



普通高等教育“十五”国家级规划教材
(高职高专教育)

专业基础系列

机械工程检测技术

(第二版)

陈瑞阳 毛智勇 主编



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

(高职高专教育)

机械工程检测技术

(第二版)

陈瑞阳 毛智勇 主编

高等教育出版社

内容提要

本书在第一版的基础上,根据近几年来高职高专的教学需要修订而成的。删除了一些理论性较强或实用性较弱的内容,主要介绍机械工程中常见机械参量的检测方法。全书共 9 章,分为基础理论和应用技术两部分。基础理论部分介绍了检测方法、检测误差、数据处理、常用传感器的分类等基础知识。应用技术部分分别介绍了几何量、应变、力、力矩、位移、振动、速度、转速、压力、流量、温度、噪声等机械参量的检测方法;相应传感器的原理及其测量电路;无损检测、计算机辅助测试等先进的检测技术。每章有学习目的、小结和思考题与习题,全书最后的附录为实验指导,可供各专业根据各自的教学要求选择组织实训。

根据高职高专教育的特点,本书以技术应用为出发点,做到理论少而精,重点突出应用能力的培养,实用性强;内容讲述通俗易懂,由浅入深,便于自学。

本书适用于高职高专及成人高校机械类和机电一体化类专业使用,也可供从事机械工程检测技术工作的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程检测技术 / 陈瑞阳, 毛智勇主编. —2 版.
北京: 高等教育出版社, 2005. 7 (2006 重印)
ISBN 7-04-017006-X

I. 机... II. ①陈...②毛... III. 机械工程-检测
-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG8

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 056760 号

策划编辑	赵 亮	责任编辑	贺 玲	封面设计	于 涛	责任绘图	宗小梅
版式设计	张 岚	责任校对	王 超	责任印制	朱学忠		

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京鑫海金澳胶印有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2000 年 8 月第 1 版
印 张	14.75		2005 年 7 月第 2 版
字 数	350 000	印 次	2006 年 5 月第 2 次印刷
		定 价	18.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物料号 17006-00

出版说明

为加强高职高专教育的教材建设工作,2000年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》(教高司[2000]19号),提出了“力争经过5年的努力,编写、出版500本左右高职高专教育规划教材”的目标,并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施:先用2至3年时间,在继承原有教材建设成果的基础上,充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验,解决好高职高专教育教材的有无问题;然后,再用2至3年的时间,在实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材。根据这一精神,有关院校和出版社从2000年秋季开始,积极组织编写和出版了一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据1999年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(草案)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(草案)编写的,随着这些教材的陆续出版,基本上解决了高职高专教材的有无问题,完成了教育部高职高专规划教材建设工作的第一步。

2002年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题,将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略,抓好重点规划”为指导方针,重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设,特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订使其逐步形成精品教材;同时还要扩大教材品种,实现教材系列配套,并处理好教材的统一性与多样化、基本教材与辅助教材、文字教材与软件教材的关系,在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司
2002年11月30日

第二版前言

本书为普通高等教育“十五”国家级规划教材,是在第一版的基础上,根据近几年来高职高专的教学需要修订而成的。在本次修订中,进一步贯彻以应用为目的,以掌握概念、强化应用、扩大知识面为教学重点,突出教材实用性与针对性,突出高等职业教育的特点,并贯彻最新国家标准。

本次修订主要对第1章和第2章的内容作了一些增删。第1章检测技术基础删除了对高等数学知识要求较多的1.4节信号及其描述,增加了检测技术实用的知识,如测量数据处理时的有效数概念、传感器的命名及代码等内容。第2章几何量误差检测删除了应用较少的2.10节圆柱齿轮精度检测,增加了几何量误差检测中的一些基本概念,如长度量值传递系统、量块等基本知识;增加了实用的形位误差测量数据的计算机处理方法;介绍了应用愈来愈广泛的高精度测量工具——三坐标测量机的工作原理、结构形式及应用。各章增加了学习目的和小结,便于学生自己掌握各章的重点。本次修订对其它章节的错误也作了更正。

修订部分的工作由陈瑞阳、咎华和刘晓彤完成,全书由陈瑞阳统稿。北京联合大学孙建东教授审阅了本书,并提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,虽经修订,书中错误与不妥在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者
2005年3月

第一版前言

本书是教育部高职高专规划教材,是根据教育部积极发展高等职业教育,大力推进高等专科教育人才培养模式的改革,促进高等职业教育、高等专科教育和成人高等教育“三教统筹”协调发展的方针,依据1999年6月在北京召开的“高职高专机械电子类专业基础课程教材研讨会”的精神,在高等教育出版社高职高专室的指导和支持下编写的。

本书以培养学生从事实际工作的基本能力和基本技能为目的,本着理论知识以必需、够用为度,少而精的厚则,注意到理论知识的讲解与工程检测实践的有机结合。从实用性出发,本书以介绍典型机械量的检测方法为主线,将常用传感器、测量电路和数据分析处理技术等内容,有机地融会到检测方法中讲解,使学生对检测系统和方法有一个完整的认识,能够针对检测对象选用检测装置,实施检测过程,并给出测量结果。

本书在内容上力求概念清楚、通俗易懂、由浅入深,增强了实验、实训等实践环节,强调理论知识和实践训练的统一,着重培养学生的科学实践能力,分析问题、解决问题的能力 and 创新精神。

全书共九章,第一章为基础理论部分,讲述检测技术的基础知识、常用传感器、有关测试信号的描述等;第二章至第九章为应用部分,分别介绍了几何量、应变、力、力矩、位移、振动、速度、转速、压力、流量、温度、噪声等机械参量的检测原理和检测方法,相应传感器的原理及其测量电路,并介绍了无损检测、计算机辅助测试等先进检测技术;在本书的最后附有实验指导,可供各专业根据各自的教学要求选择组织实训。

本书由北京联合大学机械工程学院陈瑞阳、毛智勇主编,参加编写的有陈瑞阳(绪论、第四章、第六章、第八章第三节、第九章)、毛智勇(第三章、第七章)、刘晓彤(第一章)、咎华(第二章、第八章第二节)、郑业明(第八章第一节、附录)、田宏宇(第五章),由陈瑞阳负责统稿。本书由南京机械高等专科学校徐锦康教授主审。

本书在编写过程中得到高等教育出版社高职高专室的大力支持和帮助,且参考了兄弟院校的有关资料和反馈意见,在此一并表示衷心的感谢。

高职高专教育在新时期被赋予了新的教学模式和新的教学特色,它的完善需要长期和艰苦的工作,目前很多院校都在进行这方面探索,如果我们的努力能为这项教学改革尽到微薄之力,将是我们最大的心愿。由于我们水平有限,书中难免有不妥之处,恳请专家与读者批评指正。

编者
2000年2月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

绪论	1	2.4.1 角度测量的基本方法与器具	43
第1章 检测技术基础	5	2.4.2 小角度测量	46
1.1 检测方法和检测误差概述	5	2.5 直线度误差的测量	46
1.1.1 检测方法	5	2.5.1 直线度误差的评定	46
1.1.2 检测误差基本概念	6	2.5.2 分段法测量直线度	48
1.1.3 随机误差的估算	8	2.6 圆度误差的测量	49
1.1.4 系统误差	12	2.6.1 圆度误差的评定	49
1.1.5 粗大误差	12	2.6.2 圆度误差的测量	51
1.1.6 测量数据的处理	13	2.7 同轴度误差的测量	53
1.2 检测装置的基本特性	16	2.8 跳动误差的测量	56
1.2.1 线性系统及其主要性质	16	2.8.1 跳动误差的测量方法	56
1.2.2 检测系统的静态特性	17	2.8.2 跳动测量基准的体现方式与比较	58
1.2.3 检测系统的动态特性	19	2.9 螺纹精度的测量	59
1.2.4 不失真测试条件	24	2.9.1 概述	59
1.3 常用传感器	25	2.9.2 螺纹的综合测量	59
1.3.1 传感器的构成与分类	25	2.9.3 螺纹的单项测量	60
1.3.2 传感器的命名及代码	27	2.10 表面粗糙度的测量	64
1.3.3 传感器的选用	28	2.10.1 表面粗糙度及其测量的一般概念	64
本章小结	31	2.10.2 比较法评定表面粗糙度	67
思考题与习题	31	2.10.3 用双管显微镜测量表面粗糙度	68
第2章 几何量误差检测	33	2.10.4 用干涉显微镜测量表面粗糙度	70
2.1 基础知识	33	2.11 几何量误差测量的数据处理	70
2.1.1 尺寸传递	33	2.11.1 数据处理中的误差	71
2.1.2 计量器具	36	2.11.2 几何量测量数据的处理方法	71
2.2 零件的几何量误差	37	2.11.3 XW-5 形位误差测量数据处理 系统简介	72
2.2.1 概述	37	2.11.4 XW-5 形位误差测量数据处理 软件处理过程举例	73
2.2.2 形状误差和位置误差及其公差	38	2.12 三坐标测量机简介	78
2.2.3 形位误差的检测原则	39	2.12.1 三坐标测量机的工作原理	78
2.3 尺寸误差的测量	40	2.12.2 三坐标测量机的特点及主要用途	79
2.3.1 轴径的检测	40	2.12.3 三坐标测量机的主要结构形式	79
2.3.2 孔径的检测	41		
2.4 角度的测量	43		

2.12.4 三坐标测量机的组成	82	5.1.3 振动测试的内容	131
2.12.5 三坐标测量机的应用	84	5.2 测振传感器	132
本章小结	84	5.2.1 压电式加速度传感器	132
思考题与习题	84	5.2.2 磁电式速度传感器	134
第3章 应变和力的测试	86	5.2.3 微分电路和积分电路性能比较	135
3.1 应变的测试	86	5.2.4 选择测振传感器的原则	136
3.1.1 应变片的工作原理	86	5.3 振动的激励和激振器	137
3.1.2 测量电路——电桥	88	5.3.1 振动的激励方法	137
3.1.3 应变片的选择	89	5.3.2 激振器	138
3.1.4 应变片的粘贴	90	5.4 振动测试实例	142
3.1.5 试件上的布片与接桥	90	5.4.1 空运转试验	142
3.1.6 提高应变测试精度的措施	93	5.4.2 机械运行状态监测及故障诊断	144
3.1.7 应变测试信号的处理分析	93	5.4.3 固有频率和阻尼比的测定	145
3.2 力的测试	94	本章小结	147
3.2.1 测力传感器	94	思考题与习题	147
3.2.2 应用实例(切削力的测试)	99	第6章 运动速度和转速的测量	149
3.3 扭矩的测量	101	6.1 运动速度的测量	149
3.3.1 力臂型扭矩测量装置	101	6.1.1 激光多普勒测速	149
3.3.2 应变式扭矩传感器	102	6.1.2 相关法测速	150
3.3.3 数字相位差式扭矩仪	103	6.2 转速的测量	151
本章小结	105	6.2.1 机械式转速计	151
思考题与习题	105	6.2.2 闪光测转速法	152
第4章 位移的测量	107	6.2.3 数字式转速测量系统	152
4.1 概述	107	本章小结	159
4.2 常用位移传感器及测量电路	107	思考题与习题	160
4.2.1 电感式传感器	107	第7章 压力与流量的测量	161
4.2.2 涡流式传感器	114	7.1 压力的表示方法及单位	161
4.2.3 电容式传感器	118	7.2 压力传感器	162
4.2.4 数字式位移传感器	121	7.2.1 弹性式压力计	162
4.3 位移测量实例	121	7.2.2 霍尔式压力传感器	163
4.3.1 一般线位移测量	121	7.2.3 应变式压力传感器	164
4.3.2 回转轴误差运动的测量	124	7.2.4 压阻式压力传感器	165
本章小结	127	7.3 压力测量仪表的选择和使用	165
思考题与习题	128	7.4 流量的测量	166
第5章 机械振动的测试	130	7.4.1 体积流量的测量仪表及测量方法	166
5.1 概述	130	7.4.2 流量计的校验和静态标定	168
5.1.1 振动测试的意义	130	本章小结	170
5.1.2 振动的类型	131	思考题与习题	170

第8章 其它物理量的测量	172	9.3 微机输入通道的接口技术	195
8.1 温度的测量	172	9.3.1 测量放大器	195
8.1.1 热电偶传感器	172	9.3.2 多路模拟开关	197
8.1.2 热电阻温度传感器	176	9.3.3 采样保持器	198
8.1.3 热敏电阻温度传感器	177	9.3.4 模数转换器	200
8.1.4 集成温度传感器	177	9.4 微机检测系统实例	203
8.1.5 数字式温度仪表	178	本章小结	205
8.2 噪声的测量	178	思考题与习题	205
8.2.1 噪声的物理度量	178	附录 实验指导	206
8.2.2 噪声的主观评价	180	实验一 用立式光学计测量塞规	207
8.2.3 噪声测试仪器——声级计	183	实验二 用合像水平仪测量直线度	
8.2.4 噪声测试方法	184	误差	209
8.3 无损检测技术	187	实验三 表面粗糙度的测量	212
8.3.1 无损检测方法	187	实验四 电感测微仪静态特性测定及	
8.3.2 无损检测的应用实例	190	数据处理	214
本章小结	191	实验五 金属箔式应变片性能实验	216
思考题与习题	191	实验六 电容式传感器特性	218
第9章 计算机辅助测试	192	实验七 光电测速传感器特性实验	219
9.1 概述	192	实验八 差动电感传感器测量	
9.2 微机检测系统的组成及工作		位移和振幅	220
过程	194	参考文献	222

绪 论

1. 检测技术在国民经济中的地位和作用

在人类的各项生产活动和科学实验中,为了了解和掌握整个过程的进展及其最后结果,经常需要对各种基本参数或物理量进行检查和测量,从而获得必要的信息,作为分析、判断和决策的依据。检测技术就是利用各种物理效应,选择合适的方法与装置,将生产、科研、生活中的有关信息,通过检查与测量手段,进行定性的了解和定量的分析所采取的一系列技术措施。

自然科学的产生与发展离不开检测。科学技术的进步是与检测方法、检测技术的不断完善分不开的。著名科学家门捷列夫说过:“科学,只有当人类懂得测量时才开始。”这说明,测量是人类认识自然的主要武器。只有借助于检测技术,人们才有可能发现、掌握自然界中的规律,并利用这些规律为人类服务。

现代科学技术的发展就更离不开检测技术,特别是科学技术迅猛发展的今天,在机械工程、电子通讯、交通运输、军事技术、空间技术等许多领域都离不开检测技术。

机械工业在我国社会主义经济建设中占有相当重要的地位。它既要以各种技术装备服务于国民经济各部门,同时又要提供大量的日用机电产品来满足人们日益增长的物质需求。经过五十多年的努力和发展,现在我国不但可以生产大型、重载的冶金、矿山设备以及高精度的仪器、仪表和机床,而且还可以生产具有尖端技术的航天、航空和航海设备等。

在机械制造行业中,通过对机床的许多静态、动态参数如工件的加工精度、切削速度、床身振动等进行在线检测,从而控制加工质量。在化工、电力等行业中,如果不随时对生产工艺过程中的温度、压力、流量等参数进行自动检测,生产过程就无法控制甚至发生危险。在交通领域,一辆现代化汽车装备的传感器就有十几种,分别用于检测车速、方位、转矩、振动、油压、油量、温度等。在国防科研中,检测技术用得更多,许多尖端的检测技术都是因国防工业需要而发展起来的。例如,研究飞机的强度,就要在机身、机翼上贴上几百片应变片并进行动态测量。在导弹、卫星、飞船的研制中,检测技术就更为重要。例如,阿波罗宇宙飞船用了1 218个传感器,运载火箭部分用了2 077个传感器,对加速度、温度、压力、应变、振动、流量、位置、声学等进行监测。近年来,随着家电工业的兴起,检测技术也进入了人们的日常生活中。例如,自动检测并调节房间的温度、湿度等。

总之,检测技术已广泛地应用于工农业生产、科学研究、国内外贸易、国防建设、交通运输、医疗卫生、环境保护和人民生活的各个方面,起着越来越重要的作用,成为国民经济发展和科技进步的一项必不可少的重要基础技术。因而,使用先进的检测技术也就成为经济高度发展和科技现代化的重要标志之一。

从另一方面看,现代化生产和科学技术的发展也不断地对检测技术提出新的要求和课题,成为促进检测技术向前发展的动力。科学技术的新发现和新成果不断应用于检测技术中,有力地促进了检测技术自身的现代化。

检测技术与现代化生产和科学技术的密切关系,使它成为一门十分活跃的技术学科,几乎渗透到人类的一切活动领域,发挥着愈来愈大的作用。

2. 检测系统的组成

一个完整的检测系统或检测装置通常是由传感器、信号处理电路和显示记录装置等部分组成,分别完成信息获取、转换、显示和处理等功能。图 0.1 给出了检测系统的组成框图。

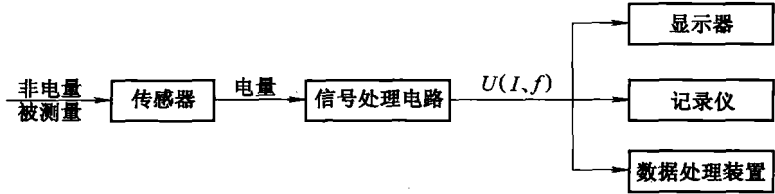


图 0.1 检测系统的组成框图

(1) 传感器

传感器又称变换器或转换器、变送器,是检测系统的信号拾取部分,作用是感受被测量并将其转换成可用信号输出,通常这种输出是电信号。如将机械位移量转换成电阻、电容或电感等参数的变化;又如将振动或声音信号转换成电压或电荷的变化。

(2) 信息处理电路

信号处理电路又称测量电路或中间变换电路。用于对传感器输出的信号进行加工,作用是把传感器输出的微弱信号变成具有一定功率的电压、电流或频率信号,以满足显示记录装置的要求。如将阻抗的变化转换成电压或电流的变化;又如将信号进行放大、调制与解调、线性化以及转换成数字信号等。经过这样的加工使之变成一些合乎需要、便于传送、显示或记录以及可作进一步处理的信号。对于电阻应变式传感器,被测量引起传感器直接变化的是粘贴在传感器弹性元件上的应变片的电阻变化。信号处理电路通过测量电桥电路及放大电路等,把该电阻量变化转换成电压量输出。对于电感、电容、压电传感器,被测量引起传感器直接变化的是电感量、电容量和电荷量,然后经过信号处理电路,可获得足够量值的电压或电流输出。信号处理电路还能起阻抗变换的作用,如压电传感器是高输出阻抗,经过信号处理电路后,成为低阻抗输出,这样才能与某些记录仪相匹配。

应当指出,测量电路的种类和构成是由传感器的类型决定的,不同的传感器所要求配用的测量电路经常具有自己的特色。在以后各章节中,我们将针对不同的传感器作详细介绍。

(3) 显示、记录部分

显示、记录部分的作用是将信息处理电路输出的被测信号转换成人们可以感知的形式,如指针的偏转、数码管的显示、荧光屏上的图像等。还可将此电信号记录在适当的介质上,如磁带、记录纸等,以提供人们观测和分析。目前,常用的显示器有四类:模拟显示、数字显示、图像显示及记录仪等。

模拟显示是利用指针对标尺的相对位置表示被测量数值的大小。如各种指针式电气测量仪表,常见的有毫伏表、微安表、模拟光柱等。其特点是读数方便、直观,结构简单、价格低廉,在检测系统中一直被大量应用。但这种显示方式的精度受标尺最小分度限制,而且读数时易引入主观误差。

数字显示则直接以十进制数字形式来显示读数,实际上是专用的数字电压表,它可以附加打印机,打印记录测量数值,并且易于和计算机联机,使数据处理更加方便。这种方式有利于消除读数的主观误差,目前多采用发光二极管(LED)和液晶(LCD)等以数字的形式来显示读数。前者亮度高,后者耗电省。

图像显示,如果被测量处于动态变化之中,用一般的显示仪表读数就十分困难,这时可以将输出信号送至显示装置,用示波管(CRT)或LCD屏幕来显示被测参数的变化曲线或读数,有时还可利用图表、彩色图等形式来反映整个生产线上的多组数据。

记录仪主要用来记录被测量随时间变化的曲线,作为检测结果,供分析使用。常用的记录仪有笔式记录仪、光线示波器、磁带记录仪、快速打印机等。

显示、记录部分通常都是选用市场上现售的标准设备。

3. 检测技术发展概况

检测技术是随着现代科学技术的发展而迅速发展起来的一门新兴学科。20世纪20年代,检测技术已经应用在机械工程试验和生产过程的自动控制中。1946年电子计算机诞生,并很快地渗透到机械行业。20世纪50年代初期出现了第一批机电一体化产品——数控机床,它将机械加工、检测技术和计算机技术结合在一起,大大提高了加工精度和生产效率。目前,在现代机械制造最具代表性的产品中,如数控机床、机器人、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等,检测技术都已成为不可缺少的重要组成部分。

近年来,由于物理学、化学、材料学,特别是半导体材料学、微电子学等方面的新成就,使新型的检测系统正在向器件集成化、信息数字化和控制智能化方向发展,新型或具有特殊功能的传感器不断涌现出来。检测技术的新进展主要表现在以下几个方面:

(1) 不断提高检测系统的测量精度、量程范围,延长使用寿命、提高可靠性

随着科学技术的不断发展,对检测系统测量精度的要求也相应地在提高。近年来,人们研制出许多高精度的检测仪器以满足各种需要。例如,用直线光栅测量直线位移时,测量范围可达二三十米,而分辨率可达微米级。人们已研制出能测量小至几十个帕的微压力和大到几千兆帕高压的压力传感器,开发了能够测出极微弱磁场的磁敏传感器。从20世纪60年代开始,人们对传感器的可靠性和故障率的数学模型进行了大量的研究,使得检测系统的可靠性及寿命大幅度地提高,现在许多检测系统可以在极其恶劣的环境下连续工作数万小时。目前,人们正在不断努力进一步提高检测系统的各项性能指标。

(2) 应用新技术和新的物理效应,扩大检测领域

检测原理大多以各种物理效应为基础,人们根据新原理、新材料和新工艺研究所取得的成果,将研制出更多品质优良的新型传感器。例如光纤传感器、液晶传感器、以高分子有机材料为敏感元件的压敏传感器、微生物传感器等。近代物理学的成果如激光、红外、超声、微波、光纤、放射性同位素等的应用,都为检测技术的发展提供了更多的途径。如激光测距、红外测温、超声波无损探伤、放射性测厚等非接触测量的迅速发展。另外,代替视觉、嗅觉、味觉和听觉的各种仿生传感器和检测超高温、超高压、超低温和超高真空等极端参数的新型传感器,将是今后传感器技术研究和发展的方向。

(3) 发展集成化、功能化的传感器

随着超大规模集成电路技术的发展,硅电子元件的集成化有可能大量地向传感器领域渗透。

人们将传感器与信号处理电路制作在同一块硅片上,得到体积小、性能好、功能强的集成传感器,使传感器本身具有检测、放大、判断和一定的信号处理功能。例如,已研制出高精度的 PN 结测温集成电路;又如,人们已能将排成阵列的成千上万个光敏元件及扫描放大电路制作在一块芯片上,制成 CCD 摄像机。今后,还将在光、磁、温度、压力等领域开发新型的集成化、功能化的传感器。

(4) 采用微机技术,使检测技术智能化

从 20 世纪 60 年代微处理器问世后,人们已逐渐将计算机技术应用到检测系统中,使检测仪器智能化,从而扩展了功能,提高了精度和可靠性。计算机技术在检测技术中的应用,还突出地表现在整个检测工作可在计算机控制下,自动按照给定的检测实验程序进行,并直接给出检测结果,构成自动检测系统。其它诸如波形存储、数据采集、非线性校正和系统误差的消除、数字滤波、参数估计等方面,也都是计算机技术在检测领域中应用的重要成果。目前,新研制的检测系统大都带有微处理器。

4. 本课程的任务和学习要求

对于机械及机电一体化专业来说,本课程是一门技术基础课。通过本课程的学习,使学生初步掌握静、动态测试所需要的基本理论、基本知识和基本技能。对机械工程中常见的被测量能够较正确地选用检测装置并完成检测任务。

学生在学完本课程后应具有以下几方面的知识:

- 1) 了解机械工程检测及测量数据的处理方法。
- 2) 基本掌握检测系统静态、动态特性的评价方法和不失真检测的条件。
- 3) 掌握各种典型几何量的检测方法和初步学会使用常用的计量器具。
- 4) 基本掌握常用传感器及其测量电路的工作原理和性能。
- 5) 针对常见的机械量,能够正确地选用检测装置完成检测任务。

本课程涉及的学科面广,需要有较广泛的基础和专业知识,学好这门课的关键在于理论联系实际。要富于设想,善于借鉴,重视实验环节,参加必要的实验,这样才能得到检测能力的训练。

本教材的各章均附有数量较多的应用实例及思考题与习题,引导学生循序渐进地掌握检测技术的实际应用能力。

第 1 章

检测技术基础

通过本章的学习,你将能够:

- 了解常用的检测方法及其特点。
- 懂得产生测量误差的原因及不同类型误差的处理方法。
- 对检测装置的基本特性有一个全面的了解,知道不失真检测的条件。
- 了解传感器的构成、分类及选用方法。

1.1 检测方法和检测误差概述

为了实现对一种特定物理量的检测,需要涉及检测原理、检测方法和检测系统三个要素。所谓检测原理是指实现测量所依据的物理现象和物理定律的总体。例如,热电偶测温依据热电效应,压电晶体测力依据压电效应,激光测距依据多普勒效应等。检测方法是指实现测量所使用的原理和设备。检测系统是指具有一定特性并用于测量的装置。

1.1.1 检测方法

根据检测时被测量具有的不同特征,检测方法有许多种分类:

1. 电测法和非电测法

两者的差别在于检测回路中是否有检测信息的电信号转换。在现代检测技术中都是采用电测方法来检测非电量。广泛采用非电量电测法的原因是电测法可以获得很高的灵敏度和精度,可以实现远距离传输,便于实现测量过程的自动化,便于实现测量与控制的联动。

2. 静态测量和动态测量

这两种测量方法是根据被测物理量的性质来划分的。静态测量即测量那些不随时间变化或变化很缓慢的物理量,例如工件几何尺寸的测量。动态测量即测量那些随时间快速变化的物理量,例如机械振动的测试。

静态与动态是相对的,可以把静态测量看作是动态测量的一种特殊形式。动态测量的误差分析比静态测量要复杂得多。

3. 直接测量和间接测量

直接测量是用预先标定好的测量仪表,对某一未知量直接进行测量,得到测量结果。例如,

用压力表测量压力,用游标卡尺测出轴径的大小等。直接测量的优点是简单而迅速,所以在工程上被广泛应用。

间接测量是对几个与被测物理量有确切函数关系的物理量进行直接测量,然后把所得的数据代入关系式中进行计算,从而求出被测物理量。例如,对于小于半圆的圆弧形工件,可以通过测量圆弧的弦长 L 和弓高 H 计算出工件的直径 D ,如图 1.1 所示。

$$D = \frac{L^2}{4H} + H$$

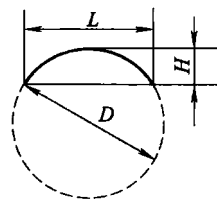


图 1.1 弦长弓高测量法

4. 接触测量和非接触测量

接触测量是指测量时,仪器的测头与工件表面直接接触,由于有接触变形的影响,将给测量带来误差。

非接触测量是指测量时,仪器的敏感元件与工件表面不直接接触,因而没有接触变形的影响。一般利用光、气、磁等物理量关系使敏感元件与工件建立联系。

5. 绝对测量和相对测量

绝对测量是指能直接从计量器具的读数装置读出被测量整个数值的测量。如用千分表测量轴的直径。

相对测量又称比较测量,是先用标准器具调整计量器具的零位,测量时由仪器的读数装置读出被测量相对于标准器具的偏差,被测量的整个量值等于所示的偏差与标准量的代数和。例如用量块调整比较仪进行相对测量。

6. 离线测量和在线测量

离线测量又称被动测量,是在零件加工完成后进行的测量,其作用仅限于发现并剔除废品。

在线测量又称主动测量,是在工件加工过程中进行的测量。它可直接用来控制零件的加工过程,决定是否需要继续加工或调整机床,能及时防止废品的产生。

1.1.2 检测误差基本概念

1. 误差的定义

被测物理量所具有的客观存在的量值,称为真值,记为 x_0 。由检测装置测得的结果称为测量值,记为 x 。测量值与真值之差称为误差。误差一般有两种表达形式:

(1) 绝对误差 δ

测量值 x 与真值 x_0 之差称为绝对误差,它表示误差的大小。

$$\delta = x - x_0$$

真值是一个理想概念,一般无法得到。实际测量中常用高精度的量值或平均值代表真值,称为“约定真值”。

(2) 相对误差 ε

绝对误差 δ 与被测量的真值 x_0 之比称为相对误差,一般用百分比(%)表示。因测量值与真值接近,所以也可近似用绝对误差与测量值之比作为相对误差。

$$\varepsilon = \frac{\delta}{x_0} \times 100\% \approx \frac{\delta}{x} \times 100\%$$

绝对误差只能表示出误差量值的大小,不便于比较测量结果的精度。例如,有两个温度测量结果 $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$ 和 $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$,尽管它们的绝对误差都是 $\pm 1^\circ\text{C}$,但后者的精度显然高于前者。

(3) 引用误差 γ

为了方便使用,对计量器具还常常使用“引用误差”的概念,它是以测量仪表某一刻度值的绝对误差为分子,满刻度值为分母所得的比值。

$$\text{引用误差} = \frac{\text{某一刻度值的误差}}{\text{满刻度值}} \times 100\%$$

引用误差是一种实用方便的相对误差,常在多挡和连续刻度的仪器仪表中应用。

2. 误差的来源

测量误差产生的原因可以归纳为五个方面:

(1) 基准件误差

如量块和标准线纹尺等长度基准的制造或检定误差会带入测量值中。一般取基准件误差为测量误差的 $1/5 \sim 1/3$ 。

(2) 测量装置误差

测量装置的误差包括仪器的原理误差和制造、调整误差,仪器附件及附属工具的误差,被测件与仪器的相互位置的安置误差,接触测量中测力及测力变化引起的误差等。

(3) 方法误差

由于测量方法不完善而引起的误差,如经验公式、函数类型选择的近似性引入的误差,尺寸对准方式引起的对准误差,在拟定测量方法时由于知识不足或研究不充分而引起的误差等。

(4) 环境误差

环境条件不符合标准而引起的误差,如温度、湿度、气压、振动等。在几何量测量中,温度是主要因素。测量时的标准温度定为 20°C ,精密工件、刀具和量具的测量需要在计量室中进行。一般车间没有控制温度的条件,应使量仪与工件等温后测量。

(5) 人员误差

由于测量者受分辨能力的限制、固有习惯引起的读数误差以及精神因素产生的一时疏忽等引起的误差。

总之,产生测量误差的因素是多种多样的,在分析误差时,应找出产生误差的主要原因,并采取相应的措施,以保证测量精度。

3. 误差按特征的分类

根据测量误差的特征,可将误差分为三类:系统误差、随机误差和粗大误差。

(1) 系统误差

在同一测量条件下,对同一被测量进行多次测量时,误差的绝对值和符号保持不变或在条件改变时按一定规律变化的误差称为系统误差。例如,仪表的刻度误差和零位误差、应变片电阻值随温度的变化等都属于系统误差。

因为系统误差有规律性,所以应尽可能通过分析和试验的方法加以消除,或通过引入修正值的方法加以修正。

(2) 随机误差

在同一测量条件下,对同一被测量进行多次测量时,误差的绝对值和符号以不可预定的方式