



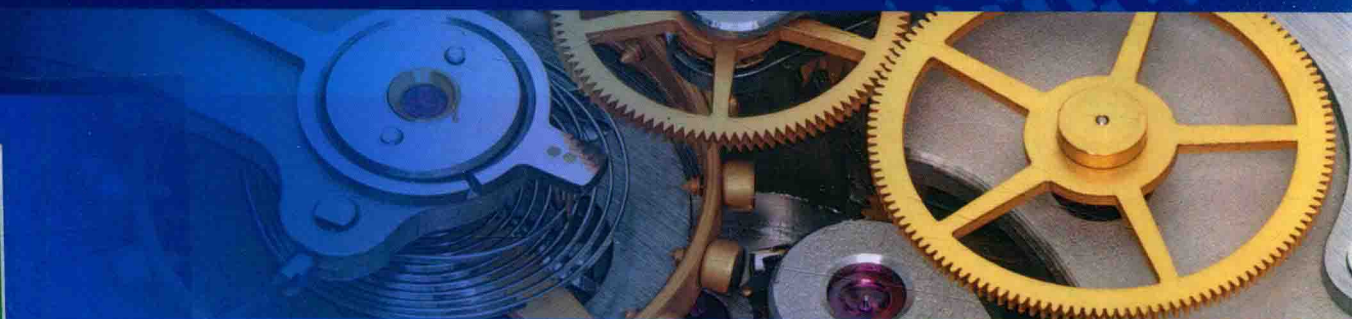
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级精品资源共享课教材

精密机械设计基础

Theories and Fundamentals of
Precision Machinery Design

第2版

天津大学 裘祖荣 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
国家级精品资源共享课教材

精密机械设计基础

第2版

主 编 裘祖荣

副主编 陶晓杰

参 编 赵 英 王伯雄 张 勇

刘京诚 燕必希 谢 驰

李永新 刘 华 宫 虎

主 审 张国雄 蒋秀珍

机械工业出版社

本书对精密仪器仪表中常用机构和零、部件的工作原理、适用范围、力学结构、设计计算方法、工程材料选择和热处理,以及零件的几何精度设计的基础知识做了较为详细的阐述。

全书共分十五章,内容包括:结构设计中的静力学平衡,机械工程常用材料及钢的热处理,零件强度、刚度分析的基本知识,平面机构的结构分析,平面连杆机构,凸轮机构,齿轮传动,带传动,螺旋传动,轴、联轴器、离合器,支承,直线运动导轨,弹性元件,零件的联接,零件的精度设计与互换性。

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是首批国家级精品资源共享课“精密机械设计基础”的核心资源,采用最新国家标准,内容深入浅出,知识体系融会贯通。本书为高等学校仪器类专业精密机械设计课程和仪器仪表机构设计课程的教材,亦可供有关专业师生和工程技术人员参考使用。

本精品资源共享课所配套的其他资源(包括电子课件、授课视频、习题参考答案等),请访问机械工业出版社教育服务网 www.cmpedu.com 注册后在本书相关页面上获取,或者访问爱课程网 www.icourses.cn 进入“资源共享课”栏目,搜索“精密机械设计基础”课程,在相关页面上获取。

图书在版编目(CIP)数据

精密机械设计基础/裘祖荣主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2016.12

普通高等教育“十一五”国家级规划教材 国家级精品资源共享课教材
ISBN 978-7-111-55189-8

I. ①精… II. ①裘… III. ①机械设计-高等学校-教材
IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 249198 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:贡克勤 责任编辑:贡克勤

责任校对:张征 封面设计:张静

责任印制:常天培

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2017 年 1 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·25.25 印张·593 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-55189-8

定价:49.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

第2版前言

《精密机械设计基础》自2007年出版以来，多次重印，受到了广大读者的欢迎和支持。作为仪器类专业重要技术基础课程的教科书，伴随着第一批国家级精品资源共享课“精密机械设计基础”的建设过程，本书的内容选择、知识体系及其知识点的编排较好地适应了仪器类专业的教学和人才培养的要求。与此同时，广大读者的用书体会，特别是各学校在教学过程中使用本书的具体实践，为本书第2版的编写起到了关键的指导作用。

随着仪器科学与技术不断发展，对人才知识结构和能力要求方面都提出了新的要求。在秉承简明扼要、突出精密机械特色、少学时条件下帮助学生掌握系统实用的精密机械设计知识的前提下，第2版主要在以下方面做了修订：①将书中涉及标准部分的内容，全部更新为最近颁布执行的版本，帮助读者在学习知识的同时，了解相关设计规范最新的执行标准；②增加了诸如“螺纹作用中径”“提取组成要素”等诸多新的术语概念，在教学大纲规定的知识范围内保证了本书在相关知识点上的前沿性；③修订了一些知识点的表述方法（包括图、文和表格），力求表达精准，便于掌握，易于融会贯通；④对知识点的选择做了部分调整和取舍，将部分章节列为建议自选内容（以*号标识），可以更好地适应不同专业背景教学计划的需要；⑤更新了部分习题，并补充了部分习题的指导和参考答案（可访问 www.cmpedu.com 注册后在本书相关页面上获取，或者访问 www.icourses.cn 进入“资源共享课”栏目，在“精密机械设计基础”课程相关页面上获取），便于自学或“慕课（MOOCs）”教学形式的使用。

第2版的总体内容布局与第1版基本相同。参加编写的有天津大学裘祖荣（绪论、第十五章），赵英（第一、三、六、七章）；清华大学王伯雄（第二、十章），合肥工业大学陶晓杰（第四章），张勇（第十二章），重庆大学刘京诚（第五、十四章），北京信息科技大学燕必希（第八章），四川大学谢驰（第九章），中国科学技术大学李永新（第十一章），上海交通大学刘华（第十三章）。天津大学官虎编写了网络版的习题解答，在本版教材的资料整理和编写过程的组织协调方面做了大量工作。对黄其圣、陈雍乐、董明利、洪海涛老师的无私贡献，编者表示衷心的感谢。

在本书编写过程中，得到了主审天津大学张国雄和哈尔滨工业大学蒋秀珍教授以及天津大学有关方面的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中不妥之处在所难免，衷心希望广大读者不吝赐教。

编者

第1版前言

“精密机械设计基础”是仪器仪表类专业重要的技术基础课程，仪器科学与技术不断发展，对课程知识体系和人才知识结构都提出了新的要求。为了更好地适应仪器类专业的教学要求，我们编写了这本教材，供各院校精密机械设计类课程使用。

考虑到仪器仪表类专业不同的人才培养特色和仪器仪表类专业机械类课程总学时普遍减少的情况，编者根据多年的教学经验，对知识点进行了精心编排和必要的精简取舍，突出精密机械特色，期望在学时少的条件下，帮助学生掌握相对系统实用的精密机械设计知识。

本书简明扼要，以基本的力学分析和零件的力学性能校核为起点，将精密机械及仪器仪表中常用机构和零、部件的工作原理，适用范围，结构，设计计算方法，工程材料选择和热处理，以及零件的几何精度设计的知识点融会贯通。在内容编排上突出重点，相关的知识尽可能独立成章，既可以保持知识点的系统化，又方便教师按需取舍，适合不同专业背景的教学要求。

全书共分十五章，内容包括：绪论，结构设计中的静力学平衡，机械工程常用材料及钢的热处理，零件强度、刚度分析的基本知识，平面机构的结构分析，平面连杆机构，凸轮机构，齿轮传动，带传动，螺旋传动，轴、联轴器、离合器，支承，直线运动导轨，弹性元件，零件的连接，零件的精度设计与互换性。

参加本书编写的有天津大学裘祖荣（绪论、第十五章），赵英（第一、三、六、七章），清华大学王伯雄（第二、十章），合肥工业大学陶晓杰（第四章），黄其圣（第十二章），重庆大学陈雍乐、刘京诚（第五、十四章），北京机械工业学院董明利（第八章），四川大学谢驰（第九章），中国科学技术大学李永新（第十一章），上海交通大学洪海涛（第十三章）。

作为高等学校仪器类专业精密机械设计课程和仪器仪表机构设计的课程教材，本书被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。编写过程中，得到了天津大学有关方面的大力支持，天津大学付鲁华为本书编写做了大量

的辅助工作，合肥工业大学张勇对本书第十二章做了部分修改工作，天津大学张国雄教授、哈尔滨工业大学蒋秀珍教授对本书做了细致的审阅，提出了许多建设性的意见，在此，编者一并表示衷心的感谢。

由于水平有限，书中不妥之处在所难免，编者衷心希望广大读者不吝赐教。

编者

第一章 绪论	1	第一节 木材的用途	1
第二章 木材的组成	10	第一节 木材的组成	10
第三章 木材的干燥	15	第一节 木材的干燥	15
第四章 木材的防腐	20	第一节 木材的防腐	20
第五章 木材的力学性能	25	第一节 木材的力学性能	25
第六章 木材的胶合	30	第一节 木材的胶合	30
第七章 木材的刨削	35	第一节 木材的刨削	35
第八章 木材的锯切	40	第一节 木材的锯切	40
第九章 木材的拼板	45	第一节 木材的拼板	45
第十章 木材的层压	50	第一节 木材的层压	50
第十一章 木材的贴面	55	第一节 木材的贴面	55
第十二章 木材的油漆	60	第一节 木材的油漆	60
第十三章 木材的防火	65	第一节 木材的防火	65
第十四章 木材的防虫	70	第一节 木材的防虫	70
第十五章 木材的防霉	75	第一节 木材的防霉	75
第十六章 木材的防辐射	80	第一节 木材的防辐射	80
第十七章 木材的防污染	85	第一节 木材的防污染	85
第十八章 木材的防老化	90	第一节 木材的防老化	90
第十九章 木材的防变形	95	第一节 木材的防变形	95
第二十章 木材的防开裂	100	第一节 木材的防开裂	100
第二十一章 木材的防虫蛀	105	第一节 木材的防虫蛀	105
第二十二章 木材的防霉变	110	第一节 木材的防霉变	110
第二十三章 木材的防辐射	115	第一节 木材的防辐射	115
第二十四章 木材的防污染	120	第一节 木材的防污染	120
第二十五章 木材的防老化	125	第一节 木材的防老化	125
第二十六章 木材的防变形	130	第一节 木材的防变形	130
第二十七章 木材的防开裂	135	第一节 木材的防开裂	135
第二十八章 木材的防虫蛀	140	第一节 木材的防虫蛀	140
第二十九章 木材的防霉变	145	第一节 木材的防霉变	145
第三十章 木材的防辐射	150	第一节 木材的防辐射	150
第三十一章 木材的防污染	155	第一节 木材的防污染	155
第三十二章 木材的防老化	160	第一节 木材的防老化	160
第三十三章 木材的防变形	165	第一节 木材的防变形	165
第三十四章 木材的防开裂	170	第一节 木材的防开裂	170
第三十五章 木材的防虫蛀	175	第一节 木材的防虫蛀	175
第三十六章 木材的防霉变	180	第一节 木材的防霉变	180
第三十七章 木材的防辐射	185	第一节 木材的防辐射	185
第三十八章 木材的防污染	190	第一节 木材的防污染	190
第三十九章 木材的防老化	195	第一节 木材的防老化	195
第四十章 木材的防变形	200	第一节 木材的防变形	200
第四十一章 木材的防开裂	205	第一节 木材的防开裂	205
第四十二章 木材的防虫蛀	210	第一节 木材的防虫蛀	210
第四十三章 木材的防霉变	215	第一节 木材的防霉变	215
第四十四章 木材的防辐射	220	第一节 木材的防辐射	220
第四十五章 木材的防污染	225	第一节 木材的防污染	225
第四十六章 木材的防老化	230	第一节 木材的防老化	230
第四十七章 木材的防变形	235	第一节 木材的防变形	235
第四十八章 木材的防开裂	240	第一节 木材的防开裂	240
第四十九章 木材的防虫蛀	245	第一节 木材的防虫蛀	245
第五十章 木材的防霉变	250	第一节 木材的防霉变	250
第五十一章 木材的防辐射	255	第一节 木材的防辐射	255
第五十二章 木材的防污染	260	第一节 木材的防污染	260
第五十三章 木材的防老化	265	第一节 木材的防老化	265
第五十四章 木材的防变形	270	第一节 木材的防变形	270
第五十五章 木材的防开裂	275	第一节 木材的防开裂	275
第五十六章 木材的防虫蛀	280	第一节 木材的防虫蛀	280
第五十七章 木材的防霉变	285	第一节 木材的防霉变	285
第五十八章 木材的防辐射	290	第一节 木材的防辐射	290
第五十九章 木材的防污染	295	第一节 木材的防污染	295
第六十章 木材的防老化	300	第一节 木材的防老化	300
第六十一章 木材的防变形	305	第一节 木材的防变形	305
第六十二章 木材的防开裂	310	第一节 木材的防开裂	310
第六十三章 木材的防虫蛀	315	第一节 木材的防虫蛀	315
第六十四章 木材的防霉变	320	第一节 木材的防霉变	320
第六十五章 木材的防辐射	325	第一节 木材的防辐射	325
第六十六章 木材的防污染	330	第一节 木材的防污染	330
第六十七章 木材的防老化	335	第一节 木材的防老化	335
第六十八章 木材的防变形	340	第一节 木材的防变形	340
第六十九章 木材的防开裂	345	第一节 木材的防开裂	345
第七十章 木材的防虫蛀	350	第一节 木材的防虫蛀	350
第七十一章 木材的防霉变	355	第一节 木材的防霉变	355
第七十二章 木材的防辐射	360	第一节 木材的防辐射	360
第七十三章 木材的防污染	365	第一节 木材的防污染	365
第七十四章 木材的防老化	370	第一节 木材的防老化	370
第七十五章 木材的防变形	375	第一节 木材的防变形	375
第七十六章 木材的防开裂	380	第一节 木材的防开裂	380
第七十七章 木材的防虫蛀	385	第一节 木材的防虫蛀	385
第七十八章 木材的防霉变	390	第一节 木材的防霉变	390
第七十九章 木材的防辐射	395	第一节 木材的防辐射	395
第八十章 木材的防污染	400	第一节 木材的防污染	400
第八十一章 木材的防老化	405	第一节 木材的防老化	405
第八十二章 木材的防变形	410	第一节 木材的防变形	410
第八十三章 木材的防开裂	415	第一节 木材的防开裂	415
第八十四章 木材的防虫蛀	420	第一节 木材的防虫蛀	420
第八十五章 木材的防霉变	425	第一节 木材的防霉变	425
第八十六章 木材的防辐射	430	第一节 木材的防辐射	430
第八十七章 木材的防污染	435	第一节 木材的防污染	435
第八十八章 木材的防老化	440	第一节 木材的防老化	440
第八十九章 木材的防变形	445	第一节 木材的防变形	445
第九十章 木材的防开裂	450	第一节 木材的防开裂	450
第九十一章 木材的防虫蛀	455	第一节 木材的防虫蛀	455
第九十二章 木材的防霉变	460	第一节 木材的防霉变	460
第九十三章 木材的防辐射	465	第一节 木材的防辐射	465
第九十四章 木材的防污染	470	第一节 木材的防污染	470
第九十五章 木材的防老化	475	第一节 木材的防老化	475
第九十六章 木材的防变形	480	第一节 木材的防变形	480
第九十七章 木材的防开裂	485	第一节 木材的防开裂	485
第九十八章 木材的防虫蛀	490	第一节 木材的防虫蛀	490
第九十九章 木材的防霉变	495	第一节 木材的防霉变	495
第一百章 木材的防辐射	500	第一节 木材的防辐射	500

基本物理量符号

A ——面积, 断后伸长率
 a ——中心距, 加速度, 系数
 B, b ——宽度
 C ——系数, 弹簧旋绕比
 c ——系数
 D, d ——直径
 E ——弹性模量, 能
 e ——偏心距
 F ——力, 载荷, 自由度
 F' ——刚度
 f ——频率, 摩擦因数, 系数
 G ——切变模量, 重力
 g ——重力加速度
 H ——高度
 HBW——布氏硬度
 HRC——洛氏硬度
 HV——维氏硬度
 h ——高度, 厚度
 J ——转动惯量, 截面惯性矩
 I_a ——截面惯性矩
 I_p ——极惯性矩
 i ——传动比
 K, k ——系数
 L ——长度, 寿命
 l ——长度, 距离
 M ——力矩
 M_b ——弯矩, 内弯矩
 M_o ——力系对点 O 的主矩
 m ——模数, 质量, 系数
 N ——循环次数, 正压力
 n ——转速
 P ——功率
 p ——压强, 齿距

r ——半径
 S ——安全系数
 $[S]$ ——许用安全系数
 s ——齿厚, 弧长, 位移
 T ——转矩, 温度, 周期
 t ——摄氏温度, 时间
 V ——体积
 v ——速度
 W ——截面系数, 功
 x, y, z ——坐标轴符号
 Z ——断面收缩率
 z ——齿数, 个数
 α, β, γ ——角度
 δ ——角度, 厚度, 相对误差, 断面伸长率
 Δ ——绝对误差
 ε ——应变, 重合度
 η ——效率
 θ ——角度
 λ ——变形量, 挠度
 μ ——泊松比, 黏度
 ρ ——摩擦角, 曲率半径
 σ ——正应力, 拉应力
 σ_b ——抗拉强度, R_m
 σ_s ——屈服点
 σ_{eH} ——上屈服强度
 σ_{eL} ——下屈服强度
 σ_c ——临界应力
 σ_p ——比例极限
 τ ——切应力
 φ ——角度
 ω ——角速度
 x ——变位系数
 ψ ——系数, 角度

目 录

第2版前言	思考题及习题	64
第1版前言	第四章 平面机构的结构分析	67
基本物理量符号	第一节 概述	67
绪论	第二节 运动副及其分类	67
第一节 精密机械设计课程	第三节 平面机构的运动简图	69
的地位和作用	第四节 平面机构的自由度	71
1	第五节 平面机构的组成原理	76
第二节 精密机械设计的基本任务	和结构分析	76
和要求	思考题及习题	79
1	第五章 平面连杆机构	82
第三节 精密机械设计的目标和	第一节 概述	82
一般方法	第二节 平面四杆机构的分类	82
3	第三节 平面四杆机构曲柄存在的条件	85
*第一章 结构设计中的静力学平衡	和几个基本概念	85
第一节 刚体的概念	第四节 平面四杆机构的设计	89
5	思考题及习题	100
第二节 力的性质	第六章 凸轮机构	102
5	第一节 概述	102
第三节 平面一般力系的简化	第二节 从动件常用运动规律	103
12	第三节 图解法设计平面凸轮轮廓	106
第四节 零件受力分析与受力图	第四节 解析法设计平面凸轮轮廓	108
18	第五节 凸轮机构基本尺寸的确定	109
第五节 平面一般力系的平衡	思考题及习题	112
20	第七章 齿轮传动	113
第六节 摩擦	第一节 概述	113
24	第二节 齿廓啮合基本定律	113
思考题及习题	第三节 渐开线齿廓曲线	115
26	第四节 渐开线齿轮各部分的名称、	117
第二章 机械工程常用材料及钢的热处理	符号和几何尺寸的计算	117
第一节 概述	第五节 渐开线直齿圆柱齿轮传动	121
28	第六节 渐开线齿廓的切制原理、根切	125
第二节 金属材料的力学性能	和最少齿数	125
28	*第七节 变位齿轮	128
第三节 常用的工程材料	第八节 斜齿圆柱齿轮传动	131
31	*第九节 齿轮传动的失效形式和材料	135
*第四节 钢的热处理	*第十节 圆柱齿轮传动的强度计算	137
34		
第五节 表面精饰		
38		
第六节 精密仪器材料选用原则		
40		
思考题及习题		
41		
*第三章 零件强度、刚度分析的基本知识		
第一节 概述		
43		
第二节 直杆轴向拉伸与压缩		
44		
第三节 剪切		
47		
第四节 圆轴扭转		
49		
第五节 梁的平面弯曲		
53		
第六节 复杂变形的强度计算		
61		

第十一节 锥齿轮传动	150	第一节 概述	275
第十二节 蜗杆传动	154	第二节 滑动摩擦导轨	276
第十三节 轮系	159	第三节 滚动摩擦导轨	285
第十四节 齿轮传动链的设计	165	第四节 其他类型的导轨简介	291
思考题及习题	172	思考题及习题	293
第八章 带传动	175	第十三章 弹性元件	294
第一节 概述	175	第一节 概述	294
第二节 带传动的计算基础	175	第二节 弹性元件的基本特性	297
第三节 同步带传动	180	第三节 螺旋弹簧	300
第四节 其他带传动简介	190	第四节 游丝	308
思考题及习题	191	第五节 片簧	312
第九章 螺旋传动	192	第六节 热双金属弹簧	313
第一节 概述	192	第七节 其他弹性元件简介	315
第二节 滑动螺旋传动	192	思考题及习题	320
第三节 滚珠螺旋传动	208	第十四章 零件的联接	321
思考题及习题	211	第一节 联接的分类与要求	321
第十章 轴、联轴器、离合器	213	第二节 可拆联接	321
第一节 概述	213	第三节 不可拆连接	330
第二节 轴	214	第四节 光学零件的连接	336
第三节 联轴器	223	思考题及习题	339
第四节 离合器	233	第十五章 零件的精度设计与	
思考题及习题	235	互换性	340
第十一章 支承	237	第一节 概述	340
第一节 概述	237	第二节 尺寸精度设计	344
第二节 滑动摩擦支承	237	第三节 几何精度设计	361
第三节 滚动摩擦支承	244	第四节 表面粗糙度	375
第四节 弹性摩擦支承	267	第五节 零、部件典型结构的公差	
第五节 流体摩擦支承及其他		与配合标准简介	380
形式的支承	268	思考题及习题	394
第六节 精密轴系	269	参考文献	396
思考题及习题	274		
第十二章 直线运动导轨	275		

第二节 精密机械设计的基本任务和要求

一台精密仪器设备从提出任务到投入正常使用,一般要经过研究、设计、制造和运行考核各个阶段。精密机械设计作为仪器类专业专业的学科基础课,主要研究精密机械中

绪 论

第一节 精密机械设计课程的地位和作用

机械是机器和机构的总称。在日常生活中,我们接触到许多机器,如复印机、打印机、洗衣机、各种机床、汽车等。这些不同类型的机器具有不同的形式、构造和用途。不同的机器,就其组成来分析,都是由各种机构组合而成的。常见的机构有连杆机构、凸轮机构和齿轮机构等。机构是由构件组成的,构件可以是单一的零件,也可以是由几个零件组合而成,所以构件是机构中的“运动单元”,而零件是机器的“制造单元”。

随着数学、电子学、自动控制、计算机等现代科学技术的进步和发展,人类综合应用了各方面的知识和技术,不断创造出各种新型的精密机械及其产品。这些机械产品的机构更精巧,动作更准确,零件精度更高,而且往往是机、光、电、算一体化,极大地扩大了精密机械的应用范围,也为精密机械学科的发展开辟了更加广阔的途径。仪器仪表作为信息获取、变送传输、数据处理和执行控制等多种功能的高级工具,也已经从早期单一的机械式的和光学机械式仪器仪表,发展成为以机光电算一体化和智能化为基本特征的现代仪器仪表。在此发展过程中,虽然机械系统的某些功能在许多情况下被其他技术系统的功能所扩展或代替,但任何一项先进的技术系统,欲成为具有实用价值的现代仪器仪表产品,都不可能完全脱离精密机械系统与结构而存在。精密机械系统与结构仍是现代仪器仪表的基础和重要组成部分。高新技术的研究成果和产品,都是多种学科技术相互渗透、综合应用的结果。大量技术实践证明,精密机械系统及结构的质量直接影响仪器仪表的性能指标、工作可靠性和稳定性。精密机械系统与结构及现代仪器仪表的总体性能质量之所以息息相关,其根本原因就在于精密机械系统与结构在现代仪器仪表中仍有其不可替代的功能和作用。

目前,精密机械已经广泛地应用于国民经济和国防工业的许多部门,如各种科学仪器,自动化仪器仪表,精密加工机床,医疗仪器设备,计算机及其外围设备;仿生技术中的机械臂、机器人;宇航技术中的火箭、卫星以及测控伺服系统中的动力传递和精密传动等。而且,随着生产和科学技术的发展,对精密机械及其产品无论在质量、数量和品种上,都不断地提出了更新、更高的要求。

第二节 精密机械设计的基本任务和要求

一台精密仪器设备从提出任务到投入正常使用,一般要经过研究、设计、制造和运行考核等各个阶段。精密机械设计作为仪器仪表类专业的学科基础课,主要研究精密机械中

常用机构和常用的零件、部件。从机构分析、功能、精度和性能等诸方面来研究这些机构和零件及部件的工作原理、特点、应用范围、选型、材料、精度以及一般设计计算的原则和方法。

现代仪器仪表及其精密机械系统，无论是新产品的创新研究设计或已有产品的改进变型设计，都应满足技术性能指标与经济性指标两个方面的基本要求。虽然这些要求常常会随着精密机械系统与结构在仪器仪表中的功能和使用环境条件的不同而有所侧重，但作为精密机械设计的基本要求，应该包括以下方面：

- 1) 以机械运动学原理作为机械结构设计的理论依据，保证精密机械系统与结构中每一构件都能获得仪器仪表功能所要求的相对运动或相对固定关系，满足精密机械系统要求的位置关系、运动规律和运动范围。
- 2) 满足仪器仪表功能和技术指标所要求的精度指标，保证所组成的精密机械系统机构在加工、安装和使用过程中所产生的机构位置误差与运动误差在指定的范围之内。
- 3) 尽量减少精密机械系统机构的运动惯量、摩擦及其他机械阻抗，提高机构的效率，满足机构的灵敏性要求，实现机构必要的动态响应速度。
- 4) 控制运动副必需的、均匀的最小间隙和工作表面质量，减少零件工作表面的几何形状和相对位置误差，保证精密机械系统运转速度的平稳性。
- 5) 虽然与一般机械相比，仪器仪表中精密机械系统与结构传递的能量较小，但每个构件仍应在要求的使用期限内具有必要的工作能力，即要保证任何一个机械构件在工作时具有足够的强度和刚度。
- 6) 考虑仪器仪表的工作环境和使用条件（如温度、湿度、腐蚀和冲击等），采用必要的选材方案和试验结论，保证仪器在各种可能遇到的环境条件下都能稳定地工作。
- 7) 运用人机工程学原则，在实现仪器仪表规定功能的前提下，充分考虑人的操作习惯，实现安全、舒适、简便、无误的操作。
- 8) 研究仪器仪表功能与成本的最佳匹配，在满足仪器仪表技术性能要求的前提下，充分贯彻标准化、系列化、通用化等原则，实现经济地进行生产，使设计出的仪器仪表技术性能好，适应市场需求，成本低，在市场竞争中获得较高的经济效益。

作为精密机械设计的基础课程，本课程的基本任务是：

- 1) 使学生基本掌握精密仪器仪表中通用机构的结构分析、运动分析、动力分析及其设计方法。
- 2) 使学生掌握通用零件、部件的工作原理、特点、选型及其计算方法，培养学生能运用所学基础理论知识解决精密机械零件、部件的设计问题。
- 3) 培养学生具有设计精密机械传动和仪器机械结构的能力，以及对某些典型零件、部件的精度分析能力，并提出改进措施。
- 4) 使学生了解常用机构和零件、部件的试验方法；初步具有某些零件、部件的性能测试和结构分析能力。
- 5) 使学生了解零件的材料与热处理方法、精度设计和互换性方面的基本知识，并能在工程设计中正确应用。

第三节 精密机械设计的目标和一般方法

精密机械系统结构的设计过程大体上有三种类型：开发性设计，即利用新原理、新技术设计新产品；适应性设计，即保留原有产品的原理及方案不变，为适应市场需要，只对某些零件或部件进行重新设计；变参数设计，即保留原产品的功能、原理方案和结构，仅改变零件、部件的尺寸或结构布局形成系列产品。一般情况下，无论哪种设计类型，都应该达到或保持以下两个功能：首先是组成具有确定运动规律的运动系统，在进行运动和能量传递、转换，完成仪器仪表功能所要求的各种动作的同时，与仪器仪表技术系统中的传感、控制、驱动等其他元器件共同实现信息的传递、转换，以及指示工作状态和工作结果。其次是构成仪器仪表的基体、运动机构的机架和运动支承、导向系统，实现仪器仪表中光学、电子、机械等各种元器件及机构零部件的刚性或弹性连接、调整和固定，使各元器件获得所要求的确定而稳定的相对位置，为保证各元器件发挥其应有的工作性能提供条件。

以新产品开发设计为例，精密机械系统机构的设计一般分为四个阶段：

(1) 调查决策阶段 在设计精密机械系统时，需进行必要的调查研究，了解用户的意见和要求、市场供应情况和前景，收集有关的技术资料及新技术、新工艺、新材料的应用情况。在此基础上，拟定新产品开发计划书。在设计开始阶段，应充分发挥创造性，构思方案应多样化，以便经过反复分析比较后，从中选出最佳方案。决策是非常关键的一步，直接影响设计工作和产品的成败。

(2) 研究设计阶段 此阶段一般分为两步进行。第一步主要是功能设计研究，称为前期开发，任务是解决技术中的关键问题。为此，需要对新产品进行试验研究和技术分析，验证原理的可行性和发现的问题，给出总布局图和外形图等。第二步为新产品的技术设计，称为后期开发，绘出总装配图、部件装配图、零件工作图，各种系统图（传动系统、液压系统、电路系统和光路系统等）以及制作详细的计算说明书、使用说明书和验收规程等各种技术文件。以上各部分内容往往需要相互配合，设计工作也常需多次修改，逐步逼近，尽量使设计出的产品技术先进，可靠性好、经济合理、造型美观。为保证设计质量，对不同的设计阶段还应该进行必要的仿真检查、验收。

(3) 试制阶段 样机试制完成后，应进行样机试验，并做出全面的技术经济评估，以决定设计方案是否可用或需要改进设计。即使可用的方案，一般也需要做适当修改，使设计达到最佳化。需要修改的方案应检查数学、物理模型是否符合实际，必要时，改进模型后进行试验，甚至重新设计。

(4) 投产销售阶段 样机试验成功后，对于批量生产的产品，还需进行工艺、工装方面的生产设计。经小批量试制、用户试用、改进定型后，方可投入正式生产、销售和售后服务工作。要重视售后服务工作，从市场反馈信息中发现产品的薄弱环节，这对于进一步完善产品设计，提高产品可靠度，萌生新的设计构思，开发新产品都有积极的意义。

精密机械设计基础是一门理论和实践密切结合的设计性课程，因此，在教学环节中，除进行理论讲授外，还安排有习题课（讨论课）、实验课、实物教学及课程设计等实践性

教学环节。这对于全面培养学生的分析问题和解决问题的能力以及工程设计能力是至关重要的。

在进行精密机械设计的过程中,完成同一工作任务往往可以选用不同类型的机构和零件、部件。例如,传递两平行轴之间的运动,可以用带传动,齿轮传动等。此外,同一零件、部件,使用场合不同,受力状况不同,其设计原则和方法也不尽相同。因此,在学习和工程设计的实践中,必须树立辩证观点,理论联系实际,学会具体问题具体分析,在掌握各种机构和零件、部件基本理论和基本知识的基础上,根据具体使用条件,合理地进行选型及采用正确的设计计算方法。

第一章 结构设计中的静力学平衡

第一节 刚体的概念

力是物体间的相互机械作用，它能使物体的运动状态发生变化，同时还会使物体的形状发生变化，即发生变形。

所谓刚体是在受力情况下保持形状和大小不变的物体。它是一个理想化了的力学模型。

在正常情况下，物体受力都会产生变形，但由于工程上用的机械零件或构件都有足够抵抗变形的能力，在所允许力的作用下产生的变形是微小的，这种微小的变形对研究物体的平衡问题不起主要作用，常常可以忽略不计。这样就可以把物体看成不变形的刚体。

因此，在结构设计中，通过力的平衡求解零件（或构件）所受的外力时，可以把它们看作刚体；当研究零件（或构件）受力变形及应力分析时，应将受力对象看作弹性体。

第二节 力的性质

一、力的基本概念

力是物体间的相互机械作用，描述力的作用需要三个基本要素：①力的作用点，即力的作用位置；②力的作用方向；③力的大小。

力的作用点即物体直接承受力的那一点，通过力的作用点，沿力的作用方向的一条直线，称为该力的作用线。

在国际单位制中，以“牛[顿]”作为力的单位，记作 N。

力的三要素可以用一个矢量表示出来，矢量的起点或终点表示力的作用点，矢量的方向和箭头的指向表示力的方向，矢量的长度按照选定的比例尺代表力的大小，如图 1-1 所示。推动小车的力用矢量 AB 表示，它的终点 B 为力的作用点，它的方向是水平向右，它的长度代表 80N（比例尺为每格代表 10N）。矢量可用黑体字母（例如 F ）表示。

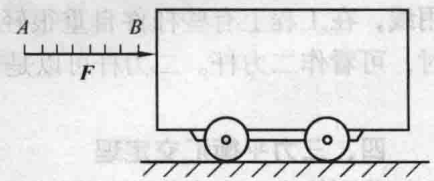


图 1-1 力的矢量表示法

对刚体而言，力可以沿其作用线任意滑动，而不改变其作用效果，即力的作用线上任一点都可以作为力的作用点，这一性质被称为力的可传性。

二、力系的概念

一个物体常常受到几个力的作用。力学中将同时作用在同一物体上的许多力称为力系。

各力作用线在同一平面内的力系称为平面力系，不在同一平面内的力系称为空间力系。

各力作用线相交于一点的力系称为汇交力系或共点力系，各力作用线相互平行的力系称为平行力系。

作用于物体上的力系如果用另一个力系来代替而效果相同，则称这两个力系为等效力系。

如果物体在某一力系作用下，其运动状态不变，则此力系称为平衡力系。显然，将平衡力系加到静止的物体上时，物体仍将保持静止。

三、二力杆平衡

如果一个刚体受两个力 F_1 和 F_2 的作用，如图 1-2a 所示，那么在什么条件下，这个刚体能够平衡呢？实践证明，当 F_1 和 F_2 大小相等、方向相反、作用线在同一条直线上时，受力刚体就处于平衡状态， F_1 与 F_2 称为一对平衡力，这是最简单的平衡力系。

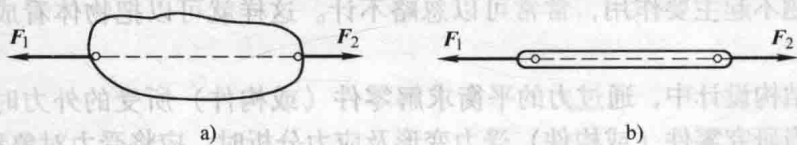


图 1-2 二力杆平衡状态

由此可得到一个基本结论：作用于同一刚体上的两个力，使刚体处于平衡状态的必要和充分条件是：这两个力的大小相等、方向相反、沿同一作用线作用（简称等值、反向、共线）。这个结论称为二力平衡定律。

我们把仅受二力作用而处于平衡状态的物体称为二力体。如果物体是杆件（见图 1-2b），则称为二力杆。根据二力平衡条件，二力杆上二平衡力作用点的连线就是力的作用线，在工程上有些杆件自重很轻，往往可以略去不计，当它只受二力作用而保持平衡时，可看作二力杆。二力杆可以是直杆，也可是弯杆。

四、三力平衡汇交定理

若刚体在三个力作用下处于平衡，且其中二力的作用线相交于一点，则第三个力的作用线必须通过同一点（见图 1-3a）。

证明 设三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 分别作用在刚体上 A 、 B 、 C 三点，使刚体处于平衡，其中力 F_1 与 F_2 的作用线交于 O 点。

根据力的可传性原理，将力 F_1 、 F_2 沿作用线移到它们的交点 O ，并按力的平行四边形公理合成为一个合力 F_R 。由于三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 是成平衡的，因此 F_3 应与 F_1 、 F_2 的合力 F_R 平衡。根据二力平衡的条件，力 F_3 必定与 F_R 共线，所以 F_3 必须通过 F_1 与 F_2

的交点 O (见图 1-3b)。

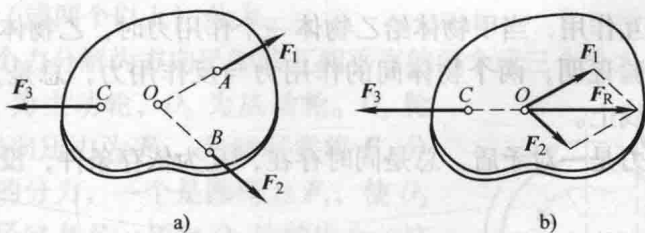


图 1-3 三力平衡汇交

例 1-1 如图 1-4a 所示的钢架, 在 C 点作用一水平力 F 。试求支座 A 和 B 处的约束反力。钢架的重量略去不计。

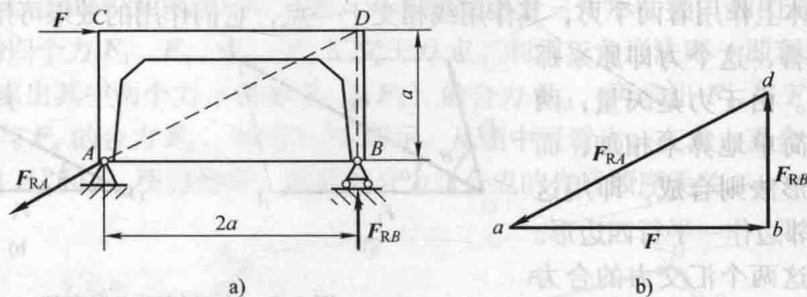


图 1-4 例 1-1 图

解 1) 取钢架为研究对象, 画受力图 (见图 1-4a)。

由于钢架在 C 点受到向右的水平力 F 作用, 且活动铰链支座 B 的反力 F_{RB} 通过铰链中心并垂直于支承面垂直向上, 由三力平衡汇交定理可知, 固定铰链支座 A 的约束反力 F_{RA} 的作用线必定通过 F 与 F_{RB} 两力的作用线交点 D 。

2) 做封闭的力三角形 (见图 1-4b)。

在图 1-4a 中, 可求得

$$AD = \sqrt{a^2 + (2a)^2} = a\sqrt{5}$$

因为 $\triangle ABD$ 相似于 $\triangle abd$, 其对应边应成比例, 故有

$$\frac{F}{2a} = \frac{F_{RA}}{a\sqrt{5}} = \frac{F_{RB}}{a}$$

解得

$$F_{RA} = F \frac{a\sqrt{5}}{2a} = \frac{\sqrt{5}}{2}F$$

$$F_{RB} = F \frac{a}{2a} = \frac{1}{2}F$$

五、作用与反作用定律

力是物体间的相互作用，当甲物体给乙物体一个作用力时，乙物体也同时给甲物体一个反作用力。大量试验证明，两个物体间的作用力与反作用力，总是大小相等、方向相反、作用于同一条直线上。

作用力和反作用力是一对矛盾，总是同时存在，互为依存条件，没有作用力就不存在反作用力。

必须指出，作用力与反作用力是分别作用在两个不同物体上的力，它不同于一对平衡力，二力平衡是指作用在同一物体上的两个力的平衡。

六、力的合成的图解法

1. 二力合成（平行四边形定律）

如果在刚体上作用着两个力，其作用线相交于一点，它们作用的效果可用另一个力的作用效果来代替，这个力即原来那两个力的合力。由于力是矢量，两力合成就不是简单地算术相加，而是按平行四边形法则合成，即用这两个汇交力为邻边作一平行四边形。其对角线就是这两个汇交力的合力（包括大小和方向），如图 1-5a 所示。矢量 OA 和 OB 分别代表两个已知力 F_1 与 F_2 ，相交于 O 点，以 OA 和 OB 为邻边作平行四边形 $OACB$ ，其对角线 OC 即代表 F_1 和 F_2 的合力 F_R ，其方位由 OC 与 OA 的夹角 α 表示， OC 即代表合力作用线的位置。

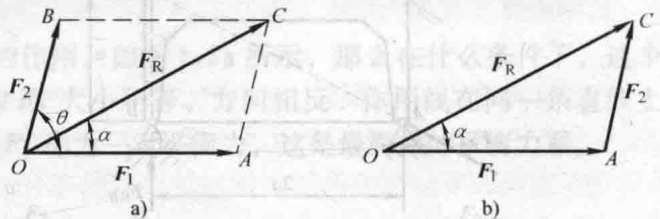


图 1-5 力平行四边形定律
a) 力的合成 b) 力三角形法则

实际上不必将平行四边形全部画出，只画出三角形 OAC 或三角形 OBC 即可（见图 1-5b）。作图步骤是先按比例画出 F_1 的矢量（用 OA 表示），然后再过 A 点按比例尺画出 F_2 的矢量（即 AC ），于是从 O 到 C 的封闭边就是合力 F_R 。 $\triangle OAC$ 称为力三角形，这种求合力的方法叫做力三角形法则。

此外求二汇交力的合力也可以应用余弦定理计算：

合力大小为

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta} \quad (1-1)$$

合力方位为

$$\alpha = \arctan \frac{F_2 \sin\theta}{F_1 + F_2 \cos\theta} \quad (1-2)$$

当 $\theta=0^\circ$ 时，则 F_R 最大；当 $\theta=180^\circ$ 时，则 F_R 最小；当 $\theta=90^\circ$ 时，则 F_1 与 F_2 两力作用线互相垂直，上述公式可写成

$$F_R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$$

$$\alpha = \arctan \frac{F_2}{F_1} \text{ 或 } \cos\alpha = \frac{F_1}{F_R}$$

2. 力的分解

力可以合成，也可以分解。将一个力分解为相交的两个（或两个以上）分力的过程，称为力的分解。分解与合成不同，两个（或两个以上）力的合成只有一个合力，而一个