

迈向“双碳”研究系列报告

《美国对中国能源安全的潜在影响及中国应对举措》

(S 系列-2022S01)

中国石油大学（北京）中国油气产业发展研究中心

中国石油大学（北京）碳中和与能源创新发展研究院

中国地质大学（北京）自然资源战略发展研究院

华北电力大学新能源电力与低碳发展研究北京市重点实验室

2022年9月30日



中国油气产业发展研究中心

Research Center for China's Oil and Gas Industry Development

中国石油大学（北京）中国油气产业发展研究中心成立于 2010 年，并挂靠在经济管理学院。中心定位为“国际知名、国内一流的油气产业发展研究基地”，围绕五大研究方向和五大应用领域，重点承担和开展一批基础理论与实践应用研究课题。自成立以来，中心学术影响力和社会影响力在不断提升，已经累计承担课题 100 多项，其中国家社科基金重大项目 1 项、教育部人文社科基金重大项目 1 项、国家自然科学基金/社会科学基金项目 9 项、国际合作基金 2 项、国家部委项目 31 项、企业项目 75 项；出版了学术专著 19 部、教材 4 部。近 5 年，中心发表学术论文 100 多篇，多数被 SCI/SSCI/CSSCI/CSCD 收录；获得国家能源局、商务部、中国石油和化学工业联合会等省部级科技奖励 16 项。目前中心有研究人员 12 名，其中教授 5 名，博士生导师 5 人。



中国石油大学(北京)碳中和与能源创新发展研究院(简称“中石大碳能院”)是在国家碳达峰和碳中和目标(简称“双碳”目标)下,中国石油大学(北京)主动服务国家需求,积极响应国家建设高校特色智库的要求,结合学校自身优势,于2021年9月成立的智库性质的研究机构,也是支持中国石油大学(北京)“一带一路”能源合作伙伴关系合作网络高校(青年)工作组组长单位业务开展的主要研究机构。中石大碳能院为应对气候变化和“双碳”目标下的国际、国家、行业、企业在能源与油气领域的发展提供第三方分析、评价与政策建议。通过每年向社会公众发布指数类、研究类、专题类系列报告,并向国家决策部门和行业决策者提供政策建议,定期举办相关特色论坛等,逐步打造“立足中国、面向世界”、“聚焦油气、辐射能源”的特色鲜明的能源类高校“双碳”政策类研究智库。



自然资源战略发展研究院

INSTITUTE OF NATURAL RESOURCES STRATEGIC DEVELOPMENT

中国地质大学（北京）自然资源战略发展研究院（以下简称“战略院”）成立于2020年5月30日，是学校首个“中国特色新型高校智库”。战略院定位为自然资源领域的专业性、行业性智库，立足中国国情，突出中国特色，围绕自然资源领域重大问题和战略需求，开展科学研究与决策支撑。两年来，战略院已成立3个研究中心，开展生态修复、自然资源法治、碳中和等领域的专题研究与决策服务；已提交7份政策专报，2份获得党和国家领导人肯定性批示，5份获得教育部、自然资源部司局采纳和应用；出版内参刊物《自然资源战略》两期，共刊发4篇政策专报，报送自然资源部办公厅等部门；研究人员共在国内外重要期刊上发表文章50余篇，编写专著3部，编写标准2个；主办4届“战略家论坛”、3届“青年论坛”和2届“中国矿业法治高峰论坛”；已与地方政府签署战略合作协议4份。



新能源电力与低碳发展研究北京市重点实验室

Beijing Key Laboratory of New Energy and Low-Carbon Development

华北电力大学新能源电力与低碳发展北京重点实验室于 2016 年由北京市科学技术委员会正式认定，是北京市新设立的“新型智库领域”首批五家入选单位之一。实验室秉持为国家及北京市制定新能源电力与低碳发展战略、发展规划、发展政策和发展法规提供理论研究成果和专家智力支持，致力于打造高水平研究基地、多元化人才培养基地和国际化学术交流基地。实验室围绕新能源电力与低碳发展路径、低碳发展的新能源电力建设与运营虚拟仿真、新能源电力与低碳发展政策评估及策略等研究方向，开展能源政策建议、绿色能源供应链、能源电力市场、园区零碳（低碳）综合能源系统等方面研究。实验室累计承担课题 200 余项，包括国家社科重大、教育部重大、国家社科重点以及国家自科等；出版学术专著、教材近 20 部。近 5 年，实验室发表学术论文 200 多篇，多数被 SCI/SSCI/CSSCI/CSCD 收录；获得国家能源局及各省（市）科技奖励 10 余项。目前，实验室现有成员 58 人，包括国际欧亚科学院院士、教育部长江学者 1 人，北京市科科技新星 1 人，博士生导师 36 人。

美国对中国能源安全的潜在影响及中国应对举措

核心摘要

近期国际重大事件频发，佩洛西访台更是将中美关系降至冰点，这无疑会对中国的能源安全保障提出挑战。为实现能源系统的安全转型，从短期来看，油气作为转型桥梁，仍需保障其稳定供应；从长期来看，新能源的高质量发展，离不开关键矿产资源的稳定供应和核心技术的有力支撑。因此，本文从这三个方面分析了美国对中国未来能源安全的潜在影响和应对措施。在油气方面，随着国际油气市场供应态势逐渐宽松，美国难以凭借自身油气优势对中国油气进出口市场产生较大影响。但在非常规情况下，美国可通过干预海上油气通道、影响国际油价以及对油气资源国施压来对中国油气安全产生威胁。在关键金属资源方面，中国对关键金属矿产资源的需求更大，后备储量不足，以致供应链稳定性较弱。虽然中国对美国的关键金属矿产资源依赖性较低，但是稀缺资源具有较高的一致性，美国可能成为中国在国际资源市场的最大竞争对手。在核心技术方面，中国在光伏发电、风电和生物质能方面的技术发展十分迅速，甚至在某些领域实现了自主研发生产，但与美国相比，在储能、核能、氢能和生物质能等方面的技术壁垒仍然存在，亟需突破专利封锁。基于此，中国在未来应加强和资源国之间的战略合作，建立和扩大属于中国的油气、矿业、技术合作圈，努力提高能源和资源供应系统的韧性以保障能源安全，同时大力推进核心技术的自主研发以实现能源自主。

自特朗普政府执政以来，中美关系正在经历着一场广泛而深刻的变化。自冷战结束后形成的经济全球化进程，在 2016 年英国脱欧和特朗普上台后，发生了逆转，经济全球化开始退潮，国家“堡垒化”的趋势进一步凸显。中美关系也在此时空背景下，逐渐开始发生改变。在两国物质利益联系不断剥离的同时，意识形态与地缘战略博弈也在不断加剧^[1]。而 2022 年 8 月 2 日，美国众议长佩洛西窜访台湾事件，则引发了台海形势和中美关系的又一次危机，并在根本上挑战了中美关系的底线，对仍处低谷的中美关系造成新的长远冲击，标志着中美关系进入新的阶段，在这一阶段，相互冲突和潜在对抗或成为主流。能源是中国经济发展的命脉，更是国际关系与贸易的重要议题，中美两国均高度重视能源问题。在中美关系进入新阶段的情况下，研究分析美国对中国未来能源安全的影响尤为重要且十分迫切。

1. 能源转型背景下中国能源安全的阶段化特征及潜在挑战

双碳目标助推中国能源系统转型。能源系统转型的本质是从当前的以煤为主体的高碳能源体系转向以新能源或可再生能源为主体的近零碳能源体系。这一转型过程，至少可以分为三个阶段：化石能源结构调整、可再生能源接替以及可再生能源消费高比例主导^[2]。第一个阶段化石能源仍占主导地位，可再生能源总体规模仍然偏小，在化石能源内部，煤炭消费尽快达峰，油气消费，特别是天然气消费持续增长，进而实现油气升而煤炭降的能源结构转变，尽最大努力减少化石能源自身的碳排放量；在第二阶段，可再生能源快速追赶化石能源，在此背景下，可再生能源的规模和消费占比已经达到了较大比例，但

仍未超越化石能源，而在化石能源内部，油气消费相继开始达峰；在第三阶段，可再生能源消费逐渐超过化石能源，逐渐成为能源消费的绝对主体，化石能源中油气的消费量开始下降。从能源转型的上述阶段性演化来看，在不同的阶段，由于能源系统所依靠的主体能源不同，外加不同主体能源的特点和面临的问题也不相同，致使其对能源安全的影响也不一致。具体如下：

1.1 中短期内中国能源安全的主要特征为油气能源安全

从中短期来看，中国的能源消费仍以化石能源为主体，且呈现出煤炭消费最早达峰后下降，油气消费持续增长以替代煤炭等基本特征。考虑到中国富煤、贫油、少气的资源禀赋以及不断攀升的油气对外依存度，中短期内中国能源安全的核心是确保油气的稳定充足供应。早在 2011 年，中国就已超过美国成为全球最大的石油进口国和消费国^[3]，2021 年，中国的石油进口量为 5.13 亿吨，进口依存度高达 72.7%。在快速的城市化和工业化进程下，据预测，中国的石油进口依存度在 2030 年将达到甚至超过 80%^[4]。天然气也存在类似的情况，2021 年，中国天然气进口依存度达到 46.1%^[5]。天然气被认为是从化石能源向可再生能源转型的桥梁能源。为确保“双碳”目标的实现，中国预计在 2030 年将天然气在一次能源中的比重提升至 15%以上，这势必会进一步助推天然气进口的增加。由于中国大量的油气依赖外部进口，这意味着全球油气的充足稳定生产和供应将对中国油气安全产生重要影响。有研究表明，一方面，自然环境的加速恶化致使环境风险显著增大，全球超过 40%的商业可采油气储量极易受气候变化影响^[6]；另

一方面，由于中国海上油气的进口通道主要由美国和其盟国控制^[7]，国际形势的纷繁复杂致使市场风险难于预估。随着极端天气事件频发、逆全球化之风盛行，油气产业链和供应链不稳定、不确定性因素不断增多。因此，中国能否以公平的价格、安全的渠道进口到满足国家所需的油气能源成为确保中国中短期能源安全的主要挑战。

1.2 长期内中国能源安全的主要特征为可再生能源安全

双碳目标下，中国的能源系统长期内将转向以新能源或可再生能源为主体，因此，新能源的安全状况将是影响长期中国能源安全的关键。进一步，新能源规模发展和稳定出力严重依赖于两个方面：一是新能源发展的基础设施需要大量的关键金属矿产资源投入；二是新能源的规模稳定发展离不开新能源技术的突破和储备。这两个方面也成为影响新能源安全的关键。

首先，关键金属矿产资源是新能源产业规模化发展的重要物质基础，确保其稳定供应成为影响中国新能源安全的挑战之一。相比于传统化石能源，太阳能光伏工厂，风力发电场和电动汽车等新能源技术对各类金属矿物的需求更多^[8]。2010年以来，随着可再生能源投资份额的增加，单位电力增量所需的平均矿物量增加了50%^[9]。规模化发展背后是基础设施规模的扩张，这增加了中国关键金属矿产的保供难度。一方面，关键金属矿产资源的地理分布不均匀。相比于油气，关键金属矿物资源高度集中在少数国家。除稀土元素外，新能源产业发展所需的镍、钴、铜等矿物在中国储量并不丰富。例如，全球的钴储量约有50%集中在刚果（金），中国的钴储量仅占全球的1%。另一

方面，中国关键金属矿产资源的供应链韧性较弱。中国镍矿、钴矿等短缺资源的对外依存度较高，同时进口来源结构相对单一，易受到地缘政治冲突、贸易环境变化等因素的叠加影响。特别是随着国内矿产产量达到峰值，关键金属矿产资源将面临潜在的供应链中断风险。

其次，技术是驱动新能源发展的核心推动力，与新能源相关的技术提升成为影响中国新能源安全的另一挑战。新能源具有储量丰富、分布广泛的特点，这使得新能源安全问题将极大的突破地理限制，更多的取决于新能源利用的技术水平和能力。就中国而言，一方面，中国在新能源核心技术方面仍存在不足。虽然近年来中国新能源装备国产化水平明显提高，甚至在某些技术领域处于国际领先水平，但由于起步较晚，在部分核心零部件制造和关键技术方面仍相对落后于欧美等发达国家；另一方面，新能源领域存在技术性贸易壁垒。以美国为代表的发达国家为维护其在国际新能源市场的话语权，逐步形成了涵盖生产、储存、转化等方面的新能源技术性贸易壁垒。倘若中美两国长期处于战略相持状态，随着一些新兴和基础技术被列入出口管制范围，将对中国的新能源安全发展构成直接威胁。

2 美国对中国未来油气足量稳定进口的潜在影响分析

中国是目前世界上最大的油气进口国，油气对外依存度仍将持续上升。“页岩气革命”的成功使得美国在世界油气市场上的位置发生转变，成为世界上最大的油气生产国。这意味着在中美博弈的过程中，美国可凭借其自身的能源优势和对国际能源话语权的掌控，影响国际油气贸易环境，进而对中国的油气供应安全造成威胁。因此，本部分

从油气进口资源、进口通道以及贸易环境三个方面分析美国对中国未来油气安全的潜在影响。

2.1 在全球油气市场呈现供应宽松的态势下，中国对美国油气进口的依赖度不足以对中国油气供应安全造成太大威胁

碳中和背景下中长期时间内全球油气供应市场整体呈现宽松态势。在碳中和背景下，资源国将加速开发地下油气资源以实现地下资源的经济价值变现，同时各国将加速能源转型进程，油气需求在达到峰值后将逐渐下降。参考 BP 能源展望 2022，碳中和背景下世界油气供需预测结果如图 1 所示^[10]。其中，油气供给为新动力情景下的预测量，该情景考虑了碳中和目标以及实现的可能性，展示了世界油气资源的供应能力；油气需求为净零情景下的预测量，该情景考虑了社会行为和偏好助力净零排放量，展示了在全球应对气候变化背景下的现实需求。根据图 1 可知，世界石油供需均将于 2025 年达峰后开始下降，而需求量下降速率远高于供应量，由此导致其供需差不断加大；世界天然气供应量在 2050 年之前持续上升，而其消费量将于 2025 年达峰后下降，其供需差在 2025 年之后开始不断加大。由此可见，碳中和背景下，在未来中长期时间内全球油气供应均大于油气需求。且随着全球气候应对举措的加速推进，油气市场需求将会大幅减少，供应市场则整体呈现宽松态势。

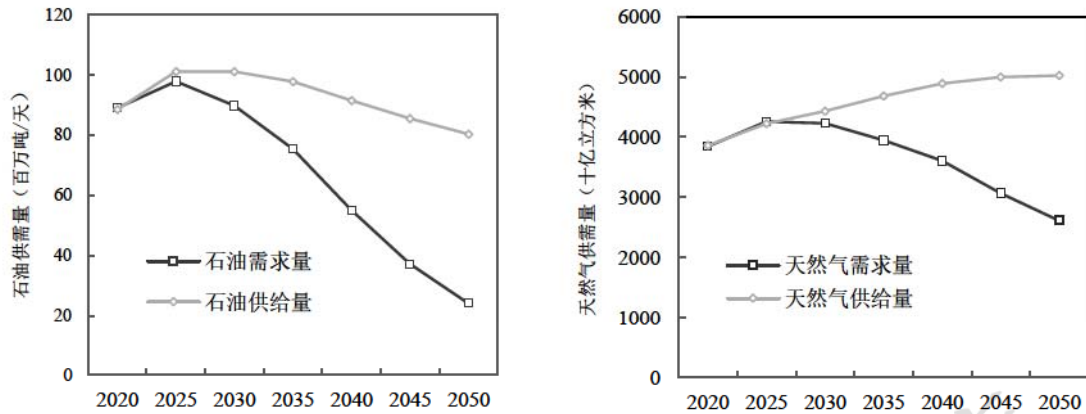


图 1 碳中和背景下世界油气供需情况

中国油气进口来源广泛，对美国本土资源进口的依赖度不足以对中国油气供应安全造成太大威胁。如图 2 所示，中国油气资源的国内供应缺口在不断加大，油气供应链存在一定的断裂风险。随着国内油气产消差的逐渐加大，中国油气资源供应对进口的依赖程度不断加深，美国也是中国油气进口的重要来源。如表 1 所示，2021 年，中国进口成品油 103.4 百万吨，其中有 14% 来自美国（约 14.5 百万吨），但同时中国每年向周边国家出口 60.6 百万吨的成品油，因此，成品油方面并不会对美国产生严重依赖，且中国自身的炼油能力是充足的。在液化天然气方面，中国 2021 年的进口为 1095 亿立方米，其中有 11% 来自美国，对美国天然气有一定依赖。但从整体来看（表 1），中国的油气进口源涵盖多个国家，已经形成了多元化的油气资源进口格局，在全球油气资源供应宽松的情况下，美国难以对中国油气供应安全造成太大威胁。

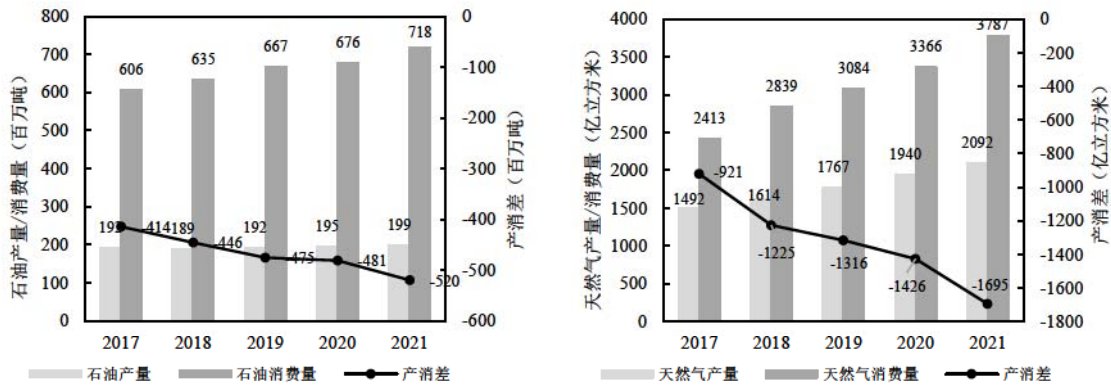


图 2 中国油气产量和消费量 [11]

表 1 2021 年中国油气产品进出口分布 [11]

产品	进口量	主要进口国及占比	出口量	主要出口国及占比
原油 (百万吨)	526	沙特阿拉伯, 17%; 俄罗斯, 15%; 西非, 11%; 南美和中美, 11%	1.6	其他亚太地区, 91%; 印度, 5%; 新加坡, 4%
成品油 (百万吨)	103.4	其他亚太地区, 45%; 美国, 14%; 新加坡, 7%	60.6	其他亚太地区, 54%; 新加坡, 17%; 南美和中美, 9%
液化天然气 (亿立方米)	1095	澳大利亚, 40%; 卡塔尔, 11%; 马来西亚, 11%; 美国, 11%; 印度尼西亚, 6%	--	--
管道气 (亿立方米)	532	土库曼斯坦, 59%; 俄罗斯, 14%; 哈萨克斯坦, 11%; 乌兹别克斯坦, 8%; 马来西亚, 7%	--	--

2.2 中国已基本建成多元化的油气进口通道体系,但仍难以避免极端情况下美国封锁海上油气通道带来的威胁

中国已经基本建成多元化的油气进口通道体系,但海上通道在油

气进口中仍占据主导地位。如表 2 所示，目前，中国与世界主要油气产地之间逐步建成了以东北、西北、西南管线和海上通道为代表的四大能源战略通道格局^[12-13]，但相比陆上通道，海上通道的运输能力极高。根据图 3 所示，近年来通过海上通道进口的石油占比均维持在 90% 左右，天然气占比在近三年也达到 60% 以上，海上通道无疑是中国当前油气进口的最重要通道^[12]。

表 2 中国四大油气战略通道基本情况表

通道	通道组成	投用时间	运输能力	资源地（含潜在）
东北	中俄原油管道及复线	2011	3000×10^4 t/a	俄罗斯
	中俄天然气管道东线	2019	380×10^8 m ³ /a	俄罗斯
	中俄天然气管道远东线	规划	100×10^8 m ³ /a	俄罗斯
西北	中哈原油管道	2005	2000×10^4 t/a	中亚、里海、俄罗斯
	中国—中亚天然气管道 A、B、C 线	2009	550×10^8 m ³ /a	中亚、里海
	中国—中亚天然气管道 D 线	规划	300×10^8 m ³ /a	中亚、里海
	中俄西线天然气管道	规划	300×10^8 m ³ /a	俄罗斯
	中蒙俄天然气管道	潜在	300×10^8 $\sim 500 \times 10^8$ m ³ /a	俄罗斯
西南	中缅原油管道	2017	2200×10^4 t/a	中东、非洲、美洲
	中缅天然气管道	2013	120×10^8 m ³ /a	缅甸
海上	经南海、东南亚海域的南向通道；面向俄罗斯远东及北极的北向通道	现有	石油： 60000×10^4 t/a 天然气： 1258×10^8 m ³ /a	亚太、中东、非洲、美洲、俄罗斯
		在建	天然气： 800×10^8 m ³ /a	

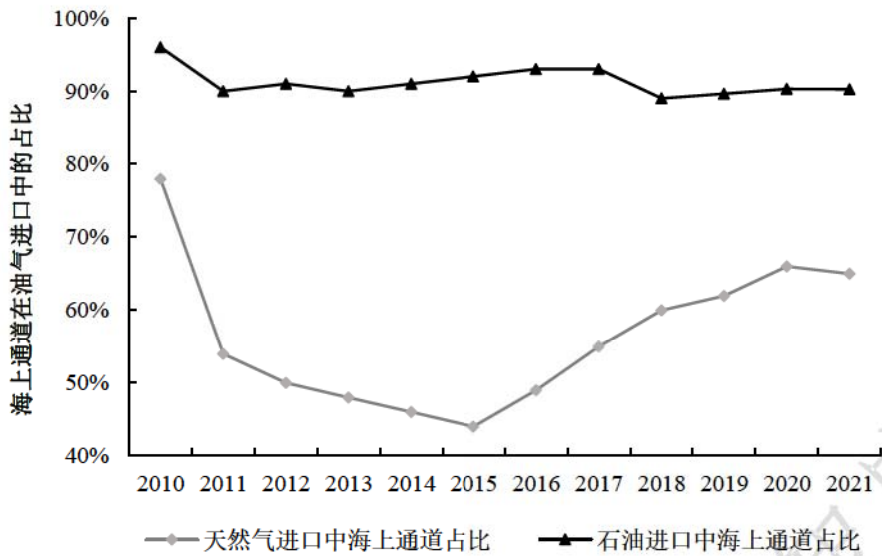


图 3 海上通道在中国油气进口中的占比变化趋势图

当今世界主要的油气海上运输通道大多被美国所控制,若美国一旦干扰中国的海上供应通道,中国油气安全将面临严重威胁。世界七大油气运输咽喉要道(如波斯湾霍尔木斯海峡、马六甲海峡、波斯普鲁斯海峡、曼德海峡、苏伊士运河等)目前均在美国的掌控之下。如图 4 所示,目前中国海上油气进口主要依靠经马六甲海峡及南海的南向通道^[13]。在常态下,由于美国一直是全球最大的石油消费国和进口国,为保障海外石油供应,美国已投入巨大的资源来保障海上局势的稳定,因此,通过切断海上进口通道来对中国油气进口施加压力是“损人不利己”的。但是,马六甲海峡仍不可避免的面临着来自包括海盗活动和恐怖分子袭击的威胁、石油泄漏造成的环境污染、轮船事故导致的航道阻塞、美国对航线的战略控制等马六甲困局^[14]。此外,由于美国的支持,中国南海的争端仍有可能再度发生。中国海上油气进口通道也会在诸多外部因素影响下受到威胁,为中国的油气能源安全带

来极高的不确定风险。

总体来看，在多元化油气进口通道体系的支撑下，中国的油气进口供应体系具有一定的“坚韧性”，但目前海上进口通道在油气进口渠道中占据主导地位，美国一旦对中国的海上供应通道进行干扰，中国油气安全将受到威胁。



图 4 中国四大油气进口通道图示

2.3 美国对世界油气市场的干预空间有限，但仍可通过影响国际油价和对油气资源国施压进而威胁中国油气安全

从国际油价来看，油价波动会对中国油气安全造成一定的影响。油价下跌在降低中国进口成本的同时也会在一定程度上影响国内石油企业的生产积极性，进而制约新的油气发现和产量增加，对未来能源安全形成挑战^[15]。此外，过去十多年中国一直通过巨额海外投资和长期合同确保能源的供应稳定，油价的逆转将会增加项目亏损的风

险^[16]。当油价上涨时，中国油气进口成本增加，同时，企业成本增加提高，直接给交通运输、冶金、渔业、轻工、石化、农业等相关产业带来程度不同的影响。作为油气生产、经济、政治和军事大国，美国的话语权对国际油价的变动影响举足轻重。其可以通过多种方式干预油价，如对主要石油输出国进行经济制裁、政治打压或采取军事行动等国际霸权政治活动，释放战略石油储备，采取金融手段等^[17]。例如，2004-2008年这一轮油价上涨，华尔街的金融投机就在其中扮演中推波助澜的作用。但是随着包括中国在内的世界各国普遍重视油气市场建设和油气定价权问题，近些年来美国对油气价格的影响能力有所减弱。例如，2021年11月，美国宣布计划从其战略石油储备中释放5000万桶石油来降低油价，然而如此规模的石油储备释放计划并未引起油价的下行，在OPEC+产出策略、全球经济形势等其他市场因素的综合影响下，国际油价不跌反涨。整体来看，美国干预国际油价的空间是有限的，但美国话语权仍然对国际油价有举足轻重的影响，而国际油价波动会对中国能源安全带来一定的威胁。

从油气资源国来看，美国可以通过干预油气资源国对中国油气进口市场和贸易环境造成影响。美国已经在历史上多次干预资源国油气产量，如2019年2月制裁委内瑞拉石油^[18]，2020年4月干预墨西哥削减石油产量等^[19]。2022年爆发的俄乌冲突没有直接影响俄罗斯对中国的油气供应，但油气进口价格的上涨加之新冠肺炎疫情使得供应链不畅，国内能源价格在高位运行，给中国油气进口造成压力。此外，美国利用俄乌冲突将中国渲染成地缘政治威胁，恶化中国贸易环境，

从而影响跨国公司在华的投资选择^[20]。整体来看，美国对资源国施压可能不会直接威胁到资源国的供应量，但其对中国贸易环境等方面产生的影响是不容忽视的。

3 美国对中国关键金属矿产资源供应的潜在影响分析

国际能源署(IEA)将“关键金属矿产能否支撑未来能源低碳转型”视为全球面临的巨大挑战，供需缺口的出现使关键金属矿产成为大国间新一轮资源博弈的重点。在这一背景下，无论是中国还是美国都已将关键金属矿产资源的稳定供应上升至国家战略高度。然而，中美两国对关键金属矿产资源的需求重合势必导致两国在资源保供方面存在竞争博弈。因此，本部分通过比较中美两国在关键金属矿产资源方面的资源禀赋、供需形势和贸易结构，分析中美间可能存在的竞争关系，探究美国对中国关键金属稳定供应的潜在影响。

3.1 支撑新能源发展的关键金属矿产竞争已上升到国家战略高度

中美两国关键金属矿产名单有大范围重合，这些矿产对保障国家安全和促进新能源产业发展具有重要作用。目前，美国已形成系统的关键矿产评价指标体系，对关键矿产种类进行动态跟踪和更新^[21]，2022年2月22日，美国地质调查局(USGS)发布了对美国经济和国家安全至关重要的50种关键矿产新清单。与2018年发布的35种关键矿产清单相比，新版本主要细化了铂族金属和稀土金属，在50种关键矿产清单中有46种属于金属矿产。2016年中国公布的战略性矿产名录中，包含14种金属矿产，其中有9种和美国的关键矿产清单重合。通过对比美国关键矿产清单和中国战略性金属矿产名录可以

发现，锂、镍、钴、稀土这些支撑新能源产业和技术发展的关键金属矿产，是中国、美国共同“关注”的重点对象。在全球低碳发展和新能源转型的背景下，全球新能源关键金属矿产竞争已上升到国家战略高度。

表 3 中美关键金属矿产清单对比

	美国	中国	相同部分
黑色金属	锰、铬、钒、钛	铁、铬	铬
有色金属	锌、铝、镁、镍、钴、钨、锡、锑、铋	铜、铝、镍、钴、钨、锡、锑、钼	铝、镍、锡、锑、钴
贵金属	铂、钯、铑、钌、铱	金	
稀有金属	铌、钽、铍、锂、铷、铯、锆、钨	锂、锆	锂、锆
稀土金属	镧、铈、镨、钕、钐、铈、钆、铽、镱、铟、铷、铯、钫	稀土	稀土
分散金属	锗、镓、铟、碲		

3.2 中美两国在拓展境外矿产资源布局方面均面临艰巨挑战

中美新能源关键金属矿产储量优势和劣势高度一致，美国可能成为中国拓展境外矿产资源布局的最大竞争对手。中美两国的稀土储量在全球位居前列，稀土是中国最具优势的新能源关键金属矿产，2021年中国稀土储量占全球比重 37%，遥遥领先于美国及其它国家，资源优势十分明显。中美的锂、镍、钴矿储量在全球处于劣势地位，2021年这三类矿产资源储量在全球占比均低于 10%，供应安全保障能力有限，但相对而言中国储量比美国更丰富。全球新能源关键金属矿产储量地理分布高度集中，尤其是锂矿和钴矿，全球锂矿储量有 42%来自智利、钴矿储量有 46%来自刚果（金），全球新能源关键金属矿产的

供应链稳定性及易受储量优势国家生产情况的影响。钴矿和镍矿是中美两国都严重短缺的资源，美国可能与中国同时竞争全球优质矿山资源，从而威胁到中国境外新能源关键金属矿产供应安全。

表 4 2021 年新能源关键金属矿产储量分布情况^[22]（储量单位：万吨）

矿种	全球储量	主要储量来源国	中国储量	美国储量
锂	2200	智利（42%）	储量 150	储量 75
		澳大利亚（26%）	全球占比 7%	全球占比 3%
		阿根廷（10%）	全球位次 4	全球位次 5
镍	9500	澳大利亚（22%）	储量 280	储量 34
		印尼（22%）	全球占比 3%	全球占比 0.4%
		巴西（17%）	全球位次 6	全球位次 8
钴	760	刚果（金）（46%）	储量 8	储量 7
		澳大利亚（18%）	全球占比 1%	全球占比 0.9%
		古巴（7%）	全球位次 9	全球位次 10
稀土	12000	中国（37%）	储量 4400	储量 2200
		美国（18%）	全球占比 37%	全球占比 18%
		缅甸（18%）	全球位次 1	全球位次 2

3.3 中国新能源关键金属矿产供需形势相比美国更为严峻

中美两国锂、钴、镍矿都面临国内供给缺失、供需缺口较大的风险，但中国消费需求量大，供应链断裂风险更高。2021 年中国锂、钴、镍矿产量均高于美国，尤其是锂矿产量在全球排名第 3，比美国更有竞争优势，美国不会对中国造成直接的供应威胁，但中国是新能源关键金属矿产消费大国，在加工、冶炼方面对国际市场具有很大的依赖性，比美国面临更高的供应安全风险。中国是新能源关键金属冶炼产品生产大国，2021 年精炼钴产量在全球占比达 70%^[23]，中游冶炼产品对上游矿产品需求旺盛，使得 2017~2021 年中国锂、钴、镍矿产消

量的差值均不断增大。中美两国稀土产量均处于全球领先地位，国内供需处于紧平衡状态。2017~2021 年中国稀土产量由 10.5 万吨增加到 16.8 万吨，长期以来存在上游产能过剩、下游发展增速过慢的问题^[24]，导致资源浪费和环境污染问题严重，未来中国仍需防范稀土资源后备储量不足的风险。随着全球新能源产业规模的扩张，新能源关键金属矿产供需形势将更加紧张，中美两国对全球矿产资源的竞争将加剧。

表 5 2021 年新能源关键金属矿产产量分布情况^[22]（产量单位：万吨）

矿种	全球产量	主要产量来源国	中国产量	美国产量
锂	10.5	澳大利亚（52%）	产量 1.4	数据缺失
		智利（25%）	全球占比 7%	
		中国（13%）	全球位次 3	
镍	270	印尼（37%）	产量 12	产量 1.8
		菲律宾（14%）	全球占比 4%	全球占比 1%
		俄罗斯（9%）	全球位次 7	全球位次 9
钴	17	刚果（金）（70%）	产量 0.2	产量 0.07
		俄罗斯（4%）	全球占比 1%	全球占比 0.4%
		澳大利亚（3%）	全球位次 10	全球位次 12
稀土	28	中国（60%）	产量 17	产量 4
		美国（15%）	全球占比 60%	全球占比 15%
		缅甸（9%）	全球位次 1	全球位次 2

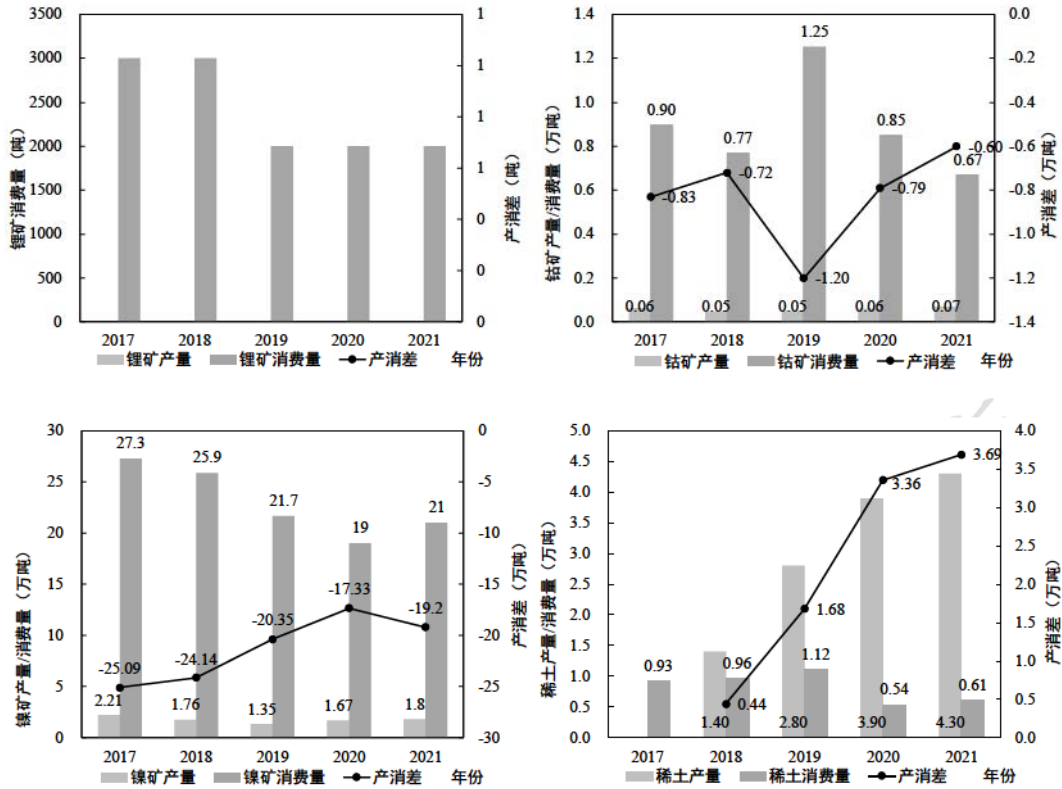


图5 美国新能源关键金属矿产产量和消费量[22]

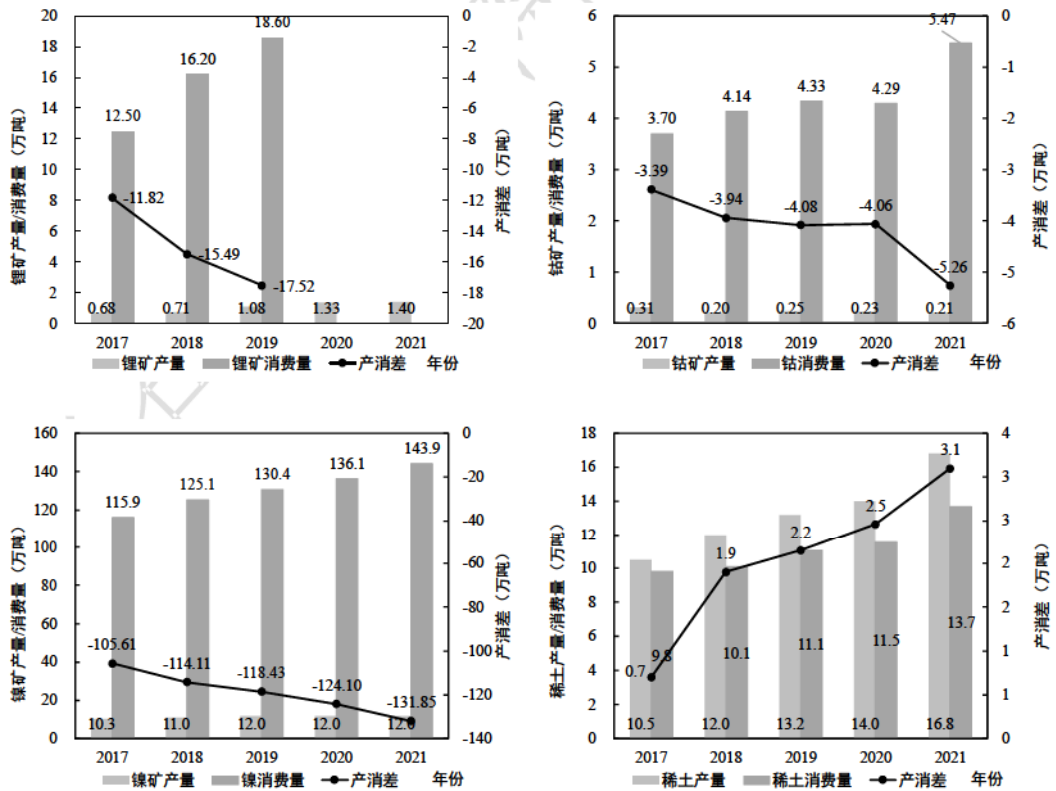


图6 中国新能源关键金属矿产产量和消费量[22]

3.4 中国新能源关键金属矿产供应链稳定性劣于美国

中国新能源关键金属矿产品供应高度依赖进口，且进口来源高度集中，但对美国依赖性较低。中国中游冶炼产品的生产需求较高，因此需要大量进口新能源关键金属产品来满足国内需求。中国钴矿进口几乎全部来自刚果（金），镍矿进口总量的 89%来自菲律宾，由于进口高度集中于某一资源优势国家或地区，中国钴矿、镍矿产品境外供应链稳定性差。中国稀土矿进口高度依赖美国，但由于本土稀土矿储量和产量丰富，对美国的进口依赖不会对中国稀土矿供应链安全造成太大威胁。

美国对新能源关键金属矿产品的进口需求较少，但对冶炼产品的进口需求高，且对中国有一定程度的依赖性。美国钴矿、镍矿进口需求低，2021 年进口量仅 3.7 吨和 37 吨，但美国新能源关键金属冶炼产品的进口需求较高，如 2021 年氧化钴、氧化镍进口总量为 2223 吨、1119 吨。美国进口氧化镍中有 22%来源于中国，但进口依赖程度不高，整体而言，美国新能源关键金属相关产品的进口集中度低于中国，供应链断裂风险相对更小。

表 6 2021 年中国新能源关键金属矿产品进出口分布^[25]

产品	进口量 (万吨)	主要进口国及占比	出口量 (万吨)	主要出口国及占比
碳酸锂	8	智利，79%； 阿根廷，19%	0.8	韩国，61%； 日本，26%
钴矿	2	刚果（金），99.7%	--	--
氧化钴	0.06	比利时，9%	0.8	韩国，61%； 西班牙，9%；

				比利时，9%
镍矿	4353	菲律宾，89%	--	--
氧化镍	0.5	日本，69%	3.2	韩国，94%
稀土矿	7.6	美国，99.8%， 南非，0.2%	--	--
稀土金属 及其化合 物	4.6	缅甸，76%； 马来西亚，11%； 越南，7%	3.9	日本，32%； 美国，24%； 荷兰，15%

表 7 2021 年美国新能源关键金属矿产品进出口分布^[25]

产品	进口量 (吨)	主要进口国及占比	出口量 (吨)	主要出口国及占比
碳酸锂	12268	阿根廷，51%； 智利，47%； 中国，0.7%	3330	俄罗斯，32%； 德国，21%； 加拿大 15%
钴矿	3.7	中国，73%	4800	英国，86%
氧化钴	2223	芬兰，35%； 英国，27%； 比利时，23%	106	加拿大，45%； 墨西哥，24%； 比利时，17%
镍矿	37	中国，53%； 德国 47%	33050	加拿大，99.8%； 巴西 0.08%
氧化镍	1119	菲律宾，24%； 中国，22%； 日本，19%	257	意大利，34%； 加拿大，21%； 中国，10%
稀土矿	6747	中国，62%； 日本，10%	78572	中国，96%

3.5 美国或成为未来中国新能源关键金属矿产竞争的最大对手

美国将逐步摆脱新能源关键金属矿产对外国的依赖，同时也将成为中国海外资源竞争的最大对手。中国与美国除稀土资源具有全球优势地位外，锂、钴、镍等新能源领域必不可少的资源都比较匮乏，本国资源供应能力远不能够满足国内生产需求，因此中美两国均依靠进口来保证供应链安全。中国在钴、锂、稀土的加工和精炼领域具有生产优势，美国对中国有一定的进口依赖，尤其是稀土产品供应高度依

赖于从中国进口，为寻找替代产能，2020年7月，美国向澳大利亚稀土公司 Lynas 拨款 3000 万美元，用于在得克萨斯州建立重稀土精炼设施。美国自身具有丰富的稀土资源储备，且其资源回收能力和技术比较先进^[26]，未来美国将不断完善稀土供应链，逐步摆脱对中国的稀土依赖。随着新能源汽车、储能、风电及光伏等新能源产业的大力发展，中美和全球主要大国对新能源关键金属矿产的竞争将更加激烈。中国对美国进口依赖度低，但中美在新能源关键金属稀缺资源比较一致，存在较高的国际竞争，美国正与加拿大、澳大利亚等国建立“矿产安全伙伴关系”(MSP)，并利用其矿业联盟形成对中国的资源控制，不利于未来中国竞争境外优质矿产资源。

4 美国对中国新能源技术突破与获取的潜在影响分析

新能源技术发展是推动新能源产业发展的重中之重。中国风、光等自然资源丰富，新能源发展潜力巨大，但新能源技术整体上还落后于美国等主要发达国家。在全球战略背景下，中国的崛起已影响到美国的霸权地位。随着中美竞争的加剧，美国势必会采取措施来遏制中国新能源技术的发展势头，从而干扰中国能源转型进程，威胁中国的能源安全。因此，本部分将从新能源技术国内外发展现状的角度来分析美国对中国新能源技术的影响，主要包括储能、光伏、核能、氢能、风能、生物质能等技术。

4.1 中国储能技术发展潜力巨大，但仍与美国等发达国家存在差距，亟需突破专利封锁

近年来，随着碳达峰、碳中和成为全球共识，新能源在整个能源

体系中的比重不断增加，储能作为稳定新能源发电波动、提高系统消纳能力的关键手段，得到大规模的发展。截至 2021 年底，中国已投运电力储能项目累计装机规模 46.1GW，占全球市场总规模的 22%，其中抽水蓄能占比 86.3%，电化学储能占比 12.1%。

根据储能的能量转换形式可以分为物理储能、电化学储能、电磁储能、热储能和氢储能。其中，技术最成熟的是物理储能中的抽水蓄能，电化学储能具有巨大的应用潜力。抽水蓄能方面，国内电力装备制造企业的一系列技术创新，破解了水泵水轮机技术难题，提高了机组运行稳定性。此外，发电电动机技术也得到持续突破，尤其是在绝缘性能技术领域，但是与美国等发达国家相比仍有较大差距。电化学储能方面，应用前景最大的是锂离子电池。近年来新能源产业发展为中国锂离子电池材料突破技术壁垒提供了有力支撑，但是与发达国家相比，中国锂离子电池中的部分新材料高端产品占比还比较低，技术含量不高，产品的附加值较低，高端材料和电池的高精度自动化装备仍需大量进口。在专利技术方面，中国正负极材料和电池产能已是世界第一，但仍然缺乏核心专利技术，美国、日本、韩国已在锂离子电池领域进行了覆盖，突破专利封锁是中国锂离子电池发展需要解决的难题。

总体来说，中国储能技术发展潜力巨大，并且在部分领域已取得突破性进展，但仍与美国等发达国家存在差距，部分技术与装备受限于别国，亟需提高自主研发能力，突破专利封锁。

4.2 中国光伏技术总体上与美国存在差距，但在部分领域已取得领先

地位

近年来，光能作为新能源中的一种，越来越受到人们的广泛关注，目前主要的应用方式是光伏发电。光伏主要组件为电池板、控制器、逆变器和蓄电池。

对于电池板技术，目前主流的太阳能电池板有如下三种：晶硅太阳能电池、薄膜太阳能电池、钙钛矿太阳能（PCS）电池。目前中国的晶硅太阳能电池技术最成熟，产量占据世界主要市场份额；对于薄膜太阳能电池，美国在技术壁垒较高的碲化镉（CdTe）领域拥有较大优势，其产量占据了全球 99% 以上份额；对于 PCS 的研究，中国则与国际水平保持同步，部分技术则保持世界前列。对于控制器技术，欧美等发达国家起步较早，目前已研制成功了很多性能优越的 MPPT 光伏控制器，而中国对光伏控制器的研究大多还停留在原始阶段；在关键的 MPPT 算法的研究方面，美国始终走在世界前列，最先提出诸多常用的控制算法，而目前中国还停留在对已有算法的改进和优化上。此外，目前光伏发电可分为两种：光伏发电独立系统与光伏发电并网系统。因并网系统接入供电网需将光能转化为交流电，逆变器即是实现这一过程的核心技术。目前微型逆变器是光伏逆变器的发展主流，美国首先提出的 AC module 概念即是微型逆变器的雏形，美国也由此成为该行业的领跑者。中国作为发展中国家，在此领域的研究起步较晚，但随着中国在微型逆变器研究中投入的大量资源，目前已取得显著成效，在技术、成本等方面都有很大提升。

由此可见，中国目前的光伏技术总体上与美国仍存在一定差距，

在控制器与逆变器两项上尤其明显，生产技术与理论研究较为落后，但在电池板一项上则与美国互有优势，在某些研究领域取得了领先地位，实现了自主研发生产。

4.3 中国的核能技术水平位居世界前列，但在核电技术、核心零件、控制软件等方面仍落后于美国

核能作为新能源的一种，同样受到了各国的关注，但由于其技术性较高，能够成熟利用核能的国家仍较少。核能的主要应用方式是核反应堆发电，即通过核裂变所产生的能量进行发电，目前美国是世界第一大核电国家。

美国是最早利用核能的国家，也是核电技术最为先进的国家，目前在运机组 94 台，装机容量 96 553 MW。与此同时，美国在超小型空间反应堆与核电源上也取得了突破，实现了核动力火星车成功着陆火星，此外，美国在核电的控制系统软件等方面处于国际领先地位，开发研究了许多先进的控制系统，极大提升了核电的安全性。中国目前在运机组 50 台，装机容量 47 518 MW，在建机组 12 台，是世界上少数掌握完整核工业体系的国家之一。当前中国的第三代核电技术已位于世界前列，自主研发的“华龙一号”已正式投入使用，“国和一号”则处于修建当中。对于第四代核电技术，中国也投入了大量人力财力进行研究，积极参与国际研究讨论，取得了一定成果。然而，对于目前最为火热的小型模块化核反应堆，中国则处于起步阶段，落后于世界各国，且在材料、软件等领域，中国仍存在一定不足。

总体而言，中国的核能水平位居世界前列，在运机组与装机容量

都反映出了中国的核电大国地位。然而，中国核能基础技术发展基础较差，部分核心技术受制于人，且对于未来的潮流技术研究较少，总体上仍处于向他国学习的情况。在核能领域中，目前美国对中国的领先较多，体现在核电技术、核心零件、控制软件等各个方面，因此中国的核能发展易被美国的政策所影响，处于劣势地位。

4.4 中国氢能技术整体落后于美国等，但在产业推动下发展前景相对乐观

氢能是可再生能源储存和转化的理想载体和媒介，具备极高的经济价值和环境价值，对天然气有着潜在的替代潜力，已成为各国竞争的重要赛道之一。

氢能利用的相关技术主要包括氢制取、氢存储、氢运输和氢应用四个方面。对于氢制取，中国制氢产业具有较好基础，其中煤化工行业发展较为成熟，但可在生能源电解水制氢技术还相对滞后，部分核心部件的研发与国外仍有差距，关键基础材料仍严重依赖进口。对于氢存储，中国以高压气态储氢为主，可制造 35Mpa 的高压储氢容器，而国外已基本具备 70Mpa 的存储技术。低温液态储氢技术在国外储氢环节已占 70%，其中美国的液氢生产最为成熟。对于氢运输，气氢长管拖车方式在全球应用最广泛，而中国主要采用 20MPa 气氢拖车方式，但未来管道运氢有望成为最优选择，目前美国有 2700km，欧洲有 1600km，中国仅有约 400 公里(包括规划和在建)。对于氢应用，中国的氢燃料电池汽车和加氢站发展迅速，已成为全球第二大市场。截至 2020 年底，美国氢燃料电池汽车保有 8931 辆，位居全球第二，

中国保有 7352 辆，排第三。加氢站方面，中国 90%以上采用 35 MPa 高压加氢技术，而美国大部分可提供 35MPa 和 70MPa 的服务。

总的来说，中国氢能的各方面技术整体上均落后于国外，与美国有较大的差距，关键设备仍需进口，技术壁垒短期存在。但随着产业得到大力推动，中国氢能相关的研究和建设也将高速发展。

4.5 中国在风能技术方面具备一定的自主创新能力，对外依赖较低，仅有部分技术稍落后于欧美

风能是资源潜力巨大、技术较为成熟的可再生能源。在 20 世纪 80 年代，中国风力发电才开始进入商业化运用阶段，开发和应用起步较晚。进入 21 世纪，中国加大对风力发电投资建设，使其发展速率大幅度提升。截至目前，中国风电并网装机容量突破 3 亿千瓦大关，是 2020 年底欧盟风电总装机的 1.4 倍、美国的 2.6 倍，全国电源总装机比例约 13%。

风力发电技术包括研究风机技术和风电功率预测技术。对于风机技术，经过风电机组技术引进和产业化生产，国内风电整机制造企业对风电技术开发的认识日益深入，通过引进消化吸收和再创新，掌握了关键核心技术，具备一定的自主创新能力。但大型风电机组开发和海上风电机组的开发还稍落后于欧美国家，部分风机零部件仍依赖于进口。对于风电功率预测技术，近年来国外已经出现了很多风电预测的方法，中国风电因为数据积累少、气候类型多，难以直接应用国外的研究成果和预测方法。为此，中国有关单位进行了针对性的研究，提出了多种预测方法，同时适当借助大数据、云计算等技术，预测精

度已达到 85% 以上，虽然还存在着进步空间，但过去的预测难、预测不准问题得到了一定的缓解。

总体来说，中国风力发电近些年发展十分迅速，在一些方面取得了突破，具备一定的自主创新能力，对外依赖较小。

4.6 中国生物质能技术发展迅速，但仍难以避免极端情况下美国在生物质转化利用核心技术方面对中国采取封锁和垄断

近年来各国政府高度重视生物质资源的开发和利用，全球生物质能的开发利用技术飞速发展。目前生物质能技术主要包括生物质发电技术、生物液体燃料技术、生物燃气技术和固体成型燃料技术等四个方面。

对于生物质发电技术，欧美国家的发展最为完善。丹麦的农林废弃物直接燃烧发电技术，美国的生物质混燃发电技术均处于世界领先水平。中国的生物质发电以直燃发电为主，技术起步较晚但发展非常迅速。目前中国生物质发电装机总容量仅次于美国，居世界第二位。对于生物液体燃料技术，欧美国家的生物柴油产量占据全球总产量的一半，中国生物柴油生产技术国际领先，但由于推广使用困难，导致目前其产量呈逐年下滑态势；美国和巴西是燃料乙醇生产量最大的国家，目前中国生物燃料乙醇产量仅占全球总产量的 3%，仍然有较大的发展空间。对于生物燃气技术，欧洲是沼气技术最成熟的地区，已形成设计标准化、产品系列化和生产工业化体系。中国生物质气化产业主要由气化发电和农村气化供气组成，农村户用沼气利用有较长的发展历史，但生物燃气工程建设时间较短。近年来，中国规模化生物

燃气工程发展较快，形成了热电联供、提纯车用并网等多种模式。对于固体成型燃料技术，目前，德国、瑞典、芬兰、美国等国的固体成型燃料生产量均可达到中国的 5~6 倍以上。中国生物质固体成型燃料的生产和应用已初步形成了一定的规模。但近几年，中国成型燃料产业发展呈现先增后降趋势，主要原因为生物质直燃发电的环境效益受到争议，部分省份限制生物质直燃、混燃发电项目。

总的来说，中国生物质能技术近些年发展十分迅速，但在生物质发电技术和生物液体燃料技术方面，若中美发生冲突，美国将可能在生物质转化利用的核心技术方面对中国采取封锁和垄断的措施，限制中国进口，形成产业竞争态势。

5 主要结论及中国应对美国潜在影响的对策建议

5.1 主要结论

如今，中美关系已经发生了过去 50 年来最大的变化，佩洛西窜访台湾事件，更是对中美关系产生了巨大的破坏性影响。中国能源安全在此新型背景下所面临的风险与挑战加剧，其理念内涵也随之表现出多重特征。从中短期来看，中国能源安全的核心问题是确保油气的稳定充足供应；长期来看，中国能源安全的核心问题则是确保新能源的规模发展和稳定出力。

由此，与中国能源安全的多重理念所对应的风险点则包括油气足量稳定进口、新能源关键金属供应以及新能源技术突破三个方面。中美关系新格局下，美国对上述三方面的具体影响如下：

中国油气足量稳定进口方面：在当前全球油气市场供应宽松的态

势下，中国对美国本国油气资源的依赖度不足以对中国油气供应安全造成太大威胁，但在非常规情况下，美国可通过干预海上油气通道、影响国际油价以及对油气资源国施压来对中国油气安全进口进行产生威胁。

新能源关键金属矿产供应方面：中美两国对支撑新能源产业和技术发展的关键金属矿产均给予高度关注，并且两国在矿产储量方面的情况高度一致，但中国在新能源关键金属矿产供需形势和供应链稳定性方面均劣于美国，未来，美国或成为中国海外矿产资源竞争的最大对手。

新能源技术突破方面：美国相比中国在新能源技术（储能、光伏、核能、氢能、风能、生物质能）方面具有一定的优势，发展效率竞争力更强，而中国在光伏发电、风电和生物质能的发展规模上比美国更有优势。新型中美关系下，中国需把握技术前沿发展方向，提高创新能力以应对美国可能会采取的封锁与垄断。

5.2 中国应对美国潜在影响的对策建议

（1）与部分油气资源国建立“战略同盟”，强化合作关系

长期以来，中国油气对外依存度大，而油气资源在能源加速转型中扮演着重要角色，中国油气缺口预计在未来会进一步加大，寻求可靠稳定的油气资源成为油气资源足量进口的前提。在中美冲突加剧的背景下，即使长期来看全球油气市场供大于求，且中国对美国本土的油气资源依赖度低，但对于美国通过资源国对中国油气资源进口可能带来的威胁不容忽视。与部分油气资源国形成“战略同盟”，强化与资

源国合作关系是寻求可靠稳定油气资源，对冲美国可能施加的压力的重要途径。可以在以下两个方面加强与资源国的合作关系，一是在开发油气资源或建设生产设施时共享资源和技术，提高油气开发效率，深耕国内油气资源开发。二是在"战略同盟"资源国建立海外油气储备，增强中国油气储备能力和应急能力。

(2) 进一步强化和扩大陆上油气通道建设

油气进口通道安全是油气进口的必要条件。多元化进口油气通道是对冲美国控制海上油气通道潜在风险的重要途径。目前，中国管道气进口占天然气进口的比例不足 50%，海上油气进口通道安全对油气足量进口至关重要。而当今世界七大油气运输咽喉要道大多为美国所控制，即使切断海上通道“损人不利己”，美国从理论上仍然有能力对中国海上油气进口造成重大影响，必须将通道安全把握在自己的手里。因此，中国要不断完善天然气基础设施布局，加快形成西北、东北、西南和海上四大进口通道。强化和扩大陆上油气通道建设不仅可以推动能源进口途径多元化，保障中国能源安全，而且对促进相关国家的交流与合作具有重要意义。

(3) 优先发展并保护中国优势新能源关键金属矿产供应链，扩大优势矿种的生产开发力度

稀土是中国具有优势且美国对中国依赖性较强的矿产，中国拥有大量稀土加工和冶炼设施，稀土精炼能力明显强于美国，对于中国的优势矿种，政府应当制定适当资源开发利用战略，实行有计划的开发利用，保障资源的长期稳定和可持续供应。中国是精炼钴、精炼镍生

产大国，但本土资源禀赋不佳，对于储量优势不足，但加工冶炼技术成熟的矿种，政府应大力支持其冶炼加工行业的发展，中资企业应发挥自身优势和特长，对内强化新能源矿产冶炼加工产业布局，对外建设集开采、冶炼、加工于一体的矿产品生产基地，打造全产业链优势。此外，要创新资源回收利用技术，依靠产业链末端资源回收实现再生资源对资源储备的有效补充，提高国内新能源矿产资源的自给能力。

（4）扩大海外矿业投资合作渠道，建立中国的矿业合作圈

中国新能源关键金属矿产进口和海外投资地理分布高度集中，供应安全性和稳定性差，对于本国优势不足的矿种，中国应积极推动与“一带一路”国家的矿业投资合作，形成自身的海外矿业合作圈。美国建立的矿业联盟虽然能够对中国产生一定的制衡，但美国的部分关键矿种在短期内依然依赖于中国，中国应当抢占先机，积极与美国争夺全球优质资源。中资企业应积极主动与“一带一路”沿线国家建立双边和多边国际贸易与投资合作关系，分散新能源关键金属矿产进口来源，提升本国新能源关键金属矿产自主可控能力。中国政府应制定金融政策支持中资矿企投资、勘查和开发海外矿山，从而寻找替代产能，减少美国矿业联盟对中国的制衡。

（5）保持新能源重点领域优势，借鉴国外先进经验，构建国产技术体系

在光伏技术方面，应支持相关领域的研究，增加研究投入，大力推进 MTTP 算法、微型逆变器等关键技术研究，逐步实现突破技术瓶颈，提高技术成熟度，投入实用，增加产能，早日实现光伏设备国产

化、智能化。此外，中国应充分发挥在晶硅太阳能电池板领域的技术优势，推进晶硅电池板技术进一步发展，提高发电效率，降低发电成本，增强中国光伏产业在国际市场上的竞争力。在核能技术方面，中国应加快专业人才培养，鼓励自主创新，支持技术研究。尤其在控制系统软件方面，中国在学习他国的基础上，要进一步整合国内与国外的经验，提出自己的原始创新内容，开发研究一套先进实用的国产系统，避免出现受制于人的情况。此外，对于国际热门的新兴技术，如第四代核电技术、小型模块化核反应堆等，中国应积极参与世界范围内的研究讨论，加快研究速度，在该领域内取得一定突破，形成技术优势，增强中国核能产业的国际竞争力。

(6) 提高新能源技术自主创新能力，强化关键技术突破，削弱对外依存度

应加大氢能领域前沿技术的研发力度，不断提高自主创新能力，削弱核心技术和关键设备的对外依赖关系，同时扩大氢能在中国能源结构中的占比，加快对化石能源的替代。此外，为应对美国贸易战对中国的影响，要强化储能关键技术突破，开辟新的技术领域，突破美国技术封锁。最后，应加快研制生物质关键技术和装备，突破中国直接燃烧发电技术瓶颈，实现生物质能设备国产化、智能化，建立拥有自主知识产权的技术体系，推进生物质液体燃料和生物质燃气大规模替代化石能源，重点瞄准生物基材料、化学品、高品质燃料等高值化的转化途径，依靠科技创新增加产业附加值，实现生物质产业的转型升级。

参考文献

- [1] 倪峰. 探析中美关系之变[EB/OL]. 2020 [2022-8-20]. https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_10091841.
- [2] 唐旭, 任凯鹏, 李明, 王建良. 双碳目标下中国能源中长期走势评估[R]. 中国石油大学(北京)碳中和与能源创新发展研究院, 2021C03, 2021年11月20日.
- [3] YANG Z, HAO C, SHAO S, et al. Appropriate technology and energy security: From the perspective of biased technological change [J]. Technological Forecasting and Social Change, 2022, 177: 121530.
- [4] SONG Y, ZHANG M, SUN R. Using a new aggregated indicator to evaluate China's energy security [J]. Energy Policy, 2019, 132: 167-74.
- [5] 中国石油集团经济技术研究院. 2021年国内外油气行业发展报告[R]. 2022年4月.
- [6] Andreas Exarheas]. Climate Change Threatens Recoverable Oil Reserves[R]. 2021, 12, 16.
https://www.rigzone.com/news/wire/climate_change_threatens_recoverable_oil_reserves-16-dec-2021-167317-article/
- [7] CHANGWEI P, XIAOJIA Z, LU S. US hegemony and Sino-Russia energy security cooperation [J]. E3S Web Conf, 2019, 77: 01002.
- [8] FIZAIN F, COURT V. Renewable electricity producing technologies and metal depletion: A sensitivity analysis using the EROI [J]. Ecological Economics, 2015, 110: 106-18.
- [9] IEA. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions [Z]. 2021.
- [10] BP. bp Energy Outlook 2050 [R]. 2022, 04. <http://www.bp.com/energyoutlook>.
- [11] BP. bp Statistical Review of World Energy [R]. 2022, 06.
<http://www.bp.com/statisticalreview>.
- [12] 梁萌, 赵赏鑫, 任重远, 彭盈盈, 张奇. 新时期中国油气进口通道的风险与应对策略[J]. 油气储运, 2022, 41(08): 875-884.
- [13] 张明明. 论中国海上油气通道安全[J]. 当代世界, 2015(03): 66-69.
- [14] 李昕. 美缅关系改善对西南油气进口运输通道的影响[J]. 东南亚研究, 2013(02): 74-80.
- [15] 王雍铮, 李涛. 美国智库对中国能源安全问题的聚焦——以布鲁金斯学会为例[J]. 广东开放大学学报, 2019, 28(03): 99-105.
- [16] Samantha Gross. Lower for longer: The implications of low oil and gas prices for China and India [EB/OL]. 2017 [2022-7-28].

<https://www.brookings.edu/research/lower-for-longer-the-implications-of-low-oil-gas-prices-for-china-and-india/>

- [17]高歌. 美国战略石油储备释放计划规模空前, 国际油价为何不降反升? [N]. 经济观察报,2021-11-29(005).
- [18]对委内瑞拉的石油制裁可能导致美国国内炼油厂产量下降[J]. 中外能源,2019,24(05):99-100.
- [19]陆倩. 川普证实, 美国将帮助墨西哥削减石油产量[J]. 石油石化节能,2020,10(04):35.
- [20]王战,李永全,姜锋,于运全,徐明棋,冯绍雷. 俄乌冲突、全球政治经济转型及其对中国的影响[J]. 俄罗斯研究,2022(03):20-54.
- [21]吴巧生, 薛双娇. 中美贸易变局下关键矿产资源供给安全分析[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2019, 19(5): 69-78.
- [22]United-States-Geological-Survey. Minerals Yearbook - Metals and Minerals [DB/OL], 2022 [2022-7-28]. <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/minerals-yearbook-metals-and-minerals>.
- [23]工业和信息化部. 2021 年镍钴锂行业运行情况[EB/OL], 2022 [2022-7-28]. https://www.miit.gov.cn/gxsj/tjfx/yclgy/ys/art/2022/art_61aebd5e16ab47caa087d598f8c3d9d1.html.
- [24]张琳, 葛建平. 稀土产业升级研究综述: 现实困境、影响因素和可选路径[J]. 资源与产业, 2022, 24(2): 1-9.
- [25]United Nations. UN Comtrade Database [DB/OL], [2022-8-7]. <https://comtrade.un.org/data/>.
- [26]王罗汉, 陈志. 中美战略性矿产竞争的三大热点类型分析[J]. 全球科技经济瞭望, 2020, 35(7): 26-32.

报告引用: 王建良, 葛建平, 鞠立伟, 唐旭, 李孛, 范静静, 刘一. 美国对中国能源安全的潜在影响及中国应对举措[R]. 中国石油大学(北京)碳中和与能源创新发展研究院, 2022S01, 2022 年 9 月 30 日.



中石大碳能院

ICED-CUPB

中国石油大学（北京）碳中和与能源创新发展研究院

Institute of Carbon Neutrality and Innovative Energy Development, China University of Petroleum,
Beijing (ICED-CUPB)

联系电话：18910556924

邮箱：iced-cupb@cup.edu.cn

微信公众号：ICED-CUPB

地址：北京市昌平区府学路 18 号

Add: No. 18, Fuxue Rd., Changping District, Beijing, 102249, China

