

【西德】海因兹·格罗埃著

内燃机测试



上海科学技术文献出版社

Messen an Verbrennungsmotoren

Heinz Grohe

Würzburg: Vogel, 1977

内 燃 机 测 试

[西德] 海因兹·格罗埃 著

冯镜明 译

郑缤遂 徐 忠 校

上海科学技术文献出版社出版
(上海市武康路二号)

新华书店上海发行所发行
宜兴南漕印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7.625 字数 184,000

1983年7月第1版 1983年7月第1次印刷

印数: 1—6,700

书号: 15192·258 定价: 0.95 元

《科技新书目》51—237

出版者的话

这是一本于 1977 年由西德出版的专门讲述内燃机试验中测量技术的书籍, 书中详尽介绍了发动机试验中各种重要参数的测量方法及测量仪器、测量设备和传感器的原理及结构。其中既有常用的测量仪器, 也有研究性试验用的仪器。书中附有大量数据、计算公式、图表, 每一章节都附有计算例题。本书是按西德和欧洲工业标准规定来进行测量的, 对每一项测量都有说明, 便于读者查考。本书内容丰富、深入浅出、富有实用性, 对于我国从事内燃机设计、生产的技术人员以及大专院校内燃机专业教师和学生有一定参考价值。

前 言

目前,在测量技术方面的专业资料十分众多,但绝大多数只是一般地介绍了测量方法和测量仪器。因此,如想寻找专讲发动机测量的资料,必须查阅大量的资料。这往往是很费事的工作。本书主要介绍了与发动机直接有关的主要测量方法和测量仪器。当然在选材上不可能包括所有仪器的一切细节。但是,对测量问题叙述得相当清楚,有助于发动机制造者能够合理地应用各种测量方法和正确地选定测量仪器。本书的读者对象主要是发动机制造专业的大学生以及那些想丰富和补充发动机测量知识的从事实际工作的工程技术人员。

本书从误差计算讲起,因为正确的测量也与测量结果精度的评定有关。中间几章专述发动机的测量。测量方法和测量仪器放在一起讲,以使读者在接触每个测量问题时,能同时了解测量方法和测量仪器。末章详述了每次试验应提出的试验报告。

几年前开始的向新国际单位制的过渡尚未最后结束,为便于实际工作者对新旧单位的换算(这种换算常常是困难的),有时在新国际单位后面的括号中注明允许用到1977年12月31日但目前仍在沿用的旧单位。但西德标准化委员会推荐的这种做法主要用于参数方程,实际工作者已十分熟悉的一些数值方程不在此例。

本书中“校准”一词的定义不象在度量衡检定等官方校准时的那么严格,而是在含义上属于一般工程术语中习用的概念。

海因兹·格罗埃 (Heinz Grohe)

书中所用符号

a	距离
A	面积
b	每工作循环的燃料消耗量
b_c	燃料比耗量
B	燃料消耗量
c	系数; 弹簧常数; 速度; 碳的质量浓度比容; 阻力系数
CaZ	十六烷值
d	直径
D	气缸直径
E	电压
f	频率; 单位时间的点火数
F	相对误差; 力
g	评价系数; 重力加速度 (9.81 米/秒 ²)
G	重量; 剪切模数
h	高度; 氢的质量浓度
Ho	霍德贡数 (Hodgons)
H_o	比燃值 (高热值)
H_u	比热值 (低热值)
i	系数; 注脚; 曲轴每转的工作循环数
I	平面惯性矩
j	注脚
k	系数; 注脚
K	修正系数
l	长度

L	长度; 空气质量
m	平均误差; 质量; 开启面积比
m_p	压力比例尺
M	扭矩
n	转速; 热电偶电极长度; 多变指数; 测量值数目
OZ	辛烷值
p	压力
P	功率; 概率
r	半径; 蒸发热; 体积浓度
R	欧姆电阻
Re	雷诺数
s	活塞行程; 标准偏差
t	系数; 温度; 时间
T	绝对温度
u	比例系数; 间歇度
$\ddot{u}$	传动比
U	转速
v	残余误差; 比例系数; 比容
V	体积
V_h	单缸排量
w	凝结水质量
W	功; 水质量
x	真实值
$\bar{x}$	平均值; 或然值
x_i	单次测量值
y	函数值; 力臂
z	气缸数

α	膨胀系数; 流量系数; 系数; 曲轴转角; 角度; 角减速度
γ	升角; 角度
Δ	差值
ε	应变; 膨胀系数; 真实误差; 压缩比
η	效率
θ	温度
Θ	质量惯性矩
κ	等熵指数
λ	过量空气系数; 连杆比
ν	频率; 注脚; 运动粘度
ρ	密度
Σ	总和
τ	时间
φ	相对空气湿度
ψ	转角
ω	角速度

目 录

1. 误差计算概述	1
1.1 误差种类	1
1.2 一系列测量的误差	4
1.3 误差的传递	8
2. 功率	12
2.1 有效功率	13
2.1.1 车用发动机的有效功率	13
2.1.2 一般用途发动机的有效功率	14
2.2 扭矩	18
2.2.1 测功机	18
2.2.1.1 结构类型	20
2.2.2 测力计轴	26
2.2.2.1 结构类型	29
2.3 转速	33
2.3.1 机械式转速表	33
2.3.2 电动式转速表	35
2.4 指示功率	41
2.4.1 示功器	45
2.4.1.1 机械式示功器	45
2.4.1.2 机械-电动式示功器	50
2.4.1.3 电动式示功器	51

2.4.2	p_i (活塞平均压力)测定仪	55
2.5	摩擦功率和拖动功率	59
2.5.1	用燃料消耗量确定摩擦功率	60
2.5.2	用断缸法确定摩擦功率	62
2.5.3	用惯性运转法确定摩擦功率	63
2.5.4	拖动功率的确定	65
2.5.5	用相应的拖动功率确定摩擦功率	65
3.	燃料	67
3.1	燃料消耗量	67
3.1.1	燃料比耗量的换算	68
3.1.2	燃料消耗量综合特性曲线	71
3.1.3	测量仪器	73
3.2	燃料特性值, 性能	79
3.2.1	辛烷值	80
3.2.1.1	在检测发动机上测定辛烷值	80
3.2.1.2	辛烷值大于 100 的燃料辛烷值的测定	87
3.2.1.3	道路法辛烷值的测定	88
3.2.2	十六烷值	89
3.2.2.1	在检测发动机上测定十六烷值	90
3.2.3	比热值	93
3.2.4	蒸发曲线	98
4.	温度	101
4.1	活塞温度测量	101
4.2	用热电偶测量温度	105
4.3	用电阻温度计测量温度	114
4.4	用液体温度计测量温度	116

5. 压力	121
5.1 机械式压力表	123
5.2 液体式压力测定仪	124
5.3 电压力测量仪	140
5.4 多变指数的确定	147
6. 运动	153
6.1 活塞行程	153
6.2 提升运动	155
7. 流量	158
7.1 过量空气系数	159
7.2 容积式流量计	162
7.3 浮体式测定仪	166
7.4 节流式仪器	170
7.5 贮压器	175
8. 废气	183
8.1 欧洲的废气试验	188
8.2 柴油机废气烟度	197
8.3 一氧化碳浓度的测量	198
8.3.1 热效应法	198
8.3.2 红外线吸收分析仪	200
8.4 碳氢化合物浓度的测量	203
8.4.1 火焰电离测定仪	204
8.5 一氧化氮浓度的测量	206

8.6 废气烟度的测量	207
8.6.1 透射法	208
8.6.2 过滤法	209
8.7 二氧化碳浓度的测量	211
8.7.1 奥赛特仪	211
8.8 氧浓度的测量	213
8.9 空气-燃料比的测量	215
8.10 根据废气成份计算过量空气系数	217
9. 试验报告	220
9.1 试验报告内容	220
9.2 试验报告示范	222
参考文献	229

1. 误差计算概述

由于任何测量都会出现误差，要确定某个测量参数的正确值或真实值是不可能的。因此，对测量结果，人们不给出真实值，而是同时给出或然值*（它与真实值很接近）和误差。例如：

$$P = (112.70 \pm 0.76) \text{ 千瓦}$$

112.70 千瓦 = 或然值

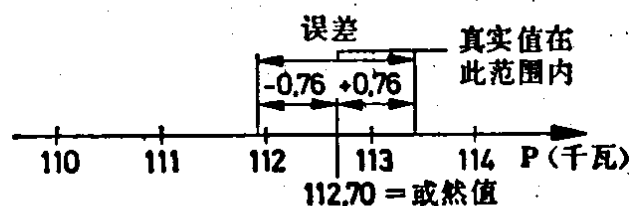
± 0.76 千瓦 = 误差

这个数值表示：真实值处在或然值加上误差后所给定的范围内（图1.1）。真实值可能为

111.94~113.46 千瓦

误差计算的任务是确定或然值和误差。只有当某个测量参数被多次测量，以致得出一系列相互间有或大或小差别的测量值时，才能完成此误差计算。

误差计算的内容十分广泛，此处只作简单介绍，其余见参考文献[1~5]。计算所需的全部公式在引用时也不作推导。



测量结果(112.70 $\pm$ 0.76)千瓦表示：真实值可能为 111.94 千瓦~113.46 千瓦

图 1.1 真实值和或然值

1.1 误差种类

误差有三种，即：

* 即算术平均值

1. 过失误差
2. 系统误差
3. 随机误差

测量时,所有这三种误差可能同时都出现。前两种误差绝大多数是可以消除的,故误差计算只需求出随机误差。

所有情况下,都必须通过测量时的小心谨慎来避免过失误差。例如当观察者由于看错或麻痹大意而读错一个测量值时,就造成过失误差。如果含有过失误差的测量值与许多同项测量值相差很大,就可被识别出来。在进一步整理时,就剔除这个测量值。

系统误差是由测量仪器、测量方法、测量对象和测量观察者处置不当以及环境因素影响引起的。作重复测量时,此误差总是具有相同的值和符号。校准不当的测量仪器产生的系统误差要通过用第二个测量仪器作对比测量而找出。在对测量仪器进行读数时不注意视差而引起的系统误差,可通过分析观察过程予以确定。测量考虑周到和准备工作认真可基本上消除系统误差。

随机误差是测量过程中测量仪器、测量对象和环境发生无法预料的变化以及观察者的因素造成的。随机误差的数值和符号经常变化,完全没有规律。如果把同项参数的测量值按其出现频率画出来,当测量次数足够多时,就得到图 1.1.1 所示的曲线。误差具有正态分布——绝大多数测量都是这种情况——时,就形成高斯钟形曲线(严格地说,要达到这一点,测量次数必须无限多)。正态分布表示:相同测量值的出现频率随测量误差的增加而减小,测量值对称于最大出现频率。

误差还可分为:

1. 真实误差

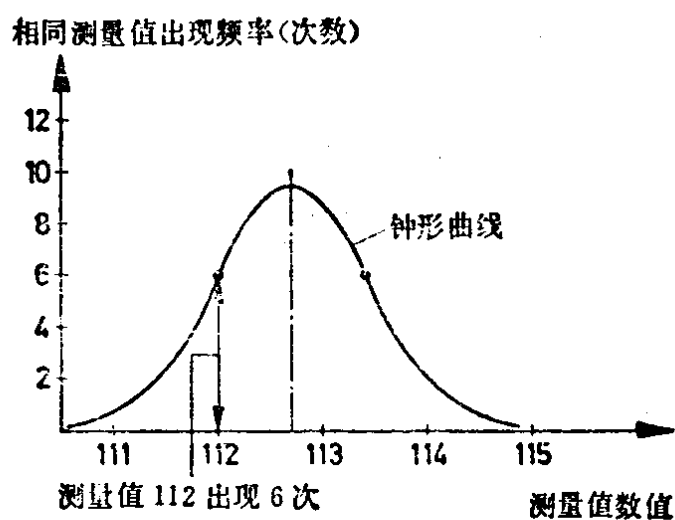


图 1.1.1 测量值的钟形曲线

2. 残余误差

3. 相对误差

真实误差是实测值与真实值两者之差:

$$\varepsilon_i = x_i - x \quad (1)$$

式中: ε_i = 真实误差

x_i = 实测值

x = 真实值

残余误差是实测值与或然值两者之差:

$$v_i = x_i - \bar{x} \quad (2)$$

式中: v_i = 残余误差

x_i = 实测值

$\bar{x}$ = 或然值

相对误差可用真实值或测量仪表的刻度值来表示:

$$\varepsilon_{rt} = \frac{x_i - x}{x} \quad (3)$$

式中: ε_{rt} = 相对误差

$$F_i = \frac{x_i - x}{x_E} \quad (4)$$

式中: F_i = 用刻度值表示的相对误差

x_E = 刻度值

如将相对误差乘以 100, 就得到百分比误差。

除误差外, 还有一个概念, 即修正值:

$$K = -\varepsilon_i \quad (5)$$

其中: K = 修正值

修正值等于误差的负值。

1.2 一系列测量的误差

为了确定一个测量参数而把同样的测量相继进行多次, 就叫做一系列测量, 这种测量得到相互间偏差大小不一的测量值。所有测量值应具有相同的精确度。举例来说, 当转速由转数和旋转持续时间来确定, 而测量时间的长短选得不一致时, 就会得出精确度不同的测量值。在这种情况下, 转速测量的精确度随测量时间的增加而提高。在计算或然值时, 必须要权衡各单次测量值是否具有相同的精确度。本文不讨论这种情况。

为了从精确度相同的许多测量值中找出测量列的或然值, 人们采用算术平均值, 简称为平均值:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

式中: $\bar{x}$ = 或然值

n = 测量值数目

$i = 1 \cdots n$, 测量值测量顺序

x_i = 单次测量值

单次测量值的分散范围愈小, 亦即各单次测量值之间的偏差愈小, 以及用来构成平均值的单次测量值愈多, 则用公式(6)

算出的或然值就愈接近于真实值。

由于残余误差平方的总和等于最小值，算术平均值适宜用来计算或然值：

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \text{最小值};$$

此外，残余误差的总和等于零：

$$\sum_{i=1}^n v_i = 0 \quad (7)$$

式中： $v_i = x_i - \bar{x}$

x_i = 单次测量值

$\bar{x}$ = 或然值

公式(7)用于验算平均值。

或然值是有误差的，下面介绍如何确定这个误差，即或然值与真实值的偏差。为此，先算出所谓标准偏差：

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n v_i^2} \quad (8)$$

式中： s = 标准偏差

n = 单次测量值数目

$v_i = x_i - \bar{x}$

x_i = 单次测量值

$\bar{x}$ = 或然值

此标准偏差也叫做单次测量值的平均误差，因为它表示单次测量值平均与真实值相差多少。误差数据具有概率的特点。对于标准偏差来说，这种特点就是：有 68.3% 的单次测量值与真实值之差不大于标准偏差，其余 31.7% 的单次测量值大于此偏差。

用下式计算或然值的平均误差：

$$m = \pm \frac{st}{\sqrt{n}} \tag{9}$$

式中： m = 或然值的平均误差, 可靠范围*

s = 标准偏差

t = 系数, 取自表 1

n = 相同精确度单次测量次数

或然值的平均误差表明了或然值与真实值之间差值的大小。换句话说, 就是指明了真实值处在用或然值表示的那个范围内。因此, 可靠范围 m 的界限为:

$$+\frac{st}{\sqrt{n}} \quad \text{和} \quad -\frac{st}{\sqrt{n}}$$

由于误差计算具有概率的特点, 在可靠范围内并非一定能找到真实值, 但它可给出能找到的概率。可靠范围的大小除了

表 1 系数 t , 根据西德工业标准 DIN 1319

n	t	
	$P=68.3\%$	$P=99.7\%$
3	1.32	19.2
4	1.20	9.2
5	1.15	6.6
6	1.11	5.5
8	1.03	4.5
10	1.06	4.1
20	1.03	3.4
50	1.01	3.1
100	1.00	3.1
200	1.00	3.0

n = 单次测量值数目; P = 概率

* 即不确定度——译者