

ENERGY

能源经济与能源政策
协同创新中心前沿研究系列

发达国家 雾霾治理的经验和启示

林伯强◎编著

Experiences and Lessons Learned from
Developed Countries in Air Pollution Cleaning up



科学出版社

能源经济与能源政策协同创新中心前沿研究系列

发达国家雾霾治理的经验和启示

Experiences and Lessons Learned from
Developed Countries in Air Pollution Cleaning up

林伯强 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书结合目前中国治理雾霾的重要需求,重点关注美国、英国、日本治理雾霾的经验和教训。从能源发展与环境保护的历史趋势及现状出发,分析了各个国家能源发展过程中环境的变迁,同时总结归纳了各个国家环境治理的政策和手段,最终得到了各个国家的环境治理经验对中国雾霾治理的启示。本书的内容为下阶段中国环境,特别是雾霾治理提供了可借鉴的宝贵经验。

本书可供能源及经济类相关专业的高等院校师生以及从事与能源、经济相关工作的研究人员和相关政府管理、决策部门阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

发达国家雾霾治理的经验和启示 = Experiences and Lessons Learned from Developed Countries in Air Pollution Cleaning up/林伯强编著.

—北京:科学出版社,2015.3

(能源经济与能源政策协同创新中心前沿研究系列)

ISBN 978-7-03-043791-4

I. ①发… II. ①林… III. ①发达国家-空气污染-污染防治-经验
IV. ①X51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 052023 号

责任编辑:范运年/责任校对:桂伟利

责任印制:张 倩/封面设计:无极书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2015 年 3 月第一次印刷 印张:9 1/2

字数:179 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

作者简介

林伯强，美国加利福尼亚大学（Santa Barbara）经济学博士。现任厦门大学中国能源政策研究院院长、能源经济与能源政策协同创新中心主任、中国能源经济研究中心主任、博士生导师，是2008年教育部“长江学者”特聘教授，新华都商学院教授。其目前主要的研究和教学方向为能源经济学和能源政策。国内兼任国家能源委员会能源专家咨询委员会委员，国家发展和改革委员会能源价格专家咨询委员会委员，中国能源学会副会长，新华社特聘经济分析师，中央人民广播电台特约观察员。国际方面现兼任达沃斯世界经济论坛能源顾问委员会委员和达沃斯世界经济论坛全球议程低碳能源理事会委员。



前 言

自 2013 年初开始,中国大面积遭遇了不同程度的雾霾天气。雾霾频发及其对人们日常生活和健康的影响激起了全社会普遍的抱怨,唤起了公众对解决环境污染的诉求,同时也推动了政府治理环境污染的决心。从最初为雾霾“元凶”争论不休到政府陆续推出各项政策防治大气污染,雾霾治理得到了社会最广泛的跟踪和支持。

如今,雾霾治理成为了中国最热门的话题之一。今年第十二届全国人大第二次会议上,李克强总理在政府工作报告中指出要出重拳强化雾霾治理。“我们要像对贫困宣战一样,坚决向污染宣战。”“同呼吸,共命运。”雾霾治理是关系到中国环境、能源、经济发展的划时代的事件,它使得中国环境保护与能源政策有了“看得见、可以衡量的目标”。

事实上,从国际上看,雾霾的现象并不唯一,它的出现是中国经济高增长,能源高消耗的伴生产物。对于中国政府和中国大众,雾霾的治理充满新的挑战,但对于欧美发达国家,雾霾的治理已经具有非常成熟的经验。因此,总结归纳欧美发达国家的雾霾治理经验,并从本质上厘清雾霾出现的根本原因,从根源上杜绝雾霾出现,是中国现阶段治理雾霾的一个重要出发点。

历史告诉我们,美国、英国、日本无一例外地在经济快速发展阶段经历了雾霾的高发期。这些时期的普遍特征是能源消费快速增长和煤炭在能源消费占有比较高的比例,与中国现阶段的能源消费特征相对一致。因此,本书结合目前中国治理雾霾的重要需求,重点关注美国、英国、日本治理雾霾的经验和教训。从能源发展与环境保护的历史趋势及现状出发,分析了各个国家能源发展过程中环境的变迁,同时总结归纳了各个国家环境治理的政策和手段,最终得到了各个国家的环境治理经验对中国雾霾治理的启示。

对于目前严重的环境污染问题,通常的说辞是:中国是发展中国家,环境污染不可避免;随着今后经济发展,人均收入提高后,人们对环境的要求也会变高,会主动采取环境友好措施,进行更多的环境投入,即经验上的“先污染后治理”模式。这种说法的理论基础是著名的“环境库兹涅茨曲线”,它是关于经济增长与环境污染之间关系的一个理论,试图说明一个国家的整体环境质量或污染水平,会随着经济增长和经济实力的积累呈先恶化后改善的趋势,即经济增长和环境污染之间呈先污染后治理的倒 U 形曲线的关系。隐藏在曲线背后的发展模式是发达国家先污染后治理的传统经济增长模式和经验。



西方国家先污染后治理模式的成功,似乎向人们展示了一种推论:快速增长发展阶段(城市化工业化发展阶段)环境污染不可避免,环境问题的解决有赖于经济快速增长,尽快超过对环境不利的发展阶段,抵达对环境有利的发展阶段。如果经济发展是曲线出现的充分条件,那么低收入水平下的环保政策可能是奢侈的而且没有必要的。

然而,西方国家的环境污染治理的成功经验,在中国成功复制显然有一定的困难。首先,今天中国面临的污染方式、资源条件和国际经济环境大为不同。在庞大的人口压力下,高速度经济增长和大规模能源消费可能会使环境污染接近或者超过资源和环境的临界点,更加难以治理。其次,由于能源价格越走越高,传统的先污染后治理的成本难以承受。再次,发达国家倒U形曲线的快速实现常以不发达国家的加速污染为代价,即污染生产转移。中国目前的经济结构和收入显然尚未达到可以把高污染产品生产转向其他不发达国家的水平。进一步说,基于中国的经济规模,世界上也很难有地方可以接受中国生产的转移。因此,中国雾霾治理可能需要比较长的时间,我们需要有这个思想准备。

在总结西方发达国家雾霾治理经验的基础上,结合中国实际,雾霾治理至少应当注意以下四个方面的内容。

(1)雾霾治理的艰巨性。总结三个发达国家治理雾霾的经验说明,有效治理雾霾需要尽快改变以煤为主的一次能源结构,将煤炭占能源结构比例降低到一个比较低的水平。对于中国,煤炭替代的难度很大。因为需要考虑到满足能源需求增长和能源成本,所以煤炭的资源替代是个大难题。中国水电受到潜能限制;可再生能源如风电太阳能基数太小,相当长一段时间内对改善能源结构的作用比较小;核电可以大规模替代煤炭,除了安全问题,还需要比较长的建设期;相对清洁的天然气近五年或许可以替代5个百分点的煤炭,如果非常规天然气如煤层气和页岩气没有大规模商业开发,由于国内天然气资源储量小和对外依存的考虑,那么进一步替代煤炭有困难;石油价格昂贵而且对外依存已经接近60%。

(2)雾霾治理需要树立新的环境成本思维,整体提高社会承受成本意愿。雾霾治理在技术上没有问题,如何消化成本才是雾霾治理的关键。就环境成本来说,需要明确三个方面:一是现有环境成本估计基本上都是被低估,因为环境影响“未知”,所以只能对已经认识到的环境影响做出评估;二是今天防治和治理环境污染肯定比未来治理更节省费用;三是在经济快速发展阶段放任环境恶化,会出现环境上的“不可逆”。雾霾天气对身体健康的影响,同样不会因为经济发展后期治理环境而逆转,其成本也不是金钱可以衡量的。因此,对环境污染带来的成本需要重新认识、评估和宣传,才可能提高承受成本的意愿。

(3)治理雾霾成本分摊需要公平有效。成本分摊是治理雾霾的关键点,市场对环



境外部性的无力,使得治理雾霾将主要依靠政府,这也是目前治理雾霾主要依靠行政手段的原因。一般而言,行政手段见效快,但成本比较高,因此要求政府尽量采取相对市场化的手段参与雾霾治理过程,设计公平有效的税费和补贴。减少雾霾治理成本,政府需要做好两个平衡,才能使环境治理的利益最大化:一方面需要平衡消费者的承受力和环境空间,对各地环境治理标准不能一刀切;另一方面需要进行平衡各种环境治理投入的边际收益,优先选择雾霾治理收益高的治理措施。成本分摊显然不是简单的收费算账。

(4)雾霾治理的长效机制需要配套政策组合。改善环境主要依靠收入水平提高、经济结构调整、资源效率提高、技术进步等,这些影响因素都受能源价格驱动。通过设立环境标准和约束指标,以及能源价格改革,反映环境和能源资源成本,促使能源结构和经济结构调整,技术创新,提升废物回收利用率等,从而有效引导对常规能源的替代和增强清洁能源技术的竞争力。现阶段中国经济快速发展带来的整体环境污染,很难快速地用技术措施来消除和缓解。因此,除了从供应侧进行雾霾治理,政策上还需要从消费侧引导改变消费方式,改变经济发展模式,推崇节能减排,真正有效治理雾霾。

本书受到新华都商学院的资助,新华都能源经济与低碳发展研究院在数据采集、分析处理等方面提供了大力的支持,在此表示感谢。

本书是团队合作的结果,新华都能源经济与低碳发展研究院、厦门大学能源经济与能源政策协同创新中心、厦门大学能源政策研究院、厦门大学中国能源经济中心的杨莉莎、刘奎、田鹏、杜之利、Shirley Lin 等博士研究生、硕士研究生参与了编写,特别感谢杨莉莎所做的大量组织和协调工作。厦门大学能源经济与能源政策协同创新中心及中国能源经济研究中心的所有教师、科研人员、行政人员、研究生为本书编写提供了诸多的帮助,在此深表感谢。

限于作者水平,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

真诚地希望本书可以为中国的雾霾治理提供有效的借鉴。

林伯强

2014年11月于厦门



目 录

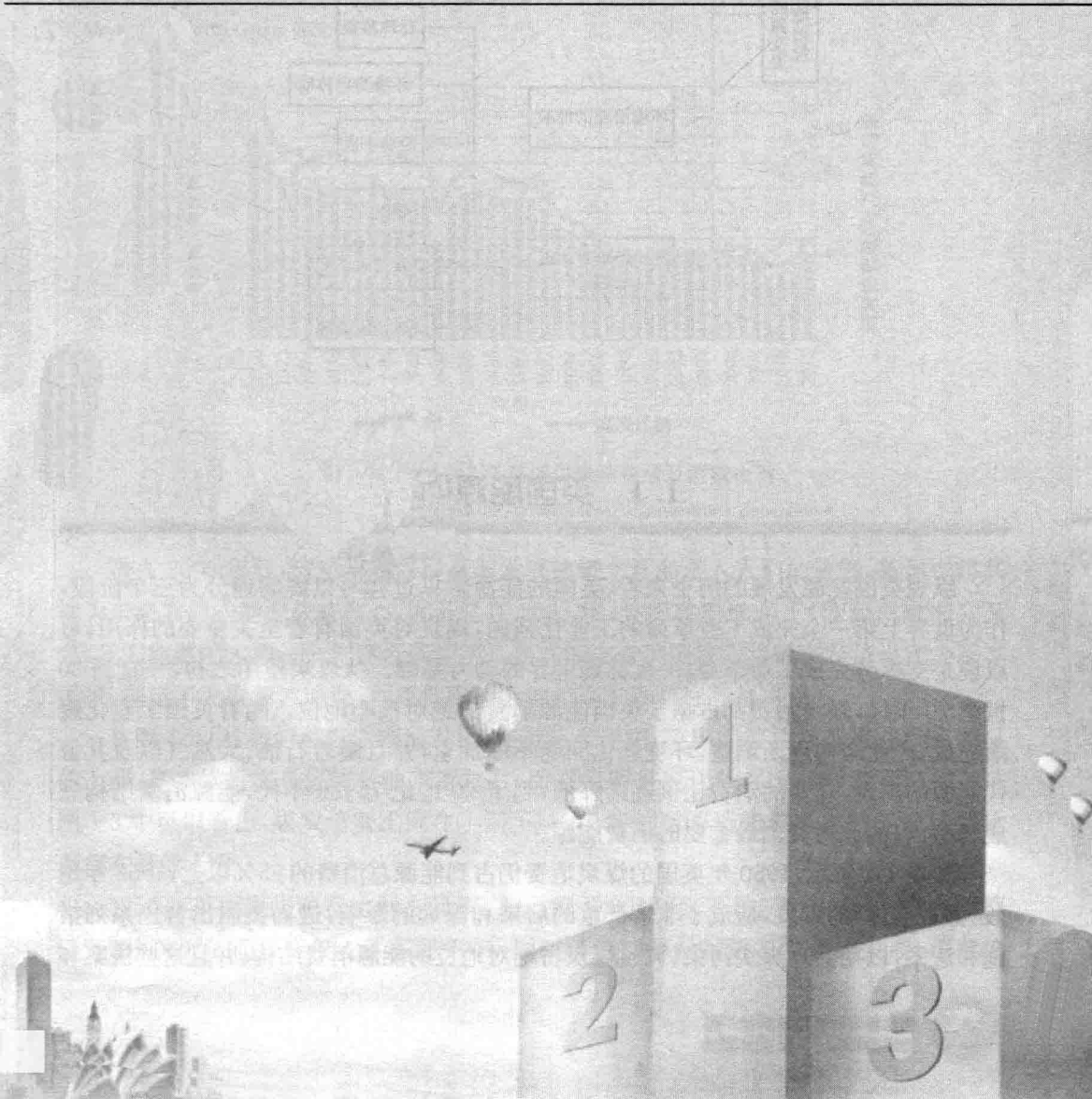
前言

第 1 章 英国能源发展与环境治理	1
1.1 英国能源概况	2
1.2 英国的能源发展与环境:历史趋势(16 世纪至 20 世纪末)	5
1.2.1 煤炭核心时期(16 世纪至 20 世纪中期)	5
1.2.2 石油核心时期(20 世纪中期至 20 世纪末)	15
1.3 英国的能源发展与环境:现状	25
1.3.1 新能源开发概况	25
1.3.2 风能发电	27
1.3.3 核能发展	30
1.3.4 新时期的环境现状	33
1.4 英国环境治理政策研究	36
1.4.1 英国政府环境治理体制	36
1.4.2 英国环境治理的法律手段	38
1.4.3 英国环境治理的行政政策	39
1.4.4 英国环境治理的经济手段	40
1.4.5 英国交通污染的治理	41
1.4.6 英国新时期的低碳经济政策	44
1.5 英国经验对中国的启示	48
本章小结	51
主要参考文献	52
第 2 章 美国能源发展与环境治理	55
2.1 美国的能源发展与环境:历史情况和问题	56
2.1.1 美国的能源发展与环境的历史趋势	57
2.1.2 美国主要能源物质历史发展趋势	60
2.1.3 美国环境的主要历史问题——大气污染	66
2.1.4 美国环境的主要历史问题——水污染	71
2.2 美国国家能源战略对环境问题的考虑	72
2.3 美国环境治理成果及主要措施	74



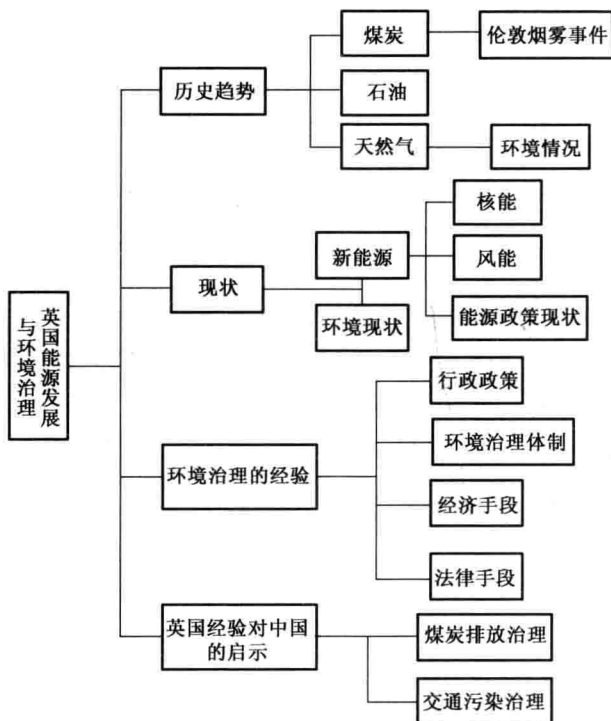
2.3.1 美国能源发展与环境治理现状	74
2.3.2 大气污染治理措施	78
2.3.3 水污染治理措施	82
2.4 美国能源发展和环境问题给中国的启示	87
主要参考文献	90
第3章 日本能源发展与环境治理	93
3.1 日本的能源发展与环境:历史趋势	94
3.1.1 煤炭的发展历史	96
3.1.2 石油的发展历史	99
3.1.3 新能源的发展历史	100
3.1.4 核电的发展历史	102
3.1.5 环境情况的历史	103
3.2 日本的能源发展与环境:现状	107
3.2.1 能源消费	107
3.2.2 能源供给	109
3.2.3 化石能源	110
3.2.4 核能	112
3.2.5 新能源	113
3.2.6 日本能源政策现状	116
3.2.7 日本环境现状	120
3.3 日本环境治理的经验	120
3.3.1 日本大气污染防治措施	122
3.3.2 日本水污染防治措施	125
3.3.3 日本环境管理制度	126
3.3.4 日本环保立法的经验	128
3.4 日本经验对中国的启示	130
3.4.1 能源政策的启示	130
3.4.2 环境政策的启示	134
本章小结	135
主要参考文献	138
附录1 20世纪英国能源发展与环境历史趋势示意图	140
附录2 20世纪美国能源发展与环境历史趋势示意图	141
附录3 日本大气污染防治措施和相关法规	142

第1章 英国能源发展与环境治理





本章将从英国能源发展与环境治理的历史趋势与现状出发,归纳总结出英国治理环境的主要经验,最终得出对中国的启示。本章的主要结构安排如下:



1.1 英国能源概况

纵观英国能源发展的历史来看,英国的能源发展过程可以鲜明地分为三个阶段,作为世界上第一个完成工业革命的工业化强国,煤炭对英国有着至关重要的作用,可以说是支撑其完成工业革命,一度称霸世界的动力基础。从煤炭使用之初,一直到 20 世纪 70 年代,煤炭消费都占据了英国能源消费的绝对核心地位。随着英国工业化逐渐完成,产业结构逐渐调整,环境恶化问题不断加重,并且随着石油、天然气以及其替代能源的出现,煤炭的消费比例逐渐降低,到了 20 世纪 70、80 年代,能源消费结构完成转型,石油成为英国最主要的消费能源。

如表 1-1 所示,1950 年英国的煤炭消费仍占到能源总消费的 85% 以上,1952 年伦敦“雾霾事件”的爆发,造成了非常严重的后果和深远的影响,进而英国出台一系列措施和法案,以期治理煤炭污染,调整煤炭占绝对地位的能源消费结构,并且这些法案和



调整起到了立竿见影的效果。如图 1-1 所示,到了 1980 年,煤炭消费比例就下降到 26.7%。随着北海石油的逐渐开发以及世界石油市场的蓬勃发展,英国石油消费逐渐占据主体地位,到 1980 年,英国石油消费占能源消费总量的比例上升到 45% 左右。与此同时,天然气也在不断发展,并逐渐挤占了煤炭的消费比例。

表 1-1 英国 1950 年和 1980 年能源消费结构及产业结构表

年 份	人均 GDP /美元	煤炭消费 比例/%	石油消费 比例/%	天然气 比例/%	一产业 比例/%	二产业 比例/%	三产业 比例/%
1950 年	6879	85.4	9	5	7.4	47.8	46.6
1980 年	17214	26.7	44.3	24	3.1	36.5	60.4

资料来源:英国 1980 年数据均来源于 World Bank Group 的统计,而英国 1950 年真实 GDP 数据来自 Stephen Broadberry 在 *Aggregate and Per Capita GDP in Europe* 中的核算,煤炭消费比例和三产业比例数据则来自于 Measuring Worth Group 的统计。

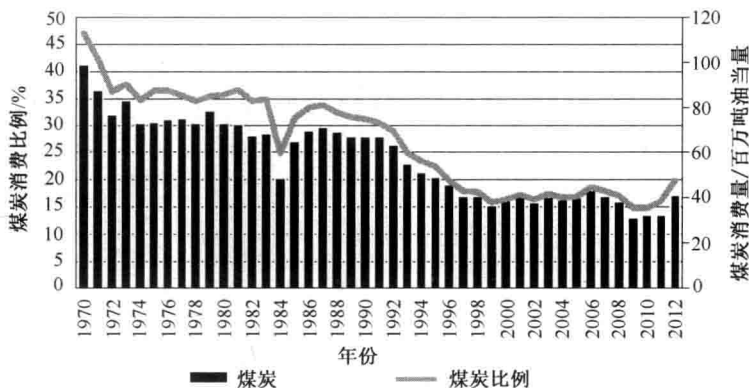


图 1-1 1970~2012 年英国煤炭消费量及消费比例

资料来源: <https://www.gov.uk/government/organisations/department>

进入 2000 年后,清洁能源以及低碳发展的概念逐渐走入人们的视野,英国也将其视为未来发展的能源战略核心,尤其是在 2003 年,英国政府颁布了《能源白皮书》,又名《我们能源的未来——创建低碳经济》,正式标志着英国率先将低碳经济设定为基本国策,制定了发展清洁能源,创建低碳社会的长期发展目标和基本路线。

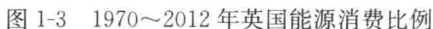
从图 1-2 中,我们可以清晰地看出,在近三十年中,英国能源消耗总量并没有明显的上涨,基本维持在 2 亿吨石油当量左右,而发生明显变化的在于能源消费结构。从图 1-3 中可以看出,煤炭消费比例在不断下降,天然气和清洁能源所占的能源消费比例都在持续上升。

1950 年英国煤炭消费比例占到 85.4%，到了 2012 年，石油、天然气的消费比例都已经超过 30%，而煤炭仅占了不到 20%，同时清洁能源经过近二十年的发展，消费比



年份	能源消费总量/百万吨油当量
1970	205
1971	200
1972	205
1973	210
1974	220
1975	210
1976	200
1977	205
1978	210
1979	210
1980	220
1981	200
1982	195
1983	195
1984	195
1985	205
1986	205
1987	210
1988	210
1989	210
1990	210
1991	210
1992	220
1993	215
1994	215
1995	215
1996	215
1997	230
1998	230
1999	230
2000	235
2001	235
2002	230
2003	230
2004	235
2005	235
2006	235
2007	230
2008	225
2009	210
2010	215
2011	200
2012	205

资料来源: <https://www.gov.uk/government/organisations/department>



能源类型	比例
天然气比例	35.42%
石油比例	31.94%
清洁能源比例	12.73%

资料来源: <https://www.gov.uk/government/organisations/department>



因而报告将英国的能源发展与环境分为两个部分:1.2节历史趋势主要分析英国从工业革命前期一直到20世纪末的能源发展历程,以及英国在这一段发展历程中面临、发生的环境问题;1.3节现状部分着重分析2000年以后尤其是2003年英国提出清洁能源、低碳经济发展路线后的能源发展情况,以及新时期面临的环境问题。最后是英国关于环境治理的措施和对中国的启示。

1.2 英国的能源发展与环境:历史趋势(16世纪至20世纪末)

1.2.1 煤炭核心时期(16世纪至20世纪中期)

1. 工业革命前期(16世纪至18世纪60年代)

1) 煤炭使用初期

在18世纪以前,由于英国对煤炭的利用不多甚至根本不利用这种资源,社会对它的依赖性也就不深,关于这一时期的资料也显得寥寥无几。但是,工业革命前的这一段时期是英国煤炭发展历程或英国能源发展历程不可或缺的一部分,对此期间的英国煤炭工业的发展进行一个简要描述具有重要的意义。

由于地质及历史的原因,英国的煤炭储量非常丰富,目前几乎已经全部勘探和评价。煤炭资源分布较均衡,英格兰、苏格兰和威尔士均有,但以英格兰为主。英国煤炭资源总量为1910亿吨,几乎全部是硬煤,褐煤仅4亿吨。英国煤田的煤炭变质程度不一,从长焰煤到无烟煤均有,主要是低、中变质程度的煤炭到炼焦煤、长焰煤和气煤约占储量的80%,无烟煤储量占3%~4%。煤层平均厚度1~2m。烟煤挥发分20%~40%,硫分0.6%~1.2%,发热量为32.60~37.20兆焦/千克。英国煤炭资源分布可分为四个煤区:南部煤区包括德安森林煤田、萨默特煤田、格洛斯特和肯特煤田以及南威尔士大煤田,储量占总储量的16%;中部煤区包括约克郡—诺丁汉郡煤田和兰开夏、斯塔福德、北威尔士的几个煤田,储量占总储量的56%;北部煤区包括范围广大的诸森伯兰—达勒姆煤田和坎布兰小煤田,储量占总储量的10%;苏格兰煤区包括米德兰山脉的煤层群,储量占总储量的8%。

由于储量丰富,英国也是世界上最早开始利用煤炭能源的国家之一,文献记载,早从13世纪开始,英国许多地区就有发现和采掘煤炭的行为,并且在1228年,伦敦形成了当时世界上第一个煤炭交易市场。

但刚开始时煤炭的概念与现在略有不同,当时对于煤炭的利用只是指木炭,与许多国家相仿,英国将木炭作为国家最主要的燃料。煤炭仅应用于少数家庭取暖、照明



以及一些手工制造者,还没有普遍地应用到工业之中。但从长远来看,煤炭富含的能量及其廉价性,已经逐渐地展现出勃勃生机和广阔的发展前景。使用煤炭最多的是“石灰匠和铁匠,制盐者偶尔通过它蒸发盐水”。据文献记载,1228年在伦敦,有煤炭从城郊的萨克尔斯(Sacoles)小道运到城中,由于这一时期的煤炭消费者主要是石灰匠,所以这条道也被称为石灰匠小道,后来这里也形成世界上第一个煤炭交易市场。

然而,煤炭燃烧对环境的污染也从它被使用之初就引起了人们的注意。英国大部分地区出产的煤炭都是烟煤、褐煤等,燃烧时能够产生很多有毒气体(主要是硫化物和氮氧化物),基本无法在室内燃烧。只有威尔士出产无烟煤,但无烟煤的燃点却远高于其他煤种,这种煤炭比较适合于冶炼金属,而家庭或手工制造业者使用时很难达到其燃点(360~420摄氏度)。随着伦敦城市的发展,一些新的生产部门产生了,原有的生产部门还在扩大,众多的铁匠铺、酿酒作坊和洗染业主都成为煤炭的购买者,伦敦出现了大量的小煤炉。从燃烧效率上讲,这样无疑是低效的,因此污染极大。并且由于技术水平的制约,当时开采的煤炭绝大多数都是煤层发生断裂时裸露在地表的原煤,这种煤炭煤烟浓重,气味难闻,而且对大气污染严重,十分影响人们的身体健康。到1306年时,伦敦的空气已混浊不堪,因而英国政府从13世纪便对煤炭持排斥态度,在伦敦设立了很多委员会,专门受理由燃煤问题引发的诉讼案件。1307年,英国爱德华一世明确颁布禁令,伦敦及其近邻禁止使用煤炭,禁止小商人燃煤,仅允许铁匠使用煤炭。但随后不久,烧石灰的工匠也获得烧煤的许可。与爱德华一世一样,随后伊利莎白女王也颁布禁令,禁止在伦敦及其周围燃煤。

2) 煤炭初步发展

由于人们在燃烧煤炭获得光热的同时,还必须忍受煤燃烧带来的浓浓黑烟和刺鼻的味道,所以直到16世纪70年代,随着烟囱的发明和使用,煤炭才逐渐走入英国家庭,成为人们主要的生活燃料。除了科技进步为人们带来烟囱,在一定程度上解决烟尘和气味,在这一时期,煤炭市场的活跃也促进了煤炭的使用和发展。

在13世纪的英国,还几乎没有公路,原产地的煤炭只能通过马车来运输,运输成本十分高昂,因此在这一时期煤炭注定不能成为大宗商品在全国范围内进行交易。然而随着运输业的进步,英国海运逐渐发展起来,这一运输途径的使用使得煤炭运输成本大大降低。根据费尔南·布罗代尔的估算,海路运输煤炭的成本优势非常大,相对于海运,运河运出的煤价格是其3倍,马车运出的价格是其9倍,而驮马运输的煤价整整比海运高出26倍。交通运输的改善,大大促进了煤炭市场的发展。加上14世纪中期,英国人口增长过快,导致了大量森林被砍伐,而且煤炭的使用也已经不再受到禁止,城市中的煤炭市场再度活跃起来。到15世纪末,英国的金属锻造、玻璃制造、石灰



烧制、酿酒、面包烘焙这些位于城市及周边村镇的消费品制造业都成为煤炭的使用者，木材资源的逐渐减少使得煤炭需求量大幅增长。

到16世纪70年代，英国国内的用煤量大幅增加，因此当时英国所有的煤矿区的市场都得到了不同程度的发展，从16世纪中叶到17世纪，几个邻近煤炭产区或邻近港口城市的煤炭市场开始逐渐兴盛起来，并形成了一定的规模。销量占整个英国市场的10%以上的区域主要有四个：英格兰东南部、苏格兰、威尔士和米德兰。英格兰东南部主要包括了伦敦、萨里、苏赛克斯、埃塞克斯等城市，并且伦敦在16世纪就已经成为地区性的煤炭交易中心。英格兰东南部市场在工业革命之前是英国人口最为密集、经济最为发达的区域，制造业也是整个英国生产和技术的核心区域，随着木材逐渐被替代，煤炭成为手工制造业的主要能源，并且这一地区家庭也普遍使用煤炭进行取暖、烹调和照明，使得这一地区的煤炭需求量非常巨大，因而英格兰东南部市场成为整个英国煤炭交易市场的核心区域。

因此，随着烟囱的发明使用以及煤炭市场的蓬勃发展，英国在16世纪和17世纪的煤炭产量和消费量都有飞跃性的发展，如表1-2所示。

表1-2 主要矿区年产量表

(单位:吨)

煤 矿 区	1551~1560 年	1681~1690 年
达拉谟与诺森伯兰	65000	1225000
苏格兰	40000	475000
威尔士	20000	200000
米德兰	65000	850000
坎伯兰	6000	100000
金斯任德·切斯	6000	100000
萨摩赛特	4000	100000
长者森林	3000	25000
爱尔兰	1000	7000

资料来源：罗伯特·金·默顿，《十七世纪英国格兰的科学、技术与社会》。北京：商务印书馆，范岱年等译，2000年11月。

从表1-2中可以看到，与16世纪50年代相比，17世纪80年代的英国九个著名煤矿产区的产量都有大幅度增长，各个矿区的年产量都增长了10~20倍。从运输量方面来看，与16世纪末期相比，17世纪纽卡斯尔的年煤炭运输量增长了19倍，伦敦的年煤炭运输量增长甚至超过了30倍。

在随后的一个世纪里，随着开采技术的进一步提高，交通运输业的深入发展，煤炭供应量也继续大幅度地增长。在需求方面，人们无论在生产方面还是生活方面也越来越依赖煤炭。英国人均耗煤量从不超过1英担（1英担=50.802千克），到了18世纪中期，已增长到9英担。煤的年产量也由16世纪50年代的20万吨增加到18世纪初的300万吨。也正是从这一时期开始，煤炭资源在英国奠定了绝对核心



的地位,煤炭工业以及市场的发展也为英国日后的工业革命和国家发展奠定了良好的能源基础。

2. 工业革命时期(18世纪60年代至19世纪中期)

18世纪60年代到19世纪中期的英国历史上,工业革命成为时代的主题。这几乎可以说是英国历史上最为重要的一个阶段。1769年,瓦特在前人基础上改良了蒸汽机,并取得了专利。经过十多年的改进探索,1782年,他又制成了功效更高的复动式蒸汽机。蒸汽机的发明和完善解决了机器的动力问题,使工厂可以设在原料、燃力、交通和市场条件较好的地方,逐步实现了工业大规模生产。工业革命完成了机器生产代替手工劳动,工厂手工业向机器大工业转变的历史过程。

在这一过程中,作为工业革命的核心燃料,煤炭起到了极其关键的作用,它是英国能够率先完成工业革命的最根本的动力支撑。

从消费方面看,工业革命之前,英国煤炭消费的主要群体还是以家庭为主,家庭用煤占到了整个行业的绝大比例。但是随着工业革命的进行,工业用煤成为英国煤炭消费的主要增长点。工业革命之后,随着新兴技术的开发以及大规模制造的应用,英国的制盐业、玻璃制造业以及钢铁行业迅猛发展,与之相应的交通运输部门如造船业以及航海业也迅速发展,并且工业革命产生的连锁效应又促进了新兴部门的成长,如硝酸钠和火药生产、肥皂制造以及矾、铜等工业开始出现,原有优势产业如纺织、炼铁以及酿酒规模日益扩大,英国经济呈现繁荣化、多样化发展。

到18世纪,英国成为欧洲最大的煤炭生产和消费国,在肥皂熬制、盐水蒸煮和淀粉、蜡烛的生产中,煤炭逐渐取代木材成为燃料,并且酿酒业与纺织业一直是煤炭消费量最大的两个部门。虽然纺织业在英国的经济发展过程中起了举足轻重的作用,但是冶铁业作为现代工业的代表,在工业革命中占据着极为重要的地位。早在1620年,焦炭就被试用于冶铜,随后又成功地用来冶炼锡和铅。17世纪,反射炉的发明使冶铁业实现了第一次跨越式的发展。在引进反射炉之前,用煤炭冶炼出来的铁,其品质很差,因为煤炭中存在的硫之类的杂质会污染铁,而在反射炉发明后,焦炭熔铁获得了成功。科技的推动并未至此而停止,1760年,技术进步让冶铁业迎来了又一次跨越。建立在卡隆的著名的罗不克工厂,不仅使用焦煤熔铁,还设置了强有力的鼓风设备,可以去除硫磺及其他杂质,提高冶铁的效率和质量,甚至有人认为“鼓风法标志着近代大规模冶炼业真正的开始”。此后运用焦炭冶铁使得钢铁产量迅速提升。1740年铁产量只有17350吨,而到了1788年,就增加到68300吨,1791年更是增加到125079吨,50年间,铁产量提高了6倍。不仅是产量上,同时期搅拌炼铁法的发明更是大大提高了冶铁的质量。