

能源转型研究

科研与创新在全球可持续
能源转型中的作用

作者简介

Ed White

科睿唯安知识产权与创新研究
副总裁兼首席分析师

Ed White 是创新评估与预测领域的思想领袖，也是科睿唯安《[全球百强创新机构](#)》和《[全球最受保护品牌百强](#)》报告的主要作者。Ed 在科睿唯安以及公司前身工作长达二十年，拥有电子工程、仪器仪表和粒子/等离子设备方面的技术背景。Ed 的大部分时间都致力于开发用于分析创新生态系统的新方法，并为数百家企业、机构和政府部门提供咨询建议和技术数据调查服务。

Mihnea Hanganu

科睿唯安创新总监

Mihnea Hanganu 在知识产权领域拥有十年的丰富经验。他拥有商业经济学背景，曾就读于布鲁塞尔自由大学索尔维商学院，并通过专业培训成为数据科学家。作为资深的数据专家，Mihnea 为科睿唯安《[全球百强创新机构](#)》和《[全球最受保护品牌百强](#)》等报告提供了强有力的支持。Mihnea 的主要工作是通过提供数据和分析产品，帮助企业和政府机构加速创新，并改变未来。他在这方面卓有成就，经验丰富。

能源转型研究

在科睿唯安，我们热衷并倡导可持续发展。“可持续”这一概念已融入到我们所做的每一件事，它是我们做出每一项决策的基本原则。

我们深知，为了成为具有显著商业和社会影响力的伟大企业，我们需要采用全方位的方法，持续不断地为我们的数据、情报和专家寻找新的机会，让数据的存在和专家的工作更有意义，可以对世界的可持续发展产生积极影响。

本项研究是我们为促进联合国可持续发展目标 9——产业、创新和基础设施所做的努力之一。报告探讨了全球科研与创新对可持续能源推广和发展的作用。报告揭示了当前的差距、趋势和进一步加强研究的需要，同时根据可持续能源的种类和地理分布来研究发展潜力所在。

在本报告中，我们充分利用科睿唯安的丰富资源，分析了科研和创新在全球可持续能源转型过程中的作用，为政策制定者、企业、投资者和全球科学家提供了宝贵的见解。

应对能源危机需要政府、企业、研究组织和公共机构的共同努力，积极寻找技术上的创新解决方案——而且需要各方迅速行动，刻不容缓。

整个社会是一个共同体，因此我们面临的挑战之一是利用数据全面了解能源问题在不同研究领域和不同行业的规模和背景。只有借助准确的数据，我们才能充分理解我们面临的挑战，才能以行之有效的方式来应对挑战。

这些数据必须是经过筛选后的结构化数据，要进行严格维护和及时更新，并且能够与其他同等质量的数据集结合使用，这样才有可能从中获取正确的洞见。

一项新的技术，从第一次相关研究发表在科学期刊上，到该技术在现实世界中成功应用，这个过程大约需要 12-17 年。有时，一项科研发现会影响多种技术，而且通常这些技术会应用于不同行业的不同产品。我们的数据 40 多年来始终基于相同的方法进行组织、整理和加工，这是我们得以发现新趋势、揭示新网络、掌握格局变化的基础。

只有通过数据和情报更好地了解我们迄今为止所做出的努力，我们才能不断进步。

我们期待着与同事、客户和合作伙伴共同携手，助力变革，在推动全球迈向可持续发展的未来这条道路上共同前进。



Tiffani Shaw

科睿唯安首席事务官、
可持续发展负责人

目录

05

可持续能源的研究背景

07

可再生能源科研与创新活动现状概览

12

主要发现和趋势

18

将科研成果转化为实际应用，
加速全球可持续能源转型

20

附录

可持续能源的研究背景

2020 年，全球公共卫生危机使碳排放量出现了令人欣喜的大幅下降，但随着经济和社会生活的逐渐复苏，全球能源消耗和碳排放水平也随之反弹。

世界各国政府为促进经济发展而出台的各种财政措施和刺激方案效果显著，2021 年全球经济已有起色，实现了 6% 的增长。¹ 然而，二氧化碳排放量也以相似的比例增长，² 让世界重新回到了 2030 年减排 45% 的目标。我们再次面临着未来变得不可持续这一威胁，在 2050 年以前能否实现净零排放还是未知数；虽然可再生能源的使用在 2021 年出现了迄今为止最大的增长，但全球向可持续、可再生能源转型的推进速度仍然不够。³

可持续能源的必要性显而易见。科学家们认为，如果目前全球变暖的速度一直持续到 2070 年，预计届时全球三分之一的人口可能会失去适宜居住的环境。如果能够大幅降低排放水平，则未来可能遭遇这一居住环境危机的人数将会减半。⁴ 要在本世纪中叶成功实现全球净零目标，确保地球环境宜居，那么加速向可持续能源转型则是必不可少的一环，且这项工作已是迫在眉睫。

政策制定者、科学家和工程师面临的挑战是将纸面上的宏大目标落实到具体行动上——均衡环境、经济和实际需求，以加速采用并最终全面过渡到可持续能源。事实上，与化石燃料发电厂相比，现在太阳能和风能发电厂的建造和运行成本更低。⁵ 我们应该如何利用可持续的可再生能源，如太阳能光伏、风能和绿色氢能，将其整合到现有能源网络，以满足现代社会的能源需求？

各国政府面临着应对竞争性需求的压力，既要保持经济复苏势头，又要在能源价格飙升的情况下为民众和企业提供支持，同时还要实现经济的可持续转型。不同于化石燃料能源，可再生能源可以本地产出，因此更为便宜，更能确保能源安全，其作用不可忽视。



然而，在可持续发展领域，政府和企业的宏大目标与他们采取的具体行动之间，存在着一条固有的信息鸿沟。围绕可再生能源资本市场的整个生态系统，不仅需要了解需求和目标，还需要掌握能够对实际结果和能力水平进行衡量的方法。

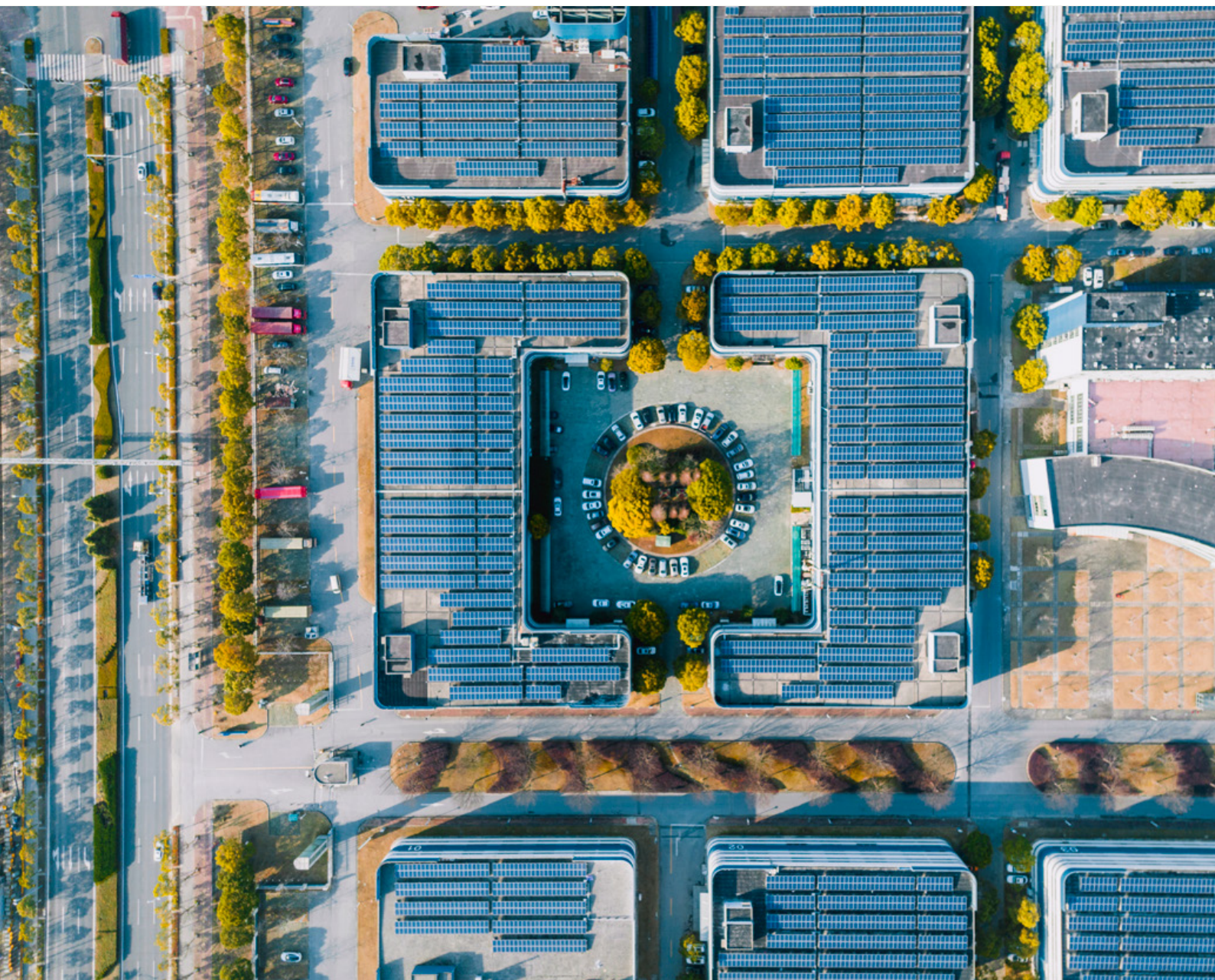
本报告探讨了全球科研与创新对可持续能源推广和发展的作用。报告揭示了当前的差距、趋势和进一步加强研究的需要，同时根据可持续能源的种类和地理分布来研究发展潜力所在。

为此，我们凭借科睿唯安全方位覆盖的深度内容，利用独立于出版商的全球引文索引数据库——Web of Science™、经过编辑和深加工的全球专利数据源——德温特世界专利索引（Derwent World

Patent Index™，简称 DWPI™）、德温特专利引文索引（Derwent Patents Citation Index™，简称 DPCI）和全球知识产权案例数据库 Darts-ip™，对围绕全球科研和创新的严谨数据进行了认真收集和梳理，对可持续能源领域的研究和发明进行了全面评估。

我们此举的目标是创建一个现代化的“大型图书馆”，图书馆中不仅存储着人类目前的科学和工程知识，而且在结构上非常便于投资者、政府、企业和研究人员进行检索查阅，使他们可以更好地了解当前科研和创新生态系统的现状，以及未来可能出现的形态，而且这一方法不仅用于可持续能源领域，还可以推广至其他各个行业。

[点击此处查看完整的方法论。](#)



可再生能源科研与创新活动现状概览

求知。才智。发现。

全世界的科学家们因为求知欲而提出问题，凭借聪明才智进行探索研究，最终发现和创造新知识，为社会进步做出贡献。因此，许多国家都会通过各种基金资助机构，如美国国家科学基金会、德国联邦教育与研究部、韩国国家研究基金会等，对基础科学研究进行大量投入。企业和慈善组织也认识到基础研究的价值，对基础科学的资助力度不断加大。⁶ 诺贝尔奖得主文卡·拉马克里希南爵士 (Sir Venki Ramakrishnan) 曾经说过：“很多我们今天认为理所当然的事情都是基础科学和技术相互作用的结果，两者相互推动。”⁷

这种相互作用在可再生能源领域非常显著。在同行评议科学期刊中发表的论文通常更偏向于基础性研究，予以专利保

护的创新成果通常更偏向于实际应用的商业技术开发，而后者通常会滞后于前者；在可持续能源领域，这种滞后比较明显：从总体上出现第一个拐点到进入快速发展增长阶段，创新滞后于科研大约 10 年。

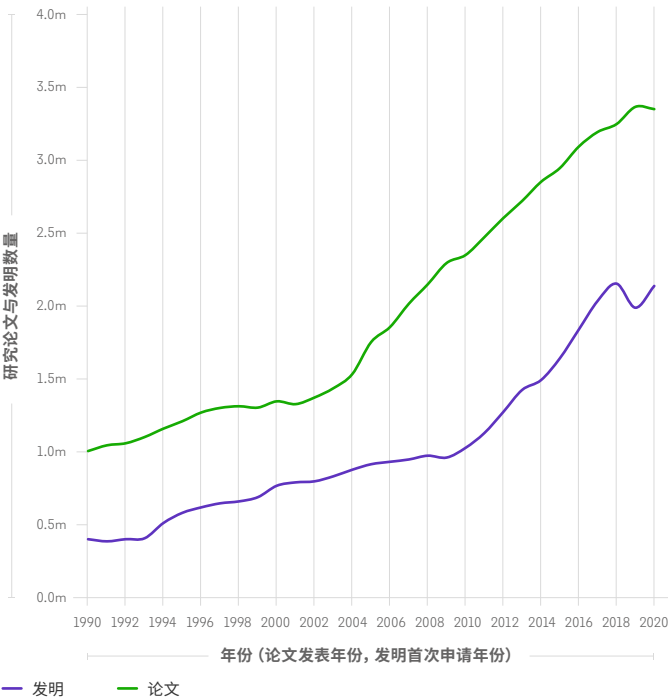
“很多我们今天认为理所当然的事情，都是基础科学和技术相互作用的结果，两者相互推动。”

诺贝尔奖得主文卡·拉马克里希南爵士

图 1: 全球研究与创新 (1999—2020)

全球每年新增研究论文与创新发明

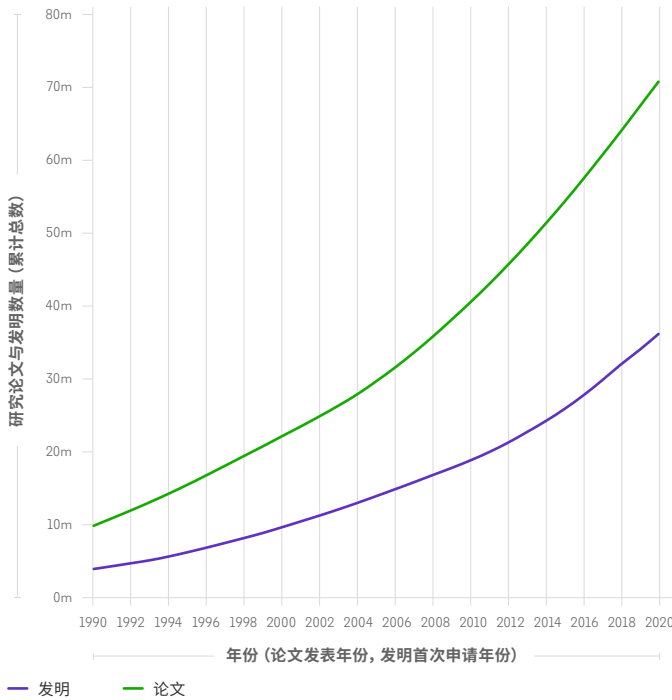
1990—2020 年：每年新发表研究论文数量与新发明申请数量*



*不含实用新型专利申请。来源：Web of Science, DWPI

全球每年累计研究论文与创新发明

1990—2020 年：截至当年累计发表研究论文数量与发明申请数量*

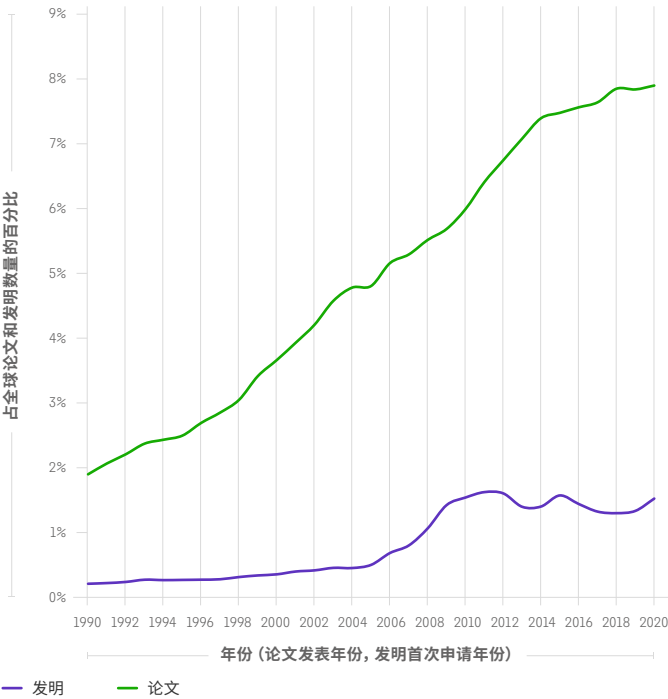


从绝对数字以及从在全球研究中所占的比例来看, 可持续能源领域的创新活动正在减弱。

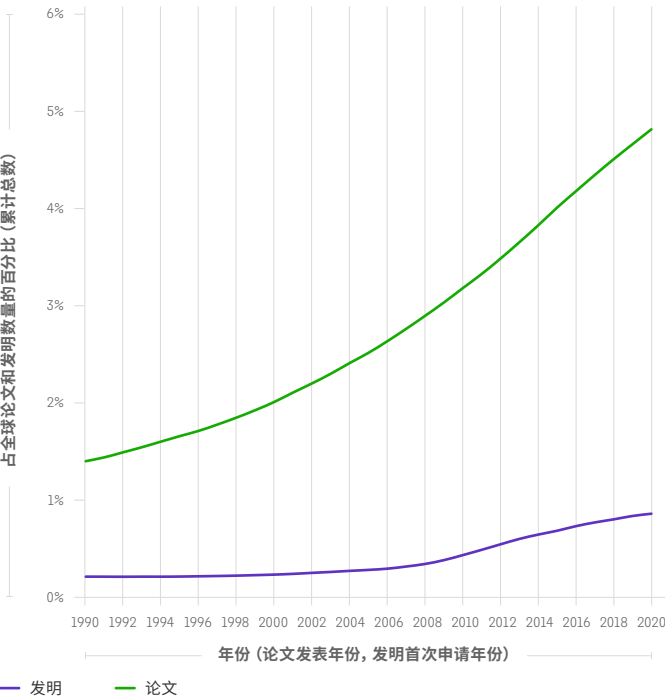
无论是围绕可持续能源开展的基础性和支持性研究还是直接的专利产出, 似乎都呈现出发展曲线已完成这一趋势——这通常意味着该领域的发展即将完成 (图 2)。这一发现是基于全球所有学科领域科学期刊和专利产出的总体增长的规范化数据而得出的。

图 2: 可再生能源占全球所有领域研究与创新活动的比例 (1999—2020)

可再生能源占全球所有领域每年新增研究论文与创新发明的比例
1990—2020 年: 可再生能源占全球所有领域每年新发表研究论文数量与新发明申请数量的百分比*



可再生能源占全球所有领域每年累计研究论文与创新发明的比例
1990—2020 年: 可再生能源占全球所有领域每年新发表研究论文数量与新发明申请数量的百分比*



*不含实用新型专利申请。来源: Web of Science, DWPI

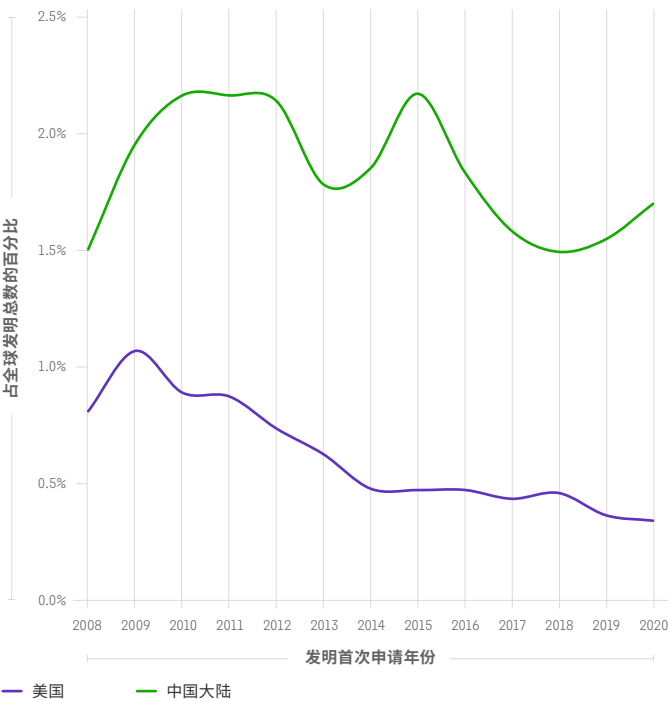
欧盟可持续金融分类方案

为实现“欧洲绿色协议”的政策目标，欧盟委员会公布了一项最新的可持续金融发展战略，即《欧盟可持续金融分类方案》。在本次研究中，我们使用了这套分类方案，依据该方案的分类目录，来定义什么是可持续的，什么不是可持续的。按照该方案的分类，本次研究重点关注可持续发电领域的八个主题：

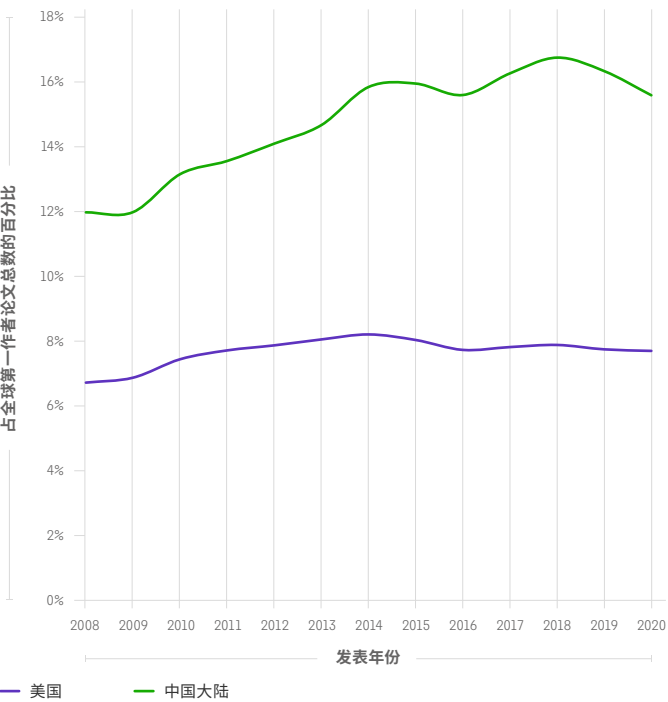
	太阳能光伏
	聚光太阳能
	风能
	海洋能
	水能
	地热
	生物质能
	可再生气体或液体燃料

图 3: 中国大陆和美国的创新发明和研究论文的全球占比 (2008—2020)

美国和中国大陆可再生能源每年发明数量占全球发明数量的比例
2008—2020 年: 可再生能源每年发明数量占全球发明总数的百分比*



美国和中国大陆可再生能源每年研究论文数量占全球研究论文数量的比例
2008—2020 年: 可再生能源每年研究论文数量占全球第一作者研究论文总数的百分比*



*不含实用新型专利申请。来源: Web of Science, DWPI

中国大陆在可再生能源领域的科研和创新活动中处于领先地位。

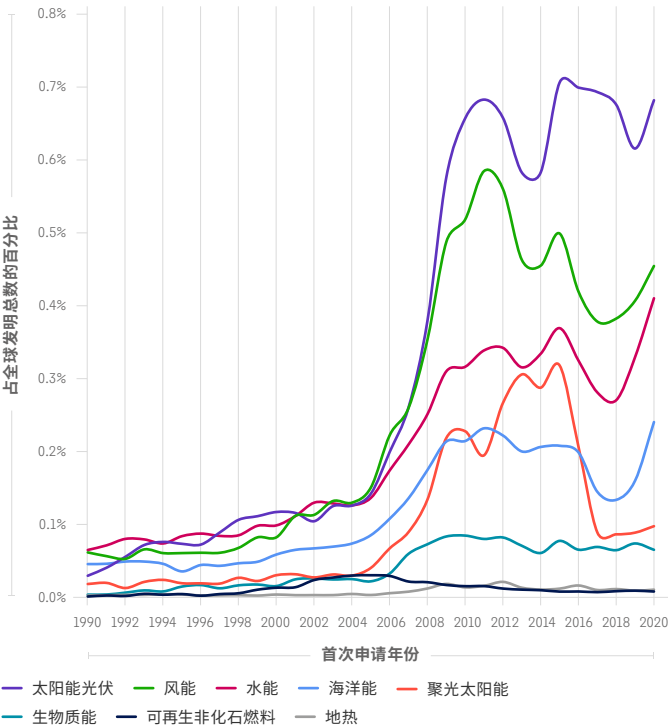
这一趋势的背后是大陆在可再生能源科研与创新产出方面的持续推动和正确的方向引导。大陆科研产出的数量和质量持续提升 (图 3), 其专利组合不断加强, 这一点从大陆不断攀升的发明强度得到了印证。然而, 大陆可再生能源的专利活动, 并没有跟上不断加速的大陆整体专利活动的步伐。⁸ 这进一步证明了我们的发现, 即可持续能源领域的科研和创新活动正在减弱。

另一方面, 美国可再生能源的专利活动实际上在减少, 其在该领域的科学研究也停滞不前。我们将在本报告后面部分深入研究并比较 G20 各国的能力水平。

如果将可再生能源细分, 分别观察不同类别可再生能源的活动情况, 我们会看到一幅更加细微的演变图像。可持续能源领域整体的科研与创新或许在逐渐减弱, 但这并不意味着所有类别的可再生能源都是如此。我们按照《欧盟可持续金融分类方案》将可再生能源分为八个不同种类, 发现太阳能光伏发电是最受关注的领域, 其次是风力发电, 且这一现象在创新发明和基础研究中都是如此 (图 4)。但无论太阳能光伏还是风能, 每年研究论文产出均已停滞不前, 这代表其发展曲线已经完成。

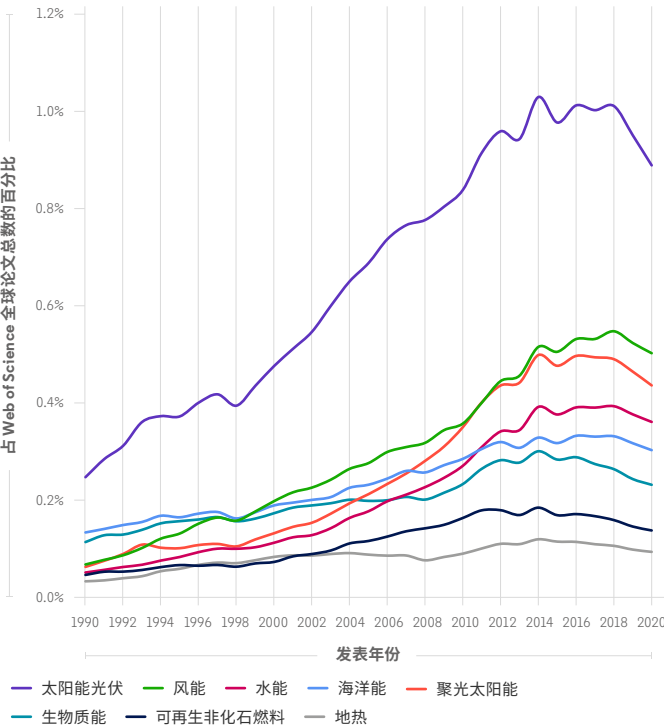
图 4: 可再生能源创新活动和支持性论文研究 (1990—2020)

按《欧盟可持续金融分类方案》划分的不同种类, 可再生能源发明占全球发明数量的比例
1990—2020 年: 每年可再生能源发明数量占全球发明总量的百分比* (按能源种类划分)



*不含实用新型专利申请。来源: Web of Science, DWPI

按《欧盟可持续金融分类方案》划分的不同种类, 可再生能源研究论文占全球研究论文数量的比例
1990—2020 年: 每年可再生能源研究库支持性论文数量占 Web of Science 全球研究论文总量的百分比*



48 吉瓦

2020 至 2030 年每年需要新增的水力发电装机容量。

水力发电是一个引人关注的难题。尽管其科研和创新活动的水平低于太阳能光伏和风力发电, 但水力发电是可再生能源领域最大的贡献者, 水力发电量是所有其他可再生能源发电量的两倍,⁹ 在国际能源署 (IEA) 的净零排放规划中发挥着关键作用。2020 至 2030 年, 平均每年需要新增 48 吉瓦的水力发电装机容量。然而, 在扩容和新建水力发电站时, 无论已有的水力发电站还是新建项目都必须考虑一个新问题, 即必须遵循严格的可持续性标准; 专家们认为, 以前低估了水力发电站对气候的影响, 现在必须将该影响降至最低。¹⁰ 在美国等一些国家或地区, 困难重重的许可和审批流程可能会限制水电的发展。事实上, 美国许多现有水电站正在进入重新许可阶段。¹¹ 国际能源署 (IEA) 认为, “如果没有重大政策变化, 全球水电扩张预计将在十年内放缓脚步。”¹²

另一方面, 包括绿色氢能在内的可再生非化石燃料, 正处于迄今为止发明和基础研究活动的最低水平。欧盟最近推出了 REPowerEU 能源计划, 该计划的其中一项举措是, 额外投资 2 亿欧元用于在欧盟范围内开发和实施清洁氢能;¹³ 这样的举措是否与宏大目标相匹配? 能否推动绿色氢能成为更广泛采用的可再生能源?

如果没有重大政策变化, 全球水电扩张预计将在十年内放缓脚步。

主要发现和趋势

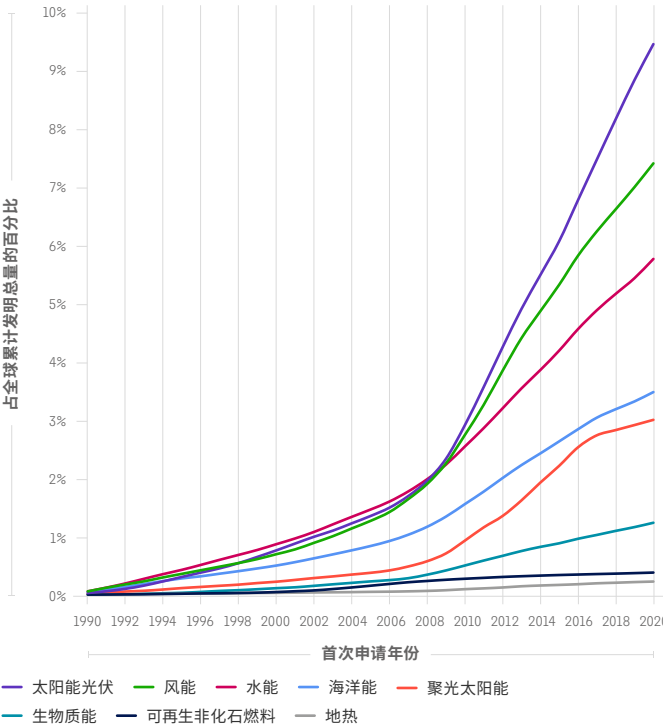
发现：太阳能光伏和风力发电在技术上日臻成熟；与太阳能光伏和风力发电技术有关的复杂问题在全球科学家的共同努力下得以解决

当我们对可再生能源的科研和技术产出进行分析时，另一个值得注意的发现是，在可持续能源的发明数量方面，太阳能光伏和风力发电的 S 型曲线似乎已出现第二个拐点，这表明其技术日臻成熟的总体趋势（图 5）。发明数量上的这一趋势与研究论文的趋势并不一致——学术研究方面似乎已经开始了一条新的发展曲线，但专利活动尚未跟上这条曲线的发展。



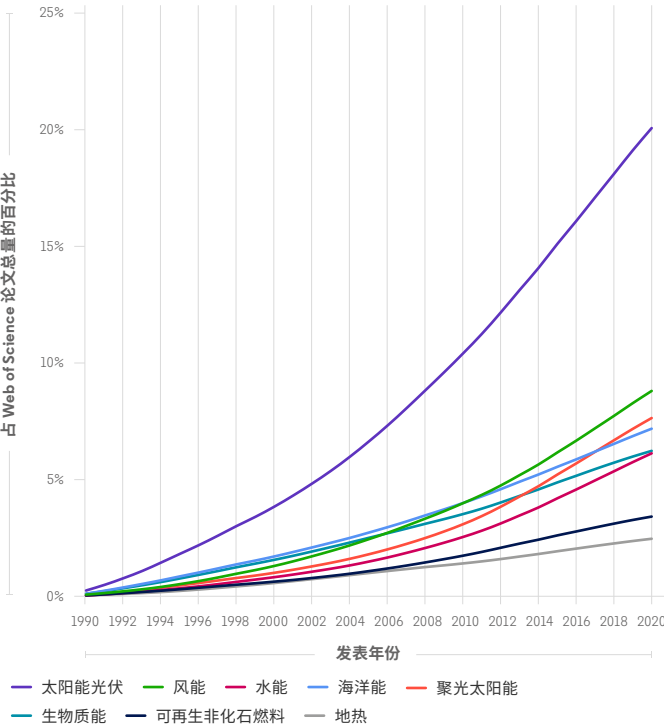
图 5: 可再生能源发明与研究论文的发展曲线 (占全球创新发明和研究论文的比例, 1990—2020)

按《欧盟可持续金融分类方案》划分的不同种类, 可再生能源发明的发展曲线 (占全球创新发明的比例)
1990—2020 年: 可再生能源累计发明数量占全球累计发明总量的百分比* (按能源种类划分)



*不含实用新型专利申请。来源: Web of Science, DWPI

按《欧盟可持续金融分类方案》划分的不同种类, 可再生能源研究论文的发展曲线 (占全球研究论文的比例)
1990—2020 年: 可再生能源累计论文数量占 Web of Science 论文总量的百分比 (按能源种类划分)



水电是唯一的例外。或许这并不令人意外, 因为与其他可再生能源相比, 水力发电被认为是一种“老”技术。目前利用水力产生交流电的方法可以追溯到 1893 年加利福尼亚州的一座交流发电厂。¹⁴

为了更好地了解每种可持续能源的成熟级别, 我们使用了来自研究论文、专利以及专利主张等方面的数据, 将学术研究论文数量水平与企业发明活动水平和商业化指标进行对照。由此我们得到了一个模型, 该模型可对技术成熟度进行

指数化衡量, 揭示出可能在技术方面已经成熟的可再生能源种类 (图 6)。可持续能源技术成熟度指数进一步支持了我们的论点, 即太阳能光伏、风能、可再生非化石燃料和生物质能均已成熟技术。

海洋能发电按该指数目前属于不成熟技术, 正处于创新的前沿。海洋能发电具有高能量密度, 如果得到充分利用, 有望成为前景最好的可持续能源之一。例如, 美国沿海的海浪可以满足该国每年近三分之二的电力需求。¹⁵

政策制定者正在寻求挖掘海洋能源的潜力, 一些国家或地区出台了各项政策以鼓励加大这方面的研发力度。例如, 澳大利亚政府于 2021 年通过了一项海上电力基础设施法案,¹⁶ 以支持各州和国家关于发展海洋能源项目的规划。英国在开发海洋可再生能源方面居于世界前列, 英格兰、威尔士和苏格兰均有项目正在开展。例如, Wave Energy Scotland 的目标是“研发可靠技术, 实现极具成本效益的波浪能发电”, 自 2014 年该机构成立以来, 已投资超过 4,800 万英镑, 为 120 份合同注资。¹⁷

图 6: 可持续能源技术成熟度模型

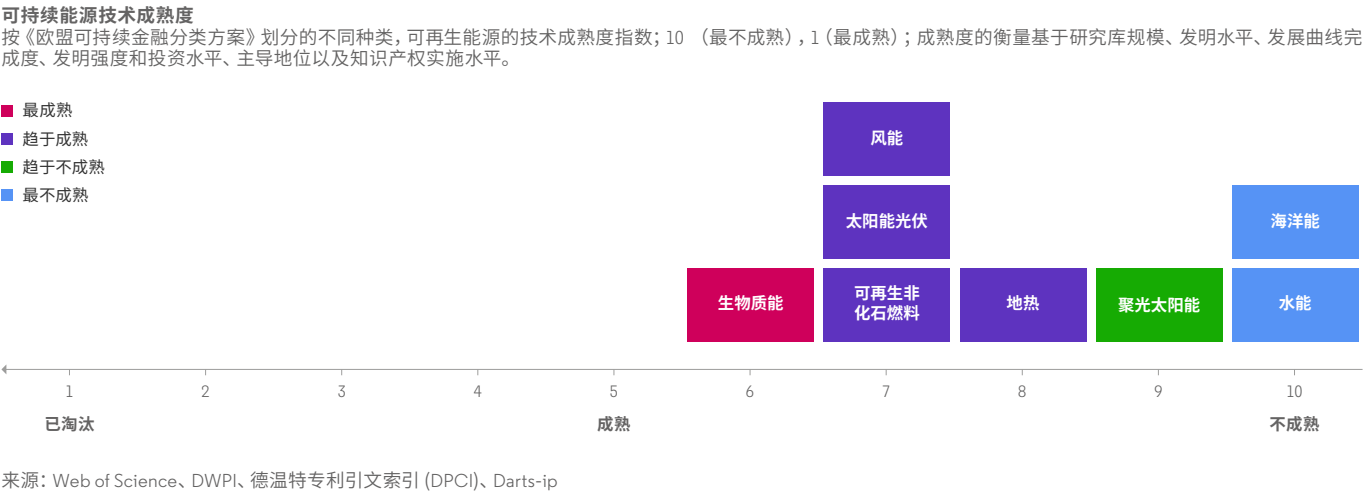
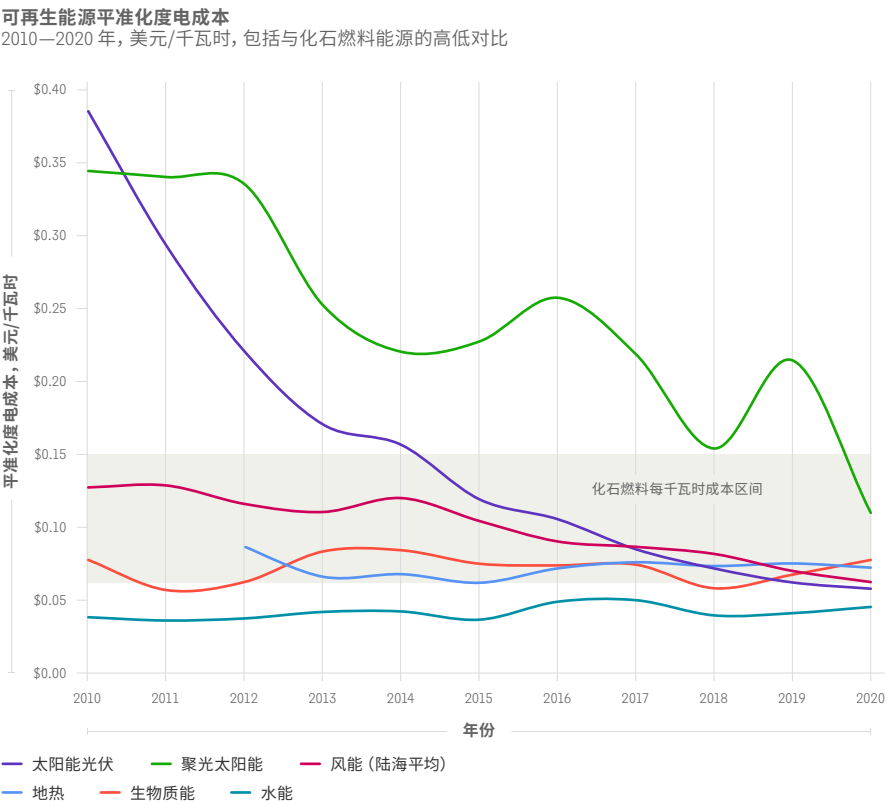


图 7: 可再生能源平准化度电成本



来源: IRENA (2021), 《2020 年可再生能源发电成本》, 国际可再生能源机构, 阿布扎比

实际来看, 尽管太阳能光伏和风能在过去三十年开展的科研和创新活动数量最多, 但总体活动趋势正在减弱。加上我们在技术成熟度模型中的发现, 这似乎表明太阳能光伏和风能的开发已趋近成熟, 最复杂的技术问题和挑战已经得到解决。事实上, 对于某些种类的可再生能源, 其平准化度电成本与化石燃料发电的均化成本相当甚至更低 (图 7)。

值得注意的是, 可持续能源的技术发展速度与平准化度电成本之间存在很强的相关性。随着技术的成熟, 相应技术的平准化度电成本的下降速度会减缓。

发现：中国大陆在可再生能源领域的科研和创新产出位居全球首位；韩国、日本和印度跻身影响力排名上升幅度最大的国家之列

中国大陆和美国是全球科研和创新的两大动力，从可再生能源领域累计科研产出方面来看，双方旗鼓相当。然而，中国大陆在可再生能源领域的发明数量则远远超过美国（图 8）。

无论是科研还是创新影响力，美国在这两方面的排名近年均在逐步下降。虽然美国在发明强度方面依然位列前五（图 10），但在引文影响力最高的论文方面，已被挤出前五之列。事实上，除加拿大之外，西方国家在可持续能源领域的科研和创新活动正在逐渐放缓。

图 8： G20 国家（包括西班牙）可持续能源科研和创新累计总量（2008—2020）

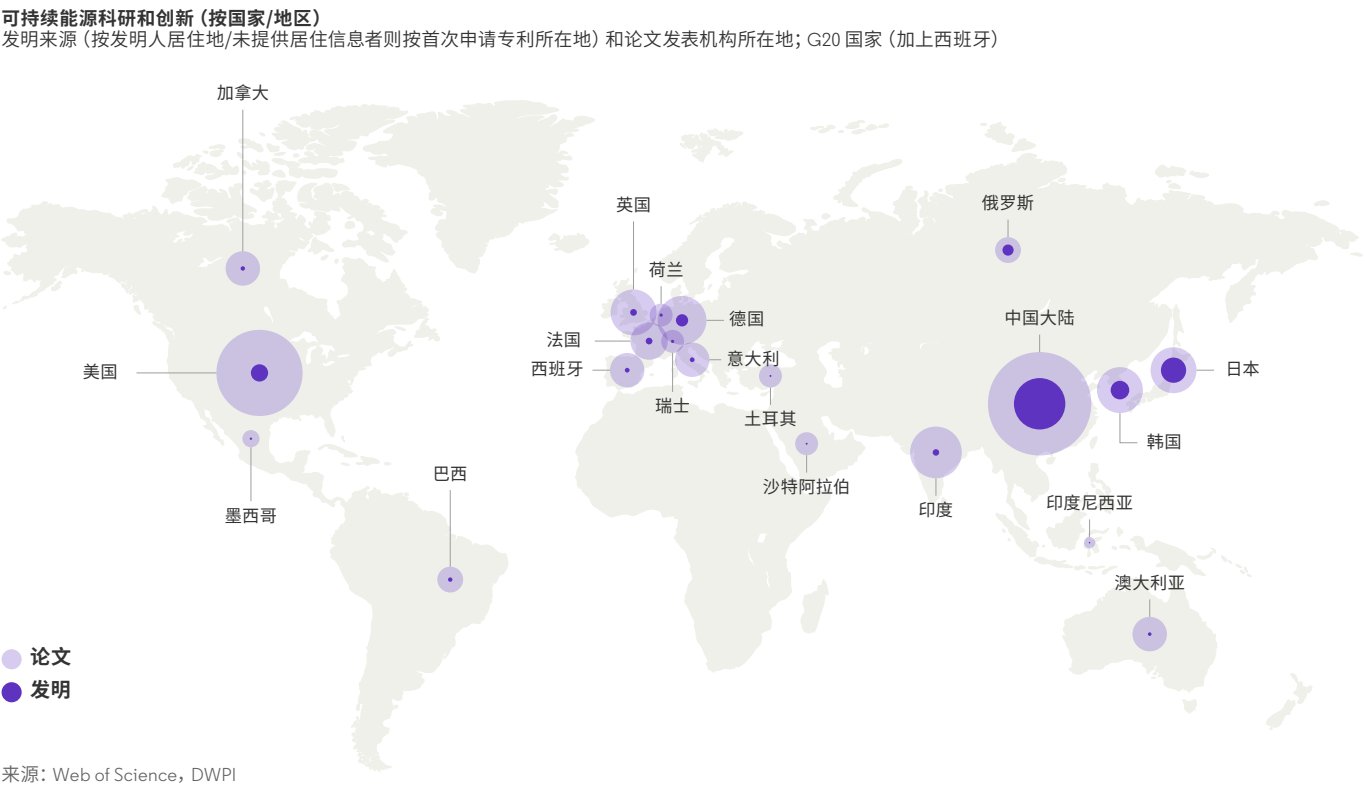
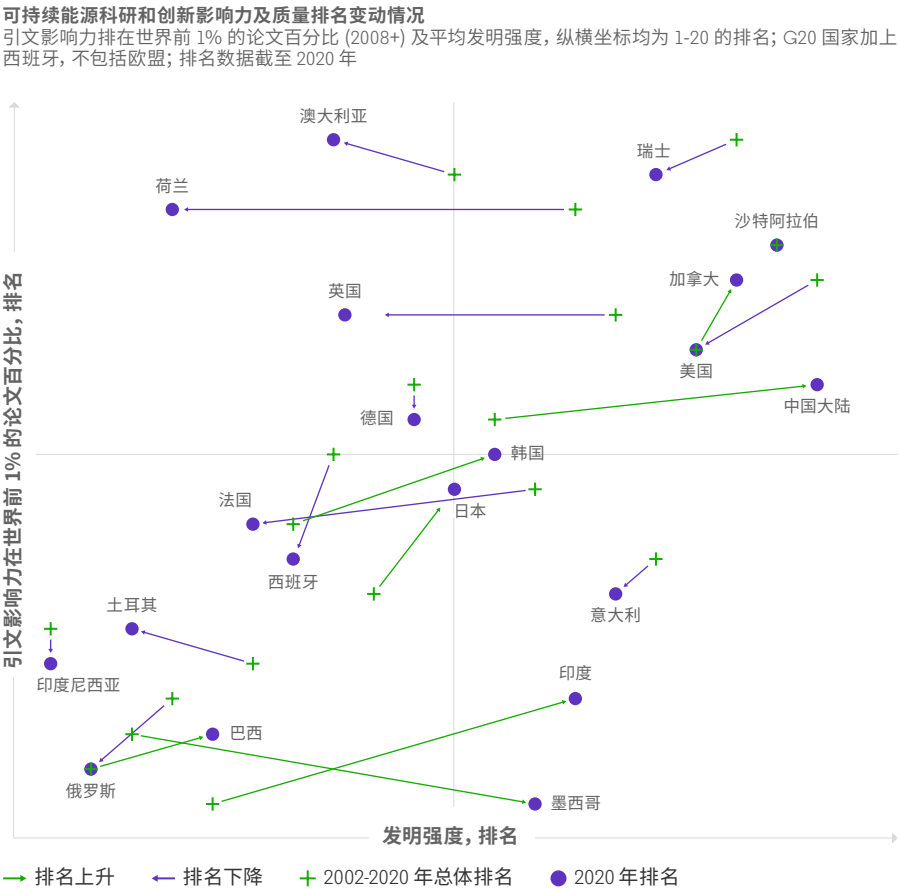


图 9：可持续能源科研和创新影响力及质量排名变动情况



来源: Web of Science、DWPI、德温特专利引文索引 (DPCI)、Darts-ip

相比之下, 中国大陆的排名持续跃升, 在发明强度方面已经位居榜首, 在研究论文质量方面的提升幅度也最高。中国大陆于 2021 年发布的《“十四五”可再生能源发展规划》强调了大规模发展可再生能源的重要性。规划制定的目标之一, 是在 2030 年可再生能源发电装机总容量达到 1,200 吉瓦。中国大陆做到了言行一致——中国大陆去年新增的海上风电装机容量超过了过去五年全球其他国家或地区的总和, 将过去海上风电产能的领导者英国挤到了第二位;¹⁸ 另外, 2022 年, 中国大陆预计将其太阳能发电装机容量提升至 90 吉瓦。¹⁹

同样是在亚洲, 印度也取得了长足进步, 其发明强度排名提升最高 (图 10)。2020 年是印度可再生能源行业发展的一

个转折点, 太阳能项目的投标降至历史新低。同年, 印度授权签订了更多可再生能源供应合同, 有更多的可再生电力输送到能源网, 所有这些让可再生能源变得更加便宜, 可以与化石燃料发电相媲美。²⁰ 最近, 印度计划加大对国内太阳能光伏制造商的补贴, 并将其作为到 2070 年实现净零战略目标的一部分。²¹

得益于上述种种措施, 太阳能目前已成为印度成本最低的可再生能源, 到 2020 年底降至每千瓦时 1.99 印度卢比 (0.0269 美元)。²² 但从另一方面来看, 尽管印度努力扩大其太阳能发电的产能, 但与其在 2030 年实现 300 吉瓦太阳能发电装机容量目标所需达到的年均建设进度相比, 仍显落后。²³

图 10: G20 国家可持续能源科研和创新影响力及质量指标一览 (2008—2020)

发明 - 每个国家/地区每年平均发明强度；全球二十大经济体的排名情况（1 - 发明强度最高；20 - 发明强度最低）															
国家/地区	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	排名 Δ 2008-10	2020 年排名前五的国家/地区
中国大陆	7	4	4	8	8	10	9	8	8	7	7	7	1	+6	1 中国大陆 2 沙特阿拉伯 3 加拿大 4 美国 5 瑞士
美国	2	3	1	3	3	3	3	3	2	3	2	2	4	-2	
印度	19	17	18	18	17	18	17	16	15	19	17	15	7	+12	
德国	9	11	11	12	10	12	10	9	10	11	11	14	11	-2	
英国	10	6	7	7	7	7	5	5	6	8	4	4	12	-2	
韩国	15	14	15	14	15	14	14	13	12	15	14	16	9	+6	
日本	12	12	12	13	13	11	11	11	11	9	12	13	10	+2	
法国	8	8	5	10	9	5	7	10	9	5	8	8	15	-7	
意大利	14	1	3	4	4	4	6	2	1	4	5	5	6	+8	
澳大利亚	11	9	9	9	11	8	12	12	5	13	13	10	13	-2	排名增幅最高 1 印度 2 墨西哥 3 意大利 4 中国大陆 5 韩国
西班牙	13	13	13	15	14	13	13	14	14	12	15	11	14	-1	
加拿大	5	7	6	6	1	9	2	4	7	6	9	6	3	+2	
俄罗斯	16	16	16	16	16	16	16	15	16	16	16	18	19	-3	
巴西	18	19	17	19	18	20	15	18	18	17	18	17	16	+2	
沙特阿拉伯	3	-	14	1	2	1	1	1	3	1	1	3	2	+1	
土耳其	6	2	8	2	12	17	19	17	19	14	6	19	18	-12	
荷兰	4	10	2	11	6	2	4	7	13	10	3	12	17	-13	
瑞士	1	5	10	5	5	6	8	6	4	2	10	9	5	-4	
墨西哥	17	18	19	20	19	19	18	19	17	18	19	1	8	+9	
印度尼西亚	20	15	20	17	20	15	20	20	20	20	20	20	-	-	第 1-5 名
论文 - 每个国家/地区引文影响力排在世界前 1% 的论文百分比；全球二十大经济体的排名情况（1 - 影响力最高；20 - 影响力最低）															
国家/地区	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	排名 Δ 2008-10	2020 年排名前五的国家/地区
中国大陆	16	16	12	13	12	11	11	9	9	9	8	9	8	+8	1 澳大利亚 2 瑞士 3 荷兰 4 沙特阿拉伯 5 加拿大
美国	3	3	2	3	3	3	3	4	6	4	4	4	7	-4	
印度	14	20	16	16	19	18	17	18	20	20	18	18	17	-3	
德国	8	6	8	9	8	8	9	7	8	7	9	8	9	-1	
英国	5	5	4	4	4	5	5	6	5	5	6	7	6	-1	
韩国	17	17	15	14	13	13	13	10	11	11	11	10	10	+7	
日本	13	14	14	15	14	15	14	12	14	13	14	12	11	+2	
法国	9	8	10	12	10	9	12	13	13	10	12	13	12	-3	
意大利	11	11	13	11	11	10	15	14	12	14	13	14	14	-3	
澳大利亚	2	4	5	5	5	4	6	5	3	3	3	1	1	+1	排名增幅最高 1 中国大陆 2 韩国 3 土耳其 4 印度尼西亚 5 沙特阿拉伯
西班牙	10	10	9	8	7	12	10	11	10	12	10	11	13	-3	
加拿大	6	7	6	7	9	6	8	8	7	8	7	6	5	+1	
俄罗斯	12	18	17	20	17	17	16	17	16	19	15	16	19	-7	
巴西	15	12	18	19	18	20	18	15	15	17	17	19	18	-3	
沙特阿拉伯	7	15	7	2	6	7	1	1	2	1	2	5	4	+3	
土耳其	19	13	19	18	20	16	19	16	19	18	19	17	15	+4	
荷兰	1	2	3	10	1	1	4	3	4	6	5	3	3	-2	
瑞士	4	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	+2	
墨西哥	18	19	20	17	15	19	20	19	18	15	16	15	20	-2	
印度尼西亚	20	9	11	6	16	14	7	20	17	16	20	20	16	+4	第 1-5 名

来源：Web of Science, DWPI

将科研成果转化为实际应用，加速全球可持续能源转型

世界各国政府正逐步加强在可再生能源领域的举措，制定宏大目标，为实现全球净零扫清道路。一些国家和地区继续大踏步前进，而有的国家则总是显得举棋不定，时进时退。

我们在本报告中的研究和数据表明，对于目前可以利用的可再生能源，全球科学家的工作已经基本完成。目前，人类已经拥有相当成熟的可持续能源技术。通过太阳能或风能发电比用化石燃料更便宜。这就引出了一个问题——为什么不扩大可再生电力的使用范围？

受当前世界形势的影响，全球正在经历一场能源危机，天然气价格飙升。这暴露出用电价格中的一个根本问题。消费者只需按价支付即可用电，而不会考虑电力来源。各国政府意识到全球电力市场迫切需要改革。例如，考虑如何让用电价格与天然气等能源价格脱钩。希腊已经向前迈出了一步，该国提议设立两个独立的电力市场，一个是化石燃料电力市场，另一个是更便宜的可再生能源电力市场。²⁴

让电价与能源价格脱钩有助于弥合可再生能源在技术可用性与实际采用之间的鸿沟，让消费者看到并切实体验到使用可再生能源的全部经济效益。

此外，本报告所展示的数据和分析对解决当前阻碍可再生能源利用的其他问题或许会有一些启发。例如，如何设计电网储能来利用可再生能源电力，以及重新思考如何在基础负荷电厂中使用可再生能源。

通过加快可再生能源的发展速度，各国可以更好地保障自身能源安全。拥有可再生能源基础设施并能基本满足其能源需求的国家或地区，将不容易受到化石燃料价格波动或上涨的影响。

政策制定者正面临一个分水岭——将全球科学家的科研成果付诸实践，让实际行动与可持续能源的宏大目标相匹配。为此，政策制定者和所有相关机构与个人需要获得面面俱到的创新情报。

仅使用单一数据源只能是管中窥豹，无法获得完整的研究和创新图景。学术和基础研究数据主要来自科学文献和期刊论文，而企业的研究工作则主要体现在专利活动上。仅仅是将这两个方面的数据拼接在一起就不是一项简单的工作，需要强大的数据整理能力和专业的分析洞察能力。

在科睿唯安，我们致力于改善全球实现、保护和推动创新的方式。

无论是科学与学术研究，还是知识产权情报，我们均有着全面且敏锐的洞察力和深厚的专业分析能力，可以帮助人们理解复杂问题，例如全球向可持续能源转型的进展情况，从而促进可持续能源的利用，为实现更加美好的未来铺就道路。

在科睿唯安，我们致力于改善全球实现、保护和推动创新的方式。



附录

1. 分类框架选择和方法论

如何定义？这是任何科研和创新数据模型都存在的一个固有问题。就像可以由数据提出各种不同的问题一样，对单个研究结果记录进行分类和衡量的方式也是多种多样的。在本报告中，我们对技术领域进行定义的主要依据是《欧盟可持续金融分类方案》。²⁵

《欧盟可持续金融分类方案》是欧盟对可持续经济活动实施的一套分类系统，定义了什么是可持续的，什么不是可持续的。完整的分类方案围绕可持续性分为若干主题，如地域、环境、气候变化等。

在本报告中，我们按照《欧盟可持续金融分类方案》的划分，主要关注可持续发电领域的八个主题：太阳能（聚光/热能和光伏）、风能、海洋能、水能、地热、生物质能以及可再生气体或液体燃料，如可再生氢。

将分类方法投射到科研和创新数据中

我们针对这八个主题中的每一个主题，均进行了直接的传统专利检索，以识别每个能源种类的特定专利发明；然后，

我们根据专利审查员的活动，识别出审查员在审查期间认定为相关的研究论文，从而将这八个类别的专利集合分别对应到该类别的论文研究库。

追踪研究路径

我们制作了一个“种子”集合，该集合包含了对这八个能源主题下的专利活动起着背景研究支持作用的论文；然后，我们围绕这些种子论文，利用与这些论文关联的引文和著录信息，得到一个范围更广的相关同行研究论文集，用来反映对可持续能源领域创新起到支持作用的、更广泛的科学和工程基础知识。

分类方法在创新研究中的推广

《欧盟可持续金融分类方案》涉及的远不止可持续能源这一个领域，而全球发明数据一直以来都会明确归类至非常细致的技术、行业和研究主题。因此，本报告所采用的方法可推广到其他可持续创新问题。例如，研究机构和更广泛经济体的活动情况，以及科学和工程领域的其他感兴趣的主体。

2. 更多背景信息

在本报告中，我们利用以下数据源，首次将行业领先的研究数据、专利数据和案例数据全面结合加以分析研究：

Web of Science: Web of Science™ 是全球最大的独立于出版商的引文索引和研究信息平台。它将全球研究信息进行组织整理，致力于加快学术机构、企业、出版商和政府机构的研究步伐。Web of Science 收录了数百万条记录和数十亿引文数据，覆盖 250 多个研究学科，可以轻松追踪发明研究的演变历程。

德温特世界专利索引 (Derwent World Patents Index, 简称 DWPI) : DWPI 是一个围绕发明创造构建的数据库，记录专利的授权时间和地点，覆盖全球 59 个专利授权机构的数据。对于每年 350 多万件新发明，DWPI 均会提供由编辑人员加工并以英语撰写的摘要，清楚地阐述发明的预期用途、应用和新颖性。

德温特专利引文索引 (Derwent Patents Citation Index, 简称 DPCI) : 德温特专利引文索引关注那些被专利申请人和专利审查员在后续专利申请中引用的发明。德温特专利引文索引采用 DWPI 的专利同族结构，自动剔除对同一发明专利的双重、三重甚至多重引用。

Darts-ip: Darts-ip 收录全球知识产权案例数据，提供可索引、数字化且易于检索的诉讼情报。在 Darts-ip 中，您可以轻松检索 890 多万件知识产权案例。我们的专家团队会收集、阅读和编纂商标、专利、外观设计与实用新型、版权、域名和不正当竞争等知识产权案例数据，从中提取独一无二的情报和分析洞见。

科研成果通常会以研究论文和专利这两种形式呈现；随着论文和专利数量的不断增长，非常重要的一点是将趋势信息进行规范化，从而扩大研究和创新的基线范围。

在本报告中，我们使用两种不同的数据源来衡量基础研究和应用研究。衡量基础研究的数据源收录了全球科学进程中产生的成果（论文），而衡量应用研究的数据源则为发明和技术提供了一种具体的法律框架（专利）。对论文和专利这两种研究成果的不同出处有一个固有的假设。科研论文是经过严谨的科学流程进行验证之后得到的产物，是接受同行评议、伦理道德评审的基础研究。专利信息是对应用型研发进行衡量的一种模式。在这种模式下，技术会面临商业上的压力和风险，但同时又有机会获得经济利益或竞争优势。

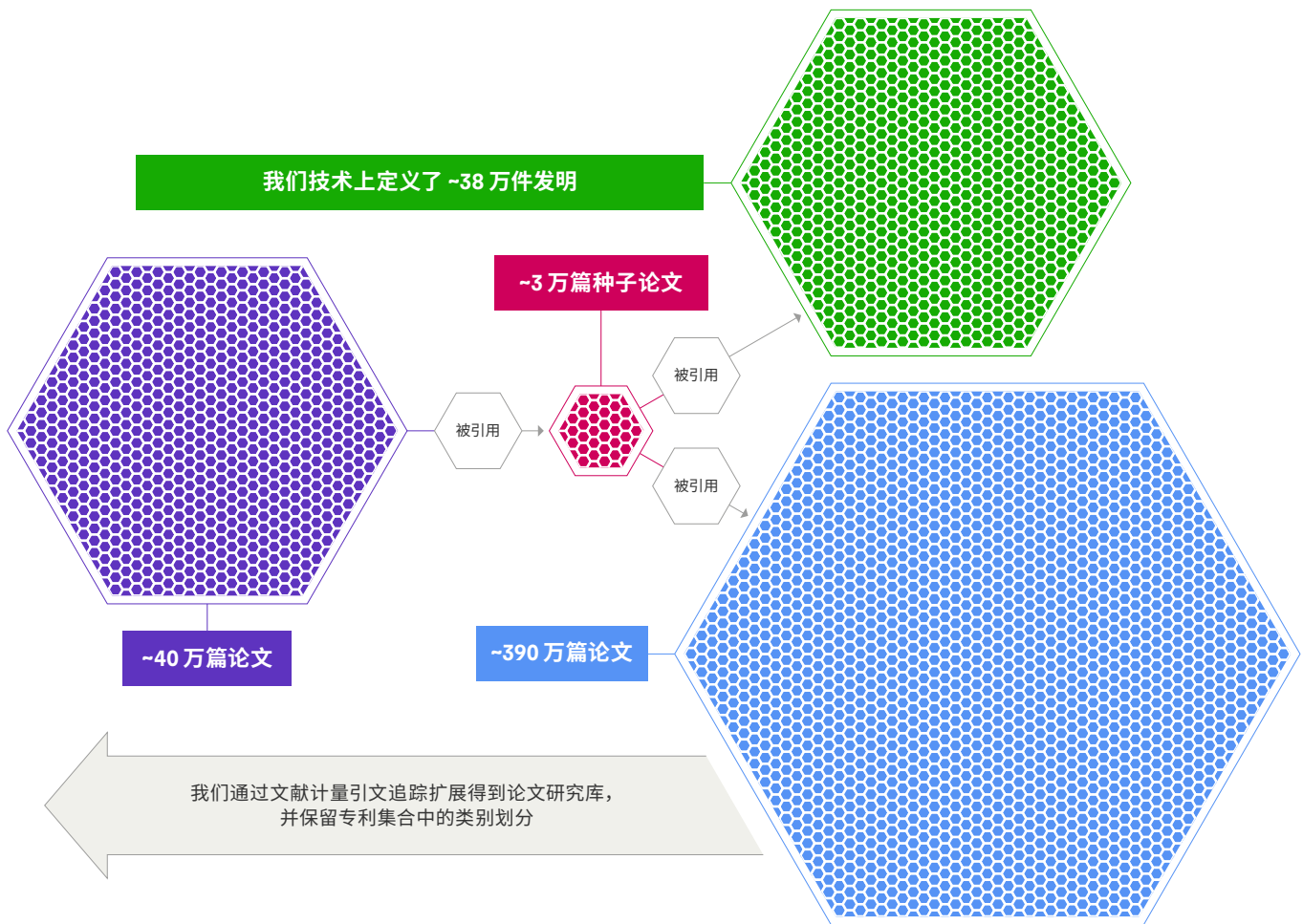
对于更加基础性的研究，我们无需了解其潜在的最终用途，甚至某些基础研究根本没有这样的最终用途。这就需要对应数据的数据集进行更精细的定义，这一过程与较为传统的“专利检索”过程不同，因为传统的类似专利检索的方法无法识别哪些论文对可持续能源的推广有着支持作用，因为论文作者可能并未意识到该项研究对于可持续性的作用，因此这种作用可能并未在论文中有直接的体现。

例如，现代风力涡轮机技术在很大程度上依赖于碳纤维复合材料的出现和发展，而这种材料的研发是大范围群体共同的智慧结晶——不同的学术机构和企业，数以百计的不同研究人员，在不同的时间付出了不同的努力；但他们在研究时，可能并没有意识到这类材料具有

在下游产业实现高效风力涡轮机发电这一潜能。

因此，本次研究增加了一个新的数据收集过程，该过程依赖于专利审查流程，收集专利审查流程中确定的对研究论文的引用信息，然后利用这些引用信息得到一个包含相关研究的对等组，最终形成一个对可持续能源技术起到支持作用的“基础”研究生态系统。然后，我们衡量该研究库并找到其中蕴含的趋势，以及可持续能源领域专利技术的直接技术开发周期。

通过上述方法，我们得到了一个拥有近40 万件发明的研究生态系统，以及一个是其10 倍左右的对应的科学论文研究库。



此外，不同数据源之间的关系可以作为一种成熟度指标，引出一个跨不同内容来源的“时间箭头”的想法，这些内容来源包括：学术研究所支持的基础性研究，主要集中在同行评议的论文中；偏重于应用/开发的研究，主要体现在专利活动中；此外还有专利诉讼和异议程序所隐含的专利权主张，这些信息可以表现出一定的商业趋势信号。

我们在数据源方面的经验表明，科研论文主要来自政府和学术研究机构，专利活动主要来自企业——这大致勾画出科研和创新的总体发展和成熟度画像：先有论文，然后有专利，再然后是对这些专利的主张。但是，这并不是一个完备的模型，因为专利技术可以且应该作为后续科学和工程活动的相关研究基础，然后在学术期刊上发表，因为这是国际专利制度公开披露要求的预期目的之一。

在技术开发周期的一般模型中，基础科学和工程旨在支持下游技术应用。因此，本报告使用基于上述的成熟度指标的科研和创新模型来理解整个开发周期。

本报告所确定的创新和科研指标背后的概念认知表明，科研论文或发明并不都是一样的。其中一些具有很强的影响力，会影响或用于许多下游研究路径。有一些是企业极为重视的战略性发明，企业希望通过大量投资对这些发明进行广泛的保护，而有的发明则很少见于企业的技术或方法组合中。

在科睿唯安，我们的很大一部分工作是区分个体与整体：将单个的研究碎片与

对现代创新生态系统有所贡献的更广泛的思想基础区分开来，从而为决策的制定提供值得信赖的基准。对于科学期刊论文，这很大程度上依靠科睿唯安在发展科学文献计量学和信息学方面的传统，即利用论文之间的关系，来理解其与更广泛领域的相关性和相对重要性。

对于专利信息，我们的研究范围更广，虽然同样依靠发明之间的引用关系，但同时也考虑申请人的投资水平、创意的新颖程度、受保护创意的经济足迹，以及相对于其他创新发明的独特性——这被称为德温特强度指数 (Derwent Strength Index)，在我们的《全球百强创新机构》报告中用到过这个概念。

在本报告中，我们依靠上述指标和衡量方法来评估八种可持续能源类别的论文和发明，在影响力和强度方面的差异。

我们的工作区分个体与整体：将单个的研究碎片与对现代创新生态系统有所贡献的更广泛的思想基础区分开来。

此外，在评估科研和创新趋势时，我们依靠科学和工程的演化模型，这些模型可以反映研究领域的长期发展状况。在科研和创新当中，由于创新本身的限制，因此也存在类似于产品生命周期的自然发展模式（并且也会体现在产品生命周期中）。

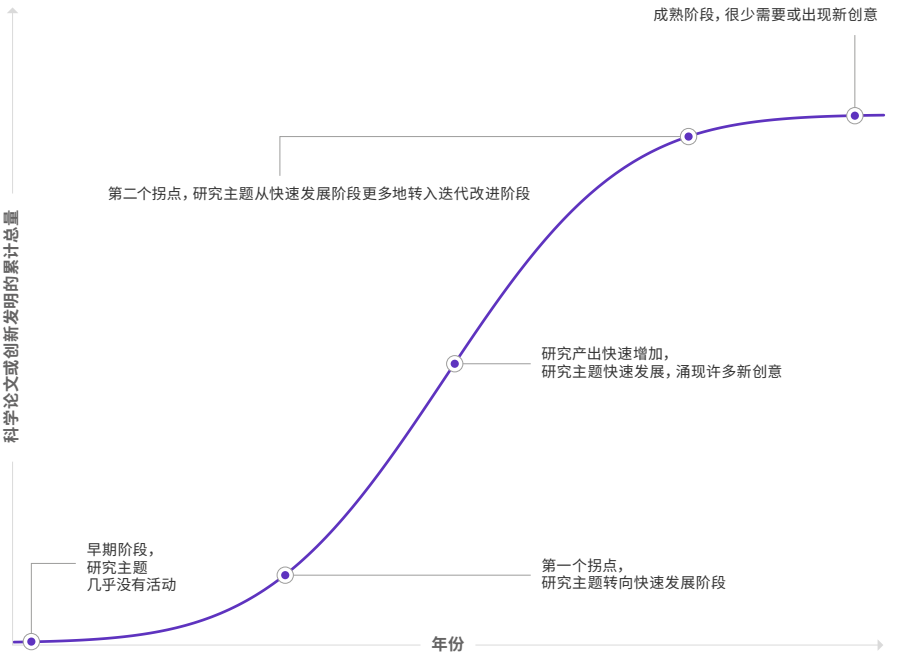
创新 S 曲线理论提供了一个模型，用于跟踪某个主题或某组研究数据点随时间变化的活动水平，同时提供了一种框架，用于评估成熟度和未来可能达到的研究强度。S 曲线体现了科研和创新数据点的一种总体走势，这些数据点会随着时间的推移而不断累积，从而反映该主题迄今为止所达到的水平。

应用于实际研究领域的 S 曲线理论可以提供模板来确定未来的发展形态。当某个研究主题的曲线通过第一个拐点后，便成为一个具有建模信息的已知存在，可提供是否有迹象表明出现第二个拐点的相关信息，变量则是该事件的时间线。

这类创新模型的力量在于它本身能够对创新生态系统中的发展趋势进行建模（和可视化）。一旦开始大规模加速和减速，这种势头就很难停止。有了这些模型，我们就可以从可持续能源发明中，以及对该领域科研创新起到支持作用的基础性研究的早期曲线中，直接看到科研和创新格局。

图 11

可持续能源科研和创新影响力及质量排名变动情况
引文影响力排在世界前 1% 的论文百分比 (2008+) 及平均发明强度，纵横坐标均为 1-20 的排名；G20 国家加上西班牙，不包括欧盟；排名数据截至 2020 年



来源：Web of Science, DWPI

参考文献

1. IMF, "Global economic growth slows amid gloomy and more uncertain outlook," Jul 2022
2. IEA, "Global energy review: CO2 emissions in 2021," Mar 2022
3. IEA, "Global energy review: CO2 emissions in 2021," Mar 2022
4. FT, "Climate change could bring near un-liveable conditions for 3 bn people," Nov 2021
5. Bloomberg, "Building new renewables is cheaper than burning fossil fuels," Jun 2021
6. Science, "Data check: U.S. government share of basic research funding falls below 50%," Mar 2017
7. BBC, "How science transformed the world in 100 years," Oct 2017
8. Clarivate, "The view from Beijing: patent activity in Mainland China," Jun 2020
9. Science Direct, "Hydroelectric energy"
10. American Chemical Society Publications, "Climate impacts of hydropower: enormous differences among facilities and over time," Nov 2019
11. CNBC, "Why hydropower is the forgotten giant of clean energy," Jun 2022
12. IEA, "Hydropower special market report," Jun 2021
13. European Commission, "Accelerating the hydrogen economy," May 2022
14. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, "History of hydropower"
15. U.S. Energy Information Administration, "Wave power basics," Aug 2022
16. Ocean Energy Systems, "Australia – supporting policies for ocean energy"
17. Wave Energy Scotland, "About us"
18. Forbes, "China built more offshore wind in 2021 than every other country built in 5 years," Jan 2022
19. Reuters, "China's solar power capacity set for record increase in 2022 – industry body," Feb 2022
20. Green Tech Media, "How India's renewable energy sector survived and thrived in a turbulent 2020," Jan 2021
21. IHS Markit, "India boosts subsidies for domestic solar module makers in annual budget," Feb 2022
22. Green Tech Media, "How India's renewable energy sector survived and thrived in a turbulent 2020," Jan 2021
23. The Economic Times, "India's renewable energy journey; two steps forward, one step back," May 2022
24. Balkan Green Energy News, "EU governments preparing market reforms to decouple power prices from gas," Aug 2022
25. EU, "EU taxonomy for sustainable activities"

关于科睿唯安

科睿唯安始终专注于加速创新。我们的使命是为客户提供值得信赖的信息和卓越的洞见，帮助客户解决复杂难题，洞察先机，加速创新步伐。我们的专业知识和解决方案覆盖创新生命周期的每一个关键环节，从学术研究和科学发现，到知识产权的管理保护，直至实现创新成果的商业化，涵盖学术研究和政府机构，生命科学与健康，专业服务，消费、制造和技术等各个领域。更多信息，请访问 clarivate.com.cn。

想进一步了解本报告所阐述的更多市场洞见，请立即联系我们：

www.clarivate.com/contact-renewable-energy

科睿唯安 中国办公室

北京海淀区科学院南路 2 号融科资讯中心 C 座北楼 610 单元
邮编: 100190
电话: +86-10 57601200
传真: +86-10 82862088
邮箱: info.china@clarivate.com
网站: clarivate.com.cn



欢迎关注
“科睿唯安知识产权”