

文章编号：1005-8451（2013）12-0018-04

有轨电车坡道防溜方案设计

蒋大旺¹, 王广明¹, 王贵国², 张天白², 曹源³

- (1. 唐山轨道客车有限责任公司 科技管理部, 唐山 063035;
2. 唐山轨道客车有限责任公司 业务发展部, 唐山 063035;
3. 北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044)

摘要：溜逸现象严重威胁有轨电车的行车安全, 为此本文设计了一套较为完善的溜逸防护系统。根据需求分析, 系统选取了速度传感器和多普勒雷达相结合的测速定位方式, 制定了溜逸防护、静态防护和退行防护3种模式的具体方案, 通过编程实现了系统功能, 也验证了所设计方案的可行性。

关键词：有轨电车; 溜逸; 测速定位

中图分类号：U266.2 : TP39 **文献标识码：**A

Design of tram anti-slip scheme

JIANG Dawang¹, WANG Guangming¹, WANG Guiguo², ZHANG Tianbai², CAO Yuan³

- (1. Scientific Administrative Department, CNR Tangshan Railway Vehicle Co., Ltd., Tangshan 063035, China;
2. Business Development Department, CNR Tangshan Railway Vehicle Co., Ltd., Tangshan 063035, China;
3. School of Electronic and Information Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: As slip phenomenon was a serious threat to the tram, this paper designed an Anti-slip System. The System was chosen the combination of speed sensor and Doppler radar as the velocity measurement and positioning method. According to the requirements analysis, it was presented three specific protection scheme of slip protection, static protection and regression protection, which implemented the function of the System and proved the feasibility of the designed scheme through programming.

Key words: tram; slip; velocity measurement and positioning

溜逸是指车辆在坡道上停留时, 由于重力或者其他外力因素等, 使得其发生无目的的溜车行为或因未按规定采取溜逸防护措施, 使得车辆在失控的状况下造成行车安全事故。因此, 在坡道上, 对有轨电车的行车状态进行测量, 进而设计出一套较为完善的溜逸防护系统, 能够在一定程度上保证行车的安全, 也可以对车辆的溜逸进行有效的防护。

1 简介与理论基础

在研究有轨电车坡道防溜系统时, 定位测速是关键的技术。针对有轨电车的运行特点, 坡道防溜过程中需要测量的速度和距离非常小, 因此选择基于轮轴脉冲的速度传感器的测速方法, 并用多普勒雷达测速定位进行辅助校正的方案对其

溜逸防护系统提供有效的实时速度信息。

1.1 速度传感器测速原理

设 T_g 表示规定的检测时间。 T_g 定时与脉冲计数同时开始, T_g 之后位移传感器的第一个脉冲终止时钟脉冲计数。实际检测时间 T 由时钟脉冲数 m_2 确定。 T_g 定时和位移传感器脉冲计数同时开始, m_1 为检测时间 T 内传感器脉冲个数, 理论上没有误差。设传感器每转产生的脉冲数为 P , f_c 为高

频时钟脉冲的频率, n 为转速, 可知, $T = \frac{m_2}{f_c}$ (S), $n = \frac{60m_1}{PT} = \frac{60f_cm_1}{Pm_2}$ (r/min)。由传感器脉冲个数

m_1 计算速度是 M 法, 由时间 T 计算速度是 T 法, 故此方法称为 M/T 法。

由于在测量中需要同时得到车辆的行驶方向, 因此在车轮上相差 90 度的两点安装 A、B 两个同样的测量设备。根据其相位差来确定有轨电车的行驶方向。若得到 A 的脉冲波形相位差超前 B90

收稿日期: 2013-02-26

作者简介: 蒋大旺, 工程师; 王广明, 高级工程师。

度，则有轨电车正在反方向行驶，反之则正向行驶。

1.2 多普勒雷达测速原理

工作原理如图1所示。

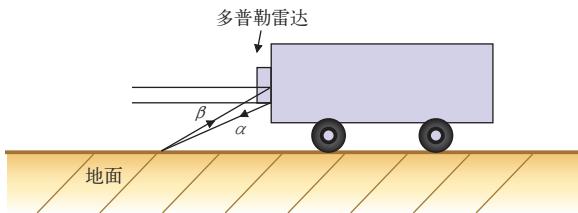


图1 多普勒雷达测速原理

其中，雷达发射的频率为 F ，电磁波在空气中的传播速度为 c ，发射角为 α ，反射后的入射角为 β ，车辆的运动速度为 V 。

则在地面接收到的波的频率为：

$$f_1 = F \cdot \frac{c}{c - V \cdot \cos \alpha} \quad (1)$$

而此时，地面向将波反射回去，则雷达接收到的波的频率为：

$$f_2 = f_1 \cdot \frac{c + V \cdot \cos \beta}{c} = F \cdot \frac{c + V \cdot \cos \beta}{c - V \cdot \cos \alpha} \quad (2)$$

发射波与接收波的频移为：

$$\Delta f = f_2 - F = F \cdot \frac{V \cdot (\cos \alpha + \cos \beta)}{c - V \cdot \cos \alpha} \quad (3)$$

由于车辆的行驶速度 V 远远小于电磁波在空气中的传播速度 c ，因此在实际计算过程中可以假设 β 等于 α 。接着将该简化后的频移公式展开为泰勒级数，并将泰勒级数的高次项舍去，则能够得到进一步的简化公式：

$$\Delta f = F \cdot \frac{2V \cos \beta}{c} \quad (4)$$

由该公式可以看出，若 α 和 F 一定，则车辆的行驶速度 V 就与频移 Δf 成正比。因此只要求出 Δf ，车辆的行驶速度也就求出来了。

对于两个传感器同时测得的速度位置信息，可以设计这样的算法：给轮轴测速传感器分配一个较高的权重，多普勒雷达分配较低的权重，将二者所采集到的信息进行加权平均计算，则可以得到一个更加精确的速度位置信息。当其中一个传感器出现故障的时候，只要将其权重分配为零就可以了。利用此方法不仅可以在溜逸防护时为系统提供有轨电车的速度位置信息，而且在车辆运行过程中的任何时间段都可以获得车辆的行车

速度信息，只要根据当前车辆的实时速度对权重进行调整，就可以在任意速度段获得较为精确、实时的速度信息。

2 设计与实现

2.1 需求分析

2.1.1 功能分析

有轨电车坡道溜逸防护系统与车站信号联锁控制系统是相对独立的控制系统，但是这两个系统之间也会产生一定的信息交互。溜逸防护系统可以将当前车辆的溜逸信息以及是否已经进行制动措施的信息传送到车站系统中作为参考。

该溜逸防护系统可以判断出车辆当前的行驶速度，并进一步计算出其溜逸的距离。系统可以通过一定的接口获得车辆档位所在信息，综合其速度信息判断出车辆是在正常行驶还是已经发生溜逸。系统可以通过接口获得车辆的行车模式，判断其是处于正常行车模式、待机模式还是退行模式，进而选择出一套相应的溜逸防护方案对有轨电车进行溜逸防护，以免发生溜车事故而造成人身财产的损伤。

2.1.2 可靠性和安全性的分析

(1) 可靠性分析：可以采用目前较为广泛应用的二取二冗余技术来提高系统的可靠性。

(2) 安全性分析：可以继续沿用铁路的故障—安全原则。例如，防溜装置有制动位和缓解位两个位置状态，当在坡道上进行停车时，应使防溜装置处于制动位置，以防止车辆溜逸。此时，制动位置即为安全侧，相对的缓解位即为危险侧。

2.2 整体方案设计

根据以上的分析可以得出，溜逸防护系统工作原理的基本步骤如下：

(1) 使用测速设备（包括轮轴测速传感器以及多普勒雷达）获得实时速度位置信息。

(2) 通过感应器接口获得运行状态信息，主要是车辆档位信息以及车辆行车模式的选择信息。

(3) 进行决策判定，选择所需要的防护方案措施。

(4) 对有轨电车进行防护制动。

由于正常行车模式、待机模式以及退行模式都有其各自的特点，所以这3种情况下需要分别

进行不同的对待，即设计3套不同的防护制动方案进行溜逸防护制动。根据分析与综合，得到如图2所示的有轨电车溜逸防护系统。

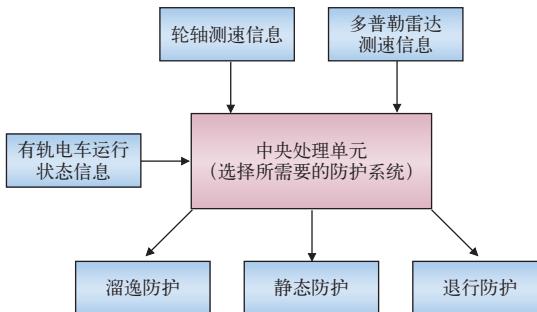


图2 溜逸防护系统整体设计方案

2.3 具体方案的实现

2.3.1 溜逸防护

溜逸防护是指有轨电车在正常运行模式下坡道停车时进行的防护措施。溜逸防护过程如下：

(1) 从接口读出有轨电车是否处于正常行车模式(包括监视模式、调车模式、引导模式以及目视行车模式等)，如果不是处于这些模式则结束溜逸防护。

(2) 需要通过接口读出其档位信息来判断车辆是否处于停车状态，如处于停车状态则开始执行溜逸防护方案，根据方案判断是否需要对有轨电车进行紧急制动。

程序实现的流程如图3所示，具体如下：根据传感器所测得的速度信息计算车辆的溜逸距离，判断该溜逸距离是否大于2 m，如果大于2 m，则对车辆进行紧急制动；否则继续判断其溜逸速度是否大于3 km/h，如大于则对其进行紧急制动，否则将该溜逸距离进行累加，继续下一个周期的测量和判断，而且在紧急制动时要将累积的溜逸距离清零。

2.3.2 静态防护

静态防护是指有轨电车在刚上电后，处于待机模式时进行的防护措施。程序实现的流程如图4所示，判断过程如下：

(1) 通过接口读出车辆当前的状态信息，判断其是否处于待机模式，如不是则退出静态防护系统，否则进入该系统，对车辆进行防护操作。

(2) 通过传感器得到车辆的实时速度信息，并计算出本检测周期内的溜逸距离。判断溜逸距离是否大于2 m以及溜逸速度是否大于3 km/h，

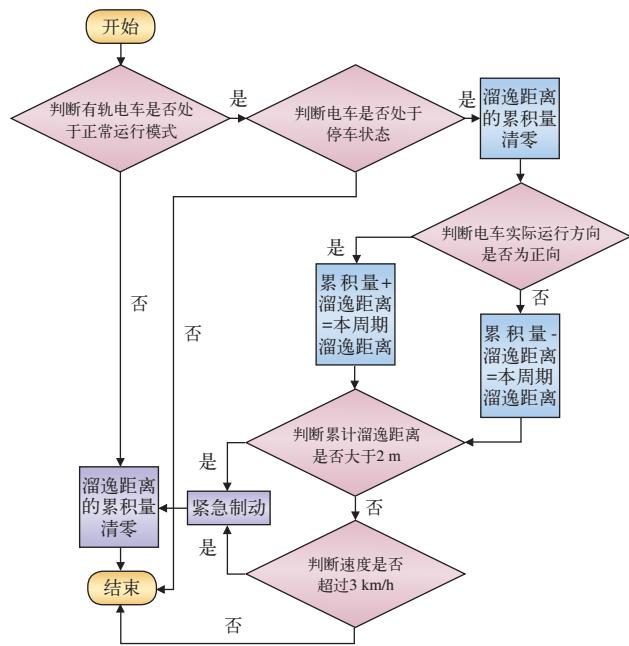


图3 溜逸防护方案

如有一项超过额定限度，则对其进行紧急制动并将累积溜逸距离清零，否则将本周期溜逸距离进行累加，进行下一周期的判断。

2.3.3 退行防护

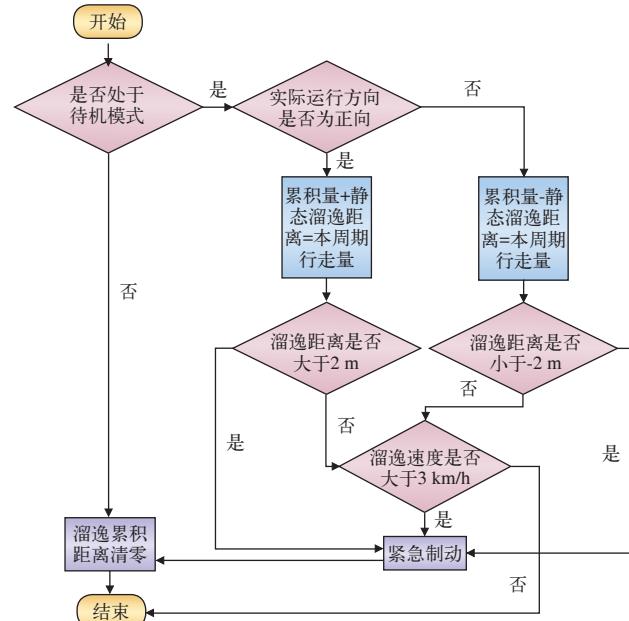


图4 静态防护方案

退行防护是指有轨电车在特殊情况下需要在坡道上进行退行作业时所用到的防护系统措施。流程如图5所示，判断过程如下：通过接口获得车辆当前的状态信息，判断其是否处于退行模式，如不是则退出该防护方案系统，否则就使用该系

统对车辆进行溜逸防护。具体的防护措施为通过传感器得到车辆的实时速度信息，并计算出本检测周期内的溜逸距离。判断溜逸距离是否大于2 m以及溜逸速度是否大于3 km/h，如有一项超过额定限度，则对其进行紧急制动并将累积溜逸距离清零，否则将本周期溜逸距离累加，进行下一周期的判断。

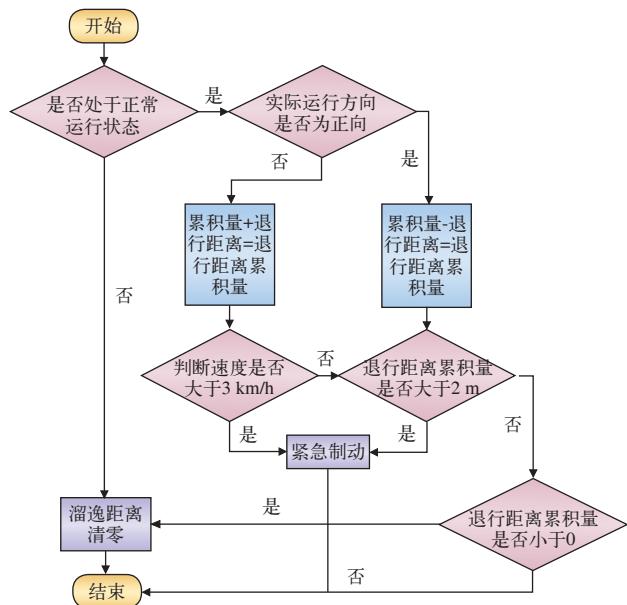


图5 退行防护方案

3 结束语

溜逸现象危害有轨电车的运输安全，本文就在六盘水实例的基础上，设计了一套结构简单、功能齐全的溜逸防护系统。文中为溜逸防护系统选择了合适的速度测量方法，提出一套适合于有

(上接 P12)

以虚拟试验场的构建为基础，以基于虚拟试验场的轨道线路数学模型为联系纽带，统一定义虚拟样机环境和虚拟现实环境中的轨道线路工况，有效保证了动力学仿真与视景仿真在虚拟试验过程中的有机联系和集成。本文提出的基于多软件协同的虚拟试验系统架构，为轨道交通各种性能虚拟试验的实现提供了一种有益的参考。

参考文献：

- [1] 丁国富, 翟婉明, 王开云. 机车车辆在轨道上运行的动

轨电车坡道溜逸防护的较为完善的系统，对系统功能进行了实现。该系统主要是通过对有轨电车速度位置信息的测量来判断有轨电车是否发生溜逸，进而选择是否对其进行紧急制动。虽然结构简单，但是功能相对齐全，对今后有轨电车安全高效的运行有一定的应用价值。

参考文献：

- [1] 德萝森. 西门子交通技术集团的现代有轨电车(轻轨)理念[J]. 地铁与轻轨, 2002 (2).
- [2] 隋悦家. 现代有轨电车及其车辆的发展[J]. 城市车辆, 2001 (5).
- [3] 王 力. 新型有轨电车的信号系统[J]. 铁道通信信号, 2009 (1): 33-34.
- [4] 巫伟军. 有轨电车系统特点及应用前景研究[J]. 铁道标准设计, 2007 (8): 122-125.
- [5] 周 杨. 强风条件下停站车辆防溜安全问题研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2010.
- [6] 周达天. 基于多传感器信息融合的列车定位方法研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
- [7] 董仁飞. 到发线防溜装置控制系统样机设计与实现[D]. 北京: 北京交通大学, 2008.
- [8] Ryoo H J, Kim S J, Rim G H, et al. Novel anti-slip/slide control algorithm for Korean high-speed train[C]. Industrial Electronics Society, 2003. IECON'03. The 29th Annual Conference of the IEEE. 2003, 3: 2570-2574.
- [9] Ohishi K, Nakano K, Miyashita I, et al. Anti-slip control of electric motor coach based on disturbance observer[C]. Advanced Motion Control, 1998. AMC'98-Coimbra., 1998 5th International Workshop on. IEEE, 1998: 580-585.

责任编辑 杨利明

力学可视仿真 [J]. 铁道学报, 2002, 24 (3): 14-17.

[2] 彭 波. 铁道客车乘坐舒适性建模、仿真与虚拟试验研究[D]. 长沙: 中南大学, 2010.

[3] 张卫华. 2004 年度铁路机车车辆动态仿真学术会议综述 [J]. 学术动态, 2004 (3): 38-40.

[4] 杨 岳, 杨颜志, 彭 波. 铁道车辆舒适性虚拟试验系统研究 [J]. 中国机械工程, 2008, 19 (14): 1755-1759.

[5] 程立志, 杨 岳, 宋加佳, 周 辉. 铁道车辆运行稳定性虚拟试验系统研究 [J]. 铁路计算机应用, 2009, 18 (7): 1-4.

责任编辑 方 圆