

第 六 版

感測與量度工程

楊善國 編著

SENSING AND MEASUREMENT ENGINEERING

 全華



01467532

第六版

感測與量度工程

1. 本書是以各型感測元件之原理解說為出發點編撰而成的。
2. 書中除了對感測與量度的基本概念加以建立外，還對量度系統做一整體性的介紹，並以圖說表列方式介紹各類型感測元件。內容由淺至深、條理分明的編寫方式，使學生輕鬆學習、容易理解。
3. 適合科大、四技機械科系之自動控制組「感測與量度工程」、「感測器原理」、「控制工程」等相關課程使用。

ISBN 978-957-21-7791-4



9 789572 177914

NT / 325



00325

第六版

感測與量度工程

楊善國 編著

SENSING AND MEASUREMENT ENGINEERING

感測與量度工程

楊善國 編著



國家圖書館出版品預行編目資料

感測與量度工程 / 楊善國編著. -- 六版. --

臺北縣土城市：全華圖書，2010.12

面；公分

參考書目：面

ISBN 978-957-21-7791-4(精裝)

1. 計測工學 2. 感測器

440.121

99015457

感測與量度工程

作者 / 楊善國

執行編輯 / 陳姍姍

發行人 / 陳本源

出版者 / 全華圖書股份有限公司

郵政帳號 / 0100836-1 號

印刷者 / 宏懋打字印刷股份有限公司

圖書編號 / 0253475

六版一刷 / 2010 年 12 月

定價 / 新台幣 325 元

ISBN / 978-957-21-7791-4 (精裝)

全華圖書 / www.chwa.com.tw

全華網路書店 Open Tech / www.opentech.com.tw

若您對書籍內容、排版印刷有任何問題，歡迎來信指導 book@chwa.com.tw

臺北總公司(北區營業處)

地址：23671 新北市土城區忠義路 21 號

電話：(02) 2262-5666

傳真：(02) 6637-3695、6637-3696

中區營業處

地址：40256 臺中市南區樹義一巷 26 號

電話：(04) 2261-8485

傳真：(04) 3600-9806

南區營業處

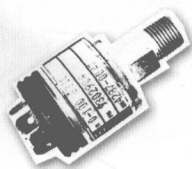
地址：80769 高雄市三民區應安街 12 號

電話：(07) 862-9123

傳真：(07) 862-5562

全省訂書專線 / 0800021551

有著作權·侵害必究



初版序

隨著尖端科技之日新月異，機械工業及相關工業型態已由勞力密集，轉而技術密集。以「自動化」取代高危險性或耗時費力之人工操作，為工業之趨勢，然欲「自動化」則需對機構予以控制，控制之前必先感測、量度。感測、量度與控制實密不可分，其應用之廣，不勝枚舉，足見「感測與量度工程」之重要。

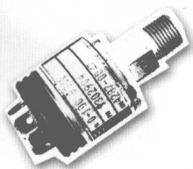
楊善國老師至本科擔任「量度工程及實習」課程已數年，對實驗室規劃及課程之編製不遺餘力，其本職學能更是豐富。在坊間「感測與量度工程」相關書籍稀少之際，楊老師能利用課餘時間執筆著書，實為學子之幸。此書係針對專科學生設計，且能配合教學及業界和相關工程人員之進修需要，相信讀者定能從中獲益良多。

作者於完稿付梓之際，請余提序，深感榮幸。謹代為之序。

謝忠祐謹序

於國立勤益工商專校機械工程科





初版作者序

「控制之前必有量度，量度與控制密不可分」。

一控制系統的優劣良窳，量度暨感測元件居關鍵角色。而量度工程之範圍甚廣，內容亦包羅萬象。不同的待測量，不同的場合，就有不同的量度方法和不同的應用原理。舉凡材料、機構、化工、物理、電子電路，甚至通信、統計及資料處理等，均為相關科技。其應用無論在工業界、醫學界或是日常生活中亦到處可見。近年來許多應用科學遭遇發展瓶頸，感測元件之無法突破是為關卡之一。而微感測器(Microsensor)亦隨微機電(MEMS)技術之發展，成為感測及量度工程的明日之星，未來必對工業及科技之整體發展大有貢獻。

本書之內容及編寫方式，特為技職學生而設計。從量度工程的概念，到各種物理量量度方法的分析，到量度該物理量之感測器的選用和相關知識等，均作有系統的整理和介紹。對學生日後進入工業界之實務應用，必有助益。

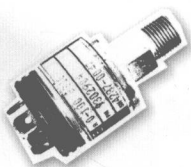
編纂期間，感謝中科院航發中心多位同事的協助，本校同仁的關心及我妻子的支持與包容。機械科主任謝博士撥冗提序，亦一併致謝。

本人才疏學淺，文中恐有謬誤，祈請讀者諸君、賢達先進不吝指正，謝謝。願上帝祝福您！

楊善國謹誌

於國立勤益工專機械科





六版作者序

本書自初版問世迄今，已將屆滿十六載。期間經歷多次增修，如今呈現給讀者的是第五次修訂之後的第六版。這一次(第五次)的修訂有幾個特別的地方：

1. 重新打字排版。本書原稿是傳統的打字稿，修訂更動起來不若電子檔方便。此次全華編輯部同仁花了很大的力氣，將本書內容全部重新打字、繪圖成電子檔，所作的工夫與出版新書完全一樣。因此第六版將較前五版更清晰易讀而有條理。
2. 新增了相當多的內容。特別是在第一、二章的基礎部分，使得本書的深度增加。從前本書的對象主要是二專生，但隨著學制的改變，現今專科已經幾乎不存在了。為因應時代的變化，本書增加篇幅之後可適用於大學部(四技、二技)以及研究所的學生。當然，本書亦可供業界先進參考。
3. 新增或更換了許多圖片。因而使得從前不清楚或不適當的圖片得以更新。

自 2009 年起，台灣製造工程與自動化科技協會推出了「自動化工程師」的證照，其中「量測原理與技術」一科在證照考試中佔有相當的分量。希望本書能對有志報考「自動化工程師」證照的讀者略盡棉薄。

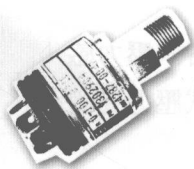
感謝前中正大學校長、現任台灣大學電機系教授羅仁權博士、以及蘇州科技學院機電系教授李華院長的提序，使本書倍增光彩！也要感謝多年來各界的支持與愛護！願上帝祝福您們！

若有任何指正，敬請隨時賜教，謝謝！

楊善國謹誌

於國立勤益科技大學機械系

個人網頁：http://www.me.ncut.edu.tw/teacher_view.php?sn=28



六版序一

由於資訊通信技術的進步及自動化的發展，越來越多的產業邁向智慧化，許多的資訊處理及資訊交換發生在底層的執行層；而資訊通信、資料處理不再只是由上端控制層與底層執行層之間溝通的事情，而是下放到了執行層，也就是走向前端智慧化的趨勢。

而作為工業上不可或缺的重要元件，感測器的責任越來越重，它是設備邏輯自動化最重要的決策依據，而現今，智慧感測器已經越來越受到了人們的青睞，對於電子電路產業高度發展的台灣而言，結合電子電路之智慧型感測器研究不諱是台灣現今不可不了解的重要資訊。

事實上感測與控制是不可分開的，控制的目地是要使系統更精確穩定，但如何知道它的精確性及穩定性就需要有感測器將物理信號轉換成電訊信號並作適當量度納入回授控制系統並與應用端整合成精確穩定系統機制。

感測與量度是自動化的關鍵科技之一，生產自動化、辦公室自動化、程序控制自動化等等早已與人民日常生活習習相關，舉凡從傳統產業的製造設備，到現在人手必備的手機、電腦等皆需用到感測與量度的技術。

此書先介紹在感測與量度中常用到之名詞並加以定義與解釋，接下來談到如何校正感測器，並依序介紹溫度感測、壓力感測、流量感測、位移感測、速度感測、角速度感測、磁場及電流感測、光輻射感測及各式開關。

在溫度感測的章節裡介紹了溫度量測的原理及各式溫度感測器如電阻式、熱電式、溫度感測 IC、熱敏電阻、膨脹式、振盪式、記憶合金及非接觸式溫度量測等。

在壓力感測的章節中先說明量測壓力的原理，接著說明各式壓力感測器如皮托管、位移式壓力轉換器、應變計、負荷計及壓電式壓力感測器。

在流量感測的部分，談到了流量的定義及量測法，有面積式、體積式、速度式等。

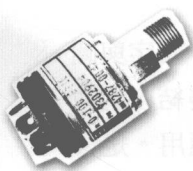
位移感測的章節中，先說明了位移的定義，而位移感測分為二大類，第一類為線位移感測器，其中有直線電位計、線性差動變壓器、直軸式編碼器、超音波測距及高速位移量測。第二類為角位移感測器，角度電位計、圓盤式編碼器、同步器及電磁式感測器都包含在角位移感測器中。

速度的感測也分為二大類，第一類為線速度感測，其中談到了車輛速度量測、飛行器及超音波測速，而第二類為角速度感測，包含了轉速發電機、離心式、光電式及計時轉速計等。

在磁場及電流感測的章節中提到了霍耳效應、霍耳元件及變流器等。光輻射感測的章節中說明了光譜、光電效應及光輻射感測元件。此書以各式開關做為結尾，包括光電、磁簧、電容、磁感應、角度及壓力開關。

作者楊善國教授的核心專長即在感測與量度領域，本書能以深入淺出的方式，針對常用之感測器加以系統化的整理與介紹，從感測器的物理量度方式到感測器的選用等相關知識，對想了解與實務應用感測與量度的讀者，有相當大的助益。

羅仁權 謹序
於國立台灣大學電機系



六版序二

在科學技術研究和工程技術應用中，傳感與測量有著廣泛的應用，是從事基礎研究、工程控制、生產過程監控、故障診斷、產品設計等工作所不可或缺的重要技術。隨著資訊技術的發展，傳感與測量技術已經成為大多數機電系統的重要組成部分。是大部分工程與技術專業學生的必修課程。

傳感與測試技術是建立在數學基礎上的多學科的原理和技術的綜合，內容涉及到數學、物理學、電工學、電子技術、信號處理、材料科學以及化學、生物學、資訊科學等眾多學科。課程的理論性和實踐性都很強，知識面要求廣泛，因此，歷來是學生感到不易學習掌握的一門技術課程。

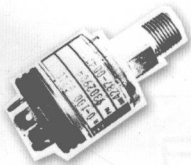
楊善國教授積多年從事工程研究和理論教學之心得，從認知、掌握這一技術的基本規律著手，編寫了《感測與度量工程》一書，並在 1994 年出版後至今，進行了多次修訂，在精心的雕琢之下，該書形成了特有的風格

1. 本書以工程中常見的各種被測量的感測為主線，以各種類型的感測元件的感測原理解說為出發點，由淺入深，循序漸進，講解了各種常見被測量的測量原理、感測元件結構、工程應用。內容條理分明，密切結合工程實際應用，便於初學者學習掌握。
2. 本書內容在對感測元件介紹的基礎上，還從工程應用的目的出發，對度量系統做整體的介紹，使讀者不僅學會感測元件的選擇與應用，更學會度量系統的組建與應用，從而建立起感測元件、信號轉換與處理、結果記錄與分析的完整的度量系統的概念。

3. 經過多次修訂，本書用字遣詞講究，語句精練清晰，文字與圖表相互輔佐，形成了理論嚴謹性和工程的實用性完美結合的教材風格，使讀者易於理解和掌握各種技術的原理和應用。是一本適合大學相關學科學生使用的好教材，也是業界工程技術人員的一本好參考書。

欣聞楊善國教授《感測與度量工程》一書第六版即將出版，謹奉此文，以示祝賀。

李華 博士·教授
於蘇州科技學院



編輯部序

「系統編輯」是我們的編輯方針，我們所提供給您的，絕不只是一本書，而是關於這門學問的所有知識，它們由淺入深，循序漸進。

本書是以各型感測器元件之原理解說為出發點編撰而成的，書中除了對感測與量度的基本概念加以建立外，還對量度系統做一整體性的介紹，並以圖說表列方式介紹各類型感測元件。內容由淺而深、條理分明的編排方式，非常適合科大、四技等機械科系自動控制組「感測與量度工程」、「感測器原理」、「控制工程」等相關課程使用，也可供業界工程師參考。

同時，為了使您能有系統且循序漸進研習相關方面的叢書，我們以流程圖方式，列出各有關圖書的閱讀順序，以減少您研習此門學問的摸索時間，並能對這門學問有完整的知識。

若您在這方面有任何問題，歡迎來函連繫，我們將竭誠為您服務。

相關叢書介紹

書號：0512101
書名：切削刀具學(修訂版)
編著：洪良德
20K/328 頁/330 元

書號：03731
書名：超精密加工技術
日譯：高道鋼
20K/224 頁/250 元

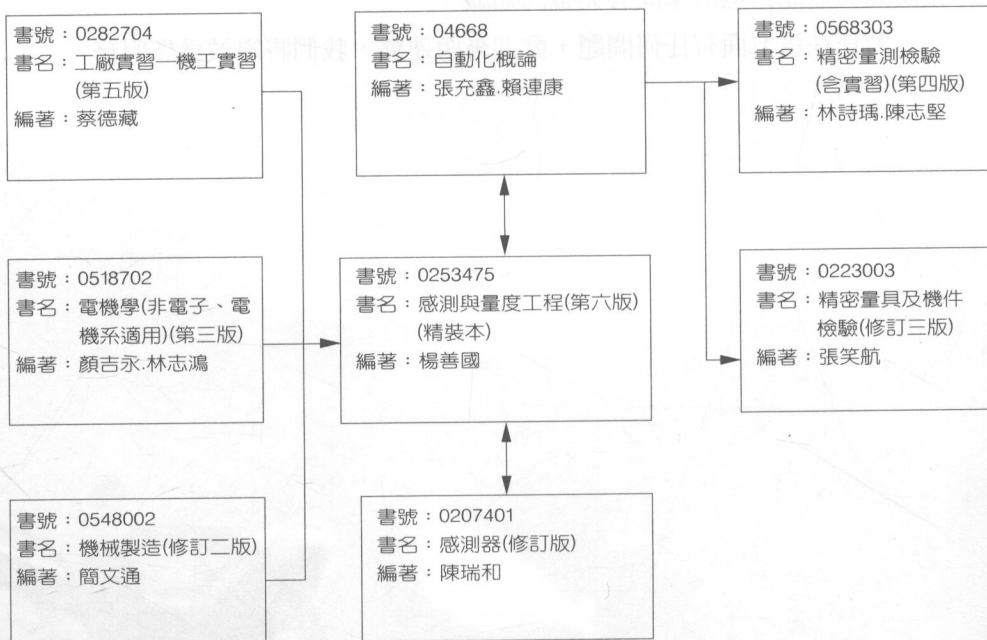
書號：0223003
書名：精密量具及機件檢驗
(修訂三版)
編著：張笑航
20K/608 頁/480 元

書號：0276201
書名：感測器原理與應用實習
(第二版)
編著：鍾國家、侯安桑、廖忠興
20K/384 頁/450 元

書號：0568303
書名：精密量測檢驗(含實習)
(第四版)
編著：林詩瑀、陳志堅
16K/464 頁/480 元

◎上列書價若有變動，請
以最新定價為準。

流程圖





目錄

第 1 章 概論

1.1	前言	1
1.2	量度與自動化的關係	2
1-2-1	自動化的分類	2
1-2-2	操縱與控制	2
1-2-3	例子	3
1.3	何謂量度工程	5
1-3-1	量度的定義	5
1-3-2	量度工程的内容	5
1-3-3	電源需求(Power Requirement)	8
1.4	相關名詞說明	9

第 2 章 校正記錄

2.1	感測與校正	23
2.2	校正記錄	24
2.3	討論	28

第 3 章 溫度感測

3.1	溫度(Temperature)	33
3.2	電阻式溫度感測器(Resistance Temperature Device, RTD)	34
3-2-1	工作原理	34
3-2-2	量測方法	35





contents

3-2-3	插入效應(Immersion Effect).....	46
3-2-4	電阻式溫度感測器的特性.....	47
3.3	熱電式溫度感測器(Thermoelectric Temperature Sensor).....	47
3-3-1	熱電效應	47
3-3-2	熱電定律(Thermoelectric Law)	48
3-3-3	熱電偶(Thermocouple)	49
3-3-4	熱電偶的組合	55
3-3-5	熱電式溫度感測器的特性.....	57
3.4	溫度感測 IC.....	57
3.5	熱敏電阻(Thermistor)	60
3.6	膨脹式溫度感測器.....	64
3.7	振盪式溫度感測器.....	67
3.8	形狀記憶合金(Shape Memorized Alloy , SMA).....	68
3.9	非接觸性溫度量測.....	69
3-9-1	光學高溫儀(或稱光高溫計 , Optical Pyrometer)70	
3-9-2	輻射高溫儀(Radiation Pyrometer)	71
3-9-3	紅外線高溫儀(Infrared Pyrometer)	72

第 4 章 壓力感測

4.1	壓力(Pressure)	75
4.2	皮托管(Pitot Tube).....	77
4.3	位移式壓力轉換器.....	78
4.4	將位移轉換成電信號的裝置	82
4.5	應變計(Strain Gage)	84
4.6	負荷計(Load Cell)	98
4.7	壓電式壓力感測器(Piezoelectric Pressure Transducer)	99

第 5 章 流量感測

5.1 流量(Flow Rate).....	101
5.2 流量的量測法.....	102
5.3 相關定理.....	103
5.4 面積式流量計－浮子流量計.....	108
5.5 體積式流量計.....	112
5.6 速度式流量計－渦輪式流量計.....	113
5.7 速度式流量計－電磁流量計.....	117
5.8 速度式流量計－超音波流量計.....	119

第 6 章 位移感測

6.1 位移(Displacement).....	123
6.2 線位移感測器.....	124
6-2-1 直線電位計(Line Potentiometer).....	124
6-2-2 線性差動變壓器(Linear Variable Differential Transformer , LVDT).....	126
6-2-3 直軸式編碼器(Linear Encoder).....	129
6-2-4 超音波測距.....	132
6-2-5 高速位移之量測.....	133
6.3 角位移感測器.....	137
6-3-1 角度電位計(Angular Potentiometer).....	137
6-3-2 圓盤式編碼器(Rotary Encoder).....	138
6-3-3 同步器(Syncho).....	141
6-3-4 電磁式感測器.....	155