

载货汽车稳态回转试验结果影响因素差异化分析^{*}

何江李, 吴中元, 孟升, 陈小强

(中汽研汽车检验中心(武汉)有限公司, 湖北 武汉 430058)

摘要: 汽车稳态回转试验中,不同的试验条件、不同的试验数据处理方法会对试验结果产生影响,从而影响车辆操纵稳定性评价。文中以载货汽车为例,分析侧向加速度、拟合阶数和试验起步加速快慢对稳态回转试验结果的影响。结果显示,在试验数据处理中,侧向加速度截取起点取为 0.1 m/s^2 、拟合阶数为 3 阶时的试验结果比侧向加速度截取起点取为 0.5 m/s^2 、拟合阶数为 4 阶时的试验结果更稳定,起步加速快慢基本不影响试验结果,在稳态回转不足转向度计算中应选取尽量小的侧向加速度截取起点和 3 阶拟合阶数。

关键词: 汽车;载货汽车;稳态回转试验;影响因素;差异化分析;操纵稳定性

中图分类号: U461.6

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)04-0001-03

JT/T 1178.1—2018《营运货车安全技术条件 第 1 部分:载货汽车》、JT/T 1178.2—2019《营运货车安全技术条件 第 2 部分:牵引车辆和挂车》对载货汽车和牵引车稳态回转不足转向度做了限制^[1-2],汽车稳态回转不足转向度在道路运输安全达标检测中是一个重要试验项目,在操纵稳定性测试评价中是一个重要指标。目前关于稳态回转影响因素的研究以车辆结构方面因素研究居多,如张云霜通过仿真软件 TruckSim 模拟稳态回转试验,考虑车辆质心高度、悬架刚度等结构参数进行了厢式中置轴货车列车稳态回转性能评价和优化^[3];刘洋等分析认为车辆载荷和悬架是稳态回转的主要影响因素^[4];崔康、张凯轩等分析了侧倾角、轴距、轴荷分布等对稳态回转的影响^[5-6]。稳态回转试验按照 GB/T 6323—2014《汽车操纵稳定性试验方法》进行,受试验方法和数据处理方法的影响,常产生试验重复性和一致性难保证的问题。曾柯、顾彤彤等研究了试验过程和数据处理的影响因素,但是是从单一因素进行分析,没有综合考虑多维度因素的影响^[7-9]。为了多维度分析车辆稳态回转试验过程和数据处理的影响因素,本文以载货汽车为例,采用 GB/T 6323—2014 中所述固定转向盘转角连续加速的方法,选取侧向加速度、拟合阶数、试验起步加速度进行载货汽车稳态回转试验结果影响因素差异化分析。

1 试验设计

1.1 样车基本参数

采用中国重汽集团福建海西汽车有限公司生产的某型号自卸汽车进行稳态回转试验,其基本参数见表 1。

表 1 样车的基本参数

参数名称		参数值
车辆类型		N2
最大总质量及轴荷分配/kg	最大总质量	7 355
	前轴	2 635
	后轴	4 720
整备质量及轴荷分配/kg	整备质量	3 150
	前轴	1 500
	后轴	1 650
轴距/mm		3 280
轮距/mm	前轮距	1 730
	后轮距	1 695
轮胎型号		7.00R16LT 14PR
轮胎气压/kPa		770

1.2 主要试验设备

稳态回转试验主要设备为方向盘扭矩传感器和 GNSS/IN 组合导航系统,其基本参数见表 2,精度和测量范围均满足要求。

^{*} 基金项目: 中汽研汽车检验中心(武汉)有限公司研究课题(202315)

表2 稳态回转试验设备的基本参数

设备名称	规格型号	测量范围
GNSS/IN 组合导航系统	RT3000 v3 L1	角速度范围 100 (°)/s; 加速度范围 98 m/s ²
方向盘扭矩传感器	SFA-E-100NMSA20	扭矩为 100 N·m; 角度为 1 440°; 角速度为 1 080 (°)/s

1.3 影响因素设计

在进行稳态回转试验前进行场地和预热等准备。试验采用固定转向盘转角连续加速的方法。记录试验数据时,确保 GNSS/IN 组合导航系统对准 15 m 半径的圆周。固定方向盘,车辆起步,加速过程中始终尽量保持缓慢均匀加速,直至车辆达到规定的侧向加速度,试验结束。左右方向各进行 3 次试验。试验过程中重点考虑试验起步时的加速快慢,加速过程中始终尽量保持均匀加速,并且纵向加速度不超过标准要求的 0.25 m/s²。

稳态回转不足转向度的计算步骤:1) 计算初始半径 R_0 。对加速过程中侧向加速度和转弯半径 R_k 的关系进行拟合,取侧向加速度为零时的转弯半径为初始半径 R_0 ,转弯半径 R_k 由式(1)计算得到,侧向加速度由侧向加速度设备采集得到。2) 按式(2)计算汽车前后轮侧偏角差值,不足转向度 U 为前后轮侧偏角差值与侧向加速度关系曲线上侧向加速度为 2 m/s² 处的平均斜率。

$$R_k = \frac{57.3v_k}{r_k} \quad (1)$$

式中: v_k 为瞬时前进车速(m/s); r_k 为瞬时横摆角速度[(°)/s]。

$$\delta_1 - \delta_2 = 57.3L \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_k} \right) \quad (2)$$

式中: δ_1 、 δ_2 分别为前、后轮侧偏角(°); L 为车辆轴距(m)。

由于起步速度较低,起步时侧向加速度和转弯

半径数据波动较大,影响侧向加速度和转弯半径关系的拟合,难以反映其真实特征。为更准确地拟合侧向加速度和转弯半径的关系,去掉起步某一个阶段的异常曲线,时付伟提出以侧向加速度为零至试验结束的数据拟合侧向加速度和转弯半径^[10],也有学者建议去掉侧向加速度为 0~0.5 m/s² 时的数据,取侧向加速度为 0.5 m/s² 至试验结束的数据拟合侧向加速度和转弯半径^[11]。根据该车稳态回转试验数据的特征,采用 0.1 m/s² 和 0.5 m/s² 作为侧向加速度截取起点进行对比分析。

侧向加速度和转弯半径拟合时可以使用不同阶数的最小二乘法,侧向加速度为零时,采用不同阶数拟合出的公式计算所得初始半径 R_0 不同,会直接影响不足转向度的计算。通过多次拟合,发现取 1 阶和 2 阶拟合时,拟合优度检验的可决系数较低,不能正确反映侧向加速度和转弯半径的关系特征,故以 3 阶和 4 阶进行对比分析。

综上,选取侧向加速度、拟合阶数、试验起步加速度作为稳态回转试验结果的影响因素进行差异化分析。

2 影响因素差异化分析

2.1 侧向加速度截取起点差异化分析

按照标准要求,试验中车辆加速应尽可能慢,选择慢加速过程进行侧向加速度截取起点差异化分析。不同侧向加速度截取起点时稳态回转不足转向度计算结果见表 3。

表3 不同侧向加速度截取起点时稳态回转不足转向度计算结果

侧向加速度截取 起点/(m·s ⁻²)	试验组号	不同拟合阶数下左转不足转向度/ [(°)·(m·s ⁻²) ⁻¹]			不同拟合阶数下右转不足转向度/ [(°)·(m·s ⁻²) ⁻¹]		
		3 阶	4 阶	误差绝对值	3 阶	4 阶	误差绝对值
0.1	一组	0.17	0.17	0.00	0.21	0.20	0.01
	二组	0.16	0.16	0.00	0.21	0.19	0.02
	三组	0.14	0.14	0.00	0.21	0.21	0.00
0.5	一组	0.21	0.26	0.05	0.25	0.19	0.06
	二组	0.19	0.30	0.11	0.28	0.34	0.06
	三组	0.17	0.18	0.01	0.22	0.17	0.05

从表 3 可以看出:侧向加速度截取起点取为 0.1 m/s^2 时,第一组、第二组、第三组试验中,采用 3 阶、4 阶拟合时左转不足转向度的误差绝对值均为零,右转误差绝对值分别为 $0.01\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 $0.02\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 $0.00\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$;侧向加速度截取起点取为 0.5 m/s^2 时,第一组、第二组、第三组试验中,采用 3 阶、4 阶拟合时左转不足转向度的误差绝对值分别为 $0.05\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 $0.11\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、

$0.01\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$,右转误差绝对值分别为 $0.06\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 $0.06\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 $0.05\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 。不同拟合阶数下,侧向加速度截取起点取为 0.1 m/s^2 时的不足转向度误差绝对值比 0.5 m/s^2 时小,数据较稳定,试验结果的重复性和一致性较好。

2.2 拟合阶数差异化分析

选择慢加速过程进行拟合阶数差异化分析。不同拟合阶数下稳态回转不足转向度计算结果见表 4。

表 4 不同拟合阶数下稳态回转不足转向度计算结果

拟合阶数	试验组号	不同侧向加速度截取起点(m/s^2)下左转不足转向度/ $[(^{\circ})\cdot(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})^{-1}]$			不同侧向加速度截取起点(m/s^2)下右转不足转向度/ $[(^{\circ})\cdot(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})^{-1}]$		
		0.1	0.5	误差绝对值	0.1	0.5	误差绝对值
3 阶	一组	0.17	0.21	0.04	0.21	0.25	0.04
	二组	0.16	0.19	0.03	0.21	0.28	0.07
	三组	0.14	0.17	0.03	0.21	0.22	0.01
4 阶	一组	0.17	0.26	0.09	0.20	0.19	0.01
	二组	0.16	0.30	0.14	0.19	0.34	0.15
	三组	0.14	0.18	0.04	0.21	0.17	0.04

从表 4 可以看出:拟合阶数为 3 阶时,第一组、第二组、第三组试验中,侧向加速度截取起点取为 0.1 m/s^2 、 0.5 m/s^2 时左转不足转向度的误差绝对值分别为 $0.04\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 $0.03\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 $0.03\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$,右转不足转向度的误差绝对值分别为 $0.04\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 $0.07\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 $0.01\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$;拟合阶数为 4 阶时,第一组、第二组、第三组试验中,侧向加速度截取起点取为 0.1 m/s^2 、 0.5 m/s^2 时左转不足转向度的误差绝对值分别为 $0.09\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 $0.14\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 $0.04\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$,右转不足转向度的误差绝对值分别为 $0.01\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 $0.15\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、

$0.04\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 。不同侧向加速度截取起点下,拟合阶数为 3 阶时不足转向度误差绝对值比 4 阶时小,数据较稳定,试验结果的重复性和一致性较好。

2.3 试验起步加速度差异化分析

为分析起步加速快慢对稳态回转试验结果的影响,第一组试验中增加 5 次左转和右转试验。根据前面的分析,侧向加速度截取起点取为 0.1 m/s^2 、拟合阶数取为 3 阶时试验结果的重复性和一致性较好,在侧向加速度截取起点取为 0.1 m/s^2 、拟合阶数取为 3 阶的情况下进行 6 次稳态回转试验,试验结果见表 5。

表 5 不同试验起步加速快慢下稳态回转不足转向度计算结果

试验编号	不同试验起步加速快慢下左转不足转向度/ $[(^{\circ})\cdot(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})^{-1}]$			不同试验起步加速快慢下右转不足转向度/ $[(^{\circ})\cdot(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})^{-1}]$		
	慢	快	误差绝对值	慢	快	误差绝对值
试验 1	0.17	0.18	0.01	0.21	0.22	0.01
试验 2	0.17	0.17	0.00	0.23	0.24	0.01
试验 3	0.16	0.17	0.01	0.24	0.25	0.01

从表 5 可以看出:3 次左转试验中,不同试验起步加速快慢情况下不足转向度误差绝对值分别为 $0.01\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、 0.00 、 $0.01\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$,平均值为

$0.007\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$;3 次右转试验中,不同起步加速快慢下不足转向度误差绝对值分别为 $0.01\text{ }(^{\circ})/(\text{m/s}^2)$ 、
(下转第 50 页)

5 结语

本文结合轨道交通站点设计3种全天候行人过街通道方案,其中:方案一利用车站上方覆土设置地下通道,解决过街通道24 h运营问题,但对市政管线有影响;方案二利用车站端头井空间设置部分地下通道,在有限增加车站面积的情况下解决过街通道24 h运营问题,能避免对市政管线的影响;方案三利用车站埋深较大的特点,释放地下一层空间作为地下人行通道,充分共享城市地下空间,但须在特定的条件及需求下进行。3种方案均能解决24 h人行过街问题,与地铁管理方的职责分界也清晰,实际建设中可结合车站所处区域的过街需求加以分析,提出切实可行的行人过街通道方案。

参考文献:

[1] 沈慧玲,谭小玉,谭永凯.基于多方协同的轨道交通车

站竖向布局方式和工程措施研究[J].中国市政工程,2020(3):78—81+133.

[2] 陈惠嫦,彭伟.地铁站与24小时市政过街结合设计可行性分析[J].中国工程咨询,2020(6):78—82.

[3] 张晓林,朱苡庆,何煜晗.简析地铁站非付费区兼顾市政过街功能的必要性[J].现代城市轨道交通,2013(3):104—106.

[4] 张旭.地铁站地下过街通道布置形式研究[J].城市轨道交通研究,2018,21(6):122—124+128.

[5] 北京市市政工程研究院.城市人行天桥与人行地道技术规范:CJJ 69—95[S].北京:中国建筑工业出版社,1996.

[6] 北京市规划委员会.地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.

[7] 陈惠嫦,彭伟.地铁站与24小时市政过街结合设计可行性分析[J].中国工程咨询,2020(6):78—82.

[8] 张威,刘琦.轨道交通站点慢行交通设施衔接规划研究[J].工程建设与设计,2017(14):100—101.

收稿日期:2022—07—12

(上接第3页)

0.01 (°)/(m/s²)、0.01 (°)/(m/s²),平均值为0.01 (°)/(m/s²)。试验起步加速快慢对不足转向度的影响极小,可以忽略。

3 结论

通过对侧向加速度原始数据截取起点、拟合阶数、试验起步加速快慢差异化的对比分析,得出结论:载货汽车稳态回转试验中,起步加速快慢对不足转向度的影响极小;在数据处理方面,在数据稳定的情况下,建议选择尽可能小的侧向加速度截取起点进行计算,保证数据的完整性,不可一味地选择尽可能大的位置截取数据;侧向加速度和转弯半径的关系宜采用3阶拟合。采用合理的数据处理方法可保证试验结果的一致性和重复性,试验结果也更合理。

参考文献:

[1] 交通运输部公路科学研究院,国家机动车质量监督检验中心(重庆),北京中公高远汽车试验有限公司,等.营运货车安全技术条件第1部分:载货汽车:JT/T 1178.1—2018[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2018.

[2] 交通运输部公路科学研究院,国家汽车质量监督检验

中心(北京通州),中国汽车工程研究院股份有限公司,等.营运货车安全技术条件第2部分:牵引车辆与挂车:JT/T 1178.2—2019[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.

[3] 张云霜.厢式中置轴货车列车稳态回转特性及参数优化研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018.

[4] 刘洋,全勇.汽车稳态回转前轮离地分析[J].装备制造技术,2018(1):104—106.

[5] 崔康,宋鲁宁,蔡振华,等.商用车操纵稳定性之稳态回转试验的研究与应用[J].汽车与驾驶维修(维修版),2022(5):25—29+34.

[6] 张凯轩,徐霖.汽车操纵稳定性试验与评价标准研究[J].北京汽车,2021(1):1—5.

[7] 曾柯,夏小均,姚波,等.驾驶员加速控制对商用车稳态回转试验的影响[J].客车技术与研究,2020,42(6):58—60.

[8] 顾彤彤,余冬翠.基于LabVIEW的汽车稳态回转测试系统的研制[J].内燃机与配件,2020(9):1—3.

[9] 曾柯,夏小均,郝刚,等.商用车预热状态对稳态回转试验的影响[J].汽车实用技术,2020(3):93—95.

[10] 时付伟.基于ADAMS的客车操纵稳定性仿真及试验研究[D].西安:长安大学,2014.

[11] 陈德兵,张国振,曾柯,等.商用车稳态回转试验数据截取方法研究[J].汽车实用技术,2019(3):95—97.

收稿日期:2022—11—15