

70% 低地板有轨电车动力转向架构架强度分析

李金城, 李 芾, 杨 阳

(西南交通大学 机械工程学院, 四川 成都 610031)

摘 要: 介绍了 70% 低地板有轨电车基本参数、动力转向架的结构特点。根据欧洲标准 EN 13749 制定 70% 低地板有轨电车动力转向架构架计算大纲, 利用有限元分析软件 ANSYS 对动力转向架构架进行静强度、疲劳强度计算及模态分析。计算结果表明, 构架强度满足车辆承载要求, 各阶模态振型的频率较高, 没有明显的薄弱环节。

关键词: 70% 低地板; 有轨电车; 动力转向架; 构架; 静强度; 疲劳强度; 模态分析

中图分类号: U482.1; U260.331 **文献标识码:** A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.03.021

Strength Analysis for 70% Low-floor Tram Car Motor Bogie Frame

LI Jincheng, LI Fu, YANG Yang

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: Basic parameters of the 70% low-floor tram car and structural features of the motor bogie were introduced. The calculation outline of motor bogie frame of the 70% low-floor tram car was made based on the European standard EN13749. The finite element analysis software ANSYS was used to calculate the static strength, fatigue strength and modal analysis of the motor bogie frame. The results showed that the frame was able to meet the strength requirements, each-order modal model of which was on relatively high frequency, without obviously weak part.

Keywords: 70% low-floor; tram car; motor bogie; frame; static strength; fatigue strength; modal analysis

0 引言

随着我国城市人口密度的增加, 城市承受的交通压力日益严重, 为了实现绿色城市、可持续发展, 大力发展城市轨道交通系统势在必行。

城市轨道交通系统主要有地铁、轻轨和磁悬浮车等几大模式。由于轻轨车具有投资小、工程量小、对自然环境及城市景观破坏小等优点, 国外许多大城市已形成了以轻轨车为主的城市轨道交通发展模式, 且轻轨车尽量采用低地板。地板面距轨面高在 400 mm 以下的轻轨车被称为低地板轻轨车, 主要有 70% 低地板

和 100% 低地板 2 种低地板轻轨车。100% 低地板轻轨车采用的转向架较常规转向架结构复杂, 技术不成熟, 因此 70% 低地板轻轨车现阶段较 100% 低地板轻轨车应用更为广泛。

1 车辆主要技术参数

本文以国内开发的 70% 低地板车为例, 车辆为动力分散式的铰接车辆, 由 2 个动力转向架、1 个非动力转向架和车体组成。牵引力由分布在车体两端的 2 个动力转向架提供, 车辆运行时车体受到的来自垂向、横向、纵向的力由 3 个转向架共同承受。

现行铰接车辆连接铰有固定铰、自由铰、转动铰 3 种。所计算车辆采用的编组形式和铰接方式如图 1 所

示。根据设计要求，所计算车辆的基本参数如表 1 所示。

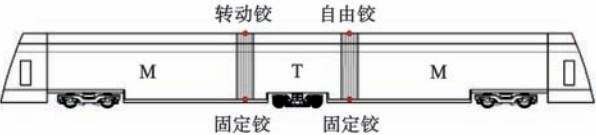


图 1 车辆编组形式

转向架用于支撑车体，使车辆不仅能够在直道上快速、平稳地运行，还可以顺利地通过曲线。在车辆运行过程中，转向架除受到来自车体的横向、垂向力外，还受到牵引载荷、制动载荷、减振器载荷等，受力复杂，这对转向架结构设计合理性及构架强度提出了严格的要求。

表 1 车辆基本参数

参数项目	数值
最大设计速度	80 km/h
轴重	11 t
轨距	1 435 mm
车轮直径	660 mm
最小曲线半径	25 m
最大坡度	4%
牵引电机功率	125 kW
制动方式	液压 + 磁轨 + 再生制动
最大启动加速度	1.1 m/s ²
最大制动减速度	1.3 m/s ²
供电方式	接触网 DC 650 V

2 动力转向架

动力走行部采用如图 2 所示的带摇枕的轴箱外置式结构，转向架构架为焊接结构，主结构由箱型侧梁、横梁和端梁等部件组成，横梁、侧梁和端梁内腔多处区域设置了隔板。

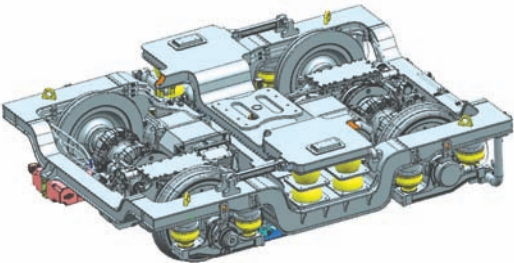


图 2 动力转向架

驱动 - 制动单元安装座、液压制动单元安装座、各减振器安装座和牵引座等附属件焊接在构架上。轮对采用技术相对成熟的橡胶弹性车轮。轴箱为整体式轴箱，双列圆锥滚子轴承。转向架一系悬挂采用锥形橡胶堆定位。二系悬挂由沙漏橡胶堆、横向减振器、横向止挡等组成，摇枕直接坐落于沙漏橡胶堆上。采用轮对空心轴的驱动模式，基础制动方式为再生制动。

3 构架强度计算

低地板轻轨车在欧标 EN 13749: 2011 "Railway application-Methods of specifying structural requirements

of bogie frames" 中属于 B- IV 类车辆。在对动力构架进行疲劳强度评估时参照国际铁路联盟试验研究报告 ERRI B12/RP17 "Programmer of tests to be carried out on wagons with steel underframe and body structure and on their cast steel frame bogies" 所规定的应力转化方法和疲劳强度评定方法进行。

3.1 动力转向架构架有限元模型

构架采用 Solid 45 实体单元和 Shell 63 壳单元进行离散，共离散为 98 786 个节点，形成 Solid 45 单元 8 057 个，Shell 63 单元 87 216 个。驱动 - 制动单元以质量单元 MASS 21 模拟，通过 3-D 梁单元 Beam 188 和 MPC 点接触算法与构架连接。转向架轴箱悬挂装置通过弹簧单元 Combination 14 模拟，构架有限元模型如图 3 所示。

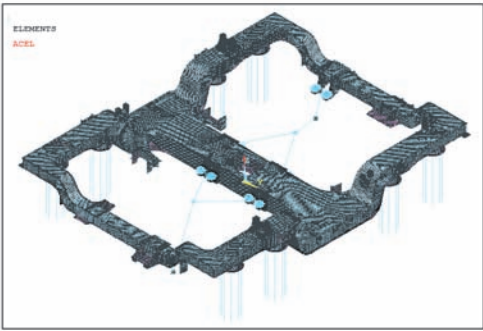


图 3 动力转向架构架有限元模型

3.2 转向架载荷工况

根据标准规定，转向架焊接构架应分别评定其在超常载荷工况下结构的静强度和模拟运营载荷工况下结构的疲劳强度。

EN 13749 是欧洲标准中关于转向架构架强度设计、计算和试验的标准，低地板轻轨车转向架属于 EN 13749 中划分的 7 类转向架中的 B- IV 类转向架。制定载荷时亦按照 B- IV 类转向架进行。

3.2.1 超常载荷组合及强度评定方法

在超常工况下，构架所承受的载荷主要包括 2 部分：转向架运行产生的载荷及安装在构架上的部件产生的载荷。其中，构架运行产生的载荷主要有构架运行在道岔、曲线上产生的载荷及冲击载荷；部件产生的载荷包括驱动 - 制动单元对构架的反转矩、减振器产生的载荷等。

转向架运行在道岔、曲线上产生的垂向载荷为运行过程中可能产生的最大静载荷 F_z 并考虑对应的侧滚系数 $\alpha_{\max}$ 、浮沉系数 $\beta_{\max}$ 的组合。在驱动工况、冲击工况和减振器工况下，构架承受的基本垂向载荷为运用过程中有可能发生的最大静载荷 F_z 。其中，最大垂向静载荷及浮沉系数、侧滚系数的计算公式如下：

$$F_z = \frac{4P_0 - 2m^+}{4}g \tag{1}$$

$$\alpha_{\max} = F_{as \max} / F_z \tag{2}$$

$$\beta_{\max} = a_{zc \max} / g \tag{3}$$