|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 59.100.01 |
| CCS | |  | | --- | | D:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T.pngD:\000000部门项目\09标准化插件开发\程序源代码\StandardEditor_ShanDongKeXieYuan\团标首页面字母T后面的反斜杠.png SDAS |   Q23 |

团体标准

T/SDAS XXXX—XXXX

高速磁浮牵引供电系统试验规范

Test specification for high-speed maglev traction propulsion and power

supply system

（征求意见稿）

（本稿完成时间：2024.6.10）

XXXX - XX - XX发布

XXXX - XX - XX实施

山东标准化协会  发布

目次

[前言 II](#_Toc151662229)

[1 范围 1](#_Toc17778)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc605)

[3 术语和定义 1](#_Toc397)

[4 基本要求 2](#_Toc22643)

[4.1 总则 2](#_Toc5727)

[4.2 试验准备 2](#_Toc2217)

[5 试验分类 3](#_Toc26700)

[5.1 分类 3](#_Toc13771)

[5.2 例行试验 3](#_Toc6219)

[5.3 型式试验 3](#_Toc8003)

[5.4 研究性试验 3](#_Toc4256)

[6 试验环境及载荷状态 3](#_Toc13481)

[6.1 试验环境 3](#_Toc32613)

[6.2 载荷状态 3](#_Toc23839)

[7 试验项目 4](#_Toc8916)

[7.1 起动加速试验 4](#_Toc10999)

[7.2 牵引特性试验 4](#_Toc25849)

[7.3 电制动试验 5](#_Toc25892)

[7.4 定子段换步试验 6](#_Toc10689)

[7.5 分区交接试验 6](#_Toc23931)

[7.6 电机控制单元主从冗余试验 7](#_Toc2761)

[7.7 牵引系统温升试验 7](#_Toc477)

[7.8 网侧谐波试验 7](#_Toc22103)

[7.9 牵引运控联合运行试验 8](#_Toc18359)

[7.10 运行能量消耗试验 8](#_Toc4960)

[7.11 牵引系统极限能力试验 9](#_Toc19581)

[8 试验记录与试验报告 9](#_Toc6799)

[8.1 试验记录 9](#_Toc6925)

[8.2 试验报告 9](#_Toc5283)

[附录A（规范性）高速磁浮牵引供电系统试验项目 10](#_Toc6799)

附录B（规范性）[高速磁浮牵引供电系统试验评价指标 11](#_Toc6799)

[参考文献 12](#_Toc6799)

1. 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。

本文件由中车青岛四方机车车辆股份有限公司提出。

本文件由山东标准化协会归口。

本文件起草单位：中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车株洲电力机车研究所

本文件主要起草人：张志强、类延霄、高信迈、张婵娟、孙健博、马继辉

高速磁浮牵引供电系统试验规范

* 1. 范围

本文件规定高速磁浮牵引供电系统（以下简称牵引系统）试验规范，包含安装验收后使用前的基本要求、试验分类、试验项目、试验记录与试验报告。

本文件适用于面向常导长定子高速磁浮列车的牵引系统安装验收后使用前的试验及其结果评价。

* 1. 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 14549—1993 电能质量 公用电网谐波

* 1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。



牵引分区 propulsion segment

线路上划分的只能有一列列车运行的牵引区段。

[来源：CJJ/T 310—2021,2.1.24]



变流器单元 converter unit

牵引模块中的功率变换装置，将工频电源变换成可变频率、相位和电压幅值的牵引电能，由输入开关、输入变压器、变流器功率单元、相应的冷却装置、输出变压器、输出开关和变流器控制系统组成。

[来源：CJJ/T 310—2021,2.1.26]



电机控制单元 motor control unit

用于实现闭环或开环控制和管理功能的设备。包含资源和运行模式管理、车辆导引控制、推力控制、主从协调和通信等功能。

[来源：CJJ/T 310—2021,2.1.28]



变流器控制单元 converter control unit

根据电机控制系统设定的指令控制相应的变流器，执行变流器的开环与闭环控制，使变流器单元输出合适的牵引电能。

[来源：CJJ/T 310—2021,2.1.29]



定子开关站 stator switch station

用于切换轨旁馈线电缆组与对应定子段的连接，实现对磁浮列车定子段分段供电的轨旁设备。

[来源：CJJ/T 310—2021,2.1.30]



定子段 stator section

直线电机长定子绕组的馈电点和星形点之间的部分。

[来源：CJJ/T 310—2021,2.1.31]



运行控制系统 operation control system

OCS

用于列车运行计划编制、实现列车行车管理与列车运行监控的系统，由中央控制、分区控制、车载运行控制和通信等子系统组成。

[来源：CJJ/T 310—2021,2.1.42]



分区控制计算机 decentralized control computer

DCC

分区控制子系统的组成部分。负责分区内列车运行的控制，是非安全相关设备。

[来源：CJJ/T 310—2021,2.1.47]



分区无线电控制单元 decentralized radio control unit

DRCU

位于分区，用于实现分区控制系统与无线电传输系统连接的接口部件。

[来源：CJJ/T 310—2021,2.1.59]



车载无线电控制单元 mobile radio control unit

MRCU

安装与列车上的，实现车载运行控制系统与无线电传输系统连接的接口部件。

[来源：CJJ/T 310—2021,2.1.60]

* 1. 基本要求
     1. 总则
        1. 牵引系统试验前，应提交相关零部件及子系统的型式试验。
        2. 试验前，车辆、运控通信、线路系统应完成各项静态及功能调试工作，进行必要的测试，具备牵引试验条件，保证试验安全。
     2. 试验准备

牵引系统试验前需进行各项试验准备，并确认以下内容：

a) 试验项目；

b) 试验方法；

c) 试验评定标准；

d) 试验设备及仪器满足实验室认可和计量认证要求；

e) 被试牵引系统状态；

f) 系统联合调试的车辆、运控通信、线路系统状态；

g) 环境状态。

* 1. 试验分类
     1. 分类

试验分为例行试验、型式试验和研究性试验，试验项目应符合附录A的规定。

* + 1. 例行试验
       1. 例行试验应在所在有牵引供电分区内进行。
       2. 例行试验应在指定载荷状态下进行。
       3. 试运行是牵引系统最终交付前的静态和线路运行的例行试验，目的是整定系统相关参数，检查各系统功能是否正常。
    2. 型式试验
       1. 型式试验是对牵引系统的基本参数、结构、性能是否符合设计要求进行的试验。
       2. 当存在以下情况时，应对牵引系统进行型式试验：

——新设计的牵引系统；

——新建线路的牵引系统

* + 1. 系统结构存在重大变更。研究性试验

研究性试验是可选的特殊试验，其试验结果可作为后续牵引供电系统改进、优化、运用的参考，不作为检验验收的依据。

* 1. 试验环境及载荷状态
     1. 试验环境
        1. 试验应在通常环境条件下进行，除非技术条件有特殊环境条件要求，例如雨、雪、沙尘、温度、海拔等。
        2. 静态试验：通常在牵引供电系统安装验收后进行，试验应检查牵引供电系统是否足够安全以进行动态试验。
        3. 动态试验：试验应在所有新建线路、牵引系统重大结构变更、牵引系统大修后开展
     2. 载荷状态

牵引供电系统试验时根据需求处于下述载荷状态：

1. 整备载荷：装载物品全部处于正常位、随车工具齐全，无人员乘车状态；
2. 定员载荷：装载物品全部处于正常位、随车工具齐全，以车辆规定定员数量，用相应重量重物根据定员在车内的分布进行布置，车辆处于定员满载状态。
   1. 试验项目
      1. 起动加速试验
         1. 试验目的

检验列车起动加速度。

* + - 1. 试验条件

试验条件应满足：

——列车定员载荷状态。

——牵引网压正常。

——试验宜在平直线路上进行，试验时风速不大于3.3m/s。

* + - 1. 试验方法

按照最大能力进行牵引，驱动列车由静止加速至规定速度，制动停车。实时采集列车速度、时间、距离及与其对应的牵引电流、电压、功率、功率因数等电气参数。

如受线路条件限制，试验可分多个速度段进行，后一个速度段的初速低于前一个速度段的末速（速度差建议大于2km/h），保证整个速度段内车辆均在平直道上，同一速度段至少试验三次。

加速度计算见公式（1）：

 …………………………（1）

式中：

*a*——平均加速度，单位为米每二次方秒（m/s2）；

*v*2——同一速度段的末速度，单位为千米每小时（km/h），*v*2>*v*1；

*v*1——同一速度段的初速度，单位为千米每小时（km/h）；

*Δt*——从*v*1加速到*v*2所用时间，单位为秒（s）；

注：起动加速度计算时，*v*2=规定速度，*v*1=0km/h；剩余加速度计算时，*v*2=最高试验速度，*v*1=最高试验速度-20km/h。

* + - 1. 试验评定

起动加速度、剩余加速度符合设计要求，评价指标应符合附录B1中B.1要求。

* + 1. 牵引特性试验
       1. 试验目的

检验牵引特性。

* + - 1. 试验条件

试验条件应满足：

——列车定员载荷状态；

——牵引网压正常；

——试验宜在平直线路上进行，试验时风速不大于3.3m/s，经用户认可也可在正常运营线路。

* + - 1. 试验方法

按照最大能力进行牵引，驱动列车加速至最高速度，制动停车。实时采集列车速度、时间、距离及牵引变流器逆变侧电压、电流、频率和功率数据，试验进行3次。

根据加速时间得到每个速度下的瞬时加速度，计算见公式（2）：

 …………………………（2）

式中：

*a*v1——*v*1对应的瞬时加速度，单位为米每二次方秒（m/s2）；

*v*2——Δ*t*内的末速度，单位为千米每小时（km/h），*v*1<*v*2≤*v*1+2；

*v*1——Δ*t*内的初速度，单位为千米每小时（km/h）；

Δ*t*——从*v*1加速到*v*2所用时间，单位为秒（s）；

根据每个速度下的瞬时加速度得到该速度下加速力，计算见公式（3）：

 …………………………（3）

式中：

*F*v1——*v*1对应的加速力，单位为千牛（kN）；

*m*——列车总重量，单位为吨（t）。

用各速度下列车的加速力加上运行阻力得到牵引力，计算见公式（4）：

 …………………………（4）

式中：

*F*qv1——*v*1对应的牵引力，单位为千牛（kN）；

*F*zv1——*v*1对应的总阻力，单位为千牛（kN）。

* + - 1. 试验评定

牵引特性及主电路设备的工作状态应符合设计要求；牵引特性曲线不应小于设计曲线。

* + 1. 电制动试验
       1. 试验目的

检验电制动特性。

* + - 1. 试验条件

试验条件应满足：

——列车定员载荷状态；

——牵引网压正常；

——试验宜在平直线路上进行，试验时风速不大于3.3m/s。

* + - 1. 试验方法

牵引加速至最高速度后，按照最大能力进行电制动，直至停车。实时采集列车速度、时间、距离及牵引变流器逆变侧电压、电流、频率和功率数据。试验进行3次。

根据减速时间得到每个速度下的瞬时减速度，计算见公式（5）：

 …………………………（5）

式中：

*a*v1——*v*1对应的瞬时减速度，单位为米每二次方秒（m/s2）；

*v*2——Δ*t*内的末速度，单位为千米每小时（km/h），*v*1-2≤*v*2<*v*1；

*v*1——Δ*t*内的初速度，单位为千米每小时（km/h）；

*Δt*——从*v*1减速到*v*2所用时间，单位为秒（s）；

根据每个速度下的瞬时减速度得到该速度下减速力，计算见公式（6）：

 …………………………（6）

式中：

*B*v1——*v*1对应的减速力，单位为千牛（kN）；

*m*——列车总重量，单位为吨（t）。

用各速度下列车的减速力减去运行阻力得到电制动力，计算见公式（7）：

 …………………………（7）

式中：

*B*qv1——*v*1对应的电制动力，单位为千牛（kN）；

*F*zv1——*v*1对应的总运行阻力，单位为千牛（kN）。

* + - 1. 试验评定

动力制动特性及主电路设备的工作状态符合设计要求，动力制动特性曲线不应小于设计曲线。

* + 1. 定子段换步试验
       1. 试验目的

检验定子段换步特性。

* + - 1. 试验条件

试验条件应满足：

——列车定员载荷状态；

——牵引网压正常。

* + - 1. 试验方法
         1. 牵引系统设定目标速度、目标位置、目标加速度和目标减速度，目标速度的设定可先低速，目标位置的设定要实现跨定子段，目标加速度和减速度的设定应低于牵引系统最大输出能力。
         2. 牵引系统参数设定完成后，使牵引系统由初始状态转换为列车运行状态。
         3. 待车辆稳定悬浮后，牵引系统逆变输出，开始正向自动牵引，并实现跨定子段运行。
         4. 在车辆运行过程中，观测牵引系统变流器给定输出电流和实际输出电流、车辆运行速度和位置数据，在定子段切换时，观测变流器输出电流的变化、车辆实际运行速度的变化及切换时间。
         5. 正向跨定子段牵引结束后，重新设定目标参数，开展反向跨定子段牵引试验，试验方法与正向一致。
      2. 试验评定

定子段换步过程，准确完成相邻定子段换步，列车速度波动不大于规定值，列车纵向冲击不大于规定值。

* + 1. 分区交接试验
       1. 试验目的

检验分区交接特性。

* + - 1. 试验条件

试验条件应满足：

——列车定员载荷状态；

——牵引网压正常。

* + - 1. 试验方法
         1. 牵引系统设定目标速度、目标位置、目标加速度和目标减速度，目标速度的设定可先低速，目标位置的设定要实现跨牵引分区，目标加速度和减速度的设定应低于牵引系统最大输出能力。
         2. 牵引系统参数设定完成后，控制牵引系统由初始状态转换为列车运行状态。
         3. 车辆稳定悬浮后，牵引系统逆变输出，开始正向自动牵引，并实现跨牵引分区运行。
         4. 在车辆运行过程中，观测牵引系统变流器给定输出电流和实际输出电流、车辆运行速度和位置数据，在分区切换时，观测变流器给定输出电流和实际输出电流的变化、车辆运行速度的变化、切换时间及电机控制单元控制权交接情况。
         5. 正向牵引结束后，重新设定目标参数，开展反向牵引试验，试验方法与正向一致。
      2. 试验评定

分区交接过程，两分区电机控制单元应准确完成控制权交接，交接过程列车速度波动不大于规定值，列车纵向冲击不大于规定值。

* + 1. 电机控制单元主从冗余试验
       1. 试验目的

检验电机控制单元主从冗余功能。

* + - 1. 试验条件

试验条件应满足：

——列车定员载荷状态；

——牵引网压正常。

* + - 1. 试验方法
         1. 牵引系统设定目标速度、目标位置、目标加速度和目标减速度，目标速度的设定可先低速，目标加速度和减速度的设定低于牵引系统最大输出能力。
         2. 牵引系统参数设定完成后，控制牵引系统由初始状态转换为列车运行状态。
         3. 车辆稳定悬浮后，牵引系统逆变输出，开始正向自动牵引，在牵引过程中，选择主控电机控制单元，模拟其故障不能工作，观测从控电机控制单元可控制列车正常运行。测试完成后，选择从控电机控制单元模拟其故障不能工作，观测主控电机控制单元可控制列车正常运行。
         4. 正向牵引结束后，开展反向牵引试验，试验方法与正向一致。
      2. 试验评定

主控电机控制单元故障后，从控电机控制单元接管控制权，系统无异常；列车速度波动不大于规定值。

* + 1. 牵引系统温升试验
       1. 试验目的

验证牵引系统在设计温升限度内和规定使用频率下的工作能力。

* + - 1. 试验条件

试验条件应满足：

——列车定员载荷状态；

——牵引网压正常；

——轨道线路条件良好。

* + - 1. 试验方法
         1. 联合零部件及子系统供应商、系统集成方、用户，共同设计用于评定牵引系统温升的线路运行曲线，该曲线需得到上述各方认可。
         2. 在输入变压器、输出变压器、牵引变流器、加/减速段长定子铁芯、加/减速段长定子电缆等各参试设备处布置温度测量设备。
         3. 按照运行曲线和规定的发车间隔，系统连续运行3h。期间，实时记录各设备温度、环境温度，同时实时采集速度、变流器输出电压、变流器输出电流等数据。
      2. 试验评定

试验期间，牵引系统不应出现由于温度限制而无法按照规定负载周期运行的现象，牵引系统无温升报警。

* + 1. 网侧谐波试验
       1. 试验目的

检验不同运行速度下的网侧谐波。

* + - 1. 试验条件

试验条件应满足：

——列车定员载荷状态。

——牵引网压正常。

* + - 1. 试验方法

驱动列车加速至最高速度后，制动停车。实时采集记录列车速度、时间、位置和高压母线处电压、电流数据。

* + - 1. 试验评定

网侧电压谐波应符合GB/T 14549—1993的规定。

* + 1. 牵引运控联合运行试验
       1. 试验目的

检验系统联合运行特性。

* + - 1. 试验条件

试验条件应满足：

——列车定员载荷状态。

——牵引网压正常。

* + - 1. 试验方法
         1. 牵引系统设定为运控控车模式。
         2. 在车辆运行前，运行控制系统的分区控制计算机向牵引控制系统的电机控制单元发送列车运行模式、车辆参数、速度曲线、目的地以及允许最大加速度限制等状态信息。
         3. 牵引控制系统的电机控制单元根据运行控制系统的各类数据信息计算该次运行的运行曲线，实时地通过车地无线电通信系统接收车辆当前的位置和速度值作为牵引系统的参考值，同时向分区控制计算机发送车辆当前位置、当前速度、当前加速度等信息，控制车辆按照运行控制系统指令运行。
         4. 在车辆运行过程中，观测牵引变流器输出特性，以及车辆运动学参数。
         5. 在运行全速度范围内，以50km/h递增目标速度，按步骤7.9.3.1~7.9.3.4重复上述试验。
      2. 试验评定

牵引系统可准确解析运行控制系统的指令，完成指定的牵引运行任务，牵引曲线符合运行曲线要求。

* + 1. 运行能量消耗试验
       1. 试验目的

检验不同运行速度下列车运行能耗。

* + - 1. 试验条件

试验条件应满足：

——列车定员载荷状态；

——牵引网压正常。

* + - 1. 试验方法

在指定运营线路上按照运行图运行，全程记录列车速度、里程、网流、网压、网侧功率因数、牵引变流器输出电压和输出电流等参数，计算能量消耗。运行两个往返。

* + - 1. 试验评定

给出试验结果。

* + 1. 牵引系统极限能力试验
       1. 试验目的

检验牵引系统极限能力。

* + - 1. 试验条件

试验条件应满足：

——列车定员载荷状态；

——牵引网压正常。

* + - 1. 试验方法
         1. 参与联合调试的各系统上电工作。
         2. 牵引系统根据试验线路、车辆及牵引条件，在保证安全的前提下，设定目标速度和目标位置为可允许的最大值，设定目标加速度和减速度略大于牵引系统的最大输出能力。
         3. 牵引系统参数设定完成后，使牵引系统由初始状态转换为列车运行状态。
         4. 待车辆稳定悬浮后，牵引系统逆变输出，车辆启动正向加速运行，经位置、速度、电流闭环控制，车辆在目标位置自动停车。
         5. 在车辆运行过程中，观测牵引变流器输出特性，以及车辆运动学参数。
         6. 待正向牵引结束后，重新设定目标参数，开展反向牵引试验，试验方法与正向一致。
      2. 试验评定

给出试验结果。

* 1. 试验记录与试验报告
     1. 试验记录

试验记录至少应记录以下内容：

1. 试验日期；
2. 试验地点；
3. 试验内容；
4. 试验条件；
5. 试验工况；
6. 试验过程；
7. 试验数据；
8. 试验结论；
9. 试验记录人。
   * 1. 试验报告

试验报告至少应记录以下内容：

1. 试验对象型号、编号和技术状态；
2. 试验对象主要技术参数；
3. 测量仪器的型号和测量分析时选用的参数；
4. 试验数据的处理方法、按试验工况列出试验测量结果和分析；
5. 试验结论和建议；
6. 试验单位、参加工作人员、试验日期、天气状态。

附录A

（规范性）

高速磁浮牵引供电系统试验项目

高速磁浮牵引供电系统试验项目见表A.1。

表A.1 试验项目

| 序号 | 试验项目 | 条款 | 型式试验 | 例行试验 | 研究性试验 |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 起动加速试验 | 7.1 | √ | √ | - |
| 2 | 牵引特性试验 | 7.2 | √ | - | - |
| 3 | 电制动试验 | 7.3 | √ | - | - |
| 4 | 定子段换步试验 | 7.4 | √ | √ | - |
| 5 | 分区交接试验 | 7.5 | √ | √ | - |
| 6 | 电机控制单元主从冗余试验 | 7.6 | √ | √ | - |
| 7 | 牵引系统温升试验 | 7.7 | √ | - | - |
| 8 | 网侧谐波试验 | 7.8 | √ | - | - |
| 9 | 牵引运控联合运行试验 | 7.9 | √ | √ | - |
| 10 | 运行能量消耗试验 | 7.10 | - | - | √ |
| 11 | 牵引系统极限能力试验 | 7.11 | - | - | √ |

附录B

（规范性）

高速磁浮牵引供电系统试验评价指标

高速磁浮牵引供电系统试验评价指标对应条款见表B.1。

表B.1 高速磁浮牵引供电系统试验评价指标

| 序号 | 试验项目 | 条款 | 主要评价内容 | 评价指标 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 1 | 起动加速试验 | 7.1 | 起动加速度和最高运行速度的剩余加速度 | 1.0-40km/h起动加速度不小于1.1m/s2  2.最高运营速度的剩余加速度为0.2m/s2  3.若不符合评价指标，则需重新试验 |
| 2 | 牵引特性试验 | 7.2 | 1.牵引特性及主电路设备  2.牵引制动特性曲线 | 1.牵引特性及主电路设备的工作状态符合设计要求  2.牵引特性曲线不小于设计曲线 |
| 3 | 电制动试验 | 7.3 | 1.动力制动特性及主电路设备  2.动力制动特性曲线 | 1.动力制动特性及主电路设备的工作状态符合设计要求  2.动力制动特性曲线不小于设计曲线 |
| 4 | 定子段换步试验 | 7.4 | 1.定子段换步状态  2.列车速度波动  3.列车纵向冲动 | 1.顺利完成定子段换步  2.不大于规定值  3.不大于规定值 |
| 5 | 分区交接试验 | 7.5 | 1.分区交接状态  2.列车速度波动  3.列车纵向冲动 | 1.顺利完成分区交接  2.不大于规定值  3.不大于规定值 |
| 6 | 电机控制单元主从冗余试验 | 7.6 | 1.电机控制单元控制权  2.列车速度波动 | 1.主控电机控制单元故障后，从控电机控制单元接管控制权  2.不大于规定值 |
| 7 | 牵引系统温升试验 | 7.7 | 输入/输出变压器、牵引变流器、长定子铁芯、长定子绕组等温升 | 不大于设计值，无温升报警 |
| 8 | 网侧谐波试验 | 7.8 | 网侧电压谐波 | 符合GB/T 14549—1993的规定 |
| 9 | 牵引运控联合运行试验 | 7.9 | 1.指令解析及执行  2.牵引曲线 | 1.牵引系统可准确解析运行控制系统的指令，完成指定的牵引运行任务  2.牵引曲线符合运行曲线要求 |
| 10 | 运行能力消耗试验 | 7.10 | 列车运行能量消耗 | 给出试验结果 |
| 11 | 牵引系统极限能力试验 | 7.11 | 牵引系统的极限输出能力 | 给出试验结果 |

参 考 文 献

[1] CJJ/T 310—2021 高速磁浮交通设计标准

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_