

CBTC 系统中计轴设备布置方案研究

王平旭, 尹致远

(湖南中车时代通信信号有限公司, 湖南 长沙 410005)

摘要: CBTC 系统中计轴设备用于检查轨道区段空闲与占用状态, 通常一条城轨线路中需要设置上百个计轴设备。为了科学、高效、快捷地布置这些计轴设备, 文章提出了在站台区域、岔区、保护区段、转换轨、折返轨、联锁区分界点、区间以及场段等 8 个场景下的计轴设备布置方案。该方案从工程项目实际出发, 描述了各计轴设备的用途, 详细分析了其布置原则。在长沙轨道交通 4 号线的应用结果表明, 该方案能准确完成轨道状态检查, 并能辅助列车安全高效地运行。

关键词: CBTC 系统; 计轴设备; 布置方案

中图分类号: U284.7

文献标识码: A

文章编号: 2096-5427(2020)04-0054-04

doi:10.13889/j.issn.2096-5427.2020.04.011

Research on Arrangement Scheme of Axle-counting Equipments in CBTC System

WANG Pingxu, YIN Zhiyuan

(Hunan CRRC Times Signal & Communication Co., Ltd., Changsha, Hunan 410005, China)

Abstract: Axle-counting equipments in CBTC system are used to check the idle and occupied status of track section. One urban rail transit line needs to set up more than 100 axle-counting equipments. In order to arrange axle-counting equipments scientifically, efficiently and quickly, this paper put forward a layout arrangement scheme of axle-counting equipments under 8 scenes, including platform area, turnout area, protection section, transfer track, turn back track, interlocking boundary point, section and depot. Starting from the actual situation of the project, this scheme describes the uses of axle-counting equipments, and analyzes the layout principle of axle-counting equipments in detail. The application results in Changsha rail transit line 4 verify that track states can be accurately inspected, and safe and efficient operation of train can be assisted by the scheme.

Keywords: CBTC system; axle-counting equipment; arrangement scheme

0 引言

在基于通信的列车控制系统 (communication based train control system, CBTC) 中, 通常采用计轴将铁路线路划分为若干个轨道区段, 并依靠计轴检测列车轴数的功能, 实现对轨道区段空闲与占用状态的检查。

合理的计轴布置可以缩短列车追踪间隔时间, 提高运行效率; 但由于 CBTC 系统中列车的移动授权一般以计轴为终点, 当计轴的位置设置得不合适时, 可能会造

成列车相撞的严重事故。一条城市轨道交通线路动辄数十公里, 需要设置的计轴设备数量多, 而现有的布置方案不仅未能覆盖全部应用场景, 而且没有考虑现场安装条件。为此, 本文结合现场情况并兼顾安全和效率考虑^[1], 提出了 8 种场景下计轴设备的布置方案, 并详细分析了计轴设备的安装位置, 力求在室内设计阶段做到计轴设备位置布置准确合理。实验室测试和现场测试结果表明, 该方案能满足各场景下计轴设备的布置需求, 保证了列车安全高效运行。

1 轨道状态检查原理

轨道区段占用和空闲的检查原理如图 1 所示。列

收稿日期: 2019-07-28

作者简介: 王平旭 (1994—), 男, 工程师, 主要从事城市轨道交通 CBTC 信号系统研究。

基金项目: 湖南创新型省份建设专项 (2019GK4015)

车从 AC1 端驶入，沿着监视区段驶出 AC2 端^[2]，当计出轴数等于计入轴数时，系统判定该监视区段为空闲状态；当计出轴数不等于计入轴数时，系统判定该监视区段为占用状态^[3]。

计轴子系统的安全完整性等级为 SIL4 级，由于道岔振动、回流线等因素的影响，可能会导致计轴磁头受到干扰，从而降低系统可靠性；而合理布置计轴设备，是保证轨道状态检查功能正常实现的重要前提。

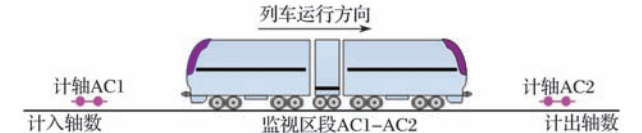


图 1 轨道状态检查原理
Fig. 1 Principle of track state inspection

2 计轴布置方案

按照用途及安装位置的不同，将计轴分为 8 类：站台区计轴、道岔区计轴、保护区段计轴、转换轨计轴、折返轨计轴、联锁区分界点计轴、区间计轴和场段计轴。下面将以长沙轨道交通 4 号线为例分别描述这 8 类计轴的布置方案。

2.1 站台区计轴

在站台两侧各设置 1 个计轴，将站台区域轨道区段划分为 1 个单独的计轴区段，用于识别站台区域。根据站台外方有无道岔，分两种情况布置计轴。

2.1.1 站台区无道岔

站台区无道岔时，设置进站计轴 AC1 和出站计轴 AC2 如图 2 所示。

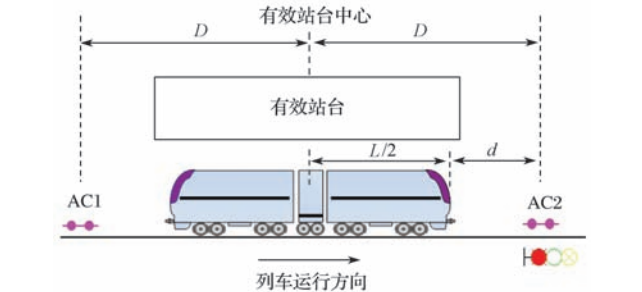


图 2 站台区无道岔时计轴
Fig. 2 Axle-counting equipments in the platform area with no switch
出站计轴 AC2 位置的确定方法见式（1）：

$$D=L/2+d \tag{1}$$

式中： D ——有效站台中心至计轴 AC1 的距离； L ——列车长度； d ——车头至计轴 AC2 的距离。

计轴布置时不仅需考虑列车在站台停车时的最大退行距离，同时还要保证在此范围内列车最大安全前端不得跨入下一个计轴区段，则计轴 AC2 距离列车车头的距离 d 应不小于“站台精确停车应答器安装误差 + 列车

固态包络 + 列车动态包络 + 最大退行距离”。

根据式（1），长沙轨道交通 4 号线的 D 值取 68 m。

2.1.2 站台区有道岔

站台区有道岔时，设置进站计轴 AC1 和出站计轴 AC2（图 3）。

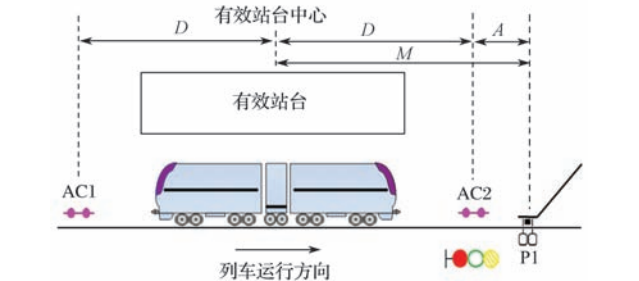


图 3 站台区有道岔时计轴
Fig. 3 Axle-counting equipments in the platform area with switch

此时，出站计轴 AC2 位置的确定计算式如下：

$$D=M-A \tag{2}$$

式中： M ——有效站台中心至道岔 P1 的距离； A ——计轴 AC2 至道岔 P1 的距离。

由于在站台区域还要安装信号机及应答器等设备，需要预留足够的安装位置，故将计轴 AC2 安装在轨缝和岔尖之间，以延伸站台长度。其布置示意如图 4 所示。

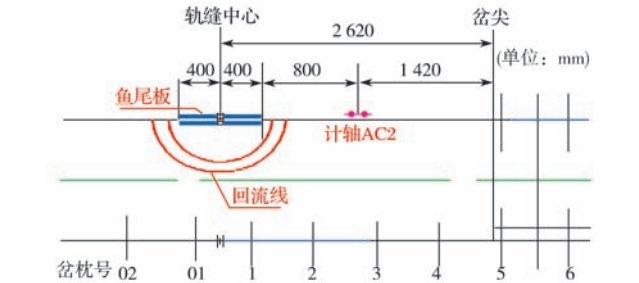


图 4 轨缝和岔尖之间的计轴
Fig. 4 Axle-counting equipment between rail gap and switch tongue

此时计轴的安装位置需满足 3 个约束条件：（1）鱼尾板上不具备安装条件；（2）回流线产生的磁场会对计轴产生干扰^[4]，其焊接位置应远离计轴；（3）有列车通过时，岔尖振动会影响计轴的性能。综合考虑，将计轴 AC2 安装在轨缝和岔尖的中部位置，离岔尖 1 420 mm、离轨缝中心 1 200 mm，即式（2）中 A 取值为 1 420 mm，则长沙轨道交通 4 号线的 D 值取 68.189 m。

2.2 道岔区计轴

在警冲标外方、道岔前方以及渡线设置计轴设备，将道岔区域划分成单独的物理区段，以便判别列车是否进入道岔反位区域。

2.2.1 岔前计轴

岔前计轴位置如图 5 中的 AC3 所示。

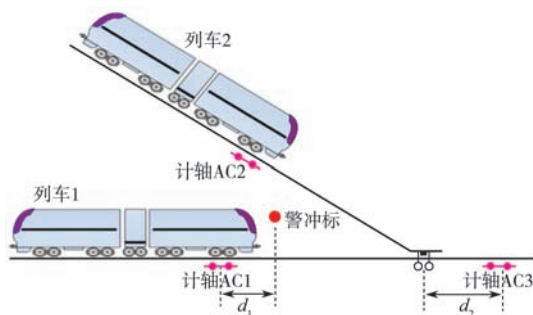


图5 道岔区计轴

Fig. 5 Axle-counting equipments in switch area

一般情况下岔前有足够的安装空间, 为避免干扰, 计轴的位置可以远离轨缝和岔尖, 如图6所示。安装位置应至少距基本轨缝外方2个轨枕, 即AC3到岔尖的距离 $d_2=3.82$ m。在不具备安装条件情况下, 计轴可安装在距离岔尖1.42 m位置, 如图4所示。

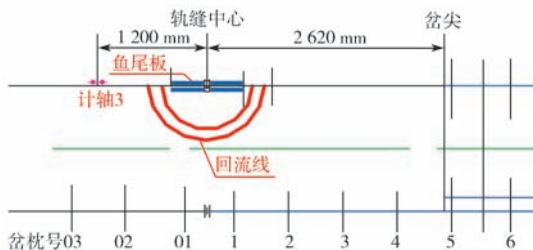


图6 岔前计轴

Fig. 6 Axle-counting in front of switch

2.2.2 岔后计轴

岔后计轴位置如图5中的AC1和AC2所示。当列车1停在AC1左侧, 列车2从侧向驶过, 为避免两车发生碰撞, 此时需综合考虑第一轮对到车钩前沿的距离及车辆限界等条件来合理设置计轴的位置。长沙轨道交通4号线的岔后计轴安装于警冲标外方5 m的位置, 即 $d_1=5$ m。

2.2.3 渡线计轴

在单渡线中部设置计轴, 如图7中的AC1。在交叉渡线靠近中心且具备安装空间的位置设置计轴, 且尽量靠近道岔中心设置(长沙轨道交通4号线取道岔中心 ± 5 m位置), 如图7中的AC2和AC3。

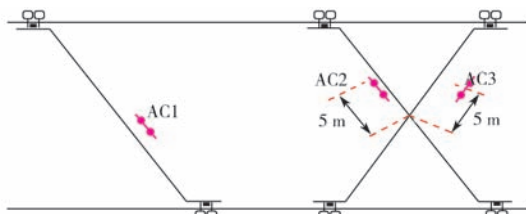


图7 渡线计轴

Fig. 7 Axle-counting equipments in crossover area

2.3 保护区段计轴

在出站信号机或存车线信号机后面安装计轴, 形成独立的保护区段^[3], 如图8所示。该信号机外方有两条保护区段, 分别为保护区段1(AC2-AC3)和保护区段2(AC2-AC4)。

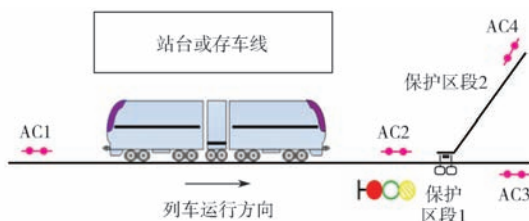


图8 保护区段计轴

Fig. 8 Axle-counting equipments in protection section

设置保护区段的原因主要有两个: (1) 当列车冲标而不能在信号机前停车时, 让列车停在保护区段内, 避免与前方列车发生碰撞; (2) 保护区段解锁之前, 能够延长列车的移动授权时间, 可以让高速行驶的列车尽量靠近信号机停车^[5]。保护区段长度需要结合车辆参数、线路参数和ATP制动模型等计算确定, 长沙轨道交通4号线的保护区段长度取50 m。

2.4 转换轨计轴

在停车场/车辆段和正线的分界处设置转换轨, 用于列车出入段时在转换轨内进行控制模式的转换。如图9所示, 在转换轨道设置3个计轴(AC1, AC2和AC3), 形成转换轨及其两端的保护区段。转换轨长度的计算方法和站台长度的一样, 计算时应考虑列车长度、停车误差、静态包络、动态包络及计轴安装误差等因素。长沙轨道交通4号线的转换轨长度为140 m, 保护区段长度为50 m。

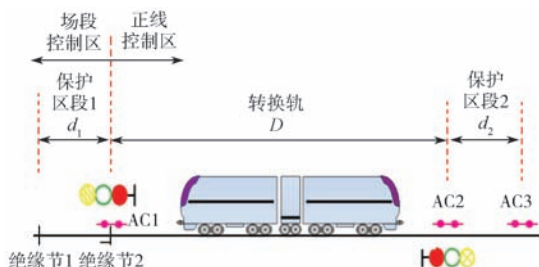


图9 转换轨计轴

Fig. 9 Axle-counting equipments of conversion track

2.5 折返轨计轴

如图10所示, 设置计轴AC1和计轴AC2, 形成折返轨, 用于列车在折返轨内进行折返操作。AC1位置的确定方法和岔前计轴的一致, 应尽量靠近道岔P, 以提高折返效率。折返轨外方不设置单独的保护区段, 采用保护区段内置的方法。

折返轨长度由3部分构成: 车头到前方计轴的距离、列车长度以及车尾到后方计轴的距离。其中: (1) 车头前端到计轴AC2的距离 d 应大于“折返轨应答器安装位置误差+列车静态包络+列车动态包络+保护区段长度”; (2) 车尾到后方计轴AC1的长度应保证不短于司机的瞭望距离。将长沙轨道交通4号线的参数代入计算, 得到折返轨长度为190 m。

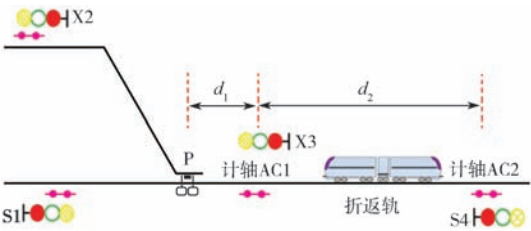


图 10 折返轨计轴

Fig. 10 Axle-counting equipments of reversal track

2.6 联锁区分界点计轴

联锁分界点的计轴用于划分联锁集中区，布置方案有单计轴和双计轴两种。双计轴的位置布置如图 11（a）所示，为了避免两个联锁区的计轴系统都不能识别的轨道区段的出现，采用交叉布置的方式，AC2 属于联锁控制区 1，AC1 属于联锁控制区 2。单计轴的位置布置如图 11（b）所示，AC3 被两个联锁控制区共用。长沙轨道交通 4 号线采用双计轴布置方案。

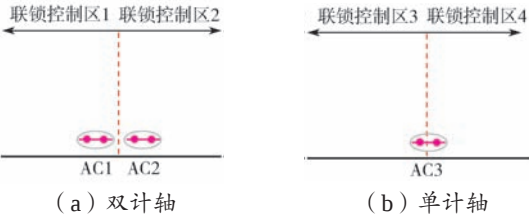


图 11 联锁区分界点计轴

Fig. 11 Axle-counting equipments in the interlocking boundary point

2.7 区间计轴

安装区间计轴用于分割长进路，提高列车运行效率。如图 12 所示，在站台 1 和站台 2 各有一辆列车，在后备模式下，需要等列车 2 出清站台 2 之后，列车 1 才可以从站台 1 驶出。当进路 S1—S2 太长时，两车的追踪间隔则很大，会导致运营效率过低。这时可以采取安装区间信号机的方式将该进路分割成两条或多条进路。如图 13 所示，安装区间分割信号机 S2 及计轴 AC1 后，站台 1 至站台 2 之间可以同时运行 3 辆后备模式下的列车，极大地提高了运营效率。计轴 AC1 的位置，可根据所要求的行车间隔，用牵引计算软件仿真的方式来确定。



图 12 无区间计轴

Fig. 12 No axle-counting equipments in section

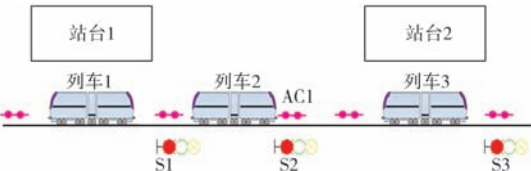


图 13 区间计轴

Fig. 13 Axle-counting equipments in section

2.8 场段计轴

在停车场、车辆段，若全部采用计轴，则会增加建设和维护的成本，因此可以采用轨道电路检查区段占用情况。但是轨道电路容易被氧化和受到污染，从而出现分路不良的情况，会使系统无法完成列车占用检查，可能造成进路提前解锁、挤岔、列车碰撞等事故，给列车运行留下严重的安全隐患^[6-7]。为了降低建设成本并保证系统性能，采用计轴和轨道电路相结合的方式，即在常用区段（车流量大的区段，如列检库）使用轨道电路，在不常用区段（车流量小的区段，如调机工程车库）使用计轴，如图 14 所示。

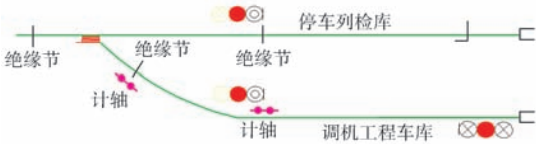


图 14 场段计轴

Fig. 14 Axle-counting equipments in parking and depot

以上 8 类计轴设备的布置方案兼顾了复杂的现场条件，不一定同时应用于同一线路，可依据实际情况选取采用。

3 现场应用

目前，上述方案已成功应用于长沙轨道交通 4 号线。该线一期工程线路全长 33.5 km，正线设车站 25 座，采用六编组列车。系统需求为：（1）计轴设备的可靠性要求为正确的计轴数平均不小于 1×10^9 轴；（2）CBTC 级别下，正线设计追踪间隔时间不大于 90 s，交路折返站折返追踪间隔时间不大于 112 s，列车出入车辆段 / 停车场设计追踪间隔时间不大于 112 s。全线共设置了 302 套计轴设备，设置保护区段 116 条，形成计轴区段 317 个，划分站台区域 51 个，设置转换轨 4 个。

2018 年至 2019 年，我们对长沙轨道交通 4 号线信号系统进行了数十轮测试，结果显示折返时间、行车间隔等参数都满足设计要求。该线路自 2019 年开通至今，计轴系统运行平稳，未出现因计轴受扰造成的故障，本文所提方案的合理性和正确性都得到了验证。但是部分方案有待优化，比如：

（1）站台区计轴。优点是安装位置考虑了应答器安装误差、列车包络、退行距离等因素，较为全面；缺点是会导致站台区域长度过长，一旦站台外方存在道岔、人防门及防淹门等设备时，现场则不具备安装条件。

（2）道岔区计轴。当将计轴安装在轨缝和岔尖之间时，如果计轴、鱼尾板和回流线同时采用打孔安装的方式，轨缝附近的钢轨会被密集打孔，可能会影响钢轨结构。