

跨坐式单轨系统车辆与信号系统融合设计及实现方法

张志华 袁 亮

(上海富欣智能交通控制有限公司,201203,上海//第一作者,工程师)

摘 要 在城市轨道交通领域,大运量地铁项目的车辆与信号系统一般采用接口方式,接口隐患和问题经常对运营造成影响,长期以来一直无法得到有效解决。中运量跨坐式单轨系统的车辆与信号系统一般采用融合的方式,接口问题就能迎刃而解,能有效地减少对运营的影响。介绍了跨坐式单轨系统中车辆与信号系统融合设计及实现方法。

关键词 跨坐式单轨系统;车辆;信号系统;融合设计

中图分类号 U232.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.10.046

Fusion Design and Implementation of Vehicle and Signaling System for Straddle Monorail System

ZHANG Zhihua, YUAN Liang

Abstract In urban rail transit field, the connection of vehicle and signaling system in large-capacity metro projects generally adopts interface mode, the hidden dangers and problems of which frequently impact on train operations, it has not been solved effectively for a long time. The connection of medium-capacity straddle monorail vehicle and signaling system adopts the fusion mode, which not only solves the interface problem, but also decreases the impact on operation effectively. In this paper, the fusion design and implementation of straddle monorail vehicle and signaling system is introduced.

Key words straddle monorail system; vehicle; signaling system; fusion design

Author's address Shanghai Fuxin Intelligent Transportation Solutions Co., Ltd., 201203, Shanghai, China

在轨道交通领域中,车辆系统和信号系统是核心系统,两者之间一般采用接口方式。随着地铁项目投入运营,车辆系统与信号系统的接口问题会随之浮现,接口设计不当、匹配不当、理解不当等均会对运营造成不少的影响和困扰。车辆系统与信号系统采用融合的方式能够有效地解决接口带来的隐患和问题,因此近些年被广泛关注。

柳州跨坐式单轨 2 号线(在建)项目中,信号系

统采用上海富欣智能交通控制有限公司的 JeRail® CBTC(基于通信的列车控制)产品,车辆系统采用庞巴迪 Monorail 300 产品。本文将阐述柳州跨坐式单轨系统车辆与信号系统融合设计及实现方法。

1 跨坐式单轨系统车辆与信号系统融合技术现状

在国外,早在 2004 年拉斯维加斯跨坐式单轨项目中,车辆与信号系统已采用了融合设计方式。该项目信号系统采用泰雷兹提供的 SelTrac CBTC/R 产品,车辆采用庞巴迪提供的 Monorail 200 产品,是车辆与信号系统融合设计的重要里程碑。

在国内,已开通运营的中运量项目中,车辆与信号系统采用了融合设计方式的项目有广州地铁 APM(旅客自动运输)线和上海轨道交通浦江线。

地铁车辆与跨坐式单轨车辆的主要区别见表 1。

表 1 跨坐式单轨车辆与地铁车辆对比表

项目	跨坐式单轨车辆	地铁车辆	备注
运量	中运量	大运量	前者适合中小城市或者大城市的补充
轨道制式	轨道梁	隧道或高架	前者建设快、工期短
车轮制式	橡胶轮	钢轮	前者具备爬坡强、转弯半径小等优势
转辙方式	多位道岔	道岔	前者道岔系统形式多样化
信号系统接口	融合方式	接口方式	前者 ATO 控车舒适性更优,车内布局更加美观,维保流程更简便

无论是 ATO(列车自动运行)控车舒适性,还是列车车内布局美观性或者车辆的维保等,车辆与信号系统采用融合设计方式更加适合跨坐式单轨系统。

跨坐式单轨车辆与信号系统的融合设计内容包含:设备的融合、电气接口融合、ATO 与牵引制动系统融合、ATO 与 TCMS(列车控制管理系统)融合等。

1.1 设备共用和优化

共用的设备主要包括速度传感器、加速度计(或雷达)、列车显示单元(DMI)及网络通信设备。

每端信号 ATC(列车自动控制)配置两个独立的速度传感器,要求装在不同转向架的不同制动非牵引轴上。若安装条件确实受限,则应装在不同的制动非牵引轴上。

常见的地铁项目应用中,车辆和信号系统双方接口设计联络会经常遇到车辆车底条件差无法满足信号专业要求的情况,需要双方多次设计联络讨论后并相互妥协才能解决。这个过程不仅增加设计联络的时间和成本,也影响首列车交付的进度。如果车辆和信号系统共用一套测速系统,可有效解决测速传感器安装以及数据来源不一致等问题,但必须解决车辆的测速系统与信号系统测速原理匹配和兼容的问题。

在 ATO 模式下,滑行发生时,牵引控制系统会快速降低电制动力以快速停止滑行,然后制动力慢慢递增,此时无法满足信号要求的减速度。若此时信号系统增大减速度会导致车辆滑行加剧。如果车辆和信号共用一套防滑系统,可有效解决防滑接口问题,但必须解决车辆防滑机制与信号空转打滑算法匹配的问题。

1.2 电气接口优化

电气接口主要涉及列车线数量、继电器数量、空开数量等。

随着国内地铁项目对无人驾驶需求的不断呼吁,目前已开通的无人驾驶项目(GOA3/GOA4(无人驾驶列车运行/无人干预列车运行))有上海轨道交通 10 号线、北京燕房线、上海轨道交通浦江线等。由于 GOA4 的设计增加了很多功能,导致列车线和继电器的数量大幅增加,车辆贯穿线已经满足不了如此之多的列车线。车辆和信号减少各自的继电器,共用继电器是必然趋势,但是必须解决共用继电器安全等级和电气原理能够匹配 ATC 的逻辑。

1.3 接口故障优化

接口故障主要包括两端司控器的互锁、不断开高速断路器的场景、快速制动等。

地铁项目投入运营后,车辆与信号系统接口之间的问题会随之浮现,会对运营造成影响和困扰。比如运营中常见的列车折返,由于信号系统换端激活司机室,导致车辆断开高速断路器后约 30 s 才能恢复的情况,严重影响运营的折返效率和运能。车

辆和信号系统的融合设计可以有效解决接口故障,但必须提高信号系统对车辆系统的认识,才能有效地控制好车辆系统。

1.4 牵引制动优化

车辆和信号系统之间采用融合设计的核心就是对牵引制动控制的优化,提高 ATO 控车效率,提高 ATO 舒适度以及 ATO 节能等,但必须提高信号系统对牵引和制动系统的认识,才能实现更优的 ATO 控车策略。

2 ATO 与牵引制动控制

在 GOA4 要求的城市轨道交通项目中,对车辆和信号系统的要求更加高,需要提供的功能更多。原来由司机操作和监督的任务,全部由车辆和信号系统配合完成,这些自动化的任务对 ATO 的功能提出了更高的要求。ATO 融合后对牵引制动控制的技术难点主要表现为:①优化欠停(解决电气接口问题);②优化失控加速和过冲(解决网络接口延迟问题以及防滑系统匹配的难点);③优化停站精度(解决共用测速系统匹配以及精确停站的难点);④优化电空转换(解决 ATO 直接分配电制动力和摩擦制动力的难点);⑤优化自动洗车(解决 ATO 低速控车的难点)。

2.1 保持制动控制

当列车进站停车速度接近零时,车辆制动系统施加保持制动并停车;当列车出站启动时,牵引力达到一定数值(如 40%)并保证车辆不会倒溜时,车辆缓解保持制动。一般保持制动控制方式如下:

2.1.1 保持制动由信号触发

车辆与信号系统双方定义保持制动列车线的电气接口,在 ATO/FAM(全自动运行模式)模式下,列车的起停过程中,由信号系统施加和缓解保持制动。

在北京燕房线项目中,FAM 模式下保持制动施加由信号系统执行,保持制动缓解由车辆制动系统执行。

2.1.2 保持制动由车辆触发

在 ATO/FAM 模式下,车辆施加保持制动,需满足如下条件:①列车速度低于 1 km/h;②ATC 给出的制动力数值大于 65%(设计值);③制动指令有效。

在上海国际机场捷运线项目中,ATO 模式下保持制动的施加和缓解由车辆执行,信号系统不参与。

不同于以上实现方式,在柳州跨坐式单轨项

目中,车辆与信号系统双方定义保持制动列车线,施加和缓解均由信号系统发出指令。ATC 能够对车辆 BCU(制动控制单元)和 PCU(气动辅助控制单元)直接控制,并有效地防止车辆保持制动提前介入导致列车欠停的情况。车辆保持制动缓解的过程中,不考虑线路坡度等参数。

本项目车辆原型设计没有提供保持制动列车线,认为停放制动覆盖保持制动的功能,并由信号进行控制,能更好地保证列车在起动过程中不倒溜。

2.2 失控加速和过冲控制

当 ATC 控车时,输出牵引指令、制动指令和级位信息。牵引指令、制动指令采用电气接口,由 ATP(列车自动保护)输出;级位信息采用模拟电流(0~20 mA)、PWM(脉冲宽度调制)占空比或者网络接口的方式实现,由 ATO 输出。

若牵引系统或制动系统通过网络接口获取牵引或制动指令,导致网络传输延迟约 250 ms(包括接口采集时间、转 MVB(多功能车辆总线)信号时间、程序运行周期等),相比于继电器动作时间(约 15 ms)来说,延时较长。

若车辆通过网络接口,由 TCMS 采集牵引指令、制动指令和级位信息,对整车牵引力和制动力计算并分配给牵引制动系统后,存在超过 200 ms 的延迟。

在雨雪天气中,上海轨道交通 16 号线运营过程中曾出现站台过冲。过冲的原因有很多,如湿轨的 GEBR(可保证的紧急制动率)无法保证,车辆起动防滑时制动力无法有效响应,制动力响应太慢,进站速度过高等。

在柳州跨坐式单轨项目中,级位信息采用 PWM 占空比为主用方式输出,TCMS 网络为备用方式输出。在 ATO 控车过程中,有效解决车辆防滑系统启动时的制动力响应,有效减少失控加速的延迟,有效避免精确停车过程中制动系统响应过慢造成过冲的情况。

2.3 停站精度优化

按照 GB 50157—2013《地铁设计规范》定义:站台门开度为 2.0 m,列车门开度为 1.4 m,能满足停站精度 ± 0.3 m(兑现率为 99.99%)与 ± 0.5 m(正确率为 99.999 8%)的要求,如图 1 所示。

柳州跨坐式单轨项目要求:站台门开度为 2.0 m,列车门开度为 1.6 m(大于 GB 50157—2013 要求)。如图 2 所示,停站精度为 ± 0.4 m 时,列车门

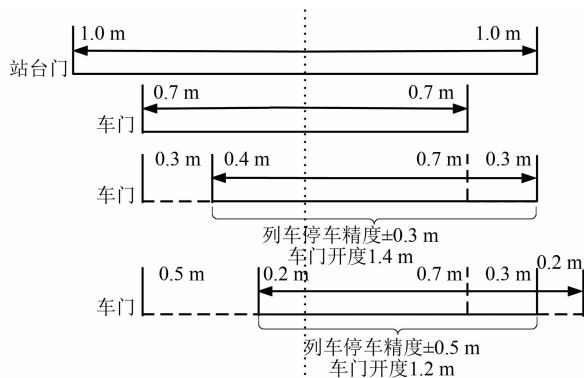


图 1 地铁站台门与列车门标准开度

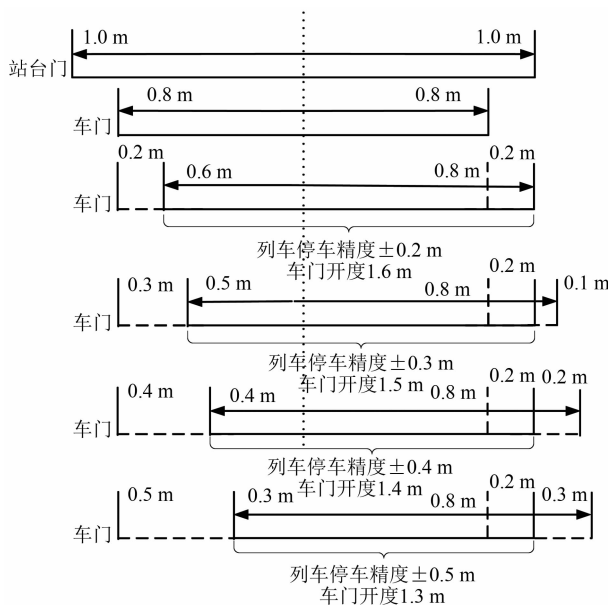


图 2 本项目站台门与列车门开度

开度满足 GB 50157—2013《地铁设计规范》的要求。若要满足车门开度为 1.6 m 的需求,列车停站精度就要提高到 ± 0.2 m(兑现率为 99.98%)。常见的地铁钢轮钢轨项目中,停站精度要求为 ± 0.3 m(兑现率为 99.99%)。

柳州跨坐式单轨项目中,采用胶轮系统、车辆与信号系统共用的测速系统融合 ATO 与牵引制动系统,按照 ± 0.2 m(兑现率为 99.98%)的要求进行设计,能满足停站精度 ± 0.3 m(兑现率为 99.99%)的要求。

2.4 电空转换优化

在南昌地铁 1 号线项目中,车辆采用克诺尔的制动系统。在列车停站过程中,当车速为 5 km/h 时,存在电制动和气制动混合的阶段。如图 3 所示,在这个过程中, t_1 — t_2 阶段电制动逐渐减弱,气制动慢慢混入, t_2 之后电制动被气制动完全替代。

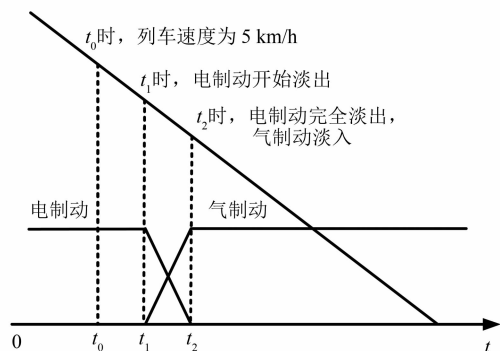


图3 电空转换过程图

一般信号系统要求 t_1-t_2 阶段的调整时间不超过 1.2 s, 如果制动响应时间过长会导致列车过冲。

在柳州跨坐式单轨项目中, 由 ATO 负责电制动与摩擦制动力的分配和混合制动控制, 电制动淡出后, 由摩擦制动力施加列车在停车阶段所需的制动力。

无论是从控制方式还是时效性上来看, ATO 与牵引制动的融合, 对电空转换的过程控制更加精确, 能够有效地避免混合控制时输出无效的制动指令。

2.5 自动洗车模式优化

当列车处于洗车模式时, 一般由车辆系统控制列车以 5 km/h 左右的速度运行, 难点在于低速下的电空转换。在上海轨道交通 10 号线项目中, 洗车模式的速度由车辆系统进行控制, 限制在 5~8 km/h。

在柳州跨坐式单轨项目中, 洗车模式属于 ATO 模式的子集, 完全由 ATO 控制列车的起动和停车,

以及在洗车过程以 5 km/h 的速度匀速行驶。

3 结语

随着 CBTC 和无人驾驶技术的提高, 车辆与信号系统的融合不仅可以优化设计, 而且减少了设备数量, 提高了整个大系统的可用性和可维护性。例如, 列车起停舒适性、停站精度、自动洗车等, 大大地提高了无人驾驶系统的可靠性和可用性。车辆与信号系统的融合也存在部分缺点和障碍, 例如, 需要提高车辆和信号系统的设计水平, 共享技术细节, 对车辆、信号系统的维保也有更高的要求, 等等。

车辆系统与信号系统的融合技术, 在国外跨坐式单轨领域中的应用已经超过 15 年, 已累积了丰富的应用和运营经验, 在国内尚处于国产化阶段, 是未来发展的趋势。

参考文献

- [1] 朱明亮, 段洪亮, 欧阳瑞璟. 城市轨道交通车辆牵引与制动系统接口的优化[J]. 城市轨道交通研究, 2017(2): 109.
- [2] 何玉琴, 张潜. 城市轨道交通车辆与信号主要接口问题分析[J]. 城市轨道交通研究, 2016(12): 119.
- [3] 彭湃. 轻型跨坐式单轨信号系统设计要点[J]. 城市轨道交通研究, 2017(增刊1): 39.
- [4] 梁小军. ATO 模式下列车冲动分析与整改[J]. 铁道通信信号, 2017(12): 75.
- [5] 陈琳奇. 成都地铁 2 号线 ATO 模式下列车停车精度的提高[J]. 现代城市轨道交通, 2014(2): 6.

(收稿日期: 2020-05-15)

世界首组时速 600 km 高速磁浮道岔通过验收 由中铁宝桥研发

记者从中铁工业宝桥集团(简称“中铁宝桥”)获悉, 由该公司自主研发的世界第一组时速 600 km 高速磁浮道岔, 日前在陕西省宝鸡市顺利通过中车青岛四方机车车辆股份有限公司组织的出厂验收。

时速 600 km 高速磁浮道岔是国家“十三五”重点研发计划“先进轨道交通”重点专项研究内容之一。该道岔为单开可挠型右开道岔, 全长近 80 m, 宽近 3 m, 转辙距近 4m, 直向通过速度达 600 km/h, 是目前世界上通过速度最高的高速磁浮道岔。

据中铁宝桥总工程师吉敏廷介绍, 在这组道岔研制过程中, 通过研发具有安全冗余的智能控制系统, 保证了道岔在转辙过程中的安全可靠性和梁体弯曲应力最小; 通过设计大刚度多跨连续可挠道岔梁, 满足了高速磁浮列车高速过岔的平顺性要求; 通过制造过程中采用特殊精密组焊和整体机加工技术, 有效保证了道岔梁的精度; 通过采用特殊的吊装工艺, 实现了超长、超重、可挠道岔梁结构件的整体空翻。

(摘自 2020 年 9 月 26 日新华网, 记者 毛海峰、张博文报道)