中国的天然气时代：

能源发展的创新与变革

MICHAEL F. FARINA 和王俊涛

目录

一、 摘要

二、 天然气时代与中国

中国天然气发展史 5

当下的天然气市场 6

三、 为什么选择天然气？天然气是能源多样化的最佳选择

传统经济分析对天然气价值的低估 9

中国的能效目标 10

环境保护与可持续 11

能源安全与多样性 13

弹性与可持续性基础设施建设 14

发挥天然气的多重优势 15

四、 中国的天然气时代

中国天然气市场发展展望 17

突破极限 19

五、 支持天然气行业发展：五大关键领域

价格竞争力 21

释放创新动力 23

利用网络的力量 23

环境管理 24

构建服务生态系统 24

结论 26

六、 尾注及特别鸣谢

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

一、摘要

过去十年，中国能源战略的主要侧重点是煤炭和石油。事实上，正是煤炭和石油支撑起了中国的经济发展奇迹。然而，空气污染、能源效率等能源相关问题的愈益突出，已推动中国开始寻求其它选择。正是在这些不断变化的条件下，我们看到，天然气日益成为新的焦点。天然气不仅可以增加能源消费大国的能源供应选择，而且具有突出的优势，这使其成为中国能源多样化的一个明智之选。天然气的高能效能够支撑中国的工业发展，减少有害物质排放，增强能源安全与弹性。与此同时，天然气还与核能及可再生能源等其它低排放能源形成良性互补。天然气是能源多样化的最佳选择。

在通用电气（GE）公司的“天然气时代”展望中，中国天然气的需求量将以每年8%的速度增长。2025年中国的天然气市场将是当前规模的2.5倍，年需求量达到近4000亿立方米，较当前水平增加2500亿立方米。天然气在一次能源消费中的比重预计将翻一番，从当前的4%增加到2025年的8%。非烃类资源在一次能源消费中的比例预计将增至17%。相应地，碳排放的增长速度将大约只有过去十年里增长速度的三分之一。二氧化硫（SO_2）的排放量预计则将比当前水平下降15个百分点。

电力行业的能源选择将对天然气行业产生重大影响。预计到2025年，天然气发电量在总发电量中的占比将达到6%，是当前水平的三倍。国内与国际供应源将各占天然气总供应量的一半，其中页岩气的供应量到2025年将占到整个天然气供应的7%。上述数据低于中国政府部分近期目标，但它们反映了一个大型经济体在能源多样化与需求增长方面面临的挑战。

如果页岩气的快速发展与天然气发电的迅速崛起能够成为现实，天然气在一次能源消费中的份额将达到12%，天然气发电量在总发电量中的占比将达到15%。按照这一更为大胆的条件预设，中国的二氧化碳排放年增长率将从目前的9%降低到2025年的1%，而二氧化硫的排放量将比当前水平降低30%。要推动这一巨变的发生，中国的天然气市场到2025年将比“天然气时代”展望预测的规模还要扩大40%，相当于当前美国天然气市场80%的规模。

尽管中国政府和企业界的领导者一直重视未来中国能源的多样化，并致力于发挥天然气的环境和效率优势，但中国天然气的未来仍具有不确定性。新的供气来源前景光明，城市地区发挥天然气优势的潜力巨大，但一些机制上的因素可能阻碍天然气行业的发展实现增长。需要采取具体步骤来规划天然气行业的未来，增强天然气的竞争力。

为了实现这一目标，我们认为，下面五大关键领域对实现中国的天然气时代至关重要，具体内容包括：

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

- 价格因素。中国需要调整天然气定价政策，既使得供应与基础设施投资具有可行性，同时又使天然气与其它燃料相比具有价格竞争力。
- 释放创新动力。掌握能够容纳新技术与新商业模式探索的政策工具。
- 利用网络的力量。随着天然气网络的壮大，其价值日益珍贵。中国具有建造和整合其能源网络的独特机遇；然而，这需要在支持基础设施投资的同时确保网络的可用性。
- 保持天然气的清洁。只有合理地开采、运输与使用天然气，它才是一种更加清洁的能源。只有具备良好的监管与监控，方可实现天然气的可持续性优势。
- 构建服务生态系统。天然气行业的许多方面需要专门的专业经验。对天然气行业高品质服务方面的发展予以关注将非常重要。

上述领域的成功将有很大希望推动天然气在中国能源体系中发挥更加重要的作用。然而，我们也认识到，这些解决方案必须符合中国市场的独特要求。也就是说，要找出适当的协作伙伴关系来推动技术创新并改进商业实践。

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

二、天然气时代与中国

作为一种全球性能源，天然气在中国乃至世界的作用都在扩大。石油和煤炭等现有燃料面临的制约越来越多，与此同时，能源需求增长势头依然强劲。页岩油气开发取得进展，由此引发的新能源供应来源的增长潜力成为业界讨论的主题。这驱使各国重新思考天然气在能源体系中的作用。

开发利用天然气资源具有多种优势。天然气有助于各国通过能源需求多样化降低对单一能源进口的依赖，为国家竞争力提供支持。如果结合适当的环保措施，天然气造成的空气污染及对水的消耗远低于煤炭。此外，尽管经常被与其它燃料进行对比，但天然气具有独一无二的特性，它作为一种灵活的能源选择能对风能、太阳能、核能等其它能源构成补充。 天然气的确是“ 能源多样化的最佳选择 ”。

新技术的应用一方面扩大了供应来源，同时也大大拓展了需求范围。毗邻需求中心部署较小规模的天然气资源可以显著提升能源体系的弹性。我们认为，天然气作为一种燃料所具有的灵活性、多样性和相对清洁性，对满足中国以及其他许多发展中经济体不断增长的能源需求至关重要。

经济与环保方面的因素预计将日益推动天然气和可再生能源对石油和煤炭的替代。到2025年，全球天然气供应将占全球能源供应的26%。有理由相信，我们正步入一个全新的“ 天然气时代 ”[1]。然而这个展望里，中国的能源选择至关重要。预计到2025年，中国将占据全球天然气需求增长的20%。如果中国在天然气产业上的努力失败的话，那么全球的天然气增长图景也会大打折扣。考虑到中国对天然气行业的重要影响，本文将聚焦中国天然气的未来。中国发展天然气的优势是什么？中国的天然气行业必须克服哪些挑战？我们首先来看天然气在中国能源布局中的历史作用。

中国天然气发展史

中国使用天然气的历史可以追溯到大约2000年前，当时，中国四川地区的早期创新者通过利用浅井天然气熬制卤水来制盐。中国的现代天然气行业与原油开发相伴而生。起初，绝大多数的天然气供应是石油开采的副产品。天然气的产区零星分布，并且规模相对较小。由于缺乏将天然气输送至大城市的基础设施，因此，开采出的天然气只能在产区附近使用。天然气曾作为肥料及其它石化产品的原料，或者作为产地城市的住宅或商业用户用气。在当时，工业企业是天然气的最大用户。有些时候，由于缺少天然气输送管网，开采出的天然气只能白白烧掉[2]。

与此同时，沿海城市庞大的人口对燃气的需求潜力非常巨大。从煤炭和石油中提取的燃气，或者称煤气，成为重要的供应来源。20世纪60年代至90年代，中国修建

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

了许多城市燃气管网来供应煤气。以北京为例，北京城市核心区主要由三个气源厂供应煤气，包括首钢集团、751厂和北京焦化厂。截至1990年，北京的煤气供应量达到约6亿立方米。 同期，住宅用户煤气用量占北京煤气需求量的70%。

鄂尔多斯盆地和塔里木盆地大型气田的发现开启了天然气行业发展的新阶段。大型气田的发现为兴建横亘大陆的大型输气管道提供了基础[3]。自2005年西气东输一线管道建成后，天然气的消费激增。2005年以来，天然气需求量以年均18%的速度增长。需求量的激增转而也刺激了天然气上游产业的发展。四川省普光气田和鄂尔多斯盆地的长庆气田等一批新气田投入开采。截至2012年，中国的天然气产量已达到约1100亿立方米，比2005年翻了一番。

近年来，越来越多的新输送管道扩展了对国内以及国际资源的输入能力。此外，中国沿海地区开始积极进口液化天然气。西气东输一线管道投入运营四年后，西气东输二线管道竣工。西气二线输送管道年输气能力300亿立方米，总长度超过8000公里，是世界上最长的天然气输送管道之一。西气二线管道刚一建成，修建西气东输三线管道的规划方案就已提交给了国家发展和改革委员会。经过数十年的建设，分散的输气系统已经整合成一个覆盖全国范围的天然气管网。截至2011年底，国家天然气管网主干网络总长达4万公里。

当下的天然气市场

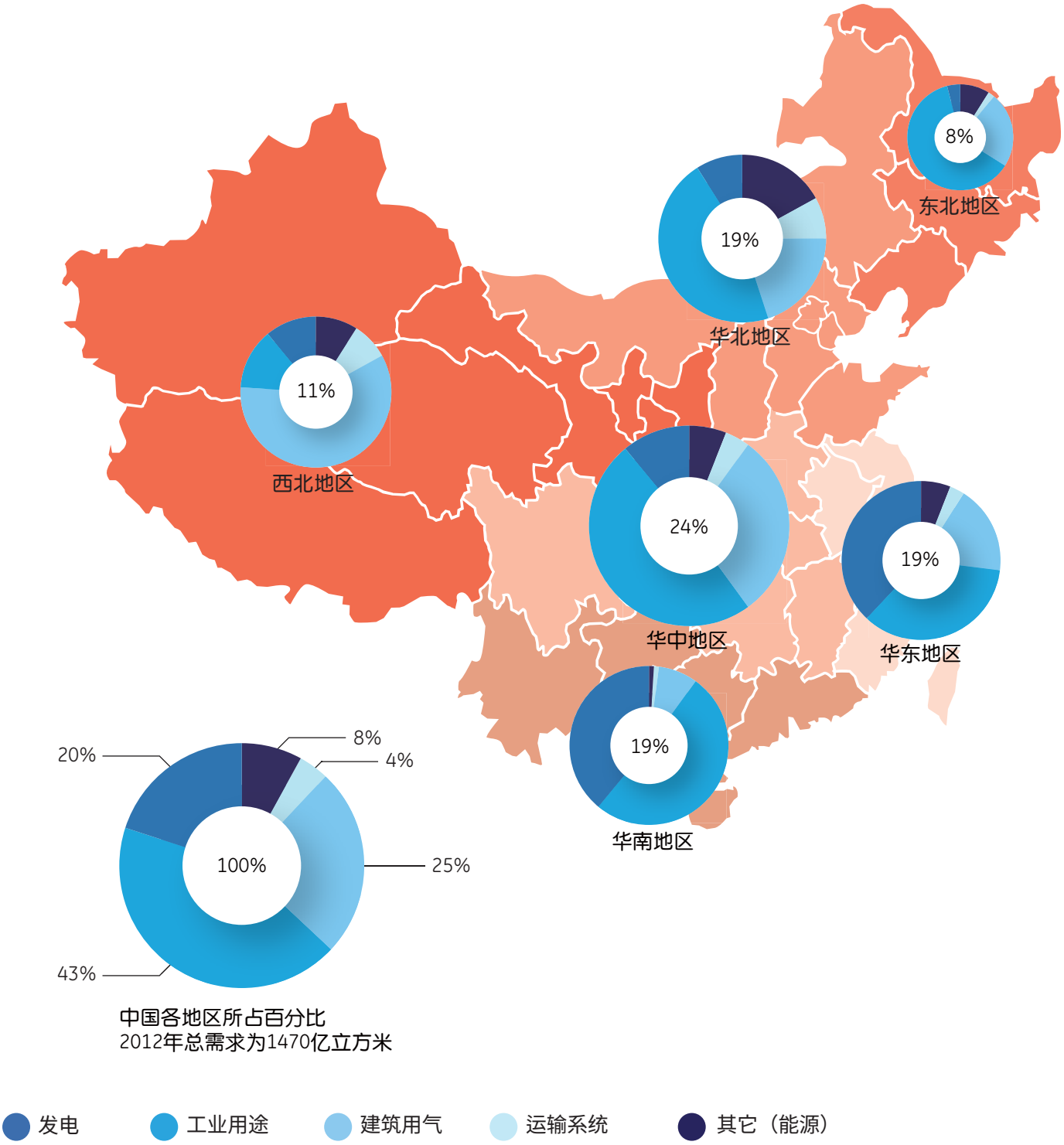
多年的发展从根本上改变了天然气市场。2012年，天然气年需求量达到1470亿立方米。天然气需求结构也发生了显著变化。例如，城市天然气需求量从只占天然气需求市场很小一部分发展为占很大一部分。用于建筑取暖与住宅用途的城市天然气需求量目前占到天然气总需求量的25%。工业领域的天然气从主要作为化肥与化工产品原料转变为日益广泛的工业用燃料。2012年，工业领域天然气需求量占天然气总需求量的近43%。发电厂，包括一些热电联产（CHP）电厂的天然气用量占到天然气总需求量的20%[4]。

天然气需求正从以往靠近产地日益向沿海地区快速拓展。在新疆、四川等产气地区，天然气较低的成本使其广泛应用于工业用途。华中地区的天然气需求量在2000年占天然气总需求量的44%，随着全国性天然气网络的拓展，这一比例目前已经降到24%。包括大京津地区在内的华北地区的天然气需求量正在增长。该地区目前的需求量占全国需求量的19%。就沿海地区而言，包括上海在内的华东地区对天然气的需求量在2000年时还不到天然气需求量的2%。 而随着2005年西气一线和2010年川气东送输气管线的建成，其对天然气的需求随之增长。华东地区目前的需求量为全国需求量的19%。就华南地区而言，对天然气的需求主要集中在广东几个工业区附近。 华南地区目前的需求量约为全国需求量的19%。

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

图表1：中国天然气需求区域分配情况

数据来源： GE分析。 各地区份额系根据2011年数据或者可用的最新数据，以及中国统计年报，剑桥能源咨询公司（IHS CERA）以及国际能源署报告等算出的估计值



©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

近年来，由于天然气需求的增速快于国内天然气产量增速，导致出现天然气供应短缺，特别是在冬季用气高峰时。这迫使中国寻求进口天然气。中国的天然气进口量从2006年的10亿立方米增长到2012年的近430亿立方米。为帮助缓解相关制约因素，中国目前建有5个液化天然气接收终端和两条国际天然气输气管道（分别连通里海地区和缅甸）。

尽管增长势头强劲，但中国的天然气行业仍处于初期发展阶段。目前，中国的天然气仅占一次能源供应总量的4%左右。与此形成对比的是，煤炭在能源消耗中的比重接近66%，石油为18%。天然气的低普及率意味着未来巨大的增长潜力，但这也同时凸显了中国天然气行业面临的巨大挑战。

中国天然气的未来具有一定的不确定性。新的供气来源前景光明，城市地区兑现天然气优势的潜力巨大，但一些机制上的因素以及既得利益者可能阻碍天然气实现增长。在研究中国的天然气时代可能是怎样的之前，我们先来讨论一下为什么天然气是中国的重要选择。

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

三、为什么要选择天然气？天然气是能源多样化的最佳选择

中国的经济增长推动了对能源的巨大需求。保障经济增长意味着能源供应也要同步增加，快速上升的能源需求使得蕴藏相对丰富的煤炭成为首选方案。但是随着经济发展，来自其他方面的制约因素（比如环保与物流方面）日益凸显，政府不得不开始考虑更加广泛的其它能源选择。中国的领导人正从单纯地推动能源增长转而更加审慎地考虑能源的其它重要因素，包括：

- 能效；
- 可持续性；
- 能源安全；
- 弹性。

解决上述问题的方案有很多，但其中前景最为可期的能源选择就是天然气。天然气的气源日益广泛，具有灵活性与多样性，加之天然气终端应用技术的不断拓展，使其成为实现能源多样化的理想选择。但在中国以及世界其它地方，传统的分析往往低估了上述优势。

传统经济分析对天然气价值的低估

天然气目前在中国尚未得到充分利用，特别是与亚洲其他发达或正在崛起的国家相比。目前，天然气仅占中国一次能源消耗总量的4%，比世界平均水平低了19个百分点。不包括中国在内，亚洲其他各国天然气在一次能源消耗总量中的占比为20%。即便是在印度这个同样以煤炭作为主要燃料的国家，天然气在一次能源产量中的比例也达到了8%[5]。在中国的发电燃料组合中，天然气所发挥的作用更是微乎其微。2012年，天然气发电量仅占中国发电总量的2%左右。这一水平远低于亚洲以及世界其它地区（详情参见图表2）。2012年，中国发电量的75%来自于燃煤发电机组。

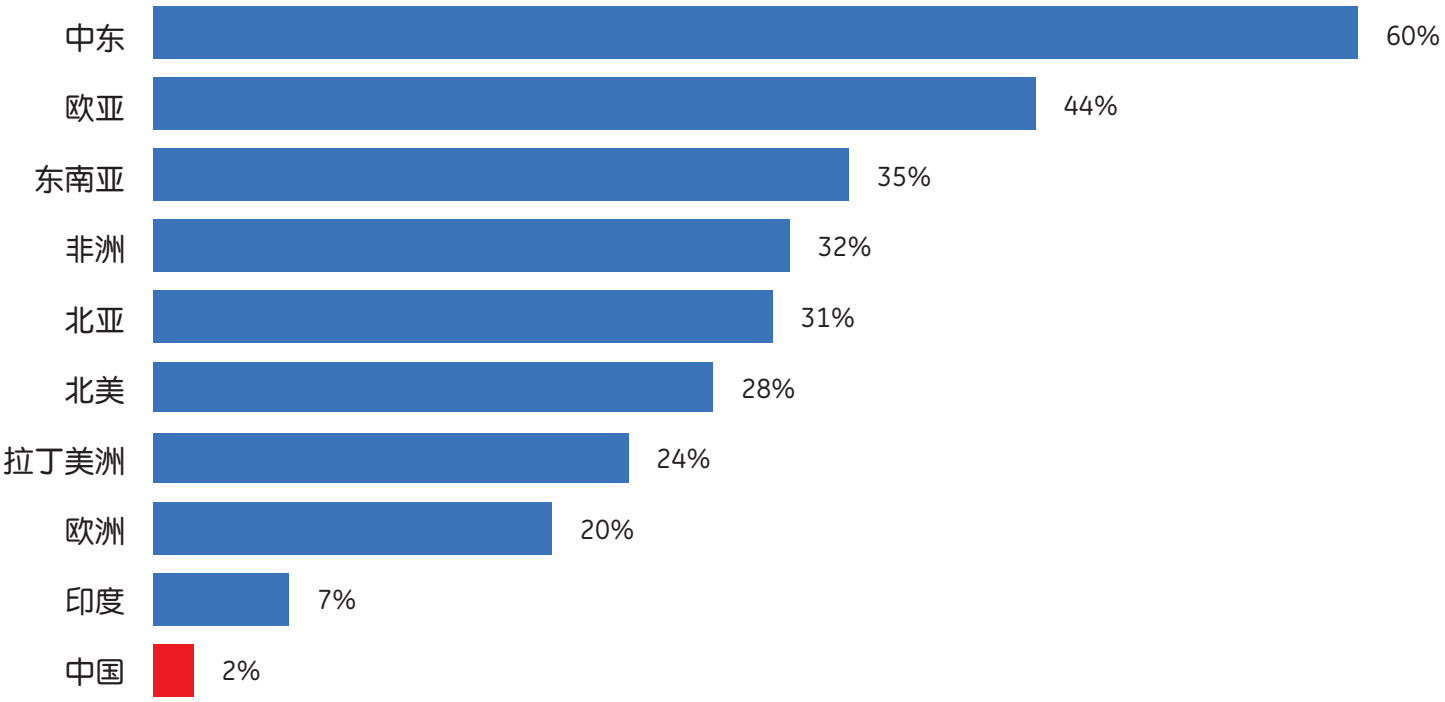
有许多原因推动煤炭使用的增加，包括天然气供应受限、国内煤炭充裕、天然气网络和其它基础设施不完善等。但其中最为关键的因素是天然气应用项目的经济估值。尽管天然气更加清洁、更加高效，但在中国，天然气仍被认为是一种昂贵的能源。目前煤炭的批发价格大约比天然气低60%到70%。

对大多数项目所有者而言，燃料价格是进行技术选择时的主要考虑因素。但除去单纯的燃料价格因素外，还应考虑其它重要因素，例如能效、安全性、环保性以及弹

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

图表2：2012年天然气发电量占发电总量的百分比

数据来源： 2013年GE全球战略与分析



说明： 北亚包括日本、中国台北和韩国。 东南亚不包括印度。

性等。这些因素凸显了天然气的价值所在。换而言之，我们在考虑天然气项目的经济性时往往并未计算煤炭的全部成本。

外部成本（经济学家将其称为外部效应）研究是能源成本效益分析的重要部分。其基本观点是，一个项目可能导致外部环境的恶化、健康的不佳和生产力的损失等，这些应被视为转嫁给了社会的成本。确定对社会的影响是个复杂的问题。许多其他正在快速推进工业化的国家已经克服了这些问题。通常的应对举措并非放弃煤炭，而是尽可能更加清洁地利用煤炭和实现能源的多样化。这正是天然气能够发挥作用之处。

中国的能效目标

中国政府已经将提高能源使用效率置于优先地位。截至2010年底，单位GDP一次能源消耗已下降超过19个百分点[6]。展望未来，中国计划到2015年前将单位GDP能耗再削减16%。2006年至2010年，中国政府在电力和钢铁行业大规模关闭分散低效

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

的小功率燃煤装置，代之以更大容量和更高功率的设备，以期提高能效。此举取得了显著积极成果。截至2010年，装机容量300兆瓦以上的机组占整个装机容量的70%以上。 此外，煤炭发电机组的平均热效率从大约26%提高到近38%[7]。 然而，煤炭发电厂的热效率仍然远远低于天然气发电厂。

以天然气为燃料的发电技术，例如联合循环发电、热电联产（CHP）、天然气窑炉与锅炉、天然气分布式发电设施等具有优于煤炭的能效优势。大型联合循环电厂的天然气热效率能够高达61%。在热电联产电厂系统，通过利用残余热能，转换效率可以超过80%。规模较小的分布式天然气应用，例如燃气内燃机或航改型燃气轮机，也能够实现45%的直接转换效率。

分布式热电联产系统在东北地区应用前景尤为光明，该系统在提高能效的同时还降低了对环境的影响。2013年中建成投产的首个分布式热电联产项目、广西江南天然气电站项目即是一例。该项目的热效率将达到75%，将为附近一处高科技园区和住宅小区的供热和制冷系统提供服务。中国认识到了这些系统的重要价值，并设定了到2020年前实现分布式热电联产电站新装机容量50兆瓦的目标[8]。此外，建造更大规模、更加高效的天然气系统也被提到了优先日程。

环境保护与可持续

作为最清洁的烃类燃料，天然气燃烧的排放优势已得到广泛认可。天然气燃烧只产生23%的氮氧化物、50%的二氧化碳以及近乎为零的二氧化硫排放。只要环保措施得当，改用天然气的环保效益将非常显著。

应该承认，中国的煤炭行业已采取大幅努力改善该行业对环境的影响。对脱硫脱硝系统的巨额投入显著降低了大型煤电厂的二氧化硫与氮氧化物排放量。然而，煤电厂仍向大气中排放了880万吨二氧化硫和940万吨氮氧化物[9]。这些污染物是造成酸雨的主要原因，而酸雨极大地影响了粮食产量。此外，城市地区还有数以千计的小型工业燃煤锅炉与燃煤炉灶。煤炭的燃烧以及城市车辆尾气的排放给中国各大城市带来了严重的雾霾问题。这些污染物的高度聚集也是形成PM2.5（直径小于2.5微米的颗粒物，该颗粒物小到足以被人吸入到肺部）的原因之一。PM 2.5被认为可严重损害人体健康[10]。

中国的许多研究机构正在研究重度依赖煤炭发电所带来的外部成本。大量的研究内容涉及对健康的影响[11]、农业的损失、为控制排放而增加的直接成本，以及一旦征收碳税后带来的隐性成本[12]。根据这些研究的估计，按照2010年数据计算，仅仅电力行业所消耗煤炭的环境成本就在1750亿至5800亿元人民币之间。如果仅把上述成本的40%（这是燃煤电厂排放量在总排放量中的占比）分配到煤炭价格上，煤炭的价格就将上涨7%至25%。此外，如果计算实施目前的末端治理技术（主要包括燃煤电厂的脱硫、脱硝和除尘技术）的成本，还将再增加3500亿元人民币[13]。虽然

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

详细的环境分析并非本文所要讨论的内容，但我们完全有理由作出这样的结论：即便只计算最小的环境影响，也能显著拉近煤炭与天然气的成本差异。

尽管煤炭对环境的影响极大，但预计煤炭的使用仍将维持增长势头。即便新建和现有燃煤电厂采用最先进的排放治理技术，二氧化硫和氮氧化物排放的消减仍是一个极具挑战性的目标。中国在“十二五”规划中提出，到2015年，二氧化硫排放减少8%，氮氧化物排放减少10%[14]。相关政策要求，京津冀地区、长三角地区和珠三角地区的城市应在2017年前基本完成对燃煤锅炉、工业窑炉、自备燃煤电站转而使用天然气的改造任务。为此，中国提出了到2017年要在人口最密集的地区削减燃煤使用量1.5亿至2亿吨的目标[15]。这也是中国提出的2020年单位GDP碳排放量比2005年下降40%至45%的宏大目标的一部分。而天然气将会成为达成目标的重要手段之一。

如果考虑天然气电厂对水资源的需求因素，天然气的价值还将提升。由于采用的冷却系统不同，天然气发电厂的用水需求量通常为煤电厂或核电厂的四分之一。而在目前，淡水供应问题已经成为中国能源行业日益显现的问题。中国正在努力降低单位工业产值的用水量，当前的目标是将单位工业产值用水量降低30%。目前中国有51%的水资源依赖型电站位于中度和高度缺水地区。燃气电厂在水资源需求方面的优势相对将有助于缓解干旱时期的电力脆弱性，而不必过分依赖河流和其它水利系统。

最后，天然气还具有重要的间接环保优势。随着天然气网络在中国的拓展，天然气将成为可再生能源的重要合作伙伴。毗邻负载中心的间歇性可再生能源可以由天然气发电予以补充。与此同时，天然气发电也可在偏远地区对可再生能源发电构成补充，以确保大规模高压输电系统的高效利用。这样，发展天然气也就同时使得低排放可再生技术的利用成为稳定可期的了。综而言之，天然气是降低中国能源使用对环境影响的重要选择。

能源安全与多样性

能源安全并不等同于能源独立。相反，实现能源安全需要能源供应的多样性，并找出更加灵活利用能源的方法。天然气在这两方面都能提供帮助。天然气可以说是一种“灵活”的燃料。它的用途非常广泛，可以作为工业原料、可以用来发电直到作为运输行业的燃料等。通过液化和压缩等方式处理过的天然气可以在运输行业替代石油，从而降低油品进口比例。它也可以和电力系统对接并相互补充，是建筑和工业能源的一个有效手段。一旦高压电网出现故障，或者出现与可再生能源有关的电力中断问题，靠近负载中心的天然气电厂将成为确保电力安全的重要支柱。

从供应方面看，国内供应的短缺在以往一直是天然气面临的重大问题。但我们认为，这一局面在中国正发生重大改变。新的国内常规气源（包括陆上和海上）正全

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

面发展，并刺激了煤层气、页岩气等新的非常规能源的发展。此外，煤制天然气供应必将在未来数年内成为国内燃气供应的一个重要组成部分。天然气供应的外部来源继续拓展。一方面通往中国的新的天然气输送管道正在建造，另一方面液化天然气的进口来源也在持续增加。

鉴于中国能源需求的增长以及中国对石油和优质煤炭的进口越来越多，在更大范围内选用天然气非常重要。2010年以来，煤炭进口量已增长了56%，比2008年增加了500%以上。石油进口量也增长了近45%，预计到2020年还将再增长50%[16]。平衡外部能源问题十分复杂。地缘政治局势对能源供应的影响非常大，因此过度依赖外部能源容易出现供应波动甚至中断。

天然气来源多样化是一个重要措施。预计中国将深入参与国际能源市场，以便继续推进能源多样化。中国石油天然气集团公司（中石油）近期涉足澳大利亚、莫桑比克和加拿大天然气项目的举动证明了这一趋势。天然气国际供应选择的多样化使得天然气成为一种重要的战略资源——尤其是考虑到石油进口主要依赖于于形势时常不稳的中东地区时。正如温斯顿•丘吉尔多年前所说，“ 石油的安全与确定性取决于并且仅取决于多样化 ”[17]。天然气供应在国内和国际范围内的拓展，以及天然气在各种终端应用的灵活性，使其成为中国未来能源的重要来源。

弹性与可持续性基础设施建设

能源基础设施的弹性恢复能力正得到越来越广泛的重视。一旦遭受外部破坏，能源系统需要有能力迅速恢复，或者在持续的冲击压力下维持运转[18]。可靠性不仅取决于供应的多寡，而且取决于供给系统的稳健性。一个国家能源基础设施的摊子铺得越大，受到波动干扰的风险也就越大。电网特别易受自然灾害的影响。例如，2008年冬季，中国南方的雨雪冰冻灾害导致电网大面积瘫痪。这次雨雪冰冻灾害造成的直接经济损失达1110亿元人民币[19]。17个省份电力中断。人口460万的郴州市包括公共设施和医院在内，连续两个多星期停水停电。江西抚州市停电约三个星期。大约40吉瓦的热电停产，约占中国当时热电装机容量的7%。煤炭储备也降至应急水平，储备量仅够中国南方8天发电所需。最近，在2013年9月，台风“ 天兔 ”在广东沿海登陆。据报道，台风登陆期间，180万户家庭短时间内停电。这些例子都凸显了增强能源体系弹性恢复能力的必要性。

一个颇具弹性的能源体系能够优化单个能源网络的实力，能够协调运作以保障客户的利益。天然气拥有得天独厚的优势，能够与其它能源一起提高中国能源体系的整体弹性。另外，随着数字技术和软件技术的发展，天然气系统变得更加智能化，这一优势很有可能还将扩大。由于天然气网络通常都埋在地下，因此，相对于公路和电网而言，天然气网络在遭遇极端天气时能够提供更加稳定的供应。这样，通过提供风险分散、富余储备和备份系统，天然气也能够为中国经济带来更多弹性。当

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

然，在其它事件比如地震和台风（会影响液化天然气运输船）中，天然气系统也可能会面临供应中断。这就是天然气、电力和液体燃料网络必须优化结合，使其相互支持的原因所在。

天然气技术正在为多层级电网和多来源微电网等新概念提供支持，以在面临电力中断时增强电网弹性，获得更多反应时间。建在天然气网络周边的分布式电力系统还能够为医院、自来水厂和政府机构等公共设施提供迅捷的电力恢复，这在赈灾中能够发挥重要的作用。

发挥天然气的多重优势

天然气在能效、环境可持续性、能源安全与弹性方面具有多重优势。但目前在计算项目经济性时，并非所有这些优势和收益，或称之为积极的外部效应，都被考虑在内。我们认为，这些优势一旦发挥出来可对中国经济与社会发展带来长期深远的积极影响。而且，在天然气价格比较有吸引力的地区，这些优势已经得到体现。对于中国而言，这些优势所带来的效益，可能将远远超过为增加天然气消耗而花在资源与基础设施方面的投资。这些优势带来的收益至少可以部分抵消当前中国天然气与竞争性燃料的价格差异。既然中国能源体系中天然气份额的提高是有利的，那么我们下面就来讨论未来中国天然气时代的可能情况。

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

四、中国的天然气时代

作为天然气领域的后来者，中国拥有学习其他国家成功经验、避免重走失误道路的良机。中国的天然气行业仍处于初期阶段，无需投入太大的成本就可以实现技术创新，完成产业升级。 这有助于提高中国能源体系未来的竞争力。

问题的关键在于天然气在未来的中国到底发挥什么作用？中国国内和国际上对此众说纷纭。作为我们对天然气市场全球研究的一部分，GE对2025年前中国天然气的未来进行了预测。本节内容即是取自分析结果。根据天然气市场某些乐观的假设性预测（比如页岩气产量的快速增长），更为激进的增长目标也是有可能的。我们在本节讨论中国天然气时代的可能情况，尤其是天然气在经济中的作用以及天然气对中国发电格局可能的影响。

中国天然气市场发展展望

未来十五年，中国经济增长将继续推动能源需求的大幅增加[20]。我们认为，各种能源的使用量将继续呈现增长态势。煤炭和石油的需求量到2025年将在当前水平上增加大约三分之一，但增长速度最快的将是天然气、核能与可再生能源。经济发展、加速的城市化进程以及环保政策因素都将推高中国对天然气的需求。的在天然气时代，天然气在一次能源消费中的比重预计将翻一番，从目前的4%左右增加到2025年的8%[21]。天然气的需求量预计将以每年8%的速度增长，到2025年达到3900亿立方米，较当前水平增加约2500亿立方米。中国的天然气市场到2025年将是当前规模的2.5倍。非烃类资源，比如核能、水力、风能和太阳能等，在一次能源中的比重预计将与天然气一起增大，从目前的大约11%增加到17%[22]。虽然煤炭需求量持续增加，但能源多样化将使煤炭在一次能源中的比重下降到59%。预计2012年至2025年，单位GDP的总体能耗将下降40%[23]。

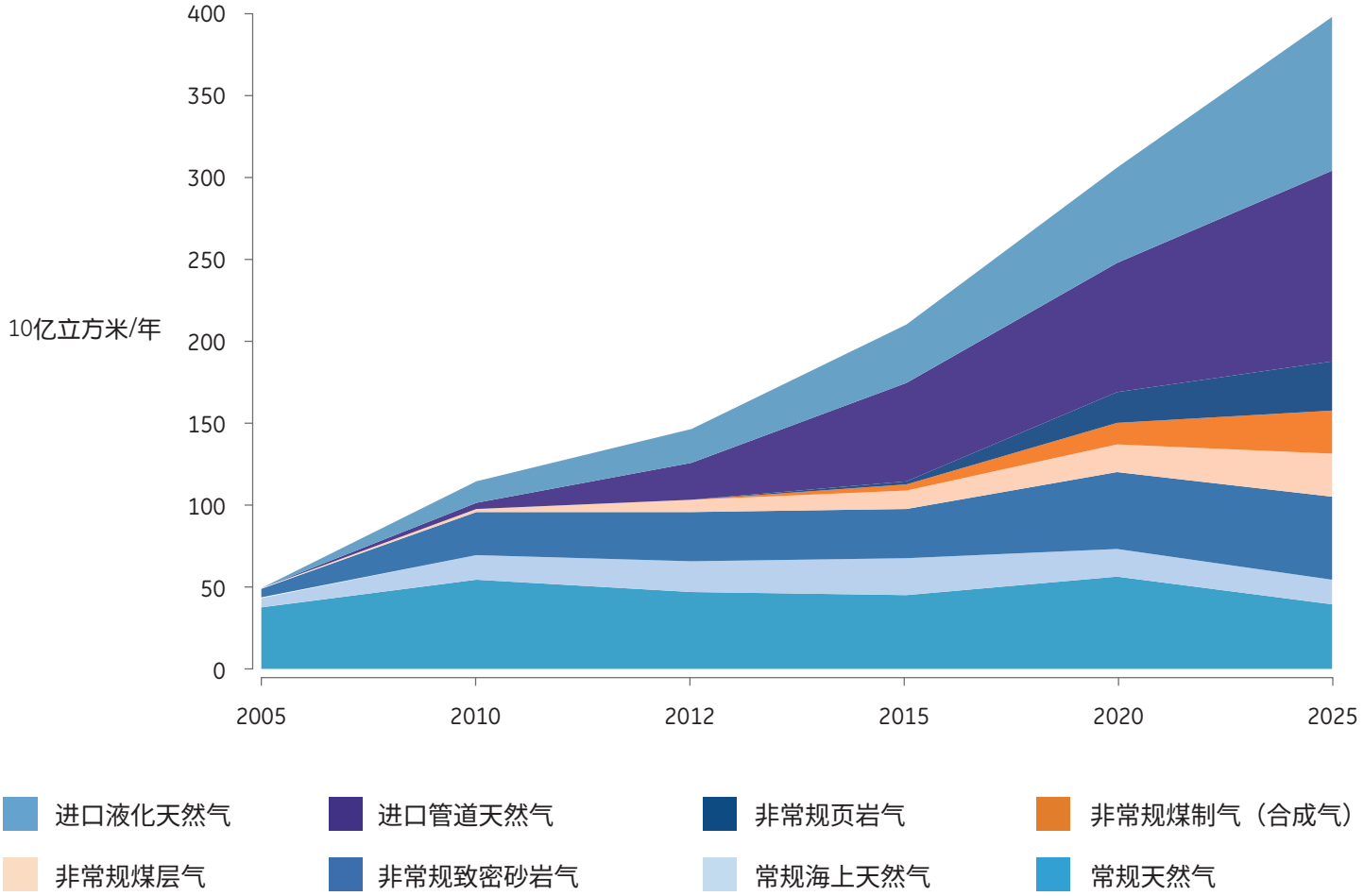
天然气需求的增长具有广泛的基础。工业用途天然气预计到2025年将比当前大约600亿立方米的用量翻一番。随着城市与农村地区大量人口开始使用天然气，住宅与商业建筑用途的天然气（主要用于空间供暖与制冷）用量预计到2025年将是当前水平的3倍。随着燃料加注基础设施的拓展，以及天然气相对于石油产品保持价格竞争优势，天然气作为交通运输燃料的用量预计也将增长。到2025年，交通运输对天然气的需求量将增至200亿立方米，占总体需求的5%。鉴于当前小型液化天然气燃料加注项目继续快速建造，以及交通运输领域用量的快速增长，这一假设可能还会显得相对保守。

推动天然气需求增长的重要因素之一是电力行业的燃料选择。按照GE“天然气时代”展望的预测，电力需求到2025年预计将比当前的大约4,200太瓦时（Twh）翻一番。预计50%的新增电力供应来自于煤炭发电，另外50%来自于天然气和所有其

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

图表3：“ 天然气时代 ”展望预计的天然气供应来源情况

数据来源： 2013年GE全球战略与分析



它发电资源。这比过去十年电力市场所展现出来的更具多样性。到2025年，天然气在中国电力市场的比重将是目前的三倍，占到发电总量的6%。电力行业对天然气的需求在2025年将增至1170亿立方米，相当于天然气总需求的30%。

天然气和可再生能源等更加清洁的能源的多样化选择，将对减少碳排放及其它空气污染源产生积极的影响。2000年至2012年，中国的碳排放量增长了140%[24]。“ 天然气时代 ”展望预测，2012年到2025年，预计中国碳排放量将增长40%，大约为过去十年增长率的三分之一。预计单位GDP的碳强度将减少至2012年水平的45%。随着对燃煤电厂加强环保治理以及更多地采用天然气与可再生能源，二氧化硫的排放量也将减少。预计2012年至2025年，二氧化硫的排放量将在当前900万吨的水平上减少15%。如果到2025年天然气在发电领域的比重仍维持当前2%的水平，那么

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

二氧化硫的排放量仅能减少8个百分点。

如果没有大量不断增长的气源，不可能实现天然气需求的大量增加。如图表3所示，中国天然气供应的国内和国际来源持续增加。中国国内的天然气来源包括华中的大型天然气田以及中国南海的深海天然气资源等常规来源。此外，非常规天然气来源也在增加，包括煤层气、致密砂岩气和页岩气等。煤制气（合成气）是国内供应的另一来源，该来源的重要性在未来十年将日益增加。国内常规与非常规供应源预计到2025年将增长75%。

预计到2025年，包括合成气在内的非常规天然气资源将占中国天然气供应的三分之一。页岩气预计到2025年将达到天然气供应的7%，产量大约为300亿立方米。这一数字低于中国政府近期设定的页岩气目标。当然，页岩气开发在短期内的成功可能会为天然气市场实现超过本预期的增长提供空间。预计到2020年，液化天然气与管道天然气的进口量将达到天然气供应的45%，到2025年将达到大约50%。实现这一目标的前提是最终将新建一条俄罗斯至中国的输气管线，并且进口液化天然气大约900亿立方米（6500万吨/年）。天然气展望预计，中国的天然气将在国内与国际供应来源之间实现平衡，而石油的进口量到2025年预计将占供应的大约60%。

基础设施建设仍是本展望的关键因素。中国政府在“十二五”规划中设定了国家天然气管网增长50%的目标。2015年前将在中国现有天然气网络的基础上新建设主干管线2.4万公里。这包括西气东输三线、陕京四线以及新疆-华东煤制气输送管线。预计到2015年，扩增后的输气量将达到1500亿立方米。我们在“天然气时代”展望中做出的基本估计是，为支持国内和国际天然气供应的增长，2015年至2025年，新建输气管道与液化天然气处理容量将需要增加2000亿立方米。

突破极限

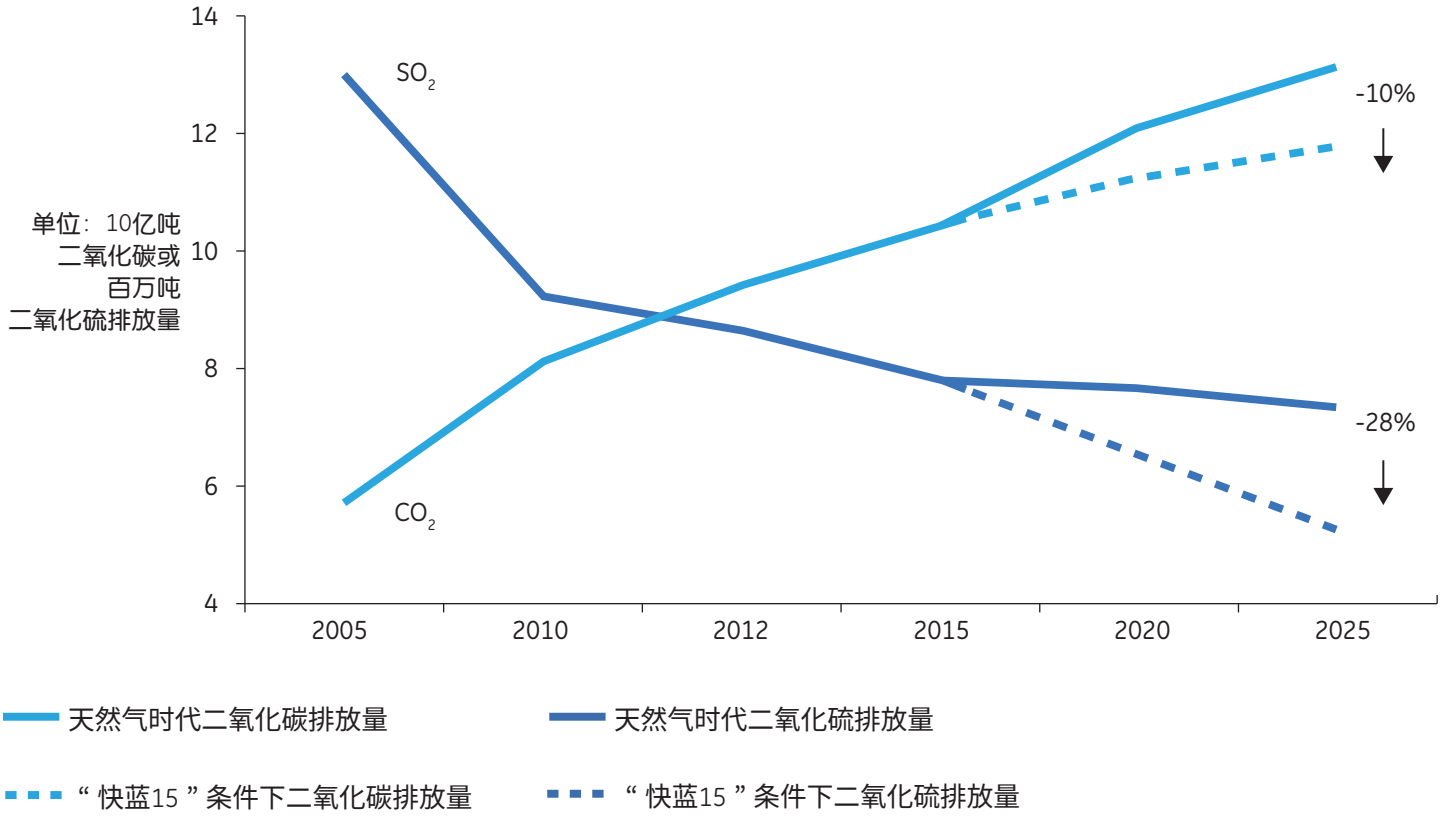
为研究天然气在发电行业的激进变革对中国能源市场的影响，我们在“天然气时代”展望中还进行了名为“快蓝15”（Fast Blue 15）的敏感性研究。在激进变革条件下，除天然气发电量到2015年占中国发电总量15%以外，“天然气时代”展望中的其它基本假设保持不变。此外，可再生能源发电所占比例有所增加，与2025年“天然气时代”展望相比，到2025年可再生能源发电比例大约为15%以上。

在“快蓝15”条件下，天然气年需求量到2025年将增至近5700亿立方米。2025年发电行业的天然气需求量将比当前水平增加2600亿立方米，占天然气总需求量的52%。为满足这一巨大的需求增长，页岩气、煤制气等国内非常规来源天然气将急剧增加。在“快蓝15”条件下，页岩气与煤制气预计将分别占据天然气供应量的21%和10%。

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

图表4：“ 天然气时代 ”与“ 快蓝15 ”敏感条件下的二氧化碳与二氧化硫排放趋势

数据来源： 2013年GE全球战略与分析



说明： 二氧化碳为烃类燃料（煤炭、天然气和石油）的碳排放。 二氧化硫仅为燃煤发电产生的排放量。快蓝15：天然气时代的敏感性研究，到2025年，天然气发电与可再生能源发电，均占中国发电总量的15%。

这对更大程度上的能源市场的影响相当巨大。天然气在一次能源中的比重增至12%，而煤炭下降至50%。可再生能源从17%增至23%。如图表4所示，在“ 快蓝15 ”条件下，二氧化碳和二氧化硫的排放量分别比“ 天然气时代 ”的数据下降了10%和28%。就二氧化碳而言，将天然气在发电行业的比重提高至15%可有效促使二氧化碳排放增长率从目前的超过8%降至趋近1%。 推动天然气向这一比重转变将突破可能的极限。中国的天然气市场到2025年将比GE的“ 天然气时代 ”展望预测的规模大40%，相当于当前美国天然气市场规模的80%。尽管充满挑战，但如果采取有效措施支持天然气行业的发展，“ 快蓝15 ”的预测前景也是有可能实现的。

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

五、支持天然气行业发展：五大关键领域

中国政府和企业界的领导者一直重视实现未来中国能源的多样化，并试图发挥天然气的多种优势。为了在中国实现天然气时代，需要继续这方面的努力。为实现这一目标，有五大关键领域对天然气行业的发展至关重要：

- 价格因素。中国一直努力调整天然气定价机制，以匹配天然气市场的演化。挑战在于需要管理定价政策，使得上游投资与基础设施投资具有可行性，同时使天然气与其它燃料相比具有竞争力。因此，承认能效的附加价值以及协调电力、天然气和运输燃料领域的政策非常重要。
- 释放创新动力。掌握能够容纳新技术与新商业模式探索的的政策工具。
- 利用网络的力量。随着天然气网络的壮大，其价值日益珍贵。中国具有建造与整合自身能源网络的独特机遇，可藉此提高能源网络的能效、竞争力与可靠性。然而，这需要认真重视相关机制，即在允许进行基础设施投资的同时确保网络的可用性。
- 保持天然气的清洁。只有合理地开采、运输与使用天然气，它才是一种更加清洁的能源。只有具备良好的监管与监控，同时重视有助于保障和优化天然气运营安全的技术，方可实现天然气的可持续性优势。
- 构建服务生态系统。天然气行业的许多方面都需要专门的专业经验。这就需要重视人才及其技能的培养，以管理整个价值链上的各个环节。具体内容包括页岩气运营、小型液化天然气燃料加注系统、以及热电联产电厂安全高效运营等。对天然气行业高品质服务方面的发展予以关注将非常重要。

上述领域的成功很可能推动天然气在中国能源体系中发挥更加重要的作用。但我们也认识到，由于中国市场的特殊性，这些解决方案必须符合中国市场的独特要求。也就是说，要找到合适的协作伙伴来推动技术创新并改进商业实践。

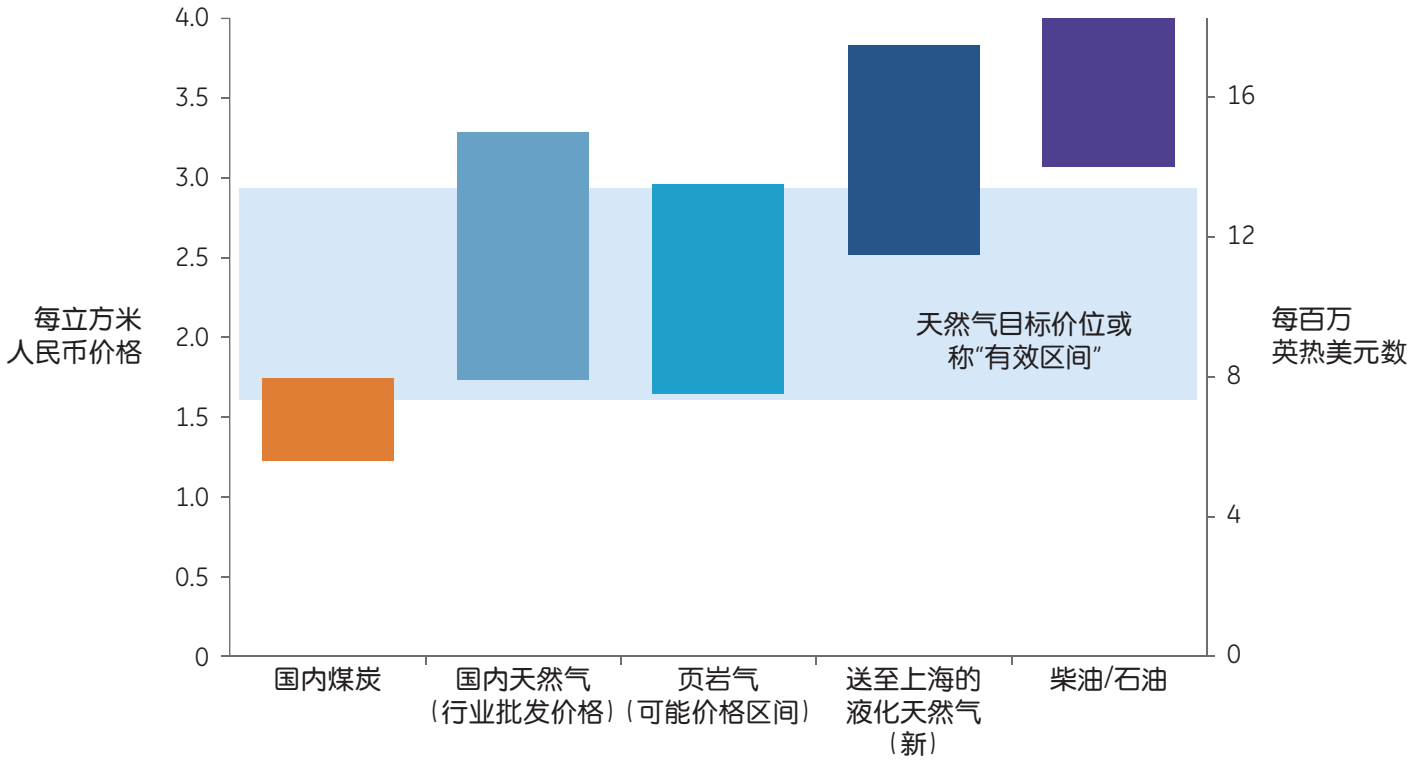
价格竞争力

定价政策是推动天然气市场增速与网络投资的根本性问题。中国政府一直努力调整定价政策，以便在保护消费者的同时刺激基础设施发展。2013年6月，国家发改委宣布进一步实施定价机制改革。新政策上调了非居民用天然气价格，以期通过促使天然气价格与进口供应成本进一步契合而推动新的供应增长对天然气短缺和中国国

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

图表5：中国天然气价格的竞争力

数据来源： 2013年GE全球战略与分析



有石油企业销售天然气导致亏损的关切推动相关行动。

城市天然气平均门站价格提高至每立方米2.00元（每百万英热9.00美元），涨幅15%。增量气价格到2014年将相对较高，将参照石油产品价格85%的比例联动计算。如果石油价格为每桶100美元，则天然气价格大约为每立方米3.3元人民币（每百万英热15.00美元）如图表5所示，相较于大部分天然气供应来源，煤炭很可能还将维持相对较低的价格。然而，天然气相对于石油仍保持了竞争力。如果天然气价格能够维持在目标价位，或称“有效区间”内，则天然气将会有足够的竞争力来实现行业增长。如果天然气价格走高，将迟滞天然气需求增长，但是另一方面，让市场与供应成本相适应又将支撑更多的资源与基础设施发展。

为促进天然气发电领域的发展，天然气价格必须维持对煤炭的相对竞争力。这可能涉及对公用事业企业进行专项补贴并实施电价改革，以体现天然气的环境优势和天然气在电力负载变化管理方面的价值。征收碳税是另一种改变价格间相互关系并体现天然气优势的方法。此外，项目开发商与公用事业企业必须在其规划过程中考虑天然气价格结构的演进过程，以体现大型天然气发电厂的能效优势。由于采用较低

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

的燃料价格作为测算标准，当前的做法常常低估了天然气技术的燃料效率。这一做法往往降低了高能效天然气电厂整个寿命周期的价值，并抬高了电厂前期资本投入的比重。

如果天然气的价格保持在适当的竞争性价格区间内，那么它就能够与煤炭进行有效竞争并实现盈利。定价政策需要与天然气市场一同演进。石油联动定价是帮助确保国际天然气供应的重要方法。国内市场的定价需要对增量供应气的成本保持敏感。但我们认为，随着天然气市场逐步成熟和网络的扩张，该行业将被逐渐推向一个竞争性环境，价格也会更趋平稳。随着时间的推移，亚洲各地区的天然气价格将有所不同，这是由于基础供应和运输成本差异所导致，而非石油合约的联动机制而造成。 中国的定价政策需要继续适应在一个更大的天然气市场中的种种变化。

释放创新动力

技术创新一直是推动新地区启动低成本天然气的有效手段。从监管及政策角度看来，培育创新环境至关重要。初期的税收减免和激励措施等的支持，帮助美国非常规天然气开发取得了成功。中国则需要不断改进技术与商业模式。页岩气开发商最初取得的经验教训就是每一处页岩资源都不相同。天然气开发商需要适合于当地条件的技术和实践。从监管及政策角度看来，培育创新环境至关重要。提供先期的政策调整与激励措施，有助于早期市场的发展。中国最近在页岩气方面取得的经验可被视为一次积极的尝试，包括对页岩气开发提供金融激励措施，鼓励更多的实体进入天然气开发上游领域等。

只要提供适当的支持，创新者就能集中精力探索和测试相关技术，推动新的商业模式，并从创新中获得回报。这对推动估算运营成本并利用市场力量提高效率至关重要。政府可以帮助建立更为开放的渠道，以促进技术转让和协调合作关系。还可以在大型国有实体中找到适合实验的平台，推动试验项目，并建立适当的合资企业以便分担风险。这些工作的益处在于能在很大程度上促进宝贵的国内资源以成本更低、对环境影响更小的方式实现更快速的发展。

利用网络的力量

只有在整个价值链部署了安全、高效、可靠的运营技术时，天然气才能够发挥出自己的潜力。天然气网络的价值随着其规模的壮大而凸显。天然气网络的这些特点促进网络之间的互联和发展，同时在建立新连接的过程中产生了创造价值的潜在机遇。对中国而言，这意味着应该努力将较大规模的主干管网与较小规模的分布式天然气系统整合起来。天然气系统在平衡扩展中的电网的波动方面的重要性也越来越突出日益重要。 利用新的数字技术将是促进整合的方法之一。

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

随着时间的推移，中国天然气市场与电力市场的联系将会更加紧密。然而，整合网络创建新市场将根据监管结构而定。监管的不确定性可能会减缓投资步伐，但是支持垄断的静态监管模式也会阻碍竞争，抑制创新。天然气网络是天然的垄断性网络，并且企业获得规模经济的能力往往会进一步增强垄断能力。这必须通过监管进程加以管理。挑战在于，要在推动基础设施投资的同时，确保新的生产者与消费者能够进入网络。

中国在建设实体基础设施方面取得了辉煌成绩。然而，与系统性方法相比，孤立地关注天然气网络或电力网络可能效率较低。这需要更多地关注网络监管，更深入地促进行业间沟通，以及更为细致地分析成本与收益。中国拥有规划设计新的能源体系的独特机遇，可以在提高效率与可靠性的同时降低运输成本。

环境管理

天然气开发需要妥善管理。如果要体现燃烧天然气的环保优势，天然气行业必须确保天然气的开采和运输以尽可能安全、高效、可靠的方式进行。这包括气井完好性管理、空燃、逃逸排放以及水处理等问题。应采取相关监管措施与实践来改善排放物监控，确保那些可以经济高效地降低环境影响的技术能够得到更多采用。

高人口密度与服务基础设施的不足，使得因地制宜制定环保解决方案非常重要[25]。限制卡车运输、降低噪音、减少排放与确保水质都至关重要。例如，能够应用于偏远地区的小型液化天然气与压缩天然气技术可以减少排放，并为野外作业提供宝贵的能源。这些系统可能包括预处理措施、压缩天然气与液化天然气转化系统、存储罐和运载车辆等。另一个日益引起关切的问题涉及页岩气开采过程中的水污染问题。在水力压裂开采过程中，地下水及其它液体被带到地面。这些“回流”的水需要进行加工以供再次使用，或者进行处理以避免污染。有许多过滤和加工技术可以用于防止页岩气开采过程中出现水污染问题。

非常规天然气的运营将是一个随着行业发展而不断探索的过程。其中尤其意味着要重新定义天然气运营中可能会遇到的情况，比如：支持石油替代品、改善水务管理、降低逃逸排放，以及其他提高效率和电气化水平的新理念。如果中国国内的页岩气资源成为中国天然气供应的主要来源，那么关注环保问题将至关重要。

构建服务生态系统

天然气与电力运营是高度专业化的运营。培养技术工人为天然气行业提供人力支持，是成熟的天然气行业的重要特点。维持行业增长需要综合性支持服务。

以美国页岩气开发为例：页岩气井往往初期产量很高，但产量下降迅速。也就是说，为维持产量需要开钻大量气井。页岩气开发服务内容包括操作钻井平台和压力

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

图表6： 构建服务生态系统

数据来源： 2013年GE全球战略与分析

需求

专业经验

人才
技能
工具

服务内容

设计
工程
物流
维护

企业规模

大型
小型

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

泵设备的团队，以及水处理与加工系统、砂石、化学制品和钻杆交付团队等。培养掌握核心技术与地质经验的技工团队对扩大非常规资源产量、降低开采成本至关重要。

下面以燃气分布式电厂（分布式能源热电联产电厂）为例说明消费者服务内容。分布式天然气电厂项目在中国还是个相对新鲜的事物。与拥有自身服务选择的电厂系统相比，其规模较小。分布式热电联产电厂系统能够为不同级别的消费者，包括工业用户、医院和机场等提供服务。这些消费者需要服务支持来设计、运营和维护规模虽小、但运营复杂的电厂。设计对分布式能源热电联产电厂项目至关重要，原因是它将电力、蒸汽、制热、有时还包括制冷整合在一个集成化设计方案中。这些系统的集成优势在于其具有较高的燃料效率。面临的挑战则是其比普通电网或简单的锅炉发电电厂较为复杂，并且需要经验丰富的服务人员来确保各个系统按照设计效率正常运转。

还有其它的例子，比如小型液化天然气或压缩天然气燃料物流或海上支持服务所需的服务系统与技术工人等。总之，我们认为，围绕天然气价值链的各部分尽早构建服务生态系统，有助于天然气行业发挥其潜力。

结论

许多因素互相结合，为天然气发挥更大的作用创造了机会，这促进了国家的竞争力、可持续发展以及能源系统应对波动的能力。中国国内和国际的气源正不断增加。与此同时，提高能源多样化以减少燃煤的负面影响的需求从未如此强烈。中国的天然气时代这个概念反映了过去十年燃气事业所取得的长足进步，以及天然气领域成为中国下一阶段能源战略重要支柱的潜在可能。

随着从中国政府到行业领导者的持续关注，天然气的前景确实非常光明。技术创新与商业模式创新将引领中国能源体系的变革，并为应对当前的能源挑战提供解决方案。我们这篇报告的目标是继续推进对天然气行业的思考。中国的天然气时代带来的变革可能比今天任何人预测的都要深远和长久。

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

特别鸣谢

我们感谢为《中国的天然气时代：能源发展的创新与变革》报告做出贡献的GE同事以及外部专家，尤其要感谢Peter Evans与Henry Shen和汪俊对中国天然气市场的未来所做的分析以及提出的独到见解。

尾注

[1]参见Peter Evans和Michael Farina，“天然气时代和网络的力量”，2013年10月。该白皮书对全球天然气行业做了调查并指出了将推动其在未来20年成为主导烃类燃料的相关因素。

[2]空燃是油气行业的一种通常做法，在油气田中，如果没有可行的办法能够经济高效地将天然气投放到市场，那么过剩的天然气就只能白白烧掉。参见Michael F. Farina于2011年1月发表的《GE减少空燃》（GE Flare Gas reduction）一文，该文详细讨论了空燃问题和技术方案，详情请见http://www.genewscenter.com/ImageLibrary/detail.aspx?MediaDetailsID=3691。

[3] 例如1997年在塔里木盆地发现的Kela-2气田，已探明储量在 2850亿立方米左右。近几年，Kela-2气田的产量达到120亿立方米。正是Kela-2气田的发现才支持了西气东输一线的建设。

[4] 一些分析包括用于工业需求的热电联产（CHP）电厂。GE对电力行业的分类包括：公用事业企业、独立发电厂，以及一些工业热电联产和电力行业自备的电厂。我们提供的发电行业对天然气的需求数据是在对电力行业这种更宽泛的定义基础上估算出来的，因而可能与其它的行业预测数据存在差异。

[5]上述统计数据基于国际能源署 (IEA) 2010年世界能源平衡数据。

[6] 根据国际能源署的2005年和2010年中国能源平衡数据（单位：百万吨油当量），以及中国2005年的GDP数据（基于以美元计算的实际购买力平价）。

[7] Li Xing和Chen Junqi发表在Cornerstone 杂志：《世界煤炭协会》上的文章“中国燃煤电厂的污染控制：王志轩访谈”，2013年7月30日，详情参见http://cornerstonemag.net/pollution-control-of-coal-fired-power-generation-in-china-an-interview-with-wang-zhixuan/。

[8]国家发改委2011年《关于中国分布式热电联产发展的指导意见》。

[9]Li Xing和Chen Junqi, 2013年。

[10]在中国肺癌已经成为最常见的一种癌症，2012年占癌症死亡人数的30%以上。一

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

些人认为吸烟是肺癌的主要诱因。实际上在过去10年间，吸烟人数并没有大幅上升，但是肺癌的发病率却在过去20年翻了一番。2013年7月10日《英国卫报》刊载了一篇题为“空气污染与肺癌和心力衰竭的高度关联性”的文章阐述了空气污染和癌症之间的关系，详情参见http://www.theguardian.com/society/2013/jul/10/air-pollution-lung-cancer-heart-failure。据路透社北京报道，“中国出重拳治理空气污染”，2013年9月12日，星期四，详情请见http://www.theguardian.com/world/2013/sep/12/china-vows-tackle-air-pollution。

[11]健康影响是最难评估的一种因果关系。PM2.5排放物被认为是影响健康的主要因素。根据中国和社区多尺度空气质量模型（CMAQ，由美国环保署开发的一种空气质量评估模型）的数据，PM2.5排放物浓度最高的地区是中国沿海地区，包括江苏、浙江和广东省。对健康的影响结果来自于空气污染与健康效益评估工具BenMAP模型，该模型由美国环保署和清华大学联合开发。该模型利用浓度对应函数绘制出排放浓度与健康结果的关系图。接着再利用影响成本的方法，估算出提早死亡对人均GDP的潜在损失，以及为了治疗疾病而付出的医疗服务成本。参见“能源选择与健康效益：中国案例研究”，清华大学环境科学与工程系，北京大学公共健康学院，2008年3月27日，第95-97页对该模型方法的详细讨论。

[12]魏学好和周浩博士,“中国火力发电行业减排污染物的环境价值标准估算”，2003年。该分析给出了一个用于快速计算煤炭成本的环境成本系数。农作物损失根据“中国环境与经济会计指南”而算出，这是一个用于评估环境损失的官方指南。所有估算都建立在燃煤电厂排放 40%的SO_2和NO_x假设基础之上。

[13]《摩根士丹利亚洲研究》“中国的空气污染”，2013年8月15日。

[14] 中华人民共和国国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要，2011-2015 年总体目标。

[15]摩根士丹利，《中国的空气污染》。

[16]基于GE根据IHS-CERA、IEA、巴克莱银行和 BP统计报告而得出的分析数据。

[17]Daniel Yergin,“确保能源安全”, 对外事务部，第85册第2号文件，2006年4月。该报告是为了支持皇家海军从煤炭转向石油。

[18]关于“弹性”概念的丰富探讨近年来较为集中地出现。例如，可参阅：Louise K. Comfort等，“筹划‘弹性’:为极端事件未雨绸缪，匹兹堡大学出版社，匹兹堡，2010；Fikret Berkes，“理解不确定性和降低脆弱性：从弹性思维出发”，自然灾害，2007年第41卷，第283-295；和Rolf Pendall等，“弹性与地区：建构对隐喻的理解”剑桥地区、经济与社会杂志，2010年第三卷，第71-84页。

[19] Hernandez, Vittorio, 新闻头条，(2008-02-01)。“持续3周的暴风雨给中国经济造

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

成75亿美元的损失 ” 2008年1月2日。Jian, Yang和Chen, Lydia，《上海日报》“ 彬州告急——停电停水 ”，2008年1月31日。

[20] “ 天然气时代 ” 展望预测，到2025年的预测期内，中国经济仍然以7%-9%的速度保持增长（根据以美元计算的2005年实际购买力平价）。假定GDP的电力强度会以每年1.8%的速度回落。

[21] 在最新的能源发展五年计划（2011-2015年）中，政府希望将单位GDP的能耗降低16%。目前的计划是，到2015年将天然气在一次能源中的占比提高至7.5%。政府提出的一次能源新目标是，到2020年将天然气的占比提高到10%左右。“ 天然气时代 ” 展望的目标是到2015年仅达到6%，2020年才达到7.5%，这反映出很快实现这些目标尚有挑战，但如果政府的政策与天然气的发展方向相一致，也可能会出现快速增长。

[22] GE的 “ 天然气时代 ” 展望是全球整体能源展望的组成部分，是以国际能源署能源平衡统计数据、美国能源信息管理局（EIA）、BP年度统计报告为基准，同时也参考了《中国统计年鉴》中的数据。由不同来源组合而成的数据可能会有差异，也可能会与中国政府的官方统计数据略有差异。

[23] 2012年和2025年变化量由一次能源总供应量估算值（以百万吨油当量为单位）除以2005年的实际购买力平价GDP（美元）得出。

[24] 数据来源：2013年BP统计报告。

[25] 《华尔街日报》, “ 能源饥渴迫使中国加入页岩气革命的行列 ”，2013年9月5日。

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。