

城市轨道交通制动控制装置压力控制方法研究

赵庆刚 涂贵军 李从元 刘德才 薛 皓

(中车制动系统有限公司, 266031, 青岛)

摘 要 [目的] 压力控制作为城市轨道交通制动控制装置的核心功能, 其结构原理设计对于制动控制系统有着至关重要的作用。高频开关电磁阀压力控制方法作为主流的控制方式, 研究其结构特性对于提升制动控制装置的可靠性尤为重要。[方法] 通过分析电磁阀不同的布局方式, 提炼串联排气型、串联保压型、并联排气型、并联保压型、并联充气型等 5 种高频开关电磁阀压力控制方法的基本结构, 结合其故障模式总结其特性及适用场景。[结果及结论] 依据 T/CAMET 04004. 4—2018《城市轨道交通车辆制动系统 第 4 部分: 制动控制单元技术规范》: 排气型压力控制结构适用于常用制动气路, 保压及充气型压力控制结构适用于紧急制动气路; 串联式压力控制结构的保持输出压力稳定性能优于并联式压力控制结构, 并联式压力控制结构的充气速率优于串联式压力控制结构。制动控制装置压力控制结构设计时应综合考虑目标压力的控制精度、充排气速率需求及电磁阀控制策略等因素, 合理配置腔室容积及管路通径。

关键词 城市轨道交通; 制动控制装置; 压力控制方法

中图分类号 U270. 35

DOI:10. 16037/j. 1007 - 869x. 2024. 08. 055

Pressure Control Method for Urban Rail Transit Brake Control Devices

ZHAO Qinggang, TU Guijun, LI Congyuan, LIU Decai, XUE Hao

(CRRC Braking System Co., Ltd., 266031, Qingdao, China)

Abstract [Objective] As the core function of urban rail transit brake control devices, the structural principle design of pressure control is crucial for the brake control system. High-frequency switching solenoid valve pressure control method is the mainstream control approach, studying its structural characteristics is particularly important for enhancing the reliability of brake control devices. [Method] By analyzing different configurations of solenoid valves, the basic structures of five high-frequency switching solenoid valve pressure control methods are identified, including series exhaust, series pressure-holding, parallel exhaust, parallel pressure-holding, and parallel inflation. Their characteristics and applicable scenarios based on their failure modes are summarized. [Result & Conclusion] According to T/CAMET 04004. 4—2018 'Brake systems

of urban rail vehicles Part 4: Technical specification of brake control units', the exhaust-type pressure control structure is suitable for normal braking air circuits, while pressure-holding and inflation-type pressure control structures are suitable for emergency braking air circuits. The series pressure control structure maintains output pressure stability better than the parallel pressure control structure does, whereas the parallel pressure control structure has a faster inflation rate compared to the series pressure control structure. When designing the pressure control structure of brake control devices, it is essential to comprehensively consider factors such as the target pressure control accuracy, inflation and exhaust rate requirements, and solenoid valve control strategies, and to configure the chamber volume and pipeline diameter appropriately.

Key words urban rail transit; brake control device; pressure control method

制动控制装置作为城市轨道交通制动控制系统的核心部件, 其压力控制结构不仅决定了该系统的压力控制性能, 而且也决定了该系统的安全导向。目前, 国内应用较为广泛的制动控制装置均采用高频开关电磁阀控制方法。本文对基于高频开关电磁阀控制方法的基本压力控制结构进行了分析, 可为制动控制装置压力控制方案提供参考。

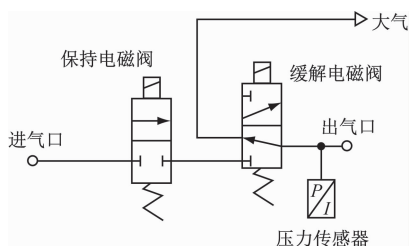
1 制动控制装置压力控制基本结构

高频开关电磁阀控制方法是指采用两个或两个以上的高频开关电磁阀(以下简称“电磁阀”)进行气路连接, 配合一定容积的气室, 通过控制电磁阀的通断电, 对气室进行充排气, 并与压力传感器构成闭环控制, 从而实现压力控制的方法。

通过改变电磁阀的气路布置, 能够得到不同功能的压力控制结构。根据电磁阀的气路布置方式, 其可分为串联结构与并联结构。其中: 串联结构是指进气口、出气口, 以及大气之间不能同时连通的结构; 并联结构是指进气口、出气口, 以及大气之间能够同时连通的结构。电磁阀的控制方法具有 5 种

基本结构,可以通过增加电磁阀数量来实现更为复杂的功能。

1) 串联排气型,即所有电磁阀失电状态下气室导向排气的串联结构。串联排气型制动控制装置压力控制结构如图 1 所示。



注: I 为电流, P 为气压, 余类同。

图 1 串联排气型制动控制装置压力控制结构

Fig. 1 Pressure control structure of series exhaust brake control device

2) 串联保压型,即所有电磁阀失电状态下气室导向保压的串联结构。串联保压型制动控制装置压力控制结构如图 2 所示。

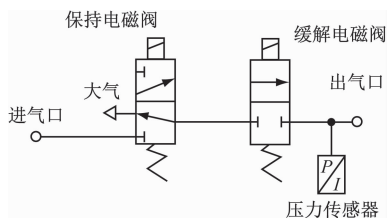


图 2 串联保压型制动控制装置压力控制结构

Fig. 2 Pressure control structure of series pressure-holding brake control device

3) 并联排气型,即所有电磁阀失电状态下气室导向排气的并联结构。并联排气型制动控制装置压力控制结构如图 3 所示。

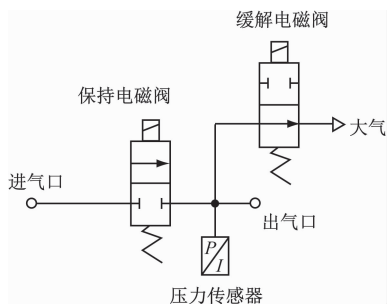


图 3 并联排气型制动控制装置压力控制结构

Fig. 3 Pressure control structure of parallel exhaust brake control device

4) 并联保压型,即所有电磁阀失电状态下气室导向保压的并联结构。并联保压型制动控制装置

压力控制结构如图 4 所示。

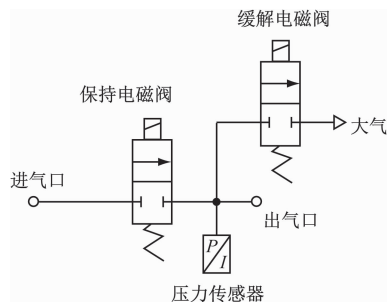


图 4 并联保压型制动控制装置压力控制结构

Fig. 4 Pressure control structure of parallel pressure-holding brake control device

5) 并联充气型,即所有电磁阀失电状态下气室导向充气的并联结构。并联充气型制动控制装置压力控制结构如图 5 所示。

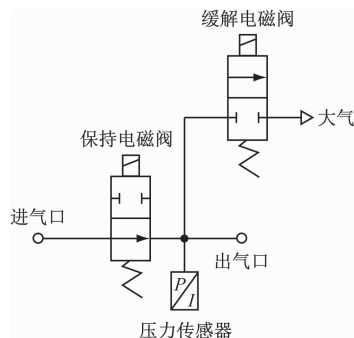


图 5 并联充气型制动控制装置压力控制结构

Fig. 5 Pressure control structure of parallel inflation brake control device

在 5 种基本结构的基础上,可增加电磁阀组成具有多种功能的压力控制结构。如在并联排气型基本结构的基础上,增加常开型电磁阀,可以组成具有强迫缓解功能的压力控制结构(见图 6)。

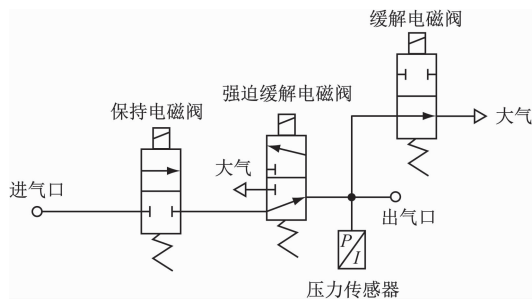


图 6 具有强迫缓解功能的压力控制结构

Fig. 6 Pressure control structure with forced relief function

2 制动控制装置压力控制结构设计注意事项

在进行制动控制装置压力控制结构设计时,应

注意以下几点:

1) 阀类部件布局。压力传感器应远离进气口,避免压力冲击影响。电磁阀之间应保持间距,避免局部热量累计影响电磁阀寿命。

2) 控制精度设计。应合理设计气室容积,电磁阀单次动作对于输出压力的影响应低于控制精度。必要时,应在进气口与排气口设置缩堵。

3) 充排气速率。由于串联结构充气过程中压缩空气需经过两个电磁阀才能输出,因而其充气速率略低于并联结构。若压力控制结构用于常用制动,则制动缸压力上升曲线斜率应大于冲动限制^[1],以保证常用制动时制动缸压力实际值能够跟随计算值上升。若压力控制结构用于紧急制动,则应符合紧急制动响应时间小于 1.6 s ^[2]的要求。排气速率应满足制动不缓解检测逻辑,以防止误报制动不缓解,必要时可通过优化缩堵孔径进行调节。

4) 故障导向。根据应用工况,结合失效形式,选择合适的压力控制结构。若用于常用制动气路,则故障应导向于制动缓解,此时应选择排气型结构。若用于紧急制动气路,则故障应导向于制动施加,此时应选择保压型或充气型结构。

3 制动控制装置压力控制结构故障模式分析

电磁阀的主要故障模式为上电不动作与失电不动作。传感器的主要故障模式为零点漂移与检测值漂移。当传感器出现故障时,压力控制结构功能丧失,需配合系统内部其他模块进行故障判断与处理。实际上,压力控制结构在工作过程中主要以电磁阀的故障为主,本文主要讨论电磁阀的故障对于压力控制结构的影响。

串联排气型制动控制装置压力控制结构故障模式如表1所示。该结构的失效形式表现为:在缓解电磁阀失电情况下,失电即可导向缓解。该结构适用于常用制动压力控制,能够有效降低常用制动不缓解故障的发生频率。

串联保压型制动控制装置压力控制结构故障模式如表2所示。该结构的失效形式表现为:在此结构失电的情况下,可以锁定失电前一时刻的压力值。该结构适用于紧急制动压力控制。克诺尔EP2002型制动控制装置采用的就是此压力控制结构。

表1 串联排气型制动控制装置压力控制结构故障模式

Tab.1 Failure modes of pressure control structure of series exhaust brake control device

故障模式	项目	上电 不动作	失电 不动作
无法充气	保持电磁阀	√	×
持续充气	保持电磁阀	×	√
压力为0	缓解电磁阀	√	×
无法排气	缓解电磁阀	×	√
组合故障:压力为0	保持电磁阀	√	×
	缓解电磁阀	√	×
组合故障:无法排气	保持电磁阀	×	√
	缓解电磁阀	×	√
组合故障:维持前一时刻压力	保持电磁阀	√	×
	缓解电磁阀	×	√
组合故障:压力为0	保持电磁阀	×	√
	缓解电磁阀	√	×

注:√表示存在该故障;×表示不存在该故障。表2—表5类同。

表2 串联保压型制动控制装置压力控制结构故障模式

Tab.2 Failure modes of pressure control structure of series pressure-holding brake control device

故障模式	项目	上电 不动作	失电 不动作
无法充气	保持电磁阀	√	×
无法排气	保持电磁阀	×	√
无法充气	缓解电磁阀	√	×
压力持续波动	缓解电磁阀	×	√
维持前一时刻压力	保持电磁阀	√	×
	缓解电磁阀	√	×
组合故障:持续充气	保持电磁阀	×	√
	缓解电磁阀	×	√
组合故障:压力为0	保持电磁阀	√	×
	缓解电磁阀	×	√
组合故障:维持前一时刻压力	保持电磁阀	×	√
	缓解电磁阀	√	×

并联排气型制动控制装置压力控制结构故障模式如表3所示。该结构的失效形式表现为:在此结构失电情况下,导向缓解。该结构适用于常用制动压力控制。在缓解电磁阀故障后容易出现边充气、边排气的现象,造成制动不缓解,可通过增加备用电磁阀排气或配合防滑阀排风的方式进行故障处理。法维莱EPAC2型制动控制装置采用的就是此压力控制结构。

表 3 并联排气型制动控制装置压力控制结构故障模式

Tab.3 Failure modes of pressure control structure of parallel exhaust brake control device

故障模式	项目	上电 不动作	失电 不动作
无法充气	保持电磁阀	√	×
持续充气	保持电磁阀	×	√
持续排气	缓解电磁阀	√	×
无法排气	缓解电磁阀	×	√
组合故障:压力为 0	保持电磁阀	√	×
	缓解电磁阀	√	×
组合故障:无法排气	保持电磁阀	×	√
	缓解电磁阀	×	√
组合故障:维持前一时刻压力	保持电磁阀	√	×
	缓解电磁阀	×	√
组合故障:边充气边排气	保持电磁阀	×	√
	缓解电磁阀	√	×

并联保压型制动控制装置压力控制结构故障模式如表 4 所示。该结构的失效形式表现为:在结构失电的情况下,始终保持故障前一时刻的压力。该结构适用于紧急制动压力控制。可在车辆载荷锁定后采集车辆载荷,并调节压力至当前载荷下的紧急制动压力,需要时可直接将其进行输出。

表 4 并联保压型制动控制装置压力控制结构故障模式

Tab.4 Failure modes of pressure control structure of parallel pressure-holding brake control device

故障模式	项目	上电 不动作	失电 不动作
无法充气	保持电磁阀	√	×
持续充气	保持电磁阀	×	√
无法排气	缓解电磁阀	√	×
持续排气	缓解电磁阀	×	√
组合故障:维持前一时刻压力	保持电磁阀	√	×
	缓解电磁阀	√	×
组合故障:边充气边排气	保持电磁阀	×	√
	缓解电磁阀	×	√
组合故障:压力为 0	保持电磁阀	√	×
	缓解电磁阀	×	√
组合故障:持续充气	保持电磁阀	×	√
	缓解电磁阀	√	×

并联充气型制动控制装置压力控制结构故障模式如表 5 所示。该结构的失效形式表现为:在结构失电的情况下,导向前端压力。该结构适用于紧急制动压力控制。在结构正常上电情况下施加紧

急制动,由于其采用排风调压,紧急制动响应时间会相对较短;但在结构失电情况下施加紧急制动,会出现压力过大甚至造成擦轮的风险。

表 5 并联充气型制动控制装置压力控制结构故障模式

Tab.5 Failure modes of pressure control structure of parallel inflation brake control device

故障模式	项目	上电 不动作	失电 不动作
持续充气	保持电磁阀	√	×
无法充气	保持电磁阀	×	√
无法排气	缓解电磁阀	√	×
持续排气	缓解电磁阀	×	√
组合故障:持续充气	保持电磁阀	√	×
	缓解电磁阀	√	×
组合故障:压力为 0	保持电磁阀	×	√
	缓解电磁阀	×	√
组合故障:边充气边排气	保持电磁阀	√	×
	缓解电磁阀	×	√
组合故障:维持前一时刻压力	保持电磁阀	×	√
	缓解电磁阀	√	×

由制动控制装置各基本结构的失效形式可知,串联排气、并联排气型压力控制结构适用于常用制动压力控制,串联保压、并联保压、并联充气型压力控制结构适用于紧急制动压力控制。此外,单一电磁阀故障时,压力控制结构的部分故障模式可通过另一个电磁阀进行一定的抑制处理,从而维持一定的功能;双电磁阀故障时,只能通过系统进行故障处理。

4 结语

城市轨道交通制动控制装置压力控制结构应按照故障导向安全的原则进行设计,需充分考虑制动控制装置对于压力控制精度、充排气速率及故障导向的要求,结合压力控制结构的失效形式,在其基本结构的基础上进行详细设计。此外,还应在系统中设计必要的故障诊断及故障处理措施,从而提高制动控制装置的可靠性与安全性。

参考文献

[1] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车辆制动系统 第 4 部分:制动控制单元技术规范: T/CAMET 04004. 4—2018 [S]. 北京:中国铁道出版社,2018:6.

(下转第 321 页)

表 3 密封胶条优化前后对比

Tab.3 Comparison of sealing rubber strips before and after optimization

项目	门板安装卡槽处 胶条材质	门板安装卡槽处胶条 硬度/HA	门框接触处胶条材质	门框接触处胶条 硬度/HA	反弹力/N
优化前	三元乙丙硬质胶	62	EPEM 硬质胶	62	1 342
优化后	三元乙丙硬质胶	62	EPEM 海绵胶	38	324

3 优化方案验证

将优化前后的车门安装在相同的气密试验台上进行冲压试验,其结果对比见表 4。由表 4 可见:在进气量相同的情况下,车门优化后车内最大压力由 1 400 Pa 提升至 2 200 Pa,车门密封性能明显提升,彻底解决了车门啸叫问题。

表 4 车门冲压试验结果对比

Tab.4 Comparison of vehicle door stamping test results

项目	最大冲压压力/Pa	最大冲压压力时的啸叫情况
优化前	1 400	严重啸叫
优化后	2 200	无啸叫

4 结语

本文从城市轨道交通列车车门啸叫原理、车辆内外压差、车门自身问题等多方面对车门啸叫问题进行了深入分析,并从阻塞比、车门密封胶条结构优化及压缩量提升等方面提出了针对性的应对策略,优化后车门的密封性能明显提升,彻底解决了车门啸叫问题。

参考文献

[1] 毕海权,雷波,巩云. 高速地铁隧道压力波研究[J]. 暖通空调, 2017, 47(5): 36.
BI Haiquan, LEI Bo, GONG Yun. Study on pressure wave in high-speed underground railway tunnels[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2017, 47(5): 36.

[2] 何德华,陈厚娣,张超. 高速列车通过隧道压力波特性试验研究[J]. 铁道机车车辆, 2014, 34(5): 17.
HE Dehua, CHEN Houchang, ZHANG Chao. Test study on tunnel pressure wave for EMU[J]. Railway Locomotive & Car, 2014, 34(5): 17.

[3] 陈健. 地铁车辆客室车门啸叫原因分析与对策[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(12): 125.
CHEN Jian. Analysis of the metro carriage door squeaking and countermeasures[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(12): 125.

· 收稿日期:2023-10-21 修回日期:2024-01-06 出版日期:2024-08-10
Received:2023-10-21 Revised:2024-01-06 Published:2024-08-10

· 通信作者:毛开楠,高级工程师,maokainan@cqsf.com

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 317 页)

China Association of Metros. Brake systems of urban rail vehicles Part 4: Technical specification of brake control units; T/CAMET 04004. 4—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2018:6.

[2] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通车辆制动系统 第 1 部分:电空制动系统通用技术规范; T/CAMET 04004. 1—2018 [S]. 北京:中国铁道出版社,2018:6.

China Association of Metros. Brake systems of urban rail vehicles Part 1:Technical specification of electro-pneumatic brake system;

T/CAMET 04004. 1—2018[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2018:6.

· 收稿日期:2022-03-30 修回日期:2022-04-24 出版日期:2024-08-10
Received:2022-03-30 Revised:2022-04-24 Published:2024-08-10

· 通信作者:赵庆刚,工程师,zhaoqinggang.ss@crrecg.cc

· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. tongji. edu. cn