天然气时代与网络的力量

Peter C. Evans 和 Michael F. Farina

目录

一、摘要

二、天然气时代

天然气发展史：三个时代 7

当今全球天然气格局 13

2025年全球天然气增长展望 15

三、天然气网络的发展与转型

网络的力量 22

网络模式 23

网络演进 25

网络密度：液化天然气 26

网络之间的相互联系与相互依赖 27

四、支持技术与工业互联网

供应网络 31

网络安全与优化 36

发展网络 39

五、天然气网络的未来

发展新的天然气网络：锚定项目与卫星项目 44

未来网络整合 50

天然气与碳 54

六、催化剂及结论

推动对网络投资 57

支持技术创新 58

鼓励安全和可持续发展 59

七、注释、数据附录、作者简历与特别鸣谢

©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

天然气注定将在世界能源需求中占据比目前更大部分的份额。自工业革命以来，天然气在全球能源格局中始终占有一席之地，而这种独特资源的角色正在发生新的转变。天然气正在从一种区域性、小众化的燃料转变为全球能源供需格局的焦点。我们的世界正进入一个全新的时代，在这个时代中，天然气不仅与煤炭展开竞争，并成功地替代石油的部分市场份额。不仅如此，天然气还将作为风能和其他可再生能源的调峰补充，发挥越来越大的作用，尤其是在发电领域。这在很大程度上是由于世界正在向电力转移，无论是电力行业，商业，建筑业，抑或最近正在兴起的运输业。预计到2025年，全球天然气消费将比目前增长40%以上。

“天然气网络的发展，加之技术创新，进一步增强了网络密度与灵活性，并提高了经济性。”

加速增长的部分原因来自连接供需之间的基础设施网络日益多样化并在全球广泛拓展。未来天然气的发展路径将与以往大不相同。天然气网络的发展，页岩气等新气源加之技术创新，进一步增强了网络密度与灵活性，并提高了经济性。事实上，网络的力量与天然气时代的崛起紧密相关，并将带来一系列的可观收益。包括：大大降低化石燃料燃烧产生的排放，与间歇性能源协同增效，并有助于增强整个能源系统应对电力中断的能力。

网络的力量

天然气需要通过管网将产地与不同的需求市场连接起来。而管网或者网络所具有的一项显著特点是随着越来越多实体的加入，其自身价值也将随之增长。网络的这种特点有助于推动相邻网络的发展，并在建立新连接的过程中，产生创造价值的潜在机遇。网络的发展进一步增强了灵活性，提高了经济性，同时反过来也进一步促进了网络自身的发展。密集型网络使能源系统更为强健和有弹性，从而增强了其应对冲击的能力，且较少出现极端的价格波动。

天然气通常经由三个渠道送抵用户。一是通过管道输送。天然气管道系统大多修建在陆地上，作为最常见的运输方式，承担着89%的日常天然气需求的输送。二是通过海运。需要将普通天然气大规模转化为液化天然气，并使用专用船舶运输，建立海运网络。全球约10%的天然气以液化天然气的形式通过公海进行贸易。预计未来十年，液化天然气的国际贸易量将增长近70%。最后，还有很小的一部分，约占1%，经由一些小型设施压缩或液化后，通过铁路或公路运输。北美等地由于较高的柴油价格与较低的天然气价格之间存在着巨大的套利机会，那里正在兴起贯穿铁路网与天然气输送管网的新型纵向网络。这将带动小

©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。

型液化天然气（LNG）与压缩天然气（CNG）系统的快速增长。

“天然气系统的整合，将为市场发展带来前所未有的灵活性，推动制度和市场的转变，并为天然气在能源市场中获得更大的份额打开方便之门。”

将几种网络模式结合有助于推动天然气网络的发展与增长，这一变革涉及紧密结合的技术和买卖双方共存的市场两方面。前进的步伐在全球差异极大，并且与网络的发展程度紧密相关。在发展的早期阶段，天然气基础设施的特点是点到点连接。而在以高密度网络为特点的较为成熟的阶段，存在着大量在能源系统内部，或外部，包括电力、铁路、船运、远距离公路运输等之间建立网络化连接的机会，从而形成精密复杂的网络。

耗资数十亿美元的大规模“超大型”天然气管道项目与液化天然气项目将是未来天然气网络增长的基石。这是传统的将大型气源与需求中心连接起来的增长方式。对这种大型供需系统形成补充的是发展新一代规模较小的模块化“卫星”系统。全球天然气网络将随着这些锚定系统与卫星系统的发展而增长。同时，随着网络整合程度的提高，天然气的供应将更具灵活性和弹性。这将为满足大型电力用户和工业用户对天然气需求的增长，并为较小规模的分布式发电和城市供热及制冷需求提供支持。未来十年，随着天然气系统的整合，将为市场发展带来前所未有的灵活性，推动制度和市场的转变，并为天然气在能源市场中获得更大的份额打开方便之门。

能源系统的弹性

我们需要一个既有弹性又兼具可持续性的能源系统，尤其是在燃料和电力基础设施方面。因为能源基础设施是其他关键系统，如通信、医疗和金融等正常运行的基础。颇具弹性的能源系统能够优化单个能源网络，协调运作以保障客户的利益。而过于依赖某些能源网络的能源系统必定会脆弱不堪。不仅如此，经过优化、提高效率后的网络损耗也会更低，交易成本也相应减少，因而更具可持续性。天然气拥有得天独厚的优势，能够与其他能源一起提高能源系统的整体弹性。另外，随着数字化和软件技术的发展，天然气系统变得更加智能化，此优势还可进一步扩大。

由于天然气网络通常都埋在地下，故而相对于公路和电网而言，天然气网络在遭遇极端天气时也能够稳定的供应。如此，通过提供多样化、冗余备份系统，天然气也能够为经济发展的带来更多弹性。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，以提高电网弹性并缩短在面临电力中断时的反应时间。此外，建在天然气网络周边的分布式电力系统还能够为公共设施提供快速的电力恢复，如医院、自来水厂和政府机构等赈灾中的重要部分。然而，在有些情况下，如地震、台风（对液化天然气运输船），天然气系统也会面临供应中断。这就是为什么要提倡将天然气、电力和液体燃料网络优化结合，使其相互支持。

©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。

技术与创新

技术创新是天然气在国际舞台上作用日益明显的基础所在。从19世纪以煤炭为原料生产人工煤气的时代，到今天正在崛起的非常规天然气时代，技术变革与燃气行业的发展一直息息相关。当前，创新在天然气网络的构成层面与系统层面均发挥着作用。尽管构成要素，包括压缩机、阀门、燃气轮机和发动机等的设计都已近乎达到极限，但最激动人心的进展还是发生在系统层面。例如，通过大量整合既有技术而实现的页岩气开发，使北美天然气行业，乃至世界能源结构发生了翻天覆地的变化。

可以预见，未来将涌现出更多的新技术系统，它们将对天然气网络发展产生巨大影响。这些系统包括新型浮式液化天然气技术以及“小型-中游”（小型天然气收集、转化和运输系统）技术等。此外，还将产生由传感系统、监视系统、控制系统和分析系统组成的新型数字化系统矩阵，所有这些系统都作为工业互联网（Industrial Internet）的一部分，促进了数字世界与物理世界的深度整合。[1]

技术创新可以按照对天然气网络发展的贡献进行分类。上游进行的技术创新主要集中在天然气供应网络方面。创新技术帮助偏远地区大型天然气项目（如深海天然气、含硫天然气和其他大型常规天然气开发项目）提高效率并降低成本。还有一些技术用以从效率、环保以及安全等方面确保天然气系统的安全性、整体性和优化性。此外，一些新技术可将小型液化天然气系统与压缩天然气系统整合并转化为“虚拟管道”，这对天然气运输市场的快速发展至关重要。最后，还有些技术创新的重点在于扩大天然气的应用范围。天然气特有的灵活性使其成为可再生能源等其他能源的重要补充。贯穿上述领域，工业互联网的进步（包括数据分析、机器到机器以及人机交互界面的进步），将日益提高与天然气相关的设施、设备组和网络系统的生产率。

2025年天然气行业展望

目前，全球天然气年需求量大约为3.5万亿立方米，大致相当于全球石油市场70%的规模。在通用电气（GE）公司“天然气时代”展望中，到2025年，全球天然气消费将增加1.3万亿立方米，较当前水平增长36%。这将使天然气消费占到全球一次能源消费的26%。在此期间，半数以上的增长将来自于中国、中东以及东南亚和南亚地区。如果供应增长、政策支持以及网络发展等条件得到满足，天然气可占全球一次能源消费的28%。这相当于，或者略高于2025年煤炭和石油的预计消费。

电力行业将成为未来天然气需求增长的关键推动因素。随着全球电力系统的扩张，我们预计，用于发电的天然气将增长近50%。经济与环境因素促使发电从石油和煤炭向天然气和可再生能源转变。如果天然气价格保持在适当的竞争性价格区间内，

©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。

那么它就能够与国际贸易煤炭进行有效竞争并实现盈利。这一“有效区”视地区以及天然气价格与石油价格关联程度的不同而不同。

买卖双方之间传统的垂直整合，加之长期合同之上的灵活性，可以帮助天然气进入“有效区”。但随着天然气市场的成熟和网络的扩张，该行业将逐渐被推向竞争性环境，价格也会更趋平衡。地区间的天然气价格将有所不同，这是由基础供应和运输成本差异所致，而非由石油价格的联动机制造成。在北美和欧洲西北部地区之外，天然气将逐步退出与石油的联动机制，这将促使天然气行业采用新的流程和备选方案，并将进一步扩大技术范围。就天然气气源而言，常规天然气资源将继续占据统治地位，并将占增长的天然气供应的70%。但非常规天然气资源也将继续增长。预计到2025年，非常规天然气在全球天然气供应中所占比例将从目前的14%上升到近20%。

“随着天然气市场的成熟和网络的扩张，该行业将逐渐被推向竞争性环境，价格也会更趋平衡。”

目前，全球每年用于天然气基础设施建设的支出约为2500亿至3000亿美元。其中，近25%的行业支出用于拓展运输网络，包括管道铺设、储存设施和液化天然气（LNG）系统等。预计未来5年，在全球天然气行业每年近4000亿美元资本支出中，天然气输送网络的建设费用将占到近30%。其中相当一部分投资与大规模液化天然气开发项目有关，相关费用将超过同期输送管道的投资额。

天然气时代

天然气在全球的作用取决于新一波的投资浪潮，额外的政策调整以及企业与政府之间的协调。此外，还需要关注网络在天然气行业中发挥的关键作用。随着天然气网络的日益发展壮大，决策者们需要加大对天然气网络之间（横向延伸）重要性和促进各种能源系统之间相互联系（垂直联系）方案的关注。培育创新环境同样至关重要。早期阶段提供税收减免和激励措施是非常有效的工具，可以鼓励发展新的供应渠道。而在消费端，检视造成各种燃料之间竞争扭曲的税收政策也很重要。比如，现行的税收政策常常根据液化天然气的体积而不是所含能量予以征税。这使得对液化天然气征收的实际税率是柴油的1.7倍。这必然会影响对网络的投资，影响终端用户对燃料的选择。

北美地区的经验表明，天然气领域的成功能够促进经济增长，并创造就业机会。这表明，天然气网络的发展能够促进经济发展，提升制造业竞争力，并增强能源系统的弹性。其他促进天然气网络投资的措施包括推动天然气项目的国际合作，持续推进天然气定价政策改革，使其与天然气行业发展的各个阶段相适应。

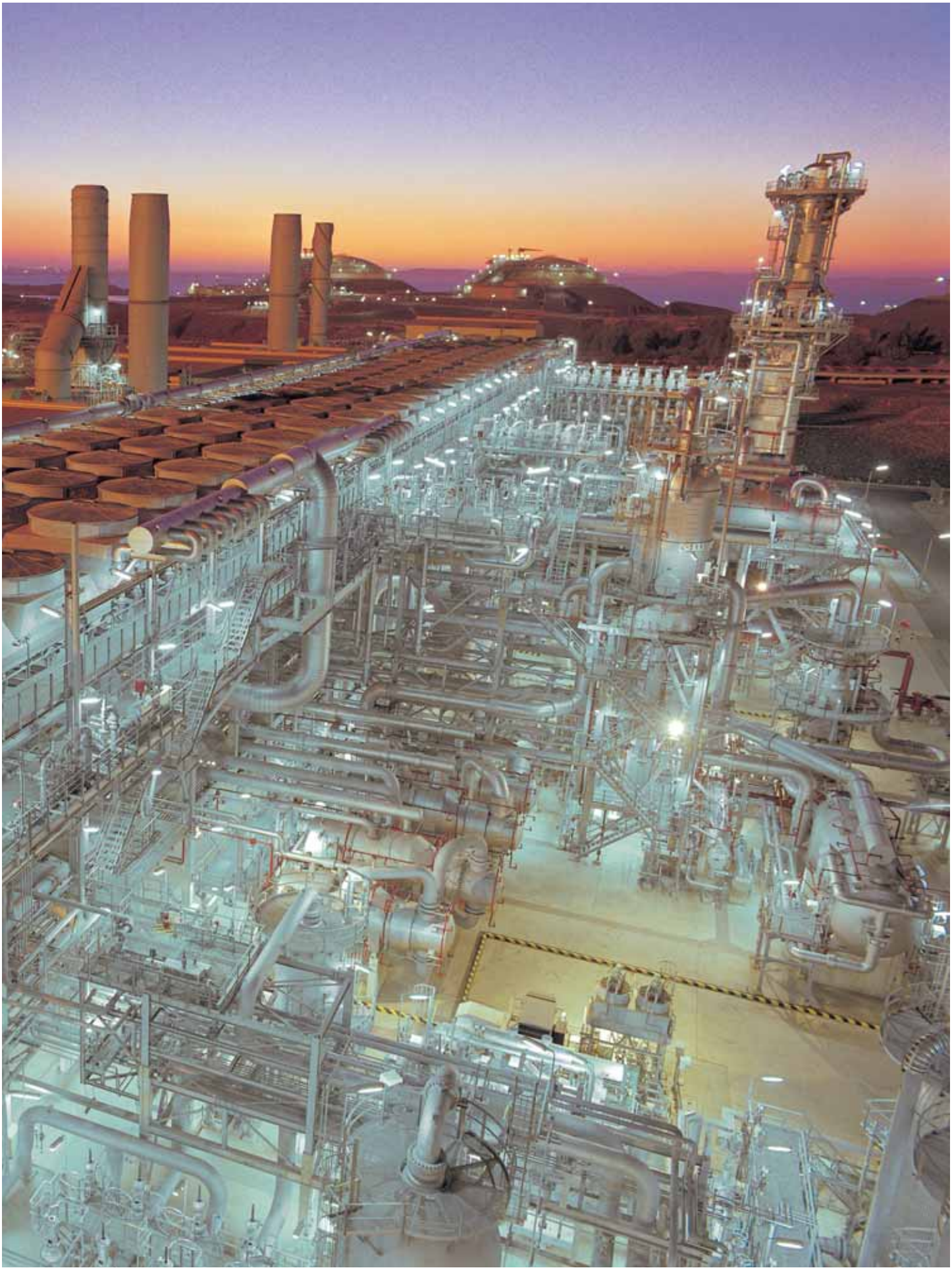
©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

天然气具有大的环保优势。这些优势可以通过替代污染性更强的燃料直接实现，或者通过节约资源，比如水资源的方式实现。还可通过对其他环境影响更低的能源的支持，如风能和太阳能等间接实现。这将对我们的经济和社会产生长远的积极影响。目前，在天然气价格优势地区，环境优势已经显现。在环境价值的驱动下，对于正在开发中的项目而言，如果将这些优势计算在内，可部分抵消天然气和其竞争性燃料之间的价格差距。

与此同时，只有采用安全、高效和可靠的开采技术，天然气才能最大限度的发挥其潜力。具体而言，这意味着要重新定义可能的天然气运营策略，包括发展石油替代品、改进水处理管理、减少逃逸排放和天然气空燃，以及其他提高效率和电气化水平的新举措。

本文提及的对天然气时代的展望并非必然结果，尚有许多复杂事项需具体落实。然而，天然气的确潜力非凡。在更密集、更灵活的全球网络支持下，必将从煤炭和石油手中赢得一定的市场份额，并将以有益方式改变世界能源格局。

©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

天然气的发展史是一个从缓慢而平稳，有价值却被边缘化的燃料逐渐演化为全球性燃料的历史。过去50年间，每十年中都有一个有代表性的能源趋势。20世纪70年代和80年代，石油价格波动，煤炭与核能崛起；90年代是放松管制的时代；而本世纪的第一个十年，碳与清洁能源政策盛行。——这直接反映了过去20年煤炭的井喷式应用带来的结果。能源行业目前面临的挑战和复杂性就是上述趋势的直接结果，同时也受到了新趋势的影响。下一个十年是个特殊的机会，这就是“天然气时代”。为了更好地理解这一正在崛起的新时代，它意味着什么？它如何实现？首先简要回顾一下天然气作为直接和间接能源的历史。

天然气发展史：三个时代

天然气的发展历史可划分为三个时代。首先是人工煤气时代，从1810年持续到1920年前后，大约一个世纪。随后是常规天然气时代，从1920年到2000年前后。目前则是刚刚开启的非常规天然气时代。

人工煤气时代

工业革命开始后，为了节省照明用的蜡烛与油灯，工厂和整座城市在夜间陷入一片黑暗。而煤气灯的发明改变了这一切。在工业革命的快速推动下，全世界的城市都采用煤气灯作为城市街道、广场、车站以及其他各种地点的照明方式。英国、比利时和美国的城市走在了在建造照明系统的前列。到了19世纪60年代，煤气灯及其小型供气网络已经遍布悉尼、布宜诺斯艾利斯、加尔各答、东京、香港和新加坡等城市。[2]

供应早期网络的燃料是人工煤气，因其主要以煤炭为原料制得而得名，但也可以由石油、木材和松油等其他材料转化而成。[3] 全世界建造了数以千计的煤气工厂，热衷于建设煤气灯照明系统的新煤气灯公司层出不穷。然而，当19世纪70年代托马斯·爱迪生推出具有商业应用价值的白炽灯后，这些早期的煤气网络受到了严峻挑战。由于电气照明能够提供质量更佳、更稳定的照明，且不会产生油烟和烟雾，而被广泛认为具有巨大的技术优势。当时的一位观察家将爱迪生的电灯形容为“小太阳”，赞美其发出“明亮、美丽的光线，好似意大利柔美的落日余晖。”[4] 白炽灯的市场占有率迅速超过了煤气灯。燃气行业则试图寻求煤气的新应用，如工业用途、家庭烹饪、烧水和取暖等。然而，燃气行业还是难以同电灯竞争，特别是第

©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。

一次世界大战导致原料煤短缺，致使人工煤气生产成本上升。因此，燃气在全球能源组合中的作用始终保持在较低水平。

常规天然气时代

20世纪迎来了常规天然气在来源、配送以及终端应用技术方面的巨大变化。在寻找石油过程中发现的大型气田使人造煤气退出历史舞台，整个行业逐渐转向常规天然气资源。勘探者们在地下不连续储层中发现了天然气，即所谓的非伴生气。其中一些气田的储量相当巨大，例如美国堪萨斯雨果顿（Hugoton）气田（1922年发现）、荷兰的格罗宁根（Groeningen）气田（1959年发现）以及西西伯利亚的乌连戈伊（Urengoy）气田（1966年发现）等。[5]此外，还发现有大量的天然气溶解在石油之中。当石油开采出地面后，其中溶解的天然气就好像打开瓶盖的碳酸饮料一样喷涌而出。但在许多时候，这些“伴生气”被认为是垃圾，如果没有经济的方式将其投放市场，其结局不是被排放到大气中，就是被白白烧掉。

随着天然气运输领域创新与投资的增加，更多的天然气得以投放市场。钢铁管道建造技术的突破使得天然气运输更加经济。到20世纪50年代，由于建立起可观的规模经济并采用了更大、更耐压的管道，天然气管网日渐庞大，效率更高。多个大型横穿大陆的管道以及越来越多的区域管网动工兴建。60年代的创新则为跨洋天然气贸易制造了机会。超冷技术的发展，即将天然气深度冷却，从而将其体积缩减至标准大气压下的1/600，使海运贸易成为可能。运送液化天然气的特种低温运输船，例如“甲烷公主”号和“甲烷进步”号等，开始在大洋上穿梭。液化天然气贸易开始从阿尔及利亚到法国和英国，以及从阿拉斯加到日本。

“这是一个追求工业规模的时代。”

20世纪70和80年代，由于大量关联因素的影响，天然气开始了更加快速的扩张。1973年和1978年的石油危机导致各国政府与公用事业部门积极探索燃料组合的多样性，促进了天然气的发展。终端应用技术的革新，如引入联合循环燃气轮机用于发电，也同样使得常规天然气取得了大发展。同时，航空燃气涡轮机（航改机）技术应用于发电也取得了突破。[6]由于这些技术在成本、效率和环保方面的良好表现，而被公用事业企业及工业用户逐渐接受。这是一个追求工业规模的时代。随着新技术的引进，天然气的使用为这场竞赛推波助澜。上世纪80年代末和90年代初期，监管方面的变革也起到了一定作用。在英国，这种变革涉及到将国有企业私有化，并放开天然气管网以利于竞争。而在美国，最重要的变革莫过于放开网络并解除价格控制。这种举措有助于创造一个更利于竞争、运作效率更高的天然

©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。

气行业。[7]

在上述进步的推动下，天然气的使用及其管道网络在北美、欧洲和东北亚地区广泛拓展。天然气应用随着经济发展和人口增长而扩大。1970年，全球天然气年消费达到1万亿立方米，其中北美和欧亚大陆占80%。[8] 1990年，天然气消费增至2万亿立方米，约占全球一次能源供应的20%。到2000年，天然气的年消费与市场份额双双实现增长，消费增至2.4万亿立方米，占全球一次能源消费的22%。然而，作为替代性烃类燃料的天然气仍在全球一次能源格局中落后于煤炭和石油。此外，对天然气终端应用供应稳定性的担心，无论是真实的或是想象的，价格的周期性波动，以及世界大部分地区输气网络的限制，都成为了使天然气始终排在第三位的原因。如此，尽管天然气超过了水利与核能，日益成为全球能源组合中的重要部分，但其仍然排在石油和煤炭之后。

非常规天然气时代

早在1820年石油和天然气行业的发展初期阶段，人们就发现天然气不仅储存在地下不连续储层中（通常为地下多孔砂岩或石灰岩储层），也存在于较大的下伏岩层中。潜在的非常规天然气资源包括：煤层气（CBM）、低渗透性砂岩（致密砂岩）中的天然气，甚至在富含有机物页岩中也有天然气（页岩气）。对页岩气而言，难点在于以经济的方式从纹理细密、富含黏土和有机碳的页岩中将其开采出来。

由于美国天然气市场供需失衡的周期性往复，1950年后，人们对非常规天然气的开发表现出浓厚兴趣。70年代中后期陆续启动了一些小型研发项目。而在税收政策的支持下，阿拉巴马州黑勇士（Black Warrior）盆地煤层气田、新墨西哥州西北水果地（Fruitland）煤层气田以及90年代怀俄明州保德河（Powder River）盆地天然气田的成功开发则表明，非常规天然气资源可以成为美国天然气供应的重要来源。目前，煤层气的产量约占美国天然气供应的10%，并正在成为中国和澳大利亚非常规天然气的来源。随后，在90年代，压裂技术试验打开了洛基山脉的大块致密砂岩，集中在在怀俄明州的大绿河（Green River）盆地、科罗拉多州的皮申斯（Piceance）盆地和犹他州的犹因塔（Uinta）盆地。在此期间，在德克萨斯州东部和中部的部分地区也进行了类似的致密砂岩试验。在其附近，自80年代末期开始，对另一种非常规天然气资源——巴奈特页岩（Barnett）的研究也在悄悄进行着。

©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。

1992年，乔治P米歇尔在巴奈特页岩气田打出了第一口水平气井。截至1997年，他一直在试验“轻砂压裂”技术。当时，页岩气的产量在美国天然气供应中所占比例微不足道——仅占1999年美国天然气总产量的1.6%。[9] 在像米歇尔能源（Mitchell Energy）这样一些独立公司持之以恒的试验下，相关技术于20世纪90年代末期取得突破。各种形式清水的水力压裂技术和压裂支撑剂经过反复试验，旨在保持页岩缝隙结构的打开状态以释放天然气。这些早期的努力逐渐演化为今天先进的水平钻井与“滑溜水”压裂技术，并得到了全新微震成像与生产方式发展的支持。随之产量激增。

其他公司迅速采纳了这些技术，并将其应用于阿肯色州、俄克拉荷马州、路易斯安那州、德克萨斯州、宾夕法尼亚州和西加拿大等地的其他页岩地层。2000年至2008年，天然气价格居高不下，页岩气产量以前所未有的速度快速上升。截至2012年，美国非常规天然气（页岩气、煤层气和致密砂岩气）的产量增长了223%，目前约占美国天然气供应的约55%。当今，技术的进步使页岩气成本降低，同时产量增加，也因此其被认为是“改变游戏规则”的资源。此外，随着这些技术应用于易生油页岩，美国的石油产量也再次获得新生。虽然这一新生的意义与规模尚难确定，但可以肯定的是“轻质致密油”产量的巨大增加将带来大量的伴生气，从而成为美国天然气的又一重大来源。

迄今为止，页岩气的蓬勃发展还主要集中在北美地区。预计未来十年内，美国将成为世界上最大的天然气生产国，其产量与加拿大相加，将占全球天然气产量的25%。目前，仅美国一国天然气可开采储量估值就超过了2,500万亿立方英尺[10]，约合70.8万亿立方米。这一数字是1980年全球可开采储量估值的1.5至3倍。[11] 如上述估值被证明是准确的，那么按照预期的未来消费速度，美国的天然气储量足够使用近100年。凭借于北美页岩气的开发，2012年，非常规天然气在全球天然气供应中的比例从2000年的6%增加到14%。

上述开发的成功有助于提升非常规天然气在全球能源供应组合中的重要性。新的预测表明，中国、澳大利亚、阿根廷、巴西、阿尔及利亚、沙特阿拉伯以及部分非洲国家拥有巨大的页岩气储备潜力。北美地区的非常规资源浪潮增加了就业机会，提升了国家竞争力。此外，它还描绘出未来数年能源地缘政治格局的主要变化。虽然未来在北美以外地区的页岩气开发依然存在问题，但我们依然有理由相信，我们正进入一个非常规天然气的时代。

当今全球天然气格局

©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1：2012年按用途划分的区域性天然气需求

来源：2013年GE全球战略与分析

2012年，全球天然气年需求量达到3.5万亿立方米，在一次能源供应中所占比例约为24%。这一需求量相当于每天6300万桶石油。因此，天然气行业的市场规模大约相当于当今全球石油市场的70%。过去十年内，全球天然气需求以每年大约3%的速度平稳上升，但地区之间的需求量差异明显（参见图表1）。

北美、欧洲和欧亚大陆等大型成熟天然气使用区占全球需求量的57%，但其年度需求增长已降至约1%，在欧洲最近甚至出现了负增长。过去十年内，中

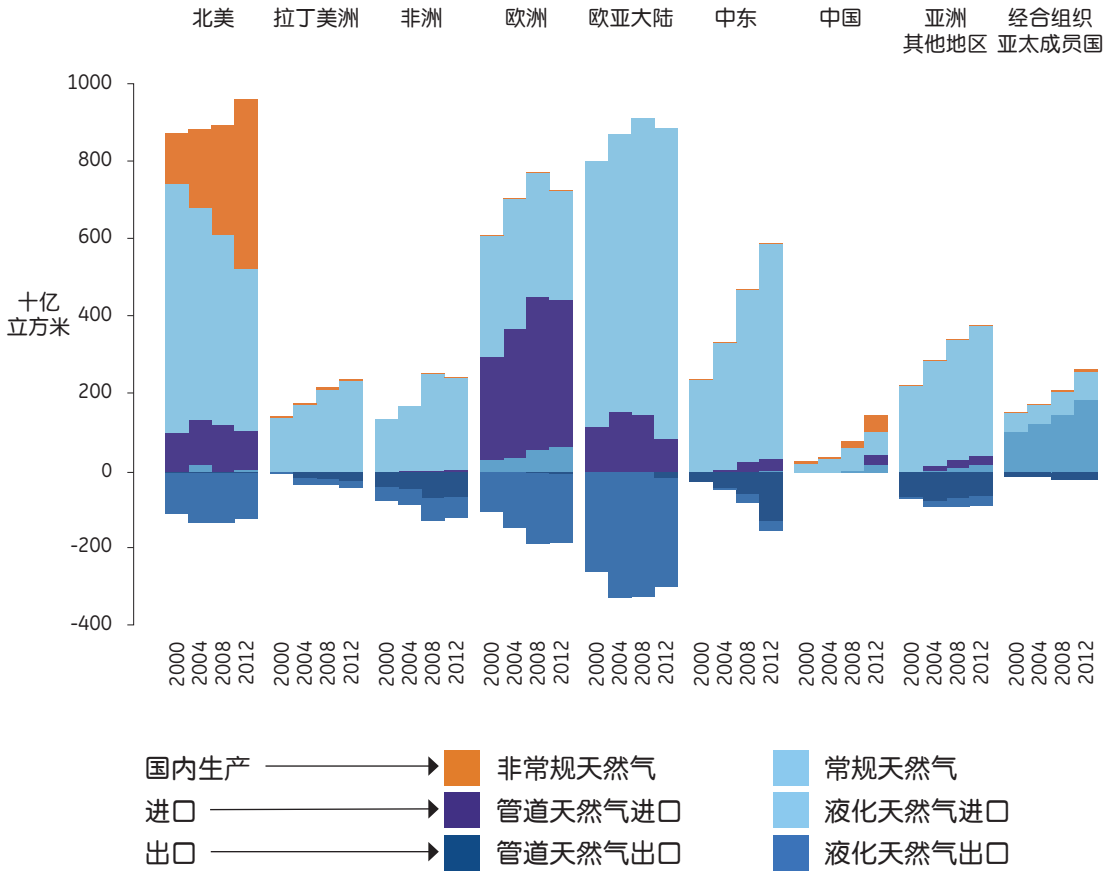
©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

国的天然气消费正在加紧步伐，以大约每年11%的速度增长，但其起始消费水平很低。目前，中国每年消费1400亿立方米天然气，约占全球总需求的4%。这一消费水平与整个非洲大致相当，但还不到北美的八分之一。其他地区的天然气消费也在快速增加。以中东为例，天然气消费年增长速度达到了7%，为5560亿立方米，或占全球总量的13%。此外，全球的天然气消费还来自亚洲的其他地区（15%）和拉丁美洲（7%）。

天然气可为多种终端用户服务，在每个主要市场参与竞争。其中，大部分用于发电，约占全球天然气消费的41%。部分天然气用于供应“峰荷”机组，这些机组

图表2：2000-2012年全球天然气供应与贸易情况

来源：2013年GE全球战略与分析



在用电

©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。

高峰时段定时运转。还有部分天然气用于“腰荷”发电或循环机组及“基荷”发电，燃气轮机会在整个白天或24小时不间断运转。天然气的第二大需求是工业用途，通常作为工艺燃料用于生产化肥、化学制品、塑料以及其他各种产品。工业用天然气占全球天然气需求的24%。天然气在某些工业流程（比如乙烯生产）中的独特用途，赋予了其更大的竞争优势。第三大用途是建筑用气，约占20%，主要用于楼宇供热、烹饪，也可用于制冷。天然气是满足楼宇供暖需求的优质燃料，也可用于某些商业用途如烹饪或烘干等。最后，天然气的其他用途主要在能源和交通领域。例如，天然气可作为炼油厂生产柴油所需的氢来源。在上述某些应用中，天然气直接与石油在远程运营方面展开竞争。它可以为净化和输送天然气的压缩机和处理设备提供动力；还越来越多地被直接用作车辆燃料。这几项用途及其他用途合计占全球天然气总消费的15%。

天然气的跨境贸易相当活跃。目前，30%以上的天然气通过管网或液化天然气网络经由海路在国家之间进行交易。如图表2所示，最大的管道天然气出口地区是欧亚大陆、欧洲部分地区（如挪威）和北美（大部分由加拿大输往美国，少部分由美国输往墨西哥）。尽管管道天然气交易量始终高于液化天然气，但后者所占比例正逐步增加。2012年，液化天然气进口量翻了一番，从2000年的1400亿立方米增至3270亿立方米。目前，最大的液化天然气出口国为卡塔尔、澳大利亚、马来西亚和印度尼西亚。最大的液化天然气进口国为日本、韩国、英国和南欧等国。

2025年全球天然气增长展望

天然气注定将在世界能源需求中占据更大的份额。根据GE的“天然气时代”展望预测，到2025年，全球天然气需求量将达到近4.8万亿立方米，比目前生产和消费的天然气数量增加40%。[12] 其中半数以上的增长将来自于中国、中东以及东南亚和南亚地区（参见图表3）。中东地区的增长来源于新管道的投入使用，以及供求双方就投资与定价政策达成的一致。而亚洲大部分地区的增长则与适时地的基础设施建设以及天然气相对于石油和煤炭所具有的竞争力相关。

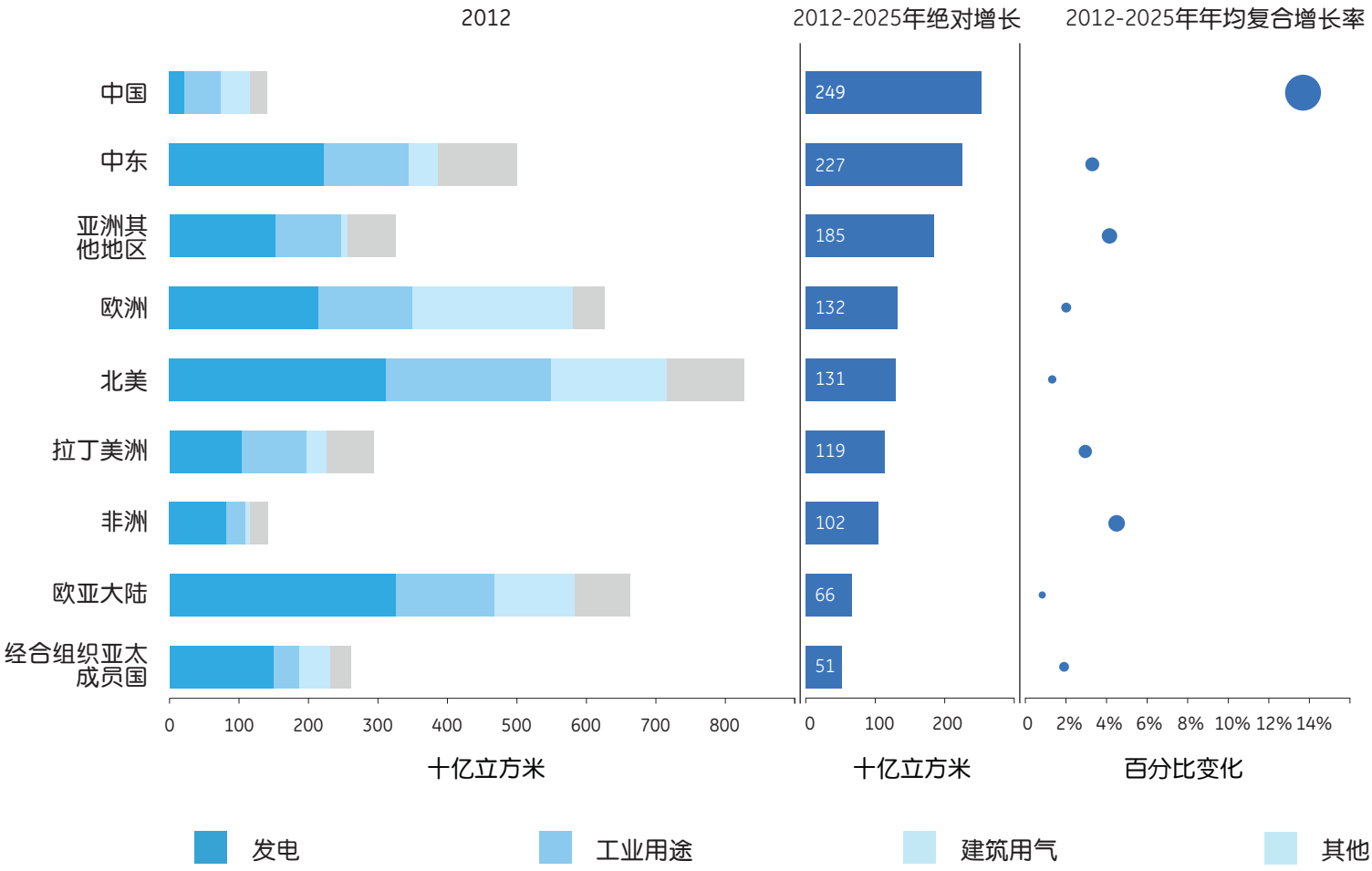
基础设施建设对非洲和拉丁美洲同样至关重要。随着新气源的出现，天然气作为运输行业石油替代品和分布式能源供应，将会极具吸引力。此外，随着区域经济的发展，非洲除了将天然气出口外，还逐渐将其用于满足自身需求。

在天然气使用的成熟地区，虽然增长速度放缓，但基数仍然较大。随着获取低成本页岩气价值的新设施建造，北美地区的增长预计在2015年以后将取得

©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3：2012-2025年全球天然气增长展望

来源：2013年GE全球战略与分析



较快发展。俄罗斯和里海地区还将继续依靠其充裕的天然气资源，但会将关注焦点逐渐转向提高其运营的能源效率。这一地区将继续作为欧洲天然气的主要供应商，并将加大向亚洲的出口力度。而欧洲市场的近期预期增长将是非常缓慢的。事实上，自2010年以来，由于煤炭竞争力的加强和经济形势的挑战，天然气在欧洲的使用量一直处于下降趋势。不过，我们仍寄希望于欧洲在2020年前回到增长的正常轨道上来。

就天然气供应而言，常规天然气资源将继续占据统治地位，并将占天然气供应增长的70%。俄罗斯的常规天然气资源仍然非常丰富，但开采成本将更高。在亚马尔半岛地下发现的大量北极天然气藏，以及在西西伯利亚更深、更复杂的地层中发现的天然气，对俄罗斯传统的干气田形成了补充。[13] 这些新气源将满足俄罗斯的国内需求，并将继续作为欧洲天然气供应的重要来源。此外，俄

©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。

罗斯还将于2020年前启动东西伯利亚地区天然气的开发。在其附近，随着新管道的完工和持续对超大型天然气田南约洛坦的投资，土库曼斯坦和其他里海沿岸天然气生产国将增大对中国的天然气出口。[14] 在中东地区，卡塔尔和伊朗将继续发展天然气。然而，在目前持续的地缘政治紧张局势下，预计近期伊朗的天然气资源还将无法进入国际市场。在其他地方，一些新的大型海上常规天然气，如澳大利亚西北礁层，以及莫桑比克、坦桑尼亚和地中海发现的天然气田，将在未来十到十五年内支撑起大型液化天然气项目。

在常规天然气源的带动下，预计非常规天然气的增长速度将是传统天然气资源的两倍。预计到2025年，非常规天然气在全球天然气供应中所占比例将从目前的14%增长到近20%。大多数天然气将产生在美国和加拿大，以宾夕法尼亚州的马塞勒斯页岩区和南德克萨斯州的鹰滩页岩区为首。有预测称，就资本开支而言，鹰滩已成为世界上最大的石油天然气开发项目。北美以外，澳大利亚的煤层气资源正在全力开采，在昆士兰建有多个液化天然气项目。在阿根廷，对内乌肯盆地的兴趣正在不断上升。而在中国，页岩气的勘探工作在四川及中国其他地区持续进行。虽然在中国开采页岩气面临许多挑战，但我们认为到2020年后，将实现巨大的开采量。在某些方面，本文对非常规天然气的展望略显保守。综观全球，从澳大利亚、阿尔及利亚和巴西一直到墨西哥、土耳其和俄罗斯，对页岩气的乐观情绪都在不断增长。然而，非常规天然气的增长速度受到几个关键因素的影响，包括后面将要详细讨论的基础设施建设。

> “预计到2025年，非常规天然气在全球天然气供应中所占比例将从目前的14%增长到近20%。”

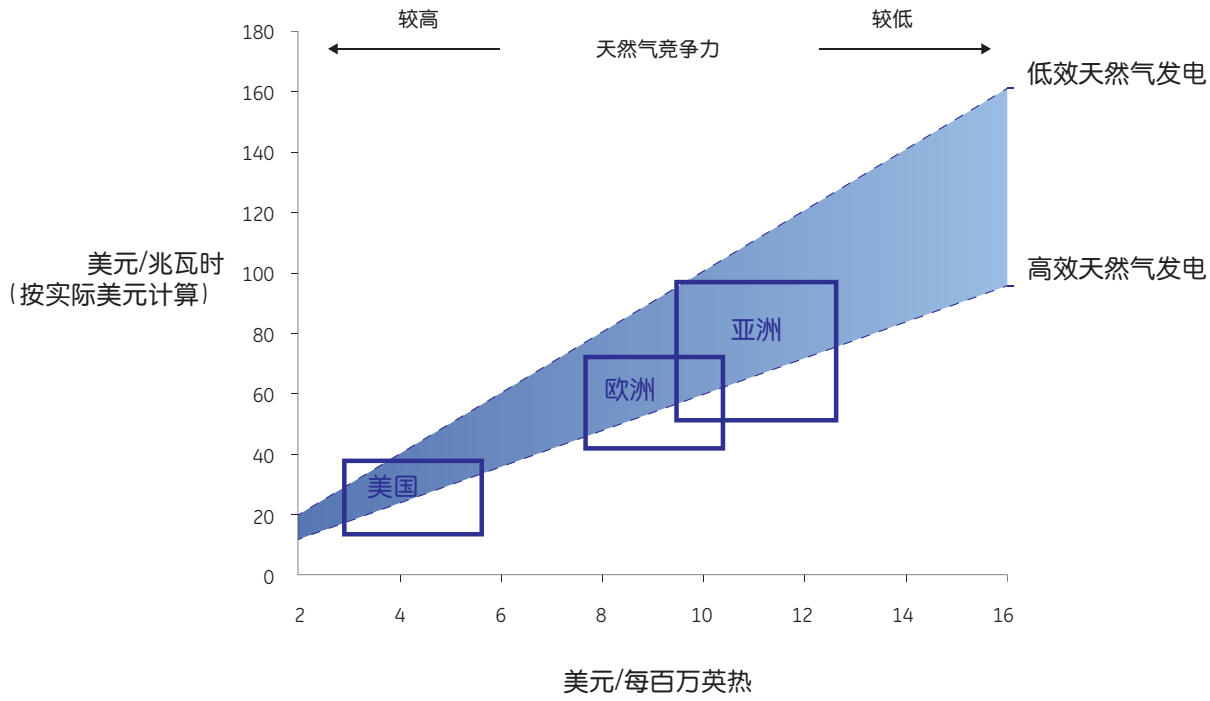
电力行业将成为未来天然气需求增长的关键动力。由于电力需求在一天中不断变化，天然气可以对煤炭、核燃料等稳定的基荷资源形成补充；同时，还可以在太阳落山后，或者风停时用于平衡间歇性的可再生能源供应。随着全球电力系统的进一步拓展，我们预计用于发电的天然气将增长近50%。每一种发电形式的增长都存在不确定性。例如，日本未来的天然气需求将与福岛核电站事故后核能发电的决定紧密相关，也将受到核能电厂在全球的占有率的影响。[15]

不过，更大的问题在于天然气与煤炭发电的较量。天然气具有与国际贸易煤炭进行有效竞争并实现盈利的机会窗，或者说“有效区”。但是，如果天然气的价格过高，煤炭的市场份额就会增加。同理，当天然气价格下降时，其市场竞争力就会增强，但同时投资新气源的意愿也会降低。此法则并非在全世界通用，如图表4所示，不同地区在“有效区”中所处位置不同。在北美地区，近期天然气价格的下降无疑使天然气在美国进入了有效区，且完全独

©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：区域天然气竞争有效区区间

来源：2013年GE“天然气时代”展望



注：对高效天然气的估值基于10000热耗，而低效的估值基于6200热耗。

立于石油的定价系统。这有助于天然气赢得市场份额。但在欧洲，竞争法则有所不同，那里天然气的价格较高，与石油价格的关联性也较紧密。而在亚洲，由于天然气的价格更高，其面临的竞争挑战也就更多。我们虽然预计电力行业对天然气的需求将会增长，但其前提是天然气必须保持在有效区。

除当前的价格因素外，也有一些促进天然气应用于发电领域的因素。天然气有助于实现燃料组合的多样化。由于天然气能够根据负载情况迅速反应，而有助于增强发电的灵活性。同时，天然气发电所具有的环保优势也得到了广泛认同。因为它的主要成分是甲烷，燃烧后的主要产物是二氧化碳和水蒸汽。相反，煤炭和石油是由更为复杂的分子构成，含碳率较高，氮和硫的含量也偏高。所以当燃烧时，天然气所释放的有害物质比煤炭和石油要少很多。这种高浓度污染物也是构成PM2.5（直径小于2.5微米的

©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。

粉尘颗粒物，由于直径太小，所以可以直达人体肺部）的罪魁祸首。这使其从环保角度更受欢迎。相比煤电，天然气发电只产生23%的氮氧化物（NO_X）、50%的二氧化碳（CO_2），且基本没有二氧化硫（SO_2）、可悬浮颗粒物和灰烬，这使其从环保角度更受欢迎。

近来，除了能源系统对环境可能的影响之外，越来越多的人开始关注能源系统对外部灾害（如飓风、暴风雪等）的抵抗力和快速恢复能力。以天然气为燃料的热电联供电厂效率高，且在必要时可脱离中央电网独立运行，因而是弹性和可持续性基础设施的典范。[16] 此外，天然气发电还可以和可再生能源发电相结合，建立稳定的电力供应，有助于减少价格风险，并可显著降低排放。发展中国家对新能源的需求最为迫切，天然气的灵活性、多样性和相对清洁性非常适合其能源需求及市场结构。天然气技术广泛适用于急需更具弹性的能源，以及分布式能源与传统集中化能源供应并存的情况。

很大程度上，天然气时代即是天然气超越并具备与石油和煤炭正面竞争的能力。目前，石油、煤炭和天然气共占一次能源供应的83%。预计到2025年，烃类燃料将占世界能源的80%以上。经济与环保因素日益推动使用天然气和可再生能源取代石油和煤炭。目前，石油占全球能源消费的31%，而对能源效率以及环境保护的客观需求将推动天然气对煤和石油的替代。到2025年，这一比例将降至27%。造成下降的主要原因在于居高不下的石油价格，终将令其被挤出市场，同时也将缓慢但稳步促进替代性运输燃料的采用。

未来十五年的燃料技术选择很大程度上决定了之后十几年的能源产业结构。这将引起对路径依赖的担忧，也就是说，一旦做出了技术方面的选择，就难以改变发展的道路，因为大型能源系统资产寿命较长，且资本周转缓慢。[17] 如果煤炭成为了新兴能源系统的主要燃料，那么实现低碳目标的过渡时间就会将延长。在过去的17年里，煤炭始终是增长最快的燃料，在一次能源消费中所占比例增加了3.5个百分点。在未来的发电领域，煤炭无疑仍会发挥重要作用，并在世界许多地方仍将作为主要的发电能源，但就增长来说，天然气必将占据增长的绝大部分。

天然气要想替代原有化石燃料，并取得决定性胜利，仍面临着一些挑战。除全球少数地区外，其他市场及其政策是否支持天然气与煤炭进行有效竞争还存在着不确定性。GE的“天然气时代”展望中，到2025年，煤炭约占一次能源供应的28%，而天然气在一次能源市场中的份额将达到26%。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。

而，如果供应充足，政策支持以及网络发展等条件得到满足，到2025年，天然气在全球一次能源消费市场的份额还能再增加1到2个基点（总计5个百分点），达到28%，与煤炭和石油的比例相当或略高。

天然气在全球的作用取决于新一波的投资浪潮，以及企业与政府之间的协调，还有不断的技术创新。此外，还需要关注天然气行业的网络建设。尽管对天然气的优势及其与其他能源协同配合的关注度持续上升，但对建立天然气网络和促进不同能源系统之间的互联互通的重视仍显不足。为了更好的理解天然气在未来数年可能的增长与演化情况，对网络在天然气各发展阶段的作用进行评估，显得颇具价值。目前存在的网络种类不同，采用的运营方式和所需的技术支持也不同。本报告最主要阐述的就是网络在支持和打造天然气时代方面所发挥的关键作用。

©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。

FAGIOLI
FAGIOLI
FAGIOLI
FAGIOLI
FAGIOLI
FAGIOLI
FAGIOLI

三、天然气网络的发展与转型

从根本上说，天然气是一个网络化的行业。网络对于将天然气从产地送达目的地十分必要。在这些网络中，有多个元素值得引起重视。其中之一是网络自身的力量，随着网络自身的壮大，其价值日益凸显。另一个重要方面是天然气输送所采用的不同模式，即管道、海运以及公路和铁路网络。全球天然气网络的发展水平不尽相同，有些网络规模大、密度高、竞争力强，有些则刚刚开始建立联系。最后也是很重要的一点，那就是不同的天然气网络之间，以及天然气网络与其他网络之间，存在着物理上的和数字上的相互联系与相互依赖关系。简而言之，对天然气时代的理解离不开了解既有的不同类型的天然气网络及其运营方式，以及其演化过程中的价值变化。

网络的力量

网络是现代经济的重要特征。从根本上讲，网络就是不同事物之间相互联系的模式。[18] 电信网络支持声音、视频和计算机文件等不同类型的数据在两点之间传递。其他网络，如铁路和公路网则发展为运送大型实体货物。而天然气网络则是将宝贵的燃料从产地输送到终端使用。最基础的天然气网络实现点对点的单向连接。较为高级的天然气网络则包括枢纽与辐射结构，以及更多的输送选择，有些甚至还设计为允许逆向流动，以支持双向输送。

网络的一个重要特点是其价值会随着密度的增大和复杂性的增强而上升。其原因是当越来越多的实体加入到网络中，对产业的正面影响也随之增强。网络的这些特点有助于推动相邻网络的发展，同时在建立新连接的过程中产生了创造价值的潜机会。网络为连接上游供应商和下游用户提供了机遇。网络的发展有助于降低成本，增强系统灵活性，并反过来促进了网络自身的发展。利用这些经济现象，或者经济学家所指的规模经济效应，可进一步降低交易成本，并建立更加高效的市场。[19] 当然，网络也有不利的方面。例如，如果整个网络、或者部分网络因为过度使用而导致拥塞，则其价值会大大降低。而随着资源的枯竭或者市场的转移，部分网络可能会陷于停滞或者建造过度，造成成本回收障碍。这就是为什么适当的定价、投入、选择与储存对优化网络规模以匹配供需要求是至关重要的原因所在。

©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：天然气网络运输方式

来源：2013年GE全球战略与分析

网络类型	占全球天然气运输量的比例	支持技术		
		压缩	运输	再气化/存储
陆上输送管道	89%			
海上液化天然气运输船	10%			
公路/铁路	微型 LNG ~1% CNG			

网络模式

全球天然气系统依靠三种类型的网络运输天然气。[20] 网络模式及其支持技术示例参见图表5。迄今为止，最主要的网络模式是陆上输送管道，通过总长超过140万公里的全球管网输送了大约89%的天然气。其中，约70%的大部分管网为地区性输送管道，用于在上游采集天然气并在国内市场进行配送。其余部分为大口径洲际输送管道，存在于美国、加拿大和俄罗斯等国，目前中国的数量也正在逐渐增加。

维持一定的压力对管道输送天然气至关重要，这可以通过沿输送管道按固定间隔安装压缩机来实现。压缩后的天然气在长输管道中以25英里/小时（约合40公里/小时）的速度前进。例如，天然气从南德克萨斯州的鹰滩页岩区输送到纽约，需要经过2,000英里长的主干管道，耗时约为三天。又如，最近刚刚建成的

©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。

北溪海底天然气管道从俄罗斯的维堡港到德国的格赖夫斯瓦尔德，绵延1,224公里。该管道采用了特殊涂层减小摩擦，以便让天然气在略多于一天的时间内穿越波罗的海。输气管道的价值在于，相对于其他运输方式，能源输送的速度大大加快。

第二种模式是液化天然气网络，通过该网络运输的天然气占全球天然气贸易量的10%。液化天然气以及穿梭于大洋间、将出口商与进口商联系起来的大型特种专用运输船使这种以海运为基础的输送网络成为现实。将天然气加压转变为液态以便运输需要极为精密和复杂的操作，耗资100亿至500亿美元。巨额投入使长距离大批量运输天然气成为可能。例如，从世界上最大的天然气出口地、卡塔尔的拉斯拉凡港向全球最大的进口国日本运输天然气，需要大约20天。

最后，还可以通过公路、铁路等既有的运输网络运送天然气，压缩天然气技术（CNG）与小型液化天然气技术（LNG）使此方式成为可能。压缩或液化缩小了天然气的体积，使其能够装在钢储罐、长管拖车或气罐车内运输。不足之处在于，压缩天然气与液化天然气的密度低于汽油或柴油。每加仑压缩天然气的能量大约为柴油的25%。将天然气液化可以提高密度——液化天然气的体积能量密度为柴油的60%。虽然较低的能量密度限制了天然气的某些应用效果，但天然气与汽油或柴油之间的价格差异使其成为明智之选，尤其当项目规模或其他制约条件存在时。鉴于液化天然气运输车和压缩天然气长管拖车与输送管道的功能相同，这种运输模式有时也被称为“虚拟”输送管道。此种方式规模较小，但在天然气运输中的比例正逐步增加。虚拟管道是快捷的运输燃料或分布式电厂发电的方式。尽管这些较小规模的运输系统多年来仍处于边缘化地位，但经济与技术的进步正为其在一体化能源基础设施建设中实现快速发展提供了新机遇。

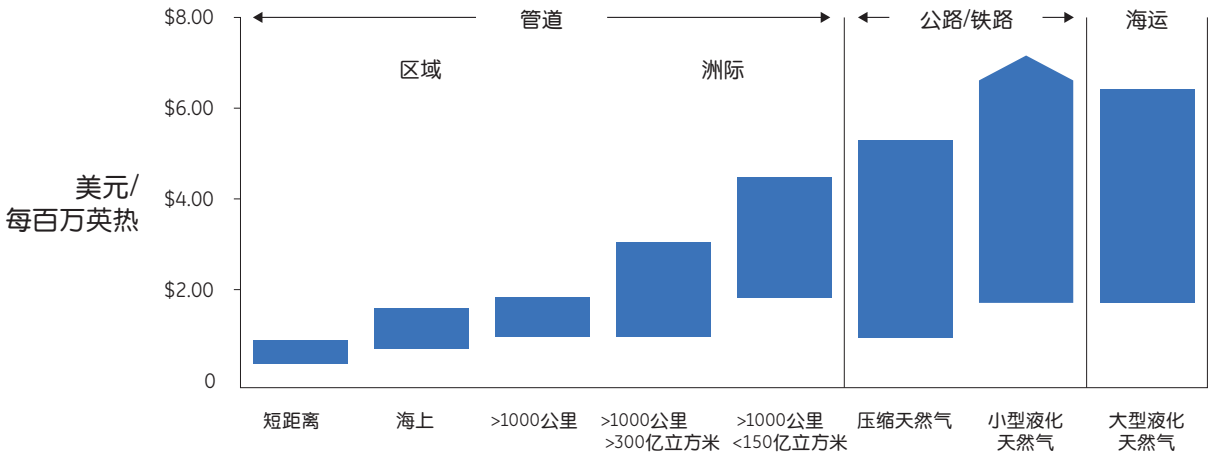
与石油不同，天然气的运输成本占了天然气总成本的绝大部分。上述三种网络模式成本结构各异，详情参见图表6。如距离较短，采用短距离区域输送管道的价格最为便宜，每百万英热还不到1美元。对1,000公里以上的大型管道而言，每百万英热需要1.50至3.75美元。液化天然气运输解决方案的成本范围更加宽泛，每百万英热从1.75美元到6.00美元甚至更高不等。这种差异视液化设施的地点与规模，以及运输极冷液化天然气的专用船只的成本而定。

公路和铁路运输方案的成本差异也很大，每百万英热从最低1.75美元到6.50美元甚至更高不等。压缩技术与专用压力罐占据了这一运输模式所需的绝大部分投入。在决定选择何种解决方案的过程中，经济性起着重要作用。

©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：天然气运输成本

来源：2013年GE全球战略与分析



注：小型压缩天然气和小型液化天然气还包括了本地配送和储存成本。

网络演进

全球的网络发展水平存在着重大差异。网络的发展情况由两大方面因素确定，详情参见图表7。一方面与各国内部、国家与地区之间实体网络发展水平有关。有的处于基础设施尚有限的发展阶段，有的处于在大型气源周边兴建基础设施网络的成长阶段，还有的处于高密度的成熟阶段，存在着大量的在网络之间建立连接的机遇。另一个方面涉及市场与机制的发展水平。有些市场机制非常僵硬，天然气与基础设施的价格和分配由政府高度控制。

另一种极端情况是市场非常开放，流动性高，灵活性大。还有混合市场，即处于上述两者之间的状态，兼具刻板与开放的要素。

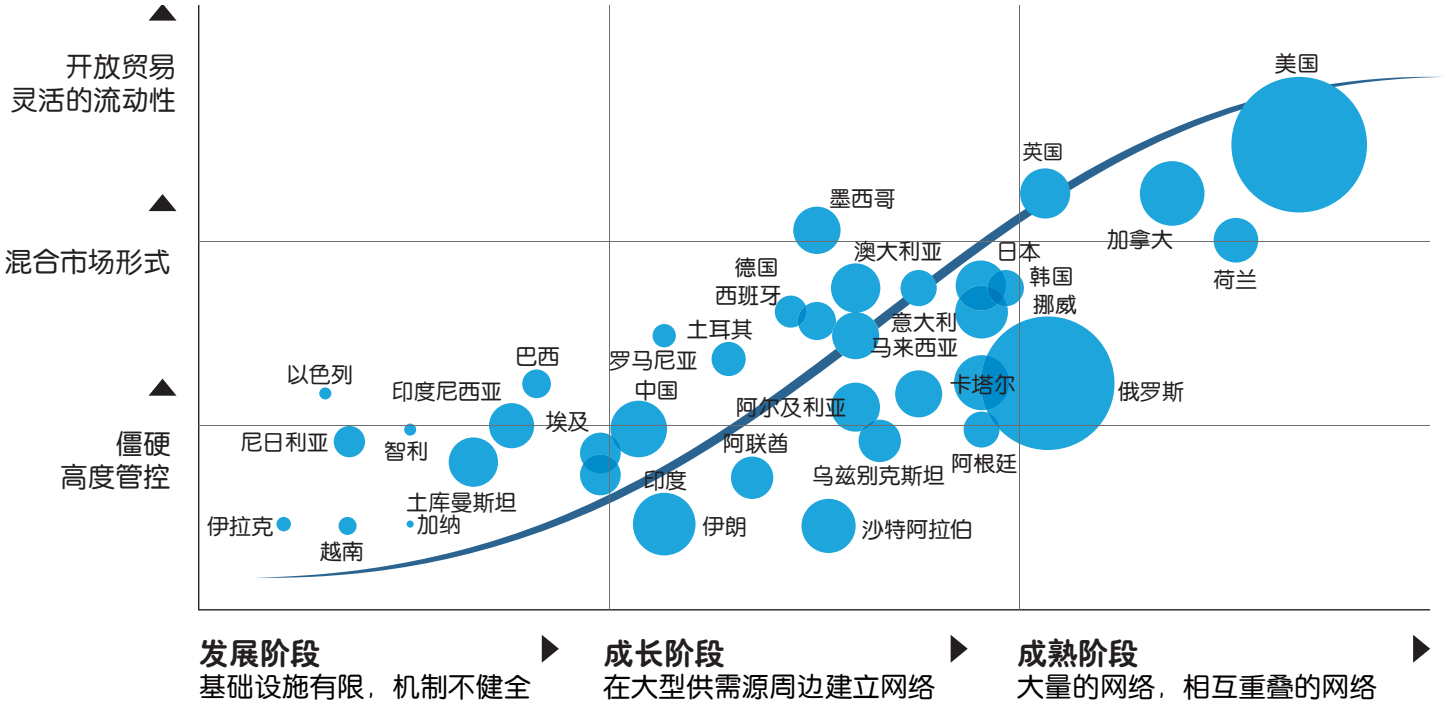
新建能源基础设施耗费不菲，但如能实现透明性与互通性，则可获得高水平的系统优势。

天然气网络的演进路径涉及基础设施和市场两个方面。今天，在加纳、越南和伊拉克等国家存在的初级供气网络是典型的点对点形式，由一些陈旧资产转化而来。在成长阶段，将出现更具多样性的供需资源组合，交付系统将向轴辐式网络或树形结构方向发展，就像目前阿尔及利亚、土耳其和中国的情况。成熟的天然气网络十分复杂，能够联通供需、买卖多方，并具有互通性。此外，成

©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7：天然气网络发展曲线

来源：2013年GE全球战略与分析



天然气市场规模

注：上图根据与市场流动性和开放性有关的主观制度变量，结合天然气基础设施的定量和定性分析计算得出。球形气泡的大小表示2011年天然气的市场规模。

熟网络与其他能源网络之间也具有更多的相互联系。

更加成熟的网络通常具有更强的流动性、更多的定价选择以及监管结构。事实上，监管结构是基础设施发展中的一个重要因素。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。决定天然气网络演进速度的因素有很多，其中包括经济基础、人口结构、气候、地理、资源、技术以及政府机构的实力等，这些因素决定了网络从简单发展为复杂的速度，以及网络能否发展。随着网络的发展，网络用户无论是生产者还是消费者，都可以使用这些网络，选择的余地也相应增加。价值产生的途径也更多，商品（天然气）交易，将天然气转化为更加方便运输或使用的产品（液化天然气、压缩天然气、电力、乙烯、甲醇、氨或液化石油气），或者“无形资产”，如某段管道的天然气输送权等。天然气网络的附加值是其重要特性之一。

©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。

网络密度：液化天然气

随着网络连接的增加，地区之间的贸易也随之增加。此外，网络密度的增加也增强了天然气网络的冗余度与灵活性。深度整合还将增强整个网络的竞争潜力。天然气供应与产能的短期贸易量也将增加。然而，以往的合约式贸易模式不太可能被抛弃。未来很可能更多地采用混合贸易的模式，以为客户提供更多的灵活性。随着天然气网络系统复杂性的上升，灵活性也随之增强，并提供更多选择。这有助于各利益相关方通过正面与反面的方式规避风险。最后，网络的横向深度整合将增强能源系统的整体弹性，使其具备抵御电力中断的能力。总之，尽管网络发展的速度不尽相同，但无论发达与否，随着网络的日渐庞大，它们的效率、灵活性和弹性都得到了增强。尽管网络拓展的程度不尽相同，但过去欠发达的天然气网络与今天的网络系统差异明显。

“最后，网络的横向深度整合将增强能源系统的整体弹性，使其具备抵御电力中断的能力。”

液化天然气的贸易情况恰好说明了网络连接随着时间的推移逐渐增加的过程。如图表8所示，2001年，有12个国家出口液化天然气，12个国家进口液化天然气。到了2012年，出口国扩大到20个，进口国增加到25个。估计到2020年，液化天然气的出口国将增至25个，进口国将增至42个。这些国家的市场地位也将发生变化。就出口国而言，卡塔尔目前占据市场30%的份额，但随着澳大利亚和美国作为供气国的崛起，其所占比例将相对下降至大约17%。新的供气国，比如莫桑比克，也会进入市场。就进口国而言，也会出现部分调整，特别是中国和印度作为进口国将发挥更大的作用。也会出现新的进口国，波兰、孟加拉、泰国、菲律宾和南非等也将进入市场寻求天然气。还有一些国家虽然当前没有进口液化天然气，但在未来十年可能加入此一行列，包括乌拉圭、克罗地亚、立陶宛、科特迪瓦、哥斯达黎加和牙买加等，进一步壮大了买方队伍。截至2020年，国际贸易的液化天然气将占全球天然气供应的20%，出口国与进口国的相对角色将发生重大变化。卖方与买方数量的增加将促进网络的深入发展，如图表9所示，并将开启市场新的灵活性与竞争力。

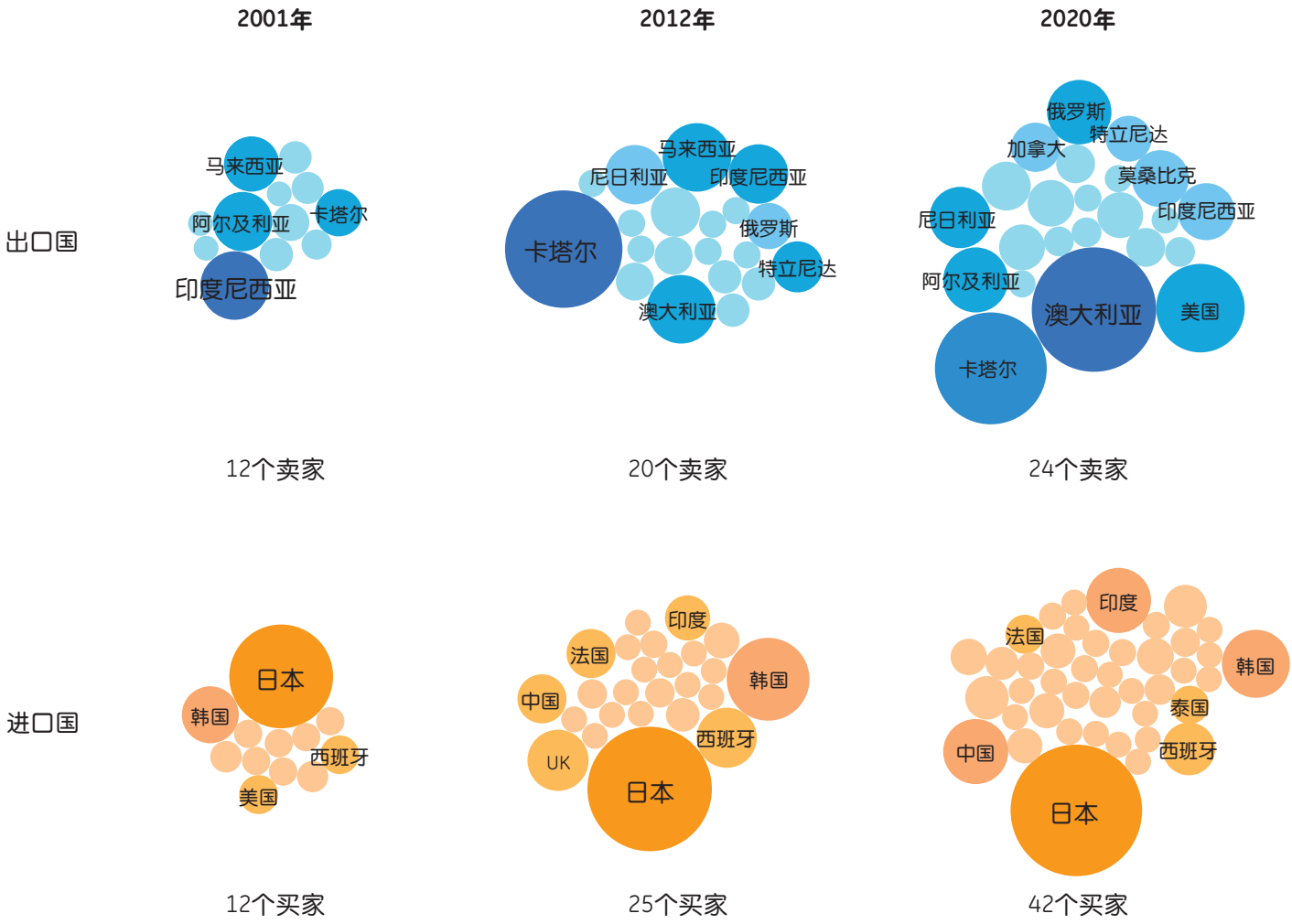
网络之间的相互联系与相互依赖

最后需要考虑的因素是天然气基础设施与其他网络之间的关系问题。在这个层面上，存在多个使网络发挥功效的复杂连接。新增加的相互联系增强了供应的多样性和客户选择的余地。随着各个层级的建立，天然气的各个系统，采集和处理、储存、大规模液化天然气系统、小规模液化天然气和压缩天然气系统、配送网络等，以及复杂控制和软件系统的监控、跟踪，再有天然气贸易等，组成了一个强大的网络，绝不仅仅是简单的相互联通的管网。在输送管网密度增加，并实现了

©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8：深化全球液化天然气市场——更多的买家与卖家

来源：2013年GE全球战略与分析



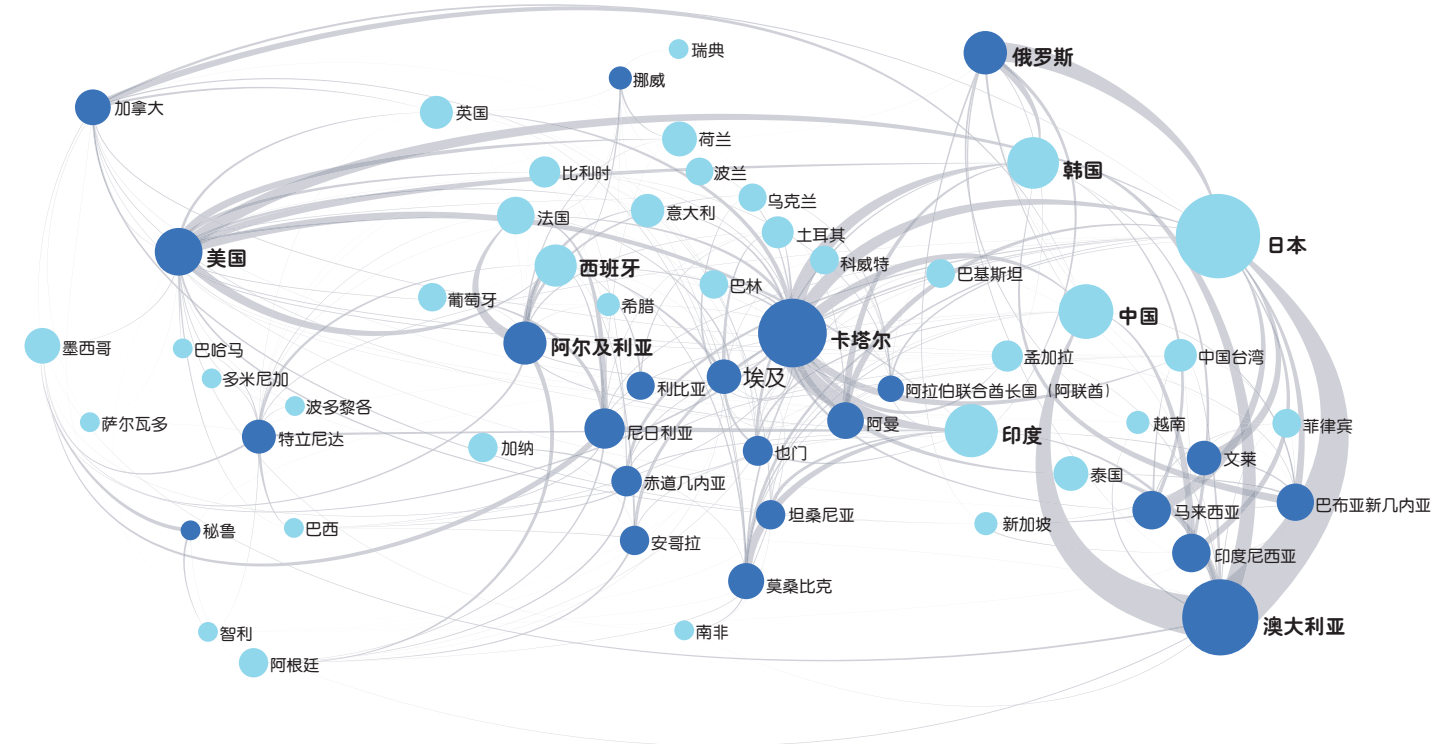
气源多样化的同时，反向输送和其他类型的替代服务也正在兴起。新气源，连同压缩系统的改造，将支持天然气在管道的两端之间输送，从而将输送能力增加一倍。简而言之，随着新构成要素的加入，天然气系统变得更加强大。[21]

未来十年，我们不仅会发现天然气运输模式的横向整合更加充分，纵向联合也会出现。天然气供应与发电的深化联系就是一个明显的例子。另一个例子是天然气具有成为铁路和公路运输常用燃料的潜力。在美国，为给由大约230万辆重型卡车和2.4万台机车组成的庞大车队提供燃料，用掉了420亿加仑柴油。石油价格的攀升激起人们以小型液化天然气作为替代燃料的浓厚兴趣。天然气较低的成本使其能够发展日供25万加仑的大型“联合应用”液化天然气充气站。许多企业正在

©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9：2020年全球液化天然气网络

来源：2013年GE全球战略与分析



评估这一机遇，目前看来似乎不大的投入就能使重型车队大幅节约燃料。在战略要地投资150亿至200亿美元建立液化工厂，可以降低美国运输行业30%的柴油用量。[22] 只要经济的刺激因素依然存在，运输技术和在重型发动机上使用天然气就将随着市场的发展而不断成熟。

从更广泛的视角看，支持天然气网络未来发展的新技术在全球正在兴起。下面将详细讨论这些支持技术。

©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、支持技术与工业互联网

技术创新在天然气的整个发展历程中一直发挥着至关重要的支持作用。在天然气网络未来十年的拓展中，这一观点依然适用。创新在天然气网络的各个层面上不断发生，从小的组分层面到大的系统层面。天然气网络的各个构成部分，包括压缩机、阀门、燃气轮机和动力机械等，在技术创新的支持下不断突破极限。这些进步都很重要，但真正重大的转折性影响来自于将现有的、甚至是成熟的技术结合起来以形成更加智能、清洁、有效率的系统。新技术系统，例如为非常规天然气研发的浮式液化天然气装置，以及先进的监视与控制系统等，将对天然气网络的发展发挥重要作用。上述技术和其他一些新技术按照它们在支持天然气网络未来发展中发挥的作用进行分类。有些是在上游进行的，以天然气供应网络为重点。有些则是从生产率、环保以及安全性方面确保天然气系统的安全，促进系统的整合与优化。最后，还有些技术创新关注扩大天然气的应用范围。这些技术发展都将对天然气时代起到关键作用。

供应网络

近几十年来，天然气行业上游的创新发展极快。以更高效率、更低成本以及可持续的方式开采天然气的新方法得到大规模应用。未来十年，推动天然气供应增长的两大因素将是：偏远地区的超大型天然气项目和非常规天然气的崛起。这两类气源特点不同，均需要专门的开采技术。我们首先看看技术在天然气供应成本方面的作用。

天然气的供应成本

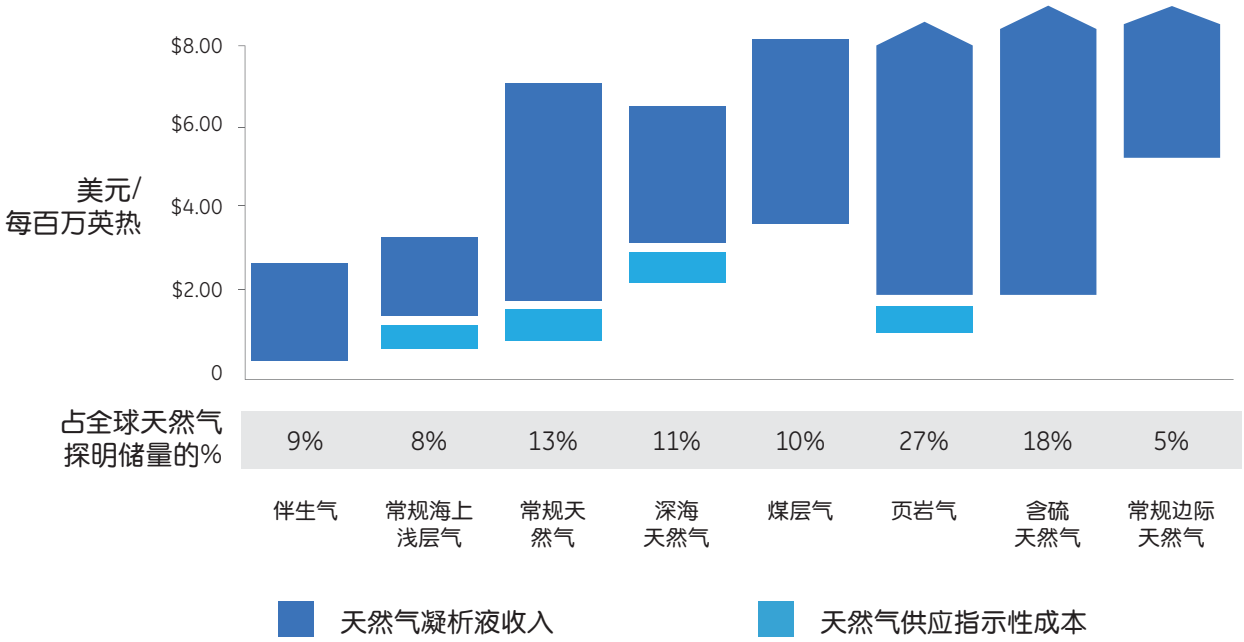
为了更好的理解技术对天然气供应成本的影响，考察可能的天然气类型以及天然气的开采成本范围十分必要。供应成本连同之前讨论的运输成本共同决定了终端用户的使用成本。图表10显示了不同类型天然气的成本范围。对某一具体地点而言，天然气的实际成本根据许多不同的因素确定，包括天然气储备潜力，现场设备与操作成本，税务与土地成本，采集或处理需求，以及必要的资本投资回报等。

从上述估计中可以明确的是，对大多数潜在的天然气源而言，其成本范围相当宽泛。我们以天然气大量供应为例，如果产区的天然气价格控制在每百万英热4.00美元到8.00美元之间，那么65%可开采天然气就有可能被生产出来。随着技术的进步，越来越多的天然气资源将在这一区间具备开采的经济性。

©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10：天然气供应指示性成本

来源：2013年GE全球战略与分析预测，国际能源署2013可探明储量报告，美国能源信息管理局（EIA）2013闲置天然气报告及美国地质调查局（USGS）。



注：从技术角度看，已探明的可开采天然气资源大约为800万亿立方米（约合28,248万亿立方英尺），按当前消耗速度计算，可供使用大约230年。天然气凝析液(NGL)收入指从开采的天然气流中提取乙烷、丁烷以及其他液态石油产品产生的额外收入。

成本最低的天然气是与石油一同开采出来的天然气（伴生气）。对于伴生气而言，石油生产“支付了”天然气开采的基础设施费用，但为使天然气可供使用，仍然需要专用的分离与处理设备。成本最高的天然气是来自小型低品质气田，或者来自含硫化氢等杂质较多气田。含有硫化氢等有毒气体的天然气被称为“含硫天然气”，开采这种天然气需要抗腐蚀的专用设备，并需采取防泄漏保护措施。含有不同程度“含硫天然气”的气田占探明天然气资源的近20%，因此，这种气田仍将是未来重要的天然气气源。例如，中东和里海地区的许多国家已经成功并且安全地开采了含硫天然气，并将继续开采。

近海与深海天然气是额外的资源，其开采需要多种专业技术。海上开采系统包括各种固定和浮式技术，并需针对海事环境给予独特的物流、通信与安全考虑。深海天然气的储量预计为全球已探明天然气储量的11%。深海天然气的成本需视水深以及气田温度、压力等水下条件而定。研发应用于海床上的新技术可以避免使

©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。

用大型、昂贵的浮式平台开采深海资源。这种新技术使经济高效地开发深海新天然气田成为可能，这也是技术发展的激动人心之处。深海大型常规天然气田开采的同时，运用天然气凝析技术，可使开采成本最低。深海中型气田的开采成本为每百万英热3.50美元到4.50美元之间，其中包括将天然气送到岸上指定收集管道的成本。

非常规天然气，如煤层气和页岩气，据估计占全球已探明天然气储量的30%。[23] 煤层气和页岩气与传统的天然气气源有着本质区别，即烃类源岩同时也是储存池（岩层用以储存天然气）。非常规天然气的开采成本更多地根据将天然气从气田中开采出来的能力而定，而不是依据绝对的天然气储量。下一代煤层气和页岩气的开采成本类似，为每百万英热4.00美元到8.00美元之间。北美地区页岩气成熟的开采方式使其开采成本维持在较低水平。预计其他地区最初的开采成本将是北美的2至3倍。希望可以通过技术应用来降低成本。

未来十年，有两大类气源将成为天然气技术研发的焦点。一类是偏远地区的超大型天然气项目，包括深海气田、含硫天然气以及大型常规天然气项目。另一类是非常规天然气，包括页岩气和煤层气。此两类气源特点不同，均需要专门技术进行开采。

偏远地区的超大型天然气项目

超大型项目通常指投资额在10亿美元以上的天然气开发项目。部分超大型项目的投资额是该数字的10到20倍，特别是如果将天然气液化工厂也纳入方案的话。低成本石油的日益匮乏，以及国际石油企业获得常规石油资源的能力受限，促进了近年来对偏远地区或闲置天然气资源的超大型开发。此举反过来推动了技术的进步，并将这些资源投放市场。

偏远地区超大型天然气项目的特点包括：

- 集中化资源，通常为常规天然气，并伴有天然气液化厂或输送管道；
- 大规模的前期资本投入，首批天然气的出产周期长；
- 环境恶劣，通常位于深海或极地；
- 采用风险共担的纵向一体化项目结构。

©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。

全球有多个这样的例子。俄罗斯远东地区库页岛的液化天然气项目，或者亚马尔半岛的波瓦年科沃气田开发项目都展示了极地开发天然气所面临的挑战，都需要巨大的支持性基础设施（铁路、公路、港口设施等）投入。大型海上天然气项目也需要整合的基础设施开发。例如，阿塞拜疆的沙赫杰尼斯气田项目与土耳其的主天然气输送管道开发相连；澳大利亚西部的高庚液化天然气项目拥有天然气凝析液提取设施，大型二氧化碳注入系统，以及一条海上输送管道，将天然气从巴罗岛送往澳大利亚本土。这些例子凸显了复杂系统之间的相互整合，以及偏远地区超大型项目相互协调的必要性。

超大型项目的复杂性可能导致成本上升，因此提高烃类产量、减少开支，以及缩短现场启动周期的技术至关重要。例如，经过检验的模块化设计可按比例放大，或者在关键部件运抵现场前充分测试，以确保其现场性能。在众多技术中，有两个技术领域可能会改变超大型项目的未来——浮式液化天然气系统和工业互联网。

液化天然气技术：浮式深冷系统

液化天然气系统的核心技术是将天然气温度降至华氏零下260度（相当于摄氏零下160度），直至其在大气压下变为液态。此举可使天然气的体积缩小到原来的1/600，从而方便运输。大型液化工厂拥有大型冷冻机组和一系列系统将天然气液化以便运输。液化天然气领域的一项主要技术趋势与浮式液化天然气（FLNG）装置的发展有关。[24] 浮式液化天然气装置在同一艘船上集合了生产与液化两大功能，因此不必再铺设管道将天然气输送到岸上。浮式液化天然气技术使天然气生产企业得以开采那些不支持大型岸上设施的中型海上天然气田。浮式液化天然气船能够在气田枯竭后移动至新的气田，其机动能力是岸上液化天然气工厂无法比拟的。浮式液化天然气项目的产量（12亿至50亿立方米/年）通常是传统液化天然气项目产量（70亿至200亿立方米/年）的五分之一到一半。浮式液化天然气装置的优势之一是许多部件可以在造船厂的受控环境中组装。此举减少了一些与地点相关的问题，比如影响工厂经济性的技术工人短缺问题。此外，浮式液化天然气概念还包括进行浮式存储再气化（FRSU）等服务下游的技术。这些FRSU船只与液化天然气运输船对接，用以储存和重新气化天然气。浮式存储再气化项目可以快速启动（12至15个月），并能够供应大量的天然气（20亿至100亿立方米），可以为国内天然气供应短缺、管道建设慢的国家迅速提供液化天然气。对于寻求形成国内天然气快速备用储备能力的国家而言，浮式存储再气化装置也是一种不错的选择。未来十年，浮式液化天然气系统很可能是天然气网络中增长最快的部分之一。

“浮式液化天然气系统很可能是天然气网络中增长最快的部分之一。”

©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。

工业互联网与超大型天然气项目

数字与自动化技术将继续为上游油气作业提供定制化服务，并将日益纳入下一代超大型项目中。先进的传感技术支持对操作进行实时监控，以确保安全和效率。软硬件的结合将提供无与伦比的性能监控，并实现前所未有的现场和资产优化。在一体化硬件与软件的帮助下，新的方法正将整个行业从以往的“故障-修复”模式转向更为优化的资产生命周期管理模式。此外，远程监控与控制工具也变得更为先进，能够改进预测性分析结果。关键的数据源能够及时、准确地得到处理并送达操作人员手中，从而让关键人员有更多时间做出决策，以适应形势的变化。虽然，安全性的增强与故障时间的减少很可能会影响对此类技术的再投入，但此解决方案还具有其他好处，如供应链的资产优化，或提供透明数据以满足监管需要或其他汇报目的等。

非常规天然气：压裂网络

最广为人知的天然气供应革命，是通过水平钻井和水力压裂技术，开启了非常规天然气资源的大门。非常规油气的开发钻探强度高，需要持续地资金投入，以维持和扩大生产。[25] 因此，非常规天然气的开发的操作流程和所需服务更多，包括：钻探设备和操作员，压力泵设备和操作员，水处理、沙石、化学品，以及钻杆交付等。

在非常规天然气项目中，更多地采用制造型方式进行开采，其特点是：

- 分布式资源，通常覆盖整个盆地，需要大面积土地；
- 在整个项目周期中，需要持续投入资金，以抵消单个气井产出的的快速递减；
- 资源品质存在差异，使得确认高产量的“甜点”至关重要；
- 持续改进，以降低成本，提高生产率，激发可持续性。

可喜的是，开采能力正在不断提升。页岩气行业完钻一口水平井的时间越来越短。两年前，美国平均用时35天，而现在只要20天。每钻一口井的效率在提高，每口井的生产率也在提高。对非常规天然气来说，技术对提高效率与生产率至关重要。页岩气开采的数字解决方案和可持续运营技术是两个很好的例子。

先进的成像与数据处理技术

工业互联网解决方案也影响着非常规天然气的运营。利用数据与分析手段更快地降低在新地区开采非常规天然气风险，并扩大页岩气供应的理念不断涌现，页岩气在美国大获成功的原因之一，是对地表以下的地质状况的清晰认识。页

©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。

岩气地区积累了50多年的气井数据，可用于开钻和压裂之前的研究处理。而新产区的情况则不同，那里只开钻了几口气井。新技术整合了先进的成像技术和气井数据目录，建立起关于岩层性质的知识库，以便迅速将勘探结果与已有的气井目录相对照。此举使生产企业更快的根据新情况设计钻井方案，这就是所谓的“从实践中学习”。

“随着页岩气行业的发展和成熟，环境影响也将得到改善”

可持续运营技术

页岩气的突然成功及其对环境的不良影响往往会招致激烈的批评,反过来却推动了降低环境影响的新技术研发。如果利用天然气造福环境是替代性烃类燃料的核心价值所在，那么，减少其环境影响就极为重要。目前，已经有许多技术可以充分改善气井完好性、管理用水、降低逃逸排放、减少柴油使用和优化运营。综合利用天然气和电力在开采现场驱动泵和压缩机是减少排放、降低成本的方法之一。水处理方面，通过多种处理、净化和再利用系统进行改进。我们相信，随着页岩气行业的发展和成熟，环境影响也将得到改善。最后，尽管与其他能源（均具有某种不良影响）相比，页岩气的开采似乎相对安全，但各国仍需评估开采页岩气是否利大于弊。

我们认为，天然气的供应正在逐渐多样化，未来将有更多选择。在新技术的帮助下，天然气价格将更加低廉，其开采对环境的影响也将更小。不过，上游产业并非新技术的唯一沃土，中下游技术也在取得进步。

网络安全与优化

天然气系统的海上和陆上各要素仍需进一步优化和保障。技术可在两大领域发挥影响，分别是管道的数字监控和控制，以及压缩天然气/液化天然气燃料系统优化。两者都是通过新方法整合现有技术来实现创新。

数字网络与智能管道

许多成熟的天然气网络的关键基础设施正在老化。例如，美国50%的天然气管道使用时间已超过了25年。天然气网络故障的代价十分巨大，已得到广泛认可。安全性以及更好地了解资产完好性的需求，使数字化基础设施成为能源网络结构中不可或缺的因素。在管道监控、分析、控制以及维护技术的帮助下，工业互联网在确保网络安全和优化网络方面将发挥越来越大的作用。

©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。

“在管道监控、分析、控制以及维护技术的帮助下，工业互联网在确保网络安全和优化网络方面将发挥越来越大的作用。”

数字化系统的有些内容并非新事物；数据采集与监控系统（SCADA系统），和越来越先进的调度系统，已经围绕管网发展壮大。越来越多的传感器将管道内外的数据传输到控制站。日益复杂的系统所产生的数据量将远远超过了原有技术的处理能力。为此，下一代数字化系统将会采用卫星、无线、云存储以及用于远程监控、控制和预测性分析的软件工具等。

我们的目的是以智能的方式整合数据采集、处理、报告与分析。物理系统通常是生物系统的写照。越来越多的研究用来帮助生物系统寻找以简单高效的方式管理复杂物理系统的方法。以医疗领域为例，如何在动力学范围内建立一个能够“感知疼痛”或治愈的系统?[26] 如何建造一种智能管道在具备“态势感知”的情况下对危机做出反应，或远程确定网络弱点，检测泄漏以减少逃逸排放，更加地实现资产恢复——这些只是该技术的几个优点而已。

对安全性与可靠性担忧将推动技术的发展，未来会在优化和透明性方面取得更大进步。更加详实的数据和深入的分析将帮助运营商在综合考量商业形势的情况下，扩大运营能力，增大输送容量，提高运营收入。此外，基础数据系统的进步为货主提供接近实时的信息，以提高系统透明度和实现市场为基础的价格波动。新基础设施受限和成本问题使多个能源网络的整合成为重要趋势。例如，由于可再生能源发电具有间歇性，对天然气网络的使用就十分必要。从更广泛的视角看，从能源网络中获取的价值的需求必将不断上升，数字化技术将在其中发挥关键作用。

“小型中游”燃料系统

小型天然气开采技术已存在多年，目前的进展是技术整合和多种“小型中游”服务方案的使用。“中游”指的是天然气行业介于开采现场和消费者之间的部分，而“小型”是以这些设施相对于传统工厂的规模而论。整体化的设计方案通常包括天然气预处理，压缩天然气（CNG）的压缩，液化天然气的转化，防泄漏措施，快速配送，以及为安全性而优化的存储和交付系统等。其规模与较大的天然气项目（年产4千万到2亿立方米）相比是微不足道的。这些技术可用于多个目标市场，包括运输领域（重型、轻型运输车队和海上船队）、小型电厂以及上游或偏远地区采矿作业等。在大多数应用中，天然气并不比汽油或柴油的表现差。储存对压缩天然气和液化天然气而言都是挑战，也是技术创新的关键。由于压缩天然气的能量密度较低，因此要使用专用的钢罐储存，此种钢罐非常重。目前虽然已有质量较轻、强度较大的材料可供选择，但成本相对昂贵。液化天然气的能量密度相对较高，需要使用特殊的绝缘和隔热罐存储，以便使液化天然气维持低温，并在抽取时也需要特别的低温环境。

©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。

小型天然气系统的规模化障碍在于缺少加气站和基础设施，新技术解决方案的重点则在于消除阻碍。创新方法聚焦于较小的模块化设计，便携和可移动的解决方案，以及经过工厂测试的或预先配置的解决方案，以缩短许可和安装时间。快速是这些新网络系统的关键——大多数系统可在12到18个月内投入运营，有些更快的可能只需要6个月。成本的节约来自可按比例放大的标准化设计与特殊的定制化应用相结合。

发展网络

天然气是一种万能燃料。其环保优势、高效率与灵活性，使其成为电厂等的绝佳选择。与煤炭或核燃料不同，天然气的大型和小型应用都可实现经济高效。此外，随着天然气网络的建成，它有望成为石油的替代品。目前的技术方向在于增加运营的灵活性，帮助消费者获得更多价值，并确保供应安全。相关技术的有效使用是实现天然气的可持续性、弹性和竞争性优势的关键。

本节将简要介绍天然气发电的关键技术，以及天然气与其他燃料在发电成本方面的比较。这仅仅是天然气利用技术中的一小部分，其他技术将在下一节天然气网络的未来中更加充分地讨论。

利用天然气灵活发电

天然气发电技术仍在不断突破新的设计极限。最新的灵活的联合循环电厂热效率超过了61%[27]——意味着天然气中近三分之二的能量都转化成了电能。如果建造一个750兆瓦的大型电厂，可满足60万户美国家庭一年的用电需求。[28] 这些电厂可在不到30分钟内启动，每分钟发电出力可增加100兆瓦。必要时，还可根据系统需求的变化，或间歇性可再生能源发电的启动，将发电出力降至其基荷容量的14%。简单循环燃气轮机可用于峰荷发电和平衡可再生能源发电。而当调节范围更大时，最新一代的灵活的联合循环技术能在高效的系统中，发挥峰荷设备的大部分优势。此外，与可再生能源发电的整合，既可以通过电网在系统层面，也可以在电厂自身的设计中实现。例如，一体化太阳能联合循环技术就是一种混合系统，通过太阳能采集系统给水加热，然后注入天然气电厂的蒸汽系统。此举不但降低了燃料消耗，将热效率提高到近70%，还提高了太阳能利用的经济性。

“天然气发电技术仍在不断突破新的设计极限。”

在较小规模的天然气电厂（通常装机容量为10到120兆瓦），天然气热电联产（CHP）系统（使用燃气轮机，或小型电厂专用的发动机）是值得关注的天然气技术应用。热电联产系统用等量燃料，在发电的同时也产生了蒸汽。蒸汽被转化为热能，或者通过冷凝器进行冷却，用于大型商业建筑、医院、机场或工业园区的

©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。

供热和制冷。热电联产的热效率能够超过80%，与电网供电相比，排放更低，损耗更小。此外，当电力中断时，热电联产系统可与较大的电网断开；在面临自然灾害时，其关键设施还能以“孤岛”模式运转。然而，热电联产系统也存在不足。此类项目需要定制化设计，故难以在既有建筑中实现。另外，电网运营商与热电联产运营商之间有诸多问题需要协调，包括：过剩电力的回流，天然气供应中断时的备用电力，因沟通不畅导致的安全隐患等。[29] 最后，热电联产系统与传统的锅炉相比构造较为复杂，为使其保持最佳的运营状态，需要培训和培养技术熟练的技术服务人员。尽管存在种种障碍，从可持续性和弹性的角度看，热电联产系统仍具优势，将成为颇具吸引力的选择。

另一项天然气技术的小型应用（300千瓦到10兆瓦）是天然气发动机。这种发动机与其他简单燃烧技术相比效率更高（热效率最高达45%），如应用于热电联产系统中，可获得更高的热效率；同时，也可用于分布式系统中。而与柴油发动机相比，其排放较低，并可以使用多种品质的天然气（从富气到贫气），以及其他种类的燃气，包括生物质气、填埋气、煤层气、沼气以及可燃工业废气等。一些天然气发动机还具备燃烧富含液体成分（富气）的能力，使其成为油气田发电应用的理想选择，可用于钻井和提高采收率。

在此并未一一列举所有的新技术（例如燃料电池和小型生物质气系统），但联合循环技术、热电联产与天然气发动机将是三项在未来得到长足发展的关键技术。

天然气发电与工业互联网

与上游和中游运营商一样，电厂同样能够享受预防性维护和设备组优化理念带来的好处。数据压缩技术支持电厂运营商追踪大规模数据流的变化，而不必随时跟踪每一条数据。从而使运营商更加清楚地掌握温度、系统负载、湿度等关键数据与电厂性能低下之间的关联。运营商可以就异常状况询问系统，系统将从运营中的数以千计的数据中查找相似结果。与页岩气开采类似，此举可以帮助发电企业通过不断学习，提高效率并降低成本。

不同发电方式的资本密集度

成本是选择发电技术的关键因素之一。天然气发电的重要优势之一在于它的资本密集度低于其他发电形式。如图表11所示，按美元/千瓦计算，建设天然气电厂的成本仅分别为煤电厂或和核电厂预计成本的三分之一和五分之一。[30] 虽然地区性因素可能会使得天然气发电的不具备建设成本优势，但更多的情况是建设成本较低，但燃料成本较高。为了解发电的完整成本，分析人员按照美元/兆瓦时或美元/千瓦时对成本进行了核算。发电成本受到多种因素影响，包括燃料成本、电厂使用率、项

©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。

目的财务状况与资产寿命以及电厂的建设成本，在有些地区，成本还与排放有关。

如按照平准化成本计算，天然气与其他技术相比仍具竞争力，但如上文所述，燃料成本是能源成本的主要影响因素。如果将燃料成本从每百万英热5.00美元提高到12.00美元，那么联合循环电厂的发电成本将从40美元/兆瓦时增至110美元/兆瓦时。尽管成本非常重要，但对有些地区而言，资本密集度和用水管理等也非常重要。数十亿美元的项目，例如煤电厂和核电厂，发展周期长，如果制度结构不力或者电网不成熟，则难以建造。用水问题是热电技术的又一制约因素。根据冷却系统不同，天然气电厂的用水需求通常为煤电厂或核电厂的四分之一。

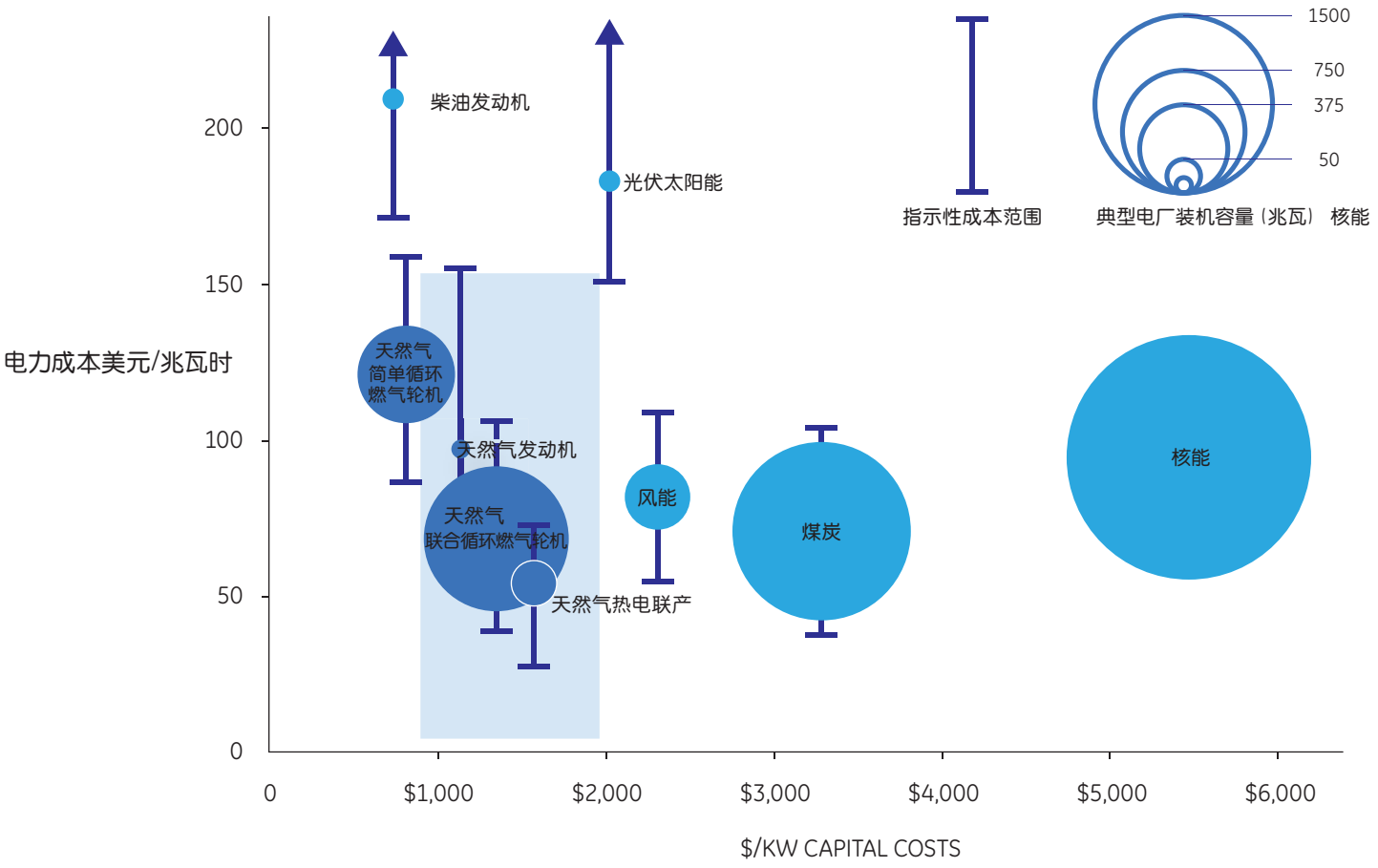
新技术推动天然气网络发展

以往的经验证明，技术的进步对于天然气行业的发展至关重要，将来也依然如此。新技术不但扩大了天然气供应，也在减少了对环境的影响。数字化技术和工业互联网也将在整个价值链中发挥重要作用。天然气发电因其支持其他能源类型，如可再生能源等，所表现出多样性、灵活性特点，正在成为首选的能源平台。技术在未来天然气供应、发展并确保网络安全等方面发挥着至关重要的作用。

©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11：天然气发电的建设成本较低

来源：GE预测，GE发电设备与水处理，美国能源信息管理局（EIA），Joint Institute for Strategic Energy Analysis (JISEA)，国际能源署（IEA）



注：所有的价格为2000年实际美元价格；未包括碳排放价格。天然气价格为每百万英热5.00美元到12.00美元；煤炭价格为每百万英热2.00美元到4.00美元；柴油价格为每百万英热15.00美元到25.00美元；天然气联合循环燃气轮机容量系数<10%；风电机组容量系数为25%至40%（不计算减税）。太阳能发电机组容量系数为25%至35%（不计算减税）。采用10%的内部收益率和30年资产寿命计算（发动机和太阳能设备按10年资产寿命计算）。

SCGT：简单循环燃气轮机；CGCT：联合循环燃气轮机；CHP：热电联产

©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、天然气网络的未来

天然气网络将继续增长和发展。尽管增长的方式和地点还不能确定，但有几种可能的模式。超大型管道和液化天然气项目将仍然是全球网络增长的基石。这是传统的连接大型气源与需求中心的增长方式。与这些大型系统形成补充的将是新一代的小型模块化系统和卫星项目。天然气网络的未来发展将由这些大型的锚定项目和位于全球各地的卫星项目共同支撑。另一个重要的趋势是天然气和其他能源网络将不断整合。值得关注的两点，一是借助更多地天然气和可再生能源发电来实现的协同增效效应，二是继续将天然气作为一种运输燃料。

发展新的天然气网络： 锚定项目和卫星项目

天然气的未来发展涉及到多种发展模式，从国有垂直整合的系统（国家控制着发展和贸易的所有方面），到北美高度竞争的网络（政府仅提供私人投资的制度）。[31]无论是哪种体系，大型项目与小型分支项目结合的发展模式将持续。

锚定大型项目

“锚定”概念是所有大型天然气开发项目的基石。[32] 项目能否稳固倚赖的是两只“大锚”：大型的气源以及天然气的需求中心市场。锚定说明了生产商和消费者利益在整个价值链的一致性，使得价值数十亿美元的天然气项目能够顺利推进。锚定的概念很重要，这是因为这些大型天然气项目会成为关键的基础设施，它的存在会使天然气在新的未开发的地区占据一席之地，成为其他小型项目开枝散叶的中心。

“在竞争市场中，国家的职责就是建立保护消费者的机制，让私营企业自行创新、承担风险、创造价值。”

锚定管道及液化天然气项目的传统模式，靠长期合同连接上下游，已经垂直整合进了天然气价值链。[33] 特大型项目未来可能延续这一模式。事实上，这种模式的案例一直在不断增加，尤其在亚洲，作为一种抵消特大型项目成本压力的方式。[34]大型天然气消费者（如电力企业）的上溯整合，即整合到液化天然气上游的活动也相当普遍，由于供应越来越多样化，这种现象在未来可能更为盛行。生产大国一直在极力证明长期承包模式对大型天然气项目的投资以及保证供需安全具有优越性。[35]不过这种模式的问题在于这种体系过于简陋和僵硬，无法适应市场情况的变化。

未来，随着天然气网络的扩展以及市场结构的变化，竞争性的天然气市场将更有可能获得发展。[36] 在竞争市场中，国家的职责就是建立保护消费者的机制，让私营

©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。

企业自行创新、承担风险、创造价值。随着供应日趋多元化，液化天然气送达的目的地日趋灵活，新的非常规和常规天然气的陆续发现，再加上更大的整合天然气网络的出现，竞争是必然出现的结果。但是，天然气网络资产具有的专业化特性以及所涉及的大量财务风险，意味着“商业”运作对于大型的锚定项目非常困难，除非是在天然气网络发展极为成熟的地方。

未来十年，大量的锚定天然气项目将在全球不断出现。目前已有很多案例，其开发模式不尽相同。

这些案例包括：

- 印度、中国和西非的深海天然气项目；
- 美国及加拿大主要为出口建设的基于页岩气的液化天然气项目；
- 新的或扩建的区域性输气管线：
    - 伊拉克至土耳其；
    - 土库曼斯坦至中国；
    - 俄罗斯至中国；
    - 东南欧洲（俄罗斯及阿塞拜疆）；
    - 莫桑比克至肯尼亚和南非；
    - 印尼（苏门答腊岛和爪哇）；
    - 巴西（东北部及页岩区域）和阿根廷（页岩区域）；
    - 美国至墨西哥；
    - 美国东北部（马塞勒斯页岩区域）。

区域性的锚定项目大多数采用传统的发展模式。不过，北美或者源于北美的项目，或者与西欧相连的项目都将受到竞争模式的影响。这两种开发模式如何相互作用并重塑不断发展的天然气市场是该行业面临的一个大问题。制度本身的架构和天然气网络都不停地在发展变化。国家或者企业建设大型网络项目的能力受到地区特点及市场限制等的约束。在经济增长地区，通过签订长期合同进行的传统发展模式将会继续，但合同条款将逐渐反映更为多元化的天然气市场特征。天然气消费者的选择也日益增多，替代性燃料之间的竞争，尤其是在发电方面的竞争，将会推动多样化

©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。

模式的出现。

卫星项目

未来十年，卫星项目或者是在既有的天然气项目上进行扩展的的理念将继续增长。大型的海上平台或油气管道以及处理设施的建设，为本来可能不经济的小型及孤立资源的开发创造了机会。围绕既有的大型网络营建卫星项目就是这一理念的延伸。这一理念并不是新发明。在既有管道基础上的增加压缩站或旁通管路就是很好例子，还有在液化或分馏厂扩大产能来增加产出量，或仅仅将配送系统延伸到新的社区。

将来，随着新技术的出现和大型天然气基础设施的增加，将会出现更多扩展的机会。新一代小型模块化系统以及数字系统（可以对潜在产能进行额外优化）即能实现这种扩展。例如，也许可使现有的液化厂不再存储过多货物，或者通过采用更好的测量和控制方法实现在较高压力下的安全操作从而提高产量。很明显，围绕现有系统进行扩建会涉及到安全、互联、接入以及协作等问题，这都需要良好的管理才能实现。无论如何，天然气系统日益增加的网络密度及互操作性正在创造新的增长机会。

利用天然气进行分布式发电

分布式发电将会出现快速增长。随着发动机及较小规模的燃气轮机技术的发展并变得更为高效，分布式发电将能更有效地与大型发电项目进行竞争。在基础设施有限且监管和金融体系不发达的新兴市场，分布式能源极具吸引力。天然气极具灵活性，因而成为一系列分布式发电项目的理想燃料，这些分布式应用领域包括：

- 热电联产应用中的电力、供热及制冷；
- 天然气网络中的管道及炼油加工厂压缩动力；
- 发展中国家因电网脆弱或不稳定造成的电力孤岛；
- 海上应用，如船舶和钻井平台；
- 针对偏远地区（如矿区和油气田）的发电；
- 用以满足紧急用电需求的快速部署发电；
- 新一代燃料电池或微型燃气轮机技术。

较低的资本支出（较低的资本密度）以及更快速地开始供应电力，是利用天然气进

©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。

行分布式发电的主要优势。缺点是单位成本可能会更高一些。不过，模块化增长到一定程度，这些分布式电站可以被复制并整合到较大的输电网络中。分布式电力，或虚拟管道的理念，可能是促进经济发展的明智方法，因为它可以通过新建能源网络或者利用现有网络实现利润增长。

如今，石油的高成本和对环境的担忧正推动人们寻求石油/柴油的替代品。燃油发电的成本很容易超过0.25美元/千瓦时。小规模的燃气产品，如发动机，即使是加上输送成本，也通常可以将电力成本降低至50%以下。但是，为较小的天然气项目建设专门的燃气基础设施也很具有挑战性。相反，利用现有的天然气管道基础设施，使用小型液化天然气或压缩天然气系统都是不错的解决方案，尤其是利用闲置的或低成本的天然气资源供应周边地区。而且，现在还可以将天然气与其他能源（如太阳能）结合使用。天然气还可以作为小型光伏（PV）太阳能系统的补充用于解决可再生能源发电的间歇性问题，也就是说将天然气发电作为太阳能发电的补充方案。

分布式发电，就其本质而言，是为了解决发电的地域性问题。从墨西哥、埃及和缅甸的开发项目以及减少天然气空燃的案例，我们可以清楚地认识到分布式发电的机遇与挑战。

墨西哥

墨西哥的例子为我们展示了分布式发电的机遇——锚定较大的天然气项目并为周边地区提供成本较低的天然气。墨西哥计划在全国范围内新建8,800公里的天然气管道。[37] 这些项目大多数旨在利用成本较低的美国页岩气，代替大型发电厂使用的重油。还有一项益处，这些投资可以增加天然气分布式发电的可行性。新的输气管道可以将天然气输送至全国280个城市和乡镇。而且，还可以极大地降低输送成本。墨西哥目前的商业电价是每千瓦时0.20美元，工业用电价格则是每千瓦时0.12美元。联邦电力委员会(CFE)是墨西哥唯一的公共电力公司。但是，墨西哥允许对小型自备电厂、热电联产以及可再生能源发出的电力使用不同的支付方式：净计量（电力公司以一定的价格从安装了自备电力设备的用户买回多余的电力，或者从消费者总账单上扣除用可再生能源等自备电力发电数量）。如果天然气的交付成本大约为每百万英热（MMBtu）8美元，那么电力成本就可以降至每千瓦时0.7-0.8美元。[38] 因此，当天然气以每百万英热4美元的价格到达美国边境时，这个价格就可以实现。通过扩张，低成本天然气供应可能会为商业及小型工业用户创造新的机遇，并为偏远矿区或油气联合运营转向使用天然气提供了可能。

埃及

©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。

埃及正处于能源系统发展的关键时期。埃及的优势是拥有较为成熟的天然气网络和电网，但这些成熟的天然气网络和电网却集中在尼罗河区域。埃及的大多数油气资源都位于相当偏远的地区，比如沙漠腹地或者海滨深水区。目前连接到开罗地区及南方的电网容量有限，近年来储存的电量时而会低于10%。随着燃料风险增加、新的大型集中式发电项目延期，多元化的电力策略变得极具吸引力。[39] 考虑到各种不确定因素，以及投建较大发电项目来满足需求的速度较慢，分布式能源成为一种可行的选择。面临电力中断风险的行业正在积极寻求增加电力容量；或者利用天然气、太阳能以及风能进行多样化发电提升电力供应的可靠性，这些都提供了气电的潜在机会。近来，峰值电价始终处在每千瓦时0.06美元至0.08美元的区间，小型工业及商业网点的天然气价格则始终在每百万英热2.00美元至4.00美元之间徘徊。[40] 天然气和电力的低价妨碍了可再生能源的发展，而天然气分布式发电在调峰发电上的优势进一步加大了气电的吸引力。随着天然气分布式发电的吸引力越来越强，供应瓶颈将被打破。埃及需要多种来源的大型发电站和分布式发电资源，以便满足长期不断增长的能源需求。

“考虑到各种不确定因素，以及投建较大发电项目来满足需求的速度较慢，分布式能源成为一种可行的选择。”

缅甸

缅甸最近的改革激发了新的经济机遇。消费增长的前景巨大，但整个国家的电气化率预计仅有26%。电力市场改革以及新定价政策的进步将在推动投资方面发挥重要作用，如果这些努力能够释放增长潜力，将是非常有益的。如果能源供应能够得到满足，保守估计在未来三到五年内，电力消费将会翻倍。[41] 尽管缅甸拥有丰富的天然气资源，但其现有的天然气基础设施却非常有限，为国内市场服务的天然气管道需要更新和修复。目前缅甸的天然气发电效率也非常低。[42] 利用现有天然气出口基础设施可以加速国内天然气发电的发展。

抓住机遇，改善现有国内的配送系统，可以使首都仰光及周边地区可用的天然气供应达到目前的3倍。[43] 这种改善将为中小型电厂和热电联产带来机遇。这些高效的发电“孤岛”几年之内即可建成，并为今后更大、更全面的发展奠定基础。缅甸的电价在每千瓦时0.08美元至0.10美元之间。即使天然气价格接近出口平价（大约为每百万英热10.00美元），对于中型的联合循环项目（低于100兆瓦或更小的分布式发电）来说，也是合算的。要想获得成功，政府及运营商需要从长远考虑，如何将这些模块化、孤立的系统有效地整合到较大的集中式电网中。以小型孤岛电网为基础进行模块化构建，同时确定适当电压，制定相

©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。

应的网络规则，可以确保较大的输电系统能够连接到一起，从而有利于整合的天然气和电力网络的总体发展。

这些例子说明了在天然气网络的发展过程中，天然气补充或替代大型发电厂的一些方式：

- 降低电力成本推动经济发展并提高行业竞争力的潜力；
- 克服新大型发电站在发展中的障碍；
- 利用分布式天然气发电“孤岛”可快速获得能源，并且可以逐步整合到大型电网中。

减少天然气空燃

一般来说，天然气空燃多发生在偏远地区，或者出于经济原因，政府及生产商在原油开采过程中燃烧掉无法销售的天然气。[44]采集和运输天然气的边际效益很低，如果没有必要的天然气基础设施，那么空燃天然气就很难避免了。

尽管这一领域不断在发展，天然气的空燃仍是个重要问题。目前，全球每年有1400亿立方米的天然气被空燃。[45] 这大约是全球产量的5%。石油的开采通常都有天然气伴生，因此天然气空燃在石油行业很是普遍。最近一个引人注目的数据是，短短数年内，美国已经位列天然气空燃的全球前五，这很大程度上是由于美国北达科他州巴肯地区石油开采的增长。世界银行的《全球天然气空燃倡议》要求天然气生产商，在2017年以前将空燃天然气降低30%。[46] GE“天然气时代”展望更为乐观，在2020年以前有望降低50%。新技术的出现、强有力的监管措施，再加上利用新的和既有天然气网络的新方法，将会有助于实现这一目标。

利用现有的天然气基础设施通常是小型陆上油气田降低天然气空燃的最佳方式之一。一般情况下，小型的卫星工厂可以适当投资于天然气的收集和再处理。而在几乎没有基础设施的情况下，可能的解决方案还包括：就地利用天然气进行移动发电、将天然气回注到地层中，以及小型液化天然气或压缩天然气解决方案。相较用卡车运到现场的柴油而言，天然气燃烧更清洁，价格通常更低廉，因而在天然气回收可行的时候，利用这些天然气就成为一种很好的选择。所有这些技术解决方案都有效地利用了发电技术或者公路系统，作为降低天然气空燃的方法。

©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。

另一种可选方案也逐步进入人们的视野，那就是利用现场的空燃气来为人工举升提供动力。人工举升包括多种技术，通常用于油田自身压力开始减小的时候，在现有设施基础上提高石油采收率。可以将天然气发电与举升技术以及一套通用的监测控制系统相整合。这种方案的优势在于，无需等待新的电网。并且，鉴于系统是模块化的，必要的时候可以在新的油田重新安装。这种方法将发展成为减少空燃天然气的解决方案之一。

海上天然气空燃带来了一系列不同的问题。海上平台的空间有限，因此回注或发电是不错的选择。最近，中等规模的天然气制油(GTL)技术取得了进展，其优势在于可以利用现有的石油运输基础设施，避免了使用昂贵的管道输送低流速天然气。

最后，天然气网络的发展也将对降低天然气空燃做出一定贡献。像安哥拉液化天然气项目、科威特的1%空燃计划、伊拉克的南部天然气系统、墨西哥的天然气处理扩建项目、卡塔尔的Al-Sheenan伴生气项目，以及俄罗斯的利用天然气回注以及偏远地区发电等措施，都已经减少了天然气的空燃。油气行业将继续寻找创新解决方案来避免浪费，降低空燃天然气对环境的影响。在解决这些问题的时候，最重要的是找到使用新技术的时机，以便最有效地利用天然气、电力以及运输网络。

未来的网络整合

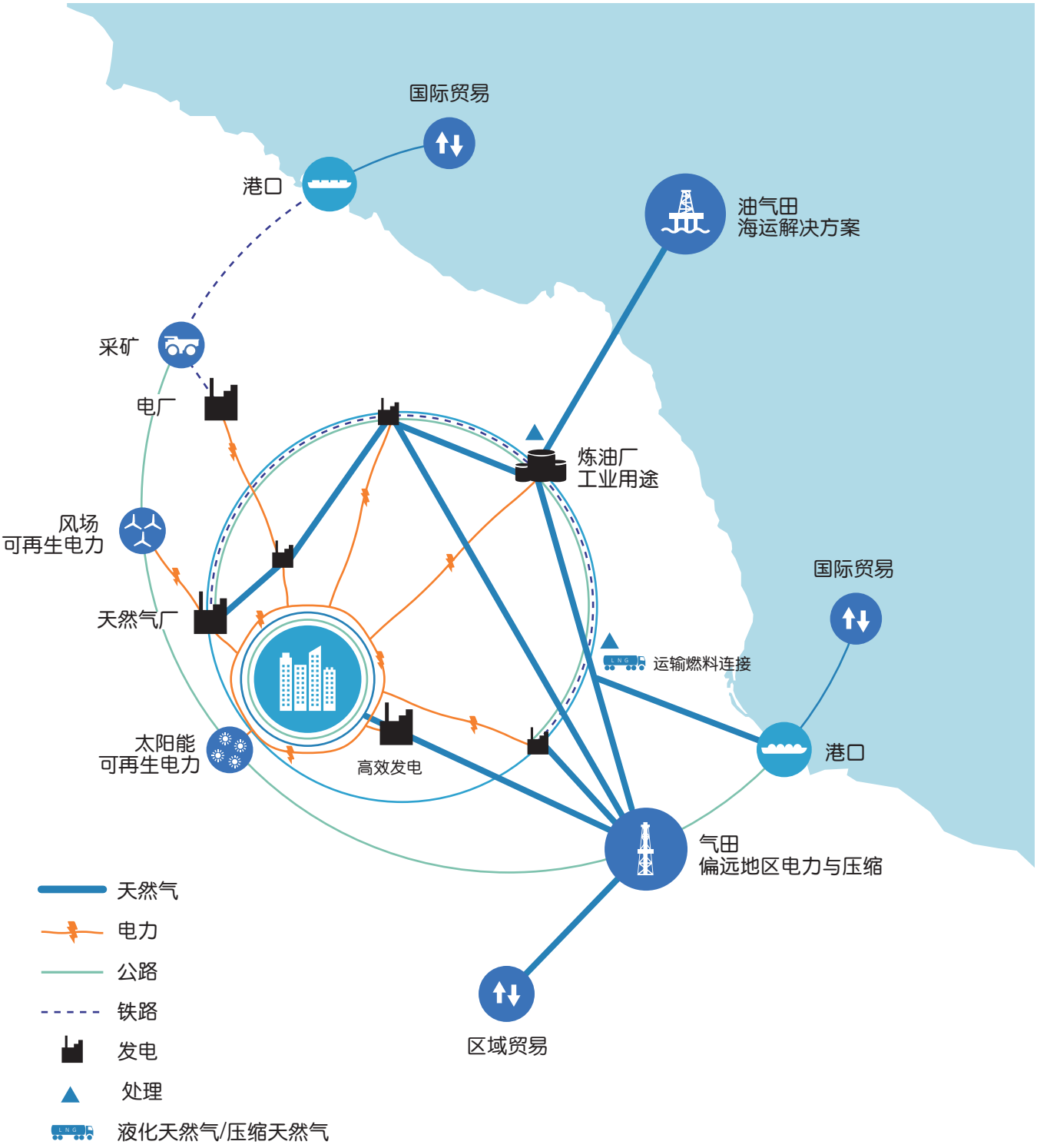
如果能够利用现有的基础设施，能源运输的经济效益就可以得到极大的提高。借助于现有的公路和铁路网络（这些网络本来是用于满足其他运输需求的），全球烃类化合物、石油和煤炭的运输，已经节约了很多运输成本。过去数十年，在早期用于国防的通信系统和其他光纤通信设施的基础上，已经建立起了强大的数字化网络。天然气管道和液化天然气网络的发展和电网非常相似。有时候，天然气系统可以借助于现有的石油管道，但大多数情况下，还是要靠近几十年以来修建的天然气网络。最近，支持页岩气开发的网络已经扩大。例如，利用铁路和货运系统将沙和水运进气田，并将天然气凝析液和附带产生的水运走。

单一网络的局限可能会成为发展其他网络的动力。大容量输电系统的局限为近负荷中心的天然气发电创造了机遇。建造输油管道的困难为通过天然气终端和铁路运输液化天然气创造了机遇。同样，建造天然气管网的困难也促使了分布式液化天然气系统的发展，从而可以为用电高峰时段提供支持，或者为分布式发电提供新的选择。对燃料及排放的限制推动了可再生能源的发展。图12展示了不同的能源网络。天然气系统具有得天独厚的条件，可以支持其他的能源网络。从灵活高效的发电到多种工业、运输、船舶或远程应用，多网络优化就是以以技术促进网络的转

©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12：多个网络的整合：天然气、电力、公路及铁路

来源：2013年GE全球战略与分析



©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。

换。[47] 前面讨论过的不同技术及市场趋势的相互作用为我们描绘了一幅未来能源网络的蓝图。

天然气支持可再生能源发展的作用，以及天然气作为运输燃料等话题的讨论，可以让我们深入地了解天然气网络的演化。尽管并非面面俱到，这两个话题都涉及到了天然气网络、电网以及油气网络之间的重叠问题。天然气和碳政策是与天然气网络发展有关的第三个话题。总而言之，这些领域以及前面关于分布式能源的讨论，说明了目前的能源网络是如何协同工作的。而且，它们强调了进一步整合以便推动经济可持续发展和能源安全的潜力。

两种能力相结合：天然气与可再生能源

天然气和可再生能源之间的关系将如何演变，是电力部门未来十年面临的一个最重要的问题。在某些地区，天然气被视为可再生能源的威胁，因为相较于风能和太阳能来说，天然气的成本更低。[48] 我们的观点是两者都会发展，而互补多于竞争。[49]天然气和可再生能源可以互相弥补对方的弱点，可以说是伙伴关系。可再生能源的变异性可以由天然气发电来予以补充。同时，可再生能源发电的零燃料成本可以为潜在的天然气价格波动提供宝贵的对冲。相较于其他选择，两者结合后的能源排放量更少，资本密集度也更低。

“随着经济体趋于多样化并不断扩大，更多地区的电力负荷将与发达经济体的情况相似。”

对于网络运营商而言，管理源于供需双方的日益增加的负载变化，是一个越来越大的挑战。电力只有在使用时才生成，由于天气和经济情况，每个小时的电力消费差异会很大。随着经济体趋于多样化并不断扩大，更多地区的电力负荷将与发达经济体的情况相似。而且，随着人们越来越多地使用可再生能源，电力供应将会变得更具间歇性。因此，全球的更多地区，如今天的欧洲和北美部分地区，将面临日益增长的电力系统整合问题。[50] 电网运营商面对多种可供选择的方案，节约用电并在高峰时段减载便是其中之一。但是，消费者不喜欢断电。如今，虽然已有大型的电力储存方案可用，但却代价高昂。[51] “智能电网”以及用价格调节的激励机制还在不断推广。例如，需求响应技术可以完全自动运行，且不必与终端用户见面，这是很好的进展。因此，用天然气作备用能源通常是应对这种变化的最为经济的方式。

尽管天然气发电非常适合变化极大的电力负载，这也为天然气网络增加了复杂性。发电端的快速变化必然要求天然气网络可以适应大流量、高压力的供应。每小时的变化都可能非常巨大，并且必须依靠管道、地下储存或液化天然气系统固有的灵活性来进行管理。但是，如果发电需求与其他负荷（如冬天供暖需求）同时发生，还是会出现供应短缺。[52] 在夏季，可充分依靠管道的多余能力以及中断某些发

©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。

电机的运行来解决，但在冬天可能就会陷入尴尬境地。[53] 但是如果天然气网络只供应变速及间歇性发电时，相反的问题也会出现。例如，巴西用天然气发电来平衡水力发电的巨大起伏，问题是天然气管道的低利用率影响了管道建设的经济性，提高了这种灵活服务的成本。

如何协调电网运营，对于实现天然气和可再生能源有效地协同非常重要。对于天然气和电力网络，行业争论的焦点集中在如何分配系统成本；谁会受益应该由谁来买单。解决方案不复赘述，但最重要的是找到方法来增加运营商之间的实时沟通、建设新的基础设施并拓展系统的灵活性。如果用于发电的天然气供应需要更加稳固，但更加多变，成本会传导到天然气网络，这就是一个需要解决的问题。但是，如果电网也很灵活，天然气管网和电网的最终整合成本就可能会减少。完全基于天然气或完全基于电力系统的解决方案，相对于整体解决方案来说，都不是最佳的。此外，也存在利用其他网络的方法。例如，在成熟的电网中，可能灵活地利用小型液化天然气或压缩天然气设施，在高峰时段用来满足发电或者供热需求，但在其他时段可转回服务运输市场。

展望未来，可再生能源将会在整个能源版图中占据更大的份额。天然气也是如此。电力和天然气网络运营商必须面对这一现实，挖掘这两种能源的潜力。

连接至运输领域

未来二十年，天然气汽车有望迎来快速增长。自2008年以来，天然气汽车(NGV)的数量每年增加大约15%，目前大约有1500万辆轻型汽车（压缩天然气）以及100万辆重型汽车和公共汽车（液化天然气）。[54] 这种增长大多数都发生在新兴市场——伊朗、巴基斯坦、中国、印度、巴西和阿根廷都拥有大量天然气汽车，且数量仍在攀升。政府鼓励天然气汽车(NGV)的发展，大多数是为了避免对进口成品油的依赖。但随着天然气在某些国家中变得稀少或更为昂贵，天然气汽车的增长开始放缓。

未来二十年，天然气汽车有望迎来快速增长。自2008年以来，天然气汽车(NGV)的数量每年增加大约15%，目前大约有1500万辆轻型汽车（压缩天然气）以及100万辆重型汽车和公共汽车（液化天然气）。[54] 这种增长大多数都发生在新兴市场——伊朗、巴基斯坦、中国、印度、巴西和阿根廷都拥有大量天然气汽车，且数量仍在攀升。政府鼓励天然气汽车(NGV)的发展，大多数是为了避免对进口成品油的依赖。但随着天然气在某些国家中变得稀少或更为昂贵，天然气汽车的增长开始放缓。

今天，在拥有广泛能源网络的国家中，有望出现新的天然气汽车增长模式。基于全

©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。

球石油价格的结构性上涨和低廉的天然气价格而推出的经济激励措施，正在推动这种增长。[55] 石油始终都是很昂贵的燃料，但高企的价格正在促使人们去寻找替代性燃料。在过去三年，天然气和石油之间的差异已经非常可观。如今在北美，天然气的批发价格还不到柴油或汽油的三分之一。即使在欧洲，现货交易的天然气价格也比批发的柴油价格低60%。其他拥有丰富天然气资源的地区（如俄罗斯、卡塔尔、尼日利亚）正在探索进一步开发天然气的可能性。GE“天然气时代”展望预测，全球汽车的天然气使用量将每年增长6-8%，其中北美和中国增长最快。

重型车队、铁路运营和海运船舶作为液化天然气市场也具有极大的潜力。从经济学的角度看，这更适用于建有中心停车场的高里程汽车，如公共汽车、出租车、垃圾清运车以及货运车辆。在北美，以天然气为动力的新“8类”卡车在3-5年内就能收回投资。[56] 而用于较大汽车（如机车）或小型交通工具（如拖船）的柴油发动机和燃料系统的投资回收期则是4-9年，视具体情况而定。

现在尚无法确定改用天然气汽车（NGV）后的所有环境结果。天然气汽车可以极大地减少传统的污染物排放，如二氧化硫、氮氧化物等。此外，碳排放通常也比用石油要少30%。但是，甲烷是一种潜在的温室气体，并且存在上游的逃逸排放可能，以及液化天然气和压缩天然气运输设施的泄漏问题。对于大型船舶运输，液化天然气解决方案较低的硫排放则是一个积极因素，沿海地区燃烧重油监管日趋严格，将会推动天然气的增长。消除逃逸排放将依赖于上文提到的技术方案，如果可以取得成功，将有助于天然气汽车的增长。

基础设施是发展天然气汽车的关键因素。目前天然气汽车的数量大约占全球车辆总数的1%。[57]发展成本在很大程度上取决于哪种车辆应该采用天然气。在人口密集区域运营的城市车队或者有着集中需求的私人重型车队可能会首先转向。以后，随着更大网络的建成，轻型汽车及私家车也将会采用。[58] 有几种方式可以扩大燃料供应网络，比如可以利用现有的加气站、开发天然气汽车专用道以及混合动力汽车等。[59] 另外，还需要开发新的业务模式来促进市场发展，因为传统的燃料及天然气分销商可能没有动力去投建新的基础设施。在经济条件允许时，可以将运输用途的天然气燃料转回公用事业燃料，或将液化天然气用来进行小规模发电。此方案还可以在油价走低时提供帮助。总之，充分发挥天然气汽车市场的潜力不仅可以为天然气、石油和电力市场提供新的灵活性，还引入了一种新的竞争因素。

天然气与碳

从长期碳政策的角度讨论天然气是整个天然气辩论话题中的重要部分。详细的技术

©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。

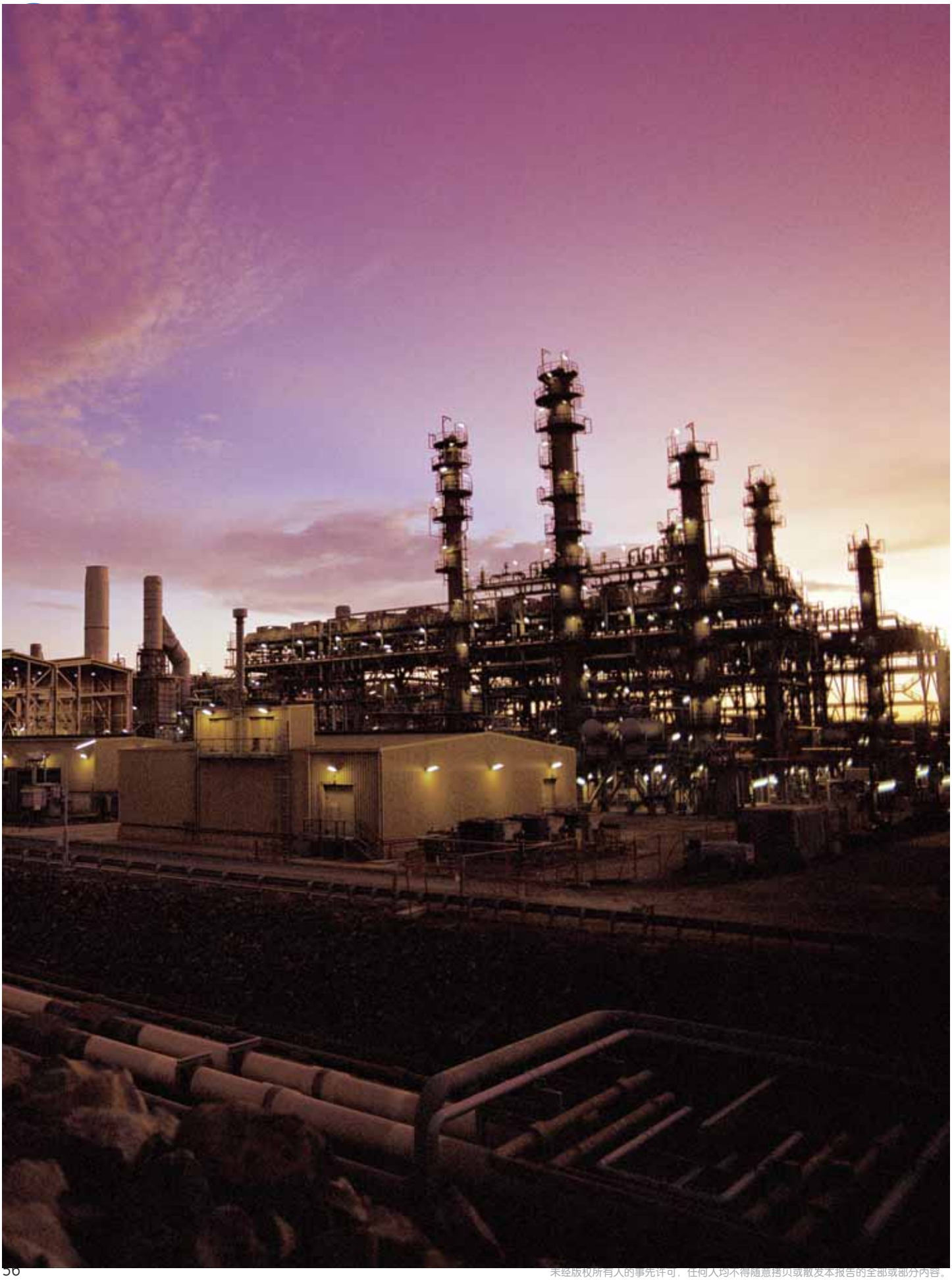
和政策讨论不在本报告的范围之内，但与发展天然气网络有关的几个观点值得一提。碳浓度一直在攀升。据报道，2012年全球碳排放上升了1.4%，二氧化碳的浓度几乎达到了万分之四的峰值，比十年前上涨了5%。[60] 国际社会对于气候变化的响应一直很缓慢，有关气候问题的讨论，除了减轻变化以外，更多地关注适应政策。天然气被某些人视为实用的燃料备选方案，可以提供环境优势并降低成本。但从远离所有烃类化合物能源的愿望而言，这并不是最好的结果。但是由于在全球很多地区，天然气比可再生能源更具成本优势，比石油和煤炭更具环境吸引力，这个结果确实在发生。

天然气拥有诸多环境优势，并且价格低廉。在先进的发电方面，天然气燃烧产生的二氧化碳相对燃煤大约低50%，比燃油低30%。在降低硫、氮及挥发性有机化合物方面，天然气可以极大地减少对当地的污染。但是，天然气仍是一种烃类化合物，在天然气的开发和运输过程中存在泄漏，其中绝大多数是甲烷。甲烷直接排放到大气中时，就成为一种更强的温室气体。此外，有关水污染与页岩气开发的问题也多有记载。大多数情况下，这些事实都无可争议。

然而，浪费的规模以及全球天然气系统的泄漏在今天仍然不确定。而且，随着新气源（如页岩气）的开发，逃逸排放的增长到底有多快还存在疑问。这些都是合理的担忧；但是，随着减排技术的发展，加上合理的监管政策，负面影响很多都可以减轻。应该采取相应措施来改善排放物监控，确保更多地采用能够保障网络安全及可靠性的技术，同时有效减少甲烷泄漏。广而言之，只有接受天然气作为一种安全、可持续、有效以及可靠的能源，才能发挥出天然气的潜能。

也许，更大的问题是，如果天然气在亚洲发电市场及其他发展中国家中没有竞争力，会怎样？如果煤炭仍在发电增长中占据主导地位，新兴经济体的碳排放增长规模将会使发达经济体的增长率相形见绌。即使美国和欧洲追求激进的可再生能源政策，极大地提高了能源效率，降低了煤炭的使用，但未来亚洲煤炭的增长可能意味着全球碳排放的日益增长。不幸的是，这意味着发展中国家将可能遭受气候变化带来的更多负面影响，并且很难找到资源来改变这种情况。或者，也许页岩气的成功开发，以及全球天然气网络在未来十年的大力发展，从在长期来看可以成为低碳能源系统基础的一部分。

©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。

六、催化剂及结论

天然气行业必将在全球能源格局中发挥更大的作用。但是，我们仍需应对巨大的挑战。网络开发的高成本以及天然气行业根深蒂固的体系，可能使能源市场的变革比预期要缓慢。我们仍需系统地关注天然气网络建设，利用不同能源系统之间的垂直联系。因此，政策和创新推动因素在促进天然气网络增长及支持天然气时代的过程中，将会发挥重要的作用。

政策重点可放在以下三个领域：

- 投资
- 技术创新
- 环境、健康与安全

推动对网络投资

在新区域对锚定天然气项目进行投资的政策支持必不可少。随着网络的成熟，政府推动投资的作用将会在网络进化的每一个阶段有所不同。在成熟的网络中，市场力量在推动创新和投资方面一直很成功。然而，在世界许多地方，国家支持的能源公司将会在推动天然气行业发展方面成为主要力量。政府需要探索，对天然气基础设施及其他相关能源网络的投资能否帮助国有公用事业改善运营、降低交易成本。北美的经验表明，成功的天然气开发可以促进经济增长并提高就业率。在这种情况下，天然气网络建设将成为发展中国家促进经济发展，获取更多能源的手段。

“培育持久而灵活的国际关系，对促进投资将十分重要。”

国际合作是促进投资的另一重要因素。天然气产地与最终使用地往往并不一致。很大一部分天然气必须跨越国界。这就急需国际合作，以支持天然气网络的扩张和网络之间的贸易。找到买方和卖方、进口商和出口商之间的共同点，对于促进新的大型项目投资最为关键。因此，买卖双方都需要认识到，供求的安全性不仅仅来自传统的贸易模式，还来自市场日益增加的多元化和灵活性。这些再加上天然气和其他替代燃料之间的竞争关系将共同规范天然气的交易。随着天然气行业的变化，培育持久而灵活的国际关系，对促进投资将十分重要。

定价政策也是全球发展中国家调整天然气网络投资步伐的基本问题。在很多地方，激进的补贴政策造成了低能效消费的快速增长，同时给政府财政预算带来了巨大的负担。随着早期开采资源的耗尽，面临破产的国有公用事业无法增加对网络或资源

©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。

的投入，直至资源短缺成为一个严重问题，给政府及个人都带来了压力。针对燃料和电力补贴的改革虽然造成诸多困扰，但也有成功地案例，比如在巴西、智利、土耳其、菲律宾、印尼以及肯尼亚进行的改革。[61] 各国必须评估各类政策的可行性，在有些情况下，收益比成本更重要。对一些国家来说，不能解决定价问题可能会导致投资受限以及增长的不可持续。

检视造成各种燃料之间竞争扭曲的税收政策也很重要。比如，现行的税收政策常常根据液化天然气的体积而不是所含能量予以征税。这使得对液化天然气征收的实际税率是柴油的1.7倍。不公平的税收政策扭曲了不同燃料之间的价格差距，也必将抑制液化天然气加气站的投资步伐。而有效的税收政策为消费提供了一个从柴油燃料转向低成本清洁能源的机会。

支持技术创新

技术创新是新的地区开启低成本天然气的重要手段。从监管及政策角度来看，培育创新环境至关重要。美国在20世纪90年代就通过税收减免和激励措施为非常规天然气的开发提供早期支持。后来，又通过竞争市场的价格联动机制为页岩气提供支持，使其能够吸引庞大的石油领域服务专家团队，充分利用密集的管道网络。随着页岩气支持系统的到位，运营商能够集中精力研发并测试新技术，解决个别页岩气开采的技术难题，从创新中获得回报。而在北美以外地区，页岩气资源虽然丰富，但各自为战，页岩气被经济地生产出来之前要经过漫长的学习过程。技术需要改造，如启动巴耐特页岩时的独立创新需要被复制。政策和激励措施可以在这方面提供帮助，以便找到为新地区定制技术的方法。这并不意味着从其他地区获得的知识不可转移，或者需要全面复制竞争市场来获得成功。我们认为在大型国有实体中找到允许实验的空间，推动试验项目，并建立适当的合资企业以便分担风险并转让技术是最可行的方法。这些努力的益处是，促进宝贵的国内资源以更低成本、对环境影响更小的方式更快速地发展。

监管政策也会影响如何采用技术来保障和优化天然气和电力网络。随着时间的推移，天然气和电力市场的联系会更加紧密，这是因为随着新的供需选择的出现，网络会持续扩大、系统会日益复杂。支持工业互联网创新可以帮助推动不同网络之间的协调发展，从而有助于商业实践的标准化，增加电网运营商和监管者的透明度，改善分析以便更好地预测运营，应对突发事件。要想充分发挥数字化技术的优势，需要在网络和接入网络的前沿设备两个层面采取有效的安全措施。这要求所有利益相关方都成为安全管理的积极参与者。

©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。

鼓励安全和可持续发展

“只有采用了安全、高效、可靠的天然气获取和开采技术，天然气才能充分发挥自身潜力，并在与煤炭和石油的竞争中获得市场份额。”

只有采用了安全、高效、可靠的天然气获取和开采技术，天然气才能充分发挥自身潜力，并在与煤炭和石油的竞争中获得市场份额。复杂的监管条框通常只管理当前的运营，政策方面的努力则可以为提高天然气网络安全的技术创新提供支持，特别是对于偏远地区来说。随着项目推进到深海或极地，将需要新的实践和技术。随着行业的发展，非常规天然气的运营将是一个不断学习的过程。具体地说，这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、改善用水处理、降低逃逸排放，以及其他提高效率和电气化水平的新理念。

结论

较早建立了适当的能源基础设施的国家和地区可能在未来获得更大的增长。这可能需要发展一套新的商业模式以及监管框架。要扩展天然气网络，首先需要制定有地方政府参与的、可靠的全国能源规划。尽早考虑以可扩展的模块化方式来交叉利用和转变能源系统，这一点很重要。对于发展的国家而言，应尽早确立监管角色，包括如何设计管理网络准入制度，以及设计有利于保持投资的盈利分配模式。这对于如何管理系统以便开放准入、降低服务成本以及提高透明度等具有重大意义。如果不能确定能源规模扩大后能否进行垂直整合、谋求租赁以及独立谈判，那么推动沿着分布式能源的道路发展则可能大有裨益。

定制化的解决方案将会很重要。对于尝试建设新的天然气基础设施的国家来说，拥有支持外国直接投资和签订合约的稳固的法律基础和公信力很重要。在世界上大多数地区，重要的是能够有效地培育高效的公共和私营企业合作关系。跨国公司通常愿意冒着重大的财务和运营风险开发资源、建设基础设施并连接市场，前提是政府能够创建一个稳定的商业环境。对于拥有20-30年投资周期的天然气供应项目来说，这一点尤其重要。

支持天然气网络发展的有力环境包括以下几个方面：

- 由政府承诺的清晰持久地愿景
- 透明、合理而且符合商业节奏的规章制度
- 支持投资的市场结构
- 面向公众以及工人的教育和培训

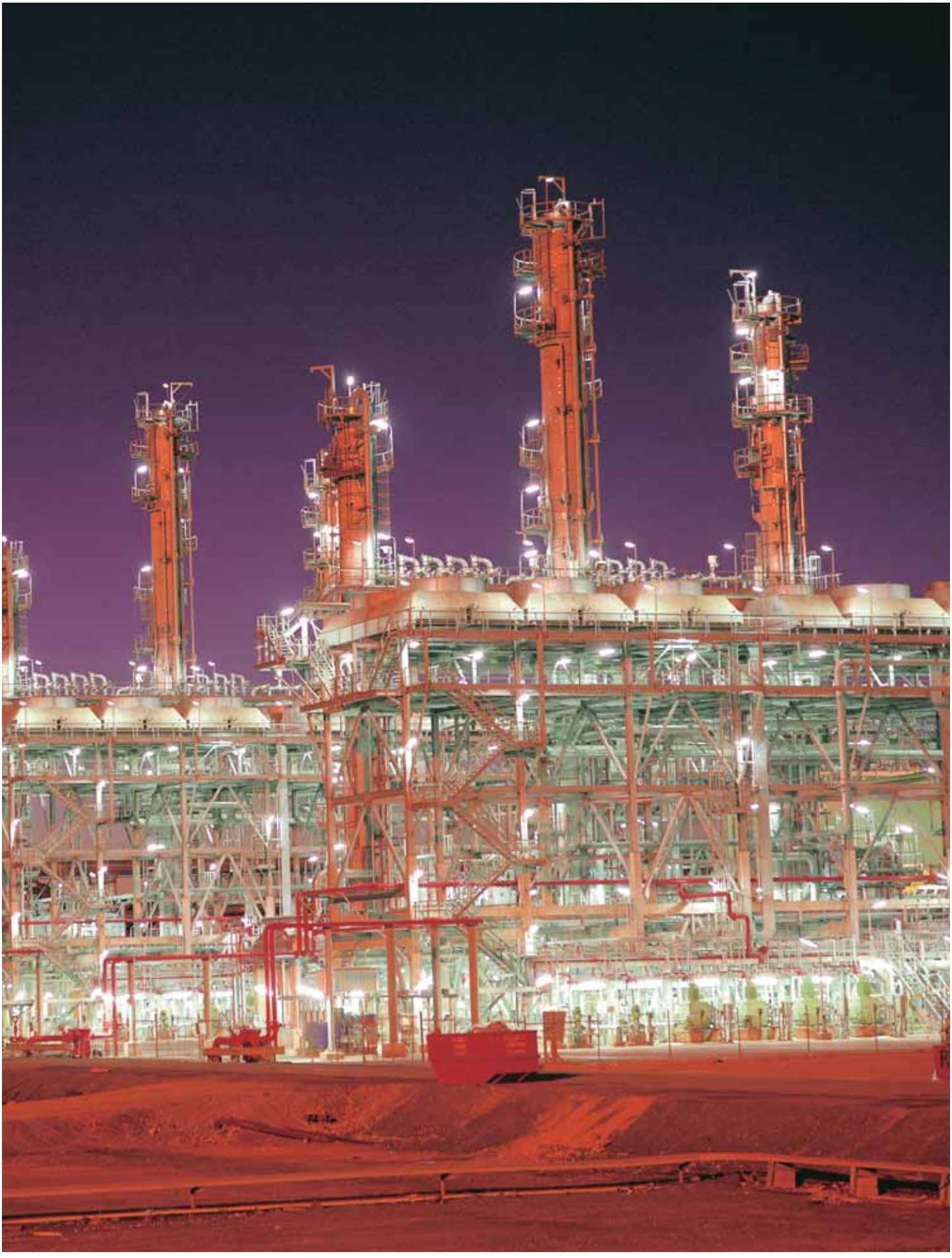
©2013年通用电气（GE）公司版权所有。保留所有权利。
未经版权所有人的事先许可，任何人均不得随意拷贝或散发本报告的全部或部分内容。

- 创新支持
- 对环境影响的关注
- 围绕网络构建服务生态系统

如果不从基础设施建设和市场发展的角度重点关注天然气网络的开发，该行业就不可能发挥出自己的潜力。传统的能源网络盈利模式在很多新兴市场很难发挥作用，或者发挥作用的速度很缓慢。对多元化、可扩展性以及可持续性的需求，使得分布式能源越来越具有吸引力。在优化的网络中，连接分布式设施中的电力、天然气和可再生能源，可能会带来很大的潜在效益，这是传统的孤立式业务模式所无法实现的。

让天然气在全球能源组合中发挥更大作用不仅具有可能性，还极有可能成为现实，特别是在创新技术，外部管理和持续协作的帮助下。天然气在全球各个地区的发展不尽相同。但是，大方向都是一致的。充分利用网络的力量并对支持网络的技术进行投资，将会产生重大的收益。许多因素互相结合，为天然气在世界舞台上发挥更大的作用创造了机会，这将对国家的竞争力、可持续发展以及能源系统的弹性做出了巨大的贡献。这就是我们所说的“天然气时代”和支持网络的力量。

©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。



七、数据附录、注释、参考书目及特别鸣谢

各类能源所占全球一次能源消费的份额

2013年GE“天然气时代”展望

						年均复合增长率	
						'90-'12	'12-'25
一次能源 百万吨油当量	**8,848**	**10,096**	**13,292**	**15,594**	**16,905**	**2.3%**	**2.1%**
						Change in Share	
能源（%）	**'90**	**'00**	**'12**	**'20**	**'25**	**'90-'12**	**'12-'25**
石油	36%	36%	31%	29%	27%	-4.8%	-4.4%
天然气	20%	22%	23%	26%	26%	3.1%	2.4%
煤炭	25%	23%	28%	27%	27%	2.8%	-0.8%
核能	6%	7%	5%	5%	6%	-1.1%	1.5%
水力	2%	2%	2%	2%	2%	0.2%	-0.2%
风能、太阳能及其他能源	0%	1%	1%	3%	4%	0.8%	2.6%
生物燃料及废物	10%	10%	9%	8%	8%	-1%	-1%
合计	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**	**100%**		

注：以上数据来自国际能源署（IEA）世界能源统计、美国能源信息管理局（EIA）BP世界能源统计报告，以及GE内部分析和建模

©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。

全球天然气的供需平衡

2013年GE“天然气时代”展望

10亿立方米/年（BCM）

						年均复合增长率	
行业	**'00**	**'12**	**'15**	**'20**	**'25**	**'00-'12**	**'12-'25**
需求：							
发电	880	1,433	1,592	1,887	2,097	5.2%	3.6%
工业用途	724	853	921	1,036	1,111	1.5%	2.3%
建筑用气	644	717	774	811	871	0.9%	1.7%
其他	352	515	580	676	728	3.8%	3.2%
合计	**2,600**	**3,518**	**3,867**	**4,410**	**4,807**	**2.9%**	**2.8%**
供应：							
常规	2,456	3,003	3.282	3,654	3,952	1.9%	2.4%
非常规	144	495	582	793	898	20.3%	6.3%
合计	**2,600**	**3,498**	**3,865**	**4,447**	**4,850**	**2.9%**	**3.0%**
供需差距	1	-20	-2	37	43		

注：以上数据来自国际能源署（IEA）世界能源统计、美国能源信息管理局（EIA）、BP世界能源统计报告，以及GE内部分析和建模

注：供需差距数据的差异来自存储设施和液化厂库存量的变化，以及不可避免的由天然气组分和质量差异，以及与基本供需和贸易数据相关的度量和换算问题所造成的数据差异。

©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。

按燃料类型划分的全球发电量

2013年GE“天然气时代”展望

百万兆瓦时/年（Twh）

						年均复合增长率	
能源类型	**'00**	**'12**	**'15**	**'20**	**'25**	**'00-'12**	**'12-'25**
石油	1,126	1,111	935	779	678	-0.1%	-3.0%
天然气	2,730	5,177	5,784	6,962	8,134	7.5%	4.4%
煤炭	5,909	8,931	9,709	10,946	12,988	4.3%	3.5%
核能	2,591	2,443	2,968	3,276	4,097	-0.5%	5.2%
水力	2,687	3,491	3,725	3,896	4,150	2.5%	1.5%
风能、太阳能及其他能源	84	654	1,078	1,611	2,588	56.5%	22.8%
生物燃料及废物	324	526	582	711	1,013	5.2%	7.1%
合计	**15,452**	**22,332**	**24,781**	**28,181**	**33,647**	**3.7%**	**3.9%**

注：以上数据来自国际能源署（IEA）世界能源统计、美国能源信息管理局（EIA）、BP世界能源统计报告，以及GE内部分析和建模。包括公用事业和独立电厂（含工业热电联供和电力行业自用）。发电行业对天然气的需求基于这种更宽泛的定义进行估算，故可能与其他的行业预测数据存在差异。

©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。

GE“天然气时代”展望

10亿立方米/年（BCM）
地区天然气需求平衡概要

地区	行业	'00	'12	'15	'20	'25	年均复合增长率（CAGR）'12-'25
北美	发电	158	282	256	296	312	1%
	工业用途	237	214	231	244	249	1%
	其他行业及建筑用气	359	334	355	383	400	2%
	产量	774	858	865	1,030	1,087	2%
	液化天然气（净贸易量）	5	5	7	-66	-76	
	管道天然气（净贸易量）	-3	-19	-21	-30	-40	
	供需差距	14	5	0	0	0	
中国经合组织亚太成员国和亚洲其他地区	发电	171	295	364	485	534	6%
	工业用途	92	167	191	227	263	4%
	其他行业及建筑用气	92	208	246	312	357	6%
	产量	300	515	623	768	800	4%
	液化天然气（净贸易量）	29	133	123	162	218	
	管道天然气（净贸易量）	-0	27	66	121	157	
	供需差距	-30	-51	-29	-29	-30	
欧亚大陆	发电	239	294	323	338	344	1%
	工业用途	95	129	130	135	132	0%
	其他行业及建筑用气	185	178	184	190	191	1%
	产量	687	803	915	1,043	1,136	3%
	液化天然气（净贸易量）	0	-13	-14	-26	-61	
	管道天然气（净贸易量）	-138	-197	-273	-359	-410	
	供需差距	27	-10	-12	-9	-6	
欧洲	发电	145	194	205	236	293	4%
	工业用途	163	122	131	141	145	1%
	其他行业及建筑用气	207	251	254	257	262	0%
	产量	315	281	267	253	236	-1%
	液化天然气（净贸易量）	33	62	73	107	131	
	管道天然气（净贸易量）	166	204	255	275	331	
	供需差距	-3	-23	5	0	-2	

©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。

地区	行业	'00	'12	'15	'20	'25	年均复合增长率（CAGR）'12-'25
中东	发电	91	201	249	294	329	5%
	工业用途	54	110	117	138	161	4%
	其他行业及建筑用气	67	142	155	169	190	3%
	产量	237	556	640	721	843	4%
	液化天然气（净贸易量）	-26	-123	-128	-116	-126	
	管道天然气（净贸易量）	3	7	9	-2	-35	
	供需差距	0	-15	-1	0	0	
非洲	发电	31	74	90	109	125	5%
	工业用途	17	28	33	48	59	9%
	其他行业及建筑用气	17	30	34	41	49	5%
	产量	137	240	285	341	413	6%
	液化天然气（净贸易量）	-37	-64	-78	-93	-113	
	管道天然气（净贸易量）	-34	-46	-50	-43	-60	
	供需差距	-0	-3	-1	4	4	
拉丁美洲	发电	44	93	105	130	160	6%
	工业用途	65	81	89	103	116	3%
	其他行业及建筑用气	47	88	93	95	107	2%
	产量	151	245	270	291	334	3%
	液化天然气（净贸易量）	0	-3	8	21	19	
	管道天然气（净贸易量）	7	20	21	28	37	
	供需差距	-2	-12	-0	-0	-0	

©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。

GE“天然气时代”展望

百万兆瓦时/年（Twh）
地区天然气需求平衡概要

地区	行业	'00	'12	'15	'20	'25	年均复合增长率（CAGR）'12-'25
北美	总发电量	4,658	4,706	5,088	5,319	5,563	1%
	石油	128	21	6	4	3	-7%
	天然气	668	1,302	1,168	1,313	1,467	1%
	煤炭	2,240	1,604	1,995	1,940	1,928	2%
	核能	871	876	915	963	968	1%
	水力	639	637	650	651	652	0%
	风能、太阳能及其他能源	21	175	267	341	415	11%
	生物燃料及废物	92	92	86	108	130	3%
中国经合组织亚太成员国和亚洲其他地区	总发电量	4,244	9,092	10,573	12,815	16,757	6%
	石油	353	392	286	225	226	-3%
	天然气	2,145	5,544	6,003	7,187	9,443	5%
	煤炭	2,145	5,544	6,003	7.187	9,443	5%
	核能	505	394	858	1,064	1,705	26%
	水力	530	1,234	1,396	1,469	1,611	2%
	风能、太阳能及其他能源	26	180	372	612	1,067	38%
	生物燃料及废物	99	129	145	198	393	16%
欧亚大陆	总发电量	1,246	1,501	1,579	1,684	1,832	2%
	石油	57	43	43	42	41	0%
	天然气	484	659	718	753	786	1%
	煤炭	257	323	315	339	376	1%
	核能	210	224	247	282	331	4%
	水力	227	228	229	232	239	0%
	风能、太阳能及其他能源	0	2	4	11	25	83%
	生物燃料及废物	11	22	22	24	34	4%
欧洲	总发电量	3,429	3,794	3,870	4,127	4.495	1%
	石油	183	68	68	60	55	-1%
	天然气	527	773	819	898	1,194	4%
	煤炭	991	1,034	947	964	719	-2%
	核能	971	902	904	880	915	0%
	水力	627	558	568	575	592	0%
	风能、太阳能及其他能源	29	267	358	504	726	12%
	生物燃料及废物	101	193	206	247	294	4%

©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。

地区	行业	'00	'12	'15	'20	'25	年均复合增长率（CAGR）'12-'25
中东	总发电量	471	1,031	1,195	1,407	1,620	4%
	石油	195	315	275	277	206	-3%
	天然气	237	628	819	961	1,123	6%
	煤炭	29	44	33	32	35	-1%
	核能	0	0	0	40	90	
	水力	8	17	19	20	21	2%
	风能、太阳能及其他能源	0	2	4	29	94	438%
	生物燃料及废物	0	25	46	48	51	8%
非洲	总发电量	435	722	843	991	1,234	5%
	石油	47	74	71	46	46	-3%
	天然气	91	233	313	363	357	2%
	煤炭	207	287	315	363	357	2%
	核能	13	12	12	12	38	16%
	水力	75	101	103	118	157	4%
	风能、太阳能及其他能源	1	5	18	38	91	133%
	生物燃料及废物	1	9	10	13	22	11%
拉丁美洲	总发电量	971	1,485	1,643	1,838	2,145	3%
	石油	163	197	186	126	102	-4%
	天然气	137	362	434	576	727	8%
	煤炭	40	96	102	122	130	3%
	核能	20	35	32	35	50	3%
	水力	583	716	761	831	878	2%
	风能、太阳能及其他能源	8	23	53	75	169	49%
	生物燃料及废物	20	57	65	72	88	4%

©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。

作者简历

Peter C.Evans目前任通用电气（GE）公司全球战略与分析总监，此前他曾在GE能源集团担任过5年的全球战略与规划负责人。加入GE公司前，Evans先生在剑桥能源研究协会（CERA）担任全球石油总监及全球能源论坛研究总监。他还曾为各类企业及政府客户提供独立咨询服务，这些客户包括：美国能源部、经济合作与发展组织（OECD）和世界银行等。Evans先生在国际能源领域拥有广泛的经验，曾在日本东京的电力工业中央研究所做过两年的访问学者。他撰写过许多文章和政策方面的专著，其中包括：《工业互联网：打破智慧和机器的边界》(The Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines)（GE公司，2012）；《日本：做好准备迎接不确定的能源未来》（Japan: Bracing for an Uncertain Energy Future）（布鲁金斯学会，2006年），以及《能源服务领域的全球贸易自由化》（Liberalizing Global Trade in Energy Services）（AEI出版社，2002年）。Evans先生是美国外交关系委员会的终身会员，以及全美商业经济协会的董事会成员。他拥有汉普郡学院（Hampshire College）的学士学位及麻省理工学院的硕士和博士学位。

Michael F. Farina 是通用电气（GE）公司燃料卓越中心（COE）的负责人，同时也是GE企业战略与分析团队成员。Farina先生在能源行业拥有近20年的经验，专注于从事天然气和电力市场经济、技术和政策方面的工作。 加入GE公司前，他在剑桥能源研究协会（CERA）担任北美天然气总监。Farina先生是剑桥能源研究协会（CERA）全球能源前景研究专著《新时代的曙光：2030年的能源未来》（Dawn of a New Age: The Energy Future to 2030）和《能源过渡时代：清洁能源的未来》（Crossing the Divide: The Future of Clean Energy）的联合作者，致力于其中的全球天然气问题。2007年，由于成功撰写《关系的终结？：北美油气价格》（Is the Relationship Over?: Oil and Gas Prices in North America）并提出了独特见解，Farina先生被剑桥能源研究协会（CERA）授予“丹尼奖”（Danny Award）。加入剑桥能源研究协会（CERA）前，Farina先生曾在Platt's/RDI咨询公司担任高级顾问，并负责RDI的天然气预测服务。他协助客户进行场景规划、模型开发、管道与储存资产评估，并制定燃料采购战略。Farina先生持有科罗拉多州立大学（Colorado State University）经济学学士学位，以及科罗拉多大学经济学硕士学位。

©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。

特别鸣谢

藉此机会我们要感谢对本书的撰写提供过帮助的人们，尤其是Brandon Owens、Markus Becker、Georges Sassine、Michael Leifman和David Keefer。我们还要感谢来自GE石油天然气集团、GE发电设备与水处理集团以及GE能源管理集团的同事们，感谢他们在技术和对天然气行业发展前景上的独到见解。最后，我们还要向David Victor、Amy Jaffe和Laszlo Varro表示由衷的感谢，正是他们认真审阅了我们的报告草案，并提出了非常有用的反馈意见和评论。

©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。

注释

1 Peter C. Evans和 Marco Annunziata合著，《工业互联网：打破智慧和机器的边界》（Industrial Internet: Pushing the Boundaries of Minds and Machines），GE，2012年11月26日。

2 Malcolm Peebles,《天然气行业的发展演化》（Evolution of the Gas Industry），纽约大学出版社，纽约，1980年，第9-17页。

3 Arlon Tussing和Bob Tippee合著,《天然气行业：发展史、结构与经济前景》（The Natural Gas Industry: Evolution, Structure, and Economics），第二版，Pennwell Books出版社，纽约，1995，第61-65页。

4 Ernest Freeberg，《爱迪生时代：电灯与现代美国的发明》（The Age of Edison: Electric Light and the Invention of Modern America），Penguin出版社，纽约，2013年，第35页。

5 James J. Parsons，“美国天然气的地理分布”（The Geography of Natural Gas in the United States），《经济地理杂志》，第26期，第3版（1950年7月），第162-178页。

6 Jim Watson，“推动向天然气冲刺的技术”（The Technology that Drove the 'Dash for Gas'），《电力工程杂志》，第11期，1997年。

7 David Newbery，《私有化、重组与网络公用设施的监管》（Privatization, Restructuring, and Regulation of Network Utilities），麻省理工学院出版社，马萨诸塞州剑桥市，1999年，第8章。

8 在本书中我们采用公制单位计量天然气的供应和需求，以更好的与国际报告相统一。用10亿立方米/年（BCM）除以10后大约相当于美国天然气行业常用的10亿立方英尺/天（Bcfd）。BCM和BCF之间的换算系数通常为35.31。例如：100BCM/年乘以 35.31再除以365天就等于9.67Bcfd。

9 John Curtis，“压裂页岩气系统”（Fractured shale-gas systems），《AAPG 公告》，第86期，2002年11月，第1923-1924页。

10 在美国国家石油委员会的《审慎开发研究》（2011年）中显示，全美天然气资源预计储量的低、中和最高值分别为1,500、2,500和4,000万亿立方英尺（Tcf）。

11 往年估值参见国际能源署《2000年天然气前景展望》（Natural Gas Prospects to 2000）,OECD,巴黎，1982年，表5.18。

12 GE“天然气时代”展望，是建立在未来经济增长、能源价格、环保政策以及基础设施发展的基础之上。本展望假设发达工业国家的经济能够重拾增长态势，并继续保持稳定，发展中国家的经济增长相对强势，油价处于相对高位，天然气价格继续与石油价格脱节，使得天然气相对于煤炭和石油具有越来越强的竞争力。虽然环保政策在某些地区很重要，但是本展望没有将某些政策，比如激进的碳政策假设考虑在内。取而代之的是，我们假设已有的一批有国家针对性和地区性的环保项目继续在预测期内有效。假设新的天然气基础设施将以经济高效地方式投建。假设先进技术得以部署，以提高能源效率和生产率，但是在2025年以前还没有出现超破坏性技术，比如成本极低的太阳能电池板等。GE“天然气时代”展望假设某些地区的GDP电力强度适度改善。这些假设决定了需要多少能源才能满足经济的需求。能源强度改善的前提是假设到2025年能源强度每年改善1%。这些改善的速度比过去15年的年平均值要稍快。一些国家，如中国（1.8%）和美国(1.5%)有望实现较快的能源强度改善速度。然而，对于一些新兴市场，我们预计能源强度会适度增长，这是由于电力接入和用电快速增长所导致。这方面的例子包括印度、印度尼西亚和部分非洲国家。

13 这些资源更为昂贵，但也将产生更有价值的天然气凝析液，可用于抵消俄罗斯成熟油田产能下降的不利影响。

©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。

14 路透社，“巨型油气田投产在即，土库曼斯坦寄以厚望”（Turkmenistan has high hopes as giant gas field nears output），2013年5月22日。

15 GE“天然气时代”展望假设核电将进一步增长。同时核电成本也是一个挑战，本展望假设政策和行业行为将核电扩展的趋势相符，将达到近200GW。大部分的新增核电容量将在预测期内的2025年底投产。本展望中包括的核电容量来自于目前已经确认的核电项目和现在运行中的核电站。假设日本的核电容量能够回到福岛核事故之前60%的水平。假设中国新增约100GW的核电容量，占全球新增核电容量的近50%。另外，假设在预测期内，法国和美国的核电站保持其现有的最大容量并网运行。其它地区的核电增长展望盈亏相抵。印度大约新增18GW，沙特、阿联酋和土耳其新增约15GW，韩国新增约14GW，东盟国家约新增5.5GW，俄罗斯及其它东欧国家新增约11.5GW。在某种程度上，这些核电项目都不能按预期提前投产，存在新增天然气发电的潜力，也有新增煤炭和可再生能源发电的可能性。如果上述假设中有任何一条发生实质性的改变，必将导致完全不同的结果。

16 Peter C. Evans和Peter Fox-Penner合著，“城市能源系统的可持续基础设施”（Resilient and Sustainable Infrastructure for Urban Energy Systems），《解决方案》杂志，即将出版。

17 燃煤电厂高昂的前期资本投入也使得电厂一旦投建，就很难再替换。这是因为燃料的可变成本通常很低。而且，在世界上大多数地方，大型国有企业通常是燃煤电厂的主要建设方，相对于独立开发商，他们能够以更低的成本获得资本支持，这使得公用事业企业倾向于采用资本密集型技术。

18 参见David Easley 和Jon Klienberg合著的《网络、群体与市场：揭示高度互联世界的行为原理与效应机制》（Networks, Crowds, and Markets: Reasoning about a Highly Connected World），剑桥大学出版社，2010年。

19 Jeff Markholm,《天然气管道中的政治经济学》（The Political Economy of Pipelines），2012年，芝加哥大学出版社。参见Markholm对管道天然气经济性的详细探讨。其中包括有关机构推动因素、资产的专属性和天然气运输服务竞争性市场的发展等问题。

20 其他运输方式包括天然气制油，天然气制化学品和肥料。天然气也可以转换成电力，通过电网输送。虽然这些转换方式也是非常有效的天然气运输方式，但它们已经涉及天然气的使用问题。为了便于讨论，我们采用三种最主要的模式：管道天然气、液化天然气（LNG）和压缩天然气（CNG）。

21 Jean Michel Glachant与 Michelle Hallack合著，《作为乐高游戏的天然气运输系统：如何玩？》（The Gas Transportation System as a LEGO game: How to play with it?），EUI 工作论文，Robert Shuman 高级研究中心，有关能源政策的Loyola de Palacio 项目，2010年。

22 D. B. Lewis，“天然气的货物运输方式”（Natural Gas for Freight Transportation），在“全美商业经济协会行业大会”上的演讲，德克萨斯州休斯顿，2013年5月16日。

23 为了便于讨论供应成本，致密砂岩气资源也作为常规天然气资源的一部分加以讨论。常规天然气和致密砂岩气的开发之间有很大相似之处，因为两者都倾向于采用某种程度的水力压裂技术。

24 壳牌是大型浮式液化天然气开发的领军企业，在其位于澳大利亚的海上Prelude油田开发了浮式液化天然气。他们正努力将该技术标准化，以便在其他中型海上气田中应用。其他开发商也正着手这方面的工作，以期获得各种类型的更简单的模块化浮式液化天然气设计。

25 Leonardo Maugeri,《页岩油的蓬勃发展：一种美国现象》（The Shale Oil Boom: A U.S. Phenomenon），哈佛肯尼迪学院贝尔弗科学与国际事务研究中心（Belfer Center for Science and International Affairs），2013年6月。本报告针对北美页岩油气和上游开采活动进行了深入探讨。通过钻井强度的概念和灵活的油气供应弹性，揭示了非常规天然气开发不同于常规天然气开发的原因。

©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。

26 Massssoud Amiin，“通向自我修复的能源基础设施系统”(Toward Self-healing Energy Infrastructure Systems)，《IEEE计算机在电力行业的应用》（IEEE Computer Applications in Power），2001年。

27 联合循环指的是，两台燃气轮和一台蒸汽轮机依次联合运行，从燃气轮机排出的余热用来加热蒸汽，带动蒸汽轮机做功，从而发电。GE FlexEfficiency联合循环电厂的热效率能够达到 61%。欲了解有关GE联合循环电厂的更多信息，请访问：www.ge-flexibility.com。

28 资料来源：美国能源管理署。假设美国家庭平均用电量为11,040千瓦时/年，或者如果每年按8,765小时计算的话，则每个家庭为1.259 千瓦。

29 有关热电联产（CHP）系统的更多信息，参见气候与解决方案中心(C2ES)的《利用天然气降低温室气体排放》（Leveraging Natural Gas to Reduce Greenhouse Gas Emissions），技术调查，2013年6月，第59-60页。

30 每千瓦建设成本根据北美成本估算。项目的实际成本可能会随着各地区的不同条件产生重大差距。这些指示性成本用来显示各项技术之间的大致关系。

31 David Victor、Amy Myers Jaffe、Mark Hayes，《1970-2040年间的天然气与地缘政治》（Natural Gas and Geopolitics 1970-2040），剑桥大学出版社，2006年，第322页。David Victor 和Amy Myers Jaffe 等人将国家在天然气市场所起的作用归为两大模式。“旧模式”指的是国家对天然气的开采、定价进行控制，并在国与国的层面进行贸易。而另一种“新模式”是由国家制定制度，让私人企业自行承担风险同时获取价值。然而，到目前为止，还没有一个纯粹的例子能够说明两种模式的优劣，因为政府监管和市场的力量一直都在同时起作用。

32 “锚定”（anchor）货主这个术语在天然气行业应用非常广泛，用它来描述那些签有长期合同并一直致力于油气项目的关键客户。

33 天然气系统拥有非常专业化的资产，比如天然气管道只能输送天然气，而且成本高昂，也就是说连接在输气管道两端的生产商和消费者必须相互支持、休戚与共。正如Markholm在《天然气管道中的政治经济学》（The Political Economy of Pipelines）第159页中指出的，这种特性推动买家和卖家向垂直整合结构延伸。有几项针对液化天然气行业垂直整合水平的研究，最近在SECURE中就有一个很好的例子，“天然气行业的垂直整合”，项目号213744，2009年，详情参见http://www.feemproject.net/secure/plastore/Deliverables/SECURE_D5-2-5.pdf。

34 这方面的实例包括中石化2011年项目，未来二十年，中石化每年将从澳大利亚太平洋液化天然气有限公司首期项目中采购430万吨的液化天然气，并拥有15%的上游运营股份。2012年底，中石化还每年购买了330万吨的液化天然气，并将其在天然气工厂的股份提高到25%。资料来源：Gastech新闻和资源中心“LNG巨头的传奇式增长”，2013年1月，详情参见http://www.gastechnews.com/lng/legendary-growth-of-an-lng-giant-2/。

35 例如“天然气出口商防范石油联合”（Gas exporters defend Oil Link），《Platt的国际天然气报告》（Platt's International Gas Report），第728期，2013年7月15日。

36 竞争性的天然气市场可以作为垂直整合项目结构的一种替代模式。北美即是一个鲜活的例子。私人企业参与招标流程进行项目开发。举办“开放季”以确定货主的兴趣，最后锁定一批锚定客户，通过他们来支持管道、储存、炼油厂或液化天然气终端。接下来的供应链条为分别购买、运输、储存，或以合同契约的方式进行资产转化。价格信号在推动投资方面发挥着重要作用，并最终高效方式为终端用户提供气源。然而在高效地配置资本并拉动投资的同时，竞争市场也要承受价格波动，遵守市场游戏规则，经历“繁荣与萧条”的周期性变化。因此，即使在竞争性的天然气市场中，也经常会受到政府的高度监管。

©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。

37 《Platt的国际天然气报告》（Platt's International Gas Report），“墨西哥对美国西南部的影响”（Mexico impact on SW US），2013年7月17日。加拿大公司TransCanada已经与CFE签订了一份25年的合同，承建Mazatlan和Topolobampo天然气管道，美国的Sempra能源公司也有承建部分西北管线系统的合约。

38 GE分布式发电市场分析，2012年。

39 Ahram Online，“由于罢工影响，埃及3座新电厂建设被迫延期”（Construction of 3 new power plants across Egypt delayed by strikes），2013年2月。

40 Hussam Beides, Hossien Razavi, Venkataraman Krishnaswamy,《阿拉伯国家的区域性天然气贸易项目》（Regional Gas Trade Projects in Arab Countries），报告编号76114-MEN，世界银行—PPIAF，2013年2月。

41 Thura Swiss Research，《缅甸电力》（Electricity Mynamar），2012年4月。

42 David Dapice，“缅甸的电力需求和供应状况”(Electricity Demand and Supply in Myanmar)，2012年12月。Rajawali亚洲基金会，哈佛阿什民主治理与创新中心（Harvard Ash Center for Democratic Governance and Innovation）。

43 Id. D.Dapice (2012年)。目前国内的陆上气田生产能力预计为7千万立方英尺/天。从耶德那（Yadana）气田到仰光的输气管道正在扩建，到2014年输送能力将从每天1亿5千万立方英尺扩大到2亿立方英尺。目前3千万立方英尺/天的东南管道也正在升级，完工后有望每天向国内市场再提供1亿5千万立方英尺的天然气。此外，连接中国的新Shwe天然气管道输送能力也达到将近1亿立方英尺/天，有望为沿线的电厂和工业应用提供天然气。

44 Michael F. Farina在2011年1月发表的“GE降低天然气空燃（GE Flare Gas reduction）一文中，详细讨论了空燃问题和技术方案，详情参见http://www.genewscenter.com/ImageLibrary/detail.aspx?MediaDetailsID=3691。

45 资料来源：世界银行GGFR网站，http://go.worldbank.org/G2OAW2DKZ0。

46 世界银行新闻稿，2012年10月24日，“世界银行呼吁石油生产商减少火炬气放空，提高天然气利用率以促进发展”（World Bank Urges Oil Producers to Reduce Gas Flaring, Increase Gas Utilization for Development）。

47 有大量关于天然气管道和天然气系统优化的文献资料，针对热电联产和区域供暖背景下的天然气与电力系统优化也有大量报道。翻阅大量文献发现，鲜有在战略层面上对这些概念的探讨。一个实例就是北美电力可靠性委员会为协调天然气和电力市场而展开的对监管和市场设计讨论极为复杂。

48 参见国际能源署（IEA）“我们是否正向天然气黄金时代迈进？”（Are We Entering a Golden Age of Gas）一文，文章提出了对天然气替代可再生能源的担忧。参见花旗集团股权研究（Citigroup Equities Research），“页岩气与可再生能源：共生的关系”（Shale & renewables: a symbiotic relationship），2012年9月，文章详细探讨了天然气和可再生能源的经济性。

49 可再生能源，比如风能和太阳能，正处在持续增长的阶段。可再生能源的成本正在下降，预计这种趋势还将持续。未来20年风能的成本还可能下降20%，光伏（PV）太阳能板成本可能会降低40%。随着可再生能源竞争力的持续上升，即使没有政策的推动，相对于化石燃料而言，可再生能源也将保持增长态势。当前，可再生能源仅占全球一次能源供应的1%左右，但却已经占到发电量的5%。在本展望

©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。

中，假设得到适度的政策支持，到2025年，可再生能源在一次能源中的占比将增长到4%，在总发电量中的占比将达到11%。

50 对这些问题的详细探讨超出了本报告的范畴，但核心问题是：负载变化究竟有多大？ 用电高峰时有哪些资源可用？是否会对运营造成影响（电压、频率、压力）？需要多大的储备资源才能安全地平衡系统？在这些问题中，许多都与如何发展可再生能源，以及在特定区域扩大天然气网络和电网的难易程度紧密相关。

51 能源储存（比如抽水蓄能）的成本，可能会达到35美元/兆瓦时，投资巨大。

52 北美电力可靠性委员会（NERC），“2013年可靠性特别评估：适应电力系统第二阶段对天然气依赖性的不断增强：北美大型电力系统漏洞与实况评估”（2013 Special Reliability Assessment: Accommodating an Increased Dependence on Natural Gas for Electric Power Phase II: A Vulnerability and Scenario Assessment for the North American Bulk Power System），2013年5月。

53 Id. 北美电力可靠性委员会（NERC）。

54 摩根史丹利全球研究，“天然气作为交通运输燃料：能源市场的万金油”（Natural Gas as a Transportation Fuel: Energy Market Wild Card），2013年4月。

55 Ib. L Maugeri，“页岩油的蓬勃发展”（The Shale Oil Boom）。本报告论述了新型油气供应的边际成本，包括页岩中的轻质致密油（即页岩油），报告显示，支持长期运营的全周期边际成本大约在每桶70-90美元之间。

56 Robert LaCount, M.J. Bradley & Associates，“天然气与美国运输行业”（Natural Gas and the US Transport Sector），在“全美商业经济协会能源行业大会”上的演讲，德克萨斯州休斯顿，2013年5月。

57 Id. Morgan Stanley，“天然气作为交通运输燃料”（Natural Gas as a Transportation Fuel）。

58 美国国家石油协会（NPC），“运输业燃料的未来”（Future of Transport Fuels），2012年8月。

59 Id. 美国国家石油协会（NPC），“运输业燃料的未来”（Future of Transport Fuels）。

60 国际能源署（IEA），“重新绘制能源与气候关系图”（Redrawing the Energy-Climate Map），2013年7月。

61 国际货币基金组织（IMF），“能源补贴改革案例研究：教益与启示”（Case studies on Energy Subsidy Reform: Lessons and Implications），2013年1月， 详情参见： http://www.imf.org/external/np/pp/eng/2013/012813a.pdf。

©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。