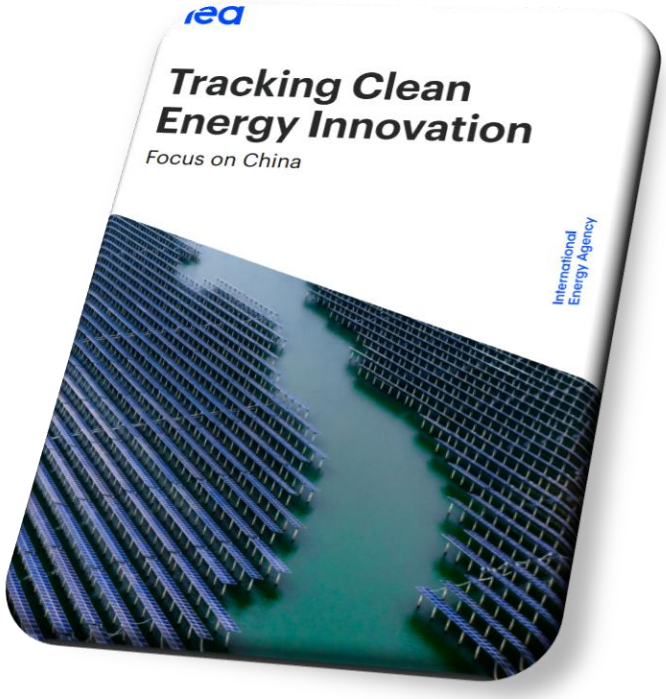
“变革性洁净能源关键技术与示范”A类先导专项
“面向国家能源结构变革战略研究”课题

洁净能源重大信息专报

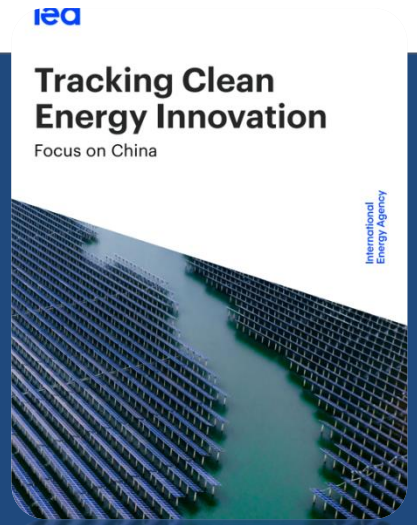
2022年第03期（总第15期）

本期看点

- **IEA《追踪清洁能源创新：聚焦中国》报告要点解读**



中国科学院洁净能源创新研究院
中国科学院武汉文献情报中心



国际能源署《追踪清洁能源创新：聚焦中国》

国际能源署（IEA）2022年3月7日发布

IEA. Tracking Clean Energy Innovation: Focus on China. https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-innovation-focus-on-china.

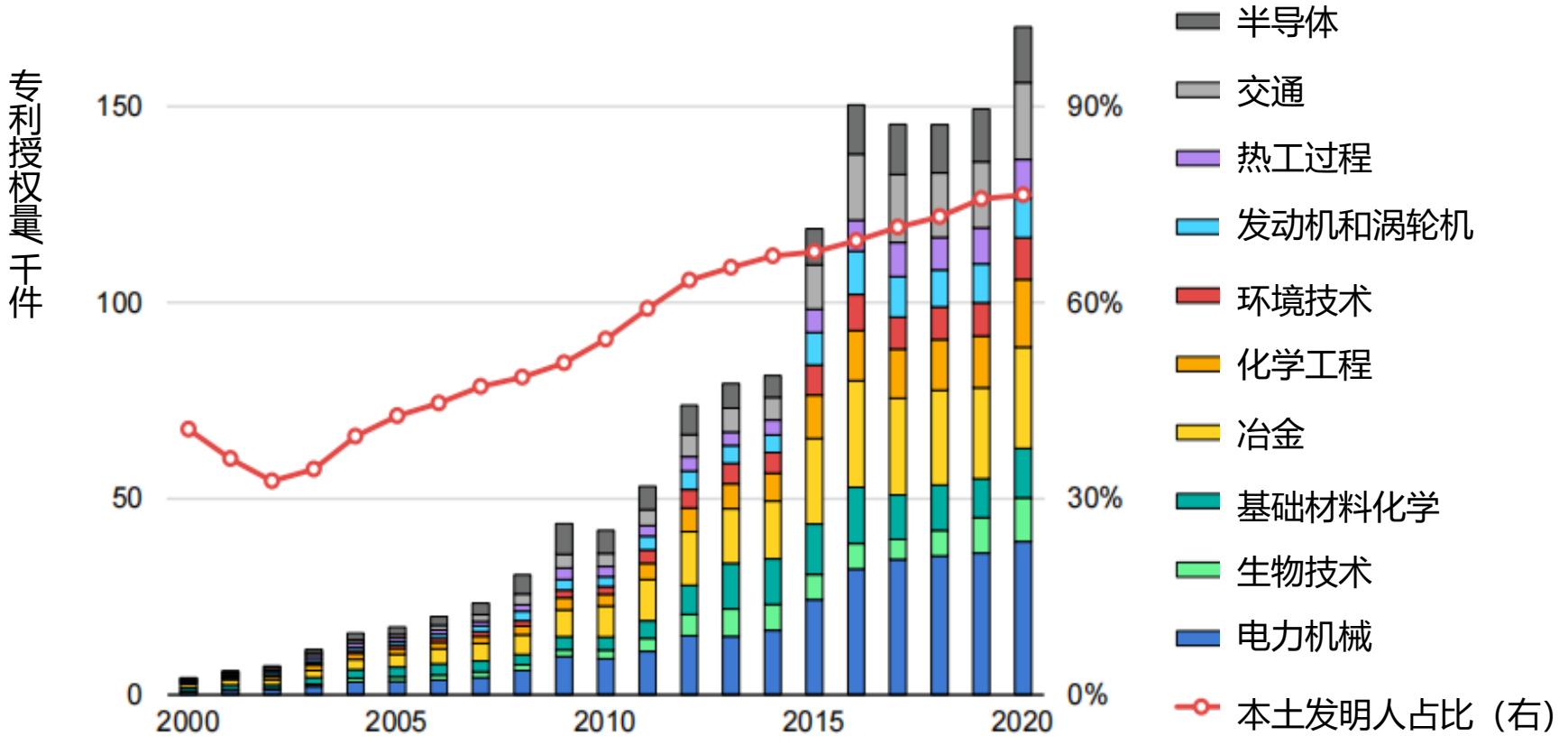
目　录

- 中国已成为全球能源领域专利申请的关键参与者
- 中国重视能源科技创新制度框架建设
- 中国能源科技创新“人、财、物”投入不断加大
- 中国在能源领域的知识产出数量和质量“双增长”
- 市场作用机制有效拉动能源科技创新
- 中国将重点布局面向碳中和目标的清洁能源科技创新

中国已成为全球能源领域专利申请的关键参与者

1、2000年以来中国专利申请数量每五年翻一番

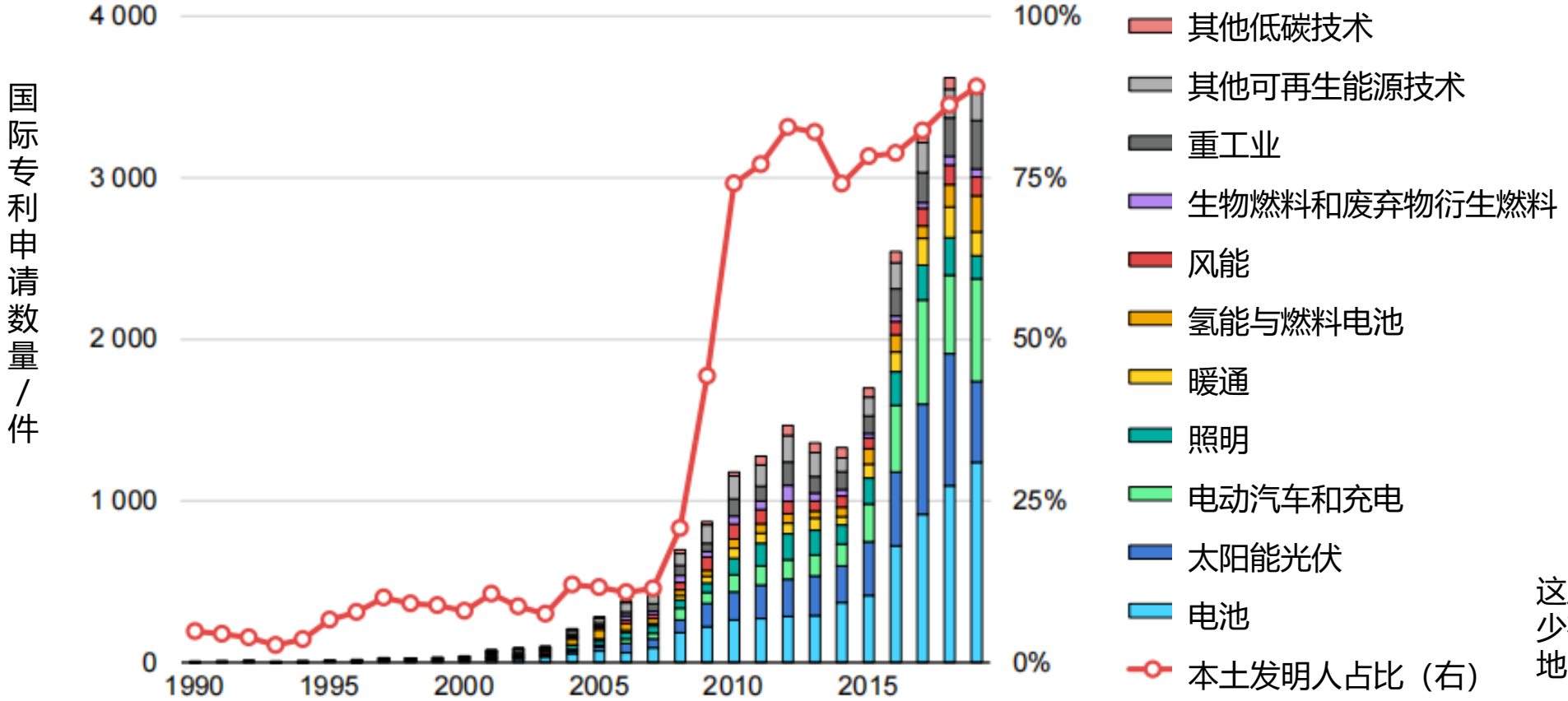
图1 2000-2020年选定技术领域的中国专利授权及本土发明人所占比例



- 自1990年代开始，中国专利申请活动日益活跃。2020年，中国发明专利申请总量为150万件，正逐渐接近实用新型专利申请量（290万件）。跨国集团等外国企业也注重加大在中国的专利布局。
- 2000-2020年，中国能源相关领域专利授权数量增加了近40倍，其中本土发明人申请比例由45%左右上升到80%，高于世界平均水平（60%）。

2、中国低碳能源技术专利申请蓬勃发展

图2 1999-2019年选定低碳能源技术领域的中国发明人国际专利申请量及占比

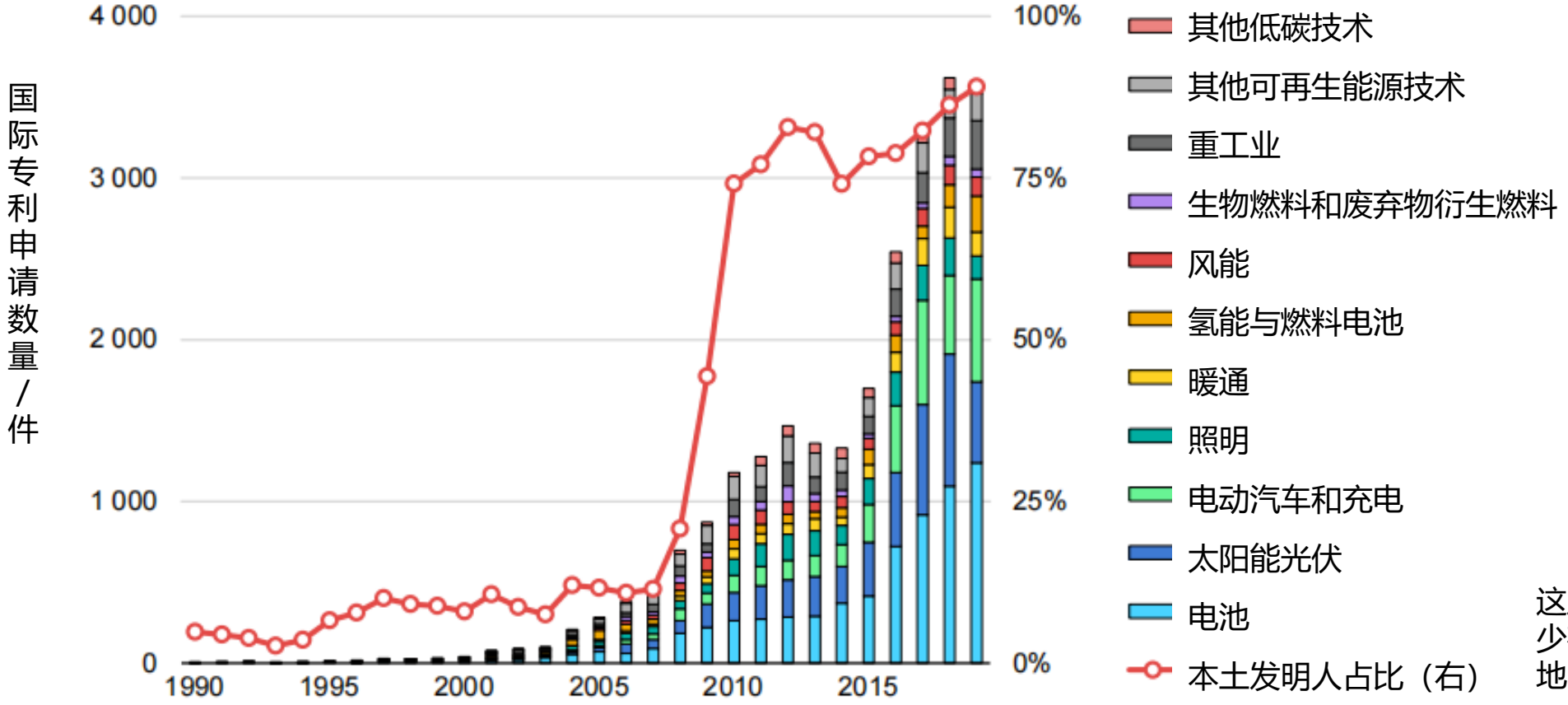


这里的国际专利是指至少在2个或以上的国家/地区申请的同族专利。

- 在过去的20年里，中国几乎从零开始成为全球能源技术专利申请活动的关键参与者，目前约80%的低碳能源技术专利同时受到国外保护，反映专利质量在不断提高。
- 1990年，中国低碳能源技术国际专利授权数量几乎为零；1990-2000年间迅速增长，但与其他发达国家相比总体活跃度仍较低；而2000-2012年，中国专利申请量增长更为迅速，年均增长35%；2015年以后专利申请爆发式增长，2017年申请量达到2012年的两倍。

2、中国低碳能源技术专利申请蓬勃发展（续）

图2 1999-2019年选定低碳能源技术领域的中国发明人国际专利申请量及占比

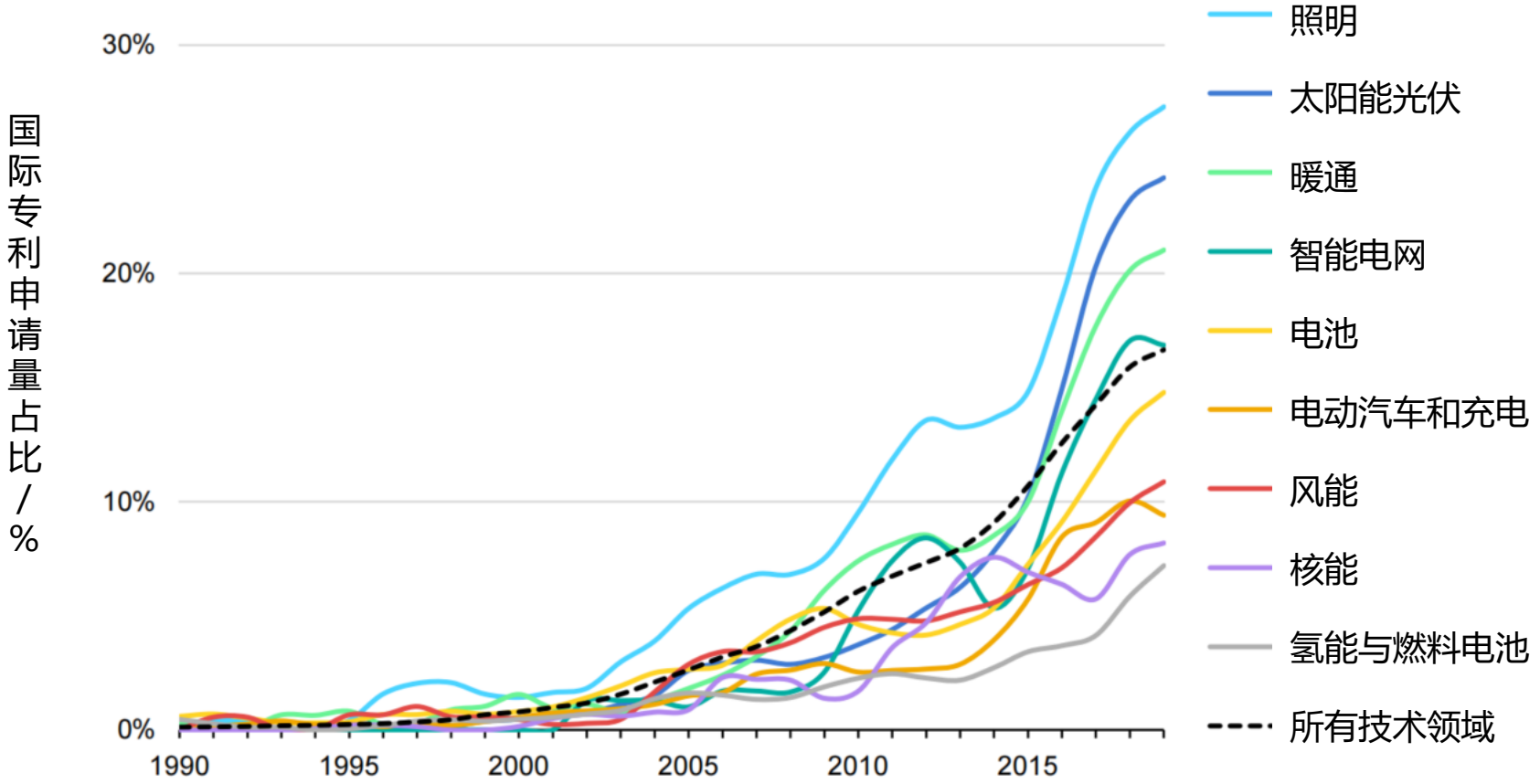


这里的国际专利是指至少在2个或以上的国家/地区申请的同族专利。

- 1990-2019年，中国可再生能源领域国际专利申请占其低碳能源技术领域国际专利申请的29%，其中光伏占17%、风能占4%。储能电池领域国际专利申请最为活跃，占比超过27%，其次分别是电动汽车占13%、照明8%、氢能与燃料电池5%、供暖与制冷5%、生物燃料3%。
- 2018-2019年中国光伏和电动汽车领域国际专利申请数量分别为2008-2009年的6倍和8倍。

3、电池、电动汽车和太阳能光伏等技术领域专利申请最为活跃

图3 1999-2019年中国在选定低碳能源技术领域和所有技术领域国际专利申请中的占比

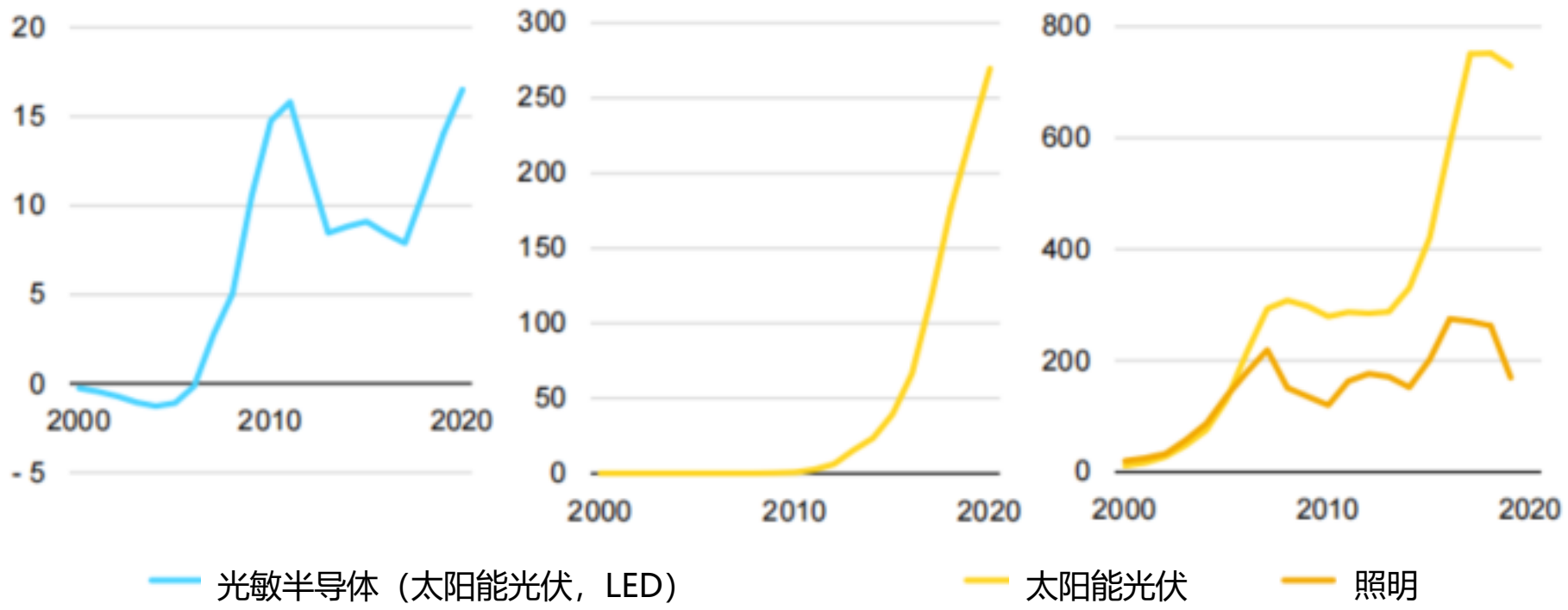


这里的国际专利是指至少在2个或以上的国家/地区申请的同族专利。

- 中国目前在低碳能源技术领域国际专利申请中的占比已经超过了美国和欧洲，与日本不相上下。
- 中国在照明、太阳能光伏、供暖与制冷、电池、电动汽车等技术领域国际专利申请中的占比越来越高。2019年，几个典型技术领域在国际专利申请中占比分别为：照明（25%）、供暖与制冷（21%）、可再生能源（19%）、电池（18%）、电动汽车（11%）。
- 2017-2019年，电池、电动汽车和太阳能光伏技术占到中国低碳能源技术领域国际专利申请量的2/3以上。

4、中国已实现由简单的太阳能光伏制造到技术创新的转变

图4 2000-2020年中国光伏和LED贸易差额（左）、光伏发电量（中）、光伏和照明国际专利申请趋势（左图单位：十亿美元；中图单位：太瓦时；右图单位：件）



- 中国在短短20年内建立了全球领先的太阳能光伏产业，成为全球光伏电池和组件的主要创新来源，并多次打破效率纪录，在国际专利申请中所占份额越来越高。
- 中国在太阳能光伏技术上的成功极为迅速，但并非一蹴而就，得益于资源支持、研发资助、市场拉动和有序竞争等政策引导。
- 中国在降低太阳能光伏成本和提高性能方面取得显著成效，为储能电池和电动汽车领域的发展奠定了基础。

◆ 中国重视能源科技创新制度框架建设

1、中国能源创新格局概览

1、顶层设计

- “五年规划”为中国的能源创新活动指明了方向。在过去十年时间，科技创新越来越得到重视，包括能源领域的科技创新。

2、体制机制

- 根据中央政府制定的指导方针，相关机构制定行动计划和研发计划，其中许多能源领域研发计划由科技部指导出台。

3、优先技术

- “十四五”期间确定了多项能源创新优先发展的技术领域，包括新能源汽车和相关组件、电池、氢能、生物质能、储能及碳捕集、利用与封存（CCUS）等方面。

2、推动创新的关键要素

1、管理机构

- **国家能源委员会**是国务院设置的高层次能源决策跨部门机构，由相关部委代表组成，包括国家发展改革委、国家能源局等，负责研究拟订国家能源发展战略，审议能源安全和能源发展中的重大问题，统筹协调国内能源开发和能源国际合作的重大事项。
- **国家能源局**是主要的能源政策制定者，还负责国家能源研发创新平台管理。
- 其他机构在国家能源创新决策中发挥了重要作用。**科技部**负责推动能源研发创新，实施能源领域研发项目，协调科研机构、高校和国有企业开展研发攻关。

2、科研机构

- **中国科学院、中国工程院**发挥着技术发展相关的决策咨询作用，编制技术发展报告和路线图，并承担能源领域重大研发项目。
- 工信部、教育部等所属**高等院校**也是能源研发创新的重要力量。

3、研发创新优先事项的确定

1、“五年计划”

- 中国通过“五年计划”制定并更新能源创新优先事项。
  - **国家愿景：**国务院制定涵盖各领域的国民经济与社会发展五年规划，确立能源创新相关要点。
  - **能源总体战略：**国家发改委和国家能源局制定能源发展五年规划蓝图，确定能源发展目标。
  - **科技总体战略：**国家能源局和科技部制定能源科技创新五年规划，设定能源创新优先事项和目标。

2、“十四五“优先技术

- 新能源汽车，包括下一代电池、氢能和燃料电池技术等；制氢（特别是低碳电解）、运氢、储氢、用氢技术；生物能源技术，如先进生物燃料、生物质发电等；CCUS技术；重工业脱碳技术，以及低品位余热利用；可再生能源，包括高效太阳能、海上风能、海洋能、潮汐能、地热等；核电技术；基础材料，包括碳纤维和气凝胶；数字技术应用。

十一五
(2006-2010)

核能、煤炭、汽车、新材料

十二五
(2011-2015)

太阳能、风能、电动汽车与充电技术

十三五
(2016-2020)

新一代可再生能源、储能、新能源汽车和电池、智能电网、建筑节能技术

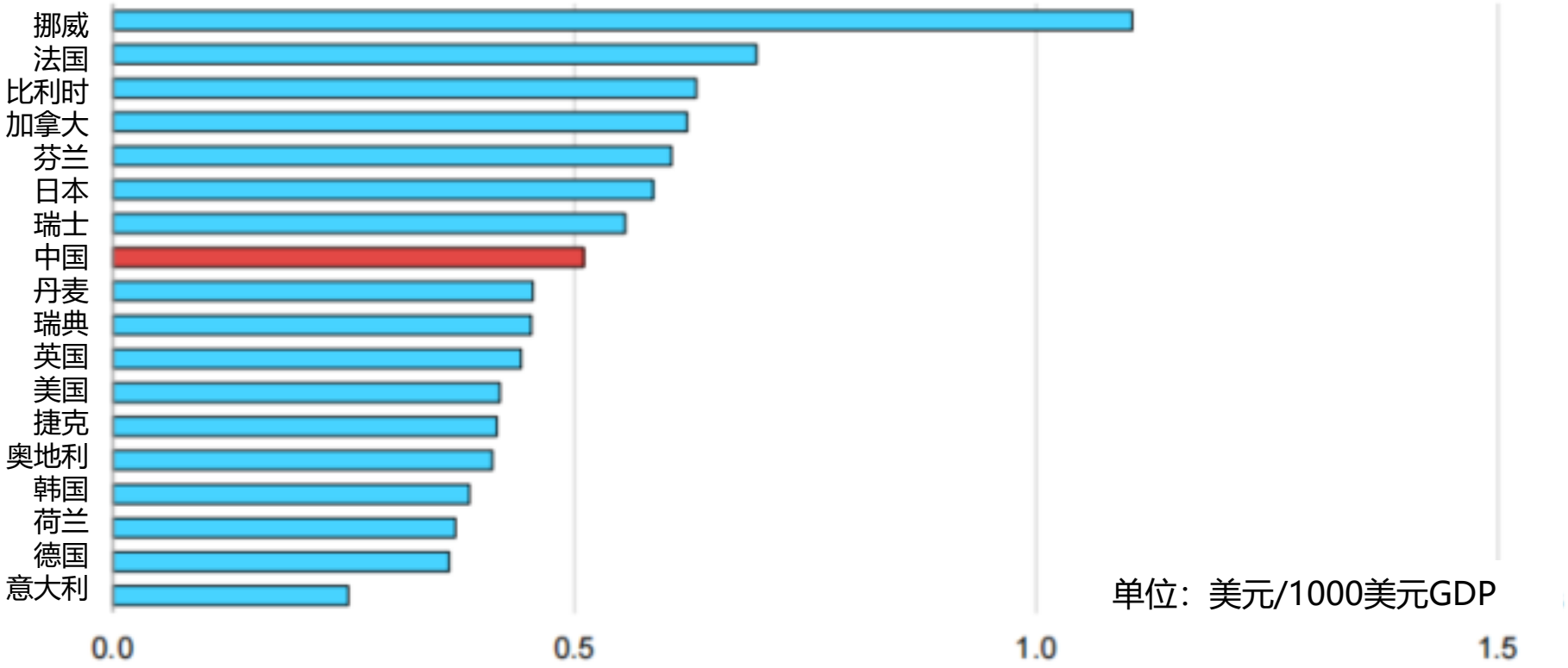
十四五
(2021-2025)

下一代电池和新能源汽车、氢能和燃料电池、CCUS、工业过程、数字化智能系统

中国能源科技创新“人、财、物”投入不断加大

1、中国是仅次于美国的全球第二大能源研发公共投入国

图5 2020年不同国家能源研发公共投入强度



- “十三五”期间，中国能源领域研发公共投入总量由2015年的73亿美元增加到2020年84亿美元，成为仅次于美国的全球第二大能源研发公共投入国，超过日本和欧洲等其他发达经济体。
- 从单位GDP能源研发公共投入强度来看，中国排全球第8，高于英国、美国等国家。中国能源领域研发公共投入约占其研发公共投入总额的5.5%。

2、中国仍是世界上化石能源研发投入最多的国家

图6 2015-2020年中国能源研发公共投入总额

单位：十亿美元（2020年）

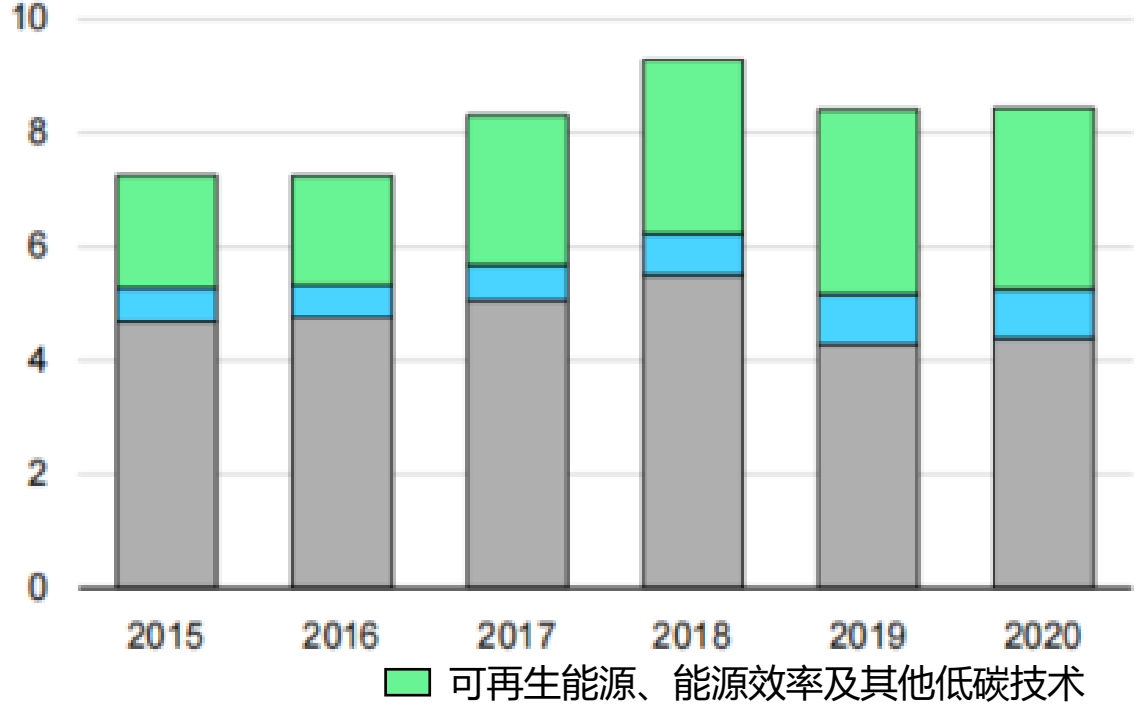
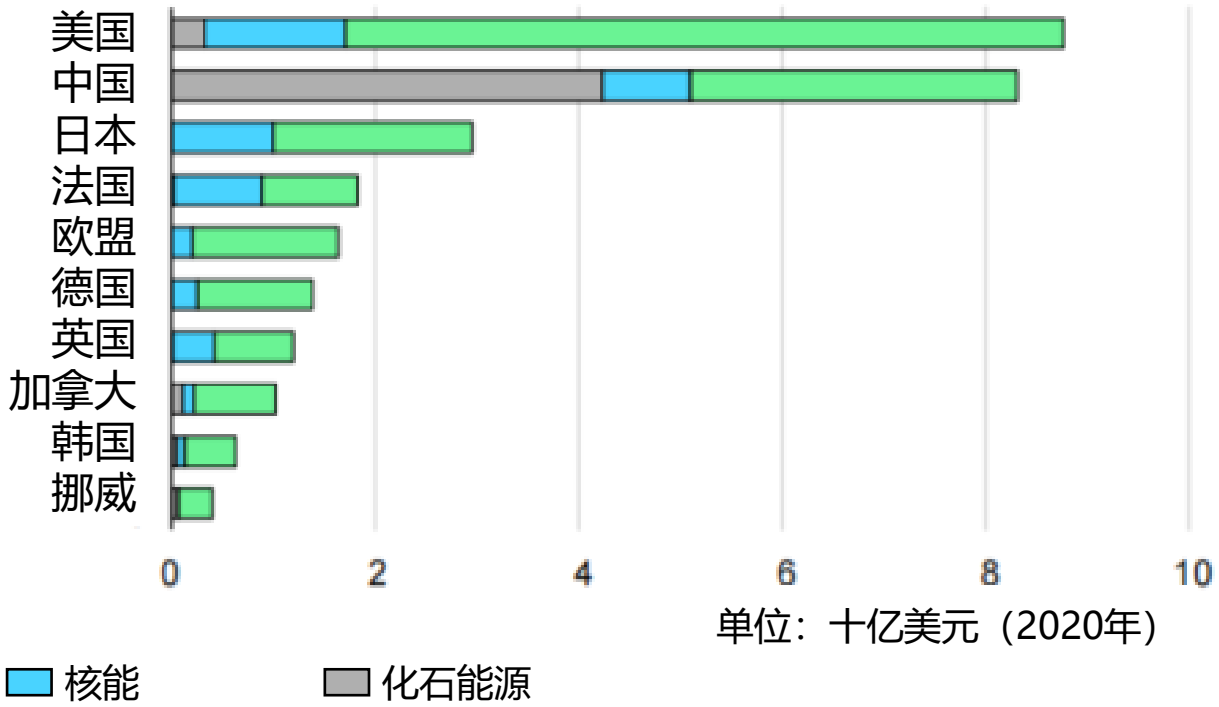


图7 2020年全球能源研发公共投入前十国家/地区



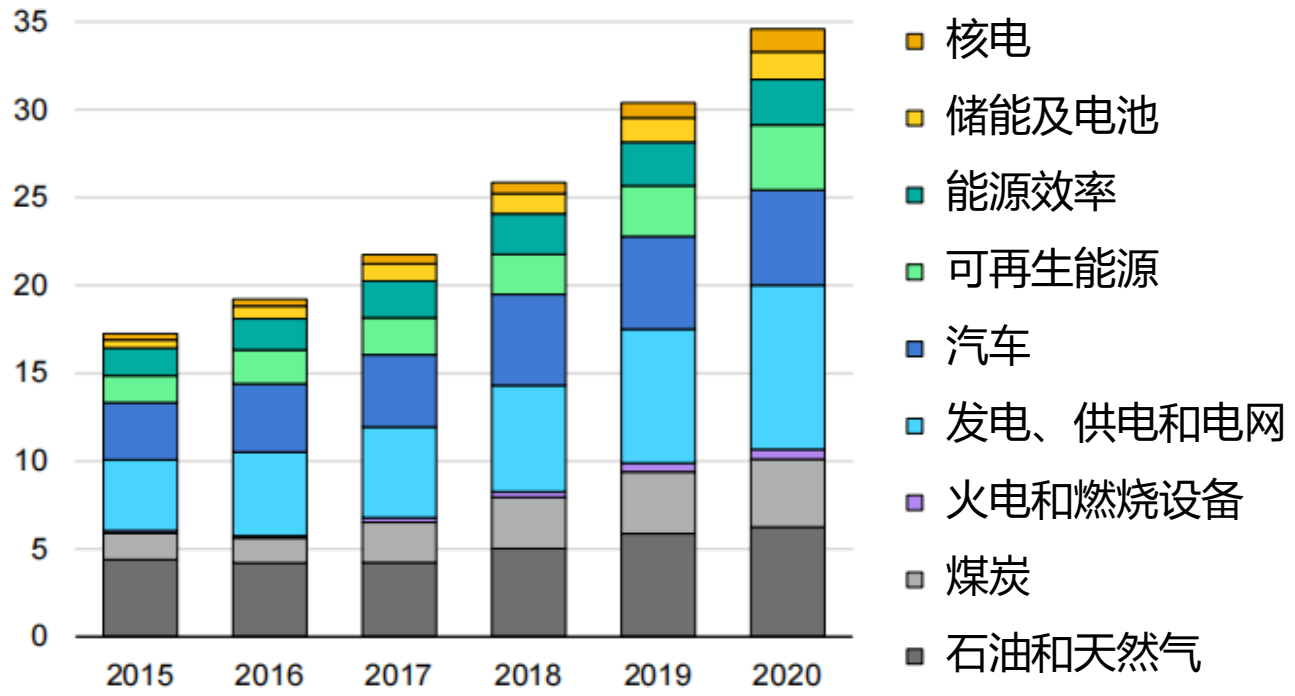
注： 受数据限制，CCUS技术计入化石能源类型。

- 2020年，中国清洁能源研发公共投入基本实现“创新使命”的承诺，即相比2015年翻一番，投入总额仅次于美国。
- 2015-2020年，中国低碳能源研发公共投入增长60%，由26亿美元增至40亿美元，低碳预算在能源研发预算中所占比例由35%增至近50%。
- 中国在化石能源研究方面投入了相当大一部分的预算，如煤炭清洁高效利用、油气资源勘探和开发等。

3、中国企业能源领域研发投入全球领先

图8 2015-2020年总部位于中国的全球上市公司能源研发投入（预估值）

单位：十亿美元（2019年）



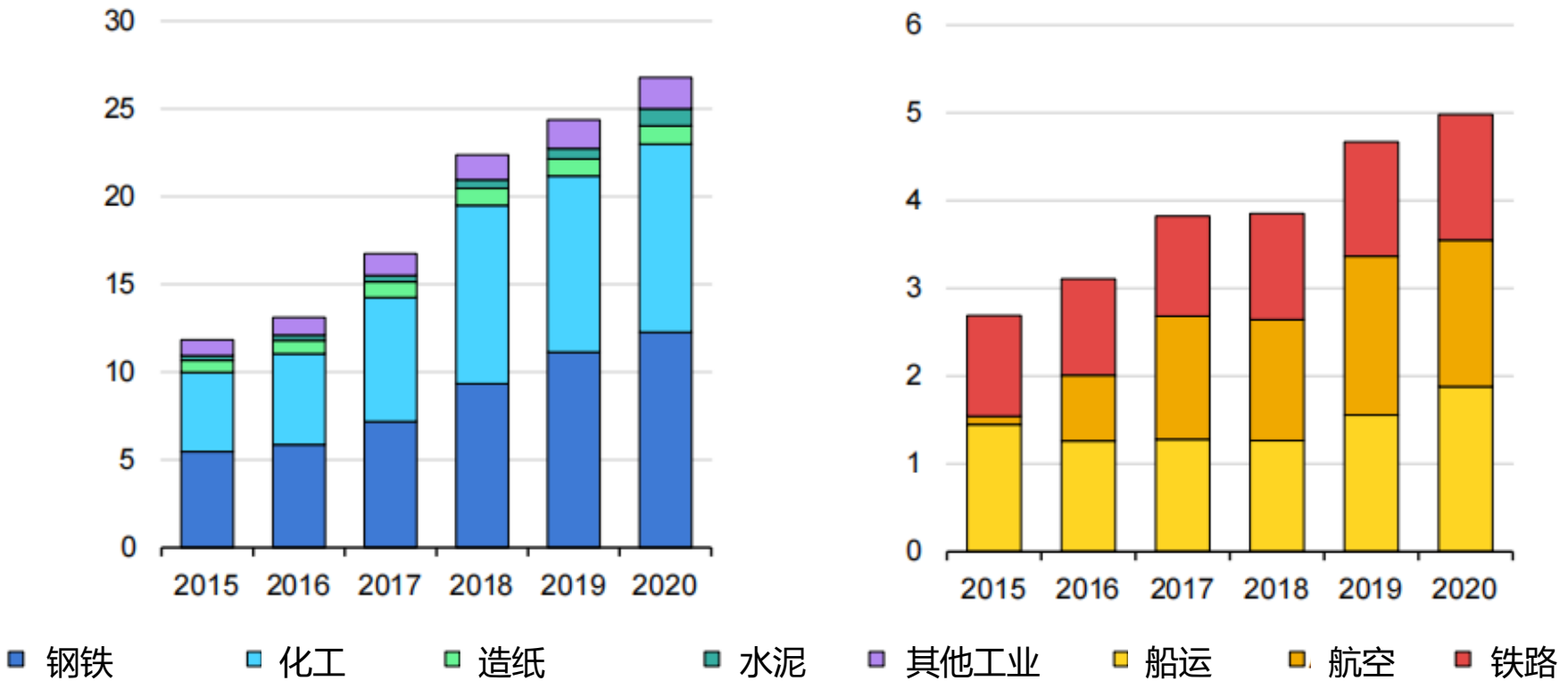
注： 氢能与燃料电池技术计入“储能及电池”项

- 中国企业，包括国有、私营和混合所有制企业，在能源研发上的投入比其他任何国家都多。
- 2020年，中国企业在能源研发方面的投入接近350亿美元，比2019年增长15%。
- 中国企业能源研发投入大部分用于化石能源清洁高效转化利用技术，煤炭、石油、天然气约占投入总额的30%，高于电力电网（27%）、汽车（16%）、可再生能源（11%）、氢能和储能（5%）、核能（4%）。

4、中国企业在难脱碳行业的研发投入稳步增加

图9 2015-2020年总部位于中国从事重工业和长途运输活动的全球上市公司能源研发投入（预估值）

单位：十亿美元（2019年）



- 在重工业和长途运输等难脱碳行业，中国企业能源研发投入总额稳步增加，尽管预算中低碳能源技术占比较小。
- 2020年，钢铁行业吸引超过120亿美元的研发投资，化工行业约110亿美元，水泥行业近10亿美元，卡车和商用车的动力传动系统和其他技术开发大约20亿美元，船运约19亿美元，航空约17亿美元，铁路约14亿美元。
- “十四五”期间，随着碳达峰碳中和政策的实施，中国水泥、钢铁等企业可能会加快相关的能源创新活动。

5、中国企业在能源技术研发创新中扮演着越来越重要的角色

1、企业分工体系明确

- 中国国有企业在核电、化石燃料等领域创新发挥着主体作用，而民营企业则在太阳能光伏、电动汽车和电池技术开发方面发挥核心作用。

2、企业主体作用凸显

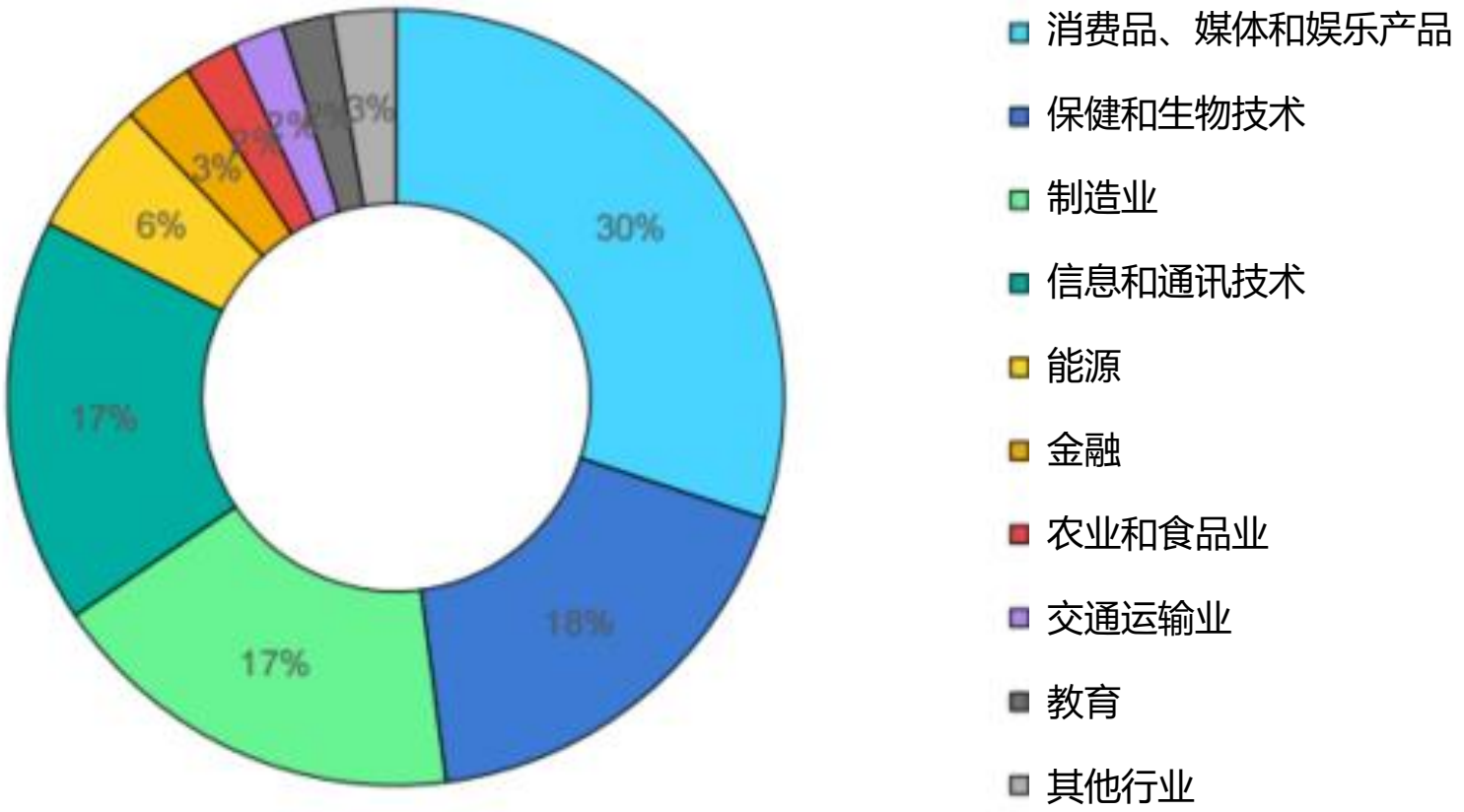
- 2000年，企业占研发投入总额的60%；而到2019年，中国超过75%的研发投入来自企业，政府机构约为15%，高校约为10%，说明企业的研发主体作用在增强。

3、企业注重示范应用

- 企业在研发投入中占较大比例，但大多专注于试验开发、产品和制造创新，而公共科研机构和高校则专注基础研究和应用研究等早期阶段。

6、中国初创企业发挥作用逐步加大

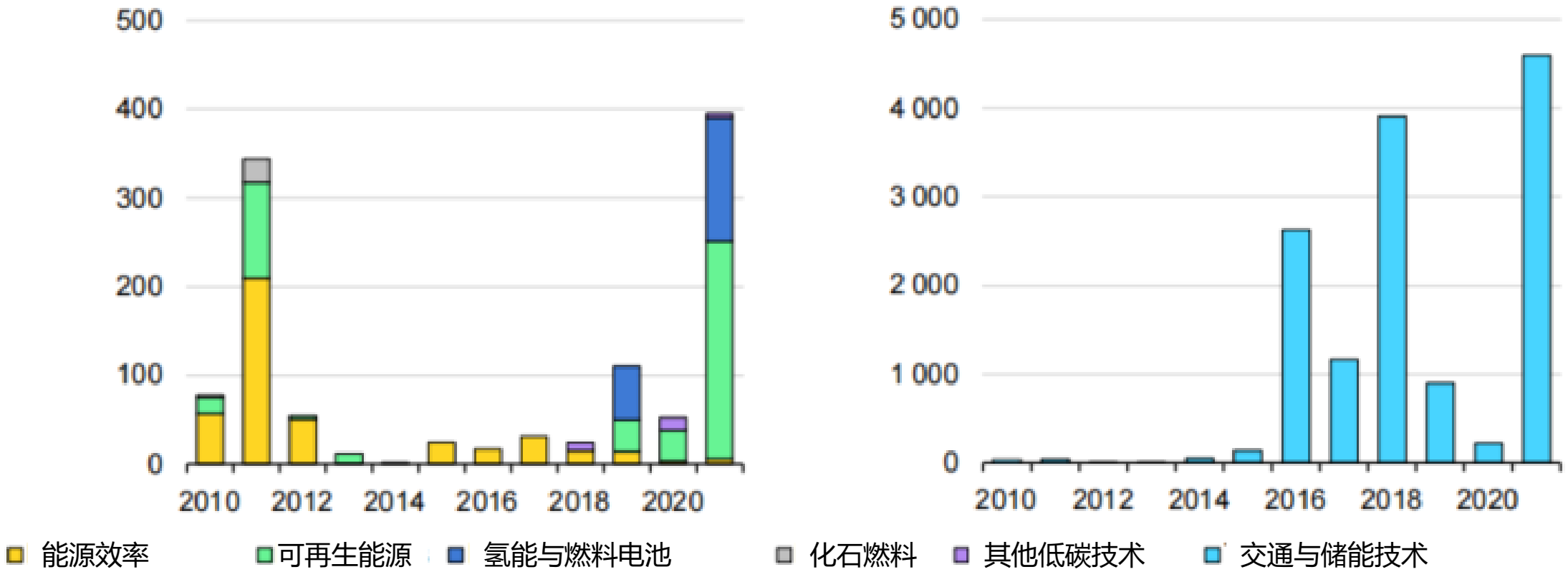
图10 2019-2020年中国初创企业的早期风险投资行业分布



- “十三五”以来，政府愈加重视创业生态系统建设，通过设立专项基金支持战略性新兴产业发展，如核能、电力电网设备、清洁能源等高科技领域。
- 2019-2020年，IEA基于Crunchbase数据的估计表明，中国能源部门吸引的早期风险投资所占份额仅有6%，而科技部数据则显示新能源风险投资与半导体、医药健康等行业相近。

7、中国电动汽车初创企业的大规模交易主导着能源风险投资

图11 2010-2020年按技术领域分列的中国初创企业早期风险投资
（单位：百万美元<2019年>）



- 中国能源领域大部分风险投资流向电动汽车和充电技术等低碳交通技术开发企业。
- 相对于其他领域（如可再生能源、能效、储能和氢能），电动汽车技术的重要性可能反映了投资者对中国和全球电动汽车市场前景的信心，并且相信中国企业能够比竞争对手更快扩大规模和渗透全球市场。

8、中国研发人力投入强度显著提高

1、总体概况

- 中国研发人员数量全球最多，且还在继续增加。尽管研发人员在总人口占比仍低于其他主要创新国家，但差距正在缩小。

2、研发人力结构

- 2019年，中国的企业研发人员占全国研发人员总数的75%以上，研究机构和学术界占比约为20%。其中，约45%的研发人员为研究人员；80%从事实验开发，12%从事应用研究，8%从事基础研究。

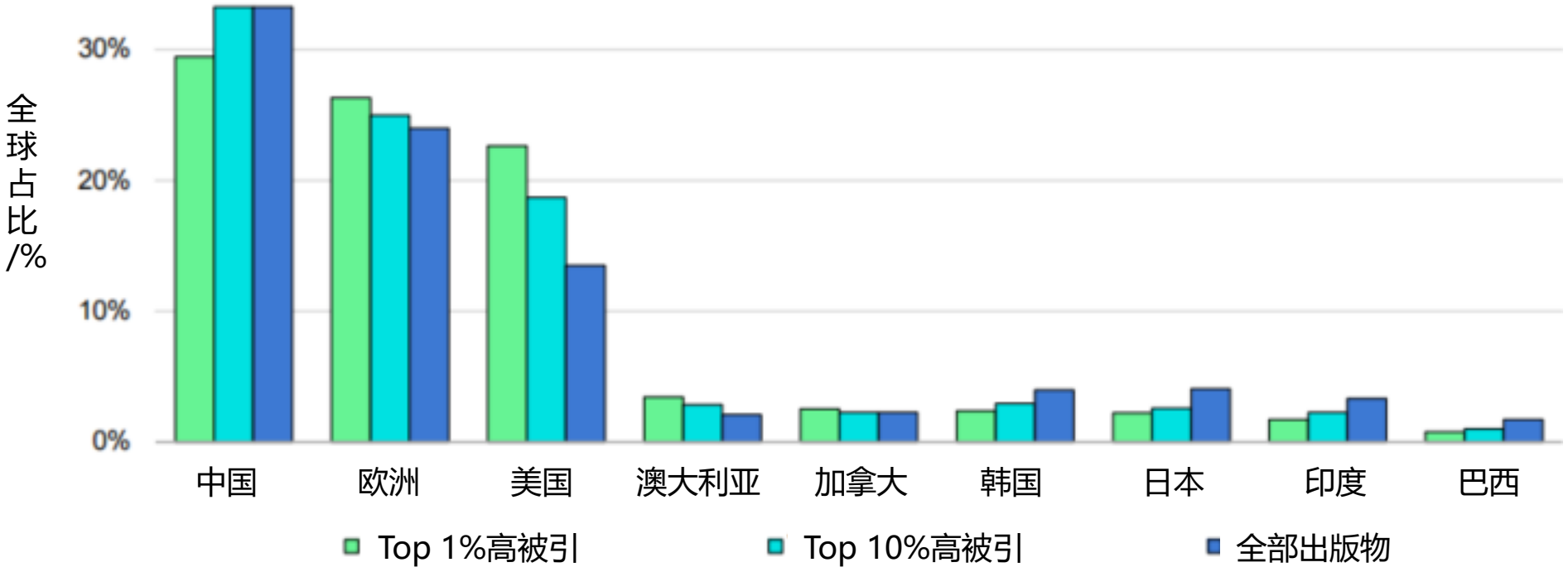
3、人才支持计划

- 中国在国家层面实施了各类人才支持计划，如“万人计划”、“千人计划”等。
- 各部委、地方政府、高校院所和企业等均实施各类高层次人才计划，如《山西能源领域急需紧缺人才目录》、中石油高层次人才引进计划等。
- 中国还支持国际人才合作交流，如国家能源局和教育部支持的“国际核电人才培养计划”、西安交通大学—香港理工大学丝绸之路国际工程学院等。

中国在能源领域的知识产出数量和质量“双增长”

1、中国机构科研产出居全球前列，但研究影响力有待提升

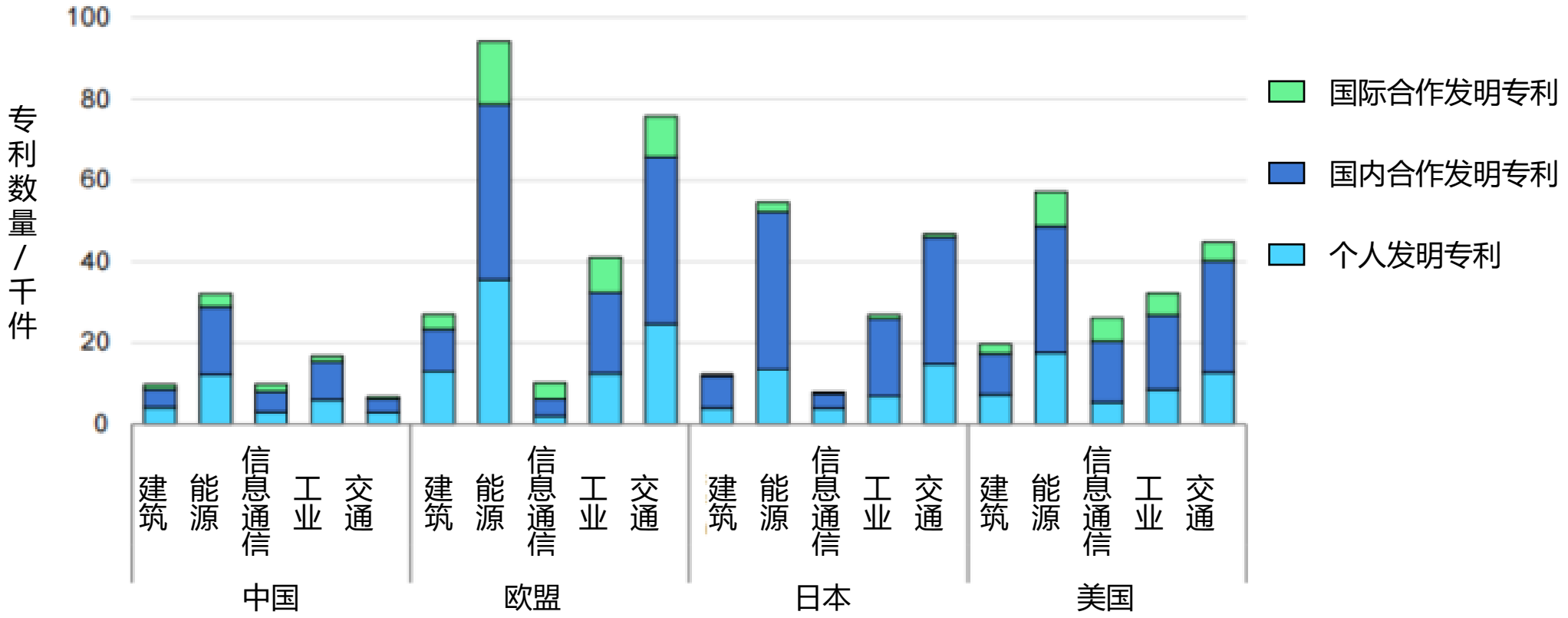
图12 2016-2019年主要国家/地区在物质科学和工程领域的全球论文占比



- 2016-2019年期间，中国发文量占全球1/3，超过欧洲（24%）、美国（13%）、日本和韩国（各4%）。
- 中国科学院自然指数得分远高于其他国家科研机构，科研产出超过法国国家科学研究中心、美国国立卫生研究院、美国劳伦斯伯克利国家实验室、西班牙高等科研理事会之和。
- 中国高校论文影响力相对落后，全球当年前1%高被引出版物中，有29%来自中国高校，低于其发文量的全球占比（33%）。
- 但中国学术论文篇均被引频次落后于美国、德国和日本，研究成果的整体影响力需要进一步提高。

2、中国能源领域技术专利申请合作网络持续得到改善

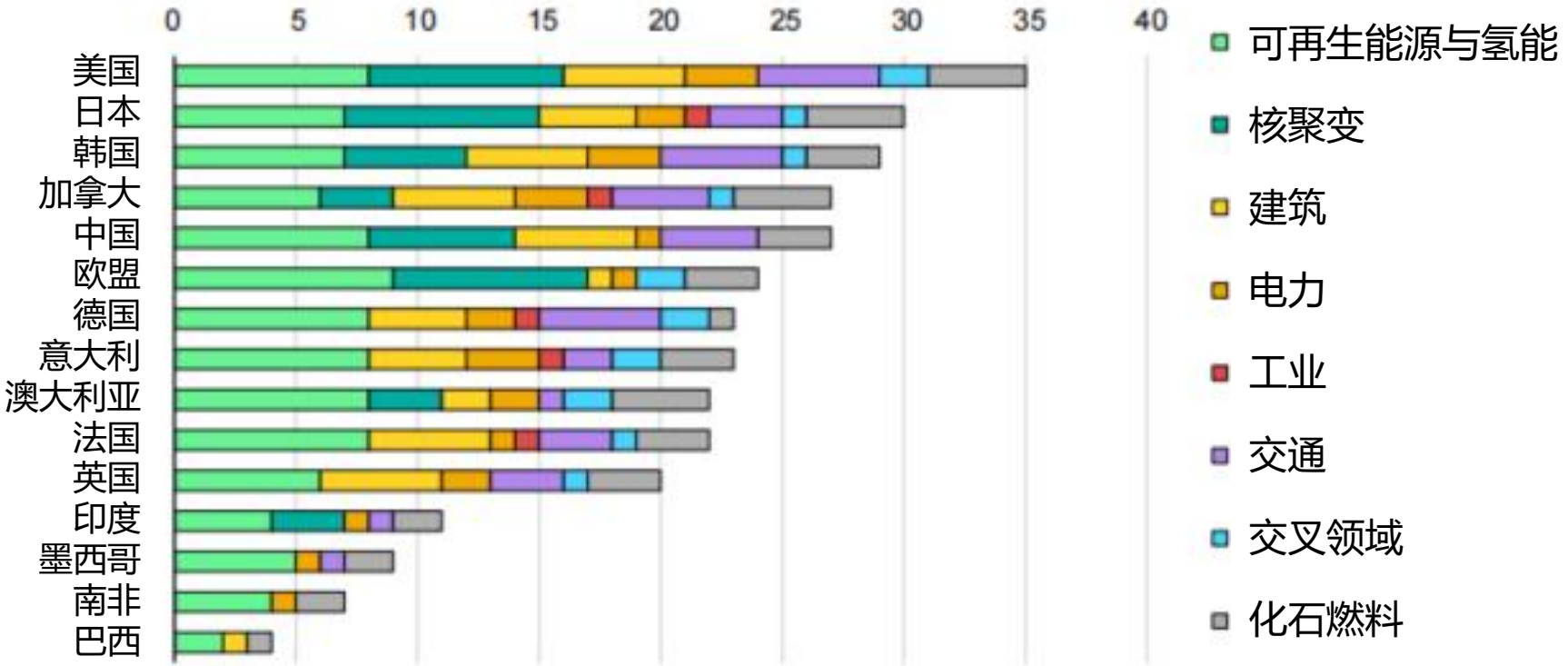
图13 1990-2019年主要国家或地区低碳能源技术国际专利合作申请情况



- 中国的国内机构合作显而易见，其合作发表学术论文和/或申请技术专利突出，特别是公共机构之间，但学术界与产业界的合作仍需进一步加强。
- 在缓解气候变化技术领域，中国机构合作申请国际专利数量占比由20世纪90年代的50%上升至2010年代末的75%以上，其中近85%为国内机构合作申请专利。

3、加强国际合作是中国能源创新战略的核心

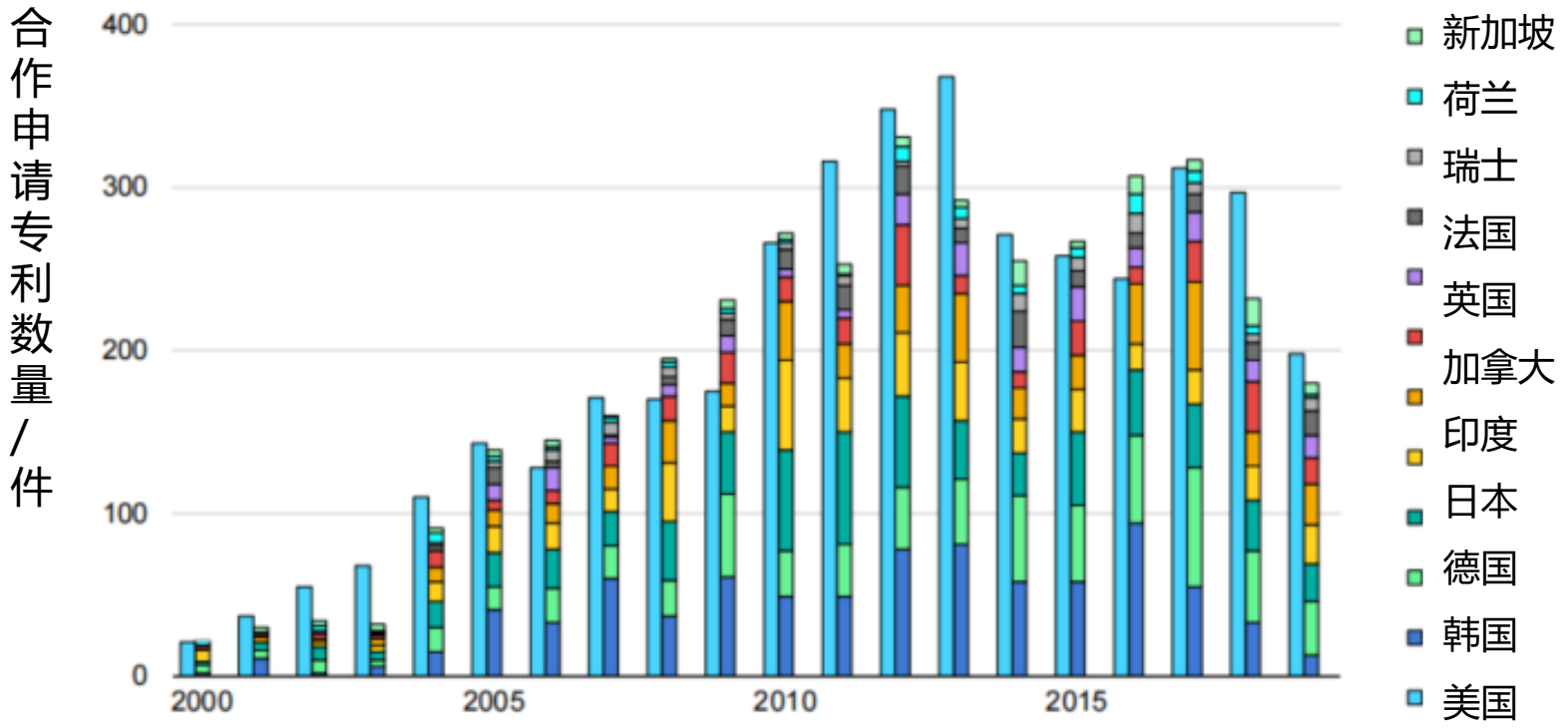
图14 按重点技术领域划分的主要国家承担国际能源署技术合作项目（IEA-TCP）数量



- 过去30年，中国加强参与国际合作和多边能源创新平台，与50多个国家和地区建立联合研究创新机制。例如，中国参加了37项IEA-TCP项目中的27项，并积极推动伙伴关系可持续发展。
- 中国能源创新的国际合作项目大多由科技部和中国科学院协调实施，如科技部政府间科技创新国际合作”研发项目，中科院“一带一路”科技行动计划等。

4、中国在国际合作中能获得切实利益但存在合作减弱迹象

图15 2000-2019年中国低碳能源技术国际专利合作申请的主要国家/地区



- 中国低碳能源技术领域与他国合作申请的国际专利中大部分是与美国合作申请，其次为日本、韩国、欧盟等国家和地区。1990年以来，中国与美国合作申请的国际专利中，能源生产和输配领域最多（35%），其他依次为ICT（25%）、工业（16%）、建筑（13%）、交通（9%）。
- 另一方面，IEA和欧洲专利局分析显示，中国国际专利合作申请率低于美国、欧洲，但高于韩国、日本。2015-2019年与2000-2004年相比，美国、德国、英国、法国等合作申请专利占比均有所提高或稳定，但中国却出现下降。2016-2019年中国国际合作发表论文占比（26%）也低于世界平均水平（50%）。

◆ 市场作用机制有效拉动能源科技创新

1、市场机制成为拉动中国能源创新的重要力量

- **巨大的市场规模和强劲的市场需求：**为包括跨国公司在内的能源企业带来重要商机。
- **中央做出政治经济优先事项决策：**政府迅速制定激励措施，引导企业提高新技术的产能。
- **为战略性产业提供低价资本：**大规模部署战略性新兴技术。
- **制定全行业战略：**建立产品原材料、制造和回收一体化供应链，降低整体生产成本和新技术投资风险。
- **强有力的社会政治支持以打造全球领军产业：**为旨在海外开发具有巨大潜力的清洁能源技术的创新者提供商业机会。
- **各级地方政府高度参与市场创造：**结合本地发展现状和优势，制定有针对性的激励措施，建立新的高新科技示范区和基础设施。
- **明确的国家愿景和市场信号：**有助于增强市场信心，降低优先技术领域的投资风险。

2、产业政策作用显著

- **产业政策有助于在战略性领域建立制造能力：**通过财政政策调整国家优先事项，抓住能源和工业领域的关键投资机遇。
- **低成本资本、投入、补贴等支持政策：**有助于使中国产品制造成本低于国际标准。
- **有力的激励措施推动在中国生产部件和建立制造业：**低成本和宽松的劳动力政策，成功吸引了外国参与者。
- **低价格、促进出口和刺激内需政策扩大市场：**增强了企业，特别是国有企业的实力，加速全球巨头企业成长。
- **外国直接投资：**通过合资协议嵌入知识共享和技术转让条款，推动本地技术发展。
- **边做边学以及广泛的知识和技术转移：**消化吸收再创新的形式推动国内企业发展，但重点仍是制造工艺创新，并通过扩大规模降低成本。
- **产业巨头增加创新投入能够带来收益增加：**逐渐从利用国外技术制造转向本土创新。
- **技术创新激励措施：**供应商之间不断降低成本和提高产品可靠性，有序竞争促进了创新。

3、但产业政策在某些情况下也可能会阻碍科技创新

1、“挑选赢家”风险

- 中央决策能够迅速有效引导新的科技优先事项和长期目标，但存在“挑选赢家”的风险。与技术中立的政策途径相比，存在限制市场合理化和激进创新的可能性。

2、产能过剩风险

- 在某些情况下，产业政策会出现供需失衡现象，导致重工业等行业出现产能过剩，由此引发破产或重组。

3、创新绩效偏低

- 当产业政策寻求降低成本以夺取国际市场份额或促进本地产业部署时，制定激励措施以提高技术性能可能将是一项挑战，在某些情况下可能导致全球水平创新绩效的降低。

4、市场需求驱动型创新也是中国能源科技创新的重要因素

1、概念

- 市场需求驱动型创新是指传统的建制化研发计划体系之外的技术创新，由地方需求和支持激励的创新文化，也称为“节俭式创新”（frugal innovation）。

2、典型案例

- **太阳能热水器技术：**市场对廉价、高效舒适供暖系统的需求增加使得20世纪90年代在中国兴起太阳能热水器技术，并在早期缺乏中央政府的支持下成功实现由民间技术发展到大规模生产，目前中国已成为全球最大的太阳能供暖/制冷技术市场。

3、存在局限

- 这种创新模式存在局限性，技术水平落后于国家建制化研发计划体系集中支持的技术。
- 企业在技术研发和创新方面经验有限，新技术或新产品的市场竞争力面临挑战。

中国将重点布局面向碳中和目标的清洁能源科技创新

1、中国能源领域研发创新主要经验

- 以太阳能光伏为例，在短短20年时间里，中国成为了全球光伏制造和技术创新的领跑者，主要呈现出以下特征：
  - **加大创新资源投入，**提供研发和示范资金、风险投资和人力成本，以及基础设施。
  - **有效的知识管理，**提高研究成果产出的质量和数量，主动融入国际标准，强化政府、学术界与产业界之间的知识流动网络构建。
  - **强大的市场推动，**大规模产业政策、国内市场创造、外向型创造等强有力手段，迅速打造出综合性领军企业。
  - **协调决策引导创新转向国家优先事项，**迅速调动国家创新活动关键参与者积极性，包括产业部门、学术界、金融界等。

2、“十四五”规划将能源创新作为加快经济社会发展的核心主题

- 展望未来，清洁能源创新将为中国实现碳中和目标发挥关键作用，继续保持清洁能源技术领导者地位。
  - 重点推动原创和突破性创新项目；
  - 针对国家需求和战略机遇，优化资源配置；
  - 提高科研机构的效率和成效，并推动其结构现代化；
  - 进一步将企业纳入创新主体；
  - 重点关注开发新技术，在全球供应链中寻求战略机遇，包括低碳氢生产和应用、CCUS、生物质能、储能和先进电池、核能、关键矿物等；
  - 加强评估和监测机制。

《洁净能源重大信息专报》

编辑出版：　中国科学院武汉文献情报中心
联系地址：　武汉市武昌区小洪山西25号（430071）
联 系 人：　李岚春 陈伟
联系电话：　（027）87199180
电子邮件：　energy@whlib.ac.cn