

The background of the book cover is a photograph of an industrial facility, likely a refinery or chemical plant, situated along a body of water. The facility features several tall distillation columns and complex piping. A prominent tall smokestack is visible on the right side of the image. The water in the foreground is calm, reflecting the sky and the industrial structures. The sky is a pale, hazy blue.

第三次工业革命
与
中国能源向
绿色低碳转型

吴宗鑫 滕飞 编著

第三次工业革命
与
中国能源向
绿色低碳转型

吴宗鑫 滕飞 编著

清华大学出版社
北京

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

第三次工业革命与中国能源向绿色低碳转型/吴宗鑫,滕飞编著. --北京:清华大学出版社,2015
ISBN 978-7-302-41417-9

I. ①第… II. ①吴… ②滕… III. ①无污染能源—能源发展—研究—中国 IV. ①F426.2
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 209182 号

责任编辑:朱红莲

封面设计:张京京

责任校对:刘玉霞

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:17

字 数:409 千字

版 次:2015 年 10 月第 1 版

印 次:2015 年 10 月第 1 次印刷

印 数:1~2500

定 价:48.00 元

产品编号:064866-01

如果说第一次工业革命是以机器替代手工劳动的革命,第二次工业革命是以电力替代蒸汽动力等其他能源的革命,则人类正处于第三次工业革命的前夜。正如美国经济趋势基金会主席杰里米·里夫金写作的《第三次工业革命》所说,第三次工业革命将以可再生能源和其他新能源为主体替代传统能源,形成可持续能源体系。

同样中国也处在能源革命的交叉路口。长期以来,中国一直以增加能源供应保障经济增长作为能源战略的基本出发点,改革开放 30 多年来我国能源大幅增长保障了经济的快速增长。但是这种能源发展模式带来了诸多的挑战。根据世界发达国家工业化和城市化发展过程的经历,未来随着我国经济进一步发展,我国能源消费仍将增长,我国未来能源发展将面临更为严峻的挑战。

与此同时,全球能源需求快速增长,温室气体排放大幅度增长,极端气候事件频繁发生,可持续发展面临的挑战愈发严峻,全球气候变化已成为人类面临的重大威胁和挑战。全球应对气候变化的核心对策是减少人为活动的温室气体排放,其中主要是化石能源消费过程中二氧化碳的排放。因此,各国将携手应对气候变化,共同推进能源绿色、低碳发展已成为当今世界的主流。

在这样国际和国内能源发展的背景下,中国未来能源将如何发展,这是我们近来经常思考的问题,能源系统的转型往往需要经历几十年的时间,必须要有前瞻性的思考。作者两人长期从事能源研究,有机会参加国内和国际的一些能源研讨会,参与对一些能源热点问题的调研,也阅读和参考了有关的文献资料。滕飞同志是我国参加全球气候变化政府间谈判政府代表团的成员,有更多的机会深入了解世界能源发展的趋势。我们将我们对于世界能源发展趋势的了解,对中国未来能源发展的思考写成了本书,本书不是学术研究专著,而是研究我国能源技术发展前景的著作。本书探讨了第三次工业革命的五大支柱的技术和经济发展现状、瓶颈和前景,以及我国实现能源发展向绿色低碳转型,把能源技术及其关联产业培育成带动我国产业升级的新增长点的主要途径,以提供给关注我国能源发展的各级决策层、专家学者以及广大读者作为参考。

本书的内容涉及到能源领域的方方面面,由于我们专业知识所限,错误之处在所难免,请读者包涵。

吴宗鑫

于清华园

2015 年 9 月

绪论	1
参考文献	6
第 1 章 中国能源的现状	7
1.1 能源系统和相关的驱动因素	7
1.2 中国能源的现状	11
参考文献	17
第 2 章 发达国家能源发展的趋势	18
2.1 发达国家在工业化和城市化发展过程中均经历了能源消费的快速增长	18
2.2 发达国家进入后工业化时期能源消费仍在继续增长	19
2.3 发达国家制造业在终端能源消费零增长下实现持续的发展	22
2.4 客运交通是终端能源消费中增长最快的部门	24
2.5 货运交通终端能源消费的增长	26
2.6 服务业的终端能源消费	29
2.7 居民家庭的终端能源消费	31
2.8 世界未来能源发展情景	32
2.8.1 情景研究的主要假设	33
2.8.2 全球能源发展的基本趋势	35
2.8.3 未来能源需求的发展趋势	35
参考文献	39
第 3 章 中国能源必须向绿色低碳转型	40
3.1 中国能源发展面临的诸多挑战	40
3.2 发达国家能源消费演变对我国的启示	45
3.3 经济转型是实现能源向绿色低碳发展的基础	50
3.3.1 转变经济发展方式推进产业结构调整	52
3.3.2 激励自主创新,推动产业结构升级和技术进步	55

3.3.3 探索城市化的集约型发展模式	57
参考文献	62
第4章 可再生能源将引领未来绿色低碳能源的发展	63
4.1 可再生能源为人类提供充足、清洁的能源	64
4.1.1 水能资源	65
4.1.2 风能资源	66
4.1.3 我国太阳能资源	68
4.1.4 生物质能	71
4.2 全球可再生能源利用技术快速发展	72
4.2.1 风力发电机组	72
4.2.2 太阳能利用技术	76
4.3 我国可再生能源发展现状	80
4.3.1 水电发展现状	81
4.3.2 风电发展现状	81
4.3.3 光伏发电发展现状	83
4.3.4 生物质能	85
4.4 大力推进可再生能源发展,引领我国能源向绿色低碳转型	86
4.4.1 水电发展展望	87
4.4.2 推进风电稳步有序发展,在可再生发电中发挥重要作用	88
4.4.3 推进我国光伏发电发展	89
4.4.4 推动生物质能利用	90
参考文献	90
第5章 储能将与能源变革相伴随发展	91
5.1 储能技术	91
5.2 机械储能	95
5.3 电化学储能	99
5.3.1 铅酸蓄电池	99
5.3.2 锂离子电池	100
5.3.3 液流电池	101
5.3.4 蓄电池的充放电管理	103
5.4 化学储能技术	105
5.4.1 电解制氢技术	106
5.4.2 电解制氢的能量效率	111
5.5 储能的经济性评价	112
5.5.1 电网储能技术的经济性	112
5.5.2 化学储能的经济性评价	114

5.6 大容量储能技术路线	115
5.6.1 德国 P2G 制天然气的储能技术路线	115
5.6.2 P2G 技术路线与其他大容量储能技术路线效率的比较	117
5.6.3 P2G 技术路线的经济性	118
小结	121
参考文献	122
第 6 章 清洁能源汽车	123
6.1 新能源汽车发展受到各国的高度关注	124
6.1.1 交通运输能源消费持续增长,占终端能源消费的首位	124
6.1.2 推进新能源汽车发展的主要驱动因素	126
6.2 混合动力汽车	127
6.2.1 混合动力汽车提高了燃油经济性	127
6.2.2 混合动力汽车的组合系统	128
6.2.3 丰田汽车公司 Prius 轿车	130
6.2.4 插电式混合动力汽车	132
6.3 纯电动汽车	132
6.3.1 电动汽车具有显著的节能环保优点	133
6.3.2 蓄电池的性能是电动汽车应用发展的主要技术障碍	134
6.3.3 充电时间长是制约纯电动汽车广泛使用的重要制约因素	135
6.3.4 增程型电动汽车	137
6.4 氢燃料电池汽车	138
6.4.1 氢燃料电池汽车的基本构成和性能要求	138
6.4.2 车用燃料电池技术	139
6.4.3 车载储氢装置	141
6.4.4 加氢站	142
6.4.5 燃料电池汽车的发展	142
6.4.6 氢燃料基础设施建设	144
6.5 新能源车的发展路径	146
参考文献	150
第 7 章 可再生能源占主导的电力系统与智能电网	151
7.1 可再生能源占主导的电力系统	152
7.1.1 未来我国电力系统可能以可再生能源占主导	152
7.1.2 可再生能源占主导电力系统的技术挑战	153
7.2 智能电网的功能	154
7.3 兼容集中式大型电源和分布式发电系统	157
7.3.1 分布式可再生能源系统和微电网	157
7.3.2 集中式可再生能源系统	161

7.4	风电功率预测	163
7.4.1	风电功率预测方法	163
7.4.2	风电功率预测的关键因素	164
7.4.3	风电功率预测的应用	164
7.5	电力供应侧出力的调节	164
7.6	需求侧响应	167
7.6.1	需求侧响应的功能	167
7.6.2	参与需求侧响应的潜在负荷	167
7.7	先进计量基础设施	169
7.7.1	先进计量基础设施的主要功能	169
7.7.2	智能电表	170
7.8	配电管理	171
7.8.1	配电管理系统是配电管理的核心	171
7.8.2	配电管理的要求	172
	参考文献	172

第8章 核能的安全利用

8.1	世界和中国核电发展现状	173
8.2	核电的安全性	175
8.2.1	核反应堆	175
8.2.2	纵深防御的安全理念	177
8.2.3	国际上三次重大的核电站事故	178
8.2.4	核电厂的安全目标	180
8.2.5	中国核电的安全是有保障的	182
8.3	先进型核反应堆技术发展	183
8.3.1	用户要求文件(URD)的提出	183
8.3.2	第四代核电技术	184
8.4	我国在建和拟建的几种先进反应堆堆型	187
8.4.1	AP1000 先进压水堆	187
8.4.2	欧洲先进压水堆 EPR	189
8.4.3	我国自主研发的“华龙一号”	190
8.4.4	模块式高温气冷堆	191
8.5	核电可持续发展的相关问题	194
8.5.1	核电的经济性	194
8.5.2	铀资源的安全保障问题	195
8.5.3	乏燃料管理和核废物的处置	198
	参考文献	203

第 9 章 化石能源的高效清洁利用	205
9.1 清洁高效燃煤发电	205
9.1.1 提高燃煤发电效率	206
9.1.2 降低污染物排放	209
9.2 碳捕集与封存	210
9.2.1 碳捕集与封存的主要环节	212
9.2.2 CO ₂ 的利用	216
9.2.3 电厂中进行 CO ₂ 捕集的经济性分析	218
9.2.4 积极推进 CO ₂ 捕集技术的发展	221
9.3 煤化工向低碳转型	222
9.3.1 煤化工能源转换效率低、碳排放强度高	222
9.3.2 煤化工向低碳转型的途径	224
9.4 炼钢技术向低碳转型	225
9.5 天然气是向清洁、低碳能源过渡的桥梁	226
9.5.1 天然气在我国能源发展中的战略地位	226
9.5.2 我国具有较好的天然气资源基础	227
9.5.3 利用国外天然气资源较有利时机	230
9.5.4 天然气在发电领域的利用	230
9.5.5 燃气分布式能源系统	231
9.5.6 燃气机组在电力调节中的作用	233
9.5.7 天然气在交通运输领域的利用	233
9.5.8 大力发展天然气需要妥善解决的几个问题	235
参考文献	235
第 10 章 我国 2030 年二氧化碳排放达峰的情景分析	237
10.1 模型介绍	237
10.2 我国节能减排政策回顾	239
10.2.1 优化产业结构	239
10.2.2 节约能源	240
10.2.3 发展低碳能源	243
10.2.4 控制非能源活动温室气体排放	244
10.2.5 增加碳汇	244
10.3 主要社会经济参数	245
10.4 情景设置	246
10.4.1 深度减排情景	247
10.4.2 强化末端控制情景	247
10.4.3 协同控制情景	248

10.5	参考情景的主要结果分析	249
10.5.1	终端能源需求	249
10.5.2	电力生产及构成	250
10.5.3	一次能源消费	252
10.5.4	二氧化碳排放	253
10.6	深度减排情景的主要结果分析	254
10.6.1	一次能源消费	254
10.6.2	电力生产结构	255
10.6.3	二氧化碳排放	257
10.7	四种情景下的大气污染物减排效果对比	258
10.8	结论	260
	参考文献	261

绪 论

美国经济趋势基金会主席杰里米·里夫金写的《第三次工业革命》受到了广泛的关注,杰里米·里夫金将第三次工业革命的五个支柱归结为:(1)向可再生能源转型;(2)将每一大洲的建筑转化为微型发电厂,以便就地收集可再生能源;(3)在每一栋建筑物以及基础设施中使用氢和其他存储技术,以存储间歇式能源;(4)利用互联网技术将每一大洲的电力网转化为能源共享网络,这一共享网络的工作原理类似于互联网(成千上万的建筑物能够就地生产出少量的能源,这些能源多余的部分既可以被电网回收,也可以被各大洲之间通过联网而共享);(5)将运输工具转向插电式以及燃料电池动力车,这种电动车所需要的电可以通过洲与洲之间共享的电网平台进行买卖。

1. 第三次工业革命必将推动能源向绿色低碳转型

杰里米·里夫金在《第三次工业革命》中提出的五大支柱无一不与能源技术发展密切相关。事实上,第一次工业革命和第二次工业革命也均是与能源技术的革新密切相关的,能源是人类社会经济发展的重要基础。

第一次工业革命以 1765 年英国人哈格里夫发明珍妮纺纱机为起始,到 19 世纪 50 年代英国基本完成以机器生产代替手工劳动的工业革命,这一阶段被称为蒸汽时代,是因为瓦特在 1781 年发明了蒸汽机,以后广泛应用于纺织、采煤、冶铁等工业行业。

第二次工业革命是以电力广泛使用为标志的,第二次工业革命也被称为“电气时代”,起始于 19 世纪下半叶,1831 年法拉第发现了电磁感应现象,到 1865 年德国人西门子发明了发电机,1870 年比利时工程师格拉姆发明了电动机,电力在工业领域得到广泛的应用,成为重要的动力来源。

第一次和第二次工业革命都成为推动人类社会进步和发展的里程碑。

杰里米·里夫金提出的第三次工业革命也同样与当今人类社会进步和发展面临的能源重大挑战密切相关。

1973 年由中东战争引发了石油危机,石油价格一下由每桶 3.11 美元涨至 11.65 美元。1978 年发生两伊战争又一次引发石油危机,石油价格由每桶 13.34 美元涨至 43.0 美元,触发了第二次世界大战后最严重的全球能源危机。原本在发生石油危机之前,在发达国家石油是一种廉价而挥霍使用的资源,石油危机使发达国家开始审视能源安全问题,并且导致了一次影响深远的能源技术革命。

进入 21 世纪以来,世界经济发生了巨大而深刻的变革。与此同时,全球能源需求快速增长,温室气体排放大幅度增长,极端气候事件频繁发生,可持续发展面临的挑战越发严峻,这些无一不与能源问题密切相关。第三次工业革命必将推进世界能源向绿色低碳转型。

2. 如何满足中国十几亿人口的能源消费

“如何满足中国十几亿人口的能源消费”,这个问题长期以来一直是中国社会经济发展所关注的问题。

1979 年中国刚处于改革开放初期,邓小平提出了到 2000 年中国国民生产总值翻两番的奋斗目标。其中,能源问题成为热点问题之一:中国需要多少能源可以保证实现国内生产总值翻两番的目标?当时由国家科委科技司牵头组织了国内有关能源各个领域 200 多位专家开展了广泛深入的研究。那时正处于改革开放的初期,对于能源问题的政策研究还很陌生,连如何做能源需求预测都不懂。但是,通过这次的研讨,最后汇集成十六个要点的能源政策建议提交给了邓小平同志,其中包括“能源翻一番实现国内生产总值翻两番”,“节能和开发并重,节能优先”等重要的政策建议,并得到了充分的肯定。这次的研讨不仅推动了中国能源政策研究,也开创了中国软科学研究的先河。

实际发展的结果,1980 年时中国能源消费总量为 6.02 亿 t 标煤,在 1980—2000 年的 20 年期间,中国政府能源的有关部门在能源开发以及节能方面推出了一系列的政策和措施,到 2000 年中国实现国内生产总值翻两番的目标时,能源消费总量达到 13 多亿 t 标煤,基本实现了“能源翻一番实现国内生产总值翻两番”的目标。

1986 年中国提出了“国家高技术研究发展计划(863 计划)”,能源是其中重要的研究领域,而能源需求是制定能源高技术发展目标的基础,为此对 2050 年能源情景进行了研究,采用了当时国际上流行的系统工程的方法,研究了从一次能源的投入经过转化、运输和分配等环节,进入到制造业、交通运输、居民家庭和服务业等部门,成为终端能源消费的整个环节,对能源系统中各种能源开采、加工、转换和分配环节以及终端用能环节进行了详细的描述,且对每一分环节不仅考虑现有技术,还考虑了未来可能出现的各种先进技术。采用情景假设的方法,考虑了基本情景、SO₂ 排放控制情景、CO₂ 排放控制情景以及石油进口受限制的情景。情景假设以 1990 年为基准年,那时中国的人均 GDP 仅为 311 美元(1990 年价),假设到 2050 年人均 GDP 达到 10 000 美元(1990 年价),届时中国一次能源总量将达到 54 亿 t 标煤。1990 年全世界一次能源消费总量只有 114 亿 t 标煤,因此可想而知,当时大多数的专家学者都认为中国一次能源要达到 54 亿 t 标煤是一个难以想象的巨大需求量。

在进入 21 世纪前,为了制定 2000—2020 年中长期国家社会经济发展规划,由国内外专家联合进行了“中国可持续发展能源暨碳排放情景分析”,采用了情景分析方法,利用了自下而上的部门分析模型,以定量的方法诠释未来的发展目标,勾画和分析实现中国可持续发展条件的能源需求。情景分析结果显示,如果中国的经济发展能构建在依靠技术进步和优化调整经济结构,同时在能源领域采取各种可持续发展对策措施的前提下,中国有可能继续实现能源翻一番保障经济翻两番的目标。在假设未来 20 年平均 GDP 增长率为 7% 的经济增长条件下,预计 2020 年中国能源总需求量将达 23.2 亿~31.0 亿 t 标煤。

但是,实际发展的结果是,到 2010 年我国能源消费总量就已经达到 32.4 亿 t 标煤,甚至超出了原先设想 2020 年能源需求总量高水平的情景。这固然与这期间我国 GDP 快速增长有关,这期间 GDP 的平均增长率达到了 10% 以上,远超出预期。但是一个重要的原因是

我国正在经历的工业化和城镇化的发展规律认识不足,伴随工业化和城镇化的发展必然带动大量基础设施的建设,需要投入大量的钢铁、水泥、有色金属等高耗能的物资用于基础设施建设,这必然推动能源消费的快速增长。事实上,发达国家在其工业化和城市化的过程中,也都经历过能源消费快速增长的过程。

3. 我国能源发展面临诸多挑战

2013 年我国全年能源消费总量为 37.5 亿 t 标煤,占全球 1/5 以上,能源消费引起的二氧化碳的排放量为 88.2 亿 t,约占全球的 1/4,石油消费量为 4.87 亿 t,石油净进口量达到 2.82 亿 t,成为世界第一石油进口国家。但是,我国人均一次能源消费量仅为 2.76t 标煤,略高于全球 2.44t 标煤的平均水平,远低于发达国家的水平。

中国面临国家能源安全,以及全球气候变化的严峻挑战。近年来,全球气候变化已经给自然生态系统和经济社会发展造成严重影响,冰川融化,海平面上升,恶劣气候频繁发生。长此下去,环境不可持续,经济和社会发展不可持续,整个人类文明的基础将被动摇。气候变化已经成为当前国际社会普遍关注的重大全球性问题。

为有效应对全球气候变化,国际上先后通过了《联合国气候变化框架公约》和《京都议定书》等重要文件,建立了共同应对气候变化的国际法律和政治基础。在国际社会的大力推动下,世界范围内正在酝酿进行一场大规模的经济发展模式转型和产业结构升级。其核心内容是:发展低碳能源技术,建立低碳经济发展模式和低碳社会消费模式,并将其作为协调经济发展与保护生态环境之间关系的根本途径。近几年几次全球气候大会已经达成一致,即将温升控制在不超过工业化前 2 度的水平。IPCC 第五次评估报告的最新研究表明,实现 2 度目标需要全球的碳排放到 2015—2025 年必须达到峰值并开始下降。我国以煤为主的格局,消费相同一次能源比其他国家多排放 30% 的 CO_2 ,全球每年碳排放增加量的一半来自中国,中国今后能源消费将对全球实现峰值有决定性影响,我国不可能置身事外。中美作为全球两个最大碳排放国于 2014 年 11 月 12 日达成温室气体减排协议,根据协议规定,中国将力争实现温室气体排放量从 2030 年左右开始减少,这势必对中国能源结构、经济社会发展格局乃至全球能源格局都产生广泛而深远的影响。此外,我国还面临雾霾的挑战,这是中国老百姓日常生活切身感受到的困扰。

而且,今后我国能源消费仍将大幅增长。2013 年中国人均 GDP 为 6700 美元,属于中上水平收入国家,今后中国经济仍将增长,增长率将逐渐放慢,以提高经济增长的质量。国务院研究发展中心与世界银行合作研究发表的《2030 年的中国》报告设想的情景,到 2030 年前 GDP 增长率下降到 5%。GDP 中投资和消费的比例趋于合理,工业的比重下降,服务业的比重上升。中国有潜力到 2030 年成为现代、和谐、有创造力的高收入社会。人均 GDP 将由 2010 年的 4393 美元,提高到 2030 年的 15 000 美元。

2030—2050 年期间,中国经济仍会进一步发展,假设 GDP 以 4% 的平均年增长率增长,那么到 2050 年中国人均 GDP 就有可能达到 30 000 美元以上,这相当于目前发达国家的水平。

据估计,2020 年我国一次能源的消费量将达到约 50 亿 t 标煤,2030 年将达到约 60 亿 t 标煤。2050 年中国需要多少能源呢? 我们不妨参考发达国家人均能源消费水平,OECD 国家人均能源消费量为 6.24t 标煤,其中,美国为 10.2t 标煤,日本为 5.6t 标煤,德国为 5.7t 标煤,法国为 5.7t 标煤,英国为 4.7t 标煤。如以日本的人均能源消费水平为参照,考虑中

国人口可能达到 14 亿以上,那么中国的能源消费总量很可能达到 70 亿 t 标煤以上。这当然是一个令人惊叹的天文数字,因为目前全世界的能源消费总量也才 170 亿 t 标煤。

因此中国必须推动能源消费革命,抑制不合理能源消费。但是未来随着我国经济进一步的发展和人口增长,城市化水平的提高,参照发达国家的能源消费水平,我国能源消费仍有可能大幅增加,这可能是我们未来必须面对的现实。因此,中国必须推动能源的消费和供给革命,实现能源的转型,由以煤为主的能源结构向绿色低碳能源体系转型。

4. 可再生能源将成为未来一次能源的主体

中国未来能源的发展不仅是需要解决“有多少能源能够供给中国十几亿人口的能源消费”的问题,而且还要解决“以什么清洁低碳能源能够供给中国十几亿人口的能源消费”的问题。中国未来的能源必然是多元化的清洁能源结构,哪一种能源也不可能独担重任。

2013 年中国人均电力消费量不到 $4000\text{kW}\cdot\text{h}$ 。目前 OECD 发达国家人均电力消费量为 $8774\text{kW}\cdot\text{h}$,其中,美国为 $14\,000\text{kW}\cdot\text{h}$,日本为 $8750\text{kW}\cdot\text{h}$,德国为 $7600\text{kW}\cdot\text{h}$,法国为 $8660\text{kW}\cdot\text{h}$,英国为 $6080\text{kW}\cdot\text{h}$,而且这些国家电力消费仍在继续增长。设想 2050 年中国人均电力消费量达到 $8000\text{kW}\cdot\text{h}$,这是一个保守的假设,未来电动汽车的发展以及其他因素均会抬高电力的消费水平。考虑到近 14 亿的人口,届时中国电力消费总量将达到 11.2 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,以什么清洁能源能够提供如此巨大的电力供应呢?假设,届时我国水电发装机达到 5.0 亿 kW ,占全部水电经济可开发资源的 90%,水电发电量为 1.6 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,我国核电装机容量达到 4 亿 kW ,这已超过目前全世界 3.7 亿 kW 的核电装机容量,那么全年核电的发电量为 2.8 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,水电加核电的发电量也就 4.4 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,也才占到 11.2 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 电力消费总需求量的 39.3%。那么其余近 60% 的电力生产需由何种清洁低碳的能源来提供呢?

杰里米·里夫金在其中文版的《第三次工业革命》的序言中特别指出:“可以说,中国在可再生能源方面的地位正如沙特在石油产业中的地位一样,中国每平方米的可再生能源潜力要远高于世界上大多数国家。”我们认为,这绝非夸大其词。我国太阳能、风能等可再生能源的资源丰富。我国风能资源潜力在 30 亿 kW 以上,在现有风电技术条件下,足够支撑 20 亿 kW 以上风电装机。利用太阳能光伏发电,每平方千米面积全年的发电量就可以达到 3 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,若利用我国 1% 国土面积进行光伏发电,全年的发电量就可达到 28.8 万亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,每栋建筑物屋顶都可以用来发电,可以预见可再生能源的潜力非常巨大,可再生能源无疑可以担当起我国未来一次能源供应的主体。

目前风能、太阳能等可再生能源的大规模利用仍面临成本过高的障碍,尤为突出的是其间歇性、随机性等特性所带来的重大挑战。风力发电完全受制于自然风能,来的风大出力就大,来的风小出力就小;同样,太阳能发电随日出而起,日落而停,夏天日照强出力大,冬天日照弱出力小。而电力系统必须随时保证发出的电力满足终端消费用户对电力的需求。这几年,我国风电发展很快,但“弃风”限电比重也很大,这就是由于风电的间歇性、随机性等特性所带来的影响。

当可再生能源发电成为电力供应的主导来源,就需要建立大规模的储能设施,一旦可再生能源发电的波动性造成电力系统供需失衡时,将其过剩的电量转换为其他的能源载体,这种能源载体可以被储存,在需要利用的时候,再将这些能源载体转换成电能,或者转换成其他形式的能源加以使用。

当可再生能源成为我国能源供应的主体,我国需要建立大规模的储能设施,并且借助智能电网技术的发展,以保障电力系统的稳定性和可靠性。

5. 新能源车与可再生能源发展相得益彰

世界上大多数国家,即使是发达国家,交通运输的能源消费还在持续增长,主要消费的是石油产品,在终端能源总消费中的比重高达 1/3 以上。美国人均交通运输终端能费为 1.87t 油,日本为 0.61t 油,德国为 0.65t 油,法国为 0.68t 油,英国为 0.66t 油。如果未来我国 13 多亿人口达到这样的消费水平,其总量同样是十分巨大的,而且石油主要依靠进口,影响国家能源安全。

未来运输工具必须向新能源汽车转型,电动汽车和氢燃料电池汽车是新能源汽车的主流,电动汽车和氢燃料电池汽车均可利用可再生能源为能源来源。

电动汽车是目前世界各国主要推广使用的新能源汽车,电动汽车完全依靠电能作为能源,通过外接充电将电力储存到车载蓄电池中,汽车依靠蓄电池储存的电能来驱动电动机行驶。电动汽车完全没有尾气的排放,因此,推动电动汽车的应用对改善城市的大气环境污染可发挥重要的作用。另外,电动汽车可以在用电波谷时段充电,对于调节电力供需平衡可以发挥重要的作用。

氢燃料电池汽车以氢为燃料,通过氢燃料电池发电作为动力,一次加氢的时间仅需 3~5min,一次加氢可以行驶 500km 以上,完全适合汽车使用的习惯。日本丰田汽车公司和韩国现代汽车公司分别于 2014 年和 2015 年开始量产氢燃料电池汽车,日本丰田汽车公司最初产量为每月数十辆,售价为 7.8 万美元,预计 2020 年以后产量增至每年数万辆,售价降至 3 万~5 万美元。近来在欧洲,荷兰、丹麦、瑞典、法国、英国与德国六国已经达成共同开发推广氢能源汽车的协议,各国将一同建设一个欧洲氢气设施网络,并协调能源传输。英国政府提出,将大力发展氢燃料电池汽车,计划 2030 年之前英国氢燃料电池汽车保有量达到 160 万辆,并在 2050 年之前使其市场占有率达到 30%~50%。

未来氢除了用于新能源汽车,还可替代煤炭用于化工、炼钢。未来氢的生产主要通过可再生能源发电电解获得,在可再生能源发电量过剩时,将过剩的电力用于电解水制成氢气,氢气可以储存,可以运输,在需要使用时,氢与空气中的氧进行化学反应,重新将能源释放出来加以利用,这个过程中释放出水蒸气,没有污染物的排放,因此氢能是一种理想的储能载体。其电力的消费量将使原有的传统的电力消费量扩大很大的比重,这样大的容量规模足以对电力的供需平衡发挥显著的调节功能。

因此,新能源汽车的发展可以对可再生能源的发展起到相得益彰的效益,既有益于摆脱对石油的依赖,改善城市环境,其巨大的储能容量又可以对可再生能源的间歇性和随机性影响起到有力的调节功能,对推进可再生能源大规模的发展发挥显著的作用。

6. 我国应把握第三次革命机遇带动产业升级

我国可以从美国的页岩气革命中得到一些启发。近几年在美国发生的页岩气革命是全球政治经济领域的一个新的影响因素。20 世纪爆发的石油危机,美国首当其冲受到影响,作为反思和对策,时任美国总统尼克松提出了能源独立的目标设想,并以不同形式推动这一进程。近十年来,一直追求能源独立的美国,页岩气产量井喷式增长,并逐步成为美国天然气的主力。页岩气革命为美国经济发展提供了新动力,带来了能源价格的大幅下降,进而大幅度降低了制造业成本,从而推动美国制造业的复兴。美国石油进口从升转降,已经彻底扭

转了能源自给率下滑的态势。过去 7 年里,美国能源自给率逐渐提高,在 2011 年达到 81.4%,美国有望于 2030 年实现“能源独立”,这将对世界经济乃至世界政治格局产生巨大影响。

全球低碳经济的发展趋势将引发世界范围内经济社会发展方式的重大变革。低碳将成为一个国家核心竞争力的体现。夺取低碳技术的竞争优势和制高点,也是大国参与气候变化领域博弈的重要动因和战略目标。低碳能源技术所带来的高科技发展点,这是我国未来经济发展绝不能放弃的,因为这是未来全球经济技术发展的趋势。错过了之前的工业革命,给我们带来的经验教训非常深刻。如果再错失这一轮的技术发展机会,将会拉大我国和发达国家之间的差距。

但是能源的转型往往需要经历几十年时间的过渡,不可能一蹴而就,能源的转型涉及能源开采、能源转换、能源输送和分配,直到终端能源使用设施整个的环节,需要经历技术的研发,经济性的改进,特别是涉及大量基础设施的建设,因此需要以战略的眼界和高度,研究制定能源转型的路线图,激励和积极推进技术创新,稳步开展试点示范,慎重地实施推广应用。

我国是能源生产和消费大国,面临能源发展的诸多挑战,第三次工业革命为我国发展提供了新的机遇,无论是可再生能源大规模的发展,还是氢能源技术的大规模发展均面临大量的技术和经济的瓶颈,我国在新能源产业领域的发展已具有良好的基础,我国具有能源基础设施建设发展的规模优势。我国高速铁路的发展从一个不起眼的追赶者变成世人关注的领跑者,这证明了中国人的创新能力和科技研发实力,为我国未来能源变革提供了一种激励。

我们应按照习近平主席在 2014 年 6 月 14 日中央财经领导小组会议上强调加快实施能源领域重点任务重大举措,就推动能源生产和消费革命提出的要求,推动能源技术革命,带动产业升级。立足我国国情,紧跟国际能源技术革命新趋势,以绿色低碳为方向,分类推动技术创新、产业创新、商业模式创新,并同其他领域高新技术紧密结合,把能源技术及其关联产业培育成带动我国产业升级的新增长点。

参 考 文 献

杰里米·里夫金. 第三次工业革命[M]. 张体伟,孙豫宁,译. 北京: 中信出版社,2012.

中国能源的现状

1.1 能源系统和相关的驱动因素

能源系统涉及能源资源、能源生产、能源供应,直到能源最终使用的整个过程。

(1) 能源资源

自然界中存在并可能被人类利用来获取能量的自然资源称为能源资源。能源资源又划分为可再生能源和非可再生能源两类。在自然界中可以不断再生并有规律地得到补充的能源,称为可再生能源。可再生能源主要有水能、太阳能、风能、生物质能、地热、潮汐能等,其中太阳能、风能、生物质能、地热、潮汐能又经常被称为新能源。经过亿万年形成的,短期内无法恢复的能源,称为不可再生能源,这种能源随着大规模开采,储量越来越少,逐渐枯竭。不可再生能源主要有煤炭、天然气、石油等化石燃料,以及用于核能发电的铀资源。

(2) 能源开采和一次能源

能源的开采活动主要有煤炭的开采,石油和天然气的开采,铀矿的开采,水力的利用,生物质能等可再生能源的采集和利用等。通过开采活动将能源资源变成可供利用的能源产品。这些可供利用的能源产品又称为一次能源,主要包括煤炭、石油、天然气、核能、水能、可再生能源等。

(3) 能源转换和二次能源

通过能源转换过程,使一种能源转换成另一种能源形式称为能源转换。发电是最主要的能源转换过程,通过这一过程,将煤炭、水力、核能、太阳能、风能等一次能源转变成电力。其他的能源转换过程还有热的转换工艺,它是由一次能源生产出采暖用热、高温工艺热和工业用蒸汽等。电力、热力、蒸汽以及各种油品也称为二次能源。

在能源转换过程中,有相当一部分能源被损失掉,这种损失用转换效率来表示,转换效率定义为从该过程中所得到的有效能量与实际使用的输入能量之比:

$$\text{转换效率} = \frac{\text{有效能量}}{\text{输入能量}} \times 100\%$$

(4) 能源的终端使用

一次能源和二次能源的产品经过运输和分配过程,最后到达终端使用,为终端用户提供满足能源服务的需求,如为居民生活提供炊事、供暖、空调、照明,为工业生产提供电力、蒸