



REEI

Independence and Justice for Sustainability

磐石能源评论 2015

能源转型问题系列分析

磐石环境与能源研究所

报告撰写：赵昂、林佳乔

报告校对：姜超、王会、毛达

报告设计：计画堂

发布日期：2015 年 12 月

发布方：磐石环境与能源研究所



微信公众号



微博公众号

网站：www.reei.org.cn

邮箱：info@reei.org.cn

电话：+86(10) 61438032

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



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。

前言

面对气候变化、能源安全和空气污染等重大挑战，中国自 2007 年开始逐渐成为全球可再生能源的主要投资者。然而基于中国能源结构严重依赖煤炭的现状，中国实现能源系统低碳化转型需要较长的时间和艰苦的努力。磐石环境与能源研究所开展了关于中国能源转型政策问题的分析，本报告所收录的六篇文章就是该项目的研究成果。我们期望藉此系列文章拓展关于中国能源转型的公共政策讨论，促进政策制定者、研究者、倡导者和行动者之间的理性沟通和交流。这将是一个持续且漫长的过程，但我们相信公开、着眼长远和有建设性的政策探讨对于推动中国理性、有效和公正的能源转型有十分积极的作用。

本报告涉及的议题都与能源转型有直接关系，从页岩气在未来 10-15 年中国能源系统中的角色，到可再生能源就业面临的不确定性，从未雨绸缪推动交通部门低碳转型，到新一轮电力改革输配电电价形成机制是否合理，从电力消费预测可能被高估，到可再生能源电价附加征收能否满足可再生能源电力发展需求，这些不同角度的讨论都在说明中国未来 30-40 年实现能源系统的彻底转型将是一项系统性的巨大“工程”，而在此过程中，我们需要推动社会各相关利益群体的公平参与，寻找一个有包容性、动态性的转型解决方案。

我们在此再一次感谢为撰写能源转型系列分析提供支持的德国伯尔基金会，以及磐石环境与能源研究所的各位同仁。

赵昂 磐石环境与能源研究所主任
2015 年 12 月 28 日

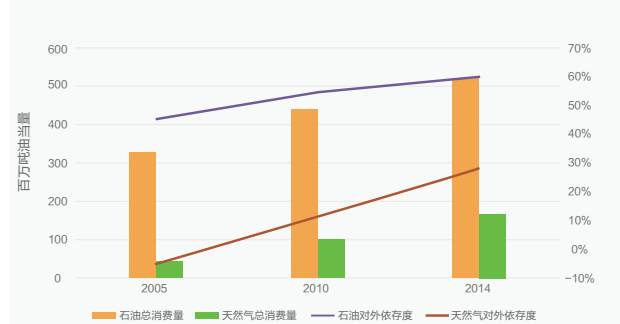
目录

1. 页岩气——过渡性能源的“中国梦”	6
1.1 2020：页岩气发展仍处起步阶段	6
1.2 2030：中国难以复制美国页岩气发展“传奇”	7
2. 可再生能源就业“拉动”效应的不确定性	10
2.1 可再生能源与传统能源部门：找到就业“拉动”与“挤出”间的平衡	10
2.2 太阳能光伏：对于中国可再生能源就业的支撑作用将减弱	11
3. 交通电气化——未雨绸缪，助推低碳转型	14
3.1 交通部门碳排放占比将持续增加	14
3.2 公路交通电气化：为未来承担减排责任奠定基础	15
4. 合理的电价形成机制是电力改革的核心——对于输配电定价机制的思考	17
4.1 一张电力改革的路线图	17
4.2 电力改革中监管策略的变化	18
4.3 输配电定价的监管策略	18
5. 中国 2050 年终端电力消费可能被高估——从人均电力消费看终端电力消费预测	20
5.1 终端能源消费中电力比例将大幅增长	20
5.2 中国人均电力消费的未来或接近德国、日本，而非美国	21
5.3 经济增长与人均电力消费未来可能呈现弱相关性	22
6. 可再生能源发展基金的缺口究竟有多大？	23
6.1 可再生能源电价补贴与电价附加征收至今应没有缺口	23
6.2 2020 年电价附加是否够用？	25

1. 页岩气——过渡性能源的“中国梦”

严重依赖煤炭的能源结构给中国的温室气体减排和治理环境污染带来巨大负担。用天然气替代煤炭通常被决策者认为是一个在中短期内较为可行的选择，因为天然气比煤炭清洁、碳排放强度显著降低¹。全力开发国内天然气资源或者从国外进口天然气成为实现天然气替代煤的两种方法。哪个途径被优先考虑，除了取决于国际石油天然气价格和国内油气资源开发技术的重大变化，也受到政策决策和社会选择偏好的影响。一般来说，当国际油气价格走低或者资源蕴藏量少、技术开发能力有限时，进口会被优先考虑；当国际油气价格走高或者开发技术有了突破性进展，则开发国内资源成为偏爱。从政策决策和社会偏好角度来看，当能源供应安全在决策中被高度关注或者石油天然气行业的企业有强大的政策影响力时，开发国内资源更被重视；当天然气储量不足，并且没有替代天然气的能源技术选择时，进口天然气则更被重视。

图 1：中国石油和天然气年消费量及对外依存度变化（2005–2014）



数据来源：根据《BP Statistical Review of World Energy 2015》提供的数据整理。

作为一个庞大的经济体和拥有众多人口的国家，中国进入经济全球化的时间还不长，能源决策偏好在很长时期内都以开发国内资源为主，实现能源供应的自给自足是核心目标之一。然而面对油气资源储量低、国内需求迅速增长的情况，中国也不得不大量进口石油和天然气。据图 1 显示：2014 年中国石油和天然气的对外依存度分别为 60%² 和 28%。然而，随着过去十年页岩气³ 大规模商业开发技术的成熟并在美国出现爆发式发展，中国似乎看到了一个实现优化能源结构、增加天然气国内供应、减少温室气体排放等战略目标的重要机会。因为中国是世界上页岩气储藏量最多的国家之一。中国的页岩气可采资源量达到 36 万亿立方米⁴。2012 年 3 月，中国政府发布了《页岩气发展规划（2011-2015）》⁵，设定了到 2015

年 65 亿立方米页岩气产量目标，并展望 2020 年页岩气开采量可以达到 600-1000 亿立方米。

页岩气被政府认为可以成为中国实现可再生能源转型过程中的“过渡性”（Bridge Fuel）能源。未来 10-15 年，要实现能源结构中大量减少煤炭比例、满足油气消费增长需求的目标，中国认为借鉴美国经验来大力开发页岩气是可行的策略。这一策略实现的可能性有多大？页岩气究竟能否成为中国的“过渡性”能源？本文将讨论到 2030⁶ 年页岩气要成为中国能源行业变革中重要的过渡性能源所面临的挑战⁷。

1.1 页岩气发展仍处起步阶段

中国重视页岩气的发展，在很大程度上是希望在比较短的时间内显著减少煤炭的消费量。2014 年中国一次能源消费 29.7 亿吨标油，原煤占比 66%，石油占比 17.5%，天然气占比 5.6%⁸。发电领域，燃煤火电的发电量占总电力生产的比例为 75.2%⁹。煤炭占绝对主导的能源系统是中国空气污染严重、碳排放高的主要原因。中国自 2011 年以来就开始加大天然气的消费量和进口量，2014 年中国天然气表观消费量为 1800 亿立方米，比上一年增长 7.4%，其中 580 亿立方米来自进口¹⁰。根据《能源发展战略行动计划 2014-2020》，中国预计到 2020 年一次能源消费将达到 48 亿吨标准煤，约 33.6 亿吨标油。届时，天然气占比 10%，相当于超过 3600 亿立方米。从 2014 年的 1800 亿到 2020 年规划目标 3600 亿，六年时间要增加 100%，年均增长率约为 12.2%。

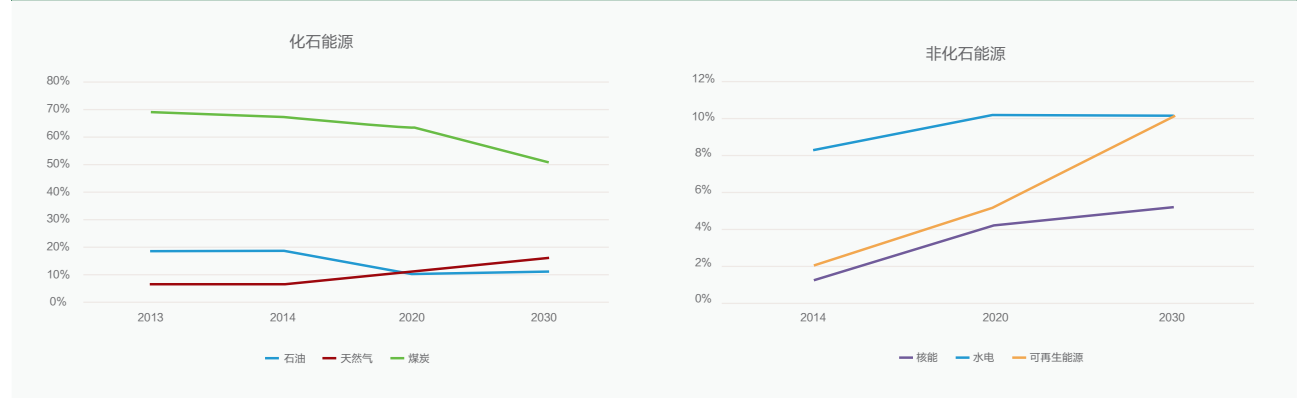
在如此高的天然气增长目标下，页岩气所占的份额难以在未来五年有大的突破。首先，中国在“十二五”启动的页岩气发展计划并不顺利。根据《页岩气发展规划 2011-2015》，中国计划到 2015 年页岩气开发量达到 65 亿立方米¹¹，但 2014 年页岩气产量仅有 13 亿立方米。中国目前页岩气开发面临诸多问题：技术实力、勘探能力、开发成本、宏观经济下行、投资力度减弱、国际油气价格疲软等。例如在开发成本方面，中国开发周期和单井开发成本显著高于美国。中国单井开发周期在 2-3 个月，成本在 5000-7000 万元。而美国单井开发周期为 25-30 天，成本一般不超过 3000 万元¹²。

由于“十二五”期间页岩气的发展不如预料得那么高，国家能源局调低了 2020 年页岩气开发的量化目标，从之前的

600-1000 亿立方米调低到 300 亿立方米¹³。由此来看，即使到 2020 年 300 亿立方米的页岩气的产量如期实现，其占当年天然气目标消费量 3600 亿立方米的比例也仅有 8.5%。如果

页岩气年产量届时达到 600 亿立方米，其占天然气消费总量的比例约 17%。2020 年页岩气发展仍处于起步阶段。

图 2：中国一次能源结构变化趋势（2014–2030）



数据来源：BP Statistical Review of World Energy 2015; 《能源发展战略行动计划 2014–2020》; “中国未来能源发展战略探析”。李伟。
http://www.nea.gov.cn/2014-02/12/c_133109179.htm

1.2 中国难以复制美国页岩气发展“传奇”

过去十年页岩气在美国的爆发式发展是促动中国自主开发页岩气的最主要外部因素。美国页岩气产量从 2007 年的 36.6 亿立方米增加到 2013 年的 3232 亿立方米¹⁴，占天然气总产量的比例到 2013 年已经高达 40%，超过了常规天然气所占比例¹⁵。大量燃煤发电被天然气发电替代，碳减排和大气污染控制效益显著。因为在环境效益，主要是减少温室气体排放和空气污染物方面，天然气比煤炭有较大的优势。在能源安全方面，美国页岩气的发展“传奇”使美国天然气和石油进口大量减少，有观点甚至认为，美国在未来的 20-30 年可能实现能源消费的完全自给¹⁶。

中国希望复制美国的“传奇”，一方面可以替代煤炭来减少污染和降低碳排放，另一方面能够增加天然气国内供应降低对进口的依赖度。留给中国大规模发展页岩气的时间主要集中在 2020-2030 年的十年时间。当 2030 年左右中国的碳排放和能源消费达到峰值，包括天然气在内的化石能源将面临碳减排压力。另一方面，以风电、太阳能为代表的可再生能源将具备更强的成本竞争优势，2030-2050 年将是可再生能源快速取代化石能源从而全然主导能源系统的转型期。我们认为 2030 年后大规模开发页岩气的国际、国内政策环境将很弱。

为了替代煤炭，天然气在 2021-2030 年期间仍会保持较高速度的增长。2014 年中国提出了 2030 年二氧化碳排放的控制目标，并相应地提出了非化石能源的发展比例，即占一次能源消费的比例到 2030 年达到约 20% 左右¹⁷。2030 年煤炭消费占一次能源的比例要从 2020 年的 60% 左右降到 50% 以下，天然气消费占一次能源的比例从 2020 年的 10% 继续增加到 15% 左右，消费量达到每年 6500 亿立方米¹⁸。中国 2020 年页岩气年产量目标为 300 亿立方米。如果这一目标实现，并且 2020 年后页岩气开采仍然快速增长，我们假设中国国内页岩气产量在天然气消费中类似美国那样占到半壁江山的地位，即 2030 年能满足 40% - 50% 的天然气消费需求，那么页岩气届时年产将达到 2600 - 3250 亿立方米。

如果页岩气发展要达到这样的规模，目前政府执行的补贴会增长惊人。为了控制补贴的数额，政府在 2015 年调低了补贴标准。之前的标准是 2012-2015 年间的项目每立方米补贴 0.4 元人民币¹⁹。2016-2018 年间补贴为 0.3 元 / 立方米，2019-2020 年为 0.2 元 / 立方米²⁰。按照页岩气开发目标，2020 年页岩气产量达到 300 亿立方米，那么对页岩气的直接补贴额将达到 60 亿元，相当于 2014 年应征收可再生能源附

加值 722 亿元的 9%²¹。我们认为公共资金应该更多用来支持发展可再生能源。

开发页岩气的另外一个重大挑战是投资规模是否可以得上。根据美国开发页岩气的经验，美国之所以仅用 5-6 年时间就将页岩气年产量从 2007 年约 36.6 亿立方米增加到 2012 年约 2900 亿立方米，主要是因为开采技术成熟的情形下有大量投资迅速进入这个领域。2008-2012 年间，美国页岩气投资总额达到 1337 亿美元²²，约为 8300 亿人民币（汇率 1:6.2）。其中 80% 来自美国国内投资者，有数量众多的小型页岩气开采企业，有石油天然气大型跨国企业，也有各类金融机构。国外投资者贡献了 20% 的投资，通常与当地企业合伙投资，以分享页岩气收益的方式进行开发²³。我们这里暂且不考虑页岩气开发带来的环境和社会影响等外部成本。我们假设中国“十三五”期间实现年产页岩气 300 亿立方米的能力，开发技术成熟并在行业内普及，单井开发成本到 2020 年可以达到类似美国 3000 万元的水平。如前文所述，美国页岩气产量从 2008 年的 600 亿立方米增加到 2012 年的 2940 亿立方米累计投入了 8300 亿元，以此为参照，我们认为中国页岩气开发量要达到每年 3000 亿立方米的水平，累计投资预计也在这个规模，假设大约 8000 亿元。如果将政府对页岩气实施的直接补贴资金考虑进去，那么达到年产 3000 亿立方米的规模，累计投资估计接近一万亿元。相比之下，作为最大的可再生能源投资国，2014 年中国投资了 833 亿美元（约 5000 亿元人民币）在可再生能源市场²⁴。未来十年，中国仍会继续重视发展可再生能源，投资规模仍会继续稳步增加。随着可再生能源投资的持续增加，即使不考虑可再生能源在外部成本方面远远优于化石能源的情况，未来 10 年可再生能源与化石能源的成本差距

将继续缩小，很有可能在 2025 年前后发展可再生能源将具有真正的成本优势。从这个意义上讲，留给页岩气大规模发展的时间并不多，可能就是 10-15 年的时间。决策者需要站在能源转型的战略高度，考虑国际气候变化政策、国内外石油和天然气市场波动和宏观经济发展趋势等因素，谨慎审视页岩气开发在能源转型过程中的定位。



位于美国宾夕法尼亚州 Montrose 乡村的一个页岩气钻井平台 摄影：赵昂

结论：

为了实现优化能源结构、提高环境质量和降低碳排放强度等战略目标，页岩气被认为可以成为一种重要的“过渡性”能源，阶段性帮助中国实现能源产业的升级。然而，评价页岩气能否成为“过渡性”能源，需要将其放在中长期能源转型的战略路径上考虑，并且需要全面考虑不同能源利用在中长期内的投资成本、环境和社会影响风险、国际气候变化政策影响、石油和天然气国际市场变化以及中国未来三十年经济发展和人口增长趋势等重要因素。本文认为未来页岩气的快速增长除了面临上述宏观挑战因素外，其行业本身发展有很多不确定因素，如技术普及、开发成本、巨额投资等，我们认为未来的 10-15 年页岩气难以在中国扮演“过渡性”能源的角色。

注释：

1. “煤改气”系列分析文章（一）：煤改气是北京实现未来五年空气质量显著好转的重要手段。链接：<http://www.reei.org.cn/index.php/2014/01/coal2gas-paper1/>。获取时间：2015 年 10 月 22 日。
2. 2014 年我国进口石油对外依存度接近六成。链接：<http://www.chinairn.com/news/20150114/151556627.shtml> 获取时间：2015 年 10 月 22 日。
3. 页岩气也是天然气，主要成分甲烷，富集于 3-4 亿年前泥盆纪形成的泥页岩地层中。链接：http://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/04/f0/what_is_shale_gas.pdf。获取时间：2015 年 10 月 25 日。
4. 页岩气：我国能源发展的新希望。链接：http://www.mlr.gov.cn/zljc/201108/t20110819_926835.htm。获取时间：2015 年 10 月 21 日。
5. 原文可参见 <http://www.ahpc.gov.cn/upload/xxnr/1002320133211120.pdf> 获取时间：2015 年 10 月 22 日。
6. 应对气候变化要求国际社会共同努力将全球平均气温升幅在本世纪控制在 2 摄氏度以内，即全球大气二氧化碳浓度在本世纪末不应超过 450ppm。基于这样的目标，有研究认为全球天然气消费峰值应出现于 2020 年或 2030 年，之后应开始下降。（参考如下链接：<http://blogs.cfr.org/levi/2013/01/04/a-mixed-verdict-on-natural-gas-as-a-bridge-fuel>）从应对气候变化的角度来看，中国未来承担碳减排的责任会增加，全球减排目标对中国的影响会日趋增加。加上中国自愿承诺碳排放 2030 年左右达到峰值，我们有理由假设中国大规模利用页岩气的窗口期将是未来的 10-15 年时间。2030 年之后全面减少化石能源消费恐怕将是中国的主要目标。
7. 本文仅从能源开发和供应有效性的角度讨论页岩气未来在中国的发展，关于页岩气的环境影响有很多争论，本文暂不讨论。
8. 2014 年世界各国一次能源消费结构。链接：<http://escn.com.cn/news/show-246244.html> 获取时间：2015 年 10 月 22 日。
9. 中电联发布 2014 年电力工业运行简况。链接：<http://www.ccchina.gov.cn/Detail.aspx?newsId=50859>。获取时间：2015 年 10 月 22 日。
10. 我国天然气对外依存度升至 32.2%。链接：http://www.mlr.gov.cn/xwdt/jrxw/201501/t20150120_1341906.htm。获取时间：2015 年 10 月 21 日。
11. 绘就“能源革命”路线图——《页岩气发展规划（2011~2015 年）》解读。链接：http://www.mlr.gov.cn/kczygl/kcgh/201206/t20120619_1111764.htm。获取时间：2015 年 10 月 21 日。
12. 页岩气将成我国能源重要组成部分——国土资源部有关负责人就页岩气勘查开发相关问题答记者问。来源：国土资源部要闻播报 链接：http://www.mlr.gov.cn/xwdt/jrxw/201409/t20140918_1330163.htm 获取时间：2015 年 10 月 21 日。
13. 2014 年中国页岩气产量大涨，增至 13 亿立方米。链接：<http://www.cet.com.cn/nypd/trq/1437986.shtml>。获取时间：2015 年 10 月 21 日。
14. 美国页岩气年产量来自美国能源信息管理局。链接：http://www.eia.gov/dnav/ng/hist/res_epg0_r5302_nus_bcfa.htm 获取时间：2015 年 10 月 22 日。
15. Shale gas provides largest share of U.S. natural gas production in 2013. 链接：<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=18951> 获取时间：2015 年 10 月 25 日。
16. Figure ES3. U.S. net energy imports in six cases, 2005-40 (quadrillion Btu). Annual Energy Outlook 2015 with projections to 2040. Energy Information Administration. Link：[http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2015\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2015).pdf)。获取时间：2015 年 10 月 27 日。
17. China, U.S. announce ambitious climate change goals. http://news.xinhuanet.com/english/china/2014-11/12/c_133785099.htm。获取时间:2015年10月26日。
18. 中国未来能源发展战略探析·李伟。 http://www.nea.gov.cn/2014-02/12/c_133109179.htm。获取时间：2015 年 10 月 26 日。
19. 页岩气开发补贴政策出台，每立方米补贴 0.4 元。链接：http://news.xinhuanet.com/fortune/2012-11/06/c_123917386.htm 获取时间：2015 年 10 月 22 日。
20. 关于页岩气开发利用财政补贴政策的通知。链接：http://jjs.mof.gov.cn/zhengwuxinxi/zhengcefagui/201504/t20150427_1223392.html。获取时间：2015 年 10 月 22 日。
21. 计算细节请参考本报告第六篇文章《可再生能源发展基金的缺口究竟有多大？》的图 1。
22. Foreign investors play large role in U.S. shale industry. Energy Information Administration. 链接：<http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=10711>。获取时间：2015 年 10 月 27 日。
23. 同上。
24. Global Trends of Renewable Energy Investments 2015. 链接：<http://fs-unep-centre.org/publications/global-trends-renewable-energy-investment-2015>。获取时间：2015 年 10 月 27 日。

2. 可再生能源就业“拉动”效应的不确定性

政府智库、科研机构以及环保团体最近发布了多份关于可再生能源就业的研究。美国斯坦福大学的 Mark Jacobson 教授于 2015 年初发布的关于 G7 国家以及美国 50 个州 2050 年 100% 可再生能源路线图指出，在 2016-2050 年期间，美国的可再生能源行业将会创造将近 200 万个运营岗位以及 400 万个工程建设岗位¹，并详细列出了美国 50 个州在可再生能源行业的就业机会增加以及现有传统能源行业就业的减少²。

作为对中国能源政策有较大影响力的政府智库，国家可再生能源中心于 2015 年 4 月发布了《中国 2050 高比例可再生能源发展情景暨路径研究》³，该报告认为未来 30-40 年可再生能源在中国能源系统中可以取代化石能源并成为主流能源消费方式；在积极情景分析之下，到 2050 年中国可再生能源占一次能源消费的比例超过 60%。此份报告显示国家可再生能源中心和一部分能源政策决策者对未来 30 至 40 年实现能源低碳发展和系统性转型的积极态度和意愿⁴。关于就业问题在高比例可再生能源发展情景下，报告估计到 2050 年中国将会创造总计 1200 多万个可再生能源行业及相关产业的就业机会。

本文主要根据国内外已有研究，回顾中国可再生能源创造就业的发展历程，并从中国能源行业整体就业角度来分析过渡到高比例可再生能源面临的几个问题。

2.1 可再生能源与传统能源部门：找到就业“拉动”与“挤出”间的平衡

截止到 2007 年底，全国可再生能源行业就业总人数约为 110 万人，主要分布在太阳能、风能和生物质能行业，占当年非农就业的 0.24%⁵；而到了 2014 年，中国的可再生能源行业已经创造了将近 340 万个工作岗位⁶。绿色和平在 2015 年 9 月最新发布的《能源转型 / 革命》中的模型计算结果表明⁷，2015 年中国传统能源行业（包括煤炭、石油和天然气）与可再生能源行业就业岗位之比接近于 2.5:1，在可再生能源发展的强化情景下，这一比例在 2020 年将会是 1:1，即传统能源行业与可再生能源行业就业人数趋同，而到了 2030 年，这一比例转变为 1:3，即可再生能源行业就业人数将是传统能源行业的三倍。

可再生能源发展，会使全社会能源行业就业总量有所提高。因为在较长时间跨度来看，可再生能源的就业增加高于煤炭等传统能源部门就业减少，而且可再生能源发展所创造的工作岗位中有很大一部分是新兴部门中待遇相对较高的体面工作，而传统能源中减少的多为保障度低、健康风险较高且环境负面影响较大的工作岗位。目前多个情景模拟研究的结果都表明，就能源行业就业总体来说，可再生能源的就业“拉动效应”要高于传统能源行业的就业“挤出效应”，从长期来看全社会能源行业总就业量不会下降，反而会有有一定提高⁸。

不过在能源转型的过程中，能源行业总体就业水平也可能在某个时期的特定部门出现暂时性停滞甚至下降，也就是说传统能源行业的就业减少量会高于可再生能源带来的就业增加量，导致整个能源行业的净就业总量减少。于 2014 年启动的

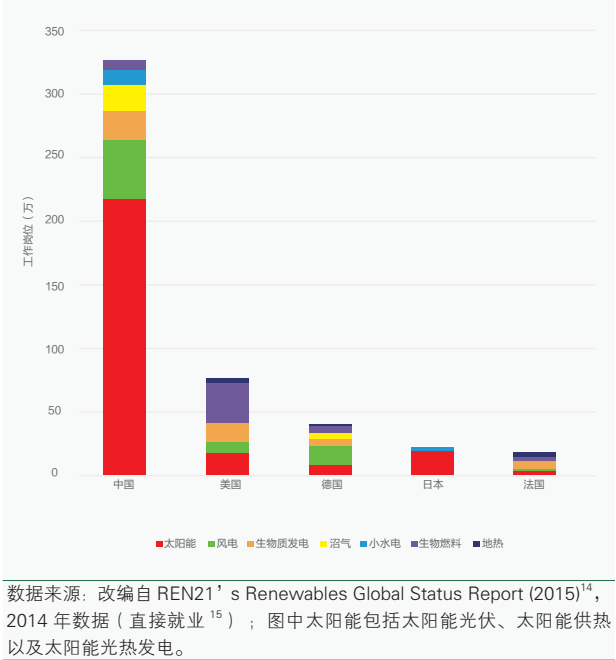
中国煤控项目⁹中一子项目探讨了煤炭总量控制以及可再生能源替代对于就业影响；根据此研究的预测，2030 年之前火电及供电部门的就业人数减少抵消了可再生能源电力行业的就业增长，整个发电部门的总体就业人数在 2030 年之前都是呈下降趋势；不过由于可再生能源发电相关制造业在 2030 年之前发展最快、就业拉动效应最高，所以发电和设备制造业的总体就业水平还是增加的。但是如果将燃料供应端即煤炭开采与选洗考虑进来，2030 年之前的能源行业总体就业水平其实是在下降的，也就是说可再生能源替代火电之路要经历就业减少的过程。2030 至 2050 年这一期间虽然煤炭开采与选洗的就业下降依然持续，但是由于可再生能源电力的强劲就业增长势头，能源行业净就业数量增加。所以对于中国来说，2030 年很可能将成为一个能源行业的就业拐点，即可再生能源发展到一定规模后，抵消了传统能源行业的就业减少，使能源行业整体就业增速加快。

这与 2030 年之前我国煤控政策以及温室气体减排目标有很大关系¹⁰，能源活动产生的二氧化碳排放量很有可能要在 2030 年之前达到峰值，这会导致煤电行业就业人数下降速度加快。所以对于煤电行业的就业来说，2020 至 2030 年之前是个极具挑战的时期，既要考虑到上游煤炭采选部门就业人数的加剧减少，又要考虑到发电部门同样将要面临就业减少情况。因此，这一时期需要利于能源行业转型的政策，提前部署如何解决过渡过程中可能出现的问题，如区域转移、产业整合、地域发展差异、人才储备与培养、以及政策不确定性等。

2.2 太阳能光伏：对于中国可再生能源就业的支撑作用将减弱

在世界各国对清洁能源需求持续增长和国际气候变化谈判的大背景下，中国作为可再生能源产业的主要制造基地之一，在接下来 5-10 年内应该会维持稳定的增长势头，这些行业的就业数量也同全球太阳能及风电装机有密切的联系。中国目前可再生能源行业的就业增长潜力主要是依靠新技术的研发和引进所带来的产业规模的迅速扩大，随之而来的包括电厂建设与运维以及相关制造产业对于劳动力的需求也会被迅速带动；随着可再生能源行业对整个国民经济影响进一步加深，相关行业劳动力需求也会相应明显增加¹¹，不过这部分间接就业效应并不是本文要讨论的。

图 1：中国与世界其他国家可再生能源工作岗位数量比较



目前中国的可再生能源行业的就业人数占世界总量的 40% 以上，主要是集中在太阳能光伏、太阳能热水器、风电、生物质发电等领域。其中太阳能光伏为中国提供了最多的工作岗位，接近可再生能源就业总数的一半，2014 年比上一年增长了 4% 达到 160 多万人，这不仅是由于国际上对于太阳能光伏需求的增加，还来自于国内装机的增长。太阳能热水器制造行业就业人数为 60 万人，这个数字大大低于上一年，达到了 20% 的跌幅¹²，这应该与国家工信部倡导行业整合以及完

善标准体系¹³等政策有关。风电行业的就业人数为 50 万人；生物质发电、生物燃料、小水电和沼气行业的就业人数之和也仅占到了可再生能源就业总量的 20%。当然中国太阳能和风电行业占总就业量 80% 以上这一现象是与其资源禀赋以及制造业导向型有关，尤其是近些年国内的补贴政策、低成本以及接近市场等方面因素，全球风电设备和光伏设备产业从欧美向中国转移也让这两个行业的就业总量水平大幅提升。

相比较，日本的可再生能源就业非常集中于太阳能光伏发电，所占比例高达 96%。而美国的生物燃料行业的就业比例最高，占其就业总量的 39%，太阳能的比例为 24%、生物质为 21%，风能仅为 10%。德国风电行业的工作岗位最多，占到就业总量 37%，太阳能光伏、沼气以及生物质发电的比例接近，都在 13-15% 之间。

如果按照每兆瓦工作岗位数量来判断工作岗位的单位产生量，中国的太阳能光伏和生物质发电的单位装机工作岗位数量远高于世界平均水平，分别为每兆瓦 59 和 24（表 1），而太阳能热水器和风电则更接近世界平均水平。这也从另一个角度说明为什么中国太阳光伏行业现在是以光伏设备制造创造就业为主，从长远来看随着技术竞争的加剧、过剩产能逐步消化、生产效率的提高以及可能出现的制造业产业转移，中国太阳能行业单位装机的高就业量势必会降低并向世界平均水平看齐。德国目前光伏发电每兆瓦的工作岗位数量仅为 1 个，这主要是由于光伏制造业转移导致本国的工作岗位主要集中于安装和运维，同时其较高的生产效率也应该是单位就业量如此低的一个原因；而美国和日本的单位装机岗位数量比较接近，分别为 8 和 9 个，仍低于世界平均水平的 14，这是因为两国光伏产业从制造到运行产生的工作应该是基本平衡的，并不需要像德国那样依赖进口，也不像中国太阳能光伏产业那样，大部分的光伏产品都出口到欧美国家。随着中国国内光伏发电装机的迅速增加，中国光伏产业设备制造部门的就业人数在一定时期内仍然会处于较高的水平。

由于我国的太阳能光伏的单位装机工作岗位数量的高水平，我们查阅了 REN21 有中国可再生能源就业数据的历年报告，试图了解其过往的动态变化；结果表明其总体变化趋势明显，从 2010 年的每兆瓦 139 个工作岗位降至 2014 年的 59

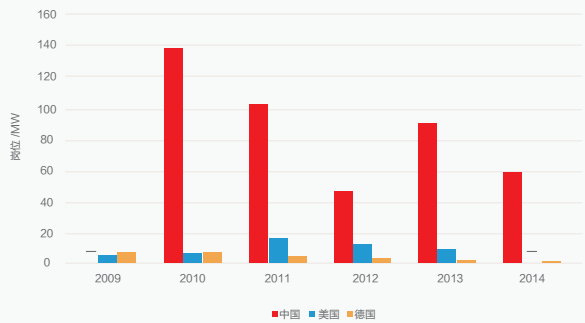
表 1：中国与世界其他国家可再生能源单位装机工作岗位数量比较

（ 岗位 /MW ）	中国	美国	德国	日本	世界平均
太阳能光伏发电	59	8	1	9	14
生物质发电	24	9	6	–	9
风电	4	1	4	1	3
太阳能热利用	2	–	1	–	2

数据来源：根据 REN21’ s Renewables Global Status Report (2015) 中数据计算；美国的太阳光伏发电数据位 2013 年，其他就业数据都为 2014 年；太阳能热利用以热功率计（ MWth ）。

个（图 2），这体现出技术本身效能的提高以及设备制造端和发电端生产效率的提高。与中国相似，美国和德国的变化趋势也都是在 2010 年之后单位装机就业数量逐渐降低，不过数量水平始终与中国相差较大。中国风电和太阳能热水器的单位装机就业量的年际变化性不大，基本稳定在较低水平，且与世界平均水平接近。

图 2：中国、美国和德国的太阳能光伏发电单位装机工作岗位数量的变化比较



数据来源：根据 REN21’ s Renewables Global Status Report 系列报告与 Renewable Energy Capacity Statistics 2015 报告¹⁶ 中数据进行计算得出；REN21 报告中指出 2012 年中国的就业数据应该是低估了，所以出现了 2012 年的低谷值。

通过上述分析，我们认为在中短期之内中国未来新能源行业提供就业的增长点还是会主要来自于太阳能相关产业，但是鉴于太阳能光伏的单位装机工作岗位数量呈下降趋势，行业整体就业增速会逐渐降低。从长期来看，由于补贴减少、产能过剩的逐步消化、成本提高、及其可能带来的制造业跨国转移，太阳能源光伏产业拉动就业的增长潜力会持续降低，如果 2020 年是一个分界点的话，那么 2020-2030 年这段时期就业拉动的放缓与本文第一部分提到的可再生能源与传统能源行业可能出现的净就业数量减少预期出现了时间上的重合。所以，我们认为中国未来的可再生能源就业岗位可能会存在一个回落期，如果这个时期是在 2030 年之前出现，那么中国的可再生能源行业可能会在就业增长方面面临一个巨大的挑战。由于看不到本文所引其他报告关于可再生能源就业 2030 及 2050 年长期就业趋势预测的假设，我们暂且认为这些研究对于整个可再生能源行业就业水平高估的可能性比较大。因此，中国除了需要在接下来的五年计划中调高可再生能源装机目标之外，可能更需要发掘一些新的能源行业就业增长点来弥补上述的可再生能源就业量的高估。

结语：

本文对多份关于可再生能源就业问题的报告及数据进行了比较和分析，认为可再生能源就业的拉动效应在 2020-2030 年这一时期可能会面临两个问题：首先是传统能源行业的就业加速下降抵消了可再生能源的就业拉动效应，导致能源行业整体就业水平有所下降；其次，作为当前就业拉动主角的太阳能光伏行业在此期间可能会面临就业拉动乏力的局面。第一个问题在很大程度上来自历史包袱和未来政策影响，所谓历史包袱即中国的能源结构过渡依赖煤炭；所谓的未来政策即未来 10-15 年煤炭消费比例会大幅度降低。第二个问题，即太阳能光伏行业的就业究竟在未来十年左右能否保持很高的就业创造能力，主要取决于国内发展光伏发电的目标和支持政策。

无论如何，中国毕竟面对庞大的传统能源就业人群，并且要在较短时期内减少煤炭消费比例，即使可再生能源发展速度不断提升，带来的就业增量持续膨胀，然而在一定时期内出现能源行业就业总数量净减少的情况也是不可避免的情况；但是需要政策决策者思考有利于能源行业转型期就业增长的具体促进政策，也同时需要应对传统能源行业替代过程中可能出现的与就业大量减少相关的社会、经济问题。

注释：

1. 工作岗位主要利用经济学投入产出 JEDI 模型计算得出建设期以及运维期的工作岗位增加数量，并以全职人力工时 (FTE ,Full-time equivalents) 来作为计算单位。 <http://www.nrel.gov/analysis/jedi/download.html>，获取时间：2015 年 10 月 23 日。
2. 100% clean and renewable wind, water, and sunlight (WWS) all-sector energy roadmaps for the 50 United States, <http://web.stanford.edu/group/efmh/jacobson/Articles/I/USStatesWWS.pdf> 获取时间：2015 年 10 月 23 日。
3. 中国 2050 高比例可再生能源发展情景暨路径研究，http://www.efchina.org/Reports-zh/china-2050-high-renewable-energy-penetration-scenario-and-roadmap-study-zh?set_language=zh 获取时间：2015 年 10 月 23 日。
4. 注：此前仅在 2007 年国家发改委发布的《可再生能源中长期发展规划》中提到 2020 年可再生能源消费量达到能源消费总量的 15% 左右，并没有单独提出可再生能源 2030 甚至 2050 目标；在《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》中提到 2030 年非化石能源占一次能源消费比重达到 20% 左右的目标。
5. 中国绿色就业的发展，<http://www.calss.net.cn/n16/n1194/n1233/27793.html> 获取时间：2015 年 10 月 23 日。
6. Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2015 (IRENA), http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2015.pdf 获取时间：2015 年 10 月 23 日。注：不同来源的就业数据供定性参考，不能简单用来进行横向比较（下同）。
7. Energy-Revolution-2015 (Greenpeace), <http://www.greenpeace.org/international/en/publications/Campaign-reports/Climate-Reports/Energy-Revolution-2015/>，获取时间：2015 年 10 月 23 日。
8. 煤控政策、生产效率提高、可再生能源和低碳技术的发展都会使传统煤炭产业和高度依赖煤炭使用的产业就业水平降低，造成就业挤出效应；可再生能源以及能源与节能服务产业快速发展会提供更多的工作岗位，也就是就业的拉动效应。
9. 煤控项目旨在“为设定全国煤炭消费总量控制目标、实施路线图和行动计划提供政策建议和可操作措施，促使煤炭消费量在 2020 年前达到峰值，帮助中国实现资源节约、环境保护、气候变化与经济可持续发展的多重目标”。项目网站：<http://www.nrdc.cn/coalcap/>，获取时间：2015 年 10 月 23 日。
10. 强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献（全文）http://www.gov.cn/xinwen/2015-06/30/content_2887330.htm 获取时间：2015 年 9 月 28 日。
11. 可再生能源产业发展的就业效应，林宝，《劳动经济研究》2014 年第 2 卷第 1 期。
12. Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2015 (IRENA), http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Jobs_Annual_Review_2015.pdf 获取时间：2015 年 10 月 23 日。
13. 工业和信息化部关于促进太阳能热水器行业健康发展的指导意见，<http://www.miit.gov.cn/n11293472/n11293832/n12843926/n13917057/15402040.html> 获取时间：2015 年 10 月 23 日。
14. REN21’ s Renewables Global Status Report , <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>，获取时间：2015 年 10 月 23 日。
15. 直接就业是指可再生能源技术设备零部件或电厂在设计、制造、运输、建设安装、项目管理、运行维护过程中创造的就业岗位；间接效应是指来自上下游厂商的“厂商效应”，如制造和安装风机是直接就业，冶炼制造风机所需的钢材则是间接就业。
16. Renewable Energy Capacity Statistics 2015 , http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2015.pdf 获取时间：2015 年 10 月 23 日。

3. 交通电气化——未雨绸缪，助推低碳转型

交通部门的碳排放主要来自道路运输、水路运输和航空运输燃料的燃烧。根据国际能源署（IEA）的数据，中国交通部门的排放量中大约有 80% 来自于道路运输领域¹。在全球电力部门逐步实施可再生能源变革的背景下，实现道路交通电气化是实现交通部门低碳发展的关键²。尽管目前在交通电气化发展的过程中存在众多不确定性，例如电动汽车制造成本、续航能力、政策激励的延续性、充电基础设施建设、电网适应性等因素，但从长远来看，电动汽车替代传统燃油汽车是交通部门低碳转型的主要路径。

面对中国承诺碳排放在 2030 年前后达到峰值、2030 年碳排放强度在 2005 年的基础上降低 60-65%、非化石能源占一次能源比重于 2030 年达到 20% 左右等宏观目标，中国的各主要能耗部门都面临控制二氧化碳排放增长速度的政策压力。电力、工业、建筑和交通等四个能源消耗的主要部门面临低碳发展的困难程度有很大不同。通过发展可再生能源发电，电力部门的低碳发展处于现在进行时，并且取得了相当大的进展。随着可再生能源发电比例的提高，消耗电力较多的工业和建筑部门也会得到减排的收益，尽管工业和建筑部门在供热领域面临如何用低碳方式替代的挑战。四个部门中减排挑战最大的当属交通部门，因为此部门的能源来源仍然以石油资源为主，交通部门电气化程度很低。随着中国城市化进程深入、汽车保有量的增加，交通部门排放占中国碳排放总量的比例预计会保持上升势头，如果不及时考虑和制定交通电气化战略，那么，在 2030 年后，交通部门有可能为碳减排带来主要挑战。

本文将中国 2030 年交通部门的碳排放置于全社会总排放和全球 2°C 温度控制情景下全球碳排放总量限值的分析框架中，并且把中国控制碳排放增长速度以给其他发展中国家存留发展空间作为策略制定的重要衡量因素，讨论尽早推动交通电气化发展的必要性。本文认为尽快制定一个中长期交通领域电气化发展目标（如 2030 和 2050 交通部门电气化比例）和实施路线，是一项为未来实现低碳能源转型而奠定基础的未雨绸缪的战略。

3.1 交通部门碳排放占比将持续增加

2011 年中国消费原油 4.6 亿吨，其中 2.6 亿吨来自于进口³。交通部门碳排放量在 2011 年达到 6.2 亿吨，占到中国碳排放总量的 6%⁴；2012 年交通部门碳排放增长到 7 亿吨，当年石油消费带来的碳排放为 11.5 亿吨⁵，交通部门石油消费碳排放占比 61%。能源结构调整和城市化进程不仅使中国石油消费量仍会稳步增长，而且交通部门碳排放的占比也可能相应增加。

根据国际能源署对中国 2014-2030 年均石油消费增长 2.4% 的预测⁶，可推测出中国到 2030 年的石油消费碳排放会增长至 17.6 亿吨。有研究预测交通部门从现在到 2030 年的年均增长率为 3.5%⁷，这比石油消费碳排放增速要高，主要是由于我国交通发展水平的提高导致碳排放量增速预期要远高于其他石油消费部门。中国公路交通在 2012 年碳排放占有所有交通部门（包括公路、铁路、航空和水运）总排放的 80%，比世界平均水平高出 5%⁸。此外，一项关于中国交通行业分部门的碳排放研究表明，2010 年我国交通运输业的碳排放量比 1990 年增加了近 3.5 亿吨，其中 3.1 亿吨来自公路交通⁹。

根据中国碳排放的历史趋势、社会经济发展和能源行业变革等因素，全球经济和气候研究委员会（Global Commission

on the Economy and Climate, GCEC）的一项研究认为，中国 2030 年碳排放量将达到 138 亿吨¹⁰。中国 2012 年的碳排放是 107 亿吨¹¹。从 107 亿吨增加到 138 亿吨，中国碳排放增长趋势其实将给全球为实现在本世纪控制平均气温升幅低于 2°C 的努力带来挑战。为了实现平均 2°C 的温度升幅控制，2030 年的全球碳排放量应当在 280-420 亿吨之间¹²。联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）认为是 280 亿吨¹³，联合国环境规划署和国际能源署分别给出的是 360 亿吨和 380 亿吨。本文以 350 亿吨作为参考值¹⁴。

中国能否在 2030 年左右达到一个较低的碳排放峰值，不仅影响全球 2°C 温度控制的努力，也影响最不发达国家的潜在碳排放空间。如果 2030 年中国碳排放的确达到 138 亿吨，占全球 2°C 理想排放 350 亿吨的比例将高达 39%。2016-2020 年之间，中国一方面要经历以消耗过剩产能为主要任务的经济结构调整；另一方面以减少煤炭消费为主要任务的能源系统转型将加快进程，加上更为积极的可再生能源发展目标和政策，我们预计中国未来 10-15 年碳排放的年增长率会较低。2030 年中国碳排放很有可能比 138 亿吨低。在 2013 年全球碳排放 397 亿吨的情形下¹⁵，中国的碳排放占比已经达到

29%。虽然中国的占比仍会增加，但我们假设到 2030 年中国碳排放量占全球的比例不会增加到 39%。因为如果中国达到如此高的比例，即使经合组织国家（OECD），特别是欧盟和美国减排目标如期实现，那么届时经济更为落后的发展中国家的碳排放增长空间就非常有限。

3.2 公路交通电气化：为未来承担减排责任奠定基础

面对能源供应安全和减少碳排放的压力和责任等挑战，中国一方面应采取各种举措使碳排放尽早达峰并迅速从峰值开始下降，另一方面应当控制碳排放的增长幅度。在众多控制碳排放增长幅度的举措中，我们认为尽快推动公路交通部门的电气化发展便是重要策略之一。中国燃油汽车数量迅速攀升带来的石油消费负担以及日益严峻的环境问题，因而中国应当有较强的意愿来推进交通部门的电气化。因为这会带来多赢的局面，而且越早推进，将来在交通部门减排上越能留存主动空间。从这个角度讲，现在制定的策略和政策将为中国 2030 年后应对气候变化带来积极的影响。

截至 2014 年底，我国已有各类电动汽车 12 万辆。根据中国汽车工业协会近期的数据显示，2015 年 9 月份新能源汽车（主要为电动汽车）销售量为 2.8 万辆，2015 年前 9 个月的新能源汽车销售总量为 13.7 万辆¹⁶，估计到年底的总数可能在 30 万辆之内，与十二五规划中提出的纯电动汽车和插电混合动力车保有量 50 万辆的目标有一定的距离¹⁷。考虑到目前国家支持电动汽车发展的补贴和减税等多种优惠政策仍会延续，实现 2020 年新能源汽车累计产销量 500 万¹⁸ 辆的目标是有可能的。

从技术角度来讲，中国在新一代燃料电池汽车关键技术领域（电池、电机和电控等）与国外之间的差距并不是很大，随着国家加大支持发展新能源汽车的政策力度，发展电动汽车也有助于中国在相关领域的技术创新。

与欧洲相比，中国未来 10-20 年的减排重点是电力部门和工业部门。然而随着中国经济和能源结构的调整，中国也迟早会面临欧洲发达国家如德国，在交通和建筑部门碳减排难度大的问题。鉴于技术成熟度以及政府日渐增加的支持，中国应当现在就设定积极长远的电动汽车发展目标，未雨绸缪，为交通部门通过电气化实现低碳发展早做准备。同时，推进交通电

我们这里假设中国到 2030 年碳排放占全球的比例为 35%，即 122.5 亿吨。届时，交通部门碳排放如果按照年增速 3% 来计算的话，2030 年将达到近 12 亿吨，占到中国总排放的比例约 10%；如果公路交通在整个交通部门占比降至当前的世界平均水平，即 75%，那么公路交通的总排放为 9 亿吨，会占到中国碳排放总量的 7.5%。

气化和电力部门低碳转型，可能会投入较大的成本，但未来可以收获交通与电力部门一同实现低碳发展的成果。从现在开始就实施交通电气化策略，将为中国达峰后迅速步入碳排放减少的路径提供重要支持。

中国 2013 年 70% 左右的电力消费来自煤电¹⁹，2030 年这一比例将下降至 33% 上下²⁰。电力系统的持续低碳发展将增强交通电气化的碳减排效应。当前每辆电动汽车替代汽油车每年可减少的碳排放量约为 1.6 吨²¹，虽然电网排放因子将来会大幅降低，但是汽油车碳排放效率也在提高，我们假设到 2020 年单辆电动汽车相比传统的汽油车一年能减少碳排放 1.3 吨，2030 年会进一步降至 0.8 吨。

表 1：电动汽车发展至 2030 年的碳减排量估算

	2015	2020	2030(A)	2030(B)
每辆电动汽车年减排量 (吨二氧化碳)	1.6	1.3	0.8	0.8
电动汽车数量(万辆)	30	500	1500	6000
二氧化碳减排量(万吨)	48	650	1200	4800

数据来源：这里所指的电动汽车为轻型乘用车；2030 年电动汽车数量是按照国家 2020 年目标推算；这里只是考虑燃料使用或电网取电带来的直接排放。

如果 2030 年电动汽车达到 1500 万辆的规模，将产生 1200 万吨的碳减排量，占整个公路交通 9 亿吨碳排放量的 1.3%。如果保有量达到 6000 万辆，这相当于当年乘用车保有量的 24%²²，那么电动汽车可以贡献 4800 万吨二氧化碳减排量。从目前电动汽车的发展来看，15 年的时间内，从目前的 50 万辆的规模增加到 6000 多万的规模，并非不可能的事情，近年来中国年新增乘用车数量都远超 1000 万²³，如果未来 15 年，平均每年增加电动车 400 万辆，那么到 2030 年将达到 6000 万辆。电动车未来的增长空间巨大。

结语：

交通电气化带来的碳减排受到中国电力系统碳密集特点制约。随着煤电比例下降和可再生电力的增加，电动汽车发展带来的碳减排效应将日益明显。中国应当现在就制定和实施交通电气化战略，与电力部门低碳发展同时进行，由此可以尽快获得电力系统低碳转型带来的减排收益。更重要的是，在全球 2° C 温度控制情景下，中国尽早主动规划减排战略，不仅可以为国内碳排放达峰后迅速减排奠定基础，也是为经济发展水平更低的发展中国家提供一定碳排放的空间，为全球应对气候变化的努力贡献力量。

注释：

1. CO₂ Emissions from Fuel Combustion — Highlights. Paris: OECD/IEA.

2. Pathways to Deep Decarbonization: 2014 Report. Institute for Sustainable Development and International Relations (IDDRI)/Sustainable Development Solutions Network (SDSN). September 2014.

3. BP Statistical Review of World Energy June 2015 Link: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>，获取时间：2015 年 11 月 30 日。

4. Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0. [online] Available at: <http://cait2.wri.org> World Resources Institute (WRI), 2014，获取时间：2015 年 11 月 30 日。

5. CO₂ Emissions From Fuel Combustion Highlights by IEA 2014, 2014<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2014.pdf>，获取时间：2015 年 11 月 30 日。

6. World Energy Outlook 2014. Paris: International Energy Agency (IEA) .

7. The Transport Contribution to CO₂ in China，Jianping Wu.2015.

8. CO₂ Emissions From Fuel Combustion Highlights by IEA 2014, 2014<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2014.pdf>，获取时间：2015 年 11 月 30 日。

9. 我国交通运输业碳排放及其减排潜力分析，<http://www.cqvip.com/qk/93306x/2012012/44378127.html>，获取时间：2015 年 11 月 30 日。

10. China and the New Climate Economy. Global Commission on the Economy and Climate (GCEC). Beijing: Tsinghua University.

11. Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) 2.0. Available at: <http://cait2.wri.org> World Resources Institute (WRI), 2014，获取时间：2015 年 11 月 30 日。

12. 同上。

13. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2014. Summary for Policymakers In:Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Cambridge University Press.

14. China’ s “new normal” : structural change, better growth, and peak emissions Fergus Green and Nicholas Stern.

15. Global carbon emissions rise to new record in 2013: Report. Link：Reuters <http://www.reuters.com/article/2013/11/19/us-global-carbon-emissions-idUSBRE9AI00A20131119#8U6cVYZymZTAeveH.99>，获取时间：2015 年 11 月 30 日。

16. New energy vehicles kept a high-speed growth，<http://www.caam.org.cn/AutomotivesStatistics/20151022/1005175995.html> ,获取时间:2015年11月30日。

17. 国务院关于印发节能与新能源汽车产业发展规划（2012-2020 年）的通知，http://www.gov.cn/zwqk/2012-07/09/content_2179032.htm，获取时间：2015 年 11 月 30 日。

18. 同上。

19. 中电联发布 2014 年度全国电力供需形势分析预测报告 <http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/gongxufenxi/dianligongxufenxi/2014-02-25/117272.html>，获取时间：2015 年 11 月 30 日。

20. 根据国家可再生能源研究中心 2015 年 4 月发布的《中国 2050 高比例可再生能源发展情景暨路径研究》中的数据整理。 http://www.efchina.org/Reports-zh/china-2050-high-renewable-energy-penetration-scenario-and-roadmap-study-zh?set_language=zh，获取时间：2015 年 11 月 30 日。

21. 电动汽车的种类较多，本文在这里的估算仅以纯蓄电池电动汽车为参照。假设车辆每年行驶 15000km，轻型乘用车当前的排放因子为 180g/km，到 2020 年为 150g/km，2030 年降低为 90 g/km。电动汽车每公里耗电 0.1 kWh，电网碳排放因此参考 2014 年全国平均值 0.75 tCO₂/MWh，得出电动汽车在当前用电碳排放因子为 75 g/km；在这里我们简单假设与当前相比 2020 年电网排放因子降低 15%，2030 年减少 50%。2014 年中国区域电网基准线排放因子参考：<http://cdm.ccchina.gov.cn/archiver/cdmcn/UpFile/Files/Default/20150204155537627092.pdf>，获取时间：2015 年 11 月 30 日。

22. 中国国家科技部在《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》中预测，中国乘用车保有量到 2020 年和 2030 年将分别达到 1.5 亿和 2.5 亿辆。（规划第五页，链接：<http://www.most.gov.cn/tztg/201204/W020120503407413903488.pdf>，获取时间：2015 年 11 月 30 日）

23. 2020 年中国乘用车年销量 2200 万，年增 8%。 http://news.xinhuanet.com/auto/2012-11/22/c_123984013.htm. 获取时间：2015 年 11 月 30 日。

4. 合理的电价形成机制是电力改革的核心——对于输配电定价机制的思考

由于其自然垄断属性、运营的复杂性和在经济结构中的重要性，以打破垄断、提升竞争水平、增进经济效率和社会福利为目标的电力改革对任何国家来说都是重大挑战。2015 年 3 月中国政府发布《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》¹（以下简称《若干意见》），开启了继 2002 年厂网分离、政企分开之后新一轮更为深入的电力改革。此次改革的重点是将电力输配环节与零售环节分离，理顺电价形成机制，在面向终端用户的电力销售环节实行市场开放准入、引入竞争主体、促进投资增加。此次改革能否真正提升行业效率和服务水平，激发技术、管理和流程创新，并最终增加整体社会收益和福利，仍然需要耐心和时间来评判。尽管如此，我们认为借鉴欧洲和美国电力改革的理论经验是有价值的，欧美的电力改革仍未结束，中国的新一轮电力改革刚刚开始。本文扼要回顾欧美基于二十多年电力改革经验而积累下来的监管理论经验，对比当下中国电力改革的监管策略，以电价形成机制为切入点，讨论中国此次电力改革面临的主要问题。

4.1 一张电力改革的路线图

研究电力市场的美国学者 Paul L. Joskow 认为电力部门的市场化改革可以遵循一个基本框架²，即一张电力改革的路线图。虽然实际改革要更复杂，但这一框架勾勒出电力改革所要面对的诸多矛盾和彼此之间的影响，有助于电力改革者审慎确立改革的方案和计划。框架有 11 个部分：

1）	将国有垄断电力企业私有化，摆脱政府对电力企业运营和管理的干预，让企业决策面对市场，从而产生预算限制和改善运营效率的经济动机；
2）	纵向把电力行业中具有竞争潜力的环节（发电、市场营销、零售）和未来继续需要在结构上或者功能上进行政府监管的环节（系统运行、输电、配电环节）分离开来；
3）	横向重建电力生产市场，确保有足够多的发电企业互相竞争，使电力批发市场基本处于竞争态势；
4）	横向整合电网运营和传输资产，确保电网系统运行的可靠性，并在此基础上指导该领域的投资；
5）	建立自愿性的、公开的电力现货批发和运营负荷储备市场机制，从而支持实时的电力供需平衡，分配稀缺的电网传输容量资源，以对计划之外的电力传输和发电设施的中断作出积极有效的响应；
6）	发展需求侧管理机制，以允许电力消费者对电价的变化作出反应，充分将对电价的需求侧响应和电力可靠性标准整合到电力批发和零售市场当中；
7）	应用监管规则和支持开放电网的制度来推动批发买卖双方可以使用传输网络，以促进有效竞争的电力生产和交易；
8）	保持电网输配环节的基本垄断（有监管）状况，分拆零售电价，即分开零售电力供应的价格和与消费者服务有关的价格（这部分服务在竞争状态下提供）；
9）	在决定不存在零售电力竞争的地方，如家庭和小型商业消费者，配电企业有责任通过在竞争性的电力批发市场购买并向其供给电力，或者配电企业自己建设发电设施来供电，但价格要与在批发市场的价格一样，通过竞争定价而形成；
10）	建立独立监管机构，了解电力成本、服务质量和效率等信息，对输配环节的电价进行监管，并规定批发和零售电力供应者如何使用电网资源；
11）	设立转型机制，来应对旧电力系统向新电力系统转变过程中出现的问题。

从以上框架可以看出电力改革的复杂程度。中国政府 2002 年的电力改革实现了电网与发电厂之间的分离，初步形成了发电侧竞争市场。对照以上电力改革的框架，2002 年的改革仅完成了有限的几个目标。输配环节与零售环节仍然没有分开，电价的形成机制当中仍然缺乏市场的角色。

无论从分离发电、输配和零售环节，开放售电侧和发电侧的竞争，还是调整电价形成机制，确定电力市场交易机制等，没有合理有效的监管策略，都难以实现成功的电力改革。下面我们来看欧美电力改革中监管策略的主要挑战。

4.2 电力改革中监管策略的变化

欧美发达国家二十多年的电力改革实践也推动着关于电力改革的公共政策研究，辛勤耕耘的学者为实践当中遇到的监管问题不断提供着更好、更合理的政策解决方案。我们这里简要介绍因在“市场权力和监管”研究方面作出杰出贡献而获得2014年诺贝尔经济学奖的法国经济学家 Jean Tirole 在电力监管方面的主要研究成果，他和其他学者在电力改革监管问题上的研究对欧洲和美国的电力监管政策有着巨大影响³。

首先是电力部门监管策略。由于信息不对称，针对如电力等垄断性行业，监管者无法给出一个合理的电价（电力企业为所提供的服务要收取的费用）。监管者不但无法知道电力公司提供服务的成本，也难以得知公司减少成本的潜力。与公司运营者相比，监管者总是处于劣势。监管者必须承认自己在信息不对称上的劣势，而采取新的监管策略。Tirole 和另一位法国经济学家 Laffont 给出的解决方案是：通过委托-代理的模式，提供被监管者一个有激励机制的菜单式契约，契约内有一系列成本分享选择。而公司会选择最适合其绩效潜力的契约，因为契约内有针对公司发挥潜力后给予的激励。作为公司如此选择的回报，监管者支付公司一种信息租金（informational rent）。

电力传输网络具有自然垄断属性，如何开放这种资源并使其在竞争状态下被使用，始终是电力改革中的难题。在电网改革研究方面，Tirole 和 Joskow 通过区分物理所有权（physical right）和财务所有权（financial rights）提供了针对电网设施难以开放使用和电网投资可能不足的解决方法⁴。

Tirole 的第三个主要研究成果在电力零售市场竞争领域。由于没有实时电表，零售端服务提供者在售电时一般基于所估计用户的电力负荷特点（load profile），而这并不必然反映出用户实际用电情况。没有实时电表，消费者对自身用电行为特点了解有限，对零售电价不敏感。即使有了实时电表，如果没有方法和手段允许电力用户简单方便的改变用电行为，零售电价调节供需的作用就非常有限，因此零售端电力市场的效率会大打折扣⁵。

Tirole 在电力市场研究中的第四个重要贡献在发电投资和容量市场方面，我们会在未来关于电力改革的政策讨论中介绍。

4.3 输配电定价的监管策略

此次中国电力改革的首要任务是单独核定输配电价⁶，通过建立电力交易机制，使得发电侧和售电侧的电价由市场决定。而核定输配电价直接关系电网企业的利益，因此《若干意见》对电网的市场定位给出了明确描述：“改变电网企业集电力输送、电力统购统销、调度交易为一体的状况，电网企业主要从事电网投资运行、电力传输配送，负责电网系统安全，保障电网公平无歧视开放，按国家规定履行电力普遍服务义务。”

改革和规范电网企业运营模式。电网企业不再以上网电价和销售电价价差作为收入来源，按照政府核定的输配电价收取过网费。确保电网企业稳定的收入来源和收益水平。规范电网企业投资和资产管理行为。

对于输配电价的核定，《若干意见》规定：“政府主要核定输配电价，并向社会公布，接受社会监督。输配电价逐步过渡到按“准许成本加合理收益”原则，分电压等级核定。用户或售电主体按照其接入的电网电压等级所对应的输配电价支付费用。”

为了落实以“准许成本加合理收益”原则来核定输配电价，发改委2015年6月发布了《输配电定价成本监审办法（试行）》⁷，这是以监管者身份由上而下对电网企业如何确定自身运营的成本作了详细规定。此种输配电定价方式与前文提到的 Tirole 关于监管策略研究中建议的有激励选项的菜单式契约方式截然不同；从很大程度上讲，在中国电力改革中，监管者仍然没有摆脱对电网企业运营的干预，似乎也不愿承认与企业实际管理者在关于影响电价信息上不对称的情形。在这样的模式下，电网企业恐怕会缺乏提升运营效率、稳定增加投资提高电网系统运行可靠性的动力和意愿。

虽然新的定价机制在内蒙古和深圳等一些地方的试点获得了一些成果，电价有所下降，但目前的输配电定价机制恐怕仍然没有解决如何监管适度、给电网企业留有提高效率的激励空间的问题。当然，中国的电力改革之所以采取这样的定价方式，也许是基于所有制的限制没能真正确立监管者与电网企业之间的委托-代理关系。此外，评价输配电定价机制是否合理，我们还可以从电力改革中其他目标的实施来审视，例如售电侧电价如何通过市场交易实现，终端电价与输配电价彼此如何影响等。新一轮电力改革已经启动了电价形成机制全面改革的进程，我们将持续关注。

结语：

电力改革是一项艰巨复杂的任务，欧美国家电力改革的实践和关于电力改革监管的研究有助于中国成功实现以促进竞争、激发技术创新、增进市场效率、提高社会福利为目标的电力改革。我们认为2015年启动的中国电力改革的核心是电价形成机制的确定。扼要回顾以 Tirole 代表的当代欧美电力市场改革的主要理论进展有助于中国更好地设计此次电力改革的策略，尤其是如何形成电价的机制。从目前输配电定价方式来看，我们认为目前的输配电定价机制恐怕仍然没有解决如何适度监管、给电网企业提供激励空间的问题。电力改革试点也是积累经验的过程，我们会持续关注输配电定价机制在未来可能出现的调整。

注释：

1. 《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》，<http://hvd.c.chinapower.com.cn/news/1037/10374392.asp>, 获取时间：2015年12月4日。

2. Lessons Learned From Electricity Market Liberalization. Paul L. Joskow. The Energy Journal, Special Issue. The Future of Electricity: Papers in Honor of David Newbery. 2008.

3. Jean Tirole: imperfect competition and regulation of the electric power industry. Claude Crampes, Thomas-Olivier Léautier. <http://debate.tse-fr.eu/article/jean-tirole-imperfect-competition-and-regulation-electric-power-industry?language=en>, 获取时间：2015年12月4日。

4. Paul Joskow and Jean Tirole, Transmission rights and market power on electric power networks, RAND Journal of Economics, 31(2), 450-487, 2000.

5. Paul Joskow and Jean Tirole, Merchant Transmission Investment, Journal of Industrial Economics, 53(2), 233-264, 2005.

6. 9号文”指向电改三座“堡垒” 链接：http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2015-03/30/content_1548856.htm 获取时间：2015年12月3日。

7. 国家发展改革委 国家能源局关于印发 《输配电定价成本监审办法（试行）》的通知，http://www.sdpc.gov.cn/fzgggz/jggl/zcfg/201506/t20150619_696576.html, 获取时间：2015年12月5日。

5. 中国 2050 年终端电力消费可能被高估 ——从人均电力消费看终端电力消费预测

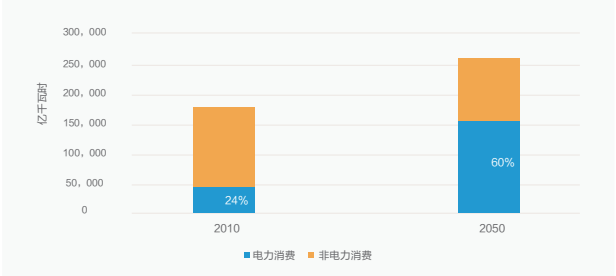
预测电力消费的方式一般使用情景分析方法。量化主要影响因子的变化可能性，对各种因子如何分别和综合影响电力消费设定一个模型，推演模拟后得出不同结果，从而勾勒出未来电力消费的若干情景。影响未来电力需求的主要结构性因素包括人口数量、GDP 增长和经济发展质量。这些因素不仅对电力需求有直接影响，而且彼此间也会有相互作用并综合起来对电力需求产生影响。一般来说，人口和 GDP 的增长都会带来更多电力消费。GDP 稳定持续的增长也会带来经济结构的调整，导致农牧业和工业占比降低，服务业占比逐渐占据主导，这正是一个经济发展质量提升的过程。当经济发展到一定阶段，人口的出生率会下降，人口老龄化趋势出现，人口规模逐渐缩小或者趋于稳定，这对电力需求的推动是反向的。当经济发展质量持续提升，进入后工业化发展阶段，电力需求的增长也会放缓，甚至出现负增长。

2050 年中国电力总消费预测对未来三十年中国能源投资的方向和力度、对实现能源系统低碳转型所采用的方法和遵循的路径，都会产生重要影响。但预测长期电力消费并非易事。本文无意比较不同情景分析的优缺点，而是从人均电力消费¹这一指标入手，先横向比较当下中国与德国、日本和美国三个世界主要经济体人均电力消费的差距，然后纵向审视美、德、日三个发达国家过去三十五年人均电力消费的变化。这样的比较或许有助于我们认识中国未来电力消费的增长趋势。中国制定了到 2050 年发展成为一个中等发达国家的战略目标，我们这里假设这样的目标如期实现，其次，我们假设到 2050 年中国的经济质量与同样有着雄厚工业制造基础、较大农业规模和发达服务业的美、德、日的 2015 年前后的水平接近，从而假设 2050 年的中国人均电力消费水平与最发达的美、德、日三国在 2015 年左右的水平接近。依据这样的假设，通过横向和纵向两个维度的比较，我们试着回答一个问题：中国 2050 年的电力总消费量究竟应处于怎样的水平？

5.1 终端能源消费中电力比例将大幅增长

中国 2010 年终端能源总消费量约为 17.47 万亿千瓦时，其中电力总消费量为 4.19 万亿千瓦时，占终端能源消费的比例为 24%²。根据电量（千瓦时）、标煤（tce）和标油（toe）之间的换算关系，我们可以得到中国 2010 年的终端能源消耗为 21.5 亿吨标煤或者 15 亿吨标油。根据《中国 2050 高比例可再生能源发展情景暨途径研究》（以下简称《高比例研究》）³，2050 年终端能源消费将达到 32 亿吨标煤，相当于 26.05 万亿千瓦时，其中电力占 60%，那么终端电力消费约 15.63 万亿千瓦时。

图 1：中国终端电力消费占比的变化



数据来源：发改委能源研究所；中国国家统计局

注：关于千瓦时、吨标油、吨标煤的换算来自国际能源署

随着以电气化率升高为特征的能源结构的转变，中国的电力消费在这 40 年中增长 273%。同期，基数庞大的中国人口进入老龄化，人口出生率低，人口的规模基本保持不变，人口变化对电力消费的刺激作用有限。从 GDP 增长来看，经济发展速度虽会放缓，但经济总量预期仍会继续增加，因此对电力消费有推动作用。从经济结构和发展质量的角度来看，服务业比重将持续加大，技术创新和生产效率提升，导致经济发展的电力需求弹性会逐步降低，即同样的 GDP 产出需要的能源或者电力的投入将越来越少。因此，四十年内之所以有接近三倍的电力消费增长，最可能的原因是能源系统电气化比重的大幅提高，即发改委能源所预计的从 2010 年的 24% 提高到 2050 年的 60%。然而有趣的是，当我们把美国能源信息管理局（Energy Information Administration, EIA）对于美国终端电力消费占比 2040 预测拿来参考时，却看到截然不同的情形。在国际能源展望 2013(International Energy Outlook 2013)里，美国终端能源消费中的电力占比 2010 年为 18%，而 2040 年略微升高到 20%⁴。这虽然不是美国 2050 年的数据，但仍然可以作为参照。相较于中国 2050 年 60% 的预测目标，存在巨大差距。为什么在终端能源消费电气化率目标方面中国设定了比美国远远超前的目标？我们认为一个主要原因可能在于中国预测电动汽车将成为未来交通部门的主流。

假设中国到 2050 年终端能源消费达到 32 亿吨标煤，能够实现 60% 的电气化比例，那么我们从人均电力消费的角度来看 2050 年 15.63 万亿千瓦时的电力消费需求的预测是否合理。

5.2 中国人均电力消费的未来或接近德国、日本，而非美国

人均电力消费在很大程度上代表着一个国家、社会或者区域的经济发展水平，一般来讲，经济发展水平越高，人均电力消费会越高。从表 1 可以看出，美、德、日三个发达国家的人均电力消费要远远高过中国。在中国，经济最发达的上海，人均电力消费不仅远远超过全国平均，而且显著高于北京。

经济结构和社会发展质量对人均电力消费也有显著影响。虽然同为发达国家，并且有先进的制造业，且制造业在经济中占有相当的比重，但美国、德国和日本的人均电力消费存在很

大的差异。造成三国之间明显差异的原因并不简单，但他们之间在与建筑（如居住面积）和交通（如人均驾车里程）相关的电力消费方面有着显著的差距。美国人均居住面积大，城市公共交通不发达导致人们出行严重依赖汽车；德国和日本人均居住面积较小，发达的公共交通使交通相关的电力消费量较低。由此角度来讲，基于国家资源禀赋和人口密度的角度来看，中国未来的人均电力消费水平更倾向于接近日本与德国的水平，而不是美国的模式。

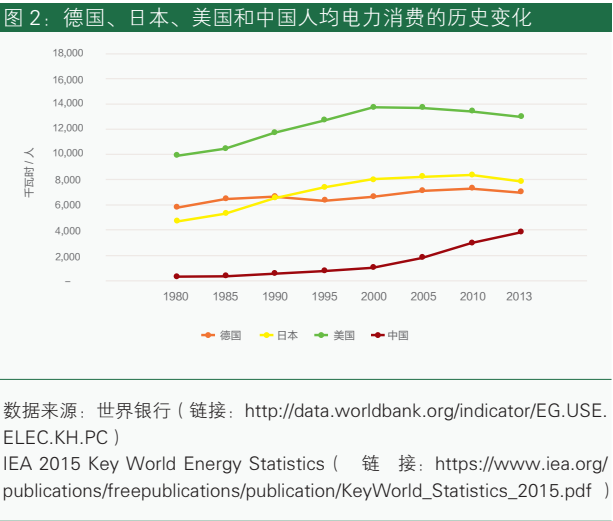
表 1：不同国家人均电力消费的差异

	德国	日本	美国	中国	北京	上海
人口（百万）	80.62	127.3	316.5	1357	21.15	24.15
年度电力消费（亿千瓦时）	5401	9210	38320	53223	913	1411
人均电力消费（千瓦时）	6699	7235	12107	3922	4317	5844

数据来源：世界银行；国际能源署；中国国家统计局；北京市统计局；上海市统计局

注：人口和年度电力消费数据，德国、日本和美国都是 2012 年的数据；中国、北京和上海都是 2013 年的数据。

5.3 经济增长与人均电力消费未来可能呈现弱相关性



在未来经济增长中扮演日益重要角色的会是制度、教育、服务、技术、效率和创新等，能源投入推动增长的作用会日渐降低。这正是经济发展质量提升的过程。图 2 表明，1980 年至 2013 年，德、日、美三国的人均电力消费增长幅度分别为 21%，66% 和 32%。2000 年以来，人均电力消费的增长幅度变小，德国出现平稳态势，2000-2013，仅增加了 6%，同期的美国和日本却出现下降的情形。在全球应对气候变化的大背景下，发达国家的人均电力消费到 2050 年不会出现显著上升的情形，在平稳中缓慢下降可能性较大。当然如果发达国家未来出现建筑和交通部门电气化驱动的终端能源消费电气化率大幅上升的情形，人均电力消费量可能出现明显的增加。不过如果考虑到分布式发电系统和智能电网带动的电力供应效率的提升，以及制造业能效的持续改善，我们认为发达国家人均电力消费在未来 30 到 40 年的变化更趋于平稳，不太可能出现大起大落。

结语：

在设定了人口、GDP 和经济发展质量等三个影响终端电力消费的主要因素之后，本文预测了未来中国在这三个高因素上的变化趋势，之后对美国、德国和日本三国的人均电力消费的变化历史进行了对比，我们认为即使将全球能源的电气化率大幅提升这一因素考虑在内，技术的改进和效率的提升，加上中国的资源禀赋和人口密度等基本条件，对于中国 2050 年电力消费达到 15.63 万亿千瓦时的预测可能过高了。中国未来的人均电力消费水平更可能接近于德国和日本的水平。中国 2050 年如果仅达到德国、日本 2013 年的水平，那么中国的人均电力消费约为 7429 千瓦时 / 人⁵，全国终端电力消费总量约为 10 万亿千瓦时。即使假设德、日两国到 2050 年人均电力消费增幅达到 25%，并且届时中国也达到同期德、日的水平，那么中国的人均电力消费将达到 9286 千瓦时 / 人，全国总量达到 12.52 万亿千瓦时。无论是 10 万亿千瓦时还是 12.52 万亿千瓦时，都与《高比例研究》中预测的 15.6 万亿千瓦时的水平有显著差异。

注释：

1. 在本文的分析中，人均电力消费指一个国家一年的电力消费总量除以人口总数得到的值，单位为千瓦时 / 人。这一指标在很大程度上反映了一个国家的社会、经济发达水平。

2. China 2050 High Renewable Energy Penetration Scenario and Road Map Study. Page 7&12. Energy Research Institute, 2015. 链接：<http://www.efchina.org/Attachments/Report/report-20150420/> 中国 2050 高比例可再生能源发展情景暨途径研究 - 摘要报告 .pdf . 获取时间：2015 年 12 月 9 日。

3. 同上。

4. 根据以下表格中提供的数据计算得出，链接：http://www.eia.gov/forecasts/archive/ieo13/pdf/ieorefendusetab_3.pdf，获取时间：2015 年 12 月 5 日。

5. 根据国际能源署的数据，2013 年德国和日本的人均电力消费分别为 7022 千瓦时 / 人和 7836 千瓦时 / 人，我们取中间值 7429 千瓦时 / 人。

6. 可再生能源发展基金的缺口究竟有多大？

中国支持以风电和太阳能发电为代表的可再生能源快速发展的主要补贴资金来自可再生能源发展基金，包括国家财政年度安排的专项资金和依法征收的可再生能源电价附加（之后简称“电价附加”）¹。从额度来看，补贴的绝大部分来自对符合条件的销售电量所征收电价附加。本文依据年销售电量和电价附加征收的条件来估算 2009 - 2014 年电价附加的征收总额²，即对可再生能源发电的直接补贴，与发改委公布的 2010 年 1 月 - 2011 年 4 月可再生发电补贴进行对照，来看可再生能源发电的补贴需求与电价附加征收之间是否有缺口。然后根据中国 2020 年风电和太阳能发电的装机发展目标，来估算 2020 年中国需要征收多大规模的电价附加才能支持实现以风电和太阳能发电为代表的可再生能源电力发展的目标。

6.1 可再生能源电价补贴与电价附加征收至今应没有缺口

加速提升的电价附加征收标准反映出中国可再生能源发电的快速发展。根据电力企业联合会的数据，风电发电量从 2009 年的 276 亿千瓦时，增加到 2014 年的 1598 亿千瓦时，五年时间增长接近五倍。为了满足迅速增加的可再生能源电价补贴的需求，电价附加征收的标准已历经三次调整，且调整的速度在加快。如表 1 所示，第一次上调距起初标准实施的时间有三年十个月，之后仅两年两个月就第二次上调，到第三次上调仅经过了一年九个月。

表 1: 可再生能源电价附加征收标准	
实施时间	标准（元 / 千瓦时）
2006 年 1 月 1 日	0.002
2009 年 11 月 1 日	0.004
2012 年 1 月 1 日	0.008
2013 年 9 月 1 日	0.015

数据来源：国家发改委

伴随中国电力消费的增长和电价附加征收率的三次上调，过去五年中国电力附加征收额也在快速增加。《可再生能源发展基金征收使用管理暂行办法》（以下简称《暂行办法》）解释了征收电价附加的条件：除农业和西藏自治区电力消费之外的所有销售电量和企业自发自用的电量都在征收范围之内。依据《暂行办法》和电力工业统计基本数据³我们估算出了 2009-2014 年全国电价附加征收总额，如图 1 所示。

征收的电价附加能否满足可再生能源电力补贴的需求呢？我们参照发改委发布的数据⁴来看。根据表 2 显示，电价附加的主要补贴对象是可再生能源发电项目，接网费用占比很小，约为 4.2%。在可再生能源发电项目中占比最多的是风

电，因为在 2010 年，太阳能发电项目还非常少。依据表 3，2010 年 1 月 - 2011 年 4 月，上网风电发电量达到 696.5 亿千瓦时，补贴金额为 157.8 亿元，占到同期可再生能源发电项目补贴额 198.4 亿元的 80%。



2012 年以来，太阳能发电装机提速，与风电一起成为可再生能源发电的主力。生物质发电等其他可再生发电项目仍然是配角，我们这里不计入估算当中。我们可以用风电和太阳能发电量的增加来对比补贴的增幅，从而初步评价电价附加是否够用。

表 2: 2010 年可再生能源发电补贴发放数量（单位：亿元）

补贴类型	2010 年 1–9 月	2010 年 10 月到 2011 年 4 月	折算成一年
可再生能源发电项目	85.0	113.4	148.8
秸秆直燃项目临时电价	1.5	–	1.1
公共可再生能源独立电力系统电价	0.5	0.4	0.7
可再生能源发电电网工程	3.7	5.1	6.6
总计	90.7	118.9	157.2

数据来源：根据国家发改委发布的可再生能源发电项目补贴表估算而出，补贴表详细内容可以参照以下链接：http://www.ndrc.gov.cn/zwfwzx/zfdj/jggg/201102/t20110215_394860.html；http://www.ndrc.gov.cn/fzggsz/jggl/zcfg/201212/t20121204_517159.html。

注：折算方法为将两段时间补贴加总，然后除以月份数 16，再乘以 12，得到一年的补贴额。

以 2010 年为比较年份。图 1 显示，2010 年的电价附加征收额为 154 亿元。表 2 显示，折算后的 2010 年可再生能源发电项目补贴为 157.2 亿元。二者之间基本一致，可以说 2010 年可再生能源发电项目补贴基本没有缺口。

表 3：2010 年可再生能源发电补贴中的风电项目

		2010 年 1–9 月	2010 年 10 月到 2011 年 4 月
风力发电项目	装机容量（兆瓦）	23,086	34,973
	上网电量（亿千瓦时）	305.1	391.4
补贴金额（亿元）		68.7	89.1
风力发电电网工程	装机容量（兆瓦）	18,705	31,330
	补贴金额（亿元）	3.2	4.6

数据来源：根据国家发改委发布的可再生能源发电项目补贴表估算而出，补贴表详细内容可以参照以下链接：http://www.ndrc.gov.cn/zwfwzx/zfdj/jggg/201102/t20110215_394860.html；http://www.ndrc.gov.cn/fzggsz/jggl/zcfg/201212/t20121204_517159.html。

十二五期间，中国的可再生能源电力发展迅速。根据表 4，风电和太阳能发电量从 2010 年的 494 亿千瓦时，增加到 2014 年的 1833 亿千瓦时，五年内增加了 270%。根据表 2 所显示的补贴额，相应于发电量的增加，电价附加也应有相应幅度的增加，才能满足补贴的需要。那么我们假设补贴也增加 270%，即从图 1 所示的 2010 年 154 亿元的规模增加到 2014 年的 570 亿元。而根据图 1，理论上 2014 年应征收电价附加 722 亿元。由此，我们可以初步认为，截至 2014 年中国的电价附加可以满足可再生能源电力补贴需要。

表 4: 2010–2014 风电、太阳能发电电量变化（亿千瓦时）

	2009	2010	2011	2012	2013	2014
风电	276	494	741	1030	1383	1598
太阳能发电	0	0	6	36	84	235
总计	276	494	747	1066	1467	1833

数据来源：历年电力工业统计基本数据
注：关于太阳能发电量从 2011 年开始有统计数据，2009 和 2010 年的太阳能发电量非常小，这里暂不计算在内。

6.2 2020 年电价附加是否够用？

十三五期间，风电和太阳能将继续快速地增长。按照目前电价附加征收的标准，满足对可再生能源发电项目的补贴存在巨大挑战。

表 5：2020 年风电和太阳能发电量估算

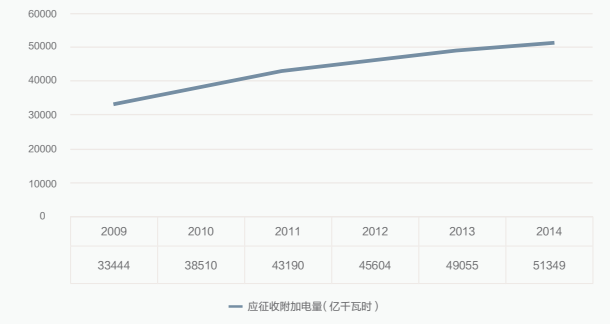
	装机（万千瓦）	年均利用小时数	发电量（亿千瓦时）
风电	25000	2000	5000
太阳能发电	15000	1300	1950
总计			6950

我们假设 2020 年中国能够实现风电和太阳能发展目标，如表 5 所示，那么二者加起来的发电量可以达到 6950 亿千瓦时，比 2014 年的水平增加了 280%。假设 2020 年的补贴额在 2014 年 570 亿元的水平上也增加 280%，将达到 2161 亿元。

这样的估计是保守的，因为我们仅考虑了风电和太阳能发电的发展，而生物质发电等享受可再生能源电力补贴的项目未来也会逐渐增加，我们认为实际补贴量会明显超过 2161 亿元。那么届时电价附加的征收额能够满足这样的需求吗？

如图 2 所示，应征收附加电量从 2009 年的 33444 亿千瓦时增加到 2014 年的 51349 亿千瓦时，平均年增幅 9%。我们假设 2014-2020 年年均增幅降为 6%，那么 2020 年的应征收附加电量为 72840 亿千瓦时。仍然依据 0.015 元 / 千瓦时的征收标准，2020 年可以征收 1093 亿元。这与 2161 亿元的补贴需求差距巨大。

图 2: 应征收电价附加电量（亿千瓦时）



结语：

本文估算了 2009 - 2014 年电价附加的征收总额，并以 2010 年为比较年份，将估算出的电价附加额与发改委公布的同期可再生能源发电补贴进行对照，我们发现截至 2014 年，可再生能源发电的补贴需求与电价附加征收之间没有缺口，征收的电价附加基本可以满足补贴需求。但是，由于中国 2016-2020 年风电和太阳能发电的装机将增长超过 100%，发电量也随之大幅增加，如果不上调电价附加征收标准，那么到 2020 年，中国对风电和太阳能发电的补贴将出现巨大的缺口，根据我们的初步估算，这个缺口将超过 1000 亿元。因此我们预计电价附加征收标准很可能在 2016 或者 2017 年再一次上调，而增幅很可能与 2013 年上调的水平接近。

注释：

1. 可再生能源发展基金不适用于水力发电，适用于风电、太阳能发电、生物质发电和地热、潮汐发电。
2. 本文提到的电价附加征收额，皆指理论征收额度，即按照法律和监管规范的要求，应当被征收的资金额。而在实际操作过程中，由于各种原因，没能实现征收的情况不在本文的考虑中。
3. 中国电力企业联合会年度数据。链接：<http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/tongjixinxi/niandushuju/> 获取时间：2015 年 12 月 20 日。
4. 请参照表 2 来源的说明。