

单轨转向架综合试验台的设计与有限元分析

任光胜, 孙小沛

(重庆大学 机械工程学院, 重庆 400030)

摘 要: 单轨车辆转向架是单轨交通车辆最重要的组成部件之一, 是支撑车体并担负车辆沿轨道走行的装置, 转向架性能参数直接影响单轨列车运行安全. 转向架综合试验台用于对检修后的单轨转向架进行综合测试. 研发设计过程中建立了综合试验台三维模型, 并对其进行了关键零部件的有限元分析.

关键词: 单轨; 转向架; 综合试验台

中图分类号: U269.32; U279.3

文献标识码: A

0 引言

单轨列车转向架是单轨交通车辆最重要的组成部件之一, 是支撑车体并担负车辆沿轨道走行的装置, 其性能参数直接影响单轨列车运行安全. 为保障整个轨道交通系统安全正常运营, 必须定期对转向架性能参数进行测试. 单轨列车转向架一般是由构架、轮对、悬挂系统、减振装置、基础制动装置、传动装置等汇集在一起的结构部件^[1]. 动车的牵引电机、变速机构等装在转向架上, 如图1所示. 单轨车跨骑在轨道梁上, 走行轮承受垂向载荷并传递车辆与轨道面间的驱动力和制动力; 导向轮位于轨道的两侧上部, 承受车辆的横向载荷并引导车辆沿轨道行驶; 稳定轮位于轨道两侧下部以阻止车辆的侧滚和侧翻^[2].

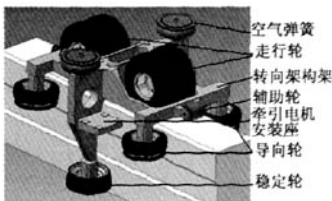


图1 单轨车辆走行系统——转向架

Fig.1 Moving system of monorail vehicle—Bogie

国内外已研发出类似设备, 然而国内对跨坐式单轨转向架进行综合测试的专用设备尚未出现. 下村隆行^[3]对大型车辆试验台和运动仿真进

行了计算分析. 黄丽湘等^[4]研究了机车车辆动态模拟和台架试验. 倪文波等^[5]研发了铁道转向架性能参数试验台. 胥春先^[6]分析了跨坐式单轨车转向架测试系统. 任利惠等^[7]研究了跨坐式独轨车辆动力学模型及仿真. 张宏兵等^[8]基于协同仿真建立了单轨车辆动力学模型. 笔者结合跨坐式单轨具体特点, 研发了用于单轨转向架检修的综合试验台, 建立了三维模型, 并对其关键零部件进行有限元分析, 证明了设计的合理性. 利用该试验台可以对检修后的单轨转向架进行综合测试, 完成转向架基础制动装置动作试验, 空气弹簧压力试验及动作整定, 转向架空载试验和负载试验, 转向架及其空气制动的性能参数测定, 转向架无损探伤等, 保证了单轨运行安全可靠.

1 综合试验台机械系统组成

机械部分在整个系统中处于基础部分的位置, 主要由走行驱动装置、龙门加载装置、底座及送进就位装置等部分组成^[9]. 采用三维软件 Pro/e 建立三维模型. 如图2所示.

1.1 走行驱动装置

走行驱动装置由带减速器的液压马达、主动轴、有中间齿轮的一级圆柱齿轮、驱动轴、摩擦轮、辅助轮、齿轮箱以及圆锥滚子轴承等组成. 辅助轮的作用就是在调入转向架时能平稳放置. 为了仿真走行轮和轨道梁实际, 摩擦轮以钢为基体, 水泥包覆层(水泥标号与轨道梁一致). 如图3所示.

收稿日期:2010-04-01; 修订日期:2010-05-18

基金项目:国家科技支撑计划十一五重点项目(2007BAG06B05)

作者简介:任光胜(1962-), 男, 重庆大学副教授, 主要从事产品数字化设计与制造的研究, E-mail:rgs_tiger@

163.com

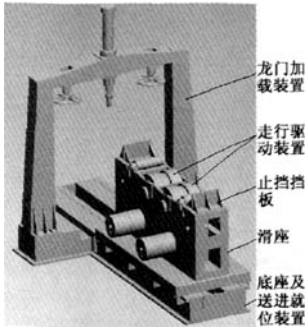


图2 综合试验台三维实体模型

Fig.2 Three dimensional mockup of combined test platform

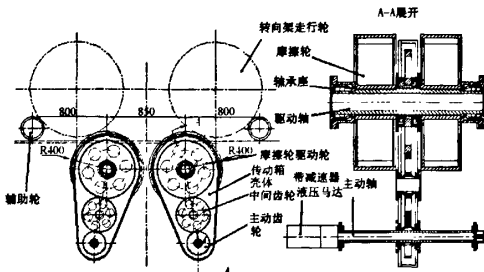


图3 走行驱动装置结构图

Fig.3 Design of driving unit

走行驱动装置动力传递过程如下:M型(有动力)转向架试验时,走行轮作为主动力源,走行轮→经摩擦轮→经渐开线花键连接→驱动轴→经渐开线花键连接→摩擦轮驱动齿轮→经中间齿轮→主动齿轮→经矩形花键连接→主动轴→液压马达。此时液压马达阻尼作功,模拟车辆在轨道上运行时的负载。

T型(无动力)转向架试验时,液压马达作为动力源,液压马达→主动轴→经矩形花键连接→主动齿轮→中间齿轮→摩擦轮驱动齿轮→经渐开线花键连接→驱动轴→经渐开线花键连接→摩擦轮→T型转向架走行轮。此时液压马达主动作功。

1.2 龙门加载装置

龙门加载装置主要由针对空气弹簧的带耳座加载油缸、耳座、加载盘、对中弹簧及弹簧固定环,以及为穿插中心销提供动力的中心销座油缸等组成。如图4所示。

数字加载油缸在电液伺服阀控制下,可以完成对转向架的静态加载、重载及交变载荷的施力,模拟车辆转向架实际受力情况。在完成加载的同时,通过数字油缸反馈活塞行程和施加的作用力计算出空气弹簧静态和动态垂直刚度。该加载系

统不仅要完成垂直静动载荷加载,还要模拟转向架转弯离心力或受横风作用在转向架上的转矩。当模拟加载该转矩时,转向架会产生横倾角,加载油缸会随着横倾,加载油缸中的对中弹簧就有恢复对中的作用。中心销滑座油缸的作用是在转向架负载运转时插入中心销,完成对转向架动态加载或模拟横向转矩时作用在中心销上 45° 油压减振器、纵向和横向橡胶堆的垂直刚性、纵向刚性及横向刚性的测试。横梁和立柱均由优质型钢焊接而成,内部合理布置加强筋。

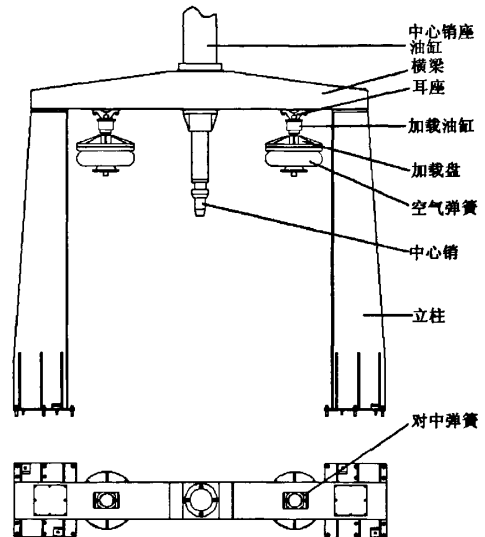


图4 龙门加载装置结构图

Fig.4 Design of dragon gate type load unit

1.3 底座及送进就位装置

底座及送进就位装置主要由前底座、后底座、送进油缸、油缸支座、挡板组成,如图5所示。

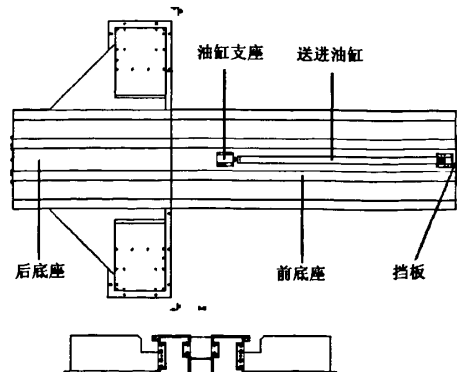


图5 底座及送进就位装置结构图

Fig.5 Design of base and feeding unit

底座是承载综合试验台所有载荷的基础件,

由优质型钢和钢板焊接而成.送进装置主要由送进油缸和油缸支座组成.送进油缸采用活塞杆及油缸均为铰座结构,位于送进滑台的对称中心,分别由油缸支座和底座油缸支座铰接支承.

1.4 滑座

滑座主要由承载滑台、辅助轮、导轨压板、惯性配重、横行定位斜面块组成.如图 6 所示.

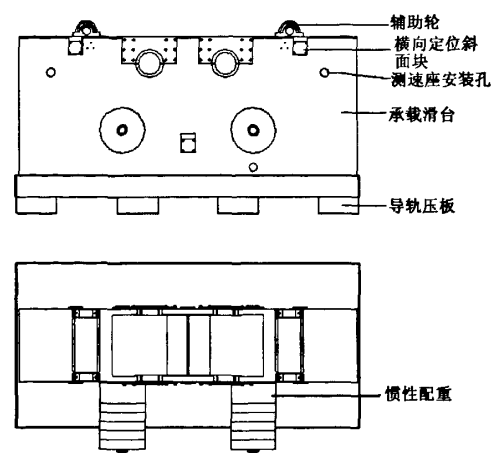


图 6 滑座结构图
Fig.6 Design of sliding unit

承载滑台是本试验台最关键的零件,必须承受加载装置通过转向架作用在其上面的垂直压力和送进油缸作用在其上面的推力,主要由优质钢板焊接而成.经有限元分析,在适当位置布置加强筋.承载滑台侧面与吊装后的转向架的导向轮和稳定轮对应处有 6 个斜面块,试验时起横向定位作用.试验时承载滑台上表面对称装有止挡挡板,顶着转向架辅助轮,防止转向架纵向运动.承载滑台侧面留有测速座安装孔,用于安装测速机构.为模拟转向架实际负载工作情况,在主动轴末端加装惯性配重.

2 综合试验台有限元分析

2.1 作用在转向架上垂直载荷计算

跨坐式单轨车实际运行时,作用在转向架上的垂直载荷包括垂直静载荷和垂直动载荷,因此负载试验时对转向架加垂直载荷应包括垂直静、动载荷^[10].

作用在转向架上的垂直静载荷包括车体自重、车辆载重.转向架轴重为 11 000 kg,转向架自重 5 000 kg,因此垂直静载荷为:

$$P_{st} = (11\,000 + 5\,000) \times 9.8 = 156\,800\text{ (N)}$$

垂直动载荷是由于轨道面不平、轨道梁的接

缝等线路原因以及由于车辆本身状况不良(例如车轮滚动圆偏心、呈椭圆状等因素)引起的轮轨间的冲击和车辆振动产生的.通常垂直动载荷由垂直静载荷乘以垂直动载荷系数而得即

$$P_d = K_{dy} \cdot P_{st}$$

参照城市轨道交通车辆车载荷经验公式^[11],取动载荷系数 $K_{dy} = 0.6$.

因此,对转向架加垂直载荷为

$$F_j = P_{st} + P_d = 156\,800 \times (1 + 0.6) = 250\,880\text{ (N)}$$

综合考虑其它未考虑因素,比如零件自重等,给予上述计算值 1.2 的加权修正,即计算加载力 F 为

$$F = 250\,880 \times 1.2 = 301\,056\text{ (N)}$$

2.2 加载横梁的有限元分析

采用三维软件 INVENTOR 嵌套的 ANSYS 有限元分析软件进行计算分析.与两龙门立柱相联的安装面作为固定面,在两加载油缸安装面加载荷.材料拟定用 20#钢,泊松比 0.275,质量密度 $7.86\text{e} - 006\text{ kg/mm}^3$,屈服拉伸强度 207 MPa,极限拉伸强度 345 MPa.

表 1 列出了加载横梁分析生成的所有结构结果.其中安全系数通过对可延展材料应用最大等效应力失败原理计算得出,应力限制由材料的屈服拉伸强度指定.

| 表 1 加载横梁的计算结果 | | |
|-------------------------------|------------|------------|
| Tab.1 Results of loading beam | | |
| 名称 | 最小值 | 最大值 |
| 等效应力/MPa | 9.577e-004 | 82.5 |
| 变形/mm | 0 | 8.406e-002 |
| 安全系数 | 2.509 | — |

从计算结果可以看出,加载横梁在外力 301 056 N 的作用下,最大变形 0.084 1 mm,安全系数为 2.5.满足设计要求.如图 7 所示.

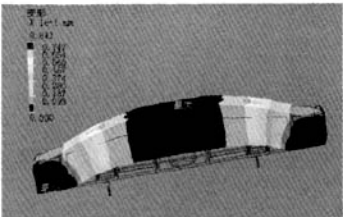


图 7 加载横梁变形图
Fig.7 Deformation of loading beam

2.3 承载滑台有限元分析

与底座相联的导轨面作为固定面,在 4 个摩擦轮轴承安装面加载荷.材料特性、数据与加载横

梁相同。

表2列出了承载滑台分析生成的所有结构结果。

表2 承载滑台的计算结果
Tab.2 Result of bearing slide

| 名称 | 最小值 | 最大值 |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| 等效应力/ MPa | $3.315\text{e}-003$ | 17.73 |
| 变形/ mm | 0 | $3.588\text{e}-002$ |
| 安全系数 | 11.67 | — |

从计算结果可以看出,承载滑台在外力301 056 N的作用下,最大变形0.035 9 mm,安全系数为11.6。满足设计要求。如图8所示。

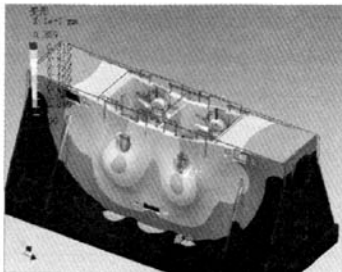


图8 承载滑台变形图

Fig.8 Deformation of bearing slide

3 结论

借鉴国内外相关设备的优点,结合跨坐式单轨系统的具体特点,研发了跨坐式单轨交通的大型关键非标辅助设备——转向架综合试验台。通过对加载横梁和承载滑台等关键零部件的CAE分

析,产品质量得到大幅提高。同时由于采用液压系统作为装置的动力,与电气控制系统相配合,保证了设备动作平稳可靠。该试验台是国内这类设备的首例,对以后此类设备的设计与制造都具有较大的参考意义。

参考文献:

- [1] 尚景华. 城市轻轨车辆转向架的探讨[J]. 铁道机车车辆, 2002(3): 14-16.
- [2] 任光胜, 吴刚, 王汉熙. 跨坐式单轨转向架分离装置的研究与设计[J]. 武汉理工大学学报, 2008, 30(5): 125-127.
- [3] 下村隆行. 大型车辆试验台与车辆运动仿真的研究[J]. 国外机车车辆工艺, 2006(1): 36-38.
- [4] 黄丽湘, 张卫华, 马启文, 等. 机车车辆动态模拟和台架试验[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(2): 14-18.
- [5] 倪文波, 傅茂海. 铁道车辆转向架性能参数测试台[J]. 机床与液压, 2002(6): 237-238.
- [6] 胥春先. 跨坐式单轨车转向架测试系统研究[J]. 现代城市轨道交通, 2008, (2): 14-17.
- [7] 任利惠, 周劲松, 沈钢. 跨坐式独轨车辆动力学模型及仿真[J]. 中国铁道科学, 2004, 25(5): 26-31.
- [8] 张宏兵, 丁能根, 王宏臣. 基于协同仿真的单轨车辆动力学建模[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(6): 736-738.
- [9] 成大先. 机械设计手册[M]. 4版. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [10] 尹小庆, 任光胜. 面向跨坐式单轨列车的视镜模拟仿真[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(1): 19-22.
- [11] 张振森. 城市轨道交通车辆结构与[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 65.

Design and Infinite Element Analysis of Monorail Bogie Combined Test Platform

REN Guang-sheng, SUN Xiao-pei

(School of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: Monorail vehicle bogie, which supports the transit vehicle and the running gear, is one of the most important monorail transit vehicle components. The performance of bogie directly influences the safety of monorail train. The bogie combined test platform is used for comprehensive test of maintained monorail vehicle bogie. 3D model of the test platform is established, and infinite element analysis concerning key components is also made in the researching process.

Key words: monorail; bogie; combined test platform