

## CAN 总线技术在车辆悬架动态应力测试中的应用

Application of CAN Bus Technology in Dynamic Stress Test for Vehicle Suspension

罗 佳 孙运强

(中北大学机电工程学院,山西 太原 030051)

**摘 要:** 悬架系统是汽车的重要组成部分。针对悬架应力测试系统数据传输量大、成本高以及线路复杂等特点,提出了基于 CAN 总线技术的车辆悬架应力测试系统的设计方案。该方案采用 CAN 总线作为数据传输手段,对 CAN 进行试验验证。试验结果表明,CAN 网络节点能很好地满足动态应力测试的要求,验证了方案的可行性和正确性。

**关键词:** 悬架系统 CAN 总线 网络节点 动态应力 应力测试

**中图分类号:** TP206+.1 **文献标志码:** A

**Abstract:** Suspension system is one of the important parts of the vehicle. Aiming at the feature of large amount of data transmission for stress test system of vehicle suspension, high cost and complex wiring, the design scheme based on CAN bus technology is proposed for implementing the stress test system of vehicle suspension. By adopting CAN bus as the data transmission means, the capability of the stress test system is verified. The result indicates that the CAN network node well meets the requirement of dynamic stress test, and the feasibility and correctness of the design scheme are validated.

**Keywords:** Suspension system CAN bus Network node Dynamic stress Stress test

## 0 引言

车辆悬架系统是车辆正常行使的动力生命线。开展悬架系统零部件的动态参数实时实况测试技术研究,准确、可靠地对发动机悬架系统的动态参数进行监测,及时发现、解决问题,使发动机无故障运行,对保证车辆使用的可靠性是十分重要的<sup>[1-2]</sup>。而弯矩和扭矩等作为悬架系统的重要参数,可以使用户很准确地评价悬架系统的动力性能。通过对这些参数进行动态测试,可以考察发动机的工作情况以及悬架系统的性能,从而反映整个机械系统的工作状态。

本文根据实车前期的有限元分析结果及静态试验要求,在国家军用改装车试验场上对车辆的紧急制动、急转等方面进行了动态测试。当车辆以不同工况行使时,对测试车辆横臂的部分区域进行动态应力测试,并对测试结果进行对比,获取车辆悬架系统中重要的动态参数——弯矩和扭矩。

## 1 动态应力测试试验原理

## 1.1 各种工况下的应力分布

悬架的结构质量在很大程度上决定了整车质量的

好坏,同时决定其性能的好坏。现对某车辆悬架的结构质量在紧急制动/加速工况、转弯工况进行分析。其载荷值如表 1 所示。

表 1 各种工况下的载荷值

Tab. 1 Load values in different working conditions

工况	计算公式	载荷值/N	备注
紧急制动/加速工况	$F_{Bmax} = \varphi m_1 \frac{G_1}{2}$	41 677.5	$\varphi = 1, m_1 = 1.5$
转弯工况	$F_{Lmax} = \varphi \frac{G_1}{2}$	22 228.0	$\varphi = 0.8$

由于在对有限元模型施加载荷时,为了便于处理有限元模型,将载荷添加到车轮的中心处,因此需要对紧急制动/加速工况和转弯工况的载荷值进行简化处理。理论力学的基本知识主要有以下几条。

## ① 紧急制动/加速工况

紧急制动/加速时车辆的最大纵向力为  $F_{Bmax} = 41\ 677.5\ \text{N}$ ,那么简化到绕车轮中心  $\theta$  处的转动力矩为:

$$M_{Bmax} = F_{Bmax} R \quad (1)$$

式中: $R$  为车轮的滚动半径,厂家提供  $R = 579\ \text{mm}$ 。

代入数据后,纵向力  $F_{Bmax}$  绕车轮中心  $\theta$  处的转动力矩  $M_{Bmax} = 41\ 677.5 \times 579 = 24\ 131\ 272.5\ (\text{N} \cdot \text{mm})$ ,那么在车轮中心处施加的载荷为  $F_{Bmax}$  和  $M_{Bmax}$ 。

## ② 转弯工况

车辆转弯时车辆的最大横向力  $F_{Lmax} = 22\ 228\ \text{N}$ ,那

修改稿收到日期:2012-11-07。

第一作者罗佳(1981-),女,2008年毕业于中北大学车辆工程专业,获硕士学位,讲师;主要从事车辆电子技术、测控技术方面的研究。

么简化后绕车轮中心  $\theta$  处的转动力矩为:

$$M_{L_{\max}} = F_{L_{\max}} R \quad (2)$$

代入数据后,横向力  $F_{L_{\max}}$  绕车轮中心  $\theta$  处的转动力矩  $M_{L_{\max}} = 22\,228 \times 579 = 12\,870\,012 (\text{N} \cdot \text{mm})$ ,那么在车轮中心处施加的载荷为  $F_{L_{\max}}$  和  $M_{L_{\max}}$ 。

## 1.2 电测法基本原理

目前应用较广泛的动态应力分析法是电测法。电测法是以电阻应变片为传感器,将构件的应变或位移等机械量转换为应变片的电量(本测试中是电阻)的变化。通过测量应变片电量的改变了解构件的应力。电阻电测法具有灵敏度高、可进行现场测量,并能测量动态应力、应变等特点。但电测法只能逐点进行测量,不易获悉应力、应变的分布全貌,只能测量构件的表面应力、应变,了解应力、应变的变化趋势<sup>[3]</sup>。

应变仪是用来测量应变片的电阻变化率,并将其放大、输出及显示的仪器,它采用惠斯登电桥测量电路,惠斯登电桥如图 1 所示。

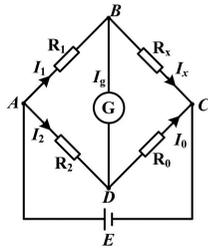


图 1 惠斯登电桥图  
Fig. 1 Wheatstone bridge

根据电桥平衡原理,电桥  $B$ 、 $D$  之间的电压输出为:

$$\Delta U = \frac{U}{4} \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \quad (3)$$

则得出应变仪的读数为:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\Delta U}{KU} = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4 \quad (4)$$

如果是单片应变片,则得到测量点的最大主应力为:

$$\sigma = E \bar{\varepsilon} \quad (5)$$

如果是直角应变片,则得到测量点的最大主应力为:

$$\sigma_{\max} = \frac{E}{2(1-\mu)} (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}) + \frac{\sqrt{2}E}{2(1+\mu)} \times \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{45})^2 + (\varepsilon_{45} - \varepsilon_{90})^2} \quad (6)$$

将测试得到的电压值通过校正曲线进行插值处理后,得到相应的单片应变片应变值,然后采用式(5)计算得到单片测试点的应力值。因此,若测试点为单片应变

片,则用式(5)计算得到的就是该点的最大主应力;若测试点为直角应变片,则将式(5)计算得到的每片应变值代入式(6)就是测试点测试得到的最大主应力值。

本文测试中测量弯矩采用四分之一桥电路接法,也就是采用同阻值的应变片代替图 1 所示电桥中标准电阻  $R_1$ 、 $R_2$  接入桥中,并将其中一片应变片作为测量电路的温度补偿。测量扭转采用全桥电路接法,也就是使用相同阻值、相同规格的应变片接入电桥中。

## 2 整体测试方案

整体测试方案结构图如图 2 所示。



图 2 测试方案框图

Fig. 2 Block diagram of the test scheme

被测量的弯矩和扭矩经应变片变成模拟电信号,通过应变片传输出来的电信号是很微弱的微伏级信号,一般为几十微伏,需要将信号进行调理和 A/D 转换,也就是将信号放大、滤波、整形、量化和编码;然后传到 PC 机中进行数据处理。按照传统的测试系统布线方式,总共有 4 个测点。在这 4 个测试点布置了两路通道,分别测弯矩和扭矩信号。每路通道都要放置放大器 and A/D 转换器,这就需要 8 条线路,这样将导致测试系统车身走线复杂、数据传输线多而且长,降低了数据传输的实时性和可靠性,因此无法满足系统的要求。为了解决这些问题,可以设想把这 4 个测试点挂接到一根传输线上,通过这根传输线来实现所有测试点之间的信息传输,利用 CAN 总线技术完全可以实现这个设想。

测试方案的基本思想是在系统中运用 CAN 总线技术将其控制的节点、复杂逻辑关系模块化,提高系统的可靠性。也就是说将车辆悬架的每个测点的位置分布成多个信号通道,将采集到的数据通过 CAN 总线技术传输。所有的传感器都通过自己开发的 CAN 节点连接到 CAN 网络中,利用 CAN 1 MHz 的传输速率与计算机通信,完成数据的传输。

## 3 CAN 节点通信方案

CAN 节点通信模块采用主从工作方式,由 4 个测试点和 1 个主控节点构成。测试点作为从节点,由 CAN 智能节点来实现。从节点主要负责接收主控节点的命令、向主控节点发送检测数据及反馈信息;主控节点用来向各从节点发送命令、接收处理各从节点发

送的检测数据以及反馈信息。总体框图如图 3 所示。

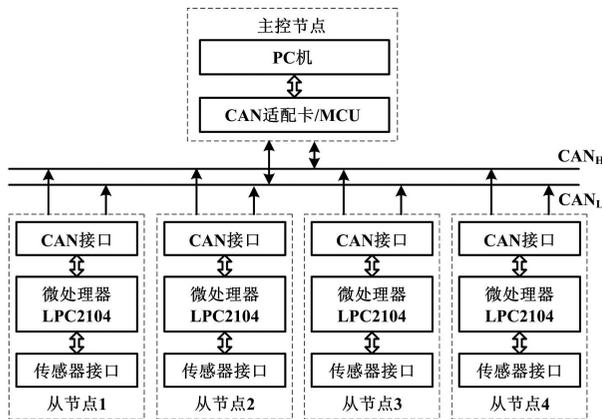


图 3 CAN 总体框图

Fig. 3 Overall block diagram of CAN

CAN 总线是数字传输总线,因此,CAN 通信模块中,轴上扭矩传感器和弯矩传感器采集的原始信号经传感器接口电路首先转换为电信号,进而由微处理器 LPC2104 控制 A/D 转换器将电信号量化,编码后再通过 CAN 接口电路将数据发送到 CAN 总线上。主控节点通过 PC 机对 CAN 适配卡(这里选用 CANmini)的操作来实现对各采集节点的控制以及对采集数据的接收。

### 3.1 CAN 智能节点硬件电路设计

CAN 总线和总线上的各个 CAN 节点在具备完整的通信协议条件下,一起构成了 CAN 网络。该智能节点主要由数据采集模块、CAN 通信模块和外围电路 3 部分组成,数据采集和 CAN 通信模块共用一个微控制器 LPC2104,其节点框图如图 4 所示。

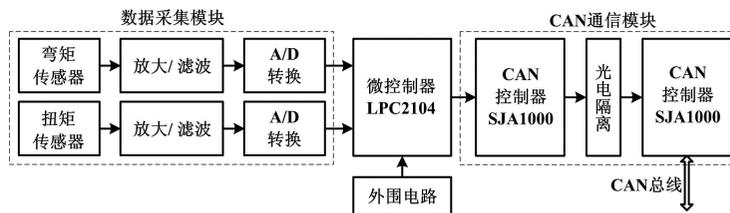


图 4 智能节点框图

Fig. 4 Block diagram of the intelligent node

CAN 总线通信接口是动态应力测试试验的一个重要的组成部分,所以它的性能直接影响到系统的主要性能。通常 CAN 总线通信接口主要由 CAN 主控制器、CAN 收发器和光电隔离等其他一些保护元器件

组成。

CAN 总线接口电路在设计过程中主要注意的问题有:电气隔离、抗干扰及终端电阻等。本次设计的 CAN 总线接口电路如图 5 所示。

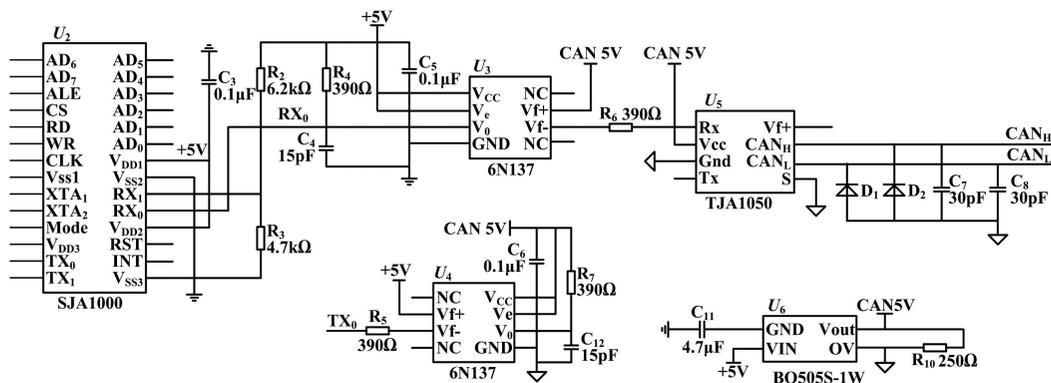


图 5 CAN 总线接口电路

Fig. 5 CAN bus interface circuit

该 CAN 总线通信中的主控制器使用 LPC2104, CAN 总线控制器使用 SJA1000,收发器使用 TJA1050。在设计接口电路时应注意以下几点<sup>[4]</sup>。

#### ① 光电隔离器

为进一步提高系统抗干扰能力和通信距离,在

SJA1000 和 TJA1050 之间加接 6N137 光电隔离芯片,即 SJA1000 的 RX<sub>0</sub> 和 TX<sub>0</sub> 分别通过光耦 6N137 与 TJA1050 的 RxD 和 TxD 相连。光耦部分电路所采用的两个电源必须完全隔离,否则采用光耦也失去意义。电源的完全隔离采用小功率电源隔离模

块 B0505S。

② CAN<sub>H</sub> 和 CAN<sub>L</sub> 之间要增加一个 120 Ω 的终端匹配电阻,用于消除反射信号。双绞线传输介质分别接至 CAN<sub>H</sub> 和 CAN<sub>L</sub> 引脚。

③ CAN<sub>H</sub> 和 CAN<sub>L</sub> 与地之间并联了两个 30 pF 的小电容,可以起到滤除总线上的高频干扰和一定的防电磁辐射的作用。相应噪声源的阻抗(R<sub>F</sub>)和 CAN<sub>H</sub> 和 CAN<sub>L</sub> 对地的电容组成了一个 RC 低通滤波器。另外,在 2 根 CAN 总线接入端与地之间分别反接 1 个保护二极管。当 CAN 总线对电压产生干扰时,可通过二极管的短路起到一定的过压保护作用。

#### ④ 屏蔽地线

当选择屏蔽电缆线时,屏蔽电缆线的屏蔽层可接 FGND 引脚,也可以将屏蔽层单点接地,其中,RC<sub>1</sub> 和 CR<sub>1</sub> 为耐高压的电阻、电容,具有滤波等作用。

### 3.2 CAN 智能节点软件设计

#### 3.2.1 软件模拟总线的实现

CAN 节点主控制芯片选用的是 LPC2104,但 LPC2104 芯片的内部数据总线是不开放的,没有外部总线控制器<sup>[5]</sup>。在本系统中,CAN 主控制器 SJA1000 与处理器是通过数据总线相连的,且考虑到后期系统扩展还可能需数据总线的应用,因此在本系统中用软件模拟数据/地址总线,总线的操作细节由指令实现。

使用 I/O 口扩展 CAN 总线接口,首先需要解决的问题是如何协调 ARM 系统和 SJA1000 的时序配合。由 32 位系统总线时序图可知,在一个读写周期内,地址和数据分两次送往总线,如果系统总线配置成 16 位模式,那么地址和数据会一次写到总线上,这和一般的 CPU 时序完全相同。通过总线扩展 SJA1000,可以将 SJA1000 当作是一个外部 SRAM 进行控制,通过读写片外的某些地址操作 SJA1000 的寄存器,实现 CAN 总线的收发功能。从 SJA1000 的读写时序图可以看出,SJA1000 和 ARM 最大的不同在于它是 8 位总线的,而且总线采用复用方式。这就要求除了片选、地址、数据和读写信号线以外,还需要地址锁存信号 ALE 线。

虽然是软件模拟总线,外接扩展芯片不是很方便,但由于 LPC2104 的处理速度很快,软件模拟总线读写周期短,因此远远高于普通单片机的读写速度,而丰富的片内资源也不是普通 51 能够比拟的。

#### 3.2.2 CAN 控制器驱动程序

本设计的关键是 CAN 驱动程序的编写。主程序只需要通过驱动程序提供的接口来实现数据的接收和

发送。驱动程序包括 4 部分内容:CAN 控制器的初始化、接收数据、发送数据和总线异常处理<sup>[6]</sup>。主程序流程如图 6 所示。

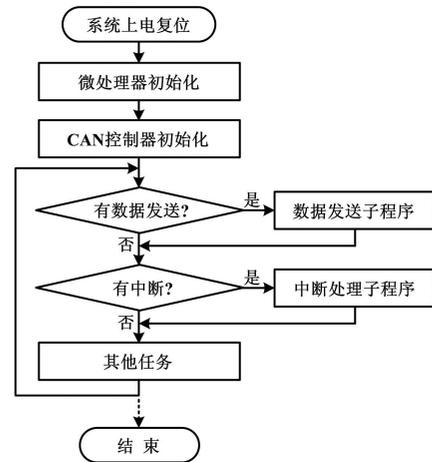


图 6 主程序流程图

Fig. 6 Flowchart of the main program

## 4 试验验证

### 4.1 各工况下的采集信号

测试得到的电压值通过校正滤波后得到相应的应变值,然后经数学计算得到测试点的最大应力值。该值为测试点采集过程中一段时间的最大值。测试结果显示,该车下横臂的应力状态和行使车速有很大关系,不同车速下行使于同一路面时,车速越高,同一部位的应力也越高,也就是说,在同一路面上同一部位的应力大小和车速成正比。

坑洼路面数据采集曲线和水泥路面数据采集曲线分别如图 7、图 8 所示。

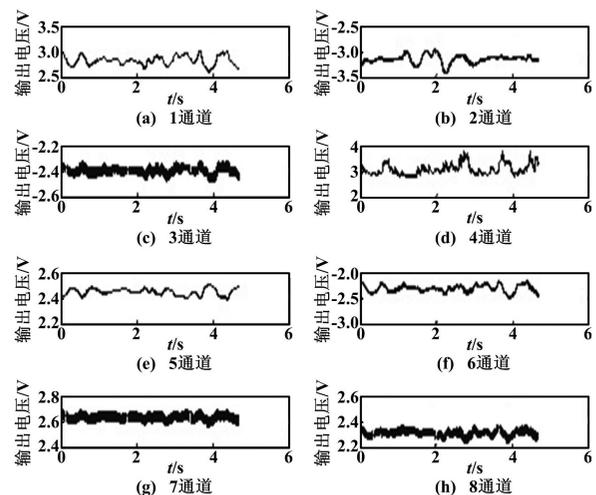


图 7 坑洼路面数据采集曲线图

Fig. 7 Data acquisition curves on the road with potholes

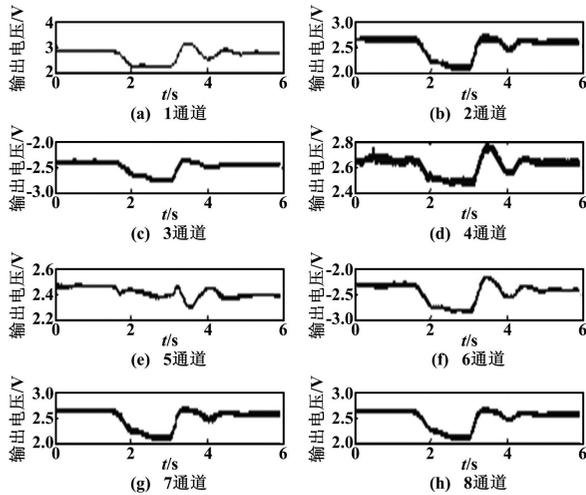


图 8 水泥路面数据采集曲线图

Fig. 8 Data acquisition curves on cement road surface

#### 4.2 误差分析

由于受试验方法的可靠程度、所用仪器的精密度等各方面条件的限制,使得本次动态应力测试试验结果均有误差,现对误差产生的原因分析如下。

① 主应力的求取需由应变片测得数据后,再进行数学换算,因此,对其应变片的测量精度要求较高,任一小偏差均会带来数值的较大差异。

② 试验时精确测点位置的选取对试验结果也具有较大的影响。

③ 试验过程中,由于道路表面的复杂多变,导致施加在悬架上的力的方向随时间不断发生变化,这样在某一瞬时造成该点的应力值较大。

#### 5 结束语

相关试验证明,CAN 网络智能节点能很好地满足动态应力测试试验的要求。本文的研究范围虽然是汽车悬架动态应力测试,但它对于机电系统的分布式智能控制方向的研究也是十分有益的,这主要有两方面的含义:一是本文研究的某些技术标准,如 CAN bus,这些标准本身的应用领域就不限于汽车网络,而是能应用在几乎所有的机电系统的控制器网络中;二是本文研究的某些问题,如通信实时性、可靠性的问题,是所有的采用分布式智能控制的机电系统中都需要解决的。

作为一种技术先进、可靠性高、功能完善、成本合理的远程网络通信控制方式,CAN 总线已被广泛应用于各个自动化控制系统中,CAN 总线具有不可比拟的优越性。

#### 参考文献

[1] Anon J. Engine mounts and NVH[J]. Automotive Engineering,1994(7): 19-23.  
 [2] Johnson S R,Subhedar J W. Computer optimization of engine mounting systems[R]. Society of Automotive Engineers(SAE),1979.  
 [3] 郑秀媛. 应力应变电测技术[M]. 北京:国防工业出版社,1998.  
 [4] 求是科技. 单片机通信技术与工程实践[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.  
 [5] 周立功. ARM 微控制器基础与实战[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2003.  
 [6] 陈小忠,黄宁,赵小侠. 单片机接口技术实用子程序[M]. 北京:人民邮电出版社,2005.

### 科技期刊中文文摘的撰写

摘要是现代科技论文的必要附加部分,只有极短的文章才能省略。它是帮助读者从浩瀚的信息海洋中能较快、较准地找到他们所需要的科技信息的一种有效工具。摘要一般置于作者及其工作单位之后、关键词之前。

根据 GB/T 6447-1986《文摘编写规则》关于摘要的定义,摘要是以提供文献内容梗概为目的,不加评论和补充解释,简明、确切地记述文献重要内容的短文。按摘要的不同功能来划分,它大致分为报道性摘要、指示性摘要、报道-指示性摘要 3 种类型。一般的科技论文应尽可能采用报道性摘要。摘要中应写的内容一般包括研究工作的目的、方法、结果和结论,而重点是结果和结论。根据有关规定,撰写摘要应注意以下几点。

① 省略“我们”“作者”“笔者”“本文”这样的主语。

② 简短精炼,明确具体。简短,指篇幅短,一般以不超过 200 字为宜(依摘要类型而定);精炼,指摘录出原文的精华,无多余的话;明确具体,指表意明白,不含糊,无空泛、笼统的词语,应有较多而有用的定性和定量的信息。

③ 一般不要交代背景,更不要阐述一般性知识。

④ 格式要规范,一般不分段,尽可能用规范术语,不用非共知共用的符号和术语。不能简单地重复题名中已有的信息,并切忌罗列段落标题来代替摘要。除了实在无变通办法可用以外,一般不出现插图、表格,以及参考文献序号,一般不用数学公式和化学结构式。