

团 体 标 准

T/CAMET XXXXX—XXXX

中低速磁浮交通车辆 悬浮电源

Medium and low speed maglev transit vehicle—Levitation power supply

（征求意见稿）

（本稿完成时间：2025 年 8 月）

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

中国城市轨道交通协会 发 布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 使用条件 1

 4.1 环境条件 2

 4.2 电气条件 2

 4.3 特殊使用条件 2

5 技术要求 2

 5.1 一般要求 2

 5.2 功能要求 2

 5.3 性能要求 3

 5.4 安全要求 4

6 试验方法 4

 6.1 目视检查 4

 6.2 验证尺寸和公差 4

 6.3 称重 4

 6.4 标志检查 4

 6.5 冷却系统性能试验 4

 6.6 防护等级试验 4

 6.7 绝缘电阻测量 4

 6.8 介电强度试验 4

 6.9 机械、电气保护和测量设备的试验 5

 6.10 轻载试验 5

 6.11 换流试验 5

 6.12 噪声测量 5

 6.13 温升试验 5

 6.14 功率损耗测定 5

 6.15 供电过电压和瞬态能量试验 5

 6.16 短路试验 5

 6.17 负载中断试验 5

 6.18 负载突变试验 5

 6.19 安全性要求检查 5

 6.20 冲击和振动试验 5

 6.21 电磁兼容试验 5

 6.22 输入电压跳变试验 5

 6.23 供电短时中断试验 5

 6.24 输出特性试验 6

6.25 启动和重启动试验 6

6.26 交变湿热试验 6

7 检验规则 6

7.1 检验分类 6

7.2 出厂检验 6

7.3 型式检验 6

7.4 检验项目 6

8 标志、包装、运输和贮存 7

8.1 标志 7

8.2 包装 8

8.3 运输和贮存 8

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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会牵引电气设备与系统分技术委员会提出。

本文件由中国城市轨道交通协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：中车株洲电力机车研究所有限公司、中车株洲电力机车有限公司、中车唐山机车车辆有限公司、中车大连机车车辆有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、湖南磁浮交通发展股份有限公司、北京磁浮交通发展有限公司、中铁检验认证株洲牵引电气设备检验站有限公司。

本文件主要起草人：周帅、张庆、易滔、袁洪凯、李华、何昊、曹芬、张文会、赵江农、李慧、赵峰、李铁、迟延迅、刘帅、刘奥、杨勇、肖双江、张益晨、骆力、王长亮。

中低速磁浮交通车辆 悬浮电源

1 范围

本文件规定了中低速磁浮交通车辆悬浮电源的使用条件、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。

本文件适用于中低速磁浮交通车辆悬浮电源的设计、制造和检验。

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 1402—2010 轨道交通 牵引供电系统电压
- GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db：交变湿热（12h+12h循环）
- GB/T 2900.33 电工术语 电力电子技术
- GB/T 2900.36 电工术语 电力牵引
- GB/T 4208—2017 外壳防护等级（IP代码）
- GB/T 21413.1—2018 轨道交通 机车车辆电气设备 第1部分：一般使用条件和通用规则
- GB/T 21414 轨道交通 机车车辆 电气隐患防护的规定
- GB/T 21563—2018 轨道交通 机车车辆设备 冲击和振动试验
- GB/T 24338.4 轨道交通 电磁兼容 第3-2部分：机车车辆 设备
- GB/T 25122.1—2018 轨道交通 机车车辆用电力变流器 第1部分：特性和试验方法
- GB/T 32350.1—2015 轨道交通 绝缘配合 第1部分：基本要求 电工电子设备的电气间隙和爬电距离
- GB/T 34571 轨道交通 机车车辆布线规则
- TB/T 1508 机车电气屏柜
- T/CAMET 08012 中低速磁浮交通车辆悬浮供电系统技术规范
- EN 15085（所有部分） 铁路应用 轨道车辆及其零部件的焊接（Railway applications—Welding of railway vehicles and components）
- EN 45545-2 铁路应用 轨道车辆防火 第2部分：材料和元件的防火要求（Railway applications—Fire protection on railway vehicles—Part 2: Requirements for fire behaviour of materials and components）

3 术语和定义

GB/T 2900.33、GB/T 2900.36、GB/T 25122.1—2018和T/CAMET 08012界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

悬浮电源 levitation power supply

向车辆悬浮系统提供电能并给悬浮蓄电池充电的变流装置。

3.2

悬浮蓄电池 levitation battery

向车辆悬浮系统提供补偿能量，稳定悬浮供电系统母线电压，当悬浮电源失效时作为后备电源使用的储能装置。

4 使用条件

4.1 环境条件

悬浮电源在以下环境条件下应能正常工作：

- a) 海拔不超过 1 400 m；
- b) 工作环境温度为一25℃～45℃；
- c) 最湿月月平均最大相对湿度不大于 95%（该月月平均最低温度为 25℃）；
- d) 应能承受列车运行时的冲击和振动而无损坏或故障；
- e) 主要存在两种安装条件：
 - 1) 安装于车底架或车顶，应能承受车辆运行时的风、雨、雪、沙尘天气和偶尔发生的盐雾、酸雨等现象，以及车辆清洗剂的作用；
 - 2) 安装于能防止风、沙、雨、雪直接侵袭的车体内；
- f) 密闭空间的污染等级应符合 GB/T 32350—2015 中 PD2 的规定；风道内的污染等级应符合 GB/T 32350—2015 中 PD4 的规定。

4.2 电气条件

4.2.1 供电网直接供电

标称输入电压（ U_0 ）为DC 1 500 V，输入电压特性和电压变化范围应符合GB/T 1402—2010的规定。再生制动工况时，最高输入电压为1 980 V。

4.2.2 控制电源

控制电源额定电压宜为DC 110 V，允许波动范围为77 V～137.5 V。

4.3 特殊使用条件

当使用条件超出4.1和4.2的规定时，由供需双方协商确定。

5 技术要求

5.1 一般要求

- 5.1.1 悬浮电源的外形和安装尺寸、重量、标识、铭牌等应符合图样和技术文件的规定。柜体的表面油漆应均匀、完整，电镀件应平整有光泽。接线端子及线号标识应完整、清晰、准确。紧固件应防锈、防腐蚀，应无短缺、松动、生锈，所有 M6 及以上规格的紧固件紧固后应打防松标记。
- 5.1.2 柜体宜设置 2 个保护性接地连接点并标有接地标识。
- 5.1.3 悬浮电源安装在车底时，柜门应有二次防脱功能。
- 5.1.4 柜体的焊接应符合 EN 15085（所有部分）的规定。
- 5.1.5 电气设备布置应符合 TB/T 1508 的规定，布线应符合 GB/T 34571 的规定。
- 5.1.6 防火性能应符合 EN 45545-2 的规定。
- 5.1.7 应设有车辆级网络通信接口，通过此通信接口可对悬浮电源进行监控或控制。给锂电池充电时，宜采用以太网、CAN 或 RS485 接口与锂电池管理系统进行通信与控制。

5.2 功能要求

5.2.1 保护功能

应具有故障保护功能，包括但不限于短路、过流、过压、欠压、功率元件故障、过热等。

5.2.2 故障隔离功能

应具有故障隔离功能，单台悬浮电源故障不应影响其他车辆悬浮电源及设备的正常运行。

5.2.3 故障记录功能

故障记录的数据类型、周期、存储时间等应满足故障诊断和运营需要，并应设有维护接口，通过该接口可实现悬浮电源故障数据的读取、转储以及应用程序的装载等，并可通过软件对下载的故障数据进行分析。

5.3 性能要求

5.3.1 效率

悬浮电源在额定工况下的效率不应低于90%。

注：控制、辅助电路采用外部供电时，不计入功耗。

5.3.2 温升

主电路各部件温升应符合GB/T 21413.1—2018中9.2.2.2的规定，控制电路温升应符合GB/T 21413.1—2018中9.2.2.3的规定。温度不应超过GB/T 21413.1—2018中表2、表3和表4的规定。

5.3.3 绝缘性能

5.3.3.1 绝缘电阻

应符合GB/T 25122.1—2018中4.5.3.8的规定。

5.3.3.2 介电强度

应符合GB/T 32350.1—2015中附录A、附录B的规定。

5.3.4 电磁兼容性能

应符合GB/T 24338.4的规定。

5.3.5 噪声

悬浮电源的噪声应满足A计权的表面声压级不大于72dB(A)（距悬浮电源基准发射面1m处）或由供需双方协商确定。

5.3.6 输入电压跳变

标称输入电压下，发生电压幅值 $\pm 20\%$ 、持续时间不大于20 ms的电压跳变时，悬浮电源应能正常工作。悬浮电源输出超调量不应大于15%，调节时间不应大于0.2 s。

5.3.7 供电短时中断

当输入电压发生短时中断时，悬浮电源应无损伤。输入电压恢复时，应能自动恢复工作。

5.3.8 冷却

宜采用强迫风冷方式。

5.3.9 输出性能

输出性能要求如下：

- a) 输出电压（ U_o ）应满足悬浮负载的具体要求，包括悬浮控制器供电电压、悬浮蓄电池充电电压等，宜为DC 330 V；
- b) 输出电压精度不应超过 $\pm 3\%$ ；
- c) 输出电压纹波因数不应超过5%，计算方法应符合GB/T 21413.1—2018中9.2.1.8的规定；
- d) 连接蓄电池时，应具有限流、恒压等充电方式，具体数值由供需双方根据车辆悬浮蓄电池特性确定；
- e) 应具有总输出限流功能，任何工况下悬浮电源的输出功率不应超过其额定功率；
- f) 负载在 $(10\% \sim 20\%) I_o$ 至 $(80\% \sim 100\%) I_o$ 间跳变时，悬浮电源应正常工作，悬浮电源输出超调量不应大于15%，调节时间不应大于0.2 s；
注： I_o 为满功率负载输出电流值。
- g) 输出负载中断时，悬浮电源应无任何损伤。

5.3.10 密封性能

防护等级应满足GB/T 4208—2017中IP54或以上的要求（密封腔），防护等级不应低于IP20的要求（非密封腔）。

5.3.11 交变湿热性能

应符合GB/T 2423.4的规定。

5.3.12 过载性能

过载能力由供需双方协商确定。

5.4 安全要求

电气安全应符合GB/T 21414的规定。

应设置高压、有电、安全放电时间或类似的安全警示标识。

主电路断电后，主电路中电容器两端电压均应在规定的时间内放电至DC 60 V以下，其放电时间应与所采用的放电方式相适应，如采用电阻放电，宜采用多电阻并联方式。

6 试验方法

6.1 目视检查

目视检查以下内容：

- a) 柜体表面油漆是否均匀、完整，电镀件是否平整有光泽；
- b) 接线端子及线号是否完整、清晰、准确；
- c) 紧固件是否短缺、松动、生锈；
- d) 所有 M6 及以上规格的紧固件紧固后是否有防松标记。

6.2 验证尺寸和公差

用量具测量悬浮电源的外形尺寸和安装尺寸。

6.3 称重

用直接称重法测量悬浮电源的重量。

6.4 标志检查

目视检查铭牌、标识是否齐全、清晰、醒目，安装位置及内容是否符合图样要求。

6.5 冷却系统性能试验

按照GB/T 25122.1—2018中4.5.3.5的规定进行。

目视检查冷却风机风向。

6.6 防护等级试验

按照GB/T 4208—2017中13.4的规定进行。

6.7 绝缘电阻测量

在介电强度试验前后，按照GB/T 25122.1—2018中4.5.3.8的规定检查悬浮电源主电路、控制电路及地之间的绝缘电阻。

6.8 介电强度试验

对主电路、控制电路及地之间施加5.3.3.2规定的试验电压，型式检验持续时间1 min，出厂检验持续时间宜为10 s，检查是否有击穿或闪络现象。

当有必要重复试验时，将试验电压降至初始试验电压的80%。

6.9 机械、电气保护和测量设备的试验

按照GB/T 25122.1—2018中4.5.3.9的规定进行。

检查5.2.1规定的保护功能是否正常，部分保护功能试验可用模拟的方法进行。

6.10 轻载试验

检查悬浮电源在标称输入电压、10%~30%额定负载时能否正常运行，输出电压、精度、纹波因数是否满足5.3.9的要求。

6.11 换流试验

按照GB/T 25122.1—2018中4.5.3.11的规定进行。

输入电压为DC 1 800 V，输出负载保持最大过载值10 s，然后降低至额定负载，检查悬浮电源能否正常工作且无部件损伤。

6.12 噪声测量

在额定工况下，按照GB/T 25122.1—2018中4.5.3.12的规定进行。

6.13 温升试验

在额定工况下，按照GB/T 25122.1—2018中7.5.7的规定进行。

记录关键发热部件的温升，如功率模块、变压器等。

6.14 功率损耗测定

按照GB/T 25122.1—2018中4.5.3.14的规定进行。

6.15 供电过电压和瞬态能量试验

按照GB/T 25122.1—2018中4.5.3.15的规定进行。

6.16 短路试验

将悬浮电源输出端口短路，检查悬浮电源的保护功能是否启动，短路消除后悬浮电源是否正常工作。

6.17 负载中断试验

在额定工况下，突然中断负载，检查悬浮电源是否损伤。

6.18 负载突变试验

悬浮电源标称输入电压、(10%~20%) I_o 下稳定工作时，负载在(10%~20%) I_o 至(80%~100%) I_o 跳变，检查悬浮电源是否正常工作，输出特性是否满足5.3.9 f)的要求。

6.19 安全性要求检查

在输入最高持续电压工作时，断开输入电压，记录悬浮电源电容器端电压降低至DC 60 V的放电时间。

6.20 冲击和振动试验

按照GB/T 21563—2018中1类A级的规定进行试验。试验后按6.1进行试验，并在额定工况下验证悬浮电源是否正常启动。

6.21 电磁兼容试验

按照GB/T 24338.4的规定进行。

6.22 输入电压跳变试验

悬浮电源稳定工作在标称输入电压、50%额定负载工况下，使输入电压在20 ms内发生20% U_i 的突升或-20% U_i 的突降，检查悬浮电源是否正常工作、有无保护动作，输出电压调节是否满足5.3.6的要求。

6.23 供电短时中断试验

悬浮电源稳定工作在额定工况下，中断输入电压10 ms~10 s，检查悬浮电源是否自保护且无任何损伤，中断恢复后能否自动恢复正常工作。

6.24 输出特性试验

6.24.1 输出电压特性试验

悬浮电源工作在额定负载下，调节输入电压分别为最低持续电压、标称电压和最高持续电压，检查输出电压、精度、纹波因数是否满足5.3.9的要求。

注：示波带宽设置为20 MHz，耦合方式设置为AC，示波器测试探头尽可能短或绞线接入受试设备输出端，示波器用电应经隔离变压器与市电隔离且示波器机壳不接地。

6.24.2 输出限流试验

在标称输入电压下，逐渐增大负载电流，当输出总电流达到输出限流值后，继续增大负载，检查输出总电流值是否符合5.3.9的规定。

6.24.3 充电限流试验

悬浮电源接入蓄电池，在标称输入电压下，逐渐增大充电电流，当充电电流达到充电限流值后，继续增大负载，检查充电电流值是否符合5.3.9的规定。

6.25 启动和重新启动试验

在悬浮电源为最小、最大输入电压（包括主电路供电电源和控制电源）时，使悬浮电源分别在 I_L 及(10%~20%) I_L 两种情况下启动，检查悬浮电源能否正常启动。

6.26 交变湿热试验

按照GB/T 2423.4的规定进行。

严酷程度为：

- a) 高温：55℃；
- b) 湿度：95%；
- c) 循环次数：2周期。

恢复后，重复6.1、6.7和6.8的试验并在额定工况下检查悬浮电源有无故障或损坏。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

7.2.1 对每台出厂的产品，均应进行出厂检验。

7.2.2 在出厂检验过程中，若任意一项不合格，均应判该产品不合格。

7.3 型式检验

7.3.1 型式检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，该产品合格；若发现任意一项不合格，则该产品不合格。

7.3.2 在下列情况下应进行型式检验：

- a) 新产品试制完成时；
- b) 产品的结构、工艺或材料的变更影响到某些特性或参数时，应部分或全部检验；
- c) 连续生产的定型产品每5年时；
- d) 转场生产或同类产品停产2年及以上重新生产时。

7.4 检验项目

悬浮电源的检验项目应符合表1的规定。

表1 检验项目

序号	检验项目		型式检验	出厂检验	技术要求对应的条款	试验方法对应的条款
1	目视检查		√	√	5.1.1~5.1.3	6.1
2	验证尺寸和公差		√	√	5.1.1	6.2
3	称重		√	—	5.1.1	6.3
4	标志检查		√	√	5.1.1、5.1.2、8.1	6.4
5	冷却系统性能试验		√	—	5.3.8	6.5
6	防护等级试验		√	√ ^a	5.3.10	6.6
7	绝缘电阻测量		√	√	5.3.3.1	6.7
8	介电强度试验		√	√	5.3.3.2	6.8
9	机械、电气保护和测量设备的试验		√	√	5.2	6.9
10	轻载试验		√	√	5.3.9	6.10
11	换流试验		√	—	5.3.9	6.11
12	噪声测量		√	—	5.3.5	6.12
13	温升试验		√	—	5.3.2	6.13
14	功率损耗测定		√	—	5.3.1	6.14
15	供电过电压和瞬态能量试验		√	—	4.2.1	6.15
16	短路试验		√	—	5.2.1	6.16
17	负载中断试验		√	—	5.3.9 g)	6.17
18	负载突变试验		√	—	5.3.9 f)	6.18
19	安全性要求检查		√	—	5.4	6.19
20	冲击和振动试验		√	—	4.1 d)	6.20
21	电磁兼容试验		√	—	5.3.4	6.21
22	输入电压跳变试验		√	—	5.3.6	6.22
23	供电短时中断试验		√	—	5.3.7	6.23
24	输出特性试验	输出电压特性试验	√	√	5.3.9 a) b) c)	6.24.1
		输出限流试验	√	√	5.3.9 e)	6.24.2
		充电限流试验	√	√	5.3.9 d)	6.24.3
25	启动和重新启动试验		√	√	5.3.9 a) b) c)	6.25
26	交变湿热试验		√	—	4.1 b) c)、5.3.11	6.26
注1：“√”表示必做的检验项目，“—”表示不做的检验项目。						
注2：在进行未明确规定试验环境温度的检验时，环境温度规定为25℃±10℃。						
^a 在特殊条件下可选做的检验项目；需要检验时，供需双方可协商确定。						

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

每台悬浮电源均应在易见部位牢固安装有耐久、不易腐蚀、标注清晰的铭牌和其他标志，在产品寿命周期内应能清楚辨识。铭牌应至少标明以下内容：

- a) 产品名称;
- b) 型号;
- c) 出厂编号;
- d) 制造年月;
- e) 质量;
- f) 制造商。

8.2 包装

8.2.1 产品包装应牢固, 保证在正常运输中不损坏。

8.2.2 包装箱内至少应附有以下文件:

- a) 装箱单: 注明产品装箱日期;
- b) 产品检验合格证、出厂检验报告;
- c) 产品使用维护说明书。

8.2.3 包装箱外至少应注明以下内容:

- a) 供应商名称;
- b) 产品名称、型号、数量及制造日期;
- c) 注明“小心轻放”、“请勿倒置”、“勿受潮湿”、“倾斜度限值”等标志。

8.3 运输和贮存

8.3.1 产品在运输过程中, 不应倒放, 不应有剧烈振动、撞击, 运输过程中不应对产品造成任何损伤。

8.3.2 应贮存在空气流通, 无腐蚀性气体、无曝晒、无淋雨的室内环境, 贮存环境温度应为-40℃~70℃, 储存时间2年以上应重新进行出厂检验。
