

氢气瓶固定结构动态强度分析

石添华

(厦门金龙旅行车有限公司, 福建 厦门 361022)

摘要:以某 8 m 氢燃料电动客车氢气瓶固定结构为研究对象,利用有限元软件建立其仿真模型,通过结构及材料试验与仿真相结合的方法,分析其结构强度的安全性。

关键词:氢燃料电动客车; 氢气瓶; 固定结构; 强度分析

中图分类号:U463.99

文献标志码:A

文章编号:1006-3331(2022)06-0049-03

Dynamic Strength Analysis of Fixed Structure for Hydrogen Cylinders

SHI Tianhua

(Xiamen Golden Dragon Bus Co., Ltd., Xiamen 361022, China)

Abstract: Taking the fixed structure for hydrogen cylinders of an 8 m electric bus with hydrogen fuel as the research object, the author establishes its simulation model by using a finite element software, and analyzes the safety of its structural strength through the combination of structure and material test and their simulation.

Key words: hydrogen fuel electric bus; hydrogen cylinder; fixed structure; strength analysis

氢燃料电动客车若其储氢系统结构在碰撞事故中受到破坏,可能会造成氢气泄漏,从而引发火灾,威胁车辆及人身安全^[1-3]。因此,开展其氢气瓶固定结构的动态强度性能分析工作显得尤为重要。

1 技术方案

欧洲经济委员会颁布的 ECE R134《氢能和燃料电池车辆》是关于氢燃料电池车辆安全性能相关的法规^[4-5]。根据法规要求,出口至欧洲市场的客车需通过 ECE R134 认证。ECE R134 法规具体要求:当城市客车携带充满氢气的气瓶以被要求的速度行驶时,氢气瓶的固定结构需能够承受住由碰撞力产生的气瓶冲击。本文仿真分析某款出口欧洲氢燃料城市客车储氢系统碰撞后的固定结构强度,评估其能否满足 ECE R134 法规要求。

氢气瓶固定结构包括橡胶圈、箍带、螺栓、支座(由薄钢板焊接而成)及支架,如图 1 所示。为了更

接近实际结构及材料情况,仿真分析所用的主要材料属性数据通过结构及材料的拉伸试验获得;将氢气瓶及其固定结构三维 CAD 模型导入有限元软件中建立 CAE 模型,CAE 模型的边界条件及加载过程根据 ECE R134 法规要求进行设置;仿真计算后,从后处理应力云图考查结构强度情况^[6]。

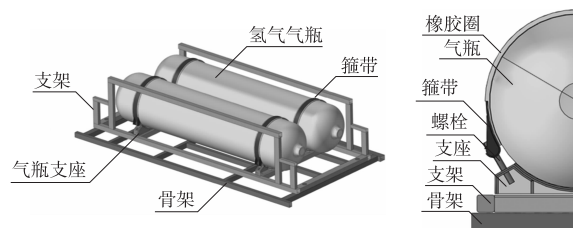


图 1 氢气瓶固定结构三维设计图

2 结构及材料拉伸试验

氢气瓶的主要固定件为箍带、支座、支架和螺栓。其中箍带、支座和支架采用 Q345 材料,密度为 0.78

收稿日期:2022-08-04。

第一作者:石添华(1972—),男,高级工程师;主要从事客车技术研究工作。E-mail:shitianhua@xmjl.com。

g/cm^3 , 弹性模量为 210 GPa, 泊松比为 0.3, 标准屈服强度为 345 MPa。为提高与实际试验对标的精度, 首先开展拉伸试验获得 Q345 材料的实际力学性能数据: 根据 GB/T 228—2002 制作多个用于拉伸试验的标准样件, 如图 2(a) 所示, 然后通过电子万能材料试验机对该批次样件进行拉伸试验以获得一致的数据。通过数据计算整理获得图 3 所示的材料应力-应变曲线。由该曲线可知, 标准样件的实际屈服应力为 358 MPa。将该曲线输入到仿真模型中以判断固定结构应力是否超过其屈服极限来评判其安全性。

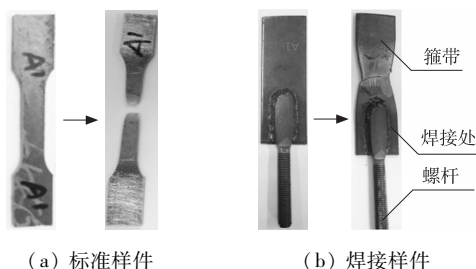


图 2 材料拉伸试验

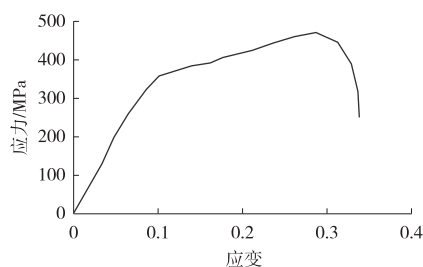


图 3 材料应力-应变曲线

另外, 为验证固定结构中的箍带与螺杆的强度, 对该焊接件样品(如图 2(b) 所示)进行拉伸试验。试验结果显示, 焊接处非常牢固, 拉伸到一定程度后, 箍带钢片先断裂, 说明焊接强度高于箍带钢片的强度, 可以用图 3 所得的屈服强度进行焊接件的安全性判断。焊接件中使用的螺栓为 8.8 级, 其屈服强度为 640 MPa, 抗拉强度为 800 MPa。

3 仿真分析

3.1 有限元模型

运用有限元软件 HyperWorks 建立氢气瓶及其固定结构的有限元模型, 如图 4 所示。在网格划分中, 将橡胶圈离散成实体单元, 箍带、气瓶和支座均采用四边形壳单元, 并含有少量的三角形壳单元^[7-8]。螺

栓采用 Beam 单元模拟并设置螺栓材料的密度、弹性模量、屈服强度和抗拉强度; 通过属性设置螺栓的圆柱形状和尺寸。箍带和橡胶圈通过点面接触来设置两者的连接关系, 组成支架方钢间的焊接通过共节点方式模拟, 支架与骨架的连接通过螺栓模拟。

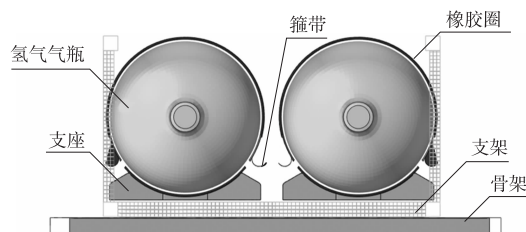


图 4 结构有限元模型

3.2 加载及边界条件

在 ECE R134 法规中, 要求当 M_3 和 N_3 型汽车携带充满气体的气瓶并采用以下加速度行驶时, 气瓶固定结构必须能够消除撞击所带来的影响: ① 机动车行驶方向 $6.6g$; ② 水平方向(垂直于行驶方向) $5g$ ^[9]。

分析过程中, 建立如下三维空间坐标系: $+X$ 为水平面内车辆纵向向前行驶方向; $+Y$ 为水平面内垂直于行驶方向指向驾驶员右侧方向; $+Z$ 为垂直于水平面指向车辆上方方向。通过分别施加 X 方向 $6.6g$ 加速度及 Y 方向 $5g$ 加速度模拟模型承受的冲击载荷。

模型中约束截取的车身骨架断面区域 X 、 Y 、 Z 方向的平动自由度和转动自由度, 模拟氢气瓶固定结构安装在车身上^[10], 如图 5 所示, 图中圆圈处为约束位置。

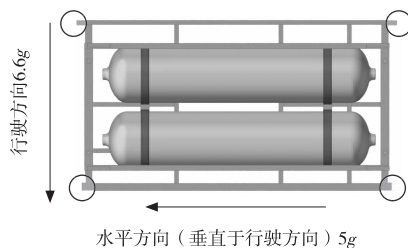


图 5 边界条件

3.3 仿真结果及分析

图 6 为氢气瓶在行驶方向及水平方向(垂直于行驶方向)上的位移, 从曲线可以看出, 氢气瓶的位移很小, 在 1 mm 范围内, 可认为气瓶处于稳定状态。

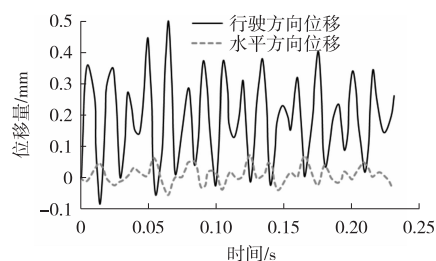


图6 氢气瓶位移量

另外,从应力云图中可以看出,模型最大应力 343.2 MPa 出现在螺栓与支座的连接处,低于材料的屈服强度 358 MPa。因此,该氢气瓶固定结构强度满足法规 ECR R134 标准要求。

4 结束语

本文以某款 8 m 出口氢燃料电动客车的氢气瓶固定结构为研究对象,按照欧洲 ECE R134 的要求,结合结构及材料试验和仿真分析,计算氢气瓶固定结构的安全强度,为氢燃料客车氢气瓶固定结构的安全性设计提供依据。

参考文献:

[1] 刘桂花,李小汝,高静,等.一种氢燃料电池运输车车架有

限元分析[J].农业装备与车辆工程,2021,59(4):74-78.

[2] 李锦康.车载供氢系统氢气瓶固定装置有限元建模及结构优化[D].北京:北京交通大学,2020.

[3] 陈明和,胡正云,贾晓龙,等.Ⅳ型车载储氢气瓶关键技术研究进展[J].压力容器,2020,37(11):39-50.

[4] 毛新凯,华青松,张纪鹏,等.改装燃料电池大客车气瓶支架有限元分析[J].青岛大学学报(工程技术版),2017,32(4):76-80.

[5] UN/ECE. Regulation No. 134 of Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE)—Uniform provision concerning the approval of motor vehicles and their components with regard to the safety-related performance of hydrogen-fuelled vehicles (HFCV)[S]. EUR-Lex, 2019.

[6] 余凯雷.氢燃料电池汽车耐撞性研究[D].大连:大连理工大学,2020.

[7] 朱鹤.12 m 氢燃料电池城市客车电电混合动力系统设计方案[J].客车技术与研究,2020,42(1):4-6.

[8] 徐童非,郑甲红,唐永科,等.LNG 车载气瓶支架强度分析及优化[J].制造业自动化,2015,37(21):62-63.

[9] 赵志成,王微,王仁广,等.GTR13 和 ECE R134 的主要内容简析[J].汽车零部件,2018(6):73-79.

[10] 陶孟章,余卓平,张觉慧.燃料电池轿车储氢系统固定方式正面碰撞分析[J].上海汽车,2009(6):6-9.

邀请函

《客车技术与研究》创刊于 1979 年,是国内目前唯一公开发行的客车领域学术期刊。本刊被《中文核心期刊(遴选)数据库》收录,是我国创刊较早、发行量较大、学术水平较高的客(汽)车专业期刊,已成为介绍国内外客车先进技术和设备的“窗口”,也是交流客车技术、宣传和推广先进工艺、促进科技成果转化的重要“阵地”,深受读者的欢迎和好评。

当前,新能源、智能网联等新技术重塑着客车行业的发展,新冠疫情也对客车行业带来了冲击,为准确把握市场和技术脉搏,进一步发挥本刊推动技术交流、促进行业发展的平台作用,现热忱邀请相关企业加入《客车技术与研究》理事会,共同擘画客(汽)车行业的美好未来!

如有意向,请联系:023-62653044。