

宁波轨道交通1号线列车 停车欠标问题的分析

李义国, 苏晗翀, 蒋晓东

(宁波市轨道交通集团有限公司, 浙江 宁波 315101)

摘要: 针对宁波轨道交通1号线列车全线贯通调试过程中发生的列车进站停车欠标问题展开调查, 对停车欠标原因进行了分析, 研究了不同车型列车在牵引系统上的兼容性问题并提出了解决方案。

关键词: 宁波轨道交通1号线; 列车; 牵引系统; 电制动; 停车欠标

中图分类号: U231; U268 **文献标识码:** B
doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.03.024

2015年11月中旬, 宁波轨道交通1号线列车在全线贯通调试过程中, 1号线一期和二期2种车型的列车在二期线路(东环南路站-高桥西站区间)以CBTC-ATO模式混跑时, 出现一期列车在车站到站停车时频繁发生列车停车欠标的现象, 然而多列一期列车或多列二期列车独立在1号线全线运行并无到站停车欠标现象, 多列一期和二期列车在1号线二期线路(邱隘站-霞浦站区间)混跑时, 也无到站停车欠标现象发生。

1 事件调查及分析

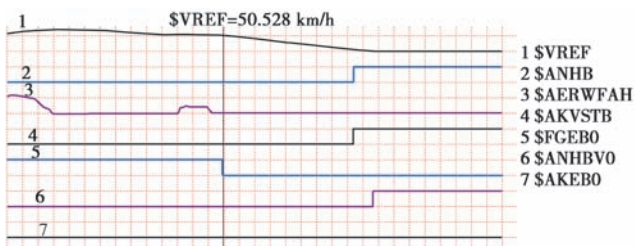
宁波轨道交通1号线一期列车采用了德国西门子公司(以下简称“西门子”)的电气牵引系统和德国克诺尔公司(以下简称“克诺尔”)的空气制动系统; 1号线二期列车采用株洲中车时代电气股份有限公司(以下简称“时代电气”)的牵引系统与北京纵横机电技术开发公司的空气制动系统, 全线信号系统设备均由卡斯柯有限公司(以下简称“卡斯柯”)供货。从列车的电气牵引系统和空气制动系统的配置来看, 宁波轨道交通1号线一期和二期的列车属于2种不同车型的列车。

调试人员通过跟踪发现, 1号线一期线路共20个站中出现列车进站停车欠标多达11个站, 停车精度超

出设计要求的50 cm(正常停车误差要求在 ± 30 cm^[1])

1.1 停车过程分析

通过列车调试和维护工具软件Monitor实时监控发现, 在所有列车停车欠标站, 均在制动过程中发生电制动到零速(以下简称“EB0(Electric Brake to 0)”) ^[2], 即1号线一期列车西门子的牵引系统其电制动力可以独立承担列车从最高速制动到零速的能力, 直至车速至0.3~0.5 km/h时制动力才由空气制动系统接管)的使能信号\$FGEB0为低电平的情况, 而未欠标停车站均以EB0停车, 如图1和图2所示。



\$VREF——速度曲线; \$ANHB——请求保持/停车制动信号; \$AERWFAH——预期启动加速度; \$AKVSTB——列车速度已小于停车制动请求速度; \$FGEB0——EB0使能允许信号; \$ANHBV0——保持制动请求信号; \$AKEB0, EB0——激活信号

图1 停车欠标站(23:43 大桥桥站)各数据曲线

从图1可以看出, 当列车制动到速度50.528 km/h时, EB0使能信号\$FGEB0已跳变为低电平, 直至零速停车仍未恢复, 列车以电制动和空气制动混合制动的方式停车, 其余信号均正常, 列车牵引系统和制动系统均无异常。

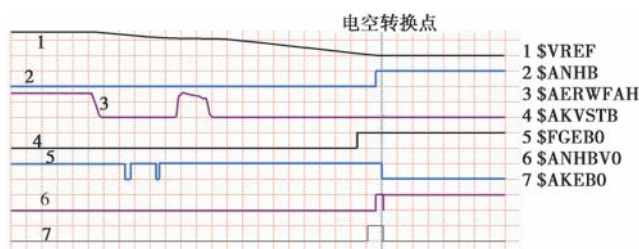


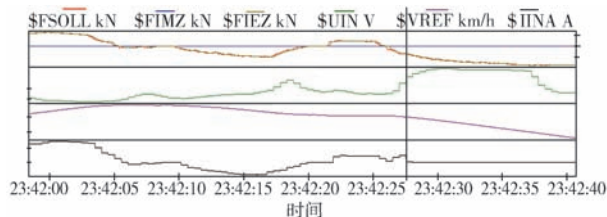
图2 未停车欠标站(23:50 徐家漕站)各数据曲线

图2为典型的EB0曲线, 当列车制动到50 km/h

左右时,虽然出现了\$FGEBO为零电平的现象,但在电空混合转换点6~9 km/h前已恢复为高电平。故列车以EB0的方式停车,故而未发生欠标现象。通过对欠标各站和正常各站的数据归类分析,其他均分别和图1和图2的数据具有相同的特征。故基本可以断定欠标是由EB0使能信号异常造成,列车无法以EB0的方式停车,而是以电空混合的停车方式引起的欠标。

1.2 EB0 时的使能信号异常原因分析

为找出EB0异常的原因,需要读取Data Recorder(列车历史数据记录仪)中更多的环境数据曲线,具体参考图3。



\$FIEZ—电牵引/制动力; \$FIMZ—气制动力; \$FSOLL—列车给定力; \$UIN—网压; \$VREF—列车速度; \$IINA—ICU 总电流

图3 停车欠标站(11:43 大卿桥站)各模拟量数据曲线

从1号线一期列车的西门子电气牵引系统设计理念看,列车在发生1个及1个以上牵引系统严重故障、滑行、救援、洗车及列车由于过流保护等因素引起电气牵引系统主电路断开的情况下,列车制动时EB0功能将会失效,产生空—电混合制动的方式停车。从列车的历史数据和牵引系统的良好状态来判断,只有牵引系统主电路(如图4所示)由于某种原因断开引起了制动时的EB0失效。

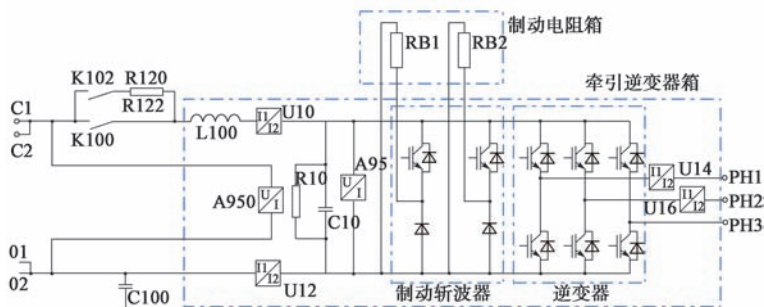


图4 宁波轨道交通1号线一期列车西门子牵引系统原理图

在制动过程中,图3中从纵刻度线标注处(对应图1中的时间23:43:53时的EB0使能的失效点)开始,网压\$UIN从1 812 V逐步抬升,并在1 880 V左右维持了10 s。该过程发现有从接触网K100流向列车牵引系统50 A以上的正向电流(该电流信号\$IINA是从图4中电流传感器U10处检测获得),并维持3 s。

从牵引系统电制动的模式看,正常情况下有3种模式:

①接触网供电系统挂有足够的吸收列车制动反馈能量的其他设备,或有别的列车在此期间正处于牵引状态,此时的电制动为纯再生制动,可从图4中的电

流传感器U10获得\$IINA电流应为负值。

②接触网侧没有任何其他用电设备可吸收制动车辆所反馈的能量,此时制动斩波器启动(1号线一期列车设计启动电压为1 800 V),此为纯电阻制动。这种情况下,图4中电流传感器U10获得的电流\$IINA应该为0或为小到可以忽略的负值。

③接触网供电系统侧有其他的用电设备,但不足以完全吸收来自车辆制动时反馈的能量,此时车载制动斩波器启动,其剩余能量由车载制动电阻(图4中RB1和RB2)吸收。此过程为再生和电阻制动并存的模式。此时从图4中电流传感器U10获得的电流\$IINA应该为幅值较大的负值。

由此看来,列车是处于电阻制动状态,但同时又向接触网供电系统索取能量的非正常状态。因制动电阻的容量的设计是根据牵引系统的制动反馈能量大小来设计的,也就是说它是为牵引系统的反馈能量而量身订做的,即使有余度,也是有限的。这也就意味着当它吸收了牵引系统电制动的反馈能量后,同时也在吸收来自电网的能量,当达到一定的值和一定的时间后,将会超过制动电阻承受的热容量能力而导致其烧毁。故1号线一期列车牵引系统有列车制动时的正向电流保护功能,当制动时电流\$IINA大于50 A,且超过1 s后,保护系统自动断开线路接触器(图4中K100),以达到保护的目的。而列车要EB0到零速(电制动到0),当速度制动到3 km/h以下时,列车又必需从电网获得很小但又必要的能量,但此时牵引系统主电路却由于保护而断开接触器K100,列车自然将无法从接触网获得所需能量,故而主电路接触器K100的断开将屏蔽EB0功能。

制动时该正向电流的出现,应该是由制动斩波DC-LINK电压(1 800 V左右)和接触网电压的网压差而导致的。通过对一期列车数据事件记录仪中相关的历史数据的统计分析,基本上可以验证该观点。具体请参考表1的统计数据(站点栏中浅红色的制动站点,其接触网电压在1 800 V左右,列车都未出现欠标停站)。

1.3 列车制动时接触网电压过高的原因分析

1号线一期列车牵引系统制动斩波器的开启阈值为DC-LINK电压1 800 V,1号线二期列车的制动斩波器开启阈值为1 850 V;另外在1号线二期线路的中河路站牵引变电所安装了科研试验用的再生制动中压能量反馈吸收装置,容量为1.8 MW。

故分析判断,当1号线二期列车在1号线一期线路上运行制动过程中,由于接触网侧没有吸收其制动能量的用电设备,导致接触网电压可抬升至1 850 V以上,而此时当1号线一期列车也正好处于制动状态,其电制动反馈能量自然也无别的吸收设备可吸收,当DC-LINK电压达到1 800 V,列车制动斩波器开通进行