

中低速磁悬浮列车信号系统

李文波

(株洲南车时代电气股份有限公司 安全装备事业部, 湖南 株洲 412001)



作者简介: 李文波(1978-), 男, 工程师, 主要从事轨道交通信号系统RAMS研究及中低速磁悬浮列车信号系统的研究。

摘要: 主要介绍了适用于中低速磁悬浮列车的信号系统的构成、工作原理和功能。该信号系统采用一体化的设计思想, 集自动闭塞、计算机联锁控制和列车控制与防护功能于一身, 暂不设置列车自动监控(ATS)和列车自动运行(ATO)子系统。列车自动监控(ATS)的基本功能由联锁工作机代替, 列车驾驶采用人工驾驶模式。经过3年多的运用表明该系统的开发是成功的。

关键词: 中低速磁悬浮列车; 信号系统; 微机联锁; 无线机车信号; 车载安全计算机

中图分类号: U292.91*7; U28

文献标识码: A

章编号: 1000-128X(2011)01-0043-04

Signaling System in Middle-low-speed Maglev Train

LI Wen-bo

(Safety Equipment Business Unit, Zhuzhou CSR Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou, Hunan 412001, China)

Abstract: This paper mainly introduced the signaling system, working principle and function of middle-low-speed maglev train. The signaling system design used an integrated idea, which had set automatic block, computer interlocking control and train control and protection functions, but didn't has the automatic train supervision (ATS) and automatic train operation (ATO) subsystem. The basic function of automatic train supervision (ATS) was instead by interlocking work machine and the train drivers using artificial driving patterns. After 3 years of use shows that the system development is successful.

Key words: middle-low-speed maglev train; signaling system; microcomputer interlocking; radio cab signal; on-board security computer

0 引言

磁悬浮列车是一种生态纯净的交通运输工具, 其信号系统是整个磁悬浮列车的重要子系统, 它从车地一体化保障整个列车运行安全。

本文研究的信号系统按中低速磁悬浮列车最高运行速度100 km/h设计, 采用高精度的列车测速定位技术以及高传输速率的车地双向连续数据通信技术, 采用一体化的设计思想, 集自动闭塞、计算机联锁控制和列车控制与防护功能于一身。

本文研究的信号系统是个简易的信号系统, 设置完备的列车自动防护系统(ATP: Automatic Train Protection), 暂不设置列车自动监控(ATS: Automatic Train Supervision)和列车自动运行(ATO: Automatic Train Operation)子系统。列车自动监控(ATS)的基本功

能由联锁工作机代替, 列车驾驶采用人工驾驶模式。

1 系统构成

本信号系统由地面设备和车载设备构成。

地面设备: 主要由微机联锁、轨旁电子单元(LEU)、地面点式应答器、地面信号机、无线机车信号系统地面主机等设备组成。

车载设备: 主要由车载安全计算机(LKJ2000型监控装置主机)、人机交互单元、BTM、无线机车信号系统车载主机、多普勒测速雷达、交叉感应环线测速定位系统等设备组成。

整个信号系统的结构框图如图1所示。

1.1 车载安全计算机(LKJ2000型监控装置主机)

LKJ2000型监控装置主机是信号系统车载ATP的核心部分, 集成有安全计算机以及与列车接口相关的主要设备。

收稿日期: 2010-07-12; 收修稿日期: 2010-12-24

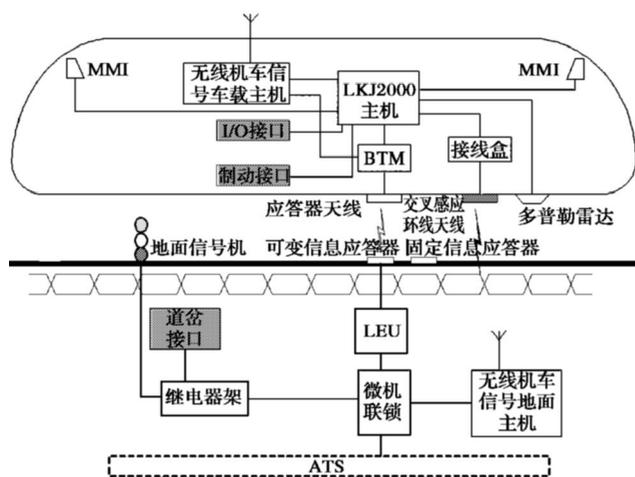


图1 信号系统结构框图

MMI——人机交互单元；LKJ2000主机——车载安全计算机；
BTM——应答器传输模块；ATS——列车自动监控

LKJ2000型监控装置主机采用完善的双机冗余的系统结构。主机箱内所有插件均采用双套冗余，系统的运行方式为双机热备的工作方式，在运行过程中，主备机实时交换比较各自当前运行数据。涉及行车安全的关键部件和软件设计符合系统“故障-安全”的要求。

主机箱内部插件间的数据通信采用双网并用的CAN总线结构，2条独立的CAN通信总线同时并行传输系统运行的关键数据，当其中一条总线故障时，由于另一条总线仍然正常工作，没有网络切换的延时，系统工作不受影响。

1.2 MMI（人机交互单元）

信号系统车载ATP的MMI（Man-machine interface）提供车载安全计算机与司机之间的交互接口。

该人机交互单元通过图形、图象、声音等方式将车载ATP系统的实时相关信息通知司机，司机可以通过MMI上的按键与车载安全计算机交互。

MMI与车载安全计算机之间通过CAN总线通信。

1.3 BTM以及天线

BTM（Balise transmission module）单元通过BTM天线，接收来自地面应答器的报文载波，解调后，得到基带信号，通过解码得到数据报文，并由通信模块将数据报文传送给车载安全计算机。

BTM与车载安全计算机之间采用RS485串行总线连接。

1.4 应答器

在轨道线路上规定位置处设置应答器，实现车地间的点式数据传输（地—车）。

在本信号系统中，设置有2种应答器：

固定信息应答器：传送不可修改的信息，完全独立（没有任何电气连接）。固定信息应答器传送自身绝对物理地址定位信息。

可变信息应答器：传送可根据信号机状态变化而变化的信息，与信号室内或附近机箱内的控制机构相连。

1.5 LEU（轨旁电子单元）

LEU（Line side electronic unit）模块是根据微机联锁提供的信息，控制可变信息应答器的模块。

在本系统中可变信息应答器只用到了信号色灯的信息变化，且信号色灯只有4种（绿灯、白灯、红灯、红白灯），LEU与联锁之间的安全信息通过继电器接口方式传输。

1.6 地面信号机

在车站和出库的发车位置前设置地面信号机，作为列车运行的地面行车凭证。

1.7 多普勒雷达

多普勒雷达速度传感器，用于对列车进行测速。另外，多普勒雷达速度传感器采用双天线设计，能自动修正因安装角度等因素引起的误差，提高了测量精度。可同时输出2路相位相差90°的脉冲，能准确地判断列车的运行方向。

1.8 交叉感应环线

交叉感应环线，用于对列车进行测速定位。

通过安装在磁悬浮列车底部的天线箱，接收地面铺设的扁平电缆发出的串行地址信号和另一路频率（速度）信号，并将信号送给车载地址箱中的绝对地址检测功能模块和速度脉冲检测模块。

车载地址箱的地址检测功能模块将收到的串行地址码即时通过内嵌计算机计算，产生绝对地址、速度和走行方向数据并传给车上的车载诊断系统和ATP系统。同时，由速度脉冲检测模块直接检测另一路速度频率信号即时产生速度脉冲送出。

1.9 微机联锁

接收控制台操作指令转动道岔、锁闭进路、开放信号，确保锁闭后进路内的道岔不能转动、敌对信号不能开放。完成列车位置的检知，并与无线机车信号系统传送的列车位置进行校核确认。向无线机车信号系统和可变信息应答器传送进路状态和信号开放信息。

1.10 无线机车信号

无线机车信号系统通过无线数据传输电台的方式，实现整个轨道线路上“列车—地面”的双向连续的数据传输。

无线机车信号系统设备框图如图2、图3。

1.11 制动接口

信号系统根据车载安全计算机计算结果，可向列车输出1路紧急制动指令、1路快速制动（常用制动）指令、1路卸载（切除牵引力）指令。

1.12 I/O接口

信号系统除可向列车输出制动指令外，还可检测

列车的状态、司机牵引手柄位置以及车门开启状态，并向列车输出零速度信号、车门开启允许信号（允许左开门、允许右开门）等，这些信号的传送都是通过 I/O 接口实现。

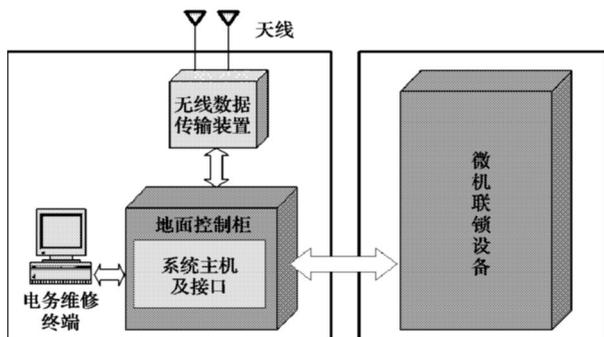


图 2 无线机车信号系统地面设备框图

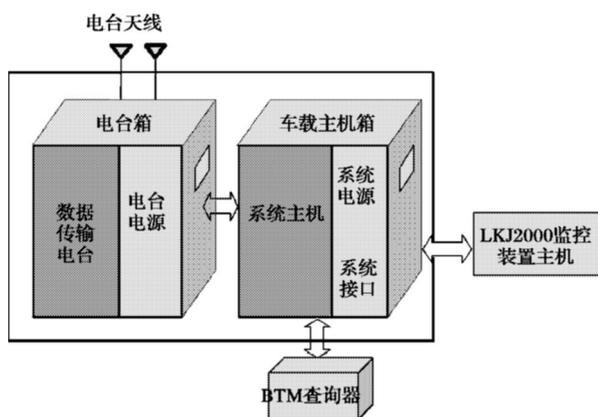


图 3 无线机车信号系统车载设备框图

1.13 道岔接口

信号系统的道岔接口由微机联锁系统道岔控制模块的软件及控制安全继电器等硬件组成。该接口用于实现信号系统对道岔的移动控制和状态检测。

2 系统工作原理和功能

2.1 系统工作原理

本信号系统的主要作用是进行微机联锁控制和列车控制与防护，保障列车运行安全。

整个信号系统包含 3 个子系统：微机联锁系统、无线机车信号系统、车载控制防护系统。

微机联锁系统通过无线机车信号地面设备接收列车的定位信息，产生列车的轨道占用信息、进路控制。

采用点式应答器和无线机车信号系统的方式实现车地间点式及连续通信数据传输。

车载控制防护系统（LKJ2000 型监控装置）通过检测轨道上的点式应答器获取列车的绝对位置，并使用多普勒雷达和交叉感应环线测速定位系统检测列车的速度和相对位置。

车载控制防护系统根据接收到的点式应答器的信息校核并调用自身车载存储数据库，计算并产生列车的安全制动曲线。

车载控制防护系统以车载无线机车信号作为行车主体信号控制列车运行，当情况发生变化且需要时通过 MMI 向司机提供报警，在必要时对列车实施卸载、常用制动或紧急制动，控制列车减速或停车，以确保磁悬浮列车行车安全。

2.2 系统功能

本信号系统主要实现如下功能。

1) 测速定位功能

通过测速定位设备（多普勒雷达、交叉感应环线）计算列车速度、进行列车定位，以及根据点式应答器的信息校核并进行重定位。

2) 微机联锁控制功能

微机联锁系统完成进路控制、道岔控制与防护功能，以及轨道占用检知、列车移动授权等功能。

同时，进路办理、系统运行和设备状态的监控，以及运行信息的记录由微机联锁系统的工作机完成。

3) 车 - 地信息传输功能

车 - 地信息传输采用欧标点式应答器与无线机车信号 2 种形式来实现。

欧标点式应答器。

在轨道线路上规定位置处设置应答器，实现车地间的点式数据传输（地 - 车）。

欧标点式应答器根据应用的不同分为固定信息应答器和可变信息应答器。当列车通过时，车载应答器天线感应到应答器的信息，信息经过 BTM 模块处理后，送到车载安全计算机。

无线机车信号。

无线机车信号系统通过无线数据传输电台的方式，实现“列车 - 地面”的双向连续的数据传输。

无线机车信号地面设备完成向微机联锁发送列车实时相关信息以及对联锁信息的采集。将微机联锁的信号开放条件信息通过无线信道发送给无线机车信号车载设备，并将车载反馈的回执信息解码后实现安全处理、显示、报警及记录等功能。

无线机车信号车载设备完成向车载安全计算机发送地面联锁信息以及对列车实时相关信息的采集。将列车实时相关信息（速度、位置、列车状态等信息）通过无线信道发送给无线机车信号地面设备。

4) 列车自动防护功能

列车自动防护（ATP）是保证列车运行安全的核心功能，主要包括如下基本功能。

列车的速度、限速曲线计算。

在车载安全计算机接收到不同的无线机车信号时，能实时计算并显示安全制动曲线。

超速防护。

当列车运行的实际速度超过车载安全计算机监控模式限制速度时，能自动进行安全防护，控制列车减速运行或停车。

列车的状态监控。

车载安全计算机可实时检测列车的工作状态,并监控列车的车门状态。

车门的开启授权。

车载安全计算机根据车门状态及对相关信息的判断,可实现车门开启允许的控制与提示。

零速度检测。

车载安全计算机通过多路速度信号的采样、比较和计算,若列车的速度小于0.5 km/h,则认为列车是处于零速度状态,并向列车接口输出零速度信号。

线路尽头防护。

轨道线路末端防护功能允许列车持续运行,直至列车接近轨道线路末端止。

线路尽头防护与超速防护结合使用,以防止列车冲出轨道末端。在车载安全计算机处于完全监控模式时,线路的尽头将被作为移动授权的终点参与模式限速曲线的运算。

但是无论在何种模式下,一旦收到尽头线防护应答器的信息,车载安全计算机都将对列车输出紧急制动指令,控制列车停车,防止列车冲出轨道末端。

列车的溜逸防护。

车载安全计算机通过检测列车运行方向和机车方向手柄指示位置的对应关系,实现列车溜逸的自动防护。

当检测到列车的运行方向与机车方向手柄指示位置不一致或者列车在非牵引工况下由零速状态进入非零速状态(速度 3 km/h,或走行距离 10 m),即列车发生意外移动时,车载安全计算机都将对列车输出紧急制动指令,控制列车停车。

3 信号系统运行情况

本信号系统已在上海1.7 km中低速磁悬浮试验线成功应用3年多,经历了试验线实际运用的考验,得到了用户及相关专家的认可。

4 结语

本信号系统是国内完全自主研发应用于中低速磁悬浮列车的信号系统,为中低速磁悬浮列车的运行提供了安全防护保障。

本信号系统与传统轮轨信号系统在测速定位、轨道占用检知、道岔控制和防护等方面都存在较大差异,是其技术创新点也是技术难点所在。通过系统研发和上海中低速磁悬浮试验线现场应用考核,这些技术创新点的可行性得到了较好的验证。

当然,由于上海中低速磁悬浮试验线实际线路总长仅1.7 km,积累的实际运行数据有限,且本信号系统不包括列车自动监控(ATS)和列车自动运行(ATO),因此,整个信号系统的功能和性能的稳定和提高有待后续进行深入研究和优化完善。

参考文献:

- [1] 吴祥明. 磁浮列车[M]. 上海:上海科学技术出版社,2003.
- [2] IEC61508,铁路应用:安全相关电子系统[S].
- [3] TB/T 2765-2005,列车运行监控记录装置技术条件[S].
- [4] 张利芝,唐俊同,陈展. CTCS2-200C型车载列车控制系统[J]. 机车电传动,2008(1):11-14.
- [5] 许义景,王连春. 基于FTA的磁悬浮列车牵引系统可靠性分析[J]. 机车电传动,2009(5):23-26.
- [6] 郭敏. 机车行车安全车载设备柜的规范化设计探讨[J]. 机车电传动,2009(5):20-22.

(上接第42页) 经论述,新结构单位长度上悬浮磁铁的承载能力不变,但取消搭接结构后,必须增加转向架纵梁、摇臂和空气弹簧等的数量,从而使单位长度上列车的重量增加,列车承载能力变小。考虑到纵梁、摇臂和空气弹簧数量增加后,可相应地减小其单个的尺寸和重量,所以总的重量不会有大的增加,列车承载能力不会有较大变化。同时,还可以考虑使用永磁电磁混合悬浮的方式来提高列车的承载能力^[8]。

4 结语

本文主要从列车走行机构的几何结构上,讨论了对列车转向能力有较大约束的几个参量,并在此基础上,尝试提出了一种可提高列车转向能力的改进方案。文中的分析和结论为改进高速磁悬浮列车的转向能力提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 顾保南,姜晓明. 论城市轨道交通最小曲线半径标准的选择[J]. 同济大学学报,2003,31(4):428-431.
- [2] H Seino, K Kato, M Azakami, H Yoshioka, H Oshima. The Maglev Bogie System and its Development[C]//Maglev 1995 Proceedings,1995:261-266.
- [3] 唐锐,吴俊泉. 中低速磁浮列车在我国城轨交通中的应用前景[J]. 都市快轨交通,2006(2):12-16.
- [4] 李云锋. 中低速五转向架磁悬浮列车走行机构研究与理论设计[D]. 长沙:国防科技大学,2007.
- [5] 吴祥明. 磁浮列车[M]. 上海:上海科学技术出版社,2003.
- [6] 赵志苏. 摆式悬架高速磁浮列车转向特性研究[J]. 机车电传动,2009(1):43-45.
- [7] 陈贵荣,龙志强. 日本低速磁悬浮列车发展[J]. 国外铁道车辆,2008,45(1):1-3.
- [8] 李云钢,闫宇壮,程虎. 混合EMS型磁浮列车的悬浮磁铁设计与分析[J]. 国防科技大学学报,2006,28(5):94-98.