

高等學校教材

力 学 材 料

刘鸿文 主编

第三版·上册

高等教育出版社

0341-4

2-3

高等学校教材

材料力学

(第三版)

上册

刘鸿文 主编



398064

高等教育出版社

(京)112号

图书在版编目(CIP)数据

材料力学 上册/刘鸿文主编.-3版(修订本).-北京:高等教育出版社,1992.9(1998重印)

高等学校教材

ISBN 7-04-003903-6

I. 材… II. 刘… III. 材料力学-高等学校-教材 IV. T
B301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 09595 号

*
高等教育出版社出版

新华书店总店北京发行所发行

高等教育出版社印刷厂印装

*

开本 850×1158 1/32 印张 14 字数 330 000

1979年2月第1版 1992年9月第3版 1998年9月第7次印刷

印数 221 284-256 293

定价 13.40 元

041-43 398054
25

内 容 提 要

本书是在获第一届国家优秀教材奖的第二版的基础上，根据国家教委审订的高等工业学校“材料力学课程教学基本要求”(100~110学时)修订而成。

与第二版相比较，第三版将“剪切”并入“拉伸与压缩”一章；把弯曲中的几个较深入的问题(非对称弯曲、开口薄壁杆件的剪应力、弯曲中心、用奇异函数求弯曲变形、有限差分法)另立一章，供选讲；对应力和应变的概念、能量方法、静不定结构等内容作了修改和补充。

第三版上册包括第一章到第九章和附录，计有：绪论，拉伸、压缩与剪切，扭转，弯曲内力，弯曲应力，弯曲变形，弯曲的几个补充问题，应力和应变分析、强度理论，组合变形，平面图形的几何性质。下册包括第十章到第十八章，计有：能量方法，静不定结构，动载荷，交变应力、压杆稳定，平面曲杆，厚壁圆筒和旋转圆盘，矩阵位移法，杆件的塑性变形。

与本书配套的有刘鸿文等编的《材料力学实验》。本书适用于高等工业学校机械类各专业，也可供其他专业及有关工程技术人员参考。

责任编辑：吴向

2P20/02

第三版前言

本书第二版出版以来已有九年。这期间国家教育委员会工科力学课程教学指导委员会制订了“材料力学课程教学基本要求”，并经国家教育委员会批准试行。它就是本书这次修订的依据。

出于有利于教学的愿望，本书修订时对内容作了一些调整，例如把弯曲中几个较深入的问题集中到第七章，以便根据情况选讲或节删。为使论述较为完整和严谨，对部分内容作了修改和补充，例如应力和应变的概念、能量方法、静不定结构等。考虑到本书第二版使用较广，修订后仍然保持了原来的体系和风格。鉴于学时偏紧，第三版注意了内容的精简。但为给教学留有余地，总的说教材内容仍略多于课程的基本要求。

受材料力学课程教学指导小组的委托，哈尔滨建筑工程学院干光瑜同志审阅了书稿，提出很多中肯的意见。使用过本书第二版的广大教师也陆续提出过修改建议。对此我们都非常珍视，谨此致谢。借此机会，还向参加过本书第一版编写工作的陈瀚、吴士艳、金志刚、胡逾、胡增强、倪德耀、龚育宁、宁俊、梁广基、徐雅宜、吕荣坤等同志，深表谢意。

参加第三版修订工作的是刘鸿文、林建兴、曹曼玲等三同志。仍由刘鸿文担任主编。浙江大学教务处和材料力学教研室给予了支持。张礼明同志担任描图工作。限于编者的水平，修订后的教材恐仍有疏漏和欠妥之处，深望广大教师和读者批评指正。

编者

1991年5月

上册 目录

第一章 绪论	1
§ 1.1 材料力学的任务	1
§ 1.2 变形固体的基本假设	2
§ 1.3 外力及其分类	3
§ 1.4 内力、截面法和应力的概念	4
§ 1.5 变形与应变	8
§ 1.6 杆件变形的基本形式	11
习题	13
第二章 拉伸、压缩与剪切	15
§ 2.1 轴向拉伸与压缩的概念和实例	15
§ 2.2 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力和应力	16
§ 2.3 直杆轴向拉伸或压缩时斜截面上的应力	22
§ 2.4 材料在拉伸时的力学性能	23
§ 2.5 材料在压缩时的力学性能	31
* § 2.6 温度和时间对材料力学性能的影响	33
§ 2.7 失效、安全系数和强度计算	36
§ 2.8 轴向拉伸或压缩时的变形	40
§ 2.9 轴向拉伸或压缩的变形能	45
§ 2.10 拉伸、压缩静不定问题	50
§ 2.11 温度应力和装配应力	53
§ 2.12 应力集中的概念	58
§ 2.13 剪切和挤压的实用计算	60
习题	66
第三章 扭转	89
§ 3.1 扭转的概念和实例	89
§ 3.2 外力偶矩的计算 扭矩和扭矩图	90
§ 3.3 纯剪切	94

$$T = \frac{1}{2} M^2 \cdot \frac{\pi^2}{4}$$

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
7010
7011
7012
7013
7014
7015
7016
7017
7018
7019
7020
7021
7022
7023
7024
7025
7026
7027
7028
7029
7030
7031
7032
7033
7034
7035
7036
7037
7038
7039
7040
7041
7042
7043
7044
7045
7046
7047
7048
7049
7050
7051
7052
7053
7054
7055
7056
7057
7058
7059
7060
7061
7062
7063
7064
7065
7066
7067
7068
7069
7070
7071
7072
7073
7074
7075
7076
7077
7078
7079
7080
7081
7082
7083
7084
7085
7086
7087
7088
7089
7090
7091
7092
7093
7094
7095
7096
7097
7098
7099
70100
70101
70102
70103
70104
70105
70106
70107
70108
70109
70110
70111
70112
70113
70114
70115
70116
70117
70118
70119
70120
70121
70122
70123
70124
70125
70126
70127
70128
70129
70130
70131
70132
70133
70134
70135
70136
70137
70138
70139
70140
70141
70142
70143
70144
70145
70146
70147
70148
70149
70150
70151
70152
70153
70154
70155
70156
70157
70158
70159
70160
70161
70162
70163
70164
70165
70166
70167
70168
70169
70170
70171
70172
70173
70174
70175
70176
70177
70178
70179
70180
70181
70182
70183
70184
70185
70186
70187
70188
70189
70190
70191
70192
70193
70194
70195
70196
70197
70198
70199
70200
70201
70202
70203
70204
70205
70206
70207
70208
70209
70210
70211
70212
70213
70214
70215
70216
70217
70218
70219
70220
70221
70222
70223
70224
70225
70226
70227
70228
70229
70230
70231
70232
70233
70234
70235
70236
70237
70238
70239
70240
70241
70242
70243
70244
70245
70246
70247
70248
70249
70250
70251
70252
70253
70254
70255
70256
70257
70258
70259
70260
70261
70262
70263
70264
70265
70266
70267
70268
70269
70270
70271
70272
70273
70274
70275
70276
70277
70278
70279
70280
70281
70282
70283
70284
70285
70286
70287
70288
70289
70290
70291
70292
70293
70294
70295
70296
70297
70298
70299
70300
70301
70302
70303
70304
70305
70306
70307
70308
70309
70310
70311
70312
70313
70314
70315
70316
70317
70318
70319
70320
70321
70322
70323
70324
70325
70326
70327
70328
70329
70330
70331
70332
70333
70334
70335
70336
70337
70338
70339
70340
70341
70342
70343
70344
70345
70346
70347
70348
70349
70350
70351
70352
70353
70354
70355
70356
70357
70358
70359
70360
70361
70362
70363
70364
70365
70366
70367
70368
70369
70370
70371
70372
70373
70374
70375
70376
70377
70378
70379
70380
70381
70382
70383
70384
70385
70386
70387
70388
70389
70390
70391
70392
70393
70394
70395
70396
70397
70398
70399
70400
70401
70402
70403
70404
70405
70406
70407
70408
70409
70410
70411
70412
70413
70414
70415
70416
70417
70418
70419
70420
70421
70422
70423
70424
70425
70426
70427
70428
70429
70430
70431
70432
70433
70434
70435
70436
70437
70438
70439
70440
70441
70442
70443
70444
70445
70446
70447
70448
70449
70450
70451
70452
70453
70454
70455
70456
70457
70458
70459
70460
70461
70462
70463
70464
70465
70466
70467
70468
70469
70470
70471
70472
70473
70474
70475
70476
70477
70478
70479
70480
70481
70482
70483
70484
70485
70486
70487
70488
70489
70490
70491
70492
70493
70494
70495
70496
70497
70498
70499
70500
70501
70502
70503
70504
70505
70506
70507
70508
70509
70510
70511
70512
70513
70514
70515
70516
70517
70518
70519
70520
70521
70522
70523
70524
70525
70526
70527
70528
70529
70530
70531
70532
70533
70534
70535
70536
70537
70538
70539
70540
70541
70542
70543
70544
70545
70546
70547
70548
70549
70550
70551
70552
70553
70554
70555
70556
70557
70558
70559
70560
70561
70562
70563
70564
70565
70566
70567
70568
70569
70570
70571
70572
70573
70574
70575
70576
70577
70578
70579
70580
70581
70582
70583
70584
70585
70586
70587
70588
70589
70590
70591
70592
70593
70594
70595
70596
70597
70598
70599
70600
70601
70602
70603
70604
70605
70606
70607
70608
70609
70610
70611
70612
70613
70614
70615
70616
70617
70618
70619
70620
70621
70622
70623
70624
70625
70626
70627
70628
70629
70630
70631
70632
70633
70634
70635
70636
70637
70638
70639
70640
70641
70642
70643
70644
70645
70646
70647
70648
70649
70650
70651
70652
70653
70654
70655
70656
70657
70658
70659
70660
70661
70662
70663
70664
70665
70666
70667
70668
70669
70670
70671
70672
70673
70674
70675
70676
70677
70678
70679
70680
70681
70682
70683
70684
70685
70686
70687
70688
70689
70690
70691
70692
70693
70694
70695
70696
70697
70698
70699
70700
70701
70702
70703
70704
70705
70706
70707
70708
70709
70710
70711
70712
70713
70714
70715
70716
70717
70718
70719
70720
70721
70722
70723
70724
70725
70726
70727
70728
70729
70730
70731
70732
70733
70734
70735
70736
70737
70738
70739
70740
70741
70742
70743
70744
70745
70746
70747
70748
70749
70750
70751
70752
70753
70754
70755
70756
70757
70758
70759
70760
70761
70762
70763
70764
70765
70766
70767
70768
70769
70770
70771
70772
70773
70774
70775
70776
70777
70778
70779
70780
70781
70782
70783
70784
70785
70786
70787
70788
70789
70790
70791
70792
70793
70794
70795
70796
70797
70798
70799
70800
70801
70802
70803
70804
70805
70806
70807
70808
70809
70810
70811
70812
70813
70814
70815
70816
70817
70818
70819
70820
70821
70822
70823
70824
70825
70826
70827
70828
70829
70830
70831
70832
70833
70834
70835
70836
70837
70838
70839
70840
70841
70842
70843
70844
70845
70846
70847
70848
70849
70850
70851
70852
70853
70854
70855
70856
70857
70858
70859
70860
70861
70862
70863
70864
70865
70866
70867
70868
70869
70870
70871
70872
70873
70874
70875
70876
70877
70878
70879
70880
70881
70882
70883
70884
70885
70886
70887
70888
70889
70890
70891
70892
70893
70894
70895
70896
70897
70898
70899
70900
70901
70902
70903
70904
70905
70906
70907
70908
70909
70910
70911
70912
70913
70914
70915
70916
70917
70918
70919
70920
70921
70922
70923
70924
70925
70926
70927
70928
70929
70930
70931
70932
70933
70934
70935
70936
70937
70938
70939
70940
70941
70942
70943
70944
70945
70946
70947
70948
70949
70950
70951
70952
70953
70954
70955
70956
70957
70958
70959
70960
70961
70962
70963
70964
70965
70966
70967
70968
70969
70970
70971
70972
70973
70974
70975
70976
70977
70978
70979
70980
70981
70982
70983
70984
70985
70986
70987
70988
70989
70990
70991
70992
70993
70994
70995
70996
70997
70998
70999
70100
70101
70102
70103
70104
70105
70106
70107
70108
70109
70110
70111
70112
70113
70114
70115
70116
70117
70118
70119
70120
70121
70122
70123
70124
70125
70126
70127
70128
70129
70130
70131
70132
70133
70134
70135
70136
70137
70138
70139
70140
70141
70142
70143
70144
70145
70146
70147
70148
70149
70150
70151
70152
70153
70154
70155
70156
70157
70158
70159
70160
70161
70162
70163
70164
70165
70166
70167
70168
70169
70170
70171
70172
70173
70174
70175
70176
70177
70178
70179
70180
70181
70182
70183
70184
70185
70186
70187
70188
70189
70190
70191
70192
70193
70194
70195
70196
70197
70198
70199
70200
70201
70202
70203
70204
70205
70206
70207
70208
70209
70210
70211
70212
70213
70214
70215
70216
70217
70218
70219
70220
70221
70222
70223
70224
70225
70226
70227
70228
70229
70230
70231
70232
70233
70234
70235
70236
70237
70238
70239
70240
70241
70242
70243
70244
70245
70246
70247
70248
70249
70250
70251
70252
70253
70254
70255
70256
70257
70258
70259
70

§ 3.4 圆轴扭转时的应力.....	97
§ 3.5 圆轴扭转时的变形.....	103
§ 3.6 圆柱形密圈螺旋弹簧的应力和变形.....	108
§ 3.7 非圆截面杆扭转的概念.....	113
* § 3.8 薄壁杆件的自由扭转.....	118
习题.....	125
第四章 弯曲内力.....	136
§ 4.1 弯曲的概念和实例.....	136
§ 4.2 受弯杆件的简化.....	137
§ 4.3 剪力和弯矩.....	141
§ 4.4 剪力方程和弯矩方程 剪力图和弯矩图.....	144
§ 4.5 载荷集度、剪力和弯矩间的关系.....	150
§ 4.6 平面曲杆的弯曲内力.....	154
习题.....	155
第五章 弯曲应力.....	167
§ 5.1 纯弯曲.....	167
§ 5.2 纯弯曲时的正应力.....	169
§ 5.3 横力弯曲时的正应力.....	173
§ 5.4 弯曲剪应力.....	178
* § 5.5 关于弯曲理论的基本假设.....	187
§ 5.6 提高弯曲强度的措施.....	191
习题	199
第六章 弯曲变形.....	211
§ 6.1 工程中的弯曲变形问题.....	211
§ 6.2 挠曲线的微分方程.....	212
§ 6.3 用积分法求弯曲变形.....	215
§ 6.4 用叠加法求弯曲变形	222
§ 6.5 简单静不定梁.....	229
§ 6.6 提高弯曲刚度的一些措施.....	232
习题	235
第七章 弯曲的几个补充问题.....	253

§ 7.1 非对称弯曲.....	253
§ 7.2 开口薄壁杆件的剪应力 弯曲中心.....	260
§ 7.3 用奇异函数求弯曲变形.....	266
§ 7.4 有限差分法.....	271
习题	276
第八章 应力和应变分析 强度理论.....	284
§ 8.1 应力状态概述.....	284
§ 8.2 二向和三向应力状态的实例.....	285
§ 8.3 二向应力状态分析——解析法.....	289
§ 8.4 二向应力状态分析——图解法.....	295
§ 8.5 三向应力状态.....	301
* § 8.6 位移与应变分量.....	305
* § 8.7 平面应变状态分析.....	307
§ 8.8 广义胡克定律.....	313
§ 8.9 复杂应力状态的变形比能.....	318
§ 8.10 强度理论 概述.....	320
§ 8.11 四种常用强度理论.....	322
§ 8.12 莫尔强度理论.....	329
§ 8.13 构件含裂纹时的断裂准则.....	332
习题	334
第九章 组合变形.....	345
§ 9.1 组合变形和叠加原理.....	345
§ 9.2 拉伸或压缩与弯曲的组合.....	348
* § 9.3 偏心压缩和截面核心.....	352
§ 9.4 扭转与弯曲的组合.....	356
* § 9.5 组合变形的普遍情况.....	365
习题	367
附录 I 平面图形的几何性质.....	378
§ I.1 静矩和形心.....	378
§ I.2 惯性矩和惯性半径.....	382
§ I.3 惯性积.....	385

§ I.4 平行移轴公式.....	386
§ I.5 转轴公式 主惯性轴.....	390
习题	395
附录II 型钢表.....	400
附录III 单位换算.....	418
附录IV 上册习题答案.....	420

第一章 绪 论

§ 1.1 材料力学的任务

工程结构或机械的各组成部分，如建筑物的梁和柱、机床的轴等，统称为构件。当工程结构或机械工作时，构件将受到载荷的作用。例如，车床主轴受齿轮啮合力和切削力的作用，建筑物的梁受自身重力和其他物体重力的作用。构件一般由固体制成。在外力作用下，固体有抵抗破坏的能力，但这种能力又是有限度的。而且，在外力作用下，固体的尺寸和形状还将发生变化，称为变形。

为保证工程结构或机械的正常工作，构件应有足够的能力负担起应当承受的载荷。因此，它应当满足以下要求：

1. 强度要求 在规定载荷作用下的构件当然不应破坏。例如，冲床曲轴不可折断，储气罐不应爆破。强度要求就是指构件应有足够的抵抗破坏的能力。

2. 刚度要求 在载荷作用下，构件即使有足够的强度，但若变形过大，仍不能正常工作。例如，若齿轮轴变形过大，将造成齿轮和轴承的不均匀磨损，引起噪音。机床主轴变形过大，将影响加工精度。刚度要求就是指构件应有足够的抵抗变形的能力。

3. 稳定性要求 有些受压力作用的细长杆，如千斤顶的螺杆、内燃机的挺杆等，应始终维持原有的直线平衡形态，保证不被压弯。稳定性要求就是指构件应有足够的保持原有平衡形态的能力。

若构件横截面尺寸不足或形状不合理，或材料选用不当，将不能满足上述要求，从而不能保证工程结构或机械的安全工作。相反，也不应不恰当地加大横截面尺寸或选用优质材料，这虽满足了上述要求，却多使用了材料和增加了成本，造成浪费。材料力学的

任务就是在满足强度、刚度和稳定性的要求下,为设计既经济又安全的构件,提供必要的理论基础和计算方法。

在工程问题中,一般说,构件都应有足够的强度、刚度和稳定性,但对具体构件又往往有所侧重。例如,储气罐主要是要保证强度,车床主轴主要是要具备一定的刚度,而受压的细长杆则应保持稳定性。此外,对某些特殊构件还可能有相反的要求。例如为防止超载,当载荷超出某一极限时,安全销应立即破坏。又如为发挥缓冲作用,车辆的缓冲弹簧应有较大的变形。

研究构件的强度、刚度和稳定性时,应了解材料在外力作用下表现出的变形和破坏等方面的性能,即材料的力学性能,而力学性能要由实验来测定。此外,经过简化得出的理论是否可信,也要由实验来验证。还有一些尚无理论结果的问题,须借助实验方法来解决。所以,实验分析和理论研究同是材料力学解决问题的方法。

§ 1.2 变形固体的基本假设

固体因外力作用而变形,故称为变形固体或可变形固体。固体有多方面的属性,研究的角度不同,侧重面各不一样。研究构件的强度、刚度和稳定性时,为抽象出力学模型,掌握与问题有关的主要属性,略去一些次要属性,对变形固体作下列假设:

1. **连续性假设** 认为组成固体的物质不留空隙地充满了固体的体积。实际上,组成固体的粒子之间存在着空隙并不连续,但这种空隙与构件的尺寸相比极其微小,可以不计。于是就认为固体在其整个体积内是连续的。这样,当把某些力学量看作是固体的点的坐标的函数时,对这些量就可以进行坐标增量为无限小的极限分析。

2. **均匀性假设** 认为在固体内到处有相同的力学性能。就使用最多的金属来说,组成金属的各晶粒的力学性能并不完全相

同。但因构件或构件的任一部分中都包含为数极多的晶粒，而且无规则地排列，固体的力学性能是各晶粒的力学性能的统计平均值，所以可以认为各部分的力学性能是均匀的。这样，如从固体中取出一部分，不论大小，也不论从何处取出，力学性能总是相同的。

材料力学研究构件受力后的强度、刚度和稳定性，把它抽象为均匀连续的模型，可以得出满足工程要求的理论。对发生于晶粒那样大小的范围内的现象，就不宜再用均匀连续假设。

3. 各向同性假设 认为无论沿任何方向，固体的力学性能都是相同的。就金属的单一晶粒来说，沿不同的方向，力学性能并不一样。但金属构件包含数量极多的晶粒，且又杂乱无章地排列，这样，沿各个方向的力学性能就接近相同了。具有这种属性的材料称为各向同性材料，如铸钢、铸铜、玻璃等。

沿不同方向力学性能不同的材料，称为各向异性材料，如木材、胶合板和某些人工合成材料等。

§ 1.3 外力及其分类

当研究某一构件时，可以设想把这一构件从周围物体中单独取出，并用力来代替周围各物体对构件的作用。这些来自构件外部的力就是外力。按外力的作用方式可分为表面力和体积力。表面力是作用于物体表面的力，又可分为分布力和集中力。分布力是连续作用于物体表面的力，如作用于油缸内壁上的油压力，作用于船体上的水压力等。有些分布力是沿杆件的轴线作用的，如楼板对屋梁的作用力。若外力分布面积远小于物体的表面尺寸，或沿杆件轴线分布范围远小于轴线长度，就可看作是作用于一点的集中力，如火车轮对钢轨的压力，滚珠轴承对轴的反作用力等。体积力是连续分布于物体内部各点的力，例如物体的自重和惯性

力等。

载荷按随时间变化的情况，又可分成静载荷和动载荷。若载荷缓慢地由零增加到某一定值，以后即保持不变，或变动很不显著，即为静载荷。例如，把机器缓慢地置放在基础上时，机器的重量对基础的作用便是静载荷。若载荷随时间而变化，则为动载荷。按其随时间变化的方式，动载荷又可分为交变载荷和冲击载荷。交变载荷是随时间作周期性变化的载荷，例如当齿轮转动时，作用于每一个齿上的力都是随时间作周期性变化的。冲击载荷则是物体的运动在瞬时内发生突然变化所引起的载荷，例如，急刹车时飞轮的轮轴、锻造时汽锤的锤杆等都受到冲击载荷的作用。

材料在静载荷下和在动载荷下的性能颇不相同，分析方法也颇有差异。因为静载荷问题比较简单，所建立的理论和分析方法又可作为解决动载荷问题的基础，所以首先研究静载荷问题。

§ 1.4 内力、截面法和应力的概念

物体因受外力作用而变形，其内部各部分之间因相对位置改变而引起的相互作用就是内力。我们知道，即使不受外力作用，物体的各质点之间依然存在着相互作用的力。材料力学中的内力，是指外力作用下，上述相互作用力的变化量，所以是物体内部各部分之间因外力而引起的附加相互作用力，即“附加内力”。这样的内力随外力的增加而加大，到达某一限度时就会引起构件破坏，因而它与构件的强度是密切相关的。

为了显示出构件在外力作用下 $m-m$ 截面上的内力，用平面假想地把构件分成 I、II 两部分（图 1.1a）。任取其中一部分，例如 II，作为研究对象。在部分 II 上作用的外力有 P_3 和 P_4 ，欲使 II 保持平衡，则 I 必然有力作用于 II 的 $m-m$ 截面上，以与 II 所受的外力平衡，如图 1.1b 所示。根据作用与反作用定律可知，II 必

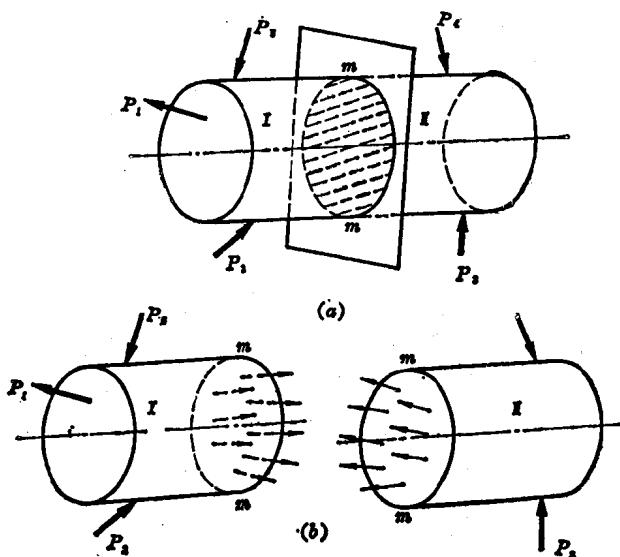


图 1.1

然也以大小相等、方向相反的力作用于 I 上。上述 I 与 II 间相互作用的力就是构件在 $m-m$ 截面上的内力。按照连续性假设，在 $m-m$ 截面上各处都有内力作用，所以内力是分布于截面上的一个分布力系。今后把这个分布内力系向截面上某一点简化后得到的主矢和主矩，称为截面上的内力。

对我们所研究的部分 II 来说，外力 P_3 、 P_4 和 $m-m$ 截面上的内力保持平衡，根据平衡方程就可以确定 $m-m$ 截面上的内力。

上述用截面假想地把构件分成两部分，以显示并确定内力的方法称为截面法。可将其归纳为以下三个步骤：

(1) 欲求某一截面上的内力时，就沿该截面假想地把构件分成两部分，任意地留下一部分作为研究对象，并弃去另一部分。

(2) 用作用于截面上的内力代替弃去部分对留下部分的作用。

(3) 建立留下部分的平衡方程, 确定未知的内力。

例 1.1 钻床如图 1.2a 所示, 在载荷 P 作用下, 试确定 $m-m$ 截面上的内力。

解: (1) 沿 $m-m$ 截面假想地将钻床分成两部分。取 $m-m$ 截面以上部分进行研究(图 1.2 b), 并以截面的形心 O 为原点, 选取坐标系如图所示。

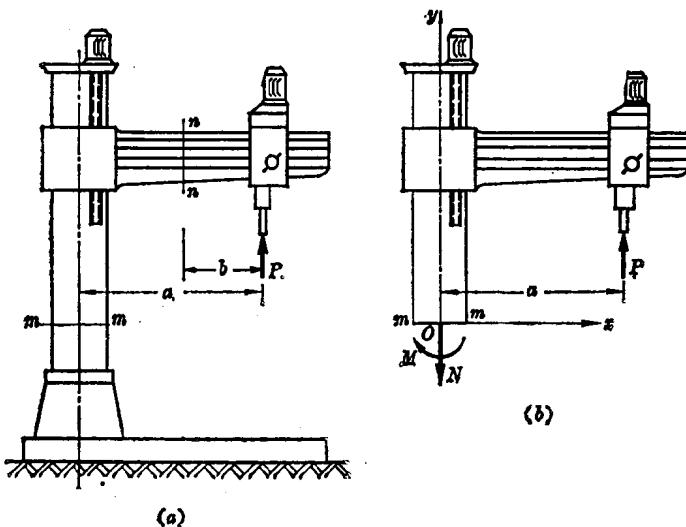


图 1.2

(2) 外力 P 将使 $m-m$ 截面以上部分沿 y 轴方向位移, 并绕 O 点转动, $m-m$ 截面以下部分必然以内力 N 及 M 作用于截面上, 以保持上部的平衡。这里 N 为通过 O 点的力, M 为对 O 点的力偶矩。

(3) 由平衡条件

$$\sum Y = 0, \quad P - N = 0$$

$$\sum m_O = 0, \quad Pa - M = 0$$

求得内力 N 和 M 为

$$N = P, \quad M = Pa$$

在例 1.1 中, 内力 N 和 M 是 $m-m$ 截面上分布内力系向 O 点简化后的结果。用它们可以说明 $m-m$ 截面以上部分的内力和外力

的平衡关系，但不能说明分布内力系在截面内某一点处的强弱程度。为此，我们引入内力集度的概念。设在图 1.1 所示受力构件的 $m-m$ 截面上，围绕 C 点取微小面积 ΔA （图 1.3a）， ΔA 上分布内力的合力为 ΔP 。 ΔP 的大小和方向与 C 点的位置和 ΔA 的大小有关。 ΔP 与 ΔA 的比值为

$$p_m = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (a)$$

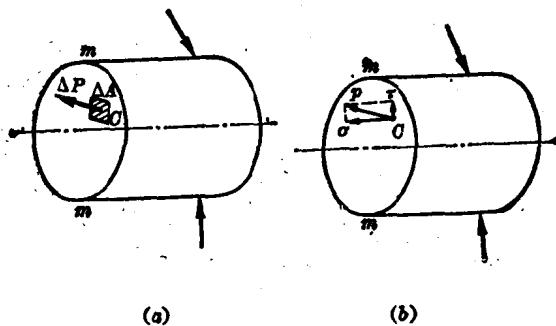


图 1.3

p_m 是一个矢量，代表在 ΔA 范围内，单位面积上内力的平均集度，称为平均应力。随着 ΔA 的逐渐缩小， p_m 的大小和方向都将逐渐变化。当 ΔA 趋于零时， p_m 的大小和方向都将趋于一定极限。这样得到

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} p_m = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (1.1)$$

p 称为 C 点的应力^①。它是分布内力系在 C 点的集度，反映内力系在 C 点的强弱程度。 p 是一个矢量，一般说既不与截面垂直，也不与截面相切。通常把应力 p 分解成垂直于截面的分量 σ 和切

① 按照这里给出的应力的定义， $\Delta A \rightarrow 0$ 时， ΔA 上的内力的极限状态将是一个力，而不是一个力和一个力偶。这就暗示 ΔA 上的内力对 ΔA 内任一点的力矩都等于零。

于截面的分量 τ (图 1.3b)。 σ 称为正应力, τ 称为剪应力。

在国际制单位中, 应力的单位是牛/米²(N/m²), 称为帕斯卡或简称为帕(Pa)。由于这个单位太小, 使用不便, 通常使用兆牛/米²=10⁶牛/米², 记为 MN/m² 或 MPa。以往我国实际工程中使用的应力单位是公斤力/厘米², 记为 kgf/cm² 或 kg/cm²。关于国际制单位、公制单位和英制单位之间的换算关系, 已列入附录III中。

§ 1.5 变形与应变

材料力学研究固体的变形, 除了为研究构件的刚度外, 还因固体由外力引起的变形与内力的分布相关。

在图 1.4a 中, 固体的 M 点因变形位移到 M' 。 MM' 即为 M 点的位移。这里假设固体因受到约束, 不可能作刚性位移, M 点的位移全是由变形引起的。如允许作刚性运动, 则应在总位移中扣除刚性位移。设想在 M 点附近取棱边边长为 Δx 、 Δy 、 Δz 的微小正六面体(当六面体的边长趋于无限小时称为单元体), 变形后六面体的边长和棱边的夹角都将发生变化, 如虚线所示。把上述六面体投影于 xy 平面, 并放大为图 1.4b。变形前平行于 x 轴的

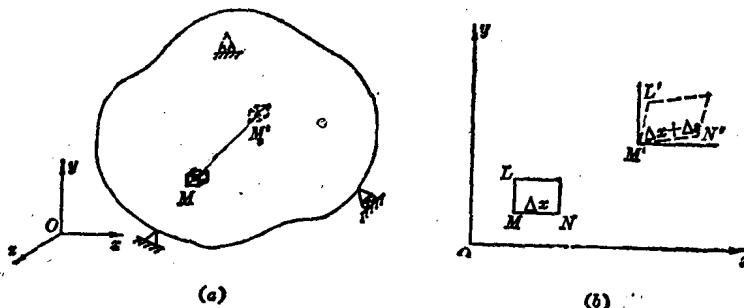


图 1.4