# 高速动车组设备舱支架结构仿真分析

北车集团唐山轨道客车有限责任公司 （河北 063035） 苏红远 赵双敬 张建辉 刘东军

随着我国高铁事业的发展，高速列车的安全性能越来越受到社会各界的关注，设备舱支架是车下设备舱底板和两侧裙板的主要承载结构。为保证列车安全运行，对原有的设备舱支架强度进行了有限元分析，并在此基础上提出新的改进结构。

## 1. 设备舱支架结构简介

支架结构由角码、上臂、联接型材、挡板及吊梁拼焊而成，支架上臂与底部吊梁用8个M8螺栓联接。角码与车体底架边梁相连，吊梁通过螺栓与裙板和设备舱底板联接，原支架结构如图1所示。

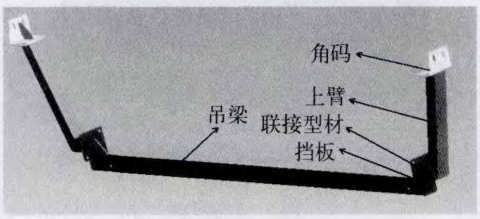



图1 设备舱原支架结构

原支架按照此结构进行设计生产制造，经过实际应用，发现动车组设备舱支架在运营中联接型材与挡板焊缝有开裂现象，开裂位置如图2所示。

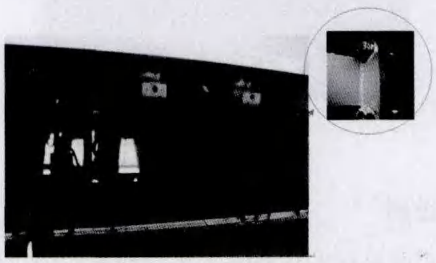


图2 原支架开裂现场照片

## 2. 有限元分析模型建立

（1）有限元模型的建立 由于考虑到支架在不同的安装环境中受载的不同和气动载荷的施加，所以建立的支架计算模型是提取整个单元模块进行分析的，整个单元模块包含有支架连接的裙板、支撑槽、裙板支座、底板及挡板等。

（2）材料参数 单元结构中，支架、裙板及底板等结构的材质为铝合金，铝型材及焊接筋板材料均为铝合金材料EN AW－6005A，材料的屈服强度为215MPa，焊缝屈服强度为115MPa。裙板吊挂等为不锈钢，有限元模型中采用的材料属性如表1所示。设备舱底板采用实体单元建模，将底板的铝蜂窝板简化为正交各向异性的夹心板结构计算模型。按Gibson理论正六边形铝蜂窝折合材料参数（见表2）。

表1 材料的物理属性

| 材料 | 密度/kg·m$^{-3}$ | 弹性模量/Pa | 泊松比 |
|---|---|---|---|
| 钢 | 7850 | 2.0e+11 | 0.3 |
| 铝 | 2770 | 7.1e+10 | 0.33 |
| 蜂窝铝板 | 55.6 | 6.9e+10 | 0.33 |

表2 铝蜂窝铝板的等效力学参数

| 名称 | $\nu$ | $Ecx=Ecy$ /MPa | $Ecz$ /MPa | $Gcxy$ /MPa | $Gcyz$ /MPa | $Gcxz$ /MPa |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 等效值 | 0.33 | 3.498 | 2231 | 1.312 | 629.01 | 416.34 |

（3）网格划分与载荷工况 建立有限元模型时，所有设备舱结构单元主要采用4节点等效参数薄壳单元模拟主体结构，用梁单元模拟螺栓联接结构，通过RIGID单元与其相邻的有限元结构连接。而底板结构采用实体单元，以便模拟蜂窝结构。该方案模块的有限元结构网格划分如图3所示。模型共划分为124 147个壳单元、106 630个实体单元、148个梁单元，共252 341个节点。高速列车运行时承受最大的气动载荷为6kPa。

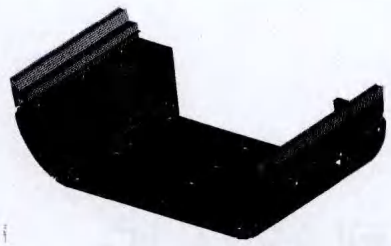


图3　有限元模型网格划分

（4）结果分析　在设定好单元模型、材料参数、运动接触条件、边界条件的基础上，对有限元模型进行数值模拟，本次主要关注设备舱支架的结构强度，因此仅对裙板支架的数值模拟结果进行分析（见图4）。

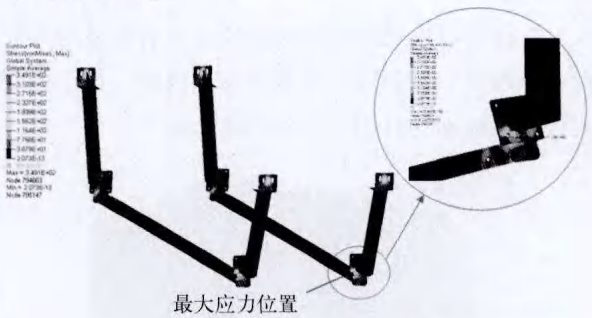
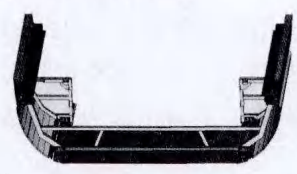



图4　支架应力示意

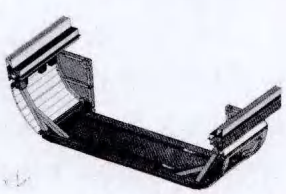
结果显示，支架的最大应力出现在支架上臂与底部吊梁联接处，最大应力值为349.1MPa，大于材料的许用应力215MPa，产生应力集中现象，原支架结构不满足强度设计要求。

### 3. 新结构的建立

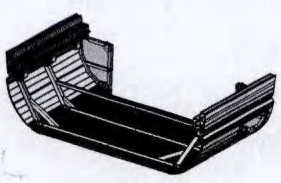
由以上分析可知，现有设备舱支架设计强度不足，不能满足车辆运行要求，需要将所有设备舱支架更换新结构，在支架适应新安装环境的基础上做了相应的更改，提出5种新结构的设备舱支架方案，如图5所示。



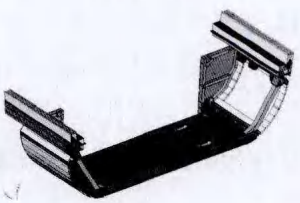
（a）方案一



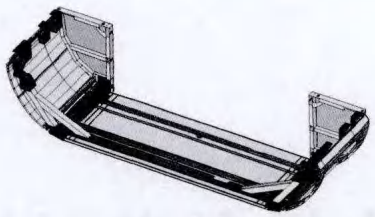
（b）方案二



（c）方案三



（d）方案四



（e）方案五

图5　五种方案的几何结构

以方案二结构为例进行有限元分析，探讨新结构的强度是否满足支架强度要求。

### 4. 新结构有限元分析

为保证支架在最大工作载荷作用下满足设计要求，对设备支架进行结构改进，采用新型结构替代原支架，新支架结构如图6所示，新支架采用铝型材焊接而成，支架上臂与底部吊梁采用铝合金方管焊接连接。

图6　新结构支架模型

新支架模块的有限元结构的网格划分如图7所示。新方案模块有限元模型共有节点463 845个、单元421 786个，其中壳单元207 956个、实体单元213 260个、梁单元222个、刚性单元348个。

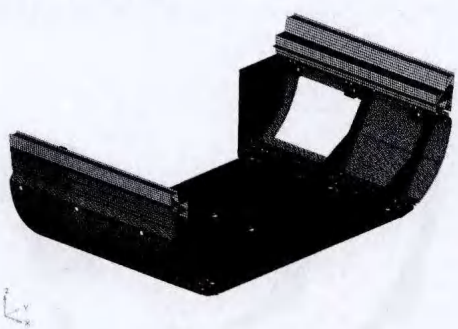


图7　设备舱新结构支架网格划分

新支架结构边界条件、工作载荷与原支架结构相同，对新支架进行有限元计算，最大应力位置出现在支架与车体连接的铝型材处，经计算分析可看出，如图8支架应力云所示，最大应力出现在支架上臂和底架边梁的连接机构处，数值为102.9 MPa，远小于材料的屈服极限应力215MPa，满足强度设计要求。

# 电力机车牵引从动齿轮裂纹分析

北京南口轨道交通机械有限责任公司 （102202） 姜永升 于建英 陈更强

某电力机车在周期大修时，发现其牵引齿轮的从动齿轮端面齿底处有裂纹，此零件已正常运行30万km。为了找到裂纹原因，我们对此零件的化学成分、显微组织、硬度及裂纹宏观形貌等进行了分析。

该齿轮材质为42CrMo，加工流程：锻造→正火→高温回火→粗车加工→调质→精车加工→滚齿→中频感应淬火→低温回火→磨齿。

**1. 宏观分析**

裂纹位于端面齿底处，该端面为感应淬火的入端。裂纹总深度约25mm，沿齿宽方向长约50mm。

打开断口发现为韧性疲劳断口，有明显的贝壳纹疲劳特征，贝壳纹中心即疲劳裂纹源，位于齿底表面，距端面约11.5mm，如图1所示。

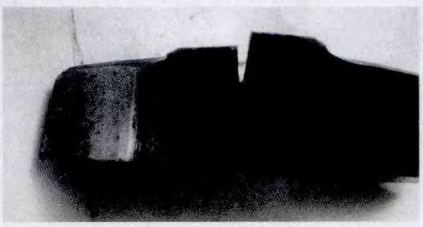


图 1

**2. 化学成分分析**

经直读光谱仪测定，该齿轮材料的化学成分如表1所示，符合相关技术标准要求。

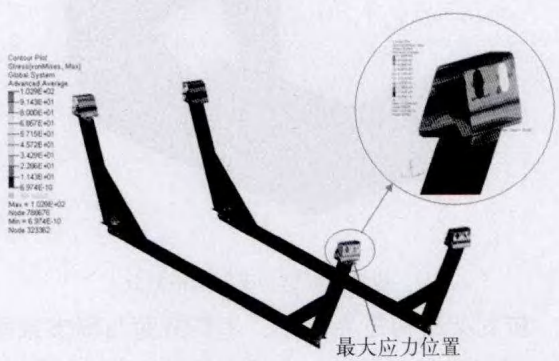



图8 新结构支架应力云

为了验证实际应用中新结构的强度问题，对CRH3型动车组设备舱支架新结构进行了线路动应力测试，测试里程约8141km，测得支架最大等效应力为33.7MPa，承载情况良好。目前设备舱支架新结构已应用于武广线高速动车组上，累计运行1200万km以上。

**5. 结语**

（1）通过数值仿真得出的设备舱原支架结构最大应力值超过材料的屈服应力，应力集中位置与原支架实际开裂位置基本相符，且可以作为支架结果改进和试验的理论依据。

（2）通过对新型支架结构的数值仿真，可得出新支架结构最大应力比原支架结构降低了70.5%，满足支架强度设计要求。

（3）实际测试显示，设备舱支架新结构在实际应用中承载情况良好。**MW**

（20120827）