

宁波轨道交通车辆底架设备 悬挂方案分析与比较

雷张文¹, 李 科², 黄慧建³

(1. 株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001;

2. 中车株洲电力机车有限公司, 湖南 株洲 412001;

3. 宁波市轨道交通集团有限公司 运营分公司, 浙江 宁波 315010)

摘 要: 宁波轨道交通 1 号线与 2 号线一期车辆均为同一公司设计制造的地铁车辆。2 种车辆主要差异在车下设备悬挂方案的不同, 车辆各项技术参数基本完全一致。通过总结对比 2 种不同的悬挂方案及应用情况, 分析 2 种车辆对应的设备悬挂平台的特征及差异, 为后续车辆设计选型提供参考。

关键词: 城市轨道交通; 设备布置; 边梁悬挂; 悬挂座悬挂; 设备吊挂; 悬挂梁

中图分类号: U231

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2019.02.027

Analysis and Comparison for under Frame Equipment Suspension Scheme of Ningbo Rail Transit Vehicles

LEI Zhangwen¹, LI Ke², HUANG Huijian³

(1. Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China; 2. CRRC Zhuzhou Locomotive Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China; 3. Operating Company, Ningbo Rail Transit Group Co., Ltd., Ningbo, Zhejiang 315010, China)

Abstract: Ningbo rail transit line 1 and line 2 phase I vehicles were designed and manufactured by the same company. The main differences between the two vehicles were the different suspension schemes under the frame, and the technical parameters of the vehicles were basically the same. By summarizing and comparing the two different suspension schemes and their applications, the characteristics and differences of the corresponding equipment suspension platforms of the two vehicles were analyzed, which provided a reference for the subsequent vehicle design and selection.

Keywords: urban rail vehicle; equipment arrangement; side beam suspension; suspension seat suspension; equipment hang; hanging beam

0 引言

为获得更低的车辆重心高度, 提高车辆的平稳性、舒适性、安全性和载客量, 同时减少基础建设成本, 地铁车辆配置的绝大多数设备都安装在车辆地板面以下的底架上。随着车辆模块化设计成熟度不断提高与专业分工更加细化, 车辆设计衍生出了一个专门研究

车辆设备布局及安装的学科。

宁波轨道交通 1 号线与 2 号线一期车辆, 均为中车株洲电力机车有限公司设计制造的 B2 型铝合金地铁车辆, 车辆基本尺寸及技术性能基本一致, 车下设备悬挂方式则分别采用了悬挂座悬挂和边梁悬挂。由于悬挂方式的差异, 车辆设计、制造所考虑的问题也有差异, 安装结构性能也有不同。本文将详细介绍这两种不同的悬挂方式, 以及在宁波轨道交通 1 号线及 2 号线一期车辆设计、制造等方面的差异化设计方案及

收稿日期: 2017-08-31

基金项目: 2012 年度宁波市科技项目 (2012C5008)

应用情况。

1 方案基本结构

1.1 悬挂座悬挂方案

宁波轨道交通1号线车辆采用铝合金车体结构, 用于安装设备的C型槽预挤压在车体底架地板型材上, C型槽与地板型材长度一致, 纵向贯穿整个底架地板, 为了安装底架横梁, 在横梁位置及其他接口处设置了断点。在型材设计时, 已综合考虑不同设备安装要求, 设置了多个不同间距的C型槽。底架的大型及重要设备通过悬挂座固定于底架C型槽上。悬挂座设计成“V”型结构, 使用时将悬挂座从断点处装入, 嵌块直接滑入C型槽内, 定位好后紧固, 悬挂座下部安装面为设备安装表面, 安装结构示意图如图1所示。

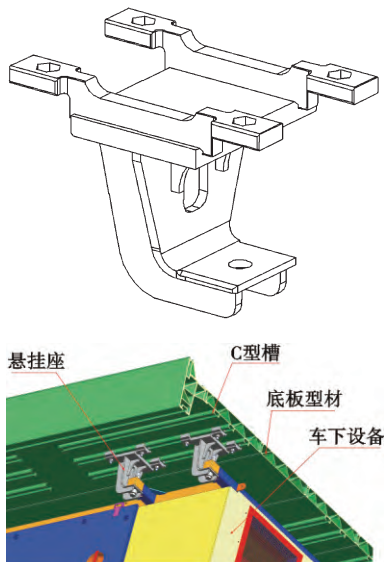


图1 宁波轨道交通1号线车辆悬挂座悬挂模型

采用这种安装结构的底架设备通过悬挂座与车辆底架间接连接, 设备载荷直接作用到悬挂座上, 紧固件不承载, 安装结构安全可靠。过渡装置的结构尺寸, 综合考虑了各个设备的结构及车辆限界、布管布线空间等因素, 设计成一个通用的模块, 既保证了互换性, 又提高了同类型悬挂座生产效率。

悬挂座工作示意如图2所示, 实际工作时, 悬挂座插入底架C型槽内, 利用紧固件和夹板固定于底架上; 底架设备载荷作用于承力面上, 方向垂直向下(z 轴负方向)。每个底架设备通过多个(一般为4~6个)悬挂座固定于底架上, 悬挂座为刚性结构件, 结构强度及疲劳强度高。由于列车悬挂座使用量较大, 更有利于模块化批量生产。

采用悬挂座悬挂方案的宁波轨道交通1号线整车车下总体布置特点为: ①规划了底架C型槽布置位置, 使设备横向跨度集中在780 mm, 900 mm和1 900 mm 3种规格, 设备安装后, 设备上方与底架之间的空间用于布置线槽、管排; ②针对整车布线, 规划了分布在车辆底架两侧的线槽, 分别用于布置高压电缆(A类、H类电缆)和控制电缆(B类、C类电缆), 减少高压电缆对控制电缆干扰的风险; ③车辆管排集中在高压电缆侧。悬挂座悬挂车下布置方案见图3。

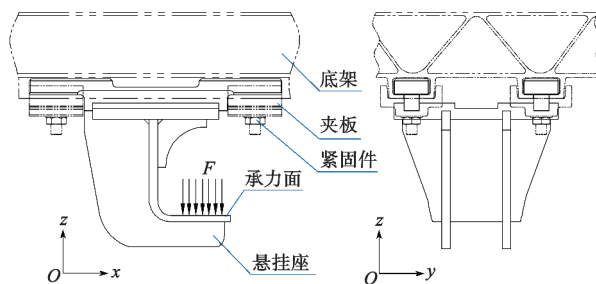


图2 悬挂座工作示意图

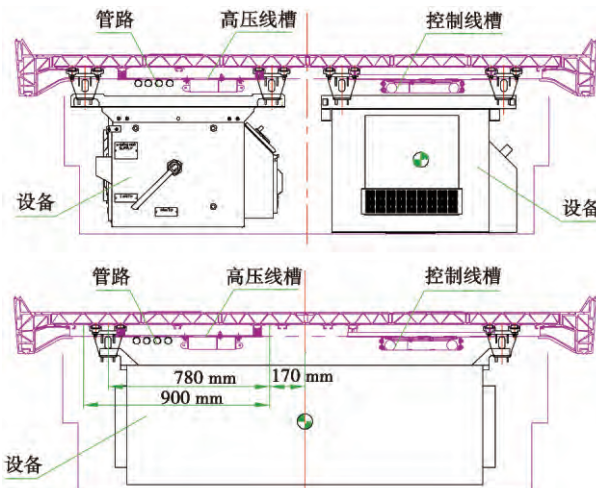


图3 悬挂座悬挂车下布置方案

1.2 边梁悬挂方案

设计采用边梁悬挂结构的车辆时, 在车体底架边梁内侧预留了翼板结构, 横穿车体的设备安装梁通过翼板与底架固定, 底架设备再固定在这种安装梁上, 这种安装技术叫做“边梁悬挂”。

宁波轨道交通2号线一期车辆采用的边梁悬挂方案, 车体底架在边梁内侧下表面预挤压通长70 mm×12 mm的翼板, 用于托起悬挂梁; 设备悬挂梁采用EN AW-6005A-T6铝型材挤压, 悬挂梁主体为工字型结构, 主体高120 mm, 四周预留4块60 mm×10 mm的翼板, 用于安装设备和固定悬挂梁; 悬挂梁搭接在边梁翼板上表面, 通过不承载的紧固件定位固定; 悬挂梁上表面预留116 mm高度的空间, 用于布置线槽和空气管路; 悬挂梁至轨面以上232 mm(基于限界要求由车辆参数计算得出)区域为安装设备可用空间, 边梁悬挂断面示意图如图4所示。

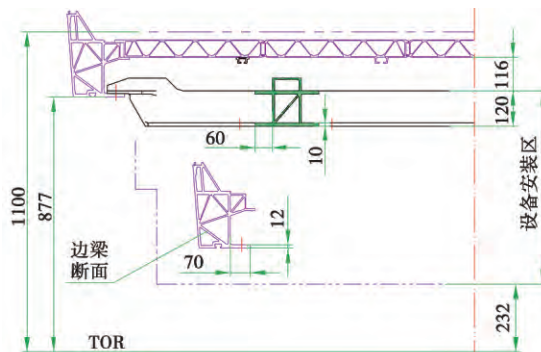


图4 边梁悬挂方案结构断面图

2 方案技术特征对比

2.1 2 种方案对应的结构对比

2.1.1 悬挂座悬挂结构

采用悬挂座悬挂时, 设备悬挂座固定在车辆底架 C 型槽上, 同时线槽、管路也固定在车辆底架 C 型槽上, 车辆设备安装、管路路径及固定、线槽路径及固定需要在同一水平面上进行规划。车辆设计需要很高的规划能力, 车辆制造需要详细分析车辆设备、管路、电缆设计数据, 合理安排工序。

由于 C 型槽是沿车辆纵向布置, 设备可在纵向方便移动, 设备固定点在纵向尺寸要求不严格; 但横向固定点的跨度必须满足预先设计好的尺寸。在设备安装过程中, 横向跨度尺寸由制造设备及车体铝型材来保证, 控制难度小, 施工时只需要将悬挂座插入对应的 C 型槽中即可; 悬挂座可沿 C 型槽移动, 纵向尺寸可调, 设备安装方便。

2.1.2 边梁悬挂结构

采用边梁悬挂安装时, 设备悬挂梁固定在车辆底架翼板上, 而线槽、管路固定在车辆底架 C 型槽上, 这 2 种固定点的垂直高度约 110 mm。车辆设备安装与管路路径及固定、线槽路径及固定不在同一水平面上, 该底架上基本只有管路与线槽, 需要进行空间规划的位置较少。车辆设计确定基本空间原则后各专业协同要求很少, 车辆制造遵循先管路、电缆后设备安装的基本原则即可, 不需要详细地规划安装工序。

由于悬挂梁是沿车辆横向布置的, 悬挂梁固定点可沿车辆纵向移动, 采用横跨这个车体的设备时, 设备固定点的布置设计相对较为自由; 采用安装在一侧的设备时, 必须规划好设备纵向固定点跨度, 以实现多个设备共用设备悬挂梁。

设备安装设计时纵向、横向跨度均应方便调整, 且不影响其他专业组设计; 为了便于悬挂梁及设备安装, 一般安装固定点之外的翼板会被加工去除, 后期制造过程中一旦出现方案调整或者错误, 将很难调整, 容错性较差。

2.2 制造工艺及成本对比

2.2.1 悬挂座悬挂制造工艺

悬挂座悬挂方案的制造工艺分为悬挂座部件制造和悬挂座安装两部分。焊接悬挂座部件制造工艺步骤如下:

① 不锈钢板 数控切割呈模具落料 → 加强筋、钩板、折弯板毛坯 折弯 → 折弯板;

② C 槽垫块机加工毛坯、连接板机加工件 整体组焊 →

组焊毛坯 整体机加工 → 最终零件 表面处理 → 使用。

悬挂座部件制造完成后, 通过夹板及成套 M10 不锈钢紧固件 (见图 2) 将悬挂座固定在车辆底架上。为了实现悬挂座安装, 车辆底架 C 型槽在纵向需预留适当数量空缺位置, 悬挂座利用空缺位置进入 C 型槽内并沿 C 型槽移动到指定位置。各个悬挂设备通过 M16 螺栓固定在悬挂座承力面上, 整个悬挂结构无紧固件承载。

2.2.2 边梁悬挂制造工艺

挤压铝型材悬挂梁毛坯经机加工、接口结构组焊、钢螺套预埋、表面处理 4 大制造工序, 制造成悬挂梁产品, 悬挂梁结构效果图如图 5 所示。

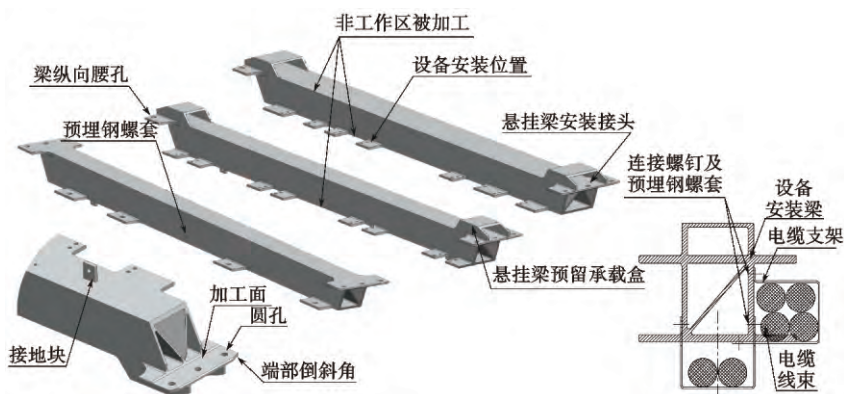


图 5 悬挂梁结构

悬挂梁沿搭接面加工安装接头, 工字梁被加工去除, 并预留少量竖边, 加工面呈斜坡状, 减少应力突变; 筋板厚度方向加工 2 mm, 以确保加工面的平整度; 上部承载盒预留适当长度, 横跨接头断面变化区, 其他区域全部加工, 以预留空间方便布管、布线。悬挂梁翼板用于与车体联接及与设备联接部分予以保留, 并预留适当余量, 其他区域全部加工。用于悬挂梁保护接地的接地块, 焊接在每根梁距端部约 400 mm 处。

车体底架边梁翼板上预留工艺缺口, 用于悬挂梁的安装。安装时悬挂梁先通过该缺口抬升到边梁翼板以上, 再平移到安装位固定。在底架边梁加工工序中, 将工艺缺口加工好。为了保证边梁翼板上的螺栓连接圆孔的位置度, 该连接孔在底架组焊后整体加工, 同时为消除底架焊接收缩带来底架边梁内侧距变化, 所有悬挂梁同一端的全部螺栓孔加工成圆孔, 另外一端螺栓孔全部加工成沿车辆横向方向的椭圆孔。悬挂梁采用螺栓连接, 所有梁统型按照单梁承重 1 000 kg 计算, 根据相关标准规定计算后, 选择 10.9 级的 M16 螺栓。为了消除设备安装点位置公差及悬挂梁安装公差, 设备与悬挂梁连接处设计椭圆孔连接, 设备上的安装孔采用纵向椭圆孔, 悬挂梁采用横向椭圆孔, 设备可横向和纵向双向调节。为了减少具有振动源的设备振动, 如电抗器、空压机等设备, 在设备与悬挂梁连接处, 采用弹性钢带过渡, 如图 6 所示。

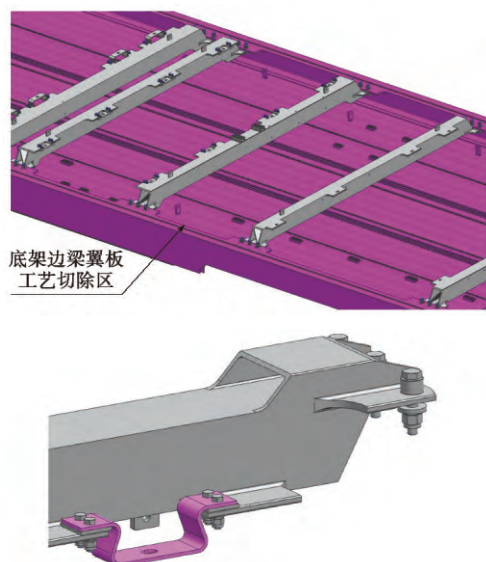


图6 悬挂梁安装效果

2.2.3 成本差异说明

设备悬挂方案成本主要包含3部分: 悬挂结构件(如悬挂座、悬挂梁、夹板)制造成本; 车体加工成本(如由于安装结构需要在车体与挤压结构进行加工的成本); 设备安装紧固件成本。

在结构件制造成本方面, 焊接悬挂座采用机加工后的不锈钢板组焊成毛坯, 然后再进行关键尺寸机加工, 最后表面处理后做成成品; 悬挂梁采用预挤压铝型材加工成毛坯, 然后经过装配、组焊接口(预埋钢螺套、焊接接地座等), 最后表面处理后做成成品。焊接悬挂座悬挂由于悬挂座数量基数大, 加工工序长, 而所用不锈钢与铝合金原材料价格相近, 结构件成本

方面稍显劣势。

在悬挂结构与车体接口方面, 采用悬挂座悬挂方案需利用大量车下C型槽, 车体需预挤压通长的C型槽, 这样在底架加工阶段增加了加工量; 采用边梁悬挂方案同样需要在底架边梁内侧预挤压翼板, 也增加了加工量。这两种结构在此处成本不相上下。

设备悬挂结构安装紧固件成本主要包括结构件与车体固定紧固件、设备与结构件固定紧固件2部分的成本。设备与悬挂座、悬挂梁连接的紧固件在这2种结构中几乎没有差异; 由于悬挂座基数大, 且每个悬挂座需要4套固定紧固件, 悬挂座悬挂方案紧固件成本相对高一些, 一般在每车1000元以内。

2.3 受力特征对比

在对车辆设计时按照EN 12663-1: 2010《铁路车辆车身的结构要求》标准, 按照实际载荷, 对悬挂座悬挂和边梁悬挂进行仿真校核。图7所示为宁波轨道交通2号线一期车辆项目中受力最恶劣的悬挂梁计算结果。图8所示为宁波轨道交通1号线中车辆项目受力最恶劣的悬挂座计算结果。通过仿真校核, 这2种结构的静强度完全满足EN 12663-1: 2010标准的要求。

2.4 模块化方案对比

城轨车辆设备质量分布在100~1800 kg, 其中大多数设备质量分布在400~1000 kg, 单个设备安装固定吊耳公称承载不大于250 kg。在模块化和统型设计方面, 根据设备质量大小, 通过有限元计算优化, 宁波轨道交通1号线及2号线一期车辆项目均分别规划了多种技术规格的悬挂座和悬挂梁序列。

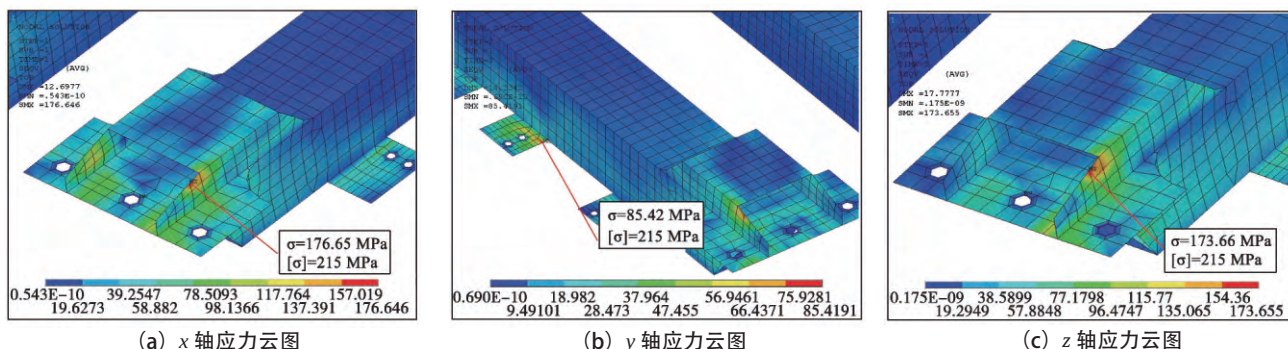


图7 悬挂梁受力仿真结果

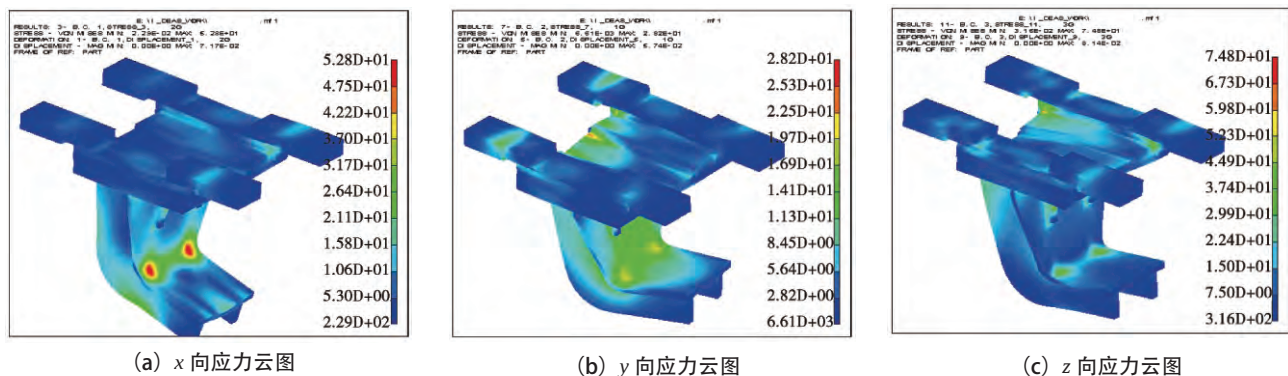


图8 悬挂座受力仿真结果

图 9 列举了规划的悬挂梁序列断面, 悬挂梁 1 用于承载 500 kg 及以下的设备 (2 根梁共同承载, 下同); 悬挂梁 2 用于承载 1 000 kg 及以下的设备; 悬挂梁 3 用于承载 2 000 kg 及以下的设备。根据车辆宽度, 规定了 2 760 mm 和 2 650 mm 2 种长度规格的悬挂梁加工毛坯, 分别用于 A/B 型车辆, 宁波轨道交通 2 号线一期车辆采用 2 650 mm 规格的悬挂梁铝型材毛坯。

图 10 列举了规划的悬挂座序列, 根据不同设备的高度, 结合设备的质量大小, 规划了 3 种不同规格的悬挂座。根据设备结构尺寸和质量大小的特点, 宁波轨道交通 1 号线一期车辆选用了 1 型和 3 型两种规格的悬挂座, 宁波轨道交通 1 号线二期车辆选用了 2 型悬挂座。

规格	H/mm	承载质量/kg
1型	112	200
2型	132	250
3型	182	250

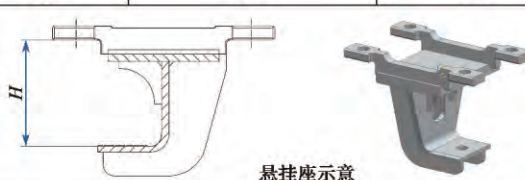


图 10 悬挂座系列

2.5 减振效果对比

对于设备减振和隔振方面, 由于这 2 种安装方式固定设备的位置差异, 隔振的效果在应用方面存在差

异。采用悬挂座悬挂设备时, 由于设备直接通过悬挂座刚性固定在车体底架上, 当设备振动时, 振动将通过刚性支撑直接传递到客室地板面; 采用边梁悬挂设备时, 由于长跨度的悬挂梁能提供一定的弹性变形, 同时悬挂梁固定点为刚度较大的车辆底架边梁, 设备振动传递到客室的能量较小。通过对宁波轨道交通 1 号线和 2 号线一期同一设备振动数据进行实测, 得出采用边梁悬挂的宁波轨道交通 2 号线一期车辆隔振效果更优。

3 结语

采用悬挂座悬挂方式和边梁悬挂方式只是 2 种不同的技术路线, 每种技术路线对应了多个与之配合的专业方案, 如布线、布管、设备结构等, 每一种技术路线的各个相关专业相互配合好, 车辆系统才能做到最优。地铁车辆车下设备悬挂方案与整车布线方案、布置管路方案等息息相关, 单从设备悬挂一个专业对比, 无法全面地对专业方案的优劣进行评估, 本文对不同悬挂方案的设计考虑的内容进行了全面的研究, 可以为其他相关设计提供参考。

参考文献:

- [1] 严隽毫, 车辆工程 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1992.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 地铁车辆通用技术条件: GB/T 7928—2003 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2003.
- [3] 雷张文, 王崇宁. 两种底架设备悬挂座的对比分析 [J]. 电力机车与城轨车辆, 2010, 33 (6): 27-29.
- [4] 雷张文, 刘厚林, 何文佳. 铝合金地铁车辆边梁悬挂平台研究 [J]. 电力机车与城轨车辆, 2016, 39 (2): 51-54.
- [5] 黄慧建, 雷张文, 蒋晓东. 宁波轨道交通 1 号线一期工程车辆底架设备布置方案优化 [J]. 电力机车与城轨车辆, 2012, 35 (3): 33-36.
- [6] 荆道艳. TPB 车体有限元分析与车下设备布局优化研究 [D]. 北京: 北京交通大学, 2008.

作者简介: 雷张文 (1981—), 男, 高级工程师, 现从事轨道交通工程车辆及城轨车辆总体设计。

动态消息

《机车电传动》编辑部声明

为顺应网络环境下期刊出版的新要求, 推进期刊网络出版传播, 凡向本刊投稿并被本刊录用, 在著作权法的框架内, 该论文的复制权、发行权、信息网络传播权、

翻译权、汇编权等权利在全世界范围内转让给本刊及本刊授权的相关数据库。凡被本刊录用的稿件将同时通过因特网、手机等进行网络出版或提供信息服务, 根据本刊编辑部稿酬标准一次性支付作者著作权使用报酬 (即稿费, 包含印刷版、光盘版和网络版等各种使用方式的报酬)。

《机车电传动》编辑部