



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
新编高等职业教育电子信息、机电类规划教材



机电一体化技术专业

传感器与 自动检测技术 (第2版)

裴蓓 主编
柳桂国 主审

主要内容:

- 7个单元, 32个项目
- 认识传感器与自动检测系统
- 温度检测及传感器应用
- 机械量检测与传感器应用
- 光电、红外和光纤传感器及应用
- 数字式位移传感器与接近开关
- 环境量检测及传感器

华信教育资源网免费下载电子教案



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

新编高等职业教育电子信息、机电类规划教材·机电一体化技术专业

传感器与自动检测技术

(第2版)

裴蓓 主编

柳桂国 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 提 要

本教材以“工学结合、项目引导、做学教一体化”为编写原则，涵盖测量与误差、传感器、自动检测系统三方面内容，共分7个单元，32个项目。内容包括传感器与自动检测系统认识，温度检测及传感器使用，机械量检测与传感器使用，光电、红外和光纤传感器及使用，位置检测及数字传感器使用，环境量检测及传感器使用，自动检测系统设计的综合训练。项目中的技能训练（实验操作）选择了大量实用或来自工程实际的任务，这些任务设计成教学项目，编入教材，实用性极强。

本教材适合作为高职高专电气自动化专业、机电一体化专业教材，也可供相关专业工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

传感器与自动检测技术 / 裴蓓主编. —2版. —北京：电子工业出版社，2015.6

ISBN 978-7-121-25965-4

I. ①传… II. ①裴… III. ①传感器—高等学校—教材②自动检测—高等学校—教材 IV. ①TP212
②TP274

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 089299 号

策 划：陈晓明

责任编辑：郭乃明 特约编辑：范 丽

印 刷：三河市鑫金马印装有限公司

装 订：三河市鑫金马印装有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编：100036

开 本：787×1092 1/16 印张：16.75 字数：429 千字

版 次：2011 年 3 月第 1 版

2015 年 6 月第 2 版

印 次：2015 年 6 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：36.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

本教材是《传感器与自动检测技术》的第2版，根据使用第1版教材一些院校的反馈意见，同时考虑到当前高职院校培养学生的要求和生源状况，2版教材删去了单元7中理论性较强的“自动检测系统设计的5个问题”。

在教学过程中，学生的最大误区是：学生不知道（或不了解）所学知识的作用是什么。即学习目的不明确。为此，我们在每一个教学单元讲授之前，都首先强调该单元的实际应用是什么，通过具体实例，使学生有一个具体/明确的学习方向，激发他们学习的兴趣，从而提高学习效率，达到好的教学效果。

本教材的特色为：强化技术指导下的技能训练的教学理念，进一步集成传感器、电子测量、计算机检测系统课程的主要内容，按项目化教学需要安排教材内容。具体做了以下处理：

(1) 在教学改革上，充分体现技术指导下的技能训练的教学理念，突出实用性、技能性。教材中的许多概念、定理，理论性强的作定性介绍，重点讲述实际生产中对象的自动检测方法、传感器的选择、安装与调试等，弱化传统电子电路设计与调试内容。

(2) 在内容安排上，以项目形式安排教材内容。教材共有7个单元，32个项目。

(3) 在教材使用上，请任课老师认真阅读附录的课程标准，然后根据教学的实际情况灵活选用项目，尤其是对技能训练类项目以及拓展知识内容。我们认为实验操作与技能训练含义不同，实验操作是在实验综合装置上进行演示或验证，主要目的是理解、强化知识学习；技能训练是利用平台选择模块（元器件）进行自主设计、制作、调试、维修等，是对学习知识的综合运用，具有创新性，是一种职业能力的锻炼。项目中的技能训练（实验操作）选择了大量实用或来自工程实际的任务。有些任务简单，而有些任务本身就是一个课题，具有一定的难度，老师们可以根据实际情况选择。

本教材由长春职业技术学院裴蓓教授主编，参加编写的还有王迪，葛鲁波，汪建武，李方圆。浙江工商职业技术学院柳桂国教授认真审阅了本教材，并提出许多意见，在此表示衷心感谢。

我们真诚地希望各地学校的专业老师能够继续给我们提出意见和批评。让我们共同为我国的传感器与自动检测技术高职教学事业贡献我们的智慧和力量。

作 者

2015年1月

目 录

单元 1 认识传感器与自动检测系统	(1)
1.1 项目 1 自动检测系统认识	(1)
1.1.1 项目 1 知识学习 自动检测系统基本概念	(1)
1.1.2 项目 1 技能训练 指出系统组成并画组成框图	(3)
1.2 项目 2 认识传感器	(5)
1.2.1 项目 2 知识学习 传感器基本知识	(5)
1.2.2 项目 2 技能训练 传感器性能评估、校准与误差处理	(16)
单元 1 小结	(20)
习题 1	(21)
单元 2 温度检测及传感器应用	(25)
2.1 项目 3 温度检测及传感器使用技能训练	(26)
2.1.1 任务 1 制作电冰箱温度超标指示器	(26)
2.1.2 任务 2 组建基于热电偶或热电阻的温控系统	(27)
2.1.3 任务 3 制作简易温度表	(31)
2.2 项目 4 温度传感器知识学习	(34)
2.2.1 温度与温标	(34)
2.2.2 温度的测量方法与温度传感器	(35)
2.2.3 热敏电阻	(36)
2.2.4 热电阻传感器	(38)
2.2.5 热电偶传感器	(39)
2.2.6 集成温度传感器 (AD590)	(48)
2.2.7 基于 1-WIRE 总线的 DS18B20 型智能温度传感器	(49)
单元 2 小结	(52)
习题 2	(53)
单元 3 机械量检测与传感器应用	(57)
3.0 机械量检测概述	(57)
3.1 项目 5 金属箔式应变片实验与应变式传感器知识	(58)
3.1.1 项目 5 技能训练 金属箔式应变片直流单臂、半桥、全桥比较实验	(58)
3.1.2 项目 5 知识学习 应变式传感器	(60)
3.1.3 项目 5 常用的应变式传感器应用实例	(63)
3.2 项目 6 扩散硅压阻式压力传感器实验与压阻式传感器知识	(66)
3.2.1 项目 6 技能训练 扩散硅压阻式压力传感器实验	(66)
3.2.2 项目 6 知识学习 压阻式传感器	(67)
3.2.3 项目 6 压阻式压力传感器应用实例	(69)

3.3	项目 7 差动变面积式电容传感器实训与电容式传感器知识	(69)
3.3.1	项目 7 技能训练 差动变面积式电容传感器实训	(69)
3.3.2	项目 7 知识学习 电容式压力传感器	(70)
3.4	项目 8 差动变压器实训与电感式传感器知识	(74)
3.4.1	项目 8 技能训练 差动变压器式传感器实训	(74)
3.4.2	项目 8 知识学习 电感式传感器	(75)
3.5	项目 9 电涡流式传感器实验与电涡流式传感器知识	(78)
3.5.1	项目 9 技能训练 电涡流式传感器位移与材料检测实验	(78)
3.5.2	项目 9 知识学习 电涡流式传感器	(79)
3.6	项目 10 压电传感器实验与压电传感器知识	(81)
3.6.1	项目 10 技能训练 压电传感器引线电容对电压和电荷放大器的影响实验	(81)
3.6.2	项目 10 知识学习 压电式传感器	(82)
3.7	项目 11 霍尔传感器实训与霍尔传感器	(86)
3.7.1	项目 11 技能训练 霍尔传感器实训	(86)
3.7.2	项目 11 知识学习 霍尔传感器	(88)
3.8	项目 12 常用机械量参数检测方法与综合实训	(91)
3.8.1	项目 12 技能训练 常用机械量参数检测综合实训	(91)
3.8.2	项目 12 知识学习 常用机械量参数检测方法	(100)
	单元 3 小结	(110)
	习题 3	(111)
	单元 4 光电、红外和光纤传感器及应用	(118)
4.1	项目 13 光电传感器应用电路实训与光电传感器知识	(118)
4.1.1	项目 13 技能训练 光电传感器应用电路实训	(118)
4.1.2	项目 13 知识学习 光电传感器	(121)
4.1.3	光电传感器的应用	(129)
4.2	项目 14 红外传感器及使用	(134)
4.2.1	项目 14 知识学习 红外传感器	(134)
4.2.2	项目 14 技能训练 红外传感器应用	(140)
4.3	项目 15 光纤传感器实训与光纤传感器知识	(143)
4.3.1	项目 15 技能训练 光纤传感器实训	(144)
4.3.2	项目 15 知识学习 光纤传感器	(145)
	单元 4 小结	(152)
	习题 4	(153)
	单元 5 数字式位置传感器与接近开关	(160)
5.1	项目 16 数字式位置测量基本知识	(160)
5.2	项目 17 数字式角编码器及应用	(162)
5.2.1	绝对式编码器	(162)
5.2.2	增量式编码器	(163)
5.2.3	角编码器的应用	(164)
5.3	项目 18 光栅传感器及应用	(166)

5.3.1	光栅的类型和结构	(166)
5.3.2	光栅的工作原理	(168)
5.3.3	辨向及细分	(169)
5.3.4	光栅传感器的应用	(171)
5.4	项目 19 磁栅传感器及应用	(173)
5.4.1	磁栅位移传感器	(173)
5.4.2	磁头	(174)
5.4.3	信号处理方式	(175)
5.4.4	磁栅位移传感器应用	(177)
5.5	项目 20 容栅传感器及应用	(178)
5.5.1	容栅传感器结构及工作原理	(178)
5.5.2	容栅传感器在数显尺中的应用	(179)
5.6	项目 21 感应同步器及应用	(181)
5.6.1	感应同步器的结构和类型	(181)
5.6.2	感应同步器的工作原理	(181)
5.6.3	感应同步器在数控机床闭环系统中的应用	(183)
5.7	项目 22 接近开关及应用	(184)
5.8	项目 23 位置检测及数字传感器使用综合技能实训	(187)
5.8.1	任务 1 光栅数显检测系统的安装、调试与维修	(187)
5.8.2	任务 2 电动小车上安装的接近传感器	(190)
5.8.3	任务 3 数字式位置传感器与接近开关在数控机床中的应用案例	(191)
	单元 5 小结	(196)
	习题 5	(197)
	单元 6 环境量检测及传感器	(201)
6.1	项目 24 气体传感器与烟雾传感器	(201)
6.1.1	气体传感器	(201)
6.1.2	烟雾传感器	(203)
6.1.3	气体传感器的应用	(204)
6.2	项目 25 湿度与水分传感器	(206)
6.2.1	湿度基本概念	(206)
6.2.2	湿度传感器	(206)
6.2.3	含水量检测方法	(209)
6.2.4	湿度传感器的应用	(210)
6.3	项目 26 声敏传感器与超声波传感器	(212)
6.3.1	声敏传感器	(212)
6.3.2	声敏传感器的应用	(214)
6.3.3	超声波传感器的物理基础	(214)
6.3.4	超声波换能器及耦合技术	(216)
6.3.5	超声波传感器的应用	(217)
6.4	项目 27 综合应用技能实训	(220)

6.4.1	火灾自动报警电路	(220)
6.4.2	声控延时节电开关	(221)
6.4.3	用脚步声触发的电子犬	(222)
6.4.4	蔬菜果园防盗报警器	(223)
6.4.5	光控、声控延时楼道照明灯电路及其安装	(224)
6.4.6	实用酒精检测报警器制作与调试	(227)
6.4.7	制作声、光、磁控机器猫	(229)
6.4.8	超声波倒车防撞报警电路制作与调试	(230)
单元 6 小结		(231)
习题 6		(232)
单元 7 自动检测系统的抗干扰技术及综合分析、设计训练		(235)
7.1	抗干扰技术	(235)
7.2	项目 28 综合分析、设计案例 1 电磁配铁秤	(237)
7.3	项目 29 综合分析、设计案例 2 自动尺寸检测系统	(240)
7.4	项目 30 综合分析、设计案例 3 智能温度检测与控制仪	(243)
7.5	项目 31 综合分析、设计案例 4 电感式传感器在滚珠直径分选中的应用	(246)
7.6	项目 32 综合分析、设计案例 5 液体点滴速度监控装置设计	(248)
附录		(253)
附录 A 工业热电阻分度表 (见附表 A)		(253)
附录 B 镍-镍硅 (镍铝) K 型热电偶分度表 (自由端温度为 0℃) (见附表 B)		(254)
附录 传感器与自动检测系统课程标准		(256)
参考文献		(260)

单元1 认识传感器与自动检测系统

本单元传授的知识要点是:

- (1) 自动检测系统基本组成。
- (2) 传感器基本组成、分类。
- (3) 测量误差及表示方法。

学生应掌握的基本技能是:

- (1) 能根据自动检测系统实际应用示意图指出系统组成, 并画出组成框图。
- (2) 能利用传感器静态特性参数估算一些性能指标。
- (3) 能理解误差表示方法。

本单元的拓展知识是传感器选用、标定与校准方法; 测量误差处理方法。拓展能力是能够利用互联网或其他资料初步选用传感器, 能够初步设计出传感器标定与校准方案, 能够运用所学知识分析计算测量数据的准确度。

在素质培养方面, 本单元主要培养学生能利用基本概念解释传感器与自动检测系统的一些常用技术术语; 通过测量数据分析处理的训练培养学生分析问题的能力, 培养学生具有根据数据说明问题的基本科学思维方面的素质。

本单元由2个项目组成, 每个项目有知识学习和技能训练两部分。项目1教学学时为1课时, 项目2教学学时为3课时。拓展知识, 可用于课堂教学, 也可让学生自学。

1.1 项目1 自动检测系统认识

1.1.1 项目1知识学习 自动检测系统基本概念

1. 什么叫自动检测系统?

随着科学技术的发展, 自动检测技术已深入到现代社会的各个领域, 包括工农业生产, 国防科技、现代生活, 无所不在、无所不有。自动检测系统或者自动检测装置是实现信息提取、信息转换以及信息处理的系统或装置。信息提取是从自然界、社会、生产过程或科学实验中获取人们所需要的信息。信息处理是自动检测的真正目的, 是指人们把已经获得的信息进行加工、运算、分析或综合, 以便进行预报、报警、检测、计量、保护、控制、调度和管理等, 达到预防自然灾害、防止事故发生、提高劳动生产率、正确计量、改善产品质量、顺利进行科学实验、进行文明生产和科学管理等目的。

2. 为什么要学习自动检测系统?

当今信息社会, 人们对信息的提取、处理、传输以及综合等要求愈加迫切。作为信息提取的功能器件——仪表或传感器与人类的关系愈来愈密切。例如, 一辆汽车的等级标准之

一，就是其上所配置的传感器数量和性能，以使用来测量车速、方位、负载、震动、油压油量、温度等；飞机和高铁之所以能够成为高速快捷的交通工具，正是有了自动检测技术作为其可靠的后盾；也正因为有了自动检测系统，才使得古老的机械加工焕发了青春，数控加工技术的引进，使得机械加工在机械产品的生产质量、数量以及个性化方面都发生了革命化的变化。检测技术同时也进入到了我们的生活中，如洗衣机、电冰箱、空调器这类家用电器，检测系统是其组成部分的核心；用电压表对电压进行监测，用一氧化碳气敏传感器对煤气溢出进行监测等。所以，有了自动检测技术，才有了我们今天的现代化信息社会。

采用自动检测系统实时测量及分析产品性能，采用自动测控系统对产品加工过程实时控制，是提高产品质量的现代方法。

随着科学技术的迅速发展，自动检测技术的应用领域日益扩大，在冶金、化工、电力、自动化机床、工业机器人控制、柔性制造系统和计算机集成制造系统等方面已取得了举世瞩目的研究和应用成果，在国民经济中发挥着越来越大的作用。目前，自动检测技术已成为未来物联网时代最主要的技术之一，其主要原因是它可以给人们带来巨大的经济效益和社会效益。

3. 自动检测系统基本组成

首先我们介绍两个自动检测技术的应用实例。图 1.1 和图 1.2 分别给出了气象参数自动检测系统示意图和电炉温度自动测控过程示意图。

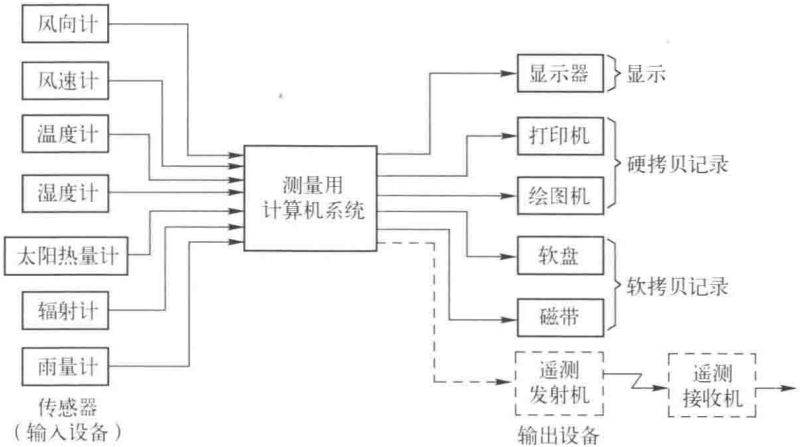


图 1.1 气象参数自动检测系统示意图

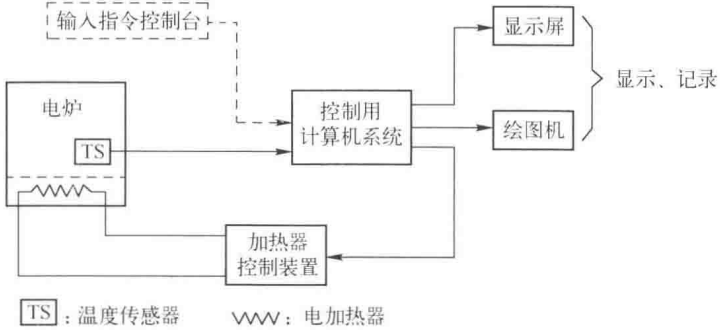


图 1.2 电炉温度自动测控过程示意图

如图 1.1 所示，自动检测对象是风向、风速、温度、湿度、日照、辐射、雨量等气象参数，采用 7 种相应的传感器进行自动检测。计算机系统每隔一段时间间隔对自动检测数据进行收集和处理，处理后的数据被实时显示在显示屏上，同时被送到记录装置进行记录。此外，还可以通过遥测装置向其他系统发送数据。

如图 1.2 所示，电炉控制过程的控制对象是电炉温度，为使电炉内的温度按预先设定的规律变化，首先，计算机系统通过电炉内的温度传感器采集温度信息，根据设定的温度时间曲线变化要求进行运算，运算结果送给加热器控制装置，以控制加热器产生最佳热量，从而完成控制操作。同时，可对电炉内的温度进行实时显示和绘图等。此外，系统还具有从外部控制电炉的启动与停止，输入参数和指令的功能，即备有输入指令操作台。

上述两个实例是有区别的，图 1.1 所示属于开环工作的自动检测系统，因为系统只是对对象参数自动采集、处理；图 1.2 所示则属于闭环工作的自动测控系统，因为系统不仅需要对象参数自动采集、处理，而且还需要对对象参数进行调节或控制。

一般的自动检测系统组成可由图 1.3 的框图来表示。在图 1.3 中，传感器把待测的物理量（一般为非电量）转换为信号（一般为电量），信号调制装置把传感器输出的信号转变成成为显示或记录装置可以直接利用的信号。如果待测物理量是电压，它可能需要放大；如果待测物理量是微小的机械运动（位移）信号，它可能需要放大或转换成其他运动形式；待测物理量甚至可能是一串需要转换为电脉冲的光脉冲信号。经过调制以后，信号被显示给用户或存储在记录装置上，以备后用。

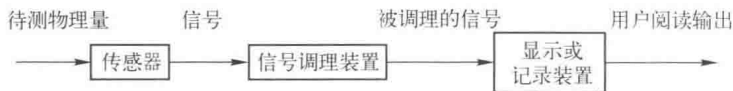


图 1.3 自动检测系统的组成框图

一般的自动测控系统可由图 1.4 的框图来表示。自动测控对象参数，常常为非电量，需要通过传感器转换为电量，信号调理装置需要对传感器输出信号进行处理与转换，使它能够被计算机系统所接收，计算机系统接收信号数据并处理后，送给控制装置产生相应的信号去控制执行器的动作。执行器是将控制装置输出的电信号转变为各种控制动作，以实现对被控对象参数的控制。此外，系统还将自动测控的结果，送往显示器显示出来或送往记录器记录下来，供操作人员现场监视和分析。当自动测控结果异常时，计算机系统还可启动报警器报警。

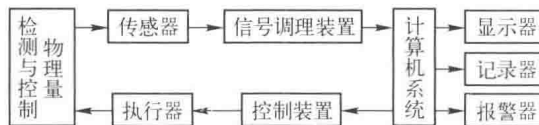


图 1.4 自动检测与控制系统组成框图

1.1.2 项目 1 技能训练 指出系统组成并画组成框图

(1) 根据图 1.1 所示气象参数自动检测系统示意图和图 1.2 所示电炉温度自动测控过程示意图，画出自动检测系统的组成框图和自动测控系统组成框图。

(2) 图 1.5 所示为智能化水质检测过程示意图，它勾画了未来的水质监测系统，通过无线水质感应器将水质信息自动传送给检测中心，水质感应器沿河流而下，而无须现场取水。根据图 1.5 示意图指出该自动检测系统由哪几个部分组成？并画出自动检测系统的组成框图。

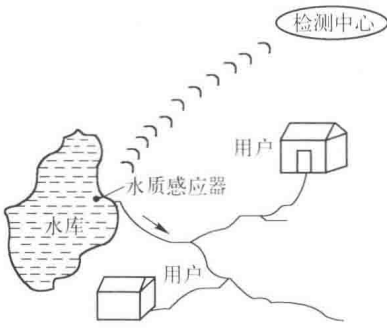


图 1.5 智能化水质检测过程示意图

一个实际自动检测装置或者自动测控装置，首先要明确装置的使用目的。如果装置仅仅是监视一个或者多个对象，那么该装置就是一个自动检测系统；如果装置是监控一个或者多个对象，那么该装置就是一个自动测控系统。对象可以用一个或者多个参数来描述，如图 1.1 所示，检测对象是气象参数，它是由风向、风速、温度、湿度、日照、辐射、雨量等多个参数描述的；图 1.2 所示测控对象是电炉温度，只是一个参数；图 1.5 所示检测对象是水质，水质不是参数，需要做调查研究，或者需要与用户反复讨论，最终确定是什么参数。

许多自动检测系统或者自动测控系统中的检测参数或测控参数是非电量，为了能够将被测参数进行远距离传送和自动显示、记录、处理和控制在构建自动检测系统或者自动测控系统时首先需要选择传感器或者仪表，把非电量转换为电量。例如，在气象参数自动检测系统中，需要选择风向、风速、温度、湿度传感器以及光度机、辐射机和雨量机；在电炉温度自动测控系统中，需要选择温度传感器；在智能化水质检测系统中，需要选择相应参数传感器或仪表，如 PH 传感器、浊度传感器、大肠杆菌仪等。

传感器电量输出有多种类型，如电压、电流、频率等；传感器电量输出也有多种形式，如模拟量、脉冲、数字等。这些形式显然不方用户阅读、保存和警示，故通常使用显示器、记录仪和报警器。显示器、记录仪和报警器对输入信号一般有一定的要求，因此在传感器与显示器、记录仪和报警器之间还需要信号调理装置。对于自动测控系统，为了实施对对象的测控，需要有控制装置和执行器。

综上所述，气象参数自动检测系统组成框图如图 1.6 所示，电炉温度自动测控系统组成框图如图 1.7 所示。

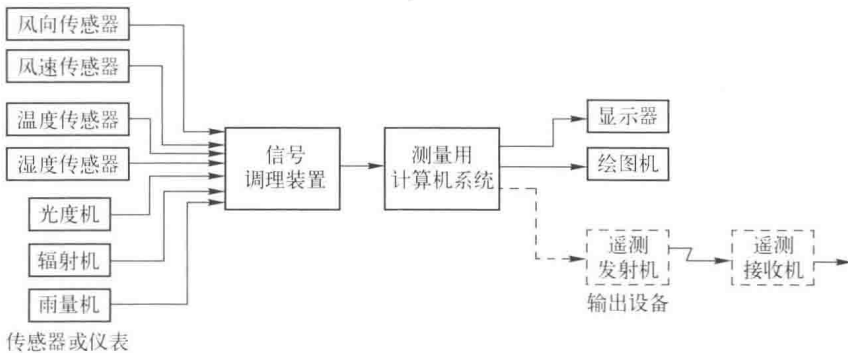


图 1.6 气象参数自动检测系统组成框图

智能化水质检测系统由传感器、信号调理与无线发送装置、显示器和记录仪组成，智能化水质检测系统框图如图 1.8 所示。

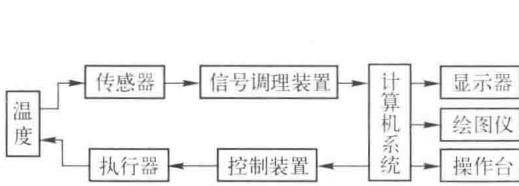


图 1.7 电炉温度自动检测与控制系统组成框图

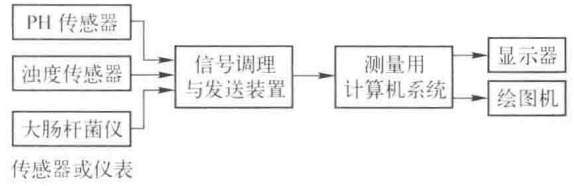


图 1.8 智能化水质检测系统框图

1.2 项目 2 认识传感器

1.2.1 项目 2 知识学习 传感器基本知识

1. 传感器在自动检测系统中的作用

在自动检测系统中，需要用传感器把自然界的物质信息（各种物理量、化学量和生物量形态的信息）转换为电信号，之所以要转换为电信号，是因为电信号便于远距离传送和传送速度快、传送信号不失真、利于与计算机通信和处理。通过信号调理装置输出给显示器、记录仪等便于人们阅读的设备。传感器是构建自动检测系统首要的、决定性的组成部分，能否选择合适的传感器决定着能否构建合理的自动检测系统。传感器获取信息的准确程度关系到整个自动检测系统能否准确检测信息，传感器对现代化科学技术、现代化农业及工业自动化的发展起着基础和支柱作用，已被世界各国列为关键技术之一。可以说，“没有传感器就没有现代化科学技术，没有传感器也没有人类现代化的生活。”传感器技术已成为科学技术和国民经济发展水平的标志之一。

2. 传感器的定义和组成

根据中华人民共和国国家标准（GB/T 7665—2005）的规定，传感器（Transducer/sensor）的定义是：“传感器是一种能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。”

传感器的定义包含以下几方面的含义：

- (1) 传感器是一种测量装置，能完成检测任务。
- (2) 它的输入量是某一被测量，可能是物理量，也可能是化学量，生物量等。
- (3) 它的输出量是某种物理量，这种量可以是气、光、电量，但主要是电量。
- (4) 输出输入有对应关系，且应有一定的精确程度。

传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路三部分组成，其组成框图如图 1.9 所示。

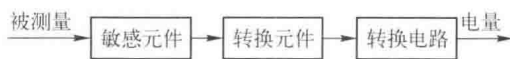


图 1.9 传感器组成框图

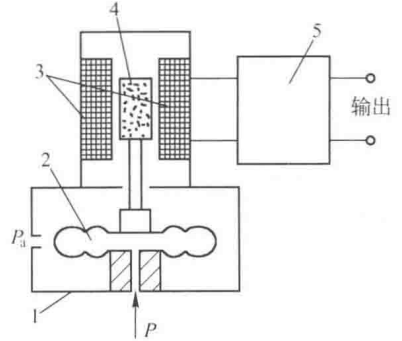
(1) 敏感元件。它是直接感受被测量，并输出与被测量构成有确定关系、易于转换为某一物理量的器件。如图 1.10 所示是一种气体压力传感器的示意图。膜盒 2 下半部与壳体 1 固定连接，上半部通过连杆与磁芯 4 相连，磁芯 4 置于两个电感线圈 3 中，后者接入转换电

路 5。这里的膜盒就是敏感元件，其外部与大气压力 P_a 相通，内部感受被测压力 P ，当 P 变化时，引起膜盒上半部移动，即输出相应的位移量。

(2) 转换元件。敏感元件的输出就是转换元件的输入，转换元件把输入转换成电路参数量。在图 1.10 所示中，转换元件是可变电感 3，它把输入的位移量转换成电感器的变化。

(3) 转换电路。上述电路参数接入转换电路，便可转换成电量输出。

应该指出，不是所有的传感器均由以上三部分组成。最简单的传感器是由一个敏感元件（兼转换元件）组成，它直接输出电量，如热电偶传感器。有些传感器由敏感元件和转换元件组成，而没有转换电路，如压电式加速度传感器，其中质量块是敏感元件，压电片（块）是转换元件；有些传感器，转换元件不只是一个，要经过若干次转换。



1—壳体；2—膜盒；3—电感线圈；
4—磁芯；5—转换电路

图 1.10 气体压力传感器

3. 传感器的分类

目前，传感器主要有几种分类方法：根据传感器工作原理分类；根据传感器能量转换情况分类；根据传感器转换原理分类；按照传感器的使用分类。表 1-1 是按传感器转换原理分类给出的各类型的名称及典型应用。

表 1-1 传感器分类表

传感器分类		转换原理	传感器名称	典型应用
转换形式	中间参数			
电参数	电阻	移动电位器触点改变电阻	电位器传感器	位移
		改变电阻丝或电阻片的尺寸	电阻丝应变传感器、 半导体应变传感器	微应变、力、负荷
		利用电阻的温度效应（电阻温度系数）	热线传感器	气流速度、液体流量
			电阻温度传感器	温度、辐射热
			热敏电阻传感器	温度
		利用电阻光敏效应	光敏电阻传感器	光强
	利用电阻湿度效应	湿敏电阻传感器	湿度	
	电容	改变电容的几何尺寸	电容传感器	力、压力、负荷、位移
		改变电容的介电常数		液位、厚度、含水量
电感	改变磁路几何尺寸、导磁体位置	电感传感器	位移	
	涡流去磁效应	涡流传感器	位移、厚度、硬度	
	利用压磁效应	压磁传感器	力、压力	
电参数	电感	改变互感	差动变压器	位移
			自整角机	位移
			旋转变压器	位移
	频率	改变谐振回路中的固有参数	振弦式传感器	压力、力
			振筒式传感器	气压

传感器分类		转换原理	传感器名称	典型应用
转换形式	中间参数			
电参数	频率		石英谐振传感器	力、温度等
	计数	利用莫尔条纹	光栅	大角位移、大直线位移
		改变互感	感应同步器	
	数字	利用数字编码	角度编码器	大角位移
电量	电动势	温差电动势	热电偶	温度、热流
		霍尔效应	霍尔传感器	磁通、电流
		电磁感应	磁电传感器	速度、加速度
		光电效应	光电池	光强
	电荷	压电效应	压电传感器	动态力、加速度

除了上述几种分类方法外，还可按是否需要供电电源来分类，将传感器分为有源传感器和无源传感器；按输出信号的性质分类，将传感器分为模拟式传感器和数字式传感器（数字式传感器的输出为数字量，便于与计算机联用，且抗干扰能力强，例如盘式角度传感器、光栅传感器等）；按防爆等级可分为普通型、防爆型。

本教材是按照被测量对传感器进行分类的。

4. 传感器的基本特性及性能指标

传感器的特性主要是指输出与输入之间的关系，它有静态、动态之分。静特性是指当输入量为常量或变化极慢时，即被测量各个值处于稳定状态时的输入输出关系。动特性是指输入量随时间变化的响应特性。由于动特性的研究方法与控制理论中介绍的研究方法相似，故不再重复，这里仅介绍传感器静特性的一些指标。

理想传感器总希望输出与输入成线性关系，但由于存在着误差因素、外界影响等，输入输出不会完全符合所要求的线性关系。传感器输入输出作用如图 1.11 所示，图中的误差因素就是衡量传感器静态特性的主要性能指标。

(1) 线性度。静态特性曲线可由实际测试获得，在得到特性曲线后，为了标定和数据处理的方便，希望得到线性关系。这时可采用各种方法进行线性化处理，一般在非线性误差不太大的情况下，总是采用直线拟合的办法来线性化。

所谓的线性度也称非线性误差，是指传感器实际特性曲线与拟合直线（也称理论直线）之间的最大偏差与传感器满量程输出的百分比，如图 1.12 所示。它常用相对误差 γ_L 来表示：

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta_{Lmax}}{y_{FS}} \times 100\% \quad (1.1)$$

式中， Δ_{Lmax} 是非线性最大偏差；

$y_{FS} = y_{max} - y_{min}$ 为输出范围。

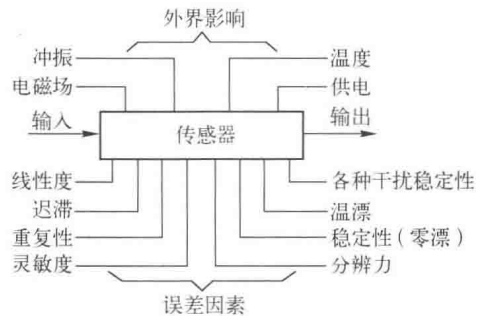


图 1.11 传感器输入输出作用图

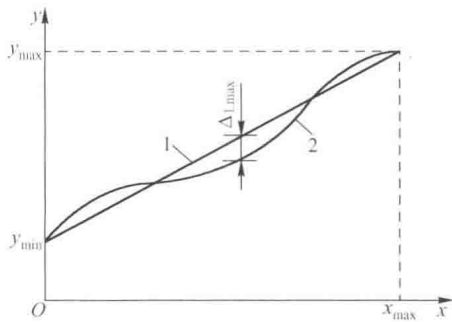
拟合直线有多种方法，常用的拟合方法有：理论拟合，过零旋转拟合，端点拟合，端点平移拟合，最小二乘拟合等。

选择拟合直线的主要出发点应是获得最小的非线性误差，还要考虑使用是否方便，计算是否简便。图 1.12 所示是选取端点拟合方法，即将传感器输出起始点与满量程点连接起来的直线作为拟合直线，因而得出的线性度称为端点线性度。非线性误差越小越好，即希望传感器的静态特性近于直线，是因为线性传感器的分度是均匀的，容易标定，也不容易引起读数误差。

(2) 迟滞。传感器在正（输入量增大）、反（输入量减小）行程中输入输出曲线不重合的现象称为迟滞。迟滞特性如图 1.13 所示，它一般由实验方法获得，表达式为：

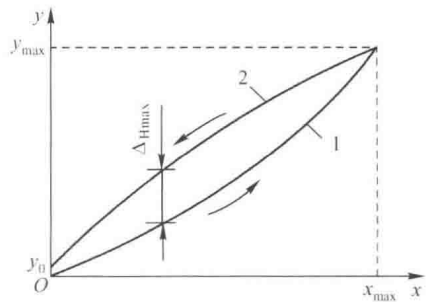
$$\gamma_H = \pm \frac{1}{2} \frac{\Delta_{Hmax}}{y_{max}} \times 100\% \quad (1.2)$$

式中， Δ_{Hmax} 为正、反行程间输出的最大差值；
 y_{max} 为满量程输出。



1—拟合直线；2—实际输出特性曲线

图 1.12 传感器线性度示意图



1—正向行程特性；2—反向行程特性

图 1.13 迟滞特性示意图

必须指出，正、反行程的特性曲线是不重合的，且反行程特性曲线的终点与正行程特性曲线的起点也不重合。迟滞会引起分辨力变差，或造成测量盲区，故一般希望迟滞越小越好。

(3) 重复性。重复性是指传感器在输入按同一方向做全量程连续多次变动时所得特性曲线不一致的程度。图 1.14 所示为校正曲线的重复特性，正行程的最大重复性偏差为 Δ_{Rmax1} ，反行程的最大重复性偏差为 Δ_{Rmax2} 。重复性误差取这两个最大偏差中较大的为 Δ_{Rmax} ，再以满量程输出 y_{max} 的百分比表示为：

$$\gamma_R = \frac{\Delta_{Rmax}}{y_{max}} \times 100\% \quad (1.3)$$

(4) 灵敏度与灵敏度误差。传感器在稳态标准条件下，输出的变化量 Δy 与引起该变化量的输入变化量 Δx 的比值称为灵敏度，用 K 表示，其表达式为：

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1.4)$$

由此可见，线性传感器其特性曲线的斜率处处相同，灵敏度 K 是一常数。以拟合直线作为其特性曲线的传感器，也认为其灵敏度为一常数，与

输入量的大小无关。

由于某种原因，会引起灵敏度变化，产生灵敏度误差。灵敏度误差 γ_s 用相对误差表示为：

$$\gamma_s = \frac{\Delta K}{K} \times 100\% \quad (1.5)$$

(5) 分辨率与阈值。分辨率指传感器检测到被测量的最小增量。分辨力可用绝对值表示，也可用其与满量程之比的百分数表示。当被测量的变化小于分辨率时，传感器对输入量的变化无任何反应。

在传感器输入零点附近的分辨率称为阈值。对数字仪表而言，如果没有其他附加说明，一般可认为该仪表的最末位的数值就是该仪表的分辨率。

(6) 稳定性。稳定性包括稳定度和环境影响量两方面。稳定度是指传感器在所有条件均不变的情况下，能在规定的时间内维持其示值不变的能力。稳定度是以示值的变化量与时间长短的比值来表示的。例如，某传感器中仪表输出电压在 4h 的最大变化值为 1.2mV，则用 1.2mV/(4h) 表示其稳定性。

环境影响量是指由于外界环境变化而引起的示值的变化量。示值变化由两个因素组成：零点漂移和灵敏度漂移。零点漂移是指在受外界环境影响后，已调零仪表的输出不再为零，而有一定漂移的现象，这在测量前是可以发现的，应重新调零，但在不间断测量过程中，零点漂移是附加在读数上的，因而很难发现。带微机的智能化仪表可以定时地自动暂时切断输入信号，测出此时的零点漂移值，恢复测量后从测量值中减去漂移值，相当于重新调零。灵敏度漂移使仪表的输入与输出的曲线斜率发生对比。

造成环境影响量的因素很多，要予以重视，使传感器对外界各种干扰有抵抗能力。

传感器的性能指标很多，要求一个传感器具有全面良好的性能指标，不仅会给设计、制造造成困难，而且在实用上也没有必要。因此，应根据实际需要与可能，在确保主要性能指标的基础上，放宽对次要性能指标的要求，以求得到高的性能价格比。表 1-2 给出了传感器的一些常用性能指标，它可作为检验、使用和评价传感器的依据。

表 1-2 传感器的一些常用性能指标

基本参数指标	量程指标	量程范围、过载能力等
	灵敏度指标	灵敏度、满量程输出、分辨率和输入输出阻抗等
	精度方面指标	精度（误差）、重复性、线性、滞后、灵敏度误差、阈值、稳定性及漂移等
	动态性能指标	固有频率、阻尼系数、频率范围、频率特性、时间常数、上升时间、响应时间、过冲量、衰减率、稳态误差、临界速度及临界频率等
环境参数指标	温度指标	工作温度、温度误差、温度漂移、灵敏度温度系数和热滞后等
	抗冲振指标	各向冲振容许频率、振幅值、加速度及冲振引起的误差等
	其他环境参数	抗潮湿、抗介质腐蚀及抗电磁场干扰能力等
可靠性指标		工作寿命、平均无故障时间、保险期、疲劳性能、绝缘电阻、耐压及反抗飞弧性能等
其他指标	使用方面	供电方式（直流、交流、频率和波形等）、电压幅度与稳定度、功耗及各项分布参数等
	结构方面	外形尺寸、重量、外壳、材质及结构特点等
	安装连接方面	安装方式、馈线及电缆等

5. 传感器的选用

传感器的型号、品种繁多，即使是测量同一对象，可选用的传感器也较多。如何根据