

让能源更“氢”洁，从中国到世界

西门子股份公司

摘要

2015年，来自195个国家以及欧盟的代表齐聚巴黎，共同缔约气候变化《巴黎协定》。此后的四年间，各国积极规划、采取行动争取碳排放减少和延缓全球气候升温。其中，中国政府全面推进减缓气候变化工作，2018年碳排放强度比2005年下降45.8%，提前达到了2020年碳排放强度比2005年下降40%-45%的目标。

但同时，全球温室气体排放仍在大幅增长，甚至没有迹象显示全球碳排放将在近期得到下降。要彻底摆脱温室气体对人类生存环境的影响，除了提高能源利用效率以减少化石能源消耗外，更需要推动清洁能源替代，完成以清洁绿色为主的能源转型，从根本上实现全球去碳化。

氢作为清洁、高效、可持续的能源载体，被视为21世纪最具发展潜力的绿色能源，将成为应对气候变化的关键抓手之一。而采用可再生能源发电电解水而产生的绿色氢气，真正做到在生产和消耗过程的二氧化碳零产生、零排放，有望成为碳减排目标能否实现的胜负手。

氢气除了炼油、合成氨、合成甲醇等工业用途外，在钢铁、交通运输、建筑供热供冷等领域有着广阔应用空间。由于环保性和实用性，欧美日等各方已经采取措施鼓励氢能发展，包括出台国家级氢能发展战略、对技术研发予以支持、从供给和需求侧培育市场等等。

随着政府、产业界和学界对氢能和燃料电池等领域研发的持续投入，过去阻碍氢能发展和应用的许多技术瓶颈已经突破。然而，低碳能源产氢成本高，氢能存储、运输和终端利用成本居高不下。而氢能相关技术研发成本高也阻碍了技术进步和规模经济。这些问题都亟待解决。

对中国而言，发展氢能特别是绿色氢能有着四大重要意义：

一是在提高能源利用效率、化解过剩产能、增加碳汇等领域取得进步的基础上，推动绿色氢能替代化石能源能成为中国减排事业新“增长点”，有助于履行减排承诺，引领全球气候治理。

二是推动氢能产业发展，能进一步削减煤炭能源消耗占能源总消耗量的比重，同时减小对外国输入油气能源的依赖，有利于能源结构改善和国家能源战略安全。

三是氢能作为电力的存储载体，可以长期大量储存且长距离运输，能解决可再生能源地域供需不平衡和电力需求周期性波动等问题，有效避免弃风弃光等资源浪费。

四是凭借着当前中国科技基础，积极布局氢能产业将推动全产业链科技创新，助力中国成为全球科技创新中心和产业发展高地，而核心技术保有量与产业链完备性决定了国际标准制定中的话语权。

我们看到，中国各层级政府出台了多项氢能产业支持政策，引导氢能产业蓬勃发展。但核心科技掌握不足、产业规模化程度不高、成本居高不下、氢气来源单一且环保性较差等问题依然存在。因此，我们提出如下建议：

一是立足中国能源发展和减排规划，科学定位氢能 在能源体系中的地位和作用，统筹规划氢能产业，使产业发展更高效、合理、有序。

二是加强产业链上下游企业协同发展，鼓励产业下游应用端的基础上，支持上游环节的研发和规模化，促进氢能产业各环节均衡发展。

三是扩大国际交流合作，进而深度参与国际标准制定和将来的国际氢能贸易，更进一步地，通过国际交流合作促进关键核心技术研发。

四是除了在供给侧支持产业发展外，立足氢能需求端，更全面地挖掘氢能的价值和潜力，提高氢能使用率，培育发展新动能。

五是调和政策引导与市场规律，重视和发挥市场在资源配置中的作用，防范无序竞争和产能过剩。

六是利用双、多边平台讲好发展和应用氢能的“中国故事”，提升国际能源发展和治理体系中的影响力和话语权。

长久以来，西门子践行为后代提供清洁能源，推动能源转型和可持续发展的承诺，与不同国家和地区的氢能企业合作，共同研发、共享成果，积累了氢能生产、储存、运输、应用等各环节技术，并成功使一大批氢能应用项目落地，推动各地氢能产业发展。

2019年9月，在中国、德国两国总理共同见证下，西门子正式与中国合作伙伴开启氢能合作。今后，西门子愿以更大的热诚与中国政府和合作伙伴一起，让能源更“氢”洁，让世界更美好。

1. 氢能是国际公认的清洁绿色能源，多国已着手推动氢能在各领域广泛应用

1.1 应对气候变化困局需要推动清洁能源替代，绿色氢能将加速去碳化进程

2020年，摆在“地球村”居民面前的气候变化困局比四年前《巴黎协定》签署时更加严峻：过去10年是有史以来平均气温最高的十年，全球温室气体的排放在2014-2016年短暂稳定后继续大幅增长，屡创历史新高，并且没有任何迹象表明其会在未来几年后达到顶峰。根据联合国环境规划署发布的排放差距报告显示，到2030年，即使当前《巴黎协定》下所有承诺都得以实现，全球气温仍可能上升3.2摄氏度¹，各国需要将温室气体排放自主贡献决心提高三倍，才能实现《巴黎协定》中温升低于2摄氏度的目标，而要实现温升低于1.5摄氏度的目标，则要各国将贡献提高五倍。

要彻底摆脱温室气体对人类生存环境的影响，除了提高能源利用效率以减少化石能源消耗外，更需要推动清洁能源替代，完成以清洁绿色为主的能源转型，从根本上实现全球去碳化。氢作为清洁、高效、可持续的能源载体，被视为21世纪最具发展潜力的绿色能源，将成为应对气候变化的关键抓手之一。

1.2 当前氢气制备有多种技术途径，绿氢是实现全球去碳化的发展方向

根据不同的制备技术以及制备过程中环保程度的高低，一般将氢分为灰氢、蓝氢和绿氢。灰氢主要由煤气化、天然气裂解和甲醇重整技术生产，生产过程中排放大量二氧化碳。如以天然气为原料，每生产1吨氢气将排放10吨二氧化碳；而以煤炭为原料则碳排放更高，生产1吨氢气的二氧化碳排放量为19吨。²

灰氢制备过程中经过碳捕捉、利用和封存后的氢气即是蓝氢。换言之，蓝氢在制备过程中，避免了二氧化碳直接排放到大气，从而具有环保性。

绿氢则是采用可再生能源发电电解水而产生的氢气，生产过程中仅消耗水与风电、水电或者太阳能等清洁电能，产出除氢气以外的氧气还可用于工业或健康产业。可见，绿氢真正做到生产过程的二氧化碳零产生、零排放。

¹ 新华网：联合国环境规划署发布年度《排放差距报告》。http://www.xinhuanet.com/2019-11/27/c_1125280403.htm

² 国际能源署，《氢的未来——抓住今天的机遇》，p21-22.

1.3 除炼油、化工等领域外，氢气在钢铁、交通、建筑等领域有着广阔应用空间

氢气是重要的工业原材料。目前，氢气主要应用场景分别为炼油（占氢气总消耗量33%）、合成氨（占比27%）和合成甲醇（11%）³。实际上，氢气具有丰富的应用场景，能协助多个行业实现脱碳。

钢铁行业是碳排放最高的行业之一，生产1吨粗钢平均直接产生1.4吨二氧化碳⁴，钢铁行业碳排放量占全球的7%。通过采用氢气作为低碳能源和冶炼中的还原剂，可以完全避免大部分的碳排放。

在交通运输领域，氢燃料电池以及含氢燃料能应用于小型车辆、公交大巴、货运卡车等交通载具，甚至在将来成熟应用于火车和货轮。

在建筑供热和制冷领域，可以天然气掺氢方式利用氢气，使用纯氢气对建筑供热同样具备技术可行性。

1.4 欧美日各方认可与重视氢能发展前景，正加大力度谋划战略和布局产业

欧盟为促进能源转型，于2018年重申《促进可再生能源利用的指导文件》，将可再生能源生产的绿氢纳入2030年欧盟可再生能源目标。欧洲28国签署氢能倡议，支持加大对氢能技术研发、大规模应用的支持，以减少欧洲国家碳排放。德国于2006年、2016年两度批准为期十年、投资14亿欧元的氢能源和燃料电池技术创新计划，推动国内技术研发和批量应用，以确保在氢能和燃料电池领域的优势。

美国最早于1990年出台《氢研究、发展和示范项目法案》，此后数十年间对氢能研究和利用予以政策支持。目前，美国在氢能和燃料电池领域的专利数仅次于日本，美国液态氢产能和燃料电池乘用车保有量居世界第一⁵。

³ 国际能源署，《氢的未来——抓住今天的机遇》，p63

⁴ 国际能源署，《氢的未来——抓住今天的机遇》，p80

⁵ 《中国氢能源及燃料电池产业白皮书》，p6.

日本在 2017 年发布《氢能基本战略》提出到 2050 年全面普及氢燃料电池汽车，并建成完全脱碳的氢燃料供给体系。日本经济产业省设立了新能源产业技术综合开发机构，作为国家研发管理机构支持产业界氢能研发项目⁶。

1.5 绿氢替代化石能源具备技术可行性，能否成功有赖于经济可行性和监管支持

随着对氢能和燃料电池等领域研发的持续投入，过去阻碍氢能发展和应用的许多技术瓶颈已经突破。如在氢气生产端，基于质子交换膜技术的电解制氢系统能够以高能量密度和运行效率生产高品质氢气；在氢气储存和运输端，地质储存、储罐储存、天然气管网掺氢运输、液态有机载体运输等技术均在不断取得进步⁷。随着燃烧室设计的迭代，燃气轮机能以更高比例的氢气作为燃料，减少化石能源的使用。

目前，横亘在氢能广泛运用面前的最大挑战是成本较高，经济上的障碍亟待克服。一方面，低碳能源产氢成本高，同时氢能基础设施发展相对迟缓导致氢能存储、运输和终端利用成本居高不下，需要扩大市场规模，通过规模经济降低成本。另一方面，氢能相关技术研发成本高，阻碍技术进步。因此，需要一定的公共资金支持研发，而政府的战略指引、减少不必要的监管障碍、促成行业标准形成也同样至关重要。

2. 氢能产业对中国有着重要意义，需要在当前基础上进一步取得发展

2.1 氢能利用可以成为中国履行减排承诺，引领全球气候治理的重要抓手

⁶ 《从日韩氢能产业进展看我国氢能发展》，景春梅等，《能源杂志》，2019.

⁷ 国际能源署，《氢的未来——抓住今天的机遇》，p46-52.

2015年，国家主席习近平在巴黎气候变化大会上宣布，中国将于2030年左右使二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现，2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%-65%。此后，中国政府全面推进减缓气候变化工作，2018年碳排放强度比2005年下降45.8%，提前达到了2020年碳排放强度比2005年下降40%-45%的目标⁸。

尽管中国在提高能源利用效率、化解过剩产能、增加碳汇等领域取得了长足进步和骄人成绩，中国仍然是世界上最大碳排放国，承受着减排压力。推动清洁能源替代化石能源，尤其是以绿色氢能逐步替代高碳能源，将极大帮助中国履行减排承诺，也将成为中国引领全球气候治理的重要抓手。

2.2 发展氢能有利于改善中国能源结构，保障和提升国家能源战略安全

当前，中国煤炭消费占能源消费总量的比重为59%，紧随其后的是石油和天然气，合计占比27%，包括水电等在内的可再生能源虽然相比2010年增长六个百分点，但占比依然仅为13%。中国正稳步控制并减小对煤炭能源的依赖，但同时，中国石油、天然气对外依存度过高，分别已达到72%和46%。从能源安全角度看，是存在一定风险的。

在中国《能源法》立法进程中，明确可再生能源地位、优化能源结构、保障能源战略安全得到重视。推动包括绿氢和蓝氢在内的氢能产业发展，能在减少碳排放基础上减小对外国输入油气能源的依赖，有利于国家能源战略安全。

2.3 面对可再生能源供需错位现象，利用氢能作为载体可减少资源浪费

近年来，中国可再生能源发电发展迅速。截至2018年，中国可再生能源发电装机达到7.3亿千瓦，占全部装机的38.3%；可再生能源发电量达1.9万亿千瓦时，占全部发电量比重26.7%⁹。然而中国可再生能源生产和需求在地域和时限上存在较大错位，造成弃

⁸ 《中国应对气候变化的政策与行动2019年度报告》发布会，
<http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwbfhb/wqfbh/39595/42117/index.htm>

⁹ 《中国应对气候变化的政策与行动2019年度报告》，p13.

风弃光现象。尽管有所下降，2019年全国弃风电量仍达到169亿千瓦时，弃光电量46亿千瓦时¹⁰，造成资源浪费。

作为一种可以大量、长时间存储，并能够长距离运输的能源介质，氢能可以作为可再生能源弃电的存储载体，解决可再生能源地域供需不平衡和电力需求周期性波动等问题，从而提高整个能源系统的效率，有效避免弃风弃光等资源浪费。

2.4 布局氢能产业有利于放大中国创新效应，在国际标准制定中增强话语权

高质量的发展不再是以资源投入的堆砌驱动，而是依靠创新培育出的增长新动能驱动生产率的提高。近年来，中国的创新能力得到了快速提升，但仍需要完善国家创新体系，促进从基础科学到应用科学的全面创新。凭借着当前中国科技基础，积极布局氢能产业势必将推动包括生产、存储、运输、应用各个环节的全产业链科技创新。氢能全产业链的科技创新成果更能够外溢至其他相关产业，助力中国成为全球科技创新中心和产业发展高地。

囿于氢能产业发展成熟程度和国际合作的缺乏，目前氢能相关的国际标准处于“空窗期”。随着氢能成本进一步降低和产业规模扩大，氢能的国际贸易也将变得与石油、天然气贸易一样常见，各国将协调制定统一的氢能国际标准。更早布局氢能产业，拥有更多核心技术、更完备产业链的国家必然将在国际标准制定中有更大话语权。

2.5 中国出台氢能产业政策支持氢能项目落地，发挥先行先试示范作用

2019年，“推动充电、加氢等设施建设”首次写入《政府工作报告》，国家能源委会议提出探索推进氢能商业化路径。据统计，截至2019年底，已有36个地方政府出台支持氢能和燃料电池产业的相关政策¹¹。在上游生产端，四川、河北等地方政府针对电解水制氢出台了系列有关政策，对可再生能源制氢给予电价优惠补贴，例如四川省将电解氢纳

¹⁰ 国家能源局2020年一季度网上新闻发布会，http://www.nea.gov.cn/2020-03/06/c_138850234.htm

¹¹ 腾讯网：《全国已有36个地方出台氢能产业支持政策》，
<https://new.qq.com/omn/20191115/20191115A0CLI100>

入精准电价政策支持范围。下游应用端，武汉宣布打造氢能城市，计划至 2025 年拥有 300 个加氢站和 100 家燃料电池相关制造企业。

政府的支持推动了各界资本进入氢能产业，长三角、珠三角、京津冀等地区逐步实现了示范性应用。行业企业、科研机构等组成的联合机构已经能够在产业上下游标准制定等方面发挥作用，推动互利共赢和产业发展。

2.6 中国氢能市场发展迅速、充满机遇，同时也面临着问题和挑战

氢能 在工业、交通、能源等领域拥有广阔应用前景，且正在不断取得进展。当前，中国氢能市场规模大约为 2100 万吨，预计到 2030 年，市场规模有望达到 4300 万吨。但同时，中国氢能产业也面临着一些问题和挑战，需要政府加强顶层设计和政策支持，推动氢能产业健康稳定发展。

一方面，核心科技掌握不足以及产业规模化程度不高，导致成本居高不下，制约产业发展。另一方面，中国仍主要依靠煤制氢气，二氧化碳排放有悖于减排的目标，而使用碳捕获、利用和封存技术则会推高成本。因而，需要以经济上可行的方式利用和推广可再生能源产生的低碳氢能。

3. 基于中国国情和国际经验的氢能产业政策和发展路径建议

3.1 科学理性定位氢能在能源体系中的地位和作用，谋划中国氢能产业发展

氢能基础设施首次写入《政府工作报告》、国家能源委会议提出探索推进氢能商业化路径、《能源法（征求意见稿）》突出优先发展可再生能源等政策无疑都为市场打了“强心针”。如能在此基础上进一步明确氢能在构建清洁低碳、安全高效的国家能源体系中的

地位，为市场给出长期稳定的政策信号，则企业、投资者、消费者将更为确信氢能的长远前景，有利于中国氢能产业发展。

中央政府立足中国能源发展和减排规划，出台国家氢能战略规划、氢能产业战略和发展目标，深入梳理和挖掘氢能发展与各地方资源禀赋结合点，确立地区重点发展的氢能产业链环节，从而能比地方政府更有前瞻性的布局氢能产业链，使氢能产业发展更高效、合理、有序。

3.2 加强产业链上下游企业协同发展，促进氢能产业各环节均衡发展

当前，不同地方政府出台了符合地方特色和自身情况的氢能产业支持政策。尤其在氢能应用端，氢能源汽车与燃料电池产业受政策鼓舞取得快速发展。下阶段，可在继续鼓励产业下游的基础上，加大力度支持氢能产业上游环节的研发和应用，例如可再生能源电解制备绿氢、天然气掺氢、电制氨和电制甲醇的研发和应用。促进氢能产业上下游协同发展，不仅有利于形成规模经济和完备的产业链，也使中国国家能源安全更有保障、氢能产业更具国际竞争力和示范效果。

3.3 扩大国际交流合作，加快关键核心技术研发

进一步提升氢能国际交流合作有着三重意义：一是国际交流合作能帮助中国更深度参与到氢能国际标准制定之中；二是通过国际交流为将来日益成熟的氢能国际贸易做足准备；三是以国际交流合作促进关键核心技术研发。近年来，中国企业自主研发意识逐渐增强，在氢能产业链各个环节都获得了技术突破。但总体看，中国在氢能技术上与国际先进水平仍有一定差距。企业间的、企业与高校和研究机构之间的国际交流合作缺位，是制约中国攻克关键核心技术难关的因素之一。

3.4 立足氢能源需求端，培育产业发展新动能

氢能有着丰富广阔的应用场景，因而除了在供给侧支持产业发展外，可以从需求侧着手，更全面地挖掘氢能的价值和潜力，提高氢能使用率，培育新的增长点。促进氢能需求

并不局限于常见的为氢燃料电池汽车提供补贴等方式，也可以提高工业碳排放成本、规定可再生燃料义务，促使工业领域更多使用氢能等清洁能源。同样，出台更严格的尾气排放标准将使氢动力载具更具市场竞争力。

3.5 重视市场在资源配置中的作用，防范无序竞争和产能过剩

政府制定有力的产业政策组合，包括科研创新激励、招商引资、财政补贴等，达到引导资本和技术进入氢能产业的目的，这与使市场在资源配置中起决定性作用的观念并不冲突。但需要确保政策引导下，产业科研创新切实降低了成本，前期资本投入的确形成了市场规模效应而不再需要政策持续“输血”，即产业的后续发展是因为资源的优化配置。另一方面，重视市场作用也需要防范政策优惠过大，而导致资本和企业涌入氢能产业，形成无序竞争和产能过剩。

3.6 讲好氢能的“中国故事”，提升国际能源发展和治理体系中的影响力和话语权

在充分引导中国氢能产业健康发展的基础上，打造重点企业示范项目、氢能产业示范园区或中外合作标杆项目，利用双、多边平台讲好发展和应用氢能的“中国故事”，能更好体现出中国勇于肩负气候变化领域的大国责任，以及中国在国际清洁能源发展领域的领导力，进而提升中国在国际能源治理体系中的影响力和话语权。

4. 案例研究

4.1 西门子氢能应用和研发案例

西门子致力于打造氢能源一站式解决方案，包括氢能电解、压缩、储存，碳捕集和含氢电转燃料合成，氢燃料燃气轮机和燃料电池等等。西门子与不同国家和地区的氢能企业合作，共同研发、共享成果，成功使一大批氢能应用项目落地，推动当地氢能产业发展。

氢能生产端，在奥地利公用事业公司 VERBUND 协调之下，西门子开发的质子交换膜氢能电解槽正在建设，并将交付奥地利 Voestalpine 集团最大的钢铁生产基地投入运营。这一解决方案是欧盟旗舰项目“H2 FUTURE — 氢气满足低碳制造业价值链的未来需求”的一部分，该项目总容量 6 兆瓦，每小时利用可再生能源产生的电力生产 1,200 立方米的绿色氢气，是目前世界上最大、最先进的氢气试验设施。

氢能运输和存储端，2019 年 7 月，西门子、德国萨克森自由州和弗劳恩霍夫应用研究促进协会共同签署了一份谅解备忘录，以在德国格尔利茨的西门子工厂建立创新园区和初创公司加速器。创新园区的一个组成部分就是用于研究氢气的生产、储存和使用的氢气研究实验室。

氢能运用端，西门子与加拿大燃料电池生产商 Ballard、德国亚琛工业大学合作，研发具有更长寿命、更高能量密度和效率的，运用于火车的新一代氢能燃料电池。该研发项目获得德国联邦交通和数字基础设施部支持，有望在 2021 年取得突破性成果。

去碳化领域，西门子正进一步扩大其在德国格尔利茨的去碳化工业流程领域的研发活动。西门子研究人员将探索如何利用氢技术减少能源密集型行业的二氧化碳排放量，并致力于开发新的气候友好型解决方案。

含氢电转燃料领域，西门子与英国研究机构合作研发、建立和运行一家规模较小但设施完整的电制氨厂，并探索通过往复式发动机进行含氢电转燃料再电气化。西门子并与德国公用事业公司 Stadtwerk Hassfurt、慕尼黑工业大学、埃朗根纽伦堡大学开展合作，使用新合成工艺生产电制甲醇。

4.2 西门子在中国的氢能应用项目、与中方合作共赢案例

2019 年 9 月，在中国、德国两国总理共同见证下，西门子与中国国家电投集团在北京签署《绿色氢能发展和综合利用合作谅解备忘录》。双方将聚焦氢能供需两侧关键技术的联合研发与应用，重点围绕氢能技术联合创新研发、2022 年北京冬奥会绿色制氢科创

项目、氢能产业能力培育和标准制定、第三方市场合作等领域开展深度合作，力争打造中德绿色氢能科创示范项目新高地。

2019年10月，继西门子与成都经开区（龙泉驿区）签约中德智能网联及新能源汽车工程中心、西门子全球仿真及测试技术（成都）研发中心项目后，西门子再次与成都经开区达成合作，落户氢能研发及产业化项目，拟建设兆瓦级绿色水电解制氢厂，设立西门子氢能创新技术中心和氢能测试中心。

长久以来，西门子践行为后代提供清洁能源，推动能源转型和可持续发展的承诺。今后，西门子愿以更大的热诚与中国政府和合作伙伴一起，让能源更“氢”洁，让世界更美好。