

工 程 力 学

劳动人事部培训就业局编

劳动人事出版社

本书是根据劳动人事部培训就业局审定颁发的《工程力学教学大纲》编写,供技工学校招收初中毕业生使用的统编教材。

本书共分二篇。第一篇为理论力学,内容包括静力学基础、平面汇交力系、力矩和力偶、平面任意力系、摩擦、空间力系基础、刚体的平动和定轴转动、刚体动力学基础等;第二篇为材料力学,内容包括材料力学基础、拉伸与压缩、剪切与挤压、圆轴扭转、直梁弯曲、组合变形、补充知识等。各章后附有小结、思考题和习题。

本书也可作为青工培训和职工的自学用书。

本书由徐克家编写;张宗良、范仲梅、施聘贤审稿,主审张宗良;刘尚海编辑加工。

工 程 力 学

劳动人事部培训就业局 编

劳动人事出版社出版

(北京市和平里中街12号)

新华书店北京发行所发行

湖南省新华二厂印刷

787×1092 16开本 13印张 318千字

1984年11月北京第一版 1985年2月湖南第一次印刷

印数: 1—210,000册

书号: 7238.0084 定价: 1.85元

前 言

为了适应技工学校逐步转向以招收初中毕业生为主的教学要求，我局于一九八三年七月委托部分省、市劳动人事厅（劳动局），分别组织编写了适合初中毕业生使用的技工学校机械类通用工种各课程所需的教材。这次组织编写的有语文、数学、物理、化学、工程力学、机械基础、金属材料与热处理、电工学、机械制图（配套使用的有机械制图习题集）、车工工艺学（配套使用的有车工工艺学习题集）、车工生产实习、钳工工艺学、钳工生产实习、铸工工艺学、铸工生产实习、铆工工艺学、机械制造工艺基础等十七种。其中语文、数学、物理、化学非机械类工种也可以选用。其他课程的教材，以后将陆续组织编写。

上述十七种教材，是按照党的教育方针，本着改革的精神组织编写的。在内容上，力求做到理论与实际相结合，符合循序渐进的要求，从打好基础入手，突出机械类技工学校生产实习教学的特点，密切联系我国机械工业的生产实际，并且尽量反映工业生产中采用新材料、新设备、新技术、新工艺的成就，以便使培养出来的学生，能够具有一定的文化知识，比较系统地掌握专业技术理论和一定操作技能，为今后的进一步提高打下基础。

这次组织编写教材的工作，由于时间比较紧促，经验不足，缺点和错误在所难免，希望使用教材的同志提出批评和改进意见，以便再版时修订。

劳动人事部培训就业局
一九八四年

目 录

绪 论	(1)
-----	-------

第一篇 理 论 力 学

第一部分 静 力 学

引 言	(3)
第一章 静力学基础	(3)
§ 1.1 静力学基本概念	(3)
§ 1.2 静力学公理	(4)
§ 1.3 约束与约束反作用力	(7)
§ 1.4 物体的受力分析和受力图	(10)
本章小结	(12)
思考题	(13)
习题	(15)
第二章 平面汇交力系	(19)
§ 2.1 平面汇交力系合成与平衡的几何法	(19)
§ 2.2 力的分解	(22)
§ 2.3 平面汇交力系合成与平衡的解析法	(23)
本章小结	(29)
思考题	(29)
习题	(31)
第三章 力矩和力偶	(35)
§ 3.1 力对点的矩	(35)
§ 3.2 合力矩定理	(37)
§ 3.3 力矩平衡条件	(38)
§ 3.4 力偶	(39)
§ 3.5 平面力偶系的合成及平衡条件	(42)
§ 3.6 力的平移定理	(43)
本章小结	(44)
思考题	(45)
习题	(46)
第四章 平面任意力系	(50)
§ 4.1 平面任意力系向一点的简化	(50)

§ 4.2 平面任意力系的平衡方程	(51)
§ 4.3 平面平行力系的平衡方程	(55)
§ 4.4 物体系的平衡	(57)
本章小结	(58)
思考题	(59)
习题	(60)
第五章 摩擦	(65)
§ 5.1 滑动摩擦	(65)
§ 5.2 摩擦角与自锁	(66)
§ 5.3 槽面摩擦	(68)
§ 5.4 考虑摩擦时的平衡问题	(69)
§ 5.5 滚动摩擦阻的概念	(71)
本章小结	(73)
思考题	(74)
习题	(76)
第六章 空间力系基础	(79)
§ 6.1 力在空间直角坐标轴上的投影	(79)
§ 6.2 齿轮受力分析	(81)
§ 6.3 轴的受力分析	(83)
本章小结	(85)
思考题	(85)
习题	(86)

第二部分 刚体运动学和动力学基础

引 言	(87)
第七章 刚体的平动和定轴转动	(87)
§ 7.1 刚体的平行移动	(87)
§ 7.2 刚体绕定轴转动	(89)
§ 7.3 转动刚体上各点的速度与加速度	(92)
本章小结	(96)
思考题	(97)
习题	(98)
第八章 刚体动力学基础	(100)
§ 8.1 惯性力	(100)
§ 8.2 转动惯量	(103)
§ 8.3 刚体转动动力学方程	(104)
§ 8.4 转矩的功率	(106)
本章小结	(107)
思考题	(108)
习题	(108)

第二篇 材 料 力 学

引 言	(111)
第九章 材料力学基础	(111)
§ 9.1 材料力学的任务	(111)
§ 9.2 弹性变形和塑性变形	(112)
§ 9.3 材料力学的基本假设	(113)
§ 9.4 杆件变形的基本形式	(113)
本章小结	(114)
思考题	(114)
第十章 拉伸与压缩	(115)
§ 10.1 拉伸与压缩的概念和实例	(115)
§ 10.2 内力 横截面上的应力	(116)
§ 10.3 拉压变形和虎克定律	(119)
§ 10.4 拉伸和压缩时材料的力学性能	(123)
§ 10.5 许用应力和安全系数	(127)
§ 10.6 拉伸或压缩的强度计算	(128)
本章小结	(130)
思考题	(130)
习题	(132)
第十一章 剪切与挤压	(136)
§ 11.1 剪切的概念和实例	(136)
§ 11.2 剪切应力	(136)
§ 11.3 挤压的概念和实例	(138)
§ 11.4 剪应变和剪切虎克定律	(140)
本章小结	(141)
思考题	(141)
习题	(142)
第十二章 圆轴扭转	(144)
§ 12.1 扭转的概念和实例	(144)
§ 12.2 扭矩和扭矩图	(145)
§ 12.3 圆轴扭转时横截面上的应力	(147)
§ 12.4 圆轴扭转的强度计算	(149)
§ 12.5 圆轴扭转刚度概述	(150)
本章小结	(152)
思考题	(152)
习题	(154)
第十三章 直梁弯曲	(156)
§ 13.1 平面弯曲的概念和实例	(156)

§ 13.2 梁的内力——剪力和弯矩	(157)
§ 13.3 弯曲正应力	(162)
§ 13.4 弯曲强度计算	(166)
§ 13.5 提高弯曲强度的主要措施	(169)
§ 13.6 弯曲刚度概述	(172)
本章小结	(175)
思考题	(175)
习题	(177)
第十四章 组合变形	(179)
§ 14.1 组合变形的概念和实例	(179)
§ 14.2 拉伸(压缩)与弯曲组合变形的强度计算	(179)
§ 14.3 扭转与弯曲组合变形的强度计算	(183)
本章小结	(186)
思考题	(187)
习题	(188)
第十五章 补充知识	(190)
§ 15.1 压杆稳定性的概念	(190)
§ 15.2 应力集中概念	(192)
§ 15.3 动荷应力和交变应力概念	(192)
本章小结	(195)
思考题	(195)

附 录

附录1 力学单位表	(197)
附录2 型钢表(摘录)	(198)

绪 论

1. 工程力学的研究对象和任务

为了加速实现我国农业、工业、国防和科学技术现代化,机械工业要为我国国民经济各部门提供各种各样的机械设备,例如内燃机、起重机、轧钢机、纺织机、金属切削机床……等。各种机械都是由许多不同的构件组成的,当机械工作时,这些构件将受到外力的作用。这种作用,会改变构件原来的运动状态,或者使构件的尺寸和形状发生变化。当作用力过大时,构件将产生过分的变形,甚至损坏。如何分析计算构件的受力情况、运动情况,以及为其选择适当的材料,确定合理的截面形状尺寸,以保证构件安全可靠地工作,这就是工程力学所要研究的主要问题。

工程力学共分两篇:第一篇理论力学;第二篇材料力学。

理论力学是研究物体机械运动一般规律的科学。所谓机械运动,就是物体在空间的相对位置随时间而发生的改变。这是宇宙间一切物质运动的最简单的形式,也是人们生活和生产实践中最常见的一种运动。若物体相对于地球处于静止状态或作匀速直线运动时,我们称其为平衡,这是机械运动的特殊情况。

理论力学的第一部分静力学,研究物体在力的作用下处于平衡的规律,建立各种力系的平衡条件。在静力学部分还着重讨论物体受力和计算的基本方法。第二部分刚体运动学和动力学基础,简要介绍如何描述物体的机械运动,讨论物体的运动变化与作用力之间的关系。

材料力学研究工程构件在外力(通常称为载荷)作用下的变形和破坏的规律。为了保证机械或工程结构的正常工作,构件应该有足够的承担载荷的能力。材料力学的任务是为构件选择适宜的材料,确定合理的形状和尺寸,为保证构件既安全又经济的要求,提供基本理论和基本计算方法。

总的来说,工程力学研究的主要问题有三方面:(1)物体受力的分析方法及物体平衡时作用力之间的关系;(2)物体的运动规律及作用于物体上的力与运动变化之间的关系;(3)构件受力变形规律及承载能力。

工程力学所研究的是力学中最普遍最基本的规律。学习工程力学可以帮助我们正确地使用、维护、革新和设计机械。现在,人类和经济的发展受技术的影响越来越大,现代生产的日益发展和科学技术的日益进步对力学提出了更多更高的要求。有许多机械工程的实际问题,可以直接应用工程力学的基本理论去解决,有些比较复杂的机械工程技术问题,则需要用工程力学和其他专门知识共同来解决。力学的研究内容还渗入到其它科学领域。所以工程力学是现代机械工程技术的基础。

由于工程力学是现代机械工程技术的基础,所以它也是技工学校机械类各工种教学计划中一门重要的技术基础课,具有很大的实用性。工程力学的知识还为学习其它课程(例如机械基础、机械加工工艺学等)准备条件。此外,通过工程力学的学习,还有助于培养我们的辩证唯物主义世界观,提高我们分析问题和解决问题的能力,为今后解决生产实际问题和进

一步提高打下基础。

2. 工程力学的学习方法

力学的基本规律,是人们通过观察生活和生产实践中的各种现象,进行多次科学实验,经过分析、综合和归纳而总结出来的。力学的产生和发展,从一开始就与生产实践密切结合。生产的需要促进了力学的发展,同时力学的理论又反过来促进了生产。所以,学习工程力学必须注意理论密切联系实际,在生活和生产实践中的观察和实验是学习工程力学的基础。要注意将感性认识上升为理性认识,并将理论应用到实践中去加以检验和指导实践。这是学好工程力学的一个重要方法。

工程力学与其他课程有密切的联系,学习本课程时,要应用物理、数学等基础知识及其运算方法,来分析和解决工程力学中提出的问题。要注意掌握工程力学课程中的基本概念和基础理论,重视练习,掌握必要的计算方法。要注意本课程各章、各篇之间的内在联系,特别是注意静力学和材料力学之间的内在联系,培养和提高综合分析问题的能力。每一章以后的小结、思考题和习题,有助于复习、深入思考和巩固这一章所学的内容,扩展知识领域。

第一篇 理论力学

第一部分 静力学

引言

静力学主要研究物体受力的分析方法和物体在力系作用下处于平衡的条件。

所谓力系，是指作用于同一物体上的一群力。

静力学中的平衡，是指物体相对于地面保持静止或作匀速直线运动。平衡是机械运动的一种特殊情况，即物体受力后的运动状态不发生变化。

平衡规律较一般运动状态发生变化的规律简单，所以静力学是力学中较浅易的部分。在生产和日常生活中，常常见到物体在力系作用下处于平衡的状态。物体受力分析方法和力系平衡条件在工程中应用极广。例如在静载荷作用下的工程结构（如桥梁、房屋、起重机、水坝等），常见的机械构件（如轴、齿轮、螺栓等），以及手动工具和低速机械等，它们在工作时大多处于平衡状态，或者可以近似地看作平衡状态。为了合理地设计或选择这些构件的形状、尺寸，保证构件安全可靠地工作，必须首先运用静力学知识，对构件进行受力分析，并根据平衡条件求出未知力，所以静力学是学习本书第二篇材料力学的基础。静力学的知识还可直接用来解决工程技术中的许多问题。

第一章 静力学基础

§1.1 静力学基本概念

在静力学中，经常用到力和刚体这两个基本概念。

1. 力的概念

力的概念是人们在长期生产劳动和生活实践中逐步建立起来的。例如挑担、推车、拧螺母都要用力。同样，机车牵引列车由静止到运动，拉伸试验机将试件拉长等，也是力的作用。这些都说明：力是物体对物体的作用，力的作用效果是使物体改变运动状态或者使物体产生变形。换句话说，力就是物体间相互的机械作用。所以力不能脱离物体凭空产生或存在。某一物体受到力的作用，一定有另一物体对它施加这种作用。因此，在分析物体受力时，必须分清哪个是受力物体，哪个是施力物体。

由实践经验可知，力对物体的作用效果决定于三个要素：(1)力的大小，(2)力的方向，

(3) 力的作用点。这三个要素中，任何一个改变时，都会改变力对物体的作用效果。

为了测定力的大小，必须确定力的单位。本书按照国务院1984年2月27日发布的命令，采用我国统一实行的法定计量单位（以国际单位制SI为基础），力的单位名称是牛顿，单位符号是N，有时也以千牛顿作单位，符号是kN。目前在工程上，有的仍采用工程单位制，暂时与国际单位制并用。工程单位制以公斤力（kgf）或千公斤力即吨力（tf）作为力的单位。牛顿和公斤力的换算关系是

$$1(\text{kgf}) = 9.807(\text{N}) \approx 10(\text{N})$$

力是具有大小和方向的量，所以力是矢量。力的三要素可用带箭头的有向线段（矢线）表示（图1.1），线段的长度（按一定比例尺画）表示力的大小，箭头的指向表示力的方向，线段的起点或终点表示力的作用点。通过力的作用点，沿力的方向所画直线，称为力的作用线。本书用黑体字母表示矢量（例如 $\mathbf{F}$ ），手写时也可在字母上方加一横线（如 $\overline{F}$ ）。 F 表示力 $\mathbf{F}$ 的大小。

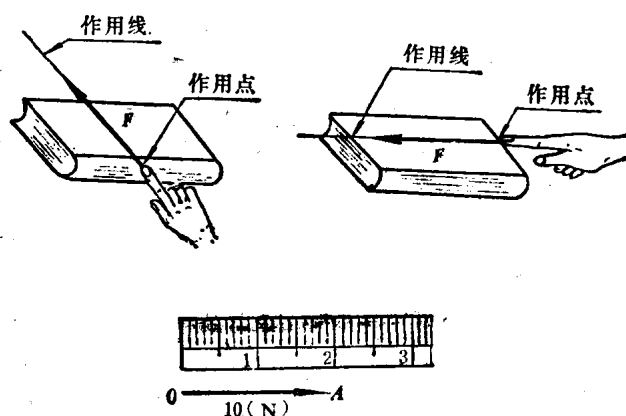


图1.1

2. 刚体

在任何力的作用下保持大小和形状不变的物体称为刚体。在研究静力学时，常把受力物体看作是刚体，这是一个理想化的力学模型。实际上，物体在力的作用下，其大小和形状都会产生不同程度的变化。不过，一般工程上的机械零件和结构构件承受力的作用时，发生的变形都很微小，甚至只能用专门的仪器才能测量出来，忽略变形并不会对所研究的结果产生显著的影响，但却会使研究的问题得到简化，这就避开了问题的次要矛盾，而抓住其主要矛盾。这种将实际事物抽象的方法，不仅不会离开客观实际，而且是更科学地反映了客观事物的本质。这种方法也是科学研究中广泛采用的方法。

然而，当变形这一因素在所研究的问题中跃居主要地位时（例如在材料力学中），一般就不再把物体看作是刚体了，即使变形很小也应考虑，不能忽略不计。

§ 1.2 静力学公理

人类在生活和生产中，经过长期的经验积累和实践的验证，认识了关于力的各种性质，其中最基本的性质可总结为以下四个静力学公理。所谓公理，就是从实践中总结出来的客观规律。实践是检验真理的唯一标准，因此，公理的正确性只能由实践来验证。静力学的全部

理论，就是建立在这些公理的基础上的。

1. 静力学公理

公理1：力的平行四边形公理 作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力也作用于该点上。合力的大小和方向，用这两个力为邻边所构成的平行四边形的对角线确定。

如图1.2a所示， F_1 、 F_2 为作用于O点的两力，以这两力为邻边作出平行四边形OABC，则从O点作出的对角线OB，就是 F_1 与 F_2 的合力 R 。

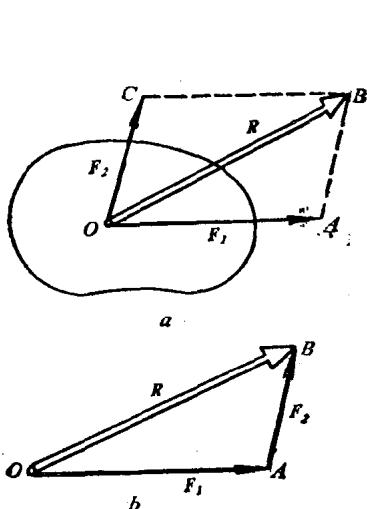


图1.2

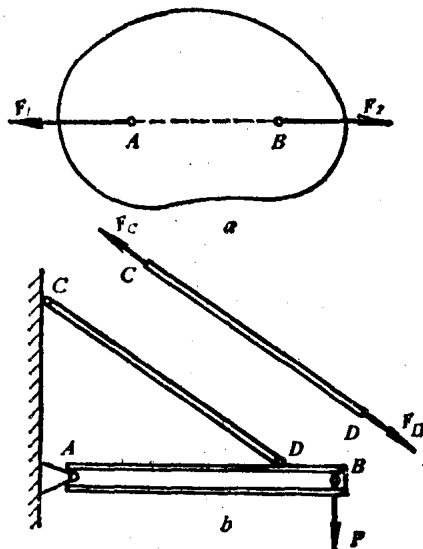


图1.3

实际上，在求合力 R 时，不一定要作出整个平行四边形OABC。因为平行四边形的对边平行且相等，所以只要作出对角线一侧的一个三角形（ $\triangle OAB$ 或 $\triangle OCB$ ）就可以了。如图1.2b所示，只要将力矢 F_1 、 F_2 首尾相接，成一折线OAB，再用直线OB将其封闭构成一个三角形，那么矢量 $\vec{OB}$ 就代表合力 R 。显然在作折线时，两力的先后次序是可以任选的。这一力的合成方法称为力的三角形法则。它从平行四边形公理演变而来，应用更加简便。

求 F_1 和 F_2 两力的合力 R ，可以用一个矢量式表示如下：

$$\mathbf{R} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 \quad (1.1)$$

读作：合力 R 等于力 F_1 和 F_2 的矢量和（又称几何和）。式（1.1）与代数相加式 $R = F_1 + F_2$ 完全不同，不能混淆。只有当两力共线时，其合力才等于两力的代数和（见§2.1）。

力的平行四边形公理总结了最简单的力系简化的规律，它是力的合成和分解的依据，也是较复杂力系简化的基础。

公理2：二力平衡公理 作用于刚体上的两个力，使刚体处于平衡状态的必要与充分条件是：这两个力的大小相等，方向相反、且作用在同一直线上（简称二力等值、反向、共线）。如图1.3a所示的刚体，当 $\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$ （负号说明 F_2 的方向与 F_1 相反），则刚体平衡。

在两个力作用下处于平衡的刚体称为二力体，如果刚体是一个杆件，也可称为二力杆件。图1.3b中的杆CD，若自重不计，就是一个二力杆件。这时 F_C 和 F_D 的作用线必在二力作用点的连线上，且等值、反向。

凡作用于同一刚体上而使刚体处于平衡状态的力系，称为平衡力系。公理2总结了作用于刚体上的最简单的力系平衡时所必须满足的条件，它是静力学中最基本的平衡条件。

必须注意，二力平衡条件只有对刚体来说才是既必要又充分的条件。对于非刚体，二力平衡条件是不充分的。例如绳索两端受等值、反向、共线的拉力作用可以平衡，而受等值、反向、共线的两个压力就不能平衡。

公理3：作用与反作用 公理 两个物体间的作用力与反作用力总是成对出现，且大小相等，方向相反，沿着同一直线，但分别作用在这两个物体上。

作用力和反作用力是力学中普遍存在的一对矛盾，它们互相对立，互相依存，同时出现，同时消失，这是矛盾同一性的体现。

这里应注意公理2和公理3的区别，公理2是叙述了作用在同一物体上两力的平衡条件，公理3是描述两物体间的相互作用关系。必须注意，虽然作用力和反作用力等值、反向、共线，但分别作用在两个不同物体上。因此，对于每一物体，不能认为作用力与反作用力相互平衡，组成平衡力系。

例如将重量为 G 的球放在桌面上(图1.4a)，球对桌面有一作用力 N ，桌面对球即有一反作用力 N' ，前者作用于桌面，而后者作用于球上(图1.4b)，不能认为是二力平衡。如果再分析球的受力情况，可知球受重力 G 和桌面给球的反作用力 N' 作用，这两个力使球形成二力平衡(图1.4c)。

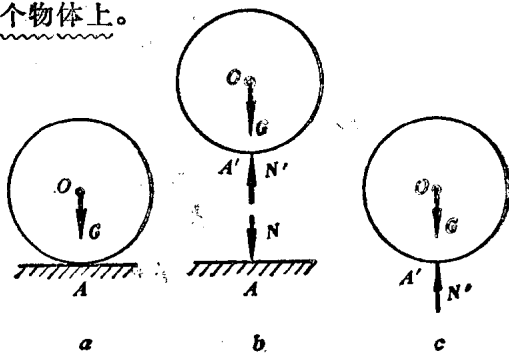


图1.4

公理4：加减平衡力系 公理 在作用着已知力系的刚体上，加上或减去任意的平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。

这个公理常被用来简化已知力系，在以后推导许多定理时要用到它。

2. 两个推论。

根据上述静力学公理，可以导出以下两个关于力的性质的重要推论。

推论1：力的可传性 原理 作用于刚体上某点的力，可以沿其作用线移到刚体上任意一点，而不会改变该力对刚体的作用效果。

证明：设有力 F 作用于小车上的A点(图1.5a)。在力 F 的作用线上任取一点B，并在B

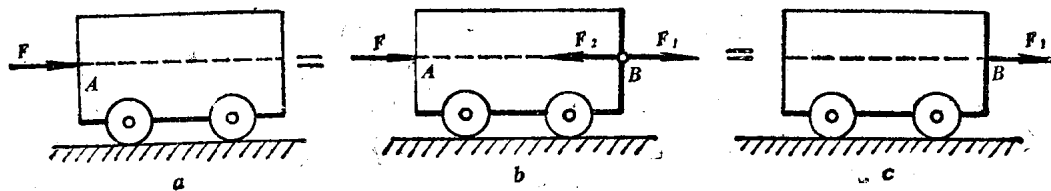


图1.5

点加一平衡力系 F_1 与 F_2 ，使 $F_1 = -F_2 = F$ (图1.5b)。根据公理2和公理4可知，力系 F 、 F_1 、 F_2 对刚体的作用，与力 F 单独作用的效果相同。由于 F_2 与 F 等值、反向、共线，根据公理4，可以将它们从刚体上取消(图1.5c)。于是，刚体上就只剩下力 F_1 ， F_1 的大小、方向和 F 相同，这就相当于力 F 沿着作用线移到了B点。经验也告诉我们，用力 F 在A点推小车，与用力 $F_1(=F)$ 在B点拉小车，两者的作用效果是相同的，但应注意，这个推论只

适用于刚体而不适用于变形体。

推论2：三力平衡汇交原理 刚体受不平行的三个力作用而平衡时，这三个力的作用线必在同一平面内且汇交于一点。

证明：如图1.6a所示，设在刚体的A、B、C三点上，分别作用三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 而呈平衡。根据力的可传性原理，将其中任意二力 F_1 、 F_2 分别沿其作用线移到它们的交点O上，然后根据力的平行四边形公理，可得合力 R ，则力 F_3 应与 R 平衡，根据二力平衡公理， R 与 F_3 必在同一直线上，所以 F_3 必通过O点，于是， F_1 、 F_2 、 F_3 均通过O点（图1.6b）。

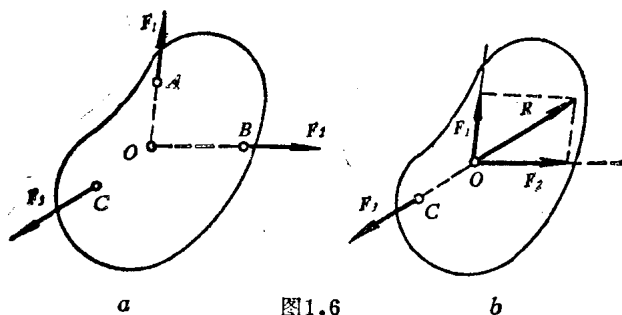


图1.6

由此可见，刚体受不平行的三力作用而平衡时，只要已知其中两个力的方向，则第三个力的方向就可按三力平衡汇交原理确定。必须注意，三力平衡汇交定理是不平行三力平衡的必要条件，但不是充分条件。

§1.3 约束与约束反作用力

机械或工程结构中，每个构件都与其它构件联接在一起，它们之间保持着一定的作用力，为了研究工程中的力学问题，必须对每一构件作受力分析。

如果物体在空间沿任何方向的运动都不受限制，这种物体称为自由体，例如飞行的飞机、火箭和人造卫星等都是自由体。如果物体受到其它物体的限制，而使此物体在某些方向的运动成为不可能，则这种运动受到限制的物体称为非自由体。例如桌子、门窗、火车、吊车钢索上悬挂的重物等，都是非自由体。那些限制非自由体运动的周围物体称为约束。例如列车受钢轨限制，只能沿轨道运动，钢轨就是列车的约束；门受铰链限制，只能绕铰链轴线转动，铰链就是门的约束；重物受钢索的限制，不能下落，钢索就是重物的约束。

因为约束能限制物体的运动，也就是约束能起到改变物体运动状态的作用，所以约束的作用实际上就是一种力的作用。约束作用于非自由体上而限制其运动的这种力，称为约束反作用力（简称约束反力）。约束反力的方向总是与它所能限制的运动方向相反。应用这个准则，可以确定非自由体上约束反力的方向或作用线位置。至于约束反力的大小，一般是未知的。除约束反力以外，物体所受的其它力（例如重力、拉力、压力等），称为主动力。物体所受的主动力的大小和方向往往是已知或可测定的。在静力学问题中，主动力和约束反力组成平衡力系，因此可利用平衡条件来求约束反力。

下面介绍工程中常见的几种约束和确定约束反力的方法。

1. 柔性约束

由柔软的绳索、链条、皮带等所形成的约束称为柔性约束。柔性约束只能承受拉力，不

能承受压力，其约束反力作用于联接点，方向沿着绳索而背离物体。通常用 T 或 S 表示这类约束反力。例如用联接于铁环 A 的钢丝绳，吊起一减速箱盖（图1.7a），箱盖的重力 G 是主动力，根据柔性约束反力的特点，可以确定钢丝绳给铁环 A 的力一定是拉力（图中的 T_1 、 T_2 和

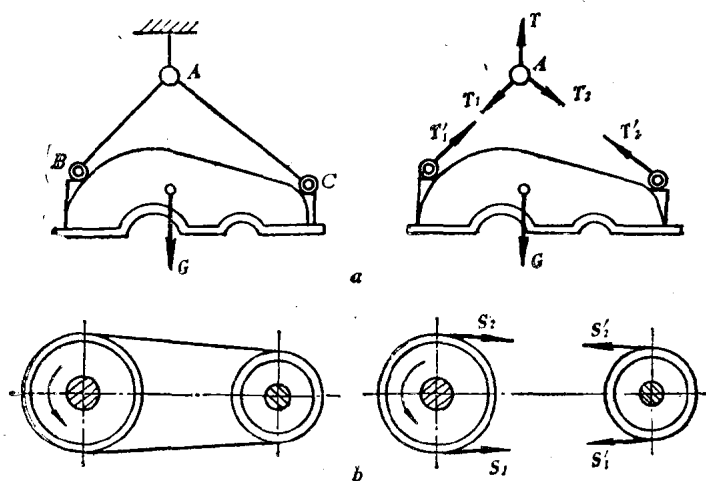


图1.7

T ）。钢丝绳给箱盖的力也是拉力（ T'_1 、 T'_2 ）。图1.7b所示带传动中，传动带给两个带轮的力都是拉力，并沿传动带与轮缘相切的方向，如图所示。

2. 光滑面约束

两个互相接触的物体，如接触面上的摩擦力很小，可略去不计时，这种光滑接触面所构成的约束，称为光滑面约束。物体可以沿光滑的支承面自由滑动，也可向离开支承面的方向运动，但是支承面能限制物体沿接触面法线，并朝向支承面方向的运动。所以，光滑面约束的反作用力通过接触点，方向总是沿接触表面的公法线而指向受力物体，使物体受一法向压力作用。这种约束反力又称为法向反力，通常以符号 N 表示。图1.8a所示为一停在光滑地面上的小车。地面对小车 A 、 B 二轮的约束反力 N_A 和 N_B 都沿着接触表面（轮缘与地面）的公法线方向，指向车轮。图1.8b所示为另一种光滑面约束，物体与约束在 A 、 B 、 C 三处均为点与直线（或直线与平面）接触，约束反力沿接触处的公法线而指向被约束物体。图1.8c所示为

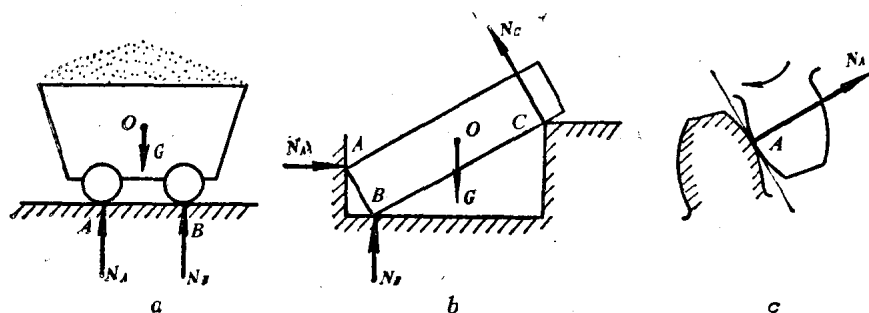


图1.8

齿轮传动时，相啮合的一对轮齿以它们的齿廓曲面相接触，齿轮传递的作用力通过接触点 A ，并沿齿廓公法线指向被研究的齿轮。

3. 铰链约束

由铰链构成的约束，称为铰链约束。这种约束是采用圆柱销 C 插入构件 A 和 B 的圆孔内而

构成(图1.9a、b)。其接触面是光滑的。这种约束使构件A和B相互限制了彼此的相对移动,而只能绕圆柱销C自由转动。铰链约束简图如图1.9c所示。铰链的应用很广,例如门窗的铰链(又称合叶),内燃机的曲柄连杆机构中,曲柄与连杆用曲柄销联接(图1.10中的A处),连杆与活塞用活塞销联接(图1.10中的B处),都是铰链约束的实例。

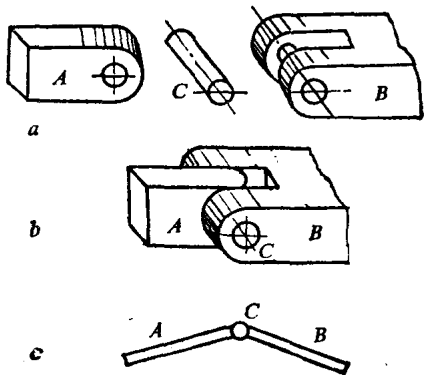


图1.9

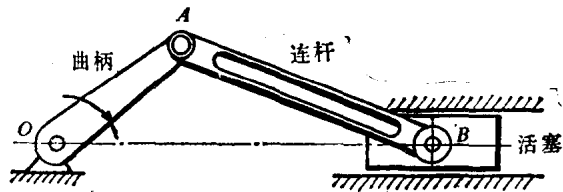


图1.10

工程上常用铰链将桥梁、起重机的起重臂等结构与支承面或机架联接起来,这就构成了铰链支座。下面介绍两种常见的铰链支座约束。

(1) 固定铰链支座 用圆柱销联接的两构件中,有一个是固定件,称为支座,其构造如图1.11a所示,圆柱销3固连于支座1上,构件2可绕圆柱销中心旋转。图1.11c和图1.10的O处是固定铰链支座的简图。

固定铰链支座约束能限制物体(构件2)沿圆柱销半径方向的移动,但不能限制其转动,其约束反力作用线必定通过圆柱销的中心,但其大小 R 及方向 α 均为未知(图1.11b),需根据构件受力情况才能确定。在画图 and 计算时,这个方向待定的支座约束反力,常用相互垂直的两个分力 R_x 和 R_y 来代替,如图1.11c所示。

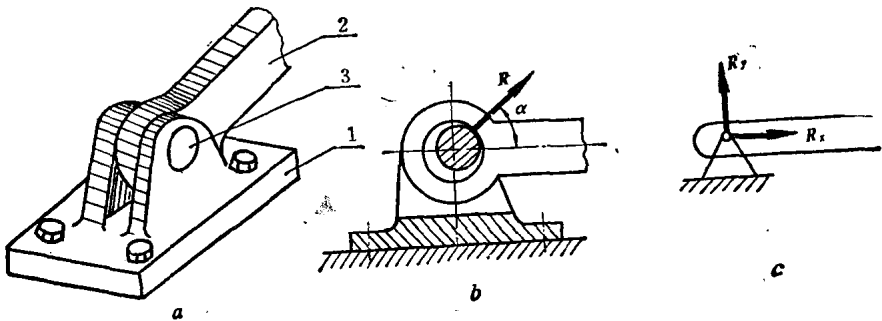


图1.11

(2) 活动铰链支座 工程中常将桥梁、屋架等结构用铰链联接在有几个圆柱形滚子的活动支座上,支座在滚子上可以任意左右作相对运动,允许两支座间距离稍有变化,这种约束称为活动铰链支座,车轮也属于这种类型的约束。活动铰链支座结构示意图如图1.12a所示,图1.12b、c是它的简图。

在不计摩擦的情况下, 支座只能限制构件沿支承面垂直方向的移动, 因此, 活动支座的约束反力 R 的方向必垂直于支承面, 且通过铰链中心。桥梁一端用固定铰链支座, 另一端则要用活动铰链支座, 当桥梁因热胀冷缩而长度稍有变化时, 活动支座可相应地沿支承面移动。

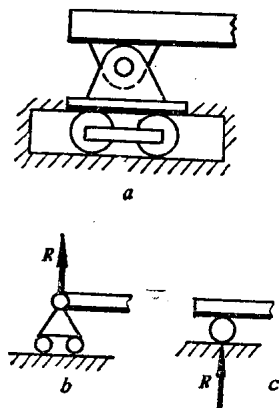


图1.12

以上讨论了约束的几种基本类型和约束反力位置及方向的确定方法, 掌握它们的特征有利于分析物体受力情况。在工程实际中, 一个非自由体常同时具有几个约束, 有的约束比较复杂, 分析时需要进行简化, 这些问题将在以后的章节中再作进一步介绍。

§ 1.4 物体的受力分析和受力图

研究物体的平衡或运动问题时, 首先必须分析物体受到哪些力的作用, 并确定每个力的作用位置和力的作用方向, 这个分析过程称为物体的受力分析。为了清楚地表示物体的受力情况, 需要把所研究的物体(称为研究对象)从周围的物体中分离出来, 单独画出它的简图, 并画出作用在研究对象上的全部外力(包括主动力和约束反力), 这种表示物体受力的简图称为受力图。画物体受力图是解决静力学平衡问题的第一步, 也是学好静力学的关键, 必须正确无误, 否则以后的分析计算不可能得到正确的结果。

对物体进行受力分析和画受力图时应注意以下几点:

- (1) 首先确定研究对象, 并分析哪些物体(约束)对它有力的作用。
- (2) 画出作用在研究对象上的全部力, 包括主动力和约束反力。画约束反力时, 应取消约束, 而用约束反力来代替它的作用。
- (3) 研究对象对约束的作用力或其他物体上受的力, 在受力图中不应画出。

下面举例说明物体受力分析及画受力图的方法。

例1.1 匀质球重 G , 用绳系住, 并靠于光滑的斜面上, 如图1.13a所示, 试分析球的受力情况, 并画受力图。

解: (1) 确定球为研究对象;

(2) 作用在球上的力有三个: 即球的重力 G (作用于球心, 铅直向下), 绳的拉力 T (作用于A点, 沿绳并离开球), 斜面的约束反力 N (作用于接触点B, 垂直于斜面并指向球)。

(3) 根据以上分析, 将球及其所受的各力画出, 即得球的受力图, 如图1.13b所示。因球受 G 、 T 、 N 三力作用而平衡, 故此三力作用线必交于一点(即交于球心O)。

例1.2 匀质杆AB, 重量 G , 支于光滑的地面及墙角间, 并用水平绳DE系住, 如图1.14a所示, 试画杆AB的受力图。

解: 以杆AB为研究对象, 作用在杆上的力有重力 G (作用于杆的重心O), 地面约束反力 N_A (过A点垂直于地面), 墙角反作用力 N_C (过C点与杆垂直)及绳的拉力 T (沿绳轴线并离开杆的方向)。受力图如图1.14b所示。

例1.3 匀质水平梁重 G , 一端A为固定铰链支座, 另一端B为活动铰链支座, 梁上受力