

城市轨道交通基于通信的列车自动控制系统 中站台轨旁无源应答器的布置方案

黄荣光

(卡斯柯信号有限公司, 200072, 上海)

摘要 [目的] 应答器的布置数量与安装位置直接影响城市轨道交通的线路安全、运营效率及项目成本, 需要对 CBTC(基于通信的列车自动控制) 系统下的站台轨旁无源应答器布置设计方案进行研究。[方法] 介绍了 CBTC 系统下站台精准停车的设计原理, 详细阐述了停准应答器、第一接近应答器及第二接近应答器的布置规则和方法。以郑州地铁 10 号线 CBTC 系统为研究对象, 对其站台轨旁无源应答器的布置方案进行了说明。[结果及结论] 阐述的站台轨旁无源应答器布置方案, 实现了列车进站时在站台的精准停车。在确保列车安全与运营效率的前提下, 轨旁无源应答器布置数量达到最少, 减少了项目成本。本方案在上海、成都、深圳、郑州等地多条城市轨道交通线路的信号系统中应用效果良好。

关键词 城市轨道交通; CBTC 系统; 站台; 轨旁; 无源应答器布置

中图分类号 U284.47

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.03.038

Layout Design of Passive Balise in Platform Trackside under CBTC System of Urban Rail Transit

HUANG Qiguang

(CASCO Signal Ltd., 200072, Shanghai, China)

Abstract [Objective] The number and installation location of balises directly affect the line safety, operation efficiency, and project cost of urban rail transit. Therefore, it is necessary to study the design scheme of the balise layout in platform trackside under CBTC (communication based automatic train control) system. [Method] The design principle of accurate platform parking under the CBTC system is introduced, the layout rules and methods of the balises for the accurate stopping balise, the first and the second proximity balises are expounded in detail. With the CBTC system of Metro Line 10 in Zhengzhou as the research object, the layout scheme of the platform trackside balise is illustrated. [Result & Conclusion] The layout scheme of the passive balise in platform trackside, as explained, achieves accurate parking on the platform when the

train enters the station. On the premise of ensuring train safety and operation efficiency, the minimized number of trackside passive balise reduces project cost. The proposed scheme has good application effect in the signal system of the urban rail transit lines in Shanghai, Chengdu, Shenzhen, Zhengzhou, and other cities.

Key words urban rail transit; CBTC system; platform; trackside; balise layout

应答器是城市轨道交通实现车地通信、列车定位校准的信号基础设备, 对实现列车安全运营、提高运营效率具有重要意义。应答器系统主要由车载设备与地面设备组成: 车载设备由应答器查询主机、应答器天线及天线电缆组成, 地面设备由无源应答器、有源应答器及 LEU(轨旁电子单元)组成。

无源应答器存储固定信息, 平时处于休眠状态。当列车经过地面无源应答器上方时, 无源应答器接收到车载应答器天线发射的电磁能量后, 将其转化为电能, 并使地面应答器电子电路工作, 将存储在其内的固定信息循环发送出去, 通过车载应答器天线进行接收, 直到车载应答器天线远离地面应答器。

有源应答器通过电缆与 LEU 相连, LEU 与轨旁联锁系统相连。列车经过地面有源应答器上方, 有源应答器接收到车载天线发射的电磁能量后, 将其转化为电能, 并使地面有源应答器电子电路工作, 将存储在地面有源应答器的数据, 以及通过 LEU 获取的轨旁设备实时状态数据循环发送出去, 通过车载应答器天线进行接收, 直到车载应答器天线远离地面有源应答器。当发生 LEU 设备故障或通信故障时, 有源应答器将转变为无源应答器工作模式发送固定信息。有源应答器应用在点式后备移动闭塞信号系统中。

应答器布置的数量与安装位置直接影响线路安全、运营效率及项目成本。应答器布置太多, 会

增加项目成本及安装成本;布置太少,则会影响线路安全、运营效率及停车精度。

本方案介绍了 CBTC(基于通信的列车自动控制)的站台无源应答器布置方法。通过本方案在站台布置无源应答器,确保了列车在 FAO(全自动运行)模式下在站台精准停车,且在确保列车安全和运营效率的情况下,使得无源应答器布置数量最少,节省了项目设备及安装布置成本。

1 站台轨旁无源应答器布置设计方案

1.1 站台精准停车的设计原理

本文提出的站台轨旁无源应答器布置方案可采用 CBTC 系统中 FAO(全自动运行)或 ATO(列车自动运行)系统实现站台精准停车。所述 CBTC 系统包含 ATC(列车自动控制)设备、ATS(列车自动监控)设备、CI(计算机联锁)设备、MSS(维护支持系统)设备及 DCS(数据通信子系统)设备。

ATC 设备包含车载 ATC 设备与轨旁 ATC 设备。其中,车载 ATC 设备安装在车头、车尾且两端各 1 套,每套车载 ATC 设备同对应端速度传感器和应答器车载处理模块相连。其中:速度传感器安装在列车制动轴上,应答器包含轨旁设备和车载设备。轨旁设备为地面应答器,车载设备为应答器主机、应答器天线及连接电缆。每套车载 ATC 设备均包含 ATO 模块和 ATP(列车自动防护)模块,且车头、车尾两端的 ATP 模块和 ATO 模块均通过网络相连。ATO 模块根据车头、车尾两端健康度信息对比,选择一端为主用,且该模块负责列车 FAO、自动开关门等功能;ATP 模块负责行车安全、超速防护、车门允许打开等功能。ATP 模块与车辆接口通过硬线和网络相连,信号系统安全输入、输出均通过硬线实现,车载 ATC 设备与轨旁 ATC 设备、轨旁 CI 设备、轨旁 ATS 设备通过无线通信实现信息交互。

为提高列车进站速度,设计站台出站信号机为可接近(即在出站信号机到区间方向设置一段距离为保护距离)。列车速度传感器安装在制动轴上。车载 ATC 在计算列车位置时存在一定偏差,称为定位偏差。定位偏差同列车经过应答器行驶的距离与定位偏差率有关。定位偏差率与车辆、速度传感器及信号等参数有关,且在最不利条件下进行取值。当列车减速度超过最大减速度且持续一定时间时,车载 ATC 设备将判断为车辆打滑,并将输出

紧急制动。

列车停车点(列车车头顶端位置)距出站信号机的距离设置为 S_2 。 S_2 取值若太大,会影响司机瞭望信号灯; S_2 取值若太小,则需增加站台应答器数量。 S_2 一般取 5~7 m。

1.2 站台无源应答器布置设计

为保证列车在 ATO 模式下停准、停稳,在站台轨旁布置 1 对停准应答器(含车头、车尾)、1 对第一接近应答器(含车头、车尾)及 1 对第二接近应答器(含车头、车尾)。列车在 ATO 模式下进站的过程中,通过应答器天线读取在站台布置的 3 对应答器而精确停车,其中:ATO 模块采用了 2 对应答器,分别为第一接近应答器和第二接近应答器,列车车头进站首先读取的是第一接近应答器,再次读取的是第二接近应答器;ATP 模块主要进行站台门与车门的对准,采用了 1 对应答器,被命名为停准应答器。

1.2.1 停准应答器布置设计

列车经过停准应答器时进行定位校准,且从停准应答器到停车点运行距离产生的定位误差应小于车门与站台门的偏差(如 0.5 m),这样不会影响乘客上下车。列车从停准应答器到停车点运行产生的定位误差,同运行距离与制动时产生的定位偏差率有关。列车在站台的停准功能为 ATP 安全功能,其影响着乘客安全上下车。列车判断停准后,给车辆发送切除牵引和制动施加命令,得到车辆成功反馈后,车载信号设备会发出允许车门打开的指令,此时根据驾驶模式和车门控制模式,CBTC 系统自动或人工打开车门和站台门。

1.2.2 第二接近应答器布置设计

第二接近应答器的布置需结合如下因素进行考虑:

1) 列车经过第二接近应答器时进行定位校准,并通过该应答器识别 ATO 存在的误差,且在列车运行在第二接近应答器到停准应答器区段时进行误差调整。

2) 第二接近应答器距停准应答器的距离太短时,会导致调整余量很小。第二接近应答器距停准应答器的距离太长时,列车经过这段距离产生的定位误差会更大。如出站信号机红灯时,CBTC 系统计算的列车位置加上最大定位误差不允许超过红灯信号机,否则会导致列车无法停到停车点。

3) 列车停在停车点时,第二接近应答器距查询器天线的距离设为 L_1 ,列车紧急制动时的定位偏差

率设为 G 。设计时需考虑 1 m 左右的停车点与出站信号机的现场安装误差, $L_1 \leq (S_2 - 1)/G$, 同时需考虑一定的余量空间。

1.2.3 第一接近应答器布置设计

第一接近应答器的布置需结合如下因素进行考虑:

1) 第一接近应答器距第二接近应答器的距离不能设置太远, 太远会导致此区间内 ATO 产生的误差较大, 从而使得列车在后续运行中不能调整。

2) 第一接近应答器距第二接近应答器的距离不能设置太近, 太近会导致成本增加。

3) 同时考虑到列车进站速度、列车运营间隔等因素, 列车停在停车点时, 第一接近应答器距查询器天线的距离设置为 L_2 , 第二接近应答器距查询器天线的距离设置为 $3L_1$ 。

1.2.4 应答器布置设计其他说明

站台轨旁无源应答器布置设计时还应考虑如下因素:

1) 针对车尾 ATC 设备, 其轨旁无源应答器的布置方法应与车头一致。

2) 基于现场安装环境, 停车点距信号机的距离

小于 S_2 时, 需在停准应答器与第二接近应答器之间增加 1 对应答器(含车头、车尾), 避免信号机红灯时信号系统结合最大定位误差计算的列车位置越过红灯禁止信号机, 导致列车停不到停车点而产生欠停现象。应答器应布置于停准应答器与第二接近应答器之间, 并靠近停准应答器 $1/4 \sim 1/5$ 位置。

3) 本文所述的站台无源应答器布置方案主要指列车进站时确保站台精准停车的轨旁无源应答器布置方案。若要求列车在站台反向运行并停准, 无源应答器布置应同本方案, 且部分应答器可进行合并。

2 站台轨旁无源应答器布置案例分析

选取郑州地铁 10 号线信号系统站台轨旁无源应答器布置作为案例进行分析。图 1 为车载应答器天线安装位置示意图。图 2 为站台轨旁车头应答器安装位置示意图。图 3 为 $S_2 > 5\text{ m}$ 时站台轨旁车头、车尾应答器安装位置示意图。图 4 为因土建等其他因素导致停车点距离出站信号机较短($S_2 < 5\text{ m}$)时, 站台轨旁车头、车尾应答器安装位置示意图。



注: S_1 为车载应答器天线距车端的距离。

图 1 车载应答器天线安装位置示意图

Fig. 1 Schematic diagram of installation position of onboard balise antenna

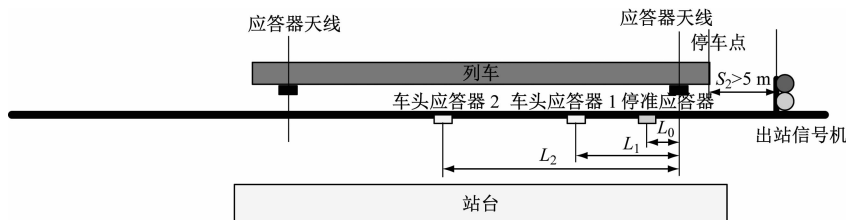


图 2 站台轨旁车头应答器安装位置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of installation position of the platform trackside front balise

1) 车载应答器天线安装在车头第一车轴与第二车轴之间, 以及车尾第一车轴与第二车轴之间。 S_1 (见图 1) 一般取 $3 \sim 4\text{ m}$ 。停车点距出站信号机距离太长时, 将会影响司机瞭望信号灯; 停车点距出站信号机距离太近时, 需增加站台应答器布置数量。 S_2 (见图 2) 一般取 $5 \sim 7\text{ m}$ 。

2) 列车在 ATO 模式下进站时: 安装在车头的应答器天线接收到轨旁无源应答器信息, 对列车进行位置较准; ATO 模块根据校准信息进行误差计算, 并将误差在列车后续行程中进行调整; ATP 模块根据定位校准信息同速度传感器计算的距离进行对比, 从而消除定位误差。列车经过停准应答器

后,对列车进行定位校准,停准应答器到停车点允许产生的定位误差要小于车门与站台门允许的偏差,这样不影响乘客上下车。停准应答器距停车点的定位误差同列车运行距离,以及列车制动时产生的定位误差率有关。列车在停车点时,停准应答器距应答器天线的距离设为 L_0 ,一般取 $1.3 \sim 1.5 \text{ m}$ (见图 2)。

3) 列车在停车点时,车头应答器 1 (车头第二接近应答器)距应答器天线的距离 L_1 同 S_2 和 G 有关。考虑到停车点与出站信号机存在现场安装误差,设计时需考虑 1 m 左右的安装误差,且 $L_1 \leq (S_2 - 1)/G$,同时需考虑一定的余量空间 (见图 2)。列车在停车点时,车头应答器 2 距应答器天线的距离 $L_2 = 3L_1$ 。应答器进行布置设计时,需综合考虑列车进站速度、列车运营间隔、应答器布置数量及成本等因素 (见图 2)。

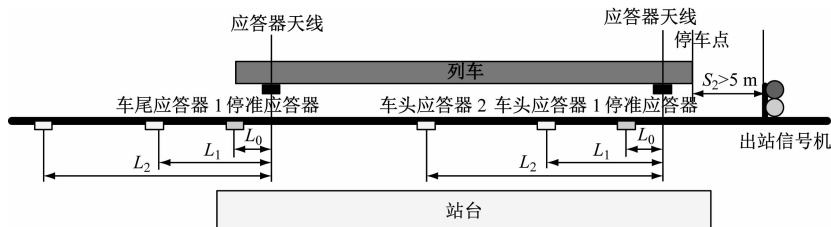


图 3 站台轨旁车头、车尾应答器安装位置示意图 ($S_2 > 5 \text{ m}$)

Fig. 3 Schematic diagram of installation position of the platform trackside front and end balise ($S_2 > 5 \text{ m}$)

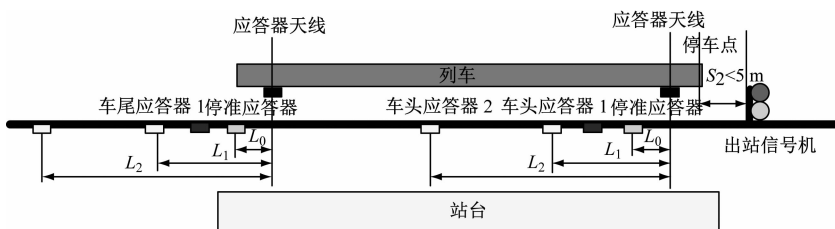


图 4 站台轨旁车头、车尾应答器安装位置示意图 ($S_2 < 5 \text{ m}$)

Fig. 4 Schematic diagram of installation position of the platform trackside front and end balise ($S_2 < 5 \text{ m}$)

3 结语

通过本文提出的站台无源应答器布置方案,列车进站时可实现在站台精准停车,同时在确保列车安全与运营效率的前提下,轨旁无源应答器布置数量达到最少,减少了项目成本。本方案支持 ATO 及 FAO,以及车门与站台门的联动,可实现自动开关门。考虑到现场环境,可在一定范围内根据具体环境对站台轨旁无源应答器布置进行调整,避免由于安装原因而进行的修改设计。本方案已成功应用

4) 轨旁车尾停准应答器的布置方法与车头应答器一致 (见图 3)。

5) 当停车点距信号机的距离小于 S_2 时,需在停准应答器与第二接近应答器之间增加 1 对应答器 (含车头、车尾),且增加的应答器布置在停准应答器与第二接近应答器中间,并靠近停准应答器 $1/4 \sim 1/5$ 位置。当出站信号机红灯,列车到达停车点前,信号系统计算的列车位置加上最大定位误差,不允许越过红灯信号机,否则 ATP 模块将输出紧急制动命令。结合最大定位误差在 CBTC 系统中计算列车位置时,不允许其越过信号机红灯,否则可能会导致列车停不到停车点而产生欠停现象。为避免此现象发生,列车车头应答器 1 与停准应答器之间,以及车尾应答器 1 与停准应答器之间应新增应答器 (见图 4)。

于上海、成都、深圳、郑州等地多条城市轨道交通的信号系统中,且运行效果良好。

参考文献

- [1] 冲蕾, 马子彦. 城市轨道交通中信标的应用研究[J]. 城市轨道交通研究, 2010, 13(12): 54.
CHONG Lei, MA Ziyan. Application of the tag in urban mass transit[J]. Urban Mass Transit, 2010, 13(12): 54.
- [2] 赵晓峰. 城市轨道交通列车绝对定位系统比较[J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(10): 57.

(下转第 214 页)

不满足均衡修检修制度下所需列位数。通过数据对比,均衡修检修制度下所需检修列位数比计划性检修制度下的检修列位数大 18.5%。

3 结语

1) 通过均衡修(系统修+专项修)检修制度与传统计划性(双周检+三月检+定修)检修制度扣车时间的对比,均衡修检修制度下每列列车每年减少扣车时间为 19 d,从而提高了车辆上线率。车辆上线率的提高,可以在相同的运营服务水平下,减少车辆购置费。

2) 通过均衡修检修制度下所需检修列位的计算结果不难发现,其与传统计划性检修制度下所需的检修列位不吻合。因此,在城市轨道交通建设时,设计单位使用计划性检修制度进行检修列位计算,可能不满足均衡修检修制度下的运营使用。建议后续各城市进行轨道交通建设时,设计单位应根据各城市所采用的检修制度进行检修列位计算;或各地方政府及时出台采用均衡修检修制度的地铁设计规范,以保障城市轨道交通车辆的正常检修维护。

参考文献

- [1] 万宇. 成都地铁车辆均衡修探讨与应用[J]. 铁道机车车辆, 2017, 37(5): 109.
WAN Yu. Vehicle maintenance system optimization for Chengdu metro[J]. Railway Locomotive & Car, 2017, 37(5): 109.
- [2] 刘炬. 重庆地铁车辆日常维修方式的优化[J]. 铁道机车车辆, 2017, 37(1): 108.
LIU Ju. Optimization of daily maintenance mode for Chongqing rail transit vehicles[J]. Railway Locomotive & Car, 2017, 37

(1): 108.

- [3] 郭新, 李春广, 黄挺, 等. 地铁车辆检修模式探讨[J]. 城市轨道交通研究, 2015, 18(4): 5.
GUO Xin, LI Chunguang, HUANG Ting, et al. Application of subway vehicle maintenance model[J]. Urban Mass Transit, 2015, 18(4): 5.
- [4] 邢海福, 郭正海. 杭州地铁车辆“均衡修”维修模式研究与实践[J]. 现代城市轨道交通, 2020(2): 21.
XING Haifu, GUO Zhenghai. Research and practice of Balanced Repair maintenance mode for metro vehicles in Hangzhou[J]. Modern Urban Transit, 2020(2): 21.
- [5] 孙洪亮, 周博. 城市轨道交通车辆维修制度探讨[J]. 城市轨道交通研究, 2017, 20(2): 105.
SUN Hongliang, ZHOU Bo. On metro vehicle maintenance system for urban rail transit[J]. Urban Mass Transit, 2017, 20(2): 105.
- [6] 李兆新, 张海强, 钟璇. 基于状态检测的城市轨道交通车辆全服役期系统性维修研究[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(8): 138.
LI Zhaoxin, ZHANG Haiqiang, ZHONG Xuan. Systematic maintenance of the whole service cycle of urban rail transit vehicle on detection state[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(8): 138.
- [7] 张波, 卿光毅, 黄德勇. 地铁车辆“精益检修”模式探讨[J]. 城市公共交通, 2020(10): 52.
ZHANG Bo, QING Guangyi, HUANG Deyong. Discussion on the "lean inspection" mode of metro vehicles[J]. Urban Public Transport, 2020(10): 52.

· 收稿日期:2021-09-01 修回日期:2021-12-09 出版日期:2024-03-10
Received:2021-09-01 Revised:2021-12-09 Published:2024-03-10
· 通信作者:黄涛,助理工程师,308933293@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

(上接第 210 页)

ZHAO Xiaofeng. Comparative study on absolute localization system of urban railway train[J]. Urban Mass Transit, 2015, 18(10): 57.

Received:2021-08-05 Revised:2022-05-21 Published:2024-03-10

· 作者:黄荣光,高级工程师,124153289@qq.com
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821