

中速磁浮运行控制系统的设计

朱晨达

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司城市轨道交通与铁路设计研究院,上海市 200092]

摘要:以国内已开通运营的高速磁浮交通系统和低速磁浮交通系统为参考,针对中速磁浮交通系统的牵引制式和控制方式,提出了中速磁浮运行控制系统的设计方案,并从该系统的控制方式、系统架构、系统构成、系统功能及运行模式几个方面对设计方案展开叙述,以期为中速磁浮的运行控制系统设计提供有益的参考。

关键词:中速磁浮;运行控制系统;系统设计

中图分类号:U237

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2024)07-0303-05

0 引言

国务院印发的《交通强国建设纲要》提出:到2035年,我国将基本建成交通强国。高速、中高速交通系统的研究和建设将成为支撑交通强国的重要途径,磁浮系统也将作为后续高速、中高速交通系统的重要组成部分,对构建交通强国起到重要的支撑作用。目前已经商业化运营的磁悬浮交通系统包括时速超过400 km的高速磁浮系统和时速不高于120 km的中低速磁浮系统^[1]。高速磁浮系统有2003年开通运营的上海高速磁悬浮示范线,中低速磁浮系统有长沙磁悬浮线^[2]。中速磁浮系统最高运行速度可达200 km/h,是一种定位于市域或城际50~300 km中等距离的新型磁浮轨道交通系统。

运行控制系统作为中速磁浮系统的控制核心^[3],通过接口与磁浮车辆、牵引供电系统、道岔控制系统等系统相连,实现列车的自动运行、安全防护和运营管理等功能。本文针对中速磁浮系统的特点,对其中运控系统的控制方式、系统架构、系统构成、系统功能、运行模式进行设计^[4]。

1 运行控制方式

中速磁浮系统因其常导长定子的制式与高速磁浮的牵引控制方式相似,故中速磁浮系统中的运控系统闭塞分区必须与牵引分区相对应,且列车只能在辅助停车区内才能恢复悬浮状态。因此,运控系统

采用类似准移动闭塞方式,在辅助停车区内设置保护距离,确保列车运行的安全间隔;同时,还要确保列车可以以惯性滑行至辅助停车区内,避免无法恢复动车的情况,如图1所示。

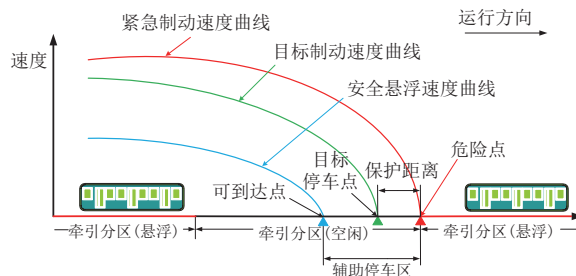


图1 运控系统控制方式示意图

轨旁的分区控制计算机根据列车发送的定位和速度信息,计算出可到达的下一个辅助停车区作为目标停车点;车载安全计算机根据移动授权和线路数据计算目标速度曲线,按分区控制计算机的指令悬浮列车并反馈列车状态。同时分区控制计算机监督列车速度,计算和监测安全悬浮(最小速度限制)曲线,可以使列车运行至最近的辅助停车区,等待后续操作指令。

2 中速磁浮系统运控系统架构和定位方法

2.1 运控系统架构

在已开通的中低速磁浮系统中,运控系统采用与轨道交通的ATC系统相似的系统架构和控制方式。中速磁浮系统的控制方式与高速磁浮系统相似,故可采用高速磁浮系统的3层控制结构运行该系统的控制系统,包括中央控制层、分区控制层和车载运行控制层,如图2所示。

收稿日期:2024-03-18

作者简介:朱晨达(1988—),男,学士,工程师,从事轨道交通信号系统设计工作。

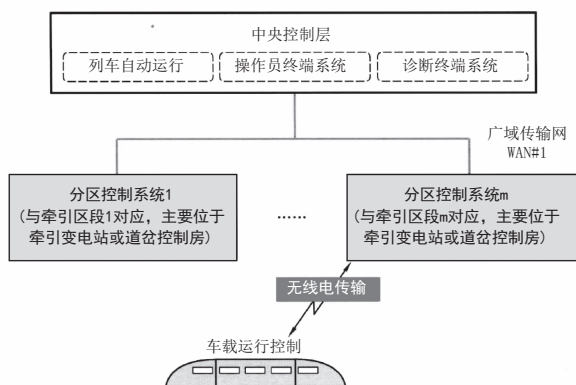


图2 高速磁浮运控系统架构图

中央控制层:位于车站控制中心,负责整个系统的监控和管理。它接收来自于各个分区控制系统的信息,并做出相应的决策和指令。中央控制层还与其他系统进行通信,如与乘客信息系统、安全监控系统等进行数据交互。

分区控制层:与牵引分区一一对应,每个分区控制层负责管理一个牵引分区的运行。它接收来自中央控制层的指令,并根据需要对牵引分区内的设备进行控制和调度。分区控制层还与车载运行控制层进行通信,以实现磁浮列车的控制。

车载运行控制层:位于磁浮列车上,负责控制磁浮列车的运行。它接收来自分区控制层的指令,并根据需要对磁浮列车的各个系统进行控制和调节。车载运行控制层还与地面设备进行通信,以获取必要的信息和指令。

这3层控制子系统之间的信息交互通过通信子系统来完成。磁浮列车与地面设备之间的通信采用了无线通信技术,可以实现高速、可靠的数据传输。中央与分区的控制系统之间通过广域传输网相连接,传输介质为光缆,可以提供高速、稳定的数据传输通道。而各牵引分区之间采用了总线形式,提供安全、可靠地传输安全信息的通道,实现各个分区控制系统之间的实时数据交换和协同工作。

2.2 运控系统定位方法

2.2.1 测速定位法

首先利用安装在磁浮U型架上的光电式速度传感器所产生的脉冲信号脉宽、频率来确定列车的运行速度,在此基础上对其实际速度进行积分,从而得出列车的实际运行距离。通过这种方法可获得空间上的物体位置定位。其他被广泛应用的测速定位方式是利用多普勒雷达等无线通信的测速方法^[5]。通过测速定位法来实现列车定位的优势在于成本低,但是此方法在长距离运行的列车上随着列车长距离运

行可能会产生累计误差,进而就需要配合其他方法一起使用去消除此累计误差。

2.2.2 惯性导航法

惯性导航系统一直以来在航天、航海等领域得到广泛应用,究其原因在于它不依赖任何外部信息,也不受外界的电磁干扰,主要的部件有加速计、陀螺仪和辅助电路。在研究高速磁浮定位体系时,可以考虑这种不受电磁干扰,发展相对成熟的惯性导航法。

2.2.3 北斗卫星监测方法

通过北斗卫星接收机将卫星信号发送到地面接收单位、车载运控系统当中^[6],能够保证在运行的任意位置都有3颗以上卫星同步进行定位信息接收。北斗卫星定位方法的优势在于可以大大减少传统轨旁信号辅助设备,通过天-地-列车的卫星通信,简化了系统结构,更利于维护。其劣势在于基于北斗卫星信号的场景有一定限制,在一些恶劣天气或者是岩石隧道交集的场景中,实时卫星信号会出现丢失现象,需要在列车内同时安装一些其他定位传感器来进行融合辅助。

3 系统构成

运控系统由4个子系统组成:中央控制子系统、分区控制子系统、车载运行控制子系统和数据通信子系统,如图3所示。

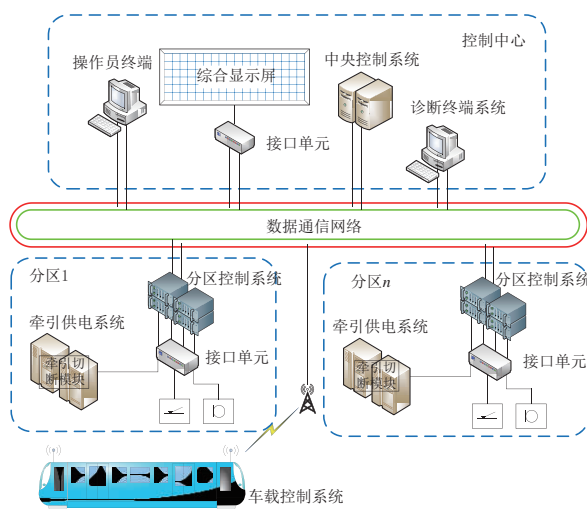


图3 运控系统构成图

中央控制子系统位于维保车间内的控制中心,用于实现列车运行计划的编制与实施、列车运行状态信息管理、列车自动运行控制、现场设备的操作与监视以及自检等功能。它包括调度员工作站、自动运行服务器、应用服务器、数据库服务器、监测和诊断工作站、维护工作站、运行图编辑工作站等

组成部分。

分区控制子系统设置在各分区的牵引变电站内,主要用于对调度命令进行分析处理,实现分区内轨道、道岔、牵引系统和车辆的控制和安全防护;同时实现设备监测等其他辅助功能。它由分区安全计算机、牵引切断计算机和道岔控制计算机等组成。

车载运行控制子系统用于生成速度曲线,实现列车的安全定位,完成车辆的控制和安全防护,并对列车制动、强制停车和车载电池等接口状态进行监测;同时也实现自身设备的监测等其他辅助功能。它的组成部分包括车载安全计算机和车载无线单元系统。

数据通信子系统由广域传输网和车-地无线通

信系统组成。广域传输网指以光纤为传输介质的通信骨干网,可采用工业以太网或传输系统等组网方式,用于连接中央控制系统和分区控制系统。而车-地无线通信系统是连通车-地之间的双向通信通道,根据中速磁浮系统的控制需求,车-地无线通信系统须满足系统对于数据传输延时(PRW数据延时小于5ms)和数据率的要求。

4 系统功能

中速磁浮系统运行控制系统^[7]的功能包括操作与显示、列车自动运行、驾驶顺序控制、进路防护、道岔防护、牵引切断、列车防护、定位功能和速度曲线监控等,如图4所示。

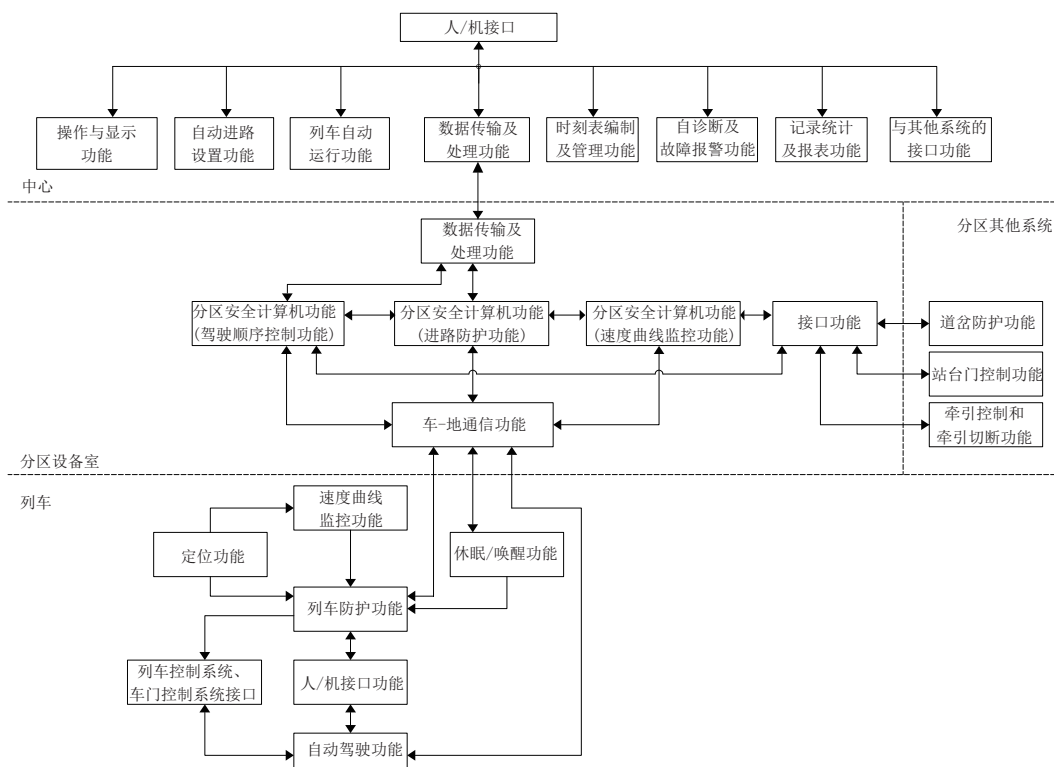


图4 运控系统功能示意图

4.1 操作与显示

操作与显示功能指系统接收操作指令,然后将指令发送给各子系统对应的功能模块进行处理,并在综合显示屏、调度员工作站等终端上显示整个系统的运行状态。这些功能由中央控制子系统实现。

操作功能可以分为对列车的操作、对线路的操作和其他操作。

对列车的操作包括:设置车载设备、设置临时限速、锁定和解锁车门锁、设置扣车和跳停、更改目的地、使列车进入休眠状态或唤醒等。

对线路的操作包括:设置进路锁闭、操作道岔、

切换牵引模式、设置临时限速、划定工作区等。

其他操作包括:分区牵引切断、时刻表修改和管理等。

显示功能包括线路占用情况、车站站台门状态、道岔位置状态、信号机显示、进路状态、列车的实际位置等信息。在调度员工作站的显示器上除了显示线路运行状态,还包括计划和运营时刻表、运行图信息、主要设备的监测信息、重要告警信息、运行数据的统计和报表信息、数据回放等运营管理功能。

4.2 列车自动运行

运控系统具备自动控制和防护能力,在常规运

行模式下,系统自动根据时刻表确定驾驶参数并调度列车运行,无需人工干预^[4]。列车自动运行功能由中央控制子系统和分区控制子系统共同实现。

自动进路设置:根据列车运行状况和线路数据,自动计算并确定列车的进路终点。根据列车的位置、速度和前方障碍物等信息,触发对应的进路。在进路设置过程中,系统会考虑根据信号状态、道岔位置、停车区距离、目的地站台等条件建立进路,确保列车安全和高效地运行。

列车管理:实时监测和记录列车的运行状态,包括位置、速度、加速度等参数。与列车通信,获取列车的相关信息,如故障报警、车门状态等。将列车的运行数据发送给调度员工作站进行显示,以便调度员对列车进行监控和管理。

时刻表管理:用于生成列车自动运行所采用的时刻表。系统根据输入的车次、列车停靠站台、车站的到站和发车时刻等信息,自动计算出列车的运行时间和间隔,以实现列车的准时运行。系统还可以根据实际运行情况进行调整和修改,以满足不同的运营需求。

4.3 驾驶顺序控制

驾驶顺序控制功能是对列车自动运行模块发出的驾驶参数进行处理,并将处理结果分别发送给列车防护模块、进路防护模块和牵引系统^[8]。驾驶顺序控制功能由中央控制子系统、分区控制子系统和车载运行子系统共同实现。

驾驶顺序控制的主要功能包括:

(1)轨道控制。进路防护模块对进路命令进行检查,如满足进路开放条件,则允许设置进路,并将发车点和进路终点发送给驾驶顺序控制模块,通过数据库内的线路数据和列车牵引制动参数计算得出列车的速度曲线。

(2)列车控制。将列车自动运行功能模块发出的控制指令或以人工方式通过调度员工作站发出的指令(如关门命令、悬浮命令等)发送至车载列车防护模块。

(3)牵引系统控制。驾驶顺序控制模块根据列车的速度曲线确定牵引参数,并将牵引参数发送给牵引系统。同时速度曲线监控模块实时地监控列车运行速度并反馈给驾驶顺序控制模块,进而调整牵引参数。

4.4 进路防护

进路防护模块为列车分配线路资源并对其进行保护。进路建立以后,系统会防止其他列车进入该进

路所在的轨道区段或其他经人工请求被锁定的轨道区段和道岔,即进路防护。进路保护功能由分区控制子系统实现。

4.5 道岔防护

道岔防护功能^[9]可以采集道岔的当前状态,并将该状态在中央控制系统的调度员工作站上显示。当道岔需要动作时,先由进路防护模块进行检查,判断是否满足道岔扳动条件,然后道岔防护模块解除道岔锁闭,并向道岔控制系统发送动作指令。道岔防护功能由分区控制子系统实现。

道岔防护功能包括:道岔解锁、识别道岔位置并锁闭、防止道岔位置不正确造成的危险。

4.6 牵引切断

为保证行车安全,磁浮运行控制系统应具有分区牵引切断(DPS)功能,在必要时切断牵引供电。在下列情况下,必须对列车牵引系统进行安全切断^[10]:

(1)当列车运行速度超过最大允许速度并且在指定时间内没有有效减速,应切断牵引使列车减速。

(2)在车速低于最小运行速度时,将牵引切断,利用惯性使列车安全到达当前(前方第一个)辅助停车区。

(3)调度员在中央控制室或司机在列车驾驶控制台上实施制动时,将牵引安全切断。

牵引切断功能由分区控制子系统实现。

4.7 列车防护

列车防护功能模块接收分区安全计算机发送的目的地和目标速度,通过电子地图、列车实时定位和实时速度来判断列车运行状态,并通过列车控制系统和车门控制系统的接口向列车发出悬浮和车门控制指令。列车防护功能由分区控制子系统和车载控制子系统共同实现。

列车防护模块的主要功能包括:列车识别和记录、监视列车状态、车门控制、牵引制动控制以及列车驾驶模式转换。

4.8 定位功能

定位功能模块用来确定列车的位置和速度^[11]。定位模块通过列车控制系统的接口获得列车定位,向列车防护模块反馈列车的实时定位、速度、行驶方向和牵引方向等信息,并通过车-地无线通信系统发送至轨旁的分区安全计算机。定位功能由分区控制子系统和车载控制子系统共同实现。

4.9 速度曲线监控

对列车运行速度曲线的监控是列车运行控制与

安全防护的核心功能^[12]。速度曲线监控模块根据数据库内线路数据的最大和最小允许速度、驾驶顺序模块计算的速度曲线数据、列车防护模块发出的实时数据,判断列车是否运行在安全的速度限制之下。当列车运行速度超过速度限制时,速度曲线监控功能模块将控制牵引切断模块切断轨旁牵引系统,同时控制列车防护模块激活列车制动。当列车达到设计最高运行速度时,控制列车防护模块将启动列车安全制动。速度曲线监控功能由分区控制子系统和车载控制子系统共同实现。

4.10 自动唤醒

中央控制子系统根据时刻表和行车计划向指定列车下达唤醒命令,车载控制子系统收到唤醒命令触发运控系统和车辆系统自检,车辆自检完成后启动相应的供电、照明、空调、视频监控、通信等系统,并将系统情况通过数据通信子系统报告控制中心,在确认正常后,系统安排进路,控制列车开始运行。

4.11 自动休眠

列车终止运营后,通过声光反复提示乘客下车,并关闭车内照明、空调、通信等系统,适当延时后,发出关门命令,关闭车门和站台门。启动列车经出入场线进入维保车间,最后进入停车线停车,系统确认短时间内该列车没有作业,发出休眠命令,切断牵引系统,并使车载控制系统进入休眠状态。

5 系统运行模式

5.1 列车驾驶模式

列车驾驶模式有3种:自动运行模式、带牵引的维护模式、不带牵引的维护模式。

自动运行模式:列车由中央控制子系统启动,控制列车完成加速、制动、精确停车和开门、关门作业。正常情况下列车在正线站间、正线车站与维保车间之间采用自动运行模式运行。

带牵引的维护模式:列车由人工控制,在系统规定的区域内按规定的限速运行。

不带牵引的维护模式:列车在维保车间内由维护人员启动,列车无法悬浮、移动,用于系统维护。

列车在正线按正常运行方向运行或折返作业时,应以自动运行模式为常用模式。

5.2 系统控制模式

自动监控模式:正常情况下系统自动监控在线列车的运行,系统根据时刻表和列车位置自动触发进路命令,列车在系统的安全保护下驾驶列车运行。控制中心调度员仅需监督列车和设备的运行状况。

人工介入模式:调度员可通过调度员工作站对全线列车进行运营调整。运营调整包括对列车实施“扣车”、“跳停”、改变目的地、临时限速、加派列车、退出运营等。

6 结语

本文针对中速磁浮系统的特点,对运行控制系统的控制方式、系统架构、系统构成、系统功能和运行模式进行了设计。研究了运行控制系统的原理,分析并提出了运行控制系统的设计方式。通过对子系统的功能设计,确保了中速磁浮系统的高效、安全和稳定运行。在未来的发展过程中,随着技术的进步和需求的变化,运行控制系统将继续优化和完善。

参考文献:

- [1] 吴祥明.磁浮列车[M].上海:上海科学技术出版社,2003:48-54.
- [2] 刘天胜,梁超.中国首条中低速磁浮铁路开通试运营[J].电力机车与城轨车辆,2016(3):4.
- [3] 杨光,唐祯敏.高速磁浮列车运行控制系统体系结构研究[J].中国铁道科学,2006,27(6):68-72.
- [4] 余龙华,李剑锋.中低速磁浮列车运行控制系统的方案及其实现[J].城市轨道交通研究,2006,9(4):38-40.
- [5] 陈艳华.轨道交通列车定位技术的选择与比较[J].电子设计工程,2010,18(11):186-188.
- [6] 张雷,张家诚,欧冬秀.磁浮轨道梁姿态高灵敏监测技术及其应用[J].计算机测量与控制,2023,31(11):88-93.
- [7] 格格日乐.以安全为导向的中速磁浮车载运行控制系统设计[D].北京:北京交通大学,2020.
- [8] 杨明华.中低速磁浮列车运行模式及其转换规则要求[J].城市轨道交通研究,2020,23(1):42-45.
- [9] 张阳.中低速磁浮列车地面联锁逻辑体系研究及其软件实现[D].北京:北京交通大学,2008.
- [10] 陈祎格.中低速磁浮列车不同工况下的牵引仿真计算[J].城市轨道交通研究,2018,21(6):77-80.
- [11] AN Qing, WU Shusen, ZHANG Tingting. Exploring the deployment of GNSS monitoring points and signal testing analysis of bridges[J]. Science & Technology Information, 2016,14(20):49-50.
- [12] 柴晓风,刘军,赖晴鹰,等.考虑辅助停车区约束的中速磁浮列车速度曲线节能优化方法[J].中南大学学报(自然科学版),2019,50(6):1499-1506.