美国 LNG 出口潜力、竞争力与溢出效应研究

王　震　孔盈皓　王文怡
中国海油集团能源经济研究院，　北京　100013

摘　要：近年来，美国 LNG 出口快速增加并极大地影响着全球天然气市场。在中美 LNG 领域合作不断加深的背景下，以美国 LNG 出口潜力为基础，梳理了美国 LNG 出口流程的主要环节，分析对比了美国 LNG 出口的竞争力，并挖掘美国 LNG 出口可能带来的市场影响，把握美国天然气市场最新动向。研究成果以期为中国 LNG 进口提供参考。

关键词：美国 LNG；出口潜力；定价机制；溢出效应
DOI：10. 3969 /j. issn. 1006-5539. 2022. 01. 001

Study on U. S. LNG export potential, competitiveness and spillover effect

WANG Zhen, KONG Yinghao, WANG Wenyi
CNOOC Energy Economics Institute, Beijing, 100013, China

Abstract: In recent years, U. S. liquefied natural gas (LNG) export capacity has gained momentum and exerted significant influence on global natural gas market. With the deepening Sino-US cooperation in LNG sector, based on the U. S. LNG export potential, this paper studies and sorts out the main procedures of the U. S. LNG exports, conducts comparative analysis on the competitiveness of and investigates the potential impact of U. S. LNG exports on global markets, grasps the latest trends of the U. S. natural gas market and U. S. LNG exports dynamics, with a view to providing references for China LNG imports.

Keywords: U. S. LNG; Export potential; Price formation mechanism; Spillover effect

0　前言

“页岩革命”给美国带来了丰富、廉价的天然气供应，引发美国 LNG 出口设施建设热潮，促使美国在 2018 年成为天然气净出口国，扭转了近 60 年的天然气净进口历史。自 2016 年美国首船 LNG 出口以来，美国 LNG 出口量快速攀升，极大地影响着全球天然气市场甚至国际政治格局。从亚洲天然气定价机制、长协模式的变化，到中美贸易战、美德俄围绕北溪二号的博弈，均有美国 LNG 的身影。

中美 LNG 贸易合作一波三折。2017 年中国进口美国 LNG 超过 200×10^4 t，占美国 LNG 总出口量的 1 /7，中美 LNG 贸易蓬勃发展。但中美贸易战打断了快速发展的势头，中美 LNG 贸易进入寒冬，2019 年中国进口美国 LNG 不足 15×10^4 t。随后在中美贸易谈判中 LNG 作为能源产品，起到缓和两国关系的作用。自 2020 年中国对

收稿日期：2021-12-27
基金项目：教育部人文社会科学研究青年基金“规模与环境友好双导向下海洋油气开发激励机制设计与政策研究”(19YJCZH106)
作者简介：王　震(1969-)，男，甘肃会宁人，教授，博士，主要从事能源经济、绿色金融等领域的研究；现任中国海油集团能源经济研究院院长，兼任中国石油大学(北京)教授、博士生导师。E-mail：wzhen@ pku. org. cn

美国 LNG 加征关税日期自动失效以来，中国对美国 LNG 进口量日益增加。2020 年美国是中国 LNG 的第六大供应国，2021 年则升级为第三大供应国。预计 2021 年中国进口美国 LNG 超过 900×10^4 t，与 2020 年相比增加 110%。更重要的是，中美 LNG 贸易从以现货为主，逐渐转变为现货、长协共同发展。中国对美国 LNG 长协合同的签订量也从 2018 年的 1 份增至 2021 年 1～11 月的 5 份。截至 2021 年 11 月，中国签署的 LNG 中长期协议约 $2\ 200\times10^4$ t，其中中美 LNG 长协 670×10^4 t，占总签订量的 30%。

美国是未来几年全球天然气液化能力增长的重要力量，中美在 LNG 领域的合作潜力巨大。根据 IHS 数据，2022 年美国 LNG 出口能力约为 $8\ 500\times10^4$ t，2026 年将达到 $10\ 800\times10^4$ t，贡献未来 6 年全球增量的 42%。未来三年美国新增 LNG 能力占全球新增量的近 70%，而中国是 LNG 需求增长的主要国家之一。到 2025 年中国 LNG 需求量有望达到 1×10^8 t，与 2020 年相比增长约 45%。

1 美国天然气出口潜力分析

自“页岩革命”以来，美国天然气产量大幅上涨，未来增产潜力依然巨大。2020 年美国天然气产量为 $8\ 600\times10^8$ m^3，其中页岩气产量占总产量的 68.3%，页岩气生产量主要集中在二叠纪盆地、马塞勒斯等区带[1]。受墨西哥湾沿岸的 LNG 出口项目推动影响、致密油区带中伴生气产量提高以及国内终端消费需求增长等多重因素叠加作用，美国天然气产量将保持稳健增长。据 Wood Mackenzie 预测[2]，美国天然气产量将在 2025 年达到 $10\ 000\times10^8$ m^3；2042 年增至近 $11\ 770\times10^8$ m^3 的峰值水平，占全球天然气产量的近 25%；2050 年产量回落至约 $11\ 380\times10^8$ m^3，其中页岩气产量占 84%（$9\ 160\times10^8$ m^3）。

未来美国天然气消费增长显著慢于天然气产量增长，为 LNG 出口奠定了坚实的资源基础。2010—2020 年，美国天然气消费量年均增长约 2.5%。预计 2020—2050 年，工业和交通领域是天然气需求的强劲增长点，两者将以 0.9% 与 5.6% 的复合增长率增长，但美国天然气总体消费量缓慢增长，年均复合增长率仅为 0.4%，2050 年天然气消费量预计增至约 $8\ 950\times10^8$ m^3[3]。综合美国国内天然气产量、消费量以及加拿大的管道出口，预计从 2024 年起美国具备向北美以外市场出口超过 $2\ 000\times10^8$ m^3 天然气的潜力；2050 年出口潜力达 $2\ 660\times10^8$ m^3，较 2021 年增长 59%，见图 1。

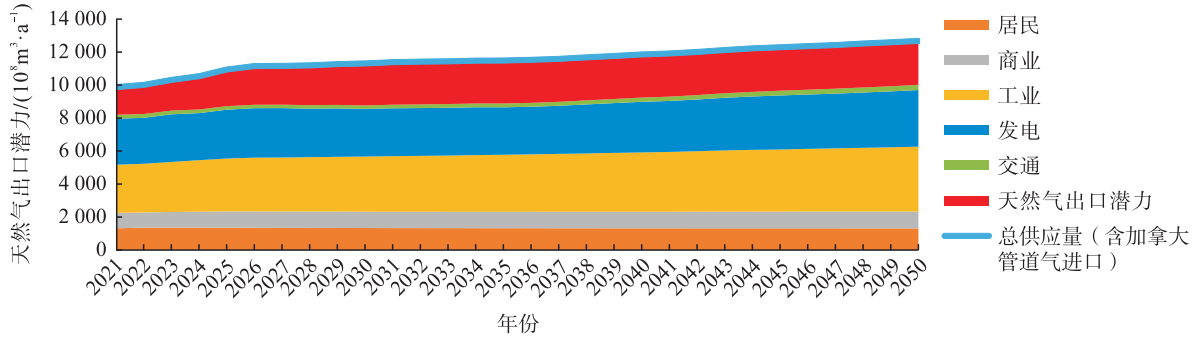

图 1 2021—2050 年美国天然气出口潜力预测图

注：数据来源于 EIA(2021)，下同

Fig. 1 U. S. natural gas export potential outlook, 2021—2050

Source: U. S. Energy Information Administration(2021)

自 2016 年美国本土 48 州首次开始出口 LNG 以来，美国 LNG 出口能力迅速增长，并已成为全球 LNG 贸易的关键角色。2020 年，美国成为全球第三大 LNG 出口国，仅次于澳大利亚和卡塔尔。自 2012 年起，美国 LNG 项目开始陆续开展最终投资决策（Final Investment Decision，FID）。由于其较低的天然气成本价加液化费用和运输成本的计价方式赢得市场青睐，2014—2015 年全球新增 FID 项目几乎集中在美国，2019 年新增 FID 项目近 43% 在美国。截至 2021 年 11 月，美国天然气名义液化能力为 2.69×10^8 m^3/d，峰值能力为 3.28×10^8 m^3/d。据 EIA 估计，2022 年底，随着 Sabine Pass、Freeport 在内的 7 个 LNG 出口设施产能优化，美国 LNG 产能将增至 3.23×10^8 m^3/d，峰值产能增至 3.94×10^8 m^3/d，并有望成为全球最大的 LNG 出口国。美国第 8 个 LNG 出口设施 Golden Pass LNG 将于 2024 年投入运营，届时美国 LNG 出口峰值将进一步提高至约 4.62×10^8 m^3/d。IHS 数据显示[4]，2040 年美国 LNG 出口能力有望进一步达到 5.48×10^8 m^3/d，与 2021 年相比几乎翻番，占全球液化产能的比例也将由 2019 年的 8% 增至 2040 年的 18%，见图 2。

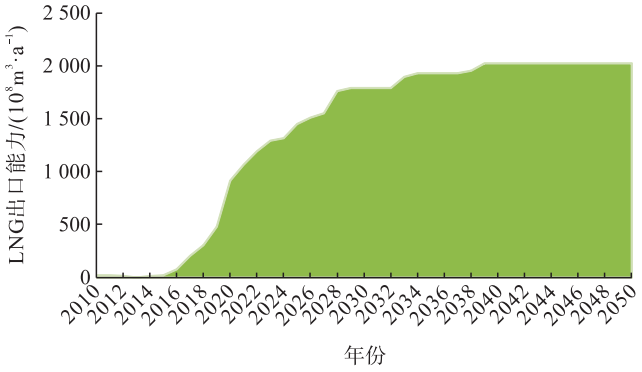

图 2　2010—2050 年美国 LNG 出口能力预测图

Fig. 2　U. S. LNG export capacity outlook, 2021—2050

2　美国 LNG 出口亚太地区的竞争力分析

2.1　美国 LNG 项目模式

廉价、丰富的天然气资源带动了大量公司建设 LNG 出口设施，而美国发达的天然气管网、成熟的期现货市场催生出了独特的 LNG 项目模式。全球在产的 LNG 项目结构大抵有上下游一体化模式、价格转移模式和代加工模式 3 种。上下游一体化模式是油气公司在拥有天然气资源的情况下配套发展 LNG，同一企业在上游和液化环节所占股权比例相同。价格转移模式下，上游天然气拥有者与液化厂投资者签订天然气供应协议，就价格转移达成一致，同一企业在上游和液化环节所占股权比例不同。代加工模式是指原料气拥有者或 LNG 需求方购买液化产能，委托 LNG 厂液化加工，支付加工费。Cheniere 公司与桑普拉公司是美国 LNG 出口产业的先行者，两家公司的 LNG 项目均采用代加工模式，但在上游原料气的获取上略有不同，Cheniere 公司倾向于直接代表液化产能拥有者为液化厂购买原料气，而桑普拉公司仅仅提供天然气液化服务，原料气需要液化厂产能拥有者向上游天然气生产商购买。

代加工模式也决定了美国 LNG 出口的合同特点：买家对液化费用照付不议[5]；美国国内天然气气源的采购、运输可能需要 LNG 买家负责；多为船上交货（Free on Board，FOB）合同，海上船运需由买家安排；价格多与享利港（Henry Hub）价格挂钩[6]，定价公式为 $P(\mathrm{LNG}) = 1.15 \times HHP + B$。其中 HHP 为当期 Henry Hub 价格，B 为固定价格加成，用于覆盖液化费用，由 LNG 卖家与买家协商决定，一般没有针对 B 的价格回顾条款[7]。

2.2　美国天然气气源成本

从成本角度看，美国具有大量的低成本天然气资源。以德勤咨询公司和英国天然气集团提供的美国天然气供应—价格曲线为基础进行估计，美国拥有近 20×10^{12} m^3 低于 4 美元 /百万英热（1 英热 = 1.06 kJ）开采成本的天然气资源[8]。丰富、廉价的天然气资源是过去 10 年美国天然气价格维持低位的主要原因。

过去 20 年，美国天然气价格先涨后跌，见图 3。2000—2008 年，美国天然气消费量快速增长，但国内产量几乎没有增长，Henry Hub 价格快速攀升，年均价一度突破 10 美元 /百万英热。2008 年后，美国页岩气大规模生产带动国内天然气产量快速增加，Henry Hub 价格快速回落，价格长期低于 4 美元 /百万英热。据 EIA 2021 年能源展望预测，在参考情景和高供应情境下未来 30 年 Henry Hub 价格低于 4 美元 /百万英热，在低供应情景下未来 30 年 Henry Hub 价格将逐渐上涨并突破 6 美元 /百万英热。

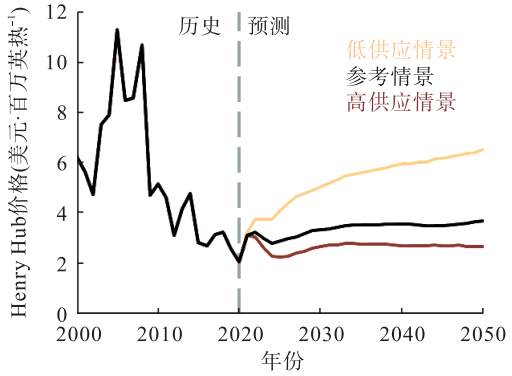

图 3　美国 Henry Hub 价格走势图

Fig. 3　Movement of Henry Hub natural gas spot prices

2.3　美国天然气液化与运输费用

在与 Henry Hub 价格挂钩的价格公式中，常数 B 一般为 2.5 ~ 3.5 美元 /百万英热。以 Cheniere 公司为例，在其 Sabine Pass LNG 出口项目的首单 LNG 合同中，常数 B 被设定为 2.25 美元 /百万英热，但后来不断上涨，其他大部分合同常数 B 为 3 美元 /百万英热；而在其 Corpus Christi LNG 出口项目的合同中，常数 B 被设定在 3.5 美元 /百万英热左右[7,9]。2021 年，在 Shell、Cheniere 等公司与 New Fortress Energy 公司签订的 LNG 购销合同中，常数 B 均为 2.5 美元 /百万英热。

由于运输距离较远，墨西哥湾沿岸到亚太地区的 LNG 运费较高。梁坤等人[10]估计，LNG 从墨西哥沿岸到欧洲、亚太的运费分别为 1.5 ~ 2.0 美元 /百万英热、3.5 ~ 4.5 美元 /百万英热。安娜索菲·柯尔博等人[7]对美国到亚太地区运费的估算为 2.0 ~ 2.5 美元 /百万英热。

自 2013 年以来，船舶交付速度远大于液化能力增速，导致 LNG 运力过剩，租船费率稳步下降。但进入 2018 年后，LNG 运输船租船费率稳步上涨，且季节性波动显著增强。

2.4　美国 LNG 长协价格竞争力

20 世纪 70 年代至 21 世纪初，LNG 长协多与油价挂钩，2010 年以后形成了多种挂钩规则并存的局面，美国

LNG 大规模出口带动了与 Henry Hub 价格挂钩模式的兴起[11]，为亚洲买家提供了与油价挂钩之外新的选择。在与油价挂钩的 LNG 长协合同依然占据主导地位的背景下[6]，与 Henry Hub 挂钩是否成本更低值得进一步分析。

斜率和常数是决定与油价挂钩 LNG 长协价格的关键指标。如图 4 所示，2015 年以前，与油价挂钩的长协斜率长期在 14% 附近；但 2015 年以后，与油价挂钩的长协斜率出现了较大幅度下降，为 10% ~12.5% 。常数 *B* 往往被设定在 0.5 美元 /百万英热上下。

基于以上分析，对比不同油价、气价水平下，两种不同定价方式的价格竞争性。参数的基本设定为：与布伦特（Brent）挂钩存在 11% 和 13% 不同的斜率；与 Brent 挂钩的定价公式中，常数 *B* 设定为 0.5 美元 /百万英热；Henry Hub 价格分为 2.5 美元 /百万英热、4 美元 /百万英热、6 美元 /百万英热三种情景；与 Henry Hub 挂钩的价格公式中，常数 *B* 被设定为 2.5 ~ 3.5 美元 /百万英热，由于近年来 LNG 运费不断攀升，美国到亚太地区的运费被设定为 3.5 ~4 美元 /百万英热。

图 5 为不同油价、气价水平下，不同定价方式的价格竞争性。从图 5 可以看出，在 Brent 价格低于60 美元 /桶的情况下，即使 Henry Hub 价格低至 2.5 美元 /百万英热，美国 LNG 价格在亚太市场依然竞争力不足；当 Henry Hub 价格在 4 美元 /百万英热时，Brent 价格需高于 80 美元 /桶，美国 LNG 出口才具有价格竞争力；当 Henry Hub 价格在 6 美元 /百万英热时，Brent 价格需高于 100 美元 /桶，美国 LNG 出口才具有价格优势。

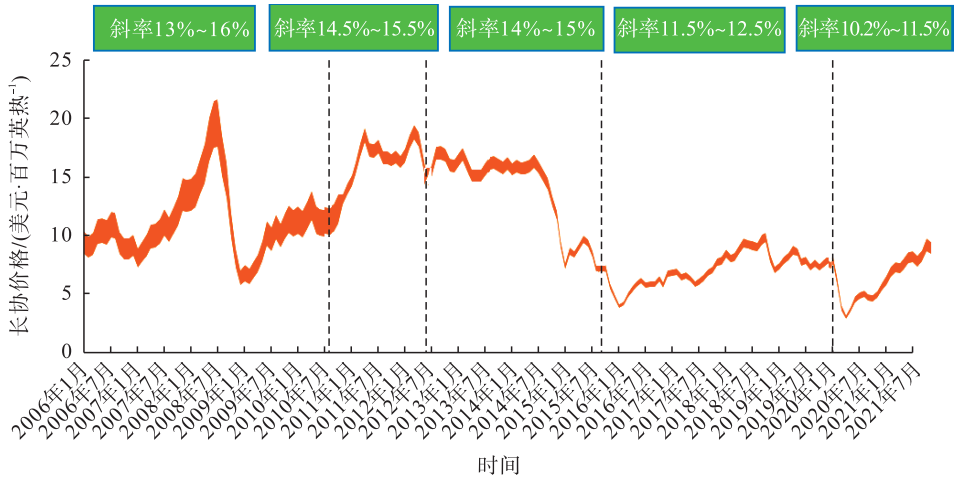

图 4　与油价挂钩的 LNG 长期协议斜率变化图

Fig. 4　Slope of oil-linked LNG long term contracts

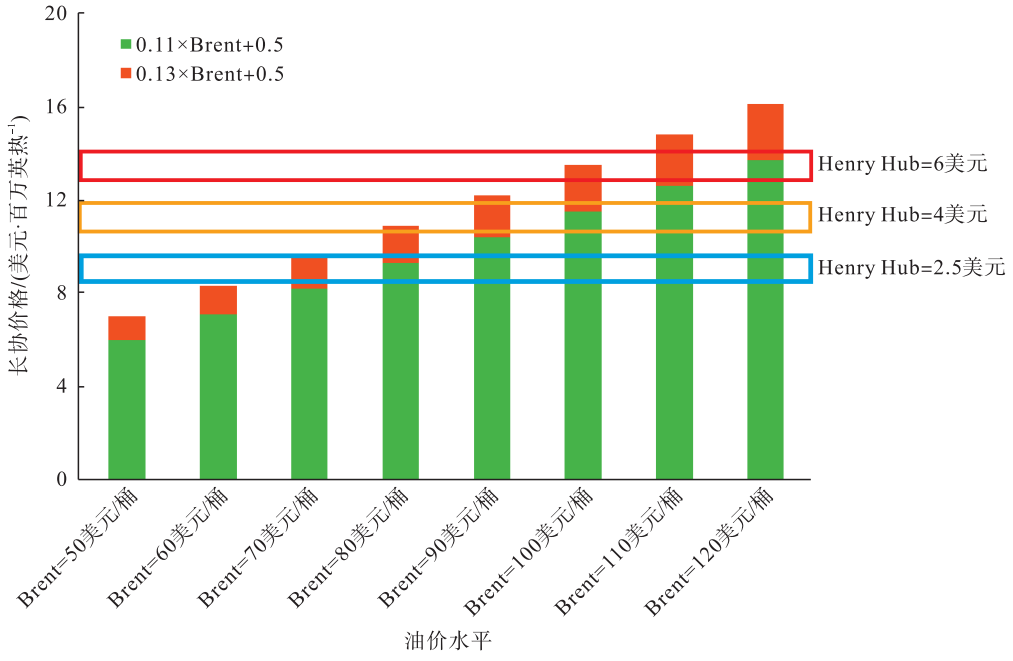

图 5　不同油价、气价水平下，不同定价方式的价格竞争性柱状图

Fig. 5　Pricing competition under different pricing methods，oil price and gas price

3　美国 LNG 出口溢出效应

3.1　LNG 贸易

美国 LNG 出口推动了 LNG 定价模式的多元化。美国天然气出口需经能源部和能源监管委员会(FERC)的双重批准[12]。Cheniere 公司于 2011 年成功拿到了由美国能源部颁布的出口许可,并于 2012 年 4 月得到 FERC 的正式批准,其 Sabine Pass 项目成为美国 40 多年来的首个天然气出口项目[13]。在 Sabine Pass 项目得到美国能源部出口许可的同一年,Cheniere 公司即与 Shell、GAIL 等公司签订了与 Henry Hub 价格挂钩的长期协议,彻底拉开了 LNG 长协与 Henry Hub 价格挂钩的序幕。2013 年新签长协中与 Henry Hub 价格挂钩的合同量达到 $1\ 800\times10^4$ t/a。虽然 2014 年末油价暴跌导致与 Henry Hub 价格挂钩的新签长协量有所下降,但无疑为 LNG 买家特别是亚太买家在协商 LNG 定价时提供了更多选择[14]。

美国 LNG 出口带动了与油价挂钩长协斜率的下降,也为与油价挂钩的长协斜率设置了天花板。根据 Wood Mackenzie 数据,2012 年以来全球新签与油价挂钩长协斜率震荡下行。一方面美国 LNG 推动了全球 LNG 出口资源的多元化,一定程度上促进长协斜率下降。根据对 LNG 液化项目的梳理,2010—2011 年通过最终投资决策的 LNG 出口项目主要集中在澳大利亚,而 2012、2013 年 Sabine Pass 项目 4 条生产线通过最终投资决策为 LNG 买家签订长协资源提供了新的选择。另一方面,美国 Henry Hub 价格长期处于 4 美元/百万英热以下,叠加基本固定的液化与运输成本,美国运输到亚太地区的 LNG 价格在 9~12 美元/百万英热。这为 LNG 买家在长协议价中提供了稳定的心理预期,LNG 买家在 Brent 价格高于 90 美元/桶时无法接受高于 13% 的长协斜率。随着美国 LNG 长协数量的不断增加,与油价挂钩的长协斜率进一步下降。展望未来,美国将成为全球最大且贡献增量最多的 LNG 出口国,9~12 美元/百万英热的心理预期或将更加牢固,油价斜率也有望在较长时间内低于 13%。

美国 LNG 出口在一定程度上推动全球现货、短期 LNG 协议比例的增加。据国际 LNG 进口商集团(GIIGNL)报告,2016 年全球 LNG 现货、短期协议交易所占比例不足 30%($7\ 500\times10^4$ t),2020 年达到 40%(1.4×10^8 t)。其中美国以现货、短期协议形式出口的 LNG 量由 2016 年的不足 200×10^4 t 增长至 2020 年的 $3\ 000\times10^4$ t,贡献 LNG 现货、短期协议增量的 43%。

欧、亚、美三大天然气市场联动性显著增强,助推全球天然气市场一体化进程。美国一半以上的 LNG 资源以现货或短期协议的形式出口,且大部分 LNG 长协无目的地限制条款,极大地增强了全球 LNG 贸易的灵活性,跨区套利愈加频繁,有助于全球天然气市场的一体化。从表 1 可以看出,自 2016 年美国 LNG 大规模出口以来,普氏日韩标杆指数(JKM)、荷兰产权转让设施指数(TTF)与 Henry Hub 价格相关性显著增强。

表 1　欧、亚、美三大天然气市场价格相关性表

Tab. 1　Natural gas price correlation dynamics among Europe, Asia and the U. S.

价格指标	市场价格相关性	
	2007—2015 年	2016—2021 年
JKM 与 TTF	0.79	0.90
JKM 与 Henry Hub	0.13	0.77
TTF 与 Henry Hub	0.21	0.73

3.2　地缘政治

长期以来,美国在欧洲的能源外交一直受到限制。随着美国逐步摆脱油气进口依赖,特朗普政府期间“能源主导”已逐步取代了自尼克松政府以来的“能源独立”概念,美国开始寻求在世界贸易中释放其能源资源。2017 年《美国国家安全战略》公开接受了“能源主导”的理念,并确定了利用美国能源资源来确保其盟友国家能源供应弹性的目标。在欧洲,对俄罗斯天然气的依赖被视为其经济和战略发展脆弱性的体现。2018 年 7 月的欧盟—美国能源战略合作联合声明中,欧盟承诺从美国进口更多的 LNG 以实现能源供应多样化[15]。

在有利的经济和政治环境支持下,美国 LNG 出口将削弱俄罗斯在欧洲能源市场的影响力,强化欧美联盟。立陶宛在克莱佩达建设第一个 LNG 终端,接受来自俄罗斯以外,尤其是美国气源的可能性大大提高。2020 年,波兰宣布将不再与 Gazprom 公司续约其 2022 年到期的天然气供应合同,并计划以挪威天然气和美国 LNG 填补供应缺口。而进口更多美国 LNG 的可能性,一定程度上提高了欧洲采购商与俄罗斯谈判的议价能力。虽然美国 LNG 供应商仍处于全球供应曲线的高位[16],但出于战略目标考虑,美国及欧盟政策制定者存在利用 LNG 贸易挤占俄罗斯份额的可能性。

整体来看,美国 LNG 出口增加将加强欧洲天然气供应安全,并通过基于市场的供需动态影响欧洲与俄罗斯的能源关系[17]。更进一步讲,随着美国 LNG 出口增加,LNG 市场将变得更加流动、透明和高效,天然气的商品属性增强而管道地缘政治的概念或将逐渐被弱化。

3.3　气候效益

美国 LNG 出口可有效缓解全球减排压力。在交通领域,与汽油车相比,天然气汽车排放的二氧化碳、氮氧

化物量明显减少。在发电领域,天然气燃烧产生的二氧化碳、氮氧化物分别较煤电减少 44% 和 50% ;热电联产发电时,天然气能源利用率高达 80% ,大大超过普通发电机组约 30% 的发电效率[18]。Gilbert A Q 等人[19]研究表明,即使是在出现额外能源需求增长的情景下,若美国出口的 LNG 可用于替代进口国煤炭发电,美国向亚洲等地区出口 LNG 也能产生长期的气候效益。

甲烷泄漏方面,美国水力压裂制天然气所造成的甲烷排放已引起强烈关注。石油和天然气行业是美国最大的工业甲烷排放源,约占美国甲烷排放总量的三成。Howarth R W[20]研究表明,美国大规模的页岩气开采可能是促使近几年全球甲烷排放飙升的主要原因。Gilbert A Q 等人[19]基于全生命周期的研究得到,若美国 LNG 的出口量用于替代日本消耗的煤碳量,在高甲烷泄漏的情景下,美国 LNG 出口带来的二氧化碳减排量较低,减排量较低甲烷排放情景减少 40% (甲烷按照 100 年全球增温潜势折算为二氧化碳)。

总体而言,美国 LNG 出口将减少二氧化碳排放,但其出口增长所带来的甲烷泄漏问题将破坏潜在的气候效益。在英国格拉斯哥举行的《联合国气候变化框架公约》第 26 次缔约方大会(UNFCCC COP26)上,美国加入“全球甲烷承诺”,表示到 2030 年前将削减甲烷的排放至 2020 年的 70% 。在 FERC 全面严格审查 LNG 出口全生命周期排放的背景下,美国油气生产商不得不进行投资以改进开采工艺与降低甲烷泄漏,美国 LNG 出口所带来的全球净气候效益将进一步显现。

3.4 美国影响力

LNG 出口将成为美国向全球输出其影响力的手段之一。一方面,与石油美元类似,天然气美元有利于巩固美元作为世界货币的地位。大宗商品的主要供给方对结算货币具有较大的选择权[21],美国成为全球第一大 LNG 出口国后,有利于维护美元在大宗商品贸易结算中的地位。另一方面,强化美国对全球天然气价格走势的控制力。从历史数据看,随着美国 LNG 出口的不断增加,美国天然气市场的波动传导至欧亚市场的机率不断增加。同时,近年来金融机构也开始参与天然气期货市场,WANG Tiantian 等人[22]的研究指出,美国天然气市场的金融属性不断增强,股市波动和投机行为对 Henry Hub 价格的影响越来越大,金融机构和个人投资者在美国天然气市场中扮演着越来越重要的角色。与 Henry Hub 价格挂钩的 LNG 贸易不断增加,未来美国通过金融市场影响全球天然气市场也有可能实现。

4 结论与建议

美国将逐渐成为全球最大的 LNG 出口国,是未来全球 LNG 增长的重要驱动力,也可能成为中国 LNG 进口的重要来源地。经过对美国天然气市场的系统分析,对中国进口美国 LNG 提出了建议。

美国 LNG 出口多与 Henry Hub 价格挂钩,几乎完全基于美国的市场基本规则,而非基于中国的市场规则。美国 LNG 价格变动与中国下游市场关联较弱,向下游市场传导存在一定障碍,中国进口美国 LNG 的价格风险难以避免。同时,由于目前油价挂钩的长协斜率处于历史低位,美国 LNG 并无绝对的价格优势。在企业层面,建议中国 LNG 进口商在新签 LNG 长协时,可以适当增加与 Henry Hub 价格挂钩的长期协议,多元化长协资源的定价方式,但也应充分认识该定价方式的风险,切勿过多签订与 Henry Hub 价格挂钩的长期购销协议;在国家层面,建议加快构建中国天然气定价中心,形成有影响力的区域基准价。

在代加工模式下,美国往往只提供天然气液化加工服务,收取相应的加工服务费;其他环节由 LNG 进口国企业安排完成。其他环节一旦出现相应的问题,美国 LNG 出口项目方将继续收取液化服务费用。代加工模式对进口企业在“美国资源采购—管输—液化—海上船运—中国接收”链条上的统筹安排能力提出了更高的要求。在气源获取上,建议中国企业加强对美国天然气市场的跟踪研究,利用其成熟的期货市场锁定价格规避风险;在海上船运方面,建议通过自建 LNG 运输船的方式,增强海上运输的灵活性、降低船运价格波动对成本的负面影响。

美国 LNG 出口面临着出口政策变动以及中美关系等多种因素的影响,而 LNG 长协的执行时间往往长于 10 年。建议在与美国 LNG 出口商签订 LNG 长协时,对合同的不可抗力条款进行设计,明确不可抗力的范围,减轻政策或国际局势变动造成的影响。

参考文献:

[1] BP. Statistical review of world energy [R]. London: BP, 2021.

[2] Wood Mackenzie. Global gas: Global supply [R]. Edinburgh: Wood Mackenzie, 2021.

[3] U. S. Energy Information Administration. Annual energy outlook 2021 [R]. Washington, D. C.: U. S. Energy Information Administration, 2021.

[4] IHS Markit. North American natural gas long-term outlook [R]. London: IHS Markit, 2021.

[5] 张春宝,边立婷. 美国 LNG 出口态势及竞争力分析[J]. 化学工业,2018,36(1):31-37.
ZHANG Chunbao, BIAN Liting. The analysis of the competitiveness of US LNG exports [J]. Chemical Industry,

2018, 36 (1): 31-37.

[6] 单卫国,姜学峰,陈　蕊,等. 从液化天然气贸易逆增看全球市场和经营策略[J]. 世界石油工业,2020,27(5):61-67.
SHAN Weiguo, JIANG Xuefeng, CHEN Rui, et al. Sharp rising LNG trade implications to global market trends and operation strategies [J]. World Petroleum Industry, 2020, 27 (5): 61-67.

[7] 安娜索菲·柯尔博,大卫·莱德斯马. 能源大重组:转型中的全球 LNG 市场[M]. 杨汉峰,译. 北京:石油工业出版社,2020:477-509.
CORBEAU A S, LEDESMA D. LNG markets in transition: The great reconfiguration [M]. YANG Hanfeng, trans. Beijing: Petroleum Industry Press, 2020: 477-509.

[8] 罗伟中,郑洪弢,孟　勐. 美国出口 LNG 及对世界 LNG 市场的影响分析[J]. 天然气工业,2012,32(6):93-98.
LUO Weizhong, ZHENG Hongtao, MENG Meng. LNG exports from the United States and their impact on the global LNG market [J]. Natural Gas Industry, 2012, 32 (6): 93-98.

[9] 高　华. 美国 LNG 出口项目现状及前景[J]. 国际石油经济,2015,23(10):62-67.
GAO Hua. The current status and outlook for US LNG export [J]. International Petroleum Economics, 2015, 23 (10): 62-67.

[10] 梁　坤,张国生,孟　昊,等. 美国 LNG 出口潜力及对世界天然气市场影响[J]. 天然气技术与经济,2018,12(4):1-3.
LIANG Kun, ZHANG Guosheng, MENG Hao, et al. LNG export potential of U. S. and its effects on world's natural gas market [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2018, 12 (4): 1-3.

[11] 陈　蕊,祁鹏飞,张晓宇,等. 全球 LNG 贸易定价演变规律与新趋势及相关启示[J]. 天然气工业,2021,41(5):144-152.
CHEN Rui, QI Pengfei, ZHANG Xiaoyu, et al. Evolution laws and new trends of global LNG pricing and their implications [J]. Natural Gas Industry, 2021, 41 (5): 144-152.

[12] 白　桦,段兆芳,单卫国,等. 美国 LNG 出口前景分析[J]. 天然气技术与经济,2014,8(6):55-57.
BAI Hua, DUAN Zhaofang, SHAN Weiguo, et al. Prospect of LNG export in USA [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2014, 8 (6): 55-57.

[13] 于　欢. 美国要向全世界输出天然气[N]. 中国能源报,2012-04-23(008).
YU Huan. The United States export natural gas to the world [N]. China Energy News, 2012-04-23 (008).

[14] 王新哲,段兆芳. 美国首度出口 LNG 助推全球天然气市场一体化进程[J]. 国际石油经济,2017,25(1):11-12.
WANG Xinzhe, DUAN Zhaofang. The United States exporting LNG contributes to the global natural gas market integration [J]. International Petroleum Economics, 2017, 25 (1): 11-12.

[15] Delegation of the European Union to the United States. Joint U. S. —EU statement following president Juncker's visit to the White House [EB/OL]. (2018-25-07) [2021-12-02]. https://eeas. europa. eu/delegations/united-states-america_ru/48861/Joint% 20 U. S. -EU% 20 Statement% 20 following% 20 President% 20 Juncker's% 20 visit% 20 to% 20 the% 20 White% 20 House.

[16] HENDERSON J. Pipeline gas versus LNG—Increasing competition in Europe and Asia [R]. Vancouver: Natural Gas World, 2019.

[17] BOERSMA T, MITROVA T. The impact of US LNG on Russian natural gas export policy [R]. New York: Columbia Center on Global Energy Policy, 2018.

[18] 殷建平,王泽鹏. 我国发展天然气发电产业的战略选择——天然气热电联产与气电调峰比较研究[J]. 价格理论与实践,2019(11):11-14.
YIN Jianping, WANG Zepeng. China's strategic choice for developing natural gas power generation industry—Comparative study on natural gas cogeneration and gas electricity peak shaving [J]. Price: Theory and Practice, 2019 (11): 11-14.

[19] GILBERT A Q, SOVACOOL B K. US liquefied natural gas (LNG) exports: boom or bust for the global climate? [J]. Energy, 2017, 141 (PT. 2): 1671-1680.

[20] HOWARTH R W. Ideas and perspectives: Is shale gas a major driver of recent increase in global atmospheric methane? [J]. Biogeosciences, 2019, 16 (15): 3033-3046.

[21] 陈卫东,边卫红,郝　毅,等. 石油美元环流演变、新能源金融发展与人民币国际化研究[J]. 国际金融研究,2020(12):3-12.
CHEN Weidong, BIAN Weihong, HAO Yi, et al. Research on the evolution of petrodollar circulation, new energy finance development and RMB internationalization [J]. Studies of International Finance, 2020 (12): 3-12.

[22] WANG Tiantian, ZHANG Dayong, BROADSTOCK D C. Financialization, fundamentals, and the time-varying determinants of US natural gas prices [J]. Energy Economics, 2019, 80: 707-719.