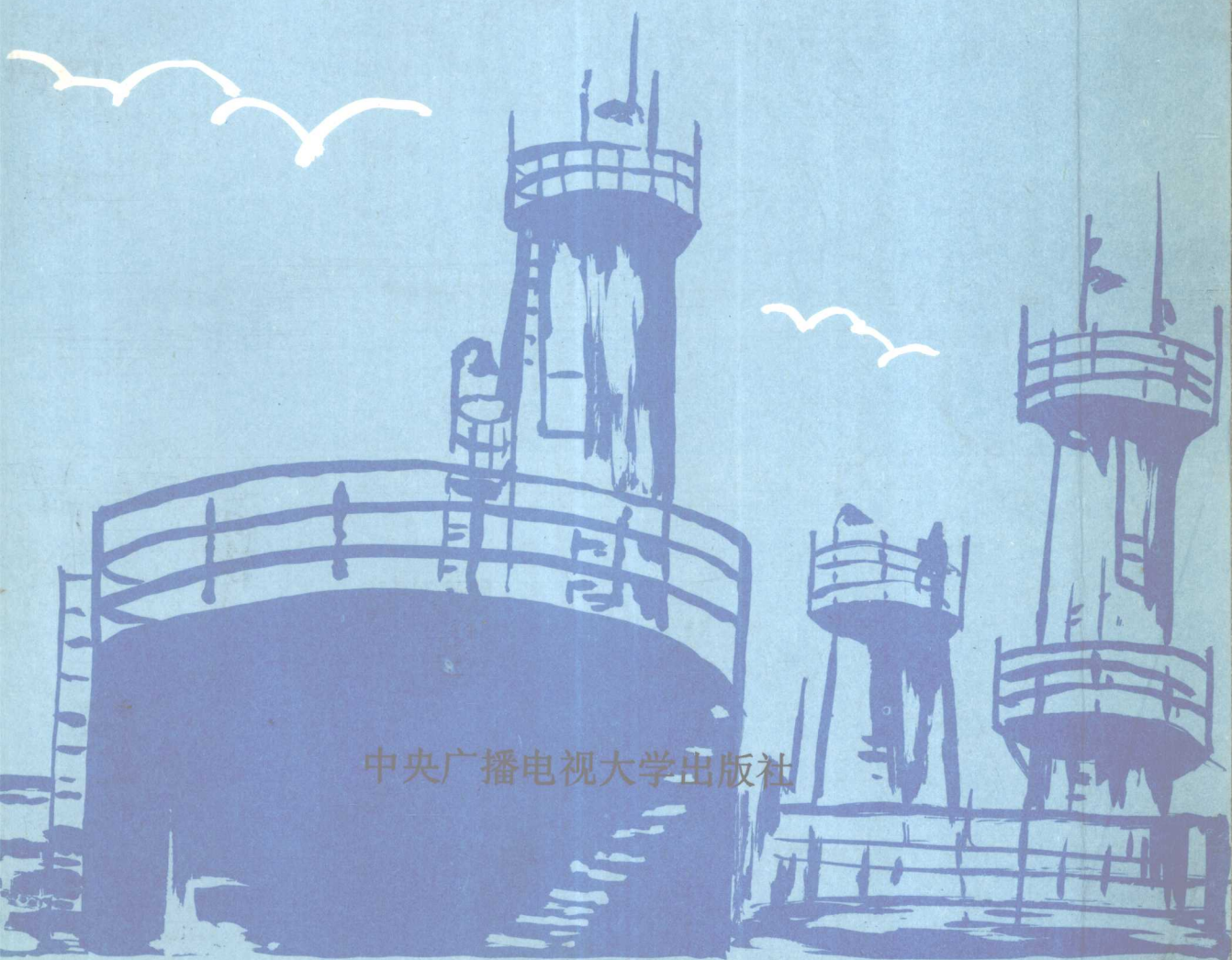


化工设备机械基础

董大勤 编



中央广播电视大学出版社

T805
//

化工设备机械基础

董大勤 编

中央广播电视大学出版社

(京)新登字 163 号

图书在版编目(CIP)数据

化工设备机械基础/董大勤著. -北京:中央广播电视大学出版社. 1995. 2 重印
ISBN 7-304-00754-0

I. 化… II. 董… III. 化工设备-机械学-电视大学-教材 IV. TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 02970 号

化工设备机械基础

董大勤 编

中央广播电视大学出版社出版

社址:北京市复兴门内大街 160 号 邮编:100031

河北固安印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

开本:787×1092 1/16 印张:35 千字:848

1993 年 2 月第 1 版 1995 年 2 月第 3 次印刷

印数:10501~15500

定价:22.30 元

ISBN 7-304-00754-0/TQ·10

前 言

《化工设备机械基础》是为化工系工艺类专业开设的一门综合性机械类课程。通过本课程的学习,应使学员具有一定的力学基础知识,能够对化工容器进行强度和稳定计算;应掌握适量的材料知识,能够合理选择、使用化工设备常用材料;应具备必要的结构知识,能够正确的判断化工设备结构的合理性;应熟悉压力容器的零部件标准,能够选出适用的零部件;应了解压力容器的安全技术监察规定,能够对压力容器实施正确管理。

本教材是根据中央广播电视大学的教材建设计划规定,按照经审定批准的教学大纲编写的。对于不是专门学习机械,但又需要一定的机械力学知识的化工工艺类专业的学员来说,本课程应着重在强化选材内容的针对性与实用性,简化理论的定量推导论证;研究深入浅出的讲授方法;激发学员的学习兴趣与求知欲望,以及在适应学员接受能力等方面努力进行探索。

考虑电视远距离教学的特点,为减少主讲教师与学员因缺乏及时的双向信息反馈可能出现的问题,本书大约以 25% 左右的篇幅编写了辅导性的内容。它们大部分安排在各章的正文之后也有相当数量的辅导性讲解材料渗透在正文之中。这些辅导性内容主要包括:

1. 介绍各章、节的教学目的和要求,明确要点、深度与广度。
2. 进行示范性的归纳、对比、小结,帮助学员学习如何将分散在各个不同章、节中相对独立的知识,归纳成系统的、具有规律性的、反映本学科特点的整体知识。力求使学员在学完本课程以后感到知识多而不乱,广而不杂,并具有一定的举一反三的能力。
3. 设计多种类型带有解答或提示的复习自检题和思考题(不包括习题),以调动学员的求知、学习和思索的积极性,检查学习效果,帮助消化理解,纠正模糊概念,解答疑难问题。并扩展正文中的少量内容,孕育后续章节将要讨论的问题。这些问题既有单纯体现复习要求而提出的,也有为承上启下而设计的;既有启发学生思索、指导自学的引路题,也有形式是问、实则是答的解答题;还有一些似是而非、模棱两可、有意检验学生概念是否清楚的是非题,以及帮助学生掌握要点的填空题,既可从正面提问,也可从反面要学生思索。

4. 结合知识的传授,不时地提供一些学习和思索问题方法的指导和建议。

本教材在编写过程中得到了全国压力容器标准化技术委员会、合肥通用机械研究所、天津市劳动局、天津市锅炉压力容器检验所、天津化工设计院以及许多工厂的技术和管理工程技术专家的指点和帮助。本书初稿完成以后,经以天津大学聂清德教授为主审,由河北工学院胡修慈教授、王俊宝副教授和天津市锅炉压力容器检验所宋福麟高级工程师所组成的审定组,逐章地进行了审查,并提出了许多宝贵意见,帮助编者修正和完善了原稿中某些不妥之处。

由于编者初次接触电视教学,对这一特定的教学方式、规律和对教材的要求了解甚少,在这方面编者得到了中央电大有关处、系领导的支持和指导。中央电大出版社曹葆华副编审,从大纲的审定、到书稿的编写,帮助编者作了大量的工作。本课程的主持教师张士波老师也为编者提供了许多具体帮助。对所有这些关心、支持、帮助本书编写的同志,谨表衷心感谢。

限于编者的水平,书中不妥和错误之处在所难免。衷心希望广大读者提出宝贵的意见。

目 录

第一篇 力学基础

第一章 刚体的受力分析及其平衡规律

第一节 力的概念及其性质	(2)
一、力的概念	(2)
二、力的基本性质	(2)
第二节 刚体的受力分析	(5)
一、约束和约束反力	(5)
二、刚体受力分析要领	(8)
第三节 平面汇交力系的简化与平衡	(9)
一、平面汇交力系的简化	(9)
二、平面汇交力系的平衡条件	(10)
第四节 力矩、力偶、力的平移定理	(13)
一、力矩的概念	(13)
二、力偶	(13)
三、力的平移定理——力与力偶的联系	(15)
第五节 平面一般力系的简化与平衡	(16)
一、平面一般力系的简化	(16)
二、平面一般力系的平衡条件	(17)
三、固定端约束的受力分析	(20)
第六节 静力学问题求解方法小结	(22)
本章学习要点	(23)
习题及习题答案	(24)
复习自检题与思考题及其答案	(29)

第二章 金属的力学性质

第一节 弹性体的变形与内力	(32)
一、变形与内力的概念	(32)
二、变形的度量	(32)
三、直杆受拉(压)时的内力	(33)
四、受拉(压)直杆内的应力	(35)
第二节 材料的力学(机械)性能	(37)
一、拉伸试验	(37)
二、温度对材料的力学性能的影响	(43)

三、金属的缺口冲击试验	(45)
四、硬度试验	(46)
五、弯曲试验	(47)
本章学习要点	(48)
习题及习题答案	(51)
复习自检题与思考题及其答案	(52)
第三章 受拉(压)构件的强度计算与受剪切构件的实用计算	
第一节 受拉直杆的强度计算	(54)
一、强度条件的建立与许用应力的确定	(54)
二、强度条件应用举例	(55)
第二节 拉压中的静不定问题	(58)
一、静不定问题的判定及其解决途径	(58)
二、化工设备与管路中的热应力	(60)
第三节 拉(压)杆连接部分的剪切和挤压强度计算	(65)
一、剪切变形与剪力	(65)
二、连接零件剪切强度的实用计算	(66)
三、某些连接零件的挤压强度计算	(66)
本章学习要点	(69)
习题及习题答案	(71)
复习自检题与思考题及其答案	(74)
第四章 直梁的弯曲	
第一节 弯曲概念与梁的分类	(75)
一、变曲变形的宏观表现与实例	(75)
二、梁的几何形状和名称	(76)
三、梁上的外力、梁的支座及分类	(77)
第二节 梁的内力分析	(78)
一、梁横截面内的两种内力	(78)
二、剪力与弯矩的计算	(81)
三、剪力图与弯矩图	(84)
第三节 纯弯曲时梁的正应力及正应力强度条件	(88)
一、梁横截面内任意指定点处的正应力	(88)
二、正应力的强度条件	(94)
三、梁的合理截面	(96)
第四节 直梁弯曲时的剪应力	(97)
一、矩形截面梁	(97)
二、工字形截面梁	(98)
三、环形截面梁	(99)
四、实心圆截面梁	(99)

第五节 梁的变形——梁弯曲时的位移	(99)
一、梁的挠度和转角	(100)
二、梁的弹性曲线	(100)
三、梁的刚度校核	(102)
本章学习要点	(104)
习题及习题答案	(106)
复习自检题与思考题及其答案	(108)
第五章 圆轴的扭转	
第一节 圆轴扭转时所受外力的分析与计算	(110)
一、搅拌轴的三项功能	(110)
二、 n 、 p 、 m 之间的关系	(111)
第二节 纯剪切、角应变、剪切虎克定律	(112)
一、纯剪切	(112)
二、角应变	(113)
三、剪切虎克定律	(114)
第三节 圆轴在外力偶作用下的变形与内力	(114)
一、变形分析	(114)
二、扭转剪应力及其分布规律	(115)
三、横截面的内力矩——扭矩	(115)
四、扭矩与扭转变形 $\frac{d\phi}{dx}$ 之间的关系	(116)
五、扭转剪应力的计算公式	(116)
六、扭转角的计算	(117)
第四节 圆轴扭转时的强度条件与刚度条件	(117)
一、圆轴扭转时的强度条件	(117)
二、圆轴扭转时的刚度条件	(118)
本章学习要点	(121)
习题及习题答案	(122)
复习自检题与思考题及其答案	(124)

第二篇 化工容器

第六章 化工设备常用金属材料

第一节 铁碳合金——碳钢与铸铁	(126)
一、铁碳合金的组织结构与其性能的关系	(126)
二、碳钢与铸铁的分类、牌号、性能及应用	(130)
第二节 合金钢	(138)
一、低合金钢	(138)

二、高合金钢.....	(140)
第三节 有色金属及其合金.....	(143)
一、铜及其合金.....	(143)
二、铝及其合金.....	(144)
三、钛.....	(144)
四、铅.....	(145)
第四节 金属的腐蚀与防护.....	(146)
一、腐蚀的定义及分类.....	(146)
二、常见的几种腐蚀及其控制方法.....	(147)
本章学习要点.....	(152)
习题及习题答案.....	(152)
第七章 压力容器中的薄膜应力与弯曲应力	
第一节 回转壳体中的薄膜应力.....	(156)
一、容器壳体的几何特点.....	(156)
二、回转壳体中的拉伸应力.....	(158)
第二节 圆形平板承受均布载荷时的弯曲应力.....	(163)
一、平板的变形与内力分析.....	(163)
二、弯曲应力与薄膜应力的比较和结论.....	(166)
第三节 边界区内的二次应力.....	(166)
一、边界应力产生的原因.....	(166)
二、影响边界应力大小的因素.....	(167)
三、边界应力的性质.....	(168)
四、回转壳体内部的边界应力.....	(169)
第四节 强度条件.....	(169)
一、对薄膜应力的限制（即薄膜应力强度条件）.....	(169)
二、对一次弯曲应力的限制.....	(173)
三、对二次应力的限制.....	(175)
本章学习要点.....	(176)
习题及习题答案.....	(178)
复习自检题与思考题及其答案.....	(180)
第八章 压力容器的强度计算	
第一节 概述.....	(182)
一、压力容器的主要受压元件.....	(182)
二、强度计算的内容.....	(182)
第二节 容器设计.....	(182)
一、内压圆筒壁厚的确定.....	(182)
二、内压圆筒的计算应力与最大允许压力.....	(187)
三、内压凸形封头壁厚的确定.....	(188)

四、内压锥形封头壁厚的确定·····	(196)
五、平板形封头·····	(202)
六、设计参数的确定·····	(202)
第三节 在用压力容器的强度校核·····	(208)
一、在用压力容器强度校核的原则·····	(208)
二、强度校核的思路、公式和举例·····	(208)
本章学习要点·····	(212)
习题及习题答案·····	(214)
复习自检题与思考题及其答案·····	(216)
第九章 容器与压杆的稳定计算	
第一节 稳定的概念与实例·····	(220)
第二节 外压圆筒环向稳定计算·····	(222)
一、临界压力的计算·····	(222)
二、材料的 σ - ϵ 曲线在稳定计算中的应用 ·····	(224)
三、许用外压的计算·····	(225)
第三节 封头的稳定计算·····	(235)
一、外压凸形封头·····	(235)
二、外压锥形封头·····	(239)
三、内压凸形封头的失稳·····	(240)
第四节 压杆稳定计算简介·····	(243)
一、理想压杆的临界载荷·····	(243)
二、临界应力 欧拉公式的适用范围·····	(244)
三、柔度 $< \lambda_p$ 的压杆临界应力的计算·····	(246)
四、压杆稳定的实用计算·····	(248)
本章学习要点·····	(251)
学习参考内容·····	(253)
习题及习题答案·····	(257)
复习自检题与思考题及其答案·····	(259)
第十章 容器的结构	
第一节 容器的开孔补强结构·····	(262)
一、容器接管附近的应力集中·····	(262)
二、补强结构·····	(264)
三、补强计算·····	(267)
四、壳体或平板上开有密集排孔时的补强计算·····	(268)
五、容器上开孔及补强的有关规定·····	(269)
第二节 法兰联接结构·····	(270)
一、法兰联接的密封原理·····	(270)
二、法兰联接受力分析及其实用结论·····	(271)

三、压力容器法兰标准·····	(272)
四、管法兰·····	(283)
第三节 焊接结构·····	(289)
一、焊缝的基本型式·····	(289)
二、压力容器中的焊缝分类·····	(292)
三、采用合理的焊接结构·····	(294)
第四节 人孔、手孔规定·····	(299)
一、容器上开设人孔、手孔的规定·····	(299)
二、人(手)孔标准·····	(299)
第五节 支座·····	(302)
一、卧式容器的支座·····	(302)
二、立式容器的支座·····	(309)
本章学习要点·····	(321)
学习参考材料·····	(322)
习题与思考题及其答案·····	(327)
第十一章 典型化工设备结构	
第一节 钢制管壳式换热器·····	(331)
一、管壳式换热器的总体结构·····	(331)
二、管壳式换热器中的几个结构问题·····	(336)
第二节 塔器·····	(349)
一、板式塔的总体结构·····	(349)
二、整块式塔盘的板式塔·····	(350)
三、分块式塔盘的板式塔·····	(357)
四、板式塔上的其他附件·····	(366)
五、板式塔图例·····	(373)
六、填料塔·····	(377)
第三节 反应器·····	(388)
一、反应釜的总体结构·····	(388)
二、夹套结构·····	(388)
三、传动装置·····	(392)
四、搅拌器·····	(396)
五、轴封装置·····	(396)
本章学习要点及复习思考题·····	(399)
第十二章 压力容器的安全使用与监察管理	
第一节 压力容器的岗位操作·····	(401)
一、压力、温度超限的防止·····	(401)
二、低温的控制·····	(402)
三、环境温度的控制·····	(402)

四、压力、温度的波动与开停车	(402)
五、介质成分的控制	(402)
第二节 压力容器上的安全泄压装置	(403)
一、安全阀	(403)
二、爆破片	(410)
第三节 压力容器的定期检验	(412)
一、定期检验的目的	(412)
二、定期检验的类别和期限	(413)
三、检验报告	(415)
第四节 压力容器的监察管理	(415)
一、对压力容器实施监察管理的依据	(415)
二、压力容器的分类	(416)
三、压力容器的安全状况等级	(419)
四、压力容器的设计管理与制造管理	(419)
五、压力容器的使用管理	(420)
本章学习要点及习题	(421)

附 录

A. 型钢、钢板与焊接材料

一、型钢与钢板	(423)
二、焊接材料	(436)

B. 《钢制管法兰、垫片、紧固件》标准 (HGJ44—76—91) 简介

一、管法兰类型与密封面型式	(443)
二、管法兰的结构尺寸	(446)
三、法兰材料及其最高无冲击工作压力	(457)
四、法兰与钢管焊接接头与坡口	(457)
五、密封垫片	(468)
六、钢制管法兰用的紧固件	(470)
七、法兰、垫片、紧固件的标记	(473)

C. 压力容器法兰

一、压力容器法兰 (JB4700—4707—92) 中的有关数据	(477)
二、法兰、垫片、螺柱的标记	(493)

D. 化工设备图 (绘图与读图)

一、设备总图绘制要点	(495)
二、公差与配合的基本知识	(501)
三、图面技术要求	(512)
四、技术特性表	(516)

五、管口表.....	(516)
E. 换热器用膨胀节标准及其选用	
一、膨胀节的结构.....	(517)
二、波形膨胀节尺寸.....	(518)
三、膨胀节标准的使用方法.....	(518)
F. 人孔	
一、人孔的类型及其尺寸表.....	(524)
二、人孔材料分组及其最高允许工作压力.....	(524)
G. 支座	
H. 其他	
一、筒体、椭圆形封头、锥形封头的几何尺寸.....	(537)
二、容器安全泄放量计算中容器受热面的确定.....	(540)
三、安全阀的代号.....	(541)
四、压力容器焊缝探伤的规定.....	(543)
主要参考资料	(545)

第一篇 力学基础

化工厂中使用的机器设备大都是在各种载荷下工作,为了使它们安全可靠地工作,从力学角度,一般要提出三方面的要求:

1. 能抵抗载荷对它的破坏,即要有一定的强度。
2. 不发生超出许可的变形,即要有一定的刚度。
3. 能维持构件自身的几何形状,即具有充分的稳定性。

因此,强度问题、刚度问题和稳定问题,都属于本课程的力学基础内容。讨论的重点是强度问题。

本课程的研究对象是化工设备。构成化工设备的元件既有杆件也有平板和回转壳体。杆件的变形与应力分析比较简单,它的一些概念和结论可以移植到平板与壳体的变形和应力分析中去。所以,对于杆件我们作一些必要的公式推导和理论论证。对于平板与壳体因为比较复杂本书则只作定性的说明,同时给出可供应用的结论。

本篇只研究杆件。第二篇讨论壳体与平板。

本篇共包括五章。第一章讨论刚体的受力分析和它的平衡规律,以解决刚体所受的外力问题。第二章研究外力对材料所产生的内效应问题,通过各种力学性能试验,探讨材料在外力作用下的种种“表现”。第三章到第五章研究构件的四种基本变形(拉压、剪切、弯曲、扭转)条件下的应力分析与强度计算。

第一章 刚体的受力分析及其平衡规律

要研究构件的强度或刚度问题,首先要全面搞清楚构件所受外力。图 1-1(a)示一矩形水箱放在两个墙垛子上,水箱受重力 G ,水箱在重力 G 作用下之所以没有掉下来,显然是因为有墙垛子托住它,墙给水箱的支持力应该是垂直向上的(图 1-1(b))。

如果水箱是圆筒形,也放在两个墙垛上(图 1-1(c)),墙垛给水箱的支持力是垂直向上(图 1-1(d)),还是倾斜(图 1-1(e))的呢?如何确定这两个支持力的力线方位,就是受力分析要研究

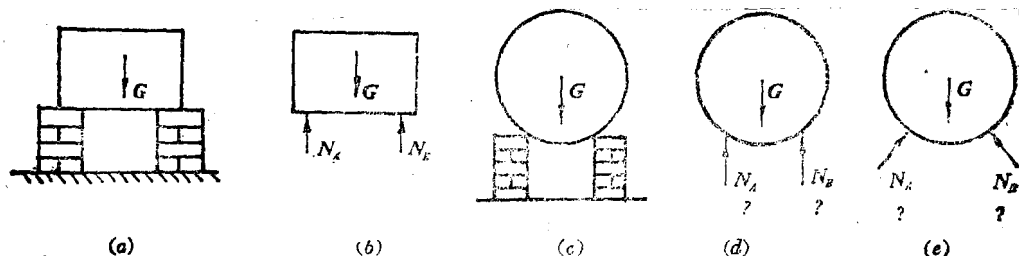


图 1-1 受力分析应解决的问题

的问题。

支持力的力线方位确定以后,还得解决力的大小问题。譬如说作用在圆筒上支持力 N_A 和 N_B 的力线方位已经确定(图 1-1(e)),如何从已知力 G 求取未知力 N_A 和 N_B 的大小呢?要从 G 求取 N_A 和 N_B ,就得寻找 G 和 N_A, N_B 的内在联系,探讨这个内在联系就是讨论平衡规律的目的。

举上边这个简单例子是要说明:这一章讨论的核心问题是如何从已知外力求取未知外力。解决这个问题分两步:第一步是通过受力分析正确确定未知外力的力线方位。第二步是探索物体受力平衡规律,并利用它求取未知外力。

第一节 力的概念及其性质

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。人类在自己的生产和生活过程中发现,物体与物体之间的相互作用会引起物体运动状态改变,也会引起物体变形。进而还发现:无论是运动状态的改变,还是物体的变形,其程度都与物体间相互作用的强弱有关。人们为了度量上述的物体间相互作用所产生的效果,于是就把这种物体间的相互作用称之为力。

由此可见,力是通过物体间相互作用所产生的效果体现出来的。因此,我们认识力,分析力,研究力都应该着眼于力的作用效果。上边谈到的力使物体运动状态发生改变,我们称它是力的外效应。而力使物体发生变形,则被称为是力的内效应。

单个力作用于物体时,既会引起物体运动状态改变,又会引起物体变形。两个或两个以上的力作用于同一物体时,则有可能不改变物体的运动状态而只引起物体变形。当出现这种情况时,我们称物体是处于平衡。这表明作用于该物体上的几个力的外效应彼此抵消,但不能由此否定单个力的外效应。

力作用于物体时,总会引起物体变形。但在正常情况下,工程用的构件在力的作用下变形都很小。这种微小的变形对力的外效应影响很小,可以忽略。这样一来,在讨论力的外效应时,我们就可以把实际变了形的物体,看成是不发生变形的刚体。所以,当我们称物体为刚体时,就意味着我们不去考虑力对它的内效应。在这一章,我们研究的对象都是刚体,讨论的是力的外效应。

力是矢量,图示时可用一带箭头的有向线段表示,有向线段长度(按比例尺)表示力的大小,箭头所指表示力的方向。用符号表示力时,以黑体字 F, P, Q 或 $\vec{F}, \vec{P}, \vec{Q}$ 等表示矢量,以白体字 F, P, Q 等表示力的大小。

力有集中力和分布力之分。按照国际单位制,集中力的单位用牛顿(N),千牛顿(kN);分布力的单位是牛顿/米²(N/m²)又称帕斯卡(Pa)和兆帕(MPa)。1MPa = 10⁶Pa,相当于 1N/mm²。

二、力的基本性质

1. 力的可传性

作用在刚体上的力,可以沿其作用线移到刚体上的任一点而不改变力对该刚体的外效应。

例如作用在小车 A 点有一力 F (图 1-2(a)),在沿力 F 的作用线上任取一点 B ,设想在 B 点沿力 F 的作用线增加作用一对等值、反向、共线的力 F_1 和 F_2 (图 1-2(b)),使 $F_1 = F_2 = F$ 。由于 F_1 与 F_2 对小车的外效应互相抵消,所以增加了 F_1 与 F_2 以后,三个力作用的总效应与单个力 F 对小车作用的效应相同。考虑 F 和 F_2 二力等值、反向、共线,它们的外效应相互抵消,所以去掉它们不会对小车的外效应有任何影响 (图 1-2(c)),这样一来就相当于把作用在 A 点的力 F 沿其作用线移到了 B 点,而力对小车的外效应并没有改变。这就证明了力可沿其作用线移动的性质。

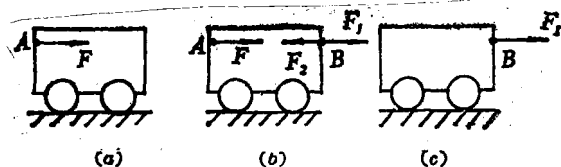


图 1-2 力的可传性

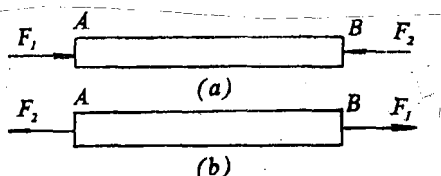


图 1-3 力的可传性不能用于力对物体的内效应上

当然,这一性质只能用于刚体。当把物体看成变形体且只讨论力的内效应时,力的移动常会引起变形性质的变化,如图 1-3(a)受压缩的杆,若二力移动后,杆将变为受拉 (图 1-3(b))。

2. 力的成对性

力既然是两个物体之间的相互机械作用,所以就两个物体来看,作用力与反作用力必然永远是同时产生,同时消失,而且一旦产生,它们的大小必相等,方向必相反,而作用线必相同。这就是力的成对性,也称作用反作用定律。显然力的成对性是同时观察两个相互作用的物体而言的,成对出现的这两个力分别作用在两个物体上,因而它们对各自物体的作用效应不能相互抵消。

3. 力的可合性

什么是力的可合性?从字面理解,力的可合性就是作用在物体上的两个力可以合成为一个力。就其特定含意而言,就是两个力对物体的作用可以用一个力来等效代替,叫作力的合成。

图 1-4 所示作用在小车上的 F_1 和 F_2 两个力如果可以用 R 一个力等效代替,则表示 F_1, F_2 可以合成为一个力。称 R 为 F_1 和 F_2 的合力, F_1, F_2 为 R 的分力。

合力与其分力之间既然必须存在等效取代的关系,所以合力与其分力之间就必须满足一定的条件,这个条件就是平行四边形法则。这个法则告诉我们:作用于刚体 A 点处的两个力 F_1 和 F_2 ,如果和作用于同一点的力 R 能够互相等效取代,那么以 F_1 和 F_2 两个力矢所构成的平行四边形,其由 A 点引出的对角线就是力矢 R (图 1-5)。

4. 力的可分性

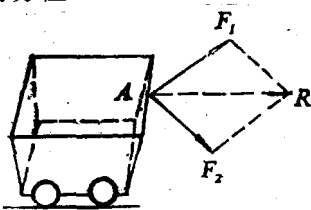


图 1-4 F_1, F_2 可用 R 等效代替 (力的可合性)

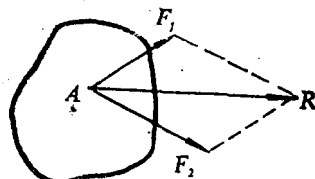


图 1-5 力的平行四边形法则

力的这个性质也是从实践中发现的,例如用墩布擦地,作用于墩布手把上的力 F 可使墩布产生两个效果,一是在水平方向产生加速度,二是给地面以一定的垂直压力。一个力既然能产生两个效果,所以说一个力可以解成两个力,叫作力的分解。

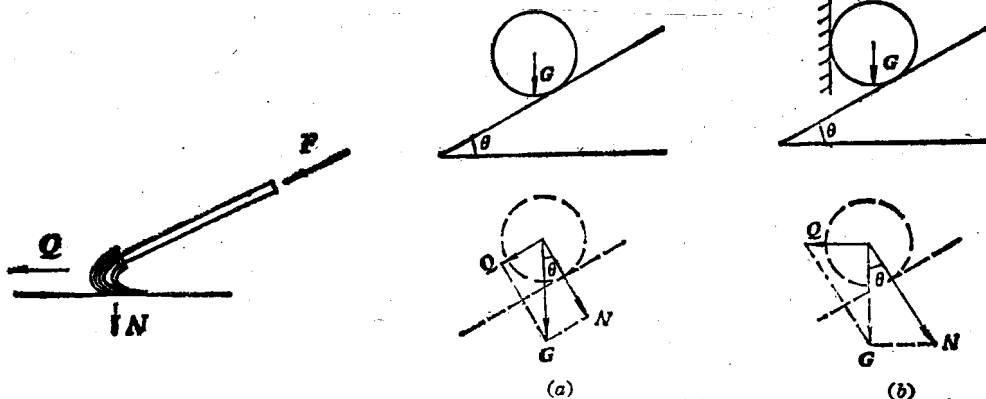


图 1-6 力的可分性

图 1-7 根据力的效应进行力的分解

力的分解自然也必须符合平行四边形法则。如果说两个力合成一个力时,只有唯一解的话,那么将一个力分解为两个力时,可以得到无数组解,因为以某一力矢为对角线可以作出无数个平行四边形。所以在进行力的分解时,如果针对的是某一具体问题,那么应该考虑被分解的力对物体实际产生的效果,例如图 1-7(a)所示斜面上的小球,它受到重力 G 作用时,产生了沿斜面向下滚和给斜面以法向压力两个效果,因为重力 G 应沿与斜面平行和垂直两个方向分解;而图 1-7(b)所示斜面上的小球,由于受到垂直墙面的阻挡,小球并没有沿斜面向下滚动,这时的小球分别作用给垂直墙面与斜面以法向压力,因此 G 的分解应沿水平与垂直于斜面两个方向进行。力 G 按图 1-7(a)分解时,作用给斜面的法向压力 $N = G \cos \theta$,分力 N 小于合力 G ;力 G 按图 1-7(b)分解时, $N = \frac{G}{\cos \theta}$,分力 N 大于合力 G 。

5. 力的可消性

一个力对物体所产生的外效应,可以被另一个或几个作用于该同一物体上的外力所产生的外效应所抵消。这就是力的可消性。由于力具有这一性质,就使得物体在受到两个或两个以上外力作用时,这些力对物体所产生的外效应有可能彼此抵消。当出现这种情况时,我们就称该物体是“处于平衡”。而使物体处于平衡的那几个外力则被称为是“平衡力系”。并不是任何外力系都能成为平衡力系,要成为平衡力系必须具备一定的条件,这个条件就叫“平衡条件”。我们将在第三和第五节去寻找“平衡条件”的一般表达式,这里为了分析刚体受力的需要,先讨论两个最简单的平衡定理。

(1)二力平衡定理 当物体上只作用有两个外力而处于平衡时,这两个外力一定是大小相等,方向相反,作用线重合。工程上的构件,其几何形状虽然有多种,但只要该构件是在二力作用下处于平衡,我们就称它为“二力杆”(图 1-8)。根据二力平衡的条件可以断定:二力杆上的两个外力,其力作用线必与二力作用点的连线重合,而与二力杆的实际几何形状无关。

(2)三力平衡汇交定理 若在刚体的 A 、 B 、 C 三点分别作用有力 F_1 、 F_2 、 F_3 (图 1-9)且使刚体处于平衡,那么这三个力如若不彼此平行,则必定汇交于一点。这就是三力平衡汇交定理,简言之,即:由不平行的三个力组成的平衡力系必只汇交于一点。此定理很易证明: F_1 与 F_2 的合

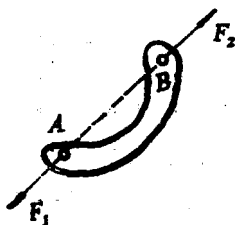


图 1-8 二力杆

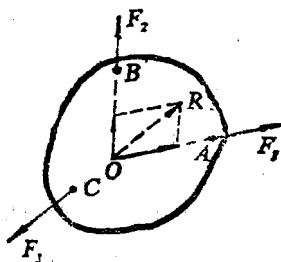


图 1-9 三力平衡汇交

力 R 必过此二力的交点 O (图 1-9), 而 R 与 F_3 又使物体处于平衡, 所以 R 与 F_3 必等值、反向、共线, 也即 F_3 也必过 O 点。

第二节 刚体的受力分析

一、约束和约束反力

作用在机器设备零件上的外力, 基本上可分为两类。一类叫主动力, 它能引起零件运动状态改变, 或使零件具有改变运动状态的趋势, 例如图 1-1 中水箱所受到的重力 G , 图 1-2 中小车受到的推力 F , 图 1-7 中球体受到的重力 G 等, 都是主动力。另一类叫约束反力, 它是阻碍物体改变运动状态的力。例如图 1-1 中墙垛作用给水箱的支持力 N_A 和 N_B ; 图 1-2 中地面给小车的“摩擦力”(图中没有画出); 图 1-7(b) 中斜面与墙面作用给小球的“阻挡力”(图上没有画出)等都是约束反力。

如果物体只受主动力作用, 而且能够在空间沿任何方向完全自由地运动, 则称该物体为自由体。如果物体的运动在某些方向上受到了限制而不能完全自由地运动, 那么该物体就称为非自由体。限制非自由体运动的物体叫约束。例如轴只能在轴承孔内转动, 不能作径向移动, 于是轴就是非自由体, 而轴承就是轴的约束。又如图 1-1 中的水箱是非自由体, 而两个墙垛则是水箱的约束。

约束作用给非自由体的约束反力需根据约束的性质进行分析, 下面介绍三种常见的约束及其约束反力的表达方法。

1. 柔软体约束

约束是各种绳索、链条、皮带等柔软体。图 1-10(a) 是一正在吊装的设备, 所用钢丝绳就属柔软体约束。这种约束的特点是: ①只有当绳索被拉直时才能起到约束作用。②这种约束只能阻止非自由体沿绳索伸直的方位朝外运动, 因而代替这种约束作用的约束反力, 它的力作用线必和绳索伸直时的中心线重合, 其指向应是离开自由体朝外。图 1-10(b) 中的 T 就是起吊用钢

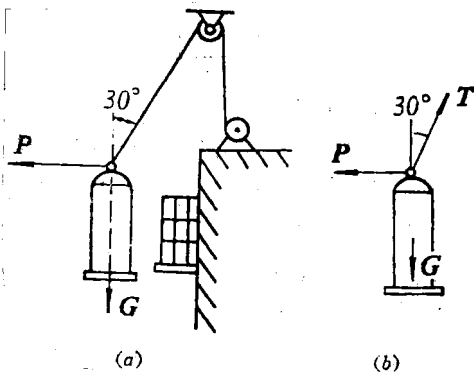


图 1-10 柔软体约束