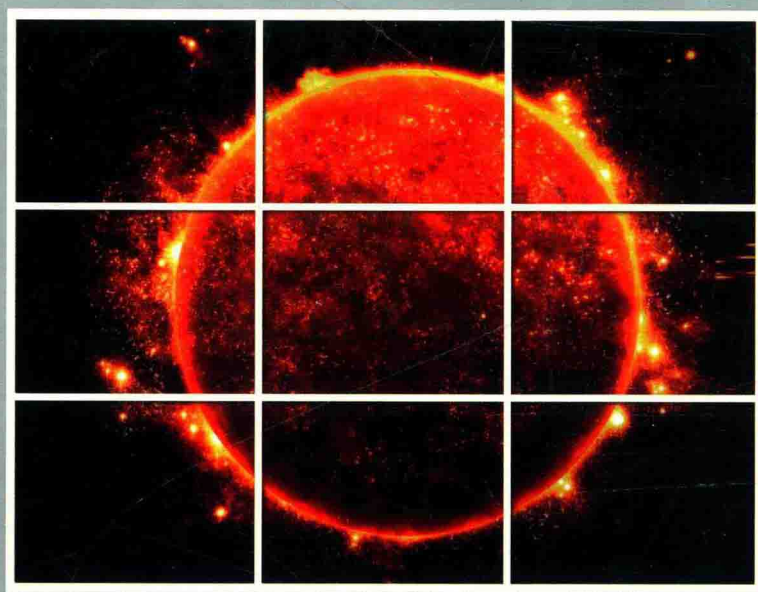


| 新能

太阳能能源工程 工艺与系统 (第2版)

(上册)

(塞浦路斯) 索特里斯 A·卡鲁赫罗 编著
鞠成涛 译



中国三峡出版传媒
中国三峡出版社

太阳能能源工程
工艺与系统 (第2版)
(上册)

(塞浦路斯) 索特里斯 A. 卡鲁赫罗 编著
鞠成涛 译

中国三峡出版传媒
中国三峡出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

太阳能能源工程工艺与系统: 全2册: 第2版/
(塞浦) 索特里斯 A. 卡鲁赫罗编著; 鞠成涛译. —北京:
中国三峡出版社, 2018. 1

书名原文: Solar energy engineering processes
and systems (second edition)

ISBN 978 - 7 - 5206 - 0002 - 6

I. ①太… II. ①索… ②鞠… III. ①太阳能技术 -
研究 IV. ①TK51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 217792 号

This edition of *Solar Energy Engineering: Processes and Systems* by *Soteris A. Kalogirou* is published by arrangement with *ELSEVIER INC.*, of 360 Park Avenue South, New York, NY10010, USA

由 *Soteris A. Kalogirou* 创作的版本 *Solar Energy Engineering: Processes and Systems* 由位于美国纽约派克大街南 360 号, 邮编 10010 的爱思唯尔公司授权出版
北京市版权局著作权合同登记图字: 01 - 2017 - 7288 号

责任编辑: 赵静蕊

中国三峡出版社出版发行
(北京市西城区西廊下胡同 51 号 100034)
电话: (010) 57082645 57082655
[http: //www. zgsxcbs. cn](http://www.zgsxcbs.cn)
E - mail: [sanxiaz@sina. com](mailto:sanxiaz@sina.com)

北京环球画中画印刷有限公司印刷 新华书店经销
2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷
开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 26
字数: 496 千字

ISBN 978 - 7 - 5206 - 0002 - 6 定价: 168.00 元 (上、下册)

序

太阳能是人类起源和发展的基础。维持地球生物生命的最基本过程均依赖于太阳能，如光合作用和降雨循环。从人类史初期起，人类就意识到充分利用太阳能可以为自己带来利益。尽管如此，人类在最近40年才开始在特殊设备上使用太阳能。太阳能容易获取且不会对环境造成破坏，因此成为了一种替代能源。

我在《能量与燃烧科学》杂志发表了几篇评论文章后，便萌生了写这本书的想法。这本书的目的是帮助本科生、研究生和工程师了解太阳能系统与过程的基本原理和应用。本书适用于二学期制大三或大四学生的太阳能热力系统工程课程。在第一个学期中，教师可在介绍太阳能或可再生能源的课程中教授本书的通用章节。教师可仅选择各个章节的描述部分，而省略大部分数学计算细节。这些详细的数学计算可在研究生课程中讲解。在进行第二学期学习前，学生们应至少完成热力学与传热学的基础入门课程。本书也可作为工程师的参考指南，帮助其了解太阳能系统的工作方式和设计方法。因为本书内含很多解决案例，所以也适用于爱好者自学。此外，本书中仅使用国际单位制（SI）。

本书涵盖了多种太阳能技术的相关资料。这些技术通过转换太阳能，实现热水、供暖、制冷、烘干、脱盐和发电等多种用途。本书的绪论主要对能源环保问题和气候现状进行了综述。同时，对太阳能的发展进程和早期应用分别进行了简要介绍和详细说明。本章结尾部分还对书中没有涵盖的可再生能源技术进行了综述。

第2章给出了太阳几何结构的分析、计算阴影效应的方法并对太阳辐射-热传递的基本原则进行了说明。本章结尾部分还对太阳辐射测定仪器和典型气象年的构建方法进行了综述。

在第3章中，由于太阳能集热器是所有太阳能系统的主要组成部分，故在介绍了各种类型的集热器后，对平板型集热器和集中式集热器进行了光学和热分析。对于平板型集热器的分析包括对水和空气式系统的分析，而对于集中式集热器，则分析了复合抛物面集热器和抛物面槽式集热器。本章中还对太阳能热系统的热力学第二定律进行了分析。

第4章主要介绍了检测太阳能集热器性能的实验方法。本章对于多种用于检测太阳能集热器热效率的测试进行了概括。同时，还对集热器入射角修正系数、集热器时间常数和集中式集热器的接收角的测定方法以及动态测试方法进行了介绍。此外，本章还对性能测试的欧洲标准以及太阳能 Solar Keymark 认证的质量检测方法和细节进行了综述。最后对数据采集系统的特性进行了介绍。

第5章对太阳能热水系统进行了讨论。本章中详细介绍了被动式太阳能系统和主动式系统，以及描述了水系统和空气式系统的蓄热系统的特性并对其进行热分析。在这之后，介绍了微分温控器的模块和阵列设计方法及特性。最后，介绍了热水需求的计算方法，也就是测定太阳能热水系统性能的国际标准。本章还对太阳能热水系统安装的简易模型和注意事项进行了说明。

第6章主要介绍了太阳能供暖和制冷系统。首先，本章描述了建筑物热负荷的估测方法。之后，对被动空间和主动空间设计的一般特性进行了说明。其中，主动系统包括水系统和空气系统。太阳能制冷系统则包括吸附系统和吸收系统。后者又分为溴化锂水系统和氨水系统。最后，还描述了太阳能吸收制冷系统的特性。

第7章主要介绍了工业生产过程热系统。首先，本章对一般设计要素进行了描述，其中包括太阳能工业空气系统和水系统的检测。之后，对太阳能蒸汽生产方法的特性以及太阳能的化学应用进行了说明，后者则包括了燃料和燃料电池的改进。本章还介绍了主动式和被动式太阳能干燥装置以及温室。

第8章主要介绍了太阳能海水淡化（脱盐）系统。首先，本章对水和能源的关系、水需求量和消耗量以及能源和海水淡化的关系进行了分

析。之后，描述了海水淡化过程的火用分析，接着对直接和间接海水淡化系统进行了综述。本章还对利用可再生能源的海水淡化系统和选择淡化方式所需要考虑的参数进行了综述。

在第9章中，尽管本书主要与太阳能热系统有关，但还是介绍了太阳能光电系统的相关信息。首先，对本章半导体的一般特性以及之后的光伏电池板和相关设备进行了介绍。接着，对太阳能光电（PV）系统的可能应用和设计方法进行了综述。最后，还介绍了集中式太阳能光电和混合式太阳能光电/热（PV/T）系统。

第10章主要介绍了太阳能热发电系统。首先，本章对系统的一般设计要素，以及三种基本的技术——抛物面槽、发电塔和碟式系统进行了描述。之后，对太阳能热发电厂的基本循环进行了热分析。最后，对太阳能池进行了介绍。太阳能热发电系统是一种可用于太阳能发电的大型太阳能集热器和存储系统。

第11章主要介绍了太阳能系统的设计和建模方法。这些方法包括 f -chart 方法和程序、可用性分析法，以及 Φ 、 f -chart 方法。本章还对多种可用于太阳能系统建模和仿真的程序，以及用于可再生能源系统建模、性能预测和控制的人工智能技术分别作了介绍和简要说明。在本章结尾时，还对仿真的局限性进行了分析。

本书的最后章节对太阳能系统进行了经济分析，从而完整地呈现了太阳能系统的设计。经济分析的内容包括太阳能系统的寿命周期分析和货币的时间价值分析。通过一系列实例，对寿命周期分析进行了说明，包括系统优化和投资回收期。之后，对 P_1 、 P_2 法进行了描述。本章结尾部分还对经济分析的不确定性进行了分析。

附录给出了术语表、定义表、多个太阳图表、地面光谱照度数据、材料的热物理学属性、饱和水和蒸汽的曲线拟合、复合抛物面集热器曲线方程、多地的气象数据和现值系数表。

本书中所使用的资料在该领域均具有 25 余年的实践经验，并且具备可靠的信息来源。其中，主要的信息来源就是一类学术期刊，比如《太阳能》和《可再生能源》和该领域一年两次的主要会议的会议记录，如

国际太阳能学会（ISES）、欧洲太阳能展览会（Eurosun）和世界可再生能源大会，以及多个学会的报告。同时，书中还使用了大量的国际标准（ISO），特别是与集热器性能测定（第4章）和完整系统测试（第5章）相关的标准。

本书所引用的实例中，有很多都建议使用电子表格程序。这样便于变更实例中的输入参数。因此，推荐学生尝试用电子表格程序制作必需的表单文件。

最后，我想要感谢在本书漫长的写作过程中一直耐心陪伴我的家人——我的妻子 Rena、儿子 Andreas 和女儿 Anna。

索特里斯 A. 卡鲁赫罗
塞浦路斯理工大学

第二版序

我对本书的新版内容进行了大量的修正工作。其中，包括自第一版出版以来已确认的多项小错误和笔误。在第1章中，将1.4节的气候状况的引用资料更新为2011年。在新版中，修正了关于风能的章节(1.6.1)，现在书中只对风能进行简要的发展介绍，并将风能系统作为独立的一章。同样更新的章节还包括：1.6.2节关于生物质的内容、1.6.3节关于地热能的内容（对地源热泵进行了详细说明）、1.6.4节关于氢能的内容（对电解作用进行了更详细的介绍）以及1.6.5节关于海洋能的内容（丰富了大量的内容）。

在第2章中，完善了热辐射章节(2.3.2)和表面间的辐射交换章节(2.3.4)。在2.3.9节中，对太阳辐射测定设备进行了更多介绍。此外，还加入了新的章节2.4.3，对第三版典型气象年进行了详细说明。本章中的一些图表也得到了完善。其中，对读者用于获得有效数据的部分进行了横向打印处理，且字体更大、更方便阅读。本书中其他章节的图标也进行了同样的处理。

在第3章中，完善了关于平板型集热器的部分，主要是加入了更多关于选择性涂层的内容，并将太阳能蒸发集热器加入到了空气集热器类别。3.1.2节加入了一种新型非对称的集热器设计，新增加的3.3.5节主要是关于蛇形集热器的热分析，而3.3.6节则主要是关于未装配玻璃盖板的集热器的热损失。此外，本章完善了3.4节关于空气集热器的热分析，其中新增加了空气集热器的吸热板和玻璃层之间的空气流动的分析。在3.6.4节中，关于抛物面槽式集热器的热分析，新增加了利用环形真空空间的部分。

在第4章中，新添加了4.6小节，其中对转换效率参数进行了介绍，

以及新的 4.7 节，太阳能集热器测试的不确定性评估。此外，本章还对所使用的多项国际标准列表以及这些标准的描述和现状也进行了更新。

在第 5 章中，完善了 5.1.1 节中关于热虹吸系统分析的部分。同样还改进了 5.1.2 节中关于集成集热器存储系统的内容，并在其中增加了降低夜间热损失的方法。在 5.4.2 节中，完善了阵列阴影分析、各种管道损失的相关内容，并且加入了有关部分阴影遮挡集热器的内容。此外，本章还更新了 5.7 节中的多项国际标准。最后，还增加了两个新的练习。

在第 6 章中，对 6.2.1 节的建筑构造进行了修正，新版还包括了相变材料的介绍。完善了 6.2.3 节中关于热绝缘的内容，并增加了关于隔热材料的特性以及外部隔热和内部隔热的优缺点等内容。

在第 7 章中，7.3.2 节对燃料电池进行了说明，并介绍了不同类型的燃料电池。7.4 节关于太阳能干燥机的内容中增加了不同种类的干燥机的更多细节和干燥过程的一般注解。

新版的第 8 章对海水淡化系统进行了更详细的分析。特别是这一章给出了单斜面太阳能蒸馏器的示意图以及 8.4.1 节中的多级闪蒸过程、8.4.2 节中的多效沸腾过程、8.4.3 节中的蒸汽压缩过程和 8.4.4 节中的逆向渗透的相关设计方程。

在新版的第 9 章中，我对文章结构作了大量的调整。特别是进一步完善了 9.2.2 节关于太阳能光电技术类型、9.3.2 节逆变器、9.3.4 节峰值功率追踪器的内容以及在 9.4.5 节中关于应用类型，增加了新的数据。其中，后者还加入了光伏建筑一体化（BIPV）的内容。9.6 节关于斜面和输出的内容也是新加入的，其中主要讲述了固定斜面集热器、追踪器、集热器阴影-倾斜-间距的相关注意事项。更新了 9.7 节太阳能光电的内容。在 9.8 节中，关于混合太阳能光电/光热（PV/T）系统的内容，加入了水-热回收和空气-热回收的设计，以及水热和空气热光伏建筑一体化/光热（BIPV/T）系统的相关内容。

在第 10 章中，修正了 10.2 节抛物面槽式集热器系统和 10.3 节发电塔系统的相关内容，新增的 10.6 节主要介绍太阳能塔热气流发电系统，包括初始步骤、首个示范性工厂和热分析。此外，还完善了 10.7 节关于

太阳能池的内容，主要是新增加了排热方式、两个实验性太阳能池的描述。最后关于应用的章节也加入了一些成本数据进行完善。

在第 11 章中，新加入了 11.1.4 节，其内容主要是关于设计热虹吸太阳水热系统的 f -chart 方法修正。11.5.1 节中加入了 TRNSYS 17、TESS 和 STEC 库的详细内容。第 12 章相对于第一版几乎没有改动。

最后，第二版中将风能系统作为新的独立章节。在这一章中，从风的特性分析、风力涡轮机的一维模型、风力涡轮机的特性研究、经济问题和风能的开采利用问题切入，对风能系统进行了详细介绍。

在此，非常感谢告知我第一版中出现的错误和笔误的读者们。特别要感谢 Benjamin Figgis 为本书第 9 章的写作提供的帮助，感谢 Vassilis Bellessiotis 和 Emanuel Mathioulakis 对于太阳能集热器测试的不确定性分析部分的修订工作，以及 George Florides 对于地源热泵部分的修订工作。

索特里斯 A. 卡鲁赫罗
塞浦路斯理工大学

目 录

上 册

第 1 章 绪 论	1
1.1 可再生能源技术概述	1
1.2 能源需求和可再生能源	2
1.3 能源相关的环境问题	7
1.4 气候状况	17
1.5 太阳能发展简史	22
1.6 其他可再生能源系统	33
第 2 章 环境特征	59
2.1 时间的计算	60
2.2 太阳角度	62
2.3 太阳辐射	81
2.4 太阳能资源	113
第 3 章 太阳能集热器	128
3.1 固定式集热器	128
3.2 跟踪式太阳能聚光集热器	142
3.3 平板型集热器的热分析	156
3.4 空气集热器的热分析	180
3.5 平板型集热器在实际应用中的注意事项	185
3.6 聚光式集热器	186
3.7 第二定律分析	211

第 4 章	太阳能集热器的性能	225
4.1	集热器的热效率	227
4.2	集热器入射角修正系数	235
4.3	聚光型集热器接收角	237
4.4	集热器时间常数	239
4.5	动态系统测试方法	241
4.6	效率参数转换	241
4.7	太阳能集热器测试中的不确定度评估	243
4.8	集热器试验结果及初步筛选	247
4.9	质量检验方法	249
4.10	欧洲标准	254
4.11	数据采集系统	257
第 5 章	太阳能热水系统	263
5.1	被动式系统	264
5.2	主动系统	275
5.3	蓄热系统	286
5.4	模块设计和阵列设计	297
5.5	微分温控器	310
5.6	热水需求	314
5.7	太阳能热水器性能评估	315
5.8	简单的系统模型	318
5.9	实际问题	320
第 6 章	太阳能室内供暖和制冷	327
6.1	热负荷估算	327
6.2	被动式采暖设计	339
6.3	太阳能室内供暖和制冷	361
6.4	太阳能制冷	373
6.5	太阳能吸收式制冷系统	392

第1章 绪 论

1.1 可再生能源技术概述

在我们生活的太阳系中，只存在一颗恒星，那就是位于正中心的太阳。地球以及其他行星围绕着太阳运行。太阳以辐射的形式传播能量，并为地球上所有生物光合作用提供支持，同时也支配着地球的气候和天气。

太阳中大约有 74% 都是氢，25% 是氦，剩下的部分则由微量的重元素组成。太阳的表面温度约 5500K，因而整体为白色，不过由于大气层的散射作用，使其呈现黄色。太阳通过氢原子核转变为氦原子的核聚变反应来产生能量。太阳光是地球表面的主要能量来源，并参与地球上各种各样的自然与合成过程。其中，最重要的就是光合作用。植物可以通过光合作用捕捉太阳辐射能量，并将其转换为化学能。一般来说，光合作用就是利用太阳光、二氧化碳和水来合成葡萄糖，同时附带产生氧气的过程。它可能是地球上已知的最重要的生化过程，几乎所有地球生命都离不开它。

基本上，世界上已知的所有形式的能源均来自于太阳能。石油、煤炭、天然气和木头这些能源都是最先经过光合作用，再发生一系列复杂的化学反应，从而使得植被在高温高压下腐败，历经很长的一段时间才形成的。甚至是风能和潮汐能也是由地球上不同地区的温差而形成的，因此它们的起源同样与太阳能有关。

早在史前，人类就利用太阳来晒干和保存自己的食物，以及蒸发海水来制造盐。随着人类开始思考，他们就开始意识到太阳是一切自然现象的推动力。这也是很多史前人类部落将其视为神的原因。不少古埃及时期的手稿都显示人类最伟大的工程成就之一——大金字塔，就是为通往太阳而建造的阶梯（Anderson, 1977）。

从史前时期开始，人类就意识到可以利用太阳能为自己带来便利。古希腊历史学家色诺芬（Xenophon）在其著作《回忆苏格拉底》中就记录了希腊哲学家苏格拉底（470 - 399 BC）教导人们根据房屋朝向来使屋内冬暖夏凉。

与其他形式的能源相比，太阳能的最大优点就在于其清洁性。我们在利用太阳

能时，不会造成任何环境污染。由于化石燃料的成本要低很多，且与可替代能源相比，它的开采利用也更为便利，故在过去的一个世纪中，我们所使用的能源绝大部分都来自化石燃料。直到最近，环境污染问题才引起了人们的警惕。

1973 年 10 月 12 日，浩浩荡荡的埃及军队穿过苏伊士运河，在这之后，燃料和能源之间的经济关系从此被改变。在阿拉伯战略的一部分——“石油武器”的威胁下，第一次国际石油危机就此爆发。石油输出国组织（OPEC）的 6 个海湾成员国在科威特召开会议，他们迅速地将石油价格作为自己的政治武器，并达成共识，放弃与石油公司之间的任何价格协商，同时宣称将原油价格抬高 70%。

19 世纪 50 年代和 60 年代期间，中东和北非的石油开采成本降低，使得石油产量上升，这也是石油需求快速增长的主要原因。对于石油消费国来说，相比起在本土利用固态燃料产生能量，进口石油反而更便宜。

根据调查显示，世界石油探明储量为 13410 亿桶（2009），世界探明煤炭储量为 $9480 \times 10^8 \text{t}$ （2008），而世界探明天然气储量则为 $178.3 \times 10^{12} \text{m}^3$ （2009）。同时，目前石油的生产率为 8740 万桶每天，煤炭为 $2190 \times 10^4 \text{t}/\text{天}$ ，而天然气则为 $90.5 \times 10^8 \text{m}^3/\text{天}$ 。因此，当前的主要问题在于，按照现在的消耗速率，已探明的石油和天然气储量分别只能够满足人类未来 42 年和 54 年的需求。相比之下，煤炭的储量要稍微乐观一些，能够满足人类未来至少 120 年的需求。

有限的能源储量的背后意味着，随着储量的减少，燃料价格会加速上涨。考虑到石油价格是一切燃料价格的领头者，我们可以得出能源价格会在接下来的十年间持续上涨的结论。此外，燃烧化石燃料所带来的环境污染问题日益严重，这也渐渐引起了人们的关注。关于该问题，我们将在 1.3 节中进行讨论。

从种植食物到晾干衣服，在过去数千年间，自然界和人类一直享受着太阳能所带来的益处。同时，人类也学会了将其应用于众多其他领域。我们利用太阳能，可以为建筑物供暖和制冷（主动形式和被动形式），还可以加热家庭用水和工业用水以及游泳池，此外，太阳能可以为冰箱供能、运行发动机和水泵、将海水淡化用于饮用、为化学应用提供电能等许多工作。本书意在展示多种利用太阳能的系统类型、工程细节和设计过程，以及一些相关的实例和研究案例。

1.2 能源需求和可再生能源

除了化石燃料，我们还有许多替代能源可以选择。至于应该选择利用哪种类型的能源，我们要在经济、环境和安全方面的基础上进行具体分析。由于太阳能在环

境和安全方面的优秀表现,且其能够在持续提供能量的同时不损害环境,得到了人们的普遍认可。

如果世界经济按照全球各国的预期扩张,能源需求很可能会上升,这样一来,就算是努力提高能源使用效率也无济于事。现在,人们相信可再生能源技术能够在满足大部分不断增长的需求的同时,还能保持与传统能源的预期相等或更低的价格。在21世纪中期,可再生能源将占据全球电力市场五分之三的股份,而直接使用燃料的能源则占剩下的五分之二。^①除此之外,向可再生能源密集型经济转型还能带来环保以及其他好处,但这些好处并不在常规的经济学范畴内。根据设想,如果能够达到预期的能源效率并广泛采用可再生能源,到2050年全球二氧化碳排放量将降低至1985年相应水平的75%。另外,可再生能源本就被认为具有竞争性,因而通过可再生能源获得的益处并不需要付出额外的成本(Johanson等人,1993)。

可再生能源的前景展望也反映了过去20年间显著的科技进步。在这期间,随着电子工业、生物技术、材料科学以及其他领域的发展,可再生能源系统也受益良多。比如,燃料电池一开始是应用于航空项目的,如今为氢作为一种交通运输上使用的清洁能源打开了一扇门。

除此之外,由于大多数可再生能源设备的体积都比较小,故可再生能源技术能够比传统能源技术发展得更为迅速。大型能源设施的安装需要占用较多的土地,而大多数可再生能源设备能够直接建设在工厂里,因此也更方便应用现代制造技术,进而降低成本。降低成本并提升组装成品的可靠性,这也是可再生能源工厂建设必须要考虑的决定性因素。同时,小规模的设备也缩短了产品从初期设计到投入使用的时间。因此,任何改进都能被很方便地识别出,并被迅速地整合进修正设计或过程中。

根据可再生能源密集型方案,截至21世纪中期,间歇性可再生能源的贡献率最高为30%(Johanson等人,1993)。人们对高级天然气涡轮机发电系统的关注有助于提高间歇性可再生能源(无能量储存)的市场占有率。这种发电系统具有投资成本低、热力学效率高以及电力输出灵活的特点,能够以极低的成本提供间歇性可再生能源,且几乎不需要(如果需要也极其有限)能量储存设备。

^① 该结论根据可再生能源密集型方案得出。在该方案中,到21世纪中期时,全球经济产出将增长8倍,但凭借可再生能源仍能满足其相应的能源需求。按照该方案的设想,尽管能源效率得到了迅速提升,全球能源需求仍在不断上涨。

可再生能源密集型未来发展的关键因素很可能具有如下特点（Johanson 等人，1993）：

（1）能源多元化，且其相对丰度会随地区变化。比如，电力供应可以来自水力发电、间歇性可再生能源（如风能、太阳热电和光伏（PV））、生物质能^①和地热能的多种组合。燃料供应可以来自甲醇、乙醇、氢和来自生物质的甲烷（沼气），以及由间歇性可再生能源电解产生的氢。

（2）学者会将研究重点放在可再生能源和传统能源混合供应的效率上。要实现这个目的，可以引入如甲醇和氢气等能量载体。此外，也可以通过水力发电和生物质这种可再生能源释放出更多有效能来实现，但这会受到周围环境或土地利用的限制。绝大多数甲醇都来自于撒哈拉沙漠以南的非洲和拉丁美洲，那里有广阔的退化土壤区，适用于不作为耕地使用的植被恢复工作。在这样的土地上培育生物质来制造甲醇或氢气也是重建这些区域的强有力的经济驱动力。太阳能电解制氢则适用于北非和中东这样有足够日射量的地区。

（3）生物质将被广泛使用。生物质具有可持续生长的特性，且利用现代技术能够将其高效地转换为电能、液态燃料和气态燃料，而无需砍伐森林。

（4）间歇性可再生能源能够满足总电能需求的很大一部分。此外，它还具有成本效益高、无需额外的电力储存技术的优点。

（5）天然气在可再生能源工业的发展中起到主要的支持作用。燃气（天然气）涡轮机具有投资成本低以及电力输出响应快速的特点，且可以为电力网络供应中的间歇性可再生能源提供强有力的支持作用。同时，天然气还能基于生物质的甲醇工业建设起到一定的协助作用。

（6）可再生能源密集型在未来将会为能源市场提供新的选择和竞争力。随着可再生燃料和天然气的贸易增长，能源供应商和交易产品的混合更为多元化。这也会激化能源市场的相互竞争，从而降低价格急剧波动和供应中断的可能性。最终，供应商将面临新的机遇，从而使得世界能源价格逐渐趋于稳定。

（7）大多数由可再生能源制造的电能都会被并入大型电网，并由电气行业进行市场分配，而无需电力储存设备。

从技术上来看，可再生能源密集型具有可行性。几年内，与传统能源相比，众

^① 生物质一词指的是任何直接作为燃料使用或转化为液态燃料或转化为电能的植物。生物质的原料来源多种多样，如农业废料、林产品以及木头、甘蔗和其他专门种植的能源作物。

多可再生能源技术也会更具竞争力，因而其前景也非常乐观。然而，要使可再生能源达到预期的渗透程度，能源市场的现状也需要做出相应改变。如果下面这些问题没有得到妥善处理，可再生能源进入市场的速度就会相对放缓：

(1) 私营公司不太会对可再生能源技术的发展进行足够的投资，因为其回本周期较长，而且不易盈利。

(2) 私营企业不会对商业化可再生能源技术进行大量投资，因为与传统能源相比，可再生能源的成本通常不会有显著降低。

(3) 私营部门不会对商业化可再生能源技术进行投资，因为其外部效益需要广泛的部署。

幸运的是，以提升能源效率和扩张可再生能源市场为目标的政策，与经济领域中鼓励创新和生产率增长的计划是完全一致的。只要有合适的政策环境，全世界其他主要制造业在竞争压力的驱使下会开始复兴，而能源产业也因此会接受创新。电气行业已经由保护垄断、享受大型发电厂的规模经济的状态，转变为了结合了多项技术的投资证券组合的管理者，由先进的生产、传输、分配和存储设备，转变为了以客服为前提的高能效设施。

要激发可再生能源的潜力，就需要新政策的刺激。下列政策方案是由 Johanson 等人（1993）提出来的，意在鼓励可再生能源技术领域的创新和投资：

(1) 对于故意降低燃料价格与可再生能源竞争的行为，停止对这类技术的补贴，或是为可再生能源技术提供类似的补贴。

(2) 税务、规章和其他政策机构应当确保消费决策是建立在能量的全部成本上的，即包括市场价格中没有体现的环境和其他外部成本。

(3) 政府应当加大对可再生能源技术的研究、开发和论证的支持，以突出可再生能源技术在满足能量需求和保护环境方面的重要性。

(4) 政府应当仔细修订电气行业的相关规章制度，以确保对新型发电设备的投资与可再生能源密集型未来相一致，以及确保电气行业被包含在新型可再生能源技术的示范计划内。

(5) 为鼓励生物燃料产业的发展而制定的政策，必须与自然农业发展计划和修复退化土地的进程相协调。

(6) 应设立相关国家机构对其进行监督，或加强可再生能源计划的实施力度。

(7) 分拨给能源部门的国际发展基金应加大对可再生能源的直接投入。

(8) 应设立一个强有力的国际机构，以协助或协调加强利用可再生能源的国家