

高等工业专科学校交流讲义

理论力学

(电力类专业用)

南京工学院力学教研组编

江苏人民出版社

高等工业专科学校交流讲义

理 论 力 学

(电力类专业用)

南京工学院力学教研组编

江苏人民出版社

內 容 提 要

理論力学是以南京工学院所編的函授講义为基础修改补充印成的。参加編选修改工作的有南京电力专科学校、南京无线电专科学校的教师，并得到南京工学院教师的指导。它包括静力学、运动学与动力学三部分。它的深广度略低于工科大学机电类的教学大綱的要求，可作为工业专科学校非机制土建类型专业的教学用书，适用时数 60—80 学时。

高等工业专科学校交流講义

理 論 力 学

(电力类专业用)

南京工学院力学教研組編

*

江苏省书刊出版业营业许可証出〇〇一号

江 苏 人 民 出 版 社 出 版

南 京 湖 南 路 十 三 号

江苏省新华书店发行 南京人民印刷厂印刷

■

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 14 7/8 字数 333,000

一九六一年八月第一版

一九六一年八月南京第一次印刷

印数 1—5,000

目 录

緒論	1
----	---

第一編 靜 力 学

引言	7
----	---

第一章 靜力学的基本概念和公理	7
-----------------	---

1—1 剛体和質点	7
1—2 力的概念和特征	8
1—3 靜力学的基本公理	9
1—4 約束和約束力	12
1—5 約束解除原理, 外力和內力	14
习題	18

第二章 平面汇交力系	21
------------	----

2—1 概述	21
2—2 力的合成的几何法	22
2—3 力的分解	23
2—4 力在軸上的投影	25
2—5 力的合成的解析法	26
2—6 平面汇交力系的平衡	28
2—7 平面內三个不平行力的平衡	32
习題	34

第三章 平面力偶理論	37
------------	----

3—1 同向两平行力的合成	37
3—2 反向两平行力的合成	39
3—3 力偶, 力偶矩	39
3—4 互等力偶, 力偶的特性	40
3—5 平面力偶的合成和平衡条件	41
习題	44

第四章 平面一般力系	46
------------	----

4—1 平面一般力系是工程实际問題中力系的簡化和抽象	46
4—2 力对于点的矩	47
4—3 力的平行移动	48
4—4 平面力系向已知点的簡化, 主矢量, 主矩	49

4—5	平面力系简化结果的几种情形——力矩定理	50
4—6	平面一般力系的平衡条件, 平衡方程式	52
4—7	平面平行力系的合成和平衡	56
4—8	物体系统的平衡, 静定和静不定问题的概念	59
4—9	平面桁架	62
	习题	64
第五章	摩阻	69
5—1	摩阻问题的概说	69
5—2	滑动摩阻定律	69
5—3	摩阻系数, 摩阻角和摩阻锥	71
5—4	有摩阻的平衡问题	72
5—5	滚动摩阻	74
	习题	76
第六章	空间力系	78
6—1	引言	78
6—2	一力在空间座标轴的投影	78
6—3	空间汇交力系的合成及其平衡方程式	79
6—4	空间力偶	82
6—5	力对于点的矩与力对于轴的矩	84
6—6	空间一般力系的简化	86
6—7	空间一般力系的平衡条件	88
6—8	空间平行力系的合成和平衡	89
	习题	92
第七章	重心	96
7—1	平行力系的中心	96
7—2	重心坐标的普遍公式	97
7—3	对称物体重心的位置	99
7—4	几种简单图形和物体的重心	100
7—5	合成体的重心	103
7—6	用实验法求物体的重心	106
	习题	107

第二编 运动学

引言	109
第一章 点的运动	110
1—1 点的直线运动	110
1—2 点的直线运动中的速度, 加速度	110

1—3	由加速度求路程	113
1—4	点的平面曲线运动, 运动方程式	115
1—5	平面曲线运动的速度	117
1—6	平面曲线运动的加速度	119
	习题	126
第二章	刚体的平行移动和定轴转动	128
2—1	刚体的平行移动	128
2—2	刚体的定轴转动	129
2—3	转动刚体内各点的速度和加速度	132
	习题	134
第三章	点的合成运动	136
3—1	合成运动的概念	136
3—2	速度的合成定理	139
3—3	动坐标为平移时的加速度合成定理	143
3—4	动坐标为转动时的加速度合成定理	145
	习题	147
第四章	刚体的平面运动	151
4—1	刚体平面运动的概念	151
4—2	平面运动的方程式	152
4—3	平面运动中点的速度	153
4—4	平面运动的速度瞬心	154
4—5	平面运动的加速度	157
4—6	速度图解	159
	习题	162

第三編 动力学

引言	165
第一章 动力学的基础	166
1—1 动力学的基本定律	166
1—2 质点运动微分方程式, 质点动力学的两大基本问题	167
1—3 抛射体运动	170
1—4 惯性力, 达伦培尔原理	173
1—5 质点系的运动微分方程式	175
	习题 175
第二章 质点和质点系动量定理	177
2—1 概說	177
2—2 冲量与动量	177

2—3	质点的动量定理	178
2—4	质点系的动量定理	180
2—5	质心运动定理	182
	习题	186
第三章	功, 功率和功能定理	188
3—1	概說	188
3—2	常力与变力的功	188
3—3	合力的功	190
3—4	重力的功	191
3—5	功的图解法	192
3—6	功率	193
3—7	质点的动能定理	195
3—8	质点系的动能定理	198
	习题	202
第四章	质点及质点系动量矩定理	204
4—1	概說	204
4—2	动量矩	305
4—3	质点的动量矩定理	206
4—4	质点系的动量矩定理	207
4—5	刚体繞定軸轉动的微分方程式	207
4—6	轉动慣量	210
4—7	几种簡單形状物体的轉动慣量	211
4—8	对于平行軸轉动慣量的定理	214
	习题	215
第五章	机械振动	217
5—1	引言	217
5—2	物体的自由振动	218
5—3	衰减的自由振动	222
5—4	无阻尼的强迫振动	224
5—5	阻尼对强迫振动的影响	227
5—6	强迫振动理論的应用	227
	习题	229

緒 論

1. 理論力學研究的對象

自然界中的各種物質，經常都在運動、變化 and 發展着。“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，46頁。）因此，物質的運動不僅有物體在空間的位移（機械運動），而且還有熱、化學過程、電磁現象以至最高級的運動形式——人們的知覺和思維。運動是物質不可分割的屬性。“世界上除了運動着的物質以外沒有別的任何東西，而運動着的物質除了在空間與時間之內就不能運動。”（列寧：唯物主義與經驗批判主義，人民出版社1956年版，171頁。）“把運動跟物質割離，就等於把思維同客觀實在割離，把我的感覺同外間世界割離，就是說，轉移到唯心主義方面。”（列寧：唯物主義與經驗批判主義，人民出版社1956年版，272頁。）運動和物質一樣永恆地存在，既不能被創造，也不能被消滅。

力學研究物質運動的最簡單形態——機械運動。機械運動就是物體間相對位置的改變（物體在空間的位移和本身的變形）。平衡是機械運動的一個特例，所以力學也研究物體平衡的規律，但必須認清，絕對平衡是不存在的，“一切平衡都只是相對的和暫時的”。（恩格斯：自然辯證法，人民出版社1955年版，206頁。）

理論力學研究物質機械運動的一般規律。所以理論力學是力學其他部門（如材料力學、彈性力學、空氣動力學等）的基礎。本書將理論力學分成三個部分來敘述：

- （1）靜力學——研究物體平衡和力的規律。
- （2）運動學——研究物體運動的幾何規律。
- （3）動力學——研究物體運動和力的規律。

我們將研究的理論力學，也稱為古典力學，它以伽利略和牛頓所表達的基本定律為基礎。由於十九世紀末和二十世紀初，物理學上的巨大成就，已弄清古典力學定律的應用範圍是有限制的；當運動物體小到接近於原子，或速度大到接近於光速時，這些定律就不能應用了。1905年，愛因斯坦在相對性原理的基礎上，發表了相對論力學，使古典力學中的空間、時間、質量與能量等概念，引起根本性的變革。但是，古典力學仍保持着實際應用的價值，因為根據古典力學定律與相對論力學定律所得出結果的差別，通常情況下是異常微小，而可以略去的。所以工程計算都按古典力學定律進行。

因為力學研究物質運動的最簡單形式，它是最基本和最早發生並發展的自然科学之一。恩格斯說：“一切運動都是和某種位置變動相聯系的，……運動形態愈高級，這種位置變動就

愈微小。位置变动决不能把有关的运动的性質包括无遺，但是却不能和运动分开。所以首先必須研究位置变动。”（恩格斯：自然辯証法，人民出版社1955年版，46頁。）力学中的概念、规律和方法也应用于其他自然科学中，对其发展起了重大的作用。但是，由于力学只研究机械运动，决不能要求以力学的规律来解释自然界所有的现象。否則我們就会走上机械唯物論的道路。

古典力学的最重要应用，是在各种技术部門中。工程实际对力学提出了各种各样的問題，例如机器的設計，建筑結構的計算，車、船、飞机等的力学問題，炮弹的运动問題、以至于火箭、导弹和宇宙航行的問題。这些問題的提出，促进了力学的发展；从而在理論力学中又分出了：机器与机构理論、外弹道学、迴轉仪理論、振动理論以及运动稳定性理論等部門，并得到了独立的发展。反过來說，力学也曾經而且正在促进技术的进步。所以理論力学有着十分重要的实践意义。

2. 理論力学的研究方法

任何一門科学，都按照它所研究的对象的范围，有自己的專門的研究方法。和其他自然科学一样，理論力学研究的出发点是观察、試驗和实践。在認識力学规律的过程中，实践具有决定性的意义。

在观察自然时，我們不可能立刻就掌握现象中多样性的各方面。所以必須在观察到的具体而丰富的材料中，抽出现象中主要的、本質的特征，而略去其他次要的东西。这就是所謂抽象化的方法。在理論力学中，为了簡化研究，常常需要略去对象的某些次要性質，而得到某些經過簡化的对象（簡化模型），来代替真实的物理对象。例如略去物体的变形而得出剛体的概念，略去物体間的摩擦而得出光滑約束的概念等等。这样可以得到問題的近似解。当然，为了进一步接近实际，就有必要考虑以前所略去的性質的影响。例如研究剛体的力学問題后，就可以进行变形体力学問題的研究，研究了光滑的約束下的力学問題后，就可以轉入考虑摩擦的影响等。这种从簡單到复杂的研究方法，在理論力学中广泛地应用着，由此可见，抽象化这一方法在理論力学中起着十分重要的作用。在观察和研究个别现象时，只有撇开一切特殊的，有条件的，孤立的及特有的性質，才有可能来建立普遍的规律、洞察现象的实質。列宁說：“当思維从具体的东西上升到抽象的东西时，它不是离开——如果它是正确的——真理，而是接近真理。……，那一切科学的（正确的、郑重的、不是荒唐的）抽象，都更深刻、更正确、更完全地反映着自然。”（列宁：哲学筆記，人民出版社1956年版，155頁。）

人們用抽象化的方法，把多年来观察、实践中所得的結果加以归納綜合，而得出某些簡單的普遍原理或定律。这些基本定律或公理，是全部力学的基础。

为了得出进一步的結論，仅利用抽象、归納的方法是不够的，我們还必须从所得出的基本定律中，推演出某些具体的結論来，这就是所謂演繹法。同一切科学一样，归納法和演繹法不是彼此排斥，而是相互补充，缺一不可的。由于理論力学中注意的主要是量的关系，因此在推演时广泛地应用了严格的数学推导和計算。例如从普遍的万有引力定律，就可以推导出宇宙火箭的运动规律等。在理論力学中，数学演繹法有广泛的应用。

但是，無論利用归納法或演繹法所得的結果，都必須在实践中加以驗證。馬克思說：人

的思維是否具有客觀真理，這個問題並不是一個理論的問題，而是一個實踐的問題。譬如，理論力學中把物體的變形略去，而作為剛體來研究，其所得的結論是否正確，就要看它是否符合於客觀實際。人類認識真理性的唯一標準，就是實踐的標準；人類認識一件事物，總不能立刻完全無遺漏地接觸到所有各方面，在實踐中就會繼續暴露事物更深入，更本質的方面，從而提高了我們的認識，接近了科學的發展。所以理論力學的方法，正如一切科學一樣，是遵循着列寧所指出的正確道路：“從生動的直觀到抽象的思維，並從抽象的思維到實踐，這就是認識真理、認識客觀實在的辯證的途徑。”（列寧：哲學筆記，人民出版社1956年版，155頁。）也就是毛澤東同志所指出的：“通過實踐而發現真理，又通過實踐而證實真理和發展真理。從感性認識而能動地發展到理性認識，又從理性認識而能動地指導革命實踐，改造主觀世界和客觀世界。……這就是辯證唯物論的全部認識論，這就是辯證唯物論的知行統一觀。”（毛澤東：毛澤東選集，卷1，人民出版社1952年版，285頁。）

3. 力學發展簡史

在力學發展史上，完全証實了恩格斯的話：“科學之有賴於生產，更甚於生產之有賴於科學。”

力學是最古老的科學之一，自遠古以來，人類就開始在勞動中積累起力學上的知識。我們現在稱為“簡單機械”的那些裝置，很古時就已應用。古代許多複雜的軍事工程及宏偉的建築，如埃及的金字塔、中國的長城等，為力學的各方面知識積累了豐富的資料。

古代我國，在力學方面有許多創造，據考證，我國約在夏代（公元前2033—1562）已發明了世界上第一輛車，到殷代（公元前1561—1123）已出現四馬拉的戰車。春秋戰國（公元前722—221）時已相當發達，例如利用槓桿原理的秤、天平、碓、桔槔、拋石機等，在戰國時代都已發明，而且还發明了世界上最早的曲柄滑塊機構——轆轤。而且在公元前四世紀人類開始企圖解釋力學現象時，我國古代偉大的科學家墨翟（公元前460—376）著作了我國最早的科學典籍“墨經”。他首先提出了力的定義，並曾研究過槓桿問題；世界上最早出現力學理論的光榮，應該歸於我國。約一百年後，希臘力學家阿基米德（公元前281—212）也研究了槓桿問題，他總結了古時在靜力學方面的知識，奠定了靜力學的基础，作出了槓桿平衡問題的正确解答，並創造了關於重心的學說。但是，在奴隸社會，力學不可能得到迅速的發展。

在中世紀，西方由於封建與神權的統治，力學和其他科學部門一樣，几乎是完全停滯。而我國在這時期，歷經了秦、漢、唐、宋以至於明代。在某些時期生產曾獲得較迅速的發展，相應地科學技術也有一定的發展。力學方面，曾出現一系列重要的技術發明，如秦代水利學家李冰父子，領導人民修成都江堰，並科學地總結出“深淘灘、低作堰”六個字，作為以後歲修守則。漢代科學家張衡（公元70—159）創造了“渾天儀”、“候風地動儀”。杜詩（公元30年左右）發明水排以冶鑄。畢嵐（公元108—189）發明了翻車和渴鳥，前者是水車，後者是唧筒。三國魏人馬鈞曾造出齒輪傳動的指南車。宋代由於火藥的應用，利用反推動原理，發明了火箭，明初已在軍事上正式使用火箭等等。但是在封建統治下，勞動、創造永遠得不到重視，發展科學技術不可能經常成為當時社會的迫切需要。因此，雖然時而出現許多優異的技術發明，仍未能促成我國力學的發展。

到了文艺复兴时代(15世紀后半期),欧洲由于商业資本、手工业、航海和軍事的发展,吸引着当代人們的注意和学者的研究,因而力学也随之有了空前的发展,使力学推向更高的阶段。正如恩格斯所說:“这是一个人类前所未有的最偉大的进步的革命,是一个需要而且产生了巨人——在思想能力上、熱情上和性格上、在多才多艺上和學識广博上的巨人的时代。”(恩格斯:自然辯証法,人民出版社1955年版,5頁。)

著名的意大利艺术家、物理家与工程师达·芬奇(1452—1519)便是这个时期进行力学工作的傑出代表,他意識到实验和运用数学解决力学問題的重要性。在力学范围内研究了物体沿斜面运动和滑动摩擦,并研究了作用在滑輪上力的平衡,引用了力偶和力矩的概念。

接着,偉大的波兰学者尼古拉·哥白尼(1473—1543)接受了人們長期对天体运动观察的結果,加上自己对宇宙問題的考察,和用数学方法的研究,創立了宇宙的太陽中心學說。这对“聖經”上所确定的宇宙概念是一个很大的打击。尽管教会不断的反对,烧杀了真理的追隨者卓尔达納·勃魯諾,但殘暴的反动力量,毕竟不能扼杀时代现实生活和社会經济发展所产生的思想,因而引起了宇宙觀的根本变革。“从此便开始了自然科学之从神学中的解放……”(恩格斯:自然辯証法,人民出版社,1955年版,6頁。)这一发现,促使天体力学(研究天体运动的科学)的萌芽。由于人們对天体运动多年的观察,积累了丰富的知識。德国学者約翰·刻卜勒(1571—1630)建立了行星运动的三大定律,成为牛頓万有引力定律的基础。

繼哥白尼之后,意大利科学家伽里略(1564—1642)开始了力学发展的新时代。他研究了落体、抛物体、单摆与物体在斜面上的运动,得出了一系列研究成果,发表了动力学第一定律。

荷兰科学家惠更斯(1629—1695)等又繼續着对动力学的工作。直到牛頓时代,已有条件把大量积累的資料,加以系統的整理,并提高成为一門严密完整的科学。牛頓(1643—1727)建立了古典力学的基本定律,并利用这些基本原理,研究得到万有引力定律、月球理論、彗星运动理論、潮汐理論,創立了物体在阻力介質中的运动理論,这些都給以后力学輝煌的发展,奠定了广闊的基础。所以也称十七世紀是动力学的奠基时期。

但是在牛頓力学中,方法上有着古代几何学和圓錐曲綫理論带来的缺点。因而在十八世紀,为了适应机械工业发展的需要,力学便沿着数学分析法的方向发展。俄国彼得堡科学院院士达·欧拉(1707—1783)創了解析动力学。法国数学家及力学家拉格朗日(1736—1813)的著作“解析力学”中,达到了最高的成就。拉格朗日將虚位移原理与达兰贝尔原理結合起来,得到了动力学普遍方程式。特别是他的第二类方程式,对于解决非自由質点系动力学,有着重大的意义,在机构动力学,在微振动的問題中,引用这些方程,特別簡捷。

在十九世紀初,由于工程技术的需要,提出許多具体的力学問題。从研究的經驗中,清楚地看到無論是固体、液体和气体,用解析法进行研究往往太繁复,因而引起了对某些問題应用力学几何法的发展。到了法国学者布安索(1777—1859),力学的几何方法上达到了极大的成就,在其著作“靜力学原理”中,引出了力偶的概念,敘述了力偶的理論,并应用到力系合成的問題中。在运动学中也建立了剛体轉动的合成和分解理論,引入了剛体运动瞬时轉动中心概念,并且利用瞬时轉动中心軌迹与瞬时轉动軸軌面,給剛体运动以几何的解释。在

动力学中,布安索引进了慣性橢球的概念,并利用它来对剛体繞定点的慣性运动加以几何解释。

由于生产技術水平的提高,电磁学的研究,新的测量和試驗水平的提高,推进了宇宙运动及电子运动的研究。适用于宏观的低速(与光速比較)的牛頓力学,已不能正确反映以上问题的运动规律了。爱因斯坦根据前人无数次实验,勇敢地否定了绝对空间和绝对时间的概念,从而創立了相对論。

十九与二十世紀中,由于工业建設的发展与现代航空技术的发达,力学向着专门方向发展。如弹性力学,流体力学,气体动力学各方面都有了极大的进步。其中苏联的科学家們有着傑出的貢獻,各方面都有出色的代表,如契伯雪夫奠定了机构运动学的基础。建立了机构理論,里亚普諾夫建立运动稳定性理論,在物理和现代自动控制技术方面获得广泛的应用。在人类向空間的发展中,俄国学者儒可夫斯基为工程空气动力学奠定了发展的基础,苏联政府在1920年授予他“俄罗斯航空之父”的光荣称号,他的学生恰普雷庚院士,建立了现代空气动力学的基础。由于恰普雷庚的卓越的成就,苏联政府在1941年授予他“社会主义劳动英雄”的称号。在船舶振动,弹道理論方面,克雷洛夫有着巨大的貢獻,因而也获得“社会主义劳动英雄”的称号。

十月革命以后的四十年間,苏联科学技术以前所未有的速度向前发展。1957年10月4日,苏联成功地发射了世界上第一个人造地球卫星,开辟了人类进入宇宙空間的新紀元,将科学技术研究事业推向新的阶段。接着在1957年11月3日和1958年5月15日发射了第二、第三个人造地球卫星。又在1959年1月2日,9月12日和10月4日发射了三个宇宙火箭,其速度已达到或接近第二宇宙速度。1960年5月15日,8月19日苏联又发射了两个巨型宇宙飞船,而且第二个宇宙飞船还安全地返回地球。以后又陸續发射了一系列的飞船,它包括了带动物进行的試驗,及从卫星上发射的到达金星的火箭等。在1961年4月12日,又发射了卫星式宇宙飞船“东方号”,宇宙飛行員加加林少校乘坐它安全返回地球。一系列的成就,表明苏联在火箭运行軌道的計算,发动机、火箭与导航系統的設計和制造等方面,都解决了复杂而精细的力学問題。苏联在火箭技术,宇宙飞行上的一系列胜利,不仅標誌着苏联的力学居于世界第一位,还標誌着苏联在一系列科学技术部門已居于世界第一位。苏联在科学技术方面所获得的偉大成就,正說明了社会主义制度的优越性。

我国自1949年解放以后,在党的正确领导下,已进入了新的历史阶段。在偉大的社会主义建設中,特别是1958年大跃进以来,科学技术获得了巨大的发展和卓越的成就。在力学方面,也有了突飞猛进的发展,力学工作者的队伍正在不断扩大、加强。此外,我国已建成武汉長江大桥、万吨輪船、佛子岭水庫、首都的人民大会堂、北京車站及北京体育館等宏偉建筑,这些都標誌着我国力学正密切結合着生产技术的需要在飞跃发展。随着工农业生产的持續大跃进,不断出現新的力学課題,从而促使力学科学不断跃进。如長江三峡水利工程,是世界最大的水利工程,就迫切地需要对稳定、热应力、壩体和閘門振动、空蚀等一系列問題进行理論和实验的研究。又如航空事业的发展,需要对超声速、高超声速飞行和宇宙航行技术进行研究。尤其在大跃进以来,由于政治掛帅,发动群众,破除迷信,土洋并举,广大工农群众在技术革新,技术革命中作出不少創造发明。我国的力学,与其他科学一样,正以惊人的速

度,飞跃前进。

社会主义制度为科学技术的发展开辟了无限广阔的道路,社会主义工农业的持续跃进,给力学事业以巨大的动力。可以断言,在中国共产党的领导下,以马克思列宁主义、毛泽东思想为指导,我国力学必将获得光辉的成就。

第一編 靜 力 學

引 言

靜力學研究物體平衡的條件，這種條件的具體表現，就是物體與它四周的環境，處於相對的靜止狀態，“靜止”嚴格正確的意義並不簡單，這個問題要等到運動學和動力學里才能弄明白，原因是靜止和運動是相對的。也可以說靜止是運動的一種特殊情形。所以不弄清運動方面的基本概念，就無法嚴格正確地來了解靜止的意義。不過在靜力學里所需要的靜止的概念，一般地講，凡是在地面上不動的東西，通常都可以稱是靜止的。因此靜力學所研究的對象，在大多數情況下，可以說是對於地面和彼此之間都沒有運動的物體；而研究的主要內容，就是這些物體所以能保持靜止的條件。

靜力學里边所研究的問題大体不外兩種：一種是力系簡化的問題，即作用在一個物體上的諸力，可以用什麼最簡單的力系來代替，這也就是力系的合成問題。另一種是平衡條件的問題，即在什麼條件之下，力系才能平衡。知道了平衡條件，就可以據以計算平衡系統中的未知力。實際工程上的靜力學問題多屬後一種，而後一種問題的解決，則又依靠前一種問題的研究結果。所以這兩種問題都很重要。

研究靜力學有兩種方式：一種方式是先研究平面上的平衡問題，然後再推廣到更複雜的空間問題，另一種方式是一開始就研究空間中的平衡問題。這樣平面上的平衡問題，就變成了一種特殊情形，可以無須再去作研究了，我們主要採取的是第一種方式，原因是第一種方式更合乎我們認識事物的自然規律，由簡而繁，由特殊而歸於一般。這樣可以減少學習上的困難，而收到較大的效果，此外在解決工程問題的具体運用中，大部分的問題都是當作平面上的問題來解算的。所以平面靜力學可以單獨提出來研究，甚至於可以作為重點來研究。

第一章 靜力學的基本概念和公理

1—1 剛體和質點

靜力學研究作用於物體上各力的平衡問題，研究靜力學，我們首先要建立兩個基本概念，即：剛體的概念和力的概念。

所謂剛體就是一種設想物體，體內任何兩點間的距離在外力作用下保持不變。這樣，剛體的形狀是不會改變的，在靜力學里，我們所要講述到的物體，主要都是這種剛體。

我們知道，自然界的物體無論怎樣堅硬，也是多少會變形的。例如一根鋼杆受到拉力，就會伸長一些。因此，所謂剛體實際上並不存在，而是一種假想的物體。不過，在以後的講述中，我們將仍舊把物體看成是剛體，這是因為許多物體實際的變形不大，在問題中只發生

次要的影响,因而可以略去不計,其次將變形略去后,會大大地簡化了所研究的問題,只有在研究了剛體的靜力學以后,才能進一步再研究更複雜的變形物體的平衡問題(在第二部分材料力學中)。

剛體以外,在理論力學中又設想了一種物體——質點。所謂質點就是一個具有一定的重量而大小可以略去不計的物體。有時,物體有一定的尺寸,但這尺寸在研究的問題中不起作用,這時物體也可以當作質點看待。例如,在地球繞太陽的運動問題中,地球就可以看成是質點,因為地球的尺寸與對太陽的距離比起來是太小了。在運動學和動力學中,我們將看到質點的假設將使問題簡化而便於研究。

若干有關聯的質點,稱為一個質點系,在運動問題中,如各質點間的距離都保持不變,這質點系稱為不變質點系。我們可以設想,物體是由無數的質點所組成的。這樣,剛體內各質點間的距離是保持不變的,所以剛體可以看成是一個不變質點系。

下面我們將討論力的概念:

1—2 力的概念和特征

力的最初概念,我們從日常生活中可以体会到。但完整的概念,我們要逐步深入討論,才能建立起來。例如我們從體力上感覺到推動重物要施加力,這重物在力的作用下產生了運動。把這種感覺所引起的認識,推想到無生命的物體,如果一個物體發生了運動狀態的改變,我們能想象是受了周圍物體的影响,在靜力學里,把力看作一個物體對於另一物體的作用。這種作用的結果,使受作用的物體產生了運動狀態的改變。或者說,力是物體互相間的機械作用。

在理論力學里,我們只研究物體的機械運動,也就是說,理論力學里,只研究物體受力時,運動狀態的改變。例如在地球表面上的物體受着地球引力作用,使物體向地面下落,汽缸里的活塞受了蒸氣膨脹時壓力的作用,使活塞在汽缸里作往返運動,這裡不提出其他關於物體相互作用后而引起非機械性質的物理現象,如摩擦生電;化學作用;熱的傳導等。

從上可知,力與物質不可分割,如地球對物體的引力是由地球產生的。汽缸里的壓力是蒸氣產生的,……,在理論力學里,我們並不研究力的來源是什麼,而只研究力作用於物體所產生的效果。

現在我們再進一步研究力對於一個物體的作用有哪些特征。

首先可以看到,力是有大小的。為了衡量力的大小,我們可以一定大小的力定為一單位,另一力就可與此單位力來比較,從而定出它的大小。用來比較或衡量力的工具稱為測力器,主要部分是一個彈簧,借彈簧受力后的伸縮來比較力的大小,在工程單位制中力的單位定為1公斤(kg),就是1公升4°C的純水在緯度45°近海面處的重量。1公噸(t)則等於1000公斤。

由實驗知,力除了有大小而且是有方向的。兩個大小相等,但方向不同的力如果分別作用在同一物體上,顯然對於物體運動狀態的改變將有不同的效果。

除此以外,兩個大小相等方向相同的力分別作用於同一物體上時,如果各力作用在物體不同的點上,對於物體運動狀態的改變也將有不同的效果。力在物體上直接作用的部分稱

为作用点。实际上这个点是一个接触面抽象出来的。通过力的作用点，而与力的作用方向相同的直线称为力的作用线。

因此，力的大小，方向和作用点是力的三个特征。一个力的三个特征为已知时，这力的作用便完全确定了。

现在我们来研究怎样表明一个力。

有大小而且有方向的量称为有向量或矢量。只有大小而没有方向的量，如时间、温度、面积等，则称为无量向或数量。力有大小和方向，所以是矢量。

矢量可以用一段带有箭头的直线来表示，例如，表明一个作用在物体上 A 点沿 KL 线作用，大小为 50 公斤的力 $\vec{P}$ 时（图 1-1），就在力的作用点 A 沿力的方向作一段 AB，在线段的 B 端画一箭头表示力的指向。线段的长度则代表力的大小。可选一适当的比例尺，譬如，令 1 厘米代表 20 公斤，则线段 AB 的长度为 $50/20=2.5$ 厘米。

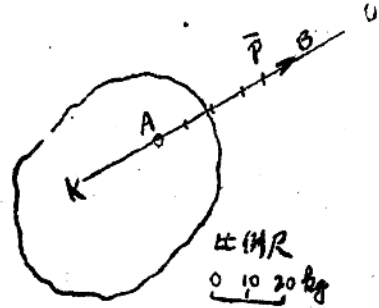


图 1-1

在以后的讲述中，用二个字母来表示矢量时，字母上都加一短划，并加一叉。例如，以线段 $\overrightarrow{AB}$ 代表一个矢量时，就写成 $\overrightarrow{AB}$ ，这表示矢量的方向是从 A 点至 B 点，矢量用一个字母表示时，例如用字母 P 代表一个力，字母 P 上加一短划，就写成 $\vec{P}$ ，而这时没有短划同一字母 P 就代表这力的大小。

1-3 静力学的基本公理

静力学的内容是以几个公理为基础，用逻辑方法推论出来的。这些基本公理是人类经过长期观察，积累经验而得到的结果。它的正确性可以随时从我们实践中得到证明。

公理一：作用于同一刚体的两个力互成平衡，必须而且只须两个力的大小相等并沿同一直线作用，而指向相反。这一公理可以称为二力平衡定律。

所谓平衡就是物体的运动状态保持不变。如果物体原来是静止的，将仍保持静止；如果物体向某方向运动，将仍向这方向运动，快慢不变。力本来是改变物体运动状态的作用，但是物体在受到不只一个力的作用时，力的作用可能互相抵消，这一公理提出了刚体在两个力作用下，作用抵消而得到平衡的条件。

设有一刚体，在刚体上两点 A 和 B 各受有力 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$ 的作用根据这一公理，刚体如果在这两力的作用下保持平衡，则力 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$ 大小必须相等。两力一定要以作用点 A、B 的连线为共同的作用线，而两力的指向或者如图 1-2a 所示是相背的，或者如图 1-2b 所示是相同的。

这一公理也说明：只要力 $\vec{P}_1$ 和 $\vec{P}_2$ 在图 1-2a 或 b 的情形下作用在刚体上，刚体一定就能保持平衡。

公理二：在已知的力系上可以加上任意的平衡力系，或从其中去掉任意平衡力系，而

并不破坏已知力系对刚体的作用。

同时作用在刚体上的一群力称为一个力系。假如物体在一个力系的作用下能保持平衡，这力系就称为平衡力系。公理一中所说的两个互相平衡的力就是最简单的平衡力系。

公理二在静力学里经常用到。现在应用这公理可以导出力作用于刚体上的一个主要特性如下：

设刚体受某一力系的作用，力系中有一力 $\vec{P}$ 作用在刚体上 A 点 (图 1-3a)。在力 $\vec{P}$ 的作用线上任取一点 B，并在这点上加上两个力 $\vec{P}'$ 和 $\vec{P}''$ ，大小都与力 $\vec{P}$ 相等，力 $\vec{P}$ 与力 $\vec{P}'$ 的方向相同，而力 $\vec{P}''$ 与力 $\vec{P}$ 的方向相反 (1-3b)。根据公理一，力 $\vec{P}'$ 与 $\vec{P}''$ 互成平衡，所以根据公理二，加上这两力并不破坏原来力系的作用。再根据公理一，力 $\vec{P}$ 与 $\vec{P}''$ 互成平衡，所以根据公理二可以去掉这两力而并不破坏原来力系的作用。将力 $\vec{P}$ 与 $\vec{P}''$ 去掉之后，就得到一个力 $\vec{P}'$ ，它代替了原来的力 $\vec{P}$ (图 1-3c) 这就等于将力 $\vec{P}$ 由点 A 移到了点 B，这样，力的作用点可以沿作用线移动而不改变这力对刚体的作用，这一原理称为力的可传原理。

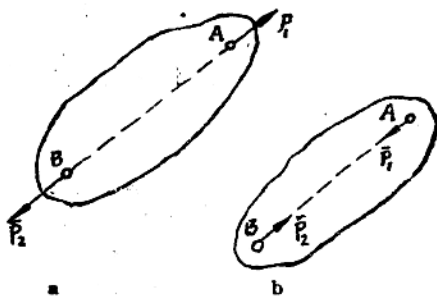


图 1-2

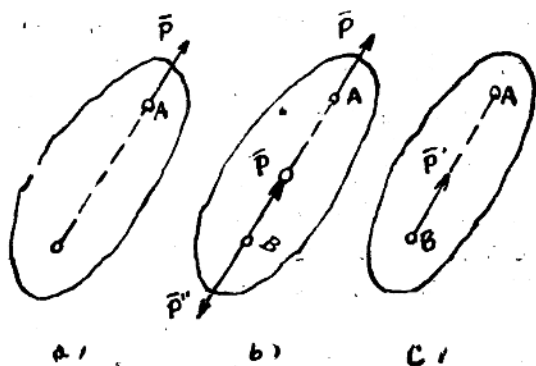


图 1-3

应当指出，加上或去掉平衡力系，以及将力沿作用线移动时，所谓不破坏对刚体的作用是指不破坏物体的平衡或运动状态的改变。至于物体的内部力的分布情形，则会因此发生很大的改变的，所以在材料力学中研究内力的时候，这公理不能适用，作用在物体上的力也不能沿作用线任意移动。

公理三：作用于刚体上某一点的两个力的合力，也作用在同一点，并可由在这两个力所作平

行四边形的对角线来表示，这一公理称为力的平行四边形定律。

作用在刚体的一个力系如果可用一个力来代替而作用不变，这一个力就称为这力系的合力。每一个力系并不是都有合力的 (即并不是都能用一个力来代替)，但作用在一点的两个力必有合力，公理三即是说明这个合力。

设刚体上 A 点有两个力 $\vec{P}_1$ 与 $\vec{P}_2$ 作用 (图 1-4)，根据公理三，这两个力的合力 $\vec{R}$ 也作用在 A 点。以 $\overline{AB}$ 、 $\overline{AD}$ 为两边作平行四边形 ABCD，得对角线 $\overline{AC}$ ，矢量 $\overline{AC}$ 就代表合力 $\vec{R}$ 。