

結構動力學

(下冊)

Dynamics
of Structures

原著者：Ray W. Clough

Joseph Penzien

譯述者：陳嘉煒

科技圖書股份有限公司

結構動力學

(下冊)

Dynamics
of Structures

原著者：Ray W. Clough

Joseph Penzien

譯述者：陳 嘉 煒

科技圖書股份有限公司

目 錄

原 序

譯者序

作者簡介

符號解釋

第一章 結構動力概論

1.1	結構動力分析的基本目的	1
1.2	既定符重的型式	2
1.3	動力問題的基本特性	4
1.4	分離法	5
1.5	運動方程式的推導	9
1.6	課文的編排	12

第一篇 單自由度系統

第二章 運動方程式的推導

2.1	基本動力系統的組件	17
2.2	推導法	18
2.3	重力的影響	20
2.4	支承擾動力的影響	21
2.5	廣義單自由度系統：剛體組合	23
2.6	廣義單自由度系統：分佈柔度	29

2.7	廣義系統諸特性的表示法	34
習題	.....	37

第三章 自由振動反應

3.1	運動方程式之解	41
3.2	無阻尼自由振動	42
3.3	阻尼自由振動	44
習題	.....	50

第四章 受諧和荷重的反應

4.1	無阻尼系統	52
4.2	阻尼系統	54
4.3	共振反應	60
4.4	加速度計與位移計	62
4.5	隔離振動	64
4.6	單自由度系統中阻尼值的求法	69
習題	.....	77

第五章 受週期荷重的反應

5.1	荷重用富氏級數表示法	80
5.2	受富氏級數荷重的反應	81
5.3	富氏級數解的指數形式	83
習題	.....	85

第六章 受衝擊荷重的反應

6.1	衝擊荷重的一般特性	87
-----	-----------------	----

6.2	正弦波衝擊力	88
6.3	矩形衝擊力	91
6.4	三角形衝擊力	92
6.5	震譜或反應譜	94
6.6	衝擊荷重反應的近似分析法	96
習題	.....	98

第七章 受一般動力荷重的反應

7.1	無阻尼系統的杜比積分	100
7.2	無阻尼系統杜氏積分的數值計算	102
7.3	阻尼系統的反應	105
7.4	頻率範圍內的反應分析	108
7.5	頻率範圍內的數值分析	113
習題	.....	116

第八章 非線性結構反應分析

8.1	分析步驟	118
8.2	平衡方程式的增量形式	119
8.3	逐步積分	121
8.4	分析步驟摘要	123
習題	.....	128

第九章 雷利氏振動分析法

9.1	基本概念	129
9.2	廣義系統的近似分析	131
9.3	振態的選擇	133
9.4	改進的雷利法	137
習題	.....	141

第二篇 多自由度系統

第十章 多自由度運動方程式的推導

10.1 自由度的選取	145
10.2 動力平衡條件	146
10.3 軸向力效應	149

第十一章 結構特性矩陣的計算

11.1 彈性結構性質	151
11.2 質量特性	160
11.3 阻尼特性	165
11.4 外力	165
11.5 幾何勁度	167
11.6 特性推導法的選擇	172
習題	174

第十二章 無阻尼自由振動

12.1 振動頻率分析	176
12.2 振動形態分析	179
12.3 柔度法振動分析	182
12.4 軸向力的影響	182
12.5 正交條件	184
習題	189

第十三章 動力反應分析

13.1	正交座標	191
13.2	分離的運動方程式：阻尼	193
13.3	分離的運動方程式：無阻尼	194
13.4	振動疊加法步驟總結	199
	習題	206

第十四章 實用的振動分析

14.1	總論	208
14.2	史托多拉法	209
14.3	用矩陣迭代法作挫屈分析	222
14.4	何勒法	226
14.5	自由度的縮減	235
14.6	矩陣迭代法的基本觀念	243
14.7	動態矩陣的對稱形式	252
14.8	非束制結構物的分析	255
	習題	258

第十五章 非線性系統分析

15.1	簡介	260
15.2	增量平衡方程式	262
15.3	逐步積分-線性加速度法	263
15.4	絕對穩定的線性加速度法	265
15.5	威爾遜 θ 法的性能	268

第十六章 用變分法推導運動方程式

16.1	廣義座標	271
16.2	拉格蘭治運動方程式	273
16.3	一般運動方程式的推導	279

16.4 束制與拉格蘭治乘數	284
習 題	287

第三篇 分佈—參數系統

第十七章 偏微分運動方程式

17.1 簡介	293
17.2 受彎梁：基本情況	294
17.3 受彎梁：含軸向力效應	296
17.4 受彎梁：含剪力變形與轉動慣量	298
17.5 受彎梁：含滯性阻尼	301
17.6 受彎梁：廣義的支承擾動	302
17.7 軸向變形	305
習 題	306

第十八章 無阻尼自由振動分析

18.1 受彎梁：基本情況	308
18.2 受彎梁：含軸向力效應	317
18.3 受彎梁：含剪力變形與轉動慣性	318
18.4 受彎梁：振動形態的正交性	321
18.5 軸向變形的自由振動	323
18.6 軸向振態的正交性	325
習 題	326

第十九章 動力反應分析

19.1 正規座標	328
19.2 分離的受彎運動方程式：無阻尼	331
19.3 分離的受彎運動方程式：阻尼	336

19.4 分離的軸向運動方程式：無阻尼	338
習題	342

第二十章 動態直接勁度法

20.1 簡介	345
20.2 動態受彎 - 勁度矩陣	346
20.3 抗彎與剛體軸向彎位的動態勁度	353
20.4 動態軸向變形的勁度矩陣	357
20.5 聯合抗彎與軸向變形勁度	358
20.6 軸向力對橫向彎曲勁度的影響	360
習題	362

第二十一章 波傳導分析

21.1 基本軸向波傳導方程式	364
21.2 邊界條件的考慮	369
21.3 構件特性的不連續性	371
21.4 鎚擊時所產生的應力波	377
21.5 房屋結構的剪力波傳	382
習題	384

第四篇 隨機變數

第二十二章 機率論

22.1 單一隨機變數	389
22.2 單一隨機變數的重要平均數	394
22.3 一維隨機漫步	396
22.4 兩個隨機變數	403
22.5 兩個隨機變數的重要平均數	412

22.6	散置圖與兩個隨機變數的相關性	416
22.7	二維隨機漫步	419
22.8	m個隨機變數	430
22.9	常態分佈隨機變數的線性轉換	432
習題	.....	433

第二十三章 隨機過程

23.1	定義	436
23.2	穩定過程與全態過程	438
23.3	穩定過程的自相關函數	444
23.4	穩定過程的功率譜密度函數	449
23.5	功率譜密度函數與自相關函數間的關係	451
23.6	隨機過程導函數的功率密度函數與自相關函數	454
23.7	穩定過程的疊加	455
23.8	穩定的高斯過程：單一獨立變數	457
23.9	穩定的高斯白訊	464
23.10	極大值的機率分佈	468
23.11	極值的機率分佈	472
23.12	不穩定的高斯過程	476
23.13	穩定高斯過程：兩個或兩個以上獨立變數	476
習題	.....	478

第二十四章 線性單自由度系統的隨機反應

24.1	傳遞函數	482
24.2	單位衝量函數與複數頻率：反應函數間的關係	485
24.3	輸入與輸出自相關函數間的關係	489
24.4	輸入與輸出功率譜密度函數間的關係	492
24.5	狹帶系統的反應特性	495
24.6	由起始條件為零所產生的不穩定均方反應	498

24.7 狹帶系統的疲乏預測	502
習 題	504

第二十五章 線性多自由度系統的隨機反應

25.1 線性系統在時間域內的反應	508
25.2 線性系統在頻率域內的反應	510
25.3 受分離荷重後的反應	511
25.4 受分佈荷重的反應	515
習 題	516

第五篇 地震對結構反應的分析

第二十六章 地震學緒論

26.1 引言	521
26.2 地震的頻度	522
26.3 地震的彈性反射理論	525
26.4 地震波	528
26.5 地表運動特性的測度	531
26.6 設計地震的選取	539

第二十七章 地震反應的肯定分析

27.1 地震輸入的機制	544
27.2 剛性基底平移所產生的擾動	546
27.3 剛性支承轉動所造成的擾動	574
27.4 多重支承擾動	575
27.5 基礎介質對地震反應的影響	578
27.6 受地震作用的非線性反應	594
習 題	604

第二十八章 地震反應的非肯定分析

28.1	強烈地表運動的隨機模式	611
28.2	線性系統的分析	616
28.3	非線性系統的分析	617
28.4	單自由度系統的極值反應	618
28.5	多自由度系統的極值反應	626

第三篇

分佈—參數系統

Distributed-Parameter
Systems

第十七章

偏微分運動方程式

17.1 簡 介

第二篇中所討論的分離式座標系統，在分析任何結構物的動力反應時爲一方便而又實用的辦法。但因系統的運動只由有限幾個位移座標來表示，故從這些座標所得的解，只能近似真正的動態行爲。如在分析時增加自由度，結果可達到希望的精度。但原則上，對具連續分佈特性的任何真實結構物而言，必需採用無限多的座標才能得到精確解。故用這種方法想求得精確解，事實上是不可能。

考慮無限多個相連點行爲的數學方法係採用微分方程式，並將位置座標作爲獨立變數。因在動力問題中，時間也是一個獨立變數，故用這種方法推導運動方程式，會得一偏微分方程。各不同連續系統可由描述其物理

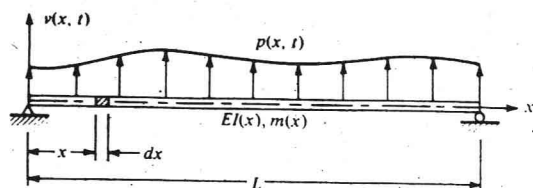
特性分佈所需的獨立變數的數目來歸類。例如，用於地震學及地球物理的波傳導公式，是由一般的三度空間固體導出的。同理，研究薄板與薄殼結構物的動態行為時，必需由這些二維系統導出特別的運動方程式。但目前所討論的只限於一維結構物，亦即梁或桿狀系統，可假設其物理特性（質量、勁度等等）只用沿着彈性軸位置的單一座標就能表示的。故這些系統的偏微分方程，僅含有兩個獨立變數，也就是時間與沿着軸的距離。

若要推導包含很多構件在三度空間組合而成相當複雜的一維結構物的運動方程式是可能的。此外，個別構件的軸，也可在三度空間中成任意曲度，而其物理特性也可沿軸以任何複雜的函數變化。可是，解這種複雜系統，一般只能用數值法，而在大部份情況下，解這種連續體方程式，用分離座標法要比用數值法為優。所以，目前的討論，只限於直軸構件以及這些構件的組合體。在推導運動方程式時，允許沿軸的物理特性依一般性變化。但以下求解這些方程式時都是假設其特性為一定。因所討論的情況已加上很多的限制。故以下的敘述，主要在於說明推導偏微分方程式的一般性概念，而不在於對實際的應用提供求解的工具。

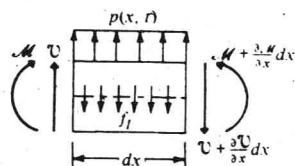
17.2 受彎梁：基本情況

首先要推導的連續體運動方程式如圖 17-1a 的非均一性直桿。假設梁的重要物理特性為抗彎勁度 $EI(x)$ 與單位長的質量 $m(x)$ ，兩者在梁跨度 L 上，可隨位置 x 作任意變化。假設側向荷重 $p(x, t)$ 可隨時間與位置作任意變化，而側向位移反應 $v(x, t)$ 也是這兩個變數的函數。為求說明起見，梁的端支承，繪成簡支情況，但其端點支承可為任何情況。

推導這種簡單系統運動方程式可考慮作用在圖 17-1b 某一小段梁上



(a)



(b)

圖 17-1
基本的梁受到動荷重 (a)梁特性及座標；(b)作用於微量元素上的力

的力平衡。此與分離參數系統所採用的大致相同。將垂直方向的作用力總加起來，可得第一個動態平衡關係式

$$V + p \, dx - \left(V + \frac{\partial V}{\partial x} dx \right) - f_i \, dx = 0 \quad (17-1)$$

其中 $f_i \, dx$ 代表分佈的側向力，而為該微量質量與該處加速度的乘積

$$f_i \, dx = m \, dx \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (17-2)$$

將 (17-2) 式代入 (17-1) 式後再化簡而得

$$\frac{\partial V}{\partial x} = p - m \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (17-3)$$

上式可視為剪力與側向荷重間的標準關係式。此時側向荷重，包含梁由加速度而引起的慣性力。