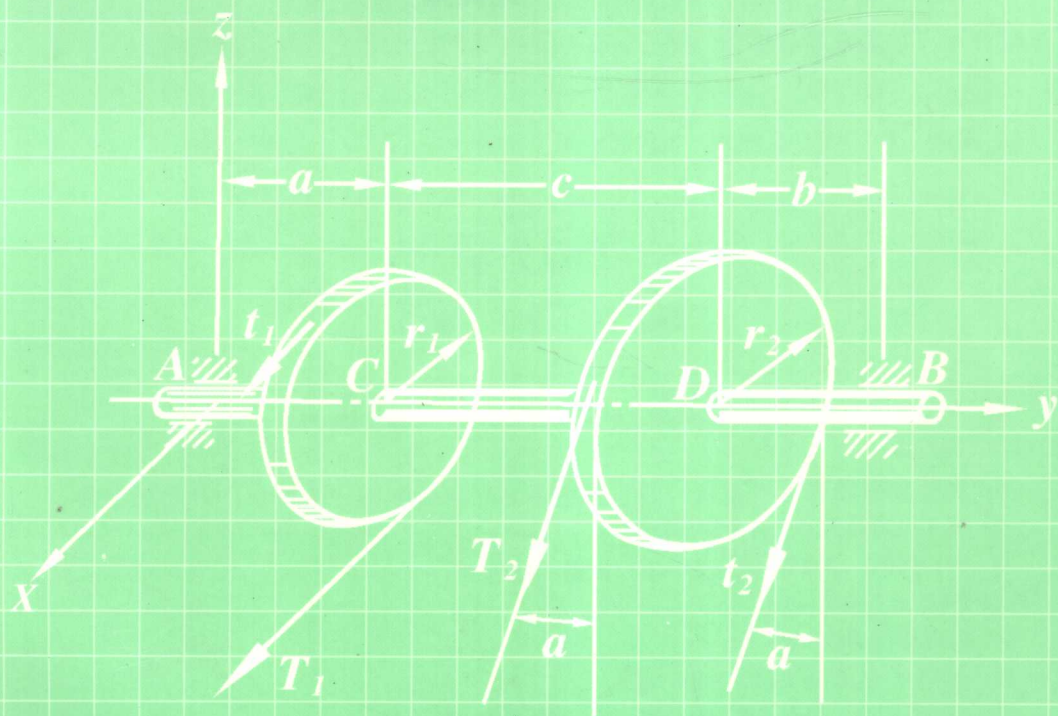


高等学校教材

工程力学

冯启高 傅 宇 主编



电子科技大学出版社

高等学校教材

工 程 力 学

主 编	冯启高	傅 宇	
副主编	刘莉莉	王焕琴	苏建修
	李超彬	丛晓霞	
编 委	张学铭	程花蕊	巴新华 陈锡渠
	傅素芳	万秀颖	张付梅 杨国合
	姚满庆		

电子科技大学出版社

内 容 提 要

本书是根据原国家教委审定的机械类专业《工程力学》课程的教学基本要求,并结合高等院校机械类专业教学内容和课程体系的改革趋势而编写的。

全书共分 22 章,内容包括理论力学和材料力学两大部分。理论力学内容包括:静力学(静力学基础、汇交力系与力偶系、力学的简化和平衡方程、摩擦等);运动学(点的运动、刚体的基本运动、点的合成运动、刚体的平面运动等);动力学(质点运动的微分方程、动力学普遍定理、达朗伯原理等)。材料力学内容包括:杆件的基本变形、应力分析和强度理论、复合变形、压杆稳定、动载荷和交变应力等。

本书可作为一般高等院校和高等职业技术师范院校机械类专业教材,也可供工厂、企业中从事相关专业的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学/冯启高,傅宇主编,一成都:电子科技大学出版社,2000.12
ISBN 7-81065-587-6

I. 工... II. ①冯...②傅... III. 工程力学 IV. TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 74592 号

工程力学

冯启高 傅宇 主编

出 版:电子科技大学出版社 (成都建设北路二段四号,邮编:610054)
责任编辑:周清芳
发 行:新华书店
印 刷:成都金星彩色印务有限责任公司
开 本:787×1092 1/16 印张 25.25 字数 650 千字
版 次:2001 年 1 月第一版
印 次:2001 年 1 月第一次
书 号:ISBN 7-81065-587-6/O·22
印 数:1—2000 册
定 价:32.00 元

前 言

我国社会主义市场经济的发展,对高等教育的人才培养提出了新的要求。高等院校专业教学内容和课程体系改革已成为一大趋势。作为机械类专业主干课程的《工程力学》,其教学内容已显得过于陈旧、节奏慢,教材体系重学科,重理论体系的完整性,而轻工程应用。在目前整体理论教学学时压缩的前提下,已无法完成教材的全部内容。为此,河南职业技术学院,河南工程学院等数所院校长期从事《工程力学》教学的教师共同讨论确定了120学时左右的《工程力学》编写大纲,并根据大纲编写了这本教材。本教材教学内容着力突出工程观念的培养和力学知识的应用。力求做到概念清晰,循序渐进,易教易学,更便于实际应用。

本书由冯启高、傅宇任主编,负责全书的编写工作。编委成员具体编写章节如下:冯启高(绪论、第十二章、第十八章),傅宇(第十六章),刘莉莉(第十章),王焕琴(第七章、附录I),苏建修(第二十一章),李超彬(第十三章),丛晓霞(第三章、附录II),张学铭(第十九章、第二十章),程花蕊(第一章、第四章),巴新华(第十四章),陈锡渠(第二十二章),傅素芳(第十七章),万秀颖(第十五章),张付梅(第六章),杨国合(第五章),姚满庆(第二章),苏建修、巴新华(第八章),傅素芳、万秀颖(第九章),杨国合、张付梅(第十一章)。

在编写过程中,得到了相关院校的领导和广大教师的支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有错漏和不足之处,希望广大教师和读者批评指正。

编者

2001年元月

目 录

绪论	(1)
静力学	(3)
第一章 静力学基础	(3)
第一节 静力学基本概念和公理	(3)
第二节 约束和约束反力	(4)
第三节 物体的受力分析和受力图	(8)
小结	(10)
思考题	(10)
习题	(11)
第二章 汇交力系与力偶系	(13)
第一节 力在轴上的投影与合力投影定理	(13)
第二节 汇交力系的合成及平衡条件	(14)
第三节 力矩	(16)
第四节 力偶及其性质	(20)
第五节 力偶系的合成与平衡	(22)
第六节 力线平移定理	(24)
小结	(25)
思考题	(25)
习题	(26)
第三章 力系的简化和平衡方程	(30)
第一节 空间力系的简化	(30)
第二节 空间一般力系的平衡方程与解题步骤	(32)
第三节 平面一般力系	(35)
第四节 物体系的平衡·静定和静不定问题	(40)
第五节 空间平行力系	(44)
第六节 平衡力系中心·重心	(45)
小结	(51)
思考题	(51)
习题	(52)
第四章 摩擦	(56)
第一节 滑动摩擦	(56)

第二节 摩擦角与自锁	(57)
第三节 考虑摩擦时物体的平衡问题	(58)
第四节 滚动摩阻	(60)
小结	(61)
思考题	(62)
习题	(62)
运动学	(66)
第五章 点的运动	(66)
第一节 点的运动方程	(66)
第二节 点的速度和加速度	(67)
小结	(76)
思考题	(77)
习题	(77)
第六章 刚体的基本运动	(79)
第一节 刚体的平动	(79)
第二节 刚体的定轴转动	(80)
第三节 定轴轮系的传动比	(84)
第四节 角速度和角加速度矢量·以矢积表示点的速度和加速度	(87)
小结	(88)
思考题	(89)
习题	(89)
第七章 点的合成运动	(91)
第一节 绝对运动、相对运动和牵连运动	(91)
第二节 速度合成定理	(92)
第三节 牵连运动为平动时的加速度合成定理	(95)
第四节 牵连运动为转动时的加速度合成定理·科氏加速度	(98)
小结	(103)
思考题	(104)
习题	(105)
第八章 刚体的平面运动	(110)
第一节 平面运动分解为平动和转动	(110)
第二节 用基点法、速度投影定理求平面图形上各点的速度	(112)
第三节 用瞬心法求平面图形上各点的速度	(114)
第四节 用基点法求平面图形上各点的加速度	(117)
第五节 刚体绕平行轴转动的合成	(122)
小结	(126)
思考题	(127)
习题	(128)

动力学	(134)
第九章 质点运动的微分方程	(135)
第一节 动力学的基本定律	(135)
第二节 质点运动的微分方程	(136)
第三节 质点动力学的两类基本问题	(137)
小结	(140)
思考题	(141)
习题	(142)
第十章 动力学普遍定理	(145)
第一节 动力学普遍定理概述	(145)
第二节 动量定理	(146)
第三节 动量矩定理	(152)
第四节 动能定理	(163)
小结	(171)
思考题	(172)
习题	(174)
第十一章 达朗伯原理	(180)
第一节 惯性力·达朗伯原理	(180)
第二节 惯性力系的简化	(182)
第三节 动静法应用举例	(185)
第四节 转动刚体的轴承动反力·静平衡和动平衡的概念	(187)
小结	(189)
思考题	(190)
习题	(190)
第十二章 材料力学概论	(194)
第一节 材料力学的研究对象及任务	(194)
第二节 材料力学的基本假设	(195)
第三节 杆件的基本变形	(196)
第四节 外力·内力·截面法	(196)
第五节 应力的概念	(197)
第十三章 轴向拉伸与压缩	(199)
第一节 概述	(199)
第二节 轴向拉伸或压缩时横截面上的内力及应力	(199)
第三节 拉(压)杆的变形	(201)
第四节 拉伸和压缩时材料的机械性质	(203)
第五节 许用应力及安全系数	(208)
第六节 拉(压)杆的强度计算	(210)
第七节 拉伸和压缩的超静定问题	(212)

小结	(215)
思考题	(216)
习题	(216)
第十四章 剪切	(221)
第一节 概述	(221)
第二节 剪切和挤压的实用计算	(221)
第三节 纯剪切·剪应力互等定理·剪切虎克定律	(225)
第四节 剪切变形能	(227)
小结	(227)
思考题	(228)
习题	(228)
第十五章 扭转的强度与刚度计算	(230)
第一节 概述	(230)
第二节 扭转时的内力	(231)
第三节 圆轴扭转时的应力与变形	(233)
第四节 圆轴扭转时的强度和刚度计算	(236)
小结	(240)
思考题	(241)
习题	(241)
第十六章 弯曲的强度计算	(244)
第一节 概述	(244)
第二节 静定梁的基本形式	(245)
第三节 平面弯曲时梁横截面上的内力	(246)
第四节 剪力图和弯矩图	(248)
第五节 剪力、弯矩和分布载荷间的关系	(251)
第六节 用迭加法作剪力图和弯矩图	(254)
第七节 刚架的弯矩图、轴力图	(255)
第八节 弯曲的正应力	(257)
第九节 弯曲正应力的强度条件及其应用	(260)
第十节 弯曲时的剪应力	(263)
第十一节 提高弯曲强度的措施	(268)
小结	(272)
思考题	(273)
习题	(273)
第十七章 梁的变形	(277)
第一节 工程中的弯曲变形问题	(277)
第二节 挠曲线近似微分方程式	(278)
第三节 积分法计算梁的变形	(279)

第四节	用迭加法计算梁的变形	(282)
第五节	弯曲刚度计算	(283)
第六节	提高弯曲刚度的措施	(288)
小结		(290)
思考题		(290)
习题		(290)
第十八章	应力状态理论和强度理论	(292)
第一节	应力状态理论	(292)
第二节	二向应力状态下斜截面上的应力	(294)
第三节	二向应力状态下的应力圆	(298)
第四节	三向应力概述	(303)
第五节	广义的虎克定律	(305)
第六节	强度理论的概念	(308)
第七节	工程中常用的四种强度理论	(309)
第八节	强度理论的讨论	(311)
小结		(313)
思考题		(314)
习题		(315)
第十九章	组合变形的强度计算	(318)
第一节	工程中的组合变形问题	(318)
第二节	弯曲与拉伸(或压缩)的组合	(319)
第三节	斜弯曲	(320)
第四节	扭转与弯曲的组合	(322)
小结		(325)
思考题		(325)
习题		(326)
第二十章	压杆的稳定计算	(328)
第一节	工程中压杆的稳定性问题	(328)
第二节	细长压杆的临界力	(329)
第三节	欧拉公式的适用范围及临界应力的经验公式	(332)
第四节	压杆的稳定计算	(333)
第五节	提高压杆稳定性的措施	(336)
小结		(336)
思考题		(337)
习题		(337)
第二十一章	动载荷	(339)
第一节	概述	(339)
第二节	构件作变速运动时应力与变形的计算	(339)

第三节 冲击时的应力计算	(341)
第四节 构件作振动时的应力计算	(346)
小结	(349)
思考题	(349)
习题	(349)
第二十二章 交变应力	(352)
第一节 交变应力及疲劳破坏	(352)
第二节 材料的持久极限及其测定	(355)
第三节 影响持久极限 σ_{-1} 的因素	(356)
第四节 对称循环的疲劳强度校核	(360)
第五节 非对称循环的疲劳强度校核	(361)
第六节 扭转联合下的疲劳强度	(365)
第七节 提高抵抗疲劳能力的措施	(367)
小结	(369)
思考题	(370)
习题	(370)
附录 I 平面图形的几何性质	(372)
第一节 形心和面矩	(372)
第二节 惯矩·惯积·惯性半径	(374)
第三节 平行轴定理·组合图形的惯矩与惯积	(376)
第四节 转轴公式·主惯矩	(380)
习题	(382)
附录 II 型钢表	(385)

绪 论

工程力学是研究工程中力学问题的基本理论、方法及其应用的学科。它包括理论力学和材料力学两部分。

理论力学研究物体机械运动的一般规律，材料力学研究构件在外力作用下变形和破坏的规律。

机械运动是指物体在空间的位置随时间的变化，它不仅是自然界中物体最简单、最基本的运动形式，而且也是工程中最常见的运动形式。因此，工程力学既是自然科学的理论基础，又是现代工程技术的基础理论。它可以独立解决工程实际中的力学问题，同时也是学习后继课程如机械原理、机械零件等的基础。因此工程力学是现代工程技术人员必须掌握的一门技术基础课。

理论力学包括静力学、运动学和动力学。静力学研究物体的平衡规律，研究平衡时物体间相互作用力之间的关系；运动学研究物体的机械运动的几何性质而不涉及力的作用；动力学研究作用于物体上的力与运动间的关系。

材料力学研究构件的承载能力，即研究构件的强度、刚度和稳定性问题，为安全经济地设计构件提供必要的理论基础和计算方法。

研究科学的过程，就是认识客观世界的过程，任何正确的科学研究方法，都符合辩证唯物主义认识论。工程力学也是遵循这个正确的认识规律进行研究和发展的。

首先，通过观察生活和生产实践中的各种现象，进行多次的科学实验，经过分析、综合和归纳，总结出力学的最基本的规律，而形成工程力学的公理或定理，建立起力学体系。

其次，采用抽象化的方法，即在研究复杂的客观事物的过程中，抓住起决定作用的主要因素，忽略次要的、局部的和偶然的因素，作出假设，把复杂的物体抽象成便于研究的简单模型。例如，在研究物体的机械运动时，忽略物体受力要变形的性质，得到刚体的模型；忽略摩擦对物体运动的影响，得到理想约束的模型；忽略物体的几何尺寸，得到质点的模型。在研究构件的变形时，忽略物体微粒之间的不连续与物体性质的不均匀，认为物体是连续均匀的等等。这种抽象化的方法，一方面简化了所研究的问题，另一方面也更深刻地反映了事物的本质。但是，任何抽象化的模型都是有条件的、相对的，当研究问题的条件改变了，原来的模型就不一定适用，必须再考虑影响问题的新的因素，建立新的模型。例如在研究物体受外力作用下的平衡问题时，应用刚体模型，可以得到满意的结果；但要研究物体内部的受力情况和它的变形时，再用刚体的模型就会得出非常荒谬的结果，这时需要建立材料力学所研究的理想弹性体的模型。

最后，在力学模型或基本假设的基础上，从基本概念、公理、定理出发，用数学演绎和逻辑推理的方法，得出正确的结论，才得以成为严谨的理论体系。生产实践中的问题是复杂的，往往不是几条基本规律所能直接解决的。这就要求理论进一步地完善起来，更好地指导

实践。人们在积累指导生产实践的规律时就开始注意到数学演绎和逻辑推理的方法。工程力学中的基本规律是根据大量的事实，经过分析、综合和归纳而建立起来的。人们又从此些基本规律出发，结合生产实践或自然界的物理现象，用数学演绎和逻辑推理的方法建立了它们之间的相互关系，并进一步得出了某些具有深刻的物理意义和便于应用的定理和结论。因此，在工程力学这门课程中，数学这一有效的科学工具不但广泛地运用在推理方面，而且也运用于量的计算方面。通过数学表达式，有助于更进一步揭示物理量间的内在联系，使力学理论能够直接地解决复杂的实践问题。

工程力学的研究方法，与其他系科的研究方法有许多相同之处，因此，掌握这门学科，不仅培养获取知识的能力、应用知识解决问题的能力，而且培养科学的态度和创造力。

静 力 学

静力学是研究物体在力的作用下的平衡条件的科学。它的任务可归纳为以下三项:

一是物体的受力分析。即分析某个物体共受几个力,以及每个力的作用线位置、大小和方向。

二是力系的简化。作用在物体上的力往往是复杂的。通常把作用在物体上的一群力,称为力系。若一个力系可以用另一个力系代替而不改变物体的原有状态,则称这两个力系等效。力系的简化就是将作用在物体上的力系代换为另一个与它等效且较为简单的力系。

三是研究力系的平衡条件。即研究物体平衡时,作用在物体上的力系所应满足的条件。

第一章 静力学基础

静力学的基本概念是从长期的生产实践和科学实验中总结概括出来的,是研究力系的简化和平衡的基础。本章将研究静力学的基本概念和静力学公理,以及物体的受力分析。

第一节 静力学基本概念和公理

一、静力学基本概念

(一)力的概念 力是物体之间的相互机械作用。这种作用能使物体的运动状态发生改变,称为力的外效应;也可使物体发生变形,称为力的内效应。在理论力学里主要研究力的外效应,而内效应是材料力学研究的内容。

力的作用效果决定于三个要素,即力的大小、力的方向和力的作用点。因此力是一个矢量,用 F 表示。

在国际单位制中,力的单位是牛顿(N),有时也以千牛(kN)作为单位。在工程单位制中用公斤力(kgf)。其关系为:

$$1\text{kN}=1000\text{N}, \quad 1\text{kgf}=9.8\text{N}$$

(二)刚体 在力的作用下,形状和大小都不改变的物体,其内部任意两点间的距离均保持不变,这样的物体称之为刚体。它是一个抽象化的力学理想模型。由于实际物体在力的作用下,都会产生程度不同的形变,因此绝对的刚体是不存在的。但一个物体在力的作用下变形很小,不影响研究问题的实质,就可将其看成刚体。

一、静力学公理

静力学公理概括了力的一些基本性质,是经过实践的反复检验,证明是符合客观实际普遍规律的,是静力学理论的基础。

(一)力的平行四边形法则 作用在刚体上同一点的两个力可合成为一个力。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确定,如图 1-1。也就是说合力矢等于原两力的矢量和,即

$$R = F_1 + F_2$$

式中“+”号为矢量相加,即按平行四边形法则相加。它为力系简化的重要基础。

(二)二力平衡公理 作用在刚体上的两个力,使刚体处于平衡的必要和充分条件是,这两个力大小相等,方向相反,作用在一条直线上,如图 1-2 所示。

必须指出,对于刚体,这个条件是既必要又充分的;但对于非刚体,这个条件是不充分的。例如:软绳受两个等值反向的拉力作用可以平衡,而受两个等值反向压力作用就不能平衡。

工程上把只受两个力作用而处于平衡状态的构件称为二力构件(或二力杆)。则这两个力必须满足二力平衡条件。

(三)加减平衡力系公理 在已知力系上加上或减去一个平衡力系,并不改变原力系对刚体的作用效果。这个公理也只适用于刚体,是力系简化的重要依据。

推论 1 力的可传性 作用于刚体上某点的力,可以沿着它的作用线移到刚体内任意一点,并不改变该力对刚体的作用效果。此推论可由二力平衡公理和加减平衡力系公理导出,读者可自己证明。

因此,对于刚体来说,力的作用点不再是力的三要素之一,可用作用线代替。作用在刚体上的力矢可沿作用线移动,这种矢量称为滑动矢。

推论 2 三力平衡汇交定理 若一刚体上受三个力作用且处于平衡状态,其中两个力的作用线相交于一点,则此三力必在同一平面内,且它们的作用线必汇交于一点。

证明 如图 1-3 所示,在刚体的 A_1 、 A_2 、 A_3 三点上,分别作用三个相互平衡的力 F_1 、 F_2 和 F_3 。根据力的可传性,将力 F_1 和 F_2 移到

交汇点 O ,然后根据力的平行四边形法则,得合力 R ,则力 F_3 必与 R 平衡。由于两力平衡必须共线,所以力 F_3 必与 F_1 和 F_2 共面,且通过其交汇点 O 。

(四)作用反作用公理 两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等,方向相反,作用在同一条直线上。

在应用这个公理时,必须注意:作用力与反作用力同时存在,同时消失,分别作用在两个物体上。

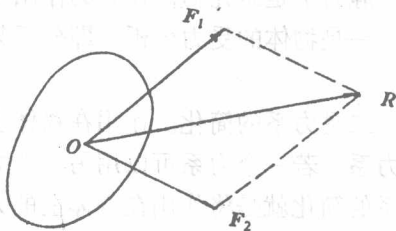
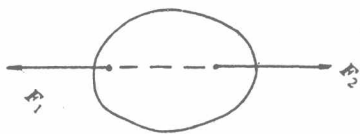


图 1-2

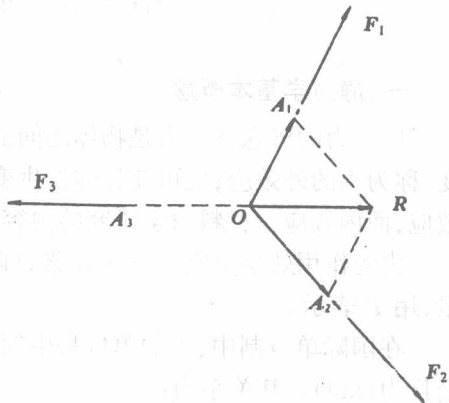


图 1-3

第二节 约束和约束反力

在力学中通常把物体分为两类:一类是自由体,它们的位移不受任何限制,例如鸟在天空

中自由飞翔,鱼在水中自由游动;另一类称为非自由体,它们的位移受到了预先给定条件的限制,例如放在桌上的书的位移受到桌面的限制,吊在电线上的灯泡的位移受到电线的限制,在工程结构中每一构件都根据工作的要求以一定的方式和周围其他构件相联系着,如图 1-4 所示,由于冲压机冲头受到滑道的限制只能沿铅垂方向平动,飞轮受到轴承的限制只能绕轴转动,由以上分析引出约束和约束反力的概念。

一、约束

对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体称为约束,或者说对某一构件的运动起限制作用的其他构件,就称为这一构件的约束,前面提到的桌面、电线滑道、轴承等就分别是书、灯泡、冲头、飞轮的约束。

二、约束反力

约束既然限制某一构件的运动,也就是说约束能够起到改变物体运动状态的作用,所以约束就必须承受物体对它的作用力,与此同时,它也给被约束物体以反作用力,这种力称为约束反力(或简称反力)。

约束反力是由于阻碍物体运动而引起的,所以属于被动力、未知力。静力分析的重要任务之一就是确定未知约束反力,例如轴承给转轴的力,轨道给机车车轮的力等。约束反力的作用点在约束与被约束物体的接触点,它的方向总是与约束所能阻止物体的位移方向相反。根据约束的性质,有的约束反力方向可以直接定出,有的约束反力方向则不能直接定出,要根据物体的平衡条件才能确定。至于约束反力的大小,一般是未知的,要由力系的平衡条件求出。

约束反力以外的其他力,能主动改变物体的运动状态,这种力称为主动力。如重力、气体压力等。

下面介绍几种常见的约束类型和确定约束反力方向的方法。

三、约束的基本类型

(一)柔性约束 柔性约束由绳索、胶带或链条等柔软体构成,它们只能承受拉力而不能抵抗压力和弯曲(忽略其自重和伸长),这种类型的约束称为柔性约束,所以柔性约束的约束反力只能承受拉力,其方向一定沿着柔性体的轴线背离受力体,例如图 1-5 所示的用铁链吊起重物与带轮所受的力。

(二)光滑面约束 指两物体接触表面的摩擦忽略不计,接触面是光滑的。这类约束的特点是不论平面或曲面都不能阻碍物体沿接触面的公切线方向运动,只能限制物体沿接触面公法线方向运动,也就是说物体可以自由地沿接触面滑动或沿接触面在接触点的公法线方向脱离接触,但不能沿公法线方向压入接触面,所以光滑接触面给被约束物体的约束反力的作用线沿接触面在接触点的公法线上,其方向指向被约束物体。

如物体受到光滑面的约束[图 1-6(a)],约束反力就沿接触面的公法线方向指向被约束的物体,接触点就是约束反力的作用点。又如图 1-6(b)所示的凸轮机构,如将凸轮看成是顶杆的约束,当接触面光滑时约束反力亦在接触处指向上,在齿轮传动时相啮合的一对齿轮以它

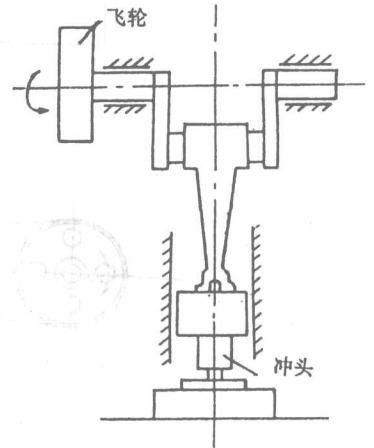
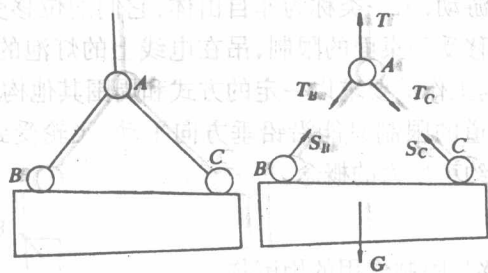
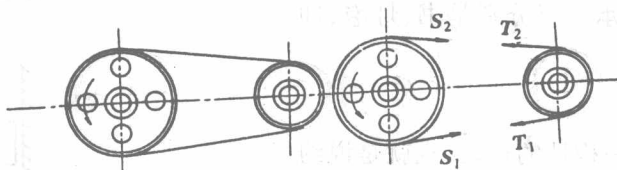


图 1-4



(a)



(b)

图 1-5

们的齿廓相接触,如不计摩擦可以认为是光滑接触[图 1-6(c)],反力沿两轮齿廓线的接触点的公法线。

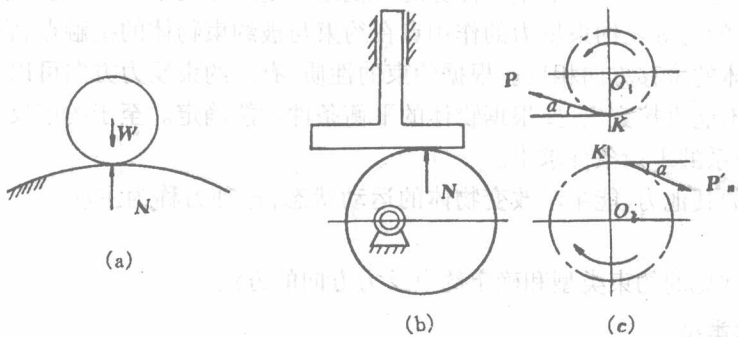


图 1-6

在桥梁和其他工程结构中,经常采用滚动支座[图 1-7(a)],这种支座中有几个圆柱滚子可以沿固定面滚动,以便当温度变化而引起桥梁跨度伸长或缩短时,允许两支座间的距离有微小的变化,显然这种滚动支座的约束性质与光滑接触表面相同,其约束反力必然垂直于固定面,其简图及约束反力方向如图 1-7b。滚动支座与光滑接触面之间区别在于这种支座有特殊装置,能阻止支座离开接触面(支承面)方向运动,所以活动铰支座可看作双向约束,反力方向有时也可能向下,与主动力的方向有关。

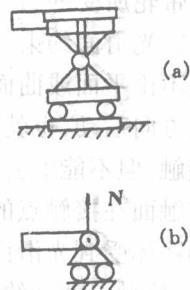


图 1-7

(三)光滑铰链约束 通常由一个圆孔套在一个圆轴外面构成光滑铰链型约束,它在工程中有多种具体形式,现将其中主要的几种分述如下。

1. 圆柱形销钉连接:两个零件的连接处用销钉连接起来,或用一个销钉将两个或更多个零件连接在一起,形成一个统一的关节(例如合页)就构成圆柱形铰链,而销钉就是两个零件的约束,它只限制两零件的相对移动而不限制两零件的相对转动[图 1-8(a)],代表符号为“○”或“⊙”,销钉给零件的反力用 N 表示,反力 N 的方向应该沿圆柱面在接触点 K 的公法线上(即销钉 K 点的半径方向),通过铰链中心,指向被约束的物体,但销钉与零件的接触点位置是随作用力的方向改变而改变的,故其约束反力 N 的方向不能预先定出,在受力分析时将圆柱型销钉的反力分解为两个互相垂直的分力 X_k 和 Y_k ,反力的作用线一定通过销钉中心,所以圆柱形销钉用正交两分力代表其真正的反力,目的是为求解出真正的铰链约束反力提供便利条件。由此可见铰链约束反力的大小、方向、作用线均是未知而待求的量。工程上采用圆柱形铰链连接的实例很多,如曲柄连杆机构中的曲柄与连杆、连杆与滑块都是用销钉连接的。

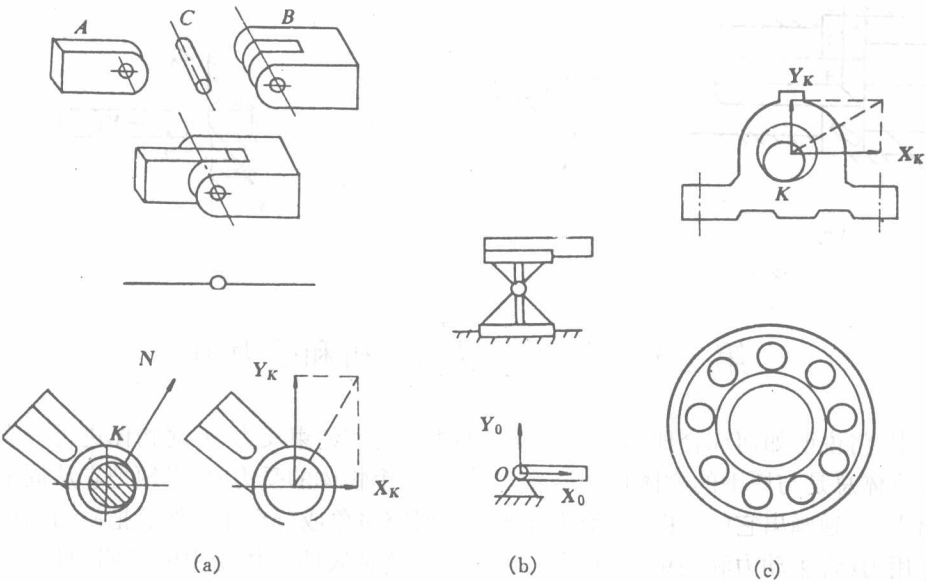


图 1-8

2. 固定铰支座:用铰链把零件、构件同支承面(固定平面或机架)连接起来,这种连接方式叫固定铰支座,如图 1-8(b)所示。其约束反力与圆柱形铰链约束反力相同,也是用通过铰链中心相互垂直的两个分力来表示,该反力的大小、方向和作用线均为待求量。

3. 向心轴承:包括向心滑动轴承和向心滚动轴承,如图 1-3(c)所示,只限制轴的移动而不限制轴的转动,这一约束性质与铰链相同,所以向心轴承的反力也用两个正交分力 X_k 、 Y_k 来表示。

4. 球形铰链约束:其结构如图 1-9 所示,杆端为球形,它被约束在一个固定的球窝中(简称球铰),球和球窝半径近似相等,球心是固定不动的,杆只能绕此点在空间任意转动,与圆柱铰链约束类似,球和球窝的接触点的位置不能由约束的性质决定,而取决于被约束物体上所受的力,但是可以肯定的是在光滑接触的情况下,约束反

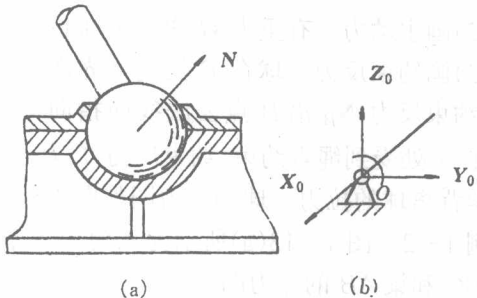


图 1-9