

机械力学与设计

(工程力学)

河北化工学院化工机械专业

一九七八年一月

机械力学与设计

(工 程 力 学)

河北化工学院化工机械专业

一九七八年一月

目 录

第一篇 静 力 学

绪 论

§ 1、静力学研究的主要内容	(1)
§ 2、刚体的概念	(1)
§ 3、物理量。标量和矢量	(2)

第一章 力的基本知识

§ 1—1、力的概念	(3)
§ 1—2、平衡。二力平衡的条件	(5)
§ 1—3、约束与约束反力	(5)
§ 1—4、分离体与受力图	(8)
复习思考题。习题	

第二章 平面汇交力系

§ 2—1、力系。合力与分力	(15)
§ 2—2、平面汇交力系合成的几何法	(16)
§ 2—3、力的分解	(17)
§ 2—4、平面汇交力系合成的解析法	(18)
§ 2—5、平面汇交力系的平衡条件	(21)
§ 2—6、同一平面内非平行三力平衡的充要条件	(24)
复习思考题。习题	

第三章 力矩与力偶

§ 3—1、力矩、杠杆的平衡条件	(29)
§ 3—2、力矩定理	(32)
§ 3—3、重心	(33)
§ 3—4、力偶及基本性质	(39)
§ 3—5、平面力偶系的合成与平衡	(40)
§ 3—6、力的平移定理	(41)
复习思考题。习题	

第四章 平面一般力系

§ 4—1、基本概念	(49)
§ 4—2、平面力系向一点简化。力系的主矢量和主矩	(50)
§ 4—3、平面力系的合成	(51)
§ 4—4、平面力系的平衡方程式	(52)
§ 4—5、平面平行力系的平衡方程式	(57)
§ 4—6、物系的平衡	(58)

复习思考题。习题

第五章 摩 擦

§ 5—1、滑动摩擦	(67)
§ 5—2、摩擦自锁	(69)
§ 5—3、槽面摩擦	(71)
§ 5—4、有摩擦力的物体平衡问题	(74)
§ 5—5、动滑动摩擦力的性质	(74)
§ 5—6、滚动摩擦的概念	(74)

复习思考题。习题

第六章 空间力系

§ 6—1、引言	(80)
§ 6—2、力在空间直角坐标轴上的投影	(80)
§ 6—3、力对轴之矩	(81)
§ 6—4、空间力系的平衡条件	(82)

复习思考题。习题

第二篇 材料力学

绪 论

§ 1、研究的内容	(91)
§ 2、研究的方法	(91)
§ 3、研究的对象	(92)
§ 4、杆件变形的的基本形式	(93)

第一章 轴向拉伸和压缩

§ 1—1、轴向拉伸和压缩的概念	(94)
§ 1—2、拉伸和压缩时的内力	(95)
§ 1—3、拉伸和压缩时横截面上的应力	(97)

§ 1—4、拉伸和压缩时的变形。虎克定律。横向变形系数·····	(99)
复习思考题。习题	

第二章 拉伸、压缩时材料的机械性质和强度计算

§ 2—1、引言·····	(108)
§ 2—2、常温静载下，材料在拉伸和压缩时的力学性质·····	(108)
§ 2—3、温度对材料的力学性质的影响·····	(114)
§ 2—4、许用应力和安全系数·····	(114)
§ 2—5、拉伸和压缩时的强度条件及其应用·····	(117)
§ 2—6、计及自重的应力和变形计算·····	(119)
§ 2—7、拉伸和压缩的静不定问题·····	(120)
复习思考题。习题	

第三章 剪 切

§ 3—1、机械上的受剪零件·····	(134)
§ 3—2、剪切强度计算·····	(134)
§ 3—3、挤压强度计算·····	(136)
§ 3—4、计算示例·····	(137)
§ 3—5、剪切变形。剪切虎克定律·····	(139)
§ 3—6、焊接计算简解·····	(140)
复习思考题。习题	

第四章 扭 转

§ 4—1、扭转的概念·····	(147)
§ 4—2、元轴受扭时的外力偶矩计算·····	(147)
§ 4—3、受扭杠杆的内力·····	(149)
§ 4—4、元轴扭转时横截面上的应力·····	(152)
§ 4—5、极惯性矩和抗扭截面模量·····	(156)
§ 4—6、元轴扭转时的强度条件和刚度条件·····	(157)
§ 4—7、剪应力互等定理·····	(159)
§ 4—8、元柱形密圈弹簧的计算·····	(160)
§ 4—9、矩形截面杆的扭转·····	(164)
复习思考题。习题	

第五章 截面的几何性质

§ 5—1、引言·····	(170)
§ 5—2、截面的静矩和形心位置·····	(170)

§ 5—3、惯性矩·····	(172)
§ 5—4、惯性矩的平行移轴公式·····	(176)
复习思考题。习题	

第六章 梁的内力——剪力和弯矩

§ 6—1、基本概念·····	(182)
§ 6—2、剪力和弯矩·····	(185)
§ 6—3、剪力图和弯矩图·····	(187)
§ 6—4、剪力、弯矩与载荷集度之间的微分关系·····	(192)
§ 6—5、按叠加原理作弯矩图·····	(194)
复习思考题。习题	

第七章 梁的应力

§ 7—1、纯弯曲时梁的正应力·····	(202)
§ 7—2、梁的正应力强度计算·····	(206)
§ 7—3、梁的合理截面·····	(211)
§ 7—4、等强度梁的概念·····	(212)
§ 7—5、梁的剪应力·····	(213)
复习思考题。习题	

第八章 梁的变形

§ 8—1、概念·····	(222)
§ 8—2、梁的挠曲线近似微分方程式·····	(223)
§ 8—3、用积分法求梁的变形·····	(225)
§ 8—4、求变形的叠加法·····	(233)
§ 8—5、梁的刚度校核·····	(234)
§ 8—6、静不定梁的概念·····	(237)
复习思考题。习题	

第九章 应力状态和强度理论

§ 9—1、应力状态的概念·····	(245)
§ 9—2、轴向拉伸(压缩)时,直杆斜截面上的应力和破坏现象的分析·····	(245)
§ 9—3、主平面,主应力·····	(248)
§ 9—4、元轴扭转时的应力分析·····	(248)
§ 9—5、弯扭联合作用时的应力分析·····	(250)
§ 9—6、各种应力状态简介·····	(253)
§ 9—7、广义虎克定律·····	(256)

§9—8、三向应力状态下一点处的比能·····	(258)
§9—9、强度理论·····	(261)
§9—10、各个强度理论的适用范围简介·····	(265)

复习思考题。习题

第十章 组合变形时杆件的强度计算

§10—1、概述·····	(268)
§10—2、拉伸(压缩)与弯曲·····	(268)
§10—3、偏心拉伸(压缩)·····	(270)
§10—4、弯曲与扭转·····	(272)
§10—5、薄壁元筒的强度计算·····	(279)

复习思考题。习题

第十一章 压杆的稳定

§11—1、压杆稳定的概念·····	(288)
§11—2、求临界力的欧拉公式·····	(288)
§11—3、欧拉公式的应用范围。超过比例极限时压杆的临界应力·····	(291)
§11—4、压杆的稳定计算·····	(293)
§11—5、提高压杆抵抗失稳能力的途径·····	(298)

复习思考题。习题

第十二章 交变应力下构件的强度计算

§12—1、交变应力与疲劳破坏·····	(303)
§12—2、交变应力的循环特性及有关概念·····	(304)
§12—3、材料的持久极限·····	(306)
§12—4、构件的持久极限·····	(308)
§12—5、对称循环交变力应力下构件的强度校核·····	(315)
§12—6、非对称循环交变应力下构件的强度校核·····	(317)
§12—7、交变应力下弯扭联合的疲劳强度校核·····	(323)
§12—8、提高构件疲劳强度的措施·····	(325)

复习思考题。习题

第三篇 机械运动力学

前言

第一章 平动构件

§1—1、构件平动的特点及其研究的简化·····	(327)
§1—2、点的运动·····	(328)

§ 1—3、力与质点运动的关系·····	(341)
§ 1—4、惯性力·····	(351)
§ 1—5、构件作匀速运动时动应力的计算·····	(354)

习 题

第二章 转动构件

§ 2—1、转动方程,角速传,角加速度·····	(361)
§ 2—2、转动构件上各点的速度与加速度·····	(363)
§ 2—3、定轴轮系的传动计算·····	(365)
§ 2—4、动量矩和动量矩定理·····	(368)
§ 2—5、绕定轴转动的微分方程式·····	(369)
§ 2—6、转动惯量·····	(371)
§ 2—7、转动构件的惯性力·····	(374)
§ 2—8、静平衡与动平衡·····	(375)
§ 2—9、飞轮匀速转动时轮缘横截面上动应力的计算·····	(377)

习 题

第三章 点的复合运动

§ 3—1、点的复合运动的概念·····	(383)
§ 3—2、动点的绝对速度、相对速度和牵连速度·····	(383)
§ 3—3、速度合成定理·····	(384)
§ 3—4、加速度合成定理·····	(386)

习 题

第四章 平面运动构件

§ 4—1、平面运动分解为平动和转动、平面运动的运动方程·····	(395)
§ 4—2、平面运动构件上各点的速度分析·····	(398)
§ 4—3、平面运动构件上各点的加速度分析·····	(401)
§ 4—4、构件作平面运动时的惯性力,连杆惯性力及其简化·····	(403)

习 题

第五章 功与动能

§ 5—1、功的概念与计算·····	(408)
§ 5—2、功率·····	(411)
§ 5—3、动能·····	(413)
§ 5—4、动能定理·····	(415)
§ 5—5、冲击时的动应力计算·····	(418)

习 题

第一篇 静 力 学

绪 论

1、静力学研究的主要内容

伟大的领袖和导师毛主席教导我们：“无论什么事物的运动都采取两种状态，相对地静止的状态和显著地变动的状态。”物体的机械运动也是如此。例如桥梁、房屋和化工厂中的各种静设备，尽管他们受着很多力的作用，但却保持相对地静止的状态；压缩机中的活塞则在汽缸中作往复直线运动，而处于显著地变动的状态。类似的例子，不胜枚举。静力学所要研究的中心课题是物体处于相对静止状态时，作用于其上的力系必须满足的条件，亦即力系的平衡条件。

物体处于相对静止状态时，作用于其上的力系，有些力是已知的，有些力是未知的，运用力系的平衡条件，则可把未知力确定出来。只有确知作用于静止物体上的所有的力以后，我们才有可能进一步对物体进行设计计算。同时，静力学中所提供的矢量投影法则，力的合成与分解，以及力系的简化理论等都是研究动力学所不可缺少的知识。因此，静力学是机械力学的基础。

2、刚体的概念

工程结构和机器都是由木、混凝土、砖石、钢铁等材料制成的。由实验测得，任何材料制成的物体在外力作用下都要发生变形，例如绞车上的钢丝绳在提升重物时，由于受到拉力的作用将产生伸长变形；桥式起重机的大梁在起吊重物时要发生弯曲变形。由于机器的构件的变形是限制在很小的范围之内，它与构件的原始尺寸相比是十分微小的，所以当我们对物体进行受力分析，研究物体的平衡与运动的规律时，可以不计及这些变形。例如如图0—1所示桥式起重机的主梁，由于载荷及梁的自重所引起的铅垂方向的最大下垂度一般规定不超过跨度 L 的 $1/500 \sim 1/700$ ，水平方向的变形那就更小了。如果研究大梁左、右两端铁轨处的支承力，显然变形因素的影响是很小的，则可略去不

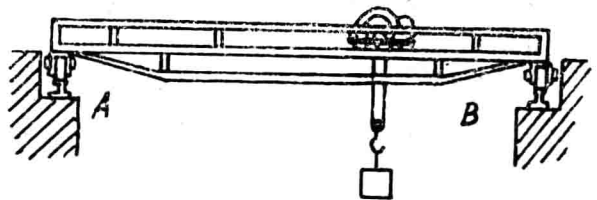


图0—1

计。因此在静力学中，为了简化问题，抓住重点，我们把物体看成是不变形的、刚性的物体，简称为“刚体”。它是实际物体的一种抽象化模型。

但是，任何科学的抽象都是有条件的，相对的，我们不能把刚体的概念绝对化。随着研究问题的性质不同，那些原来是次要的因素，在新的情况下就可能具有重要意义，而成为主要的因素。例如同一吊车梁，如研究它是否会破坏？梁变形后的最大下垂度有多少？此时，我们就不能把梁看成是刚体，而应当把梁抽象为均匀连续完全弹性体。所谓“均匀连续完全弹性体”系指物体的整个几何容积都充满了物质；而且各处都具有相同的机械性质；在外力不超过一定范围时，外力卸除后，变形能全部消失的可变形固体。关于均匀连续完全弹性体的概念，我们在材料力学中还要进一步阐述。

3、物理量。标量和矢量

长度、面积、体积、时间、力、力矩、速度、加速度和功等等是我们在力学中经常要用到的物理量。

为着准确表达一个物理量的大小，在描述一个物理量时必须同时说明它的数字和量度单位，二者缺一不可。例如要表达一个力的大小就必须说明它是多少公斤或者是多少吨。如果只说数值而不加注量度单位，或者只说量度单位而不谈按此量度单位所测得的具体数字，都不能确切表达该力的大小，因而是毫无意义的。

在工程中，长度的单位（米）、力的单位（公斤即仟克）和时间的单位（秒）是基本单位。其它物理量的单位都是由这三个基本单位诱导得出的，故称诱导单位。例如速度和加速度的单位分别是米/秒和米/秒²，是由时间单位和长度单位组合而成的，故都属诱导单位。

物理量有两种：即标量和矢量。

标量是指只用一个数和单位就能完全表明的量。如长度、面积、时间、温度、能量等都属于标量。

矢量是指不仅用数字和单位，而且还要说明方向才能完全表明的量，象力、速度、加速度等皆是矢量。

矢量一般用画箭头的线段即有向线段来表示(图0—2)。线段的长短代表矢量的大小，箭头所指方向表示矢量的方向。A叫矢量的起点，B叫做矢量的终点。矢量的标记符号多种多样，在本教材中采用在代表字母上加一短划来标记，如图记为 $\vec{a}$ （有时也记作 $\overline{AB}$ ，A是它的起点，B是它的终点，图0—2中的矢量不能写成 $\overline{BA}$ ）。

矢量的大小用不带短划的该字母表示，如图0—2中矢量 $\vec{a}$ 的大小记作 a 。

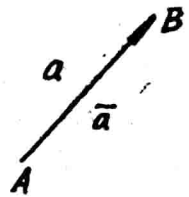


图0—2

两个矢量 $\vec{a}$ 和 $\vec{b}$ ，若其大小相等，即 $a = b$ ，且方向相同，就定义这两个矢量相等，用记号 $\vec{a} = \vec{b}$ 表示。根据矢量相等的定义，一个矢量经过平移后仍是原来的矢量。

如果两个矢量 $\vec{a}$ 和 $\vec{b}$ 的大小相等，但方向相反，则把它们叫做互为逆矢量，记为 $\vec{b} = -\vec{a}$ ，上式表明两矢量大小相等、方向相反。

关于矢量的基本运算法则，我们将结合力的合成与分解等具体问题讲授。在这里不拟作专门介绍。

第一章 力的基本知识

1—1 力的概念

“一切真知都是从直接经验发源的。”力的概念也是这样，是人类在长期的生活和生产实践中逐步建立的。

一、什么叫力

在生产劳动中，我们推车，小车由静止开始运动，同时我们的手上亦有受压的感觉，这正是人手与小车之间有力作用的结果。在锻压加工中，工件受到锻锤的打击而发生变形，这也是由于工件与锻锤之间有力的作用。无数类似的现象，使我们认识到：力是物体间的相互机械作用，其结果是使物体的运动状态发生改变，如小车由静止状态变到运动状态，或使物体发生变形，如锻压加工。前者称为力的运动效应，后则称为力的变形效应。力既是物体间的相互机械作用，故力是不能脱离实际物体而存在的。

二、力的三要素

实践证明：力对物体的作用决定于力的大小、方向和作用点。只要其中任何一个有了改变，力的作用效果也必定要改变，因此我们把力的大小、方向和作用点称为力的三要素。

力的大小表明物体间机械作用的强烈程度，它的工程单位是公斤(kg)或吨(t)。力的大小不同，它的作用效果也就不同。例如手拉弹簧，拉力大时，弹簧的变形就大；拉力小时，弹簧的变形就小。

力的作用具有方向性。力的方向不同，对物体的作用效果也各异。例如用绳索从不同方向施加拉力于同一物体时，则物体的运动方向亦不相同。又如用同样大小的力去拉弹簧和压弹簧，前者使弹簧伸长，后者使弹簧缩短。因此力是具有方向的量。

力的作用点表示物体相互作用的地方。对于两个相互接触的物体而言，它实际上是一块面积。当作用的地方是一块较大的面积时，就形成了分布力，例如作用在塔器上的风压力和作用在化工容器内壁上的流体压力等等。在很多实际问题中，由于力的作用面积很小，可以近似地看成作用在一个点上，这种力称为集中力，该点称为力的作用点，例如车轮对钢轨的压力，就可视为集中力，车轮与钢轨的接触处则为此力的作用点。

同样大小和同样方向的力，如果它们的作用点不同，那它们的作用效果也就不一样。例如用手开门，力的作用点在门把处，很容易开门；如力的作用点在门轴处，就开不了门。又如杆件在中心受压时，仅发生轴向缩短；而在偏心受压时，除发生轴向缩短外，还要发生弯曲变形。

如上所述，力的大小、方向和作用点是决定力对物体的作用效果的，因此我们在描述一个力时，必须同时说明力的这三个要素。

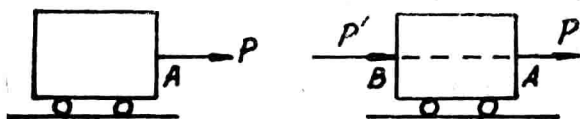
力的大小、方向及作用点三要素表明力是一种矢量。它可以用一有方向的线段来表示。

线段的长度按一定比例尺表示力的大小；线段的末端所附箭头表示力的作用方向，线段的起点或终点表示力的作用点。例如图 1—1 所示悬挂在起重机下重物的重力以矢量 $\overline{P}$ 表示，而吊索的拉力以矢量 $\overline{T}$ 表示。

在力学中，矢量常在代表字母上加一短划来标记，力的矢量常用 $\overline{F}$ 、 $\overline{P}$ 、 $\overline{Q}$ 、 $\overline{T}$ 等符号表示之。如不画短划，而仅写矢量的代表字母，则只表示其大小，而不表示其方向，如 $P = 20$ 公斤。

这里附带提一下，虽然力的作用点是力的三要素之一，但我们在研究力对物体的运动效应时，力可以沿力的作用线移动，例如用机车牵引矿车和用机车顶矿车（图 1—2）所产生的运动效果是一样的，都能使矿车前进。这就证明了力的作用点 A 可由其作用线 AB 代替，即力可沿其作用线滑动，因而力为滑动矢量。这一特

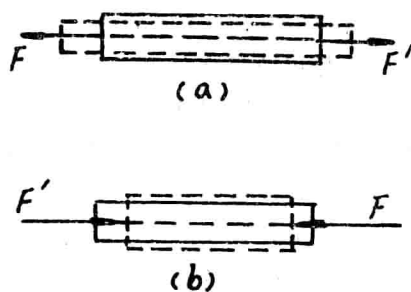
图 1—2



性，我们称它为力的可传性。但是必须注意：力的可传性不适用于研究力对物体的变形效应。例如一根直杆两端受到一对大小相等、方向相反的拉力 $\overline{F}$ 和 $\overline{F'}$ 作用时，它将沿轴向伸长（图 1—3 a）。若按力的可传性，将两力沿作用线而移位，则杆将受压力作用而发生轴向缩短（图 1—3 b）。显然，伸长和缩短是两种完全不同的变形效应。所以在研究力的变形效应时，力的可传性就不适应，这时必须将力视为固定矢量。

三、作用和反作用定律

图 1—3



力既然是物体间相互机械作用，甲物体对乙物体施加一个力，乙物体也必然同时有力作用于甲物体。例如我们用手拉弹簧，同时亦感到弹簧在拉手。手拉弹簧的力越大，弹簧拉手的力也越大。又如起重机在吊起重物时，重物受到钢丝绳向上的拉力，同时钢丝绳也因受到重物的拉力而绷直。如果我们把手对弹簧的拉力、钢丝绳对重物的拉力叫做作用力，则弹簧对手的拉力，重物对钢丝绳的拉力就叫做反作用力。由上面两个例子可以看到，作用力与反作用力是同时存在，互相依存的。

生产实践和科学实验证明：两物体间的作用力和反作用力总是大小相等、方向相反、沿同一直线，并分别作用在两个物体上。这个规律叫作用与反作用定律，也叫牛顿第三定律。

列宁在说明矛盾普遍性时指出：“……在力学中，作用和反作用”是一对矛盾。它们一

面互相对立，一面又互相联接，矛盾着的双方依据一定的条件，各向着其相反的方面转化。所以物体间的相互作用力，哪一个叫作用力，哪一个叫反作用力，是没有而且也无法规定的。在实际问题中，可以根据我们研究问题的方便来划分。例如起重机起吊重物，重物与钢丝绳之间的相互作用力是作用力与反作用力的关系。当我们研究重物运动时，可以把钢丝绳给重物的拉力视为作用力；但当我们研究钢丝绳的受力状况时，则又可把重物给予钢丝绳的拉力作为作用力。

1—2 平衡。二力平衡的条件

在第一节中曾经指出：物体在力的作用下，将要发生运动状态的改变，但有时物体受有几个力同时作用，物体的运动状态没有发生变化也就是相对于地面保持静止不动或保持匀速直线运动（更确切地说就是没有产生加速度）。在力学中称这种相对静止状态为平衡状态，并把此时作用在物体上的诸力称为平衡力系。

毛主席说：“所谓平衡，就是矛盾的暂时的相对的统一。”因此力的平衡也是有条件的。那么，一个物体同时受两个力的作用，这两个力应该具备什么条件才能使物体保持平衡呢？我们从拔河比赛中知道，当两队运动员势均力敌时，绳子中间的标记不动，而且中间一段绳子绷成一条直线。这说明二力平衡的条件是：

- 1、二力都同时作用在同一物体上，
- 2、二力大小相等、方向相反，
- 3、二力的作用线共线。

必须严格区别平衡二力同作用力与反作用力这两种情况。平衡二力是两个物体同时作用在一个物体上的等值、反向、共线力；而作用力与反作用力则是两个物体之间的相互作用力，虽然它们也是等值、反向、共线的两个力，但是这两力是分别作用在这两个力物体上的。例如图1—4所示，悬挂的重球， $\overline{P}$ 与 $\overline{P'}$ 是地球与重球之间的相互引力， $\overline{T}_A$ 与 $\overline{T'_A}$ 是绳索与重球之间的相互拉力， $\overline{T}_B$ 与 $\overline{T'_B}$ 是绳索固定点与绳索之间的相互拉力。根据上述，显然可知：

$\overline{P}$ 与 $\overline{P'}$ 是作用力与相反作用力的关系；

$\overline{P}$ 与 $\overline{T}_A$ 是作用在重球上的平衡二力；

$\overline{T'_A}$ 与 $\overline{T}_B$ 是作用在绳索AB上的平衡二力；

$\overline{T}_B$ 与 $\overline{T'_B}$ 是作用力与反作用力。

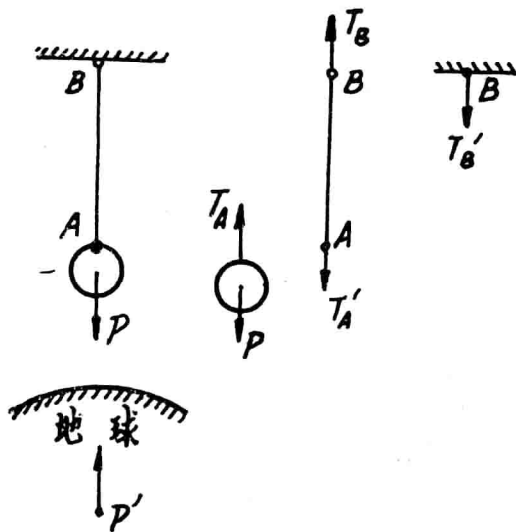


图 1—4

在工程结构中有很多构件，例如压缩机中的活塞杆，厂房桁架的组成杆件，常在其两端有较大的力作用，因自重很小，可略去不计。当这些构件处于平衡状态时，根据二力平衡的条件，即可推知：作用于杆件两端的力，必须等值、反向，沿着杆的端点连线作用，这类杆称为二力杆，建立二力杆的概念对物体进行受力分析是很有帮助的。

1—3 约束与约束反力

一、约束与约束反力的概念

毛主席教导我们：“每一事物的运动都和它的周围其它事物互相联系着和互相影响着。”

一部机器或一个工程结构，或者机器和结构中的任何一个部件都是与周围的其它物体互相联系着的，因此它们的运动总是受到周围物体的某些限制。例如，放在地上的机器受到地面和地脚螺栓的限制而不能移动；机器中的轴承限制了轴在垂直于轴线平面内任何方面的移动，只允许轴绕轴线转动；压缩机的汽缸限制了活塞向汽缸壁方向的运动，只允许活塞在汽缸内往复运动；悬挂电灯的灯绳限制了电灯下落；放在桌上的书不会下落，是由于受到桌面的限制，等等。这些限制物体在某些方向运动的周围物体，在力学上称为该物体的约束。

如上所述，约束是限制物体某些方向运动的，因此当物体受到力的作用，在约束所限制的方向发生运动或有运动趋势时，约束必然产生反力以阻碍其运动，这个约束加在物体上的力称为约束反力。约束反力的性质随约束形式的不同而不同，但其方向显然是和它所能限制的物体运动方向相反的。例如，电灯在重力 $\overline{P}$ 作用下，有下落趋势，灯绳为了限制它向下运动必然对灯作用一个向上的力 $\overline{T}$ 。这个力 $\overline{T}$ 就是灯绳对灯的约束反力（图1—5）

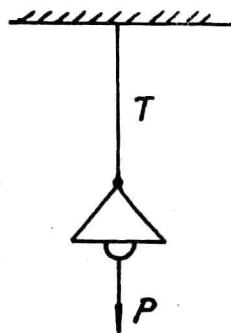


图1—5

由这个例子，我们可以看到：

作用在电灯上有两个力。一个是重力 $\overline{P}$ ，它能使电灯向下运动，称为主动动力（在力学上凡是能使物体发生运动或运动趋势的力称为主动动力）。另一个力是约束反力 $\overline{T}$ ，它阻止电灯向下运动。灯绳不挂电灯，就无从产生约束反力，电灯越重，约束反力也越大，因此约束反力是一种被动力。在工程上常称主动动力为载荷。

主动动力与约束反力同时作用在一个工程部件上，组成了矛盾的两个方面。正是这对矛盾相互斗争的结果，决定着物体的运动形式。

二、约束的基本类型

由上面几个例子可知：约束是由于物体之间通过互相联接和接触而形成的。在工程中物体间具体联接结构形式是多种多样的，不过就其对物体运动限制的情况而言，基本上可以分为以下几种类型：

1、柔性约束（柔软约束）

属于这类约束的有绳索、链条和皮带等。这类约束的共同特征是它只能限制物体沿绳索的中心线离开约束，而不能限制物体沿其它方向的运动。所以柔性约束的约束反力只可能沿着绳索的中心线而指向约束，即沿绳索方向的拉力如图1—6所示。

柔性约束的约束反力的作用点，就是物体与约束的联接点。

2、光滑面约束

当一个物体沿另一个物体表面滑动或有滑动趋势时，沿接触面总

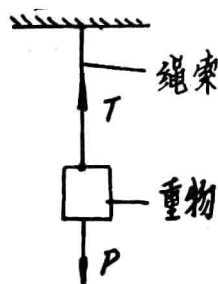


图1—6

要出现一种阻碍物体运动的力，这种阻力称为摩擦力。如果两物体接触面比较光滑，摩擦很小，可以略去不计，这种接触面称为光滑面。光滑面对物体运动的约束称为光滑面约束。例如曲柄连杆机构中，滑道对于十字头的约束，气缸对于活塞的约束，就是光滑面约束。

光滑面约束只能限制物体沿约束表面的法线方向向约束体内运动，而不能限制该物体沿约束表面的切线方向运动和离开约束的运动。因此光滑面约束的约束反力只可能是沿着接触表面的公法线方向而指向物体，如图 1—7 所示。

光滑面约束的约束反力的作用点就是物体与约束的接触点。

有时约束与物体的接触处是一个尖角。如系光滑面约束时，在确定这种约束的约束反力方向时，我们可以把此尖角看成是一个光滑的小圆弧，这样，我们就可以按光滑面约束来确定这种约束反力的方向了，如图 1—8 所示。

不言而喻，如果两个物体的接触面是非光滑面时，约束反力除上述的法向约束反力外还应包括摩擦力，它的方向是沿着接触面，而和物体运动或运动趋势的方向相反的。

3、铰链约束

它的主要构造是将两个物体（构件或零件）各钻直径相同的圆孔，彼此用圆柱形销钉串联，这样就构成了铰链约束。例如门窗的活页可视为铰链，又如图 1—9 所示，内燃机中活塞与连杆联接的销钉。对于活塞来说，销钉与连杆的套筒部分构成铰链约束。如果物体（构件）通过铰链与固定支座连接，则这样的支座称为固定铰链支座，如图 1—10 a 所示，在力学简化图上，固定铰链支座的简图如图 1—10 b 所示。



图 1—7

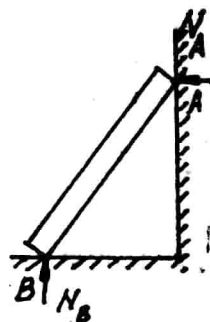


图 1—8

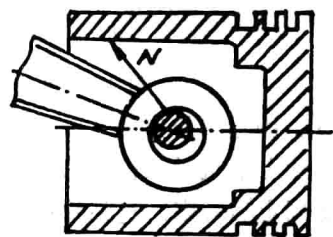
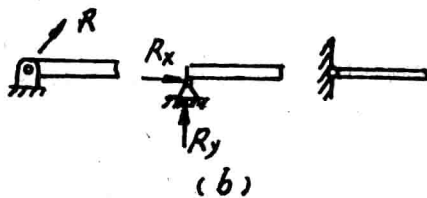


图 1—9



(a)



(b)

图 1—10 a

图 1—10 b

铰链约束的约束特征是它可以限制物体沿垂直于销钉轴线的平面移动，但却不能限制物体绕销钉转动。由于这种约束能限制物体在垂直于销钉轴线的平面内任何方向的移动，因此其约束反力的方向是不能事前确定的，通常它需要由计算确定。在绘图时，这种方向还未肯定的约束反力，一般是由一个折线箭头来代表如图 1—10b 所示。

因为销钉与孔的接触面，一般可以认为是光滑面，所以铰链约束的约束反力，其作用线通过销钉中心，且位于垂直销钉轴线的平面内。

在工程计算中，我们常在铰链中心处用两个互相垂直的力 $\overline{R_x}$ 与 $\overline{R_y}$ 来代替约束反力 $\overline{R}$ 的作用（图 1—10b）。在下一章中，我们将说明力 R_x 与 R_y 就是力 R 的两个分力。

轴承是轴的支承部分。轴承允许轴转动。如略去摩擦，则轴承的反力也应通过轴的中心，但方向却不能肯定（图 1—11），因此轴承对轴的约束也属于铰链约束的范畴。

4、可动铰链支座

在固定铰链支座下装上几根辊轴就成为可动铰链支座。由于这种支座可沿平面滚动，因此当温度变化时，由于膨胀或收缩作用，支座间距离允许有微小的自由变化。一般辊子的摩擦很小，可略去不计，因而约束反力 $\overline{R}$ 沿支座平面的法线方向，这种约束的性质与光滑面约束相同。可动铰链支座的简图如图 1—12 所示。

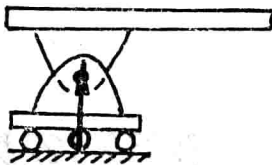


图 1—12

5、固定端约束

车床上卡盘对工件的约束，塔器底座对塔器的约束，都是属于固定端约束。这类约束的特点是物体的一端被完全固定，因而限制了物体的移动和转动，所以其约束反力包括两个互相垂直的力 $\overline{X}$ 和 $\overline{Y}$ 与一个阻止转动的力偶矩 m 如图 1—13 所示。

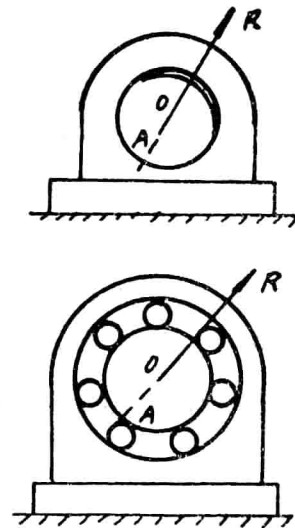


图 1—11

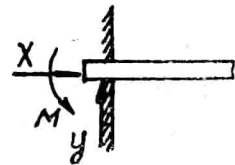


图 1—13

以上所讨论的约束反力，都只是可能出现的约束反力。其实，约束反力不仅与约束的特征有关，而且还和物体所受的主动力有关。当物体没有向约束所能限制的方向运动的趋势时，约束反力是不存在的。

1—4 分离体与受力图

设计一部机器或者设计机器中某一部件,首先必须弄清楚作用在机器或部件上有哪些力,这些力之间的关系,然后把未知力求出来,这是设计计算工作的第一步。为此目的,就需要把我们所要研究的物体从周围与它有联系的物体中取出来,单独画出它的图形,并将作用于其上的主动力和约束反力用相应的有向线段表示。把我们所要研究的物体从与它有联系的物体中取出来,叫做取分离体。被取出的物体则称分离体。表示分离体受力情况的图形称为受力图。

由上述可知,画受力图的步骤可归结如下:

1、取分离体

把我们所要研究的物体从周围物体中取出来,即从约束中取出来,单独画出它的图形。

2、画出作用在研究物体上的主动力。

3、根据研究对象所受的约束类型画出相应的约束反力。如果约束反力的指向不能事先肯定,可随意假定之。以后再根据力学计算的结果予以校正。

通过取分离体和画受力图,我们就把物体之间的复杂联系转化为力的联系,这样就为我们对物体进行受力分析提供了依据,因此,它是分析力学问题的一种有效的、抽象的方法。

例 1—1 某容器连同其内的介质总重为 P ,搁置在基础 A 和 B 上(图 1—14),试画出该容器的受力图。

解: 先画容器所受的主动力。在本例情况下,主动力只有容器所受的重力 $\overline{P}$,它作用在容器的重心 O 。方向为铅垂向下。

其次画容器所受的约束反力。若容器与基础接触处的摩擦可略去不计,则 A 、 B 二处均为光滑面约束,它们对容器的约束反力的方向分别沿接触面的法线,并指向容器的中心 O 如图中 $\overline{N}_A$ 和 $\overline{N}_B$ 所示。

由于容器所受之诸力同在一平面内,且汇交于一点,所以我们称这样的力系为平面汇交力系。

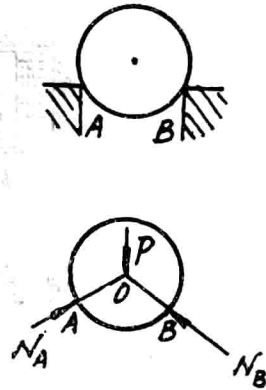


图 1—14

例 2—2 图 1—15 a 所示为一换热器,搁置在 A 、 B 二支座上,其中支座 A 与换热器相固结,而在支座 B 处,由于考虑到当换热器温度变化时能够自由胀缩,所以换热器与支座之间并不固结而是自由地浮搁着。换热器连同其中所贮存的物料共重为 P ,试画出该换热器的受力图。

解: 先画换热器所受的主动力 $\overline{P}$,该力作用在换热器的重心处,方向系铅垂向下。

其次,画作用于换热器上的约束反力。为了画换热器所受的约束反力,就需要对其支座的情况加以研究并作出相应的简化。换热器搁在支座 B 上,它相当于一个可动铰链支座。至于支座 A

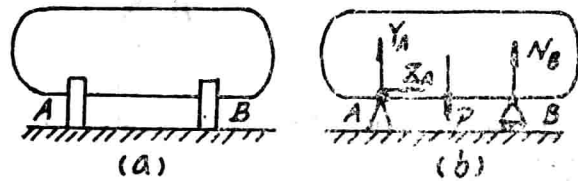


图 1—15