

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2017.05.09

汽车发动机综合参数测试仪校准方法研究

王晓靓, 陈培均, 刘汉冶, 张金光, 何马琳, 韩朝, 王健

(国防科技工业 2311 二级计量站, 黑龙江 哈尔滨 150046)

摘 要: 针对汽车发动机综合参数测试仪, 介绍了一种对其实现现场校准的装置和现场校准的方法。经现场校准实验, 给以解决该综合参数测试仪的流量、压力和温度的现场溯源问题, 为汽车发动机的研发和生产提供有力的技术支撑和计量保障。

关键词: 压力; 流量; 温度; 校准方法

中图分类号: TB93

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2017)05-0040-04

Research on Calibration Method of Automobile Engine Comprehensive Parameter Tester

WANG Xiaoliang, CHEN Peijun, LIU Hanye, ZHANG Jinguang, HE Malin, HAN Zhao, WANG Jian

(2311 Secondary Measurement Station of Science, Technology and Industry for National Defence, Harbin 150046, China)

Abstract: Aiming at the comprehensive parameter tester of automobile engines, this paper introduces a device and field calibration method to realize the field calibration. Through the field calibration, the site traceability of the flow, pressure and temperature of the comprehensive parameter tester can be solved, and it provides a strong technical support and measurement guarantee for the research and development of automotive engines.

Key words: pressure; flow; temperature; calibration method

0 引言

流量、压力和温度是工业自动化的三个主要参数, 广泛应用于科学研究等领域。发动机试车台中, 进气流量、吹气流量、排气流量、进气温度、排气温度、进气压力、曲轴箱压力和排气背压是试验中的关键技术指标, 主要是指从发动机活塞、活塞环和气门导管(在涡轮增压发动机中, 也可能从轴承和轴承垫溢出)以及其他通道间隙流出的气体状态参数和物性参数。通过检测上述指标, 来判断发动机的性能及内部零件磨损情况。综合参数测试仪是对上述技术参数的专用测试设备, 用于连续测量和监控上述技术指标。

1 汽车发动机综合参数测试仪

在研制发动机的过程中, 需要对发动机进行耐久性、可靠性实验, 通过综合参数测试仪的测量数据, 可以帮助分析并找出设计缺陷以防止严重问题的发生, 缩短整个试验时间和研发周期。为发动机提供进气压

力、曲轴箱压力、排气背压、进气温度、排气温度和吹气流量等数据, 对发动机转速、扭矩等参数具有参考辅助价值。此外, 综合参数测试仪通过不同位置的流量、压力和温度传感器的测量, 及时提供发动机运转状况的信息, 预知发动机活塞、活塞环安装情况, 如图 1 所示。

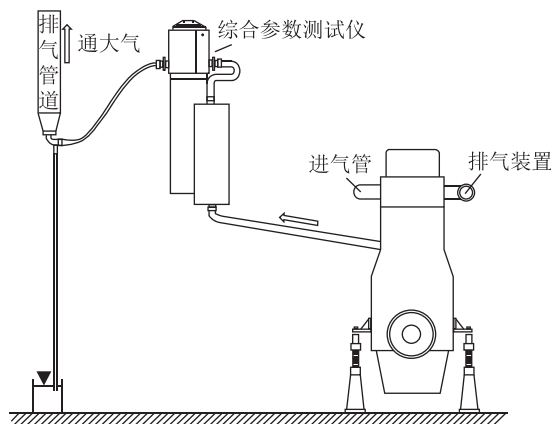


图 1 综合参数测试仪工作示意图

综合参数测试仪主要由流量计、压力传感器和温度传感器组成。流量计是基于伯努利方程原理来测量流量的压差流量计^[1], 流量数据通过差压传感器测量

收稿日期: 2017-07-06

作者简介: 王晓靓(1981-), 男, 工程师, 主要从事力学计量及科研工作。

获得, 传感器安装在气体管路内孔板的两侧, 根据气体流动的方向, 通过计算流经孔板的入口和出口压力差值温度补偿, 得到流量的测量数据。测试仪内部还装有不同数量的压力传感器和温度传感器, 分别用于实时监控和测量系统内的压力和温度参数指标(如进气压力、曲轴箱压力、排气背压、进气温度和排气温度等), 最后由微处理器对流量、压力和温度采集的信号进行 A/D 转换后得到综合的测量数据。综合参数测试仪工作原理如图 2 所示。

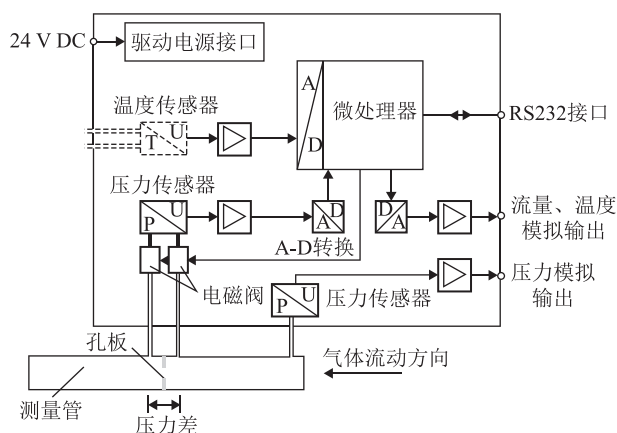


图2 综合参数测试仪工作原理

测试仪的型号种类很多, 流量范围为 $5 \sim 150$ L/min, 最大允许误差为 $\pm 1.0\%$ red.; 压力范围为 $-100 \sim 1000$ kPa, 最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ FS; 温度范围为 $0 \sim 10$ $^{\circ}\text{C}$, 最大允许误差为 ± 0.5 $^{\circ}\text{C}$; 根据测试仪的准确度等级高和长时间、高强度使用情况, 需要定期进行标定和校准, 文章主要讨论在不拆卸综合参数测试仪主体部件的情况下实现其现场整机校准。

2 综合参数测试仪现场校准装置的设计

2.1 现场校准装置概述

基于现场的工作介质为空气, 流体为单相的稳定流考虑, 装置由标准流量计、气体压力标定设备、温度标定设备、稳压设备、真空泵、数据采集控制、工控机数据处理及连接件构成。通过对流量范围的选择, 实现对管路气动阀门的自动控制; 通过对各传感器的数据采集, 实现内部压力、温度自动补偿运算, 实现流量计的标定和校准。在测试仪和流量计之间使用压力、温度标定设备对设备内压力、温度传感器进行现场校准, 当测试仪出现数据偏差过大的情况时, 修改测试仪的修正系数, 实现现场标定。所有测试数据经采集后上传给工控机进行处理并显示。综合参数测试

仪现场校准装置结构如图3所示。

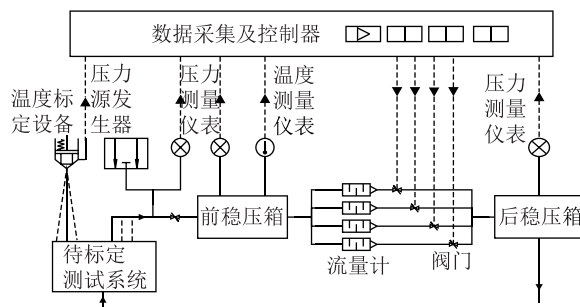


图3 综合参数测试仪现场校准装置构成示意图

2.2 标准流量计设计

2.2.1 流量计的结构

标准临界流文丘里喷嘴有两种结构,喇叭形喉部喷嘴和圆筒形喉部喷嘴^[2],本套装置采用的是精确加工的喇叭形结构喷嘴,其结构示意图如图4所示。小型临界流文丘里喷嘴由于在结构上的限制只能应用于小流量状态下,当若干只喷嘴并联在一起就可以实现大流量的校准问题,本套校准装置就是采用这种方法进行组装的,既可提高测量的准确度又可扩大使用的流量范围,装置中的每个喉径的尺寸皆不相同,其各个喷嘴均配有独立的流量管路(管路上安装电磁阀),将被测对象安装在所有喷嘴流量管路聚合在一处流量管路上(该流量管路连接气源或压力泵),实现现场校准。

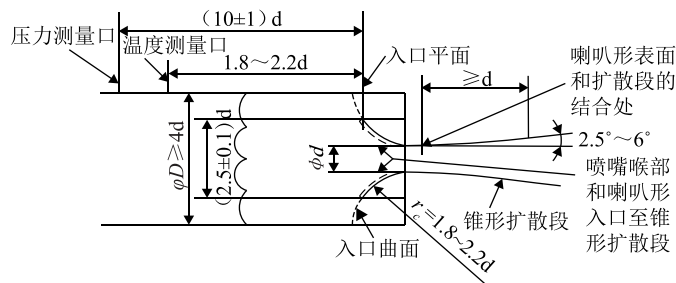


图4 喇叭形喉部喷嘴结构示意图

2.2.2 喷嘴的数量及喉径尺寸预评估

标准流量计由若干个喷嘴构成,为得到理想流量值,通过电磁阀控制各流量管路,选择具有不同名义流量值的喷嘴进行搭配,获得流量值。喷嘴流量系列是等比数列,公比为2, n 项喷嘴数量之和等于或者大于被测系统的最大流量 $q_{\max}$ 时,才能满足校准要求。所以喷嘴的数量 n 可用式(1)计算。

$$q_{\min} + 2q_{\min} + \cdots + 2^{n-1}q_{\min} = q_{\max} \quad (1)$$

为满足综合参数测试仪的流量范围 $5 \sim 150 \text{ L/min}$ 的要求,通过计算,本套装置需要使用 8 个喷嘴。流

量点分别为 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 L/min, 可在 1 ~ 255 L/min 测量范围内给出 255 个不同的流量测量点。

在理想状态下, 通过喷嘴的流量计算公式为

$$q_{V_i} = \frac{\pi d_i^2 C_{*i} \rho_0}{\rho_0 \sqrt{\left(\frac{R}{M}\right) T_0}} \quad (2)$$

根据经验和查表预估喷嘴喉部的直径为

$$d_i = \left[\frac{4 q_i \rho_0 (RT_0/M)^{-2}}{\pi C_{*i} \rho_0} \right]^{-2} = \sqrt{q_i} \times 0.1042 \quad (3)$$

2.3 压力校准设备

压力校准设备包括压力标定仪表和标准流量计压力测量仪表, 分别完成不同阶段和不同功能的测量。压力标定仪表是针对试车台综合参数测试仪流量计的压力补偿信号和压力传感器系统的校准装置, 由压力传感器和压力发生器组成。

综合参数测试仪流量计是基于伯努利方程原理来测量流量的压差流量计, 通过计算静压力差和温度补偿, 得到流量的测量数据。其通用计算公式为

$$q = K \cdot d^2 \cdot \varepsilon \cdot \alpha \cdot \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} \quad (4)$$

静压力差测量的准确程度直接影响到流量计的测量结果, 在校准流量计的过程中, 如果发现数据不准确, 对静压力差测量设备的校准意义重大; 在整个测量过程中由于综合参数测试仪中测量压力的一次仪表密封包装在一个装置内, 不能对其进行拆卸单独测量, 只能通过在综合参数测试仪的被测对象上入手设计连接工装, 在综合参数测试仪中还有其他一些测量压力信号的传感器, 通过压力标定设备与差压传感器的连接, 选择不同测量范围的压力传感器实现现场在线校准。

2.4 温度校准设备

在综合参数测试仪现场校准装置中温度参数的校准主要对两个方面进行校准。一是实现对标准流量计温度补偿。在对流量参数进行测量时由于温度(绝对温度)的变化会产生影响, 为减少温度(绝对温度)变化而引入的测量误差, 需要对其变化进行精准的测量; 二是实现对综合参数测试仪温度参数的校准。测试仪温度的测量主要是测量发动机进气温度和排气温度。在对温度进行测量时主要是在发动机试车台进气口和排气口处入手设计连接工装将测量温度的一次仪表置入到被校准的一次仪表温场中, 从而实现对温度参数的校准。

2.5 校准装置软件功能

软件系统是由组态软件开发的人机界面和交互管理控制软件, 可以实现与可编程控制器、智能模块、单片机、板卡、智能仪表、远程数据采集装置等多种外部设备进行通讯。选择进入相应的程序后, 工控机会通过数据采集箱把各个通道的温度、压力等数据采集到工控机, 结合环境参数, 通过表格或波形图直观的看到这些测量数据。由于流量标准是由 8 个喷嘴并联, 以不同的组合获得不同的流量点, 还需设置控制功能, 控制各个喷嘴电磁阀的开启和关闭, 同时还需具有开启和关闭风机和真空泵的功能。

3 现场校准方法

3.1 流量的校准

采用负压法即以大气作为源头, 在喷嘴下游用真空泵造成负压以满足临界条件(这种方法的好处是气源稳定)。打开压缩机和真空泵, 在操作终端设定相关的指标数据后运行校准装置, 在运行装置时工控机依据之前设定的参数来选择喷嘴编号进行流量调节(流量计的喷嘴开关是由电磁阀控制), 气体流量经过一段时间稳定后即产生标准流量值, 采用的计算公式为

$$q_V = A_m C_d' C_R \sqrt{p_0 / \rho_0} \quad (5)$$

式中: A_m 为文丘里喷嘴的实际横截面积, 是通过喷嘴实际测量直径 $\frac{\pi d^2}{4}$ 计算得到; 流出系数 $C_d' = a - b Re_m^{-n}$ (Re_m 为喷嘴喉部雷诺数, a, b, n 为换算系数), 精确加工喇叭形喉部文丘里喷嘴 $2.1 \times 10^4 < Re_m < 1.4 \times 10^6$, $a = 0.9985$, $b = 3.412$, $n = +0.5$ (表 1 为 Re_m 和 C_d' 对照表); 临界流系数 $C_R = C_* \sqrt{Z_0}$ (C_* 为实际气体临界流函数, Z_0 为上游滞止条件下的压缩系数), C_* 可以通过数值表查找, 也可以使用经验方程

$$C_* = \sum_i a_i \pi^{b_i} \tau^{c_i} \text{ 来计算, 压缩系数 } Z_0 = \frac{p_0 M}{\rho_0 R T_0}。$$

表 1 雷诺数 Re_m 和流出系数 C_d' 对照表

雷诺数 Re_m	流出系数 C_d'	雷诺数 Re_m	流出系数 C_d'
2.1×10^4	0.9750	3×10^4	0.9788
5×10^4	0.9832	7×10^4	0.9856
1×10^5	0.9877	2×10^5	0.9909
3×10^5	0.9923	5×10^5	0.9937
7×10^5	0.9944	1.4×10^6	0.9956

数据采集系统按照一定的采样周期对压力、温度

等模拟信号和脉冲量进行取样，由工控机进行数据处理，系统会给出工作状态及标准状态下的体积流量、被测对象的流量值，通过标准流量与校准对象的流量数据进行比对分析就可以获得被测对象的流量示值基本误差，同时还可以得到该仪表的测量重复性，必要的话也可以为其定级流量仪表校准数据如表 2 所示。

表 2 流量仪表校准数据

流量点 /L · min ⁻¹	标准流量值 /L · min ⁻¹	被测仪表流量值 /L · min ⁻¹	测量结果不确定度 <i>U</i> _{rel} (<i>k</i> = 2)
10	10. 11	10. 17	0. 5%
20	20. 23	20. 26	0. 5%
40	40. 16	40. 29	0. 4%
60	60. 45	60. 5	0. 4%
100	100. 21	100. 6	0. 4%

3.2 压力、温度的校准

综合参数测试仪内的压力、温度传感器通过其系统软件可以实时监测发动机内的各项压力、温度数据，校准方法可参考相应的检定规程^[3]，此处不再赘述。需要提到的是，测试仪是悬挂式的，一般悬挂 2 ~ 3 m 的高度，而校准装置往往要低于被测仪表，在对压力参数进行校准时会引入由高度差(被测仪表和校准装置之间)

带来的测量误差。气体密度和高度差的测量是关键输入量。高度差可以很容易获得，但是根据现场的工况条件，在不同温度和不同压力的条件下，气体密度是随之变化的，管路内的气体密度的测量就存在一定的困难。

为获得综合参数测试仪中压力仪表的准确数据，通过校准装置内温度和压力实时采集的数据，利用数据采集控制系统进行积算处理，编辑相应的软件，可获得密度、温度、压力修正曲线，最终实现精准的误差修正。

4 结束语

通过研究，可以实现对发动机综合参数测试仪进行整体多参数现场校准，解决企业测试仪的溯源难题，节约溯源成本，降低试车台管线开孔和泄露点潜在风险。在科学试验中确保了流量、压力和温度参数的准确可靠，为汽车发动机的研发、生产提供必要的计量技术支撑。

参 考 文 献

[1] 洪宝林. 力学计量[M]. 北京: 原子能出版社, 2002.
[2] 苏彦勋, 梁国伟, 盛健. 流量计量与测试[M]. 2 版. 北京: 中国计量出版社, 2007.
[3] 国家质量监督检验检疫总局. JJG 875 - 2005 数字压力计检定规程[S]. 2006.

(上接第 39 页)

5) 技术标准的进步体现了我国科学技术水平的进步;

6) 国内外技术标准一致体现了我国标准的权威性, 使我国在国际贸易交往中不处于劣势。

参 考 文 献

[1] GB/T 9452 - 2012 热处理炉有效加热区测定方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.

[2] HB 5425 - 2012 航空制件热处理炉有效加热区测定方法[S]. 2012.
[3] AMS 2750E Pyrometry[S].
[4] BAC5621K Temperature Control for Processing of Materials[S].
[5] CPS8100D 高温测量[S].
[6] JJF 1376 - 2012 箱式电阻炉校准规范[S]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
[7] 李亚兵, 苏纯贤. AMS 2750《高温测量》标准 E 版修订内容分析[J]. 金属热处理, 2013, 38(1): 119 - 122.