



## 膜电极组件设计如何让燃料电池成为重型车辆的可行解决方案

咨询专家



Shinichi Nishimura, W. L. Gore & Associates (戈尔公司) 燃料电池技术全球产品专家, 在燃料电池和其它应用的质子交换膜领域拥有 20 多年的丰富经验。我们与 Shinichi 一同讨论了交通运输行业的无碳化, 通过氢能汽车显著减少重型车辆排放的可行性, 以及膜电极组件 (MEA) 制造商在这些工作条件下必须克服的挑战。



在实现全球净零碳排放这一宏伟目标的过程中, 交通运输行业必须扮演什么样的角色?

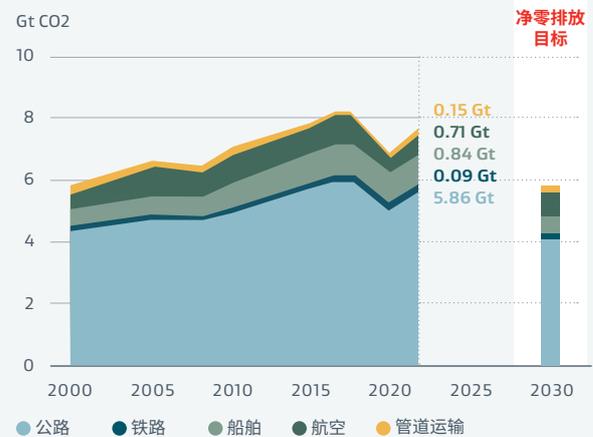


交通运输行业作为无碳化杠杆的重要性无论如何强调都不为过。交通运输行业在过去几乎完全依赖于化石燃料和内燃机, 该

行业单单在 2021 年产生的二氧化碳排放就占全球总排放量的 37%。要达到国际净零碳排放的目标, 当务之急便是降低交通运输行业的碳排放量 (图 1)。

图1.

### 净零排放情景中各种交通运输方式的全球二氧化碳排放量, 2000-2030



推进客运和货运的可持续发展, IEA, 2022,  
<https://www.iea.org/topics/transport>

重型车辆 (HDV) 行业在无碳化进程中扮演的角色尤为关键。在美国, 中型和重型卡车的年度汽车燃料使用量占据总使用量的 25%, 碳排放则占总排放量的 23%。更重要的是, 到 2050 年, 年度货运卡车里程数预期还会大幅增长, 这使得其它低碳能源的开发及商业化刻不容缓。



质子交换膜 (PEM) 燃料电池如何成为适合重型车辆 (HDV) 的技术？



近年来，随着我们在氢燃料电池质子交换膜 (PEM) 技术领域实现进步和创新，质子交换膜燃料电池作为取代柴油发动机的可行解决方案，开始真正引起人们的关注。质子交换膜在可扩展性、耐久性和功率密度等方面的独特特性，使得这一解决方案对重型长途商业运输行业颇具吸引力。

“ 质子交换膜在可扩展性、耐久性和功率密度等方面的独特特性，使得这一解决方案对重型长途商业运输行业颇具吸引力。 ”

燃料电池在重型运输行业的全新发展道路和挑战，Cullen等，2021，  
<https://www.osti.gov/pages/servlets/purl/1777401>

氢燃料能够以更小的重量储存更多的能量，因而非常适合大型运输。燃料电池电堆的功率可通过增加额外的燃料电池来提高，而重量却不会增加太多，从而可进一步提升商业氢能车队的运载能力。氢能卡车已经展现出一定的竞争优势，其燃料加注速度甚至比传统内燃机更快。

凭借可预测的商业化路线，加氢站 (HRS) 运营商能够采用“中心辐射”模式持续为燃料电池重型车辆 (HDV) 提供服务，从而快速收回初始投资。



在这个市场上，燃料电池电堆制造商面临哪些挑战？



初始车辆成本较高以及材料耐久性欠佳，这两大问题已为轻型车辆 (LDV) 市场的燃料电池汽车 (FCV) 商业化带来很大障碍——而这些问题对于重型车辆 (HDV) 而言则更为严峻。

重型车辆具有不同的驾驶循环和工作条件，使用寿命要求也长得多，这些特点将对质子交换膜燃料电池部件当前的耐久性极限和失效机制提出挑战。美国能源部 (DOE) 近期公布了氢能 8 级长途卡车的目标，强调了重型车辆相对于轻型车辆在性能标准方面的大幅跃升。系统使用寿命增加近四倍，达到 12 年，里程则超过 100 万英里。



由于重型车辆希望延长使用寿命并提高效率，我们需要全新的技术和集成策略来实现这些目标，特别是在轻型车辆应用中尚未评估过的工作条件下。

从材料角度而言，作为燃料电池电堆的核心，膜电极组件 (MEA) 的设计和耐久性对于克服这些挑战，以及交付可靠的高性能燃料电池重型车辆而言至关重要。



膜电极组件容易损坏吗？



膜电极组件是氢和氧发生电化学反应的地方，也是燃料电池电堆的核心。膜电极组件的工作环境非常严酷，在长途重型卡车应用中更是如此。为了确保在更长的使用寿命内保持稳定性能，作为膜电极组件的关键组件，质子交换膜的化学 - 机械稳定性尤为重要。

在工作过程中，膜电极组件可能会受到物理和化学损坏。多变的驾驶循环引起电压变化，导致材料性能衰减，例如碳载体腐蚀或质子交换膜变薄，最终导致性能下降。空气压力波动、湿度和温度循环 (湿热应力) 导致机械性能衰减，并且可能出现裂纹和撕裂，进而导致质子交换膜过早失效。

重型车辆使用寿命的延长还会引起另一重担忧，即质子交换膜会与污染物接触更长时间，进而加快性能衰减（例如铁离子充当 Fenton 反应物）。污染物可通过燃料、空气或燃料电池电堆的其它部件进入，因此，确保质子交换膜的化学耐久性至关重要。此外，尽可能减少氢气渗透可以提高能源效率，延长使用寿命——这正是我们在重型车辆应用中期望实现的目标。



## 膜电极组件如何通过设计来克服这些挑战？



为了满足更高的电压和温度要求，从而实现更高的效率，燃料电池电堆制造商必须更加专注于减少气体渗透导致的动力学损耗和混合电势，避免因膜电极组件中催化剂 / 树脂反应导致的局部问题。

膜电极组件本身由三个区域组成（图 2）：

- “功能”区，为电池产生电能；
- “结构”区，为膜电极组件提供化学 - 机械耐久性；
- “过渡”区，由功能区和结构区组件组成。

过渡区会直接遭受物理损坏和化学污染。过渡区包含了决定功率密度和能源效率的催化剂层和气体扩散层，以及决定膜电极组件结构完整性的粘合剂、框架和密封件。

要想生产能够在恶劣工作条件下保持高输出的可靠膜电极组件，审慎的 MEA 设计并使用足够可靠耐用的材料至关重要。

在燃料电池工作过程中，过渡区会受到夹紧力、湿热应力、气压波动的影响。不合理的设计会导致质子交换膜上出现裂纹，进而引起效率损失、功率密度降低和气体渗透增加，最终导致燃料电池电堆出现严重故障。

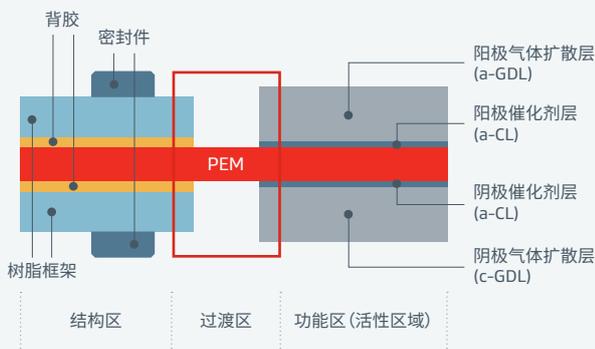
结构框架和保护层可以增加机械耐久性，垫圈和可靠密封可以控制外部气体泄漏，或阳极和阴极之间的内部渗透，从而降低化学污染的机率。



为避免开发时的权衡取舍，例如为了提高功率密度而牺牲质子交换膜的耐久性，膜电极组件过渡区中的组件应尽可能集成在一起，以便达到设计、性能和成本目标。例如，将密封组件焊接到隔板上，或直接集成到膜电极组件中，从而提供更好的电化学防护。多功能组件可帮助工程师和设计师设计出紧凑且可靠的膜电极组件结构。

图2.

### 膜电极组件的主结构示意图



质子交换膜燃料电池的膜电极组件的过渡区概览：  
设计、性能衰减和缓解、质子交换膜(Basel), 2022,  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8952641>



## 使用 GORE-SELECT® 质子交换膜如何让膜电极组件制造商受益？



戈尔深耕燃料电池行业已有近三十年时间，我们的技术也已在全球数以千计的交通运输应用中得到验证。戈尔目前是全球唯一将产品全面应用于商业化燃料电池汽车生产的质子交换膜制造商！

凭借戈尔的丰富经验，以及在材料科学领域的专业知识，我们推出了新一代 GORE-SELECT® 质子交换膜，为质子交换膜开创了新的设计空间。我们能够将质子交换膜电阻或渗透率降低多达 50%，同时丝毫不影响其它特性——这对燃料电池电堆设计人员而言可谓向前迈出的重大一步，能够帮助他们避免开发时的权衡取舍。



这些质子交换膜由戈尔专有的增强型膨体聚四氟乙烯 (ePTFE) 薄膜打造，因此可在减小厚度的同时，依旧提供出众的耐久性 or 性能。减小厚度可降低质子电阻，从而提高功率。而且，较薄的质子交换膜具有更高的水传输率，这样可以提高性能，特别是在较低的相对湿度 (RH) 下。

## 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 12,000 名同事，推崇重视团队精神的企业文化，年收入达 45 亿美元。

如需了解更多详情，敬请访问：[gore.com.cn](http://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, Together, improving life 及其设计是 W. L. Gore & Associates (戈尔公司) 的注册商标。©2023 W. L. Gore & Associates, Inc.

### 全球各地联系方式

澳大利亚	+61 2 9473 6800	日本	+81 3 6746 2570	南美	+55 11 5502 7800
中国大陆	+86 21 5172 8299	韩国	+82 2 393 3411	中国台湾	+886 2 2173 7799
欧洲、中东和非洲地区	+49 89 4612 2211	墨西哥	+52 81 8288 1283	美国	+1 410 506 7812
印度	+91 22 6768 7000	新加坡	+65 6733 2882		

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@wgore.com](mailto:info_china@wgore.com)  
[gore.com.cn/alt-energy](http://gore.com.cn/alt-energy)

GORE-SELECT® 质子交换膜经过严格测试，即便在极端条件下，也能够提供持续稳定的电流输出。例如，戈尔质子交换膜对湿热应力的耐受性更强：实践证明，在相对湿度循环机械耐久性测试中，其性能超出美国能源部 (DOE) 目标的 1-3 倍。

戈尔的先进添加剂技术可以降低化学污染，延长在长途卡车运输等严酷工作环境下的使用寿命。这令戈尔质子交换膜能够有效减少 Fenton 金属污染，降低氟化物释放率。与非增强型质子交换膜相比，戈尔的增强型质子交换膜具有更低的气体渗透性，可减少由于气体渗透导致的损坏。

在这一竞争激烈的行业，管理和降低总拥有成本 (TCO) 至关重要。凭借深厚的材料专业知识、供应安全性、稳定质量，以及矢志追求创新的企业文化，戈尔有能力为客户提供使用寿命更长且性能更出色的质子交换膜，从而帮助客户降低总拥有成本。

立即扫码  
获取技术支持

