

802480

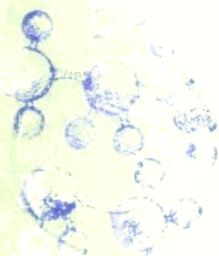
585

7117

高等学校试用教材

内燃机测试技术

马元骥 施润昌 主编



浙江大学出版社

高等学校试用教材

内燃机测试技术

马元骥 主 编
施润昌

浙江大学出版社

内 容 简 介

本书论述了内燃机主要参数的测试方法、测试系统和测试仪表工作原理以及测试结果的误差分析等。

全书共分十一章，前四章主要介绍内燃机测试及仪表的基本知识、误差分析及变换器原理等基础理论；从第五章开始分别叙述主要参数：功率、压力及示功图、温度、流量、排气成分、振动及噪声的测量方法、测试系统、所用仪表的原理及测量结果的分析等。

本书为高等院校内燃机专业本科大学生教材，也可作为汽车、拖拉机、船舶、内燃机车及工程机械等专业的教学参考书，并可供从事内燃机研究、设计、制造、使用等部门的技术人员参考。

内 燃 机 测 试 技 术

马元骥 施润昌 主编

责任编辑：刘培华 刘洁

◆ ◆

浙江大学出版社出版

余杭县三墩印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

◆ ◆

开本787×1092 1/16 印张：13 字数：296千

1986年9月第1版 第1次印刷

印 数：1—6000册

统一书号：15337·020 定价：2.10元

前 言

随着科学技术的迅猛发展,内燃机测试技术已成为深入研究内燃机性能及结构不可缺少的手段。对内燃机有关参数的测试方法、测试系统、测试仪表以及测量结果的误差分析和数据处理知识,已形成一个专门的学科。

1978年4月第一机械工业部在天津召开高等院校对口专业教材会议,会上确定由浙江大学主编“内燃机测试技术”教材。同年6月在南宁召开全国内燃机专业教材编写会议,讨论制定了“内燃测试技术”等课程的教学大纲。本书是根据上述会议的决定和精神,由浙江大学内燃机教研室集体编写的。

1981年5月编写出初稿后即印成讲义,经我校和不少兄弟院校内燃机专业试用。在征集试用意见的基础上,将原内容作了删减、修改及增添部分新内容,以适应教学上的要求。本书讲授时数为60学时。

1984年11月在天津召开的全国高等学校内燃机专业教材编审委员会第二次会议上,议定“内燃机测试技术”一书,仍用高等学校试用教材名义由浙江大学出版社出版。

本书由马元骥教授、施润昌副教授担任主编。书中第一、二章由施润昌执笔,第三章由严兆大执笔,第四、七章由王振子执笔,第五、八、九章由周有平执笔,第六、十一章由刘世贤执笔,第十章由马元骥执笔。施润昌具体指导了第四、五章的编写。

初稿完成后,经吉林工业大学内燃机教研室吴振威副教授主审,提出了宝贵意见。书中绝大部分图稿由浙江大学电教中心张礼明同志描绘。本书在编写过程中,还得到校内校外许多同志的帮助和指导,在此一并致以深切的感谢。

书稿及图中的计量单位,大部分已采用我国法定计量单位。但个别地方由于考虑使用习惯及采用过去的图表等原因,故仍保留了非法定计量单位。

由于本书内容涉及面很广,编者水平有限,缺点和错漏在所难免,恳切欢迎读者批评、指正,以便使本书进一步完善。

编 者

一九八五年五月

目 录

第一章 概 述

- 1.1 绪 言..... (1)
- 1.2 内燃机试验装置和试验台..... (2)

第二章 测量与仪表的基本知识

- 2.1 测量的基本概念..... (8)
- 2.2 测量仪器的组成和分类..... (9)
- 2.3 评定测量仪表质量的主重指标..... (11)
- 2.4 仪表在瞬变参数测量中的动态特性..... (12)

第三章 测量误差与数据处理

- 3.1 概 述..... (19)
- 3.2 测量误差的分类..... (19)
- 3.3 系统误差..... (20)
- 3.4 偶然误差..... (20)
- 3.5 偶然误差的计算..... (25)
- 3.6 试验数据的处理..... (32)

第四章 非电量电测和变换器原理

- 4.1 概 述..... (38)
- 4.2 静态特性及非线性..... (38)
- 4.3 静态误差..... (39)
- 4.4 电阻式变换器..... (42)
- 4.5 电感式变换器..... (47)
- 4.6 电容式变换器..... (49)
- 4.7 压电式变换器..... (51)
- 4.8 磁电式变换器..... (55)
- 4.9 热电式变换器..... (56)
- 4.10 光电式变换器..... (62)

第五章 功率的测量

- 5.1 测功器..... (67)
- 5.2 机械式测功器..... (68)
- 5.3 水力测功器..... (69)
- 5.4 电力测功器..... (73)
- 5.5 组合式测功器..... (79)
- 5.6 测功器特性的比较..... (79)
- 5.7 测功器的扭矩测量精度和测力装置..... (81)
- 5.8 扭矩仪..... (81)
- 5.9 转速的测定..... (84)

第六章 压力测量及动态压力测录

6.1 压力的基本概念和单位	(89)
6.2 稳态压力测量及其仪表	(89)
6.3 内燃机动态压力测录的目的和要求	(94)
6.4 用机械方法测录动态压力	(95)
6.5 用电测方法测录动态压力	(95)
6.6 用采样集点法测录动态压力	(104)
6.7 与动态压力测录有关的其它信号的测定	(109)
6.8 示功图测录中的误差分析	(111)

第七章 温度测量

7.1 内燃机稳定温度的测量	(114)
7.2 内燃机瞬时温度的测定	(120)
7.3 内燃机零件温度的测量	(123)

第八章 流量测量

8.1 概 述	(127)
8.2 用节流差压法测量进气流量	(128)
8.3 测量进气流量的其它方法	(138)
8.4 冷却水流量测量	(146)
8.5 润滑油流量测量和容积式流量计	(146)
8.6 燃油消耗量测量和转子流量计	(147)
8.7 流量计的校准与标定	(149)

第九章 内燃机排气成分分析

9.1 排气成分测定的试验规范	(151)
9.2 排气分析的取样方法	(155)
9.3 排气成分分析仪	(162)
9.4 烟度测定	(169)

第十章 振动的测定

10.1 内燃机的振动	(172)
10.2 测量振动的仪器与测定方法	(172)
10.3 扭转振动测量仪	(178)
10.4 振动的测定方法	(179)
10.5 扭转振动的测定	(180)
10.6 测振系统的校准	(181)

第十一章 噪声测量

11.1 有关噪声的声学概念	(184)
11.2 噪声测量仪器	(190)
11.3 内燃机噪声的来源及测试方法	(193)
11.4 测量数据的处理和计算	(197)

主要参考文献

第一章 概 述

1.1 绪 言

内燃机试验是内燃机生产和科学研究工作中不可缺少的一个环节。随着工业生产和科学技术的迅速发展,内燃机应用的范围在不断扩大,品种和数量在不断增长,对内燃机中各系统零件的性能、使用寿命等技术指标的要求也愈来愈高。因此,进行内燃机工作过程的研究;节约燃料、扩大燃料的品种、新型结构的研究;以及设计和研制合乎要求的产品和对原有产品的分析改进,以满足各种用途的需要;自然就成为内燃动力工程技术人员的重要任务。在上述这些任务中,试验工作居于极重要的地位,这不仅是因为从所耗的财力、物力、人力和时间方面占有很大的比例,更主要的是任务完成的质量和是否达到预期的目标,必须以试验得出的最终结果来评价和确认。

在内燃机试验中,除了要定性地观察一些物理和化学现象以外,更重要的是要对运行过程中许多有关的物理量和化学量进行精确的定量测定。如果没有先进的测量方法和测量装置,包括先进的数据处理方法和相应的设备,也就没有先进的内燃机试验技术。

此外,在内燃机试验的自动控制系统中,也需对被控参数进行测量,将测量的结果反馈到输入端的求和装置上,与假定值或输入变量进行比较,以达到精确控制的目的。自动控制系统的控制精度在很大程度上取决于测量反馈精度,因此,被控物理量的测量装置,也就成为内燃机台架试验自动控制系统中的重要组成部分。

内燃机台架试验方法(国家标准GB1105—74)中规定的大部分试验项目,其参数的测量都在稳定的运转工况下进行。在这种稳定工况下进行各种参数的测量中,因测量目的的不同而分为性质截然不同的两类:平均值的测量和瞬时值的测量。对于有关参数平均值,如曲轴转速、输出扭矩、进气压力、排气温度等的测量,由于被测量中包含有不同程度的脉动分量,采用惯性小的测量系统和仪表,有可能从仪表的指示部分反应出这种由于脉动分量而引起的周期性波动,使读数发生困难。而对于被测参数瞬时值的测量,如内燃机在一个工作循环中,气缸内介质的压力随曲轴转角的变化即示功图的测量,曲轴扭转振动波形的测量,进、排气压力波,排气瞬时温度,燃料供给系统中管道压力和喷油器针阀升程等的测量,由于被测量是一个随曲轴转角变化的函数,这就要求测量系统的各个组成部分具有足够高的反应速度和小的非线性失真,不然测量结果将存在不能允许的误差,甚至使测量无法进行。

内燃机台架试验中,目前仅有个别指标是在非稳定工况下进行测量的,如调速性能试验中的突变负荷试验,测定内燃机的瞬时速调率等。近年来已出现了一些带有高精度自动控制系统的内燃机台架试验装置,这就有可能模拟汽车行驶时的发动机处于非稳定工况状态进行试验。此外,利用程序控制对发动机进行预定规范运转以及把与汽车道路试验同样的负荷加给发动机进行台架试验这样的模拟控制方式等现已达到实用阶段。把数据处理装置附设在试

验台中的也已不少。可以预料，由于这些条件的存在，对内燃机进行非稳定工况状态的试验研究将会愈来愈普遍。

1.2 内燃机试验装置和试验台

内燃机的台架试验是在备有各种装置的试验台上进行的。

为检验出厂产品质量的工厂用试验台及其装置，首先应当考虑运用简单和工作可靠。为进行内燃机全面性能试验或科学研究服务的试验装置，应能解决所提出的任务，保证所要求的准确度的数据。

试验台及其装置通常应包括以下一些部分：试验台、燃料消耗量测量装置、冷却水供给系统及其装置、空气消耗量测量装置、排气系统等。为了操纵和观察仪表读数的方便，近代的内燃机试验室内还设有操纵台和仪表屏。

1.2.1 试验台

试验台由基础、底板和支架组成(图 1-1)。基础由钢筋混凝土制成，用来固定测功设备和铸铁带槽底板。待试发动机用可以调节高低的支架使它牢固地安装在底板上。为了不使发动机工作时试验台有明显的振动，并让这些振动传给四周地面和建筑物，因此基础要有足够的重量，并与地基及四周用隔振垫层隔离开，隔振垫层可以采用表面涂有沥青的软木或其它富有弹性的材料。

对于使用较为频繁的试验台，且所配备的测功器又能两端输出，在这种情况下不妨将基础做得长一些，能使测功器安放在基础的中央(图 1-2)，使之有可能两端连接发动机，便于交替使用，提高台架的使用效率。

采用如图 1-2 型式的试验台结构能得到良好的隔振效果，基础的底面用两排橡胶或其他结构的减振器支承，四周留有空隙，基础周围与地面间用木板复盖。地沟设有出口，便于

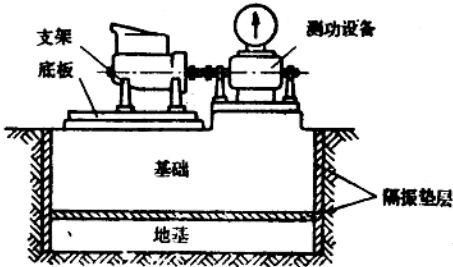


图 1-1 内燃机试验台

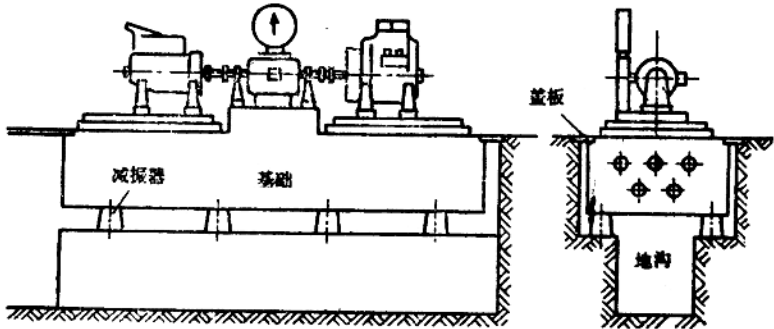


图 1-2 用减振器支承的试验台基础

操作者进入地沟更换不合用的减振器或在地沟内安装必要的电缆、管道和其它附属装置。

试验台基础所允许的最大振幅没有明确的规定,要看对邻近的建筑物和室内安置的仪器设备有无危害而定,但仍力求不超过0.1毫米。

测功器不宜与发动机的支架同装在一块底板上,而让它单独与基础的凸起部分固定,这样可以减弱一些振动对测功器的测力机构和磅秤表盘有害的影响。

铸铁底板的工作面一般都加工出几道工型长槽,四周铸出集水槽沟(图1-3)。将它装到基础上时要校准水平并与基础中预先浇入的螺钉牢固固定。

待试发动机与测功器连接方式,一般采用弹性联轴器或万向联轴节。当用弹性联轴器连接时,两轴的允许偏心量不得超过0.2毫米;采用万向联轴节时,两轴中心线的允许偏差可以适当放宽。由于万向联轴节本身较长,且不平衡,故不宜用于高速传动。装有联轴器的部位必须设置防护罩。



图1-3 带槽的铸铁底板

1.2.2 燃料消耗量测量装置

燃料经济性是内燃机主要性能之一,用燃料消耗率 g_e (克每千瓦小时) 作为评价这一性能的指标,它是通过内燃机台架试验测定得到的一项重要参数,因此在内燃机试验室内必须设有燃料消耗量测量装置。

内燃机的燃料分为液体燃料和气体燃料两类,这里主要讨论液体燃料消耗量的测量装置和测定方法,气体燃料消耗量的测量及其装置将归入流量测量一章中介绍。

液体燃料消耗量测量装置随测定方法的不同而各异。测定液体燃料消耗量的方法有:容积法、重量法、流量计法和流速计法等。容积法和重量法只适用于内燃机稳定工况状态下燃料消耗量的测定,在非稳定工况运转的情况下只能采用列举的其它一些方法。不论采用哪种方法,测定值一般都用重量单位表示,这对计算混合比等比较方便。

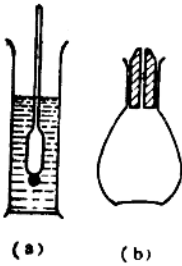


图1-4 (a)液体比重计
(b)比重瓶

对于透明度较好而在大气中易于挥发的燃料,如汽油、甲醇、乙醇等,采用容积法测定比较安全和准确,但这需要测定出燃料的比重。此外,在精确测定小型二冲程发动机混合燃料的消耗量时,尚须分别测定各自的比重及其相互比例。在测定粘度较低的燃料的比重时,可使用玻美浮子式比重计[图1-4(a)],在进行精密测定时可使用比重瓶[图1-4(b)]。

1. 容积法测定装置

用这种方法测定燃料消耗量时,使用葫芦形玻璃量瓶,它用连通管与燃料箱相通,中间装一个三通阀进行转换图[1-5(a)]。如果已知量瓶上刻线A与下刻线B之间的容积,则测定燃料液面由A下降到B所需的时间,即可按下式求出单位时间的燃料消耗量

$$G = 3.6 \frac{V\gamma}{t}$$

式中 G 为燃料消耗量 (千克每小时); V 为量瓶两刻线间的容积 (毫升); γ 为燃料的比重; t 为液面通过两刻线之间所需时间 (秒)。

量瓶的容积, 随内燃机功率的大小和运转工况而有所不同, 使测定的时间大致为 30~60 秒。量瓶刻线部分之所以做得比较细, 目的是使液面通过该部分的速度加大, 使测定比较正确。在实际使用中通常采用图 1-5 b 所示的玻璃量瓶, 上端设有 10~20 毫升的溢流泡, 下面的油泡容积一个比一个大, 当油泡的容积依次为 5、10、20、40 毫升时, 利用这种量瓶可以测定的燃料容积为 5、10、15、20、30、35、40、60、70、75 毫升。

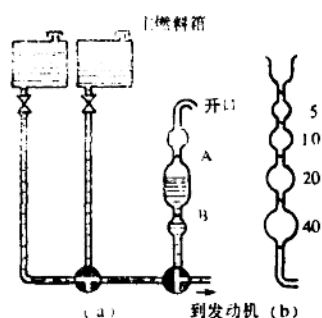


图 1-5 用容积法测定燃料消耗量的装置

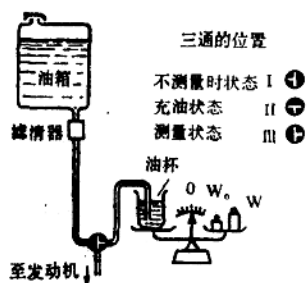


图 1-6 重量法测定内燃机燃料消耗量的装置

2. 重量法测定装置

这种方法是测定消耗一定重量燃料的时间 (图 1-6)。进行测量前先将三通转到状态 II, 这时油箱的燃料在供给发动机的同时又向天平一端的油杯充油, 一直到天平上的油杯一端略重于砝码 $W_0 + W$ 的重量, 然后将三通转到状态 III, 使发动机完全由油杯供油。由于油杯中燃料逐渐减少, 即砝码 $W_0 + W$ 和油杯一端的重量逐渐趋向平衡。在天平达到平衡的时刻, 即指针指到零的瞬间, 开始测定时间并取掉砝码 W , 当油杯端重量与砝码 W_0 平衡时, 测定结束并将三通转到状态 I。这样就测出了消耗重量为 W 的燃油时间, 进而可按

下式算出发动机的单位时间燃料消耗量。

$$G = 3.6(W/t)$$

式中 G 为燃料消耗量 (千克每小时); W 为燃料重量 (克); t 为测定时间 (秒)。

用容积法和重量法测定燃料消耗量时, 最重要的是时间的测定, 若以人工操作来测定时间, 会引入人为误差, 其大小决定于操作者的熟练程度。为了提高测量精度, 目前已普遍采用量瓶式或天平式的自动燃料消耗量测量仪。

1.2.3 冷却水供给系统及其装置

水冷式内燃机试验时, 要控制和调节其进、出水的温度, 有时还需要测定流经发动机冷却水的流量, 此外, 当采用水力制动器作为调节和吸收发动机的输出设备时, 用水作为制动器的工质并带出由发动机输出功转化的全部热量。

图 1-7 所示的供水系统和冷却装置能满足内燃机试验时的要求。冷却水由水池用离心水泵 1 经阀送入稳压水箱, 用浮子阀来控制水箱内的水平面, 以保持供水系统有稳定的水压。水压的大小根据水力制动器对它的要求来确定, 一般, 水平面的高度应不小于 4 米, 用阀调节制动器的进水量。冷却发动机用的水由循环水箱供给, 离心水泵 2 将这里的水送到

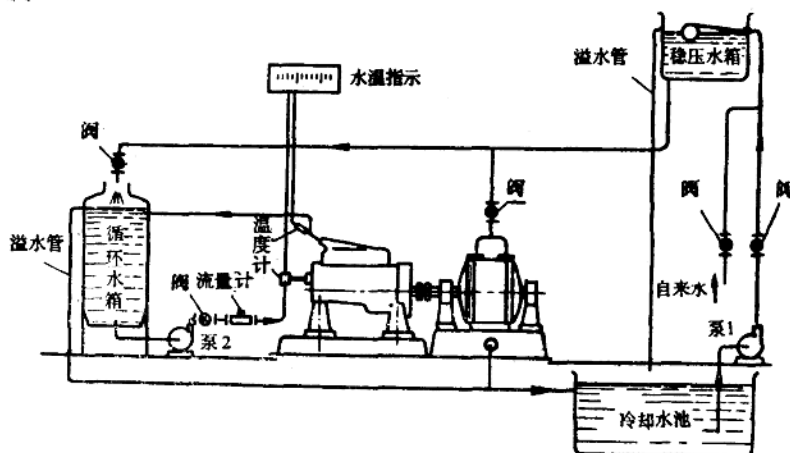


图 1-7 供水系统和冷却装置

发动机的进水口，经水套又从出水口流回到循环水箱。从发动机冷却水套中带出的热量靠循环水箱四壁向周围空气散热是不够的，用阀调节掺入冷水的量来控制发动机的进水温度。流经发动机水套的流量用节流阀调节，当流量加大后发动机进、出水的温差就减小，所以阀是用来调节发动机的出水温度的。

为了测量发动机进水和出水温度，可在它进、出水口相近的管路中装置温度计。建议采用电阻温度计，因为这时温度的指示仪表可移到合适的地方。

管路中接入的流量计可以用来测量冷却水的流量。

在这样的供水系统中，从发动机冷却水套带出的热量和从水力制动器中带出的热量最终将通过冷却水池散发到大气中。因此，设置在室外的冷却水池要有足够大的容量，使它有可能散发出这些热量。

当试验发动机的功率很大，且试验的时间又很长的情况下，水池中的水温会升高，这时可开启阀，用温度较低的自来水补充到冷却系统中去。

关于供水系统中冷却水的供给量，可以从热量平衡的关系来估算：内燃机消耗燃料能量的25~35%转化为有效功，约30%的热量从冷却系统中带出。若内燃机的燃料消耗率按每千瓦小时300克计算，燃料的热值按每千克42500千焦计，则在图1-7所示的系统中，从循环水箱的溢水管带出的热量每千瓦小时约3800千焦。当加入的水温与溢出的水温相差50℃时，每千瓦小时的冷却水消耗量大约为18千克。从水力制动器出水管带出的热量每千瓦小时约为3600~5000千焦，当取进、出水温差为30℃，则水力制动器每千瓦小时的冷却水消耗量是28~40千克。

1.2.4 空气消耗量测量装置

内燃机在进行工作过程的试验研究中，需要测定空气消耗量。内燃机工作时空气消耗量以体积来计量其数值是非常大的。用容积法固然可以相当准确的测定空气消耗量，但测量装

置的体积十分庞大，建造这样的装置很困难。因此，实用上常采取测量空气经过已知长度的管子或圆孔的流速，计算出空气消耗量。

测定等速稳定流动的气体流量有许多方法。但是，在内燃机工作时，进气管中的气体流动情况即使是在多缸机中，它的压力、流速都是时刻在变化（周期性的脉动）的，因此，在测量这种脉动气体流量时必须设法把脉动的流动变为等速稳定的流动，然后用一般的方法进行测量。

图 1-8 所示为一附有阻抑气流波动的稳压罐的空气流量测量装置。

空气用鼓风机由空气进口处吸入，管道间装有节流元件，当空气流过时，在节流元件的前后形成压差，从测压孔测出压差以计算流量。鼓风机把空气送入稳压罐，又从这里供给发动机。调节鼓风机的转速，便可在气罐中建立所要求的空气压力，气罐中的压力用差压计指示。罐的底部用橡皮膜封住，这不仅可以减弱罐内气压的脉动，并可防止气罐爆炸。

为消除流动的旋涡，在鼓风机进口处的一段管中装设镇流隔板和金属网，使管中空气的流动均匀、平稳，以提高测量的准确度。

为了不致使压力测量仪表反应出气流脉动造成的影响，稳压罐的容积不应小于被测发动机一个气缸容积的200倍。

关于节流元件的选用和空气消耗量的计算将在流量测量一章中讨论。

1.2.5 排气系统

内燃机台架试验时不带消声器，也不应让废气排放在试验室内。除了个别情况外，废气必须用排气管道引到室外。这个别情况包括当必须在可能更接近于实际使用的条件下，进行车用发动机的使用试验。这时试验的发动机带有正常装设在车辆上的排气管与消声器。在这种情况下，为使试验室中的空气不被废气污染应当用通风机排出废气。

每一套试验的装置应设有单独的排气管，排气管安设在地沟中并引到室外，地沟中填充

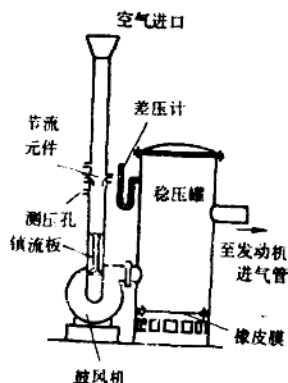


图 1-8 空气流量测量装置

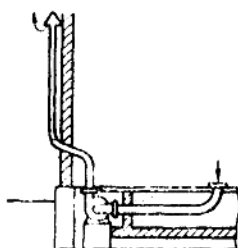


图 1-9 串入鼓风机的排气装置

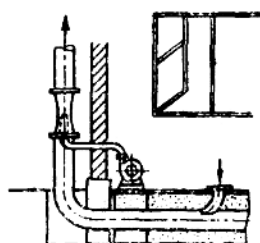


图 1-10 用喷射器的排气装置

黄砂并覆有盖板，用以隔绝热量和噪声。从发动机排气口到地沟管道，最好采用不锈钢制成的皱纹管连接。排气管道的气体流通截面应不小于发动机排气出口处的截面积，总长度不大于6米。排气管平缓拐弯（有较大的曲率半径）不应多于三处。

由于废气中含有一定量的水蒸气，在排气系统的管道中应能泄出凝结的水和残液。

在试验室的排气系统中，有可能积聚着可燃混合气，为了预防爆炸事故的发生，可在管道中串入鼓风机(图1-9)，或采用另一种排气装置(1-10)，这时热废气不通过鼓风机，而是用高速的空气流从喷射器引出废气。

从排气管引到室外的废气，如能经过设于室外的地下消声坑再排到大气中，则能有效地降低排气噪声对周围环境的干扰。对于设有消声坑的排气装置，同样要采取相应措施预防爆炸的发生。

第二章 测量与仪表的基本知识

2.1 测量的基本概念

测量是确定一个未知数值的物理量的过程,用试验的方法将此物理量与另一同名的作为单位的物理量相比较,以确定两者之间的比值。

在内燃机试验中,因被测物理量(如温度、压力、流量、功率等)的性质不同,测量的目的和要求不同,所以测量的方法和所用的仪器也各异。

按照得到最后结果的方法不同,测量可分为直接测量和间接测量两类。凡被测量的数值可以直接从使用的测量仪器上读得的,称为直接测量,如用压力计测量压力,用温度计测量温度等。有些被测量的数值不能直接从测量仪器读得,而是需要通过直接测量测得与被测量有一定函数关系的量,然后经过公式运算得到被测量的数值。凡属此类的测量则称为间接测量,如内燃机有效功率和燃料消耗量的测量等。

直接测量显然是测量的基础,对于稳态物理量的直接测量。常用的测量方法有下列几种。

1.直读法:用度量标准直接比较,或从仪表上直接读出被测量的绝对值。如用刻度尺测量长度,用弹簧秤测定重量等。

2.差值法:从仪表上直接读出两量之差值即为所求之量。如用U型液柱式差压计测量介质的压差。

3.代替法:用已知量代替被测量,使两者对仪表的影响相等,则被测量即等于已知量。如用光学高温计测量温度。

4.零值法:使被测量对仪表的影响被同类的已知量的影响相抵消,则被测量便等于已知量。如用天平秤测定物质的质量,用电位计测量热电势等。

至于测量方法的选择应取决于测试工作的具体条件和要求。在满足测量精度的前提下应力求简便迅速和不苛求于使用高精度的仪表。

对于非稳态和瞬变参数的测量,由于被测量表现为时间或其它变量的函数,这就需要用显示或记录的方式观察和记录被测量的变化过程和大小。那些缓慢变化的现象和参数可以用慢扫描示波器, X-Y函数记录仪或其它机械式的仪器来测录变化的图形。对于一些迅速变化的现象和参数的观察测量,需要采用特殊的方法,设备和仪器。目前应用最普遍的是光测和电测法。

被测定的量有的可以逐个数出其数目,即用数字来计量,如内燃机曲轴转数的测量。测量的结果是从仪表的数码盘中读得。属于这一类型的测量系统称数字测量系统。

通常被测参数的量或它的变化并不表现为“可数”的形式,在测量过程中首先将被测物理量转换成模拟信号,并最终用仪表指针的位置或记录笔描出的图形来显示测量的结果。这样的测量系统称模拟测量系统。

模拟测量系统的主要优点是价格低, 直观性强, 灵活和简便。但是这种装置的主要缺点是测量精度低, 表盘型指示器的读数误差很难达到小于 $\pm 0.5\%$ 。数字测量系统能够排除人为的读数误差, 因为数字读出总是更为确切。数字系统的另一个重要优点是可以直接用数字打印机记录数据, 或与数字计算机相联, 实现数据的自动化处理。

近年来在内燃机测量技术的领域内已大量采用数字测量系统, 这是因为近代电子技术中的模/数转换技术(A/D转换系统)已能足够精确地将模拟形式的电量方便地转换成数字形式。在测量及自动控制系统中, 有时也需要进行数/模转换(D/A转换系统)。

由模拟信号表示的模拟量和由数字信号表示的数字量有本质上的区别。模拟信号含有“仿真”的意思, 即模拟电压和电流信号的电平可以连续地或以无限小的阶跃量仿照被测量的变化而改变, 理论上模拟信号的分辨能力是无限的。在数字信号中, 电压或电流的电平不再代表信号幅值的大小。这里只有两种电平, 即“通”(或逻辑“1”)和“断”(或逻辑“0”), 信号的幅度, 是用几个“通”或“断”电平的组合来表示。所以数字信号只能取有限个数值, 只能按照断续阶跃量的形式来表达连续的时变信号, 它的分辨能力, 决定于所取增量的大小。因此模拟测量系统的测量过程是连续的, 它能给出被测变量的瞬时值。数字测量系统的测量过程则是断续的, 它给出的数值是被测量在一段时间内的平均值。

2.2 测量仪器的组成和分类

用图 2-1 所示的例子来说明模拟测量系统的组成。图 2-1 (a)是用热电偶测定温度的简图。图 2-1 (b)是机械式示功器的机构图。

首先热电偶用热电势的形式来感知温度, 在机械式示功器中由小活塞对抗弹簧产生位移来感知气缸内的气体压力。对测量仪器来说这构成为仪器中的感受件, 通常称传感器。

其次, 热电势用补偿导线来完成传递作用。示功器中小活塞的位移用杠杆机构来传递, 与此同时杠杆机构还完成了扩大原始感知出的位移的放大作用。这在仪器中构成为中间件。

最后, 热电势是用毫伏计指针的偏转位置作出指示。在示功器中用记录笔的移动直接把压力的变化描绘在记录转筒的纸上。这部分成为仪器的指示件或记录件, 统称为效用件。

从作用上看, 任何测量仪器都包括这三个元件。

1. 感受件: 它直接与被测对象发生联系(但不一定直接接触), 感知被测参数的变化, 同时对外界发出相应的信号。

作为仪器的感受件必须满足下述三个条件:

(1) 它必须随被测参数的变化而发生相应的内部变化(这个内部变化就是传感器的输出信号)。如热电偶的一端受热后, 因金属的热电效应而产生电势。

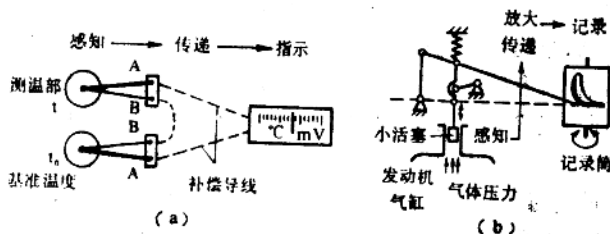


图 2-1 测量系统的组成示意图

(a) 用热电偶测定温度的简图 (b) 机械式示功器的机构图

(2)它只能随被测参数的变化而发出信号(即不受其它任何参数的影响)。如热电偶产生电势的大小只随温度而变,其它如压力等参数的变化不引起电势的改变。

(3)感受件发出的信号与被测参数之间必须是单值的函数关系(即一个确定的信号只能与参数的一个值相对应)。例如,不能用水的密度变化来测量 $+4^{\circ}\text{C}$ 左右的温度,因为在这种情况下水的同一个密度大小可以代表两个不同的温度。

实际上这三个条件是难以完全得到满足的,特别是其中第二个条件。因此,任何传感器都不可能是十全十美的,它都受一定使用条件的限制。如在使用上不加注意,就会得出错误的测量结果。

2.中间件:最简单的中间件是单纯起“传递”作用的元件,它将传感器的输出原封不动地传给效用件。这种单纯的传递件一般只有当传感器输出的信号较强,感受件与效用件之间的距离不大或效用件的灵敏度很高(或消耗的能量很小)时才有可能采用。

在近代的内燃机测试工作中,都要求实现数据集中观测、遥测和自动记录。所以大多数测量仪器的中间件还必须完成“放大”、“变换”和“运算”任务。

仪器的放大件有两类:一类是感受件发出的信号较强,放大时不需外加能量,它只利用杠杆、齿轮等机械构件扩大指针和标尺之间的相对位移,使易于观测,如机械式示功器中的杠杆,弹簧管压力计中的杠杆和扇形齿轮传动机构。

另一类放大是需要外加能量的,这在电测仪器中用得很多,例如用电子电位计测量热电势时,就要将电势放大10万倍才足以驱动伺服电机来带动指针作指示。这类放大在电测仪器中利用电子器件来完成。

有时是为了放大信号的需要,或改变传感器输出信号性质的需要,在电测仪器的测量电路中设有信号“变换器”和“运算器”。

3.效用件:它直接与观测者发生联系,它的作用是根据传感器输出信号的大小向观测者指出被测参数在数量上的大小。最简单而常见的仪器效用件是指示件,它通过标尺和指针(或液面、光线等)的相对位置来反映被测参数的瞬时值,有这种效用件的仪器也就被称作指示式仪器。效用件能将被测参数各个瞬时值记录下来的仪器称为记录式仪器。在记录式仪器中,除了以记录笔的运动来反映被测参数的变化外,还需要另一个作相应运动的部件,这样才能作出函数的图形。在图2-1(b)的机械式示功器中,如记录转筒的轴跟随气缸中活塞的行程作相应的来回转动,则记录笔相对于记录纸得出的运动轨迹为 $p-v$ 图。若记录转筒跟随曲轴转角作相应的旋转,则在记录纸上描绘的是 $p-\alpha$ 图。通用的记录式仪器中,记录纸作匀速运动,因而能得出被测参数对时间的函数曲线。

记录式仪器所能反映的是被测参数在各个瞬时的变化情况,但有时需要知道被测参数对时间的积分。例如在测定流量时,不仅要知道流量的瞬时值,而且还要知道在某个时间间隔

内流过的总量,如以 Q 表示瞬时流量(米³/秒),则 $\int_{t_1}^{t_2} Q dt$ 就是从时间 t_1 到 t_2 间隔内流过的总量。

固然可以利用记录式仪器所记下的曲线用求积仪量出流量曲线所包含的面积,从而算出流过总量,但这毕竟比较麻烦,为此可以使仪器的效用件自己进行积分,这样的测量仪器称积分式仪器或累计式仪器,如流量计、电度表等。

此外,按照效用件的功能来分类的还有:数字式仪器、信号式仪器、电接触式仪器、调节式仪器等等。

测量仪表按其用途可分为范型仪表和实用仪表两类。

范型仪表是准备用以复制和保持测量单位,或是用来进行各种测量仪表校验和刻度工作的仪表。这类表仪的准确度很高,对它保存和使用有较高的要求。

实用仪表是供实际测量使用的仪表,它又可分为实验室用仪表和工程用仪表。前者必须要供给关于它们读数的校正曲线或数值表,使用时应考虑周围环境对示值的影响(如温度、压力、磁场、振动等)。其测量结果具有较高的准确度。后者并不需要校正资料,它们的准确度是预先根据其结构、制造和运用条件定出。对它的要求是动作迅速、使用简单、可靠,其测量结果能满足工程测量误差所允许的范围。

2.3 评定测量仪表质量的主要指标

测量仪表的质量决定所得测量结果的可靠程度,其中主要的有:

2.3.1 精度

仪表的指示值接近于被测量的实际值的准确程度,称为精度或准确度。它通常以“允许误差”的大小来表示。允许误差的物理意义是:仪表读数允许的最大绝对误差折合为该仪表量程的百分数,即

$$\delta_y = \pm \frac{A_1}{A_u - A_d} \times 100\%$$

式中 δ_y 为允许误差; A_1 为允许的最大绝对误差; A_u, A_d 为仪表刻度的上限和下限值。

例如。有一温度计的刻度是从 $-30^\circ\text{C} \sim +120^\circ\text{C}$, 而允许的最大绝对误差为 $\pm 2^\circ\text{C}$, 则其允许误差为

$$\delta_y = \pm \frac{2}{120 - (-30)} \times 100\% = \pm 1.3\%$$

测量仪表常采用允许误差来表示仪表准确度的级别。如允许误差为 $\pm 1.5\%$ 的仪表是为“1.5级”。工程用仪表通常为0.5~4级;实验室用仪表0.2~0.5级;范型仪表在0.2级以上。仪表的准确度级一般都标志在仪表的标尺板上。

2.3.2 恒定度

仪表多次重复测量时,其指示值的稳定程度,称为恒定度。通常以读数的变差来表示。当外部条件不变。用同一仪表对某一物理量的同一参数值重复进行测量或是相隔一段时间再测量时,指示值之间的最大差数与仪表量程之比的百分数为读数的变差。读数的变差的特例是当仪表指针上升(正行程)与下降(反行程)时对同一被测量所得读数之差(由于仪表内部有阻尼,传动系统中有摩擦和间隙,这种变差是存在的)。显然,仪表读数的变差不应超过仪表的允许误差。

2.3.3 灵敏度

仪表指针的线位移或角位移与引起这些位移的被测量的变化值之间的比例S,