

时代教育 · 国外职业教育优秀教材

Prentice
Hall

测控传感器

Sensors for Measurement and Control

(英) Peter Elgar 著

同长虹 冯德虎 张敏华 译

梁 森 张小栋 审校

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



TP212/159

2008

时代教育·国外职业教育优秀教材精选

测控传感器

Sensors for Measurement and Control

(英) Peter Elgar 著
同长虹 冯德虎 张敏华 译
梁 森 张小栋 审校

机械工业出版社

本书根据英国著名教授 Peter Elgar 的著作《Sensors for Measurement and Control》第 1 版译出,它体现了近年来英国在该学科上的课程改革成果和先进的教学经验。主要包括:绪论,传感器基本原理、术语和特性,运动测量,液位、液体重量和体积测量,压力测量,温度测量,流体测量,显示与记录,无源电路在信号调制与接口技术中的应用,有源电路在信号调制与接口技术中的应用,测量应用实例研究,控制应用实例研究。本书可作为机械类、机电类专业高职高专及应用型本科类院校学生的教材,也可作为相关专业技术人员的实用参考书。

Chinese copyright©2005 by Pearson Education Limited and China Machine Press.
Original English language title: Sensors for Measurement and Control by Peter Elgar.
ISBN 0-582-35700-4

Copyright © 1998 by Prentice-Hall, Inc.

All right reserved; no part of this publication may be reproduced, stored in any retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise without the prior written permission of the Publishers.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice-Hall, Inc.

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签。无标签者不得销售。

For sale and distribution in the People's Republic of China exclusively (except Taiwan, Hong Kong SAR and Macao SAR)

仅限于中华人民共和国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)销售发行。

北京市版权局著作权合同登记号:图字 01-2005-5835

图书在版编目(CIP)数据

测控传感器/(英)埃尔加(Elgar.P.)著;同长虹,冯德虎,张敏华译.
—北京:机械工业出版社,2007.10

书名原文:Sensors for Measurement and Control

时代教育·国外职业教育优秀教材精选

ISBN 978-7-111-22394-8

I. 测… II. ①埃…②同…③冯…④张… III. 测控系统—传感器—职业教育—教材 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 147069 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:于奇慧 高倩

责任编辑:高倩 版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

责任印制:洪汉军

北京汇林印务有限公司印刷

2008 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·9.75 印张·234 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-22394-8

定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379182

封面无防伪标均为盗版

译者序

本书根据英国著名教授 Peter Elgar 的著作《Sensors for Measurement and Control》第 1 版译出。原书共 13 章，但因其中的第 13 章实验涉及有关英国 TecQuipment 有限公司的专用实验装置，译者考虑到我国的具体情况未将其列入译稿中。

本教材与国内同类教材相比，具有以下特点。

1. 本书基本体现了近年来英国在该学科的课程改革成果和先进经验，体现了传感器领域的最新发展和技术。

2. 为了帮助读者学习和提高学习兴趣，每章包含引言、小结以及若干道经过精选的测试理解水平的思考题，并在每章穿插了适当的例题。

3. 本书浓缩了近 50 种常用传感器的原理和应用，包括它们的设计、结构、工作原理以及常见应用实例。

4. 本书总体构思新颖，布局合理，层次安排严谨、科学，内容前后连贯，环环相扣。尤其在第 11、12 章分别对传感器在测量与控制两个领域的应用进行了综合实例分析，对所学内容作了较完整的总结和综合训练。旨在培养学生利用理论知识综合分析问题和解决实际问题的能力。

5. 全书注解了若干个关键词，用于强调重点，帮助理解相关内容，掌握传感器工作原理。对于快速地参考和查阅书中资料很有帮助。

6. 在部分章节给出了典型的传感器的“使用说明书”，这便于学生与实际应用结合，增强实际知识。

目前，我国的应用型本科和高等职业教育得到了飞速发展，成为高等教育重要的组成部分。《测控传感器》就是基于这个发展趋势，本着借鉴英国工程师教育的先进经验，为我所学，为我所用，尽快缩小与国外在传感器技术和教学方面的差距的目的，将国外优秀教材推荐给广大读者。该书适合作为机电类、仪器类专业应用型本科及高职高专学校学生的专业教材，也可作为该领域工程师、高级技师的培训教材以及相关领域工程师和技师的实用参考书。

全书共有 12 章，其中第 1、2、3、4、5、8、9、10 和 11 章由兰州城市学院同长虹翻译，第 6、7 章由陕西工业职业技术学院冯德虎翻译，第 12 章由西安航空职业技术学院张敏华翻译，全书由同长虹统稿。

本教材承蒙上海电机学院梁森教授和西安交通大学张小栋教授审校，并提出很多宝贵意见，译者在此深表感谢。

最后，译者真诚地期望本书成为读者的良师益友。限于译者的水平，书中错漏之处，恳请读者批评指正。

译者

前 言

《测控传感器》(原书名《Sensors for Measurement and Control》)是一本关于传感器原理与应用的综合性参考书。它适合于仪器与机电控制等专业——从获得(英国)国家普通职业资格证书(GNVQ)3级到技术应用类本科的学生使用,同时也可供该专业技术员和工程师使用。

该教材系统地介绍了有关传感器技术的术语以及50余种传感器的原理特性和应用,详细地讲述了用于检测信号显示和记录的方式以及信号调制的有关技术。为了便于理解,书中列举了一些计算实例,并附有大量的插图及部分典型传感器的说明书。在“应用实例研究”这两章中,从实用角度讲述了测量系统和控制系统的设计方法和过程,有助于更好地理解传感器系统和实际传感器应用,同时也用实例说明了传感器在日常工程问题中的重要性。

除了拥有大量的有价值的传感器技术资源,《Sensors for Measurement and Control》一书还是一个独立的教学软件包的一部分。这个软件包由 TecQuipment Ltd 公司提供,称为传感器与仪器系统(Sensor and Instrumentation System, SIS)。SIS 提供了一个应用传感器及仪器系统的完整过程,以及如何选择传感器组成硬件模块的方法。SIS 还带有一个资料包,其中包括一张交互式光盘、学生和教师引导和自动数据获得软件等。

为了帮助读者理解和掌握主要内容,本书的每一章都编有引言和小结。为了便于读者学习以及测试自己掌握和理解的水平,在每章后还安排了进一步讨论的思考题。本书配有一系列结构化的实验任务,它不仅能使学生掌握常用的工业仪器的使用方法,而且还能轻松地掌握 TecQuipment SIS 硬件的操作方法。

Peter Elgar
TecQuipment Limited
Nottingham, 1998

目 录

译者序		
前言		
第 1 章 绪论	1	
第 2 章 传感器基本原理、术语和特性	4	
2.1 传感器系统	5	
2.2 传感器术语	8	
2.3 传感器特性	9	
本章小结	12	
思考题	13	
第 3 章 运动测量	14	
3.1 线位移	15	
3.2 角位移	23	
3.3 邻近度	27	
3.4 加速度	31	
本章小结	33	
思考题	34	
第 4 章 液位、液体重量和体积测量	35	
4.1 液位测量	36	
4.2 重量或力的测量	40	
本章小结	44	
思考题	44	
第 5 章 压力测量	45	
5.1 液体压力表	45	
5.2 弹性压力传感器	49	
5.3 气压表	54	
本章小结	55	
思考题	56	
第 6 章 温度测量	57	
6.1 液体膨胀温度计	57	
6.2 金属膨胀及双金属片温度计	59	
6.3 热电阻	60	
6.4 热电偶	64	
6.5 热辐射温度计	65	
本章小结	67	
思考题	68	
第 7 章 流体测量	69	
7.1 容积流量	69	
7.2 质量流量	73	
7.3 流速测量	74	
7.4 节流式流量计	76	
7.5 无扰动测流计	79	
本章小结	82	
思考题	82	
第 8 章 显示与记录	83	
8.1 模拟显示	84	
8.2 数字显示	87	
8.3 记录仪	91	
8.4 计算机与数据采集系统	95	
本章小结	96	
思考题	96	
第 9 章 无源电路在信号调制与接口技术中的应用	98	
9.1 信号调制	98	
9.2 无源接口	103	
本章小结	106	
思考题	107	
第 10 章 有源电路在信号调制与接口技术中的应用	108	
10.1 运算放大器电路	108	
10.2 常用放大器	109	
10.3 常用转换器	115	
本章小结	119	
思考题	120	

第 11 章 测量应用实例研究	121	12.1 应用实例研究 1: 生产线上的产品 检验	133
11.1 应用实例研究 1: 制造过程中工件 尺寸的检测	122	12.2 应用实例研究 2: 薄钢板生产中的 厚度控制	136
11.2 应用实例研究 2: 桥梁振动的检测 ...	125	12.3 应用实例研究 3: 化工配料控制 装置	140
11.3 应用实例研究 3: 在防抱死制动系统 中车轮转速的测量	128	本章小结	144
本章小结	131	思考题	145
思考题	131	教辅材料申请表	147
第 12 章 控制应用实例研究	133		

第 1 章 绪 论

本书主要介绍传感器的原理和应用，它涉及了 50 余种传感器的结构工作原理及其应用等内容，列举了大量的应用实例，可作为该领域技术人员的参考书。

1. 什么是传感器

在学习传感器之前，我们首先必须明确什么是传感器？传感器可以是一些单个的装置，也可以是复杂的组装体。但无论其构成怎样，它都具有一些相同的基本功能，即需要检测信号或激励并由此产生一种可测量的输出信号。

在本书中，我们将会看到为测量不同物理参数而设计的各种传感器。在需要测量的物理参数中，最常见的有位移、速度、加速度、流量、液位、重力、压力、邻近度和温度等。这仅限于常用的范围，但对一些像化学、声学或核辐射等方面的内容并未涉及。然而，大多数目前常用的传感器都涉及了。

需要测量这些参数中的哪一个（些）通常由工业或具体的应用目的决定。传感器的正确选择由需要测量的参数的属性、成本、可靠性和所要获取的信息的质量（精度）等因素综合确定，其他因素还可能包括传感器对所要测量的环境的适应性；检测是要求快速获取信号还是允许后续分析得到；是对某特定点测量还是对某段范围测量。例如一个家用的温度传感器就不适合在化工厂使用，用在化工厂中的传感器可能工作在难于靠近的腐蚀性气体环境中，有的甚至还要承受高温高压。

2. 为什么需要传感器

传感器可以检测各种物理参数，但是我们究竟要用传感器干什么呢？通常，传感器技术主要用于两种不同的领域：一是采集信息，二是控制系统。

传感器常用来采集信息，给显示系统提供一种表征当前系统状态的参数数据。例如，汽车的速度和加速度传感器，可用于记录车辆性能或参数变化的情况，速度记录器用于载货汽车上，用以记录速度和对应的时间。

用于控制系统的传感器通常与用于采集信息的传感器没有什么不同，它是利用传感器采集的信息去控制对象。在一个控制系统里，由传感器采集的信号被输入到控制器，然后，由控制器提供一个输出以控制被测的参数。例如在一个防抱死刹车系统里，来自车轮速度传感器上的信息被用于控制作用在刹车上的压力，并因此保证在刹车期间车轮避免滑动。

信息采集和控制在本书中都已涉及。

3. 为什么需要学习传感器

近年来，传感器技术得到了迅速的发展，其速度超出了大多数工程师和科学家的预料。我们发现很多在十多年前还很少看到或只是在实验室的新的复杂装置已经出现在广大的家庭、车间和很多其他场合。

传感器技术应用日益广泛的主要原因，是随着计算机和微处理器的发展，它可以用作复杂的、柔性的而且低成本的控制装置。然而，如果不能给计算机的控制决策程序提供适合的、不断更新的、高质量的、关于外部系统状态的准确信息，那么，直到今天这种系统的工

作仍将是糟糕的。一旦这种信息通过传感器采集,并以预期的形式得到调制处理,那么就可以输入到计算机系统进行及时的处理并产生一个适当的响应。传感器系统的所有元件必须满足控制质量要求的性能水平。如果其中一个元件低于标准,就可能导致整个装置受到影响。

图 1-1 所示为一辆汽车上所应用的一些传感器。在这些应用中,有温度、液位、角速度、压力以及邻近度等传感器。由此我们可以领会到传感器的重要性及其应用的广泛性。如果利用几分钟时间,有规律地列出你所用过或所见到的装置及其应用的清单,并思考其中所用到的传感器,确定它所测量的物理量。当你阅读完这本书后,再回头看一看那份清单,看看你是否能对它进行补充。

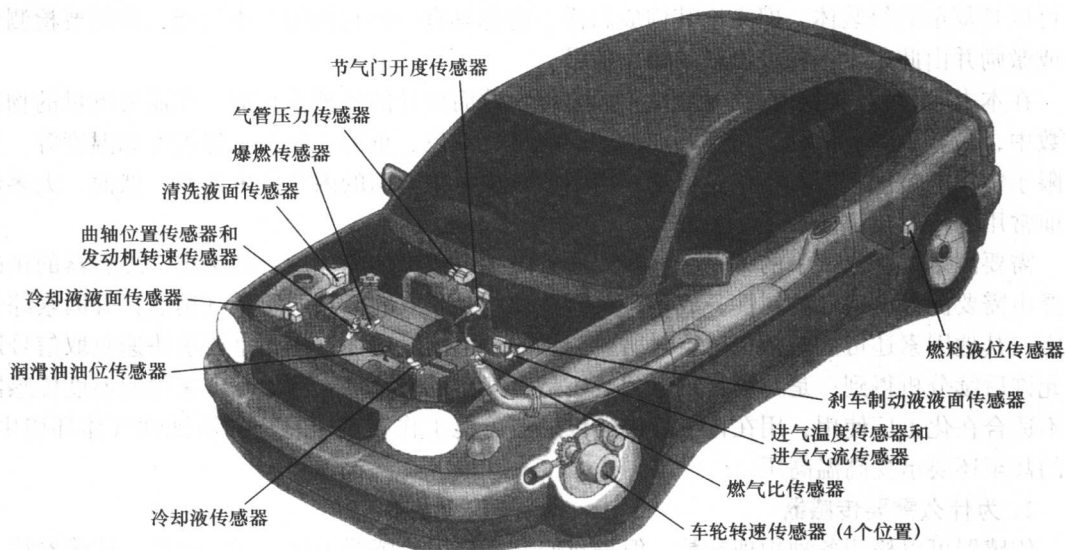


图 1-1 汽车用的部分传感器

在当今世界上,传感器应用非常普及,人们已司空见惯。因此,掌握有关传感器的知识,能够根据使用说明书选择合适的装置,修理和校准现有设备里已经使用的传感器,对于技术员和工程师们来说就显得更加重要。

4. 本书的内容安排

本书根据测量的物理量不同将各种类型的传感器详细地安排在各章之中。为了帮助理解所涉及的内容,本书编入了很多实例以及相应的插图。为了帮助理解某些特殊的概念,以及解释某些主要内容,本书常在这些内容之后精心编排了与其内容相关的方程式、简单计算或图解分析。在用到数学知识的地方,本书在仔细推敲的基础上刻意作了简化。对于本书中主题没有涉及的内容,就予以提及,因为要涉及传感器技术中的所有理论,是不现实的。

实际上,由传感器采集的原始信号时常不是以一种直接可用的方式输出,这种信号还需要进行调制处理。因此就涉及到在传感器之后需要对采集的信号进行调制处理的技术。同样,实际工程中还需要显示和记录传感器输出信号的仪器完成记录和画图等功能。

通览全书,你会发现若干个关键词,这主要是强调重点。在某种情况下,它也是理解一些特殊概念的基础。此外,这些关键词对于快速地理解和复习内容也是很有用的。

第 2 章主要讲在本书中涉及的以及在传感器学科中用到的术语和定义,反映这些术语在

测量和传感器系统中的含义，还包括基本元件、典型实例和传感器的各种特性。为了避免在学习后续章节中产生困难和形成误解，作者强烈建议在其他章节学习之前首先阅读和理解本章。

第3章到第7章，集中介绍了通常用于测量各种物理参数的不同类型传感器的工作原理。各章依次讲述用于测量运动参数、液面高度、力（重力）、流速、流量、温度及压力的传感器，并讨论了每一种传感器的特点及其应用。这一部分涉及的传感器可分为电子式和机械式两类，并为读者提供了一些独立而广泛的参考资料。

第8章讨论了信号的记录和显示问题，解释了记录与显示、模拟信号与数字信号的区别，以及工程中常见的使用方式。

第9章主要讲用于无源电路的信号调制技术，介绍了如何把信号调制成需要的形式，讨论了很多实用技术、相应解释、相关算法和计算实例等。

第10章是在第9章的基础上讨论用于有源电路的信号调制技术。

第11章是传感器在检测方面的应用研究。检测技术的基本理论部分在本书前面章节中已经涉及，本章主要讲述在工程实际中传感器的选择和检测系统设计的应用实例。

第12章研究传感器应用于控制技术的实例。它涉及不同工业和环境下的工程控制系统。

第13章（原书）是为把前面学到的理论应用于实践的一系列实验作业。它详细地介绍了12个综合性实验。（完成这些实验，因为要用到 TecQuipment Ltd 公司的传感器和仪器系统（SIS），译者考虑我国实验设备的实际情况，本章未予译出，译者注）。

为了了解常用的领域和拓展兴趣，本书列出了所有的参考文献。每章还包含一个引言、一个小结以及若干用于测试掌握水平的思考题。

第2章 传感器基本原理、术语和特性

本章主要介绍测量与控制系统中常用的传感器的有关概念，并对一些相关的专业术语进行定义。

传感器可能是机械式，也可能为电子式，或者两者结合的形式。它们被广泛应用于工业、国防、民用工程和家庭等领域。它们能够完成像在生产线上检查工件尺寸、控制发电站的工作、监控家用洗衣机的水位、显示汽车的运行速度等各种任务。由于传感器的特性和应用如此之多，因此弄清什么是传感器，以及建立有关专业术语的准确定义是非常重要的。

正如在第1章所看到的，传感器是一种用于检测信号或激励，并由它产生一种可测量的输出信号的装置。图2-1所示为一些传感器的工作示意图。由图2-1a、b可以看出，热敏电阻和应变计都可以产生一种可变化的电阻值输出。许多传感器产生电信号输出，它们不仅可以以电阻的方式，而且还可以以电压、电流或频率等方式输出。图2-1c所示的弹簧秤，在变化的力的作用下会产生一个位移的变化，即弹簧秤的表盘指针会沿着刻度方向移动（或转动）一个与弹簧所受的力成正比的位移。图2-1d中，文杜里（Venturi）管通过测量压力差以确定液体的流量。

由传感器得到的输出信号可以有各种形式，但其输出信号必须是以满足系统显示需要的某种形式。

传感器（sensor）和转换器（transducer）两个术语有相似之处，但含义有些细微的不同，而且有时候会被混淆。转换器是把一种形式的能量转换成另一种形式能量的装置。因此，传感器通常都属于转换器，但反过来，并不是所有的转换器都可以严格地称为传感器。例如，家用灯管是一种把电能转换成光和热的转换器，其目的是用于照亮房间，而不是用来显示电的存在，此时就是一种转换器。然而，如果我们用同一个灯管去检测电路，即当通电时灯亮，那么此时灯管就被认为是一种传感器。

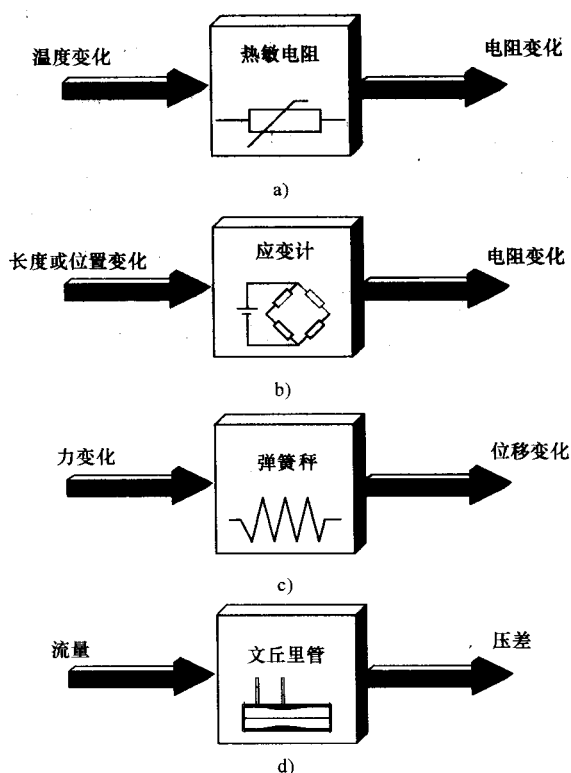


图 2-1 传感器举例

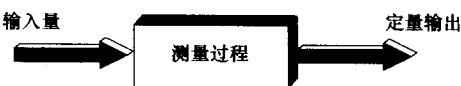
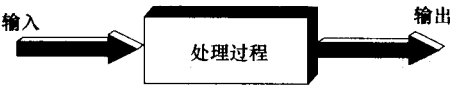
2.1 传感器系统

系统有很多种类和定义。但是，为了方便，我们仅把基本的传感器系统看作为借助于某种过程从不同的输入产生某种被定量的输出的装置。图 2-2 所示是一个以流程图的形式表示的基本系统。流程图是一种解释测量系统工作原理有效的方法。

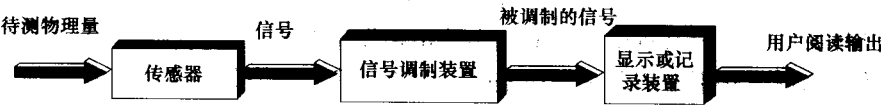
人们通常把传感器的应用划分为三种系统类型，分别是测量系统、开环控制系统和闭环控制系统。

2.1.1 测量系统

测量系统显示或记录一种与被测输入变量相对应的定量输出，测量系统除了以用户可以读懂的方式向用户显示之外，不以任何方式对输入量产生响应。图 2-3 所示为测量系统的基本流程图。



作为测量系统的一个简单例子，我们讨论一个内装液体的玻璃管温度计的工作过程（将在第 6 章详细讨论），把它放在户外，（例如在一个花园里）显示气温。对于这个测量系统来说，输入量就是空气传给温度计的热能，对应的输出量是温度计显示的温度（℃），最后由园艺工人读取温度计对应的温度，这是一个纯粹的测量系统，因为温度计没有以任何方式控制外面空气的温度。测量过程通常可以分成如图 2-4 所示的具体步骤。这里的温度计测温是一个很简单的测量装置，但其中的测试、信号调理和显示等功能都通过温度计自身集中实现。信号调理即由热能向液体的流动能转换，显示通过温度计玻璃管侧面的刻度实现。尽量减少传感器的组件、简化信号调理、显示和记录装置是很有用的，但很多测量系统仍会非常复杂。



在图 2-4 中，传感器把待测的物理量经信号调理转变成用户可以读懂的信号。而信号调制系统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。如果它是电压，它可能需要放大；如果它是微小的机械运动（位移）信号，它可能需要放大或转变成其他运动形式；它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储存在记录装置上，以备后用。现在，可以通过多种类型的显示或记录装置和几种不同的方式共同显示、记录同一个被检测的物理量。例如，它可以以数字形式输出，以刻度盘上指针的移动或转动输出，或以图表形式打印出来。在本书的第 8 章将讨论显示与记录装置，第 9 章和第 10 章将讨论信号调制技术。

2.1.2 控制系统

1. 开环控制系统

开环和闭环控制系统都是试图使被控变量保持为某预定的值。控制系统中包含了测量系统，但是它不同于纯粹的测量系统，其测量结果并不需要显示给用户，而是通过其测量系统输出量以便调节控制系统的某一参数。

图 2-5 所示为一个开环系统的流程图。开环系统的基本原理是系统被一个预设值信号所控制。假定没有测量系统的输出影响那个要控制系统的预定参数，系统所要求的控制也能够达到，即使其他因素改变导致系统的输出不正确，那个预设值也不会改变。

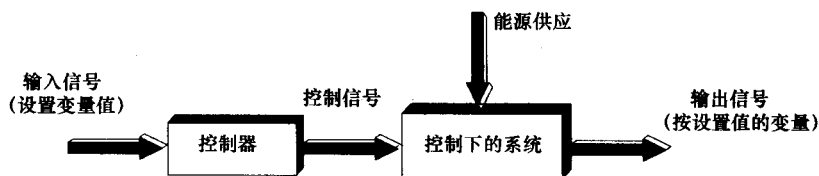


图 2-5 开环系统的流程图

假如一个开环系统控制一条街上路灯的开和关，控制要求当夜幕降临时打开灯，当天亮时关上灯。控制信号将根据天黑和天亮的时间用一个定时控制装置设置开、关灯的时间。这个系统可能在几周时间内还能正常工作，但是，在一年时间里，天黑和天亮的时间是变化的，预设的信号（时间）不久就会不合适，因此使开、关灯的时间要么早、要么晚。图 2-6 所示即为以流程图的形式表示的路灯控制系统。

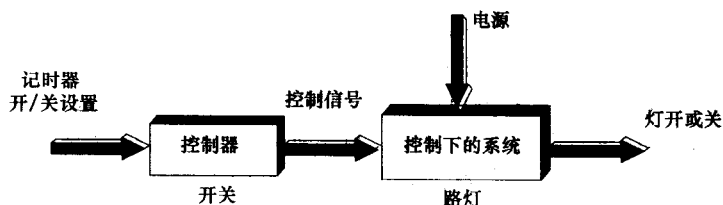


图 2-6 路灯控制系统的流程图

在该开环系统中，没有将检测到的、实际正在发生变化的系统参数输入给系统，即对于路灯控制系统来说，它不知道天是亮还是暗。对于一个开环系统，人们不得不估算什么时间天黑和什么时间天亮，并相应地改变预设值以控制开灯和关灯时间。这些预设的时间必须根据一天内天亮和天黑的时间变化而变化。因此，它需要频繁地调整预设值。因为通常这种调整的次数越少，工作的效果越差。系统不会产生任何意想不到的或未预期的操作。例如，有时晚上可能是阴天或多云的，按理说路灯应该比晴朗的夜晚要早开一会，但在开环系统中是无法实现的。

开环控制系统在设计和制造上通常比较简单、廉价。然而，它可能是效率很低或需要不断地进行调整操作。在很多情况下，正在控制的参数也在以某种方式发生变化，从而导致预设值不正确，因此需要重新设置。要正确地设置给定值，通常需要很高的技巧和准确的判断。万一控制的系统参数没有达到预期值，有时后果是很严重的。例如在容器里注入危险性液体，需要控制液体的满溢高度，此时如果用开环系统就不合适。

2. 闭环控制系统

在闭环控制系统里，输出状态会直接影响输入条件。闭环控制系统通过测量被控制系统的参数输出值并将其与期望值进行比较。

关键词

在一个闭环控制系统里，将受控系统参数的实际测量值与期望值进行比较，其差值称为误差。

图 2-7 所示为一个用流程图表示的闭环控制系统。期望值可认为是已知的，并作为信号参考值，或称为预设值，这个值与测量装置检测的测量值（称为反馈信号）进行比较。反馈信号与参考信号的差值称为误差信号。误差信号经过调制处理（如放大）以便能够调节控制系统。例如，误差信号是一种电信号，它可能需要被放大。被调制处理的误差信号被称为控制信号。然后，控制信号调节系统的输出，以便尽可能使反馈信号与参考信号相一致。这将减少误差到零，并由此使系统达到期望值。

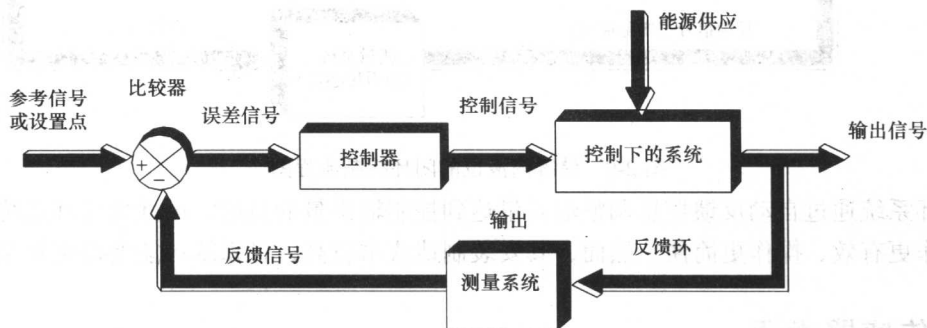


图 2-7 用流程图表示的闭环控制系统

例如，在化工厂的储罐里存放着危险性液体，如图 2-8 所示。储罐通过泵注入该液体，当需要对液体进行进一步加工处理时，另一个系统打开卸荷阀，并按生产需要放出液体，这样，储罐内的液面降低了。如果采用开环系统将无法实现有效控制，因为预设值发生错误时后果是非常严重的，储罐内液体满时可能会溢出危险性液体，或者流干了导致化工厂停产。为了确保化工厂有效地工作，储罐内液体需要保持在一个最佳高度，可以用一个液面传感器检测液面并产生一个电信号输出（我们将在第 4 章讨论这种传感器）。

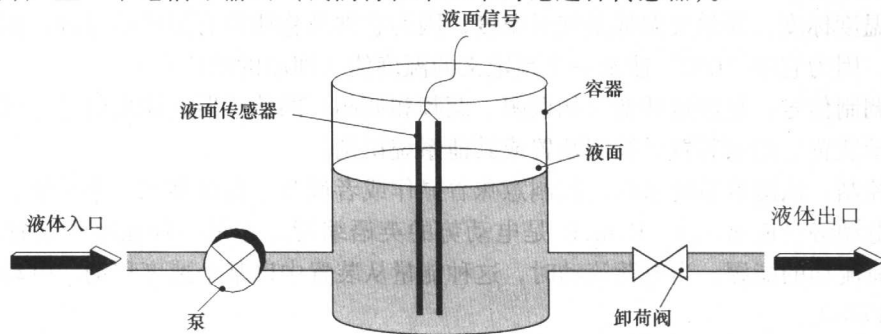


图 2-8 储罐内液面位置的控制

图 2-9 所示为控制储罐内液面的闭环控制流程图。由液面传感器的输出（反馈信号），与理想液面（参考信号）比较，其差值就是误差信号。误差信号通过控制器被调制为控制信号。控制信号又驱动液压泵马达，并由此决定通过泵向储罐输入液体的流量。当误差为零时，液面达到了理想高度，控制信号为零并因此使泵停下来。利用这种方法，将与液面相关的信号变为电信号，无论它是恒定的还是变化的，通过控制泵的流量都可以始终保持安全的液面高度。

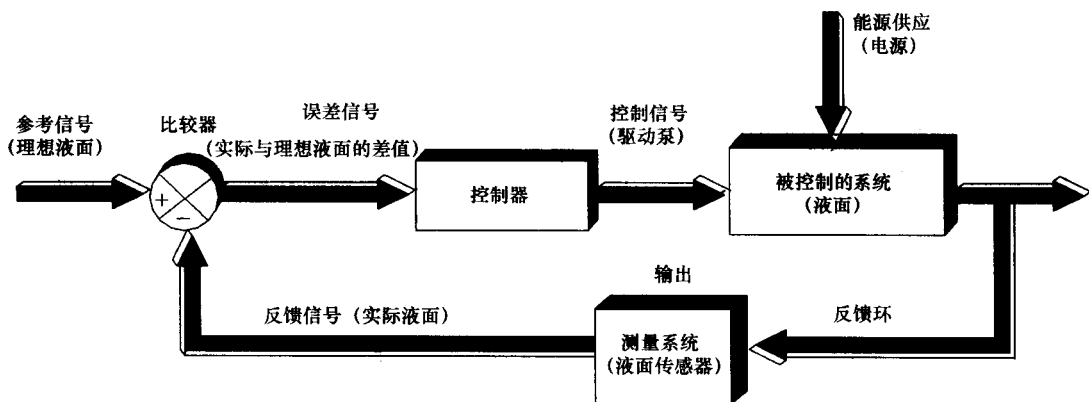


图 2-9 储罐内液位的闭环控制流程图

闭环系统通过自动反馈信息调整输入量达到控制输出量的目的，因此比开环系统误差更小，工作更有效，操作更简便。然而，其安装制造成本较高，且系统可能变得更复杂。

2.2 传感器术语

用于测量和控制系统的有关传感器的术语对读者来说可能并不熟悉。一些术语在其他领域中可能会有不同的含义。为了更有效地掌握本书内容，对传感器的术语作一个基本的了解是必要的。

(1) 绝对测量：是基于测量体系基本单位，利用测量器具直接得到整个测量结果的测量方法。它涉及的系统不包含任何被测变量的条件，它与涉及预定义数值的相对标度是相反的。例如，在第 6 章讨论温度测量时，我们会遇到开尔文（Kelvin）温标和摄氏（Celsius）温标两种温度标度，开尔文温标是绝对温度，因为它涉及物质没有温度的条件。但摄氏温标是相对的，因为它的“0℃”涉及一个预定义的温度值（即冰的融化点）。

(2) 调制信号：是经过转变（如调幅、调频和调相）的传感器的输出信号，以便使该信号能被显示装置、记录装置、控制装置或其他系统识别。

(3) 控制：从测量系统来看，控制意味着操作或者调节一台机器或一个系统。

(4) 电动势（E.m.f.）：E.m.f. 是电动势的英语缩写。它是一种在电子装置或电路中能引起电荷流动的能源，当电荷流动时，这种能量从装置中以某个速度移动。电动势的单位为伏特（Volts）。

(5) 流体：是指任何一种流动的物质。流体通常是气体或液体，但有时也是固体，例如粉末或沙粒，它们都没有固定的形状并且对外力几乎没有阻碍。

(6) 通量：在本书中，通量是指电场或磁场在所给定区域中的强度。在后续的章节里，我们将会用到磁通量和电通量。

(7) 集成电路：是由半导体材料的晶片制成的电路，它不能再被分成单个的元件。

(8) 接口：是通过设计将两个电子装置连接起来并使它们的输入和输出相适配，以便它们能够协调地一起工作。

(9) 现场读数：在传感器安装现场，或在非常靠近测量点处显示的测量值。

(10) 被测量：是测量系统的输入，被测的量值或参数。例如，用温度计测量温度，那么被测量是温度。在本书中所涉及的被测量包括位移、速度、邻近度、加速度、液位、重力、体积、流量、温度和压强等。

(11) 电子噪声：是一种有害的电子信号，它能隐藏或混杂在携带有用信息的信号之中，例如混杂在传感器输出信号或误差信号中。

(12) 参数：是一种被限定极限值的变量。

(13) 探头或探针：是连接从传感器或显示器到被测对象或一个电路的一种探测头或装置，又称为探针或探测器。

(14) 远程读数：传感器的读数可以在远离测量点的地方读数并显示它的测量值。

(15) 半导体：是一种导电性介于金属导体与绝缘体之间的物质。由半导体制成的元器件是构成现代集成电路和计算机的基础。

(16) 国际单位 (SI)：是由国际标准化协会规定的用于测量的基本单位，以确保科学与技术的统一。国际单位制全部用规定的基本单位通过乘法或除法换算。本书采用的单位都是由基本的国际单位及其辅助单位：米 (m)、千克 (kg)、秒 (s)、安培 (A)、开尔文 (K) 和弧度 (rad) 等换算得来的。

(17) 说明书：一种装置的说明书是对其特点、结构、性能和与其应用有关的任何信息的技术性描述。本书给出了几种典型传感器特性的说明书样本。

(18) 变量：在传感器和测量系统中，变量可以是任何量，通常是指一种量值或在数值上可以变化的被测量。

2.3 传感器特性

测量或控制系统的传感器的选择取决于诸如成本、性能有效性及环境条件等因素。选择传感器时，所选的传感器与要求的输出量相匹配是很重要的。例如，有很多种可用于温度测量的传感器，但并不是所有的都适合于测量显示我们在前面讨论过的花园的大气温度。有的不能适应温度测量的范围，有的太昂贵，或有的需要电源供应。

按照前面定义过的术语，为了更好地利用本书，读者必须对传感器的特性有一个基本的理解。一些传感器特性的定义可能对读者来说是熟悉的。然而，仔细思考下面的定义，它可能会有细微的不同。当应用于传感器和测量系统时与以前习惯的用法相比有一定的差别。

下面的特性可以应用于整个测量系统以及在测量系统中的所有部件，包括传感器、信号调制装置以及显示和记录装置。它们都有不同的表达方法，但通常被描述为百分比，或最大与最小值范围。这些取决于系统和被测量的属性以及制造者的偏好等，对于一个给定的传感器来说，并不是所有的特性都必须用到。

(1) 精确度：一个仪器或系统的精确度是它可能会产生误差值的范围，或可能产生的最大误差值。用一个传感器时，无论输出值怎样接近于被测量的实际值，实际上，每一种装置都会产生误差，无论误差怎样小，都将包含在某个精确度估计的范围内。它可能以含有测量单位的形式表达出来。例如，假定有一个温度计的精确度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，这意味着如果用这个温度计测量温度，测量读数是 20.1°C ，那么，实际温度可能为 20.3°C 到 19.9°C 之间的某个值。精确度也可以表达为该装置的误差范围的百分数，二者任选其一。

(2) 精密度 (*Precision*)：是指在若干场合里同样的输入产生的结果的相似程度。精密度通常在日常用语中意为精确度 (*Accuracy*)，因此两者有时被混淆了。然而，在测量术语中，一个传感器可能是精密的，即当它对一个固定量进行若干次测量时，其结果为一个很接近的输出。但是，如果在输出中有一个很大的误差，那么它却是不正确的。因此，精确度包含精密度与正确度两种含义，精密度高，其精确度不一定高。在说明书中，精密度通常在常用术语中被引用（如高精密度仪器）。

(3) 标定：是指在传感器显示或记录表（如刻度盘）上所标出的刻度的单位。例如，一种测量车辆速度的传感器产生一种电压信号输出，其电压大小与车辆速度成正比，装在车上的速度计指针随着所施加的电压摆动，但在速度计表盘上将以速度单位标出，而不是以电压。这样，我们说速度计被以速度单位形式标定。

(4) 死区或死带：当说明书提到死区（或死带）时，它是指被测量的输出不产生变化或没有输出信号时输入量的最大范围。死区（或死带）是由于静摩擦或迟滞现象（在本节后面解释）引起的，图 2-10 所示为一个死区特性图。

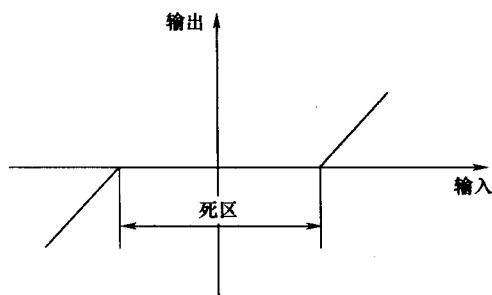


图 2-10 死区或死带

死区不可能存在于装置的整个工作范围，有时明显的死区仅出现在某种条件下。一个常见的死区的例子就是在家用照明灯上的调光器开关。通常，当调光器开关处于完全关闭时，慢慢地打

开开关，可能会在一个暂短的时间内灯并没有立即响应（发亮）。在这种情况下，调光器开关的死区就是从它的完全关闭的位置到灯开始发光时对应的位置之间的区间。

(5) 外形尺寸：是指一种传感器或测量系统实际所占空间的大小，它几乎在每个装置的说明书中都有说明。

(6) 漂移：是指一个装置、电路或系统随时间和各种环境变化而改变其特性的固有趋势。即当装置的输入没有变化时，其输出特性却有变化，它会影响测量的精确度。在不同的时间范围引起漂移的原因不同，最常见和最有影响的漂移之一是由于外界温度的变化。这就是很多传感器在说明书中强调温度对装置的各种特性的影响的原因。对于一种旧装置来说，漂移可能是由制造材料的老化引起的，例如金属材料的氧化，它也可能是由于系统中元件的机械磨损或摩擦发热引起的。

(7) 误差：是被测量值与其实际值的差值。例如，用一把尺子测量一本书纸张的宽度，测得的结果为 210.5mm 。然而，实际纸张的宽度为 209.9mm ，因此，一个纸张宽度的测量误差为 $210.5 - 209.9 = 0.6\text{mm}$ 。通常规定误差用代表系统精度的百分数来表示。

(8) 迟滞现象：是指在相同测试条件下，当输入量由小逐渐增大和改换方向为由大变小