

城轨车辆制动系统常见故障分析与处理

许钰文

(湖南铁路科技职业技术学院 湖南 株洲 412000)

摘要: 城轨交通制动系统是城轨列车极其关键的一个子系统, 制动系统运行状态、故障失效关乎列车行车安全, 及时有效快速地检查定位制动系统的故障点是制动系统的设计及检修人员必须掌握的专业技能。本文通过对城轨车辆制动系统的常见故障进行总结和分析, 提出相应的处理方案, 为城市轨道交通制动系统的检修提供参考。

关键词: 城轨车辆制动; 故障诊断; 不缓解; 卡滞; 紧急制动

1 制动系统组成

城轨车辆制动系统主要由以下部分组成:

- (1) 制动控制单元 (集成了用于制动缸压力输出调节的电子中继阀)、风源装置、基础制动装置、轮滑保护装置以及辅助气动和电-空装置。
- (2) 风源系统: 为列车提供压缩空气, 列车网络系统负责空压机。
- (3) 制动控制单元: 承担制动控制、防滑控制及制动诊断功能。电子中继阀与电控单元实现压力调节、紧急制动等功能。
- (4) 防滑保护装置: 由防滑阀、速度传感器、测速齿轮及电子控制单元组成, 实现列车制动防抱死功能。
- (5) 基础制动装置: 踏面制动单元在空气压力施加时, 采用活塞及斜楔系统产生机械制动力。踏面制动单元通过制动吊、闸瓦托和闸瓦将制动力施加到车轮踏面上。踏面制动单元合成自动间隙调整机构, 从而保持闸瓦及车轮间的正常间隙以补偿闸瓦和车轮间的磨损^[1]。

2 制动系统常见故障

制动系统常见故障有通讯故障、压力传感器故障、称重阀故障等多种故障, 下文对每种故障进行具体分析。

2.1 通讯故障

城轨车辆制动系统列车级控制网络采用 MVB 通讯, 制动内网采用 LONWORKS 或 CAN 总线。网络通过周期性的发送连续变化的生命信号给制动控制单元^[2]。

制动电子控制单元基于该生命信号连续长时间内未出现持续更新的现象判定通讯中断。

造成这种故障的可能原因是: 主控 CPU 板挂机、通讯板卡失效、通讯连接器开路、通讯线缆断开、终端电阻未插、制动控制单元复位等。

出现通讯故障时, 可通过下载制动控制单元的故障数据, 分析生命信号是否连续、是否出现大的阶跃跳变等方式定位故障。

2.2 压力传感器故障

压力传感器是制动控制系统核心的采样传感器, 在列车制动系统中有主风压力传感器、制动风缸压力传感器、预压力控制口传感器、制动刚压力传感器、停放压力传感器等。

传感器失效的主要原因有零漂、畸变、压力连接器松动开路、压力传感器采样电路板异常、压力传感器控制单元端连接器松动、接触电阻过大、压力传感器布线与高压回路或高频信号回路耦合产生电磁干扰等。出现压力传感器故障时, 可通过对调压力传感器、压力采集硬件电路板、插拔连接器等方式快速定位故障点。

2.3 称重阀故障

称重阀主要用于提供与空气弹簧压力成比例的输出压力。它的输出压力经紧急电磁阀通往中继阀控制腔。称重阀输出压力与载重值对应, 载重值基于空气弹簧两个口上的平均压力。载荷压力是空气弹簧两个压力输入的平均值。当空气悬挂系统失压时, 称重阀的空气弹簧零压保护功能会将其输出压力设置为 AW0 车辆水平。制动系统配置称重阀目的就是提供一种在紧急制动模式下, 取得车辆在不同乘客载重下按相对稳定的制动率制动的一种方式。而在

常用制动模式下,则提供常用制动制动缸压力输出的上限值。

称重阀的机械输出特性如图1所示,每个项目车辆质量和空簧曲线稍有差异。由于紧急制动的输出压力等于称重阀的输出压力,在列车上可通过反复从缓解(需切除保持制动)工况切换至紧急制动,并通过显示屏制动缸压力观察空簧压力与紧急压力是否符合上述特性。此外还可通过空簧塞门切除称重阀的空簧压力输入,检查零空簧压力输入时称重阀的输出压力是否符合图1。

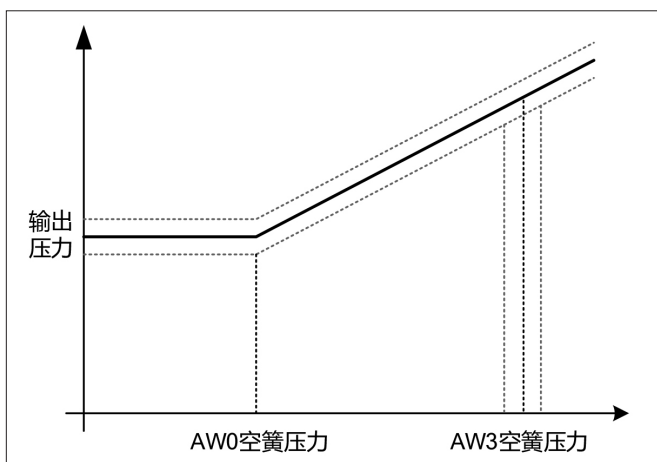


图1 称重阀机械输出特性

2.4 速度传感器故障

速度传感器主要由磁阻传感器构成,该传感器内部还具有信号调理电路板,二者均密封在一个铝压铸件中。速度传感器将旋转测速齿轮磁场变化转换为电信号,然后通过调理电路以7mA或14mA的电流输出。制动控制单元根据单位时间的脉冲宽度及轮径等信息计算速度值。

制动单元对速度传感器的频率、幅值、短路、开路进行诊断。同时在列车静态时,制动系统会对比不同轴速,检查是否出现信号干扰。

在车辆运行的惰行工况时,制动控制单元对比本架或本车所有轴速,当本轴轴速与本车最高轴速发生较大的偏差时,会认为本轴速度异常,使用临近轴速替代本轴。

速度传感器安装与轴端装配不到位时,容易发生速度传感器端面被齿盘磨损,从而导致速度信号发生畸变。

2.5 压力开关故障

制动气动结构中有以下几种压力开关:制动压力开关、停放压力开关、主风压力开关。

(1) 制动压力开关:用以指示制动是否已施加,是单刀双掷型。其下降压力转换点是20kPa左右,最大升压值达到50kPa左右,50kPa以上表示制动已施加,20kPa以下表明制动已缓解。该压力开关既送往车辆电路指示列车不缓解使用,同时也送往制动控制单元采集诊断。如果列车一旦发生真实的制动不缓解,如牵引限速等,就说明该压力开关的回路或压力开关本身异常。制动压力开关故障时,可以在静态下通过制动调试软件强制制动输出20kPa或50kPa的上下限压力值,并用万用表导通档测量是否正常。

(2) 停放制动开关:其电压由车辆回路提供并向车辆回路反馈信号,车辆回路根据开关的反馈信号判断停放制动的施加或缓解状态,压力开关闭合指示停放制动缓解。停放压力开关的状态在列车上串联,用以指示所有停放是否已缓解,任意一车的停放压力开关指示已施加均会导致列车牵引封锁。因停放压力取自主风压力,因此停放压力开关的上限动作点可以通过慢慢给主风缸充风,并用导通档实时测量压力开关两端,下限动作点可以将主风压力慢慢排气。

(3) 总风压力开关:一般一列车配置2个,分别位于列车两头,用以检测列车主风管压力是否过低。列车紧急回路串联总风压力开关,一旦检测总风压力低于550kPa时,自动触发紧急回路失电;当压力上升至700kPa时,压力开关触电闭合,列车紧急回路恢复得电,紧急制动撤销。列车两个车头还配置主风压力传感器,装于主风压力开关相通气路上。总风压力开关的诊断,除用万用表检测以外,还可通过下载紧急制动时数据,分析两个车头是否均动作,对比主风压力传感器数值是否异常。

2.6 电源故障

制动控制单元电源板故障通常会伴随一系列其他衍生故障,如通讯中断、制动已缓解、本车严重故障等。

造成电源故障的主要原因可能是:电路板潮敏器件失效、外部浪涌击穿防护器件、电路板阻容、感性元件损坏,以及过流导致空开保护等。

2.7 紧急制动响应故障

紧急制动由紧急列车线失电触发,例如:制动控制器处于紧急手柄位、触发紧急按钮开关、主风缸压力过低、或任何引起紧急制动列车线电路失电的

情况。当紧急电路失电时,紧急电磁阀失电,紧急气路驱动中继阀按照 1 : 1 的比例将制动缸压力输送至每轴的制动单元^[3]。

紧急制动的输出压力是由称重阀限制,称重阀是一个可以基于不同空簧压力输出相应比例压力的机械阀。称重阀在无空气弹簧压力输入的情况下,按照 AW0 工况输出制动缸压力;当空气弹簧压力超过额定值时,称重阀可以按照 AW0 于 AW3 间相同的斜率增大输出压力。

紧急制动的主要特征有:由称重阀直接调节压力控制,不受软件的无冲击限制;紧急平均制动率至少达到 1.2m/s;紧急制动响应时间从紧急制动初始状态到制动缸压力达到 90% 负荷压力所用的时间,包括延迟时间和初始状态压力建立时间,不超过 1.5s。

车辆在运行过程中一旦触发紧急制动,控制单元可立即检测紧急输出压力,并计算紧急制动的响应时间以及紧急输出压力是否满足要求。一旦出现异常会上报紧急响应故障。

出现紧急响应故障的可能原因有:称重阀入口压力过低导致其输出压力无法上升至目标值、称重阀内部密封圈或油污卡滞导致无法输出标称值、紧急电磁阀烧损、中继阀卡滞导致无法及时将预控压力转化为输出压力、紧急输出压力传感器异常导致误判等^[2]。

2.8 防滑系统故障

防滑系统由防滑阀、速度传感器、电子控制单元组成。

其中,防滑阀是一个内联、管装式、三态阀,是一个先导式电磁阀,通过电磁线圈动作带动先导气路发生改变,从而驱动防滑阀主气路动作。列车防滑系统是轴控架构,每轴配置一个防滑阀。制动控制单元根据轮速判断不同的滑行等级,从而相应实现防滑阀控制。

防滑阀驱动电路接有一个独立的硬件计时回路。当硬件超时,防滑阀将被自动切断,以防因过量排气导致列车制动力丧失。

防滑保护在常用制动和紧急制动状态下、速度高于 5km/h 时均可用。摩擦防滑系统用来监测低粘着状态下的随机和同步滑行,防止车轮滑行和擦伤,并减小停车距离。制动控制单元持续监控速度传感器并控制排泄阀调整制动缸中的压力到需要的水平。车轮磨损时不需要手动调节,制动控制单元会针对

轮速进行轮径补偿,以降低轮缘磨损误差带来的速度精度偏差。

防滑系统的故障主要有:速度传感器故障、防滑阀异常以及防滑超时等。防滑阀的故障主要有防滑电磁阀线圈短断,线圈阻值异常,连接器进水、松动,防滑阀驱动电源异常,防滑阀内部密封圈磨损,金属或油污卡滞阀口,防滑阀后端的压力传感器异常导致误诊断等。

电气上可通过万用表电阻档位确认线圈阻抗、检查防滑阀连接器端电平信号(+24V 驱动),确认防滑阀的压力传感器是否正常。

制动数据分析上,可通过制动维护软件进行防滑阀自检,分析阀动作命令与防滑阀后端压力传感器数值变化;计算防滑阀死区和响应时间,分析阀输出指令和反馈状态;检查速度传感是否发生异常导致误防滑等。

2.9 风源系统故障

风源装置由旋转螺杆式压缩机或活塞型压缩机、空气干燥器、油细分离器等组成。

地铁列车一般配置双台风源系统,列车网络系统根据列车管风压决定单双台压缩机启/停控制。如果主风管压力低于 700kPa 时,双台压缩机同时启动自动打风直到主风缸压力达到 900kPa;当主风管压力低于 750kPa 时,单台空压机启动直至主风压力达到 900kPa 以上时停止。

空压机产生的压缩空气经过空气干燥器后以每分钟 760+/-5% 升供给主风缸。空气干燥器干燥空气质量符合 ISO 8573-1 2-2-2 标准(固相颗粒、湿度/液体、含油量)。为防止冬季结冰,空压机组干燥器配置电加热器。当周围温度过低时,加热器工作。

双塔干燥器的工作状态的监控方案为:干燥器上部为 A 塔,下部为 B 塔,A/B 塔分别交替输出的工作信号,即一个塔输出 DC110V 高电平信号(有效),一个塔输出低电平信号(无效),A/B 塔输出工作信号 60s 切换一次,切换时间小于 2s。若 A/B 塔超过 62s 未切换并对应交替输出工作信号或同时输出相同的工作信号,列车控制系统应报干燥器故障,并在 HMI 上显示。

由于目前城轨列车多个城市采用电制动到零的方式,空气制动的使用频次、耗风量较传统的空电混合方式有极大的降低,这使得空压机的工作时间变短。在工作时进入空压机的外部空气足以将残留在压缩机

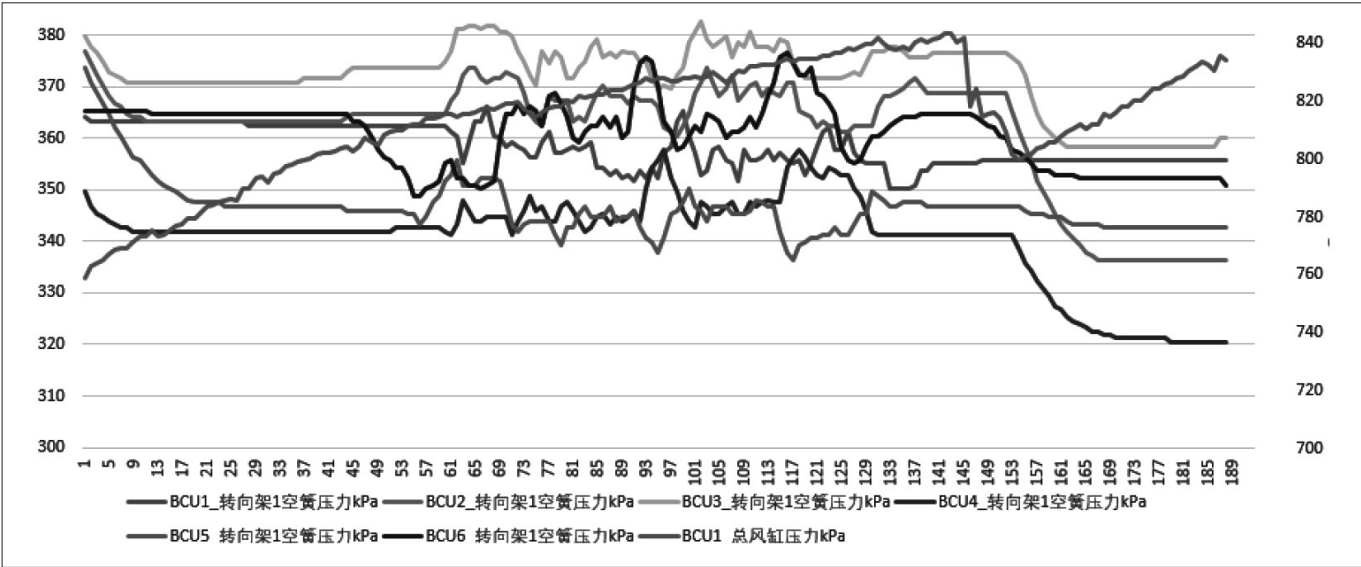


图 2 动态空簧压力耗风

内的水分完全带走，每次在压缩机停机冷却后再次有水分凝结，时间长了凝结水会渗入油腔内。在压缩机工作时，由于油温的升高，润滑油与水这两种液体的表面张力降低，同时，由于空气中可能会含有的亲油基或亲水基杂质吸附在油水表面上，使油与水之间的表面张力降低，形成稳定的乳化液^[4]。

2.10 空压机打风超时

列车运行过程中出现空压机的打风超时，一般是列车耗风量增大引起的。比如遇到乘客上车高峰期，列车为了保证车身距离地板高度将自动给空气弹簧充风，这将导致主风管源源不断地向悬挂系统充风，直到高度阀摇杆达到水平位置时，充风停止。该过程将极大地延长空压机的打风时间。

如果列车在运行至弯道时，由于向心力作用，列车的重心会发生偏移，轨道内外两高度阀会发生充排气动作，动态空簧压力耗风如图 2 所示，列车在进入弯道时，左右空气弹簧压力变化。由于列车空气簧数量众多，气囊的体积也较大，动态空簧气囊用风是造成空压机打风超时的非常重要的因素。通常，高度阀设有一个不感区间，在不感区间范围内的摆动，高度阀是不会进行充排气动作的，只有摆幅超过该不感带时，高度阀才会充排气。此外高度阀的排气口一般具备延时机构，比如节流孔。为了抑制在动态条件下高度阀排气过快，通常会选择合适的节流孔。

动态下的空簧耗风：可对比观察同一转向架左右空簧压力以及同一节车两架空簧压力。过高的空簧

压力变化速率以及短时间过大的变化量均是可能的故障点。由于是过弯道，列车不同车厢会依次通过，其空簧压力会呈现类似的特征，即同一侧的空簧压力会呈现相同的变化趋势。结合列车所经过的站点信息，可综合评估列车过弯道时，空气弹簧的动态耗风对空压机打风时间的影响。

3 结语

通过对上述城轨制动概述及故障总结及排查思路，结合实际的现场故障数据可以快速理清故障排查思路，迅速定位故障点。随着现今城轨智能运维系统不断进步，在累计大量制动故障数据、实时运行数据的基础上进行智能化自动化预警诊断技术将成为未来制动检修的发展方向。传统的故障分析以及故障特征数据的积累将有助于加速制动预警技术迭代。

参考文献：

[1] 施玲．城轨车辆制动系统故障及可靠性分析 [D]．成都：西南交通大学，2020.

[2] 刘德东．城轨车辆制动系统的监测与故障诊断系统研究 [D]．北京：北京建筑大学，2014.

[3] 贺震，方舟．地铁车辆紧急制动响应故障原因分析及改进措施 [J]．机车电传动，2016(05):116-119.

[4] 陶波．广州地铁三号线车辆空压机油乳化原因分析及对策 [J]．电力机车与城轨车辆，2008，31(06):39-40+47.