


· 高等学校专业教材 ·

检测技术及仪表

· 李军 贺庆之 主编 ·



 中国轻工业出版社

高等学校专业教材

检测技术及仪表

李军 贺庆之 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

检测技术及仪表/李军, 贺庆之主编.-北京: 中国轻工业出版社,
1989.9 (1999.4重印)

高等学校专业教材

ISBN 7-5019-0667-X

I. 检… I. ①李… ②贺… II. ①自动检测-高等学校-教材②检测仪表-高等学校-教材 IV. TP274

中国版本图书馆CIP数据核字 (96) 第05184号

责任编辑: 裴聿修 孟寿萱

*

出版发行: 中国轻工业出版社(北京东长安街6号, 邮编: 100740)

印刷: 三河市艺苑印刷厂

经销: 各地新华书店

版次: 1989年9月第1版

1999年4月第5次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 35

字数: 784千字

印数: 10001—11500

书号: ISBN7-5019-0667-X/TP·011 定价: 42.00元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

前 言

本书是根据轻工高等院校电气技术专业（原轻工自动化专业）教材编审委员会制订的《检测技术及仪表》教材编写大纲编写的。

本书按检测技术的基础知识、被测信息的检测变换、显示与记录以及工业生产中常见参数的自动检测装置的体系加以介绍。全书共分四篇：第一篇介绍检测技术的基本概念和误差理论的基础知识。第二篇介绍各种传感器的检测变换原理，其中包括电阻应变式、电容式、电感式、热电式、光电式、压电式、数字式和气动传感器，以及近年来发展较快的电化学传感器、各种半导体传感器和激光、光导纤维、红外线、微波、超声波、核辐射等自动检测技术的基本原理及其应用；考虑到本专业学生没有学习过“精密机械零件”和“应用光学”等课程，本篇还介绍传感器中常用弹性敏感元件和光学系统的基础知识。第三篇主要介绍模拟式、数字式显示技术及装置，以及常用记录仪器的基本原理，并简要介绍计算机图形显示技术的基础知识。第四篇介绍温度、压力、流量、液位等参数的测量方法和典型仪表，以及工业上常用的成分分析仪表、自动称量与自动分选装置。本书各章均附有思考题与习题。

近年来，我国相继颁布了一些新的国家标准（如国家标准GB4946—85《气相色谱术语》，以及参照IEC国际标准制订的热电偶和热电阻国家标准等），在本书的有关章节中充分反映了这一新的情况。

为了贯彻落实国务院《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，压力表和压力变送器检测仪表面临着按法定计量单位改制的问题。为此，编者曾走访了国家有关主管部门，并在本书中采用了法定计量单位。但是，在本书业已定稿之时，有关仪表的改制问题尚未最后定论。因此，若本书所采用的压力变送器等仪表的计量单位与改制后的实际产品有出入，请读者以实际产品为准。

本书可作为高等学校电气技术类与自动化类专业开设检测技术及仪表方面课程的教材。书中各篇之间以及第二篇、第四篇的各章之间均有一定的独立性，可根据不同的需要和学时数选用不同的章节。本书也可供有关专业技术人员参考。

本书由李军、贺庆之共同主编。参加编写的有西北轻工业学院贺庆之（第二篇第十一章、第三篇）、北京轻工业学院王其章（第二篇第五章，第四篇第二、三、五章）、天津轻工业学院钱承茂（第二篇第四、八、十三章，第四篇第六章）、李赋海（第二篇第一、二、三章，第四篇第四章）、李军（第一篇，第二篇第六、七、九、十章，第四篇第一章）；第二篇第十二章和第四篇第七章由钱承茂、李军共同编写。全书由李军统稿。

本书由天津大学杨惠连副教授担任主审，参加审稿的还有天津大学自动化仪表教研室王化祥、王桂珠、朱渠、高以仁、冉照明等同志；天津大学精密仪器教研室罗南星副教授、李金泉副教授，应用化学系刘淑兰副教授和分析仪器教研室徐贞林副教授，也分

别审阅了有关章节，提出了许多宝贵意见。在本书的编写过程中，天津大学周昌震教授、叶声华教授、陆伯印副教授都曾给予了热情支持与具体帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限、时间仓促，书中难免存在缺点和错误，恳切希望读者批评指正。

一九八七年九月

目 录

第一篇 检测技术基础

第一章 检测技术概论	(1)
第一节 概述	(1)
一、工业检测的目的.....	(1)
二、工业检测的分类.....	(2)
三、工业检测的发展趋势.....	(3)
第二节 信号及其分类	(4)
一、测量系统中的信号及其传递.....	(4)
二、模拟信号及其分析.....	(6)
第三节 干扰及其抑制	(8)
一、干扰的种类.....	(8)
二、干扰的抑制.....	(10)
第四节 测量装置的特性	(13)
一、静态特性.....	(13)
二、动态特性.....	(16)
第二章 测量误差与数据处理基础	(26)
第一节 测量误差及其分类	(26)
一、测量误差的定义.....	(26)
二、测量误差的分类.....	(27)
三、准确度、精密度、精确度.....	(28)
第二节 系统误差的消除方法	(28)
一、消除产生误差的根源.....	(29)
二、对测量结果进行修正.....	(29)
三、采用特殊测量法.....	(29)
第三节 随机误差及其特性	(33)
一、随机误差的统计特性.....	(33)
二、随机误差的概率分布.....	(34)
第四节 误差的综合	(41)
一、函数误差的基本关系式.....	(42)
二、系统误差的综合公式.....	(42)
三、随机误差的综合公式.....	(44)
四、系统不确定度与随机不确定度的综合.....	(46)

第五节 等精度测量结果的数据处理	(46)
一、被测量真值的最佳估计值	(46)
二、测量误差的估计	(48)
三、测量结果的置信度	(50)
四、异常测量值的判别及其剔除	(52)
五、测量结果的表示方法与有效数字的处理原则	(55)
六、等精度测量的数据处理步骤	(57)
第六节 不等精度测量结果的数据处理	(59)
一、权与加权平均值	(59)
二、加权平均值的标准偏差	(61)
三、不等精度测量的数据处理举例	(62)

第二篇 检测变换原理

第一章 弹性敏感元件	(65)
第一节 弹性敏感元件的基本形式	(65)
一、力敏感型弹性元件	(65)
二、压力敏感型弹性元件	(66)
三、温度敏感型弹性元件	(70)
第二节 弹性敏感元件的基本特性及误差	(71)
一、弹性敏感元件的基本特性	(71)
二、弹性敏感元件的误差	(73)
第二章 电阻应变式传感器	(74)
第一节 概述	(74)
第二节 金属电阻应变片	(75)
一、电阻应变效应	(75)
二、结构与材料	(76)
三、基本特性	(78)
四、温度补偿	(83)
第三节 应变式传感器	(85)
一、电阻应变片的选择与安装	(85)
二、测量电路	(86)
三、应变式传感器的应用	(89)
第三章 电容式传感器	(94)
第一节 电容传感器的工作原理及静态特性	(94)
一、电容传感器的工作原理	(94)
二、电容传感器的静态特性	(95)
第二节 测量电路	(102)
一、变压器电桥	(102)

二、运算检测电路	(103)
三、双T电桥电路	(104)
四、差动脉冲调宽电路	(105)
第三节 电容式差压变送器	(107)
一、测量部分的结构	(107)
二、工作原理分析	(108)
三、变换电路	(111)
第四章 电感式传感器	(114)
第一节 变磁阻式电感传感器	(114)
一、结构原理	(114)
二、转换电路	(119)
三、零点残余电压及其补偿	(123)
第二节 差动变压器	(124)
一、结构原理	(124)
二、测量电路	(125)
三、零点残余电压及其补偿	(126)
第三节 电感传感器的应用	(126)
一、电感式纸页厚度测量仪	(127)
二、电感式差压变送器	(127)
第五章 热电传感器	(130)
第一节 概述	(130)
第二节 热电偶	(130)
一、热电效应	(130)
二、热电偶回路基本法则	(132)
三、热电偶的种类及结构	(135)
四、热电偶测温的误差	(141)
第三节 热电阻	(142)
一、金属热电阻	(143)
二、半导体热敏电阻	(145)
第六章 光电传感器	(149)
第一节 概述	(149)
第二节 光电器件	(149)
一、光电效应与光电器件	(149)
二、光电器件的基本特性与参数	(153)
第三节 测量电路	(159)
一、对测量电路的要求	(159)
二、常用光电转换电路	(160)
第四节 光学系统	(161)

一、光学系统的功用与分类	(161)
二、光学测量回路的型式	(166)
三、光学系统的特性	(167)
第五节 光电传感器的应用	(168)
一、光电折光仪	(169)
二、光电自动旋光计	(170)
第七章 压电式传感器	(172)
第一节 压电效应与压电材料	(172)
一、压电效应	(172)
二、压电材料	(177)
第二节 测量电路	(181)
一、压电式传感器的等效电路	(181)
二、前置放大器	(182)
第三节 压电式传感器的应用	(186)
一、力-电转换型压电传感器	(186)
二、谐振型压电传感器	(188)
第四节 压电式传感器设计要点	(190)
一、压电元件的设计	(190)
二、结构设计中的几个问题	(194)
第八章 气动传感器	(198)
第一节 气动变换元件	(198)
一、喷嘴挡板机构	(198)
二、阀式机构	(200)
第二节 信号放大与转换	(202)
一、气动放大器	(202)
二、气-电转换器	(203)
第三节 气动传感器	(205)
一、测量原理	(205)
二、应用举例	(207)
第九章 电化学传感器	(211)
第一节 电化学传感器基础知识	(211)
一、概述	(211)
二、电极电位和电池电动势	(211)
第二节 电化学传感器的基本组成	(214)
一、电极	(214)
二、电解质	(219)
第三节 电位型电化学传感器	(220)
一、测量原理	(220)

二、指示电极	(220)
三、影响测量精度的因素	(222)
四、应用	(223)
第四节 电导型电化学传感器	(226)
一、测量原理	(226)
二、影响测量精度的因素	(227)
三、应用	(229)
第五节 电流型电化学传感器	(230)
一、极限电流型电化学传感器	(230)
二、电量型电化学传感器	(235)
第十章 半导体传感器	(238)
第一节 霍尔式传感器	(238)
一、霍尔效应	(238)
二、霍尔元件	(239)
三、霍尔式传感器	(240)
第二节 固态压阻式传感器	(245)
一、扩散型压阻器件的结构原理	(246)
二、压阻式传感器	(247)
第三节 半导体气敏传感器	(250)
一、半导体气敏元件	(250)
二、半导体气敏传感器的应用	(253)
第四节 半导体湿敏传感器	(254)
一、半导体陶瓷湿敏元件	(254)
二、测湿电路	(258)
三、应用举例	(259)
第五节 半导体图象传感器	(260)
一、电荷耦合器件 (CCD)	(260)
二、CCD 图象传感器在检测技术中的应用	(262)
第十一章 数字式传感器	(270)
第一节 光栅传感器	(270)
一、测量原理	(270)
二、辨向原理	(272)
三、细分技术	(273)
四、计量光栅与莫尔条纹的类型	(277)
五、三光栅系统	(279)
第二节 磁栅传感器	(281)
一、磁栅	(281)
二、磁头	(281)

三、检测电路.....	(283)
第三节 感应同步器	(285)
一、结构与工作原理.....	(285)
二、鉴相型测量系统.....	(287)
三、鉴幅型测量系统.....	(291)
四、脉冲调宽型测量系统.....	(295)
五、感应同步器的误差.....	(298)
第四节 振弦式传感器	(299)
一、工作原理.....	(299)
二、测量电路.....	(301)
第十二章 激光、红外辐射与光纤检测技术	(304)
第一节 激光检测	(304)
一、激光的形成原理.....	(304)
二、氦氖激光器.....	(305)
三、激光的特点.....	(308)
四、激光在检测技术中的应用.....	(309)
第二节 红外辐射检测	(312)
一、红外辐射及其特性.....	(312)
二、红外辐射检测的理论基础.....	(312)
三、红外探测器.....	(313)
四、红外辐射在检测技术中的应用.....	(314)
第三节 光纤检测技术	(316)
一、光导纤维.....	(316)
二、光纤传感器及其应用.....	(317)
第十三章 微波、超声波与核辐射检测技术	(322)
第一节 微波检测	(322)
一、微波基础知识.....	(322)
二、微波在检测技术中的应用.....	(323)
第二节 超声波检测	(324)
一、声学基础知识.....	(324)
二、超声波及其物理性质.....	(325)
三、超声波探头.....	(326)
四、超声波在检测技术中的应用.....	(327)
第三节 核辐射检测	(329)
一、核辐射的种类和性质.....	(329)
二、核辐射检测基础.....	(329)
三、核辐射检测装置的构成.....	(330)
四、核辐射检测应用示例.....	(333)

五、核辐射的防护.....	(334)
---------------	---------

第三篇 显示与记录仪表

第一章 模拟式显示与记录仪表	(336)
第一节 磁电式显示与记录仪表	(336)
一、磁电式动圈测量机构的工作原理.....	(336)
二、动圈式显示仪表.....	(338)
三、磁电系笔式记录仪.....	(340)
四、光线示波器.....	(342)
第二节 自动平衡式显示与记录仪表	(345)
一、自动平衡式显示与记录仪表的基本工作原理.....	(345)
二、自动平衡电位差计.....	(346)
三、自动平衡电桥.....	(351)
四、差动变压器式自动平衡记录仪.....	(354)
五、X-Y函数记录仪.....	(355)
第三节 磁带记录仪	(358)
一、工作原理.....	(358)
二、磁头与磁带.....	(360)
三、模拟记录方式.....	(360)
第二章 数字显示技术及仪表	(364)
第一节 概述	(364)
第二节 模-数转换	(365)
一、电压反馈比较式A/D转换器及其集成芯片.....	(365)
二、双积分式A/D转换器及其集成芯片.....	(373)
三、其它类型的A/D转换器.....	(379)
第三节 非线性补偿与标度变换	(384)
一、模拟式非线性补偿法.....	(384)
二、数字式非线性补偿法.....	(386)
三、标度变换.....	(386)
第四节 带有微型计算机的数字式显示仪表	(386)
一、带有一般微型计算机的数字式显示仪表.....	(386)
二、带有单片微型计算机的数字式显示仪表.....	(391)
第三章 计算机图形显示技术	(395)
第一节 阴极射线管	(395)
第二节 计算机图形显示原理	(396)
一、图形显示器.....	(396)
二、管头控制器与功能产生器.....	(397)
三、人机联系设备与显示控制器.....	(399)

第三节 主偏转方式与偏转电路	(399)
一、主偏转及其扫描方式	(399)
二、磁偏转电路原理	(400)
第四节 字符偏转与字符产生器	(401)
一、字符偏转	(401)
二、字符产生器	(403)
第五节 矢量产生器与屏幕显示间隔控制	(404)
一、矢量产生器	(404)
二、自动间隔控制程序	(405)
第六节 光笔的结构与工作原理	(406)

第四篇 工业参数检测

第一章 概述	(410)
第一节 检测仪表的基本知识	(410)
一、检测仪表的分类与组成	(410)
二、检测仪表的品质指标	(411)
三、量值传递与仪表的校准	(412)
第二节 自动检测系统及其设计原则	(415)
一、开环测量系统与闭环测量系统	(415)
二、自动检测系统的基本设计原则	(417)
三、自动检测系统的基本设计步骤	(419)
第二章 温度测量及仪表	(422)
第一节 概述	(422)
第二节 接触式测温仪表	(423)
一、热膨胀式温度计	(423)
二、压力式温度计	(426)
三、热电偶温度计	(428)
四、热电阻温度计	(433)
五、接触式测温仪表的使用与安装	(435)
第三节 非接触式测温仪表	(436)
一、光学高温计	(436)
二、全辐射高温计	(440)
第三章 压力测量及仪表	(443)
第一节 概述	(443)
一、压力的概念	(443)
二、压力的单位	(443)
三、压力测量方法	(444)
四、压力测量的重要意义	(445)

第二节	压力测量仪表·····	(445)
一、	液柱式压力计·····	(445)
二、	弹性式压力计·····	(447)
三、	电测压力计·····	(449)
四、	真空测量仪表·····	(451)
第三节	压力表的校验及安装·····	(454)
一、	压力表的校验·····	(454)
二、	压力表安装注意事项·····	(456)
第四章	流量测量及仪表 ·····	(459)
第一节	概述·····	(459)
第二节	流量测量方法·····	(460)
一、	应用容积法测量流量·····	(460)
二、	应用流体动压原理测量流量·····	(461)
三、	应用流体振荡原理测量流量·····	(461)
四、	应用超声波测量流量·····	(463)
五、	应用量热法测量流量·····	(463)
六、	质量流量测量方法·····	(464)
七、	应用相关技术测量流量·····	(464)
第三节	流量测量仪表·····	(466)
一、	差压式流量计·····	(466)
二、	转子流量计·····	(472)
三、	涡轮流量计·····	(475)
四、	电磁流量计·····	(477)
第五章	物位测量及仪表 ·····	(481)
第一节	物位测量方法·····	(481)
一、	直读法·····	(481)
二、	浮力法·····	(482)
三、	静压法·····	(484)
四、	电磁法·····	(485)
五、	其它测量方法·····	(485)
第二节	电容式物位计·····	(485)
一、	测量原理·····	(485)
二、	测量电路·····	(487)
第三节	差压式液位计·····	(488)
一、	气动差压变送器的结构原理·····	(488)
二、	液位测量及量程迁移·····	(489)
第四节	超声波、核辐射、微波与激光式物位测量仪表·····	(491)
一、	超声波式物位测量仪表·····	(491)

二、核辐射式物位测量仪表·····	(494)
三、微波式物位计·····	(496)
四、激光式物位计·····	(496)
第六章 工业分析仪表·····	(499)
第一节 概述·····	(499)
第二节 气体成分分析仪表·····	(500)
一、分类·····	(500)
二、热导式气体分析器·····	(500)
三、红外线气体分析器·····	(504)
第三节 气相色谱仪·····	(508)
一、气相色谱仪的基本组成·····	(508)
二、分离原理·····	(512)
三、气相色谱仪的定性和定量分析·····	(517)
第四节 湿度与水分测量·····	(520)
一、湿度及其表示方法·····	(520)
二、湿度测量·····	(521)
第七章 自动称量与自动分选·····	(529)
第一节 概述·····	(529)
第二节 自动称量装置·····	(529)
一、自动称量装置的基本组成·····	(529)
二、电子称重装置示例·····	(533)
三、称重误差分析·····	(535)
第三节 自动分选机·····	(537)
一、自动分选机的基本组成·····	(537)
二、自动分选机举例·····	(539)

第一篇 检测技术基础

第一章 检测技术概论

第一节 概 述

检测是科学地认识各种现象的基础性的方法和手段。从这种意义上讲，检测技术是所有科学技术的基础。检测技术又是科学技术的重要分支，是具有特殊性的专门科学和专门技术。随着科学技术的进步和社会经济的发展，检测技术也正在迅速地发展，反过来检测技术的发展又进一步促进着科学技术的进步。同眼、耳、鼻等感觉器官对于人类的重要作用相类似，测量装置（传感器、仪器仪表等）作为科学性的感觉器官，在工业生产、科学研究和企业的科学管理方面是不可缺少的。企业越是科学地高度发展，越需要科学的检测。

一、工业检测的目的

工业检测的主要目的可归纳为以下几个方面：

（一）控制生产过程的运行

工业生产过程是将原材料投入生产设备，加以必要的动力、热能或人力，通过各种物理的、化学的操作来产出合格的产品过程。为了保证产品的质量、提高产量、降低消耗和防止生产事故的发生，就必须严格执行科学的工艺规程，控制生产过程中的运行条件。例如，在制浆造纸生产过程中，要控制纸浆的流量、浓度等参数；在发酵工业生产中，要控制温度、压力、pH值和溶解氧的浓度等一系列参数。在应用饱和蒸汽作为二次能源的生产过程中，由于锅炉汽包的水位是安全生产的重要因素，因此必须严格控制水位的高低。

应当指出，目前许多工艺过程尚不能实现完全有效的控制，其中一个主要障碍就是由于缺乏合适的检测手段。例如，由于缺乏能无菌地插入发酵系统中用以检测浓度和细胞活性的探测器，使得目前所能实现的发酵过程控制往往具有很大的局限性。然而，一旦解决了检测的方法和手段，那么该生产过程的自动化也就有了实现的可能。我们知道，工业生产过程的运行状态最佳化需要反馈控制，但是如果生产过程中的信息不能检出，那么也就无法实现反馈控制。由此可见，检测是实现生产过程自动控制的重要手段和条件。

（二）检定产品质量

为了使产品质量达到预定的要求，必须进行严格的检定。例如，在造纸工业中，水

分、定量、厚度、透气度、机械特性、光学特性和电学绝缘特性等，都属于纸页和纸板的质量指标。至于检定哪个质量指标，则视产品的用途和品种而定。例如，厚度的稳定对于打字纸等特殊用途的纸页来说具有重要意义，而透气度则是包装纸的主要特性之一，对于电容器纸则必须检定其电气绝缘特性。

（三）成本计量

企业生产为了加强经济管理、提高经济效益，必须对生产过程中所消耗的原材料和能源以及所生产出的半成品和成品的数量进行准确的计量，以便为进行成本核算提供科学的依据。

（四）公害与污染监测

为了确保人民身体健康和保护生态系统，工业生产部门必须对生产过程中所产生的废水、废气、烟尘、废渣和噪声等公害进行监测，以便有的放矢地采取必要的防治措施，使各类公害和污染控制在法定的排放标准以内。

（五）科研与试验检测

为了研究新工艺、开发新产品和改进产品的设计，必须借助于各种检测手段，获取实验结果和有效的经验数据。例如，在研制一个新品种的自行车时，利用各种测试设备，可以在一周内，获得相当于自行车骑行一年的磨损和破坏数据，为决定是否投入批量生产提供了依据，也大大地缩短了研制周期。

二、工业检测量的分类

在生产过程中需要测量和控制的参数是多种多样的，工业检测量的分类方法也不完全统一。一般工业检测所涉及到的参数可大致分为：热工量(温度、压力、流量、物位等)、机械量(重量、尺寸、力、速度、加速度等)、成分量(浓度、密度、粘度、湿度、酸度、导电率等)、电磁量(相位、频率)等等。但是，在工业生产中需要检测的参数远不止这些。在本书中，我们把工业检测量分为如下几类：

（1）物理量 长度、位移、速度、质量、重量、压力、温度、流量、物位等参数统称为物理量。物理量的测量结果，通常可表示为某个单位物理量的多少倍。

（2）化学量 浓度、组成成分这样一类参数称为化学量，在化工类生产过程中和公害监测中，化学量的检测占有重要地位。

（3）工业量 如硬度、光洁度、粒度、噪音、纸浆的打浆度等等不能作为单一的物理量而使之数量化的参数，称为工业量。通常划分一些约定的等级来评定工业量的大小。

（4）感觉量 依赖于人的感觉的工业检测量称为感觉量或称心理量。许多工业产品（尤其是轻纺工业品）是人们使用的对象，对其使用质量的评价往往取决于人的感觉。例如，纺织品的“手感”、食品和饮料的“味感”、用圆珠笔书写时的“滑感”等等，都是根据人的知识、经验和感觉功能来鉴定的。如何采用科学的检测方法来客观地评定这些感觉量，是检测技术所面临的一个难题。

对于感觉量的评价，通常采用产品的“好”与“不好”，这种二者择一的办法；或者依次分为几个等级，例如：一等品、二等品；甲级香烟、乙级香烟；以及用1H、2H