



磐石能源评论 2016

能源转型问题系列分析

REEI

Independence and Justice for Sustainability!

磐石环境与能源研究所

前言

全世界主要能源消耗大国都在进行着各自的能源系统转型，要达成的目标和推动力都不尽相同。有些是出于对减缓气候变化的需要大比例提高可再生能源占比并削减煤炭消耗量，如德国和英国等欧洲国家；有些是期望提升能源系统安全性，如经历了福岛核电事故的日本；还有些则是出于对产业布局的考虑，如正在经历页岩气革命的美国。

对于中国来讲，除了对上述因素都有考虑之外，另一主要推动力就是如何通过能源转型减少严重的空气污染。对于化石能源高占比的能源结构是造成雾霾频发的根本原因，各方已基本达成共识。2016 年底再度袭来又挥之不去的雾霾，让中国能源系统如何转型再度成为焦点，随雾霾而来的潜在健康影响也成了无法回避的话题。磐石环境与能源研究所在《磐石能源评论 2016》筹备之初就将中国能源转型中的健康影响和社会公平问题列为本年度分析工作的重点，并结合在气候变化的大背景下国内外能源转型的经验，来探讨中国如何完成理性、公正且成本有效的能源转型。

本报告从空气污染的健康影响是否被低估谈起，进而讨论在中国的能源政策制定中如何考虑包括健康影响评价在内的影响评价工具；从社会公平角度，也分析了中国淘汰煤炭产能的复杂性并着重探讨如何借鉴“公正转型”的成功案例；在推进可再生能源发展方面，我们通过回顾德国可再生能源法的发展历程和未来挑战，向中国读者展示可再生能源市场化过程可能面临的问题；在突破中国风电发展瓶颈方面，我们通过详实的分析指出电力系统改革是提高可再生能源占比的关键；最后，报告聚焦于页岩气开发，对页岩气开发的潜在温室气体排放泄露进行了分析，认为从气候变化应对的角度页岩气作为一种低碳过渡能源而大规模开发存在巨大风险。

本报告是我们在持续探讨中国能源转型系列问题过程中的又一次尝试，我们希望得到更多行业同仁的反馈意见，同时，也借此机会感谢德国伯尔基金会对本项目提供的慷慨支持。



林佳乔

磐石环境与能源研究所副主任

2016 年 12 月 29 日



磐石环境与能源研究所

以独立、公正的态度和批判性思维，提供促进可持续发展的环境和能源政策分析。

报告撰写：赵昂、林佳乔、乔黎明、Elisabeth Freese

报告校对：王会、姜超、王昱瑞

报告设计：计画堂

发布日期：2016 年 12 月

发布方：磐石环境与能源研究所

非盈利出版物，免费赠阅

报告资助方：德国伯尔基金会北京办公室

 HEINRICH BÖLL STIFTUNG
CHINA

网站：www.reei.org.cn

邮箱：info@reei.org.cn

电话：+86(10) 61438032



微信公众号



微博公众号

作者简介

Elisabeth Freese

磐石环境与能源研究所实习生，北京能源网志愿者。从 2015 年起，开始从事环保领域相关工作，获得奖学金支持，在中国开展环境研究，并撰写与中国环境非政府组织有关的毕业论文。她拥有美国乔治城大学外交学院的科学、技术与国际事务学士学位。

林佳乔

磐石环境与能源研究所副主任、联合创始人，有多年的能源与气候变化方面的学习和管理经验，主要工作领域包括能源政策、低碳发展以及碳市场研究。共同创立磐石之前，在一家碳资产管理公司工作，以及作为独立顾问为农林碳汇项目和能效项目提供咨询。他拥有英国曼彻斯特大学环境科学硕士学位。

乔黎明

全球风能理事会中国项目主任，从 2003 年开始从事气候变化和可再生能源工作，目前的工作重点是中国风电政策。在加入全球风能理事会前，曾供职于世界自然基金会，从事气候变化和能源政策倡导工作。她拥有英国曼彻斯特大学环境科学硕士学位。

赵昂

磐石环境与能源研究所主任、联合创始人，在中国环保领域有十年以上的工作经验，长期关注气候变化政策和新能源政策。赵昂于 2008 年获得英国伦敦政治经济学院环境政策与监管硕士学位。

目录

中国空气污染健康损失评价或被低估：从估算统计学生命价值谈起	6
1. 估算过早死亡的健康负担	6
2. VSL 估值对公共政策成本收益分析的意义	7
3. 用 AHC 估算 VSL：上海和全国	8
4. 使用 AHC 方法估算 VSL 的问题	8
更具包容性的能源政策：影响评价工具在中国能源政策决策中的作用	11
1. 如何让未来的能源政策决策更充分地利用综合性影响评价工具	11
2. 中国现有能源政策缺乏对于影响评价工具的包容性	11
3. 中国更具包容性的能源政策之路：有效利用影响评价工具	12
“公正转型” --- 中国淘汰煤炭产能的复杂性分析	16
1. 中国实现“公正转型”三要素	16
2. “公正转型”案例分析	18
EEG 2.0：是否能确保德国过渡到成本效益更高且适应性更强的可再生能源系统？	22
1. 通向 EEG 2.0 之路：可再生资源发展的黄金时代	22
2. EEG 2.0：如何过渡到成本效益更高且适应性更强的可再生能源系统	24
突破中国风电发展瓶颈：电力系统改革是关键	28
1. 中国风电	28
2. 风电发展展望：十三五规划和风电发展驱动力	29
3. 风电现阶段挑战：弃风限电、补贴吃紧、电价下行压力	30
4. 风电提高电力渗透率的障碍：灵活电力系统的缺失阻碍风电发挥更大作用	31
页岩气开发的气候变化影响：甲烷泄漏的风险	33
1. 在应对气候变化方面，页岩气胜过煤炭吗？	33
2. 一个案例分析：甲烷泄漏对页岩气碳排放的影响	34
3. 甲烷泄漏：页岩气的“过渡性能源”角色受到质疑	35
4. 美国页岩气甲烷泄漏对中国开发页岩气的启示	36

中国空气污染健康损失评价或被低估：从估算统计学生命价值谈起

赵 昂

依赖煤炭和石油两种主要化石能源的能源系统是造成中国国土大面积严重空气污染（本文指室外空气污染，下同）的最大单一原因。根据国际能源署的数据，中国一次能源消费中化石能源（包括煤炭、石油和天然气）占比从 1971 年的 59.9% 增加到 2013 年的 88.1%¹，其中煤炭占绝对优势。在改善空气质量的成本收益评价中，治理空气污染而避免的健康损失是根本理由。美国环保署（EPA）1999 年发布了一份关于 1990 年修改后的清洁空气法案（Clean Air Act 1990）到 2010 年的收益和成本的研究，这份递交给美国国会的详细报告指出，到 2010 年这一法案可以避免 23000 人过早死亡和带来其他众多健康收益，这些收益折合成经济价值约合 1100 亿美元，而实现这些收益所付出的成本约为 270 亿美元²。2011 年 EPA 又发布了第二个关于 1990 年清洁空气法案到 2020 年的收益和成本比较的前瞻性研究，报告指出到 2020 年可以累计避免 230, 000 成人过早死亡，总健康收益达到两万亿美元，其中 85% 的货币化收益是避免过早死亡人数带来的，而为此付出的成本仅有 650 亿美元³。

可以说空气污染导致的健康损失的高低直接影响着治理空气污染决策的轻重缓急，如果评价空气污染健康损失的结果越高，那么治理空气污染的紧迫性越强。而如何评价过早死亡的经济损失是这个评价过程的核心。本文聚焦在统计学生命价值的估算，探讨中国的环境政策分析中是否存在低估空气污染健康损失的情形。

1. 估算过早死亡的健康负担

空气污染轻者可使人群因为身体不适难以工作和上学，造成经济损失，重者可能引发各种疾病，如呼吸系统疾病（哮喘和慢性支气管炎）、心血管疾病（心脏病）、脑血管疾病、癌症（肺癌）、精神疾病（抑郁）等，长期暴露于空气污染还会导致过早死亡（premature death）等严重的健康负担⁴。根据美国环保署 (EPA) 研究空气污染治理的健康收益的项目（BenMAP）⁵，超过 90% 的治理空气污染带来的货币化的健康收益是来自因为空气质量改善所避免的早死人数。也就是说，如果将空气污染带来的健康负担货币化，那么过早死亡的健康负担占到 90% 以上。一份关于美国燃煤电厂 2004-2009 年二氧化硫减排带来的健康收益的报告指出，空气污染导致的死亡人数从 2.4 万降到 1.3 万，而 1.3 万过早死亡人数对应的健康损失为 963 亿美元，占到全部健康危害货币化成本的 94%⁶。

量化评价空气污染导致的过早死亡的健康负担常用统计学生命价值（Value of Statistical Life, VSL）这一经济学概念和方法。VSL 衡量的是人们为了降低极微小死亡风险而愿意支付的货币数量⁷。举例来说，如果人们愿意为降低十万分之一的死亡风险而支付 50 元人民币，那么一个统计学生命的价值就是 100,000*50=5,000,000 元。VSL 用以评价的既不是生命本身的价值，也不是百分百死亡风险的价值，而是微小死亡风险的价值。

对 VSL 进行经济学测算的证据既有来自市场决策的（如收入 - 风险关系模型，可以将隐含在人的行为中的关于规避微小死亡风险的价值揭示出来），也有来自调查方法的应用（如支付意愿调查法，可以直接将人们降低死亡风险的意愿以货币的形式展现出来）。⁸

条件估值法（Contingent Valuation, CV）是估算 VSL 的常用调查方法，它通过调查居民支付意愿（Willingness to Pay, WTP）来确定 VSL。调查支付意愿的方法包括叙述性偏好法与选择实验法，前者方法的弱点是较难解决受访者在理解健康风险和支付意愿上的困难；后者因为改进了健康效益评估中对环境健康风险的理解，揭示支付意愿的准确性更高⁹。然而，总体来讲，在揭示人们降低死亡风险的支付偏好方面，收入 - 风险关系模型方法更优于调查支付意愿的条件估值法。因为前者是基于实际发生的交易行为，尽管是非显性的，但数据和信息比较真实的反映出人们面对死亡风险的选择偏好。而条件估值法是建立在假设条件的访谈之上，有很多影响偏好表达准确性的干扰因素。美国环保署在评价清洁空气法案的成本和收益时所采用的 VSL 估值来自于 1990 年代美国和其他国家的 26 个关于估算 VSL 的研究，其中 21 个研究采用的是收入 - 风险关系模型法，5 个研究采用的是条件估值法¹⁰。在另外一篇综述各国估算 VSL 研究的文章比较了 11 个国家和地区的 VSL 估算研究，绝大部分的研究都采用了收入 - 风险关系模型法¹¹。表 1 摘自这份比较研究文章，粗略来看，美国、日本和瑞士的 VSL 估值最高，台湾、韩国和印度的估值较低。

表 1：各国基于劳动力市场 VSL 估算（单位：百万美元）

研究 / 国家和地区	VSL
美国 (30 项研究的中位数)	7.0
澳大利亚	4.2
奥地利	3.9-6.5
加拿大	3.9-4.7
香港	1.7
印度	1.2-1.5
日本	9.7
韩国	0.8
瑞士	6.3-8.6
台湾	0.2-0.9
英国	4.2

备注：所有估值以 2000 年美元价值为参照。

2. VSL 估值对公共政策成本收益分析的意义

估算 VSL 有很强的现实意义，在对某一环境政策进行成本收益分析时，需要有 VSL 的估值来计算这一政策可能带来的收益或者成本，通常用成本收益分析法（Cost-benefit Analysis, CBA）来评价。这样有助于在不同的政策选择中取舍，例如有 X、Y 两种空气污染治理政策，假设可以实现相同的目标，究竟哪个更合适？使用 CBA 就可以为决策提供较清晰的建议。当然 CBA 也并不是唯一合理的支持决策的方法，自身也存在不足，但它却是一个可以允许更多利益相关者参与、信息透明和有较多文献和证据支持的方法。

2006 年美国室外空气质量标准再次提高，PM2.5 日均值从 65 微克 / 立方米提高到 35 微克 / 立方米，EPA 关于标准提高的成本收入分析指出，达到新的日均值标准所要支付的成本约 60 亿美元，而获得的收益（以健康收益为主）在 170-350 亿美元之间¹⁴。其中，主要的健康收益为减少过早死亡人数 2500。如果我们参照表 1 所提供的美国 VSL 估值，那么减少 2500 例过早死亡所对应的健康收益为 175 亿美元¹⁵。由此可以比较直观的看出实施新的空气质量标准给社会带来的健康收益。

尽管我们有一个基本的共识，即 VSL 受经济发展水平和人均收入的影响最显著，通常发达国家和地区对 VSL 估值要高于发展中国家和地区。表 1 也基本支持这一观点。然而表 1 所示国家之间的差异非常明显，例如人均收入最低的印度在 VSL 估值上甚至高过收入水平远远高于自己的台湾和韩国。首先，除了美国，表 1 所给出的不是各国 VSL 估值的均值或中位数，而是代表某国家 / 地区的某个或某些实证研究的结果。其次，差异的根本原因是由 VSL 估值方法本身决定的，“由于人们在选择偏好和拥有资源上的个体非均质性（Individual Heterogeneity），众多实证研究在 VSL 估值上出现较大差异，并不足为奇。”¹² 再者，采用条件估值法和使用收入 - 风险关系模型法得出的结果也会有较大差异。印度的实证研究 VSL 估值之所以高于韩国，其中一个原因在于，工会保护工人权益的作用在印度的实证研究模型中有体现，工会的作用使工人在争取风险补偿方面相对有优势。相比之下，韩国的研究中没有考虑工会的角色¹³。

形成一个在 CBA 研究中可以参考或在环境政策实践中可以使用的 VSL 估值，需要大量的实证研究支持。上文提及美国在环境政策评价和实践中比较普遍使用的 VSL 估值 7 百万美元就是基于大量和长期的实证研究而获得的。此类实证研究在中国还比较少，而且已有实证研究的估值结果差距很大，最低 25 万 ,最高有 170 万¹⁶。面临环境政策分析、评价和实施挑战，评价过早死亡的健康负担或者避免过早死亡的健康收益都是在分析空气污染治理政策过程中不可避免的问题。在此情形下，人力资本法（Human Capital Approach）被认为是一个替代方案，因为它设定了一个 VSL 估值下限¹⁷。

在评价中国的环境污染导致的健康负担的研究中，世界银行和国家环保总局于 2007 年发布的报告《污染的负担在中国》（以下简称世行报告）影响较大。此报告在对 VSL 进行估值时，用了基于上海和重庆两地的支付意愿调查法和调整人力资本 (Adjusted Human Capital, AHC) 法。下面笔者将参照此报告的 AHC 法来讨论以 2015 年为参照年，看看对于中国最发达的地区上海市，VSL 估值究竟在怎样的水平。

3. 用 AHC 估算 VSL：上海和全国

调整人力资本法可谓一种评价避免过早死亡价值的社会性表述，因为这种方法针对所有人，设定每损失一年生命的估值等同于全社会的年人均 GDP。如果有某一年空气污染导致的过早死亡人数、当年的人均 GDP、空气污染导致的生命损失平均年数（全社会预期寿命减去过早死亡人数的平均死亡年龄）的年均 GDP 增长率，以及未来年人均 GDP 针对当年的折现率，就可以计算出一个地区或城市过早死亡导致的健康负担。

沿用世行报告里使用的生命损失平均年数 18¹⁸，假设上海 2015-2033 的年人均 GDP 增长率为 5%，折现率也为 5%，那么 2015 年上海地区 VSL 估值即为当年人均 GDP(10.31 万元)¹⁹ 的 18 倍，即 186 万元。由此得出，2015 年上海过早死亡人数的健康负担就是过早死亡数 2415²⁰ 乘以 VSL 估值 186 万，即 44.92 亿元。

4. 使用 AHC 方法估算 VSL 的问题

如上文所述，用人力资本法对 VSL 估值，一般得到的是一个下限值，如果将这样的估值应用到环境政策决策中，从方法本身来讲，存在低估空气污染带来的健康损失的风险。

用人力资本法估算 VSL 需要以下参数：基础年的人均 GDP、生命损失平均年数、人均 GDP 年均增长率和折现率。折现率一般高于人均 GDP 年均增长率，二者的关系决定了未来人均 GDP 的现值的变化不会很大；而生命损失平均年数受到人均预期寿命的影响，鉴于中国与表 1 所列国家的人均预期寿命相差不大²³，因此中国与表 1 不同国家和地区（除印度之外）在生命损失平均年数上差距应该不大。因此，用人力资本法对 VSL 估值影响最大的因素是人均 GDP 水平。

利用这样的方法来估算全国过早死亡带来的健康负担。根据世界银行发展指数的数据，中国 2015 年人均 GDP 为 8027.7 美元²¹，约合人民币 55310 元（汇率 1:6.89），仍沿用世行报告中的生命损失平均年数 18，2015-2033 年的人均 GDP 年均增长率和折现率都假设为 5%，从而用人力资本法推算出中国 VSL 估值为 99.6 万元。

有了 VSL 估值，测算空气污染的健康负担主要受评价空气污染导致过早死亡人数结果的影响。显然，如果空气污染导致早亡人数越多，健康负担也越大。中国前任卫生部长陈竺等引用一些研究在 2013 年的《柳叶刀》发表文章指出，近年中国空气污染每年导致的早亡人数约有 35-50 万²²。按照 99.6 万 VSL 估值，可以估算出中国一年空气污染导致过早死亡的健康负担约有 3486-4980 亿元。

我们将各国和地区 2015 年人均 GDP 列出，与表 1 中的 VSL 估值进行对比，就得到表 2。表 2 的最右一列的比值体现出基于劳动力市场的 VSL 估值与基于人均 GDP 水平的人力资本法 VSL 估值的巨大差异。正如前文所述，不同实证研究对 VSL 估值的差异是导致 A/B 比值差异巨大的根本原因。我们从表 2 中选择一些人均 GDP 水平接近的国家，包括奥地利、加拿大和英国，且取奥地利和加拿大的 A/B 比值的中间值，分别为 118 和 100，那么这三国人均 GDP 占基于劳动力市场的 VSL 估值的比例处于 95-118 之间。由此可以看出，在高度发达的国家，基于劳动力市场的 VSL 估值是人均 GDP 水平的 100 倍左右²⁴。

表 2: 各国基于劳动力市场的 VSL 估算（2000 年美元现值）与人均 GDP（2015 年美元现值）的差异

国家和地区	A:VSL（万美元）	B: 2015 人均 GDP(万美元)	A / B 的比值
美国（30 项研究的中位数）	700	5.6	125
澳大利亚	420	5.6	75
奥地利	390-650	4.4	89-148
加拿大	390-470	4.3	91-109
香港	170	4.2	40

印度	120-150	0.16	750-938
日本	970	3.5	277
韩国	80	2.7	30
瑞士	630-860	8.1	78-106
台湾	20-90	2.3	9-39
英国	420	4.4	95

数据来源：各国和地区人均 GDP 数据来自世界银行发展指数。 链接：<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?view=chart>

相比之下，本文第三部分提到用人力资本法估算的中国 VSL 是 99.6 万元人民币，约合 14.3 万美元，2015 年中国人均 GDP5.5 万人民币，约合 0.8 万美元，两者的比值为 18。由此看出，基于劳动力市场的 VSL 估值要远远高于基于人力资本法 VSL 估值，表 3 更为直观的显示出这种差距，这里设定中国 2015 年人均 GDP 和人力资本法 VSL 估值皆为 1。

右列的人均 GDP 比值体现出在人力资本法 VSL 估值下各个经济体与中国的差距。如果用这种方法估算瑞士、美国、日本、英国等高度发达的经济体 VSL 值，它们与中国的差距在 4.4-10 倍。韩国、台湾的经济发展水平与中国差别不太大，皆为新兴工业经济体，他们的人力资本法 VSL 估值分别是中国的 3.4 和 2.9 倍，其中台湾 VSL 估值取两上下限值的平均值。而各个国

家和地区在环境决策中评价成本和收益时侧重运用的劳动力市场 VSL 估值，与中国人力资本法 VSL 估值相比，所有发达国家都高过 28 倍；而东亚几个经济体的差距很小，韩国和台湾各自接近人均 GDP 比值，香港与中国的比值居中，劳动力市场 VSL 估值与人力资本法估值差别在两倍左右。表 3 的对比，可以说明两点，第一，人力资本法 VSL 估值为环境政策分析健康收益时提供了一个下限值，然而要实现全面均衡的评价环境政策带来的健康收益，有必要考虑运用基于劳动力市场的 VSL 估值来设定一个更接近实际的 VSL 评价标准，这样有助于防止在环境决策分析时出现低估健康收益的情形；第二，随着社会发展，人均收入水平的提高，空气污染带来的健康损失也会随之增加，不同经济体在 VSL 估值上的差异说明这一点。

表 3: 各国和地区与中国在人均 GDP 水平和不同方法 VSL 估值比值的差异

国家 / 地区	劳动力市场 VSL 估值与 中国人力资本法 VSL 估值之比 （括号中为实际值，单位：万美元）	2015 年人均 GDP 与中国的比值 （括号中为实际值，单位：万美元）
瑞士	45-61（630-860）	10（8.1）
美国	50（700）	7（5.6）
澳大利亚	30（420）	7（5.6）
奥地利	28-46（390-650）	5.5（4.4）
加拿大	28-34（390-470）	5.4（4.3）
英国	30（420）	5.5（4.4）
日本	69（970）	4.4（3.5）
香港	12（170）	5.3（4.2）
韩国	5.7（80）	3.4（2.7）
台湾	1.4-6.4（20-90）	2.9（2.3）
中国	1（14）	1（0.8）

结语

本文梳理了评价过早死亡健康负担的主要方法：统计学生命价值评价，采用世行报告中的人力资本法估算了中国 2015 年 VSL 值，进而参照基于以劳动力市场方法为主的 VSL 估值的国际比较研究来与中国人力资本法 VSL 估值之间进行差距对比。对比的结果显示，人力资本法估值与劳动力市场估值差距显著。因此，在对空气污染带来的健康损失或者改善空气质量导致的健康收益进行量化评价时，仅有 VSL 估值的下限值容易导致对空气污染严重性的低估。中国的环境政策制定者应当参考国际经验，将劳动力市场估算 VSL 的方法考虑在决策中，从而避免低估治理空气污染带来的健康收益，为更理性和更具前瞻视野的环境决策提供研究和分析支撑。

注释：

1. “世界银行发展指数：化石能源占能源消费比例”。链接：<http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.COMM.FO.ZS?locations=CN&view=chart>.
2. EPA,1999. "The Benefits and Costs of Clean Air Act 1990 to 2010: EPA Report to Congress",
链接：<https://yosemite.epa.gov/ee/epa/erm.nsf/vwRepNumLookup/EE-0295A>.
3. EPA,2011. "Benefits and Costs of Clean Air Act 1990-2020, the Second Prospective Study".
链接：<https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/benefits-and-costs-clean-air-act-1990-2020-second-prospective-study>.
4. Lockwood, Alan H. *The Silent Epidemic: Coal and the Hidden Threat to Health*. Cambridge: MIT Press, 2012.
5. 空气污染健康影响金字塔。链接：<https://www.epa.gov/benmap/how-benmap-ce-estimates-health-and-economic-effects-air-pollution>.
6. Schneider, Conrad, and Jonathan Banks. "The Toll from Coal". *assessment report*, Boston: Clean Air Task Force, 2010.
7. World Bank (WB), State Environmental Protection Administration (SEPA), 2007. "Cost of Pollution in China: Economic Estimates of Physical Damages". p67.
8. Viscusi, W.K. 2005. "The Value of Life". Discussion Paper No. 517. The Harvard John M. Olin Center. 链接：www.law.harvard.edu/programs/olin_center/.
9. 王书肖等，2016. *长三角区域霾污染特征、来源及调控策略*. 科学出版社 . p224.
10. Robinson, L.A., 2008. "Valuing the Health Impacts of Air Emissions". 链接：<http://regulatory-analysis.com/robinson-air-emissions.pdf>.
11. Viscusi, W.K. and Aldy, J.E. 2003. "The Value of a Statistical". *Journal of Risk and Uncertainty* 27, No. 1. (2003):5-76.
链接：[A Critical Review of Market Estimates Throughout the World](#).
12. Viscusi, W.K. 2005. "The Value of Life". Discussion Paper No. 517. The Harvard John M. Olin Center. p9.
链接：www.law.harvard.edu/programs/olin_center/.
13. Viscusi, W.K. and Aldy, J.E. 2003. "The Value of a Statistical". *Journal of Risk and Uncertainty* 27, No. 1. (2003):5-76
链接：[A Critical Review of Market Estimates Throughout the World](#).
14. "Fact Sheet-Final Revisions to the National Ambient Air Quality Standards for Particle Pollution (Particulate Matter)".
链接：https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-04/documents/20060921_standards_factsheet.pdf.
15. 即 2500 乘以 VSL 估值（ 7 百万美元 ）而得。
16. World Bank (WB), State Environmental Protection Administration (SEPA), 2007.
"Cost of Pollution in China: Economic Estimates of Physical Damages". p69. Table 4.1 Estimates of Value of a Statistical Life in Chinese Studies.
17. World Bank (WB), State Environmental Protection Administration (SEPA), 2007.
"Cost of Pollution in China: Economic Estimates of Physical Damages". p67.
18. World Bank (WB), State Environmental Protection Administration (SEPA), 2007.
"Cost of Pollution in China: Economic Estimates of Physical Damages". P77. Appendix A.1 Average Life Years Lost due to Air Pollution.
19. “上海市统计局：2015 年上海人均 GDP 首次突破 10 万大关”。经济网。链接：<http://www.ceweekly.cn/2016/0301/142852.shtml>。
20. 王书肖等，2016. *长三角区域霾污染特征、来源及调控策略*. 科学出版社。表 8-3 长三角地区每个城市 PM2.5 导致的早逝人数及其货币化估值，第 225 页。
21. “世界银行发展指数：中国人均 GDP 1960-2015 和 2014 年的人均预期寿命”。
链接：<http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?locations=CN&view=chart>；<http://data.worldbank.org/indicator/SP.DYN.LE00.IN>。
22. "China's 'airpocalypse' kills 350,000 to 500, 000 each year".
链接：<http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/asia/china/10555816/Chinas-airpocalypse-kills-350000-to-500000-each-year.html>.
23. 根据世界银行发展指数，中国的预期寿命为 79 岁，除印度外，表 1 所列国家和地区的人均预期寿命在 79-84 之间。
24. 这里忽略了不同年份美元现值差异的影响，如果将 2015 年人均 GDP 换算成 2000 年美元现值，那么得到的 A/B 的比值会明显高于 100。

更具包容性的能源政策：影响评价工具在中国能源政策决策中的作用¹

林佳乔

2013 年初大面积雾霾天气引起了关于空气污染问题的激烈讨论，能源结构不合理是造成雾霾的一个主要原因，这也让中国的政策制定者重新审视过去的能源政策，并于此后的几年内陆续发布了一系列的能源相关政策以改善严重的空气污染问题，并取得了一定的成绩，例如北京地区的 PM_{2.5} 水平从 2013 年平均 88.3 微克 / 立方米降至了 2015 年的 80 微克 / 立方米左右，但是能否完成 2017 年底之前降至 60 微克 / 立方米的承诺还存在不确定性²。不过以此速度发展，预计到 2030 年北京空气质量将会达到国家二级年均浓度标准 35 微克 / 立方米，但是未来污染物控制的难度可能会加大，减排空间并不明显，如果不采取更有雄心的减排策略，达到国家标准的日期恐要推后。

即使在 2030 年达到了国家标准，那是否就能保障我们所居住的环境是健康的、民众呼吸的空气是清洁的、社会公平得到充分体现还不能确定。单纯地通过建立能源政策与空气质量标准之间的联系在很大程度上可能忽视了空气污染问题本身所带来的健康与社会影响的广泛性与深刻性。未来能源政策的制定需要更多地进行全面与系统的思考，以寻求在满足社会能源供给平衡的基础上充分考虑环境健康这一基本需求，这个过程的实现并不容易，要考虑的社会、环境与经济问题因素太多，本文仅就如何利用影响评价工具这一角度进行分析，以勾勒出现考虑社会公平与环境健康的能源政策制定需要进行哪些方面的深入思考。

1. 如何让未来的能源政策决策更充分地利用综合性影响评价工具

在欧美等发达国家和地区，综合性的影响评估工具已经进行了多年的尝试，比较突出的是欧盟的综合性影响评估体系的发展。

欧盟的影响评估方法也是走过了从分散到统一规则这样的路径，基于整合和加强原有单独影响评估机制。因为此前欧盟委员会在单一部门类型影响评估方面已经积累了相当丰富的经验，这些工具包括对企业、贸易、环境、健康、性别主流化和就业的影响；然而，这些影响评估往往只局限于某些特定部门单一的影响。这种欠缺全局考虑的方法使得政策制定者难以在决定具体行动方针时评估并权衡不同的政策方案选择。为了实现欧盟内部成员国更好的政策制定与监管，并对各国分散的监管影响评估进行统一，欧盟从 2002 年就颁布了第一个欧盟层面的《欧盟委员会关于影响评估的通报》³，随后经过评估和修订出台了一系列相关的规范性文件，规定欧盟的主要政策

与法规都要进行经济、社会和环境的影响评估⁴。2009 年欧盟委员会公布了最新的《影响评估指南》（Impact Assessment Guidelines）⁵，欧盟委员会提出的政策规划以及那些将最具有深远影响的政策规划都应该纳入影响评估的范围。具体说来，欧盟委员会立法和工作计划组织提出的所有立法草案，将会带来明显的经济、社会和环境影响的其他立法草案以及确定未来政策方向的非立法性规划，如白皮书、行动计划、预算、国际协议谈判指南等，都应按照指南进行影响评估⁶。

但是在实施过程中，评估指南也遇到了一些问题，例如社会影响评价不容易进行量化的评价，评估的重点往往会侧重于其他有定量结果的方面。但是欧盟也在通过应用指南的反馈持续地改进指南的实用性和有效性，充分考虑定性和定量结果的意义。

2. 中国现有能源政策缺乏对于影响评价工具的包容性

影响中国能源行业发展的主要因素包括与能源相关的法律和政策。中国自改革开放以来，作为国民经济基础的能源工业，其市场化改革的指导思想始终是逐步开放、持续为国家经济发展提供成本较低的能源。能源政策的变化主要体现在国民经济发展五年规划、能源发展战略行动计划以及主管部门的管理办法和条例。

当前的能源政策对于整个能源生产和使用过程中的环境、社会和健康的影响评价并没有综合考虑。例如，过去的能源发展五年计划以及能源发展战略行动计划中，对于环境保护有不

少笔墨，但是对于如何系统地评估能源规划产生的潜在环境影响以及如何减缓这些影响并没有进行阐释。目前跟能源政策制定相关的影响评价就是战略环境影响评价以及规划环境影响评价。其他影响评价工具并没有真正在政策制定层面展开，在具体的能源项目建设方面有少量的实践，例如对于大型水电的社会影响评价等。

通过对于现有能源政策制定和执行过程的观察，我们认为具体来说在以下几个方面还存在着可提升的空间。

2.1 战略环境影响评价在能源政策制定中作用不明显

环境影响评价作为影响评价工具中发展时间最久、影响最广泛的一种评价方式，我国从 2003 年开始实施了《环境影响评价法》，目标评价对象主要为建设项目。更大尺度来讲，与能源政策决策相关性更大的，是，规划环境影响评价和战略环境影响评价，二者都发生在决策阶段的早期，对于规划的潜在环境影响和对策进行评估，主要差异是应用范围的大小。规划环境影响评价针对政府各级部门土地利用相关的综合性规划以及各部门的专项规划⁷，具体来说可应用于能源发展专项规划如煤炭矿区、油气田开发、水电等等⁸；而战略环境影响评价则是着眼于更大尺度环境影响，往往是区域和全国范围，强调

2.2 未能充分考虑健康影响

对于能源使用带来的环境污染及其后续产生的健康影响，我们往往看到的是对于污染发生后的评价，例如煤炭使用的健康成本、垃圾焚烧给周边人群造成的健康影响、PM_{2.5}的疾病负担等。通常解决这些环境污染的方法是进行末端治理，提高排放标准以及清理已经造成的污染等。这种末端导向的环境管理方式并不能保障公众健康未来不受影响。究其根源，这是由于在能源政策制定过程中并没有充分考虑环境政策与健康政策决定的。因为环境问题和公共健康并没有作为一个整体被考虑，

2.3 忽略了能源产品进出口的影响评价

日本环境省早在 2004 年就要求其经济合作协议（EPA）以及自由贸易协定（FTA）框架下的合作和交易进行环境、经济和社会影响方面的评价。以日本和韩国之间 EPA/FTA 为例，两国的进出口都会产生潜在的环境和社会影响，而且随着经济活动的增加，产生的环境影响会逐渐增加，这就需要更多的环

的是在宏观水平采取积极的跨部门合作，以期待政策能带来更多环境收益的影响评价工具。但是目前二者在能源政策层面的作用并不明显，也看不到各级政府在能源规划制定中对于环境影响评价进行考虑的公开信息。最近，环保部门意识到战略环评和规划环评对于环境影响应该更侧重于源头预防，提出了十三五环境影响评价改革实施方案，强调战略环评和规划环评的推进和强化工作⁹。不过在十二五期间，环保部就已经提出了类似的文件¹⁰，所以如何有效实施可能是关键，因为会涉及到各部委之间如何协调工作，这可能是当前能源政策决策中战略环评和规划环评作用有限的原因。

在公共决策中经常被割裂开。从我国公共健康相关政策发展可以看出，关于环境与健康风险评估方面的工作虽然有被提及，但是真正的实践工作还没有开始，环保法与现行环境影响评价制度在保障公众健康方面其实存在着脱节的现象。未来的能源政策决策应该将用能端排放标准和总量控制的设定与公共健康挂钩，而且在项目建设前或者规划实施前就应该将健康方面的潜在影响充分地考虑进来¹¹。

境友好技术的应用以及结构性调整，以带来行业的能源效率的提高。考虑到中国对于海外能源产品的依赖度依然较高，对于煤炭、石油和天然气的进出口都有必要进行相应的影响评价，尤其是环境影响评价。

3. 中国更具包容性的能源政策之路：有效利用影响评价工具

总的来说，诸多影响评价工具如社会影响评价（SIA）、健康影响评价（HIA）、监管影响评价（RIA）等在国内刚刚得到应用或者还没有真正起步，形成一个综合性的影响评价工具框架会面临很多问题，存在比如制度与机构设置、专业人才等方面的挑战。基于以上分析，我们建议在能源政策制定过程中尽量考虑以下几个方面：

- 1) 将综合影响评估体系建设提上日程
- 欧盟对于影响评估框架已经有 10 多年的经验，OECD 的监管影响分析（RIA）也推行了很多年，并且已经取得了不少的成绩。中国正在建立和完善市场监管体制，不断提高法律法规及政策制定的质量，可以借鉴和参考欧美发达国家监管影响分析的原则、程序和方法¹³，加强与这些地区和国际组织的交流，完善现有的能源政策决策体系。

- 2) 增强能源部门与其他相关部门合作
- 卫生、环境、就业与能源部门应该更深入地开展影响评价工具的合作研究；同时，可以采取在能源局设置健康、环境和社会影响评估专门委员会的方式，对于需要跨部门协作的政策制定中的影响评价进行有效协调。

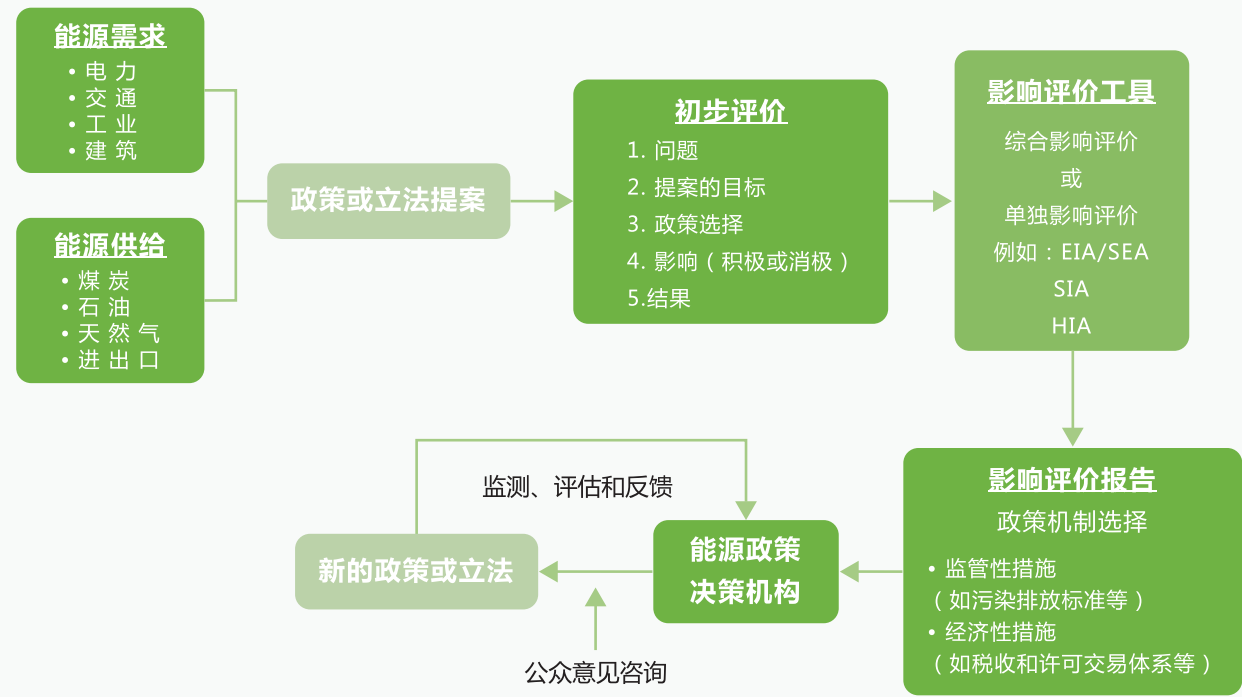
- 3) 定性与定量方法结合
- 同时，需要指出的是能源政策决策并不是一个单纯考量数字的过程，例如在很多时候，不论是政策制定者还是公众都过分关注空气质量是否达标以及健康损害造成寿命预期减少等的具体数字，而不是整体去看这个问题，定性和定量的影响评价工具需要协同考虑来辅佐政策制定者。例如在利用定性为主的社会影响评价工具同时结合成本效益分析工具。

- 4) 社会影响评价方面着重考虑就业和中小企业发展
- 能源决策不仅仅是能源生产与消费过程，也需要考虑社会因素。在当前的形势下，如何评估能源转型带来的就业影响以及对于中小企业发展的影响是需要优先考虑的社会因素，例

如目前的传统能源尤其是煤炭的开采和使用过程中涉及的就业减少问题，就涉及到如何安置受影响职工的问题，同时也要考虑中小企业的就业吸纳能力以及如何增加就业机会创造。

基于上述分析，我们尝试勾勒我国能源政策决策中如何综合考虑影响评价的工作框架（图 1）。首先，对于能源相关的法规、政策或规划提案要进行预先评估，这样能识别出该提案的目标及其要解决的问题是什么，并给出政策选择以及初步的影响评价，结论可能是消极的影响也可能是积极的影响。随后就涉及到如何应用影响评价工具的环节，这也是整个评价过程中最核心的部分，需要遵循已有的影响评价指南，并注意重点应用哪几类评价工具。通过最终的影响评价报告，政策制定者能清楚地看到各种政策选择的潜在影响，并以此为依据选择监管类的措施或者是基于市场的经济措施来解决最初提出要解决的问题。当然，对于新政策出台前的公众意见咨询以及出台后的监测、评估与反馈都是整个决策过程中的必要环节。

图 1：能源政策决策机制中如何应用影响评价工具



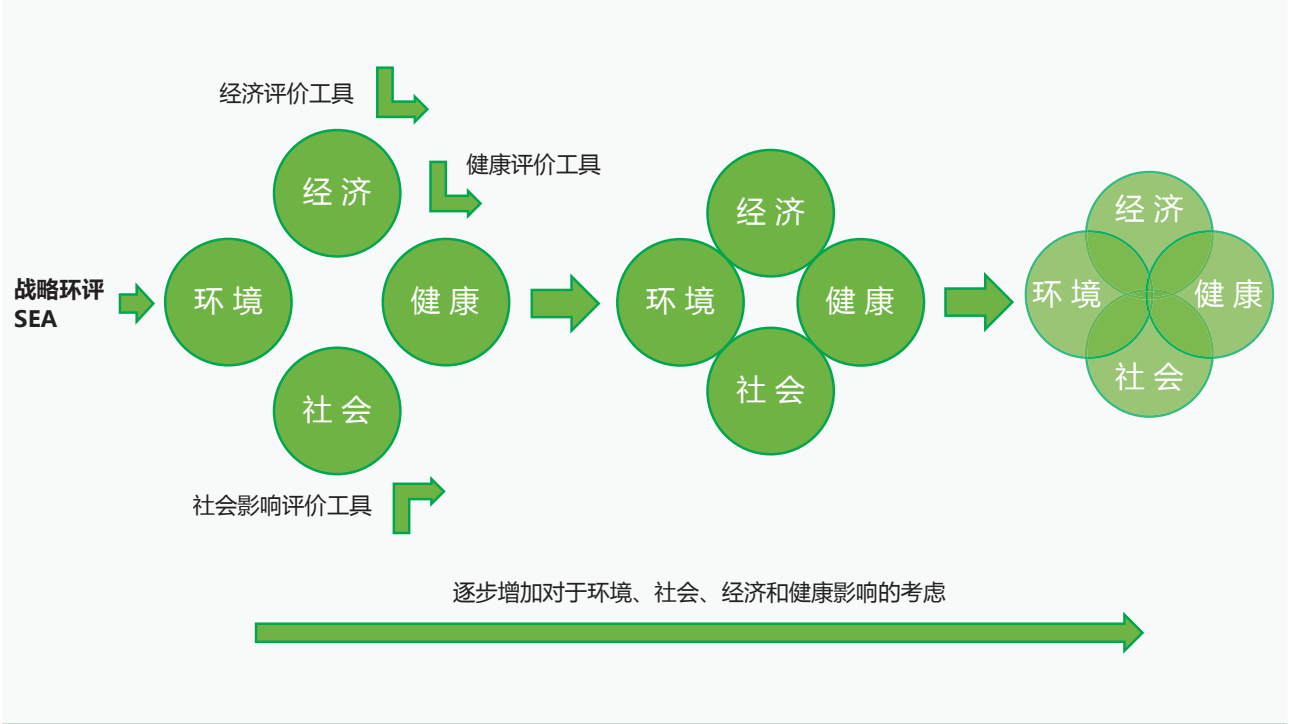
数据来源：作者分析，参考欧盟委员会的《影响评估指南》

不仅仅是在能源政策决策方面，其他公共政策决策过程也应如此，应该尽可能地考虑潜在的社会、环境、经济和健康方面影响，综合利用相关的影响评价工具以给出不同政策方案的利弊，以辅助公共政策制定者做出公正与合理的政策选择。但是我们也同样需要特殊的评价工具比如可持续性影响评价或者健康影响评价工具。比较理想的情况是我们既有一个主流的

包容性好的综合影响评价工具，然后有专门的额外工具来评价单一领域的影响。

另外一条可行之路是以战略环评为主线（图 2），结合社会影响和健康影响评价工具，利用经济评估工具来进行影响评价。这种发展路径的好处是能利用战略环评在国内已经有一定程度的应用，可以快速整合其他影响工具而投入应用。

图 2：能源政策决策机制中如何应用影响评价工具



数据来源：作者分析，参考 OECD 相关文件

结语

中国目前的能源政策决策对于中国能否顺利进行能源系统转型至以可再生能源为主，是非常关键的，将决定着我们是否能够早日呼吸到健康的空气、能源行业的就业是否能平稳过渡、社会投资是否更高效等方面。当然这一过程中面临的挑战也很多，这就更需要我们的能源决策者能够制定具有创新性和包容性的解决方案，全面考虑不同能源供给和使用过程的潜在影响，提高各部门的有效协作。综合利用影响评价工具能向政策制定者呈现出这种解决方案，提高决策的合理性以及监管的有效性。

但是影响评价工具只起到辅助决策的作用，其本身并不能替代政策决策，影响评价工具对于政策制定者来说其最大意义在于能让他们平衡不同的影响因素以做出理性判断，而不是仅仅考虑到问题某个方面的影响。

注释：

1. 能源政策：本文的能源政策是指与能源相关的公共政策，并不特指能源相关法律和法规，同时包括政府部门为满足社会的发展目标而制定并实施的系统性能源规划。
2. 中国清洁空气联盟，中国空气质量评估报告（2016）。链接：<http://www.cleanairechina.org/product/7963.html>.
3. "Communication From the Commission on Impact Assessment" /* COM/2002/0276 final */. 链接：<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52002DC0276>.
4. 席涛，欧盟监管影响评估，中国政法大学中欧法学院讲义。链接：<http://182.48.103.149/upload/201402243804322.ppt>.
5. Key documents of Impact Assessments, European Commission. 链接：http://ec.europa.eu/smart-regulation/impact/key_docs/key_docs_en.htm.
6. 黄金荣，“西方的立法评估制度”，中国法学会网。链接：<http://www.iolaw.org.cn/showArticle.aspx?id=4517>.
7. 规划环境影响评价条例，中华人民共和国国务院令 559 号。链接：http://www.gov.cn/jwqk/2009-08/21/content_1398541.htm.
8. 香港环保署（2007），评估国际能源政策与行动及其于环境评估和策略性环境评估方面的最新实践。链接：http://www.epd.gov.hk/epd/SEA/sc/file/energy_index/china.pdf.
9. 环保部文件，“关于印发《‘十三五’环境影响评价改革实施方案》的通知”。链接：http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201607/t20160719_360949.htm?COLLCC=4107872935&.
10. “关于做好‘十二五’时期规划环境影响评价工作的通知”。链接：http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201104/t20110422_209582.htm?COLLCC=4107867402&.
11. “被忽视的健康影响评价（一）：应将其尽早纳入环境影响评价中”。链接：<http://reei.org.cn/index.php/2016/03/31/blog-health-and-energy2016-4/>.
12. Guideline on Environmental Impact Assessment of Economic Partnership Agreements and Free Trade Agreements in Japan. 链接：https://www.env.go.jp/en/policy/assess/epa_fta/chp_01.pdf.
13. 席涛，“监管体制框架分析：国际比较与中国改革 [J]”。国际经济评论. 2007(03).
14. OECD, Applying Strategic Environmental Assessment to Development Co-operation. 链接：<http://www.oecd.org/environment/environment-development/36451340.pdf>.

“公正转型”——中国淘汰煤炭产能的复杂性分析

Elisabeth Freese

当前全球能源系统正朝着低碳能源结构转型，这让众多煤炭企业思考如何在这场变革中维持经济的稳步发展。这也是全世界发达国家面临的共同问题，受到政府、NGO、企业以及工人等相关群体的广泛关注。然而对于发展中国家而言，由于现有基础设施和经济发展与发达国家仍存在一定的差距，当其开始进行低碳能源系统转型时，一定要充分考虑当前能源体系中的工人群体所面临的发展境遇。所谓转型的公正性，其一就是在重点发展清洁能源体系的同时，确保那些曾从事煤炭行业的工人们具有稳定的经济来源，解决他们的再就业问题¹。中国必须做到这一点，以履行其在巴黎气候大会上的承诺，并维持社会的稳定性。在巴黎气候大会上，中国承诺降低碳排放强度，在 2005 年基础上，到 2020 年时降低 40%-45%，到 2030 年时降低 60-65%，并承诺到 2030 年左右使其碳排放达到峰值。此外中国计划到 2030 年时非化石能源占一次能源消费比重提高到 20%²。此外，“巴黎气候协定”还额外补充声明各国在转型过程中应考虑务必根据国家制定的发展优先事项，实现劳动力公正转型以及创造体面工作和高质量就业岗位³。

为了实现能源结构转型和碳减排目标，中国已经开始关停一些落后的、小型、低效率的煤矿企业，并宣布 3 年内暂停审批新建煤矿项目。未来三年将关闭 4300 家煤矿⁴，并分流 100 万煤炭工人，约占当前工人总数的 1/6⁵。相比于发达国家清洁能源转型，中国的转型可谓前所未有，并在某些意义上讲已经领先于发达国家，如转型涉及国有企业之多，转型时间之短，煤炭行业涉及范围之广，以及中国仍处于发展中国家行列等等方面。因此，尽管已经有很多成功的“公正转型”案例，但它们大多规模较小，且在发达国家中适用。中国的转型不仅要在这些成功经验的基础上，扩大规模，还要在更短时间内实现转型，并适合中国特有的基础设施建设现状。中国的“公正转型”将重点关注在短期和长期内创造就业机会、经济结构多元化调整以及提高资金使用的透明度。下面是关于以上每个观点的重要性讨论和德国鲁尔工业区成功实现“公正转型”的经验分析，以及结合中国大型煤炭公司——陕西煤业化工集团的实际情况分析说明转型的复杂性。

1. 中国实现“公正转型”三要素

1.1 创造短期及长期就业机会

为实现公正转型，中国必须重视创造短期和长期的就业机会。一些成功的短期就业问题解决方案包括离职补偿金、再培训和教育以及提供短期就业选择。因此短期就业解决方案包括两个要素：一是为失业人员提供获取收入的途径；二是为这些工人进入新的长期的职业生涯做好前期准备。

实现第一个要素的途径之一就是给煤矿企业发放离职补偿金，正如德国统一后引发的煤炭行业的崩溃，以及从 2007 年开始实施“调整资金”政策，以对那些失业的煤炭工人提供长达 5 年的经济援助⁶。这种财政支持方式能够保障工人们从原有工作过渡到新的工作岗位过程中维持经济的稳定性。其他方式还包括提供兼职机会，如在关闭的煤矿场附近开展环境整治工作，或经济转型中必要的基础设施建设工作等⁷。

然而，这些短期就业解决方案必须为以后向长期就业的过渡做好铺垫，特别是当短期就业结构调整是作为维持经济稳定的主要手段时⁸。因此短期兼职工作有助于转型中短时间内的经济稳定，但必须要同时提供教育和再培训类资助项目，使

得这些工人能够顺利过渡到新的长期工作岗位。事实证明这些方案对德国的转型影响重大⁹。这种再培训项目对于年轻一代煤工群体尤为重要，应给予重视，因为他们之后还拥有较长的职业生涯，职业培训对于该群体的再择业效益最明显。

然而对于这种培训至今还没有一个全国性的成功案例，如俄罗斯 1994-2004 年 610,000 失业煤炭工人中仅 11.8% 再就业，再如波兰煤矿关闭后下岗煤工中近 2/3 仍处于失业状态¹⁰。相反，目前在一些拥有少量煤矿工人的地区再培训项目已取得了明显效果，但这些职业培训实施规模很小，对于中国数以百万的工人可能面临的失业问题来说并不是一个合适的解决方案。一些成功的案例包括捷克就业机构以年轻失业者为主要对象，进行为期 2 个月的培训课程和提供一年的实习机会，最终实现了高达 92% 的再就业率；再如波兰西里西亚地区开展一个项目，针对失业的工人进行理论和实践的培训，最终帮助 1800 名参与者中 70% 的工人成功再就业。这些案例说明了职业培训的重要性和潜在的成功机会¹¹。

因此这些再培训项目和过渡性的兼职工作在小规模范围内对于防止大量的煤炭工人失业是行之有效的。适当的扩大项目规模有助于阻止短期的经济不稳定发生。但这些短期解决方案必须能够有助于长期就业的顺利过渡，这也是为什么教育和再培训至关重要的原因。再培训项目使得工人有机会在不同领域寻找一份新的长期工作。这也要求在工人们先前工作的煤矿地区发展新的多元化经营模式，从而解决工人可能面临的由

1.2 经济结构多元化调整

尽管煤炭工人的再就业和财政支持是优先考虑的方面之一，但在公正转型过程中不能忽视周围的社区环境。煤矿为市政府提供了大量的资金，促进当地基础设施建设、教育以及其他政府资助项目¹³。因此转型中不能仅关注工人群体，还应兼顾多元化的经济转变和这些社区共同体的再发展。

为了避免形成过度依赖煤炭的单一经济结构，社区共同体必须发展其他优势 建立多元化经济 从而实现经济的稳定发展。从重工业、生产型向服务业、知识型经济的转变已被证明是最成功的过渡模式，就像德国鲁尔区成功实现了从煤炭依赖型到多元化经济模式的转变，并拥有德国最受欢迎的知名大学。这种转型的成功正是通过重视建立“知识密集型”产业，包括光学和半导体技术、生物工程和微电子科技等，以及重视加强研究中心和大学的发展建设而得以实现¹⁴。类似的经济转型还有英国曼彻斯特，实现从以重工业为主向以健康、教育为核心的服务型产业转变；匹兹堡在技术创新和科学研究领域的提升使其从失败的后工业经济体飞跃为信息技术、机器人、医疗保健领域的领跑者；还有加拿大金伯利最近也从煤矿型经济向发展旅游业转变¹⁵。从这些案例可以看出，经济多元化依赖于区域现有的经济结构以及政府的大力支持。金伯利旅游业的成功发展在于它自身所拥有的环境以及吸引大量游客的潜在魅力；匹兹堡科研的蓬勃发展基于政府在研究领域的大力投资。此外，这些成功的案例还具有的共同特征是避免回到产业高度集中化的经济状态，无论是资本密集型还是知识和服务型经济¹⁶。

因此两种投资方式最有可能振兴这些区域经济，即产业集群政策和中小型企业投资。产业集群政策旨在全球经济背景下，识别区域特有的发展潜力和有利的区位因素，然后着重发展具有高经济增长潜力的产业群体¹⁷。除了产业集群政策，对科学研究和中小型企业投资也证明是恢复经济多元化重要而

于新工作岗位需要远距离搬迁的问题。

维持短期和长期经济稳定的最后一个要素是关注那些接近退休年龄的工人群体。对于这些老矿工，应该以维持基本的生活水平为主，让他们顺利进入退休阶段，而不是进行职业再培训¹²。如此一来，所有直接被雇佣的煤炭工人将在原有工作地点过渡到新的长期工作岗位，并保持稳定的经济收入增长。

有效的方式。在煤炭依赖型地区存在为数不多的中小企业，这可能是由于当地煤炭行业的垄断而缺少创业氛围所致¹⁸。为了促进中小企业的发展，政府应该采取财政激励措施如贷款利率补贴、资本投资、建立专门服务于中小企业发展的机构、完善城市建设以满足新企业的需求，以及对职工尤其是煤炭工人的教育和培训。

中小企业投资成功的案例之一是法国卡尔莫市成立电话公司，并雇佣附近失业的煤矿工人。公司发展形势大好，目前正在该地区开设第二个电话中心。再如德国诺瑞公司曾经主营保险丝供应给煤炭行业，后来转型发展新技术，最后还在工业区改造了一家废弃公司，不仅实现了小企业的革新，还有助于后续煤矿区的清理工作¹⁹。

很多观点认为可再生能源领域对于失业工人寻找新工作具有很大的潜力。但我们必须要谨慎看待这种机会主义观点。很多煤矿地区并不适合太阳能和风能产业的建立，即使适合，这些产业大都没有建立在当地，而且也没有必要从它们已有的位置搬离。因此除非失业工人选择搬迁，否则这些清洁能源产业并不是解决煤炭工人再就业的可行方案。并且，由于搬迁不能解决社区经济不稳定问题，因此对区域经济发展的投资将会对这些煤炭依赖社区的成功转型产生重要影响。这点可以从美国可再生能源产业发展路线图看出，这些产业的发展并未带动失业矿区的经济复苏²⁰。

因此，考虑到煤矿周围社区的经济稳定性和重新发展，最关键的要素是发展产业集群政策和对中小型企业投资，以实现向基于知识和服务型的多元化经济结构的快速转变。如此，需对交通、当地基础设施建设和教育进行投资，以及资助那些随着煤炭行业共同发展而来的地方产业。

1.3 增加资金使用透明度，促进经济的再增长

整个转型过程中，除了做好充分的规划和公正性评估，足够的财力以及合理分配对于支持这些长短期项目的顺利进行是十分必要的，而这些往往落在政府的职责范围内。通常煤炭公司关停后，会被要求提交环境整治规划以及雇员的抚恤金方案。然而这些抚恤金和整治资金往往不到位，一些企业还面临着破产的困境，随着这种情况越来越多，单靠这些私人企业的资金往往难有机会度过这场转型。因此，政府必须介入提供资金支持，帮助转型的顺利完成。中国政府提出未来两年将投入 1000 亿人民币资助 130 万即将面临失业的煤炭和钢铁行业工人²¹。为保障公正转型过程中这些资金的合理使用，确保真正做到“公正转型”，无论是资助煤炭公司，或是下面鲁尔区案例中提到的的第三方机构，还是作为中小型企业、创新中心或大学的发展基金，资金的分配都必须做到公开透明化。

促进“公正转型”的很多要素都需要原有基础设施到位，这在一些发达国家通常较易实现，但对于中国等发展中国家而言难度较大。从教育，到交通系统，再到社会保障体系，发达国家的基础设施建设往往比发展中国家更丰富和完善，因此相

2. “公正转型”案例分析

2.1 鲁尔区案例研究

德国鲁尔区的经济发展曾经以钢铁和煤炭产业为主导，直到上世纪六、七十年代，全球钢铁和煤炭价格下降，行业竞争失去原有优势，传统的基础经济日益衰落，这一转变推动鲁尔区做出退出煤炭 - 钢铁市场的决定。1950 年时，煤炭产业正处于发展顶峰时期，拥有近 50 万的煤炭工人²⁵，到 1990 年时煤炭行业劳动力下降到三分之二，而到 2005 年煤炭行业就业人数仅剩 31,000 人²⁶。劳动力大幅下降过程历时半个世纪，这其中伴随着很多成功与失败的经验教训。但总体而言，政府实施的“失业补偿金”、困难补助项目、再培训资助、提前退休基金以及矿工养老金等项目都被认为是成功的政策措施。这些方案规划都是由中央统一组织安排，由州政府执行，受区域成员的影响很小²⁷。区域转型有两个备选方案，一是由上到下组织实施，即州政府负责基础设施、教育和环境整治的投资；二是由下到上组织实施，即州政府负责规划而由当地机构负责执行。第二种更强调利用区域优势，开发新产业，建立科技园区和高等院校。“新工业化”²⁸成功的原因在于政府支持下，

比那些已经开始进入清洁能源转型的发达国家，中国需要投入更多资金到基础设施建设上来。基础设施投资成本较高，但非常关键，是转型过程中除个人投资和支持以外，必须加以重视的要素。然而对这方面的投资也可视为提供给煤炭工人短期就业的机会，如前文所讨论的。

烟尘排放税收入可作为资金筹集渠道之一，资助能源系统转型²²。美国十年来征收的烟尘排放税收益接近 1 万亿美元，而资助给 80,000 煤炭工人和他们所在社区的金额仅占税收总收入的一小部分²³。因此，该方法不仅有助于逐渐淘汰煤电厂，还能作为经济复苏过程提供资金支持的重要途径。鉴于中国提出 2017 年启动全国碳排放交易市场，这将成为一种重要的潜在资金来源。

关于资金方面还需要注意的是，避免为了符合空气质量标准而花费高昂成本，对现有发电厂进行重大升级或是投资建造新的发电厂。这些升级或建设的资金更应该投用于“公正转型”过程的项目实施中去²⁴。

区域集中发展技术转移中心、环境技术开发以及重视基层发展。该地区的国际建筑展是一项由政府资助、私人实施的持续时间长达 10 年的区域重建项目，旨在对埃姆舍河周围的小片区域进行重新改造。由于区域重建效果显著，很多类似的项目也相继在其他地区开展²⁹。

从鲁尔区转型经验中，中国所能获得的启示有：退化的工业用地上进行有序的环境治理、发展创新中心和知识型经济的重要性，以及独立实施自下而上的转型方式的重要作用。另外非常重要的一点是这些鲁尔区的组织机构完全自治，决策可以不受政府影响，相反还可以作为第三方运营，帮助调节政府与私人方之间的关系。这种第三方的运营模式可以避免由于政治关系而威胁到私人方利益，还可以起着桥梁和纽带作用，拉近政府与人民之间的距离。许多这种第三方创新中心和执行小组是为临时过渡而成立，在一定时间后会被撤销。还有一些机构是由政府资助，但根据自己的判断决定资金的使用去向。德

国鲁尔区和山西省已经建立了正式关系³⁰，中国可以对该地区进行深入研究，借鉴其第三方组织运营模式在促进多元化的知识经济转型上的成功经验。学习鲁尔地区的转型经验并不意味着没有挑战，因为中国具有更大规模的煤炭工业、跨越了多个具有不同经济构成和比较优势的地区，此外鲁尔区完成转型耗

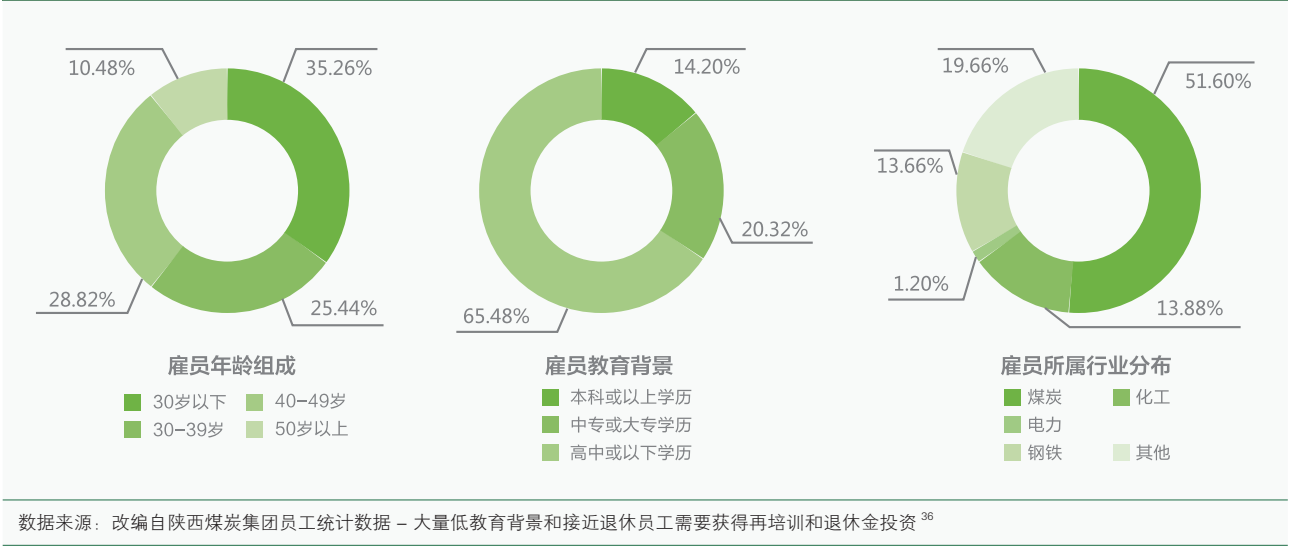
2.2 陕西煤矿化工集团有限责任公司

陕西煤矿化工集团有限责任公司是中国领先的煤炭企业，2014 年煤炭年产量达 1 亿 2700 万吨。这家国有企业还同时拥有钢铁、化工和能源多项业务。截至 2014 年，企业员工总数超过 13.6 万人，其中 65.5% 具有高中或以下学历，20.3% 上过技术类学校，仅 14.2% 具有本科或以上学历。煤炭领域员工占 51%，其中 40 岁以上占 39%（如图 1 所示）³¹。这些数据表明该企业一大部分职工没有获得高中以上教育，39% 的劳动力年龄较大，不适合进行新职业的教育培训。2014 年，该公司投入了 1.02 亿人民币用于培训员工，并强调员工的职业发展机会。公司还投资建设科研创新中心，引领中国西部煤炭行业的科技进步³²。然而，随着 2014 年企业关闭了 8 个煤矿³³，2015 年亏损 29.9 亿后³⁴，他们开始学习借鉴一些大型工业集团过去发展经验，如德国鲁尔地区和上面讨论的其他案例中涉及的企业。鲁尔区的成功转型已经证明在培训和创新中心方面的投资

时 50 多年，而中国要在更短时间内完成更大规模的转型，因此中国必须仔细研究鲁尔区转型中适合更大、更广泛规模并能及时开展实施的成功措施和经验，以更好地将这些成功经验应用到我国的能源转型中来。

对于维持经济的稳定非常重要。然而，陕西煤炭集团是对原有产业的再投资，而不是开展多元化经营模式，或是对雇员进行培训，为在其他领域就业做准备。中国具有的主要问题之一就是由于升级煤炭技术和抱着重振煤炭产业的心理短期内对煤炭工业过度投资而发生的大量潜在支出。然而，事实上随着中国许下碳减排承诺，煤炭工业将会继续缩减规模和关停煤矿，如此对夕阳产业的升级等支出必会导致一种过度投资³⁵。因此该企业的投资应该侧重多元化经营、针对 39% 的 40 岁以上雇员的养老金计划，以及对另外 61% 需要更换工作的员工进行职业培训，尤其是那些教育背景较少的工人。这样的投资将有利于避免类似陕西煤炭集团的公司对夕阳产业的过度投资，促进劳动力向新的长期职业的顺利过渡，而且应该由第三方机构以及政府等对投资项目进行指导。

图 1：陕西煤炭集团员工统计



结论

综上，从其他国家实现公正转型过程中的成功和失败经验中可以得出以下结论。第一，至今为止还尚未有一个国家完全将职业调整纳入到整个煤炭淘汰计划中。这导致大量的工人失业，需要依靠各地区实施一些小规模措施维持工人的经济稳定以及开展职业再培训项目。中国需要从这些失败的国家计划以及随后的失业问题中吸取经验教训，不仅要保证建立一个全国性的规划策略，随后还要保证在区域水平落实这些政策。第二，区域经济结构的长期转型应该重视创造以知识和研究为基础的多元化经济结构，而不是工业化的再现。随着中共中央出台的第十三个五年规划将发展创新型社会作为重要战略之一，重点发展区域中小企业、创新中心、研究中心和高等院校的战略规划将不仅有利于区域未来经济的稳定，还将促进十三五规划核心价值体系的形成。中国煤炭工业呈区域化分布，煤矿和工厂主要集中于山西、内蒙古和新疆，各个地区都需要充分利用当地优势，同时形成新的发展模式，振兴区域经济。最后一点是整个转型过程需要充足资金并保证分配透明化。随着区域经济重心的转移和多样化，再培训、基本生活、医疗保健、退休、基础设施及其他社区项目，所有这些花费都必须加以考虑和覆盖，此外资金的分配必须做到透明化，以确保资金的合理使用。

注释：

1. Australian Council of Trade Unions. "Sharing the Challenges and Opportunities of a Clean Energy Economy: A Just Transition for Coal-fired Electricity Sector Workers and Communities". 链接：www.actu.org.au. Melbourne, 2016.

2. Department of Climate Change, National Development and Reform Commission of China. "Enhanced Actions on Climate Change: China's Intended Nationally Determined Contributions". Beijing, China: UNFCC,2015.

3. *Adoption of the Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change.* 链接：https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09.pdf. December 11, 2015.

4. “煤炭去产能酝酿升级版 ‘国六条’ ”，人民网。链接：http://finance.people.com.cn/n1/2016/0621/c1004-28464559.html.

5. National Bureau of Statistics of China. *Statistical Yearbook 2015.* 链接：http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2015/indexeh.htm. China Statistical Yearbook, 2015.

6. "Enhanced Actions on Climate Change: China's Intended Nationally Determined Contributions", 2015.

7. Sabrina Schulz and Julian Schwartzkopff. "Instruments for a Managed Coal Phase- Out: German and International Experiences with Structural Change". 链接：https://www.e3g.org. London, UK: E3G, 2016.

8. 同上。

9. 同上。

10. Richard and Nicolas Siorack. *Boosting the Regeneration of Europes Coalfield Regions: Good Practice Guidelines.* Paris: RECORE, 2006.

11. 同上。

12. *中国统计年鉴 2015.*

13. "Instruments for a Managed Coal Phase- Out: German and International Experiences with Structural Change 2016".

14. 同上。

15. 同上。

16. 同上。

17. 同上。

18. *Boosting the Regeneration of Europes Coalfield Regions: Good Practice Guidelines,* 2006.

19. 同上。

20. Adele Morris. "Build A Better Future for Coal Workers and Their Communities". 链接：https://www.brookings.edu. Washington, DC: Brookings, 2016.

21. “谨防过剩产能死灰复燃”，国家能源局网站。链接：http://www.nea.gov.cn/2016-09/12/c_135681264.htm.

22. *Build A Better Future for Coal Workers and Their Communities,* 2016.

23. Adele Morris. "Coal Economy Workers Need Help- and a Carbon Tax could Provide It". 链接：https://www.brookings.edu. Brookings Institute, April 26, 2016.

24. Dave Jones and Kathrin Gutmann. End of An Era: *Why Every Country Needs a Coal Phase-Out Plan.* 链接：https://www.greenpeace.org. Brussels,Belgium and London, UK, Green Peace, Climate Action Network, 2015.

25. Gert-Jan Hospers. "Restructuring Europe's Rustbelt: The Case of the German Ruhrgebiet". Inter economics, May/June 2004.

26. Robert P Taylor. *A Review of Industrial Restructuring in the Ruhr Valley and Relevant Points for China.* 链接：iipnetwork.org. Institute for Industrial Productivity. Washington, DC, July 2015.

27. 同上。

28. "Restructuring Europe's Rustbelt: The Case of the German Ruhrgebiet", 2004.

29. 同上。

30. Taylor, R. P., July 2015.

31. Shaanxi Coal and Chemical Industry Group. *2014 Corporate Social Responsibility Report.* 链接：http://www.shccig.com/en/about.php?cat_id=1327.2014.

32. 同上。

33. 同上。

34. Evie Feng. "China's Coal Companies Report Weak Performance in 2015". 链接：http://www.sxcoal.com/news. SXCOAL, May 6, 2016.

35. *End of An Era: Why Every Country Needs a Coal Phase-Out Plan,* 2015.

36. *2014 Corporate Social Responsibility Report.*

EEG 2.0：是否能确保德国过渡到成本效益更高且适应性更强的可再生能源系统？

林佳乔

德国的自然资源禀赋并不处于世界前列，除了比较丰富的煤炭资源外，石油和天然气几乎完全依赖于进口。鉴于较高的能源依赖度，德国在上世纪九十年代初就在国家层面明确了将化石能源占主导的能源系统转型至以可再生能源为基础的能源系统。德国在扩大可再生能源发电占比方面取得了十分瞩目的成果。从 2005 至 2015 年间，德国可再生能源电力消费占总电力消费的比例从 6.5% 上升到了 31.6%¹。德国政府计划到 2050 年将这一比例提高至 80%²。德国电力部门的能源转型在德国被称为“Energiewende”，其目的是在德国电力结构中增加可再生能源的使用。并制定“可再生能源法”（Erneuerbare-Energie-Gesetz 或缩写为 EEG），以鼓励技术创新来促进可再生能源的市场一体化，实现可再生能源的高速增长以促进能源转型目标的完成。

然而，德国在能源转型过程中也经历了诸多挑战，例如电力市场改革、可再生能源发展的资金需求、促进可再生能源市场一体化等方面³。EEG 的最新修订在 2016 年通过，并于 2017 年 1 月 1 日起生效，即 EEG 2017。新法案要求计划新建可再生能源电厂的运营商参加拍卖系统，并依照 EEG 2014 中提出的强制性市场溢价模式进行电力交易。因其对可再生能源项目提出的创新性市场化支持方式与此前的固定上网电价机制（Feed-in Tariff）有本质不同，EEG 2014 也被称为 EEG 2.0⁴。根据联邦经济事务和能源部（BMWi）的说法，德国的 EEG 2.0 将被用来确保可再生能源迄今为止取得的成就，大幅度减少可再生能源电力潜在成本，以及系统地引导发展更高比例的可再生能源⁵。

通过回顾德国 EEG 的发展历程及其进行数次修订背后的原因，可以有效地帮助我们更全面地了解 EEG 的过去和未来。对于 EEG 2.0，本文要重点讨论它的运作模式创新点及其可能面临的挑战。

1. 通向 EEG 2.0 之路：可再生资源发展的黄金时代

EEG 在 2000 年的时候取代了 1991 年颁布的“强制购电法”（Electricity Feed-In Law），开创了一个新的可再生能源补贴体系，即对可再生能源实行的固定上网电价（Feed-in Tariff）⁶，这一模式至今已在全球 97 个国家得以采纳并实施⁷。

自从 EEG 于 2000 年颁布以来，它经历了 5 次主要修订，最终演变至目前的 EEG 2017（表 1）。虽然 EEG 原本计划每

四年修订一次，以适应可再生能源市场和技术发展，但是联邦政府的政权更迭导致对 EEG 进行的修订比原计划更频繁了，使其内容不断增加，这不仅反映出经济和技术条件进步需要对法案进行修订，同时也反映出 EEG 需要满足政治共识的需要。EEG 2000 中仅包含 12 章内容，而 EEG 2014 就已经包含多达 104 章和 4 个附录。

表 1：通过主要修正案查看 EEG 的变化

修订时间	可再生能源发展目标	主要修订内容
EEG 2000	到 2010 年至少让可再生能源在全部能源消费中占比翻倍 ⁸	逐步调低固定上网电价，可再生能源接入电网的优先权
EEG 2004	到 2020 年可再生能源电力消费占比达到 20%	对整个可再生能源系统地全面改善；大型水电项目；设立大型工业电力消费者特权价格
EEG 2009	到 2020 年可再生能源电力消费占比达到 30%	对太阳能光伏发电设定灵活的上限；设立生物燃料可持续性标准；扩大行业电价优惠特权
EEG 2012	设定可再生能源电力消费的最低占比：到 2020 年 35%，2030 年 50%，2040 年 65%，2050 年 80%	调整光伏上网电价，收紧光伏发电装机灵活上限，引入自愿市场溢价模式

EEG 2014 (2.0)	到 2025 年占比 40-45%，2035 年 55-60%，2050 年前至少 80%	引入针对大型发电设施的强制市场溢价模式，针对风电和光伏的技术应用区间，对光伏项目试点拍卖机制
EEG 2017	同上	对于大型发电设施引入拍卖机制，但不适用于公民拥有的可再生能源设施；2018-2020 年间可选择不同类型的拍卖方式

数据来源：改编自“Energiewende: What do the new laws mean?” Agora Energiewende
说明：尽管联邦经济事务和能源部将 2016 年后的 EEG 称为 3.0，但我们并不将此考虑在内，因为 EEG 2017 同 EEG 2014 就其内容并没有显著的不同。⁹

我们基于上述 EEG 的发展历程，将对 EEG 修订起到决定性作用的影响因素总结如下：

1) 技术发展

自 2004 年以来，每年由于技术发展导致的上网电价下降被反映在 EEG 中，以避免某些类别可再生能源发电在电价补贴方面获得高额利润。例如，在 EEG 2014 中，考虑到风力发电的技术进步，新建陆上风力发电项目的补贴略有下降，以避免风力较强的沿海地区获得过高的补贴。

2) 气候目标

德国政府具有雄心的气候承诺在提高可再生能源发电目标方面发挥了非常积极的作用。德国是欧盟成员国中积极推行更具雄心气候目标的主要国家之一。在全国范围内，德国的气候目标是到 2020 年温室气体排放量（GHG）相较于 1990 年的水平至少减少 40%，到 2030 年减少 55%，到 2050 年减少 95%¹⁰。这一目标要求在使可再生能源份额不断增加的同时，也要采取其他措施以共同实现气候目标，如煤炭淘汰计划和欧盟碳排放交易体系（EU ETS）。

EEG 1.0 面临的挑战

由于 EEG 早在 2000 年就颁布实施，无法预见可再生能源的长期发展路线，如技术改进、电网整合、能源结构变化等，因此在其发展过程中经历了许多挑战 这些挑战可以概括如下：

1) 风电发展的不平衡

尽管具有环保意识的政策制定者以及环保机构希望能整体性地提高陆上风力发电水平，平衡高风速和低风速内陆地区的风电发展，但是德国低风速内陆地区的陆上风力发电水平仍然相对较低。这引起了关于是否仅需关注高风速沿海地区风力发电建设的争论。此外，位于内陆地区的南部州政府并不赞成

3) 政治决心

德国在 EEG 2.0 以前的能源政治与世界上大多数国家的情况相反，具有丰富经济资源和强大政治关系的大型能源公司并不能阻碍德国的政策制定者建立和实施具有雄心的能源和气候政策¹¹。尽管不同党派组成的联邦政府的政治议程不尽相同，但是都在对 EEG 和其他能源相关的立法改革中，决心要增加可再生能源使用、关闭核电站、逐步淘汰燃煤发电和实施 EU ETS。

4) 行业游说

鉴于 EEG 实施后用电成本负担不断上升，能源密集型产业希望政府给予优惠的电价。因此，为了减少因 EEG 引起的对行业造成的所谓“负面经济影响”，EEG 2004 引入了大型工业电力消费者的优惠特权电价，并在 EEG 2009 中扩大了享有该特权的工业企业范围。

发展风电，因为他们担心当地的自然景观会遭到破坏。与之相反，德国北部和东部则非常支持风电的发展，他们认为这可以提高当地的工业生产和就业水平。风电发展的不平衡性迫使 EEG 立法者考虑在已有大量风电装机的地区限制新增装机，并对中部和南部地区发展风力发电给予更多的支持。

2) 太阳能光伏发电的成本效益

能源成本这一问题不仅在政治家之间经常引起争论，而且因为可再生能源电力的成本对家庭的预算也会产生影响，因此这一问题也引起了公众的广泛讨论。尽管争论的结果被反映

在对 EEG 的修订当中，但是如何提高 EEG 的成本效率这一问题仍然不可避免，特别是在那些将 EEG 所规定的上网电价补贴视为很大负担的人们眼中更是如此。因为 EEG 为太阳能光伏发电提供了最多补贴，导致光伏发电量与 EEG 支出的补贴并不成比例，所以太阳能光伏在成本效益方面一直是最具争议的一种可再生能源。从 2010 年到 2015 年，光伏发电已占可再生能源补贴资金总额的三分之一左右，然而它在 2010 年的可再生电力消费占比中仅为 10% 左右，2015 年增至 20% 左右（图 1）¹²，而在 EEG 2009 之前的情况更加糟糕。因为投入过高而收效甚微，人们因此对太阳能光伏发电补贴较高但效率低下产生了担忧。因为太阳能光伏对补贴具有巨大的需求，而且供不应求的太阳能电池板则让电力消费者所承担的成本费用变得更高，太阳能产业因此也被指责获得了巨额利润。

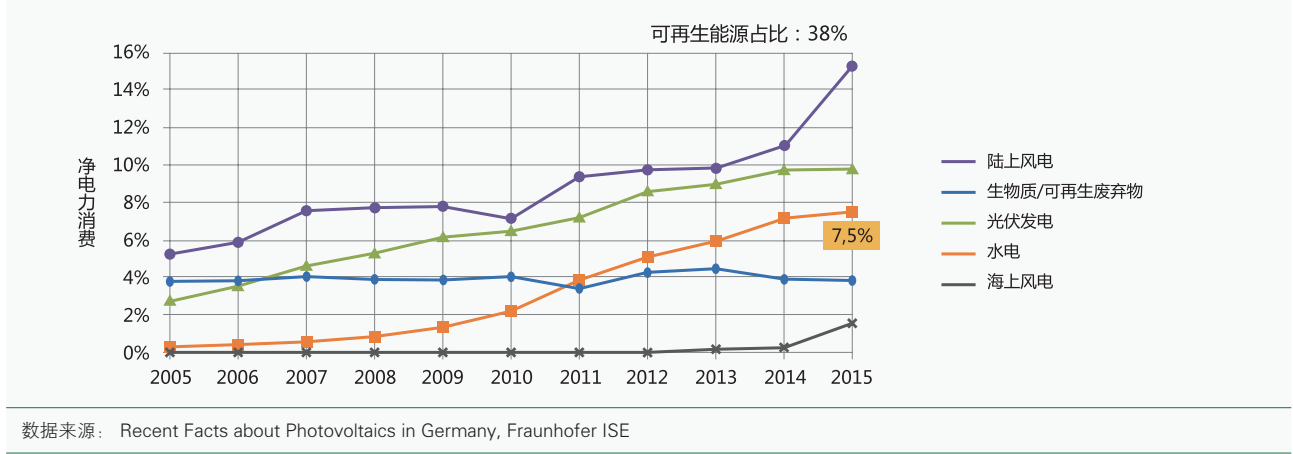
3) 生物质能的不可持续与低效利用

由于 EEG 最初的目的是让能源供应以可持续的方式发展，与可持续性有关的一个问题就是生物质能的利用。将生物质用于能源生产的方式引起了诸多问题，例如过度使用耕地、过度使用粮食作为原料、为生产沼气而仅种植单一作物、

热带雨林地区生物质原料的进口问题等。在 EEG 2009 和 EEG 2012 中，为了减少潜在的负面社会 and 环境影响，对 EEG 的某些规定进行了修订。例如，在 EEG 2012 中，新的液体生物质工厂将不再获得补贴，以此来解决对热带雨林过度砍伐以及与粮食生产争地的问题。因为生物质发电在可再生能源系统中起到稳定发电出力的作用，如果能够在保护自然的前提下有效地利用，生物质能在补充风能和太阳能的不稳定性方面仍然是不可或缺的。

除了上述提及的这些问题以外，EEG 还将继续面临其他的一些挑战，诸如市场和可再生能源电网整合、如何简化复杂的 EEG 规则、以及与其他欧盟成员国进行电网整合等一系列问题。然而，随着 EEG 框架下可再生能源目标的制定以及政策和法规的有效实施，德国的可再生能源发展势头强劲，并在应对气候变化、创造就业机会、经济增长和长期能源安全等方面起到积极作用。因其对促进就业和经济增长具有积极作用，可再生能源产业现在也可以施加更大的政治压力，要求更有利的发展空间。

图 1：德国 2005-2015 年间在净电力消费中不同可再生能源电力占比



2. EEG 2.0：如何过渡到成本效益更高且适应性更强的可再生能源系统

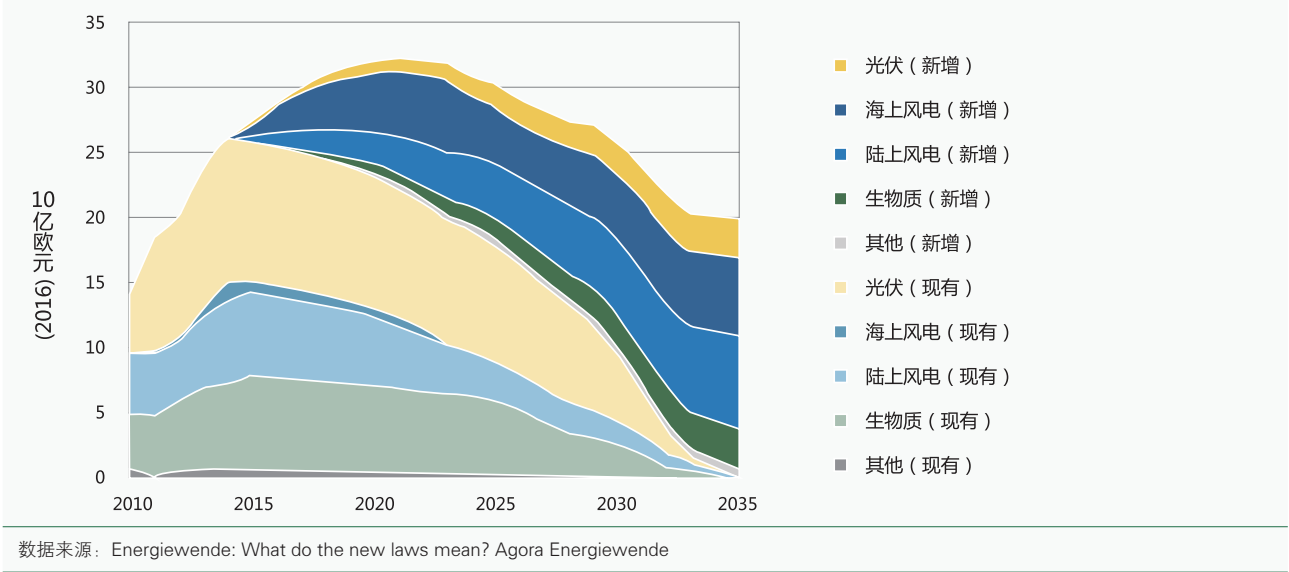
基于自 2000 年以来 EEG 实施的经验和面临的挑战，EEG 2.0 旨在为可再生能源发展寻求一种更有效和更具成本效益新发展模式，以进一步促进可再生能源与现有电力市场的整合。

2.1 EEG 2.0 的成本

有关于可再生能源支持体系的成本效益，EEG 2.0 将会如何减少 EEG 电力附加的支出是一个不可避免的问题。根据 Agora Energiewende 和 Oeko Institut 的分析，新增可再生能

源电力装机的平均上网电价预计将会随着技术成本的持续下降而下降。

图 2：可再生能源电力补贴支出（2010-2035）



EEG 2.0 新引入的拍卖体系将提高投标人之间的竞争，并将有助于降低总体成本¹³。政府会公布新增可再生能源发电装机容量的招标信息，投标者需要提供未来 20 年拟建新电厂的电价，价格最低者将获得项目开发权。德国联邦经济事务和能源部表示，新规中的新增装机增长目标区间（Growth Target Corridor）会决定未来可再生能源发电的发展规模，而资助规模将会由拍卖价格决定而不再由政府确定¹⁴。

2.2 增强可再生能源适应性的措施

在 EEG 2.0 框架下引入了市场溢价模式，通过电力直接交易以提高可再生能源电力销售的灵活性，作为缓解直接电力交易潜在风险的一种激励手段。由于可再生能源电厂运营商通过电力交易所直接卖给电力消费者的电价往往较低，那么电厂运营商就可以向电网运营商提出要求来补偿直接交易带来的市场溢价。虽然这种模式会让电厂运营商面临电力市场

此外，在电网具备足够传输能力之前，将采取以下措施来减少成本增加的可能性：包括制定法规以确保供热部门能消纳更多电力以降低弃风和弃光率、在具有电网瓶颈的地区限制新增陆上风电装机、控制北海和波罗的海的新增海上风电装机等。

价格的波动，但是市场溢价有助于抵消 EEG 上网电价和市场电价之间的差额。

分布式发电作为对可再生能源电力系统多样性的一个重要灵活性补充，EEG 2017 在确保其享受与之前相同电力附加的同时，首次明确承认公民拥有的可再生能源设施的作用，并让中小型发电设施（<750kW）免于参与拍卖¹⁵。

2.3 EEG 2.0 将面对的困难和挑战

EEG 2.0 被认为是一项有争议的改革并引起几乎所有的利益集团的激烈讨论，这对于一个技术性较强的能源政策改革来说是非常少见的。虽然它在经过广泛的谈判和磋商之后被通过了，但是 EEG 2.0 在接下来的几年中还将面临如下诸多挑战。

1) 气候变化目标与就业

环保组织在过去几年中激烈争论的问题就是 EEG 2.0 可能会导致德国不能实现其气候目标。EEG 2.0 主要针对于太阳能光伏发电和陆上风力发电规定了具体的新增装机目标增长区间，这将限制可再生能源的发展规模。这些区间被认为不足以满足德国应对气候变化的目标。一些致力于环境保护的非政府组织如德国绿色和平组织以及能源政策智库 Agora

Energiewende 都声称，该增长区间设置得太低，无法满足 2025 年以后的可再生能源发展目标，并可能导致化石能源消费占比再度增加¹⁶。即使在可再生能源大规模扩张的情况下，德国的温室气体排放量在 2009 年之后趋于稳定并没有进一步降低，有时甚至还会有所增加，比如在 2013 年排放量就达到了这一期间的最高水平。2014 年德国温室气体排放量仅比 1990 年减少了 26%，这让到 2020 年减排 40% 的目标变得很难实现。

截至 2015 年，从事可再生能源相关工作的人在德国已经超过了 35 万¹⁷，所以很多人对 EEG2.0 提出了不少反对意见，他们认为该法将减缓德国的能源转型，并使很多人面临失业的风险。如果考虑到未来交通和供暖部门电气化需求的增长，EEG 2.0 中规定的增长区间将不足以满足可再生能源电力需求的扩张。将可再生能源的增长保持在目标增长区间之内，以满足政府期望的发展目标，目前判断这一机制是否合理还为时尚早。

2) 引入拍卖体系后的市场表现

可再生能源拍卖体系的成功取决于投标人的竞争水平和项目的实施率。虽然 EEG 2.0 中的竞争性招标过程设计是为了最大限度地提高项目实施率，并在项目未履约时依据合同进行处罚，但是投资者有时仍会提出不切实际的低报价以赢得投标，而在之后无法完成项目。为了提高成功率，从政府的角度来看，拍卖体系在制定时将更偏向于大型企业，因为它们大多数是公共基础设施提供商，具有充足的资金和丰富的经验，并且技术更加先进。但政府也承诺了要增加竞标者的多样性，并为小型公司提供咨询和支持服务。在太阳能光伏拍卖的招标价格从 2015 年 4 月的 9.17 欧分每千瓦时降低约 40% 至 2016 年 11 月

总结

为了实现可再生能源发展模式的可持续性，德国决定通过 EEG 2.0 逐步将以补贴为中心的固定上网电价模式转变为更具竞争性的拍卖体系。这意味着仅保证最具成本效益项目的实施，从而降低德国能源转型的总成本。2017 年将会验证德国的可再生能源是否已经成熟到足以摆脱上网电价的保护并面对各种市场力量，新增可再生电力装机容量的 80% 以上将被拍卖。关于改革后的 EEG 将如何影响德国无核和低碳能源供应的观点仍然存在很大差异，EEG 2.0 面临的关键问题是，如何在实现气候目标并保证社会公平性的同时，能够实现成本效益更高和适应性更强的可再生能源系统。基于本文的分析，在当前 EEG 2.0 框架下，德国想要实现其 2020 年气候目标仍然十分困难。因此，未来的重点应该是如何平衡 EEG 与能源转型的其他方面，例如通过开发更多的可再生能源消费潜力来增加交通和供热部门的电气化程度等方面。

的 5.38 欧分每千瓦时后，这将使小型投标者中标变得更加困难，因为他们通常无法提供更具竞争力的价格。

3) 对非工业用电消费者的公平性

为了保持德国工业的全球领导地位并保障国内就业以实现强大的经济竞争力，自 EEG 2004 以来，为了维持其国际竞争力，能源密集型产业一直享有优惠电价。享有这一特权的工业企业的数量已经从 2005 年的 297 家增加到 2014 年的 2098 家。这些公司不需全额支付 EEG 电力附加，2013 年豁免金额高达 40 亿欧元，而这部分金额由没有享受优惠电价的消费者来承担，如非能源密集型企业 and 普通家庭¹⁸。

Oeko 研究所指出，这些享有特权的大规模消费者应该支付更大份额的电力费用，来更公平地分配成本负担并降低 EEG 电力附加，以惠及更广泛的能源消费者¹⁹。

4) 对于 EEG 未来的政治支持尚不确定

德国的主流政党多年来一直支持清洁能源，设定雄心勃勃的目标，为可再生能源发展提供有利的监管环境；然而，在今年秋天的联邦选举中他们可能很快面临一个来自德国极右翼政党 AfD (Alternative for Germany) 的严峻挑战。AfD 在反对移民和接纳难民以及反对德国的清洁能源政策方面取得了成功。AfD 甚至建议要求取消 EEG，并质疑气候变化是否确实由人为引起²⁰。从最近一次民调中可以看出，AfD 的支持率在快速飙升，截至 2016 年 11 月已经达到 15% 以上²¹。德国的主流政党可能会在气候政策立场做出妥协，以赢得依赖煤炭地区和煤炭行业协会的支持，而这会威胁到如何完成 EEG 中设定的发展目标和新引进的拍卖体系运作。

注释：

1. Agora Energiewende, "Ten Questions and Answers about EEG 2017, the Electricity Market Act, and the Digitisation Act".
链接：https://www.agora-energiewende.de/en/topics/-agothem-/Produkt/produkt/323/Energiewende%3A+What+do+the+new+laws+mean%3F/.
2. "Energiewende: What do the New Laws Mean?".
链接：https://www.agora-energiewende.de/en/topics/-agothem-/Produkt/produkt/323/Energiewende%3A+What+do+the+new+laws+mean%3F/.
3. Agora Energiewende, "Understanding the Energiewende".
链接：https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2015/Understanding_the_EW/Agora_Understanding_the_Energiewende.pdf.
4. *Overview Renewable Energy Sources Act*. 链接：http://www.germanenergyblog.de/?page_id=283.
5. "2014 Renewable Energy Sources Act: Plannable. Affordable. Efficient".
链接：http://www.bmwi.de/EN/Topics/Energy/Renewable-Energy/2014-renewable-energy-sources-act.html.
6. *Renewable Energy Act*. 链接：https://www.iea.org/policiesandmeasures/pams/germany/name-21295-en.php.
7. REN21, *Renewables 2016 Global Status Report*. 链接：http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/.
8. *Act on Granting Priority to Renewable Energy Sources (Renewable Energy Sources Act)*.
链接：http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/res-act.pdf.
9. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi), *Making a Success of the Energy Transition*.
链接：http://www.bmwi.de/English/Redaktion/Pdf/making-a-success-of-the-energy-transition,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=en,rwb=true.pdf.
10. Clean Energy Wire. "Germany's greenhouse gas emissions and climate targets".
链接：https://www.cleanenergywire.org/factsheets/germanys-greenhouse-gas-emissions-and-climate-targets.
11. Dissertation by Wolfgang Gründinger. "What drives the Energiewende?" 链接：http://www.wolfgang-gruender.de/what-drives-the-energiewende/.
12. Fraunhofer ISE. *Recent Facts about Photovoltaics in Germany*. 链接：https://ise.fraunhofer.de/en/publications/veroeffentlichungen-pdf-dateien-en/studien-und-konzeptpapiere/recent-facts-about-photovoltaics-in-germany.pdf.
13. Clean Energy Wire. "Germany revamps renewables law as it adapts to future with green power".
链接：https://www.cleanenergywire.org/dossiers/eeg-20-new-legal-framework-german-energy-transition-0#End.
14. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi). September 2015. *Making a Success of the Energy Transition: on the Road to a Secure, Clean and Affordable Energy Supply*. 链接：http://www.bmwi.de/English/Redaktion/Pdf/making-a-success-of-the-energy-transition,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=en,rwb=true.pdf.
15. Dr. Aike Müller, BMWi. "Headline Germany - Experiences with Implementing RES E auctions".
链接：http://auresproject.eu/files/media/documents/aike_mueller-_auction_experiences_in_germany.pdf.
16. Wikipedia. *German Renewable Energy Sources Act*. 链接：https://en.wikipedia.org/wiki/German_Renewable_Energy_Sources_Act.
17. IRENA. *Renewable Energy and Jobs Annual Review 2016*.
链接：http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2016.pdf.
18. Clean Energy Wire. "Defining Features of the Renewable Energy Act (EEG)".
链接：https://www.cleanenergywire.org/factsheets/defining-features-renewable-energy-act-eeg.
19. Oeko Institut. "Promotion of Renewable Energies in Germany: EEG and More".
链接：https://www.oeko.de/en/research-consultancy/issues/energy-and-climate/promotion-of-renewable-energies-in-germany-eeg-and-more/.
20. "How the 'Trump Effect' Could Undermine Germany's Clean Energy Revolution".
链接：http://www.motherjones.com/environment/2016/12/germany-clean-energy-coal-trump-effect.
21. "Opinion Polling for the German Federal Election, 2017". 链接：https://en.wikipedia.org/wiki/Opinion_polling_for_the_German_federal_election,_2017.

突破中国风电发展瓶颈：电力系统改革是关键

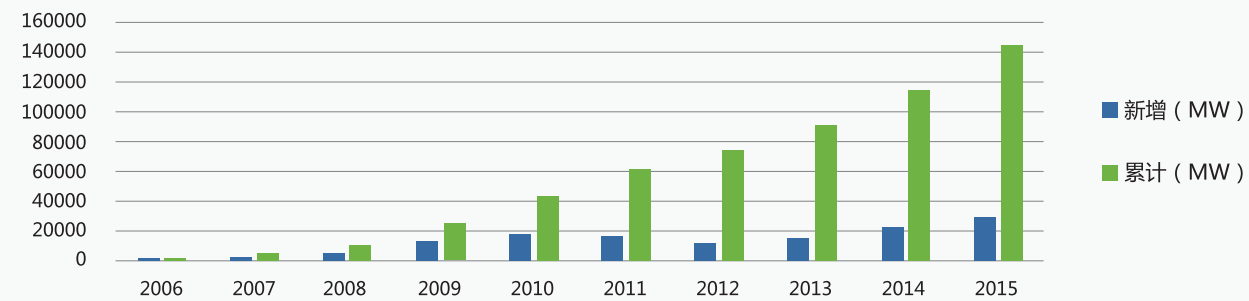
乔黎明

在气候变化和能源安全的背景下，如何在保证经济增长的同时，减少能源排放成为全球热点话题。在德国、丹麦两国相继提出 2020、2050 年高比例可再生能源发电占比目标后，能源转型这一概念成为全球能源变革的核心议题之一。对于仍处于工业化过程的中国来说，推动能源转型既可以应对气候变化挑战，也可以改善以空气和水为主要指标的环境质量。风电是中国发展可再生能源、推动能源转型的主要手段之一，在经历了 2006-2015 年风电装机的快速增长的同时，中国风电发展的各种问题也开始显露，本文在简述中国风电发展的历史和原因之后，着重分析了风电当前的主要挑战：弃风限电、补贴吃紧和风电上网电价下调压力等，最后文章认为解决中国风电发展的瓶颈的方案在于有效改革电力系统，特别是电网系统，从而形成竞争性电价市场，为获得更高风电渗透率扫除机制障碍。

1. 中国风电

2006-2015 年中国风电经历飞速增长。自 2009 年以来连续七年位居全球风电新增装机容量第一位。中国 2015 年新增风电装机容量达 31GW，占全球风电新增装机的 48.5%；截至 2015 年底，中国累计装机容量 145GW，占全球风电装机容量 33.6%¹。

图 1：中国风电装机容量 2006-2015

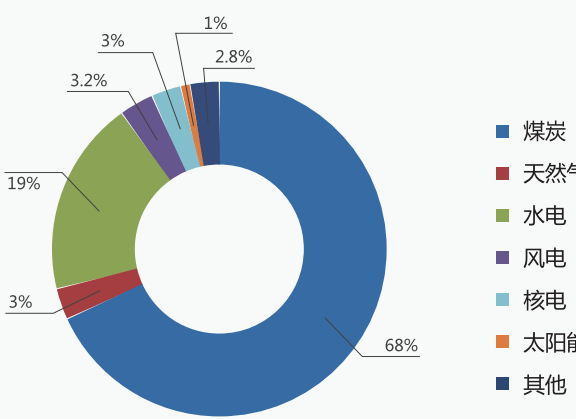


数据来源：中国风能协会²

中国的风电产业的腾飞发端于 2006 年实施的《可再生能源法》及其相关执行细则。可再生能源法（及其细则）提出了可再生能源的中长期发展目标，明确了可再生能源补贴方式，并提出了可再生能源优先上网等原则。在这些政策的铺垫下，国家进行了五次大规模风电招标项目，又在三北地区推动大型风电基地项目。这些早期举措不仅助推中国风电发展，也帮助中国建造了一个千亿元级的新型制造产业。

然而，尽管风电高速发展，装机容量全球第一，但是占整个电力系统的比例依然很小，风电发电量占全国总发电量刚刚超过 3%。这与全球风电领先国家如德国、丹麦等形成巨大的差距。风电在电力系统的低渗透率一方面是因为化石燃料体量巨大；另一方面也与风电较低的上网利用率有关，特别是日益严重的弃风限电问题。这些挑战将在后面篇幅进行详细介绍。

图 2：2015 年不同电力技术的发电量占比



数据来源：中国电力企业联合会电力行业数据统计 2015³

2. 风电发展展望：十三五规划和风电发展驱动力

从全球范围看，风电及其他可再生能源的发展动力主要来自于全球应对气候变化的减排需要。以欧盟为例，欧盟作为全球气候变化谈判的主要领导者，在 2009 年就出台了欧盟“20-20-20”可再生能源发展指令。这一前瞻性政策既给欧盟及其成员国提供了一个可再生能源发展蓝图，使欧盟成为全球可再生能源技术的全球输出地，同时也为欧盟国家成为推动全球实现更大幅度减排的领导者提供了理论和实践的依据。排在减排驱动力之后，其他因素诸如能源安全、减少区域污染等需要也构成成为推动可再生能源发展的主要驱动力。

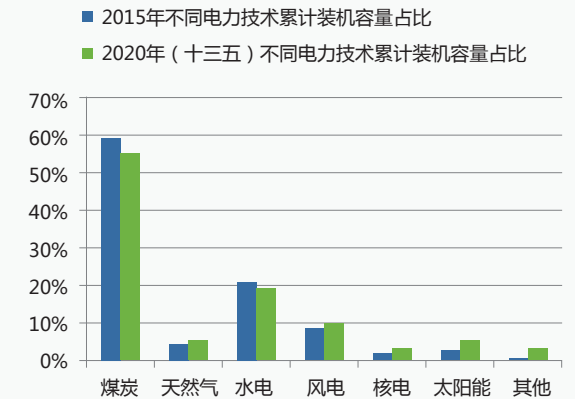
在中国，气候变化及温室气体减排的需要也毫不例外地成为中国可再生能源发展的主要推动力。2009 年中国在哥本哈根联合国气候变化大会上承诺：到 2020 年中国单位 GDP 二氧化碳排放将比 2005 年下降 40%-45%，2020 年非化石燃料在一次能源消费比例达到 15%；2015 年在巴黎气候变化大会上，中国政府进一步将此目标提高到到 2030 年单位 GDP 的二氧化碳排放量比 2005 年下降 60-65%，2030 年非化石燃料在一次能源消费比例达到 20%。

《十三五电力发展规划》正是在这样的背景下出台。非化石燃料目标主要通过水电、风电、核电和太阳能实现。大型水电项目的开发周期、生态及社会影响等问题在很大程度上阻碍其发展；而核电的安全性与投资成本也成为其大范围发展的限制因素；在目前的技术发展情境下，风电和太阳能作为商业化程度最高，建设周期短的技术成为实现非化石目标的主要力量。图三显示 2015 年和 2020 年各个不同发电技术占比分配。风电已经成为继燃煤发电之后最重要的发电技术；为实现非化石能源 15% 的目标，风电和太阳能的增幅较大；水电受制于资源分布等原因增幅放缓；核电增长相对平稳。

《十三五电力发展规划》提出了风电发展到 2020 年累计装机容量最低目标为 210GW，这意味着未来五年的增量最低达 65GW，平均每年约 13GW。

对于风电产业来说，这一目标并不高。相比于 2015 年的年新增装机容量，年增 13GW 的目标相当于缩减了 58%，仅相当于 2012 年的年装机水平。尽管这一发展目标是下限，上不封顶，但是依然体现出政府有降低风电发展速度之意。政府

图 3：2015 年和 2020 年非化石燃料装机容量占比



数据来源：十三五电力规划⁴

的调控考量主要根源于宏观经济放缓和电力需求过剩。这不仅反映到风电的发展目标上，也在同期火电和其他发电技术的发展目标上有所体现。对于中国风电这样一个具备年增 30GW 以上装机产能的市场来说，每年平均 13GW 的（最低）发展目标恐怕是对市场的一个严峻挑战。从短期看，势必增加产业内竞争，甚至出现低价恶性竞争，可能导致设备价格骤降，使企业陷入窘境；然而从长期来看，却未必不利于产业长期发展。这一竞争过程可能会对低端市场参与者形成挤出效应，甚至促成产业内部整合。也许可以改变目前风电市场竞争者众多、良莠不齐的局面，逐渐形成类似欧美市场由几个主要风机厂商鼎足相立的局面。笔者认为，这样的转变或许会对中国风电产业从制造密集型产业转向技术密集型产业起到推动作用。

如果我们从更长的时间尺度看，风电是否还存在发展驱动力和发展空间呢？笔者认为答案是肯定的。目前风电占电力消费的份额仅 3%。根据德国和丹麦的风电发展水平，20-30% 的风电渗透率是电力系统（成本和效益）最优化的水平，而 50-80% 的渗透率在理论上也是可行的。德国和丹麦提出的 50% 和 80% 风电发电量占比的目标，在很大程度上推动了国际社会近年来关于“能源转型”这一概念的认识，也让高比例可再生能源接入电力系统成为“能源转型”的核心概念。中国距离这一目标尚远，风电还可以大有作为。然而要突破风电发展的瓶颈，必须要在现阶段解决弃风限电问题。

3. 风电现阶段挑战：弃风限电、补贴吃紧、电价下行压力

弃风限电问题

弃风限电问题从 2010 年开始出现，近几年有日益严重趋势，成为阻碍中国风电发展的顽疾。弃风限电是指风电在风况良好、设备机组正常情况下，被电网要求停机，风机不能出力，不产生上网电量。这种情况在国外也有，但是出现频次较少而且大多是暂时的。即使出现限电，风电场也可以根据可再生能源的全额收购条例，要求对所限电量进行补偿。而在中国，尽管可再生能源法有全额收购条例，但是对风电场进行限电补偿却始终是一纸空文。

根据能源局的统计⁵，全国 2016 年上半年风电平均弃风率 21%，同比上升 6 个百分点。其中，西北地区是弃风重灾区，甘肃弃风达 47%，新疆 45%，内蒙古 30%。表 1 显示 2012-2015 年全国风电弃风率，较高年份达到 17%。这样高的弃风率在全球都是罕见的。这也极大程度地影响风电场的运营和收益。

表 1：2012-2015 风电弃风率、弃风电量、风电年上网电量

	年限电电量 (TWh)	弃风率	年风电发电量 (TWh)
2012	20	17%	100.7
2013	16.2	11%	134.9
2014	13.42	8%	154.3
2015	33.9	15%	186.3

数据来源： 能源局 2012 – 2015 风电产业统计⁶

弃风限电最严重的区域是中国的三北地区，即风电资源最好、装机量最大的区域。弃风限电的主要原因是当地电力需求不足，电力外送通道有限。这一高弃风率的影响已经体现在十三五风电发展规划上，即未来五年的风电发展从三北地区倾

补贴吃紧和电价下行压力

中国风电通过固定电价方式对风电进行补贴。2009年，国家发改委出台固定电价政策，并推出四类资源区。每类资源类型固定电价补贴，补贴时间20年。主要是由于技术进步和规模化效应，风机机组价格在过去几年间有很大下降。时至 2014 年，国家发改委对电价提出对 2016 年后固定电价的一次调整。然而，由于风电与太阳能发展速度增快，这几年国家可再生能源补贴基金一直处于吃紧状态。在此背景下，2015

斜到中东部地区。中东部地区靠近用电负荷中心，因此风电消纳问题比较容易解决。然而，中东部地区的风资源情况稍差，这也对风机制造企业提出了更高的技术要求，比如：低风速风机，高海拔风机等。

年底，国家发改委再次提出降低电价的提议，进一步降低了 2016 年后的固定电价，提出这新一电价仅适用两年。2018 年电价在 2016 年基础上再次下调。表二显示这几次电价的下调幅度。然而，一方面弃风现象严峻，技术进步带来的设备价格降低幅度在很大程度上被限电现象所蚕食；另一方面中东部地区低风速机组的开发使设备价格反弹。两相叠加，产业再难承受更大规模的电价下行压力。

表 2：2014、2015 年两次电价下调幅度（单位：元 / kWh）

	2009 年电价	2014 年提出， 2016 年 1 月生效	2015 年 12 月提出， 2016 生效	2016 年 12 月提出， 2018 年生效
第一类 风资源区	0.51	0.49	0.47	0.4

第二类风资源区	0.54	0.52	0.50	0.45
第三类风资源区	0.58	0.56	0.54	0.49
第四类风资源区	0.61	0.61	0.60	0.57

数据来源：中国风能协会

综上所述，在目前阶段，风电的消纳，即弃风限电问题才是风电目前所面临的诸多困境的核心问题。这一问题不仅涉及到短期企业的收益，也涉及到长期产业的健康发展，甚

至涉及到中长期风电是否能够成为中国“能源转型”核心推动力量的问题。

4. 风电提高电力渗透率的障碍：灵活电力系统的缺失阻碍风电发挥更大作用

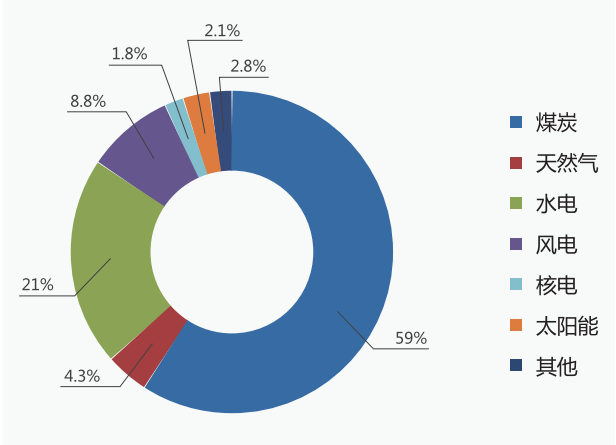
电力系统是电力需求和供应构成一个实时平衡的动态系统，供电负荷根据电力需求的波动而随时波动。在传统电力系统中，需求侧负荷随时变化波动，而供应侧一般不存在波动特点。风电和其他可再生能源受制于自然资源，具有“波动性”。这其实相当于把波动性的特点扩展到了供应侧，增加了系统平衡的难度。风电等可再生能源的这一特点被人诟病，但是在本身就充满波动性特点的电力系统中，电源供电波动性可以在很大程度上被系统所化解，前提是这一电力系统需要有充分的系统灵活性。

电力系统的灵活性是指在快速和巨大的电力供需变化过程中，系统能够快速响应并提供不间断电力服务的能力。灵活性在电力系统中不是一个新概念，传统意义上灵活性是指电力供应侧发电设备的爬坡速度，爬坡时间和设备启停时间等。然而，在可再生能源高比例接入的未来电力系统中，灵活性被赋予了新的内涵，也成为未来电力系统的重要特征之一。灵活性从对供电侧发电设备的要求，转变为对整个电力系统全系统的要求。

电力系统的灵活性可以从几个方面体现：电力需求侧（管理）、电源构成、电网覆盖面积和网架间联络、电力系统的调度及运营模式和储能设备的使用。中国风电所面临的严重的弃风限电问题，究其原因是在电力系统在结构、机制和硬件方面缺乏未来电力系统灵活性要求所致。

在电源结构方面，具有灵活性的电力系统需要有丰富的电源构成。这种丰富性不仅表现在所有不同特点的电源应该占有相当的市场份额，也表现在没有某种能源形式在系统中“一枝独大”，特别是快速响应能力较差的电源（如煤电）不能占

图 4：2015 年不同电力技术累计装机容量占比



数据来源：国家统计局能源数据统计 2015

据过大的市场份额。而在中国的电源系统中，快速反应的天然气装机所占比例为 4.3%，反应速度较慢的燃煤发电装机占比 59%，风电装机占比 9%。

此外，中国燃煤机组自身可以调节的灵活性也比较低。在中国，煤电机组常年在稳定的发电小时数上运行，即电厂按照政府预先给出的所谓的“（年 / 月）平均上网小时数”进行运行，而并非根据电力供需需要调整运行效率。这就导致整个供应侧基本没有灵活变化的空间，供应侧的系统常年在稳定水平上运行。在丹麦，出于对风电等可再生能源发展的高度重视，电力企业甚至通过技术手段使煤电项目（热电联产发电站）的机组最低运转率更低，来支持风电。如果系统需要，有些燃煤热电联产机组甚至可以降至铭牌容量的 10% 运行，让出更多的发电空间满足风电的接入需要。

在电网方面，具备较高灵活性的电网要满足两个条件。第一是网络覆盖的范围越广越好。特别是如果能在区域(国家) 间形成电网联络，扩大跨网输送范围，就可以在更大的需求负荷区域中消纳多余的电量。在这个方面，中国电网的建设存在分区化，网间连接不足。国家电网公司投入巨资建设的特高压工程，的确在扩大可再生能源丰富地区的电网与需求负荷的连接，提供电力外送通道。然而，加强现有区域网架之间的联络，使之具备更多的联系是比特高压电线建设更经济的解决办法。丹麦之所以能够实现高比例的风电，其中一个重要原因就是因为丹麦的电网是与北欧电力交易池相联，北欧(瑞典、丹麦、挪威) 和德国电力系统的联接，拓展了电网的覆盖面积，风电(及其他具有波动性特点的电源) 的波动性在一个更大的需求 / 供应系统中更容易被系统平衡。

对电网灵活性的第二个要求是网内的管理和调度方式是否充分市场化，或者引入市场机制降低指令式管理模式。在我国，调度体系基本没有市场，更鲜有交易。跨省的电量输送不

是通过市场、按照需求调节，而是以年度用电计划的方式通过行政手段调配。

其他可以增加系统灵活性的方法在目前的电力系统中的使用范围也十分有限。例如需求侧响应在我国目前依然是初级阶段，虽然部分区域有峰谷电价引到需求侧的管理，但是对于中国需求侧的巨大体量，依然是杯水车薪；近几年新能源汽车的推广也是一种介于需求侧管理和储能设备之间的增进系统灵活性的手段，但是其发展水平也尚不足以带来巨大的影响。其他储能设备如抽水蓄能电站、风电供热等方法都尚未达到大规模使用。

在所有增强灵活性的手段中，最根本性的改变是引入电力市场机制。电力市场化的建设也是十分漫长的过程，目前重启的电力系统改革让我们看到一丝曙光。新的电改一方面在努力厘清中国输配电电价，另一方面也在一些试点城市推进售电或直供电。这些都是迈向电力市场化的必经之路。

总结

高比例可再生能源的利用是实现能源变革的主要手段之一。中国风电产业经过过去十年的发展，已经成为一个商业化程度高的成熟产业，可以成为承担中国能源高比例可再生能源接入的重要技术选择。然而，目前掣肘风电发展的因素，归根结底还是电力系统深层次的结构性问题。在缺乏市场机制的电力系统中，风电发展会在短期内受到巨大的影响。中国的电力市场化将是一个电力系统现代化发展的必由之路，放在能源转型的背景下看，电力市场化也是能源转型实现的一个必要条件。若电力市场化进程推进，那么风电和其他可再生能源将可能逐渐成为中国能源转型的领导力量；若电力市场化进程迟缓，则中国的能源转型将成为一纸空谈。目前的电力系统改革刚刚起步，我们盼望这个过程能够成为中国风电未来发展的核心推动力量。

注释：

1. 全球风能理事会，2015. 全球风电发展报告 2015 ("Global Wind Report 2015"). 链接：<http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-wind-report-2015-annual-market-update/>.
2. 中国风能协会，2015. 中国风电发展产业地图 2015 (2015 China Wind Power Industry Map).
3. 中电联，2015. 2015 电力统计数据，链接：<http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/tongjixinxi/niandushuju/2016-09-22/158761.html>.
4. 发改委，能源局，2016. 十三五电力规划，链接：<http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbghwb/201612/P020161222570036010274.pdf>.
5. “2015 年风电产业发展情况”，链接：http://www.nea.gov.cn/2016-02/02/c_135066586.htm.
6. 能源局，2012-2016. 风电产业发展统计，链接：http://www.nea.gov.cn/2016-07/27/c_135544545.htm；链接：http://www.nea.gov.cn/2016-02/02/c_135066586.htm；链接：http://www.nea.gov.cn/2015-02/12/c_133989991.htm；链接：http://www.nea.gov.cn/2014-03/06/c_133166473.htm；链接：http://www.nea.gov.cn/2012-06/01/c_131624884.htm.

页岩气开发的气候变化影响：甲烷泄漏的风险

赵 昂

对于页岩气是一种应对气候变化的“过渡性能源”(Bridge Fuel) 的观点近几年颇有争议，争论集中于页岩气上下游环节的碳排放、特别是甲烷泄漏水平究竟有多高。页岩气本质上也是天然气，因为其开采过程与传统天然气有显著差异，页岩气也称为“非传统天然气”。在本文讨论中，“天然气碳排放”是指包括传统天然气和页岩气在内的整个行业在上下游环节累计碳排放；“页岩气碳排放”专指页岩气利用过程中上下游环节的累计碳排放。天然气碳排放和页岩气碳排放所涉及的环节主要包括：燃烧环节的二氧化碳排放、非燃烧环节的二氧化碳排放和从开采到供应的甲烷泄漏导致的碳排放。

目前全球范围内只有美国在大规模开发页岩气。2006 年以来美国页岩气产量增长迅速，2015 年美国页岩气产量占全国天然气(包括传统天然气和页岩气) 产量的 51%¹。同年，天然气占一次能源消费比例约 29%²。预计到 2018 年，美国将时隔半个多世纪重新成为天然气净出口国³。页岩气在美国的能源结构中已扮演重要角色，关于研究页岩气甲烷泄漏的文章不断涌现。

鉴于美国的页岩气开发对能源结构带来的变化，中国也制定了页岩气开发计划。2016 年 9 月公布的《页岩气发展规划(2016~2020 年) 》⁴ 给出了指导性目标：2020 年页岩气产量力争达到 300 亿立方米，2030 年争取达到 800-1000 亿立方米。中国在发展页岩气上设定了较为积极的目标，这主要是基于改变严重依赖煤炭的能源结构的策略。虽然中国的页岩气开发规模在短期内无法赶上美国，但是中国的决策者可以参照美国页岩气关于甲烷泄漏的研究，来考量未来页岩气大规模开发中的甲烷泄漏及其碳排放。本文主要讨论美国天然气和页岩气的甲烷泄漏问题，因为甲烷泄漏是影响天然气和页岩气碳排放水平的关键因素；然后假设一定的甲烷泄漏率，粗略估算到 2020 年和 2030 年，中国开发页岩气过程中泄漏的甲烷导致的碳排放。希望本文能对更为系统全面的页岩气开发决策提供有价值的参考。

1. 在应对气候变化方面，页岩气胜过煤炭吗？

只有将上下游环节的碳排放都包括在内，才能全面比较天然气和煤炭的碳排放水平的差异。从燃烧环节来看，天然气的碳排放水平明显低于煤炭。根据美国能源信息管理局(Energy Information Administration, EIA) 的数据，产生同等热量，燃烧煤炭所排放的二氧化碳是天然气的 1.8 倍⁵。

由于化石能源在开采、运输和使用的过程中都有二氧化碳排放。因此我们不能忽视燃烧之前各个环节的温室气体排放。根据美国温室气体排放清单(1990-2014) 的数据⁶，在燃烧环节，煤炭的碳排放为 16.54 亿吨，天然气的碳排放为 14.27 亿吨。燃烧之外，天然气系统在 2014 年直接排放的二氧化碳为 4240 万吨。在开采环节，天然气和煤炭都有甲烷排放，而甲烷在 20 年和 100 年的时间尺度内对全球变暖的影响潜力分别是二氧化碳的 72 倍和 25 倍⁷。采煤业 2014 年排放的甲烷相当于 6760 万吨二氧化碳当量，天然气系统排放的甲烷相当于 1.76 亿吨二氧化碳当量。美国 2014 年的一次能源消费量中，煤炭和天然气分别占比为 18.5% 和 27.9%。

表 1 显示了两种能源在不同环节的碳排放及累计排放的比较，2014 年煤炭和天然气上下游累计的碳排放分别为 1730.3 百万吨和 1645.1 百万吨。由此，可以粗略测算出上下游内天然气和煤炭的碳排放的比例关系为 1:1.58⁸，即获得相同的能量，煤炭的碳排放是天然气的 1.58 倍。这一比例显著小于燃烧环节二者的碳排放比(1:1.8)，因此，天然气替代煤炭可以明显减少碳排放水平。根据不同环节碳排放占累计排放的比例，我们可以得到表 2。

依据美国环保署碳排放清单的数据，将上下游环节的碳排放都考虑在内，天然气比煤炭在降低碳排放方面有明显的优势。然而，甲烷泄漏会影响天然气上下游累计碳排放。2015 年美国页岩气开采量已占天然气总产量的 51%，而且，页岩气甲烷泄漏率高于传统天然气⁹。传统天然气和页岩气的碳排放主要差在甲烷泄漏上，因此，天然气(包括传统天然气和页岩气在内) 的甲烷泄漏率要低于页岩气的甲烷泄漏率。因此，页岩气甲烷泄漏问题就成为评价天然气替代煤炭是否有减少碳排放作用的一个关键因素。接下来，笔者用一个案例来简单估算甲烷泄漏对天然气和页岩气碳排放的影响。

表 1：2014 年美国煤炭和天然气温室气体排放比较（百万吨二氧化碳当量）						
	一次能源 消费占比	燃烧环节 二氧化碳排放	非燃烧环节 二氧化碳排放	甲烷泄漏排放 （从开采到供应）	废弃地下煤井 甲烷泄漏	二氧化碳 累计排放
煤炭	18.5%	1653.7	2.7	67.6	6.3	1730.3
天然气	27.9%	1426.6	42.4	176.1		1645.1

数据来源：Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990–2014.
链接：<https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2014>.

表 2：比较上下游环节煤炭和天然气的温室气体排放占比（%）					
	燃烧环节 二氧化碳排放	非燃烧环节 二氧化碳排放	甲烷排放 （从开采到供应）	废弃地下煤井 甲烷泄漏	总计
煤炭	95.5	0.2	3.9	0.4	100
天然气	86.7	2.6	10.7		100

数据来源：根据表 1 信息估算。

2. 一个案例分析：甲烷泄漏对页岩气碳排放的影响

甲烷泄漏问题直接对天然气的碳排放产生重要影响。甲烷占全球温室气体排放的 16%，仅次于二氧化碳¹⁰。在因为人类活动导致的甲烷排放中，煤炭开采和天然气利用各自占比 8% 和 16%¹¹，从总量来看，天然气甲烷泄漏问题不容忽视。甲烷的全球变暖潜力远远高于二氧化碳。甲烷在 20 年和 100 年的时间尺度内对全球变暖的影响潜力分别是二氧化碳的 72 倍和 25 倍¹²，假设泄漏 1 吨页岩气（页岩气中甲烷成分一般占比为 85%），相当于泄漏 0.85 吨甲烷，那么其全球升温影响在 20 年和 100 年时间尺度内的全球变暖潜力分别相当于 61 吨和 21 吨二氧化碳。

甲烷泄漏率应该控制在怎样的水平呢？美国的煤炭绝大部分用于发电，那么以火力发电为例，估算一下天然气甲烷泄漏率在多大的情况下，用燃气电厂替代燃煤电厂是减少碳排放的。如表 3 所示，每替代 1000 短吨¹³ 煤炭，需要 19440 千立方英尺的天然气。燃烧 1000 短吨煤炭排放二氧化碳 2100.8 吨，用天然气替代，要排放二氧化碳 1032.7 吨。结合表 2 提供的各个环节的碳排放占比，可以得到煤炭和天然气上下游环节的累计碳排放量，如表 4 所示。

表 3：燃气发电和燃煤发电原料替代关系和碳排放对比				
	每发 1000kWh 电 所需要的燃料	每发 1000kWh 电所产生的碳排放（燃烧阶段）	燃煤发电和燃气发电 的原料替代关系	燃烧不同可替代燃料的 碳排放（吨二氧化碳）
煤炭	0.5 短吨	2130 磅	1000 短吨	2100.8
天然气	10.1 千立方英尺	1220 磅	19440 千立方英尺	1032.7

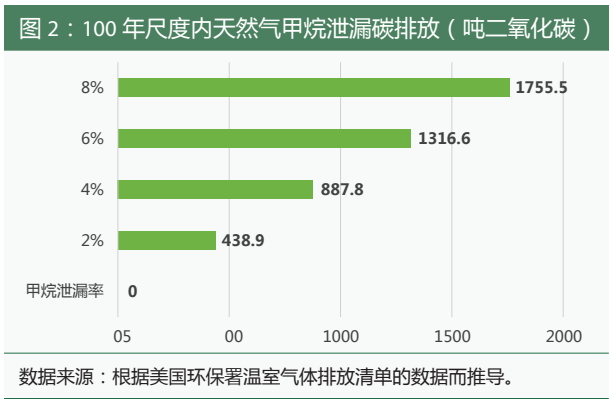
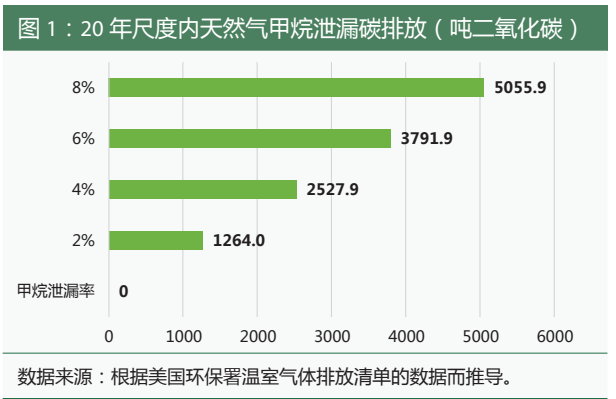
数据来源：美国能源信息管理局。
链接：<http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=667&t=2>；http://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.cfm.

表 4：1000 短吨煤炭燃烧发电与对应的天然气燃烧发电的上下游碳排放对比（单位：吨二氧化碳）				
	燃烧或替代燃烧 1000 短吨煤炭的碳排放	非燃烧环节 二氧化碳排放	甲烷排放 （从开采到供应）	碳排放总量
煤炭	2100.8	3.5	86.0	2190.3
天然气	1032.7	30.7	127.4	1190.8

数据来源：根据表 2 信息估算。

替代 1000 短吨煤炭用于发电需要开采 19440 千立方英尺天然气，这些天然气全部焚烧所对应的碳排放为 1032.7 吨。但天然气泄漏率不同时，在 20 年和 100 年的时间尺度内，泄漏的甲烷的碳排放量分别如图 1 和图 2 所示。

根据表 4，煤炭的碳排放比天然气高 999.5 吨，排除天然气的甲烷碳排放，则高出 1040.9 吨。换句话说，只要天然气甲烷泄漏的碳排放不超过 1040.9 吨，天然气替代煤炭能减少碳排放，否则，反而会增加碳排放。在 20 年尺度内，当天然气甲烷泄漏率达到 2% 时，天然气上下游累计碳排放总量超过了煤炭；在 100 年尺度内，当天然气的甲烷泄漏率达到 6% 时，天然气上下游累计碳排放总量也显著超过了煤炭。



3. 甲烷泄漏：页岩气的“过渡性能源”角色受到质疑

近几年，美国关于页岩气甲烷排放，特别是甲烷泄漏问题的研究逐年增多，为我们认识页岩气的气候效应优势提供了更多的证据和思考。评估页岩气甲烷泄漏常用两种方法：“由下至上法”（bottom-up approach）和“由上至下法”（top-down approach）。这两种方法所评价出的结果常常不一致。前者是选择一些页岩气开采点或区域，在地面抽样收集甲烷泄漏的数据，来估测甲烷泄漏水平；后者是利用卫星数据，结合高塔和

飞行器在空中收集甲烷泄漏数据来估测甲烷泄漏水平。这两种方法各有利弊。前者有低估泄漏水平的风险，因为泄漏点总是难以查找完全；后者有可能高估泄漏水平，因为空气中来自农业和废物处理的甲烷泄漏可能被算在页岩气头上，因此需要在估算中排除非页岩气来源的甲烷泄漏。

美国环保署在 2010 年发布的一份报告中指出正在快速发展的页岩气开发中的甲烷泄漏问题要比传统天然气开采过程中的甲烷泄漏严重¹⁵。根据美国环保署公布温室气体排放清单 1990-2009，在上游开采环节，传统天然气和页岩气的甲烷泄漏率分别为 1.6% 和 3%，下游的传输和供应环节，二者的甲烷泄漏率都是 0.9%¹⁶。2011 年由康奈尔大学的几位科学家发表的研究指出，页岩气开采中的甲烷泄漏率高达 3.6% - 7.9%¹⁷。即每开采 100 立方米的页岩气，就有 3.6-7.9 立方米甲烷泄漏。而传统天然气的甲烷泄漏率是 1.7% -6%¹⁸。2014 年发表的一份报告指出，环保署之前低估了页岩气甲烷泄漏率，由于不可忽视的甲烷泄漏问题，美国计划在交通领域用天然气替代柴油的

4. 美国页岩气甲烷泄漏对中国开发页岩气的启示

关于页岩气利用过程中上下游甲烷泄漏的确切比率的研究仍会继续，目前页岩气的甲烷泄漏的严重性很可能被低估了。从上文关于用燃气发电替代燃煤发电的二氧化碳排放比较分析来看，页岩气在上下游的甲烷泄漏需要控制在一定的水平，否则仅从气候变化效益来看，页岩气并不比煤炭有优势。

政策也不可取¹⁹。尽管不同的研究对页岩气利用从开采到燃烧全过程的甲烷泄露水平的估测有所差异，但绝大多数的研究都认为，实际甲烷泄露率要显著高过环保署所在温室气体排放清单中所使用的页岩气甲烷泄漏的比率²⁰。2015 年 12 月发表在美国国家科学院院刊上的一篇研究²¹在整合了“由下至上”和“由上至下”两种评价方法后对美国德克萨斯州 Barnett 页岩气 / 油开采区域的甲烷泄漏问题进行了详细评估 结果显示，这一区域的页岩气 / 油田甲烷泄漏率高出环保署 2012 年公布的数据达 90%。假设这一结果适用于全国，那么页岩气甲烷泄漏带来的碳排放几乎翻番。

中国开发页岩气到 2020 和 2030 年分别达到 300 亿立方米和 800-1000 亿立方米，假设页岩气甲烷泄漏率为 2%，放在 100 年的时间尺度来考量甲烷的全球变暖潜力，如表 5 所示：甲烷泄漏导致的碳排放到 2020 年将达到 2390 万吨，到 2030 年达到 6380 – 7970 万吨²²；如果放在 20 年的时间尺度来考量，泄漏率为 2%，如表 6 所示：页岩气甲烷泄漏导致的碳排放到 2020 年和 2030 年分别将分别达到 6880 万吨和 1.8 — 2.3 亿吨。

表 5：中国页岩气甲烷泄漏率 2% 时的碳排放预测（100 年时间尺度）

	页岩气年产量 (亿立方米)	甲烷 泄漏率	甲烷泄漏量 (亿立方米)	甲烷泄漏对应的碳排放量 (百万吨二氧化碳)
2020	300	2%	6	23.9
2030	800 - 1000	2%	16 - 20	63.8 - 79.7

表 6：中国页岩气甲烷泄漏率 2% 时的碳排放预测（20 年时间尺度）

	页岩气年产量 (亿立方米)	甲烷 泄漏率	甲烷泄漏量 (亿立方米)	甲烷泄漏对应的碳排放量 (百万吨二氧化碳)
2020	300	2%	6	68.8
2030	800 - 1000	2%	16 - 20	183.7 - 229.5

数据来源：作者测算。

结语：控制甲烷泄漏是开发页岩气的基本前提

本文介绍了美国在开发页岩气过程中所面临的甲烷泄漏的挑战，以案例量化分析了甲烷泄漏在燃气发电替代燃煤发电以获得碳减排效用的基本条件。从目前美国页岩气发展现状来看，控制页岩气甲烷泄漏已经是一个无法忽视的问题。

面临能源安全和结构调整的挑战，中国对页岩气开发抱有一定的期望，希望其在未来 10-15 年能帮助中国快速摆脱对煤炭的依赖，同时减少大气污染物排放和温室气体排放，改善空气质量的同时降低经济发展的碳排放强度。然而，美国的经验说明，页岩气开发的甲烷泄漏问题值得关注，笔者希望本文能够对中国发展页岩气的决策有一定的参考作用。

注释：

1. 根据美国能源信息管理局的数据整理。链接：http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=26552.
2. 美国能源信息管理局数据。链接：http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=natural_gas_use.
3. 根据美国能源信息管理局的数据整理。链接：http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=26552.
4. 国家能源局关于印发页岩气发展规划（2016-2020 年）的通知。
链接：http://nfj.nea.gov.cn/action/front/contentAction_initViewContent?content.contentId=402881e557a2aef90157a2af1177001c.
5. "Carbon Dioxide Emissions Coefficients". Energy Information Administration. 链接：https://www.eia.gov/environment/emissions/co2_vol_mass.cfm.
6. "Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2014".
链接：https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2014.
7. "IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. 2.10.2 Direct Global Warming Potentials".
链接：https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html.
8. 美国 2014 年的一次能源消费总量为 98.30 quadrillion Btu，根据表 1，我们可以得出煤炭和天然气的消费量分别为 18.2 quadrillion Btu 和 27.4 quadrillionBtu，结合当年煤炭和天然气的二氧化碳总排放量，可得每 quadrillion Btu 的煤炭和天然气对应的排放为 95 和 60 百万吨二氧化碳，从而得到包括上下游环节的煤炭和天然气的碳排放水平之比约为 1.58：1。
9. R. Howarth., R. Santoro., and A. Ingraffea. "Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations".
A letter. Climatic Change. DOI10.1007/s10584-011-0061-5.
10. *Global Mitigation of Non-CO2 Greenhouse Gases 1990-2020 (EPA Report 430-R-06-003)*,
链接：http://www.epa.gov/climatechange/economics/downloads/GlobalMitigationFullReport.pdf.
11. 同上。
12. "IPCC Direct Global Warming Potentials". 链接：https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html.
13. 1 短吨等于 0.91 公吨。
14. R. W. Howarth. "A Bridge to Nowhere: Methane Emissions and the Greenhouse Gas Footprint of Natural Gas".
链接：http://www.eeb.cornell.edu/howarth/publications/Howarth_2014_ESE_methane_emissions.pdf.
15. "Greenhouse Gas Emissions Reporting from the Petroleum and Natural Gas Industry". Background Technical Support Document.
链接：http://www.epa.gov/climatechange/emissions/downloads10/Subpart-W_TSD.pdf.
16. 同上。
17. R. Howarth., R. Santoro., and A. Ingraffea. "Methane and the Greenhouse-gas Footprint of Natural Gas from Shale Formations".
A letter. Climatic Change. DOI10.1007/s10584-011-0061-5.
18. 同上。
19. A.R. Brandt et al. "Methane leaks from North American natural gas systems". *Energy and Environment*. 343(6172). 733-735.
20. "EPA draft says oil & gas methane emissions are 27 percentage higher than earlier estimates". EDF blog.
链接：http://blogs.edf.org/energyexchange/2016/02/23/epa-draft-says-oil-gas-methane-emissions-are-twenty-seven-percent-higher-than-earlier-estimates/.
21. Zavala-Araiza et al. "Reconciling divergent estimates of oil and gas methane emissions". *PNAS*. Vol.112 no. 51.
链接：http://www.pnas.org/content/112/51/15597.full.pdf.
22. 根据表 3 的数据，可以算出燃烧 10 亿立方英尺的天然气对应的碳排放是 53120 吨。结合甲烷的全球变暖潜力和页岩气中 85% 的甲烷有效成分，可以算出泄漏甲烷的碳排放。