

碳纤维复合材料在轨道交通车辆空调机壳体上的应用

王胜光¹ 张永利² 毕孝法² 张历诗²

(1. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 266111, 青岛; 2. 山东朗进科技股份有限公司, 271100, 济南//第一作者, 工程师)

摘要 针对采用碳纤维复合材料替代传统轨道交通车辆空调机金属壳体以达到降低车辆空调机组自重的技术目标, 分析了碳纤维复合材料的性能, 建立了空调机壳体的有限元模型, 并进行相关静态强度计算。对采用碳纤维复合材料壳体的轨道交通车辆空调机组样机进行了振动冲击试验验证。仿真分析计算和试验验证结果表明, 碳纤维复合材料壳体能满足轨道交通车辆空调应用要求。

关键词 轨道交通车辆; 空调机壳体; 碳纤维复合材料

中图分类号 U270.38*3

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.05.042

Application of Carbon Fiber Composite Materials in Rail Transit Vehicle Air Conditioning Shell

WANG Shengguang, ZHANG Yongli, BI Xiaofa, ZHANG Lishi

Abstract To reach the technical target of reducing vehicle air conditioning unit weight, the traditional air conditioning metal shell of rail transit vehicle is replaced by carbon fiber composite materials, the performance characteristics of which are analyzed to establish a finite element model for air conditioning shell, and the relevant static strength is calculate. Then, the air conditioning unit prototype that adopts carbon fiber composite shell is verified by a vibration impact test. Theoretical calculation and experimental results show that the application of carbon fiber composite materials to air conditioning shell could meet the requirements of urban rail transit vehicles.

Key words rail transit vehicle; air conditioning shell; carbon fiber composite materials

First-author's address CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., 266111, Qingdao, China

近年来, 轨道交通飞速发展, 低碳环保的要求也日益严格, 车辆减重已成为趋势。碳纤维材料以其质量轻、比强度大、耐高温、耐冲击、耐腐蚀的优质特性被广泛关注。

目前, 轨道交通车辆中的车头罩、墙板、顶板、

间壁、转向架等车体结构件, 以及座椅骨架、驾驶台等内饰部件, 都可使用轻量化的碳纤维复合材料, 在实现车体大幅度减重的同时, 减少了能源消耗, 提升了效率。经文献检索及调研得知, 国内尚无碳纤维复合材料用于轨道交通车辆空调机壳体的先例, 行业内也没有系统地开展超轻复合材料对比性能分析工作。因此, 将超轻复合碳纤维材料应用于轨道交通车辆空调机壳体的研究在国内具有首创性。

1 轨道交通车辆空调机壳体特点

1.1 轨道交通车辆空调机壳体结构特点

轨道交通车辆空调机的结构形式一般为一体式, 具有外形尺寸大、结构复杂、使用寿命长等特点。通常要求车辆空调机壳体寿命为 30 年。目前, 轨道交通车辆空调机壳体一般采用 1~2 mm 厚度的不锈钢板或 2~3 mm 厚度的铝合金板, 通过钣金加工的方式进行零件成型, 再用焊接、铆接等连接方式将钣金加工零件拼装成空调机壳体。

1.2 轨道交通车辆碳纤维复合材料空调机壳体的优点

采用碳纤维复合材料制作的轨道交通车辆空调机壳体的优点可概括为:

(1) 轻质高强。碳纤维复合材料的相对密度仅是钢的 1/4~1/5, 而强度并不小; 比强度为铝合金的 2 倍, 是钢的 4 倍, 符合轨道交通轻量化的要求。

(2) 可设计性好, 为轨道交通空调机壳体结构的优化设计提供了广阔的自由度。

(3) 耐酸、碱和腐蚀, 使用寿命超过不锈钢和铝合金材料。

(4) 抗磁及绝缘性能优于不锈钢和铝合金材料。

2 碳纤维复合材料的特性及应用研究思路

2.1 碳纤维复合材料的特性

碳纤维是由有机纤维经碳化及石墨化处理而

得到的微晶石墨材料。碳纤维的微观结构类似人造石墨(碳原子层状排列),是乱层石墨结构,力学性能优异。其相对密度不到钢的 1/4。碳纤维复合材料的抗拉强度一般在 3.5 GPa 以上,是钢的 7~9 倍;抗拉弹性模量为 230~430 GPa,亦高于钢。碳纤维材料与不锈钢、铝合金材料的物理性能对比如表 1 所示。

表 1 三种材料的物理性能对比

材料	抗拉强度/ MPa	条件屈服 强度/MPa	伸长率/ %	布氏硬 度值	密度(20℃时)/ (kg/dm ³)
不锈钢	≥520	≥205	≥40	≤187	7.93
铝合金	≥270	≥110	≥12	≤70	2.66
碳纤维	≥35 000	≥600	≥1.5	≤90	1.76

根据不同的加工工艺,单一碳纤维可以制作不同规格的碳纤维材料。由于纤维制品品种多,可对其进行有选择性的剪裁与构型,故纤维制品具有较强的适用性。碳纤维是各向异性体,其单层沿轴向具有很高的强度和刚度,根据载荷和功能设计的交叉铺层合板的性能可超金属,完全适合制作轨道交通车辆空调机壳体。

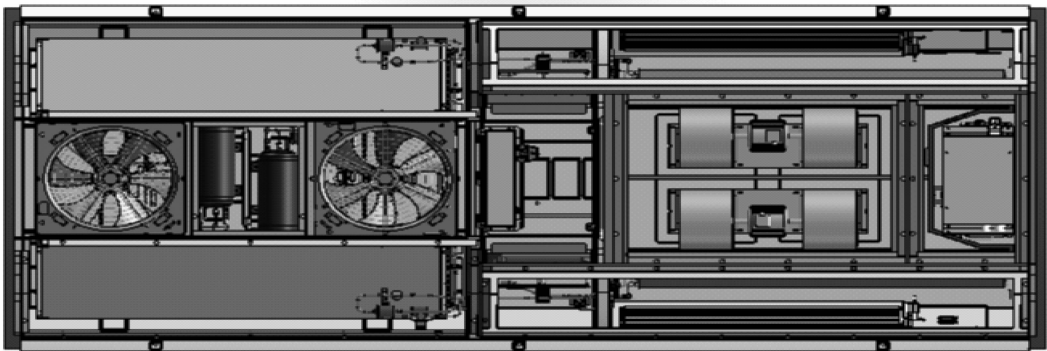


图 1 车辆空调机碳纤维复合材料壳体三维结构布局

3.2 结构仿真分析

采用大型商用有限元处理器 HYPERMESH 进行几何清理和网格划分。采用 RADIOSS 求解器进行求解。采用 HYPERVIEW 进行后处理和数据分析。通过结构力学性能分析对结构的静态强度和疲劳强度进行评估,以验证空调机壳体结构是否符合结构强度的相关要求。碳纤维复合材料轨道交通车辆空调机壳体模型及仿真结果如图 2~8 所示。结构静态工况(S01~S07)下的强度计算见表 2。

由表 2 可以看出,客室空调壳体的最大位移、

2.2 应用研究思路

建立碳纤维复合材料空调机壳体有限元分析模型,进行数值仿真模拟。将试制的车辆碳纤维复合材料空调机壳体样件组装成变频车辆空调,并进行碳纤维复合材料变频车辆空调机壳体性能测试。

采用 CAD/CAE(计算机辅助设计/计算机辅助教学)等技术设计出空调机组,分析空调机组振动模态、疲劳性能、振动冲击性能等;研究碳纤维壳体的铺丝方式及其力学性能,并采用先进碳纤维制造工艺和空调机组装配工艺,制造出符合轨道交通车辆要求的空调机组。

3 空调机壳体的结构设计建模及仿真分析

3.1 结构设计建模

采用 solidworks 软件进行碳纤维复合材料轨道交通车辆空调机壳体的设计建模。空调壳体由蒸发腔、冷凝腔、新风腔组成,采用中隔板密封隔离。空调机组的制冷回路由压缩机、冷凝器、电子膨胀阀、蒸发器、四通阀、视液镜、通风机、冷凝风机等组成,内置独立的控制部分,均匀分布于空调壳体内部。空调三维结构布局如图 1 所示。

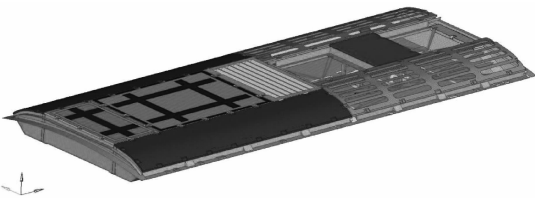


图 2 碳纤维复合材料车辆空调机壳体仿真分析模型

Mises 应力,以及碳纤维复合材料的最大拉应变、最小压应变、最大剪切应变及安全系数等均满足设计要求。

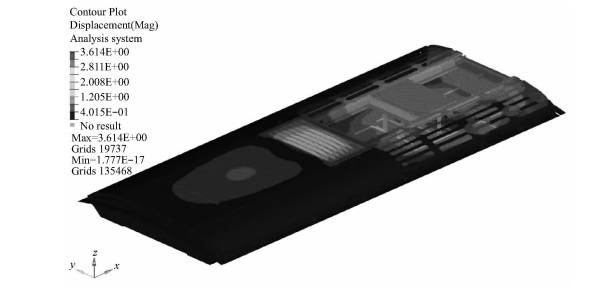


图3 碳纤维复合材料车辆空调机壳体静态分析结果

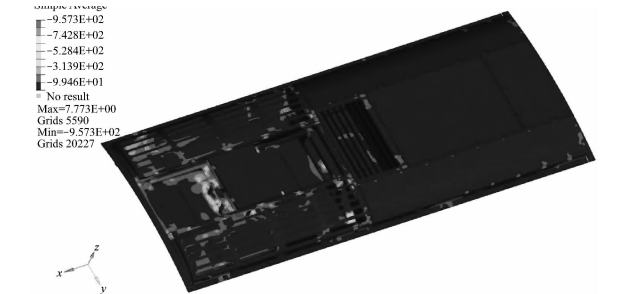


图6 碳纤维复合材料车辆空调机壳体第三主应变分布云图

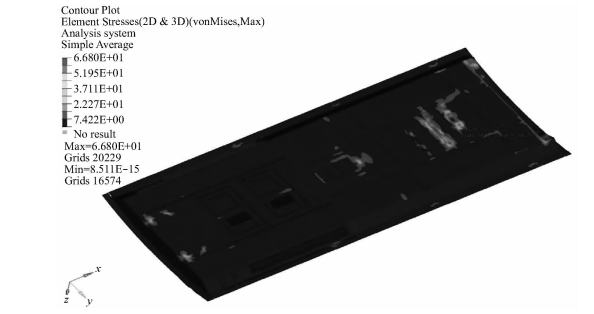


图4 碳纤维复合材料车辆空调机壳体 Mises 应力分布云图

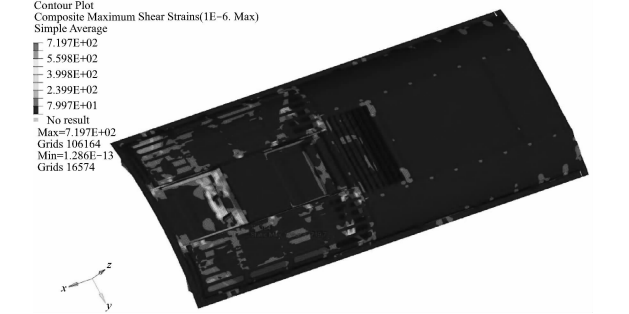


图7 碳纤维复合材料车辆空调机壳体最大剪应变分布云图

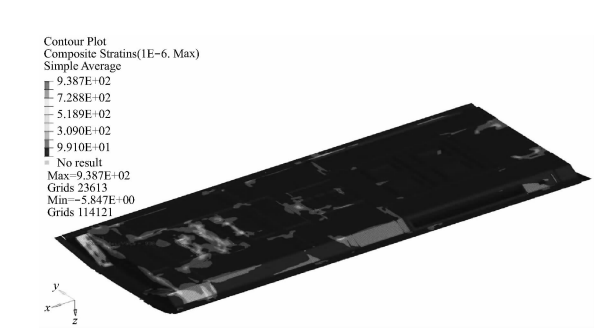


图5 碳纤维复合材料车辆空调机壳体第一主应变分布云图

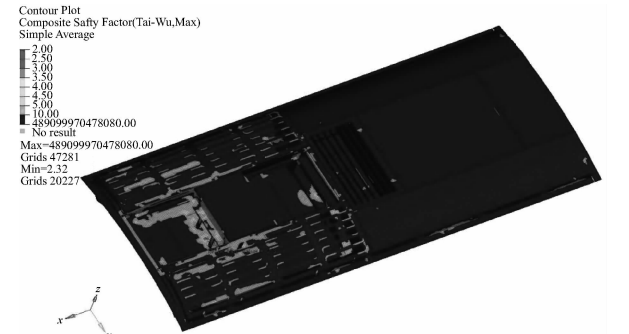


图8 碳纤维复合材料车辆空调机壳体安全系数分布云图

表 2 碳纤维复合材料车辆空调机壳体静态分析工况下强度计算结果						
项 目	最大位移/mm	Mises 应力/MPa	最大第一主应变/ $\mu\epsilon$	最小第三主应变/ $\mu\epsilon$	最大剪切应变/ $\mu\epsilon$	复合材料安全系数
要求值			4 500	3 200	5 000	≥ 2.0
S01	3. 61	66. 80	939	- 957	720	2. 3
S02	2. 81	41. 82	903	- 907	836	3. 0
S03	3. 25	48. 18	969	- 1173	1 071	2. 5
S04	3. 05	53. 92	984	- 873	802	2. 7
S05	8. 03	69. 91	1 638	- 1 709	1 416	2. 0
S06	8. 03	69. 91	1 709	- 1 638	1 416	2. 0
S07	3. 94	62. 21	855	- 825	616	2. 2

4 试验验证

根据 IEC 61373-2010《铁路应用 车辆设备 冲击和振动试验》标准中 1 类 A 级的规定,对采用碳纤维复合材料壳体的轨道交通车辆空调机组样机进

行了振动冲击试验。试验顺序依次为正弦扫频试验、模拟长寿命试验、冲击试验和功能性随机振动试验。其中,模拟长寿命试验和功能试验为随机振动试验。

振动试验结果全部合格,证明采用碳纤维复合

材料壳体的轨道交通车辆空调机组满足应用环境要求和寿命要求等。图9所示为振动试验现场照片。

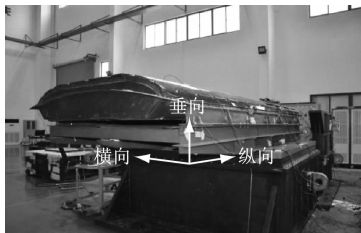


图9 振动试验现场照片

5 结语

用碳纤维复合材料制造轨道交通车辆空调机组壳体可显著降低空调机组的自重。本文通过三维结构设计、有限元设计分析、振动试验验证等方法,证明碳纤维复合材料壳体能够满足轨道交通车辆空调应用要求。

采用碳纤维复合材料制造的轨道交通车辆空调机组壳体在满足车辆运用环境要求的前提下,可使轨道交通车辆空调显著减重。其与同类型不锈钢材料壳体相比,质量可减轻约65%;与同类型铝合金材料壳体相比,质量可减轻约30%。

综上,采用碳纤维复合材料的空调壳体可以替代传统金属材料的轨道交通车辆空调壳体,满足轨道交通车辆整车减重、节能的目的,适应轨道交通

车辆空调技术向节约型和轻量化方向转变的需求,符合轨道交通行业发展趋势和国家节能减排的政策导向,具有广泛的推广应用价值。

参考文献

- [1] 丁叁叁,田爱琴,王建军,等. 高速动车组碳纤维复合材料应用研究[J]. 电力机车与城轨车辆,2015(增刊1):21.
- [2] 刘晓波,杨颖. 碳纤维增强复合材料在轨道车辆中的应用[J]. 电力机车与城轨车辆,2015(4):89.
- [3] 杨永勤,孙加平,张丽荣,等. 浅析复合材料在高速动车组上的应用[J]. 铁道车辆,2014(5):20.
- [4] 孙春方,薛元德,李文晓. 复合材料在现代轨道车辆制造中的应用[J]. 城市轨道交通研究,2005(2):74.
- [5] HELMS H, LAMBRECHT U. The potential contribution of light-weighting to reduce transport energy consumption [J]. International Journal of Life Cycle Assessment,2007(1):58.
- [6] WENNBURG D. Light-weighting methodology in rail vehicle design through introduction of Load Carrying Sandwich Panels [D]. Stockholm:KTH Royal Institute of Technology,2011.
- [7] KIM J S, LEE S J, SHIN K B. Manufacturing and structural safety evaluation of a composite train carbody[J]. Composite Structures,2007,78(4):468.
- [8] KIM J S, JEONG J C, LEE S J. Numerical and experimental studies on the deformational behavior a composite train carbody of the Korean tilting train [J]. Composite Structures,2007,81(2):168.

(收稿日期:2017-08-11)

(上接第184页)

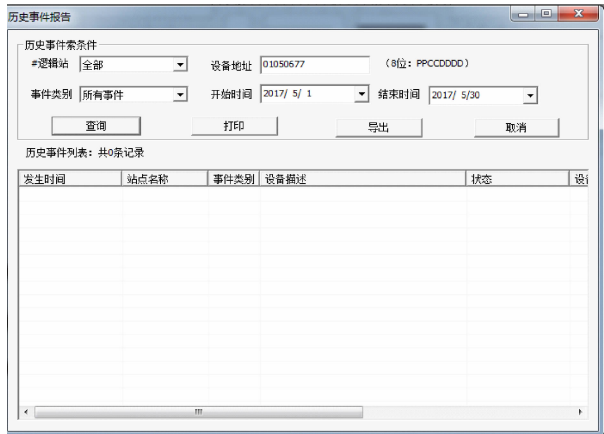


图6 FAS系统消除故障报警后的监视界面

4 结语

FAS的可靠运行对轨道交通的整体运营安全起着至关重要的作用。为保证FAS在紧急情况下

能及时有效地对相关救灾设备发出启动控制指令,并得到准确的状态反馈,FAS与被控设备的接口设计应充分考虑到系统本身可能受到的各方面的干扰因素,有针对性地制定出合理、可行、有效的解决方案。由于篇幅有限,本文仅针对个别具有代表性的典型被控设备提出FAS与其的接口设计改进方案,希望能对同行起到一定的参考和借鉴作用。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁设计规范:GB 50157—2013[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2013:192-193.
- [2] 屈静. 西安地铁2号线火灾自动报警系统及其接口设计[J]. 现代城市轨道交通,2011(1):37.
- [3] 张道,付文刚,崔成剑. 地铁火灾自动报警系统设计与应用[J]. 城市轨道交通研究,2013(11):71.

(收稿日期:2018-04-20)