



职业教育“十三五”改革创新规划教材

中等职业学校电子技术应用、电子与信息技术专业

传感器技术 及应用

许 珊 主编

清华大学出版社

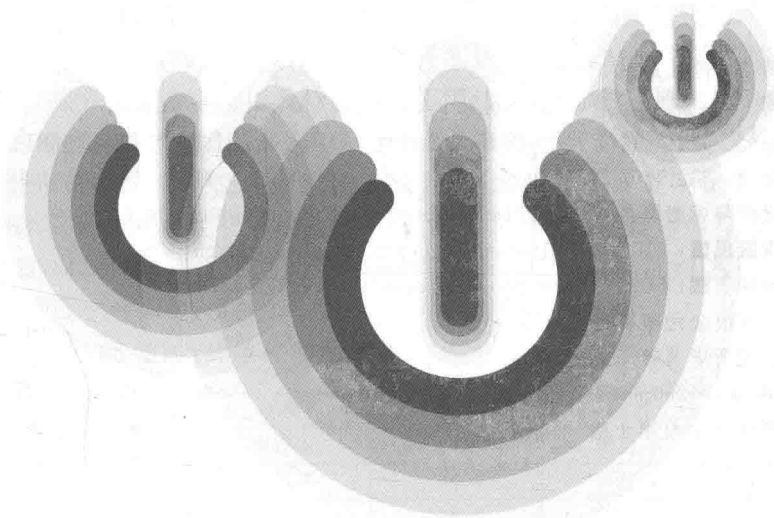




职业教育“十三五”改革创新规划教材

传感器技术 及应用

许 珊 主 编
李 娇 副主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是职业教育“十三五”改革创新规划教材,依据教育部2014年颁布的《中等职业学校电子技术应用专业教学标准》,并参照相关的国家职业技能标准编写而成。本书从实用角度出发,以实施的项目为载体,主要介绍常用传感器的工作原理、基本结构、测量方法以及基本应用。

本书共包括13个项目,项目1介绍了传感器的基本知识以及传感器在自动化生产线中的应用;项目2到项目13围绕项目实施展开,分别介绍了电阻应变式传感器、电容式传感器、压电式传感器、热电式传感器、湿度传感器、气敏传感器、霍尔传感器、光电式传感器、光纤传感器、红外传感器、超声波传感器和MEMS传感器的相关知识。

本书可作为中等职业学校电子电气类、机电类专业教材,也可供有关专业师生、工程技术人员参考使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术及应用/许姍主编. —北京:清华大学出版社,2017

(职业教育“十三五”改革创新规划教材)

ISBN 978-7-302-45772-5

I. ①传… II. ①许… III. ①传感器—高等职业教育—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第286928号

责任编辑:刘翰鹏

封面设计:张京京

责任校对:李梅

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62770175-4278

印 装 者:三河市金元印装有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:9.25

字 数:210千字

版 次:2017年1月第1版

印 次:2017年1月第1次印刷

印 数:1~1600

定 价:24.00元

产品编号:071446-01

本

书根据教育部 2014 年颁布的《中等职业教育电子技术应用专业教学标准》，并参照相关的国家职业技能标准编写而成。本书编写坚持“以就业为导向、能力为本位”，充分体现“任务引领、实践导向”的内容设计思想，突出职业教育特色，高度重视实践和实训教学环节，强化学生的实践能力和职业技能培养，提高学生的实际动手能力。

全书共分为 13 个项目，每个项目包括项目描述、知识探究、项目实施、项目拓展、巩固练习 5 个部分。其中，项目实施是整个项目的核心，是通过具体实训来掌握理论知识和培养实践技能的过程。项目描述提出该项目实施的具体内容和要达到的知识技能目标；知识探究对项目实施所涉及的相关知识进行介绍；项目拓展是对项目实施进行的拓展延伸；巩固练习是对所学知识和技能复习巩固。

本书简化了理论知识，结合中等职业学校学生的文化课基础，省略了需用高等数学进行推导的公式；在项目实施的内容设计上，不依托实训台，充分结合学生的情况、知识技能培养目标、岗位需要和职业标准以及传感器的实用性能进行甄选，选取的传感器均为市场应用最广泛的传感器；书中插图多选用示意图和实物图替代剖面图，直观易懂。

本书由日照市机电工程学校许姗担任主编，中国水产科学研究院黄海水产研究所李娇担任副主编，日照市机电工程学校曲成才、顾守秀参与编写。具体编写分工为：李娇编写项目 1、项目 12、项目 13；曲成才、顾守秀编写项目 4、项目 7、项目 8；许姗编写项目 2、项目 3、项目 5、项目 6、项目 9、项目 10、项目 11，并负责全书的统稿。

本书建议学时为 68 学时，具体分配见下表。

项目	学时	项目	学时	项目	学时
项目 1	4	项目 6	4	项目 10	6
项目 2	6	项目 7	4	项目 11	6
项目 3	6	项目 8	4	项目 12	6
项目 4	6	项目 9	6	项目 13	4
项目 5	6				
合计			68		

由于编者水平有限,书中难免有错漏和不妥之处,敬请读者批评指正。了解更多教材信息,请关注微信订阅号:Coibook。

编者
2016年9月

CONTENTS

目 录

项目1 自动化生产线的传感器应用分析	1
项目描述	1
知识探究	1
一、传感器概论	2
二、测量误差的基本概念	4
三、计算机检测系统	5
项目实施	7
灌装自动化生产线的传感器应用分析	7
项目拓展	9
传感器的其他应用	9
巩固练习	10
项目2 电阻应变式电子秤的制作与测试	12
项目描述	12
知识探究	12
一、弹性敏感元件	12
二、电阻应变片	13
三、测量电路	16
项目实施	18
电阻应变式传感器的称重实验	18
项目拓展	20
电阻应变式传感器的应用	20
巩固练习	22

项目 3 电容式传感器的安装与调试	24
项目描述	24
知识探究	24
一、电容式传感器	24
二、电容式传感器的测量电路	27
三、容栅式传感器	28
项目实施	28
一、电容式触摸按键的安装与调试	28
二、电容式接近开关的安装与调试	30
项目拓展	31
一、电容式传感器的应用	31
二、容栅式传感器的应用	33
巩固练习	33
项目 4 压电式简易门铃的制作与调试	34
项目描述	34
知识探究	34
一、压电式传感器的工作原理	34
二、压电式传感器的测量电路	37
项目实施	38
压电式简易门铃的制作与调试	38
项目拓展	40
压电式传感器的应用	40
巩固练习	41
项目 5 热电式传感器的安装与调试	43
项目描述	43
知识探究	43
一、热电偶	43
二、金属热电阻	47
三、热敏电阻	48
四、集成温度传感器	49
项目实施	49
一、热电偶的安装与测试	49
二、热敏电阻的安装与测试	51
三、集成温度传感器的安装与测试	52
项目拓展	54

一、热电式传感器的选用	54
二、热电式传感器的应用	55
巩固练习	56
项目 6 土壤湿度传感器的安装与调试	57
项目描述	57
知识探究	57
一、湿度	57
二、湿敏传感器	58
项目实施	60
土壤湿度传感器的安装与调试	60
项目拓展	62
湿度传感器的应用：汽车后窗玻璃结露控制	62
巩固练习	64
项目 7 简易酒精检测仪的制作与调试	65
项目描述	65
知识探究	65
一、常见被测气体及场合	65
二、气敏传感器的分类与工作原理	66
项目实施	68
简易酒精检测仪的制作与调试	68
项目拓展	70
气敏传感器的应用	70
巩固练习	71
项目 8 霍尔式转速传感器的安装与调试	72
项目描述	72
知识探究	72
一、霍尔效应	72
二、霍尔传感器的测量电路	73
项目实施	74
霍尔式转速传感器的安装与调试	74
项目拓展	75
霍尔传感器的应用	75
巩固练习	77

项目 9 光电式传感器的安装与调试	79
项目描述	79
知识探究	79
一、光的特性	79
二、常见光源	79
三、光电效应	80
四、光电器件	81
项目实施	86
一、简易光控灯的制作与调试	86
二、光电开关的安装与调试	88
项目拓展	89
光电式传感器的应用	89
巩固练习	91
项目 10 光纤传感器的安装与调试	93
项目描述	93
知识探究	93
一、光纤传感器	93
二、光栅传感器	95
三、光电编码器	97
四、激光传感器	99
项目实施	100
光纤传感器的安装与调试	100
项目拓展	102
一、光纤传感器的应用	102
二、光栅传感器的应用	104
三、光电编码器的应用	105
四、激光传感器的应用	105
巩固练习	106
项目 11 热释红外传感器的安装与调试	107
项目描述	107
知识探究	107
一、红外传感器	107
二、微波传感器	110
项目实施	111
热释电红外传感器的安装与调试	111

项目拓展	113
一、红外传感器的应用	113
二、微波传感器的应用	116
巩固练习	118
项目 12 超声波测距传感器的安装与调试	119
项目描述	119
知识探究	119
一、超声波	119
二、超声波传感器	120
项目实施	121
超声波测距传感器的安装与调试	121
项目拓展	124
超声波传感器的应用	124
巩固练习	126
项目 13 汽车电子的 MEMS 传感器应用分析	127
项目描述	127
知识探究	127
传感器的发展趋势	127
项目实施	129
汽车电子中的 MEMS 传感器分析	129
项目拓展	132
智能传感器	132
巩固练习	133
附录	135
参考文献	137

项目 1

自动化生产线的传感器应用分析



项目描述

传感器技术广泛应用于工业生产、家电行业、智能产品、交通领域、航天技术、海洋探测、国防军事、环境监测、资源调查、医学诊断、生物工程甚至文物保护等领域。本项目通过对自动化生产线中的传感器应用分析,介绍传感器的基本概念、作用与应用。

知识目标 掌握传感器的定义、分类与基本特性;掌握测量误差的定义与分类;了解传感器的各种应用。

技能目标 了解自动化生产线中各种传感器的作用。



知识探究

人类从事各种活动,必须借助于感觉器官。即人体通过五官(视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉)接收来自外界的信息,并将这些信息传递给大脑,经过大脑的运算和处理,传给四肢来执行某些动作。

随着科技与社会的发展,人类的活动方式从简单的生存变成了创造生活,人类的活动范围从浩瀚海洋延伸到了茫茫宇宙,“计算机”成了人类大脑的外延,“执行器”成了人类四肢的外延,“传感器”成了人类五官的外延,如图 1-1 所示。

传感器已经渗透到人们生产生活的方方面面。以最普遍的手机为例,一部智能手机中有加速度传感器、陀螺仪、磁力传感器、距离传感器、光线传感器等十多种传感器,部分高端手机还配有气压传感器、温度传感器、心率传感器、指纹传感器、有害辐射传感器等多种传感器。

信息时代已经到来,在利用信息的过程中,如何获取准确可靠的信息至关重要。而传感器技术就是获取自然和生产领域中信息的主要途径与手段。

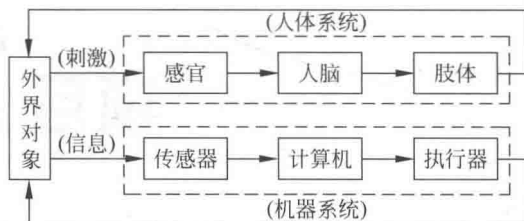


图 1-1 传感器的意义

一、传感器概论

(一) 传感器的定义

根据中华人民共和国国家标准(GB/T 7665—2005),传感器(Transducer/Sensor)的定义是:能感受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。传感器通常由敏感元件、转换元件以及相应的测量转换电路组成,其组成框图如图 1-2 所示。



图 1-2 传感器的组成框图

敏感元件(Sensing Element)是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分;转换元件(Transducing Element)是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的电信号部分;测量转换电路的作用是将转换元件输出的电参量放大或转换为容易传输、处理、记录和显示的形式。

(二) 传感器的分类

传感器的种类繁多,同一被测物理量可以用不同原理的传感器来测量;而同一原理的传感器也可以测量多种被测物理量。因此,传感器的分类方法也不尽相同,常见的有以下几种分类方法。

1. 按工作原理分类

传感器按工作原理不同可分为电阻式、电感式、电容式、电涡流式、压电式、热电式、光电式、霍尔式、光纤、超声波等传感器。现有传感器的测量原理都是基于物理、化学、生物等各种效应和定律。例如电阻式传感器的原理是金属或半导体材料在被测量作用下产生电阻应变效应;压电式传感器的原理是压电晶体在被测力作用下产生压电效应。

2. 按被测量分类

- (1) 机械量: 位移、速度、加速度、力、力矩、扭矩、振动等。
- (2) 电气量: 电压、电流、功率、电场、频率等。
- (3) 热工量: 温度、热量、流量、风速、压力、液位等。
- (4) 状态量: 裂纹、缺陷、泄漏、磨损、表面质量等。
- (5) 光学量: 光强、红外光、紫外光、射线、色度等。
- (6) 物性参量: 浓度、黏度、湿度、酸碱度等。

(7) 生物量：酶、血压、血脂、血型、葡萄糖、胆固醇等。

3. 按输出信号种类分类

传感器按输出信号的种类可分成模拟式传感器和数字式传感器。模拟式传感器的输出为与被测量成一定关系的模拟信号，需要经过 A/D 转换才能进行数字显示；数字式传感器输出的是数字量，读取方便，抗干扰能力强。

此外，传感器按测量方式可分为接触式传感器和非接触式传感器；按能量关系可分为能量转换型和能量控制型等。

(三) 传感器的基本特性

传感器的基本特性即输入输出特性，分为动态特性和静态特性。其中，静态特性是指输入量不随时间变化或变化极慢时，传感器的输出量与输入量的关系。静态特性的性能指标有测量范围、线性度、灵敏度、分辨力、迟滞、重复性、漂移等。

1. 测量范围

测量范围是在允许误差范围内由被测量的上限值和下限值所确定的区间。

2. 线性度

理想情况下，希望传感器的输入输出关系为线性关系，但在实际应用时却大多为非线性。因此可以通过引入各种非线性补偿来使传感器的输出与输入为线性或接近线性。如果传感器的非线性不明显，输入量变化范围较小时，可用一条拟合直线近似代表实际曲线的一段，使传感器输出输入特性线性化，如图 1-3 所示。

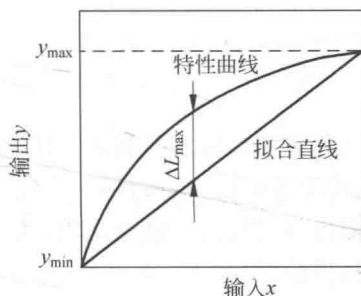


图 1-3 线性度

线性度又称非线性误差，是指传感器的实际特性曲线和拟合直线之间的最大偏差与输出量程范围之比。一般用 γ_L 表示。

$$\gamma_L = \frac{|\Delta L_{\max}|}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中， $|\Delta L_{\max}|$ 为最大非线性绝对误差； $y_{\max} - y_{\min}$ 为输出量程范围。

3. 灵敏度

灵敏度 S 指传感器输出量的变化值 Δy 与相应的被测量的变化值 Δx 之比。

$$S = \Delta y / \Delta x \quad (1-2)$$

4. 分辨力

分辨力是指传感器在规定测量范围内可能检测出的被测量的最小变化量。分辨力越小，说明传感器检测输入量的能力越强。如果被测量的变化小于分辨力，传感器对于输入量的变化不会有任何反应。指针式仪表的分辨力是刻度盘上最小的刻度单位；数字仪表的分辨力是数字显示器最末位的单位字。

5. 迟滞

迟滞是在规定的测量范围内，输入量增大行程期间和输入量减小行程期间，同一被测量值处传感器输出量的最大差值。如图 1-4 所示。

6. 重复性

重复性是指在相同测量条件下,对同一被测量进行连续多次测量所得结果之间的一致性。如图 1-5 所示。

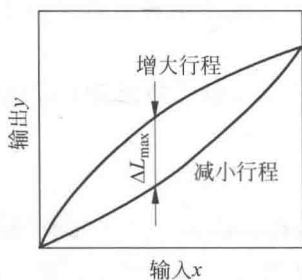


图 1-4 迟滞

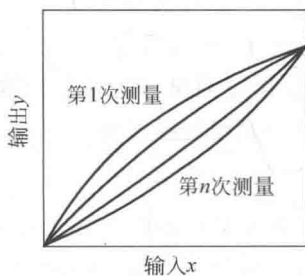


图 1-5 重复性

7. 漂移

漂移包括零点漂移和温度漂移。零点漂移是指在没有输入量的情况下,间隔一段时间进行测量,其输出量偏离零值的大小;温度漂移是指当外界温度发生变化,传感器输出量同时也发生变化的现象。

(四) 传感器的标定

传感器的标定是利用一定等级的仪器及设备产生已知的非电量(如标准压力、加速度、位移等)作为输入量,输入至待标定的传感器中,得到传感器的输出量,然后将传感器的输出量与输入量进行比较,从而得到一系列曲线。通过对曲线的分析处理,得到其动态特性的过程。

二、测量误差的基本概念

(一) 测量的相关名词

1. 真值

真值是在一定的时间及空间条件下,被测量客观存在的实际值。真值虽然是客观存在的,但是不可测量的,是一个理想的概念。在实际测量中,经常使用“约定真值”来代替真值使用。约定真值被认为充分接近真值,被测量的实际值、修正过的算术平均值都可作为约定真值。

2. 标称值

标称值是指计量或测量器具上标注的量值。例如标准砝码上标出的 1kg。受制造、测量及环境条件变化的影响,标称值并不一定等于它的实际值。因此,通常在给出标称值的同时也给出其误差范围或精度等级。

3. 示值

示值是由测量仪器给出或提供的量值,也称为测量值,包括数值和单位。

4. 测量误差

测量误差是指测量结果与被测量真值之差。测量误差是由于测量过程不完善或测量

条件不理想,使得测量结果偏离了真值。

(二) 误差的分类

1. 随机误差

在相同条件下和短时间内,对同一被测量进行多次重复测量时,受偶然因素影响而出现误差的绝对值和符号以不可预知的方式变化着,称此类误差为随机误差。引起随机误差的原因是一些无法控制的微小因素,只能用概率论和数理统计方法计算它出现的可能性的大小。随机误差不可修正,可以通过增加测量次数的方法加以控制。

2. 系统误差

在相同条件下,对同一被测量进行多次重复测量时,出现某种保持恒定或按一定规律变化着的误差称为系统误差。系统误差主要由材料、零部件、工艺缺陷和环境等外界干扰引起,可以通过实验方法或修正值方法进行修正。

3. 粗大误差

粗大误差也称过失误差或寄生误差,是由于测量人员的粗心大意或环境条件的突变造成的。粗大误差在进行数据处理时应该剔除。

(三) 误差的表示方法

1. 绝对误差

绝对误差是示值 X 与约定真值 A 的差值,即

$$\Delta X = X - A \quad (1-3)$$

约定真值常用某一被测量多次测量的平均值,或上一级标准仪器测量所得的示值来代替。

2. 实际相对误差

实际相对误差是指绝对误差 ΔX 与约定真值 A 的百分比,即

$$\delta_A = \frac{\Delta X}{A} \times 100\% \quad (1-4)$$

3. 标称相对误差

标称相对误差是指绝对误差 ΔX 与示值 X 的百分比,即

$$\delta_x = \frac{\Delta X}{X} \times 100\% \quad (1-5)$$

4. 引用误差

引用误差也称满度相对误差,是指绝对误差 ΔX 与仪器满度值(量程) X_{FS} 的百分比,即

$$\delta_F = \frac{\Delta X}{X_{FS}} \times 100\% \quad (1-6)$$

三、计算机检测系统

被测量经传感器检测后的输出信号,先经过多级电路处理,再采用计算机或者微处理器进行存储、显示、打印或者控制,实现这些功能的就是计算机检测系统。计算机检测系统的组成如图 1-6 所示。

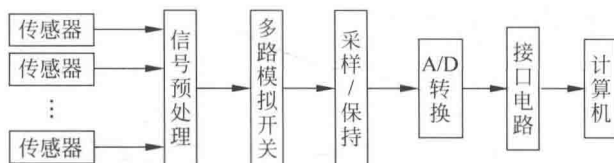


图 1-6 计算机检测系统的组成

1. 信号预处理

传感器输出的模拟信号有的幅值较小,有的存在不需要的频率分量,有的阻抗无法与后续电路匹配,有的是电阻电荷等无法进行采样的信号,有的动态范围太宽,因此需要通过各种电路将传感器的输出信号转换成统一的电压信号,这个过程称为信号的预处理。常见的信号预处理电路功能见表 1-1。

表 1-1 常见的传感器预处理电路功能

信号预处理电路	实现功能
阻抗变换电路	在传感器输出为高阻抗的情况下,变换为低阻抗,以便于检测电路准确地拾取传感器的输出信号
放大变换电路	将微弱的传感器输出信号放大
电流电压转换电路	将传感器的电流输出转换成电压
电桥电路	将传感器的电阻、电容、电感转换为电流或电压
频率电压转换电路	将传感器输出的频率信号转换为电压
电荷放大器	将电场型传感器输出产生的电荷转换为电压
有效值转换电路	在传感器为交流输出的情况下,转换为有效值,变为直流输出
滤波电路	滤除噪声或分离各种不同信号
线性化电路	在传感器的线性度不好的情况下,用来进行线性校正
对数压缩电路	当传感器输出信号动态范围较宽时,用对数电路进行压缩

2. 多路模拟开关

如果有多个模拟信号源都需要转换成数字量,为了简化电路结构,往往采用多路模拟开关,让这些信号源共享采样/保持电路和 A/D 转换等器件。多路模拟开关在控制信号的作用下,按照顺序将各路模拟信号分时地送往采样/保持电路。

3. 采样/保持电路

A/D 转换需要有一定的时间,因此在转换过程中要保证信号稳定不变,否则将带来较大的误差,这时就需要采样/保持电路。

4. A/D 转换电路

传感器的输出信号经各级电路的处理变为模拟电压信号后,还需要通过 A/D 转换器转换成数字量才能送入计算机或微处理器进行处理。可以说,A/D 转换器是数据采集的核心器件。

5. 接口电路

A/D 转换器输出的数字信号可能会在时序、驱动能力等方面与计算机总线要求的信号有所差别,因此需要加入接口电路实行电路参数匹配。不过有的 A/D 转换器已经与接

口电路集成在一起,所以不需要外加接口电路。

6. 计算机

这里的计算机可以指普通的微机,也可以指单片机。单片机即单片微控制器,是采用超大规模集成电路技术把中央处理器、存储器、多种 I/O 口、中断系统、定时器/计数器等功能集成到一块芯片上的计算机。

计算机检测系统对信号的采集和处理具有速度快、工作效率高、存储方便、信息量大、成本低等优点,在工业控制领域应用广泛。



项目实施

灌装自动化生产线的传感器应用分析

自动化生产线能够把人从繁重的体力劳动中解放出来、适合批量生产、提高劳动生产率、稳定和提高产品质量、改善劳动条件、缩减生产占地面积、降低生产成本、缩短生产周期、保证生产均衡性、能产生显著的经济效益等优点。

自动化生产过程中,需要用各种传感器来监测和控制生产过程中的各个参数,使设备工作在正常状态或者最佳状态。本项目以某酒厂灌装自动化生产线为例,分析各种传感器在其中的应用。图 1-7 所示为灌装自动化生产线。

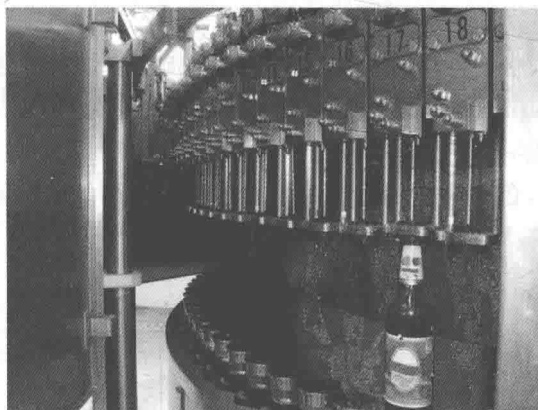


图 1-7 灌装自动化生产线

1. 灌装自动化生产线的工作流程

装有空瓶的箱子堆放在托盘上,由传送带送到卸托盘机,将托盘逐个卸下,箱子随传送带送到卸箱机中,将空瓶从箱子中取出,空瓶经传送带送到洗箱机,经清洗干净,再输送到装箱机旁,以便将盛有酒水的瓶子装入其中。从卸箱机取出的空瓶,由另一条传送带送入理瓶机进行梳理,再经冲瓶机消毒和清洗,符合清洁标准后进入灌装机。酒水由灌装机装入瓶中,装好酒水的瓶子经旋盖机加盖密封并输送到贴标机贴标,贴好标签后送至装箱机装入箱中,再堆放在托盘上送入仓库。灌装生产线的工作流程如图 1-8 所示。

2. 灌装自动化生产线中传感器的应用

在整个生产线的传送过程中配有各种限位开关和接近开关,完成定位和检测;传送