

# 某地铁列车无人自动折返卡顿故障分析及解决方案

李如石 任富争 杜苗苗 刘 超

(中车唐山机车车辆有限公司,063035,唐山//第一作者,高级工程师)

**摘 要** 针对某城市地铁车辆在试运行期间频繁发生的列车无人自动折返时的卡顿故障进行了分析研究。简要介绍了列车无人自动折返功能,并从列车网络系统、牵引系统和车辆电路 3 个角度深入分析故障原因,提出了解决方案。按此方案整改后故障得以完全消除。

**关键词** 地铁列车;无人自动折返;卡顿故障;列车网络系统;牵引系统;车辆电路

**中图分类号** U231.6

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2020.03.040

## Analysis and Solution of Paused Fault for Subway Train Unmanned Automatic Return

LI Rushi, REN Fuzheng, DU Miaomiao, LIU Chao

**Abstract** The frequently paused faults for subway train unmanned automatic return in a Chinese city is analyzed during the train's trial operation period. With an introduction of the unmanned automatic return functions, causes of the paused fault are deeply analyzed from three angles of train network system, traction system and vehicle circuit, corresponding solutions are put forward. It is believed that the rectified scheme can completely eliminate the paused fault.

**Key words** subway train; unmanned automatic return; paused fault; train network system; traction system; vehicle circuit

**Author's address** CRRC Tangshan Co., Ltd., 063035, Tangshan, China

列车无人自动折返是采用一定的车辆设备、信号设备、固定设备实现的自动折返方式,它与行车组织方法有着密切的关系。而折返站的折返能力是地铁线路通过能力的一个重要环节,线路相关的折返能力直接影响着全线的通过能力,甚至限制线路运输能力的发挥<sup>[1]</sup>。

某城市地铁列车在试运行期间,频繁发生如下的情况:列车上行到达终点站乘客下车后,通过列车无人自动折返使列车折返到下行站台;在折返轨终端开往下行站台途中,列车短暂启动后停车,几

秒后信号系统再次控制列车驶向下行站台,期间未停顿。根据地铁运营公司统计,该故障发生的概率大约为 40%,较为频繁,已经影响到列车的正常运营管理,必须尽快予以解决。

## 1 列车无人自动折返功能简介

### 1.1 功能定义

当列车在折返站规定的停车时间结束及旅客下车完毕,车门关闭后,经过必要的操作确认后司机下车,由司机按压站台“无人自动折返”按钮后进入列车无人自动折返。列车可在无人驾驶的情况下,从到达站台自动驾驶进入和折出折返线,最后进入发车股道自动打开车门和站台门,在整个折返过程中无需司机在车上对列车进行操作。列车到达出发站台停稳,确保司机进入另一端驾驶室后方可启动列车。

### 1.2 功能需求

为实现无人驾驶自动折返,需具备以下功能要求<sup>[2]</sup>:①只有在特定的区域才允许司机选择自动折返功能(自动折返指示灯闪烁);②司机通过操作司机台或站台的折返按钮来激活自动折返功能;③自动折返功能一旦被激活,整个折返过程不需要人工参与,只有在折返功能完成或列车占用时,自动折返功能退出。

### 1.3 功能实现

该功能的实现主要分为两个步骤:①列车从终端站台折返运行至折返线;②列车由折返线运行至出发站台,完成自动折返。

## 2 列车无人自动折返卡顿故障原因分析

### 2.1 列车网络系统角度分析

故障发生后,根据故障现象应考虑如下问题:①列车由折返线向出发站台驶出时发生卡顿的原因;②当列车发生卡顿停车后,再次牵引时故障现象消失的原因。

下载当日列车数据记录仪中的数据,数据是以

100 ms 记录一次,分别对这两个问题进行具体分析。

上述第一个问题的分析结果见图 1。其分析过程如下:

时间(车号: 0104)	Tc1车司机室占有	Tc1车AR模式	Tc1车所有制动缓解	Tc2车司机室占有	Tc2车AR模式	Tc2车所有制动缓解	Tc2车牵引列车线	牵引封锁条件8	BCU保持制动缓解	Tc1车ATO参考值	Tc2车ATO参考值	TCMS列车速度	TCMS列车牵引力值	TCMS列车制动力值	Mp1车DCU实际牵引/电制动力	M1车DCU实际牵引/电制动力	Tc1车BCU制动缸压力	Tc1车BCU制动缸压力
2016-05-09 23:45:19	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2.984	0.037	0	0	0	0	0	206	212
2016-05-09 23:45:19	1	1	0	1	0	0	0	1	0	2.97	0.036	0	0	0	0	0	206	212
2016-05-09 23:45:19	1	1	0	1	0	0	0	1	0	2.969	0.029	0	0	0	0	0	206	212
2016-05-09 23:45:22	1	1	0	1	0	0	0	1	0	13.12	0.038	0	61.11	0	0	0	206	212
2016-05-09 23:45:22	1	1	0	1	0	0	0	1	0	13.42	0.038	0	65.17	0	0.37	0	206	212
2016-05-09 23:45:22	1	1	0	1	0	0	0	1	0	13.66	0.037	0	65.17	0	3.8	3.3	206	212
2016-05-09 23:45:23	1	1	0	1	0	0	0	1	0	13.89	0.039	0	68.18	0	7.98	7.49	206	212
2016-05-09 23:45:23	1	1	0	1	0	0	0	1	0	14.44	0.04	0	70.64	0	11.79	11.67	206	212
2016-05-09 23:45:23	1	1	0	1	0	0	0	1	0	14.69	0.036	0	74.6	0	16.04	15.79	206	212
2016-05-09 23:45:23	1	1	0	1	0	0	0	1	0	15.17	0.035	0	74.6	0	20.28	19.59	206	212
2016-05-09 23:45:24	1	1	0	1	0	0	0	1	0	17.9	0.035	0	96.97	0	57.54	55.42	204	210
2016-05-09 23:45:24	1	1	0	1	0	0	0	1	0	17.98	0.038	0	0	0	53.3	51.24	204	210
2016-05-09 23:45:24	1	1	0	1	0	0	0	1	0	17.99	0.032	0	0	0	49.05	47.93	140	139

注: DCU表示驱动控制装置; BCU表示制动控制单元; ATO表示列车自动运行; TCMS表示列车监控管理系统; Tc1, Tc2表示带司机室的拖车; MP1表示有受电弓的动力车; M1表示无受电弓的动力车

图 1 列车无人自动折返卡顿故障分析

- 1) 在 2016-05-09T23:45:19,列车从折返段驶出,信号系统发出牵引命令。
- 2) 在 2016-05-09T23:45:22,在发出牵引命令 3.7 s 后,牵引系统反馈开始发挥牵引力。
- 3) 在 2016-05-09T23:45:23 (牵引力反馈 300 ms 后),在发出牵引命令 4 s 后,网络系统采集到各车牵引力之和大于 40 kN,网络系统给制动系统发送保持制动缓解信号。
- 4) 在 2016-05-09T23:45:24,由于制动系统从收到保持制动缓解命令到缓解保持制动的的时间大约在 2 s 左右,所以在发出牵引命令 5 s 后,保持制动未缓解完成,导致车辆未采集到所有制动缓解信号。网络系统根据牵引封锁条件 8——“牵引指令

有效 5 s 后气制动未缓解且‘气制动缓解旁路’无效”,判定此时处于牵引封锁。此时将不会给牵引系统发送牵引指令,且由于保持制动缓解的条件——“有牵引指令且牵引力大于 40 kN”,所以网络系统不会再给制动系统发送保持制动缓解命令。由于无牵引命令,牵引系统发挥的牵引力快速减小,在 2016-05-09T23:45:26,制动系统在检测到无保持制动缓解命令,在无牵引指令且车速小于 1.5 km/h 时,开始施加保持制动,最终导致列车短暂启动后列车停止。

上述第二个问题的分析结果见图 2。其分析过程如下:

时间(车号: 0104)	Tc1车司机室占有	Tc1车AR模式	Tc1车所有制动缓解	Tc2车司机室占有	Tc2车AR模式	Tc2车所有制动缓解	Tc2车牵引列车线	牵引封锁条件8	BCU保持制动缓解	Tc1车ATO参考值	Tc2车ATO参考值	TCMS列车速度	TCMS列车牵引力值	TCMS列车制动力值	Mp1车DCU实际牵引/电制动力	M1车DCU实际牵引/电制动力	Tc1车BCU制动缸压力	Tc1车BCU制动缸压力
2016-05-09 23:45:29	1	1	0	1	0	0	0	1	0	7.078	0.034	0	0	0	0	0	194	195
2016-05-09 23:45:29	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4.522	0.043	0	0	0	0	0	197	194
2016-05-09 23:45:29	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2.99	0.036	0	0	0	0	0	197	194
2016-05-09 23:45:30	1	1	0	0	0	0	0	0	0	4.05	0.04	0	0	0	0	0	196	196
2016-05-09 23:45:30	1	1	0	1	0	0	0	1	0	4.801	0.042	0	2.2	0	0	0	196	196
2016-05-09 23:45:33	1	1	0	1	0	0	0	1	0	14.39	0.039	0	70.02	0	0	0.81	195	195
2016-05-09 23:45:33	1	1	0	1	0	0	0	1	0	14.64	0.033	0	74.18	0	4.18	4.99	195	195
2016-05-09 23:45:33	1	1	0	1	0	0	0	1	0	14.87	0.036	0	76.67	0	10.11	9.17	195	195
2016-05-09 23:45:33	1	1	0	1	0	0	0	1	0	15.37	0.031	0	76.67	0	13.54	14.16	195	195
2016-05-09 23:45:33	1	1	0	1	0	0	0	1	0	15.67	0.035	0	79.61	0	17.72	18.35	195	195
2016-05-09 23:45:35	1	1	0	1	0	0	0	1	0	18.53	0.037	0	100	0	62.16	61.29	154	152
2016-05-09 23:45:35	1	1	0	1	0	0	0	1	0	18.54	0.035	0	100	0	62.16	61.29	81	77
2016-05-09 23:45:35	1	1	0	1	0	0	0	1	0	18.54	0.036	0	100	0	62.16	61.29	81	77
2016-05-09 23:45:36	1	1	1	1	0	0	1	1	0	18.54	0.039	5.2	0	0	13.85	13.29	4	6
2016-05-09 23:45:36	1	1	1	1	0	0	1	1	1	18.54	0.026	5.2	0	0	7.92	9.11	0	0
2016-05-09 23:45:36	1	1	1	1	0	0	1	1	1	18.54	0.034	5.7	100	0	15.6	15.79	0	0

图 2 无人自动折返卡顿故障后列车正常启动

1) 在 2016-05-09T23:45:29, 信号系统取消了牵引命令, 网络系统检测到无牵引命令, 牵引封锁 8 消失。

2) 在 2016-05-09T23:45:30, 信号系统再次发出了牵引命令。

3) 在 2016-05-09T23:45:33, 在发出牵引命令 3 s 后, 牵引系统反馈开始发挥牵引力。

4) 在 2016-05-09T23:45:33, 即牵引力反馈 300 ms 后, 在发出牵引命令 3.3s 后, 网络系统采集的各车牵引力之和大于 40 kN, 网络系统给制动系统发送保持制动缓解信号。

5) 在 2016-05-09T23:45:35, 在发出牵引命令 5 s 后, 保持制动未缓解完成, 导致车辆未采集到所有制动缓解信号。网络系统根据牵引封锁条件 8——“牵引指令有效 5 s 后气制动未缓解且‘气制动缓解旁路’无效”, 判定此时处于牵引封锁。此时将不会给牵引系统发送牵引指令, 且由于保持制动缓解的条件——“有牵引指令且牵引力大于 40 kN”, 所以网络不会再给制动系统发送保持制动缓解命令。由于无牵引命令, 牵引系统发挥的牵引力快速减小, 但由于此时制动缸压力在 80 kPa, 且仍有减小的趋势, 速度大于 1.5 km/h, 所以制动系统没有施加保持制动。

6) 在 2016-05-09T23:45:36, 制动缸压力减小到 0, 此时由于车速大于 1.5 km/h, 保持制动仍未施加, 车辆采集到所有制动缓解信号。此时网络系统根据牵引封锁 8 的条件, 缓解牵引封锁, 网络系统再次给牵引系统发送牵引命令。此时牵引系统施加的牵引力仍旧大于 40 kN, 所以, 网络系统再次给制动系统发送保持制动缓解信号, 从而使得列车正常运行。

综合以上分析, 可以得出结论: 在列车进行自动折返驶出到下行站台过程中, 由于牵引系统发挥牵引力较慢, 导致在 5 s 时制动还未完全缓解, 而网络系统根据设计要求, 判断牵引指令有效 5 s 后气制动未缓解且“气制动缓解旁路”无效, 会进行牵引封锁, 从而导致列车动车后又停止。第二次进行动车时, 由于牵引系统发挥牵引力相对于上一次稍快, 在列车还未施加保持制动时又再次发挥牵引力, 导致列车未停止而继续运行。

## 2.2 牵引系统角度分析

根据网络系统的分析得知, 列车无人自动折返卡顿的原因是因为牵引力发挥太慢。

通过与牵引系统沟通了解到, 牵引系统如果检

测到方向信号断开超过 120 s, 会执行牵引主电路断开短接接触器逻辑。此时如果车辆同时给出方向信号和牵引信号, 牵引系统由于收到方向信号需要重新进行主电路的充电和短接过程。这个过程持续 3 s, 3 s 后牵引系统才开始发力。在发出牵引命令 5 s 时, 空气制动还未缓解, 此时网络系统会封锁牵引而导致速度逐渐下降; 在速度小于 1.5 km/h 时制动系统由于检测到无牵引命令而施加保持制动, 从而导致列车停车。

综合分析得知, 在列车无人自动折返时由于方向信号中断, 导致牵引主电路短接接触器断开, 而在重新给出方向信号的同时, 牵引命令一并给出, 导致有牵引命令 5 s 时不能缓解所有制动, 封锁牵引停车。

## 2.3 车辆电路角度分析

根据牵引系统的分析, 在进行列车无人自动折返时, 牵引力发挥慢的原因为: 方向信号丢失 120 s 以上后, 方向信号和牵引信号又同时给出, 导致需要 3 s 的额外时间来进行牵引主电路短接接触器的闭合, 即 3 s 后牵引系统才开始发挥牵引力。

经过分析, 在列车无人自动折返时, 方向信号由 AR(自动折返)模式继电器和 ATO(列车自动运行)模式继电器串联给出。在与信号系统核实后确定, 在列车无人自动折返时, 信号系统发送的 AR 模式一直有效, 而 ATO 模式会有超过 120 s 的无效。

综上所述, 方向信号丢失 120 s 的原因为, 列车无人自动折返时信号系统发送的 ATO 模式会有超过 120 s 的无效。

## 3 解决方案

基于以上分析, 提出以下几种解决方案:

1) 车辆修改电路或者信号系统修改 ATO 模式逻辑, 避免列车无人自动折返丢失方向信号;

2) 信号系统修改牵引信号发送逻辑, 确保牵引信号的发出要晚于方向信号的发出至少 3 s;

3) 牵引系统修改列车无人自动折返时的短接接触器断开逻辑, 防止出现 120 s 无方向后断开短接接触器;

对于上述 3 种解决方案, 归根结底为修改车辆电路, 或修改信号系统软件, 或修改网络系统和牵引系统软件。

如果修改车辆电路, 需要进行的工作包括: 增减列车布线; 对列车方向功能重新进行例行测试。

此种解决方案整改周期长且组装、调试工作量大。

如果修改信号系统软件,需要进行的工作包括:信号系统软件需要国外人员更改,修改周期较长;信号系统软件安全等级较高,若更改,需要更长的时间进行测试,以确保列车控制安全。此种解决方案整改周期长。

如果修改网络系统和牵引系统软件,由于网络系统和牵引系统为同一国内供应商且该供应商反应速度较快,可以大大降低软件修改时间和测试时间,能够更快地解决该故障。

综合考虑整改周期和工作量,确定采用第三种方案,即牵引系统在列车无人自动折返时修改短接接触器的断开条件。在与牵引系统沟通协商后,确定具体方案为:TCMS(列车监控管理系统)在列车无人自动折返时将AR模式信号(信号系统在列车无人自动折返时一直发出该信号)发送给牵引系统;牵引系统在收到此信号有效的情况下,不执行

短接接触器分断逻辑。采用此方案可以避免折返时可能出现的充电短接过程。

经过现场试验验证,所采用的方案效果良好,完全消除了列车无人自动折返卡顿故障。

## 4 结语

针对某地铁列车无人自动折返卡顿故障频繁发生的问题,本文从列车网络系统、牵引系统和车辆电路3个角度逐层分析引起该故障的原因,并提出解决方案。

## 参考文献

- [1] 杨浩彬.苏州轨道交通一号线DTRO自动折返方案[J].科技传播,2013(1):164.
- [2] 王亚文.城市轨道交通自动折返方式研究[J].低碳世界,2016(4):173.

(收稿日期:2018-05-03)

# 上海地铁建设工程50个标段完成复工手续,11个标段正式复工

在全力以赴抓好疫情防控的同时,上海轨道交通开启“复工复产模式”,全面吹响建设“集结号”,科学有序、稳步推进,恢复轨道交通建设施工。截至2月26日,上海轨道交通建设196个标段(不含市域铁路机场联络线的5个标段)中,有50个标段已经完成复工报审手续。其中,包括10号线二期港城路停车场,14号线土建6标,15号线铺轨,18号线轨道、触网、通信信号、牵降变、装修安装2标等11个标段目前已经复工。

针对轨道交通建设区域参建单位众多、人员来源遍布全国的特点,为了精准掌控所有返沪人员的流动轨迹、隔离状态和健康状况等详细信息,研发了“轨道交通建设工地疫情防控管理系统”云平台,实现了轨道交通所有参建人员网上登记人员健康信息收集、分析和动态监控。系统全覆盖各参建单位所有管理人员及从业人员,可实现从业人员户籍信息采集、返沪人员出行方式及途径重点疫情区域排摸、每日基本健康信息上报以及人员各项状态变更等多项功能。通过疫情状态下远程管理,避免了传统接触式信息采集风险,有助于防疫信息规范上报,及时掌握人员流动趋势,为管理决策提供数据支撑,在广泛使用的同时深受好评。目前在建线路施工进展:

10号线二期:列车已开始上线信号调试。

14号线:31座车站已封顶21座,完成率68%;58 km盾构区间已推进47 km,完成率81%;34座旁通道完成17座,完成率50%;79 km轨道完成22 km,完成率28%。

15号线:30座车站已封顶29座,完成率97%;73.56 km盾构区间已推进73.56 km,完成率100%;41座旁通道完成40座,完成率97%;91.09 km轨道(正线)完成57.6 km,完成率70%。

18号线一期:26座车站已封顶23座,完成率88%;61.6 km盾构区间已推进54.7 km,完成率89%;40座旁通道完成25座,完成率63%;73.6 km轨道完成36 km,完成率49%。

另外,据上海申铁消息,市域铁路机场联络线各单位各标段也正在开展复工准备工作。

(摘自2020年3月2日中国城市轨道交通协会网,申通地铁建管中心报道)