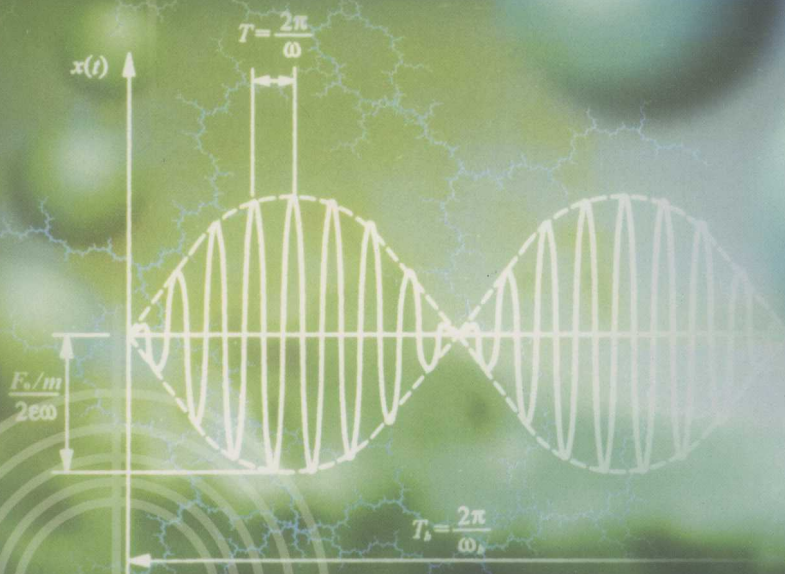
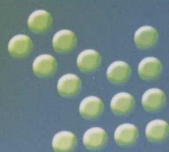


振動學

修訂二版

王栢村 編著



032
2018.2

振動學

王栢村 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

振動學 / 王栢村編著. -- 三版. -- 臺北縣土城

市：全華圖書，2008.05

面：公分

參考書目：面

ISBN 978-957-21-6451-8(平裝)

1. 振動

332.26

97008857

振動學

作者 / 王栢村

執行編輯 / 邱淑蓮

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 / 0297902

三版一刷 / 99 年 8 月

定價 / 新台幣 380 元

ISBN / 978-957-21-6451-8 (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 臺北縣土城市忠義路 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 26-1 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



機械振動為機器運轉中常見的現象，而機械振動之探討與分析，一直是工業界持續努力，而極待解決之問題。機械振動分析在國內，可以說尚在起步階段，以往大都在研究所階段，才有開授機械振動相關課程，目前許多大專院校也逐漸重視機械振動之需要，在國外，一般工程科系振動學幾乎已是大學部必修課程之一，而許多相關之應用課程，在在需要振動學之基礎。個人自返國任教，即從事振動與噪音相關之教學與研究工作，有感於國內鮮少有母語化之振動力學教材，遂著手撰寫此書，本書目的旨在：

1. 提供大專院校機械相關科系，有關機械振動或振動學課程之入門教本。
2. 提供初學者對振動基本概念之了解與分析。
3. 提供工業界人士學習基礎振動分析之參考用書。

本書之架構與安排說明如下：

第一章首先介紹振動分析步驟：包括(1)數學模式化，(2)推導運動方程式，(3)求解分析，及(4)解釋結果。接著介紹各種振動基本元件，如質塊、彈簧、阻尼等，以及自由度之定義，數學模式化過程，如何推導運動方程式及作等效系統分析。

第二章介紹單自由度系統之自由振動分析，在求取系統之自然頻率及響應，考慮典型之系統，如質塊與滑輪，剛性長形質塊，及旋轉系統，並處理包括無阻尼、黏滯阻尼、庫倫阻尼及結構阻尼等之自由振動分析，以及單自由度系統之穩定性分析。

第三章則介紹單自由度系統，包括無阻尼、黏滯阻尼、庫倫阻尼及結構阻尼，受簡諧外力激振之系統響應，以及暫態響應與穩態響應之區別，同時介紹單自由度系統之典型應用實例，包括旋轉不平衡，基座激振、隔振及量測轉換器等。

第四章考慮了單自由度系統受任意形式外力作用之解析，處理包括週期性外力、脈衝力及步階力等，針對任意形式外力之激振，分別以旋轉積分法，數值方法及頻率響應解析法作介紹，最後探討脈衝響應函數及頻率響應函數解析過程之比較。

第五章針對雙自由度系統為主，作為多自由度系統分析之基礎，首先闡述座標系統轉換之觀念，包括靜態耦合、動態耦合及二者之耦合狀況，接著分別探討雙自由度系統之自由振動分析及簡諧外力激振分析，最後探討振動吸收器之雙自由度系統應用。

第六章首先介紹多自由度系統運動方程式之通式，接著分別考慮無阻尼、具比例阻尼及非比例阻尼系統之分析，包括自由振動分析之特徵值問題，在求得系統之自然頻率及模態向量，並探討模態向量之正交性關係，以及應用模態分析方法於自由振動與強制振動問題，以求解系統之響應。同時介紹模態方程式之概念，係為實驗模態分析之基礎，以及穩定性分析之觀念，最後介紹如唐克利公式及雷利商值在自然頻率之近似求法。

第七章則探討連續系統，如線之側向振動，柱之軸向振動，軸之旋轉振動及樑之側向振動等問題。首先介紹此等連續系統運動方程式

之推導，以及邊界條件與初始條件之定義，以完整地描述分析之問題，接著分別介紹典型之連續系統，如柱軸向振動及樑側向振動之自由振動分析，包括求自然頻率及模態函數，並探討模態函數之正交性關係，最後應用模態分析方法於自由振動及強制振動問題之系統響應分析。

第八章簡介隨機振動問題，首先探討隨機過程，介紹有關描述隨機變數之統計參數，如期望值、平均值、標準差及平方平均根值等，另外，也介紹如機率密度函數、機率分佈函數、相關函數及能量頻譜密度函數等，作為隨機振動分析之基礎。最後分別介紹單一輸入／單一輸出及多個輸入／多個輸出線性系統之隨機振動解析步驟與方法。

本書之安排，以循序漸進方式，由單自由度系統、多自由度系統，到連續系統；由自由振動分析、到強制振動分析；由簡諧外力激振、週期性外力激振、任意形式外力激振，到隨機外力激振；由問題定義、數學模式化、運動方程式推導，到求解及現象分析。教學上之安排，適於基礎振動學一學期之課程，教師可依實際情況及需要，適當地略過較獨立之章節，如目錄有“☆”標註。

本書每章開頭均列出學習目標，供讀者作為每章學前之指引，每章結束均列有問題與討論，值得讀者作為自我學習效果與書中內容了解程度之評量，如未能回答或討論所列問題，則讀者可依列出之問題作為研讀目標，以增進學習效率。

本書每章均有適當之例題介紹，以使讀者了解相關問題之實際解析過程，另外，每章均附有習題，除了讀者自我評量外，也可作為教學上之作業習題，按個人學習過程及教學經驗，讀者若能實際作業經過適當設計之習題，最能反應學習效果，而且可增進對學科之了解與認識。本書另外也有以視窗方式，整理主要之解析結果或分析過程除

了便於參考外，值得讀者深思熟慮，同時讀者亦可嘗試整理出自己的視窗。

撰寫本書實在存著戒慎恐懼之心，自覺對振動問題尚未全盤了解，即撰寫本書，而且是基礎性之教科書，頗為汗顏，惟恐未能詮釋振動之精神所在，更怕有所錯誤遺漏，尤其撰稿時間匆促，難免有所疏忽缺失，望祈各界先進惠予指正，以便爾後修訂。

在此要感謝本系師生對個人之照顧與支持，特別要感謝永達工專鄒國益博士之鼓勵與建議，以及全華科技圖書公司之協助，俾使本書能付梓出版。尤其要感謝家人對個人從事教學與研究工作之體諒，謹以此書獻給我的家人。

王栢村 謹識

於國立屏東技術學院

機械工程技術系



「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。

本書採循序漸進方式，由單自由度系統、多自由度系統、到連續系統；由自由振動分析到強制振動分析；由簡諧外力激振、周期性外力激振、任意形式外力激振到隨機外力激振等方式，若有順序的詳讀將可增進讀者對這學科的了解與認識。本書適合大專院校機械相關科系使用，亦適合工業界專業人士參考使用。

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

書號：05481017
書名：ANSYS 電腦輔助工程實務
分析(附範例光碟)
編著：陳精一
16K/824 頁/650 元

書號：05196047
書名：ANSYS 入門(附 ED 版光碟)
(修訂四版)
編著：康 淵, 陳信吉
16K/376 頁/690 元

書號：05551
書名：ANSYS 與電腦輔助工程分析
(網路 e 化精簡版)
編著：龔皇光, 黃柏文, 陳鴻雄
16K/312 頁/320 元

書號：05692017
書名：ABAQUS 實務入門引導
(附動態影音教學及試用
版光碟片)
編著：愛發股份有限公司
16K/576 頁/550 元

書號：05890
書名：ABAQUS 進階動力學
by APIC
編著：愛發股份有限公司
16K/288 頁/350 元

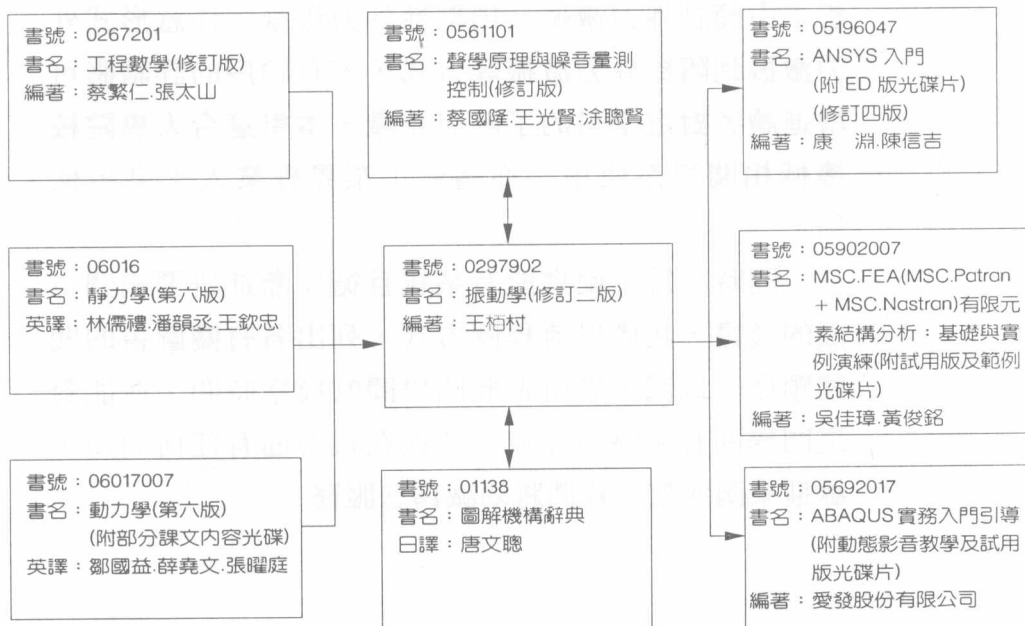
書號：05784007
書名：UG NX III 電腦輔助模具
設計(附範例光碟片)
編著：黃俊明, 吳運明, 詹永裕
16K/536 頁/600 元

書號：05902007
書名：MSC.FEA(MSC.Patran
+ MSC.Nastran)有限元
素結構分析：基礎與實
例演練(附試用版及範例
光碟片)
編著：吳佳璋, 黃俊銘
16K/552 頁/560 元

書號：05957017
書名：COSMOSWorks 電腦
輔助工程分析—入門
篇 Designer
(附範例光碟)(修訂版)
編著：實威科技股份有限公司
16K/272 頁/450 元

◎上列書價若有變動，請
以最新定價為準。

流程圖





目錄

第一章 振動力學簡介

1-1

學習目標	1-2
1-1 振動分析步驟	1-2
1-2 基本振動元件	1-3
1-3 自由度	1-6
1-4 數學模式化實例分析	1-8
1-5 推導運動方程式	1-9
1-5-1 牛頓第二定律	1-9
1-5-2 拉格蘭日式	1-12
1-6 等效系統分析	1-15
1-6-1 等效彈簧常數	1-15
1-6-2 等效質量	1-20
問題與討論	1-25
習題	1-26

第二章 單自由度系統自由振動分析 2-1

學習目標	2-2
2-1 單自由度無阻尼振動系統	2-2
2-1-1 質塊自重之影響	2-2
2-1-2 自由振動分析	2-4
2-2 質塊與滑輪系統之解析	2-9
2-3 具剛性長形質塊系統之解析	2-18
☆2-4 旋轉系統之解析	2-23
2-5 能量法之應用	2-26
2-6 單自由度質塊-彈簧-阻尼系統	2-30
2-6-1 自由振動分析	2-31
2-6-2 穩定性分析	2-36
2-7 半自由度及一個半自由度系統	2-38
2-8 阻 尼	2-42
2-8-1 對數衰減	2-42
☆2-8-2 庫倫阻尼	2-44
☆2-8-3 遲滯阻尼或結構阻尼	2-49
問題與討論	2-52
習 題	2-53

第三章 單自由度系統之簡諧激振響應 3-1

學習目標	3-2
3-1 單自由度無阻尼系統簡諧激振響應	3-2
3-2 單自由度具阻尼系統簡諧激振響應	3-8
3-3 單自由度具阻尼系統 $f(t) = F_0 e^{i\omega t}$ 之響應	3-17
☆3-4 拉普拉斯轉換之應用	3-21
3-5 單自由度系統之應用實例	3-25
3-5-1 旋轉不平衡	3-25
3-5-2 基座激振	3-29
3-5-3 隔振	3-35
3-5-4 量測轉換器	3-40
3-5-5 單自由度系應用實例之整理	3-44
☆3-6 庫倫阻尼系統之簡諧激振響應	3-48
☆3-7 結構阻尼系統之簡諧激振響應	3-51
問題與討論	3-54
習題	3-55

第四章 單自由度系統受任意外力 激振之響應 4-1

學習目標	4-2
------	-----

4-1	週期性外力之響應	4-2
4-2	非週期性外力之響應	4-7
4-2-1	脈衝力之響應	4-7
☆4-2-2	步階力之響應	4-9
4-3	任意外力之響應：旋轉積分解析	4-13
☆4-4	任意外力之響應：數值方法解析	4-21
4-5	任意外力之響應：頻率響應解析	4-23
4-6	脈衝響應函數解析與頻率響應函數解析 之比較	4-28
問題與討論		4-31
習題		4-32

第五章 雙自由度振動系統

5-1

學習目標	5-2
5-1 運動方程式	5-2
5-2 座標系統轉換	5-4
5-2-1 靜態耦合或彈性耦合	5-4
5-2-2 動態耦合或彈性耦合	5-5
5-2-3 靜態與動態耦合	5-7
5-3 無阻尼系統之自由振動分析	5-9
5-4 簡諧激振之響應	5-17
☆5-5 振動吸收器	5-18
☆5-6 半定系統	5-23

問題與討論	5-25
習題	5-25

第六章 多自由度系統 6-1

學習目標	6-2
6-1 多自由度系統之運動方程式	6-2
6-2 無阻尼系統之自由振動分析：特徵值問題	6-4
6-3 無阻尼系統之自由振動分析：模態分析	6-12
6-4 無阻尼系統之強制振動分析	6-17
6-5 具比例阻尼之振動系統分析	6-20
☆6-6 非比例阻尼之振動系統分析	6-23
☆6-7 穩定性分析	6-28
☆6-8 撓度和勁度矩陣	6-29
☆6-9 自然頻率與模態近似解法	6-35
問題與討論	6-42
習題	6-43

第七章 連續系統 7-1

學習目標	7-2
7-1 連續系統之運動方程式	7-2
7-1-1 線之側向振動	7-3

7-1-2	柱之軸向或縱向振動	7-7
7-1-3	軸之旋轉振動	7-9
7-1-4	樑之側向振動	7-12
☆7-1-5	樑受軸向力之側向振動	7-17
☆7-1-6	樑考慮旋轉慣性及剪變形之側向振動	7-19
7-1-7	連續系統運動方程式整理	7-22
7-2	柱軸向振動之自由振動分析	7-23
7-3	柱之軸向振動之強制振動分析	7-32
7-4	樑側向振動之自由振動分析	7-37
7-5	樑側向振動之強制振動分析	7-47
	問題與討論	7-53
	習題	7-54

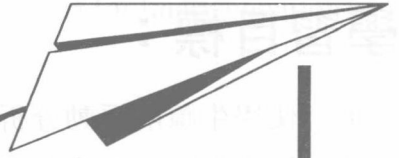
第八章 隨機振動

8-1

學習目標	8-2
8-1 隨機過程	8-2
8-1-1 機率密度函數及機率分佈函數	8-2
8-1-2 隨機變數之各種參數特性	8-4
8-1-3 常態分佈	8-6
8-1-4 相關函數	8-8
8-1-5 能量頻譜密度函數	8-10
8-2 線性系統之傅立葉轉換	8-15

8-3	線性系統受隨機激振之響應	8-16
8-3-1	單一輸入／單一輸出系統	8-17
☆8-3-2	多個輸入／多個輸出系統	8-22
	問題與討論	8-26
	習題	8-27

中英文對照表	中-1
英中文對照表	英-1
參考資料	參-1
作者簡歷	作-1



第一章

振動力學簡介