



RAP

睿博能源智库

致谢

本报告由睿博能源智库的Max Dupuy, David Moskowitz和Rick Weston 负责协调撰写。其他为本报告作出重要贡献的作者有 Fritz Kahrl (E3), Kevin Porter (Exeter Associates), 以及睿博能源智库的Riley Allen, David Crossley, Chris James, John Gerhard, 王轩。王轩在徐晖和何泉的帮助下完成了中文版的翻译校对工作。我们对本报告给出宝贵建议的Ryan Wiser, 芦红, Shantanu Dixit, 胡军锋和张红军表示感谢。

本报告的英文版本可从我们的网站下载：
<http://www.raonline.org/document/download/id/6869>

本报告的电子版及其他出版物请参看我们的网站：
www.raonline.org

希望加入我们的联系人名单，请发送您的联系信息到：
china@raonline.org

目录

执行概要.....	2
第一章：电力规划.....	7
第二章：资源获取.....	29
第三章：电力调度.....	44
第四章：零售定价.....	51
第五章：可再生能源.....	59
第六章：电网公司需求侧管理.....	74
第七章：煤质国际最佳实践.....	82
参考文献.....	93
睿博能源智库（RAP）简介.....	105

图目录

图1：总资源供应曲线举例.....	21
图2：为广西省估算的年持续负荷曲线.....	24
图3：广西省估算的净负荷年持续曲线和总负荷年持续曲线.....	24
图4：简单循环燃气轮机和超临界燃煤机组的筛选曲线.....	25
图5：简单循环燃气轮机和超临界燃煤机组的筛选曲线（前1000小时）.....	25
图6：广西省净火电负荷年持续曲线.....	27
图7：结合广西省净火电负荷曲线和总运行成本曲线.....	27
图8：各组织在投标过程中发挥的作用.....	41

信息箱目录

信息箱1：评估能源和环境规划之间的关系.....	13
信息箱2：评标.....	32

表目录

表1：固定成本回收和定价机制.....	47
表2：需求响应服务类型.....	56

执行概要

在过去的15年里，中国政府实施了一系列的电力行业改革，极大地扩大了供电能力，提高了电力行业的效率、可靠性和环境绩效，但仍面临着严峻的挑战。这些挑战包括电力需求的快速增长，电力成本的不断上涨以及对电力可靠性与安全性的担忧；此外，电力行业对国内环境与公共健康及全球气候的威胁也十分严峻。中国政府已经在“十二五规划（2011 - 2015）”中提出了积极的能源与环境目标，并发布了新的《大气污染防治行动计划》（2013 - 2017）。为应对挑战、实现所提出的目标还需要新的政策来重塑电力行业。这方面的国际经验与教训，可以作为中国电力体制改革的重要参考依据。睿博能源智库对2012年和2011年发表的有关电力行业下阶段政策建议的报告¹进行了扩展，基于国际经验为中国提供政策建议。

我们将针对中国电力行业所面临的挑战及核心问题，讨论几个关键领域：电力规划、资源的获取、电力调度、零售定价、可再生能源并网、电网公司电力需求侧管理和煤炭质量。

电力行业规划：

规划对电力行业至关重要，因为决策者必须保证其政策能够以尽可能低的社会总成本达到预期的效果。我们给中国的建议是扩大电力规划的范围，增加规划过程的透明度，利用更先进的分析工具，确定电力最优的资源组合。电力规划应对需求侧资源、供应侧资源和输电资源直接进行综合的对比，充分考虑各种选择方案包括环境成本在内的一系列成本和效益。把需求侧资源（尤其是终端能效）纳入规划过程，具有特别重要的意义。我们认为，这种变化将增加对终端能效的投资，因为终端能效是相比新建电厂更低成本和更清洁的替代方案。

1. 参阅www.raponline.org/document/download/id/4598与www.raponline.org/document/download/id/6329

天然气发电是中国目前的规划过程中尚未恰当分析的另外一种资源，其结果是导致天然气发电投资不足。我们提供了一个例子，利用国际上通用的电力规划方法，证明在中国将天然气用于峰时发电具有成本效益，并且可以帮助现有燃煤发电厂提高利用率和发电效率。

资源的获取：

规划过程确定了电力最佳资源组合后，便需要一个机制以低成本高效、及时可靠的方式获取这些资源。许多中国分析师与政策制定者呼吁尽快转向更具有竞争性的发电市场以降低发电成本。我们针对不同的资源建议了一系列方法，我们认为这些方法不仅在中国可行并且可以有效提高电力行业的竞争力、降低成本。对于新建燃煤与燃气发电厂，我们建议的方法是政府组织竞拍，以透明的方式获得规划中确定的资源。中国在90年代签订常规发电资源长期合同以及近几年对可再生能源长期合同竞拍都遇到了一些困难。然而，许多国际经验（巴西、印度、美国等国家）证明，经过精心设计和有效管理的拍卖过程，可以以合理的成本获取需要的资源。我们的意见是，相对于一些美国和欧洲的完全自由化的电力市场，这种拍卖机制在提高中国电力行业竞争力方面，更具有可行性且更有效。

如上所述，终端能效也被看作一种电力行业资源来对待，因此电力行业政策也应该与国家正在推进的综合节能项目相结合。我们建议中国继续改善和扩大目前对电网公司的强制性节能目标。对于可再生资源，我们鼓励继续推行上网电价政策。中国的上网电价模式一直非常有效，但还存在改进的空间，包括提高审查频率，调整上网电价，以及提供更好的激励增加可再生能源的地域多样性。

电力调度：

除了电力行业的规划与资源的获取以外，中国还面临一些关键的问题：每天和每小时如何利用这些资源。调度-发电机组的运行-对于电力行业的成本和环境绩效是至关重要的决定因素。而且调度问题可能会映射到规划与投资过程当中，误导资源选择。

世界大多数地区常用的方法，是根据可变成本（理想情况下应包括环境成本）对发电机组进行排序，调度机构可优先调度低成本的发电机组。中国采取了不同的调度方法，政府每年为燃煤发电企业分配了大致相等的运行小时数，由调度机构负责执行。这种方法的初衷是给每一家发电企业平等的机会来回收资本成本，但却在很大程度上忽略了燃煤发电厂在发电效率与环境绩效方面存在巨大的差异这一事实。结果，系统总成本和环境绩效受到严重影响，误导了投资决策。燃煤发电厂对于运行相似小时数的依赖，成为中国调度改革的主要障碍。

我们建议建立两部制电价制度，使发电企业可以获得(1) 与发电企业的可用性挂钩的容量电价（固定成本），以每年元/千瓦支付；(2)与发电企业的发电量挂钩的电量电价（可变成本），以元/千瓦时支付。可以首先从新发电机组入手尝试改革对发电企业的补偿方法，应该在拍卖合同中具体包括两部制电价的内容。这种改革有利于优化调度在全国范围的执行，即根据可变成本对发电企业进行排序和调度。如何在调度决策中考虑不用发电厂相关的环境成本非常重要。概况来说有两种常用办法，一是可以通过制定调度规则来实现，例如，中国已经试行的“节能环保调度”；二是可以通过实施政府的其他政策将环境成本内部化，例如，征收排放税或者排放交易等方式。

零售定价：

在世界各国，由于电力行业（至少其中部分）的自然垄断性质，政府在定价方面扮演着重要的角色。在中国，电力零售价格更新频率低，而且没有在价格中充分反映电力行业的成本变化。我们建议建立透明的价格调整机制，为电网公司和发电企业提供激励来实施政府的核心清洁能源与环境政策，包括在能效、可再生能源与天然气等方面规划的投资。

虽然有上述问题，但中国的零售定价制度有许多非常好的创新之处，我们建议对其保留。其中包括：阶梯电价，针对高耗能的用户实行更高的价格；“差别”电价，减少效率低下的工业生产模式；以及针对工业用户实行普遍高于居民用户的价格。

有一点需要十分慎重的是推进大用户直购电试点。我们认为，这并非是提高电力行业竞争力的最佳方式。特别地，除非政策非常小心地设计，我们担心允许大用户直接与发电商签订合同会降低工业用户支付的相对较高的电价，代价则由居民和商业用户承担。此外，这也将使获取最佳资源组合（如上所述，即在规划过程中确定的资源组合）变得更加困难。

可再生能源：

中国可再生能源发电容量的增长十分显著。目前，中国拥有全球最多的风电装机容量，而且不仅在风电领域，中国的太阳能发电装机容量也会处于全球领先地位。然而可再生能源在中国的迅速增长，却带来了严重的可再生能源并网问题，可能会影响未来的发展进程。我们的建议主要包括三个方面：（1）完善可再生能源政策，降低成本、提高效率，（2）通过开发灵活的、成本最低的新常规发电与可再生能源发电资源组合，更有效地消纳可再生能源；（3）通过明确电网公司的责任，加快电力行业改革，完善电力系统运行与可再生能源并网。前文已经提到，应该不断调整风电的上网电价补偿水平，使上网电价模式更具有地区针对性。

中国已经在相关领域取得了一些进步。例如，扩大了风电预测范围和提高精度，2011年修改了风电并网技术标准，确定了光伏上网电价和光伏入网流程，以及于2013年9月提高了可再生能源附加费以弥补对继续大量扩容的可再生能源的补贴。我们建议在这些工作的基础上不断完善，其中包括设计更合理的辅助服务补偿办法来鼓励发掘现有发电机组的灵活性，在规划和批准新发电机组时优先考虑灵活性特点，在风电和光伏比例较高和已经存在大量非灵活性电源的地区不再增加新的非灵活性发电资源，巩固平衡区，改善风电预测，逐步向更快发电机组安排和调度方式转变，增强区域互联和优化输电规划，实施可再生能源的优先调度。

电网公司电力需求侧管理：

能效是一种具有成本效益的资源，将能效纳入电力规划与运行是我们的核心建议之一。虽然中国政府多年来一直高度重视提高所有经济部门的终端能效，但在将有效用电作为电力行业政策的主要关注点方面，中国仍处于初级阶段。2010年颁布的《电力需求侧管理办法》迈出了重要的第一步，强制电网公司达到终端能效与降低负荷的目标。与我们对电力规划的建议一致，我们也建议要求电力公司在从发电企业购电之前，获得所有具有成本效益的能效资源。这需要中国继续进行改革——可以借鉴美国许多地区的做法，通过对电网公司实施新的激励机制改变电网公司的商业运营模式。我们还建议完善政府对国有电网公司绩效及其高管个人绩效的评估标准，将电网公司在用户设施上提高终端能效措施的成败，作为绩效考核体系的重要指标。

煤炭质量：

减少煤炭中的含硫量与灰份含量可以提高发电厂的效率，减少碳排放，同时也可以减少空气污染和煤炭运输成本。一般而言，提高煤炭质量的好处远远超过洗煤和煤炭加工以减少含硫量与灰份含量的成本。中国在最近的五年计划中一直强调洗煤的重要性但效果并不明显。在许多国家，由于受到提高煤炭质量增加获利，以及满足政府监管与许可要求的驱动，在私营企业的推动下形成了相对全面的洗煤、煤炭加工和选煤系统。我们向中国建议类似的政策，即对每一个发电厂允许燃烧的煤炭特性——包括煤炭类型、发热量范围、含硫量和灰份含量等进行规定、监督和强制执行。考虑到中国水资源紧缺，我们还建议水的循环利用，并考虑采用不需要水的工艺，如使用干性添加剂和机械分离的工艺。

第一章：电力规划

1.1 简介和概述

电力规划是以合理价格提供可靠和清洁电力服务的基础。环顾世界，规划在所有电力行业结构模式中的必要地位毋庸置疑。即使在已经实施批发或零售竞争的电力市场，为了让市场按设计实现预期结果，或是测试现有市场设计能否产出最佳和预期结果，详细的电力规划至关重要。

从广义上看，电力政策应具备两个相互联系的组成部分：第一，编制并定期更新综合的电力规划方案，以实现成本、可靠性、环境及其他方面的重要目标；第二，设计并定期调整市场机制（不排除建立具有竞争性的市场机制），以实现规划中所规定的资源供给要求。上述的第一和第二组成部分将分别在此系列白皮书的本章和第二章作详细介绍。

我们对中国电力行业规划的建议集中在扩大电力规划的覆盖范围并完善分析方法，从而确定比基准情形更具成本效益、更清洁且风险更低的发电、输电和需求侧资源组合。简言之，我们的建议如下：

1. 扩大规划范围，对所有资源和影响予以综合考虑。规划应对需求侧资源、供应侧资源和输电资源直接进行综合的比较，并在对各方案作分析时将包括环境成本及其他效益在内的所有成本作全面考虑。把需求侧资源（终端能效和负荷管理）纳入规划范围尤为重要，因为其对整个电力系统的价值长期受到低估。我们认为，上述改变将促进市场对终端能效的投资。与建新电厂相比，投资终端能效将是更低成本和更清洁的替代方案²。
2. 完善对发电方案的分析。此方法带来的改进可能包括增加对天然气发电的使

2. 我们在本章和其他章节使用“效率”和“能效”一词来代表提高电力使用效率的方法和项目，即客户家庭和企业的终端能效。当我们提到其他类型的效率时，如经济效率和（发电）热效率，其含义在相关讨论的上下文中将会有明确表述。

用，进而改善现有发电设施的运行和使用，并加速可再生能源的发展和并网。

3. 将电力规划与环境政策的设计和实施作更好的协调³。我们认为，这将提供诸多减少环境污染的低成本方案，特别是在降低大气污染物和温室气体的排放方面。

4. 把输电规划纳入电力规划范畴。我们认为，这将更好地协调新发电设备及相关输电设施的发展。

以下小节将对上述建议作更详细的阐述。此外，本文的两个附件还对几个重要的技术问题展开了详细分析。

1.2 把终端能效纳入电力规划

中国对提高各行业的终端能效给予了高度重视。在规划方案中已经设定了具有约束力的社会经济整体能源消耗强度目标，并实施了一系列支持能效综合开发的政策和项目⁴。但是，能效作为一种低成本且能够满足能源服务需求的资源，尚未被很好地整合到电力规划中。

但是，中国已为将能效纳入电力规划打下了良好的基础。2010年11月，国家发展与改革委员会出台了《电力需求侧管理办法》，首次给电网公司分配了终端客户节能义务指标。虽然指标的初始水平较低，但是为支持积极投资而需要的政策、制度和机制正在一步步落实。把需求侧管理纳入电力规划，将确保未来需求侧管理目标的科学和经济合理性。

现代电力规划工具能够充分评价需求侧资源对于电力系统的贡献，包括灵活的需求响应（负荷管理）为有效接入波动性可再生资源的作用，从而满足短期和长期电力系统的运行需求。

目前，世界各地已有许多类似于此的改进电力规划方法的实例。为了进一步论证我

3. 在考虑发电和需求侧资源方案时，从中国总体目标的角度考虑成本和效益，这一点是非常重要的。按照这种做法，某种供应侧或需求侧的资源成本包括其整个有效生命周期估算的“所有直接成本”，需要将可归因于该资源的环境成本和效益考虑在内。

4. 参见Crossley，2011年；Price等，2011年。

们的核心观点，我们在此简要举出一个实例——美国西北电力与节能委员会。请查阅附件A了解更多细节。

1.3 电力规划原则：美国西北电力案例研究

美国在州和区域层面上均需开展电力规划。在美国西北部⁵，成立于1980年的西北电力与节能委员会（以下简称为NPCC或“委员会”）指导该地区（包括四个州：华盛顿州、俄勒冈州、爱达荷州和蒙大拿州）的规划工作。

委员会在多年经验的基础之上制定了目前实施的规划方法。虽然中国电力行业面临的挑战在很多方面有其独特性，但是只要经过适当修订，NPCC制定的规划方法就可应用于中国，以帮助中国应对电力行业的各种挑战。

NPCC成立时遵循的国家法律对规划过程做出了规定，其中多个方面可供中国参考：

- 规划须以“最低成本”实现“充足、高效、经济和可靠的电力供应”。此处的“成本”是指与资源整个生命周期相关的所有成本，包括污染造成的损失和给社会造成的其他环境损害⁶。
- 规划须把终端能效视为一种资源。换言之，规划必须把能效与传统发电资源进行直接对比，并确定以最低成本满足长期能源服务需求的资源组合。
- 规划须公开表明能效是一种“优先”资源。法律定义了“负荷顺序”的概念，以指导新的投资决策。负荷顺序将优先权给予了具有环境和经济效益的资源。开发电力资源，应首选终端能效，其次为可再生能源和燃料转换效率较高的能源（如热电联产机组CHP），最后为其他传统能源，如燃气发电厂。

NPCC规划过程涉及多个主要步骤，这些步骤共同构成有周期性规律的循环，如下：

5. 查阅西北电力与节能委员会（2011年）了解更多细节。

6. 环境损害成本是一种“外部”成本或“外部性”，因为它们的成本没有全部或部分在相关商品或服务市场中加以体现。但是，毫无疑问它们对社会造成的实际损失通过疾病、生产率降低和自然资源的破坏等加以体现。出于规划的目的，这些损害成本须被考虑在内。

利益相关方发表意见：规划过程的第一步是征求公众和利益相关方对电力规划应解决的主要问题的意见。例如，在最近的《第六次电力规划》（Sixth PowerPlan）中，委员会明确征求如何提高系统灵活性的意见，以便把风能、太阳能和其他波动出力（如不可调度的资源）整合入系统运行。

使用“冻结效率”进行基准需求预测。初始需求预测作为基准线。它被称为“冻结效率”预测的原因是此情景假定在规划期内不会对终端能效进行新的技术改良。由此产生的负荷预测，以及基于负荷预测进行的终端能效投资计划都与之相关。

评估各发电和能效方案的成本：委员会对所有可能的发电和能效方案的成本进行估算。委员会分析师对已经成熟的技术和成本相对较高或是不成熟的新技术均作了评估。成本估算包括针对成本在规划期上下浮动的不确定性进行的调整。此外，成本还包括与缓解对空气、水和土地的不良影响相关的可量化环境成本⁷。对其他不易量化的外部因素（如气候变化）的成本分析，会在编制综合资源战略（见下文）的风险分析部分加以体现。成本估算将电厂并网所需的升级或新建输电设施的费用也考虑在内。最后，将各项成本转换成“资源生命周期每兆瓦小时的平准化成本”输入表格，以便比较。但这并不是制定投资决策的完全充分依据，通过规划的最后一步，即制定综合“资源战略”，才能确定最具成本效益的能源服务方案。

制定综合“资源战略”：计算各资源方案的成本只是经济分析的第一步，成本本身并不能表明其对系统的价值。除直接成本外，应该同时考虑电厂如何运行、可满足什么需求、是否影响其他电厂运行以及是否给系统造成风险等问题，来确定某项投资是否具有成本效益。在制定资源战略时，委员会试验了多种供应侧和需求侧的资源组合方案，并确定了能最经济地满足要求，并达到可靠性和其他政策目标（如可再生能源目标、减排目标等）的资源结构。

7. 事实上，有些成本是有益的。例如，由于可量化的环境效益，委员会对终端能效作成本抵免，即出于分析目的，降低终端能效手段的成本以反映其正面效益（如避免污染）的价值。此外，委员会还授予终端能效另一成本优势，即将其替代发电方案的成本提高10%，以反映能效作为“优先资源”的特性。这样以来，委员会将传统财务分析会忽视的实际效益（或成本）“内在化”了。

在最后一步中，委员会将具有成本效益的供应侧和需求侧资源作组合拼接，以满足能源需求。关于“具有成本效益”中的成本，委员会意指从长期来看的总成本。在开展评估时，委员会通过不断分析两类与结果相关的资源参数——运行特性和风险，来调整方案。

- **运行特性：**委员会的规划模型对每个方案在整体的电力系统中如何运行予以考虑。这一步骤把电厂的所有特性考虑在内，尤其是灵活性，例如此资源通过调度来帮助平衡供求、促进系统可靠运行的能力（请注意，这一步骤也是下面章节“完善对发电方案的经济分析”中所讨论的分析类型的一个实例。）。
- **风险：**委员会还对各方案和整体系统的相关风险进行了评估，包括经济的增长或衰退、燃料价格的相对波动、需求不确定性、建筑成本超支、施工延误相关的风险和未在量化成本中体现的环境风险（如不遵守环境法规，未能合理预计法规的变化，发生事故，以及气候变化对资源供求的影响）。之后，某种资源和整体资源组合的风险将在成本中得到体现：风险性越高，成本就越高。

资源组合模型（Resource Portfolio Model, RPM）是委员会在确定资源最佳组合时使用的计算工具。RPM对多种“未来情景”下的资源方案进行对比。各种情景代表各种不同但看似合理的对未来的预测，包括对经济增长、燃油价格、资本成本、需求等的不同预期。在进行对比后，可以得出一个最佳资源组合，能在未来多种可能的情景中，以可靠的方式和最低总成本满足地区需求、环境保护目标和其他政策目标——即最通用或最“强有力”的组合。这是最真实的经济分析形式，即从将所有成本和效益考虑在内的“社会”角度进行分析。

在NPCC成立以来的三十年中，NPCC共发布了六个规划。每个规划都在上一个规划的基础上，对科学方法和逻辑性进行了改进。NPCC凭借这些改进，改善了经济、环境和电力领域诸多因素之间复杂的相互关系，在美国电力规划领域处于领先地位。

1.4 完善对发电方案的经济分析

在能效、环境或风险被纳入电力规划者的考虑范围之前，规划的主要目的只是寻找不同发电类型的最佳组合。这类方法在世界各国经充分测试并广泛应用，但在中国却并未得到大规模的使用。改善中国分析发电方案和做出投资决策的方法，在当下尤为重要，因为如果中国继续依靠无法表征各资源真正价值的分析方法来做电力规划，那么中国的宏观政策目标（着眼于增加供应多样性，特别是对可再生能源和天然气的供应）将不太可能得以实现。

目前，中国通过对比每年运行一定小时数的燃气发电厂和每年运行一定小时数的火电厂每兆瓦小时的平准化成本，在燃气发电厂和火电厂之间作出选择。正如在NPCC规划过程介绍中讨论的那样，这个方法本身不能作为制定合理资源决策的充分依据，因为它没有揭示不同发电类型的真正经济意义和价值。在我们看来，这是导致一些中国分析师错误地认为天然气发电不具备成本效益的原因。

附件B对国际公认的规划方法作了介绍，总结了将不同固定成本和运营成本的电厂相结合，从而满足电力需求的优化方法。分析表明，在中国，天然气作为调峰资源已经具有成本竞争力，并且利用天然气在高峰时段发电将帮助改善现有火电厂的使用，并提高效率（改良后的规划方法将揭露特定资源和资源组合真正的经济和环境价值[或成本]；但是，为了在实际投资和运营决策中体现其真实价值，有必要对电价和调度进行改革。详见第三章）。

1.5 加大电力和环境规划的整合

中国十分重视环境保护和改善空气质量，特别是在2013年初发生了严重且大规模的空气污染事件之后。有近期研究表明，空气污染造成中国每年有210万人过早死亡⁸。2007年，世界银行估算，空气和水污染产生的健康成本相当于中国GDP的约4.3%⁹。火电厂产生的PM2.5对各年龄段人群的健康均会产生不良影响，对儿童健康的影响尤为严重。尤其要指出的是，PM2.5对儿童的认知功能存在长期的负面影响，这很有可能会制约中国未来

8. Lancet, 2012年。

9. 世界银行, 2007年。

经济的健康发展。解决空气污染问题需要在社会经济的各个部门采取全国性行动，特别是作为主要污染源的电力行业。电力规划将在改善空气环境的全国性行动中发挥主要作用¹⁰。

在规划过程中将污染物排放作为一个重点考虑因素，会帮助中国在两方面做出明智的电力决策。首先，它需要规划者明确并重视发电方案生命周期内与预期环境政策相关的成本。近年来，中国政府已出台了重要的空气质量管理政策，包括氮氧化物和二氧化硫减排目标要求113个城市到2015年必须制定空气污染控制方案。但是，中国现有的环境空气质量标准远不及美国或欧洲的严格，很有可能会在近期进行再次修订。电力系统规划者应该对空气质量标准的修订有所预期，并在决策制定过程中将实施更严格的政策对电厂成本产生的影响考虑在内。例如，即使有些控制措施只是在数年后可能实施的空气质量标准下才会被需要，规划者仍需将这些措施的安装成本折算入电厂资源成本中。这样以来，仅是作为风险管理的一种手段，这种方法将有助于提高对清洁资源的依赖，增加对污染控制设备的投资。另外，或许更重要的是，通过鼓励电厂在建设时就对控制设备作投资，而非日后花高额更新设备，它将降低履行环境法规的总成本。

其次，规划过程将揭示不同资源情景下的总成本和排放量。这将使电力、环境和其他政策制定者了解投资成本和空气质量改善之间的真正权衡（见信息箱1）。

信息箱 1

评估能源和环境规划之间的关系

Ma等（2013年）开展的一项研究表明，中国的环境目标成为电力和其他行业能源决策的重要推动力。该报告讨论了解决（或不解决）中国空气污染问题所产生的财政影响，从而说明了能源和环境规划之间的关系。以下节选总结了这项研究的成果：

为了实现到2030年，将城市PM_{2.5}平均值降至35[微克/立方米]，中国应该严格地降低煤和汽车消费的增长，大幅增加对清洁能源和地铁/铁路的投资。我们提出一揽子政策方案，以实现到2030年城市PM_{2.5}年均值降至35的目标——这也是政治命令。该方案要求对现有政策或方案做出如下变化，包括：

1. 把2013—2017年期间的年均耗煤量增长从目前预测的4%复合年均增长率（CAGR）降低一

10. 请查阅Ma等（2013年）了解更多关于能源和环境政策之间的紧密联系。

半（降至2%），并在2017—2030年期间降低22%的煤耗。这意味着中国的煤耗量应在2017年达到峰值，而非外界一致预测的2025年。

2. 通过清洁煤技术，使未来18年的煤相关排放降低70%左右。
3. 通过实施严格的汽油和汽车排放标准并改善燃油效率，使单车排放降低80%以上。
4. 使2012—2020年期间的清洁能源（燃气、核能、水能、风能和太阳能）年均增长率比现有预测水平增长4个百分点。
5. 把2030年乘用车保有量目标从目前预期的4亿辆降至2.5亿辆。这意味着在2013—2030年期间，汽车销售年均增长率需从过去五年的年均20%降至5%。
6. 2013—2020年期间，使铁路和地铁的线路长度分别增长60%和4倍；2020—2030年期间，再分别增长60%和230%。

我们的分析表明，从技术角度而言这些新目标是可以实现的，它们对经济增长、财政收支平衡和通货膨胀的影响是可控的。但也需要一个强有力的政府来解决各利益集团的反对意见。

1.6 把输电规划纳入电力规划过程

中国的电网公司在输电设施的设计和建设方面居于世界领先地位。但是，在中国面临的主要电力挑战中，有三项与输电政策和规划问题直接相关：（1）更大规模跨省电力交易；（2）可再生能源并网；以及（3）弃风问题¹¹。当中国把发电从电网公司分离后，制定发电规划和电网规划不再是一个单位的责任，而本应相互协调的两者就很有可能受到影响。无论事实是否如此，很显然，中国的电力规划需要更具协调性，并使用更先进的分析工具作为支持。

把输电和发电规划相互结合的需求是明确的。规划者应利用分析工具在以下二种情形之间作经济权衡：1) 偏远地区的低成本发电，加较高的输电投资；2) 邻近负荷中心

11. 有一系列复杂的问题对跨省电力交易产生影响，包括成本分配和定价，各省和直辖市的税收政策（可能支持地区内生产而非进口）、批发电价规定（使省外发电处于不利地位）。这些问题超出了本章所讨论的范畴。第四章涉及了其中的部分问题。但是，值得注意的是，消除投资障碍和促进交易增加具有重要的意义，应在输电规划中予以考虑。

的高成本发电，加较少的输电投资。此外，规划者还应分析如何优化输电投资，使电网不仅能满足可靠性要求，还能满足其他公共政策目标（如煤耗上限、区域空气质量目标和可再生能源目标）。我们建议输电规划过程需要常规化和制度化，并由政府部门实施监管。以下介绍两个美国的实例，希望对中国有所帮助。

1.6.1 NPCC和输电规划

NPCC在制定资源规划（见上文和附件A）时，高度重视与各资源方案输电要求相关的成本和风险。虽然委员会并不直接负责输电规划的制定，对输电规划的细节也没有最终决定权，但是它会为联邦、州和电厂的输电规划提供意见和建议，同时委员会的资源方案对输电规划的决策能产生重要影响。认识到输电同时具有成本和效益，NPCC在本身的电力规划过程对这两方面也会进行全面的考虑。

美国西北部地区输电的两个特征使其经验特别适用于中国。首先，与中国一样，西北地区有一家政府所有的大型电网公司：邦纳维尔电管局（the Bonneville Power Administration, BPA）获得授权建设和运营该地区的所有输电设施，并有义务为所有有需要的客户提供输电服务。其次，根据法律，BPA的使命和工作重点与NPCC的使命和工作重点紧密联系。BPA必须遵守委员会的规划（或只有获得国会的批准，才能采取不符合委员会规划的行动）。因此，BPA有义务把能效和可再生能源在其资源获取方案中加以考虑。正如上文所述，输电规划（BPA负责）与电力供应规划（NPCC负责）要实现良好的统筹协调。此外，根据法律，BPA不得排斥任何寻求并网的电厂。当任何实体（公用电力公司、私人电力公司或独立电力生产商）建设新的电厂时，BPA有义务提供输电服务。因此，这极大地降低了因缺乏必要的输电设施而造成的预期电厂建设施工的延误。

1.6.2 加利福尼亚州和输电规划

每年，加州独立系统调度机构（the California Independent System Operator Corporation, CAISO）都会制定满足加州输电稳定性和政策任务需要的新输电方案。加州的可再生能源目标（到2030年，RPS达到33%）已成为输电规划和投资的主要推动力。

输电方案主要组成部分包括：

- 确定支持实现可再生能源目标需要的输电投资。规划者假定不同条件，准备一系列十年期的新可再生能源组合预测，包括各可再生能源项目的类型和位置。
- 分析基于不同可再生能源组合（由第一步确定）的一系列输电需求。
- 确定为保证电网稳定运行所需的输电设备升级和补充。
- 对输电设备升级或补充开展经济分析，确定除稳定性之外，它们是否能为纳税人提供额外利益。

CAISO还采取措施，使发电并网程序能被更好地整合入输电规划中，其主要变化旨在确保新的发电设施与其并网所需的新的输电设施之间能实现更好的协调。

1.7 结论

中国电力规划的完善同时存在组织性和技术性问题。对组织性问题，即应由谁负责规划的制定，可以有多种不同的回答。世界各国的机构角色和责任不尽相同。例如，在许多国家，电网公司负责具体规划的制定，而政府负责确定整体目标和监管电网公司的工作。鉴于中国电力行业的独特性，中国政府可能希望在规划中比其他国家政府发挥更大和更直接的作用。但是，无论政府在制定规划时发挥何种作用，从世界各地的成功经验来看，若单一的某政府实体被赋权负责此事，规划过程会进行的更顺利，规划方案的质量也会更高。当然，其他政府部门也应参与其中，特别是当规划需要将供应侧资源、终端能效、输电和环境因素真正全面地整合起来。但是，最终应由一个单位对规划过程和规划方案负责。该单位还应有权监管方案的实施（也就是说，该单位应该对竞争性收购程序和定价实施监管；见第二章和第三章）。最近中国把国家电力监管委员会并入国家能源局的决定，可以被视为朝正确的方向努力而迈出的重要一步。

关于技术问题，即应该如何制定规划，本章提出了四条建议，概括如下：

1. **扩大规划的范围，把所有资源和影响综合考虑在内。**规划应该对需求侧资源、供应侧资源和输电资源进行直接和综合的对比；考虑各种方案的所有成本，包括环境成本和各种资源的潜在效益。
2. **充分认识天然气发电、分布式以及热电联产资源的价值。**如果规划者能够改善对这些资源的分析，就会发现对这些资源的充分投资可以降低电力系统总成本和减少排放。
3. **使能源政策和环境政策相互协调。电力政策制定与环境政策**（如煤消耗上限、排放交易机制、区域空气质量管理方案）制定的整合，将有助于实现更迅速、更低成本和更顺利的温室气体以及其他污染物减排。如果不能做到这点，造成的风险可能是在电力和环境领域单独采取本来具有交叉目的的政策或者无效地把它们拼凑在一起。
4. **使输电网络的扩展与可再生能源的发展相互协调。**如果没有电网来输送新发电设施的发电量，规划就无法帮助实现能源和环境目标。这对于远离负荷中心的可再生能源来说尤为重要，并将增强电力的跨区域传输。缜密的规划过程也将对地区性发电设施的建设和可再生能源的发展之间的经济和环境的影响作权衡评价，即应该将发电设施建在远离还是邻近电力负荷中心的地方。

1.8 附件A：美国西北地区电力规划

美国在州和区域层面上均需开展电力规划。特别是在美国的西北部地区，电力规划发展完善，综合程度高¹²。1980年，根据联邦法律成立了西北电力与节能委员会（以下简称NPCC或“委员会”），指导该地区（包括四个州：华盛顿州、俄勒冈州、爱达荷州和蒙大拿州）的规划工作：定期更新的规划明确资源的目标结构；之后由州政府利用竞争性的机制获得这些资源¹³。

委员会在多年经验的基础上制定了目前实施的规划方法。从细节上说，若想让中国

12. 请查阅西北电力与节能委员会（2011年）了解更多信息。

13. 从严格意义上看，规划对各州来说是“指导性的”。

运用这些规划方法，至少在近期来看目标可能过于宏大。但是，NPCC规划过程的基本要素非常适用于中国，可以被视为科学规划过程的基础。

NPCC成立时依据的联邦立法包括以下几条指令：

- 委员会需要制定并定期更新满足该地区的电力需求的长期（20年期）战略。
- 规划必须从社会角度将所有成本和效益考虑在内，包括污染成本。
- 规划必须以“最低成本”实现“充足、高效、价格合理和可靠的电力供应”。系统成本包括资源整个生命周期相关的所有成本，包括量化的污染对社会造成的影响。
- NPCC需要把节能（即终端能效）视为一种资源，直接把它与传统资源（如火力发电厂）进行对比。事实上，法律把能效视为一种“优先”资源，它建立了“负荷顺序”的概念，将能效排在首位，紧随其后的是可再生能源，之后为具有高燃料转换效率的资源，最后为其他资源。

1.8.1 NPCC规划过程

NPCC成立之前，电力规划由电力企业各自负责开展，但其规划方式非常简单。规划者对电力需求进行预测，之后列出能满足此预测需求的资源清单。规划把不同发电方案的相对成本考虑在内，但是当时终端能效未被视为一种资源，而且未对不同发电方案的相关风险（如成本超支和施工延误）进行充分的考虑。此外，因为该地区的水电资源具有很大的灵活性，为可再生能源并网提供了充分的调峰资源，所以在当时还没有考虑其他发电资源灵活性的必要。

自20世纪80年代初期，委员会在立法指令指导下，不断制定日益完善的规划方法，成为了这一领域的领跑者。这些方法（以及委员会的总体理念）在其他州和国家都具有很大的影响力，其中的许多方法要求运用综合资源规划（Integrated resource planning）过程。

委员会在规划过程中采用各种不同的模型，以便对下述各项进行评估：

- 电力需求和节能的规模（终端能效）；
- 天然气、石油和煤的价格；
- 发电资源（供应侧）的平准化成本；
- 能效资源（需求侧）的平准化成本；
- 该区域不同地方的电力市场价格；
- 该区域电力系统的整体充足性和可靠性；以及
- 最重要的，不同资源组合方案的整体成本、效益和风险。

NPCC规划过程涉及多个主要步骤，这些步骤共同构成有周期性的循环过程，包括以下内容：

1.8.1.1 征求公众意见

规划过程的第一步是征求公众和利益相关方对电力规划应解决的主要问题的意见。例如，在最近的《第六次电力规划》（Sixth Power Plan）中，委员会就各种问题征求意见，包括如何提高系统灵活性，以便能将风能和其他波动性资源并网。该过程高度透明，并全程接受公众审查。委员会定期发布更新，并就其研究成果召开公众听证会。

1.8.1.2 使用“冻结效率”进行基准需求预测

委员会根据燃料价格和经济增长等假设条件，对批发电价做出初始预测；一旦能效投资被确定，委员会会考虑能效投资对需求降低的影响，并在之后的规划过程中调整初始预测的电价。然而，对需求的初始预测会被作为基准线，与规划后期出现的、将预计能效投资考虑在内的需求预测作对比参考；特别的是，因为这个方法假设在规划期内不会对终端能效进行新的技术改良，所以也被称为“冻结效率”预测。所有需求预测和能效评估均以“自下而上”的分析为基础，考查终端能效和各种提高能效技术的可行性。这种“清单”方法还能帮助评估能效作为一种资源的发展潜力。

1.8.1.3 评估各资源方案的成本

委员会认真地估算所有可能方案的供应侧和需求侧成本，并将各方案的结果表现为

可相互比较的形式。委员会的分析师不仅会考虑已经非常成熟的技术，也会注意那些成本相对较高或不成熟的新技术。至于后者，成本估算可能会包括针对成本在规划期内下降等不确定性而进行的调整。

在评估资源成本时，委员会从“社会”角度看待成本。根据这种方法，供应侧或需求侧资源成本包括对一种资源生命周期内“所有直接成本”的估算，包括可直接归因于该资源的环境成本和效益。

对于电厂而言，总资源成本包括资本成本和运营成本（在西北地区系统中，这些成本会以电价的形式直接分摊于终端用户）以及与污染和碳排放相关的外部成本。此外，设备升级或建设与新电厂相关的输电设施的成本也被考虑在内。

相同的成本原则也适用于能效。某一特定能效措施的总资源成本包括购买、安装和维护高效新设备的费用。无论由谁承担这些费用，这些费用都包括在成本之中（在某些能效激励计划中，电网公司只支付部分费用，而由业主支付剩余费用。这两部分费用都包括在能效措施的整体成本中）。此外，激励政策评估和项目管理成本也被包括在内。另一方面，能效措施也会产生非能源效益。尤其要指出的是，委员会会调整能效成本，以便把避免的天然气、石油、水、废水和类似成本以及降低的污染的相关效益考虑在内。

委员会对能源终端用户的“清单”数据库进行分析，并考虑所有技术可行的能效措施，其中可能的能效措施包括对现有设备和设施的更新。另外，委员会还会考虑提升一些尚未建成设施效率的额度。例如，委员会会考虑将企业设施升级到超出业主通常安装的能效水平之后的成本和效益。尤其是在许多新设施处于设计阶段的快速发展时期，这一点十分重要。

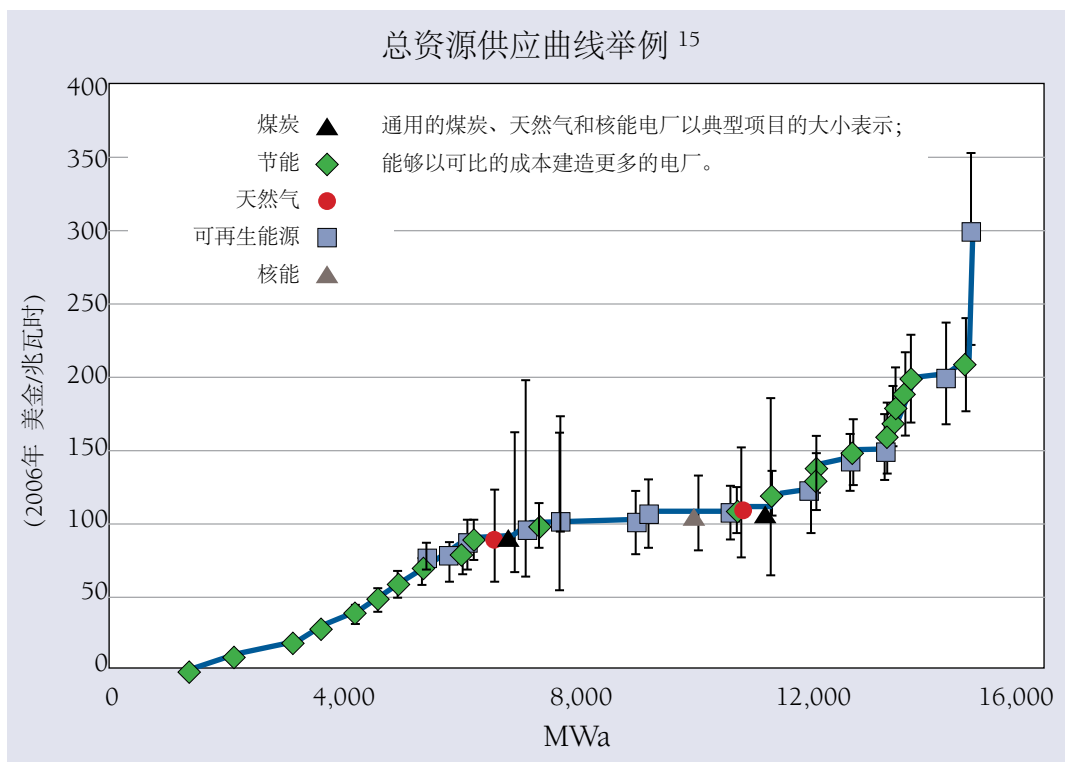
各资源方案的总资源成本以允许各资源直接对比的方式进行计算¹⁴。特别的，电厂和能效设施的成本以平准化成本予以表现，并扣除通胀因素。资源整个生命周期内的成本被换算为现值或平准化成本，以便对成本发生在不同时间的各资源进行对比（但是，如下文所述，资源方案不是简单地以平准化成本进行比较；需要开展更综合的分析）。

14.委员会为能效分配10%的成本优势（即发电替代方案的成本会被提高10%），以反映其作为“优先资源”的特性。

这是除可量化的环境效益之外的额外优势。

不同资源方案的成本会被整合，以成本曲线的方式表现。图1显示发电资源和能效资源的供应曲线，包括成本不确定性范围。这就是电力规划如何制定资源替代方案的一个例证。

图1：总资源供应曲线举例



15. 西北能源规划委员会，2011年。

1.8.1.4 编制综合的“资源战略”

委员会根据所有方案的成本曲线对比、制定最具成本效益的资源组合方案。但是，成本曲线不是编制资源组合时唯一的考虑因素：

- 委员会还重视不确定性的降低，对如何确定和缓解风险。风险因素包括：
 - ◎ 因经济的增长或衰退造成获取“太多”或“太少”资源的风险，
 - ◎ 相对燃料成本的波动，
 - ◎ 建筑成本超支，
 - ◎ 施工延误，
 - ◎ 未在量化的资源直接成本中体现的潜在环境成本，如与气候变化或未能遵守环境法律要求相关的成本。
- 规划过程还将不同电厂的运行特性考虑在内，特别是灵活性。这里灵活性是指资源能通过调度来满足负荷要求的程度，以及资源适合提供低于小时级备用的程度。

资源组合模型（RPM）是委员会用来确定资源最佳组合的计算工具，用来对数千个潜在的资源方案进行评估。例如，其中两个潜在的资源方案可能如下：

1. 到2016年可完成全部设计、获得许可、并准备开工的联合循环燃气轮机（CCGT）；
2. 到2013年可开始实施的高效照明激励计划。

这两种举例的资源方案具有不同的施工周期、措施类别、资本和运行成本，以及不同的负荷曲线。下一个任务是检查整个组合中的各种资源方案如何在可靠性、成本和风险方面相互匹配。

RPM 对数千个资源方案在数百种“未来情景”下进行对比。每一种未来情景都代表一个对未来的假设版本，这些未来版本有着不同的经济增长路径、不同的燃料价格和资

本成本等。

RPM帮助委员会确定在其预测的诸多未来情景下最佳的资源组合。单一的资源组合不能成为所有未来情景的最佳方案，但是RPM能帮助委员会确定一种组合，就算未来条件十分严峻，该组合也能具有相当低的（“预期”）平均成本，并有较低的高成本风险。通常情况下，规模小、前置期短和污染少的资源能够缓解风险；所有这些特性均导向支持发展终端能效而不是传统能源。

因为区域的电力价格随时间不断变化，能耗降低曲线成了分析的重要部分。针对用电高峰时节约能源的方法（例如高效室内供暖）比针对非高峰时的方法（如高效路灯照明）对电力系统的价值更大。

根据委员会的经验，RPM倾向于推荐侧重于能效的资源组合：“（能效）成本低，不使用燃料，不排放碳，而且可以推迟或取消电网扩张。由于其成本和风险低于其他资源，被选定的资源方案通常第一位重视能效……能效是对抗高市场价格、快速的非预期增长以及高燃料和碳价格的低成本保险政策。”

此外，RPM倾向于选择燃气发电厂而非其他类型的电厂。虽然天然气面临未来燃料价格不确定的风险，但是天然气具备资本成本较低、前置期短和灵活性高的优势。附件B给出了如何在中国背景下分析天然气适用性的实例。

从严格意义上看，委员会的电力规划实际上并不是针对该区域所有零售电力提供商的强制性规定，但是它在两个主要方面影响着电力供应商。首先，邦纳维尔电管局（the Bonneville Power Administration）是100多个电力公司的批发电力供应商，有义务在收购资源时遵循电力规划（或为选择其他方案寻求国会批准）。其次，各州立监管部门在评估其管辖内的电力公司业绩时，常常将委员会的规划方案作为重要的参考依据。

1.9 附件B：中国的燃气电厂规划

在中国，人们一直对燃气发电厂的竞争力存在争议。在本部分中，我们认为，中国现行的燃气电厂和燃煤电厂间的经济性比较通常并没有把燃气电厂在整个电力行业中的

价值考虑在内。本附件的分析表明，在中国，天然气作为调峰资源已经具有成本竞争力，并且利用天然气在高峰时段发电将帮助提高现有火电厂的运行小时数，提高其效率。类似的，天然气使用的增加也将有助于加大可再生能源在中国未来能源结构中的比例，帮助可再生能源并网。

1.9.1 应用发电技术筛选曲线和负荷曲线评估发电机组的经济性：广西省案例研究

其他国家的发电规划通常使用两种分析工具：年持续负荷曲线（load duration curves, LDCs）和发电技术筛选曲线（或是基于这些简单工具的更为复杂的演化方法）。年持续负荷曲线是对一定周期（通常为一年）内电力需求的顺序排名，第1小时为最高峰时需求，第8760小时为最低谷时需求。

图2显示根据每月高峰需求和每日典型负荷曲线估算的广西省年持续负荷曲线。通过减去每小时中的核电、风电和水电，并重新按最大到最小顺序对需求排序，可将该持续负荷曲线转变为“净火电”年持续负荷曲线。净火电年持续负荷曲线显示为满足需求的每小时火力发电量。广西省主要使用煤和水力发电，并且在夏季季风季节常使用水电作为基荷。下图3将广西省估算的净火电年持续负荷曲线与原始年持续负荷曲线一并作了展示。

图2:

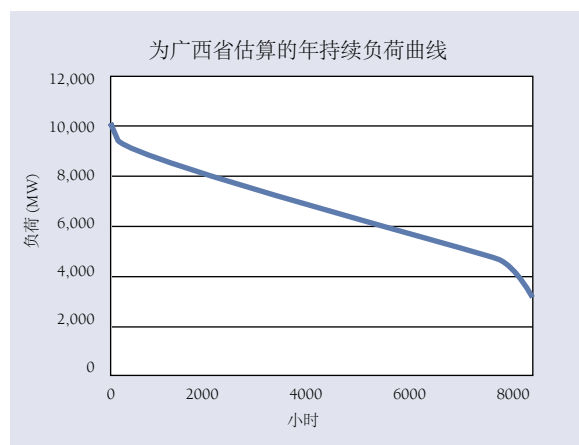
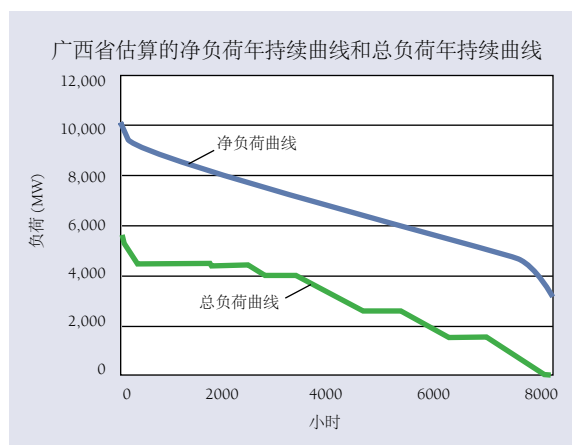


图3:



1.9.1.1 筛选曲线

发电技术筛选曲线显示各发电技术在特定运营时数下的总运行（固定和可变）成

本。通过评估各项技术实现经济性的运营时数范围，筛选曲线可被用于指导新发电设施的投资决策。图4的筛选曲线以一个详细的针对不同火电生产技术的成本模型为基础，显示中国简单循环燃气轮机（CT）和超临界燃煤（SPC）机组的总运营成本¹⁶。在图4中，y截距代表各项技术的总固定成本；每条曲线的斜率代表技术的可变成本；线上的每个点代表与x轴上相应运行小时数相对应的该技术的年度总运行成本（单位：元/千瓦/年）。

发电技术筛选曲线能表明哪些技术在特定的运行小时数内具备成本效益。图上的交叉点表明在某特定运行小时数时一项技术比另一技术更经济。在图4中，很难看清交叉点；图5只给出了前1000小时的情形，使交叉点更容易辨别。根据筛选曲线中使用的固定和可变成本，如果简单循环燃气轮机在一年内的运行小时数小于约300小时，它将比超临界燃煤机组更具备成本效益。

图4:

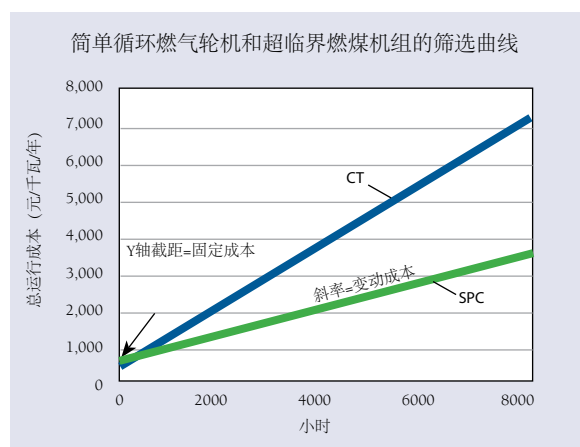
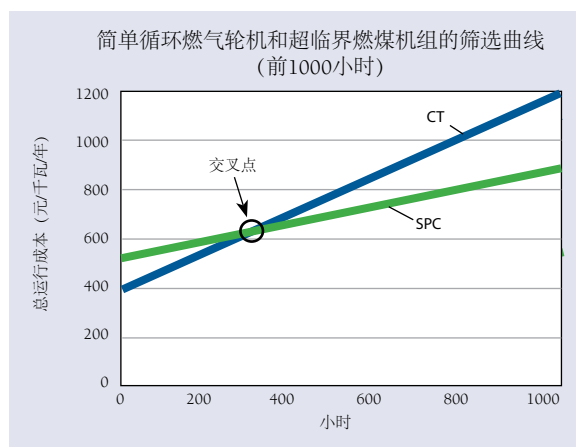


图5:



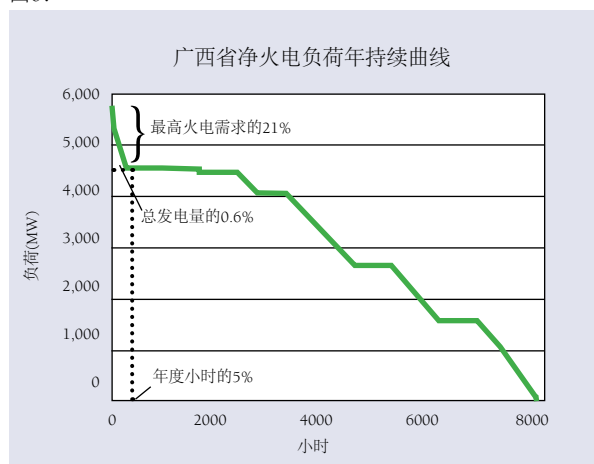
1.9.1.2 把年持续负荷曲线和发电技术筛选曲线相互结合

在几乎所有电力系统中，均需要配置大量的发电容量，仅用来满足较短时间的峰时需求。广西省估算的净火电年持续负荷曲线表明，有20%以上的火力发电容量仅为满足全年5%小时的峰值需求（见图6）。然而，为满足这部分需求而装配的发电容量所产生的电量仅占总发电量的1%以下。对于这些高峰时段而言，使用固定成本低的技术（如简单循

16. 获取模型及其主要成本假设的在线资料，请点击http://ethree.com/public_projects/generation_cost_model_for_china.php。

环或联合循环燃气轮机) 将最具成本效益, 因为它们的建设成本不高, 而使用率也很低。

图6:



综合来看, 通过对哪些技术在哪些小时内是最具成本效益的“筛选”, 净年持续负荷曲线和发电技术筛选曲线可作为有用的发电投资规划工具。结合广西省的净年持续负荷曲线和技术筛选曲线, 我们发现, 建设简单循环燃气轮机以满足广西省约10%的总高峰时段需求, 即使这些机组仅在非常有限的小时内运行, 仍然具有成本效益。事实上, 只要燃气电厂的固定成本低于燃煤电厂的固定成本, 一定量的天然气发电将始终具有经济效益。

使用天然气发电机组提供峰时电量能降低电力服务的系统成本, 因为即使总可变成本增加, 由于总固定成本的下降, 仍可使系统总成本有所下降。在广西省, 根据现有电力成本, 使用简单循环燃气轮机替代超临界燃煤机组作为调峰资源, 将使电力系统的固定成本下降5%左右, 可变成本增加1%左右, 从而使总成本下降1%左右。

约1%的总成本下降相对较小, 这是由于中国简单循环燃气轮机和超临界燃煤机组的固定成本差异显著低于大多数其他国家——部分原因在于在中国燃气机组需要进口, 而燃煤机组基本是国产的。在美国, 燃气和燃煤机组的固定成本比例在1: 2至1: 3之间, 而在中国, 这一比例在1.0: 1.1至1.0: 1.3之间。

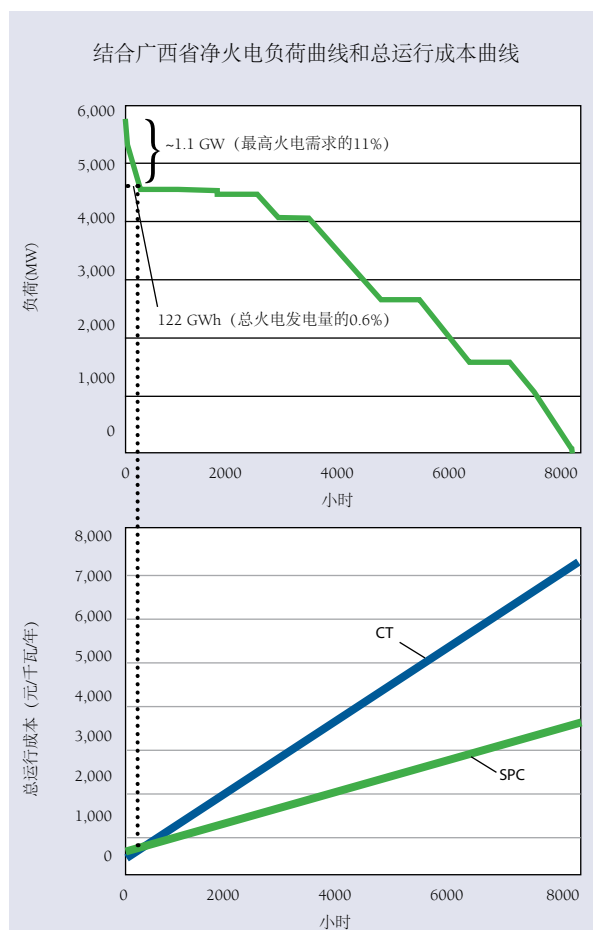
使用天然气而非煤满足峰时需求, 还将大幅增加燃煤机组的利用率, 因为不再需要建设燃煤机组来满足夏季用电高峰期少数小时内的电力需求。在广西省, 如果改由天然

气而非煤来提供峰时电量，燃煤机组的年运行时数（满负荷当量）将从平均4600增加到5700小时，约增长20%。

增加燃煤机组的利用率，还能降低这些机组低负荷运行的小时数，提高能效。此处能效的提升将降低燃料成本；而燃料成本的降低，将在上文提到的总成本降低1%的基础上进一步降低总成本。

因为运营时数少，峰时发电时的燃气需求相对较低。在广西省，使用燃气满足约1%的总发电量需求，需要3500万立方米燃气，相当于广西省2010年天然气消耗总量的20%左右（广西每年的天然气消耗量非常少）。

图7:



在国家层面上，如果燃气发电厂占总发电容量的10%，所需的容量规模将在800亿瓦

的量级上，并需要对燃气发电容量进行约2000—2500亿元（约合300—400亿美元）的投资。使用天然气满足1%的总发电量，需要100亿立方米量级的天然气，与中国天然气消耗总量（2010年约为1100亿立方米）相比，这一数字相对较小。

1.9.2 结论

本分析指出，完善的规划方法可以表明使用天然气满足中国高峰时段电力需求有着重要的意义，包括降低系统成本、提高燃煤机组利用率和降低燃煤机组的耗热率。特别是在高煤价时，使用更多的燃气发电将具有更大的成本效益。

确定发展天然气的规模将是一个难题。应在平衡区内匹配当地负荷和地区发电资源，开展规划。为了确保规划过程能使电力生产的成本最小化，规划应同时把能效、需求响应和新输电设施视为满足短期和长期峰时需求的方案。规划研究表明，为了实现燃气机组的最优化使用，需要确保电力调度在高负荷或系统需要灵活性时使用燃气机组。在中国，使用一定数量的燃气机组提供电力不需要额外补贴，但是需要对发电规划、调度和定价进行创新。其他章节将涉及这方面的内容。

第二章：资源获取

2.1 简介和概述

第一章中，我们对中国的电力规划提出建议，并介绍了一个确定电力最优资源组合（包括供应侧、需求侧和输电）的综合过程。在本章，我们将着重讨论获得预期资源以及增加电力行业竞争性的机制。

中国的许多分析师和政策制定者都在呼吁尽快转变到更具竞争性的电力系统。但是，电力行业的竞争模式多种多样。鉴于中国的法律体系和管理能力，一些模式的实施较为困难，带来的风险也更大。本章旨在提出一些相对低风险高效益的方法，以试图解决当前电力行业存在的主要挑战，实现政府目标。美国和欧洲部分地区实行的完全自由化模式当前在中国并不十分适用，这些地区仍在进行着重要的改革试图解决市场化带来的问题。中国应该密切关注这些地区电力行业的发展并从中汲取经验总结教训，以稳步增强本国电力行业的竞争性。

另外，我们建议中国在获取不同类型的资源时采用不同的方法。本章将着重讨论如何获得新建火电厂和燃气电厂资源，对此，我们建议采用长期合同竞拍的方式，以达到以下目的：

- 调动投资，以获取规划过程（如第一章所述）中确定的发电资源，由此确保更优化、更综合的发电和输电规划的落实。
- 通过构建一个成熟、透明和可预测的竞争环境，吸引新的参与者。
- 通过引入行业内竞争，降低投资和运营成本。
- 用市场化机制取代行政手段，以反映合理的固定和可变发电价格。
- 使电网公司的采购决策在清晰和透明的政府监管下进行，从而在一定程度上限制电网公司的自由权限。
- 为未来建立包括竞标现货市场在内的其他形式的竞争性市场奠定基础。

20世纪90年代，中国在拍卖长期合同获取传统发电资源方面积累了有限的经验，最近，对于可再生能源也采用过相似的方法。但是，这些项目的设计存在明显缺陷。我们在此介绍一些优秀的国际实例，并为中国提出建议。

本章的最后部分将重点介绍其他重要电力资源，尤其是可再生能源和需求侧资源（即终端能效）的获取。目前，上网电价补贴机制为新建可再生能源提供着强有力的支持，我们认为现在没有任何理由舍弃这种做法。

2.2 新建传统发电厂的合同竞拍——国际经验

我们所建议的合同竞拍机制在许多国家已经得到了使用，其基本理念在于，当按照电力规划方案需要增加新的发电设施时，发电商需要通过竞争来获得建造和运营这些新设施的长期合同。规划过程由公共事业公司（电网公司）和政府共同参与（更多规划细节，请见第一章）。合同条款会对电价和运行条件作规定。虽然存在多种可能的变化形式，但这类机制通常具有如下特征：

- **政府监管。**政府主管部门组织、或至少严密监督竞拍的进行。在投标开始前，政府会发布信息，详述以下内容：
 - ◎ 投标过程和规定；
 - ◎ 投标人资质（技术和财务方面）；
 - ◎ 正寻求的发电资源的特性（如灵活性）；
 - ◎ 主要合同条款（如终止和收购条款，付款机制）；以及
 - ◎ 评标方法（见信息箱2）。
- **指定签约实体。**政府指定的签约实体将承担支付合同款项的责任。这里的签约实体可以是配电公司、电网公司或政府特别为支持资源获取而成立的新实体。换言之，签约实体既可以是也可以不是政府组织。但是，尤其当签约实体是一家公司时，该公司不得对投标过程遵循的规定产生不正当的影响。这些规定需要十分谨慎的政府监管和批准。

- **对投标人进行资格预审。**根据潜在投标人所具备的技术和财务水平，对其进行资格预审，以确保中标人拥有充分的资源和能力来完成项目。尤其要指出的是，投标人需要缴纳保证金。如果中标人未能遵守预先制定的工程时间表（如开工日期），保证金将被没收。对于未能满足技术和财务标准的投标人，评标过程对其将不予考虑。
- **运营义务。**合同明确规定中标人必须遵守的履约要求（和相关违约处罚），包括：
 - ◎ 遵守电力系统操作人员指示的义务；
 - ◎ 遵守在电厂最大发电容量范围内进行调度的义务；
 - ◎ 遵守环境绩效要求的义务¹⁷。
- **高效的电价结构。**两部制（容量/电量）电价结构，有助于支持高效的电力调度和优化的资源结构（了解更多关于两部制电价和调度改革的内容，请见第三章）。其他与电价相关的合同条款可以：
 - ◎ 使发电容量电价与发电设备可利用率（系统有需要的时段）相互联系；以及
 - ◎ 使能源价格与燃料成本相互联系。

17.此外，合同明确规定，如果调度员要求发电企业提供调峰或旋转备用，发电企业将获得“补偿”和/或“机会成本”。

信息箱 2

评标

评标过程是有效竞标机制的关键所在。鉴于电厂特性十分复杂，而且各投标之间常常难以相互比较，很难建立一套透明、公正的评标体系。假如所有投标人都只是销售同样的产品，那么评标就会十分容易。但是，与简单地选择最低价格相比，确定哪个电厂的投标获胜会困难很多。

下面举一个简单的例子：两个投标人为建设不同的600兆瓦火电厂竞标。根据投标规定，投标人必须就两部制电价（容量和电量）进行投标。投标人甲的投标价格为950元/千瓦和20分/千瓦时，投标人乙的投标价格为1000元/千瓦和21分/千瓦时。

如果仅依据这一信息进行评标，投标人甲提交的资本和运营价格投标均较低，显然应该是中标人。

但是，其他电厂特性也应被加以考虑。假设与电厂甲相比，电厂乙的事故停机率更低、最小负荷更低、启动时间更快、爬坡更快。这些都是重要的特性，但是乙的这些优势足以让我们确定乙应该中标吗？

在理想情况下，可以使用与最初制定规划方案时相同的规划和操作工具来得出答案。分别用电厂甲和电厂乙对电力系统建模，结果会表明哪个电厂产生的总成本最低。

对于中国而言，近期更为实用的解决方案可能是使用模型，估算出一些重要电厂特性的价格溢价，从而使电厂乙在特性上的优势能够直接与电厂甲在价格上的优势进行比较，判断哪一方获胜。

2011年，世界银行发布了一份针对这一领域国际经验的综述报告，着重关注了负荷增长较快的发展中国家（也包括部分发达国家）¹⁸。该报告涉及的发展中国家包括巴西、秘鲁、智利、哥伦比亚、墨西哥、越南、泰国和菲律宾。

从整体来看，世界银行的报告认为，合同竞拍机制能成功地鼓励新投资。此外，竞拍还促进了竞争，降低了成本。

纵览各国采用的合同竞拍机制，会发现其开展形式十分多样（但不一定相互排斥），包括：

¹⁸.Maurer和Barroso，2011年。

- 对由于电厂运行特性而不同的资源（如基荷电厂、具有灵活性的调峰电厂和可再生能源电厂），开展单独的竞拍。
- 不同类型的资源（传统能源、可再生能源以及能效资源）可以为同一类型的合同互相竞争。
- 针对不同类型的发电技术开展单独的竞拍（如只针对可再生能源技术的竞拍）。
- 为获取新电厂和现有电厂采取单独的竞拍。
- 针对具体项目的竞拍（如某一特定地点的项目）。
- 集中竞拍（如政府组织集中竞拍，然后根据各配电公司的预期负荷增长，向不同配电公司分配合同，配电公司按照合同支付发电商）。
- 分散竞拍（如各地区配电公司自行组织竞拍，以满足其预期负荷增长）。

世界银行的报告总结了下述普遍经验，包括：

- 应该为竞拍制定综合、明晰和公开的规定，并严格实施，以推进公平竞争。另外，应事先制定对违规情况的处罚规定。
- 法规的稳定性至关重要。虽然需要根据客观情况对竞拍过程遵守的规定进行不断调整，但是保持规定的连续性对于促进机制的公开透明是非常重要的。
- 政府不一定需要（通常情况下，政府不需要）签署或担保合同。在许多案例中，竞拍由政府监管，而区域配电公司对产生的合同承担财务责任。

在以下的章节中，我们总结了几个国际案例。附件中将介绍更多细节信息。

2.2.1 印度

印度在竞争性采购方面的做法对中国应该并不陌生：中国电厂建造商曾参与多个当地项目的投标，并成功中标。

20世纪90年代，印度进行了改革，开始允许民间和海外投资商以独立发电企业

(IPP) 的形式对印度电力行业投资¹⁹。各独立发电企业与相关邦政府进行沟通，达成非标准性合同（即“谅解备忘录”）。然而，这一“独立发电企业”模式的过程普遍组织混乱且透明度低，导致行业竞争不够充分，对成本的限制也较低，因此引起了极大的争议。在这一模式下的许多项目进度往往远落后于预定计划，甚至从未完成。

根据从20世纪90年代项目中吸取的经验，印度政府成立了独立的邦电力监管委员会，并于2003年出台了新的《电力法》（The Electricity Act of 2003）。新法律改变了之前的电力政策，将重心转向支持在中央政府制定的标准化规定约束下进行透明的合同竞拍。这个新方法非常成功，截至2010年，通过竞争性招标完成了装机容量超过42GW的合同。

竞标过程以电力部（Ministry of Power）制定的适用于所有竞拍的《标准竞标文件》（Standard Bidding Documents）为依据。竞标文件包括《资格申请书》（Request for Qualification）、《招标书》（Request for Proposal）和《购电协议》（Power Purchase Agreement）范本。此外，电力部的规定还明确了竞标过程的细节、竞标形式和评标标准。区域配电公司在取得了相关邦政府监管委员会（或如果是跨邦项目，则为中央监管委员会）的批准后开展竞拍。

2.2.2 巴西

巴西现行的竞拍合同机制较印度更为复杂²⁰。在过去的15年中，巴西的电力行业经历了数轮改革。最初，巴西的电力企业是由政府经营的国有企业，效率相当低下。此后，发展形成了部分竞争性环境，私营企业和国有企业共存，同时也有一个相对独立的监管部门。目前的电力行业模式从2005年起开始形成，结合了规划和竞争（以竞拍的形式），从而确保了资源供应的充足性，并创造了一个相对可预测的环境，以吸引新的投资者。

巴西在实施竞拍机制的第一个五年中，共进行了31次拍卖，签约约57GW新装机容量，其中包括火电、水电和其他可再生能源。

巴西的电力行业改革涉及一系列机构的形成，包括负责确定资源需求的机构以及负责开展和监管竞标过程的机构等。

19. 本节对印度案例的讨论以Gadag等，2011年文献为依据。

20. 本节内容以Maurer和Barrosso，2011年；Moreno等，2010年文献为依据。

- 巴西国家电力局（ANEEL）是独立的联邦电力监管机构。
- 巴西国家电力调度中心（ONS）是独立的输电和系统运营商，根据集中现货市场的最低成本实施系统调度²¹。
- 巴西电力市场运行和管理机构（CCEE）是电量批发市场运营商，负责制定现货价格、合同结算，近期还负责开展竞拍。
- 巴西联邦能源开发公司（EPE）是开展电力规划的实体。

长期电力合同是巴西电力行业结构的核心。合同的竞争在一个集中化、标准化和透明化的环境下进行，对于一个年均增长5%的电力系统来说，这一机制是促进系统低成本扩张的关键。竞拍时设定的价格会最终转嫁到终端用户。

2.2.3 美国

对新建电厂长期合同的竞争性招投标在美国的许多地区也得到了使用。在美国许多州，类似于中国电网公司性质的公共事业公司需要通过竞争性竞拍来获得新的发电资源，这些州包括亚利桑那州、加利福尼亚州、科罗拉多州、佛罗里达州、路易斯安那州、蒙大拿州、俄克拉荷马州、俄勒冈州、犹他州和华盛顿州。虽然各州具体情况有所不同，但是基本上遵循以下模式：

- 通过资源规划过程确定所需资源。
- 要求政府在投标之前对电网公司准备的《招标书》、合同格式、评标程序实施监管。
- 允许公众对这些文件进行监督，并发表意见。
- 在主要投标开始前审查投标人的财务和技术资质。
- 要求根据预先制定的评标标准对各投标进行评估。
- 中标人在正式宣布之前需获得政府的审阅和批准。

21. 现货市场以成本而非投标为依据。各火电厂的调度以各厂申报和审计的边际运行成本为依据。长期合同是金融合同，不能决定调度。

Tierney和Schatzki在其2008年发表的文章中介绍了以上各州的经验，并探讨了各州政府如何下大力度设计保护措施，以确保电网公司在公正和竞争性的环境中开展竞拍。通常的保护措施包括由政府官员实施监督，同时设置独立的监管人（除政府官员外），以及着重强调透明性，从而使非政府组织和公众能够对竞拍进行监督。各州在确保有效竞争方面均取得了较大的成功。作者还指出，当非价格因素成为中标人决选的主要考虑因素时，保护措施尤为重要。各州通常会利用独立监管人来保障涉及多项或复杂的非价格因素的合同的公平性竞拍。

2.3 中国在发电合同中的经验

20世纪90年代，中国在传统发电资源签约方面积累了有限的经验。在电力资源短缺的时期，政府设立了一个电力合同项目，并成功实现了迅速吸引外商投资的目标。但是，该项目的设计存在主要缺陷。合同以个例为基础进行商谈，而且过程既不透明又缺乏竞争；通常价格过高，且发电商能在较短的投资回收期内获得高额回报。此外，当电力短缺变成电力过剩时，诸多关于合同条款的争议也相继产生，其中包括对约定运行小时数是否得到保证的争论。

通过强调下述要点，我们的建议能够解决以上问题：

- 透明性和竞争性；以及
- 两部制电价和高效的调度，从而使合同条款明确地不保证电厂的运行小时数。

此外，中国近期在可再生能源合同竞拍方面也有涉足，但结果较为复杂。其中最严重的问题在于当前中国的合同竞拍机制缺乏相关的保护措施，不能确保投标人具备遵循约定价格和交付条款的技术和财务能力；另外，也存在运营保障不充分的问题²²。通常，投标人会“出价过低”，导致中标后无法成功交付项目。另一种情况是，投标和激励措施设计会对产能并非最优化的装机容量予以奖励。例如，在2010年有四个投标分别针对两个

22. 这些问题并非中国特有。Wiser等（2006年）指出，对于大规模发电项目的招标，预期合同失败率会在20-30%之间。

海上风电项目和两个潮间带风电项目。但主要由于相关政府部门之间的争议，这些项目均未实施。至今原先预定的第二轮海上风电特许招标仍未启动²³。

2.3.1 中国为获取新建传统电厂拍卖合同的新机制——给中国的建议

我们建议，中国应借鉴上文讨论的国际案例，并结合本国国情，建立一个全新的针对新建传统电厂的竞拍机制。该机制与中国此前在发电合同竞拍上的经验有很大不同，我们也相信，该机制有潜力取得更大的成功。我们建议，新机制的设计应强调以下几点：

1. 中央政府监管，透明性和竞争性（可根据上文讨论的最佳国际案例进行改进）；以及
2. 两部制电价和高效调度，从而不再保证电厂的运行小时数。

两部制电价对支持高经济效益、低环境损害的调度而言至关重要。中国现行的调度方法（基于确保各电厂的目标运行小时数）效率非常低下。多项分析表明，改善中国的电力调度效率能降低运营成本并减少排放²⁴。

中国电力调度改革的最大障碍在于批发定价的设置。如果不进行定价改革，实行经济调度或能效调度虽然对整个社会来说有益，但是这将极大地影响各发电企业的财务状况。

简言之，两部制电价由以每段时间（如月、年）元/千瓦为单位的容量电价和以元/千瓦时的电量电价两部分组成。容量电价是针对一段时间内可用容量而支付的电价。容量电价的设置旨在涵盖发电商的非运营成本，保证其发电资源在系统需要时可用。电量电价的设置旨在支付发电商运营成本——主要为燃料成本及不同模式的运行和维护成本。这种设计可以使发电商有强烈的动机将其发电设备维持在可运行的状态，并在需要时立即开始运行，但并不会从实际运行中获得利润增量。由此，系统可实现最高效的运行，即电力调度以发电商的能源成本为依据，而不给发电商造成财务影响或为过剩的产出提供激励倒措（见第三章“发电企业的运行”，了解更多关于电力调度和批发定价的详细信息。）。

23.Liu, 2012年。

24.Mercados Energy Markets International, 2009年；Kahrl等, 2013年。

2.4 关于中国获取可再生能源的建议

相较更正原有的可再生能源项目投标方法（见上文），中国更多的是将注意力转向发展上网电价补贴机制，以保证可再生能源的获取。鉴于政府对简化流程、降低交易成本和加速可再生能源投资的意愿，这一做法合乎情理。为此，我们建议中国应维持可再生能源的上网电价补贴机制，并对其进行不断完善（更多讨论，请见第五章），而非在近期转向实施竞争性的合同竞拍机制。

目前中国的风电上网电价政策将全国分为四类风能资源区，相应制定风电标杆上网电价，风能资源最丰富的地区上网电价最低。对此，我们建议政府对风能和太阳能的上网电价制度均作出改进，以推动风能和太阳能发展的地域多样性。当前中国“三北地区”（西北、华北和东北地区）的风电装机容量约占全国总容量的90%。而三北地区的电力负荷相对较低，冬季供热（热电联产）需求较大。这两个因素已导致了平均20%左右的弃风，若没有相关政策上的变化，弃风问题可能会愈加严重²⁵。中国的西北地区拥有全国最好的太阳能资源，这也引发了人们对太阳能电厂将出现类似的集中分布情况的担忧。

在各地广泛开发风能和太阳能项目将有助于更好的并网和管理，降低输电成本。至少对风能而言，目前正在往这一方向努力，因为我们看到，在风能资源较少的中国西南部和中部也在持续开发风电²⁶。对上网电价补贴机制进行进一步的修改和完善，从而为在高负荷地区和对新建输电设施需求较低的地区建设新电厂提供更大的激励，将进一步促进风电事业的发展。对于太阳能而言，制定强有力的分布式光电政策也能促进光伏发电邻近负荷中心分布。

此外，我们建议政府定期对上网电价补贴水平进行调整，以反映技术成本的下降。自2009年以来，虽然风电成本下降了不少，但是中国风电的上网电价水平却一直保持不变。若不将成本下降加以考虑，可能会导致发电企业用纳税人的钱享受意外之财。或者，也有可能因为某些理由，在未来需要调高上网电价。因此我们建议至少每两年对上网电价

25.Xie, 2013年。

26.全球风能协会，2013年。

进行调整，使价格变化具有预期性，而非回溯性。正如在一些国家看到的那样，逆向改变上网电价会导致市场动荡。

2.5 关于中国获取能效资源的建议

在我们对改善电力规划提出的建议中，十分重要的一点在于作规划分析时需要同时考虑需求侧和供应侧方案。这样一来，通过对包括减排效益在内的一系列效益或成本加以衡量，最优资源结构（包括最优终端能效的投资水平）得以确定。分析表明，与供应侧资源（如新的传统电厂）相比，能效通常是一种成本相对较低的资源。一旦确定了最佳能源结构，便可以通过与获取传统电厂类似的方法获取终端能效。事实上，中国已经在“能效电厂”方面进行了一些实践。这里，能效电厂是指把各种节能措施、节能项目打包，通过实施一揽子节电计划，形成规模化可预测的节电能力，减少电力用户的电力消耗需求，从而达到与扩建传统发电机组类似的目的。

我们认为，制定强制性终端能效目标（在综合规划过程中确定）是一个不错的方法。中国已在2010年末的《电力需求侧管理办法》下制定了强制性指标，规定了电网公司应该实现的能效义务。第六章将更详细地讨论这一问题。

2.6 结论

许多国家在对新建发电资源的长期合同竞拍方面都有着丰富的经验，也取得了较大的成功。我们建议中国也使用这类方法获取新的传统发电资源。但是在设计此类机制时应该格外谨慎，以保证机制具有充分的竞争性，避免不必要的高额成本。中国有大量的国际经验可以借鉴，但有几点不论在哪个国际实例中都尤为重要，例如政府的管理和对投标过程以及对投标资格预审规定的监督。此外，对各种价格条件和非价格条件的评估也应保持一致性。

对可再生能源等新兴能源技术而言，竞争性投标可能不是最佳方法，因为这里有可能出现经验相对不足的开发商为了中标而出价“过低”，之后却无法完成项目的情况。中国曾为陆上和海上风电项目的实施开展竞争性投标，却并没有取得完全的成功。但在实施上网电价补贴政策后，中国的可再生能源却取得了长足的发展。我们建议政府对上网电价

适时进行调整，以鼓励风能和太阳能发展的地域多元化，并在定价中反映出技术成本的变化。

正如对待其他类型的资源，中国也应该十分重视获取规划过程确定的终端能效资源。对此，我们建议为深化电网公司需求侧管理不断完善节能目标。

2.7 附件

本附件详细介绍正文中讨论的印度和巴西案例。

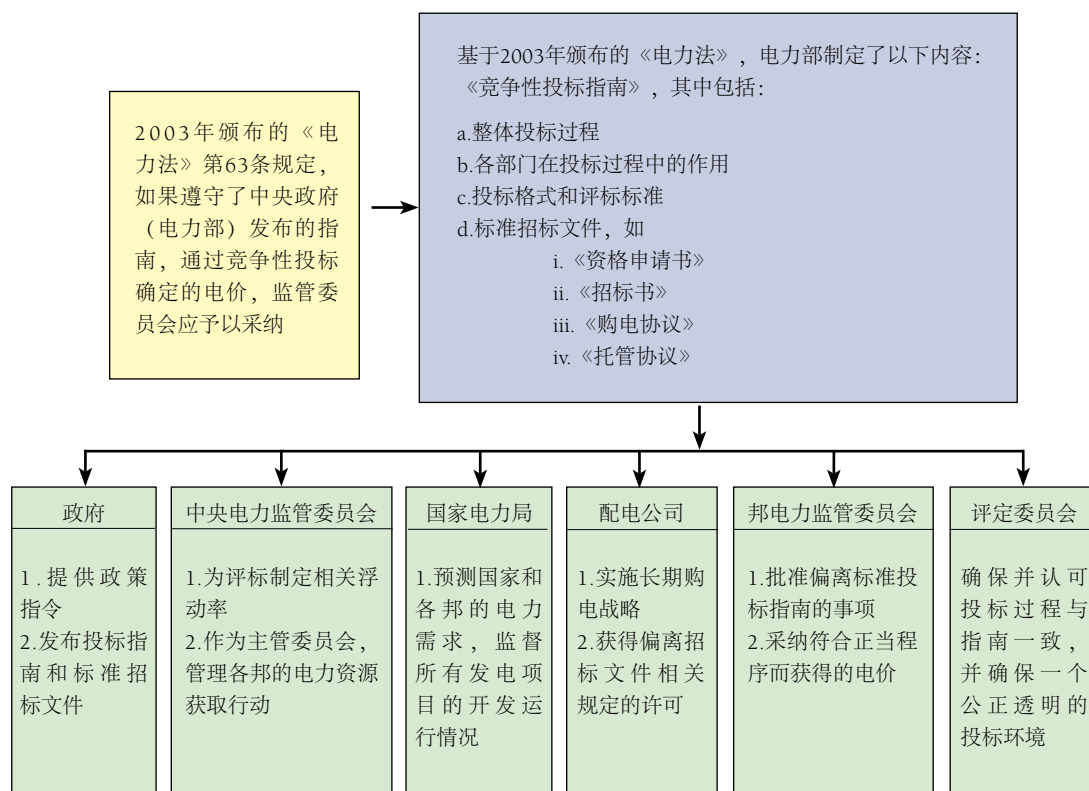
2.7.1 印度

印度开展两种类型的竞拍：

1. 不明确界定位置、技术和燃料。
2. 明确界定位置、燃料和技术。例如，大型水力发电厂的合同通常以这种方式进行竞拍²⁷。

合同也有不同的期限：中期（1-7年）和长期（7年以上）合同。图8提供了更详细的信息。

27.我们对印度案例的介绍以Gadag等（2011年）为依据。

图8 各组织在投标过程中发挥的作用²⁸

电力部发布的指南对投标的具体过程、投标格式和评标标准做出规定。配电公司在相关邦监管委员会（或如果为跨邦项目，则为中央监管委员会）的批准下组织竞拍，其参考依据为自己所作的需求预测（经相关邦监管委员会批准）或国家电力局的需求预测（如果拟定的竞拍容量与预测相符，则不需要额外的批准）。

各配电公司内的监管委员会在保证投标过程的透明性和规范性方面发挥着重要的作用。但是，最终仍得由邦监管部门确保投标指南被严格地遵守。如果投标方少于两个，邦监管部门必须对投标进行审查，并对投标结果予以批准。

长期合同（不包括中期合同）需实行两部制电价；所有定价以印度卢比为准。

简言之，一般的投标过程如下：

28. Gadag 等，2011年。

- 配电公司向邦电力监管委员会发出资源获取意向。邦电力监管委员会进行评估和批准。
- 配电公司完成环境（和其他）清理工作（特别是当投标项目有特定的选址时）。
- 配电公司发布《资格申请书》，其中明确投标人必要的资质：资本净值、经验等。《资格申请书》还介绍项目具体信息，并提供《购电协议》范本。
- 公布符合条件的投标人。
- 配电公司发布《招标书》，明确价格结构和电力供应日期。
- 配电公司成立评标委员会对各投标的技术资格进行评估。
- 配电公司评标委员会根据比较各投标的平准化价格，确定中标价格。
- 中标人提交履约保证书。
- 编制初始《购电协议》。
- 监管委员会对整个过程进行审查和批准，并发布价格采纳指令。
- 签署《购电协议》。
- 在线公布投标（中标人和部分匿名对比人）和最终版《购电协议》。

2.7.2 巴西

Maurer等介绍了巴西合同竞拍机制的“三个主要规定”：

1. 首先，必须证明能源合同能百分之百地覆盖所有负荷（配电公司管辖内的“受制”消费者和“自由”的大用户）。巴西电力市场运行和管理机构每月对能源负荷覆盖情况进行核证，确保过去12个月消耗的总电量不超过同期签发的总电量。任何电力缺口将按获取额外能源的成本价格进行处罚。
2. 所有合同均为金融工具，应受“确定的能源证书”（firmenergy certificates, FEC）的约束。确定的能源证书以千兆瓦时/年为单位，由能源部（the Ministry of Energy）发放。FEC的计算方法非常复杂，基本反映的是各发电机组并网后可持续

的电量产出。一个电厂的FEC证书量代表其可通过合同途径销售的最大电量，确保了支撑合同的发电商的可靠性。因此，它是判断电厂可行性的重要参数。该规定的验证通过比较基于合同的电量销售和卖方持有的FEC证书量进行，如果发现任何能源缺口将按反映额外新能源成本的价格作出处罚。

3. 为了促进最高效的“受制”消费者的能源采购，配电公司的合同义务机制与长期能源合同竞拍机制同时运行，作为获取能源的主要机制。另一方面，“自由”消费者可根据其喜好采购能源（前提是这些用户的需求应该完全通过合同得到满足）。

巴西每年进行两次公开竞拍（提前3-5年签订能源合同）。配电公司预测需求；政府开展规划研究，并提供容量增加方案列表；潜在投资者可以为列表建议额外的潜在项目；环境许可过程可以剔除列表中的某些项目。

政府设计并开展集中竞拍，但并不签订合同或提供合同保障；相反，（根据需求预测）合同被分配至各配电公司，从而使配电公司成为了合同的“承包方/采购方”。与印度的案例类似，潜在投资者在竞拍开始前必须满足包括财务资质在内的资格要求。

根据各配电公司的预测负荷，中标的发电投资商与各配电公司签署双边合同。

此外，涉及特定项目和技术（例如可再生能源）的竞拍也会不定期举行。

现有电厂也必须参加竞拍，但此种竞拍独立于为新电厂举行的竞拍。现有电厂的合同期（从少于1年至8年不等）较新电厂的合同期（火电厂15年，水电厂30年）短。

最常见的合同以容量和电量两部分价格来定价。承包方每月为每兆瓦的容量支付固定费用，不论电厂是否处于运营状态（只要电厂可以运营）；当电厂处于运营状态时，承包商为每兆瓦小时的电量支付额外费用，以反映可变成本。

第三章：电力调度

3.1 简介和概述

如何进行电力调度会对电力成本、电网可靠性、可再生能源的并网以及电厂排放产生重要的影响。在大多数发达国家，电力调度旨在满足系统稳定性的前提下，实现包括环境成本在内的可变运营成本的最小化。但是在中国，电力调度更多是为了支持燃煤电厂获得投资回报，而非优化运营。根据可变成本和环境指标来优化调度，将帮助中国减少发电投资、燃料和维护成本；改善可再生能源并网；降低排放；并提升电力系统的可靠性。

在中国，电力调度仍未成为电力改革讨论中一个关注的重点。然而，它的地位理应受到重视，因为电力调度不仅是电力行业成本和环境绩效的关键决定因素，而且还影响一系列投资决策——它能帮助发电企业了解哪些发电技术和发电燃料最经济；帮助电网公司确定新输电线路何时具有成本效益；还能指导能效和需求响应的投资决策。此外，经济高效的电力调度对于竞争性批发市场的建立至关重要。因此，调度改革是中国向一个更具竞争性的电力行业过渡的必要步骤。

中国电力调度改革的一个关键步骤在于改变目前发电企业获得补偿的方式，从而打破调度和投资成本回收间的现有关系。因此，本章讨论的重点不仅包括电力调度的改革，还包括补偿制度的改革。就此我们提出两条基本建议：

- **重新建立发电侧定价和补偿方法：**建立两部制（容量/电量）电价体系，以更合理地补偿发电企业。其中，容量电价（单位：元/千瓦/年）与发电设施的可利用性相关联，而电量电价（单位：元/千瓦时）则与发电设施的实际产出相关联。另外，可以首先针对新建发电机组逐步实施上述改革。
- **优化调度：**在满足系统安全性和环境限制的前提下，优化调度方法，以最低

的可变成本满足负荷要求。

本章首先简要介绍中国现有的调度方式，之后概述此领域的国际实践及其与中国的相关性，最后详细论述我们的两条建议。

3.2 中国现行的调度方法

中国的电力调度未曾使用世界大多数国家采用的标准化最低成本模式。中国的调度员对煤电进行调度，是为了让所有煤电机组保持大致相同的利用率（即容量系数），并允许发电商有同等的机会回收投资成本（如资本），获得合理回报。按照这种方法，调度更多是为了支持资本回收，而非最小化成本。

这种基于“均衡容量系数”的调度方法源于对发电企业的补偿方式。早在20世纪80年代中期，中国开始经历严重的电力短缺，为此中央政府放宽了投资限制，使地方政府、国内私营企业和外商投资者均能对新发电容量进行投资。各企业的上网电价根据自身情况分别确定，以补偿其可变成本、投资和其他固定成本（“固定”是因为它们与电量产出无关），使其能享受合理的投资回报。此处的电价是按每千瓦时（kWh）设置的，即用来支付发电企业每生产一度电的价格。

为了把发电企业的固定成本转变为度电价格，需要对发电设施的容量系数进行假设²⁹。行业内的所有燃煤机组采用同一容量系数假设值计算电价。若实际容量系数过低，则煤电企业将无法回收其全部固定成本；若实际容量系数过高，则煤电企业将过量回收固定成本。实际调度过程中，调度员会努力使所有发电机组的年实际容量系数尽可能接近制定其电价时使用的容量系数。也就是说，小型低效的发电机组将与大型高效的发电机组运行频率相当。正是在制定电价时需要固定容量系数，对容量系数较低且不确定性较大的发电机组（如满足峰时需求、使用频率较低的燃气电厂）的投资往往会低于经济可行的水平。

29.例如，某燃煤机组的可变成本为0.3元/kWh，年固定成本为500元/kW/年，若假设其容量系数为60%，则该机组的电价为0.4元/kWh（= 0.3 元/kWh + 500 元/kW/年 ÷ [60%×8,760 小时] = ~0.4 元/kWh）。

虽然自20世纪80年代以来中国对电价机制进行过数次小幅调整，但是上述的调度和定价方法基本保持不变。2007年，政府部门开始试点新的调度方法，即“能效调度”，在考虑各能源资源的基础上制定一个调度的先后顺序。根据该政策，按顺序优先调度可再生资源、水电、核电、热电联产、清洁煤和天然气发电（以此顺序为准）。对于煤电而言，调度会依据各煤电机组的热效率进行安排，高效机组优先调度。

“能效调度”首先在中国五个省份展开试点。事实证明，这一政策的实施存在难度，因此也未扩展到其他省市。该政策的主要缺点在于，其实施的同时没有对发电侧定价机制进行改革，因而未能直接将调度的变化映射到发电企业或电网公司收入的变化上。鉴于推广“能效调度”政策困难重重，中国的大部分地区仍在使用“均衡容量系数”（在中国也被称为平均调度或者发电配额制度）的方法进行调度。

3.3 国际实践

在大多数国家，电力调度的优化是为了实现发电短期边际成本（主要为燃料成本）的最小化。这被称为“经济”或“优先顺序”调度，即可变成本低的机组将优先于可变成本高的机组运营（调度顺序靠前，运行时长较长）。从经济效率的角度看，因为其运营成本较低，可变成本低的机组理应获得更长的运营小时数。另一方面，一旦发电机组建成，其投资成本不应对调度决策产生影响，因为投资成本是“沉没成本”，无论发电机组运营与否，都需要支付这一部分的成本。

从国际上看，经济调度被运用于多个电力行业模式，以补偿发电企业，包括：受服务成本监管（cost of service regulation）的垂直一体化的电力公司；政府决定容量电价和市场决定电量电价的混合市场；发电企业通过单一市场结算价格回收其所有成本的电量市场。在以上一系列补偿发电企业的方法中，固定成本的回收对电力调度的顺序没有影响。由于在中国调度改革要求对相关的电力补偿机制也作出调整，我们在此简要探讨国际上应用的各种电力补偿方法及其与中国的相关性。

与中国最具相关性的电力行业结构，即发电、输电和配电服务相分离的结构，可通

过两类特征来表现（见下表）：第一，发电企业如何回收固定成本（如通过单一电价支付或相互独立的容量和电量电价支付）；第二，如何确定容量和电量电价（如行政定价、双边协商定价或在集中市场结算）。中国现行的基于行政定价的通过单一电量价格回收固定成本的方法，为中国所特有。

表一

固定成本回收和定价机制		
定价机制	固定成本回收机制	
	单一电量电价	容量电价
行政定价	中国	阿根廷、智利、哥伦比亚、秘鲁、韩国、西班牙
双边市场		加州独立系统运营商（CAISO）、西南部电力联营体（Southwest Power Pool, SPP）
集中市场	艾伯塔省（加拿大）、澳大利亚、德克萨斯州电力可靠性委员会（ERCOT）、新西兰、挪威、安大略独立电力运营商（IESO）、英国	巴西、印度、美国PJM独立系统运营商、新英格兰独立调度公司（ISO-NE）、纽约州独立系统运营商（NYISO）、中西部独立系统运营商（MISO）

单一电量电价市场需要多个可持续的高价周期，从而使发电企业能够回收其固定成本，这使得这些市场的电力价格波动极高。此外，由于难以区别正常市场行为和市场操纵，对这些市场的监管难度也有所加大，要求政府施加保护措施（如价格上限）。然而，由于价格上限的存在，单一电量电价市场在吸引所需的新发电投资方面可能面临困难。因

此，单一电量电价市场模式至少在近期不太可能适合中国。

许多发电与输电和配电相分离的地区已经转向了两部制电价体系，即容量电价和电量电价独立存在。两部制电价可以有多种设计方案，与容量电价和电量电价的确定方式、为新增电量和容量招标时间以及价格确定的时间相关。行政定价最为简单，但是灵活性最差。集中市场定价的灵活性最好，但是操作最为复杂。第二章建议的通过集中拍卖合同定期招标的方法就是一种集中的市场机制。

在绝大多数这些地区，发电企业获得的净容量电价与其机组的可用性相关（即在系统需求期间，发电机组能够响应系统运营商的指令启动运行的能力）。例如，在加州独立系统运营商（CAISO）服务的地区，如果发电企业的月事故停机率比过去三年的平均比率偏差2.5%以上，该企业将面临处罚；处罚以CAISO需为替代容量支付的价格为依据（“后备资源采购”）。新英格兰独立调度公司（ISO-NE）正在修订其远期容量市场（Forward Capacity Market, FCM）规定，通过增加绩效要求，使电厂的远期容量市场收入与其在电力短缺事件中的表现相关联³⁰。英格兰地区拟定的容量电价包括两部分：基准容量电价和额外绩效电价。能根据要求及时运营的发电企业将获得额外的绩效电价支付；无法运营的企业将受到处罚。区域输电组织PJM为市场运行保证容量，采用可靠性定价模式。管理区内的各电力实体会根据自身情况作出容量资源承诺（如在一定时间内提供一定容量的义务）。若某一实体无法提供其约定的容量，将受到处罚³¹。

通过把容量电价与发电机组在系统需求期的设备可利用率（而非发电量）相互联系，调度决策的制定就可以独立于对固定成本回收的考虑。容量电价使发电企业有强烈的动机将其发电设备维持在可运行的状态；而且，只要发电设备在需要时可运行，发电商就能回收其固定成本。这样一来，经济调度就可只根据各电厂的电量价格来确定，即依据其发电的边际（可变）成本来进行调度。这意味着，在实践中，经济调度通常遵循发电机的耗热率顺序（耗热率较低、高效的发电机组优先于耗热率较高的机组），因为燃料成本通

30. 短缺事件发生在任何独立系统运营商无法达到为确保系统可靠性所需的能源和运营储备要求的时间。

31. 按“日短缺率”（美元/MW/天）对容量短缺的实体进行评估，相当于该实体该资源结算价格的加权平均值（WARCP）+该资源结算价格的加权平均值的20%或20美元/MW/天中的较高者。

常占火力发电可变成本的最大部分。

经济调度的一个重要协同效益在于，它增强了调度决策的可预测性，从而使得对各投资方案的经济可行性分析也更为准确。例如，对于新的天然气发电机组或储能设备，我们可根据预期的调度情景，判断其大致的收入流情况。能效项目管理者也可以通过计算具体的每小时可避免的发电成本，从而帮助引导能效资金用于最具成本效益的投资方案中。

3.4 建议

3.4.1 建议1：重新建立发电侧定价和补偿机制

中国的电价改革一直颇具争议，而且中国不太可能在短时间内对批发定价机制进行全面革新。但是，近期可采取一定的政策措施对发电侧定价和补偿机制进行渐进式调整，以利于向更优化的调度方法转变。

变革应首先着眼于那些实际利用率可能偏低的新技术，包括天然气发电和储能技术。这些技术，虽然应用规模有限，但能降低中国电力供应的总成本，促进可再生能源的并网，并提高中国煤电机组的平均利用率。对于此类型的电厂，可应用两部制容量和电量电价机制，以促使发电商保持其设备在系统需要时可用的强烈动机。即使利用率很低，容量电价也将鼓励对这类技术的投资。而这类技术的电量电价可能相对较高，所以传达了仅在需要满足高峰电力需求或维持系统平衡时对其进行调度的经济信号。发电企业、电网公司和政府部门需要确定投资哪些技术以及对各技术而言最经济可行的投资额（具体用来支持决策的方法请见第一章附件A实例中的经济分析方法）。利用第二章所描述的合同拍卖方法，两部制电价机制也可扩展用于对新的煤电和水电机组的开发。

初始阶段，深化调度改革未必需要将补偿机制的调整扩展至已有电厂。但是，若不采用我们建议的补偿改革方式，则需要其他手段来解决由经济调度带来的对已有电厂的财务影响。尤其要指出的是，新的调度方式将使某些机组的收入增加，其他机组的收入减少，而且可能迫使淘汰一批效率最低的发电机组。要确定如何处理收益的过多和不足，尤

其是否支付被淘汰的发电机组的剩余资本成本（例如“滞留”成本）是一个复杂的政治问题。但在近期，无论是建立一个发电权交易体系或是利用行政手段对收入进行再分配，都将在优化现有电厂调度的同时保护其投资成本的回收。然而，在未来的某个时间，终将对煤电和水电的定价机制进行改革；随着电力系统的扩张，如果不解决滞留成本问题，经济和政治成本将不断增加。

3.4.2 建议2：优化调度

上述的补偿和定价改革将促进电力调度向基于短期边际成本且符合安全性和环境限制的最优化模式转变。其形成的调度顺序可能与完善的能效调度政策确定的调度顺序类似，但还存在一些重要的例外情况。

首先，风能、太阳能和热电联产技术依然能取得优先调度权，因为他们的边际成本较低。煤电机组的调度会依据其热效率的不同进行安排，大型、高效机组优先调度。但是，与能效调度政策不同，按照目前天然气在中国的价格，经济调度时天然气机组将被排在煤电机组之后，用于调峰和峰时发电。与现有情况相比，水力发电也可能被更多地用于调峰和峰时发电。生物质能等可变成本较高的可再生能源，可能需要政府的支持，才能在此机制下得到规律的调度。

通过对污染物和温室气体排放定价或把排放值作为限制条件（运营决策规定），都可以帮助环境因素成为调度的影响因素。因为排放控制设备将降低火电厂的净效率，从而增加其可变成本，所以在严格的经济调度规定下，配备排放控制设备的火电厂的运营时数将少于可变成本低但污染程度高的未安装排放控制设备的电厂。若能调整经济调度机制，使其对低污染发电机组的环境效益也予以考虑，则能解决低污染发电机组可变成本较高的缺点，优先调度成本最低和排放最低的发电机组。

在中国，实行经济调度的一个重要好处在于它能帮助形成一个更合理、更可预测的电力系统经济框架，从而使新的发电技术能够和煤电竞争。现行的调度方法旨在支持燃煤发电，这也导致了目前中国的煤电容量过高，远远背离于经济或环境上的最优化方案。

第四章：零售定价

4.1 简介和概述

中国在零售定价方面有很多好的实践，能够将电力部门的经济与环境目标有效衔接。其中包括针对居民用户的阶梯电价、分时电价和针对能源密集型工业用户的差别电价。然而，中国的电力定价依然面临挑战，需要继续改革、不断优化。我们特别建议在以下几个方面做出改进：

- 电力行业成本与价格等信息的透明度。
- 零售价格调整机制。
- 激励机制，以促进需求响应。

此外，我们建议慎重考虑大用户直购电政策。因为，允许大型工业用户直接与发电商协商电价可能造成预期之外的负面后果。

4.2 中国电力定价现状

中国有一系列的电力定价政策为环境和能源政策目标提供支撑。我们建议对这些政策予以保留、强化，并在全国范围推广（若仍处于区域试点的情况）。

4.2.1 阶梯电价

中国的居民零售电价分成不同级别，用电量越多的用户，所承担的电费越高。这种“阶梯电价”政策能鼓励能效并降低峰值负荷，同时保护小型用户。

4.2.2 分时电价

分时电价是一种需求响应政策，鼓励负荷从高价时段转移到低价时段。该政策适用于中国大多数工业和商业用户。在个别省市，居民用户也实行分时电价。

4.2.3 差别电价

该定价政策将八个能源密集型产业根据工业技术水平分成不同类别：鼓励类、允许类、限制类和淘汰类，不同类别电价不同。该政策的目的是逐步淘汰低能效企业，同时鼓励高能效企业的发展³²。

4.2.4 工业用户支付的电力价格高于居民用户

工业用户支付的电价普遍高于居民用户。虽然有必要进一步将不同电价类别的结构与价格水平合理化，但这一工业用电价格高于居民用电价格的做法值得保留和强化，因为这将帮助中国政府实现提高能效、淘汰低能效工业生产以及通过抑制能源密集型产业投资完成经济结构调整等目标。

4.2.5 可中断负荷/需求响应

中国为减少峰值负荷，推出了许多非常有力度的需求响应项目。这些项目中包括鼓励用户进行负荷管理的经济激励措施，也包括行政手段。我们建议扩大经济激励措施的影响范围（见下文），使其最终完全取代行政手段³³。

4.3 给中国的建议

中国目前的电力定价政策虽然有上述优点，但依然面临许多挑战。

4.3.1 透明度与成本联动定价

缺乏透明度至少表现在两个主要方面：首先，存在一些无法用定价政策解释的例外情况，例如，个别用户得到了特殊的优惠电价待遇。其次，电力企业的成本通常不对公众公开（甚至对政府也不透明），因而引起了对电力企业可能获取超额利润的担忧。对于提高透明度，我们的建议包括（1）完善针对成本、收入与利润的会计制度，并对其建立明晰、统一的运用准则；（2）在精心设计的行政审查流程中统一运用这些制度，以制定合

32.Moskovitz, 2007年。

33.在中国部分地区，可中断电价和基于电力可靠性的定价试点已经存在十年左右时间。（可中断和基于电力可靠性的定价机制是指，若用户能响应发电或输电能力的下降，自愿减少负荷，他们将获得低电价优惠作为补偿。）例如，上海在实行可中断电价制度方面已有多年经验。河北省也为负荷转移行为提供经济奖励。

理的收入水平；（3）建立信息公开共享机制。政府应能够审计电力公司的会计记录，并对未能遵照信息报送要求或政府决议的行为实施处罚。

提高电力部门成本与定价的透明度将：

- 确保电力消费者作为整体支付的电价合理，可反映提供电力服务的实际成本；
- 确保电网公司和发电企业所得收益合理；并且
- 支持充足的电力部门投资。

4.3.2 更新电力零售价格

按照中国当前的做法，电力零售价格更新频率低，因此无法在价格中充分反映电力行业的成本变化。允许电力公司将发电成本自动转嫁到零售消费者身上，是一个非常复杂的问题。一方面，若电网公司和发电企业没有能力自动将成本变化转移到消费者身上，将使这些公司有强烈的动机改善成本效益，并限制如燃料成本等变化成本的支出。换言之，这将刺激相关公司提高运转效率，更有效地利用人力和资本，投资低燃料成本的发电技术（如可再生能源），电网公司甚至会提高终端能效（尤其是对于无法获利的电力用户）。将所有电力供应成本变化转嫁给消费者的定价机制，会令发电企业和电网公司避免这些他们原本有能力管理的风险。此外，这种定价措施也可能鼓励电网公司一味追求销售额的增加，而抑制其对终端能效开发的积极性³⁴。

而另一方面，如果缺乏快速、可预测的成本回收方式，电网公司可能没有足够的积极性来承担因满足政府减排目标、增加可再生能源的使用、开发分布式发电、投资可再生能源并网和投资终端能效等所产生的成本。例如，电网公司可能缺少为零售用户提供与安装太阳能光伏发电有关服务的积极性。目前的电力定价体系使电网公司无法回收因向分布式光伏发电用户提供并网和备用服务所产生的成本。

要平衡这些相互竞争的因素非常复杂。对此一个有效的措施是建立明确的价格调整机制，使相关企业能及时回收与**执行政府特定政策有关的成本**。应该为电网公司提供更及

34. Lazar, 2011年。

时的成本回收手段，使其更有效地回收为实现具体政策规范而引起的符合条件的支出或投资。

4.3.3 为可再生能源并网的需求响应

间歇性可再生能源的并网是一项巨大的挑战。第五章对这一话题进行了综述，并讨论了与可再生能源并网相关的各个方面的问题。其中一种可行的帮助可再生能源并网的工具——需求响应——与电力零售定价有关，所以我们将在本章对其进行讨论。

在美国，不论是在由传统垂直一体化能源公共事业服务公司的地区，还是已经转成自由化电力市场的地区，都有大量与需求响应有关的经验。这些经验显示，除了满足峰值负荷需求外，需求响应还可以用于提供能源服务、供需平衡和运行备用服务，并且有助于提高风能与太阳能并网的成本效益³⁵。

中国在需求响应方面也有丰富的经验，尤其是在为满足峰值需求而采取的负荷转移措施上。但中国过于依赖行政手段来减少用户用电负荷（有序用电），效率低下。如果经过精心设计，一些激励机制可以发现成本最低的需求响应机会。如上所述，中国在可中断负荷定价机制方面正在不断积累经验。可以将该类机制进行扩展，应用于其他能源服务和帮助可再生能源并网³⁶。

鉴于在中国，工业用户负荷占终端用户负荷的很大一部分，因此可能存在巨大的需求响应的潜力。我们建议通过对资源进行正式的技术评估，来更充分地理解需求响应的潜力。

电动汽车定价与充电战略也与需求响应密切相关。中国工信部提出了到2020年中国

35. 多项研究均强调了需求响应在可再生能源并网方面所能发挥的作用，例如欧洲气候基金会，2010年；西部州长协会，2010年。

36. 未来，某些形式的零售动态定价可能对中国逐步显现相关性。该类定价可刺激各种形式的不可调度型需求响应方法（如用户自发响应），尤其是对能够做出细化用能决策的较大规模用户，或者是对较小规模用户，通过需求响应集合商来保障用户利益、管理价格波动的风险。动态定价可以帮助鼓励终端用户做出更有效的分时用电决策。另外，动态定价在管理更短期的能源成本方面尤其有效（或许是源自两部制定价法）。这类定价也可以帮助鼓励用户进行负荷管理，提高配电或输电系统的可靠性。

电动汽车达到500万辆的目标。未来需要制定与电动汽车充电相关的有效策略以降低电力行业成本，并帮助管理更多依赖间歇性可再生能源的电力系统。

4.3.4 零售用户直接与发电企业协商电价（大用户直购电）

在中国部分地区，正在进行允许大用户绕开电网公司，直接与发电企业协商电价的试点³⁷。这些试点可能出现的一个结果是，形成某种发电市场价格。换言之，这种“绕道”政策可能被用于打造一个集合“多买方多卖方”的批发市场，不同于目前行政规定的上网电价的体系。我们同意，增加发电企业之间的竞争是一个重要的目标。但我们认为，允许大型终端用户直接与发电商（尤其是与现有的发电商）协商电价，可能产生下列问题：

- 目前支付相对较高零售电力价格的工业用户，可能能够通过直接与现有发电企业协商，获得较低电价。这意味着为了收回总系统成本，居民与商业用户将面临支付更高的电力价格。
- 用户与发电企业直接交易将使得规划过程中确定的最佳资源组合难以实现（关于规划的更多内容请参阅第一章）。
- 直接交易可能会忽视对电力储备和辅助服务的需求。若合约发电企业无法提供约定电力产品，可能使关键产业无法获得必不可少的电力服务，即便只有几秒钟、几分钟或几个小时。

因此，我们建议必须十分慎重允许大用户直购电。另外，我们建议通过拍卖新燃煤和燃气发电厂的长期合约，来刺激竞争（更多内容请参阅第二章）。同时，我们认为有很大的机会通过改革调度和发电企业补偿机制，来提高发电效率（请参阅第三章）。最后，对电网公司实行更有效的监督和监管，可以提升电网公司的业绩表现。

4.4 美国的经验

37. 国务院最近要求这些试点向前推进， http://www.gov.cn/zwqk/2013-05/24/content_2410444.htm

4.4.1 需求响应

在美国，电力需求响应通常十分经济（通过电价设计或激励措施加以鼓励）。美国的需求响应服务开始于数十年前，首先是通过可中断的电价设计鼓励用户减少负荷（“不可调度的需求响应”），以此作为在系统应急时降低负荷的方式。随后，这种方式逐步演变成更直接、更常规的电力系统操作者对负荷可控的模式（“可调度的需求响应”）。在过去十年间，电力需求响应继续扩展和演化，开始具备新的功效，其中包括提供电量、容量和其他用于平衡系统供需、备用运行容量的“辅助”服务。

2010年，需求响应为美国电力系统运营商贡献的潜在资源总计约32,000MW。衡量其发展水平和贡献力的标准之一是其容量相对于系统峰时的价值。以占峰时负荷的百分比来计，这些资源满足了各个地区2%至10%的峰时需求³⁸。截至2012年12月，FREC（2012）估计，美国需求响应潜在总容量约占峰时负荷的9.2%。

美国种类繁多的需求响应服务按照基于时间和基于激励的不同分为下列类型³⁹：

表2

需求响应服务类型	
基于激励的项目	基于时间的项目
需求竞标与回购	有控制的尖峰电价
直接负荷控制	尖峰电价
应急需求响应	高峰时间折扣
可中断负荷	实时电价
负荷作为容量资源	分时电价
非旋转备用	
旋转备用	

38.Hurley, 2013年；FERC, 2011年。

39.FERC, 2012年。

4.4.2 成本回收

传统的价格监管涉及某些形式的成本监管，其中偶尔会根据对相关总成本的评估，重新调整价格。其他形式的监管可能包括“基于绩效的监管”（PBR），通过比较电网公司的绩效与绩效目标，调整价格水平或容许收入。PBR的一个特殊分类是收入上限监管，通常用于使销售增长与电网公司的财务业绩“脱钩”。脱钩机制代表了一种可以确保电网公司的收入水平与终端用户销售电量无关的价格设定（或成本回收）办法。通过将销售增长模式与收入水平相分离，公司的财务绩效将不再与销售增长挂钩。目前美国25个州均采用了不同形式的脱钩机制，使其在54家地方配气公司和25家电力公司发挥着作用⁴⁰。

PBR还可以用于刺激对某些基于监管目标（如促进电网或需求响应）的项目进行投资。通过独立收费、绩效激励，或者通过一种明确的成本跟踪机制，对符合政府政策目标的成本进行追踪，及时回收某些类别的成本。通过会计处理方法也可以提高成本回收的把握，例如使用会计处理方法鉴别特殊类别的成本，以便设定未来价格对成本进行回收。

美国在PBR方面积累了数十年经验。其他地区也在计划推行这一机制。通过PBR或激励监管计划，刺激及时回收成本或提供投资激励的例子包括：

- **太平洋燃气电力公司(PG&E)：**2006年，加州公用事业委员会确立了一个三部机制，以鼓励能效投资。第一部分是成本回收机制，以向所有电力用户征收的系统收益费作为资金来源。第二部分是收入监管（脱钩）机制，重新弥补售电量下降时净收入的损失。第三部分是节能收益共享机制，将用户端的能效收益的一部分价值分配给太平洋燃气电力公司。
- **中佛蒙特公众服务中心公司 (CVPS)：**2007年（Docket 7336），CVPS开始实施PBR计划，限制3年计划允许的电价上涨幅度，但涉及允许调整与能效相关的收费和项目开支的特殊条款除外。CVPS计划还特别规定快速成本回收机制，以收回为升级电网和安装智能电网技术（主要是电表技术）而必需的大笔资本开支。
- **英国基于绩效的RIIO计划（收入=激励+创新+产出）——英国主要经济监**

40.Morgan, 2013年。

管机构⁴¹启动了针对监管改革的综合计划，旨在更好地将向电力与燃气公司提供的收入和激励与为实现更清洁能源和能源服务的长期目标而面临的挑战进行挂钩。RIIO计划是基于绩效的收入计划，最终将应用于22家电力与燃气公司。该计划框架以产出为重点，旨在允许市场参与者帮助提供电力服务，并鼓励通过激励实现目标。RIIO价格计划致力于建立可持续的能源网络，以形成一个基于长远客户价值的低碳电力部门。RIIO计划为期8年。RIIO模式从2013年起被用于输电和配气价格控制审查中⁴²。

4.5 总结

中国电力零售定价政策的许多方面都值得保留和强化。本章讨论了这些积极的方面，并提出了额外的政策改革建议。在设计电力零售定价体系的改进方案时，需要着重考虑激励政策对于不同市场参与者的作用，尤其是对电网公司。经过精心设计的、透明的电力零售定价体系可以给用户、电网公司和发电企业传达正确的激励信号，多方共同努力以实现政府有关电力系统投资和相关的的目标。

41. Ofgem, 2010年。

42. Id.

第五章： 可再生能源

5.1 简介和概述

过去十年中，中国的可再生能源产业取得了长足的发展。从2005年最初的100万千瓦到2012年末的7500万千瓦，中国已经成为世界上陆上风电装机容量最大的国家⁴³。在中国，风能已成为继煤炭和水力资源之后的第三大发电资源⁴⁴。鉴于政府制定的2015年1亿千瓦、2020年2亿千瓦的风电装机容量以及2015年3500万千瓦、2020年5000万千瓦以上的太阳能发电装机容量目标，中国的可再生能源发电装机容量将进一步增加。争取到2020年⁴⁵，中国的非化石能源（包括水电）占一次能源消费的比重将达到15%⁴⁶。

尽管装机容量增长迅速，但是中国可再生能源的快速发展面临着严重的并网问题，这甚至可能阻碍上述可再生能源目标的实现。2012年，未并网的风电装机容量占中国总风电装机容量的21%。由于对新风电项目的投资放缓、对新输电设施的投资增加以及发电和输电规划的完善，这一比例可能在2013年降至12%⁴⁷。风电装机容量的地域分布高度集中，约90%集中在中国的华北、西北和东北（有时被称为“三北”）地区⁴⁸。2011年“三北”地区的弃风比例约为16%⁴⁹。随着风力资源的增加，未来弃风现象可能会更加严重。

中国的电力行业如何解决并网问题，将决定更高比例的可再生能源是否在技术和政治层面上可行。为了实现可再生能源更大规模地并网发电，需要完善政府政策，对电力行业机构和流程进行改革，并改进电力补偿机制，以确保电网公司由于接入可再生能源所产生的支出能得到全额补偿，并且引导电网公司更积极地投身于风电和太阳能发电的并网。

43.全球风能理事会，2012年。

44.中国电力企业联合会，2013年。

45.国务院，2012年。

46.国家发展与改革委员会，2007年。

47.Feifei，2013年。

48.Xiei，2013年。

49.国家电力监管委员会，2012年。

更根本的，取消“平均”调度方法，是中国实现间歇性可再生能源发电并网可以采取的首要 and 最重要步骤（具体内容见第三章）。

本章介绍中国在管理和实现可再生能源发电并网上将面临的一些近期挑战。我们的建议主要有以下三个方面：（1）完善可再生能源政策，以降低成本、提高效率；（2）鼓励灵活、低价的新建传统发电资源和可再生发电资源的组合，提高未来电力系统的灵活性，以应对可再生能源的并网问题；以及（3）明确电网公司责任并加快电力行业改革，以改善电力系统的运行和可再生能源的发电并网。所有这些建议旨在确保最小化可再生能源成本影响的同时，最大化可再生能源的并网发电量。

5.1.1 建议

我们鼓励中国采取旨在完善现有可再生能源政策的措施。这样以来，我们提供的建议将降低新建可再生能源的成本。具体建议如下：

- 加大上网电价补贴政策的地域差异性，从而鼓励可再生能源在地域上更多元化的发展。虽然风电上网电价已经按风力资源和地理条件分为四个不同的价格水平，但是其价格差异较小，不足以鼓励在风力资源较差的地区开发风能。近期公布的光伏上网电价也存在类似的差异性不足的问题，这可能导致光电的过度集中部署，给电网运行商带来挑战。
- 在审批风电项目时，要更多地考虑输电和选址问题。

我们还鼓励中国采取一些旨在通过提高未来电力系统灵活性，以解决可再生能源并网问题的实践和政策：

- 尽量开发现有电力系统的灵活性，并调整发电定价结构，以补偿为系统提供灵活性的现有和新建电厂。
- 为辅助服务制定进一步的补偿机制。
- 采纳电网标准规范、政策和激励机制，以刺激新建传统发电和可再生能源发

电项目的灵活性。

- 停止在风能/太阳能潜力大的地区新建灵活性小的电厂。

最后，我们鼓励中国在制定电力行业改革计划时将可再生能源并网问题多加考虑。这类建议可通过行业结构调整、加强电力行业运行的监管等方式加以落实；但就近期而言，最好的方式是明确电网公司的义务，并将未来电网公司的实践与政府的可再生能源政策相统一。受到良好激励的电网公司能够迅速地采取措施，以提高可再生能源并网能力，缩短可再生能源并网时间，并减少弃电现象。

- 电网公司和可再生能源发电企业共同承担弃电成本，但电网公司占大头。这个建议将使风力（以及太阳能）发电企业即使在弃电时仍可获得上网电价补贴。
- 通过虚拟方式（例如共享电力储备）或通过巩固平衡区，鼓励跨地区电量输送来减少平衡区的数量。
- 通过一套清晰的并网流程和统筹协调的输电规划，实现更迅速的可再生能源发电并网，改善可再生能源电厂的选址。
- 更好地利用风电预测系统。
- 实施更快速的发电机组安排和调度实践。
- 优先调度可再生能源。

5.2 完善中国的可再生能源政策

从根本上来说，可再生能源的发展速度和程度将取决于其成本及对电力零售价格的影响能否被很好的管理。尤其要指出的是，可再生能源的上网电价补贴应该在提供充分的资源开发激励和限制其对终端消费者的影响方面实现平衡。

5.2.1 增强上网电价补贴政策的地域差异性，从而鼓励可再生能源在地域上更多元化的发展

2006年起生效的《中华人民共和国可再生能源法》设置了上网电价补贴政策，取代

了对某些类型的可再生能源发电项目的竞争性投标制度。2009年，国家发改委针对风电制定了四个级别的上网电价补贴水平，其价格介于0.51元/千瓦时和0.61元/千瓦时之间，风能资源较好的地区补贴价格较低，反之亦然。此外，国家发改委根据不同地区太阳能资源的优劣程度和建设成本的差异制定了不同的太阳能上网电价补贴水平⁵⁰。三个地区的太阳能上网电价补贴分别为0.90、0.95和1.00元/千瓦时，该政策适用于2013年9月1日之后批准的所有光伏电站和2013年9月1日之前批准但在2014年1月1日后才投产的所有光伏电站⁵¹。

现有上网电价补贴政策带来的意外后果是风电项目集中在了风力资源最好的地区，主要是“三北”地区。虽然这一做法对电力开发商来说具有经济可行性，但若把多元化和输电需求考虑在内后，这可能并不是最低成本的开发风电项目的方式。更加地域多元化的风电项目会使得风电出力的可变性降低，原因在于不同的风电项目在不同时间发电，发电量也不尽相同。反之，若风机装置地点邻近，其产生的风电曲线也会类似；如果不能经济高效的储存风能，这意味着每单元风电装机容量的增加将导致当地所产风电价值的减小。风电项目的高度集中还会使并网问题进一步恶化。

换言之，提高风能和太阳能发电的地域多元化具有额外价值，但是现有的上网电价补贴政策未能给予充分的激励来挖掘这种价值。高速和低速风力资源区域间补偿价格的差异过小，不足以鼓励风力资源在风速较低地区的开发，导致了风电项目在风速较高地区的高度聚集。现有的太阳能上网电价补贴政策也可能产生类似的结果。

针对新发电项目的选址，我们在本章提出四点建议，上述的提高上网电价补贴水平的地域差异即为其中之一。其他建议包括：1) 风电公司在获得上网电价补贴前需得到政府的批准。在审核过程中更多地考虑可再生能源项目的输电和地域多元化问题（具体讨论见下文）；2) 采用一套并网流程，综合考虑不同区域输电能力的强弱；以及3) 实施更

50.只要分布式光伏发电项目没有获得任何政府对投资的补贴，其发电的自用电部分能享受0.42元/千瓦时的价格补贴。

51.0.90元/千瓦时的补偿价格主要适用于中国西部地区以及内蒙古、甘肃、青海和新疆的部分地区。0.95元/千瓦时的价格主要适用于北部和西南部省份以及更低档补偿价格不适用的内蒙古、甘肃、青海和新疆的部分地区。1.00元/千瓦时的价格适用于中国东部和南部地区。参考Solar Server，2013年。

综合的输电规划流程。

5.2.2 批准新的发电项目时，更多地考虑输电问题

所有新建的大型可再生能源和传统发电项目都需要获得政府的批准。我们并不明确地知道政府在评审发电项目时所考虑的全部因素，但是近期出现的可再生能源弃电和并网问题表明，新电站的选址、现有电厂的位置分布以及输电项目的规划应成为政府在审批项目时考虑的优先项。例如，与现有需求和输电能力相比，中国北部地区的风电装机容量和热电联产机组容量过高。我们担心中国北部地区可能在近期大幅增加热电联产机组的容量。由于该地区将新建灵活性低的核电项目，加之风电的继续扩展，这会对电网运行带来各种难题。

5.3 通过提高未来电力系统的灵活性来解决可再生能源并网问题的实践和政策

中国目前的电力系统以煤电为主导（2011年煤电占总发电量的80%左右）⁵²，存在多个省级平衡区以及有限的跨省电力交易。虽然现有电力系统在设计时未将可变的负荷和电源考虑在内，灵活性也较低，但是目前仍然存在多种可实施的短期措施，可以提高电力系统的灵活性。

5.3.1 尽量挖掘现有电力系统的灵活性，并调整发电定价结构，对此部分灵活性加以补偿

煤电厂通常灵活性较低。煤电机组的启动和关闭均需花费大量的时间，而且一旦开启或关闭后需长时间维持当时状态（最小启动/关闭时间较长）。同时，煤电机组的最低出力水平较高，若需要调整出力，只能逐渐进行（爬坡速率低）。增加风能和太阳能的发电比例将对煤电机组的爬坡能力提出更高的要求。但是，中国的煤电企业并没有为系统提供更高灵活性的动力。当火电机组高于或低于其额定容量运行时，其效率会降低，因而燃

52. 中国电力监管委员会，2011年。

料成本会增加⁵³。

我们将这一问题分成两个方面加以分析。首先，所有发电机组都具有一定的灵活性，具备提供包括调峰在内的辅助服务的能力。电厂在其发电机组正常技术能力范围内灵活运行的意愿主要取决于上网电价结构。中国目前为煤电设置的标杆电价，没有形成把爬坡造成的煤电成本增加考虑在内的价格调整机制。此外，中国现行的电力定价方法不能满足当前电力系统需要增加运行灵活性的需求。如第二章和第三章所述，单一电价合同和保证最低运行小时数没有为灵活运行和开展辅助服务提供充分的激励。实施我们在第二章中建议的两部制定价结构，可以使电网运行商更灵活地使用现有电力资源，同时不给发电企业或其业主造成财务影响⁵⁴。

其次，电厂可以在小幅增加资本成本和运行成本的基础上进一步提高灵活性。发电企业提高这部分灵活性的意愿也取决于其能获得的补偿水平。如果希望从需要增加投资或运行成本的发电企业获得这部分灵活性，应该设立单独的辅助服务补偿。目前，作为发电合同的一部分，除了深度调峰等有限情况以外，发电企业通常被要求提供免费的辅助服务。应该为发电企业提高的这部分灵活性和提供的辅助服务提供独立于合同电价的额外补偿，这可以通过竞争性投标产生的价格或创建特定服务市场来实现。

中国北部地区面临着额外挑战，因为冬季的很大一部分热负荷是由燃煤热电联产机组供应的。供热时，热电联产电厂调节出力的能力受限，因此当风力发电量超过已经在最低负荷水平内运行的热电联产机组和其他燃煤机组还未满足的电力需求时，就可能在冬季的夜间弃风。除停止增建灵活性低的热电联产电厂外，开发电力供暖、热量储存和负荷管理方案也能够解决部分问题。目前，内蒙古、吉林和中国的其他省份正在开发包括550 MW风电装机容量的5个试点项目⁵⁵。但是，如果要鼓励电力供暖和/或负荷管理达到需要的规模，可能意味着通过对需要安装的设备或设施提供回扣或降低价格的方法与客户分享

53.2006年，所有地区电网引入了辅助服务补偿机制。各地根据《并网发电厂辅助服务管理实施细则》制定补贴。但是，发电企业并没有因为由风电造成的净负荷波动而获得补贴。

54.两部制价格结构包括一个固定容量价格和一个涵盖可变成本在内的电量价格。电量价格部分通过简单地设置即可反映电厂的耗热率曲线。国际上普遍还增加了第三个要素部分以补偿电厂的启动。

55.Xie, 2013年。

利润。

5.3.2 要求和鼓励新建风电和火电提高灵活性，使未来的电力系统更加灵活

2005年，中国首次发布了电网技术规范，并于2011年对其进行了更新。电网技术规范规定，风电企业需要根据电网运行商下达的指令控制其实际功率。风电企业还必须提供无功功率，相当于风机的无功功率损耗加上对于单个风电厂一半输电线路的无功功率损耗，或对于风电厂聚集区的全部输电线路的无功功率损耗。

中国可以更新风电并网技术规范，以反映增加的风电项目装机容量⁵⁶。例如，修订风电并网技术规范，为新风机装置发电自动控制系统（AGC），将使中国的电网运行商对调度风电而放弃传统发电更有信心。

为新建的火力发电项目制定最低标准，也可以帮助提高电力系统的灵活性。我们建议分四个步骤进行。

- 首先，要求所有新建电厂满足最低灵活性要求，如开机和停机时间、在延长的期限内低负荷水平运行的能力、在一定范围和速度要求下提升和降低功率的能力。
- 第二，我们在第二章中建议的竞争性资源获取和规划流程应明确竞争性评标如何在最低要求基础上评估灵活性。
- 第三，在预期会达到或已经达到较高风能和太阳能装机水平的地区不得增建灵活性低的电厂。
- 第四，按照我们在第一章中建议的完善规划的方法，更现实地评估灵活调峰发电容量的价值。

56.从国际上看，有些电网运营商已经对风电实施了频率控制要求。加拿大魁北克电力公司（Hydro-Québec）要求风电场降低与传统同步发电机惯性响应具有可比性的大（>0.5 Hz）且短期（<10秒）的频率偏移。这种频率控制能力必须永久可得，而不是仅局限于关键时间。此外，风机必须具备在频率过低事件出现时，增加超过其现有发电量5%的电量并维持10秒的能力。¹⁵爱尔兰、英国、德国、西班牙和丹麦也都在电网技术规范中明确了不同的风电频率控制要求。见Zavadil等，2009年；Ela等，2011年；Ecar Energy，2011年。

5.4 着眼于电网企业改善可再生能源并网的电力改革计划

根据2007年《电网企业全额收购可再生能源电量监管办法》，中国的电网企业被要求在服从可靠性限制的条件下收购所有可再生能源发电。在现实中，电网企业经常利用可靠性问题，规避收购仍未获得补偿的风电，并合理化弃风现象。

国际上的各类可再生能源发电并网经验表明，许多必要的政策、改革和实践需要中国目前尚不具备的制度、监管和市场条件。从长期来看，中国的电力改革可能建立各类必要的制度条件。但是我们认为，就近期而言，中国仍然可以更好地利用现有条件，从中获益。特别要指出的是，与其他国家相比，中国的一些现有条件使问题更容易被解决：

- 中国拥有超大规模的电网企业，其管控的地理范围足以解决其他国家只能通过建立新体制或新规定才能解决的问题。
- 电网企业技术娴熟，服务功能涉及许多电网运行商、电网规划者和电网所有者的职能。这使电网企业对电网问题非常熟悉。同时，电网企业所担任的角色使它们有途径获得必要的数据。
- 电网企业是国有企业，它们响应明确的政府指令。采取措施使电网企业成为政府政策积极和热情的实施者，这样可以解决许多问题。
- 电网企业与发电企业相互独立，所以完全有可能创造出一些条件，使电网企业与选择某一种电源没有直接利益关系。

这些条件说明，采取措施使电网企业成为可再生能源发展事业中积极、热情的参与者，是中国政府解决可再生能源发电并网问题的切实可行的方法。这需要两个步骤：

- 首先，中国政府应该进一步强调高效的可再生能源并网是电网企业的义务这一事实。例如，政府可以把减少弃风作为电网企业经理的业绩考核指标。
- 其次，中国政府应该采取一定政策，在保证可再生能源并网成本回收的前提下，强化电网企业义务和基于业绩的奖惩体系。

5.4.1 电网企业和可再生能源发电企业共同承担弃电成本，但其中较大部分由电网企业承担

我们很难对高效的并网进行准确评估，但是弃电水平和频率是不错的指标。高效的电网通常有一定水平的弃电，因为有时候承担弃电的成本低于解决电力拥堵问题需要的输电或灵活性成本。关键问题在于如何使弃电水平合理化，决定弃哪种发电资源以及由谁来承担弃电成本。

有些国家的弃电成本由被弃电的发电企业承担，有些国家的弃电成本由电网企业承担，还有些国家的弃电成本由两者分摊，在约定的频率（如每天的次数）和时数（如连续时数和每年时数）以外由电网企业对风能和太阳能发电企业进行补偿。

由风电企业和电网企业共同承担弃电成本，是最适合中国的做法。电网企业可以在一定频率（如N小时数/天或N次/天）内不承担弃风的成本。但超过了特定频率以后，弃电成本将转由电网公司承担，也就是说即使弃风现象（及之后的弃光现象）发生，发电商仍将获得上网电价补贴。

此处的原理在于，让发电企业承担部分风险，能鼓励项目在输电系统建设充分且弃风可能性低的区域选址。我们建议使发电企业的风险保持在较低水平，另外，我们的其他建议也会更有力地影响新建发电企业的选址（如上网电价补贴改革、政府批准新的发电项目时把输电问题考虑在内、完善输电规划等）。

让电网企业承担部分弃电成本是合理的，因为电网企业完全有能力采取措施解决并网问题和减少弃电。特别要指出的是，电网企业可以把实行弃电和投资输电之间的权衡内部化。电网企业还占据最有利的位置来实施下文讨论的改革，其中的每项改革都将提高可再生能源并网和减少弃电。

5.4.2 扩大省级平衡区和各平衡区之间的连接

扩大平衡区的面积是实现大规模间歇性可再生能源发电并网的最高效方法。较大的平衡区能改善并网的原因主要有三：（1）在较大的地理区域中负荷、风能和太阳能波动

性降低；（2）由于负荷和资源的波动性减小，预测的准确性提高；以及（3）可以获得更多电量，以平衡供需⁵⁷。通过降低系统运行商需要的运行备用及其所需的成本，减少可再生能源弃电量，也能降低风电和太阳能发电的并网成本。

目前，中国的平衡区普遍与省界重合。这给电网运行商实现更大规模的风能和太阳能并网带来了挑战。例如，内蒙古（东部）、辽宁、黑龙江和吉林的运行商必须面对较高的净负荷（在本例中，负荷减去风能）的波动性和不确定性，并大量使用煤电和水电资源来管理这部分波动性和不确定性。相反，整个东北电网的电网运行商所面临的净负荷波动性和不确定性则较小，可以利用整个地区的发电资源来平衡供需。

中国可以采取两种方法来扩大平衡区。首先，对六个区域电网内的系统运行进行物理性整合，由一个电网企业或独立系统运行商对其加以管理。其次，在不把它们整合为一个实体的条件下，对跨平衡区的运行进行协调。美国中南部地区的西南电力联营体（Southwest Power Pool, SPP）率先实施了这种方法，对所有参与企业实施开放的输电价格和使用自愿的能源不平衡市场。

若不进行更为广泛的体制改革，物理性地整合中国的平衡区面临困难。但是，就近期而言，中国可以逐步采取措施来更好地协调平衡区的运行，从而大幅提高可再生能源并网并降低并网成本。最简单的做法包括省级平衡区管理部门间达成分享运行备用的协议。更广泛的协调还包括创建自愿的区域能源不平衡市场，使多个省份实施集中的实时调度，解决日前安排与实时净负荷情况之间的差异。

无论采用哪种方法，实现更大的平衡区需要更为充分的输电能力。但是，中国省级平衡区间的输电能力一直以来都非常有限，可能不足以应对区域可再生能源发电并网的挑战。增加省际电力交易和输送面临的障碍大多来源于各省利用省内发电和从附近省份输入电力两种情况下获得收入的方式不同。已有其他国家克服了类似的障碍。虽然各国的解决方案不同，但是它们均基于一个事实，即增加跨省交易能降低总电力成本，而且节约的大量成本足以确保交易双方均获益。

57. 多项研究已经证实了这些情况。综述见地域多元化章节（参见Schwartz等，2012年）。

让电网企业有义务和动力来解决并网和弃电问题，成为积极的合作伙伴，将鼓励它们要求省级电网企业参与到地区输电规划制定的过程中，并提出克服现有障碍的成本分配和成本节约建议。美国已经采用了这种方法，其中联邦能源监管委员会（the Federal Energy Regulatory Commission, FERC）要求所有输电服务提供商参与地区输电规划的制定过程，而且要求在规划过程中把“公共政策”类项目（如满足可再生能源配额RPS的项目）考虑在内。在中国，这种方式的地区输电规划流程也能帮助各省和电网企业完成《可再生能源电力配额管理办法》中对其规定的可再生能源配额要求。

5.4.3 制定发电机组并网程序

国际上通常通过并网程序对发电机组并网实施管理。并网程序能为电网企业提供一套标准、透明的流程来评价新发电机组对输电系统的影响以及升级为满足新发电项目所需的输电设施。发电机组并网程序以“并网队列”为中心，即发电机组连接至电网的序列。

在中国，基本的并网程序可包括下述要素：

1. 在可能的最初阶段，特别是开发商向政府报批之前，电网企业应被告知计划项目的规模和选址。
2. 电网企业开展系统影响研究，以确定项目对输电系统的影响。
3. 电网企业可以根据自己的规定，就其所预估的项目并网时间对项目开发商在一定期限内作出回应。电网企业也可以提出一些能够缩短并网时间的其他选址或项目配置的建议。
4. 电网企业绘制并定期更新输电线路图，明确现有和计划的输电设施，以帮助开发商评估新址。

5.4.4 完善和更好地利用风电预测

更好的风电和其他波动电源的预测几乎被公认为中国实现大规模可再生能源并网的核心工具。但是，由于持续存在的预测技术、数据质量和数据分享问题，风电预测准确性

的改进速度低于预期。此外，风电预测在中国的发电机组调度决策中没有得到广泛应用。其结果是，当有更多比可靠地满足需求需要的火电机组上线时，调度员经常会调配火电机组，导致过多使用火电并弃风。

自2009年起，中国的电力行业就进行了风电预测试验。2011年，国家能源局发布了风电预测规定，明确了单个风力发电站的风电预测职责。这一规定旨在通过一项“最先弃掉预测精度最低的风电站”的政策，来鼓励各风电站提高风电预测的准确性。

我们建议的由电网企业和发电企业共同承担弃电成本，也旨在从两个方面强调更好的风电预测的重要性。首先，这一建议强调了提高数据质量和数据可用性的需要。根据成本共担的建议，电网企业将有理由通过整合和评价多个预测，对比预测和实际发电量数据，以及随着实际数据的增加不断调整预测方法等，持续完善预测结果。

其次，电网企业的调度人员在做运行决策时似乎不够信任和依赖风电预测结果。我们的成本共担建议产生的激励能为电网企业提供充足的理由，使其在实际调度中使用更加完善的预测。

5.4.5 制定相互协调的发电和输电规划流程

规划不充分和规划不协调加剧了中国的弃风现象。现有的发电规划造成了在可再生能源水平较高的区域存在过多不灵活装机的情况。特别要指出的是，与现有电力需求和输电能力能够支持的水平相比，中国北部地区有过多的风电和热电联产装机容量。虽然人们已经普遍认识到这一问题，但是我们担心中国北部地区在近期仍可能会大量增加热电联产机组。由于预计这一地区也将新建灵活性低的核电，加之风电项目的扩展，显然，会使并网挑战变得更加严峻。把弃电成本分配给发电企业和电网企业，而不是仅由发电企业承担，将为改善此种情况提供强大的动力。

缺乏协调的发电和输电规划也带来了问题。发电项目的规划和建设时间通常较短，而输电系统的规划和建设，特别是平衡区之间的输电规划和建设，则需要较长的筹备期。在许多地区，可再生能源的开发远远超出规划，但有限的输电容量却无法输出所有的额

外电量。例如，2012年，隶属内蒙古东部电网的赤峰地区的计划发电装机容量为760万千瓦，包括230万千瓦的风电，但是此地区的峰时负荷只有160万千瓦，和其他地区的互联电网仅有270万千瓦的输电容量⁵⁸。

我们在第一章和第二章中提出的完善规划和资源获取过程的建议将帮助解决这个问题。成本共担建议将激励电网企业把资源规划纳入其输电规划过程。上文提到的关于并网流程的建议也能帮助解决类似问题。最后，风电项目获得上网电价补贴前需要获得政府的批准，政府也会利用输电规划。这些做法将帮助解决发电和输电规划两者协调不当的问题。

5.4.6 改善调度

第三章介绍了中国所谓的“平均”调度的方法，这类似于采用固定配额送电⁵⁹。第三章还阐述了我们就新建和现有传统发电的改革建议。除提高调度效率外，我们建议的上网电价制度改革还将支持更快的调度安排，并有利于从现有的发电系统中获取风能和太阳能并网所需的灵活性。取消平均调度是帮助实现间歇性可再生能源发电并网的最根本和最直接的政策行动，也将使实施我们在本章中提出的建议变得更为容易和有效。

5.4.7 优先调度

中国的可再生能源法规定可再生能源发电优于其他发电资源，即所谓的优先调度。在某种程度上，这一规定承认，无论使用哪种方法支付可再生能源发电，其运行成本都非常低，应该最先被调度⁶⁰。但是，中国的电网运行商常常以担心电网安全性和可靠性为由，不实施优先调度原则。

本章提出的许多建议将使优先调度的实施更加容易，如扩大平衡区、加快调度安排、改善和更好地利用风电预测和更新风电并网技术规范等。重新分配弃电成本也将为实

58.国家电力监管委员会，2012年。

59.Baron等，2012年。

60.欧盟委员会（the European Commission）《可再生能源指令》要求优先并网和调度可再生能源发电，从而确保实现到2020年20%的可再生能源比例目标。

施优先调度提供强大的动力。

5.5 结论

近年来，中国大幅提高了风电装机容量，而且可以预见，太阳能的发展也将有类似的轨迹。但是，缺乏输电设施，传统发电机组的最低运行小时数年度计划，不灵活的电源以及不兼容的运行、调度安排和调度行为准则给中国带来了严峻的并网挑战。应对这些挑战需要出台管理电网的新政策和新实践方案。政府可以主导一些必要的变化。另外一些也可以通过明确电网企业的义务，并利用基于绩效的奖惩措施强化这些义务来比较容易地应对挑战。

幸运的是，许多国家和地区已经解决了间歇性发电的并网问题。虽然各国都有其独特性，但各国已就成功的并网战略达成了粗略的共识，这包括：定义和补偿辅助服务；增加输电设施；从现有发电系统中提取灵活性；增加灵活的发电设施；实际或虚拟地整合平衡区；必要时重新调整电网技术规范；实施更快的调度。与其他国家或地区一样，中国必须根据实际情况调整以上全部或部分战略。

不灵活的发电是中国可再生能源发电并网面临的主要问题。目前的定价体系使这一问题更加严重。实施两部制电价将提高现有的传统发电系统的灵活性。而为了实现更大的灵活度，则有必要制定额外的补偿机制，对因为加强灵活性增加的资本和运行成本进行补偿。对于新建的风电和传统发电项目来说，最好的做法是首先制定新的电网技术规范，明确以灵活性为目的的最低技术要求。对未来发电项目的这方面能力加以设定将使电网企业有能力更好地管理电网，并缓解弃风现象。我们建议通过竞争性投标来开发新的传统发电项目。在这种情况下，灵活性应成为评标过程的首要考虑因素。

中国目前的可再生能源政策，特别是上网电价补贴政策，在增加可再生能源发电装机容量方面是非常成功的。但是，中国绝大部分风电装机容量集中在北部地区，而北部地区有大量不灵活的热电联产电厂，而且消耗风电的能力有限。虽然中国的风电上网电价补贴把中国分为四个风力资源区，但是补贴价格差异较小，不足以鼓励在除北部以外的地区

开发风电项目。太阳能上网电价补贴也可能需要加大地域补贴差异。风能和太阳能项目需增加地域多元性，才能使并网更为容易，因此需要更大的补贴水平差异以鼓励在风力资源较差地区开发风电项目。

弃风现象大幅增加，如果不采取行动，弃风现象将更加严重，特别是中国北部地区。电网企业应该承担部分原本由风电厂承担的收入损失。这一做法将产生两种理想的结果：风电企业将在中国北部地区外的其他地区选址，最小化弃风；电网企业将收到经济信号，采取积极措施应对弃风现象。

我们希望电网企业采取的积极措施包括：1) 采用虚拟或实际的方法整合平衡区，提高输电能力，尤其是增加跨省电力输送；2) 完善输电规划流程，不仅能够帮助确定需要完善输电的区域，而且有助于发电项目在有充足输电设施的区域选址；3) 制定发电机组并网流程，协助输电规划和发电项目选址，并帮助加快并网速度；以及4) 完善和更好地利用风电预测，改善调度做法以获得更多的灵活性，并实施优先调度。

以上的一些建议如果得以实施，将具有互补作用。更大的平衡区将降低风电波动性，并提高风电预测的准确性。积极的输电规划和鼓励间歇性发电机组的多元化选址，也将降低可再生能源发电的波动性。增加输电设施将使地区间的电力输送和交易更加可行，也有助于管理发电的波动性和不确定性。

第六章：电网公司需求侧管理

6.1 简介和概述

电力改革能否成功，取决于对两方面监管制度的改革，且二者互为补充：1) 设立具有充分职权与资质的监管机构，监督电网公司的成本与业绩；2) 通过采用新的监管政策与改变会计做法，使电网公司的利益与政策目标相一致。在中国，第二点尤为重要，因为电网公司规模庞大，有较强的影响力，而政府监管机构多为新近成立，相对较弱，然而国家的能源与环境目标具有优先性。

由于“网络”业务的自然垄断性，在所有国家，电网公司都必须接受政府的监管和监督。如何搭建监管体系则由政府决定。国际经验证明，普通的监管机制设计会造成电网公司的经济利益与国家清洁能源和能效政策严重冲突。然而，设计合理的监管架构可以通过采取激励电网公司的措施，使其利益与政策目标相一致，进而完善电网公司的成本管理、提高可靠性和环境绩效。对这两种监管机制的选择，前者会使电网公司的利益与政府的优先目标相冲突，后者则会使电网公司变成政府政策的积极推动力量。

在中国，很重要的一点是要给予电网公司正确的激励，使其支持——至少不能反对——国家能源与环境政策。本章将讨论在中国如何通过监管改革完善电网公司激励机制，以支持一项重要的国家政策：电网公司需求侧管理（DSM）与能效项目。

为了使电网公司开发需求侧和终端能效资源而不受负面的经济影响，我们建议：

- 重新定义电网公司的角色与责任，使其包括对终端能效的投资；
- 要么确定减少的净收益和能效项目成本作为电网公司经营成本的一部分，要么制定和实施监管机制，减缓净收益减少和项目成本对电网公司财务状况的影响；
- 修改国有资产监督管理委员会评估电网公司总体业绩的标准，使其包含电网

公司为客户提高终端能效所付出的努力。

6.2 电网公司在需求侧管理和能效项目中的作用

早在100多年前，能源公共事业公司成立之初，其标准商业模式是基于将能源作为一种商品的理念来开展的。能源公共事业公司的收入取决于运输和向终端用户出售的能源（通常是电力和/或天然气）的数量。在某些地区，能源行业的变革导致垂直一体化能源公共事业公司的分离，并且形成了分别负责能源供应链上各个环节的小型电力公司⁶¹。现在的商业模式大部分保留了这些改变，如今，大多数电力公司依然根据通过其系统传输的能源量来获得收入，因此他们有强烈的动机将能源输出量最大化。

而这种最大化能源输出量的动机，与电网公司协助终端用户更有效地利用能源的任务背道相持⁶²。因为能效活动会从两个方面影响电网公司的财务状况与盈利能力：售电量下降导致收益减少，以及电网公司由于制定和管理终端能效项目从而需要承担更高的成本。

如果能够克服这些不利的财务影响，电网公司在向终端用户推广能效方面具有得天独厚的优势。他们拥有⁶³：

- 能源市场中的战略地位；
- 与终端用户（即使是最小型的）保持长期的业务关系，使其能够在广阔的市场中影响节能活动；
- 提供服务的技术能力与基础设施；
- 掌握能源消费者消费习惯的详细信息，这些信息有助于提供节能建议；
- 从销售能源获得庞大的收益流，可以作为公共预算的替代资源，成为能效资

61.这里的电力公司包括了不同性质的发，输，配电的公司，在每个国家由于电力行业各自的特征，他们的结构和作用也不尽相同。在中国分为发电公司和电网公司。由于本篇文章旨在描述对电网公司的激励问题，所以后文中我们使用电网公司来表述电力公司。

62.Lazar 等, 2011年。

63.Heffner 等, 2013年。

金的来源。

6.3 将能效作为一种资源

在某些地区，尤其是在北美，电力规划通常会将需求侧与供应侧资源整合到一个成本最低的综合性规划当中。电网公司所带来的终端能效被作为一种资源，如同煤炭、天然气和电力等供应侧资源一样，可以用于满足终端用户对能源的需求。通过提高能效所实现的节能，减少了对能源的需求，进而需要的供应侧资源也相应减少，降低了能源供应成本。此外，提高能效还可以降低其他成本，如电网基础设施扩容的成本（电线杆与电线，天然气管道等）等。提高能效还可以减少因使用供应侧资源所造成的环境影响，进而降低给整个社会造成的总成本。这些被减少的成本，被称之为“可避免成本”，是通过有意将能效作为一种可减少能源需求的资源进行配置而产生的。

除了“可避免成本”外，获取节能量还涉及其他必须支付的成本，如制定和管理终端能效项目的成本。在进行综合分析时，同时需要将必须支付的成本和可避免成本考虑在内，电网公司获取节能量的总成本往往低于购买等量供应侧资源的成本。此时，从整个社会的角度，能效将被视为比供应侧资源更具有成本效益，也就是说通过节能避免的整个生命周期能源供应成本的现值，高于获取节能量的成本的现值。

6.4 强制性节能政策

在许多电网公司有潜力获取成本效益高的节能量的地区制定了法规，规定电网公司必须取得一定量的节能指标。这种监管机制便属于“强制性节能政策”（英文简称EEO）⁶⁴。

强制性节能政策是一种监管机制，要求承担节能义务的主体，必须通过提供或购买终端用户节能措施所产生的符合要求的节能量，来实现量化节能目标⁶⁵。这种EEO要求必

64. 该监管机制还有其他英文术语，包括“energy efficiency portfolio standard”（“能效组合标准”）、“energy efficiency resource standard,”（“能效资源标准”）、“energy efficiency commitment,”（“能效承诺”）和“energy supplier obligation”“能源供应商义务”等。

65. Crossley 等, 2012年。

须完成一定量的节能指标，这一点与其他类似的政策有所不同。例如，其他节能政策可能要求实施所有成本效益好的节能措施，却没有规定具体的指标。

世界各国政府一直努力通过设计和实施一些针对特定方的强制性节能政策，从而提高终端能效，并实现其他相关的目标。

这些强制性节能政策具有以下三个主要特点：

- 设定某个量化节能指标；
- 规定完成这一指标各主体；
- 建立一套法律法规：规定各种能够实现目标的节能任务，测量、验证和上报通过这些任务实现的节能量；同时确保这些节能任务的落实。

强制性节能义务的承担者通常是能源公共事业公司（如电力和天然气分销商或者独立零售商）。强制性节能义务也可能施加于其他形式的能源公共事业公司（如液化石油气、取暖燃油、运输燃料、集中供暖等），甚至会施加于终端用户。在一些地区，节能目标通过第三方“能效公共事业机构”来完成。

6.5 促使电网公司提供能效的监管措施

在北美，大多数电力监管机构⁶⁶的工作重点，是确保电网公司在需求侧管理与供应侧资源方面的投资是经济有效的，即对整个社会而言具有成本效益。但对整个社会有成本效益并不一定对电网公司也具有成本效益，这是因为节能导致收益减少以及运行需求侧管理项目产生的成本，将影响电网公司的财务状况。在规定了节能目标的国家和地区，电网公司同样面临着维持（或增加）售电量与获取节能量间的矛盾。

在有些国家（尤其是英国和其他欧洲国家），减少的收益及能效项目成本，被视为电网公司运营成本的一部分，如何收回这些成本由电网公司自行决定。其他国家（尤其是澳大利亚、巴西、加拿大、泰国、南非和美国）则制定了一系列机制，以减缓收益减少与

66.这里主要指负责电力行业政策的州政府部门。在美国，每个州政府可以独立制定该州的电力行业政策。

能效项目成本对电网公司财务状况的影响。这些措施包括：

- 收益监管。电网公司不论售电量达到多少，保证其可获得固定金额的年度收益；
- 收取电费附加。旨在收回因开展需求侧管理活动对电网公司造成的经济损失；
- 收入损失调节机制。对因开展需求侧管理活动造成的“净收益”减少，对电网公司予以补偿⁶⁷；
- 绩效激励。为实现特定需求侧管理目标的电网公司提供财政激励。

6.6 电网公司提供能效的国际经验

电网公司在向终端用户提供节能量方面已经发挥了重要作用。根据国际能源署预测，2011年，电网公司投入近120亿美元从事节能行动⁶⁸。其中北美一些州和省投入的资金比重最大，这些地区一些电网公司的投入甚至占到其能效收益的百分之三。

最近的一项研究对美国过去15年中，由客户资助、电网公司与第三方执行的能效项目中的数据进行了分析⁶⁹。研究发现，1992年至2006年期间，这些项目节约了近百分之一的用电量，而考虑到未来几年可产生的节能量，累计节电量可达到百分之二。若未来节电量按百分之五的标准折现率进行折现，则电网公司每节约1千瓦时的平均成本约为5美分。这远远低于2006年各行业每千瓦时9.1美分的国家平均零售电价。节能比投资新电厂更具有成本效益。2006年新基荷化石燃料电厂的投资平准化成本约为每千瓦时8-9美分，新燃气调峰轮机的平准化成本约为每千瓦时13美分。

67.中国现在的情况是，电网公司从发电厂购电，然后再卖给终端用户。如果他们提供的是节能量而不是电量，就可以降低从发电厂购电的成本。电网公司“净收益”损失即为售电量和提供节能量节省出的购买成本之间的差价。中国现在正在考虑电改，使用户直接承担发电成本。如果是这样，就意味着发电成本的节省不再可以抵消电网公司的收益损失，不利于激励电网公司提供节能量。

68.国际能源署，2010年。

69.Arimura等，2011年。

研究结果证明，电网公司实施能效能够对获取有成本效益的节能量做出巨大贡献。监管机制的建立，减缓了由于收益减少和能效项目成本对电网公司财务状况的影响，是北美绝大部分由电网公司获取能效的原因所在，而且在一些情况下，甚至允许电网公司通过推广能效来实现盈利。

6.7 中国的电网公司需求侧管理

2010年11月，中国国家发展和改革委员会（NDRC）印发了关于《电力需求侧管理办法》的指导文件（发改运行[2010] 2643号）⁷⁰。这份指导性文件首次要求中国的电网企业开展需求侧管理工作，包括提高能效，促进电力负荷管理，以达到减少售电量（GWh）和降低高峰用电需求（MW）的具体指标。此外，电网公司还必须在其管辖区内安装负荷监测与控制设备，电力负荷监测能力需达到最大用电负荷70%以上，负荷控制能力需达到最大用电负荷的10%以上。该文件开创了在中国实施强制性能效政策的先河。

自上世纪80年代以来，中国通过一系列能效政策显著地提高了能效，但这些政策并不针对电力部门，因此2010年颁布的指导文件是中国在电力需求侧管理和能效方面迈出的的一大步⁷¹。更重要的是，此办法鼓励电网公司将能效作为一种资源整合到电力规划当中，如第一章的建议。然而，在执行此文件时仍有巨大的提升空间，比如可以扩大范围，为电网公司提供相应的激励等等，我们将在下文进行讨论。

目前，中国的电网公司正在开展各种需求侧管理工作，以实现各自的节能目标。由于开展需求侧管理工作需要协助用户更有效地利用能源，因此售电量下降导致的收益减少，以及电网公司在制定和执行终端能效项目时所产生的成本，这两点影响到了电网公司的财务和盈利状况。

减少售电量和降低高峰用电需求，并不符合电网公司的盈利目标。在中国，国有资产监督管理委员会根据利润水平对电网公司的业绩进行评估，按照当前的监管与会计做法，利润水平与售电量必然直接挂钩。减少售电量的任何行为都会被视为降低盈利能力，进而

70. 国家发展和改革委员会，2010年。

71. Crossley 等，2013年。

降低电网公司的业绩，节能工作因此很难在电网公司推进。电网公司最终处于力图实现盈利和节能这样两个相互矛盾目标的境地。

6.8 电网公司需求侧管理工作的资金支持

在中国，电网公司可以通过获得财政拨款来承担能效项目的部分成本。《电力需求侧管理办法》规定，电网公司开展电力需求侧管理工作产生的合理成本可以计入供电成本。此外，若电网公司通过在国家发展和改革委员会备案的附属节能服务公司⁷²实施其需求侧管理工作，合格的能效项目每节约一吨标煤，即可获得中央政府240元（约合38美元）的补贴，另外各省、市政府也会提供至少60元（约合9.60美元）的补贴。其中有些政府还提高了补贴标准。

此外，电网公司还可以通过另外两个资金来源，来承担需求侧管理与能效项目的成本：

- 通过减少能耗和降低能源需求，节省的资本和降低运营与维护成本。例如，可以通过减少电网升级和电网扩容来节省成本；
- 《电力需求侧管理办法》中规定的其他资金来源，包括电价外附加征收的城市公共事业附加费；主要针对能源密集型行业的差别电价收入；以及其他财政途径，例如中央与省级政府拨出的节能减排专项资金。

但我们并不清楚这些资金是否足以支付电网公司在开展需求侧管理与能效工作过程中产生的所有项目成本。此外，目前电网公司也无法对由于这些工作造成的净收益减少获得补偿。最终的结果是，电网公司的财务状况可能因为开展需求侧管理与能效工作而进一步恶化，而且他们肯定无法从中盈利。

6.9 总结

72. “能源管理公司”是中国使用的名称，在北美则被称为节能服务公司（ESCO）

中国和其他国家的经验证明，从整个社会的角度来看，能效的成本效益远远高于供应侧资源。中国政府已经认识到这一点，并实施了一系列尤其是在工业领域的能效项目。通过扩大《电力需求侧管理办法》涉及的范围，要求电网公司在从发电商购买电力之前，获得所有具有成本效益的能效资源，可以对目前工业节能项目进行补充。这将大幅度降低成本，提高中国的经济效率。

为了使电网公司能够扩大节能义务，必须采取下列措施：

- 重新定义电网公司的角色与责任，使其包括对终端能效的投资；
- **要么**确定减少的净收益和能效项目成本作为电网公司经营成本的一部分，**要么**制定和实施监管机制，减缓净收益减少和项目成本对电网公司财务状况的影响；
- 修改国有资产监督管理委员会评估电网公司总体业绩的标准，使其包含电网公司为客户提高终端能效所付出的努力。

第七章：煤质国际最佳实践

7.1 简介和概述

在中国，低质煤的使用导致若干影响，更大程度地破坏环境，增加不必要开支和降低电厂的运行寿命。“九五”计划制订的提高清洗煤所占比例的目标尚未实现。目前中国用于电厂运输和燃烧煤的系统所产生的主要影响至少为以下四方面：

- 灰分和硫分的高含量降低电厂的有效运行寿命，增加飞灰的处理成本，增加细颗粒物和硫氧化物的排放，而且，当出现以上情况时，会增加电厂面临监管机构对场区收集和处置的有害物质进行调查的风险。
- 灰分含量的增加会加重中国运输网的负担，增加或产生新的铁路拥堵现象，从矿区运煤至电厂的铁路运输导致更多柴油燃烧。
- 裸露的轨道车上泄露的煤和煤尘会损害中国铁路网沿线地区的公众健康和造成环境影响。
- 由于中国铁路网拥堵，柴油卡车常用于矿区和电厂之间的煤运输。此类卡车燃料硫含量高，不受轻型卡车及轿车排放标准限制。其结果是，柴油卡车运煤导致某些城市地区PM2.5的增长。

本章旨在探讨提高中国发电燃煤质量的途径，从而获取环境和经济双效益。我们将着眼于煤的生命周期、使用更优质煤的效益和成本、以及增加优质煤的使用应该从哪些着力点切入。文章末尾提出若干建议，希望有助于中国监管机构鼓励优质煤的使用⁷³。

7.2 国际经验

73. 此章节曾作为报告由睿博能源智库发表，链接如下：www.raponline.org/document/download/id/6438。如需了解更多有关煤质的信息，请参考：<http://www.raponline.org/document/download/id/6714>

煤仍为全球发电主要燃料。虽然水力压裂和新钻探技术的使用提高了天然气供应，但煤的消费量仍然持续上升，亚洲尤为突出。自2000年，仅中国和印度两国便几乎占据了全球煤消费的增量。我们了解煤燃烧排放特征受用煤类型和加工处理的显著影响；煤质影响着特定电厂的盈利能力，可以促进或阻碍电厂满足环保要求的能力。

影响煤质的主要变量为灰分⁷⁴和硫分的含量。灰分和硫分为无机物且无热值。灰分含量越高，原煤（即直接从矿口采出的煤）的热值越低。许多较低热值或工业所称“低级”煤中灰分含量达40%或更高。通过清洗或添加剂去除灰分可增加煤热值。该加工工艺拥有其它数项益处，直接影响燃煤电厂盈利能力，以及其符合环境要求和规避未来经济风险的能力。锅炉燃烧室的灰分和硫分会增加计划内、外的维护量，降低容量系数（意味着发电时间的减少）。在下游，覆盖于管道的灰分浓度更高，导致需通过排放控制装置加以收集而后进行填埋处置的固体数量增加。电厂管道上灰分和硫分沉积物会导致更大程度的腐蚀，缩短电厂预期运行寿命。因此，通过降低煤中灰分和硫分的含量以改善煤质既利于环保又具经济效益，为可寻求的明智之举。

7.3 煤的生命周期⁷⁵

煤的生命周期涉及如下诸多步骤：提取、加工、运输、使用/燃烧、以及处置。以下为一般性描述，仅做说明，并非详尽阐述。

7.3.1 提取

煤可经以下两种不同途径提取（即开采）：地表或“露天”开采；地下或“深层”开采。开采方式主要由地质决定。煤层近地表时，采用地表开采；经爆破后，去除地表岩石和污物层，煤层得以显露，而后系统地进行煤层钻探和移除。当煤层位于地下较深处

74.所有煤都含灰分。在原煤即未燃烧煤中，灰分由地壳物质（例如，污物和小块岩石）和无机化合物（例如，盐和金属）组成。灰分有少量甚至无热值，因此，当煤燃烧时，灰分现称飞灰经由锅炉和管道，而后被排放控制装置收集，较细颗粒物直接排放至大气。

75.见Lockwood，2012年；Epstein等，2011年；世界煤炭协会，2012年。

时，采用地下开采；通过地下数百英尺深的钻探隧道接近煤层，而后进行开采并将其运至地面。

7.3.2 加工

从煤开采的最早期开始，人们就试图通过去除杂质如岩石和板岩或通过对煤炭的分选和清洗以提高煤质。在现代操作中，通常第一步为洗煤，其中涉及化学加工处理，使污物、植被和原岩与煤分离。该工艺可降低煤中灰分和硫分的含量，提高其热值。同时也会产生称为淤浆或淤渣的副产品，其组成成分为洗煤用水和化学物质。淤浆为高毒物质，收集和储存于开采处，从而引发对地下水污染的环境担忧。洗煤过后，通常随之进行另一项机械工艺操作，对煤块粉碎和碾磨处理，而后分出各种不同品级的煤。在洗煤和粉碎加工过程中，可能会对煤进行取样，用于测量灰分、湿度、千卡（英热单位）、硫、铁、钙、钠和其它各种元素。中国“九五”计划曾重点强调洗煤，在新制订的空气法中再次提起重视⁷⁶。

7.3.3 运输

加工处理完毕，煤便从矿井运至消费点；运输方式为火车、卡车、驳船和传送带。虽然为降低运输成本某些发电厂建于矿口附近，在中国，煤运输仍然是一个重大问题，因为多数煤矿位于西北部，而煤须运至位于东南部的消费中心。一些估算显示，每年经长距离运输（平均超过500公里）的煤量超过5.6亿吨⁷⁷。

煤运输成本高且对环境有害。美国能源信息署报告，2010年，运输成本占美国交付的短吨数煤总成本的38.6%⁷⁸。此外，许多运煤卡车和火车所用的柴油机向大气排放大量的氮氧化物（NOX）和颗粒物。另外，长距离运输煤时，灰尘和颗粒物会从中散落。

76. 现行空气法第44条规定“国家应推进洗煤和煤加工，降低煤中硫分和灰分含量，限制开采含硫分和高度灰分的煤”。第89条规定新建矿如不予洗煤，可对其进行罚款。

77. Xiaolon, 2012年。

78. 美国能源信息署，2012年。

7.3.4 燃烧

全球范围所开采的煤多数为“热能”煤，即煤用来燃烧后产生蒸汽，因此主要用于发电⁷⁹。煤燃烧会“向环境释放70多种有害化学物质，是导致全球变暖的重要致因。”⁸⁰ 燃烧之前，煤会被粉碎为粗粉状，以提高燃烧效率。全世界大概90%的燃煤发电容量使用粉碎技术⁸¹。一些较为显著的燃煤副产品为臭氧前体⁸²、二氧化硫、颗粒物、氮氧化物、汞和二氧化碳。除气体外，还会产生一种固状燃煤副产品，称为煤灰，下文将予以讨论。发电机可安装减排设备如洗涤器以减少有害污染物的排放。

7.3.5 处置

正如前文所述，煤燃烧会产生一种称为煤灰的固体副产品。大量各种不同物质都称为“煤灰”：飞灰、底灰、锅炉炉渣、烟气脱硫石膏等。煤灰一经收集，通常便放置和储存于贮藏池或填埋场，或用于各种工业用途。

7.4 煤质改善的效益和成本

使用更优质的发电燃煤既带来效益亦产生成本问题。睿博能源智库（RAP）对此所持立场为：效益远大于成本。

7.4.1 效益

所有的煤都含无机物质，如钠、氯和硫。在燃烧过程中，无机物形成灰，呈干态（称为结垢）或湿态（称为结渣）沉积于锅炉燃烧室。灰分中所含化合物的数量和类型决定了清理锅炉管道的必要频次（以维持其设计的传热率），以及多久须停运锅炉以进行更广泛的维护。可以通过在矿口或煤电厂洗煤或者在燃煤前向煤中加入矿物添加剂去除这些无机

79. 另一类煤称为冶炼用煤，用于生成钢铁制造所需的焦炭。见世界煤炭协会，2012年。

80. Lockwood，2012年。

81. 世界煤炭协会，2005年。

82. 燃煤电厂不直接排放臭氧，但直接排放化合物如氮氧化物和碳氢化合物，此类物质会导致位于燃煤电厂下风口的臭氧形成。

化合物。这种用于改善煤质的工业用语为“选矿”。选矿改善了煤质，产生环境和经济双效益。

7.4.1.1 提高热耗率

灰分含量越高，煤的热值便越低。经洗煤除灰后，可显著提高煤的热值。这意味着燃烧较少的煤便能产生等量的电。因此，与使用质量较次煤的电厂相比，使用更优质煤的电厂将具备经济和性能优势。

7.4.1.2 改善电厂运营

选矿给电厂运营带来了各方面的改善，直接影响了燃煤电厂的盈利能力，以及其符合环境要求和规避未来经济风险的能力。

使用含铝的矿物添加剂后，煤粉锅炉中结垢和结渣的削减量高达78%⁸³。湿法预处理可减少附着于锅炉管道处的灰分量，从而减少结垢。干式添加剂如氧化铝可减少灰分粘性，从而降低锅炉表面形成的灰分量。降低煤中的灰分含量也可增加煤细度。

降低锅炉燃烧室灰分和硫分是正确的做法。通过降低积灰量，运营商可减少去除积灰的计划内、外维护需求。降低电厂管道灰分和硫分沉积物的粗度可减少腐蚀，这种腐蚀会缩短电厂预期寿命。

燃料中灰分含量的增加会影响用于处理和加工煤的电厂设备的各个方面，如输送机、粉碎机、破碎机和储存等。同时，随着设备负荷增长，仅为保证电厂运行便需要更多能源，这些电量本可用于出售。因此，这导致了电厂运营成本的增加和盈利潜力的降低。

选矿也有利于排放控制装置的运行。煤中约80%的灰分最终通过燃烧过程随着烟气经排放控制设备捕获。洗煤降低了产生的灰分量以及经由颗粒物控制装置收集的灰分量，从而延长了颗粒物控制装置的寿命。同时，洗煤也有助于延长进行灰分处置的填埋场的寿命。选矿亦能通过减少装置需捕获污染物的数量而延长排放控制设备的寿命。燃烧前洗煤或对其进行加工也使电厂能设计和购买更小型的排放控制装置，从而降低投资成本。

83.Vutharulu，1999年。

因此，燃烧更优质的煤能够使电厂主直接获益。对于电厂主和运营商而言，燃煤锅炉为重要的经济资产，施工用料具高价值，如某种管道和设备的专用不锈钢。锅炉所设计的使用寿命为20-30年或更长。改善煤质实为对这项长期投资的保值⁸⁴。

7.4.1.3 改善空气质量

降低燃料中硫分含量也能减少硫酸的形成和细颗粒物排放，有助于通过降低区域霾度以提高能见度。硫酸的实际形成数量取决于SO₃的排放量以及排放导致的各种气象和化学反应。美国燃煤电厂的数据表明在排放的硫氧化物中，SO₃所占比例为1-2%。三氧化硫也易转化为酸雨的重要致因氢硫酸（H₂SO₄）⁸⁵。

美国煤的相关研究表明，洗煤可降低10-20%的硫含量（以磅/百万英热单位为基准）。墨西哥煤的相关报告显示，灰分及硫分含量可分别降低30-50%和20-30%。国家科学院的一项研究报告显示洗煤后中国煤中硫分含量降幅达20%⁸⁶。洗煤减少SO₂排放潜力的保守假设为10%。对于运行容量系数为80%（或年运行7000小时）的600 MW电厂而言，SO₂最少降低10%时，其最低削减量可达1682公吨。

7.4.1.4 改善交通运输系统

洗煤可降低高达25%的原煤重量，且增加有效热含量（单位计做英国热量单位每克）。净减少约20%用于运输的能源需求是可以实现的，这可降低从煤矿运煤至电厂所需燃料量，能够减少细颗粒物、氮氧化物和温室气体排放⁸⁷。同样研究报告显示中国45%的铁路运力用于运煤，每年随煤运输的尘土和岩石达7000万吨。

84.然而，需认识到，即使使用更优质的煤，锅炉设计对于电厂的有效运行仍至关重要。锅炉设计寿命以良好的流体动力学和传热原则为依据。电厂管道系统和铺管的规划旨在将转角和弯处降至最低程度，使管道直径大至足以将压降控制在最低程度，最大程度地提高电厂的热效率，避免产生烟气从此处移至它处需耗费的额外能源。对此至关重要是混合良好的烟气，这些烟气取决于在燃烧室有充足的停留时间以完成化学反应，实现最大程度的传热和最大程度的降低空气污染物的形成。混合良好的烟气还能确保管道速度上下左右的一致，这样则可尽量确保烟气温度一致。烟气热点处会导致管道变形，如果烟气冷点处的温度降至酸露点，则会导致腐蚀。

85.Allen，2004年。

86.国家研究委员会，2004年。

87.Glomrod，2003年

7.4.1.5 更为价廉

一项美国和印度联合研究显示，即使每吨清洗计费为130卢比（截至2012年12月的汇率，约为15元人民币或2.4美元），清洗过的煤其平均价格仍比原煤低10%⁸⁸。该报告绘制了经过不同程度清洗之后煤的热值，显示运输距离超过900公里时，清洗煤的交付价格（以每千卡成本为基准）低于原煤价格。研究还得出结论洗煤为电厂带来了额外效益（提高每公斤煤的热含量，降低灰分处置成本以及运行和维护成本等）。最后，该报告将进口煤与原煤和清洗煤进行了比较（包括给电厂带来的效益）。该分析发现清洗煤价格低于进口煤的10-20%。

美国“酸雨”SO₂削减计划的最新研究支持煤质的改善具有重大和量化效益的见解。该计划于1990年启动，显著降低了SO₂排放，很大程度上归根于转为使用更优质的煤（虽然排放控制设备的安装也发挥了支持作用）。总体而言，该计划年度效益达1220亿美元（主要源自PM_{2.5}导致的死亡率的降低），与之相比，年成本仅为30亿美元⁸⁹。下节将详细讨论这些成本。

一份为美国电力研究所(EPRI)完成的技术文件确认使用更优质煤的效益。该文指出“可以肯定的是，不论出于何种缘由，任何电厂其特定用煤中含高灰分都是不可取而且毫无根据的⁹⁰。”文章分析了不同灰分数量的煤，而后确定了灰分含量对若干项锅炉性能和操作参数的影响，包括热效率、填埋灰的数量、管道年故障率、机组可用率和二氧化碳排放数量。灰分含量的增加给所有的锅炉系数带来了负面影响，热效率下降，管道年故障率增加，填埋灰数量的增加，二氧化碳排放增加，机组可用性下降。即使锅炉效率提高1%，也会给电厂一年期间燃煤数量带来显著影响。提高发电或机组的“热”率，即减少1度电所需的煤克数，可降低燃料成本和提高盈利能力。之后关于改善煤质其效益的研究支持了该项为美国电力研究所完成的研究得出的结论⁹¹。

88.Sharpe，2011年。

89.美国环保署，2013年。

90.Anderson & Nowling，2002年。

91.加拿大清洁电力联盟技术委员会，（Canadian Clean Power Coalition Technical Committee），2011年。

7.4.2 成本

洗煤和加工煤相关成本的精确数据较为缺乏。一项关于公众信息的综述强调了洗煤对于煤生产商的效益，例如可获取更高的产品售价⁹²。

煤质改善相关的环境和个人效益须与成本进行比较，包括洗煤和加工煤的环境成本。在特定的地理区域，水资源受限，某些情况下更严重。在这样的地区，不建议将本来已稀缺的水资源用于提高煤质，改善煤质的区域最好选在电厂或矿口与电厂的中间地区，这些地区水源较丰富，可循环再利用。

同时，洗煤后需贮蓄洗煤自身过程产生的剩余浆料。如果泄露，贮浆池会导致当地河渠和地下水污染的风险增加。出于这一严重的环境考虑，监管机构需进行严格监督。

7.5 监管点

目前并非所有与劣质煤相关的成本都由电厂主来承担，而且许多电厂主已经投资在能够有效使用低质煤的电厂⁹³。因此建议中国政府采取一定行动，鼓励广泛地使用更优质的煤。

通过数种方式可详细说明质量控制要求。卖方和买方之间的合同安排为主要手段，通过该手段可建立商业性质量控制。纽约商品交易所（以下简称NYMEX）为煤质合同标准的例证之一。NYMEX标准规定提出了诸多煤质规格：

按这种合同交付的煤应符合以收到为基准的质量规格（“收到”一词不适用于(6)和(7)）：

1. 英热单位（Btu）：最低12,000 btu/lb，总热值，分析公差为250 btu/lb以下（A.S.T.M. D1989）
2. 灰分：最高13.50%，无分析公差（A.S.T.M. D3174或D5142）

92. 见例证：<http://seekingalpha.com/article/426421-mongolian-mining-corp-a-high-profit-margin-play-with-room-to-grow>，该文介绍了蒙古煤生产商每吨清洗煤于中国的售价较高。

93. Steinfeld等，2008年。

3. 硫分：最高1.00%，分析公差为0.050%以上(A.S.T.M. D4239)
4. 水分：最高10.00%，无分析公差(A.S.T.M. D3302 或 D5142)
5. 挥发物：最低30.00%，无分析公差 ((A.S.T.M. D5142或D3175)
6. 可磨性：哈德果夫指数(HGI)最低为41， 3点分析公差以下。(A.S.T.M. D409)
7. 分选：3英寸最大尺寸，标称，以通过1/4英寸正方形金属丝筛网的最多量达55%为机械取样系统为筛选的决定基准 (A.S.T.M. D4749)⁹⁴

在这些合同安排下，合同方执行质量标准，对情况持有争议时，拥有向适当司法机构的追索权⁹⁵。

第二类质量控制可通过空气污染许可体现。针对特定许可的来源，许可证进行了各种不同的限制，提出了具地点特异性的参数。可对以下方面进行限制：煤热值范围（最小值和大值）、煤中硫分和灰分含量、进出量（每小时的燃煤吨数）以及保存记录和报告（包括取样和排放检测要求）。需经许可的典型实体为运行中使用煤的发电厂和大型工业设施。

美国环保署（EPA）的新源审查（以下简称NSR）计划是许可项目的例证之一⁹⁶。新源审查适用于当一家公司如燃煤发电厂的未来运营商欲新建电厂或整改现有电厂而导致某些排放大量增加到一定额度时。新源审查许可证为施工许可证，要求公司无论是通过改变拟用的工业工艺或安装空气污染控制设备将指定排放降至最低。

美国环保署开展的另一类许可证计划追溯于1990年修订的《清洁空气法》第五章⁹⁷。第五章涉及的许可证为经营许可证，一旦污染源投入使用，便对它们的活动进行管理。他们对单个设施所允许的某些污染物的排放进行限值，如二氧化碳，硫氧化物，汞和氮氧化物。

美国环保署负责执行NSR计划，要求受监管实体严格遵守数据收集和向环保署报告

94.芝加哥商品交易所集团(CME)，2012年。

95.通常，合同详述了解决争端的方式以及审判主体和管辖范围。

96.请访问美国环保署网站<http://www.epa.gov/nsr/> 12/16/12处查询NSR计划的详细情况。

97.《清洁空气法》第五章许可证信息见美国环保署网站，请访问网站<http://www.epa.gov/air/caa/title5.html> 12/16/12处。

的制度。

最后，还有一些可用于一个区域或一个行业的一般性质量控制措施（与许可证不同，没有地点特异性）。监管形式众多，如“命令和控制”，监管机构借此设定污染物排放目标，惩处超标的实体；激励机制，监管机构借此设定目标，嘉奖实现目标的实体；市场机制，如总量控制和交易制度。

旨在监管二氧化碳排放的欧盟碳排放交易体系（ETS）也许是排放控制政策方面最为人们所知的国际例证⁹⁸。该体制始于2005年，对工厂和发电厂排放的特定温室气体总量设定了限值（上限）。各公司获得在每次合规期间能够允许排放的指定额度（该许可采取的形式为每单元排放的配额）⁹⁹。根据各排放者为遵守污染限值所采取的策略，可购买和出售配额。合规期结束之际，每个受监管实体须提交该阶段排放所需配额。如果该实体的排放量超过配额所覆盖的范围，将会予以罚款。通过限制发放的配额量，可逐步削减排放程度。

欧盟委员会为欧盟碳排放交易体系的执行实体。

7.6 对中国的建议

中国能够改善燃煤的质量。煤质的改善有助于提高电厂的经济状况，并减少现有对环境的损害。以下数条建议可供中国参考，以提高电厂燃煤的质量：

- 与知名的大学、中国煤炭研究所和中国电力企业联合会协力进行研究：
 - ◎ 通过成本效益分析和规划（例如研究灰分和硫分的去除量、成本、煤热值提高所及程度、所需水量）确定中国在改善煤质方面的潜力。
 - ◎ 制定适当的政策机制以回收所有由于煤质改善所产生的相关成本并考虑如何最佳分配这些成本。
- 将煤质规格纳入燃煤电厂的环境影响评估和运营许可证系统。这将允许电厂

98. 见欧盟委员会关于其排放交易体系的网站。请访问http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm 12/16/12处。

99. 关于排放交易体制，普遍存在的批评针对排放配额于排放者的免费给予。一种更为优选的替代方法是出售配额，而后再将这些资金重新投入能源效率和可再生能源的项目，从而进一步降低排放程度。见Cowart，2008年。

与煤企针对燃煤类型和质量进行合约规范。规格应包括：燃煤类型、热值及硫分与灰分的可接受范围，并要求对收到煤进行检测。

- 对于洗煤，要求各设施对煤加工用水进行循环再利用。
- 在水资源受限地区或可能需将饮用水或地下水供应用于洗煤的地区，可通过使用干式添加剂和无需用水的工艺来改善煤质。
- 与环保部合作，减少柴油卡车燃料中硫分含量。环保部、国家发改委和财政部最近共同开展的“联防联控”空气质量计划宣布了旨在加快提高中国燃油质量的目标。降低硫分含量也将促使这些卡车配备现代装置，有利于减少细颗粒物。

参考文献

- Allen, G., Goodwin, B. & Turner, J. (2004). Real-time Carbon and Sulfate Measurements from the MANE-VU Rural Aerosol Intensive Network (RAIN): Design, Methods and Early Data. Presented at the Air & Waste Management Association Visibility Specialty Conference on Regional and Global Perspectives on Haze: Causes, Consequences and Controversies. Asheville, NC. Retrieved from: http://www.nescaum.org/documents/allen-awma_haze-rain-paper-oct-2004_proceedings.pdf/download
- Anderson, A. & Nowling, K. (2002). Estimating the Cost of Coal-Fired Generation - an Application of VistaTM. Presented at the International Workshop on Effects of Coal Quality on Power Plant Performance, New Delhi, India. Retrieved from: <http://www.myvistasource.com/files/techpapers/vistaindiapaper.pdf>.
- Arimura, T.H., Li, S., Newell, R.G., & Palmer, K. (2011). Cost-Effectiveness of Electricity Energy Efficiency Programs. Washington, DC: Resources for the Future. Retrieved from: <http://www.rff.org/rff/Documents/RFF-DP-09-48-REV.pdf>.
- Baron, R., Asrud, A., Sinton, J., Campbell, N., Kejun, J., & Xing, Z. (2012). Policy Options for Low-Carbon Power Generation in China: Designing an Emissions Trading System for China's Electricity Sector. Paris, FR: International Energy Agency. Retrieved from: http://www.iea.org/publications/insights/Insight_PolicyOptions_LowCarbon_China.pdf.
- Canadian Clean Power Coalition Technical Committee. (2011). Coal Beneficiation: A Final Phase III

- Report: Appendix B. Calgary, Canada: Canadian Clean Power Coalition. Retrieved from: http://www.canadiancleanpowercoalition.com/index.php/download_file/-/view/141/.
- Cheung, K. (2011). *Integration of Renewables: Status and Challenges in China*. Paris, FR: IEA. Retrieved from: http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Integration_of_Renewables.pdf.
- China Electricity Commission. (2011). *Basic Electricity Statistics for 2011 (2011年电力工业统计基本数据一览表)*. Retrieved from: <http://www.cec.org.cn/guihuayutongji/tongjixinxi/niandushuju/2013-04-19/100589.html>.
- China Electricity Council. (2013). *Operation Of The Electric Power Industry Monitoring Report*. Retrieved from: <http://www.cec.org.cn/yaowenkuaidi/2013-01-17/96276.html>.
- CME Group. (2012). *NYMEX Rule Book, Section 260.06*. Chicago, IL: Author. Retrieved from: <http://www.cmegroup.com/rulebook/NYMEX/2/260.pdf>.
- Cowart, R. (2008). *Carbon Caps And Efficiency Resources: How Climate Legislation Can Mobilize Efficiency And Lower The Cost Of Greenhouse Gas Emission Reduction*. *Vermont Law Review*, Vol. 33:201. Retrieved from: <http://lawreview.vermontlaw.edu/files/2012/02/12-Cowart-Book-2-Vol-33.pdf>.
- Crossley, D. (2013, February 12, 13, and 14). *Energy Efficiency in China*. *Climate Spectator*. Retrieved from: <http://www.raponline.org/document/download/id/4414>.

Crossley, D., Gerhard, J., Kadoch, C., Lees, E., Pike-Biegunska, E., Sommer, A., Wang, X., Wasserman, N., & Watson, E. (2012). Best Practices in Designing and Implementing Energy Efficiency Obligation Schemes. International Energy Agency Demand Side Management Programme, Task XXII Research Report. Montpelier, VT: Regulatory Assistance Project. Retrieved from: <http://www.raponline.org/document/download/id/5003>.

E3: Energy & Environmental Economics. (2012, December). Generation Cost Model for China. Retrieved from: http://ethree.com/public_projects/generation_cost_model_for_china.php.

Ecar Energy. (2011). WP2: Review of Grid Codes. Prepared for the Australian Energy Market Operator. Retrieved from: <http://www.aemo.com.au/Electricity/Planning/~media/Files/Other/planning/0400-0050%20pdf.ashx>.

Ela, E., Milligan, M. & Kirby, B. (2011). Operating Reserves and Variable Generation. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory. Retrieved from: <http://www.nrel.gov/docs/fy11osti/51978.pdf>.

Epstein, P.R., Buonocore, J.J., Eckerle, K., Hendryx, M., Stout III, B.M., Heinberg, R., Clapp, R.W., May, B., Reinhart, N.L., Ahern, M.M., Doshi, S.K. & Glustrom, L. (2011). Full cost accounting for the life cycle of coal. Ecological Economics Reviews. Ann. N.Y. Acad. Sci. 1219: 73–98. Retrieved from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1749-6632.2010.05890.x/pdf>.

European Climate Foundation. (2010). Roadmap 2050: Practical Guide to a Prosperous, Low-

Carbon Europe. Retrieved from: <http://roadmap2050.eu/reports>.

Feifei, S. (2013, September 9). China Idles Fewer Wind Farms as Grid Connections Smoothed. Bloomberg News. Retrieved from: <http://www.bloomberg.com/news/2013-09-08/china-idles-fewer-wind-farms-as-grid-connections-smoothed.html>.

FERC. (2012). Assessment of Demand Response and Smart Metering: Staff Report. Washington DC: Author. Retrieved from: www.ferc.gov/legal/staff-reports/12-20-12-demand-response.pdf.

Gadag, G., Chitnis, A., & Dixit, S. (2011). Transition From MoU to Competitive Bidding: Good Take-Off but Turbulence Ahead. Review of Thermal Capacity Addition Through Competitive Bidding in India. Maharashtra, India: Prayas Energy Group. Retrieved from: <http://www.prayaspune.org/peg/publications/item/140-transition-from-mou-to-competitive-bidding-good-tech-off-but-turbulence-ahead-review-of-thermal-capacity-addition-through-competitive-bidding-in-india.html>.

Global Wind Energy Council. (2012). Global Wind Report Annual Market Update 2012. Washington, DC: Author. Retrieved from: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2012/06/Annual_report_2012_LowRes.pdf.

Global Wind Energy Council. (2013). Global Wind Report: Annual Market Update 2012. London, UK: Author. Retrieved from: <http://www.gwec.net/publications/global-wind-report-2/global-wind-report-2012>.

- Glomrod, S. & Taoyuan, W. (2003). Coal Cleaning: A Viable Strategy for Reduced Carbon Emissions and Improved Environment in China? Discussion Papers No. 356. Oslo, Norway: Statistics Norway. Retrieved from: <http://www.ssb.no/publikasjoner/DP/pdf/dp356.pdf>.
- Heffner, G.C., du Pont, P., Rybka, G., Paton, C., Roy, L., & Limaye, D. (2013). Energy Provider-Delivered Energy Efficiency. Paris, FR: International Energy Agency. Retrieved from: http://www.iea.org/publications/insights/EnergyProviderDeliveredEnergyEfficiency_WEB.pdf.
- Hurley, D., Peterson, P., & Whited, M. (2013). Demand Response as a Power System Resource Program: Designs, Performance, and Lessons Learned in the United States. Montpelier, VT: Regulatory Assistance Project. Retrieved from: <http://www.raponline.org/document/download/id/6597>.
- International Energy Agency. (2010). Energy Efficiency Governance. Paris, FR: Author. Retrieved from: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/eeg.pdf>.
- James, C. & Gerhard, J. (2013). International Best Practices Regarding Coal Quality. Montpelier, VT: Regulatory Assistance Project. Retrieved from: <http://www.raponline.org/document/download/id/6438>.
- James, C. (2013). Drivers to Improving Coal Quality: Rationale, Costs, and Benefits. Montpelier, VT: Regulatory Assistance Project. Retrieved from: <http://www.raponline.org/document/download/id/6714>.
- Kahrl, F., Williams, J. H., & Hu, J. (2013, February). The Political Economy of Electricity Dispatch

- Reform in China. *Energy Policy*, 52. Retrieved from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421512009470>.
- Lancet. (2012, December). The Global Burden of Disease Study 2010. Retrieved from: <http://www.thelancet.com/themed/global-burden-of-disease>.
- Lazar, J., Weston, R., & Shirley, W. (2011). *Revenue Regulation and Decoupling: A Guide to Theory and Application*. Montpelier, VT: Regulatory Assistance Project. Retrieved from: www.raponline.org/document/download/id/902.
- Liu, C. (2012, June). China's Offshore Wind Program is Beached by Interagency Disputes. *ClimateWire*. Retrieved from: <http://www.eenews.net/stories/1059965925>.
- Lockwood, A. (2012). *Coal's Assault on Human Health*. Washington, D.C.: Physicians for Social Responsibility. Retrieved from: <http://www.psr.org/resources/coals-assault-on-human-health.html>.
- Ma, J., Shi, A., & Tong, M. (2013). *China: Big Bang Measures to Fight Air Pollution*. Hong Kong: Deutsche Bank AG. Retrieved from: <http://www.zadek.net/wp-content/uploads/2013/07/China-big-bang-measures-to-fight-air-pollution.pdf>.
- Maurer, L. T. A. & Barroso, L. A. (2011). *Electricity Auctions: An Overview of Efficient Practices*. Washington, DC: World Bank. Retrieved from: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/2346>.

Mercados Energy Markets International. (2009). China Power Dispatch Efficiency Improvement. Prepared for the World Bank.

Moreno, R., Barroso, L. A., Rudnick, H., Mocarquer, S., & Bezzara, B. (2010, October). Auction Approaches of Long-Term Contracts to Ensure Generation Investment in Electricity Markets: Lessons From the Brazilian and Chilean Experiences. *Energy Policy*, 38. Retrieved from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V2W-509Y4DB-1/2/a6302502964276c7147d5a3b6d1ac17a>.

Morgan, P. (2013). Decade of Decoupling for US Energy Utilities: Rate Impacts, Designs, and Observations. Lake Oswego, OR: Graceful Systems LLCA. Retrieved from: <http://www.aceee.org/files/pdf/collaborative-reports/decade-of-decoupling.pdf>.

Moskovitz, D., Lin, J., Weston, F., Zhou, F., Liu, S., Hu, Z., Bai, J., & Yu, C. (2007). Part A Final Report TA 4706-PRC: Energy Conservation and Resource Management Project. Manila, Philippines: Asian Development Bank. Retrieved from: www.raponline.org/document/download/id/994.

Mostrous, Y. (2012, March 12). Mongolian Mining Corp.: A High Profit Margin Play With Room To Grow. Seeking Alpha. Retrieved from: <http://seekingalpha.com/article/426421-mongolian-mining-corp-a-high-profit-margin-play-with-room-to-grow>.

National Development and Reform Commission. (2010). Demand-Side Management (DSM) Implementation Measures No. 2643 (电力需求侧管理办法 发改运行[2010]2643号). Retrieved from: <http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2010tz/W020101119573561287669>.

pdf.

National Development and Reform Commission. (2007). Medium- and Long-Term Development Plan for Renewable Energy (可再生能源中长期发展规划). Retrieved from: <http://www.sdpc.gov.cn/zcfb/zcfbtz/2007tongzhi/W020070904607346044110.pdf>.

National Research Council. (2004). Urbanization, Energy and Air Pollution in China: The Challenges Ahead- Proceedings of a Symposium. Washington, D.C.: National Academies Press. Retrieved from: https://download.nap.edu/login.php?record_id=11192&page=%2Fdownload.php%3Frecord_id%3D11192.

Northwest Power and Conservation Council. (2011). An Overview of the Council' s Power Planning Methods, Council Document 2011-02. Portland, OR: Author. Retrieved from: http://www.nwcouncil.org/media/29998/2011_02.pdf.

Ofgem. (2010). RIIO, A New Way to Regulate Energy Networks: Final Decision. London, UK: Author. Retrieved from: <https://www.ofgem.gov.uk/ofgem-publications/51870/decision-doc.pdf>.

Price, L., Levine, M., Zhou, N., Fridley, D., Aden, N., Lu, H., McNeil, M., Zheng, N., Qin, Y. & Yowargana, P. (2011). Assessment of China' s Energy-Saving and Emission-Reduction Accomplishments and Opportunities During the 11th Five Year Plan. Energy Policy, 39. Retrieved from: <http://china.lbl.gov/sites/all/files/ep-11fyp-accomplishments-assessmentapril-2011.pdf>.

Regulatory Assistance Project. (2011). Power Sector Policy in China: Next Steps (Draft). Montpelier, VT: Author. Retrieved from www.raponline.org/document/download/id/4598.

Regulatory Assistance Project. (2012). Power Sector Policy in China: Next Steps (Final). Montpelier, VT: Author. Retrieved from www.raponline.org/document/download/id/6329.

Schwartz, L., Porter, K., Mudd, C., Fink, S., Rogers, J., Bird, L., Hogan, M., Lamont, D., & Kirby, B. (2012). Meeting Renewable Energy Targets in the West: The Integration Challenge. Prepared for the Western Governors Association. Retrieved from: <http://www.raponline.org/featured-work/meeting-renewable-energy-targets-in-the-west-at-least-cost-the-integration>.

Sharpe, M.A. (2011). Computer Simulation to Evaluate the Benefits of Clean Coal for Thermal Generation. Presented at U.S.-India Coal Working Group, 8th Annual Meeting, New Delhi, India. Retrieved from: http://www.coal.nic.in/VALUE%20OF%20WASHED%20COAL-CAG%2003-24-11_DELHI.pdf.

Solar Server. (2013, September 3). China Approves Regional Variations to Feed-in Tariff for Solar PV. Solar Server. Retrieved from: <http://www.solarserver.com/solar-magazine/solar-news/current/2013/kw36/china-approves-regional-variations-to-feed-in-tariff-for-solar-pv.html>.

State Council. (2012). Notice on National Strategies for Development of New Industries in the 12th Five-Year Guidelines (国务院关于印发“十二五”国家战略性新兴产业发展规划的通知). Retrieved from: http://www.gov.cn/zwggk/2012-07/20/content_2187770.

htm.

State Electricity Regulatory Commission. (2012). Report on Wind Integration in Key Regions (重点区域风电消纳监管报告). Retrieved from: <http://www.serc.gov.cn/jggg/201208/P020120817333049328326.pdf>.

Steinfeld, E., Lester, R. & Cunningham, E. (2008). Greener Plants, Grayer Skies? A Report from the Front Lines of China's Energy Sector. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology. Retrieved from: <http://web.mit.edu/ipc/publications/pdf/08-003.pdf>.

Tierney, S. F. & Schatzki, T. (2008). Competitive Procurement of Retail Electricity Supply: Recent Trends in State Policies and Utility Practices. *The Electricity Journal*, 22 (1). Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S104061900800287X>.

U.S. Energy Information Administration. (2012). Table 1: Estimated rail transportation rates for coal, U.S. averages. Washington, D.C.: U.S. Author. Retrieved from: http://www.eia.gov/coal/transportationrates/pdf/table1_US_averages.pdf.

U.S. Environmental Protection Agency. (2013). Acid Rain Program Benefits Exceed Expectations. Washington, D.C.: Author. Retrieved from: <http://www.epa.gov/capandtrade/documents/benefits.pdf>.

Vutharulu, H. B. (1999). Remediation of Ash Problems in Pulverized Coal-fired Boilers. *Fuel*, 78 (15). Retrieved from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236199000927>.

- Western Governors' Association. (2010). Meeting Renewable Energy Targets in the West at Least Cost: The Integration Challenge. Denver, CO: Author. Retrieved from: http://www.westgov.org/component/docman/doc_download/1610-meeting-renewable-energy-targets-in-the-west-at-least-cost-the-integration-challenge-full-report?Itemid
- Wiser, R., O'Connell, R., Bolinger, M., Grace, R., & Pletka, R. (2006). Building a Margin of Safety into Renewable Energy Procurements: A Review of Experience with Contract Failure. Report prepared for the California Energy Commission. Retrieved from: <http://www.energy.ca.gov/2006publications/CEC-300-2006-004/CEC-300-2006-004.PDF>
- World Bank. (2007). Cost of Pollution in China: Economic Estimates of Physical Damages. Washington, DC: Author. Retrieved from: http://siteresources.worldbank.org/INTEAPREG-TOPENVIRONMENT/Resources/China_Cost_of_Pollution.pdf.
- World Coal Association. (2012). Retrieved from: <http://www.worldcoal.org>.
- World Coal Institute. (2005). The Coal Resource: A Comprehensive Overview of Coal. London, UK: Author. Retrieved from: [http://www.worldcoal.org/bin/pdf/original_pdf_file/coal_resource_overview_of_coal_report\(03_06_2009\).pdf](http://www.worldcoal.org/bin/pdf/original_pdf_file/coal_resource_overview_of_coal_report(03_06_2009).pdf).
- Xiaolan, S. (2012). Coal Quality. Retrieved from: <http://baike.baidu.com/view/1802749.htm>.
Translated by Wang Xuan, Regulatory Assistance Project.
- Xiei, G. (2013, April 4). New Energy Development Status and Future Planning in China. Presentation before a meeting of the China delegation to the Utility Variable Generation Integra-

tion Group Spring 2013 meeting, Charleston, SC.

Zavadil, R., Miller, N., Van Knowe, G., Zack, J., Piwko, R., & Jordan, G. (2009). Technical Requirements for Wind Generation Interconnection and Integration. Prepared for ISO-New England. Retrieved from: http://variablegen.org/wp-content/uploads/2013/01/ISONE-Final16Nov09Interconnectionreqnewis_report1.pdf.

睿博能源智库 (RAP) 简介

睿博能源智库 (RAP) 是一个全球性专家咨询机构。主要关注全球能源政策的长期经济 and 环境的可持续。RAP 在能源政策方面有资深的经验，致力于促进经济效率、保护环境，确保电力系统的可靠性和扩大社会效益。

RAP的专家组由前任政府官员和能源高管组成。在基金会和政府的支持下，我们在广泛的能源和环境领域为政府提供技术和政策援助。

RAP在中国

睿博能源智库自1999年开始在中国工作，目前在北京成立了长期办公室。

RAP帮助中国政策制定者制定和实施相关政策，来促进可持续经济发展、增加能源系统可靠性、改善空气质量和公众健康，从而为中国大量和长期地减少温室气体排放作出贡献。

通过和美国能源基金会的密切合作，我们在能效、市场和监管政策改革、可再生能源和环境政策方面提供技术支持和国际经验。我们的国际合作伙伴包括劳伦斯伯克利国家实验室 (LNBL) 的中国能源小组、资源解决方案中心 (CRS) 和自然资源保护委员会 (NRDC)。

RAP最近发表的文章

- 中国电力政策改革下阶段的建议
- 节能服务人才和资金是关键
- 中国利用节能数据平台确认和验证节能量
- 煤质国际最佳实践



The Regulatory Assistance Project • 睿博能源智库

欧盟 • 中国 • 印度 • 美国

Beijing, China • Berlin, Germany • Brussels, Belgium • Montpelier, Vermont USA • New Delhi, India

北京市朝阳区建国门外大街19号国际大厦2504室 • 邮编:100004 • 电话: +86-10-8526-2241

CITIC Building, Room 2504 • No 19 Jianguomenwai Dajie • Beijing 100004 • phone: + 86-10-8526-2241

www.raponline.org



The Regulatory Assistance Project • 睿博能源智库

欧盟 • 中国 • 印度 • 美国

Beijing, China • Berlin, Germany • Brussels, Belgium • Montpelier, Vermont USA • New Delhi, India

北京市朝阳区建国门外大街19号国际大厦2504室 • 邮编: 100004 • 电话: +86-10-8526-2241

CITIC Building, Room 2504 • No 19 Jianguomenwai Dajie • Beijing 100004 • phone: + 86-10-8526-2241

www.raponline.org