

平衡重式叉车满载稳定性控制策略研究

叶剑刚¹ 王玉龙¹ 徐 峰²

1.衢州市特种设备检验中心 浙江 衢州 324000

2.衢州职业技术学院 浙江 衢州 324000

【摘 要】：为了能够有效提高平衡重式叉车在满载条件下急转弯的横向稳定性，相关人员对叉车的动力特点进行全面的分析，并利用软件建立了某种类型的平衡重式叉车的横向动力学相关的模型。同时结合实际情况设计出一种主动后轮转向控制器，通过该设备的应用能够有效的对叉车的主动后轮转向进行控制；通过联合仿真计算，叉车实际运行的稳定性进行试验，通过试验结果可以发现：所设计出来的主动后轮转向控制器具有非常快的反应速度，在实际应用的过程中能够有效的减少叉车的急转的情况下所产生的横向的角速度以及倾斜角度，同时还能够有效的提高叉车实际运行的稳定性；叉车在满载条件下急转，具有较强的稳定性与安全性，在该过程中产生的倾斜角度以及角速度都明显的下降。

【关键词】：平衡重式叉车；横向稳定性；转向

Research on Full Load Stability Control Strategy of Balanced Heavy Forklift Truck

Jiangang Ye¹, Yulong Wang¹, Feng Xu²

1.Quzhou Special Equipment Inspection Center Zhejiang Quzhou 324000

2.Quzhou Vocational and Technical College Zhejiang Quzhou 324000

Abstract: In order to effectively improve the lateral stability of the balanced heavy forklift truck in the full load condition of sharp turn, the relevant personnel of the forklift truck dynamic characteristics of comprehensive analysis, and the use of software to establish a certain type of balanced heavy forklift truck lateral dynamics related model. At the same time, an active rear wheel steering controller is designed according to the actual situation. Through the application of this device, the active rear wheel steering of forklift truck can be effectively controlled. Through the joint simulation calculation, the actual operation stability of forklift truck is tested. The test results can be found: The design of the active rear wheel steering controller has a very fast reaction speed, in the actual application process can effectively reduce the forklift in the case of sharp turn of the lateral angular velocity and tilt Angle, but also can effectively improve the actual operation of the stability of the forklift; The forklift truck turns sharply under full load condition, which has strong stability and safety. In this process, the inclination Angle and angular velocity are obviously decreased.

Keywords: Balanced heavy forklift; Lateral stability; Steering

国外的研究人员采用了不同的控制方法对车叉车进行了控制，有效的提高了叉车实际运行的稳定性与安全性。但是根据实际情况来看，平衡重式叉车在满载急转情况下的抗侧翻能力的相关研究还比较少，但是该问题的研究却是非常重要的作用。目前我国研究人员逐渐的重视平衡重式叉车的研究，具体的研究内容为以下几点：第一，研究人员根据实际情况提出了控制叉车侧翻的方法，具体对叉车底盘系统的动力学特点进行分析，通过采用神经网络逆系统的方法设计出可以实现叉车横摆力矩以及叉车转向协同控制的方法，并且经过试验发现该方法的控制效果较好；第二，研究人员根据叉车转向的实际情况建立了相应的动力学数字模型，并根据叉车实际运行的情况提出了对主动后轮转向进行控制的策略，并开展了仿真计算以及试验工作，通过该策略的应用有效的提高了叉车转向时的稳定性与安全性；第三，国外的研究人员采用了车辆行驶模拟器以及试验的方法，对平衡重式叉车在不同的结构参数条件以及不同的行驶速度下动力学相关参数的变化情况进行了研究与分

析，从而了解平衡重式叉车稳定性丧失的机理。研究人员对于叉车的研究对于提高叉车转向稳定性有着巨大的帮助。对于模型预测控制算法来说，其对于模型的准确性有着比较低的要求，该算法主要是对实际测量值与模型预估值之间进行对比与分析，最终能够计算出存在的误差，之后根据实际情况对预估值进行合理的调整，该方法被广泛的应用于非线性的控制工作中。本篇文章主要对某种类型的平衡重式叉车为例，通过相应软件的应用建立与之相关的动力学模型；一般情况下平衡重式叉车在满载条件下转向时会很容易出现侧翻等事故问题，造成严重的影响，为了解决此类问题，制定出能够对叉车主动后轮转向进行有效控制的策略。

1 平衡重式叉车动力学模型的建立

根据平衡重式叉车结构的相关参数，建立整体车辆的动力学相关模型，在模型建立的过程中主要的参数有很多，具体为表1所示。

表1 平衡重式叉车整车及转向系统参数表

参数	数值	参数	数值	参数	数值
整备质量/kg	4528	空载前轴荷/kg	2012	转向节臂长/mm	139
后轮轮距/mm	899	空载后轴荷/kg	2537	前后轴距/mm	1688
前轮轮距/mm	1056	满载后轴荷/kg	1003	转向主销距/mm	683
转向节初始角/(°)	60.6	满载前轴荷/kg	6536	转向连杆长/mm	131
质心中心距/mm	498	转向油缸偏距/mm	79.3		

为了对叉车在满载状态下急转弯的横向稳定性进行研究与分析,需要对模型进行一定的简化处理。用质心前轴以及后轴的质量来代表叉车整体的质量,对于车身的重要部件来说,对其进行格式转化处理之后在采用相应的软件进行适当的修改。叉车模型中的转向系统主要是有转向柱、液压油缸等多个转向机构共同构成,根据实际情况选取六个连接点,并建立相应的转向系统模型,具体选择的连接点的坐标为下表所示。

表2 转向机构连接点坐标

连接点	X 坐标	Y 坐标	Z 坐标
1	1685.000	-385.119	0
2	1695.053	-351.068	0
3	1733.256	-242.893	0
4	1733.256	242.893	0
5	1385.094	351.058	0
6	1684.000	386.120	0

2 平衡重式叉车满载急转的情况下对横向稳定性控制系统的设计

2.1 硬件设计

对于硬件设计而言,具体是对电子控制单元中的硬件进行设计,从中能够体现出平衡重式叉车稳定性控制系统的电路情况以及具体运行的流程,其中主要有模拟信号调节电路;驱动电路、故障诊断电路以及通信电路等等。

2.1.1 单片机以及最小系统的设计

在平衡重式叉车中所应用的横向稳定性控制系统,主要选用的是 MC9S12XS128 类型的单片机,将其当做控制器中最为核心的单元。这种类型的单片机具有非常高的性能,主要具有高效、运行效果强、能量消耗小、成本比较低等各种优势,因此被广泛的应用起来。其次,这种类型的单片机主要是由多个定位器、调制器、中断管脚等构成的,非常适用于车辆控制等工作中。对于最小系统而言,主要指的是保证处理器能够正常、稳定运行所需要具备的条件,其中主要有电源时钟、复位接口等。

2.1.2 硬件电路设计主要内容

(1) 对于车速信号调理电路而言,主要是由电压比较器、

隔离限幅电路等共同构成的,将车速相关的信号转变为能够被处理器所识别的脉冲信号,这种类型的信号具有非常高的准确性,将该信号传递给处理器,从而能够获取车辆速度相关信息。

(2) 对于模拟信号调理电路而言,主要是利用一阶低通滤波电路来将与叉车车辆横摆加速度、荷载量等各种相关的信号进行滤波处理,之后在利用稳定二极管来实现振幅,最后将其输送到单片机的接口处将其采集。(3) 对于开关信号调理电路而言,主要是处理货叉高度、车辆制动等相关的各种开关量信号,在经过处理之后量其输送到处理器的接口处进行采集。(4) 对于电磁阀驱动电路而言,主要是驱动电磁阀,从而将叉车左后轮以及右后轮的油缸所处油路的电压进行一定的调整,在此条件下,实现叉车的车架与后轴相互连接以及分离,最终改变叉车的支撑平面的形态,从原来的三角形变为梯形。(5) 对于故障诊断电路而言,该电路主要是通过传感器、最小系统等多个部分的实际运行情况,在发现故障问题之后就会自动的启动相应的程序,通过代码的形式将故障问题存储到相应的存储器中,同时亮起故障指示灯,以此来提醒车辆驾驶人员以及维修人员该系统出现了故障问题,从而便于及时处理。

2.2 软件设计

2.2.1 实时操作系统的设计

$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 是最常用的一种实时操作系统,发挥着非常重要的作用,其具有较强的可靠性、便于剪裁、源代码公开非常多的优点。具有嵌入式实时操作系统的平台能够很大程度的减少工作人员的工作量,能够让操作系统来处理一些较为复杂的调度工作,工作人员能够专注于模块功能等内容上,提高车辆电控单元开发的质量与效率,有效的减少产品开发所需的时间,同时还能够提高系统的可靠性,进而提高整体的综合效益。

2.2.2 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的移植

根据相关的规定与要求可以发现,在 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 移植的过程中,必须要能够提供与实际情况相关的代码文件,其中主要包括了 C 语言文件等等。

2.2.3 系统软件的设计

(1) 系统控制的方法。叉车在实际运行的过程中荷载会发生较大的变化,同时工况也会发生改变,因此对叉车稳定性的控制具有一定的难度。如果采用以往的控制方法来对叉车的横向稳定性进行控制,是无法满足实际要求的。模糊控制器在实际应用的过程中并不需要建立相应的模型,能够直接的根据工作人员的经验来制定出合理的控制方案,同时还能够使得整体的控制工作更加的简单,因此这种设备非常适用于叉车横向稳定性进行控制的过程中就采用了模糊控制的方法。模糊控制系统主要是由叉车横摆角速度以及侧偏角的模糊控制器共同构成的。其中控制器的隶属度函数主要为下图所示。

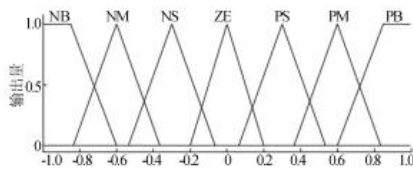


图1 隶属度函数

(2) 系统软件的主要结构。按照控制系统中各个软件的功能将其进行分类在,具体可以划分为以下部分:驱动层、任务层以及内核层,在系统实际运行的过程中,每一个部分都发挥着非常重要的作用。通过对叉车稳定性控制的要求进行全面的分析,具体设置了突发事件处理、数据信号的采集、电流输出的控制以及通信这几个任务,控制系统中主程序的具体流程为下图所示。

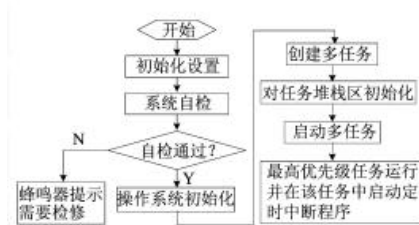


图2 系统软件主程序流程

(3) 系统中子程序设计。①在对信号进行采集的过程中,主要是对叉车横摆的加速度、侧偏角,叉车荷载量等各种相关的信号的采集,在采集中需要采用A/D转换器进行采集。而货叉的高度等开关量的信号可以直接的将单片机输入以及输出端口进行读取来获得。对于车速信号而言,需要对频率信号进行获取。②对于电流输出的控制来说,主要是利用不同的占空比的脉宽调制信号来对电磁阀的电流进行有效的控制,对液压缸的强度进行调节,在电流输出控制程序中具体需要对叉车横摆加速度、荷载量、行驶速度等相关的信号进行采集、处理与分析,将不同占空比的脉宽调制信号输出,对电磁阀的开度进行控制,同时对液压缸进行赠减压处理,在此条件下使得叉车的车架以及车桥的连接面可以从原来的三角形变为梯形,从而能够有效的提高叉车的横向稳定性。

根据所获取的叉车行驶的速度进入到与其相符应的处理子程序中,通过各个处理子程序来对叉车的荷载情况进行判

参考文献:

- [1] 刘显贵,郑从兴,林勇明.基于遗传算法的汽车底盘系统协调控制优化[J].机械设计与制造,2015(3):47-50.
- [2] 解云,徐彬.基于自适应障碍物识别的汽车主动防撞系统[J].机械设计与制造,2018(4):165-171.
- [3] 袁朝春,王桐,何友国,等.传感器感知盲区条件下智能汽车主动制动系统控制研究[J].农业机械学报,2020,51(2):363-373.
- [4] 王其东,王金波,陈无畏,等.基于汽车行驶安全边界的EPS与ESP协调控制策略[J].机械工程学报,2016,52(6):99-107
- [5] 张宝珍,阿米尔,谢晖.基于主动脉冲后轮转向的侧翻稳定性仿真与试验[J].汽车工程,2016,38(7):857-864,856.

基金项目:衢州市科技攻关指导性项目

项目编号:2021Z219

断,之后在进入到满载状态下以及空载状态下横向稳定性的控制的程序中,从而结合实际情况来对控制的参数进行合理的调整,在此工作结束之后,机内到侧倾处理子程序中,通过对叉车横摆的角速度数值以及叉车横向稳定的控制阈值的全面分析,能够获取输出的控制电流的数据参数,根据实际检测的结果来将控制电流输出,并对液压缸进行赠减压的处理,最终能够有效的实现对叉车横向稳定性的控制,保证叉车在满载的情况下稳定、安全的转向。

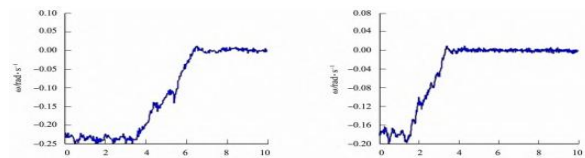


图3 叉车控制前后的横摆角速度变化

侧向加速度明显的下降,与原来相比降低的16.5%左右,而整体反应的时间一定程度的减少,与原来相比缩短了54%左右。叉车横摆角速度也一定程度的减少,与原来相比减少了26%左右,整体反应的时间也缩短了59%左右。根据试验工作的结果可以发现,通过预测模型的建立,叉车主动后轮的转向进行控制的方法,能够很大程度的减少叉车横摆的角速度以及侧向的加速度,提高了叉车运行的安全性与稳定性,具有非常好的控制效果。

表3 控制前后均方根值比较

动力学参数	无控制	模型预测控制	$\gamma/\%$
$\omega/\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$	0.0141	0.0270	22.16
$\text{am}\cdot\text{s}^{-2}$	0.3477	0.2281	32.55

3 结论

在模型预算方法的基础上设计出了一种对叉车的主动后轮转向进行有效控制的方法,并结合实际情况采用相应的软件建立了仿真模型。选取不同的行驶速度,对叉车满载状态下的运行情况进行了分析,最终发现,通过对叉车的主动后轮转向进行控制能够有效的保证叉车横向的稳定性,具有非常好的效果。通过开展试验工作,发现选用以上这种方法仍然能够提高叉车的稳定性,由此可见,上述方法能够有效的避免叉车出现侧翻问题。