

跨坐式单轨车辆组装后的试验验证体系探讨

李辉光 罗 唐

(中车浦镇庞巴迪运输系统有限公司, 241060, 芜湖//第一作者, 工程师)

摘 要 在介绍跨坐式单轨车辆特点的基础上, 参考 IEC 61133—2016 和 GB 14894—2005 标准, 建立了跨坐式单轨车辆组装后的试验验证体系。针对跨坐式单轨车辆静态试验和动态试验的项点, 分别列出了各项点的试验类型、试验载荷、试验地点及其对应的参考标准条款, 并针对车辆倾覆、全动力车辆故障运行、胎压监测、爆胎运行等典型试验项点的试验要求进行了探讨。

关键词 跨坐式单轨; 车辆; 试验验证体系

中图分类号 U232; U270.1⁺4

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2019.10.010

Test Verification System for Straddle Monorail Vehicle in Post Assembly

LI Huiguang, LUO Tang

Abstract According to the characteristics of straddle monorail vehicle, and referring to IEC 61133—2016 and GB 14894 standards, a test verification system for straddle monorail vehicle in post assembly is established. Based on the item points of vehicle in static and dynamic tests, the type, load and location of each item point and the corresponding reference standard clauses are listed respectively, requirements for typical test items of monorail vehicle, such as vehicle derailment, full power vehicle operation with fault, tire pressure monitoring and tire burst operation are discussed.

Key words straddle monorail; vehicle; test system

Author's address CRRC Puzhen Bombardier Transportation Systems Ltd., 241060, Wuhu, China

跨坐式单轨是拥有独立路权的中小运量轨道交通系统, 在国内外具有广泛的应用案例和良好的应用前景^[1-2]。轨道交通车辆是高度集成的复杂系统, 为验证多个功能相关的子系统是否能按照设计要求和系统架构协同工作, 必须在轨道交通车辆组装后进行一系列的静态和动态试验, 用以验证所有功能要求均已得到满足, 并且安全可靠。在结合已有标准和多年运营经验的基础上, 众多学者对地铁车辆系统及其试验验收进行了深入研究^[3-6], 但在

跨坐式单轨车辆组装后的检查与试验方面, 目前还没有相关的国家标准或行业标准。重庆和芜湖的单轨线路均是在参考国际电气协会制定的 IEC 61133—2016 标准后^[7], 分别基于日立或庞巴迪单轨车辆的技术要求和试验大纲开展试验验收工作, 因而, 并未形成跨坐式单轨车辆完整的试验标准体系和试验验证体系。

建立跨坐式单轨车辆的试验验证体系, 规范车辆组装后的试验项点和试验条件, 能够更加科学准确地考核车辆的各项性能, 进行产品认证, 以保证车辆安全、可靠地运行。

1 跨坐式单轨车辆的主要技术特点

与钢轮钢轨制式的轨道交通车辆不同, 跨坐式单轨车辆采用橡胶轮胎跨行于梁轨合一的轨道梁上。轨道梁的宽度窄、梁柱细、跨度大, 对日照和景观影响小。

跨坐式单轨车辆转向架除走行轮外, 还安装有导向轮和稳定轮, 夹行于轨道梁两侧, 用以保证车辆安全平稳地运行, 如图 1 所示。跨坐式单轨车辆具有爬坡能力强、转弯半径小、噪声低、振动小等优点, 可最大限度地减少对现有基础设施和周围建筑的影响, 选线设站也比较容易。

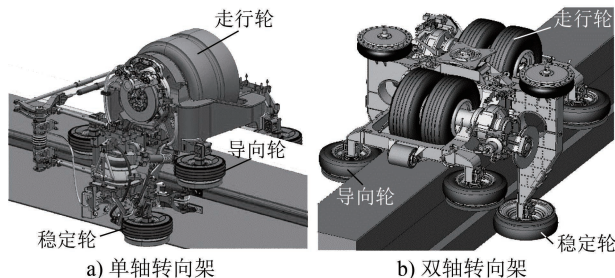


图 1 跨坐式单轨转向架结构

2 跨坐式单轨车辆组装后的试验验证体系

目前国际通用的轨道交通列车整车试验标准

为 IEC 61133—2016《铁路设施—铁路车辆—车辆组装后和运行前的整车试验》。国内城市轨道交通在车辆组装后、投入使用前所采用的试验标准为 GB/T 14894—2005《城市轨道交通车辆组装后的检查与试验规则》。但由于上述 2 个标准在制定时更多的是基于钢轮钢轨车辆的技术特点和实践经验,对于跨坐式单轨系统并不完全适用。比如:在转向架结构、轮轨关系、橡胶轮胎爆胎等方面,不能完全应用上述 2 个标准进行试验及评价。

本文基于跨坐式单轨车辆的特点,参照 IEC 61133—2016 和 GB 14894—2005,建立了跨坐式单轨车辆组装后的试验验证体系,如表 1 和表 2 所示。

表中,针对静态试验和动态试验的各个项目明确了试验类型、载荷工况、试验地点,并列出了与之相对应的参考标准条款。

3 若干典型试验项目探讨

从上述试验验证体系可以看出,虽然大部分试验项目与 GB/T 14894—2005 和 IEC 61133—2016 标准相同,但由于跨坐式单轨胶轮车辆的特点,表 2 中增加了胎压监测和爆胎运行试验。此外,根据跨坐式单轨车辆的特点和配置不同,在列车故障运行、列车运行安全性等试验的内容和要求上也需要进行修改。

表 1 跨坐式单轨车辆静态试验项目

试验名称	试验类型	载荷工况	试验地点	对应的标准条款	
				IEC 61133—2016	GB/T 14894—2005
外观尺寸检查	T,R	AW0	F	8.2.2.1	
静态限界检查	T,R	AW0	F	8.2.2.2	5.2.1
软管及电缆长度检查	T,R	AW0	F	8.2.2.3	
受流装置检查	T,R	AW0	F	8.2.2.4	
柔性系数试验	T	AW0,AW3	F	8.3.3	5.2.2
起吊性能试验	T	AW0	F	8.4	5.2.3
称重试验	T,R	AW0	F	8.5	5.3
车体和设备箱体的密封试验	T,R	AW0	F	8.6	5.11
空气系统密封试验	T,R	AW0	F	8.9	5.4
液压系统密封试验	T,R	AW0	F	8.10	
常用与紧急制动静止试验	T,R	AW0	F	8.11.1~8.11.3	5.5.1
停放制动静止试验	R/T	AW0/AW3	F,M	8.12	5.5.2
耐压试验	T,R	AW0	F	8.7.2	5.6
绝缘阻抗试验	T,R	AW0	F	8.7.3	5.6
接地和回流电路接线的检查	T,R	AW0	F	8.8	5.8
辅助电气设备和辅助电流的试验	T,R	AW0	F	8.13	5.9
蓄电池充电设备的检查	T,R	AW0	F	8.14	5.1
安全措施检查	T,R	AW0	F	8.18.1	5.12
成套设备安全之综合试验	T,R	AW0	F	8.15.2	5.7.1~5.7.3
成套设备安全之列车控制试验	T,R	AW0	F	8.15.3	5.14.1
成套设备安全之门系统控制试验	T,R	AW0	F	8.15.4	5.14.1
成套设备安全之通信系统试验	T,R	AW0	F	8.15.7	5.14.2
成套设备安全之车钩装置试验	T,R	AW0	F	8.15.7	5.14.3
成套设备安全之软件控制系统试验	T,R	AW0	F	8.15.8	5.14.1
成套设备安全之其他系统试验	T,R	AW0	F	8.15.7/8.20	5.14.1
重联操作	T	AW0	F	8.18.4	5.7.5
驾驶员工作条件检查	T,R	AW0	F	8.18.2	5.13.1
噪声与振动试验	T	AW0	F	8.19	5.13.3
加热、通风及空调系统试验	T	AW0	F	8.15.5	5.13.2
照度试验	T	AW0	F	8.15.6	5.7.4

注: R——例行试验;T——型式试验;AW0——空载;AW3——满载;F——工厂试验;M——线路试验;“,”表示所列的试验类型或载荷工况均应实施;“/”表示所列的试验类型与载荷工况互相对应。如:“停放制动静止试验”的类型为 R/T,载客工况为 AW0/AW3,即指需要在 AW0 载荷下做例行试验,在 AW3 载客下做型式试验

表 2 跨坐式单轨车辆动态试验项目

试验名称	试验类型	载荷工况	试验地点	对应的标准条款	
				IEC 61133—2016	GB/T 14894—2005
起动与加速试验	R/T	AW0/AW2, AW3	F,M	9.2	6.4
制动距离试验	R/T	AW0/AW2, AW3	F,M	9.4	6.5
电制动试验	R/T	AW0/AW2, AW3	F,M	9.4	6.5
紧急制动试验	R/T	AW0/AW2, AW3	F,M	9.4	6.5
牵引能力和制动热容量试验	T	AW0, AW3	M	9.5	6.8.1/6.8.2
列车最严重单点故障损失动力时的牵引试验	T	AW3	M	9.5	6.8.3
一列空车救援一列停在最大坡度上的等编组超员列车试验	T	AW3	M	9.5	6.8.4
运行安全性试验	T	AW0	M	9.9.1	6.1.1
平稳性试验	T	AW0	F, M	9.10	6.1.2
动态限界试验	T	AW0	M	9.11	
曲线和坡度变化线路运行试验	T	AW0	M	9.9.2	6.2
受流装置试验	T	AW0	F	9.13	6.3
列车自动防护(ATP)系统	R/T	AW0/AW2, AW3	M	9.8	6.6.1
列车自动驾驶(ATO)系统	R/T	AW0/AW2, AW3	M	9.7	6.6.2
列车自动监控(ATS)系统	R/T	AW0/AW2, AW3	M		6.6.3
电磁干扰试验	T	AW0	F	9.15	6.7
噪声试验	T	AW0	F,M	9.17	
挡风玻璃刮水器试验	T	AW0	F	9.19	
运动阻力试验	S	AW0	M	9.6	6.9
能耗试验	S	AW0	M	9.3	6.1
典型运行图的检查	S	AW0	M	9.3	6.11
电压突变试验	S	AW0	F	9.16.2	6.12.1
供电中断试验	S	AW0	F	9.16.3	6.12.2
电压波动试验	S	AW0	F	9.16.4	6.12.3
短路试验	S	AW0	F	9.16.5	
过载保护装置动作正确性试验	S	AW0	F		6.13
内部过电压的检查	S	AW0	F		6.14.1
胎压监测系统试验	T	AW0	F		
爆胎运行试验	T	AW0, AW3	F		

注：S——研究性试验；AW2——额定载荷；其余表述含义同表 1

3.1 列车故障运行能力试验

1) 试验目的。验证跨坐式单轨列车丧失部分牵引动力后的故障运行能力。

2) 试验要求。地铁国标和地铁车辆用户需求书中通常要求列车在超员载荷和在丧失 1/2 动力的情况下,应具有在正线最大坡度上启动和运行至最近车站的能力。此条款主要考虑单点故障造成一列车丧失 1/2 动力后无法继续前行的情况,避免列车发生单点故障时影响轨道交通线路的运行秩序。对于采用独立动力控制的全动力跨坐式单轨列车,在编组数不少于 3 辆时,同时发生 2 个及以上动力单元故障的概率极小。跨坐式单轨线路坡度大,若选用过大的电机则性价比降低,建议可以不按上面丧失 1/2 动力的条款做硬性要求,但仍应满足列车在超员载荷和最恶劣单点故障的情况下,能在最大

坡度上启动并运行到最近车站,且在清客后可维持运行到终点这一要求,并根据线路条件对允许丧失动力的最大比例进行分析和试验。

3.2 列车运行安全性试验

1) 试验目的。检查跨坐式单轨列车以线路允许的最高速度通过时,其倾覆系数是否满足运行安全性要求。

2) 试验要求。与常规的轨道交通车辆相比,跨坐式单轨车辆转向架多了导向轮与稳定轮,分别起到导向和稳定车辆的作用。因而,跨坐式单轨车辆具有高稳定性。即使走行轮一侧受力为 0,只要稳定轮的受力不为 0,车辆仍可稳定运行。因此,单轨车辆的倾覆稳定性不能仅仅通过走行轮一侧受力为 0 就判断其失稳。

基于走行轮径向载荷变化得到倾覆系数

D_1 为:

$$D_1 = (F_{z,l} - F_{j,l}) / (F_{z,l} + F_{j,l}) \quad (1)$$

式中:

$F_{z,l}$ ——增载侧走行轮径向力;

$F_{j,l}$ ——减载侧走行轮径向力。

基于稳定轮径向载荷变化得到倾覆系数 D_2 为:

$$D_2 = (F_{z,s} - F_{j,s}) / (F_{z,s} + F_{j,s}) \quad (2)$$

式中:

$F_{z,s}$ ——增载侧稳定轮径向力;

$F_{j,s}$ ——减载侧稳定轮径向力。

定义修订倾覆系数 $D_m = \max(D_1, D_2)$ 。当 $D_m < 1$ 时,车辆具有抗倾覆稳定性。为了提高稳定性和安全等级,这里规定 $D_m < 0.8$ [8]。

3.3 胎压监测系统试验

1) 试验目的。验证系统能够检测到单轨车辆轮胎的压力、温度等关键参数,并且可把状态数据和报警信息上传至列车管理系统。

2) 试验要求。胎压监测系统由胎压传感器、接收器、系统主机 3 个主要部分组成。跨坐式单轨车辆的每个走行轮和导向轮轮胎上均安装了一个胎压传感器。传感器实时采集轮胎内的压力、温度等信息,利用无线高频传送方式发送给接收器。每辆车设置胎压监测系统主机,实时接收接收器上传的状态信息,对数据进行存储、分析和上传,并将判定的报警数据上传给列车管理系统。

跨坐式单轨车辆走行部紧凑,无线胎压监测系统所处的电磁环境复杂,且周边有较多金属物遮挡,应结合线路条件在不同速度下进行性能测试,以验证胎压监测系统的稳定性。

3.4 爆胎运行试验

1) 试验目的。确保跨坐式单轨列车在负载轮胎漏气情况下仍可安全运行。

2) 试验要求。将任意车辆的某一负载轮胎排气后,在最大乘客载荷 (AW3) 下加速列车至 80 km/h,保持该速度 5 s,然后全制动降速至 15

km/h 后列车可运行距离应大于线路的最大站间距 (不小于 2.5 km);将列车上的试验载荷 (AW3) 卸载,将列车状态恢复至空载载荷状态 (AW0),加速列车至 25 km/h 后可以该速度匀速运行到车辆段。试验过程中不得产生浓烟或轮胎脱落,不得超过车辆动态包络线。试验后应进行目测检查,轮胎和防爆支撑体允许出现局部擦伤,但轮辋不得存在永久性残余变形。

4 结语

跨坐式单轨造价低、环境适应性强、建设周期短,具有良好的应用前景。本文基于跨坐式单轨车辆的特点,在参考 IEC 61133—2016 和 GB/T 14894—2005 的基础上,建立了跨坐式单轨车辆组装后的试验验证体系,明确试验项点、试验类型、试验载荷、试验地点等要求,能够规范跨坐式单轨车辆的验收,指导车辆的试验,也可为完善或制定相关规范提供参考。

参考文献

- [1] 武农,雷慧峰,郭锴.跨坐式单轨作为中等规模城市轨道交通模式的适应性分析[J].隧道建设,2015,35(7): 623.
- [2] 韩宝明,金天凤,方恒堃,等.中国城市轨道交通系统多制式发展综述[J].都市轨道交通,2018,31(1): 45.
- [3] 陈爱丽,王艳伍.城市轨道交通车辆试验实践及总结[J].铁道车辆,2016,54(6): 22.
- [4] 郭建国,周行运.地铁车辆试验与验收手册[M].北京:中国科学技术出版社,2013: 29.
- [5] 沈鑫,魏长竹.宁天城际轨道交通系统总联调[J].城市轨道交通研究,2015(1): 19.
- [6] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.城市轨道交通车辆组装后的检查与试验规则: GB/T 14894—2005[S].北京:中国标准出版社,2006: 1.
- [7] 国际电气协会.铁路设施铁路车辆车辆组装后和运行前的整车试验: IEC 61133—2016[S].日内瓦:国际电气协会,2016: 1.
- [8] 杜子学,李云川,梁志华,等.跨坐式单轨车辆曲线通过安全性研究[J].机车电传动,2016(1): 79.

(收稿日期:2019-05-10)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www.umat 1998.com