

# 工程 检测 技术

GONGCHENG JIANCE  
JISHU

主编 吴杰清

大连海运学院出版社

CP-274 W208

# 工程检测技术

GONGCHENG JIANCE JISHU

主 编 吴杰清

大连海运学院出版社

(辽)新登字 11 号

图书在版编目(CIP)数据

工程检测技术/吴杰清主编. —大连:大连海运学院出版社,1994.5

ISBN 7-5632-0615-9

I. 工… I. 吴… III. 工业工程-自动检测 IV. TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (94) 第 05693 号

大连海运学院出版社出版

(大连)

武汉市长江印刷厂印刷 大连海运学院出版社发行

1994 年 5 月第 1 版 1994 年 5 月第 1 次印刷

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:18.75

字数:468 千 印数:0001~1000

定价:8.60 元

## 内 容 提 要

《工程检测技术》一书介绍了工程检测技术的基本理论和基本方法。全书共十二章, 主要内容包括: 检测技术的基本概念和误差理论基础, 工业生产过程中常用参数的测量原理、测量方法和测量仪表, 工程检测中常用的记录仪器等。

本书为工科院校电子、电气设备专业, 工业自动化专业以及机械工程类专业的教材, 亦可作为从事检测技术工作的工程技术人员参考。

## 前 言

本书是在过去编写并多次使用的《自动检测技术》讲义的基础上重新编写而成。它是电气与机械工程类专业的技术基础课教材，教学时数为60~80学时。

全书共分十二章。第一章介绍检测技术的基础知识，主要包括检测技术的基本概念和测量误差及数据处理。第二章至第十一章是按被测参数划分，这些参数都是工业生产中最基本、最常用的。它们是温度测量，应力应变测量，力、压力测量，转矩和转速测量，振动和噪声测量，位移、厚度和长度测量，流量测量，物位测量，成分测量，物性参数测量。第十二章介绍工程检测中常用的记录仪器，有自动平衡式记录仪，光线示波器，磁带记录仪。

本书在编写过程中加强了理论与实践的联系，尽量结合我国目前生产及科学技术的实际情况，在每一章里都列举了应用实例。为了方便读者的学习，每章后附有思考题与习题。本书在各章节的阐述中，着重于基本概念、基本原理、基本特性和测量方法。力求物理概念明确，突出重点，深入浅出，便于自学。

工程检测技术是一门涉及知识面极为广泛的应用学科，与许多基础课、技术基础课以及专业课联系十分密切。根据这个特点，在本书编写中，一方面注意了吸收有关基础理论知识，另一方面尽量避免与其它课程的重复。

通过本课程的学习，应使读者对工程检测的内容有一个完整的概念，系统地了解工业生产过程中常用参数的检测原理与方法；熟悉常用检测仪表（包括传感器）的工作原理与特点，合理地选择、正确地使用检测仪表及对参数的测量结果能进行误差分析和数据处理。

本书由吴杰清任主编。绪论，第一、二、十章由吴杰清编写，第三、四、十二章由吴世昭编写，第五、六、七章由李家启编写，第八、九、十一章由徐秉鸿编写。

全书由华中理工大学夏士智教授进行了详细审阅，并提出了许多宝贵意见。在此表示衷心感谢。

本书在编写过程中，参考了许多兄弟院校的教材和一些厂、所的文献资料，并且得到了许多同志的帮助和支持。在此，一并表示深切的谢意。

由于编者水平有限，书中难免有不妥和错误之处，恳切希望读者批评指正。

编 者

1993. 9

# 目 录

绪 论	(1)
第一章 检测技术的基础知识	(5)
§ 1-1 检测技术的基本概念	(5)
§ 1-2 测量误差及数据处理	(11)
思考题与习题	(25)
第二章 温度测量	(27)
§ 2-1 温度的概念及温标	(27)
§ 2-2 温度测量方法及测温仪表的分类	(32)
§ 2-3 膨胀式与压力式温度计	(33)
§ 2-4 热电偶温度计	(35)
§ 2-5 电阻温度计	(48)
§ 2-6 辐射式温度计	(57)
§ 2-7 电机的温度测量	(64)
思考题与习题	(66)
第三章 应力、应变测量	(68)
§ 3-1 概述	(68)
§ 3-2 电阻应变计	(69)
§ 3-3 电阻应变片的测量电路	(73)
§ 3-4 电阻应变仪	(75)
§ 3-5 常规应力、应变测量的若干问题	(80)
§ 3-6 应用实例	(84)
思考题与习题	(85)
第四章 力、压力测量	(87)
§ 4-1 概述	(87)
§ 4-2 应变式测力计	(88)
§ 4-3 应变式压力计	(93)
§ 4-4 振弦式压力计	(95)
§ 4-5 霍尔式压力计	(97)
§ 4-6 应用实例	(103)
思考题与习题	(106)
第五章 转矩和转速的测量	(108)
§ 5-1 转矩的测量	(108)

§ 5-2	转速测量	(124)
§ 5-3	用转矩转速仪和函数记录仪测异步电动机的机械特性	(132)
	思考题与习题	(134)
第六章	振动和噪声的测量	(135)
§ 6-1	振动测量	(135)
§ 6-2	噪声测量	(143)
§ 6-3	叉车振动和噪声的测量	(149)
	思考题与习题	(151)
第七章	位移、厚度和长度测量	(153)
§ 7-1	位移测量	(153)
§ 7-2	长度、厚度测量	(162)
§ 7-3	角位移的测量	(172)
§ 7-4	霍尔传感器在塑料包装行业中拉丝机自动调速系统中的应用	(176)
	思考题与习题	(178)
第八章	流量测量	(179)
§ 8-1	差压式流量计	(179)
§ 8-2	转子流量计	(182)
§ 8-3	靶式流量计	(185)
§ 8-4	涡轮流量计	(187)
§ 8-5	容积式流量计	(189)
§ 8-6	电磁流量计	(190)
§ 8-7	超声波流量计	(193)
§ 8-8	质量流量计	(195)
§ 8-9	应用实例	(197)
	思考题与习题	(199)
第九章	物位测量	(201)
§ 9-1	压力式液位计	(201)
§ 9-2	电气式物位计	(202)
§ 9-3	声波式物位计	(207)
§ 9-4	其他物位测量仪表	(210)
§ 9-5	应用实例	(212)
	思考题与习题	(213)
第十章	成分测量	(214)
§ 10-1	概述	(214)
§ 10-2	奥氏气体分析仪	(215)
§ 10-3	氧化锆氧分析仪	(216)
§ 10-4	热导式气体分析仪	(222)
§ 10-5	红外线气体分析仪	(226)
§ 10-6	气相色谱仪	(229)

§ 10-7 成分测量的应用	(234)
思考题与习题	(237)
第十一章 物性参数测量	(238)
§ 11-1 密度测量	(238)
§ 11-2 pH 值测量	(240)
§ 11-3 湿度测量	(243)
§ 11-4 电导率测量	(245)
§ 11-5 钢铁中碳和硫的测定	(249)
思考题与习题	(250)
第十二章 记录仪器	(251)
§ 12-1 自动平衡式记录仪	(251)
§ 12-2 光线示波器	(252)
§ 12-3 磁带记录仪	(256)
附录一 铂铑 <sub>10</sub> —铂热电偶分度表	(261)
附录二 镍铬—镍硅(镍铝)热电偶分度表	(267)
附录三 镍铬—考铜热电偶分度表	(272)
附录四 铂铑 <sub>30</sub> —铂铑 <sub>6</sub> 热电偶分度表	(274)
附录五 铜—康铜热电偶分度表	(280)
附录六 铂热电阻分度表 ( $R_0=46\Omega$ )	(281)
附录七 铂热电阻分度表 ( $R_0=100\Omega$ )	(283)
附录八 工业用铂热电阻分度表 ( $R_0=100\Omega$ )	(285)
附录九 铜热电阻分度表 ( $R_0=50\Omega$ )	(288)
附录十 铜热电阻分度表 ( $R_0=100\Omega$ )	(289)
参考文献	(290)



# 绪 论

## 一、工程检测技术在国民经济中的作用

测量是人类认识事物本质所不可缺少的手段，通过测量和试验，可以使人们对事物获取定量的概念和发现事物的规律性。可以说，在人类的一切活动领域中，如科学实验、生产过程及日常生活中都离不开测量。没有测量，也就没有科学，科学上很多新的发明和突破，都是以实验测试为基础的。例如，1916年科学家爱因斯坦提出的广义相对论，由于当时不具备验证的测试条件，而使这个理论在将近50年的时间里没有得到很好的发展。后来，天文学上的发现和有了精确的测量技术，才对这个理论进行了成功的验证，使得广义相对论重新得到重视和发展。这一事实充分地说明了科学与测量之间的密切关系，也说明了测量技术的重要性。

检测这个工程术语，通常是指工业生产过程中参数的测量。工程检测技术，是现代自动化生产的一个重要组成部分。广义的来看，任何生产过程都可以看作是由“物质流程”和“信息流程”组合而成的，而“信息流程”则是人们管理和控制“物质流程”的依据。人们为了有目的地进行控制，首先必须通过检测获取生产过程的各种信息，然后才能进行分析、判断，以便实现控制。所谓自动化，就是用各种技术工具与方法来完成测量、分析、判断和控制工作。

现代工业中自动化装置的品种、类型繁多，但一般来说，它由信息获得、信息转换、信息处理、信息传送及信息执行等环节组成。在实现自动化过程中，信息的获得是极其重要的组成环节，只有精确、及时地将被控对象的各项参数检测出来，并转换成为容易传送和处理的信号，整个系统才能正常地工作。因此工程检测又是自动化技术必不可少的内容之一。

在现代社会中，工程检测技术已渗透到国民经济中的各个领域。如机械工业、石油化工工业、交通运输工业、轻工业、国防工业以及其它各个科学研究和工程部门等。

在机械工业中的工程检测，主要有两个方面：一是机械加工过程中的检测，二是机器运行过程中的检测。机械加工的过程就是通过一定的机械加工设备或加工系统，使材料按图纸规定的尺寸、形状和工艺要求变成为机械零件的过程。在加工过程中，必须对工件状况进行检测，检测的项目很多，如尺寸、粗糙度、形状和位置公差等。对于工件状况检测的结果，可以区分合格品或不合格品。为提高工件加工质量，要随时对加工条件进行检测，如切削速度、切削力、进给速度、温度、压力和振动等参数的检测。对工件进行加工的机械设备本身也需要有检测与控制系统，如精密机床、自动机床或数控机床等，都需要通过一定的检测系统检测其运动部件的位置及动作情况，若有偏差，则通过反馈控制自行调整。

在石油化工工业中，通常有两类参数必须加以检测。一类是为了保证生产过程能正常高效地进行，而对工艺参数（如温度、压力、流量等）的检测和控制。例如，化工厂的合成塔中氮气和氢气合成氨，在这个生产过程中，压力和温度是上述化学反应的主要因素，它们将

影响化学反应速度，所以必须对压力和温度加以控制。要实现控制，则首先要测量出反应过程中压力和温度的数值，若测量结果与规定值有偏差，则通过控制系统进行自动调整。另一类是动力设备的检测。在现代化工工业生产中，为防止事故发生，确保安全生产，要经常对动力设备进行检测。如对各种压力容器和蒸气锅炉在运行中的泄漏、裂纹的检测等。

在交通运输业中，主要运载工具是船舶和汽车。船舶上常用的电动拖动机械有舵机、起锚系缆装置、起货机、通风机、泵、专用绞车和推进器等。为使船舶处于高效运行和具有最佳的调节作用，对船用机械必须实现自动监控，来进一步提高船舶的安全性，可靠性、营运的经济性，保证船舶的各种作业顺利地进行，如装卸货、拖带、石油钻采、海洋地质调查、挖泥疏浚等，并减轻船员的劳动强度。对船舱的主机、辅机、柴油发电机、蒸汽锅炉等各项参数，如转速、振动、蒸汽压力、油温及油的流量等都要进行检测，以保证船舶的安全航行。例如，船用副锅炉的自动监控系统，它的主要功能有实时控制功能：对锅炉的最低水位、最高汽压、点火不成功，运行中的熄火等故障，实时检测并停炉报警；在正常汽压下，实时控制锅炉的起动、停止；实时检测烟道中的氧量并相应地进行风量控制，使之锅炉燃烧优化、达到节能的目的。还有显示功能、监视与报警功能、联锁功能等。

现代汽车广泛采用传感器与电子技术来提高其性能和节省能源。我国汽车运输占有十分重要的地位，每年的燃料消耗量达一千万吨以上，因此降低汽车运输的燃料消耗，对节约能源和降低运输成本都具有很重要的意义。汽车节能，一方面靠设计部门不断更新产品，更主要的是在使用方面，其节能的潜力更大。根据汽车运行系统的各种参数进行节油的分析，然后按照优化原理，选取最佳运行工况，并由指示器用灯光和音响来指示各种工作区域，以指示驾驶员进行节油操作。

在国防工业中，工程检测技术也应用的很广泛。例如，飞机的研制，从设计开始到样机试飞，都要经过严格的测试。为了研究飞机的强度，要在机身、机翼上贴上几百片应变片；在飞机试飞时要测量发动机的参数，如转速、转矩、振动等。在导弹和卫星的研究、制造过程中，测量技术更显得重要，一般对它的各个构件都要进行强度和动力特性的研究与测试。

随着经济的发展，大城市和工矿区的不断建立，各种有害物质的排放超过了环境自净能力，从而造成环境污染，产生了危及人类生存的公害问题。因此必须加强环境分析与环境监测工作，净化环境，保护生态平衡和人身健康。环境监测主要包括：大气污染监测，水质污染监测，土壤污染监测，生物污染监测、噪声污染监测、放射性污染监测。这些监测工作除采用化学、物理的监测手段外，还要使用各种分析与监测仪器及一些新的测试手段和技术，如色谱—质谱联用、激光技术、遥感遥测技术等。

在其它各个科学研究和工程部门，也都需要工程检测技术来检测有关参数。如海洋工程中用来测量波浪压力，海水深度，海水盐分等。

从上述应用可见，工程检测技术的重要性及应用的广泛性。

## 二、工程检测技术的发展趋势

工程检测技术虽然已经得到广泛的应用，但是随着现代科学技术的发展，对工程检测技术提出了越来越高的要求，需要继续不断地向前发展，发展趋势有以下几方面。

### 1. 研究新型原理的传感器

传感器是获取被测信号的重要环节，是整个检测系统的入口处，因此它的精度、稳定性、

可靠性、抗干扰能力等，直接关系到整个系统的性能。所以，国内外都很重视传感器的研究工作，有些技术先进国家把传感技术列为 80 年代重要技术之首。

传感器正在向高精度、小型化、数字化、固体化、智能化发展，日益使用新技术、新工艺、新材料。目前在国际上，如果有一种新材料、新元件或新工艺成果出现，很快就应用于传感器，从而研制出一种新型传感器。例如，半导体材料与工艺的发展，就出现了一批能测许多参数的半导体传感器；大规模集成电路的成功，又发展了有测量、运算、补偿等功能的智能化传感器；随着生物技术的发展，又出现了利用生物功能的新型传感器。

由于科学技术的发展，需要测量极端参数值，如超高压、高温、超低温等，以及特种参数，如测光的明暗，识别颜色，判断距离，嗅觉、味觉等，因此促使人们不断地探讨新的测量原理，研制新型原理的传感器和仪表。

### 2. 研究一体化的检测仪表

现在的传感器与测量电路是分开的，中间用电缆连接，这样很容易受干扰信号的影响，而且使用不方便，希望能把传感器与测量电路合在一起。随着半导体技术的发展，这种希望已开始实现，如压阻传感器就是合二为一的。另外，近年来国外研究的一种物性检测传感器，就是在半导体技术基础上，进一步实现“材料、器件、电路、系统一体化”的新型检测仪表，它利用某些固体材料的物性变化来实现信息的直接交换。也就是说，利用不同材料的物理、化学、生物效应做成器件，直接测量被测物的信息，而且把测量电路做在一起。这种传感器与一般传感器相比，具有构造简单，体积小、灵敏度高、稳定性好的特点。

### 3. 研究无接触测量技术

在测量中把传感器置于被测对象上，相当于在其上加一负载，这样多少会影响测量精度，而且有些被测物上，根本不可能安装传感器，如测量高速旋转轴的振动。因此国内外都在研究无接触式的测试技术。在无接触式传感器中，光电式传感器有其特殊的优越性，其中光导纤维传感器已作为一种新型传感器出现。光导纤维本来是一种光传导的手段，但现在已用来检测位移、压力、温度等参数。光导纤维位移传感器在很短距离内，如 0.12~2.5mm，具有很高的灵敏度和分辨率，它还可以用来测量很长的导轨平直度，长度达 2.5m，不平直度为±5 $\mu$ m。还有利用固体摄像自扫描器件制成的光电式传感器、已用来测量螺纹及铁道轨距。激光的应用也是光电式传感器发展的一个方面，国外已有用激光检验工件尺寸、粗糙度和表面缺陷的装置。

### 4. 检测系统与仪表智能化

检测系统中采用多个传感器和系统智能化是进一步的发展方向。有些工件的检测需要几个数据，这样可以同时检测，或者按一定程序进行检测，把所测得的数据送给计算机，以便实时分析或对产品进行控制。这样的自动检测系统，不仅是数据处理，而且参与过程的控制，做到“主动检测”，以提高精度和效益。例如国外生产的“多工位计算机控制测量仪”，用于大型柴油发动机气缸的自动生产线中，它能按规定程序完全自动地测量汽缸体上 94 个尺寸，每小时可检验 35 个工件。

检测仪表智能化也是重要的发展方向。采用微处理器，改革传统的仪器仪表，从而扩展其功能、提高精度，成为智能仪器仪表。采用微处理器的仪表与传统仪表相比，增加了如下的功能：(1) 校正功能，自校准、自调零、自选量程等；(2) 指标判断与自动分选；(3) 统计处理功能；(4) 程控操作功能；(5) 自动故障诊断等。

总之，工程检测技术既促进科学技术的发展，又随着现代科学技术的发展而发展。工程检测中应用的主要技术从机械学、热力学、电工学、电子学，发展到今天的自动控制技术、计算机技术、信息处理技术等。工程检测中应用的基础部件也相应地从变换器、放大器发展到反馈闭环系统、电子计算机与微处理机等。工程检测技术在 50 年代经过一次电子化的飞跃之后，目前正在积极采用电子计算机技术来实现工程检测技术的新飞跃。

### 三、工程检测技术的基本内容

工程检测技术这门课，着重讨论工业生产过程中常用参数的检测，这些常用参数是描述生产过程的主要依据，是构成自动控制系统的基础。从被测量的对象出发，按参数划分章节，介绍的主要参数有温度、应力应变、力与压力、转矩与转速、振动和噪声、位移、厚度与长度、流量、物位、成分、物性参数等。对每一类参数，将讨论其传感器原理，检测技术与检测仪表，并加强了应用的实例。还介绍了检测技术的基础知识和有关记录仪表。对于测量误差及数据处理也作了必要的叙述。

学习本课程的基本要求是：掌握常用传感器的基本原理与工作特性；系统了解工业生产过程中主要参数的检测原理与方法；熟悉常见检测仪表的工作原理与特点，能合理选择，正确使用检测仪表；对实验数据与测量结果具备初步处理与分析的能力；培养从事科学实验的初步能力。

工程检测技术这门课，涉及的知识面很宽，与此有关的课较多，如数学、物理、化学、工程力学、电工学、电子技术、自控原理、计算机技术等。尤其是物理和电子技术两门课更为密切；因为各种传感器的原理主要是基于各种物理现象和物理效应的。而放大、变换和测量电路，又是以电子技术为基础的。因此在学习本课程时，应对上述课程有所了解，具有一定的基础。

本课程实践性强，在教学中应安排一定数量的实验。通过实验教学，使学生掌握具体的测试技术与方法，正确使用实验仪器，在动手能力上受到必要的锻炼，培养和提高学生的试验研究能力，为今后在工作岗位上从事生产和科学实验打下坚实的基础。

# 第一章 检测技术的基础知识

## § 1-1 检测技术的基本概念

### 一、测量的一般概念

测量或检测一词,人们在日常生活、学习、生产和科学实验中是经常用到的。测量是人们借助于专用技术和工具,通过实验的方法取得被测对象的数值大小和符号正负。测量的目的就是准确地获取表征被测对象特征的某些参数的定量信息,以便掌握被测对象的参数,从而调节与控制生产过程。

#### 1. 测量的定义

测量是以同性质的标准量与被测量进行比较,并确定被测量对标准量的倍数。上述定义可用下式表示

$$T = \frac{x}{x_s} \quad (1-1)$$

式中: $x$ ——被测物理量;

$x_s$ ——标准量;

$T$ ——比值,无量纲的数值。

式(1-1)称为测量的基本方程式,由式(1-1)可见,比值 $T$ 的大小随之所采用的标准量,即测量单位的大小而定,所采用的单位愈小,其比值 $T$ 愈大。因此,一个完整的测量结果应包含两部份内容,即所得的测量结果与所采用的测量单位。

在天平称重时,物重是被测量 $x$ ,砝码是标准量 $x_s$ 。用水银温度计测量室温时,被测室温是 $x$ ,温度计上的刻度是标准量 $x_s$ 。

#### 2. 测量过程

我们以天平称重这样一个简单的实例,来说明测量过程。首先,应检查空天平是否平衡,即所谓调零。然后把重物和砝码分别放入两侧称盘中,这叫对比。然后判断谁重谁轻,这叫示差。如果存在差值就要调整砝码的大小,一直到砝码与重物平衡时为止,这个调整的过程叫平衡。在示差和平衡完成之后,就可以根据砝码的大小,读出物重的数值,这叫读数。

综上所述,整个测量过程包括对比、示差,平衡和读数四个步骤,这四步是贯穿在一切测量过程中的。

在生产过程中,希望自动实现上述测量过程,即上述四个步骤能自动完成,这就是工程检测技术要研究的内容之一。例如,在生产过程自动检测中,通过对仪表的标定,将标准量传递到仪表的刻度上,而被测量经过变换,变成一定的指针转角,与仪表刻度对比,平衡后指针稳定下来就可以进行读数,这里的对比与平衡这些测量过程都是自动进行的。

### 3. 测量中变换的概念

测量的关键在于被测量和标准量的比较。但是,被测量能直接与标准量相比较的场合并不多,大多数的被测量和标准量都要变换成双方便于比较的某一个中间量。例如,用指针式电压表测量电压时,被测电压被变换成电压表指针的偏转位移,而电压的标准量变换为电压表的刻度,这时被测量和标准量都变换成角位移这样的中间量,以便直接进行比较。许多物理量,如温度、压力、流量等,这些物理量都必须经过变换才能进行比较,完成测量。所以变换常常是测量的核心。

## 二、检测仪表的组成

检测仪表一般由传感器、测量电路、显示器等部份组成,如图 1-1 所示。

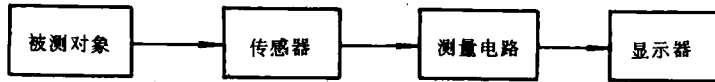


图 1-1 检测仪表方框图

传感器是检测仪表与被测对象直接发生联系的部份,它的作用是感受被测量的变化,直接从被测对象中提取被测量的信息,并转换成相应输出信号。

传感器是检测仪表的关键部份,传感器的质量好坏与精度直接影响检测仪表的质量与精度。通常对传感器提出如下基本要求:

(1)准确性。传感器的输出信号必须准确地反映被测量的变化,因此传感器的输出信号与被测量必须是严格的单值函数关系,而且最好是线性关系。

(2)灵敏性。有些被测量的信号很弱,所以要求传感器具有较高的灵敏度,在较小的输入信号时,能得到较大的输出信号。

(3)稳定性。要求传感器的输出信号不随时间和温度而变化。而且受外界其他因素的干扰影响要小,工艺上还要求复现性好。

传感器一般由敏感元件和转换元件组成。敏感元件直接感受被测量的变化,并将被测量变换为某种输出信号;转换元件是将敏感元件的输出进一步转换为适于传输或测量的电信号。也有的传感器是由单一敏感元件构成的。

测量电路的作用是把传感器的输出变量变成电压或电流信号,以便在指示器上指示或在记录仪中记录。测量电路的种类很多,采用何种测量电路取决于传感器的类型。例如,电阻式传感器需采用电桥电路把电阻值变换成电压或电流值输出。为了使测量电路的输出信号足够大,以满足后边显示器的要求,在测量电路中一般还带有各种放大器。为保证仪器稳定工作和测量精度,在测量电路中经常包含有各种补偿电路和线性化电路。

测量的目的是使人们了解被测量的数值大小,所以必须有显示装置。目前常用的显示方式有三类:指针显示,数字显示,屏幕显示。指针显示又称模拟显示,它是利用指针对标尺的相对位置来表示读数,常用的有毫伏表、毫安表、微安表等。在测量过程,有时不仅要读出被测参数的数值,而且还要了解它的变化过程,特别是动态过程的变化,这时常用自动记录仪器,如 X—Y 记录仪,以曲线形式给出被测量随时间变化的数据。数字式显示,直接以数字形式给出被测量的数值大小,也可附加打印设备直接打印出数据。数字式显示减少了读数的主观误差,提高了读数的精度,还能方便地与电子计算机联用,这种显示器已越来越多地被采用。屏幕显示是将被测量的读数或变化曲线,直接在屏幕上显示出来。它可以同时显示出多个被测量的大量数

据。所以这种显示器具有形象化,易于读数和便于比较分析等优点。

### 三、检测仪表的基本性能

评价仪表质量好坏的指标是多方面的,有技术方面的指标,经济方面的指标,使用方面的指标。这里要介绍的仪表的基本性能,是指能衡量仪表测量能力的技术指标。了解和掌握仪表的基本性能,对正确选择仪表和使用仪表,是十分必要的。

#### 1. 精确度

说明仪表精确程度的指标有三个,即精密性、正确性、精确度(简称精度)。

(1)精密性  $\delta$ 。它说明仪表指示值的分散性,即对某一稳定被测量,由同一测量者用同一仪表在相当短的时间内连续重复测量多次,其测量结果的分散程度。 $\delta$  值越小,说明测量越精密。例如,某温度表的精密性  $\delta=0.5^{\circ}\text{C}$ ,说明多次测量结果的分散程度最大为  $0.5^{\circ}\text{C}$ 。

(2)正确性  $\epsilon$ 。它说明仪表值偏差大小的程度,即仪表示值有规律偏离真值的程度。例如,某流量表的正确性  $\epsilon=0.3\text{m}^3/\text{s}$ ,说明该表的指示值与真值相差  $0.3\text{m}^3/\text{s}$ 。

(3)精度  $\tau$ 。它含有精密性与正确性两者之和的意思,说明测量仪表的综合优良程度。精密度高是仪表精度高的必要条件,但不是充分条件。要使仪表的精度高,还必须使其正确度高才行。

(4)仪表精度等级。在工程应用中,为了表示仪表测量结果的可靠程度,而引入仪表精度等级的概念。用  $A$  表示

$$A = \frac{\Delta_g}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中: $\Delta_g$ ——仪表在全刻度范围内允许的最大绝对误差;

$x_{\max}$ ——仪表刻度盘的上限值;

$x_{\min}$ ——仪表刻度盘的下限值。

仪表精度等级  $A$  以一系列标准百分比数值进行分档,如 0.01、0.02、0.05、0.1、0.2、1、1.5、2.5 等。应用仪表精度等级的概念便于比较不同量程的仪表的测量精度,便于仪表的选用。

#### 2. 稳定性

说明仪表稳定性的有两个指标。一是时间上的稳定性,以稳定度表示。二是仪表外部环境和条件变化所引起示值的不稳定,以各种影响系数表示。

(1)稳定度。它是由于仪表中随机性变动、周期性变动、漂移等原因所引起的示值变化,一般它以精密性的数值和时间长短一起表示。例如,由于电压波动,每 8h 引起示值变化  $1.3\text{mV}$ ,则稳定度  $\delta_t=1.3\text{mV}/8\text{h}$ 。

(2)影响系数。环境影响指室温、大气压、振动等外部状态变化,给予仪表示值的影响,以及电源电压、工作频率等仪表内部工作条件变化给予示值的影响,统称为环境影响,用影响系数来表示。例如,温度系数  $\beta_T$  表示周围介质温度变化引起的仪表示值的变化。

#### 3. 仪表输入输出特性

说明仪表输入、输出对应关系的主要性能有灵敏度、灵敏限、线性度、滞环和动态特性。

(1)灵敏度。指仪表在稳态下输出的变化对输入变化的比值,用  $S$  表示, $S=dY/dX$ ,它是仪表静态特性曲线(即仪表在稳态下,输出与输入的关系曲线)上各点的斜率,如图 1-2 所示。

若仪表静态特性是直线,则仪表灵敏度  $s$  是常数。若仪表静态特性是非线性的,则仪表灵敏度  $s$  在整个量程内不是常数。

(2)灵敏限。指仪表示值发生可以观察到的极微小变化时,所需被测量的最小变化值,用  $\Delta x_i$  表示。这时被测量的最小变化值可能会与噪声大小同量级、很难区分,所以一般把仪表的零位误差值  $\Delta_0$  定为该仪表的灵敏限  $\Delta x_i$ ,即在数值上  $\Delta x_i = \Delta_0$ 。

(3)线性度。用线性度来说明输出与输入的关系曲线偏离直线的程度。这条直线叫基准线。线性度用  $E_i$  表示,其定义为实际特性曲线与基准线(即直线)之间的最大偏差值  $|Y_i - Y_i'|_{\max}$  与最大输出  $Y_{\max}$  之比,即

$$E_i = \frac{|Y_i - Y_i'|_{\max}}{Y_{\max}} \quad (1-3)$$

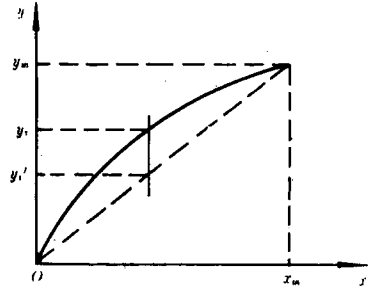


图 1-2 仪表静态特性曲线

如图 1-2 所示。

(4)滞环。它说明仪表正向(上升)特性与反向(下降)特性不一致的程度,用滞环误差  $\epsilon_{hm}$  表示

$$\epsilon_{hm} = |Y_d - Y_c| \quad (1-4)$$

也可以用相对误差表示,即

$$E_{hm} = \frac{\epsilon_{hm}}{Y_{\max}} = \frac{|Y_d - Y_c|}{Y_{\max}} \quad (1-5)$$

如图 1-3 所示。

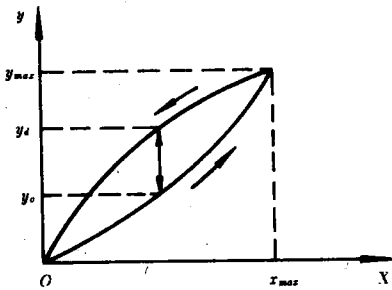


图 1-3 滞环误差示意图

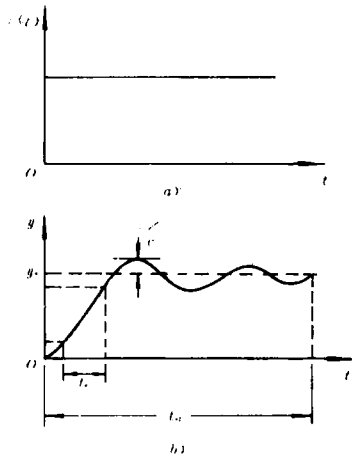


图 1-4 阶跃输入信号的动态特性

(5)动态特性。当测量随时间而变化的参数时,必须研究仪表及被测对象的动态特性。

仪表的动态特性是指测量仪表对于随时间变化的输入量的响应特性。此时输出量与输入量的关系不是一个定值,而是时间的函数。通常用传递函数表示动态特性的输出量与输入量的关系。

随时间变化的输入信号一般有三种类型:正弦信号,脉冲信号,随机信号。阶跃信号属于脉



冲信号的一种形式,下边以阶跃信号为输入信号来分析仪表的动态特性。

输入信号为阶跃信号的动态特性如图 1-4 所示。其中 *a*) 图为阶跃信号, *b*) 图为相应地仪表动态特性。可以用一些时间参数和过冲量来描述动态特性。

上升时间  $t_r$ 。指仪表示值从稳态示值  $y_1$  的 5% 或 10% 上升到  $y_1$  的 90% 或 95% 所需时间称为上升时间。

响应时间  $t_s$ 。指输入量输入时刻开始,到仪表示值基本稳定所需时间称为仪表响应时间。

过冲量  $C$ 。指仪表输出最大振幅与稳定值之间的差值。

一般,当仪表的稳态输出值越快达到,说明仪表的惯性越小,动态特性越好;反之,说明仪表的惯性大,动态特性差。

当输入信号为正弦信号时,输出信号的幅值和相位将随输入信号的频率改变而变化,这种特性又称为仪表的频率特性。频率特性常用波特图表示,从幅频波特图上可以得出频宽(即通频带宽度),频宽是描述动态特性的一项重要指标。一般测量静态值和缓慢变化值时,对仪表的频宽要求不高,频宽可以窄些,对测量动态量时,测量仪表的频宽应高于被测信号的频宽,测量仪表的频宽选择取决于被测信号复现的要求。

#### 四、检测仪表的分类

由于科学技术与工农业生产的迅速发展,应用的检测仪表的种类繁多。检测仪表的分类方法也很多,通常有如下几种分类。

##### 1. 按被测参数分类

(1) 热工量。温度、热量、比热;压力、压差、真空度;流量、流速、风速;物位、液面、界面等。

(2) 机械量。位移、长度、厚度、角度;力、应力、力矩;转速、线速度、振动、加速度;重量、质量等。

(3) 物性和成分量。气体化学成分,流体化学成分;酸碱度、浓度、粘度;密度、比重。

(4) 状态量。颜色、透明度、磨损量、裂纹、缺陷、表面质量等。

##### 2. 按使用场合分类

(1) 标准表。它是专门用来校准非标准仪表的。它的精度等级必须高于被校表,标准表必须经过有关计量部门的定期检定,并有检定合格证书,方可使用。

(2) 实验室用表。由于它的使用环境条件比较好,故往往无特殊的防水、防尘措施。对于温度、相对湿度、机械振动等的允许范围也较小。这类仪表的精度高于工业用表。

(3) 工业用表。它是长期安装、使用于工业生产现场上的仪表。这类仪表数量很多,精度一般不高,但要求能长期连续工作,并具有足够的可靠性,能抵御环境条件恶化的影响。

##### 3. 按仪表结构分类

(1) 开环式仪表。开环式仪表又称串联式仪表,仪表中各个环节按照串联方式连接。信号从仪表输入端到输出端经过各个环节沿一个方向传送。开环式仪表是按“非零”测量方法工作的。

(2) 闭环式仪表。闭环式仪表又称反馈式仪表,是在开环式仪表中并联了一个反馈环节。故在闭环式仪表中信号不再是单方向传递,而有正反两个方向的传输通路。它是按“零位”测量方法工作的。

闭环式仪表的精度比开环式仪表高,闭环式仪表是精密仪表的发展方向。