

# 能源伦理研究

NENGYUAN LUNLI YANJIU

柳琴 史军◎著

# 能源伦理研究

Research on Enery Ethics

柳 琴 史 军 著



气象出版社

China Meteorological Press

## 内容简介

本书对能源问题进行伦理反思:能源领域的发展与变革能引发哪些伦理思考与我们的内在改变?伦理学及其带来的人类内在改变对推动能源领域的发展与变革又能起到什么作用?能源决定了社会的发展方式,而人类的伦理观念又决定了我们以何种方式利用哪些能源以及利用多少能源。本书适于广大从事能源政策与环境伦理学相关的管理和研究人员使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

能源伦理研究/柳琴,史军著. —北京:气象出版社,2018.12

ISBN 978-7-5029-6897-7

I. ①能… II. ①柳…②史… III. ①能源开发—关系—伦理学—研究 IV. ①X24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 288408 号

Nengyuan Lunli Yanjiu

### 能源伦理研究

柳琴 史军 著

---

出版发行:气象出版社

地址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码:100081

电话:010-68407112(总编室) 010-68408042(发行部)

网址:<http://www.qxcbs.com>

E-mail: [qxcbs@cma.gov.cn](mailto:qxcbs@cma.gov.cn)

责任编辑:蔺学东

终审:张斌

责任校对:王丽梅

责任技编:赵相宁

封面设计:楠竹文化

印刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

开本:787 mm×1092 mm 1/16

印张:11.5

字数:305 千字

版次:2018 年 12 月第 1 版

印次:2018 年 12 月第 1 次印刷

定价:68.00 元

---

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

# 前言

我们生活在人类历史上能源最为丰富的时代,煤炭、石油、天然气、水电、核能、生物燃料、风能、太阳能、地热能、潮汐能等各种形式的能量来源极大地提升了我们的生活水平,使我们成为目前人类历史上最为富裕的一代。

然而,这或许也是一个人类历史上能源分配最不公平的时代。一些富裕阶层用大量的能源驱动着他们的私人飞机、汽车、游艇,以及豪宅里的各种“智能”(但却耗能)的电器,而一部分贫困阶层仍旧像他们的祖辈那样靠捡拾薪柴做饭、取暖,过着与现代能源绝缘的生活。当代社会有足够的能力让所有人都过上有基本能源供应的有尊严的体面生活,然而,资本主义市场逻辑却只允许一部分人享受甚至浪费能源,而将另一部分人拒之门外。马克思所批判的不是资本主义的经济增长,而是经济增长之后的收入分配。在能源分配问题上,马克思的批判如今依然有效。因此,亟需对能源的生产、分配与消费方式进行系统的伦理考量。在社会层面,我们看到,当代人所依赖的石油、煤炭、天然气和核能这四种最主要的现代能源的生产与消费中存在大量的不平等和不公平:全球四分之一的人的家里无法获得可靠的(或付不起)取暖、电灯和做饭的能源,如今还有很多人在没有电力的条件下生活;欧洲和美国的能源政策制定者们,为了保障他们国家的能源供应安全和低市场价格,无视主要石油出口国的能源问题。亚洲和非洲热带雨林的农民和地主使土地退化,以提供生活的燃料和增长收入,虽然提高了生活水平,但却破坏了栖息地,并增加了全球温室气体排放。城市和乡村的官员们将垃圾焚烧场、煤矿、垃圾填埋地(垃圾堆)尽可能地设置于郊区或城市边界处,以使污染转移到其他共同体,造成了环境正义问题。一些独裁政府将石油开采所创造的财富用于总统官邸和私人飞机,而不是“面包”、书籍和更好的社会服务。

我们或许也是人类历史上最不负责任的一代。存在于自然界中的各类能源资源不仅仅属于富人,也不仅仅属于我们这一代人,还属于所有的穷人以及人类的后代。如果我们这一代人耗尽了地球上的能源资源,我们就不正当地占有了后代所应得的能源资源,造成了对后代的不正义。有人认为,后代可能不需要这些能源资源,因为我们通过消耗这些能源资源会积累科技知识,为他们留下新能源技术,让他们能够开发和使用其他的能源资源。还有人认为,后代一定比我们更富裕,把有限的资源留给后代是劫贫济富,是对当代人的不正义。可是,当复活岛上的先民砍掉岛上的最后一颗树时,他们是否给后代留下了足够的生存资源让后代人生活得更富裕?当复活岛上的森林在15世纪消失后,所有的陆地鸟类和半数以上的海鸟种类全都灭绝了。随着森林的消失,人们已找不

到木头建造船只,也就再也无法出海。他们只能在浅海捕鱼,使得浅海的生态也遭到了严重的破坏,甚至连海贝也基本被吃光,而只能吃些小海螺。这或许也是人类历史上生态环境问题最为严重的时代,并且这个时代的生态环境问题与不公正、不可持续的能源开发及利用方式有着密切的联系。

人与自然的和谐关系在人类大规模使用化石燃料的工业化时代终结了,人类开始成为大自然中最不和谐的因素。人类文明足迹所过之处,常常留下一片荒漠。人类与自然之间的关系经历了三个阶段:有生态无文明,有文明无生态,以及有生态有文明。全球工业化、城市化、市场化的经济大发展阶段是有文明无生态或文明进而生态退的阶段。在未来的生态文明阶段,生态与文明应当处于一种类似于"太极图"中阴阳两极动态平衡的状态。

人们寄希望于新能源技术重塑生态与文明之间的平衡,认为新能源最终会把人类从能源与环境危机中拯救出来。然而,延续传统的征服性、狂妄性、剥削性资本主义逻辑的新能源技术只会激发人们对自然资源更加非理性的掠夺,鼓励人类欲望的持续膨胀,造成更多的消费与浪费。能源供应量的增长永远无法追赶上人类欲望的增长速度。新能源无法驱动我们不可持续的生活方式与发展方式,也无法解决传统能源开发与使用的社会正义、代际正义以及生态环境问题。在能源问题上,我们需要的是顺应性、调适性逻辑。

能源几乎与我们所珍视的所有价值都息息相关,而对于应当优先满足哪些价值,人们从未达成一致。能源的使用是多目标指向的,每种能源利用方式都必须在技术、经济、环境与社会因素之间进行权衡。有时这些目标是一致的,但有时它们会彼此冲突,并且达成恰当的平衡并不是件简单的事情。能源伦理要求我们很好地理解能源是如何与经济、环境和社会交织在一起的。

本书对能源问题进行伦理反思:能源领域的发展与变革能引发哪些伦理思考与我们的内在改变?伦理学及其带来的人类内在改变对推动能源领域的发展与变革又能起到什么作用?我们给当前世代中的一些人不成比例的能源利益,而把负担给另一些人,这是否公平?我们把核燃料、化石燃料用尽,把大气污染和气候变化留给未来世代是否公平?我们在做出能源决策时,正义与伦理能起到什么作用?能源决定了社会的发展方式,而人类的伦理观念又决定了我们以何种方式利用哪些能源以及利用多少能源。

作者

2018年9月

# 目 录

## 前 言

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第 1 章 能源之伦理判断 .....     | 1  |
| 1.1 能源简史 .....          | 1  |
| 1.1.1 化石能源 .....        | 3  |
| 1.1.2 非化石能源 .....       | 13 |
| 1.2 全球能源系统 .....        | 22 |
| 1.2.1 电力 .....          | 24 |
| 1.2.2 交通 .....          | 25 |
| 1.2.3 取暖与烹饪 .....       | 27 |
| 1.3 能源选择之伦理判断 .....     | 27 |
| 1.3.1 能源选择的两难 .....     | 27 |
| 1.3.2 能源二元论 .....       | 31 |
| 1.3.3 “灰色的”能源价值判断 ..... | 34 |
| 1.4 能源伦理研究综述 .....      | 36 |
| 1.4.1 什么是能源伦理 .....     | 36 |
| 1.4.2 能源的伦理性质 .....     | 37 |
| 1.4.3 能源伦理研究现状综述 .....  | 39 |
| 第 2 章 能源开发的永续原则 .....   | 42 |
| 2.1 代际能源正义 .....        | 42 |
| 2.1.1 能源的代际问题 .....     | 42 |
| 2.1.2 代际能源正义何以可能? ..... | 45 |
| 2.1.3 代际补偿与代际能源正义 ..... | 47 |
| 2.2 适应与代际正义 .....       | 49 |
| 2.2.1 适应的代际正义意蕴 .....   | 49 |
| 2.2.2 最不发达国家基金 .....    | 50 |
| 2.2.3 适应基金 .....        | 52 |
| 2.3 永续原则 .....          | 55 |
| 2.3.1 永续利用与可持续发展 .....  | 55 |

|            |                           |            |
|------------|---------------------------|------------|
| 2.3.2      | 永续利用的代际意蕴 .....           | 56         |
| 2.3.3      | 能源永续利用的实现途径 .....         | 61         |
| <b>第3章</b> | <b>能源供应的效率原则 .....</b>    | <b>65</b>  |
| 3.1        | 能源安全 .....                | 65         |
| 3.1.1      | 何为能源安全 .....              | 66         |
| 3.1.2      | 国际能源安全形势 .....            | 69         |
| 3.1.3      | 中国的能源安全形势 .....           | 73         |
| 3.2        | 能源独立 .....                | 78         |
| 3.2.1      | 美国的能源独立 .....             | 79         |
| 3.2.2      | 丹麦的能源独立 .....             | 83         |
| 3.2.3      | “一带一路”与中国的能源安全共同体战略 ..... | 90         |
| 3.3        | 效率原则 .....                | 93         |
| 3.3.1      | 能源效率 .....                | 93         |
| 3.3.2      | 美国的能效之路 .....             | 95         |
| 3.3.3      | 中国的能效之路 .....             | 97         |
| <b>第4章</b> | <b>能源分配的公平原则 .....</b>    | <b>103</b> |
| 4.1        | 能源贫困 .....                | 103        |
| 4.1.1      | 能源贫困的界定 .....             | 103        |
| 4.1.2      | 能源贫困的后果 .....             | 105        |
| 4.1.3      | 作为正义问题的能源贫困 .....         | 108        |
| 4.2        | 能源扶贫 .....                | 111        |
| 4.2.1      | 孟加拉国的能源扶贫 .....           | 112        |
| 4.2.2      | 英国的能源扶贫 .....             | 116        |
| 4.2.3      | 中国金寨县的能源扶贫 .....          | 120        |
| 4.3        | 公平原则 .....                | 126        |
| 4.3.1      | 我国的能源公平问题 .....           | 126        |
| 4.3.2      | 能源公平之伦理解析 .....           | 128        |
| 4.3.3      | 能源扶贫的政策落实与保障 .....        | 132        |
| <b>第5章</b> | <b>能源消费的节俭原则 .....</b>    | <b>139</b> |
| 5.1        | 能源、技术与消费 .....            | 139        |
| 5.1.1      | 能源的技术批判 .....             | 140        |
| 5.1.2      | 能源消费的反弹效应 .....           | 143        |
| 5.1.3      | 人工智能与能源消耗 .....           | 145        |
| 5.1.4      | 现代交通的伦理反思 .....           | 146        |
| 5.2        | 新能源汽车的伦理批判 .....          | 149        |
| 5.2.1      | 国际公平问题 .....              | 150        |

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 5.2.2 国内公平问题 ..... | 152 |
| 5.2.3 代际公平问题 ..... | 153 |
| 5.2.4 生态公平问题 ..... | 155 |
| 5.3 节俭原则 .....     | 157 |
| 5.3.1 消费与浪费 .....  | 157 |
| 5.3.2 节俭之美德 .....  | 158 |
| 5.3.3 节能之路径 .....  | 160 |
| 第6章 结 语 .....      | 163 |
| 参考文献 .....         | 165 |

# 第 1 章 能源之伦理判断

## 1.1 能源简史

能源,即能量之源(energy source),指各种能够提供能量的物质,是能够直接或经过转换而获取某种能量的自然资源。能源的利用方式与人类文明的进程息息相关,人类生产力每一次大的飞跃都伴随着一场能源利用方式的革命,一部人类文明史就是一部人类以不同方式利用能源的历史。能源的利用方式深深影响着人类的过去、现在和未来。按人类利用的主要能源划分,可以将人类的文明历程大致分为“薪柴时代”“煤炭时代”和“油气时代”。

从早期人类祖先掌握用火到 19 世纪中叶第一次工业革命完成,人类主要利用树枝、干柴、木炭等燃料生火作为能源,我们称这一时期为“薪柴时代”。火是人类掌握的第一种重要能源,从保存和利用天然火,到人工取火,原始人逐渐脱离了蛮荒时代,开始了刀耕火种的农业文明社会。从煮食、取暖、照明到制陶炼丹、锻造工具,随着人类用火技术的发展,社会生产力发生了几次飞跃,经历了石器时代、青铜时代、铁器时代等历史阶段。人类逐渐掌握了畜力、风力、水力等作为动力从事农业生产和驱动车船的技术,在一定程度上替代了人力劳动。

从 18 世纪 60 年代开始,以蒸汽机的大规模使用为标志,特别是 1785 年瓦特改良蒸汽机,拉开了人类历史上第一次工业革命的序幕。此后直到 20 世纪上半叶第二次工业革命完成,煤炭成为驱动庞大工业机器的主要能源,世界各地工厂烟囱林立,浓烟滚滚,机器生产代替手工操作,人类进入“蒸汽时代”。蒸汽机的广泛使用促进了煤炭的大规模勘探开采,也极大提高了能源利用效率。从此,煤炭供应成为整个大机器时代的动力源,使工业革命得以推进和发展。因此,从能源发展的角度,还可以把这一时期称为“煤炭时代”。

从 19 世纪 70 年代开始,科学技术突飞猛进,各种新技术、新发明层出不穷,并被迅速应用于工业生产,以电力的广泛应用、内燃机和新交通工具的发明、新通信方式的出现为主要标志的第二次工业革命由此拉开序幕。随着发电机、电动机、电力远距离输送技术及各种电器的应运而生,电力作为重要的二次能源被广泛应用于生产生活。因此,从第二次工业革命以来的时期常被称为“电气时代”。而这一时期的另一伟大发明——内燃机及在此基础上发明的汽车则促成了石油工业的大发展,继而带动石油化工和天然气

行业的发展。此后,石油、天然气逐步成为继煤炭之后最主要的能源品种和化工原料来源,现代工业越来越依赖油气资源。从这个意义上说,能源发展的第三阶段又可以被称为“油气时代”,人类至今仍处于这个时代。

虽然三次能源革命跨越的历史时期和时间长短不同,但是它们有一个共同特点,就是都推动了社会生产力的快速发展,构成人类文明进步的驱动力量。特别是在现代社会,农业、工业和交通物流系统,以及生活设施和服务体系,越来越依赖能源的支撑,使能源消费总量节节攀升。可以说,没有能源的发展作为支撑,就没有人类文明的进步。

人类也好,任何其他生命体也罢,都不可能产生比其所吸收能量更大的能量,或者根本不可能产生能量。全人类和所有生物体,都取决于外部环境为其提供能量。所有生物都是寄生者。能源是人类生存与繁衍的物质基础,其影响着整个人类文明发展史(Fouquet, 2009)。一部人类文明史,同时也是能源消费形态不断变化的历史。社会的存在、经济的发展及至一个人的生命都须臾离不开能量的消耗。人类的劳动、锻炼、思考、捕猎、耕种、建房、交通、沏茶等任何活动几乎都需要从太阳核心产生的能量,它以阳光的形式发射到地球,然后,地球上能够进行光合作用的植物将这一能量转变成植物的茎、叶、花、根和种子。包括人类在内的动物则通过食用这些植物和以这些生物质为食物的动物,来获得热量,维持生命。

根据不同的标准,可以把能源分为不同的种类。

(1)根据能源的表现形式可以把能源分为动能、热能、光能、电能等。动能是指物体由于做机械运动而具有的能,热能是指物体由于位置或位形的变化而具有的能量,热能、光能、电能分别是由燃料燃烧、光和电所具有的能量。各种能量之间是可以相互转换的。

(2)根据能源的性质可分为一次能源和二次能源。一次能源是可直接利用的自然界的能源,如煤、石油、天然气等;二次能源是指由一次能源经过加工转换以后得到的能源,包括电能、汽油、柴油、液化石油气及氢能等。

(3)根据能否再生可以把一次能源分为再生能源和非再生能源。再生能源是指不需要经过人工方法再生就能够重复取得的能源。非再生能源有两重意义,一是指消耗后短期内不能再生的能源,如煤、石油和天然气等;二是指除非用人工方法再生,否则消耗后也不能再生的能源,如原子能。

(4)如果按科学技术发展水平来划分,则可分为常规能源和新能源。在不同历史时期的科学技术水平下,已经被人们广泛应用的能源,称为常规能源。现阶段常规能源包括煤、石油、天然气,以及核裂变能和水能五种。其他正处在研究阶段,尚未大规模利用的能源,如太阳能、风能、海洋能、潮汐能、生物质能、核聚变能等称为新能源。

人类之所以支配了生物圈,就是因为发现了怎样利用浓缩在生物质(如木材)中的太阳能,无论何时何地,通过燃烧这些生物质,来产生光和热。人类成为地球上唯一能够控制火,并且充分利用火的生物物种。利用这些火,我们能够烹煮食物——以预先煮熟那些我们无法消化或者不喜欢直接消化的生冷食物的方式,来提高我们吸收营养的效率。这样,人类的数量才得以增加。接着就是通过种植农业作物、喂养家禽家畜,我们确

保自己能够获得比从前更多的能源供应。人类的数量再次增加,而且不断开疆扩土。如果人类不利用比耕种和直接燃烧木材等更加高效的方法来利用太阳能,人类也不可能在数量上出现巨大增长,也不可能依照自己的意愿改造世界。达尔文认为,人类发明一种便捷、可靠的新方法来获取在有机物中累积的太阳能,是一个巨大进步,在人类发展史中,它的重要性仅次于语言的形成(克劳士比,2009)。火使我们的祖先成为自然界的王者,成为整个大地的主宰,而这种权力是此前的动物无法拥有的。火赋予人类食物高热量,因而对人体产生有益于健康的效应。

200到300年前,随着蒸汽机的发明,我们步入了化石燃料时代。与随后取代蒸汽机的内燃机一样,蒸汽机使人类能够利用古老物质中聚集的能量,借助地底的高温与高压,这些生物质已转化成煤炭、石油和天然气。我们还发明了各种新方法,将通过燃烧化石燃料获得的能量转化成电能,传输到数百,甚至数千英里<sup>①</sup>之外的地方。如果不大量消耗这类化石燃料,我们现有的科技文明将不可能存在。现代文明其实就是对能源的大肆消耗。

无节制的消耗之后,人类终于有所清醒:化石燃料的数量是有限的,并不会取之不尽、用之不竭,而且,它们也是诸如全球变暖等一些令人担忧的环境效应的元凶。我们必须重新运用一些传统方法来利用太阳能,如风车;并且发明新的能源利用方式,如太阳能电池;或者,我们还必须利用新型能源。核裂变可以产生我们需要的一切能源,但它的危险性令人们退避不及。核裂变也许是潜入大自然的另一种“特洛伊木马”,而核聚变也许是一种理想的解决办法,太阳正是借助这种方式产生能量的。但我们尚未学会如何在实际操作中复制太阳产生能量的方式,也许永远都不可能学会。

利用一些技术突破,例如,耕种技术的次第改进和蒸汽机的发明,人类一次又一次成功地克服了能源的挑战,带来了政治经济的重组与融合,促进了人口的增长与迁徙。但人类对能源的需求是无法满足的,这也使得挑战永远存在,而解决方法只是作用一时。

### 1.1.1 化石能源

发达国家的富裕在很大程度上源于相对便宜的化石能源为其经济提供的动力(麦克尔罗伊,2011)。不论好坏,我们今天都依赖于化石能源,不仅包括煤炭,还有石油和天然气。这些燃料为我们带来了双重的威胁:一是不稳定的供应,二是这些燃料燃烧排放的气体,特别是二氧化碳这种温室气体,对局部和全球的气候造成了不可逆转的改变。在现代世界里,人口空前地膨胀,空间距离在缩短,越来越多的人口在合法地、也通常是强有力地追求具有更多福利的生活。因此,我们必须要在现代世界里面临这些挑战。生态文明建设与能源开发利用密切联系。对化石能源的严重依赖阻碍了我国的生态文明建设——空气污染。我国能源结构实现了从以煤炭为主向以石油为主的结构转化,并大力

<sup>①</sup> 1英里=1.6093千米,下同。

发展新能源。

### 1.1.1.1 煤炭

人类很早就认识到了煤炭的价值。很多人为了获取煤炭而劳作、受伤,甚至失去生命。很多从前依赖煤炭作为能源的机器和工艺已经被淘汰,但是煤炭在今天依然是必需品。煤炭并不只是燃料,煤炭工业还具有举足轻重的社会地位。由于煤矿工人努力寻求更好的报酬和更安全的工作条件,从而推动了一些最早的工会的形成。煤矿工人罢工与中国共产党的成立与发展也有直接的联系,例如,中国共产党成立初期组织过安源路矿工人大罢工等大型革命运动。煤炭还是西方文明超越亚洲文明的关键要素。正是得益于便利的煤炭储藏,英国人才能以蒸汽这种新动力为基础实现了工业化,由此摆脱了环境的束缚。“在19世纪早期,这种新的能源用于军事,到那时,也只是到那时,平衡才向着有利于欧洲人而不利亚洲人的方向转化,英国人率先跨出一步,向着畅通无阻的全球主导地位大踏步前进。”(马立博,2017)

自古以来,煤炭在全世界有广泛的应用。马可·波罗(Marco Polo,1254—1324)在从中国回去后,就描述了一种可以像木材一样燃烧的黑色石头。这种他显然不熟悉的材料,可能早在公元前1000年就在中国被广泛用于熔炼金属。罗马人于公元400年就在英格兰开采煤矿,而美国西南部的原住民早在哥伦布到达之前就在使用煤炭。在大部分早期社会,煤炭的替代物是木材。当然,从历史上看,木材也曾经是重要的能源,但有两个重要的理由使得早期社会后来转向使用煤炭。

首先,在重量相同的情况下,煤炭能够释放出比木材更多的热量。精确计算煤炭燃烧释放出的热量是很困难的,因为煤炭的含能量(也称热值),取决于煤炭的含碳量、含水量及不可燃固体量。所有这些参数特征都随着矿床的不同而有很大的不同。

其次,因为木材比煤炭的热值要低,早期使用木材获取能源的人不得不使用大量的木材。除了作为燃料,木材还被广泛用于建造房屋和船舶,以及很多小而精美的物件,如家具和乐器(相对而言,煤炭仅有作为燃料这一种用途)。因此,不发达社会的木材常常供不应求。如1300年,英格兰老百姓为了获得木材而破坏景观,很多森林遭到砍伐。于是,英国人很早就开始转向使用煤炭。他们需要替代燃料,而他们拥有很大的煤炭矿床,很多矿床处于离地表较近的位置。英国人这种从使用木材到煤炭的转变,最终对全世界产生了深远的影响。

随着蒸汽机的普及,煤炭需求迅猛增长。新的发明,如轮船和火车,进一步刺激了煤炭的需求。“单单是煤炭的存在,或是蒸汽机的存在,都不足以让英国成为19世纪世界上最富有、污染最严重的国家,但它们结合在一起,却改变了一切(索尔谢姆,2015)”。街道照明的需要发展出了煤炭的另一个重要市场。18世纪下半叶,最早受雇于詹姆斯·瓦特的英国发明家威廉姆·默多克(William Murdock,1754—1839)开始了有关煤气的实验。煤气是通过在无氧窗口中加热煤炭生成的。煤炭含有名为挥发分(volatiles)的物质,这种物质可以通过加热变成气体(煤炭必须在低氧环境中加热,以防止易燃的挥发分

提前燃烧掉)。这种易燃的气体混合物是在一种被称为煤气厂的设施中制造出来的,它最初计划全都只用于街道照明。煤气厂与路灯之间直接用管道相连。后来,工厂和家庭也加入了这个管道系统。煤气厂、火车、船舶和冶金工业都需要煤炭。英国被称为世界上第一个工业国家,一个几乎完全靠煤炭推动的社会。

在美国,十八世纪四五十年代才开始开采煤炭。在19世纪最初的几十年里,美国城市里开始建造煤气厂以满足街道照明、火车和轮船对煤气的需要,火车和轮船最初是以燃烧木材作为动力的,后来才改为烧煤的。为了满足巨大的需求,美国国内煤矿工业迅速发展起来。早期的煤矿仅仅依靠自然通风排出积聚在煤矿中的气体,以引入可供矿工呼吸的新鲜空气。由于矿井深部的空气比矿井入口的空气要热,所以会产生自然通风的效果。但就算在最好的环境里,自然通风的效率是很差的。在天气炎热的日子里,地面上的热气与矿井里的热气重叠,几乎没有自然通风。恶劣的通风、爆炸和塌方导致早期煤矿的劳动者伤亡惨重。虽然遇到很多困难,但由于这种极具价值的能源市场不断扩大,煤炭工业在整个19世纪和20世纪的最初几十年里始终处于稳步发展的状态。19世纪末,几乎所有的大城市和美国绝大部分小城市都建造了煤气厂以供应煤气。1840年,煤炭开始应用于冶金工业,到19世纪末,钢铁工业成为全国最大的工业之一,它对煤炭的需求也是巨大的。19世纪,煤炭被应用于火车和轮船而成为重要的交通燃料,当然煤炭还是那个时期重要的供热燃料。1882年,托马斯·爱迪生首创的燃煤电厂开始运营。煤炭产量随着不断增长的需求而持续增加。1905年,美国生产了3.19亿吨煤炭,远远超过了世界上其他任何一个国家。但是让人印象深刻的不仅仅是产量,还有它的增长速度:1900年至1920年期间美国煤炭产量增长了两倍。

今天的煤田是生活在百万年前的植物和动物的遗存形成的。煤炭源自沼泽地带。煤炭形成过程的最开始,是一些生活在沼泽地带的植物和动物的遗存被淹没并部分腐化。最后,这些遗存又被其他生物的遗存覆盖,就这样慢慢堆积了一层又一层。构成煤炭的矿物质不是单一的,而是多种。煤样的性质很大程度上取决于它的产地以及矿床形成的条件。当然,所有煤样都会有如下的一些共同性质:煤炭是由植物和动物遗存部分腐化后形成的可燃性岩石,如果以质量计算,煤炭中的主要元素是碳。

煤炭燃烧产生的二氧化硫是导致酸雨的原因之一。为了燃烧煤炭之前降低其含硫量,人们付出了巨大的努力寻找处理煤炭的办法,并付出了更大努力研究如何在燃烧产生的气体排放到大气之前去除其中的二氧化硫。煤炭中还含有很多微量杂质。例如,汞就是煤炭中含有的一种微量杂质。虽然对于给定的煤样来说,汞的含量通常很小,但是由于煤炭燃烧数量极大,每年仅因煤炭燃烧而被释放到大气中的汞的总量就非常高。汞是高毒性的,特别是对儿童来说,误食汞之后会引发各种各样的神经障碍。一经电厂的高大烟囱释放出来,汞最终都会固定在土壤中。如今,在美国整个东南部,鱼类已经被检测出体内的汞含量水平有所提高。这些汞很大一部分来源于美国中西部的电厂燃煤。煤炭是一种高能燃料,但含有具潜在危害的物质。这些物质的一部分通过煤炭燃烧被释放到环境中,煤炭燃烧还制造出了另外一些物质,如温室气体。尽管存在这些问题,煤炭

如今仍以前所未有的速度被燃烧着,而且这个速度仍在不断加快。

在许多国家,煤炭依然是极其重要的化石燃料。例如,在美国,虽然很多曾经高度依赖煤炭的重要工业已经消亡或改用其他燃料,但目前平均每天每人仍要消耗 9 千克煤炭。我们不难发现其中的原因:煤炭是如此廉价以致无人能忽视其存在。电力工业消耗了美国全部煤炭中的 90%,而全美电力的 50%是由燃煤电厂供应的。1990 年,美国国内煤炭年产量首次超过了 9 亿吨,但之后煤炭产量的增速有所放缓。

无论是发达国家还是发展中国家都投入了巨额资金建造燃煤电厂。其中很多电厂将在未来几十年里持续生产电力,这意味着在可以预见的未来,煤炭需求将会持续存在。越来越多的大额经费正用于支持研究利用煤炭制取气态和液态燃料的方法。将煤炭气化的技术已经出现,利用煤炭制取甲烷(天然气)的工厂也已经建造起来。这种人造气体由一氧化碳和氢气组成,被用于电力生产。从技术上来说,这也使得从煤炭中制氢成为可能。从煤炭中制取石油的技术也已经出现,它可以应用于交通工具。如果把这些技术推广到更广泛的领域(随着石油和天然气价格的不断上涨,这种可能性越来越大),煤炭应用将在目前基础上迅速发展 to 更高的水平。

煤炭是第一种,或许也是最后一种储量丰富且容易获取的化石燃料。全世界的煤炭储量惊人,据美国能源信息署(Energy Information Administration, EIA)估算高达 9 千亿吨,其中三分之二在四个国家:美国(27%)、俄罗斯(17%)、中国(13%)和印度(10%)。美国、中国和印度的经济增长速度都处于世界前列,对煤炭的依赖程度也同样处于世界前列。全世界的煤炭需求快速增长,并且还看不到尽头。世界煤炭消耗量到 2030 年时将达到 93 亿吨,而 2004 年时仅为 54 亿吨。

在德国,煤炭是唯一资源充裕的化石燃料。德国约 50%的发电容量是以煤炭为燃料供给的。尽管如此,德国的电价是欧盟国家中最高的。和美国一样,德国政府对所谓的清洁煤技术给予了慷慨的支持。近来德国政府承诺将淘汰老式和低效的电厂,代之以新型和高效的电厂。

目前,德国的燃煤电厂主要受到以下四个一般性政策的影响。首先,出于环境方面的原因,德国政府承诺尽可能减少对煤炭的依赖,因此,有关政策都旨在减少燃煤电厂的增长。第二,德国的节能政策相当严格,电力需求的增长比美国要缓慢得多,这样就无须像美国那样要不断扩大电力供应。第三,德国一直在寻求扩大可再生能源发电,大力发展风电。最后,德国已经着手关闭所有的核电站,此举有可能使其对煤炭的依赖更为严重。总的来说,德国推动经济运行的能源结构正在转变之中,但对煤炭的依赖则不然。新型燃煤电厂正在陆续投入运行,并将服役达数十年之久。这些电厂尽管采用了现代化设计,但并没有采用碳封存技术。与其他拥有大量煤炭资源的国家一样,德国电力部门将继续采用燃烧发电,并在可预见的将来继续是主要的二氧化碳排放源。

中国现在是世界上最大的煤炭消费国。中国经济到 2030 年将以年均 6.5%的速度增长,煤炭是支撑这种增长的主要动力。在中国,几乎一半的煤炭消费用于制造业,特别是钢铁工业,但是对电力和钢铁生产中无节制的煤炭消耗所造成的环境影响的考虑并不

充分。尽管中国的电力生产基础设施是新建的,但所采取的技术则不然。在缺乏现代化煤燃烧技术的情况下,如此大规模的煤炭消耗将引发严重的环境灾害。

与煤炭消费有关的环境挑战是巨大的,能否成功地应对这一挑战还不明朗。不管怎样,只要廉价电力是一种公共物品,只要煤炭是所有化石燃料中最丰富的资源,只要替代能源仍为数寥寥,那么几乎可以肯定地说,煤炭仍将如 20 世纪一样,至少在 21 世纪上半叶继续成为最重要的能源资源。

### 1.1.1.2 石油

石油是一种非常重要的能源。石油来源于单细胞水生生物的尸体。也就是说,今天的蓝绿藻、浮游生物以及非常微小、高度对称的硅藻类的祖先对石油的形成都作出了贡献。其他的决定因素包括水的化学成分以及水中这些生物相对数量。所有的石油矿床都需要几百万年才能形成。因此,从人类的角度来看,这些矿床是不可再生的。当这些微小古生物的尸体被埋在泥土或其他沉积物中时,石油形成的过程便开始了。由于黏土的保护,有机物可以慢慢地转化为一种叫作油母质的物质。同时,侵蚀和沉积这两个“孪生”过程会继续改变油母质矿床上面的地貌,并同时改变油母质与地表的距离。如果侵蚀过程占据优势,油母质会暴露在大气中,就不会产生石油;如果沉积过程占据优势,油母质将会越埋越深。随着深度的增加,压力和温度也会相应地增加,假设这个过程持续足够长的时间,油母质将经受很可能形成石油和天然气的温度和压力。一般认为,石油和天然气容易在深度为 760~4900 米的区域形成,如果深度继续增加,就只能形成天然气。这些掩埋与转化的过程需要几百万年时间,而且整个过程中的一些细节,如油母质承受的压力和温度,将会进一步影响最终形成的石油的品质。

汽油是用量最大的轻质石油加工品之一,是一种重要燃料。汽油在内燃机中燃烧的这个过程,从将碳氢化合物分子与氧分子混合开始。当以点火的形式为燃料—空气混合物注入能量时,燃烧过程开始,碳氢化合物分子和氧分子中原子之间的连接被打破,碳原子、氢原子和氧原子重新组合形成二氧化碳、水和其他微量物质。由于连接二氧化碳和水分子中原子所需的能量少于反应开始时连接碳氢化合物和氧分子中原子所需的能量,多余的能量以热的形式释放出来。产生热量正是燃烧反应的目的,而二氧化碳和水只是副产品,没有什么经济价值却无法避免。值得强调的是,从环境保护的角度来看,只产生水和二氧化碳的燃烧反应是理想的,而产生其他产物则要糟糕得多。例如,不完全燃烧会产生有毒的气体一氧化碳。如果反应开始时燃烧室里碳氢化合物比氧原子多,燃料就不会完全燃烧。对汽车发动机而言,这意味着废气中除二氧化碳、一氧化碳和水外还含有未燃烧的碳氢化合物。防污染设备可以通过燃烧剩余的碳氢化合物和一氧化碳,产生更多的二氧化碳和水,但这只是在废气排出燃烧室后才开始发挥作用,因此对汽车效率毫无贡献,而二氧化碳却是全球气候变化的主要因素。

关于汽油燃烧一个根本性的问题:尽管从很多方面来说,汽油都是目前最好的燃料,但即使是以最有效的方式来使用汽油也会产生温室气体,并且无法避免产生二氧化碳,

目前也没有办法阻止二氧化碳排放到大气中。

石油在国民经济中有着十分重要的作用,它被誉为“工业的血液”和“黑色的金子”等。石油不仅是一种主要的常规能源、重要的化工原料,也是战略资源之一,它是一个国家的生命线,对经济、政治、军事和人民生活都具有极大的影响。此外,未来数十年里交通燃料的消费量不会明显减少。由于在中国和印度,汽车正变成个人交通的主要工具,因此,这些国家的石油消费量还将会保持高速增长的态势。

在交通运输业,没有更好的燃料可以替代石油。任何一种石油的替代品都必须能够大批量生产并且能够安全地储存和运输。在理想情况下,这种替代品在燃烧时至少要和石油一样清洁,另外,它还应该能够被现有的技术所利用。例如,现在还没有哪种替代品可以用于飞机发动机。目前,石油是唯一能够满足所有这些要求的燃料,这并不奇怪,因为全世界大多数交通基础设施都要依靠石油来运转。尽管像乙醇和生物柴油这样的生物燃料已经在进入交通燃料市场方面取得了一些进展,但是地球上却没有足够的农业用地可用来生产替代哪怕只是小部分的汽油和柴油的生物燃料。即使是最乐观的预测,氢在未来 20 年内都还不能替代石油,因为,即使是在假设所有和氢的生产、运输、储存相关的技术难题都在下个十年内被攻克的前提下,支持氢经济的基础设施也需要很多年来完成。页岩油和煤制油的生产成本较高,而且从环境角度考虑,它们的生产也很难获得支持。最后,完全利用电池来供能的汽车仍然只会是一个利基市场,除非技术革新使得电池性能得到明显的提升。今天,无论是从贸易、安全还是从技术的角度来看,满足全球的石油需求是一个巨大的挑战。

1859 年,在美国宾夕法尼亚州的提特斯维尔(Titusville),人们挖出了第一口商业油井,这是石油业的开始。1915 年,汽油的产量首次超过煤油。早期的炼油厂更多的是把汽油看作是一种危险品,而不是一种有价值的产品,从而专注于煤油的生产,因为煤油可以作为照明材料使用。但是,随着内燃机的成功使用,汽油开始变成炼油业的主要产品。到了 1920 年,石油工程师和地质学家可以准确地估算出,当时所谓标准的石油开采技术其实把 80% 的石油困在了地下,也就是说,油田在仅采出 20% 的石油时便不能再出油了。那时,这些言论已经开始逐渐影响石油生产国的政策,但是其过程依旧很缓慢。

随着第二次世界大战后经济的快速增长推动了对石油的需求,1950 年到 1970 年间,美国石油消费量翻了一番还多,欧洲增加了 9 倍,日本增加了 100 倍,并成为仅次于美国的世界第二大石油消费国。在 20 世纪 70 年代的前五年里,石油消费继续增长,而且大部分来自中东地区。这种情况在美国尤其明显,美国 1972 年的石油进口量比 1971 年增加了 37%,而 1973 年又比 1972 年增加了 31%。这里,美国的石油产量已经到达了“峰值”,从此之后就停止了增长。

关心能源尤其是石油的人最想问的问题之一就是:地球上到底有多少石油?可以肯定的是,石油是有限的,世界石油的产量肯定最终会达到一个峰值,然后开始下降。

如今,石油市场依旧反复无常。这在一定程度上是因为石油供应的紧张以及很多主要产油国都处于政治和军事局势不稳定的地区。石油产量与供应量的小变动可以引起

价格的大变动。对于各方而言,不稳定的状况会让制订长期计划变得难上加难。但是,即使是在政治局势更加稳定的地区,石油生产国和消费国之间的利益有些时候也会互相抵触。这两方之间的对立是与生俱来的,而且对立的原因不只是来自经济方面。历史上,石油消费国从来都是毫不犹豫地去压迫一些产油国,甚至动用武力,目的其实就是为了获取石油。但石油生产国会将石油作为反击的武器并使得世界经济秩序紊乱。未来石油生产国和消费国还将会继续受困于让他们常常难受的商业关系。

每个发达国家都越来越依赖全球化的交通行业来解决哪怕是最基本的货物配送问题。空中旅行已经是常态,商业航空是石油的主要消费者。高效利用石油的公共汽车和火车是交通燃料的另一重要市场。但在有些发达国家,随着低人口密度的郊区不断增长,影响了公共交通的效率,并由此产生了所谓的“汽车文化”,这一文化产生的前提在于廉价汽油的充分供应。

现代生活需要耗费大量交通燃料。同时,人类遭受着酸雨、全球变暖、烟雾和其他各种各样污染的危害,这些都与汽油、柴油和航空燃油的消费有关。这说明了人类在消费这些石油产品的时候很难不对环境造成大范围的损害。事实上,这也是必然的。但理解这一点并没有让人们的消费模式产生什么变化,因为对于许多人来说,相对廉价的交通是如此地难以割舍。石油依然是现代交通系统得以运转的唯一主要能源。

石油一直是不可或缺的交通燃料。在交通行业中,没有哪种燃料像石油这样灵活、能量丰富、利用方便。但从环境角度来看,石油的生产和消费却无异于灾难。不管人们对全球性的石油依赖及其对环境的影响作何感想,大部分人却以自身行动表明他们宁愿以环境退化为代价换取快捷、廉价的汽油,这是一个世纪以前的情况,那时汽车和航空工业还处于襁褓时期,其环境影响还很小。如果,世界最大工业是由汽车制造商、飞机制造商和石油公司组成,那么上述情形依然如故。

二氧化碳排放是化石燃料所产生的确切的全球性影响。两个最大的二氧化碳排放源分别是发电行业和交通行业。交通行业和发电行业之间的一个关键区别是只有发电行业能够在未来15年里显著减少二氧化碳排放。二氧化碳固定排放源从理论上来说是可以配备捕获和封存装置的,但要全面推行还需要克服一些比较大的困难,不过人们已经在考虑制定合理的碳封存方案。交通行业则不然,要实施碳封存技术难度更大,而且成本太高。这两个行业的另一个区别是发电行业中可以采用替代燃料。实际上,一些曾经依赖于化石燃料的国家——最好的例子是法国,已经可以做到在全部电力生产中几乎不再使用化石燃料。然而,现在还没有能够大规模替代石油的办法,这使其在交通行业中是无法被取代的。那么,对交通行业不断增加的二氧化碳排放还有其他解决方案吗?短期内,答案是否定的。即使消费者转而使用燃料效率更高的汽车,虽然这样可以减少平均每辆新车的二氧化碳排放,但正如很多分析家指出,随着全球汽车数量的增加,个人因提高效率而减少排放的效果将无足轻重。在这种情况下,大气中二氧化碳的增长率虽然会比没有提高效率要低,不过由于当前全球二氧化碳排放率居高不下,任何减排的努力在最好的情形下都难以取得显著效果。长期来看,解决交通行业二氧化碳排放的办法