

中等专业学校教材

化工机械基础

(第二版)

上册

北京化工学校 韩叶象 主编

高等教育出版社

中等专业学校教材

化工机械基础

(第二版)

上册

北京化工学校 韩叶象 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本教材是根据1988年新修订的化工机械基础课程教学大纲和多年来各校使用本教材(第一版)的教学实践经验修订的。全书共分五篇:一、静力学;二、材料力学;三、化工材料;四、机械传动;五、化工容器。本教材适用于中等专业学校化学工艺类专业。

本教材分上、下两册出版。上册包括第一、二篇,下册包括第三、四、五篇。
与本教材配套的《化工机械基础课程设计》将另行出版。

中等专业学校教材

化 工 机 械 基 础

(第 二 版)

上 册

北京化工学校 韩叶象 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海新华印刷厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 12.5 字数 285,000

1980年2月第1版

1990年4月第2版 1990年4月第1次印刷

印数 00,001—15,080

ISBN 7-04-002884-0/T11·226

定价 2.35 元

第二版前言

近年来化工部教育司组织了广泛的调查,在总结各校教育改革经验的基础上,于1988年4月重新制订了中等专业学校有机化学工艺专业和无机化学工艺专业的教学计划。新的教学计划明确规定培养目标是:德、智、体、美全面发展的,牢固掌握必需的文化科学基础知识,具有较强实践能力的化学工艺中等技术人才。毕业生主要从事常规工艺、常规管理的实施工作,也能在技术改造中参与工艺设计,或在新产品试制中能按拟定的方案进行试验工作。并在课程设计和教学环节方面,突出实践性教学,加强技能的训练,体现中专的特色,安排了化工机械基础的课程设计等。

《化工机械基础》课程小组随即重新制订了本课程的教学大纲。调整了教学内容,在保留必需的基础知识的前提下,适当降低一些内容的理论深度;删去机械传动的设计计算内容,充实保养和维护方面的知识;增添了课程设计。教学内容为:静力学、材料力学、化工材料、机械传动、化工容器,总时数调整为120学时,另外集中一周时间作课程设计,完成一台低压化工容器的设计。

教材修订工作就是在新教学计划和教学大纲的精神指导下进行的,按照培养目标的要求精选教学内容,结合化工专业的特点,加强化工容器部分的教学内容,并更新和补充标准、规范等设计资料。在修订工作中注意保留原教材中的优点,改进不足之处。

参加教材修订工作的是北京化工学校韩叶象(第一篇至第四篇)和南京化工学校杜吉雷(第五篇),由韩叶象主编。本书经吉林化工学校张荣审阅,提出了许多宝贵意见和建议,对于提高教材质量起了重要作用。

由于我们水平有限,教材中还会出现一些错误和缺点,欢迎各校师生批评指正。

鉴于目前已有一些学校安排了课程设计,所需资料汇编成《化工机械基础课程设计》另行出版。

编 者

1989年9月

第一版 编者的话

在1978年3月化工部召开的化工中专教材工作会议上,讨论了中等专业学校有机化学工艺专业和无机化学工艺专业的工程力学课程的教学情况。决定在原工程力学课程教学内容的基础上增添化工设备设计的基本知识,并将课程名称改为化工机械基础。由北京化工学校草拟编写大纲寄各校征集意见,经1978年6月化工部委托召开的中专无机化学工艺专业教材会议上讨论修订。本教材就是按照这个编写大纲编写的,共分五个部分:一、静力学;二、材料力学;三、化工材料;四、化工容器;五、机械原理和机械零件。总共为140学时,适用于中等专业学校有机化学工艺和无机化学工艺专业。

编写本教材时,在下列几方面作了努力:贯彻“少而精”的原则,努力做到详略适当,便于自学;加强基础理论和注意基本技能的训练,注意贯彻理论联系实际的原则,按照专业特点来选择教学内容。

本教材中安排了较多的例题和习题,其中带有“*”号的题目较难。教材中除例题外用小号字排印的内容,为非基本要求,各校可根据实际情况决定取舍。

本教材采用国际单位制。但是,考虑到目前我们生产部门的实际情况,有的部分仍介绍了工程单位制的设计资料。

参加本教材编写的有:北京化工学校韩叶象(第一、二、三部分),石家庄化工学校马书元(第四部分),泸州化工专科学校李寿高(第五部分第二十一、二十二、二十三、二十四、二十五章)、郝开文(第五部分第廿六、廿七章)。参加审稿工作的有:吉林石油化工学校张荣以及韩叶象、马书元、李寿高等。

由于我们水平有限,缺点和错误在所难免,欢迎读者批评指正。

1979年2月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 静 力 学

第一章 静力学的基本知识	3
§1-1 运动、静止和平衡	3
§1-2 力的概念	3
§1-3 静力学的任务	4
§1-4 静力学公理	5
§1-5 约束和约束反力	7
§1-6 受力图	11
小结	15
思考题	16
习题	16
第二章 平面汇交力系	20
§2-1 力在坐标轴上的投影	20
§2-2 平面汇交力系的合成	22
§2-3 平面汇交力系的平衡	24
小结	28
思考题	29
习题	29
第三章 力矩和力偶	32
§3-1 力矩	32
§3-2 力偶	34
§3-3 平面力偶系的合成和平衡	36
小结	37
思考题	38
习题	38
第四章 平面任意力系	41
§4-1 力的平移原理	41
§4-2 平面任意力系的简化	43
§4-3 平面任意力系的合成和平衡	44
§4-4 平面平行力系的平衡	49
§4-5 均布载荷	51
§4-6 固定端约束	52
§4-7 考虑摩擦的平衡问题	54
*§4-8 物体在斜面上的自锁	53

§4-9 静定和超静定问题	59
小结	61
思考题	61
习题	63
第五章 空间力系 重心	72
§5-1 轴的受力分析	72
§5-2 重心的概念	73
§5-3 组合形体的重心	75
小结	77
思考题	78
习题	78

第二篇 材 料 力 学

第六章 材料力学概论	81
§6-1 材料力学的任务	81
§6-2 变形体及其基本假设	82
§6-3 杆件变形的基本形式	83
小结	84
思考题	84
第七章 拉伸和压缩	85
§7-1 拉、压时的内力 截面法	85
§7-2 拉、压时的应力	87
§7-3 拉、压时的变形 虎克定律	89
§7-4 许用应力和强度计算	91
§7-5 温差应力	95
*§7-6 拉、压的超静定问题	96
小结	97
思考题	98
习题	98
第八章 材料的机械性能	102
§8-1 材料机械性能的试验	102
§8-2 低碳钢静拉伸试验	102
§8-3 灰铸铁和其它材料的静拉伸试验	105
§8-4 压缩试验	105
§8-5 应力集中	106
§8-6 交变应力和疲劳极限	107

§8-7 硬度	108	§11-2 梁弯曲时的内力	141
§8-8 冲击韧性	109	§11-3 弯矩图	143
§8-9 温度对钢材机械性能的影响	109	§11-4 弯曲时的正应力	148
小结	110	§11-5 轴惯性矩和抗弯截面模量	151
思考题	111	§11-6 弯曲强度计算	155
第九章 剪切	112	§11-7 改善梁的强度问题的措施	159
§9-1 剪切概念	112	§11-8 弯曲变形	161
§9-2 剪切时的内力和应力	112	小结	164
§9-3 剪切变形和虎克定律	114	思考题	166
§9-4 挤压	115	习题	167
§9-5 剪切和挤压的强度计算	116	第十二章 复合强度	171
小结	120	§12-1 复合强度的概念	171
思考题	120	§12-2 弯曲和拉、压的组合作用	172
习题	121	*§12-3 应力状态和强度理论	175
第十章 扭转	124	§12-4 圆轴弯曲和扭转的组合作用	179
§10-1 扭转的概念 外力偶矩的计算 ...	12	小结	181
§10-2 扭转时的内力	125	思考题	182
§10-3 圆轴扭转时的应力	127	习题	182
§10-4 极惯性矩和抗扭截面模量	130	第十三章 压杆稳定	185
§10-5 圆轴扭转时的变形	132	§13-1 稳定的概念	185
§10-6 扭转的强度和刚度计算	133	§13-2 临界力和欧拉公式	185
小结	137	§13-3 压杆的稳定计算	187
思考题	137	小结	190
习题	138	思考题	191
第十一章 弯曲	140	习题	191
§11-1 弯曲的概念 梁的种类	140	习题答案	192

绪 论

现代化的工业生产广泛使用各种机器和设备。在化工厂里,有进行化学反应用的反应器,有加热或冷却用的换热器,有贮存物料用的贮罐等设备;还有输送液体用的泵和压缩气体用的压缩机等机器(或称为机械)。这些机器和设备是化工生产的重要技术装备,它们的质量直接影响化工生产的技术水平。

随着化工生产的飞速发展,这些机器和设备日益复杂。对于化学工艺技术人员,除了应该掌握生产工艺技术外,还必须懂得一定的机械知识,才能搞好生产。我们在工作中经常会遇到需要了解机器和设备的构造和原理,分析受力情况和工作能力,以便正确使用和维护这些机器和设备;或者在中、小化工企业的技术改造中,为机器和设备选择适宜的材料,按照标准正确地选择化工机器和设备的通用零、部件等问题。化工机械基础课程,将为我们在这方面提供必要的知识。这是一门技术基础课,包括下列五个部分。

第一篇静力学,研究物体受力作用而平衡(静止或匀速直线运动等)的问题。分析平衡物体的受力情况,确定各力的大小和方向,为以后的设计计算打下基础。

第二篇材料力学,研究物体受力时的坚固程度和变形情况。为机器和设备的零、部件确定合理的材料、形状和尺寸,以达到既安全又经济的目的。

第三篇化工材料,研究化工机器和设备常用材料的主要性能,为化工机器和设备选择适宜的材料提供理论依据。化工生产有些是在高温或高压下进行的,经常处理许多酸、碱、盐等具有强烈腐蚀性的物料。因此,正确地选择化工材料是个比较复杂的问题。

第四篇机械传动,研究机械传动的工作原理、运动规律,以及通用零、部件的结构、性能和标准选用等问题,为正确使用和维护化工机器中常见的机械传动提供基础知识。

第五篇化工容器,研究化工设备的壳体的类型、特点、设计方法和标准选用等问题。为化工容器的机械设计提供理论知识。

总之,化工机械基础课程讨论化工机器和设备的设计知识。学好这门课程,对于学习专业课程以及今后工作中正确地使用各种化工机器和设备,或者进一步改革这些机器和设备,都能提供必要的理论基础知识。

我们在学习这门课程时,不但要运用辩证唯物主义观点认真理解基本概念、定律和公式的意义,而且还要通过例题、习题和课程设计的训练,掌握基本的分析、运算和设计技能;同时还应熟悉一些化工机器和设备的标准以及有关的设计资料。我们不但要学习书本上的理论知识,还应深入生产实际,了解化工生产中机器和设备的实际运行情况,理论与实践相结合,不断提高我们分析问题和解决问题的能力,为实现伟大祖国的社会主义四个现代化贡献力量。

第一篇 静力学

第一章 静力学的基本知识

§1-1 运动、静止和平衡

宇宙间的一切物质都在不断地运动,物质运动的形式是多种多样的,其中最普遍、最简单的一种运动形式就是物体的位置随着时间而变化,这种运动形式称为机械运动,简称运动。例如星球的运行、车船的行驶、机器的运转等。

物体的位置只能相对地描述,我们不能抽象地谈物体在空间的位置,而只能说明它与某个选定的具体参照物的相对位置。同样,在描述某个物体的运动时,我们也只能说明该物体对指定参照物的相对运动。工程上通常选用地球作为描述物体运动的参照物。

当某个物体相对于参照物的位置固定不变时,就称为静止。静止只是运动的一种特例,它说明物体的运动与参照物的运动完全一样。房屋、设备、机器的底座等相对于地球参照物都是静止的。

在工程上还经常遇到作匀速直线运动的物体,这时物体的运动状态不变,称为平衡。静止也是物体运动状态不变,所以静止和匀速直线运动都是平衡状态。平衡只是运动的特殊情况。因为运动是相对的,所以平衡也是相对的。

§1-2 力的概念

力的概念是人类在生活和生产实践中,经过长期观察和归纳逐步建立起来的。我们看到:要使一个静止的物体发生运动,就必须去推它或拉它;汽车煞车时,由于摩擦作用,行驶越来越慢,最后变为静止;乒乓球受到球拍的打击,它将改变运动的方向和快慢,同时,其形状也发生改变。从这些事例中,我们可以概括归纳为:物体运动状态的改变,是因为受到了其它物体的作用,这种作用就称为力。或者说:力是物体间的相互作用,力使物体的运动状态发生改变,或者使物体的形状发生改变。

应该注意:既然力是两个物体间的相互作用,因此力不能脱离物体而存在。分析物体受力时,必须判明每个力是由另外的哪个物体对该物体的作用。

实践告诉我们:力的作用效果决定于力的大小、方向和作用点这三个要素。当这三个要素中任何一个改变时,力的作用效果就会改变。例如用扳手拧螺母时(图 1-1),作用在扳手上的力,或大小不同,或方向不同,或作用点的位置不同,产生的效果都不相同。

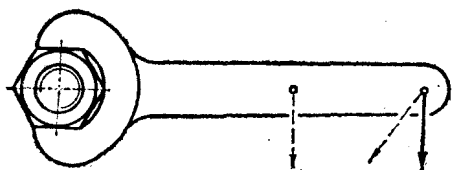
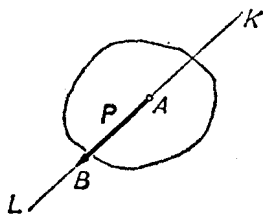
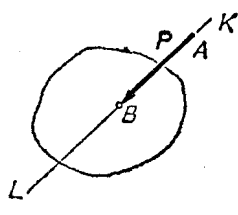


图1-1



(a)



(b)

图1-2

在我国的法定计量单位中,力的单位是“牛顿”(N),1 牛顿=1 千克·米/秒²;或“千牛顿”(kN),1kN=10³N。在工程单位制中,力的单位是“公斤力”(kgf);或“吨”(t),1t=10³kgf。这两种单位制之间可以换算:1kgf=9.8N。

力是矢量(向量),力可以用一个有方向的线段来表示。在图 1-2 中,矢量 $\overline{AB}$ 的长度按一定的比例表示力的大小;矢量的方向表示力的方向;矢量的起点 A(图 1-2a)或终点 B(图 1-2b)表示力的作用点。图中与力重合的直线 KL ,称为力的作用线。

为了区别矢量与非矢量(标量),在静力学中,矢量的代表符号用黑体字来表示,如图 1-2 中的力 $\mathbf{P}$,用普通字体表示它的大小。

在静力学中,我们并不研究力使物体发生的变形,因为在一般的工程问题中,物体的变形极其微小,对我们研究物体的平衡问题影响很小,为了使问题简化,可以将变形忽略不计。因此,在静力学中,我们把物体看成是不会变形的刚性物体,简称刚体。它是实际物体理想化的模型。

§1-3 静力学的任务

作用在同一物体上的一组力,称为一个力系。

如果一个力系对物体的作用效果与另一个力系对该物体的作用效果相同,那么这两个力系彼此就是等效力系。在静力学中,等效力系是可以相互代换的。用一个等效的简单力系去代换一个复杂的力系,称为力系的简化。

如果一个力 $\mathbf{R}$ 对物体的作用效果与一个力系的作用效果相同,则此力 $\mathbf{R}$ 称为该力系的合力;力系中的每一个力都称为合力 $\mathbf{R}$ 的分力。

由已知力系求合力叫力系的合成;相反,由合力求分力就叫力的分解。

一个力作用在物体上,会使物体的运动状态发生改变。但是也有受着力系作用而处于平衡状态的物体,它的运动状态却并不改变。这是因为在这种力系中,各力对物体的作用恰好相互抵消。如果物体受力系作用而平衡,则称这个力系为平衡力系。静止或匀速直线运动都是平衡状态,因此,作用在静止或匀速直线运动物体上的力系都是平衡力系。

静力学的任务是研究作用于物体上的力系的简化和平衡问题。应用力系的平衡条件来分析平衡物体的受力情况,判明物体上受哪些力的作用,确定每个力的大小、方向和作用点。对机器和设备的这种分析称为静力分析。机器和设备中的许多零件是处于平衡状态的,另有一

些零件虽不是处于平衡状态，其受力分析也是以静力分析为基础的。只有在分析了物体的受力情况后才能进行材料力学的计算等等，所以静力学是机械设计的基础知识。

§1-4 静力学公理

静力学公理是力的基本规律，也就是力的基本性质。它是从人类对客观事实的无数次观察、实践，而得到的结论，它的正确性只能用实验来验证，不能用更基本的原理来证明。

公理一（二力平衡公理） 如果刚体在两个力作用下处于平衡状态，那么这两个力一定是大小相等、方向相反、作用在同一直线上（图 1-3）；反过来说，在大小相等、方向相反、作用在同一直线上的两个力作用下，刚体一定处于平衡状态。

这个公理说明了两个力平衡时应该满足的三个条件，这三个条件是必要充分的。应该注意：相互平衡的两个力是作用在同一个刚体上的。否则，虽然满足了公理一的三个条件，但不能使刚体平衡（图 1-4）。

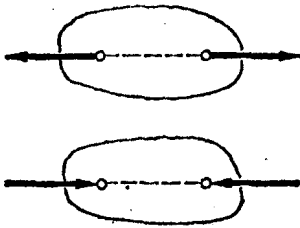


图1-3

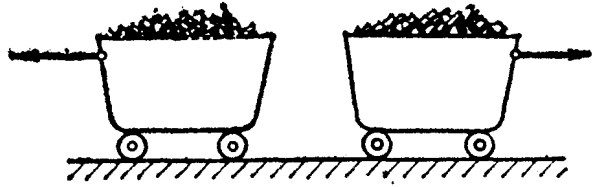


图1-4

公理二（加减平衡力系公理） 一个力系对物体的作用，不会因为加入或者取出一个平衡力系而改变。前面已经指出，平衡力系中各力对物体的作用恰好相互抵消，不会改变物体的运动状态。因此，加入或者取出平衡力系不会改变原力系的作用。

这个公理说明，相差任意平衡力系的两个力系，作用效果相同，它们是等效力系，可以相互替换。

应用以上两个公理可以推出：力可沿其作用线移到刚体内的任何点，而不改变力对物体的作用。力的这个性质叫做力的可移性。

设力 P 作用在物体的 A 点（图 1-5），我们在它的作用线上任取一点 B ，加上平衡力系 (P_1, P_2) ，并使它们的大小与原力相等，即 $P_1 = P_2 = P$ 。按照公理二，力系 (P, P_1, P_2) 对物体的作用与原力 P 的作用相同。由于力系 (P, P_2) 也是平衡力系，按照公理二可以把它们取出，只剩下力 P_1 。因此，力 P_1 与 P 等效，可以相互替换。用力 P_1 替换 P ，相当于力 P 沿着作用线移到新位置。

由于力的作用点可沿其作用线移动，所以并不一定要说明力的作用点，只要说明力的作用线就可以了。以后，我们也可以把力的三要素说成是：力的大小、方向和作用线。

应该注意：公理二和力的可移性都只能应用于刚体，而不适用于能够变形的物体。此外，力的可移性只是“在刚体内”力是可以“沿其作用线”移动的，但不要移出刚体以外。

公理三（平行四边形公理） 作用在某点的两个力，可以用一个合力来替换，合力的大

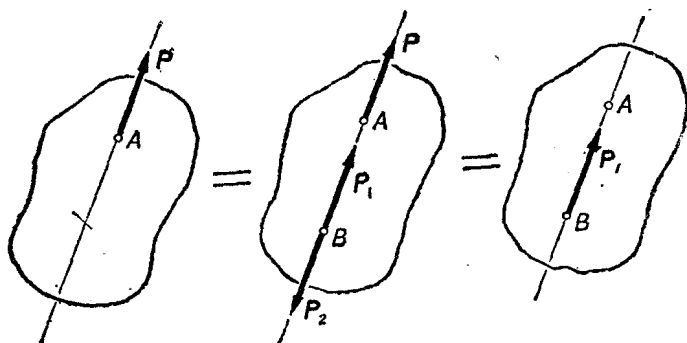


图1-5

小、方向和作用线可由以两个分力为邻边所画出的平行四边形的对角线来表示。

在图 1-6 中,分力 P_1 、 P_2 以矢量 $\overrightarrow{AB}$ 、 $\overrightarrow{AC}$ 表示,平行四边形 $ABDC$ 的对角线 $\overrightarrow{AD}$ 就表示合力 R 。这个公理表明矢量加法法则,可用矢量等式表示为:

$$\mathbf{R} = \mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2 \quad (1-1)$$

应该注意: 矢量等式中的矢量,都应写成黑体字, 矢量等式的意义不同于数量等式 $R = P_1 + P_2$, 因为数量相加是代数和, 而矢量相加则是几何和。

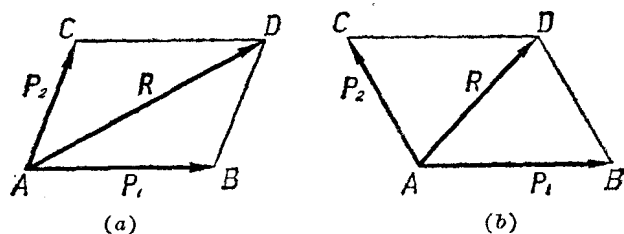


图1-6

有时,我们要将力进行分解后才能说明力对物体的作用效果。力的分解也遵循公理三。例如将图 1-7 中的吊环螺钉所受的力 P 沿水平方向和铅垂方向进行分解,分力 P_x 使螺钉弯曲,分力 P_y 使螺钉拉伸。又如图 1-8 中将两齿轮的齿间作用力 P_n 分解为周向分力(圆周力) P 和径向分力(径向力) P_r , 只有圆周力 P 才有转动作用。

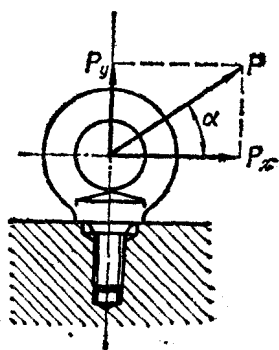


图1-7

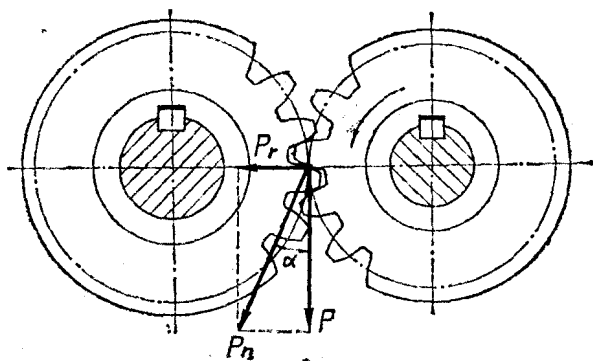


图1-8

公理四 (作用与反作用公理) 两物体间的作用是相互的, 甲物体给乙物体一个作用力,

乙物体必定同时给甲物体一个反作用力。作用力与反作用力大小相等、方向相反、作用线重合。

这个公理就是物理学中的牛顿第三定律。它说明作用与反作用总是成对出现的，有作用力必定同时有反作用力。而且这两个力的大小、方向、作用线有一定的关系。但是这两个力是分别作用在两个物体上，它们不能相互平衡。例如人推车时（图 1-9a），人手推车的作用力 P 是作用在车上的，而车给人手的反作用力 P' 则是作用在人手上的，这两个力不能相互平衡（图 1-9b）。

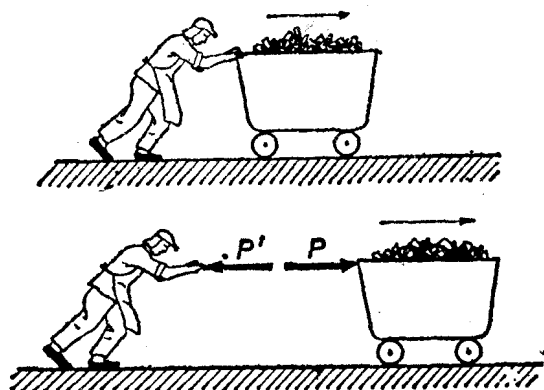


图1-9

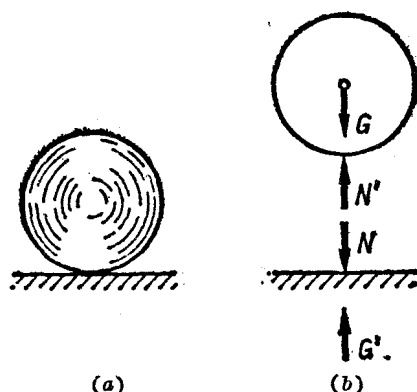


图1-10

为了说明公理四与公理一的区别，我们分析放在地面上的重物的受力情况（图 1-10）。重物受到地球的吸引，地球给重物以作用力 G （即重力），重物必以反作用力 G' （也就是重物对地球的吸引力）作用于地球，这两个力 G 和 G' 符合公理四。重物压地面的作用力 N 作用在地面，地面必有反作用力 N' 支承重物，这两个力 N 和 N' 也符合公理四。重物是受力 G 和 N' 作用而平衡，这是符合公理一。地球受力 N 和 G' 作用而平衡，这也是符合公理一的。

今后，作用力和反作用力常用同一字母表示，但其中有一个加一撇，如 N 和 N' 。

还应注意：作用力和反作用力的关系，只存在于相互作用的两个物体之间，而与第三者无关。因此，分析物体受力时，应判明作用力和反作用力是发生在哪两个物体之间。

§1-5 约束和约束反力

能向任何方向自由运动的物体称为自由体。例如飘浮在空中的气球就是自由体，只要有适当的力作用在气球上，它是可以向指定的任何方向运动的。

当物体受到其它物体的限制，因而不能向某些方向运动时，这种物体就称为非自由体。悬挂着的电灯就是非自由体（图 1-11），它不能垂直向下运动，只可以向其它方向运动。

限制非自由体运动的物体，称为非自由体的约束。例如图 1-11 中的电线就是电灯的约束。

火车受轨道的限制，只能沿着轨道运行。火车也是非自由体，轨道就是火车的约束。机器

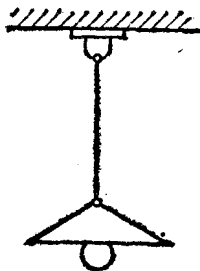


图1-11

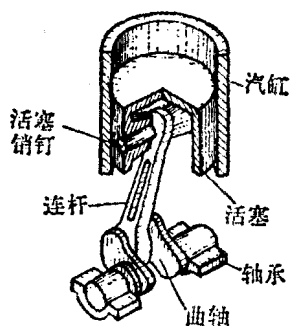


图1-12

和设备的各个零件是按一定的方式连接起来的,不同的连接方式对零件的运动有不同的限制。例如内燃机或压缩机(图 1-12)中,活塞受气缸的限制,只能沿气缸移动;曲轴受轴承的限制,只能在轴承内转动;连杆的两端受活塞销钉和曲轴的限制,只能作规定的平面运动。因此,气缸是活塞的约束,轴承是曲轴的约束,而连杆在两端受到活塞销钉和曲轴的约束。

机器和设备工作时,零件上受到各种载荷的作用,例如起重机提升物体的重力、机床的切削力、内燃机的汽油燃烧爆炸力等。在设计时,机器和设备的载荷通常是已知的,它可以根据设计指标确定,也可以由实验或调查研究确定。

在载荷(又叫主动力)的作用下,非自由体发生运动或有运动趋势,由于约束的限制而在某些方向的运动受到阻碍,因而非自由体对约束便产生作用力,根据公理四,约束也必定给非自由体以反作用力。这种约束给非自由体的、用来限制它运动的力,称为约束反作用力,简称约束反力、约束力或反力。

在机器和设备的设计中,求约束反力是个很重要的问题,例如选择轴承型号时要考虑轴承的约束反力。约束反力是由载荷的作用引起的,它是随着载荷的变化而变化的。在静力学中,我们分析物体的受力情况,利用平衡的规律,根据已知的载荷求得未知的约束反力。

确定约束反力的大小,是个比较复杂的问题,我们将在以后讨论。至于约束反力的方向 and 作用点,则一般比较容易确定,它是可以直接根据约束的特征来确定的。

因为约束反力起着限制非自由体运动的作用,所以,约束反力的方向总是与约束所能限制的运动方向相反。这是确定约束反力方向的基本原则。

实际约束的型式很多,但有些是具有共同特征的,可以归纳为一类。下面,我们来分析几种常见的约束类型。

一、柔体约束

柔软的绳索、皮带和链条等称为柔体约束。由于柔体只能承受拉力,因此柔体约束给非自由体的约束反力也只可能是拉力。或者说柔体约束只能限制非自由体沿柔体的中心线离开约束的运动(限制拉断柔体的运动),不能限制非自由体向其它方向的运动。因为约束反力的方向是与约束所能限制的运动方向相反,所以,柔体约束的反力方向只可能是沿着柔体的中心线的拉力。柔体约束的反力作用点就是非自由体与约束的连接点。如图 1-13a 的电线拉力 T 和图 1-13b 的绳索拉力 T_1 、 T_2 。

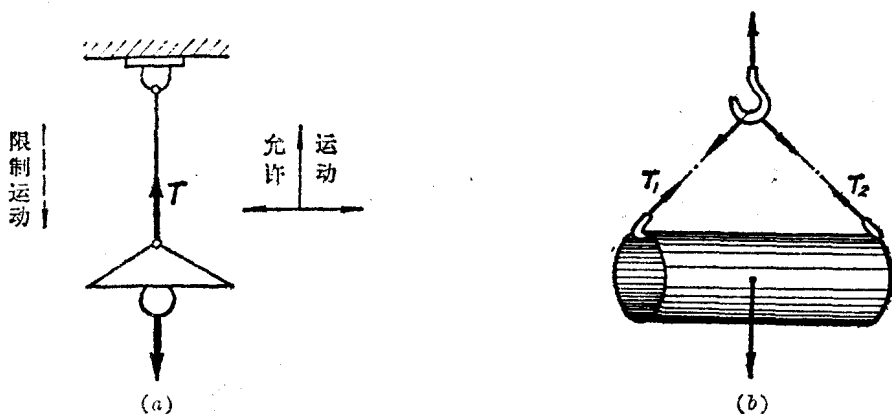


图1-13

二、光滑面约束

导轨、滑槽、气缸等光滑的刚性表面称为光滑面约束。当表面光滑而摩擦力很小，或在所研究的问题中，摩擦力的影响很小，我们常把摩擦力忽略不计而认为接触面是绝对光滑的。由于光滑面只能承受压力，因此光滑面约束给非自由体的约束反力只可能是支承力。或者说光滑面约束只能限制非自由体沿约束表面的法线方向压向约束体内的运动，不能限制非自由体沿约束表面的切线方向运动和离开约束的运动。根据上述的约束特征，光滑面约束的反力只可能是沿着接触表面的法线方向而支承非自由体。如图 1-14a 为车轮所受的地面的约束反力 N 沿接触表面的法线方向，图 1-14b 为滑块所受的滑槽的约束反力 N 沿滑槽的法线方向，图 1-14c 为轴架在 V 形铁上所受的 V 形铁的约束反力 N_1 、 N_2 沿接触斜面的法线方向。

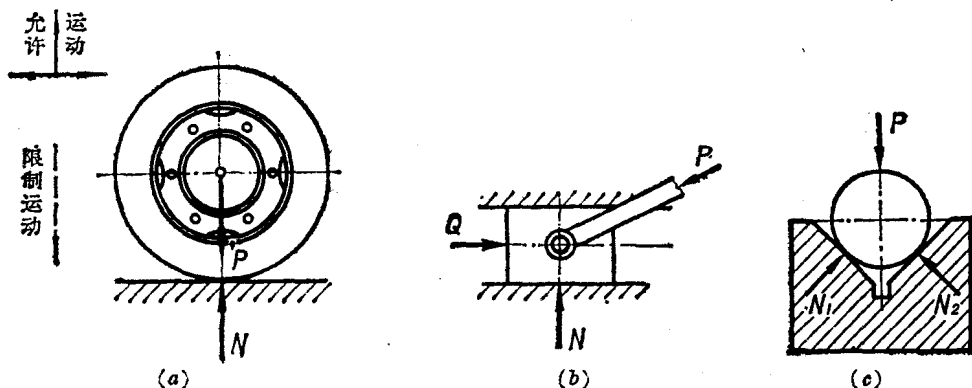


图1-14

三、固定铰链约束

轴承、销钉连接、门窗的合页等称为固定铰链约束。它们的典型构造如图 1-15a、b 所示。固定铰链约束限制非自由体任何方向的移动，但不限制非自由体绕固定铰链的销钉转动。因此，固定铰链约束反力的作用线通过铰链中心，但其方向待定，可能向上、向下、向左、向右或者任何倾斜的方向。在画图时，可以用一个带有折线的箭头表示（图 1-16a，图中未画出载荷），或者把它分解成为水平和铅垂方向的两个分力（图 1-16b，图中未画出载荷）。固定铰链约束的简图如图 1-17a、b 所示。

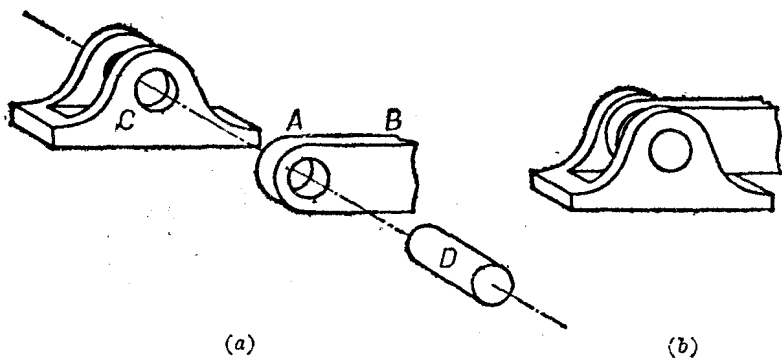


图1-15

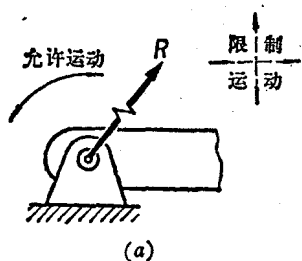


图1-16

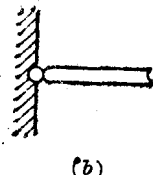
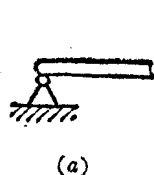
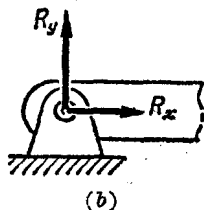


图1-17

四、活动铰链约束

如果不把图 1-15 中的铰链底座 C 固定,而在它下面安装几个滚子(图 1-18a, 图中未画出载荷),就成为活动铰链约束。这种约束在桥梁和设备的支座上经常遇到,以便当温度变化引起桥梁和设备伸长或缩短时,允许支座的间距有稍许的变化。

活动铰链约束与光滑面约束相似,不能限制非自由体沿支承面切线方向的运动,只能限制非自由体沿支承面的法线方向压入支承面的运动。活动铰链约束的反力方向是沿着支承面法线通过铰链中心而支承非自由体。活动铰链约束的简图如图 1-18b 所示。

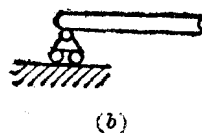
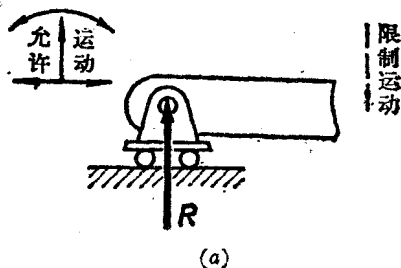


图1-18

对于实际的约束,我们应该根据约束的特征来作具体分析。例如,向心轴承限制轴(非自由体)的上、下、左、右移动,但不限制轴向移动和转动(图 1-19)。在垂直于轴线的平面内(图 1-19a、c),向心轴承与固定铰链约束相同,有方向待定的反力,通常把反力分解为水平分力和铅垂分力;在轴线平面内(图 1-19b、d),作为约束的向心轴承,不会对轴产生沿轴线方向的反力。

又如向心推力轴承,不但能限制轴的上、下、左、右移动,还能限制轴向移动,但不能限制转