

第五版

工程聲學

白明憲 編著

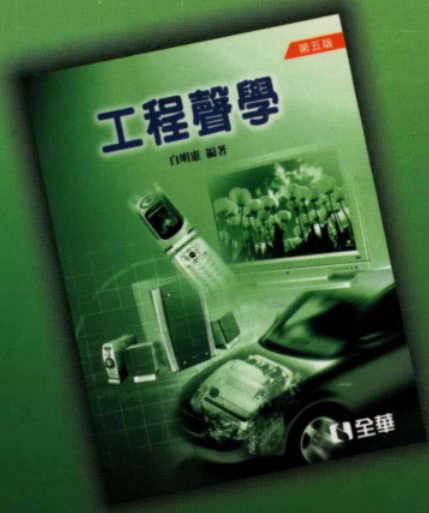


全華



本書特色：

1. 提供學界及業界聲學的入門中文教材。
2. 建立初學者對聲學理論的基本概念。
3. 介紹與聲學相關的各種應用。
4. 介紹主動式噪音控制的新技巧。
5. 使讀者輕鬆地建立對聲學的理論架構和實務基礎入門。



ISBN 978-957-21-8429-5



9 789572 184295

NT / 650



0 0 6 5 0

工程聲學

白明憲 編著

 全華圖書股份有限公司

國家圖書館出版品預行編目資料

工程聲學 / 白明憲編著. -- 五版. -- 新北市
全華圖書, 2012.03

面 ; 公分

ISBN 978-957-21-8429-5 (平裝)

1.聲學

440.123

101003028

工程聲學

作者 / 白明憲

執行編輯 / 林鈺傑

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 / 0353404

五版一刷 / 2012 年 3 月

定價 / 新台幣 650 元

ISBN / 978-957-21-8429-5 (平裝)

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

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

中區營業處

地址：40256 臺中市南區樹義一巷 26-1 號

電話：(04) 2261-8485

傳真：(04) 3600-9806

有著作權·侵害必究

序 言

近年來由於資通訊與雲端科技的蓬勃發展，收音品質日趨受到重視，降低背景雜音已成為重要課題，故可運用指向性麥克風於手機通訊、視訊、攝影機以及相機等設備上，然而國內鮮少人研究聲學領域，且相關中文書籍甚少，而國外技術發展成熟與產品也相繼問市，反觀國內業者沒有技術與理論背景，只能從事代理賺取微薄利潤，且缺乏靈活運用與彈性空間，由此可知沒有理論基礎就沒辦法創新研發，永遠只能依附在國外業者底下，賺一些 "Me too" 的辛苦錢。因此筆者在這段時間裡整理彙總國內外幾種有關指向性麥克風的資料，將其理論整理、修改後著手本書的內容增補，將此資料增加在第五章內容裡，包含了：

1. 補充電容式麥克風的頻響模擬方法以及流程。
2. 介紹差分式麥克風陣列設計方法以及指向性特性。
3. 介紹獵槍式麥克風設計方法以及指向性特性。

聲學似乎是一門古老的學問，然而卻常常與現代科技相互結合，運用於各種產品上，如果沒有這些古老學問為基礎，那麼怎麼會有更進一步的技術與產品，本書以此為宗旨，從基礎聲學以引導的方式讓讀者淺顯易懂，進而與現今技術與產品做整合，例如介紹喇叭、麥克風、消音器等實例。希望本書在修訂之後，內容能夠更趨周延，能讓讀者可以學以致用、並增進理論基礎，同時更能符合學界及業界的實際需求。

白明憲

推薦序

聲學新時代

聲學是一門已逾一世紀的傳統基礎科學。它涵蓋的領域，從最初的聲音的特性、振動、傳導的基本理論，再延伸到實際應用面，如建築聲學、樂器聲學、電聲學、通信、音響工程，並隨著時代前進的步伐再發展到近代的環保聲學、醫療診斷與治療，並與 IT 領域相結合的語音辨識與合成等。從這種發展的軌跡，我們不難想像，聲學在未來應用領域還存在著無限寬廣的空間。甚至在未來的應用領域的拓展，可能還會超乎我們現在的想像與期望。

音樂是我的最愛，電聲產品是我的興趣、專業與事業。在從事這個事業近三十年的歲月裏，自然對於電聲學多少有所涉獵。在此經歷下，令我深深感受到，電聲學的造詣實非一蹴可幾，它必須具備最基本的理論基礎，才能在實用領域上揮灑自如。電聲產業的發展亦然，若沒有充足且嫻熟的電聲人才，電聲產業就無法充分發展，甚至影響到整個台灣產業(供應)鏈的健全發展。近年來，台灣在 IT 及通訊產業在表面上發展快速，其實在電聲一環卻是個瓶頸。在行動通信產業，韓國的產業鏈結構比台灣要更完整而健全，難怪他們在全球前六大品牌中，就擠進了兩個，而我們台灣卻連一個都沒有，令人遺憾！

有感於此，我曾在某些適當場合建言，我國應從高等教育加強聲學人才的培育，才能因應未來各種相關產業發展的人才需求。當時總是聽到太多的理由說大學無法設立相關的系所。直到約十年前，我才欣聞，交通大學機械工程研究所，由白明憲教授開始傳授聲學課程，尤其以電聲為研究主軸，實在令人振奮。

白教授可說是國內聲學教育的先鋒，他不只治學嚴謹，在理論上有深厚的基礎，並且在實用領域也累積了相當豐富的研發經驗。敝公司曾有多項專案研究與人才培訓計劃，均與白教授合作無間，且獲得滿意的成果。他更將長期以來所鑽研的心得，編著成「聲學理論與應用」這本巨著，這是一本最適合國人初學者跨入這領域的專業書籍，現在即將第三版出書，內容也是再三的充實與調整，顯得更加豐富。

誠如前面所提：「聲學的實用領域，存在著無限發展的空間與潛力」，聲音相關的東西潛藏著太多的機會，值得大家去探索。我誠摯地邀請有志者，或有興趣者，可以進到這領域來共襄盛舉。國人要進入此領域，白教授所著的這本「工程聲學」，可說是最適當的鑰匙與地圖，它不僅能帶領我們登堂入室，更能引導我們窺其堂奧，因此我樂於推薦給大家。

美律實業(股)董事長 廖祿立

作者簡歷

白明憲先生 1981 年畢業於國立清華大學動力機械系。於 1984 年獲得國立政治大學企業管理碩士後，分別於 1985 年與 1989 年在美國 Iowa State University 獲得機械工程碩士和力學與航太工程博士學位。1989 年返台服務於國立交通大學，擔任機械系教授迄今。曾於 1997、2000、2002 年分別前往 CAV, Penn State University, ME, Adelaide University, Australia, ISVR, South Ampton University, UK 訪問研究。在 2007 年，於交通大學成立“聲音與音樂碩士學位學程”(Master Program of Sound and Music Innovative Technology, SMIT)，並擔任學程主任，致力於聲音科技之研發。研究興趣廣泛，涵蓋聲學、音訊訊號處理、電聲換能器、噪音與振動監測診斷、主動噪音與振動控制等。至今在上述領域已有學術論文及專書逾百餘篇，並有專利十數件，同時與業界有數項大型研發合作案之進行中。1994 年以“汽車電子消音器”獲 TI、DSP 設計競賽優等獎，1995 年以“智慧型材料主動振動控制器”獲 TI、DSP 競賽優等獎，1996 年以“適應性強健控制應用於主動噪音控制器”獲 TI、DSP 競賽佳作暨團體獎，2004 年獲頒交通大學研究獎，2004 年第二屆全國 SoC 系統晶片設計比賽“數位消費性電子類 SoC 組”獲特優獎，2007 年獲頒上銀獎、中國工程學會傑出工程教授獎、國科會傑出研究獎、車輛測試中心傑出論文獎，詳見個人網頁 http://wwwdata.me.nctu.edu.tw/acoustics/index_c.htm。

白明憲先生為 Acoustical Society of America(ASA)會員、Audio Engineering Society(AES)會員、中華民國音響學會會員、中華民國振動噪音工程學會會員理監事、Open Acoustic Journal 編輯委員。

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。

「聲學」是指聲音的科學，泛指一切有關聲音的學問，本書作者有感於現今的社會裡聲學的應用重要性與日俱增，學術界與產業界對聲學相關的課程需求日殷，但國內中文的聲學教材卻非常稀少，因此將自己十餘年的教學與研究經驗及課堂上的講義編著成書，希望對國內聲學教育盡綿薄之力。本書主旨在：1.提供學界及業界聲學的入門中文教材。2.建立初學者對聲學理論廣泛的基本觀念。3.介紹與聲學相關的各種應用。4.介紹主動式噪音控制的新科技。讀者在讀完本書後可輕鬆地建立對聲學的理論架構和實務基礎。

同時，爲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，我們將竭誠爲您服務。

相關叢書介紹

相關叢書介紹

書號：0565703

書名：基礎工程數學(第四版)

編著：沈昭元

16K/400 頁/400 元

書號：0553801

書名：Audio coding 技術手冊：MP3 篇

(第二版)

編著：吳炳飛,顏志旭,林煜翔,魏宏宇,張芷燕

20K/296 頁/300 元

書號：05490027

書名：語音訊號處理(附語音資料光碟片)

(修訂二版)

編著：王小川

20K/424 頁/400 元

書號：0297902

書名：振動學(修訂二版)

編著：王栢村

20K/384 頁/380 元

書號：0561101

書名：聲學原理與噪音量測控制(修訂版)

編著：蔡國隆,王光賢,涂聰賢

16K/432 頁/480 元

書號：03565

書名：超音波工程

日譯：鄭振東

20K/312 頁/340 元

目 錄

第1章 聲場統御方程式

1-1

1-1	前 言	1-1
1-2	狀態方程式(equation of state)	1-5
1-3	連續性方程式(equation of continuity)	1-6
1-4	動量方程式(equation of momentum)	1-7
1-5	波動方程式(wave equation)	1-10
1-6	速度位能(velocity potential)	1-13
1-7	聲場能量密度(acoustic energy density)	1-15
1-8	聲速(speed of sound)	1-17
1-9	簡諧分析(harmonic analysis)	1-19
1-10	二階系統(second-order systems)	1-27
1-11	平面波(plane waves)	1-33
1-12	球面波(spherical waves)	1-38
1-13	分貝(dB, decibel)	1-41
	習 題	1-43

第2章 反射與透射現象

2-1

2-1 前言.....	2-1
2-2 流體間之透射：正向入射(normal incidence).....	2-3
2-3 多層流體間之透射.....	2-6
2-4 斜向入射(oblique incidence).....	2-9
2-5 流體與固體界面：吸音材料.....	2-14
2-5-1 單層界面：斜向入射.....	2-14
2-5-2 吸音材料(sound-absorbing materials).....	2-16
2-6 隔音板(partition).....	2-21
習題.....	2-30

第3章 聲學輻射、散射與繞射

3-1

3-1 前言.....	3-1
3-2 預備知識.....	3-2
3-2-1 脈動球(pulsating sphere).....	3-2
3-2-2 赫姆茲方程式之固有函數展開.....	3-4
3-2-3 格林函數(Green's function).....	3-6
3-2-4 聲學互易性(acoustic reciprocity)與簡單 聲源(simple sources).....	3-20
3-3 基本聲源模型.....	3-25
3-3-1 偶極子(dipole).....	3-25
3-3-2 陣列(array).....	3-30
3-3-3 線聲源(cotinuuous line source).....	3-37
3-3-4 屏障活塞(baffled piston).....	3-40

3-4 集中參數輻射模式 (lumped parameter radiation model).....	3-53
3-5 聲場與結構互制現象.....	3-56
3-5-1 輻射阻抗(radiation impedance).....	3-56
3-5-2 聲場與結構耦合.....	3-63
3-6 平板聲學輻射.....	3-65
3-6-1 平板彎曲振動.....	3-65
3-6-2 無限平板之聲學輻射.....	3-68
3-6-3 有限平板之聲學輻射.....	3-74
3-6-4 點激振無限平板的聲學輻射.....	3-81
3-7 散射(scattering).....	3-83
3-8 繞射(diffraction).....	3-87
習 題.....	3-92

第4章 管路與密閉空間聲場	4-1
----------------------	------------

4-1 前 言.....	4-1
4-2 一維管路聲場.....	4-2
4-2-1 管路聲場與共鳴現象.....	4-2
4-2-2 駐波(standing wave)與阻抗管 (impedance tube).....	4-5
4-2-3 其他效應.....	4-10
4-2-4 號角(horn).....	4-14
4-3 三維管路聲場：波導(waveguides).....	4-17
4-4 三維密閉空間聲場(enclosed field).....	4-25
習 題.....	4-33

5-1	前 言	5-1
5-2	電路類比(circuit analogy)	5-2
5-2-1	機械系統	5-3
5-2-2	動性類比與阻抗類比間的轉換	5-9
5-2-3	聲學系統	5-11
5-2-4	基本換能機制	5-18
5-3	機電雙埠(electro-mechanical two-ports)	5-26
5-4	揚聲器(loudspeaker)	5-37
5-4-1	單體分析	5-38
5-4-2	單體響應	5-44
5-4-3	電阻抗與揚聲器常數量測	5-47
5-4-4	揚聲器性能評估	5-57
5-4-5	密閉音箱揚聲器	5-64
5-4-6	低音反射式設計	5-69
5-4-7	平面喇叭	5-72
5-5	麥克風	5-76
5-5-1	動圈式麥克風(moving-coil microphone)	5-77
5-5-2	靜電式麥克風(electrostatic microphone)	5-80
5-5-3	指向性麥克風設計 (the design of the directional microphone)	5-93
5-6	壓電換能器(piezoelectric transducers)	5-103
	習 題	5-129

6-1 前言.....	6-1
6-2 赫姆茲共鳴器與機電聲類比.....	6-2
6-3 聲學濾波器(acoustic filter)與聲源等效電路	6-8
6-4 轉移矩陣(transfer matrix).....	6-13
6-4-1 基本聲學單元.....	6-13
6-4-2 雙埠與聲學濾波器分析	6-20
6-5 反應型消音器實例	6-24
6-6 耗散型消音器.....	6-33
習題.....	6-35

7-1 前言.....	7-1
7-2 擴散聲場模式.....	7-2
7-3 直接聲場(direct field)與殘響聲場 (reverberant field).....	7-8
7-4 聲功率量測	7-11
7-5 防音罩(enclosure).....	7-17
7-6 透射損失(transmission loss).....	7-20
7-7 音線法.....	7-21
習題.....	7-25

第8章 噪音診斷與防治

8-1

8-1 前言.....	8-1
8-2 噪音診斷(noise diagnostics).....	8-5
8-2-1 噪音型態.....	8-5
8-2-2 噪音量測基礎.....	8-7
8-2-3 噪音量測指標.....	8-11
8-2-4 噪音源辨識(noise source identification).....	8-15
8-2-5 氣動力噪音(aerodynamic noise).....	8-29
8-3 噪音防治.....	8-38
8-3-1 噪音問題構成要素.....	8-38
8-3-2 防治對策與一般性原則.....	8-39
8-3-3 噪音診斷與防治流程.....	8-42
8-3-4 防治元件.....	8-45
習題.....	8-56

第9章 主動噪音控制

9-1

9-1 前言.....	9-1
9-2 ANC 物理.....	9-8
9-2-1 消音機制.....	9-8
9-2-2 二次控制目標函數.....	9-10
9-2-3 ANC 問題之複雜性.....	9-19
9-3 ANC 控制系統分析與設計.....	9-22
9-3-1 標準控制架構 (standard control framework).....	9-22

9-3-2	空間前饋結構 (spatially feedforward structure).....	9-31
9-3-3	ANC 結構的選擇.....	9-38
9-3-4	控制演算法.....	9-43
9-4	ANC 系統實現.....	9-51
9-4-1	ANC 系統架構.....	9-51
9-4-2	換能器位置與數量.....	9-56
9-4-3	系統識別.....	9-59
9-5	結論與展望.....	9-62
	習題.....	9-63

第10章 虛擬實境 3D 音訊信號處理 10-1

10-1	引言.....	10-1
10-2	歷史回顧.....	10-3
10-3	3D 聲場重現 (3D sound field reproduction).....	10-4
10-4	聲場重現方式.....	10-10
10-5	建立三維自由聲場頭部轉移函數資料庫.....	10-14
10-6	HRTF 合成演算法的發展.....	10-27
10-7	揚聲器聲場重現系統發展.....	10-46
10-8	房間響應之電子合成.....	10-68
10-9	高效率簡化技術.....	10-86
10-10	3D 聲場重現 DSP 平台發展.....	10-96
10-11	3D 聲場重現系統應用開發.....	10-103
10-12	結 論.....	10-109
	習 題.....	10-110