

ICCSD 合作应对气候变化  
携手推动低碳转型  
Step up  
for Change

中国 CHINA  
PAVILION  
COP28

# 中国的氢能政策和 技术现状及发展建议

彭天铎、李爽

清华大学气候变化与可持续发展研究院

ICCSD

# 目录

1. 氢能在中国能源系统和经济部门中的角色	3
2. 中国政府氢能发展战略和举措	5
3. 氢能生产	6
4. 氢气的储存、输送和分配	7
5. 氢能应用	9
6. 未来政策关注点	10

## 中国的氢能政策和技术现状及发展建议<sup>1</sup>

彭天铎\*、李爽

清华大学气候变化与可持续发展研究院

氢能是一种清洁、高效的优质能源载体，在交通、工业、建筑和发电等领域都有着广泛的应用。作为实现能源系统脱碳和减缓气候变化的潜在重要解决方案，氢能有望在新一轮全球能源和工业革命中发挥重要作用。作为世界上最大的碳排放国和氢气生产国，中国一直致力于扩大氢气在未来能源系统中的应用。中国拥有丰富的可再生能源资源和广阔的清洁能源市场，在发展新能源产业和经济方面具有巨大潜力，而氢能在其中发挥着至关重要的作用。近年来，氢能已成为中国公共政策讨论的前沿领域，大量资源投入到氢能技术研究和市场应用。

### 1. 氢能在中国能源系统和经济部门中的角色

- 被视为实现能源低碳转型的重要途径。

中国氢能发展的最根本动力是能源系统脱碳和减缓气候变化。在加入《巴黎协定》后，中国于2020年更新了气候目标，即在2030年前实现碳达峰，在2060年前实现碳中和。2021年底，中国进一步发布了实现碳达峰的行动计划，新的政策方针规定，通过应用清洁能源、电气化、碳捕集、利用和封存（CCUS）技术等，加快各领域的脱碳进程。氢气作为可再生能源的优质载体，有望在能源密集型和高碳排放行业（如工业和重型货运等）的脱碳过程中发挥关键作用，否则这些行业很难实现深度脱碳。

- 氢能和可再生能源的协同发展为解决能源安全问题提供了可行方案。

中国一直面临着推动低碳转型和满足能源需求增长的双重挑战，到2030年，一次能源消费总量可能比2020年增加约10亿吨标准煤当量<sup>1</sup>。然而，能源供应一直高度依赖化石燃料，超过70%的石油和40%的天

<sup>1</sup> 能源基金会资助清华大学和哈佛大学共同开展的“中美深度脱碳技术创新与政策比较研究”二期项目” (G-2203-33706)

然气需要进口。另一方面，中国拥有丰富的可再生能源禀赋。据估计，可再生能源（如水能、风能和太阳能）的年可开发量为 95.84 万亿千瓦时，几乎是 2020 年全国总用电量的 13 倍。为了实现碳中和目标并减少对化石燃料进口的依赖，可再生能源在能源结构中的比例必须在这十年内大幅增加。虽然中国的可再生能源大多远离人口稠密的沿海地区，而且可再生能源发电因其不稳定性而存在固有的间歇性问题，但氢能作为一种易于储存和运输的能源载体，可以有效消除能源在空间和时间上的供需错配，从而提高中国未来能源供应的弹性。

#### ■ 氢能发展可促进中国正在进行的工业和经济转型。

从能源和化工生产到交通运输和钢铁制造全链条，氢能需求的增长将使许多原材料和零部件供应商、设备制造商和服务提供商等受益。中国氢能联盟是全国最大的氢能与燃料电池产业协同创新平台，根据该联盟的预测，到 2050 年，中国氢能产业的年总产值将达到 10 万亿元人民币（约合 1.58 万亿美元）。因此，随着化石燃料需求增长的放缓和中国能源经济的系统性转型，氢能及其相关技术的发展将通过创造全新的产业链，助力中国新的绿色经济发展。

## 2. 中国政府氢能发展战略和举措

- 2022 年初，中国发布了《氢能产业发展中长期规划（2021-2035 年）》，提出了未来 15 年氢能产业发展的新目标。

规划明确了 2025 年的具体目标，如实现绿色氢气年产量 10-20 万吨，氢燃料电池汽车保有量达到 5 万辆，形成较为完整的氢能产业链。近期内，工业副产品和可再生能源生产的氢气将成为终端应用的主要供应。从长远来看，可再生能源生产的氢气在总供应量中的占比将大幅增加。氢气的应用将扩展到多个领域，包括运输、储能、发电以及钢铁和化工行业。可以看出，中国对氢能的态度乐观但谨慎，2035 年前关注氢能技术创新和产业链的建立，并不盲目追求大规模应用。

- 地方政府在推动氢能发展方面更加积极主动。

地方层面的政策制定并不完全与中央政府的节奏和目标相对应，相对独立，更加强调区域产业发展的竞争力。除了作为低碳转型的重要组成部分，地方政府还将氢能视为促进经济增长和产业结构调整的重要抓手。截至 2021 年底，中国半数以上的省份和 30 多个直辖市已经发布了支持氢能发展的具体规划。

- 氢能发展政策仍面临挑战。

一方面，随着氢能产业的发展，氢能的长期发展路径仍需不断优化和完善，以最大限度地降低产业和投资者面临的风险和不确定性。另一方面，现有的市场资源和政策，尤其是地方政府层面，过多地集中在氢能在交通领域的应用上，而对其他领域的关注度较低。在这方面，中国需要采取更加全面和协调的方法来制定和实施氢能政策，以挖掘氢能和其他领域的潜力，并在各个环节实现氢能应用的均衡发展。

### 3. 氢能生产

- 中国是目前世界上最大的氢气生产国。中国近年来年产量超过 3000 万吨，约占全球氢气产量的三分之一。然而，中国的氢气产量主要来自化石燃料，并作为工业原料消费，而清洁能源制氢的规模很小。中国近 70% 的氢气来自煤炭、天然气和石油，约 30% 的氢气来自工业副产物，而电解水的氢气产量不足 1%。
- 中国目前以化石燃料为基础的氢气供应链由于生产成本低且适合市场，预计将在未来转型的早期阶段保持其主要地位。中国拥有丰富的煤炭资源，煤化工产业规模庞大，产能分布广泛，煤制氢年产量可观。相比之下，尽管以天然气为原料的蒸汽甲烷转化（SMR）制氢技术已经成熟并得到广泛应用，但由于多种原因，以天然气为原料制氢在中国并不具有成本效益。这些原因包括天然气供应有限、硫含量高以及天然气价格对制氢成本的巨大影响。因此，用 SMR 制氢只有在天然气资源丰富的地区才具有成本竞争力。
- 氢气生产极可能直接从灰氢跨至绿氢。虽然中国现有的氢气生产能力足以满足目前的国内需求，但根据规划，未来的氢气供应，特别是增量部分，将更多地向可再生能源过渡，绕过所谓的“蓝氢”，即利用煤炭、天然气生产氢气并将排放的二氧化碳捕集并储存在地下。这背后的主要原因是中国 CCUS 应用的高成本和天然气资源高对外依赖。例如，如果采用 CCUS 技术，利用煤气化制氢的总成本将高出 1.5 倍至 2 倍。另一个重要的决定因素是中国计划从长远角度转向以可再生能源为主的能源结构，这就抑制了使用化石燃料制氢。
- 从长远来看，利用可再生能源进行水电解制氢前景广阔，将在氢气供应中发挥主导作用。目前，电解水制氢有碱性水解、质子交换膜（PEM）电解和高温电解三种技术，成熟度各不相同。未来电解制氢在中国将具有成本效益。太阳能、风能、水能、地热能和生物质能等可再生能源的年发电量总潜力为 95.84 万亿千瓦时，利用可再生能源总产量的 15%，电解制氢可以生产 1 亿吨氢气，完全可以满足终端需求。其他技术，如结合 CCS 的煤制氢技术、生物制氢技术和光催化技术将可能成为水电解制氢的有效

补充。

### 4. 氢气的储存、输送和分配

- 中国目前最常见的短途氢气运输方式是使用压力为 20 MPa 的管式拖车。对于长距离运输，使用储氢压力更高的液体罐车和氢气管道更为经济。然而，由于技术限制，50 MPa 压力的公路运输目前还很少见，低温液氢罐车的应用也非常有限。
- 现有的氢气管道长度（主要是炼油厂的专用管道）远远少于欧洲和美国。这主要是由于初始投资高、复合材料价格高昂且依赖进口以及应用场景不足。近年来，中国许多城市都在尝试将氢气掺混到天然气中，通过现有天然气管网输送氢气。混合气的一种应用是直接用作厨房炉灶和内燃机的燃料气。例如，北方的张家口市已经启动了一个试点项目，探索向城市燃气管网注入 400 万立方米氢气的可能性，将混合气体用于烹饪，并作为氢气压缩天然气（HCNG）汽车的燃料。另一个潜在的应用是将氢气从运输的混合气体中分离和提纯，并将其重新用于燃料电池或发电机。然而，由于高技术壁垒和高成本，这种情况目前在中国并不多见。
- 为了今后的大规模应用，有必要建设专门的长距离氢气管道。由于氢气对管道材料的影响，可能会导致管道开裂和泄漏，氢气在天然气中的掺入量也有一定的限制。此外，目前从天然气中分离氢气的成本很高，但是效率很低。最近，位于河北省的一个新的氢气输送网络已经开始建设。该管道全长 145 公里，比中国现有的任何一条氢气管道都长，将主要用于京津冀地区氢气的南北输送。与此同时，中国的油气管网企业已经开始联合企业、学术研究机构 and 氢能产业链上的其他主要利益相关方，共同推动新的氢能传输网络的发展，并解决潜在的技术难题。



- **中国已建成全球最大规模的加氢站网络。**由于高压储氢成本高昂且并不普及，大多数加氢站在 35 MPa 压力下运行。绝大多数现有加氢站依靠外部氢气供应，只有少数加氢站具备现场制氢能力。例如，大连市的一座加氢站能够利用风光互补发电系统生产氢气。另一座位于华南佛山市的加氢站可同时利用天然气和电解水制氢，制氢能力分别为 500 Nm<sup>3</sup>/h 和 50 Nm<sup>3</sup>/h，其中电解水制氢由屋顶太阳能系统供电。
- **新型混合加氢站的发展在未来几年可能会出现爆发式增长。**未来加气基础设施发展的一个潜在趋势是越来越多地部署汽油 - 氢气多燃料补能站。例如，2019 年新建的加氢站中有 17.9% 为多燃料加氢站，2020 年这一比例增至约 50%。中国石油化工集团公司是中国最大的加油站的所有者和运营商，该公司已表示打算在未来将其许多加油站改造和转换为油氢多燃料站。

## 5. 氢能应用

- **交通运输行业是中国氢气新需求的最大驱动力。**自 2015 年以来，燃料电池汽车 (FCV) 的销量逐年快速增长。与其他大多数国家将氢能应用重点放在乘用车领域不同，中国 FCV 的发展过程中优先考虑商业应用，氢能卡车、客车等商用 FCV 已占据现有销量的主导地位，累计销量超过 1 万辆。目前，中国约有 17 个省份开展了 FCV 商业化示范，多个地区（如广东、上海）氢燃料电池汽车保有量超过千辆。
- **氢气在交通领域的应用还不具备成本竞争力。**氢气应用的总体市场需求仍然较小，氢气的供应、使用和分配在不同地区存在很大差异。需要为产业链的各个环节（如生产、储存、运输等）开发更成熟的商业模式，以降低高昂的成本。例如，目前中国 42 吨氢动力重型卡车的购车成本和燃料成本分别比柴油动力卡车高 230% 和 100%。因此，整体来看购买和运营一辆氢能重型卡车的总成本比普通内燃机卡车高出约 150%。从长远来看，

随着技术的不断进步、氢气供应链效率的提高以及规模经济的发展，使用成本有望大幅下降。清华大学的一项研究表明，氢燃料电池系统的成本在未来十年内可能会降低约 80%。中国石油集团的一项研究认为，氢动力重型卡车的成本可能在 2030 年前与柴油动力卡车持平。

除 FCV 外，中国还有许多正在进行的氢能示范应用，这些应用在未来可能会实现商业化，如燃料电池有轨电车、燃料电池叉车、内河航运、航空、钢铁生产、热电联产 (CHP)、发电和储能以及可再生甲醇。

## 6. 未来政策关注点

- **缺乏关键技术。**先进的氢燃料电池技术是制约中国氢经济发展的关键因素。目前的工业制氢方法，如 SMR 和 CG，无法满足环保要求，而利用可再生能源电解水制氢将是中长期的发展方向。因此，燃料电池相关技术将是推动氢燃料电池汽车商业化的重中之重。目前，中国的催化剂、质子交换膜、碳纸等关键材料仍依赖进口，膜加湿器、双极板、空压机、氢气循环泵等材料的生产也落后于领先国家。
- **成本竞争力。**氢能发展路径的确定需要综合考虑氢燃料电池技术成熟度、氢气来源、经济性和减排效果。目前制氢技术的平准化成本大致在 15.34-59.27 元 /kg 之间，主要体现在以煤炭、天然气为代表的传统化石能源制氢路线成本较低，而各种新型可再生能源电解水制氢成本较高。学习曲线是影响未来制氢平准化成本的关键因素，随着制氢水平的提高，每千克氢能的平准化成本将逐步降低。在不考虑碳价的情况下，到 2040 年，各种技术的平准化制氢成本差距将缩小，各种可再生能源的平准化制氢成本将大幅降低，约为 15-21 元 / 千克，到 2060 年，将进一步降低到 13-19 元 / 千克左右。与传统化石能源路线相比，水电、风电和光伏电解水制氢的平准化成本明显降低。

- 氢气供应基础设施规划。展望未来，基础设施规划至关重要，但仍存在不确定性。由于绿色氢气成本高，最初的应用可能从灰色氢气开始。不同氢气供应路径的能源系统特点明显不同，应注意和预防路径单一化所带来的风险。在蓝氢路径下，制氢装机容量更集中，储氢能力更大。如果初期大规模发展蓝氢，逐步向绿氢过渡，可能面临基础设施衔接不匹配、资产搁置、氢气供应不稳定等风险。

- 氢气泄露。

尽管氢气在使用时不会排放二氧化碳，但其本身也是一种间接温室气体。氢气对红外辐射的吸收能力不强，因此不会直接成为温室气体。然而，它与地球大气中天然存在的羟基自由基发生反应并消耗掉羟基自由基，而羟基自由基是去除甲烷的关键机制。甲烷是一种强效温室气体，氢气的泄漏将延长其在大气中的停留时间并增加其对气候的影响。据最新估计，按照 100 年的时间尺度，氢气的全球变暖潜势（GWP）为  $11 \pm 5$ 。因此，如果氢在生产、储存、分配和使用过程中泄漏到大气中的无法得到控制，将部分抵消氢能应用的气候和经济效益。

## 致谢

感谢能源基金会对课题的资助。清华大学欧训民博士、董文娟副研究员、毛春柳博士、刘建喆博士为课题研究和报告撰写提供了模型和数据支持以及修改建议，在此一并感谢。

## 机构介绍

清华大学气候变化与可持续发展研究院成立于 2017 年 10 月。气候院致力于打造跨学科研究、人才培养和政策交流协同创新平台，整合国内外优质资源，为应对全球气候变化与实现可持续发展提供智慧和方案。气候院的工作内容包括对话与交流、战略研究、教育与培训三大板块，已经成功打造“气候变化大讲堂”、“巴黎协定之友”、“世界大学气候变化联盟”等品牌旗舰项目，开展了“中国低碳发展及转型路径”、“气候与环境协同治理”等战略研究，搭建了“甲烷减排合作平台”和“应对气候变化的基于自然解决方案”合作平台，并组织了两期南南气候合作培训班。目前已经形成了国际品牌影响力、国内外资源整合能力和专业研究实力三大优势，成长为领域内知名智库。

