

978209

化工设备机械基础

胡正民 主编

吴泽炜 主审

上海科学技术文献出版社

化工设备机械基础

胡正民 主编
吴泽炜 主审

上海科学技术文献出版社

(沪)新登字 301 号

 化工设备机械基础
胡正明 主编
吴泽炜 主审

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路 2 号)
上海崇明永南印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 15 字数 374,000
1994 年 10 月第 1 版 1994 年 10 月第 1 次印刷
印数: 1—3,500

ISBN 7-5439-0622-8/T·357
定价: 16.00 元

前 言

《化工设备机械基础》是为化工工艺专业学生开设的一门工程应用课程,但至今尚无适合高等专科教学需要的教材。为此,我们根据多年的教学经验,并在校内试用讲义的基础上,编写了本书。

本书共分三篇:第一篇工程力学,介绍与化工设备设计有关的理论力学和材料力学基础知识;第二篇压力容器设计,介绍中低压薄壁容器的内压强度计算和外压稳定性计算,以及有关附件的结构和选用;第三篇化工设备的机械设计,介绍反应釜、换热器和塔设备的结构设计及有关计算。在具体内容的编写上,力求以工程实用为主导,以化工容器的现行工程设计方法为主线,对理论性的内容则以够用为度,并在每章都配以适量的例题和习题。

本书由上海化工高等专科学校包复华(第一、七、九、十二章)、许世霖(第二章)、胡正民(第五、八、十章)、周建民(第三、四、六、十一章)编写,由胡正民主编。

本书主审为华东理工大学吴泽炜教授;审稿人为上海化工装备总厂总工程师华天定高级工程师和上海化工设计院沈宝山高级工程师。

本书可作为高等专科学校、职工大学、业余大学中化工工艺等非化机专业的教材,也可供有关工程技术人员参考。

限于我们的水平,本书难免存在着错误和不足之处,望读者予以批评、指正。

编者

1993年10月

EAD49/02

目 录

第一篇 工程力学

第一章 物体的受力分析及其平衡条件	(1)
第一节 力的概念和基本性质	(1)
一、力的概念	(1)
二、力的基本性质	(2)
第二节 力矩与力偶	(4)
一、力矩	(4)
二、力偶与力偶矩	(4)
三、力的平移	(4)
第三节 约束与约束反力	(6)
一、柔性约束	(6)
二、光滑面约束	(6)
三、铰链约束	(6)
四、固定端约束	(7)
第四节 受力图	(8)
第五节 平面力系的平衡条件	(10)
一、平面汇交力系	(10)
二、平面一般力系的平衡条件	(13)
三、平面平行力系的平衡条件	(14)
第二章 直杆的拉伸和压缩	(19)
第一节 直杆的拉伸和压缩	(19)
一、工程实例	(19)
二、拉伸和压缩时横截面上的内力	(20)
三、拉伸和压缩时横截面上的应力	(21)
四、应变的概念	(22)
第二节 拉伸和压缩时材料的力学性质	(22)
一、拉伸和压缩试验	(22)
二、拉伸和压缩试验结果的分析	(23)
第三节 拉伸和压缩的强度条件	(26)
一、许用应力与安全系数	(26)
二、拉伸和压缩时的强度条件	(26)

三、强度条件的应用	(26)
第三章 剪切	(30)
第一节 剪切及其强度条件	(30)
一、剪切实例与概念	(30)
二、剪力与剪应力	(30)
三、剪切强度条件	(31)
第二节 剪切变形、剪切虎克定律	(33)
一、剪切变形	(33)
二、剪切虎克定律	(33)
第四章 圆轴的扭转	(35)
第一节 扭转时的外力和内力	(35)
一、扭转实例和受力、变形特点	(35)
二、扭转时外力矩的计算	(36)
三、扭转时横截面上的内力	(36)
第二节 扭转时横截面上的应力	(37)
一、扭转剪应力的分布规律	(37)
二、横截面上剪应力公式和最大剪应力	(38)
第三节 圆轴扭转的强度条件	(39)
第四节 圆轴扭转的刚度条件	(40)
一、扭转角和扭转刚度	(40)
二、扭转刚度条件	(41)
第五章 梁的弯曲	(43)
第一节 弯曲的概念	(43)
第二节 弯曲时的内力	(44)
一、剪力 Q 和弯矩 M	(44)
二、弯矩图与最大弯矩值	(45)
第三节 弯曲时横截面上的正应力	(48)
一、弯曲变形的特点	(48)
二、横截面上的正应力	(49)
第四节 弯曲的强度条件	(51)
第五节 梁截面形状的合理选择	(52)
第六节 梁弯曲的刚度条件	(53)
一、梁的挠度和转角	(53)
二、弯曲的刚度条件	(55)

第二篇 压力容器设计

第六章 压力容器概述.....	(58)
第一节 容器的结构与分类	(58)
一、容器的构造	(58)
二、化工容器设计的基本要求	(58)
三、容器的分类	(59)
第二节 化工设备常用材料	(60)
一、化工设备的选材要求	(60)
二、常用化工设备材料	(63)
第三节 容器的结构特点及零部件的标准化	(64)
一、容器的结构特点	(64)
二、零部件的标准化	(67)
第七章 内压薄壁容器的设计	(68)
第一节 内压圆筒形壳壁的应力分析	(68)
一、轴向应力 σ_x	(68)
二、周向应力 σ_θ	(68)
第二节 内压薄壁圆筒和球壳的强度计算	(69)
一、内压圆筒	(69)
二、内压球壳	(69)
第三节 设计参数的确定	(71)
一、设计压力	(71)
二、设计温度	(72)
三、许用应力	(72)
四、焊缝系数	(73)
五、壁厚附加量	(73)
六、最小壁厚	(78)
七、压力试验	(78)
第四节 内压封头设计	(81)
一、半球形封头	(81)
二、碟形封头	(81)
三、无折边球形封头	(82)
四、椭圆形封头	(82)
五、锥形封头	(84)
六、平盖	(86)
第八章 外压容器的设计	(91)
第一节 外压容器的基本概念	(91)

一、外压容器的稳定性	(91)
二、外压圆筒的临界压力	(91)
三、外压圆筒的分类	(92)
第二节 外压圆筒的图算法	(92)
一、外压算图的来源	(93)
二、外压圆筒的图算法	(95)
三、外压设计参数	(101)
四、外压容器的压力试验	(101)
第三节 加强圈的设计	(103)
一、加强圈的作用与结构	(103)
二、加强圈的间距	(103)
三、加强圈计算	(104)
第四节 外压封头的图算法	(107)
一、外压凸形封头	(107)
二、外压锥形封头	(108)
第九章 容器附件	(111)
第一节 法兰连接	(111)
一、密封原理	(111)
二、法兰分类及适用场合	(111)
三、密封面形式及垫片	(113)
四、法兰标准	(115)
第二节 容器的管孔	(116)
一、接管和凸缘	(116)
二、视镜	(116)
三、人孔、手孔和检查孔	(117)
第三节 容器的开孔补强	(118)
一、常用补强结构	(118)
二、等面积补强计算法	(120)
三、允许不另行补强的最大开孔直径	(122)
四、最大开孔的限制	(122)
第四节 支座	(124)
一、直立设备支座	(124)
二、卧式设备支座	(125)

第三篇 化工设备的机械设计

第十章 反应釜	(128)
第一节 概述	(128)

第二节 反应釜釜体和传热装置	(128)
一、釜体设计	(128)
二、蛇管结构	(132)
三、管口结构	(134)
第三节 反应釜的搅拌装置	(137)
一、搅拌器的型式	(137)
二、搅拌附件	(142)
三、搅拌轴	(143)
第四节 反应釜的传动装置	(149)
一、电动机的选用	(149)
二、减速机的选用	(149)
三、联轴器	(151)
四、传动装置的机座	(152)
五、底座	(154)
第五节 反应釜的轴封装置	(155)
一、填料密封	(155)
二、机械密封	(158)
第十一章 列管式换热器	(167)
第一节 概述	(167)
一、列管式换热器的分类	(167)
二、列管式换热器标准简介	(169)
第二节 管子及其与管板的连接	(171)
一、管子	(171)
二、管子与管板的连接	(171)
第三节 管板	(175)
一、管子在管板上的排列	(175)
二、管间距	(176)
三、管板的分程及管板与隔板的连接	(177)
四、管板与壳体的连接	(178)
第四节 折流板、支持板、旁路挡板、拦液板	(179)
一、折流板、支持板	(179)
二、旁路挡板	(182)
三、拦液板	(183)
第五节 温差应力	(184)
一、换热器中温差应力的概念	(184)
二、温差应力的补偿	(186)
三、膨胀节	(186)
第六节 管箱与壳程接管	(188)
一、管箱	(188)

二、壳程接管.....	(188)
第十二章 塔设备	(191)
第一节 概述.....	(191)
第二节 板式塔结构设计.....	(191)
一、整块式塔盘.....	(191)
二、分块式塔盘.....	(195)
三、接管结构.....	(202)
四、除沫装置.....	(203)
第三节 填料塔结构设计.....	(205)
一、填料.....	(205)
二、液体分布装置.....	(205)
三、液体再分布装置.....	(208)
四、栅板结构.....	(208)
五、接管结构.....	(211)
第四节 塔体和裙座的机械设计.....	(211)
一、塔体和裙座的受载分析.....	(211)
二、塔体壁厚计算.....	(212)
三、裙座设计.....	(218)

第一篇 工程力学

化工厂中使用的机器或设备的零部件(通称为构件),应该是既适用又安全,而且要经济。适用、安全和经济是对任何机器或设备的三个基本要求。

任何机器或设备在工作时,都要受到各种外力的作用。如果机器或设备的构件材料选择不当,或尺寸和形状设计不合理,则在外力作用下构件可能发生破坏,或产生过大的变形,或突然失去原来的形状,从而导致整台机器或设备停止运转。为了使机器或设备能安全可靠地工作,在设计时必须使构件满足以下几方面的要求:要有足够的强度,以保证构件在外力作用下不致破坏;要有足够的刚度,以保证构件在外力作用下不致发生过大的变形;要有足够的稳定性,以保证构件在外力作用下不致突然失去原形。

工程力学的任务就是研究构件在外力作用下变形和破坏的规律,为构件设计选择适当的材料和尺寸,以保证强度、刚度和稳定性的要求,为使设备能够满足适用、安全和经济的要求提供基础理论。本篇的主要内容,包括两部分:

第一部分是构件进行受力分析,讨论其在外力作用下的平衡规律,以解决构件所受的外力计算问题。

第二部分主要研究构件在四种基本变形(拉压、剪切、扭转和弯曲)时的应力与变形计算以及材料的机械性质,从而解决这类构件的强度和刚度计算问题。稳定性问题将在第二篇外压容器设计中讨论。

第一章 物体的受力分析及其平衡条件

第一节 力的概念和基本性质

一、力的概念

力是人们从长期的观察和实践中经过抽象而得出的一个概念。在日常生活中人们都可觉察到,物体的相互机械作用会使物体的运动状态或形状发生改变。例如人推小车,小车由静止变为运动,运动的速度由慢变快,或者使运动方向有了改变;又如用手拉弹簧时,弹簧伸长,产生了变形等等。人们通过大量的实践,逐渐建立了力的概念,即力是物体之间相互的机械作用,这种作用的效应使物体的运动状态发生改变或者使物体产生变形。前者称为力的外效应,后者称为力的内效应。力的国际单位为牛顿(N),工程单位为公斤(kg)。

由力的概念可知:(1)力是由物体产生的,离开了物体,力就不存在;(2)力是物体之间相互作用产生的,所以力总是成对出现于相对的物体上。例如手对弹簧作用一个力,弹簧也同时对手作用一个力。因此,在分析力时,必须明确以哪一个物体为研究对象,分析其它物体对该物体的作用。

实践证明,力作用于物体的效应取决于下列三要素:(1)力的大小;(2)力的方向;(3)力的作用点。当其中任一要素发生改变时,力对物体的作用效应也必然改变。因此,力是具有大小和方向的物理量,叫做矢量,通常用黑体字或字上加一横表示,例如力 F ,在图示中,则用带箭头的有向线段表示,如图 1-1 中, A 、 B 两点间的长度按一定比例表示力 F 的大小, A 为力的作用点,箭头则指明力 F 的方向,有时也将线段的终点画在力的作用点。

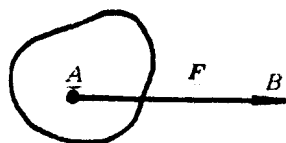


图 1-1

力有集中力和分布力之分,如果力作用在较小的面积上,通常可以近似认为力是作用于一点,称为集中力。例如起重机起吊重物的钢索对重物的拉力,就是集中力;如果力分布在较大的面积上,则称为分布力,例如风对塔壁的压力就是分布力。

在工程实际中,物体在力的作用下通常变形都很微小,在研究外效应时可以略去不计,使问题得到简化。近似地认为不变形的物体称为刚体。但在研究内效应时,微小的变形也不能忽略,这时就不能把物体看成刚体,而要看成变形体。

二、力的基本性质

人们通过长期的生活和生产实践,不仅建立了力的概念,而且还认识了力的各种性质。这些性质反映了力所遵循的客观规律,其中最基本的性质有以下 4 条。

(一)二力平衡条件

所谓平衡是指物体相对于地球表面处于静止或匀速直线运动的状态。当作用于同一刚体上的两个力处于平衡时,这两个力必定大小相等、方向相反、且作用在同一直线上(简称等值、反向、共线),这就是二力平衡条件。如图 1-2 中,杆 AB 的两端分别受到 F_A 和 F_B 的作用而处于平衡状态时,则必须 $F_A = -F_B$,即 F_A 和 F_B 必须等值、反向、共线, F_A 和 F_B 称为作用在同一物体上的一对平衡力。

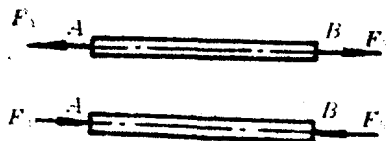


图 1-2

必须指出,对于刚体这个平衡条件是必要和充分的,但对于非刚体,这个条件是必要而不充分的,例如一根软绳受到等值、反向、共线的两个拉力作用时处于平衡,但受两个等值、反向、共线的压力作用时,就不能平衡。

只受两个力作用而处于平衡的构件,称为二力构件。二力构件的受力特点是:所受二力的作用线必定沿作用点的连线。

(二)加减平衡力系原理和力的可传性原理

作用在同一物体上的两个或两个以上的力称为力系。如果物体在某一力系作用下处于平衡状态,即该力系对物体总的外效应等于零,这样的力系就称为平衡力系。

在作用于刚体上的任一力系中,加上或除去任一平衡力系,不改变原力系对刚体的外效应,此即加减平衡力系原理。

应用二力平衡条件和加减平衡力系原理可得到下面的一个重要推论:作用在刚体上的力可沿其作用线移至该刚体上任一点,而不改变此力对刚体的外效应。力的这个可传递的性质称为力的可传性原理。

如果两个力系对同一物体作用的外效应相同,这两个力系称为等效力系,可用“ $\Rightarrow$ ”记号表示等效。

如图 1-3(a)所示,已知小车在 A 点受推力 F 作用,在 F 力作用线上任一点 B 处,沿 F 力作用线加上一对平衡力系 F_1 和 F_2 ,使 $F_1 = F = -F_2$,如图 1-3(b),由于 F 和 F_2

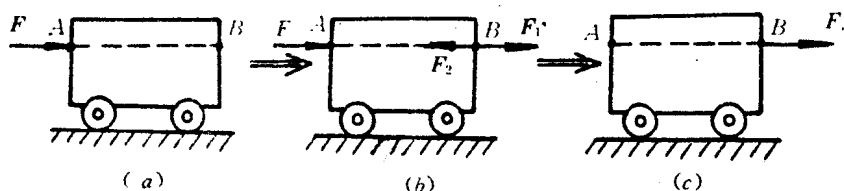


图 1-3

也是一对平衡力系,故可除去而只剩下 F_1 ,如图 1-3(c)。图(a)、(b)、(c)中的三种情况都是等效的,这样,作用于 A 点的力 F 就沿其作用线移到了 B 点。实际上,在 A 点推车与在 B 点拉车两者的外效应是完全相同的。

(三)力的平行四边形法则

作用于同一物体上的两个力相交,可以合成为一个合力,合力的大小和方向由以这两个力为边所构成的平行四边形的对角线来表示,作用线通过交点,此即力的平行四边形法则。

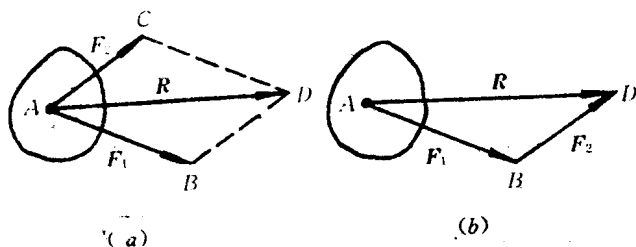


图 1-4

如图 1-4(a)所示,作用于物体上 A 点的两个力 F_1 和 F_2 的合力为 R ,这种方法称为矢量加法,合力便是这两个力的矢量和,表示为:

$$R = F_1 + F_2 \quad (1-1)$$

实际上在求合力 R 时,也可不画出平行四边形,只要如图 1-4(b),以矢量 F_1 的终点 B 作为矢量 F_2 的起点画出 F_2 ,使两分力首尾相连,再连接 A 点和 D 点,则矢量 AD 就是合力 R 。这一合成法称为力的三角形法则,而三角形 ABD 称为力三角形。这里要特别注意合力与分力的箭头方向。

应用力的平行四边形法则,不但可以求合力,还可以把一个力分解为两个分力。例如搁置在斜面上的重物,它的重力 P 就可以应用平行四边形法则分解为平行于斜面的下滑力 P_1 和垂直于斜面的正压力 P_2 (图 1-5),正是这个下滑力 P_1 使得物体有向下滑动的趋势。

(四)作用和反作用定律

作用力与反作用力总是同时存在,其大小相等、方向相

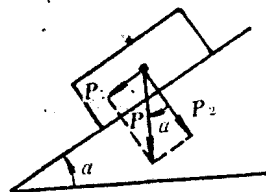


图 1-5

反、沿同一直线分别作用在两个物体上,这就是作用和反作用定律。

例如在地面上放置一个重为 P 的贮罐,如图 1-6,这时贮罐底部受到地面对它的支承力 N ,同时地面也受到贮罐底部对它的反作用力 N' ,这一对力同时存在,也同时消失。

必须注意,在分析物体受力时,不要把二力平衡与作用和反作用力混淆起来,前者是作用在同一物体上的两个力互相平衡;后者是分别作用在两个物体上的两个力,它们不能互相抵消。

上述四条力的基本性质,在后面进行刚体的受力分析、力系的简化以及研究刚体受力平衡的规律时都经常要用到。

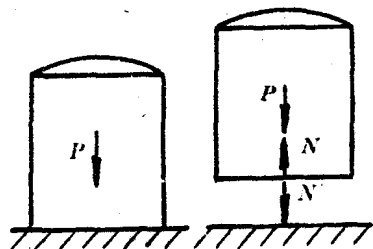


图 1-6

第二节 力矩与力偶

在非平衡力系的作用下,原来静止的物体就要运动。物体运动的基本形式有移动和转动,如何度量力使物体转动的效果,就需要讨论力矩与力偶的概念。

一、力矩

由实践经验知道,用扳手拧紧螺母时,扳手和螺母一起绕螺栓中心轴线转动。作用在扳手上的力越大,或者力的作用线离转轴中心 O 越远,则螺母就越易转动。因此,力使物体转动的效果不仅取决于力的大小,而且与力的作用线到 O 点的距离 d 有关,如图 1-7 所示。在力学中, O 点叫做力矩中心,力的作用线到 O 点的垂直距离 d 叫做力臂,力臂和力的乘积叫做力对 O 点的力矩,用公式表示为:

$$M_O F = \pm F \cdot d \quad (1-2)$$

式中正负号表示力矩转动的方向,一般规定逆时针

转动的力矩取正号,顺时针转动的力矩取负号。力矩的单位为 $N \cdot cm$ 、 $N \cdot m$ 或 $kN \cdot m$ 。

显然,如果力的大小等于零,或力的作用线通过力矩中心(即力臂等于零),则力矩为零,这时不能使物体绕 O 点转动。因此,力矩可表示力使物体绕力矩中心转动的效果。如果物体上有若干个力,当这些力对力矩中心的力矩之代数和等于零,即 $\sum M_O(F) = 0$ 时,原来静止的物体就不会绕力矩中心转动。

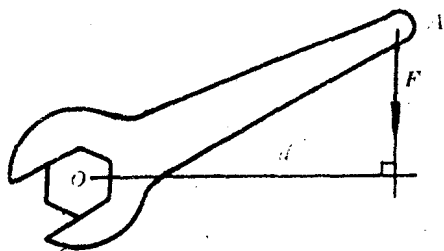


图 1-7

二、力偶与力偶矩

在实践中常会遇到物体上同时受到两个大小相等、方向相反、作用线不重合的平行力的作用,它们同样使物体产生转动。例如转动阀门的手轮或汽车的方向盘时(图 1-8),手轮或方向盘都受到大小相等、方向相反、互相平行的两个力的作用,这样的两个平行力叫做力偶,用 (F, F') 表示。力偶所在的平面叫做力偶的作用面,两力作用线间的垂直距离 L 叫做力偶臂,力 F

和力偶臂 L 的乘积叫做力偶矩, 用下式表示:

$$M = \pm F \cdot L \quad (1-3)$$

式中 M 表示力偶矩, 正负号表示力偶的转向。力偶矩的正负号规定和单位均与力矩相同。

力偶还具有以下主要特性:

1. 组成力偶的两个力既不平衡、也不能合成为一个合力。因此, 力偶的作用不能用一个力来代替, 只能用力偶矩相同的等效力偶来代替; 力偶只能用力偶来平衡。

2. 组成力偶的两个力对其作用面内任意点的力矩之和为一常数, 恒等于该力偶矩本身。

设有一力偶 (F, F') , 其力偶矩 $M = F \cdot L$, 如图 1-8。在力偶的作用面内任取一点 O 为矩心, 显然有:

$$M_O(F') + M_O(F) = F'(L+l) - Fl = F'L = M$$

因此, 力偶对物体的转动效应只取决于力偶矩的大小和转向, 而与矩心的位置无关。在力偶的作用下, 物体将绕垂直于力偶作用面的轴转动。

力偶也可以合成, 在同一平面内有两个以上力偶同时作用时, 合力偶矩等于各分力偶矩的代数和, 即 $M = \sum M_i$ 。如力偶矩的代数和为零, 即 $\sum M_i = 0$, 原来静止的物体将不会产生转动。

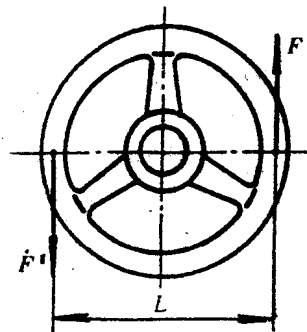


图 1-8

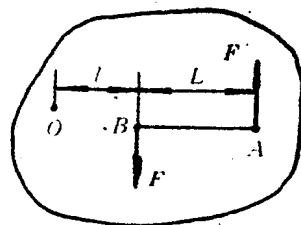


图 1-9

三、力的平移

所谓力的平移, 就是把作用在刚体上的力, 从其原位置平行移动到该刚体上另一位置。在分析和求解某些刚体力学问题时, 经常需要把力平行移动。如图 1-10, 要把作用于刚体上 A 点的力 F 平移到任意一点 O , 只要在 O 点加一对平衡力系 F_1 和 F_2 , 其数值为 $F_1 = -F_2 = F$, 根据加减平衡力系原理, 对物体的外效应不变。这样, 就将力 F 从 A 点平移到了 O 点。这时除 F_1 以外, 刚体还受到力偶矩 M 的作用, 这个力偶矩称为附加力偶矩, 它的大小等于力 F 乘上平移的距离 d , 其正负号与 O 点的位置有关。

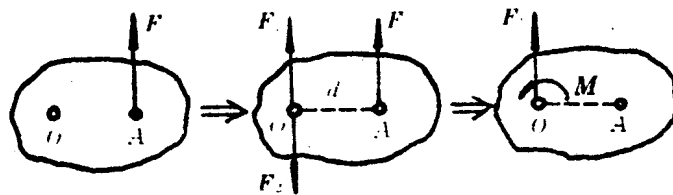


图 1-10

综上所述可得出如下结论: 力可以平移到刚体内任意指定点, 但必须同时附加一个力偶, 使其对原刚体的外效应不变, 附加的力偶矩等于原力对指定点之力矩。

必须注意力的平移与前述力的可传性原理的区别, 力的可传性是指力可沿其作用线移动, 而不改变它对刚体的外效应; 而力的平移是将力平移到它原来的作用线之外, 要不改变其外效应, 则必须附加一力偶矩。

第三节 约束和约束反力

任何相邻的物体之间都以某种方式相互联系、相互制约,因此一物体的运动总是要受到周围其它物体的限制。例如电灯受电线限制,使电灯不会在重力作用下往下运动。在力学中把限制某物体运动的周围物体叫做约束,上例中的电线就是约束。约束作用于物体上的力叫做约束反力,例如电线对电灯的拉力这是约束反力。

约束反力是由约束阻碍物体运动而引起的,所以属于被动力,通常是未知的。而促使物体运动或有运动趋势的力则属于主动力,例如重力、流体压力、风力等,主动力通常是给定的或可测的,所以是已知力。约束反力既然是阻止物体运动的,因此它的作用点应在约束与被约束物体相互接触之点,它的方向总是与约束所阻止的运动方向相反,而其大小则要由力系的平衡条件计算确定。

工程中的约束类型很多,下面只分析几种常见的典型约束以及它们的约束反力。

一、柔性约束

这类约束是由柔性物体如绳索、链条、皮带等构成,其特点是不能承受压力,只能承受拉力,因此约束反力的方向总是沿着柔性物体张紧的方向,背离被约束物体,如图 1-11 中起吊钢管时钢丝绳对钢管的约束反力 T_1 和 T_2 。

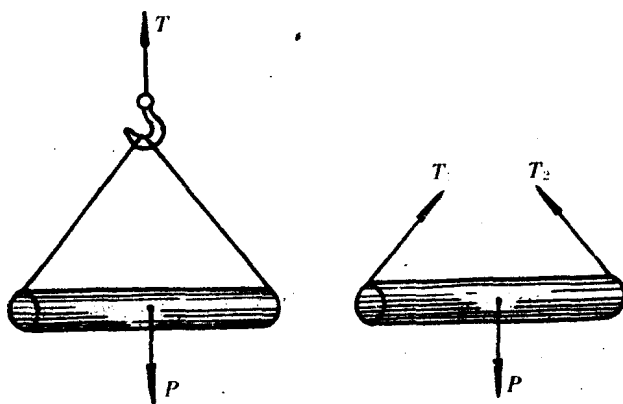


图 1-11

二、光滑面约束

当物体接触面之间的摩擦力很小而可以忽略不计时,这种接触面之间的约束称为光滑面约束,如托轮、导轨等产生的约束。这类约束的特点是只能限制被约束物体沿接触面公法线方向向着支承面内的运动,因此这种约束的约束反力方向是沿着接触面的公法线方向,指向被约束物体,如图 1-12(a)中托轮对滚筒的约束反力 N ;图 1-12(b)中杆在 A 、 B 、 C 三点所受的约束反力 N_A 、 N_B 和 N_C 。

三、铰链约束

圆柱形铰链约束是用一销钉联接两个端部带有圆孔的构件而成的,如图 1-13。根据铰链

支座与其支承面之间有无相对运动又可分为：

(一) 固定铰链支座约束

如图 1-14(a)，由固定支座、杆和销钉联接而成。由于支座与支承面无相对运动，所以被约束物体只能绕销钉的轴线转动，而不能上下左右移动。约束反力的方向随着主动力的变化而变化，但一定通过铰链中心，通常用两个互相垂直的分力 N_x 与 N_y 来表示，如图 1-14(b)。

(二) 活动铰链支座约束

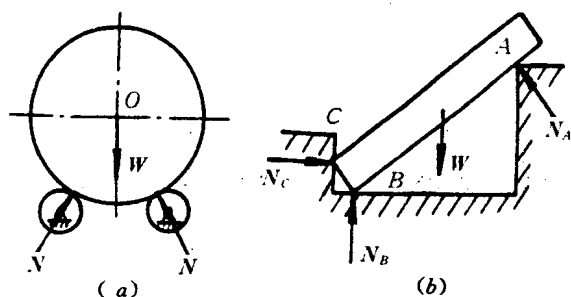


图 1-12

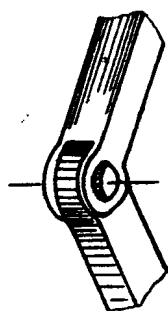


图 1-13

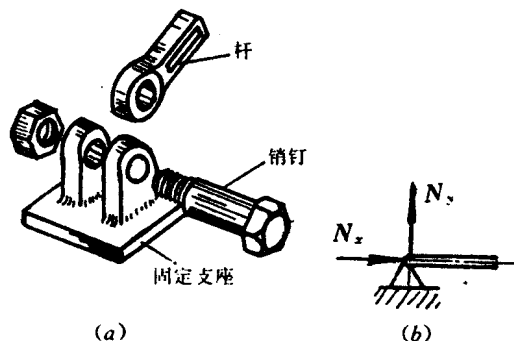


图 1-14

如图 1-15(a)，这种支座的下面有几个圆柱形滚子，支座可以沿支承面滚动，而沿垂直支承面方向的运动受到限制，因此其约束反力的方向必垂直于支承面，并通过铰链中心，如图 1-15(b)。

有些支座的结构虽然并非铰链形式，但是如果所起的作用和铰链相似，那末就可把它简化为铰链约束。例如卧式容器的支座为适应容器热胀冷缩的变化，常常一端用固定鞍座，另一端用活动鞍座，可分别简化为固定铰链支座和活动铰链支座，如图 1-16 所示。又如机械传动中轴承对轴的约束作用，也可以简化为固定铰链约束。

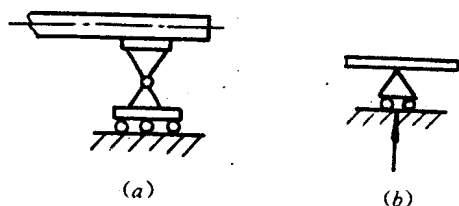


图 1-15

四、固定端约束

物体的一部分固嵌于另一物体中所构成的约束称为固定端约束，如图 1-17(a) 固定于基础上的塔器，图 1-17(b) 嵌入墙里的管道托架等。这类约束的特点是限制了被约束物体

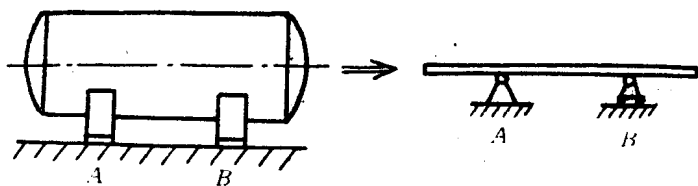


图 1-16

的一切运动，使其既不能移动又不能转动，被约束的一端完全固定。其约束反力除有 N_x 与 N_y