

研
究
开
发

悬挂式独轨车辆动力学仿真研究

肖 梯, 蒲全卫, 陈喜红, 陶功安

(南车株洲电力机车有限公司 技术中心, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 肖 梯(1986-), 男, 硕士, 主要从事机车车辆动力学研究。

摘 要: 分析了悬挂式独轨车辆的结构特点, 并应用软件 Simpack 建立车辆多体模型, 探讨悬挂式独轨车辆稳定性、安全性、平稳性性能评判方法。通过仿真分析不同载客量悬挂式独轨车辆在曲线及横风作用下的响应表明, 悬挂车体的横移量及走行轮、导向轮的载荷是车辆的动力学性能重要评判参数, 且有相应的限值。讨论导向轮合理的预压力大小的确定方法, 并给出计算模型的初步预压力的具体数值。

关键词: 独轨车辆; 悬挂式; 轮胎; 动力学; 仿真计算

中图分类号: U232; U239.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2015)02-0010-04

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2015.02.004

Dynamic Simulation of Hanged-type Monorail Vehicle

XIAO Ti, PU Quanwei, CHEN Xihong, TAO Gong'an

(R&D Center, CSR Zhuzhou Electric Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: Structure characteristics of hanged-type monorail vehicle was analyzed, and based on SIMPACK software, criteria of the stability, safety and ride comfort for this type monorail vehicle was discussed. Simulation analysis with different passenger loads in condition of curve and crosswind showed that the lateral displacement of car body and the loads of driving tires and steering tires was an important criteria parameter with limited value. The method to determine a proper pre-pressure for steering tire was discussed and the value of initial press for steering tires for the simulated vehicle was given.

Keywords: monorail vehicle; hanged-type; tire; dynamic; simulation

0 引言

独轨交通是一种适用于城市内部的短距离、中小客流量的轨道交通系统。由于其安全性高, 噪声低, 环境污染小, 可以适应曲线半径小、坡道大的线路并且可以应用现代化的通信和控制技术, 实现自动化运营, 所以受到许多国家的欢迎。

独轨交通有跨坐式和悬挂式两种形式。跨坐式独轨车辆的车体安装在走行轮轨之上, 车辆跨坐于轨道梁上运行, 在日本多个城市及我国重庆已经开始运营的就是这种独轨交通系统。而悬挂式独轨车辆的车体悬挂于走行轮轨之下, 车辆吊挂在轨道下方运行, 该交通系统主要在德国得到应用。德国乌帕塔尔悬挂列车是世界上最早运营的悬挂式独轨车辆, 已经安全运行了 110 多年。之后从 1975 年开始在德国多特蒙德大

学使用“H-Bahn”悬挂铁路实现校园内通勤, 并且自 2002 年开始其改进型服务于杜塞多夫国际机场。

1 悬挂式独轨车辆的动力学模型

1.1 走行部介绍

悬挂式独轨车辆(下简称空轨车辆)每节车由 1 个车体、2 台转向架、2 套牵引装置构成。转向架置于下部开口的高架箱型轨道梁内, 走行轮与轨道梁箱体内部的下表面接触, 承受车辆的垂向载荷并传递牵引力与制动力给轨道梁。分布于转向架 8 个顶角位置的导向轮则与轨道梁箱体内部的两侧表面接触, 实现自导向功能。空轨车辆走行轮对的齿轮箱与构架之间设有一系悬挂, 通过转臂关节定位。转向架与车体之间通过牵引装置联结, 牵引装置与转向架之间通过中心销连接, 安装有摇摆减振器(为摩擦减振器)和侧滚止挡。车体与牵引装置之间的二系悬挂采用空气弹簧,

收稿日期: 2014-10-28; 收修改稿日期: 2015-01-06

基金项目: 中国南车科技开发项目(2012NCK036)

并设有垂向、横向减振器和抗侧滚稳定器。

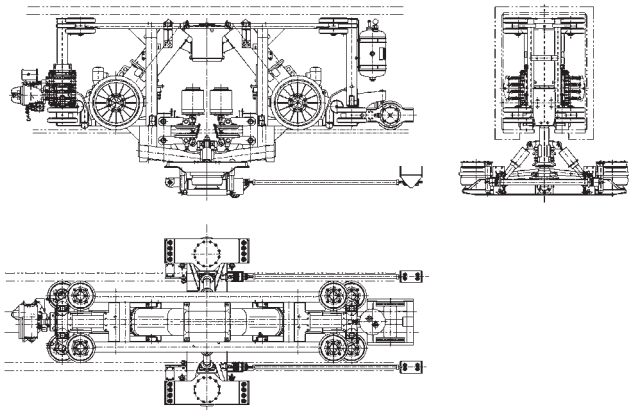


图 1 空轨车辆的走行部结构

1.2 动力学模型

本文采用的空轨车辆的动力学模型（图 2）为单节车，其中车体、构架、牵引装置及走行轮均视为刚体。车体与牵引装置之间的约束由空气弹簧及粘性阻尼器组成的二系悬挂提供。牵引装置与转向架构架之间仅有侧滚自由度，由带钢簧的摩擦阻尼器约束。构架与走行轮之间由于采用转臂结构，可视为仅有垂向方向上的自由度，由安装在齿轮箱与构架之间的橡胶弹簧约束。走行部与轨道梁之间的约束由走行轮和导向轮提供。各刚体自由度的选取见表 1。

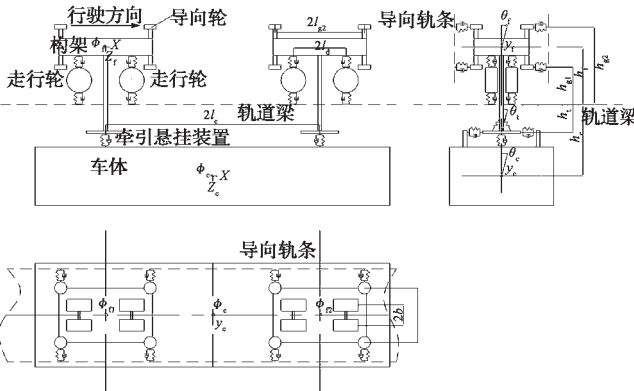


图 2 空轨车辆动力学模型

表 1 车辆系统各刚体的自由度的选取

刚体	伸缩	横移	浮沉	侧滚	点头	摇头	备注
车体	x_c	y_c	z_c	ϕ_c	θ_c	ψ_c	
构架	x_{fi}	y_{fi}	z_{fi}	ϕ_{fi}	θ_{fi}	ψ_{fi}	$i=1,2$
走行轮对	x_{dij}		z_{dij}				$i=1,2; j=1,2$
牵引装置	x_{ti}			ϕ_{ti}			$i=1,2$

注：i 表示转向架编号；j 表示同一转向架内走行轮对编号。

2 空轨车辆动力学性能仿真

与传统轨道车辆相比，空轨车辆由于转向架置于箱型轨道内，并且有导向轮的导向稳定作用，无脱轨的风险，见图 3。动力学性能的分析主要在于列车运行过程中的安全性、稳定性、平稳性以及吊挂车体的侧滚、横移量等方向。分析车速、载客及横风对车辆动力学性能的影响。本文对空轨车辆动力学计算主要包括：

- ①横风作用下曲线通过时走行轮垂向力、导向轮的径向力、车体侧滚角、轮重减载率；
 - ②在直线不平顺轨道上运行时垂向和横向加速度。
- 其中，轮重减载率按 GB 5599^[1] 应小于 0.6，导向轮径向力应低于预压力^[3]，车体的横移量应该小于车体与轨道梁立柱间隙：

$$y = y_{vc} - \frac{1}{2}l_w = 778 \text{ mm}$$

式中： y_{vc} =1 900 mm，车体中心距轨道梁距离；
 l_w =2 244 mm，车体宽。

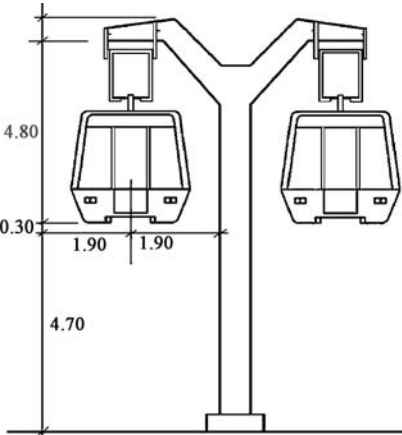


图 3 空轨车辆与悬挂梁

2.1 仿真参数

仿真模型的动力学参数主要由南车株洲电力机车有限公司提供，其中的几何参数由图纸数据所得，质量特性参数通过软件计算零件模型得到。

2.2 仿真模型

单辆空轨车单元由 1 个车体，2 台转向架构成。车辆系统各刚体自由度的选取见表 1。走行轮胎采用动力学仿真软件 Simpack 中的 pacejack 轮胎模型。

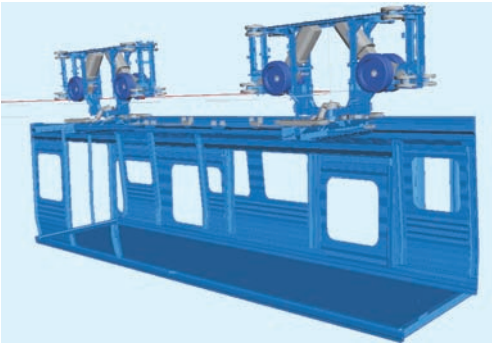


图 4 空轨车辆单元车辆的 Simpack 模型

2.3 稳定性问题

2.3.1 静态稳定性

由于空轨车辆悬挂在高架箱形梁下运行，横风对于车辆运行的安全性、稳定性有很重要的影响。静态稳定性的研究可以通过动力学模型来实现，只要假设车辆以极低的速度运行在直线轨道上即可。静态工况下空轨车辆各轮胎受力情况和车体横移、侧滚角度见表 2 计算结果。根据表 2 的计算结果，走行轮和导向