



News & Highlights

氢动力——从小型汽车到重型交通工具

Chris Palmer

Senior Technology Writer

数十年来，氢气一直被誉为十分有发展前途的能源载体。但是，相比混合动力汽车和充电式电动汽车的蓬勃发展，近年来氢燃料电池汽车的发展势头却有所减弱，主要原因在于降低燃料电池成本和广泛构建燃料供给站网络这两方面挑战。

从2020年3月开始，三大汽车制造商——戴姆勒股份公司[1]、大众汽车制造公司[2]和通用汽车制造公司[3]紧随本田技研工业株式会社（2019年4月率先退出氢动力汽车市场[4]）一一退出了氢动力汽车市场。取而代之的是，这些公司以及其他公司正在将该技术发展为一种无排放解决方案，为重型商用车辆和军用车辆提供动力，为其核心部位进行燃料供给。

19世纪中期，科学家发明了一种燃料电池，其中氧气被输送到负极（阴极），氢气被输送到正极（阳极）。阳极处的催化剂将氢气分离成质子和电子，电子流经外部电路，该电路可以驱动电动机并为电池充电；质子则通过电解质迁移到阴极，在阴极处与氧气和电子相结合，产生水蒸气和热量。因此，在氢燃料电池的燃烧过程中没有温室气体的产生及排放。

氢燃料电池系统是否完全无污染取决于氢气的来源。而氢气是由水分解产生的。目前大多动力系统都是由天然气驱动的，同时伴随碳排放[5]。为了消除温室气体排放，水解过程必须由可再生能源供电。充电式电动汽车也面临同样的问题。

燃料电池以相对恒定的速率运行，当电力生产过剩时，它为锂离子电池充电。当面临加速或上坡等需要额

外动力的情况时，锂离子电池为燃料电池补充电量。然而，该过程的整体效率远不如充电式电动汽车的效率，因为充电式电动汽车可以将来自电网的电能直接存储在电池中[2]。

目前，氢燃料电池已被广泛投入利基应用，如阿波罗和双子座太空飞行任务、商用喷气式客机、叉车、拖拉机和潜艇等。在这些领域，氢气能够使动力源尽量达到零排放的要求，能够为之提供更为短暂的燃料补充时间，以及在重量方面，氢燃料电池系统相较充电式电池系统更为轻便。

改装的第一辆氢动力汽车——现代Tucson [6]于2013年问世，但随后制造商并没有对氢动力汽车投入大规模的生产和销售。2019年年底，全世界的道路上行驶的氢动力汽车大约有25 000辆[7]，其品牌主要为丰田Mirai、现代NEXO以及本田Clarity。预计10年内，这个数字将增长一个数量级，但即便如此，预计到2030年氢动力汽车也仅占全球汽车市场（14亿辆[8]）的一小部分。

除了“兴登堡”号空难事件给公众留下“氢动力交通工具是危险的”[9]这一毫无根据的印象之外，氢动力汽车未能占有更多市场份额的另一个重要原因是成本问题。燃料电池内含由铂等稀有材料组成的催化剂，其生产成本仍然十分高昂。因此，尽管最流行的氢动力汽车丰田Mirai（图1）的零售价约为58 500美元，但其真实成本可能更高[10]。

“这是很困难的，因为如果没有达到一定的生产规



图1. 丰田Mirai是世界上最畅销的氢动力汽车，其零售价为58 500美元，2019年售出约2200辆，而同年售出的电动汽车约为220万辆。图片来源：M 93, Wikimedia Commons (CC BY-SA 3.0 DE)。

模就无法降低成本，而要达到一定的生产规模又必须付出巨额的投资。”加利福尼亚大学伯克利分校的能源与环境政策课讲师、交通可持续发展研究中心主任Timothy Lipman说，“戴姆勒股份公司以及其他制造商只是初步了解后，便认为这是一个极难克服的障碍。”

另一个主要障碍是加氢站的缺乏。直到2019年年底，美国有64个加氢站，主要分布于加利福尼亚州，德国有81个，日本有113个[7]。Lipman等[11]表示，这三个国家建设加氢站的大部分费用是由公共基金提供，而其他国家远未能拥有如此多的公共基金支持。

汽车制造商希望这种氢动力汽车的发展能够遵循零排放领域内与其最相近的竞争对手——电动汽车的发展轨迹。电动汽车最初的普及速度也很慢，但随着科技的进步成本逐步降低，渐渐激发了消费者的兴趣。这引发了规模经济效应，2020年电动汽车达到720万辆，2030年预计达到1.4亿~2.45亿辆[12]。

电动汽车成本降低的一个关键原因是电池技术的改革。该项技术在过去的几年内取得了长足的进步，从而使电动汽车成本的下降速度比行业专家预期的更快。Lipman认为，电动汽车电池技术的快速发展是促使大型汽车制造商终止氢动力汽车业务的主要因素。“在过去10年里，电动汽车电池的成本下降了85%，这使很多人感到惊讶。”Lipman说，“这使汽车制造商重新考虑是将更多的精力放在燃料电池上还是纯充电电池上。”

“尤其在经济性上，氢燃料电池技术将如何赶上电动汽车技术，这是一个十分具有挑战性的命题，”澳大利亚昆士兰州布里斯班昆士兰大学陶氏可持续工程创新中心的电子移动客座教授Jake Whitehead补充道，“事实上，氢动力汽车技术可能比现在的电动汽车技术落后近10年。”

尽管在市场竞争中电动汽车胜过氢动力汽车，但氢

动力汽车仍存在一定的市场，特别是在即将颁布“削减或淘汰造成污染的燃烧动力型汽车”政策的国家。与轻型汽车市场（如乘用车）不同，重型汽车市场（如商用车、公共汽车和军用运输车）到2030年对氢动力汽车的需求量将达到100万辆[13]，原因是针对这类汽车而言氢燃料电池更为划算。氢燃料电池车辆可在大约半小时内完成燃料补充，相比之下电动汽车则需要高达数小时的充电时长，这对于需要全天运行且无法承受过长电池充电停机时长的商用车来说是一个重要的考虑因素。Lipman说：“对于公共汽车充电站而言，与每天给100辆电动公共汽车充电相比，向100辆氢动力公共汽车加氢燃料要更为容易一些。”但是，需要强调的是，为电动汽车电池充电所需的电费（使用家用充电器为15美元）明显低于加氢燃料的费用（65~95美元）[14]。目前，中国大约有2000辆氢动力公交车投入运行，欧盟只有75辆，而美国和日本的这种公交车数量甚至不到欧盟的一半[11]。

除了补充速度快之外，氢燃料还具有其他潜在的优势。氢动力汽车的平均行驶距离为500~600 km，相较电动汽车更长。此外，电动汽车的电池尺寸与其汽车尺寸成正比，而氢动力系统却并非如此。大型电动汽车需要大规模的电池，但现实中过大过重的电池并不实用。相比之下，氢燃料电池并不会明显增加汽车的重量，并且即使在氢动力汽车尺寸明显增加的情况下，氢燃料电池组件的重量和尺寸也能够保持相对的恒定。Lipman说：“这种重量优势是巨大的。”储氢罐的尺寸有实际限制，续航600 km的卡车仅需要约1.5 m³的储氢罐。所需储氢罐的尺寸随着汽车尺寸的增长呈线性增长。

此外，大多数可以考虑使用氢能源的重型车辆并不那么依赖于分布广泛的燃料补给站网络。相反，在大多数情况下，公共汽车、长途货运飞机和军用车辆都从中央枢纽站驶出，然后遵循预设好的路线行驶，这意味着可以从一个地点为整个车队补充燃料。

大型汽车生产商丰田[15]、通用[3]和戴姆勒[16]计划生产更多由氢燃料电池驱动的重型车辆。戴姆勒股份公司在终止其氢动力汽车研发工作的前几天，正式宣布与沃尔沃汽车制造商建立伙伴关系，并为其商用车制造氢燃料电池。韩国现代汽车公司目前已经建造并向瑞士运送了世界上第一个使用氢燃料电池的重型商用车[17]。韩国制造商计划至2020年年底让60辆这种车辆上路，至2025年年底这种车辆达1600辆。美国联合包裹运送服务公司（UPS）[18]和FedEx [19]对使用氢燃料的

卡车进行试点测试。挪威最大的食品杂货批发商ASKO也正在针对氢燃料电池卡车的试验[20]。最终，初创公司Nikola声称接受了一笔生产14 000辆氢动力半挂车式卡车的订单，但最近由于陷入与美国证券交易委员会（US Securities and Exchange Commission）的纠纷，其主席于2020年9月退出了该公司[21,22]。

尽管成熟的制造商正在削减氢动力汽车领域的业务，但至少有一家氢动力汽车新兴公司正在尝试打入市场，例如，Hyperion公司制造了一款非常高端的乘用车[23]（图2）。

但是，即使有了这样的新兴公司以及向重型汽车市场的转变，该技术的潜力仍无法预估。“如果使用氢动力汽车的主要目的是减少碳排放以抑制全球变暖，我们必须意识到，氢燃料电池不太可能在2050年之前在陆路运输中发挥重要作用。”Whitehead说道，“我们最好将努力集中在更节能、更具成本效益和更成熟的技术开发上，并探索如何使用氢或氢基燃料来支持更难脱碳的海运业和航空业。”



图2. 新兴公司Hyperion正在研发的XP-1氢燃料电池汽车拥有1600 km的续航里程，是其他氢动力汽车平均续航里程的两倍以上。XP-1汽车将于2022年在美国投入生产，限量300辆。来源：Hyperion（公共领域）。

References

- [1] Berman B. Daimler end hydrogen car development because it's too costly [Internet]. Fremont: Electrek; 2020 Apr 22 [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://electrek.co/2020/04/22/daimler-ends-hydrogen-car-development-because-its-too-costly/>.
- [2] Battery or fuel cell, that is the question [Internet]. Volkswagen; 2020 Mar 12 [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/stories/battery-or-fuel-cell-that-is-the-question-5868>.
- [3] Edelstein S. GM backs away from hydrogen fuel-cell tech in passenger vehicles [Internet]. El Segundo: Green Car Reports; 2020 Jul 20 [cited 2020

- Sep 6]. Available from: https://www.greencarreports.com/news/1128920_gm-backsaway-from-hydrogen-fuel-cell-tech-in-passenger-vehicles.
- [4] Berman B. Honda works on second EV, quits diesel, and puts hydrogen on hold [Internet]. Fremont: Electrek; 2019 Apr 11 [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://electrek.co/2019/11/10/honda-works-on-second-ev-quits-diesel-andputs-hydrogen-on-hold/>.
- [5] Realising the hydrogen economy [Internet]. London: Power Technology; 2019 Oct 11 [cited 2020 Sep 20]. Available from: <https://www.powertechology.com/comment/standing-at-the-precipice-of-the-hydrogeneconomy>.
- [6] Keegan M. Hyundai Tucson FCV: first mass produced fuel cell electric vehicle [Internet]. Cary: Auto Trends Magazine; 2013 Nov 21 [cited 2020 Sep 6]. Available from: <http://autotrends.org/2013/11/21/hyundai-tucson-fcv/>.
- [7] Bermudez JM, Hasegawa T, Bennett S. Hydrogen: more efforts needed [Internet]. Paris: International Energy Agency; 2020 Jun [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://www.iea.org/reports/hydrogen>.
- [8] McKerracher C, Izadi-Najafabadi A, O'Donovan A, Albanese N, Soulopolous N, Doherty D, et al. Electric vehicle outlook 2020 [Internet]. New York: Bloomberg NEF; 2020 Jul 9 [cited 2020 Sep 20]. Available from: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>.
- [9] Mearian L. Here's why hydrogen-fueled cars aren't little Hindenburgs [Internet]. Framingham: Computer World; 2014 Nov 26 [cited 2020 Sep 24]. Available from: <https://www.computerworld.com/article/2852323/heres-why-hydrogen-fueled-cars-arent-little-hindenburgs.html>.
- [10] Voelcker J. How much money does the 2016 Toyota Mirai lose? A lot, perhaps [Internet]. El Segundo: Green Car Reports; 2014 Dec 5 [cited 2020 Sep 29]. Available from: https://www.greencarreports.com/news/1095773_howmuch-money-does-the-2016-toyota-mirai-lose-a-lot-perhaps.
- [11] Deloitte China. Fueling the future of mobility: hydrogen and fuel cell solutions for transportation. Shanghai: Deloitte China. 2020..
- [12] Global EV outlook 2020 [Internet]. Paris: International Energy Agency; 2020 Jun [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://www.iea.org/reports/global-evoutlook-2020>.
- [13] McDonald J. Fuel cell EVs set to top 13 million by 2030 as hydrogen scales up: Hydrogen Council [Internet]. London: S&P Global Platts; 2020 Jan 24 [cited 2020 Sep 20]. Available from: <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/electric-power/012420-fuel-cell-evs-set-to-top-13-million-by-2030-as-hydrogen-scales-up-hydrogen-council>.
- [14] Battery electric vs. hydrogen fuel cell vehicles: which are the better zero-emission cars? [Internet]. London: The Week; 2019 Nov 6 [cited 2020 Oct 2]. Available from: <https://www.theweek.co.uk/electric-cars/101196/hydrogen-fuel-cell-vs-battery-electric-cars-which-are-better>.
- [15] Davies C. Toyota has a big hydrogen fuel-cell truck plan to cut CO2 [Internet]. Tempe: SlashGear; 2020 Mar 26 [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://www.slashgear.com/toyota-has-a-big-hydrogen-fuel-cell-truck-plan-to-cutco2-26614551/>.
- [16] Gardner G. Daimler, Volvo trucks team up on hydrogen fuel cells for heavy trucks [Internet]. Jersey City: Forbes; 2020 Apr 21 [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://www.forbes.com/sites/greggardner/2020/04/21/daimler-volvotrucks-to-team-up-on-heavy-truck-fuel-cells/#4a61be882b4f>.
- [17] Meyn K. Hyundai builds the world's first hydrogen fuel cell commercial truck [Internet]. Hickory: Torque News; 2020 Jul 12 [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://www.torque.news.com/10987/hyundai-builds-worlds-firsthydrogen-fuel-cell-commercial-truck>.
- [18] Gallucci M. UPS to deploy fuel cell/battery hybrids as zero-emission delivery trucks [Internet]. New York: IEEE Spectrum; 2018 Aug 24 [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://spectrum.ieee.org/green-tech/fuel-cells/ups-to-deploy-fuel-cellbattery-hybrids-as-zeroemission-delivery-trucks>.
- [19] Cropley J. Plug Power and FedEx make a little dent in airport's carbon footprint [Internet]. Schenectady: The Daily Gazette; 2019 Aug 17 [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://dailygazette.com/article/2019/08/17/plug-power-andfedex-make-a-little-dent-in-airport-s-carbon-footprint>.
- [20] Steffen AD. Norwegian wholesaler ASKO has begun using hydrogen fuel cell trucks [Internet]. London: Intelligent Living; 2020 Mar 4 [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://www.intelligentliving.co/asko-hydrogen-fuel-celltrucks/>.
- [21] Adler A. Hydrogen fuel: linchpin of electric truck maker Nikola's business [Internet]. Chattanooga: Freight Waves; 2020 Aug 10 [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://www.freightwaves.com/news/hydrogen-fuel-the-other-side-of-nikolas-electric-truck-business>.
- [22] Lambert F. Nikola (NKLA) founder Trevor Milton is out of the company after deception exposed [Internet]. Fremont: Electrek; 2020 Sep 21 [cited 2020 Sep 29]. Available from: <https://electrek.co/2020/09/21/nikola-nkla-founder-trevor-milton-is-out-deception-exposed/>.
- [23] Field K. Secretive SoCal startup Hyperion teases hydrogen fuel cell-powered electric supercar [Internet]. El Cerrito: Clean Technica; 2020 Aug 6 [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://cleantechnica.com/2020/08/06/secretive-social-startup-hyperion-teases-hydrogen-fuel-cell-powered-electric-supercar/>.