对于开放系统这两种途径同时存在，而封闭系统则主要靠能量交换。

5) 能量传递方法。在体系边界面上，能量通常主要以两种方法传递：传热——由温差引起的能量交换，是能量传递的微观形式；做功（这里指广义功）——由非温差引起的能量交换，是能量传递的宏观形式。

6) 能量传递方式。通过能量交换而实现能量传递，即传热和做功，传热的基本方式是热传导、热对流和热辐射；做功（这里指机械功）的基本方式是容积功、转动轴功和流动功（推动功）。

7) 能量传递结果。能量传递的结果主要体现在能量在使用过程中所起的作用和能量的去向两方面。以生产为例，能量的作用主要是：①用于物料，最终成为产品的一部分；②用于工艺过程、运输过程和动力过程，成为过程的推动力，生产得以实现。能量传递的最终去向通常转移到产品或散失于环境中，包括直接损失和用于过程后进入环境两种情况。