



蓝皮书系列·2023

执行摘要

零碳中国·生物天然气

中国投资协会能源投资专业委员会



作者与鸣谢

作者 (按姓氏首字母排序)

姜艺、李景明、孙耀唯、吴晓松、王瑞、
张杰、郑冬冬、朱洪光

技术支持单位

中国沼气学会

联系方式

郑冬冬:ccei_zd@163.com

鸣谢

我们向为本研究提供意见和建议的来自政府部门、
企业和研究机构的专家们表示诚挚的感谢。

*封面及文中部分图片来源于pexels、pixabay。

*本蓝皮书用纸属于中国森林认证产品。

关于我们



中国投资协会能源投资专业委员会

中国投资协会是经中华人民共和国民政部登记注册，具有社团法人资格的全国性社会团体，是中国投资建设领域权威性、综合性社团组织。其政策和业务指导部门为国家发展和改革委员会。中国投资协会能源投资专业委员会是经中国投资协会批准成立的能源投资领域专业性社会组织，是中国投资协会的分支机构，于2020年1月牵头联合50多家国内外机构发起《零碳中国倡议》，旨在新时代中国特色社会主义思想指引下，以实现碳达峰、碳中和为目标，充分发挥政府与社会之间的桥梁和纽带作用，努力为政府和会员企业服务，持续推动能源事业的进步与发展。

目录





前言	05
一、发展生物天然气产业的重要意义.....	06
二、国际生物天然气发展现状.....	08
三、我国生物天然气发展的整体态势.....	10
四、我国发展生物天然气的主要问题.....	15
五、加快发展生物天然气的政策建议.....	17

前言

近几十年来，人类活动引起的气候变化问题逐渐加剧，全球平均气温升高、海平面上升，热浪、暴雨、大雪等极端天气的强度和频率持续增加，以二氧化碳为主的温室气体是造成温室效应和气候变化问题的主要因素。为应对气候变化，全球已有一百多个国家制定了碳达峰和碳中和战略，零碳发展正由全球政治共识转化为各国政策目标。

在全球推动零碳发展的背景下，以新能源为代表的零碳产业迎来加速发展的历史机遇，风电、光伏等可再生能源发展速度空前。然而，实现净零排放需要的不仅是可再生电力，低碳、绿色、可再生的燃料可在化石能源替代、农林废弃物处理、二氧化碳捕集封存等电力无法触及的领域实现深度脱碳，是实现零碳排放必不可少的重要内容之一。

生物天然气¹（也称为“生物甲烷”）是由沼气提纯而来的一种近乎纯净的甲烷，可将生物质原料中的碳进行封存或资源化利用，并通过农林生物吸收的方式形成循环，是兼顾减污降碳和多领域清洁能源替代的绿色可再

再生能源。生物天然气热值约为33-36MJ/M³，与普通的化石天然气没有区别，完全兼容天然气管网等基础设施以及天然气汽车等用户设备，是一种理想的绿色燃料。

“零碳中国”蓝皮书系列是中国投资协会能源投资专业委员会落实《零碳中国倡议》的具体行动之一，围绕能源投资和能源转型相关重要领域开展深度研究，向社会公众推广和普及零碳理念，共同把握零碳发展机遇，培育绿色发展新动能。为此，中国投资协会能源投资专业委员会编制并发布《零碳中国·生物天然气》蓝皮书，旨在明确生物天然气对零碳发展的重要意义和必要性，通过梳理国际国内生物天然气的产业和技术发展现状，总结目前中国生物天然气产业发展存在的问题和机遇，对中国生物天然气产业发展前景进行分析，为相关部门、投资者、从业者提供参考和借鉴。

¹沼气的成分主要为甲烷和二氧化碳，甲烷含量大约60%左右；经过提纯后，甲烷含量可达到国家天然气标准，变为生物天然气。



一、发展生物天然气产业的重要意义

生物天然气行业是实现碳中和的重要的、且不断增长的贡献者之一，可在减污降碳、控制甲烷排放、助力乡村能源可持续发展、保障国家能源安全等方面发挥重要作用，有潜力将全球温室气体排放量减少10%以上，是推动实现碳中和的重要途径。

（一）生物天然气具有减污降碳多重效应

我国城乡有机废弃物种类多，规模大，若不充分利用，会对生态环境带来极大影响。生物天然气由有机废弃物为原料生产，直接（农业残留物、中间作物、废物等）或间接（污水污泥、粪便、生物废物等）源自生物质，在生物天然气工厂的封闭和受控环境中捕获生物质中的甲烷，提纯并用于生产可再生能源，避免有机废弃物和甲烷的大量自然排放，从根本上减少有机废弃物对环境的污染和破坏。

从生物天然气的生产利用全过程来看，植物从大气中捕获二氧化碳进行光合作用，捕获的二氧化碳在生物天然气燃烧过程中释放到大气中，然后被新生长的植物再次捕获，实现循环，因此生物天然气的燃烧不会增加大气中二氧化碳的含量，且随着碳捕捉利用技术的成熟和应用，生物天然气可以在生物质原料生产和能源化利用等多个环节实现碳减排，如通过替代化石燃料来减少排放、避免农业和畜牧业废弃物的甲烷泄漏、生产绿色肥料替代碳密集型化学品肥料、提升土壤碳储存以及碳捕获封存能力等，是真正意义上的“负碳”能源。

（二）符合多项联合国2030可持续发展目标

2015年9月25日，联合国193个成员国在联合国可持续发展峰会上正式通过17个可持续发展目标(Sustainable Development Goals, 缩写SDGs)，包括消除贫困和饥饿、清洁能源、永续供求、气候行动等，旨在从2015年到2030年间以综合方式彻底解决社会、经济和环境三个维度的发展问题，转向可持续发展道路。可持续发展目标将作为2030年可持续发展议程的重要组成部分，并为15年内实现17项目标指明了方向，呼吁全世界共同采取行动，改善所有人的生活和未来。



图1 联合国可持续发展目标

生物天然气产业的减污降碳、生态友好、与农业农村密切相关、可持续发展的特点，使得其在助力实现构建可持续的农业系统、提供清洁用水和卫生设施、提供低价可靠和可持续的现代化能源、促进工业创新和可持续发展、构建可持续城市和人类社区、应对气候变化等目标方面将作出重要贡献。

（三）有利于控制甲烷排放和生物碳封存

甲烷是导致全球气候变暖的第二大温室气体，对全球变暖贡献率达25%，仅次于二氧化碳。与二氧化碳相比，甲烷吸附热量能力更强，20年内的全球增温潜势（GWP）相当于二氧化碳的84倍，100年内的GWP为二氧化碳的28倍。2021年11月，中美两国在联合国气候公约第26次缔约方大会（COP26）期间发布《中美关于在21世纪20年代强化气候行动的格拉斯哥联合宣言》，聚焦强化甲烷测量和减排，双方计划在国家及次国家层面制定强化甲烷排放控制的额外措施。

2022年全球甲烷排放量为14195.38万吨，其中最大排放源为农业活动，占比39.90%。农业活动的甲烷排放源主要为水稻种植、动物肠道发酵和畜禽粪便，如不经过密封有序处理，会造成大量的甲烷逸散。通过生物天然气技术处理农业秸秆和畜禽粪便，可以有效避免甲烷逃逸，并转化为可再生能源加以利用。生物天然气的副产品沼液和沼渣作为绿色肥料更易被植物吸收，可减少化肥肥料的使用和化肥生产相关的排放，间接促进农业中间作物的轮作，提升土壤碳汇能力。同时，生物天然气生产过程的沼气提纯环节会形成高浓度的二氧化碳，可专门用于生产基于氢的合成甲烷、合成甲醇等，也可作为原料在化学工业、食品、电子燃料等领域广泛应用；通过二氧化碳矿化混凝土技术以及推广二氧化碳用于新型建筑材料的生产，还可实现二氧化碳在建筑以及路、桥等基础设施中的永久固结。

（四）有助于保障我国能源安全

天然气由于资源丰富、开采及应用技术成熟、成本相对较低、相对清洁低碳、可与可再生能源协同发展、产供销体系日臻完善等优势，在“双碳”战略下的能源转型进程中，将作为最主要的过渡性能源发挥重要作用。但受资源条件所限，我国天然气产量难以满足消费需求，对外依存度较高且有进一步增加的风险。2022年我国天然气对外依存度40.14%，虽相比新冠疫情前略有降低，

但表观消费量达到3663亿立方米，呈现持续上升态势。根据《中国天然气发展报告（2023）》，初步预计2023年全国天然气消费量将达到3850亿-3900亿立方米；与此同时，我国部分主力气田进入开发中后期，产量递减快，新发现的气田多为低品位资源，埋藏深、规模小、开发成本高，经济效益比较差，难以持续发展；未来一段时期，我国天然气产量增长将有所放缓，快速的消费增长必将带来对外依存度的快速上升，在国际地缘政治事件频发和国际贸易逆全球化的发展态势下，过高的对外依存度将严重影响我国的能源安全。

我国作为农业大国，具有丰富的农牧生物质资源。据有关机构预测，我国生物天然气发展潜力超过2000亿立方米/年，可作为我国天然气消费的有力补充，助力我国天然气行业在能源转型中发挥过渡性能源的作用。

（五）有助于乡村振兴和构建农村新型能源体系

2021年2月，习近平总书记庄严宣告，我国脱贫攻坚战取得了全面胜利，标志着我们党在团结带领人民创造美好生活、实现共同富裕的道路上取得了重大成果。但解决发展不平衡不充分问题、缩小城乡区域发展差距、实现人的全面发展和全体人民共同富裕仍然任重道远，乡村振兴成为农村地区未来发展的核心内容。

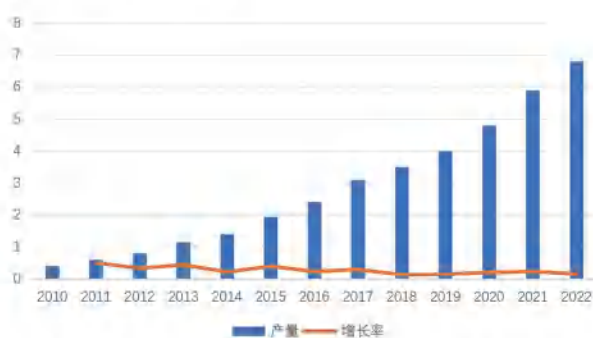
面向乡村振兴，农村能源转型将发挥重要作用。生物天然气产业可有效衔接第一产业和第二产业，实现能源领域巩固拓展脱贫攻坚成果同乡村振兴有效衔接，提升农业生产附加值，服务农业农村现代化；同时生物天然气可提高农村能源的多元化和低碳化，与风电、光伏等可再生能源协同发展，为加快推动农村能源转型和构建农村新型能源体系提供更多可能，在能源服务和环境治理等方面提供更多发展机遇，有效解决农村废弃物处理和农村地区碳排放问题，在“双碳”战略背景下，为我国乡村振兴和可持续发展做出贡献。

二、国际生物天然气发展现状

整体来看，世界各地沼气产业的发展并不平衡，其发展潜力不仅取决于原料的供应，还取决于鼓励其生产和应用的政策环境。

（一）全球生物天然气发展的基本状况

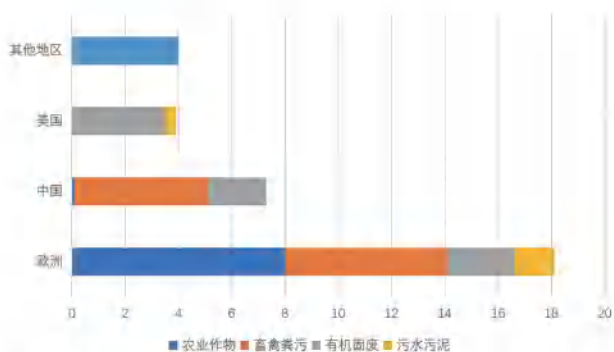
从全球生物天然气生产规模来看，欧洲、中国和美国占全球产量的90%。原料来源以秸秆和畜禽粪便为主，其次是污泥和餐厨垃圾。



数据来源：国际能源署

(单位：十亿立方米)

图2 全球生物天然气生产规模及增速



数据来源：国际能源署

(单位：MTOE)

图3 各地区不同原料生产沼气产量

欧洲是世界最大的沼气生产地区，其中德国拥有欧洲约三分之二的沼气厂产能，瑞典、丹麦、法国、意大利、荷兰等国家在沼气生产方面也处于国际领先地位。中国沼气产业早期以农村地区户用沼气池为主，近年来大中型沼气工程取得较大进展，在政策支持下，生物天然气项目正逐步上马；美国沼气的主要生产途径是通过垃圾填埋气收集，占其沼气产量的近90%，目前以农业废弃

物为原料的沼气项目逐渐增多，在政府的支持下，生物天然气在美国交通运输领域的应用处于全球领先地位。除以上地区外，剩余沼气产量约半数来自亚洲发展中国家，特别是泰国和印度，清洁发展机制 (CDM) 的支持起到了重要的支撑作用，特别是在2007年至2011年间。随着CDM授予的减排信用额下降，新增沼气项目在2011年之后急剧下降。

非洲的沼气应用主要集中在拥有具体支持计划的国家。贝宁、布基纳法索和埃塞俄比亚等一些政府提供的补贴可覆盖沼气项目一半至全部投资，非政府组织推动的项目以提供实用技术和补贴为主，降低净投资成本。除此之外，信贷便利在一些国家也取得了进展，特别是肯尼亚的先租后买模式，为2018年近一半的沼气项目提供了资金。

（二）欧洲生物天然气发展走在世界前列

欧洲的生物天然气产业发展在全球处于绝对领先地位，项目数量逐年稳定增长。截至2021年底，欧洲已有超过1000个生物天然气设施投入运行，总产能达36亿立方米，已达到欧盟委员会宣布的2030年REPOWEREU计划目标350亿立方米的10%。欧盟统计局数据显示，2021年欧洲天然气消费量约为4800亿立方米，约90%为进口，欧洲扩大生物天然气生产的空间仍然巨大。目前，欧盟只有5%的沼气厂安装了生产生物天然气所需的沼气提纯装置，生产原料由38%的农业废物、31%的专用能源作物和28%的有机废物提供。



数据来源：欧洲沼气协会

(单位：十亿立方米)

图4 欧洲生物天然气生产量

2022最新数据显示，欧洲的生物天然气设施新增155座，达到1222座。



图5 欧洲生物天然气项目数量 (个)

数据来源：欧洲沼气协会

德国是欧洲最大的沼气生产国，沼气工厂数量最多，达到11837座，其次为意大利、法国等。德国沼气的市场应用体系较为成熟，大型沼气工程和生物天然气工程发展较快，为保障德国能源安全发挥了重要作用。相比之下，瑞典是欧洲将沼气提纯为生物天然气比例最高的国家，生物天然气工厂占沼气工厂比例也最高，其次为丹麦、法国等。

(三) 国际经验与启示

从欧洲沼气和生物天然气产业的发展经验来看，政策支持在产业早期发展起到关键作用，而成熟的运行模式则是产业实现可持续发展的重要条件。

在政策方面，瑞典施行了生物天然气在交通、工业、发电三个领域应用的二氧化碳和能源税豁免，为以禽畜粪便为原料生产生物天然气的项目提供补贴，通过致力于温室气体减排的气候投资计划为生物天然气项目提供投资保障，并通过可持续性认证标准、天然气管网质量平衡和跨境贸易监管等方式为生物天然气发展提供支持；德国通过基本补助、可再生能源补助、热电联产优惠等能源优惠政策为沼气项目提供支持，约46%的项目同时享受着3项能源优惠政策，7%的项

目在此基础上还受到鼓励创新政策的支持，从德国1990年的上网电价补贴模式和2000年《可再生能源法》的实施，到后来的粪肥补贴、生物废物利用激励、取消能源作物补贴等政策措施可以看到，高度适应性的能源部门通过政策手段成功地触发了长达18年的市场引入、扩张和整合阶段，不仅确保了从一个阶段到另一个阶段的过渡，而且规范不同市场发展阶段的良性运行。

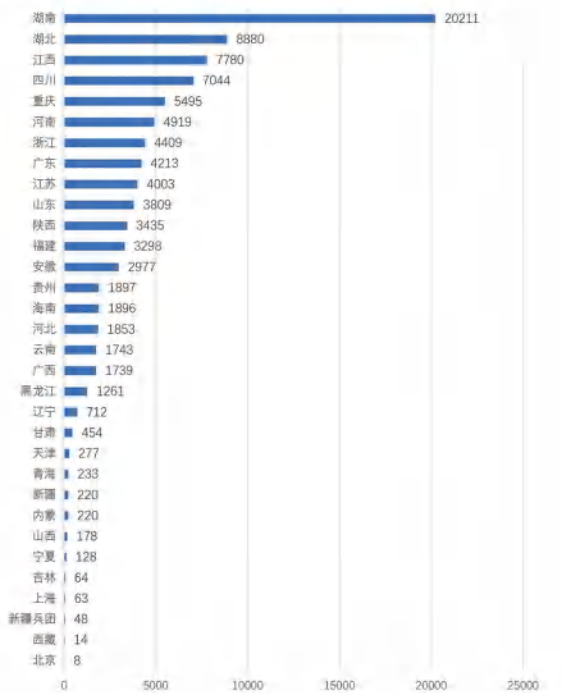
沼气和生物天然气产业的运行模式也在很大程度上受政策的影响。瑞典政府科学的支持计划对于瑞典沼气产业的可持续发展至关重要，其设计方式能够将当地各种因素全面考虑，并纳入补贴评估标准，并在明确燃料未来市场状况的情况下降低投资风险，如最大化扩大沼气生产原料来源，如农业废弃物、动物粪便、污水污泥以及食物垃圾、纸浆和造纸厂剩余物等，增加沼气产量，最大限度地提高沼气系统的社会效益；政府出台激励措施，促进沼气提纯创新技术解决方案的研发，改善了沼气行业的经济状况和市场条件；同时要最大化拓展生物天然气的应用市场，除了完善管网基础设施外，重型运输、航运和工业在未来生物天然气产业发展中将是重要的潜在市场。

总而言之，生物天然气产业的发展应从长期视角、商业策略、有影响力的提倡者、跨界互补合作、创新技能和经验以及安全的市场等方面统筹规划，为产业良性发展提供良好的政策环境和市场环境。



三、我国生物天然气发展的整体态势

我国沼气工程从上世纪80年代开始迅速发展。2015年后，我国农村沼气进入以大型及特大型工程为主体的转型升级阶段，实现了发酵原料多元化及技术工艺创新。随着“双碳”战略的不断推进，生物天然气在解决城乡有机废弃物排放、交通和工业领域深度脱碳等方面的优势越来越明显，在政策的推动下，生物天然气产业迎来快速发展的历史机遇。

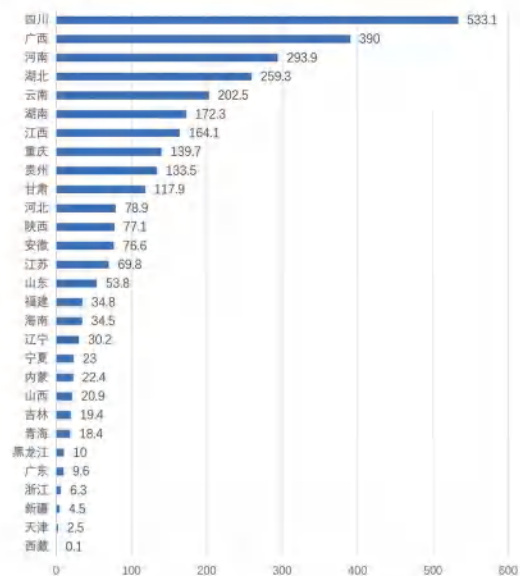


数据来源：《2022中国农村统计年鉴》

图6 中国各地区沼气工程数量（处）

（一）产业发展现状

根据2022中国农村统计年鉴数据，截止到2020年底，全国农村户用沼气累计保有量约3007.7万户。以农业有机废弃物为原料的各类沼气工程93481处，其中大型和特大型6553处，包括64处规模化生物天然气示范工程，年产生物天然气12773立方米。中国户用沼气主要集中在四川、广西、河南、湖北、湖南、江西等地区，其中占比最大为四川，约18%。沼气工程主要分布在湖南、四川、湖北、江西、重庆、江苏、浙江等地区，其中湖南占比最大，约22%。



数据来源：《2022中国农村统计年鉴》

图7 中国各地区户用沼气池数量（万户）

案例专栏：阜南县生物天然气项目



阜南县生物天然气项目是阜南县人民政府以政产学研合作为基础，联合上海林海生态技术股份有限公司、同济大学，以整县域为对象开发建设并运营的区域城乡有机废弃物生产生物天然气的生动实践。目前“阜南模式”已得到从地方到中央主管部门的认可，2020年被农业部认定为“中国生物天然气产业的‘阜南模式’”，中央电视台在“习近平时间”栏目中，将“阜南模式”作为中国三大碳减排、碳中和的典型范例向全世界推介。

项目两期总投资15亿元，分成生物天然气基础设施和燃气基础设施。其中，生物天然气基础设施包括建立8个生物天然气站点（总容积为18万立方米），日产能11万立方米，总投资近11亿元；燃气基础设施包括建设300多公里燃气管网与一个天然气调峰与维修及服务中心站，总投资近4亿。8个站点全部投产后，年可以处理各类有机废弃物300万吨以上，年产生物天然气近4000万立方米，有机肥料20万吨，贡献近70万吨负碳指标。探索出一条符合中国县域实际的绿色低碳转型、生态环境改善、现代环境治理体系建设的可推广、可复制典型案例。

阜南项目一期工程第一阶段首批龙王、苗集、公桥三个站点与中心调峰站于2020年11月底正式投产运营，即3+1四站贯通；第二阶段田集、焦陵、张寨、柴集和王楼5站点于2022年12月结束建设期，全部投入生产试运营，实现8+1九站贯通。阜南项目拉动投资30-40亿元，上缴工程建设税收约2000万元，平均每年增加利税近亿元，对全县整体经济提升具有显著影响。其次，可改善区域能源结构，实现低碳生活，吸纳当地一定数量劳动力的就业，直接带动就业120多人，间接就业上千人。项目建成后正常年总收入可达到3.7亿元，年上缴地方税收约1000-1500万元，助推县域GDP提高21%，助推比亚迪、纽龙船舶等百亿级绿色用能企业入驻阜南。

（二）促进生物天然气发展的政策环境

2020年9月22日，国家主席习近平在第七十五届联合国大会上提出“力争2030年前碳达峰，努力争取2060年前实现碳中和”的“双碳”目标。随着《中共中央、国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》、国务院印发的《2030年前碳达峰行动方案》等“1+N”政策的不断出台，中国围绕碳减排领域的政策不断完善。

聚焦生物天然气领域，国家发改委、农业农村部、国家能源局等部委陆续发布了《2015年农村沼气工程转型升级工作方案》《关于促进生物天然气产业化发展的指导意见》等政策，将生物天然气纳入国家能源发展战略及天然气产供储销体系，提出将建立优先利用生物天然气的发展机制，详细勾勒了生物天然气发展的方向、目标、任务和政策框架，明确提出生物天然气作为绿色低碳清洁可再生燃气新兴产业，要强化统筹协调，发挥市场作用，建立产业体系，以产业化方式推进发展生物天然气产业，并提出“到2025年产量超过100亿立方米，2030年超过200亿立方米”的发展目标。

生物天然气与农村能源转型密切相关。《中共中央 国务院关于全面推进乡村振兴加快农业农村现代化的意见》《中共中央 国务院关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的意见》《中共中央 国务院关于做好2023年全面推进乡村振兴重点工作的意见》《中共中央办公厅 国务院办公厅关于印发〈乡村建设行动实施方案〉的通知》以及国家能源局等四部委《关于组织开展农村能源革命试点县建设的通知》等系列重要文件都对农村能源转型做出了部署，提倡在有机废弃物丰富、用气需求量大的区域，探索开发生物天然气项目，形成管网天然气、车辆用气、锅炉燃料等多元应用模式。

碳交易政策出台将大大助推生物天然气产业发展。我国碳市场的抵消机制为CCER机制，是依据《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》的规定，经国家主管部门备

案并在国家注册登记系统中登记的温室气体自愿减排量。2023年7月，生态环境部发布了关于公开征求《温室气体自愿减排交易管理办法（试行）》意见的通知，再加上此前已完成初步验收的国家核证自愿减排量（以下简称CCER）注册登记和交易双系统，CCER各项制度和基础设施建设正在加快，全国温室气体自愿减排交易市场启动在即。CCER碳交易的加持，将大幅提升生物天然气项目的收益，使得某些本来不具备经济性的项目重新获得机会，带动整个产业的快速发展。

（三）生物天然气的主要技术进展

目前，生物天然气的核心技术主要包括沼气生产技术和提纯技术。生物天然气生产技术的分类很多，但总体可分为湿式厌氧消化和干式厌氧消化，其中湿式厌氧消化是最常见、最主要的工艺方式。

表 1 沼气生产技术

生产技术	发酵浓度	特点
湿式厌氧发酵	发酵浓度：干物质<10-15%	生产效率高，技术成熟、处理设施便宜； 预处理复杂；定期浮渣层；对冲击负荷敏感；水的消耗量大，产生废水量也大。
干式厌氧发酵	发酵浓度：干物质20%-40%	用水量少；抗冲击负荷较强；预处理相对便宜，反应器小；水的耗量和热耗量小，产生废水量较少，废水处理费用相对较低； 技术有待进一步攻关，输送和搅拌环节技术问题待解决。

生物天然气提纯（沼气中二氧化碳的分离）技术可分为物理技术、化学技术和生物技术。具体包括膜分离、水洗、变压吸附、低温分离、化学吸收等技术。其中应用最广泛的是膜分离技术和水洗技术，其次是变压吸附和化学吸收技术，低温分离技术应用还相对较少。

表2 生物天然气提纯技术

提纯技术	技术原理	特点
水洗技术	利用 CH_4 和 CO_2 在水中溶解度的差异，采用水洗技术将 CO_2 溶于水，从而实现 CO_2 的分离。	处理成本低，占地面积小，技术成熟稳定，无需单独设置脱硫设施，适合大型生物天然气项目。
膜分离技术	CH_4 和 CO_2 在膜表面吸附能力、溶解度及扩散速率的不同，通过在膜分离器中施加一定压力，利用膜两侧的压力差，分离出沼气中的 CO_2 。	工艺简单、操作简便、绿色环保、占地面小，比较适用于分离中小规模沼气中的 CO_2 。但存在操作压力高、膜元件易受损、寿命短、更换频繁等问题。
变压吸附	根据 CH_4 和 CO_2 分子大小不同以及其在吸附剂中的吸附量、吸附力以及吸附速度等差异，实现沼气中 CH_4 和 CO_2 分离。	具有运行能耗低、设备投资少、自动化程度高等优点，比较适合中小型沼气提纯工程。

（四）双碳目标背景下生物天然气发展的历史机遇

在新时代“双碳”的背景下，生物天然气多重减碳的优势更加凸显，生物天然气的产业地位将逐步提升，在全球碳中和进程中扮演更加重要的角色。生物天然气的市场需求量日益增加，主要体现在以下几个方面：

国际航运急需生物天然气提供绿色燃料。在全球应对气候变化的背景下，航运业的温室气体排放问题面临的压力与日俱增。国际海事组织（IMO）于2018年通过航运业温室气体减排初步战略，提出到2050年全球航运业温室气体排放总量较2008年水平至少降低50%的远期目标。据挪威船级社（DNV）统计，2022年全球订购采用替代燃料的船舶总数为275艘（不包括电池动力船舶），其中液化天然气（LNG）燃料船舶共计222艘，占总订单数量的81%，处于领先地位。截至2022年底，全球在运营和手持订单LNG动力船总数为876艘。2022年有104艘新造LNG动力船投入运营，占新增船队的41%。

在燃烧循环中，与化石LNG相比，生物LNG最多可降低碳排放约92%。假如所用的生物LNG是由家庭和农业废物生产的，其产生的碳排放则可能为负值。2021年6月，日本商船三井发布的“环境愿景2.1”战略中，生物燃料已被定位为化石燃料的有效替代品。

生物天然气可以为企业减少欧盟“碳关税”。作为全球首个生效的“碳关税”，欧盟碳边境调节机制（CBAM）已进入实施过渡期阶段，涉及电力、钢铁、水泥、铝、化肥、氢气等六大行业。非欧盟生产商未来想在欧盟销售相关商品，必须为碳排放付费，付费金额是生产国碳价格与欧盟碳价格的差价。第一批纳入的六个行业大部分生产工艺和生产过程都与天然气相关，如果利用生物天然气替代化石天然气或其他化石能源，可以大大降低这些行业生产带来的碳排放，从而降低出口产品的碳足迹，降低所需要缴纳的碳关税。对于有向欧洲出口相关产品业务的企业来说，利用生物天然气将是降低国际贸易成本和提升产品国际竞争力的重要途径。



企业对绿色原料的需求快速增长。甲烷不仅是重要的燃料，还是非常重要的化工原料，大量用于生产合成氨、尿素和炭黑，还可用于生产甲醇、氢、乙炔、乙烯、甲醛、二硫化碳、硝基甲烷、氢氟酸以及二、三氯甲烷和四氯化碳等化工产品，而这些产品80%-90%的碳排放来自于上游原材料，大型企业在其减碳计划中，往往将上游原材料的碳排放作为重要管控对象。近年来，随着钢铁、化工等行业绿色转型力度加大，对生物天然气等绿色原料的需求也越来越大。对部分企业来讲，绿色原料的获取难度相比绿色电力更高，因此在落地产能项目时更倾向于选择生物天然气基础设施相对完善的地区，这也是地方政府招商引资提供了新的思路。

具有经济性的生物天然气液化技术不断成熟，推动生物天然气应用范围更加广泛。生物天然气液化后，其能量密度大大增加，更加适合储存和远距离输送，可以广泛应用到重型交通运输、海运、工业等领域，行业需求正在逐步增加。欧洲小型化的液化技术已经比较成熟，商业化运行项目较多。2021年北欧能源巨头GASUM公司投入的液化沼气项目，为斯堪尼亚重卡提供能源，单次加气里程可达到1600公里，这是目前电动重卡无法比拟的。

绿氢发展需要生物天然气。2022年国家发改委、国家能源局联合印发了《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》，明确了氢能是未来国家能源体系的重要组成部分，是用能终端实现绿色低碳转型的重要载体，氢能产业是战略性新兴产业和未来产业的重点发展方向。目前全球制氢技术的主流选择是化石能源制氢和化工原料制氢，其中天然气制氢应用较为广泛。我国化石能源制取灰氢的占比较高，在“双碳”战略发展背景下势必将被绿氢、蓝氢所取代，由于清洁性好、效率高、成本低，采用生物天然气重整制氢具有较大发展空间。

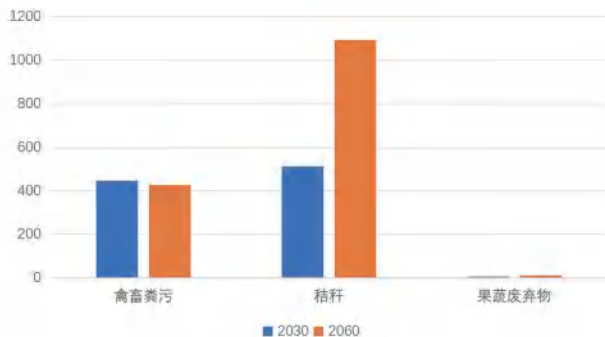
碳捕捉和利用使得生物天然气项目更具有经济性。沼气制取生物天然气的主要副产品是二氧化碳，主要由生物质或生物质衍生品分解、消化或燃烧产生，被称为生物二氧化碳。利用生物二氧化碳，可增强可持续碳循环，发挥生物天然气项目的气候效益，挖掘更多商业机会。最成熟的二氧化碳利用包括：包装（作为防腐剂延长食品保质期）、软碳化饮料、矿泉水和啤酒、生产脱氧水、制作酸化剂以及在工业焊接领域的应用等。利用沼气提纯生物天然气过程中捕捉生物二氧化碳，可助力这些领域实现二氧化碳原料的可持续碳循环，也为生物天然气项目的可持续发展拓展更多的经济收益渠道。



（五）生物天然气产业市场和投资潜力巨大

2019年，国家发改委等10部委联合印发《关于促进生物天然气产业化发展的指导意见》，提出到2025年，生物天然气具备一定规模，形成绿色低碳清洁可再生燃气新兴产业，生物天然气年产量超过150亿立方米；到2030年，生物天然气实现稳步发展，规模位居世界前列，年产量超过300亿立方米，占国内天然气产量一定比重。

根据中国沼气学会《2021中国沼气行业“双碳”发展报告》的预测，2030年畜禽养殖规模化率和畜禽粪污综合利用率将分别达到75%和85%以上，预测畜禽粪污可利用量可达29.9亿吨，按照资源沼气化利用率50%，单位粪污产沼气30立方米/吨鲜重计算，可获得沼气生产潜力约为447.8亿立方米，2060年，沼气生产潜力可达428亿立方米。2030年，全国将建立完善的秸秆收储运体系，形成布局合理、多元利用的秸秆综合利用产业化格局，资源沼气化利用率有所增加为20%，可用于沼气生产的作物秸秆资源量为1.9亿吨，单位秸秆产沼气能力为300立方米/吨，估算农作物秸秆可获得沼气生产潜力为513亿立方米，2060年可达1094亿立方米。2030年，资源化利用率进一步提升到80%，则果蔬废弃物可利用量达2.2亿吨，预期资源沼气化利用率提升至10%且单位果蔬废弃物产沼气能力按30立方米/吨鲜重计算，届时可获得沼气生产潜力达到6.7亿立方米，2060年可达到13.1亿立方米。



数据来源：中国沼气学会

图8 我国生物沼气产量潜力预测

(以畜禽粪污、秸秆、果蔬废弃物为原料，单位：亿立方米)

随着我国推动能源转型和构建新型能源体系的进程不断加快，天然气作为相对清洁的化石能源和最重要的过渡性能源，需求量不断上升，“双碳”战略下生物天然气将作为化石天然气的补充和替代，迎来产业发展的历史机遇，市场投资潜力巨大。按日产1万立方米生物天然气产能投资1亿元估算，到2030年，生物天然气投资规模可达8219亿元，相应的消费市场规模将达到2000亿元以上，潜力巨大。随着碳交易市场的逐步完善，生物天然气的碳减排效益将贡献更多的经济收入。到2030年，生物天然气年碳减排量将超过5.25亿吨/年，未来国际国内碳市场的接轨将带动中国碳交易价格的快速上升，生物天然气行业的碳减排效益将达到千亿级以上。



四、我国发展生物天然气的主要问题

在政策和市场的推动下，生物天然气产业依托减污降碳、环境友好、市场需求快速提高等优势，迎来发展机遇，但从稳定可持续发展的角度看，生物天然气产业仍面临较多问题。

（一）战略定位待明确

近年来，国家出台的多项政策提出对生物天然气产业发展的支持，但缺少明确的专项规划和实施细则，涉及的相关政策难以真正落地，落实效果不达预期。早期的沼气项目多数都是为了处理粪污、秸秆而建设，仅仅生产沼气，而没有提纯成为生物天然气，也使得大众对生物天然气的概念产生混淆，往往忽视了生物天然气的能源潜力，国家能源统计数据对生物质发电进行了统计，但未将沼气或生物天然气进行单独统计。且相比其能源属性，废弃物处理和环境治理的生态友好属性和社会价值也是其区别于其它可再生能源的重要优势，生物天然气已经演化为集新能源和区域人居环境提升于一体的县域新兴基础设施。同时，生物天然气与农业农村的发展密切相关，是具有一定社会公益属性的可持续发展产业，亟需国家从战略层面对生物天然气产业进行明确定位。

（二）产业化基础薄弱

我国生物天然气整体处于产业发展初期，尚未形成规模化发展，投资主体不多，投产项目较少，尚未形成专业化一体化投资建设运行管理服务体系，以及成熟的商业化市场环境。自2015年起，国家发改委和农业农村部在全国联合开展农村沼气转型升级试点示范，陆续支持了64个规模化生物天然气试点项目，但缺少成熟的产业链进行支撑，技术、商业模式、投资模式等都需要进一步探索和创新，大多数项目建设和运行情况未达到预期效果。生物天然气产业链较长，涉及环节众多，特别是上游原料收储运和下游“三沼”产品消纳问题，相比风电、光伏等可再生能源更为复杂，需要从政策机制、基础设施建设、市场调控等多方面着手，为生物天然气产业化发展创造条件，目前来看，生物天然气的产业化基础仍比较薄弱。

（三）商业模式不成熟

商业模式不成熟是制约生物天然气产业发展的重要因素。我国生物天然气产业仍处于起步阶段，还没有形成完善的政策及产业标准体系，投资规模大、运行成本高、产品效益低是制约其发展的重要原因，市场也缺乏成熟的可复制推广的商业模式。在生物天然气项目建设投资中，设备投资占比高达50%以上，尤其核心工业设备选用国外进口设备的项目，投资占比更高；原料收集方面，城市餐厨垃圾收运处置基本已实现付费制，但是农业领域尚未建立“谁排污、谁付费”和“谁处理、谁受益”的废弃物有偿处理机制，通常还要花费成本购买收运废弃物，生物质发电等项目的竞争也造成原料收集成本的进一步增加；较高的投资和运行成本造成生物天然气在与化石天然气竞争中处于弱势，沼液和沼渣等副产品经济效益低，难以支撑项目运行。整体来看，生物天然气产业的商业模式仍有待进一步探索。

（四）技术创新能力不强

生物天然气工程涉及到的核心技术较多，例如预处理、发酵、沼气提纯、沼液沼渣处理等。中国沼气处理技术基本成熟，然而在核心发酵技术上，资源转化率低、成本高、利用水平不高等问题仍未有效解决，多种原料混合高效发酵、干法厌氧发酵、发酵预警调控等关键技术有待进一步突破。由于缺乏高值转化的微生物基础及工程学基础工艺，目前我国大部分沼气工程还是以处理废物为主，没有进行能源生产。引进的国外技术往往保密性以及适应性不足，仍然需要本土化改进。生物天然气是一个专业程度较高的产业，涉及技术、运营、投资、建设等各方面的专业技术，我国针对生物天然气的科技研发体系仍比较薄弱，人才短缺，尤其是大部分项目都位于乡镇，人才的培养则更加难上加难。伴随着项目管理水平的逐步提升和产业迭代升级，生物天然气企业面临的转型升级压力和挑战同步上升，对技术创新能力的要求越来越高，对专业化、多元化且具备前瞻性的人才需求也越来越迫切。

（五）产品高价值利用程度低

国家扶持政策和地方配套措施落实不到位是制约生物天然气产品无法高价值利用的一个重要因素。在《可再生能源法》、《节约能源法》等政策法规中，均有鼓励性、原则性安排生物天然气并网的条款，但是未被纳入《城镇燃气管理条例》适用范畴。我国天然气实行特许经营，大部分县级及以上城市将燃气特许经营权授予了当地燃气销售企业，形成了区域性垄断经营，生物天然气处于被动地位，生物天然气进入城镇燃气管网困难较多。在建设车用加气站方面，目前各地对加气站管理方式不同，在实施特许经营的城市，生物天然气很难进入车用加气站。在农村集中供气方面，由于农村燃气管理部门不明确，安全管理、工程建设标准等均不完善，加之入户燃气管网建设成本高，区域供气管网户均约需上万元，在没有政策支持的情况下，生物天然气企业自身难以负担。此外，由于绿色认证体系的缺失，生物天然气尚未形成系统的价值实现体系，无法与有需求的企业实现供应方式的畅通，国际上已经有类似的认证机制，我国目前该领域仍是空白，制约了生物天然气的高效流通。

（六）绿色金融政策和税收激励不足

新能源的发展在早期推广的时候都离不开政策的支持，例如风电和光伏产业早期的发展，得到了国际碳交易CDM以及其他绿色金融的大力支持。而生物天然气项目

获得的支持相对较少。生物天然气生产成本相对较高，竞争力弱，在没有国家补贴支持的情况下，相比化石天然气不具备成本优势。由于项目的重资产投入，在缺乏大型产业主体和专项产业引导基金介入的背景下，传统信贷缺乏有效抵押很难落实，政策性金融机构及绿色信贷等其他相关金融支持政策落地也存在障碍。此外，重补贴轻税收的优惠政策造成增值税进项普遍不足的生物天然气企业缺少进项抵扣，企业实际运营的增值税负担较重；其次，重投资补贴轻产出补贴的财政扶持模式“催生”了一批低投资且基本不运行的“投资补贴赢利型”项目，对整个行业设计、建设、运维能力的提高产生了极为不良的影响，激励政策难以取得实际效果。

（七）政策协调难度大

根据国民经济分类，沼气发电和生物天然气均属于电力热力燃气及水生产和供应业（D类），其中沼气发电属于电力和热力生产和供应业中的生物质能发电，生物天然气属于燃气生产和供应业中的生物质生产和供应业。固体废物治理属于环境治理业，划入水利、环境和公共设施管理业（N类）。畜禽粪污处理活动属于畜牧业生产及辅助活动，划入农林牧渔业。以畜禽粪污为原料的生物天然气项目如何归类，直接关系到审批程序、用地、用电、税收政策等，实践中并无统一的标准，各地理解也不一致，因此在项目审批程序上，部分企业会遇到障碍，政策协调难度大。



五、加快发展生物天然气的政策建议

发展生物天然气，需要坚持新发展理念，以实现生物天然气工业化商业化可持续发展、形成绿色低碳清洁可再生燃气新兴工业为目标，聚焦产业发展面临的关键问题，强化统筹协调，完善政策措施，发挥市场作用，创新体制机制，加快生物天然气专业化市场化规模化发展。

（一）明确定位，加强政府统筹规划力度

生物天然气是以各类城乡有机废弃物为原料产生的绿色低碳清洁可再生的天然气，在构建分布式可再生清洁能源生产消费体系，有效替代农村散煤，规模化处理有机废弃物，保护城乡生态环境以及优化天然气供给结构，发展现代新能源产业等方面意义重大，应综合考虑其能源属性、生态友好属性以及与乡村振兴协同发展的重要意义，将生物天然气纳入国家能源体系和能源产业名录，加强国家规划指导，编制生物天然气专项发展规划，明确生物天然气商业化可持续发展路径，进一步提出生物天然气专业化市场化规模化发展、形成现代新兴工业的目标和任务，科学布局生物天然气发展重点区域布局，完善相关激励政策和实施细则，指导生物天然气产业化发展。

（二）多措并举，提升技术装备研发能力

技术创新是产业发展的根本推动力。应建立完善的实验室体系，构建由国家级重点实验室、地方重点实验室、企业技术中心等组成的科技研发体系，设立生物天然气技术产业化研发专项，支持开展预处理、固液分离、生物发酵、发电、提纯、自动化等核心装备和工艺技术的前沿研究和技术攻关，培育建设一批高水平生物天然气技术装备研发重点实验室；坚持产学研深度融合，以企业为主体、以市场为导向，结合具有较高水平的科研院校与研发机构，培育科研能力和科研人才，提高精细化管理水平；强化企业创新主体地位，增强企业自主研发能力，支持创新型领军企业整合优势创新资源，打造创新生态圈，推动规上工业企业研发活动、研发机构、发明专利全覆盖，加快科技成果落地转化，为产业发展提

供内生动力。同时，制修订生物天然气、沼肥等终端产品利用技术和规范标准，对产品进行标准化，提升产业技术水平和市场竞争力。

（三）结合实际，探索创新商业模式和投融资模式

科学合理、行之有效的商业模式和投融资模式是推动生物天然气产业可持续发展的关键因素。生物天然气产业处于发展初期，且具有较强的社会公共服务属性，需要从政策和市场等多方面调控，为产业发展创造良好的环境条件。借鉴国内外已有的成功案例，如阜南县生物天然气项目，以县域为单位的特许经营模式为产业的规模化发展提供了新的思路。由县级政府统筹，授予生物天然气项目公司整县域内的四个经营权，包括对畜禽粪污、病死动物等城乡有机废弃物的收集、处置与利用的特许经营权，整县域内沼气与生物天然气独家建设和经营权，已授权燃气特许经营权区域外的城镇、农村和经济开发区的燃气供应设施建设及燃气特许经营权，以及项目公司销售其他产品的优先经营权。四个特许经营权可为生物天然气项目提供生产资料和产品市场的保障，为产业规模化发展提供了基础，也有助于培育多元化的市场主体，形成多元化的供求关系，为产业的商业化和可持续发展创造良好的市场基础。

国际经验来看，绿色认证和绿色交易可激发市场需求潜力，为商业模式的构建提供更多可能。我们应结合国情，开展生物天然气绿色标准、绿色认证工作的试点和探索，制定生物天然气绿色认证、交易的标准、规范等，推动建立“社会供给—多方参与—行业自律—政府监督”的绿色生物天然气第三方认证制度，为绿色能源获得绿色收益提供政策支撑。

投融资模式与商业模式密不可分，产业的规模化发展必须调动社会资本的积极性。在产业发展当前阶段，应鼓励采取政府与社会资本合作、政府购买服务等方式，调动金融和社会资本参与项目建设运营，建立长效的可持续运营机制。加大银行金融贷款力度，鼓励国开行等战

略投资银行为生物天然气项目提供15年低息贷款，为项目融资提供支持。鉴于生物天然气的绿色属性，可探索建立国家生物天然气产业绿色发展专项基金，以绿色金融为手段，引领社会资本和金融机构进入该产业领域，助推产业发展。

（四）前瞻布局，探索生物天然气配额制

在“双碳”目标战略背景下，加快可再生能源对传统化石能源的替代是推动能源转型的重要内容。天然气在生产生活各个领域应用广泛，推动生物天然气对化石天然气的补充和替代是助力社会深度脱碳的重要途径。探索以县域为单位建立生物天然气配额制度，将生物天然气纳入城镇燃气供应体系，打造一批试点区域，在试点地区提出2030年生物天然气占当地燃气管网容量比例不低于30%，2060年不低于80%的目标。政府应鼓励社会资本广泛参与有助于生物天然气消纳应用的燃气管网和加气站等基础设施投资。同时，基于《中华人民共和国可再生能源法》第十六条提出的“利用生物质资源生产的燃气和热力，符合城市燃气管网、热力管网的入网技术标准的，经营燃气管网、热力管网的企业应当接收其入网”的相关内容，完善相关配套标准和实施办法，打破生物天然气难以并入城镇燃气管网的困难和障碍，助力生物天然气应用市场的拓展和社会的深度脱碳。

（五）对外开放，建立高水平的人才队伍

对生物天然气产业来讲，坚持以高水平对外开放推动构建新发展格局，才能够使国内国际市场之间建立起紧密的桥梁和通道，进一步促进各种资源要素充分自由流动，实现更加强劲的可持续发展。以欧洲为代表的发达国家在生物天然气领域的技术、装备、人才储备等方面具备明显优势，我们应加强与其他国家的国际合作，确保知识产权的有效保护，加大在关键技术、先进装备领域的交流与合作力度；创建透明、公平、开放的市场环境，鼓励外国企业在国内市场开展业务；鼓励国际人才流动，以具有竞争力的政策吸引国际生物天然气领域的高水平人才到国内交流和工作，提供技能培训。

在引才、用才的同时，应完善高层次人才引进和自主培养人才平衡发展机制，充分调动本土人才培育的积极性，持续提升科技自主创新能力，以需求为导向，构建团队合作与协同创新机制，建立高水平的人才队伍，包括注重创新驱动发展的领军人物和高层次人才、面向基层的技能型人才以及具有综合能力的项目管理人才等。通过完善人才评价和激励机制，健全科技人才评价体系，以创新能力、质量、实效、贡献为导向，构建充分体现知识、技术等创新要素价值的收益分配机制，营造有利于人才成长成才、创新创业的大环境，为生物天然气产业的发展提供人才保障。

（六）立足实际，保障政策与产业协调发展

从国际经验看，在生物天然气产业的不同发展阶段有着不同的政策进行支撑。我国以风电、光伏为代表的可再生能源产业的政策演变也为生物天然气产业提供了借鉴，各项补贴、试点、电价政策随着产业发展不同阶段动态调整，才有了今天风电、光伏产业基础和技术装备能力全球领先的成绩。在产业发展初期，产业政策重点在于弥补市场机制的不足，助推产业升级。因经济体制、政府管理、社会结构、发展战略、发展阶段等差异，各国产业政策的目标、范围、着力点、政策工具、绩效有很大不同，我们无法照搬国际经验，只有立足实际，探索和制定符合我国国情的、行之有效的产业支持政策。对生物天然气产业来讲，在当前阶段需要政府从原料保障、污废处理补贴、产品消纳等方面提供政策支持，随着产业基础设施配套逐渐完善，运行模式的逐渐成熟，如“谁污染谁付费”、生物天然气无障碍并网、“三沼”产品的绿色价值认可等机制成为市场共识，政策将从保障转向引导，并进一步规范生物天然气产业各项市场机制。因生物天然气产业涉及发改、能源、住建、农业农村、财政、生态环境等多个部门，政府应做好统筹和跨部门协调工作，在生物天然气产业的不同发展阶段动态调整产业政策，助力生物天然气产业的平稳、良性和可持续发展。



<http://zero-carbon.org.cn>

*中国投资协会能源投资专业委员会版权所有