

减小计轴主机宕机故障影响的优化方案

侯学辉

(宁波市轨道交通集团有限公司运营分公司, 315101, 宁波//工程师)

摘要 正常情况下,计轴设备故障不会对 CBTC 模式下的列车运行产生影响,但当计轴设备故障发生在特定情境下时,会造成故障区域道岔无法转换,列车进路无法排列,列车无法以 CBTC 模式或点式 ATP 模式运行,对运营服务造成严重影响。通过深入研究、分析该特定情境与计轴宕机的关系,并结合现有系统的实际情况,提出一种可有效减小计轴 CPU 板宕机故障影响的优化方案。

关键词 轨道交通;信号系统;计轴系统;宕机故障

中图分类号 U284.47

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.04.036

Optimization Scheme for Minimizing the Impact of Axle Counting System Downtime Fault

HOU Xuehui

Abstract Normally, the axle counter failure will not affect the train operation in CBTC mode. But in specific conditions, it will lead to turnout switch failures in the fault area, train route arrangement failures, train operation failures in CBTC mode or Intermittent ATP mode, and cause serious impact on operational service. Through in-depth study and analysis of the relationship between specific conditions and axle counter failures, and referring to the real situation of the existing system, an optimization scheme is put forward for minimizing the impact of axle counter system downtime failure.

Key words rail transit; signal system; axel counting system; downtime fault

Author's address Ningbo Metro Group Co., Ltd., 315101, Ningbo, China

计轴系统工作不受道床、轨道状态和气候条件影响,且其维护工作量小,已逐渐代替轨道电路成为城市轨道交通信号系统中不可或缺的轨道状态监督设备。在移动闭塞大行其道的 CBTC(基于通信的列车控制)信号系统中,在点式模式下,计轴设备能如实反映轨道区段的占用或空闲状态;在 CBTC 模式下,计轴设备作为次级检测设备,按照 CBTC 模式行驶的列车可不考虑计轴区段状态。正

常情况下,计轴设备故障对 CBTC 模式下的列车运行无影响,但在宁波轨道交通 1、2 号线现有 CBTC 信号系统使用过程中,发现当计轴主机宕机故障发生在车辆段、停车场及设有联络线的接轨站(以下简称接轨站)时,将严重影响正常行车组织。本文针对该特定情境进行技术分析和研究,提出一种可有效减小计轴主机宕机故障影响的优化方案。

1 现有计轴方案

1.1 基本情况

在宁波轨道交通已开通的 1、2 号线 CBTC 信号系统中,各联锁区按上、下行线路分别设置 1 台计轴主机。计轴主机采用集中控制方式,即 1 个计轴主机控制上行或下行线路全部计轴区段。此时一旦计轴主机发生故障,整个计轴控区将全部发生故障。

在 1、2 号线信号系统架构中,轨道信息由计轴区段信息、ATP(列车自动保护)轨道信息和计轴信息(可用或不可用)等 3 个因素共同决定。若将计轴区段 A 划分为 2 个 ATP 小区段(C 、 D ,如图 1 所示),则轨道信息 E 的布尔表达式可以简化为: $E = A * (.N. B) + (C * D)$ 。其中, B 表示计轴信息可用或不可用, $.N.$ 表示取反, $+$ 表示相或, $*$ 表示相与。

由上可得:当计轴信息 B 为不可用时,轨道信息 E 只与 ATP 轨道信息有关。依据信号系统设计理念,CBTC 模式下运行的列车,对轨道区段的状态判定只取决于 ATP 轨道信息。因此,一旦计轴设备发生故障,CBTC 系统将自动切除计轴系统,以保证 CBTC 模式列车的正常运行。

但在实际应用中,为了对自非 CBTC 区域(车辆段、停车场及联络线等)进入 CBTC 区域的列车进行筛选,出于系统安全需要,在两区域交界处均设计有 1 个或多个不可被切除的计轴区段。而当控制上述区段的计轴主机宕机后,不可切除区段上的非通信障碍物包络(NIAP)将迅速向外蔓延,直至计轴控区边界或控区中 CBTC 列车自动防护包络 AP

(接入点)的首部或尾部,若 NIAP 蔓延至折返道岔区域后,将对 CBTC 模式下运行的列车造成严重影响,进而扰乱整条线路的正常运营。

1.2 故障分析

宁波轨道交通 1 号线一期开通试运营以来,共发生计轴主机宕机故障 4 起,其中 3 起发生在接轨站。具体故障情况如表 1 所示。

表 1 宁波轨道交通 1 号线的计轴主机宕机故障情况

序号	故障时间	故障现象	故障影响	故障原因
1	2014-11-24	望春桥站联锁区上行线全部计轴区段粉红光带	故障区域 CBTC 列车无法正常运行,最大晚点 8 min 以上	因信号系统侧防问题,在上行主机宕机后全控区转粉红光带,诊断日志报“Under_5V”,宕机原因定性为电源波动导致故障
2	2016-08-30	高桥西站(折返站)联锁区下行线全部计轴区段粉红光带	NIAP 自不可切除区段向外蔓延,影响 CBTC 列车折返,最大晚点 15 min 以上,清客 1 列次	下行计轴主机宕机,故障原因定性为 Memory Exception Faults 内存异常故障
3	2017-04-23	高桥西站(折返站)联锁区上行线全部计轴区段粉红光带	NIAP 自不可切除区段向外蔓延,影响 CBTC 列车折返,最大晚点 12 min 以上,清客 1 列次	上行计轴主机宕机,诊断日志报“POWER ON”,无法具体定性故障原因
4	2017-05-10	鼓楼站(1、2 号线接轨站)联锁区下行线全部计轴区段粉红光带	NIAP 自不可切除区段向外蔓延,影响 CBTC 列车正常行驶,改为人工驾驶通过	下行计轴主机宕机,诊断日志报“SW_RESET”,无法具体定性故障原因

通过分析计轴系统诊断日志,4 起宕机故障原因存在一定离散性,无规律性可循,故障原因也无法定性。在解决问题过程中,先后尝试了测试电源波动情况更换计轴电源板、优化计轴 CPU 软件、更换 CPU 板卡等多种措施,但均未缓解故障的发生。因此针对计轴主机稳定性的优化整改措施,存在证据不足、缺乏针对性等问题,且无法实质性解决计轴主机宕机后不可切除区段上 NIAP 蔓延的问题。

2 优化方案

2.1 备选方案对比分析

经分析,计轴主机宕机故障影响扩大化的根源在于不可切除区段上 NIAP 向外蔓延。通过调研,该问题目前有 3 种备选方案。

方案 1:在信号系统设计上规避该问题,从系统架构上避免不可切除区段向外蔓延。该方案需对信号系统软件、硬件的架构方面进行修改,且改动工作量大,对已开通线路影响大,缺乏可行性。

方案 2:采用计轴分散控制方案。每个计轴区段对应 1 块独立工作的计轴板卡,从而降低计轴设备故障的影响范围。目前,计轴设备存在分散控制方式,需更换全部计轴主机设备,并改变与信号系统接口方式,存在资金投入大,与现有信号系统兼容性差等问题。

方案 3:计轴系统采用 3 取 2 冗余或主备冗余方式,增加计轴系统的可用性。该方案涉及更改计轴系统安全性架构,需对信号系统重新进行第三方

安全认证。

可见,在已开通运营的线路上实施上述方案,均需大规模改造信号系统软件、硬件或接口条件,均存在较高的风险性和巨大的资金投入,对正常运营也将产生很大影响,缺乏可行性。

2.2 优化方案设计

2.2.1 方案优化思路

在充分研究现有信号系统架构,以及信号与计轴系统接口关系后,借鉴计轴分散控制理念,本文提出了一种易于实现的优化方案:在现有 2 台计轴主机的基础上,再增加 1~2 台计轴主机,对不可切除的区段进行单独控制,从而实现不可切除区段与折返道岔区段等关键区域的分散控制,以规避计轴主机宕机时不可切除区段上 NIAP 向外蔓延的隐患。

宁波轨道交通 1 号线高桥西站至石头路停车场的计轴区段见图 1。原设计方案中,T010161、T010162、T010163 及 T010164 计轴区段,为非 CBTC 区域与 CBTC 区域交界处不可切除的区段。一旦高桥西站的任一计轴主机宕机后,NIAP 将会自 T010163 或 T010164 区段逐步向折返道岔区域蔓延。

通过深入研究 NIAP 蔓延机制发现,NIAP 蔓延可被计轴状态良好的区段阻断。当高桥西站计轴主机发生故障时,NIAP 之所以可蔓延至折返道岔区域,主要是因为 T010163 或 T010164 区段与道岔区段均由同一主机控制。当宕机故障发生时,对应的整条上行或下行线计轴区段状态同时为不可用

状态。此时,无计轴状态良好的区段可阻挡 NIAP 的蔓延,故 NIAP 会一直蔓延至计轴控区边界或 CBTC 模式下的列车 AP 首部或尾部。

优化方案以此为突破口,对原方案中的上下行主机控区进行重新划分,通过增设的计轴主机单独控制 T010161、T010162、T010163 与 T010164 计轴区段,以实现与道岔区域的分散控制,从而规避不可切除区段与道岔区段同时故障的风险。

优化方案有 4 个关键点:

(1)利用现有计轴系统控区划分规则,在室外部分将 AC010163、AC010164 计轴点改为共享计轴

点,利用现有计轴电缆备用芯线或新敷电缆将磁头信息分别传送给新增计轴主机和原计轴主机,从而实现对计轴控区的控制。

(2)根据不可切除区段数量,增加 1 台计轴主机;并充分利用原有对应区段的并口板、PDCU(电源数据耦合单元)等零部件,以节约改造成本。

(3)修改计轴机柜内部相关区段的端子排配线,实现对室外计轴点分散供电,避免室外计轴点集中供电。

(4)将新增主机与监测子系统连接,以实现检测信息与告警信息的上传。

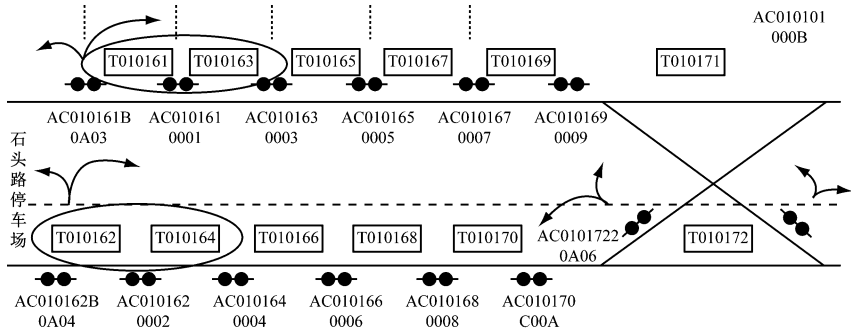


图 1 高桥西站计轴区段示意图

2.2.2.2 改造工程量

在高桥西站的改造中,主要设备包括 2 块 CPU(中央处理器)板、1 块电源板、1 块串口板、2 个 PDCU、3 块补空板,以及 1 台 ACE2-10 主机。计轴电缆、机柜等需根据现场实际情况确定。

2.2.2.3 优化方案的优点

该优化方案充分考虑了现有已开通线路条件的限制,主要具有以下优点:

- (1)基于现有信号系统与计轴设备接口进行优化。由于计轴分区控制技术成熟,无需特殊验证,故技术要求难度低、易实现。
- (2)避免了对现有信号系统软、硬件和系统架构进行修改,降低了改造的不确定性和风险性,将对运营线路的影响降到了最低。
- (3)成功规避了采用计轴设备冗余或分散控制方案需对信号系统重新进行第三方安全认证的关键制约点。
- (4)改造投入低,改造周期短,且可有效解决不可切除区段上 NIAP 蔓延的隐患。

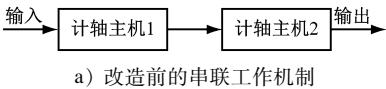
2.2.2.4 可行性分析

优化方案只在现有计轴系统内部增加及修改设备配置,未改变信号系统与计轴系统的接口技术

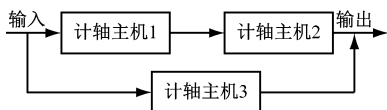
条件,不涉及对信号系统软件、硬件及设计架构的更改,对信号系统整体安全性无影响。

同时,优化方案为原来 2 台计轴主机串联工作的机制增加了 1 条并联通道,增加了计轴系统的冗余性,将单台主机故障影响行车的风险进行分散,使故障影响行车的风险大幅降低,并提升了信号系统的可靠性(见图 2)。

由图 2 可见,方案优化后,计轴主机 1 与计轴主机 2 的计轴控区不再含有不可切除区段,故在计轴主机 3 正常情况下,无论计轴主机 1、计轴主机 2 发生故障与否,都不会对 CBTC 模式下的列车运行产生影响;而当新增计轴主机 3 宕机后,NIAP 蔓延至计轴主机 3 控区边界,此时若计轴主机 1 和计轴主机 2 均正常,NIAP 将被阻断,不再继续向外蔓延;只有当新增主机 3 宕机,且 ACE1 或 ACE2 中的 1 台也同时宕机时,才会出现 NIAP 向外蔓延、影响 CBTC 模式列车运行的情况。由计轴设备产品说明书可知,单台计轴主机平均无故障时间为 1.75×10^5 h,故 2 台主机同时宕机的几率微乎其微。



a) 改造前的串联工作机制



b) 改造后的并联工作机制

图2 计轴主机工作机制对比示意图

3 结语

优化方案虽未从根源上避免计轴不可切除区段的存在,但有效地降低了 NIAP 外延的几率,将计轴宕机故障影响降到了最低,且切实可行。经宁波轨道交通信号系统集成商及计轴设备供货商专家评估后,一致认为该优化方案应用技术成熟,采用方法可靠,安全性满足系统要求,且现场改造实施周期短,资金投入少,能有效减小计轴主机宕机故障影响。

目前,该优化方案已获得宁波轨道交通运营方、信号系统集成商以及计轴系统供货商三方认可,并按照优化方案对折返站实施了技术改造。经

过多次试验、验证,改造效果达到预期目标,改造后计轴系统运行正常,与现有信号系统完美兼容,未发现安全隐患。

参考文献

- [1] 欧阳斌. 电路系统可靠性的计算[J]. 长沙航空职业技术学院学报, 2003(4): 49.
- [2] 刘俊杰. TAZ-II 计轴在地铁运营中存在的问题及对策[J]. 技术研发, 2012(9): 45.
- [3] 北京泰雷兹交通自动化控制系统有限公司. AzLM 型计轴系统产品说明书(V3.0)[R]. 北京: 北京泰雷兹交通自动化控制系统有限公司, 2014.
- [4] 卡斯柯信号有限公司. 宁波轨道交通 1 号线一期工程信号系统 CBI 子系统技术规格书(V1.3.0)[R]. 上海: 卡斯柯信号有限公司, 2014.
- [5] 钟小伟. 西门子 AzS(M)350M 型微机计轴设备系统[J]. 都市轨道交通, 2004(2): 116.
- [6] 张宏强. 计轴系统特殊故障的分析与解决方案[J]. 城市轨道交通研究, 2016(2): 125.

(收稿日期: 2017-05-26)

(上接第 145 页)

度异常则系统报警。

受电弓温度检测结果如图 13~14 所示。图 13 中, 受电弓各部件的温度变化范围为 0~250.00℃。图 14 显示了整个受电弓的最高温度区域。本受电弓温度检测系统的阈值为 200.00℃。而图 14 中所对应的受电弓的最高温度为 169.85℃, 未达到报警温度, 所以系统未报警。



图13 受电弓温度整体分布示意图

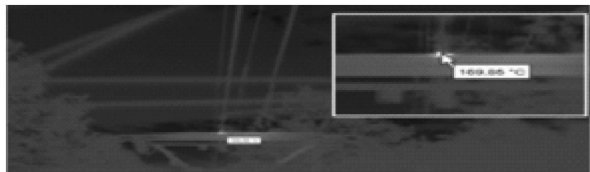


图14 受电弓温度检测系统局部分布示意图

3 结语

受电弓在线动态检测系统在功能、检测精度、

效率上, 能完全满足当前地铁运营维护的需求; 相对原有的受电弓检测系统, 新线系统在检测精度、误报率和性价比上都有显著提升。随着此系统在广州地铁新线的全面安装, 将全面改变受电弓的维护模式, 进一步提升受电弓的检测能力, 为车辆运营安全护航。

参考文献

- [1] 张铮. 数字图像处理与机器视觉[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2014.
- [2] 高晓蓉. 传感器技术[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2013.
- [3] 孙纲. 车辆在线监测系统在受电弓检测中的应用[J]. 城市轨道交通研究, 2012(1): 104.
- [4] 谢力. 基于图像处理的受电弓状态检测技术研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2009.
- [5] 朱晓恒. 受电弓滑板磨耗检测中边缘连接算法的研究[J]. 信息技术, 2010(8): 58.
- [6] 陈维荣. 受电弓滑板状态监测的图像目标提取[J]. 西南交通大学学报(自然科学版), 2010(1): 59.
- [7] 师鹏燕. 基于仰拍方式的受电弓滑板图像检测[J]. 机车电传动, 2010(1): 57.
- [8] TAKAYUKI U, MITSURU I, YOSHITAKAY. Method for detecting step-shaped wear on contact strips by measuring catenary vibration. [J]. Quarterly Report of RTRI, 2011, 52(4): 17.

(收稿日期: 2017-05-27)