



WWF

报告

11月

2015

中国未来发电 2.0

205年中国可再生能源发电最大潜力评估

William Chan 林若思达, 王彦佳



关于 WWF

世界自然基金会 (WWF) 是全球领先的环境保护组织。WWF在100多个国家开展工作,并在全球拥有将近500万名资助者。WWF以其独特的工作方式,将科学紧密联系到其涉足的全球领域、参与从地方到全球的各个层面的环保行动、并且确保提供创新性的解决方案,从而满足人与自然的需要。

WWF 的贡献人员

Brad Schallert

邓梁春

Stephan Singer

Rafael Senga

朱子悦

Erin Waite

高辉

卢思骋

Lorin Hancock

Denise Boatwright

Entri

关于 Entri

Entri是2010年创立于美国的一家非盈利(501(c)(3))公司,其创建有赖于其缔造者数十年来在研究、体制建设和技术应用领域的经验。该机构也是一些来自关键国家的能源和气候专家共同参与开展国际合作的产物。

关于作者

William Chandler 是Entri (Energy Transition Research Institute) 的研究总监,他还共同创建了能源转型公司 (Energy Transition), 在中国开展能效投资。此前他是美国西北太平洋国家实验室 (Pacific Northwest National Laboratory) 的资深科学家,并且牵头开展了田纳西河流域管理局 (Tennessee Valley Authority) 的未来电力发展研究,以及在中国、印度、韩国、南非和土耳其的类似研究。

Holly Gwin 是Entri的首席运营官,并且也是能源转型公司的共同创办者。她曾在美国白宫科技政策办公室担任总顾问和主任,并且还担任过美国国会技术评估办公室的总顾问。

林若思达是Entri的访问研究工程师。她毕业于清华大学,并于2013年12月在密歇根大学获得工业工程硕士学位。她还于近期在加州劳伦斯伯克利国家实验室完成了一项实习研究计划。

王彦佳是清华大学的一名能源系统工程教授,研究领域涉及能源和环境,担任了全球环境研究所、中国国家电力监管委员会 (国家电监会, State Electricity Regulatory Commission)、中国国家发展和改革委员会 (国家发改委, National Development and Reform Commission)、国际能源署 (International Energy Agency)、世界银行 (World Bank) 以及其他众多机构的顾问。

作者致谢

本研究得到世界自然基金会 (World Wildlife Fund) 的资金支持。作者们对 Brad Schallert 提供的支持表示感谢。

本研究运用了Entri在过去三年内开发的**中国8760电网模型 (China 8760 Grid Model)**, 该模型研究得到**布莱蒙基金会 (The Blue Moon Fund, www.bluemoonfund.org)** 的捐赠,并且国家电监会在2011至2012年也提供了进一步的支持。

作者十分感谢陈世平对中国8760模型的审阅以及Entri董事成员 Gerry Stokes 和 Phil Samper 给出的意见和建议。

本报告作为系列出版物之一,给出了中国电力部门各项政策措施在成本效益方面的信息。其他的报告和数据参见: www.etransition.org/chinasmartgrid。

安纳波利斯, 马里兰州

2015年11月

Entri

中国 未来发电 2.0

WWF – 报告说明

Entri – 开展分析并撰写报告





中国必须围绕“生态文明”的愿景跨出重要的第一步。

—— 卢思聘

世界自然基金会序



宋代人吴自牧先生在《梦粱录》中这样描述当时普通中国人的日常生活：“盖人家每日不可阙者，柴米油盐酱醋茶”。而数百年后的今天，能源——即吴先生此文中所谓的“柴”，依然是中国人最关注的问题之一。

自近代以来，能源生产和分配在人类社会中的作用越来越关键且复杂。十八世纪对煤炭的广泛应用拉开了工业革命的序幕；十九和二十世纪，煤、石油、天然气和核电更是以前所未有的方式加速了工业化和城市化进程。但与此同时，我们面临的环境挑战也日益严峻。

现代文明所依赖的化石燃料和高碳发展模式已经对全球环境造成了巨大的损害。人类对化石燃料无节制的使用已置地球于极其危险之境。尽管化石能源终将耗尽，但一直以来积累的碳排放仍会持续影响全球气候，并威胁人类健康。

今天，在这样一个经济繁荣与环境问题休戚相关的时代，中国人有能力站出来，成为环境保护的先驱者，以智慧的解决方案应对全球环境挑战。两千多年前，中国人民就认识到水中所蕴含的能量并发明了水力机械，从而有力地推动了农业和手工业的发展。虽然风电、太阳能发电等现代可再生能源技术并非起源于中国，但中国在生产和推广可再生能源方面已成为全球领导者。事实上，在过去的几年中，中国的可再生能源投资和装机容量已排名全球第一。

展望未来，中国将继续推进“生态文明”建设，并为应对气候变化做出更大贡献。未来五年，中国计划将风电和太阳能电发电量翻番。这将是中国为兑现2030年一次能源消费中非化石能源占比达到20%的承诺而迈出的重要一步。因此，未来风电和太阳能发电产业前景无限。一个清洁、低碳并由可再生能源驱动的中国，及其在这一革命性的转型过程中习得的经验，都将为全世界树立一个新的绿色标杆。

古代中国人曾在“道法自然”中找到了与自然和谐相处的生活方式。世界自然基金会愿为此凝心聚力，为这古老的智慧注入新的活力，帮助中国实现一个更加美好的明天。遥望前路，“中国梦”好比千里之行，中国必须围绕“生态文明”的愿景跨出重要的第一步。因为只有通过建设“生态文明”，中国人民才能实现“中国梦”。

世界自然基金会（中国）总干事
卢思聘

¹“生态文明”的概念是时任中国共产党中央委员会总书记的胡锦涛在2007年提出来的。详见“中央12号文件”，《中共中央国务院关于加快推进生态文明建设的意见》。

A photograph showing several industrial smokestacks silhouetted against a bright, orange-hued sunset sky. Thick, dark plumes of smoke or steam are rising from the stacks, filling much of the upper half of the frame. The scene conveys a sense of heavy industrial activity and air pollution.

中国经济对于煤炭、石油和天然气的需求已使其成为全球最大的二氧化碳排放国。

世界自然基金会说明



在过去几十年中，中国已成功地让国民摆脱了贫困，其速度之快，规模之大，在人类历史上绝无仅有¹。然而，这也对中国的环境和公众健康产生了巨大影响。比如，由于深受煤炭燃烧所引起的严重空气污染之害，中国北方居民的人均寿命比南方少了5.5年²；空气污染每年造成160万人早逝，占每年死亡人数的17%左右³；水的过度使用、污染和浪费已使全国范围内出现严重的缺水现象。但中国仍然是一个相对较为贫穷的国家，人均GDP为10000美元，远远低于许多发达经济体⁴。

中国经济发展中对于煤炭、石油和天然气的需求已使其成为全球最大的二氧化碳排放国。即使按人均计算，中国的排放量在2013年也已明显超越了欧盟⁵。鉴于上述现状，为了饱受严重空气污染困扰的国民的福祉，也为了给应对气候变化和其他国际社会带来积极的影响，中国应抓住这绝佳的机会，承担相应的责任，转变自身的发展模式。

为了实现这一目标中国必须转变其燃煤占75%的电力行业⁶。2014年2月，WWF与能源转型研究所（Entri）联合发布了《中国的未来发电：2050年中国可再生能源发电最大潜力评估》⁷（简称未来发电），此报告认为到2050年中国有80%左右的发电可以通过可再生能源来满足，而这个系统的成本与未来主要依靠煤炭的电力系统一样可以承受。

2014年和2015年,中国在清洁能源之路上加速前进

自2014年年初发布《未来发电》以来，中国的气候政策和公众环保意识显著提升，并得到了广泛的国际关注。去年11月，中国史无前例地承诺其温室气体排放总量将在2030年达到峰值并将努力早日达峰。而这个目标只有在煤炭利用和二氧化碳排放同时大幅减少的情况下才可能实现，因为可以认定，在未来二

1 China helped cut world poverty rate: UN. (2015, July 9), http://usa.chinadaily.com.cn/epaper/2015-07/09/content_21229562.htm

2 Chen, Y., Ebenstein, A., Greenstone, M., & Hongbin, L. (2013). Evidence on the Impact of Sustained Exposure to Air Pollution on Life Expectancy from China's Huai River Policy. SSRN Electronic Journal SSRN Journal,110(32), 12936–12941. doi:10.1073

3 Rohde, R., & Muller, R. (2015). Air Pollution in China: Mapping of Concentrations and Sources. PLoS ONE PLOS ONE. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0135749>

4 International Monetary Fund. <http://www.imf.org/external/>

5 Carbon Emissions. (2013), <http://www.globalcarbonatlas.org/?q=en/emissions>

6 WWF China calculates that 74.8% of power in China came from coal in 2012 based on the data published by the Chinese National Statistical Bureau.

7 Full report can be downloaded at: <http://www.wwfchina.org/content/press/publication/2014/publication-20140311-future.pdf> (Mandarin), <http://www.wwfchina.org/content/press/publication/2014/futuregeneration.pdf> (English).

十年内中国对天然气和石油的使用（尤其是交通部门）将持续增长。同时，政府还承诺到2030年将一次能源消费中非化石能源的比例提高到20%左右。这些承诺及美国政府2014年11月在《中美气候变化联合声明》中做出的承诺都将会给气候变化相关的国际政治局势带来重大改变。中国最近对《环境保护法》和《大气污染防治法》的修订再次强调了这一系列的高层承诺。

中国的这类官方承诺至关重要，不仅是因为它们已开始对中国的低碳投资产生影响，更因为中国在气候变化领域的领导力已为联合国气候谈判注入了正能量。为更好地推动12月份的巴黎气候谈判，中国在9月份宣布了更进一步的措施以帮助实现其2030年目标。经过数年的试点，中国决定启动一项国家性的碳排放交易计划，该项目覆盖了包括电力部门在内的几个高排放部门。为了鼓励太阳能、风能和其它可再生能源发电，中国计划建立“绿色调度”系统，以确保可再生能源电力的优先权，中国也已制定相关政策，要求把最高效率和最低排放电厂生产的电力作为电网的首选⁸。此外，中国还打算“严格控制公共投资流向国内外高污染高排放项目”⁹。虽然这些政策有待在接下来的几个月中得到进一步确认，但已对煤炭行业、大型化石燃料以及全球投资者释放了一个重要的信号。中国有部分省市承诺不迟于2030年实现二氧化碳排放达峰，目前这些省市的年排放总量约为12亿吨（大致相当于日本或巴西的总排放），其中北京和广州预计将提前10年即在2020年就能实现目标¹⁰。这些积极的应对措施让专家们对中国在2030年前实现国家目标和排放达到峰值更有信心。

除了这些重大承诺，一些有利的能源发展趋势也备受瞩目。在2014年，中国的太阳能和风电装机容量共增加了约35亿千瓦¹¹——创下单个国家年度增幅之最；同时，能源强度（单位GDP能耗）改善了5%以上，是全球均值的两倍



8 This comes just in time, as China saw the rate of renewables integration dip in 2014 after years of progress towards reducing curtailed wind. Liu, C. (2015, September 24). As China's energy growth slows, coal-fired power blocks more wind, solar and hydro. <http://www.eenews.net/climatewire/2015/09/24/stories/1060025204>

9 FACT SHEET: The United States and China Issue Joint Presidential Statement on Climate Change with New Domestic Policy Commitments and a Common Vision for an Ambitious Global Climate Agreement in Paris. (2015, September 25), <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/09/25/-fact-sheet-united-states-and-china-issue-joint-presidential-statement> 中美元首气候变化联合声明 (全文). (2015, September 26), http://www.gov.cn/xinwen/2015-09/26/content_2939222.htm

10 Fact Sheet: U.S. – China Climate Leaders Summit. (2015, September 15). <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/09/15/-fact-sheet-us---china-climate-leaders-summit>

11 REN 21, 2015; Global Status Report of Renewables, Paris 2015; <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/> pages Figure 17, p. 59; Figure 23, p. 71

到2050年，中国约84%
的电力生产可以通过
可再生能源实现。



之多,这也证明了国内能效项目的巨大成功¹²。这些行动产生的综合效应以及自2000年以来第一次出现的煤炭用量回落,成功地使中国与能源相关的二氧化碳排放量与以往持平甚至有所下降¹³。

中国的未来发电2.0: 一个更加光明的未来

基于最新的政策和数据以及对模型的完善, **Entri**提出此报告:《中国的未来发电2.0: 2050年中国可再生能源发电最大潜力评估》。本报告利用**Entri**改进的中国8760电网模型生成了四个情景,即基准情景、高能效情景、高比例可再生能源情景和低碳混合情景。

WWF支持高比例可再生能源情景(见下图)。首先该情景排放少、成本低,其次它可以避免众多外在的负面影响,如:对公众健康的影响¹⁴,同时减少工业用水的需求并创造大量高水平的就业岗位¹⁵,但是这些因素在**Entri**的模型中尚未体现¹⁶。此报告得出结论如下:

- 如果实施恰当有效的政策和措施,包括努力提高能效,到本世纪中叶,中国约84%的电力生产可以通过可再生能源实现。
- 如果中国的电力部门能够积极地追求低碳发展情景,使该部门的碳排放在2020年达到峰值,到2030年,中国能够同时兑现碳排放总量达峰和一次能源中非化石能源比例达到20%这两个承诺。高比例可再生能源情景和低碳混合情景均表明,到2030年中国的非化石能源电力可以占到50%,这也是2030年中国非化石燃料能够达到20%这个目标的基石。伦敦政治经济学院的两位研究员Fergus Green和Nicholas Stern也得出了类似的结论,他们认为中国的碳排放总量可以在2025年达到峰值;如果中国采取正确的措施,甚至还可以更早¹⁷。
- 到2050年甚至更早,中国可能会从发电燃料中将煤炭淘汰,但这需要相当大的政治勇气,并需要通过有效的政策合理地管控电力部门的碳

12 IEA, 2015. Energy and Climate Change, Paris 2015. <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015SpecialReportonEnergyandClimateChange.pdf>. Page 22

13 Ibid. Figure 1.9, Page 30

14 Rohde, R., & Muller, R. (2015). Air Pollution in China: Mapping of Concentrations and Sources. PLoS ONE PLOS ONE.

15 UK Energy Research Center. November 2014. Low carbon jobs: The evidence for net job creation from policy support for energy efficiency and renewable energy, <http://ecowatch.com/wp-content/uploads/2014/11/UKERC-Low-Carbon-Jobs-Report.pdf>

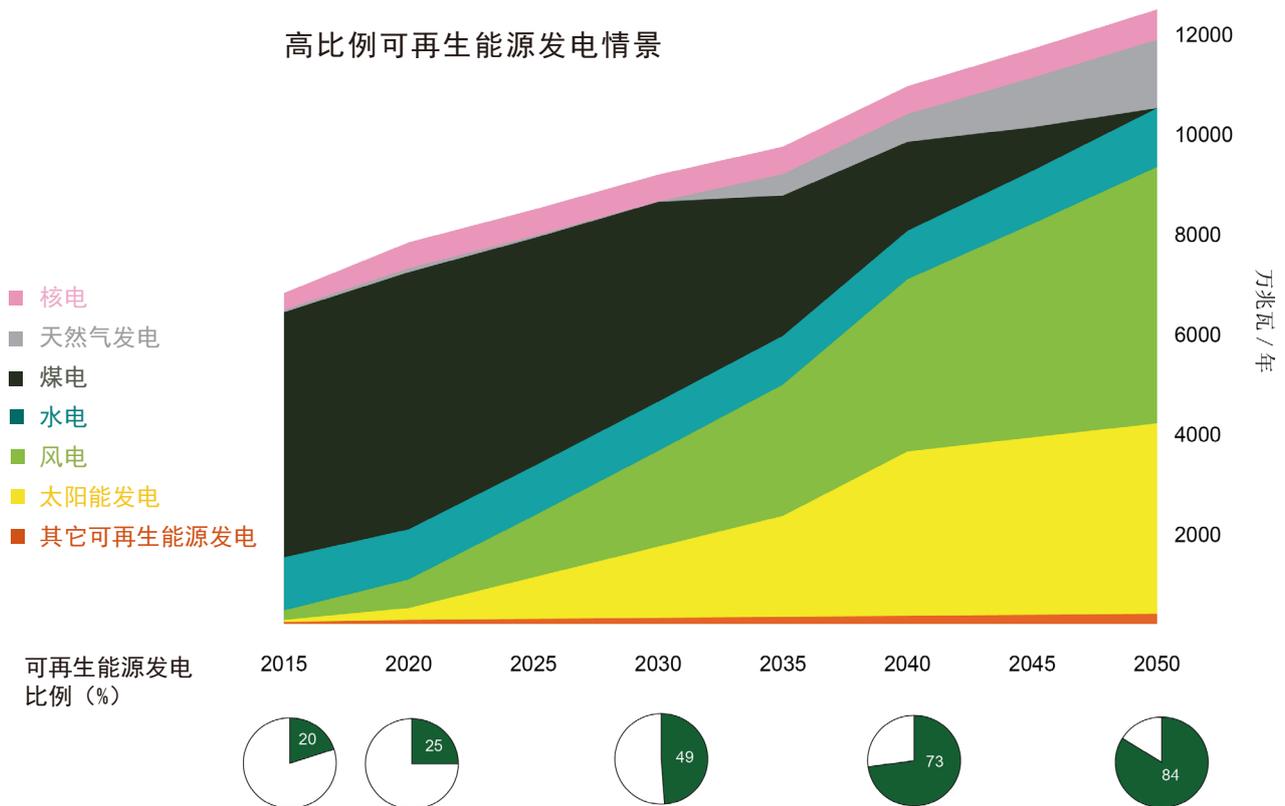
16 Similarly, in the 2014 Future Generation report these negative externalities cost were not modelled; only economic costs were.

17 Green, G. & N. Stern. June 2015. China's "new normal": structural change, better growth, and peak emissions. http://www.lse.ac.uk/GranthamInstitute/wp-content/uploads/2015/06/China_new_normal_web1.pdf

排放量或为碳排放制定合理的价格。

- 在2015至2050年间，以可再生能源为主的发电系统与以燃煤为主的发电系统相比，其总成本和排放强度都相对更低。《未来发电2.0》中估测，高比例可再生能源情景的成本和碳排放分别比2014年发布的《未来发电》中预计的要低14%和3%。这两份报告中该情景所认可的经济成本都没有考虑众多的外部成本，以及基于可再生能源情景而非煤炭情景所带来的利益，比如降低了碳排放、使民众免受空气污染之害、淡水需求减少、增加了清洁的就业机会等等。另外，报告中采用的经济假设相当保守，中国将来很有可能会看到有比煤炭成本还低的风能和太阳能利用技术¹⁸，从而在本世纪中叶形成一个完善的可再生能源电力系统。
- 在模型中考虑了“需求调度”（一种通过智能电网有效管理电力负荷的方法）的因素，是2.0版报告中成本和排放都降低的主要原因。

高比例可再生能源发电情景



18 Michael Liebreich, Bloomberg New Energy Finance, London, 12 October 2015. Global trends in clean energy investment, http://about.bnef.com/content/uploads/sites/4/2015/10/Liebreich_BNEF-Summit-London.pdf; page 50

政策建议

WWF和Entri在2014年发布的《中国未来发电》报告中给出了实现高比例可再生能源情景之路的若干政策建议，包括相关的能源效率、碳减排投资、电价改革、数据收集及公布等等，所有这些建议在当前依然适用。与此同时，《未来发电2.0》又给出了一些新建议。

电器能效标准

Entri建议对空调、热水器、车辆以及照明实施新的、更严格的节能标准，有些标准将在2017年实施，其余的则到2030年实施。

放弃“煤气化计划”

据官方消息，中国计划利用煤气化生产合成天然气来解决部分空气污染问题，但这会使煤污染问题从人口稠密的东部地区转移到欠发达的西部省份，反而会增加而不是减少碳排放。因此，WWF建议中国采取严格的预防措施，将煤气化仅仅看成“最后的技术手段”，并确保对潜在的煤气化装置进行成本效益和环境影响评估。放弃煤气化计划将避免对环境造成不必要的损害，也避免被高碳且经济效率低下的能源基础设施套牢。如果煤气化设施建成并投入运营，但在不久后即因环境压力而关停，突如其来的失业潮将会对某些西部省份的社会基础形成冲击。

加快电力部门改革

在中国，拖延实施任何提高电力系统效率的政策和技术，都将强化电力系统对煤炭的依赖。Entri注意到：

- 十多年前，中国的第一个电力行业改革文件并未包含对配电和输电分开控制的讨论，也没有重视电力调度的优化。但这两项改革对可再生能源快速进入电力系统是必不可少的。
- 利用电价进行峰值负荷管理的进展不大，政府必须对整个电力部门进行必要的改革。当前，民用电价仅为真实电力成本的一半左右，这是控制建筑电力需求增长的一个巨大障碍。

正如WWF在第一版《未来发电》报告中重点提及的那样，除了一般意义上的改革，即消费者支付真实的电价（取消补贴）外，隐式的改革（排放标准）或显式的定价改革（碳定价）对未来有效过渡到高比例可再生能源情景将起到至关重要的作用。

欧美许多发达国家的燃煤发电量逐年下降，其中一个关键的原因是这些国家正在实施其中一个关键的原因是这些国家正在实施诸如碳排放标准、碳排放税、碳排放交易等政策，使得电力的真实成本得以反映。中国近期公布，将从2017年开始，实施覆盖整个电力部门的国家碳排放交易体系，从这一点上看，中国似乎正在迎头赶上。

未来五年，中国计划将
风电和太阳能发电量
翻番。



中国当前的可再生能
源投资和装机容量已
排名全球第一。



续写新的经济增长, 实现中国梦

总体而言, 中国在清洁能源和减排政策方面取得了长足的进步, 并且向国内和国际社会证明了, 中国对化石燃料特别是煤炭的依赖并不是无法消除的。然而, 为了保持这一势头, 并引领中国经济走向更清洁、更安全、更繁荣的未来, 中国需要调整原来不环保的、粗放式的经济增长模式, 谱写一个清洁高效的“生态文明”发展新篇章。

新的篇章已经展开, 中国高层领导要求进一步推进“生态文明建设”¹⁹。同时, 真正的转型已经开始, 这是中国进入以清洁能源发展为主, 并且实现经济增长的“新常态”阶段的必然结果。

中国的“新常态”具有几个特点: 更温和的经济增长速度; 经济增长更多地依赖服务业、国内经济需求以及创新。尽管中国在2003至2007年间, 创造以10%的年均GDP增长²⁰, 但增长速度如今已放缓至7%左右。中国的利润和增长将更多来自创新和高附加值的产业, 而不是依赖能源密集型和污染严重的重工业。

在中国政府为落实习近平总书记的“能源革命”²¹和“十三五”计划过程中, 相关国家的政策必须体现“新常态”, 并推动中国及其国民走上“生态文明”发展之路²²。因为只有通过建设“生态文明”, 中国人民才能够实现“中国梦”。

19 中共中央国务院关于加快 推进生态文明建设的意见. (2015, April 25), http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2015-05/06/nw.D110000renmrb_20150506_3-01.htm

20 Xinhua, Xi's "new normal" theory, http://news.xinhuanet.com/english/china/2014-11/09/c_133776839.htm

21 Stanway, D. (2014, June 13). China's president calls for energy revolution, <http://www.reuters.com/article/2014/06/13/china-energy-idUSL4NoOU2ZB20140613>

22 The “Chinese Dream” was first coined by President Xi Jinping in 2013. Official government statements have defined the term to means the “rejuvenation of the Chinese nation” and “the dreams of the Chinese people” including the dream of a better environment, http://www.china.org.cn/china/Chinese_dream_dialogue/2013-12/07/content_30827106.htm



中国未来发电 2.0

2050年中国可再生能源发电最大潜力评估

William Chandler, Holly G. Lin, 林若思达, 王彦佳

Entri

© 2015 Energy Transition Research Institute, 安纳波利斯, 马里兰州

版权所有。若无发布单位的书面允许, 不得对本报告进行重新制作、在检索系统中保存、或是以电子或其他任何方式进行传递。





过去十年中国电力需求一直随着国内经济发展同步增长，而其中大部分仍需依赖燃煤电厂¹。中国承诺会在全球碳减排中发挥重大作用，但这一承诺将受到其庞大且日益增长的电力行业的挑战。

我们运用自主开发的计量经济和工程学相结合的中国8760电网模型对2050年满足中国电力需求的低碳发电资源潜力进行评估，我们发现：

- 能效和需求侧管理技术是使中国电力需求维持在合理范围内的碳零排放和最具成本有效的选项。
- 假设在所有方面维持高效率，到2050年，在不牺牲电网可靠性的前提下，中国的可再生能源发电占总需求的比例可能会达到84%甚至更高。

中国要实现这样的低碳电力体系，必须对其电力部门实施改革；在终端耗能设备上实施更强有力的新标准；建成一个全国性的电网通信和控制网络（智能电网技术）；强制要求进一步向无碳能源发电转型。这一系列所需措施并不能通过市场机制和现有的政策机制一一达成，要走的路还很长。

本报告是对我们2014年的研究“中国的未来发电：2050年中国可再生能源发电的最大潜力评估（未来发电）”的更新及补充。它总结了近期对中国8760电网模型的改进，读者可以参照2014年报告中对各种假设和方法学的全面详述²。本报告描述了实现各种发电技术情景的经济成本以及这些情景将会对碳排放产生的影响（对比我们2014年和2015年的模型结果）。

本报告证实了我们2014年的发现，即：中国电力行业实现碳减排将会遇到一些技术性困难，但与其所面对的政策性障碍相比这不值一提，这些政策性障碍的解决需要极大的政治决心。本报告讨论的新要点包括：

- 评估电力生产对中国实现其国家目标可能的影响，这些目标包括2030年碳排放达到峰值和一次能源供应中非化石能源占比在20%以上。我们认为如果中国电力部门专注于低碳发展，将有助于中国成功实现这些目标。
- 评估峰值负荷管理技术的潜力，以便减少装机需求。我们发现装机需求可以降低300GW甚至更多。

重塑中国电力未来

能源转型研究所(Entri)开发中国8760电网模型,目的在于改进对中国电力体系对中国经济和全球环境影响的理解³。模型以2011年作为初始年,采用2011-2014年间可获得的实际数据。对诸如人口数据、外汇汇率、贴现率等各类假设,均采用了相应的标准参照值。相关详情以及模型如何运作等更多信息可从《未来发电》以及Entri的方法学报告中获得⁴。表1和表2给出了我们的一些重要假设,表3则描述了中国并网发电的装机容量和发电量。

表1: 电网模型中的GDP假设
经济增长率 (每年)

	2010-2015	2015-2020	2020-2030	2030-2040	2040-2050
基准情景: 2014	7%	7%	4%	3%	2%
基准情景: 2015	8%	6%	5%	3%	2.8%
高能效、高比例可再生能源、低碳混合情景: 2014	7%	6%	4%	4%	3%
高能效、高比例可再生能源、低碳混合情景: 2015	8%	5%	4%	4%	2.8%

来源: 能源转型研究所(Entri)

在《中国未来发电2.0》中,我们将基准模型数据扩展到2015年;更新了中国政府针对风电、太阳能发电、水利发电以及核电等新出台的发展规划,这些规划被定义为“目标”;将2015-2020年的GDP增长进行了修正性调整。上述改变中有一些是实质性的,我们在文中会比较并解释它们与2014年报告结果的差异。

中国8760电网模型的用户可以通过改变各种假设(如各类技术的预计成本)或者施加约束(如要求增加某类资源的发电)生成不同的未来电力供需情景。我们用四种情景来展示成本和碳排放可能的范围。

- **基准情景:** 假设未来中国除了现有的政策外不再实施特别的清洁能源和能效政策,以能源密集型产业为主的经济结构也不会发生根本性的调整。按近期趋势推断,到2050年电力需求将会增长5倍,并且煤仍然主导供应结构。这对中国和其他国家而言都将是不能接受的灾难,但对现状进行方向性调整需面临巨大挑战。

表2: 重要假设 (2014和2015模型)

	2011	2015	
		基准	高能效、高比例可再生能源、低碳混合情景
人口 ⁵ (百万)	1,347	1,300	1,300
城镇化水平 ⁶	50%	79%	79%
人均GDP: 基准; 高能效. (2011年美元不变价 ⁷)	3,690	24,500	27,000
服务业在经济中的比重: 基准; 高能效	43%	59%	75%
电力需求的价格弹性系数 ⁸	-0.21	-0.21	-0.21

来源: Entri

表3: 中国各类型发电装机容量及发电量 (2015年预计)

类型	GW	TWh
太阳能光伏发电 (3 MW)	41	61
聚焦式太阳能发电	1	5
风电	101	295
水电	301	1,673
地热发电	<1	1
生物质发电	14	58
煤电	787	4,138
核电	43	338
天然气	26	46
合计	1,430	6,615

来源: 2015年清华大学王彦佳根据国家统计局数据做出的估计

- 高能效情景: 假设未来中国成功实施能显著提高能效的措施, 顺利实现经济结构的实质性转型, 不再以能源密集型制造业作为经济增长的基础。凭借全面提高效率实现相对较低的电力需求, 是建立一个能够负担得起的低碳电力系统的必要条件。本情景中的电力需求预测成为下面两个情景的基准。

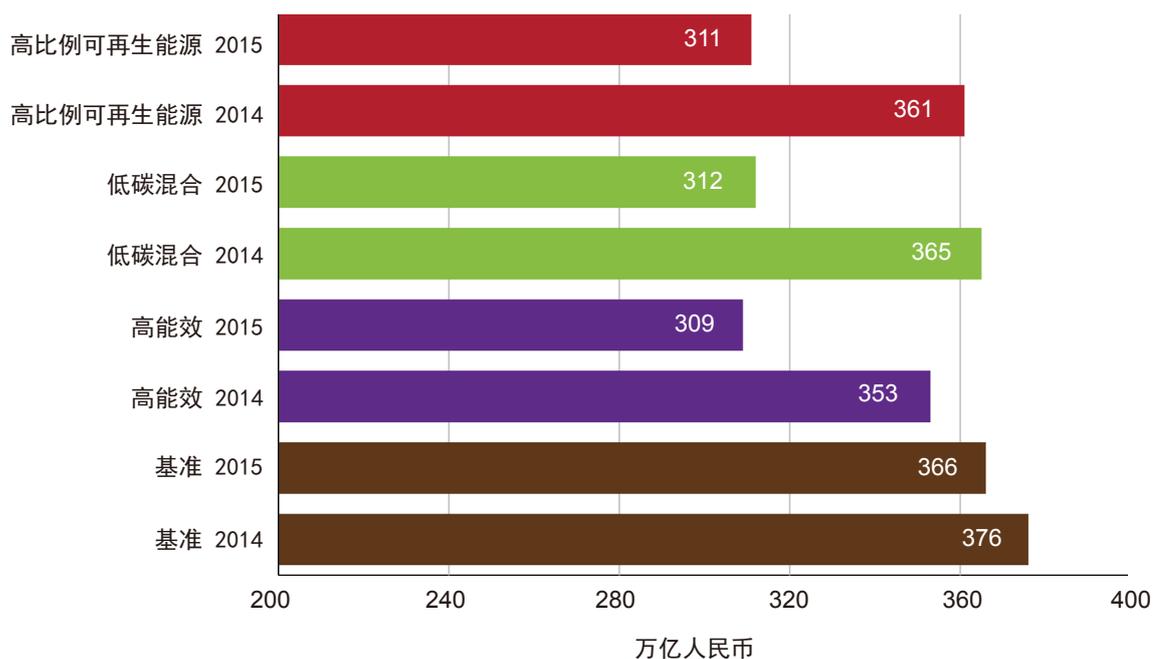
- 高比例可再生能源情景：以高能效情景所预测的电力需求为基础，要求模型用可获得的再生发电资源来满足该需求。资源的可获得性取决于多因素，包括：时间（阳光是否灿烂等等）、天气（是否刮风等等）以及资源制约（如：所有国内经济可开采的风力、太阳能和水力是否已殆尽）。
- 低碳混合情景：以高能效情景所预测的电力需求为基础，要求模型用低碳能源发电，即可再生能源发电（大大减少水电）、天然气发电和核电来满足该需求。

《未来发电》和Entri的方法学文件描述了中国8760电网模型中需求、供应、传输以及使用或未使用的各种存储技术。在本次更新中，我们改进了能效技术数据，并添加了峰值管理技术，这些对模型的变化在接下来讨论四种情景的成本与碳排放时将分别解释。

低碳电力系统是负担得起的吗？

2015年中国8760电网模型生成的每个情景--高能效情景、高比例可再生能源情景和低碳混合情景--显示的建造和运行费用均比基准情景低。2015年报告和2014年报告中关于成本的结论是一致的，但在细节方面却有所不同（图1）。下面将讨论导致这些差异发生的因素。值得注意的是，模型并没有涵盖电力体系的外部成本，比如社会、公共卫生以及发电环境成本等等。

图1 未来发电与未来发电2.0成本情景比较



重新为模型设置基准。我们用公开发布的所有年度数据更新了模型，此举带来的最大影响是我们得出基准情景的成本比2014年所显示的降低了约5%。这主要归因于较低的煤炭价格和燃煤发电装机。尽管本模型仍假设2050年前煤炭价格逐渐上涨，但其基准起点较低。我们有一些担心，疲软的煤炭价格可能使政策“推动”改变现状的势头变得更难，但模型显示从经济学角度需要淘汰煤炭。

改进了模型中工业子行业的需求。最初的经济结构调整我们只考虑了GDP构成中服务业相比于工业所占份额的提高。本研究中我们将工业部门细分为十几个子行业，以便进一步评估两个指标的趋势，即：各部门的电气化率（会增加电力需求）和类似于计算机制造业这样的高附加值工业的增长率（与水泥制造业完全不同）。我们发现，经济结构调整在未来电力强度预计年下降3%中贡献了0.5-1.0%。这个数字还扣除了多数子行业实际上正在增加的电力强度，这就意味着在某种意义上降低电力强度是“免费”的。我们去年估计成本为0.4-0.7元/kWh中的部分节电量实际上没有任何附加成本即可获得。该调整对我们分析产生的最大影响是降低能效措施成本，因为更多的节约由经济结构调整实现，电力系统无需付出。与2014年相比，此调整降低了高能效、高比例可再生能源和低碳混合情景的总成本⁹。

在模型中增加峰值负荷管理选项。现在模型纳入了热水器开关、空调的开-关-循环以及工业峰值定价选项（文本框1）¹⁰。2050年这些需求管理技术也许可以将装机容量减少400GW以上。该举措对我们分析产生的最大影响是降低了高能效、高比例可再生能源和低碳混合情景的成本，由此产生的节省价值在2000亿美元左右。此类技术的潜力有可能让大家重新考虑某些具有潜在破坏性的储能项目是否必要（比如对抽水蓄能水电系统的巨大投入）¹¹，也可以减少人们在依赖可再生能源满足峰值需求时对电网可靠性的担忧。

文本框1：需求管理假设与结果

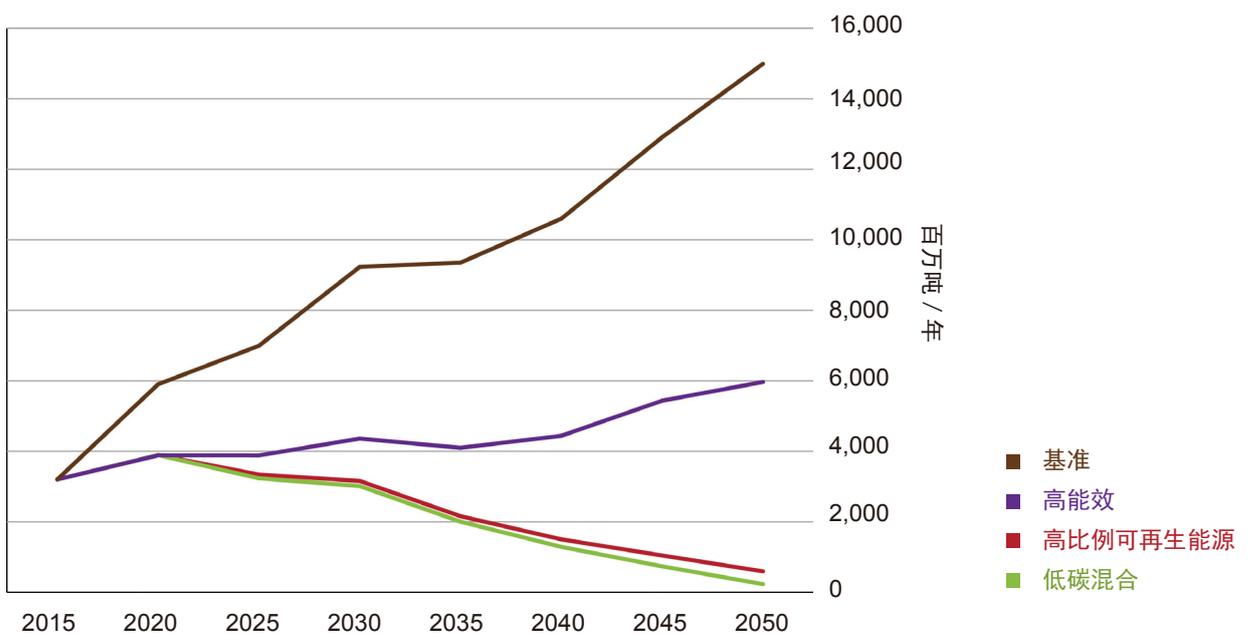
我们对需求管理措施建模的重点放在负荷转移技术上，包括的技术如下并按行业分类。

行业	2030	2050
峰值减少 (GW)		
居民热水	134	127
居民空调	85	150
商业空调	35	30
商业照明	8	5
工业负荷转移	67	63
合计	>300	>400

电力行业的碳排放可以低到何种程度？

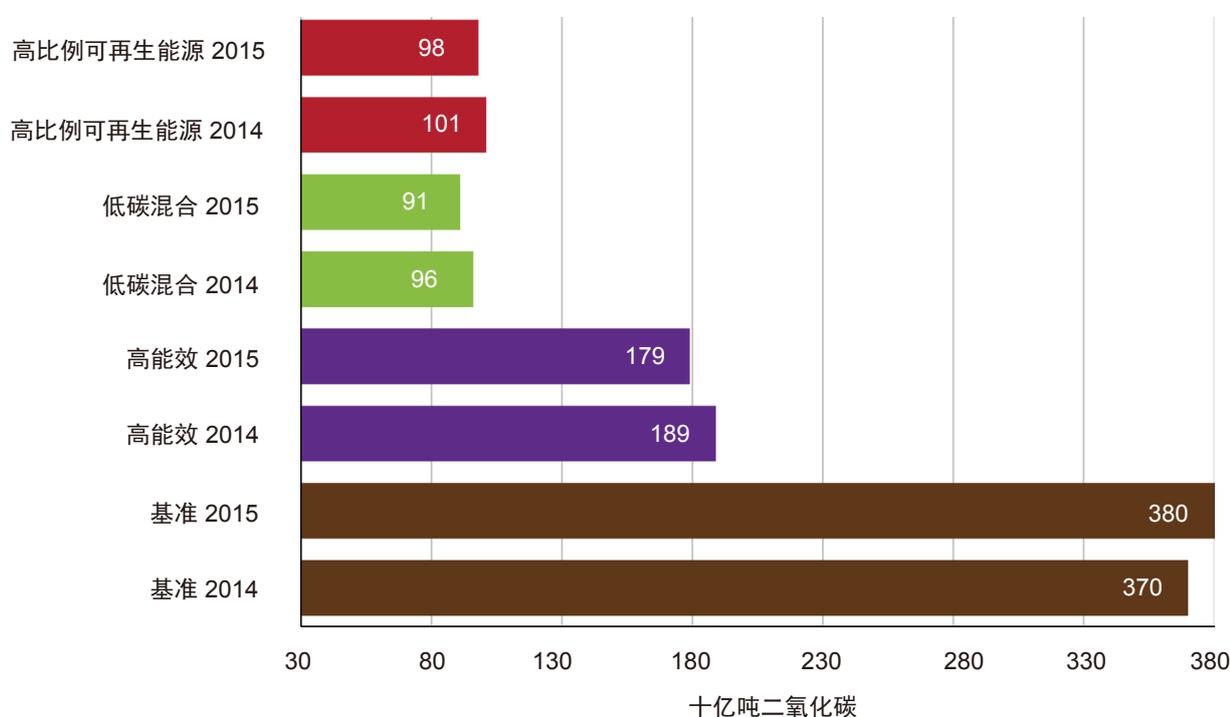
中国8760电网模型生成的2015高效、高比例可再生能源和低碳混合情景显示，2050年电力行业在各种情景中的二氧化碳排放均比基准情景有显著减少(图2)。依托于高效情景、以低碳技术为基础的高比例可再生能源和低碳混合情景的碳排放更是比基准情景减少了约75%。

图2 不同情景下中国电力部门二氧化碳排放



关于碳减排，我们2015年的结论与2014年的一样，但细节方面却有差异（图3）。每个新情景中的碳排放都有某种程度上的减少，这有两方面的原因，一是通过“需求调度”，即可再生资源利用的水平有可能得到提高；二是因为峰值管理技术。值得关注的是，2015年对总成本的估计相对于2014年减少的部分中，需求管理技术的贡献也占据了显著份额。这些技术可用“需求调度”来匹配可再生能源供应系统的可利用性，并允许较少的装机和资金投入。

图3 未来发电与未来发电2.0电力部门2015-2050年排放总量情景比较



可再生能源的作用到底有多大？

2015年对中国8760电网模型更新运行的高比例可再生能源情景显示，利用可再生能源（和峰值需求管理技术）可提供2050年电力需求总量的84%，而且能做到价格合理，供需平衡（图4）。

图5显示可再生能源潜在作用相比于我们2014年的结论有所增加。将补充的峰值管理技术整合到模型中是产生这种差异的主要原因。

图4 高比例可再生能源发电情景

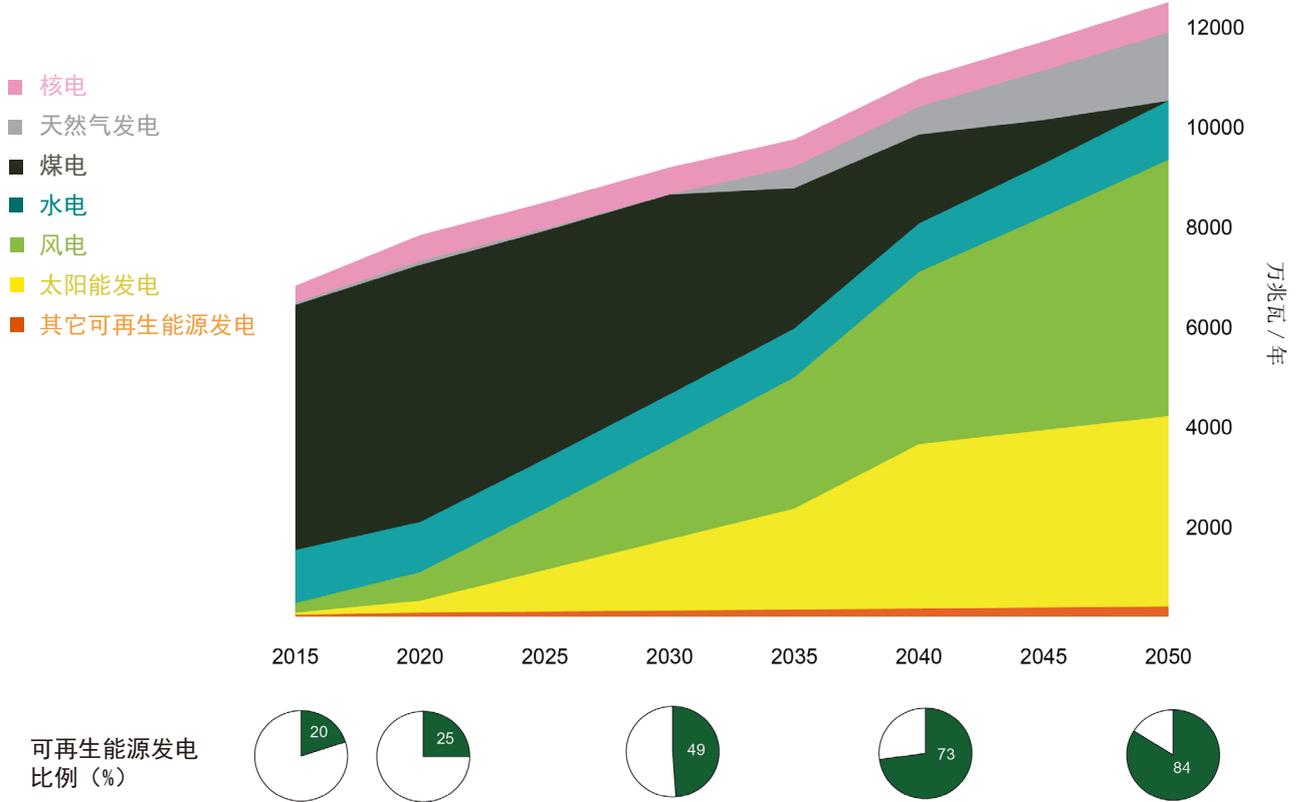
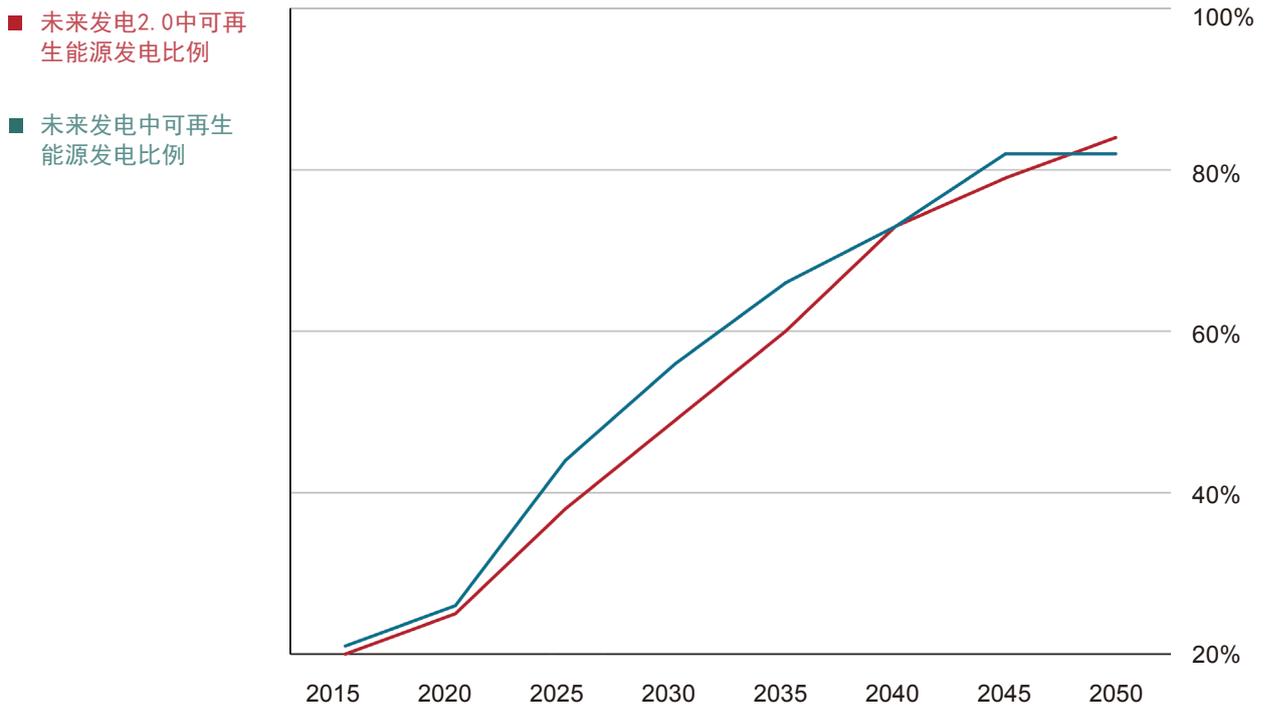


图5 未来发电与未来发电2.0中高比例可再生能源情景下可再生能源发电比例比较





政策评述

在2014年的《中国未来发电》中,我们研究过中国电力部门的政策、法律和法规,并且得出结论,雄心勃勃的目标很少有实现目标所需的具体的监管策略和执行资源相配套。尽管去年有一些乐观的说法,但我们的评估没有改变,中国领导层在承诺低碳未来方面给出的信号仍不清晰。

未来中国需要低碳发展的迹象

2014年11月,中国和美国发表了《中美气候变化联合声明》,旨在加强双边合作,并为多边谈判注入动力¹²。中国当时宣布了两个目标:

- 到2030年,中国的二氧化碳排放达到峰值,并争取尽早达峰。
- 到2030年,将一次能源消费中非化石燃料的份额提高到20%。

习主席对这些目标的公开承诺可能会将中国的电力部门真正推向低碳发展之路。实现目标遇到的许多障碍来自政治层面而非技术层面,因此政治领袖的作用至关重要。在《联合声明》中,中国并没有专门针对电力部门,但高级顾问们已经建议2030年将零排放的水电、风电、太阳能发电和核电的装机容量提高到1200GW¹³。

中国的《深化电力体制改革》文件¹⁴于2015年3月出台,该文件为电力行业的发展提供了路线图。其侧重点放在对可靠性的要求、市场机制如何发挥更大作用、消费者权益保护和完善管理等方面,呼吁进一步重视节能减排和增加可再生能源的利用。该文件没有涉及具体的细节。

此外,中国已经提高了2020年风电、太阳能发电和核电的装机增长目标¹⁵。到2020年,风电装机由95.8GW增加到200GW,要翻一番,太阳能发电装机由26.5GW增加到100GW,几乎是原来的4倍。在因福岛核事故停止了一段时间后,中国决心新建约100GW的核电装机。2014-2020行动计划要求到2020年建成或在建的零排放装机容量达到738GW(包括水电),这几乎是2013年的2倍¹⁶。

中国国家电网公司已经意识到大力提高电力存储容量的重要性,预计2050年将高达300GW,而2012年只有18GW(几乎全部为抽水蓄能电站)。国家电网预计在2020年和2025年抽水蓄能电站的容量将分别为50GW和100GW¹⁷。

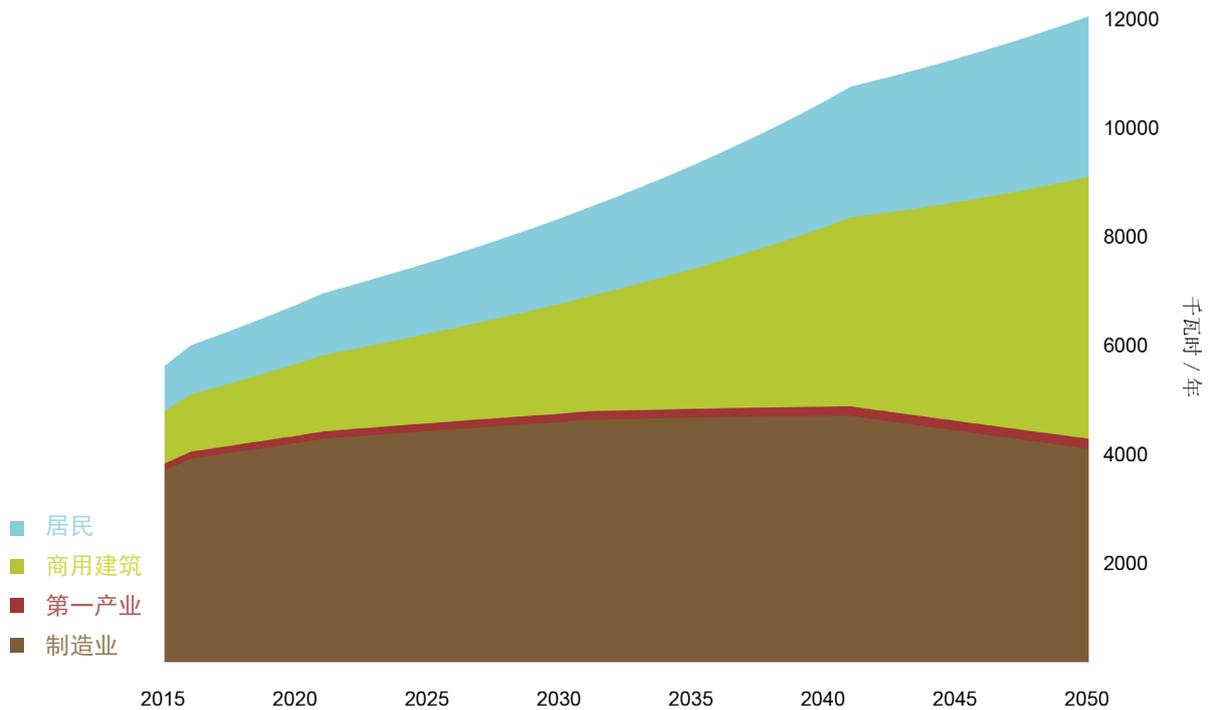
据报道,中国在“十二五”规划期间(2011-2015)能源强度仍维持16%的下降幅度。2014年能源强度降低了4.8%,2015年的降低目标值为3.1%¹⁸。

中国对煤炭的依赖将会延长的迹象

任何延期采用可以在经济增长的同时使电力需求降低的政策和技术都会巩固煤炭在电力系统的地位。我们注意到以下几点：

- 中国十年前第一次电力体制改革的文件中没有讨论到配电和输电独立控制的重要性，也基本没有关注调度优化的问题。这两项改革对可再生能源在电力系统的快速渗透均意义重大。
- 中国还没有实行价格体制改革。发电用煤的价格已经下降了。居民支付的电费只有实际成本的一半左右，这对控制建筑物用电需求的增长是一个巨大的障碍（图6）。利用电价进行峰值管理几乎没有什么进展，这对所有部门都至关重要¹⁹。

图6 不断提高的中国居民与商用建筑电力需求的重要性



- 煤的气化是2013年空气污染行动计划的一个组成部分，它将碳排放的地理位置转移（而不是减少排放），这个计划2014年仍在继续。中国和国外的专家正在提高对技术和金融方面的关注度，但这一潜在增加碳排放的重要来源依然留在官方政策中²⁰。

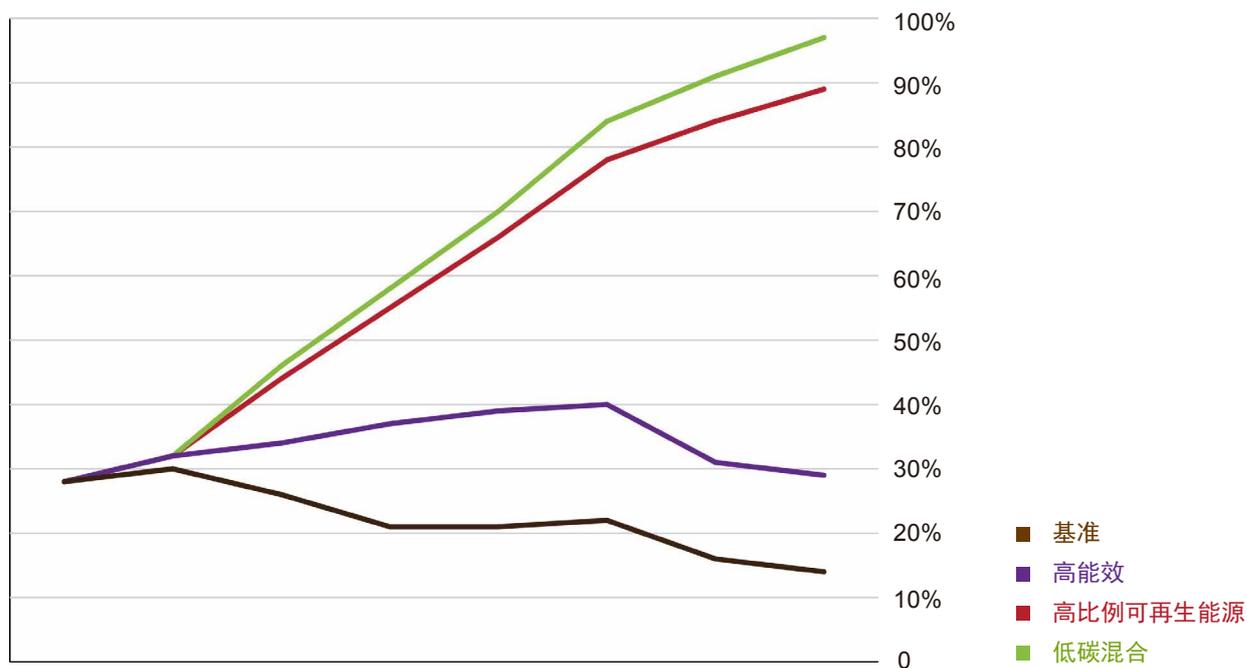
中国电力部门的碳峰值

中国确立了在2030年二氧化碳排放达到峰值的目标。电力部门的发展将大大影响该目标实现的进程。在中国8760电网模型生成的高比例可再生能源和低碳混合情景中，2020年中国电力部门的二氧化碳排放将达到峰值（见图2）。

基准情景和高能效情景的曲线说明了中国所面临任务的艰巨性，因为政策需要延续一段时间才能实现能效充分提高，而且单单靠技术发展，电力部门的二氧化碳排在2035年前到不了峰值。把激励替代煤炭的政策结合到提高整个经济发展的能效上需要强大的政治意愿。

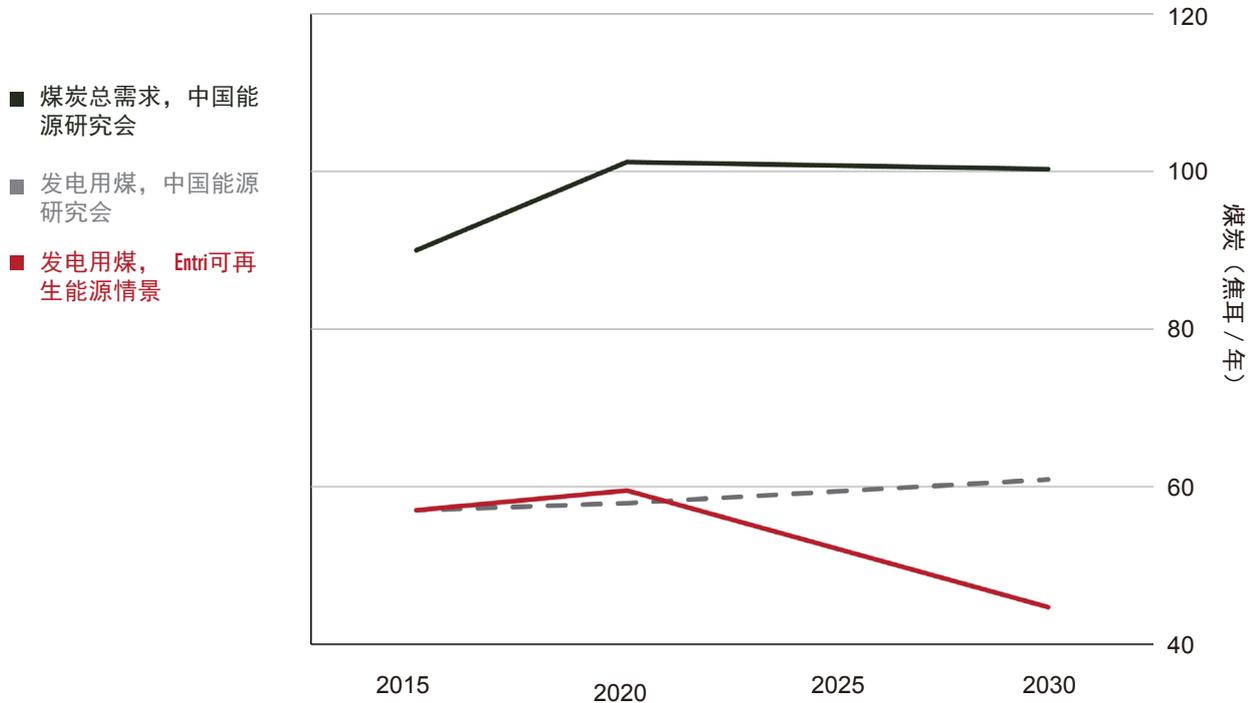
中国还有一个目标，即到2030年将一次能源中非化石能源的份额提高到20%。由于利用大量水电，中国已经有20%以上的电力来自非化石能源。高能效、高可再生能源和低碳混合情景预测：到2020年非化石资源在发电燃料中所占的比例将接近40%（图7）。

图7 非化石能源发电比例



为电力部门寻求积极的低碳发展情景有助于中国达到或者提前达到上述两个2030年的目标。图8供大家参考，它是中国能源研究会到2030年煤炭在经济体系和电力部门中使用的预测。这是一个具有代表性的研究，另外还有几个类似的研究也得到了相似的结论²¹。

图8 煤炭总量与发电用煤



建议

在《中国未来发电》中, 我们提出围绕四个总体政策建议应优先展开的行动:

- 能效翻番
- 把减碳作为所有供电投资决策的首要指标
- 允许价格反映服务成本
- 收集、出版和分析相关数据

我们鼓励中国领导层重视我们在2014年报告中确认的问题, 2015年的分析促使我们提出两个新的建议:

- 在能效方面, 我们为电器标准提出了具体的建议。
- 在减碳方面, 我们建议中国放弃煤炭气化计划。

电器能效标准

在2014年的报告中我们注意到，中国有发布更严格的电器和设备制造标准的意图，也曾促请他们经常审核和修订该标准，以确保追上或超越国际标准

表4：用严格的标准管理中国的电力需求

民用类	现有标准	推荐标准
家用空调	SEER = 15	到2030年SEER = 30
家用空调开关	无	到2017年的所有新空调
家用热水器	效率因子 = 0.9	效率因子= 3.0 (热泵式热水器)
热水器开关	无	到2020年的所有热水器
住宅照明	Watts/100 W 当量 = 15	Watts/100 W 当量 = 5

工业类	现有标准	推荐标准
电动机效率	0.9 转化效率	0.95转化效率
电动机开关	无	所有工业电动机系统
空调	SEER = 13	到2030年SEER = 30
空调开关	无	到2017年所有新空调
照明	Watts/100 W 当量 = 20	Watts/100 W 当量 = 10

准通过持续深入的研究，我们提出了下面两个专门针对电器的标准。我们在2015年的中国8760电网模型中运行这两个标准来实现低需求预测以及实施峰值负荷管理。

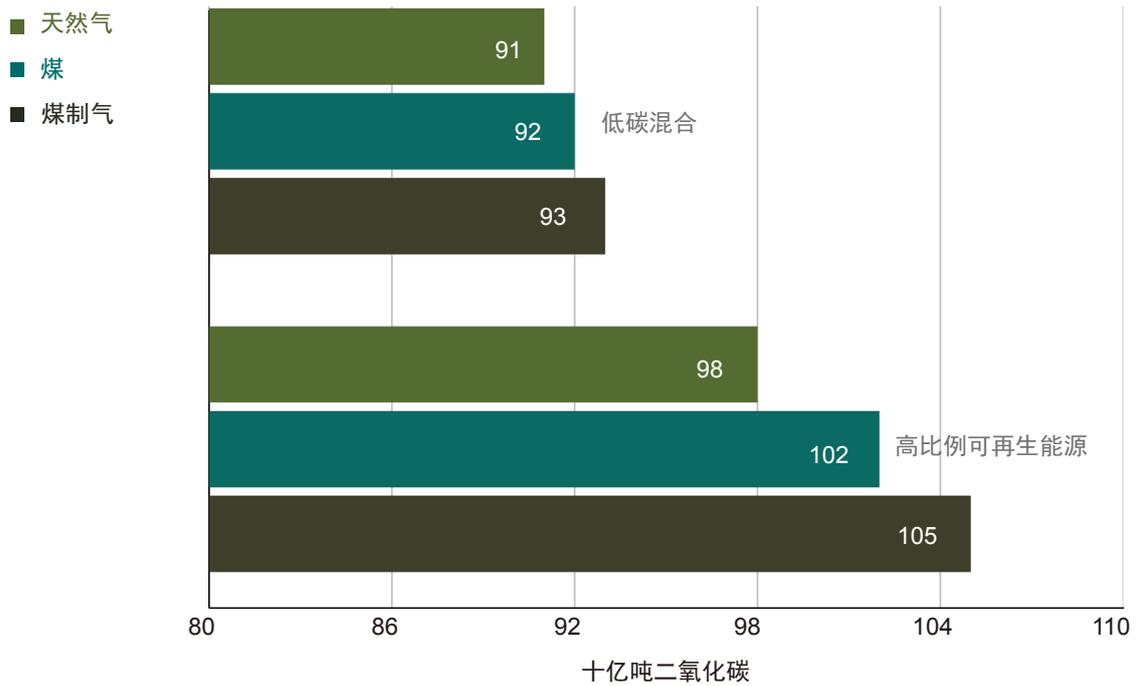
放弃煤炭气化计划

中国计划通过将煤气化生产合成天然气来解决空气污染问题。这会将煤炭引起的一些问题从人口稠密的东部省份转移到欠发达的西部省份，而且这样做反而会增加而不是减少碳排放。发电厂如果使用由煤炭气化生成的合成天然气来替代天然气进行发电，则根据使用技术的不同，排放的二氧化碳会比常规燃煤电厂多出10-30%²²。合成天然气产生的温室气体比天然气多出7倍^{23, 24, 25}。

在我们的情景中，到2040年，大约15-20%的电力由天然气或煤炭提供。我们注意到中国在开发国内天然气资源时遇到了困难，而且似乎也不愿意依赖大量进口国外天然气。利用煤或煤气代替天然气作为高峰负荷和支技术，

在2030-2050年间将会造成二氧化碳排放增加30-120亿吨的后果(图9)。注意,该结论假设所有煤制天然气替代品均用于高效联合循环(布雷顿循环)燃气轮机(其效率会抵消煤炭转换成气体所造成的转换损失),而不是直接用在煤(朗肯循环)蒸汽系统。煤炭不管以何种形态存在,在使用时

图9 分别用天然气、煤和煤制气作为支撑电源时2015-2050年碳排放总量



来源:中国能源研究会和Entri²⁶

附件：各情景结果汇总

基准情景

	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	加总
电力总需求（10亿千瓦时/年）	4,540	5,701	9,182	11,565	14,236	16,592	19,068	21,740	24,736	636,800
装机容量（百万千瓦）	1,019	1,484	2,314	2,882	3,182	3,691	4,218	4,476	4,973	N/A
发电总成本（10亿元人民币）	-	2,845	4,567	5,734	7,427	8,470	10,212	12,515	15,400	335,852
输电总成本（10亿元人民币/年）	-	209	345	446	554	654	757	799	890	23,274
采取减少电力需求/负荷措施的成本（10亿元人民币/年）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
储电的成本（10亿元人民币/年）	0	-	17	20	27	41	56	64	73	N/A
所有措施的总成本（10亿元人民币/年）	0	3,054	4,929	6,200	8,008	9,165	11,025	13,378	16,364	360,615
盈利（十亿人民币/年）	2,629									N/A
价格反馈系数	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A
人口（百万）	1,347	1,369	1,386	1,393	1,374	1,355	1,337	1,319	1,300	N/A
人均国内生产总值（以2010年美元计价）	5,601	6,608	8,898	10,976	13,540	16,069	18,886	22,026	25,639	N/A
人均用电需求（千瓦时）	3,370	4,165	6,625	8,301	10,360	12,242	14,264	16,488	19,021	N/A
二氧化碳排放量（百万吨/年）	-	4,022	5,901	6,992	9,231	9,352	10,598	12,909	14,991	369,986
电力需求增长（GDP增长）	1.00	0.92	1.09	1.11	1.12	1.12	1.11	1.10	1.09	N/A
发电装机容量（百万千瓦）										
太阳能光伏发电（3兆瓦）	3	27	149	148	147	147	147	147	147	N/A
太阳能集热发电（3万千瓦）	-	0	3	3	3	3	3	3	3	N/A
陆上风电（3万千瓦规模）	48	88	231	469	707	955	1,205	895	873	N/A
海上风电（3万千瓦规模）	-	1	30	30	30	30	30	30	30	N/A
大规模水电	157	242	228	202	176	150	124	118	118	N/A
小规模水电	58	61	58	48	38	29	19	17	17	N/A
地热发电	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/A
生物质发电（2.5万千瓦）	2	9	19	19	19	19	18	18	18	N/A
亚临界煤电	177	153	124	94	65	35	6	-	-	N/A
掺烧生物质的亚临界煤电	0	0	0	0	0	0	0	-	-	N/A
超临界煤电（100万千瓦）	530	832	1,387	1,791	1,926	2,253	2,594	3,173	3,688	N/A
超临界煤电（60万千瓦）	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/A
整体煤气化联合循环发电外加碳捕集与封存技术（100万千瓦）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A
核电	13	43	67	68	69	71	72	75	78	N/A
燃气发电，调峰负荷	-	0	0	0	0	0	0	0	-	N/A
燃气发电，基础负荷	33	26	18	10	2	-	-	-	-	N/A
总量	1,019	1,484	2,314	2,882	3,182	3,691	4,218	4,476	4,973	N/A
储能	-	-	25	30	40	60	80	90	100	N/A

基准情景（续）

	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	加总
各种发电装机（发电量，10亿千瓦时）										
太阳能光伏发电（3兆瓦）	-	41	221	220	219	219	219	219	219	1,578
太阳能集热发电（3万千瓦）	-	1	16	16	16	16	16	16	16	111
陆上风电（3万千瓦规模）	-	188	507	1,057	1,637	2,268	2,935	2,234	2,234	13,061
海上风电（3万千瓦规模）	-	2	66	68	69	71	73	75	77	501
大规模水电	-	849	799	708	616	525	433	415	415	4,759
小规模水电	-	213	202	168	134	100	66	60	60	1,002
地热发电	-	0	1	1	1	1	1	1	1	6
生物质发电（2.5万千瓦）	-	37	78	77	76	75	73	73	73	562
亚临界煤电	-	805	650	495	340	186	31	-	-	2,507
掺烧生物质的亚临界煤电	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0
超临界煤电（100万千瓦）	-	4,373	7,291	9,413	11,811	13,814	15,908	19,455	22,615	104,680
超临界煤电（60万千瓦）	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0
整体煤气化联合循环发电外加碳捕集与封存技术（100万千瓦）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
核电	-	338	519	529	538	548	558	580	606	4,217
燃气发电，调峰负荷	-	0	0	0	0	0	0	0	-	0
燃气发电，基础负荷	-	46	79	43	7	-	-	-	-	174
可再生能源发电量比例	0.00	0.19	0.18	0.18	0.18	0.18	0.19	0.13	0.12	N/A
非化石燃料发电量比例	0.00	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.22	0.16	0.14	N/A
总量	-	6,892	10,428	12,794	15,465	17,822	20,314	23,127	26,315	133,157
逐年结果										
电力需求（TWh）	4,593	5,768	9,290	11,701	14,403	16,786	19,291	21,994	25,026	N/A
发电量（TWh）	4,593	6,892	10,428	12,794	15,465	17,822	20,314	23,127	26,315	N/A
电力平衡（TWh）	-	(1,125)	(1,138)	(1,093)	(1,062)	(1,036)	(1,022)	(1,133)	(1,289)	N/A
弃电比例			0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	N/A
装机容量（GW）	1,019	1,484	2,314	2,882	3,182	3,691	4,218	4,476	4,973	N/A
成本（百万人民币）	-	3,054	4,912	6,180	7,981	9,124	10,969	13,314	16,290	N/A
总成本（百万人民币）	0	3,054	4,929	6,200	8,008	9,165	11,025	13,378	16,364	N/A
未满足的电力需求百分比	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	N/A
需要的最大负荷卸载（GW）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A

高能效情景

	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	加总
电力总需求 (10亿千瓦时/年)	4,523	5,441	6,540	7,312	8,133	9,111	10,296	11,094	11,883	371,665
装机容量 (百万千瓦)	1,019	1,431	1,560	1,738	1,804	2,065	2,359	2,280	2,382	N/A
发电总成本 (10亿元人民币)	-	2,748	3,524	3,953	4,539	4,939	5,678	6,489	7,430	196,507
输电总成本 (10亿元人民币/年)	-	201	265	316	368	509	571	550	572	16,755
采取减少电力需求/负荷措施的成本 (10亿元人民币/年)		18	271	804	1,374	2,300	3,531	4,851	5,777	94,627
储电的成本 (10亿元人民币/年)	0	-	17	21	28	42	57	65	74	N/A
所有措施的总成本 (10亿元人民币/年)	0	2,968	4,077	5,093	6,308	7,790	9,836	11,955	13,853	309,404
盈利 (十亿人民币/年)	2,619									N/A
价格反馈系数		-	-	-	-	-	-	-	-	N/A
人口 (百万)	1,347	1,369	1,386	1,393	1,374	1,355	1,337	1,319	1,300	N/A
人均国内生产总值 (以2010年美元计价)	5,601	6,608	8,567	10,468	12,913	15,929	19,649	23,138	26,932	N/A
人均用电需求 (千瓦时)	3,358	3,975	4,719	5,248	5,919	6,722	7,702	8,414	9,137	N/A
二氧化碳排放量 (百万吨/年)	-	3,814	3,884	3,882	4,362	4,100	4,439	5,435	5,967	179,411
电力需求增长 (GDP增长)	1.00	0.88	0.81	0.74	0.67	0.62	0.58	0.53	0.50	N/A
发电装机容量 (百万千瓦)										
太阳能光伏发电 (3兆瓦)	3	27	149	148	147	147	147	147	147	N/A
太阳能集热发电 (3万千瓦)	-	0	3	3	3	3	3	3	3	N/A
陆上风电 (3万千瓦规模)	48	88	231	469	707	955	1,205	895	873	N/A
海上风电 (3万千瓦规模)	-	1	30	30	30	30	30	30	30	N/A
大规模水电	157	242	228	202	176	150	124	118	118	N/A
小规模水电	58	61	58	48	38	29	19	17	17	N/A
地热发电	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/A
生物质发电 (2.5万千瓦)	2	9	19	19	19	19	18	18	18	N/A
亚临界煤电	177	153	124	94	65	35	6	-	-	N/A
掺烧生物质的亚临界煤电	0	0	0	0	0	0	0	-	-	N/A
超临界煤电 (100万千瓦)	530	779	634	646	548	627	735	977	1,096	N/A
超临界煤电 (60万千瓦)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/A
整体煤气化联合循环发电外加碳捕集与封存技术 (100万千瓦)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A
核电	13	43	67	68	69	71	72	75	78	N/A
燃气发电, 调峰负荷	-	0	0	0	0	0	0	0	-	N/A
燃气发电, 基础负荷	33	26	18	10	2	-	-	-	-	N/A
总量	1,019	1,431	1,560	1,738	1,804	2,065	2,359	2,280	2,382	N/A
储能	-	-	25	30	40	60	80	90	100	N/A

高能效情景（续）

	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	加总
各种发电装机（发电量，10亿千瓦时）										
太阳能光伏发电（3兆瓦）	-	41	221	220	219	219	219	219	219	1,578
太阳能集热发电（3万千瓦）	-	1	16	16	16	16	16	16	16	111
陆上风电（3万千瓦规模）	-	188	507	1,057	1,637	2,268	2,935	2,234	2,234	13,061
海上风电（3万千瓦规模）	-	2	66	68	69	71	73	75	77	501
大规模水电	-	849	799	708	616	525	433	415	415	4,759
小规模水电	-	213	202	168	134	100	66	60	60	1,002
地热发电	-	0	1	1	1	1	1	1	1	6
生物质发电（2.5万千瓦）	-	37	78	77	76	75	73	73	73	562
亚临界煤电	-	805	650	495	340	186	31	-	-	2,507
掺烧生物质的亚临界煤电	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0
超临界煤电（100万千瓦）	-	4,096	4,480	4,888	5,318	5,856	6,577	8,130	8,941	48,286
超临界煤电（60万千瓦）	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0
整体煤气化联合循环发电外加碳捕集与封存技术（100万千瓦）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
核电	-	338	519	529	538	548	558	580	606	4,217
燃气发电，调峰负荷	-	0	0	0	0	0	0	0	-	0
燃气发电，基础负荷	-	46	79	43	7	-	-	-	-	174
可再生能源发电量比例	0.00	0.20	0.25	0.28	0.31	0.33	0.35	0.26	0.24	N/A
非化石燃料发电量比例	0.00	0.25	0.32	0.34	0.37	0.39	0.40	0.31	0.29	N/A
总量	-	6,615	7,617	8,269	8,972	9,864	10,982	11,803	12,641	76,764
逐年结果										
电力需求（TWh）	4,576	5,504	6,617	7,398	8,229	9,218	10,417	11,225	12,022	N/A
发电量（TWh）	4,576	6,615	7,617	8,269	8,972	9,864	10,982	11,803	12,641	N/A
电力平衡（TWh）	-	(1,111)	(1,000)	(871)	(743)	(646)	(565)	(578)	(619)	N/A
弃电比例		0.17	0.13	0.11	0.08	0.07	0.05	0.05	0.05	N/A
装机容量（GW）	1,019	1,431	1,560	1,738	1,804	2,065	2,359	2,280	2,382	N/A
成本（百万人民币）	-	2,949	3,789	4,269	4,907	5,448	6,249	7,039	8,002	N/A
总成本（百万人民币）	0	2,968	4,077	5,093	6,308	7,790	9,836	11,955	13,853	N/A
未满足的电力需求百分比	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.04%	0.18%	0.01%	0.00%	N/A
需要的最大负荷卸载（GW）	-	-	-	-	0	4	19	1	0	N/A

高比例可再生能源情景

	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	加总
电力总需求（10亿千瓦时/年）	4,523	5,441	6,552	7,325	8,144	9,119	10,300	11,093	11,876	371,853
装机容量（百万千瓦）	1,019	1,431	1,781	2,224	2,569	3,170	4,111	4,590	5,049	N/A
发电总成本（10亿元人民币）	-	2,743	3,486	4,183	4,011	5,069	5,736	6,431	7,083	193,707
输电总成本（10亿元人民币/年）	-	201	265	357	449	532	718	772	823	20,582
采取减少电力需求/负荷措施的成本（10亿元人民币/年）		18	272	808	1,381	2,313	3,551	4,881	5,813	95,189
储电的成本（10亿元人民币/年）	0	-	17	21	27	43	58	66	74	N/A
所有措施的总成本（10亿元人民币/年）	0	2,963	4,039	5,369	5,867	7,957	10,063	12,150	13,793	311,008
盈利（十亿人民币/年）	2,619									N/A
价格反馈系数		-	-	-	-	-	-	-	-	N/A
人口（百万）	1,347	1,369	1,386	1,393	1,374	1,355	1,337	1,319	1,300	N/A
人均国内生产总值（以2010年美元计价）	5,601	6,608	8,567	10,468	12,913	15,929	19,649	23,138	26,932	N/A
人均用电需求（千瓦时）	3,358	3,975	4,727	5,258	5,926	6,728	7,705	8,413	9,132	N/A
二氧化碳排放量（百万吨/年）	-	3,814	3,893	3,341	3,158	2,159	1,502	1,045	594	97,533
电力需求增长（GDP增长）	1.00	0.88	0.81	0.74	0.67	0.62	0.58	0.53	0.50	N/A
发电装机容量（百万千瓦）										
太阳能光伏发电（3兆瓦）	3	27	149	373	597	822	1,500	1,500	1,500	N/A
太阳能集热发电（3万千瓦）	-	0	3	52	102	151	201	250	300	N/A
陆上风电（3万千瓦规模）	48	88	231	469	707	941	1,205	1,455	1,705	N/A
海上风电（3万千瓦规模）	-	1	30	75	120	165	210	255	300	N/A
大规模水电	157	242	228	223	217	212	207	223	243	N/A
小规模水电	58	61	58	60	63	66	69	79	92	N/A
地热发电	0	0	0	0	1	1	1	1	1	N/A
生物质发电（2.5万千瓦）	2	9	19	24	29	34	38	43	48	N/A
亚临界煤电	177	153	124	94	65	35	6	-	-	N/A
掺烧生物质的亚临界煤电	0	0	0	0	0	0	0	-	-	N/A
超临界煤电（100万千瓦）	530	779	855	774	596	427	285	142	-	N/A
超临界煤电（60万千瓦）	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/A
整体煤气化联合循环发电外加碳捕集与封存技术（100万千瓦）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A
核电	13	43	67	68	69	71	72	75	78	N/A
燃气发电，调峰负荷	-	0	0	0	0	245	317	566	781	N/A
燃气发电，基础负荷	33	26	18	10	2	-	-	-	-	N/A
总量	1,019	1,431	1,781	2,224	2,569	3,170	4,111	4,590	5,049	N/A
储能	-	-	25	30	40	60	80	90	100	N/A

高比例可再生能源情景（续）

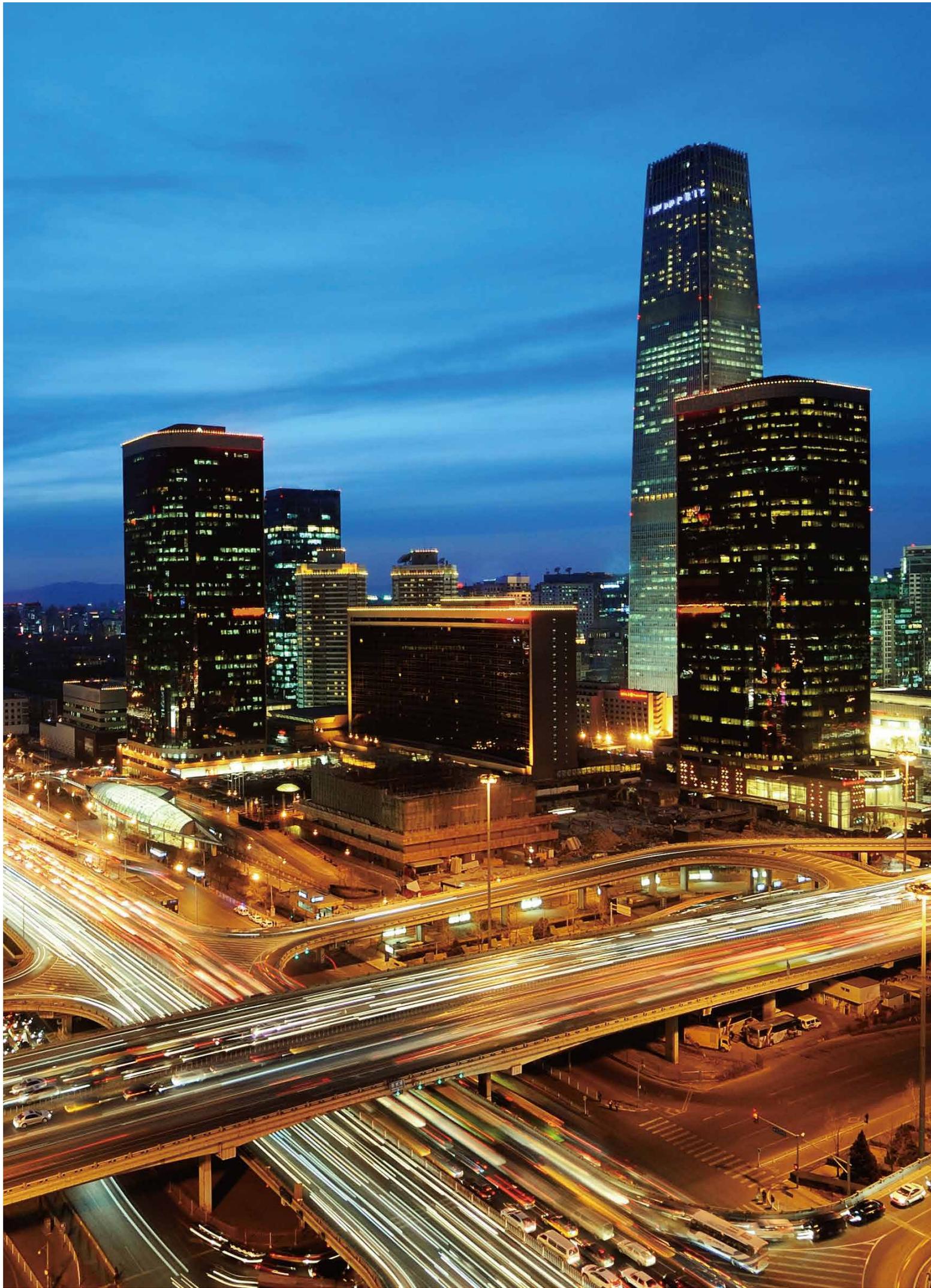
	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	加总
各种发电装机（发电量，10亿千瓦时）										
太阳能光伏发电（3兆瓦）	-	41	221	555	889	1,224	2,234	2,234	2,234	9,633
太阳能集热发电（3万千瓦）	-	1	16	276	536	796	1,056	1,317	1,577	5,574
陆上风电（3万千瓦规模）	-	188	507	1,057	1,637	2,234	2,935	3,633	4,361	16,552
海上风电（3万千瓦规模）	-	2	66	169	278	392	512	637	767	2,822
大规模水电	-	849	799	781	762	744	725	780	853	6,292
小规模水电	-	213	202	212	222	232	242	279	322	1,922
地热发电	-	0	1	2	3	4	5	5	6	26
生物质发电（2.5万千瓦）	-	37	78	97	116	135	153	173	193	982
亚临界煤电	-	805	650	495	340	186	31	-	-	2,507
掺烧生物质的亚临界煤电	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0
超临界煤电（100万千瓦）	-	4,096	4,492	4,068	3,655	2,621	1,747	874	-	21,553
超临界煤电（60万千瓦）	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0
整体煤气化联合循环发电外加碳捕集与封存技术（100万千瓦）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
核电	-	338	519	529	538	548	558	580	606	4,217
燃气发电，调峰负荷	-	0	0	0	0	429	556	992	1,368	3,345
燃气发电，基础负荷	-	46	79	43	7	-	-	-	-	174
可再生能源发电量比例	0.00	0.20	0.25	0.38	0.49	0.60	0.73	0.79	0.84	N/A
非化石燃料发电量比例	0.00	0.25	0.32	0.44	0.55	0.66	0.78	0.84	0.89	N/A
总量	-	6,615	7,630	8,283	8,984	9,543	10,754	11,503	12,288	75,599
逐年结果										
电力需求（TWh）	4,576	5,504	6,629	7,411	8,240	9,226	10,421	11,223	12,015	N/A
发电量（TWh）	4,576	6,615	7,630	8,283	8,984	9,543	10,754	11,503	12,288	N/A
电力平衡（TWh）	-	(1,111)	(1,001)	(872)	(744)	(317)	(333)	(280)	(273)	N/A
弃电比例		0.17	0.13	0.11	0.08	0.03	0.03	0.02	0.02	N/A
装机容量（GW）	1,019	1,431	1,781	2,224	2,569	3,170	4,111	4,590	5,049	N/A
成本（百万人民币）	-	2,944	3,751	4,539	5,309	6,210	6,860	7,406	7,905	N/A
总成本（百万人民币）	0	2,963	4,039	5,369	5,867	7,957	10,063	12,150	13,793	N/A
未满足的电力需求百分比	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.01%	0.00%	0.00%	N/A
需要的最大负荷卸载（GW）	-	-	-	-	-	-	1	0	0	N/A

低碳混合情景

	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	加总
电力总需求 (10亿千瓦时/年)	4,523	5,441	6,552	7,325	8,144	9,119	10,300	11,093	11,876	371,853
装机容量 (百万千瓦)	1,019	1,431	1,781	2,126	2,399	2,730	3,679	4,078	4,437	N/A
发电总成本 (10亿元人民币)	-	2,743	3,486	4,211	4,164	5,064	5,824	6,478	7,132	195,511
输电总成本 (10亿元人民币/年)	-	201	265	337	412	475	679	739	784	19,457
采取减少电力需求/负荷措施的成本 (10亿元人民币/年)		18	272	808	1,381	2,313	3,551	4,881	5,813	95,189
储电的成本 (10亿元人民币/年)	0	-	17	21	27	43	57	66	74	N/A
所有措施的总成本 (10亿元人民币/年)	0	2,963	4,039	5,377	5,984	7,895	10,111	12,163	13,803	311,680
盈利 (十亿人民币/年)	2,619									N/A
价格反馈系数		-	-	-	-	-	-	-	-	N/A
人口 (百万)	1,347	1,369	1,386	1,393	1,374	1,355	1,337	1,319	1,300	N/A
人均国内生产总值 (以2010年美元计价)	5,601	6,608	8,567	10,468	12,913	15,929	19,649	23,138	26,932	N/A
人均用电需求 (千瓦时)	3,358	3,975	4,727	5,258	5,926	6,728	7,705	8,413	9,132	N/A
二氧化碳排放量 (百万吨/年)	-	3,814	3,893	3,234	3,014	2,004	1,289	738	230	91,080
电力需求增长 (GDP增长)	1.00	0.88	0.81	0.74	0.67	0.62	0.58	0.53	0.50	N/A
发电装机容量 (百万千瓦)										
太阳能光伏发电 (3兆瓦)	3	27	149	309	468	629	1,415	1,500	1,500	N/A
太阳能集热发电 (3万千瓦)	-	0	3	52	102	151	201	250	300	N/A
陆上风电 (3万千瓦规模)	48	88	231	469	707	941	1,205	1,455	1,705	N/A
海上风电 (3万千瓦规模)	-	1	30	50	70	90	110	130	150	N/A
大规模水电	157	242	228	202	176	150	124	118	118	N/A
小规模水电	58	61	58	48	38	29	19	17	17	N/A
地热发电	0	0	0	0	1	1	1	1	2	N/A
生物质发电 (2.5万千瓦)	2	9	19	22	24	26	28	30	32	N/A
亚临界煤电	177	153	124	94	65	35	6	-	-	N/A
掺烧生物质的亚临界煤电	0	0	0	0	0	0	0	-	-	N/A
超临界煤电 (100万千瓦)	530	779	855	748	570	427	285	142	-	N/A
超临界煤电 (60万千瓦)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	N/A
整体煤气化联合循环发电外加碳捕集与封存技术 (100万千瓦)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	N/A
核电	13	43	67	122	177	232	286	343	400	N/A
燃气发电, 调峰负荷	-	0	0	0	0	19	-	90	213	N/A
燃气发电, 基础负荷	33	26	18	10	2	-	-	-	-	N/A
总量	1,019	1,431	1,781	2,126	2,399	2,730	3,679	4,078	4,437	N/A
储能	-	-	25	30	40	60	80	90	100	N/A

低碳混合情景（续）

	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	加总
各种发电装机（发电量，10亿千瓦时）										
太阳能光伏发电（3兆瓦）	-	41	221	460	698	937	2,107	2,234	2,234	8,931
太阳能集热发电（3万千瓦）	-	1	16	276	536	796	1,056	1,317	1,577	5,574
陆上风电（3万千瓦规模）	-	188	507	1,057	1,637	2,234	2,935	3,633	4,361	16,552
海上风电（3万千瓦规模）	-	2	66	113	162	214	268	325	384	1,532
大规模水电	-	849	799	708	616	525	433	415	415	4,759
小规模水电	-	213	202	168	134	100	66	60	60	1,002
地热发电	-	0	1	2	3	4	5	6	7	29
生物质发电（2.5万千瓦）	-	37	78	86	94	103	111	120	129	758
亚临界煤电	-	805	650	495	340	186	31	-	-	2,507
掺烧生物质的亚临界煤电	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0
超临界煤电（100万千瓦）	-	4,096	4,492	3,930	3,494	2,621	1,747	874	-	21,254
超临界煤电（60万千瓦）	-	0	0	0	0	0	0	-	-	0
整体煤气化联合循环发电外加碳捕集与封存技术（100万千瓦）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
核电	-	338	519	946	1,373	1,799	2,226	2,666	3,109	12,975
燃气发电，调峰负荷	-	0	0	0	0	34	0	158	373	564
燃气发电，基础负荷	-	46	79	43	7	-	-	-	-	174
可再生能源发电量比例	0.00	0.20	0.25	0.35	0.43	0.51	0.64	0.69	0.72	N/A
非化石燃料发电量比例	0.00	0.25	0.32	0.46	0.58	0.70	0.84	0.91	0.97	N/A
总量	-	6,615	7,630	8,283	9,094	9,552	10,986	11,805	12,648	76,613
逐年结果										
电力需求（TWh）	4,576	5,504	6,629	7,411	8,239	9,225	10,420	11,223	12,015	N/A
发电量（TWh）	4,576	6,615	7,630	8,283	9,094	9,552	10,986	11,805	12,648	N/A
电力平衡（TWh）	-	(1,111)	(1,001)	(872)	(855)	(326)	(565)	(583)	(633)	N/A
弃电比例		0.17	0.13	0.11	0.09	0.03	0.05	0.05	0.05	N/A
装机容量（GW）	1,019	1,431	1,781	2,126	2,399	2,730	3,679	4,078	4,437	N/A
成本（百万人民币）	-	2,944	3,751	4,548	5,388	6,149	6,908	7,420	7,916	N/A
总成本（百万人民币）	0	2,963	4,039	5,377	5,984	7,895	10,111	12,163	13,803	N/A
未满足的电力需求百分比	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.41%	0.62%	0.57%	N/A
需要的最大负荷卸载（GW）	-	-	-	-	-	0	43	70	68	N/A





注解和参考文献

¹ Annual growth over the past decade in constant RMB (GDP) and in electricity demand (Elec.). Source: *China Statistical Yearbook 2014*, and 中华人民共和国2014年国民经济和社会发展统计公报, 来源: 新华社 2015年02月26日 19:17:29. 新华社北京2月26日电 (授权发布) 中华人民共和国2014年国民经济和社会发展统计公报[1], 中华人民共和国国家统计局, 2015年2月26日.

Year	Elec.	GDP
1996	7.4	10
1997	4.8	9.3
1998	2.8	7.8
1999	6.1	7.6
2000	9.5	8.4
2001	9.3	8.3
2002	11.8	9.1
2003	15.6	10
2004	15.4	10.1
2005	13.5	11.3
2006	14.6	12.7
2007	14.4	14.2
2008	5.6	9.6
2009	7.2	9.2
2010	13.2	10.4
2011	12.1	9.3
2012	5.9	7.7
2013	8.5	7.7
2014	4.7	7.4

² William Chandler, Chen Shiping, Lin Ruosida, Holly Gwin, Wang Yanjia, *China's Future Generation: Assessing the Maximum Potential for Renewable Power Sources in China to 2050*, Entri, 2014 (www.etransition.org/publications).

³ The China 8760 Grid Model is a combined econometric and engineering model developed by Entri to assess the cost, carbon emissions, land use impacts, and transmission line requirements of China's electric power system. The 2014 *Future Generation* report contains a description of the model's assumptions.

⁴ For a detailed presentation of the China 8760 Model methodology, see William Chandler, Chen Shiping, Lin Ruosida, *China 8760 Grid Model Methodology, 2015 Revisions*, forthcoming, Entri, June 2015 (www.etransition.org/publications).

⁵ Although China's population is large, it is not expected to grow or shrink markedly during the time periods in the model, and has very little impact on model results. Population figures are included mainly to enable per capita results for comparison purposes. Population data for 2011 come National Statistical Bureau, "China Statistical Yearbook 2012", 2013, Beijing; and Population Reference Bureau, "World Population Data Sheet 2011," 2012, www.prb.org

⁶ JIANG Kejun, Energy Research Institute, National Development and Reform Commission, private communication, March 2012.

⁷ Conversion from base year dollars (generally year 2005 constant U.S. dollars) to year 2011 values was done using the consumer price index values provided by the U.S. Department of Labor, Bureau of Labor Statistics, <http://www.bls.gov>, mid-2013

⁸ Based on regression analysis by the authors.

⁹ Industrial value-added and electricity consumption compiled from *China Statistical Year-books 1996–2013*, Chinese National Statistics Bureau, Beijing, China. Analysis performed by Lin Ruosida and Wang Yanjia. See also, Ali Hasanbeigi, Lynn Price, Cecilia Fino-Chen, Hongyou Lu, Jing Ke, “Retrospective and Prospective Decomposition Analysis of Chinese Manufacturing Energy Use, 1995–2020,” China Energy Group, Energy Analysis and Environmental Impacts Department, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, January 2013; Power sector capacity data from <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2014/indexeh.htm>; Additional electric power elasticities from <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2014/zk/html/Z0908E.JPG>.

¹⁰ Abduljalil A. Al-Abidi, Sohif Bin Mat, K. Sopian, M.Y. Sulaiman, C.H. Lim, Abdulrahman Th, “Review of thermal energy storage for air conditioning systems,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012) 5802–5819; John A. “Skip” Laitner, Matthew T. McDonnell, Karen Ehrhardt-Martinez, “The Energy Efficiency and Productivity Benefits of Smart Appliances and ICT-Enabled Networks: An Initial Assessment,” November 2014, American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C., Report Number F1402; United Nations Development Fund, Global Energy Facility, “Asia: Barrier Removal To The Cost-Effective Development And Implementation Of Energy Efficiency Standards And Labeling (Bresl) Project,” 2013; Daniel Trombley, Maggie Molina, R. Neal Elliott, “Intelligent Efficiency: the Next Generation of Energy Efficiency,” American Council for an Energy-Efficient Economy, Washington, D.C., 2013, from Proceedings of the 2012 Industrial Energy Technology Conference, New Orleans, Louisiana, May 29–June 1, 2012; Electric Power Research Institute, “Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid: A Preliminary Estimate of the Investment Requirements and the Resultant Benefits of a Fully Functioning Smart Grid,” Palo Alto, California, 2011; “Demand Dispatch—Intelligent Demand for a More Efficient Grid,” DOE/NETL-DE-FE0004001, U.S. Department of Energy, Office of Electricity Delivery and Energy Reliability, National Energy Technology Laboratory, 10 August 2011; S. Ashok, R. Banerjee, “Load-management applications for the industrial sector,” Energy System Engineering, Indian Institute of Technology, Bombay, India, undated; Florian Stern, “Demand Response in China,” Azure International, Beijing China, January 2015, www.azure-international.com.

¹¹ North China Power University and Natural Resources Defense Council, 中国电力部门绿色低碳发展: 能效、结构优化与煤炭消费总量控制 (“Low-carbon and Green Development of China’s Electric Power Sector: Energy Efficiency, Structure Transition and Coal Cap”), presentation made on 28 October 2014, Beijing.

¹² 新华社北京11月12日电, 中美气候变化联合声明, 2014年11月12日于中国北京 http://www.gov.cn/xinwen/2014-11/13/content_2777663.htm (Xinhua News Agency, Beijing, November 12, 2014. China-us climate change Declaration 22, Beijing, China. See also, U.S.-China Joint Announcement on Climate Change, The White House, <http://www.whitehouse.gov/the-press-office/2014/11/11/us-china>).

¹³ Zhou Dadi, presentation in Lima. 周大地: 2030年非化石能源占比增加到20%能突破_新闻中心_中国网http://news.china.com.cn/world/2014-12/12/content_34297955.htm.

¹⁴ 《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》. (2015, March 23). <http://solar.ofweek.com/2015-03/ART-260006-8480-28942107.html>

¹⁵ 能源发展战略行动计划(2014–2020年) http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm. Strategic action plan for energy development (2014–2020).

¹⁶ 国务院办公厅关于印发能源发展战略行动计划(2014–2020年)的通知_政府信息公开专栏: 能源发展战略行动计划(2014–2020年) Regulation on the issuance of energy development strategy plan of action (2014–2020) announcement: Strategic action plan for energy development (2014–2020); http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm, State Council, issued 7 June 2015, published 19 November 2014; 煤炭产业链跟踪周报: 煤价跌势延续 估值继续调整_行业分析_中证网 (Coal prices continue falling, valuations continue to adjust), <http://www.cs.com.cn/ssgs/hyfx/>; Qinhuangdao Coal Network, Editor: Huang Zhimin, 31 December 2014.; Marc Howe, “Non-Fossil Fuel “National Plan for Updating, Transforming, Energy Savings, and Emission Reduction for Coal-fired Power, 2014–2020,” Chinese National Development and Reform Commission, October 2014, Translated by Lin Ruosida, Entri, January 2015. See 煤电节能减排升级与改造行动计划(2014–2020年), http://www.ndrc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/201409/t20140919_626235.html; Sources Provide 25% of China’s Electricity,” 11 March 2015, <http://cleantechnica.com/2015/03/11/non-fossil-fuel-sources-provide-25-chinas-electricity/>.

¹⁷ Personal communication, Deng Liangchun, World Wild Fund for Nature (WWF) China, 10 March 2015. The 12th Five Year Plan set a target for pumped storage hydro in 2020 for 70GW.

See also National Energy Administration, Nov 2014, see: http://www.sdpc.gov.cn/gzdt/201411/t20141117_648312.html; 国家发展改革委关于促进抽水蓄能电站健康有序发展有关问题的意见, 发改能源[2014]2482号 National Development and Reform Commission on the promotion of pumped storage power station. Views on the healthy and orderly development of related issues, National Development and Reform Commission, 2014, No. 2482.

¹⁸ 中华人民共和国2014年国民经济和社会发展统计公报, 来源: 新华社 2015年02月26日 19:17:29. 新华社北京2月26日电(授权发布)中华人民共和国2014年国民经济和社会发展统计公报[1], 中华人民共和国国家统计局, 2015年2月26日. Statistical Communiqué of the People's Republic of China on the 2014, National Economic and Social Development via Xinhua News Agency, 26 February 2015.

¹⁹ Residential power prices compiled by Wang Yanjia from the National Development Reform Commission Price Supervision Center, August 2014. Note that some regions have adopted time of use tariffs for residences and residents can choose from options that reduce overall costs in return for higher peak rates. The tariffs that follow reflect the regular, non-time-of-use tariff only.

Province	Yuan/kWh
Beijing	0.49
Tianjin	0.49
Hebei	0.52
Shanxi	0.48
Inter-Mongolia	0.43
Liaoning	0.50
Jilin	0.53
Heilongjiang	0.51
Shanghai	0.62
Jiangsu	0.53
Zhejiang	0.54
Anhui	0.57
Fujian	0.50
Jiangxi	0.60
Shandong	0.55
Henan	0.56
Hubei	0.57
Hunan	0.61
Guangzhou (Guangdong Province)	0.61
Shenzhen (Guangdong Province)	0.68
Shantou (Guangdong Province)	0.70
Huizhou (Guangdong Province)	0.65
Nanning, Beihai (Guangxi Province)	0.53
Liuzhou (Guangxi Province)	0.46
Hainan	0.61
Chongqing	0.52

²⁰ Sylvie Cornot-Gandolphe, *China's Coal Market: Can Beijing Tame 'King Coal'?* Oxford Institute for Energy Studies, Oxford, England, December 2014.

²¹ "China Coal Peak Forecasting," China Energy Research Society, delivered in March 2014. See also, "China long term coal development strategy 2030, 2050," China Engineering Academy, ISBN 978-7-03-039935-2. as well as various scenarios by Jiang Kejun, Energy Research

Institute, Beijing (private communication, 2014).

²² See Zhan Junhuai and You Biao, 煤气化过程气化效率分析, 氮肥技术, 2009年第30卷 page 3-4
Efficiency Analysis of Coal Gasification Process, Nitrogenous Fertilizer Technology, Vol. 30 2009
page 3-4.

²³ See Ding, Y., Hang, W., Chai, Q., Yang, S. & Shen, W. Energy Policy 55, 445-453 (2013).

²⁴ Fulton, M., Mellquist, N., Kitasei, S. & Bluestein, J. Comparing Lifestyle Greenhouse Gas
Emissions from Coal and Natural Gas (Worldwatch Institute, 2011).

²⁵ Jaramillo, P., Griffin, W. M. & Matthews, H. S. Environ. Sci. Technol. 41, 6290 (2007).

²⁶ China Energy Research Society, "China Coal Peak Forecasting," Beijing, March 2014; Huang
Qili, Gao Hu, Zhao Yongqiang, "China's Medium and Long-term (2030, 2050) Development
Strategic Objective and Approach of Renewable Energy," Chinese Engineering Science, 2011,
13(6): 88-94; Jiang Kejun, "2050 China Energy and CO2 Emissions Report," Energy Research
Institute, Beijing, 2009.

图片信息

Front Cover © istock.com/
bingdian; Title Page © istock.
com/bo1982; Foreword © istock.
com/GP232; Page 2 © istock.
com/tainkm; Page 3 © istock.
com/Toa55; Page 4 © istock.
com/06photo; Page 5 © Global
Warming Images/WWF-Canon;
Page 9 © Global Warming
Images/WWF-Canon; Page 10 ©
Global Warming Images/WWF-
Canon; Pages 12–13 © istock.
com/zhengzaishuru; Page 14 ©
istock.com/zhudifeng; Page 15 ©
Global Warming Images/WWF-
Canon; Page 23 © istock.com/
shotbydave; Page 38 © istock.
com/bingdian.

无煤

2050年甚至更早，中国可能会从发电燃料中将煤炭淘汰。

84%

到本世纪中叶，中国约84%的电力生产可以通过可再生能源实现。



智能电网

智能电网技术可以有效地管理电力负荷，有利于降低成本、减少排放。

低排放、低成本

2015至2050年间，以可再生能源为主的发电系统与以燃煤为主的发电系统相比，其总成本和排放强度都相对更低。



Why we are here

To stop the degradation of the planet's natural environment and to build a future in which humans live in harmony with nature.

www.panda.org/climate