

汽车挂车电磁制动器的控制系统*

刘韶庆¹ 周孔亢¹ 李仲兴¹ 韦超毅¹ 袁春元¹ 黄国兴²

(1. 江苏大学汽车与交通工程学院 镇江 212013;

2. 浙江亚太股份有限公司 杭州 311203)

摘要: 旅游挂车与主车的制动不协调是长期以来阻碍拖挂式房车发展的主要原因,电磁制动器的应用可有效地解决这一问题。研究电磁制动器的关键部件——制动器的控制系统,它可通过主挂车连接处的小变形信号来判断挂车所需的制动力。A/D 数据采集卡把从应变片采集到的模拟信号转化为数字信号,计算机将获取的数字信号进行运算处理,应用到制动器的控制算法中,得到的控制量作为定时/计数器的初始化值。定时/计数器的 8253 芯片被初始化后可以叠加形成两路输出的脉宽可调(PWM)信号。信号输出给半导体金属氧化物(MOS)开关控制电磁制动器的电压,从而实现对接挂车制动力的控制。电磁制动器的控制系统整车制动试验表明,可根据主车制动情况的变化实时控制挂车制动力。

关键词: 挂车 电磁制动器 控制系统

中图分类号: U467.493

0 前言

由于发展拖挂式房车的需要,欧美等国家曾在 20 世纪 40 年代前后开发出电磁制动器^[1],用来解决旅游挂车(房车)制动问题,但由于受当时电子技术的限制而发展滞缓。现代电子技术的飞速发展,为电磁制动器的研究提供了良好的平台,引起新一轮的电磁制动器研发热。旅游挂车由机动车(小型客车、轿车以及皮卡等)牵引,组成旅居列车。如果挂车采用电磁制动器,则可以通过电控系统来控制挂车的制动,进一步解决主挂车之间的制动协调,因此电控系统的性能优劣对电磁制动器的应用起着很大影响。

1975 年,美国专利(3909075)提出根据拖车和主车的减速度比产生一定频率和带宽的电脉冲信号来控制拖车。1977 年,美国专利(4033630)提出一种新型电子控制系统,第一控制信号服从于拖车制动压力,在超出其范围之后,还有第二控制信号直接联接制动器能源和制动器执行元件,以保证有效制动。1981 年,美国专利(4295687)用一个脉冲宽度调节器来控制制动信号,根据主车和拖车的质量关系调节两者的制动力比,制动器受拖车制动系压力或踏板力控制,提供了线性关系的拖挂车制动力,驾驶员踩下或松开制动踏板都会感觉比较平稳。1988 年,美国专利 4721344,介绍了一种电子控制器,通过比较控制信号与反映当前状态的脉冲信号来产生制动

器驱动信号,运用电力载荷传感器来调节控制回路的电压,实现控制器一体化。

国内也有部分汽车配件企业和一些中外合资企业涉及到了拖车电磁制动器及其零配件的制造,基本上采用国外的商业成品技术,产品绝大多数外销,但这些国内产品与目前国际同类产品的研究水平相比还有很大的差距。本文在对拖挂式房车制动状态进行动力学分析的基础上,以主挂车铰接点处拉压力信号为控制源,设计了采用电磁制动器的单车房车制动控制系统。

1 电磁制动器的结构

本文研究应用于挂车上的电磁制动器,这种挂车的电磁制动器属于鼓式摩擦型电磁制动器。制动器利用电磁阻力的原理将汽车动能转化为热量消耗掉,从而实现制动。电磁制动器结构^[2-3]如图 1 所示,

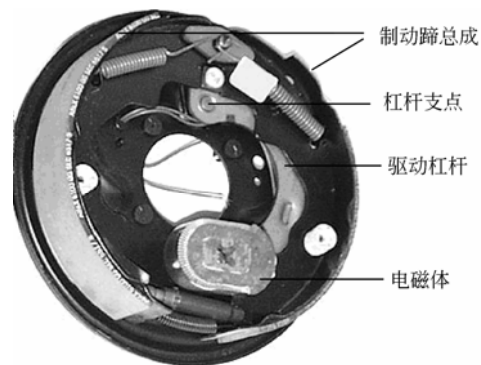


图 1 电磁制动器结构图

是在原来的鼓式制动器的基础上研制的。不同的是

* 浙江省科技厅攻关(2003c11018)和江苏大学博士创新基金(2005014)资助项目。20060705 收到初稿,20070516 收到修改稿

电磁制动器是利用电磁体与摩擦环的吸力带动制动杠杆让其绕支点转动，使摩擦蹄片张开压向制动鼓实现制动的。与传统的制动器相比，电磁制动器不需传动装置，采用电路控制代替传统的气路、油路控制，控制系统只需要控制电磁体的电流就可以控制制动力的大小，具有结构简单、响应快、易于联通及易于实现控制等特点。

2 控制系统的硬件设计

控制系统综合了主挂车相对转角变化以及联结轴拉压、扭转变形情况来判断主挂车间相互作用以及挂车制动情况，因此控制系统必须具备数据采集、运算、处理和输出控制信号，以及调节制动力等多种功能。硬件的选择就是围绕着满足这几部分功能要求来进行的。数据采集由应变片，转角变阻器和应变仪来实现，电子控制器用来进行数据的计算和处理并输出控制信号，长效管开关根据控制信号来控制调节电磁体的电流，调节制动力^[4]。电磁制动器控制系统整体结构如图2所示。

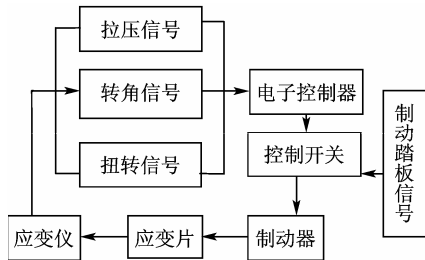


图2 电磁制动器控制系统整体结构图

2.1 电子控制器

电子控制器是电磁制动器控制系统的核心部分，控制器集成了数模转换，数据分析和运算功能，能够根据采集到的信号形成控制脉冲，发出控制信号，实现对挂车制动力的闭环自反馈控制。主要硬件是由计算机、可插拔HY-6210定时/计数板、HY-6022A/D D/A数据采集板和输入、输出保护电路组成，控制器示意如图3所示。图3中MOS表示半导体金属氧化物。

2.1.1 数据采集和转化

应变片和转角变阻器在经过标定后可以将主车和挂车的相互作用以模拟信号的方式表述出来，然后再通过应变仪进行滤波和放大。处理过的模拟信号是由HY-6022A/D D/A数据采集板来采集和数模转换的，该板具有32路单端/16路双端差动模拟输

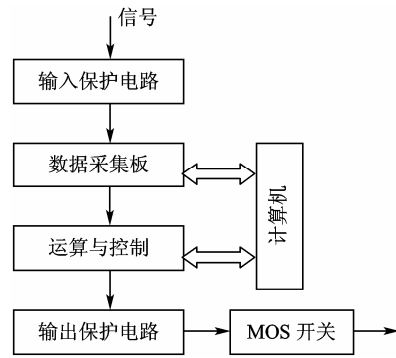


图3 控制器示意图

入通道，模拟通道建立时间为30 μs，A/D转换时间为10 μs，分辨率为12 Bit。本系统选择三路单端模拟输入，采用查询方式进行数据的传输，电压输入范围为-5~+5 V，增益为1，通过跳线实现。经过数模转化后得到的数字信号就作为控制运算的原始信号。

2.1.2 控制信号的运算和输出

计算机通过程序对从数据采集板获取的数字信号进行运算和处理，根据控制算法计算出挂车左右制动轮需要加载的制动力，再以控制字的方式读出。控制信号的输出就是通过HY-6210定时/计数板来实现的，该板采用了一块8253定时计数芯片和一块8255可编程数字量输入/输出芯片，具有3个可编程16位定时计数器和24路可编程数字量输入输出，内部晶振频率为2 MHz。控制信号通过改变占空比对房车左右轮制动器的制动力进行独立控制，分别输出两路信号，控制开关的工作频率设定为300 Hz，定时计数器输出信号频率为300 Hz脉宽可调(PWM)脉冲信号。这里通过8253的三个计数器合成两路输出的PWM脉冲信号，外部管脚连接如图4所示。计数器0用来分频，它的频率作为基频，即设定为300 Hz，选择外部门控内部时钟。计数器1、2以单稳脉冲方式工作，形成脉冲信号分别从OUT1、OUT2通道输出，选择内部门控内部时钟，无中断，跳线时作出相应选择。

2.2 保护电路

保护电路有输入和输出保护，主要防止烧坏PC机和两块板卡。输入保护是在信号源和采集卡之间接入+15 V的双向稳压管，当输入的模式信号超过15 V后稳压管开启，高压信号流失从而防止烧坏数据采集卡。输出保护是在输出卡和半导体金属氧化物(MOS)管之间接入光隔，防止制动器的电源耦合反烧计算机和定时/计数卡。

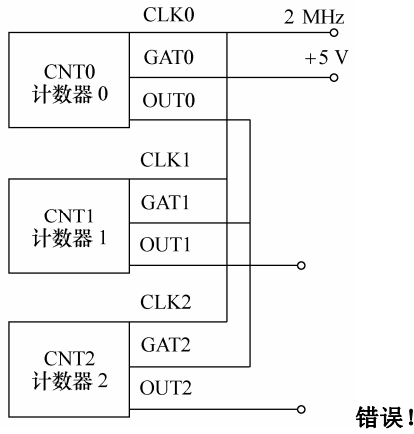


图 4 计数器合成 PWM 信号管脚连接图

3 电磁控制器的软件设计

3.1 控制策略

如果牵引车与挂车之间的相对减速度差别太大,则牵引车就必须承受挂车的部分制动力(或者反过来),车节上附着率不同,因而制动距离就要延长,同时车节之间将会出现轭杆力。如果挂车本身的相对减速度小于牵引车,轭杆力是压力,牵引车由于横向分力而偏向一侧,整个列车趋于折叠;如果挂车本身相对减速度比较大,挂车车轮可能抱死,挂车侧滑偏离车道。

由于电磁制动器工作原理的特殊性,本文拟采用通过牵引车和房车间的接触力作为房车制动的控制源,通过接点处的接触力对房车的制动力进行可变控制。牵引车和房车间相互作用力分析如图 5 所示。

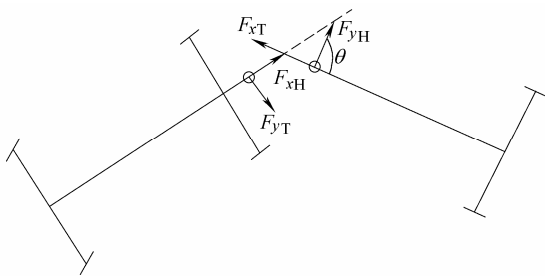


图 5 牵引车和房车间相互作用力分析

设主车的地面制动力为 F_A , 房车的地面制动力为 F_B , 房车接点处的纵向力为 F_{xT} , 横向力为 F_{yT} , 牵引车接点处的纵向力为 F_{xH} , 横向力为 F_{yH} 。牵引车纵向和房车纵向方向夹角,即相对横摆角为 θ ,如图 5 所示。

纵向方向的平衡方程为

$$\frac{F_A + F_{xH}}{m} = \frac{(-F_{xT} + F_B) \cos \theta + F_{yT} \sin \theta}{m_t}$$

式中 m, m_t ——主车和房车的质量

则

$$F_B = \frac{m_t(F_A + F_{xH}) - m(F_{yT} \sin \theta - F_{xT} \cos \theta)}{m \cos \theta}$$

为了保持主挂车之间的拉压力为零,此时设房车上制动力为 F'_B , 则可得

$$\frac{F_A}{m} = \frac{F'_B \cos \theta}{m_t}$$

即

$$F'_B = \frac{m_t F_A}{m \cos \theta}$$

需要增加的制动力

$$\Delta F_B = F'_B - F_B =$$

$$\frac{m_t F_A}{m \cos \theta} - \frac{m_t(F_A + F_{xH}) - m(F_{yT} \sin \theta - F_{xT} \cos \theta)}{m \cos \theta}$$

即

$$\Delta F_B = \frac{-m_t F_{xH} + m(F_{yT} \sin \theta - F_{xT} \cos \theta)}{m \cos \theta}$$

由于

$$F_{xH} = -F_{xT} \cos \theta + F_{yT} \sin \theta$$

所以

$$\Delta F_B = \frac{m + m_t}{m} (-F_{xT} + F_{yT} \tan \theta)$$

对纵向力平衡分析过程如下。

若房车上原有制动力为 F_B , 差值制动力为 ΔF , 横摆力矩平衡方程为

$$F_{yT} c - (F_B + \Delta F) \frac{r}{2} + (F_B - \Delta F) \frac{r}{2} = 0$$

$$\Delta F = \frac{c}{r} F_{yT}$$

所以左轮增加的制动力为

$$\Delta F_{B1} = \frac{\Delta F_B}{2} + \Delta F$$

右轮增加的制动力为

$$\Delta F_{B2} = \frac{\Delta F_B}{2} + \Delta F$$

即

$$\Delta F_{B1} = \frac{m + m_t}{2m} (-F_{xT} + F_{yT} \tan \theta) + \frac{c}{r} F_{yT}$$

$$\Delta F_{B2} = \frac{m + m_t}{2m} (-F_{xT} + F_{yT} \tan \theta) - \frac{c}{r} F_{yT}$$

式中 r ——房车轴轮距

c ——牵引车和房车铰接处到房车质心的纵向距离

$\Delta F_{B1}, \Delta F_{B2}$ 即为转弯制动时房车左右轮所需要增加的理论制动力,主要和房车铰接点处的纵向力 F_{xT} , 横向力 F_{yT} 和主挂车相对横摆角 θ 有关。直线制动时横摆角 θ 和横向力 F_{yT} 为零,左右轮所需制

动力相同。

3.2 程序设计

控制系统的程序采用 Turbo C 语言^[5]来实现的，在 Windows 98 状态下运行，程序设计流程如图 6 所示。程序采用模块化方式编写，包括初始化模块、数据采集模块、运算模块、数制转换模块和输出模块，主要功能为对采集板和定时计数板的初始化，数字滤波，数据采集和处理，对挂车左右轮制动力信号的控制运算和信号输出。

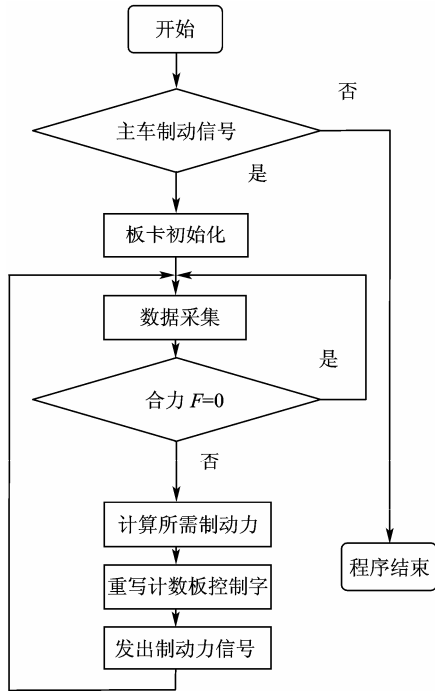


图 6 程序设计流程图

由于 8253 的三个计数器都采用内部门控，通过对 8255 写控制字使其输出置高来保证 8253 的内部门控信号为高电压(+5 V)。

初始化模块定义了板卡的工作方式和输出信号的形式，用 C 语言描述如下

```

outp(base+3,0x34);
outp(base+3,0x72);
outp(base+3,0xb2); /*计数器的工作方式定义*/
outp(base+0,0x0b);
outp(base+0,0x1a);
outp(base+1,0x05);
outp(base+1,0x0d);
outp(base+2,0x05);
outp(base+2,0x0d); /*计数器的初始化*/

```

当制动踏板踩下后，给控制器一个触发信号，程序开始运行。首先对板卡进行初始化，然后进行数据采集和运算，根据运算结果的不同发出不同的判断信号，控制器输出信号判断依据如图 7 所示。

控制信号是以主挂车铰结点的力信号作为控制源的，获取的几路信号经过控制策略的相应算法运算后得出合力 F ，当 F 为零时，制动器控制系统发出低电平信号，即制动器不制动；当 F 不为零时，则根据 F 计算出挂车制动器上所需的制动力，转换成占空比作为控制器的初始值，输出两路 300 Hz 的 PWM 信号控制电磁制动器中电磁体的电压，实现对制动力的实时调整。

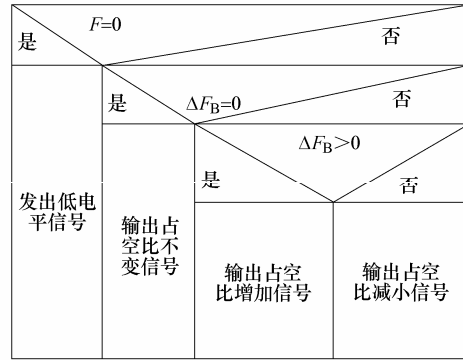


图 7 信号判断图

4 试验结果

本文所研究的电磁制动器控制系统被应用于挂车上，笔者随后进行了整车制动试验。拖车采用液压双管路制动系统，挂车采用电磁制动系统，在行车过程中，当主车制动踏板踩下后，挂车制动器的控制系统开始作用。图 8 即为主挂车在 40 km/h 匀速直线运动状态下开始缓慢制动的试验情况，图 9 为制动时主挂车连接处拉压力变化曲线。数据是在主车制动踏板踩下后采集到的主车和挂车连接处的拉压力变化情况，正的为压力。



图 8 主挂车制动试验

由图 9 可见，主车制动时，连接处压力增加，增加到约 200 N 后处于稳定状态，说明挂车制动器响应，减小了由主车制动造成的压力增加，然后是压力迅速减小直到接近零，此时主挂车的速度和减速度相同，所以拉压力几乎为零。房车的制动系统

能够及时响应主车制动, 实时调整挂车的制动力。

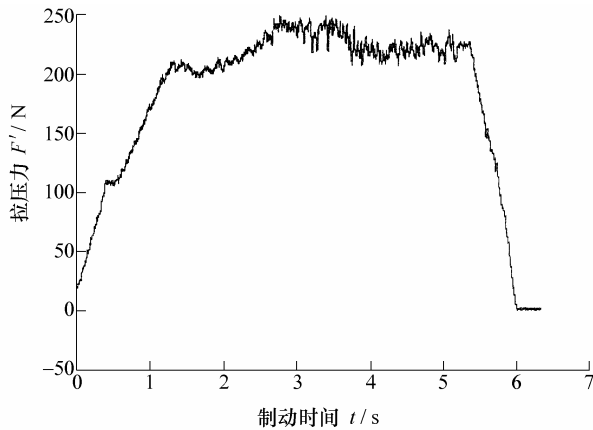


图 9 制动时主挂车连接处拉压力信号图

5 结论

(1) 在对拖挂式单轴房车进行动力学分析的基础上, 提出了采用电磁制动器的单轴房车制动控制策略。

(2) 设计的闭环控制系统可以实时调整房车的制动力大小, 使房车制动力能够根据主车的制动状态来自行调整, 满足了主挂车制动协调的要求, 提高了拖挂式房车的制动安全性。解决了一直以来阻碍旅游挂车发展的主挂车制动协调问题。

(3) 控制系统对单轴房车两轮的制动力实现了单独控制, 能够满足转弯差速制动的制动力分配要求, 为差速制动的进一步研究提供了基础。

目前, 对电磁制动器及其电控系统的研究还处于试验阶段, 主要的研究和应用还是针对单轴房车的制动控制。系统的整体响应时间和稳定性在今后的研究中还需要进一步的投入, 但是电磁制动器由于其较好的可控性和连接方便、能耗低等优点, 在拖挂式房车上将具有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- [1] WILLIAM F P, IRVINGTON N J. Assignor to empire electric brake corporation, a corporation of delaware electromagnetically controlled apparatus and method: US, 2273065 [P]. 1942-02-17.
- [2] LI W H, DU H. Design and experimental evaluation of a magnetorheological advanced manufacturing[J]. Technology, 2003, 21: 508-515.

- [3] 魏巍, 钱剑安. 新型电磁制动器的挂车防抱死控制及其仿真[J]. 汽车科技, 2004, 11(6): 27-30.
- [4] 尹建华, 张惠群, 刘鲁源, 等. 微型计算机原理与接口技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [5] 江义华. C/C++完美演绎[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.

CONTROL SYSTEM OF ELECTROMAGNETIC BRAKE USED ON TRAILER

LIU Shaoqing¹ ZHOU Kongkang¹ LI Zhongxing¹
WEI Chaoyi¹ YUAN Chunyuan¹ HUANG Guoxing²
(1. School of Automobile and Traffic Engineering, Jjiangsu University, Zhenjiang 212013;
2. Asia-Pacific Machine and Electronic Co. Ltd., Hangzhou 311203)

Abstract: The disharmonism of brake system between the travel-trailer and the car is the main reason which has blocked the development of travel-trailer for a long time. The application of electromagnetic brake can solve that problem well. The control system of electromagnetic brake is studied. The brake system can recognize the magnitude of the braking force which the trailer needs by the tiny deform of the joint between trailer and car. Analog signals collected by strain gages are translated into digital signals by A/D board. Computer operates the digital signals with control arithmetic and the result is used to initialize timing/counter board. After being initialized, the 8253 CMOS of timing/counter board can output two routes pulse width modulation (PWM) pulse signals. The signals are exported to metal-oxide-semiconductor (MOS) switch to control the voltage of electromagnetic brake. Then the braking force of trailer can be controlled. Experimentation proves that the control system can adjust trailer's braking force in time.

Key words: Trailer Electromagnetic brake Control system

作者简介: 刘韶庆, 男, 1979 年出生, 博士研究生。主要研究方向为车辆动态性能分析及安全控制。

E-mail: ujslshq@163.com

周孔亢, 男, 1938 年出生, 教授, 博士研究生导师。主要从事车辆动态性能分析及安全控制、车辆运输管理及技术经济分析方面的研究工作。

E-mail: zkk@ujs.edu.cn