

TK519  
5042

# 太 阳 能

## ——太阳能应用导论——

〔英〕 J.C. 麦克维 著

方铎荣 王兴国 李希伦 译

吴承康 校

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本书叙述太阳能利用的各种途径及其在各方面的应用。全书共分九章：前两章为导论和太阳辐射；第三、四、五章分别叙述太阳能转换为热能的各种应用，即太阳能热水、采暖、空调和热动力上的应用；第六章叙述太阳能应用中的经济分析方法；第七章叙述太阳能电池、生物转换系统与光化学及其应用；第八章叙述风能及其利用；第九章为太阳能利用中的一些实际供热例子。

本书可供从事太阳能利用的科研、工程技术和管理人员参考，以及作为广大太阳能利用爱好者的入门读物。

Sun Power

AN INTRODUCTION TO THE APPLICATIONS  
OF SOLAR ENERGY

J. C. McVeigh

PERGAMON PRESS 1977

\*

## 太 阳 能

——太阳能应用导论——

〔英〕J. C. 麦克维 著

方铎荣 王兴国 李希伦 译

吴承康 校

\*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> 印张8<sup>1</sup>/<sub>8</sub> 168千字

1984年9月第一版 1984年9月第一次印刷 印数：0,001—7,200册

统一书号：15034·2693 定价：0.86元

## 译者的话

自二十世纪七十年代以来，能源问题已经成为举世瞩目的重大问题之一。鉴于太阳能是一种巨大的、无污染的能源，所以它在未来的替代能源中将处于颇为重要的地位。

对于太阳辐射能的利用，可以有各种不同途径：一是直接转换为热能，可用于加热水和空气以及采暖、空调、致冷、热动力等；二是通过光电效应直接转换为电能。太阳电池目前已经用作卫星、浮标、灯塔等的电源。将来大幅度降低太阳电池的成本以后，还可用来大规模的发电；三是通过光化学作用转换成电能或制氢；四是通过光合作用收集与贮存太阳能；五是利用风能。本书主要是叙述太阳能直接转换为热能的应用，而对于其它几个方面的利用，读者也会得到一个基本的概貌。

由于太阳能的不连续性与分散性，至今在太阳能利用方面，还存在成本偏高的问题。本书各章除介绍太阳能各个应用领域中的概况外，还介绍一些未来发展动向与研制计划。同时，第六章提供的经济分析方法，更便于读者在从事太阳能工作中，不仅考虑到科学技术上的可行性，同时还能顾及到经济上的合理性。

我国在太阳能利用方面开展了多方面的研制与推广工作，太阳能热水器、太阳灶、太阳能干燥、硅太阳电池的应用，以及以沼气为代表的生物质能的利用等方面都取得了可喜的成果与进展。特别是除了有相当数量的专业队伍外，还

涌现了为数众多的太阳能利用的爱好者。本书的译出，将为他们提供一本太阳能利用的入门读物。

本书是根据英国布赖顿工业大学机械与制造工程系主任 J. C. 麦克维 (J. C. McVeigh) 所著《太阳能——太阳能应用导论》1977年第一版译出的。全书由方铎荣、王兴国、李希伦共同翻译。其中，方铎荣译第一、二、三、六、八章及附录；王兴国译第七、九章；李希伦译第四、五章。最后经吴承康教授校阅。鉴于译者水平有限，译文中难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正。

译 者

## 序 言

我们生活在这样一个历史时期，它比任何时候都严峻地意识到世界面临着能源问题。目前人们普遍认为，化石燃料的贮量是有限的。从多年来的统计数据看，能量的消耗仍在不断增长。因此，化石燃料不能无限制地满足人们日益增长的需要。然而，太阳能却是一种没有污染的充足能源，人类可以利用的太阳能量比目前世界上所需的全部能量还要大若干个数量级。所以，它在未来的替代能源中是最为吸引人的。

我们高兴地看到大家都能够分享这个用之不尽的能源。从长远来看，本书所描述的某些课题，目前虽然还是处于早期发展阶段，但是它将为许多国家提供重要的能源。英国现在已有几千个太阳能热水系统，每个系统都能节约能量，并能帮助国家在能源上自立。太阳能系统每年节约的能量费用是随着燃料价格的增长而增加的。现在太阳能利用已遍及整个世界，它所涉及的范围非常广泛。我希望通过《太阳能应用导论》这本书，将能促使更多的人来建立他们自己的太阳能系统，而这些系统还有助于间接地节约其他资源，如水和建筑材料等。

尽管基础科学知识对于透彻理解太阳能利用中的每一个课题是有益的，但是本书的重点在于应用，所以理论上的论述便被缩减至最少。书中在论述太阳能应用时，有很多内容都是用照片和图表来说明的。本书主要突出了热利用，例如，

热水器，采暖和空调，以及小型动力等。它们在今后的五年内将在许多国家产生直接的效果。此外，书中还详细描述了几个正在运行的太阳能热水器的详细结构，同时还介绍了对太阳能系统进行经济评价的方法。

本书对于太阳能的各种利用，除采暖系统用两章的篇幅加以描述外，其它各项皆在各自的章节中加以叙述，并且尽量使各章的结构保持完整，以便于读者可以分别学习。建筑师和工程师们将会发现本书所给出的大约 350 余篇的参考文献，将有助于他们广泛了解当前研究领域的状况。其中一些参考文献，原是作为摘要发表于 1975 年国际太阳能会议上的，而后又发表在 1976 年的太阳能杂志上。在有些原始材料中使用了别的单位制，作者在书中已把它们转换成统一的国际单位制 (SI)。

在本书的准备工作中，得到了许多人的直接或间接的帮助。这里不可能一一提到他们。原来我所感兴趣的只是太阳能热利用方面，但本书涉及到光电、光化学等方面，我向那些促使我与这些方面紧密接触的人们，特别是国际太阳能协会英国分会的同事们，表示深切的感谢。同时我也非常感谢布赖顿工业大学的许多朋友和同事。他们热情支持我在太阳能方面的研究工作。

第二章的一些气象数据和整个附录 2 是经女王印刷局管理员的许可而复制的。我也非常感谢下列组织与个人对使用他们的插图所给予的许可：他们是铜发展协会 (图 4.7)；爱德华·柯蒂斯的房屋与花园 (图 4.8)；卡彭赫斯特电气委员会中心 (图 4.10)；菲利普团体 (图 4.15)；费拉蒂有限公司 (图 7.2)；G. 庞廷和风能供应有限公司 (图 8.3)。高级电镀

线圈有限公司允许我引用他们的手册中的数据于第九章中。建筑部门工程师杂志（以前的 JIHVE）的主编允许我可以在 1971 年版本的 JIHVE 中直接引用资料。

最后，约在十年前我在伍尔维奇工业大学，在已故教授 H. 海伍德领导下，作一个系主任是我最大的荣幸。他的杰出研究工作鼓舞了许多工作者，他的有益的建议和热情奠定了我有志于太阳能研究的基础。

J. C. 麦克维

1976年9月于布赖顿，苏塞克斯

## 目 录

## 序 言

- 第一章 导论和历史背景 .....1
- 第二章 太阳辐射.....15  
总辐射、直射和漫射辐射；直射辐射的光谱分布；辐射测量仪器；一个辐射测量网的数据
- 第三章 加热水和空气的应用.....28  
平板集热器；霍特尔-惠莱厄-布利斯方程；实际的设计特性；选择性表面；集热器材料与腐蚀；集热器设计的进展；空气集热器；集热器的性能比较；试验程序；热能贮存
- 第四章 采暖应用.....76  
美国的应用；英国的应用；其他国家的应用；屋顶采暖系统；热泵和光学系统；太阳能采暖系统分析
- 第五章 热动力和其他热应用 .....129  
太阳能热机；大规模太阳能发电；其他聚光系统；空调与致冷；热泵；太阳池；蒸馏；热加工；运输
- 第六章 经济分析方法 .....157  
符号；现值分析；通货膨胀的影响；余量分析；最佳集热器面积；变利率与通货膨胀率
- 第七章 太阳电池、生物转换系统和光化学 .....168  
太阳电池；生物转换系统；光化学
- 第八章 风能 .....183  
风能发电的发展历史；风能的潜力；一些近期的发展
- 第九章 一些实际的供热应用 .....202  
游泳池和其他低温升装置的应用；太阳能热水器；吸热板的设



## VI

计；尺寸、性能、经济性和贮存容量；家用热水系统；地方建筑  
和规划条例；校验商品广告的性能指标；其他的节能方法

附录 1 一些有用的单位、定义和换算 .....	232
附录 2 英国观测网和贮存的数据 .....	235
附录 3 一些参考文献的来源 .....	238
术语 .....	241
符号表 .....	248

## 第一章 导论和历史背景

几千年以前，人类就懂得了生命和能量来自于太阳。据说最早描述太阳能应用在建筑上的基本原理的是哲学家苏格拉底（Socrates）（公元前 470~399）。在赞诺芬（Xenophon）的回忆录中，曾有下面这一段记载：

“冬天，太阳光线能够照射到朝南房子的门廊上；但在夏天，由于太阳运行的路径高过我们的屋顶，所以门廊上有阴影。因此最好的办法是使房子的南边高些，以便冬天室内能获得较多的太阳光；而房子的北边要低些，以便减少冷风的影响……”。

据说在公元前 214 年，阿基米德首先使用了太阳能来攻击在锡拉丘兹的古罗马舰队。他建造了许多块非常光亮的金属镜，把它们沿着岸边排列。以致当古罗马的舰队停靠港口或者沿海岸航行时，从金属镜面上反射的太阳光正好聚焦在舰队的船体或帆缆上，于是船体被点着火了，从而导致古罗马舰队的溃散。太阳能早期应用，多数与各种聚焦系统有关，如燃烧镜和透镜。A. 德特莱斯是六世纪的一个著名建筑学家。在他留下的报告中，有四篇是关于燃烧镜的论文。其中一篇的题目是“如何制造一个机器，它借助于太阳光线，能使一个在一定距离上的物体着火”。一个名为 R. 培根的英国僧侣大约在十三世纪末也在建造燃烧镜。发明第一个太阳能水泵的是法国工程师 S. 德斯科（1576~1626），他在 1615 年对此作了描述。法国哲学家布丰做了各种各样的实验，并在

1747年证明了在锡拉丘兹的进攻，在实际上是可能的。他建立了一个大的框架，上面挂着许多块能把太阳光反射到各自聚焦点上的镀银玻璃。然后，他调整镜面的数目与聚焦点。最后他测定在距着火点 77 米的距离上，装上154面镜子，就能点燃包有木炭和硫磺的木片。紧接着他又制造了直径为 1.17 米的抛物镜，但是所有这些实验都被同时代的人认为至多是个科学玩具。德索斯絮里记载了关于太阳灶的早期例子。他是瑞士的哲学家（1740~1799），这是在他给布丰和 L. J. 德帕里斯的信件中记载的。信里描述了如何制作聚焦的玻璃腔以及如何在其中心熬汤。大约在同一时期，法国的物理学家也有类似的发现。B. F. 贝利多尔（1697~1761）也发明了另一种形式的太阳水泵，或称为连续喷泉，如图 1.1 所示。

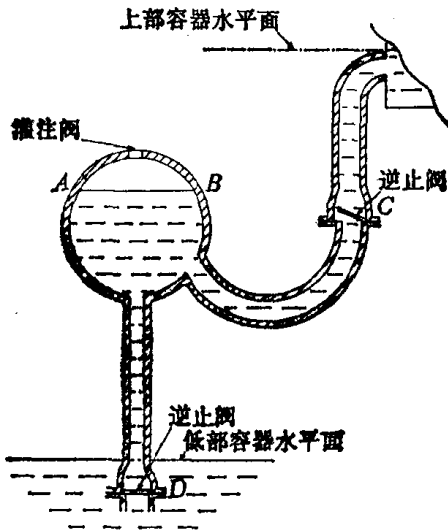


图 1.1 贝利多尔太阳水泵

先把水注入到泵的球顶 AB 平面。白天，太阳辐射加热球顶，致使球内的空气膨胀增压，水便通过逆止阀 C 到达上面的容器。用人为的办法或利用夜晚的低温冷却，则球内的空气压力下降到大气压以下，又把水从低部容器通过逆止阀 D 抽到泵内。

在十九世纪初期，J. 赫希尔用实验的方法确定了太阳的辐射强度——太阳常数。他发明了一个可用于测量太阳光线热强度的仪器即曝光计。法国科学家普勒特也曾独自地发明了类似的仪器。这两个仪器所用的原理基本相同——把一定量的水置于太阳辐射之下，并测量它在一定时间内的温升。赫希尔的曝光计是一个固定的开口容器，而普勒特的仪器是一个可动的密闭容器，也就是直射式日射强度计。他们计算了因大气吸收、散射和衰减而引起的误差。对于普勒特的仪器和实验方法，J. 埃里克森<sup>[1]</sup>提出了严厉的批评。他认为对于大气深度连续变化的问题，根据纬度、日期和准确时间的计算方法太复杂了。埃里克森是以研究热机和热空气循环而著称的，在他转入太阳能实验以前，还是一个杰出的造船家。他在一个旋转观察台内的振动桌子上，固定了他的太阳量热计，在桌子上由支撑在水平方向上的轴颈提供赤纬的移动，另外还附加一个有刻度的弧。在1871年3月7日，埃里克森从实验中得到：“在大气边界一平方英尺的表面上，每分钟得到的热能是7.11英热单位。”这相当于 $1.332 \text{ 千瓦/米}^2$ 。这一数字正好在最近人们所公认的太阳常数计算值的容差范围内，所以这是一项十分卓越的工作。

1854年，A. 蓬森在伦敦得到了最早记载的太阳能专利，其内容为“……用太阳光线在一个适当的容器里造成一个在水柱之上的真空。在真空中，水与大气压保持平衡。这样的真空形成以后，借助于大气的外部压力把水注满，于是得到了热水，进而产生动力。”然而自此以后，人们并未见到这一发明付诸实施，也没有见到有关的记录。在这以后的几年内又有一些英国专利问世，但所有申请过的专利都未制造出样

机。与这些只限于理论上的想法的人相反，法国教授A. 穆肖建造了一台抛物聚焦镜，1860年用它驱动了一台小蒸气机，1861年，他从法国政府得到了专利权。1866年在巴黎展出了“太阳泵”，还用太阳灶做了实验。1869年他写了关于太阳能方面的第一本正式出版的书，叫做《太阳的热量和它的工业应用》<sup>(8)</sup>。1878年9月29日，他在巴黎博览会上成功地表演了第一台太阳能致冷机，并生产了一块冰。

虽然埃里克森于1868年就声称，他建造了第一台太阳能发动机，但是在我看来，穆肖比他早几年就研制成功了，他只不过是第一个用空气循环的太阳能发动机的发明人。据报导这种空气循环的发动机于1872年就在纽约转运了。它主要针对低功率的应用设计的，其主要性能为“当天空晴朗，太阳在天顶时，它有420转/分转速的稳定功率”。他进一步指出，若需要较高功率时，发动机内使用蒸气比较好。

埃里克森具有丰富的太阳辐射知识又有造船和机械工程方面的早期经历，所以早在1876年他就关心过能源危机，这是不足为奇的。他指出煤最后将被耗尽，能源问题将使国际关系产生巨大变化，此时采用太阳能的国家将处于有利地位。他就太阳能发动机在8000英里长和1英里宽的陆地上（约13000公里×1.6公里）使用的可能性作了理论分析。他建议：以上埃及作为例子，当这一方案实现时，将显示出巨大的优越性，使上埃及得到很高的政治地位，这是因为那里有丰富的阳光和随之而来的不受能源耗量限制的动力指挥权。这样当能源危机来临时，欧洲由于缺煤，工厂将会被迫停工。但是上埃及有取之不尽的太阳能，就可以邀请欧洲的工厂主把他们的机器搬运并安装到尼罗河冲积平原的地面上，那里充

足的动力能生产出比 100 个曼彻斯特城生产的还多的锭子。

在智利拉斯萨利纳斯地区，水的含盐量高达 14%，若用蒸气锅炉淡化水则成本很高，这样要大量供给动物和人的饮用淡水便成了问题。鉴于此种经济原因，智利政府在离海岸约 110 公里的内陆地区建立了世界上第一个最大的太阳能蒸馏系统。哈丁<sup>(4)</sup>给出了 C. 威尔逊曾在 1872 年设计的这一系统的完整技术资料。它由 64 个框架组成，每个框架长 60.96 米，宽 1.22 米，玻璃的总面积为 4756 米<sup>2</sup>。这个装置的特点是它使用的动力很早就采用了自给自足的办法。在这个装置的最高端贮存箱内的盐水是用风车从当地的井内抽上去的。在装置运行初期，每天能生产大约 19000 升的新鲜水。它的成本约为烧煤锅炉系统的 1/4。但是自从铁路建成以后，要求这一装置的供水量减少，整个系统也随之损坏了。

关于聚焦装置的最早美国专利，是由 C. 波普于 1875 年提出的，他致力于研究各种各样的太阳能应用。最后还生产出一台太阳能应用装置。并于 1903 年在波士顿出版了一本书名为《太阳热——它的实际应用》<sup>(5)</sup>，这是世界上第一本用英文写成的有关太阳能的书籍。1877 年 3 月 20 日授于旧金山的 J. S. 希特尔和 G. W. 戴茨勒的专利，是美国第一项有重要价值的太阳能专利。这个专利描述了“一个凹面镜，通过它聚光到铁或适当材料的吸热容器上……让冷空气进入，而后经太阳加热，再流到普通的热空气中”（埃里克森循环）。戴茨勒于 1882 年 5 月 19 日获得了关于反射镜的第二个专利。他是 1883 年在加利福尼亚建立的太阳热动力公司的创始董事。

印度是作出了早期工作的另一个国家。W. 亚当斯是在

孟买的英国居民，他发明了一台太阳灶，这个灶是由木头制作的，并在直径为 0.711 米锥形反射器上铺设了价廉的镀银玻璃。“这台太阳灶能把七个战士定量的粮食和蔬菜，在孟买最冷的一月份，用 2 个小时煮熟”<sup>(6)</sup>。

A. 皮弗雷在法国继续了穆肖的工作，于 1882 年 8 月 6 日在巴黎的马温尼印刷所用 3.5 米直径的一面镜子反射阳光，使一台小型垂直蒸气机运转。虽然那时天空上有一些云，但为节日特地编辑的太阳杂志，按平均每小时印 500 本的速度，在下午 1 至 5 时就印完了。

马萨诸塞州索利姆的 E. S. 莫尔斯教授是最早提出采暖的应用者之一。这一发明的内容是“利用太阳光线使房子变暖”<sup>(6)</sup>。它的主要材料是玻璃及其下面的黑色石板。他把上述材料安放在房间有太阳的一侧，在石板底部有通风孔，空气通过石板与玻璃之间的容积加热，热空气上升到房间顶部，再流回房内，冷空气则从通风孔排出。每当好天气时，莫尔斯教授就用这一方法加热他的房子。大约就在这同一时期报导了平板集热器首次使用于水泵系统<sup>(7)</sup>。

在 1914 年爆发第一次世界大战前的三十年内，太阳能发动机的数量与种类都有很大的增加。化名为“波士顿资本家”小组于 1901 年研制了几种发动机，并在不同的刊物中<sup>(8,9)</sup> 描述了他们最成功的一台发动机。这台发动机安装在加利福尼亚州的南帕萨迪纳的鸵鸟畜牧场。发动机反射器的顶部直径为 10.2 米，底部直径为 4.57 米，它内表面贴有 900 毫米×600 毫米的 1788 面镜子，在反射器的焦点上吊着一个锅炉。反射器面向赤道安装，有一根南北轴，采用了钟表工作机构，从东向西跟踪太阳。关于它的实际性能，有某些可疑。虽然它

的标称输出功率为 15 马力，而实际上在抽水时，每天所记录的平均值只有 4 马力。

另一些小组是舒曼发动机辛迪加有限公司和太阳能有限公司（东半球）。在当时这些公司也进行了大规模的发动机试验。他们的研究结果于 1914 年由他们的顾问 A. S. E. 阿克曼<sup>[10]</sup>作了详细地记载。F. 舒曼于 1907 年研制了一个太阳能发动机样机。这个样机是由许多充满乙醚的平行黑管组成，这些平行黑管装在体积为 6 米×18 米×0.45 米的浅箱底部，浅箱里面有水，水面有一层融化了的石蜡，浅箱顶上有一层玻璃盖板。当太阳光加热了水箱，平行黑管中的乙醚就开始沸腾，产生蒸气，当蒸气达到一定压力时就驱动一个小型立式往复式发动机工作。发动机排出的乙醚蒸气经冷凝后回流到平行黑管中再次循环。这种类型发动机的第二种设计是由塔科尼于 1910 年在费城作出的。它的原理与上述有很大的不同，它只用水作工质。采用了平板锅炉，平板锅炉由两片长为 1.83 米，宽为 0.76 米的薄铜板组成，在两片铜板中间，有一个用来盛水的狭间隙，冷水从较低一边的一角进入，蒸气管安装在较高一边的较高一角。锅炉位于双层玻璃下，并在绝热的木匣内安装一根东西轴，它不能从东向西地跟踪太阳，但是匣子的赤纬每个星期都可进行调整，使玻璃面垂直于午时的太阳。这种系统能成功地产生蒸气。第二年建立了较大规模的系统，它的集热面积为 956.5 米<sup>2</sup>，并使用了平面镜，达到了 2:1 的聚焦比。但是，在这一设备中，没有找到令人满意的测量输出功率的方法。当时只能利用早期试验结果的蒸气状态，大致估算出它的最大制动功率约为 26.8 马力。



后来，这个组请了C. V. 博伊斯教授参加，研制了在那一时期最为壮观的太阳能发动机，即在埃及米德的舒曼-博伊斯太阳热吸收器。博伊斯教授采用了自动跟踪系统，从而改善了塔科尼的设计。吸收器系由5块大抛物面镜子组成，每块边长62.5米，宽4.1米，总收集面积为1277米<sup>2</sup>。每块抛物面镜子由各种各样尺寸的涂有虫胶的平板玻璃构成。它们被安装在一个喷过漆的钢框上，每面镜子都由一个管轴系统驱动，使抛物面旋转。镜子上有南北向主轴，每天早晨镜子转到朝东方向，然后从东向西自动地跟踪太阳。1913年他们做了一系列试验，记录泵的最大功率只有19.1马力。阿克曼认为这是极坏的结果，主要原因来自这台装置的发动机与泵。因为根据他们的经验，在米德所产生的蒸气和在英国试验的其他蒸气机性能来计算，能够得到55.5马力。

虽然，利用太阳能的许多基本原理早就弄清楚了。但是，从可采用的工程材料上来看，实现这些原理却受到了许多技术上的限制。因此，更多的工作集中在大量的技术问题上。然而，正当人们准备致力于太阳能利用的技术问题时，即在第一次世界大战开始后的20年内，便宜的化石能源时代开始了。首先是石油，其次是天然气成为发展的重点，这就使得人们对太阳能的兴趣大大减小。幸好某些具有献身精神的工作者，例如美国的G. C. 艾博特继续进行着基础研究。一直到二十世纪四十年代，人们才重新对利用太阳能产生兴趣。G. L. 卡伯特赠给马萨诸塞理工学院的遗产，促进了太阳能的研究。太阳能研究的复兴随之扩大到美国的许多研究组织和世界上其他一些国家。1954年10月<sup>[11]</sup>在新德里举行了风能与太阳能的首次重要的讨论会，并为了各国科学家之间建