



能源与未来丛书

NUCLEAR ENERGY John Tabak, PH.D.

核能与安全

——智慧与非理性的对抗

〔美〕约翰·塔巴克 著



能源!

核能与安全

——智慧与非理性的对抗

Nuclear Energy

〔美〕约翰·塔巴克 (John Tabak) 著

王辉 胡云志 译

商务印书馆

2011年·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

核能与安全——智慧与非理性的对抗 / (美) 塔巴克著;
王辉, 胡云志译. ——北京: 商务印书馆, 2011
(能源与未来丛书)
ISBN 978-7-100-08672-1

I. ①核… II. ①塔…②王…③胡… III. ①核能 - 安全 - 研究 IV. ①TL

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 210807 号

所有权利保留。

未经许可, 不得以任何方式使用。

能源与未来丛书

核能与安全

——智慧与非理性的对抗

(美) 约翰·塔巴克 (John Tabak) 著

王辉 胡云志 译

商 务 印 书 馆 出 版

(北京王府井大街 36 号 邮政编码 100710)

商 务 印 书 馆 发 行

北京民族印务有限责任公司印刷

ISBN 978 - 7 - 100 - 08672 - 1

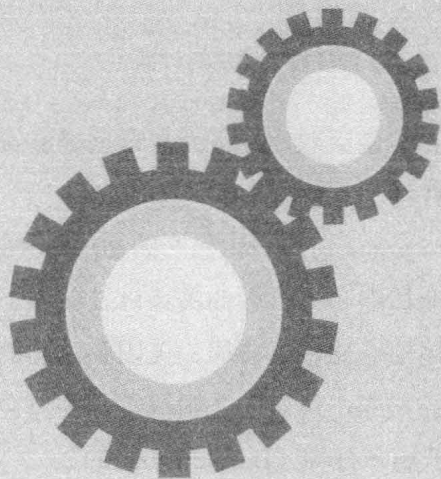
2011 年 12 月第 1 版

开本 850×1168 1/32

2011 年 12 月北京第 1 次印刷

印张 6 1/8

定价: 16.00 元



序

世界各国的运输、制造、制热、制冷和电力等部门消耗的能源数量大得惊人；随着越来越多的人采用能耗越来越高的生活方式，对能源的需求持续增加。21 世纪的一项中心任务就是，以对环境破坏最小的方式满足日益增长的能源需求。人们提出的解决方案错综复杂，还伴随着意想不到的后果。

“能源与未来”丛书共有六卷，力图简明全面考察与能源获取和电力生产有关的历史、技术、经济、科学以及对环境与社会的影响（包括环境公平）等问题。每卷介绍一种或几种能量来源以及把它们转换成有用工作能所需的技术。其中相当大的篇幅着重于描述这些技术的科学基础、存在的局限、对环境的影响、获得性与成本问题以及政府政策与能源市场的相互影响。所有这些问题都是认识能源所必不可少的。每卷还包括对该领域一位著名



人士的访谈。访谈话题广泛涉及科学问题和高度个性化问题，揭示额外的、有时令人吃惊的事实和观点。

《核能与安全》讨论电力生产的物理学和技术、反应堆设计、核安全、商业核能与核扩散的关系以及美国解决核废料处置问题的尝试。结尾部分比较了德国、美国和法国的核政策。就美国核工业商业化的问题，访问了美国核管制委员会核反应堆管理办公室前主任哈罗德·丹顿（Harold Denton）。

《生物燃料》介绍了主要燃料、它们的生产方法及其在运输和电力生产部门的应用。还讨论了生物燃料大规模应用对环境和经济的影响，还特别关注了对粮食价格的影响。描述了生物燃料小规模应用的一些细节，例如，生物燃料的循环利用。此卷结尾部分讨论了政府政策对生物燃料市场发展的一些影响。此卷的访谈对象是经济学家阿马尼·埃拉贝德（Amani Elobeid）博士，她是广受尊敬的乙醇、食品安全、贸易政策和国际食糖市场专家。她和读者分享了她对乙醇市场及其对粮食价格影响的看法。

《煤炭和石油》描述了这些能源的历史。详细讨论了煤炭和石油技术，即煤炭开采技术、石油钻探技术、煤炭加工技术和石油炼制技术，还讨论了把这些一次能源转换成有用工作能的方法。特别关注了煤炭、石油利用对当地环境和全球环境的影响以及煤炭、石油领域的政府和行业关系。此卷包含对西弗吉尼亚州众议院议员、矿山安全特别委员会副主任查伦·马歇尔（Charlene Marshall）的访问，他谈了国家依赖煤炭时个人要付的代价的一些看法。

《天然气和氢气》介绍了天然气生产、运输和消费的技术和基础设施规模。此卷强调说，天然气生产事业和能源期货市场已经演变为投机和风险管理工具。此卷还描述了氢气这种燃

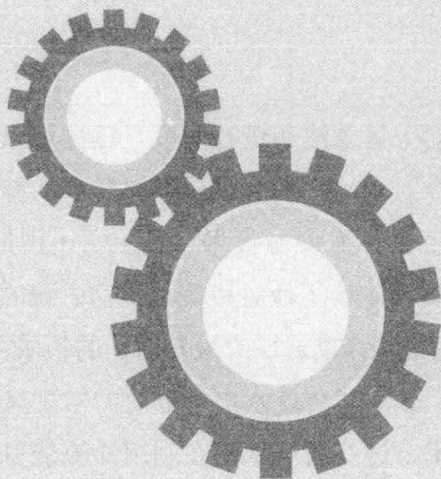


料，它一直吸引人们大量关注和进行研究。这里重点描述了氢气的潜在优势以及迄今阻止氢气的大规模燃料转换的障碍。此卷的访谈对象是美国能源部国家能源技术实验室雷·博斯韦尔（Ray Boswell）博士，博斯韦尔谈了他对甲烷水合物矿藏的识别和性质研究；毫无疑问，这是当今能源研究最有前途的领域之一。

《风能和水能》介绍了传统水电、目前的常规风电以及前景极不确定的较新技术，这些新技术旨在利用洋流能量、海浪能量以及海洋上下层之间的温差。此卷讨论了每种技术的优点和局限性，描述了这些装置能够利用的最大能量的数学模型。此卷包含对美国前国家可再生能源实验室的科学和技术副主任斯坦·布尔（Stan Bull）博士的访谈，他谈了如何（或者应当如何）管理、培育和评价科学研究观点。

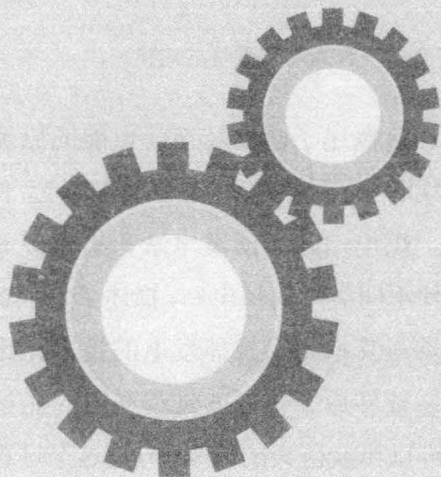
《太阳能和地热能》介绍了目前反对意见最少的两种电力生产方式。除了描述太阳能和地热能的性质及其利用工艺外，还详细介绍了在实践中如何利用太阳能和地热能作为电力市场提供电力。特别地，书中还向读者介绍了基本负荷和高峰负荷的差异、间歇性能源（太阳能）和几乎可以连续工作的能源（地热能）的一些实际应用区别。每个部分都讨论了鼓励太阳能和地热能部门在能源市场增长的一些政府政策。此卷采访的是在盖沙斯地热田的卡尔派恩公司的工程部主任约翰·费雷森（John Farison），他谈论了设施运行和保持产量面临的一些挑战，该公司是世界上最大和生产率最高的地热单位之一。

“能源与未来”丛书简明、全面地介绍了大规模能源生产和消费的科学、经济、技术及其环境、社会后果。丛书图文并茂，各卷独立成体系，也可以用作多种科学课程的参考书。



致谢

作者非常感谢以下诸位的帮助：核反应堆管理办公室前主任哈罗德·丹顿（Harold Denton）抽出宝贵的时间，非常慷慨地分享了他的知识；新英格兰 ISO 高级媒体关系专家肯恩·麦克唐奈（Ken McDonnell）的调查研究和细心回复对我帮助极大；伊丽莎白·奥克斯（Elizabeth Oakes）查找了本书使用的照片；利奥·克里斯蒂娜-塔巴克（Leo Christian-Tabak）帮助制作了插图；还要感谢执行编辑弗兰克·达姆斯塔特（Frank Darmstadt）对我的支持。



前言

长期停滞发展的商业核工业似乎即将进入另一个飞速发展的时期。日本、中国、芬兰、法国都建成了新的反应堆，或正在建设新的反应堆，而美国、英国和加拿大也在计划建造新的反应堆。这次“核能复兴”激起了人们极大的兴趣。

在过去的很长一段时间内，商用核动力是最受争议的发电技术之一，但是争论往往缺乏翔实的资料。要了解核动力现在的贡献和未来的潜力，需要掌握多门学科的知识：物理、工程、数学、经济、环境以及供电方式。掌握这些知识有助于让我们以相同的观念和标准评价与核能相竞争的技术。本书对核能既不颂扬也不贬低，目的只是利用有限的篇幅提供尽可能多的客观资料。本书的突出特点是视野广泛、简单易读——读者只需要一点高中代数的知识。



本书第一章概述了热能转换为电能的原理。核反应堆首先是一种热机，因此与多种发电站有很多共同点，例如天然气发电站、地热发电站、煤电站、石油发电站和集光型太阳能发电站。第四章介绍了五种不同类型的核电站，描述了它们如何实现热电转换。

核反应堆与其他利用热能发电的技术相比，区别自然是热源不同。核电站依靠原子核裂变过程释放的能量产生热量。单位质量的核燃料可以释放巨大的能量，但是这个过程会给环境、消费者，甚至国家安全带来诸多影响。因此，第二章和第三章着重介绍了裂变过程。

核电站产生热能的数量非常庞大，这使得安全性成为核电站设计和运行中需要考虑的最重要因素。第五章描述了实现安全运行的一些机制。因为裂变过程产生剧毒副产品，所以处理裂变过程产生的废物必须非常小心。由于从反应堆拆下来的燃料中很大一部分能量还没有利用起来，因此某些政府选择重复利用反应堆燃料，而其他国家则仅仅是埋掉使用过的燃料。这两种策略对环境具有重要影响，将在第六章讨论。

核动力仅是多种发电方式之一，从这种意义上讲，核电技术必须和其他发电技术竞争，在可靠性、成本以及对环境的影响上一较长短。尽管商用核电站或许是目前运行最可靠、最有效、最廉价的发电站，但是美国在过去的数十年间没有任何核电站建设计划。其部分原因将在第七章讨论。

最后，国家政策对电力市场的发展起着举足轻重的作用，发达国家都不愿意靠“市场”来引导能源产业发展，第八章介绍德国、美国和法国的核能政策并进行比较。本书以哈罗德·丹顿（Harold Denton）就商用核能产业的访谈录结尾，他曾任美国核管理委员



会核反应堆管理办公室主任。

现在，数十亿人民获得了大量廉价而可靠的电力供应，但是还有数亿人民期待能够使用这种能源。每个人都清楚电力对生活质量的意義。以对环境影响最小的方式来满足这种需求是本世纪的一个主题。每个公民都有责任了解电力生产的相关议题、技术和影响，并为确定最佳的能源生产方式作出自己的贡献。



目 录

序.....	i
致谢.....	iv
前言.....	v
第一章 核能史前史.....	1
第一节 第一台热机.....	2
第二节 卡诺和热机效率.....	9
第三节 用放射性物质作为热源.....	12
专栏一 全球变暖与核能.....	16
第二章 核裂变物理.....	21
第一节 原子粒子.....	21
第二节 守恒定律和放射过程.....	25
第三节 原子裂变.....	30
专栏二 费米反应堆.....	34
第三章 反应堆燃料.....	41
第一节 制造反应堆燃料.....	41

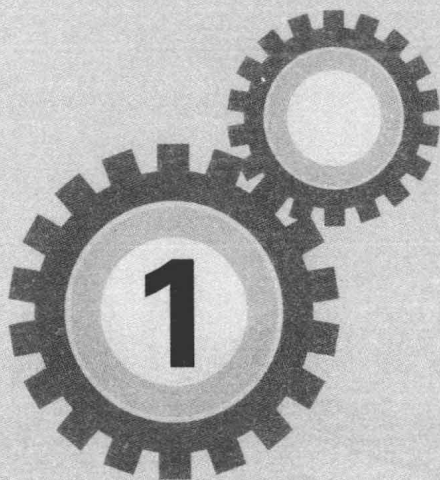


2 核能与安全——智慧与非理性的对抗

第二节	反应堆内部.....	46
第三节	核武器扩散.....	50
专栏三	国际原子能机构.....	54
第四章	核反应堆设计.....	59
第一节	沸水反应堆.....	60
第二节	压水反应堆.....	64
专栏四	切尔诺贝利核电站事故.....	68
第三节	坎杜反应堆.....	70
第四节	未来反应堆设计.....	75
第五章	反应堆安全.....	83
第一节	辐射作用.....	85
第二节	独立冗余子系统.....	90
专栏五	辐射的危害在何处?	92
第三节	事件树.....	95
第六章	乏燃料.....	101
第一节	乏燃料的成分和特性.....	101
第二节	乏燃料的管理.....	103
第三节	永久建筑.....	108
第四节	尤卡山足够安全吗?	115
专栏六	反对尤卡山处置库的非科学因素.....	118

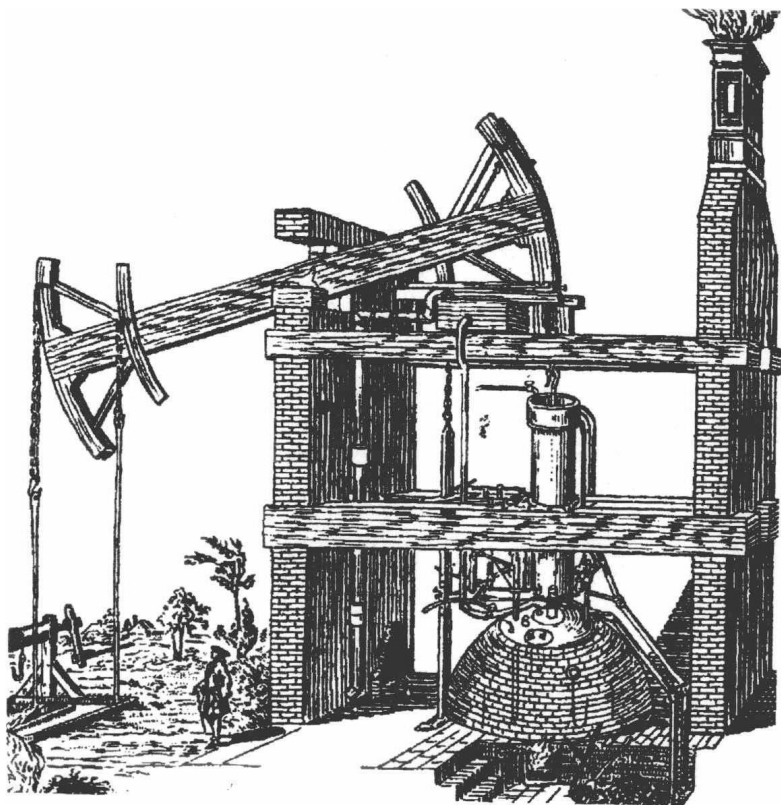


第七章 电力生产行业·····	121
第一节 自然垄断的公共事业·····	121
专栏七 新英格兰 ISO ·····	126
第二节 供求特性·····	128
第三节 美国核动力现状·····	135
第八章 核能与国家政策·····	139
第一节 支持核能的一些论点·····	140
第二节 反对核能的一些论点·····	142
第三节 德国核能政策·····	144
第四节 美国核能政策·····	148
第五节 法国核能政策·····	153
结论·····	157
编后记: 美国核能工业——哈罗德·丹顿访谈录·····	159
附录 元素周期表·····	168
大事记·····	170
术语表·····	174
参考文献·····	178



第一章 核能史前史

核电站用途单一，它唯一的目的就是把热能转变为电能。从这个意义上讲，核反应堆与其他商用发电站有许多共同之处。燃煤发电站、天然气发电站、燃油发电站、地热发电站，甚至还有一些太阳能发电站的工作过程都相同，通常分为以下三步：（1）生产热能；（2）把热能转变为动能；（3）把动能转变为电能。核电站与其他发电站的区别在于它们生产热能的过程：核电站依靠核裂变现象产生热能，而不是靠燃烧这样的化学反应或其他过程。了解核电站带来的影响对理解核能的本质至关重要。但是要在所有发电技术中综合地考察核能，了解核电站和传统发电站的共同点也同样重要，这是本章的两个主题之一，另一个主题是利用核能发电的思想是如何萌芽的。



纽科门蒸汽引擎——注意泵与人的大小比例。（Public domain）

第一节 第一台热机

蒸汽引擎技术诞生于三百年前左右。早期的蒸汽引擎自然极其粗笨，但是，因为它们非常清楚地展示了对理解核电站工作原理最重要的一些概念，所以很值得研究。英国发明家托马斯·纽科门（Thomas Newcomen, 1663 ~ 1729）建造了最早的蒸汽引擎



之一。在剖面图中，注意位于中心支柱右侧的纽科门蒸汽引擎通过一个“链子”与巨大的摇臂相连。摇臂左端再通过“链子”连接到位于图片左侧的水泵上。摇臂的作用类似泵的手柄，把蒸汽机和水泵连接起来。摇臂在自身重量的作用下将倒向水泵一侧。蒸汽引擎带动摇臂，摇臂的下上运动驱动水泵。虽然原理看起来很简单，但它是英国工业发展史上最重要的应用：当纽科门发明蒸汽引擎的时候，地表附近的煤矿已经被采空了，英国人需要钻更深的矿井，但是更深的矿井容易充水，因此那时的蒸汽引擎颇受重视，它们使得深井开采成为可能。事实上，早期蒸汽引擎全都用于煤矿抽水。在这幅插图中，水泵通过管子连接到矿井的水中。图中阀门 H 调节流过管道的水流。该蒸汽引擎的工作方式如下：

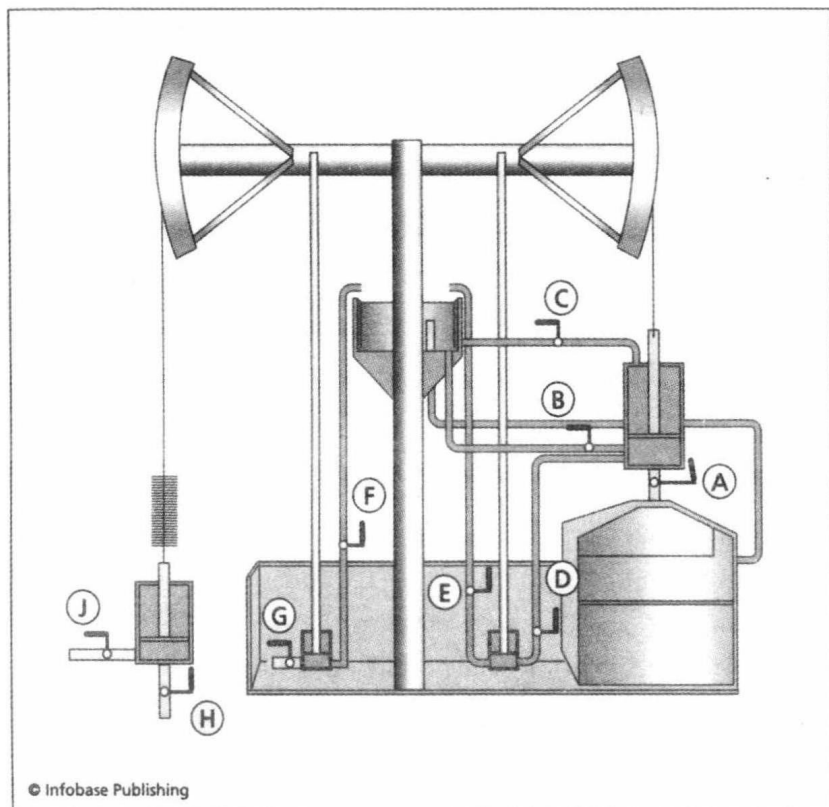
1. 煤炭在锅炉内燃烧产生热量。
2. 水被泵送至锅炉，在那里变成水蒸气。
3. 当摇臂向水泵方向倾斜时，——如前所述，在只有重力而没有其他作用力的情况下，它将向水泵方向倾斜。——气缸的活塞开始向上移动，阀门按下列次序工作：

(i) 阀门 A 打开，阀门 B、C 关闭：水蒸气从锅炉急速流入气缸，使气缸充满水蒸气。

(ii) 阀门 J 打开，阀门 H 关闭：当大型水泵活塞下降时，水通过阀门 J 被压出泵缸。（这些水就是前文提到的矿井中的水。它在上个冲程被活塞从井中抽出。）

(iii) 阀门 D 打开，阀门 E 关闭：气缸内所有由蒸汽凝结成的水被抽出气缸。

(iv) 阀门 F 打开，阀门 G 关闭：辅助泵把水送往支柱



纽科门蒸汽引擎剖面图。这个外观现代的纽科门蒸汽引擎理想化模型展示了纽科门把热能转换为功的方法。

顶端的储罐。

4. 当气缸内的活塞到达最高点，也就是说，左侧摇臂到达最低点而右侧摇臂到达最高点，气缸内充满蒸汽。这时

(i) 关闭阀门 A，切断来自锅炉的蒸汽；打开阀门 B 和 C 使水可以从蓄罐流到气缸的内部和上方。这些呈雾状的水冷却气缸及其内部的蒸汽，导致蒸汽迅速凝结成液态水。