

北美双层电客车基础制动装置配置及特性

张英余 周 波 赵志爽

(中车唐山机车车辆有限公司产品研发中心, 063035, 唐山//第一作者, 高级工程师)

摘 要 目的:列车基础制动装置的选型及性能将直接影响列车的行驶安全,为解决此问题,特介绍了北美双层电客车基础制动装置的配置及特性。**方法**:对北美双层电客车的基础制动装置形式、踏面制动单元的特性、盘形制动单元特性和基础制动热容量进行了分析。**结果及结论**:应力分析表明,在盘型制动的制动盘温度急剧变化的过程中,其应力变化梯度较小,制动盘材质性能稳定。热容量分析结果显示,车轮踏面及制动盘在连续 2 次紧急制动工况下能完全满足设计许可温度。因此,该基础制动装置的性能完全满足列车使用要求。

关键词 电客车;基础制动;修复型闸瓦;制动盘;热容量分析

中图分类号 U270.35:U271.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.07.044

Configuration and Features of North America Double-decker Electric Coach Basic Brake System

ZHANG Yingyu, ZHOU Bo, ZHAO Zhishuang

Abstract Objective: Type selection and properties of train basic brake system can directly affect train operation safety. To tackle this issue, the configuration and features of basic brake system for North America double-decker electric coach is introduced in detail. **Method**: The basic brake system forms, tread brake unit features, disc brake unit features and basic brake thermal capacity are analyzed. **Result & Conclusion**: Stress analysis show that during the drastic changes of brake disc temperature in disc brake system, the stress change gradient is relatively small and brake disc material properties are stable. Thermal capacity analysis results show that wheel tread and brake disc completely can meet the design allowable temperature in the two consecutive emergency brake working conditions. Thus, the basic brake system properties fully meet the requirements for train usage.

Key words electric coach; basic brake system; tread-conditioning brake shoe; brake disc; thermal capacity analysis

Author's address Product R & D Center of CRRC Tangshan Co., Ltd., 063035, Tangshan, China

北美双层电客车采用的是美国西屋制动公司的制动控制系统。该系统为微处理器控制的空气制动系统,基于高度的模块化设计理念,主要由 CHU(制动控制手柄)、POU(制动控制单元)、电源模块、惩罚制动模块及防滑控制模块等组成^[1]。制动控制系统通过 POU 检测列车管的压力变化,进而对本列车制动的施加和缓解进行控制。

作为制动控制系统的最终执行机构,基础制动装置的选型及性能将直接影响列车的行驶安全。北美双层电客车最高运行速度为 177 km/h,该车不设电制动,制动形式为纯摩擦制动,且列车具有轴重大、载客量多的特点。因此,要满足列车紧急制动作用下的减速度及制动距离的需要,对基础制动装置的性能提出了较高的要求。

1 基础制动装置形式

北美双层电客车的基础制动装置由盘形制动单元与踏面制动单元一体集成的形式组成。两者通过制动吊座集成为一体式结构安装于转向架构架上(见图 1)。盘形制动单元主要包括轴装制动盘、制动夹钳和粉末冶金闸片等,其安装在车轮外侧。踏面制动单元主要包括踏面制动器和修复型闸瓦(见图 2)。

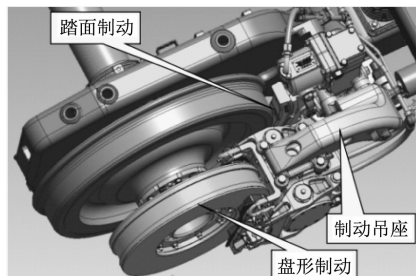


图 1 基础制动装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of basic brake system

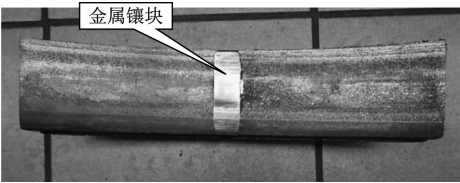


图 2 修复型闸瓦实物图

Fig. 2 Picture of tread-conditioning brake shoe

2 踏面制动单元特性

踏面制动单元通过闸瓦将制动力施加在车轮踏面上,利用车轮踏面和闸瓦之间的摩擦阻力制止车轮的转动,从而达到列车减速和停车的目的。在整个摩擦制动过程中,90% 以上的热量为车轮所吸收,从而导致车轮踏面温度在短时间内急速升高,易使车轮踏面产生高温剥离或热裂纹的现象。这将缩短车轮的使用寿命^[2]。

修复型闸瓦带有金属镶块(见图 2),对车轮踏面有一定的修复作用。该金属镶块采用了球墨铸铁材质,经热处理后可提高材料的韧性,其硬度远低于车轮硬度,故摩擦时不会损伤车轮。球墨铸铁材料的热传导系数较高,虽金属镶块面积只占修复型闸瓦摩擦面的 5%,但在制动过程中产生的热量主要由金属镶块传导至钢背后散发,能有效降低车轮踏面温度,抑制车轮产生热斑和热裂纹。

修复型闸瓦能及时清扫车轮踏面与闸瓦间夹杂的异物,并清除可能产生金属镶嵌的金属磨屑,能有效抑制合成闸瓦的金属镶嵌现象。列车施加制动时,车轮高速旋转,此时特殊嵌件材料与接触的车轮进行温和的摩擦可修复踏面上的局部缺陷使其平滑;同时,能使踏面粗糙进而增加轮轨黏着系数,降低车轮滑行概率。

表 1 为修复型闸瓦与普通闸瓦的实际应用效果比较。由表 1 可见,在车辆制动过程中,修复型闸瓦通过消除车轮踏面缺陷,可有效改善轮轨关系,保证轮轨摩擦系数相对稳定,可显著延长闸瓦及轮对的使用寿命。

3 盘形制动单元特性

3.1 盘形制动单元

盘形制动单元是指将制动盘安装在车轴上或车轮辐板侧面,在列车施加制动时,制动夹钳上的 2 个闸片紧压制动盘侧面,通过摩擦产生制动力,把列车动能转变成热能消散于大气中。因盘形制动

表 1 修复型闸瓦与普通闸瓦的实际应用效果比较
Tab. 1 Actual application effect comparison between tread-conditioning brake shoe and standard brake shoe

比较项目	修复型闸瓦	普通闸瓦	修复型闸瓦的改善效果
闸瓦寿命/km	22.5×10^4	17.7×10^4	增加 27%
闸瓦使用量/ 10^6 km	92.6	127.3	减少 28%
轮对寿命/km	82.0×10^4	60.0×10^4	增加 36%
轮对使用量/ 10^6 km	12.2	16.6	减少 26%

单元不会对车轮造成损伤,且较踏面制动其具有摩擦力大、制动性能稳定和热承载能力强等特点,因此列车设计速度较高时采用此种基础制动形式。

如图 1 所示,北美双层电客车采用轴盘式的盘形制动单元,制动夹钳通过四点吊装形式与踏面制动单元集成在制动吊座上,制动盘在车轮外侧通过紧固螺栓固定在轴端处,整体结构紧凑可靠。制动盘结构如图 3 所示,主要由摩擦环、盘毂、压环、紧固螺栓等组成。

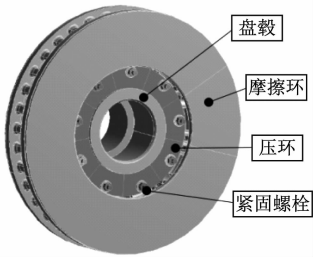


图 3 制动盘结构

Fig. 3 Brake disc structure

3.2 制动盘应力分析

制动盘材质对提高制动盘耐热裂性能和摩擦系数稳定性极为重要。本项目中的摩擦环及盘毂采用低合金铸钢材质,摩擦环材质为 G-22NiMoCr5-6,盘毂材质为 G42CrMo4。该两种材料都具有稳定的机械性能,高低温状态下机械强度恒定,且硬度适宜,具有良好的耐磨特性,材质中的合金元素提高了材料的耐腐蚀能力。

制动盘部件的低合金铸钢在环境温度 20 ℃ 时的热物理特性见表 2。由表 2 中可看出,该材料有高导热性、大热容和较小的热膨胀系数,在制动盘温度急剧变化的过程中其应力变化梯度较小,能有效减缓热裂纹的萌生和扩展,可有效提高制动盘使用寿命^[3]。

假定摩擦因数为 0.5 恒定不变,制动压力均匀分布在摩擦环表面^[4],在此条件下计算制动力矩。

表 2 制动盘部件采用的低合金铸钢在环境温度 20 ℃时的热物理特性

Tab.2 Thermophysical properties of low alloy cast steel used as brake disc component under 20 ℃ ambient temperature condition

部件名称	弹性模量/ (N/mm ²)	泊松比	体积质量/ (g/cm ³)	导热系数/ (W/(m·℃))	比热容/ (kJ/(kg·℃))	热膨胀系数/ (10 ⁻⁵ /℃)	最小屈服 强度/MPa	最小抗拉 强度/MPa
摩擦环	2.1×10 ⁵	0.291	7.85	7.36	0.46	1.3	899	1 050
盘毂	2.1×10 ⁵	0.291	7.85	8.98	0.46	1.1	799	899

摩擦环和盘毂所受应力分布如图 4 所示。由图 4 可知:摩擦环最大应力为 686 MPa,盘毂最大应力为 455 MPa,均低于材料的屈服极限(见表 2),材料强度完全满足使用要求。低合金铸钢材质热物理特性优异,制动产生的应力相对均匀地分布在整个摩

擦环及盘毂主体结构上,而最大应力主要集中在部件相互连接的位置。由此可知,该材质性能稳定,可有效缓解制动过程中由于温度急剧变化导致的应力集中现象。

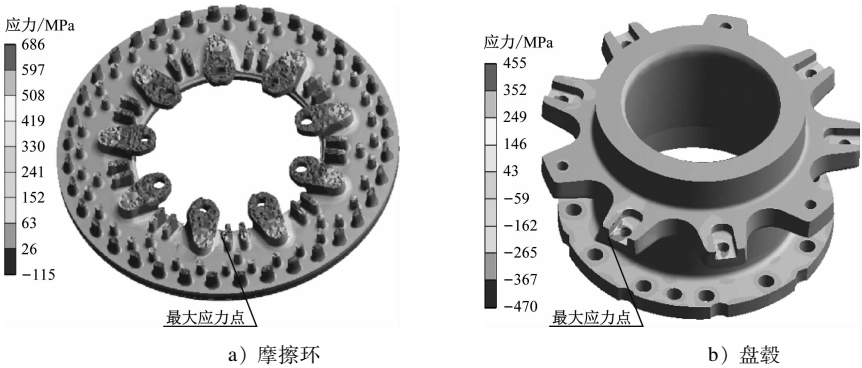


图 4 摩擦环和盘毂应力分布云图
Fig.4 Stress distribution nephogram of friction ring and disc hub

4 基础制动热容量分析

4.1 制动工况及参数

车辆主要参数为:AW3(超常载荷)的列车质量为 89 t,轮径为 840 mm,踏面制动和盘形制动对应参数见表 3。工况为:车辆连续两次紧急制动, v_{\max} = 177 km/h,制动减速度 $a = 1.25 \text{ m/s}^2$ 。

表 3 踏面制动和盘形制动参数

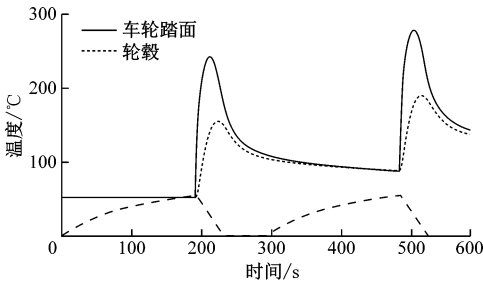
Tab.3 Parameters of tread brake and disc brake

制动类型	摩擦 因数	传动 效率/%	制动分配 比例/%	制动缸 压力/kPa	制动力/ kN
踏面制动	0.29	0.85	28.7	315	15.8
盘形制动	0.37	0.95	71.3	391	56.3

4.2 热容量分析结果

图 5 为车辆两次紧急制动过程中车轮踏面温度-时间历程曲线。由图 5 可看出,由于车辆重且紧急制动减速度较大,经过连续两次紧急制动,车轮

踏面最大温度达到 291 ℃。第一次紧急制动后到车辆重新加速到最高车速的相隔时间约为 200 s,这段时间车轮踏面温度逐渐下降,在施加第二次紧急制动时其温度已经趋于稳定的状态,与轮毂温度基本一致。第二次紧急制动时,车轮踏面及轮毂的温升较第一次有明显的累积趋势^[5]。



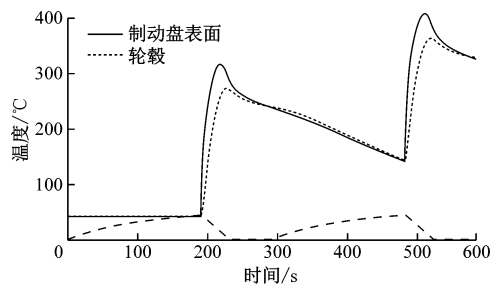
注: - - - 为车辆两次紧急制动的车辆速度高低示意。

图 5 车轮踏面温度-时间历程曲线图

Fig.5 Diagram of wheel tread temperature-time history curves

图 6 为两次紧急制动过程中制动盘表面温度-

时间历程曲线。制动盘表面最大温度达到 548 ℃。由图 6 可见,制动盘表面与盘毂温度变化跟随性很强,因此要求制动盘部件材质具有良好的热传导性。



注: - - - - 为车辆两次紧急制动的车辆速度高低示意。

图 6 制动盘表面温度-时间历程曲线图

Fig. 6 Diagram of brake disc surface temperature-time history curves

5 结语

北美双层电客车具有轴重大、载客量多、运行速度高、紧急制动减速度大等特点,且制动方式只有纯摩擦制动,因此对基础制动性能的要求非常高。通过踏面制动与盘形制动的集成安装,实现了两种制动形式的同时使用,增强了整车的制动能力。

踏面制动采用修复型闸瓦,可在制动过程中消除车轮踏面缺陷和有效改善轮轨关系,保证轮轨摩擦系数相对稳定,显著延长闸瓦及轮对的使用寿命。

通过两次连续紧急制动过程中的热容量分析,发现车轮踏面最高温度相对较低,制动盘表面最高温度达 548 ℃,未超出设计许可温度 600 ℃,说明该

(上接第 231 页)

2) 本次研究发现如要实现城市轨道交通车辆的灵活编组,还需要解决很多难题。例如,基于以上方案的车辆头车可伸缩车钩的设计,该设计可以满足车辆在 300 mm 距离停靠后,2 个头车车钩各自可自动伸出 150 mm,完成联挂;同时,该过程还需要解决信号系统如何能做到车辆在 300 mm 的位置完成信号系统对车辆的控制而不发生意外的碰撞。

参考文献

- [1] 冉昕晨,陈绍宽,柏赞,等. 应对潮汐客流的城市轨道交通列车节能和乘客节时运行图优化模型[J]. 中国铁道科学, 2022, 43(1): 171.
- RAN Xincheng, CHEN Shaokuan, BAI Yun, et al. Train energy-efficient and passenger time-saving timetable optimization model for urban rail transit line with tidal passenger flow[J]. China Railway

基础制动装置的性能完全满足列车正常运行要求。

参考文献

- [1] 姜祥禄,高连东. FastBrake 电空制动控制系统[J]. 铁道机车车辆, 2009, 29(5): 48.
- JIANG Xianglu, GAO Liandong. FastBrake EP brake system[J]. Railway Locomotive & Car, 2009, 29(5): 48.
- [2] 李得花. 阿根廷米轨内燃动车组转向架基础制动装置优化设计研究[J]. 甘肃科技, 2018, 34(15): 3.
- LI Dehua. The optimized design research about diesel multiple unit bogie foundation brake device for Argentina[J]. Gansu Science and Technology, 2018, 34(15): 3.
- [3] 孙新海,郭彦峰,宋跃超,等. CR200J 动力集中电动车组动力车基础制动装置自主化研制[J]. 铁道机车车辆, 2020, 40(3): 17.
- SUN Xinhai, GUO Yanfeng, SONG Yuechao, et al. Independent research of CR200J power centralized EMUs basic brake equipment[J]. Railway Locomotive & Car, 2020, 40(3): 17.
- [4] 高飞,孙野,杨俊英,等. 摩擦副结构与制动盘温度关系的试验与模拟研究[J]. 机械工程学报, 2015, 51(19): 182.
- GAO Fei, SUN Ye, YANG Junying, et al. Experimental and simulation research on relationships of the pattern of a friction pair and temperature[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2015, 51(19): 182.
- [5] 马思群,李吉,王成强,等. 城轨车车轮轮对热容量有限元分析[J]. 大连交通大学学报, 2016, 37(3): 19.
- MA Siqun, LI Ji, WANG Chengqiang, et al. Finite element analysis of urban rail vehicle wheel thermal capacity[J]. Journal of Dalian Jiaotong University, 2016, 37(3): 19.

(收稿日期:2021-02-18)

Science, 2022, 43(1): 171.

- [2] 仲建华,梁青槐. 城市轨道交通互联互通网络化运营的思考[J]. 都市快轨交通, 2015, 28(5): 10.
- ZHONG Jianhua, LIANG Qinghuai. On inter-connected network operation of urban rail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2015, 28(5): 10.
- [3] 梁强升. 城市轨道交通线路高峰期的不均衡运输组织研究与应用[J]. 都市快轨交通, 2014, 27(4): 30.
- LIANG Qiangsheng. Research on unbalanced traffic organization in the peak hour of urban rail transit and its application[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2014, 27(4): 30.
- [4] 张标,王多龙,王宇嵌,等. 天津地铁的客流特征与列车开行方案优化[J]. 城市轨道交通研究, 2020, 23(8): 27.
- ZHANG Biao, WANG Duolong, WANG Yuqin, et al. Passenger flow characteristics and train operation scheme optimization of Tianjin Metro[J]. Urban Mass Transit, 2020, 23(8): 27.

(收稿日期:2021-02-23)