

大学手册系列

大学工程力学手册

主 编 李思简

上海交通大学出版社

大学工程力学手册

主 编 李思简
参编人员 陈文良
 陈 冲

上海交通大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学工程力学手册/李思简主编. - 上海市:上海交通大学出版社, 2000
ISBN 7-313-02366-9

I. 大… II. 李… III. 工程力学 - 高等学校 - 手册 IV. TB12-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 57759 号

大学工程力学手册

李思简 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

常熟市印刷二厂印刷 全国新华书店经销

开本:820mm×680mm 1/32 印张:17.125 字数:336 千字

2000 年 5 月第 1 版 2000 年 5 月第 1 次印刷

印数:1~5050

ISBN 7-313-02366-9/TB·051 定价:24.00 元

版权所有 侵权必究



牛 顿

“由运动现象去研究自然界的力，再由这些力去推演其他现象；……行星、彗星、月亮和海洋的运动。”

牛 顿

前 言

工科大学的航空航天、海洋船舶、土木建筑、机械、材料等各类工程专业,均开设理论力学与材料力学两门基础课程,其教学大纲与学时数随专业不同略有侧重,但基本相同。部分专业学时(数)较少的,则两门课程合成一门工程力学课程,这是由于两门课程内容衔接,又同为有关专业的重要基础技术课程,其内容渗透于各个工程技术领域,特别是高新技术领域。所以,工程力学是所有与机械运动密切相关的工程技术学科的重要理论基础。

本书为工程专业类的力学手册用书,定名为《大学工程力学手册》。内容包括两篇:第一篇为理论力学,第二篇为材料力学。均以工科大学的理论力学与材料力学的内容为主。同时为了适应现代工程技术发展的要求和计算机应用的普及,特别是各力学学科的发展以及相互间的渗透与融合,在体系和内容上均作了适当的调整和充实。根据手册类用书的要求,本书力求简明实用、荟萃精华;汇集基本概念、原理、公式及工程技术中常用的性能参数等基础知识与技术资料,具有广泛的适用性,在学科上亦不失其系统性、完整性和先进性。编写中注重于物理概念和分析方法的严格性,在篇幅上力求文字精炼,精选图表。为了便于读者随身携带和使用,本手册采用长 64 开本袖珍版本。为此,书中对常规的图表格

式也作了相应变动,更适于读者查阅。由于理论力学与材料力学是属于两个独立的二级学科,因此在编写上既有联系、又各具特色。

本书的对象主要是广大的工科大学生,可供他们学习、查阅和参考之用;同时对于在校的研究生以及广大科技工作人员,本手册也具有一定的参考价值。

本书的第一篇 理论力学由陈文良、陈冲编写,第二篇 材料力学由李思简编写。限于编者的水平,错误和不妥之处敬请读者指正。

编 者

2000 年 1 月

于上海交通大学

目 录

第一篇 理论力学	1
第一章 刚体静力学	2
一、力系的合成与平衡	2
1. 力、力矩	2
2. 共点力系	6
3. 力偶系	8
4. 一般力系	9
二、约束和约束力	10
1. 约束与约束力	10
2. 几种典型约束及其约束力	11
三、平衡条件的应用	14
1. 受力图	14
2. 平衡方程	15
3. 平衡方程的形式	16
4. 系统的平衡问题	18
5. 考虑摩擦时的平衡问题	21
6. 平面桁架	29
第二章 运动学	33
一、点的运动	33
1. 矢径法	33
2. 直角坐标法	34
3. 柱坐标法	34

4. 球坐标法	35
5. 自然法(弧坐标法)	36
6. 点的几个典型运动分析	38
二、点的合成运动	41
1. 运动的合成	41
2. 速度合成定理	42
3. 加速度合成定理	44
4. 小结	46
三、刚体的基本运动	47
1. 平动	47
2. 定轴转动	47
四、刚体的平面运动	51
1. 分析法	51
2. 运动的分解与合成	54
3. 截面 S 的瞬心	55
4. 典型机构的运动分析	58
5. 刚体绕平行轴转动的合成	60
五、刚体的定点转动和一般运动	62
1. 定点转动刚体的运动方程	62
2. 刚体绕相交轴转动的合成	63
3. 定点转动刚体的角速度和角加速度	64
4. 定点转动刚体上点的速度、加速度	65
5. 规则进动	66
6. 刚体的一般运动	67
第三章 矢量动力学	69
一、牛顿定律、质点的运动微分方程	69
1. 牛顿定律	69
2. 质点的运动微分方程	71

3. 质点的相对运动微分方程	73
二、质心与转动惯量	77
1. 质心	77
2. 刚体的转动惯量	79
三、动量定理	92
1. 关于动量定理	92
2. 质心运动定理	94
3. 变质量系统的质心运动定理	96
四、动量矩定理	98
1. 动量矩定理	98
2. 刚体的定轴转动微分方程	100
3. 相对于质心的动量矩定理	103
4. 刚体的平面运动微分方程	105
5. 矩心为动点的动量矩定理	107
五、动能定理	108
1. 动能	108
2. 力的功	110
3. 势力场与势能	112
4. 动能定理	114
5. 功率、功率方程	114
六、达朗伯原理	115
1. 达朗伯原理	115
2. 惯性力系的简化	117
3. 刚体定轴转动时的动压力、动平衡	121
第四章 分析力学基础	123
一、虚位移原理	123
1. 约束、广义坐标、虚位移、自由度	123
2. 虚位移原理	128



3. 用广义力表示质点系的平衡条件	130
4. 保守系统的平衡条件及稳定性	132
二、动力学普遍方程	133
三、拉格朗日方程	135
1. 关于拉格朗日方程	135
2. 主动力为有势力时的拉格朗日方程 ...	136
3. 拉格朗日方程的初积分	138
四、拉格朗日乘子法	140
1. 一阶线性微分约束	140
2. 第一类拉格朗日方程	141
3. 罗斯方程	143
五、哈密顿原理	146
1. 哈密顿原理的变分形式和扩展形式 ...	146
2. 变分问题的直接方法	147
第五章 动力学专题	150
一、线性振动基础	150
1. 单自由度系统的自由振动	150
2. 单自由度系统的强迫振动	160
3. 隔振	165
4. 两自由度系统的自由振动	167
5. 两自由度系统的强迫振动	170
二、碰撞	172
1. 碰撞特征和简化假设	172
2. 恢复系数	173
3. 研究碰撞问题的动力学定理	174
4. 两物体的对心碰撞	176
5. 碰撞冲量对定轴转动刚体的作用、 撞击中心	178

6. 碰撞冲量对平面运动刚体的作用	180
三、刚体的定点转动和一般运动	181
1. 欧拉动力学方程	181
2. 用拉格朗日方程建立动力学方程	183
3. 陀螺近似理论	184
4. 刚体的一般运动动力学方程	188
第二篇 材料力学	189
第六章 外力、应力与应变	190
一、外力	190
1. 载荷	190
2. 支座反力	190
二、应力及一点的应力状态	191
1. 内力	191
2. 应力	191
3. 一点的应力状态	192
三、单向应力状态	195
1. 斜截面应力分量公式	195
2. 主应力与最大剪应力	196
3. 单向应力状态莫尔圆	196
4. 主应力与最大剪应力迹线	197
四、二向(平面)应力状态	198
1. 符号规定	198
2. 斜截面应力分量公式	199
3. 主应力与主平面	199
4. 最大剪应力与最大剪应力平面	200
5. 二向应力状态的莫尔应力圆	200
6. 二向应力状态的主应力迹线方程	202

五、三向(空间)应力状态	203
1. 斜截面上的应力分量	203
2. 主应力与主平面	204
3. 最大剪应力	205
4. 应力张量不变量	206
5. 三向应力状态的莫尔应力圆	207
6. 三向应力状态的应力椭球	208
7. 八面体的正应力与剪应力	209
六、变形与应变	209
1. 构件的变形	209
2. 应变的定义	210
七、一点的应变状态	211
1. 单元体的应变分量	211
2. 应变分量与位移的几何关系	212
3. 一点的任意方向应变分量	213
4. 主应变与主应变方向	214
5. 应变张量不变量	215
6. 应变莫尔圆	216
7. 体积应变	217
8. 正八面体各面上的应变	218
第七章 材料的力学性能与强度理论	219
一、材料的弹性	219
1. 弹性及弹性变形	219
2. 虎克定律	219
3. 剪切虎克定律	220
二、均匀各向同性材料的广义虎克定律	221
1. 应变-应力关系	221
2. 应力-应变关系	222

3. 在主轴方向的关系式	223
三、各种特殊应力与应变状态的	
广义虎克定律	223
1. 单向应力状态($\sigma_x = \sigma_1$)	223
2. 二向(平面)应力状态($\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$)	224
3. 二向(平面)应变状态($\epsilon_x, \epsilon_y, \gamma_{xy}$)	225
4. 三向等应力状态($\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma$)	226
5. 材料弹性常数之间的关系	226
6. 弹性常数的数据资料	226
四、应变能、弹性应变能	227
1. 应变能的概念	227
2. 拉伸与压缩应变能	228
3. 剪切弹性应变能	229
4. 一般应力状态下的弹性应变能公式	229
五、材料的塑性	231
1. 塑性及塑性变形	231
2. 塑性问题的应力与应变关系	233
3. 宏观塑性	233
4. 几种应变历史比较简单的	
屈服条件公式	233
六、单向拉伸与压缩试验	235
1. 标准试件	235
2. 应力-应变图	236
七、单向应力的静强度	243
1. 两类变形特性材料	243
2. 单向应力的静强度指标	244
八、一般应力状态的静强度	244
1. 材料的破坏形式	244

2. 三向等应力状态的静强度	245
3. 一般应力状态(二向或三向) 的强度理论	245
九、影响材料强度性能的因素	249
1. 温度的影响	249
2. 时间的因素	250
3. 加载速度的影响	251
十、强度条件及许用应力、安全系数	251
1. 强度条件与许用应力	252
2. 极限应力的确定	252
3. 安全系数	253
第八章 材料的疲劳与冲击强度	254
一、材料的疲劳破坏	254
1. 变载荷	254
2. 常幅交变应力的基本参数	255
3. 几种典型的常幅交变应力	256
4. 疲劳破坏的形式与特征	257
5. 疲劳寿命	258
二、疲劳极限(持久极限)	258
1. S-N 曲线	258
2. 材料的疲劳极限	259
3. 非对称循环平均应力对疲劳强度 的影响	261
4. 经验公式的 σ_m - σ_a 曲线及实用范围 ...	262
三、影响疲劳强度的主要因素	263
1. 构件外形的影响	263
2. 构件尺寸的影响	265
3. 构件表面状态的影响	266

四、疲劳强度条件	269
1. 对称循环下的疲劳强度条件	269
2. 非对称循环交变应力下的强度计算 ...	270
五、高温疲劳与低温疲劳	273
1. 材料的高温疲劳强度	273
2. 材料的低温疲劳强度	274
六、材料的冲击强度	275
1. 冲击载荷作用下材料性能的变化	275
2. 冲击韧度	275
3. 根据冲击韧度判断脆性破坏	276
4. 冲击截荷的安全系数	277
第九章 杆件的拉压、剪切与扭转	278
一、直杆的拉伸与压缩	278
1. 圣维南原理	278
2. 截面法及截面上应力的合力 (轴向内力)	278
3. 等截面直杆受轴向集中力作用	279
4. 考虑自重作用的直杆	282
二、变截面杆	282
1. 锥形杆受轴向集中力作用	282
2. 等强度杆	283
3. 阶梯形杆	284
三、承受直接剪切的构件	285
1. 直接剪切作用	285
2. 截面剪切内力	286
3. 剪应力的确定	286
4. 连接件的强度计算	286
四、圆轴的扭转	288

1. 等截面圆轴的扭转	288
2. 变截面圆轴的扭转	290
3. 圆截面轴扭转的强度计算	290
五、任意截面杆的扭转	291
1. 扭转问题的基本方程	291
2. 解的一般公式	291
3. 几种常用截面形状杆的扭转公式	292
六、薄壁及组合截面杆的扭转	296
1. 薄壁管的扭转	296
2. 薄壁型材的扭转	297
第十章 梁的弯曲应力	298
一、梁及其弯曲的型式	298
1. 平面直梁	298
2. 平面曲梁	298
3. 梁的支座类型	299
二、梁截面的应力合力(梁的内力)	300
1. 梁内力的概念	300
2. 截面法确定梁的内力	302
3. 剪力、弯矩与分布载荷的微分关系	302
三、梁的内力方程及内力图	303
1. 直梁的平面弯曲(单跨静定梁 与静不定梁)	303
2. 曲梁的内力方程(平面弯曲与 空间弯曲)	323
四、直梁的弯曲应力	326
1. 平面弯曲及基本假设	326
2. 弯曲正应力公式	327
3. 弯曲剪应力	327

4. 各种截面的弯曲剪应力分布	329
五、平面图形的几何性质	334
1. 平面图形的坐标系	334
2. 各种几何性质的定义与公式	335
3. 坐标系平移与旋转的面积矩公式	338
4. 组合图形的几何性质	339
5. 各种平面图形几何性质计算公式	340
六、曲梁的弯曲应力	350
1. 曲梁的特性	350
2. 曲梁弯曲应变的分布	351
3. 曲梁的弯曲正应力分布及计算公式	351
4. 几种曲梁截面的形状系数 κ	353
5. 曲梁的最大弯曲正应力	354
第十一章 梁的弯曲变形	355
一、直梁的弹性挠曲线的求解方程	355
1. 基本方程	355
2. 直梁的弯曲微分方程	356
二、弯曲基本微分方程的求解	358
1. 积分法	358
2. 叠加法	359
3. 虚梁法(莫尔法)	360
三、等截面直梁的挠度曲线公式 (静定问题)	363
1. 悬臂梁	363
2. 简支梁	365
3. 外伸梁	371
四、弱曲梁的挠度曲线	373
1. 弱曲梁弯曲的基本方程	373