

动车组停放制动故障原因分析及改进措施

高靖添 马永靖 孟繁辉 张笑凡 李 松 王 雯 杨 洋

(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//第一作者, 工程师)

摘 要 动车组偶发停放制动无法正常施加的故障, 给停放在坡道上的动车组带来溜车的安全隐患。阐述了停放制动控制原理和双脉冲电磁阀工作原理, 判断出动车组停放制动无法正常施加故障是由双脉冲电磁阀卡滞导致的。通过对电磁阀进行拆解分析进而推断, 阀杆(柱塞)密封件滑动到铜套导气孔附近是导致双脉冲电磁阀卡滞情况发生的原因。原因分析结果表明, 采用倒角去毛刺工艺的铜套导气孔不够光滑, 使密封件滑动到铜套导气孔附近发生卡滞, 密封失效, 进而导致双脉冲电磁阀无法正常施加停放制动。由此提出两项改进措施: 铜套导气孔采用研磨抛光去毛刺工艺, 将阀杆中间两处 K 形圈更改为 O 形圈, 并配合 O 形圈对阀杆局部结构进行适应性调整; 对双脉冲电磁阀阀杆密封件的润滑脂用量进行定量控制。针对改进措施, 定制双脉冲电磁阀试验样件, 在疲劳试验后进行故障重现试验, 试验结果验证了改进措施的有效性。

关键词 动车组; 停放制动故障; 双脉冲电磁阀

中图分类号 U270.35:U266.2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.04.017

Cause Analysis and Improvement Measures of EMU Parking Brake Failure

GAO Jingtian, MA Yongjing, MENG Fanhui, ZHANG Xiaofan, LI Song, WANG Wen, YANG Yang

Abstract The occasional parking brake failure of EMU (electric multiple units) brings safety hazards of train sliding for EMU train parking on slopes. The working principles of parking brake control principle and DASV (dual acting solenoid valve) are expounded, and it is judged that the EMU parking brake failure is caused by stuck DASV. By disassembling and analyzing the solenoid valve, it is further deduced that the valve stem (plunger) sealing element sliding until adjacent to copper sleeve vent is the cause of DASV stuck. The chamfer deburring technique adopted for copper sleeve vent makes it not smooth enough, causing the sealing element stuck when it reaches the neighboring area, finally leading to the DASV failure to apply the parking brake normally. Two improvement measures are proposed: to adopt grinding deburring technique

for copper sleeve vent, replace the two K-shape sealing rings in stem middle to O-shape sealing rings, and adjust the stem local structure with the O-shape rings; quantify the lubricating grease used on the DASV stem sealing element. As for the improvement measure, DASV test samples are tailor-made, and the failure reproduction test is carried out after fatigue test, and test results verify their effectiveness.

Key words EMU; parking brake failure; DASV (dual acting solenoid valve)

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

动车组停放在坡道上时, 为避免溜车, 通常切换至停放制动模式, 利用蓄能弹簧装置来施加制动力。动车组切换至停放制动模式时, 蓄能弹簧装置通过压紧制动盘来施加停放制动; 当需要缓解时, 停放制动缸充气, 蓄能弹簧被压缩, 进而缓解停放制动^[1]。自 2019 年 11 月起, 某动车组发生多起未正常施加停放制动力的故障, 待重新施加并缓解停放制动后, 该故障消除, 停放制动功能恢复正常。本文针对该故障, 从停放控制原理及双脉冲电磁阀工作原理着手, 分析故障原因并寻找改进措施。

1 判断故障部件

停放制动的施加和缓解是通过双脉冲电磁阀来实现的。因此, 要分析停放制动故障的原因, 需先分析停放制动控制原理和双脉冲电磁阀工作原理。

1.1 停放制动控制原理

停放制动控制模块的气路原理图见图 1。其中双脉冲电磁阀用于控制停放制动的施加和缓解。停放制动夹钳单元的停放缸通过蓄能弹簧来施加停放制动: 向停放缸输入压缩空气, 即可克服弹簧力而缓解停放制动; 使停放缸排出压缩空气, 则弹簧回弹、施加停放制动。

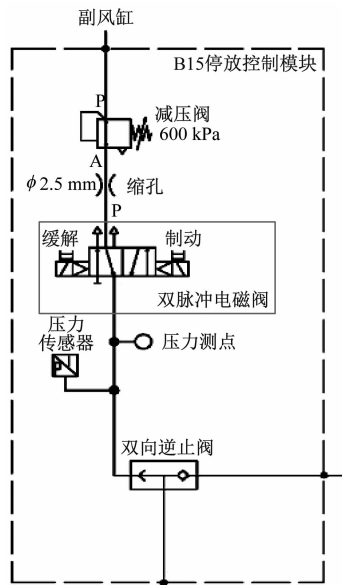


图1 停放制动控制模块的气路原理

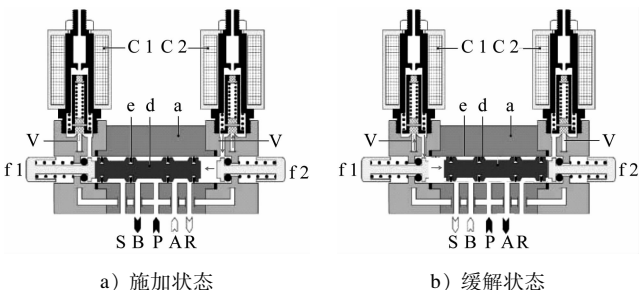
Fig.1 Air circuit principle of parking brake control module

操作人员通过司机室的“停放施加”和“停放缓解”按钮发送相关指令。当双脉冲电磁阀收到停放制动缓解指令信号后,向停放制动夹钳单元输入压缩空气至 600 kPa,停放制动夹钳单元缓解停放。

双向逆止阀安装在双脉冲电磁阀下游,其 2 个进气口分别连接电磁阀出口与常用制动缸管路。双向逆止阀能自动连通压力较大的进气口,并将压缩空气输出到停放制动管路中。只要 1 个进气口有压力,双向逆止阀即可向停放缸输入压缩空气。这一设计能保证停放制动的防叠加^[2]。

1.2 双脉冲电磁阀工作原理

双脉冲电磁阀为二位五通电磁阀。双脉冲电磁阀工作原理示意图见图 2。



注:a 为主阀体;d 为阀杆;e 为 K 形圈;B 口和 S 口被气路板封堵,不使用;P 口为压缩空气输入口;A 口为压缩空气输出口,接停放制动夹钳单元的停放缸;R 口为排风口;C 为线圈;V 为阀口。

图2 双脉冲电磁阀工作原理示意图

Fig.2 Working principle diagram of dual pulse solenoid valve

1.2.1 停放制动的施加

当双脉冲电磁阀接收到停放制动施加的脉冲指令信号后,C1 线圈失电、C2 线圈得电。此时,C2 侧阀芯受磁力作用抬起阀口 V;由 P 口分来的先导预控压力通过右侧阀口 V 进入主阀体最右侧,并作用在阀杆右端面;阀杆在先导预控压力的推动下移动到左侧,使得 P 口与 B 口(封堵不用)连通,A 口与 R 口连通;停放缸压缩空气通过 R 口排入大气,施加停放制动。

在双脉冲电磁阀收到停放缓解脉冲指令信号前(即 C1 线圈得电前),阀杆将始终保持在该左侧位置。

1.2.2 停放制动的缓解

当双脉冲电磁阀接收到停放制动缓解的脉冲指令信号后,C1 线圈得电、C2 线圈失电。此时 C1 侧阀芯受磁力作用抬起阀口 V;由 P 口分来的先导预控压力通过左侧阀口 V 进入主阀体最左侧,并作用在阀杆左端面;阀杆在先导气控压力的推动下向右侧移动,使 P 口与 A 口连通,R 口关闭,停放缸压力继续恢复到 600 kPa,停放缓解。

在双脉冲电磁阀收到停放施加的脉冲指令信号前(即 C2 线圈得电前),阀杆 d 将始终保持在该右侧位置。

1.3 故障部件的推断

经排查分析,动车组故障现象类似:司机发出施加停放制动指令后,故障车辆的停放缸压力先缓慢下降至 25 kPa;随后,在没有停放制动缓解指令的情况下,停放缸压力自动上升恢复至 600 kPa,停放制动缓解。

在停放制动施加并缓解后,使用压力表在压力测点测量停放制动压力实际值。与 HMI(人机界面)上显示的停放制动压力值相比,二者相差在 ± 15 kPa 范围内,说明压力传感器正常。对停放制动夹钳单元进行拆解分析发现,停放制动夹钳单元工作正常。

根据故障现象及相关部件拆解情况可推断,停放制动故障应由双脉冲电磁阀卡滞引起。

2 双脉冲电磁阀卡滞原因分析

2.1 故障原因推测

双脉冲电磁阀卡滞属于偶发性的动作异常。经进一步分析,可能导致双脉冲电磁阀阀杆卡滞的原因为:① 阀体内部密封件磨损或阀内部油脂润滑

不足;② 阀体内部密封件由于低温变硬,使得阀杆运动阻尼增大;③ 阀杆(柱塞)密封件滑动到铜套导气孔附近。

针对上述原因,对故障双脉冲电磁阀进行了拆解检查(见图 3)。拆解发现:① 阀体内中间阀杆(柱塞)、铜套等各零部件外表面光洁,均无明显磨损痕迹,未发现明显异常情况;② 阀内部润滑脂无明显不足;③ 检测各零部件尺寸符合图纸设计要求。

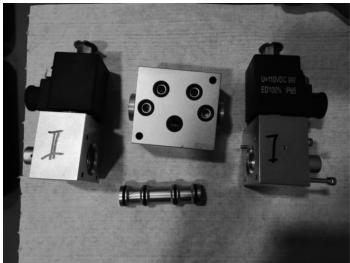


图 3 故障双脉冲电磁阀拆解检查

根据拆解结果,考虑到故障发生时的环境温度,排除了阀体内部密封件磨损或阀体内部油脂润滑不足及阀体内部密封件由于低温变硬等原因,进而可推测,阀杆(柱塞)密封件滑动到铜套导气孔附近是导致双脉冲电磁阀卡滞情况发生的原因。本文从阀杆密封件的密封原理出发,进一步分析双脉冲电磁阀卡滞的机理。

2.2 阀杆密封件密封原理

2.2.1 K 形圈密封原理

橡胶密封件是通过足够大的密封压量来实现密封件两侧的密封。密封压量越大,密封效果越好。双脉冲电磁阀阀杆密封件为 K 形圈(见图 4),其采用了动密封方式。采用动密封方式的密封件耐磨性会因密封压量的增大而降低,同时运动阻尼会随密封压量的增大而增大,甚至导致阀运动困难。而若密封压量太小,则会导致密封失效,使密封圈无法实现密封完好。

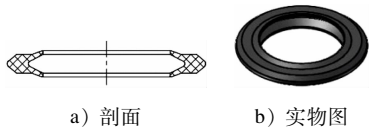


图 4 K 形圈样式

Fig. 4 Diagram of K-shape ring modal

在无风压的状态下,K 形圈密封压量很小,本身不足以实现密封效果。

在有风压的状态下,K 形圈受风压作用,径向尺寸膨胀变大,密封压量增大,从而实现密封效果。相应原理示意图见图 5。



图 5 K 形圈受压膨胀密封原理示意图

Fig. 5 Sealing principle diagram of K-shape ring receiving pressure and expanding

2.2.2 阀杆密封原理

如图 6 所示,阀杆上 K 形圈采用单面受压实现密封功能,分别在 K 形圈①左侧、K 形圈②右侧、K 形圈③左侧和 K 形圈④右侧阀杆处设置有风压引导孔,能使风压充入 K 形圈内部,进而使 K 形圈膨胀变大起到密封作用。

如图 6 所示,K 形圈②和 K 形圈③之间是双脉冲电磁阀的 P 口(始终有 600 kPa 风压),K 形圈①和 K 形圈②之间没有风压,K 形圈③和 K 形圈④之间没有风压。由于 K 形圈②和 K 形圈③的风压引导孔均直接与 P 口风压连通,因此 K 形圈②和 K 形圈③始终处于膨胀工作状态,实现密封,使得 P 口风压不会泄漏到 K 形圈②左侧和 K 形圈③右侧。K 形圈①左侧和 K 形圈④右侧没有风压输入时,处于非膨胀工作状态,没有密封作用。K 形圈①左侧和 K 形圈④右侧有风压输入时,处于膨胀工作状态,实现密封作用。

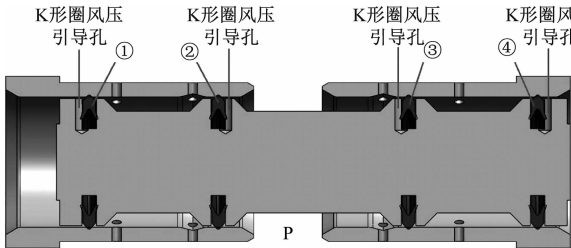


图 6 阀杆 K 形圈密封原理示意图

Fig. 6 Sealing principle diagram of valve stem K-shape ring

2.3 密封件滑动到铜套导气孔附近发生卡滞机理

当双脉冲电磁阀处于缓解状态时,电磁阀阀杆位于最右侧(见图 7);当双脉冲电磁阀接收到停放施加电控信号后,阀杆在先导气控压力的推动下向左移动,使得阀杆靠中部的 K 形圈②和 K 形圈③经

过铜套导气孔后,最终移动到最左侧。每次双脉冲电磁阀阀杆往复动作切换时,阀杆中部的密封件②和③都会越过铜套导气孔。

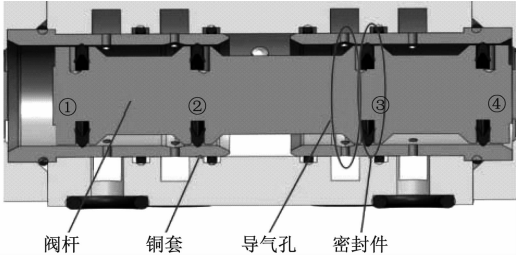


图7 缓解状态阀杆位置示意图

Fig.7 Diagram of valve stem position in release state

由上述分析可判断:采用倒角去毛刺工艺的铜套导气孔不够光滑,故在施加停放制动的过程中,当K形圈通过不够光滑的铜套导气孔时,K形圈阻尼增大,进而导致偶发卡滞、K形圈密封失效、阀杆回弹,出现停放制动缓解压力上升现象。这是导致停放制动故障的直接原因。

3 改进措施

针对停放制动故障的直接原因,本研究提出以下改进措施:

- 1) 双脉冲电磁阀铜套导气孔采用研磨抛光去毛刺工艺,取消原来的倒角去毛刺沟槽工艺;将阀杆中间两处K形圈更改为阻尼更小的O形圈,并配合O形圈对阀杆局部结构进行适应性调整。
- 2) 为提高阀杆在组装时的润滑一致性,对双脉冲电磁阀阀杆密封件的润滑脂用量进行定量控制。每只双脉冲电磁阀的润滑脂用量为 1.25 ± 0.25 mL。

为进一步验证双脉冲电磁阀卡滞改进措施的效果,本研究采用不同的润滑脂用量、铜套导气孔去毛刺工艺和密封件形式定制8组(每组有5个样品)双脉冲电磁阀试验样品,并对试验样品先进行疲劳试验,再进行故障复现试验,进而分析双脉冲电磁阀经历一定磨损后发生故障的情况。双脉冲电磁阀试验样品的基本情况如表1所示。

按双脉冲电磁阀每天动作30次计算,每年双脉冲电磁阀最多动作10 950次。以此类推,疲劳试验设定样品的累计疲劳动作次数为10 950次、21 900次、32 850次、10万次分别对应使用1年、2年、3年和9年的动作次数。

试验结果如下:

表1 双脉冲电磁阀试验样品的基本情况			
Tab.1 Basic information of DASV test samples			
组类	密封件形式	铜套导气孔去毛刺工艺	油脂量
A	K型圈	倒角	正常
B	K型圈	倒角	少
C	2个O型圈,2个K型圈	倒角	正常
D	2个O型圈,2个K型圈	倒角	少
E	K型圈	研磨抛光	正常
F	K型圈	研磨抛光	少
G	O型圈	研磨抛光	正常
H	O型圈	研磨抛光	少

- 1) A组—D组试验样品:在完成10 950次疲劳动作后,进行常温手动施加停放制动动作试验时,A组—D组双脉冲电磁阀试验样品的阀杆出现了卡滞和阀杆回弹现象。
- 2) 采用无倒角、研磨抛光去毛刺工艺对双脉冲电磁阀样品(E组—H组)完成了10万次疲劳试验,未出现故障。

由试验结果可见,上述改进措施有效减少了双脉冲电磁阀的卡滞故障数量。

4 结语

本文针对动车组停放制动故障,从停放制动的控制原理和双脉冲电磁阀的工作原理入手,判断出动车组停放制动故障是由双脉冲电磁阀卡滞引起的。由K形圈密封原理分析发现,铜套导气孔不光滑、K形圈阻尼大,导致了双脉冲电磁阀卡滞,是动车组停放制动的直接原因。提出了针对性的改进措施:采用倒角去毛刺沟槽工艺处理铜套导气孔、改用O形圈,以及对双脉冲电磁阀阀杆密封线的润滑脂用量进行定量控制。最后通过试验验证了上述改进措施的有效性。

参考文献

[1] 林晖,钱立新.重载列车有线电控空气制动系统的研究[J].中国铁道科学,2007,28(1):63.
LIN Hui, QIAN Lixin. Study on electronically controlled pneumatic (ECP) brake system for heavy haul train[J]. China Railway Science, 2007, 28(1): 63.

[2] 杜群威,张远东,谢川川.停放制动原理分析及故障诊断[J].铁道机车车辆,2018,38(4):46.
DU Qunwei, ZHANG Yuandong, XIE Chuanchuan. Analysis and diagnosis for parking brake [J]. Railway Locomotive & Car, 2018, 38(4): 46.

(收稿日期:2022-08-01)