

跨座式单轨车辆曲线通过 安全性研究

杜子学, 李云川, 梁志华, 文孝霞

(重庆交通大学 轨道交通研究院, 重庆 400074)

摘要: 通过对单轨车辆转向架及轨道梁进行受力分析, 并结合铁道以及汽车安全性能的评价指标, 对单轨车辆曲线通过安全性能评价指标进行了深入研究, 对车辆倾覆系数进行了修订; 基于轮轨安全性, 通过计算对轮轨横向力进行了限定; 对防脱轨稳定性的评价方式重新定义, 并以此分析和评价了单轨车辆以正常运营速度(36 km/h)通过S型曲线时的安全性能。结果表明: 单轨车辆在此曲线上行驶时具有很好的安全性能。

关键词: 跨座式单轨车辆; 曲线安全性能; 评价指标; 车辆倾覆系数; 轮轨安全性

中图分类号: U232 **文献标识码:** A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.01.017

Research on Curve through Safety of Straddle-type Monorail Vehicle

DU Zixue, LI Yunchuan, LIANG Zhihua, WEN Xiaoxia

(Research Institute of Rail Transit, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: Through the force analysis on straddle-type monorail vehicle bogie and the track beam, the safety performance evaluation indexes of straddle-type monorail vehicle through curve were studied, combined with railway and vehicle safety performance evaluation index. The overturning coefficient of vehicle was revised, and the lateral force of wheel and rail was defined based on the wheel rail safety; and the evaluation method of anti derailment stability was redefined, and it is used to analyze and evaluate the safety performance of straddle-type monorail vehicle through the S-shaped curve at normal operating speed (36 km/h). It shows that straddle-type monorail vehicle through this curve has good safety performance.

Keywords: straddle-type monorail vehicle; curve through safety performance; evaluation index; vehicle overturning coefficient; wheel track safety

0 引言

由于跨座式单轨交通在我国的运用时间还很短, 因此国内对其安全性能评价指标的研究几乎是空白。国内学者^[1-3]借鉴铁道车辆的评价指标, 并根据跨座式单轨车辆的固有特点及其实际运用经验提出以导向轮导向力矩、车体浮心高度、走行轮轮重减载率、走行轮轮胎侧偏角以及走行轮胎最大垂向作用力等评价指标来对跨座式单轨车辆的曲线安全性能进行评价, 并对各个评价指标进行了初步研究。

日本是应用跨座式单轨交通最多的国家, 国外学者也对跨座式单轨有所研究。日本学者 C.H.Lee 等建立 15 个自由度的单轨车辆动力学模型, 分析了车辆曲线通过时其走行轮、导向轮、稳定轮径向力的变化情况来评价其曲线通过安全性。相比地铁而言, 跨座式单轨交通在城市轨道交通中所占比例较少, 因其单轨线路的规模并不大, 推广性也不广, 所以在日本并没有建立系统的指标来评价其曲线通过安全性。

由以上发展现状可知, 现阶段国内外仍然十分缺乏相关单轨车辆安全性能评价指标的研究。由于单轨车辆的走行导向机理与传统的钢轮钢轨具有明显的区

别，所以铁道车辆中的评价指标不能再适用于跨座式单轨车辆安全性能的评价。但单轨车辆安全评价指标的研究仍可以借鉴上述铁道车辆动力学性能评定规范中的一些方法，所以参考铁道车辆动力学性能评价指标体系的发展现状，对跨座式单轨车辆安全性能评价指标体系的研究具有重要指导意义。

1 单轨车辆曲线通过安全性评价指标

单轨车辆运行安全性是研究其动力学性能最基本也是最主要的性能，是车辆能否正常平稳运行的前提。由于单轨车辆走行导向机理与传统的钢轮钢轨具有明显的区别^[4]，所以传统的钢轮钢轨的评价指标对它不适用，需要建立适合于单轨车辆安全评价指标。本文从修订倾覆系数、轮轨横向力、防止车辆脱轨稳定性方面建立起单轨车辆曲线安全评价指标。

1.1 修订倾覆系数 D_m

所谓“车辆倾覆”是指车辆在侧向风力、离心力、横向惯性力等最不利组合条件下，会导致车辆绕其纵轴线一侧转动，最终导致车辆脱离轨道，危害乘客安全、损坏货物^[5]的现象。

跨座式单轨车辆的结构特点决定了其动力学性能介于地铁车辆和汽车之间，具有两者共有的特点，但也与两者存在差异。单轨车辆转向架较地铁车辆多了导向轮与稳定轮，它们分别起导向、增强车辆稳定性的作用。正是在稳定轮的作用下，单轨车辆具有了高稳定性，即使一侧走行轮受力变为 0，而只要稳定轮受力不为 0，车辆仍可稳定运行，所以单轨车辆的倾覆稳定性不能仅仅通过一侧走行轮受力为 0 就判断其失稳。

国内外对地铁车辆抗倾覆稳定性与汽车抗侧翻稳定性的研究已相当成熟，并提出大量研究方法 & 评价指标（如表 1），但对于单轨车辆抗倾覆稳定性评价指标的研究几乎没有。由于单轨车辆具有质心距轨面高度大、轮距小等特点，在稳态时，其侧滚角较地铁车辆大很多，对它的抗倾覆稳定性研究不容忽视。对于单轨车辆抗倾覆稳定性评价指标的研究，不能再完全套用地铁车辆和汽车的评价指标，而应结合两者评价方法与单轨车辆实际情况找出适合的评价指标。因此本文提出了修订倾覆系数。

表 1 抗倾覆稳定性评价指标

车辆类型	评价指标
地铁车辆	倾覆系数 D 、轮重减载率
	轮距与质心高度的比值
	静态稳定性系数
汽车	侧向加速度、侧倾角
	垂向载荷的横向转移率 LTR
	轮胎是否离地及离地高度

对地铁车辆抗倾覆稳定性的评价是用倾覆系数 D 衡量的，汽车中用内外侧车轮垂向载荷的横向转移率 LTR 进行评价。本研究仍用走行轮垂向载荷变化来评价车辆抗倾覆稳定性，以增大车辆抗倾覆稳定性评价

的容易程度：

$$D_1 = D = \frac{F_z - F_j}{F_z + F_j} \tag{1}$$

式中： F_z 为增载侧走行轮垂向力； F_j 为减载侧走行轮垂向力。

因单轨车辆的稳定轮对车辆的抗倾覆稳定性有着极大影响，同理可得

$$D_2 = \frac{F_5 - F_6}{F_5 + F_6} \tag{2}$$

当 $F_6=0$ 时，稳定轮一侧脱离轨面， $D_2=1$ 。因此，为了防止车辆倾覆，必须满足 $D_2 < 1$ 。为了提高稳定性，本文定义修订倾覆系数 $D_m=\max(D_1, D_2)$ 进行判断。当 $D_m < 1$ 时，车辆具有抗倾覆稳定性。为了提高其安全等级用，规定为 $D_m < 0.8$ 。

1.2 轮轨横向

力 F_y

随着载客量的增加、线路条件的恶化以及车辆运行速度的提高，单轨车辆轮胎与轨道梁之间会产生巨大的动作用力。这种动作用力对车辆构架、轨道梁、轨道梁支座（锚杆等）、道岔等部件造成严重的损伤甚至导致其失效，而其对车辆的运行稳定性及安全性造成严重影响。所以必须对单轨车辆运行中所受到的轮轨动作用力进行计算，探究其合理的取值范围并给出相应的评价指标，以保证车辆的运行安全性。

如图 1 所示，跨座式单轨车辆在直线上稳定运行时，转向架在横向上（即沿轨道梁宽度的方向上）受到水平轮的预压力和极小的因线路不平顺

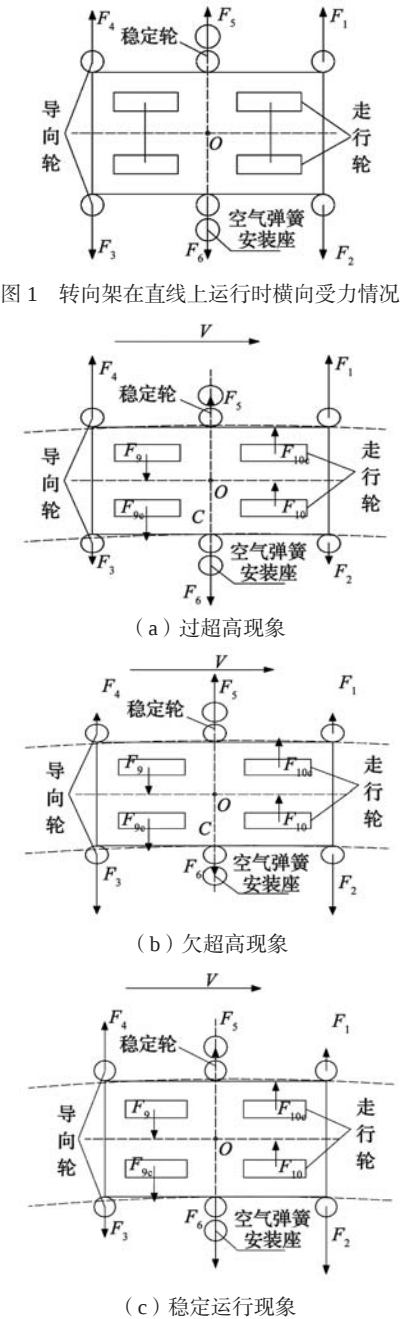


图 1 转向架在直线上运行时横向受力情况

图 2 转向架在曲线上运行时横向受力情况