

胎压监测系统测试试验台的研发与设计

晏江华 刘全周 李占旗 张蕾
(中国汽车技术研究中心 天津 300300)

摘要:针对胎压监测系统的工作原理及特点,研发出一套仿真实车运行中不同轮胎环境的胎压监测系统测试试验台。文章介绍了目前主流胎压监测系统的工作原理及特点,从硬件设计以及软件设计两方面对试验台设计原理进行阐述。试验台设计硬件方面主要包括系统压力控制模块、温度控制模块、中央控制台模块、总线仿真监测模块和上位机模块,软件方面主要包括总线仿真界面、试验台中央控制界面以及总线信号监测界面。本文从试验台精度验证及胎压监测系统实际测试两方面对试验台进行实验,实验结果显示试验台精度符合要求,对胎压监测系统实际测试中体现了较好的便利性及准确性。

关键词:胎压监测系统;轮胎环境;总线仿真

中图分类号: TP202 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.50

Tire pressure monitoring system test platform development and design

Yan Jianghua Liu Quanzhou Li Zhanqi Zhang Lei
(Chinese Automotive Technology & Research Centre, Tianjin 300300, China)

Abstract: In this paper, the monitoring system of tire pressure monitoring system (tire pressure monitoring system) was developed, which was based on the working principle and characteristics of tire pressure monitoring system. This paper introduced the working principle and characteristics of the mainstream tire pressure monitoring system, and expounded the design principle of the test platform from two aspects of hardware design and software design. The hardware system included the system pressure control module, temperature control module, the central control console module, the bus simulation monitoring module and the host computer module. And the software system is consisted of the bus simulation interface, the test center control interface and the bus signal monitoring interface. In this paper, the test for accuracy of the test bench and the real test with tire pressure monitoring system were performed to verify the working performance of the test bench. The accuracy test result indicated that the accuracy of the test bench was in accordance with the requirements and the tire pressure monitoring system real test showed good convenience and accuracy.

Keywords: tire pressure monitoring system; tire environment; bus simulation

1 引言

近年来,胎压监测系统(TPMS)在国内汽车企业整车开发中应用越来越广泛,TPMS在中高端车型中已经成为一种标准配置^[1]。通过TPMS实现对轮胎的压力和温度进行实时监测,及时调整轮胎在正常的胎压环境中行驶,这不仅增加了车辆行驶的安全性,大大降低了高速运行中的爆胎风险,并且能有效保证车辆运行的稳定性以及燃油的经济性^[2],意义重大。但针对TPMS开发验证来说还不具备较完善的测试环境和测试流程,仅仅是在整车集成测试中的实车环境上进

行简单的功能验证测试,而实车测试环境测试操作复杂繁琐、测试效率低,而且无法覆盖到很多测试工况包括一些极限工况,同时在一些特殊工况下对测试人员的人身安全存在威胁^[3]。针对这些问题,本文开发了一套TPMS测试试验台。试验台能按照测试需求任意调整轮胎压力及温度值并通过控制电机转速仿真轮胎转速。因此,利用该试验台可以在整车开发过程中对TPMS系统进行全方位的测试,包括常规工况、异常工况及实车上无法实现的极限工况,大大降低了车型上市后TPMS的故障率,提升了车辆运行的安全性。

2 胎压监测系统原理分析

TPMS 目前主要有两类:第一类是间接型,主要通过比较 ABS 轮速传感器之间的转速差来实现胎压监测^[4];第二类是直接型,通过每个轮胎上安装单独的传感器直接采集胎压、温度以及轮胎转速^[5]。目前汽车企业普遍采用第二类方案。

2.1 系统组成及工作原理

TPMS 系统主要由控制器和传感器以及仪表 3 部分组成。胎压监测传感器集成了压力传感器、温度传感器、加速度传感器以及电池电压传感器,可以实时检测轮胎气压、温度、加速度等信息,当加速度传感器采集到旋转加速度 $>9g$ 时将采集到的信息经过编码通过无线射频方式发送给胎压监测控制器^[6]。控制器进行解码,得出当前轮胎的压力、温度状态。当轮胎出现压力低于/高于预定阈值、轮胎温度超过预定阈值或者漏气速度大于预定阈值等异常状态时,胎压监测系统发出相应的报警信息,报警信息通过 CAN 总线网络传送给仪表进行显示^[7]。如图 1 所示为 TPMS 结构示意图。



图 1 TPMS 结构示意图

2.2 TPMS 功能测试点分析

根据 TPMS 工作原理,在进行功能测试中如下 4 个方面需要考虑^[8]:

- 1) 集成在胎压传感器里的压力传感器、温度传感器、重力加速度传感器的精度;
- 2) TPMS 对各类报警阈值设定的准确性;
- 3) TPMS CAN 总线报文与协议定义的一致性;
- 4) TPMS 实际策略与功能设计要求的一致性。

3 胎压监测系统测试平台设计

根据 TPMS 工作原理以及测试需求分析,本系统应具备如下功能:

- 1) 胎压调节:能够根据测试需求实现轮胎压力控制,调节范围 $0\sim 500$ kPa;
- 2) 温度调节:能够根据测量需求实现轮胎温度控制,调节范围 $20\sim 90^{\circ}\text{C}$;
- 3) 轮胎转速调节:能够根据测量需求实现轮胎转速控制,体现为传感器重力加速度调节,调节范围为 $0\sim 20$ g;
- 4) CAN 总线信号仿真与采集:ECU 接收仿真总线车速信号,同时能够实现对 ECU 发送的总线信号实时监控;
- 5) 中央控制界面:通过上位机编程,实现对整个测试系统的集中控制,包括测试工况设置以及信号采集监测。

3.1 测试试验台原理

1) 轮胎运动状态控制(转速)

现阶段的轮胎传感器主要由内部电池供电,但如何保证最大程度的延长电池使用寿命,目前供应商的处理方式是:在车辆静止状态,传感器停止工作,只有在汽车运行过程中(超过一定的车速)才会触发传感器进行工作。

车辆运行:所述车辆运行是指胎压监测传感器检测到旋转加速度 $\geq 9g$ 时,当前车辆的状态。

设汽车的行驶速度为: V ;

汽车轮胎半径为: R ;

汽车轮毂半径为: r ;

则: $V = \frac{1}{2}R(9g/r)$ 。

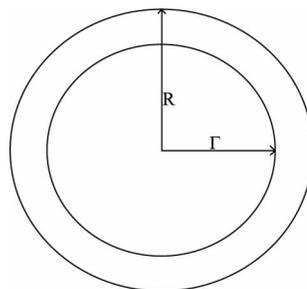


图 2 轮胎结构示意图

如图 2 所示 TPMS 工作时,汽车速度应满足:

$$V \geq \frac{1}{2}R \cdot (9g/r)$$

2) 轮胎压力模拟控制

轮胎压力模拟控制是通过压力容器对试验轮胎进行充放气控制,进气孔和排气孔均采用开度可控的电磁阀。压力容器和试验轮胎通过导管将内部空腔形成一体,通过电磁阀控制空腔间的通断,由于压差的存在,压力容器作为试验轮胎的气源,可随时对轮胎进行压力补充。同时采用电磁阀对轮胎进行排气泄压控制,并且通过控制电磁阀开度可对泄压速率进行调节。

3) 轮胎温度模拟控制

通过对容器内气体加热的方式进行温度控制,储气罐与仿真轮胎内部增加大功率加热器,直接对气体进行加热。

4) 总线信号仿真与监控

胎压监测控制器通过 CAN 总线通信的方式与其他节点进行信号交互。因此需采用 CAN 网络仿真设备仿真 TPMS 的接收报文信号以及监测 TPMS 发送的网络报文。在本系统中我们采用 Kvaser CAN 总线测试仪进行 CAN 网络仿真。

5) 上位机系统

上位机主要进行测试平台参数设置(胎压、温度、漏气速率、转速)以及采集信号集中显示。在本文中,基于 NI 公司的 LabVIEW 软件进行上位机系统的开发。

3.2 测试试验台硬件平台设计

测试试验台硬件平台按照功能可分为以下5个模块：

1) 压力控制模块

主要由一个大容量储气罐、仿真轮胎以及各类型电磁阀组成。

2) 温度控制模块

主要由两组大功率加热器组成，一组安装在储气罐内部用于气体预加热。另一组安装在仿真轮胎内部用于温度调节。

3) 中控操作台模块

主要集成一些操作开关、智能仪表，用户可脱离上位机在中控台进行试验台控制。

4) CAN 总线仿真及监测模块

采用 Kvaser 总线测试仪。

5) 上位机模块

采用装有 NI 公司的 LabVIEW 软件的 PC 机。

如图 3 所示为 TPMS 测试试验台系统硬件结构示意图。

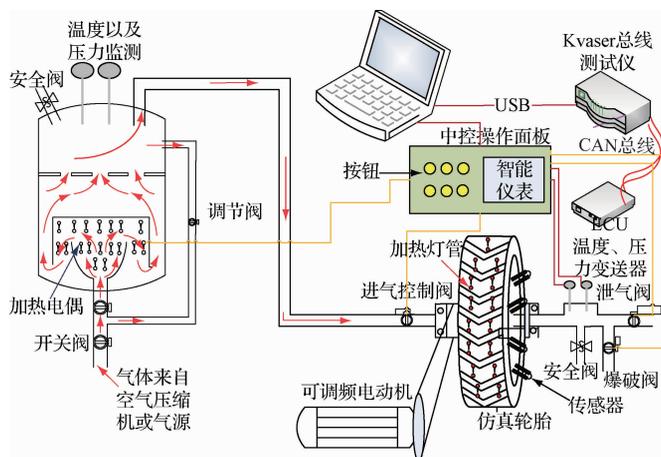


图 3 TPMS 测试试验台系统硬件结构示意图

3.2.1 压力容器设计

压力容器在 TPMS 测试平台中属于关键部分，由于测试需在一个高压的环境中进行，并且需要反复给仿真轮胎供压，因此对储气罐的安全性、气密性以及容量大小具有严格要求。

储气罐需在具有生产资质的专业厂商进行定制，出厂前进行严格测试。定制的参数为：耐压范围 0~10 MPa，实际设置压力调节范围 0~1.6 MPa；直径 1 m，高度 1.2 m；底部设置进气口，用于外部气源连接；顶部设置安全阀，阈值可根据需求进行设置，一旦储气罐压力超出阈值，自动触发安全阀排气；另外气罐顶部装有机械式压力表以及温度计，用于监测储气罐当前的压力以及温度状态^[9]。

3.2.2 仿真轮胎设计

仿真轮胎用于仿真轮胎所处的压力、温度以及运动环境。采用铁质圆柱形空腔设计，大小与实车轮胎保持一致；空腔内部通过导管与压力容器进行连通，进气端采用电磁阀控制进气口开度，用于调节充压速率，出气口同样设置电磁阀，用于控制漏气速率。为了保证仿真轮胎安全性，在出气端设置安全阀以及快速泄压的爆破阀，安全阀的阈值设置为 500 kPa。

为了仿真实车轮胎运动状态，需要实现仿真轮胎进行旋转。因此需要在导气管与轮胎连接处采用轴承连接，这样一来轮胎就可以自由在轴承上进行旋转，达到仿真轮胎转动的效果。在测试台设计中，通过伺服电机提供动力带动轮胎进行旋转，同时采用变频器对电机的转速进行控

制，实现对轮胎的转速在一定范围内的调节控制。

3.2.3 中控操作台设计

中控操作台是测试试验台的集中控制台以及采集数据的集中显示区域。操作者可通过中控操作台对整个测试试验台进行控制，包括电源管理、轮胎压力调节、温度设定、轮胎转速调节等。除此之外还能对整个试验台的运行状态进行监测，如储气罐压力和温度显示、轮胎压力和温度监测、轮胎转速监测。在中控台上对于电源、开关阀（例如爆破阀）控制采用机械式按钮控制，此类按钮功能简单稳定，不容易出现故障；对于压力以及温度的控制与显示，则采用压力变送器和温度变送器配合电磁阀实现智能控制与显示，变送器属于智能仪表，能够根据当前采集的数据进行分析后控制被控对象，实现整个系统的闭环控制。该智能仪表预留有串行通信接口实现通过上位机进行控制。

3.2.4 温度控制设计

测试平台的温度控制属于一大难点。温度的介质为气体，根据气体导热特性，直接对气体进行加热相对效果不明显，且温度容易流失。针对此问题，本试验台采用双重加热模式对温度进行控制，首先对储气罐进行预加热处理，将气源的温度提升，气罐内部采用两根大功率电热棒，对储气罐内部气体直接进行加热升温。其次是对轮胎内部温度精确控制，在轮胎内部采用热辐射方式进行加热，辐射装置采用环形灯管，这样可以保证轮胎内部温度的均匀性，灯管固定在轴承上，不随轮胎转动，确保工作的稳定性。同时为减少热量流失速度，在储气罐、导气管、轮胎外侧都采用石棉进行包裹处理。

3.2.5 总线仿真和监测设计

ECU接收传感器四轮轮胎状态信息,经过内部数据处理后将相应的轮胎状态信息和报警信息转发到CAN网络上;另一方面ECU需要接收其他节点发送来的车速信号。在测试中需要对总线车速进行仿真并对ECU总线信号进行实时监控。因此需要在测试试验台中加入总线仿真工具,在测试试验台设计中,采用Kvaser Leaf进行CAN总线监控与仿真,Kvaser Leaf直接通过USB接口与PC机进行连接,支持LabVIEW环境下进行二次开发,因此可与试验台的上位机系统进行集成^[10-11]。



图4 TPMS测试试验台系统硬件实物

3.2.6 上位机界面设计

上位机界面是TPMS测试平台的人机交换界面,通过上位机界面可实现整个测试系统的控制以及信号监控,包括试验台运行状态以及ECU总线信号监控。采用NI公司的LabVIEW软件进行整个系统上位机进行开发。上位机通过RS485串行总线与智能仪表以及变频器进行数据交换。

3.3 测试台软件平台设计

测试试验台软件平台设计基于LabVIEW软件。该软件采用图形化编辑语言G编写程序,产生的程序是框图的形式。LabVIEW提供很多外观与传统仪器(如示波器、万用表)类似的控件,可用来方便地创建用户界面。

上位机界面主要包含以下3个部分:

1) 报文信号发送模块

该模块主要设置ECU接收的仿真报文参数,包括报文ID、长度、周期、数据、通信波特率等;

2) 测试试验台控制模块

该模块主要对测试试验台进行控制与监控,通过上位机可直接更改储气罐温度、轮胎压力和温度、轮胎漏气速率等;并可实时显示试验台当前的状态;

3) ECU总线信号监测模块

该模块主要是对ECU发送的数据进行监测,由于Kvaser采集到的总线信号为原始数据,因此需在软件中

根据总线协议对原始数据进行解析,如图5所示为测试试验台上位机界面。



图5 测试试验台上位机界面

4 试验台验证实验与结果

试验台搭建好后需经历严格的验证测试,包括对轮胎压力调节精度进行验证、轮胎温度调节精度进行验证、轮胎转速调节进行验证。下面将通过轮胎胎压精度标定实验以及针对TPMS实际胎压以及胎压报警进行测试实验。

4.1 轮胎胎压精度标定实验

通过上位机界面设置一组胎压数据,监测压力变送器采集到的数据进行对比评价。试验结果如表1所示,实验曲线如图6所示。

表1 压力调节验证结果

设定值/kPa	实际值/kPa	设定值/kPa	实际值/kPa
50	48	210	211
70	72	230	232
90	86	250	249
110	107	270	272
130	134	290	290
150	153	310	311
170	169	330	333
190	188	350	352

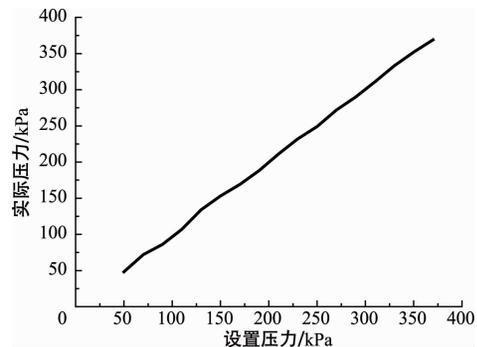


图6 胎压调节实验曲线

根据验证结果可以看出胎压设定值和实际采集的轮胎压力数据误差都在4 kPa以内,说明试验台胎压控制效果比较理想,精度较高,满足测试精度要求。

根据曲线线性度计算公式 $\delta = \Delta Y_{\max} / Y \times 100\%$, 其中 ΔY_{\max} 为拟合曲线与理想曲线的最大偏差。Y 为曲线最大量程。胎压调节实验曲线线性度 $\delta = \Delta Y_{\max} / Y \times 100\% = 4 / 400 \times 100\% = 1\%$, 线性度良好。

4.2 TPMS 系统胎压显示及胎压报警测试

TPMS 胎压传感器实时采集轮胎内部压力信息发送给 ECU, 控制器一方面解析射频信号将四轮压力值转发到 CAN 网络上, 另一方面对压力值进行处理, 若超过设定的阈值(例如低于 180 kPa 或者高于 300 kPa), 则向 CAN 总线发送相应的低压/高压报警信号。测试步骤如下:

- 1) 设置旋转加速度大于 9g;
- 2) 通过上位机分别设置 10 个胎压值, 从 100 kPa 开始, 步长为 20 kPa 递增, 直到 280 kPa, 记录实际采集胎压值;
- 3) 对比实际数据和设置数据间的误差大小进行评价;
- 4) 胎压从 190 kPa 开始, 步长为 2 kPa 递减, 直到触发低压报警, 记录报警阈值;
- 5) 胎压从 290 kPa 开始, 步长为 2 kPa 递增, 直到触发高压报警, 记录报警阈值。

根据实验测试结果, 如表 2 所示实验数据说明, TPMS 传感器能正确采集到轮胎压力值的变化, 并且将压力值准确有效的传输到 TPMS 控制器, 控制器将接收传感器的射频信号转换成 CAN 总线信号发送给仪表进行显示, 胎压显示信号和设定值之间误差在 4 kPa 以内, 考虑设备本身的误差, TPMS 系统轮胎压力采集显示精度满足设计要求, 功能正常。

表 2 胎压显示测试

设定值/kPa	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
显示值/kPa	104	123	141	158	182	201	216	238	261	282

如表 3 所示实验数据显示, 传感器在轮胎压力为 178 kPa 的时候产生低压报警, TPMS 实际设计的时候定义为低于 180 kPa 时产生低压报警, 误差为 2 kPa, 考虑设备本身的误差, TPMS 系统轮胎低压报警阈值满足设计要求, 功能正常。

表 3 低压报警阈值测试

设定值/kPa	190	188	186	184	182	180	178	176
低压报警	0	0	0	0	0	0	1	1

如表 4 所示实验数据显示, 传感器在轮胎压力为 300 kPa 的时候产生高压报警, TPMS 实际设计的时候定义为高于 300 kPa 时产生低压报警, 误差为 0 kPa, TPMS 系统轮胎高压报警阈值满足设计要求, 功能正常。

表 4 高压报警阈值测试

设定值/ kPa	290	292	294	296	298	300	302	304
高压报警	0	0	0	0	0	1	1	1

5 结 论

根据轮胎压力精度标定实验及 TPMS 系统胎压显示及胎压报警测试实验可以得出, 本次设计的胎压监测系统

测试试验台控制精度高、操作方便、运行稳定可靠, 达到了比较理想的应用效果, 覆盖了实车上无法实现的或者测试操作困难的测试工况。

基于胎压监测系统工作原理对 TPMS 测试试验台进行研发和设计, 从硬件设计和软件设计两方面对整个系统的研发设计进行了系统的阐述。通过实验验证测试结果可以看出测试试验台精度达到了测试要求。

当然本测试试验台也还存在一些不足之处亟待解决。首先是高压环境下的气密性问题, 主要体现为轴承与轮胎连接处在轮胎旋转状态下密封性。另一个是轮胎温度控制问题, 由于气体作为温度介质本身的缺陷且在高速旋转下的气体流动影响, 温度控制存在一定的难度。因此为了提高测试台的精度, 试验台系统的气密性和温度调节的稳定性仍是后续研究的重点。

参 考 文 献

- [1] 王昊, 陈仁文. 基于 SP37 和 MSP430 的汽车轮胎压力监测系统[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(10): 67-71, 87.
- [2] 赵新, 徐克宝. 基于 SP37 的汽车胎压监测系统研究与设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(10): 87-90, 95.
- [3] 高明秋, 许志光, 赵斌, 等. 轮胎气压监测系统试验方法分析与研究[J]. 汽车技术, 2008(7): 44-48.
- [4] 冷毅, 李青侠, 刘胜, 等. 基于无线传感器和 CAN 总线的直接式轮胎压力监测系统[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(4): 711-717.
- [5] 赵霞, 王业通, 袁索鹏, 等. 汽车轮胎压力监测系统的设计与实现[J]. 自动化仪表, 2015, 36(2): 99-102.
- [6] 周美丽, 白宗文. 汽车轮胎压力监测系统设计[J]. 电子测量技术, 2015, 38(9): 55-57.
- [7] 林桂斌. 基于 CAN 总线的直接单向式 TPMS 的设计[J]. 机电技术, 2015(1): 108-110.
- [8] 欧阳涛. 汽车轮胎气压监测系统 (TPMS) 评价与测试方法研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2010.
- [9] 唐怀杰. 压力容器设计技术的研究[J]. 装备制造技术, 2014(3): 206-208.
- [10] 潘全文, 房振旭, 姜守达. 基于 CAN 总线的分布式线束网络测试系统设计[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(4): 300-303.
- [11] 杨华伟, 万正权. CAN 总线在船舶结构安全监测系统中的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(增刊 1): 353-359.

作 者 简 介

晏江华, 1988 年出生, 工学硕士, 工程师, 主要研究方向为硬件在环测试技术、汽车总线开发与设计、汽车电子测试设备开发等。

E-mail: yanjianghua@catarc.ac.cn