

团体标准

T/ CAMETXXXXX—XXXX

中低速磁浮交通车辆电磁铁

Medium and low speed maglev vehicle electromagnet

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国城市轨道交通协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 系统组成	2
5 环境条件	3
6 要求	3
7 试验	4
8 检验规则	7
9 标识、包装、贮存及运输	7

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中国城市轨道交通协会提出。

本标准由中国城市轨道交通协会归口。

本标准负责起草单位：国防科技大学、北京控股磁悬浮技术发展有限公司、中车唐山机车车辆有限公司、中车株洲时代电气股份有限公司、株洲中车电力机车有限公司、中车株洲电机有限公司、湖南中科电气股份有限公司、同济大学、西南交通大学。

本标准主要起草人：陈贵荣、孙吉良、张益晨、潘光熙、袁淑清、龙志强、李杰、吴峻、王永刚、刘曰锋、肖健、辛本雨、许义景、田奎森、郁振鹏、罗华生、佟来生、张文跃、阮思维、张雷、方亮、吴顺海、刘毅、张正红、闵多、尹龙、严培良、林国斌、刘万民、魏德豪、马卫华、胡俊雄。

中低速磁浮交通车辆电磁铁

1 范围

本标准规定了中低速磁浮交通车辆电磁铁的环境条件、系统组成、技术要求、检验与试验方法、检验规则、标识、包装、贮存及运输。

本标准适用于中低速磁浮交通车辆电磁铁的设计、制造、试验和验收。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 2900.36 电工术语 电力牵引（IEC 60050-811:1991, MOD）

GB 4208 外壳防护等级(IP代码)（IEC60529:2004）

GB/T 13384 机电产品包装通用技术条件

GB/T 21413.1 铁路应用 机车车辆电气设备 第1部分：一般使用条件和通用规则（IEC 60077-1:1999, IDT）

GB/T 21413.2 铁路应用 机车车辆设备 第2部分：电工器件 通用规则（IEC 60077-2:1999, IDT）

GB/T 21563 铁道交通 机车车辆设备 冲击和振动试验（IEC61373:1999, IDT）

CJ/T 375 中低速磁浮交通车辆通用技术条件

CJ/T 411 中低速磁浮交通车辆电气系统技术条件

CJ/T 458 中低速磁浮交通悬浮控制系统技术条件

3 术语和定义

GB/T 2900.36、GB/T 21413.1、GB/T 21413.2、CJ/T 375、CJ/T 411和CJ/T 458规定的以及下列术语和定义适用于本标准。

3.1

电磁铁 electromagnet

在电流作用下，产生可控电磁力，实现电磁悬浮和导向功能。主要由电磁绕组、磁轭和极板构成，其中电磁绕组和磁轭又构成悬浮电磁铁的磁极。

3.2

磁极 magnet pole

建立悬浮磁场的基本单元，由磁轭和电磁绕组组成。

3.3

磁轭 magnet yoke

磁极的一部分，由具有良好导磁性的铁磁材料加工而成，兼具导磁和悬浮电磁铁装配双重功能。

3.4

电磁绕组(绕组) electromagnet winding

磁极的一部分，由电磁线绕制而成，用于产生车辆悬浮所需的磁场，简称绕组。

3.5

极板 polar plat

由具有良好导磁性能的钢板加工而成，兼具导磁、悬浮电磁铁装配和机械固定多重功能。分为内极板和外极板，内极板位于车辆内侧，用于导磁及电磁铁与车辆转向架托臂的连接固定；外极板位于车辆的外侧，仅用于导磁。

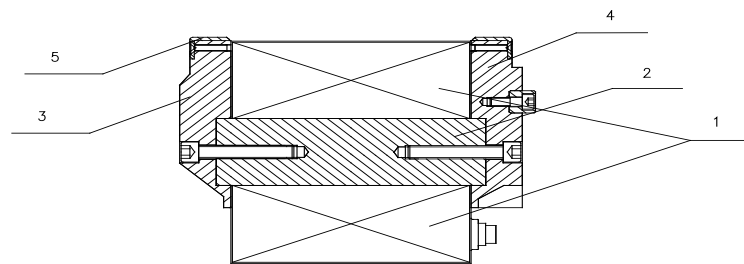
3.6

防吸附滑块 anti-adsorption slide block

安装在内、外极板极面上的摩擦块，由铜或其他隔磁合金制成。防止悬浮电磁铁与F型轨无间隙吸附。

4 系统组成

电磁铁的整体结构如图1所示。



说明：

- 1—电磁绕组；
- 2—磁轭；
- 3—内极板；
- 4—外极板；
- 5—防吸附滑块。

图1 电磁铁结构示意图

5 环境条件

- 5.1 海拔高度： ≤ 1400 m。
- 5.2 环境温度：在 $-25^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 之间。
- 5.3 电磁铁的工作温度范围应为 $-25^{\circ}\text{C}\sim 65^{\circ}\text{C}$ 。
- 5.4 最大相对湿度（当月月平均最低温度 25°C ）： $\leq 90\%$ 。
- 5.5 能承受风、砂、雨、雪、冰雹的侵袭。

6 要求

6.1 一般要求

- 6.1.1 电磁铁是用于中低速磁浮交通车辆的整体常导型电磁铁，同时具备悬浮和导向功能。
- 6.1.2 电磁铁的极板宽度应满足磁浮车辆在各种工况运行下的悬浮和导向要求。
- 6.1.3 每套电磁铁宜采用多个磁极组合而成。
- 6.1.4 每套电磁铁内、外极板应设足够的防吸附滑块，防吸附滑块的高度宜不大于 3mm。
- 6.1.5 每套电磁铁应设悬浮传感器的安装位置及接口。
- 6.1.6 每套电磁铁应设机械制动器的安装位置及接口。
- 6.1.7 电磁铁的冷却方式：自然风冷。
- 6.1.8

6.2 性能要求

- 6.2.1 悬浮能力：8mm 悬浮间隙条件下，额定承载能力应不小于 3.5t，最大 4t。
- 6.2.2 额定工作电压：DC330V。
- 6.2.3 持续工作电流：30A。
- 6.2.4 短时工作电流：120A，持续时间 5s。
- 6.2.5 电磁绕组材料：扁铝线或铝箔。
- 6.2.6 绝缘等级：H 或 C 级。
- 6.2.7 绕组直流电阻的测量值与设计值偏差应不大于 10%。
- 6.2.8 绕组电感的测量值与设计值偏差应不大于 10%。
- 6.2.9 绕组绝缘电阻应不小于 $50\text{M}\Omega$ 。
- 6.2.10 绕组工频耐压试验应无绝缘击穿和闪络的现象。
- 6.2.11 绕组匝间耐压试验波形应无异常。
- 6.2.12 持续工作电流条件下的绕组温升应不大于 170K。
- 6.2.13 连续短时工作电流冲击条件下的绕组温升应不大于 180K。
- 6.2.14 振动冲击应满足 GB/T 21563 中 2 类幅值的二分之一要求。
- 6.2.15 防护等级应符合 GB 4208-2008 IP \times 5 等级的要求。
- 6.2.16 电磁铁能在浸没在水中 1h，绝缘电阻不小于 $1\text{M}\Omega$ 。
- 6.2.17 重量应不超过 420kg。
- 6.2.18 悬浮额定载荷时，电磁铁变形挠度应小于 2mm。
- 6.2.19 结构件使用寿命不低于 20 年，线圈使用寿命不低于 5 年。。

7 检验与试验

7.1 试验项目

电磁铁的试验项目见表1。

表1 试验项目

序号	试验	型式	例行	条款
1	外观检查	√	√	7.2.1
2	标识检查	√	√	7.2.2
3	尺寸及公差检查	√	√	7.3.3
4	绕组直流电阻测量	√	√	7.2.4
5	电感值测量	√	√	7.2.5
6	绝缘电阻测量	√	√	7.2.6
7	工频耐压试验	√	√	7.2.7
8	匝间耐压试验	√	√	7.2.8
9	持续温升试验	√		7.2.9
10	连续短时温升试验	√		7.2.10
11	振动和冲击试验	√		7.2.11
12	防护等级试验	√		7.2.12
13	浸水试验	√		7.2.13
14	称重试验	√		7.2.14
15	悬浮能力试验	√		7.2.15
16	挠度试验	√		7.2.16

7.2 检验与试验方法

7.2.1 外观检查

方法：目测。

判定：

- a) 各部件的安装应与图纸要求一致。
- b) 各部件应无损伤、无锈蚀。
- c) 涂装状态应良好、漆膜无脱落和流挂。
- d) 线圈表面平整、光滑，完整，无外翻、裂纹。

- e) 线圈表面应无绝缘层翻翘的现象，线圈与极板间的绝缘垫应无松动，绝缘垫外周尺寸与线圈尺寸应符合设计要求。

7.2.2 标识检查

方法：目测。

判定：

- a) 铭牌位置和铭牌数据应准确；
- b) 线圈极性标识牌的位置及极性应准确。

7.2.3 尺寸及公差检查

方法：在检测平台上，用平尺、游标卡尺、塞尺、高度尺等工具进行测量。

判定：其外形尺寸、安装尺寸及关键尺寸及公差应满足设计要求。

7.2.4 绕组直流电阻测量

方法：当悬浮电磁铁处于冷态时，用直流电阻测量仪测量各线圈的冷态直流电阻值，记录测量时的环境温度和绕组表面温度，并将绕组表面温度作为绕组的实际温度，绕组表面的温度与环境温度差不应超过2K，并将测量电阻值修正到基准温度时的值。每项电阻值测量3次，取3次测量结果的算术平均数作为相应实际冷却下的冷态电阻值，但每一次测量值与平均值相差不大于2%。

判定：应符合6.2.4的要求。

7.2.5 电感值测量

方法：当悬浮电磁铁处于冷态时，在电感测试仪检测电磁铁线圈的电感。记录测量时的环境温度和绕组表面温度，并将绕组表面温度作为绕组的实际温度，绕组表面的温度与环境温度之差不应超过2K。每项电感值测量3次，取3次测量结果的算术平均数作为相应实际冷却下的冷态电感，但每一次测量值与平均值相差不大于2%。

判定：应符合6.2.5的要求。

7.2.6 绝缘电阻测量。

方法：当悬浮电磁铁处于冷态时，用500V兆欧表分别测量绕组两端对地的绝缘电阻。

判据：应符合6.2.6的要求。

7.2.7 工频耐电压试验

方法：当悬浮电磁铁处于冷态时，将绕组分别短接，在各绕组与极板间对外壳分别施加2500V、50Hz、正弦交流，历时1min。

判定：应符合6.2.7的要求。

7.2.8 匝间耐电压试验

方法：当悬浮电磁铁处于冷态时，分别在绕组两个接线端之间施加4500V，历时3s的峰值脉冲电压，观察绕组匝间波形。

判定：应符合6.2.8的要求。

7.2.9 持续温升试验

方法：当悬浮电磁铁处于冷态时，给电磁铁四个绕组中通以30A的直流电，冷却风量为5m/秒，每隔30min测量一次电磁铁绕组的电阻值、绕组表面温度、冷却空气温度及周围空气的温度。连续运行，直至绕组每1小时内温度变化不超过2K，电磁铁绕组温度已稳定。断电前一刻，测量电磁铁绕组的最大热态电阻值、绕组表面温度、冷却空气温度及周围空气的温度，计算温升。

绕组平均温升 $\Delta\theta$ (K) 按公式 (1) 计算：

$$\Delta\theta = R_2 / R_1 (K_1 + t_1) - (K_1 + t_a) \dots\dots\dots(1)$$

式中：

R_2 —试验结束时绕组的电阻值，单位为欧姆 (Ω)；

R_1 —冷态绕组电阻值，单位为欧姆 (Ω)；

K_1 —常数，铜为235，铝为225；

t_1 —试验结束时绕组表面温度，单位 ($^{\circ}\text{C}$)；

t_a —试验结束时冷却空气温度，单位 ($^{\circ}\text{C}$)。

试验时，若冷却空气温度在10 $^{\circ}\text{C}$ 至40 $^{\circ}\text{C}$ 之间，则对所测温升值不修正，如果冷却空气温度在此范围之外，则推荐公式 (2) 对温升进行修正：

$$\text{修正温升} = \Delta\theta [1 - (t - 25) / (K_1 + \Delta\theta + t_a)] \dots\dots\dots(2)$$

判定：应符合6.2.9的要求。

7.2.10 连续短时温升试验

方法：当悬浮电磁铁处于冷态时，电磁铁的四个线圈同时施加120A直流电流，分别连续施加5次，每次时间间隔为2min，断电前一刻，并立即测量电磁铁绕组的最大热态电阻值及周围空气的温度，按公式 (1) 和公式 (2) 计算温升。

判定：应符合6.2.10的要求。

7.2.11 振动和冲击试验

悬浮电磁铁参照标准GB/T 21563-2008的2类幅值的二分之一要求进行振动和冲击试验。

7.2.12 防护等级试验

悬浮电磁铁参照标准GB/T 4028-2008的IP \times 5外壳防护等级要求进行试验。

7.2.13 浸水试验

方法：将悬浮电磁铁浸没在水中1h（对于接线端子裸露的结构，水面不得高于接线端子），测量每个（组）线圈的绝缘电阻值。

判定：应符合6.2.13的要求。

7.2.14 称重试验

方法：电磁铁（语句不通）全部完成后，通过检验计量合格的衡器上测量。

判定：应符合6.2.14的要求。

7.2.15 悬浮能力试验

方法:

a) 将电磁铁固定在电磁铁试验台, 悬浮载荷从电磁铁自重按200kg载荷逐渐加至最大载荷4t, 进行起浮试验和悬浮试验, 起浮间隙为16mm, 悬浮间隙为8mm。

b) 观察电磁铁的起浮电流和悬浮电流, 绘制电磁铁的悬浮电流-悬浮载荷的工作特性曲线。

判定:

a) 应符合6.2.1、6.2.3、6.2.4的要求。

b) 悬浮状态时的工作点应位于悬浮电流-悬浮载荷工作特性曲线的非饱和区内。

7.2.16 挠度试验

方法: 将电磁铁固定在电磁铁试验台, 载荷加至定员载荷3.5t, 进行起浮试验和悬浮试验, 起浮间隙为16mm, 悬浮间隙为8mm, 测量电磁铁悬浮时的变形挠度。

判定: 应符合6.2.16的要求。

8 检验规则

8.1 试验分类

应通过试验, 证明设备符合本标准和相关产品标准的要求。试验分为:

型式试验: 用于考核指定产品的设计符合本标准及相关产品标准。

例行试验: 用于检测材料和工艺故障、确定设备功能正常。

8.2 型式试验

8.2.1 试验样品在例行试验的合格品中抽取, 数量为1至2台。

8.2.2 型式试验的全部项目应在同一次抽样的样品上进行。检验项目全部合格时, 该产品为合格, 若产品不合格的项目超过一项时, 该产品为不合格产品。若只有一项不合格时, 允许进行一次性修改, 然后重新试验原不合格的项目及相关项目, 若仍有不合格项目, 则该产品不合格。

8.2.3 凡具有下列情况之一者, 应进行型式试验:

新产品设计试制定型时;

产品结构、材料或工艺改变可能影响产品性能时;

经常生产的定型产品每5年应进行一次型式试验;

停产超过3年再恢复生产时;

转厂生产的产品试制完成时;

国家质量监督部门提出型式试验的要求时。

8.3 例行试验

8.3.1 对每台出厂的产品, 制造厂都应进行例行试验。

8.3.2 例行试验过程中, 若有任意一项不合格, 则该产品不合格。

8.3.3 经用户和制造厂双方协商, 用户可在交货的产品中进行抽样检查试验, 以验证例行试验结果。

9 标识、包装、贮存及运输

9.1 标识

9.1.1 铭牌及其信息标识

铭牌上应刻印产品的名称、型号、生产序号、主要技术参数、生产厂名（或商标）和制造年月。

9.1.2 生产序号

产品的生产序号应包含年月及当月的生产顺序号，以示区别每台产品在时空上的唯一性标识，便于质量问题追溯。

9.1.3 安全警示

产品安全标志，应有安全操作警示要求和“有电危险”的警示标识。

9.1.4 铭牌

铭牌材料及其数据刻印方法，应保证在整个使用期内不易磨灭和脱落。

9.2 包装

9.2.1 包装设计、制造

电磁铁应有专用的包装箱，符合GB/T 13384要求。

9.2.2 包装可靠性

包装箱应坚固可靠，电磁铁与包装箱之间应固定，防止滑动、损坏产品。

9.2.3 包装防护性

电磁铁应具有防水密封包装。防碰撞和防跌落保护装置。

9.2.4 包装文件

包装箱内应附有合同规定的交货文件（产品使用说明书等）、产品合格证及装箱清单。

9.2.5 备品备件

批量交货产品，宜增加“产品使用说明书”或“产品使用维护手册”、备品备件。

9.2.6 包装箱外的防护标识

包装箱外表应印有“防雨水”、“防碰撞”和“防跌落”以及“向上”的图形标识。

9.2.7 包装箱体上的发货、送达信息

包装箱外部应标识发往用户的地址、收货单位名称、产品名称、数量、重量、包装箱尺寸、发货单位名称、地址等。对于需要而能够重复使用的包装箱，标示“周转使用箱”。

9.3 贮存

9.3.1 贮存环境

产品室内贮存环境温度不应超过-40℃，避免潮湿、雨雪、尘埃、日晒、无酸碱及腐蚀性气体的场所。

9.3.2 贮存超期检查

产品贮存超过12个月后使用，应按7.2.6的规定检查绝缘电阻。

9.4 运输

产品应由制造商妥善防护并负责运送至合同指定的交货地点。
