



## News &amp; Highlights

## 氢能列车投入运营

Chris Palmer

Senior Technology Writer

2022年3月，由世界上最大的列车制造商——法国阿尔斯通公司（圣康坦市）——打造的14辆氢能列车 Coradia iLint 在德国开始长期运营（图1）[1]。在汉堡附近的布克斯特胡德（Buxtehude）和沿海城镇库克斯港（Cuxhaven）之间的区级线路上运行的这项为期18个月的新服务是一项商业示范试验。在这项试验中，两辆 Coradia iLint 运载乘客行驶了20多万公里，而向空气中排放的却只有水蒸气。



图1. 在德国成功试运营18个月后，14辆氢能列车 Coradia iLint 于2022年3月正式在德国投入运营，未来几年将在欧洲各地推出更多氢能列车。来源：Alstom (public domain)。

加拿大温哥华不列颠哥伦比亚大学土木工程系副教授 Gordon Lovegrove 说道：“德国的乡村地区人口密度小、客流量少且电力供应不足，阿尔斯通公司生产的列车能在这种地方运营，可谓是惊人之举。Coradia iLint 完美地填补了机载、零排放、电气化的空白。”

Coradia iLints 的成功吸引了德国、法国、意大利、奥地利、英国以及匈牙利等国家的注意。它们纷纷向阿尔斯通公司订购此类列车，并计划投入本国使用[2-7]。其他几个大型制造商也着手建造自己的氢能列车。

氢能汽车、卡车和公交车在几十年前就已经投入使用，虽然取得的商业成就有限，但在氢燃料使用方面，无疑将列车落在了后面。列车依靠柴油（目前欧洲约五分之一的列车、美国大部分铁路列车依赖柴油）以及电力（美国主要是化石燃料产生的电力，欧洲主要是可再生能源产生的电力）提供动力[9]。出现这种情况的主要原因是氢能技术所面临的供需矛盾：在需求明确前，供应商不愿意为降低成本建造所需的大型生产设备，而消费者又希望在低排放燃料的价格降下来后再选用低排放燃料[8]。

然而，最近各国政府开始发布关于净零排放的强制性政策，以缓解气候变化。例如，2021年欧盟提出到2030年温室气体排放量比1990年减少55%，到2050年实现净零排放[10]。法国、苏格兰以及荷兰部分地区的国家列车网络系统承诺在2035年以前以清洁能源系统取代客运和（或）货运柴油发动机[11-13]。德国承诺在2038年以前取缔柴油列车，英国承诺在2040年以前实现这一目标[14-15]。通过扩大对绿色电力（包括氢能发电）的需求，氢能列车将在强制措施下实现飞跃式发展。

如今，大多数氢燃料是通过甲烷水蒸气重整（steam methane reformation, SMR）和电解水产生的：在SMR过程中，甲烷在催化剂的作用下与加压水蒸气反应，产生

“灰氢”（grey hydrogen）：在电解水过程中，通过电解水，分解出氢气和氧气。对于世界上所有的制氢工艺，SMR的使用占比为95% [16]。虽然SMR的成本不高，但其产生的能量却很高。Lovegrove说道：“在生产‘绿氢’（green hydrogen）时，你肯定想使用可再生能源，包括非高峰期的水力发电、太阳能或风能。”

然而，“绿氢”的生产成本是利用SMR生产“灰氢”的2~5倍[17]。Lovegrove说道，要使人们用得起“绿氢”，需要将它生产成本降低一半。至少有几位专家希望这一目标可以在2030年以前实现[18]。尽管其总成本较高，但如今氢能列车在由柴油列车占据主导地位的铁路线上行使的商业案例越来越引人注目；因为建造高架电气化线路的技术难度大、成本高，而且这种铁路线路过长或地势过于陡峭，所以由电池供电的发动机不能满足要求。

2016年，阿尔斯通公司对一个柴油发动机的设计进行了调整，制造了第一辆Coradia iLint列车。这辆列车的电力发动机由氢燃料电池（通过列车顶部储存的氢气与空气中的氧气结合）供电。车载电池还可通过捕捉刹车过程中产生的电力来供电。这辆列车的续航里程为1000 km，最高时速可达140 km，同时运载150名坐着的乘客和150名站着的乘客。电力发动机几乎没有噪声。Lovegrove说道：“我坐过一次，它安静到甚至可以让你听到自己思考的声音。”

为给氢能列车建造加氢设施，阿尔斯通公司与包括位于德国的Linde（爱尔兰都柏林）和波兰的PKN Orlen在内的石油和天然气公司合作[7]。正常情况下，Coradia iLints每加一次氢气可行驶18 h。同时，阿尔斯通公司还与Hynamics公司（法国巴黎）[19]和Deutsche Bahn公司（德国柏林）[20]合作建造移动加氢站。加氢站15 min内就可为列车加好氢，与加柴油所需的时间相近，而给电池充电却需花费3~4 h。

虽然阿尔斯通公司是该领域的先驱，但也有其他公司宣布计划开发具有竞争力的氢能列车。西班牙铁道车辆制造商CAF公司（圣塞瓦斯蒂安）、德国西门子公司（慕尼黑）以及英国的HydroFLEX项目[伯明翰大学铁路研究与教育中心和Porterbrook公司（德比）共同发起的一个合作项目]都在着力开发氢能列车新技术[21-23]。针对目前在美国进行的唯一一个氢能列车项目，瑞士Stadler公司正在为加利福尼亚州圣贝纳迪诺的一条线路设计一辆氢能列车[24]。中国、日本及澳大利亚的氢能列车研发工作也不断取得新突破[25-27]。

短期内可能无法在加拿大多伦多看到客运氢能列车。由于氢燃料生产、运输以及储存方面存在的不确定性问

题，多伦多最近暂停了可能成为迄今为止世界上最大规模的一个氢能列车项目，该项目计划以氢燃料取代柴油来供电[28]。

但加拿大的其他氢能列车项目还在继续进行。Ballard Power Systems公司（加拿大哥伦比亚本拿比）与中国中车（CRRC）青岛四方机车车辆股份有限公司合作开发有轨氢能列车，他们开发的列车目前在中国唐山市和佛山市运行（图2）[29-30]。Ballard Power Systems公司还为加拿大太平洋铁路公司的氢燃料货运机车项目提供了14个燃料电池模块，每个模块的输出功率为200 kW，这些模块将通过氢燃料电池为三辆柴油列车提供动力。这三辆列车最早于2022年开始试运行[31]。另外，该公司与西门子的合作旨在开发新一代氢能列车，名为Mireo Plus H（图3），开发的列车将于2023年在巴伐利亚开始试运行[32]。Ballard Power Systems公司还将为德国马德里供应商Patentes Talgo计划在西班牙运行的列车提供燃料电池[33]。



图2. 加拿大Ballard Power Systems公司与中国中车（CRRC）青岛四方机车车辆股份有限公司合作开发的有轨氢能列车目前正在中国唐山市和佛山市运行。来源：Wikimedia Commons（CC BY-SA 4.0）。



图3. 西门子的Mireo Plus H氢能列车将于2023年年底在巴伐利亚开始试运行。来源：Siemens (public domain)。

与Ballard Power Systems公司在中国、加拿大和欧洲的项目一样，大多数正在开发的氢能列车项目都同时涉及对设备进行全新设计，以及将以柴油和电力提供动力的列车改造成以氢燃料提供动力。Ballard Power Systems公司

的技术总监 Cara Startek 说道：“目前，我们的关注点在于原始设备和改造设备，定做的列车获得认证所需的时间非常长，因此，最理想的方法是针对现有列车制定具有针对性的解决方案。”

Lovegrove 也认为：“能够改造有 30~50 年车龄的列车，是一件激动人心的事情。任意一个机车平台都非常重，大约是 150 t 金属的重量，改造过程中不会对平台的位置做任何改动。你可以对现有的发动机外壳进行改造，只需花费几个月时间和 100 万美元，就可以得到一辆能再行驶 50 年的列车。”

尽管新项目不断涌现，但氢能列车采用的基础技术与几十年前列车采用的技术大体相同。Startek 说道：“燃料电池技术方面取得的成就有限，但在燃料电池工程设计方面却取得了很多成就。我们致力于了解轨道独特的安全系统以及冲击和振动要求，并将其整合到燃料电池系统设计和运行策略中。”

然而，近期的一些创新有助于提升氢能列车的吸引力。例如，英国工程师设计出一种轻型燃料电池转换器。这种转换器的工作方式是通过半导体以可控的方式将能源从燃料电池中提取出来，然后将其输送至列车发动机。这一过程需要将两台独立的转换器升级整合成一台可以提高列车行驶里程的轻型转换器[34]。在氢能的生产及传输方面也存在可为所有氢能车辆带来更为广阔的商业发展前景的创新空间。最近一些令人感兴趣的进展包括：日本将太阳能转化为氢能，效率可提高 100 倍[35]；美国建造了可以放置在现有天然气配送系统旁的小型、廉价加氢站，这些加氢站所用的氢气是利用天然气制造出来的[36]。

制造商也在寻求通过其他方式进一步减少氢能列车对环境的影响。Startek 说道：“我们正在翻新燃料电池，回收 95% 的铂，重复使用电池板。我们希望通过扩大这种策略的应用范围，提升产品的可持续性。”

## References

- [1] Patel T. A hydrogen-powered train will make transport history as Europe looks to become world leader in green rail travel [Internet]. New York City: Fortune; 2021 Apr 23 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://fortune.com/2021/04/23/hydrogen-train-transport-europe-green-rail/>.
- [2] Collet C. RMV's subsidiary fahma orders the world's largest fleet of fuel cell trains from Alstom [Internet]. Saint-Ouen: Alstom; 2019 May 21 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2019/5/rmv-subsiary-fahma-orders-worlds-largest-fleet-fuel-cell-trains>.
- [3] Collet C. First order of hydrogen trains in France—a historic step towards sustainable mobility [Internet]. Saint-Ouen: Alstom; 2019 Apr 8 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2021/4/first-order-hydrogen-trains-france-historic-step-towards-sustainable>.
- [4] Miller S. Alstom to supply Italy's first hydrogen trains [Internet]. Saint-Ouen: Alstom; 2020 Nov 26 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2020/11/alstom-supply-italys-first-hydrogen-trains>.
- [5] Lewis M. EGEB: world's first hydrogen fuel cell train is approved in Austria [Internet]. Fremont: Electrek; 2020 Dec 1 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://electrek.co/2020/12/01/egeb-alstom-hydrogen-fuel-cell-train-austria-giving-tuesday/>.
- [6] Sapien JC. Alstom and Eversholt Rail sign hydrogen train fleet agreement [Internet]. Exeter: Railway News; 2021 Nov 10 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://railway-news.com/alstom-and-eversholt-rail-sign-hydrogen-train-fleet-agreement/>.
- [7] Smith R. Alstom and MOL of Hungary agree joint research into use of hydrogen for rail transport [Internet]. Leyland: Rail Advent; 2021 Dec 11 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.railadvent.co.uk/2021/12/alstom-and-mol-of-hungary-agree-joint-research-into-use-of-hydrogen-for-rail-transport.html>.
- [8] Palmer C. Hydrogen power focus shifts from cars to heavy vehicles. *Engineering* 2020;6(12):1333–5.
- [9] Schmidt N. This hydrogen-powered train emits only water [Internet]. Atlanta: CNN; 2017 Apr 12 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://money.cnn.com/2017/04/12/technology/germany-hydrogen-powered-train/index.html>.
- [10] Blenkinsop P. EU reaches provisional deal on 55% greenhouse gas cut by 2030 [Internet]. London: Reuters; 2021 Apr 20 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.reuters.com/business/environment/eu-reaches-provisional-deal-55-greenhouse-gas-cut-by-2030-2021-04-21/>.
- [11] Briginshaw D. SNCF aims for zero emissions by 2035 [Internet]. New York City: International Railway Journal; 2019 Jun 26 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.railjournal.com/news/sncf-aims-for-zero-emissions-by-2035/>.
- [12] Lewis M. Scotland will decarbonize passenger rail services by 2035 [Internet]. Fremont: Electrek; 2020 Aug 3 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://electrek.co/2020/08/03/scotland-decarbonize-passenger-rail-services-2035/>.
- [13] Geerts E. Hydrogen trains will replace diesel units in Groningen [Internet]. Rotterdam: Railtech; 2020 Jan 10 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.railtech.com/rolling-stock/2020/10/01/hydrogen-trains-will-replace-diesel-units-in-groningen/>.
- [14] Zasiadko M. Deutsche Bahn to become carbon neutral by 2050 [Internet]. Rotterdam: Railtech; 2020 Jan 10 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.railtech.com/policy/2020/09/07/deutsche-bahn-to-become-carbon-neutral-by-2050>.
- [15] Steffen AD. Britain's strategy to decarbonize 15 140 km of train lines [Internet]. Bristol: Intelligent Living; 2020 Sep 10 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.intelligentliving.co/britains-decarbonize-train-lines/>.
- [16] Rapier R. Estimating the carbon footprint of hydrogen production [Internet]. Jersey City: Forbes; 2020 Jun 6 [cited 2022 Jan 20]. Available from: <https://www.forbes.com/sites/rpapier/2020/06/06/estimating-the-carbon-footprint-of-hydrogen-production/?sh=11b81a6024bd>.
- [17] Hydrogen economy outlook [Internet]. New York City: Bloomberg NEF; 2020 Mar 30 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://data.bloomberglp.com/professional/sites/24/BNEF-Hydrogen-Economy-Outlook-Key-Messages-30-Mar-2020.pdf>.
- [18] 'Green' hydrogen to outcompete 'Blue' everywhere by 2030 [Internet]. New York City: Bloomberg NEF; 2021 May 5 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://about.bnef.com/blog/green-hydrogen-to-outcompete-blue-everywhere-by-2030/>.
- [19] Molitor P. Alstom and hynamics (EDF) sign a partnership agreement to optimise the fuelling of hydrogen trains [Internet]. Saint-Ouen: Alstom; 2020 Sep 10 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2021/11/alstom-and-hynamics-edf-sign-partnership-agreement-optimise-fuelling>.
- [20] Geerts E. Hydrogen trains: DB develops rapid refueling [Internet]. Rotterdam: Railtech; 2021 Aug 7 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.railtech.com/rolling-stock/2021/07/08/hydrogen-trains-db-develops-rapid-refueling/>.
- [21] EU selects CAF-led hydrogen train development project for €10m grant [Internet]. London: Railway Technology; 2020 Nov 5 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.railway-technology.com/news/eu-grant-caf-led-hydrogen-train-development-project/>.
- [22] Revill J. Siemens on track for long-range hydrogen-powered trains [Internet]. London: Reuters; 2021 Dec 2 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.reuters.com/markets/commodities/siemens-track-long-range-hydrogen-powered-trains-2021-12-02/>.
- [23] McKelvie R. All aboard Hydroflex, the UK's first hydrogen-powered passenger train [Internet]. London: Independent; 2021 Nov 12 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.independent.co.uk/travel/news-and-advice/hydroflex-hydrogen-train-green-rail-b1956618.html>.
- [24] Stadler to deliver hydrogen-powered train to SBCTA [Internet]. London: Railway

- Technology; 2019 Nov 15 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.railway-technology.com/news/stadler-deliver-hydrogen-powered-train-sbcta/>.
- [25] China's first hydrogen fuel cell hybrid locomotive starts trial run [Internet]. Beijing: China Daily; 2021 Oct 29 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.greencarcongress.com/2021/11/20211102-chinah2loco.html>.
- [26] JR East, Hitachi, and Toyota to develop hydrogen-powered railway vehicles [Internet]. London: Railway Technology; 2020 Oct 7 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.railway-technology.com/news/jr-east-toyota-railway-vehicles/>.
- [27] Waterson L. Green trains on their way to power one of the world's most abundant mining regions [Internet]. Sydney: Australian Broadcasting Corporation; 2021 Dec 28 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.abc.net.au/news/2021-12-29/hydrogen-powered-freight-trains-north-west-minerals-province/100728682>.
- [28] Spurr B. After four years and \$7 million, Metrolinx quietly drops proposal for hydrogen-powered GO trains [Internet]. Toronto: Toronto Star; 2021 Mar 1 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.thestar.com/news/gta/2021/03/01/after-four-years-and-7-million-metrolinx-quietly-drops-proposal-for-hydrogen-powered-go-trains.html>.
- [29] Smith K. CRRC Tangshan trials new hydrogen-fueled tram [Internet]. New York City: International Railway Journal; 2017 Oct 31 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.railjournal.com/passenger/light-rail/crrc-tangshan-trials-new-hydrogen-fuelled-tram/>.
- [30] Smith K. Chinese demand drives fuel-cell adoption [Internet]. New York City: International Railway Journal; 2018 Jan 15 [cited 2022 Jan 12]. Available from: [https://www.railjournal.com/in\\_depth/chinese-demand-drives-fuel-cell-adoption/](https://www.railjournal.com/in_depth/chinese-demand-drives-fuel-cell-adoption/).
- [31] Stephens B. Canadian Pacific's hydrogen fuel cell locomotive to debut before year's end [Internet]. Waukesha: Trains; 2021 Nov 30 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.trains.com/trn/news-reviews/news-wire/canadian-pacifics-hydrogen-fuel-cell-locomotive-to-debut-before-years-end>.
- [32] Heynes G. Ballard to provide fuel cell modules for hydrogen-powered train in Germany [Internet]. Truro: H2 View; 2021 Jul 15 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.h2-view.com/story/ballard-to-provide-fuel-cell-modules-for-hydrogen-powered-train-in-germany/>.
- [33] Charlton K. Ballard to power Talgo fuel cell passenger train in European trial, ahead of planned 2023 launch [Internet]. Truro: Yahoo Finance; 2021 Oct 12 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://finance.yahoo.com/news/ballard-power-talgo-fuel-cell-123000991.html>.
- [34] Krastev I, Tricoli P. Boost multilevel cascade inverter for hydrogen fuel cell light railway vehicles. *IEEE Trans Ind Electron* 2021;69(8):7837–47.
- [35] Wang Z, Luo Y, Hisatomi T, Vequizo JJM, Suzuki S, Chen S, et al. Sequential cocatalyst decoration on BaTaO<sub>2</sub>N towards highly-active Z-scheme water splitting. *Nat Commun* 2021;12(1):1005.
- [36] Bauer S. On-site hydrogen production technology accelerates to market [Internet]. Richland: PNNL; 2021 May 26 [cited 2022 Jan 12]. Available from: <https://www.pnnl.gov/news-media/site-hydrogen-production-technology-accelerates-market>.