

悬挂式轨道交通箱型轨道梁巡检车的 主动安全系统设计*

杨涛^{1,2} 罗正文^{1,2} 李凯^{1,2} 袁影^{1,2} 吴柏强^{1,2} 孙付春¹ 王孔明³

(1. 成都大学机械工程学院, 610106, 成都; 2. 成都海逸机电设备有限公司, 610107, 成都;

3. 中铁二院工程集团有限责任公司科学技术研究院, 610031, 成都//第一作者, 硕士研究生)

摘要 悬挂式轨道交通系统巡检车主动安全系统运用安全激光扫描仪和速度控制模块,能够测得距巡检车 1.5 m 以内的障碍物,并发出警报提醒驾驶员减速。该系统在 1.2 m 以内测到障碍物即向 PLC(可编程逻辑控制器)发出危险信号,并自动控制电机制动。仿真结果表明,巡检车正常行驶过程中,遇到突发状况时,经过大约 0.34 s,滑行 0.8 m 即可停稳。在中车青岛四方机车车辆有限公司悬挂式单轨试验线上进行现场测试时,该系统顺利通过了安全测试,验证了该主动安全系统的准确性和可靠性。巡检车主动安全系统能够有效避免事故发生,符合巡检车安全运营要求。

关键词 悬挂式轨道交通; 箱型轨道梁; 巡检车; 主动安全系统

中图分类号 U216.61; U232

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.04.016

Active Safety System Design of Box-type Track Girder Inspection Vehicle for Suspended Rail Transit

YANG Tao, LUO Zhengwen, LI Kai, YUAN Ying, WU Baiqiang, SUN Fuchun, WANG Kongming

Abstract By using the safety laser scanner and the speed control module, the active safety system installed on the suspended rail transit inspection vehicle can detect obstacles within 1.5 m of the inspection vehicle and alert the driver to decelerate. If the obstacle is within 1.2 m, the system will send out a danger signal to the PLC (programmable logic controller) and automatically control the motor braking. A simulation result shows that in case of unexpected conditions while in normal patrol, the vehicle can stop after about 0.34 seconds and glide only 0.8 m. The system has passed safety test smoothly when tested on the hanging monorail experimental line of Qingdao Sifang Locomotive and Vehicle Co., Ltd., the result verifies the accuracy and reliability of the active safety system. Since

the system can avoid possible accidents effectively, it meets the requirements of safe operation for patrol vehicles.

Key words suspended rail transit; box-type track girder; inspection vehicle; active safety system

First-author's address College of Mechanical Engineering, Chengdu University, 610106, Chengdu, China

悬挂式轨道交通系统在国内属于全新制式的城市轨道交通系统,其轨道梁的表面缺陷检测及综合维修也还处于技术空白阶段。悬挂式轨道交通系统巡检车能在轨道梁内完成巡检工作。由于巡检车工作环境特殊,且轨道内部的电力设备、通信设备较多,因此对巡检车主动安全系统的研究与设计有助于避免轨旁设备被撞坏,对保证人员安全以及保障整个交通系统的正常运营有重大意义。

1 箱型轨道梁巡检车

悬挂式轨道交通轨道梁采用底面开口的钢制箱梁结构,内轮廓尺寸如图 1 所示。车辆悬挂于箱型轨道梁(以下简为“箱梁”)下方。走行轮支撑起车辆并在箱梁上行驶,导向轮沿箱梁内侧面向行走^[1-2]。箱梁内部空间狭窄、电力与通信设备多、光照差等不利于人工检测因素较多,需要能自动驾驶的巡检车进入到箱梁内部代替人工完成箱梁的巡检作业。巡检作业内容主要包括轨道裂纹检测、锈迹检测、轨道限界检测。巡检车要能及时反馈缺陷点位置,并能载人现场维修,此外,在遇突发情况时还能兼具运输功能。

巡检车主要由伺服电机、离合器、工控机、导向轮、走行轮、检测机构及其他电器设备组成。巡检车底盘布置情况如图 2 所示。箱梁内部安装有大量

* 成都市科技惠民项目(2016-HM01-00352-SF)

的电力与通信设备,还存在底部开口处进入的异物。巡检车行驶时能及时停车,以避免与这些设备或异物相撞,并完成巡检作业。

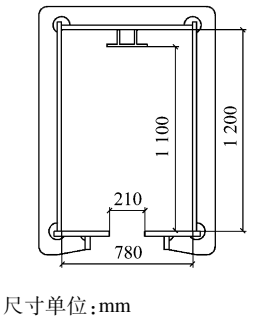


图1 箱型轨道梁断面图

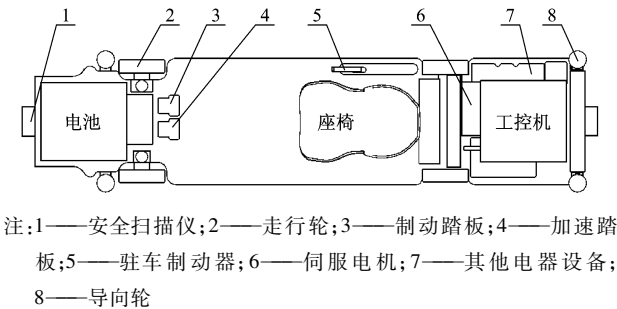


图2 巡检车底盘布置图

2 巡检车主动安全系统设计

2.1 总体设计

车辆主动安全系统一直是学者研究的热点之一。文献[3]利用MSP430设计了智能车主动安全系统。文献[4]基于传感器设计了汽车主动安全系统。文献[5]基于CCD图像处理技术设计了汽车主动安全系统。文献[6]研究了在崎岖山路行驶的汽车主动安全技术。

主动安全技术是指预防车辆发生事故的安全保障技术,强调具备提前感知车辆安全状态并及时采取合适控制的能力,从而实现预防或避免事故发生的目的^[12]。

一般情况下,传感器在检测到车辆有发生事故的趋势时,会自动发出报警信号及危险信号指令至控制中心;再由控制中心操纵制动系统或转向系统等措施来防止事故发生。

巡检车主动安全系统架构(如图3所示),采用了1套安全扫描仪和1套PLC(可编辑逻辑控制器)控制系统,包含安全检测与速度控制两个模块。主动安全系统规定安全扫描仪扫描区域出现障碍

物时继电器触点断开。故PLC一旦监测到继电器触点断开(表示前方存在障碍物),就应即向伺服放大器发送紧急制动命令,从而控制伺服电机。

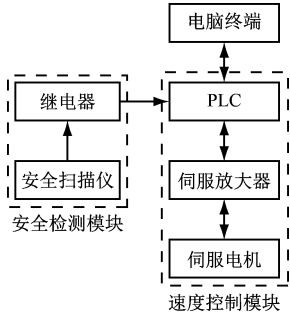


图3 巡检车主动安全系统架构

2.2 安全检测

2.2.1 安全扫描仪

本研究选择的是SZ-01S安全激光扫描仪。其原理是利用TOF(Time of Flight)法进行距离测量。同时,内部反射镜以3.3 r/s的速度旋转,实现以0.36°的间距,在左右各135°的范围内进行径向测量。试验表明,扫描区域内直径大于30 mm的物体,甚至是糙面黑色的障碍物,均能够被检测出来。此外,该设备还具有体积小、质量轻、检测精度高、便于设置任意形状的保护区域与警戒区域等优势,特别适合于箱梁内部安全检测。

巡检车安全扫描区域见图4。左右两侧扫描宽度为箱梁底部轨道内轮廓宽度(约780 mm)。扫描距离为0~1.2 m的范围为危险区域,1.2~1.5 m的范围为报警区域,大于1.5 m的区域为不扫描区域。

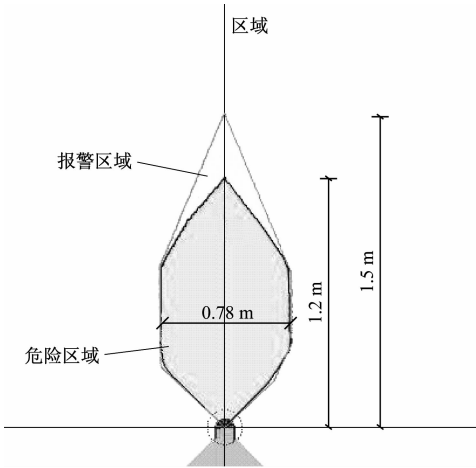


图4 安全扫描仪扫描区域图

2.2.2 检测过程

安全检测过程见图5。在巡检车行驶过程中,

安全扫描仪始终发射激光检测巡检车前方和后方是否存在障碍物,并及时反馈信号。警报区域一旦出现障碍物,安全扫描仪就立即发出警报信号,提醒驾驶员减速。若障碍物出现在危险区域内,安全扫描仪则发出危险信号,并由 PLC 自动控制电机减速。

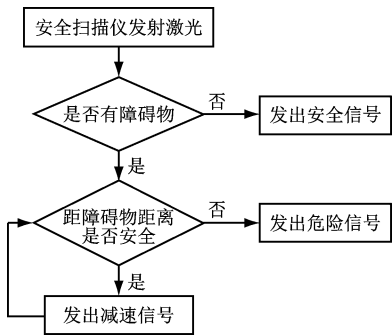


图 5 安全检测流程图

2.3 速度控制

速度控制模块工作流程见图 6。由安全扫描仪发出的减速信号与危险信号经继电器传输到 PLC 中。之后,驾驶室内相应的警报灯开始闪烁;同时,车速传感器将当前车速信息传输到 PLC 中,并由 PLC 判断巡检车当前是否处于静止状态。若巡检车当前处于静止状态,则伺服电机不启动,巡检车无法行驶。也就是说,在巡检车静止状态下,如巡检车行驶方向危险区域内存在障碍物,则巡检车无法起动;若当前车速不为 0(巡检车处于非静止状态),则 PLC 发出紧急制动信号,经伺服放大器控制

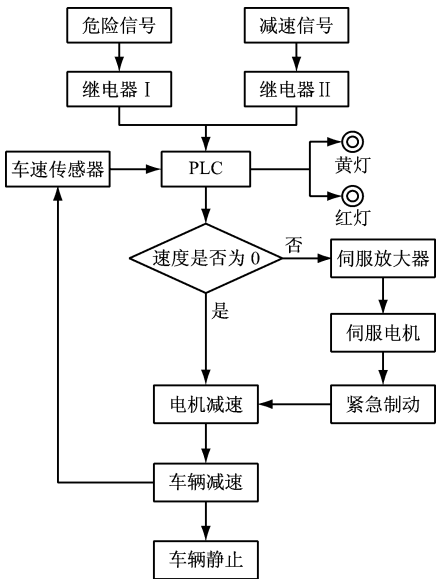


图 6 速度控制模块工作流程图

伺服电机按给定的减速曲线减速到 0,再复位主轴电磁制动器,以保证巡检车能及时停稳。

3 系统仿真试验

3.1 初始条件

在实际现场试验中,难以直接测出巡检车测到障碍物后的制动距离、制动时间及速度变化等关键指标。因此,本研究对该主动安全系统做仿真分析,从而得到理论制动距离、制动时间等关键参数。根据巡检车运行要求规定,最高车速 $v_{\max} = 10 \text{ km/h}$,巡检车作业时以速度 $v_0 = 5 \text{ km/h}$ 匀速行驶,制动距离 $d < 1 \text{ m}$ 。忽略车轮与轨道梁之间的摩擦阻力、空气阻力、侧风、驾驶员主动踩刹车等外在因素。当安全扫描仪检测到障碍物并发出危险信号时,查阅伺服电机产品手册可知该伺服电机加速及减速曲线均符合正余弦函数规律,即

$$v_t = v_{\max} \cos(\omega t + \varphi) \tag{1}$$

式中:

- v_t —— t 时的车速;
- ω ——速度变化曲线的角速度;
- t ——制动时间;
- φ ——速度变化的相位差。

当 PLC 发出紧急制动命令时,巡检车速度仍为 v_0 。因此,有

$$v_0 = v_{\max} \cos \varphi \tag{2}$$

由式(2)得出, $\varphi = \pi/3$ 。

考虑到巡检车制动时的平顺性及伺服电机制动性能,取 $t = 1 \text{ s}$ 。在式(1)中,1 s 正好为 1 个余弦函数曲线的 $0 \sim \pi/2$ 曲线段,故周期 $T = 4 \text{ s}$,得 $\omega = 2\pi/T = \pi/2$ 。将 ω, φ 代入式(1)得,巡检车减速函数为:

$$v_t = v_{\max} \cos\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{3}\right) \tag{3}$$

对式(3)进行积分,就可得到巡检车制动过程位移函数:

$$s_t = \frac{2v_{\max}}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{3}\right) \tag{4}$$

3.2 仿真分析

为验证巡检车应对紧急情况的能力,运用 LabVIEW 软件建立了巡检车主动安全系统仿真模型,其仿真程序框图如图 7 所示。

巡检车紧急制动仿真结果见图 8。巡检车接收到危险信号时,立即自动采取紧急制动措施。在没

有驾驶员干扰的情况下,经过约 0.34 s,巡检车就能够自动停下。制动距离为 0.85 m,符合巡检车运行要求。

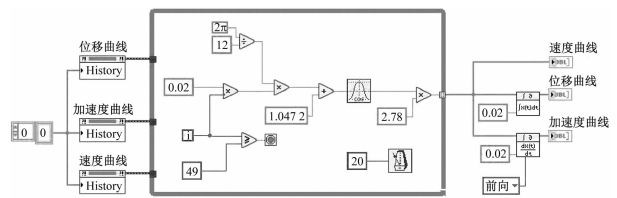


图 7 巡检车安全系统仿真程序框图

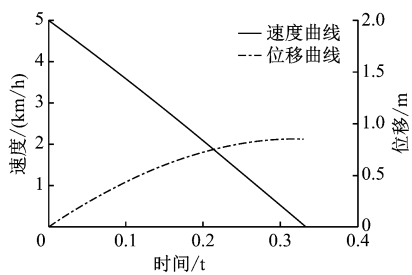


图 8 巡检车紧急制动仿真曲线

4 现场测试

巡检车在中车青岛四方机车车辆股份有限公司悬挂式单轨试验线上进行了测试。试验线空间狭窄、无照明设备,并且轨道悬挂于半空中,人员难以到达现场,给试验增加了一定难度。现场测试时,选取轨道上的一段直线段为该试验的试验轨道,在该轨道上固定一张硬纸板来模拟障碍物。巡检车在距离该障碍物 10 m 处自动驾驶,分别从 0 km/h 加速到 3 km/h、5 km/h、6 km/h、7 km/h 后匀速驶向障碍物。检测到障碍物后,巡检车立即紧急制动。待巡检车停稳后测量巡检车头部与障碍物之间的距离 s ,测试结果见表 1。

表 1 巡检车试验线现场测试结果	
$v_0/(km/h)$	s/mm
3	900
5	400
6	10
7	

由表 1 可知,在现场测试过程中,当 $v_0 = 5\text{ km/h}$ 时, s 为 0.4 m,即巡检车实际刹车距离约 0.8 m;巡检车速度超过临界速度(6 km/h)时,即与障碍物相撞。测试结果与理论值基本相符,该主动安全系统符合巡检车辆运行要求。

5 结语

经过仿真分析,巡检车以正常作业速度匀速行驶时,该主动安全系统理论制动时间为 0.34 s,理论制动距离为 0.85 m。实际运行过程中存在摩擦阻力、空气阻力以及驾驶员接收到减速信号或者危险信号后主动制动等情况,巡检车的制动时间、制动距离都将会小于理论值。在中车青岛四方机车车辆有限公司试验线上现场测试时也验证了这一点,实际制动距离大约 0.8 m。安全扫描仪的危险报警距离为 1.2 m,也大于理论制动距离 0.85 m,驾驶员有足够的反应时间,满足巡检车运营需求。

主动安全系统是预防巡检车发生碰撞的安全保护技术,能够有效地保护巡检车自身、驾驶员,以及轨道梁周边电力与通信设备的安全,为悬挂式单轨交通系统的正常运行提供有效保障。

参考文献

[1] 薄海青. 悬挂式单轨交通车辆检修工艺及关键设备探讨[J]. 铁道标准设计, 2013(1):121.

[2] 张峻领, 张茂帆, 王孔明. 悬挂式轨道交通车辆检修工艺及装备研究[J]. 现代城市轨道交通, 2016(5):27.

[3] 隋涛, 朱威强, 冯川, 等. 基于 MSP430 的智能车主动安全系统设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2016(12):259.

[4] 陈立娇, 许勇. 基于传感器的汽车主动安全设计[J]. 传感器与微系统, 2016(9):106.

[5] 李如, 韩锋钢, 李明. 基于 CCD 图像处理技术的汽车主动安全系统的研究[J]. 赤峰学院学报(自然科学版), 2013(20):13.

[6] 陈沅江, 付琴, 程刚. 基于山区公路线形判断的主动安全技术研究[J]. 中国安全科学学报, 2012(2):140.

[7] 杨平, 鲍玉龙, 曾永平, 等. 悬挂式单轨交通系统桥梁结构的选型设计[J]. 铁道工程学报, 2016(7):30.

[8] 曾令会, 王孔明, 刘文龙, 等. 两种悬挂式单轨车辆动力学性能对比分析[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2016(4):400.

[9] 刘文龙, 徐延海, 吴晓, 等. 悬挂式单轨交通限界计算研究及方法分析[J]. 铁道机车车辆, 2016(6):90.

[10] 高嵩, 王孔明, 刘文龙, 等. 曲线段车速和轨距对悬挂式单轨车辆导向力影响研究[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2016(3):281.

[11] 宋翔, 李旭, 张为公, 等. 汽车主动安全关键参数联合估计方法[J]. 交通运输工程学报, 2014(1):65.

[12] 李磊, 张茂帆, 李芾, 等. 悬挂单轨交通限界计算方法研究[J]. 铁道机车车辆, 2016(1):119.

(收稿日期:2017-06-05)