热能与动力工程专业综合设计实验探索

潘锁柱，韩志强
（西华大学　汽车与交通学院，成都　610039）

摘要　针对热能与动力工程专业综合设计实验教学，设计了一个车用发动机缸内压力数据采集与分析实验。介绍了实验原理、实验系统的硬件和软件及实验过程，分析了实验结果。学生通过实验系统的构建、数据采集系统的设计以及虚拟仪器技术的运用，提高了科技实践技能、拓展了思维和分析解决实际问题的能力，综合素质得到了培养。

关　键　词　综合设计实验；发动机；数据采集；缸内压力
中图分类号 TK4；G424.31　　**文献标志码**　A　　doi：10.3969/j.issn.1672－4550.2016.03.005

Exploration on Comprehensive Design Experiment for the Major of Thermal Energy and Power Engineering

PAN Suozhu，HAN Zhiqiang
（School of Automobile and Transportation，Xihua University，Chengdu 610039，China）

Abstract　This paper proposed a comprehensive experiment for the major of thermal energy and power engineering，which is data acquisition and analysis of in－cylinder pressure from vehicle engine. Through establishment of experiment system，design of data acquisition system and application of virtual instrument technology，the experiment can improve the students' abilities of technology practical skills，innovative thought，analyzing and solving practical problems. The comprehensive qualities of students have been cultivated.

Key words　comprehensive design experiment；vehicle engine；data acquisition；in－cylinder pressure

实验教学是高等教育中培养学生动手能力、分析问题、解决问题的重要手段之一，在培养学生的实践能力和创新能力方面具有至关重要的作用[1－2]。热能与动力工程专业综合设计实验旨在培养本科学生的综合能力、工程实践能力和创新意识，是深化实验教学改革、提高实验教学质量的重要环节，也是培养具有知识型、创新型和复合型人才的重要措施之一[3]。综合设计实验作为开设在热能与动力工程专业多门专业基础课之后的综合性实验课程，实验内容着力于体现实验训练的综合性，将学生前期所学的专业基础理论知识、实验知识、测试手段以及仪器使用等实现综合应用，从而使学生的科学思维能力、综合能力和创新意识得到进一步地提高[4－5]。针对这一目标，结合本校热能与动力工程（汽车发动机方向）专业的相关实验教学工作以及本课题组的相关研究成果，本文提出了一个适合于热能与动力工程专业的“车用发动机缸内压力数据采集与分析”综合设计实验。

1　实验目的

1）掌握车用发动机缸内压力数据采集的基本原理与方法；

2）熟悉内燃机缸内压力数据采集系统构成及相关硬件；

3）熟悉虚拟仪器（LabVIEW 软件）技术在数据采集中的应用；

4）了解车用发动机缸内压力数据的处理与分析。

2　实验原理

数据采集是指利用传感器技术将各种电量或者非电量的物理量（如温度、压力、电压、电流、位移等）转换成电信号，经过信号调理设备处理后传输至上位机中，进而在上位机中通过采集软件实现数据处理分析、图形显示和存储的过程；与之相应的系统称为数据采集系统，一个完整的数据采集系统通常由硬件和软件两部分组成。

收稿日期：2015－08－18；**修改日期**：2015－09－20
基金项目：国家级大学生创新创业训练计划项目（201410623001）；四川省教育厅项目（14ZB0128）。
作者简介：潘锁柱（1980－），男，博士，讲师，主要从事内燃机排气污染物生成机理及其控制技术方面的研究。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

本实验所设计的车用发动机缸内压力数据采集与分析系统工作原理是：在内燃机运转过程中，采用安装于内燃机气缸上的压电式缸压传感器对缸内压力进行测量，并将测得信号传输至电荷放大器，经过信号放大处理后再传送给 A/D 数据采集卡。同时，由与内燃机曲轴同轴安装的角标仪产生上止点信号和曲轴转角信号，信号经过调理电路的滤波和整形后，作为 A/D 数据采集卡的外部触发信号和时钟信号。在数据采集过程中，当 A/D 数据采集卡检测到上止点信号的上升沿或者下降沿时，便实现外部触发，开始对压力数据进行实时采集，并且在每一次检测到曲轴转角信号上升沿或者下降沿时均对采集得到的缸压信号进行一次 A/D 转换、读取和存储，工作原理如图 1 所示。此外，采集过程中，A/D 数据采集卡与工控机保持实时通信并进行数据传输，将所获得的数据进行存储、显示和分析等，进而获得内燃机的工作过程信息。

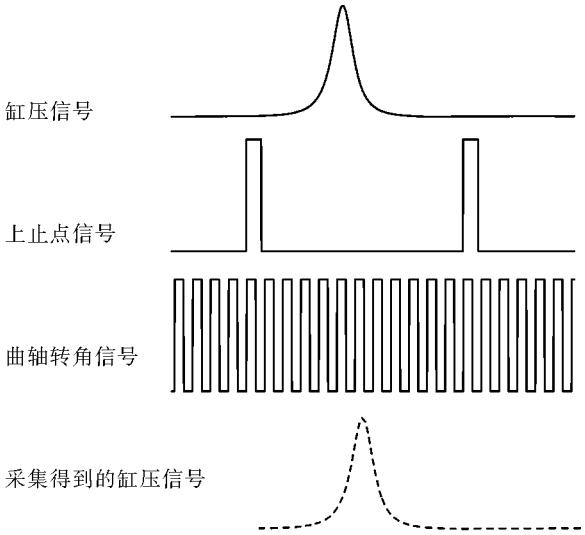


图 1　内燃机缸内压力采集原理图

3　实验内容与步骤

3.1　数据采集系统硬件

实验设计的数据采集系统硬件主要包括实验发动机、测功机、角标仪、缸压传感器、电荷放大器、数据采集卡和工控机，总体结构如图 2 所示。实验发动机为绵阳新晨动力机械有限公司生产的 DK4A 型柴油机；测功机为四川诚邦测控技术有限公司生产的 YVP280m 型电力测功机，用于实验柴油机的工况控制；缸压传感器为瑞士 Kistler 公司生产的 6125C 型压电式缸压传感器，测量范围为 $0 \sim 3 \times 10^{7}$ Pa；电荷放大器为瑞士 Kistler 公司的 5064 型电荷放大器，测量范围为 $\pm 1 \times 10^{-10} \sim \pm 1 \times 10^{-7}$C；数据采集卡为美国 NI 公司的 USB－6259 高速数据采集卡，主要用于信号 A/D 转换，具有 32 路模拟输入，4 路模拟输出，采样频率达 1.25 kS/s；角标仪选用 Kex 40S6－720P5VE 型增量式光电编码器，可分别输出上止点信号和曲轴转角信号。

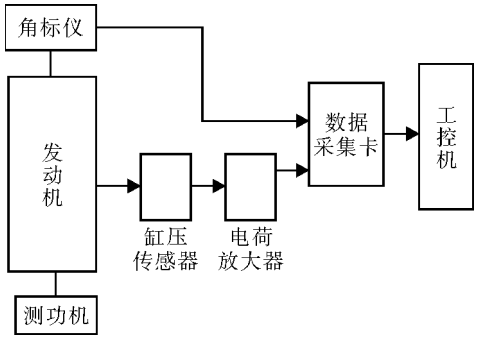


图 2　数据采集系统硬件示意图

3.2　数据采集系统软件

数据采集系统软件是基于 LabVIEW 软件采用模块化设计思想进行开发设计的，软件系统结构和数据采集程序分别如图 3 和图 4 所示。该系统主要包括程序初始化、数据采集和数据分析 3 部分。

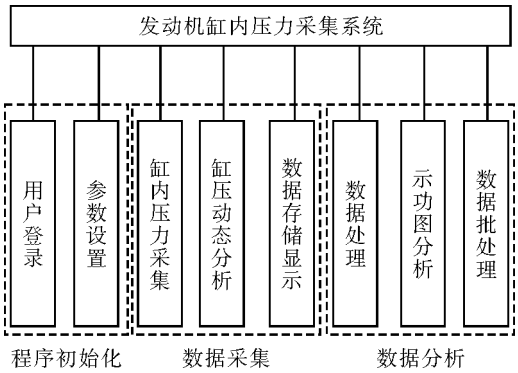


图 3　数据采集系统软件结构示意图

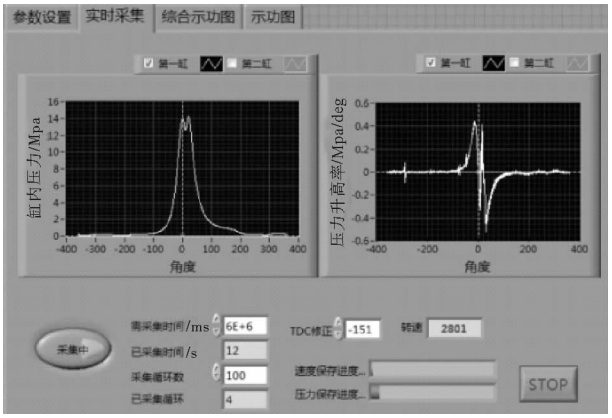


图 4　数据采集程序

1) 初始化程序：程序的主要功能是创建登录界面并进行实验相关参数设置，主要包括程序运行

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

过程中各种变量设置与赋值、发动机基本参数的录入、采集通道的设置、程序的输出与保存路径设置等。

2) 数据采集程序：主要是结合采集系统硬件实现对发动机缸内压力的实时采集，并对获得的缸压数据进行实时动态分析，通过计算可以得到示功图、压升率、最大爆发压力、压升率的峰值，及其各参数所对应的曲轴转角等反映发动机工作过程的详细信息，同时可进行实时显示和数据存储，以便对发动机的工作过程进行监测。

3) 数据分析：主要对获得的缸压数据进行处理，以获得反映发动机工作过程的相关性能指标以及相关曲线，并具有批处理功能，主要对示功图、压升率、最大爆发压力、压升率的峰值等指标进行数据处理。

3.3　实验过程及步骤

1) 对实验系统硬件进行连接与调试，包括发动机、测功机、缸压传感器、电荷放大器、角标仪、采集卡等的机械连接与电气连接，并对相关仪器设备进行调试保证其正常工作。

2) 对发动机进行例行检查，检查其冷却水量和机油量是否符合要求。

3) 启动发动机并进行暖机，使发动机冷却水温和机油温度分别预热至(85 ± 1) ℃和(90 ± 1) ℃。

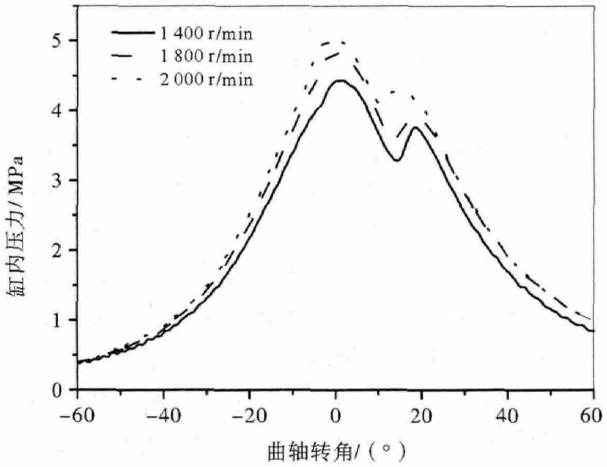
4) 通过测功机的控制系统调节发动机运行工况，使发动机运行于实验要求的转速与负荷条件下，待工况稳定后进行实验。

5) 运行采集系统软件，对实验工况下的缸内压力进行数据采集，并应用软件对相关性能指标进行实时显示与存储。

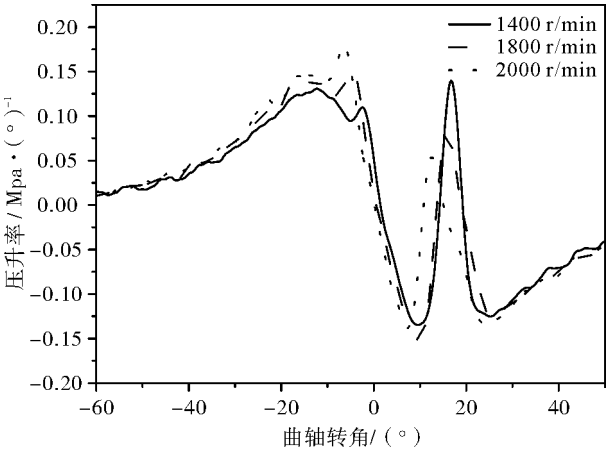
4　实验结果及分析

图 5 为发动机转速分别为 1 400，1 800，2 000 r/min，输出扭矩恒定为 50 N · m 条件下，实验测得的缸内压力和压升率曲线。

1) 实验测得的曲线充分显示了缸内压力和压升率随曲轴转角的变化趋势，均出现了双峰。缸内压力出现双峰主要是由于实验过程中采用了“预喷 + 主喷”的两次燃油喷射方式。预喷是在压缩行程早期喷入部分燃油使燃油提前与空气混合，提高缸内压力与温度；主喷是在压缩行程后期喷入适量燃油，以保证发动机的动力输出。该喷油方式能够有效地促进柴油和空气的混合，提高混合气质量，改善燃烧过程，从而改善柴油机的动力性、经济性和排放性，并导致缸内压力呈现双峰。图 5 形象生动地向学生展示了发动机工作指标的变化历程，有助于学生对发动机工作过程的认识和理解。



(a) 缸内压力曲线



(b) 压升率曲线

图 5　不同转速下发动机缸内压力和压升率曲线

2) 由两组测量曲线可知，随着发动机转速的升高，最大爆发压力和压升率最大值均呈逐渐增加的趋势，并且随着转速的增加，最大值出现时刻越早。因此，在实验教学过程中，可以启发学生进行上述类似的实验结果分析，并且教师给予适当的讲解，可对理论课中的某些知识点给予有力的补充。

3) 实验过程中，可启发学生对曲线中的特征参数进行分析，如分析不同工况下的最大爆发压力和最大压升率的数值及其所对应的曲轴转角，能够有效地增强学生的学习兴趣，加深学生对理论课中较抽象基础知识的理解。

5　结束语

本实验通过对车用发动机缸内压力的采集，能

(下转第 35 页)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3　讨论

在体观察小肠平滑肌的运动，所有观察项目得到了预期的实验结果。肾上腺素作为体液因素，作用于小肠平滑肌的 β_2 受体，平滑肌舒张[4]；相反，乙酰胆碱作为迷走神经递质，作用于小肠平滑肌的 M 受体，平滑肌收缩[5]。阿托品作为胆碱能受体阻断剂，使小肠平滑肌紧张性下降，收缩曲线的基线下移，幅度下降、频率下降[6]。

小肠平滑肌运动观察常见的实验方法是离体小肠的运动观察，但是这种实验方法要求恒温平滑肌槽和氧气供应，对于条件有限的教学单位很难开展起来。而在体实验有体温和血液供应作为内环境保障，可以不受教学硬件条件的限制，实验同样可以开展。但是，在体小肠的固定，与张力换能器的连接方式以及在描记结果时，有以下 8 个方面需要注意。1) 必须对小肠进行腹腔外的固定，即用蛙钉把一段约 5 cm 长的小肠固定在蛙板上，这样可以避免呼吸运动对于张力曲线的过度影响，也就是一级波对于二级波的过度干扰。2) 连接小肠和张力换能器的丝线必须绕肠一周轻度结扎，这样即使在肉眼观察不到小肠蠕动的情况下，张力换能器也能感知小肠的微弱蠕动。如果仅仅用蛙心夹或缝针夹起小肠的一部分与张力换能器相连，不能灵敏感知小肠的蠕动。3) 由于是体外直接将试剂滴加在肠管表面，试剂存在于肠管表面的时间较短，很快就流失掉，所以运动曲线的改变一般只有 2 个波形左右。4) 小肠拉出体外后，因为有血液供应，可以维持小肠温度相对恒定(大约在 30 ℃ ±2 ℃)，所以滴加的试剂温度应该与小肠的温度一致，这样才能排除温度对小肠刺激作用的干扰。5) 标本连线必须垂直，松紧度和长短合适，这样才能有效反映小肠蠕动引起的张力变化。6) 实验动物应先禁食 24 h，于实验前 1 h 饲喂食物，这样小肠的蠕动处于最佳状态。7) 小肠长期暴露于体外会因为干燥而影响其蠕动功能，所以需要按时滴加任氏液保持其湿润状态。8) 待肠段恢复正常后再进行下一观察项目。

4　结束语

改良后的小肠平滑肌运动观察，采用在体实验的方法，充分利用动物本身的体温和血液循环，简化了实验设备和操作程序，实验效果良好，有推广利用价值和意义。

参 考 文 献

[1] 施雪筠. 生理学实验指导 [M]. 北京：中国中医药出版社，2004：118 – 121.

[2] 王庭槐，杨惠玲，汪雪兰. 实验生理科学 [M]. 北京：高等教育出版社，2014：174 – 176.

[3] 李涛，朱坤杰. 医学机能实验学 [M]. 北京：科学出版社，2011：145 – 146.

[4] 李国彰. 生理学 [M]. 北京：科学出版社，2013：225 – 226.

[5] 姚泰. 生理学 [M]. 北京：人民卫生出版社，2008：302.

[6] 杨世杰. 药理学 [M]. 北京：人民卫生出版社，2008：81.

(上接第 18 页)

够实时、准确地分析发动机工作过程中气缸内压力等参数的变化历程及其影响因素，有助于学生对发动机工作过程的理解，帮助学生更好地掌握发动机原理等课程中较为抽象的内燃机理论循环、实际循环、燃烧过程等基础理论知识。同时，实验还涉及软件设计、采集技术、信号处理等知识以及多种硬件设备，有助于培养学生的实践技能。此外，本实验具有较好的扩展空间，可根据实验教学的需要开发其他新的测试项目，如瞬时转速采集、高压共轨压力采集等，并可使学生参与其中，激发学生的学习兴趣。因此，通过本综合实验项目的训练，可达到培养学生创新意识和综合能力的目的。

参 考 文 献

[1] 李德平. 高校创新人才的培养与实践教学体系的构建 [J]. 辽宁教育研究，2007(4)：75 – 77.

[2] 张双才，王友明，罗联社. 优化结构完善机制建设高素质的实验技术队伍 [J]. 实验室研究与探索，2007，26(6)：115 – 118.

[3] 张小林，周美华，李茂康. 综合性、设计性实验教学改革探索与实践 [J]. 实验技术与管理，2007，24(7)：94 – 96.

[4] 曲金泽. 综合性设计性实验教学的实践 [J]. 实验室研究与探索，2005，24(S2)：68 – 69.

[5] 施鼎方，徐竟成，朱毓秀，等. 开设综合性实验项目促进创新能力培养 [J]. 实验室研究与探索，2012，31(8)：85 – 87.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net