

# 一种移动式转向架回转阻力系数测试台设计与仿真研究

刘 杰 张济民

(同济大学铁道与城市轨道交通研究院, 201804, 上海//第一作者, 硕士研究生)

**摘 要** 提出了一种移动式转向架回转阻力系数测试台设计方案。相比于实验室的传统试验台, 移动式测试台移动灵活且组装拆卸方便。基于此移动式测试台, 利用仿真软件研究了车体与转向架的相对转动角速度、空气弹簧状态, 以及其他悬挂元件对回转阻力系数的影响。对测试台本身的摩擦特性进行了相应研究。

**关键词** 轨道交通车辆; 转向架; 回转阻力系数; 移动式测试台; 仿真模型

**中图分类号** U270.7

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.07.032

## Design and Simulation of A Mobile Test Bench for Bogie Rotational Resistance Coefficient

LIU Jie, ZHANG Jimin

**Abstract** In this paper, the design of a mobile test bench for bogie rotational resistance coefficient is put forward. Compared to the traditional test machine, it features flexible movement, convenient assembly and disassembly. Based on the new mobile test bench, the relative rotational angular velocity, the state of air springs and the influence of other suspension components on the rotation resistance coefficient between the car body and bogie are studied with simulation software. The frictional properties of the test bench are studied at the same time.

**Key words** urban rail transit vehicle; bogie; rotation resistance coefficient; mobile test bench; simulation model

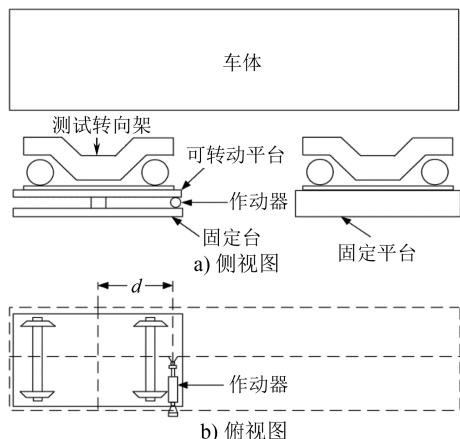
**Author's address** Research Institute of Railway and Urban Rail Transit, Tongji University, 201804, Shanghai, China

轨道交通车辆转向架的回转阻力系数会对车辆的动力学性能, 特别是曲线通过性能和蛇形运动稳定性产生影响。当转向架回转阻力系数越大时, 车辆的曲线通过性能越差, 直线的蛇形运动稳定性越好。传统的试验台一般都是安放在一个厂房或者实验室中(如西南交通大学的试验台), 再利用架车机将车辆放在试验台上进行

测试。这样的试验台, 虽然可以测试新组装完成的车辆转向架的回转阻力系数, 但是需要将新车从工厂运到实验室, 其过程比较麻烦, 费时费力; 而如果想要测试一些已经在线路上运行了一段时间的旧车的相关系数, 就需要将车从原有线路运回实验室, 时间成本和经济成本都很高。所以, 本文尝试设计一种移动式转向架回转阻力系数测试台(以下简称“移动式测试台”), 可以将移动式测试台的部件运到试验场地现场组装, 然后在现场进行相应试验。相比将整个车辆运回实验室测量的方法, 移动式测试台可以大幅度降低时间和经济成本。本文利用试验仿真的方式, 参考 GM/RT 2141—2009《铁路车辆耐脱轨和倾覆标准》中的要求, 研究转向架二系悬挂元件, 特别是转向架对车体的相对转动角速度等因素对转向架回转阻力系数的影响, 以期对实际线路试验提供建议和参考。

## 1 移动式测试台介绍

如图 1 所示, 移动式测试台主要包括两部分: 一部分是右侧的固定平台, 主要功能是固定非测试转向架, 以及支撑车体; 另一部分是左侧的用于实际测试的试验台, 主要由固定台、可转动平台、作动器、三向测力传感器及一些辅助支撑装置等组成。基本测试原理是: 首先将车体放在测试台上, 利用测试台上楔块固定轮对, 通过作动器产生一个固定的输入, 使得转动平台相对固定平台发生转动, 从而带动转向架相对车体发生转动; 而另一侧的转向架则因为被固定平台固定而不能相对转动, 将整个转动过程中作动器的输出力矩及试验平台的相对转动角度记录下来, 利用轮对下方三向测力传感器读出的轴重数据, 根据公式即可计算出转向架回转阻力系数。



注：d 代表作动器到测试台对称中心的距离

图1 移动式测试台结构示意图

## 2 测试要求

GM/RT 2141—2009《铁路车辆耐脱轨和倾覆标准》<sup>[5]</sup>评估车辆抗脱轨性能的方法二中,提出对于多转向架和多轴车辆,先利用实验室试验测试转向架回转阻力系数,如果满足要求后,再进行相应的线路试验。其中关于回转阻力系数的定义如下:

$$X_{\text{Factor}} = \frac{T}{2a \times 2Q} \quad (1)$$

式中:

$X_{\text{Factor}}$ ——回转阻力系数;

$T$ ——转向架和车体之间的相对转矩,  $\text{kN} \cdot \text{m}$ ;

$2a$ ——轴距,  $\text{m}$ ;

$2Q$ ——轴重,  $\text{kN}$ 。

在本文的移动式测试台中,利用作动器推动测试台,使得转向架相对车体转动,模仿车辆在经过曲线时转向架和车体发生转动情景。因此,转矩可由式(2)计算。试验中  $d$  取  $1.45 \text{ m}$ 。

$$T = F_{\text{actuator}} \times d \quad (2)$$

式中:

$F_{\text{actuator}}$ ——作动器的推动力。

影响转矩的另一个重要因素就是转动的相对角速度,因为它会直接影响蛇形减震器和二系横向减震器的阻尼,同时也会影响橡胶堆弹簧的刚度。

$$\omega = \frac{v}{d} \quad (3)$$

式中:

$\omega$ ——相对转动角速度;

$v$ ——测试台在作动器处的转动线速度。

## 3 仿真测试

利用仿真软件对某地铁车辆建模,其基本参数如表1所示。

地铁车辆仿真模型如图2所示。图2中,测试台分为两部分,右边为转动试验台,可以利用作动器实现转向架和车体的相对转动;左边为固定试验台,用于固定车体。设置不同的工况,分别验证  $\omega$ 、空气弹簧的不同状态(过充状态,正常状态,失气状态)以及其他悬挂元件对回转阻力系数的影响。

表1 车辆基本参数

参数	取值
转向架中心距(车辆定距)/mm	17 375.00
轴距/mm	2 500.00
车辆滚动圆横向跨距/mm	1 493.00
车辆滚动圆直径/mm	840.00
轮对内侧距/mm	1 353.00
轴重/t	12.04

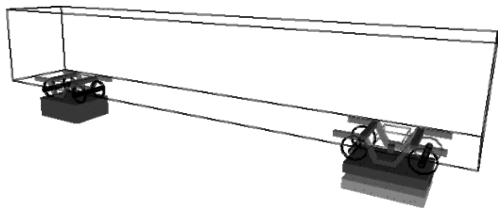


图2 地铁车辆仿真模型

### 3.1 不同的转动角速度对 $X_{\text{Factor}}$ 的影响

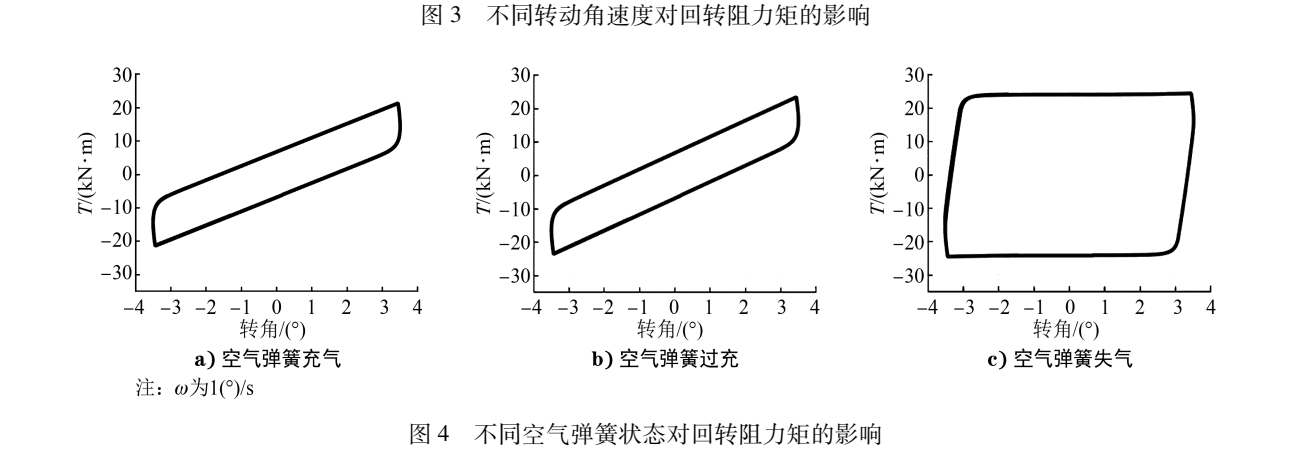
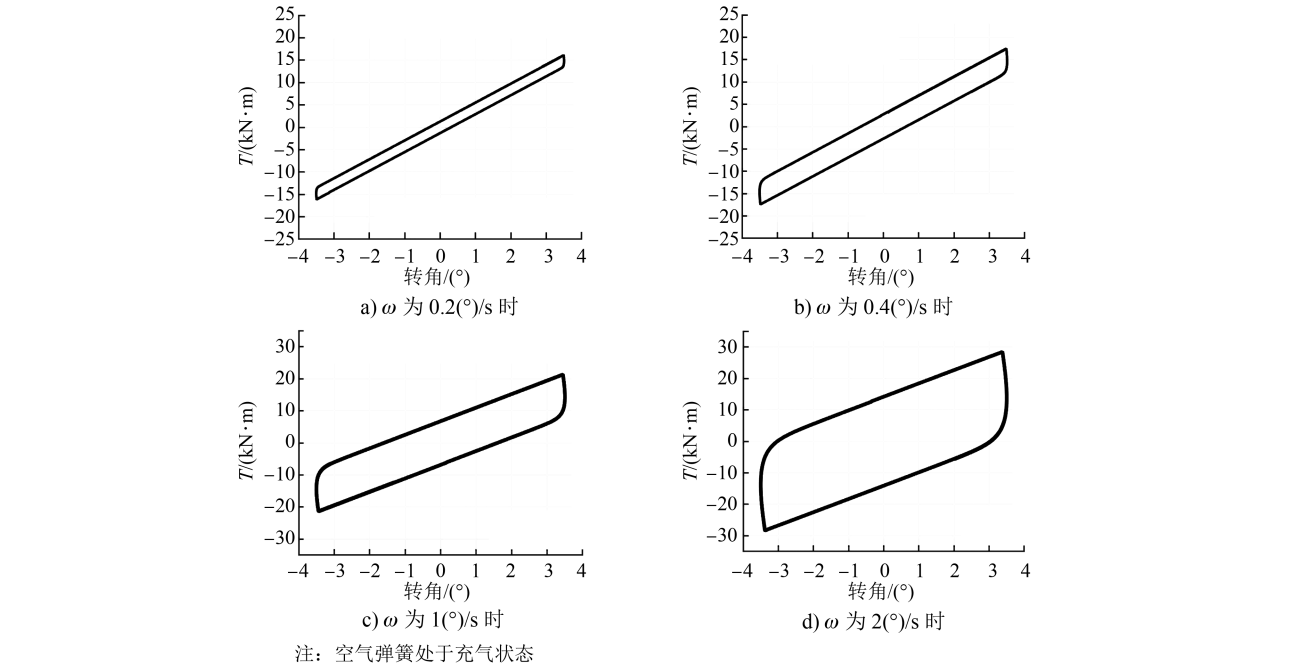
图3为不同转动角速度对回转阻力矩的影响曲线。

由图3可知,随着转动角速度的增大,回转阻力矩增大,即回转阻力系数也会增大。此外,回转阻力矩中与黏性阻尼和摩擦力相关的部分随着转动角速度增大而明显增大。这是因为黏性阻尼力的大小与转动角速度有关,转动角速度增大时,黏性阻尼力也会相应增大,最终使得黏性阻力矩增大。

### 3.2 不同的空气弹簧状态对 $X_{\text{Factor}}$ 的影响

图4为不同空气弹簧状态对回转阻力矩的影响( $X_{\text{Factor}}$ 与回转阻力矩呈正比例关系)。

由图4可知,转动角速度为  $1(^{\circ})/\text{s}$ ,且空气弹簧处于正常和过充状态下,回转阻力矩特性曲线形状相似。因为空气弹簧在正常和过充状态(过充20%)下,回转阻力矩特性变化不大。但是在失气状态下,车体质量落在橡胶弹簧上,其刚度、阻尼等特征参数发生急剧变化,因此回转阻力矩特性曲线变化较大。



### 3.3 横向止档对 $X_{\text{Factor}}$ 的影响

横向止档对  $X_{\text{Factor}}$  的影响如表 2 所示。

表 2 横向止档对 $X_{\text{Factor}}$ 的影响				
工况	$T_{\text{max}}/(\text{kN}\cdot\text{m})$	$2Q/\text{N}$	$2a/\text{m}$	$X_{\text{Factor}}$
横向止挡连接	16.595 2	121 084	2.5	0.054 8
横向止挡未连接	16.595 8	121 084	2.5	0.054 8

注： $T_{\text{max}}$ 为转向架和车体之间的最大相对转矩

由表 2 可知, $\omega$  不变时,有无横向止档对转向架回转阻力系数几乎无影响。

### 3.4 中心销与牵引拉杆对 $X_{\text{Factor}}$ 的影响

中心销与牵引拉杆对  $X_{\text{Factor}}$  的影响如表 3 所示。由表 3 可知, $\omega$  不变时,中心销与牵引拉杆对转向架  $X_{\text{Factor}}$  产生影响较小。

表 3 中心销与牵引拉杆对  $X_{\text{Factor}}$  的影响

工况	$T_{\text{max}}/(\text{kN}\cdot\text{m})$	$2Q/\text{N}$	$2a/\text{m}$	$X_{\text{Factor}}$
中心销与牵引拉杆连接	16.595 2	121 084	2.5	0.054 8
中心销与牵引拉杆未连接	16.454 1	121 084	2.5	0.054 4

### 3.5 测试台的摩擦特性

测试台在转动时,由于固定平台和转动平台间存在摩擦,因此自身存在摩擦阻力。其摩擦系数特性如图 5 所示。由图 5 可知,当测试台上部载荷增大时,阻力亦相应变大,符合设计要求。

## 4 结论

1) 本文提出了一种移动式转向架回转阻力系数测试台的设计方案,因移动灵活、拆卸方便等优点

(下转第 157 页)

在采用基于全寿命周期成本的招标方案时,双方签订的合同中除了常规的双方权利义务、主要技术条款之外,还应包括列车服务可靠度、列车退出正线运营故障率、车辆系统故障率等技术参数的保证指标和保证条款。同时在合同中应详细规定处罚条款,当实际运行期间的性能指标统计与投标文件不符时,确因车辆制造商原因造成的,则应按照合同约定的罚则进行处罚。

### 3 结语

城市轨道交通车辆采用基于全寿命周期成本分析的招标采购模式,使得采购阶段即统筹考虑后期能耗、维修保养及报废处置的成本,有利于实现整体效益最大化,对于城市轨道交通建设、运营单位和车辆制造商而言都能达到双赢。国家发改委近日发布《加强城市轨道交通车辆投资项目监管有关事项的通知》,要求“引导现有城市轨道交通车辆制造、组装企业向车辆架修、大修和维保业务转型。”在今后车辆新造业务逐步萎缩的行业背景下,推行包含车辆维保等内容在内的创新性招标模式,可以让各个车辆制造商充分发挥其专业技术优势,有利于逐渐将渐显过剩的城市轨道交通车辆新造

产能转化为维保能力,保持城市轨道交通制造企业的健康持续发展。

尽管有其显而易见的优势,但基于全寿命周期成本分析进行城市轨道交通车辆招标作为一种创新性招标模式,具体落实到实践中还需要一定的时间,需要各个相关单位人员共同努力和完善。但是全寿命周期成本理念作为一种更加科学的管理理念,应用在城市轨道交通车辆招标中有利于实现多方共赢的局面,因此城市轨道交通车辆招标从传统招标模式向全寿命周期成本招标模式转变一定是未来的发展方向。

### 参考文献

- [1] 皇甫小燕.城市轨道交通车辆全寿命周期成本探讨[J].城市轨道交通研究,2012(5):8.
- [2] 曹杨.基于LCC理论的电力设备采购评标办法及其应用研究[D].重庆:重庆大学,2008.
- [3] 伏晓.全寿命周期成本(LCC)理论在电力设备招标采购中的应用研究[D].广州:暨南大学,2014.
- [4] 李鸿雁.全寿命周期成本在国家电网公司招标管理中的应用研究[D].北京:华北电力大学,2012.
- [5] 蒋钧,谭飞.城市轨道交通车辆全寿命周期成本分析[J].土木工程与管理学报,2014(2):91.

(收稿日期:2018-08-28)

(上接第152页)

点,可以大大降低试验过程中的时间成本和经济成本,因此具有良好的应用前景。

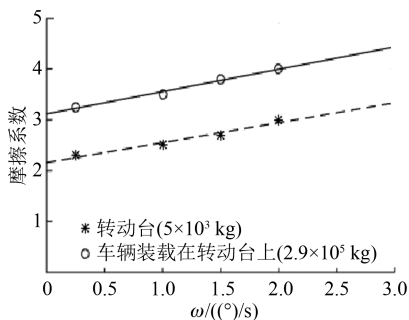


图5 测试台摩擦特性

2) 针对该移动式测试台,利用仿真软件建模研究转向架不同悬挂元件对回转阻力系数的影响。发现转动角速度增大时,回转阻力系数增大;空气弹簧处于正常状况和过充状态时,对回转阻力系数影响不大,但是当空气弹簧失气时,车体质量落在橡胶堆弹簧上,会使得回转阻力系数明显增大;其他元件中,横向止档对回转阻力系数几乎无影响,

中心销和牵引拉杆会对其产生一些影响,但影响相对微弱。除此之外,对测试台本身的摩擦特性进行了研究,可为实际试验过程提供参考。

### 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家监督管理总局,中华人民共和国国家标准化管理委员会.铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范:GB/T 5599—2019[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [2] 刘启灵,向涌.换轨车转向架回转阻力矩优化计算[J].铁道车辆,2014(10):5.
- [3] 曹晓宁,刘玉梅,苏建,等.转向架与车体间的回转阻力矩测定[J].上海交通大学学报,2013(6):979.
- [4] 石怀龙,邬平波,罗仁.客车转向架回转阻力矩特性[J].交通运输工程学报,2013(4):45.
- [5] TORRENS S, LONDON E. Resistance of Railway Vehicles to Derailment and Roll-Over: GM/RT 2141—2009[S]. Detroit: General Motors, 2009.
- [6] MIGUEL A, ASIER A, JORDI V. A new parameter identification methodology for the bogie rotational resistance test of a rail vehicle[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 2016(3): 879.

(收稿日期:2018-08-16)