

高等学校试用教材

内燃机车测试技术

北方交通大学 杨 超 主编

西南交通大学 范佩鑫 主审

中国铁道出版社

1992年·北京

前 言

本书是根据铁路高等工科院校“热动力机械与装置”专业教学指导委员会一九八七年三月峨嵋会议制订的“七五”期间教材和教学参考书规划，和同年六月在北京召开的“内燃机车测试技术”教学参考书编写工作会议上制订的编写大纲，由各铁路院校合作共同编写的。

根据编写大纲的要求，本书主要阐述内燃机车测试技术的基础理论和内燃机车主要参数的测试方法，可作为高等院校“热动力机械与装置”专业和“内燃机”专业的选修课教材或教学参考书。也可供汽车、拖拉机、船舶、工程机械等专业的工程技术人员学习参考。

本书汇集了部分新技术，其中转速、转矩传感器，曾获1985年国家发明三等奖。

本书第一章、第三章由上海铁道学院应礼昌编写，第二章、第四章、第五章由北方交通大学杨超编写，第六章由北方交通大学罗鸿逵编写，第七章、第九章第一节、第十章由西南交通大学范佩鑫编写，第八章由西南交通大学秦兰锦编写，第九章第二节由长沙铁道学院许善镇编写。全书由北方交通大学杨超主编，西南交通大学范佩鑫主审。

在本书编写过程中，曾得到许多兄弟院校、科研单位和生产部门的支持、指导和帮助，在此一并致以深切谢意。

编 者

1988.6.

(京)新登字063号

内 容 简 介

本书系统介绍了内燃机测试技术的基础理论和主要参数的测试方法,内容包括转速、转矩及功率测量、温度测量、压力测量与示功图测量、流量测量、烟度测量、应变测量、振动测量和噪声测量。同时还介绍了内燃机车的动力学试验和牵引热工试验。

本书可作为高等学校选修课教材,也可供有关专业的工程技术人员学习参考。

高等学校试用教材

内 燃 机 车 测 试 技 术

北方交通大学 杨恩 主编

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条14号)

责任编辑 马时尧 封面设计 王锡平

北京市顺义燕华印刷厂印

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 19 字数: 248千

1989年11月第1版 1992年12月第2次印刷

印数: 1501—2500册

ISBN 7-113-00585-9/U·171 定价: 2.85元

目 录

第一章 转速、转矩及功率测量	1
§ 1—1 转速测量	1
§ 1—2 转矩测量	5
§ 1—3 功率测量	7
第二章 温度测量	13
§ 2—1 稳定温度测量	13
§ 2—2 瞬时温度测量	20
§ 2—3 零、部件温度测量	22
第三章 压力测量与示功图测录	27
§ 3—1 压力测量	27
§ 3—2 示功图测录	30
§ 3—3 示功图的数据采集和处理	39
第四章 流量测量	42
§ 4—1 燃料消耗量的测定	42
§ 4—2 冷却水与润滑油的流量测量	48
§ 4—3 进气流量测量	51
§ 4—4 气体流速测量	55
第五章 烟度测量及废气分析	60
§ 5—1 烟度测量	60
§ 5—2 排气成分分析	65
第六章 应变测量	73
§ 6—1 静态及动态应变测量	73
§ 6—2 运动件的应变测量	79
§ 6—3 高温条件下的应变测量	83
第七章 振动测量	87
§ 7—1 振动基本参数的测定	87
§ 7—2 机械阻抗测量	92

§ 7—3	扭转振动测量	96
§ 7—4	测振传感器的校准	100
第八章	噪声测量	104
§ 8—1	噪声及其测量	104
§ 8—2	对噪声公害的限制要求	115
第九章	内燃机车牵引热工性能试验	118
§ 9—1	内燃机车运行试验	118
§ 9—2	内燃机车定置试验台	132
第十章	内燃机车动力学试验	138
§ 10—1	机车振动参数的测量	139
§ 10—2	轮轨力的测量	144
§ 10—3	机车动力学性能的评定	150

第一章 转速、转矩及功率测量

§ 1-1 转 速 测 量

转速测量是动力机械最基本的参数测量,例如,柴油机的仪表盘都装有转速表,用以监测发动机的平均转速。有时为了研究过渡工况需要测定动力机械的瞬时转速。此外,在内燃机车中还需测定增压器、冷却风扇等的转速,因此转速测量在内燃机车测试技术中极为重要。

转速是指单位时间内轴旋转的圈数,以 r/min 表示。转速测量分平均转速测量和瞬时转速测量两种。

一、平均转速测量

平均转速是指被测轴在某一时间间隔内转速的平均值。通常转速测量大多是指在某一稳定工况下的平均转速。

测量平均转速的转速表分指针式和数字式两类。随着电子工业的发展,数字式仪表的应用已日趋广泛。

(一) 机械式转速表

1. 离心式转速表 图 1-1 是手持离心式转速表的原理图。离心式转速表是利用旋转质量的离心力与旋转角度成比例的原理制成的。重环 2 转动时,在离心力作用下向外移,一直到与扭力弹簧 1 平衡时才静止。这个动作可由杠杆机构、齿轮等传递给指针 5,并使之偏转。为扩大量程,通过不同齿轮组合,可将量程分成几段。

离心式转速表结构简单,价格便宜。但由于机械传动精度低,误差一般在 $1\sim 8\%$ 范围内,且长期使用后弹簧刚性系数会发生变化,因此这种转速表已逐渐被数字式手持转速表所取代。

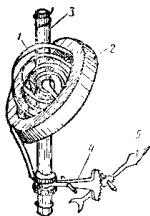


图 1-1 手持离心式转速表
1——扭力弹簧; 2——重环; 3——旋转轴; 4——扇形齿轮; 5——指针。

2. 定时转速表 定时转速表采用钟表式机构测定在一定的时间间隔内轴的转数。因此实质上是转数计。它将累计部分和计时部分合成一体。其原理如图 1-2 所示。

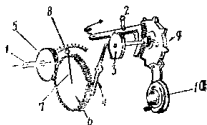


图 1-2 定时转速表
1——主齿轮; 2——传动拨针; 3——齿轮; 4——杠杆; 5——传动轮; 6——传动轮; 7——指针; 8——刻度盘; 9——摆轮; 10——摆轮。

定时转速表的使用范围最高可达10000r/min。如使用正确，精度可达±0.5%左右。但其结构复杂，不能连续测量。

(二) 电气式转速表

1. 感应式转速表 它利用电磁感应原理进行测量，其原理如图1—3所示。旋转部分由永久磁铁3和铁芯5组成。在3和5之间的环形间隙中产生强磁场，由铝或铜制成的杯形圆盘4放在环形间隙的强磁场中。当3和5随被测轴旋转时，杯形圆盘4作切割磁力线运动并产生感应电动势涡电流。涡电流在永久磁铁3的磁场中受到力和旋转力矩，该力矩 M 与被测轴转速 n 成比例。杯形圆盘在力矩 M 作用下沿3的旋转方向偏转角 α 。 α 的大小由指针指示。刻度盘上标有转速单位(r/min)，所以指示值便是被测轴的平均转速。

遥测感应式转速表由转速变送器1和转速指示器4组成，如图1—4所示。被测轴的转速经过由三相同步发电机（转速变送器）、三相同轴电缆和三相同步电动机所组成的电力同步传动机构传递给感应指示器。使用时，将转速变送器与柴油机被测轴作固定连接。并将转速指示器安装于柴油机仪表盘或实验台架上。由于连接电缆最大长度为25m，因此最大遥测距离为25m，其相对误差为1.5~2%。

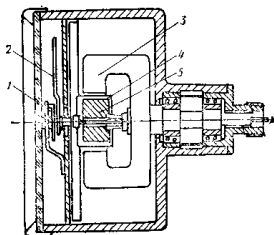


图1—3 感应式转速表

1——游丝；2——指针；3——永久磁铁；
4——杯形圆盘；5——铁芯

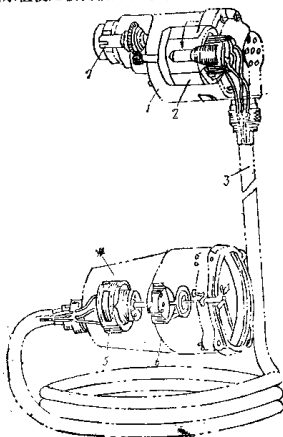


图1—4 遥测感应式转速表

1——转速变送器；2——三相同步发电机；
3——连接电缆；4——转速指示器；5——三相同步电动机；6——感应式指示器；7——主动轴。

2. 发电式转速表 发电式转速表由转速发生器、连接电缆、转速指示器组成。交流或直流发电机可直接用作转速发生器。因为当一个线圈在磁场（通常都用永久磁铁）中旋转时，在该线圈中感应出的电动势 e 可用下式表示：

$$e = c \phi z n \quad (1-1)$$

式中 ϕ ——切割转子线圈的磁通；
 z ——线圈匝数；
 c ——指示仪器的常数。

因此当磁场强度一定时，电动势 e 与转速 n 成正比。转速发生器有直流和交流两种。由

于直流发电机的整流器造成的误差和故障较多,所以一般都采用交流发电机。

转速指示器归根到底就是一个电压表,通常采用内装整流器的动圈式交流电压表。由于温度的影响,电动势误差很大。然而可以加各种补偿装置,保证其误差可在1%以下,量程最大可到10000r/min左右。

(三) 数字式转速表

数字式转速表精度高、读数方便,与计算机配合,还可实现转速的数据处理和自动记录,因而得到迅速发展。

数字转速表有固定式和手持式两种。手持式数字转速表又可分为接触式和非接触式两种。接触式手持转速表结构轻巧、读数稳定。在选用附件后还可测量圆周速度。目前小型化的数字式转速表与指针式转速表相比,其测量范围广、无需换挡,读数方便、精度高,价格也并不十分昂贵,因此已得到较普遍使用。非接触式手持数字转速表除上述优点外,由于它是通过轴上反光片的光反射进行测量,不与轴直接接触,因此使用安全可靠,寿命也高。手持式数字转速表有LCD(液晶显示)和LED(发光二极管)两种显示器,尤其是大型LED显示器,数字十分清晰。

无论是固定式还是手持式,数字转速表都是由转速传感器和数字显示器两大部分组成,区别只是手持式数字表把这两部分做成一个小型的整体。

1. 转速传感器 数字转速表常用的转速传感器有磁电式和光电式两种。

(1) 磁电式转速传感器 磁电式转速传感器的原理如图1-5(a)所示。它由带齿的旋转轮和磁电式变换器两部分组成。旋转轮用导磁材料制成,固定在被测轴上。磁电式变换器则由磁钢和感应线圈组成。当轴转动时,由于电磁感应,变换器的线圈便产生感应电势,输出一个电脉冲信号。通常取旋转轮的齿数为60,当计数时间定为1s时,电子计数器所显示的脉冲数即为转轴的每分钟转速。

磁电式转速传感器的旋转盘和变换器也可制成整体形式,如图1-5(b)所示。磁电式转速传感器结构简单,工作可靠,因此得到广泛应用。

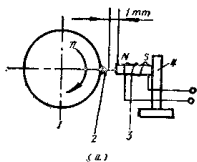


图1-5 (a) 分体式磁电转速传感器
1——旋转盘; 2——齿; 3——变换器; 4——支架。

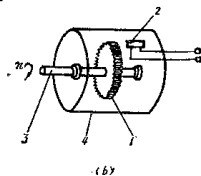


图1-5 (b) 整体式磁电转速传感器
1——齿轮; 2——变换器; 3——转轮; 4——外壳。

(2) 光电式转速传感器 光电式转速传感器利用光电变换原理制成,分透过式和反射式两类。其结构形式也有分开式和整体式两种。

透过式光电转速传感器由光栅盘、发光器、受光器三部分组成,其原理如图1-6所示。当槽处于发光器和受光器之间时,光线透过光栅照到受光器的光电元件上,光电元件便输出一个脉冲信号。一般光栅盘槽数取60,因此每秒钟的转数即为被测轴的平均转速(r/min)。透过式光电转速传感器也可做成整体结构型式。

反射式光电转速传感器的原理如图1—7所示。工作时在被测轴上粘贴专用的反射纸带,这种反射纸带由微小玻璃球珠粘结而成,有时也有用铝箔或涂以白漆等作为反射面。当发光器的光束经反射后到达受光器,光电元件便产生相应的电脉冲信号,由电子计数器计数。

由于这种传感器属无接触型式,而且输出信号的电平与转速大小无关,因此使用方便,测量范围广。这种传感器也可做成整体结构型式。

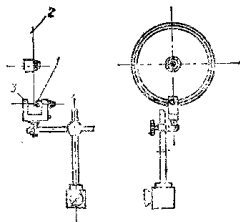


图1—6 电感式转速传感器
1——发射器; 2——光磁盘; 3——受光器。

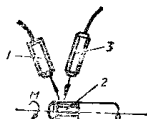


图1—7 反射式光电转速传感器
1——发光器; 2——反射面; 3——受光器。

2. 电子计数器 电子计数器能计量在一定时间间隔里的电脉冲数目,其电路原理如图1—8所示。

由转速传感器输出的电信号经放大整形电路进行整形,转换成等幅的矩形波,再经放大后送入主门。主门实际上是与非门。主门的另一路输入信号来自主振荡器及分频电路。计数电路由计数单元、寄存器、译码器和数字显示器组成。

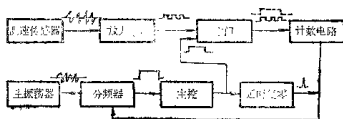


图1—8 电子计数器框图

二、瞬时转速测量

瞬时转速是指在时间间隔趋于无穷小时的那一瞬间的角速度。近几年来瞬时转速越来越引起人们的重视,这是由于对内燃机过渡过程的研究得到重视。另外,内燃机的平均转速虽然不变,但其在每一转中的瞬时转速却是变化的。因此瞬时转速的测定对内燃机的调整、故障诊断等都具有重要意义。

(一) 测速发电机式瞬时转速仪 这种转速测量仪的传感器是微型测速发电机,直接安装在被测轴上。其输出电压 V 与转速 n 成正比,即 $V = k\phi n$ 。因此可以用一般的记录仪记录发电机的输出电压 V 的波形。这种测量仪的相对误差一般为 $\pm 1\%$,动态响应也不高,最高测量的转速不超过10000r/min。

(二) $f-V$ 转换型瞬时转速测量仪

$f-V$ 转换型瞬时转速仪是由转速传感器、 $f-V$ 转换器、直流放大器、记录装置组成。

转速传感器一般采用磁电式或光电式原理的传感器。由传感器输出频率为 f 的脉冲信号,经整形电路后成为等幅的矩形波,经变频电路后输出电压为:

$$V = RCV_0 f \quad (1-2)$$

式中 R ——鉴频器微分电路放电电阻；
 C ——鉴频器微分电路充电电容；
 V_0 ——整形电路输出矩形波幅值；
 f ——矩形波信号频率。

由于式中 R 、 C 、 V_0 均为常数，所以鉴频器输出电压 V 与频率 f 成正比， $V = F(f)$ ，即与被测轴的转速成正比。该信号经直流放大器将转速的变化曲线记录下来。记录器可采用笔记录仪、光线示波器或磁带记录仪。 f - V 变换型瞬时转速仪的电路框图如图 1-9 所示。

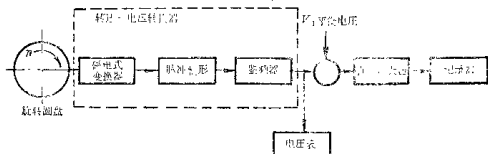


图 1-9 f - V 变换型瞬时转速仪框图

随着微机应用的推广，有些瞬时转速表是以微处理技术为基础的智能化工器。这些仪器将转速传感器的输出信号经变换送入微机进行数据处理，使测量的功能增加，可同时求取瞬态转速、平均转速、最高最低转速、瞬态调速率等参数，改进了内燃机动态转速特性的研究。

§ 1-2 转矩测量

转矩是动力机械的主要参数之一，按测量转矩的方式可分两种设备。一种是吸收功率型，一般称作测功设备；另一种是传递型，一般称作转矩仪。由于转矩仪不消耗功率，因此应用范围更广泛，在国内外发展很快。

转矩仪的基本原理是基于转矩与扭转变形成正比，由材料力学可知转矩的大小与扭轴产生扭转变形的扭转角 φ 呈线性关系：

$$M_K = \frac{G J_p \varphi}{L} \quad (1-3)$$

式中 φ ——两截面间的相对扭转角 (rad)；
 L ——两截面间距离；
 G ——剪切弹性模量；
 J_p ——扭轴断面的惯性矩；
 M_K ——转矩。

对某一扭轴言，其 L 、 G 、 J_p 均为常数，扭转角 φ 与转矩 M_K 成正比。

测量转矩有各种各样的仪器，但由于转矩存在一个旋转件的信号输出问题，因此转矩测量更加困难。

测量转矩的方法很多,有电阻式、光电式、磁电式、钢弦式、电感式等。本节着重介绍磁电式转矩转速仪及其它转矩仪的特点。

一、磁电式转矩转速测量仪

磁电式转矩仪是一种非接触式的高精度测量仪器。由于它精度高、应用范围广、工作可靠,因此是目前应用最多的转矩仪。图1—10所示即为磁电式转矩转速传感器的示意图。

(一) 原理

转矩转速测量仪由传感器和显示仪配套而成。传感器应用磁电原理工作,当扭力轴受扭时就产生微小扭转角,在弹性变形范围内两者成正比。在扭力轴两端分别设置由内外齿轮、磁钢、导磁环及固定信号线圈所构成的两套磁电信号发生器。在互不啮合的内、外齿轮间发生相对转动时,磁阻也随之变化,于是在二个线圈中分别感应出近似正弦波的感应电势。当扭力轴受扭时产生扭转变形,使两个线圈的输出信号间发生移相,其数量与扭矩大小成正比,因此可通过相位差来测定扭矩的大小。图1—11是该传感器的原理图。

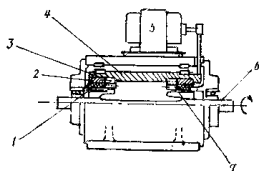


图1—10 转矩转速传感器
1——线圈；2——磁钢；3——内齿轮；4——旋转套筒；5——电动机；6——扭力轴；7——外齿轮。

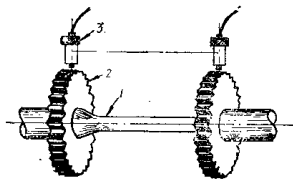


图1—11 转矩转速传感器工作原理
1——扭力轴；2——外齿轮；3——磁电检测器。

显示仪的原理是由传感器输入的两路信号,经放大整形、鉴相,变为相位差的矩形波,经与门,在由标定时决定的时间常数里填入高频晶振脉冲,经分频后计数,即可测出转矩值。

(二) 误差

磁电式转矩仪的精度主要取决于传感器。传感器的误差来自三个方面:静校误差;不同转速引起的误差;不同心度造成的误差。

静校误差取决于弹性元件(扭力轴)的材料稳定性,即要求其弹性模数稳定。因此要求扭力轴的材料具有高弹性、高疲劳强度、低磁性、低温度系数、好的机械加工性能。常用的弹性材料有铍青铜、40CrNiMo钢、50CrV钢等。在正确选用材料和合理的热处理工艺时,这项误差可以控制在 $\pm 0.1\%$ 以内。

转速特性引起的误差取决于两组磁电信号发生器的对称性和传感器的不同心度等综合因素,也就是说,主要与设计参数及加工质量有关。该误差可以通过电阻(或电容)进行补偿。如结构合理,同心度较高,补偿较好,这项误差可小于 $\pm 0.2\%$ 。

不同心度引起的误差主要取决于结构设计合理性及机械加工的水平,一般可控制在 $\pm 0.2\%$ 以内。综合以上三项误差,传感器的总精度可达 0.5% 。

这种磁电原理的转矩仪由于精度高、应用范围广、寿命长，因此在国内外的转矩仪市场中占主要地位。国际市场上主要是日本的产品，国内也有一些单位生产这类仪器。由上海生产的CZ型转矩转速传感器获得了国家发明奖，其主要性能指标超过了国内外同类产品。CZ型的主要特点是高精度、小型化、耗电省、过载能力强、自动化程度高、使用方便。现将国产CZ型转矩转速传感器与国外DSTP型的性能对比列于表1—1。

国内外传感器的性能对比

表1—1

型 号	参 数	转矩范围 N·m	转速范围 r/min	静校精度 %	瞬时过载 %	外形尺寸 mm	重 量 kg	耗 电 W
日本DSTP型		20	0—6000	0.1 ± 0.04	180	270 × 180 × 270	19	35
中国CZ型		20	0—8000	0.1	600	150 × 54 × 56	1.1	1

二、应变式扭矩仪

应变式扭矩仪由应变扭矩传感器与显示仪组成。由于应变式扭矩仪结构简单，能测起动扭矩和瞬时扭矩，动态响应较好，因此在国内外普遍应用。但由于旋转信号的传递误差，使这种扭矩仪的精度和使用范围受到一定限制。

这种扭矩仪的传感器按信号输出方式可分为接触式和非接触式两类。前者采用集流环传递方式，这种信号传递方式限制了动态精度和使用转速，后者则采用旋转变压器或遥测的信号传递方式。

三、钢弦式、光电式、压磁式扭矩仪

钢弦式扭矩仪是应用钢弦振荡频率随扭矩大小而变的原理，通过测量钢弦的振动频率的变化来显示被测轴的扭矩和功率。钢弦式扭矩仪的最大特点是分开式的扭力套筒装置，因此可以在实际运行的船上测量轴马力，一般只用于中、低速柴油机。这种扭矩仪的信号输出也有滑环型和无接触型两种方式，精度一般在1%左右，在船舶上广泛使用。

光电式扭矩仪是应用光电变换的基本原理，其结构较简单、精度也较高，但由于标定较困难，在使用上受到了一定限制。压磁式扭矩仪的突出优点是有很强的抗干扰能力和寿命，但精度不高，受温度影响较大，因此一般都用在监测和控制中。

总之扭矩仪的特点是设备简单、成本低、体积小、不消耗功率、并有较高的精度，因此使用较为广泛。而各种原理的扭矩仪有其不同的特点及使用场合。因此根据不同试验对象、不同使用要求，来正确选用测试设备是获得理想试验结果的重要条件。

§ 1—3 功率测量

功率是评定一台柴油机质量的主要参数。功率测量是一种间接测量，柴油机的有效功率 N_e 由下式决定：

$$N_e = 1/9550 \cdot M_K \cdot n \quad (1-4)$$

式中 N_e ——柴油机的有效功率 (kW)；

M_K ——柴油机的输出扭矩 (N·m)；

n ——柴油机的输出转速 (r/min)。

因此必须测出输出轴的扭矩和转速，经运算求得有效功率 N_e 。如前所述，只要选用量程合适的数字式转速表，转速的测量精度是非常高的，因此功率的测量精度主要取决于扭矩的测量精度。

测量扭矩和功率的方法很多，在内燃机测试中除了前面介绍的各种扭矩仪外，广泛应用的测功设备有水力测功器、电涡流测功器和电力测功器等。

一、水力测功器

水力测功器是利用水与运动体之间的摩擦阻力来吸收发动机的功率，由于它结构简单、操作容易、工作可靠、保养方便、价格低廉，所以是一种最基本的测功设备，被广泛用于各种转速的柴油机试验，我国的发动机试验绝大多数应用水力测功器。

(一) 水力测功器的工作原理

水力测功器有三种基本型式：圆盘式、搅拌式、涡流式。图 1—12 所示即为圆盘式水力测功器的结构示意图。在转轴 1 上固定安装圆盘 2，外壳 3 上也装有相应的圆环 4，圆盘的数量由吸收功率的大小决定。当测功器工作时，由于水与圆盘间有摩擦力，水在圆盘 2 附近加速，靠近外壳 3 的水层由于圆盘 4 和外壳 3 的阻力作用而减速，使水温升高。如水层愈厚，圆盘与水的摩擦面积也愈大，吸收的功率也就愈大。外壳 3 是通过轴承装在轴承架上，可以旋转。此时轴 1 上的扭矩等于水对外壳的摩擦力矩，如果在外壳的制动臂杆上挂重量 P ，使外壳 3 处于平衡，这时测功器的制动扭矩为：

$$M_K = R \cdot P \quad (1-5)$$

制动功率为：

$$N_e = K \cdot P \cdot n \quad (1-6)$$

式中 R ——制动臂长，对具体的测功器臂长为常数；

K ——测功器常数。

影响测功器制动扭矩的主要因素是圆盘表面情况、测功器尺寸及转速。为了增加制动扭矩，往往增加圆盘的数量和直径，并在圆盘上钻有许多小孔，以增加水层的摩擦阻力。水由进水口流入，工作完后经调节阀 6 流出，出水调节阀 6 可以均匀地调节旋转水层的厚度，从而调节测功器的制动功率。

圆盘式水力测功器的特点是工作较稳定、结构简单、维护方便、能正反转工作。

搅拌式水力测功器是在转轴的转鼓上装有多列方形截面的搅拌棒，在外壳上同样也装有相应的搅拌棒。在测功器工作时，水被搅拌棒甩到固定在外壳的搅拌棒上，这样轴的扭矩通过水层的

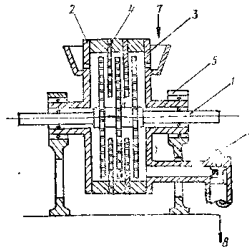


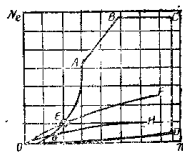
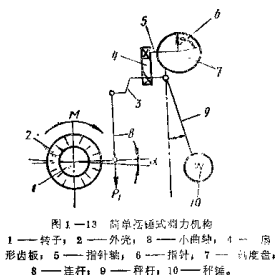
图 1—12 圆盘式水力测功器
1——转轴；2——圆盘；3——外壳；4——固定圆盘；5——轴承架；6——出水调节阀；7——进水口；8——出水口。

作用传递给外壳，此扭矩由外壳上的摆锤机构平衡。这种搅棒式的水力测功器的优点是结构简单、可正反转，测功器的功率储备较大，但缺点是工况不易稳定，尤其在低负荷时更为严重。

(二) 测力机构

水力测功器的测力机构大多数采用简单摆锤式的测力机构，如图 1—13 所示。测动器的外壳在扭矩 M 的作用下摆动一个角度 α ，连杆拉动小曲拐，使秤杆摆动 θ 角度，从而产生一个由摆锤重力引起的反力矩与 M 平衡，并使外壳处于平衡状态。这时通过扇形齿轮带动指针偏转一个角度 φ ，即为所测扭矩的大小。这种测力机构的传递误差较大，而且很难实现遥测遥控，因此正逐渐为先进的电测力机构所取代。

采用高精度的拉压力传感器，并用先进的数字显示、记录、储存、处理，这样一方面可以提高测试精度，另一方面也提高了自动化程度。我国的国家标准《内燃机台架试验方法》规定测功器误差应不大于 1%，采用电测法的测力机构可使精度得到明显提高。



(三) 水力测功器的特性曲线

图 1—14 是水力测功器的特性曲线，共由五段组成：

OA 线 测功器在充满水时所吸收的功率；

AB 线 在等扭矩情况下，提高转数以提高测功器的吸收功率；

BC 线 在测功器排水温度达到最大允许值时的限制功率；

CD 线 受离心力负荷的转速限制；

OD 线 OD 为空载线，这是在没加水时由于空气阻力和转子轴承的摩擦所引起的制动扭矩。

曲线 OABCD 就是水力测功器的特性曲线，它所包括的面积就是测功器的工作范围。只要被测试的柴油机的外特性线在该面积之内，则说明该测功器与柴油机是匹配的。如 OF 是柴油机的特性线，该柴油机的试验可以从 E 点的转速开始测量，一直测到 C 线的最高转速为止。因此在柴油机试验中合适的水力测功器与其配合，是十分重要的。

(四) 测功器的校正

水力测功器是一种计量仪器，它的测量精度直接影响柴油机试验的正确性，因此在水力测功器出厂前，或是在使用一段时间后必须进行校正，以保证其测量精度。

图 1—15 是测功器的校正装置示意图，无论是采用简单摆锤式测力机构的测功器还是用高精度拉压传感器的测功器都需进行系统校正。

水力测功器的主要误差有以下几方面:

1. 外壳与轴承之间的滚动轴承摩擦力矩误差, 这与轴承的质量、润滑情况、轴承架的加工精度等有关, 一般讲这个误差是很小的。

2. 测力机构本身的误差, 这与摆锤机构的摩擦阻力及加工装配质量有关。在电测力机构中与传感器的安装方式和安装水平有关。因此测功器安装后需要进行整个系统的标定, 以提高测功装置的总精度。

3. 测功器安装倾斜或者进出水的方向不通过测功器的旋转中心, 这些都会影响测功器的测量精度。

校正的方法是先检查测功器的安装是否水平, 然后调正零位, 在校正力臂的秤盘上加标准砝码, 其刻度盘读数或数显仪表的读数应与所加砝码的重量相等。反复多次校验, 使误差降至许可范围内。

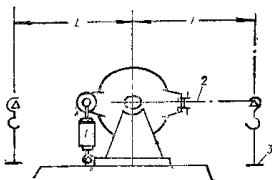


图 1—15 测功器校正装置

1——拉压力传感器; 2——校正弯杆; 3——秤盘。

二、电涡流测功器

电涡流测功器的特点是结构简单、运转平稳、振动小, 可用于宽广的转速和功率范围 (转速自1000r/min到25000r/min, 功率可达4500kW以上), 并有足够的测量精度。而且这种测功器的控制比较方便, 只需改变励磁电流就可控制所吸收的扭矩。

但电涡流测功器与水力测功器相比, 整套测功设备较为繁杂, 对冷却水质的要求较高, 对转子的动平衡和轴承精度的要求也较高, 且易受外界磁场的干扰。与电力测功器相比, 它只消耗柴油机功率而不能将电能回收, 也不能作为电动机驱动柴油机试验。

图 1—16 是电涡流测功器的结构原理图。测功器主要由转子 (包括驱动轴和电感器) 和摇动架 (包括涡流环、铁芯、励磁线圈) 组成。

电涡流测功器的工作原理是带齿的转子磁电流产生的电涡流, 电涡流的磁场与磁电流磁场方向相反, 对转子起到制动作用, 由此产生的热量由水冷热交换器吸收。电涡流测功器按其结构形式可分为盘形转子轴向磁场和圆柱形转子径向磁场两种。由于前者具有转子转动惯量小, 水冷热交换器易于拆卸更换等优点, 所以目前国内外生产的电涡流测功器大多是这种型式。

电涡流测功器也有摆锤式和电测两种测力机构, 原理与水力测功器的测力机构相同。电涡流测功器的控制调节系统比较复杂。对转子的要求较高 (要求转子有高的刚性和小的惯性), 对冷却系统、冷却水的水质也都有严格的要求, 因此造价比较昂贵。

电涡流测功器的特性曲线如图 1—17 所示。O—A—B—C—O 为测功器的工作范围。

OA线 当励磁电流增加到最大值, 吸收功率随转速的增长而增长;

AB线 受涡流环发热的限制;

BC线 受最高转速的限制。

电涡流测功器的特性是吸收扭矩随励磁电流和转速的增加而增加。但当励磁电流一定,

转速超过基准转速时, 扭矩饱和了, 转速再增加, 扭矩几乎不变。当转速不变时, 励磁电流增加到一定程度, 磁路饱和, 扭矩也几乎不变。所以测功器的等扭矩特性范围很广, 因此单

纯改变励磁电流来调节恒速是困难的, 往往还需附加自动控制装置, 使励磁电流随转速而自动变化。

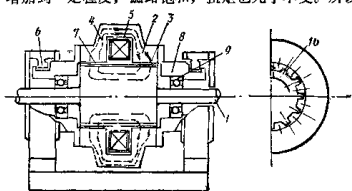


图 1—16 电涡流测功器的结构

1 —— 驱动轴; 2 —— 电枢; 3 —— 涡流环; 4 —— 铁芯;
5 —— 励磁线圈; 6 —— 滑动架; 7 —— 气隙; 8 —— 轴承
架; 9 —— 轴承; 10 —— 齿。



图 1—17 电涡流测功器的特性曲线

三、电力测功器

电力测功器是较理想的测功设备, 采用最多的是平衡式直流电力测功器。平衡式直流电力测功器在整个功率范围内工作都比较平稳, 调节方法迅速, 操作方便, 维护简单, 噪音小、测量精度高。并可作为电动机驱动发动机进行启动、磨合和测量摩擦功率, 这是其它各种测功器所不及的。大功率的交流电力测功器还可以向电网回送电力。

实际上电力测功器一般用于中小功率的测量, 这是因为电力测功器的价格昂贵。而且直流电力测功器还需要庞大的配电设备, 一次性投资费用大, 加上转子的惯性大, 对转子的动平衡要求高。因此目前电力测功器一般在实验室用得较多。

平衡式直流电力测功器由平衡电机、测功器直流电源的交流机组及励磁电源的变流机组等设备组成。测功器的核心部分是测功器本身, 其结构如图 1—18 所示。

平衡电机实际上是一台直流电机, 与一般电机不同之处是它的定子 4 的外壳可在与电枢轴线同心的滚动轴承 2、6 之间摆动。在定子 4 的外壳上, 与水力测功器一样, 装有测力机构 (秤量机构)。

定子磁场由励磁电源励磁后, 便产生与励磁电流相适应的磁场。柴油机带动电枢 1 旋转, 由于磁力线的相互作用, 在定子 4 的磁场中产生一个与轴的转向相反的电磁阻力矩 M 。定子 4 是可以摆动的, 此摆动力矩等于阻力矩 M , 并被秤量机构所平衡 (与水力测功器相似)。直流平衡式电力测功器定子磁场的作用, 相当于水力测功器中水层的作用。它的负荷调节可由励磁回路和电枢回路两方面进行, 因此调节平稳而精细。

电力测功器常用的测力机构是精密摆锤式秤量机构, 它显示的精确度高于简单摆锤式秤量机构。同样, 现在也开始采用电测力机构。

无论采用哪种测力机构, 电力测功器也需进行校正, 方法与水力测功器的校正相同。

电力测功器的特性曲线如图 1—19 所示。

OA 线是在最大励磁电流和最小负荷电阻时, 功率随转速的增长线;

AB 线是最大电枢电流限制线 (扭矩限制线);

BC 线是受电机散热条件限制的最大功率线；

CD 线是受离心力限制的转速极限线；

OE 线是测功器最小阻力线；

OD 线是在最大励磁电流和电枢电路中的负荷电阻足够大的情况下，功率随转速的增长线。

$O-A-B-C-D-E-O$ 为电力测功器的工作范围。

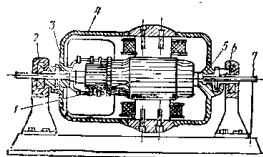


图 1-18 平衡式直流电力测功器结构

1 —— 电枢；2、3、5、6 —— 轴承；4 —— 定子；7 —— 底座。

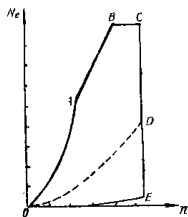


图 1-19 电力测功器特性曲线