



附：工程力学（机）自学考试大纲

工程力学（机）

组编／全国高等教育自学考试指导委员会
主编／张德润 董文夫

全国高等教育自学考试指定教材 机械类专业

机械工业出版社

全国高等教育自学考试指定教材
机械类专业

工 程 力 学（机）

（附：工程力学（机）自学考试大纲）

全国高等教育自学考试指导委员会 组编

主 编 张德润 董文夫

编 者 张德润 董文夫

孟繁英 宋怀英

主 审 王祖光

机械工业出版社

本书分上下两卷，上卷为理论力学，下卷为材料力学。

理论力学共 13 章，包括静力学、运动学和动力学三篇。第一篇静力学计 5 章，其内容为静力学基本概念和公理、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面任意力系、空间力系（仅作简单介绍）；第二篇运动学计 4 章，其内容为点的运动、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动（只限于分析点的速度）；第三篇动力学计 4 章，其内容为质点动力学基础、刚体动力学基础（重点讲述平动和转动的动力学问题）、动能定理、机械振动基础。

材料力学共 12 章，其内容为材料力学的基本概念、轴向拉伸和压缩、剪切、扭转、梁的内力、梁的应力、梁的变形、应力状态与强度理论、组合变形、压杆稳定问题、动载荷问题简介、交变应力（仅作概念介绍）。

图书在牌编目（CIP）数据

工程力学（机）/张德润，董文夫主编. —北京：机械工业出版社，2000.8
全国高等教育自学考试指定教材

IDBN 7-111-01399-9

I. 工... II. ①张...②董... III 工程力学（机）-高等教育-门学考试-教材 IV. TB12

中国牌本图书馆 CIP 数据核字 第 66509 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：王 龙 版式设计：霍永明 责任校对：张 媛

印刷：北京瑞德印刷有限公司

2000 年 11 月第 1 版

2004 年 2 月第 3 次印刷

787mm×1092mm 1/16·23 印张·601 千字

20201—25200 册

定价：30.00 元

本书如有质量问题，请与当地教材供应部门联系

此页用含有  图案的防伪阴阳水印纸印刷,有这种扉页的教材为正版图书,版权所有,翻印必究。咨询举报电话:

全国高等教育自学考试指导委员会办公室	010-82090971
北京市教育考试院	010-62116141
天津市教育招生考试院	022-23924000
河北省教育考试院	0311-3823367
山西省招生考试管理中心	0351-4188692
内蒙古自治区教育招生考试中心	0471-6507481
辽宁省高中中等教育招生考试办公室	024-86981032
吉林省高等教育自学考试办公室	0431-5390932
黑龙江省招生考试委员会办公室	0451-82376028
上海市教育考试院	021-64511403
浙江省高等教育自学考试办公室	0571-87036895
江苏省高等教育自学考试办公室	025-6299010
安徽省高等教育自学考试办公室	0551-3609528
江西省高等教育自学考试办公室	0791-8500734
山东省高等教育自学考试办公室	0531-6916826
福建省高等教育自学考试办公室	0591-7520300
河南省高等教育自学考试办公室	0371-3612680
湖北省教育考试院	027-87830825
湖南省教育考试院	0731-2297511
广东省高等教育自学考试办公室	020-37627787
广西壮族自治区教育考试院	0771-5338212
海南省考试局	0898-65851938
四川省高等教育自学考试办公室	028-85192685
贵州省高等教育自学考试办公室	0851-5951840
云南省招生考试办公室	0871-5162385
重庆市高等教育自学考试办公室	023-63853734
陕西省考试管理中心	029-5393509
甘肃省高等教育自学考试办公室	0931-8885206
宁夏回族自治区高等教育自学考试办公室	0951-6017555
青海省高等教育自学考试办公室	0971-6314528
新疆维吾尔自治区高等教育自学考试办公室	0991-8609053

组 编 前 言

当您开始阅读本书时，人类已经迈入了二十一世纪。

这是一个变幻难测的世纪，这是一个催人奋进的时代。科学技术飞速发展，知识更替日新月异。希望、困惑、机遇、挑战，随时随地都有可能出现在每一个社会成员的生活之中。抓住机遇，寻求发展，迎接挑战，适应变化的制胜法宝就是学习——依靠自己学习、终生学习。

作为我国高等教育组成部分的自学考试，其职责就是在高等教育这个水平上倡导自学、鼓励自学、帮助自学、推动自学，为每一个自学者铺就成才之路。组织编写供读者学习的教材就是履行这个职责的重要环节。毫无疑问，这种教材应当适合自学，应当有利于学习者掌握、了解新知识、新信息，有利于学习者增强创新意识、培养实践能力、形成自学能力，也有利于学习者学以致用、解决实际工作中所遇到的问题。具有如此特点的书，我们虽然沿用了“教材”这个概念，但它与那种仅供教师讲、学生听，教师不讲、学生不懂，以“教”为中心的教科书相比，已经在内容安排、形式体例、行文风格等方面都大不相同了。希望读者对此有所了解，以便从一开始就树立起依靠自己学习的坚定信念，不断探索适合自己的学习方法，充分利用已有的知识基础和实际工作经验，最大限度地发挥自己的潜能，达到学习的目标。

欢迎读者提出意见和建议。

祝每一位读者自学成功。

全国高等教育自学考试指导委员会

1999年7月

编 者 的 话

本书是受全国高等教育自学考试指导委员会机械类专业委员会的委托，在原编机电一体化工程专业高等专科《工程力学》自学教材的基础上，根据机械类专业高等专科的要求编写而成的。因此，它的适用范围将更广。

根据机械类专业高等专科对工程力学知识的要求，本书讲述理论力学与材料力学的有关内容。至于其深广度则是按全国高等教育自学考试指导委员会机械类专业委员会审定的机械类专业高等专科《工程力学课程自学考试大纲》确定的。

本书分上、下两卷。上卷理论力学计 13 章。其中静力学部分 5 章，主要讲述静力学的基本概念和公理、平面汇交力系、力矩与平面力偶系、平面任意力系、空间力系（仅作简单介绍）；运动学部分 4 章，讲述点的运动学、点的复合运动、刚体的基本运动和平面运动，复合运动与平面运动均以分析速度为限；动力学部分 4 章，讲述质点动力学基础、刚体动力学基础、动静法、动能定理和机械振动基础。下卷材料力学计 12 章，主要讲述材料力学的基本概念、杆件的基本变形、应力状态与强度理论、杆件的组合变形和压杆稳定，对于动载荷问题和交变应力仅作简单介绍。

为了反映高等教育自学考试教材的特点，在教材编写中力求做到层次分明、重点突出、循序渐进、例题稍多、叙述清楚、富于启发，重点放在培养读者分析问题的思路和方法上。

本书由河北科技大学张德润、董文夫主编，参加编写的有张德润（绪论、材料力学卷的第一、二章、第五～八章、第十一、十二章）、孟繁英（理论力学卷的静力学篇）、董文夫（理论力学卷的运动学篇和动力学篇）、宋怀英（材料力学卷的第三、四章、第九、十章）。

本书由中国人民解放军军械工程学院王祖光教授主审，参加教材审稿会并提出修改意见的有军械工程学院姚书声教授、河北科技大学刘志刚副教授。编者对他们的大力支持和辛勤劳动深表感谢。

由于编者的水平所限，对编写高等教育自学考试教材缺乏足够的经验，书中有疏漏和不妥之处，恳望读者提出批评和指正。

编者

2000 年 3 月

目 录

绪论	1	第二节 工程力学的研究方法	1
第一节 工程力学的研究内容	1	第三节 工程力学在机械类专业中的地位 和作用	2

上卷 理论力学

第一篇 静 力 学

第一章 静力学基本概念和公理

受力图

第一节 静力学的任务和基本概念

一、静力学的任务

二、静力学的基本概念

第二节 静力学公理

第三节 物体的受力分析

一、约束与约束反力的概念

二、约束的基本类型及相应的约束 反力

三、物体的受力分析

思考题

习题

第二章 平面汇交力系

第一节 平面汇交力系合成与平衡的 几何法

一、平面汇交力系合成的几何法

二、平面汇交力系平衡的几何条件

第二节 平面汇交力系合成与平衡的 解析法

一、力在直角坐标轴上的投影

二、合力投影定理

三、平面汇交力系合成的解析法

四、平面汇交力系平衡的解析条件、 平衡方程

思考题

习题

习题答案

第三章 力矩 平面力偶系

第一节 力对点之矩 合力矩定理

一、力对点之矩

二、合力矩定理

第二节 力偶和力偶矩

一、力偶和力偶矩

二、力偶的基本性质及等效条件

第三节 平面力偶系的合成与平衡

一、平面力偶系的合成

二、平面力偶系的平衡条件

思考题

习题

习题答案

第四章 平面任意力系

第一节 平面任意力系向作用面内任一点 简化

一、力线平移定理

二、平面任意力系向作用面内任一点简化 主矢和主矩

三、平面任意力系简化的结果

第二节 平面任意力系的平衡条件和平衡 方程

一、平面任意力系的平衡条件和平衡 方程

二、平面任意力系平衡方程的其它 形式

第三节 平面平行力系的平衡

第四节 物体系统的平衡、静定与超静定 问题的概念

第五节 考虑滑动摩擦时的平衡问题

一、滑动摩擦定律

二、摩擦角和自锁现象	42	三、角加速度	83
三、考虑摩擦时的平衡问题	43	四、匀速与匀变速转动	83
思考题	45	第三节 定轴转动刚体上各点的速度和 加速度	85
习题	46	一、各点的速度	85
习题答案	48	二、各点的加速度	85
第五章 空间力系 重心	49	第四节 定轴轮系的传动比	87
第一节 力在空间直角坐标轴上的投影	49	一、带轮传动	88
一、一次（直接）投影法	49	二、齿轮传动	88
二、二次投影法	49	思考题	89
第二节 力对轴之矩	50	习题	90
第三节 空间力系的平衡方程	52	习题答案	91
第四节 物体的重心（形心）与静矩	54	第八章 点的合成运动	92
一、重心、形心的概念及其坐标公式	54	第一节 点的合成运动的概念	92
二、静矩	56	第二节 点的速度合成定理	93
三、求重心位置的几种方法	57	思考题	100
思考题	60	习题	100
习题	60	习题答案	101
习题答案	63	第九章 刚体的平面运动	102
第二篇 运 动 学		第一节 刚体平面运动的概念和简化	102
第六章 点的运动	64	第二节 平面运动分解为平动和转动	103
第一节 运动学的任务和基本概念	64	第三节 求平面图形上各点速度的方法	104
第二节 确定动点位置的方法		一、基点法（速度合成法）	104
运动方程	65	二、速度投影法	106
一、直角坐标法	65	三、瞬心法	107
二、自然法	65	思考题	113
第三节 用直角坐标法求点的速度和 加速度	67	习题	113
一、速度	67	习题答案	115
二、加速度	68	第三篇 动 力 学	
第四节 用自然法求点的速度和加速度	69	第十章 质点动力学基础	116
一、速度	69	第一节 动力学的任务和基本概念	116
二、加速度	69	第二节 质点动力学基本定律	116
三、点运动的几种特殊情况	74	一、质点动力学基本定律	116
思考题	77	二、质量与重量的关系	118
习题	78	三、质点运动微分方程及其应用	118
习题答案	79	第三节 质点的动静法	122
第七章 刚体的基本运动	80	一、惯性力的概念与计算	123
第一节 刚体的平行移动	80	二、质点的达朗伯原理与动静法	123
第二节 刚体的定轴转动	82	思考题	125
一、刚体位置的确定、转动方程	82	习题	125
二、角速度	82	习题答案	126

第十一章 刚体动力学基础	127
第一节 刚体基本运动的动力学方程	127
一、刚体平动的动力学方程	127
二、刚体转动的动力学方程	130
三、刚体平面运动的动力学方程	136
第二节 动静法在刚体动力学中的应用	137
一、刚体运动时惯性力系的简化	137
二、动静法在刚体动力学中的应用	139
思考题	141
习题	141
习题答案	142
第十二章 动能定理	143
第一节 力的功和功率	143
一、功的定义与计算	143
二、几种常见力的功	144
三、功率	147
第二节 动能定理	148
一、动能	148
二、质点的动能定理	150
三、质点系的动能定理	151

思考题	154
习题	154
习题答案	155
第十三章 机械振动基础	156
第一节 机械振动的概念	156
第二节 单自由度系统的自由振动	156
一、自由振动微分方程及振动方程	157
二、自由振动的振幅和初相位	158
三、自由振动的周期和频率	158
四、阻尼对自由振动的影响	163
第三节 单自由度系统的强迫振动	163
一、强迫振动微分方程及强迫振动方程	164
二、共振现象 共振频率	164
三、阻尼对强迫振动的影响	165
四、减振与隔振的概念	166
思考题	166
习题	167
习题答案	168

下卷 材料力学

第一章 材料力学的基本概念	169
第一节 材料力学的任务	169
第二节 变形固体的基本假设	169
第三节 杆件变形的形式	170
思考题	171
第二章 轴向拉伸和压缩	172
第一节 轴向拉伸和压缩的概念	172
第二节 轴向拉伸和压缩时直杆横截面上的内力	172
一、内力的概念	172
二、截面法	172
第三节 轴向拉伸和压缩时直杆横截面上的应力	174
一、应力	174
二、拉伸或压缩时直杆横截面上的应力	174
第四节 轴向拉伸和压缩时直杆的变形	175
一、纵（轴）向变形与线应变	175
二、胡克定律	175
三、横向变形 泊松比	176

第五节 材料在拉伸和压缩时的力学性质	177
一、低碳钢在拉伸时的力学性质	177
二、其它塑性材料在拉伸时的力学性质	179
三、铸铁拉伸时的力学性质	180
四、材料在压缩时的力学性质	180
第六节 轴向拉伸和压缩时杆的强度计算	181
一、许用应力和安全系数	181
二、直杆在拉伸或压缩时的强度条件	181
第七节 拉伸、压缩超静定问题	184
一、超静定问题及其解法	184
二、温度应力	185
三、装配应力	186
第八节 应力集中的概念	187
思考题	188
习题	189
习题答案	190
第三章 剪切	191

第一节 剪切的概念	191	第一节 纯弯曲时梁的正应力	224
第二节 剪切和挤压的实用计算	192	一、纯弯曲与横力弯曲	224
一、剪切的实用计算	192	二、纯弯曲时直梁横截面上的正应力 ...	224
二、挤压的实用计算	193	第二节 惯性矩的计算	227
思考题	196	一、简单截面的惯性矩	227
习题	196	二、组合截面的惯性矩与平行移轴	
习题答案	197	公式	228
第四章 扭转	198	第三节 弯曲正应力的强度计算	229
第一节 扭转的概念	198	第四节 弯曲切应力及其强度计算简介 ...	232
第二节 外力偶矩与扭矩的计算		一、梁弯曲时最大切应力计算公式	
扭矩图	198	简介	232
一、外力偶矩的计算	198	二、弯曲切应力的强度校核	234
二、扭矩的计算	199	第五节 提高梁的强度的主要措施	235
三、扭矩图	199	一、合理安排梁的受力情况	235
第三节 切应力互等定理 剪切胡克		二、选用合理截面	237
定律	201	三、采用变截面梁	238
一、切应力互等定理	201	思考题	238
二、剪切胡克定律	202	习题	238
第四节 圆轴扭转时的应力和强度计算 ...	202	习题答案	241
一、圆轴扭转时横截面上的应力	202	第七章 梁的变形	242
二、极惯性矩 I_p 和抗扭截面系数 W_t		第一节 挠度和转角	242
的计算	205	一、挠曲线	242
三、圆轴扭转时的强度条件及其应用 ...	205	二、挠度和转角	242
第五节 圆轴的扭转变形和刚度计算	207	第二节 挠曲线的近似微分方程	243
一、扭转角	207	第三节 用积分法求梁的变形	243
二、圆轴扭转时的刚度条件及其应用 ...	208	第四节 用叠加法求梁的变形	249
思考题	210	第五节 梁的刚度计算 提高弯曲刚度的	
习题	211	主要措施	250
习题答案	212	第六节 用变形比较法解简单超静定梁 ...	252
第五章 梁的内力	213	思考题	254
第一节 基本概念	213	习题	255
一、平面弯曲的概念	213	习题答案	256
二、梁的类型	213	第八章 应力状态与强度理论	258
三、梁上载荷和梁的支反力计算	214	第一节 应力状态的概念	258
第二节 剪力和弯矩	214	一、研究一点处应力状态的目的	258
第三节 剪力图与弯矩图	216	二、应力状态的分类	258
第四节 剪力、弯矩与分布载荷集度间的		第二节 二向应力状态分析	259
微分关系	219	一、斜截面上的应力	259
思考题	222	二、应力圆	260
习题	222	三、主应力与主平面	261
习题答案	223	四、极值切应力及其所在截面	262
第六章 梁的应力	224	第三节 三向应力状态时的最大应力	265
		第四节 广义胡克定律	266

第五节 强度理论	267	习题答案	293
一、强度理论的概念	267	第十一章 动载荷问题简介	294
二、常用的四个强度理论	268	第一节 概述	294
思考题	272	第二节 匀加速运动构件的动应力计算 ...	294
习题	272	一、构件作匀加速直线运动时的动应力	
习题答案	273	计算	294
第九章 组合变形	274	二、构件匀速转动时的动应力计算	295
第一节 组合变形的概念	274	第三节 冲击载荷作用时构件的应力	
第二节 拉伸（压缩）与弯曲的组合		计算	297
变形	274	思考题	300
一、杆件同时受到横向力和轴向力的		习题	300
作用	274	习题答案	301
二、偏心拉伸（压缩）	276	第十二章 交变应力	302
第三节 弯曲与扭转的组合变形	277	第一节 交变应力与疲劳破坏	302
思考题	280	一、交变应力	302
习题	281	二、疲劳破坏	303
习题答案	282	第二节 持久极限（疲劳极限）	304
第十章 压杆的稳定问题	283	一、材料的持久极限	304
第一节 压杆稳定的概念	283	二、影响持久极限的因素	305
第二节 细长压杆的临界力计算	284	第三节 提高构件疲劳强度的主要措施 ...	306
第三节 临界应力和临界应力总图	286	一、对称循环下构件的疲劳强度条件 ...	306
一、临界应力	286	二、提高构件疲劳强度的主要措施	307
二、临界应力总图	288	思考题	307
第四节 压杆的稳定计算和提高压杆稳定性		习题	307
的措施	289	习题答案	308
一、压杆的稳定计算	289	附录 型钢表	309
二、提高压杆稳定性的措施	291	参考文献	321
思考题	292	后记	322
习题	292	《工程力学（机）》自学考试大纲	323

绪 论

第一节 工程力学的研究内容

工程力学是一门研究物体的机械运动以及构件的强度、刚度和稳定性的科学。它包括理论力学和材料力学两门课程的有关内容。

理论力学是研究物体机械运动的一般规律的科学。所谓机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化。物体的平衡（例如相对于地球的静止、匀速直线运动）只是机械运动的特殊情况，所以理论力学也研究物体的平衡规律。为了便于研究，理论力学通常分为静力学、运动学和动力学等三部分。

静力学主要研究力系的简化和物体平衡时作用力之间的关系。

运动学是从几何观点研究点和刚体的运动，而不考虑作用于点和刚体上的力。

动力学是研究作用于物体上的力与运动变化之间的关系。

材料力学是研究构件强度、刚度和稳定性等计算原理的科学。所谓强度是指构件抵抗载荷而不损坏的能力，刚度是指构件抵抗变形的能力，稳定性是指构件抵抗丧失稳定的能力。

显然，搞不清作用在构件上的力，就谈不上研究构件的强度、刚度和稳定性问题。同时，静力学与动力学所提供的基本理论和方法又常常是材料力学分析问题的基础。所以，理论力学和材料力学是紧密联系的，是解决工程力学问题缺一不可的知识。

第二节 工程力学的研究方法

由观察和试验可知，在外力作用下，任何物体均会变形。为了保证机械和结构物的正常工作，在工程中通常把构件的变形限制在很小的范围内，它与构件的原始尺寸相比是微不足道的。所以当我们对物体进行受力分析，研究物体的平衡与运动时，为了简化问题，抓住重点，可以不计这些变形。因此在理论力学中，把物体看成是不变形的、刚性的物体，简称刚体。不仅如此，当物体的形状和尺寸不影响所研究问题的本质时，例如讨论物体平行移动的问题，还可以把物体简化为质点来研究。刚体或质点都是真实物体的一种抽象化的力学模型。但在材料力学中，研究构件的强度、刚度和稳定性问题时，变形则成为不可忽略的因素，刚体这一力学模型已不能反映所研究问题的本质，于是就用连续、均匀、各向同性的变形固体来代替真实物体。综合上述可知，研究不同的问题，必须采用不同的力学模型，这是研究工程力学问题的重要方法。

根据人们长期在生活和生产中所积累的经验 and 试验观察的结果，应用抽象化的方法，通过分析、归纳、综合可得到一些最普遍的力学公理和定律，然后经过严格的逻辑推理和数学演绎，即可得到力学的普遍定理和工程上需要的力学公式。工程力学正是沿着这条途径建立的。实践证明，按此建立的力学定理和公式是能够满足工程计算对精度的要求的。

学习工程力学，不是要求去重复经历力学的发展过程，而是要深刻理解力学的基本概念

和基本定律，并且还要牢固地掌握由此而导出的解决工程力学问题的定理和公式，同时更要注意培养正确的分析问题和解决问题的能力。为达此目的，认真读书、演算一定数量的习题，并把学到的理论知识不断地用到实践中去是最重要的途径。

第三节 工程力学在机械类专业中的地位和作用

工程力学是机械类专业的一门重要技术基础课，具有较强的理论性和实践性，在专业课与基础课之间起桥梁作用。学习本门课程的目的有以下几点。

- 1) 为机械设计基础等后继课程提供必需的力学知识和有关的基本理论；
- 2) 在工程实践中，能对受力简单的物体进行力学分析与计算；
- 3) 培养学员正确的思维方法和分析问题、解决问题的能力，从而有助于树立辩证唯物主义的世界观和方法论。

上卷 理论力学

第一篇 静力学

第一章 静力学基本概念和公理 受力图

第一节 静力学的任务和基本概念

一、静力学的任务

静力学主要研究物体在力系作用下的平衡问题。所谓力系是指作用在物体上的一群力,平衡是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动的状态。如房屋、桥梁、工厂中的各种固定设备以及机械零件运动速度很低或加速度很小时,都可视为平衡状态。

具体地说,静力学主要研究三个问题。

- 1) 物体的受力分析即分析物体受哪些力作用,以及这些力的作用位置和方向。
- 2) 力系的简化是指用一个简单的并与之等效的力系来代替复杂的力系。
- 3) 力系的平衡条件及应用即研究物体平衡时,作用在其上的各种力系所应满足的条件,以及应用这些平衡条件求解工程上的实际问题。

工程中常见的力系,按其作用线是否在同一平面内,可以分为平面力系和空间力系两大类,还可以按其作用线的相互关系,分为共线力系、平行力系、汇交力系和任意力系。如果两个力系对物体的作用效果相同,则称这两个力系为等效力系。与力系等效的一个力,称为该力系的合力,而力系中的每一个力则称为该合力的分力。若力系中各力对物体的作用效应彼此抵消而使物体保持平衡或原有的运动状态不变时,则称这种力系为平衡力系。

二、静力学的基本概念

1. 刚体的概念

在静力学中,常把研究的物体视为刚体,所谓刚体是指在任何力的作用下都不发生变形的物体,或者说其内任意两点间距离保持不变的物体。刚体是一个抽象化的力学模型,实际上,任何物体受力后都会产生程度不同的变形。但通常这些变形是非常微小的,对研究物体的平衡(和运动)问题不起主要作用。因此,为了简化问题,可以近似地认为这些物体在受力状态下是不变形的刚体。在理论力学中,泛指的对象均应理解为刚体。

2. 力的概念

力是物体间相互的机械作用。这种作用使物体的运动状态发生改变和使物体发生变形。前者称为力的运动效应(或力的外效应);后者称为力的变形效应(或力的内效应)。在理论力学中,既将物体抽象为刚体,这就意味着只研究力的外效应。力的内效应将在材料力学中研

究。

实践表明，力对物体的作用效应决定于三个要素，即力的大小、方向和作用点。三个要素中有任何一个改变，力的作用效应也就随之改变。

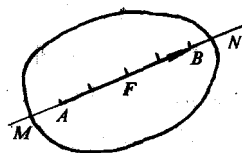
力的大小表示机械作用的强弱。在国际单位制(SI)中，力的基本单位是牛顿，用符号N表示。通常情况下用千牛，即用kN表示， $1\text{kN}=10^3\text{N}$ 。

力的方向包含方位和指向两个意思，如重力的方向铅垂向下。铅垂是指重力的方位，向下是说指向。

力的作用点，是力作用位置的抽象。实际上，物体相互作用的地方并不是一个点，而是物体的一部分面积或体积。当作用面积或体积很小时，则可近似地看成一个点，认为力集中作用于这一点，这种力称为集中力。如果力的作用范围不能抽象为点时则称为分布力。

由上所述，既然力是一个有大小又有方向的物理量，所以力是矢量，因有作用点，故为定位矢量。矢量通常用黑体字母(如 $\mathbf{F}$)或上方带箭头的字母(如 $\vec{F}$)来表示，而普通字母(如 F)表示力的大小。本书矢量一律用黑斜体字母(如 $\mathbf{F}$)表示，书写时可在字母上方加一横线(如 $\overline{F}$)，以表示矢量。

力可用一有向线段来表示，如图1-1所示，线段的长度按一定的比例尺表示力的大小(如图中力 $\mathbf{F}$ 的大小为40N)；线段的方位和箭头的指向表示力的方向；线段的起点A(或终点B)表示力的作用点。过力的作用点沿着力矢方位的直线，表示力的作用线，如图中MN所示。



0 — 10N
力比例尺

图 1-1

为了准确理解力的概念，必须强调指出，既然力是物体间相互的机械作用，所以力不能脱离物体而存在，即有作用力就必有反作用力，力总是成对出现的。分析问题时，常将它们区分为施力体和受力体。但二者是没有严格界限的，通常把研究的对象称为受力物体，而把与它发生机械作用的其它物体称为施力物体。当然物体之间的相互机械作用可以是直接接触，如灯与灯绳之间的作用；也可以是非接触作用，如重力、万有引力等场力。

第二节 静力学公理

静力学是以下述五个公理为基础的。这些公理是人们通过长期实践概括、归纳出来的最基本的静力学的一般规律。

公理1 二力平衡公理 作用于刚体上的二力，使刚体保持平衡状态的必要与充分条件是：此二力大小相等、方向相反、且在同一条直线上(简称二力等值、反向、共线)。如图1-2所示，即 $\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$ 。

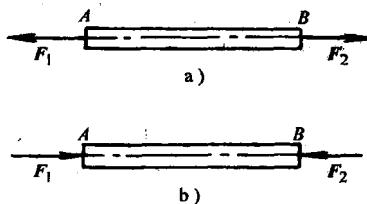


图 1-2

注意 (1) 这是作用在一个刚体上最简单力系平衡的必要与充分条件。是推导各种力系平衡条件的基础。(2) 二力平衡条件，对刚体来说，既是必要的，也是充分的；对不能承受压力的变形体，它只是必要的，而非充分的。例如，一软绳受等值、反向、共线的两个拉力作用可以平衡；而受等值、反向、共线的两个压力作用就不能平衡。

对于只有两个着力点而处于平衡的物体，称为二力体或二力构件。当构件的形状为杆件

时,称为二力杆。二力构件不论其形状如何,其所受的两个力的作用线,必是两力作用点的连线。这一点在以后的受力分析中是很有用处的。如图 1-3a、b 所示的平衡构件,当它们只在两点受力且不计自重时,就是二力构件,力的方向必沿 A 、 B 两点连线。至于二力是拉力还是压力,可预先假设,以后由计算核定。

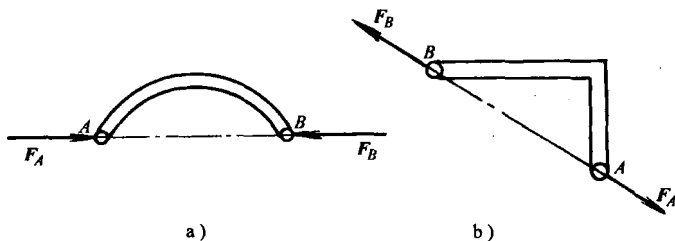


图 1-3

公理 2 加减平衡力系公理

在作用于刚体的已知力系中,加上或减去任一平衡力系,不改变原力系对刚体的作用。这个公理是力系简化的重要理论依据,但它不适用于变形体。

公理 3 力的平行四边形公理 (力的平行四边形法则) 作用于物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,合力也作用在该点,合力的大小和方向由这两个力为边构成的平行四边形的对角线来表示。如图 1-4a 中作用于 A 点的两个力 F_1 与 F_2 的合力为 F_R ,写出矢量式为

$$\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1-1)$$

应用此公理求两个汇交力的合力时,一般无需作出整个平行四边形,通常只要作出半个平行四边形(力三角形)就可以了。如图 1-4b、c 所示,由任选一点 O 起,作一力三角形,力三角形的两个边分别为力矢 F_1 和 F_2 ,由第一个力矢的起点到第二个力矢的终点所作的第三边 F_R 即代表合力矢。而合力的作用点也在

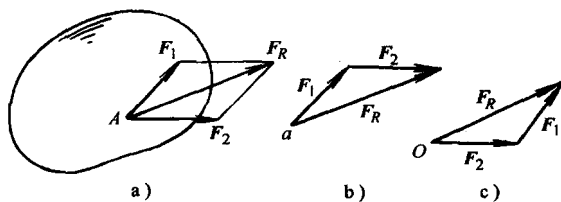


图 1-4

汇交点 A , 这种求合力矢的方法叫力三角形法则。这个公理是进行力系简化与合成的依据。

注意 式 (1-1) 是矢量相加, 必须遵循平行四边形法则, 它与代数相加是不同的。

公理 4 作用与反作用公理 两个物体间的作用力和反作用力, 总是同时存在, 且大小相等、方向相反, 沿同一直线 (简称等值、反向、共线), 分别作用在这两个物体上。

这个公理概括了物体间相互作用的关系, 表明一切力都是成对出现的。工程机械中力的传递是通过各零部件间的相互作用和反作用关系实现的。借助这个公理, 才可以从机械的一个零部件的受力分析过渡到另一个零部件的受力分析。

注意 此公理无论对刚体或变形体都适用, 且无论在物体静止或运动时也都适用。其作用力和反作用力, 虽然等值、反向、共线, 但因分别作用在两个不同的物体上, 当然不是平衡力系, 切勿与二力平衡公理混为一谈。

公理 5 刚化公理 当变形体 (或刚体组成的可变形的刚体系统) 在已知力系作用下处于平衡时, 如将此变形体刚化为刚体, 则平衡状态保持不变。此公理提供了将已平衡的变形体看作刚体模型的条件, 建立了刚体静力学与变形体静力学之间的联系, 即刚体的平衡条件, 同样也适用于变形体的平衡问题。

由上述公理可得如下推论:

推论 1 力的可传性原理 作用于刚体上的力, 可沿其作用线移至刚体上任一点, 而不改变该力对刚体的作用效果。

证明 如图 1-5a 所示, 设力 F 作用于小车 (视为刚体) 上的 A 点, 依加减平衡力系公理可在该力作用线上的任一点 B 加一对平衡力 $\{F, F'\}$, $F' = -F$, 如图 1-5b 所示, 而力系 $\{F, F', F\}$ 与力 F 是等效的。由于作用于 A 点的力 F 与作用于 B 点的力 F' 也是一对平衡力, 故可减去。于是只剩下作用在 B 点的力 F 了, 如图 1-5c 所示。显然它与原来作用在 A 点的力 F 等效。依加减平衡力系公理知, 小车仍将维持原有运动状态。但 B 点的力 F 是原 A 点的力 F 沿着力作用线移动的结果, 这就证明了力的可传性。

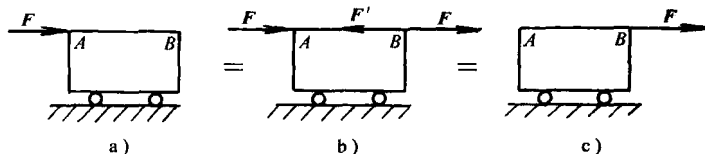


图 1-5

注意 (1) 力的可传性原理只适用于刚体。

(2) 对刚体而言, 力的三要素可改为力的大小、方向、作用线。因此, 对刚体来说, 力是滑动矢量。

推论 2 三力平衡汇交定理 刚体受三力作用而平衡, 若其中两个力的作用线汇交于一点, 则此三个力必共面, 且汇交于一点。

证明 如图 1-6 所示, 设刚体上 A 、 B 、 C 三点分别作用三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 。依力的可传性, 分别将 F_1 、 F_2 沿其作用线移至汇交点 O , 并依平行四边形公理得合力 F_{12} , 则 F_3 应与 F_{12} 平衡。依二力平衡公理, F_3 与 F_{12} 必共线, 当然与 F_1 、 F_2 共面, 且必通过汇交点 O , 即三力作用线必汇交于一点。

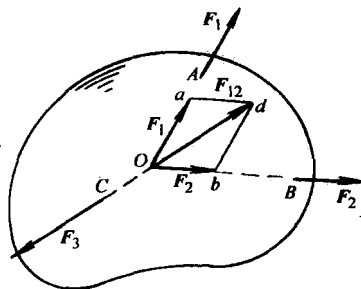


图 1-6

第三节 物体的受力分析

静力学研究的基本问题之一, 是对物体进行受力分析, 画出受力图。所谓画受力图, 是将研究对象所受的主动力和约束反力全部画在图上。为此, 要引入约束与约束反力的概念。

一、约束与约束反力的概念

在力学分析中, 通常把物体分为两类, 一类称为自由体, 它们的位移不受任何限制。如飞行的飞机、炮弹等。另一类称为非自由体, 它们的位移受到某些限制。例如, 电灯受灯绳的限制、桌子受地面的限制, 都不能向下运动。车床主轴受轴承限制, 只能绕其轴线转动, 内燃机活塞受汽缸的限制, 只能往复移动, 而管道和支架、建筑结构等则不能产生任何位移。

限制物体某些位移的其它物体称为约束物, 简称约束。如对车床主轴而言, 轴承就是约束; 对活塞来说, 汽缸就是约束。在物体与其周围约束的相互作用中, 约束由于限制物体某些位移而对物体作用的力, 称为约束反力, 简称约束力或反力。一般说来, 约束反力的大小是未知的, 须由平衡条件求出; 约束反力的作用点和方向, 是根据物体与约束间接触的性质而确定。其作用点应在约束与被约束物体相互接触处, 它的方向应与约束所能限制的物体的运动方向相反。如遇约束反力的指向难以确定时, 则只要确定了约束反力作用线以后, 可先