

磁浮车辆动力学性能验证及评价规范

Specification for verification and evaluation of dynamic performance of EMS maglev vehicles

（征求意见稿）

（本稿完成时间：2025 年 3 月 13 日）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

目 次

前 言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 符号 4

5 磁浮车辆坐标系 4

6 总则 5

7 试验条件 5

 7.1 一般规则 5

 7.2 试验区段和采样要求 5

 7.3 被试车辆及运行方向 6

 7.4 测试系统 6

8 测量参数 6

 8.1 车体振动加速度 6

 8.2 悬浮架构架装置振动加速度 7

9 评价指标 7

 9.1 运行稳定性 7

 9.2 运行品质 7

 9.3 运行平稳性 7

10 评价和数据处理方法 8

 10.1 运行稳定性评价 8

 10.2 运行平稳性评价 8

11 试验报告 9

附 录 A （规范性） 测试系统 10

 A.1 概述 10

 A.2 传感器的要求 10

 A.3 采集系统的要求 10

 A.4 滤波器的要求 10

参 考 文 献 11

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由湖南省工业和信息化厅提出。

本文件由湖南省新型城市轨道交通标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中车株洲电力机车有限公司、湖南轨道交通控股集团有限公司、湖南磁浮交通发展股份有限公司、国防科技大学、同济大学、西南交通大学、中国铁建重工集团股份有限公司、株洲国创轨道科技有限公司、湖南铁路科技职业技术学院。

本文件主要起草人：沈龙江、李冠军、郭庆升、何永川、李茂春、周佐斌、洪远卓、张波、舒瑶、朱跃欧、梁潇、向湘林、杨勇、刘耀宗、高定刚、赵春发、宗斌、张亚军、黄志华、宋杰、何炼。

磁浮车辆动力学性能验证及评价规范

1 范围

本文件规定了常导短定子磁浮车辆在线路上进行动力学性能试验鉴定的方法和评价指标。

本文件适用于常导短定子磁浮车辆动力学性能评价和试验鉴定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 5599—2019 机车车辆动力学性能评定及试验鉴定规范

DBJ43/T 201—2017 湖南省中低速磁浮交通工程质量验收标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

短定子磁浮车辆 short stator maglev vehicle

定子位于车辆上，转子位于轨道上，采用电磁悬浮技术实现车辆的悬浮和导向，并通过直线感应电机实现牵引和电制动的车辆。

[来源：TB 10630—2019，2.1.15]

3.2

最高运营速度 maximum operating speed

机车车辆能够适应长期持续运行的最高速度。

注：最高运营速度用千米每小时（km/h）表示。

[来源：GB/T 5599—2019，3.1]

3.3

运营速度 operating speed

运输组织、线路、信号和机车车辆综合决定的运用速度。

注：运营速度用千米每小时（km/h）表示。

[来源：GB/T 5599—2019，3.2]

3.4

平稳性指标 index of running stability

评定车辆运行时旅客乘坐舒适度或货物完好性的程度。

[来源：GB/T 4549.1—2004，6.10]

3.5

空车载荷 zero payload

列车技术装备完整且无乘客时的重量。此状态下车辆总重为车辆自重。

[来源：GB/T 37532—2019，3.2]

3.6

超员载荷 maximum load

列车在超员状态时的载客重量。此状态下车辆总重为空载与超员载客重量之和。

[来源：GB/T 37532—2019，3.4]

4 符号

符号、单位及含义见表1。

表 1 符号、单位及含义

序号	符号	单位	含义
1	a_{jy}	m/s^2	悬浮架构架装置横向振动加速度
2	a_{jz}	m/s^2	悬浮架构架装置垂向振动加速度
3	a_{ty}	m/s^2	车体横向振动加速度
4	a_{tz}	m/s^2	车体垂向振动加速度
5	N	——	采样段数
6	N_M	——	舒适度指标
7	R	m	曲线半径
8	T	s	采样时间
9	V	km/h	试验速度
10	V_{max}	km/h	最高试验速度
11	V_{opr}	km/h	最高运营速度
12	V_{opr}	km/h	运营速度
13	W	——	平稳性指标
14	δ	mm	悬浮间隙

5 磁浮车辆坐标系

磁浮车辆动力学试验的坐标系为右手坐标系，列车前进方向为x轴正方向，车辆向上为z轴正方向，图1为坐标系的示例。

在试验中，被试车辆试验运行方向应唯一规定，进而可以分为正向运行和反向运行。

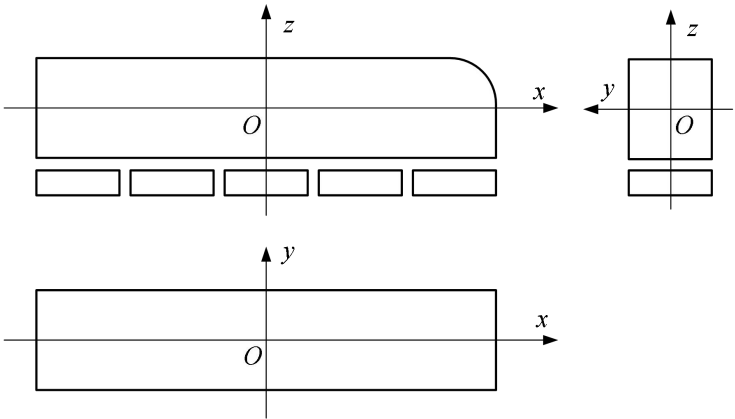


图 1 磁浮车辆动力学试验的坐标系

6 总则

6.1 磁浮车辆动力学性能评价及试验鉴定应通过线路试验的方法进行。根据线路条件及实际运营速度，如试验条件无法满足最高试验速度 $V_{\max}$ ，线路最高运营速度范围内应采用线路试验，高于线路最高运营速度的可通过经过最高运营速度范围内线路试验验证的动力学模型进行仿真评估。

6.2 磁浮车辆出厂后应进行磨合运行，保证悬浮系统稳定，检查悬浮架技术状态正常，方可进行动力学性能试验鉴定，供需双方另有规定的除外。

6.3 磁浮车辆动力学试验应在空车载荷、定员载荷、超员载荷下分别进行。

6.4 试验前应确认下列参数：

- a) 线路条件状态应满足 DBJ43/T 201—2017 中第 6、7、8 章的要求；
- b) 磁浮车辆技术参数；
- c) 运行试验区段特性，如直线、大半径曲线和小半径曲线；
- d) 磁浮车辆实际状态，如空车载荷、超员载荷等。

7 试验条件

7.1 一般规则

试验运行条件应考虑试验速度、欠超高、曲线半径、编组和运行方向等因素。

7.2 试验区段和采样要求

7.2.1 试验区段分类

试验区段分为直线、大半径曲线、小半径曲线、直向通过道岔和侧向通过道岔。

7.2.2 直线区段

7.2.2.1 最高试验速度 $V_{\max}$ 为 1.1 倍的最高运营速度 V_{opr} 或 $V_{\text{opr}}+10$ km/h 取两者大值。试验应在最高试验速度下分若干速度级，速度级增量宜为 10 km/h 或 20 km/h。速度控制容许偏差为 ± 5 km/h。

7.2.2.2 每个速度级采样段数 $N \geq 10$ 。

7.2.2.3 每段采样时间至少 5 s。

7.2.3 大半径曲线区段

7.2.3.1 大半径曲线区段的曲线半径根据不同运用条件、常用线路的实际工况，曲线半径应不小于 400 m，参考表 2。

表 2 各限速曲线半径限制速度表

曲线半径 (R) m	限制速度 (V) km/h
600	105
850	120

7.2.3.2 最高试验速度 $V_{\max}$ 为 1.1 倍的 V_{opr} ，困难条件下不应小于 V_{opr} 。试验应在最高试验速度 $V_{\max}$ 、运营速度 V_{opr} 、0.9 倍的运营速度 V_{opr} 进行，速度控制容许偏差为 ± 5 km/h。

7.2.3.3 每段采样时间至少 5 s，采样范围需包含完整曲线段，段数 $N \geq 10$ 。

7.2.4 小半径曲线区段

7.2.4.1 小半径曲线区段的曲线半径根据常用线路的实际工况，小半径曲线半径应小于 400 m，参考表 3 选取。

表 3 各限速曲线半径限制速度表

曲线半径 (R) m	限制速度 (V) km/h
100	30
300	45

7.2.4.2 最高试验速度 $V_{\max}$ 为 1.1 倍的 V_{opr} ，困难条件下不应小于 V_{opr} 。试验应在最高试验速度、运营速度 V_{opr} 、0.9 倍的运营速度 V_{opr} 进行，速度控制容许偏差为 ± 3 km/h。

7.2.4.3 每段采样时间至少 5 s 或一个完整曲线段（根据实际计算核实），采样范围需包含完整曲线段，段数 $N \geq 25$ 。

7.2.5 直向通过道岔

7.2.5.1 最高试验速度 $V_{\max}$ 为 1.1 倍的 V_{opr} ，困难条件下不应小于 V_{opr} 。试验应在最高试验速度下分若干速度级，速度级增量宜为 10 km/h 或 20 km/h，具体增量根据实际线路情况确定，速度控制容许偏差不应超过 ± 5 km/h。

7.2.5.2 直线通过的每一组道岔作为一个采样段。每个速度级采样段数 $N \geq 10$ 。

7.2.6 侧向通过道岔

7.2.6.1 最高试验速度 $V_{\max}$ 为 1.1 倍的 V_{opr} ，困难条件下不应小于 V_{opr} 。试验应在最高试验速度下分若干速度级，速度级增量宜为 10 km/h，具体增量根据实际线路情况确定，速度控制容许偏差不应超过 ± 5 km/h。

7.2.6.2 通过的每一组道岔作为一个采样段，每个速度级采样段数 $N \geq 10$ 。

7.3 被试车辆及运行方向

鉴定试验时制造厂应提供被试磁浮车辆相关特性参数，并确认其状态正常、符合规定要求：

- 试验应在整备状态下进行；
- 试验应在上行线和下行线上进行。

7.4 测试系统

测试系统要求见附录A。

8 测量参数

8.1 车体振动加速度

车体垂向、横向振动加速度测点对角布置在每节车厢固定滑台中心距车体纵向中心线 1000 mm 的车内地板上；Mc 车司机室座椅下方地板上布置垂向、横向加速度测点；测点布置见图2。

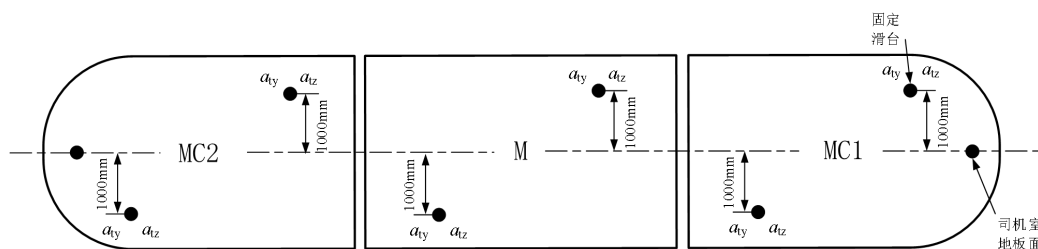


图2 车体振动加速度测点

8.2 悬浮架构架装置振动加速度

垂向和横向加速度传感器布置在磁浮列车Mc车前端、中间、后端三个构架装置的托臂上，测点布置示意图见图3。

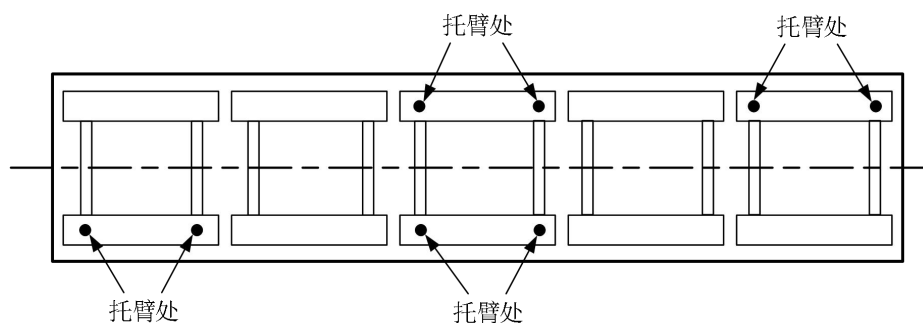


图3 悬浮架振动加速度测点

9 评价指标

9.1 运行稳定性

9.1.1 横向稳定性

横向稳定性用于评价悬浮架横向滑撬是否与轨道发生连续碰撞，采用悬浮架构架装置上的横向振动加速度 α_{jy} 进行评价。

9.1.2 垂向稳定性

垂向稳定性用于评价悬浮架垂向滑撬、电磁铁上的防吸滑撬是否与轨道连续碰撞，采用悬浮架构架装置上的垂向振动加速度 α_{jz} 进行评价。

9.1.3 悬浮稳定性

悬浮稳定性用于评价悬浮系统的稳定失稳风险，通过磁浮车辆自带的悬浮间隙传感器的间隙值 δ 进行评价。

9.2 运行品质

运行品质采用车体振动加速度 α_{ty} 、 α_{tz} 进行评价。

9.3 运行平稳性

运行平稳性采用平稳性指标 W 或乘坐舒适度 N_{wv} 进行评价。

10 评价和数据处理方法

10.1 运行稳定性评价

10.1.1 横向稳定性评价

10.1.1.1 采样方法

对磁浮列车Mc车前端、中间、后端两三个构架装置上横向振动加速度进行实时连续采样。

10.1.1.2 数据处理方法

横向稳定性在最高运营速度 V_{mopr} 范围内评价。

10.1.1.3 横向稳定性评价

每个采样段内横向加速度峰值有3次及以上达到或者超过 10 m/s^2 时，评价悬浮架横向稳定超标。

10.1.2 垂向稳定性评价

10.1.2.1 采样方法

对磁浮列车Mc车前端、中间、后端两三个构架装置上垂向振动加速度进行实时连续采样。

10.1.2.2 数据处理方法

垂向稳定性在最高运营速度 V_{mopr} 范围内评价。

10.1.2.3 垂向稳定性评价

相邻的十个采样段内垂向加速度峰值有3次及以上达到或者超过 10 m/s^2 时，评价悬浮架垂向稳定超标。

10.1.3 悬浮稳定性评价

10.1.3.1 采样方法

对悬浮电磁铁的悬浮间隙 δ 进行实时连续采样。

10.1.3.2 数据处理方法

悬浮稳定性在最高运营速度 V_{mopr} 范围内评价。

10.1.3.3 悬浮稳定性评价

额定悬浮间隙 δ 应为 $8 \text{ mm} \sim 10 \text{ mm}$ 。静态时悬浮间隙 δ 偏差绝对值不应大于 0.5 mm ；在列车运行时，动态悬浮间隙 δ 超过 $\pm 4 \text{ mm}$ 范围的概率不应大于1%。

10.1.4 运行品质评价

运行品质最高运营速度 V_{mopr} 范围内评价，测量和数据处理方法按GB/T 5599—2019附录D执行。计算统计评价值满足： $\alpha_{\text{ty}} \leq 2.5 \text{ m/s}^2$ ， $\alpha_{\text{tz}} \leq 2.5 \text{ m/s}^2$ 。

10.2 运行平稳性评价

10.2.1 平稳性指标

平稳性指标 W 在最高运营速度 V_{opr} 范围内评价，测量和数据处理方法按GB/T 5599—2019附录E执行。

平稳性指标等级见表4所示。

表4 平稳性指标

平稳性等级	平稳性指标 W	评价
1 级	$W \leq 2.50$	优
2 级	$2.50 < W \leq 2.75$	良好
3 级	$2.75 < W \leq 3.00$	合格

10.2.2 舒适度指标

舒适度指标 N_{mv} 在最高运营速度 V_{opr} 范围内评价，测量和数据处理方法按GB/T 5599—2019附录F执行。

舒适度指标等级见表5。

表5 舒适度指标

舒适度等级	舒适度指标	评价
1 级	$N_{\text{mv}} < 1.50$	非常舒适
2 级	$1.50 \leq N_{\text{mv}} < 2.50$	舒适
3 级	$2.50 \leq N_{\text{mv}} < 3.50$	一般
4 级	$3.50 \leq N_{\text{mv}} < 4.50$	不舒适
5 级	$N_{\text{mv}} \geq 4.50$	非常不舒适

11 试验报告

磁浮车辆的动力学试验报告应包括对试验条件、试验方法和试验结果的描述，至少含以下内容：

- 被试磁浮车辆型号和技术状态；
- 被试磁浮车辆与动力学性能有关的主要技术参数；
- 试验线路区段及主要参数；
- 试验日期及气候环境条件；
- 车辆试验工况；
- 测点布置；
- 测试系统相关技术参数和检定信息；
- 试验数据采集和处理方法；
- 提供试验测量结果，给出试验结论；
- 实施试验单位、参试工作人员及报告编写人。

附 录 A
(规范性)
测试系统

A. 1 概述

测试系统性能是影响测试结果精度的重要因素，为保证测试结果的合理精度，本附录给出了测试系统的基本特性要求。

A. 2 传感器的要求

传感器应具有抗电磁干扰能力，压电式振动加速度传感器技术要求见表A. 1。

表 A. 1 振动加速度传感器技术要求

传感器	量程 m/s ²	工作频率范围 Hz	幅值非线性	横向灵敏度
车体振动加速度 ^a	10	0~100	≤0.2%	≤1%
车体振动加速度 ^b	10	0~100	≤0.2%	≤1%
悬浮架单元/构架装置振动加速度	50	0~100	≤1%	≤3%
^a 用于评价平稳性指标 W 和加速度 a 。 ^b 用于评价舒适度指标 N_{mv} 。				

A. 3 采集系统的要求

数据采集系统的技术要求如下：

- a) 系统精度：≤0.1%；
- b) A/D 转换：≥16 bit；
- c) 采样频率：≥1000 Hz。

A. 4 滤波器的要求

信号处理滤波器应满足以下要求：

- a) 在定义带宽范围内，滤波器应有小于±1 dB 的精度；
- b) 截止频率处衰减率-3 dB；
- c) 在定义带宽范围外，要求衰减梯度大于或等于 24 dB 每倍频。

参 考 文 献

- [1] TB 10630—2019 磁浮铁路技术标准（试行）
-