

城轨正线计算机联锁逻辑设计浅析

梁云鹏¹, 王 呈², 吕浩炯¹(1. 北京南车时代信息技术有限公司 嵌入式控制部, 北京 100070 ;
2. 北京交通大学 轨道交通控制与安全国家重点实验室, 北京 100044)

作者简介: 梁云鹏 (1984-), 男, 工程师, 主要从事软件开发工作。

摘 要: 讨论了作为城市轨道交通信号系统核心子系统之一的计算机联锁设备的功能与联锁逻辑实现方法, 并提出了相应的改进措施; 同时阐述了计算机联锁在城轨交通应用中的特点, 以及应用层软件相关部分的设计原理。通过对城轨正线联锁原理的探讨, 期望可以提出一套适应城轨正线运营要求能加快正线联锁设备国产化进程的设计方案。

关键词: CBTC; 计算机联锁; 自动进路; 自动信号; 移动授权; 城市轨道交通**中图分类号:** U298.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-128X(2012)03-0075-04Analysis on Computer Interlocking Logic Design for Main Line
of Urban Rail TransitLIANG Yun-peng¹, WANG Cheng², LV Hao-jiong¹

(1. Embedded Control Division, Beijing CSR Times IT Co., Ltd., Beijing 100070, China;

2. State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Function of computer interlocking equipment, which was considered as one of core subsystem of signal system was discussed. Moreover, in terms of practical requirement, a modified method of interlocking logic realization was proposed. According to the characteristics of urban rail transit, the design principle of application layer software was investigated. Based on the investigation and analysis, the proposed computer interlocking logic design for main line of urban rail transit was expected to meet the requirement of customers and speed up the process of localization of urban rail transit signal system.

Key words: CBTC; computer interlocking; automatic route; automatic signal; MA; urban rail transit

0 引言

目前, 国内所有一线城市及相当数量的二、三线城市都在积极修建或筹建城市轨道交通系统, 国内各个信号系统厂商都在积极地投入到CBTC系统的研制与试验中, 本文将作为信号系统核心子系统之一的计算机联锁设备的功能与联锁逻辑实现方法进行探讨。

1 CBTC系统及正线联锁系统简介

CBTC系统摆脱了通过轨道电路判别列车对闭塞分区的占用情况, 突破了固定及移动闭塞的局限性, 实现了完全的移动闭塞。

移动闭塞的追踪目标是前行列车的尾部, 并留有一定的安全距离。后行列车从最高速度开始制动的起点是根据被追踪目标的距离、目标的速度以及列车本身的性能计算决定的。制动的起始点随线路参数和列车本身性能不同而变化, 前后车追踪间隔的长度是不固定的, 其间隔要比准移动闭塞更小一些。移动闭塞一般采用无线通信和无线定位技术来实现, 由于该系统具有很高的实时性和响应性, 因此其对系统的完整性、可靠性、安全性要求高于其他制式的闭塞方式。

CBTC系统由ATP/ATO子系统、联锁子系统、ATS子系统、DCS子系统和信号维修监测报警子系统等构成, 各子系统均采用模块化设计。对于无线通信故障或非装备列车, 有完善的后备式保障使其系统功能不受影响。

CBTC系统能够满足城市轨道交通系统对安全性、

收稿日期: 2011-11-30

可靠性、可用性、大容量、模块化和灵活性的所有要求,是未来城市轨道交通信号系统的首选解决方案。

正线联锁(以下简称为CI)子系统具有下列主要功能:

①执行传统CI的联锁功能;在正常工作情况下,所有的进路请求都由中央ATS自动发出,CI根据接收到的进路请求控制道岔和进路。

②CI确保所有交路实现道岔锁闭、区段锁闭及特殊进路(有岔进路及进、出站进路)的进路锁闭以及接近锁闭。

③通过在道岔区安装轨道检测装置和信号机,可以为工程车和非通信列车提供过岔防护。

④CI通过对外接口采集其辖区内设备(道岔、轨道电路、信号机、防护隔断门、防淹门、屏蔽门、车站紧急停车按钮)的状态并输出控制指令。

⑤一般CBTC联锁系统包括车站设备和轨旁设备,如道岔、轨道区段占用检测设备、信号机、继电器架、车站紧急停车按钮等。

2 CBTC系统中正线联锁功能的特点

2.1 传统联锁与CBTC系统联锁功能要素对比

传统联锁与CBTC系统联锁功能要素对比见表1。

表1 2种联锁系统对比

项目	传统联锁系统	CBTC联锁系统
列车位置检查手段	由轨道电路完成,联锁检查GJ前节点的状态来判断某一区段的占用及出清状态	联锁接收区域控制器(ZC)的列车位置信息,该信息由车载ATP通过无线或其他方式传输给ZC;在后备模式下通过计轴器来确定物理区段占用情况
联锁逻辑检查要素	检查进路始、终端信号机及其状态	多数情况下,联锁无需检查信号机条件;当线路中设置信号机时联锁检查条件要依据信号机的位置分别处理,详细原则见下文
	检查进路所包含的轨道区段状态,是否被征用、占用或空闲	只需明确进路路径,不需要检查区段空闲状态
	检查待锁闭进路的相关敌对进路状态,是否已经预选或锁闭	与传统联锁相同
联锁设备管理区域	传统联锁系统以进、出站信号机为界限,只管理站内的进路及相关地面信号要素,车站以外的地面信号要素由区间设备管理	实现区域化联锁控制,将区间设备也纳入所属联锁区,由设备集中站联锁统一管辖;联锁区之间通过通信方式实现站间照查

2.2 CBTC系统对联锁的特殊要求

通过表1的对比可以发现在CBTC模式下联锁子系统的功能需求和联锁逻辑实现方式都有了新的变化,其主要体现在:

①联锁线路数据设置有新的特点,需要适应CBTC

线路的要求;如没有传统的轨道电路区段,物理区段划分依赖于计轴器的设置,区段的占用检测也来源于计轴器。

②由于ZC可以提供更高分辨率的列车区段占用信息,所以联锁数据制作时要考虑到物理区段划分和逻辑区段划分的区别与联系。

③为实现CBTC模式更高的运行效率,需要在同一计轴区段内有多列车同时占用,这就需要联锁修改传统的进路选排和锁闭的逻辑判断标准。

④由于城轨正线道岔较少,只有在折返或者特殊情况下才有可能变换道岔位置,所以在进路锁闭逻辑上要突出长交路概念,淡化每条进路都有若干区段组成的传统联锁处理逻辑,只有在有岔区段及车站发车处才有可能触发新进路的设置及区段锁闭处理。

⑤对于长进路站间信号机的控制不采用进路锁闭方式,考虑采用自动闭塞逻辑控制信号机的显示,这样既可以为前行列车提供速度码信息,又同时避免了无岔区段无谓的解锁与锁闭处理。

3 联锁与区域控制器的关系分析

3.1 区域控制器系统介绍

CBTC系统的先进之处就是能够实现移动闭塞,而列车实现移动追踪的重要设备就是区域控制器(以下简称ZC)。

轨旁区域控制器可采用与CI相同的安全计算机平台,在其上面运行专用的应用软件,可以接收其控制范围内列车发出的所有位置信息。ZC根据轨道上障碍物的位置,向辖区内的所有列车提供移动授权(以下简称MA),如图1所示。所谓“障碍物”包括列车、关闭的信号机及区段、失去位置表示的道岔,以及外部任何能够产生危机行车安全的因素,如紧急停车按钮、站台屏蔽门、防淹门和隔离保护门等。

ZC还负责对相邻ZC的移动授权请求作出响应,完成列车从一个区域到另一个区域的交接。

3.2 正线联锁与区域控制器的关系分析

从上面的分析可以看出城轨联锁实现列车位置检知的重要信息应该来自于ZC,ZC通过无线信道从车载ATP取得列车头尾公里标信息,经过ZC处理后转化为ATP区段(虚拟区段)信息并通过信号专用网络发送至CI主机;CI依据联锁逻辑准则将前方进路信息(是否锁闭)及信号要素信息(信号机显示、道岔状态)发送给ZC作为MA处理的输入参数,CI与ZC的关系如图2所示。

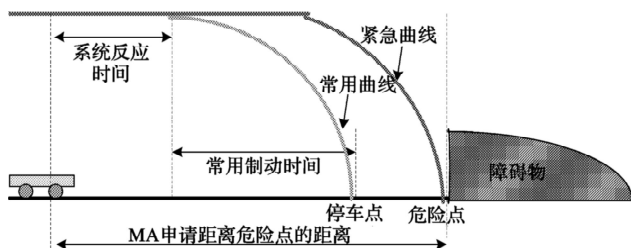


图1 ZC功能示意图

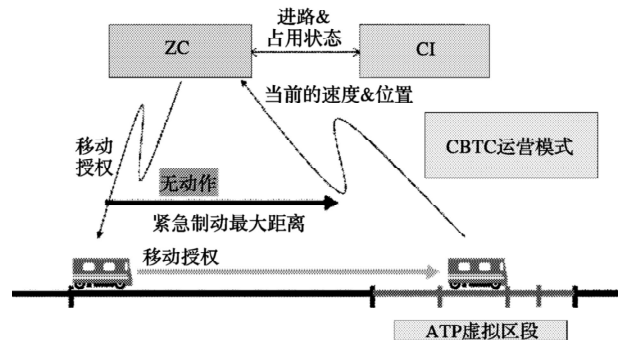


图2 ZC与CI的关系示意图

CI与ZC之间的信息流可总结如下：

ZC→CI信息：ATP区段占用状态。

CI→ZC的信息：信号设备状态（道岔位置、信号机显示状态、计轴占用、紧急停车按钮、折返按钮、屏蔽门状态、防淹门状态等），联锁状态（进路、区段锁闭、行车方向），取消进路请求。

4 “自动进路”与“自动信号”的实现

4.1 系统难点分析

基于上述分析可知，在城轨信号系统中虽然联锁的控制范围扩展到了包括区间和车站在内的所谓“联锁区”，但是联锁要处理的逻辑关系与传统的大铁路应用相比实际上弱化了。除了在有岔区段和出站进路，联锁已经不需要通过信号机来防护列车发生正向及侧向冲突，相当一部分防护功能由ZC发给车载ATP的MA来保证列车之间的行车安全。

城轨正线联锁系统设计的难点和需要改进之处在于如何处理好传统联锁逻辑判断原则和城轨CBTC系统特殊需求之间的矛盾。通过传统联锁逻辑软件的设计经验以及对CBTC系统功能的分析，笔者认为在特殊区段应用传统联锁处理逻辑，在普通正线区段采取自动闭塞处理逻辑这种区间车站一体化处理的方式可以较好地解决上述矛盾。下面将通过“自动进路”“自动信号”2种逻辑处理方式的阐述来进一步说明这种一体化联锁逻辑的设计原理。

4.2 “自动信号”设计

当列车运行在CBTC模式下时，除出站、道岔防护信号机外所有信号机应设置为自动信号模式，信号机控制逻辑类似于区间自动闭塞方式，和大铁路传统自动闭塞控制的区别在于主控设备和区段占用处理不同。

在城轨信号系统中联锁要完成自动闭塞设备所具有的采集、驱动功能，通过对来自于ZC的虚拟逻辑区段的占用状态判断来输出对一般防护信号机（除出站、道岔防护信号机外所有信号机）的控制信号。在CBTC模式下联锁不需要把上述信号机作为进路锁闭的要素，同时也没有进路锁闭防护的功能，列车之间的安全距离由ZC的MA来保证。

特别要强调的是为保证点式ATP列车和CBTC车混跑的安全防护，信号机前方的限速信息（由可变应答器或感应环线发送至车载ATP）是CI主机依据物理轨道区段（由计轴器区分）占用来计算的，该限速信息相当于CI在控制一套用于点式ATP行车的虚拟信号机，也就是说同样的允许通过信号显示对于点式ATP车来说可能是不允许越过的，因为实体信号机的控制逻辑依据ATP区段（虚拟闭塞区段）占用的检测；而点式ATP限速信息则依据对计轴区段的占用检测。如图3所示，非通信列车是否可以越过该信号机取决于后方物理区段的占用情况；而通信列车完全依据MA行车，不受地面信号机显示限制，如图4所示。

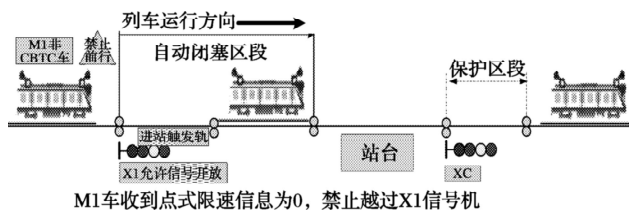


图3 自动信号示意图（1）

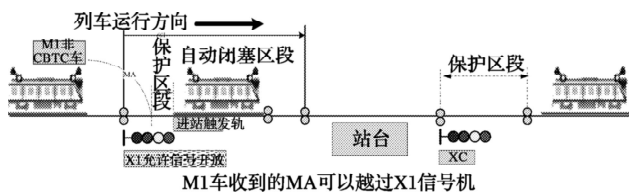


图4 自动信号示意图（2）

联锁将一条普通的进路自动设置为自动信号的功能：凡是任意一个导致约定关闭信号的条件满足，将信号关闭；凡是所有约定导致信号开放条件满足，将信号自动重复开放，列车依次驶过进路，进路不解锁。

4.3 “自动进路”设计

1) 进站与出站进路

在CBTC模式下，列车要完成进、出站作业时联锁需要为相应列车排列所需进路。排列进路的联锁检查条件与传统联锁相似，同时必须加入出站信号机前方的保护区段空闲检查条件作为办理出站进路的必要条件，这一检查条件是城轨为保证行车安全而特别设定的。

在列车占用系统设定的进站触发轨后，CI将收到ATS发来的进路请求指令，CI根据ZC和计轴区段采集状态判断是否可以选排进站进路并锁闭，如锁闭成功将通过ZC和点式通信设备发给列车允许进站的移动授权，反之将发出制动命令，禁止列车前行。如图5所

示MA1为进站进路锁闭且允许列车进站授权,MA2为联锁条件检查不符合进路选排或锁闭条件而发出的禁止进站授权。

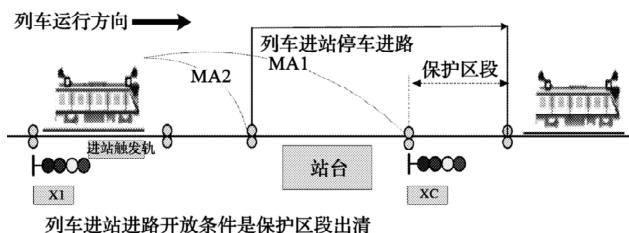


图5 自动进路示意图(1)

2) 有岔区段进路

通常情况下,城轨系统同一条长交路可以满足一天的运营计划要求,且正线道岔很少转动。只有当列车折返或者出现分支交路时才会运行过程中转动道岔。所以,传统联锁中的进路锁闭概念只需要在道岔区段得以体现即可,即道岔锁闭在某一特定位置就表示整条交路处于锁闭(进、出站进路除外)。当需要改变列车运行方向时才需要调用解锁检查逻辑和道岔区段锁闭逻辑来解锁相应的道岔区段,并根据新的调度命令将道岔锁闭在新的位置。

如图6所示,MA1表示道岔区段锁闭,移动授权允许列车通过;MA2表示道岔区段没有锁闭移动授权禁止列车通过,此时道岔区段可能正在动作或正处于其他不符合锁闭检查条件的情况。每当列车处于道岔区段触发轨时,ATS都会根据车次号检查当前岔位置是否和计划交路一致,如不一致则向CI发出新进路排列要求。

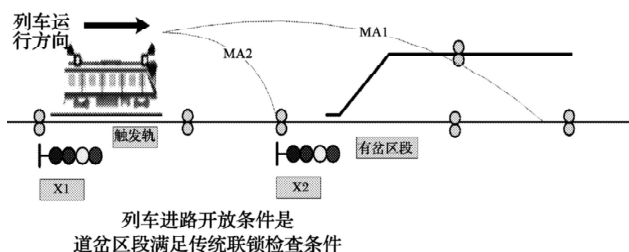


图6 自动进路示意图(2)

3) 自动进路的触发机制

自动进路的功能不存在于联锁之中,而是在ATS里;ATS根据列车的目的地号和特定的轨道区段自动触发一条适用于该次列车的进路。列车运行至触发区段时,由ATS系统根据列车目的地生成自动进路触发命令。

在实际应用中,触发区的长短,即在所需进路始端多远处开始发出进路触发命令是一个值得注意的问题。距离太长则提前将相关道岔锁闭,会影响其他进路的办理;距离太短,由于进路来不及办理,使得列车

提前减速甚至在区间停车,影响运行效率和旅客舒适度。这部分应和列车自动防护系统(ATP)结合进行分析,并根据列车的ATP速度—距离曲线、联锁办理进路所需时间以及ATP系统响应时间作综合考虑,使得列车接近该进路始端时其速度—距离曲线平滑。

4.4 “自动进路”与“自动信号”的区别

自动进路并非CBTC独有,而是固定闭塞、准移动闭塞、移动闭塞都可以具有的功能。自动进路和自动信号的区别是:自动进路是当列车压入某个区段,根据列车的目的地号,自动触发相应的进路。当列车驶过进路后,进路自动解锁。自动信号是对一条普通进路设置的一种模式,一旦设置了该模式,列车驶过该条进路,进路不会解锁,并且能够自动重复开放信号。自动信号不会根据列车的目的地号来自动触发,只会判断进路前方的“障碍物”是否清除来自动重复开放信号。

5 结语

本文所阐述的联锁逻辑设计是在原有成熟联锁逻辑软件基础上加以改进后的方案,但由于目前设计方案所需的联锁静态数据结构复杂、对软件使用的联锁数据要求较高以及数据制作工作较为繁杂,所以今后还要在联锁应用数据结构设计及模块划分方面继续优化。

同时CBTC系统作为一个复杂系统工程,其从属的各个子系统相关性很强,这就要求联锁子系统的研发需要有完整的CBTC系统及各子系统的设计方案配合,否则其功能将难以通过试验和实践来加以检验和完善。因此,针对城市轨道交通信号系统的发展,建议国家有关部委尽快制定出适合国情的发展战略,并推动完全自主知识产权CBTC系统相关标准的制定,以利于国内各个研发厂家能够尽快地推出适用于市场的成熟的CBTC系统设备。

参考文献:

- [1] 汪小勇. 浅谈点式信号系统[J]. 铁道通信信号, 2011(6): 15-16.
- [2] TB/T 3027—2002, 计算机联锁技术条件[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.
- [3] GB/T 12758—2004, 城市轨道交通信号系统通用技术条件[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.

(本篇文章为南车株洲电力机车研究所有限公司2011年度学术交流论文)