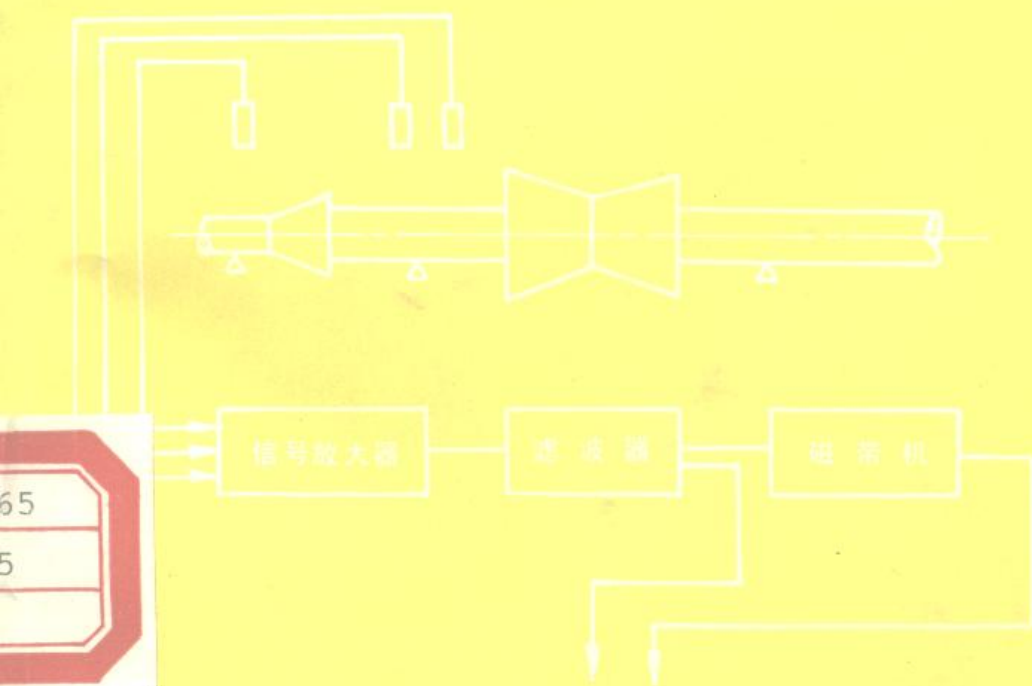


机械工业自动化技术丛书

检测自动化

谭祖根
李忠德 编著



机械工业出版社

73.86.1
945

机械工业自动化技术丛书

检测自动化

谭祖根 李忠德 编著



机械工业出版社

本书系机械工业自动化技术丛书之一。全书共八章。重点在于介绍生产过程中为获得信息、转换信息、处理信息、传输信息和执行信息所必不可少的环节——各类传感器。从一般的电感式、电容式传感器到新颖的光电式传感器均作了简明扼要的描述。另外，为便于有关人员选用，在每章末并列有丰富的应用实例。

本书可供与自动化检测有关的工程技术人员，技术管理干部阅读，也可作为大专院校有关专业的培训教材。

检 测 自 动 化

谭祖根 李忠德 编著

责任编辑：严蕊琪 责任校对：孙志筠 刘秀芝
责任印制：张俊民 版式设计：张世琴

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $6^{3/4}$ · 字数 146 千字

1989年12月北京第一版·1989年12月北京第一次印刷

印数 0,001—2,650 · 定价：5.70元

ISBN 7-111-01635-1/TP·96

DE36/11
出版者的话

随着我国社会主义工业的发展,自动化技术在机械工业中的应用范围已由机械加工过程扩展到设计、生产准备、工艺准备、检验、试验、装配及生产管理等各个方面,涉及到计算机应用、人工智能、现代控制理论和系统工程等许多领域。

为适应机械工业自动化技术飞速发展的需要,满足从事机械工业自动化的工程技术人员、管理干部知识更新的迫切要求,我们决定出版这套《机械工业自动化技术》丛书。

本丛书各分册书名分别为:《机械工业自动化》、《机械加工自动化》、《热加工自动化》、《物料搬运自动化》、《计算机辅助电路分析》、《计算机辅助企业管理》、《自动化装置及其应用》、《工业机器人及其应用》、《微型计算机及其应用》、《计算机网络及其应用》、《图像识别技术及其应用》、《系统辨识技术及其应用》及《检测自动化》等,将陆续出版。

本丛书主要由机械工业自动化学会和机械工业自动化情报网共同组织,并得到中国机械工程学会和北京机械工业自动化研究所领导和有关同志的大力支持。

本丛书编委会对丛书的列选、组稿、审稿付出了辛勤劳动,还有不少单位对审稿工作给予了热情帮助,在此一并表示感谢。

由于组织出版这类丛书是初步尝试,缺点和错误在所难免,希批评指正。

机械工业出版社

8500100

编委会成员

主任委员：王良楣

副主任委员：严筱钩 顾绳谷 蔡福元 段扬泽

委员（按姓氏笔划序）：

刘兆新 卢庆熊 朱逸芬 阳含和

吕 林 李 仁 李忠德 陈家彬

杜祥瑛 严蕊琪 周 斌 季瑞芝

张岫云 张弟元 唐璞山 章以钧

裘为章

前 言

自动化系统已广泛地应用于各个领域，而要使系统正确无误地工作，这取决于在实现自动化生产过程中能否及时地获取各种信息，加以处理、转换后，正确无误地传输出去，以控制下一环节。这主要依赖于自动化检测。

在机械工业中的自动化检测，主要是两个方面：一是机械加工过程中的自动检测；另一是机器运行过程中的自动检测。具体地讲，就是对加工准备工作、工件状况、加工条件、加工机械自身运动等进行自动检测。

本书主要介绍自动化检测用的各类传感器，从其结构、工作原理到电路均作了扼要的叙述，可以起到为读者引路的作用。

本书由谭祖根、李忠德两位同志编写，由谭祖根同志主审。在编审过程中还得到由中国仪器仪表学会过程检测控制仪表学会高等院校学组组织的审稿会与会同志的热情帮助和指导，为此，表示谢意。

由于编者水平所限，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编者
一九八八年

目 录

前言

第一章 概述	1
第一节 自动化系统	1
第二节 机械工业的自动化与自动检测	3
一、机械加工过程自动化与自动检测	4
二、机器运行过程中的自动检测	10
第三节 自动检测仪表的组成和分类	12
第四节 自动检测技术的发展趋势	13
第二章 电感式传感器	16
第一节 电感式传感器的工作原理	17
一、可变磁阻式	18
二、螺旋管式	20
第二节 电感式传感器的测量电路	23
一、电感线圈等效电路	23
二、交流电桥	23
第三节 电感式传感器的应用	25
一、电动测微仪	26
二、轮廓仪	31
第三章 互感式传感器(差动变压器)	41
第一节 差动变压器式传感器的工作原理	41
一、差动变压器的结构	41
二、差动变压器的工作原理	42
三、差动变压器的特性	43
第二节 差动变压器的测量电路	47
一、差动相敏检波电路	47

二、差动整流电路	48
第三节 互感式传感器的应用	49
一、互感式传感器的结构	49
二、互感式测微仪	50
三、金属检测装置	53
第四章 电容式传感器	56
第一节 电容式传感器的工作原理	57
一、变间隙式电容传感器	57
二、具有固定介质的变间隙式电容传感器	59
三、变面积电容式传感器	60
四、变介电常数电容式传感器	62
第二节 电容式传感器的结构	62
一、材料要求	62
二、结构举例	63
三、屏蔽	65
第三节 测量电路	66
一、电容电桥	67
二、双T电桥	68
三、差动脉冲调宽电路	71
四、调频电路	73
五、运算放大器式电路	74
第四节 电容式传感器的应用	75
一、测量物位	76
二、电容式测微仪	78
第五章 电涡流式传感器	82
第一节 电涡流式传感器的工作原理	82
第二节 结构形式	83
第三节 测量电路	86
一、调幅电路	86

二、调频电路	92
三、电桥电路	94
第四节 应用	95
一、测量工件尺寸	95
二、测量金属板厚和镀层厚	96
三、测量曲面形状	97
四、测量转速与自动计数	100
五、测量振动	101
六、测量硬度	103
七、测量温度	104
第五节 用电涡流传感器检测时应注意的事项	106
第六章 压电式传感器	110
第一节 压电效应与压电材料	110
一、石英晶体	110
二、压电陶瓷	113
第二节 压电传感器及其应用	115
一、基本工作原理	115
二、应用	116
第三节 测量电路	122
一、压电传感器的等效电路	122
二、电压前置放大器	123
三、电荷放大器	126
第四节 石英晶体温度传感器和压力传感器	127
一、石英晶体温度传感器	128
二、石英晶体压力传感器	129
第七章 热电式传感器	131
第一节 热电偶	131
一、热电效应	131
二、热电偶结构	133

三、热电偶自由端(冷端)温度补偿问题	134
四、热电偶的校验	140
第二节 热电阻	141
一、热电阻种类	142
二、热电阻温度计结构	145
第三节 热敏电阻	146
一、热敏电阻的主要特性	147
二、热敏电阻的主要技术参数	149
三、热敏电阻的应用	150
第八章 光电式传感器	155
第一节 基本工作原理	155
第二节 光电式传感器的基本元件	156
一、光源	156
二、光学元件与光路	160
三、光电元件	162
四、光导纤维	177
第三节 应用	179
一、转速测量与计数	179
二、尺寸和位移的测量	182
三、表面质量的检查	186
第四节 激光及其在自动检测中的应用	188
一、激光的基本知识	188
二、应用举例	192
第五节 光栅与光栅传感器	196
一、光栅的基本原理	197
二、光栅传感器的工作原理与结构	199
三、测量电路	204

第一章 概 述

第一节 自动化系统

自动化系统的构思来自对人工控制的摹仿，如果从瓦特的蒸汽机调速器算起，已有100多年历史了，但正式以控制理论为基础的技术科学是从40年代开始的，至今还不到50年的历史。到今天，自动化技术已有了巨大的进步，可以说已完成了人工控制的摹仿，并有了扩大和延伸。目前，自动化系统的成套工程已渗透到各个领域，在电力、石油、化工、冶金、机械以及管理等方面都已广泛采用，并取得了明显的经济效益。

自动化系统发展到现在，可以说具有以下四个特征：

1. 自动化系统从单一的制回路向各方面发展，功能多样化，构成立体化。在40年代，伺服机构几乎是控制系统的同义语，局限于单输入的随动控制系统。随着工业规模的扩大、自动化水平的提高，各个系统间的横向联系必须考虑，多变量控制系统应运而生。控制目标也逐步由单目标走向多目标。从横向的功能来说，控制的概念也在扩大。例如，对机组和车间人们除了正常的控制以外，还需要监测和分析现状，并预测和诊断故障的存在，及时采取措施，这就是故障预报和诊断的自动化。

2. 自动化技术已与电子计算机密切结合。在自动化系统中，基本上已离不开计算机的应用。例如，钢铁工业自动化主要是指仪表、电气传动和电子计算机等的综合应用，由

9010026

于它们同属电类，故国内称之为三电系统。近年来，由于仪表智能化，电气传动改用带微处理器的可编程序逻辑控制器（简称PLC）或微型计算机控制器（简称MMC）来控制，因此事实上近代三电控制系统都是以计算机为中心的。

3. 控制理论的成果正在扩大应用和实施，并得到了成效。现在，线性的、非时变的、集中参数系统的控制理论在整体上已经完备，大部分关键理论问题已得到解决，工程应用正在逐步推广。例如，许多先进控制算法需要被控过程的数学模型，没有模型，控制算法只能纸上谈兵。近20年来，不论是基于内在机理、基于外部输入输出关系，还是两者相结合的建模方法都有很多成果，系统辨识已成为一门比较成熟的分支学科。

4. 在自动化系统的理论和应用中，由定性判断到定量计算，由经验实证到数学分析的历程已基本完成。系统论、控制论、信息论的观点和方法在实践中显示了力量，而且为社会科学和人文科学的许多领域所吸收。一般地说，这表明了学科的巨大作用及其成熟性，显示了几十年来的成就和进步。

现在，系统的范围已明显地扩大，一个大系统总是由许多子系统构成，而且具有不同层次。同时，实际问题往往是多目标的，因此，应该从大系统的需要，从整体优化的角度出发，考虑各个子系统的属性。自动化系统应当具有的属性主要有适用性、先进性、安全性、可靠性、经济性。

技术上先进水平与一般水平的差距，不但在各个国家之间存在，在一个国家之内也同样存在。在我国，在自动化系统方面有先进的典型，但同时也存在自动化程度很低，甚至还谈不上机械化半机械化的工厂，发展很不平衡。总的来

说，大中型企业好一些，小型企业差一些；连续生产过程好一些，间歇生产过程差一些。如果能使自动化技术进一步带动经济上的优势，那末整体水平的提高将会加快速度。此外，从自动化系统的几个组成部分看，控制器发展较快，而传感器和执行器却相对发展要慢些，品种类型不齐，这种局面必须迅速改变。

今后的发展是两个方面的，一是在今天已经达到的水平上，进一步提高、完善和推广，二是有新的突破。在我国，已正式把现代自动化生产技术作为高新技术的组成部分，这对自动化工作者将是莫大的鼓舞，也使我们看到了自己的历史使命。

第二节 机械工业的自动化与自动检测

广义的来看，任何生产过程都可以看作是由一个“物质流程”和一个“信息流程”组合起来的，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流程的各种信息，然后才能进行分析、判断，以便实现自动控制。所以，自动化也可以说是用各种技术工具替代人们的检测、分析、判断和控制工作，而实现这些功能的技术工具通常称为自动化装置，所以一个自动化系统需要由许多个自动化装置来完成系统设计的任务。

自动化装置属于信息机器，它的品种、类型繁多，但从本质上来看，可以分为信息获得、信息转换、信息处理、信息传送及信息执行等环节。在实现自动化过程中，信息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，因此自动检测是自动化技术必不可少

4
的内容之一。

自动化系统已广泛地应用于各个领域，对于电力、冶金、石油、化工等部门应用较多，由于本丛书是机械工业自动化丛书，因此主要介绍机械工业中的自动化方面的自动检测。

在机械工业中的检测自动化，主要是两个方面，一是机械加工过程中的自动检测，二是机器运行过程中的自动检测。

一、机械加工过程自动化与自动检测

机械加工的过程就是通过一定的机械加工装备或加工系统，使材料按图纸规定的尺寸、形状、粗糙度和工艺要求变成成为机械零件的过程。

现代的机械加工已经从手动发展到半自动化和自动化，而自动化的机械加工系统规模也已逐步扩大，从单机自动化、自动生产线发展到自动化加工车间，甚至也已有无人化的工厂了。为了使自动化加工系统能够自动而正确地按规定的程序工作，必须自始至终及时地获取加工过程中的各种信息，以达到检测自动化。为此，必须有各种性能稳定的高精度检测仪表。

传统的检测工作大部分仅限于产品质量的评价工作，一个检测人员只是利用一些机械量具、电动量仪和气动量仪去检验一个加工品，以决定它的等级和判断它是合格品或废品。对于一个已经加工报废的零件也只能查明其为废品而已，而无预先防止的能力。这种检测的方法是一种被动的检测方法。随着科学技术的发展，对机械加工的要求越来越高，人们对于这种被动检测所包含的浪费性和被动性越来越不满意，于是开始大力提倡“防患于未然”的技术思想，在传统的检测技术基础上，积极发展了主动检测技术。所谓主动

检测技术,就是尽量使检测和加工同步,及时地用检测结果对加工过程积极地进行控制,使之适应加工条件的变化,或者随机地调整到最佳的加工状况。这样,检测的作用已经不只是单纯地检查产品的最终结果,而且要“过问”和“干预”造成这些结果的原因,从而进入到质量控制的领域。因而,现代机械制造的检测内容与传统的检测概念比较,其含义和内容已经有了新的发展。在这种状况下,必然要发展为检测自动化。

现代化的机械工业中,对机械制造的加工精度要求越来越高,某些加工件已经向 $\text{nm}(10^{-9}\text{m})$ 精度发展,而相对于加工件的精度来说,其检测仪表的精度势必要求更高。在1978年召开的第四届国际自动检测及产品控制会议上,就已有一种意见,认为今后将是开拓自动化生产中的质量保证技术,以达到产品在低消耗和高精度方面的一致性。因而近年来在某些场合,对某些产品实行了100%的自动全检技术(人的检验工作,在长期工作下最高达80~85%,这意味着将有15~20%的产品漏检或错检)。因此能否实现检测自动化和是否具有高精度的自动检测仪表成为发展高效率、自动化生产过程的前提条件之一。

在机械制造过程中,检测自动化的检测任务大体上有如下四个方面:

1. 加工准备工作的自动检测

在开始加工前,通常要求对坯件和所使用的加工设备进行各种自动检查,以保证在加工过程能正常工作。如根据加工坯件的装夹标志(或在机械手上的编号),呼叫加工指令,并自动选择工具,然后自动判断和调整坯件的夹持方位以及上床后的安装情况(如检测装夹的变形情况、确定夹紧力的

大小等)。有时根据加工需要还要测定加工的基准点、基准面等。

2. 工件状况的自动检测

加工最终目的是获得合格的工件,因此对于加工工件进行直接测量是必不可少的。工件状况的检测项目很多,如尺寸、粗糙度以及形状和位置公差(圆度、锥度、平面度、垂直度、同轴度等),对于某些特定的工件,例如齿轮和螺纹等,还要检测其齿距、螺距、节距半径、导程等,有时还需测量和工件质量有密切关系的内部缺陷等。

工件状况的检测,有的是在加工中进行的,有的是在加工后进行的。

对于工件状况进行检测,根据其结果可以区分合格品或不合格品,不合格者作为废品剔除,对于合格品又可划分等级种类,并将检测信息输入下道工序(如装配工序),作为选配的条件。例如在一条汽缸体活塞加工装配线中,总控制柜把汽缸的内孔分类尺寸信号输入活塞座,于是库里与其相配的活塞就自动放进随行夹具,进入装配线。当与之相配的活塞数量不足时,总控制柜就按所需要的选配尺寸控制加工设备加工活塞,以供装配之用。此外,工件状况的检测可修整或补偿加工机械与工具的运行状态,亦即当测定结果超过允差时,将超差信息反馈给加工机具,以便及时校正误差。工件状况检测还可为加工生产积累数据,如通过计算机将检测信息存储和记录下来,并编制和分析检验报告。

3. 加工条件的自动检测

加工条件的选择包括加工规范和环境条件的确定。为了保证严格的加工条件,必须在加工时经常对诸如切削速度、切削力、切削扭矩、进给速度、温度、压力和振动等参数进

行自动检测，以便及时地确认变化情况，并将测量信息反馈给加工机床，进行适当的调整。

对于要求加工条件始终保持最佳的控制场合，则需要通过自动检测系统跟踪加工条件的每一时刻的变化，以使工艺参数随时间作随机的改变，以求得最佳的加工效果。

4. 控制加工机械自身运动的自动控制

精密机床、自动机床或数控机床的定位和位移动作，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，并与指令值进行比较，如有偏差，则通过反馈控制自行调整。早期的丝杠定位、光学坐标系统，以及后来利用各种传感器的数显装置、激光定位都属于这种机床的检测系统。

对于数控机床来说，目前开环系统主要是靠伺服机构的精度来实现精确的位移控制，但在闭环系统中，采用适当的检测反馈系统则是保证加工精度的关键。

机床本身配备检测系统，可以提高加工精度，但是由于机床的刚性、热变形、刀具的磨损以及刀具系统的加工变形等因素的影响，总会造成一定的误差，因此，加工件的精度不单纯以机床的位移精度来决定。换言之，在实际加工中，总需要通过附加的检测系统不断地对工件和加工过程进行检测和调整。

所以机械加工过程的自动化和自动检测是机械工业自动化中的一个很重要的部分。下面举两个关于机械加工过程中检测自动化的例子。

1. 自动分选机

在检测自动化中，自动分选机是一个重要方面，它的功能是根据工件的尺寸把工件分为合格品、正超差和负超差三部分，对成品进行验收，然后在剔除正负超差品外，将合格