

目 录

序言	ix
緒論	1

第一部分 理論力学

第一篇 靜力学

第一章 靜力学基本概念和公理	8
§ 1-1. 靜力学的内容	8
§ 1-2. 剛体与质点	8
§ 1-3. 力的概念	9
§ 1-4. 靜力学公理及几个基本定义	11
§ 1-5. 自由体. 非自由体. 約束及約束反作用力	16
§ 1-6. 約束反作用力的决定	18
§ 1-7. 受力图	22
复习题	24
练习题	24
第二章 平面汇交力系	28
§ 2-1. 平面汇交力系合成的几何法	28
§ 2-2. 平面汇交力系平衡的几何条件	30
§ 2-3. 力的分解	32
§ 2-4. 平面汇交力系合成的解析法	34
§ 2-5. 平面汇交力系的平衡方程式	35
复习题	40
练习题	40
第三章 力矩与力偶	43
§ 3-1. 力对于点的矩	43
§ 3-2. 杠杆及其平衡条件	45
§ 3-3. 力偶及其性质	48
§ 3-4. 平面力偶系的合成及平衡条件	51
复习题	53
练习题	53

緒 論

工程力学是一門基础技术科学，是工程技术一般理論的一部分，是介于基本理論科学与工程技术之間的技术科学。工程力学給机器和建筑物的設計及計算提供了一般的解答方式与方法。任何化工生产总是离不开机械和设备，对于进行化工生产的工艺技术人员來說，学习工程力学不仅仅能够帮助我們了解机械设备的運轉及結構原理，而且还可以为今后在工作中革新和設計机械設備、为掌握最新的技术成就及进行有关的科研工作等提供一定的机械方面的知識基础。

工程力学包括下述三个科目：理論力学，材料力学和机器零件。

理論力学是研究物体机械运动規律的科学。按照恩格斯的意見：“运动是物質存在的形式”。从这个广义的运动定义可知，运动是物質不可分割的属性，因此它包罗了发生在宇宙中的一切現象。理論力学所研究的不是指广义的运动，而是指运动的最简单形态——机械运动，即物体在空間的位置随着時間而改变的現象。

材料力学，研究在力的作用下各种材料所表現的性能，以及如何在结构的絕對安全与最大的經濟条件之下，为每一构件選擇适当的材料与断面尺寸。

机器零件这一門課程是要使学生熟悉机器中一般零件的設計方法和原理。

在开始研究力学的具体内容之前，我們先来談一談力学发展的历史。

在力学的发展史上，完全証實了恩格斯的話：“科学之有賴于

生产，更甚于生产之有賴于科学”。

力学是最古老的科学之一。

远在古代，我們的祖先即已在劳动中积累了一定的力学知識，这可从他們能够修建房屋，并能制造車、船、耕作器械等得到証明。春秋战国（公元前 722—221）时車輛的应用已相当普遍，此外，例如利用杠杆原理的秤，天平，碓，桔槔，抛石机等也都已发明，而且还发明了世界上最早的曲柄滑块机构——橧。但是在奴隶社会中由于生产水平十分低落，加上奴隶制的生产关系束縛了生产的发展，因此力学和其他科学一样在这个时期内的发展是緩慢的。到紀元前四世紀才开始給力学現象以科学的解釋，誕生了力学理論，我国的墨子（公元前 468—382）著作了最早的力学理論典籍，提出了力的定义，杠杆平衡条件以及原始的材料力学及建筑力学的概念。約一百年以后，希腊力学家阿基米得（公元前 281—212）才研究了杠杆問題，他总结了古时在靜力学方面的知識，并奠定了基础。

力学象其他科学部門一样，由于封建制度与神权的統治，力学的发展在中世紀几乎处于停滯状况，但是應該指出，生产总是不断前进的，因而力学在生产上的应用仍然有一定程度的发展。尤其值得注意的是我国古代的科学在这方面的应用上取得了輝煌的成就。直至十四世紀以前，我国在力学上的成就还是超出面方面居于世界前列。在封建社会的初期（公元前 221—公元 618）秦汉一直至唐代，由于生产关系尚适合于当时生产力的水平，因而在力学上也获得了相当大的成就。例如秦代水利学家李冰父子，领导了人民修成都江堰，在汉代科学家張衡（公元 78—139）創造了“渾天仪”与“候风地动仪”。杜詩（公元 30 年左右）发明水排来冶鑄。毕风（公元 108—189）发明了翻車和渴鳥（前者是水車，后者是唧筒）。在民間已应用滑車来吊起重物和汲水了。魏晋以后，在机械学方面有很大发展，尤其是在齒輪方面。其代表作有“指南車”与

“記里鼓車”。指南車据記載汉代張衡已能制造，其法失傳。三国时魏机械科学家馬鈞(285年左右)又独立地制造出了指南車，还发明了利用慣性原理的离心抛石机，这是我国人民值得自豪的偉大的科学創造的一部分。在唐代以后至明末(618—1600)中国已进入封建社会的中期，当时統治阶级对农民的殘酷剝削，同时儒学、佛教等唯心主义思想都严重地扼制了科学的发展。在这时期中力学的发展虽然是緩慢的，但是还是有一定进展，例如在宋代出现了世界上第一支火箭，还有当时的走馬灯实际上就是現代汽輪机的雛型。由于封建社会生产关系的束縛，我国力学的发展主要只是在应用方面而沒有能总结出完善的理論。在同时代中西方情况也載相似，甚至还比我国水平更低些。他們主要只是在“永动机”制造的嘗試中促进了关于机械观念的建立。

直到文艺复兴时代(自十五世紀后半期)，欧洲新兴的資产阶级致力于商业、手工业、航海、軍事和机器制造业的发展，所有这一切又推动力学的迅速发展。

意大利物理学家辽納多·达·芬奇(1452—1519)是这一时期力学研究者中的杰出代表。他認識到实验和运用数学的重要性，他研究了物体沿斜面的运动和滑动摩擦，根据試驗，他第一个提出：滑动摩擦力与物体接触面大小无关。在研究滑輪上的作用力时，他引入了力矩的概念。

十六世紀末、十七世紀初，力学进入一新的阶段，这个时期是运动力学的奠基时期。意大利学者伽利略(1564—1642)有卓越的貢獻，他最先引入速度及加速度的概念，作了自由落体的实验、发现了自由落体是作匀加速运动的这一重要性质，从而确定了物体在真空中自由落下时的加速度与物体的重量无关，这就推翻了古时所謂落体的加速度与其重量成正比的錯誤結論。建立了动力学基本定理之一——慣性定律。

伽里略的貢獻，不仅是創立較正確的科學研究方法，並給力學奠定了主要的基礎，他也是與唯心主義世界觀作鬥爭的堅強戰士。宗教法庭、公爵威力以及阿里斯多德學派的打擊，都沒有使他屈服。在勞動群眾的支持下，他用講演、論文、實驗及望遠鏡觀察出的事實，有力地駁斥了唯心主義及統治者的偏見。

英國學者萊薩克·牛頓(1643—1727)繼續研究由伽里略所建立的運動力學，總結了人類的力學知識，因而使力學的內容比以前更加豐富了。

牛頓在“自然哲學的數學原理”一書中，完備地建立了運動力學的基本定律，對運動力學作了嚴密地系統地敘述，使運動力學發展到更高水平。

到牛頓時所形成的力學稱為“古典力學”。

十八世紀中研究力學的特点是廣泛地應用了數學這一工具。自從數學中建立了微積分以後，力學上就運用了這種有效的工具，以致促使在十八世紀中力學按分析方法方面發展，即所謂解析力學。

十九世紀起開始了工業與技術的蓬勃發展的時期。從這時候起力學的特点是在解決實際問題的各个方面取得了很大進展，分別形成了彈性力學、液體與氣體力學、機構與機器原理等科學。“俄羅斯航空之父”的尼古拉·叶沃羅維奇·茹柯夫斯基(1847—1921)發展了幾何法在力學上的應用。他提出了求機翼上的升力的茹柯夫斯基公式，蘇聯社會主義勞動英雄恰布雷金(1860—1942)也遺留下了有關高速氣體力學方面的很重要的著作，這些著作是計算近於音速的飛機、火箭及炮彈力學的準則。蘇聯在變質量物體的力學方面作了很大的貢獻，對火箭的發展有很大的作用，目前蘇聯在這方面取得的成就是任何資本主義國家無法比較的。

十九世紀末，由於天文學及物理學的進一步發展，發現了一些

不能由上述的古典力学来解释的现象。德国的科学家爱因斯坦(1882—1955)在1905年提出了相对论,修正了牛顿的绝对空间与绝对时间的概念,使力学可以更好地来解释一些现象。利用相对论来解释物体运动速度接近光速时的力学现象称为相对论力学。随着放射性物质和原子构造的研究,从而产生了量子力学。随着工业及技术的发展,力学的内容更大大的丰富起来。近来已出现了很多新的学科,象超音速空气动力学、稀薄气体力学、电磁流体力学(与高速飞行与核能利用有关)、化学流体力学(高速喷气燃烧技术及化工中流态化触媒有关)、高温塑性力学及物理力学(设计材料有关)等。

十月革命以后的四十年间,苏联科学技术以一日千里,前所未有的速度向前进展。1957年10月4日苏联成功地发射了世界上第一颗人造卫星,它把科学技术的研究事业推向新的阶段,开辟了人类进入宇宙空间的新纪元。毛主席把人造卫星上天作为“东风压倒西风”的标志,因为火箭技术上的胜利不仅有着巨大科学意义,而且有着巨大的政治意义与军事意义。苏联发射人造卫星的成功,这就说明苏联在火箭导弹技术上压倒了美国帝国主义。苏联又在1961年4月12日发射了载人宇宙飞船,开辟了人类征服宇宙的新纪元。它之所以能够奔向太空,在力学上必然解决了前人所没有解决的重大问题。苏联劳动人民与科学家发展了在大气层边缘以外空间飞行的稀薄空气动力学,火箭动力学,又解决了高速飞行器的颤振问题,在高温和低温下飞行器的强度等问题。又成功地设计成高速推进器。苏联不但在喷气技术和人造卫星、宇宙飞船技术上所应用到的力学有冠于世界的成就,而且在其他科学技术的许多重要部门也居于世界前列。

在伟大的十月革命胜利之后苏联科学技术之所以得到空前的发展和巨大的成就,都是由于苏联共产党的英明领导。只有无产

階級政黨才能最準確地估計形勢，掌握社會生產發展規律，從而在生產推動科學的發展中指出了正確的方向。尤其重要的是共產黨給予廣大的科學家隊伍以馬克思列寧主義思想武器，把全國科學技術的力量組織成一個有高度效率的戰鬥集體。

我國解放後，在偉大的中國共產黨和毛主席的英明領導下，在以蘇聯為首的社會主義國家的幫助下，我國的生產力已不斷提高，機械工業已經由修配、仿制而達到了自行設計的階段。我國飛躍發展的工業中的大型、重型、精密及尖端四大關和規模巨大的土建工程，不斷的向力學提出新的科學研究課題。例如三門峽水電站的建築中便提出了壩體在重力作用下的應力分析、振動或溢洪影響下的壩的振動、輸水閘門的應力分析、溢洪道的研究，溢洪中的消能問題、壩底滲透問題、泥沙淤積問題，水渦輪轉子設計、葉片強度及渦輪殼的強度等。目前我國科學的發展，不但具有良好的客觀條件，更重要的是有黨的領導，在科學研究上廣泛地開展了群眾運動。在1958年以來的全面大躍進中，廣大群眾在黨的技术革命的號召下，在總路線的光輝照耀下，解放了思想、破除迷信，提出與解決了許許多多的新問題。例如內燃水泵、繩索牽引機等等。專業科學工作者也在一般力學、彈性力學、塑性力學、流體力學、土力學、電磁流體力學、化學流體力學及物理力學方面廣泛地取得了巨大的成就（詳見力學學報第三卷第四期277頁），在這樣一個不太長的十年的時間里取得了輝煌的成就。隨着我國工農業的大躍進，會越來越多地向力學提出要解決的問題，將更快地促進我國力學的發展，達到世界先進水平是指日可期的。

從上述力學發展史可以看出：力學與任何科學一樣，是生產實踐的結晶，它的發生與發展是決定於社會生產的發展，是許多經驗的累積與整理。顯然不是個別科學家個人活動的結果。同時科學的發展又進一步推動了生產的發展。還可以看出：科學的發展與社會制度有關，在黑暗的社会制度下科學就處於停滯狀態，在進步的社會制度下科學才可以躍進。

第一部分 理論力学

理論力学是研究物体机械运动規律的科学。所謂机械运动是指一个物体相对于另一个物体在空間位置的变化，它是自然界物质运动的最简单的形态。又因为物体的平衡是物体机械运动的一种特殊情况，所以在理論力学中也研究物体的平衡問題。这样理論力学就分成二大部分：靜力学和运动力学。

靜力学主要是研究作用在物体上的力的平衡条件；而运动力学主要是研究物体的运动状态以及物体运动状态的改变与其所受作用力之間的关系。

物体机械运动在自然界和生产劳动中随时随地都可以遇到，例如星球的运动，水的流动，以及各种机器的运动等。因此許多自然科学和工程技术，如天体力学、流体力学、材料力学、机械零件、起重运输机械等都是以理論力学为基础的。从而可知：我們研究理論力学掌握物体运动的普遍規律，不仅在于能解釋我們周圍所发生的許多現象，更重要的是运用这些規律为生产服务，为社会主义建設服务。社会主义建設要求不断的提高生产率，要求高度的机械化和自动化。因此，我們必須具备有足够的理論力学知識，应用到有关的专业中，从事生产，以完成这一光荣的任务。

第一篇 靜力学

第一章 靜力学基本概念和公理

§ 1-1. 靜力学的内容

由日常生活經驗和物理学中的知識，我們知道当几个力同时作用于一个物体上时，在某些情形下，物体可以保持靜止或作匀速直綫运动。这是物体机械运动中的一种特殊状态、称为平衡状态。这种状态是相对的、暫时的。在工程上时常需要討論到物体成平衡状态的問題。作用于平衡状态物体上的諸力互成平衡。靜力学就是專門研究物体平衡的科学。它可以分为两个中心問題：(1)将物体上的力系替換为一較简单的力系或者为一力；(2)推求作用于一个物体上的力的平衡条件及平衡条件的应用。

§ 1-2. 剛体与质点

在理論力学中，尤其在靜力学中，常常将实际的物体看为剛体（絕對剛体）。在力的作用下，物体内任意两点間的距离永远不改变的物体称为剛体。換句話說，剛体是永远保持其几何形状不变的物体。事实上任何物体在力的作用下，必然会发生变形的。但变形的程度各种物体都不一样，有的物体在力的作用下变形很显著，例如，橡皮筋的伸长、金属細杆的弯曲等等；有的物体其变形很小、甚至小到只有用專門仪器才能測量出来，例如，鋼材在拉伸时的伸长等。在理論力学中，尤其在靜力学中，一般都将固体认为是剛体。在理論力学中，所以能把物体这样抽象化，一方面是因为在

工程中所用到的一般材料的变形都比较小;另一方面,把研究的物体看成刚体以后不但可以简化物体的平衡条件,而且对平衡问题的主要方面的探讨并不损害。当然不要因此就得出结论,认为任何变形很小的物体都可以看成刚体,这还需要看问题的性质来决定的,如果微小的变形是问题中的主要方面,那么物体的变形就绝对不能被忽略,例如在滚动摩擦中,如果不考虑变形,滚动摩擦产生的原因便无法解释,又如在材料力学中,研究构件在外力作用下的变形和应力,此时就不能把变形忽略不计。

理论力学中,主要是在运动力学的研究中,有时我们还需要将物体看成为一个质点。所谓质点应理解为沿任何方向尺寸都极其微小而具有一定质量的物体。把物体抽象为一个质点,必须这个物体的尺寸对所研究的问题不起明显作用时才能这样做。例如,在研究飞机在空中飞行时,飞机的尺寸与其飞行的航程比较,飞机的大小可以忽略不计,这时飞机就可以看成为一个质点。同样,研究地球绕太阳运动的问题中,地球的大小与地球轨道半径相比较是一个极微小的量,所以地球可以用一质点代替。

由有限个或无限个互相有联系的质点所组成的集合称为质点系。例如太阳系可以称为一质点系。

任何一物体也可以看成一质点系。刚体是质点间距离不变的质点系。

把刚体与质点这样两个理想物体运用在理论力学中以后,讨论问题时就方便得多了,而且所得的结果与实际情况也大致相符;至于更精确的结果,还可以在这个基础上按进一步方法计算。

§ 1-3. 力的概念

在日常生活的观察中,我们已经体会出力的概念。不过力学中的“力”,要比日常生活中的“力”更明确与严格。

力的最初概念是由于人在推动某一物体时，例如在举起重物与抛掷石子时，由于筋肉紧张收缩的感觉而产生的。随后，在从我们对周围事物的观察中，我们对于这一概念的体会就更为深刻。例如，我们会看到，有许多物体常常改变着本身的运动状态，即：不仅他们在空间的位置时刻在改变，而且其速度也时刻在改变。例如，物体向地面落下时，其速度将逐渐增加；火车车厢制动时，其速度将逐渐减小，最后变为零。运动物体的速度，通常不仅在大小上改变，而且还在方向上改变。例如，被棒击的垒球即属于此种情况，那么我们要问，物体速度的这种改变，其原因究竟何在？根据我们无数次观察的结果，得出了这样的结论：这原因就在于其他物体对此物体的作用。例如，上述物体下落时，其速度所以越来越快，是由于地球对它的吸引；垒球速度的大小与方向之所以改变，是由于受到棒子的打击。正是从这种日常的经验和观察中，我们体会了力的概念。将上述所观察的现象加以归纳，我们就会得到关于力的概念如下，即：一物体对另一物体作用，其结果使该物体发生运动状态的改变，这种“作用”，在力学中称为作用于此物体的“力”。

在理解力的概念时，应当强调指出，力不是脱离物质而存在的抽象概念。没有物质就没有力。在自然界中，一切物体都不是孤立存在的，物体间存在着各式各样的联系，力就是物体间的一种联系，因而力不能脱离物体而存在。以后在分析某一物体所受的力时，必须分清每个力是由那个物体对此物体的作用。

由实验得知，力对于物体的作用——由于它而引起物体运动状态的改变——完全决定于下列三个因素：(1)力的作用点；(2)力的方向；(3)力的大小。

力的作用点为物体上所受的力直接作用的部分。力的方向即为静止物体在此力单独作用下所产生的运动的方向。力所在的线，称为此力的作用线。

力的大小的静力学量法，是把它跟某一被定为单位的力相比较。在工程单位制中，力的单位为公斤(kg)。因此，每一力的大小均以若干公斤计算之。

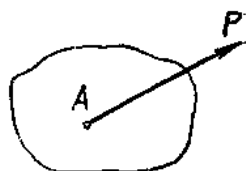


图 1-1

因为，力对物体的作用不仅决定于其大小，同时决定于其方向。所以力为向量(矢量)。因此力可用一有向线段表示之[图 1-1]。此线段之端点 A 表示力的作用点；线段之长度表示力的大小(按照某一比例)；线段上之箭头表示力的方向。

§ 1-4. 静力学公理及几个基本定义

静力学是以几个基本原理——称为公理——为基础的。这些公理是人类经过了无数次慎重观察、实验、经验而总结出来的。它反映出作用于刚体上的力的最简单、最基本的性质，它的正确性随时可以通过实践加以验证。

公理 1 二力平衡公理：若要使作用在同一物体上的二力平衡，则必须而且只须该二力大小相等、方向相反、作用在同一直线上。

如图 1-2，若 $P_1 = P_2$ ，则二力平衡。 P_2 力引起物体速度的变化，将完全抵消 P_1 力所引起的变化。



图 1-2

图(a)所示的力均指向物体，使物体受压，这样的力称为压力；图(b)示出的力，使物体受拉，称为拉力。

同时作用在一物体上的力称为一力系。上述的二力即称为一

力系。

物体受力系作用而平衡时，则该力系称为平衡力系。上述平衡的二力即为一最简单的平衡力系。平衡力系中的任一力对于其余的力来说均称为平衡力。

公理 II — 已知力系，不因加入或从中取出某一平衡力系而改变原力系的作用。

如图 1-3 物体上受六个力，设 $N_1 = N_2$ ，即 N_1, N_2 二力为一平衡力系，若取出（即停止）此二力，物体的原来状态不会发生变化。同理，若在原力系上再加入新的平衡力系，由于新加入的力系是平衡的，所以不能改变由原力系作用时物体的运动状态。

一力系对物体的作用可用另一力系代替而不改变物体的平衡状态时，则此二力系互称为静力等效力系。

如果已知力系同一力等效，则这个力称为该力系的合力，而力系中的各力均称为合力的分力。

由上述二公理可以推出在静力学中非常重要的原理——力的可传性原理：作用在刚体上的力的作用点可以沿其作用线移动到刚体上任一点而不改变力对刚体的作用。本原理的证明如下：

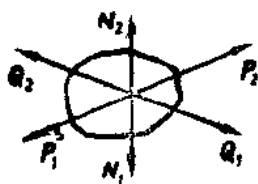


图 1-3

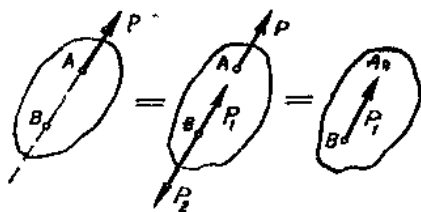


图 1-4

如图 1-4，设已知力 P 作用在刚体上 A 点。在 P 力作用线上任取一点 B ，在 B 加上以 P_1 及 P_2 二力所组成的平衡力系，且此二力的大小均等于 P ，即

$$P_1 = P_2 = P,$$

其作用綫与已知力 P 的作用綫重合。由公理Ⅱ可知，在此三力同时作用下，刚体的运动状况与单独由力 P_1 作用时相同。三力中 P_2 与 P 又可看成为一平衡力系，可以取出。这样就只剩下一个作用在 B 点、大小与方向均与已知力 P 相同的 P_1 力作用在刚体上。而这情形就可以看为将已知力 P 沿其作用綫移到 B 的情形一样。

按此原理，静力学中討論刚体的問題时，力的作用点可以不必求出，只需定出力的作用綫即可，因为力的作用点可以沿作用綫任意移动，也就是作用綫上的任一点均可視為力的作用点。

还必须強調指出，公理Ⅱ及力的可傳性原理均只能适用于刚体，討論物体的内效果时不能随便引用。

公理Ⅲ力的平行四边形公理：作用于某一点的两个力的合力亦作用于同一点，大小与方向可以由两力为邻边的平行四边形的对綫表示。即两共点力的合力等于已知两力的矢量和。

如图 1-5, P_1 与 P_2 的合力为 R ，作用于 A 点，指向由 A 到 D 。

R 的大小可按画 P_1 及 P_2 所用的比例尺量出，方位角可由 R 与 P_1 (或 P_2) 所夹的 θ_1 (或 θ_2) 角表示。

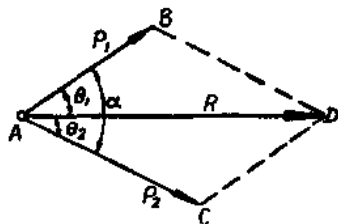


图 1-5

平行四边形 $ABDC$ 称为力平行四边形，这种作用图求二相交力的合力的方法称为力的平行四边形法则。

通常为了作图簡便起見，上述力平行四边形公理可用所謂三角形法則代替。考察图 1-6 中所示的平行四边形 $ABDC$ ， $\overline{BD}$ 的大小及方向就是已知力 P_2 的大小及方向，而 $\overline{AD}$ 就是合力 R ，所以不必作出整个平行四边形，只要作出 $\triangle ABD$ 就够了。如图 1-6 (a) 中的 $\triangle ABD$ 其作法如下：作 $\overline{AB} = P_1$ ，再从 B 点作 $\overline{BD} = P_2$ ，綫 AD

联出后, $\overline{AD}$ 即为 P_1, P_2 的合力 (显然先作 P_2 , 再作 P_1 亦可)。代表 P_1, P_2 及 R 的三角形 ABD 称为力三角形, 而上述作图法则称为力三角形法则。必须注意力三角形法则的矢序规则: 分力 P_1, P_2 指向是环绕三角形的同一方向, 而合力的指向相反。因为二共点力的合力的大小及方向等于二已知力 P_1, P_2 的矢量和。以后我们也采用下面的表示法

$$R = P_1 + P_2,$$

必须注意这个等式代表的意义是矢量相加, 故与代数相加式 $P_1 + P_2 = R$ 完全不同, 不能混淆。

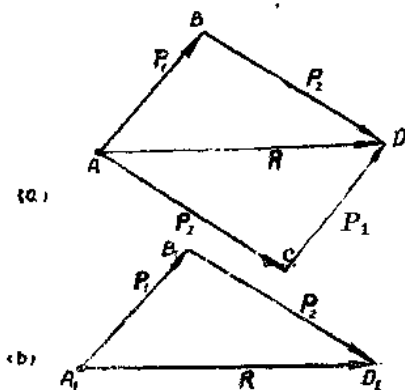


图 1-6

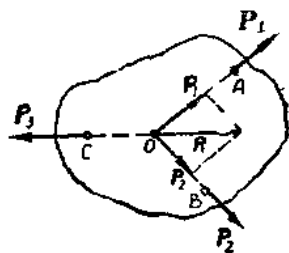


图 1-7

由上述的三个公理, 可以推出在同一平面内不平行的三力平衡的必要条件: 当刚体受同一平面内三力作用而成平衡时, 此三力的作用线必相交于同一点。

如图 1-7, 设作用于同一平面内的三力 P_1, P_2 与 P_3 分别作用于刚体上的 A, B 及 C 三点而成平衡。由于三个力不平行, 所以其中的两个力的作用线必有一交点, 如 P_1, P_2 两力的作用线的交点为 O , 现在需要证明力 P_3 的作用线必定也经过 O 点。将 P_1 与 P_2 力分别沿其作用线移至交点 O , 并求出合力 R 。因为 P_3 与 P_1, P_2

互相平衡,故 P_3 应与 P_1 和 P_2 的合力 R 平衡,則 P_3 应与 R 的大小相等、方向相反,而且必須在同一根直綫上,所以力 P_3 的作用綫必須也过 P_1 、 P_2 的交点 O ,即 P_1 、 P_2 、 P_3 必交于一点。

應該注意,不能依此推出,在同一平面內作用綫相交于一点的三力必然平衡的結論。

在平面力系的平衡問題中往往碰到这样的情形,即物体受三力作用而平衡时,力系中的两个力的作用綫是可以知道的,第三个力只知其作用点而不知其方向。由此三力平衡的必要条件,便可以推断出其作用綫,它应当是第三力的已知作用点和已知二力作用綫的交点的联綫。

公理 IV 作用与反作用公理:一物体以一力作用于另一物体时,另一物体必有一大小相等、方向相反且沿同一作用綫的力作用于此物体上,这个力称为反作用力。

我們已經知道任何力都是某物体对另一物体的作用。本公理的意义在于指出:所有的力不可能单方面存在。如图 1-8,設質点 B 給質点 A 以一力 P_1 的作用,則質点 B 也受到質点 A 以力 P_2 的作用,而且这两个力大小相等、方向相反。如称这两力中的某一力为“作用”,另一力便称为“反作用”。

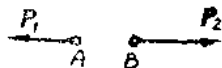


图 1-8

应当提醒注意的是,作用力与反作用力必然成对出現,而且它們是分別作

用在被作用的两个物体上的。此二力不能按第一公理考慮为一平衡力系。如图 1-9,球以一力 P 作用于地面,地面以力 R 反作用于球上,考慮球上所受的力时就不应考虑 P ,球系受重力及反力 R 而平衡;同样,考慮地面所受的力时,力 R 不应在內。

又如挂在天花板上的电灯,如图 1-10,电灯受地心引力 $\vec{G}$,对应于此作用力应有反作用力 $\vec{G}'$ ($\vec{G}'$ 在图中未画出) 反作用在地球上。由于电灯联于繩 A 上,电灯在 G 力作用下有使其向下运动的

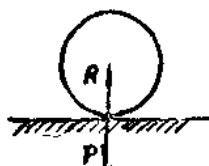


图 1-9



图 1-10

趋势，因而绳受到灯向下的拉力 T ，同时绳应以反作用 T' 给电灯；同样绳的上端又给天花板 B 以作用力 N ，天花板则给绳 A 以反作用力 N' 。图中 T 、 T' 是作用力反作用力的关系， N 、 N' 也是作用力反作用力的关系，均不能说成二力平衡问题。只有灯上的 G 、 T' ，绳上的 T 、 N' ，分别是二力平衡的问题。

§ 1-5. 自由体。非自由体。约束及约束反作用力

在力的作用下物体的运动情况有两大类。如果物体相对于其他的物体有可能作任何方向的运动，则该物体称为自由体。如果

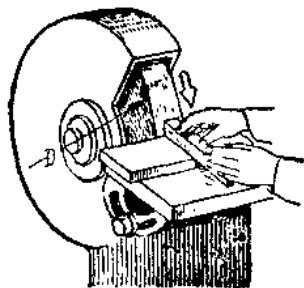


图 1-11

物体的运动由于受某些物体的限制，以致使此物体在某些方向的运动不能发生，则这类物体称为非自由体。在工程中，绝大多数的物体均为非自由体。例如图 1-11，砂轮机的轴只能在轴承中旋转。桥式吊车，如图 1-12 所示，只能沿着轨道行驶。砂轮和吊车分别由轨道、轴承