

能源经济预测与展望研究报告

FORECASTING AND PROSPECTS RESEARCH REPORT

CEEP-BIT-2024-003 (总第 75 期)



中国省际能源高质量协同发展测度

2024 年 1 月 7 日

北京理工大学能源与环境政策研究中心

<http://ceep.bit.edu.cn>

能源经济预测与展望研究报告发布会

主办单位：北京理工大学能源与环境政策研究中心

碳中和系统工程北京实验室

能源经济与环境管理北京市重点实验室

协办单位：北京理工大学管理与经济学院

碳中和系统与工程管理国际合作联合实验室

北京经济社会可持续发展研究基地

中国“双法”研究会能源经济与管理研究分会

中国能源研究会能源经济专业委员会

《煤炭经济研究》编辑部

中国煤炭学会碳减排工程管理专业委员会

特别声明

本报告是由北京理工大学能源与环境政策研究中心研究团队完成的系列研究报告之一。如果需要转载，须事先征得中心同意并注明“转载自北京理工大学能源与环境政策研究中心系列研究报告”字样。

中国省际能源高质量协同发展测度

执笔人：曲申、宋怡藩、周琪、刘洲屹、王千姿、林瑾、刘丹诺、谢笑梅、张薇

作者单位：北京理工大学能源与环境政策研究中心

联系人：曲申

研究资助：国家自然科学基金项目（72022004）



北京理工大学能源与环境政策研究中心

北京市海淀区中关村南大街5号

邮编：100081

电话：010-68918551

传真：010-68918651

E-mail: squ@bit.edu.cn

网址： <http://ceep.bit.edu.cn>

Center for Energy and Environmental Policy Research

Beijing Institute of Technology

5 Zhongguancun South Street, Haidian District, Beijing 100081, China

Tel: 86-10-68918551

Fax: 86-10-68918651

E-mail: squ@bit.edu.cn

Website: <http://ceep.bit.edu.cn>

中国省际能源高质量协同发展测度

党的十九大报告明确指出，我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段。当前正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期，亟须大力提升发展的质量和效益，以更好地满足人民在经济、社会、生态等方面日益增长的需求。能源是经济社会发展和人民生活的重要物质基础，推动能源的高质量发展是中国现代化的应有之义，是推动绿色发展的关键组成部分，也是我国能源安全的重要保障。因此，推动能源与各领域高质量协同发展势在必行。

为此，北京理工大学能源与环境政策研究中心以“安全可靠”、“绿色清洁”、“高效节能”、“能源共享”、“减污降碳”、“技术创新”为发展理念构建了能源高质量发展评价系统，研究制定了“中国省级能源高质量发展指标体系”。通过评估2012年至2022年我国30个省份的能源高质量发展水平，重点分析了各省份的能源发展趋势。在此基础上，进一步探讨了推动各省份能源快速发展的原因，以及未来应如何促进能源高质量发展进程中各目标之间的协同发展。

一、能源高质量发展的内涵

能源是人类文明进步的基础和动力，攸关国计民生和国家安全，关系人类生存和发展，对于促进经济社会发展、增进人民福祉至关重要。推动能源高质量发展是实现中国式现代化、推动绿色发展、保障能源安全的关键，内涵丰富，意义重大。

（一）推动能源高质量发展是中国式现代化的应有之义

习近平总书记在中国共产党第二十次全国代表大会上指出，以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴是中国共产党的中心任务，实现高质量发展是中国式现代化的本质要求之一。能源高质量发展是高质量发展的重要组成部分。中国式现代化是人口规模巨大的现代化，是全体人民共同富裕的现代化，是物质文明和精神文明相协调的现代化，是人与自然和谐共生的现代化，是走和平发展道路的现代化。能源高质量发展的内涵之一，就是要切实发挥能源作为经济社会发展的基础和动力作用，立足基本国情、服务中心任务、推动高质量发展，加快推进社会主义现代化建设进程。

——能源是居民生活的基本保障。中国是世界第一人口大国，2022年中国人口总数约为14.12亿人，超过美国（3.33亿人）、日本（1.25亿人）、欧盟（4.47亿人）人口的总和，比2012年增长近3.9%，庞大的人口规模伴随着巨大的能源需求。随着人民对美好生活的向往日益增强，能源需求日益增强。近年来，中国人均生活能源消费量不断攀高，2021年已达到478千克标准煤，比2012年增长53.2%，远超人口增长率。习近平总书记在参加第七次全国人口普查登记时指出，人口问题始终是我国面临的全局性、长期性、战略性问题。尽管自2016年以来中国人口自然增长率逐年下降，2022年更是出现负增长（-0.60%），但人口规模巨大仍然是我国当前和未来相当长时期的基本国情。立足这一基本国情建设社会主义现代化强国，必然要求深入推进能源革命，抑制不合理能源消费、建立多元化能源供给体系，

实现能源高质量发展，从而为居民生活提供高质量能源保障，为实现中国式现代化提供有力的能源支撑。

——能源为实现共同富裕提供关键动力。习近平总书记在中国共产党第二十次全国代表大会上指出，共同富裕是中国特色社会主义的本质要求；全面建设社会主义现代化国家，最艰巨最繁重的任务仍然在农村。由此可见，实现乡村振兴是夯实共同富裕基础的必然要求。农村能源是乡村振兴的战略性物质基础与动力基础，对激发乡村发展活力起到重要作用。2021年12月，国家能源局印发《加快农村能源转型发展 助力乡村振兴的实施意见》，把“将能源绿色低碳发展作为乡村振兴的重要基础和动力”、“推动构建清洁低碳、多能融合的现代农村能源体系”作为指导思想。2023年3月，国家能源局等部门联合印发《农村能源革命试点县建设方案》，提出“加大乡村清洁能源建设力度，有助于促进农村产业提档升级、拉动产业链延伸。”加快推进乡村振兴、推动实现共同富裕的能源变革正在由顶层设计逐步向实践迈进。应将推动农村地区能源转型作为“牛鼻子”，以能源高质量发展加快推进乡村振兴建设，为实现共同富裕、助力中国式现代化建设注入能源力量。

——能源发展与人类文明进步息息相关。诺贝尔化学奖得主威廉·奥斯特瓦尔德1909年在《能源的现代理论》中提出，“文明的历史就是人类逐渐控制能量的历史”。伴随着主要能源来源的变化更迭，即从木材到煤炭、石油、天然气等化石燃料，再到氢能、核能、生物质能等新型能源，人类社会经历了封建社会、工业革命与现代化进程，

社会生产力不断提高，物质生活条件逐步丰富。唯物主义认为，物质第一性，意识第二性，物质决定意识。通过能源高质量发展加快实现物质生产力进一步提升，为满足和丰富人类精神世界提供了更加扎实的基础。同时，意识对物质具有反作用。人民群众对美好生活的向往，特别是对美好精神世界的追求，对能源发展提出了更高要求，对明确能源高质量方向、加快能源高质量发展进程将起到促进作用。因此，要实现物质文明和精神文明相协调的现代化，就必须以能源高质量发展为抓手，推动实现能源高质量发展与人类文明进步的良性互动循环，从而满足人民群众日益增长的美好生活需求。

——能源清洁低碳高效利用是推进绿色低碳发展的重要领域。中国的碳排放主要来自于能源。根据国际碳行动伙伴组织发布的数据，2020年中国来自能源领域的碳排放占全国碳排放总量的77%。根据《中国能源发展报告2023》，2022年中国化石能源消费占能源消费总量的82.5%。在大气、水、固体等领域的污染治理，亦有较高的刚性能源消费。以污水处理领域为例，根据住房和城乡建设部发布的《2022年城乡建设统计年鉴》，2022年中国共有22328座污水处理厂，处理能力29075.65。按吨水电耗0.3千瓦·时/立方米计算，城市污水处理的年电力消耗约为8723万千瓦·时。由此可见，仅污水处理领域的年用电量已约占全社会用电量的1%。因此，推动能源高质量发展，促进能源绿色低碳转型，对于保护和改善生态环境、减少温室气体排放、实现人与自然和谐共生的现代化具有重要意义。

——能源是和平发展的基石。2022年，伴随着欧盟减少对俄罗斯

能源进口，俄罗斯亦减少了对欧盟的能源出口，导致了欧盟陷入严重的能源危机，严重影响了当地经济社会发展进展和人民群众正常生产生活，世界和平发展进程受到阻滞。究其原因，一方面是在区域极端冲突事件影响下，欧盟采取了较为激进的应对策略；但另一方面，从根源上看，是长期以来欧盟能源结构对其独立自主推动经济社会发展的支撑能力不足所导致的。欧盟传统化石能源的对外依存度较高，超过八成的天然气依赖进口。这一事件对中国的能源高质量发展具有重要的启示意义。国家统计局数据显示，2022年中国原煤、原油、天然气产量分别同比增长9.0%、2.9%、6.4%，进口量分别同比下降9.2%、0.9%、9.9%。中国必须立足自身能源资源禀赋，坚持独立自主，确保能源安全，实现能源高质量发展，才能在全球竞争中保持相对优势，才能保持和平稳定发展的良好态势。

（二）推动能源高质量发展是推动绿色发展的关键组成

习近平总书记在中国共产党第二十次全国代表大会上指出，大自然是人类赖以生存发展的基本条件。尊重自然、顺应自然、保护自然，是全面建设社会主义现代化国家的内在要求。能源取自自然、用于人类经济社会活动，最终作用于自然。能源高质量发展的内涵之一就是要站在人与自然和谐共生的高度谋划发展，助力提升绿色发展能力。

——能源高质量发展有助于加快发展方式绿色转型。优化经济结构是从源头上推动发展方式绿色转型的重要任务。立足资源禀赋、调整能源结构是优化经济结构的重要组成部分。能源高质量发展的目的就是要通过调整能源结构、构建现代能源体系，支撑经济社会高质量

发展。因此能源高质量发展的推进将对推动经济社会发展全面绿色转型起到重要推动作用。能源结构调整的主要方向是降低经济社会发展对化石能源消费的依赖，大力发展清洁能源，实现能源绿色低碳转型。在各级政府、经营主体以及社会公众的共同努力下，能源结构调整取得积极成效。根据国家统计局发布的 2022 年统计公报，原油、天然气消费量分别同比下降 3.1%、1.2%，近 20 年来首次出现双降；天然气、水电、核电、风电、太阳能等清洁能源消费量占能源消费总量的比重达到 25.9%，同比上升了 0.4 个百分点。根据《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》，到 2025 年、2030 年、2060 年，非化石能源消费比重分别要达到 20% 左右、25% 左右、80% 以上。在推进能源高质量发展进程中，能源结构将进一步优化调整，不断为发展方式绿色转型提供动力。

——能源高质量发展有助于推动减污降碳协同增效。能源生产、消费活动与节能降碳水平联系密切，亦与生态环境保护密切相关。在煤炭、石油、天然气等传统能源生产、消费中，会产生二氧化硫、氮氧化物、细颗粒物以及工业废水、固体废弃物等污染物，对大气、水、土壤造成污染。《中华人民共和国环境保护法》第四章“防治污染和其他公害”中要求“国务院有关部门和地方各级人民政府应当采取措施，推广清洁能源的生产和使用”，“企业应当优先使用清洁能源，减少污染物的产生”，在国务院印发的《打赢蓝天保卫战三年行动计划》中，将“加快调整能源结构，构建清洁低碳高效能源体系”作为重点任务之一，推进散煤治理、煤炭消费减量替代和北方地区清洁取暖。

需要注意的是，新能源的开发利用过程中，也会产生环境污染问题。例如，太阳能发电板的制作过程、风力发电机组所需要的钢结构和混凝土的制造和运输过程等均会产生较多的废水废气。由此可见，能源高质量发展需统筹考虑能源发展与环境保护，切实推进减污降碳协同增效。推进能源高质量发展对于推进污染治理、保护生态环境具有重要意义。

——能源高质量发展有助于提升生态保护修复水平。在大力发展清洁能源、可再生能源过程中，不可避免地要开发利用自然资源，可能会对生态系统造成破坏。例如，新能源电池产业前端，即对锂、钴、镍、锰等矿产资源的人为开发，可能会对当地林地、草原、盐沼等生态系统产生负面影响。能源绿色发展的内涵之一即为实现生态优先、绿色发展的能源发展。通过推进能源高质量发展，能够减少对生态系统的破坏，实现对自然资源的合理开发利用。同时，通过深入推进大规模国土绿化行动、提升森林蓄积量，推进海洋生态系统保护和修复、强化红树林、海草床、盐沼等固碳能力，实施生态环境保护修复重大工程、开展山水林田湖草沙一体化保护修复等，能够巩固生态系统碳汇能力、提升生态系统碳汇增量，减少节能降碳对能源结构调整的依赖，从而为能源高质量发展、积极稳妥推进碳达峰碳中和提供有益助力。由此可见，能源高质量发展与生态保护修复相互促进、共同进步，能够为有力有效推进绿色发展提供坚实保障。

——能源高质量发展有助于实现碳达峰碳中和目标。能源生产和消费活动是最主要的二氧化碳排放源，推动能源高质量发展是减少二

氧化碳排放、实现“双碳”目标的重要举措。近年来，中国二氧化碳减排工作取得了一些成绩。根据生态环境部发布的《2022 中国生态环境状况公报》，2022 年中国万元国内生产总值二氧化碳排放比 2021 年下降了 0.8%。但是，国家发展改革委发布的“十四五”规划《纲要》中期评估报告指出，中国二氧化碳排放增速明显快于“十三五”时期，单位国内生产总值二氧化碳排放降低指标进度滞后于“十四五”目标预期，煤炭在能源保供中还需发挥兜底作用，二氧化碳减排任重道远。实现“双碳”目标是中国向国际社会做出的庄严承诺。要用世界上最短时间、在世界第一排放国实现“双碳”目标，进一步加强煤炭清洁高效利用、加快推进化石能源清洁化低碳化替代的紧迫性和重要性不言而喻。推动能源高质量发展，就是要建成清洁低碳、安全高效的现代能源体系。因此，推动能源高质量发展对于积极稳妥推进碳达峰碳中和至关重要。

（三）推动能源高质量发展是我国能源安全的重要保障

习近平总书记在中国共产党第二十次全国代表大会上指出，要深入推进能源革命，加强能源产供储销体系建设，确保能源安全。能源安全是国家总体安全的重要组成部分，是保障能源供应的可靠性、稳定性和可持续性，满足经济社会发展的能源需求，维护国家安全稳定的核心要素。能源高质量发展的内涵之一就是要完整准确全面贯彻能源安全新战略，切实推进能源革命，更好服务经济社会平稳健康发展。

——加强能源多元供给。推动能源供给高质量发展，要综合考虑能源“量”与“质”的供给。一方面，随着工业化、城镇化的持续推

进和快速发展，人民群众对美好生活的追求日益增长，以及极端高温、严寒天气日益频繁出现，中国的能源消费还将在未来一个时期内保持刚性增长。另一方面，由于水电、风电、光伏等新能源安全稳定供给能力尚需提升，化石能源特别是煤炭的保供调峰作用还需继续发挥。由此可见，要实现能源高质量发展，既要大力发展新能源、加快能源结构优化调整，又要立足本国资源禀赋、充分发挥传统化石能源作用，推动构建清洁低碳安全高效的现代能源体系，从而为维护能源安全提供坚实供给保障。

——合理控制能源消费。推动能源消费高质量发展，不仅要充分保障能源需求，还要抑制不合理的能源消费。中国能源消费控制成效显著，2013年以来能耗强度累计下降26.4%，相当于减少能源消费约13亿吨标准煤。但是，中国产业结构偏重、能源结构偏煤的发展现状依然存在并将在一定时期内持续存在。同时，近年来经济发展下行压力较大，地方不顾资源环境约束，盲目上马高耗能、高排放、低水平项目的冲动依然强烈。另外，社会公众节能降耗的意识不足，更换使用绿色节能设备的主动性不足，粗放用电、浪费用电现象比比皆是。推动能源高质量发展，既要注重提高能源利用效率，又要抑制不合理能源消耗需求，从而切实维护国家能源安全。

——完善能源技术创新体系。推动能源技术高质量发展，既要强化能源关键核心技术研发和推广应用，还要完善支持能源技术创新的相关支持政策，通过建立健全市场导向的能源技术创新体系，锻造新的能源产业竞争优势。要聚焦先进可再生能源、新型电力系统、安全

高效核能、绿色高效化石能源开发利用、能源数字化智能化等重点领域开展集中攻关、示范试验和推广应用。同时，还要围绕强化能源技术创新引领、壮大能源技术创新主体、促进能源技术创新协同、完善能源技术评价体系、加大能源技术财税金融支持、加强能源技术人才队伍建设、强化能源技术产权服务保护等方面完善相关保障措施，从而为能源高质量发展、确保国家能源安全提供有力科技支撑。

——健全能源体制机制。推进能源体制机制高质量发展，既要充分发挥市场在能源资源配置中的决定性作用，也要更好发挥政府作用，推动能源市场量价齐稳，打通能源高质量发展快车道。结合当前能源高质量发展的重点方向，要重点围绕完善能源战略和规划实施的协同推进机制、引导能源消费的制度和政策体系、以绿色低碳为导向的能源开发利用新机制、新型电力系统建设和运行机制、化石能源清洁高效开发利用机制、能源安全保供体系、支撑能源转型发展的科技创新体系、支撑能源产业发展的财税金融投资价格政策保障机制以及能源绿色低碳发展相关治理机制等方面，细化政策举措，狠抓贯彻落实，为能源高质量发展、保障国家能源安全提供体制机制保障。

二、省际能源高质量发展测度

（一）指标体系构建

推动能源高质量发展，既要依靠国家层面的顶层设计，也要地方层面的推动落实。为充分了解、科学评估中国省级地方能源高质量发展推进进展情况，北京理工大学能源与环境政策研究中心结合《能源生产和革命战略（2016-2030）》、《新时代的中国能源发展》、《十四五

现代能源体系规划》、《2022年能源工作指导意见》等政策的具体要求，同时查阅对比省际能源高质量发展研究的相关文献，以“安全可靠”、“绿色清洁”、“高效节能”、“能源共享”、“减污降碳”、“技术创新”为发展理念，构建了一套具备系统性、科学性、全面性的省际能源高质量发展评价指标体系（如表1）。

该套能源高质量发展评价指标体系包括 6 个一级指标、28 个二级指标，其中有 22 个正向指标、6 个负向指标。各能源目标协同互补、共同发展，具备数据来源权威性、评估指标客观性、评估结果可比性，是评估和衡量能源高质量发展水平的重要依据。

表 1 省际能源高质量发展指标评价体系

一级指标	二级指标	指标方向	指标含义	指标权重
安全可靠	煤炭储量（吨）	+	能源储备	1/18
	能源自给率（%）	+	能源保供	1/18
	能源工业投资占比（%）	+	能源建设	1/36
	能源基础设施投资占比（%）	+		1/36
绿色清洁	非化石能源消费占比（%）	+	清洁低碳	1/12
	绿色能源投资占比（%）	+	绿色发展	1/12
高效节能	能源消费弹性系数（%）	-	能源效率	1/36
	单位GDP能耗（万吨标准煤/亿元）	-		1/36
	终端电气化水平（%）	+		1/36
	人均能耗（吨标准煤/人）	-	节能意识	1/24
	人均用电量（千瓦时/人）	-		1/24
能源共享	天然气用气人口占比（%）	+	保障用气	1/36
	城市燃气普及率（%）	+		1/36
	城市用水普及率（%）	+	保障用水	1/18
	人均发电量（千瓦时/人）	+	保障用电	1/18
减污降碳	污水处理率（%）	+	降低污染	1/48
	固体废物综合利用率（%）	+		1/48
	二氧化碳排放强度（吨/万元）	-		1/48
	二氧化硫排放强度（吨/万元）	-		1/48
	地方财政环保支出占比（%）	+	重视环保	1/24
	环境污染投资占比（%）	+		1/24

一级指标	二级指标	指标方向	指标含义	指标权重
技术创新	规模以上工业企业R&D人员全时当量 (人年)	+	人力投入	1/24
	研究与试验发展经费投入强度 (%)	+	资本投入	1/48
	科技财政支出占比 (%)	+		1/48
	规模以上工业企业有效发明专利数 (件)	+	创新成果	1/24
	高技术产品主营业务收入占比 (%)	+	技术转化	1/72
	规上工业企业新产品销售收入占比 (%)	+		1/72
	技术市场成交额 (亿元)	+		1/72

省际能源高质量发展测度的数据来源包括国家统计局、各省市能源统计年鉴、中国环境统计年鉴等官方渠道，地区涵盖我国除西藏自治区与港澳台地区外的30个省市自治区（由于西藏自治区与港澳台地区的数据可得性较差，因此不在本报告的考虑范围之内），时间范围为2012-2022年。在完成数据收集后，首先针对部分地区缺失年份的数据，采用三次指数平滑法进行补充。随后，针对负向指标进行正向化处理，对正向指标执行标准化处理。最后，将标准化后的指标数据与相应的指标权重相乘，得到不同层级的发展指数结果。

（二）指标体系解读

（1）“安全可靠”是能源高质量发展的基本前提

国家能源安全具有极端重要性，能源高质量发展必须以能源安全可靠作为基本前提。在“安全可靠”这一发展理念下，共涉及4个二级指标。中国能源资源禀赋主要以煤炭为主，目前煤炭依然是电力调峰和能源保供的主要能源。本地能源供应要能满足自身能源消费需求也是安全可靠的应有之义。因此，“煤炭储量”和“能源自给率”是评价体现能源安全可靠的重要评价指标。另外，在对当前情况进行评估

的同时，也要对能源发展是否具备可持续的安全可靠条件进行考量。能源工业发展趋势和能源基础设施建设情况能够体现可持续性，具体体现在地方财政对上述领域的倾斜程度。因此，“能源工业投资占比”和“能源基础设施投资占比”能够对能源安全可靠发展情况进行评估。

(2) “绿色清洁”是能源高质量发展的发展方向

促进能源转型是推进能源高质量发展的重要组成，能源转型的主要方向是绿色化、清洁化，即实现快速、稳定提升非化石能源占能源消费总量的占比。在“绿色清洁”这一发展理念下，共涉及 2 个二级指标。非化石能源主要指非煤炭、石油、天然气等经长时间地质变化形成，只供一次性使用的能源类型外的能源。“非化石能源消费占比”能够体现出能源绿色化发展水平。加大对非化石能源基础设施和关键核心技术研发等方面的资金投入，能够加快推进能源绿色化、清洁化转型进程。因此，将“绿色能源投资占比”纳入指标体系有助于对推进能源高质量发展水平进行评估。

(3) “高效节能”是能源高质量发展的效率保证

能源节约高效利用是实现能源高质量发展的关键要素。以往人类历史上的能源变革发展，均是推动能源由低密度向高密度迈进。但是，当前推进能源的绿色转型，实现由化石能源向清洁能源替代，从目前技术水平上看，属于能源向相对低密度转变。在这一背景下推进能源高质量发展，需格外关注能源节约高效利用水平。在“高效节能”这一发展理念下，共涉及 5 个二级指标。“能源消费弹性系数”和“单位 GDP 能耗”指标，考察能源对国民经济发展的支撑效率。“终端电

气化水平”及电能占终端用能的比重，能够反映出能源绿色低碳转型效率水平。对“能源节约”的评估主要采用“人均”指标考虑，选择了“人均能耗”和“人均用电量”指标，体现出全民参与能源节约高效发展的成效。

(4) “能源共享”是能源高质量发展的根本目的

能源高质量发展的最终目的是实现发展成果由人民共享，将能源高质量发展融入人民生产生活的方方面面，不断提高生产生活安全性、便利度和质量水平。在“能源共享”这一发展理念下，共涉及4个二级指标。能源共享效能由地方公共事业发展水平和人民群众生活便利程度来体现，选择“天然气用气人口占比”、“人均发电量”、“城市用水普及率”、“城市燃气普及率”指标，主要是评估在推动能源高质量发展背景下地方公共事业现代化水平和人民生活便捷程度，进而体现能源高质量发展成果由人民共享的理念。

(5) “减污降碳”是能源高质量发展的战略选择

推动能源高质量发展，决定了不能只在能源视角看能源，还应综合考虑能源发展对生态环境的影响。能源发展也要重视减污降碳协同增效。在“减污降碳”这一发展理念下，共涉及6个二级指标。大气、水、固体废弃物是环境污染治理的重要领域。能源生产、消费过程中将产生工业废水、废气以及其他固体废弃物。对“污水处理率”、“固体废物综合利用率”、“二氧化硫排放强度”进行评估，体现了对污染治理重点领域和能源生产、消费活动特点的综合考虑。环境污染治理既需要切实发挥市场在资源配置中的决定性作用，也需要政府对

这一领域经营主体的政策引导和资金支持。因此，“地方财政环保支出占比”和“环境污染投资占比”指标是对“减污”指标的有益补充，能够体现在能源发展背景下推进环境污染治理的可持续性，亦可体现能源高质量发展水平。能源是最大的二氧化碳排放源。“二氧化碳排放强度”，能够体现出传统化石能源低碳化利用和清洁化替代进程，能够反映出能源高质量发展的成效。

(6) “技术创新”是能源高质量发展的动力来源

能源高质量发展必须依靠扎实有力的技术创新突破才能实现。能源发展涉及范围广、产业链条长，不能仅关注能源领域技术创新情况，需要对技术创新整体环境进行改善提升。促进技术创新环境整体提升，需要更多的人才、资金投入，才能有效增加创新成果、促进成果转化应用。在“技术创新”这一发展理念下，共涉及7个二级指标。关于技术人才情况，选择了“规模以上工业企业R&D人员全时当量”指标，反映出对自主创新人力的投入规模和强度的评估。关于技术投入情况，选择了“研究与试验发展经费投入强度”和“科技财政支出占比”指标，全面评估衡量地方对技术创新的重视和支持力度以及自主创新投入规模及水平。关于创新成果情况，选择了“规模以上工业企业有效发明专利数”指标，尤其强调出“有效”，从而对地方技术创新能力水平进行科学评估。关于成果转化，选择了“高技术产品主营业务收入占比”、“规上工业企业新产品销售收入占比”、“技术市场成交额”指标，体现出技术创新市场化水平以及企业创新成果普及应用效果。

（三）能源发展水平评价

在 2012 年至 2022 年期间，我国各省份的能源高质量发展水平整体呈现稳步上升的趋势，自 2018 年后增长速度减缓，且不同省份之间的能源发展情况存在明显的差异性。图 1 说明了全国及各区域的能源高质量发展水平增长情况。静态层面上，2022 年能源高质量发展水平从高到低依次是华东地区、中南地区、华北地区、全国平均水平、西北地区、西南地区、东北地区。动态层面上，2012-2022 年能源高质量发展水平年均增长速率从快到慢依次是西南地区、中南地区、华东地区、全国平均水平、东北地区、西北地区、华北地区。

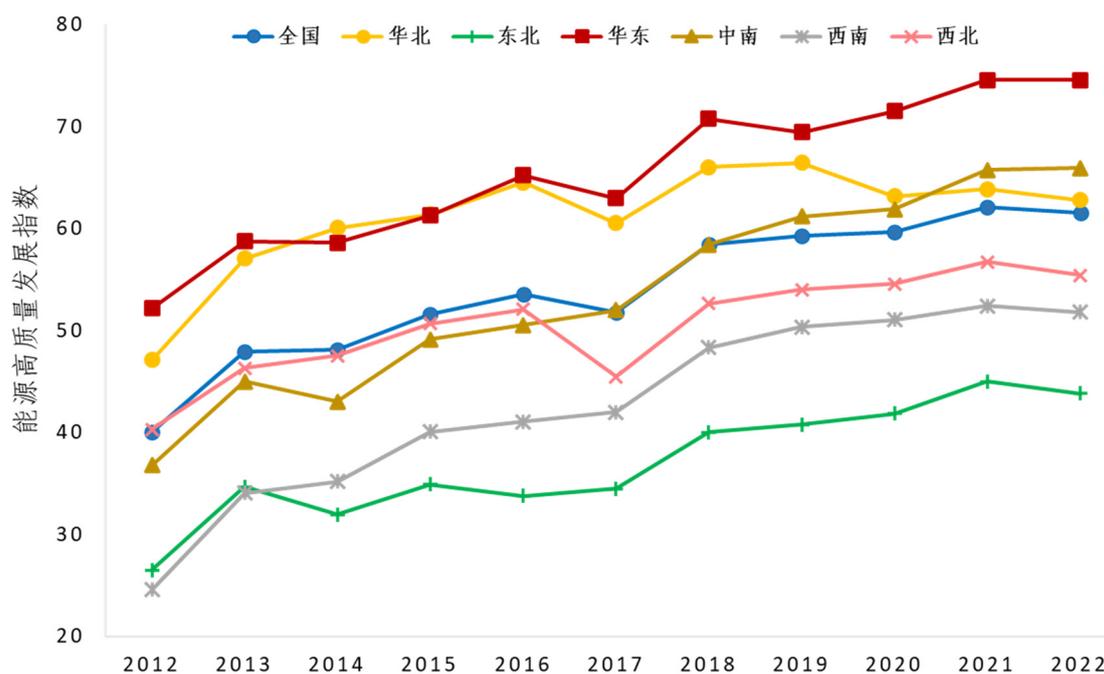


图 1 2012-2022 年全国及各区域能源高质量发展指数变化

图 2 展示了各省能源高质量发展水平的变化情况，高水平省份主要分布在我国东部沿海地区，2022 年发展水平前三名的省份分别为北京、广东省和浙江省。尽管大部分省份的能源高质量发展水平取

得了显著提升，例如河南省、湖北省和四川省，但也有少数省份长期难以突破所处的发展水平，例如内蒙古自治区、黑龙江省和吉林省。

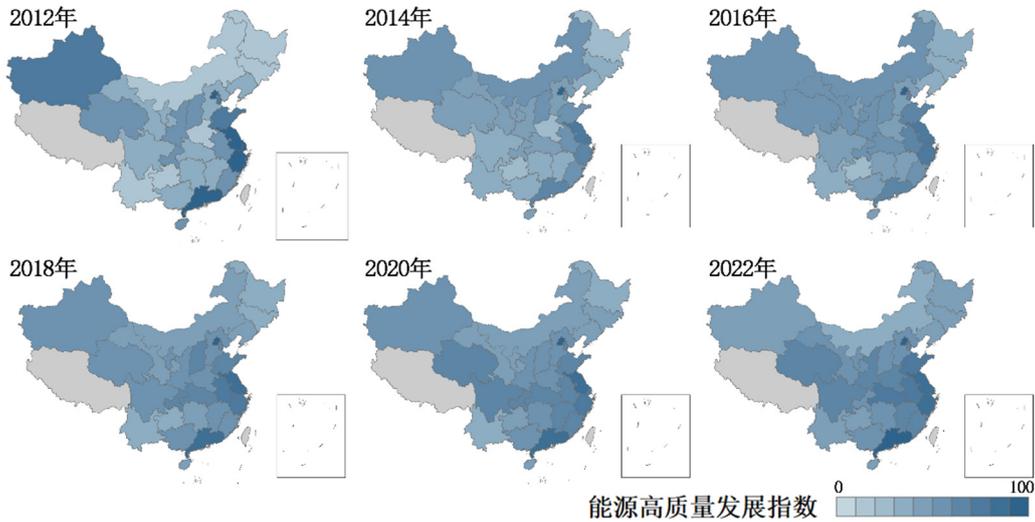


图 2 2012-2022 年全国各省份能源高质量发展变化

图 3 和图 4 分别展示了 2012-2022 年整体能源高质量发展各维度变化情况和 2012-2022 年各省份能源高质量发展各维度变化情况。在能源高质量发展水平的六个维度中，除能源安全稳定性方面外，2012-2022 年各省份在其他维度上都有不同程度的提升，其中能源技术创新性方面的整体提升比率最大。

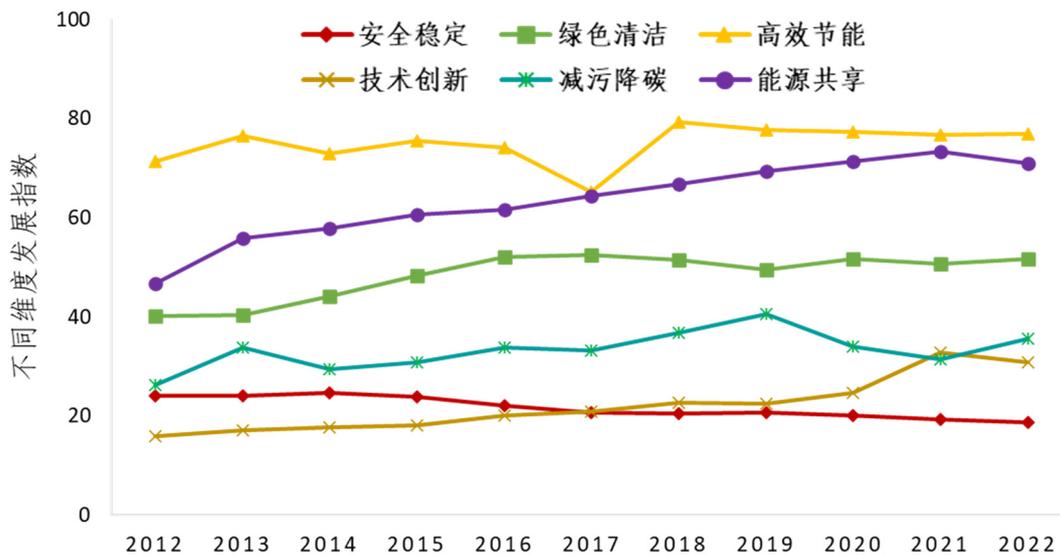


图 3 2012-2022 年能源高质量发展各维度变化情况

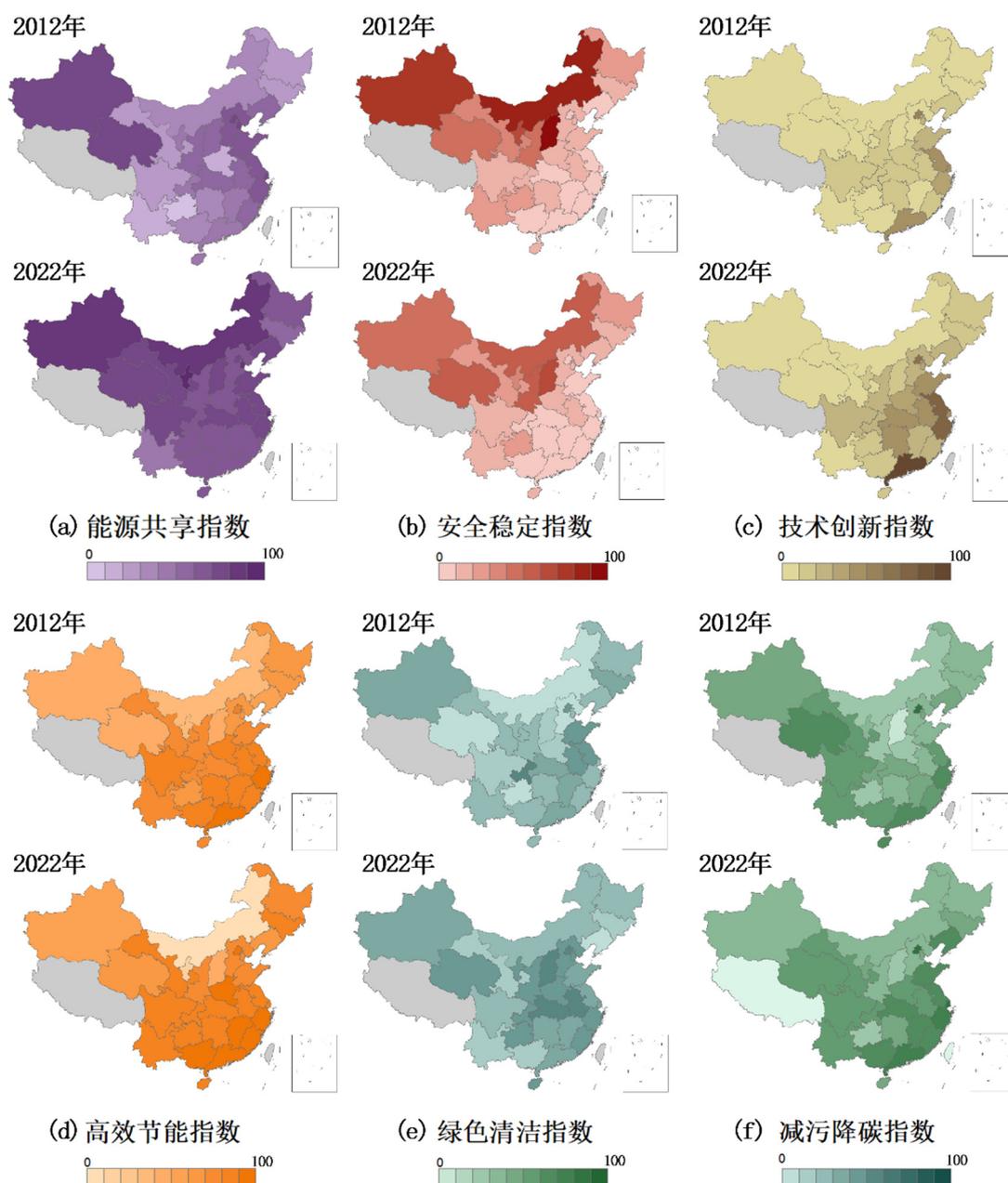


图 4 2012-2022 年各省份能源高质量发展不同维度变化情况

在能源发展的共享（图 3 和图 4a）和安全稳定（图 3 和图 4b）方面，受我国能源资源分布不均匀和经济发展不平衡的双重影响，能源资源与需求始终呈逆向分布，80%以上的能源资源分布在西部和北部地区，70%以上的能源消费集中在东中部地区。伴随我国经济发展的不断加快和能源基础设施的不断完善，2022 年全国整体能源共享

水平显著提升，相比 2012 年省间差异大幅度缩小。新疆、内蒙古、山西等省份依靠自身丰富的煤炭、石油、天然气等资源，其能源安全稳定水平始终高于东中部省份，能源供需矛盾问题突出。

在能源发展的技术创新（图 3 和图 4c）方面，2012 年能源技术创新高水平的省份主要分布在东部沿海的经济发达且人口密集的地区，经过十年的发展，除新疆维吾尔自治区、青海省、甘肃省、内蒙古自治区等西北地区的省份外，其他省市在技术创新维度上均有较为明显的增长。其中安徽省、湖北省、河南省三省的提升效果最为明显，此三省通过加强研究实验经费投入和科技财政支出等方式，吸引优秀科技人才的同时推动了技术成果转化。

在能源发展的高效节能性（图 3 和图 4d）方面，2012-2022 年南方各省份的能源效率和节能意识水平明显高于北方各省份，相比 2012 年，内蒙古自治区的高效节能水平出现了明显的下降，2019 年其能源消费总量较 2015 年增长 6562 万吨标准煤，作为反映能耗的重要指标，其能源消费弹性系数已由“十二五”时期的 0.2 提至 1.5。

在能源发展的绿色清洁性（图 3 和图 4e）方面，东部沿海省份以及南方各省份的能源结构相比其它地区化石能源消费占比较低，绿色能源发展水平较高。其中四川省截至 2020 年底，水电装机容量达 8082 万千瓦，风能、太阳能等清洁能源还有很大开发空间，全省技术可开发风能资源超 1800 万千瓦、太阳能资源达 8500 万千瓦。山东省则重点推进海上风电、海上光伏、胶东半岛核电、鲁北盐碱滩涂地风光储输一体化、鲁西南采煤沉陷区“光伏+”等五大清洁能源基地建设，

促进新能源和可再生能源大规模、高比例发展。

在能源发展的减污降碳（图 3 和图 4f）方面，2012-2022 年青海省、贵州省的减污降碳水平提升明显，部分中部省份例如湖北省、河南省通过在环保减排方面采取积极的政策措施限制高污染产业并提倡循环利用，在减少污水及废气排放、提升固体废物利用率方面均取得了较大成果。

图 5 展示了 2012 年各省份的能源高质量发展整体水平以及各维度水平的变化情况。可以看出一些 2012 年能源高质量发展水平偏低的省份例如河南省、湖北省、四川省在 2022 年实现了较大突破。这些省份的发展路径值得其他发展缓慢的省份进行借鉴。

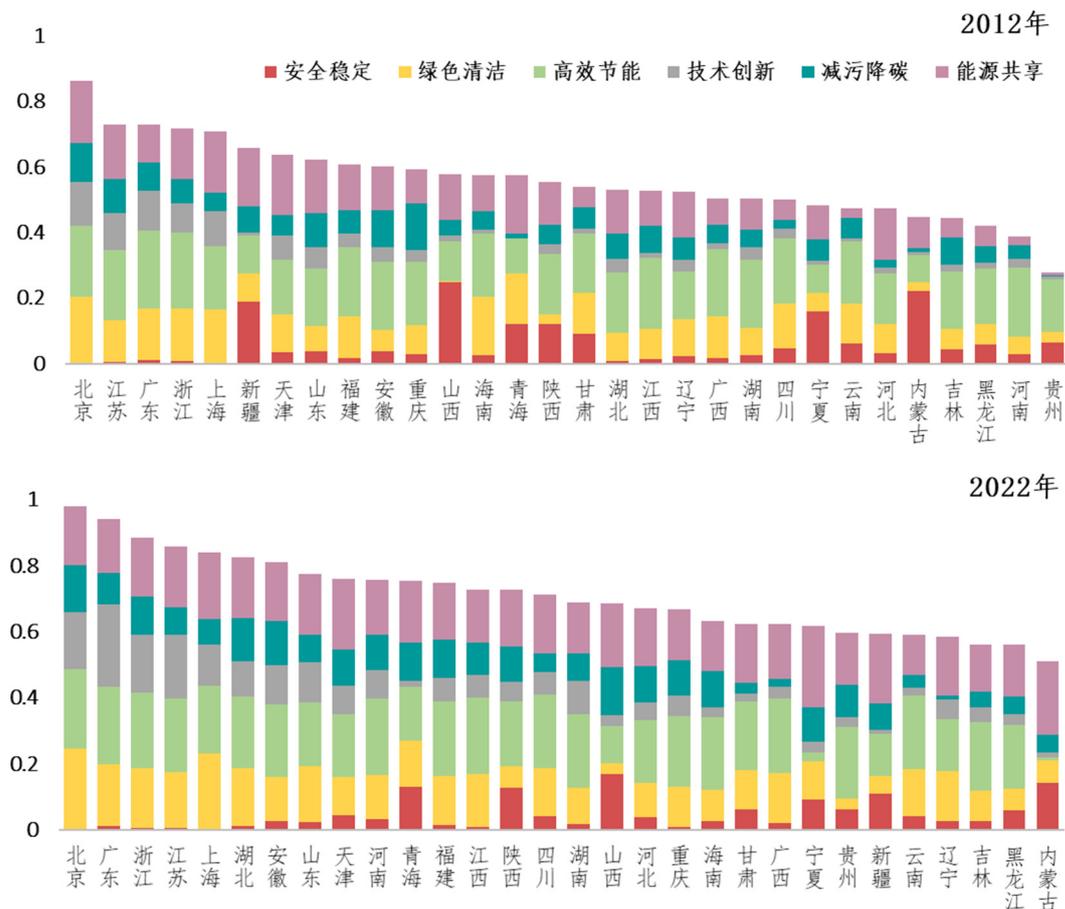


图 5 2012、2022 年各省份能源高质量发展及各维度水平变化

三、省际能源高质量发展协同性

(一) 产品空间及理论验证

为了进一步探索能源高质量发展水平快速提升的原因,本报告采用产品空间网络模型对能源高质量发展过程中各个指标之间的协同互补关系进行了探索。产品空间是 **Ricardo Hausmann** 等人用于说明经济增长现象而提出的概念,这一概念最早在 2007 年的《**Science**》上被提出^[1]。产品空间是一个将全球经济中交易的产品之间相关性正式化的概念网络,产品空间网络的结构量化了世界各国经济高质量发展进程中不同产品部门之间的协同关系(互补性),有助于说明为什么一些国家具有稳定的经济增长,而另一些国家停滞不前,无法发展,从而提供了一个理解全球经济增长现象的新视角,这是传统的经济发展理论无法做到的^[2]。这一理念进一步发展和扩展成了产品出口树状图等可视化数据和新的指数如经济复杂度指数等,后发展成经济复杂度地图集。基于新开发的分析工具, **Hausmann** 和他们的团队已经能够详细预测未来的经济增长。

根据产品空间的理论,可以认为不同产品之间的相似关系可以确定产品空间的网络结构,通过关注产品空间的网络结构,可以更好地理解不同国家或地区在全球经济中的增长潜力和发展路径,从而为政策制定者提供有益的启示,一部分学者已经通过产品空间对现实中的发展现象进行了解释,例如可持续发展^[3]、经济全球化^[4]、地区高质量发展^[5]等。类似的,本报告将利用产品空间研究中国省际能源高质量发展过程中各指标的增长潜力,期望通过探究各指标间的协同互补

关系，为未来快速提升各省份能源高质量发展水平的发展路径提供指导。

为了验证该方法是否适用于探究能源指标之间的协同互补关系，本报告从两方面进行了验证，分别是真实性和稳定性。真实性代表基于产品空间构建的能源指标协同关系网络符合现实能源发展的情况，即增长潜力越大的指标，实际发展提升水平越高，两者呈正相关关系。报告首先通过构建 2012 年的能源指标协同网络得到各能源指标的发展潜力（GP），然后通过可解释机器学习和传统回归分别检验 GP 与各指标 2012-2022 年的实际增长水平（RG）之间的非线性关系和线性关系，验证了产品空间迁移至省际能源高质量发展问题上的真实性。如表 2 所示，回归结果表明 GP 和 RG 呈显著的正相关关系，在 GP<0、GP>0 和全部样本中的回归系数分别为 0.3827、0.2705 和 0.3385。

表 2 GP 和 RG 之间的线性关系检验结果

参数预测	GP<0	GP>0	全部样本
(Intercept)	0.2465*	0.0025*	0.0037*
GP	0.3827**	0.2705***	0.3385***
Y	0.0771	0.2032***	0.1391***

备注：***表示 $p<0.001$ ；**表示 $p<0.05$ ；*表示 $p<0.1$

图 6 中随着 GP 的增大，色块的颜色逐渐变深，即 RG 逐渐增加，表明 GP 和 RG 呈正相关关系。稳定性代表基于产品空间构建的能源指标协同关系网络在较长一段时间内不会发生较大变化，便于指导未来各省份的能源高质量发展路径。报告将 2012 年、2017 年、2022 年的能源指标协同网络结构进行对比，利用矩阵运算中的模的定义代表

网络结构的性质。通过计算它们之间的网络结构差异，发现 2017 年与 2012 年的能源指标协同网络相比，网络结构差异为 7.07%。而 2022 年与 2017 年的能源指标协同网络相比，网络结构差异为 10.72%，均小于采用传统相关系数法构建的能源指标协同网络的结构差异（分别为 13.93%，18.32%）。

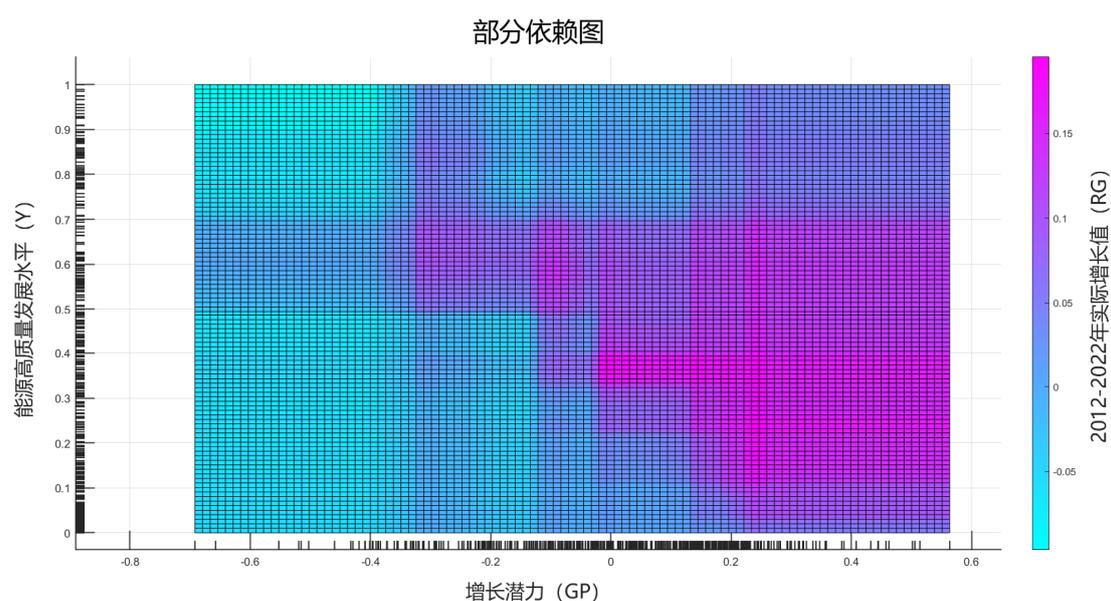
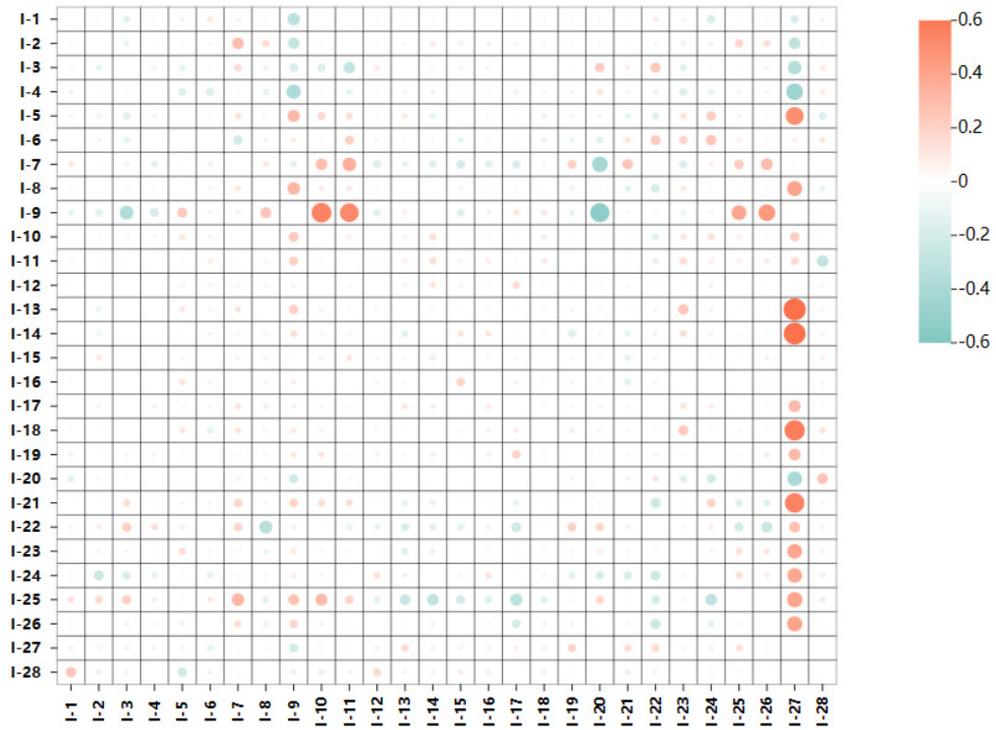
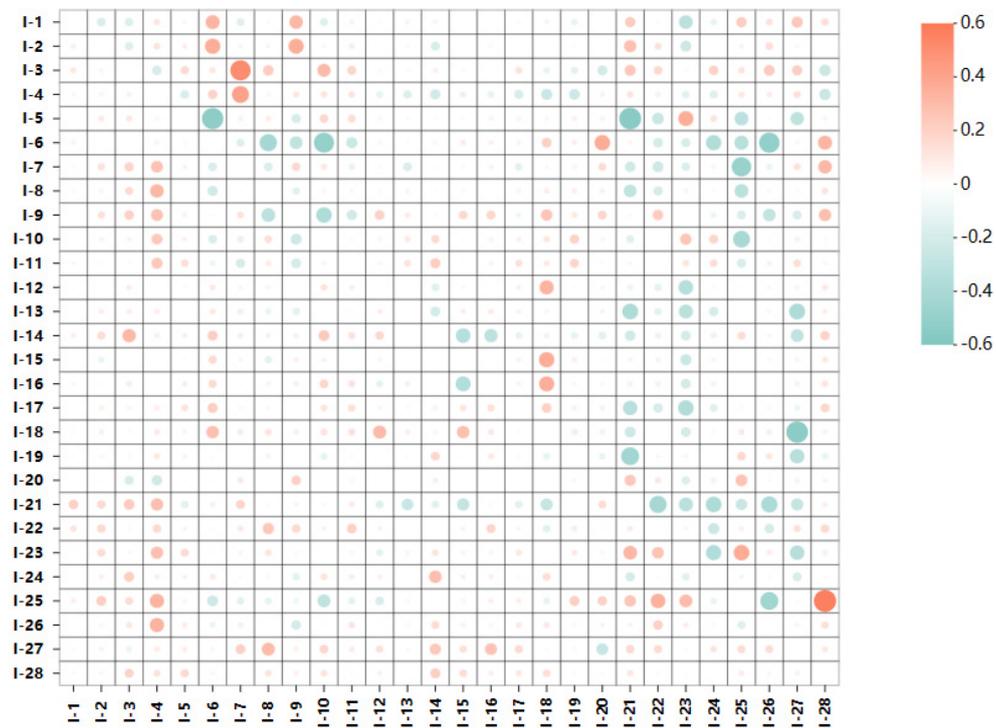


图 6 GP 和 RG 之间的非线性关系检验结果

图 7 还展示了通过矩阵相减计算得到的 2012 年、2017 年、2020 年网络结构差异可视化结果，其中圆圈的颜色代表关系变化的正负，圆圈的大小代表关系变化的程度大小。结果显示产品空间网络随时间的变化较小，这是因为产品空间引入显性比较优势理论来定义指标之间的协同关系，由于各省份所具备的资源条件优势在短时间内不会发生较大改变，因此其对应指标之间的协同关系也相对稳定。综合以上结果分析，认为产品空间适用于探究能源指标之间的协同互补关系。



2012年、2017年网络结构差异对比



2017年、2022年网络结构差异对比

图 7 2012 年、2017 年、2020 年网络结构差异（上三角代表相关系数法，下三角代表产品空间法）

- 研究与试验发展（R&D）经费投入强度代表了一个国家或地区自主创新投入规模及水平。与该节点相连紧密的指标包括技术市场成交额、规模以上工业企业新产品销售收入占比、固体废物综合利用率、二氧化硫排放强度、单位 GDP 能耗。这说明 R&D 经费的投入可以促进能源产业转型以及技术转化，通过对化石能源、可再生能源、节能减排等方面的技术研究，可以推动能源产业的技术进步，提高能源利用效率，降低环境污染。
- 终端电气化代表终端能源中的电力消费占比，由于电力相比化石能源更加清洁和高效，并且在人类日常的生产和生活中（例如水处理与生产运输）中扮演着重要的角色。因此其不仅能改善绿色减污方面的多个指标，包括污水处理率、二氧化硫排放强度、非化石能源消费占比。也能够改善与能源共享和经济效益有关的多个指标，包括能源消费弹性系数、人均发电量和城镇用水普及率。

2012 年的能源指标协同网络揭示了 2012-2022 年驱动各省份能源发展质量快速提升的主要因素，即通过加大创新投入和提升地区终端电气化水平。但由于随着时间的变化，能源指标的协同网络结构已经发生了变化，为了能够在现阶段下为未来的能源高质量快速发展提供指导，报告构建了 2022 年的能源指标协同网络，如图 9 所示。

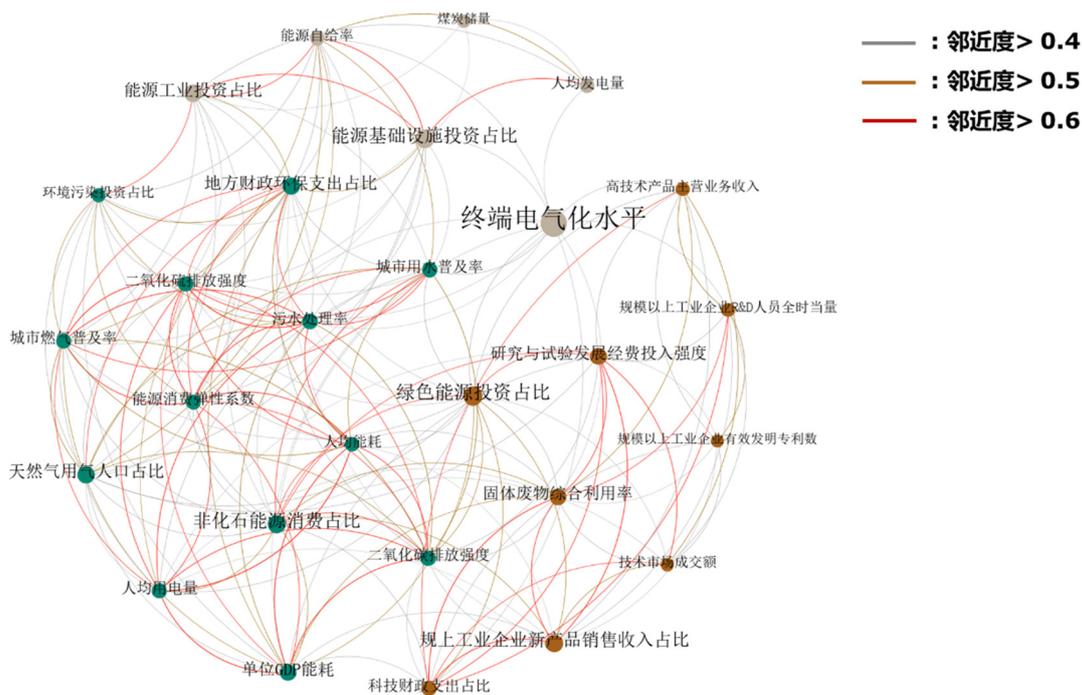


图 9 2022 年能源指标协同关系网络

在 2022 年的能源指标协同关系网络中，终端电气化水平依然是未来能源高质量发展过程中的重要指标，不同的是绿色能源投资和能源基础设施建设代替了 R&D 经费及其投入强度成为协同性更强的节点，通过分析网络中的关键指标关系可以得到以下结果：

- 绿色能源投资涵盖了电力、蒸汽、热水生产和供应业投资，与该节点相连紧密的指标包括二氧化碳排放强度、单位 GDP 能耗、人均用电量、非化石能源消费。加强绿色能源投资不仅能够降低化石能源在消费结构中的占比，推动能源系统的低碳转型，而且绿色能源价格昂贵的特点可能进一步唤起企业和公民的节能意识。
- 能源基础设施建设是保障能源供应、运输、分配安全和合理的基础，与该节点相连紧密的指标包括能源自给率、人均发电量、天然气用气人口占比、城镇燃气普及率等能源安全与共享方面的指标。投入资金建设电网、供气管网，尤其是涉及到一些跨省跨区

域的基础设施建设对于缓解我国能源供需矛盾和保障人民生活质量至关重要。

- 产品空间的网络关系度量方法认为网络拥有独特的拓扑结构——“核心-边缘”结构，核心节点相比边缘节点具有更强的扩散效应，在网络演化中扮演了重要的“桥梁”角色。本报告借用网络科学中的相似概念——中介中心性衡量了节点的“核心性”，发现在2012年和2022年的能源指标协同网络中均存在此类结构，以2022年中能源指标协同网络中的终端电气化水平这一指标为例，科技财政支出占比、规模以上 R&D 人员全时当量等科技投入指标通过终端电气化这一指标与减污降碳、绿色节能方面的指标建立了间接的连接关系，这意味着终端电气化水平的发展一定程度上加强了科技投入指标与其他指标之间的连接关系，终端电气化的效益将因此而得到扩大。

参考文献

- [1] Hidalgo C A, Klinger B, Barabási A L, et al. The product space conditions the development of nations [J]. *Science*, 2007, 317(5837): 482-487.
- [2] Matsuyama K. Agricultural productivity, comparative advantage, and economic growth [J]. *Journal of Economic Theory*, 1992, 58(2): 317-334.
- [3] Gong M, Yu K, Xu Z, et al. Unveiling complementarities between national sustainable development strategies through network analysis [J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 350: 119531.
- [4] Hidalgo C A. The dynamics of economic complexity and the product space over a 42 year period [J]. *CID Working Paper Series*, 2009.
- [5] 滕堂伟,张晶.多样性、技术网络与城市经济韧性——基于长江经济带城市数据的分析[J].*同济大学学报(社会科学版)*, 2023, 34(05): 48-59.

北京理工大学能源与环境政策研究中心简介

北京理工大学能源与环境政策研究中心是 2009 年经学校批准成立的研究机构，挂靠在管理与经济学院。能源与环境政策中心大部分研究人员来自魏一鸣教授 2006 年在中科院创建的能源与环境政策研究中心。

北京理工大学能源与环境政策研究中心（CEEP-BIT）面向国家能源与应对气候变化领域的重大战略需求，针对能源经济与气候政策中的关键科学问题开展系统研究，旨在增进对能源、气候与经济社会发展关系的科学认识，并为政府制定能源气候战略、规划和政策提供科学依据、为能源企业发展提供决策支持、为社会培养高水平专门人才。

中心近年部分出版物

- 魏一鸣. 碳减排系统工程：理论方法与实践. 北京：科学出版社, 2023.
- 魏一鸣, 梁巧梅, 余碧莹, 廖华. 气候变化综合评估模型与应用. 北京：科学出版社, 2023.
- 廖华, 朱跃中. 我国能源安全若干问题研究. 北京：科学出版社, 2023.
- 刘兰翠, 刘丽静. 碳减排管理概论. 北京：中国人民大学出版社, 2023.
- 唐葆君, 王璐璐. 碳金融学. 北京：中国人民大学出版社, 2023.
- 余碧莹. 碳减排技术经济管理. 北京：中国人民大学出版社, 2023.
- 唐葆君. 项目管理——能源项目为例. 北京：科学出版社, 2022.
- 余碧莹, 张俊杰. 时间利用行为与低碳管理. 北京：科学出版社, 2022.
- 沈萌, 魏一鸣. 智慧能源. 北京：科学技术文献出版社, 2022.
- 魏一鸣. 气候工程管理：碳捕集与封存技术管理. 北京：科学出版社, 2020.

中心近年“能源经济预测与展望”报告

总期次	报告题目	总期次	报告题目
1	“十二五”中国能源和碳排放预测与展望	42	2019 年光伏及风电产业前景预测与展望
2	2011 年国际原油价格分析与走势预测	43	经济承压背景下中国能源经济发展与展望
3	2012 年国际原油价格分析与趋势预测	44	2020 年光伏及风电产业前景预测与展望
4	我国中长期节能潜力展望	45	砥砺前行中的新能源汽车产业
5	我国省际能源效率指数分析与展望	46	2020 年国际原油价格分析与趋势预测
6	2013 年国际原油价格分析与趋势预测	47	二氧化碳捕集利用与封存项目进展与布局展望
7	2013 年我国电力需求分析与趋势预测	48	2020 年碳市场预测与展望
8	国家能源安全指数分析与展望	49	我国“十四五”能源需求预测与展望
9	中国能源需求预测展望	50	基于行业视角的能源经济指数研究
10	2014 年国际原油价格分析与趋势预测	51	全球气候保护评估报告
11	我国区域能源贫困指数	52	全球气候治理策略及中国碳中和路径展望
12	国家能源安全分析与展望	53	新能源汽车产业 2020 年度回顾与未来展望
13	经济“新常态”下的中国能源展望	54	碳中和背景下煤炭制氢的低碳发展
14	2015 年国际原油价格分析与趋势预测	55	2021 年国际原油价格分析与趋势预测
15	我国新能源汽车产业发展展望	56	中国省际能源效率指数（2010-2018）
16	我国区域碳排放权交易的潜在收益展望	57	后疫情时代中国能源经济指数变化趋势
17	“十三五”及 2030 年能源经济展望	58	电力中断对供应链网络的影响
18	能源需求预测误差历史回顾与启示	59	2022 年国际原油价格分析与趋势预测
19	2016 年国际原油价格分析与趋势预测	60	全国碳中和目标下各省碳达峰路径展望
20	2016 年石油产业前景预测与展望	61	迈向碳中和的电力行业 CCUS 发展行动
21	海外油气资源国投资风险评价指数	62	中国碳市场回顾与展望（2022）
22	“十三五”北京市新能源汽车节能减排潜力分析	63	全球变暖对我国劳动力健康影响评估
23	“十三五”碳排放权交易对工业部门减排成本的影响	64	中国上市公司碳减排行动指数研究报告
24	“供给侧改革”背景下中国能源经济形势展望	65	2022 年中国能源经济指数研究
25	2017 年国际原油价格分析与趋势预测	66	省级能源高质量发展指数研究（2012-2022 年）
26	新能源汽车推广应用：2016 回顾与 2017 展望	67	中国电力部门省际虚拟水流动模式与影响分析
27	我国共享出行节能减排现状及潜力展望	68	2023 年国际原油价格分析与趋势预测
28	我国电子废弃物回收处置现状及发展趋势展望	69	中国碳市场回顾与最优行业纳入顺序展望（2023）
29	2017 年我国碳市场预测与展望	70	我国 CCUS 运输管网布局规划与展望
30	新时代能源经济预测与展望	71	全球变暖下区域经济影响评估
31	2018 年国际原油价格分析与趋势预测	72	迈向中国式现代化的能源发展图景
32	2018 年石化产业前景预测与展望	73	2024 年中国能源经济指数研究及展望
33	新能源汽车新时代新征程:2017 回顾及未来展望	74	低碳技术发展产业链风险评估和展望
34	我国电动汽车动力电池回收处置现状、趋势及对策	75	中国省际能源高质量协同发展测度
35	我国碳交易市场回顾与展望	76	实现碳中和目标的 CCUS 产业发展展望
36	新贸易形势下中国能源经济预测与展望	77	2024 年国际原油价格分析与趋势预测
37	2019 年国际原油价格分析与趋势预测	78	2024 年成品油价格分析与趋势预测
38	我国农村居民生活用能现状与展望	79	2024 年国际天然气市场分析与趋势预测
39	高耗能行业污染的健康效应评估与展望	80	中国碳市场建设成效与展望（2024）
40	我国社会公众对雾霾关注的热点与展望	81	中国能源经济形势分析与研判（2024）
41	我国新能源汽车行业发展水平分析及展望		