

# 地铁车辆车下设备谱系化安装结构研究

唐立国 李宝泉 曹春伟 吴群芳 刘 凯

(中车唐山机车车辆有限公司,063035,唐山//第一作者,高级工程师)

**摘 要** 提出了地铁车辆车下设备的安装设计原则和注意事项。分析了地铁车辆不同车体材质的车下设备谱系化安装方式,并针对底架边梁和主横梁托装设备的结构进行了强度仿真计算。通过仿真计算验证了设计结构的合理性和可靠性。

**关键词** 地铁车辆;车下设备;安装方式;谱系化;仿真分析

**中图分类号** U270.3

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.03.006

## Study on the Pedigree Installation Structure of Carriage Equipment under Metro Vehicle

TANG Ligu, LI Baoquan, CAO Chunwei, WU Qunfang, LIU Kai

**Abstract** The principle, dos and don'ts for the installation design of equipment under metro vehicle are introduced. Then, the pedigree installation structure of the equipment made of different body materials under metro vehicle is analyzed, a strength simulation is carried out for the structure of equipment supported by the under-frame side beam and main beam. Finally, the rationality and reliability of the design structure are verified by the strength simulation.

**Key words** metro vehicle; equipment under vehicle; installation; pedigree; simulation analysis

**Author's address** CRRC Tangshan Co., Ltd., 063035, Tangshan, China

根据地铁车辆的车体材质和设备本身的结构特点,车下设备的布置、安装形式各有差异,但不论何种地铁车辆,均应遵循整车质量平衡、设备安全可靠、设备安装检修维护方便、轻量化、模块化布置安装在车辆车体上的原则。本文所述的车下设备主要是指电气牵引和辅助系统设备箱,以及风源系统与风缸系统制动等制动系统相关设备。

## 1 地铁车辆车下设备安装结构的设计原则

车下设备的安装受整车设备布置、质量平衡、

安装检修维护方便、配线配管规范合理、车体构造、车辆限界及轨道等诸多因素决定,不论何种类型的地铁车辆,都须在设计阶段综合考虑多种因素,使车下设备安装结构为最优。车下设备安装结构设计应考虑以下因素。

### 1.1 整车质量平衡

车下设备的安装布置需遵循整车的质量平衡,经过不断地优化调整,确保满足整车轴重及轮重的要求。一般同一动车的每根动轴实际测得的轴重与该车各动轴的平均轴重之差,不应超过实际平均轴重的2%,每个车轮的实际轮重与该轴两轮平均轮重之差不应超过该轴两轮平均轮重的 $\pm 4\%$ <sup>[2]</sup>。

### 1.2 限界要求

综合车辆平断面图、车下设备吊装限界,以及一系、二系减振故障时车辆下落要求,车下设备吊装在方案设计阶段必须考虑设备和转向架限界,设备的自然边界距离限界的横向及垂向边界线保证留有一定的余量,确保车辆在运行或故障情况下设备不侵入限界<sup>[3]</sup>。

### 1.3 设备安装的工艺性

设计时需考虑设备安装的工艺性,主要有以下几个方面:

- 1) 设备安装时扭力扳手的操作空间;
- 2) 设备的吊耳要与车体吊装环境匹配,如采用托装结构,还需注意过渡支架缺口的位置,避免安装干涉问题;
- 3) 在设备与设备间需预留一定的接线空间,以方便设备的接线;
- 4) 在设计车下设备吊装时需考虑安装环境,即与其他设备留有一定的安全距离,尤其注意制动管路、线槽、车下线束、转向架的安装位置。

### 1.4 设备检修的维护性

设计时需考虑设备后期的检修维护性,核实车下设备要求的检修维护空间,主要有以下几个方面:

1) 各个箱盖、检查门的打开角度,尤其注意折页门打开到位的行程,在此行程轨迹范围内不能有遮挡。使用螺栓或四角锁的检查门,要核实拆卸空间,保证设备在使用过程中具有可维修性、可维护性。

2) 注意车体的固有部件与设备及其维护空间之间的相对位置关系,以避免干涉。

3) 设备检修维护时拆卸空间、扭力扳手的操作空间。

4) 设备铭牌、警示标志等应齐全并易于观察。

### 1.5 设备安装的模块化

设备的安装需遵循模块化安装的原则,设备的模块化安装不仅可以通过散件集成的方式,大大提高总装的效率,而且可以使得车下设备布置更加集中、有序,有效降低设计时设备布置的难度。

此外,可以对模块单独进行振动和气密性试验,以有效保证可靠性,所以在设备布置设计初期,应充分考虑设备的可模块化型,制定出合理的模块化方案。

### 1.6 车下设备安装结构的强度

在设计车下设备安装形式时,需考虑设备本身的结构形式,以及设备的质量、质心与吊装点的相对位置。

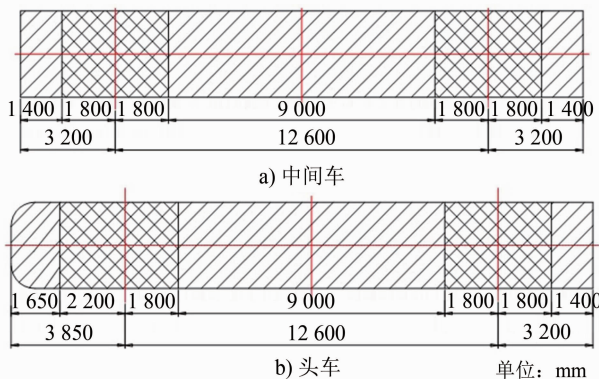
1) 设备安装座的强度。设备安装座的结构根据设备的质量进行设计,同时须满足设备安装的强度、工艺性及可维护性等要求,在此基础上,还应充分考虑模块化、轻量化措施。

2) 连接强度。根据设备安装座和设备的材质、结构确定连接形式。常用的车下设备连接形式为螺栓连接、HUCK 铆钉铆接,不论采用何种形式的连接均需计算连接强度。不同材质连接时需考虑接触表面的电化学腐蚀问题,通常采用喷涂底漆隔离的方法来避免此问题。

## 2 车下设备谱系化的安装方式

基于现有地铁车辆的车下设备布置图,对常用的车下设备安装结构进行分析。以 B 型地铁为例,根据 B 型地铁转向架的自身特点和摆动区域,一般车下设备布置区域见图 1。

车下设备安装与车体材质、设备质量等密切相关。地铁车辆的车体材质主要分不锈钢和铝合金两种材质,本文主要根据车体材质的不同介绍车下设备谱系化的安装方式。



注: 网格线区域为转向架及其设备所占空间, 其它设备不应侵入

图 1 B 型地铁车下设备安装区域

### 2.1 不锈钢车体车下设备谱系化安装方式

不锈钢车体车下设备的安装方式主要有两种: 一种是将设备直接栓接在横梁和纵梁下方, 另一种是通过过渡支架间接栓接在横梁和纵梁下方。

#### 2.1.1 直接栓接安装方式

通过在车体底架横梁和纵梁上设置开孔, 利用设备箱自带的安装吊耳结构, 通过紧固件与车体底架横梁和纵梁连接在一起, 如图 2 所示。

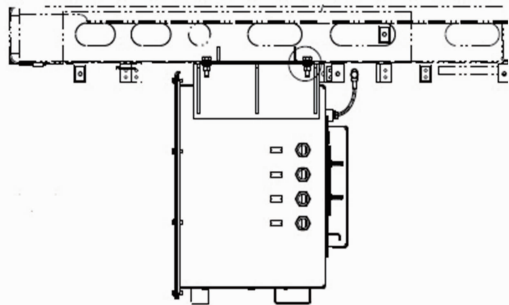


图 2 不锈钢车体车下设备直接栓接安装方式示意图

在这种直接安装结构中,设备质量通过螺栓联结后直接传递到车体的纵梁和横梁上。为了保证设备的安装强度,一般在安装孔附近的梁上焊结补强板来改善受力情况,特别是质量较大设备,一般还需要设置二次防脱结构。

直接栓接的安装结构较为简单,在底架上不需要另外增加过渡安装座,有利于车辆结构轻量化,但是也存在如下缺点<sup>[4]</sup>:

1) 设备的吊装位置不仅受底架纵梁和横梁布置的影响,还受底架纵梁和横梁下平面高度的影响。

2) 底架纵梁和横梁的安装平面高度存在的偏差,难以保证设备安装螺栓受力均匀,使螺栓间受力差较大,这样容易造成螺栓松动或断裂,存在安全隐患。

3) 不利于设备的检修维护,更换螺栓时需配升降设备。

4) 设备紧贴底架纵梁和横梁的安装面,占据了一定的横向空间,不利于车下整体线槽和制动管路的布置和安装。

### 2.1.2 通过过渡支架安装方式

通过过渡支架的安装方式与直接栓接安装较为类似,只是在底架纵梁、横梁与设备安装座之间设计了一个用于调整高度的安装座。安装座下平面的高度由设备吊挂高度确定,如图3所示。详细安装结构视图如图4所示。

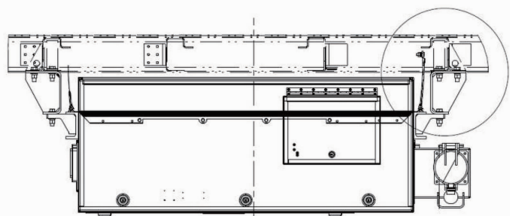


图3 不锈钢车体车下设备通过过渡支架安装方式示意图

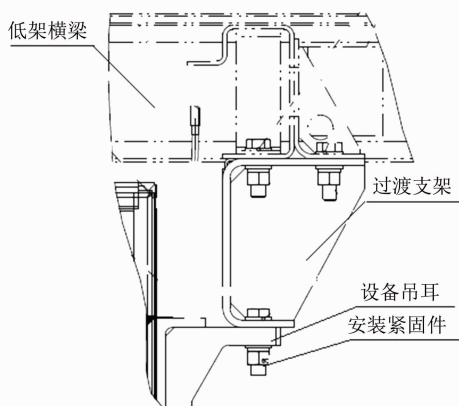


图4 吊装结构详细视图

与直接吊装结构相比,通过过渡支架安装的方式,因过渡支架高度可调,可使设备安装高度不受底架梁和滑槽下平面高度的影响,有利于车下管线的布置和安装,便于实现设备模块化集成,但过渡支架的设置不利于结构轻量化。

## 2.2 铝合金车体车下设备谱系化安装方式

铝合金车体车下设备安装主要采用两种方式:一种是通过车体底架自带的C型滑槽安装,另外一种是通过车体边梁或主横梁进行安装。

### 2.2.1 通过底架C型槽安装方式

通过车体底架型材的自带C型滑槽,车下设备通过直接栓接或通过过渡支架进行安装,如图5所示。

托装设备安装结构除具备上述“过渡支架吊挂式”的优点之外,还具有以下特点:结构可靠性较高、承载能力好,以及安装、维护工艺性好,即设备安装时,升降设备只需将设备移送至安装托座上并调好位置即可离开,更换螺栓时无需配备升降设备。但安装托座的设置不利于结构轻量化。

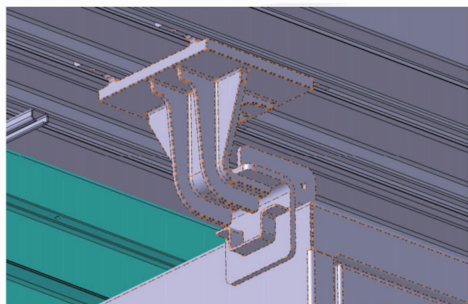


图5 底架C型槽吊装设备

### 2.2.2 通过车体边梁和主横梁安装方式

1) 对于车下质量比较大的牵引设备,一般布置在车辆底架中部,并通过车体边梁进行吊装,如图6所示。

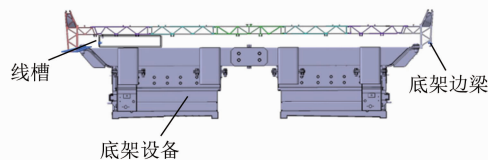


图6 车体底架边梁吊装设备

2) 对于质量较轻的设备,一般对设备进行模块化集成,通过吊挂在车体边梁的主横梁进行托装。例如,车辆风缸模块为了实现最大化的模块化设计,将过滤器、截断塞门、止回阀、双向阀、停放制动电磁阀以及溢流阀等集成在一个气路控制板上,做成一个气路控制箱,然后将气路控制箱和风缸等集成安装在一个安装框架内,组成一个风缸模块。风缸模块通过4个M12的螺栓整体托装在两根主横梁上,主横梁通过拉铆螺栓吊装在车体边梁上,如图7所示。

车体边梁和主横梁的安装通过将设备进行模块化集成,这样可改善安装、维护工艺性,设备安装的标准化程度较高;但因车体边梁两托挂点之间的横向跨度相对较大,故在设计过程中,需同时考虑轻量化与设备模块主梁的强度问题,特别是质量较大的设备。

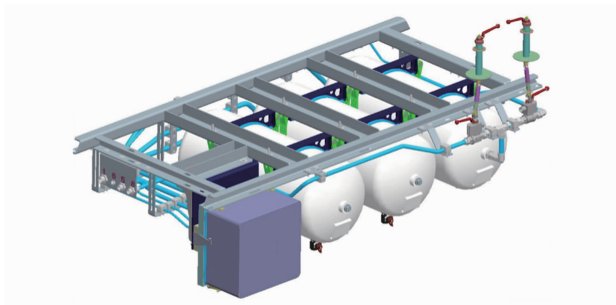


图7 风缸模块安装结构

### 3 仿真计算分析

地铁车辆车下设备安装结构设计时,除考虑到上述的设计原则、注意事项外,还需对设计结构进行仿真计算。通过对计算结果的分析校核,验证设计结构的可靠性。

本文以某地铁项目蓄电池箱通过主横梁安装为例进行仿真分析,通过对主横梁和底架边梁强度的计算,验证底架边梁和主横梁安装设备箱的可靠性。

#### 3.1 模型建立

蓄电池箱吊装结构安装在两根主横梁上,主横梁则与底架边梁采用吊装方式。建立有限元模型时,对原有模型进行了部分简化,将蓄电池箱简化为质点,底架边梁及主横梁结构则主要采用SHELL181壳单元模拟,如图8所示。

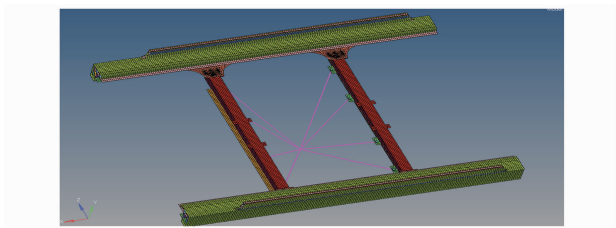


图8 蓄电池箱吊装结构有限元模型

车体边梁及主横梁所用材料均为6005A-T6铝型材,具体参数如表1所示。

表1 车体边梁及主横梁材料参数表

结构	密度/(kg/m <sup>3</sup> )	弹性模量/MPa	泊松比	屈服强度/MPa
车体边梁及主横梁	2 700	71 000	0.33	200

#### 3.2 载荷施加

根据EN 12663—2010<sup>[5]</sup>和IEC 61373—2010<sup>[6]</sup>确定载荷的施加,具体如下:①支架单元纵向加速度为±3 g;②支架单元横向加速度为±g;③支架单

元垂向加速度为(1±c)g。其中:g为重力加速度,取9.810 m/s<sup>2</sup>;c为垂向动载荷系数,当选调装置安装在车辆端部时取2,安装在中部时取0.5,此处取2。按照上述施加载荷原则将出现8种工况,将载荷均施加在模拟蓄电池箱的质点上面,如表2所示。

表2 蓄电池箱吊装结构计算荷载施加工况

工况	纵向X	横向Z	垂向Y
1	+3 m g	+1 m g	+3 m g
2	+3 m g	-1 m g	+3 m g
3	-3 m g	+1 m g	+3 m g
4	-3 m g	-1 m g	+3 m g
5	+3 m g	+1 m g	-1 m g
6	+3 m g	-1 m g	-1 m g
7	-3 m g	+1 m g	-1 m g
8	-3 m g	-1 m g	-1 m g

注:m表示蓄电池吊装结构的质量

#### 3.3 静强度分析

在车体底架边梁上施加全约束,按照标准规定的加载方式及加载载荷进行仿真分析,可得出蓄电池箱吊装结构在8种计算工况作用下所受的最大等效应力,如表3所示。

表3 各计算工况下蓄电池箱所受最大应力

工况	主横梁所受最大等效应力/MPa	边梁所受最大等效应力/MPa
1	174.70	108.68
2	166.46	112.43
3	170.39	118.71
4	171.59	121.26
5	152.83	95.91
6	140.36	93.84
7	147.60	94.36
8	151.97	90.92

蓄电池箱吊装主横梁结构在8种计算工况作用下,所受的最大等效应力为174.7 MPa,小于所用材料的屈服强度200 MPa,满足强度要求;与蓄电池箱连接的底架边梁在8种计算工况作用下,所受的最大等效应力为121.26 MPa,小于所用材料的屈服强度200 MPa,满足强度要求。

### 4 结语

根据地铁车辆的车体材质不同分析了车下设备的谱系化安装方式,各类安装方式各有特点、各有利弊。用户要求、车辆限界、车体材质、设备重量、模块化需求及整车轻量化需求均成为车下设备安装方式选择的影响因素。设计时应充分考虑设计

(下转第30页)



### 3 测试应用

本设计已在厦门地铁 1 号线远程数据管理中应用,通过在地面服务器/地面显示终端 ping(因特网包探索器)通车载 ERM 设备,完成了车地通信信道连通性测试;根据车地通信 UDP 接口协议,完成了

所有信号车地收发数据的通信测试;在车辆运营期间进行了列车运行数据的远程 Web 访问和数据分析管理,以便于控制中心人员和检修维护人员实时查看列车故障,以及分析列车运行状态和进行故障处理,极大地满足了地铁列车运营需求。



图 3 列车状态界面

### 4 结语

地铁列车远程数据管理系统的设计以地铁列车运营管理的实际工作需求为基础,实现了列车及关键部件的实时监控、数据分析、故障预测功能,通过列车及关键部件或子系统当前状态,对故障进行诊断或识别,并对潜在的故障进行预测或报警。此设计已应用在厦门地铁 1 号线项目,并可推广到其他地铁项目。同时,本文采用的主要技术路线可根据地面服务器的配置而进行调整和作出变化。

### 参考文献

[1] 文永亮,欧阳瑞璟,王艳秋.城市轨道交通列车实时无线传输技术的应用[J].城市轨道交通研究,2017(2):97.

[2] 张洲,黄纯昉,马文胜.城市轨道交通车地无线通信的应用[J].都市快轨交通,2014(12):16.

[3] 单晟,刘黎明,陈建桥,等.机车状态实时监测与智能诊断及维护支持系统[J].机车电传动,2009(5):40.

[4] 李启磊,李臣明,冯新颖,等.地铁列车安全运行的远程诊断技术[J].城市轨道交通研究,2015(8):142.

(收稿日期:2018-07-03)

(上接第 26 页)

原则和需要注意的事项,保证安装结构合理,避免对生产制造、检修维护带来不便。但无论选用哪种安装方式,均需同时考虑安装处车体本身的强度、过渡支架的强度及车体与设备连接的强度,并通过仿真计算获得设计依据,以此验证设计结构的可靠性。

### 参考文献

[1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.地铁设计规范:GB 50157—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.

[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:GB7928—2003[S].北京:中国质检出版社,2004.

[3] 国家标准局.标准轨距铁路机车车辆限界:GB146.1—1983[S].北京:中国标准出版社,1984.

[4] 徐凤妹,劳世定.客车车下设备吊挂方式的研究[J].铁道车辆,2009(4):12.

[5] CENELEC. Railway applications——Structural requirements of railway vehicle bodies:BS EN 12663-1—2010[S].Brussels:CENELEC,2010.

[6] IEC. Railway application——Rolling stock equipment-Shock and vibration tests:IEC 61373—2010[S]. Geneva: IEC,2010.

(收稿日期:2019-02-14)