

短定子磁浮车辆车体强度设计及试验鉴定规范  
(征求意见稿)  
编制说明

标准起草组

2024年9月

## 一、任务来源、起草单位、协作单位、主要起草人

根据“中国交通运输协会关于 2023 年度第六批团体标准项目立项的公告”（中交协秘字〔2023〕74 号）要求，由中车长春轨道客车股份有限公司联合多家单位作为起草单位，负责本规程的编制工作。

主要起草人：王爱彬、梁世宽、王剑博、董楠、马卫华、谢素明、任忠华、邵晴、王锴、张敏、卢翀、熊哲辉、张福李、王同曜、高利华。

## 二、制订标准的必要性和意义

本标准的制订，其目的在于为我国短定子磁浮车辆车体强度的校核评估提供有力的依据，规范车体结构加载及评估要求，确保车体结构强度安全可靠。

由于短定子磁浮车辆结构与传统轨道交通车辆的结构完全不同，现阶段国内没有完全适用于短定子磁浮车辆车体设计的规范标准，因此，为确保短定子磁浮车辆车体安全可靠的设计并促进短定子磁浮交通的推广应用，制定配套的技术规范势在必行。制定《短定子磁浮车辆车体强度设计及试验规范》，对于规范车体结构所承受的载荷，实现车体结构在服役期间的使用强度及疲劳强度的评估，及确保车辆的结构设计及强度试验验证具有普遍指导意义。

## 三、主要工作过程

本标准通过收集既有工程应用经验，以及相关研究成果、试验检测结果及使用单位反馈信息，确定标准编制方向。经中国交通运输协会立项和大纲审批通过，根据评审会专家意见，形成征求意见稿，报中国交通运输协会评审。再根据评审会专家意见进行补充、修改，经中国交通运输协会同意，挂网征求意见。针对反馈意见，提出处理办法，进行补充、修改，形成送审稿。经中国交通运输协会同意，进行专家审查。根据专家审查会形成的专家意见进行修改，形成报批稿，上报审批。

## 四、制订标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

本标准制订的基本原则是以现有研究工作为基础，参照国家规范、标准，依据《铁路应用 机车车辆车体结构要求》（GB/T 33194-2016）的基本规定要求，针对短定子磁浮车辆车体强度设计及试验的特点进行定义、描述和规范。

本规程编制过程中，查阅了下列规范、标准和技术规程：

- 1 《金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法》（GB/T 228.1-2010）
- 2 《铁路应用 机车车辆车体结构要求》（GB/T 33194-2016）
- 3 《中低速磁浮交通设计规范》（CJJ/T262-2017）
- 4 《中低速磁浮交通车辆通用技术条件》（CJ/T375-2011）
- 5 《铁路应用 一铁路车辆车体的结构要求》（EN 12663-1:2010）

现行国家标准《铁路应用 机车车辆车体结构要求》（GB/T 33194-2016）只对传统轮轨车辆车体的结构强度做了规定，且行业标准《中低速磁浮交通车辆通用技术条件》（CJ/T375-2011）也只对磁浮车体有简单的规定，但两者都未对短定子磁浮车辆车体给出详细的验证要求及评估方式，未有统计的标准，在实际工程应用中车体的结构在不同项目中差异较大，致使车体结构会考虑不足或过度设计，上述内容是本项目着重解决的问题之一。

## 五、主要条款的说明，主要技术指标、参数、实验验证的论述

### 1 范围

本文件明确规定了适用范围为磁浮交通常导短定子车辆，且最高运行速度不大于200km/h，其他磁浮车辆可参照执行。

### 2 规范性引用文件

本文明确相关引用标准或技术条件。

### 3 术语和定义

在现有标准规范的基础上增加了以下术语。

#### 3.1 常导短定子磁浮车辆

采用常导电磁悬浮技术实现悬浮导向，通过直线感应电机实现牵引和电制动的轨道交通车辆。

### 4 基本原则

4.1 车体结构应设计成整体承载结构。

4.2 车体结构应能承受与其运行要求一致的最大载荷，不产生永久变形。

4.3 车体结构应具备一定的刚度，满足其安装设备正常工作与运行过程中旅客乘坐舒适度的需要。

4.4 在保证强度和刚度的前提下，车体结构应最大限度降低自重。

4.5 车体结构设计寿命不应低于30年。

## 5 设计载荷工况

### 5.1 一般要求

用于车体结构设计的载荷工况包括静载荷工况和疲劳载荷工况，设计载荷工况与本文件规定不同时，应按用户规定的技术条件执行。

### 5.2 车体车钩区域纵向静载荷

### 5.3 车体垂向静态载荷

#### 5.3.1 最大工作载荷

最大工作载荷为车辆的特殊有效负载，取值为 $1.3 \times g \times (m1+m4)$ 。

#### 5.3.2 架车和吊车工况载荷

架车和吊车的载荷为 $1.1 \times g \times m1$ 。

#### 5.3.4 车顶外表面承受静载荷工况载荷

### 5.4 设备连接装置的验证载荷工况

### 5.5 车体静态载荷组合工况

### 5.6 接口处的静态验证载荷工况

#### 5.5.1 车体悬浮架连接装置的验证载荷工况

车体与走行机构（悬浮架）之间的连接部位应能承受因5.3.1产生的载荷。包括车体质量为 $m1$ ，且垂向加速度为 $1g$ 工况下产生的载荷的组合：

#### 5.5.2 设备连接装置的验证载荷工况

为了计算车辆运行过程中作用在附属设备上的作用力，组件的质量应乘以X向、Y向和Z向的加速度，加速度值分别为 $\pm 3g$ 、 $\pm 1g$ 、 $\pm (1+c)g$ 。各个载荷工况应单独施加。

#### 5.5.3 迫导向机构验证载荷工况

车体与迫导向机构的连接部位应能承受迫导向机构工作所引起的最大载荷。宜考核车辆在正常载客运行条件下通过线路最小半径水平曲线时迫导向机构所产生的载荷。

#### 5.5.4 车端减振器验证载荷工况

车体与车端减振器的连接部位应能承受车辆在正常载客运行条件下车端减振器最大拉伸或最大压缩状态所产生的载荷。

### 5.7 车体一般疲劳载荷工况

#### 5.7.1 载荷输入

应识别出所有可能导致疲劳损坏的循环载荷源。

### 5.7.3 加载/卸载循环

应确定加/卸载循环数并以适合的方式表示。如果车辆有效载荷与自重之比较大，并且有效载荷经常变化时，加/卸载产生的疲劳损伤可能会比较明显。

### 5.7.4 轨道引起的加载

轨道垂向、横向和扭曲不平顺引起的载荷可由下列方式确定：

- a) 动态模拟（来自与轨道几何形状和不平顺相关的数据）；
- b) 设定或类似路线上测得的数据；
- c) 或用经验数据表示（加速度、位移等）。

### 5.7.5 空气动力学载荷

对于运行车速不低于160km/h的车辆，在以下情况下将出现明显的空气动力学载荷情况：

- a) 列车以高速行驶；
- b) 隧道内行驶；
- c) 暴露于较大的侧风中行驶。

应考虑以上载荷的相关性，必要时给出影响分析结果的适当表示方法，如果没有获取特殊数据，则进行106次循环。

### 5.7.6 牵引和制动载荷

### 5.7.7 乘客上下车载荷

## 5.8 接口处的疲劳载荷

### 5.8.1 一般要求

应确保所有相关的接口载荷以正确的方式组合，包括选择适当的循环数。

### 5.8.2 车体/悬浮架连接疲劳载荷

应采用7.6.4所述的方法并结合悬挂部件的性能特征确定牵引和制动以及车辆的动态相互作用引起的疲劳载荷。

### 5.8.3 滑台导轨安装座疲劳载荷

应根据车辆运行过程中所承受的载荷及变化情况，对滑台导轨安装座所承受的循环负载情况进行评估。

### 5.8.4 附属设备疲劳载荷

附属设备应能够承受因车辆动力学引起的加速度而产生的载荷以及因设备自身运动而产生的附加载荷情况。

### 5.8.5 车钩安装座疲劳载荷

应根据运营要求对车钩安装座所承受的循环负载情况进行评估。

### 5.9 疲劳载荷工况的组合

应明确疲劳载荷工况的相关组合，并确保在这些工况下设计要求得以实现。

### 5.10 振动模态

#### 5.10.1 车体

在整备状态条件下，车体的固有振动模态频率应与悬挂装置振动频率完全隔离或者隔绝，避免出现不良响应，并满足舒适度要求。

#### 5.10.2 设备

在装备和所有运用条件下，设备组件振动模态频率应与车体结构和悬挂装置的振动模态频率完全隔离或者隔绝，避免出现不良响应。

## 6 试验

### 6.1 一般要求

6.1.1 试验项目包括静载荷试验、疲劳载荷或运用载荷试验和振动模态试验三部分。

注：运用载荷是指正常运用条件下车体承受的各种载荷。

6.1.2 静载荷试验应测定车体结构在静载荷作用下的强度。

6.1.3 疲劳载荷或运用载荷试验应测定车体结构在疲劳载荷或运用载荷作用下的强度。

6.1.4 振动模态试验应测定车体的动态参数。

### 6.2 静载荷试验

#### 6.2.1 静载荷试验工况

6.2.1.1 静载荷试验工况至少应进行下列验证载荷试验，在验证载荷工况下车体或单独部件不应出现永久变形，宜通过测试应力不超过材料屈服极限予以判定：

在合适的情况下，允许通过合成单独试验工况的结果来验证这些载荷工况。任何附加试验要求应在用户规定的技术条件中规定。

6.2.1.2 对于其他静载荷工况，可通过分析或试验或两者组合进行验证。

#### 6.2.2 测量项目

测量项目应包括应力和纵向变形量。

#### 6.2.3 测点布置

#### 6.2.3.1 应力测点

应力测点应根据强度计算和结构分析的重要位置和所有危险部位进行布置。

#### 6.2.3.2 纵向变形测点

纵向变形测点宜布置在车体底架结构端部两侧。

#### 6.2.4 试验方法

##### 6.2.4.1 垂向最大工作载荷

##### 6.2.4.2 架车和吊车工况载荷试验

##### 6.2.4.3 支撑点移位吊车工况载荷试验

##### 6.2.4.4 车钩连接处纵向载荷试验

###### 6.2.4.4.1 车钩连接处压缩载荷与垂向载荷 $g \times m1$ 组合试验

###### 6.2.4.4.2 车钩连接处压缩载荷与垂向载荷 $g \times (m1+m4)$ 组合试验

###### 6.2.4.4.3 车钩连接处拉伸载荷与垂向载荷 $g \times m1$ 组合试验

###### 6.2.4.4.4 车钩连接处拉伸载荷与垂向载荷 $g \times (m1+m4)$ 组合试验

#### 6.2.5 试验步骤

在正式试验前应进行预试验，载荷分阶段增加，直到最大载荷。然后进行三次正式试验，取三次正式试验结果的算术平均值进行评价。

#### 8.3 疲劳载荷或运用载荷试验

如果疲劳强度计算表明车体疲劳强度满足本文件规定，可不进行疲劳载荷试验；如疲劳强度计算包含严重的不确定性或者计算表面疲劳强度不满足本文件的规定时，可用运用载荷试验直接测量工作应力来评价疲劳强度。

#### 6.4 振动模态试验

对整备状态下的车体利用模态分析方法进行模态识别，应识别出5Hz~40Hz频率范围的车体振型。

#### 7 评定标准

##### 7.1 静强度

在规定的静载荷工况下，应力不应大于材料的屈服强度 $ReH$ 或规定非比例延伸强度 $Rp0.2$ 。在仅通过计算方式验证时，对于每个单独的载荷工况 $S1$ 取值1.15。在设计载荷将通过试验进行验证和/或已成功建立试验和计算之间相互关系时， $S1$ 取值1.0。

##### 7.2 疲劳强度

###### 7.2.3 疲劳极限法

本方法适用于动应力循环的应力水平低于疲劳极限的所有区域。

#### 7.2.4 累积疲劳损伤法

本方法是疲劳极限法的备选方法，规定的每个疲劳载荷工况的典型载荷历程均应采用幅值和循环数表示。应重视作用载荷组合的一致性。选用适当的材料S—N曲线逐个评定每种组合引起的损伤，根据成熟的累积损伤理论（如Palmgren—Miner法则）确定总损伤。

### 六、重大意见分歧的处理依据及结果

本标准制订过程中尚未发生过重大意见分歧。

### 七、采用国际标准和国外先进标准的，说明采标程度，以及与国内外同类标准水平的对比情况

本标准未采用国际标准和国外先进标准。

### 八、作为推荐性标准建议及其理由

通常来说，在车辆结构设计中，车辆结构强度设计应依据车辆的结构原理、运行条件、线路状况等，不同类型的车体在运用过程中承受的载荷有较大区别。而现阶段，由于国内缺乏适用于短定子磁浮车辆车体强度设计及验证的规范，主要生搬硬套传统轮轨交通车辆设计与试验标准，但由于短定子磁浮车辆结构与传统轨道交通车辆的结构完全不同，因此，车体结构所承受载荷以及冲击振动完全不同，这样不仅会因选取不恰当的工况而导致可能的错误设计，而且也会因关键的工况缺少而可能导致车体结构设计安全性的缺失。此外，我国是短定子磁浮车辆商业运营数量第一的国家，但没有统一标准规范，这也导致不同车辆制造厂商在车体设计过程中使用不同的加载规范和评价方法，进而所设计的车辆车体的结构有所差异较大，规格不一致，严重影响了短定子磁浮车辆的运营使用乃至后期市场推广。因此，依据短定子磁浮车辆结构特点以及运行条件，推出短定子磁浮车辆车体强度设计及试验规范势在必行。

### 九、贯彻标准的措施建议

(1) 精心组织安排，开展宣贯培训。建议由行业主管部门统一安排，召开标准宣贯会，对涉及的车辆车体制造、车辆运营维护等单位开展标准实施培训和宣贯普及。明确短定子磁浮车辆车体的应用范围、应用材料性能要求、验证工况、试验要求等方面的具体要求，指导短定子磁浮车辆车体的设计，有效推动贯标工作的开展及落实。

(2) 组织相关人员到车体制造现场或运营现场参观学习，直观展示短定子磁浮车辆结构效果；

(3) 定期组织科研、生产、应用等各环节人员进行技术交流，不断对短定子磁浮车辆车体强度设计及验证的规范进行改进，保持技术领先、性能优化、设计合理。

## 十、其他应说明的事项

暂无。