

动车组客室座椅控制系统失效研究及优化策略

梁士国¹ 贾旭¹ 董涛涛¹ 侯达明¹ 马玄²

(1. 中车长春轨道客车股份有限公司国家轨道客车工程研究中心, 130062, 长春;

2. 中车长春轨道客车股份有限公司科技管理部, 130062, 长春//第一作者, 高级工程师)

摘要 针对某动车组客室座椅控制系统失效故障占比较大的问题,对座椅控制系统进行分析,并发现该系统的失效原因为:电控-舒适性系统启动电流瞬时过冲造成电路保护,控制面板静电过流造成烧断或击穿失效。对电控-舒适性系统提出了匹配功率转化模块容量方案和增设控制面板覆膜防静电方案。经验证,该优化方案能够有效解决客室座椅控制系统失效问题。

关键词 动车组;客室座椅;控制系统;系统失效;优化策略

中图分类号 U270.38+7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.02.028

Research on EMU Passenger Seat Control System Failures and Optimization Strategy

LIANG Shiguo, JIA Xu, DONG Taotao, HOU Daming, MA Xuan

Abstract Aiming at the large proportion of EMU passenger compartment seat control system failures, the seat control system is analyzed, and reasons for the system failure are detected. Because the current instantaneous overshoot causes circuit protection action when the electronic control comfort system starts, and the control panel electrostatic overcurrent will lead to burnout or breakdown failures. In view of this phenomenon, two solutions are proposed, one is to match the capacity of power conversion module, and another is to add control panel coating against static electricity. It is verified that the optimization scheme can effectively solve the problem of EMU passenger compartment seat control system failure.

Key words EMU; passenger compartment seat; control system; system failure; optimization strategy

First-author's address National Engineering Research Center of Railway Vehicles, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

的最为直接相关的设备^[1-3],其功能的稳定性是提供各项服务的前提。2019年12月,某动车组客室座椅在其使用过程中经常出现“通风/加热”和“腰托/按摩”按钮(以下简为“电控-舒适性系统”)失效的现象。具体表现为:操作控制面板时舒适性系统没有任何动作执行,指示灯不亮,但此时坐姿调节系统动作正常。座椅断电后再上电重启,大部分座椅舒适性系统功能可恢复,但故障仍会不时重现;小部分座椅重启后仍失效,此部分座椅控制板指示灯不亮。某动车组客室失效座椅及其控制系统如图1所示。



a) 失效座椅 b) 座椅控制系统

图1 失效座椅及其控制系统

Fig.1 Invalid seat and the control system

该动车组客室座椅各功能按键如图2所示。

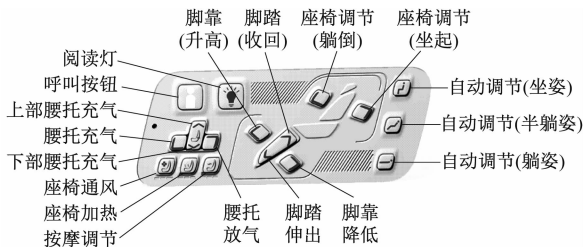


图2 客室座椅控制面板

Fig.2 Control panel of passenger compartment seat

经调查,该款座椅此批次共装车16套,出现失效座椅14套。其故障原因主要为两类:一类为座椅断电重启后故障消失,但后续还会复现,该故障座

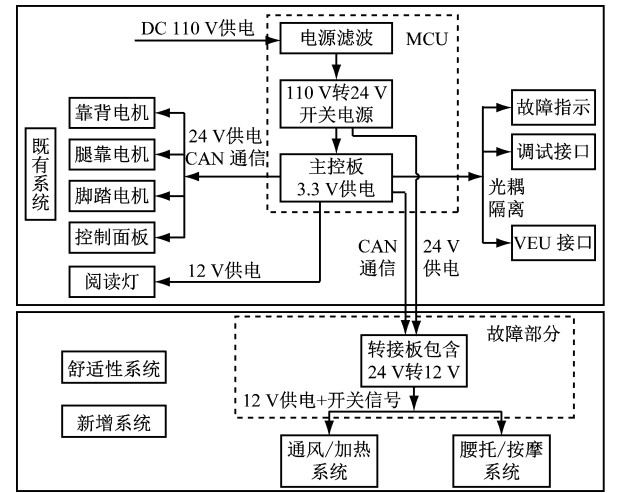
1 客室座椅失效原因分析

动车组客室座椅是乘客乘坐安全性和舒适性

椅共 12 套；一种是座椅断电重启后仍失效，该故障座椅共 2 套。

1.1 客室座椅控制原理

座椅电控-舒适性系统部分模块沿用了既有座椅的控制设计思路，其 CAN(控制单元局域网)总线通信方式具有良好的可扩展性。DC 110 V 直流电在 MCU(管理控制单元)内部经滤波转为 DC 24 V 直流电到主控板上，为控制单元、电机和控制面板的驱动及控制提供电源。座椅新增加的“通风/加热”和“腰托/按摩”2 个模块的电源由 MCU 中的电源模块(110 V 转 24 V)经转接板变压(24 V 转 12 V)后提供。座椅电控-舒适性系统拓扑结构见图 3。



注：VEU 为视频娱乐单元。

图 3 电控-舒适性系统拓扑结构

Fig. 3 Electronic control-comfort system topology

1.2 客室座椅故障分析

根据故障的表现形式，主要分为控制电路板故障和控制面板故障。

1.2.1 控制电路板故障分析

依据座椅电控-舒适性系统拓扑结构初步分析，“通风/加热”、“腰托/按摩”2 个模块是经过转接板挂接在原电控系统下面的 2 个独立的子系统，且 2 个子系统的电力供应、工作控制及状态反馈均由转接板完成。2 个子系统自身同时失效的概率很低，故模块失效的主要原因很可能是由于转接板电源或者控制信号的异常导致的。

分别对座椅电控-舒适性系统零部件和现车座椅进行测试。使用外接电源在车厢外分别对“通风/加热”、“腰托/按摩”2 个模块进行反复测试，发现故障无法重现；在现车车厢内对座椅电控-舒适性

系统进行反复操作，发现故障重现。此时对电控-舒适性系统进行测试，发现其 12 V 的供电电压降至 0，模块失电。因此，可判定转接板电源异常是故障产生的直接原因。

进一步分别对“通风/加热”、“腰托/按摩”2 个模块的启动电流进行测试。

“通风/加热”模块工作中的电压和电流见图 4。由图 4 可见，该模块的工作电压实测值为 12.00 V，工作电流实测值为 3.97 A；在该模块加热启动瞬间，电流未发生变化，负载为电阻负载，无电流过冲。

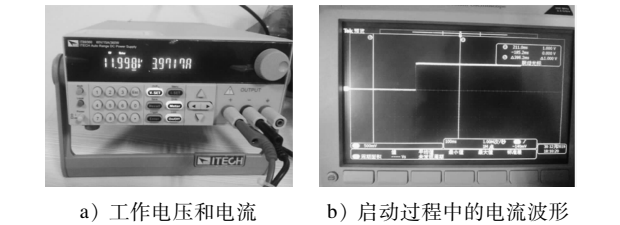


图 4 “通风/加热”模块工作过程中的电压和电流

Fig. 4 Voltage and current during the operation of “ventilation/heating” module

“腰托/按摩”模块工作中的电压和电流如图 5 所示。由图 5 可见，该模块的工作电压实测值为 12.0 V，稳态工作电流实测值为 0.8 A；但其启动电流波动较大，最大值为 2 A，并在 30 ms 内衰减至稳定电流，在此过程中存在电流过冲。

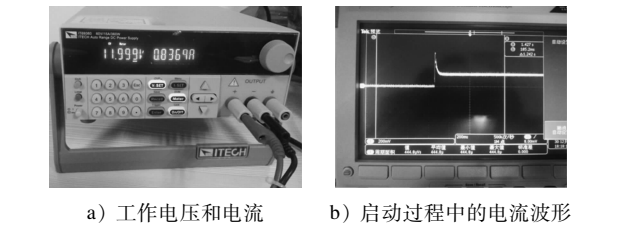


图 5 “腰托/按摩”模块工作过程中的电压和电流

Fig. 5 Voltage and current during the operation of “lumbar support/massage” module

转接板内置 12 V 电源芯片，其型号为 MP8675，最大工作电流为 6 A。而“通风/加热”、“腰托/按摩”2 个模块同时启动瞬间的电流最大值可达 6.07 A，即在“通风/加热”模块工作时再启动“腰托/按摩”模块的工况下的电流会超过芯片保护上限。特别是该电源芯片在外部电源不稳定的工作环境中使用时，其相应功能开启瞬间更可能会发生芯片因过流自保护而停止电压输出的现象，表现为座椅电控-舒适性系统停止工作，而对座椅其他动作无影响。

综上,座椅电控-舒适性系统故障是由转接板的电源功率余量不足导致的,其产生的瞬时电流引起电源模块自动保护。因此,为电控-舒适性系统提供电源的 MCU 内部电源模块必须能提供大于 72 W (6.07 A) 的功率,并有一定的冗余。

1.2.2 控制面板故障分析

控制面板结构为塑料按键壳体,按压电路板上开关按键时,按键壳体与电路板之间无其他隔绝零部件。

控制面板输入电压为 3.3 V,电压较低,理论上不会损坏 LED。初步判断可能是静电导致的过流,当静电过大时反向漏电明显增加^[4]。

静电主要来源于人体,通过人体触碰按键传递到电路板上。人体静电泄放时间极短,瞬时脉冲高,平均功率可达到千瓦以上,足以击穿元器件,导致电子设备或系统失灵。元器件的电击穿分为软击穿和硬击穿,软击穿不但会造成设备工作失误,更重要的是可能会造成毫无规律可行的潜在性失效,导致电子产品工作故障^[5-6]。

对控制面板进行拆解后发现其损坏表现为 2 种现象:一种为其中一半(9 个)白色 LED(发光二极管)亮度降低,见图 6;另一种为灯不亮,所有功能失效,见图 7。

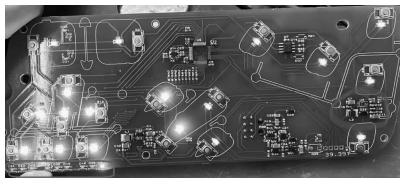


图 6 LED 亮度降低的电路板

Fig. 6 Circuit board with reduced LED brightness

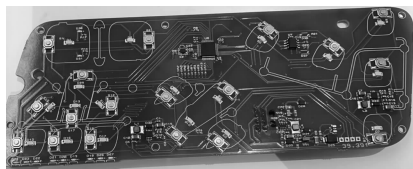


图 7 灯不亮的电路板

Fig. 7 Unlit circuit board

控制面板上有 2 个 MP1528 芯片(LED 驱动芯片),且 2 个芯片的负载和外围电路一致,但发生损坏的均为靠右侧的芯片。

对按键指示灯不亮的控制面板进行测试(见图 8),发现不发光损坏的 LED 电流为 6 mA,而正常发光的 LED 电流约为 1 mA,说明右侧已被击穿。

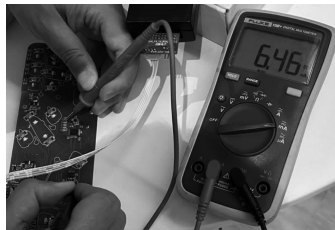


图 8 控制面板测试

Fig. 8 Control panel test

根据 MP1528 芯片的控制原理,分析故障原因有两种:一种是芯片烧断,芯片失去升压作用,导致一半(9 个)白色 LED 亮度较低;一种是芯片击穿,保险丝起效,导致整个电路板完全失去供电。

为衡量控制面板的抗静电能力,根据 GB / T 17626.2—2006《电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验》,使用静电枪模拟 ± 8 kV 空气放电与 ± 6 kV 接触放电。在模拟过程中未见电弧,控制面板处于正常状态,满足标准要求。继续加大电压至 16 kV 时有放电的电弧,但未见 LED 损坏。在极端条件下人体最大可产生 20 kV 的静电^[7],超过标准规定的试验工况,使用静电枪模拟 20 kV 时有放电电弧,LED 损坏。

综上,控制面板故障主要是由新增的舒适性控制模块功率匹配不当,以及由静电导致的控制面板电路过流损坏引起的。

2 电控-舒适性系统优化措施

2.1 功率匹配优化

2.1.1 临时方案

转接板使用 MP8675 电源芯片,其默认工作频率为 420 kHz。可通过修改单片机程序,以 PWM(脉宽调制)方式输出 650 kHz 同步信号来提高开关频率。更高的开关频率,可让 DC-DC 转化系统耐受更大的瞬间过冲,但提升空间有限,在 10% 左右,这可在一定程度上降低故障,但不能消除故障。系统经临时处理后故障有所降低,但仍时常出现,不能彻底解决。因此,对于提升开关频率后的故障仍需复位重启。

2.1.2 最终方案

对转接板进行优化,取消转接板的电源转换功能。对 MCU 进行更改,增加独立电源模块(能承受 8.5 A、100 W)为舒适性系统供电。

原电控-舒适性系统的电源来自 MCU 内电源模块,考虑到增加功率不对 MCU 造成影响,故取消

原转接板中的 24 V 转 12 V 模块,在 MCU 中单独集成 110 V 转 12 V 电源模块(能承受 8.5 A、100 W),为该系统提供电源。新增模块以 MCU 滤波模块滤波后的电源作为输入,以保证电源品质。优化后的电控-舒适性系统拓扑结构如图 9 所示。

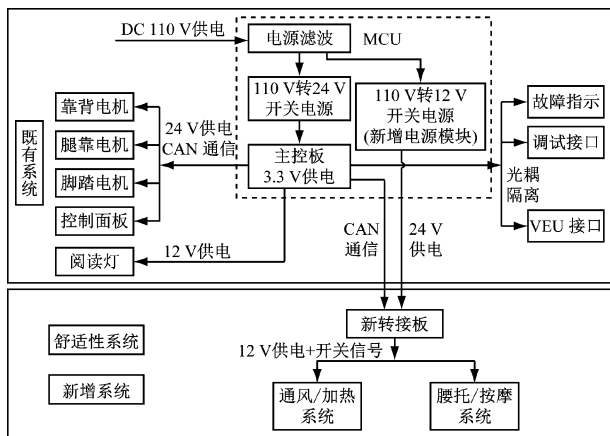


图9 电控-舒适性系统拓扑优化结构

Fig.9 Electronic control-comfort system topology

该系统优化后故障再未出现,故能完全解决此处问题。

2.2 控制面板优化

2.2.1 临时方案

在控制面板上,通过附着绝缘胶布,以降低芯片 MP1582 和 LED 损坏的概率。控制面板临时方案如图 10 所示。

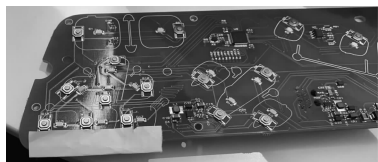


图10 控制面板临时方案

Fig.10 Temporary solution for the control panel

对控制面板进行静电释放试验验证,效果良好,能有效解决静电问题。

2.2.2 最终方案

改进塑料外壳与电路板之间的连接,类似于临时处理方案,增加硅胶垫,形成一个完整的中间绝缘层,使其有较强的抗静电性能。经优化后装车验证,此处故障再未出现。

3 结论

1) 控制系统的故障主要来源于新增的舒适性控制模块和控制面板。

2) 控制电路板问题源于电控-舒适性系统启动

电流瞬间过冲造成的电路保护,电路保护切断了电源,防止电路烧损。模块功率匹配需要考虑启动电流的影响。

3) 控制面板失效为静电过流造成的烧断或击穿失效。控制面板中间的隔离胶垫膜防静电方案,有效提升了座椅控制的稳定性。

4) 座椅控制面板上的按钮抗静电级别远比其试验指标要高,但仍发生损坏。因此,控制面板按键类设计需要有覆膜隔绝静电或能够导走静电,以提升其抗静电性能。

参考文献

- [1] 贾旭,任延静,毕凯,等. 动车组客室座椅模式特性及其优化策略[J]. 机械设计与制造工程,2021(5):79.
JIA Xu, REN Yanjing, BI Kai, et al. Modal characteristics and optimization strategy of electric multiple units trains passenger seats [J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2021 (5): 79.
- [2] 贾旭,李福正,战雪,等. 动车组座椅坐垫垫材研究现状与优化提升[J]. 聚氨酯工业,2020(5):35.
JIA Xu, LI Fuzheng, ZHAN Xue, et al. Research status and optimization of seat cushion for the electric multiple units [J]. Polyurethane Industry, 2020(5): 35.
- [3] 贾旭,战雪,周鑫弘. 动车组客室座椅椅腿开裂试验研究[J]. 城市轨道交通研究,2019(2):79.
JIA Xu, ZHAN Xue, ZHOU Xinhong. Experimental study on the seat leg cracking problem in EMU passenger compartment [J]. Urban Mass Transit, 2019(2): 79.
- [4] 张建华,陈章福,徐小雪,等. 人体静电放电对有机发光二极管的影响[J]. 发光学报,2018(2):169.
ZHANG Jianhua, CHEN Zhangfu, XU Xiaoxue, et al. Analysis of organic light emitting diode under electrostatic discharge stresses [J]. Chinese Journal of Luminescence, 2018(2): 169.
- [5] 崔德胜,郭伟玲,崔碧峰,等. 人体模式静电放电对 GaN 基大功率发光二极管特性的影响[J]. 光学学报,2011(3):258.
CUI Desheng, GUO Weiling, CUI Bifeng, et al. Effects of human body-mode electrostatic discharge on GaN-based power light-emitting diode [J]. Acta Optica Sinica, 2011(3):258.
- [6] 薛同泽,沙占友,崔博. 人体静电放电(ESD)及保护电路的设计[J]. 微计算机信息,2007(14):303.
XUE Tongze, SHA Zhanyou, CUI Bo. Human body electro-static discharge and the protection circuit design [J]. Microcomputer Information, 2007(14):303.
- [7] 管用时. 人体静电测量和静电防止[J]. 邵阳高专学报,1996(4):319.
GUAN Yongshi. Human body static electricity measurement and static electricity prevention [J]. Journal of Shaoyang College, 1996(4): 319.

(收稿日期:2021-09-28)