

电力行业

深化改革, 降低排放, 改善空气质量,
促进经济增长

2015年9月



保尔森基金会
PAULSON INSTITUTE



| 机遇：电力行业耗煤约占中国每年煤炭消费总量的一半。政策上的微调可以对减排产生巨大的影响。

关于保尔森基金会

保尔森基金会由亨利·保尔森先生在2011年创立，是一家“知行合一”的智库。基金会的使命是推动环境保护及中美两国的可持续发展，并加强两国的经济互依关系，推进跨界投资。基金会的工作基于以下原则：只有中美两国互补协作，才能应对当今最紧迫的经济和环境挑战。基金会是一个独立的非党派机构，总部位于芝加哥大学，同时在北京、旧金山、纽约和华盛顿设有工作团队。基金会的工作主要是通过项目、倡导和研究推动经济增长，以创造工作机会、推动可持续城镇化发展、推行负责任的环境政策。智库发表的研究报告主要针对中国当前面临的最重要的宏观经济问题、能源战略及中美经济关系问题。更多信息请访问我们的网站 www.paulsoninstitute.org.cn

关于本系列报告：强化市场机制，改善空气质量

本报告为保尔森基金会气候变化与空气质量 (CCAQ) 项目组2015年度系列报告之一。报告就如何利用市场机制减少引起气候变化的常规污染物及温室气体排放，为政府决策机构和政策影响机构提供参考性政策建议，所涵盖的主题包括电力行业改革、电力需求响应、碳排放权交易体系和建筑能效公示。

强化市场机制 改善空气质量

电力行业

深化改革，降低排放，改善空气质量，促进经济增长

合作作者

Max Dupuy (戴翎松), Frederick Weston (魏雷克)
睿博能源智库

Anders Hove (侯安德)
保尔森基金会

中方战略顾问

姜克隽	国家发改委能源所
谭忠富	华北电力大学经济与管理学院

报告外审专家

姜克隽	国家发改委能源所
刘满平	国家发改委价格监测中心
Mackay Miller	美国国家可再生能源实验室
Kevin Porter	Exeter Associates公司
王万兴	能源基金会
Ryan Wiser	资源解决方案中心
袁家海	华北电力大学

对上述顾问和专家的致谢不代表他们赞同本报告所陈述的全部观点。



智能电网：基于排放和能效的电力系统调度
有助于增加可再生能源并网。

目录

1 导言	2
2 新电改方案(中发(2015)9号文)	5
3 通过上网电价机制改革来提高电力系统的运营效率	7
4 提高可再生能源的利用	9
5 加大扶持深圳试点项目, 支持提高终端能效	13
6 综合资源规划的第一步: 试点新的燃煤电厂审批程序	15
7 结论	18
作者简介	19
致谢	20
参考与注释	21



1. 导言

电力行业耗煤约占中国每年煤炭消费总量的一半。

电力行业耗煤约占中国每年煤炭消费总量的一半。为此，中国要实现空气质量治理方面的宏伟目标，落实在煤炭消费控制、能源效率、可再生能源和碳排放方面的政策，电力行业必须在政策、法规、市场和经营模式方面做出改变。2015年3月15日，中共中央和国务院发布了《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》的政策文件（即中发〔2015〕9号文，以下简称“9号文”），¹强调电力体制改革的必要性，可以促使电力行业朝着降低排放、提高运营效率的方向发展。9号文概括了节能减排和可再生能源等电力行业所面临的挑战，与十八届三中全会让市场在资源配置中起“决定作用”的精神相一致。9号文的核心是形成由政府、各种交易主体、交易平台、交易市场和交易机制支持的、有效的、基于市场的电价体系。这是制定和实施电力行业改革路线的新起点。²

虽然电力行业改革将在全国范围内进行国家层面的整体规划，但是区域性试点项目将继续发挥重要作用。在国家空气质量治理政策中起重要作用的北京、天津、河北（京津冀）地区可以在电力行业改革中发挥重要作用，并收获早期成效。

本文旨在通过总结促进可再生能源利用和提高终端能效的几项市场化改革措施，为推进实现9号文的目标提供相关建议。本文的重点在于市场化改革，暂不涉及能源互联网计划中的增加输电投资等其他问题。

同时说明，本文不试图探讨一些高度复杂问题的所有原因，例如弃电（即削减某发电企业本可以生产的电量——参阅第8页“定义”）、灵活发电能力不足或目前电力行业的定价机制等。其他组织，包括能源基金会、国家应对气候变化战略研究和国际合作中心（NCSC）、清华大学、华北电力大学和睿博能源智库都曾对这些主题做过深入研究，部分研究论文已经发表。³电力行业改革是一个技术性很强的主题，存在各种挑战，单一方案难以解决，需要通过与其他政策相互协作的各项改革来解决。

本文借鉴了国际经验，重点讨论使电力企业（特别是电网公司）的行为与政府减排目标相一致的各项激励机制。我们认为中国可以从其他国家的经验教训中获益，同时兼顾中国的特殊国情。

世界各地在电力行业的政策和法规方面的经验多种多样。不同国家执行不同的路线，结果也不尽相同。面对增加可再生能源发电和节能减排的挑战，世界各国的政策制定者、监管机构、公用事业部门都在努力调整适应。国际上没有哪个电力行业的改革模式完全符合中国国情，但有大量实践经验和

案例分析, 中国可以根据自身条件来加以借鉴和利用。本文提出的建议侧重于完善规划, 使其与市场 and 激励机制相协作, 确保以高效益和低风险的方式实现各项政策目标。

概括而言, 我们的建议如下:

- **改革上网电价机制, 改善发电企业的调度:** 中国目前电力定价体系设计的初衷是根据每年计划的运行小时数来补偿发电企业的燃料成本和资本成本。这种补偿方法是导致大多数省份电网调度问题的根本原因, 这种调度方式对运行效率和排放的考虑不足。正如最近的政策声明所述, 改进调度可以减少可再生能源弃电、减少排放及能源消费, 同时节约资金。具体建议是推进包括排放成本在内的“优先排序”调度, 以两部制电价模式为支持, 打破计划运行小时数和发电厂回收固定成本之间的关系。
- **建立电网公司激励机制, 更好地支持可再生能源发电的并网:** 可再生能源弃电是一个复杂问题, 原因很多, 可采取的解决方案也很多。调整电网公司的激励机制, 更好地支持可再生能源并网应该是有效方案之一。这将进一步鼓励电网公司在限制间歇性电源发电之前考虑所有可能性, 创造性地提高电力系统的灵活性。像许多其他国家和地区那样, 让电网公司承担至少部分弃电成本是会有效果的, 这样做将促使电网公司采取行动来解决并网问题并减少弃电。这种办法与其他措施协同使用时能取得最佳效果, 包括改善输电和资源规划、扩大调度平衡区域等。
- **在新的“输配电价”改革框架内, 支持终端用户的需求侧资源:** 2014年, 国家发展和改革委员会在深圳试点新的电网公司监管办法, 鼓励电网公司采取措施提高能效。深圳试点目前正在向全国推广, 关键是要制定好细则来支持需求侧资源, 例如, 允许电网公司将能效相关费用纳入成本。在内蒙古西部的输配电价改革中, 已包含这种激励机制。⁴
- **综合资源规划的第一步是试点新的燃煤电厂的审批程序, 要求与各种能效资源进行比较:** 其他国家的经验表明, 与常规电厂一样, 终端能效(居民、工商业用户和农业用户的能效)可被视为电力行业的一种资源。提高能效通常是更廉价、更清洁的选择。我们建议要求新建燃煤电厂与各种能效投资进行比较, 并纳入电厂的审批过程。这是一个更全面的资源规划过程, 它明确要求提高能源效率, 有助于缓解燃煤电厂的过度建设。

以上全部措施均侧重于利用市场和激励机制来解决当前挑战, 这两方面效益: 帮助中国电力行业解决主要问题, 特别是以更经济的方式达到政府在减排、空气质量和煤耗控制方面的宏伟目标; 同时维持低成本和可靠的电力供应, 促进中国经济持续增长。我们强调, 应将这些解决方案与其他当前考虑的行动和政策一起协同使用。

国际上没有哪个电力行业的改革模式完全符合中国国情, 但有大量实践经验和案例分析, 中国可以根据自身条件来加以借鉴和利用。



中国电力系统概述

中国在短短数十年间已建成世界上规模最大的电力行业。截止到2013年，中国电网的输电线路长度已超过77万公里，⁵比美国多四分之一。⁶1980年，中国的发电装机容量仅为65吉瓦，⁷到2014年11月已增至1273吉瓦⁸（相比之下，2011年末全球装机容量为5330吉瓦）。⁹从2010年到2013年，中国每年新增装机容量超过80吉瓦，¹⁰继续保持快速增长。¹¹

风能和太阳能发电装机容量是主要的增长来源。在中国电力行业中，可再生能源（包括水电）的总装机容量在2005年至2013年期间增长了两倍，达380吉瓦。中国目前的陆上风电装机容量居全球之冠（2015年6月达到105吉瓦），2020年并网风电装机容量的目标为200吉瓦。中国还大力投资于太阳能光伏发电，到2014年底装机容量预计达到28吉瓦，其中23.4吉瓦来自大型光伏电厂发电，其余来自分布式光伏发电装置。中国“十二五”规划中的光伏发电装机容量目标为：2015年达到35吉瓦，2020年达到100吉瓦。¹²国家发改委能源研究所的一项新研究表明，到2050年，可再生能源在一次能源消费中的比例达到60%以上，占总发电量的比例达到85%以上，这在技术上和经济上是可行的。¹³

在此之前，国务院曾于2002年发布《电力体制改革方案》¹⁴，提出“厂网分开”，¹⁵建立区域市场和以市场为基础进行调度的设想。尽管开展了一些试点项目，但并未建成区域市场。¹⁶

中国电力行业仍然由大型国有企业主导。电网主要由国家电网公司拥有和经营（占全国供电量的88%），

其余大部分由南方电网拥有。五大发电企业（大唐、国电、华电、华能和中电投）等几家大型国企占全国总发电量的大部分，五大企业的装机容量占全国的47%。¹⁷

电价由国家发改委制定，包括发电价格、零售电价和某些可再生能源发电的上网电价。¹⁸部分零售电价政策支持减排目标，包括工业用户的差别定价和居民用户的阶梯电价政策。在此基础上，零售电价的透明度仍有待提高，以确保电价能更好地反映电力系统的成本，包括排放的各种社会成本。

数据

77万公里 的输电线路长度
比美国多 **四分之一**

1273吉瓦 的发电装机容量
从2010年到2013年，每年新增超过 **80吉瓦**

380吉瓦 的可再生能源总装机容量
陆上风电装机容量居 **全球之冠**

国家电网公司 占全国供电量的 **88%**

2. 新电改方案 (中发 (2015) 9号文)

9号文于2015年3月15日发布, 核心是形成由政府、各种交易主体、交易平台、交易市场和交易机制支持的、有效的、基于市场的电价体系。该文件提出了几项指导原则:

- 坚持安全可靠;
- 坚持市场化改革;
- 坚持保障民生;
- 坚持节能减排;
- 坚持科学监管。

文件还指出一些亟需解决的政策问题, 包括:

- **输配电价改革:** 将2014年11月推出的深圳试点的电网公司监管办法推广到全国。这个政策将电网公司纳入“准许收入”的监管体制下, 有望加强输配电价的透明度和成本监管。根据其他国家在这方面的长期经验, 中国的新政策有望促进终端能效和分布式可再生能源的发展。尤其值得指出的是, 根据实施细则, 这种监管政策应该会使电网公司的利润与电量销售“脱钩”, 继而改变电网公司对一些减少销售电量的措施的看法, 也就是说能效和分布式可再生能源可能不会再影响电网企业的利润。¹⁹
- **直接准入和零售竞争:** 正如预期, 文件强调扩大当前试点方案, 允许大用户绕过电网公司直接与发电企业协商价格。文件要求公布可参与直接交易的发电企业、售电主体和用户准入标准, 参与直接交易企业的单位能耗和环保排放均应达到国家标准。
- **需求侧管理:** 文件要求改善需求侧管理和提高终端能效, 但并未直接涉及能效融资问题。
- **改善发电企业的调度:** 由于调度是导致低效和可再生能源弃电的一个重要因素, 文件要求改善调度。²⁰
- **可再生能源并网:** 文件还讨论了可再生能源并网所面临的其他挑战, 包括建立提供辅助服务的新机制, 完善跨省跨区电力交易机制等。
- **分布式发电:** 文件强调制定分布式发电新机制, 目的是消除市场准入壁垒, 允许分布式发电参与电力交易机制。

核心是形成由政府、各种交易主体、交易平台、交易市场和交易机制支持的、有效的、基于市场的电价体系。



文件强调必须改革电力行业规划，并提出“电力规划应充分考虑资源环境承载力。”

- **电力行业规划：**文件强调必须改革电力行业规划，并提出“电力规划应充分考虑资源环境承载力。”

综上所述，9号文是一份宽泛的电力行业改革路线图。文件发布后，其他几项配套政策也相继颁布。总体而言，这些改革将引导中国逐步找到解决电力行业中一些最紧迫问题的办法，包括电力系统的调度、规划、需求响应及可再生能源并网等问题。

在此基础上，本报告提出四大方面的建议：建立激励机制以减少可再生能源弃电；相对于新建燃煤电厂，优先发展“能效电厂”；建立激励机制以鼓励能效投资；调整对发电企业资本成本的补偿机制，加快调度改革。这些建议无意面面俱到。例如，本论文不涉及输电网瓶颈、某些地区过度投资建设新电厂、冬季燃煤采暖导致的可再生能源弃电等问题。本文在9号文精神的基础上，通过例证来进一步说明市场机制可以起到激励市场参与者选择高能效和清洁能源的作用。

3. 通过上网电价机制改革来提高电力系统的运营效率

9号文最重要的一点是要求利用市场机制，基于排放和能效的考虑，来改善电力系统调度。大多数其他国家的电力系统采用经济调度，即根据全天更新的可用资源的优先顺序（参阅第8页“定义”）来调度。这种做法可以在利用电网中的可用资源时，最大限度地减少运营成本，包括燃料成本、运营维护成本，理想状态下也应包括排放的社会成本。目前中国电力行业的做法非常不同，是以年度计划为中心，为火电厂设定年度运行小时数。这种做法扭曲了投资决策，阻碍了可再生能源的并网，也增加了成本和排放。（2007年南方电网五省开始试点能效调度，但是这种做法一直未能推广到全国。）²¹

中国电力行业的运作在很大程度上取决于对发电企业的补偿方法。发电企业的上网电价由行政部门确定，根据每台燃煤发电机组的年计划发电小时数来计算。如果煤电机组运行时间不足，就可能无法获得足够的收入来支付固定成本。与之相比，可再生能源的可变成本很低，应优先于煤电调度，但推广这种做法的政策经常遇到燃煤电厂的反对，因为电价是针对燃煤发电企业设计的。本文的核心建议是为火电厂建立一种经营模式，使得它们减少运行时间，但仍然为电网平衡需要而保留发电能力，并因此得到补偿。

中国目前的电力调度方法与现行火电补偿机制直接相关，固定每度电的上网电价，按年计划运行小时数补偿发电企业的燃料成本和资本成本。²²这种做法非常有效地保证了发电资源可随时调用，但也导致发电企业强烈反对调度改革可能带来的运行时间的减少，因为它们将失去两部分收入，一部分用于弥补这段时间的运营费用，另一部分用于弥补资本成本。

9号文和相关细则希望推动调度改革，但并未触及上网电价的根本问题。确定上网电价可以有不同的途径，关键是要打破计划运行小时数与补偿资本成本之间的联系。换句话说，重要的是要建立一种鼓励整个系统高效运行的经营模式，在这种模式下，火电资源运行频率的高低取决于它们的效率，但可以因保持发电能力并根据需要发电（因为电量充足、电网平衡、或其他辅助服务等原因）而获得补偿。这将减少调度改革的阻力，新的调度方式有助于减少低效率、高排放资源的运行时间，增加更高效和更清洁资源的利用。

两部制电价是中国短期内可采用的一种定价办法。火电上网电价可分成两部分，分别定价和支付：（1）容量电价（固定成本），与发电机组的可用性

9号文最重要的一点是要求利用市场机制，基于排放和能效的考虑，来改善电力系统调度。



挂钩；(2) 电量电价（可变成本），与发电量挂钩。这种办法无需大幅改变当前流程，而且可能会逐步向电力批发市场机制演变，比较容易实现。浙江省最近公布了燃气电厂的两部制上网电价。

定义

系统运营	由系统运营商（在中国是电网公司的分支机构）管理的、在输电和可靠性的限制下开关（“安排”）和调度发电机组以满足需求的过程。
优先顺序	对可用的发电资源（或需求响应等其他资源），按每小时或低于一小时的频率，根据可变成本由低到高排序。在理想情况下，这种排序还会考虑排放成本；请参见以下“环保调度”。没有电力批发市场竞标，也可以排定优先顺序。
经济调度	鉴于发电和输电设施的运行限制，根据优先顺序运行发电设施（或需求响应等其他资源），以最低成本发电，为消费者提供可靠服务。 ²³ 在经济调度条件下，可变成本最低的发电企业最先上网供电，可变成本最高的电厂排在最后。这种调度方式可以将电力生产成本降到最低。
环保调度	经济调度的一种形式，除了燃料成本和其他边际成本之外，还考虑发电对环保的影响，例如向空气和水中排放各种污染物所产生的边际环境成本。
弃电	削减特定发电企业的发电量，而该企业在可用资源条件下本可以生产更多的电。 ²⁴ 间歇性的风能和太阳能发电在中国常常被电网运营商弃电。由于国家电网对所弃的风能和太阳能不予补偿，直接导致了风能和太阳能项目收入减少。弃电的原因往往是电力系统缺乏灵活性。这个问题可以通过调度改革、扩大平衡区域、减少输电阻塞、增加新的输电线路、缩短机组安排和调度时间、实施需求响应、增加储能和更灵活的发电资源等多种办法加以解决。
电力批发市场	电力批发市场是指为大型电力系统购买或出售电量、辅助服务和发电容量，电力系统包括在高压下生产和输送的电力，以及相邻系统之间的互联电网。 ²⁵ 中国目前还没有电力批发市场。

4. 提高可再生能源的利用

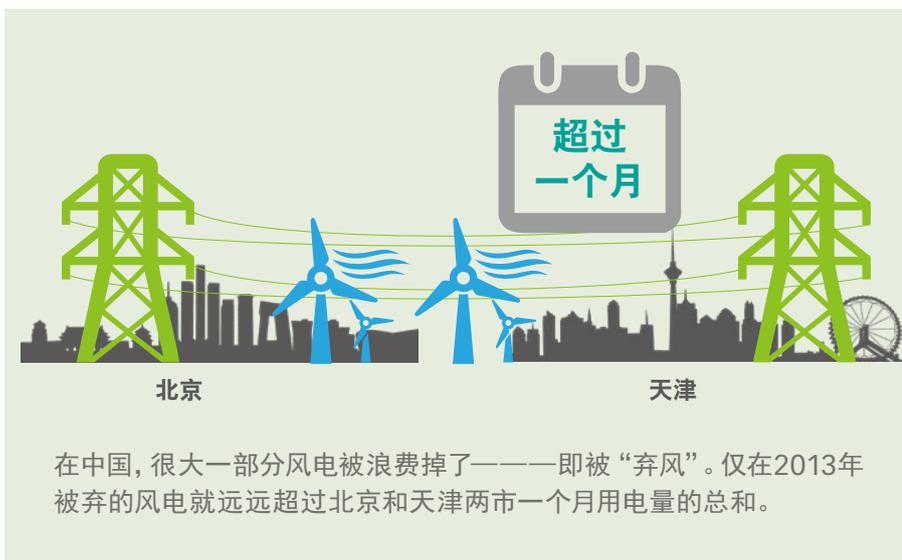
过去几年，中国积极投资可再生能源，制定了持续扩张的宏伟目标。但是，电力系统消纳间歇性电源发电时遇到挑战，出现了大量弃风现象，弃光问题也日益增多。

虽然中国的风电装机容量居全球之冠，但风力发电量仅居世界第二位。²⁶ 很大一部分风电被浪费掉了——即被“弃风”。²⁷ 仅在2013年被弃的风电就远远超过北京和天津两市一个月用电量的总和。²⁸（弃水也一直是个问题。²⁹）

2012年，中国的弃风率最高达到了16%，2013年和2014年分别下降到了11%和8%（2014年总体上似乎是一个低风年，因此有理由对2014年数据持保留意见）。³⁰ 2015年上半年，弃风率据称达到了18%。³¹ 全国的趋势数据不一定有代表性，因为各省的弃风率趋势并不一致，有些地方恶化有些地方好转。³² 从全球来看，可再生能源在电力来源构成中的地位不断提高，因此对许多地区来说，将不断增长的可再生能源发电并网将是未来几年（或几十年）的一个重大挑战。而在中国，目前的弃风情况已经比较严重了。在美国，大多数风力资源丰富地区的弃风限电率都低于4%，有的地区甚至低于1%。³³ 意大利和丹麦的弃风率都在1-2%的范围内。³⁴

随着中国太阳能发电装机容量的迅速增加，弃光现象也值得引起关注。例如，甘肃省本来就在弃风，现在又因为太阳能发电能力扩大，出现了显著的弃光现象。³⁵ 在2013年第三季度到2014年第三季度期间，甘肃省太阳能电厂的容量系数从大约19%降至14%，全省的太阳能电厂都反映弃光现象严重。³⁶

仅在2013年被弃的风电就远远超过北京和天津两市一个月用电量的总和。





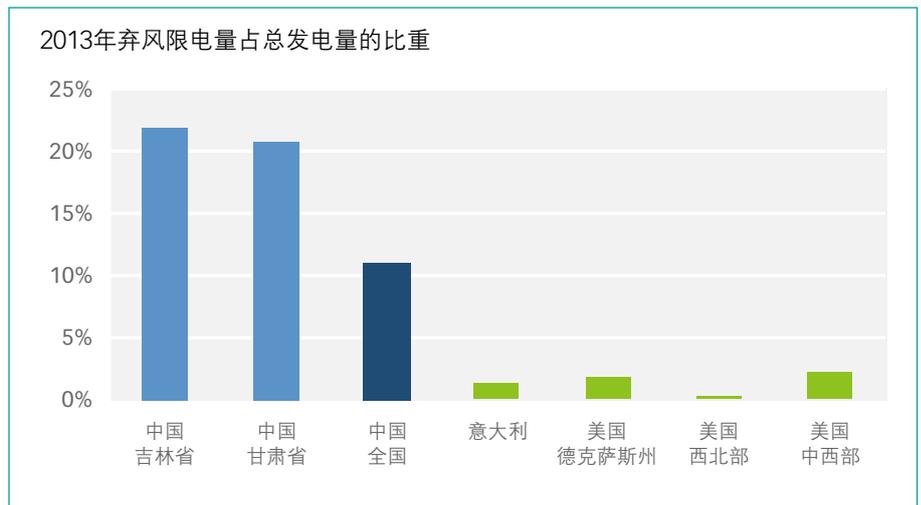
风电：电力行业改革以及提高电网灵活性可以显著减少弃风现象。

这其中的首要问题是电力系统支持可再生能源的灵活性不够，考虑到中国可再生能源发电装机容量将在未来十年持续快速增长，这个问题尤其突出。有必要在这方面进行新的投资，如输电、灵活发电资源及需求响应等。

具体来讲，缺乏灵活性的原因包括：

- 中国的风电装机集中于北部和西部地区，这意味着当地间歇性可再生能源发电能力超过需求。
- 电力系统严重依赖燃煤电厂，规划流程不完善，调度效率低下。³⁷ 燃煤电厂可能非常缺乏灵活性，除了循环运行（在很短的时间间隔内上下调整输出）造成的损耗之外，机组启停需要大量的时间。尽管燃煤电厂的灵活性可以提高，但会导致成本增加。³⁸
- 缺乏对发电机组灵活性和辅助服务进行规划和补偿的机制。
- 中国电力系统的调度方法。优先顺序调度法能更多地利用低边际成本和零边际成本资源（例如，风能和太阳能），并根据其相对效率（即热耗率）来调度火电机组。
- 以省为单位进行调度和电力供需平衡，省与省之间缺乏互联性。区域范围（跨多个省）的调度与电力系统平衡会比较容易实现。
- 体制壁垒阻碍了跨省电能交易。³⁹
- 过去十年，由于大规模发展更为高效的热电联产（CHP），东北热电联产发电规模显著扩大。在冬季，调度中心（系统运营商）使用热电联产机组来满足供热需求，因此不能关停机组，这些电厂无法更灵活地运行以响应用电负荷和风电输出的变化。

中国的弃风率在国际间的比较



注：吉林省、甘肃省和中国的弃风率为2013年的数据，意大利是2012年数据，美国是2013年数据。
资料来源：保尔森基金会，基于来自NREL（意大利、美国）和CNREC的数据。⁴²

灵活性方面的挑战不仅来自技术，也来自体制。系统运行可以提高本已具备但未能发挥的灵活性。在其他国家中，由系统运营商决定何时对不能调度的发电进行弃电，但在中国，系统运营商并不独立，而是电网公司的分支机构。不过电网公司也可以采取其他措施，以较经济的方式来减少弃电。一些政策指令（以及中国的可再生能源法）规定，与其他发电资源相比，应该优先调度可再生能源。⁴⁰ 此外，2015年3月，国家发改委和国家能源局发布一项政策指导文件，再次强调了优先调度可再生能源发电的要求。⁴¹

如上所述，中国的可再生能源专家们十分了解可再生能源并网所面临的技术挑战。这是一个多方面的问题，很难用单一方案解决。关键是要制定出一套能全面支持可再生能源并网并减少弃电的一揽子政策。对这些问题的

美国对弃电的补偿

系统运营商的电网公司	是否有补偿	合同规定的限制	补偿原因	补偿限制
AESO	否			
APS	是	✓		有年度限额，由其他输电运营商导致的弃电不予补偿
BPA	有一些			
CAISO	视情况而定	✓	输电基础设施齐备之前并网的一些可再生能源发电合同包含补偿条款	对于可靠性原因或电网互联研究相关的弃电不予补偿
ERCOT	否			
HECO, HELCO	否			
ISO New England	否			
MISO	是	✓	风力发电企业有资格获得MISO的全额付款，采购合同中可能有规定	
NV Energy	是	✓	对于非紧急情况或与可靠性无关的情况的补偿	在特定情况下不予补偿
PJM	是		如果弃风限电量低于经济基点	如果风电发电商未提供要求的数据或未服从PJM发出的调度信号则不予补偿
PSCO	是	✓	平衡目的	超出可控范围的输电原因，有年度限制
Salt River Project	是		“照付不议”合同	
SMUD	是		如果CAISO由于供电过剩而弃电，将由SMUD作出补偿	
SPP	是	✓	拥塞导致的弃电已获得补偿	基于可靠性的弃电不予补偿
Tucson Electric Power	是	✓	TEP控制范围内的原因所致	对于其他第三方导致的弃电不予补偿

资料来源：美国国家可再生能源实验室，2014年



虽然某些国家或地区会做出全额（或接近全额的）补偿，但我们并不提倡中国也这样做。相反，我们认为，发电企业应继续承担一些与弃电相关的成本。

全面讨论已超出了本报告的范围，⁴³ 但很显然，电网公司将在这方面发挥重大作用。改革电网公司支持可再生能源并网的激励机制，可以鼓励电网公司在对间歇性发电资源弃电前考虑所有可能性，更加积极和创造性地提高电力系统灵活性。可以让电网公司至少承担部分弃电成本，因为它们能采取措施来处理并网和弃电问题。

国际案例也可以提供分摊补偿机制的经验。在一些国家（及国内辖区），电网公司（或系统运营商）对于被弃风和弃光的发电企业给予补偿。在美国，这个趋势不断上升。美国的可再生能源发电企业和电网公司之间的详细协议越来越多地规定补偿安排。⁴⁴（然而，并非所有电网运营商都对可再生能源的弃电做出补偿，德克萨斯州和夏威夷州就是例外。）⁴⁵ 这些费用分摊协议的形式各有不同，但都对电网公司和系统运营商控制（或影响）范围内的因素所导致的弃电对发电企业做出补偿，包括电网拥塞、平衡目的和日常维护等因素。

在许多欧洲国家，政府政策或法律都对弃电补偿做出了规定。爱尔兰、意大利和罗马尼亚等地根据弃电量的市场价值予以补偿。在其他国家，可再生能源的发电企业仅得到15%至50%不等的小部分补偿。⁴⁶ 葡萄牙法律要求对风电企业进行补偿，但只针对满负荷运行条件下超过50小时的损失给予补偿。⁴⁷

目前，中国的电网公司不承担任何弃电成本。如果能有改变，应由电网公司承担部分弃电成本，即使只是一小部分，或者仅限于电网公司控制范围内的某种情况下，也有望带来电网公司激励机制的改善，更有利于可再生能源的发电并网。虽然某些国家或地区会做出全额（或接近全额的）补偿，但我们并不提倡中国也这样做。相反，我们认为，发电企业应继续承担一些与弃电相关的成本。这将鼓励投资者和电厂把新的可再生能源安置到输电能力充足且弃电可能性较小的地区。事实上，只有在风能和太阳能电厂审批流程健全的条件下，弃电补偿才能取得最佳成效。

由于弃电的技术复杂性，所以部分补偿并非解决问题的万应灵药，也不一定是最重要的解决方案。中国的一些企业和政府机构都对弃电问题进行了研究，在采取措施减少弃电方面得出了各种结论。这些措施包括：大幅提升可再生能源丰富地区的输电能力（包括开发全球能源互联网（Global Energy Internet）所设想的特高压输电线路），在当地电力需求或输电能力不足的地区限制新增可再生能源发电，增加区域电力交易，扩大电力平衡区域的范围，缩短发电调度时间（如美国一些地区间隔15分钟或5分钟进行机组安排），改善可再生能源相关的预测，增加需求响应，更加重视分布式能源而不是大规模可再生能源。但我们建议，分摊弃电成本可能是在这些领域和其他领域寻找解决办法、提供激励机制的一个有效途径。

5. 加大扶持深圳试点项目，支持提高终端能效

跻身全球最大企业排行榜的中国国家电网公司和南方电网公司是电力行业的核心，因此也将在电力行业改革中发挥重要作用。9号文提出了监管电网公司的新思路，其中包括在全国范围内实施类似美国的收入监管制度。精心筹划电网公司的监管改革至关重要，可以确保电力行业发挥应有作用，促进空气质量、能源效率和可再生能源等各项目标的实现。

通过其他国家的案例，可以了解电网公司激励机制对于能效项目的重要性。在美国和其他国家，公用事业监管机构的一项重要职责是制定和实施各种机制，使营利性电网公司的行为与政策制定者的社会和环境目标相一致。美国在这方面已有几十年经验，制定了多种监管激励机制，促使电网公司转变经营模式，对提高终端能效等项目进行大量投资。

美国各监管机构的核心职能之一是建立各种机制和程序，目的是：

- 让电网公司赚取足够（但并不过分的）营业收入；
- 制定零售电价，让电网公司得以实现准许的营业收入；
- 鼓励电网公司采取与公共政策目标相一致的行为，包括对终端能效的投资。

第三项在美国尤为重要。⁴⁸ 从20世纪80年代后期开始，各州改变了传统做法，调整激励机制以消除对提高能效的抵制。这一点特别重要，因为各州开始制定由电网公司实现能效提高的方案，与中国的电网公司对终端能效进行投资的义务有些类似。总体而言，这些州同时或分别采用两种机制。其一是脱钩机制，打破利润和电量销售之间的联系。⁴⁹ 但这只能消除提高能效的阻力，并不能鼓励电网公司为提高能效而投资。因此出现了第二种激励机制：即鼓励电网公司为提高终端能效进行投资的财务激励机制。一些州的监管机构已经开始实施，在电网公司实现促进终端能效的特定目标时给予财务奖励。⁵⁰

2014年11月，国家发改委在深圳启动了“输配电价改革”试点，这是中国首次将电网公司的利润与电量销售脱钩，同时探索了电网公司的行为与能效目标相一致的可能性。⁵¹ 这些监管改革非常重要，因为9号文已经提出要将深圳试点逐步扩大到全国。目前，内蒙古、安徽、湖北、宁夏、云南和贵州等省份都在进行输配电价改革试点。

跻身全球最大企业排行榜的中国国家电网公司和南方电网公司是电力行业的核心，因此也将在电力行业改革中发挥重要作用。



我们建议, 在推广的时候, 政府要充分了解深圳建立激励机制的做法, 并扩展和强化这种做法。这种需求侧管理激励机制有可能纳入新的内蒙古西部电网公司改革试点。⁵² 该试点至少可以在两方面增加提高终端能效对电网公司的吸引力:

- 深圳电网公司在三年调整期内将获得一定限度的营业收入, 不随销售电量的变化而变化, 因此需求侧管理和能效项目所导致的销量减少不会影响公司财务状况 (效果类似于美国的脱钩机制);
- 原则上, 深圳电网公司可以将与能效项目相关的费用计入成本。然而在实践中能否被批准还不明确。

在推广过程中, 美国各州的最佳实践和可能遇到的陷阱可以提供很多宝贵的借鉴。



试点: 2014年11月, 深圳 (上图) 率先启动电网公司的利润与电力销售脱钩的试点, 探索了电网公司的行为与能效目标相一致的可能性。

6. 综合资源规划的第一步：试点新的燃煤电厂审批程序

近年来，中国的燃煤发电装机不断快速增长，2014年新增了36吉瓦。⁵³虽然煤炭行业的扩张已经从高峰年放缓，但燃煤发电能力的增长仍有悖于中国在减排和提高电力行业效率方面的目标，在电力需求放缓和可再生能源发电快速扩张的情况下尤其如此。规划流程不够完善，投资审批程序未与规划充分结合，都是导致燃煤发电继续扩张的原因。⁵⁴

在其他国家的最佳范例中，规划的目的是确定可以满足能源服务需求的资源，同时实现排放目标。核心思想是协调输电资源、需求侧资源和常规供应侧资源规划，维持可靠性，并最大限度地降低成本、风险和环境损害。在平等的基础上比较不同资源的成本和效益，可以识别节约成本和减少排放的机会。特别是，提高终端能效通常是一种能够有效取代新建电厂需求的丰富而廉价的资源，即使在市场开放的情况下也很重要。市场机制有助于将资本引向电力行业所需的投资项目，但必须精心设计和监管这些市场以支持各项政策目标。另外，即使在开放的市场背景下，一些资源投资，包括输电资源与需求侧资源的投资，不一定受市场机制的调节，但需要与受市场机制调节的投资进行协调。

终端能效可以与电厂一样成为电力行业的一种资源。提高能源效率通常是更廉价、更清洁的选择。为提高能效而投资，以取代新建电厂和输配电基础设施，这在其他国家已经有了很多经验。在美国加州等地，甚至已经将能效项目宣布为电力行业的“优先资源”，并要求电力公司的资源采购计划中必须包括所有“经济、可靠和可行的”能效项目。⁵⁵

中国已经具备部分条件。1995年《电力法》规定：“电力发展规划，应当体现合理利用能源、电源与电网配套发展、提高经济效益和有利于环境保护的原则。”⁵⁶ 9号文认识到加强电力行业规划的重要性，最近的政策文件也提出要“做好‘十三五’电力规划的编制工作”。⁵⁷ 此外，中国的政府机构和研究人员已经在开发“能效电厂”（EPP）概念方面取得了很大进展，也就是将各种终端能效投资捆绑起来，帮助电力行业规划者将能效资源与常规电厂进行直接比较。但在实践中，中国的规划流程较为分散，也缺乏一个用于比较各种供给侧、需求侧和输电资源的成本和效益的适当框架。与之密切相关的问题是，投资审批未能完全遵循现有的政策指导方针或规划流程。有些情况下，电力企业的投资可能并不完全符合这些政策目标，但仍获得批准。⁵⁸

终端能效可以与电厂一样成为电力行业的一种资源。提高能源效率通常是更廉价、更清洁的选择。



近几十年来，中国的能源强度（单位GDP能耗）已显著降低，但仍有不少继续下降的空间。能源强度下降的部分原因是终端能效提高，而能效提高的部分原因是国家专门制定了各项政策，促进对重工业和其他行业的能效投资，提高对建筑、交通运输和其他经济领域的能效标准。

尽管这些政策取得了成功，但能效政策尚未在电力行业发挥应有的作用，能效还没有被完全视为电力行业的一种资源，也缺乏用于比较和权衡能效投资与常规电厂投资的任何机制或流程。换句话说，尽管能效替代项目可能成本更低、更清洁和同样可靠，但通常建设的仍然是常规电厂，而不是能效替代项目。

我们建议：在中期内，中国应逐步建立一个全面的、相互协调的电力行业资源规划流程，根据包括环境成本在内的一系列广泛的成本和效益，直接、综合地比较需求侧资源（能效电厂）、供给侧资源和输电资源。美国有许多例子可以借鉴，各州监管机构已经开发了一些用于比较和识别理想资源搭配的有用方法和先进技术，常被称为“综合资源规划”（IRP）。⁵⁹ 在这些州，电网公司与监管机构合作制定一项多年供电计划，通过供应侧、需求侧和输电资源的最低成本组合来满足需求。由于这种方法重视能效价值，促进对能效资源的投资，因此终端能效投资不断增长。

近几十年来，中国的能源强度（单位GDP能耗）已显著降低，但仍有不少继续下降的空间。

美国在这方面领先的几个州已经实施IRP很多年，规划者和政策制定者开发了必要的分析工具和机构能力。⁶⁰ 我们认为中国政府可以借鉴这些经验，更快地采取行动。本报告提出了一个迈向IRP的首要基本步骤，我们认为这可以减少对燃煤发电投资的偏重，减缓目前煤电产能过度建设的趋势，更多地发挥能效作为电力行业资源的潜力。我们的建议涉及到修改燃煤电厂的审批流程，要求对拟建燃煤电厂的成本效益与拟建（或默认的）能效项目进行比较，评估能效投资相对于燃煤电厂的减排和节煤情况。比较分析应考虑以下各点：

- **热耗率**，即每发一度电所消耗的煤的克数；
- **排放量**，每发一度电所排放的二氧化硫、氮氧化物和二氧化碳的克数；
- **成本**，在每度电平准化成本的基础上。

可以根据中国现有的能效投资来估计能效电厂的平准化成本，结果可能会表明，能效电厂的成本约为燃煤电厂的三分之一。⁶¹ 如果按照这个标准，除非在上述三个方面的绩效均超过能效电厂，否则燃煤电厂就不会通过审批。我们建议，在一个目前严格限制燃煤电厂扩张的省或地区进行试点。

这项建议旨在阐明迈向更全面资源规划的第一步。要制定全面综合的资源规划可能需要数年时间，走出合理的第一步至关重要。我们建议的做法会有效地推动现有控制燃煤和限制新建燃煤电厂的政策，还会强化其他政策，投资和“建设”必要的能效电厂以取代燃煤电厂。自2011年以来，国家发改委要求电网公司为提高终端能效投资，现在可以扩大这些要求来实现上述目标。⁶²

尽管这些政策取得了成功，但能效政策尚未在电力行业发挥应有的作用，能效还没有被完全视为电力行业的一种资源。



7. 结论

眼下的问题是，这份政策文件规定的大原则能否在良好法规和有效实施的支持下变得切实可行。

9号文的颁布为电力体制改革奠定了基础，要求电力行业支持各项减排和空气质量目标，同时继续促进中国的经济发展。眼下的问题是，这份政策文件规定的大原则能否在良好法规和有效实施的支持下变得切实可行。针对中国目前的电力行业结构，本报告提出了能够合理而迅速落实的四项速赢措施，大部分都涉及电力企业激励机制和价格信号。这些建议切合9号文所强调的市场机制，也与近几十年来的国际经验相一致。

支持减排和空气质量目标的四项速赢措施



1 改革上网电价机制，改善发电企业的调度



2 建立电网公司激励机制，更好地支持可再生能源发电的并网



3 在新的“输配电价”改革框架内，支持终端用户的需求侧资源



4 综合资源规划的第一步是试点新的燃煤电厂审批程序，要求与各种能效资源进行比较

上述四项建议均有电力行业政策和监管方面的重大国际经验和教训为参照：为了实现排放和可靠性方面的政策目标，电力行业的规划和实施需要与设计良好的市场机制和监管激励机制协同发挥作用。

作者简介

Max Dupuy (戴翎松)

戴翎松先生自2009年起常驻北京，负责睿博能源智库电力行业政策和监管领域的项目。他是电力监管、能源效率、排放交易等领域国际发展动态的媒体撰稿人、发言人和专家。他擅长从事能源政策的比较分析，在中国的能源体制和所面临的挑战方面具备独有的经验。

在加入睿博能源智库之前，戴翎松先生曾任职于惠灵顿的新西兰财政部，负责领导经济研究项目并制定有关电力市场、输电监管和资本效率的政策建议。

戴翎松先生在能源政策方面的工作与他在金融行业监管和宏观经济政策领域的工作经历相得益彰。他曾在位于华盛顿特区的美国财政部担任经济学家达6年之久，为财政部长和其他高级政府官员提供咨询意见，连续多次担任专项经济学家，负责制定涉及印度、印度尼西亚和中国问题的政策建议。他还曾在美联储从事经济研究工作。

戴翎松先生拥有加拿大女王大学的经济学专业学士学位和美国普林斯顿大学伍德罗·威尔逊学院的经济学与政策专业硕士学位。此外，他还在国立台湾大学完成了为期两年的中文普通话语言课程。

Frederick Weston (魏雷克)

魏雷克先生现任睿博能源智库中国项目主任，为中央和省级政府提供电力行业的咨询意见，其中包括电力行业政府机构的治理和监管、电力行业系统运行、批发和零售价格、终端能效和长远规划、可再生能源、空气质量管理，以及包含排放权交易制度和多种污染物控制策略在内的低碳政策。魏雷克先生最近一直在协助开展睿博能源智库的欧洲项目，项目地点主要在波兰和德国。

魏雷克先生于1999年加入睿博能源智库，此前曾在“佛蒙特州公共服务理事会”（州级公用事业监管机构）担任经济师和听证官达11年之久。他的工作内容涉及广泛，包括设计和实施能效战略低成本方案、电力采购、价格安排和设计、地方电信服务竞争以及参与创建“能效佛蒙特”（Efficiency Vermont）这个全美第一家“能效公用事业单位”。在20世纪90年代中期，他曾担任隶属于“节能委员会”（现在的“能源资源和环境委员会”）的“美国公用事业监管委员协会”（NARUC）联合主席。他还担任过该协会电力行业结构调整小组委员会的联合主席。

在加入佛蒙特州公共服务理事会之前，魏雷克先生曾为美国和中东地区的客户提供能源和经济顾问服务，1981年至1984年期间在沙特阿拉伯受聘于美国国际集团。

魏雷克先生拥有塔夫茨大学弗莱彻法律和外交学院的法律和外交专业硕士学位以及米德尔伯里学院的学士学位。他在开罗的美国大学接受过高级阿拉伯语强化培训。

Anders Hove (侯安德)

侯安德是保尔森基金会的研究部副主任。他负责领导基金会涉及中国空气质量和气候变化的研究工作，提供与政策、市场和技术解决方案相关的真知灼见。他还为基金会的其他项目提供研究支持。侯安德在能源政策和市场方面拥有超过15年的公共和私营部门工作经验，其中包括9年华尔街工作经验和4年在华工作经验。他的职业生涯始于在华盛顿特区的兰德公司担任能源政策分析师，后来在德意志银行和杰富瑞投资银行从事电力公司和石油服务行业的股票研究。2007年，在太阳能热潮的初期阶段，侯安德曾为一家对冲基金工作，进行清洁能源技术和项目的私募股权投资，尤其是太阳能领域。2010年，侯安德迁往北京，开始担任中国绿色科技的研究分析总监。2012年，侯安德加入安元易如，负责管理清洁能源科技咨询团队，咨询项目的重点是储能、太阳能、风能和智能电网技术。侯安德拥有麻省理工学院政治学专业学士学位和硕士学位，他还是一名特许金融分析师。他著有大量关于中国能源行业的研究报告和论文。



致谢

保尔森基金会衷心感谢各位专家和有关机构对本报告提供的支持和建议。

借此机会，我们向报告合作作者数月以来的辛勤工作致以诚挚的谢意。衷心感谢中方战略顾问在研讨会和后续讨论中对报告和政策推广提供的专家建议；衷心感谢外审专家针对报告的内容和行文风格提供的审阅建议。

为了进一步完善报告，支持我们形成最精华的政策建议提供给中国政府决策机构作为参考，保尔森基金会在六月初组织了“保尔森对话会：强化市场机制，改善空气质量系列活动”。来自政策决策部门和政策影响机构的大约30位行业专家、企业代表、政府高层和非政府组织代表就电力行业报告展开了专场讨论，提出了非常有价值的意见和建议。藉此机会，我们对与会专家的贡献致以诚挚的感谢。

下列机构按英文字母顺序排列

- 中航国际新能源发展公司
- 北京市发改委
- 中国企业管理科学基金会
- 国家电力投资集团
- 中国科学院
- 中国社会科学院
- 国务院发展研究中心
- 能源基金会
- 能源评论
- 河北省电力需求侧管理指导中心
- 工业生产力研究所
- 工业和信息化部
- 科学技术部
- 国家发改委能源所
- 华北电力大学
- 自然资源保护协会
- 国家发改委价格监测中心
- 睿博能源智库
- 国务院国有资产监督管理委员会

- 中国汽车工程协会
- 国家电网能源研究院

我们也衷心感谢保尔森基金会的工作团队成员 Elle Carberry (柯凯丽)、Chelsea Eakin (艾巧思)、Dinda Elliott (艾鼎德)、付莉霓、Kate Gordon (成可黛)、Hortense Halle-Yang (海棠)、姜新燕、娄雪莲和万婧的辛勤工作。衷心感谢中国企业管理科学基金会及中国企业联合会的尹援平、王菲菲和于武，以及国务院国有资产监督管理委员会的胡迟在会议组织方面提供的支持。衷心感谢睿博能源智库的David Crossley、Christopher James、David Moskovitz，能源和环境经济公司的Fredrich Kahrl，以及IBM公司Mahesh Sudhakaran对本报告提出的审阅建议。

对上述专家和项目成员的致谢不代表他们赞同本报告所陈述的全部观点。

参考与注释

1. “关于进一步深化电力体制改革的若干意见” [Deepening Reform of the Power Sector], China State Council, Document #9, March 21, 2015, accessed at <http://www.ne21.com/news/show-64821.html>.
2. Supporting announcements on renewables integration, demand-side management, grid company regulation, and cross-provincial trading of renewables have already appeared, with more expected in the coming months.
3. For a broad view of power sector reform challenges in China, as well as detailed discussion of a full range of policy recommendations, see “Low-Carbon Power Sector Regulation: Options for China,” Consultant’s Report Commissioned by the World Bank, Regulatory Assistance Project, Draft Final, February 2015, accessed at www.raponline.org/document/download/id/7582. See also “Next steps -Recommendations for Power Sector Policy in China,” Regulatory Assistance Project, 2013, accessed at <http://www.raponline.org/document/download/id/6869>. For discussion of China’s challenges from the perspective of developments in other countries, see RAP, “Low-Carbon Power Sector Regulation: International Experience from Brazil, Europe, and the United States,” Consultant’s Report Commissioned by the World Bank, Regulatory Assistance Project, 2014, accessed at <http://raponline.org/document/download/id/7432>.
4. “国家发展改革委关于内蒙古西部电网；输配电价改革试点方案的批复,” National Development and Reform Commission, 2015, accessed at http://bgtd.ndrc.gov.cn/zcfb/201506/t20150615_696101.html.
5. “Corporate Social Responsibility Report 2013,” State Grid Corporation of China, 2014, accessed at <http://www.sgcc.com.cn/images/ywlm/socialresponsibility/brief/2014/10/23/2FE46B3DA8D748AF3A0F1854CD73F75D.pdf>.
6. Herman K. Trabish, “Texas and Inner Mongolia Need Transmission to Integrate Wind,” Greentech Media, February 19, 2013, accessed at <http://www.greentechmedia.com/articles/read/Texas-and-Inner-Mongolia-Need-Transmission-to-Integrate-Wind>.
7. “China,” U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, 2013, accessed at <http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=ch#elec>.
8. “2014年1-10月份电力统计数据一览表,” China Electricity Council, November 20, 2014, accessed at <http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/tongjixinxi/yuedushuju/2014-11-20/130211.html>.
9. “International Energy Statistics: Total Electricity Installed Capacity (Million Kilowatts),” U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, accessed December 6, 2014, at <http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm?tid=2&pid=2&aid=7>.
10. “Newly installed power generation capacity China 2010-2013,” Statistica, 2014, accessed at <http://www.statista.com/statistics/302301/china-power-generation-installed-capacity-added/>.
11. The nature and extent of capacity additions in coming years will depend, in part, on the course of the reforms discussed in this paper. The following offers some references regarding some recent projections and government targets. “Rise in China’s coal-fired capacity in 2014, 2015 may not boost thermal coal prices: UBS,” Platts, May 20, 2014, accessed at <http://www.platts.com/latest-news/coal/singapore/rise-in-chinas-coal-fired-capacity-in-2014-2015-21573872>; “China unveils energy strategy, targets for 2020,” Xinhua, November 19, 2014, accessed at http://news.xinhuanet.com/english/china/2014-11/19/c_133801014.htm; “CEC publishes the Demand/Supply Analysis and Forecast of China Power Industry 2014,” China Electricity Council, 2014, accessed at <http://english.cec.org.cn/No.105.1534.htm>.
12. China’s total installed capacity of renewable energy in the power sector tripled between 2005 and 2013, to 380 GW (including hydro). China now has the most installed onshore wind capacity of any country in the world. In addition, China is very close to meeting its target of 100 GW of grid-connected wind capacity by 2015, and has a 2020 target of 200 GW. China is also investing heavily in installed solar photovoltaic (PV) generation capacity, with an estimated 28 GW at the end of 2014. Of this, 23.4 GW is from utility-scale PV and the remainder is from distributed PV installations. China has PV capacity goals of 35 GW by 2015 and 100 GW by 2020. “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” [State Council Office Issues Energy Strategy Action Plan], Document #31, China State Council, November 19, 2014, accessed at http://www.gov.cn/zhengce/content/2014-11/19/content_9222.htm; “GWEC Global Wind Statistics 2014,” Global Wind Energy Council, February 10, 2015, accessed at http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2015/02/GWEC_GlobalWindStats2014_FINAL_10.2.2015.pdf; “China installed wind power capacity hits 7 pct. of total in 2014,” Reuters, February 12, 2015, accessed at <http://www.reuters.com/article/2015/02/12/china-power-windpower-idUSL4NOVM3XJ20150212>; Vincent Shaw, “China: PV installed capacity grows to almost 30 GW in 2014,” PV Magazine, February 16, 2014, accessed at http://www.pv-magazine.com/news/details/beitrag/china-pv-installed-capacity-grows-to-almost-30-gw-in-2014_100018231/#axzz3XLh8NZIA.
13. “China 2050 High Renewable Energy Penetration Scenario and Roadmap Study,” Energy Research Institute of the National Development and Reform Commission, April 2015, accessed at [http://www.efchina.org/Attachments/Report/report-20150420/China-2050-High-Renewable-Energy-Penetration-Scenario-and-Roadmap-Study-Executive-Summary.pdf\(English\)](http://www.efchina.org/Attachments/Report/report-20150420/China-2050-High-Renewable-Energy-Penetration-Scenario-and-Roadmap-Study-Executive-Summary.pdf(English)); Chinese version available at <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>.
14. “Program for Electricity System Reform” (国发2002, 5号), China State Council, 2002.
15. Hongliang Yang, “Overview of the Chinese Electricity Industry and its Current Uses,” Electric Power Research Group, February 2006, accessed at <http://www.eprg.group.cam.ac.uk/wp-content/uploads/2014/01/eprg0517.pdf>, page 32.
16. Frederich Kahrl and Wang Xuan, “Integrating Renewables into Power Systems in China: A Technical Primer: Power System Operations,” Regulatory Assistance Project, December 2014, accessed at <http://www.raponline.org/document/download/id/7459>.
17. “State Grid Corporation of China Profile,” Zpryme Smart Grid Insights, March 2012, accessed at http://cdm.unfccc.int/filestorage/m/n/ZLAKFVJ73GYIM5SP4XOECT0BW9HR62.pdf/Attachment-2_State%20Grid%20Corporation%20of%20China%20Profile.pdf?t=20x8bmc1eWh0fDA_YmlH8ZADvdU7SP9MH0Z2. “[State Grid] supplies power to 88% of China...” Michael Davidson, “China’s Electricity Sector at a Glance: 2013,” The Energy Collective, February 3, 2014, accessed at <http://theenergycollective.com/michael-davidson/335271/china-s-electricity-sector-glance-2013>.
18. Dexter Roberts, “China’s Economic Policy Factory: The NDRC,” Business Week, June 20, 2013, accessed at <http://www.businessweek.com/articles/2013-06-20/chinas-economic-policy-factory-the-ndrc>.
19. “NDRC launches power transmission & distribution price pilot reform in Shenzhen,” Xinhua, November 6, 2014, accessed at <http://en.xinhua08.com/a/20141106/1408477.shtml>.
20. Also in March, the NDRC and NEA issued a “guidance” document with much more detail on dispatch and renewable integration issues: “发展改革委、能源局关于改善电力运行调节促进清洁能源多发满发的指导意见” National Development and Reform Commission and National Energy Agency, March 23, 2015, accessed at http://www.gov.cn/xinwen/2015-03/23/content_2837637.htm. For an overview and commentary, see <http://www.raponline.org/featured-work/chinese-government-releases-major-policy-guidance-on-renewable-integration-and-related>.
21. For more detail, see Frederich Kahrl and Wang Xuan, “Integrating Renewables into Power Systems in China: A Technical Primer: Power System Operations,” Regulatory Assistance Project, December 2014, accessed at <http://www.raponline.org/document/download/id/7459>.
22. “Recommendations for Power Sector Policy in China,” Regulatory Assistance Project, October 2013, accessed at <http://www.raponline.org/document/download/id/6869>.
23. “Economic Dispatch: Concepts, Practices and Issues,” U.S. Federal Energy Regulatory Commission, November 13, 2005, accessed at <http://www.ferc.gov/eventcalendar/Files/20051110172953-FERC%20Staff%20Presentation.pdf>.
24. Lori Bird, Jaquelin Cochran, and Xi Wang, “Wind and Solar Energy Curtailment: Experience and Practices in the United States,” U.S. National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-6A20-60983, 2014, <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60983.pdf>.
25. Adapted from “Glossary,” U.S. Department of Energy, Energy Information Administration, accessed December 16, 2014 at <http://www.eia.gov/tools/glossary/index.cfm?id=W>; and Jaquelin Cochran et al., “Market Evolution: Wholesale Electricity Market Design for 21st Century Power Systems,” National Renewable Energy Laboratory (NREL), NREL/TP-6A20-57477, October 2013, accessed at <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/57477.pdf>.
26. “New analysis: U.S. is world’s number one wind energy producer, leading China and Germany,” American Wind Energy Council, November 11, 2014, accessed at <http://www.awea.org/MediaCenter/pressrelease.aspx?ItemNumber=6965>.



27. A related problem is ensuring timely connection of renewable energy resources to the grid, although discussion of that problem is beyond the scope of this paper.
28. Paulson Institute calculation. Curtailment of 16 TWh in 2013 (China), while Beijing consumed 87 TWh in 2012 and Tianjin 72 TWh, yielding an average combined monthly rate of about 13 TWh. "China Statistical Yearbook 2013," China Bureau of Statistics, 2013, accessed at <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2013/indexch.htm>. See table 8-14, "分地区电力消费量." China curtailment figures accessed at <http://www.cnrec.org.cn/hd/2014-02-25-412.html>.
29. David Stanway, "Dam waste: planning chaos drains China's hydro ambitions," Reuters, June 6, 2015, accessed at <http://www.reuters.com/article/2015/06/07/china-renewables-hydropower-idUSL3N0YB3UB20150607>.
30. Brian Publicover, "In depth: China wind on the up," Recharge News, October 1, 2014, accessed at <http://www.rechargenews.com/wind/1378299/IN-DEPTH-China-wind-on-the-up>. For 2013 full year statistics, see "国家能源局召开风电产业监测沟通会," China National Renewable Energy Centre, February 25, 2014, accessed at <http://www.cnrec.org.cn/hd/2014-02-25-412.html>; "国家能源局关于做好2014年风电并网消纳工作的通知," National Energy Administration, Number 138, April 14, 2015, accessed at http://zfxgk.nea.gov.cn/auto87/201404/t20140414_1787.htm; "国家能源局发文促风电并网消纳," Xinhua, April 7, 2014, accessed at http://news.xinhuanet.com/2015-04/07/c_1114890358.htm.
31. "2015年第一季度中国弃风弃光大调查," We Energy, June 23, 2015, accessed at <http://mp.weixin.qq.com>.
32. Brian Publicover, "In depth: China wind on the up," Recharge News, October 1, 2014, accessed at <http://www.rechargenews.com/wind/1378299/IN-DEPTH-China-wind-on-the-up>. For 2013 full year statistics, see "国家能源局召开风电产业监测沟通会," China National Renewable Energy Centre, February 25, 2014, accessed at <http://www.cnrec.org.cn/hd/2014-02-25-412.html>.
33. Lori Bird, Jaquelin Cochran, and Xi Wang, "Wind and Solar Energy Curtailment: Experience and Practices in the United States," U.S. National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-6A20-60983, 2014, <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60983.pdf>. See graph on page 3.
34. Debra Lew, et al., "Wind and Solar Curtailment," National Renewable Energy Laboratory (NREL), Conference Paper, NREL/CP-5500-60245, September 2013, accessed at <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/60245.pdf>. See respective sections on Denmark and Italy.
35. In 2013, Gansu's curtailment rate was double that of the national average. "能源局监管甘肃可再生能源全省弃风率超20%," NDB, July 21, 2014, accessed at <http://www.nbd.com.cn/articles/2014-07-21/850063.html>.
36. "2014年第三季度重点地区光伏电站利用小时数浅析," BJX, December 15, 2014, accessed at <http://guangfu.bjx.com.cn/news/20141215/573182.shtml>.
37. Another issue has been the significant expansion of combined heat and power (CHP) generation in the northeast over the past decade. During the winter, dispatch centers (the system operator) operate CHP units to meet heating demand, and they are thus unable to be operated more flexibly in response to changes in electricity demand and wind output.
38. Jaquelin Cochran, Debra Lew, and Nikhil Kumar, "Flexible Coal," U.S. National Renewable Energy Laboratory, 2014, accessed at <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60575.pdf>.
39. Kat Cheung, "Integration of Renewables Status and challenges in China," International Energy Agency, 2011, accessed at http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Integration_of_Renewables.pdf.
40. China's renewable energy law also includes a provision that renewable energy resources should be given 'priority dispatch' over other generation sources. In 2014, the NDRC also required grid companies to prioritize renewable energy in dispatch.
41. "发展改革委、能源局关于改善电力运行调节促进清洁能源多发满发的指导意见" [NDRC, NEA: Improving Power Operations, Adjusting Incentives for Clean Energy Production Guiding Opinion], China National Development and Reform Commission, March 23, 2015, accessed at http://www.gov.cn/xinwen/2015-03/23/content_2837637.htm.
42. Guo Qiaoxiong, "国家能源局召开风电产业监测沟通会," China National Renewable Energy Centre, February 25, 2014, accessed at <http://www.cnrec.org.cn/hd/2014-02-25-412.html>.
43. For a broader set of recommendations on renewable energy integration in China, see RAP's forthcoming paper for World Bank and RAP (2013) Next Steps.
44. L. Bird et al., "Wind and Solar Energy Curtailment: Experience and Practices in the United States," U.S. National Renewable Energy Laboratory, NREL Report No. TP-6A20-60983, 2014, accessed at <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60983.pdf>.
45. Lori Bird, Jaquelin Cochran, and Xi Wang, "Wind and Solar Energy Curtailment: Experience and Practices in the United States," U.S. National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-6A20-60983, 2014, <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60983.pdf>.
46. L. Bird et al., "Wind and Solar Energy Curtailment: Experience and Practices in the United States," U.S. National Renewable Energy Laboratory, NREL Report No. TP-6A20-60983, 2014, accessed at <http://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60983.pdf>.
47. Debra Lew, et al., "Wind and Solar Curtailment," National Renewable Energy Laboratory (NREL), Conference Paper, NREL/CP-5500-60245, September 2013, accessed at <http://www.nrel.gov/docs/fy13osti/60245.pdf>. See respective sections on Denmark and Italy.
48. Herman K. Trabish, "Can performance-based ratemaking save utilities?" Utility Dive, April 17, 2014, accessed at <http://www.utilitydive.com/news/can-performance-based-ratemaking-save-utilities/252683/>.
49. "Revenue Regulation and Decoupling: A Guide to Theory and Application," Regulatory Assistance Project, 2011, accessed at www.raponline.org/document/download/id/902.
50. Max Dupuy, "Low-Carbon Power Sector Regulation: International Experience from Brazil, Europe, and the United States" Regulatory Assistance Project, December 2014, accessed at <http://raponline.org/document/download/id/7432>.
51. "NDRC launches power transmission & distribution price pilot reform in Shenzhen," Xinhua, November 6, 2014, accessed at <http://en.xinhua08.com/a/20141106/1408477.shtml>; David Crossley, Wang Xuan, and Helen He, "China Opens the Door for New Utility Business Model and More Energy Efficiency," Regulatory Assistance Project, November 12, 2014, accessed at <http://www.raponline.org/featured-work/china-opens-the-door-for-new-utility-business-model-and-more-energy>.
52. In a June 2015 announcement regarding transmission and distribution pricing for the grid company in western Inner Mongolia, the NDRC called for formulation of an incentive mechanism to reward the grid company for exceeding targets for various performance metrics, including demand-side management. See <http://www.ne21.com/news/show-67462.html>
53. "中电联：中国电力工业现状与展望," Changzhou Research Institute, March 18, 2015, accessed at <http://www.cari.com.cn/CariWeb/newsinfo.aspx?NewsID=1734>.
54. See also "Next steps -Recommendations for Power Sector Policy in China," Regulatory Assistance Project, 2013, accessed at <http://www.raponline.org/document/download/id/6869>. For discussion of China's challenges from the perspective of developments in other countries, see Max Dupuy, "Low-Carbon Power Sector Regulation: International Experience from Brazil, Europe, and the United States" Regulatory Assistance Project, December 2014, accessed at <http://raponline.org/document/download/id/7432>.
55. "California Long-Term Energy Efficiency Strategic Plan," California Public Utilities Commission, September 2008, accessed at <http://www.cpuc.ca.gov/NR/rdonlyres/D4321448-208C-48F9-9F62-1BBB14A8D717/0/EEStrategicPlan.pdf>. In addition, California has implemented a energy resource "loading order" policy to guide energy resource decisions. The purpose of the loading order is to reduce electricity demand by increasing energy efficiency and demand response, and to meet new generation needs first with renewable and distributed generation resources, and second with clean fossil-fuel generation. The loading order policy was codified by statute in 2005.
56. "电力发展规划，应当体现合理利用能源、电源与电网配套发展、提高经济效益和有利于环境保护的原则" [Power Development Planning: Principles for Appropriately Using Energy, Power and the Grid System; Raising Economic Efficiency; and Benefiting Environmental Protection], National Energy Agency, January 4, 2012, accessed at http://www.nea.gov.cn/2012-01/04/c_131262818.htm.
57. "国家能源局关于推进简政放权放管结合优化服务的实施意见国能法改[2015]199号," National Energy Agency, June 5, 2015, accessed at http://zfxgk.nea.gov.cn/auto81/201506/t20150610_1936.htm.
58. Wang Zuo, "10家新能源公司涉“未批先建”被点名," People.Cn, November 19, 2014, accessed at <http://energy.people.com.cn/n/2014/1120/c71661-26059388.html>.
59. Max Dupuy, "Low-Carbon Power Sector Regulation: International Experience from Brazil, Europe, and the United States" Regulatory Assistance Project, December 2014, accessed at <http://raponline.org/document/download/id/7432>; Rachel Wilson and Bruce Biewald, "Best Practices in Electric Utility Integrated Resource Planning," Regulatory Assistance Project, June 2013, accessed at <http://www.raponline.org/document/download/id/6608>.

60. For more discussion of IRP, see Chapter 2 of “Low-Carbon Power Sector Regulation: Options for China,” Consultant’s Report Commissioned by the World Bank, Regulatory Assistance Project, Draft Final, February 2015, accessed at www.raponline.org/document/download/id/7582. See also http://www.sgeri.sgcc.com.cn/html/sgeri/col1080000045/2013-07/08/20130708145951065319786_1.html, which provides a more theoretical view.

61. Mao Xianqiang and Hu Tao, “Co-control of CO2 and Local Air Pollutants in the Electric Power Industry of China,” Wilson Center, March 14, 2012 accessed at <http://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/Mao%20Xianqiang%20-Co-Control-03142012.pdf>, “New Report Finds Energy Efficiency is America’s Cheapest Energy Resource,” American Council for an Energy Efficient Economy (ACEEE), 2014, accessed at <http://aceee.org/press/2014/03/new-report-finds-energy-efficiency-a>; Megan A. Billingsley et al., “Program Administrator Cost of Saved Energy for Utility Customer-Funded Energy Efficiency Programs in the United States,” Energy Technology Area, March 2014, accessed at <http://eetd.lbl.gov/news/article/57600/program-administrator-cost-of-s>; Rebecca Schultz, “Energy Efficiency Power Plants: A Policy Option for Climate-friendly Air Quality Management in China,” Regulatory Assistance Project, November 2009, accessed at <http://www.raponline.org/document/download/id/265>.

62. “关于印发《电力需求侧管理办法》的通知” [Demand Side Management Measures], Document #2643, National Development and Reform Commission, November 4, 2010, accessed at http://www.ndrc.gov.cn/fzgggz/jjyx/dzxqcg/201011/t20101116_381342.html; David Crossley, “Energy Efficiency as a Resource for the Power Sector in China,” Regulatory Assistance Project, August 2014, accessed at www.raponline.org/document/download/id/7259.

