

# 基于无源射频识别精确定位技术的城市轨道交通车载自动过分相控制方案研究

赵晓春

(中交机电工程局有限公司, 610023, 成都//工程师)

**摘 要** 为保障城市轨道交通交流供电模式下列车安全、可靠、平稳自动过分相,降低建设投资,依据 TB/T 3483—2017《CTCS-3 级列控车载设备技术标准》对自动过分相的规定,结合城市轨道交通线路站间距小、无电分相区数量少的特点,综合考虑实施成本,阐述了无源 RFID(射频识别)精确定位技术的组成、原理及优势,从系统组成、工作原理及设备配置等方面研究了基于无源 RFID 精确定位技术的车载自动过分相控制系统,并详细分析了特殊工况下的过分相方案。该方案适用于城市轨道交通交流供电模式下的自动过分相场景。

**关键词** 城市轨道交通;车载自动过分相控制方案;射频识别精确定位技术

**中图分类号** U231.8

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2023.06.031

## Urban Rail Transit On-board Auto-passing Neutral Zone Control Scheme Based on Passive RFID Precise Positioning Technology

ZHAO Xiaochun

**Abstract** In order to ensure the safety, reliability and stability of automatic phase transition of urban rail transit trains under AC power supply mode, and to reduce construction investment, according to the regulations of automatic phase transition of TB/T 3483-2017 CTCS-3 Train Control Equipment Technical Conditions, comprehensively considering the characteristics of small station intervals and small number of neutral zones along urban rail transit line routes and the implementation cost, the composition, principle and advantages of passive RFID (radio frequency identification) precise positioning technology are expounded, then the auto-passing neutral zone control system based on RFID precise positioning technology is studied from the aspects including system composition, working principle and equipment configuration. Passing neutral zone scheme under special working conditions is analyzed in detail. The scheme is suitable for the urban rail transit scenario of auto-passing neutral zone under AC power supply mode.

**Key words** urban rail transit; on-board auto-passing neutral zone control scheme; RFID precise positioning technology

**Author's address** CCCC Mechanical & Electrical Engineering Co., Ltd., 610023, Chengdu, China

我国城市轨道交通目前大多采用 DC 1 500 V 供电模式<sup>[1]</sup>,线路中不存在无电分相区。随着市域快速轨道交通的发展,AC 25 kV 供电模式在城市轨道交通中应运而生。与直流供电模式相比,交流供电在区间存在无电分相区<sup>[2]</sup>。

为确保列车安全、平稳及高效地通过无电分相区,各设计单位主要参照电气化铁路过分相方案进行设计。但因城市轨道交通线路距离短、站间距小、无电分相区数量相对少的特点,完全采用电气化铁路过分相方案势必造成资源浪费。因此,研究适用于城市轨道交通的列车过分相方案迫在眉睫。

## 1 传统过分相控制方案

电气化工程中牵引供电采用单相工频高压交流供电方式,为使电力系统三相尽可能平衡,接触网采用分段分相供电<sup>[3]</sup>。两区间电力相位不同时存在相位电位差,为防止因列车在区间快速通过产生的拉弧短接两条供电臂,造成变电所跳闸,同时导致电力机车设备受损,必须在各独立供电区之间建立分相区<sup>[4]</sup>。

国铁中过分相有 3 类实现方式:人工手动过分相、磁缸过分相、车载 ATP(列车自动防护)控制的列控过分相。

根据 TB/T 3483—2017《CTCS-3 级列控车载设备技术标准》,列控自动过分相信号车载 ATP 进行如下操作:

1) 当车头距分相区起点还有 10 s 的走行距离时,车载设备向司机发出语音提示。

- 2) 当车头距分相区起点还有一定时间(根据动车组要求进行配置)时,车载 ATP 设备向车辆发送过分相指令。
- 3) 当车头越过分相区“合”电标一定距离(根据动车组要求进行配置)后,车载 ATP 设备向车辆撤销过分相指令。

## 2 无源 RFID 精确定位技术

无源 RFID(射频识别)精确定位技术是通过射频信号自动识别目标对象并获取目标对象相关数据信息的一种非接触式自动识别技术,主要包括读写器、RFID 标签及数据处理器<sup>[5]</sup>。

- 1) 读写器用于向 RFID 标签读写数据,如位置信息等,其中无源 RFID 读写器仅读取电子标签中的数据 and 发送能量信号,不向电子标签进行写数据。
- 2) RFID 标签是一个以非接触方式读写数据的存储设备:有源 RFID 电子标签可以采用读写器写入或读出数据,无源 RFID 电子标签仅能采用读写器写入数据。标签可以重复地新增、修改及删除内部存储的数据,以方便信息更新。
- 3) RFID 数据处理器则对读写器读取的标签内部数据进行处理和分析解读,并发送给决策和控制系统。

### 2.1 工作原理

无源 RFID 精确定位技术的工作原理是:无源 RFID 读写器接收指令后发出射频信号,RFID 标签进入磁场后接收读写器发出的射频信号,凭借感应电流所获得的能量发送出存储在芯片中的数据信息或者主动发送某一频率的信号;读写器读取信息并解码后,将其送至数据处理器进行有关数据处理和分析<sup>[6]</sup>。无源 RFID 精确定位系统的工作原理见图 1。

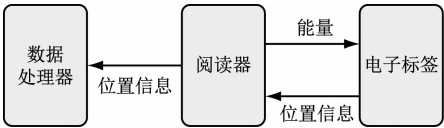


图 1 无源 RFID 精确定位系统的工作原理

Fig. 1 Working principle diagram of passive RFID precise positioning system

### 2.2 技术优势

无源 RFID 定位方式依靠短距离的非接触式通信来传输数据,不会受恶劣天气、空间环境等外部干扰,且精度极高,其定位偏差远小于 1 m,是一种

可靠的高精度定位手段。

如果将 RFID 位置标签布置在钢轨轨面上,并把 RFID 读写器安装在轨道上方车辆的底部,就能有效实现对轨道上车辆的精确定位。

## 3 基于无源 RFID 精确定位的车载自动过分相控制系统

### 3.1 功能需求

#### 3.1.1 精确定位功能

当车辆经过某 RFID 电子标签时,车载 RFID 读写器读取到该 RFID 标签中的位置数据,并发送给车载 RFID 数据处理器,车载 RFID 数据处理器对位置数据进行分析处理,并得到最终的位置信息,这就是车辆当前的精确位置。

#### 3.1.2 断开主断路器功能

列车在通过分相区前,信号接收设备接收地面定点设备信号并将其传送到车载控制设备,车载控制设备根据接收到的信号进入预告断模式或强迫断模式,并向列车控制系统传送相应指令,由控制系统实现卸载并断开主断路器的功能。

#### 3.1.3 闭合主断路器功能

列车通过分相区后,信号接收设备接收地面定点设备信号并将其传送到车载控制设备,车载控制设备根据接收到的信号进入恢复模式,并向列车控制系统传送相应指令,由控制系统闭合主断路器并恢复牵引,车载控制设备复位。

### 3.2 系统组成

车载自动过分相控制系统主要包括地面电子标签、信号接收设备及信号处理器,如图 2 所示。

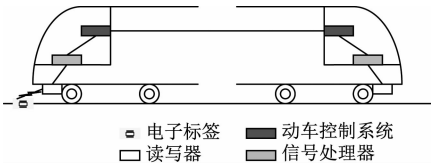


图 2 基于 RFID 精确定位的车载自动过分相控制系统组成图

Fig. 2 Composition diagram of on-board auto-passing neutral zone control system based on RFID precise positioning

- 1) 地面电子标签为定位装置,用于向列车发送位置信息。
- 2) 信号接收设备安装于列车上,用于采集并接收轨道上定点设备的信号。
- 3) 信号处理器安装于列车的电气柜中,用于处

理相关信号、对列车提供电气信号输出,以及控制整个装置工作。

动车控制系统用于信号的接收及发送,是动车控制的关键。整套设备能准确识别地面的定位信号,保证列车安全、准确、可靠地通过分相区。

### 3.2.1 电子标签设置

为实现列车的精确定位,在分相区前后一定位置各分散设置 2 个电子标签,同一分相区的电子标签由小里程至大里程依次编号,标签内部数据以实际测量数据为准。

1) 起预告作用的 RFID 电子标签至强制断开断路器的 RFID 电子标签之间的距离,必须保证从接收到地面预分断信号到列车切断牵引、分断主断路器的时间足够安全,一般由列车驶过分相区的速度决定,同时需充分考虑线路坡度、列车质量及运行阻力等因素。

2) 强制断开断路器的 RFID 电子标签至分相区入口位置的距离,必须保证自动过分相系统信号处理器从接收到分断信号到主断路器强制切断的时间足够安全,一般由列车驶过分相区的速度决定,同时需充分考虑线路坡度、列车质量及运行阻力等因素。

### 3.2.2 信号接收设备配置

信号接收设备即 RFID 读写器安装于列车车体外转向架处,安装位置须与电子标签正对,便于可靠获取电子标签中的无电分相区的相关位置信息。同时,信号接收设备按照 2 个 1 组进行配置,且在列车车体外转向架处沿车长方向前后紧邻安装,确保信息传输更加可靠,当第 1 个读写器信息接收失败时,第 2 个接收器能够继续完成信息的接收。

### 3.2.3 信号处理器配置

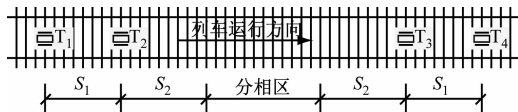
1) 信号处理器采集车感器接收的定位信号,根据列车运行方向,处理相应的信息并发出相关的指令信号。信号处理器在车头和车尾各安装两个,同一位置的两个信号处理器互为热备,以确保位置信息处理的可靠性。

2) 根据接收数据的应答器地址识别读写器的状态,并给出故障应答器编号,便于运营人员开展维修工作。同时,信号处理器具备自检功能,确保故障处理器准确及时修复。

## 3.3 工作原理

列车通过接收和处理地面 RFID 电子标签信息确定其分相点的相对位置。预先根据要求在每个

分相区前后分别布置两个 RFID 电子标签,即图 3 中  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ 、 $T_4$ 。列车过分相信号的接收和处理,由地面 RFID 电子标签、车载接收器和信号处理器共同完成。列车过分相的控制由动车控制系统完成。



注: $S_1$ 为预告地面定位 RFID 电子标签至强迫地面定位 RFID 电子标签的纵向间距; $S_2$ 为强迫地面定位 RFID 电子标签至无电区入口的纵向间距。

图 3 车载自动过分相控制系统的工作原理图

Fig.3 Working principle diagram of on-board auto-passing neutral zone control system

列车运行至  $T_1$  点,信号处理器接收到车载接收器接收到的预告地面定位信号,经处理后信号处理器向动车控制系统发出过分相预告信号,动车控制系统根据此时的列车运行速度控制电机电流平稳下降到 0,发出断开断路器信号至控制电路;当  $T_1$  信号失效时,列车运行至  $T_2$  点,信号处理器接收到车载接收器接收到的强迫地面定位信号,经处理后信号处理器向动车控制系统发出过分相强迫断信号,列车控制系统立即发出断开断路器信号。

列车通过无电区后,运行至  $T_3$  点,信号处理器接收到车载接收器接收到的闭合断路器信号,经处理后信号处理器向动车控制系统发出闭合断路器信号,列车控制系统控制断路器闭合。在正常接收到  $T_3$  信号时, $T_4$  信号不起作用。

## 4 特殊工况下的车载自动过分相方案

### 4.1 场景分析

自动控制模式下,列车通过基于无源 RFID 精确定位的车载自动过分相控制系统完成列车的自动过分相。一旦车载 ATP 发生故障,列车将降级运行,司机按照信号显示行车。为确保在降级运行模式下列车顺利有序通过无电分相区或在无电分相区前安全停车,需在无电分相区适当位置布置信号基础设备辅助司机驾驶列车运行。

### 4.2 处理方案

为避免列车过分相时停在分相区的无电区内,分相区应结合配线和信号机的位置进行布置。分相区与最近的信号机间的距离应根据列车长度、列车紧急停车的制动距离、列车基本阻力、加速性能

及坡度等确定,因此分相区设置应由接触网专业及信号专业协同设计。

#### 4.2.1 入口位置信号机的设置

分相区与分相区前方最近的信号机间的距离应满足列车在该信号机前方停车再起动车后,过分相区起点达到的入口速度能保证出分相区终点的出口速度不能太低。

一般出口速度由运营需求、线路条件及列车参数等确定。根据出口速度、分相区长度、线路条件、列车参数等共同确定信号机的布置位置。

#### 4.2.2 出口位置信号机的设置

如分相区出口位置需设置信号机,原则上分相区与分相区出口处最近的信号机之间的距离应满足列车在该信号机前方停车时车尾部能完全出清分相区所在的轨道区段,即信号机至分相区所在轨道区段最外方之间的最小距离为最大列车长度。

## 5 结语

本文在对当前城市轨道交通车载自动过分相方案进行分析的基础上,结合电气化铁路自动过分相方案,阐述了无源 RFID 精确定位及信息传递的原理,分析了无源 RFID 精确定位技术在自动过分相控制方案中应用的可行性和合理性,最后提出了基于无源 RFID 精确定位技术的车载自动过分相控制方案,并对其系统组成、设备配置和工作原理,以及降级模式下的控制方案进行了详细阐述。结果表明,该方案能实现列车安全、可靠及平稳自动过分相。

## 参考文献

[1] 许群芳,汪波. 印度新孟买地铁1号线车辆自动过分相系统

(上接第169页)

[5] 张栋梁. 基于威布尔分布的列车齿轮箱可靠性评估[J]. 轨道交通装备与技术, 2021(5): 12.

ZHANG Dongliang. Reliability evaluation of train gearbox based on Weibull distribution[J]. Rail Transportation Equipment and Technology, 2021(5): 12.

[6] 顾梦元. 威布尔分布与正态分布两种条件概率密度曲面比较研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2014.

GU Mengyuan. A comparative study of Weibull conditional probability density distribution surface and normal conditional probability density distribution surface[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2014.

设计[J]. 技术与市场, 2020, 27(11): 46.

XU Qunfang, WANG Bo. Design of automatic passing-through system for vehicles in new Mumbai Metro Line 1, India[J]. Technology and Market, 2020, 27(11): 46.

[2] 孙鹏程. 一种新型地面开关过分相技术的系统方案研究[J]. 铁道机车车辆, 2017, 37(3): 72.

SUN Pengcheng. Study on a new type ground switch passing neutral section[J]. Railway Locomotive & Car, 2017, 37(3): 72.

[3] 蒋林,洪娟. CTCS-2级高铁线路动车组过分相研究[J]. 铁道通信信号, 2019, 55(6): 34.

JIANG Lin, HONG Juan. Research on EMUs with CTCS-2 passing through neutral zone in high-speed railway[J]. Railway Signalling & Communication, 2019, 55(6): 34.

[4] 陈曦,田密,张亮. 动车组ATP车载设备自动过分相问题分析研究[J]. 铁道通信信号, 2020, 56(3): 9.

CHEN Xi, TIAN Mi, ZHANG Liang. Analysis and research on passing neutral zone automatically for EMU with on-board ATP equipment[J]. Railway Signalling & Communication, 2020, 56(3): 9.

[5] 张宏宽,田红玉,胡权,等. 一种RFID定位的无人驾驶车辆精准停车制动辅助系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2021, 21(1): 69.

ZHANG Hongkuan, TIAN Hongyu, HU Quan, et al. Brake assist system for precise parking of driverless cars on rail transit based on RFID positioning[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2021, 21(1): 69.

[6] 王忠勤. 基于无源RFID的目标位置感知及多标签互耦干扰抑制研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2020.

WANG Zhongqin. Research on target location awareness and multi-tag mutual coupling interference suppression based on passive RFID[D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2020.

(收稿日期:2021-02-22)

[7] 尹浩霖. 清洁能源发电系统预防性维修决策技术研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2019.

YIN Haolin. Research on preventive maintenance decision technology of clean energy power generation system[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2019.

[8] 茆诗松,周纪芄,张日权. 概率论与数理统计[M]. 4版. 北京: 中国统计出版社, 2020.

MAO Shisong, ZHOU Jixiang, ZHANG Riquan. Probability and mathematical statistics[M]. 4th ed. Beijing: China Statistics Press, 2020.

(收稿日期:2022-03-14)