

# 《中低速磁浮交通车辆电磁铁》

(征求意见稿)

编制说明

中国人民解放军国防科技大学  
北京控股磁悬浮技术发展有限公司

二〇一七年六月

## 目 次

1. 任务来源 .....	2
2 主要工作简况.....	2
3 起草阶段的主要工作内容.....	4
4 标准编制原则及国家法律法规和强制性标准及有关标准的关系.....	5
5 主要技术内容论据和依据.....	6
6 主要试验（验证）的分析，综述报告，技术经济论证，必要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证预期的经济效果.....	6
7 采用国际标准程度及水平的简要说明.....	16
8 重大分歧和处理意见经过的依据.....	17
9 贯彻标准的要求和措施建议.....	17
10 其它应说明的事项如涉及专利的处理等.....	17

# 《中低速磁浮交通车辆电磁铁》 (征求意见稿) 编制说明

## 1. 任务来源

根据《国务院关于印发深化标准化工作改革方案的通知》(国发〔2015〕13号)、《贯彻实施(深化标准化工作改革方案)行动计划(2015-2016年)》(国办发〔2015〕67号)、《国家标准标委办公室关于开展团体标准试点工作的通知》(标委办公〔2015〕66号)及《关于印发(关于培育和发展团体标准的指导意见)的通知》(国质检标联〔2016〕109号)文,培育发展团体标准,是发挥市场在标准化资源配置中的决定性作用、加快构建国家新型标准体系的重要举措。中国城市轨道交通协会(以下简称“中城轨”)依据国家有关法律法规,结合“十三五”我国城市轨道交通的发展需求,为规范我国中低速磁浮交通项目的设计、建设、运营及服务,增加磁浮标准的有效供给,于2016年3月启动了开展中低速磁浮交通团体标准化工作。

依据中国城市轨道交通协会专题会议纪要(2016年第1期)、中国城市轨道交通协会下达2016年第一批团体标准制修订计划(中城轨【2016】7号),按照中城轨的标准制修订计划要求,国防科技大学、北京控股磁悬浮技术发展有限公司作为主编单位组织中车唐山机车车辆有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司、中车株洲电力机车有限公司、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、西南交通大学等单位,开展团体标准《中低速磁浮交通车辆电磁铁》的编制工作。

## 2 主要工作简况

### 2.1 标准编制组参加单位

主编单位:国防科技大学、北京控股磁悬浮技术发展有限公司。

参编单位:中车唐山机车车辆有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司、中车株洲电力机车有限公司、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。

## 2.2 标准编制组人员名及分工见表 1

主要起草人员：陈贵荣、孙吉良、潘光熙、张益晨、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。

表 1 《中低速磁浮交通车辆电磁铁》编制人员名单

序号	姓名	单位	主要工作
1.	陈贵荣	国防科技大学	起草-标准编写及技术执行总负责
2.	孙吉良	北控磁浮公司	标准总审查
3.	潘光熙		标准技术总负责
4.	张益晨		标准技术审查
5.	袁淑清		标准编制的组织协调
6.	龙志强	国防科技大学	审稿-总体审查总负责
7.	李杰		总体审查
8.	吴峻		总体审查
9.	王永刚	中车唐山机车车辆有限公司	总体审查
10.	刘曰锋		总体审查
11.	尹龙	同济大学	总体审查
12.	闵多		总体审查
13.	严培良		总体审查
14.	林国斌		总体审查
15.	刘万民		总体审查
16.	肖健	株洲中车时代电气股份有限公司	总体审查
17.	辛本雨		总体审查
18.	田奎森		总体审查
19.	郁振鹏		总体审查
20.	许义景		总体审查
21.	罗华生	中车株洲电力机	总体审查
22.	佟来生		总体审查

23.	张文跃	车有限公司	总体审查
24.	阮思维		总体审查
25.	张雷	中车株洲电机有限公司	总体审查
26.	方亮		总体审查
27.	吴顺海		总体审查
28.	魏德豪	西南交通大学	总体审查
29.	马卫华		总体审查
30.	胡俊雄		总体审查
31.	刘毅	湖南中科电气股份有限公司	总体审查
32.	张正红		总体审查

### 3 起草阶段的主要工作内容

#### 1 计划、预研阶段（2016.3~2016.6）

按照中国城市轨道交通协会专题会议纪要（2016年第1期）要求，制定磁浮交通团体标准。筹备成立标准制定工作组，组织相关专业技术人员总结我国磁浮工程建设的经验，拟定工作大纲初稿。对北控磁浮公司企业标准《中低速磁浮交通车辆电磁铁》提出修改方案，提升为团体标准的初稿。

#### 2 立项阶段（2016.7~2016.8）

自中国城市轨道交通协会专题会议纪要议定了协会中低速磁浮交通团体标准建设工作。协会委托北京控股磁悬浮技术发展有限公司具体组织开展协会中低速磁浮交通团体标准研究和编写工作。北控磁浮公司尽快提出了工作方案及《中国城市轨道交通协会团体标准制修订项目申报书》。2016年6月中国城市轨道交通协会召开中低速磁浮交通团体标准立项审查会。审查会通过《中低速磁浮交通车辆电磁铁》标准申请立项工作。

#### 3 编制阶段（2016.9~2016.12）

2016年12月，召开第一次标准编制工作会议。会议介绍了《中低速磁浮交通车辆电磁铁》编制说明。成立编制组、确定编制工作大纲，标准编制分工。

中低速磁浮交通团体标准的研究编写工作，广泛吸纳了业内相关中车唐山机车车辆有限公司、株洲中车时代电气股份有限公司、中车株洲电力机车有限

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、西南交通大学等单位共同参与编写并广泛征求意见。

本标准初稿完成后，召开了第一次工作会议，邀请了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、西南交通大学的相关专家参加会议，根据会议专家提出的意见，对初稿进行了修改并将修改稿发给各参编单位进行征求意见，完成标准征求意见稿编制工作。

#### 4 征求意见阶段（2017.01~2017.06）

2017年01月下旬，北控磁浮公司组织向参加编写《中低速磁浮交通车辆电磁铁》单位内部进行征求意见。2017年06月，形成征求意见稿。

现上报中国城市轨道交通协会。按团体标准编制程序进入征求意见阶段。

## 4 标准编制原则及国家法律法规和强制性标准及有关标准的关系

### 4.1 标准制定原则

1. 遵守国家有关的法律、法规；
2. 符合国家强制性标准的要求；
3. 充分考虑协会会员的要求；
4. 优先支持符合经济发展方向，促进科学技术进步，提高产品质量和满足市场需求的项目；
5. 积极采用国际标准；
6. 协调融合、有序优化、技术先进、经济合理；
7. 公开、公正、公平。
8. 应参考国内外城市轨道交通相关行业标准，具有可操作性。

### 4.2 与国家法律法规和强制性标准及有关标准的关系

本标准符合国家相关法律法规及国家强制性标准的要求。

本标准与现行的 CJ/T 375-2011《中低速磁浮车辆通用技术条件》、CJ/T 458-2014《中低速磁浮交通车辆悬浮控制系统技术条件》有相互密切的关联，是规范性通用标准 CJ/T 458-2014《中低速磁浮交通车辆悬浮控制系统技术条件》

下属的专业技术标准。中低速磁浮交通车辆电磁铁是车辆悬浮系统的核心组成部件，悬浮控制技术是中低速磁浮车辆的核心技术。悬浮控制技术的基本原理是通过控制电磁铁电流，调节悬浮力的大小，使悬浮电磁铁与轨道保持一定的间隙。同时，当车辆走行机构偏离轨道中心线时，可以通过悬浮力产生的分力能够使车辆返回到初始状态，实现车辆的导向功能。中低速磁浮车辆的悬浮电磁铁设计必须满足车辆最大超载时的载荷工况，允许在工作电压、电流、阻值、电感等参数上选择不同的参数，为了确保车辆运行安全，因为电磁铁的重要性，应对车辆电磁铁进行规范。标准的制定为我国磁浮交通系统悬浮控制技术的发展奠定了基础，为悬浮控制系统的制造、检查及验收提供了技术依据。此项标准的制定在国内外也是领先，也是磁悬浮控制系统的唯一技术依据。

## 5 主要技术内容论据和依据

《中低速磁浮交通车辆电磁铁》主要内容共分为 9 章，包括：范围、规范性引用文件、术语和定义、系统组成、环境条件、技术要求、试验、检验规则、标识、包装、贮存及运输。

中低速磁浮交通车辆悬浮控制（电磁铁是控制系统的组成部分）系统经过 15 年多研究试制，积累了磁悬浮控制技术及电磁铁的生产及试验的经验，科学详实的记录车辆悬浮控制技术生产及试验的相关数据。在此基础上，北京磁浮与国防科大主编了行业标准《中低速磁浮交通车辆悬浮控制系统技术条件》CJ/T458，于 2014 年发布实施。本标准所制定的电磁铁性能要求依据主要取自 CJ/T458，同时也依据北控磁浮唐山工程化示范试验线及国防科大试验线上列车及车辆运行反复试验科研成果的总结。标准的部分技术要求也取自于 2016 年 5 月开通的长沙机场线的运营经验总结。

为进行中低速磁浮交通技术工程化技术研究，北京磁浮工程化体系先后研制生产了四代磁浮车的悬浮控制系统（包括悬浮传感器、悬浮电磁铁、悬浮控制器），安装到试验车上，开展了面向工程应用的持续性试验，本标准相关规定内容的可操作性强，所提出的技术条件是切实可行的。能够满足中低速磁浮交通车辆运营的需求。

## 6 主要试验（验证）的分析，综述报告，技术经济论证，必要试验（或验证）的

## 分析、综述报告，技术经济论证预期的经济效果

悬浮控制系统技术是中低速磁浮车辆的核心技术。悬浮控制技术的基本原理是通过对电磁铁电流的控制，调节悬浮力的大小，使悬浮电磁铁与轨道保持一定的间隙。同时，当车辆走行机构偏离轨道中心线时，可以通过悬浮力产生的分力能够使车辆返回到初始状态，实现车辆的导向功能。在磁浮列车运行过程中，当悬浮控制系统受到不同形式的几何干扰、动力学干扰及其它随机干扰共同作用的情况下，磁浮列车应始终能够保持稳定的运行状态，悬浮间隙能够保持在额定值及其允许波动范围值之内。

对列车悬浮控制系统电磁铁的参数、功能等进行合理的定义和要求，是标准编制过程中的需定的核心问题。悬浮控制系统要实现在较小悬浮间隙下的安全可靠悬浮，并且要能适应轨道的要求，要综合考虑车辆结构、电磁铁和悬浮能力等多方面的相互关系，需要合理的确定适应的轨道要求、传感器的测量精度要求等各设计参数。如何确定这些参数，是标准编制中的技术难点。

为了充分了解和分析悬浮控制系统的各项性能和指标，技术人员对悬浮控制系统的动态、静态性能进行了测试试验，包括静态悬浮下的各项性能、车辆动态过道岔、弯道、爬坡等情况下的性能。在测试基础上对悬浮控制系统的综合性能进行分析、提炼，最终形成了本电磁铁技术条件总体要求。

中低速磁浮车辆的悬浮电磁铁设计必须满足车辆最大超载时的载荷工况，允许在工作电压、电流、阻值、电感等参数上选择不同的参数，为了确保车辆运行安全，应本着冗余原则考虑车辆的综合因素进行计算。

车辆电磁铁与悬浮控制系统在出厂前进行了完备的型式试验，并安装到磁浮实验样车上，针对工程化需求开展了长期的运行试验（包括起浮/落下实验、悬浮实验、通讯实验、载荷试验、速度实验、曲线通过实验、坡道通过实验、持续时间实验等）。经过不断的改进和测试，目前我国已经完全掌握了中低速磁浮交通车辆的悬浮系统的控制技术，符合工程应用要求。

### 一、悬浮能力的试验：

#### 1 静载试验

试验内容：检验列车静载悬浮承载能力。

试验方法：列车承载最大载荷 35t 时，列车连续起浮/落下 100 次，每次



间隔 30s:

a) 目测起浮/落下动作与通讯显示;

b) 在每个悬浮电磁铁上放置两只游标卡尺, 放置位置为: 悬浮电磁铁两端距边缘 10mm 处;

c) 列车起浮后, 记录每个游标卡尺所测量的静态悬浮间隙; 同时记录列车控制与诊断系统显示的各静态悬浮间隙;

判定条件:

列车起浮/落下动作平稳, 起浮/落下动作显示悬浮间隙 8mm; 列车控制与诊断系统界面显示内容一致, 且起浮后的静态悬浮间隙  $\pm 0.2\text{mm}$ , 则认为本试验结果合格。

试验结果:

图 1 是在满载情况下, 某台控制器在一次测试过程中某次起浮和降落过程曲线。图中上半部分是悬浮间隙曲线, 下半部分是悬浮电流曲线。

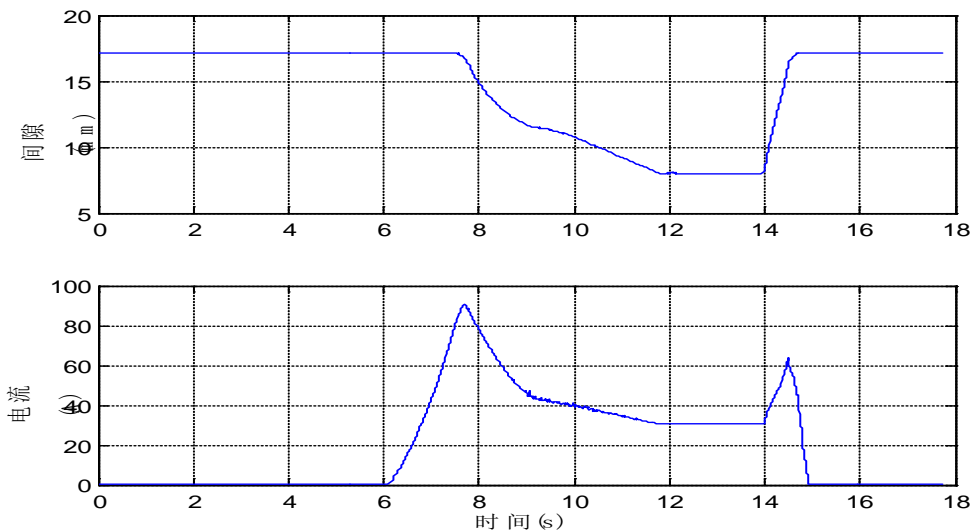


图 1 某台控制器在测试过程中某次起浮和降落曲线

从图中可以看出, 该悬浮控制器起浮过程平稳, 电流上升和下降比较平滑, 没有明显的电流跳变、毛刺。起浮命令发起时刻(6s 时)到起浮完成(11.8s)所需试验小于 8s, 降落时间从 14s 开始到 15s 结束, 小于 5s。悬浮过程中各传感器信号正常, 无故障信息提示。

图 2 是在最大载荷 35t 时, 某台控制器在静止悬浮时的间隙和电流曲线。图中上半部分是悬浮间隙曲线, 下半部分是悬浮电流曲线。

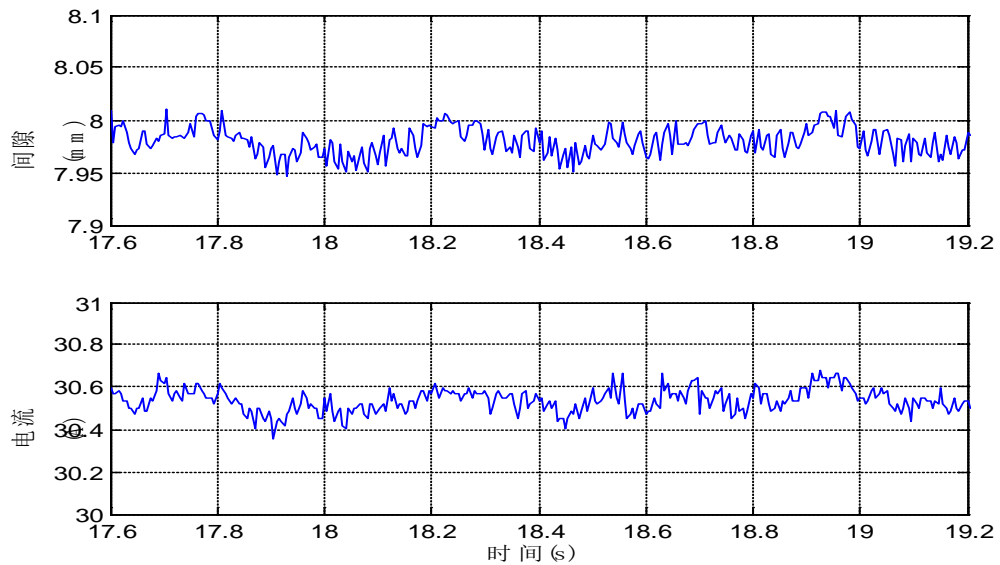


图2 某台控制器在静止悬浮时的间隙和电流曲线

从图中可以看出，该悬浮控制器在静止悬浮时悬浮间隙平稳，悬浮间隙和电流没有明显的跳变、毛刺。在稳态悬浮时，它们的波动范围小于要求的限值（间隙波动小于 $\pm 0.2\text{mm}$ ）。因此判定该悬浮控制器起浮/落下试验通过。

## 2 动载试验

试验内容：列车运行时载荷变化 21.5t ~ 35t 的适应能力。悬浮间隙 8mm，悬浮间隙偏差  $\pm 4\text{mm}$ 。

试验方法：

- a) 动载试验宜在平直轨道段进行；
- b) 空载时，列车分别以 35km/h、60km/h 和最高运行速度运行，观测列车控制与诊断系统上显示数值，记录悬浮控制系统状态与每个悬浮电磁铁的悬浮间隙变化情况；
- c) 每节车载荷 7t 时，列车分别以 35km/h、60km/h 和最高运行速度运行，观测列车控制与诊断系统上的悬浮状态显示界面，记录悬浮控制系统状态与每个悬浮电磁铁的悬浮间隙变化情况；
- d) 列车最大载荷 35t 时，分别以 35km/h、60km/h 和最高运行速度运行，观测列车控制与诊断系统上的悬浮状态显示界面，记录悬浮控制系统状态与每个悬浮电磁铁的悬浮间隙变化情况。

试验判定：列车控制与诊断系统显示正常；所有悬浮间隙变化值在允许的

范围，(动态间隙不大于 $\pm 4\text{mm}$ )，则认为本试验结果合格。

试验结果:

图 3-图 5 分别是车辆在空载、7t 载荷以及最大载荷 35t 情况下,以 35 km/h 速度运行时,某悬浮控制器的悬浮间隙和悬浮电流曲线。

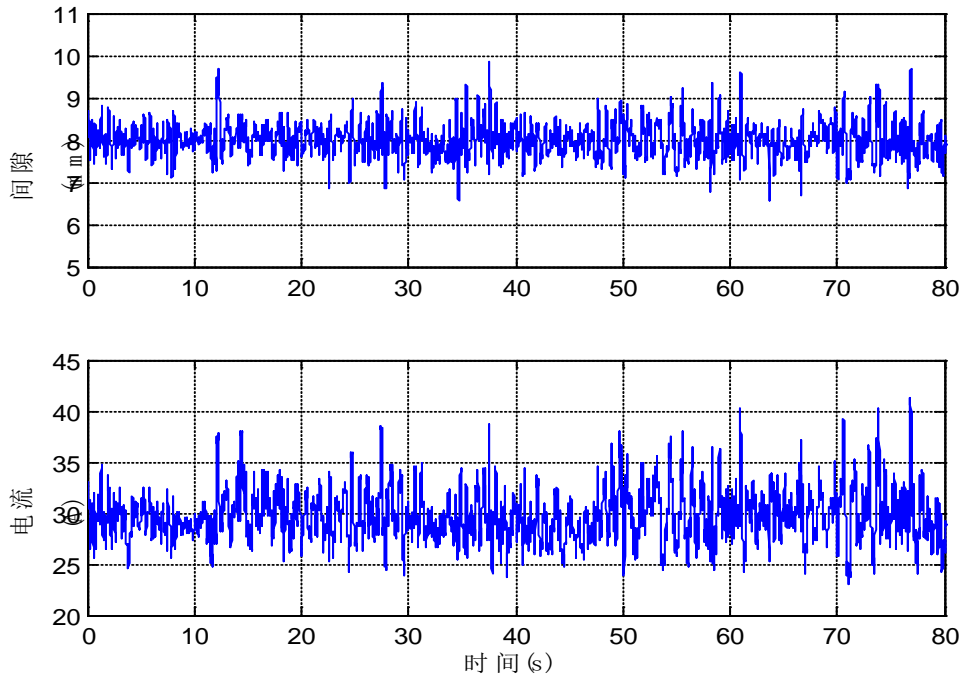


图 3 车辆空载以 35km/h 运行时的悬浮间隙和电流曲线

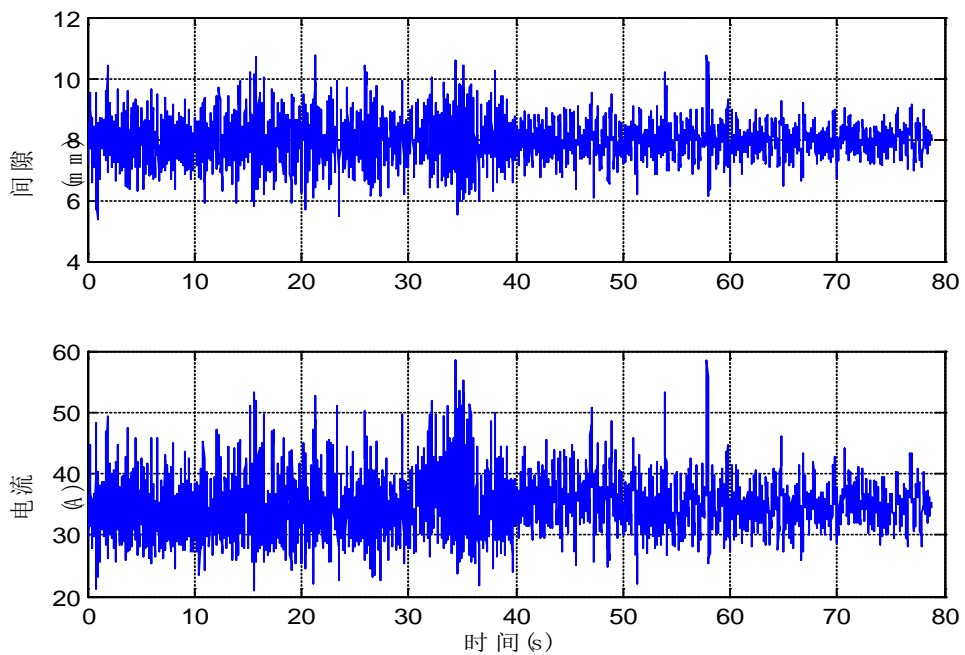


图 4 车辆 7t 载荷时以 35km/h 运行时的悬浮间隙和电流曲线

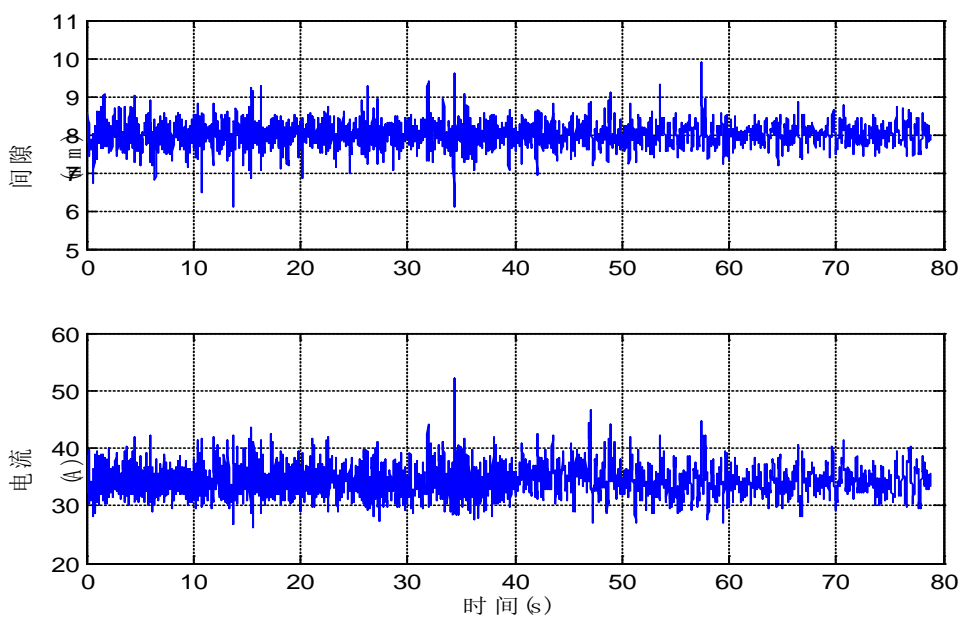


图 5 车辆最大载荷 35t 时以 35km/h 运行时悬浮间隙、电流曲线

图 6-图 8 分别是车辆在空载、7t 载荷以及最大载荷 35t 情况下,以 60 km/h 速度运行时,某悬浮控制器的悬浮间隙和悬浮电流曲线。

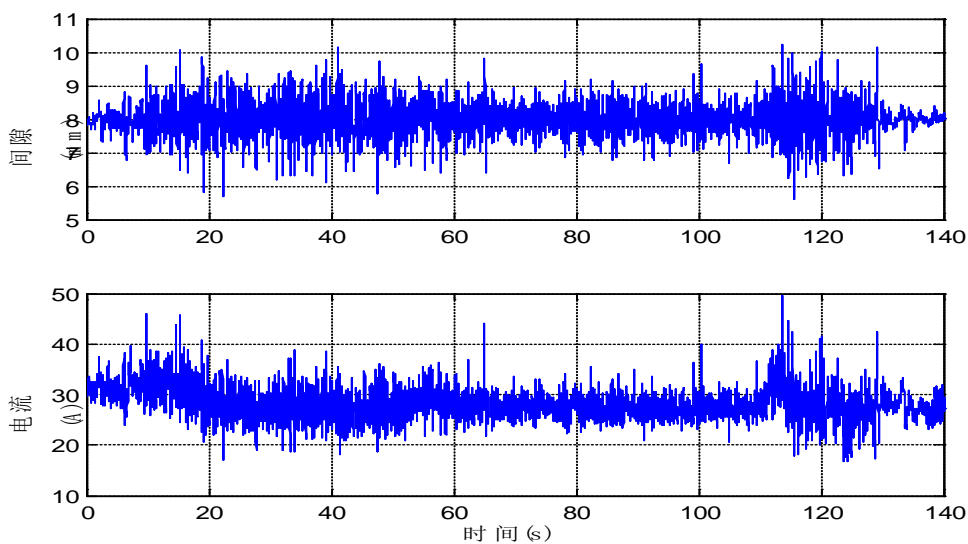


图 6 车辆空载时以 60km/h 运行时的悬浮间隙和电流曲线

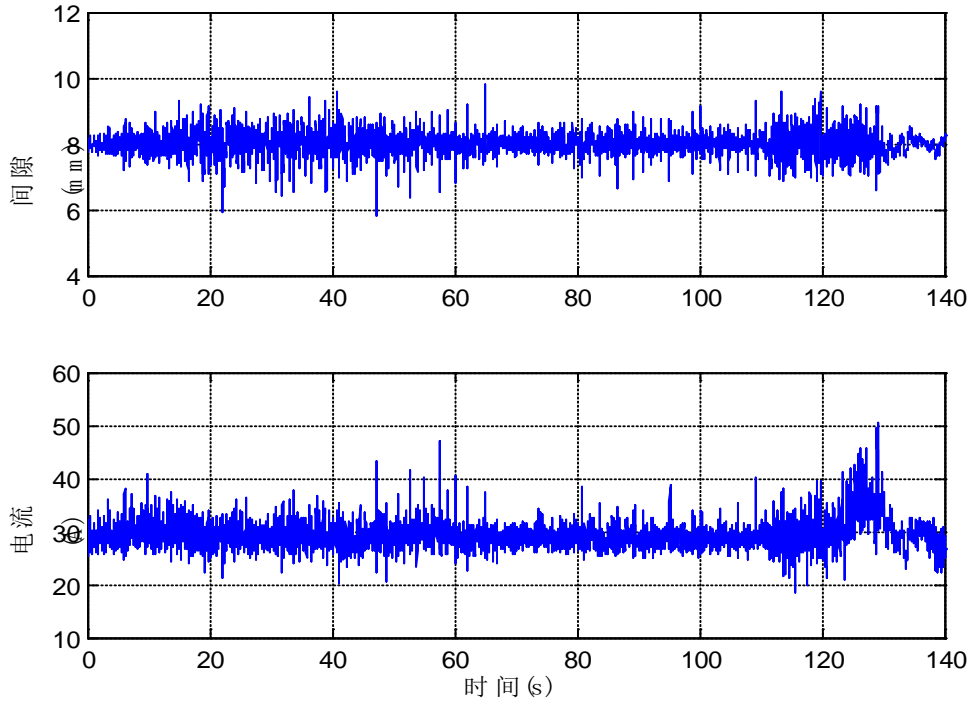


图 7 车辆 7t 载荷时以 60km/h 运行时的悬浮间隙和电流曲线

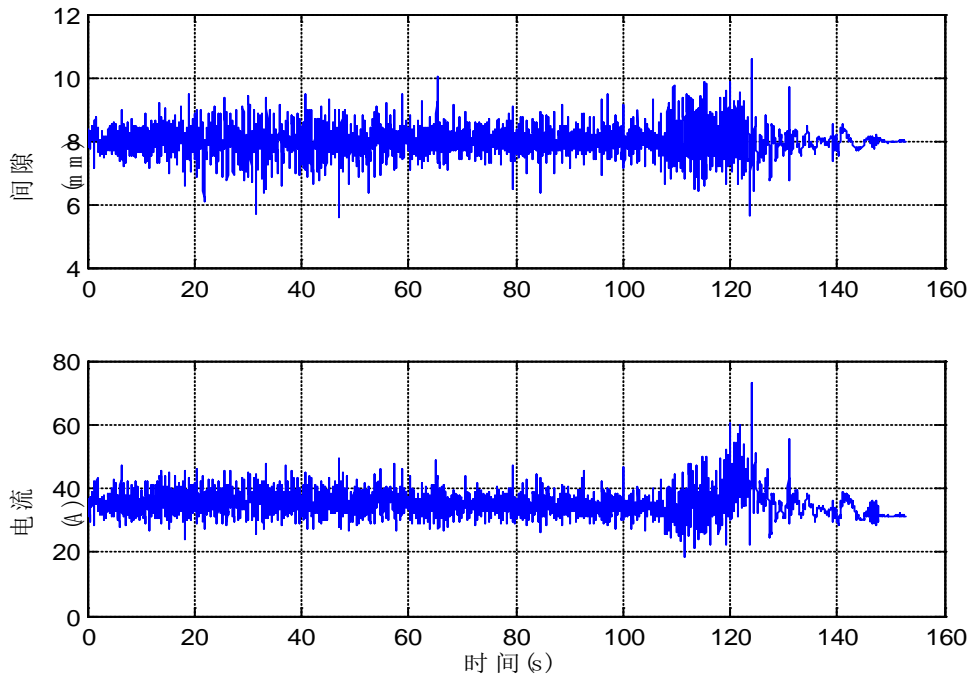


图 8 车辆满载 35t 时以 60km/h 运行时的悬浮间隙和电流曲线

图 9-图 11 分别是车辆在空载、7t 载荷以及最大载荷 35t 情况下，以最高速度运行时，某悬浮控制器的悬浮间隙和悬浮电流曲线。

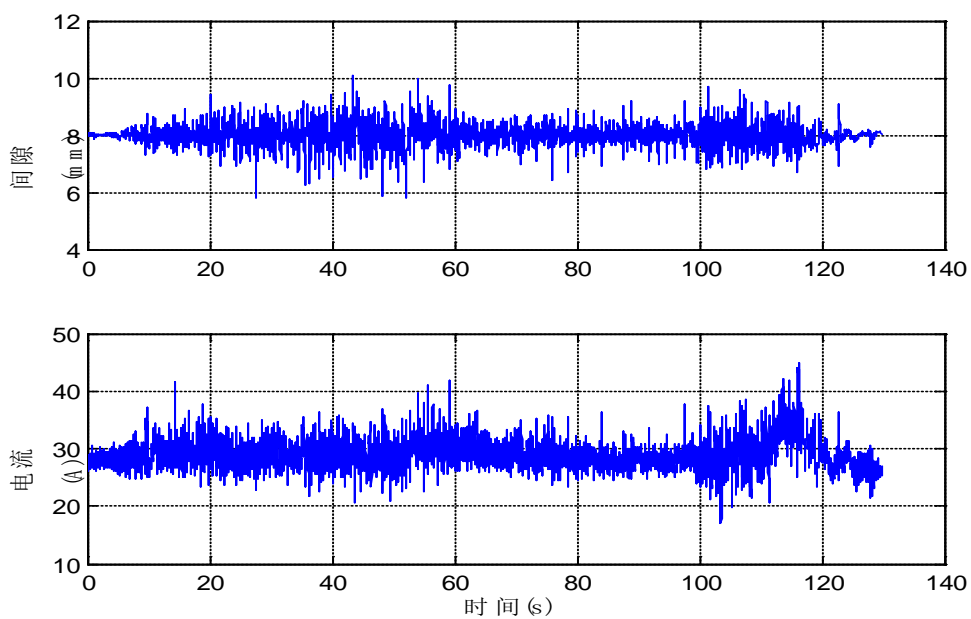


图 9 车辆空载以最高速度运行时的悬浮间隙和电流曲线

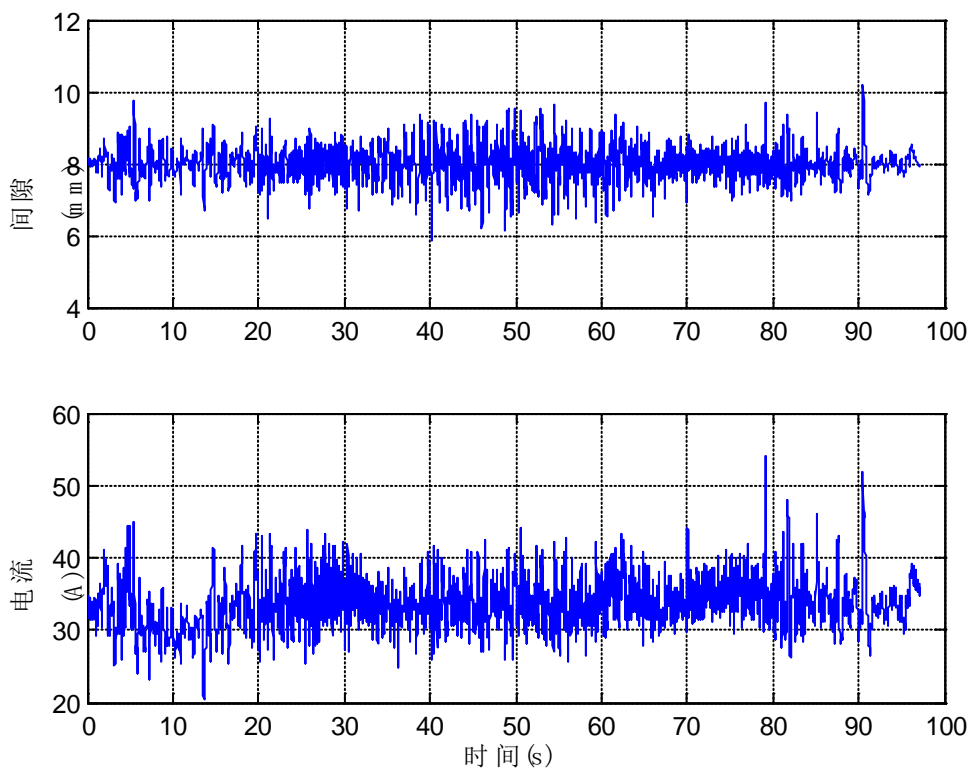


图 10 车辆 7t 载荷时以最高速度运行时悬浮间隙、电流曲线

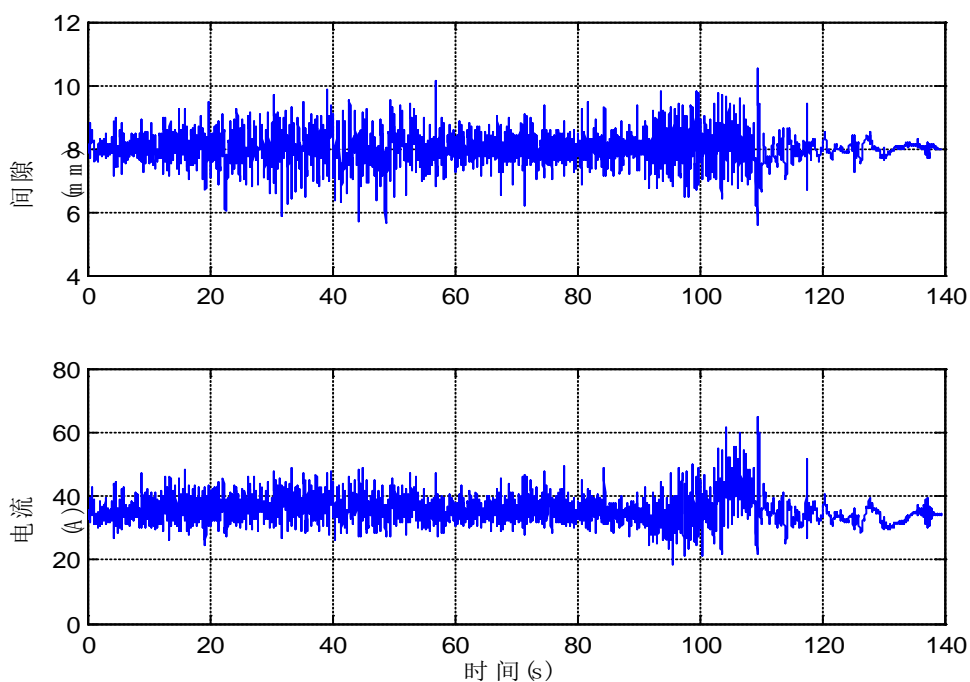


图 11 车辆满载 35t 时以 35km/h 运行时的悬浮间隙、电流曲线

从图中可以看出，在以上测试条件下，悬浮间隙偏差的动态变化均没有超过  $\pm 4\text{mm}$ ，试验结果合格。

## 二、悬浮负载-电流测试

承载能力的一个限制是电磁铁的最大允许电流，它由电磁铁和控制器的设计值决定。在单转向架实验中，直道上的负载/电流测试结果的曲线如图 12 所示。

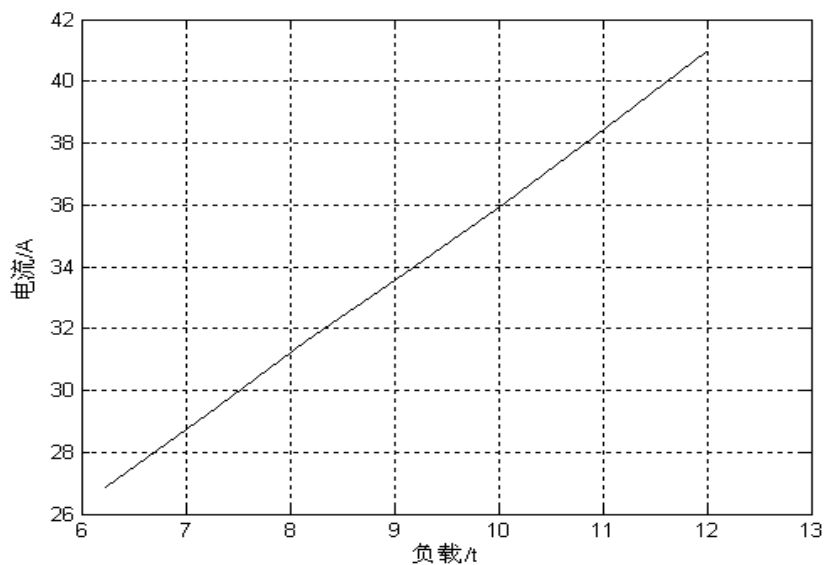


图 12 直道上的负载/电流关系图

测试结果：电流随负载的增加基本呈线性增加。对单个转向架而言，在平直道上测试的最大承载能力远超过 7 吨，对应于五转向架的车辆来说，其最大承载能力应大于 35 吨 (AW3 载荷)。

### 三、气隙磁通密度（简称磁密）测试

电磁铁的磁饱和也是影响车辆承载能力的重要因素。为了测试重载情况下电磁铁的铁芯是否存在磁饱和，需要对悬浮状态下电磁铁的气隙磁通密度进行测量。在不同载荷下气隙磁通密度如图 13 所示。

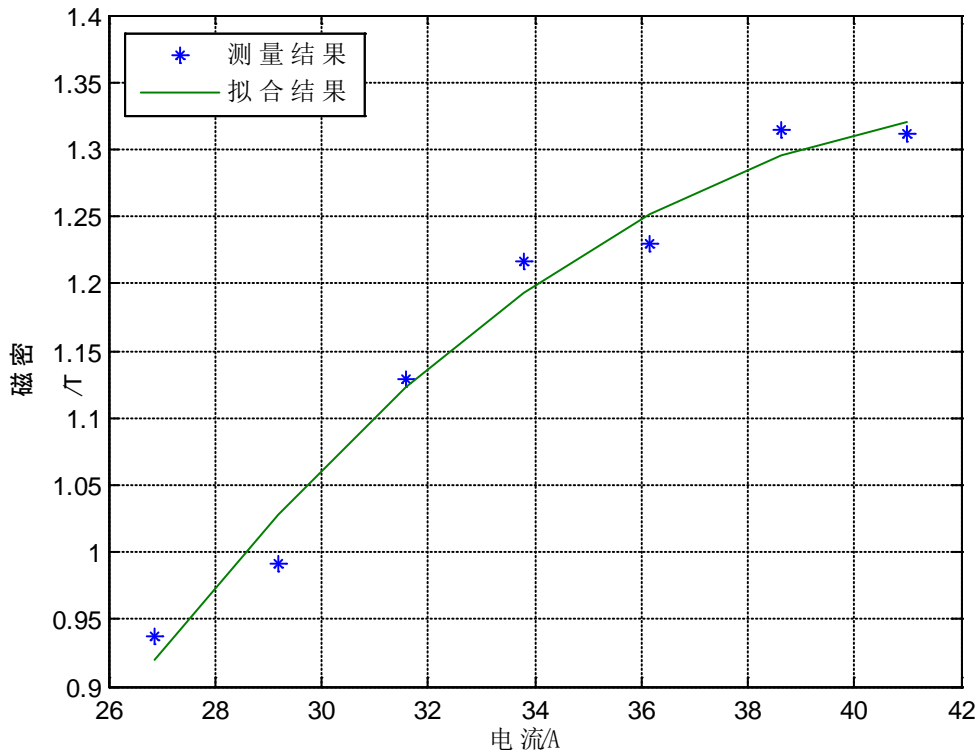


图13 电磁铁磁极面的磁密测试曲线

测试结果：在 7 吨载荷下，电磁铁的电流在 29A 左右，此时测得的磁通密度接近 1T，可见在此负载下（对应 AW3 载荷）磁通并未发生饱和，悬浮电磁铁可以满足 35 吨 (AW3 载荷) 载荷要求。

我国从八十年代初开始进行磁浮列车研究。国防科技大学磁浮试验线项目由北控磁浮公司投资并组织实施，项目于 2001 年 4 月建成。2001 年 7 月研制成功了具有自主知识产权的磁浮试验车。2001 年 9 月车辆上线试验。2005 年



12月，在试验车基础上研发的工程化车上线运行，2006年1月实现双车连挂运行。2009年4月下旬北控磁浮工程体系在唐山厂生产制造的两辆新磁浮车正式上线试验，5月中旬以80km/h速度的稳定试验运行。于2006年4月开始在唐山机车车辆厂厂区内设计施工建设一条长约1.5km，按照轨道交通标准配置的中低速磁浮交通工程化试验示范线，于2008年5月建成，全系统投入试验。实用型磁浮列车于2009年4月上线，开始运行试验。现在，该中低速磁浮列车系统已经安全试验运行了5万多公里，实现5万余次往返，8万余次起停。在国家和北京市政府的大力支持下，国内第一条中低速磁浮交通运营示范线（S1线）项目于2011年2月28日启动建设准备工作，2017年底试载客运行。北京S1线工程项目采用的中低速磁浮制式为国内首创，随着本线的开工建设，将有利于推广中低速磁浮技术的应用程度，加快中低速磁浮产业化进程，同时带动门头沟新城发展，支持首钢产业结构调整，促进CBD的建设，对工程沿线综合开发、土地增值，为城市建设重点转移提供有力的交通支持，能有效地带动沿线各区经济增长。

磁浮标准规范制定及实施的重要意义在于为中国的磁浮标准走出国门打下了基础，有助于实现磁浮标准国际化的重要突破，届时所产生的社会效应、经济效益将会不可估量，不仅整合了国内的企业资源，还积极利用了国际资源，提高了中国磁浮交通产业在国内乃至全球竞争力和影响力。

中低速磁悬浮列车产业可带动我国装备制造、冶金、机电、信息、车辆制造、建筑等多个相关行业的发展。每投资1亿元，可直接带动GDP增长2.63亿元，增加就业岗位至少8000个。

## 7 采用国际标准程度及水平的简要说明

我国是世界上第二个掌握中低速磁悬浮列车技术的国家。目前，中低速磁悬浮列车技术只有我们和日本掌握，国外现在只有日本、韩国有磁浮交通运营线，经过多年考察查询，没有哪个国家编制磁浮相关技术方面的标准。国际铁路联盟（UIC）组织也没有相关磁浮技术相关方面的标准发布。我国现在已有10项有关中低速磁浮交通的国家行业标准立项编制，现已发布了8项。这些标准经国内相关的专家评审，认为我国的磁浮行业标准填补了国内磁浮标准的空白，属国内领先，达到国际先进水平。国内从事中低速磁浮技术发展的企业已

发布实施了几十项企业标准，在未来将有大量磁浮团体标准发布实施。

## 8 重大分歧和处理意见经过的依据

无

## 9 贯彻标准的要求和措施建议

中低速磁浮交通车辆悬浮控制系统电磁铁组件是我国自主研发，具有完全自主知识产权的技术。

磁浮车辆电磁铁生产厂家及车辆生产相关的单位，要组织生产及专业技术人员对本标准的培训，请相关专业技术人员对标准逐段进行讲解，理解标准的相关规定。在生产及试验时要按照标准的规定执行。特别标准的相关试验方法与试验判断的要求，按照规定的程序进行。标准中引用的相关标准，与本标准的内容等效执行。

车辆生产单位，要组织技术人员和相关人员学习贯彻此项标准。在车辆上装置电磁铁前，要很好了解标准的相关要求。

## 10 其它应说明的事项如涉及专利的处理等

《中低速磁浮交通车辆电磁铁》标准中没有涉及专利。