

中等专业学校试用教材

# 化工机械基础

上册

北京化工学校  
石家庄化工学校 编  
泸州化工专科学校

人民教育出版社

中等专业学校试用教材

# 化工机械基础

上册

北京化工学校  
石家庄化工学校 编  
泸州化工专科学校

人民教育出版社

## 内 容 提 要

《化工机械基础》是一门技术基础课,教材共分五个部分: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。

本教材分上、下两册出版。上册为一、二部分。第一部分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;第二部分材料力学研究物体受力作用时的坚固程度和变形情况。

中等专业学校试用教材  
**化 工 机 械 基 础**

上 册

北 京 化 工 学 校

石 家 庄 化 工 学 校 编

泸 州 化 工 专 科 学 校

\*

人 民 教 育 出 版 社 出 版

新 华 书 店 上 海 发 行 所 发 行

上 海 市 印 刷 四 厂 印 装

\*

开 本 787×1092 1/16 印 张 12.5 字 数 280,000

1980年2月第1版 1980年6月第1次印刷

印 数 00,001—15,000

书 号 15012·0242 定 价 0.94 元

## 编者的话

在一九七八年三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，经一九七八年六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。

一九七九年二月

# 目 录

绪论	1
----	---

## 第一部分 静力学

第一章 静力学的基本知识	2
§ 1-1 运动和静止	2
§ 1-2 力的概念	2
§ 1-3 平衡的概念	4
§ 1-4 静力学公理	4
§ 1-5 约束和约束反力	8
§ 1-6 约束反力的方向	9
§ 1-7 受力图	12
复习题	16
习题	17
第二章 平面汇交力系	21
§ 2-1 平面汇交力系实例	21
§ 2-2 力在坐标轴上的投影	21
§ 2-3 平面汇交力系的合成	23
§ 2-4 平面汇交力系的平衡	25
复习题	30
习题	31
第三章 力矩和力偶	35
§ 3-1 力矩的概念	35
§ 3-2 杠杆的力矩平衡	36
§ 3-3 力偶的概念	37
§ 3-4 平面力偶系的合成和平衡	39
复习题	40
习题	41
第四章 平面任意力系	44
§ 4-1 平面任意力系实例	44
§ 4-2 力的平移	44
§ 4-3 平面任意力系的简化	46
§ 4-4 平面任意力系的合成和平衡	47
§ 4-5 平面平行力系的平衡	51
§ 4-6 均布载荷	54
§ 4-7 固定端约束	55

§ 4-8 典型约束小结	58
复习题	59
习题	60
<b>第五章 摩擦</b>	<b>66</b>
§ 5-1 概述	66
§ 5-2 滑动摩擦	66
§ 5-3 考虑摩擦的平衡问题	68
§ 5-4 摩擦角和自锁	71
* § 5-5 螺纹的摩擦和自锁	72
§ 5-6 滚动摩擦	74
复习题	75
习题	76
<b>第六章 空间力系</b>	<b>79</b>
§ 6-1 轴的受力分析	79
§ 6-2 重心的概念	81
§ 6-3 组合形体的重心	82
复习题	85
习题	85

## 第二部分 材料力学

<b>第七章 概论·拉伸和压缩</b>	<b>87</b>
§ 7-1 材料力学的任务	87
§ 7-2 杆件变形的基本形式	88
§ 7-3 拉压时的内力·截面法	90
§ 7-4 拉压时的应力	92
§ 7-5 拉压时的变形·虎克定律	94
§ 7-6 许用应力和强度计算	97
§ 7-7 钢丝绳和螺钉的强度计算	100
§ 7-8 温差应力	102
复习题	103
习题	104
<b>第八章 材料的机械性能</b>	<b>108</b>
§ 8-1 材料机械性能的试验	108
§ 8-2 低碳钢静拉伸试验	108
§ 8-3 灰铸铁和其它材料的静拉伸试验	111
§ 8-4 压缩试验	111
§ 8-5 应力集中	112
§ 8-6 交变应力和持久极限	113
§ 8-7 硬度	114
§ 8-8 冲击韧性	114

复习题	116
<b>第九章 剪切</b>	<b>117</b>
§ 9-1 剪切概念	117
§ 9-2 剪切时的内力和应力	117
§ 9-3 剪切变形和虎克定律	119
§ 9-4 挤压	120
§ 9-5 剪切和挤压的强度计算	121
复习题	125
习题	125
<b>第十章 扭转</b>	<b>128</b>
§ 10-1 扭转的概念·外力偶矩的计算	128
§ 10-2 扭转时的内力	130
§ 10-3 圆轴扭转时的应力	131
§ 10-4 极惯性矩和抗扭矩	134
§ 10-5 圆轴扭转时的变形	136
§ 10-6 扭转的强度和刚度计算	137
复习题	140
习题	141
<b>第十一章 弯曲</b>	<b>144</b>
§ 11-1 弯曲的概念·梁的种类	144
§ 11-2 梁弯曲时的内力	145
§ 11-3 弯矩图	147
§ 11-4 弯曲时的正应力	152
§ 11-5 轴惯性矩和抗弯矩	155
§ 11-6 弯曲强度计算	159
§ 11-7 梁的合理形状	163
§ 11-8 弯曲的变形	165
§ 11-9 基本变形小结	167
复习题	169
习题	170
<b>第十二章 复合强度</b>	<b>174</b>
§ 12-1 复合强度的概念	174
§ 12-2 弯曲和拉压的组合作用	175
§ 12-3 偏心拉压	177
§ 12-4 圆轴弯曲和扭转的组合作用	178
复习题	180
习题	180
<b>第十三章 压杆稳定</b>	<b>183</b>
§ 13-1 稳定的概念	183
§ 13-2 临界力和欧拉公式	183

§ 13-3 压杆的稳定计算 .....	185
复习题 .....	188
习题 .....	189
习题答案 .....	190
211 .....	191
212 .....	191
213 .....	191
214 .....	191
215 .....	191
216 .....	191
217 .....	191
218 .....	191
219 .....	191
220 .....	191
221 .....	191
222 .....	191
223 .....	191
224 .....	191
225 .....	191
226 .....	191
227 .....	191
228 .....	191
229 .....	191
230 .....	191
231 .....	191
232 .....	191
233 .....	191
234 .....	191
235 .....	191
236 .....	191
237 .....	191
238 .....	191
239 .....	191
240 .....	191
241 .....	191
242 .....	191
243 .....	191
244 .....	191
245 .....	191
246 .....	191
247 .....	191
248 .....	191
249 .....	191
250 .....	191
251 .....	191
252 .....	191
253 .....	191
254 .....	191
255 .....	191
256 .....	191
257 .....	191
258 .....	191
259 .....	191
260 .....	191
261 .....	191
262 .....	191
263 .....	191
264 .....	191
265 .....	191
266 .....	191
267 .....	191
268 .....	191
269 .....	191
270 .....	191
271 .....	191
272 .....	191
273 .....	191
274 .....	191
275 .....	191
276 .....	191
277 .....	191
278 .....	191
279 .....	191
280 .....	191
281 .....	191
282 .....	191
283 .....	191
284 .....	191
285 .....	191
286 .....	191
287 .....	191
288 .....	191
289 .....	191
290 .....	191
291 .....	191
292 .....	191
293 .....	191
294 .....	191
295 .....	191
296 .....	191
297 .....	191
298 .....	191
299 .....	191
300 .....	191



## 绪 论

现代化的工业生产广泛使用着各种机器和设备。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,有分离物料用的塔等,这些都是静止的设备;还有输送物料用的泵和压缩气体用的压缩机等,则都是运转的机器。这些机器和设备是化工生产的技术装备,它们质量的优劣是直接影响化工生产技术水平的重要因素。

随着化工生产的飞速发展,化工生产的机器和设备日益复杂。对于化工生产技术人员,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械的构造和原理,分析受力情况和工作能力,为机器和设备选择适宜的材料,并能正确地选用标准的化工机器和设备的通用零部件等问题。学好《化工机械基础》,将为我们在这方面提供必要的理论知识。《化工机械基础》是一门技术基础课,共分五个部分。

第一部分静力学,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,确定各个力的大小和方向,为以后的设计计算打下基础。

第二部分材料力学,研究物体受力作用时的坚固程度和变形情况。为化工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。

第三部分化工材料,研究化工机器和设备常用材料的各种性能,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、盐等对机器和设备的材料具有强烈的腐蚀性的物料。因此,化工材料是个复杂的问题。

第四部分化工容器,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,为化工设备的设计提供基础知识。

第五部分机械原理和机械零件,研究常用机构的工作原理、运动规律,以及通用零部件的设计方法和标准选用等问题,为化工生产常用的机械传动设计提供基础知识。

总之,《化工机械基础》是有关化工机器和设备设计基础知识的一门课程。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。

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;而且还要通过必要数量的例题和习题的练习,比较熟练地掌握基本运算技能;此外,还要熟悉一些化工机器和设备的设计资料 and 了解化工机器和设备的实际运行情况。我们不但要学习书本理论,而且还要学习生产实践,不断提高我们分析问题和解决问题的能力,为把我国建设成为具有现代化的工业、现代化的农业、现代化的国防和现代化的科学技术的伟大社会主义国家而贡献力量。

# 第一部分 静力学

## 第一章 静力学的基本知识

### § 1-1 运动和静止

物质是客观的存在，整个自然界都是由各种物质组成的。自然界中的一切物质都在不断地发展和变化，即一切物质都在不停地运动。物质的运动形式是多种多样的，包括了自然界中的一切变化和过程。最简单的一种物质运动形式，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。机械运动在自然界和工程上随时都可以遇到，例如星球的运动、车船的行驶、机器的运转等。除了最简单的机械运动外，还有发热、发光、电磁现象、化学变化以及人们头脑中的思维活动等各种不同的运动形式。在物质运动的所有各种形式之间有着相互的联系，而且在一定条件下，运动形式可以相互转化，但各种运动形式之间存在着本质的差别，各有自己的特点和规律。研究机械运动有助于研究其它形式的运动，但不能包罗或代替对其它形式运动的研究。

物体的位置只能相对地描述，我们不能抽象地讨论物体在空间的位置，而只能说明它与某个选定的具体参考物的相对位置。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的参考物的相对运动。

作为观察物体运动用的参考物是可以任意选定的，同一物体对不同参考物的运动是不相同的。例如火车行驶时，对于地球这个参考物来说，车厢里的座位正随着火车向前运动；但对于车厢参考物来说，座位却是不动的。

宇宙间的一切物体都在运动，任何选定的参考物本身也在运动。虽然如此，但当某个物体相对于选定的参考物的位置固定不变时，我们就说该物体对于所选定的参考物来说处于静止状态。上例中，由于座位在车厢里的位置是固定不变的，因此对车厢来说座位是静止的。由此可见，静止只是运动的一种特例，它说明物体的运动与参考物的运动完全一样。应该注意：运动是物质的固有属性，运动是物质存在的形式，因此静止是相对的，而运动则是绝对的。

工程上最常选用地球作为参考物，固定在地球上的一切物体，例如房屋、设备、机器的底座等，都是静止的。一般所说的静止，都是指相对于地球的静止。

### § 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而逐步建立起来的。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,物体的形状也发生改变。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。

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。抓住起决定性作用的主要因素,而舍弃次要因素,这种科学的抽象,能更深刻、更正确、更完全地反映着自然。

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。

我们并不研究力是怎样发生的,即不研究产生力的物理原因,而只研究力对物体的作用效果。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。

力的大小表明物体相互作用的强烈程度,在国际单位制(SI制)中,力的单位是“牛顿”(N), $1\text{ 牛顿}=1\text{ 千克}\cdot\text{米}/\text{秒}^2$ ,或“千牛顿”(kN), $1\text{ kN}=10^3\text{ N}$ ;在工程单位制中,力的单位是“公斤”(kg)或“吨”(t), $1\text{ t}=10^3\text{ kg}$ 。这两种单位制之间可以换算: $1\text{ kg}=9.80665\text{ N}$ ,通常可简化为 $1\text{ kg}=9.8\text{ N}$ 。

力的作用是具有方向性的。静止物体在单独一个力的作用下所产生的运动方向,就是这个力的方向。

力的作用点就是两物体相互作用的部位。大小和方向相同的两个力,如果它们的作用点不同,那么它们的作用效果也就不同。例如移动木箱时,拉力作用点的位置较低,木箱就往前移动(图 1-1a);如果拉力作用点的位置太高,木箱就要翻倒(图 1-1b)。

因此,在说明一个力时,应该同时说明力的大小、方向和作用点三个要素。

因为力可由三个要素即大小、方向和作用点来表示,因此力具有矢量所具备的条件,所以力

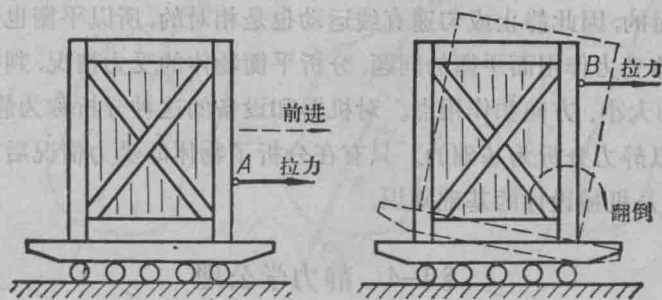


图 1-1

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  $\mathbf{P}$ 。

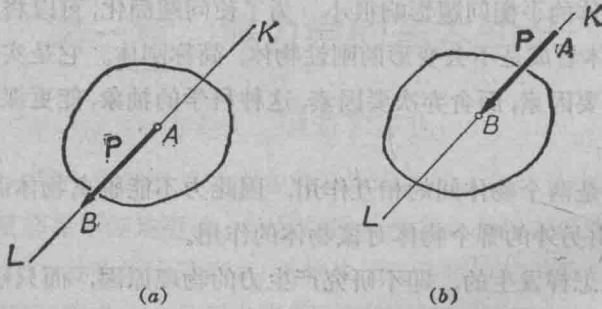


图 1-2

### § 1-3 平衡的概念

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。

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。

单独的力作用在物体上,会使物体的运动状态发生改变,但是受某种力系作用的物体,它的运动状态却可能并不改变。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不改变运动状态,则称此物体处于平衡状态,称这个力系为平衡力系。静止或匀速直线运动,其运动状态不变,所以静止或匀速直线运动都是平衡状态,作用在静止或匀速直线运动物体上的力系都是平衡力系。

由于运动是相对的,因此静止或匀速直线运动也是相对的,所以平衡也是相对的。

静力学研究物体受力作用而平衡的问题,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,而机器运转时的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,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, 刚体一定是处于平衡状态。

这个公理说明了两个力平衡时应该满足的三个条件, 这三个条件缺一不可。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, 并不能使刚体平衡(图 1-4)。

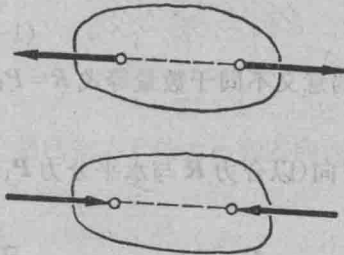


图 1-3

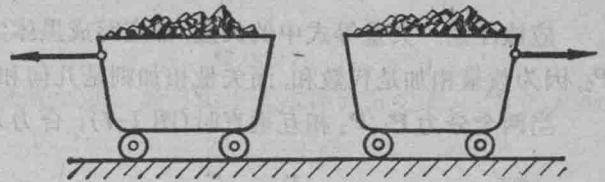


图 1-4

**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。

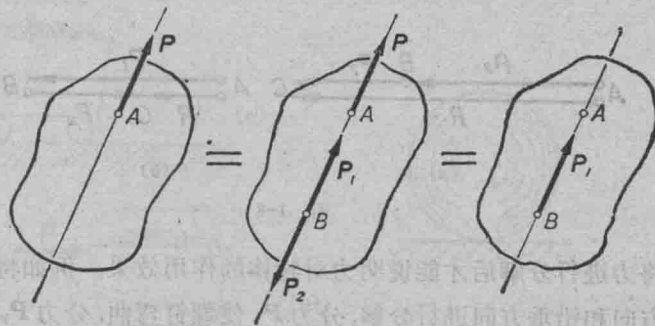


图 1-5

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,合力的大小、方向和作用线可由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  $\overline{AB}$ 、 $\overline{AC}$  表示,平行四边形  $ABDC$  的对角线  $\overline{AD}$  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:

$$R = P_1 + P_2 \quad (1-1)$$

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。

当两个分力  $P_1$ 、 $P_2$  相互垂直时(图 1-7),合力  $R$  的大小和方向(以合力  $R$  与水平分力  $P_1$  的

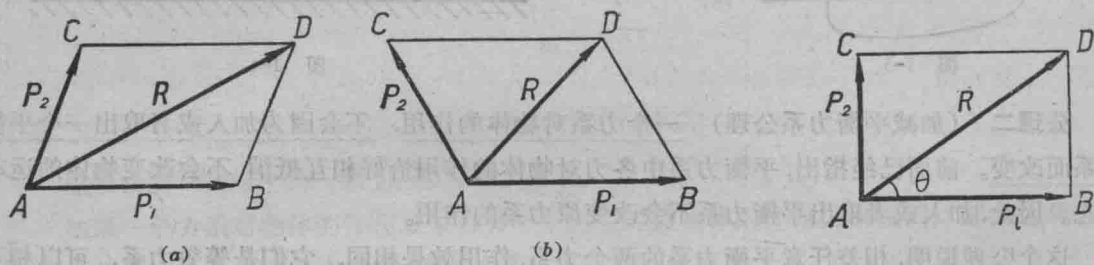


图 1-6

图 1-7

夹角  $\theta$  表示)可以用下列方法计算得到:

$$\left. \begin{aligned} R &= \sqrt{P_1^2 + P_2^2} \\ \operatorname{tg} \theta &= \left| \frac{P_2}{P_1} \right| \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

当两个分力  $P_1$ 、 $P_2$  的作用线重合时,合力  $R$  的大小是两个分力  $P_1$ 、 $P_2$  的和或差,合力  $R$  的方向与较大的分力  $P_1$  的方向相同(图 1-8)。这时,才可以写成数量等式

$$R = P_1 \pm P_2$$

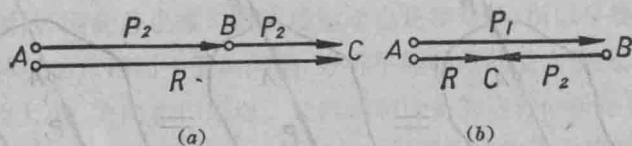


图 1-8

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。例如将图 1-9 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 1-10 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。

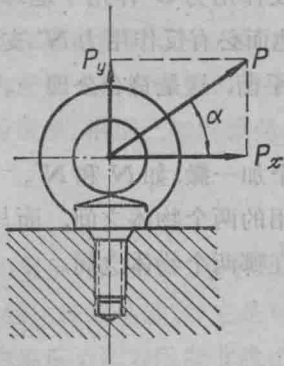


图 1-9

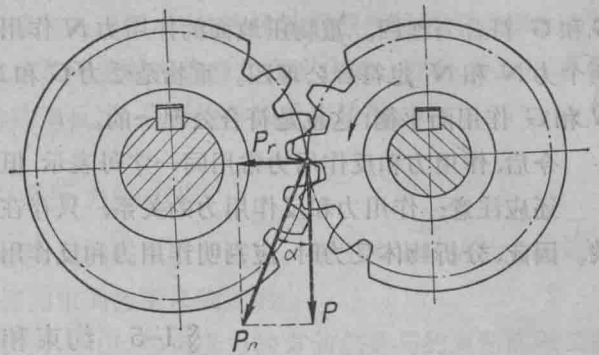


图 1-10

当已知力  $P$  的大小和方向(力  $P$  与  $x$  轴的夹角  $\alpha$ )时,就可由下式求得其分力  $P_x$ 、 $P_y$  的大小(图 1-9):

因为

$$\frac{P_x}{P} = \cos\alpha, \quad \frac{P_y}{P} = \sin\alpha$$

所以

$$\left. \begin{aligned} P_x &= \pm P \cos\alpha \\ P_y &= \pm P \sin\alpha \end{aligned} \right\} \quad (1-3)$$

这时,我们可以把  $P_x$ 、 $P_y$  看成代数量,它们与坐标轴同向时为正值,反向时为负值。

**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 1-11a),人手推车的力  $P$  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 1-11b)。

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 1-12)。重物

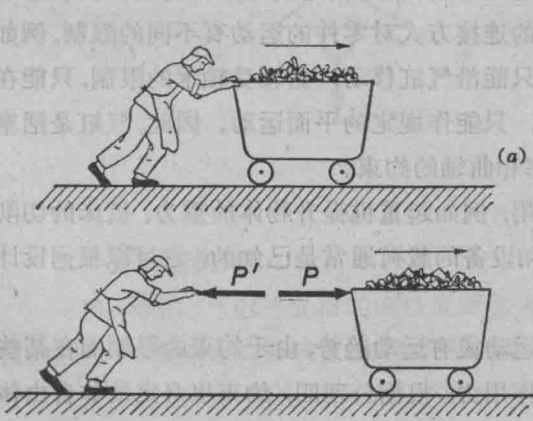


图 1-11

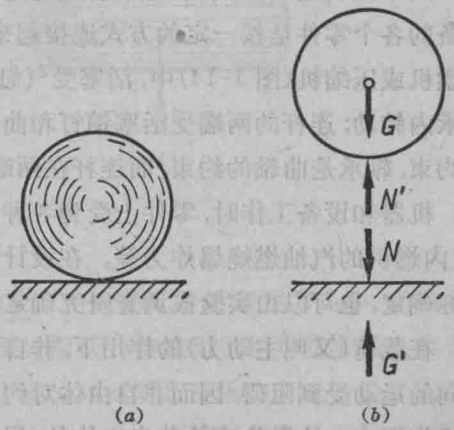


图 1-12

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 $G'$ 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 1-13),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 1-13 中的电线就是电灯的约束。

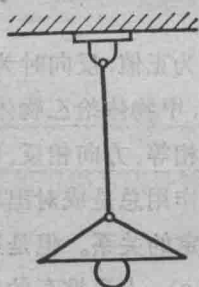


图 1-13

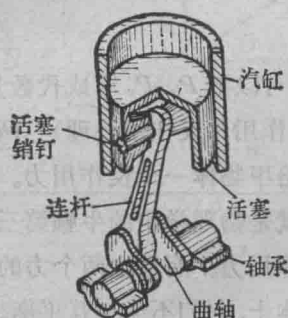


图 1-14

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 1-14)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而引起的,它是随着载荷的变化而变化的。在静力学中,我们利用平衡的规律,根据已知的载荷求得未知的约束反力,分析物体的受力情况。

### § 1-6 约束反力的方向

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和作用点,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 1-15a 的电线拉力  $T$  和图 1-15b 的绳索拉力  $T_1, T_2$ 。

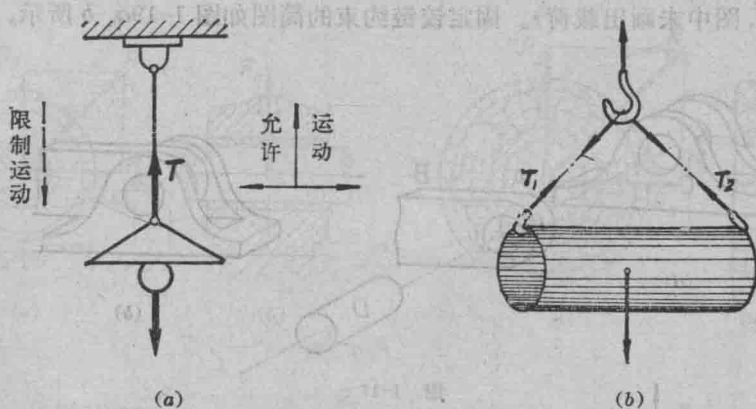


图 1-15

#### 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