

應用力學

原著者 Seely Ensign Jones
譯者 蘇金佳·敖仲寧

曉園出版社
世界圖書出版公司

應用力學

原著者 Seely Ensign Jones
譯者 蘇金佳·敖仲寧

曉園出版社
世界圖書出版公司

北京·廣州·上海·西安

1993

应用力学

S. E. 琼斯 著

苏金佳 敖仲宁 译

晓园出版社出版

北京朝阳区东三环北路15号

北京朝阳区东三环北路15号

北京朝阳区东三环北路15号

新华书店北京发行所发行 各新华书店经售

1993年11月第一版 开本: 850×1168 1/32

1993年11月第一次印刷 印张: 14.5

印数: 0001-800 字数: 33.6万字

ISBN: 7-5062-1641-8/O·80

定价: 11.40元 (W_{9304/11})

世界图书出版公司通过中华版权代理公司向晓园出版社购得重印权
限国内发行

原 著 序

本書內容正如其名，乃討論研習工程問題所必要的力學原理，其主要目的則在清楚的闡述力學原理，並儘可能依據平常的經驗（學生的經驗）來建立這些原理，且應用這些原理以解決實際工程上常遭遇到的一些問題。

若用不同的話來闡明相同的概念，那麼可以說本書主題以工程為着眼點，內容係為工科學生的力學入門課程而設計。雖然書中諸多章節的內容都利用數學來分析，但事實上也強調了工程人員所遭遇的大多數問題遠比數學分析能解決的要複雜得多。在第一章第二節中討論了工程問題的一般特點，作者認為學生宜對這些討論詳加注意。

本書的第五版與前幾版相同，將內容分為四個部份，亦即靜力學、運動學、動力學及特論。（運動學與動力學有時合併於運動力學內討論。）靜力學編排於第一部份，乃因其簡單且與學生過去的經驗有直接的關連。然而在第一章中所導出的一些觀念及基本原理，在動力學中亦同樣重要。作者認為在充份的時間內，對力學有相當的整體了解是極其必要的，而在探討更進一步的論題前，也必須對這些基本原理建立起明晰的觀念。本書中的一些基本原理也許在以前的物理或數學課程中即已甚為熟悉，但若能夠對第一章第二節的內容再詳加複習，對學生還是很有裨益的。

本書中運動學的內容，主要是做為研習動力學的入門，但是根據作者的經驗，在研討運動的動力學時若欲順利的應用運動學的原理，那麼運動的運動學特性仍應先單獨詳細討論。

自本書第一版發行迄今，已歷卅七年，隨着實際工程問題所強調重點的改變，本書的每一版對許多論題以及討論的方法也都作了相當的修訂。而隨着近年來各種實際工程問題以及工程教育的發展趨勢，本書第五版的內容亦作了相當的更動，部份更動的內容如下：

一、在介紹力系平衡時，利用了一般共面力系。對於諸如共線力系共

點力系及平行共面力系等較簡單力系的方程式，則由一般的解答方程式加以限制條件而求得。

二、有關纜索平衡的論題，內容較以前的版本更為充實。作者將其置於第四部份的特論中討論，教師可視需要在正常課程中講授或略去，亦可作為對該部份特別有興趣的學生的指定研習內容。

三、在第五版中較以前數版更強調如何決定一物體截面上的內力，並以維持物體平衡的外力表出。事實上此論題在本書中單列一章（第四章）討論，該章介紹如何決定構件的強度，這在日後研習材料力學時會學到，同時這也說明了日後的課程中所涉及平衡問題的許多應用中的一個。

四、在討論摩擦的章節中（第六章），加入了有關流體摩擦的內容，以反映流體力學在工程問題中日益重要的地位。

五、在本書第五版中特增加「向量分析概論」乙章，編排於第四部份，俾供求知心切的學生研習或供欲藉此方法探討靜力學及動力學的教師利用，同時亦編排了應用向量分析解問題的範例。在第十六章中，向量分析法更是導出Coriolis定理的有效工具。

六、動力學中慣性力法的應用亦單列一章（第十一章）討論，且較以往各版的討論內容更為詳盡。本章緊接在討論力、質量、加速度的章節之後，實際上也算是該章節的一部份。換句話說，第十章的內容對於第十一章的了解是極其必要的。

七、在動力學中，有關衝量及動量的章節係置於功與能的章節之前，故與力、質量、加速度的章節更接近。此乃因衝量與動量為向量，而力及加速度亦為向量，這兩章的處理方式較功與能的純量處理方式更為接近。

八、討論功與能的章節（第十三章）係討論純量，其內容更加強調了位勢函數的觀念與應用，同時有關保守系統的數學分析較以前的版本更為充實詳盡。

九、為了反映出近來強調利用功與能的方法來處理靜力學問題的趨勢，本書特加入一章以虛功的觀念探討物體平衡的問題。該章對學生在日後的課程中以能量法作結構及機件分析時特別有用。

十、本書仍保留第四部份中機械振動的章節。但該部份已做了縮減，僅討論具有一個自由度無阻尼的運動。這樣的內容對於介紹學生振動的基本概念已綽綽有餘，可使學生毫無困難地研讀更詳盡探討此論題的其他書籍。

十一、在第四版中所刪除有關面積慣性積的論題，在本第五版中編排於附錄內。此係根據讀者的反應，認為研習慣性矩時，教材內容亦應包含此一部份。

對於工程教育的發展趨勢，目前仍衆說紛紜；因此欲選擇最能爲人所接受且最有價值的趨向實非易事。作者仔細考慮過這些趨勢並嘗試著撰述這本極具彈性的教材以適合教師及學生的需要，使教師與學生均能各按其希望，在本書中研習不同的論題，並以不同的強調方法探討這些論題。

同時本書也加附了許多與實際工程情況或物理情況密切相關的習題，並有許多圖例來說明這些情況。書中約有一半的習題附有答案。

作者謹對在本書手稿整理期間提供寶貴建議的同仁深致謝忱，對曾採用本書以前各版本的各校教師及現場工程師亦在此一併致謝。

Urbana, Illinois

February 1958

Fred B. Seely

Newton E. Ensign

Paut G. Jones

目 錄

第一篇 靜 力 學

第 一 章 緒 論

§ 1 本書所處理問題的基本性質

1 簡介.....	1
2 工程問題的一般解法.....	2
3 理想化問題求解的進一步討論.....	4

§ 2 基本觀念及定義之複習

4 目的.....	4
5 剛體.....	5
6 力的觀念.....	5
7 力的外效應.....	5
8 力的要素.....	6
9 力之可傳性原理.....	6
10 力的量度・單位.....	6
純量和向量・力的向量表示法.....	7
12 力的分類・定義.....	7
13 平行四邊行和三角形定律.....	8
14 力之分解.....	9
15 力矩.....	12
16 力矩原理・維烈克能 (Varignon's) 定理.....	14
17 力偶.....	17
18 力偶之要素.....	18
19 力偶的向量表示法・力偶的分解及合成.....	19

20	分解一力爲一力及一力偶	20
21	問題之解法	23
22	因次方程式 (Dimensional equations)	25

第 二 章 力系之合力

23	引言	29
§1	共面力	
24	圖解法	30
25	代數法	36
§2	不共面力	
26	圖解法	43
27	不共面之共點力・代數法	43
28	不平面平行力・代數法	44
29	空間力偶系之合成・應用於力偶向量的平行四邊形原理	46
30	不共面、不共點、不平行力・代數法	48
§3	分佈力系	
31	分佈於表面上之力・壓力中心	49
32	分佈於整個體積中之力・重心及質量中心	53

第 三 章 共面力系之平衡

33	基本考慮	61
34	分離體圖	63
35	共面力系之平衡方程式	65
36	共面力系之特例	67
37	典型問題之圖解法	76
38	平衡問題的求解過程	77

第四章 結構及機械中構件之內力

39	基本考慮	87
§ 1	二力構件・桁架	
40	構架中之內力・代數法	87
41	桁架之圖解分析	93
§ 2	承受超過兩力的構件	
42	物體截面上之內力	96
43	內力與構件強度間的關係	99
44	樑中之剪力及彎矩	99

第五章 不共平面力系之平衡

45	平衡方程式	105
46	不共平面力之特例	105

第六章 摩 擦

47	摩擦之定義	115
48	乾摩擦	115
49	摩擦係數	116
50	摩擦角	117
51	包含摩擦力的問題種類	118
52	皮帶摩擦	126
53	樞軸摩擦	130
54	螺旋	131
55	滾動阻力	133
56	流體摩擦	135

第七章 從功及能之觀點看平衡虛功及最小位能原理概述

57	基本考慮	139
58	定義	140
§ 1	虛功原理	
59	理想系統的虛功原理	142
60	完全拘束物體上之反作用力	146
§ 2	最小位能原理	
61	位能	148
62	保守系統之最小位能說明	149
§ 3	平衡之穩定性	
63	穩定、不穩定及隨遇平衡	152

第二篇 運動學

第八章 質點的運動

64	引言	55
65	向量的加減法	155
66	運動的種類	156
67	線位移、速度及加速度	156
§ 1	質點之直線運動	
68	直線運動之加速慶	158
69	圖解說明	162
70	等加速直線運動	165
§ 2	質點的曲線運動	
71	曲線運動之軸向分量	167
72	角位移、角速度及角加速度	171
73	等加速圓周運動	173
74	線位移、線速度與角位移、角速度間之關係	173
75	曲線運動之切線與法線加速度	175

76	切線加速度 (a_t) 與角加速度 (α) 間之關係	180
77	位移、速度及加速度之徑向與橫向分量	183
§ 3	具諧和運動的機械振動運動學	
78	簡諧運動	187
§ 4	相對運動	
79	一質點相對於一組平移軸之運動	191

第九章 剛體運動

80	引言	199
81	剛體運動之種類	199
82	利用二分量之運動以分析平面運動	201
83	零速度之瞬心	208

第三篇 動力學

第十章 力，質量及加速度

§ 1	基本考慮，質點動力學	
84	引言	213
85	一般動力學問題	213
86	力系之要素	214
87	慣性與質量	214
88	牛頓定律	216
89	牛頓第二定律之數學表示法，單位	217
90	質點之運動方程式	218
91	解動力學問題之步驟	219
92	與位移成比例之力，自由振動	228
§ 2	物體之動力學	
93	引言，分析法	235

94	質點系質量中心之運動	236
95	平移剛體之動力學	239
96	旋轉剛體之動力學	245
97	打擊中心	251
98	剛體平面運動之動力學	253

第十一章 慣性力法

99	基本考慮	263
100	一質點的慣性力法	263
101	作平面運動的剛體之慣性力法	266
102	平面運動之特例的慣性力法	267
103	旋轉的慣性力法・不在運動平面上的力	270
104	旋轉體中的內力	274
105	旋轉體的平衡	276

第十二章 衝量與動量

106	基本考慮	281
§ 1	線衝量與線動量	
107	線衝量	282
108	線動量	283
109	線衝量與線動量原理	284
110	變動質量的物體之運動	289
111	動量不減	291
112	衝擊	293
§ 2	角衝量與角動量	
113	衝量矩・角衝量	295
114	動量矩，一質點的角動量	296
115	旋轉剛體的角動量	296
116	作平面運動的剛體之角動量	297

117	角衝量與角動量原理	300
118	以衝量與動量分析物體運動	303
119	角動量不減	305
120	迴轉儀 (The gyroscope)	307

第十三章 功與能

121	概說	315
§ 1 功		
122	不變力所作的功	315
123	變動力所作的功	316
124	力們所作的功	316
125	功爲純量，功的符號與單位	317
126	功的圖示法與計算	317
127	力系作用在物體上的功	318
§ 2 能		
128	能的定義	323
129	位能	324
130	動能	328
131	一質點的動能	328
132	一物體的動能	329
§ 3 功與能原理		
133	基本考慮	333
134	功與動能原理	334
135	利用功與能的分析法	335
136	能量不減	342
§ 4 功率與效率		
137	功率	343
138	效率的定義	344

第四篇 特殊論題

第十四章 撓性纜索

139 基本考慮	349
140 拋物線形纜索	349
141 懸鏈線	353

第十五章 向量分析概論

142 基本考慮	359
143 向量加法	359
144 以單位坐標向量表示向量的分量	360
145 向量乘法	361
146 兩向量的純量積或點積	362
147 兩向量的何量積或叉積	363
148 以向量表示的力矩	365
149 向量對於純量的導數	367

第十六章 一點相對於一組旋轉軸的運動・Coriolis定律

150 基本考慮	369
151 一點相對於一組固定坐標軸的運動	369
152 角速度爲一向量	370
153 旋轉單位向量的微分	370
154 一點對於一組旋轉軸的運動・Coriolis定律	371

第十七章 機械振動概論

155 基本考慮	377
156 自由振動	378

157 強迫振動.....	383
158 減少振動法.....	389

附 錄 一次矩與形心；慣性矩

§ 1 一次矩與形心

159 基本考慮.....	391
160 面積的一次矩.....	391
161 面積的形心.....	393
162 組合面積的形心.....	394
163 Pappus 與 Guldinus 定理.....	396

§ 2 面積的慣性矩

164 面積慣性矩的定義.....	398
165 極慣性矩.....	399
166 迴轉半徑.....	400
167 面積的平行軸定理.....	400
168 積分求慣性矩.....	402
169 組合面積的慣性矩.....	406
170 慣性積的定義.....	408
171 對稱軸.....	408
172 慣性積的平行軸定理.....	410
173 主軸.....	411
174 慣性矩的莫氏圓.....	413

§ 3 物體的慣性矩

175 質量慣性矩的定義.....	414
176 迴轉半徑.....	415
177 質量慣性矩的平行軸定理.....	416
178 對於兩垂直面的慣性矩.....	417
179 以積分法求物體的慣性矩.....	418

180	以實驗法求物體的慣性矩.....	418
181	組合體的慣性矩.....	423
索 引	.....	429

181	.....	424
182	.....	425
183	.....	426
184	.....	427
185	.....	428
186	.....	429
187	.....	430
188	.....	431
189	.....	432
190	.....	433
191	.....	434
192	.....	435
193	.....	436
194	.....	437
195	.....	438
196	.....	439
197	.....	440
198	.....	441
199	.....	442
200	.....	443
201	.....	444
202	.....	445
203	.....	446
204	.....	447
205	.....	448
206	.....	449
207	.....	450
208	.....	451
209	.....	452
210	.....	453
211	.....	454
212	.....	455
213	.....	456
214	.....	457
215	.....	458
216	.....	459
217	.....	460
218	.....	461
219	.....	462
220	.....	463
221	.....	464
222	.....	465
223	.....	466
224	.....	467
225	.....	468
226	.....	469
227	.....	470
228	.....	471
229	.....	472
230	.....	473
231	.....	474
232	.....	475
233	.....	476
234	.....	477
235	.....	478
236	.....	479
237	.....	480
238	.....	481
239	.....	482
240	.....	483
241	.....	484
242	.....	485
243	.....	486
244	.....	487
245	.....	488
246	.....	489
247	.....	490
248	.....	491
249	.....	492
250	.....	493
251	.....	494
252	.....	495
253	.....	496
254	.....	497
255	.....	498
256	.....	499
257	.....	500
258	.....	501
259	.....	502
260	.....	503
261	.....	504
262	.....	505
263	.....	506
264	.....	507
265	.....	508
266	.....	509
267	.....	510
268	.....	511
269	.....	512
270	.....	513
271	.....	514
272	.....	515
273	.....	516
274	.....	517
275	.....	518
276	.....	519
277	.....	520
278	.....	521
279	.....	522
280	.....	523
281	.....	524
282	.....	525
283	.....	526
284	.....	527
285	.....	528
286	.....	529
287	.....	530
288	.....	531
289	.....	532
290	.....	533
291	.....	534
292	.....	535
293	.....	536
294	.....	537
295	.....	538
296	.....	539
297	.....	540
298	.....	541
299	.....	542
300	.....	543
301	.....	544
302	.....	545
303	.....	546
304	.....	547
305	.....	548
306	.....	549
307	.....	550
308	.....	551
309	.....	552
310	.....	553
311	.....	554
312	.....	555
313	.....	556
314	.....	557
315	.....	558
316	.....	559
317	.....	560
318	.....	561
319	.....	562
320	.....	563
321	.....	564
322	.....	565
323	.....	566
324	.....	567
325	.....	568
326	.....	569
327	.....	570
328	.....	571
329	.....	572
330	.....	573
331	.....	574
332	.....	575
333	.....	576
334	.....	577
335	.....	578
336	.....	579
337	.....	580
338	.....	581
339	.....	582
340	.....	583
341	.....	584
342	.....	585
343	.....	586
344	.....	587
345	.....	588
346	.....	589
347	.....	590
348	.....	591
349	.....	592
350	.....	593
351	.....	594
352	.....	595
353	.....	596
354	.....	597
355	.....	598
356	.....	599
357	.....	600
358	.....	601
359	.....	602
360	.....	603
361	.....	604
362	.....	605
363	.....	606
364	.....	607
365	.....	608
366	.....	609
367	.....	610
368	.....	611
369	.....	612
370	.....	613
371	.....	614
372	.....	615
373	.....	616
374	.....	617
375	.....	618
376	.....	619
377	.....	620
378	.....	621
379	.....	622
380	.....	623
381	.....	624
382	.....	625
383	.....	626
384	.....	627
385	.....	628
386	.....	629
387	.....	630
388	.....	631
389	.....	632
390	.....	633
391	.....	634
392	.....	635
393	.....	636
394	.....	637
395	.....	638
396	.....	639
397	.....	640
398	.....	641
399	.....	642
400	.....	643
401	.....	644
402	.....	645
403	.....	646
404	.....	647
405	.....	648
406	.....	649
407	.....	650
408	.....	651
409	.....	652
410	.....	653
411	.....	654
412	.....	655
413	.....	656
414	.....	657
415	.....	658
416	.....	659
417	.....	660
418	.....	661
419	.....	662
420	.....	663
421	.....	664
422	.....	665
423	.....	666
424	.....	667
425	.....	668
426	.....	669
427	.....	670
428	.....	671
429	.....	672
430	.....	673
431	.....	674
432	.....	675
433	.....	676
434	.....	677
435	.....	678
436	.....	679
437	.....	680
438	.....	681
439	.....	682
440	.....	683
441	.....	684
442	.....	685
443	.....	686
444	.....	687
445	.....	688
446	.....	689
447	.....	690
448	.....	691
449	.....	692
450	.....	693
451	.....	694
452	.....	695
453	.....	696
454	.....	697
455	.....	698
456	.....	699
457	.....	700
458	.....	701
459	.....	702
460	.....	703
461	.....	704
462	.....	705
463	.....	706
464	.....	707
465	.....	708
466	.....	709
467	.....	710
468	.....	711
469	.....	712
470	.....	713
471	.....	714
472	.....	715
473	.....	716
474	.....	717
475	.....	718
476	.....	719
477	.....	720
478	.....	721
479	.....	722
480	.....	723
481	.....	724
482	.....	725
483	.....	726
484	.....	727
485	.....	728
486	.....	729
487	.....	730
488	.....	731
489	.....	732
490	.....	733
491	.....	734
492	.....	735
493	.....	736
494	.....	737
495	.....	738
496	.....	739
497	.....	740
498	.....	741
499	.....	742
500	.....	743
501	.....	744
502	.....	745
503	.....	746
504	.....	747
505	.....	748
506	.....	749
507	.....	750
508	.....	751
509	.....	752
510	.....	753
511	.....	754
512	.....	755
513	.....	756
514	.....	757
515	.....	758
516	.....	759
517	.....	760
518	.....	761
519	.....	762
520	.....	763
521	.....	764
522	.....	765
523	.....	766
524	.....	767
525	.....	768
526	.....	769
527	.....	770
528	.....	771
529	.....	772
530	.....	773
531	.....	774
532	.....	775
533	.....	776
534	.....	777
535	.....	778
536	.....	779
537	.....	780
538	.....	781
539	.....	782
540	.....	783
541	.....	784
542	.....	785
543	.....	786
544	.....	787
545	.....	788
546	.....	789
547	.....	790
548	.....	791
549	.....	792
550	.....	793
551	.....	794
552	.....	795
553	.....	796
554	.....	797
555	.....	798
556	.....	799
557	.....	800
558	.....	801
559	.....	802
560	.....	803
561	.....	804
562	.....	805
563	.....	806
564	.....	807
565	.....	808
566	.....	809
567	.....	810
568	.....	811
569	.....	812
570	.....	813
571	.....	814
572	.....	815
573	.....	816
574	.....	817
575	.....	818
576	.....	819
577	.....	820
578	.....	821
579	.....	822
580	.....	823
581	.....	824
582	.....	825
583	.....	826
584	.....	827
585	.....	828
586	.....	829
587	.....	830
588	.....	831
589	.....	832
590	.....	833
591	.....	834
592	.....	835
593	.....	836
594	.....	837
595	.....	838
596	.....	839
597	.....	840
598	.....	841
599	.....	842
600	.....	843
601	.....	844
602	.....	845
603	.....	846
604	.....	847
605	.....	848
606	.....	849
607	.....	850
608	.....	851
609	.....	852
610	.....	853
611	.....	854
612	.....	855
613	.....	856
614	.....	857
615	.....	858
616	.....	859
617	.....	860
618	.....	861
619	.....	862
620	.....	863
621	.....	864
622	.....	865
623	.....	866
624	.....	867
625	.....	868
626	.....	869
627	.....	870
628	.....	871
629	.....	872
630	.....	873
631	.....	874
632	.....	875
633	.....	876
634	.....	877
635	.....	878
636	.....	879
6		

第一章 導 論

§ 1 本書所處理問題的基本性質

1 簡介

廣義的力學是指討論物體運動的一門學問，而把靜止當作運動的一種特例。

本書的目的，是介紹物體（尤指固體）運動所依據的一些定律，並將這些定律應用至工程上，以解決工程問題，爲了達到這種目的，本書廣泛地使用解析（數學）的方法，這可由本書書名—“Analytical Mechanics for Engineers”看出來。

但並非所有工程力學的問題，都適用解析的方法，有些這類問題即常用圖解法。同樣的，當物理或工程上的條件限制，使解析過程十分困難或麻煩時，則可用諸如試誤法等近似方法。

爲了方便，力學的研究通常分爲三個主要部份，即“靜力學”、“運動學”和“動力學”。

“靜力學”（statics）討論受平衡力的作用而處於平衡狀態（靜止）的物體。

“運動學”（kinematics）僅討論物體的運動，而不管此一運動所受的影響因素（如：力、物質）。它所處理的是空間與時間的基本觀念，以及從這些觀念所導出的速度及加速度等量。因此，也稱爲“運動幾何學”。

“動力學”（kinetics）討論受不平衡力作用而有不均匀或加速運動的物體，尤其是處理物體運動之變化及影響其變化的因素：包括其他物體（力）之作用及其本身之性質（如慣性等）。通常“運動力學”（dynamics）爲一種工程術語，是指力學中與運動觀念最有關連的一個分支：即運動學（kinematics）與動力學（kinetics）。