

某 10.5 m 客车中段车架结构优化设计

李 腾, 闫 冬, 朱红军

(中车时代电动汽车股份有限公司, 湖南 株洲 412007)

摘 要:对某 10.5 m 客车中段车架进行优化方案设计、刚强度 CAE 对比分析及方案成本对比。结果表明,优化后的中段车架力学性能有所改善、成本有所降低。

关键词:客车车架; 中段车架; 结构优化设计

中图分类号:U469.72; U463.83⁺1 文献标志码:A 文章编号:1006-3331(2024)02-0040-04

Optimization Design of the Middle Frame of a 10.5 m Bus

LI Teng, YAN Dong, ZHU Hongjun

(CRRC Electric Vehicle Co., Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract: The authors carry out the optimization scheme design, the CAE comparative analysis of stiffness and strength, and the comparison of scheme cost for the middle section frame of a 10.5 m bus. The results show that the mechanical properties of the optimized middle section frame are improved, and the cost is reduced somewhat.

Key words: bus frame; middle frame; structure optimization design

车架是客车主要的承载基体^[1-5],其中中段车架连接车架的前后桥段,并且承担主要的承载作用^[6-7]。我司某 10.5 m 一级踏步车型中段结构使用物料数量多,结构复杂,焊缝条数多,加工时间长且易产生漏焊问题。因此,本文基于整车结构刚强度,考虑加工工艺及制造成本等因素,对中段车架进行优化设计。

1 中段车架的优化设计

对原结构进行优化,需尽量减少对其他总成的影响,满足原有结构约束条件要求。如:不改变中段各侧横梁之间间距;保留纵梁间距尺寸;保留中门前横梁带坡度设计,不影响整车布置等。

原中段车架高度为 140 mm,采用 40 mm+40 mm 双层梁,中间 60 mm 空间用于线束及管路布置,如图 1 所示。针对原结构存在的不足,考虑使用大规格矩形钢和槽型钢两种单层梁结构优化方案。

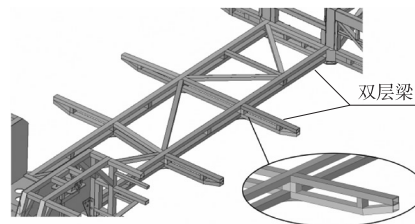


图 1 原结构三维图

1.1 优化方案一

采用大规格单层矩形钢代替原双层梁结构。选用成熟的型材物料尺寸为 120 mm×60 mm×3 mm 的 Q700 高强度钢作主纵梁及侧横梁;型材 120 面开有椭圆形过线孔并嵌入 3 mm 厚套筒,便于布置线束和管路的走向,同时不改变各侧横梁间距及纵梁间距;中段整体与前、后桥搭接位置做结构加强处理。

两主纵梁间的横梁采用双层 60 mm×30 mm×3 mm 型材布置,横梁与两纵梁间布置有 40 mm×40 mm×2 mm 的斜撑,纵梁与横梁搭接位置下方布置 4 mm 厚加强板进行局部加强;侧横梁端口下方开斜切口与

收稿日期:2023-09-05。

第一作者:李 腾(1991—),男,硕士;助理工程师;主要从事新能源客车车架结构设计与研究工作。E-mail:1569950177@qq.com。

侧围进行搭接,如图2所示。

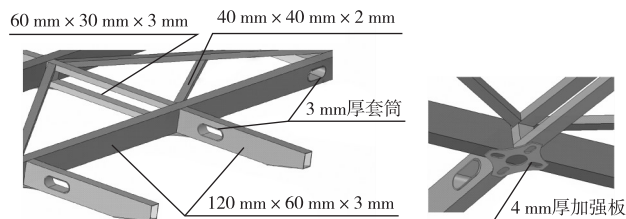


图2 单层矩形钢方案及局部位置结构

1.2 优化方案二

采用槽型钢代替原双层梁结构。为避免不必要的结构更改,槽型钢方案与原结构采用相同高度 140 mm,上下翼面按高宽比接近 3:1 设计,即翼面宽度设计为 50 mm。因此,主纵梁及横梁设计为 140 mm×50 mm 槽钢,厚度 4 mm,槽型钢腹面开有过线孔便于布置线束和管路的走向,同时不改变各侧横梁间间距及纵梁间间距;中段整体与前、后桥搭接位置做结构加强处理。

两纵梁间除有槽型钢横梁外,靠纵梁上翼面布置有 40 mm×40 mm×2 mm 的斜撑;斜撑、槽型钢横梁与主纵梁开口方向的搭接均采用斜撑、槽型钢横梁开坡口方式;横梁与主纵梁搭接点上下位置均布置 4 mm 厚加强板进行局部加强。

原结构侧横梁与侧围连接处采用斜撑方式收口,槽型钢方案采用调整槽型钢下翼面,线性变化方式缩小截面尺寸,中门前侧横梁则采用上下翼面线性变化方式缩小截面尺寸处理,结构如图3所示。

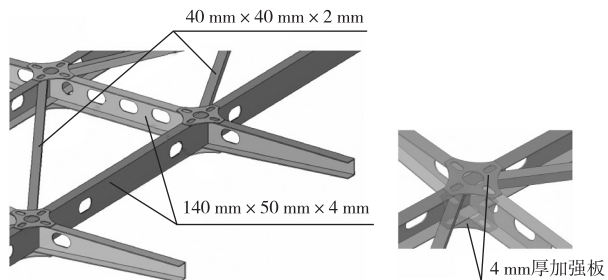


图3 槽型钢方案及局部位置结构

2 优化方案对比分析

2.1 质量及结构对比

对上述两种优化方案及原结构进行质量计算:方案一为 175.4 kg,方案二为 164.7 kg,原结构为 187.7

kg,即方案一减轻了 12.3 kg,方案二减轻了 23 kg。

另外,方案二相对方案一及原结构存在如下问题:

- 1) 槽型横梁与主纵梁搭接位置上表面布置的 4 mm 横梁影响中段地板铺装。
- 2) 过线孔布置可满足线束和管路走向布置,但无法满足部分客户要求制动铜管平铺布置的要求。

2.2 强度对比分析

建立如图4所示的整车骨架有限元模型,分别对中段车架原结构、优化方案一和优化方案二进行整车强度对比分析。

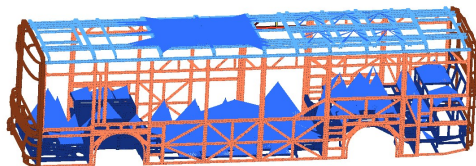
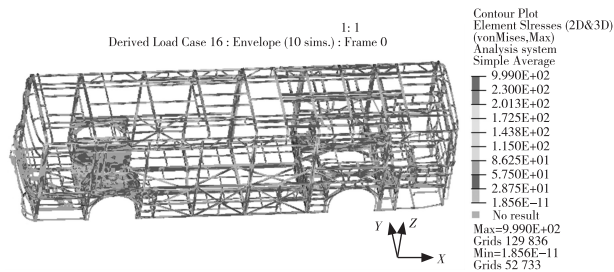


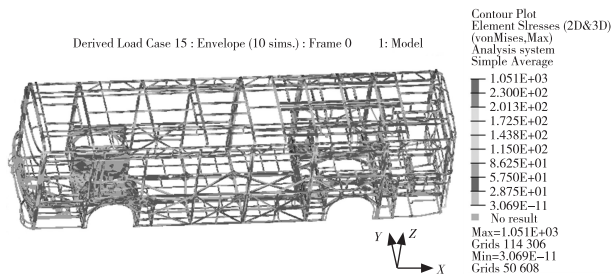
图4 整车骨架有限元模型

基于整车强度工况对上述3种方案的整车骨架进行应力分析,重点对标中段车架的应力差异。

从图5中各方案的综合应力结果来看,除中段车架外,各方案骨架其余部位的应力均保持高度一致,最大应力均出现在中门上横梁处,方案一为 224.4 MPa,方案二为 222.7 MPa,原结构为 205.3 MPa。说明中段车架的方案变更对骨架其余部位的影响较小。



(a) 方案一



(b) 方案二

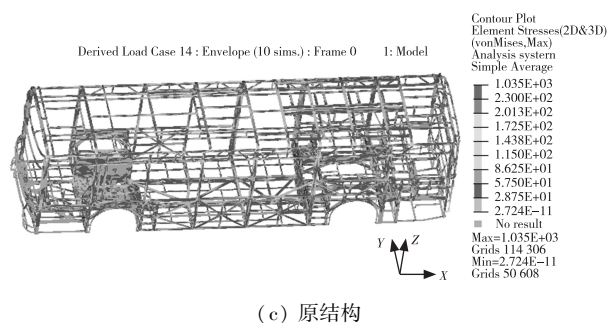


图5 各状态的整车强度分析结果应力云图

从中段车架的具体对比来看,方案二横梁在上层标记处存在明显的局部较高应力,位于槽型钢边缘(如图6和图7所示),且该处应力易受焊接影响;从图8和图9所示的中段车架下层结果来看,方案一和方案二相比原结构在图示位置的应力明显降低,强度更好。3种方案最大应力均出现在中门前横梁下表面位置,方案一为159.6 MPa,方案二为198.8 MPa,原结构为293.9 MPa。综上,方案一的整体应力状况更好。

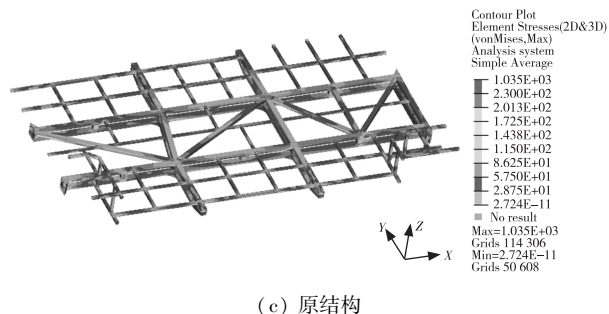
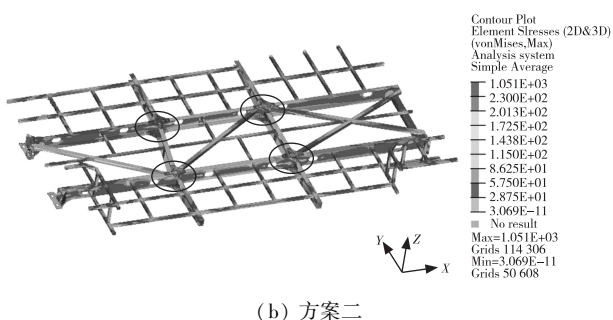
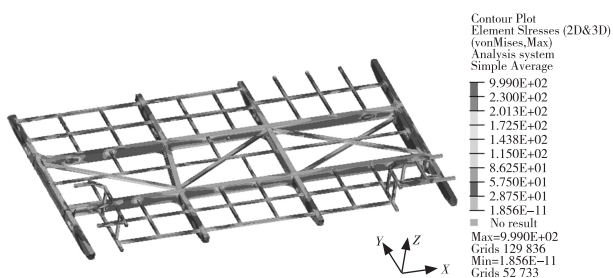


图6 中段车架上层各方案综合应力对比

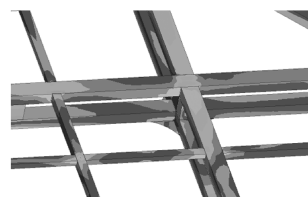
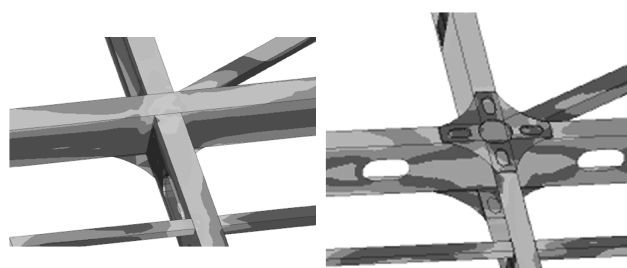


图7 中段车架上层各方案局部应力云图

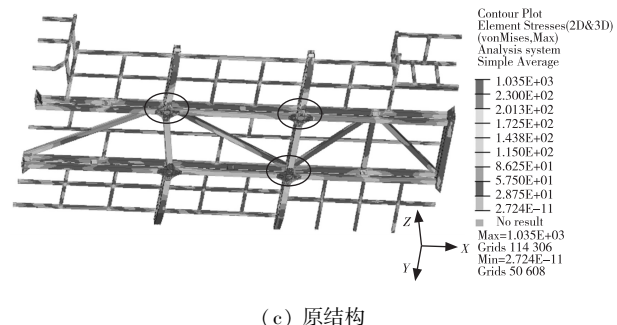
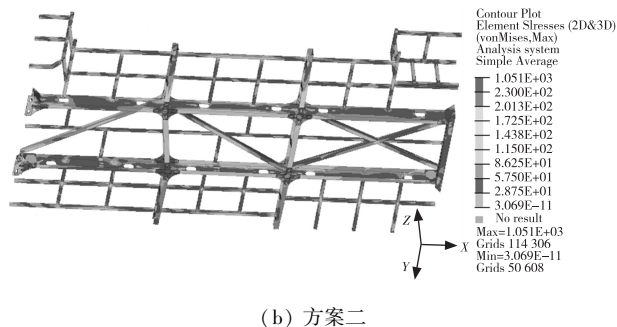
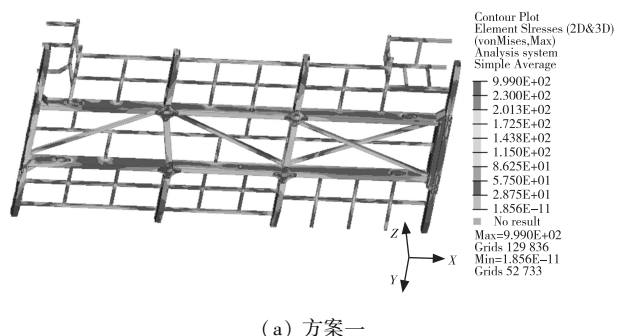


图8 中段车架下层各方案综合应力对比

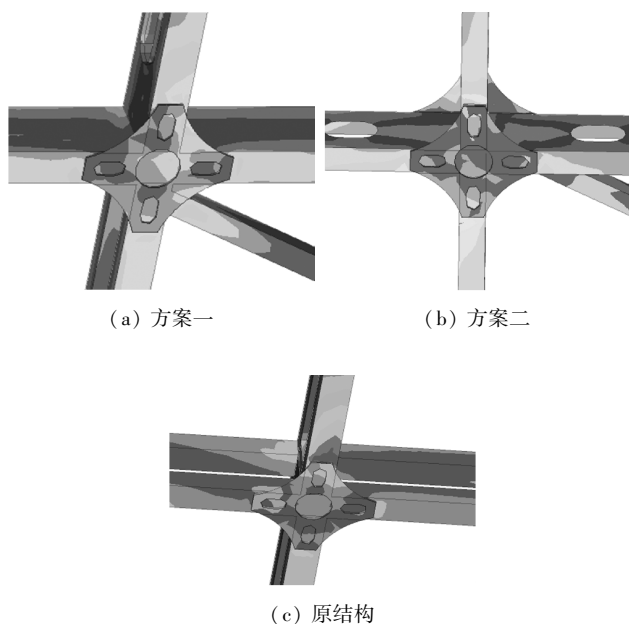


图9 中段车架下层各方案局部应力云图

2.3 刚度对比分析

弯曲刚度、扭转刚度、一阶扭转模态频率是评价客车骨架的关键性能指标^[8-11]。利用2.2节中的整车骨架有限元模型,分别对上述3种方案的整车骨架进行自由模态、整体扭转刚度和整体弯曲刚度分析,对比见表1。

表1 整车骨架基础刚度性能对比

方案	弯曲刚度/ ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-1}$)	扭转刚度/ ($\text{Nm}\cdot\text{deg}^{-1}$)	一阶扭转 模态/Hz	一阶纵向弯曲 模态/Hz
原结构	2 787	27 364	8.7	14.9
方案一	3 163	28 100	8.8	14.9
方案二	3 082	27 075	8.7	14.9

从上述数据来看,方案一和方案二的整体刚度性能较原结构均得到一定提升,其中方案一整体刚度性能更高。整体弯扭刚度的提升有助于减少骨架疲劳、异响及其他潜在未知问题发生的可能性。

2.4 成本对比分析

2.4.1 中段车架原材料成本对比分析

3种方案的中段车架原材料成本见表2。从表2可以看出:

1) 方案一的材料成本比原结构的材料成本少106.6元/辆。

2) 方案二因510L材质槽型钢单价较高,导致其

比原结构轻23 kg情况下材料整体成本与原结构接近。

表2 中段车架原材料成本对比

材质	单价/ 元	原结构		方案一		方案二	
		重量/ kg	价格/ 元	重量/ kg	价格/ 元	重量/ kg	价格/ 元
Q700	7.7	168.2	1 301.9	148.4	1 148.6	51.8	400.9
Q355	6.2	19.5	121.3	27	167.9	26.9	167.3
510L	10	0	0	0	0	86	860
合计	/	187.7	1 423.2	175.4	1 316.6	164.7	1 428.3

2.4.2 中段车架制造成本对比分析

3种方案的中段车架加工时间见表3。

表3 中段车架加工时间对比

方案	焊缝长度/mm	焊接工时/h	加工工时/h	工时合计/h
原结构	29 230	16.23	0	16.23
方案一	29 240	16.24	0	16.24
方案二	15 000	8.33	6	14.33

需要说明的是:

1) 加工工时是指单层梁状态下过线孔物料的加工时间,方案二中过线孔在原材料购买中已完成开孔,故不重复进行计算。

2) 方案一的加工时间比原结构的加工时间少1.9 h/辆;方案二的加工时间与原结构接近。

综上所述,方案一为某10.5 m一级踏步车型中段车架结构的优化方案。

3 结束语

本文通过优化方案设计、刚强度CAE对比分析及方案成本对比等,在不降低整车刚强度情况下实现中段车架的优化设计,为后续整车骨架结构的优化设计提供参考。

参考文献:

- [1] 鲁春艳,万长东,田菲.巴哈赛车车架多目标拓扑优化设计[J].机械设计与制造,2021(10):66-70.
- [2] 陈家瑞.汽车构造:下册:第3版[M].北京:机械工业出版社,2009:161.

(下转第54页)

参考文献:

- [1] 王城,梁天也,龙岩. 基于动力总成三点悬置的改进 TPA 方法应用研究[J]. 噪声与振动控制,2011,31(2):34-37.
- [2] 赵帅,范习民,袁飞. 商用车低频怠速抖动问题分析及解决方案[C]//中国汽车工程学会 2021. 中国汽车工程学会年会论文集(4). 北京:机械工业出版社,2021:47-50.
- [3] 王健,朱广栋,向洪博. 客车座椅靠背晃动异响分析及控制[J]. 客车技术与研究,2022,44(5):39-41.
- [4] 邵威,黄志亮. 某工程机械整车异常抖动测试分析[C]//LMS 公司. 2013 年 LMS 中国用户大会论文集,2013:1-4.
- [5] 徐海澜,王若璜,朱红岩. 客车座椅车辆固定件强度静态试验载荷确定方法研究[C]. 客车技术与研究,2023,45(5):49-52.
- [6] 季晓刚,章应雄,唐新蓬. 汽车动力总成悬置研究的发展[J]. 汽车科技,2004(1):4-6.
- [7] 宋婷婷,刘美,沈福亮. 动力总成悬置系统仿真分析[C]//中国汽车工程学会. 2009 中国汽车工程学会年会论文集. 北京:机械工业出版社,2009:129-132.
- [8] 彭磊,许春铁,王卓. 基于动力总成刚体模型的悬置系统解耦快速优化设计[C]//澳汰尔工程软件(上海)有限公司. 2015Altair 技术大会论文集,2015:6.
- [9] 何洋志,陈吉清,兰凤崇. 动力总成悬置系统隔振分析及优化[J]. 现代制造工程,2012(2):80-83.
- [10] 李红松,屈翔,张勇. 汽车发动机悬置系统主要特征参数的计算分析[J]. 重庆工学院学报,2005(8):13-15.
- [11] 陈良松,宋俊,邱毅,等. 汽车座椅振动舒适性主客观测试及关联性分析[J]. 汽车工程,2021(8):1263-1269.

(上接第 43 页)

- [3] 韦于刚. 半承载式客车车身结构侧翻有限元分析[D]. 武汉:武汉理工大学,2014.
- [4] 燕战秋,华润兰. 论汽车轻量化[J]. 汽车工程,1994(6):375-383.
- [5] 王念,高群,黄心深,等. 轻型电动客车榫卯结构骨架仿真分析[J]. 机械设计与制造,2015(5):181-184.
- [6] 宋群. 基于全承载技术的纯电动客车设计与研究[D]. 长春:吉林大学,2011.
- [7] 王文甲,吴长风,张勇,等. 客车骨架局部结构的多工况拓扑优化设计[J]. 客车技术与研究,2018,40(1):26-29.
- [8] 熊波. 全碳纤维复合材料桁架制备与可靠性分析方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2017.
- [9] 乔蔚炜,金达锋,于兴林. 微型电动车车身结构优化设计中性能指标的确定方法[J]. 天津汽车,2008(8):36-38.
- [10] 瞿元,张林波,王志超,等. 某概念白车身正向开发流程[J]. 计算机辅助工程,2022,31(1):28-33.
- [11] 于保君,何洪军,肖永富,等. 某小型客车车身骨架轻量化综合优化设计[J]. 客车技术与研究,2021,43(3):22-25.