



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action



中德能源与能效合作
Energiepartnerschaft
DEUTSCHLAND - CHINA

Prospects of Renewable Hydrogen in China and Its Role in Industrial Decarbonization

可再生氢在中国的前景及在 工业脱碳中的作用



版本说明

《可再生氢在中国的前景及在工业脱碳中的作用》在中德能源转型研究项目框架内发布。中德能源转型研究项目是在中国国家能源局与德国联邦经济和气候保护部(BMWK)的指导和支持下,由德国国际合作机构(GIZ)作为德方牵头机构,与Agora能源转型论坛和德国能源署(dena)联合中方相关合作伙伴共同实施。该报告总结了我国可再生氢的生产现状,特别说明了其在工业脱碳领域的潜力,并比较了德国和中国的国家氢能战略,旨在为我国建立可再生氢价值链提供环境友好和现实可行的政策建议。

■ 项目负责人

Christoph Both, 德国国际合作机构

■ 研究负责人

王立, Agora能源转型论坛

■ 作者

涂建军、王立

■ 图片来源

BMWK/Cover

涂建军 (p.4)

Unsplash/ Yusen Sun (p.13)

Unsplash/ Pickled Stardust (p.16)

Unsplash/ Jose Castillo(p.22)

Unsplash/ Mark Konig (p.25)

■ 致谢

本报告作者借此机会特别鸣谢Matthias Deutsch、张润、Anders Hove、Fabian Barrera、陈学谦和万燕鸣在报告编写过程中提出的宝贵建议。以德国国际合作机构和我国电动汽车百人会氢能中心为代表的合作伙伴为报告及相关研究提供了大力支持,使得Agora能源转型论坛有机会将本报告呈现给大家。如有不足和谬误之处,则由报告作者承担全责。

同时,报告作者也非常感谢孟伟在报告研究过程中提供的协助和贡献。

Executive Summary 执行摘要

作为全球最大的氢能生产和消费国，中国每年生产氢气高达 3,400 万吨左右。中国当前制氢路线以煤为主（72%），并有约 450 万吨未被有效利用，未来可用于工业脱碳等领域，并能为可再生氢产业链的建设打好基础。中国的电解制氢仍处于起步阶段，各地规划的 32 个可再生氢气试点项目设计年度总产能已超过 29.7 万吨。推动中国可再生氢产业链发展重在下游应用端。然而，氢作为一种能源载体，在转换过程中伴随较大的能量损耗。因此，如何尽快明确最适合可再生氢应用的场景，即“无悔”选项，已成为当务之急。氢能有望成为大规模、长时间储能的解决方案，为风电、光伏等间歇性可再生能源发电提供托底保障。可再生氢也有望助力排放密集型工业流程的深度脱碳。在上述应用场景中，可再生氢能够有效替代化石燃料作为能源载体和生产原料的双重角色。以钢铁行业为例，氢直接还原铁可以大幅降低焦炭消费。在海运和长途飞行领域，直接通过电气化减少碳排放不但效率低下而且成本高昂，采用可再生氢被广泛认为是实现净零排放的不二法门。

中国和德国同为制造业大国，都制定了在本世纪中叶实现净零排放的气候目标，因此在清洁能源转型领域面临着诸多共同挑战。尽管俄乌冲突全面爆发导致了全球范围的能源安全焦虑，德国仍在为实现 2045 年气候中性目标而加速布局可再生氢能政策和产业，以有效支撑本国的清洁能源转型进程。作为极具气候雄心的发达经济体，德国在氢能经济领域的经验和教训可以帮助中国培育本国处于起步阶段的可再生氢产业链。本文从氢能治理结构、提高氢能经济可行性措施和促进氢能应用等方面剖析了德国 2020 年 6 月发布的《国家氢能战略》。结合中国 2021 年 3 月发布的《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》以及电动汽车在中国的发展历程，作者基于中国具体国情提出了以下有针对性的政策建议：

- 为更好更快建立工业化规模的低碳氢供应链，中国应在充分利用本国现有化石燃料制氢产能的同时激励可再生氢产能的持续增长。基于中国在电动车发展助力交通行业减排过程中所取得的经验，在氢能产业链规模化之前，扩大氢能的下游需求与上游的低碳生产应该区分对待。扩大可再生氢产能应与鼓励氢能大规模应用同时推进，从而在氢能产业链的上、下游之间产生正向激励效应。另一方面，本世纪初以来全国燃煤发电装机的快速扩张已提前锁定了巨量煤炭需求，中国应以此为鉴，尽量避免进一步扩大现有化石燃料制氢产能规模。
- 氢能管制应更多侧重其能源属性。目前，中国仍将氢气作为危险化学品进行标识和监管，对其能源属性没有予以充分考量和反映。对氢能的危化品定位在生产选址、道路运输、市场准入、终端应用以及标准化等方面带来了一系列重大挑战。中国未来是否能够更加合理地对氢能进行定位是实现氢能规模经济性的重要先决条件。
- 可再生氢在工业深度脱碳中的作用应被优先考虑，并重点聚焦钢铁、石油化工和煤化工产业。鉴于可再生氢在重工业应用中的巨大潜力，工业脱碳应成为中国实现可再生氢供应链规模经济性的重点领域。除了尽快将排放密集型的工业行业纳入全国碳排放交易体系，还应考虑将德国乃至欧洲的创新政策和金融政策工具针对中国国情进行定制和试点，尤其是绿钢的政府采购、碳差价合约和气候友好型原材料的需求配额。
- 为更好促进可再生氢在中国的发展，应建立氢能部际协调机制，并最好在国务院层面协调推动相关工作的开展。否则，氢能治理的职责如果长期分散在不同部委之间，将会阻碍氢能的长足发展，并使中国错失先机。建议由该高层协调机制主导对建设跨省氢能管道这一无悔基础设施的必要性和规划展开调查研究，以积极应对中国氢气生产、消费地理错配的挑战。
- 中央和地方政府补贴氢能发展时，应在制度设计层面防范“骗补”乱象并促进公平竞争。根据以往补贴政策实施过程的经验教训——尤其是电动汽车领域——中国氢能监管框架应重视制约与平衡，并纳入多重监督机制。
- 为了缩小与发达经济体在氢能核心技术领域的差距，中国应考虑为包括跨国公司与本土企业在内的市场主体营造更加公平的竞争环境。如果能够大幅加强知识产权保护、积极消除市场准入壁垒，中国将能更好地深化与发达经济体在可再生氢领域的国际合作，并吸引包括欧盟特别是德国公司在内的跨国企业来华展开互利双赢的技术合作和商业投资。

目录

- ◆ 1 中国氢能现状：化石燃料制氢占主导地位 4
 - 1.1 中国以煤为主的氢气供应 5
 - 1.2 中国提升氢能利用的巨大潜力 6
 - 1.3 中国发展可再生氢能经济的多重理由 7
 - 1.3.1 “多才多艺”的氢能 7
 - 1.3.2 以可再生氢为基础的行业耦合 8
 - 1.3.3 通过可再生能源电解水降低制氢环节碳排放强度 9
 - 1.4 可再生氢在中国的现状 10
 - 1.4.1 可再生氢生产集中在中国北方地区 10
 - 1.4.2 可再生氢供需错配 11
- ◆ 2 可再生氢在中国工业脱碳中的无悔应用 12
 - 2.1 可再生氢应用场景 13
 - 2.2 氢能应用于工业过程是无悔选择 14
- ◆ 3 德国国家氢能战略及其对中国的启示 15
 - 3.1 德国的氢能政策工具和专项管治 16
 - 3.1.1 结构完善的治理架构和政策环境 16
 - 3.1.2 提高可再生氢的经济可行性 17
 - 3.1.3 促进氢能在重点下游行业的应用 17
 - 3.1.4 欧盟碳边境调节机制和气候俱乐部 17
 - 3.2 中国氢能产业发展规划 19
 - 3.2.1 优化氢能价值链的协同治理 19
 - 3.2.2 更多详细的支持政策有待出台 19
 - 3.2.3 应重视氢能在工业脱碳中的作用 20
- ◆ 4 电动汽车发展实践的政策启示 21
 - 4.1 区别对待低碳电力生产和电动汽车发展 22
 - 4.2 避免骗补与违规谋补，促进行业公平竞争 23
- ◆ 5 政策建议 24
- ◆ 附件一 中国可再生氢示范项目列表 26
- ◆ 附件二 中国氢能治理部分关键利益相关方 30
- ◆ 参考文献 32



1

中国氢能现状：
化石燃料制氢占主导地位

除极少数情况外，氢很少以分子形态在地壳中自然存在，而是经常与氧、碳、氮等原子结合，形成水（H₂O）、碳氢化合物（C_xH_y）或生物质（如 C_xH_yOzNa）等。因此，大规模生产氢气的技术本质上是通过不同技术路线将氢从各种化合物中分离出来。以氢气为能源或原材料的氢能经济，其挑战性在于由生产、运输、储存和应用构成的氢能价值链板块之间并不总是有明确的界限。换句话说，氢气的生产和消费往往发生在同一工业领域，包括但不限于焦炭、合成氨、甲醇、氯碱、石油化工、天然气化工和所谓的现代煤化工（如煤制油、煤制气、煤制烯烃和煤制乙二醇）。

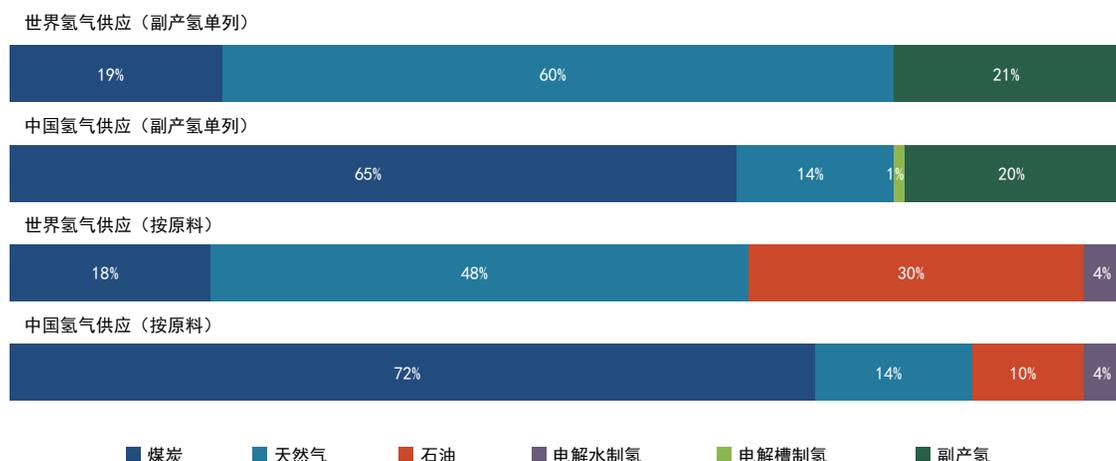
由可再生能源制取的氢气在国际上通常被称为“可再生氢”，这一说法在欧盟尤其流行。相比之下，虽然中国到目前为止还未出台全国性的可再生氢标准，但欧盟的定义被广泛接受。越来越多国家氢能战略的出台和企业对示范项目热情的不断上升使可再生氢能经济在全球范围内获得了发展动力。然而，需要注意的是到目前为止全球大部分的氢气供应（96%）仍然来自化石燃料，如蒸汽甲烷重整、煤气化和焦炭生产等。

为了加速全球清洁能源转型，实现在本世纪中叶达到气候中性的远大目标，世界多个地区已对大幅遏制化石燃料消费形成了共识。尽管几十年来，氢气一直是能源和化学工业中不可或缺的重要组成部分，但现有氢能价值链的环境足迹不具有可持续性。因此，在中国和欧盟等已宣布净零排放目标的国家地区，可再生能源电解水制取的氢气作为一种功能多样且可持续的能源载体，正在引起越来越多的关注。可再生氢有望为复杂的能源经济低碳转型进程提供助力，特别是应用于高碳排放的工业行业。

作为中国的第二大贸易伙伴和颇具气候雄心的发达经济体，以德国为代表的欧盟在构思和培育全球可再生氢能经济发展方面发挥着引领作用。对中国这一世界最大氢气生产和消费国来说，欧洲及德国的实践和经验尤其具有政策启示意义。

1.1 中国以煤为主的氢气供应

图 1. 2020 中国与世界氢气生产来源对比

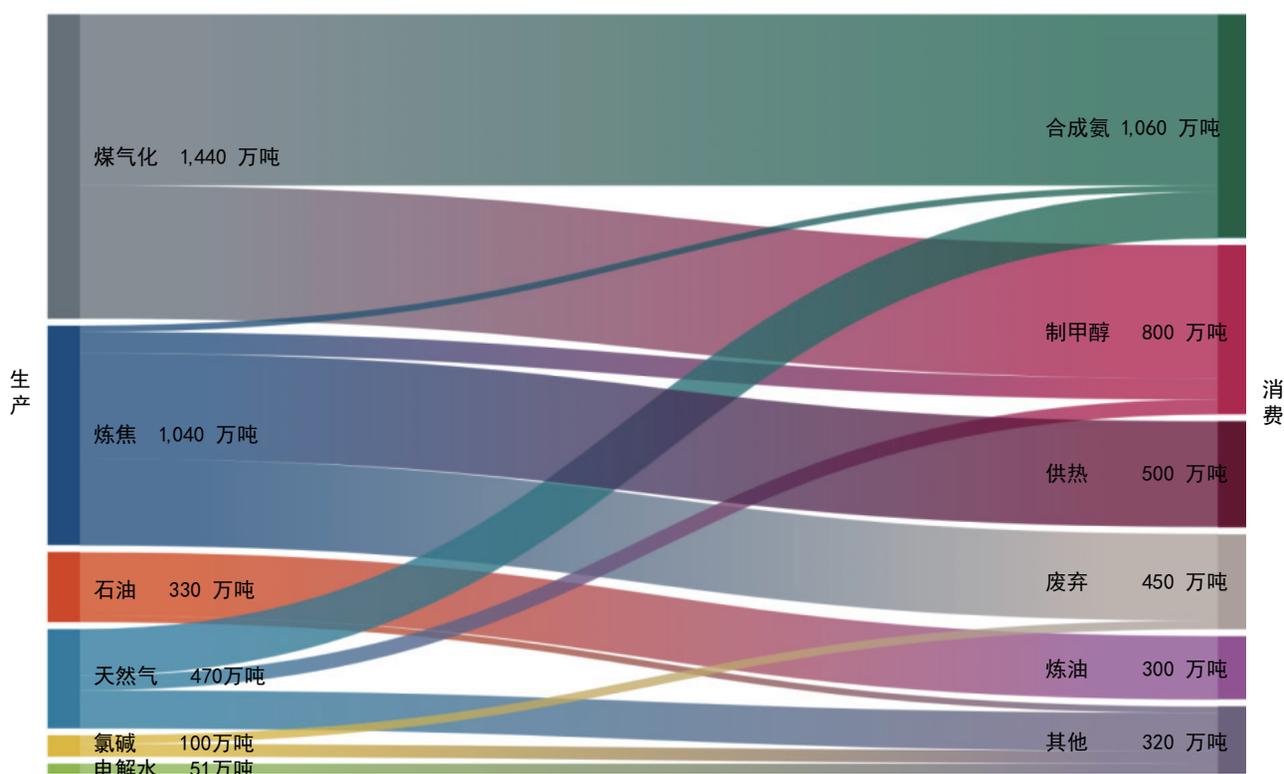


数据来源：国际可再生能源署，国际能源署，作者计算

从供应端看，2020 年中国全国氢气总产量约为 3,410 万吨，在 2019 年 3,340 万吨的基础上同比小幅增长 2%。中国的氢气生产以化石燃料为主——96% 的氢源自煤炭、天然气或石油。包括氯碱行业副产氢和电解水制氢在内的电解制氢仅占全国总产量的 4%。由于中国拥有丰富和相对低价的煤炭资源，叠加各级政府对煤化工行业总体上是支持的态度，煤炭成为中国制氢的主要来源，占比 72%（图 1）。在不同煤制氢工艺中，2020 年煤气化制氢总量为 1,440 万吨，超过了当年焦炭（1,040 万吨）和氯碱行业副产氢（约 100 万吨）的总和（图 2）。电解水制氢无论在中国还是全球范围内均处于起步阶段。2020 年中国的电解制氢主要有以下两个来源：约 51 万吨来自可再生氢示范项目（见附表一：中国部分可再生氢示范项目）和约 100 万吨来自氯碱行业的工业副产氢。总体来看，可再生氢在全国氢气总产量中的占比过小，几乎可以忽略不计。

1.2 中国提升氢能利用的巨大潜力

图 2. 2020 年中国氢能生产消费流向图



从需求侧来看，合成氨是中国最大的耗氢行业，其次是合成甲醇、石油精炼、氯碱和其他涉氢工业流程。这些流程以氢气为原料或工艺系统热源。根据初步核算，全国年度氢气生产总量比消费总量超出约 450 万吨，表明部分现有氢气产出未被合理利用。造成这种情况的因素是多样的。从生产工艺来看，焦炉炼焦产生的焦炉煤气和煤气化炉产生的合成气是氢气与甲烷、一氧化碳等各类气体的混合物。在中国颁布氢燃料电池电动汽车示范城市群项目之前，氢气的分离提纯使用缺乏经济性。因此传统的氢能利用主要是作为焦炉燃料现场燃烧供热（500 万吨 / 年）、用作甲醇合成（100 万吨 / 年）和合成氨制造（30 万吨 / 年），或作为废气处理。另外，氯碱行业每年有约 40 万吨的副产氢未被利用，未来需要合理规划和进一步优化工艺流程。综上所述，中国的氢气供应链中存在进一步提高效率的巨大潜力。考虑到中国氢气生产的巨大规模和丰富来源，利用存量工业副产氢可以很好地助力中国刚刚起步的氢能经济。目前每年用于制甲醇和合成氨的 130 万吨炼焦副产氢正是得益于中国日趋严格的环保和工业效率标准。

2021 年，中国政府陆续批准了以北京、上海、广东、河南和河北为中心的五个燃料电池汽车示范城市群。这一为期四年的试点项目旨在促进燃料电池汽车关键技术的商业化，建立燃料电池汽车供应链，探寻有效的商业模式，探索改进相关规章制度和行业标准。政府对燃料电池汽车商业化的大力支持发出了一个明确的市场信号，成功带动了企业更多利用现有工业副产氢。据刘思明和石乐 (2021)，中国工业副产氢的单位生产成本为 6.2-22.3 元 / 公斤，远远低于电解水制氢 22.9-51.5 元 / 公斤的水平。虽然工业副产氢的供应在中国并非随处可得，但其在燃料电池汽车领域的应用将能至少在示范城市群范围内激励氢气的下游应用。目前每年用于供热的 500 万吨氢气和 450 万吨废弃氢气完全有潜力在近几年用于支持燃料电池汽车的发展。

阻碍中国发展可再生氢能经济的另一个制约是法规的更新不够及时。与其他主要能源商品不同，氢气目前还被列为危险化学品进行标识、生产、运输和使用。该政策使氢能发展在生产选址、运输（尤其是公路运输）、新工业企业的资质审批、应用场景以及标准化等方面遭遇巨大挑战。科技部原部长万钢博士等领导曾多次提议打破

以上“氢”规戒律。早在 2018 年 11 月，万钢就曾建议应按照能源属性对氢气进行监管，与汽油或柴油类似，这样可以为加氢站选址等环节带来更大的灵活性。这一建议在后续的政策文件中得到了回应：2020 年 4 月公布的《能源法》草案和 2021 年政府工作报告都提到了氢气的能源属性。

2022 年 3 月，《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》出台，相当于中国也有了国家氢能战略，进一步明确了中国政府对建立氢能供应链的支持。一个月后颁布的《“十四五”国家安全生产规划》也指出要加快出台包括氢气在内的新兴产业安全生产标准。同年 6 月发布的《“十四五”可再生能源发展规划》中以“推动可再生能源规模化制氢利用”作为一个专门的小节，特别提到了促进可再生氢在冶金和化工等领域的应用。更重要的是，培育完整氢能供应链已纳入中国实现双碳目标“1+N”政策框架体系中最重要“1”——《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实施意见》。随着中国氢能产业发展中长期规划的发布，更多更详细的“N”亟待出台，有望从生产、储存、运输和利用等全产业链层面促进氢能的发展，尤其是在钢铁和化工等碳排放强度大的工业行业。

1.3 中国发展可再生氢能经济的多重理由

中国在 2020 年 9 月 22 日举行的第 75 届联合国大会上宣布了“双碳”目标——在 2030 年前使全国碳排放达到峰值，并在 2060 年前实现碳中和。此后，业界专家一直在研究讨论能源与经济的脱碳发展，特别是如何带动工业行业低碳发展。作为潜在的零碳能源载体和工业原料，氢能或许可以成为一个抓手，帮助中国经济从高度依赖化石燃料逐步过渡到以可再生能源为主体。

1.3.1 “多才多艺”的氢能

氢能可以补偿以风能和光伏发电为代表的可再生能源发电的波动性，为大规模长时间的储能提供潜在的解决方案。与蓄电池、压缩空气和飞轮等储能技术相比，氢能可以实现几周至几个月的长周期储能，也是最有希望实现大规模部署的长期储能技术。这一点已有英国提赛德盐田的先行实践。自 1972 年以来，提赛德有三处深度约 400 米的盐穴用于储存高纯度氢气（95% 的氢气和 3-4% 的二氧化碳）。每处盐穴的容量在 45 巴¹气压下约为 7 万立方米，总储能 2,500 万千瓦时²。中国在《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》中也强调了要探索利用可再生氢进行跨季节储能。

氢气也能替代工业行业中用作能源或原料的化石燃料，从而帮助高碳排放的工业行业脱碳。中国的钢铁产量占全球一半以上，碳排放约占全国总排放的 15%。在钢铁行业利用可再生氢还原炼铁可以大幅减少中国钢铁行业原本难以削减的二氧化碳排放。河北钢铁、宝武和建龙等领先钢铁企业已经开始试点氢冶金项目，以可再生氢为零碳原料来探索可行的低碳乃至净零排放解决方案。可再生氢也能促进化学工业和可再生能源电力之间的行业耦合，在合成氨、甲醇和其他化学品制造业对化石燃料氢进行替代。

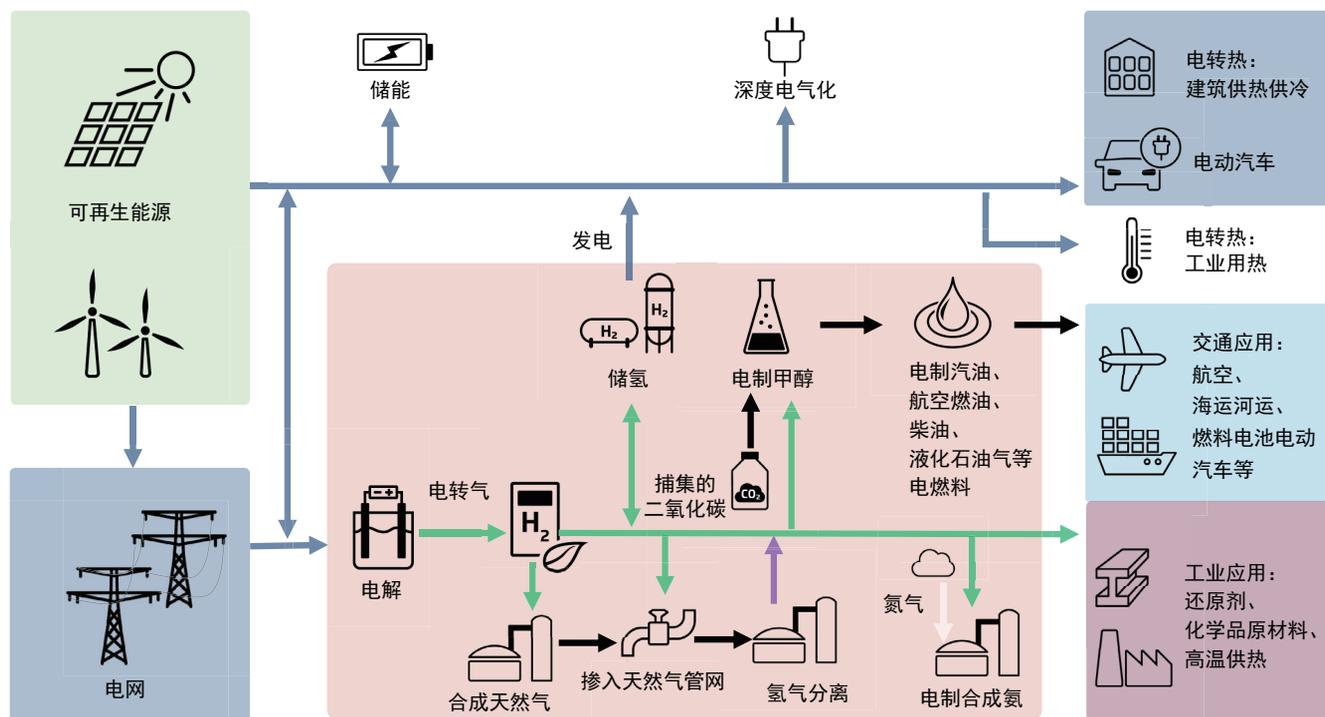
此外，在直接通过电气化减排效率太低或成本过高的领域，氢能也有一席之地，如海运、航空乃至长途重卡。在这些领域，一旦其他低碳技术选项耗尽，可再生氢及其衍生物（如绿氨、绿色甲醇等）的应用将难以避免。

¹ Aleksandra Małachowska 等

² John Williams 等

1.3.2 以可再生氢为基础的行业耦合

图 3. 以可再生氢为基础的行业耦合



行业耦合是指通过可再生能源替代非可再生能源并连接至少两个行业，建立完全可再生的能源系统。³ 行业耦合具有更好的灵活性、更大的储能潜力、分布式利用可再生能源的机会以及更高的可靠性等优势。在能源转型背景下，行业耦合意味着尽可能地让可再生能源成为能源消费主体。而可再生能源“靠天吃饭”的特性导致其并不完全与能源需求完美匹配。随着风能和太阳能在全球发电中的市场份额每年两位数的增长，⁴ 储能和电力系统供需平衡不仅成为日益突出的技术挑战，也带来了新的商业机会。

行业耦合能在许多应用场景带来显著的脱碳效应。比如，供暖的电气化（电转热，PtH）；在可再生发电出力高峰期，过剩的电力可以用来制氢或进一步合成天然气（电转气，PtG）。这些可再生氢或合成气可以在可再生发电出力低谷期用于发电或供热，或者直接作为还原剂或原料用于钢铁和合成氨等工业行业。电转气的一个间接应用是将其进一步加工成各种类型的电力合成燃料（e-fuels），再应用于航空、海运和长途重型卡车运输等。欧洲常把利用电力生产各种合成燃料、能源和化学品的能源转换路线归类为电力多元转换（PtX），该技术路线主要产品有：

- 氢气
- 电制氨
- 电制甲醇
- 电制汽油
- 电制液化石油气
- 电制航空燃油
- 电制柴油

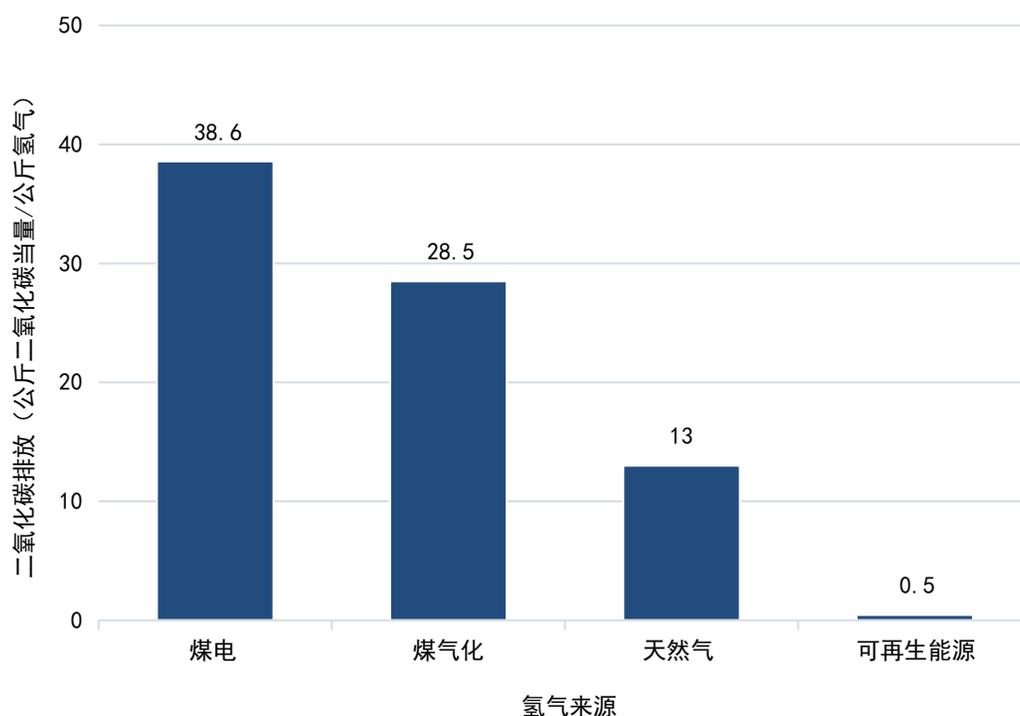
³ Caledonia T.C.Trapp 等

⁴ Joel Jaeger

2021年，可再生能源占中国发电总量的30%。《“十四五”可再生能源发展规划》明确提出到2025年全国可再生能源电力总量预计将达到33%。尽管普遍认为这一目标略显保守，但它体现了可再生能源在中国电力结构中的占比会持续增加。只有这样，可再生氢作为能源载体才有可能在行业耦合和净零脱碳进程中成为电力的补充，助力交通和高耗能重工业的深度脱碳。

1.3.3 通过可再生能源电解水降低制氢环节碳排放强度

图 4. 中国不同制氢路径碳排放强度（公斤二氧化碳当量 / 公斤氢气）



数据来源：《中国氢能和燃料电池行业手册 2020》

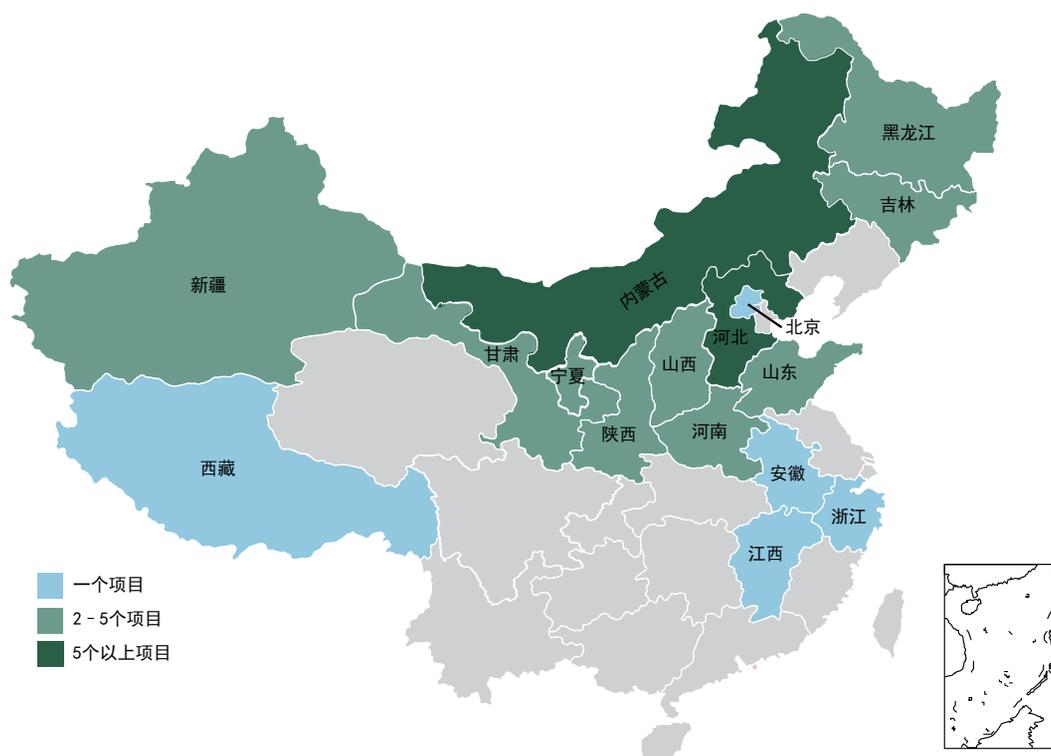
氢能的碳减排效益建立在其低碳来源的前提下。与可再生能源电解水制氢相比，中国现存化石燃料制氢路线的碳排放强度要高得多（图 4）。有鉴于此，及早、适用可再生氢替代化石燃料氢对中国工业碳减排至关重要。为更好地服务中国的“双碳”目标，避免新增化石燃料氢带来的未来碳排放锁定，中国有必要确保新增的制氢产能以可再生来源为主。然而，相关政策约束还未出台。即使是对化工行业也还未要求或鼓励新增产能基于低碳路线的措施。虽然使用可再生氢的总体成本尚未能下降到化石燃料氢的水平，但可再生氢的竞争力预计将随着时间的推移而逐步提高，尤其考虑到化工行业未来很可能被纳入全国碳排放交易体系中。如果氢能供应链相关企业要避免搁浅资产和投资锁定所带来的风险，就必须前瞻性地规划和筹备涉足可再生氢产业链，以便积极应对即将到来的绿色转型。

1.4 可再生氢在中国的现状

2021年9月，中国氢能联盟携手落基山研究所等机构发布了“可再生氢100行动倡议”，力争到2030年实现国内可再生能源制氢装机规模达到100吉瓦。在政策驱动下，预计国有企业、民营企业和立足中国的跨国公司都将积极参与可再生氢气生产项目的开发，不过，当前行业发展主要问题在于监管框架如何支持制氢路线的低碳转型。

1.4.1 可再生氢生产集中在中国北方地区

图 5. 中国可再生氢示范项目分布



截至2022年7月，作者统计到全国范围已规划了50个可再生氢示范生产项目。从地域上看，这些项目主要集中在西部、华北和东北地区（项目详情见附录一：中国可再生氢示范项目列表）。尽管各省份发展可再生氢的驱动力不同，内蒙古和河北的项目总数遥遥领先于其他省份。

作为中国第二大产煤省份和清洁能源资源富集地区，内蒙古近年来计划培育可再生氢供应链的政策层出不穷。内蒙古有中国最大的风电装机量（39.96吉瓦），太阳能资源潜力巨大，并拥有多种工业副产氢来源。内蒙古乌海市是中国首个发布“十四五”氢能发展规划的市级政府，其目标是从利用煤化工和氯碱生产的副产氢开始，到2025年建立中国第一个氢冶金工业园。2021年4月，内蒙古鄂尔多斯市发布了“氢能发展三年行动计划”，优先部署七个可再生氢生产项目，总产能4.23万吨/年。2021年7月，内蒙古自治区能源局发布了《内蒙古自治区促进氢能产业发展若干政策（试行）》征求意见稿，提出到2025年实现可再生氢年度产能50万吨的目标，并计划扩大氢能在氢冶金、合成氨、合成甲醇等行业的应用规模。内蒙古自治区2022年3月发布的《“十四五”能源发展规划》和同年4月的《关于促进氢能产业高质量发展的意见》再次强调了上述促进可再生氢生产和鼓励现有工业副产氢利用的目标。除了附件一列出的可再生氢生产项目外，内蒙古还有13个正处于筹备阶段的项目。

河北现有的九个可再生氢项目都集中在位于该省西北部的张家口市。这里不仅有丰富的风能资源，也是北京周边的冬季运动之都。自 2016 年起，张家口市政府、国有企业和跨国公司就已经开始筹备多个可再生能源制氢项目。2022 年北京冬季奥运会期间，张家口借助毗邻北京及作为冬奥三大赛区之一的优势地位，共投运氢能车辆 710 辆，首次实现奥运史上氢燃料电池汽车规模化示范应用，助力北京冬奥会成为首个实现“碳中和”的奥运赛事。

在中国现有的可再生氢生产示范项目中，有四个已投入运行，其中产能最大的是宝丰能源在宁夏的可再生能源制氢项目。该项目于 2021 年 4 月投产，由 200 兆瓦太阳能光伏发电驱动首期 30 兆瓦碱性电解槽，年产氢约 2.4 亿立方米，电解槽利用率为 46%。产出的可再生氢直接作为生产烯烃的原料用于宝丰的煤化工设施，每年替代煤炭用量约 32 万吨，减少 56 万吨的二氧化碳排放。宝丰的可再生氢项目目前以网电作为太阳能发电的备份，而网电的使用改变了氢气的平均碳足迹。为了解决这个问题，宝丰计划提高光伏与电解槽的容量比，并配置储能设施，最终实现完全绿色制氢的目标。

另一个具有代表性的示范项目是中国石化 2021 年 11 月启动的年产能 2 万吨的新疆库车太阳能光伏制氢示范项目。该项目配套了约 21 万标立方的储氢球罐和输氢能力每小时 2.8 万标立方的输氢管道，预计于 2023 年 6 月建成投产⁵，替代其塔河炼油厂现有的天然气制氢，预计每年将减排二氧化碳 48.5 万吨。

1.4.2 可再生氢供需错配

图 5 显示中国的可再生氢生产集中在西部、北部和东北地区，而中国的经济中心和主要氢气消费需求却集中在东部和东南沿海省份。以广东为例，作为中国的第一经济大省，广东不仅有氢燃料电池汽车示范城市群落地城市佛山，又有湛江宝武氢冶金试验基地，未来对可再生氢的需求不言而喻。然而，它与中国最大规模的可再生氢生产地却相距甚远。这种生产集中在华北和西部而需求中心在沿海省份的供需错配情况与中国煤炭产业链极为类似。

除了进口可再生氢及其制成品之外，有两种解决方案可以应对这种错配。一是将氢能大用户迁移至生产基地附近，带动欠发达地区获取更多投资和经济效益，以上思路与中国政府促进内陆地区经济高质量发展的大目标相一致。另一种办法是规划建设长距离输电或可再生氢网络运输基础设施。该路径有助于可再生能源生产方与消费方的互联互通。在具体应用中，两种方案的适用需要具体情况具体分析，都有可能成为可行的解决方案。考虑到方案实施涉及的巨大投资规模，可再生氢生产方、消费方和相关地方政府应通力合作，在规划阶段需要通盘纳入搬迁成本、最终产品运费、基础设施建设成本和周期等考量因素，并通过成本效益分析研究出最适合自身情况的选择。

⁵ 《中国石化》



2

可再生氢在中国工业脱碳
中的无悔应用

中国 2020 年主要工业行业（钢铁、水泥、石油化工、工业加热、工业锅炉和建材）的碳排放据有关机构评估高达 52 亿吨，超过了电力行业的排放，约占中国全年总排放量的一半。⁶ 其中，钢铁和水泥的碳排放量最大，分别为 16 亿吨和 11 亿吨，占全国总量的 15% 和 11%。2021 年 12 月，工业和信息化部发布了《“十四五”原材料工业发展规划》，强调钢铁、化工和水泥等原材料工业的低碳、协同发展。那么，可再生氢能在上述高碳排放行业的低碳发展过程中可以发挥什么作用？

2.1 可再生氢应用场景

图 6. 可再生氢在中国的应用场景

可再生氢应用	无悔	存在争议	不宜应用
工业 	<ul style="list-style-type: none"> 反应剂（直接还原铁等） 原材料（合成氨等化学品生产） 	<ul style="list-style-type: none"> 高温供热 	<ul style="list-style-type: none"> 低温供热
交通运输 	<ul style="list-style-type: none"> 长途航空 海运 	<ul style="list-style-type: none"> 港口与工业园区的商用车 短途航空和海运 长途重型卡车 火车（取决于距离、运行频率与供能方式） 	<ul style="list-style-type: none"> 乘用车 轻型汽车
电力 	<ul style="list-style-type: none"> 可再生能源备用（季节性需求） 	<ul style="list-style-type: none"> 特定规模的电力需求（考虑到已有其他为电力系统提供灵活性和储能的路径） 	
建筑 		<ul style="list-style-type: none"> 供热网络 	<ul style="list-style-type: none"> 建筑供热

改编自 Agora 能源转型论坛 (Agora Energiewende) (2021)

作为一种能源载体，氢气在经由制取和运输到应用地的多次转换过程中存在着相对较大的能量损耗。比如，蓄电池电动汽车利用可再生电力的能源效率约为 73%，而氢燃料电池电动汽车的终端能源利用率只有约 22%。⁷ 国际能源署发布的《全球氢能观察 2022》对比了三种氢运输方式的能量损耗，液氢为 21-27%，氨运输为 36-37%，而有机液体溶剂运输为 41-43%。高比例的能量损耗无疑会额外增加氢能的使用成本。因此，在中国大幅度提高可再生氢供应之前，首先确定最适宜应用可再生氢的领域，即“无悔”应用，是非常有必要的。作者基于 Agora Energiewende (2021) 关于可再生氢在欧洲无悔应用场景的研究，充分考虑中国国情，对可再生氢在中国的应用场景进行了初步研判（图 6）。

⁶ 网易研究院

⁷ 《交通与环境》(2017)

2.2 氢能应用于工业过程是无悔选择

在高碳排放的工业过程中采用可再生氢被广泛认为是无悔选择。相比之下，氢能在供热领域的应用尚存争议。中国在直接电气化方面还有很大空间可以部署电热设备来满足工业高低温用热需求。如果将可再生氢用于低温供热，制氢环节的多次能量转换会导致大量的效率损失。如果用于高温供热，在技术进步较理想的情况下，固体氧化物燃料电池（SOFC）有望在未来几十年间推向供热市场。

与电力和交通行业相比，中国的工业部门——特别是钢铁行业——碳排放强度更大，能应用于工艺过程碳减排的技术选择也更少。可再生氢可以应用于氢冶金，在助力工业领域碳减排方面具有很大潜力。河北钢铁集团正在建设的氢基直接还原铁示范项目的设计年产能为 120 万吨，换算成可再生氢需求约为每年 6.48 万吨。预计到 2050 年，中国可再生氢直接还原铁技术路线的粗钢产量将达到 1.24 亿吨 / 年，⁸ 相当于锁定约 670 万吨 / 年的可再生氢需求。为确保生产过程稳定不间断，工业行业对氢的需求往往是持续稳定的。因此，用可再生能源完全替代工业行业的化石燃料氢产能，挑战还在于需要额外增加储能或网电来补充可再生能源制氢的间歇性。正因如此，工业配套可再生氢项目规划必须充分评估储能成本和借助网电的环境可持续性。

⁸ 陈济，李抒苒，李相宜，李也



3

德国国家氢能战略及其对中国的启示

新兴产业的扶植和发展离不开政府政策的支持。我们看到世界上越来越多的国家纷纷做出在本世纪中叶实现净零排放的承诺，许多发达经济体先后制定国家氢能战略。发展氢能可以一箭双雕：既能协助各国的高碳排放领域低碳发展，又能抓住可再生氢供应链发展带来的新机遇。德国在 2020 年 6 月发布了《国家氢能战略》，为该 国氢能规划了清晰的发展框架，提出 38 项具体措施支持可再生氢在生产、消费、运输、基础设施和研究领域的发展，并配套推出了 90 亿欧元的政府资金，以期拉动民间投资，共同培育面向未来的可再生氢价值链。

3.1 德国的氢能政策工具和专项管治

图 7. 德国国家氢能战略要点速览



资料来源：《国家氢能战略》（德国）

德国《国家氢能战略》指出，德国计划深入挖掘氢能助力德国实现气候雄心的巨大潜力，创造新的价值链并促进国际能源合作。其战略目标包括：将可再生氢确立为能源载体以及工业的可持续原材料，提高可再生氢的价格竞争力，发展氢能技术市场，加强氢运输和分销基础设施建设，促进国际氢能市场建设与国际合作。为实现上述目标，德国研判出四个需要重点发力的战略领域——可再生氢的生产、工业应用、交通和补充供暖。德国氢能战略的亮点颇多，本文重点分析对中国最具借鉴性和相关性的几点。

3.1.1 结构完善的治理架构和政策环境

德国联邦政府设立了“氢能国务秘书委员会”、“国家氢能理事会”和“氢能协调办公室”，以监督战略的实施和适时调整政策。三个机构各司其职，协调合作，确保国家氢能战略的成功实施。**氢能国务秘书委员会**由氢能相关部委高层组成，负责战略层面的管理——制定目标和行动规划。为了确保战略与市场趋势始终保持一致，该委员会有权与联邦政府内阁一起调整行动计划使其适应新发展需求，或在实施遇到延迟或目标无法达成时采取纠偏措施。

国家氢能理事会由政府任命的 26 名高级别专家组成。与委员会不同的是，理事会成员是从商界、科研机构和社会中选出，是生产、研究和创新、工业脱碳、交通和建筑 / 供暖、基础设施、国际合作、气候变化和可持续发展等方面的专家。理事会通过起草氢能战略配套的实施方案向氢能国务秘书委员会提供建议和支持。

联邦政府**氢能协调办公室**以灵活的项目管理框架协助相关部委实施氢能战略，辅助理事会起草行动建议，并跟踪监测氢能战略的实施情况。协调办公室的另一个职责是提供氢能战略年度实施监测报告，总结氢能经济的整

体进展情况，向联邦政府提出当前值得关注的挑战，并指出下一步需要采取的应对措施。氢能协调办公室由德国能源署、德国国家氢能与燃料电池技术组织的“国家创新计划氢和燃料电池技术项目”、项目管理机构由于利希项目管理中心以及德国联邦环境部直属的项目资助公司“未来 - 环境 - 社会有限公司”联合运营。

3.1.2 提高可再生氢的经济可行性

由于受到可再生电力价格、电解槽利用率和电解槽系统成本的影响，可再生氢的价格在 2022 年初是化石燃料氢的三倍以上。⁹ 为降低可再生氢的使用成本，德国推出了以下措施：

- 可再生氢生产用电免征德国《可再生能源法》(EEG) 规定的附加费；
- 对交通及供暖额外增加化石燃料二氧化碳价格；
- 投资电解槽以鼓励工业行业改用可再生氢；
- 为电解槽和电网 / 管网运营商探索新的商业模式和合作机制；以及
- 为近海风电分配更多区域，促进可再生氢及其制成品的生产。

此外，德国联邦政府发现仅靠国内供应不能完全满足未来对可再生氢的需求。为了顺利实现能源转型，除了扩大国内生产，德国也在积极采取措施促进可再生氢领域的国际合作和经济伙伴关系。德国计划利用现有能源伙伴关系发展氢基燃料的可持续进口，同时为德国的氢能技术培育市场。在俄乌战争持续的大背景下，欧盟提出了在 2030 年前自产可再生氢 1 千万吨，进口 1 千万吨的目标。这一举措有望进一步推动德国可再生氢的发展势头。

3.1.3 促进氢能在重点下游行业的应用

如图 7 所示，德国的《国家氢能战略》非常重视下游应用，因为稳定可靠的需求和更广泛的应用可以很好地推动氢能实现规模经济性。为了促进可再生氢在工业行业的应用，德国政府正在考虑对气候友好型材料（如绿色钢材等）设定需求配额，为气候中性产品和再生原材料制品开拓市场。德国 2022 年发布的“近期气候行动方案”不仅为低碳产品设置了配额，还为创建绿色产品先导市场提供了资金。

为了保持德国工业行业在国际市场上的竞争力，德国政府的思路是避免把零碳技术的投资成本全部由终端消费者承担，而是以资金鼓励可再生氢做燃料、原料的新技术路线对化石燃料技术的替代。这一举措对钢铁和化工行业的影响尤其重大。德国政府设立了“工业行业脱碳”、“工业生产中的氢气使用（2020-2024）”以及“在基础原料工业避免排放或利用二氧化碳”等政府资助项目。此外，德国政府还和欧盟一同启动了“碳差额合约”试点以资金支持低碳技术应用。如果低碳生产工艺的实际成本和传统工艺成本之间的差额不足以被欧盟碳市场上的碳价完全补偿，则由政府与企业签订的碳差价合约来补偿差额部分。碳差价合约的主要目的是针对钢铁和化工行业的过程碳排放，为可再生氢的应用培育一个可靠的投资环境，并扩大氢能突破性技术的规模化应用。

为了促进氢能成为交通行业尤其是长途重卡的替代燃料，德国政府拨款 34 亿欧元用于建设加氢和充电基础设施。此外，对高效率燃料电池供热系统的资金支持力度也将加大：到 2024 年，德国的“能源效率激励计划”和待实施的《联邦补偿条例》已划出 7 亿欧元用于资助燃料电池供热系统。

3.1.4 欧盟碳边境调节机制和气候俱乐部

德国是欧盟气候议程的引领者，其气候政策与欧盟总体气候目标相一致，也是欧盟碳排放交易体系的重要参与方。成立于 2005 年的欧盟碳排放交易体系（欧盟碳市场，EU ETS）是世界上第一个国际碳排放交易市场，涵盖发电、供热、能源密集型工业和航空等行业。该体系有三个关键组成部分：为控排企业发放温室气体排放权配额，交易配额的机制以及逐年减少的年度碳排放总量上限。欧盟碳排放交易体系通过市场化交易形成二氧化碳价格，以碳价激励参与主体主动减少碳排放。到 2021 年，欧盟碳排放交易体系已经助力欧盟减排 42.8%。然而，

⁹ Matthias Deutsch (Agora 能源转型论坛)

欧盟碳排放交易体系自成立以来一直面临一个重大挑战——如何在利用高碳价刺激碳减排的同时避免把生产企业和碳排放向欧盟境外转移，即如何避免“碳泄漏”。

为了避免碳泄漏并鼓励欧盟以外更广泛的地区采取与欧盟类似的碳减排措施，欧盟委员会在 2021 年 7 月 14 日提出了碳边境调节机制 (CBAM) 立法草案，计划对进口电力、钢铁、水泥、铝和化肥等高碳排放产品的直接排放征收费用，以确保进口产品与欧盟自产同类产品的价格相当。2022 年 6 月 22 日，欧洲议会通过了一揽子碳立法方案 (carbon legislation package)，其中包括新的碳边境调节机制细则和欧盟碳市场改革。新版本的碳边境调节机制将额外纳入间接排放并增加覆盖产品种类（有机化学品、塑料、氢气和氨），但将开始实施的时间推迟到了 2027 年。

根据欧洲议会官网 2022 年 12 月 18 日消息，欧洲议会和欧盟各国政府就欧盟碳排放交易体系改革方案达成了协议，确定碳边境调节机制将从 2026 年正式起征，较今年 6 月通过的“一读”文本提前了一年。据协议，CBAM 将于 2023 年 10 月开始试运行，试运行时间较此前法案延迟了 10 个月。该协议强调，过渡期间受影响的企业只需要履行报告义务，旨在收集数据。除了钢铁、水泥、铝、化肥和电力，最新协议在 CBAM 的适用范围中还确定了氢能、特定条件下的间接排放、特定前体和某些下游产品，例如螺钉和螺栓等钢铁制品。欧洲议会表示，在过渡期结束前（即 2026 年之前），欧盟委员会应评估是否将范围扩大到其他有碳泄漏风险的商品，包括有机化学品和聚合物，目标是到 2030 年将 EU ETS 涵盖的所有商品包括在内。此外，欧盟委员会还应评估间接排放的计算方法以及纳入更多下游产品的可能性。

该协议还确定了削减欧盟企业免费配额的时间表，从 2026 年开始削减，逐步到 2034 年实现全部取消。具体来看，到 2026 年，这些行业的免费配额将取消 2.5%，2027 年取消 5%，2028 年取消 10%，2029 年取消 22.5%，2030 年取消 48.5%，2031 年取消 61%，2032 年取消 73.5%，2033 年取消 86%，2034 年取消 100%。这一举措体现了欧盟碳排放交易体系和碳边境调节机制之间的协同作用，同时避免了对欧盟境内产业产生双重保护。

中国是世界上最大的出口国，也是欧盟第一大制成品和服务进口来源国。¹⁰ 当贸易伙伴单方面提出的行动倡议可能影响到中国产品和服务在国际市场上的经济竞争力时，中国难免担忧。因此，中国的政策制定者一直在密切关注欧盟碳边境调节机制的发展情况。

除了推出碳边境调节机制，欧盟也在尝试加强与其他国家的国际合作，措施之一就是成立国际气候俱乐部促进碳定价政策的推广。德国是 2022 七国集团 (G7) 轮值主席国。2022 年 6 月，七国集团发布了《七国集团气候俱乐部声明》，宣布计划在 2022 年内建立一个政府间论坛，主要目的是在遵守国际规则的前提下促进《巴黎协定》的有效执行。七国集团气候俱乐部的目标主要体现在三个方面：1) 推进有雄心的、透明的政策以减缓气候变化，强化碳排放测量和报告机制，并在国际层面应对碳泄漏；2) 重点关注碳排放密集型工业产品的碳泄漏风险，共同实施产业转型，以加速脱碳进程；3) 通过伙伴关系和合作促进国际气候雄心，利用“公正能源转型伙伴关系”(JETPs) 支持发展中国家的低碳转型。虽然七国集团气候俱乐部希望并欢迎七国集团以外国家的加入，但中国应该不太可能成为该俱乐部的正式成员。

中国的全国碳排放权交易市场从 2021 年 7 月 16 日开始正式运行，并率先覆盖电力行业。由于中国的碳市场处于起步阶段，其平均碳价尚不能与欧盟碳价相提并论，约为欧盟水平的十分之一。如果欧盟的碳边境调节机制最终纳入间接排放，将对中国的出口十分不利。中国能源经济目前依旧煤电独大，碳边境调节机制将迫使中国面向出口的制造企业采取减排行动，最终可能促进可再生氢在中国的发展。以钢铁行业为例，中国每年钢铁直接出口量约为 6,400 万吨，以钢铁为原料的制成品带来的间接出口约为 9,600 万吨。¹¹ 中国的钢铁制造企业正在积极采取措施应对未来的竞争劣势。2022 年 5 月 19 日，中国钢铁工业协会与宝武集团联合推出了钢铁行业环境产品声明平台，以国际化的碳足迹标准为中国钢铁产品做出基于生命周期碳排放评估认证。

¹⁰ Kevin Tu, Oliver Sartor, Run Zhang-Class

¹¹ 世界钢铁协会

3.2 中国氢能产业发展规划

2022年3月，中国发布了业界期待已久的国家层面氢能规划——《氢能产业发展中长期规划（2021-2035年）》，为支持氢能产业发展定下了基调。该规划明确指出氢气作为重要能源载体的定位，以及助力中国能源结构优化的作用，可以视为中国的国家氢能战略。规划不仅确立氢能为推进中国能源转型进程的有效途径，也关注氢能驱动经济发展的新机遇。但相比德国结构化、包含详尽举措的国家氢能战略，中国的氢能战略尚缺乏具体支撑措施。虽然提出了到2025年实现年产10-20万吨可再生氢和5万辆燃料电池电动汽车保有量的具体指标，但遗憾的是目标设立相对保守。截至2022年7月，作者通过公开渠道收集到中国各地规划的可再生氢示范项目已有50个，其中32个项目的设计产能已经超过29.7万吨/年。中国第二大产煤省份内蒙古曾在2021年提出，到2025年全自治区范围内的可再生氢年产能将达到48万吨。氢能规划较保守的目标设立反映出中国对于在未来十年间建立具有自主性和成本竞争力的可再生氢价值链缺乏足够的信心。《“十四五”新型储能发展实施方案》中提出2025新型储能由商业化初期步入规模化发展阶段，中央政府还特别提到要在氢（氨）储能相关领域实现技术突破和设备升级。

基于对中、德氢能战略的比较，本着改善氢能治理政策环境，支持可再生氢产业蓬勃发展的初心，作者谨提出以下建议供决策者参考：

3.2.1 优化氢能价值链的协同治理

在中央政府层面，氢能价值链的管理分散在不同部委。国家发展和改革委员会与**国家能源局**负责监管能源领域用氢，而氢能及相关设备设施标准的制定则主要由**市场监督管理总局**下属国家标准化委员会负责。随着工业行业对可再生氢需求的兴起，预计**工业和信息化部**在氢能治理方面的重要性将逐步提升。此外，气候变化议题由**生态环境部**负责，但技术研发和商业化落地的资助由**科学技术部**负责，因此这两个部委也是氢能价值链发展不可或缺的利益攸关方。（更多机构详情请参见附录二：中国氢能治理部分关键利益相关方。）不同政府机构之间的协调在任何一个国家都是不容小觑的挑战，尤其是同时协调数个部委，其难度不言而喻。德国的氢能治理机制提供了很好的先行示范，可供参考。为应对这一挑战，中国可以考虑在中央政府层面设立氢能委员会或专项工作领导小组，成员由各部委领导构成，以便在相关部委之间形成协同效应，并建立综合性的监管机制来协调中国氢能的发展。

3.2.2 更多详细的支持政策有待出台

中国的大政方针往往先由一份“纲领性”政策文件设定基调和主要目标，而不涉及过多阐述实现目标的具体措施。为了确保整体目标的实现，后续需要相关部委以及地方政府制定发布含有具体措施的配套政策文件。本文第一章中提到的关于碳达峰碳中和的“1+N”政策体系就是一个很好的例子。中国的国家氢能战略也需出台详细的支持政策来进一步完善。

具体行业或地区详细配套政策发布的速度通常取决于该政策议题在政治与经济维度考量的紧迫性。在中国氢能中长期规划发布的同一个月，北京市大兴区发布了《大兴区促进氢能产业发展暂行办法（2022年修订版）》，重点聚焦氢能交通领域的应用，补贴燃料电池部件制造、技术创新和燃料电池汽车采购。

在政策文件中提及氢能示范项目有助于为政府锚定发展的目标领域拉动投资，但仅靠这类短平快的举措还不足以培育规模化、运行平稳的可再生氢价值链。中国宜加速推进氢能发展议程，在行业和地方层面制定推出综合性的协调配套政策机制。

3.2.3 应重视氢能在工业脱碳中的作用

可再生氢通过行业耦合或电力多元转换使深度脱碳在许多领域成为可能，尤其是在碳排放强度最高的工业行业。在中国，不管是国有企业还是民营企业都有发展氢能示范项目的尝试，将上游的可再生能源制氢与下游的氢能利用相结合。前文提到的中国石化和宝丰能源就是很好的例证。两家企业都以示范项目演绎可再生氢从生产、运输、储存到应用的价值链。然而，这两个成功案例不一定具有广泛的复制性，因为并不是所有企业都具有雄厚的资金实力和坚决改善企业形象的积极性。

为了促进氢能经济的发展，中国需要建立一种能协调可再生氢上游生产、中游运输和下游消费的机制。不论是在鼓励废弃可再生生产能源（如弃风、弃光、弃水）制氢领域，还是在无悔输氢基础设施建设方面，政府都能发挥至关重要的作用。¹²

根据中国氢能联盟的预测，到 2060 年中国 60% 的氢气需求将来自工业，31% 来自交通运输，而发电行业的氢能需求占比还不到 1%。与现状对照不难发现，目前对交通和电力领域的氢能相关政策激励远远多于工业用氢政策。考虑到欧盟碳边境调节机制将在 2023 年 10 月开始试运行并在 2026 年开始正式征收，中国应当促进氢能在工业脱碳中的应用，并通过具体的政策和货币工具予以实实在在的支持。为了培育可再生氢在工业行业的早期应用，中国可以借鉴德国的政策工具，如绿色钢铁采购、碳差价合约和气候友好型基础材料需求配额等。

¹² Agora 能源转型论坛与 AFRY 管理咨询



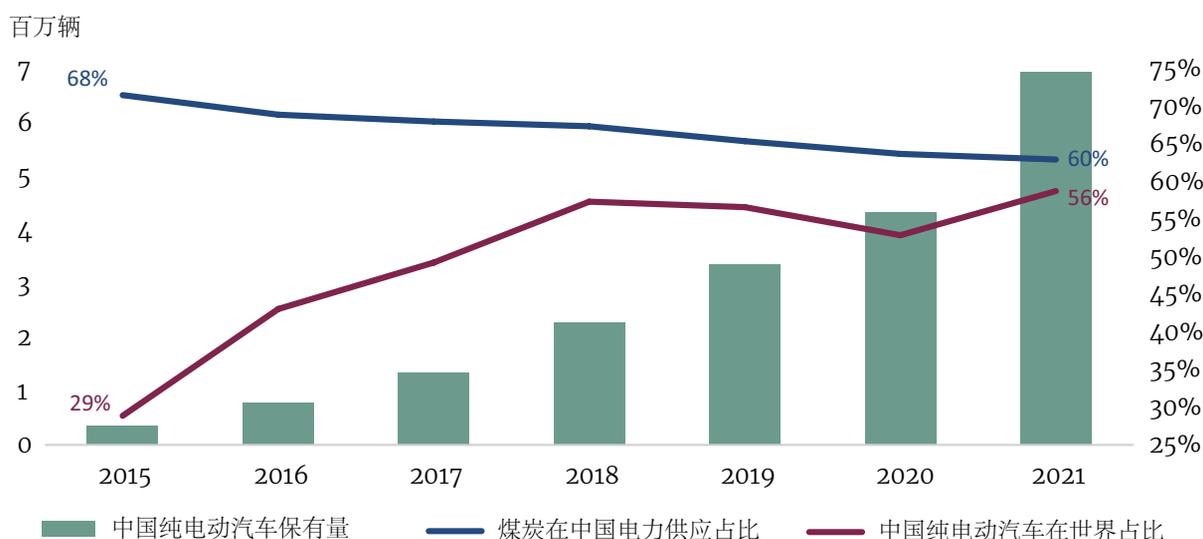
4

电动汽车发展实践的 政策启示

中国也可以从自身电动汽车行业的发展中汲取经验教训，促进羽翼未丰的可再生氢能经济的发展壮大。为降低对石油进口的严重依赖，治理空气污染，中国本世纪初开始发力电动汽车产业。鉴于当时中国电力结构煤电独大，电动汽车饱受争议。然而，政府决策者坚定不移制定了电动汽车发展战略，以稳步推进对传统化石燃料内燃机汽车的替代。时至今日，电动汽车已经成为交通行业低碳发展的中流砥柱，中国成为了全球最大的电动车市场。仅2021年一年，中国电动汽车销量就达到340万辆，占全球总量的一半以上。¹³ 据中国汽车工业协会统计，2022年中国纯电动汽车销量536.5万辆，同比增长81.6%；插电式混动汽车销量151.8万辆，同比增长1.5倍。¹⁴ 全年销量是2021年的两倍。

4.1 区别对待低碳电力生产和电动汽车发展

图 8. 2015–2021 年中国煤电占比以及纯电动汽车保有量的增长



数据来源：国际能源署和中国公安部

自科技部于2012年发布《电动汽车科技发展“十二五”专项规划》后，中国仅用五年时间就实现了电动汽车保有量超过100万辆（2017），并从2014年至今一直稳居世界最大的电动汽车市场宝座。与此同时，中国也已发展成为世界上最大的清洁能源市场。随着煤电在中国电力结构中的份额不断下降——从2015到2021累计下降近8个百分点——电力的清洁化发展与快速攀升的电动汽车保有量产生了协同减碳效应，使得电动汽车在降低交通领域排放事半功倍。而2020年9月中国提出的“双碳”目标进一步在政策层面强化了对电动汽车部署和电力行业脱碳的推动。

回顾电动汽车产业的发展，在萌芽阶段不把下游的电动汽车部署与上游的电力低碳发展做捆绑是合理明智的。同样的，在目前氢能应用大规模推广的早期阶段，促进现有化石燃料氢生产更多转向低碳制氢路线不应该成为下游行业应用氢能的前提条件。考虑到“双碳”目标会在未来几十年分阶段实施，为使氢能产业与工业、交通和电力行业产生与电动汽车行业类似的减碳协同效应，可再生氢生产规模的扩张应与下游应用的规模化发展同步进行。

¹³ 国际能源署

¹⁴ 中国汽车工业协会

4.2 避免骗补与违规谋补，促进行业公平竞争

中国新能源汽车行业的发展离不开 2009 年以来中央和地方政府的高额补贴。行业最“巅峰”的时候，全国共注册有 500 多家新能源汽车制造企业。2016 年，财政部等四部委对 90 家主要的新能源汽车生产企业展开专项检查，发现其中 33 家有骗补和违规谋补行为，涉及补贴金额近 93 亿元。¹⁵ 这直接导致了补贴实施细则的收紧，使得财政部增加了对整车能耗的要求，引入了能耗水平、车辆续航里程等补贴准入门槛，并从每季拨付改为先进行年度审查后拨付补贴的方式。新能源汽车发展早期阶段的另一个教训是，汽车市场规模较大地区的地方政府以地方保护的方式偏袒本地新能源汽车制造企业，导致中国没有更好地培育出全球竞争力的新能源汽车生产企业，无法推动新能源汽车的规模化发展达到形成全国性市场的水平。也是由于缺乏公平竞争刺激创新，尽管中国已成为世界上最大的新能源汽车市场多年，电动汽车制造企业在技术和产品质量上仍落后于国际最高水平。对电动汽车制造企业实行优胜劣汰、完善补贴政策细则并积极破除地方保护主义能在相当程度解决以上问题。

跟随氢能中长期发展规划的脚步，氢能发展示范地区纷纷出台对氢能技术研发、技术转让和燃料电池设备采购的财政支持。比如北京市大兴区发布的《大兴区促进氢能产业发展暂行办法（2022 修订版）》就专门设立了监督与管理条款，明确要求在核查中发现违规获得政策资金支持的企业需限期退还补贴并在三年内不得再次申报补贴，但并未提及开展监督的细则。如果中国在未来几年开始对可再生氢实行全国性的补贴政策，有必要精心设计一揽子政策互相配合，不仅要纳入有效的监督措施避免大范围“骗补”情况的出现，更要朝着公平竞争的方向推动全国市场建设、鼓励技术创新。

¹⁵ 中华人民共和国财政部



5

政策建议

尽管俄乌局势导致能源供应安全挑战加大，德国仍在坚定不移为实现 2045 年气候中性目标而努力，加快可再生氢能政策布局以持续推进能源的清洁转型。在《联合国气候变化框架公约》第二十七次缔约方大会（COP27）上，德国宣布计划向政府资助的 H2Global 基金投资超过 40 亿欧元，力度之大由此可见一斑。同样的，中国自 2021 年 9 月经历了全国大范围的拉闸限电并见证了欧洲能源危机后，也在积极平衡能源供应安全的短期挑战和中长期的“双碳”气候目标。“十四五”电力发展规划迟迟难以发布恰恰是中国政府持续做出上述努力的体现。

中国和德国都有悠久的煤炭开采和钢铁冶炼历史，也都是制造业大国，在重工业特别是钢铁、化工和水泥的低碳发展领域面临的挑战既有共性也各具特色。中德在清洁能源转型领域合作的政策影响力将远远超出各自的国界，将能够大力促进世界其他国家和地区积极应对人类共同的气候挑战。

德国作为极具气候雄心的发达经济体，在氢能经济中的经验和教训可以帮助中国培育刚起步的可再生氢供应链。结合德国经验，作者结合中国国情提出了以下初步政策建议：

- 1 为更好更快建立工业化规模的低碳氢供应链，中国应在充分利用本国现有化石燃料制氢产能的同时激励可再生氢产能的持续增长。**基于中国在电动汽车发展助力交通行业减排过程中所取得的经验，在氢能产业链规模化之前，扩大氢能的下游需求与上游的低碳生产应该区分对待。扩大可再生氢产能应与鼓励氢能大规模应用同时推进，从而在氢能产业链的上、下游之间产生正向激励效应。另一方面，本世纪初以来全国燃煤发电装机的快速扩张已提前锁定了巨量煤炭需求，中国应以此为鉴，尽量避免进一步扩大现有化石燃料制氢产能规模。
- 2 氢能管制应更多侧重其能源属性。**目前，中国仍将氢气作为危险化学品进行标识和监管，对其能源属性没有予以充分考量和反映。对氢能的危化品定位在生产选址、道路运输、市场准入、终端应用以及标准化等方面带来了一系列重大挑战。中国未来是否能够更加合理地对氢能进行定位是实现氢能规模经济性的重要先决条件。
- 3 可再生氢在工业深度脱碳中的作用应被优先考虑，并重点聚焦钢铁、石油化工和煤化工产业。**鉴于可再生氢在重工业应用中的巨大潜力，工业脱碳应成为中国实现可再生氢供应链规模经济性的重点领域。除了尽快将排放密集型的工业行业纳入全国碳排放交易体系，还应考虑将德国乃至欧洲的创新政策和金融政策工具针对中国国情进行定制和试点，尤其是绿钢的政府采购、碳差价合约和气候友好型原材料的需求配额。
- 4 为更好促进可再生氢在中国的发展，应在中央政府层面建立氢能部际协调机制。**否则，氢能治理的职责如果长期分散在不同部委之间，将会阻碍氢能的长足发展，并使中国错失先机。建议由该高层协调机制主导**对建设跨省氢能管道这一无悔基础设施的必要性和规划展开调查研究**，以积极应对中国氢气生产、消费地理错配的挑战。
- 5 中央和地方政府补贴氢能发展时，应在制度设计层面防范“骗补”乱象并促进公平竞争。**根据以往补贴政策实施过程的经验教训——尤其是电动汽车领域——中国氢能监管框架应重视制约与平衡，并纳入多重监督机制。
- 6 为了缩小与发达经济体在氢能核心技术领域的差距，中国应考虑为包括跨国公司与本土企业在内的市场主体营造更加公平的竞争环境。**如果能够大幅加强知识产权保护、积极消除市场准入壁垒，中国将能更好地深化与发达经济体在可再生氢领域的国际合作，并吸引包括欧盟特别是德国公司在内的跨国企业来华展开互利双赢的技术合作和商业投资。

附录一 中国可再生氢示范项目列表

中国部分可再生氢示范项目							
	项目名称	项目持有方 / 合作伙伴	所在城市	所属省份	氢气产能估算 (吨/年) *	可再生能源	计划投产时间 *
1	伯肯节能 100 兆瓦光伏制氢项目	北京伯肯节能科技股份有限公司、濉溪县人民政府	濉溪	安徽	10786	太阳能	-
2	延庆可再生能能源制氢项目	国家电力投资集团公司	北京	北京	980	风能、太阳能和水力	2022 年 2 月
3	液态太阳能燃料合成示范项目	中国化学工程集团有限公司、中国科学院大连化学物理研究所、兰州新区石化产业投资集团有限公司	兰州	甘肃	126	太阳能	2020 年 10 月
4	玉门油田 160 兆瓦可再生能源制氢示范项目	中国石油天然气股份有限公司玉门油田分公司	酒泉	甘肃	7000	太阳能	2023 年
5	河北省张家口绿色氢能一体化示范基地项目	壳牌、张家口市交通建设投资控股集团有限公司	张家口	河北	2800	风能	2022 年 1 月
6	河北建投沽源风电制氢综合利用示范项目	河北建设投资集团有限责任公司	张家口	河北	2517	风能	2021 年之前
7	中环张家口风光耦合制氢示范项目	中环能源（内蒙古）有限公司、河北棋鑫投资管理有限公司	张家口	河北	-	风能和太阳能	2016 年 6 月
8	张家口尚义风光耦合制氢科技示范项目	国电电力河北新能源开发有限公司	张家口	河北	2696	风能和太阳能	-
9	河北建投风电制氢项目（崇礼）	河北建设投资集团	张家口	河北	313	风能	2022 年初
10	国华河北赤城风氢储多能互补示范项目（制氢站一期项目）	国华（赤城）风电有限公司	张家口	河北	14381	风能	-
11	中智天工风电光伏发电综合利用（制氢）示范项目	中智天工有限公司	张家口	河北	8000	风能和太阳能	2022 年 12 月
12	大规模风光互补制氢关键技术研究	国家能源投资集团	张家口	河北	-	风能和太阳能	2021 年

中国部分可再生氢示范项目							
	项目名称	项目持有方 / 合作伙伴	所在城市	所属省份	氢气产能估算 (吨/年)*	可再生能源	计划投产时间*
13	张家口海珀尔制氢加氢项目	山东滨华氢能源有限公司、北京亿华通科技股份有限公司、空气化工产品(中国)投资有限公司	张家口	河北	1400	风能	2020年9月
14	风光储氢清洁能源基地	黑龙江龙煤矿业集团、北控清洁能源集团	(多个城市)	黑龙江	-	风能和太阳能	-
15	风光储氢一体化项目	国家能源投资集团、同江市人民政府	同江	黑龙江	-	风能和太阳能	-
16	华能大庆市风光氢储示范项目	华能内蒙古东部能源有限公司、大庆市人民政府	大庆	黑龙江	-	风能和太阳能	-
17	中原油田增量配电网风电制氢示范项目	濮阳市新星清洁能源有限公司	濮阳	河南	3667	风能	2022年12月
18	河南平煤神马东大化学有限公司16兆瓦光伏制氢示范项目	中国平煤神马集团开封东大化工有限公司	开封	河南	2157	太阳能	2023年6月
19	华久屋顶光伏发电制氢项目	华久氢能源(河南)有限公司	洛阳	河南	153	太阳能	2023年11月
20	红泥井百万千瓦清洁能源基地项目	国电电力内蒙古新能源开发有限公司、包头市人民政府	包头	内蒙古	-	风能和太阳能	-
21	京能5000兆瓦风光氢储一体化项目	北京能源集团	鄂尔多斯	内蒙古	-	风能和太阳能	2021年
22	中石化鄂尔多斯绿电制氢项目	中国石油化工集团	鄂尔多斯	内蒙古	10000	风能和太阳能	2023年6月
23	纳日松光伏制氢产业示范项目	中国三峡新能源集团	鄂尔多斯	内蒙古	10000	太阳能	2023年6月
24	“光储氢车”零碳生态链示范项目	中国氢能有限公司	鄂尔多斯	内蒙古	9300	太阳能	2023年6月
25	250兆瓦光伏电站及氢能综合利用示范项目	北京能源集团	鄂尔多斯	内蒙古	6000	太阳能	2023年6月
26	鄂尔多斯市鄂托克前旗上海庙经济开发区光伏制氢项目	深能北方能源控股有限公司	鄂尔多斯	内蒙古	6000	太阳能	2023年6月
27	圣圆正能制氢加氢一体化项目一期工程	内蒙古圣圆能源集团有限责任公司、内蒙古正能化工集团有限公司	鄂尔多斯	内蒙古	500	太阳能	2022年9月

中国部分可再生氢示范项目

	项目名称	项目持有方 / 合作伙伴	所在城市	所属省份	氢气产能估算 (吨 / 年) *	可再生能源	计划投产时间 *
28	圣圆能源制氢加氢一体化项目	内蒙古圣圆能源集团有限责任公司	鄂尔多斯	内蒙古	500	太阳能	2022 年 9 月
29	泰和县南溪分散式风电项目	国家电投集团江西吉安新能源有限公司	吉安	江西	-	风能	-
30	白城市风光制氢加氢一体化示范项目	国家电投吉林电力股份有限公司、新疆金风科技股份有限公司、中国船舶工业集团有限公司、白城市人民政府	白城	吉林	3883	风能和太阳能	2021 年 10 月
31	榆树市人民政府与阳光电源风电及制氢综合示范项目	阳光电源股份有限公司、榆树市人民政府	榆树	吉林	6667	风能	-
32	阳光电源 1 吉瓦风光储能项目	阳光电源股份有限公司、白城市人民政府	白城	吉林	133340	风能和太阳能	-
33	北方氢谷风光制氢试验项目	阳光电源股份有限公司、白城市人民政府	白城	吉林	5000	风能和太阳能	-
34	吉林长岭县龙凤湖 200MW 风电制氢示范项目	长岭县长润风电有限公司	松原	吉林	5393	风能	2022 年
35	京能宁东发电氢能制储加一体化项目	宁夏京能宁东发电公司、中铝宁夏能源集团有限公司	银川	宁夏	183	太阳能	-
36	太阳能电解水制氢储能及综合应用示范项目	宁夏宝丰能源集团	银川	宁夏	21571	太阳能	2021 年 4 月
37	国电投宁东可再生能源制氢项目	国家电力投资集团	宁东工业区	宁夏	536	太阳能	2021 年 6 月
38	风光氢能储能一体化开发	中国三峡新能源集团、府谷县人民政府	榆林	陕西	-	风能和太阳能	-
39	屋顶光伏与储氢综合应用一体化项目	国家能源集团陕西电力有限公司、秦都区人民政府	咸阳	陕西	-	太阳能	-
40	潍坊滨海 100 兆瓦光伏制氢项目	华电潍坊发电有限公司、深圳凯豪达氢能有限公司	潍坊	山东	-	太阳能	2022 年 6 月
41	黄海项目	青岛蓝谷工业开发区、山东中能融合海上风电机组有限公司、中国电建西北工程院	青岛	山东	-	风能	-

中国部分可再生氢示范项目							
	项目名称	项目持有方 / 合作伙伴	所在城市	所属省份	氢气产能估算 (吨/年) *	可再生能源	计划投产时间 *
42	山西榆社县 300 兆瓦光伏和 50 兆瓦制氢综合示范项目	阳光电源股份有限公司、榆社县人民政府	晋中	山西	-	太阳能	-
43	山西长治留屯区 500 兆瓦光伏制氢项目	阳光电源股份有限公司	长治	山西	-	太阳能	2020 年 9 月
44	山西氢储能综合能源互补项目	大同攸云企业管理有限公司、山西大唐国际云冈热电有限责任公司	大同	山西	1750	风能和太阳能	-
45	中国大唐 6 兆瓦光伏就地制氢科技示范项目	中国大唐集团	大同	山西	-	太阳能	-
46	阳光电源运城光伏制氢项目	阳光电源股份有限公司	运城	山西	-	太阳能	-
47	水发集团 50 兆瓦光伏储能综合能源示范	水发集团	日喀则	西藏	-	太阳能	2020 年 12 月
48	中国石化新疆库车绿氢示范项目	中国石油化工集团	库车	新疆	20000	太阳能	2023 年 6 月
49	熊猫绿能新能源综合示范项目	北京能源国际控股有限公司、玛纳斯县人民政府	昌吉	新疆	-	太阳能	-
50	氢电耦合直流微网示范项目	国家电网有限公司	宁波	浙江	35	风能和太阳能	2022 年 6 月

* 如项目不止一期，氢气产能估算与计划投产时间只代表一期项目。

附录二 中国氢能治理部分关键利益相关方

中国氢能治理部分关键利益相关方		
关键利益相关方	所属领域	主要职责
国家科学技术部	中央政府	为中国氢能技术研发和技术创新提供资金支持
国家发展和改革委员会	中央政府	政治影响力最大的部委，有权制定经济规划、许可和定价等
国家能源局	中央政府	负责能源行业发展规划的副部级单位，隶属于国家发展和改革委员会
国家工业和信息化部	中央政府	负责工业行业发展规划，促进关键工业设备设施的创新
国家财政部	中央政府	负责国家补贴
国家交通运输部	中央政府	负责交通运输规划、规章制定和执行，尤其是公路和水路
国务院国有资产监督管理委员会	中央政府	负责监管国有企业，包括任命高层管理人员和批准企兼并重组及股权与资产转让；负责与国有企业相关法律的起草
国家市场监督管理总局	中央政府	负责标准制定、维护市场安全和市场监管
国家统计局	中央政府	负责包括氢能在内氢能相关经济活动的数据统计
中央企业	产业界	全国共有 97 家中央企业，其中涉及能源经营的央企在氢能经济中最为活跃
中国标准化研究院	国家社会服务机构	负责国民经济和社会发展中涉及全球性、战略性和综合性的标准化问题
中国氢能联盟	产业联盟	向政府部门反映行业的政策诉求
各高校	研发	许多中国高校都在积极开展与氢有关的研发工作
政府或国有企业关联智库	智库	负责氢能经济相关的政策研究
环境非政府组织	智库	倡导氢能经济以支持各类环境议程
主要倡导者	个人	提倡发展氢能经济的主要政治家、企业高管和专家
地方政府	省级和市级政府	负责制定省级和地方层面促进氢能经济的规划和补贴
地方国有企业	产业界	在地方政府的指引下以具体项目推动当地氢能产业发展

中国氢能治理部分关键利益相关方		
关键利益相关方	所属领域	主要职责
民营企业	产业界	在氢能相关技术商业化方面发挥着积极作用
公众	公众	公众对氢能经济发展的理解和社会接受度也是氢能发展的重要方面
国际利益相关方	国际社会	国际组织、外国政府、跨国企业、国际产业联盟、高校等

来源：涂建军，“中国特色氢能经济展望 [Prospects of A Hydrogen Economy with Chinese Characteristics]，”法国国际关系研究院 [Ifri]，2021年9月，<https://www.ifri.org/en/publications/etudes-de-lifri/prospects-hydrogen-economy-chinese-characteristics>。

参考文献

“终端行业脱碳：绿氢认证 [Decarbonising End-use Sectors: Green Hydrogen Certification],” 国际可再生能源署 [Irena], 2022 年 10 月, <https://irena.org/publications/2022/Mar/The-Green-Hydrogen-Certification-Brief>

“关于启动燃料电池汽车示范应用工作的通知,” 中华人民共和国财政部, 工业和信息化部, 科学技术部, 国家发展和改革委员会与国家能源局, 2021 年 9 月

“关于启动新一批燃料电池汽车示范应用工作的通知,” 中华人民共和国财政部, 工业和信息化部, 科学技术部, 国家发展和改革委员会与国家能源局, 2021 年 12 月 18 日

“关于开展燃料电池汽车示范应用的通知,” 中华人民共和国财政部, 工业和信息化部, 科学技术部, 国家发展和改革委员会与国家能源局, 2020 年 9 月 21 日, http://www.nea.gov.cn/2020-09/21/c_139384465.htm

刘思明, 石乐, “碳中和背景下工业副产氢气资源化利用前景浅析,” 《中国煤炭》(2021): 53-56 doi:10.19880/j.cnki.ccm.2021.06.008

刘玮, 万燕鸣, 熊亚林, 陶志杰, 朱艳兵, “碳中和目标下电解水制氢关键技术及价格平准化分析,” 《电工技术学报》, (2022.03): 2888-2896

“危险化学品安全管理条例,” 中华人民共和国中央人民政府, http://www.gov.cn/zhengce/2020-12/26/content_5574251.htm

万钢, “促进新能源汽车产业健康发展,” 人民日报, 2018 年 12 月 15 日

“‘十四五’国家安全生产规划,” 中华人民共和国国务院安全生产委员会, 2022 年 4 月

“‘十四五’可再生能源发展规划,” 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 2022 年 6 月

“中国氢能及燃料电池产业手册(2020),” 中国氢能联盟, 2021 年 12 月

“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,” 中国共产党中央委员会和国务院, 2022 年 12 月 24 日, http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm

Aleksandra Małachowska 等, “地质地层中的储氢——盐穴的潜力 [Hydrogen Storage in Geological Formations—The Potential of Salt Caverns],” 《能源》[Energies], 2022, 15: 5038

John Williams 等, “英国盐穴地下储氢的理论容量 [Theoretical capacity for underground hydrogen storage in UK salt caverns],” 英国地质调查局 [British Geological Survey], 2022 年 1 月 10 日, https://ukccsrc.ac.uk/wp-content/uploads/2020/05/John-Williams_CCS-and-Hydrogen.pdf

“汽车：迄今为止电池电动效率最高 [Cars: battery electric most efficient by far],” 《交通与环境》[Transport & Environment] (2017), <https://insideevs.com/news/332584/efficiency-compared-battery-electric-73-hydrogen-22-ice-13/>

“欧洲温室气体排放总量趋势和预测 [Total greenhouse gas emission trends and projections in Europe], ” 欧洲环境署 [European Environment Agency], 2022 年 10 月 5 日, <https://www.eea.europa.eu/ims/total-greenhouse-gas-emission-trends>

Caledonia T.C.Trapp 等, “面向可持续发展的行业耦合和商业模式: 以氢能汽车行业为例 [Sector coupling and business models towards sustainability: The case of the hydrogen vehicle industry], ” 2022 年 3 月 21 日, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773032822000141>

Joel Jaeger, “可再生能源的指数型增长原因分析 [Explaining the Exponential Growth of Renewable Energy], ” 世界资源研究所 [World Resources Institute], 2021 年 9 月 20 日, <https://www.wri.org/insights/growth-renewable-energy-sector-explained#:~:text=Costs%20have%20fallen%20so%20dramatically,in%20turn%20spur%20more%20deployment>

Kerstine Appunn, “行业耦合——塑造一体化的可再生能源系统 [Sector coupling - Shaping an integrated renewable energy system], ” 清洁能源线路 [Clean Energy Wire], 2021 年 4 月 22 日, <https://www.cleanenergywire.org/factsheets/sector-coupling-shaping-integrated-renewable-power-system>

“国家能源局关于 2021 年可再生能源电力消纳责任权重完成情况的通报, ” 国家能源局, 2022 年 4 月 21 日, http://zfxgk.nea.gov.cn/2022-04/21/c_1310587748.htm

“乌海市氢能产业发展规划 (2020-2025), ” 乌海市人民政府, 2020 年 7 月, <http://www.wuhai.gov.cn/wuhai/xxgk4/zfxgk5572/fdzdgnr39/zcwj32/1022743/index.html>

“鄂尔多斯市氢能产业发展三年行动方案 (2022 年 -2024 年), ” 鄂尔多斯市人民政府, 2022 年 4 月 18 日, http://www.ordos.gov.cn/zzms/slh_zcwjx/202204/t20220418_3191604.html?slh=true

“内蒙古自治区促进氢能产业发展若干政策 (试行) (征求意见稿), ” 内蒙古自治区能源局, 2021 年 7 月 15 日

“内蒙古自治区 ‘十四五’ 能源发展规划, ” 内蒙古自治区人民政府, 2022 年 3 月 4 日, https://www.nmg.gov.cn/ztlz/sswghjh/zxgh/zrzymy/202203/t20220304_2012787.html?slb=true

“网易研究局碳中和报告, ” 网易研究院, 2021 年 8 月 16 日, <https://money.163.com/special/tanzhonghebaogao/>

“北京市大兴区人民政府关于印发大兴区促进氢能产业发展暂行办法 (2022 年修订版) 的通知, ” 北京市大兴区人民政府, 2022 年 4 月 8 日, <http://www.bjdx.gov.cn/bjsdxqrmzf/zwfw/zcjd/1933675/index.html>

“全球最大光伏绿氢生产项目落户新疆库车”, 《中国石油石化》杂志社, 2021 年 11 月 30 日, http://www.chinacpc.com.cn/info/2021-11-30/news_5849.html

陈济, 李抒苾, 李相宜, 李也, “碳中和目标下的中国钢铁零碳之路 [Pursuing Zero Carbon Steel in China],” 落基山研究所 [Rocky Mountain Institute], 2021 年 9 月

“国家氢能战略 [The National Hydrogen Strategy],” 德国联邦原经济事务与能源部 [German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy], 2020 年 6 月 10 日, https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=14

“2022 近期气候行动方案 [Immediate climate action programme for 2022],” 德国联邦财政部 [German Federal Ministry of Finance], 2021 年 6 月 23 日, <https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/EN/Standardartikel/Topics/Priority-Issues/Climate-Action/immediate-climate-action-programme-for-2022.html>

Kevin Tu, Oliver Sartor, Run Zhang-Class, “2021 年 5 月 26 日中欧碳边境调节机制第一次圆桌讨论简报 [EU-China Roundtable on Carbon Border Adjustment Mechanism Briefing of the first dialogue on 26 May 2021]”

“2022 世界钢铁统计数据 [World Steel in Figures 2022],” 世界钢铁协会 [World Steel Association], 2022 年 8 月 15 日

“无悔氢能: 绘制欧洲氢能早期基础设施 [No-regret hydrogen: Charting early steps for H2 infrastructure in Europe],” Agora 能源转型论坛与 AFRY 管理咨询 [Agora Energiewende and AFRY Management Consulting], 2021 年 3 月 3 日, https://static.agora-energie-wende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_02_EU_H2Grid/A-EW_203_No-regret-hydrogen_WEB.pdf

“全球电动汽车展望报告 [Global EV Outlook],” 国际能源署 [IEA], 2022 年 5 月 10 日, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021>

中国汽车工业协会, “2022 年汽车工业产销情况,” 2023 年 1 月 12 日, http://www.caam.org.cn/chn/4/cate_32/con_5236639.html

“财政部关于地方预决算公开和新能源汽车推广应用补助资金专项检查的通报,” 中华人民共和国财政部, 2016 年 9 月 8 日, http://www.gov.cn/xinwen/2016-09/08/content_5106603.htm

“白城市新能源与氢能产业发展规划: 2035 年白城风电装机达到 2000 万千瓦,” 白城市人民政府, 2021 年 12 月 16 日, http://www.jlbc.gov.cn/xxgk_3148/ywtdt/201907/t20190708_715370.html

“中国石化启动全球最大制氢项目——新星公司负责实施,” 中国石油化工集团有限公司, 2021 年 10 月 19 日, http://cnsnpc.sinopec.com/cnsnpc/news/com_news/20211201/news_20211201_356948348950.shtml

“二氧化碳排放免税额 [CO2 emission allowance],” Sandbag 气候智库, 2022 年 3 月 10 日, <https://sandbag.be/index.php/carbon-price-viewer/>

“重新赋能欧盟：欧洲联合行动，争取更实惠、安全和可持续的能源供应 [REPowerEU: Joint European action for more affordable, secure and sustainable energy], ” 2022 年 4 月 5 日, https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_1511

Sanja Pekic, “欧洲发力满足日益增长的氢气需求 [Europe in push to meet growing demand for hydrogen], ” 近海能源网 [Offshore Energy], 2022 年 5 月 8 日, <https://www.offshore-energy.biz/europe-in-push-to-meet-growing-demand-for-hydrogen/>

中国国际贸易促进委员会浙江省委员会, “定了! 2026 年起征! 欧盟达成碳关税协议, ” 2022 年 12 月 21 日, http://www.ccpitzj.gov.cn/art/2022/12/21/art_1229557691_37245.html

邓学, 刘俊, 陈桢皓, 裘孝锋, 曾韬, 孔令鑫, “氢能源产业研究: 氢能制备、储运与应用分析 [Hydrogen industry research: analysis on hydrogen production, storage, transportation and application], ” 中金公司研究部, 2021 年 11 月 11 日, <https://m.vzkoo.com/document/6d03f313b7d23d70ed941d274a989a5a.html>

“氢储能具有无可比拟的优势, ” 中国改革报 (2021 年 5 月 25 日), http://www.cfgw.net.cn/epaper/content/202105/25/content_38520.htm

Kevin TU, “中国特色氢能经济展望 [Prospects of A Hydrogen Economy with Chinese Characteristics], ” 法国国际关系研究所 [Ifri], 2021 年 9 月 18 日, <https://www.ifri.org/en/publications/etudes-de-lifri/prospects-hydrogen-economy-chinese-characteristics>

www.energypartnership.cn

网站



微信

