

燃料电池汽车车载氢系统布置设计与安装工艺研究

吴雪丽 王士英 张大锐 陈桂任
海南海马汽车有限公司 海南 海口 570216

摘要：随着环保意识的增强和新能源汽车技术的快速发展，燃料电池汽车作为一种清洁、高效的能源解决方案，受到广泛关注。车载氢系统作为燃料电池汽车的核心部件之一，其布置设计与安装工艺直接关系到车辆的安全性和性能。本文基于燃料电池汽车车载氢系统的布置设计与安装工艺，结合强度仿真，系统阐述了车载氢系统的设计原则、布置方案、安装工艺及强度验证，旨在为燃料电池汽车车载氢系统的优化设计与安全应用提供参考。

关键词：燃料电池汽车；车载氢系统；布置设计；安装工艺；强度仿真

1 引言

近年来，全球能源结构转型与环保意识增强推动了新能源汽车的发展，燃料电池汽车凭借其高效、零排放等优势成为汽车产业的重要方向。车载氢系统作为其核心部件，其布置设计与安装工艺至关重要。合理的布置设计能降低碰撞风险，确保安全；科学的安装工艺能保证密封性和可靠性。本文深入探讨车载氢系统的布置与安装，提出改进方案，并通过仿真与试验验证其有效性，旨在提升系统性能，促进燃料电池汽车的商业化应用。

2 车载氢系统组成

燃料电池汽车上从加氢口至减压阀，与氢气加注、储存、输送、供给和控制有关的装置，构成车载氢系统，其主要由以下几个关键部分组成^[2]（参见图1）：

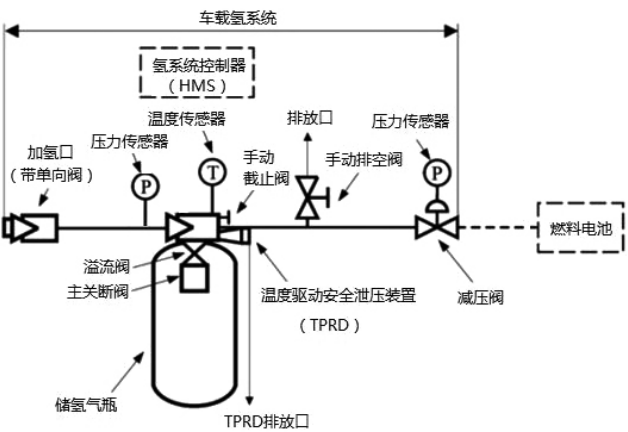


图1 燃料电池汽车车载氢系统示意图

◎加氢口：用于向储氢气瓶加注氢气，通常配备有防尘盖和防泄漏装置，确保加注过程的安全性和便捷性。

◎储氢气瓶：用于储存高压氢气，通常采用碳纤维缠绕金属或塑料内胆的结构，能够承受高达70MPa的压力。

◎瓶阀：安装在储氢气瓶的瓶口，用于控制氢气安全进出储氢气瓶，包括主关断阀、溢流阀、手动截止阀、温度传感器、TPRD等。

◎减压阀：将高压氢气减压至燃料电池所需的压力范围。

◎压力传感器：实时监测与储氢气瓶连接的管路中的高压压力和与减压阀连接的管路中的低压压力。

◎氢气管路：连接储氢气瓶、瓶阀、加氢口、减压阀等部件，输送氢气给燃料电池。

氢系统控制器：通过CAN通讯与整车数据交互，实现车载氢系统的功能和性能。

3 车载氢系统布置设计

车载氢系统的布置设计，应满足标准GB/T 26990-2023《燃料电池电动汽车 车载氢系统技术条件》的安全保护、安装强度、环境适应性的要求。根据标准要求，本文提出以下车载氢系统布置设计方案。

3.1 储氢气瓶安全保护布置设计

储氢气瓶采用分组布置方案，两组储氢罐都布置在乘员舱外^[3]。第一组有2个储氢气瓶，组成双瓶组件，布置在二排座椅底下；第二组有1个储氢气瓶，组成单瓶组件布置在行李箱底下。单双瓶组件布置示意图见图2。

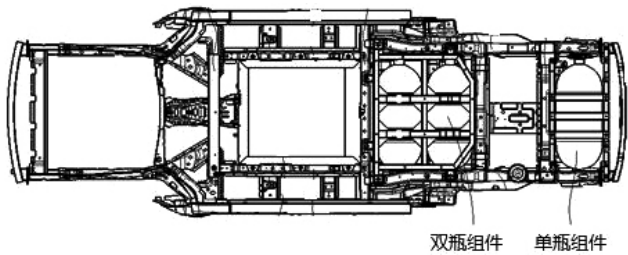


图2 单双瓶组件布置示意图

第一组储氢气瓶布置在车身“田”字形加强梁结构内，“田”字形加强梁组合可有效抵消来之前后左右

的碰撞冲击,从而达到保护储氢气瓶避免受到伤害的作用^[4]。气瓶的安装支架设计成双“目”字形结构,固定在车身的“田”结构上,每个储氢气瓶布置在“目”字形结构内,进一步避免储氢气瓶受到碰撞冲击的伤害。

第二组储氢气瓶布置在车身“口”字形加强梁结构内,“口”字形加强梁结构可有效抵消来之前后左右的碰撞冲击,从而达到保护储氢气瓶避免伤害的作用。气瓶的安装支架设计成“井”字形结构,固定在车身的“口”结构上,储氢气瓶布置在“井”字形结构内,进一步避免储氢气瓶受到碰撞冲击的伤害。由于该储氢气瓶比较靠近车辆尾部,车身还增加了高强度的后防撞梁。

3.2 储氢气瓶安装强度布置设计

双瓶组件布置设计6个安装点,单瓶组件布置设计4个安装点^[5],为验证储氢气瓶的布置设计的有效性和可靠性,采用有限元仿真方法对系统进行了详细分析^[6]。

3.2.1 模态分析

对单双瓶组件进行模态分析,约束单双瓶组件安装点的所有自由度,提取前3阶模态,如表1所示。模态分析得到的固有频率与振型均避开车辆行驶过程中的激励频率范围,避免单双瓶组件与整车产生共振造成零件损坏及影响舒适性^[7]。

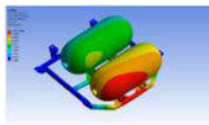
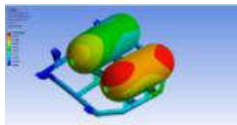
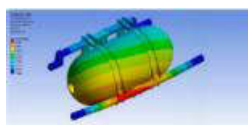
3.2.2 冲击分析

车身与单双瓶组件框架连接处采用全约束,在X、Y、Z分别施加8g冲击力,通过对单双瓶组件进行冲击分析,得到3种工况下单双瓶组件框架的应力值和变形量,如表2和图3所示。满足位移不超过13mm,应力不超过所选材料345MPa的要求。

表1 前3阶次固有频率

方向	应力值/MPa	变形量/mm
X负向	136.33	0.47
Y负向	164.72	0.61
Z负向	239.02	1.35

表2 各工况下应力值与变形量

阶数	1	2	3
固有频率/Hz	46.96	66.524	67.052
振型	底板沿Z向的拉伸	框架沿Z向的拉伸变形	Z向的弯曲变形
模态			

3.3 管路环境适应性布置设计

◎氢气管路应尽量贴着车身或其他掩体的内侧布置,防止暴露在底盘被石击或刚蹭^[8]。

◎氢气管路走向布置两接头的最短距离,减少拐点,减少接头数量,以降低流阻和压力损失,并降低成本。

◎氢气管路应避开热源或电弧,防止高温造成管路压力升高卸放,防止电弧引燃管路泄漏的氢气。

管接头应布置在非封闭空间内,防止泄漏时氢气聚集。图3应力与变形量

◎在氢气管路压力稳定位置安装压力传感器,实时监测氢气压力。

4 车载氢系统安装工艺

车载氢系统的安装工艺流程是确保燃料电池汽车安全、高效运行的关键环节。需进行充分的准备工作,包括安装场地、工具与设备的准备以及安全培训。安装前还应对各部件进行核对和检查,各零部件规格型号应匹配且齐全完好,储氢气瓶、阀门、管路及管路接头不应出现破损,安装支架的防松标识清晰可见。

4.1 储氢气瓶安装工艺

首先,储氢气瓶的支架放置在专用装配工装上,使用专用吊装设备平稳放置储氢气瓶在支架上;随后,根据作业指导书使用高强度螺栓紧固储氢气瓶绑带,螺栓需要采用定扭扭矩,确保其能够承受车辆行驶过程中的各种振动和冲击。同时,需定期对紧固件进行扭矩检查,确保其达到紧固效果。

4.2 加氢口安装工艺

加氢口和红外发射器组装到加氢口支架上,根据管路的走向将加氢口、单向阀和三通连特别注意单向阀表

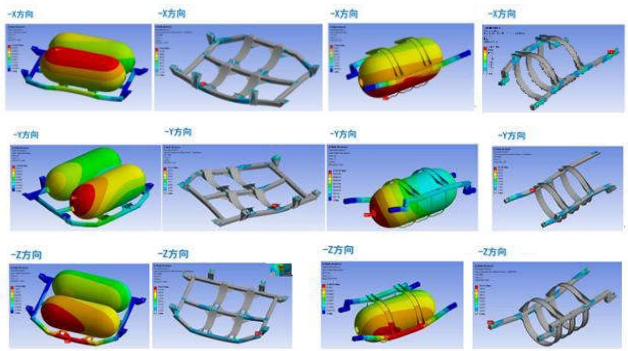


图3 应力与变形量

面的箭头应指向气流方向。

然后,将加氢口穿过车身安装板,同时将面板穿过加氢口,用螺栓穿过面板,将其紧固到加氢口支架的焊接螺母上。最后,将三通支架紧固到车身上,连接红外发射器的线束插接件,将线束卡扣固定到车身上。加氢口、单向阀、三通、管路的紧固按安装工艺先后紧固,能保证拧紧力矩,达到气密性能。加氢口组件示意图4。

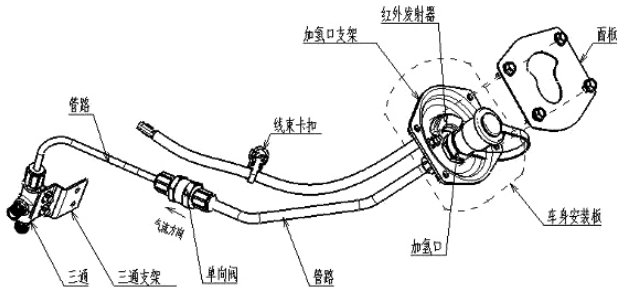


图4 加氢口组件示意图

4.3 管阀连接工艺

在管路和阀件的连接过程中,需用防尘手套,避免杂质进入管路或阀件,造成杂质损坏阀件的密封圈,造成阀件泄漏的严重风险。如果管路进入杂质或油污等,装配前需进行超声波清洗。

4.4 安全装置安装工艺

根据设计要求安装手动针阀、压力传感器、氢气浓度传感器等安全装置。在安装过程中,压力传感器的密封圈需要涂抹一层润滑脂,能减小密封圈装配到过盈配合面的阻力,还能在高压氢气压力变化时减小密封圈的磨损,有利于延长使用寿命。

4.5 检测与调试

车载氢系统安装完成后,首先进行气密性检测确保

无泄漏。然后氢气置换,将储氢气瓶内的氮气置换为氢气。最后加注氢气启动燃料电池车,进行运行测试,检查车载氢系统的加注、储氢、供氢工况的稳定性及安全性。在测试过程中,需密切关注各项参数的变化情况,及时发现并处理潜在问题。

5 结论

本文深入研究了燃料电池汽车车载氢系统的布置设计与安装工艺,通过理论分析与仿真模拟结合实际经验,提出了创新的布置设计方案,有效提升了碰撞安全性能。同时,对支架进行了模态和冲击分析,优化了结构,满足了标准要求。详细阐述了安装工艺流程,确保了系统质量稳定性。

6 展望

展望未来,燃料电池汽车车载氢系统的发展将聚焦新材料应用、集成化研究和通用化零部件设计。新材料将提升零部件性能,集成化将减少零部件数量、降低成本和故障率,通用化将促进商业化进程和国际接轨。这些研究方向将为燃料电池汽车车载氢系统的发展提供有力支撑。

参考文献

[1]孙田,兰昊,郝冬,等.GB/T 26990—2023《燃料电池电动汽车车载氢系统技术条件》标准分析[J].中国标准化,2024,(05):187-191.
[2]郭宝圣.车载制氢式燃料电池电动汽车混合动力系统设计研究[D].浙江大学,2015.
[3]崔明月,朱小平,薛科,等.氢燃料电池车储氢技术及其发展现状[J].汽车实用技术,2022,47(10):173-178.DOI:10.16638/j.cnki.1671-7988.2022.010.036.