

Measuring Techniques for Textile Materials

纤维和纺织品的测试 原理与仪器

主编 李汝勤 宋钧才

中国纺织大学出版社

纤维和纺织品的测试 原理与仪器

李汝勤 宋钧才 编著
朱 浩 陈跃华

中国纺织大学出版社

内 容 提 要

本书较系统地介绍了纤维和纺织品测试的基本原理,并对国内外新发展的测试方法和典型仪器进行介绍。书中涉及测试技术基本理论、纤维和纺织品结构与性能测试、纺织纤维鉴别和混纺比测定等多方面的内容。

本书可供纺织、商贸等大专院校和生产检验部门作为教材或技术培训之用。也可供纺织与化纤生产企业、纺织品质量测试中心、纤维检验和商品检验机构各类专业技术人员阅读参考。

责任编辑 冯启祥
封面设计 王增利
装帧设计 张国华

纤维和纺织品的测试原理与仪器

李汝勤 宋钧才 编著
朱 浩 陈跃华

中国纺织大学出版社出版

(上海市延安西路1882号邮政编码200051)

书店上海发行所发行 江苏丹阳兴华印刷厂印装

850×1168 1/32 印张17.375 字数466千字

1995年8月第1版 1995年8月第1次印刷

印数0001—4000

ISBN 7-81038-052-4/T·06 定价:20.00元

前 言

纤维和纺织品的生产,在国民经济和人民生活占有重要地位。近年来,由于化学纤维工业的迅速发展,纤维和纺织品日益丰富多彩,品种不断增加,性能不断改善。随着人民生活水平的提高,穿着用的纺织品不但要有一定的坚牢度,而且还要求服装的外观美感、风格和穿着舒适性。纺织品除了用于穿着外,室内装饰用纺织品、国防用特种性能纺织品和产业用布的需用量也在增加,对纺织品的阻燃、抗静电、隔热等性能也提出了新的要求。纺织品所表现出来的各种不同特性,是和组成它的纤维品种、纱线和织物的结构以及织物后整理工艺等多方面因素有关。为了能生产出性能优良和符合使用要求的纺织品、纤维、纱线和织物结构性能的测试十分重要。随着科学技术的进步,近年来纺织测试技术有了很大发展。新的测试方法、新型传感器以及计算机技术的应用,使纺织测试仪器发展到一个新的阶段,出现了不少功能齐全、自动化水平高、数据处理能力强以及结构精密的大型测试设备。由于纤维和纺织品的结构和性能是多方面的,纺织测试仪器的种类十分繁多。用于同一测试对象的仪器有多种不同的型号,同一类型的仪器也在不断更新和改型换代。然而,有些仪器尽管在具体结构上有差异,但它们的设计原理往往有相同之处。如果能深入掌握仪器测试的原理,就能清楚了解仪器结构设计的具体要求,就能在使用中更好地把握仪器的性能和发挥它应有的作用。

纤维和纺织品的测试,不仅与纺织、化纤和服装工业有关,还和轻工业、建筑材料工业等其它工业选用纤维和纺织品有关,与农业和畜牧业培育改良品种有关,与商品流通领域中纤维和纺织品的交接验收、定价有关,与军用被服、特种纺织品的研究以及纺织、商业院校数学科研都有关系。纤维和纺织品的测试,在工农业生产、商贸和国

防科技等各个领域中的应用是十分广泛的。

在编写中,本书由浅入深较系统地阐明纤维和纺织品测试的基本原理,对国内外发展的新测试方法和典型仪器进行介绍,使其既有理论,又有应用实践;既有广度,又有深度。编写中注意其内容能适合不同类型专业人员的需要。本书涉及测试技术基本理论、纤维和纺织品结构和性能测试、纺织纤维鉴别和混纺比测定等多方面内容,可供纺织、商贸等大专院校和生产检验部门作为教材或技术培训之用,也可供纺织厂、化纤厂、纺织品质量测试中心、纤维检验和商品检验机构以及科学研究单位各专业技术人员阅读参考。

本书由中国纺织大学李汝勤教授、朱浩教授、陈跃华副教授和青岛市纺织纤维检验所宋钧才高级工程师编写。全书由李汝勤教授、宋钧才高级工程师主编和负责定稿。

本书经上海市纺织纤维检验所严文源高级工程师和上海市纺织标准计量研究所徐鑫耀高级工程师审校,在此表示感谢。

由于纺织测试技术发展迅速,编者水平有限,本书在编写中有不当之处,望读者批评指正。

编 者

1994年12月

目 录

第一章 测量方法与误差	1
第一节 概述.....	1
第二节 测量误差.....	4
第三节 仪器的静态和动态特性.....	8
第四节 试样误差.....	17
第五节 异常值处理和试验方法精密度估计.....	23
第二章 纤维长度、卷曲和热收缩测试	41
第一节 纤维长度测量概述.....	41
第二节 试样制备.....	44
第三节 单根纤维长度测量.....	50
第四节 梳片式和罗拉式长度测量仪.....	55
第五节 光电式长度测量方法与仪器.....	64
第六节 电容式长度测量方法与仪器.....	81
第七节 纤维卷曲性能测试.....	84
第八节 变形丝卷缩性能测试.....	88
第九节 纤维热收缩率测试.....	92
第十节 加弹丝自动测试系统.....	96
第三章 纤维细度、成熟度和异形度测试	99
第一节 纤维细度测量概述.....	99
第二节 气流法测量纤维细度.....	103
第三节 光学投影法测量纤维细度.....	114
第四节 光电法测量纤维细度.....	120
第五节 振动法及声学法测量纤维细度.....	136
第六节 棉纤维成熟度测试.....	139

第七节	化学纤维异形度测试	157
第四章	纺织材料强伸性能测试	163
第一节	纺织材料的强伸特性	163
第二节	摆锤式强力仪	172
第三节	其它类型机械式强力仪	178
第四节	电子强力仪原理与结构	185
第五节	纺织用电子强力仪	202
第六节	纺织材料耐磨性能和摩擦系数测试	211
第五章	纱线捻度、毛羽和直径测试	221
第一节	纱线捻度测试	221
第二节	纱线毛羽测试	228
第三节	纱线直径测试	237
第六章	纱条不匀和疵点测试	245
第一节	纱条不匀及其测量方法	245
第二节	纱条不匀率与变异-长度曲线	251
第三节	电容均匀度仪测量原理	262
第四节	纱条不匀波长谱分析	275
第五节	纱条疵点测试	293
第七章	纺织材料吸湿和电学性质测试	298
第一节	纺织材料吸湿概述	298
第二节	干燥法吸湿测量	304
第三节	间接测湿法	313
第四节	纤维比电阻测量	320
第五节	纺织材料静电测量	322
第八章	纺织材料颜色和光泽测试	335
第一节	概述	335
第二节	视觉与颜色的性质	336
第三节	CIE 表色系统	345
第四节	CIE UCS 均匀色空间与色差计算	355

第五节	白度评价	361
第六节	颜色测量与仪器	363
第七节	色泽的感官检验	382
第八节	光泽测量	389
第九章	织物风格的客观评定	396
第一节	概述	396
第二节	织物抗弯刚度、悬垂性和抗折皱性测试	399
第三节	单台多指标式织物风格仪	405
第四节	多台多指标式织物风格仪	410
第十章	纺织品热湿传递和透气性测试	418
第一节	织物热传递性能及其测试	419
第二节	织物湿传递性能及其测试	431
第三节	织物透气性测试与仪器	440
第十一章	纺织品其它性能测试	446
第一节	织物拉伸断裂试验与仪器	446
第二节	织物起球和勾丝测试与仪器	451
第三节	织物尺寸变化率测试	460
第四节	纺织品阻燃和抗熔融性测试	466
第五节	染色牢度测试与仪器	484
第十二章	纤维的结构分析	497
第一节	光学和电子显微技术	497
第二节	X射线结构分析	500
第三节	红外光谱分析	507
第四节	其它分析方法	509
第十三章	纺织纤维鉴别和混纺比测定	514
第一节	纺织纤维鉴别	514
第二节	混纺比测定方法	533
主要参考文献		546

第一章 测量方法与误差

第一节 概 述

科学技术日益发展,不论是基础学科还是应用科学研究,都离不开测试仪器。工农业生产、医疗卫生事业以及人们生活中的各个领域,普遍使用仪器进行检验和测量。仪器可以帮助人的感官,使人们突破生理上的限制,深入认识客观事物的本质和规律,以便对生产过程进行监督和控制,最终生产出质量优良的产品。

仪器有许多分类方法,根据其作用来分有测量仪器、计数与积算仪器、转换与放大仪器、指示仪器、记录仪器和控制仪器等。

仪器根据其原理不同,可以分为力学类、光学类、电学类和化学类仪器等。根据应用范围不同可以分为通用仪器和专用仪器。

在纺织检验和科学研究中所用仪器种类很多,如纤维有长度、细度、卷曲、热收缩和纤维力学、光学、电学、热学性质的测试;纱线有细度、强力、捻度、均匀度、纱疵、毛羽的测试;织物有厚度、耐磨、色泽、风格、热湿传递、透气透水和阻燃、抗静电、染色牢度的测试等。由此可见,纺织科学技术领域中测试仪器的应用是十分广泛的。

纤维和纺织品在检验中采用两种方法:一种是感官检验法,主要根据检验人员的目光和触觉进行判断,或把试样与标准样品进行比较评定,这种方法简单迅速,但所得结果与检验人员的感觉和经验有关,带有主观因素的影响,检验人员之间可能存在系统偏差;另一种是仪器检验法,可以进行客观评定并能得到测量结果的数字指标,但一种仪器所测结果往往只代表被测对象的某一项性质,而不能对被测对象进行综合性评定。实际应用中要根据被测对象的测试精度要求和实际可能性,选择采用感官检验法或仪器检验法,或两者结

合使用。

在对产品质量监控中,需抽取一定数量样品在实验室内进行试验,根据试验结果对生产工艺进行调整。这样的过程有时要反复多次,才能达到稳定的产品质量,控制周期较长。另一种方法是在生产现场将仪器直接装在机台上,对半成品或成品质量进行连续测量,可以及时提供产品质量信息,称为在线检测。在线检测方法的进一步发展,是将测量所得信号直接通过自动控制系统对机器进行调节,如梳棉机和并条机自调匀整装置等。

用于纺织测试中的仪器,大部分属于测量和计数两大类。虽然由测量仪器与计数仪器所得结果都是数字,但这两种数字的意义却有本质上的不同,因此对这些不同数据应作不同的取舍。

所谓计数,意味着测量结果的不连续的分隔。它的每一个被计数字都是非常严格而确定的。也就是说,计数仪器上所反映的每位数字都是明确肯定的。

测量则是把被测对象与规定作为单位的同类量作比较的过程,测量结果以被测量与测量单位的比值表示出来。所以测量仪器上所得到的数字,它的最后一位是估计出来的,是包含有误差的。这些测量数字的有效位数,要看所用仪器的精密程度而定。用作比较被测量的设备和装置,称为测量仪器。按给定准确程度复制出来的测量单位器件,称为量具。

测量基本方法可以分为两类:直接读数法和比较测量法。

当被测量直接由测量仪器指示出来,仪器的刻度就是被测量的值,这种方法称为直接读数法,用电表测量电压、强力仪测量纤维强力等。

当被测量与标准量进行比较而决定其大小时,称为比较法。它包括以下三种方法:

(1) 零位法 在测量时,被测量对仪器的作用或效应由另一已知标准量的作用或效应平衡,使仪器指示为零值。图 1-1 所示为零位法测量电压的示意图。标准电源电压 E 加在电位器 AC 两端,电位

器上滑臂位置的改变,可以改变 BC 两端电压 U_{BC} 。当加入被测电压 U_x 时,移动电位器滑臂使 $U_{BC} = U_x$,则检流计 G 上读数为零,这时滑臂在电位器上所指出的数值,便是被测量 U_x 的大小。

零位法是一种较为精确的测量方法,其测量准确程度与零位检测器的灵敏度有关。检流计愈灵敏,测量结果误差愈小。天平称重时用砝码与物体重量比较,也属零位法。

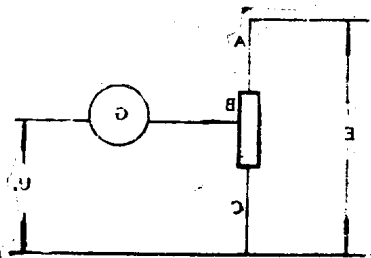


图 1-1 零位法测量原理

(2) 替代法

用已知标准量代替被测量,使仪器指示值不发生改变,称为替代法。这时已知标准量的大小就等于被测量。图 1-2 是替代法测量电阻的示意图。 E 为电源电压, R_x 为被测电阻, R_s 是标准电阻,其阻值可连续调节。测量时先将开关 S 拨向 1, 电路与 R_x 接通, 电流表 A 上读得电流数为 I_1 。然后将开关 S 拨向 2, 调节标准电阻 R_s 的阻值, 使电流表 A 的读数与 I_1 相同, 由此可得 $R_x = R_s$ 。

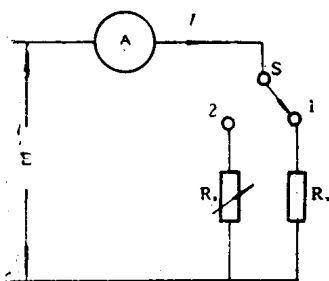


图 1-2 替代法测量原理

测量时先将开关 S 拨向 1, 电路与 R_x 接通, 电流表 A 上读得电流数为 I_1 。然后将开关 S 拨向 2, 调节标准电阻 R_s 的阻值, 使电流表 A 的读数与 I_1 相同, 由此可得 $R_x = R_s$ 。

替代法测量电阻阻值时, 测量结果准确程度决定于标准电阻的准确度, 与电源电压是否准确无关。

(3) 桥式法 图 1-3 所示为电桥法测量电阻的原理。 R_1 、 R_2 为固定阻值电阻, R_x 为被测电阻, R_s 为已知标准电阻, R_s 的阻值可以连续调节。测量时在电桥一臂放入被测电阻 R_x , 调节标准电阻阻值 R_s , 使电桥 A 点和 B 点电位相等, 电桥处于平衡状态,

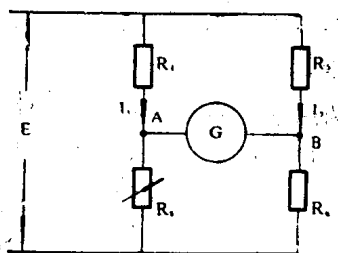


图 1-3 电桥法测量原理

检流计G 读数为零。

电桥平衡时有如下关系：

$$I_1 R_s = I_2 R_x \quad (1-1)$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \quad (1-2)$$

式中 I_1 和 I_2 分别为流经电阻 R_1 、 R_s 和 R_2 、 R_x 的电流。

由上两式可得

$$\begin{aligned} \frac{R_s}{R_1} &= \frac{R_x}{R_2} \\ R_x &= R_s \frac{R_2}{R_1} \end{aligned} \quad (1-3)$$

若 $R_1 = R_2$ ，则

$$R_x = R_s$$

若 $R_2 = 10R_1$ ，则

$$R_x = 10R_s$$

若 $R_2 = 0.1R_1$ ，则

$$R_x = 0.1R_s$$

由此可见，桥式法是零位法的一种特殊形式，电阻测量范围可由 R_2 和 R_1 的比值决定。

实际测量中应用较多的是直接读数法，因为它测量简单，所需时间短。零位法化费时间较长，但所得结果较为准确。

然而，不论怎样的测量都只能做到一定的准确程度。随着科学技术的发展，这种准确度会愈来愈高，但测量结果仍不会完全是被测对象的真值，只是真值的近似反映。测量结果的准确度通常用测量误差来表示。误差愈小，测量就愈准确。如果能掌握那些不可避免的测量误差产生的原因及其规律，就有可能加以改善而达到一定的测量准确性。

第二节 测量误差

上面已经提到，任何一种测量总是有误差的，即使采用最准确的仪器来进行测量，所得结果永远不会是被测量的真值，而只是它的近

似值。测量误差是由各种各样的原因产生的，要完全掌握并消除一切测量误差的来源是不可能的。此外，经验告诉我们，不同来源的误差在测量过程中出现的方式也是各不相同的。

测定值 x 减去真值 x_0 ，所得差值称为测量的绝对误差 Δx ，以下式来表示：

$$\Delta x = x - x_0 \quad (1-4)$$

要知道绝对误差大小，首先要求知道真值 x_0 ，而事实上真值 x_0 是不知道的。一般可以预先掌握仪器测量误差范围 Δx ，再由测量值 x 估计真值所在的区间。仪器的误差范围 Δx 大小，是用量具或高一等级准确度的仪器进行校核后得到的。

绝对误差不能用作误差大小的相对比较，因而要有相对误差概念。相对误差 r 是绝对误差 Δx 与真值 x_0 的比值，其表示式为：

$$r = \frac{\Delta x}{x_0} \times 100\%$$

由于真值无法得到，可以近似地以测量值 x 代替分母中的真值 x_0 ，对计算结果影响不大，可得：

$$r = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-5)$$

测量误差按其来源可以分为以下几种：

(1) 测量方法与仪器误差 仪器设计所依据的理论不完善，或假设条件与实际测量情况不一致所造成的误差，以及由于仪器结构不完善、仪器校正与安装不良所造成的误差。

(2) 环境条件误差 测量环境条件变化，如温湿度改变、电磁场影响、外来机械振动、电源干扰等所产生的误差。环境温湿度变化还会引起试样本身物理机械性质的变化。

(3) 人员操作误差 由于试验人员操作方法不规范所造成的误差，包括读数时的视差等。

(4) 试样误差 纺织材料被测对象总体是极大的，要测量出全部总体性质的真值是不可能的。由于总体中个体性质的离散性、取样方法不当、取样代表性不够和试验个体数不足等，都会产生试样

误差。

由仪器结构上的原因,可能出现的误差有以下几种:

(1) 零值误差 仪器零点未调好,测量结果在整个范围内绝对误差为一常数,如图 1-4 所示。横坐标为被测量值,或称输入量。纵坐标为仪器指示值,或称输出量。 A 为理想情况下两者的关系, B 为存在零值误差时的情况。

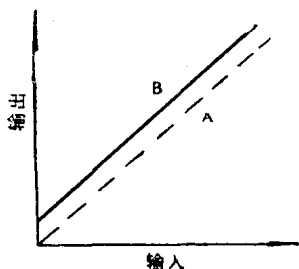


图 1-4 零值误差

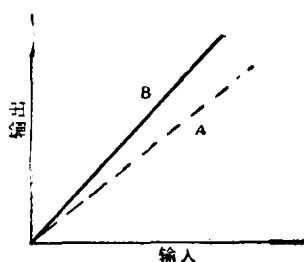


图 1-5 校准误差

(2) 校准误差 仪器刻度未校准,指示结果系统偏大或偏小,相对误差为一常数,如图 1-5 所示。 A 为理想情况下输出量与输入量之间的关系, B 为存在误差的情况。

(3) 非线性误差 仪器输入量与输出量之间不符合直线转换关系,如图 1-6 所示, A 为理想线性转换关系, B 为存在非线性误差情况。

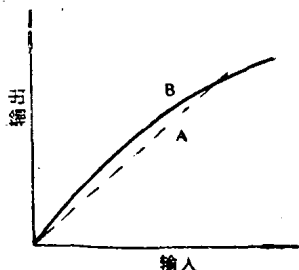


图 1-6 非线性误差

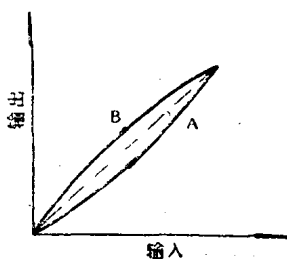


图 1-7 迟滞误差

(4) 迟滞误差 仪器输入量由小到大和由大到小,在同一测量点仪器输出量的差异;或是仪器进程示值与回程示值之间的差异,简称进回程差。如图 1-7 所示, A 为进程曲线, B 为回程曲线。

(5) 示值变动性 对同一被测对象进行多次重复测量,测量结果的不一致性。

(6) 温差及时差 温差指仪器在不同温度条件下,仪器性能的变化。时差是指仪器在相同测量条件下,仪器性能随时间的变化。

以上各种误差尽管来源和表现形式有所不同,就其性质来说,可以分为三大类:

(1) 系统误差 是在测量过程中保持恒定或遵循某种变化规律的误差,如前所说的仪器零位误差、校正误差等。

(2) 随机误差 是对同一被测对象进行多次重复测量,测量结果不一致误差。其特点是每一次测量结果误差出现的大小和正负都是随机的,但多次测量结果误差的分布仍符合一定的统计规律。进行多次重复测量取平均,可减小随机误差,并可对能出现的误差范围进行估计。

(3) 粗大误差 又称疏忽误差,是指明显地歪曲了试验结果的误差。是测量过程中,由于失误或异常试样所造成的误差,明显超出规定条件下预期的误差。测试结果出现异常值,偏离被测对象的正确数值甚大,需要根据一定的法则进行处理。

系统误差有其一定的规律性,可采用以下几种方法加以消除:

(1) 校正值法 预先对系统误差进行研究,掌握系统误差的规律,以确定相应校正方法。如仪器刻度不准,可预先用量具或准确度较高一级的仪器进行校核,得出测量范围内各测量点的误差校正值。环境温度对测量对象的影响,可乘以温度修正系数消除。棉纤维的部分测试项目还可以用国际校准棉花标样或国家所颁发的标样进行测试校准,在测量结果中乘以修正系数。或用标准样品在仪器上测试,同时输入标准样品数据,利用仪器内部计算机进行软件校准。

(2) 正负误差补偿法 进行两次测量,使系统误差在测量结果中出现一次为正值,一次为负值。取两次测量结果平均,使结果与系统误差无关。

例如天平称量时,如果天平两臂长度不完全相等,称物平衡时砝

码质量与物体质量之间就有一定误差。若将物体和砝码左右盘交换放置,取两次读数平均,使正负误差相消,就可得到物体的真实质量。

(3) 替代法 将被测量 X 用已知标准量 A 置换,使置换后的仪器指示值或平衡状态保持不变,则有 $X = A$ 。

上例中若天平两臂长度不等,可以采用替代法。先将质量为 P 的物体放在天平的右盘上,左盘放上质量为 m 的微细物体或砝码使天平达到平衡。设天平左臂长度为 l_1 ,右臂长度为 l_2 ,则有

$$ml_1 = pl_2 \quad (1-6)$$

移去右盘中被称物体,放入质量为 Q 的砝码,使天平恢复原平衡状态,则有

$$ml_1 = Ql_2 \quad (1-7)$$

由式(1-6)和式(1-7)可知, $P = Q$, 与天平两臂长度是否相等无关,消除了天平不等臂误差。

第三节 仪器的静态和动态特性

一 仪器的静态特性

仪器的静态特性,是指被测量不变或作缓慢变化时,仪器所表现的特性。

描述仪器静态特性,有如下一些指标:

(1) 测量范围 仪器在误差允许条件下的测量值范围。

(2) 灵敏度 单位被测量变化所引起仪器读数的变化,称为仪器的灵敏度,以 S 表示。

$$S = \frac{\Delta a}{\Delta A} \quad (1-8)$$

式中: Δa ——指针位移或仪器读数变化;

ΔA ——被测量的变化。

例如天平称盘中加放 1 mg 砝码所引起指针偏移量,称为天平的灵敏度,单位为分度/mg。

有时用感量表示天平灵敏度,其数值为 S 的倒数

$$\text{感量} = \frac{1}{S} = \frac{\Delta A}{\Delta a} \quad (1-9)$$

单位为 $\text{mg}/\text{分度}$,又称为天平的分度值。

测试系统输入量与输出量为线性关系时,灵敏度为一常数,等于转换直线的斜率。测试系统输入量与输出量为非线性关系时,如图 1-8 所示,灵敏度等于曲线在被测点的斜率。已知输入量与输出量的转换函数为 $f(x)$,则灵敏度 S 为

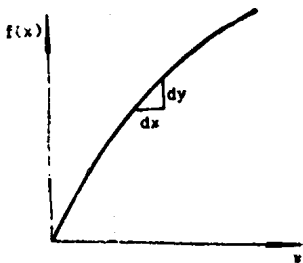


图 1-8 非线性转换时的灵敏度

$$S = \frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx} f(x) \quad (1-10)$$

(3) 准确度 仪器测量结果与被测对象真值之间的接近程度,称为仪器的准确度。它是仪器系统误差与随机误差的综合反映,有时也称为精确度。仪器准确度用它的误差范围表示。

(4) 精密度 仪器在规定条件下对被测量进行多次测量,所得结果之间的符合程度,称为精密度。它表示测量中随机误差的大小。仪器的精密度用它的示值变动误差表示。

(5) 稳定性 在规定条件下,仪器保持其性能不变的特性,称为仪器的稳定性。通常稳定性是对时间而言,反映经过较长时间仪器性能的变化。

(6) 可靠性 指仪器在规定条件和时间内,完成规定功能的能力。仪器出现故障机率愈小,可靠性愈高。仪器可靠性是由组成仪器各部件故障率和使用寿命决定的。

二 仪器的动态特性

仪器的动态特性,是指仪器对快速变化的被测信号的响应能力。

例如用摆锤式强力仪进行纺织材料拉伸试验时,由于仪器强力