

浙江大学公共管理蓝皮书系列

大气治理与 可持续发展

Air Pollution Control and
Sustainable Development

主 编 郭苏建

副主编 周云亨 方 恺



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

浙江大学公共管理蓝皮书系列

Air Pollution Control and Sustainable Development

大气治理与 可持续发展

主 编 郭苏建

副主编 周云亨 方 恺



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大气治理与可持续发展 / 郭苏建主编. —杭州:
浙江大学出版社, 2018. 11
ISBN 978-7-308-18579-0

I. ①大… II. ①郭… III. ①空气污染控制—可持续
性发展—研究—中国 IV. ①X510.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 201888 号

大气治理与可持续发展

主 编 郭苏建
副主编 周云亨 方 恺

责任编辑 余健波
责任校对 王安安
封面设计 周 灵
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 杭州好友排版工作室
印 刷 浙江新华数码印务有限公司
开 本 710mm×1000mm 1/16
印 张 9.75
字 数 175 千
版 次 2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-18579-0
定 价 35.00 元



版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社市场运营中心联系方式: (0571) 88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

前 言

大气污染是全球治理最重要的议程之一。中国改革开放以来经济上高歌猛进,但也带来了全国大范围的大气污染和严重雾霾,引起广大民众和政府的严重关切。随着我国城市化和工业化进程的不断推进,大气污染形势日趋严峻。我国尚处于大气治理的初期阶段,需要勇于探索,走一条经济增长与生态环境相协调,市场机制与政府治理相融合的发展道路。为此,我们要在借鉴各国实践的同时,大胆地开展治理制度的创新研究。

正是以上述基本认识为基础,浙江大学环境与能源政策研究中心与浙江大学公共管理学院于2017年11月11日在浙江大学紫金港校区共同主办了“大气治理与可持续发展”学术论坛。会议邀请了国内外知名专家、学者和政府有关部门负责人与会。来自国内外知名高校、研究机构以及相关产业的专家与学者围绕着“大气治理与能源转型发展”、“大气治理与可持续发展议程”以及“大气治理与污染防控实践”等专题展开了深入、热烈的学术讨论,并在此基础上编写了这部论文集。

在“大气治理与能源转型发展”这一专题中,国际能源署中国合作部主任涂建军为此撰写了《中国空气污染治理呼唤包容性能源系统转型》一文。涂建军主任首先提出了一个值得深思的问题,那就是在发达国家已有伦敦烟雾、洛杉矶的光化学烟雾等诸多历史教训的情况下,中国为什么又要开始重蹈覆辙?他认为,从全球范围来看,低效粗放的能源生产和利用方式是最主要的空气污染排放源,85%的颗粒物和几乎所有的硫氧化物和氮氧化物都来源于能源行业,由此可知,空气污染归根到底还是一个能源问题。在他看来,目前世界各国能源政策讨论的框架过度局限于低碳发展(low carbon development)和能源转型(energy transition)等视角,但如果只强调控制碳排放、提高能源利用效率和发展可再生能源,其实未必能够完全保证空气污染治理的针对性和时效性。有鉴于此,他提出用包容性能源系统转型(Inclusive Energy System Transformation)的理论框架以及SECTOR(+)分析的思路来应对空气污染治理这样的重大能源环境政策挑战。具体而言,大气治理需要综合考虑能源

系统安全、经济增长、气候变化、技术成熟度、碳排放、管制政策等因素。对中国而言,如果不实行包容性的能源系统优化、包容性的能源系统转型,大气污染治理前景并不乐观。为了有效治理大气污染,他提出政府需要调整经济增长与能源安全在决策中的权重,为环境治理腾挪出足够的政策空间;能源系统改革应讲究先后秩序;能源集团的博弈应受到法律的约束;能源环保统计数据要真实透明。此外,在他看来,煤炭行业的未来是国内实现雾霾治理及实行包容性能源系统优化的关键所在。

浙江能源监管办公室原专员(正厅级)、教授级高级工程师谢国兴结合能源行业的具体管理和监管工作,撰写了《低碳能源结构调整中的几个问题与建议》一文。他系统分析了我国能源消费结构和低碳能源转型过程面临的关键问题。首先,我国 2016 年的能源消费结构显示煤炭占 62%,同时人均能源消费、生活用能、用电水平都已与欧洲持平甚至比欧洲更高。其次,虽然能源结构正往低碳化方向发展,但还存在以下六大问题:社会对 CO₂ 等温室气体的危害的认识还没有到位;碳交易市场建设与运行工作还不适应控制碳排放的要求;企业特别是小企业参与控制碳排放意识不强、行动不力;对煤炭高碳性的认识不足,宣传煤电超低排放显然是夸大其词并严重影响低碳能源转型;由于政府重视不够、天然气管道垄断、电网企业对分布式能源支持不力、天然气发电不能正常运营等,天然气的低碳性优势未能有效发挥;能源体制的优点未能在能源转型中起到应有的作用。最后,未来的低碳能源结构转变应进一步强化政策支持,深化能源体制尤其是电力体制和天然气市场化改革,推进碳排放交易市场建设,加强监管并确保各项政策落实。

浙江大学人口与发展研究所周伟博士和浙江大学公共管理学院米红教授共同撰写了《人口结构变迁对能源消费和碳排放的系统仿真研究》一文。他们在分析人口的家庭结构、年龄结构、城乡结构、就业结构对能源消费和碳排放影响的基础上构建了家庭户能源消费的年龄性别模式。对家庭户人均能源消费量的多元回归模型表明:第一,我国人均用电量的代际结构表现为青年一代户均值高而中老年的用电量低,生育人口在 2016 和 2017 年经历“生育堆积”并释放完二胎生育率之后会以更快速度下降,这种人口结构的变化将有利于低碳转型。第二,户均收入和家庭户数对家庭直接碳排放都有明显的驱动效应,家庭平均规模减小和户数增加会导致碳排放的增加。第三,能源消费支出及其产生的二氧化碳排放量仍在上升,尽管能源利用效率在提高,单位家庭支出的含碳量降低,但总的支出仍然持续增加。第四,城镇化对间接碳排放的促进作用明显,且在逐年增加。实际上,对湖州的安吉和长兴两县的实地调研结

果也与上述发现相一致。

在“大气治理与可持续发展议程”这一专题中,来自南京大学地理与海洋科学学院的黄贤金教授与杨达源教授共同撰写了《山水林田湖草生命共同体与自然资源用途管制路径创新》一文。结合党的十九大报告和最新的政府机构改革,两位教授认为我国在绿色发展的政策上经历了从重点治理到全面治理、从重视环境治理到重视生态文明、从重视政治引导到重视制度建设、从重视生态修复到重视发展方式转型的变化,目前更加注重资源生态环境的整体性治理。为了遵循“山水林田湖草生命共同体”这一理念,2018年3月我国成立了自然资源部,从而从体制上实现了水、土地、林、草原、海洋等各类自然资源的统一管理,也为全面落实自然资源用途管制制度、创新国土空间用途管制提供了体制保障。他们强调,要构建支撑人与自然和谐现代化的自然资源管理体制、机制,就需要遵循自然资源整体性、系统性的特征,优化自然资源管理体制、机制。而若要基于山水林田湖草生命共同体,即从以自然资源统一性为基础的用途管制制度建立的角度构建新的自然资源管理体制,还需要注重协调行政监管与产权管理、法律产权与经济产权以及多部门管理与统筹管理之间的关系。

中国科学院地理科学与资源研究所张雷研究员和北京工业大学循环经济研究院李艳梅副研究员撰写了《捍卫天蓝须从地绿做起》一文。他们开宗明义地指出,一是要最大限度地提高地球土地的绿色植物覆被率,以扩大人类生存的绿色基础;二是要最大限度地提高人类自然物质与能源的使用效率,以减少并终止人类活动对地表环境自我恢复过程的负面干扰。中国的国土绿色植物覆被率约为68.8%,其中森林、草场与可耕地分别为25.9%、27.5%和15.4%,是全球的草场资源大国。与此同时,我国也是荒漠化土地大国。这些荒漠化土地既是发展我国绿色生态的最大障碍所在,也是提高我国土地覆被水平的空间潜力所在。无论是从资源环境基础与产业结构调整,还是从生态保护的角度看,科学与合理的现代草场建设和土地荒漠化开发都应成为国家大气环境治理和绿色发展的一项不可或缺的内容。张研究员最后总结说,最大限度地改善地表绿色覆被的萎缩状态、提高资源环境的使用效率,应成为我国绿色发展与生态文明建设的一项基本目标与核心任务。

清华大学环境学院石磊副教授撰写了《工业低碳转型复杂性及碳减排潜力》一文。该文强调,复杂性设计的内容有很多,这里主要关注本体的复杂性,包括工业多样性、经济复杂性、功能复杂性。生态学最主要的特点是功能复杂,工业发展在某种程度上也遵循类似的时序和依存关系。当然,这种工业的

复杂性给生态环境业带来了巨大影响,一个明显的例子就是全球贸易对工业生态化的影响。他以中国的水泥和火电行业为例,通过对中国 637 个城市的分析,发现产业之间若形成共生关系,将可以释放 36%~45% 的碳减排潜力。另外,他基于经济学的要素需求模型,研究了 SO_2 、烟尘的管控对碳排放的影响。结果表明,“十一五”期间, SO_2 的控制措施对碳减排起到了协同作用,但是在烟尘控制中没有发现类似效应。

浙江大学环境与能源政策研究中心方恺研究员撰写了《中国各省(区、市)碳排放权分配方案》一文。该文指出,随着《巴黎协定》正式生效,碳排放权作为关系人类福祉的一种新型发展权,如何分配已成为世界各国共同关注的焦点问题。中国是全球最大的碳排放国,面临着巨大的减排压力。为分解落实我国政府提出的 2030 年碳减排“自主行动目标”,该项研究提出公平性、效率性、可行性、可持续性 4 项分配原则,从社会、经济、环境三重维度系统选取分配指标,构建“共同但有区别”的省(区、市)际碳排放权分配模型,据此对 31 个省(区、市)2016—2030 年的碳排放配额进行核算。研究表明,碳排放配额最多的为广东、山东和江苏,最少的为西藏、新疆和青海。对比配额结果与当前碳排放规模发现,山西等 9 省区未来的碳排放空间呈现赤字,海南等 16 省(区、市)的碳排放空间呈现盈余,浙江等 6 省则收支大致相抵。鉴于各省(区、市)面临不同的减排任务和压力,差别化的控排政策是保证我国“2030 目标”顺利实现的关键。

在“大气治理与污染防控实践”这一专题中,由南京大学大气科学学院副院长王体健教授领衔的科研团队撰写了《长三角细颗粒物和臭氧的相互作用和协同控制》一文。该文认为,细颗粒物和臭氧是我国城市大气中的主要污染物,对空气质量、生态环境和人体健康具有重要的影响。王体健教授研究团队指出,2013 年冬季最严重的雾霾事件, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度超过 $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$,是历史上最严重的一次。从最近几年的变化来看,从 2013 年到 2016 年,我国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度水平逐步在下降,北方地区颗粒物污染最严重,其次是长三角,珠三角相对较轻。在细颗粒物浓度不断下降的同时,臭氧浓度却在上升。在他看来,控制大气污染首先要控制污染源,这是硬道理。颗粒物跟臭氧存在着跷跷板的关系,特别是在晴天,颗粒物浓度很高的情况下,往往对臭氧的生成有抑制作用。 VOC 及 NO_x 都是 O_3 臭氧、二次颗粒物的前体物,它们之间存在一定的非线性关系,因此需要开展多种污染物协同控制。长三角地区控制臭氧主要通过控制 VOC ,控制硝酸盐主要通过氮氧化物,控制硫酸盐就是控制 SO_2 ,但是把 $\text{PM}_{2.5}$ 降低以后可能会导致臭氧的增高。因此,要想实现控制臭氧和 $\text{PM}_{2.5}$ 的

双赢,就一定要按照一定的规律来合理控制,落实到不同的地区和行业,并且以大气环境容量的研究成果作为基础。

上海交通大学中美物流研究院赵来军教授领衔的科研团队撰写了《基于减缓人群健康损害的区域大气污染联动治理合作博弈研究》一文。该文指出,我国大气污染的区域性叠加复合型污染特征导致治污难度剧增,区域大气污染控制管理机制亟待完善和创新。当前,成本高、效果差的属地治污模式(NCRM)仍是我国区域污染防治的主要方式,各省独自完成国家设定的总量减排目标和空气质量改善目标,缺乏促进合作治污的长效激励机制,割裂了大气环境的整体性,违背了大气自由流动的自然属性,进而导致了大气污染治理的“公地悲剧”。区域大气污染治理必须以最少的区域治污总成本完成区域治污指标,且尽最大可能减少人群健康损害。其构建的大气污染联动治理合作博弈模型(CRM)由各地区最优去除率模型和合作收益分配模型两部分组成:首先将区域大气污染联动治理归结为最大化降低人群健康损害和最小化污染去除成本的双目标非线性优化问题,建立以各地区污染去除率为变量的优化模型;然后运用合作博弈理论的 Shapley 值法建立合作收益分配模型,通过合理分配节约的去污成本和获得的健康收益,有效激励各地区积极参与合作治污。模型实证表明,运用合作博弈模型对泛长三角区域 2012 年的二氧化硫(SO_2)进行治理,比属地治理模型可多减少 12.1% 的过早死亡,节约 5.2% 的治污成本。

陕西省气象科学研究所教授级高级工程师李星敏撰写了《陕西关中雾霾的形成与气象条件的关系》一文。该文指出,陕西大气颗粒物污染以冬季为主,臭氧污染以夏季为主。2000 年以来,陕西大部空气质量总体好转,一方面,反映沙尘扬尘的粗粒子有所减轻,说明退耕还林取得一定成效;另一方面,反映人类活动的细粒子显著增加,其中关中和陕北增加最快,这与经济发展具有对应关系。其研究团队基于西安气象观测、气溶胶粒子谱观测及西安市环保局 $\text{PM}_{2.5}$ 观测资料,分析了气象条件对形成关中雾霾的颗粒物的影响,结果表明:关中南边平均 2000 m 以上秦岭,北边平均 1000 m 以上黄土高原,大气环境具有污染物易堆积、难扩散的特点,是雾霾易发的主要原因;边界层高度与 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度具有较好的负相关关系,与垂直扩散关系密切,秋冬季节混合层高度高有利于污染物扩散;关中西北气流对污染物的扩散作用和偏东气流对污染物的输送明显,地面风速小,有利于颗粒物堆积;湿度大,有利于稳定层结的维持和亲水性气溶胶吸湿增长,高的相对湿度(RH)有利于稳定层结的维持和污染物集聚,在 $\text{RH} \leq 80\%$ 时,粒径在 150 nm~1.0 μm 的粒子的浓

度,随着相对湿度的增大,增加明显,对能见度的降低有重要作用;雾霾天气中到达地面的太阳辐射减少,对流交换减弱,雾霾不易扩散。鉴于以上结论,她认为在当前排放情况下,重视气象条件变化的作用,对于减少雾霾对公众健康和生产的影响具有重要意义。

石家庄市气象局高级工程师韩军彩团队撰写了《石家庄市一次大气重污染过程的边界层特征和成因分析》一文。该文指出,石家庄地处太行山东麓,常年平均风速较小,秋冬季大气层结稳定,近地面经常出现逆温,不利于污染物扩散,雾霾天气偏多。其研究团队针对石家庄市 2015 年 12 月 5—14 日出现的重污染过程,利用石家庄市逐日地基微波辐射计、风廓线雷达、地面气象观测资料以及同期的污染物观测资料,分析了重污染过程期间大气边界层湿度、湿度、风的变化特征及对 $\text{PM}_{2.5}$ 的影响,采用 Hysplit 后推气团轨迹模式分析了污染形成源。结果表明:此次重污染以局地排放为主要形成源,期间冷空气势力弱,地面日平均风速均在 1.5 m/s 以下,日平均相对湿度均在 70% 以上,风速小、湿度大,稳定的大气环流形势为重污染提供了持续稳定的大气环境背景;逆温形成及快速增厚导致重污染发生,逆温层平均厚度 683 m ,逆温层厚、强、不易消散,导致重污染持续时间长、污染重;近地面小风层厚(平均 700 m 左右),通风能力弱,导致污染物难以稀释扩散;同时近地层湿度大、厚度厚,使得 $\text{PM}_{2.5}$ 更容易形成和积累,对重污染加重起到了促进作用。

目 录

专题一 大气治理与能源转型发展

中国空气污染治理呼唤包容性能源系统转型.....	3
低碳能源结构调整中的几个问题与建议	29
人口结构变迁对能源消费和碳排放的系统仿真研究	37

专题二 大气治理与可持续发展议程

山水林田湖草生命共同体与自然资源用途管制路径创新	47
捍卫天蓝须从地绿做起	54
工业低碳转型复杂性及碳减排潜力	62
中国各省(区、市)碳排放权分配方案	71

专题三 大气治理与污染防控实践

长三角细颗粒物和臭氧的相互作用和协同控制	95
基于减缓人群健康损害的区域大气污染联动治理合作博弈研究.....	104
陕西关中雾霾的形成与气象条件的关系	128
石家庄市一次大气重污染过程的边界层特征和成因分析	137

专题一 大气治理与 能源转型发展

中国空气污染治理呼唤包容性能源系统转型^①

涂建军

(国际能源署中国合作部主任)

(一) 能源与空气污染的紧密联系

空气污染是一种重大公众健康危害源,全球范围内每年会造成大约 650 万人过早死亡,使其成为继高血压、饮食风险和吸烟之后的人类第四大健康威胁。在中国,每年大约有 100 万人的过早死亡与空气污染有关,恶劣的空气质量使中国人均预期寿命减少了大约 25 个月(IEA, 2016)。经合组织报告显示,中国每年因空气污染而导致的过早死亡和疾病造成的经济损失达 1.4 万亿美元(OECD, 2014)。近些年来,空气污染无疑已经成为社会各界关注的焦点,更是中国发展道路上迫在眉睫的重大政策挑战。

空气污染治理很大程度上是一个能源政策问题。国际能源署(2016)指出,能源行业是目前人类活动造成空气污染排放物的最主要来源。化石燃料和生物能源的燃烧、煤炭开采和其他形式的矿业(油砂、铀)和工业生产、煤的处理/洗选、煤和天然气的运输、炼油和焦炭生产以及交通部门的非消耗性排放,都是空气污染物的主要来源。在全球范围内,85%的细颗粒物排放($PM_{2.5}$)和 99%以上的二氧化硫(SO_2)以及氮氧化物(NO_x)都来源于能源的生产和使用活动。其中,45%的 SO_2 排放来自于工业,三分之一来自于电力行业;50%的 NO_x 来自于交通运输领域,其次为工业(26%)和电力行业(14%);颗粒物排放超过一半以上来自住宅领域室内燃料的不完全燃烧。

在中国,工业化和城市化的发展是与能源消费的增长齐头并进的。2016 年中国国内生产总值高达 74.4 万亿元,是改革开放初期 1978 年的 32.3 倍。

^① 作者感谢研究助理周瑞宇女士在本文写作过程中的大力协助。

城市人口占总人口比重的 57.4%。2016 年中国的能源总消费量是 1978 年的 7.6 倍。其中化石能源在中国能源体系中占据了重要地位。2016 年,化石能源在中国一次能源消费总量的占比高达 87%,并满足了改革开放以来全国 85%的能源需求增长。另外,化石燃料发电量占总发电量的近四分之三,运输行业中 90%以上的能源来自石油,道路运输和能源转换行业中三分之二的能源通过煤炭和石油消耗产生(国家统计局,2017;2018)。

中国能源需求的增长带来了巨大的环境成本。在环保部发布的报告中,全国 74 个主要城市中只有 8 个城市的空气质量监测结果满足国家 2014 年清洁空气标准,京津冀地区的 13 个主要城市空气质量平均达标天数只有 156 天,重度及以上污染天数比例为 17%(环保部,2015)。中国目前只有 3%的人口接触的空气 $PM_{2.5}$ 浓度符合世界卫生组织的标准,大约有 55%的人口所接触的空气 $PM_{2.5}$ 水平超出世界卫生组织中期目标的下限。

中国主要空气污染物的排放与以煤炭为主的能源结构密切相关。煤炭不但提供了中国 62%的一次能源,而且中国一个国家的煤炭消费量就占了全球一半的份额。值得注意的是,煤炭的质量、电厂的效率和污染控制技术的不同将会使污染物的排放量产生很大的差别。监管与污染控制措施使得发达国家的工业生产与污染脱钩,但在中国这样的新兴经济体国家,空气污染排放标准在不同行业以及监管对不同规模的企业的覆盖程度都存在不足,所以,煤炭清洁化利用及散煤治理是中国空气质量改善的关键所在。

早在 2009 年,中国就超越美国成为全球最大的汽车市场,而交通行业也越来越成为国内各大城市的主要空气污染源。根据北京市环保局的 $PM_{2.5}$ 来源解析研究成果,北京市全年 $PM_{2.5}$ 来源中区域传输贡献约占 28%~36%,本地污染排放贡献约占 64%~72%。在本地污染贡献中,机动车、燃煤、工业生产、扬尘为主要来源,分别占 31.1%、22.4%、18.1%和 14.3%,餐饮、汽车修理、畜禽养殖、建筑涂装等其他排放约占 $PM_{2.5}$ 的 14.1%。^①

在中国东部三大城市群中,珠三角的空气质量最优,长三角次之,京津冀最差,空气污染程度自南向北呈现阶梯状上升态势;能源规模和结构、工业规模和结构、交通规模和结构同步呈现自南向北逐步偏化石燃料、偏重工业、偏公路运输的结构性特征,与空气污染的阶梯分布在一定程度上相吻合。从时间来看,空气污染呈现历时性发展和累积特征;从空间来看,重工业规模大、比重高,化石燃料在能源消费结构中占比高,汽车保有量和船舶货物吞吐量快速

① http://www.gov.cn/xinwen/2014-10/31/content_2773436.htm.

增高是京津冀和长三角大气污染重于珠三角的内在结构性主因(徐健等, 2018)。

总的来说,中国已经成为世界第一大空气污染物排放国。目前世界上超过四分之一的因能源使用产生的 SO_2 排放物来自中国,约 20% 的 NO_x 来自中国,而雾霾的主要成分 $\text{PM}_{2.5}$ 的排放量(9Mt)中国更是超过了世界发达国家的排放总和(IEA, 2016)。因此,中国的空气污染治理,必然要首先致力于改变能源行业的现状。

(二) 关于包容性能源系统转型 (Inclusive Energy System Transformation)的思考

1. 以 3E 能源政策目标、低碳发展与能源转型等思路指导大气污染治理的局限性

1973 年 10 月第四次中东战争爆发后,石油输出国组织(OPEC)为了打击对手以色列及支持以色列的国家,宣布对以美国为首的西方国家石油禁运,造成全球油价上涨并引发了第一次石油危机。为维护自身石油供应安全,部分经合组织国家于 1974 年创立了国际能源署并逐步开始在全球范围倡导实现能源安全(Energy Security)、经济发展(Economic Development)和环境保护(Environmental Protection)这三大政策目标的协调发展。从理论上来说,3E 政策目标中的三个因素都同样重要,每个目标都不可偏废。但由于该理论框架过度简化了复杂的能源决策过程,在实践中很容易出现由于过度偏重某个单一政策目标而影响了能源行业的全面可持续发展。表 1 列举了 3E 理论框架的构成及政策实践中可能出现偏差的部分案例。

日本能源资源匮乏,基本依靠进口能源维持经济发展。第一次石油危机以来,日本大力推行石油替代政策、节能技术以及新能源的开发,力争实现能源结构的多元化和能源进口来源地的多元化,从供需两方面下功夫,保障了能源安全。20 世纪 90 年代中期以来,日本官方能源政策的基石就是 3E 政策目标(Niquet, 2007; 张季风, 2015)。倘若不发生 2011 年的东日本大地震及由此引发的福岛核危机,日本综合能源战略本应继续基于 3E 政策目标发展。然而,突如其来的东日本大地震和福岛核电站事故彻底打乱了日本既定的能源战略。痛定思痛之余,日本政府终于意识到了过度简化的 3E 政策目标的不足,于 2014 年 4 月将安全(Safety)作为一个重要考量因素加入到传统的 3E

政策目标中,并以 3E+S 作为指导原则重新修订了本国的基础能源规划(Ken,2015)。

表 1 传统 3E 理论框架的构成要素及政策实践中可能出现的偏差

3E 理论框架的构成要素	政策实践中可能出现的偏差
能源安全(Energy Security)	• 煤制油(煤化工)投资过热 • 低效的石油、天然气进口管道投资 • 在油价高点大举接盘海外油气资产
经济发展(Economic Development)	• 唯 GDP 论 • 数字出官 • 以环境污染换投资
环境保护(Environmental Protection)	• 仅以“低碳发展”为依据指导能源战略 • “用爱发电” • 邻避运动(NIMBY)

近些年来,由欧洲倡导的低碳发展与能源转型越来越成为国内能源政策探讨的依据所在。低碳被视作经济新常态下衡量发展的核心指标,从高碳经济发展方式到低碳经济发展方式的转变被看作是实现可持续发展的途径,在此基础上建立安全、高效、清洁、低碳的能源供应与消费体系则是实现经济与环境协同治理的关键。而能源转型强调的是用清洁能源的增长来替代煤炭消费的增长,同时提高能源利用效率。

但是,单纯依靠低碳经济和能源转型的思路来应对诸如空气污染治理这样的重大能源环境政策挑战,只涉及能源系统内部不同能源构成的比例调整和能源利用技术的升级,在短期内或许能够实现空气污染排放量的降低,但中长期看未必能够实现治理投入产出比的优化。能源系统作为支撑国民经济的动力基础,其改革必须站在系统性的高度兼顾经济性、能源安全、环境保护以及其他相关因素。单从某一个燃料品种、某一行业或者某一种技术的角度,都不足以找到实现协同的发力点,无法适用于中国现阶段空气污染来源广泛、相关利益方纠葛牵制的复杂国情。

另外,虽然能源转型近些年来成了一个非常时髦的词汇,但有关各方迄今无法就能源转型的定义达成全球性共识。除了风、光等波动性可再生能源,能源转型的具体手段难以达成统一的认识。正在积极推动能源转型(Energiewende)的德国,已经宣布会在 2022 年全面弃核。而在能源转型过程中,核电、天然气、大型水电及清洁煤的地位问题,有关各方都有不尽相同的解读,导致

了广大发展中国家在相关政策研讨中的无所适从。

2. 中国国情的特殊性

相比世界其他主要经济体,中国的能源转型面临着极高的难度和复杂性(朱彤,2015)。第一,中国能源消费体量大。中国在2009年取代美国成为世界最大的能源消费国,2017年又成为最大的石油进口国。2016年,中国的一次能源消费量为30.5亿吨油当量,比美国(全球第二)高三分之一,并相当于印度(全球第三)的4.2倍,日本(全球第五)的6.8倍,德国(全球第七)的9.5倍。第二,中国的工业化和城市化仍在不断发展,能源消费总量在一定时期内仍然有增长的动力,相比之下,德国、日本等后工业化国家已经进入了能源消费总量下降阶段。第三,煤炭在中国能源消费结构中占比极高。2016年,煤炭在中国的一次能源生产构成中占69.6%,是世界平均水平的两倍多。此外,中国大部分的火电厂都在近十年内投建,短期内难以退役。相对清洁的天然气在一次能源结构中占比只有6.2%(国家统计局,2017),远低于世界平均水平。

但中国的经济和能源结构已经到了转型的关键节点。过去的二十年中,中国的经济发展动力来自于基础设施建设、重工业生产和制造业出口。由投资驱动、工业占主导的经济增长模式从2012年开始放缓,进入所谓新常态阶段。在IMF的预测中,中国GDP增长率将从2020年起降低至5%之下,人均收入将逐步接近发达国家水平。而中国的人口预计将在2030年达到14.5亿人的峰值(国务院,2016)。

人口老龄化和中产阶级群体的壮大将极大改变中国经济和能源消费的结构。在过去,中国能源消费主要由工业需求拉动,而在未来中国典型的能源需求模式中它将由个体消费者驱动。随着中国人均收入水平的提高,中国消费者将更注重能源消费的环境影响。

在上述背景下,简单地将能源转型理解成一次能源主导地位的更替,以新的能源取代旧能源,或是以低碳能源取代高碳排放能源,都只停留在了能源转型的表面,不是从国家层面全面推动能源转型,也无法从根本上解决空气污染问题。有鉴于此,本文作者于2017年11月在浙江大学举办的“大气治理与可持续发展”学术研讨会上,提出以包容性能源系统转型(Inclusive energy system transformation)来应对中国空气污染治理。^①

^① <http://www.zju.edu.cn/2017/1120/c502a690621/page.htm>.