

—《能源工程技术丛书》—

分布式能源 技术解析

肖 钢 张敏吉 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

能源工程技术丛书

湖北省学术著作出版专项资金资助项目

分布式能源技术解析

肖 钢 张敏吉 编著



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

分布式能源技术解析/肖钢,张敏吉编著. —武汉:武汉大学出版社,2015.10

能源工程技术丛书

ISBN 978-7-307-16227-3

I. 分… II. ①肖… ②张… III. 能源—技术 IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 140293 号

责任编辑:刘小娟

责任校对:邓瑶

装帧设计:张希玉

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:whu_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:武汉市金港彩印有限公司

开本:720×1000 1/16 印张:16 字数:301千字

版次:2015年10月第1版 2015年10月第1次印刷

ISBN 978-7-307-16227-3 定价:98.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

前 言

21 世纪是能源革命的世纪,将成为人类社会从物质文明向生态文明演化的变革时代。在物质文明和商业文明大繁荣的今天,人类无法抑制的商品需求和高速增长的生产力,导致了大量能源的消耗,而化石燃料的过度燃烧则造成地球生态环境恶化和全球气候变暖。因此,在有限的资源和严格的环保要求下,如何进一步完善能源利用形式,提高能源利用效率,改善能源产业的环境友好度,解决污染问题,已成为 21 世纪全球可持续发展战略的关键所在。

时代在进步,能源是基础。进入 21 世纪以来,无论是中国的“限电”问题,还是世界各地出现的“大停电”事故,都说明人类社会需要一个崭新的能源系统,以确保能源生产和消费的均衡和安全,确保能源利用的高效、合理和公平,最大限度地减少环境污染和温室气体排放,并推动能源结构的调整 and 新能源的替代。目前来看,能够同时实现上述目标的能源体系,非分布式能源莫属。分布式能源诞生于 20 世纪 70 年代,是能源经济、地球环境政策与科学技术进步的综合产物。40 年来,分布式能源体系和技术在美国、日本、丹麦、荷兰等诸多国家落地生根,并得到了长足的发展。分布式能源以其自身独有的特点为世界能源产业带来革命性的改变,不断推动人类社会朝着环境友好、发展可持续的生态文明方向前进。

近年来,中国能源结构调整和电力改革正在持续推进。2015 年 3 月,随着《关于改善电力运行、调节促进清洁能源多发满发的指导意见》(发改运行〔2015〕51 号)由国家发展和改革委员会及国家能源局联合下发,预示着新电力改革方案即将出台。新电力改革方案将会更加关注和重视分布式能源电力,加强可再生能源电力保障性收购制度的落实,推动解决分布式能源发展的体制性障碍,进而催生多种商业模式,全面促进分布式能源产业的发展。以此为契机,分布式能源或将在我国迎来更大的发展机遇;而实现此目标,则需要让我国各行各业的学者、技术人员、管理者、决策者,或者是普通老百姓,都更加熟悉,更加了解,也更加关注分布式能源。

本书作为分布式能源的科普书籍,旨在唤起更多人对分布式能源的关注,提升大家对分布式能源的了解。因此,我们不妨通过这本书,一起来探究各种能源利用和转化技术,剖析国内能源供给系统的现状,借鉴国外分布式能源建设的经验,思考分布式能源的发展方向,共同探讨并实践先进能源体系对生态文明建设的积极作用。

由于本书编者的理论水平和实践经验有限,书中难免存在疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2015 年 4 月

目 录

1 能源和能源问题	1
1.1 能源概述	1
1.2 能源问题综论	18
2 分布式能源解析	31
2.1 分布式能源概述	31
2.2 分布式能源的发展和引入	61
2.3 我国分布式能源的前景	68
2.4 “智能电网”的提出及其发展	76
3 分布式能源技术	91
3.1 热电联产技术	92
3.2 可再生能源发电技术	130
参考文献	244

1 能源和能源问题

当今世界,能源供需间的矛盾,能源利用和环境保护间的矛盾,以及能源安全问题,已成为全人类共同关心的焦点问题。这些问题能否有效解决,已成为维持我国经济可持续发展的关键性课题。能源问题的解决方向国际上公认是以“智能电网”为代表的智能化能源供给体系,切实可行的解决方案就是分布式能源。

1.1 能源概述

能源是人类生存的物质基础。从某种意义上讲,人类文明的发源和发展都源自对能源和先进能源技术的利用。当今世界,能源供需间的矛盾,能源利用和环境保护间的矛盾,以及能源安全问题,已成为全人类共同关心的焦点问题。这些问题能否有效解决,已成为维持我国经济可持续发展的关键性课题。

1.1.1 能源的定义

1973年和1978年两次世界性的“石油危机”,及其衍生的全球大范围的经济衰退,令“能源”一词深入人心。此后30年里,在相对稳定的能源供给条件下,世界经济取得了较大和较快的发展;然而,在利用能源推动经济发展、社会进步的同时,人们也遇到了一系列无法回避的能源安全、能源短缺,以及能源过度使用造成的环境污染等棘手问题。国际上,能源政策已经从国家层面,被提升到区域甚至全球高度;而在我国,能源保障体系也成为关乎我国复兴之路的一条名副其实的“龙脉”。

那么,究竟什么是“能源”?怎样描述?如何定义这种战略资源?事实上,国内外文献中对于“能源”的描述非常丰富。例如:

① 世界能源大会(WEC)认为:“能源是使系统能够产生对外部活动的能力”。

② 《科学技术百科全书》说:“能源是可从其获得热、光和动力之类能量的资源”。

③ 《大英百科全书》说:“能源是一个包括着所有燃料、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”。

④ 《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”。

⑤ 我国《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”。

⑥ 《2006 节能手册》的定义为:“能源是可以直接或通过转换提供人类所需的有用的资源”。

归纳总结上述描述,我们大致可以概括出“能源”的定义:能源是自然界中对人类有利用价值,并可以通过一定转换技术获取的能量及其载体。

该定义包括几个要素,而这些要素也是判断一种资源能否被称为“能源”的主要依据。

首先,能源包含两层含义:“能”和“源”,既囊括了人类需要的能量,又包括承载这些能量的物质资源。

其次,这些能量和物质资源应该是自然界中天然存在的物质,不包括经过工业加工的人造物品。

再次,这些资源所包含的能量必须是人类需要的,存在利用价值,并可以满足人类的特定用途。

最后,这些能量的获取和转化,可以通过人类现有的技术手段加以实现。

1.1.1.1 电池是能源么?

以上述几点作为判断依据,我们不难看出,任何形式的电池都不是能源,因为电池虽然拥有载体,蓄有能量,有利用价值,也可以通过技术手段加以提取和转化,但并非天然物质,不是能量的自然载体,所以我们通常称之为“电源”,而不会称之为“能源”。非但电池不是能源,“电”本身也不是能源,人类使用的电力并非取之天然;与之类似,经过工业加工的汽油、柴油、酒精、清洁煤这类人造的“燃油”和“燃料”,虽然经常被称为“二次能源”,但其本质上与能源也是有区别的。习惯上,我们通常在讨论“能源储量”和“能源结构”时,完全不考虑“二次能源”;而在谈及“能源供给”和“能源安全”时,又将能源与之混为一谈,这些约定俗成的说法,下文中就不再一一解释。

1.1.1.2 粮食是能源么?

这个问题,我们必须从两个角度去思考。首先,粮食作为食物,并非通过技术手段提取、转化并利用的,而是凭借人类自身的消化循环系统吸收,通过人类的本能而非技能获取,那么就不能称之为“能源”,就像我们并不把“人力资源”称为“人力能源”。但换一个思路,如果食物被当作原料,通过化学手段来制造乙醇或其他生物质燃料,甚至直接用来燃烧,在这种情况下,粮食就当被认为是一种最原始的能源——生物质能源。生物质能源是人类最先掌握的一种能源,其利用广泛且历史悠久。由于我国人口众多,耕地有限,而粮食又是保证人民日常生活和国家安全的重要战略物资,其价格对国民经济更有着重大的影响,所以我国政府并不允许将粮食作为“能源”来加工利用。

1.1.1.3 雷电是能源么?

雷电并非能源,因为其利用价值低下。通常我们观察到的雷电(图 1-1),其峰值功率可达 10 亿千瓦,远远超过世界上任何一个发电厂的功率,即使三峡水电站,其总装机功率也只有 1820 万千瓦。但事实上,雷电的能量非常有限,毕竟单次雷电持续时间一般只有 0.2 s 左右,而峰值时间就更短了,只有 μs 级,所以人们形象地称之为“闪电”,就是因为它一闪而逝的特性。雷电的价值就大大降低了,更何况雷电的发生存在地域性、季节性和随机性,这共同决定了雷电目前尚不具备作为“能源”所应有的利用价值。如果有朝一日人类能够大规模地对自然雷电进行控制,并从中获取电力,则雷电也将成为一种可再生能源。



图 1-1 日常生活中观察到的雷电

1.1.1.4 静电是能源么？

与雷电相似,静电也是人们在日常生活中随处可见的一种电磁能释放现象(图 1-2)。在冬天的夜里,我们脱下毛衣时可以听见劈啪声;而干燥的环境下,梳过头发的梳子则可以吸引纸屑,这都是静电在作怪。与雷电不同,静电是可以被利用的。借助静电产生的静电场,人们已经实现了对静电的广泛利用,比如静电场使悬浮的尘粒带电而被吸附,并使之分离出来然后去除,这就是静电除尘;而利用静电场的吸附作用将染料微粒涂敷在金属物体上,然后通过烘烤形成均匀的涂层,则被称为静电喷涂。其他诸如静电分选、静电纺纱、静电植绒、静电复印……这些都是不同工业领域对静电场的巧妙应用。但在这些应用中,我们并不从静电中提取并转化能量,反而要消耗能量,所以不能称其为能源。随着科学技术发展,能量提取、转化手段的进步,不排除静电在未来成为一种崭新能源的可能性。



图 1-2 日常生活中的静电现象

上述几个小例子中,我们因为种种缘故,将电池、粮食、雷电、静电都排除在能源范畴之外,这有助于我们更形象而深入地理解“能源”的概念;但实际上,任何定义都受到人类认知和技术水平的约束,随着人们对世界认知的深入和科学技术水平的进步,这些定义也需要与时俱进。我们可以想象,根据爱因斯坦的

$E=mc^2$ 方程,在自然界甚至宇宙中的所有物质都蕴含着巨大的能量,如果我们发现并掌握了提取和转化这些能量的方法,将不难发现宇宙中遍“地”能源,届时“能源短缺”将成为人类社会最不可能出现的社会问题。

1.1.2 能源的来源

既然,电池、粮食、雷电、静电都被排除在能源范畴之外,那我们目前生活生产所依赖的能量,又都来自哪里? 这些能源是否无穷无尽? 如果不是,何时会耗尽呢?

1.1.2.1 能量的源头

目前,被人类广泛使用的能源包括煤、石油、天然气、生物质、风、光、水、地热、潮汐,以及放射性物质等能源,其中绝大部分能源的能量来自太阳。

① 煤、石油、天然气是通过亿万年前生物化学过程,以碳氢化合物中的化学键形式储存起来的古代太阳能。

② 太阳能、水能、风能、潮汐能、生物质能则是通过光热光电效应、大气环流、水汽搬运、天体引力,以及光合作用等储存起来的当代太阳能。

③ 地热能、核能和一部分甲烷则是形成于地球诞生过程中,由于太阳系和宇宙星体之间相互作用的影响而形成。

综上所述,绝大部分我们现有可知、可用的能源,仅仅是古代或当代太阳能的不同物质形态而已。小而言之,地球上的能量来自太阳;大而言之,地球上的能量来自宇宙。所谓能源,不过是太阳(宇宙)能量在物质世界中的存在形式;而“能源利用技术”则是为了从能量载体中提取更大的能量,并通过转化、传输、储存和使用,使之更好地满足人类的需求,实现人类意志的手段和能力。

1.1.2.2 能源的尽头

既然能源来自太阳和宇宙,看起来我们可以高枕无忧了。因为理论上,太阳还有 50 亿年的寿命,即便人类穷极想象,在可预测的未来也不必忧心太阳能的枯竭;而根据热力学第二定律,宇宙的能量必将消散并逼近绝对零度,但那将是比太阳能枯竭更久远难测的未来。与此同时,随着人类文明的进步,人类将掌握并利用更先进的能源技术,从更多的资源中更高效地提炼更大量的能量,并以此推动人类文明的不断飞跃——换言之,能源没有尽头。

然而,事实总是难以尽如人愿。自从进入工业文明,随着能源需求的不断增大,人们对能源短缺的忧心从未真正消退。自 19 世纪 70 年代的工业革命以来,化石燃料的消费量急剧增长,并至今占据主导地位。初期化石燃料以煤炭为主,进入 20 世纪以后,特别是第二次世界大战以来,石油和天然气的生产与

消费持续上升;在 20 世纪 60 年代,石油首次超过煤炭,跃居化石能源的主导地位。尽管 20 世纪 70 年代世界经历了两次石油危机,但世界石油消费量却没有丝毫减少的趋势。过去 30 年间,世界能源消费量增长率达到 1.8%,这个速率意味着地球上每 40 年的能源消耗将至少翻一番;而在我国,这个速率是 5.5%。为此,有科学家预言地球上的石油、天然气及煤炭,将分别在 40 年、65 年、162 年之后消耗殆尽。

化石能源是地球上经过上亿年,以碳氢化合物的形式积累下的古代太阳能。如果把地球比喻成一个巨大的“碳氢电池”,那么可以想象人类文明在短短 300 年之内,就将这个已经充了上亿年“太阳能”的“碳氢电池”消耗殆尽,这是怎样一个惊人的速度!更惊人的是,这个“碳氢电池”由于快速放电,其产生的“碳排放”无法正常循环消耗,已经造成环境问题,导致全球变暖。英国牛津大学与德国科学家研究发现,即便是目前所讨论的力度最大的温室气体减排方案,也不大可能将全球变暖限制在安全水平之内。这意味着,出于保护地球环境的需要,我们很可能无法等到化石能源耗尽的那一天。有研究指出,为了避免全球气温超过理论上的安全警戒值,目前全球已探明且具备经济开采价值的化石燃料储备中,将只有不足 1/4 可以用来燃烧。

综上所述,我们不难发现,尽管能源没有尽头,但人们当前依赖的化石能源是会枯竭的。无论是为了防止未来能源的短缺,还是为了保护现实环境,避免全球气候的人为变化,我们都不能再过于依赖和过度使用化石能源。令人欣慰的是,人们对能源短缺和环境污染的担忧,却恰恰成为新能源利用技术发明和发展最好的动力,进入 21 世纪之后,包括太阳能、风能在内的清洁而安全的替代能源技术已经取得了突破性进展,并成为所有能源分类中发展最快的一支。

1.1.3 能源的分类

按照不同的标准,我们可以对能源进行不同的分类。

- ① 按能源能量来源分类:太阳辐射能(煤等)、地球能(地热等)和宇宙能(潮汐能等);
- ② 按能源开发阶段分类:常规能源(煤等)和新能源(核能等);
- ③ 按能源再生能力分类:可再生能源(太阳能等)和一次性能源(煤等);
- ④ 按能量转化阶段分类:一次能源(煤等)和二次能源(炭等);
- ⑤ 按能源流通环节分类:商品能源(石油等)和非商品能源(薪柴等)。

上述各种能源分类方式,有着不同的侧重点,考虑了不同的方面,满足了各自使用的需要。本书着重介绍分布式能源,视角并不局限于能源的来源、是否传统、可否再生、能否商品化,而是更多地侧重于介绍各种能源的提取、转化和

利用技术,及其对社会需求和环境保护等问题的积极响应。所以,本书将根据能源利用技术——人类在利用各种能源资源时提取、转化方式的不同,对能源进行再分类。

按照能源利用技术,能源可以分成三大类,即清洁能源、化学能源和辐射能源。以下将逐一进行详细介绍。

1.1.3.1 清洁能源

清洁能源——可利用物理学方法提取的能源,包括除生物质能之外的其他可再生能源,如水能、太阳能、风能、地热能。这些能源可以通过物理学方法加以获取,通常可以直接转化成机械能、热能或电能,在此过程中不会发生化学反应,没有伴生产品,没有排放,因此被称为清洁能源,是迄今为止最安全和最环保的可利用能源。

当然,需要说明的是,“清洁”是相对的,是指这些能源在提取和转化的过程中没有任何污染和排放。但提取这些能量的材料和设备,比如太阳能电池的生产、风力涡轮及塔架的制造,都可能存在不同程度的高温耗能、气体排放、副产品处理等问题;再如大型水力坝体的筑造,甚至会对区域水文、生态、气候等资源环境带来长期的负面影响,其设计必须经过反复论证,其建设必须要经过国家环保部门的审批和许可。

1.1.3.2 化学能源

化学能源——须依赖化学反应提取的能源,包括所有燃料,如生物质能和其他一次性能源、化石能源(固体燃料、液体燃料、气体燃料)。例如,薪柴和煤,把它们加热到一定温度,它们就能和空气中的氧气化合并释放出大量的热能,如图 1-3 所示。我们可以用热能来做饭、取暖或制冷,也可以用热能来产生蒸汽,用蒸汽推动汽轮机,将热能变成机械能,继而可以用汽轮机带动发电机,使机械能变成电能。如果把电送到工厂、企业、机关、农牧林区和住户,它又可以转换成机械能、光能或热能。

由此可见,化学能源和人们日常生活、生产息息相关,是人类赖以生存、繁衍和发展最重要的物质基础,在人类社会中占据着无可比拟的地位,意义非凡。在我国,火力发电仍占全国电力生产的 80%,而燃煤发电则占到 60%以上,在我国电力结构中处于绝对主体地位。

除了燃料电池之外,所有化学能源的开发都依赖“燃烧”。燃烧不可避免地在释放能量的同时生成新的氧化物,比如,碳、硫和氮的多种氧化物,从目前的研究来看,这三种氧化物的大量排放在地球环境污染和气候变化问题中有着不可推卸的责任。需要指出的是,生物质能作为一种可再生能源,在理论上能够维持其全生命周期二氧化碳吸收和排放的平衡,这意味着生物质能

不会增加大气中二氧化碳的排放量。但有研究表明,人们可能“高估了生物燃料的净能量输出和对于减少大气中温室气体排放量的贡献”,同时,更重要的是,“生物燃料正成为物种灭绝的一个主要因素,因为它们的生产将加剧对自然栖息地的破坏,包括东南亚低地森林(油椰子的栖息地)到亚马孙河流域。”

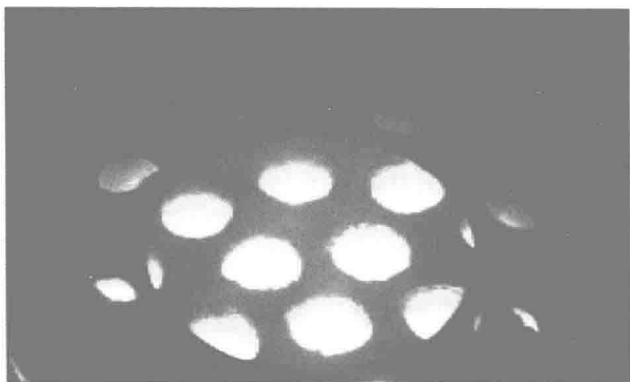


图 1-3 煤燃烧释放大热量

1.1.3.3 辐射能源

辐射能源——核能。核能与化学能类似,化学能是在化学反应中靠分子中的电子进行交换而获得能量;而核能则是靠分子中原子核里的中子或质子的重新分配获得能量,故也称为原子能。与前两种能源相比,核能产生的能量大得出奇,不可否认,核能利用技术是人类认知世界和改造世界能力的重大进步。图 1-4 的标志表示核辐射。

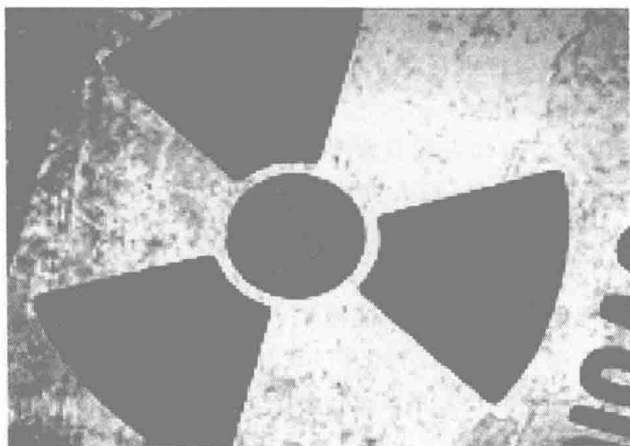


图 1-4 核辐射标志

自第二次世界大战以来,人类逐步掌握并发展了核能的利用技术。20世纪70年代,随着石油危机的爆发,核电热在全球升温,而在此后近20年间却处于停顿状态,直到最近国际核电热又再度回潮。不可否认,核能技术已经成为推动当今世界经济发展的重要力量。当前全球共有436座核电站,分布在31个国家,每年消耗近7万吨浓缩铀,这些核电站年发电量约占全球发电总量的16%,已经接近水力的发电量。此外,全球在建的核电站有27座,有62座已进入订货或计划阶段,另有130座在拟议之中,预计到2020年前,将有168座新核电站投入运营。

综上所述,本书将能源分为清洁能源、化学能源和辐射能源三类。也许这样分类不太常见,也并不完善,但如此分类的目的,只是借以表明一个态度:当我们在思考能源问题时,不仅仅要考虑“能源”问题本身;而能源给我们带来的,也不仅仅是能量而已。

根据分类,清洁能源中除了对环境有较大影响的大型水电建设之外,基本环境友好,可成本较高,能量密度和转化效率都偏低,现阶段所能提供的能量较小,因而在当前能源供应体系中所占的比重不大,但发展速度很快;化学能源能量密度高,能够持续提供大量、稳定、可控的高品质能量,是人类社会发展最主要的商品能源,但具有一定环境危害性;而辐射能可长期而高效地提供我们巨大且廉价的能量,但潜在的危险同样不容忽视。

核能潜在的破坏力人人皆知,这是人类历史上第一次掌握了足以自我毁灭的巨大力量。从某种意义上来说,在人类完全掌握核能利用技术,并将之发展至臻完善之前,核能始终是悬于全人类头顶的一把达摩克利斯之剑。

① 1979年3月28日,美国位于宾夕法尼亚州中部的三英里岛核电站发生了放射性物质泄漏事故;2009年11月21日,该岛又被探测出少量核辐射泄漏,其后150名工作人员被送离核电站,接受检查。

② 1986年4月26日,乌克兰切尔诺贝利核电站发生爆炸——这场灾难性事故已经影响了全球共20亿人口,并且这种影响还将持续800年。

③ 2011年3月11日,日本外海发生里氏9.0级大地震并引发海啸,导致福岛第一核电站发生氢气爆炸事故,至今依然在泄漏放射性物质,大批居民被疏散。图1-5所示为核电站爆炸后可能的影响范围。

美国三英里岛核泄漏事故,虽然没有造成严重的危害和后果,但美国核电因此发展停滞,时间延续长达30年。乌克兰切尔诺贝利核电站爆炸造成的人道主义灾难,令人们对“核”的恐惧感达到顶点。前两次核电事故虽然改变了全球核电发展的速度,但是并未改变核电发展的进程。随着技术进步,人们对核电的信心逐渐恢复,世界各地核电发展再次进入高潮。然而,2011年日本核泄

漏事故发生后,在全球特别是欧洲引发广泛思考,德国甚至宣布 2022 年前关闭境内所有核电站,瑞士也宣布不再新建或更新核电站。图 1-6 为一名绿色和平组织成员手持抗议使用核能的标语爬上屋顶。

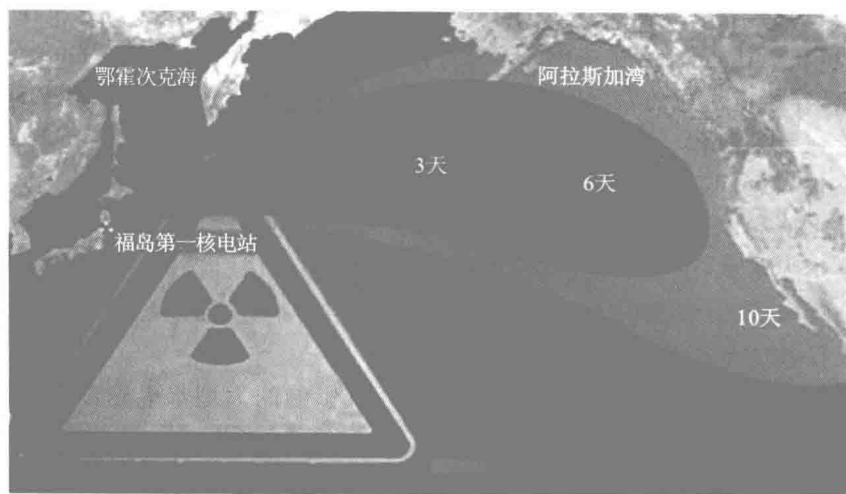


图 1-5 福岛核电站爆炸后可能影响范围示意图

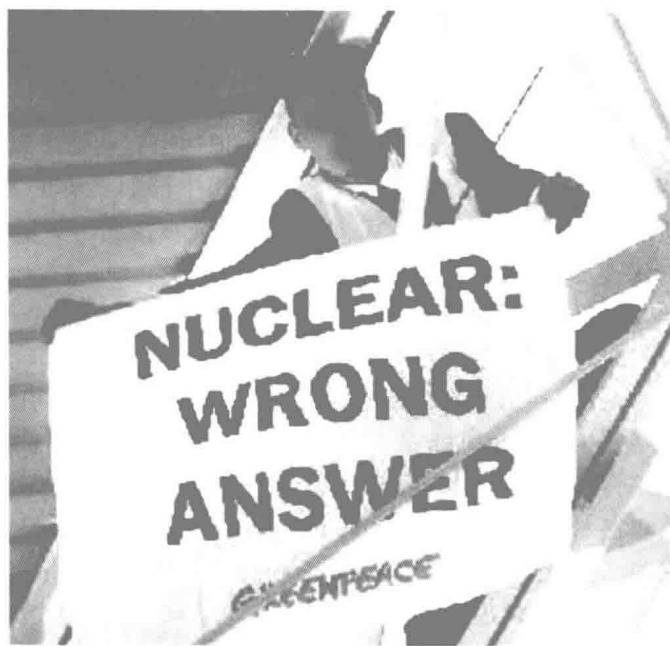


图 1-6 一名绿色和平组织成员手持抗议使用核能的标语爬上屋顶

即便如此,核能的发展势头依然强劲。核能发展的伴生问题短时间内仍难以解决,如核废料处理等。即使最先进的技术能确保核电站运行风险极小,且能抵御大部分天灾,但实际建造和运作也可能有人为的疏漏,何况核电站还是战争中首选的战略性打击目标。然而,不可否认的是,核电是目前人类所知的最“给力”的能源技术,人类不可能抵挡得住如此的诱惑而弃之不用,发展核能在某种程度上是不可阻挡的趋势,特别是对于亟须能源的发展中国家。在“绝对安全”和“充足能源”的选择中,人们只能选择无奈。现阶段,“废核”固然难以实现,但人们应有所敬畏,在学会适可而止的同时,也应学会另辟蹊径。

其实任何能源的大规模集中式开发,都难以保证对区域环境和生态的正反馈或零伤害,往往是能源开发的规模越大,负面影响就越多,即便可再生能源中的水能、生物质能和地热能也不例外。更值得思考的是,随着人类社会和经济的高速发展,我们对能源的渴求也就越发迫切,当能源极大地满足了短期的市场需求并预示了长期的高昂回报之后,那些潜藏在能源背后的风险就会被人选择性地忽略和淡忘。核能就是一个好的例子。恰恰是这些给予人类莫大帮助的能源,同时又在侵蚀我们赖以生存的地球及其生态环境——这其中隐含的矛盾,时刻提醒我们要认真地思考能源安全和经济可持续发展问题,这正是大自然对人类的考验:考验人类的智慧是否能够在扩大能量供给的同时,化解能源转化背后暗藏的危机。

而实际上,自然对人类的考验自古至今,从未停止。诸如利用哪些能源、如何合理利用能源这类问题,非独当前人类社会需要面对的问题,而是贯穿人类文明始终,并提供文明发展契机的决定性问题。而人类的智慧和文明,实际上就是在面对和解决上述问题中,不断地得以发展和繁荣。

1.1.4 能源和人类发展的关系

以宇宙和地球为出发点,人类的历史恍若一瞬;而以人类的视角来看,人类社会文明的发展历程亘古绵长,记载这一历史的文献浩若烟海,不可枚举。可是,如果要求在一张小字条上书写完整的个人发展史,却也并非难事——只要在字条的一面写上“能源”,在另一面书写“工具”,四字足已!科学家们对人类的起源还有诸多争议,但无可否认的是,能源和工具的使用是人类全速进化的开端,是人类社会发展的动力,也是人类文明的标志。

总结起来,人类社会和文明的发展可以分成三个阶段。

1.1.4.1 第一阶段:蒙昧时代

蒙昧时代的主要特征是人类已经同时掌握能源和工具的使用方法,这一阶段主要包括旧石器时代。