

# 纯电动城市客车碳纤维车身结构设计与安装工艺研究

魏仕胜

(厦门金龙旅行车有限公司, 福建 厦门 361013)

**摘要:**本文阐述了纯电动城市客车碳纤维车身的结构设计特点与制造工艺,并介绍了侧围与顶盖所采用的一体化结构形式。针对整车不同部件间的连接,重点分析了采用角钢作为过渡连接件的方案,该方案有效解决了因骨架材料差异而无法直接焊接拼装的难题。在蒙皮安装工艺方面,探讨了采用铝垫块配合小方管共同支撑蒙皮的具体施工方案。本文对碳纤维车身结构与安装工艺的分析,可为同类客车的生产制造提供参考。

**关键词:**纯电动城市客车;碳纤维车身;轻量化设计;骨架总拼;蒙皮安装工艺

**中图分类号:**U463.82; U466 **文献标志码:**A **DOI:**10.15917/j.cnki.1006-3331.2026.02.007

## Study on Structural Design and Installation Process of Carbon Fiber Body for Pure Electric City Bus

WEI Shisheng

(Xiamen Golden Dragon Bus Co., Ltd., Xiamen 361013, China)

**Abstract:** This paper elaborates on the structural design characteristics and manufacturing processes of carbon fiber bodies for pure electric city buses. It introduces the integrated structural design of carbon fiber side panels and roof. For the connections between different parts of the vehicle, the analysis focuses on the method of using angle steel as a transition connector, which effectively solves the problem of direct welding incompatibility caused by material differences in the framework. Regarding the skin installation process, it explores the specific construction method of using aluminum pads in conjunction with small square tubes to jointly support the skin. The analysis of the carbon fiber body structure and installation process provides a valuable reference for the production and manufacturing of pure electric city buses with carbon fiber components.

**Key words:** pure electric city bus; carbon fiber body; lightweight design; body frame assembly; skin installation process

近年来,资源短缺和环境污染问题日益严峻,客车轻量化设计已成为实现节能减排的一种重要且有效的途径<sup>[1-3]</sup>。碳纤维材料凭借其高强度、低密度的特性,成为替换传统金属骨架的理想选择<sup>[4-6]</sup>。其一体化结构能有效简化车身设计、降低整车重量,从而提升续航里程,在客车领域具有广阔的应用前景<sup>[7-8]</sup>。目前,行业内对碳纤维材料的力学性能<sup>[9-10]</sup>和生产工艺<sup>[11-12]</sup>都有较为广泛的研究,但关于客车碳纤维车身的结构特点、骨架拼接和蒙皮安装工艺的文献较少。因此,本文通过介绍碳纤维车身结构特

点、骨架总拼工艺和蒙皮安装工艺,为纯电动城市客车碳纤维车身的结构设计提供参考。

## 1 车身结构设计

### 1.1 碳纤维车身

碳纤维侧围车身结构及关键截面放大图如图1所示。其为无缝一体式实心结构,厚度呈梯度变化——中间厚、两端薄。具体而言,侧围与地板、前围及后围骨架的连接区域(位于外轮廓向内约100 mm范围内)设计为薄壁区,如图1(b)和图1(d)所示;顶

收稿日期:2025-06-26。

第一作者:魏仕胜(1998—),男,硕士,助理工程师,主要从事车身总布置、车身骨架和车身系统设计工作。E-mail:1225450891@qq.com。

部轮廓边缘则向内翻折,以实现与碳纤维顶盖的紧密连接。在注塑成型前,需在侧围结构中预留乘客门和侧窗的装配空间,并对止口安装部位进行翻边圆角处理,以确保门窗有足够的安装和滑动空间。侧窗立柱在横向(左右方向)上的厚度仅23 mm,为满足上部结构强度要求,其纵向(前后方向)厚度相应加大,但这在一定程度上影响了乘客的侧向视野<sup>[13]</sup>。车身内部预埋有若干交错布置的钢板,用于加固驾驶员包围、扶手、座椅等内饰件。车身内侧作为装饰贴合面,平整顺滑;外侧则因内嵌件及门窗止口折边的存在而呈现凹凸变化。此外,侧围还需安装自动破窗器、侧标志灯、门头射灯等低压电器,因此需在注塑成型后、骨架总拼前完成相应过线孔的加工。

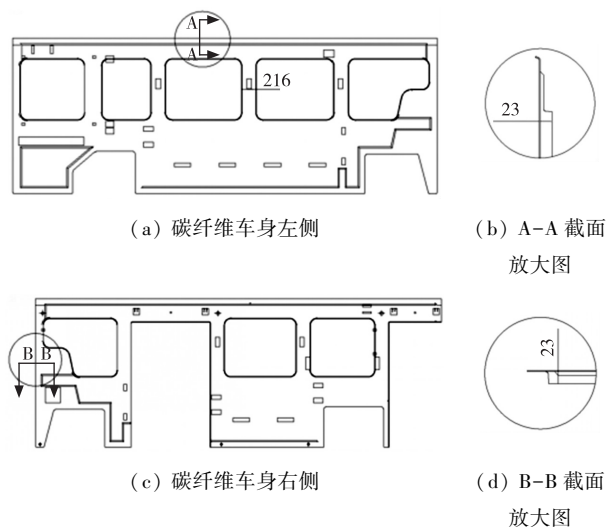


图1 碳纤维侧围车身结构和关键截面放大图

## 1.2 碳纤维顶盖

碳纤维顶盖为含曲面的片状结构,其中间区域较厚,以保证足够的支撑强度;边缘连接区域则较薄,以便与钢骨架连接。顶盖预设有大小不一的孔位,并在开孔边缘进行翻边及圆角处理,以满足天窗、空调及高低压管路的安装需求。此外,顶盖内部预埋风道固定钢板、管路埋板、新能源埋板和驾驶员包围埋板等,作为后续部件的安装支座。碳纤维顶盖示意图如图2所示。

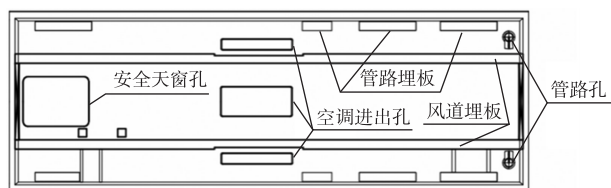


图2 碳纤维顶盖示意图

对于电池包顶置的车型,碳纤维顶盖的应用面临两大限制:其一,其空间曲率导致顶盖与电池包的接触面不平整,无法直接可靠连接;其二,碳纤维材料不具备可焊性,电池支架无法通过焊接方式与车顶固定。为解决上述问题,需在顶盖预埋螺栓作为连接基点,并借助电池包支架作为中间过渡结构,以构建一个平整、可靠的安装界面。顶盖剖视图如图3所示。

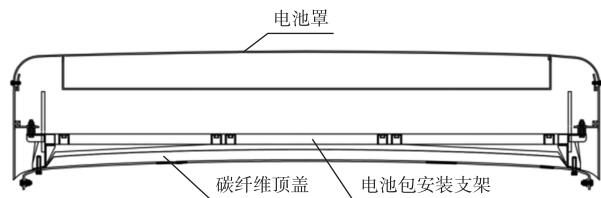


图3 顶盖剖视图

## 2 骨架总拼工艺

由于骨架间存在材料差异性,传统的焊接方式无法实现有效稳定的连接,因此需采用机械连接、胶粘连接或混合连接等替代方式。在碳纤维车身骨架总装工艺中,机械连接以螺栓和铆钉为主<sup>[14]</sup>。然而,铆钉连接方式存在连接强度不足的局限性。因此,车身、顶盖与钢骨架等关键部位以螺栓连接为主。如图4所示,碳纤维车身与车架和地板骨架的连接区域,需要按照一定的间距加工螺栓孔位。



图4 碳纤维车身螺栓孔位图

虽然螺栓连接方式可解决骨架间材料差异性问题,但螺栓连接属于局部点载荷传递,连接处往往会出现应力集中。若碳纤维车身与钢骨架直接用螺栓连接,在碰撞或剧烈振动载荷工况下,易出现螺栓松动、脱落甚至连接失效等问题。因此,需要引入连接结构来构建钢骨架与碳纤维车身之间的力学过渡层,解决两者接触面偏小的问题,实现有效的载荷传递,从而缓解应力集中。

骨架拼接区域的连接结构如图5和图6所示。为优化力传递路径,避免路径过长及转向过多,选用L型角钢作为连接结构。该结构能提供两个互成直

角的连接面,可分别连接垂直与水平方向的部件:一面通过螺栓与碳纤维车身固定,另一面通过焊接与钢骨架固定。

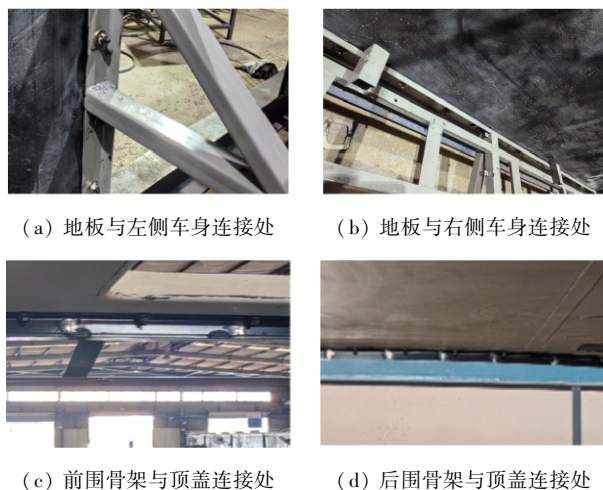


图5 不同连接处角钢

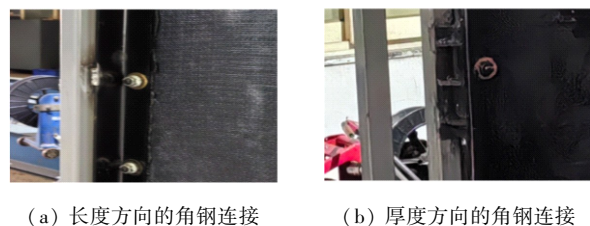


图6 前后围与侧围连接处角钢

1) 地板骨架与侧围车身的连接。由于接触空间的限制,地板骨架与侧围车身在同一侧面的角钢上交替采用焊接与螺栓连接,如图5(a)和图5(b)所示。

2) 碳纤维顶盖与前后围的连接。该处角钢作为固定连接的桥梁,需具有一定的曲率,以适配龙门框曲线,如图5(c)和图5(d)所示。该角钢由若干段平整角钢现场适配焊接而成,以保证曲线弧度。

3) 前后围骨架与碳纤维车身连接强度的加强。在长度方向通过角钢连接实现初步固定后,再在厚度方向增加若干短角钢,以加强局部的连接强度,如图6所示。

在拼接装配前,需对拼接接触面进行预处理。车身的接触面需打磨至无明显毛刺和突起,并清理干净,待干燥后涂抹常温状态下能固化的结构胶。该结构胶主要用于填充密封装配面空隙,并承担剪切作用。角钢底部喷涂结构胶如图7所示。

需要注意的是,焊接过程产生的高温会导致两个主要问题:一是可能造成碳纤维车身表面氧化甚至热烧蚀;二是热传导会使螺栓预紧力下降,导致连接松

动。为减轻焊接高温对关键部位的影响,可通过改变接口位置(如扩大间距或错位布置)来减少热输入。然而,这种调整往往会造成局部固定强度不够,导致角钢振动甚至脱落。因此,在焊接过程中,应通过适当的温度防护手段,控制非焊接区域的温升,减小高温对周围结构及材料性能的影响。

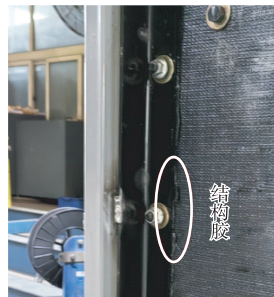


图7 角钢底部喷涂结构胶

### 3 蒙皮安装工艺

钢骨架的蒙皮安装工艺主要采用涨拉与焊接相结合的方式实现蒙皮固定<sup>[15]</sup>。用夹具夹持蒙皮两端使其处于绷紧状态,并在与钢骨架的接触区域进行点焊固定。然而,碳纤维车身不具备焊接性,无法采用上述方法,故改用铆接与胶粘相结合的方式实现蒙皮安装。该方法虽然解决了碳纤维车身无法焊接的问题,但由于其外表面凹凸不平,蒙皮极易凹陷,严重影响平整性。因此,需在蒙皮底部增设垫材以均匀受力,从而提高蒙皮表面平整质量。

蒙皮安装需先对其进行模块化设计。以左侧蒙皮为例,将其划分为前部、前轮罩、中部(再细分为两块)及后轮罩四大模块,其整体示意图及轮罩处蒙皮分块分别如图8和图9所示。分块结构使蒙皮与底部支撑垫材精准贴合,显著提升装配后的平整度。尤其在曲率变化较大的车身部位,分段方案可分散因材料刚度大或装配误差引起的应力,避免因应变不均而出现裂纹、鼓包或边缘翘起等缺陷。



图8 蒙皮模块化示意图



图9 轮罩处蒙皮分块

在采用涨拉与焊接相结合的蒙皮安装工艺中,通常在侧围骨架的斜撑部位粘贴隔热棉,用于填充空腔以改善蒙皮贴合度,从而提升外观质量。对于曲率变化较大的车身,可在牛腿立柱、腰线位置增焊适当厚度的钢板,以增强局部支撑刚度并提高蒙皮的平整性。

碳纤维车身的蒙皮并非直接与车身表面接触,而是与底部支撑垫材贴合。蒙皮垫材布置如图10所示,垫材的材质均为铝合金,横截面呈凸形。铝制垫材两端铆接至碳纤维车身,并在接触面涂抹结构胶以加固并密封。垫梁与垫柱沿蒙皮块的切割边界布置,既实现边界定位,又弥补车身不平整。在每个蒙皮分块的中间区域增设若干垫块,可有效防止局部变形、避免蒙皮凹陷,并使蒙皮受力更加均匀。裙边蒙皮垫材用于支撑碳纤维车身底部蒙皮,其缺口设计是为了避开螺栓连接孔。

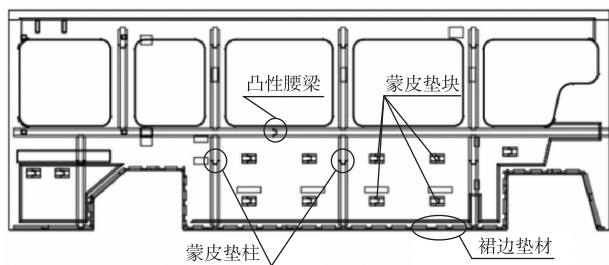


图10 蒙皮铝制垫材布置图

蒙皮底部安装有铝制小方管进行加固,如图11所示。方管纵横交错的骨架布置形式,既能避免与底部垫材发生结构干涉,又能有效提高蒙皮抵抗变形的能力。各方管之间通过焊接的方式拼接,并胶粘于蒙皮分块内侧,从而与蒙皮形成一体式结构。在蒙皮垫材的贴合面上涂抹结构胶,将蒙皮分块与底部垫材固定,最后完成安装。

模块化设计可根据车身结构特点进行精准规划,提高材料利用率并降低生产成本。在使用过程中,如出现蒙皮变形或局部开裂,只需拆解、维修对应模块,

便于维修和更换。

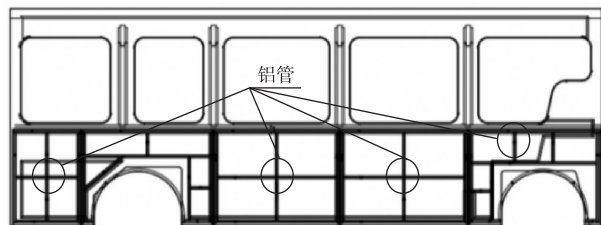


图11 铝管布置示意图

## 4 结论

本文介绍了纯电动城市客车碳纤维车身的结构、骨架总拼工艺和蒙皮安装工艺。主要内容如下:

1) 碳纤维车身是一体式的片状实体结构,其厚度沿车身方向呈梯度分布,上下轮廓及前端面区域相对较薄。

2) 采用螺栓与焊接相结合的拼接工艺实现整车骨架的拼接。将角钢作为拼接桥梁,角钢的一面与碳纤维车身通过螺栓连接的方式固定,另一面与钢骨架通过焊接的方式实现连接,并在骨架间的配合面上涂抹结构胶进行加固。

3) 采用铆接与胶粘相结合的方式安装蒙皮。借助铝制垫材和铝管提升蒙皮的贴合精度与结构稳定性,防止局部变形和蒙皮凹陷。

未来研究可将碳纤维部件的应用拓展至前后围和地板骨架,以打造全碳纤维材料的纯电动城市客车,最大限度实现整车轻量化目标。

## 参考文献:

- [1] 黄博文,于晨斯,徐琼. 新能源轻量化材料在新能源汽车中的应用分析[J]. 汽车维修技师,2024(24):114-115.
- [2] 李薇. 轻量化材料在新能源汽车中的应用[J]. 汽车测试报告,2024(23):74-76.
- [3] 傅松桥. 轻量化材料在汽车设计中的应用[J]. 汽车测试报告,2024(5):13-15.
- [4] 陈家才,何能振,覃庭华,等. 碳纤维在汽车轻量化设计中的运用[J]. 大众汽车,2025(1):28-30.
- [5] 邓平尧. 新型轻量化材料在新能源汽车中的应用[J]. 汽车测试报告,2025(6):64-66.
- [6] 杜涵宇. 汽车轻量化材料应用及发展趋势[J]. 重庆电力高等专科学校学报,2025,30(2):42-45.
- [7] 李帆. 碳纤维复合材料在汽车领域中的应用[J]. 塑料助剂,2023(5):68-69.

(下转第55页)

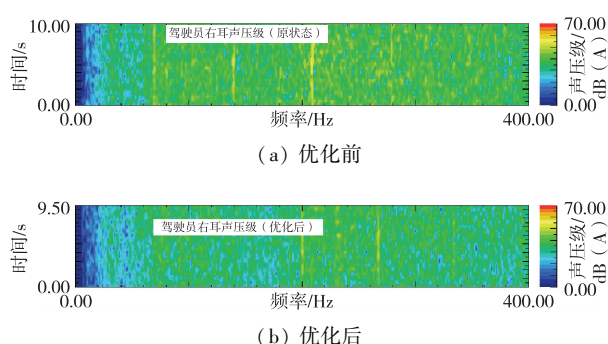


图13 80 km/h 匀速工况驾驶员右耳声压级对比

测试结果表明,在 20~87 km/h 加速及匀速 80 km/h 工况下,异响及 4 阶、6 阶“嗡嗡声”的最大幅值平均降低 10 dB(A),整车 NVH 性能得到显著提升。

### 3 结论

针对某新能源牵引驾驶室异响及抖动问题,本文基于“源-路径-响应”模型完成系统分析与优化,核心结论如下:

1) 传动系是引发整车 NVH 问题的主要来源。当车速达到 78 km/h 后,传动系激励下的传动轴 2 阶、4 阶和 6 阶频率成分,与车内“嗡嗡”异响及细碎振动具有较强相关性,其中三桥的 4 阶和 6 阶特征以及减速器输出端面的 1 阶不平衡激励表现最为突出。

2) 采用多维度综合方案可有效解决上述 NVH 问题。该方案如下:将驾驶室前悬置刚度调整为 12 N/mm,后悬置刚度调整为 16 N/mm;对电驱悬置支架进行结构优化;通过在上、下推力杆处加装垫片以

降低传动轴当量夹角;同时采用轻量化铝合金传动轴,以降低传动轴转动惯量。通过上述措施,实现了振动与噪声的协同抑制。

3) 软硬件协同优化是提升 NVH 性能的关键方向。软件上需优化换挡策略以规避共振区间,硬件上则需将驱动桥差速器齿轮间隙控制在 0.15~0.40 mm、变速器齿轮传递误差限定在 1  $\mu\text{m}$  以内,从源头提升传动系平顺性。

### 参考文献:

- [1] 孙梦杰. 卡车传动轴系弯扭耦合动力学特性研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2023.
- [2] 栾世杰. 基于有限元分析的扭力梁后桥疲劳寿命研究[J]. 农业装备与车辆工程,2023,61(1):173-176.
- [3] 付凯林,李传,曾小春,等. 某纯电动轻客驱动桥高频啸叫问题分析与优化[J]. 应用声学,2025,44(5):1395-1400.
- [4] 杨树军,王怀昭,张明旭,等. 某多用途货车传动系扭振试验分析与优化[J]. 噪声与振动控制,2021,41(1):113-117.
- [5] 郝英博,刘立东. 基于 Romax 的轻卡电驱动桥 NVH 分析优化[J]. 机械传动,2024,48(10):113-119.
- [6] 许静超,黄剑锋,陆家朋,等. 基于 OSPA 的高速车内嗡嗡噪声诊断与优化[J]. 客车技术与研究,2023,45(5):44-48.
- [7] 苗凤雷,颜春辉,崔晨雪,等. 重型商用车传动轴布置校核及优化方法[J]. 汽车实用技术,2024,49(8):80-84.
- [8] 常洪伟,吴俊杰,魏佳斯,等. 三点法圆外径测量优化研究[J]. 仪表技术与传感器,2021(3):106-111.
- [9] 何军. 基于质心调节的空心电机转子动平衡测试系统研究[D]. 沈阳:沈阳理工大学,2023.

(上接第 37 页)

- [8] 邹喜红,邱伟本,傅雷,等. 碳纤维复合材料全地形车车身轻量化方法[J]. 机械设计与研究,2024,40(3):141-146.
- [9] 刘长骏,王朋朋. 碳纤维复合材料拉挤板材加热前后力学性能研究[J]. 广州化工,2024,52(15):149-151.
- [10] 卢东滨,刘欢,马英杰,等. 基于湿热环境下的碳纤维复合材料力学性能研究及老化寿命预测[J]. 宇航材料工艺,2024,54(3):38-44.
- [11] 李英志,陈一帆,贾晶,等. 一种碳纤维复合材料异形构件一体化成型工艺分析[J]. 高科技纤维与应用,2025,50

(1):34-39.

- [12] 王强. 碳纤维复合材料成型工艺在汽车制造中的创新应用[J]. 汽车测试报告,2025(4):58-60.
- [13] 谷杰伟,郭晖,覃盛世,等. 碳纤维复合材料在新能源客车上的应用[J]. 客车技术与研究,2024,46(4):58-62.
- [14] 柳嗣琪. 汽车轻量化的碳纤维复合材料应用分析[J]. 产业创新研究,2025(6):34-36.
- [15] 黄斐荣,宋海泉,胡玲,等. 客车车身焊装工艺问题及优化[J]. 客车技术与研究,2023,45(5):59-62.