



高等工业专科学校教学用书

理 论 力 学

(机制类专业用)

西安交通大学 編
理論力学教研組

江苏人民出版社



高等工业专科学校教学用书

理 论 力 学

(机制类专业用)

西安交通大学 編
理論力学教研組

江苏人民出版社

內 容 提 要

本书主要根据西安交大去年四月出版的“理論力学”修改而成。参加編选修改工作的有南京机械专科学校、常州工业专科学校的教师,并得到南京工学院教师的指导。全书包括靜力学、运动学、动力学三部分。

对照交大所編原书,删去的主要内容有图解靜力学、桁架、定点轉动和刚体一般运动、动力学中的质点相对运动、拉格伦日方程、回轉現象的近似理論、以及某些可删去的数学推导。修改的主要内容有点的复合运动、动能定理、及虛位移原理等部分。另外,在动力学部分将质点与质点系的問題合併在一起。

本书适用于教学时数为110—120学时的三年制工业专科学校机制类专业。

高等工业专科学校教学用书

理 論 力 学

(机制类专业用)

西安交通大学
理論力学教研组 編

*

江苏省书刊出版业登记证出〇〇一号

江苏人民出版社出版

南京湖南路一三号

江苏省新华书店发行 江苏新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 14 1/2 字数 322,000

一九六一年九月第一版

一九六一年九月南京第一次印刷

出数 1—506

目 录

緒 論	1
-----	---

靜 力 学

第 一 章 靜力学基本概念及公理	4
------------------	---

§ 1-1 靜力学研究对象、刚体及平衡的概念	4
§ 1-2 力的概念、力系	4
§ 1-3 靜力学基本公理	5
§ 1-4 約束及約束力、受力图	7

第 二 章 共点力系	12
------------	----

§ 2-1 共点力系合成的几何法	12
§ 2-2 共点力系平衡的几何条件	14
§ 2-3 力的分解	17
§ 2-4 力在坐标軸上的投影	17
§ 2-5 共点力系合成的分析法	19
§ 2-6 共点力系平衡的分析条件	20

第 三 章 力偶理論	25
------------	----

§ 3-1 两平行力的合成	25
§ 3-2 力偶矩、等效力偶	27
§ 3-3 力偶矩的矢量表示法、相交平面的力偶矩的合成	28
§ 3-4 力偶系的平衡条件	30

第 四 章 平面力系	32
------------	----

§ 4-1 力对点之矩	32
§ 4-2 平面力系向已知点簡化、主矢量与主矩	33
§ 4-3 平面力系合成为合力、伐里农定理	36
§ 4-4 平面力系合成为力偶	37
§ 4-5 平面力系的平衡条件	37
§ 4-6 平面平行力系的平衡条件	40

§ 4-7 几个物体组成的系统的平衡	42
§ 4-8 静不定问题的概念	47
第 五 章 摩擦	48
§ 5-1 滑动摩擦、库伦摩擦的近似定律	48
§ 5-2 摩擦锥、自锁现象	51
§ 5-3 滚动摩擦	55
第 六 章 空间力系	57
§ 6-1 力对点之矩的矢量示表法	57
§ 6-2 力对轴之矩	58
§ 6-3 力对已知点之矩与对通过此点的轴之矩间的关系	59
§ 6-4 空间力系向已知中心简化、主矢量与主矩	59
§ 6-5 空间力系合成为一合力、空间力系的伐里农定理	62
§ 6-6 空间力系合成为一力偶	63
§ 6-7 空间力系合成为力螺旋	64
§ 6-8 空间力系的平衡条件	65
第 七 章 平行力系中心与重心	69
§ 7-1 平行力系中心	69
§ 7-2 重心	71
§ 7-3 形状简单的物体的重心	73
§ 7-4 组合体的重心	74
§ 7-5 实验法求重心	75
运 动 学	
第 八 章 运动学导言	77
第 九 章 点的运动学	78
§ 9-1 点的位置决定法、运动方程式	78
§ 9-2 矢量导数	80
§ 9-3 点的速度	82
§ 9-4 点的加速度	84
§ 9-5 加速度沿自然坐标轴分解	85
第 十 章 刚体运动的基本形式	92
10-1 平行移动	92

10-2 刚体繞定軸轉动	93
10-3 繞定軸轉动刚体内各点速度和加速度的分布	96
10-4 角速度是矢量,用矢积表示綫速度、切向加速度和法向加速度	97
第十一章 点的复合运动	99
§ 11-1 点的复合运动的概念	99
§ 11-2 速度合成定理	101
§ 11-3 牽連运动为平动时加速度合成定理	103
§ 11-4 牽連运动为定軸轉动时加速度合成定理	104
第十二章 刚体的平面运动	109
§ 12-1 刚体平面运动方程式	109
§ 12-2 平面运动分解为平动与轉动	110
§ 12-3 平面图形内各点的速度	111
§ 12-4 速度图解	115
§ 12-5 繞平行軸轉动的合成	116
§ 12-6 平面图形内各点的加速度	119
§ 12-7 平面机构运动分析实例	122
动 力 学	
第十三章 动力学基本定律	126
§ 13-1 动力学的对象和两大基本問題	126
§ 13-2 动力学基本定律和基本概念	126
§ 13-3 慣性座标系和經典力学的适用范围	129
§ 13-4 单位制和量綱	130
第十四章 质点运动微分方程式	131
§ 14-1 质点运动微分方程式	131
§ 14-2 质点动力学第一类問題——已知运动求力	132
§ 14-3 质点动力学第二类問題——已知力求运动	133
第十五章 动量定理	139
§ 15-1 质点的动量、力的冲量	139
§ 15-2 质点动量定理	140
§ 15-3 质点系动量定理	143
§ 15-4 质点系质心运动定理	144

第十六章 动量矩定理	154
§ 16-1 动量矩	154
§ 16-2 质点动量矩定理	154
§ 16-3 质点系动量矩定理	156
§ 16-4 刚体繞定軸轉动微分方程式、轉动慣量的概念	160
§ 16-5 轉动慣量的普遍公式	162
§ 16-6 轉动慣量的計算举例	163
§ 16-7 刚体对于平行軸的轉动慣量	165
第十七章 动能定理	167
§ 17-1 功和功率	167
§ 17-2 质点的动能	170
§ 17-3 质点的动能定理	170
§ 17-4 质点系的动能	172
§ 17-5 质点系的动能定理	173
§ 17-6 保守力, 位能, 机械能量守恒定理	174
第十八章 虚位移原理	180
§ 18-1 机械系統、約束、广义座标	180
§ 18-2 虚位移	181
§ 18-3 理想約束	182
§ 18-4 虚位移原理	183
第十九章 达朗伯原理	187
§ 19-1 慣性力	187
§ 19-2 达朗伯原理	188
§ 19-3 刚体上各点的慣性力向质心的簡化	193
第二十章 振动的基本理論	195
§ 20-1 质点的自由振动	196
§ 20-2 阻尼对自由振动的影响(衰减振动)	200
§ 20-3 质点的受迫振动	200
§ 20-4 阻尼对受迫振动的影响	204
§ 20-5 振动的利用与消除	208

第二十一章 碰撞	212
§ 21-1 质点的碰撞.....	212
§ 21-2 两个物体的对心正碰撞, 恢复系数.....	214
§ 21-3 碰撞时动能的损失.....	216
§ 21-4 质点系的碰撞.....	218
§ 21-5 碰撞冲量对繞定軸轉动的刚体的作用, 碰撞中心.....	219

緒 論

理論力學是研究物體機械運動規律的科學

“就最一般的意義來說，運動是物質的存在形式、物質的固有屬性，它包括宇宙中所發生的一切變化和過程，從簡單的位置變動起直到思維止。”（恩格斯，自然辯證法，人民出版社1955年版，第46頁）按照唯物辯證法的觀點，一切的物質是相互聯繫着的，就是說它們在相互作用着。正是由於這種相互作用，構成了物質世界的各種各樣形式的運動，而表現為熱、電磁、光、化學、力學等等現象。因此，辯證唯物主義告訴我們，一切物質都存在于運動中，物質如果沒有運動，就無法捉摸了。另一方面，很顯然的，說到運動也只有物質才在運動，不可能存在沒有物質的運動。所以，恩格斯說：“沒有運動的物質和沒有物質的運動，同樣是不可思議的。”自然界和人類社會生活的現象都證明了這論點。由此可見，運動是物質不可分割的屬性，是物質存在的形式。本課程所研究的機械運動是上述廣泛意義下的物質運動形式之一，它表示在時間的過程中，物體間或物體部分間相互位置的改變。與其他的運動形式相比較，這種運動形式可以認為是最簡單的。物體的平衡狀態（例如靜止和勻速直線運動）則是機械運動的相對的暫時的表現。

由於物體之間相互的機械作用，即力的作用，物體的運動發生改變。物體相互間作用的力與物體機械運動的改變之間存在着密切的聯繫。理論力學研究機械運動的規律，具體的說，就是研究力與機械運動的改變之間的關係。

機械運動雖是最簡單的運動形式，然而在自然界和工程技術中是最常見的，行星的運動、一切機器的運動^①等都是機械運動。可見，理論力學所研究的運動規律，可以用來解釋很多的自然現象，更重要的它還為解決一系列工程技術問題（如建築結構計算、機械設計、火箭飛行原理等方面的問題）打下了必要的基礎。在材料力學、機械原理、零件設計、流體力學、振動學以及各種專業的動力學（如內燃機動力學、機車動力學）中，許多有關力學的技术計算常常應用到本課程中所講的理論知識，所以理論力學是這些後續課程的基礎。綜上所述，學習理論力學的重要性是顯而易見的。

宇宙間作機械運動的物體是數量極多的，要一個一個地加以研究，無論如何是不可能的，必須把這些物體概括起來考慮，這樣，在各種不同的問題的情況下略去次要因素後，我們把作機械運動的物體歸結為幾個所謂力學模型。在本課程中遇到的有質點（具有質量的幾何點）、質點系（相互間有某種聯繫的一群質點）和剛體（各質點間距離保持不變的質點系）。這些從力學的角度所考慮的物體是把真實物體在一定情況下抽象的結果。在處理實際問題時要有辯證的觀點，例如，研究行星繞日的運動時，行星的大小在運動過程中可以忽略不計，因

① 除非特別指出，以後提到運動都指機械運動。

此我們可以把行星看作質點。這些力學模型反映了作機械運動物体的最基本屬性，使得我們的研究大大地簡化。

和一切科學一樣，理論力學是建立在生產實踐、觀察和試驗的基礎上的，它和人類生活實踐及生產實踐密切聯系着。古代遺留下來的一些建築物使我們相信那時人們已經有了相當豐富的力學知識。遠在我國黃帝時代（距今四千多年前），勞動人民已開始制作舟、車和耕作機械，建築宮室。到戰國時代，已經在機械製造和建築結構上有着巨大的成就。同時代的墨子則在力學理論上亦有很大成就，他對力所下的定義，在現在看來也是比較完善的。可見，力學的發展在一開始就是密切地依賴着生產實踐。在後來的發展中也一樣。在封建社會，因生產停滯不前，力學的發展也差不多陷于停頓。直到十五世紀西方文藝復興，資本主義興起，貿易、航海發展起來，建築、航海、軍事等的發展向力學提出了新的刻不容緩的任務，實踐要求更完整的理論來指導。因而，力學就隨之有了空前的發展。哥白尼（1473—1543）創立了太陽中心說，在科學界引起了宇宙觀大革命。刻卜勒（1571—1630）根據哥白尼的發現，並繼承了第谷·勒拉格（1546—1601）對行星繞日運動多年的觀察研究，得出了著名的行星運行三大定律，這三大定律又成為牛頓發現萬有引力的基礎。此後伽利略（1564—1642）從觀察落體運動中提出了加速度的概念，又在對物體沿斜面運動的研究中確立了慣性定律，因而奠定了動力學的初步基礎，他在力學方面研究的重要意義，不僅在於他所獲得的一些研究成果，而且也由於他在力學中有系統地引用了實驗的方法。牛頓（1643—1727）總結了前人的成就，確立了若干基本定律，創立了現代的經典力學，此外牛頓還發現了萬有引力定律，成為理論天文學和天體力學的基礎。

力學的上述發展過程，說明了人們如何把力學的感性知識，提高為概念以至理論，而且由初級的理論提高到較高級的理論。自發現某些現象的特殊規律（如刻卜勒行星運行定律），到更一般的規律（如牛頓定律），是經歷了無數次實踐——理論——實踐的過程的，正是這種無數次的過程，使得人們的認識不斷提高和深化。

在社會主義陣營中，生產大發展向力學提出了更高更多的要求，人類不滿足於自己的搖籃——地球，蘇聯於1959年1月發射的第一顆宇宙行星，充分說明了蘇聯在一系列的尖端科學部門，其中也包括力學理論，達到了頂峯。我國工農業的大躍進，也提出了許多力學問題需待解決，如三峽水利樞紐工程建設中的壩體受力問題、功率巨大的渦輪發電機主軸的設計和止推軸承的設計問題等。此外，在大躍進的過程中不斷出現了許多土專家，他們根據勞動中累積的經驗，創造和改良了許多生產工具，例如繩索牽引双向犁、手搖變速水車和各種形式的抽水設備等，這些創造都是科學地利用了力學的原理。

一切力學理論都是從實踐——理論——實踐這一規律中一点一滴積累起來的，但是我們學習這些理論時，並不要求我們去經歷發展中同樣的過程。為了可以更全面更系統地掌握這一門發展得比較完整的理論力學，我們學習時是從公理或定律出發，應用數學推演的方法導出其他定理和結論，這樣做是符合多、快、好、省的原則的。但是，前人在直接經驗基礎上歸納成的理論，對於一個缺少生產實踐經驗的讀者來說，“他們接受這種知識是完全必要的，但是必須知道，就一定的情況說來，這種知識對於他們還是片面性的，這種知識是人家證明了，而在他們則還沒有證明的。最重要的，是善于將這些知識應用到生活和實際中去。……”

(毛主席“整頓党的作风”)因此,讀者在接受了书本的知識(接受这种知識是必要的)后,还須要在試驗观察中,在生产实践中去驗證它。是否掌握这些理論,唯一的判別标准是能否在生产实践中去应用它。可见,任何片面的強調理論,盲目地崇拜理論而輕視实践的看法是极端錯誤的,反之,以为理論不重要,显然也是不正确的。我們应随时注意学习理論,并运用理論去解决实际問題。

为了便于研究,通常把理論力学分为三部分(这样做也符合力学的发展过程),即靜力学、运动学和动力学。

靜力学研究作用在物体上的力之平衡的学問。

运动学是从几何学的观点研究点和刚体的运动,而不考虑作用于点和刚体上的力。

动力学是研究作用于物体上的力与运动变化之間的关系。

靜 力 学

第一章 靜力学基本概念及公理

本章将介绍作为靜力学基础的几个公理,并阐述討論靜力学时首先要碰到的平衡、刚体和力等几个基本概念。

§1-1 靜力学研究对象·刚体及平衡的概念

在緒論中已經指出,靜力学是研究作用在物体上的力之平衡的學問。在靜力学中,可以把物体处于平衡状态理解为所考虑的物体相对于地球保持靜止或作勻速直綫运动。关于平衡的更完备的含义留在动力学中加以阐述。靜力学部分主要研究刚体受力平衡的問題,因此有时也称这一部分为刚体靜力学。为了便于找到各种力系的平衡条件和解决其他的力学問題,我們需要将作用于刚体上的力系簡化。所以在刚体靜力学中我們將研究两个主要問題:

(i)将作用于刚体上的力系代換为与它等效的另一較簡單的力系,一般称为力系的簡化。

(ii)推証刚体受力作用而平衡时,力系的平衡条件。

上面所提到的刚体是指什么物体呢?由經驗知道,任何物体在受到力的作用时,都将发生不同程度的变形(这种物体称为变形体)。例如列車駛过鉄桥,桥墩发生压縮变形,桥梁发生弯曲变形;等等。有时候变形非常微小,以致于只有用特殊的仪器才能察觉到,例如剛球受压的变形就是这样的。由于在很多情况下物体的变形对于研究平衡問題的影响甚小,成为次要因素。在研究这类物体的平衡問題时,变形就可略去不計;因此,在靜力学中引入刚体的概念。所謂刚体是指无论受到怎么样的力的作用,形状都不会改变的物体,換句話說,刚体是指在任何情况下,物体內任意两点間距离都不会改变的物体。必須強調指出,刚体是根据某些物体变形很小这一客观事实經抽象化得出的概念,事实上,刚体是不存在的。不过把所研究的問題中将变形可以略去不計的物体看成刚体,将会大大地簡化力对物体的作用以及力系平衡条件等問題的研究。以后我們会看到变形体平衡問題的研究,也都是以刚体靜力学为基础,不过再加上某些补充条件而已。因此刚体靜力学是最基本的,同时也具有极大的实用价值。

§1-2 力的概念·力系

力的概念最初是从人們在提、举、推、擲某一物体并使該物体的运动状态发生改变时,由于肌肉紧张、收縮感觉而产生的。

我們常看到，周围的物体在改变着自己的运动状态——物体在空間的相对位置及相对速度，例如，当物体向地面下落时，其速度逐漸增加；火車制动时，其速度逐漸减小，最后停下来，等等。我們不禁要問，什么原因促使物体的运动状态发生变化呢？观察及試驗的結果表明：物体运动状态的改变是由于其他物体对这个物体作用的结果。

甲物体对乙物体的作用，其結果使乙物体的运动状态发生变化，这种作用称为甲物体作用于乙物体上的力。例如，地球对地面附近物体的作用，其結果使物体向地面下落，这种作用称为地球引力或重力；汽缸內蒸气膨胀时推动了活塞，此时蒸气的压力作用在活塞上，等等。这种两物体間的作用，为区别于其他作用（如化学作用），称为两物体間的机械作用。由此可见，力是物体与物体之間的机械作用。

在力学中不研究力的物理来源，而只研究力作用于已知物体上所产生的效果，或力对物体的效应。在理論力学中，凡是提到力的效果或效应，都是就力对于物体平衡或运动的影响而說的，这种效应称为力的外效应。至于力对于物体变形的影响，則称为力的内效应，在材料力学书中討論。

由观察及試驗得知，力对于已知物体的效应，完全决定于下述三个因素，(i) 力的作用点；(ii) 力的方向；(iii) 力的大小。

力的作用点就是物体上直接受力作用的点，力的方向即在此力作用下，静止质点开始运动的方向。为了量度力之大小，必須先选定一作为标准的单位力，将被量度之力与它比較，看被量度之力为单位力之几倍。在工程中常以 4°C 时 1 升水在北緯 45° 的海平面处所受之重力为单位力，称为公斤。因此，力之大小在工程中常以公斤計算。

如上所述，力是一有大小和方向的物理量，下面我們就会讲到力的加法是服从矢量相加法則的，因此力是矢量。和一切矢量一样，力矢量可用一带有箭头的有向綫段 AB 表示（如图 1-1），一般以矢量之起点表示力之作用点，矢量之方向表示力之方向，矢量的长短按照选定的比例尺表示出力之大小。

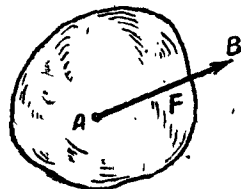


图 1-1

作用于已知物体上的一群力称为力系。如果有一力系作用到物体上，物体能保持其运动状态不变，則此力系称为平衡力系。平衡力系中任一力对于力系中其余的力來說称为平衡力。

如果作用于某一物体上的力系可用另一力系来代替，而物体的运动状态沒有改变，則此两力系称为等效力系。由此定义可知，如果两力系各与第三力系等效，則此两力系必然等效。如一力与一力系等效，則該力称为此力系的合力。

§1-3 静力学基本公理

静力学全部理論是以下述五个公理为基础的。

公理 1 —— 两力平衡公理 欲使作用于同一刚体上之两力平衡，其必要且充分条件为：此两力大小相等，方向相反，并沿着同一条作用綫。

本公理只适用于刚体，是推証平衡条件的基础。

公理 2 —— 加减平衡力系公理 在作用于刚体的任意一力系上，加入或取去任意平衡力系，并不改变对刚体的效应。

应用本公理可以推论出作用在刚体上之力的一项重要性质——力的可传性。

〔推论〕 一个力可沿其作用线在刚体内（或在刚体延长部分）任意移动，而不改变此力对该刚体的效应。

证明 设力 F 作用于刚体上 A 点（图 1-2），在刚体内（或在刚体延长部分）沿此力作用线 LL' 上任取一点 B 。今在 B 点加两个沿 LL' 线而方向相反的力 F_1, F_2 ，且令 $F_1 = F_2 = F$ 。根据公理 1 知， F_1, F_2 为平衡力系，再按公理 2 得知，力系 (F_1, F_2, F) 与 F 等效；另一方面，按公理 1， (F_2, F) 亦为平衡力系，再按公理 2，力系 (F_1, F_2, F) 与 F_1 等效。由此可知， F 与 F_1 等效，即可用 F_1 代替 F 而不改变对刚体的效应。这样，力 F 的作用点已由点 A 在刚体内（或在刚体的延长部分）沿其作用线移到点 B ，而不改变力对刚体的效应。

公理 3 —— 力的平行四边形公理 作用于物体上某点 A 之两力 F_1, F_2 的合力 R ，亦作用于同一点，其大小与方向可由以 F_1 和 F_2 为边所作的平行四边形的对角线表示（图 1-3）。

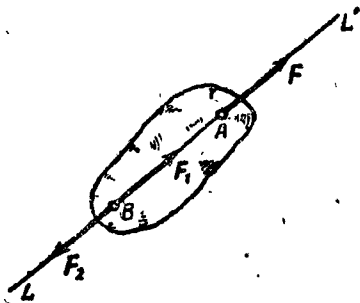


图 1-2

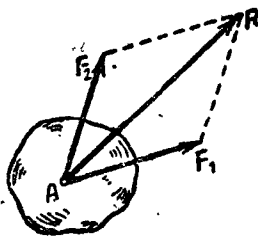


图 1-3

此公理可写成：

$$R = F_1 + F_2,$$

这里“+”是表示按平行四边形法则进行的矢量加法。根据上述三个公理，我们可以推得所谓三力平衡定理。

〔推论〕 若一刚体上受三力作用（其中二力的作用线相交于一点），并且处于平衡状态，则此三力必在同一平面内，并且它们的作用线必定汇交于一点。

证明 设有作用在刚体上点 A_1, A_2, A_3 的三力 F_1, F_2, F_3 ；已知 F_1 和 F_2 的作用线相交于点 B ；且刚体处于平衡状态。

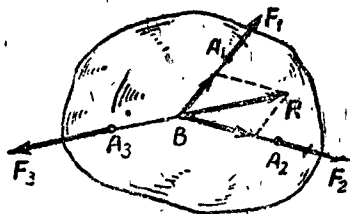


图 1-4

因 F_1, F_2 的作用线交于 B 点，按力的可传性，这两力可沿它们的作用线移到 B 点（图 1-4）；并按力的平行四边形公理相加，得 $R = F_1 + F_2$ 。则作用在刚体上的力系 (F_1, F_2, F_3) 与力系 (R, F_3) 等效，但是刚体处于平衡，根据两力平衡公理， R 与 F_3 必须沿同一直线。所以 F_3 的作用线与 R 的作用线重合。由于 R 的作用线通过 B 点且与 F_1 和 F_2 在同一平面内，则 F_3 的作用线也

必定通过 B 点且与 F_1, F_2 在同一平面内。由此证明了此定理。

公理 2 及公理 3 是解决静力学中力系的合成和力的分解问题的基础。

公理 4 ——作用与反作用公理 对应于任一作用力,必同时有一反作用力,作用力与反作用力大小相等,方向相反,在同一条作用线上,但作用在不同的物体上。

例如物体 A 受到地球的引力 G (图 1-5), 则公理 4 告诉我们: 与此同时, 物体 A 也必定以与 G 大小相等, 方向相反且沿同一条作用线上之力 G' 吸引地球。

特别应注意, 作用力与反作用力是作用在不同物体上的两个力, 因此绝不能错误地引用公理 1, 认为作用力与反作用力为互成平衡之力系。

公理 4 是从一个物体的问题过渡到多个物体的问题的桥梁。

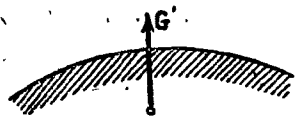


图 1-5

公理 5 ——刚化公理 当变形体在力系作用下处于平衡状态, 如假想这变形体为刚体, 则此假想刚体在原力系作用下, 将仍然保持平衡。

例如绳 AB 在 F_1 及 F_2 二力作用下处于平衡 (图 1-6), 则按此公理知, 假想 AB 为一不变形的刚杆, 则此时刚杆 AB 在原来的力 F_1 及 F_2 作用下仍然保持平衡。按公理 1 有 $F_1 = F_2$ 。换言之, 刚体平衡所须满足之条件, 对变形体来说亦必定要满足。但应注意, 满足了刚体之平衡条件, 对变形体不一定平衡。这一点很显然, 例如, 不变形的刚杆 AB 在 F_1, F_2 两力作用下处于平衡 (图 1-7), 但此时若 AB 为可变形的绳, 则不可能平衡了。

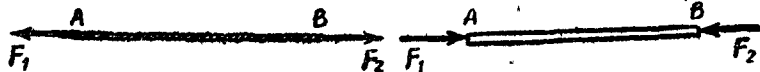


图 1-6



图 1-7

由此可得出结论: 刚体之平衡条件, 对变形体来说是平衡的必要条件, 但不是充分条件。

刚化公理在研究变形体静力学时, 具有特殊重要意义, 它建立了刚体静力学和变形体静力学之间的联系。可见, 以后讨论变形体的平衡问题时, 刚体的平衡条件必须全部满足。

§ 1-4 约束及约束力 · 受力图

如一物体在空间可不受任何限制地自由运动, 则此物体被称为自由体; 反之, 若物体上某处受到某种限制, 以致该处在空间沿某些方向的运动成为不可能, 则此物体被称为非自由体。那些阻碍非自由体运动的限制在力学中称为约束。在静力学中所遇到的约束, 都由与非自由体相連結或直接接触的物体所构成。例如, 对放置在水平桌面上的物体来说, 桌面就是约束, 因为桌面限制了这物体的向下运动, 使其成为不可能。又如对挂在不可伸长的绳上的物体来说, 绳就是约束, 因为绳限制了物体沿绳的方向离开绳向外运动, 使其成为不可能。既然约束是阻碍物体上某处沿某些方向运动的限制, 于是当物体沿着约束所能阻碍的方向有运动的趋势时, 约束就对物体作用一定的力以阻碍物体的运动。约束作用于物体阻碍物体沿某些方向运动之力, 称为约束力或约束反力。与约束力性质相反, 有些力主动地改变物体

的运动,这种力称为主动力,例如,地球引力。

静力学中所研究的问题,几乎都是非自由体的平衡问题。这种物体受了主动力的作用,虽有运动的趋势,却因被约束处受到约束力,而仍保持平衡。根据作用与反作用公理,已知物体作用于约束上的力,必定和这约束作用于物体上的约束力大小相等,而方向相反,所以约束力的大小可应用作用于物体上的力系的平衡方程式求得。至于约束力的方向总是与约束所能阻碍的运动方向相反。下面介绍几种常见的约束,并根据约束的性质决定各种约束力的方向。

(1) 绳索及链条——因为柔软的绳索,只能阻碍物体上与绳索连结的一点沿绳索方向离开绳索,而不能阻碍这一点沿其他方向的运动。所以,绳索对物体的约束力一定作用在物体与绳索所连结的点上,方位沿绳索,其指向背离物体(拉力)(图 1-8)。链条的约束力的决定与绳索的相同。

(2) 光滑接触——当物体搁置在光滑的支承面上(图 1-9),不论物体及支承面的形状如何,支承面只能阻碍接触点沿过该点的表面的法线而朝向支承面的运动,但不能阻碍该点离开支承面或沿其他方向的运动。所以约束力经过接触点、沿接触处的表面法线并指向物体(压力)。若物体搁置在光滑的两面角的棱边上(线接触,图 1-10),或搁置在杆子的光滑尖端上(点接触,图 1-11),约束力方向的决定与光滑支承面的情况相似。总之,无摩擦时,光滑接触构成的约束,约束力的作用线总是沿物体与约束表面接触点处的公法线,其指向朝向物体。

(3) 圆柱铰链(图 1-12)——在固定的圆柱形销钉 M 上,套一根具有圆孔的杆 AB ,按照杆受力情况的不同,销钉可能紧压在杆的不同点上,而紧连在 AB 上之物体只能绕垂直于图面之销钉轴旋转。圆柱铰链在工程中应用极为广泛,如门窗上之蝶形铰链、结构工程中的铰链支座(简图表示如图 1-13)等。

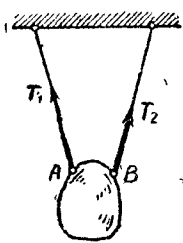


图 1-8

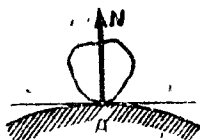


图 1-9

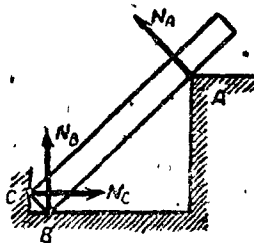


图 1-10

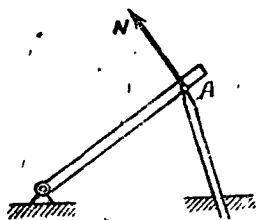


图 1-11

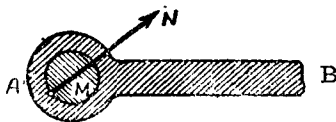


图 1-12

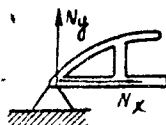


图 1-13

在无摩擦时,作用在物体上之约束力在垂直于销钉轴之平面内,并沿过圆柱面上的接触点的法线,其方向不能预先定出,因为它与杆受力情况有关。但通常用两相互垂直的分力 N_x, N_y 代替如(图 1-13)所示。

(4) 链杆——链杆是指两端用光滑销钉与其他物体相连的直杆,如图 1-14 中 AB 杆,假定自重不计,则只有在杆两端受力。链杆平衡,按公理 1,则其两端所受力必须沿同一直线,即沿杆的中心线。所以链杆对物体的约束力一定沿着杆的中心线,指向不能预先定出,它与物体受力情况有关。

(5) 辊轴支座——将铰链支座用几个辊轴支承在平面上,就成为辊轴支座(如图 1-15)。假定支座面光滑,则支座面不能阻止物体与支座面相连的点 A 沿着支座面的方向运动,只能阻止点 A 沿支座面法线向支座面运动。在附加特殊装置后,也能阻止点 A 在离开支座面的方向运动。所以支座对物体的约束力垂直于支承面,但指向不能预先决定。

(6) 球铰链(图 1-16)——在这种情况下,物体可绕固定点(球铰链的中心)旋转。这种铰链用途十分广泛,如汽车变速杆之接头,某些照相机与三角架之接头等就是。

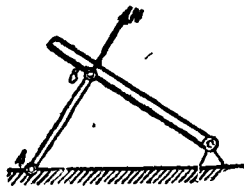


图 1-14

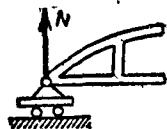


图 1-15

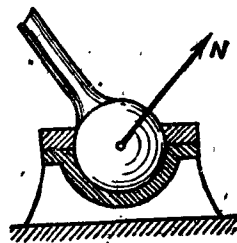


图 1-16

在无摩擦时约束力与球面垂直,通过固定点 O ,其方向亦不能预先定出,因为它与物体受力情况有关。

前面已讲过,我们所讨论的静力学是研究某个物体受力而平衡的问题,因此在研究静力学问题时,必定先要搞清二个問題:(i) 那一个物体是我们研究的对象,(ii) 研究对象上受到那些力作用。否则我们根本无法讨论。第一个問題称为确定研究对象,第二个問題称为分析受力情况。在分析研究对象的受力情况时,如遇到的是受有约束的非自由体,则必须用约束力来代替约束对物体的作用,称为约束的解除。为清晰起见,常把所选研究对象及其上所受之力单独画出,这样的图称为受力图。确定研究对象,分析受力情况及作出正确的受力图,是解静力学问题的关键所在。不了解这些步骤的重要性,不按这样的步骤进行分析,就会发生错误。所以,在解题时一定要先确定研究对象,再分析受力情况,接着作出正确的受力图。

为了帮助读者掌握这一套方法,现举例说明如下。

例 1-1 重物 C 挂于无重绳 AB 上,而绳用钩 B 固定在天花板上(图 1-17) 设重物 C 重为 G 。试求天花板所受力的的大小。

解:(1) 取重物 C 为研究对象(图 1-18, a)。

分析受力情况: 重物 C 上受两力,重力 G 及绳对 C 之约束力 T_A 。