

上海城市轨道交通列车主动定位系统 轨旁信标布置规则研究

陈 鸣

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海//工程师)

摘 要 在上海城市轨道交通区域性互联互通的实现过程中,出现了因不同信号制式采用的定位设备标准不同造成轨旁信标布置规则不同的实际问题。通过对列车主动定位系统轨旁信标布置规则进行研究,对上海城市轨道交通线网采用的不同定位设备布置规则进行分析比较,提供了可在不同信号制式互联互通场景下通用的轨旁信标布置规则。在明确定义不同功能信标布置原则的前提下,统一编码规范,最终实现不同信号制式定位系统在线路间的互联互通。

关键词 城市轨道交通; 互联互通; 列车定位; 轨旁信标布置规则

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.11.032

Shanghai Urban Rail Transit Train Active Positioning System Wayside Beacon Arrangement Rule Research

CHEN Ming

Abstract In the process of realizing regional interoperation of Shanghai urban rail transit, a practical problem reveals that trackside beacon arrangement is having different rules because different positioning equipment standards are adopted by different signaling systems. Based on the research of trackside beacon arrangement rules of active train positioning system, different positioning equipment arrangement rules used in Shanghai urban rail transit network are analyzed and compared, and a set of general trackside beacon arrangement rules which can be used in different signaling system interoperation scenarios are provided. On the premises of clearly defining the arrangement rules of beacons with different functions, unified coding norms are adopted to finally realize the interoperation of positioning systems between lines with different signaling systems.

Key words urban rail transit; interoperation; train positioning; trackside beacon arrangement rules

Author's address Telecom & Signaling Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China

列车定位子系统是 CBTC(基于通信的列车控制)信号系统的核心子系统之一,可实现可靠、高效的列车定位。列车定位子系统中,轨旁信标的布设起着至关重要的作用。

目前,上海城市轨道交通已开通运营的 18 条线路中,有 13 条线路分别采用了 2 家不同集成商提供的 CBTC 信号系统。中国城市轨道交通协会发布的《中国城市轨道交通智慧城轨发展纲要》(以下简称“纲要”)中明确要求:2025 年,中国式智慧城轨特色基本形成,跻身世界先进智慧城轨国家行列。此外,纲要还要求“自主化列车全自动运行系统成熟完善并大面积推广应用,互联互通取得重大突破,具有自主知识产权的全自动运行系统开始进入国际市场”。

列车定位子系统作为实现不同信号制式间互联互通的基础条件,轨旁信标布置规则的统一是最底层的技术需求。本文旨在对定位信标布设的规则进行研究,为更好地实现信号系统互联互通建立基础,为后续定位设备的硬件统型及编码规则的统一等工作的开展提供参考。

1 上海城市轨道交通轨旁信标布置规则的现状分析

目前,上海城市轨道交通线网的 CBTC 系统均采用对列车当前位置的绝对定位与相对定位结合的方式实现列车定位。即:通过车载查询设备、读取地面定位信标设备获取列车当前位置的绝对定位信息;通过速度计的测速和测距结果来计算获得列车当前位置的相对定位信息。线网内采用 CBTC 系统的 13 条线路在轨旁信标标准选型上有 2 种,分别为采用 UNISIG/TB 标准的欧式信标及采用 AAR/GB 标准的美式信标。

1.1 欧式信标的布置原则

采用欧式信标的 CBTC 信号系统在轨旁布设 2 种信标,分别为 RB(重定位信标)与 MTIB(动态列车初始化信标)。

在后备模式中,RB 与 LEU(轨旁电子单元)连接,为车载控制器提供信号机、道岔、轨道区段等的状态信息。停车信号机由 1 个 RB 防护,接近信号机由 2 个 RB 防护。

1.2 美式信标的布置原则

采用美式信标的 CBTC 信号系统同样在轨旁布设 2 种信标:无源的 A 型信标和有源的 B 型信标。其中,2 个连续的 A 型信标用来初始化列车位置,单个 A 型信标可以对已有位置信息的列车进行定位校准。

在后备模式中,每 1 个 B 型信标为车载控制器提供其所关联信号机的 1 种表示状态,即关联信号机为红白绿三显示信号机时,需要在相同位置布置 2 个 B 型信标,以分别标识白灯与绿灯的状态。

1.3 欧式信标与美式信标布置原则的对比

欧式信标与美式信标在常用定位信标布置距离上的限制差异较小。欧式无源信标采用了电感耦合方式,信标的可识别距离小于 1.0 m,而美式无源信标采用了电磁反向散射耦合方式,信标的识别距离为 1.0~1.5 m。由此,美式无源信标在布设时对相邻信标的最小间距有额外的要求,以避免在列车行驶时发生错误读取相邻信标的情况。

此外,单个欧式有源信标相较美式有源信标可编辑的码位更多,在后备模式中可以为车载控制器提供更多前方信号轨旁设备的状态信息,提供更完善的系统级防护功能。如果美式信标要实现与欧式信标相同的功能,则需在相同位置布设更多信标,工程成本相较欧式信标更高,且可能存在的故障点也更多。由此可见,欧式信标更适用于上海城市轨道交通列车主动定位系统轨旁信标的布设。

2 互联互通需求下自主定位轨旁信标总体布置原则

根据纲要的要求,在参考 GB 50157—2013《地铁设计规范》、建标 104—2008《城市轨道交通工程项目建设标准》及 DG/TJ 08-2232—2017《城市轨道交通工程技术规范》等各类规范、标准的基础上,本文对上海城市轨道交通超大网络互联互通需求下列车主动定位系统进行研究。在 ATC(列车自动控

制)区域内,列车主动定位系统轨旁定位信标布置应与信号主系统保持一致;在非 ATC 区域内也应布设定位信标,以确保所有行车区域具备有效追踪列车位置的功能。

列车主动定位系统用于取代现有各信号系统相对独立的列车定位子系统,统一轨旁信标布置规则,使之成为最底层的技术需求,为最终实现信号系统的互联互通奠定基础。

2.1 定位精度要求

截至 2020 年底,上海城市轨道交通线网的运营线路及在建线路,其列车的最高运行速度均在 120 km/h 以下。在采用绝对定位与相对定位结合对列车进行定位的 CBTC 线路中,定位信标的布置密度与列车的运行速度直接相关。

对轨旁信标进行布置时,应满足列车最高运行速度 120 km/h 情况下定位精度不低于最小追踪间隔,且在站台区域定位精度不低于最大停站精度要求。

2.2 无源信标及有源信标的布置要求

无源信标也可称为固定信标,按功能可分为轮径校准信标、精准停车定位信标和其他定位信标。有源信标分为主信标和填充信标 2 种。主信标布置在信号机处。填充信标的布置点与主信标外方有一定距离,该距离要满足不能因列车未收到填充信标的报文而降速的要求,以及信号系统后备模式下列车追踪间隔的要求。由此,该距离应满足如下要求:

1) 在最大线路限速条件下,距离的最小值应大于列车按照最高速度以 GEBR(保证紧急制动率)计算得到的紧急制动距离和常用制动距离二者的最大值。

2) 距离的最大值应小于后备模式下列车追踪间隔要求的追踪距离,即小于主信标关联的信号机的进路长度与安全防护区段距离之和。

3 各类轨旁信标的布置原则

3.1 精确停车信标的布置原则

精确停车信标的具体布置原则为:ATC 模式下,在站台、侧线、折返线、联络线、区间信号机、停车场列检库等需要以 ATO(列车自动运行)精确停车的区域,以及停车库内定修线、镗轮线等非 ATC 区域,均应布置用于精确停车的无源信标,并采用车载应答器天线头尾冗余的方式予以布置。

以站台区域为例,精确停车信标的布置原则如下:①在车载应答器天线前后 2 个方向距离约 0.5~1.0 m 处各设置 1 个信标;②在车载应答器天线前后 2 个方向距离约 25.0~30.0 m 处各设置 1 个信标;③在车载应答器天线前后 2 个方向距离约 70.0~100.0 m 处各设置 1 个信标。图 1 为以列车运行的反方向为例绘制的停车信标布置示意图。

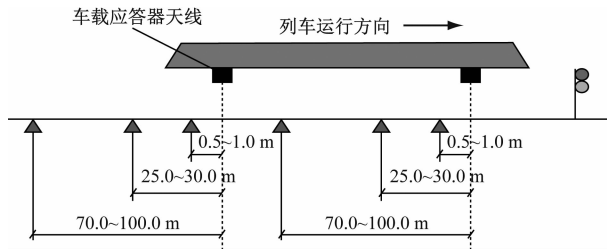


图 1 站台区域精准停车信标的布置原则

Fig. 1 Layout principle of platform precise parking beacons

3.2 轮径校准信标布置原则

轮径校准信标的布置原则为:在衔接车辆段或停车场的出入段线、联络线及正线存车线的出口处应设置 2 个用于轮径校准的无源信标。

为提高 CBTC 系统可用性,在正线区间也可设置轮径校准信标,每 3 个站的正线区间设置 2 个。这 2 个无源信标间的距离一般为 20~60 m。轮径校准信标宜布置在平直轨道区域,若由于客观原因无法完全保证线路平直性,则优先考虑在无弯道的区域布置。

3.3 有源信标的布置原则

有源信标的布置原则为:

1) 为确保列车运行安全,应保证列车以 RM (限制人工模式) 向前运行时所通过有源信标可以获得有效的点式移动授权,使列车升级到点式 ATP (列车自动防护) 模式运行级别。

2) 在每个信号机处设置有源信标,为正线站台正向进路提供点式 ATP 防护功能。

3) 在每个信号机处设置有源信标,为停车线、折返线、出入段线等双向防护进路提供点式 ATP 防护功能。

4) 在正方向区间信号机处设置有源信标。

5) 如图 2 所示,列车停在停车点时,有源信标离车载应答器天线的距离应为 1.0 m,即当列车启动运行 1.0 m 后可以读取该有源信标。

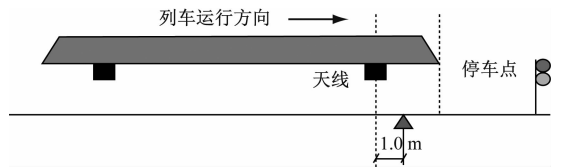


图 2 站台区域有源信标离车载应答器天线的距离

Fig. 2 Distance between active beacon and on-board transponder antenna in platform area

4 列车自主定位系统轨旁信标编码规范

为满足与其他信号制式轨道交通区域互联互通的要求,所有用于定位功能的信标(包含有源信标及无源信标),其定位相关报文编码均应满足全线网唯一性的标准,以实现不同信号制式下列车跨线运行时定位系统的有效兼容。

为确保上海城市轨道交通全线网列车自主定位系统软硬件架构统一,轨旁信标编码规则也应统一。根据欧式信标的硬件特性,信标报文宜采用 830 位长报文结构,用户信息包中不足的比特位以“1”补齐。

信息帧的报文结构定义如表 1 所示。其中:

1) M_MCOUNT 为报文计数器。单个应答器会对应多条报文,该变量表示本报文在这些报文中的序号;固定应答器只包含 1 条报文,M_MCOUNT 设为 255;有源应答器默认报文,M_MCOUNT 设为 252;LEU 默认报文,M_MCOUNT 设为 0;M_MCOUNT 值禁用 253 和 254。其他报文的 M_MCOUNT 值由厂商自定。

2) NID_C 为复合区段。在多条线路共线的正线区间或停车场内,复合区段码位以“1”表示。

3) NID_L 为线路编号。采用区域内统一编号的方式,可在区域线路规划时统一分配。联络线以各线路信号系统控制边界为界,赋予不同的线路编号。

4) NID_BG 为应答器(组)编号。用于在 1 条线路内唯一识别的 ID,由 5 位十进制数表示,最大值为 16 383。

用户信息包中至少应包含如表 2 所示的信息。

5 结语

依托纲要的要求,在目前信号技术的飞速发展时期,城市轨道交通信号系统向着确保安全、提升运营能力,同时兼备高可靠性、高维护性的方向有序发展。本文构建的上海城市轨道交通列车主动定位系统轨旁信标布置规则,能有效实现不同信号制式互联互通下轨旁定位系统标准的统一。

表 1 轨旁信标信息帧的报文结构定义

Tab.1 Message structure definition of the wayside beacon message frame					
序号	名称	变量	位数	变量含义	说明
1	帧标志	Q_UPDOWN	1	信息传送的方向	“0”为车对地;“1”为地对车。本规范中该变量值统一取“1”
		M_VERSION	7	语言/代码版本编号	“0010000”表示 V1.0(版本)
		Q_MEDIA	1	信息传输媒介	“0”为应答器
		N_PIG	3	本应答器在应答器组中的位置	“000”为 1,“111”为 8。本规范中不设置应答器组,变量值取“000”
		N_TOTAL	3	应答器组中所包含的应答器数量	“000”为 1,“111”为 8。本规范中不设置应答器组,变量值取“000”
		M_DUP	2	本应答器信息与前/后应答器信息的关系	“00”为不同,“01”为与后一个相同,“10”为与前一个相同)。本规范中该变量值取“00”
		M_MCOUNT	8	报文计数器	计数器编号为 0~255
		NID_C	1	复合区段	
		NID_L	9	线路编号	
		NID_BG	14	应答器(组)编号	
		Q_LINK	1	应答器(组)的链接关系	“0”为不被链接,“1”为被链接。本规范中该变量值取“0”
2	用户信息包		772	用户信息包区	
3	信息结束		8		“11111111”表示信息帧结束

表 2 轨旁信标用户信息包的定义内容

Tab.2 Definition content of wayside beacon user packet				
序号	变量	位数	变量含义	说明
1	NID_XUSER	9	用户数据包标识码	“0 1100 1011”为 203
2	Q_SIGNAL _ ASPECT	19	信号机显示状态	主应答器时为该处信号机显示状态;填充应答器时为所填充进路始端信号机的状态
	Q_SIGNAL _ ASPECT_PRE	19	该应答器预告信号状态	该位仅对于主应答器有效,表示该主应答器兼具预告应答器功能时对应的沿进路方向第 2 个信号机的显示状态;对于不兼具预告功能的主应答器,该位应全部填“0”;填充应答器该位无效(填充应答器全部填“0”)
3	C_CI_LEU	1	联锁与 LEU 通信状态	“0”表示联锁与 LEU 通信正常;“1”表示:联锁与 LEU 通信中断;当 LEU 与应答器通信中断时该位无效;如系统采用点灯电路的方式驱动 LEU,当点灯电路故障时按照 LEU 与联锁通信中断处理
	C_LEU_BALISE	1	LEU 与应答器通信状态	“0”表示 LEU 与应答器通信正常;“1”表示 LEU 与应答器通信中断
4	D_DIS	24	主应答器至 MA (移动授权)终点距离	
	D_DIS_OVERLAP	24	主应答器至进路末端保护区段起点的距离	
	N_SWITCH	4	道岔数量	最多 15 个
	NID_SWITCH1	16	道岔 1 编号	道岔描述顺序按照主应答器向 MA 终点的顺序排列
5	S_SWITCH1_STATE	2	道岔 1 状态	“10”表示定位,“01”表示反位,其他无效
	NID_SWITCH2	16	道岔 2 编号	
	S_SWITCH2_STATE	2	道岔 2 状态	“10”表示定位,“01”表示反位,其他无效
	NID_SWITCHN	16	道岔 n 编号	
	S_SWITCHN_STATE	2	道岔 n 状态	“10”表示定位,“01”表示反位,其他无效