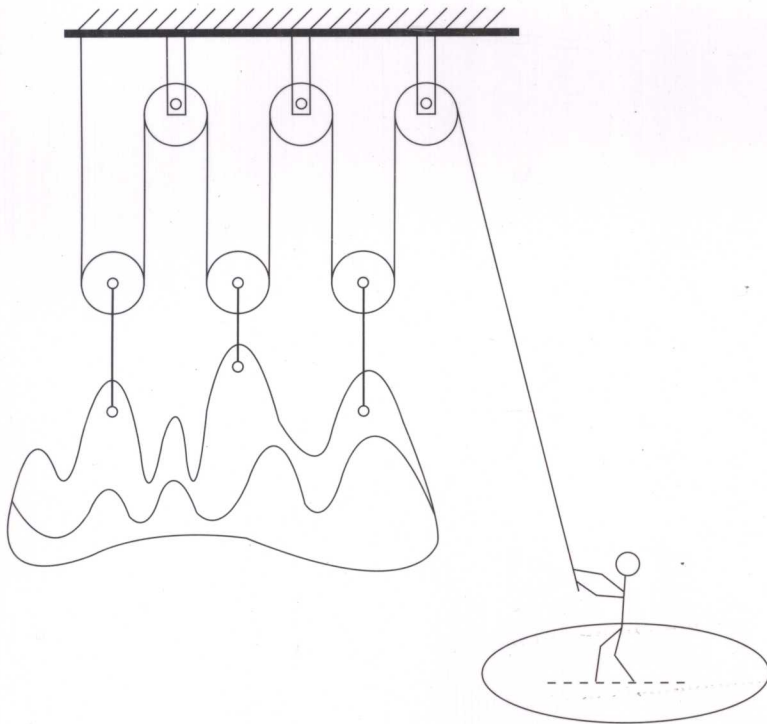


普通高等院校机械工程学科“十一·五”规划教材

理论力学

LILUN LIXUE

主 编 牛学仁
副主编 戴保东 王灵卉



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校机械工程学科“十一五”规划教材

理论力学

主 编	牛学仁	
副主编	戴保东	王灵卉
参 编	李光明	刘 卫
主 审	梅凤翔	

国防工业出版社

· 北京 ·

普通高等院校机械工程学科“十一五”规划教材

编委会名单

名誉主任	艾 兴	山东大学
	王先逵	清华大学
主 任	吕 明	太原理工大学
副 主 任	庞思勤	北京理工大学
	朱喜林	吉林大学
秘 书 长	杨胜强	太原理工大学
委 员	吴宗泽	清华大学
	潘宏侠	中北大学
	轧 刚	太原理工大学
	任家骏	太原理工大学
	陈 明	北华航天工业学院
	谭晓兰	北方工业大学
	李德才	北京交通大学
	杨 康	佳木斯大学
	石望远	北华航天工业学院
	王好臣	山东理工大学
	王卫平	东莞理工学院
	张平宽	太原科技大学
	赵 波	河南理工大学

序

国防工业出版社组织编写的“普通高等院校机械工程学科‘十一五’规划教材”即将出版,欣然为之作“序”。

随着国民经济和社会的发展,我国高等教育已形成大众化教育的大好形势,为适应建设创新型国家的重大需求,迫切要求培养高素质专门人才和创新人才,学校必须在教育观念、教学思想等方面做出迅速的反应,进行深入教学改革,而教学改革的主要内容之一是课程的改革与建设,其中包括教材的改革与建设,课程的改革与建设应体现、固化在教材之中。

教材是教学不可缺少的重要组成部分,教材的水平将直接影响教学质量,特别是对学生创新能力的培养。作为机械工程学科的教材,不能只是传授基本理论知识,更应该是既强调理论,又重在实践,突出的要理论与实践结合,培养学生解决实际问题的能力和创新能力。在新的深入教学改革、新课程体系的建立及课程内容的发展过程中,建设这样一套新型教材的任务已经迫切地摆在我们面前。

国防工业出版社组织有关院校主持编写的这套“普通高等院校机械工程学科‘十一五’规划教材”,可谓正得其时。此套教材的特点是以编写“有利于提高学生创新能力培养和知识水平”为宗旨,选题论证严谨、科学,以体现先进性、创新性、实用性,注重学生能力培养为原则,以编出特色教材、精品教材为指导思想,注意教材的立体化建设,在教材的体系上下功夫。编写过程中,每部教材都经过主编和参编辛勤认真的编写和主审专家的严格把关,使本套教材既继承老教材的特点,又适应新形势下教改的要求,保证了教材的系统性和精品化,体现了创新教育、能力教育、素质教育教学理念,有效激发学生自主学习能力,提高学生的综合素质和创新能力,为培养出符合社会需要的优秀人才服务。丛书的出版对高校的教材建设、特别是精品课程及其教材的建设起到了推动作用。

衷心祝贺国防工业出版社和所有参编人员为我国高等教育提供了这样一套有水平、有特色、高质量的机械工程学科规划教材,并希望编写者和出版者在与使用者的沟通过程中,认真听取他们的宝贵意见,不断提高该套规划教材的水平!

中国工程院院士

2008年6月

前 言

理论力学是一门技术基础课,也是各门后续力学课程的基础。它的任务是研究物体机械运动的一般规律,并运用这些规律分析、解决工程中的力学问题。理论力学的显著特点是其理论的严密性与工程实际结合的紧密性。

本教材是为了适应教育教学改革的需要,遵循“内容精、学时少、起点高、重应用”的改革思想,并参照高等学校工程力学教材编审委员会审定的“理论力学教学大纲”编写的。书中采用我国最新颁布的国家标准(GB 3100~3102—1993)《量和单位》中的符号。本书适用于本科力学、机械、土建、水利、航空等专业(参考学时70~90),也可作为从事力学教学和研究人员参考书。

作者在编写本书时,在以下方面作了一些工作:

(1) 提高起点,精简与物理的重复部分,但仍注意理论的系统性、完整性、科学性和衔接自然。静力学部分作了较大的改动,以力系的简化(合成)、力系的平衡条件及其应用为主线,从空间力系讲起,把平面力系作为特殊情况来处理。摩擦部分不单独列章,在突出摩擦特点的同时,将具有摩擦的平衡问题作为平面力系的应用来处理。运动学部分先讲刚体的平面运动,后讲点的合成运动,这样可分析牵连运动为平面运动的情况;点的运动学、质点动力学等部分中一些简单的概念、结论已在物理中介绍过的,尽量叙述简明扼要,重在对其力学意义的阐述和应用。这样既提高了起点,又节约课时,还能被学生所接受。

(2) 紧密结合工程实际,加强力学建模能力的培养。书中相当数量的例题、习题都来自工程实际。在概念的引出和内容的叙述上,尽量与工程实际相结合,使读者清楚工程背景,提高力学建模的能力。

(3) 书中各章后编有小结、思考题和习题。小结帮助读者总结、概括、归纳每章的内容,使读者对每章内容有一个清晰的了解,便于复习;思考题帮助读者对概念的准确理解和对理论的掌握,以便夯实基础;习题注重对问题的分析、理论的应用、基本技能的训练和综合应用知识能力的提高。

本书由太原科技大学牛学仁担任主编,戴保东、王灵卉担任副主编,由北京理工大学梅凤翔教授主审。

绪论、静力学引言、动力学引言、第10章、第11章、第14章、第15章由牛学仁编著,第1章、第2章由李光明编著,第3章、第8章由王灵卉编著,运动学引言、第4章、第5章、第6章、第7章、第13章由戴保东编著,第9章、第12章由北华航天工业学院刘卫编著。

西安交通大学朱因远教授、太原理工大学陈昭怡教授、中北大学王月梅教授,北京理工大学刘海燕副教授、青岛海洋大学李晓玲副教授对本书提出了许多宝贵的建议,谨此向他们致以衷心的感谢。

太原科技大学教务处领导、力学系全体老师对本书的出版给予了热情的支持,在此表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限,书中一定存在不少不足之处,我们真诚希望专家和广大读者批评指正。

编者
2009.4

目 录

第一篇 静 力 学

第 1 章 静力学公理和物体的受力分析	6
1.1 静力学基本概念	6
1.1.1 刚体的概念	6
1.1.2 力的概念	6
1.2 静力学公理	7
1.3 约束和约束力 物体的受力分析	9
1.3.1 约束和约束力	9
1.3.2 物体的受力分析和受力图	12
本章小结	16
思考题	16
习题 A	17
习题 B	18
第 2 章 力系的简化	19
2.1 汇交力系合成与平衡的几何法	19
2.1.1 汇交力系合成的几何法 力多边形法则	19
2.1.2 汇交力系平衡的几何条件	20
2.2 汇交力系合成与平衡的解析法	21
2.2.1 力的投影	21
2.2.2 力的分解	22
2.2.3 汇交力系合成的解析法及平衡方程	23
2.3 力对点的矩和力对轴的矩	25
2.3.1 力对点的矩	25
2.3.2 力对轴的矩	26
2.3.3 力对点的矩与力对过该点的轴的矩的关系	27
2.3.4 汇交力系的合力矩定理	28
2.4 力偶理论	29
2.4.1 力偶与力偶矩	29
2.4.2 力偶的等效定理	31
2.4.3 力偶系的合成与平衡	31
2.5 一般力系的简化 主矢和主矩	33

2.5.1 力的平移定理	33
2.5.2 空间一般力系的简化 主矢和主矩	33
2.5.3 力系简化结果的分析	35
2.6 重心和形心	39
2.6.1 重心的概念	39
2.6.2 物体的重心坐标公式	39
本章小结	42
思考题	45
习题 A	46
习题 B	49
第3章 力系的平衡	51
3.1 力系的平衡条件和平衡方程	51
3.1.1 平衡条件	51
3.1.2 平衡方程	51
3.1.3 平衡方程的其他形式	53
3.2 平面任意力系平衡方程的应用	54
3.2.1 单刚体的平衡	54
3.2.2 物体系统的平衡 静定和静不定问题	56
3.2.3 静定平面桁架及其内力计算	59
3.2.4 考虑摩擦时的物体平衡问题	61
3.3 空间力系平衡方程的应用	67
3.3.1 空间力系平衡方程的应用	67
3.3.2 约束的类型	69
本章小结	70
思考题	71
习题 A	72
习题 B	76

第二篇 运动学

第4章 点的运动学	81
4.1 确定点的位置的方法	81
4.1.1 矢量法	81
4.1.2 直角坐标法	81
4.1.3 自然坐标法	82
4.2 点的速度和加速度的矢量表示法	82
4.2.1 点的速度	82
4.2.2 点的加速度	83
4.3 点的速度和加速度在直角坐标轴上的投影	84
4.3.1 点的速度在直角坐标轴上的投影	84

4.3.2 点的加速度在直角坐标轴上的投影	84
4.4 点的速度和加速度在自然坐标轴上的投影	89
4.4.1 自然坐标轴系	89
4.4.2 点的速度在自然坐标轴上的投影	90
4.4.3 点的加速度在自然坐标轴上的投影	90
本章小结	95
思考题	96
习题 A	97
习题 B	99
第5章 刚体的基本运动	101
5.1 刚体的平行移动	101
5.2 刚体的定轴转动	102
5.2.1 转动方程	102
5.2.2 角速度	103
5.2.3 角加速度	103
5.3 定轴转动刚体内各点的速度和加速度	104
5.4 轮系的传动比	106
5.4.1 齿轮传动	107
5.4.2 带轮传动	107
5.5 以矢量表示角速度和角加速度 以矢积表示点的速度和加速度	109
本章小结	112
思考题	113
习题 A	113
习题 B	115
第6章 刚体的平面运动	117
6.1 刚体平面运动的概述和运动简化	117
6.2 平面图形的运动方程及运动分解	118
6.3 平面图形上各点的速度分析	119
6.3.1 求平面图形内各点速度的基点法	119
6.3.2 求平面图形内各点速度的瞬心法	122
6.4 平面图形上各点的加速度分析	127
本章小结	130
思考题	131
习题 A	132
习题 B	135
第7章 点的合成运动	137
7.1 绝对运动 相对运动 牵连运动	137
7.2 点的速度合成定理	140
7.3 牵连运动为平动时点的加速度合成定理	144

7.4 牵连运动为定轴转动时点的加速度合成定理	147
7.4.1 特例的证明	147
7.4.2 矢量的绝对导数和相对导数	150
7.4.3 用矢量分析法证明牵连运动为转动时点的加速度合成定理	151
7.5 运动学综合应用举例	155
本章小结	159
思考题	160
习题 A	160
习题 B	164

第三篇 动力学

第8章 质点动力学的基本方程	167
8.1 动力学基本定律	167
8.2 质点的运动微分方程	168
8.2.1 直角坐标形式的质点的运动微分方程	169
8.2.2 自然坐标形式的质点的运动微分方程	169
8.2.3 质点动力学的两类问题	169
*8.3 质点相对运动动力学的基本方程	175
本章小结	178
思考题	179
习题 A	180
习题 B	181
第9章 动量定理	183
9.1 动量与冲量	183
9.1.1 动量	183
9.1.2 冲量	185
9.2 质点系的动量定理	185
9.2.1 质点系的动量定理	185
9.2.2 质点系动量守恒定律	187
9.3 质心运动定理	191
9.3.1 质心运动定理	191
9.3.2 质心运动守恒定律	192
本章小结	195
思考题	196
习题 A	197
习题 B	198
第10章 动量矩定理	200
10.1 质点和质点系的动量矩	200
10.1.1 质点的动量矩	200

10.1.2 质点系的动量矩	201
10.2 动量矩定理	202
10.2.1 质点的动量矩定理	202
10.2.2 质点动量矩守恒定律	202
10.2.3 质点系的动量矩定理	204
10.2.4 质点系的动量矩守恒定律	205
10.3 刚体绕定轴的转动微分方程	207
10.4 刚体对轴的转动惯量	210
10.4.1 简单形状物体转动惯量的计算	211
10.4.2 惯性半径(或回转半径)	213
10.4.3 平行轴定理	214
10.5 质点系相对于质心的动量矩定理	215
10.5.1 质点系对质心的动量矩	215
10.5.2 质点系相对于质心的动量矩定理	216
10.6 刚体的平面运动微分方程	217
本章小结	221
思考题	222
习题 A	223
习题 B	227
第 11 章 动能定理	229
11.1 功和动能的概念及其计算	229
11.1.1 常力的功	229
11.1.2 变力的功	229
11.1.3 质点系的动能	233
11.2 动能定理	235
11.2.1 按内力和外力分类动能定理的表达形式	236
11.2.2 按主动力和约束反力分类动能定理的表达形式	236
11.3 功率和功率方程	240
11.3.1 功率	240
11.3.2 功率方程	241
11.3.3 机械效率	242
11.4 势力场和势能及其性质	243
11.4.1 势力场	243
11.4.2 势能	244
11.4.3 有势力的功	245
*11.4.4 势力场的其他性质	245
11.5 机械能守恒定律	246
11.6 动力学普遍定理的综合应用	248
本章小结	253

思考题	254
习题 A	255
习题 B	260
第 12 章 达朗贝尔原理	263
12.1 惯性力与达朗贝尔原理	263
12.1.1 质点的达朗贝尔原理	263
12.1.2 质点系的达朗贝尔原理	264
12.2 刚体惯性力系的简化	266
12.2.1 平动刚体惯性力系的简化	266
12.2.2 定轴转动刚体惯性力系的简化	267
12.2.3 平面运动刚体惯性力系的简化	267
12.3 刚体绕定轴转动时轴承的动约束力	271
12.4 静平衡与动平衡的概念	273
12.4.1 静平衡	274
12.4.2 动平衡	274
本章小结	276
思考题	277
习题 A	277
习题 B	280
第 13 章 虚位移原理	283
13.1 约束的分类 自由度和广义坐标	283
13.1.1 约束及其分类	283
13.1.2 质点系的自由度与广义坐标	285
13.2 虚位移 虚功和理想约束	285
13.2.1 虚位移和虚功	285
13.2.2 理想约束	288
13.3 虚位移原理及其应用	288
本章小结	293
思考题	293
习题 A	294
习题 B	296
第 14 章 动力学普遍方程和拉格朗日方程	299
14.1 动力学普遍方程	299
14.2 拉格朗日方程	303
14.3 拉格朗日方程的首次积分	309
14.3.1 循环积分	309
14.3.2 广义能量积分	309
14.3.3 能量积分	311
本章小结	314

思考题	315
习题 A	315
习题 B	318
第 15 章 碰撞	320
15.1 碰撞现象的特征及其假定	320
15.1.1 碰撞现象的特征	320
15.1.2 基本假定	320
15.2 恢复系数	321
15.3 用于碰撞过程的基本定理	322
15.3.1 用于碰撞过程的动量定理——冲量定理	322
15.3.2 用于碰撞过程的动量矩定理——冲量矩定理	322
15.4 两物体的对心碰撞	323
15.4.1 两平动物体的对心正碰撞	323
15.4.2 两平动物体对心正碰撞的动能损失	325
15.4.3 两平动物体的对心斜碰撞	328
15.5 碰撞冲量对绕定轴转动刚体的作用——撞击中心	330
15.5.1 刚体角速度的变化	330
15.5.2 支座的反碰撞冲量——撞击中心	330
15.6 碰撞冲量对平面运动刚体的作用	332
本章小结	334
思考题	335
习题 A	336
习题 B	338
参考文献	341

绪 论

1. 力学的发展

力学是一门历史悠久的学科,其一开始就与生产实践紧密结合。人们在长期的生产活动中,由于需要,制造了各种工具,如制造灌溉设备浇灌农田,制造杠杆、斜面、滑轮搬运重物,制造车船运送货物等。这些工具的生产和使用,使人类对物体的机械运动有了初步认识。经过长期的经验积累和对事物的观察分析,感性知识越来越丰富,于是发生了质的飞跃,形成了早期的力学理论。

关于力学理论最早的记载是我国的墨子(公元前468—公元前376)在《墨经》中关于力的概念的说明和对杠杆平衡原理的论述;后来古希腊的自然科学家阿基米德(公元前287—公元前212)在他的著作《论比重》中,总结了前人积累起来的静力学知识,建立了有关杠杆平衡、重心、液体中浮体的平衡理论,奠定了静力学基础。

在西方,从阿基米德以后很长一个时期,由于封建、神权的长期统治,生产停滞不前,力学及其他学科也未能发展。而我国在这个时期经历了汉、隋、唐、宋、元和明朝。我国的汉朝科学家张衡(公元78—139)创造了天文仪器“浑天仪”和测量地震的“候风地动仪”;三国时期的马钧(公元235年左右)创造了利用差动齿轮传动的指南车;隋朝工匠李春(公元581—681)主持建造了著名的赵州桥(即今河北省赵县洹河上的安济桥),它造型美观且符合力学原理,它比世界上相同类型的石桥要早1200多年。

15世纪以后,欧洲进入了文艺复兴时期,商业资本兴起,手工业、航海、建筑及军事等方面提出的问题,推动了力学和其他学科的发展。意大利著名艺术家、物理学家列奥纳多·达·芬奇(公元1452—1519)研究过物体沿斜面运动和滑动摩擦的问题,在研究平衡问题时提出了力矩的概念;荷兰物理学家斯蒂芬(公元1548—1620)得出了平行四边形原理;法国科学家伐里农(公元1654—1722)提出了力矩定理;法国学者布安索(公元1777—1859)提出了力偶的概念及有关理论,使静力学理论逐步完善。

波兰科学家尼古拉·哥白尼(公元1473—1543)在总结前人天文观察的基础上,创立了宇宙“日心说”,推翻了托勒密的陈旧地球中心学说,引起了科学界宇宙观的革命;在此基础上,德国学者约翰·开普勒(公元1571—1630)根据哥白尼的学说及大量的天文观测,发现了行星运动三定律,为英国科学家牛顿(公元1643—1727)发现万有引力定律奠定了基础;意大利著名科学家伽利略(公元1564—1642)通过实验的手段确定了自由落体运动规律,并明确提出了惯性定律和加速度的概念。由伽利略开始建立动力学基本定律,经法国学者笛卡儿(公元1596—1650)、荷兰学者惠更斯(公元1629—1695)等人的努力,后来由牛顿在总结前人研究成果的基础上,于1687年在他出版的名著《自然哲学的数学原理》一书中,提出了动力学的三个基本定律,并从这些定律出发,对动力学作了系统的叙述,使动力学成为严密的理论科学;德国学者莱布尼兹(公元1646—1716)与牛顿彼此独立地发明了微积分原理,对力学朝着分析方向发展提供了基础;瑞士学者约翰·伯努力

(公元 1667—1748)最先提出了以普遍形式表示的静力学基本原理,即虚位移原理;瑞士科学家欧拉(公元 1707—1783)提出了质点及刚体的运动微分方程;法国科学家达朗贝尔(公元 1717—1785)建立了著名的达朗贝尔原理,为分析力学奠定了基础;法国科学家拉格朗日(公元 1736—1813)把虚位移原理和达朗贝尔原理相结合,导出了非自由质点系的运动微分方程,即著名的第二类拉格朗日方程,并于 1783 年出版了名著《分析力学》而成为分析力学的奠基人;后来英国学者哈密顿(公元 1805—1865)提出的哈密顿函数、正则方程和哈密顿原理,起到了从古典力学到广义相对论与量子波动力学的桥梁作用,并建立了哈密顿力学。

19 世纪中期,因大量使用机器而涉及效率问题,促进了“功”的概念的形成。“能”的概念也逐渐在物理学、工程学中普遍形成。在这时期发现了能量守恒和转化定律,这对技术应用有着重大的意义,而且在力学和其他学科之间、在物质运动的各种形式之间起着沟通作用。

从 20 世纪开始,随着科学技术的突飞猛进,力学的许多专门分支如流体与气体动力学、非线性振动理论、自动控制、运动稳定性理论、陀螺仪理论、变质量力学和飞行力学等都得到了长足的发展和取得了巨大成就,今后力学仍将在各个方面起着举足轻重的作用。

2. 理论力学研究的对象

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。例如日、月、星辰的运转、各种交通工具行使、机器的转动、大气和河流的流动等,都是机械运动。平衡则是机械运动的特殊形式。在客观世界中,除机械运动外,还存在着其他各种各样的物质运动。如物质的发声、发热、发光、电磁现象、化学变化,以至于人的思维活动等,而机械运动则是这多种物质运动形式中最简单的一种。任何复杂的、高级的物质运动中往往又包含着简单的机械运动。所以理论力学的规律和方法有时也被应用于其它领域或学科。

理论力学属于以牛顿运动定律为基础的经典力学范畴。近代物理研究表明:经典力学仅适用于运动速度远小于光速($3 \times 10^8 \text{ km/s}$)的宏观物体。当宏观物体运动的速度接近光速或研究的是微观粒子(如原子、电子等)的运动,则要用相对论力学或量子力学分析研究。一般的工程实际问题中,物体大多是宏观物体且速度远小于光速,用古典力学的理论来解决其工程技术问题,可以得到足够精确的结果。因此,古典力学在各个方面仍广泛应用并不断发展。

理论力学的研究对象包括质点、质点系、刚体和刚体系统。

3. 理论力学课程的内容

理论力学的内容通常分为静力学、运动学和动力学三个部分。

静力学:主要研究力系的简化及物体在力系作用下处于平衡的规律;

运动学:只从几何的角度研究物体的运动(如点的轨迹、速度、角速度,刚体的位形、角速度、角加速度等),而不考虑引起物体运动的物理原因,如物体的质量与作用于物体上的力;

动力学:研究物体的运动与作用于物体上的力之间的关系。

4. 学习理论力学的目的

理论力学是一门理论性较强的技术基础课。通过本课程的学习,掌握机械运动的基

本规律,并运用这些规律和理论力学的方法,分析和解决一些简单的工程实际中的力学问题;另一方面为学习一些后续课程,如材料力学、机械原理、机械零件、结构力学、弹性力学、机械振动等打好必要的基础。随着现代科学技术的发展,力学在其他学科中也有广泛应用,如自动控制、机电一体化、生物、体育、音乐等,可见学习理论力学对学习其他学科也有帮助。

第一篇 静力学

引言

静力学是研究物体在力系作用下处于平衡规律的科学。平衡是指物体相对于惯性参考系处于静止或作匀速直线平动。在工程实际中,如果不特别声明,平衡是相对于地球而言的,即以固结在地球表面的参考系作为惯性参考系。

对实际物体进行力学分析时,首先要为物体建立一个适当的力学模型。建立物体力学模型的原则是根据实验观察到的现象与所研究问题的性质,抓住主要因素、忽略次要因素,尽可能的反映物体的客观实际。在力学领域中,为了便于求解问题,通常把物体简化为三种力学模型:质点、刚体和变形体。质点是指各向尺寸均可忽略不计的物体。当物体的形状和大小对所研究的问题来讲可忽略不计时,该物体就可简化为质点。刚体是指其形状和大小(即其内部任意两点的距离)不发生变化的物体。当物体受力后,其变形很小,对所研究的问题来讲可忽略不计,但其大小和形状又不能忽略,这种物体可简化为刚体。质点和刚体都是理想化的力学模型。变形体是指在研究的问题中,当物体受力后其变形(有可能很小)不能忽略的物体。对于一个实际问题,采用哪种力学模型,需要根据所研究问题的性质来决定。例如研究飞机在天空中的运动轨迹,由于飞机相对于天空而言,其大小可忽略不计,因此可把飞机简化为质点;当分析地面对飞机各轮的支撑力或分析飞机的重心时,飞机的大小和形状就不能忽略,但其变形可忽略不计,因此可把飞机简化为刚体;当分析飞机在飞行中的振动问题时,飞机的大小、形状及各处的变形就不能忽略,因此必须把飞机简化为变形体。

静力学中只研究刚体模型,对于变形体则在其他学科(如材料力学、结构力学、弹性力学等)中进行研究,所以静力学称为刚体静力学。

静力学的主要任务包括三个方面:

1. 物体的受力分析

分析物体所受的力及各力的作用位置和方向;

2. 力系的等效替换和简化

力系是指作用于物体上的一群力。如果两个力系使同一刚体产生的运动状态(效应)相同,则称这两个力系为等效力系;用一个力系代替另外一个力系后,使刚体产生与原力系相同的运动效应,则称为力系的等效替换;用一个简单的力系等效代替一个复杂的力系,称为力系的简化。如果一个力与一个力系等效,这个力称为该力系的合力。通过力系的简化,可以了解力系对刚体作用的效应。

3. 力系的平衡条件及其应用

物体平衡时,作用在物体上的力系所应满足的条件,称为力系的平衡条件。满足平衡