

GORE®燃料电池技术

优化燃料电池卡车的
总拥有成本 (TCO)



赋能未来： PEMFC在替代柴油发动机过程中的技术进展



重型车辆(HDV)可充分利用质子交换膜(PEM)燃料电池技术来实现出色性能，但需要新的解决方案来满足其严苛的运行要求。为此，我们对话 Simon Cleghorn，请他分享戈尔的先进材料专业知识是如何在降低总拥有成本(TCO)的同时提供出色性能。Simon Cleghorn目前担任戈尔清洁能源事业部的全球产品专家，在燃料电池领域拥有28年的丰富经验。



使用。鉴于公路货运车辆的碳排放量占全球碳排放总量的5%³，使用PEM燃料电池取代传统重型车辆中的柴油发动机已经势在必行。

PEM燃料电池在交通运输领域的现状如何？

质子交换膜(PEM)燃料电池技术在乘用车领域已经发展了20多年，在技术和商业方面都取得了许多成功。因此，PEM燃料电池可以成为替代传统内燃机(ICE)极具吸引力的方案，并且在驾驶体验、续航里程和燃料加注时间等方面均与ICE表现相当，同时还具备零尾气排放的优点。

最近，凭借在功率和能源¹方面均优于锂离子电池²的独特优势，PEM燃料电池在重型车辆(HDV)和商业运输领域引起了越来越多的关注。PEM燃料电池具有质量轻、体积小、燃料加注时间短、续航里程长等优点，为长途重型运输行业的碳减排提供了重要机遇。

这种电池已经在物料搬运应用（叉车）等一些小众市场，以及一些重点商业运输应用（客车、卡车和货车）中投入

在重型车辆领域实现燃料电池商业化需要满足什么要求？

重型车辆使用场景的运行要求对PEM技术提出的挑战要远远大于乘用车。由于重型车辆要求的使用寿命更长、工作温度更高、功率也更高，目前在轻型车辆(LDV)应用中存在的PEM限制和故障机制等问题，在重型车辆应用中可能会更加严重。

1. 《燃料电池在重型运输行业的全新发展道路和挑战》，David A. Cullen、K. C. Neyerlin、Rajesh K. Ahluwalia、Rangachary Mukundan、Karren L. More、Rodney L. Borup、Adam Z. Weber、Deborah J. Myers和Ahmet Kusoglu，美国：N. p.，2021，<https://www.nature.com/articles/s41560-021-00775-z>

2. 《氢能的未来》，国际能源署，2019年6月，https://iea.blob.core.windows.net/assets/9e3a3493-b9a6-4b7d-b499-7ca48e357561/The_Future_of_Hydrogen.pdf

3. 《二氧化碳和温室气体排放》，Hannah Ritchie、Max Roser和Pablo Rosado，2020，<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>

图1概括展示了重型车辆和乘用车在燃料电池系统要求方面的一些差异。通常情况下，重型车辆燃料电池发动机(FCHDV)的功率输出(300kW)需达到燃料电池乘用车(100kW)的3倍，预期使用寿命(30,000小时)几乎需达到后者(8000小时)的4倍⁴，才能实现当前柴油机技术约100万英里的使用寿命。



从成本角度来看，乘用车的关注点往往是初始购买价格。而对于重型车辆来说，车辆使用寿命内的资产总成本，也就是总拥有成本(TCO)，才是决定业务吸引力的关键指标。

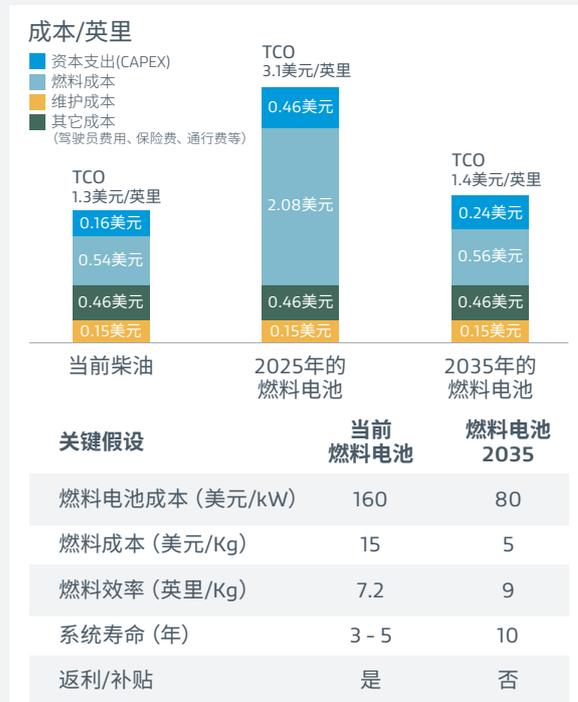
因此，为了尽可能降低燃料成本，人们对车辆的效率提出了更高要求，但对发动机采购成本的要求有所放宽。根据美国能源部(DOE)估计，相比乘用车燃料电池系统3,000美元(30美元/kW)的成本目标，重型车辆燃料电池系统的成本目标将增加至18,000美元(60美元/kW)。

我们根据一个简单模型预测出，目前燃料电池重型车辆的总拥有成本大约是内燃机重型车辆的2-3倍(图2)⁵。该模型是基于燃料电池卡车制造商公告、行业报告和DOE公布的目标中的公开数据开发而成。(由于运行燃料电池的行业经验尚不充分，我们假设技术解决方案暂不涉及维护成本以及驾驶员费用、保险费和通行费等其它成本。)

此图显示，降低总拥有成本以实现成本上的持平需要从多个方面着手，从产品开发到公共政策和行业监管的整个价值链均需采取行动并参与其中。

图2.

通过简单的总拥有成本模型比较柴油和燃料电池长途重型车辆的结果。



从创新角度来看，解决以下问题对于在成本上与柴油发动机持平具有重要意义：

- **降低车辆使用寿命内的氢燃料成本：**将燃料电池系统的燃料效率提高到预计每公斤氢燃料可行驶7.2英里以上⁶，同时将氢气的单位成本从目前预估的每公斤15美元降至每公斤5美元。
- **降低初始系统成本，**以抵消未来取消的现有补贴⁷。我们认为这可以通过同时降低燃料电池系统成本(160美元/kW)⁸和储氢罐成本(每公斤储存氢气1000美元)来实现，以达到DOE公布的目标⁹(80美元/kW和每公斤储存氢气400美元)。

4 - 5. 《利用质子交换膜的技术进步，应对替代柴油发动机所面临的挑战》，Simon Cleghorn (戈尔公司) 在Mobex网络研讨会上的演讲，2023年5月11日。
6. 《Nikola已成为成熟的电动卡车制造商》，FreightWaves, 2023年3月17日，<https://www.freightwaves.com/news/nikola-matures-as-an-electric-truck-manufacturer>
7. 《清洁重型车辆计划》，EPA, 2023年8月30日，<https://www.epa.gov/inflation-reduction-act/clean-heavy-duty-vehicle-program>
8. 《氢能计划记录》，DOE, 2023年5月23日，<https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/23002-hd-fuel-cell-system-css-2022.pdf>
9. 《储氢成本分析》，DOE, 2022年6月，https://www.hydrogen.energy.gov/docs/hydrogenprogramlibraries/pdfs/review22/st235_h2ouhins_2022_p-pdf.pdf?Status=Master

- **延长系统寿命** (行驶里程)，达到10年使用寿命。目前，我们尚未获得任何关于当前FCHDV使用寿命的公开数据报告。示范试验正在进行中，比如南加州的短驳货运车队¹⁰和德克萨斯州的食物配送卡车¹¹，它们均服务于现实客户以证明FCHDV的商业可行性。因此，我们假设目前的燃料电池使用寿命约为最终可以实现的使用寿命的30%至50%。

开发面临的挑战有哪些？ 戈尔如何解决降低总拥有成本这一挑战？

在所有建模场景中，燃料成本是影响FCHDV总拥有成本的最主要因素，这意味着开发商应该将未来的投资重点放在这一方面。



同时，我们也认识到，要想确定能够使FCHDV的使用寿命达到10年的材料要求和运营策略，需要投入大量的时间和资金。

汽车制造商系统开发人员的目标是尽可能降低总拥有成本，因此他们很可能在这个复杂的多维系统中面临难题，

需要在提升燃料效率和延长使用寿命的需求之间做出权衡。而燃料电池技术在重型车辆应用领域的相对不成熟，更是加大了实现这一目标的难度。

戈尔在燃料电池行业和PEM材料领域拥有超过25年的丰富经验和深厚专业知识。戈尔的目标是充分运用我们在PEM领域的出众能力，并与研发工程师展开合作，加快开发具有竞争力的燃料电池电堆和系统，从而减少顾此失彼的权衡难题，并实现具有显著竞争优势的总拥有成本。

作为全球为数不多的将产品全面应用于商业化燃料电池汽车生产的PEM制造商，戈尔了解客户面临的挑战和他們所处的市场。

戈尔的PEM如何帮助降低总拥有成本(TCO)？

作为PEM开发商，我们发现在这个复杂的系统中，PEM特性可以通过多种途径影响重型车辆应用总拥有成本的关键因素(图3)。

戈尔发现，有五个关键的PEM特性——质子交换膜电阻、机械耐久性、化学耐久性、气体渗透性和价格——可以通过影响系统的设计、效率和成本等途径来改善总拥有成本。

可能的影响途径以及不同特性对总拥有成本的影响如下所示：

- **降低PEM的质子电阻**可以缩小电堆尺寸，从而降低系统成本，最终降低车辆成本。另外，降低质子电阻还可以

10. 《燃料电池短驳卡车在洛杉矶港示范项目获广泛认可》，Heavy Duty Trucking, 2022年9月22日, <https://www.truckinginfo.com/10181655/fcev-drayage-trucks-prove-themselves-in-la-port-demonstration-project>

11. 《Hyzon Motors成功完成首个液氢燃料电池电动卡车的客户演示》，PR Newswire, 2023年8月30日, <https://www.prnewswire.com/news-releases/hyzon-motors-successfully-completes-first-customer-demo-of-liquid-hydrogen-fuel-cell-electric-truck-301913272.html>

图3.

PEM特性可能影响总拥有成本关键因素的多种途径。



提高电压效率，从而在车辆的使用寿命内提高燃料效率和降低燃料成本。这突出了通过改进单个PEM特性来优化总拥有成本的几种不同方式。

- 同样，**提高PEM的机械耐久性**可以通过减少保护PEM所需的系统控制或缩小电池体积，并更多地依赖燃料电池的负载跟踪能力，从而简化燃料电池系统的设计。而系统重量的减轻或成本的降低都会对总拥有成本产生影响。
- **提高PEM的化学耐久性**可以使燃料电池电堆承受住恶劣的工作条件，因此可以简化系统控制或冷却系统的设计。

这些示例表明，这是一个涉及多个方面的复杂问题，其中任何一种PEM特性的任何改进都可以通过多种方式来降低车辆的总拥有成本，同时妥善兼顾潜在的性能权衡问题，例如前两个示例中的PEM电阻和机械耐久性。

戈尔的专长在于我们的工程制造能力。基于过去几十年从先进的测试和开发经验中获得的数据和见解，我们深谙如何根据关键客户需求优化PEM特性并减少权衡。



作为PEM开发商，我们的目标是为系统工程师提供丰富的材料和设计解决方案选项，从而在考虑不同重型车辆使用场景的需求时，为降低总拥有成本提供可行的工程途径。

我们相信，这一过程可以带来多种降低总拥有成本的有效方法，这可能取决于具体的应用场景，也可能取决于地区补贴情况或当地氢燃料成本。

戈尔还有哪些方法来帮助降低总拥有成本？

戈尔的燃料电池经验和企业级服务能力为我们的客户提供了超出PEM材料特性的高价值燃料电池解决方案。

我们拥有稳定可靠的全球供应安全性和产能输出，可以提供大批量、高质量的PEM产品，从而降低汽车制造商的制造和原材料成本。

近期，我们在精密喷涂技术方面实现了工艺创新，随后又投入大量资金，这使得我们可以快速生产出更优质、更均匀、更宽的GORE-SELECT®质子交换膜。这为燃料电池电堆制造商的下游加工提供了更大的灵活性，并最终增强了他们的信心，使他们坚信自己的产品能够在预期使用寿命内发挥出色性能。



我们与客户密切合作，并运用我们先进的测试和失效模式分析能力，为解决问题和确定产品开发的未来方向提供了重要见解。更深入地了解戈尔产品的适用性，有助于制定正确的投资策略和加快产品上市。

这对于瞬息万变、竞争激烈且发展迅速的燃料电池行业来说格外重要。

燃料电池重型车辆的未来前景如何？

鉴于交通运输行业对全球温室气体排放的重大影响，同时也为了响应全球对净零碳排放目标的承诺，整个行业正在朝着“零排放”的方向发展。

然而，尽管燃料电池重型车辆具有环保优势，但只有当它们能够带来经济效益，并被证明能够成为柴油发动机的可行商业替代方案时，才有可能实现大规模的采用。

尽管整个生态系统复杂且充满挑战，但形势较为乐观。麦肯锡的一份报告预测，由于技术的进步和相关成本的降低，以及汽车生产规模的扩大和基础设施的部署，到2040年，燃料电池重型车辆的总拥有成本将大幅降低。

在合适的市场条件下，未来20年内，美国、欧盟和中国市场85%的新售中型和重型卡车将采用零排放动力系统（包括传统电池和燃料电池）。¹²

戈尔热切期望携手广大客户，协助他们从容解决发展难题。性能优异的PEM有助于降低总拥有成本，这将帮助燃料电池电堆和系统制造商坚定信心，助力他们打造出能够应对恶劣工作条件并具有出众性价比的燃料电池解决方案，从而在竞争激烈的市场中取得成功。



12.《助力全球为零排放卡车做好准备》，麦肯锡未来出行研究中心，2022年9月，<https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/preparing-the-world-for-zero-emission-trucks>



关于作者：

Simon Cleghorn

电子邮件：

scleghorn@wlgore.com

Simon Cleghorn目前担任W. L. Gore & Associates（戈尔公司）的全球产品专家。电化学博士，在燃料电池及其它应用的质子交换膜领域拥有近28年的工作经验。

如需详细了解戈尔及其GORE-SELECT®质子交换膜技术，敬请访问<https://www.gore.com.cn/alt-energy>。

关于戈尔

戈尔是一家以材料科技为本的全球性公司，专注于革新产业和改善生活。自1958年成立以来，戈尔专注于解决各种严苛环境中的复杂技术难题，从外太空到全球最高峰、再到人体内部，不一而足。戈尔在全球拥有超13,000名同事，推崇重视团队精神的企业文化，年收入达48亿美元。

如需了解详情，请访问[gore.com.cn](https://www.gore.com.cn)

仅限工业用途。不适用于食品、药品、化妆品或医疗设备等制造、加工或包装作业。

本文所有技术信息和建议都依据戈尔公司先前的经验和/或试验结果。戈尔公司尽力提供这些信息，但对此不承担法律责任。客户应检查具体应用中的适应性和可用性，因为只有具备了所有必要的工作数据才能判断本产品的性能。上述信息可能会不时变更，不作为产品规格使用。戈尔公司的销售条款适用于戈尔产品的销售。

W. L. Gore & Associates, Inc.（戈尔公司）通过了ISO 9001认证。

GORE、GORE-SELECT、*Together, improving life*及其设计是W. L. Gore & Associates（戈尔公司）的商标。版权所有 © 2024 W. L. Gore & Associates, Inc. 保留所有权利。由 W. L. Gore & Associates (Shenzhen) Co., Ltd. 翻译。

全球各地联系方式

澳大利亚	+61 2 9473 6800	印度	+91 22 6768 7000	新加坡	+65 6733 2882
中国大陆	+86 21 5172 8299	日本	+81 3 6746 2570	南美	+55 11 5502 7800
欧洲、中东和非洲地区	+49 89 4612 2211	韩国	+82 2 393 3411	中国台湾	+886 2 2173 7799
德国	+49 89 4612 0	墨西哥	+52 81 8288 1283	美国	+1 410 476 2699

戈尔（深圳）有限公司上海分公司

地址：中国上海市南京西路1468号中欣大厦43楼

电话：+86 21 5172 8299 传真：+86 21 6247 9199 电邮：info_china@wlgore.com

[gore.com.cn/alt-energy](https://www.gore.com.cn/alt-energy)

立即扫码
获取技术支持

