

高等学校电气类系列教材

工程力学

(修订版)

王义质 李叔涵 主编



重庆大学出版社

工程力学

(修订版)

王义质 李叔涵 主编

重庆大学出版社

内 容 提 要

本教材是按照 90 学时的教学要求编写的。全书分静力学和材料力学两大篇共十六章。包括静力学基础及物体受力分析、基本力系、平面一般力系、空间一般力系、有摩擦的平衡问题、拉伸与压缩、剪切的工程计算、扭转、弯曲内力、弯曲应力、弯曲变形、应力状态和强度理论、组合变形的强度计算、动载荷、交变应力、压杆稳定。书末附有附录及习题答案。

本教材适用于自动化、仪表、无线电、检测、计量、冶金、热加工、化工、轻工、地质、采选、材料等类本、专科。也适用于电大、职大、夜大、函大相关专业。本教材除作为高等学校教材外,也可供有关工程技术人员参考。

工程力学

(修订版)

王义质 李叔涵 主编

责任编辑 曾令雄

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆建筑大学印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:24.5 字数:608 千

1994 年 5 月第 1 版 1998 年 12 月第 2 版 1998 年 12 月第 5 次印刷

印数:20001—25000

ISBN 7-5624-0840-8/TB·8 定价:25.00 元

序

近年来我国高等专科教育发展很快,各校招收专科生的人数呈逐年上升趋势,但是专科教材颇为匮乏,专科教材建设工作进展迟缓,在一定程度上制约了专科教育的发展。在重庆大学出版社的倡议下,中国西部地区14所院校(云南工学院、贵州工学院、宁夏工学院、新疆工学院、陕西工学院、广西大学、广西工学院、兰州工业高等专科学校、昆明工学院、攀枝花大学、四川工业学院、四川轻化工学院、渝州大学、重庆大学)联合起来,编写、出版机类和电类专科教材,开创了一条出版系列教材的新路。这是一项有远见的战略决策,得到国家教委的肯定与支持。

质量是这套教材的生命。围绕提高系列教材质量,采取了一系列重要举措:

第一,组织数十名教学专家反复研究机类、电类三年制专科的培养目标和教学计划,根据高等工程专科教育的培养目标——培养技术应用型人才,确定了专科学子应该具备的知识和能力结构,据此制订了教学计划,提出了50门课程的编写书目。

第二,通过主编会议审定了50门课程的编写大纲,不过分强调每门课程自身的系统性和完整性,从系列教材的整体优化原则出发,理顺了各门课程之间的关系,既保证了各门课程的基本内容,又避免了重复和交叉。

第三,规定了编写系列专科教材应该遵循的原则:

1. 教材应与专科学子的知识、能力结构相适应,不要不切实际地拔高;
2. 基础理论课的教学应以“必须、够用”为度,所谓“必须”是指专科人才培养规格之所需,所谓“够用”是指满足后续课程之需要。
3. 根据专科的人才培养规格和人才的主要去向,确定专业课教材的内容,加强针对性和实用性;
4. 减少不必要的数理论证和数学推导;
5. 注意培养学生解决实际问题的能力,强化学生的工程意识;
6. 教材中应配备习题、复习思考题、实验指示书等,以方便组织教学;
7. 教材应做到概念准确,数据正确,文字叙述简明扼要,文、图配合适当。

第四,由出版社聘请学术水平高、教学经验丰富、责任心强的专家担任主审,严格把住每门教材的学术质量关。

出版系列专科教材堪称一项“浩大的工程”。经过一年多的艰苦努力,系列专

科教材陆续面市了。它汇集了中国西部地区 14 所院校专科教育的办学经验,是西部地区广大教师长期教学经验的结晶。

纵观这套教材,具有如下的特色:它符合我国国情,符合专科教育的教学基本要求和教学规律;正确处理了与本科教材、中专教材的分工,具有很强的实用性;与出版单科教材不同,有计划地成套推出,实现了整体优化。

这套教材立足于我国西部地区,面向全国市场,它的出版必将对繁荣我国的专科教育发挥积极的作用。这套教材可以作为大学专科及成人高校的教材,也可作为大学本科非机类或非电类专业的教材;亦可供有关工程技术人员参考。因此我不揣冒昧向广大读者推荐这套系列教材,并希望通过教学实践后逐版修订,使之日臻完善。

吴云鹏

1993年
仲夏

前 言

本教材是按照 90 学时的教学要求编写的,适用于自动化、仪表、无线电、检测、计量、冶金、热加工、化工、轻工、地质、采选、材料等类本、专科。

工程力学是一门技术基础课。通过本课程的教学,要求学生能较为熟练地进行受力分析,对杆件的强度、刚度和稳定性有明确的基本概念、必要的基础知识和计算能力。为此,本教材以“高等工业学校力学课程教学基本要求”为依据,考虑到工程专科教育的培养目标和兼顾工程本科少学时工程力学的需要,以实用为主、够用为度为原则,尽可能吸取现行教材各家所长编写而成。编写时考虑到学生在普通物理学中对运动学和动力学知识已奠定了较好的基础,故本教材采用工程力学第一种组合类型。书中对基本概念和基本理论作了较为详尽而深透的阐述,列举了大量的例题,以帮助读者澄清概念和加强基本训练。各章附有小结、思考题和习题。习题列为 A、B 两部:A 部为基本要求,必作;B 部可视教学实际选作。标有“*”部分章节按各专业需求自行取舍。

本教材在编写过程中,得到许多兄弟院校、主参编人员所在院校领导的大力支持。四川轻化工学院力学教授邓危梧先生两度详尽地审阅全稿,提供了极为宝贵的意见。在此,一并表示衷心的感谢。

参加本教材编写的有:渝州大学王义质(第一、二、三、四、五章)、兰州高等工业专科学校张存智(第六、七、八章)、四川轻化工学院李叔涵(第九、十、十一章、附录 I)、贵州工学院杨敏(第十二、十三章)、四川工业学院丁光成(第十四、十五、十六章及附录 II)。书中插图除六~十一章外,其余均为重庆有色金属研究所严文民描制。全书由王义质、李叔涵主编。

限于编者水平,加之编写时间短促,本教材尚存在不少疏漏之处,希望读者予以指正。

编 者

1993 年 12 月

主要字符表

字符	字符意义	常用国际制单位	常用工程制单位	主要换算关系
P	集中力	N, kN	kgf, tf	1 kgf = 9.81 N
q	线分布力集度	N/m, kN/m	kgf/m, tf/m	1 kgf/m = 9.81 N/m
M_0	外力偶矩	N · cm, N · m, kN · m	kgf · cm, kgf · m, tf · m	
T_0	扭转外力偶矩	N · cm, N · m, kN · m	kgf · cm, kgf · m, tf · m	
X, Y, Z	支反力沿 x、y、z 轴的分力	N, kN	kgf, tf	
R	支反力, 合力	N, kN	kgf, tf	
S	轴力	N, kN	kgf, tf	
Q	剪力	N, kN	kgf, tf	
T	扭矩	N · cm, N · m, kN · m	kgf · cm, kgf · m, tf · m	
M	弯矩	N · cm, N · m, kN · m	kgf · cm, kgf · m, tf · m	
A	截面面积	m ² , cm ² , mm ²	cm ² , mm ²	
S_y, S_z	静矩	m ³ , cm ³ , mm ³	cm ³ , mm ³	
I_p	极惯性矩	m ⁴ , cm ⁴ , mm ⁴	cm ⁴ , mm ⁴	
I_y, I_z	惯性矩	m ⁴ , cm ⁴ , mm ⁴	cm ⁴ , mm ⁴	
W_T	抗扭截面模量	m ³ , cm ³ , mm ³	cm ³ , mm ³	
W	抗弯截面模量	m ³ , cm ³ , mm ³	cm ³ , mm ³	
r_y, r_z	惯性半径	m, cm, mm	cm, mm	
U	变形能	J(N · m)	kgf · m	1 kgf · m = 9.81 J
W	外力功	J(N · m)	kgf · m	
N, N_k	功率	W(J/S), kW	W, kW, 马力	1 马力 = 0.7355 kW
σ	正应力	Pa(N/m), kPa, MPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	1 kgf/cm ² = 98.1 kPa
τ	剪应力	Pa, kPa, MPa	kgf/mm ² , kgf/mm ²	1 kgf/mm ² = 9.81 MPa
$[\sigma]$	许用正应力	Pa, kPa, MPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
$[\tau]$	许用剪应力	Pa, kPa, MPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
ϵ	线应变	无量纲量	无量纲量	
γ	角应变	无量纲量	无量纲量	
φ	扭转角	rad	rad, °	
θ	单位长度扭转角	rad/m	rad/m, °/m	
	梁的转角	rad	rad	
$[\theta]$	单位长度许用扭转角	rad/m	rad/m, °/m	
	梁的许用转角	rad	rad	
y	梁的挠度	m, cm, mm	cm, mm	
$[y]$	梁的许用挠度	m, cm, mm	cm, mm	
E	弹性模量	MPa, GPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
G	剪切弹性模量	MPa, GPa	kgf/cm ² , kgf/mm ²	
ν	泊松比	无量纲量	无量纲量	
n	安全系数	无量纲量	无量纲量	
	轴的转速	r/min	r/min	

目 录

第一篇 静力学	1
引 言	1
第一章 静力学基础及物体受力分析	2
§ 1-1 静力学的基本概念	2
§ 1-2 力的基本性质	3
§ 1-3 约束与约束反力	5
§ 1-4 受力分析与受力图	10
小 结	12
思考题	13
习 题	14
第二章 基本力系	18
§ 2-1 汇交力系	18
§ 2-2 力矩	27
§ 2-3 力偶系	30
§ 2-4 解决基本力系平衡问题的途径	34
小 结	36
思考题	36
习 题	37
第三章 平面一般力系	42
§ 3-1 力的平移定理	42
§ 3-2 平面一般力系向一点的简化	43
§ 3-3 平面一般力系的平衡方程及其应用	48
§ 3-4 物体系的平衡	54
§ 3-5 超静定问题的概念	58
§ 3-6 解决平面一般力系作用下单个刚体或物体系的平衡问题的途径	59
§ 3-7 平面简单桁架	63
小 结	67
思考题	67
习 题	70
第四章 空间一般力系 重心	78
§ 4-1 力矩关系定理	78
§ 4-2 空间一般力系的平衡方程及其应用	82
§ 4-3 重心	87
小 结	99
思考题	100
习 题	101
第五章 有摩擦的平衡问题	106
§ 5-1 滑动摩擦	106
§ 5-2 滚动摩擦的概念	113
小 结	115
思考题	116

习 题	117
第二篇 材料力学	120
引 言	120
第六章 拉伸与压缩	123
§ 6-1 轴向拉伸或压缩时的内力和应力	124
§ 6-2 拉压变形和虎克定律	128
§ 6-3 材料在拉伸和压缩时的机械性质	130
§ 6-4 许用应力 强度条件	135
§ 6-5 拉伸和压缩时的超静定问题	140
* § 6-6 拉压时的弹性变形能	143
§ 6-7 应力集中的概念	144
小 结	145
思考题	145
习 题	146
第七章 剪切的工程计算	151
§ 7-1 剪切的观念	151
§ 7-2 剪切与挤压的强度计算	151
§ 7-3 焊接计算	156
小 结	157
思考题	157
习 题	158
第八章 扭转	160
§ 8-1 概述	160
§ 8-2 外力偶矩与扭矩的计算 扭矩图	160
§ 8-3 薄壁圆筒的扭转 纯剪切	162
§ 8-4 圆轴扭转时的应力与变形计算	165
§ 8-5 圆轴扭转时的强度条件和刚度条件	167
* § 8-6 圆轴扭转时的变形能	171
* § 8-7 扭转超静定问题	172
* § 8-8 矩形截面杆扭转的概念	173
小 结	174
思考题	175
习 题	176
第九章 弯曲内力	179
§ 9-1 工程实际中的弯曲问题	179
§ 9-2 剪力和弯矩	181
§ 9-3 剪力图和弯矩图	184
§ 9-4 剪力、弯矩和分布载荷集度间的关系	190
§ 9-5 刚架的弯矩图 轴力图	193
§ 9-6 平面曲杆的弯曲内力	195
小 结	196
思考题	197

习 题	198
第十章 弯曲应力	202
§ 10-1 梁弯曲时的正应力	202
§ 10-2 惯性矩的计算	207
* § 10-3 梁弯曲时的剪应力	211
§ 10-4 梁弯曲时的强度计算	214
§ 10-5 提高梁抗弯能力的措施	217
小 结	222
思考题	223
习 题	224
第十一章 弯曲变形	228
§ 11-1 工程实际中的弯曲变形问题	228
§ 11-2 梁的挠曲线近似微分方程	228
§ 11-3 用积分法求梁的变形	231
§ 11-4 用叠加法求梁的变形	236
§ 11-5 梁的刚度校核	238
§ 11-6 超静定梁	241
小 结	246
思考题	246
习 题	247
第十二章 应力状态和强度理论	252
§ 12-1 应力状态的概念	252
§ 12-2 平面应力状态分析——解析法	254
§ 12-3 平面应力状态分析——图解法	259
* § 12-4 三向应力状态简介	262
§ 12-5 广义虎克定律	264
§ 12-6 强度理论及其应用	266
小 结	271
思考题	272
习 题	273
第十三章 组合变形的强度计算	276
§ 13-1 概述	276
§ 13-2 拉伸(压缩)与弯曲的组合变形	276
§ 13-3 圆轴扭转与弯曲的组合变形	279
* § 13-4 斜弯曲	281
小 结	284
思考题	284
习 题	286
第十四章 动载荷	290
§ 14-1 概述	290
§ 14-2 构件作匀加速直线运动及匀角速转动时的应力计算	290
§ 14-3 构件受冲击时的应力计算	294

§ 14-4 提高构件抵抗冲击能力的措施	299
小 结	301
思考题	302
习 题	303
第十五章 交变应力	307
§ 15-1 概述	307
§ 15-2 交变应力的循环特征及类型	308
§ 15-3 材料的疲劳极限	309
§ 15-4 影响疲劳极限的主要因素	311
§ 15-5 提高构件疲劳强度的措施	314
§ 15-6 对称循环下构件疲劳强度的计算	315
小 结	317
思考题	317
习 题	318
第十六章 压杆稳定	320
§ 16-1 平衡稳定性的概念	320
§ 16-2 细长压杆的临界力	322
§ 16-3 压杆的临界应力	325
§ 16-4 压杆的稳定性计算	327
§ 16-5 提高压杆稳定性的措施	332
小 结	334
思考题	335
习 题	335
附录	339
附录 I 应力电测法	339
I-1 概述	339
I-2 应力电测法的基本原理	339
I-3 应变的测定和应力的计算	343
I-4 电测法中的几个问题	346
附录 II 基本实验	349
II-1 常温静载拉伸试验	349
II-2 压缩和扭转试验	350
II-3 弯曲试验	352
附录 III 型钢表	355
III-1 热轧等边角钢(GB700—79)	355
III-2 热轧不等边角钢(GB701—79)	359
III-3 热轧普通槽钢(GB701—65)	362
III-4 热轧普通工字钢(GB706—65)	364
附录 IV 习题答案	366
第二章 基本力系	366
第三章 平面一般力系	366
第四章 空间一般力系 重心	367

第五章	有摩擦的平衡问题	369
第六章	拉伸与压缩	369
第七章	剪切的工程计算	370
第八章	扭转	370
第九章	弯曲内力	370
第十章	弯曲应力	372
第十一章	弯曲变形	373
第十二章	应力状态和强度理论	374
第十三章	组合变形的强度计算	375
第十四章	动载荷	375
第十五章	交变应力	376
第十六章	压杆稳定	376

第一篇 静力学

引言

静力学是研究物体在平衡状态下的科学,即研究物体在力作用下处于平衡状态的规律及其应用。平衡是指物体相对于惯性参考系静止或作匀速直线运动的状态,是物体机械运动中的一种特殊运动状态。在一般工程实际中,常把固连于地球上的参考系视为惯性参考系,因此,平衡是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动的状态。

静力学主要研究三个方面的问题,即

1. 研究物体的受力分析。讨论研究对象所受诸力作用的位置、大小和方向。
2. 研究力系的简化。将作用于物体上的一个力系用另一个与该力系等效的力系来替换,这两力系互为等效力系。用一个简单力系等效地替换一个复杂力系的过程,称为力系的简化。
3. 建立不同类型力系的平衡条件。研究物体平衡时,作用在物体上各种力系所需满足的条件。力系的平衡条件,在工程实际中极为重要,它是设计结构、构件及机械零件时进行静力计算的基础。

第一章 静力学基础及物体受力分析

§ 1-1 静力学的基本概念

一、刚体的概念

静力学研究的对象是刚体。刚体是受力作用时不发生变形的物体,即在受力作用时刚体内任意两点间的距离始终保持不变。在实践中,任何物体在力的作用下或多或少都会发生不同程度的变形。当物体变形不大或变形不影响所研究问题的实质时,均可将物体视为刚体。物体能否视为刚体,不仅仅决定于物体变形的大小,而且还取决于所研究问题自身的要求。同一物体,在静力学中视为刚体,而在材料力学中,在研究作用力和变形之间的关系时,则被视为弹性体。总之,刚体是物体理想化后的力学模型,是一个相对概念。

二、力的概念

力的概念来源于劳动实践。由生活到生产的实践,人们逐渐认识到物体机械运动的状态发生变化和物体的变形,均是其它物体对该物体施加力的结果。从而科学地建立了力的概念:力是物体间的相互机械作用,其结果是迫使物体的运动状态和形状发生改变。物体间的相互机械作用可分为两类,一类是物体间的直接接触的相互作用,另一类是场和物体间的相互作用。尽管物体间的相互作用力的来源和物理本质不同,但它们所产生的效应是相同的。把力使物体运动状态发生改变的效应,称为力的运动效应或外效应;而把力使物体的形状发生改变的效应,称为力的变形效应或内效应。

实践表明:力对物体作用的效应取决于力的三个要素:力的大小、方向和作用点。

力的大小反映物体间相互机械作用的强度,它可由力所产生的效应的大小加以测定。在国际单位制(SI)中,力的单位是牛(N);在工程单位制中,力的单位是千克力(kgf)。两种单位制间力的换算关系为:1kgf=9.8 N。

力的方向是指静止物体在该力作用下开始运动或运动趋势的方向。沿该方向画出的直线称为力的作用线。力的方向应包含力的作用线在空间的方位和指向。

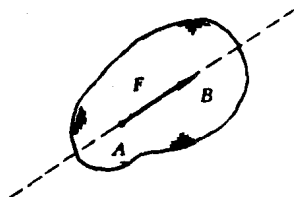


图 1-1

力的作用点是指物体承受力的那个部位。两个物体间相互接触时总占有一定的面积,力总是分布于物体接触面上各点的。当接触面面积很小时,可近似将微小面积抽象为一个点,这个点称为力的作用点,该作用力称为集中力;反之,当接触面积不可忽略时,力在整个接触面上分布作用,此时的作用力称为分布力。分布力的大小用单位面积上的力的大小来度量,称为载荷集度,用 $q(\text{N}/\text{cm}^2)$ 表示。

力是矢量,记作 F 。用一段带有箭头的直线 $\overline{AB}$ 来表示力的三要素:线段 $\overline{AB}$ 的长度按一定比例尺表示力的大小;线段 $\overline{AB}$ 的方向和箭头的指向一致,表示力的方向;线段 $\overline{AB}$ 的起点或终

点 A (在受力的物体上), 表示力的作用点。线段沿着的直线 (图 1-1 中的虚线), 表示力的作用线。

在力学中有许多矢量。一般来说, 矢量不明确指明它的作用点。习惯上, 把没有固定作用点的矢量称为**自由矢量**。作用点固定的矢量称为**定位矢量**。还有一种无需表明它的作用点却有固定作用线的矢量, 称为**滑移矢量**。矢量一律用黑体字母表示, 而用与之对应的非黑体字母表示矢量的模。比如, 力矢量为 $\boldsymbol{F}$, 其模为 F 或 $|\boldsymbol{F}|$ 。

三、力系的概念

力系是指作用于物体上的一群力的集合或一群力的总称。

若刚体在某力系作用下保持平衡, 则该力系称为**平衡力系**。平衡力系中诸力相互平衡, 或者说, 诸力对刚体产生的运动效应相互抵消。可见, 平衡力系是对刚体作用效应等于零的力系。若一力系能用另一力系代替, 且对刚体产生原力系相同的效应, 则称这两个力系**互为等效**, 或者说, 其中任一力系为另一力系的**等效力系**。

当一个力与一个力系等效时, 则称该力为力系的**合力**; 而该力系中的每一个力称为其合力的**分力**。把各分力代换成合力的过程, 称为力系的**合成**; 把合力代换成若干分力的过程, 称为力的**分解**。

§ 1-2 力的基本性质

为研究力系的简化和平衡条件以及物体的受力分析, 则必须对力的基本性质有所认识。观察发现, 在两力合成和平衡以及两物体间相互作用等方面存在着一些基本的力学规律。这些规律是人类长期实践累积的经验总结, 并经过实践的反复检验, 证明它们是符合客观真实的普遍规律。这些规律统称为**静力学原理**, 它们是静力学理论的基础。

一、二力平衡原理

作用在刚体上的两个力使刚体处于平衡的充要条件是: 这两力等值、反向且作用在同一直线上。这就是**二力平衡原理**。它总结

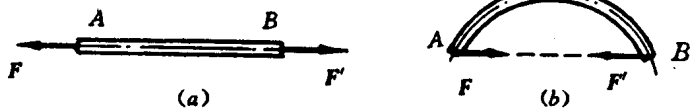


图 1-2

了作用于刚体上的最简单力系平衡时所必须满足的条件。对刚体这个条件既充分又必要, 但对非刚体的平衡是不充分的。比如, 在橡皮棒上沿同一直线作用等值、反向的两个力 (图 1-2(a) 和 (b)), 橡皮棒是否平衡, 还须看它的承载能力; 又如, 软绳受两等值、反向的拉力作用可以平衡, 而受两等值、反向的压力作用则不能平衡。

二、加减平衡力系原理

加减平衡力系原理叙述为: 在作用于刚体上的已知力系上, 加上或减去任意的平衡力系, 将不会改变原力系对刚体的作用效应。它表明, 若两个力系只相差一个或若干个平衡力系, 它们对刚体的作用效应是相同的, 彼此可以等效替换。

应当明确, 该原理只适用于刚体。对于变形体, 增加或减去任意一平衡力系, 均会改变变形

体内各处的受力状态,这必将导致其外效应和内效应的变化。

推论:作用于刚体上某点的力,可沿力的作用线移至刚体内任意一点而不改变该力对刚体的作用。它被称之为**力在刚体上的可传性原理**。

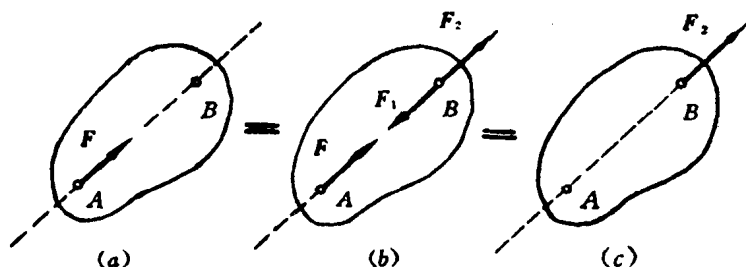


图 1-3

证明:设一力 F 作用于刚体上的 A 点(图 1-3(a))。按加减平衡力系原理,可在力的作用线上任取一点 B ,并加上两个相互平衡的力 F_1 、 F_2 ,使 $F = F_2 = -F_1$ (图 1-3(b))。由于力 F 和 F_1 构成一平衡力系,可除去。这样只剩下一个力 F_2 作用于刚体上(图 1-3(c))。换言之,力 F 从作用点 A 沿力的作用线移到了任意点 B 。

显而易见,对于刚体,力的作用点已不再是决定力的作用效应的要素之一,它由作用线所替代。因此,作用于刚体上的力的三要素是力的大小、方向和作用线。

由于将可沿其作用线移动而不改变其性质的矢量称为**滑移矢量**,根据力的可传性原理,作用于刚体上的力矢量是滑移矢量。

三、力的平行四边形原理

作用在物体上同一点的两个力可以合成为一个合力,其合力作用点在同一点上,合力的方向和大小由原两个力为邻边构成的平行四边形的对角线决定(图 1-4)。这个性质称为**力的平行四边形原理**。其矢量式为

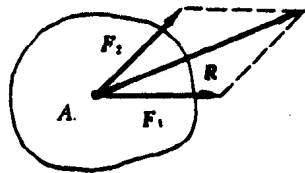


图 1-4

$$R = F_1 + F_2$$

即合力矢 R 等于二分力 F_1 和 F_2 的矢量和。

显然,运用力的平行四边形原理求合力时,对变形体,二分力要有共同的作用点;而对刚体,二分力的作用线只要相交就可合成,因为按力的可传性原理,可将分力沿其作用线滑移至作用线的交点。

推论:作用于刚体上三个相互平衡的力,若其中二力作用线汇交于一点,则此三力必在同一平面内,且第三力的作用线必定通过汇交点。这个推论被称为**三力平衡汇交定理**。

证明:如图 1-5 所示,在刚体的 A 、 B 、 C 三点上,分别作用有三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 、 F_3 。按力的可传性原理,可将力 F_1 和 F_2 沿其作用线移至汇交点 O ,然后由力的平行四边形原理,求得合力 R_{12} 。显然,刚体在 R_{12} 和 F_3 作用下平衡。根据二力平衡原理, R_{12}

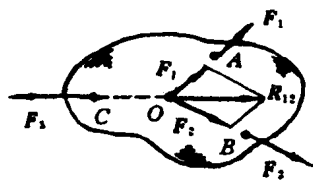


图 1-5

和 F_3 必共线。于是,力 F_3 必与力 F_1 、力 F_2 共面,且通过力 F_1 和力 F_2 的汇交点。定理得证。

三力平衡汇交定理常用来确定刚体在三力作用下平衡时其中未知力的方向。

四、作用与反作用原理

任何二物体间相互作用的一对力总是等值、反向、共线的,并同时分别作用在这两个物体上。这两个力互为作用力和反作用力。这就是作用与反作用原理。

注意,作用力与反作用力相互依存、同时出现、同时消失,并分别作用在不同的物体上。因此,在对物体作受力分析时,必须明确施力物体和受力物体。作用与反作用原理中的一对力和二力平衡原理中的两个力是截然不同的。前者两个力分别作用于不同的物体上,而后者两个力则是作用于同一物体上。

五、刚化原理

当变形体在已知力系作用下处于平衡时,若把变形后的变形体刚化为刚体,则其平衡状态保持不变。这个结论称为刚化原理。

该原理提供了把变形体抽象化为刚体模型的条件。

如图 1-6 所示,绳索在等值、反向、共线的两拉力作用下

处于平衡。若将绳索刚化为刚体,其平衡状态保持不变。显然,绳索在两等值、反向、共线的压力作用下不能平衡,绳索也就不能刚化为刚体。当然,刚体在上述两种力系的作用下均保持平衡状态。

显而易见,变形体的平衡条件包含了刚体的平衡条件。因此,可以把任何处于平衡的变形体视为刚体,而对它应用刚体静力学的全部理论。这就是刚化原理的意义所在。

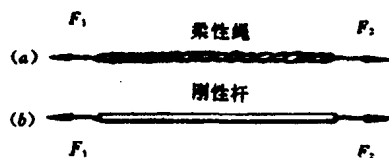


图 1-6

§ 1-3 约束与约束反力

一、约束的概念

在工程结构中,每一构件均按工作要求以一定方式与周围其它构件发生联系,故其运动必受到一定的限制。换言之,每一构件在空间的位移必受到一定的限制。比如,机车受铁轨的限制,只能沿轨道运动;电机转子受轴承的限制,只能绕轴线转动;悬挂重物受钢索的限制,不能下落等等。凡对某一构件(物体)的运动(位移)起限制作用的周围其它构件(物体),称为这一构件(物体)的约束。

约束阻碍构件的运动,这表明约束能起改变物体运动状态的作用。因此,约束对构件的作用,实际上就是力。这种力称为约束反力或约束力,简称反力。约束反力的方向与阻碍构件(物体)运动(位移)的方向相反。这是判别约束反力方向的基本方法。

构件除受约束反力外,还受有诸如重力、风力、水压力、电磁力、推力以及各种机械的动力和载荷而主动引起构件运动或运动趋势的力。这一类力统称为主动力。

工程中的构件都是非自由物体,而平衡问题又是静力学研究的主要问题,因此,研究受约束限制的非自由体的平衡问题是非常重要的。非自由体的平衡问题中,主动力彼此独立,常为