

聚焦全球挑战

氢燃料电池技术 在中国的开发和 应用进展报告

解洪兴 *

彼得·奥克森 (Peter Oksen) **

郭星星 *

何新 *

边悦 *

* 中关村创蓝清洁空气产业联盟，北京

**WIPO GREEN，日内瓦

联合国开发计划署 (UNDP) 驻华代表
处王婉伊和中国佛山环境与能源研究院
王子缘对本文亦有贡献



内容提要

氢能作为一种能源形式和储存介质，在气候变化和环境影响方面具有重要的潜在优势。然而，目前利用的氢能几乎完全基于化石燃料，因此不是气候中性或有益于应对气候变化。绿色氢气生产取得了重大的技术进步，但其成本仍然高于基于化石燃料的氢气生产。氢能使用技术也正在开发中，但可实现规模化的技术却寥寥无几，因此，氢能作为一种清洁能源在很大程度上仍然属于未来的技术。

然而，由于氢能具有巨大的吸引力，在全球范围内，许多政府制定了氢能开发计划，并与私营部门携手对氢能的研究与开发进行了大量投资。

在中国，氢能和燃料电池预计将为实现 2060 年国家碳中和的官方承诺发挥重要作用，并已被纳入多项经济发展计划和政策。中国制定了 100 多个规范氢能生产和使用的标准，这是实现规模化的重要先决条件。近年来，该领域的创新发展突飞猛进，这反映在目前中国的专利申请在全球占领先地位。中国的多个省级政府和工业城市集群已在着手实施雄心勃勃的计划，以发展和促进氢能在交通运输（特别是重型和长途运输）和工业中的应用。

尽管氢能的规模化和主流化面临着技术和经济性障碍，但有明显的迹象表明，氢能的潜在优势具有巨大的吸引力，政治意愿和经济手段都已到位，使氢能成为其他新能源和可再生能源的重要补充。

导言

氢能在许多国家、研究机构和公司的政治和创新议程上占有重要地位。它是一种用途十分广泛的储能介质，在促进向碳中和能源转型中具有巨大潜力。目前，氢能主要来源于化石燃料，规模化使用氢能的技术和经济挑战仍然相当大。本报告概述了当前国际上的氢能和燃料电池技术趋势，并重点回顾了氢能和燃料电池在中国这个全球最大应用市场的进展。近年来，中国积极推动氢能技术的研究和开发（研发）、示范和商业应用。本报告对当前中国氢能和燃料电池发展的政策、规划、标准、专利、试点项目和示范活动进行了解析。

氢能和燃料电池技术——国际趋势和潜力

氢能作为储能介质的优势

氢能作为一种能源在全球范围内的发展正在加快，并在商业和政策上得到大力推广。有多项技术可以发挥氢能的优势。然而，为了使氢能在经济上具有吸引力，需要对其进一步开发和规模化（IEA，2019）。这就为评估氢能作为能源和储能介质在未来所发挥的作用带来了不确定性。

氢是一种无色无味的气体，是地球上和宇宙中含量最多的元素。它的能量密度高，可与氧气燃烧并产生热能，剩余物质为水，因此它是一种燃料，在最终使用过程中没有二氧化碳（CO₂）或其他有害的气体排放。例如，在交通部门，这可以帮助改善大城市的空气质量。它是一种潜在的清洁和可无限供应的能源，也被用于许多化学和其他行业。遗憾的是，在自然界中不存在氢单质，因此必须通过生产才能得到氢气。¹

清洁和会产生污染的氢气：绿色、灰色、棕色和蓝色

目前生产的氢气有 95% 以上来源于化石燃料，其中天然气是最主要的来源。全球开采的约 6% 的天然气和 2% 的煤炭被用于生产氢气（IEA，2019）。天然气是最便宜的氢气来源，蒸汽甲烷重整（SMR）是最常见的生产方法。这通常被称为灰色氢气。该工艺在 700 摄氏度至 1100 摄氏度的温度下进行，需要消耗大量能源。此外，其副产品包括二氧化碳和其他温室气体。生产一吨氢气可能会产生超过 9 吨的二氧化碳，这接近于汽油燃烧所产生的排放水平（一公斤氢气的能量相当于一加仑汽油，后者的二氧化碳排放量约为 9 公斤）（Rapier，2021）。煤的气化在一些国家是一种广泛的氢气来源，通常被称为棕色氢气。煤炭利用水和热量产生合成气，这是一种二氧化碳、一氧化碳、氢气、甲烷和乙烯的混合物。这种已延续了数百年的工艺会产生大量污染物，所生成的物质通常被称为“城镇燃气”（Farmer，2020）。

目前，氢气生产所产生的二氧化碳排放量相当于印度尼西亚和英国排放量的总和（IEA，2019）。因此，目前的氢能利用没有实现碳中和，因而可以将其视为与石油、煤炭和天然气同属一类的化石燃料。

然而，生产碳中和或绿色的氢气是完全可能的。这一领域的技术正在迅速发展，尽管其成本仍然高于天然气。相比使用天然气作为原料的氢气生产方法，可以通过电解将水分解成为氢和氧，其中阳极产生氧气，阴极产生氢气。这个过程需要消耗大量电力，但如果这些电力来自可再生能源，那么氢能将可能或接近达到碳中和。富含可再生能源的地区，如拥有太阳能的中东、北非、南美和澳大利亚，可以成为氢气生产地区。绿色氢气最早至 2030 年就可达到与灰色氢气同等的成本，这是有可能实现的目标（氢能委员会和麦肯锡，2021）。欧洲联盟的目标是其电解槽装机容量到 2030 年达到 40 吉瓦，这表明欧盟在快速发展绿色氢气方面具有强烈的政治意愿。预计到 2030 年，中国生产的所有氢气中约有 17% 是绿色氢气，年产绿色氢气总量将超过 1800 万吨（中国氢能源及燃料电池产业创新战略联盟，2019）。

尽管如此，绿色氢气仍需要大幅增产，才能与灰色和棕色氢气竞争。对绿色氢气和灰色氢气之间平衡点的乐观计算包括提供碳税等政策支持举措（氢能委员会和麦肯锡，2021）。

另一个选项是在氢气生产过程中用沼气代替天然气。沼气最常见的生产方法是通过废弃生物质的厌氧消化、气化或提取垃圾填埋场气体来生产，但所产生的物质必须升级为甲烷含量与天然气甲烷含量相当（>90%）的生物甲烷。这一过程也需要能源，但其效率可以达到相当高的水平，沼气中包含的高达 87% 的甲烷可被分离出来。然后可以使用 SMR 工艺从生物甲烷中生产纯氢，其方式与使用天然气的工艺类似（Saur 和 Milbrandt，2014）。还可以将沼气直接转换为氢气。一个由欧盟资助的试点工厂正在意大利运行。它使用一种基于钌的膜反应器技术（化学转换和膜分离联合工艺），可以在 500 摄氏度左右的相对低温下生产氢气，转换率达 70%（CORDIS，2020）。

1 不同于石油、煤炭、风能或太阳能，氢气不是一次能源，而是更类似于电力等能源载体或介质。在本报告中，我们不赘述这一区别，因为它不会产生任何实际影响。因此，我们把氢既作为一种能源，也作为一种储存介质。

通过在天然气开采过程中使用碳捕获和储存 (CCS) 技术, 可以生产低碳氢气。CCS 技术可以去除对气候有害的副产品。尽管仍需要为此开展大量开发活动, 但有人预计低碳氢气到 2030 年就可以实现与灰色氢气的商业竞争 (氢能委员会和麦肯锡, 2021)。然而, 其他人则不那么乐观 (Barnard, 2021)。使用 CCS 技术从化石燃料生产的氢气通常被称为蓝色氢气。

本报告主要侧重于关于氢能利用的现有技术和正在开发的技术, 而非氢气的生产过程, 因而没有过多涉及有关氢能供应侧的内容。但应注意的是, 本文所讨论的技术是否为绿色技术或碳中和技术取决于其使用的氢能是否环保或达到碳中和。因此, 基于氢能的技术本身并不一定是绿色技术。

氢能技术

氢能在多个经济部门有很大的潜力。一般来说, 它作为储存介质或燃料进入能源系统。可以通过直接燃烧或燃料电池的电化学转换来提取能量。它可以作为气体或以液体形式运输, 类似于液化天然气。膏状氢燃料也正在开发中, 这可能会扩大氢能在交通运输中的应用 (Burgess, 2021)。这种形式的氢气以化学的方式被结合在稳定的固体氢化镁中, 并且可以通过在一个受控过程中添加水来释放。与目前基于电池的电动汽车相比, 以氢能作为燃料的重型和长途运输以及个人车辆具有更佳的燃料补给频次和续航里程。氢能在于储存过剩的可再生能源 (如风能或太阳能) 方面也具有相当大的潜力。过剩能源可作为水电解工艺的原料, 由此产生的氢气可用于储存、运输和消耗。

直接燃料

氢能可以作为燃料用于多个行业。它可以用在燃气轮机中来发电。在建筑中, 它可以在已有的天然气管网中与天然气混合用作家用燃气。它还可以用作内燃机的燃料, 这对于卡车等重型车辆尤为相关, 同时氢能也越来越多地被视为航空和航运的替代性低碳燃料 (IEA, 2019)。航运产生的温室气体排放占全球温室

气体排放总量的 2%, 其中 80% 来自长途船只。目前, 实现航运零排放的最经济的途径是在内燃机中使用氨作为燃料。氨可以通过哈伯 - 博施制氨法将空气中的氮气加入氢气来制备。与液态氢不同, 液态氨不需要制冷到极端温度。它具有更高的能量密度, 因此运输效率高。然而, 要想所有长途航运都使用氨作为燃料, 则需要目前全球的氨产量增加三到四倍 (氢能委员会和麦肯锡, 2021, 雅苒, 2021)。

燃料电池

燃料电池通过电化学法, 从氢气和氧气中产生电力, 没有任何中间储存或燃烧。据报道, 这一方法的效率是内燃机和涡轮机的两倍 (Nahar 等, 2017), 废物是水, 某些类型的燃料电池还会产生二氧化碳。

燃料电池的功能类似于电池, 但需要以氢气和氧气 (空气) 的形式持续供应燃料。燃料电池可扩展, 可以作为小型、低瓦数的电源装置 (如家用或车用), 或作为大型工业储能装置或兆瓦级发电厂。该技术自 20 世纪 60 年代以来一直在使用, 因此相对成熟。它的一个著名应用实例是在美国国家航空航天局 (NASA) 的航天飞机计划中被用于提供机载电力和饮用水。

与电池一样, 燃料电池由阳极、阴极和电解质组成。它们根据所使用材料的不同存在多种形式。在某些情况下, 电极 (阳极和阴极) 由铂金等贵金属制成, 这使得成本增加。电解液可以是固体或液体。电化学反应产生热量, 一些系统在高温下运行 (700-1000 摄氏度), 而其他系统在远低于 100 摄氏度的温度下运行。能量转换效率从 60% 到 70% 不等, 但如果产生的热量在热电联产系统中得到有效利用, 则能量转换效率可提高到 80% 以上 (Hydrogen Europe, 2021)。最常见的燃料电池类型有质子交换膜燃料电池 (PEMFC)、固体氧化物燃料电池 (SOFC)、碱性燃料电池 (AFC)、熔融碳酸盐燃料电池 (MCFC) 和磷酸燃料电池 (PAFC), 它们各自具有不同的效率、成本和维护特点。

图 1-PEMFC 燃料电池的工作原理
(Hydrogen Europe, 2021)

PEMFC – 质子交换膜燃料电池

- 电解质: 水基酸性聚合物膜
- 亦称聚合物电解质膜燃料电池
- 两个电极均使用铂基催化剂
- 通常以氢气为燃料
- 在相对较低的温度下运行 (低于100°C)
- 高温型燃料电池使用矿物酸电解质, 最高可在200°C运行
- 电力输出可以变化, 是车辆的理想选择

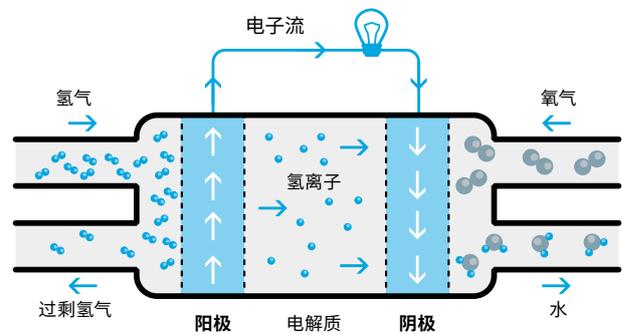
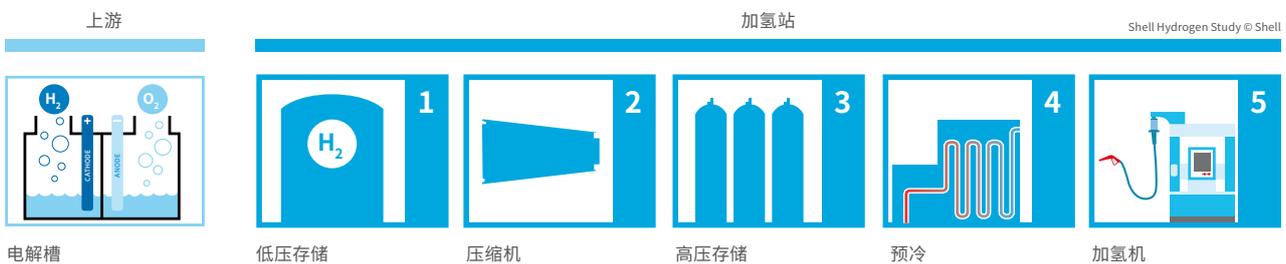


图 2- 加氢过程
(Hydrogen Europe, 2021)



PEMFC 是最常用的汽车燃料电池。它采用一种聚合物膜作为电解质以及含有铂金的碳电极。后者使这种电池相对昂贵, 但它可以回收, 并且人们正在研究可能会降低成本的铂金替代品。这种电池只需氧气和纯氢作为燃料, 且只产生水这一种剩余物质。它们在 80 摄氏度左右的低温下运行, 可以满足车辆在初始阶段对高密度动力的高需求 (图 1)。在使用纯氢驱动电动机的燃料电池电动汽车 (FCEV) 中, 除了水以外没有任何尾气排放。

为了使氢能得到广泛采用, 必须建设造价不菲的加气基础设施。加气不像汽油那样简单。原则上, 氢气可以通过增加一个电解槽 (承载水电解工艺的装置) 以及一个电源和水源在现场生产 (图 2)。这样就不需要对氢气进行液化和运输到加气站。但是, 所产生的氢气在加注给车辆之前必须进行压缩, 压缩过程产生的热量随后必须通过冷却工艺去除。严格来说, 液化并不是运输的必要条件, 但可以提高效率。液化过程包括压缩和冷却到低于 240 摄氏度, 这需要大量的能量。加气系统的所有组件都需要能源和设备, 这使得加气相对复杂和高成本。

目前的国际趋势和潜力

尽管存在经济和技术挑战，氢能的发展正在加快。由于它具有许多用途和多功能性，特别是作为一种潜在的清洁、可无限供应和气候变化中立的能源，许多国家的私营和公共部门正在进行密集的研发。寻找绿色氢气的替代性和低成本生产方法已成为一个高度优先事项，因为绿色氢气将是氢能技术规模化的一个主要卖点。各国政府正越来越多地采取氢能政策，到 2021 年初，已有超过 30 个国家制定了氢能路线图。在全球范围内，各国政府承诺为氢能开发提供超过 700 亿美元的公共资金（氢能委员会和麦肯锡，2021）。产业界开始注意到氢能的潜力，一些氢能产业公司经历了股票市场价格的飙升，引起了人们对金融“氢能泡沫”的担忧。但行业大公司进入该领域表明氢能存在真正的潜力，并且各方期望在不久的将来获得市场收益。

中国、韩国、日本和德国经常被认为在开发氢能解决方案方面处于领先地位，但澳大利亚、法国、美国、英国和加拿大也很活跃（彭博社，2021）。欧洲的项目数量最多，尤其是大型工业规模的项目（氢能委员会和麦肯锡，2021）。2020 年，欧盟委员会发布了至 2050 年的氢能战略和路线图，其中概述了雄心勃勃的绿色氢气生产和使用计划。

发展呈现多样化，多个国家齐头并进

日本多年来一直致力于向氢能经济过渡。丰田 Mirai 是第一辆商业化量产的氢能 FCEV，于 2014 年上市（WEF，2018）。这款中型汽车的续航能力为 500 公里，其最大的市场是美国。日本还拥有世界上最大的装机容量达 10 兆瓦的水解工厂，并由附近的一家 20 兆瓦光伏工厂提供电能（Godske，2021b）。

2020 年，韩国发布了氢能经济路线图，设想到 2040 年生产 620 万辆氢能和燃料电池汽车，并建造 1200 个加气站（Engie，2020，彭博社，2021）。

印度计划在 2021 年对绿色氢气生产进行公开拍卖，以推动绿色氢气生产，可能以此作为一些行业强制性最低绿色氢气采购的一部分。从印度最近的招标中可以看出，随着太阳能发电成本的下降，绿色氢气的电解工艺在经济上变得更加可行。公开拍卖可以帮助降低价格，就像风电和太阳能发电的情况一样（Saurabh，2021）。

智利已经启动了第一个绿色氢气国家招标，截至 2021 年 9 月，有 10 家公司投标。中标者将获得高达 3000 万美元的政府项目融资。拥有巨大太阳能潜力的智利正在制定一项战略，计划通过海上油轮以氢能的形式“出口阳光”。而这可以帮助降低全球绿色氢气的价格（全球能源奖，2021）。

德国有超过 30 个电转气示范项目正在进行中。氢能被认为是未来可持续发展的关键技术，德国政府已拨款 70 亿欧元，以支持直至 2030 年的氢能发展（Godske，2021a）。2021 年初，联邦教育和研究部已拨出 7 亿欧元来支持三个主要项目，即电解装置批量生产、利用离岸风车直接离网生产氢能以及开发储存氢能的高压罐和管道（BMBF，2021）。

世界上迄今为止最大的电解厂正在莱比锡附近建设。它的计划装机容量为 24 兆瓦，将主要通过管线为当地产业提供氢能。在汉堡，一个更大的 100 兆瓦工厂将于 2025 年完工（Godske，2021b）。

在德国北部，一列由氢燃料电池驱动火车在 100 公里长的轨道上运行。该列车由法国铁路运输制造商阿尔斯通公司建造，一罐氢气的续航里程达 1000 公里，不直接使用的能量被储存在电池中（WEF，2018）。

2020 年，类似的列车在荷兰格罗宁根测试成功，表明它可以成为在同一路网运行的柴油列车的完全可持续的替代品（阿尔斯通，2021）。

奥地利于 2019 年开设了一个 6 兆瓦水解厂 (Godske, 2021b)。

巴黎有 600 辆燃料电池出租车。

丹麦拥有世界上第一个全国性加氢站网络，现在有一半的人口居住在距任一加氢站 15 公里的范围内 (彭博社, 2021)。丹麦能源巨头沃旭正在领导一个联合体，计划在 2030 年前使哥本哈根氢气生产的装机容量达到 1.3 吉瓦 (Godske, 2021b)。丹麦大型石化公司哈尔德托普索公司计划修建一个新的工厂来生产电解装置。该工厂将每年生产装机容量达 500 兆瓦的机组。欧盟决定在 2024 年前支持建造至少 6 吉瓦的电解装

机容量，在 2030 年前支持建造至少 40 吉瓦，这是丹麦发展背后的动力之一 (Andersen, 2021)。但丹麦尚未制定一个全面的氢能政策和路线图。

在挪威，大型化肥公司雅苻正与挪威公用事业公司国家电力联手，利用水电在波斯格伦建造一个大型商业氨厂。该项目计划利用电解制氢工艺来生产无排放的氨，以用作船舶燃料、肥料，并进行工业应用。重新利用现有氨厂使该项目的资本投资大幅减少，并且该项目可以为具有商业竞争力的绿色氨铺平道路。除了生产氨这一重要的出口产品外，该工厂还可能有助于该国的海运业获得早期竞争优势 (Casey, 2021, 雅苻, 2021)。

丹麦埃斯比约的汽车加氢站，2021 年 3 月
(图：Peter Oksen)



中国十分重视氢能及燃料电池的发展

在中国，氢能和燃料电池已经成为了政府、企业以及研究机构的重点关注领域。作为全球最大的电动汽车市场(到2020年累计约为全球市场规模的50%) (IEA, 2021)，中国也将氢能和燃料电池视为关键的战略能源创新方向。中国的低碳发展承诺以及大气污染防治行动加速了氢能及燃料电池的发展，相关领域的科技研发和应用也在中国得到了快速的推进。在2018年，中国申请人提交了近4000件燃料电池相关的专利申请，在数量上超过了一直主导燃料电池专利申请的日本。

碳达峰及碳中和目标的驱动

2020年9月，中国国家主席习近平在联合国大会上提出了中国将在2030年实现碳达峰、2060年实现碳中和的宏伟目标。在2019年，中国的清洁能源生产量约占一次能源总生产量的四分之一（国家统计局，2020a）。中国需要降低对化石能源的依赖，提高清洁能源的占比。氢能作为一种能量密度高、零排放的新能源已经引起了中国各级政府的重视，尤其是氢能在燃料电池中的应用。此外，在钢铁、化工原料、高品位热力需求等领域的深度脱碳过程中，可再生能源与电气化也难以取代化石燃料的作用，而氢能可以扮演非常重要的作用。

未来的中国，随着大比例间歇性可再生能源电力接入电网，保证电力系统的安全稳定运行则需要一系列技术创新的支撑，如大规模储能技术、智能电网技术、分布式可再生能源等。利用氢燃料作为跨季节、跨地区的储能手段将会拥有较大的潜力。相关预测显示，到2050年氢能在中国能源结构的占比或超过10%（中国电动汽车百人会，2020）。

交通

在交通行业，以电力和氢能取代化石燃料是一条必经的深度脱碳路径。2020年，中国汽车工程学会发布了《节能与新能源汽车技术路线图2.0》，该路线图提出计划在2025年实现10万辆燃料电池汽车的运行，在2035年将燃料电池汽车的保有量提升至100万辆。截至2020年底，已有数百款燃料电池商用车进入国家工业和信息化部发布的《新能源汽车推广应用推荐车型目录》，综合来看，当前燃料电池系统及电堆技术已可以满足车用要求，燃料电池车辆性能也已满足商业化推广的需求，燃料电池客车、卡车也进入了示范运行阶段，未来随着技术成熟和成本的降低，氢燃料电池车有望成为中国交通领域的重要组成部分。

工业

在中国的工业部门中，氢气同样拥有较大的减碳潜力。在许多行业尤其是钢铁行业中，氢气可以作为清洁燃料和清洁原料应用。2019年，中国的粗钢产量占全球的50%以上（World Steel Association, 2020）。在生铁和粗钢的生产过程中，以基于氢气直接还原技术取代焦炭是钢铁生产过程深度脱碳的革命性技术。

建筑

2018年，包括主要建筑材料生产（钢铁、水泥、玻璃等）、建筑施工和建筑运营在内的建筑领域相关能耗占中国总能耗的46.5%（包括一次能源消耗和二次能源能耗），同时建筑领域相关二氧化碳排放量占比也达到了全国二氧化碳排放总量的51%（中国建筑节能协会，2020）。因此，提高建筑领域的能源效率并在建筑领域使用清洁可再生能源，是实现中国的碳中和目标的重要一环。而氢能在建筑领域同样拥有较为广阔的应用潜力。

空气质量改善目标的推动

在碳中和目标的推动作用以外，空气污染防治的需求同样会加速中国氢能及燃料电池的发展。在2013年，中国启动了蓝天保卫战，以前所未有的力度，开展空气污染防治。中国的空气质量总体较之前得到了显著的改善。从全国的监测数据来看，被监测城市²的PM2.5平均浓度从2013年的72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至了2020年的33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （生态环境部，2014，生态环境部，2021）。其中北京市的PM2.5年均浓度从2013年的89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （北京市生态环境局，2014）降至2020年的38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （北京市生态环境局，2021），降幅约57%。然而，空气污染仍然是中国城市面临的主要环境挑战之一。截止到2020年，全国337个地级及以上城市中仍有135个城市的环境空气质量超过国家标准，达标率约为60%（生态环境部，2021）。

在中国的大城市中，空气污染有多种来源，而机动车往往成为其中影响最大的污染源。以上海和北京为例，移动源的污染贡献占比分别达到了29%（上海市环境监测中心，上海市环境科学研究院，2016）和45%（北京市生态环境局，2018），机动车减排压力依然较大。目前，推广新能源汽车已经成为了许多城市一项重要的空气质量改善措施。

除颗粒物外，机动车同样是氮氧化物的重要排放源（如图4所示）。氮氧化物通常是由氧气和氮气在内燃机中反应所产生的，且容易导致烟雾和酸雨的形成。此外，氮氧化物还是一种重要的温室气体。颗粒物通常指在空气分散的固体或液体微粒，当体积较大或颜色较深时，人们可以通过肉眼观测到颗粒物。从全国范围来看，2019年由机动车排放的氮氧化物占中国氮氧化物排放总量的51%（生态环境部，2020a）。其中，重型车辆尤其卡车的氮氧化物和颗粒物排放占比最高，分别达到74%和52%（生态环境部，2020b）。现有的机动车电气化手段，由于所需的电池重量可能过大等因素，无法满足重型车这种长距离和大载重量的应用场景，因此拥有更高能量密度的氢燃料电池车可成为减少大型车辆排放的一个重要解决方案。

图3-2015年上海市（左）和2018年北京市（右）PM2.5源解析结果。其中扬尘包括道路扬尘及裸地扬尘，生活面源是指生活中包括烹饪、取暖、喷涂等来源。

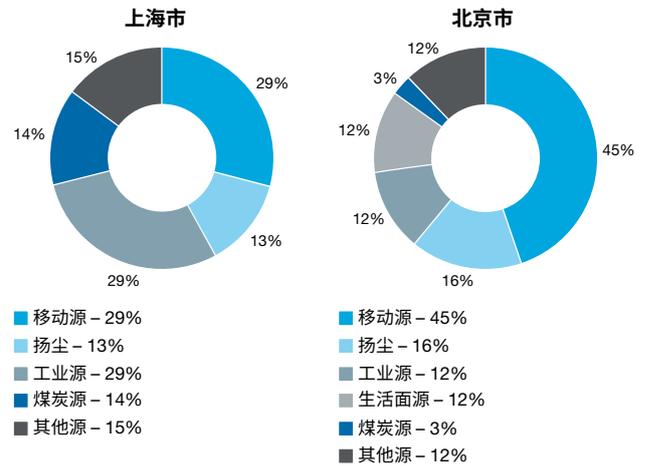
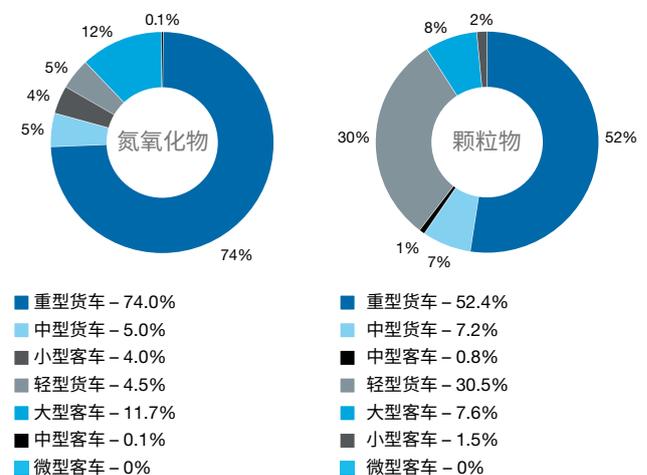


图4-2019年中国各类型车辆排放氮氧化物及颗粒物占比



2 2013年，有74个城市被纳入《空气质量新标准第一阶段监测实施方案》进行监测。2013年之后，全国338个地级及以上城市被纳入了监测范围。

专利视角下的中国燃料电池领域发展

燃料电池产业的发展离不开相关技术的研究与创新。近年来，在国家一系列重大项目的支持下，中国的燃料电池技术取得了一定的进展。

锂电 VS 燃料电池

目前替代燃油车的主流技术路线是锂电池车和燃料电池车。在中国，自“十城千辆”工程实施以来，中国的锂电池新能源电动车得到了较好的发展，已经从应用示范阶段进入到了商业化发展过程中。到 2019 年底，中国锂电池新能源汽车保有量已达到约 380 万辆，约占汽车总保有量的 1.5%，且连续两年增量超过 100 万辆（生态环境部，2020b）。目前，锂电池汽车的整车成本相对于燃料电池车较低。然而，对于行驶里程长、燃料加注时间短、功率需求大的应用场景（如重型卡车），具有更高能量密度的氢燃料电池车则更具有优势和发展机遇。



锂电池电动汽车
(图：Getty Images / athima tongloom)

专利申请数据的统计可以作为评价各技术领域创新水平的粗略指标，本节对中国一段时间以来燃料电池领域专利的申请进行了基本分析。从图 5 中可以看出，与日本和美国相比，中国申请人在燃料电池方面起步较晚³。然而到 2018 年，中国申请人在燃料电池领域的年度专利申请量已经超越了日本成为了世界第一。专利数据分析会受到其他因素的影响，如国家专利政策和流程、企业或大学的专利战略等，但图 5 的数据可以指示性的表明，虽然中国燃料电池创新起步相对较晚，但目前的创新热度已经赶上甚至超过了其他正在开展燃料电池创新的国家。

作为潜在的世界上最大的燃料电池市场，中国吸引了国际上多家燃料电池行业巨头的积极布局。如图 6 所示，1980-2019 年间，在中国国家知识产权局受理的燃料电池专利申请量最多的 10 家机构中，有 6 家是外资企业，其中包括丰田、松下、日产三家日本燃料电池领域的领跑企业，这也充分显示了中国市场在全球的重要性。结合图 5 分析，可以看出近年来中国的创新者在燃料电池领域扮演着越来越重要的角色。

案例一：中科院大连化学物理研究所

中科院大连化学物理研究所是中国最早开展燃料电池研究的科研机构之一，承载了多项国家氢能及燃料电池重点研发项目。中关村创蓝清洁空气产业联盟分析，结合至 2020 年底的公开数据，大连化物所已在燃料电池关键材料、核心部件、电堆系统等方面申请专利 900 余件，是中国本土燃料电池领域专利申请数量最多的机构，主导制定了半数以上的燃料电池国家标准，为推动中国燃料电池产业发展作出了重要贡献。目前，大连化物所在质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 关键材料及核心部件、燃料电池系统、储氢材料等多个氢能及燃料电池细分技术领域正在持续开展技术攻关（大连化物所，2021）。

3 该分析由中关村创蓝清洁空气产业联盟的分析基于智慧芽 (PatSnap) 的专利数据库开展。图 6 显示了来自不同国家的专利申请人的申请情况。各国的申请人包括各国本土的机构申请者及个人，这些申请人在海外申请的专利也会被统计在该国的数据中。



中国的燃料电池大巴 (图: Getty Images)

图 5-1980 至 2019 年间前十位技术来源国专利数量趋势

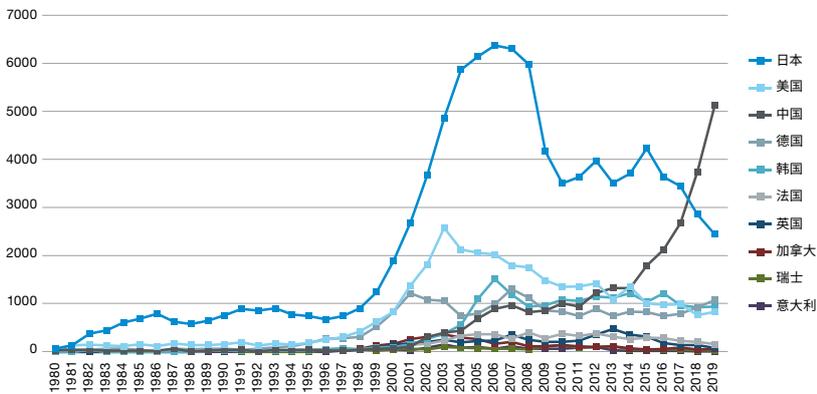
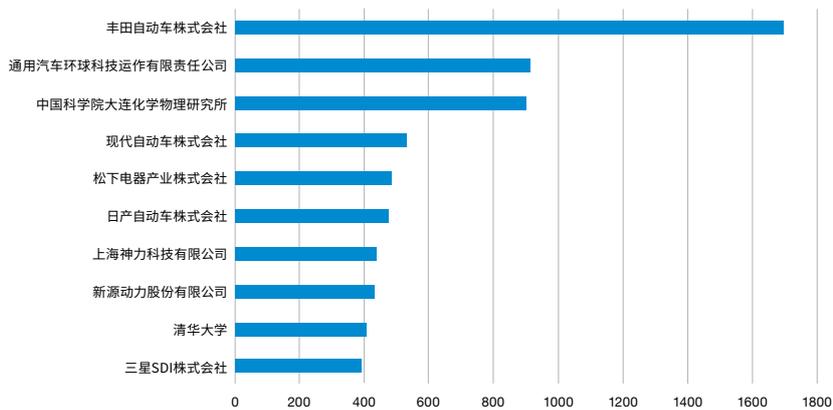


图 6-1980-2019 年间在华申请人排名前十名



中国氢能与燃料电池发展概况

现状

近年来，尽管氢能和燃料电池的技术及应用所受到的关注迅速增加，但燃料电池电动汽车在全球的部署仍处于起步阶段。截止到2020年底，全球已上路的燃料电池汽车约有35000辆，其中中国的保有量为8500辆，主要以客车和物流车为主（IEA,2021）。截至2021年年中，中国已在全国范围内建成超过140座加氢站（王子缘,2021）。在政策层面上，截止到2021年5月中国政府已在超过30个国家级发展规划中提到了支持氢能及燃料电池产业的建设与发展，在中国大陆的31⁴个省级行政区中，已有13个发布了相应的规划（创蓝联盟，2021）。伴随着相关支持政策的密集出台，产业投资及支持力度的不断增加，中国氢能和燃料电池行业有望快速发展。

2019年，中国年产氢量约2200万吨，约占世界氢产量的三分之一，已经成为了世界第一大产氢国（中国经济网，2019）。在中国目前的产氢结构中，绿氢的占比较少，但中国的西南、西北等地拥有丰富的可再生水力、风电、光伏的能源储备，预计未来以可再生能源发电，并进行电解水制氢的路线将会有巨大的发展潜力。

2020年12月，为了更好的落实“碳达峰、碳中和”的愿景，中国产学研合作促进会发布了全球首个“绿氢”标准：《低碳氢、清洁氢与可再生能源氢的标准与评价》。该标准定义了生产各种类型氢气的碳排放限值，例如清洁氢及可再生氢的排放限值为小于等于4.9kgCO₂e/kgH₂。以下将会展示部分绿氢生产的案例。

案例二：

兰州新区液态太阳能燃料合成示范项目

作为全球首套大规模太阳燃料合成示范项目，该项目采用氢气和二氧化碳制甲醇的技术路线，其中氢气由太阳能电解水制得，二氧化碳则通过工业排放收集。项目由太阳能光伏发电、电解水制氢、二氧化碳加氢合成甲醇三个基本单元构成，总占地约289亩，总投资约1.4亿元。项目配套建设总功率为10MW光伏电站，为两台电解水制氢设备提供电力，总功率为2000标方/小时。

该项目基于中科院大连化学物理研究所李灿院士团队开发的两项关键创新技术。第一项关键技术采用碱性电解水制氢技术，制造了规模化的电解水制氢设备，单位制氢能耗降低至4.0-4.2度电/方氢，大幅降低了电解水制氢的成本，是目前世界上规模化碱性电解水制氢的最高效率。第二项关键技术是固溶体双金属氧化物催化剂（ZnO-ZrO₂），该催化剂可实现二氧化碳高选择性、高稳定性加氢合成甲醇，催化剂运行3000小时性能衰减小于2%（大连化物所,2020）。

4 本报告关于中国大陆的统计工作不包括中国香港和澳门。

国家政策分析

近年来，中国各级政府对氢能的重视程度不断提高，对相关产业发展及技术研发的支持政策也在不断出台。目前中国已在包括国家整体规划、能源发展、技术创新等多项政策中明确提出要支持氢能及燃料电池产业的发展。各相关部委也在不断跟进制定具体的产业政策规划与指导意见。

从时间上看，目前中国氢能及燃料电池政策的出台主要分为三个阶段，2000年到2014年中国开始将氢能及燃料电池列入发展规划之中。2014年到2018年主要处于氢能产业规划阶段，在此期间中国发布了多项与氢能产业相关的重要国家政策，其中由国务院发布的《能源发展战略行动（2014-2020年）》正式将

“氢能与燃料电池”作为能源科技创新战略方向。自2019年开始，中国进入了氢能与燃料电池的产业推动阶段，期间由工信部发布的《新能源汽车产业发展规划（2021-2035年）》提出要继续推广氢燃料电池车，推进加氢基础设施的建设，此外由国家能源局发布的《中华人民共和国能源法（征求意见稿）》则首次在国家层面将氢能列为能源范畴。进入2021年，相关政策频繁出台，2月《国务院关于加强建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》中提出加强新能源汽车充换电、加氢等配套基础设施建设；3月在《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》中氢能与储能被纳入战略性新兴产业。图7展示了中国部分重点政策的发布时间线。

二氧化碳加氢制甲醇装置
(中国日报, 2020)

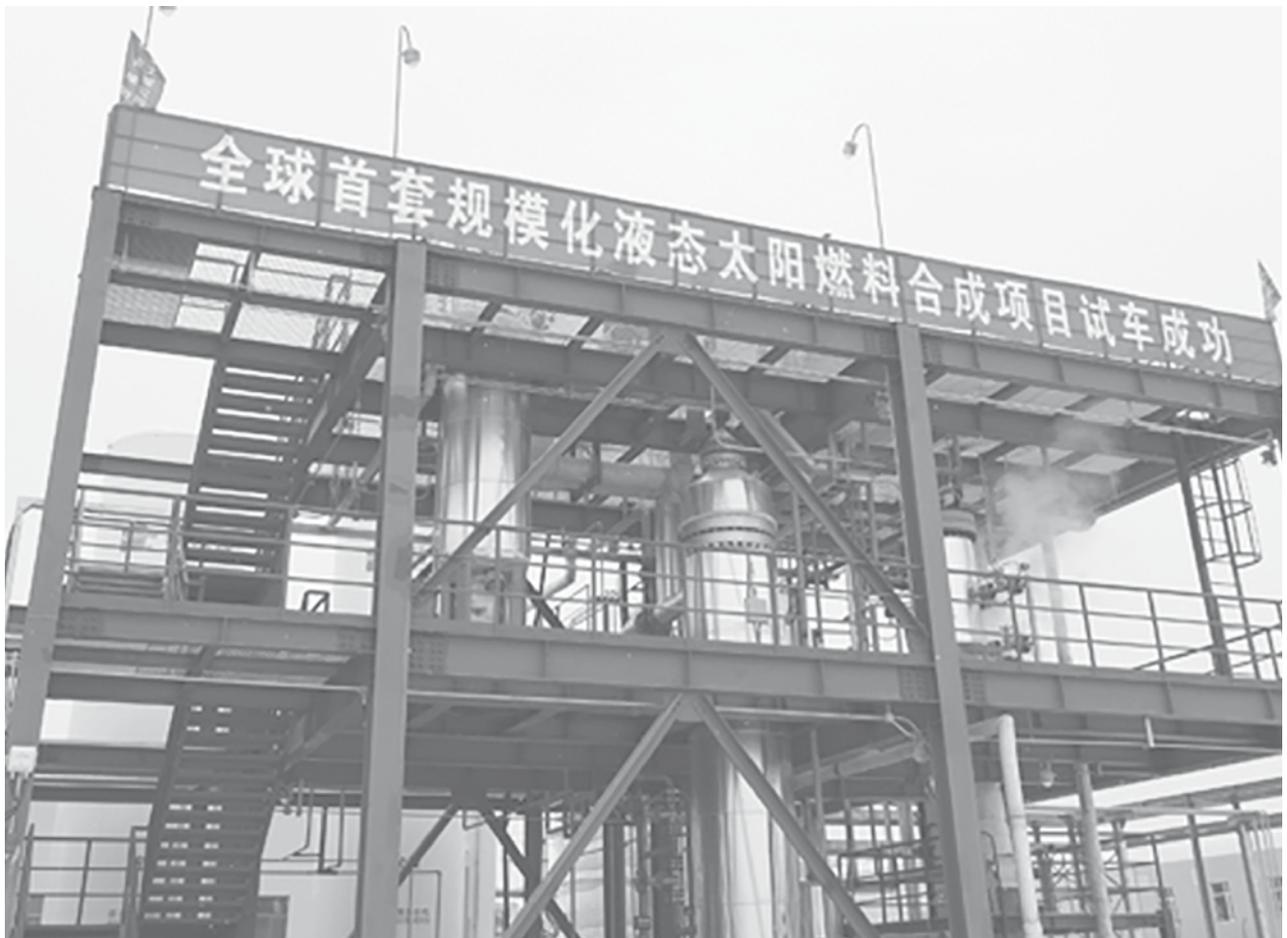
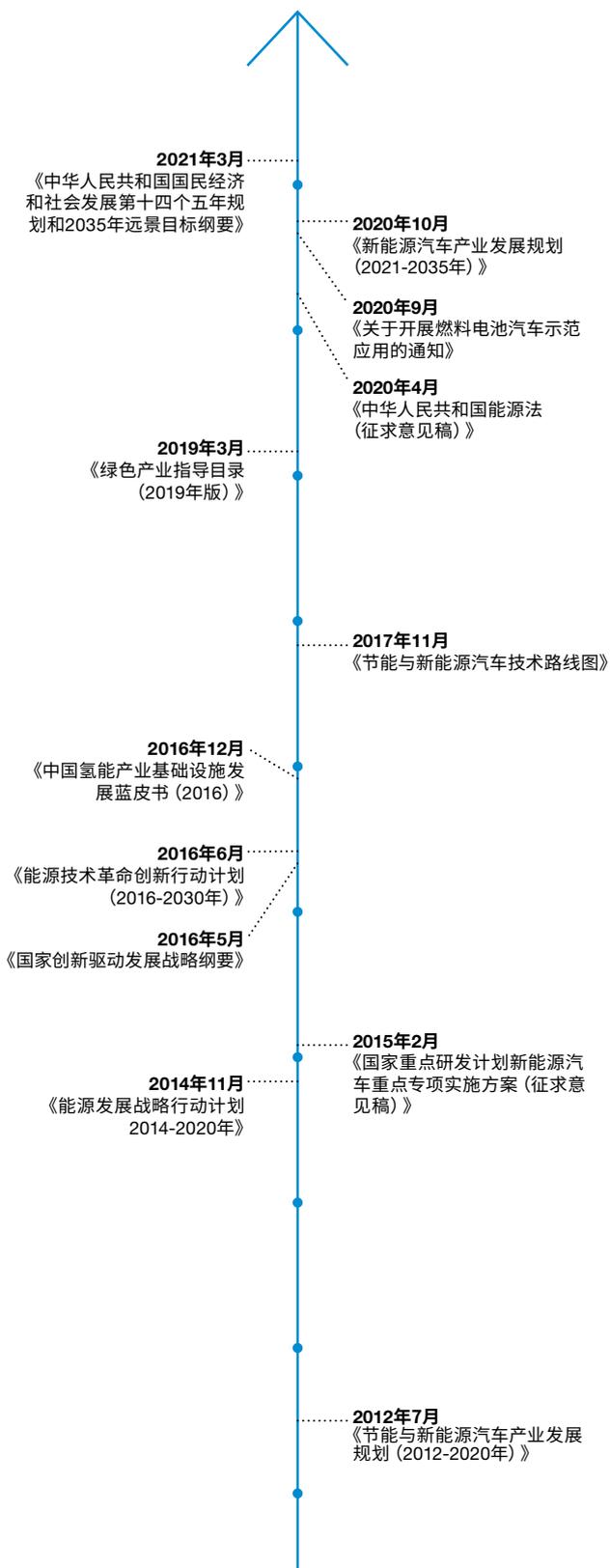


图 7- 政策发布时间线



标准分析

对于生产企业以及其他相关方而言，完善的标准制定是促进氢能及燃料电池产业迅速扩大规模并成为主流应用的一个先决条件。在中国，氢能及燃料电池的相关标准主要分为国家标准和团体标准。到 2021 年 6 月，中国已经制定并实施的氢能及燃料电池国家及团体标准已达 100 多项。

在国家标准方面，目前中国的氢能及燃料电池技术标准体系主要包括 8 个标准子体系，分别是氢能基础与管理方面的标准、氢质量方面的标准、氢安全方面的标准、氢工程建设方面的标准、氢制备与提纯方面的标准、氢储运加注方面的标准、氢能应用方面的标准、氢相关检测方面的标准。截止到 2021 年 3 月，中国共发布氢能及燃料电池相关国家标准 87 个，其中与燃料电池相关的标准有约 54 个，占相关标准总数的 60% 以上（创蓝联盟，2021）。如图 9 所示，自 2009 年以来，与氢能及燃料电池相关的国家标准被密集发布，其中 2017 年发布的数量最多，这也反映了中国对氢能领域标准框架建设重要性的关注。

团体标准是由相关行业协会或联盟发布的，由社会自愿采用的标准。企业可以承诺采用相关的标准要求。截至 2020 年底，中国已经发布了与氢能和燃料电池有关的团体标准约 50 个（附录 2）。

案例三： 宁夏“国家级太阳能电解水制氢综合示范项目”

2021 年 4 月 20 日，“国家级太阳能电解水制氢综合示范项目”在宁夏宁东能源化工基地正式投产。立足宁夏丰富的太阳能等再生能源，该项目包括 20 万千瓦光伏发电装置和 2 万立方米 / 小时的电解水制氢装置，项目全面运营后，预计每年将减少煤炭消耗 25.4 万吨，减少二氧化碳排放 44.5 万吨。（石油化工应用，2021）。

图 8- 不同类型氢能国家标准的占比 (创蓝联盟, 2021)

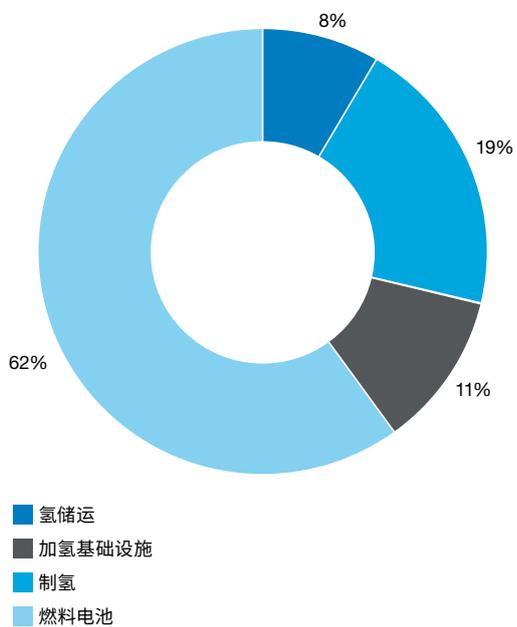
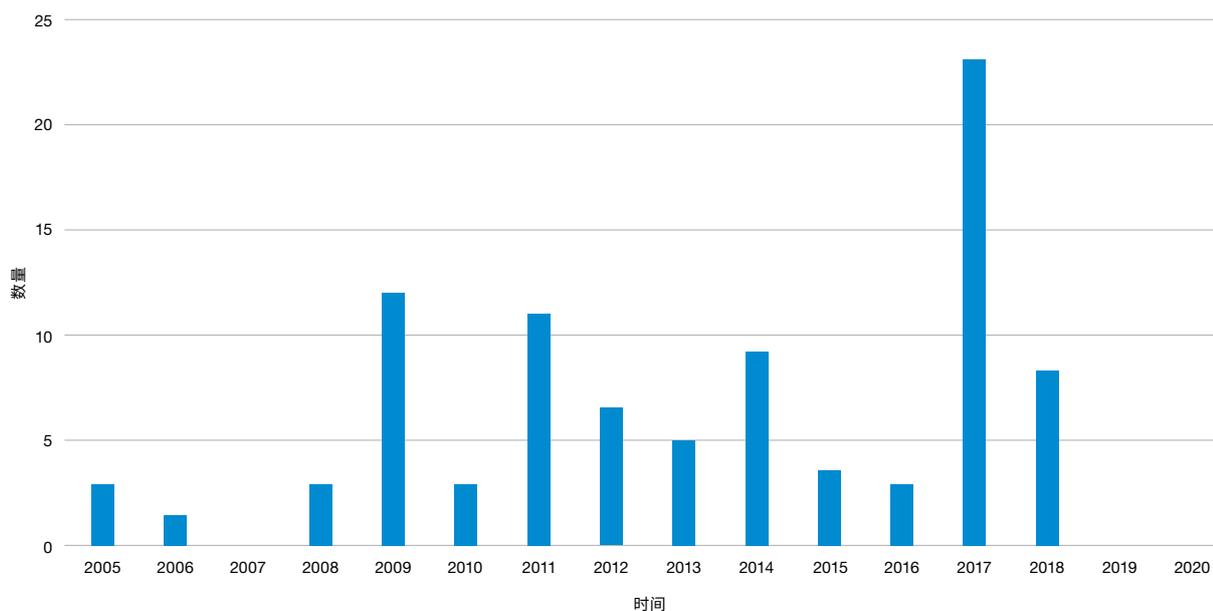


图 9- 截至 2020 年底, 中国氢能及燃料电池领域国家标准数量 (创蓝联盟, 2021)



地方政策

近年来，中国各省市也积极开始了各自的氢能产业发展布局，逐渐形成了以佛山为代表的珠三角氢能产业聚集区，以上海为代表的长三角氢能产业聚集区和以北京、张家口为代表的京津冀氢能产业聚集区。此外，中国中部（如河南、湖北、山西）、东部（山东半岛）、西南（成渝）等地区近期也正在积极地推动氢能和燃料电池产业发展。

在中国大陆的 31⁵ 个省级行政区中，其中 27 个在其省级发展规划中提到了氢能和燃料电池的发展，13 个已经发布了具体的氢能或燃料电池发展规划（创蓝联盟，2021）。按省份看，广东省和江苏省出台政策数量明显高于其他地区，大量氢能相关政策被整合到更广泛的新能源汽车、环保、能源等政策内容中。关于城市部分的具体内容及数据，将在后文中详细介绍。

2009 年 1 月，科技部、财政部、发改委、工业和信息化部启动了“十城千辆节能与新能源汽车示范推广应用工程”，简称“十城千辆”。主要内容是计划用 3 年左右的时间，每年发展 10 个城市，并在每个城市推出 1000 辆新能源汽车开展示范运行（科技部，2009）。该工程对纯电动汽车的推广应用以及建立燃料电池汽车的推广基础起到了良好的效果。2020 年 9 月，上述国家部委与国家能源局联合启动了燃料电池版本的“十城千辆”工程，提出有示范应用意向的城

市需要以示范城市群的形式申报，以获得国家为推广燃料电池汽车所提供的优惠政策和激励措施。在四年的示范期内，每个示范城市群要推广超过 1000 辆达到相关技术指标的燃料电池汽车。（财政部，2020）。除了中国政府启动的示范应用项目外，一些国际组织也参与了燃料电池汽车的推广工作，并建立了地方试点项目。

联合国开发计划署“促进中国燃料电池汽车商业化发展”项目

联合国开发计划署自 1979 年在华设立代表处以来，一直致力于与中国政府合作，推动中国在不同阶段的可持续发展，并通过中国在世界各地的全球合作来实现可持续发展目标。氢能和燃料电池技术在全球能源转型和经济脱碳中起到关键作用。自 2003 年以来，在全球环境基金的支持下，联合国开发计划署与科学技术部合作，共同开展了三期试点示范项目，在中国加速推动氢能和燃料电池汽车的商业化发展。项目已在北京、上海、郑州、佛山、盐城、常熟和张家口七个城市开展了 3200 多辆燃料电池汽车的示范运行，促进氢能基础设施的改造和建设，并为国家和地方氢能与燃料电池汽车相关政策的出台提供支持。项目致力于通过交通和能源领域的技术创新，进一步加快实现中国各领域的深度脱碳。自 2016 年以来，项目示范车辆的运营和可再生能源制氢所带来的二氧化碳减排量已经达到 230261 吨（UNDP，2021）。

5 本报告关于中国大陆的统计工作不包括中国香港和澳门。

中国主要的氢能产业集群

发展阶段	区域	代表城市 / 省份
氢能与燃料电池产业聚集区	京津冀氢能产业聚集区	北京、天津、张家口
	长三角氢能产业聚集区	上海、苏州、嘉兴、如皋
	珠三角氢能产业聚集区	广州、深圳、佛山
氢能与燃料电池产业发展积极区域	成渝地区	成都、重庆
	中部地区	河南、湖北、山西
	山东半岛	山东

代表城市案例分析

本章重点介绍了北京 - 张家口、上海和佛山的城市进展，分别代表了上述京津冀、长三角和珠三角三个重点区域氢能产业集群的发展。2021年8月，北京、上海、广东被批准成为中国首批燃料电池汽车示范应用城市群的牵头地方政府（财政部等，2021）。

北京 - 张家口（京津冀产业集群）

城市概况

位置	北京 - 张家口地区位于华北平原北部，地处京津冀（环渤海）经济圈核心
人口（2019年）	2595.93万人
GDP（2019年）	36522.36亿
面积（2019年）	5.32万平方千米
在建及建成加氢站数量（截止到2020年）	8
已推广燃料电池车数量（截止到2020年）	684
出台政策数量（截止到2021年3月）	9
重点科研院所（部分）	清华大学、北京大学、北京理工大学、中国科学院理化技术研究所、北京航天动力研究所

来源：张家口统计局（2020），（创蓝联盟，2021）

2019年，北京发布了《北京市氢燃料电池汽车产业发展规划（2020-2025年）》，旨在加强与张家口、唐山等河北城市的合作，在北京周边建立氢能供应链。预计伴随着2022年北京 - 张家口冬季奥运会的举办，氢能产业在该地区的发展将会进一步加强。目前，在张家口市区已经建立了与氢能相关的企业集群，拥有的企业包括亿华通、中石油、中石化、宇通客车、科融环境等，覆盖了整个氢能产业链。在研发方面，北京 - 张家口地区还拥有以清华大学、北京理工大学等为代表的领先的氢燃料电池研究机构。此外，对于以化石燃料尤其是煤炭为主要能源的京津冀地区而言，为实现2060年碳中和的目标，需要大量的清洁能源支持，而张家口具有丰富的风能和太阳能发电潜力，其产生的电能可用于电解水制氢。



案例分析

冬奥会氢能示范

2022 年，张家口和北京将联合举办第 24 届冬季奥林匹克运动会，目前两地政府正在以冬奥为契机，积极的开展氢能相关的示范工作，以推动氢能产业的发展。在冬奥会期间，氢能将出现在多个应用环节，奥运火炬采用氢作为燃料，冬奥会期间运行氢燃料电池汽车将达到 2000 辆，氢气的产能也将达到每天 34 吨。张家口市各级政府将在土地调规、建设费用等方面予以大力支持，确保加氢站建设顺利实施。并将在可再生能源制氢电价上予以一定支持，优惠期 5 年（张家口市人民政府，2020）。

亿华通：科创板第一支氢燃料电池的股票

亿华通成立于 2012 年，是依托清华大学技术研究团队建立的一家专注于氢燃料电池发动机系统研发及产业化的高新技术企业，具备自主核心知识产权，率先实现了发动机系统及燃料电池电堆的批量国产化，产品主要应用于客车、物流车等商用车型，产品覆盖氢燃料电池发动机及与之配套的 DC/DC、整车控制器、氢系统等（SinoHytec, 2021）。2020 年 8 月，亿华通在上海证券交易所科创板上市，成为了科创板第一支氢燃料电池的股票。截至 2021 年 3 月，亿华通总市值已超过 160 亿元。（股票代码:688339 亿华通-U）



张家口望山制氢加氢站 45Mpa 高压氢气存储设施
(海玻尔公司赵辉供图)

上海（长三角产业集群）

城市概览

位置	上海地处中国东部、长江入海口、东临东海，北、西与江苏、浙江两省相接
人口（2019年）	2428.14万人
GDP（2019年）	38155.32亿
面积（2019年）	6340.5平方千米
在建及建成加氢站数量（截止到2020年）	10
已推广燃料电池车数量（截止到2020年）	大于1000辆
出台政策数量（截止到2021年3月）	13
重点科研院所（部分）	同济大学、上海交通大学、中国科学院上海高等研究院、上海长三角氢能科技研究院、上海新能源汽车公共数据采集与监测研究中心。

来源：上海市统计局（2020）

上海是中国最早开始研发燃料电池汽车技术的城市，在氢能产业的发展中具有强大的产业基础。截止到2021年3月，上海市及下辖的嘉定、青浦两区共发布涉及氢能及燃料电池的发展规划13份，以及涉及气瓶、数据采集等与氢能相关的多项地方标准。目前，上海在氢能基础设施建设方面较为领先，共有9座已建成的加氢站，主要分布在嘉定、奉贤、宝山三地。在企业资源方面，上海拥有包括上汽集团、林德集团、上海舜华在内的全产业链环节的企业储备，其中上汽集团是国内首家同时具备燃料电池乘用车和商用车生产资质的整车企业。此外，上海市拥有较强的氢能及燃料电池技术的研发能力，拥有包括同济大学、上海交通大学等行业内领先的高校资源。



案例分析

嘉定氢能港

嘉定氢能港位于安亭·上海国际汽车城核心区域，是上海打造全球科技创新中心和世界级汽车产业中心的一个重要板块。氢能港目前已初步具备氢能、燃料电池、燃料电池动力系统平台、燃料电池汽车以及基础设施等较为完整的全生态产业配套要素。根据目标，到2025年，嘉定氢能及燃料电池汽车全产业链年产值将突破1000亿元。（嘉定区人民政府，2018）

佛山（珠三角产业集群）

城市概览

位置	佛山地处广东省中部、珠三角腹地，毗邻港澳，与广州共同构成“广佛都市圈”
人口 (2019 年)	815.86 万人
GDP (2019 年)	10816.47 亿元
面积 (2019 年)	3797.72 平方千米
在建及建成加氢站数量 (截止到 2020 年)	23
已推广燃料电池车数量 (截止到 2020 年)	1457
出台政策数量 (截止到 2021 年 3 月)	10
重点研究院所 (部分)	佛山仙湖实验室、季华实验室、佛山市南海区华南氢安全促进中心、佛山环境与能源研究院、佛山绿色发展创新研究院

来源：佛山市统计局（2020）

佛山是国内最早布局发展氢能产业和引领中国氢能源汽车规模化商用浪潮的地区，同时也是最早组织编制出台氢能产业发展规划的城市。政府对氢能产业的足够重视以及给予的大力度的扶持与鼓励。佛山市以提高氢能产业发展推动效率为目标，成立了佛山市氢能产业发展领导小组。市长任小组组长，成员由发改局、住建局、工信局等相关负责人构成。目前，佛山已形成三大氢能产业集群，汇聚了超过 90 家涉氢企业和科创平台。



相关案例

中国首条有轨电车

2019年11月29日，中国首列商业运营的氢能源有轨电车在佛山市高明区正式上线。高明区现代有轨电车示范线规划全长17.4公里，设车站20座。示范线首期工程，全长6.6公里，南起沧江路与中山路交叉口，北止于西江新城智湖，共设置车站10座。2020年12月，佛山南海区有轨电车里水示范段工程项目的动工，标志着南海区第二条有轨电车线路正式进入施工建设阶段。（巩巧琴，万年坊，杜青峰等，2021）

佛山市高明区氢能源有轨电车
(广州日报, 2020)



佛山市仙湖氢谷

佛山南海仙湖氢谷小镇位于南海区丹灶镇仙湖片区，规划面积约47.3平方公里（南海区人民政府，2020）。仙湖氢谷依托南海区现有汽车产业基础，以技术创新、推广应用为重点，发展新能源汽车，尤其是以氢燃料电池汽车的相关项目为核心，致力成为氢能产业的“硅谷”，形成涵盖从储氢材料、制氢设备、氢能生产以及燃料电池等在内的较为完善的氢能产业链。

结论

氢能在许多工业化国家的发展势头良好，多项主要氢能技术正在开发中。一些国家的公共和私营部门看到了氢能的巨大潜力，正在制定政策和标准以及改进技术，并加紧实现解决方案规模化。然而，同样清楚的是，氢能是一个正在发展中的领域，要使其在经济上可行，仍有许多障碍需要克服，特别是在绿色氢气方面。在可预见的未来，如果没有强有力的支持措施，绿色氢气能否与使用化石燃料生产的氢能竞争仍未可知。目前氢能的使用几乎完全基于化石燃料，特别是天然气。因此，当前的氢能不是一种绿色能源。

中国作为世界上最大的电动汽车市场，看到了氢能的重要优势，并正在迅速为使用氢能做好准备，以实现其至 2030 年达到碳排放峰值和至 2060 年实现碳中和的承诺。这不仅涉及以重型和长途车辆为重点的交通运输部门，还涉及工业、建筑和能源部门。以专利申请衡量的创新程度表明，中国已经赶上了德国、日本、韩国和美国等其他在氢能创新方面领先的国家。

各国已出台了多项支持政策和标准，启动了一系列成功的示范项目。许多示范项目位于成熟的产业集群地区，在这些地区已有大规模研究、创新以及基础设施和设备，可以助力氢基商品和服务的交付过程。

氢能在如小型客运车辆或轻型短途运输等领域可能不会与电池驱动的电动车竞争。然而，对于重型和长途运输（火车、卡车和公共汽车）、航空和航运（两者都很可能使用氨基燃料）、高温工艺（如钢铁、水泥和玻璃行业）、化肥（氢能在该领域几乎不可替代）、在家用燃气管网中的混合使用（以避免进行大规模和复杂的替换，例如用热泵取代现有锅炉），以及间歇性可再生能源的储存，氢能无疑提供了一个选项。它们不是小众领域，而是温室气体排放的主要来源。

一些重要因素有利于氢能的发展。可再生能源价格的持续下降也将降低电解制氢的成本。目前正在研究新的水电解技术，目的是提高效率和降低成本。最后，规模经济使绿色氢气有可能延续风能和太阳能发电的发展道路，通过创新和量产实现成本的大幅下降。

在世界经济中实现氢能规模化和主流化的道路似乎仍然漫长，而且面临众多技术和经济障碍，但氢能作为一种潜在的能源密度高、多功能、气候友好和可无限供应的清洁能源介质，其优势具有很大的吸引力，因此有理由对氢能未来在向绿色经济过渡过程中所发挥的作用持乐观态度。

附件1 中国氢能及燃料电池领域重点政策清单

时间	单位	政策
2001年	科技部	国家863计划专项
2006年	国务院	《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》
2009年	财政部、科技部	《节能与新能源汽车示范推广财政补助资金管理暂行办法》
2010年	国务院	《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》
2011年	人大	《中华人民共和国车船税法》
2011年6月	发改委、科技部、工信部、商务部、知识产权局	《当前优先发展的高技术产业化重点领域指南(2011年度)》
2011年3月	发改委	《产业结构调整指导目录(2011年本)》
2012年7月	国务院	《节能与新能源汽车产业发展规划(2012—2020年)》
2014年11月	国务院	《能源发展战略行动计划2014-2020年》
2014年	财政部、科技部、工信部、发改委	《关于新能源汽车充电设施建设奖励的通知》
2015年	财政部、科技部、工信部、发改委	《关于2016-2020年新能源汽车推广应用财政支持政策的通知》
2015年	科技部	《国家重点研发计划新能源汽车重点专项实施方案(征求意见稿)》
2015年	交通部	《关于加快推进新能源汽车在交通运输行业推广应用的实施意见》
2015年5月	工信部	《中国制造2025》
2016年6月	发改委、能源局	《能源技术革命创新行动计划(2016-2030年)》
2016年6月	发改委、能源局	《能源技术革命重点创新行动路线图》
2016年12月	标准化院	《中国氢能产业基础设施发展蓝皮书(2016)》
2016年	中共中央、国务院	《国家创新驱动发展战略纲要》
2016年	国务院	《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》
2017年11月	工信部委托、中国汽车工程学会编制	《节能与新能源汽车技术路线图》
2017年	工信部、发改委、科技部	《汽车产业中长期发展规划》
2017年	科技部、交通部	《“十三五”交通领域科技创新专项规划》
2018年	财政部、工信部、科技部、发改委	《关于调整完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知》
2019年11月	国家发展改革委、工业和信息化部等	关于推动先进制造业和现代服务业深度融合发展的实施意见
2019年3月	国务院	2019年《政府工作报告》
2019年10月	发改委	《产业结构调整指导目录(2019年本)》
2019年	发改委、工信部、自然资源部、生态环境部等	《绿色产业指导目录(2019年版)》
2019年	生态环境部、发改委、工信部、公安部等	《柴油货车污染治理攻坚战行动计划》
2020年4月	能源局	《中华人民共和国能源法(征求意见稿)》
2020年4月	财政部、工业和信息化部 科技部、发展改革委	关于完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知
2020年6月	能源局	《2020年能源工作指导意见》
2020年9月	财政部、工信部、科技部、发改委、能源局	关于开展燃料电池汽车示范应用的通知
2020年10月	工信部	新能源汽车产业发展规划(2021-2035年)
2020年10月	工业和信息化部指导中国汽车工程学会	《节能与新能源汽车技术路线图2.0》
2020年12月	财政部 工业和信息化部 科技部 发展改革委	进一步完善新能源汽车推广应用财政补贴政策的通知
2021年2月	国务院	《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》

附录2 中国氢能及燃料电池相关团体标准列表

标准编号	标准名称
T/DLSHXH 00y3—2020	加氢站现场运行安全管理规范
T/DLSHXH 002—2020	加氢站运营服务规范
T/DLSHXH 001—2020	加氢站技术验收指南
T/GDASE 0017—2020	车用压缩氢气铝内胆碳纤维全缠绕气瓶定期检验与评定
T/EPIAJL 1—2018	水内冷发电机内冷水箱含氧量、内冷水系统漏氢量检测技术规范
T/GHDQ 47—2019	高寒地区车用氢燃料电池电堆低温寿命测试技术条件
T/GHDQ 38—2019	高寒地区燃料电池电动汽车车载氢系统试验方法
T/GHDQ 37—2019	高寒地区燃料电池电动汽车车载氢系统技术条件
T/GHDQ 28—2018	高寒地区新能源汽车用金属氢化物镍蓄电池性能要求及试验方法
T/GHDQ 46—2019	高寒地区质子交换膜燃料电池发电系统性能技术条件
T/GHDQ 45—2019	高寒地区质子交换膜燃料电池电堆低温特性通用技术条件
T/GHDQ 44—2019	高寒地区车用质子交换膜燃料电池电堆低温冷启动通用技术条件
T/GHDQ 39—2019	高寒地区车用燃料电池发动机低温启动技术条件
T/GHDQ 36—2019	高寒地区燃料电池电动乘用车性能综合评价指数
T/GHDQ 35—2019	高寒地区燃料电池电动乘用车技术条件
T/SDAS 188—2020	氢能源有轨电车通用技术条件
T/SDAS 185—2020	燃料电池轨道车辆车载氢系统安全要求
T/SDAS 184—2020	燃料电池轨道车辆车载氢系统技术条件
T/SDAS 182—2020	燃料电池轨道车辆车载氢系统试验方法
T/SDAS 187—2020	燃料电池轨道车辆燃料电池电堆测试方法
T/SDAS 186—2020	燃料电池轨道车辆燃料电池冷却系统技术条件
T/SDAS 183—2020	燃料电池轨道车辆安全要求
T/SZAS 8—2019	车用甲醇制氢发电系统技术要求
T/ZZB 1479—2019	加氢装置用可拆卸多点柔性铠装热电偶
T/CAB 0084—2021	小型质子交换膜水电解制氢系统
T/CAB 0078—2020	低碳氢、清洁氢与可再生氢的标准与评价
T/CAB 0064—2020	加氢站远程服务与管理信息系统技术规范
T/CAB 1038—2020	氢化液体有机储氢载体储氢密度测量方法 排水法
T/CEEIA 265-2017	无人机燃料电池燃料系统技术规范
T/CEEIA 264-2017	无人机燃料电池发电系统技术规范
T/CCGA 40002—2019	氢能汽车气瓶电子标签应用管理规范
T/CCGA 40001—2019	液氢
T/CATSI 02007—2020	车用压缩氢气塑料内胆碳纤维全缠绕气瓶
T/CATSI 05003—2020	加氢站储氢压力容器专项技术要求
T/CSTE 0017—2020	氢燃料电池物流车运营管理规范
T/CSTE 0016—2020	氢燃料电池公交车运营管理规范
T/CSTE 0015—2020	氢燃料电池公交车维保技术规范
T/CSTE 0007—2020	质子交换膜燃料电池 (PEMFC) 汽车用燃料氢气中痕量一氧化碳的测定 中红外激光光谱法
T/CSTE 0006—2020	加氢站安全评价报告的标准格式
T/CSTE 0005—2020	焦炉煤气制氢技术规范
T/CSTE 0078—2020	加氢站站控系统技术要求
T/CSTE 0077—2020	加氢站视频安防监控系统技术要求
T/CSTE 0076—2020	氢燃料电池用离心式空压机
T/CECA-G 0015—2017	质子交换膜燃料电池汽车用燃料 氢气

标准编号	标准名称
T/CSAE 123—2019	燃料电池电动汽车 密闭空间内氢泄漏 及氢排放试验方法和安全要求
T/CSAE 122—2019	燃料电池电动汽车低温冷起动性能 试验方法
T/CAAMTB 21—2020	燃料电池电动汽车车载供氢系统振动试验技术要求
T/CAAMTB 14—2020	燃料电池电动汽车用 DC/DC 变换器
T/CAAMTB 13—2020	燃料电池电动汽车用空气压缩机试验方法
T/CAAMTB 12—2020	质子交换膜燃料电池膜电极测试方法

参考文献

- 北京市生态环境局 (2014). 2013 年北京市环境状况公报. 北京市生态环境局: <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/zfxgk43/fdzdgnr2/xwfb/607213/index.html>.
- 北京市生态环境局 (2018). 最新科研成果新一轮北京市 PM2.5 来源解析正式发布. 北京市生态环境局: <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/index/xxgk69/zfxgk43/fdzdgnr2/xwfb/832588/index.html>.
- 北京市生态环境局 (2021). 2020 北京市环境状况公报. 北京市生态环境局: <http://sthjj.beijing.gov.cn/bjhrb/resource/cms/article/1718882/10985106/2021051214515686015.pdf>.
- 财政部 (2020). 财政部, 工业和信息化部, 科技部, 发展改革委, 国家能源局. 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: http://www.mof.gov.cn/gkml/caizhengwengao/202001wg/wg202009/202012/20201230_3638265.html.
- 财政部, 工业和信息化部, 科技部, 国家发展改革委, 国家能源局 (2021). 关于启动燃料电池汽车示范应用工作的通知.
- 创蓝联盟 (2021). 创蓝联盟燃料电池及氢能研究. 中关村创蓝清洁空气产业联盟.
- 大连化物所 (2020). 全球首套规模化太阳燃料合成示范项目试车成功. 中国科学院大连化学物理研究所: http://www.dicp.cas.cn/xwdt/twx/202001/t20200116_5488931.html.
- 大连化物所 (2021). 燃料电池研究部概况简介. 中国科学院大连化学物理研究所: http://www.dicp.cas.cn/yjxt_1/dnl03/gkjl/.
- 佛山市统计局 (2020). 佛山市统计年鉴 2020. 佛山市统计局: <http://www.foshan.gov.cn/attachment/0/153/153028/4654170.zip>.
- 巩巧琴, 万年坊, 杜青峰等 (2021). 氢燃料电池轻轨的智慧交通运营研究——以佛山高明世界首条商业运营氢能轻轨电车为例. 中国工业和信息化.
- 广州日报 (2020). 高明建“中国氢城”! 世界首条商业运营氢能源有轨电车上线. 广州日报: <https://www.gzdaily.cn/amucsite/web/index.html#/detail/1077938>.
- 国家统计局 (2020a). 中国统计年鉴 2020 (第 9-1 节). 国家统计局: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2020/indexch.html>.
- 国家统计局 (2020b). 国家数据. 国家统计局: <https://data.stats.gov.cn>.
- 嘉定区人民政府 (2018). 氢能与燃料电池产业园揭牌 成为嘉定打造世界级汽车产业中心重要一环. 上海市嘉定区人民政府: http://www.jiading.gov.cn/zwpd/zwdt/content_478343.
- 科技部 (2009). 关于开展节能与新能源汽车示范推广试点工作的通知. 中华人民共和国科学技术部: http://www.most.gov.cn/tzgt/200902/t20090211_67363.html.
- 南海区人民政府 (2020). 佛山市南海区氢能产业发展规划 (2020-2035). 佛山市南海区人民政府: <http://www.nanhai.gov.cn/attachment/0/82/82806/4191926.pdf>.
- 全国新能源消纳监测预警中心 (2021). 2021 年一季度全国新能源电力消纳评估分析. 全国新能源消纳监测预警中心: https://mp.weixin.qq.com/s/Eaivf_O9GqU4pcifRrh2A.
- 上海市环境监测中心, 上海市环境科学研究院 (2016). 上海市 PM2.5 来源解析和防治对策研究. 上海市环境监测中心, 上海市环境科学研究院: <https://doi.org/10.3772/j.issn.1009-5659.2016.18.008>.
- 上海市统计局 (2020). 上海统计年鉴. 上海市统计局.
- 生态环境部 (2014). 2013 中国环境状况公报. 北京: 中华人民共和国生态环境部: <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/201605/P020160526564151497131.pdf>.
- 生态环境部 (2020a). 2016—2019 年全国生态环境统计公报. 北京: 中华人民共和国生态环境部: <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/sthjtnb/202012/P020201214580320276493.pdf>.
- 生态环境部 (2020b). 中国移动源环境管理年报 (2020 年). 北京: 中华人民共和国生态环境部: <http://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/ydyhjl/202008/P020200811521365906550.pdf>.
- 生态环境部 (2021). 2020 中国生态环境状况公报. 北京: 中华人民共和国生态环境部: <https://www.mee.gov.cn/hjzl/sthjzk/zghjzkgb/202105/P020210526572756184785.pdf>.
- 石油化工应用 (2021). 宝丰太阳能电解水制氢综合示范项目正式投产. 石油化工应用.
- 王子缘 (2021 年 6 月). 我国氢能产业政策趋势及电力行业转型的思考. 2021 可再生能源制氢论坛. 上海, 中国.
- 张家口市人民政府 (2020). 张家口氢能保障供应体系一期工程建设实施方案. 张家口市人民政府.
- 张家口市统计局 (2020). 张家口市 2019 年国民经济和社会发展统计公报. 张家口市统计局: <http://tj.zjk.gov.cn/content/2020/28681.html>.
- 中国电动汽车百人会 (2020). 中国氢能产业发展报告 2020 (第 104 页). 北京.
- 中国建筑节能协会 (2020). 中国建筑节能年度发展研究报告 2020. 中国建筑节能协会能耗统计专业委员会: <http://adminht.cabee.org/upload/file/20201231/1609385858606010.pdf>.
- 中国经济网 (2019). 我国氢能产业初具雏形 成为世界第一产氢大国. 中国经济网: http://www.ce.cn/cysc/my/gdwx/201907/08/t20190708_32548351.shtml.
- 中国氢能源及燃料电池产业创新战略联盟 (2019). 中国氢能源及燃料电池产业白皮书 (2019 版). 北京.
- 中国日报 (2020). 全球首套规模化太阳燃料合成示范项目试车成功 可生产“液态阳光”. 中国日报: <http://ex.chinadaily.com.cn/exchange/partners/82/rss/channel/cn/columns/j3u3t6/stories/WS5e229de5a3107bb6b579aa6d.html>.
- Alstom (2021). Trial runs of Alstom's hydrogen train in the Netherlands deemed officially successful. Alstom. [online] available: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2020/9/trial-runs-alstoms-hydrogen-train-netherlands-deemed-officially> [accessed March 2021].
- Andersen, K. B. (2021). Haldor Topsøe vil erobre globalt brintmarked - FINANS. Finans. [online] available: <https://finans.dk/erhverv/ECE12784381/haldor-topsoe-vil-erobre-globalt-brintmarked/?ctxref=ext> [accessed March 2021].
- Barnard, M. (2021). Carbon Capture Will Make Fossil-Sourced Hydrogen 2.5-9x More Expensive. CleanTechnica. [online] available: <https://cleantechnica.com/2021/03/23/carbon-capture-will-make-fossil-sourced-hydrogen-2-5-9x-more-expensive/> [accessed March 2021].
- Bloomberg (2021). Explore the first-ever Hydrogen Economy ranking system. Bloomberg. [online] available: https://sponsored.bloomberg.com/news/sponsors/features/hyundai/explore-the-global-hydrogen-economy-today/?adv=16713&prx_t=aXwFABAY_At_sQA [accessed February 2021].
- BMBF (2021). BMBF bringt Wasserstoff-Leitprojekte auf den Weg. Bundesministerium für Bildung und Forschung. [online] available: <https://www.bmbf.de/de/bmbf-bringt-wasserstoff-leitprojekte-auf-den-weg-13530.html> [accessed March 2021].
- Burgess, M. (2021). New hydrogen-based fuel developed for small vehicles. H2 View. [online] available: <https://www.h2-view.com/story/new-hydrogen-based-fuel-developed-for-small-vehicles/> [accessed March 2021].
- Casey, T. (2021). Yara kickstarts green ammonia industry with green hydrogen. CleanTechnica. [online] available: <https://cleantechnica.com/2021/03/01/yara-kickstarts-green-ammonia-industry-with-green-hydrogen/> [accessed March 2021].
- CORDIS (2020). BIONICO: A pilot plant for turning biomass directly into hydrogen. Horizon 2020, EU Publications Office. [online] available: <https://cordis.europa.eu/article/id/394984-bionico-a-pilot-plant-for-turning-biomass-directly-into-hydrogen> [accessed February 2021].
- Engie (2020). Promising Hydrogen Innovations Around The World. ENGIE Innovation. [online] available: <http://innovation.engie.com/en/news/new-energies/Hydrogen-innovation-global-breakthrough/13681> [accessed February 2021].
- European Commission (2020). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. Brussels: European Commission. available: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/hydrogen_strategy.pdf
- Farmer, M. (2020). What colour is your hydrogen? A Power Technology jargon-buster. Power Technology. [online] available: <https://www.power-technology.com/features/hydrogen-power-blue-green-grey-brown-extraction-production-colour-renewable-energy-storage/> [accessed March 2021].
- Global Energy Prize (2021). Chile holds world's first national hydrogen tender - The Global Energy Association. [online] available: <https://globalenergyprize.org/en/2021/09/23/chile-holds-worlds-first-national-hydrogen-tender/> [accessed October 2021].
- Godske, B. (2021a). Tyskland investerer 5,2 mia. kroner i tre brint-projekter. Ing. Teknologiens Medihus. [online] available: <https://ing.dk/artikel/tyskland-investerer-52-mia-kroner-tre-brint-projekter-242870> [accessed March 2021].
- Godske, B. (2021b). Verdens (foreløbig) største elektrolyseanlæg bygges i Tyskland. Ing. Teknologiens Medihus. [online] available: <https://ing.dk/artikel/verdens-foreloebig-stoerste-elektrolyseanlaeg-bygges-tyskland-243636> [accessed March 2021].
- Hydrogen Council and McKinsey (2021). Hydrogen Insights. A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness. Geneva: Hydrogen Council, McKinsey & Company. available: <https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2021/02/Hydrogen-Insights-2021-Report.pdf>
- Hydrogen Europe (2021). Fuel Cells | Hydrogen. Hydrogen Europe. [online] available: <https://hydrogeneurope.eu/fuel-cells> [accessed February 2021].
- IEA (2019). The future of hydrogen. Paris: International Energy Agency. available: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

IEA (2021). Fuel cell electric vehicles stock by region and by mode, 2020. IEA. [online] available: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/fuel-cell-electric-vehicles-stock-by-region-and-by-mode-2020> [accessed October 2021].

Nahar, G., D. Mote and V. Dupont (2017). Hydrogen production from reforming of biogas: Review of technological advances and an Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1032-52.

Rapier, R. (2021). Estimating The Carbon Footprint Of Hydrogen Production. *Forbes Magazine*. [online] available: <https://www.forbes.com/sites/rrapier/2020/06/06/estimating-the-carbon-footprint-of-hydrogen-production/> [accessed February 2021].

Saur, G. and A. Milbrandt (2014). *Renewable Hydrogen Potential from Biogas in the United States* Golden, Colorado: National Renewable Energy Laboratory. available: <https://www.nrel.gov/docs/fy14osti/60283.pdf?gathStatIcon=true>

Saurabh (2021). India plans green hydrogen auctions. *CleanTechnica*. [online] available: <https://cleantechnica.com/2021/02/28/india-plans-green-hydrogen-auctions/> [accessed March 2021].

SinoHytec (2021). Company profile. SinoHytec. [online] available: <http://www.sinohytec.com/en/page.php?id=1> [accessed May 2021].

UNDP (2020). *Accelerating the Development and Commercialization of Fuel Cell Vehicles in China*. United Nations Development Programme in China. available:

WEF (2018). These countries are pioneering hydrogen power. *World Economic Forum*. [online] available: <https://www.weforum.org/agenda/2019/01/these-countries-are-pioneering-hydrogen-power-d941536b-4206-4fa1-8932-8596d7b856bd/> [accessed February 2021].

World Steel Association (2020). *Steel Statistical Yearbook 2020 Concise Version*. . available: <https://www.worldsteel.org/zh/dam/jcr:5001dac8-0083-46f3-aadd-35aa357acbcc/Steel%2520Statistical%2520Yearbook%25202020%2520%2528concise%2520version%2529.pdf>

Yara (2021). Yara partners with Statkraft and Aker Horizon31s to establish Europe' s first large-scale green ammonia project in Norway | Yara International. Yara. [online] available: <https://www.yara.com/corporate-releases/yara-partners-with-statkraft-and-aker-horizons-to-establish-europes-first-large-scale-green-ammonia-project-in-norway/> [accessed March 2021].

关于我们

产权组织全球挑战司负责在错综交织的全球问题的交汇点处理创新和知识产权问题，重点关注全球卫生、气候变化和粮食安全。该司的活动包括其管理的两个多利益攸关方平台，还包括与世界卫生组织、世界贸易组织的三边合作，目的是利用创新伙伴关系的力量，形成切实可行的解决方案，造福所有人——特别是发展中国家。

© WIPO, 2021年



署名4.0国际
(CC BY 4.0 IG)

CC许可不适用于本出版物中非产权组织的内容。

图: © Getty Images / Wladimir Bulgar / Science Photo Library

产权组织文号: RN2022-4C