

高强度带中梁铝合金型材断面研究^{*}

于庆斌 李天亮 李 林

(中车长春轨道客车股份有限公司车体研发部, 130062, 长春//第一作者, 教授级高级工程师)

摘 要 介绍了一种高强度带中梁的铝合金型材断面。仿真计算结果表明,在保证设计结构和工艺装备基本不变的前提下,该铝合金型材断面能够提高动车组铝合金车体的压缩强度。研究数据和仿真试验结果为设计满足更高强度和刚度标准的铝合金车体提供了理论依据和技术支撑。

关键词 动车组; 车体; 铝合金型材; 中梁

中图分类号 U270.4⁺¹

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.02.002

Research on High Strength Aluminum Alloy Profile Section with Mid-Beam

YU Qingbin, LI Tianliang, LI Lin

Abstract A type of high strength aluminum alloy profile section with mid-beam was introduced. The simulation result shows that with the premises of maintaining design structure and manufacturing equipment, this type of aluminum alloy profile section can effectively increase the compressive strength of EMU aluminum alloy vehicle body. The research data and simulation test results provide theoretical reference and technical support in designing aluminum vehicle body meeting higher standard of strength and stiffness.

Key words EMU; vehicle body; profile; mid-beam
EMU; vehicle body; profile; mid-beam

Author's address CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

随着高速动车组技术快速发展,世界各国对动车组的刚性需求也逐步凸显出来。随着“一带一路”倡议的实施,我国动车组“走出去”步伐逐步加快。为满足用户需求,需对各国动车组的相关标准进行梳理,经研究发现大部分国家没有专门的动车组相关标准,仍然采用自己国内既有车辆的标准,如俄罗斯国家标准 GOST 33769:2016《电动机车车辆对强度和动力性能的要求》^[1-3]中对动车组的铝合金车体提出满足压缩力 2 000 kN 的强度要求,

经分析论证,既有的铝合金车体结构及型材断面无法满足此要求。因此,需要研制一种适应高强度需求的车体结构和新的铝合金型材断面,既满足标准要求的车体强度,同时又保证结构设计和工艺装备基本不变。

1 车体铝合金型材应用现状

动车组车体一般为由长大中空铝合金型材组焊而成的无中梁筒形整体承载结构,是动车组的关键部件之一。铝合金型材则是车体的重要零部件,影响着车体的强度,也影响着车体技术的发展。

铝合金材料质量轻,可挤压成与车体等长的大型中空型材,其制造工艺简单,加工费用低,运行品质好,耐腐蚀性强,维修成本低,是生产高速列车的主导材料^[4]。目前,动车组车体铝合金型材广泛使用的是 6 系铝合金,型材断面采用传统三角型加强筋结构。通过仿真计算证明,此种断面不能满足 2 000 kN 压缩工况的强度计算要求,即使改变加强筋的角度且增加型材壁厚也不能解决根本性问题。若通过常规补强手段来修改设计结构或额外增加其他结构件来补强,则会增加整车质量并提高设计成本。为了能够满足高强度标准的要求,研究新的 6 系铝合金型材断面的设计成为车体设计研究的重要任务。

2 带中梁铝合金型材断面设计研究及技术方案

2.1 带中梁铝合金型材断面设计研究

对于板梁式轨道车辆的车体来说,为了传递较大的纵向力,一般会采用有中梁的设计结构,中梁对传递纵向力起着非常大的作用^[5]。而对铝合金车体而言,增加中梁结构难度很大,因此,借鉴有中梁的板梁式车体结构,研究一种可集成中梁的全新

^{*} 国家重点研发计划项目(2016YFB1200500)

的铝合金型材断面设计,并通过三维建模仿真计算分析和实物试验的方法及手段验证新结构的可行性。

高强度带中梁的铝合金型材断面设计研究,需重点从以下方面入手:①集成中梁结构,外表面平整;②不改变现有的拉伸和焊接工艺;③对设备的安装不产生任何影响。

2.2 带中梁铝合金型材断面技术方案

图1为既有铝合金型材断面。图2为带中梁的铝合金型材断面。

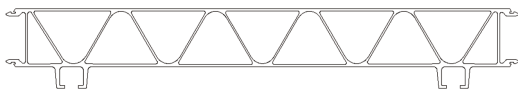
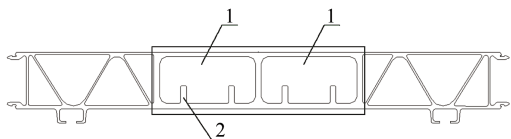


图1 既有的铝合金型材断面



注: 1——矩形中梁; 2——凸起结构

图2 带中梁的铝合金型材断面

与既有的铝合金型材断面比较,带中梁的铝合金型材断面增加了矩形中梁和凸起结构。经计算分析发现,传统三角型加强筋的型材断面结构无法承受从车钩安装座传递的压力,即使改变加强筋的角度且增加型材壁厚也不能解决根本性问题。而对于承受大纵向载荷的车体结构来说,一般需通过增加额外的中梁结构部件来实现。带中梁的车体结构能够很好地传递施加在车钩座上的纵向力,但其截面较大,加工性能差,焊接应力较大,而且占用了大量的车辆下部空间,对整车的车下设备安装和车辆质量会产生很大影响。结合上述两种现有结构的优点及铝合金型材的特点,研究一种中梁内置的铝合金型材断面十分迫切。这种设计既提高了型材强度,又使型材可以挤压成型,制造工艺简单,且能够减重。中梁的横向布置位置与车钩安装座两侧牵引梁的位置相同,能够很好地传递纵向力,增加车体强度。

根据强度标准要求,结合强度分析报告,找出车体强度最为薄弱部位,应用此设计方法在该处型材增加矩形中梁和凸起结构。对改进后的结构进行仿真分析,依据仿真分析结果调整矩形中梁和凸起结构的数量、设计厚度以及设计位置,设计出新的派生铝合金型材断面结构(见图3),使其强度达



图3 派生铝合金型材断面

到最优。

依据本文的设计方法,将底架最为薄弱的一块或几块底架型材断面设计为带中梁的结构,并组焊成整个车体结构(见图4)。

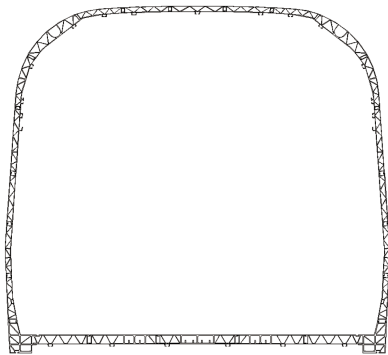


图4 采用带中梁铝合金型材的车体

3 带中梁铝合金型材断面强度仿真分析验证

为验证带中梁铝合金型材断面的强度,对组焊后的车体进行仿真分析验证。车体三维实体模型如图5所示,利用 HyperMesh 与 Ansys 软件,基于 TB 1335—1996^[8] 标准、EN 12663-1:2010^[7] 标准、GOST 33796:2016 标准和 IIW-1823-07/XIII-2151r4-07/ XV-1254r4-07(《焊接接头与部件的疲劳设计》)标准,对采用带中梁的铝合金型材断面的车体进行刚度、静强度、模态和疲劳强度分析^[6-9]。

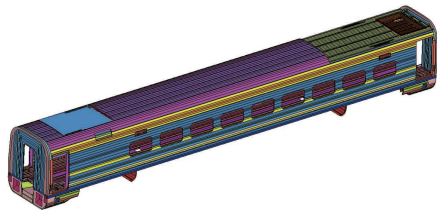


图5 车体三维实体模型

图6为垂向超员载荷(AW3)工况下车体及底架边梁位移云图。在垂向超员载荷工况作用下,位于车体中心线底架边梁的垂向位移为 8.254 03 mm,小于设计许用值 17.8 mm;车体相当弯曲刚度为 $2.451 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2$;车体相当扭转刚度为 $7.919 \times$

10⁸ N · m²/rad。

在 23 种静强度计算载荷工况作用下,车体部件屈服强度与部件的 Von. Mises 应力的比值均不小于 1.0。主要工况应力云图如图 7、图 8 所示。

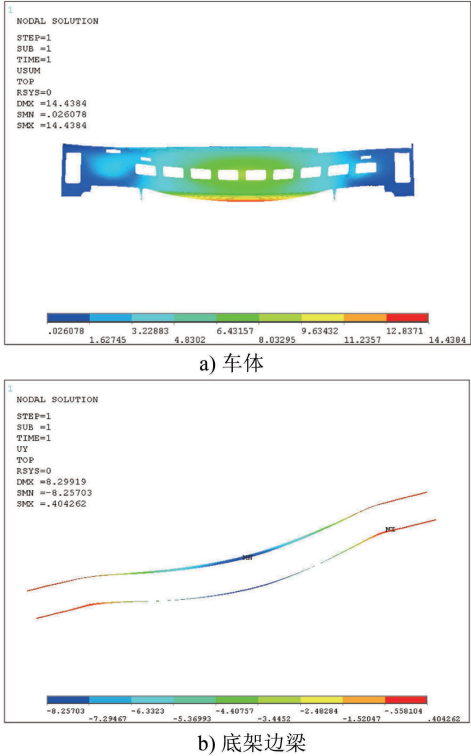


图 6 垂向超员载荷工况下车体及底架边梁位移云图

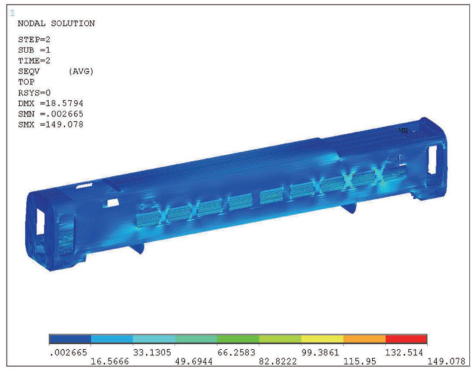


图 7 AW3+纵向拉伸 1 000 kN 作用下车体应力云图

图 9 为底架一阶垂向弯曲云图。图 10 为车体一阶扭转云图。车体、底架一阶垂向弯曲振动频率为 16.372 2 Hz, 一阶扭转自振频率为 19.217 4 Hz。

在加速度疲劳工况作用下,车体部件的最大主应力范围均小于它们的许用应力范围;考虑低应力循环对疲劳损伤的贡献,车体部件的疲劳累积损伤均小于 1。

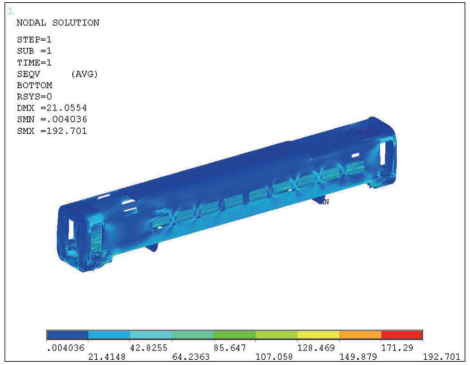


图 8 AW3+纵向压缩 2 000 kN 作用下车体应力云图

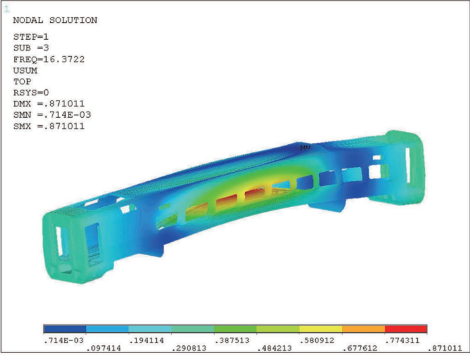


图 9 底架一阶垂向弯曲云图

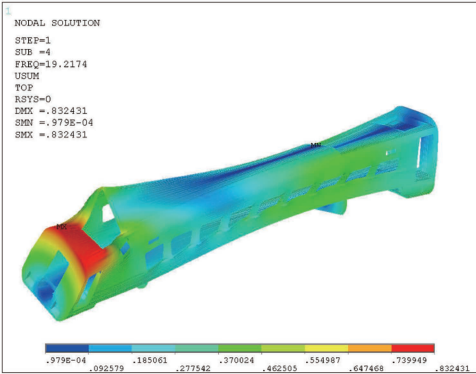


图 10 车体一阶扭转云图

4 结论

1) 本文所述的高强度带中梁的铝合金型材断面充分考虑了车体铝型材的强度、刚度。不改变型材外部轮廓形状及接口方式,仅通过在型材内部增加中梁结构,便可提高车体强度及刚度,这对铝合金车体及型材断面设计提供了一种新的方法和思路。

2) 这种高强度带中梁的铝合金型材断面设计,考虑了铝型材拉伸成型的工艺可行性、组成车

(下转第 11 页)

于工况2的(焊接参数是采用1次焊接、搭接面不涂密封胶)。通过改变焊接参数,采用工况3(焊接参数采用2次焊接、搭接面同样涂密封胶)的焊接试件的拉伸数值高于工况2的。根据日本东急车辆公司企业标准YC-IH 2002:2000^[4]要求:点焊接头试样的最小拉伸载荷以焊接接头中较弱的材料为基准,再乘以1.3倍的安全系数;车顶侧顶板和车顶边梁的焊接,以母材较弱车顶侧顶板材料为基准(母材的拉伸载荷为9.512 kN)。基于此,焊接后的试件最小拉伸载荷为12.36 kN。9组试件的拉伸试验均符合要求。

在熔核断面的金相试验中,相关标准要求:厚度为1.5 mm的材料,熔核直径 D 大于5.6 mm,缩孔缺陷长度 L 不大于 $0.25D$ ^[4]。工况1条件的熔核直径最小,是6.2 mm,符合要求;但是熔核中心有缩孔,缩孔缺陷长度为1.6 mm,不符合标准要求。工况2和工况3的熔核尺寸 D 符合标准要求,并且没有缩孔缺陷。

通过分析电阻点焊原理可知,电阻点焊是依靠电阻热使工件自熔实现焊接的。电阻热与电流成正比,如果工件导电性好,分流就小,电阻热值就大,试件焊接性能就好。

导电密封胶在聚合物中添加了金属粉,增加了导电性。但是与不涂导电密封胶的试件相比,涂导电胶的试件导电性能有所下降,对选用相同焊接参数(采用1次焊接方式)的试件,涂导电胶的焊接性

能下降。对涂导电胶的试件,通过调整焊接参数,采用2次焊接的方式,第1次焊接采用小电流和短时间方式,对母材起到预热的作用,再进行第2次焊接时,能够减少无效电流的损失,焊接性能更佳。

4 结论

1) 添加金属粉的密封胶可以实现电阻点焊过程中电流在工件之间的导电作用;

2) 采用相同焊接参数,涂导电胶的试件焊接性能要低于不涂导电胶的试件焊接性能;

3) 对涂有导电胶的车辆结构的点焊,通过优化焊接参数,采用2次焊接的焊接参数,能够实现焊接要求,满足产品结构设计的要。

参考文献

- [1] 康丽齐. 不锈钢多层板电阻点焊焊接前可靠性试验技术研究[J]. 工程技术, 2016(1): 260.
- [2] 康丽齐, 于菲. 电阻点焊电极头形式对高强不锈钢焊点强度影响的试验研究[C] // 第八届中国智能交通年会论文集. 北京: 电子工业出版社, 2013: 56.
- [3] 日本标准协会. 铁道车辆用不锈钢板焊接接头设计方法: JIS E 4049-1990[S]. 东京: 日本标准协会, 1990.
- [4] 日本东急车辆公司. 点焊作业标准(日本企业标准): YC-IH 2002:2000[S]. 东京: 日本东急车辆公司, 2000: 5.
- [5] 哈尔滨焊接培训技术培训中心. IWE-1/1.19 国际焊接工程师培训教程 电阻焊[M]. 哈尔滨: 哈尔滨焊接培训技术培训中心, 2006: 3-6.

(收稿日期:2019-08-25)

(上接第7页)

体的焊接工艺性以及设备安装的可装配性,简单可行,且不改变现有的型材拉伸和焊接工艺,对设备的安装不产生任何影响,车体质量和成本基本不增加。

3) 高强度带中梁的铝合金型材已应用在某项目的车体设计中,并通过了2 000 kN压缩力的强度仿真分析计算,强度较既有的铝合金型材断面提高约20%,可满足国外高强度标准的要求。

参考文献

- [1] 韩文娟,董晓鹏. 国外高速动车组的发展趋势分析[J]. 机车车辆工艺, 2017(4): 8.
- [2] 俄罗斯联邦国家标准化与计量委员会. 电动机车车辆对强度和动力性能的要求: GOST 33769: 2016[S]. 莫斯科: 俄罗斯

标准化、计量和合格认证信息科技中心, 2016.

- [3] KEVIN S. 俄罗斯将大力发展高速铁路[J]. 国外铁道车辆, 2013(11): 16.
- [4] 何广忠,刘长青. 动车组铝合金车体材料的发展与选型分析[J]. 中国高铁焊接, 2015(1): 13.
- [5] 郭鹏,肖守讷,朱涛,等. 底架承载式机车变截面中梁优化设计[J]. 机械设计与制造, 2015(6): 98.
- [6] 谢素明,王思阳,高阳. 高速动车组铝合金车体性能的深入研究[J]. 大连交通大学学报, 2014, 35(6): 14.
- [7] 英国标准学会. 铁路应用-铁道车辆车体结构要求: BS EN 12663: 2010[S]. 英国: 英国标准学会, 2010.
- [8] 中华人民共和国铁道部. 铁道车辆强度设计及试验鉴定规范: TB 1335-1996[S]. 北京: 中国铁道出版社, 1996.
- [9] 英国标准学会. 铝结构设计总则: BS EN 1999-1-1: 2007[S]. 英国: 英国标准学会, 2010.

(收稿日期:2019-08-25)