

无锡轻工业学院

0193856

中等专业学校教材试用本

工程力学

宣化地质学校力学教研组编

只限学校内部使用



中国工业出版社

无锡轻工业学院图

0193856

中等专业学校教材试用本



工 程 力 学

宣化地质学校力学教研组编

江南大学图书馆



91409851

中国工业出版社

序

为深入贯彻党的教育方针,巩固教育革命成果,适应中等水文地质和工程地质专业的需要,我们采取在党委领导下,有教师、学生参加,经鸣放辩论而编成本书的初稿。

初稿曾印成讲义,一度经过试用。这次根据地质部教材编写会议的精神和新近制订的大纲,又作了改编和加工。在再次编写过程中,广泛参考了新近出版的力学教材、杂志和地质专业中的某些力学课题,并且是在专业教师的积极协助下,最后编成此书的。

书中每一中心课题之后,附有一定数量例题和习题。在课文的阐述及例题和习题的选择上,均切实注意了与专业实际和生产实际的联系;加强了图象的直观性;并加强了前后两部分的内在联系。

书中有些章节的安排和讲法,还是初次尝试,不免有不妥之处,加之编者水平所限,付印仓促,疏忽和错误的地方在所难免,恳希读者指正。

宣化地质学校力学教研组

1961年5月

目 录

緒論	1
----	---

第一部分 理論力学

第一篇 靜力学

第一章 基本概念和定义	7
§ 1. 剛体的概念	7
§ 2. 力的概念	7
§ 3. 靜力学基本定义和公理	8
§ 4. 約束与約束力	10
§ 5. 力系的分类	15
习 題	16
第二章 共面共点力系	16
§ 6. 共点力系的几何合成法	16
§ 7. 共点力系平衡的几何条件	18
§ 8. 一力分解为二分力	19
§ 9. 力在軸上的投影	22
§ 10. 共点力系的解析合成	23
§ 11. 共面共点力系平衡的解析条件	24
习 題	27
第三章 共面平行力系	28
§ 12. 两个平行力的合成	28
§ 13. 杠杆和力对于点的力矩	29
§ 14. 合力矩定理	31
§ 15. 杠杆的平衡条件	31
习 題	33
§ 16. 力偶的一般概念	34
§ 17. 力偶的性质	35
§ 18. 力偶的合成及力偶平衡条件	36
习 題	38
第四章 共面任意力系	39
§ 19. 力的平行移动	39
§ 20. 共面任意力系的簡化	40
§ 21. 共面力系平衡的解析条件	41
习 題	45
第五章 空間共点力系	46
§ 22. 平行六面体規則	46
§ 23. 空間共点力系的合成	47

§ 24. 空間共点力系的解析平衡条件	48
§ 25. 力对于軸的力矩	49
习 題	50
第六章 重心	50
§ 26. 平行力系中心	50
§ 27. 重心的一般概念	52
§ 28. 几种簡單平面图形的重心	53
§ 29. 面积的靜力矩	54
§ 30. 平面組合图形的重心	55
§ 31. 分布平行力	57
习 題	59
第七章 滑动摩擦	60
§ 32. 滑动摩擦概念	60
§ 33. 滑动摩擦定律	60
习 題	63
第二篇 运动学	
第八章 点的直綫运动	64
§ 34. 运动学概論	64
§ 35. 匀速直綫运动	66
§ 36. 变速直綫运动	67
§ 37. 匀变速直綫运动	70
习 題	73
第九章 点的曲綫运动	74
§ 38. 曲率	74
§ 39. 曲綫运动的速度	75
§ 40. 曲綫运动的加速度	76
§ 41. 曲綫运动的討論	79
§ 42. 用坐标法研究点的运动	82
§ 43. 从坐标运动方程式求速度	83
§ 44. 从坐标运动方程式求加速度	84
习 題	86
第十章 剛体的最簡單运动	86
§ 45. 剛体的平动	86
§ 46. 剛体繞定軸轉动	87
§ 47. 匀速轉动	87
§ 48. 变速轉动	90
§ 49. 匀变速轉动	93

习 題	95
-----	----

第三篇 动力学

第十一章 质点动力学原理	96
§ 50. 动力学概論	96
§ 51. 动力学基本定律	96
§ 52. 单位制	98
§ 53. 慣性力	101
§ 54. 达朗培尔原理	102
习 題	105
第十二章 质点系动力学	106
§ 55. 轉动体的动力学基本方程式	106
§ 56. 慣性矩	107
§ 57. 平面图形的慣性矩	109
习 題	115
第十三章 功和功率	115
§ 58. 在直綫路程上不变力的功	115
§ 59. 合力的功	116
§ 60. 重力的功	117
§ 61. 轉动时不变力的功	118
§ 62. 功率	119
习 題	122
第十四章 动能和动量	122
§ 63. 质点动能定理	122
§ 64. 剛体动能定律	123
§ 65. 机械能守恒定律	126
§ 66. 质点动量定律	127
习 題	128

第二部分 材料力学

第一章 概論	129
§ 1. 材料力学的基本任务	129
§ 2. 变形固体的概念	131
§ 3. 載荷的分类	132
§ 4. 內力、断面法	134
§ 5. 杆件变形的的基本形式	136
第二章 拉伸和压縮	138
§ 6. 变形、应力、虎克定律	138

§ 7. 靜拉伸試驗	142
§ 8. 軟鋼的拉伸曲綫图	144
§ 9. 压縮試驗	146
§ 10. 許用应力和安全系数	148
§ 11. 拉伸和压縮的强度計算方程式	150
§ 12. 自重对强度的影響	153
§ 13. 拉伸压縮时的靜不定問題	156
习 題	157
第三章 剪切	159
§ 14. 剪切变形、切应力、剪切虎克定律	159
§ 15. 挤压	162
习 題	165
第四章 直梁的弯曲	166
§ 16. 弯曲的一般概念	166
§ 17. 梁弯曲时横断面上的內力——弯矩和剪力	169
§ 18. 剪力和弯矩之間的关系	171
§ 19. 剪力图和弯矩图	172
习 題	177
§ 20. 純弯曲时的变形和应力	178
§ 21. 梁的强度計算方程式	181
§ 22. 常見断面的抗弯矩, 梁的合理断面	183
§ 23. 梁的計算例题	185
习 題	188
§ 24. 弯曲时切应力的概念	189
第五章 复杂抗力	191
§ 25. 弯曲与拉伸或压縮的同时作用	191
§ 26. 偏心压縮	195
习 題	198
第六章 复杂应力状态	199
§ 27. 单向受力时斜断面上的应力	199
§ 28. 主应力、单元体及其应力状态	201
§ 29. 二向受力时斜断面上的应力	204
§ 30. 用图解法求任意截面上的应力	207
§ 31. 图解法求主应力	210
§ 32. 平面应力状态的分析	214
§ 33. 复杂应力状态下的相对变形	220
习 題	222

緒 論

(一)

自然界沒有不运动的物質，也沒有非物質的运动。一切物質，都在按照各自的規律不停地运动着，所以物質的运动形态也是多种多样的，例如分子运动、电子运动、光子运动，以及物体在空間的簡單位置变动等等。

不过，不管是何种物質的运动，也不論运动形态如何复杂，一切物質的运动都包含了一种最簡單运动形态——机械运动。所謂机械运动，是随着時間的过去、物体在空間发生位置变化的現象。由于物質的运动只能在空間和時間中发生，所以，物質、运动、空間、時間是处在不可分割的統一中。

在自然界以及人类的生活和生产活动中，机械运动形态是普遍存在的，諸如天体的运转、水的流动、人的体育活动、机器机件的运动等等。因此，掌握物体机械运动的規律，对于認識自然和改造世界，有重要的实际意义。工程力学的任务之一，就是要研究物体机械运动的一般規律。

自然界的物質，不仅是不停息的运动着，而且总是相互联系、相互制約、相互作用着；自然界沒有絕對孤立存在的物体，例如宇宙中星球之間以万有引力相联系；地面上的一切物体，无不与地球相联系；机器和建筑物中的元件之間，总是相互限制着等等。

长期以来，人們一直力求掌握物体的运动和相互联系的規律，以便更好地进行生产活动。如在修建大桥的时候，工程人員必須充分掌握水流、风暴、車輛以及地球等对大桥作用的大小和性質；了解构成桥体的元件之間相互作用的情况；明了各种材料（水泥、鋼材、石料、木料、地基等）抵抗破坏的能力。只有这样，才能設計出既經濟又安全的大桥。

要設計出造价低廉而又安全穩妥的大桥，必須選擇适当的材料作为大桥結構中的各种元件，并使各元件具有合理的形状与合适的尺寸。这只有事先进行周密的强度計算，即根据外界作用的性質和大小以及材料性質，确定构件必須的尺寸。工程力学的又一任务，就是要建立构件强度計算的方法和原理。

綜合以上所述，应当明确：（1）物質是运动的、是相互联系的；物質、运动、空間和時間处在不可分割的統一中。（2）工程力学是研究物体机械运动与构件强度計算方法和原理的科学。

(二)

工程力学的内容，通常包括三个部分，这就是理論力学、材料力学和机器零件。本书只講授前面两部分。

本书的第一部分为理論力学。理論力学是研究物体的机械运动和平衡規律的科学。按其发展順序，常將理論力学的内容分为四篇，这就是靜力学、运动学、动力学和机构学。

第二部分是材料力学，它研究机器和建筑物中构件强度計算的方法和原理。材料力学的研究，必須应用理論力学的定理和法則。因此，两部分内容有緊密的联系。

在各种工程問題中，力学問題是普遍存在的，諸如建筑工程、机械工程、水利工程、航空工程、采矿工程以及地質工程等，均有属于本专业的力学課題。因而在实用上，按力学所解决的对象，将其分門別类，如“建筑力学”、“航空力学”、“矿山岩石力学”、“天体力学”及“地質力学”等。这些力学都是实用力学。还有的按所研究的物質对象的不同，将实用力学分为“水力学”、“土力学”、“气体力学”等。一切实用力学的研究，几乎都以工程力学的方法和原理作为解答具体力学問題的基本工具。因此，工程力学是一門基础技术課。

对于地質科学來說，工程力学知識也是必需的。大家知道：地球的外层——地壳，是由各种岩石組成的，許多地質現象(如断层、褶曲、节理、劈理、山脉等)，就是“岩石”这种材料在“地質动力”作用下的結果。如果能根据地質現象找到地質动力作用的規律，势必有助于更广泛的去推断地質情况(如成矿規律)。李四光教授在他著的“地質力学基础与方法”一书中指出：“無論造陆运动，造山运动，抑或分裂运动，皆属地壳中之变形，其影响所及，巨者如高原、盆地、平原、陆穹带、陆沉带，次者如向斜、背斜、各种断层，小者如节理、折紋、流紋，細微者，如岩石中某种矿物晶面晶軸之排列，类多依用力之大小与方式而发生。”

另一方面，地球表面上的一切建筑物，均需依賴組成地壳的各种岩土作地基。为了建筑物的安全，工程人員不能不考慮到地基的强度条件。这样，在修造任何建筑物(房屋、桥梁、铁路、水坝、海港、飞机場、地下建筑等)之前，都需要工程地質人員探明地質条件，选择具有足够强度的地基作基础。因此，工程地質专业中，需要应用工程力学的理論与方法、結合地質特性去探討处在各种地質条件下的岩石的强度条件，并通过一定的实验和計算，确定地基承载能力的指标，以供給施工部門作設計施工的依据。因而学习水文与工程地質专业的学者，必須具备一定的工程力学知識。

(三)

力学是一門古老的科学，它的发展是与生产的发展和社会的发展密切联系着的。

自有人类历史以来，人們就开始了對周圍現象的观察，并从生产劳动实践中，日益获得丰富的經驗知識。从而逐步有了認識現象之本質的科学概念。力学就是在生产劳动的經驗知識基础上，經過科学的抽象逐步兴起成为一門科学的。科学的兴起和发展，使生产在科学的指导下得以加速发展，同时，人們从新的生产活动中也获得更多的科学資料，使科学的理論根据更广泛，从而使科学知識更加充实。

“力学”和几何学一样，是由于生产实践的需要发源于上古时代。当时，由于耕作、灌溉、建筑、运输等方面的需要，开始使用了杠杆、斜面、滑輪、車子及船舶等工具，这些简单机械和生产工具的使用，使人們对物体的机械运动有了初步認識。但是在很长的一段时期里，这些認識仅限于片断的經驗累积，还没有形成科学概念和理論系統，直到公元前几百年內，經過人們的系統研究与試驗，才正式奠定了一部分理論基础。

在中世紀时代，力学科学和其他科学一样，限于停滞状态。这是由于当时的社会受到了日益腐朽的封建制度的束縛，社会思想被唯心主义的經院哲学所統治，生产的发展停滞不前，致使中世紀成了科学发展道路中一段漫长黑夜。

直到文艺复兴时期的十五世紀，由于西方商业資本开始发达，生产力迅速发展，航海事业和都市建筑也相应的发展起来，力学和其他科学才再次复兴。在这一时期，靜力学理論得到了进一步发展，动力学也在这一时期奠定了基础。这一时期动力学方面的卓越成就之一，

是哥白尼(1473—1543)提出了太阳中心說,引起了宇宙觀的大革命。不久,开普勒(1571—1630)又发现了行星运动三大定律。在这一时期,偉大科学家伽俐略(1564—1642),为了解决船舶結構中梁的强度問題,改变了单凭經驗設計构件尺寸的陈旧方法,創立了用强度試驗和計算的科学方法,为材料力学科学的形成,奠定了基石。

力学是在17世紀开始正式成为一門定型科学的,科学家依薩克·牛頓(1642—1729)总结了他以前无数科学家的成就,創立了今天还在傳授的“經典力学”。

在力学发展过程中,俄国及苏联科学家有着极其偉大的貢獻。首先值得提出的是彼得堡科学院士列那尔德·欧拉(1707—1783),他是一位杰出的数学力学家,是用无穷小解析法来解决力学問題的首創者,并写出了用数学分析方法来分析力学問題的第一本书。在他写的43卷著作和780多篇論文中,大多数都是有关力学的問題。牛頓虽然創始了微积分法,但牛頓在研究中并没有用到他自己創始的方法。

天才的俄罗斯学者罗蒙諾索夫(1711—1765)的貢獻也是极其卓越的,他奠定了气体力学和材料硬度学說的基础,首先发现了物質不灭和能量不灭定律,創造了許多新机器,这位科学勇士在18世紀中叶发表的著作,到两个世紀以后才被人們充分理解和重視。

被列宁称为“俄罗斯航空之父”的尼·貢·茹柯夫斯基,是航空理論和技术的奠基人,他在气体力学方面的成就,是今天飞机的設計和計算的重要基础。他曾預言“人类将依靠本身智慧的力量来飞行”,不久以后,他的理想就成了现实。

偉大的宇宙航行学奠基人康·愛·齐奥尔科夫斯基(1857—1935)的輝煌成就,为实现人类征服宇宙的理想开辟了途徑。今天宇宙火箭运动基本定律,就是按照齐奥尔柯夫斯基的定律发展起来的。他以毕生的精力,对“宇宙飞行的基本原理及其一切有关的問題作了多年的精湛研究。苏联卫国战争中威力雄厚的喀秋莎及苏联强大的空軍噴汽机,都与齐奥尔科夫斯基早年的理論研究有密切关系。他曾預言:“人类不会永远居住在地球上,而是要寻求光明和空間的,在最初是小心翼翼的穿越了大气层的界限,最后将征服太阳系所在的空間”。齐奥尔科夫斯基的宏偉理想,在他逝世后不过二十余年的今天就成了现实,这就是在他的偉大祖国——社会主义的苏联——建国四十周年的时候,苏联科学家先后成功地发射了三顆人造地球卫星,不久紧接着向宇宙空間发射了人造行星,最近,又成功地发射了載人宇宙飞船,并安全地返回了地球。

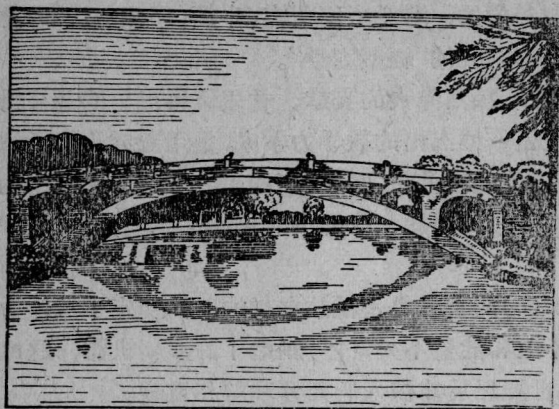


康·愛·齐奥尔科夫斯基

苏联科学家征服宇宙空間的偉大成就,有力地表明了苏联的力学科学及其他科学的高度发展,并遙遙領先于世界了;也集中表明了苏联人民在力学科学方面的成就与貢獻是极其卓越的。然而苏联科学的发展,是在十月革命胜利以后才开始迎头赶上并領先于世界的。在黑暗的沙俄时代,虽然也有許多天才的俄罗斯学者在科学史上作出了极其卓越的貢獻,可是并未得到应有的重視和利用。相反,当时的社会条件給科学的发展造成了許多难以言喻的障碍。正如齐奥尔科夫斯基所說:“我的大半生是在黑暗的沙皇制度下,在恶劣的条件下渡过的,我的周圍对待发明采取冷遇,……。只有苏維埃祖国能重視我,新的真正的祖国給我提供了生活和工作的条件……。”

几千年来,我們中国在力学科学方面的成就与貢獻也是极其卓越的。早在四千多年以

前，我們勤勞勇敢的祖先就开始了耕作器械和运输工具的制造，并开始修造房屋；历代以来，在机械制造、建筑技术以及工具和仪器的制造方面所取得的成就，至今仍在全世界放射着文明古国的光彩。



赵州桥

下图所示，是跨越在河北赵县汶水河上的一座石拱桥，名为赵州桥；桥身全长十一丈二尺，只有一个半径为 27.7 米的主拱，为减轻桥身负荷，增加洪水期的出水面积，桥体的两端各驮着两个小巷。这座桥是早在 1300 多年以前，由隋代的一位石匠也是一位杰出的桥梁工程师李春（公元 581—618）主持设计修建的。建成到现在，两端桥基的沉陷差只有 5 厘米，至今仍可车马通行。象跨度这样大、设计得如此完美的单拱桥，在欧洲直到 1912 年才初次出现，而且现在早已坍塌，算起来，比李春迟了 1300 多年。

我国战国时代的伟大建筑师公输般（鲁班，公元前 570—481）在建筑技术和机械设计方面的成就，更是众所周知的。在 2400 多年前，鲁班就有了制造飞机的启蒙思想，他主持设计制造的“木鸢”，就是一种最朴实的飞机胎形，曾被用来“窥探宋城”。

在交通运输工具的制造方面，我国也早有成就。在周礼“考工”中，记有车的制造程序；殷代已开始使用有辐条的车轮；宋朝燕肃发明了记里鼓车，车上并设有齿轮机构，每行一里，车子自动击鼓一次，这同时表明我国很早已开始了齿轮的制造和使用。

船舶的制造，也发展的很早。隋代杨素在永安建造的大战船，可以容纳八百人；到了明代，我国已能制造远洋船舶了。

我们的祖先在力学应用方面的具体成就，其例不胜枚举。不仅在力学应用方面取得了许多成就，而且在力学理论方面也早有记载。早在战国时代，即距今 2400 多年的时候，我国古代学者墨子（墨翟）就在他写的墨经里对力和运动下了适当定义，对于力和运动的关系也有了初步认识；对于杠杆（秤）的平衡问题也有了理论的叙述。这可以说是世界上力学理论的最早记载。宋朝李仲明著的营造法式，可以说是一本完整的建筑规范。其中的许多规定，都十分符合今天材料力学的原理。再如明朝宋应星编著的“天工开物”一书，用文字和图象相结合，生动的反映了当时的农业和手工业的生产活动情况。这些都表明我们的祖先在力学理论方面也早有成就。

在我国古代，出现过许多伟大的科学家和工程师，前面已经提到了天才的建筑师鲁班和杰出的桥梁工程师李春等。下面，我们再介绍几个出色的科学家。

东汉时代的张衡（公元 78—139）是当时的一位著名文学家，也是一位天才的科学家。他在天体力学方面的成就，显示了他的伟大科学天才。张衡创制了世界上第一架地动仪，还创制了天球仪、水力天文仪、候风仪，并制订了标明星体位置的星图。虽然他初生在公元初世纪，然而他当时创造的地动仪和今天的地震仪原理基本上是相同的；他创造的水力天文仪是西方近代钟表的嫡系祖先；他创造的候风仪在西方直到十二世纪才出现。张衡在天文学方面的这些成就，表明他在力学科学方面有丰富的知识，其创造力异常充沛。



張 衡



郭守敬

元代的郭守敬(1231—1316)是一位伟大的天文学家、天才的数学家和杰出的水利工程师。他創制了几十种天文仪,研究过球面三角几何,制訂过类似今天的正弦函数表;在交通运输和农田水利方面,曾作了极其卓越的贡献。他連續担任了十五年的水利工作,主持設計开凿了通州至大都之間的运河,并在运河之間設置了一系列的水坝和可以升降的斗門,在甘肃兴复了淤浅的渠道,灌溉了大量农田;在河北和山东等地也筹划了許多水利工程,而且設計得非常精确。这些,都表明郭守敬具有丰富的数学力学知識,是一位杰出的科学家和水利工程师。

上面只是概略地例举了我国在工程技术和力学科学方面的星点成就,但已能說明勤劳勇敢的中国人民在力学科学方面作出了卓越贡献。然而由于几千年来,我国社会一直处在封建制度的紧紧束縛下,以及又遭到帝国主义、封建主义和官僚资本主义的残酷奴役和統治,生产力得不到发展,因而力学科学象其他科学一样,长期缺乏系統而深入的研究和整理工作。

中华人民共和国成立后,由于社会主义生产关系的建立,使我国生产力获得了空前大解放,大規模的高速度发展的社会主义建設事业,为科学的发展开辟了广闊天地,我国的力学科学才在党的亲切关怀下,开始以巨人的步伐向世界先进水平迈进。

现在,我国已有专门的力学研究机构,创办了力学科学刊物,出現了許多达到国际先进水平的力学論文,并为一系列先进生产技术問題的解决,提供了理論基础,例如鋼筋混凝土預施应力問題,弹性薄壁壳的挠度問題,坝体的温度应力和地震应力的分析,机器振动的隔离等。同时,实验应力方法也得到了迅速发展。

在現代工程技术方面所取得的成就,更是琳琅滿目,例不胜数。现在,我国已有了自己独立的現代汽車制造工业、飞机制造工业、船舶制造工业、重型机器制造工业、高級精密科学仪器制造业等,这些,都是半封建半殖民地的旧中国所不敢梦想的。

在建筑技术方面的成就,也是震撼世界的。例如1957年落成的武汉长江大桥,长达1670

米,步行要20分鐘以上才能走完全桥,火車也要行駛一分鐘時間,桥高达80米,相当于24层楼高。桥面分两层,一层通火車,一层通汽車,千吨以上的大輪船也能在桥下通行无阻。

据大桥工程局介紹:假定两列双机牽引的火車向同一方向、以最快的速度開向桥的中央、同时来一个急刹車;假定这时桥中央公路上还有六輛汽車以最快的速度前进,也同时来一个急刹車;假定在同一刹那,长江上刮起了最大风浪,300吨的水平冲力碰到桥墩上;假定这些恶劣因素集中在同一時間爆发,武汉长江大桥仍可坚如磐石。这样宏偉的大桥,我国仅仅花了三年的时间就建成了,而旧中国喊了几十年也未見到桥影子。这充分表明我国工程技术水平已迅速提高,也表明了社会主义制度的优越性。

我們坚信:在社会主义建設总路綫的光輝照耀下,随着我国社会主义生产力的髙速度发展,我国的力学科学一定能很快的迎头赶上世界先进水平。

(四)

学习和研究力学科学,必須以毛澤东思想为指导思想。

毛主席在实践論中教导我們說:“認識从实践始,經過实践得到了理論的認識,还須再回到实践去。”^①任何科学都是这样。无不遵循由实践到理論再到实践的发展过程。工程力学科学的研究也是如此,即在实践的基础上,經過观察、試驗、假設、理論分析的过程,然后再經過实践的驗証。

毛主席在矛盾論中告訴我們:“科学研究的区分,就是根据科学对象所具有的特殊的矛盾性。”又說:“不能把过程中所有的矛盾平均看待,必須把它們区别为主要的和次要的两类,着重于捉住主要的矛盾,……。”^②客观实际中的力学問題,正是如此,即往往是复杂多样的,为了便于研究,必須根据客观現象的实质,先略去問題的枝节方面和次要方面,提出若干假設来使問題簡化,从而突出問題的主要方面或中心。例如在研究物体的机械平衡規律时,假定一切物体皆为絕對剛硬体,这样就便于突出問題的主要对象——物体上力系的平衡条件。

通过观察、試驗、判断、推理而得出的概念、公式和理論是否符合客观真理,必須經過实验和生产实践来驗証,从而指导生产向前发展。本书在材料力学部分的研究中,实验与理論是交錯进行的。实验的目的,一方面在于了解材料的性能,另一方面,是要檢驗理論的結論及定律。为了使研究工作更加符合生产实际,材料力学实验不仅在室内进行,在实际工程中还常常在天然的現場来进行实验,如土工工程中,由于不可能把处在复杂多样的地質条件下的地基准确地模型化,加之室内其他条件有一定局限性,因而常采取在野外現場进行地基强度試驗的方法,来确定地基承载能力的指标。

① 毛澤东选集,第一卷,人民出版社,1957年,第281頁。

② 毛澤东选集,第一卷,人民出版社,1957年,第297頁和310頁。

第一部分 理論力学

第一篇 靜力学

第一章 基本概念和定义

§ 1 剛体的概念

靜力学研究物体处于机械平衡状态的情形。靜力学要解决两种問題：(1) 將作用在物体上的力系合成。(2) 研究力系的平衡条件，解答处于机械平衡状态的物体上的未知力。靜力学中經常用到靜止概念，不論在何种情况下，問題中的靜止概念总是相对而言的。在大多数問題中所說的靜止，都是指物体与地球之間的相对位置不变。

在靜力学中，設想一切物体都是絕對剛硬的，也就是認為：不論物体受力状态如何，物体中各质点間的相对位置永不变化。这种絕對不发生形状变化的物体，称为絕對剛体或簡称剛体。实际上，自然界并没有絕對剛体，任何物体在外力作用下，都将或多或少的发生形状改变。靜力学之所以把物体設想为剛体，是因为：(1) 在大多数情况下物体的变形很小，在考察力底平衡时，略去物体微小形状的改变不計，对計算結果并没有多大影响。(2) 力和物体的变形，是互有联系又互相区别的两个問題，如果首先把研究工作集中在力底問題上，將使問題大为簡化。本书在材料力学中，将同时来考察力和物体的变形問題。

§ 2 力的概念

人們头脑中力的概念，是从自己的生活體驗和对自然現象的长期观察中获得的。自古以来，人类就开始了克服重力的斗争，并經常利用身軀肌肉的緊張去改变物体的位置。另一方面，人們从对自然現象的长期观察中認識到：要迫使靜止的物体得到运动、或使运动着的物体改变运动状态，必須有另一个物体的作用。于是可知：力是物体的互相作用，是物体运动状态发生改变的原因。

由以上所述可知：(1) 力是由物质产生的。(2) 力是物体得到运动或运动状态发生改变的原因。必須指出：在靜力学中并不探討力的来源，而着重考究力的效果或效应，这里說力的效应，是指力对物体运动状态的影响而言的。

实验告訴我們，力对物体的作用所产生的效应，取决于力的三个要素，这就是力的作用点、方向（包括方位和指向）和大小。物体上受力直接作用的部分，称为力的作用点；使物体得到运动的方向即为力的方向；力的大小是选择一个标准力作为单位力，而以单位力的倍数来表明力的大小。在工程問題中，通常采用重力单位制，即以 4°C 时 1000 立方厘米的水在北緯 45° 海平面处所受的重力为单位。这样，一单位的力称为一公斤，有时，为計数方便，亦用吨作单位。1 吨 = 1000 公斤 = 1000 千克。力的大小可用彈簧秤或其他測力計来衡量。

物体所受的力，可用图象表示出来。

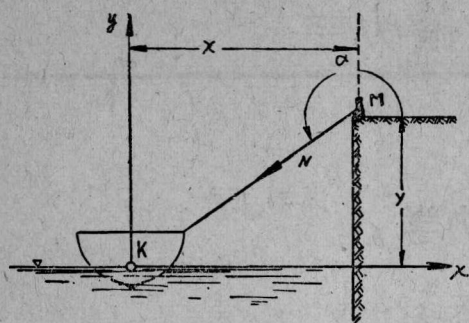


图 1

設有一靠岸船只,被纜繩 KM 系在石桩 M 上(图 1),根据力的三要素,可以这样来表示船对石桩的作用:将 M 看成力的作用点;沿着繩子作一带箭头的綫段 $\overline{MN}$,則 $\overline{MN}$ 按一定比例表出力的大小和方向。这就是力的图象表示法。沿着力的方向所作的綫段,常称为力的作用綫。

为便于研究,常用坐标来控制力。在上述問題中,若以船的中心为坐标原点,分別以水平方向和鉛直方向为坐标軸向,則力的作用点 M 的位

置,可以按一定比例用 x 和 y 来控制;力的方位和指向,可以用方位角 α 来控制。为此,我們規定:自橫軸正向起,逆时針轉到力的方位綫止,其間的夹角称为力的方位角。在图 1 中, $\overline{MN}$ 力的方位角在第三象限。

在力学中要区别两种量,这就是“标量”(无向量)和“矢量”(有向量)。凡是具有一定的单位而仅有数的大小就可完全表示出来的量称为标量,例如時間、距离、温度和体积等,均称标量。标量是代数量,其值可正可負,因而可以对它們施行代数运算。如果在确定某些量时,不仅要考虑它們的数值,而且要考虑它們的方向,則称它們为向量或矢量。显然,力是矢量。諸如速度、加速度等皆为向量。在力学中,为了区别和称呼不同的力矢,常在力矢旁边注以文字符号,例如 $\vec{P}$ 、 $\vec{Q}$ 、 $\vec{F}$ 、 $\vec{N}$ 、 $\vec{G}$ 、 $\vec{W}$ 等;文字上方的橫綫,表示它們是有向量。有时为了簡便,在文字上方不加橫綫,而仅写作 P 、 Q 、 N 等,这时,文字符号是表示力的大小或为了便于称呼。

§ 3 靜力学基本定义和公理

(一)基本定义 靜力学在論述过程中,經常用到以下基本定义:

作用在已知物体上的力群,称为力系。如果有两个不同的力系,对同一物体产生相同的效应,則称这两种力系为等效力系。如果物体在某力系作用下处于机械平衡状态(靜止或作等速直綫运动),則表明力系中各个力的效应相互抵消,故称为平衡力系。

設一物体受到 P_1 和 P_2 的作用(图 2a),今取去 P_1 和 P_2 , 而用另一力 R 来代替其作用(图 2b),如果物体在力 R 的作用下所得到的运动,跟在力 P_1 和 P_2 的作用下所得到的运动相同,則称力 R 为力系 P_1 和 P_2 的合力。也就是說:如果一个力能代替一个力系的作用,則称此力为力系的合力,而称力系的各个力为力系的分力。在研究过程中,經常要求力系的合力,或者将力数較多的力系变换成力数較少而效应相同的新力系;相反,有时需要将一个力扩张为与之等效的力系。将力系并为合力,称为力的合成,将一个力扩张为力系,称为力的分解。事实表明,如果力系可以合成为一个合力(或可以用一个力来代替其效应),則受力系作用的物体将沿力系的合力方向运动,这种力系称为非平衡力系。

在图 2a 中,如果加上一力 P_3 (图 3),使 P_3 与 P_1 及 P_2 的合力 R 共作用綫,并且与 R 大小相等、方向相反,則 R 跟 P_1 及 P_2 的效应相互抵消,于是 P_1 、 P_2 及 P_3 組成一个平衡力系。与力系的合力共作用綫、大小相等、方向相反的力,称为力系的平衡力。不难知道:如果从平衡力系中取掉任何一个力,則其余各力将失去平衡。由此可知,平衡力系中的每个力,均是其余各力所組成力系的平衡力。

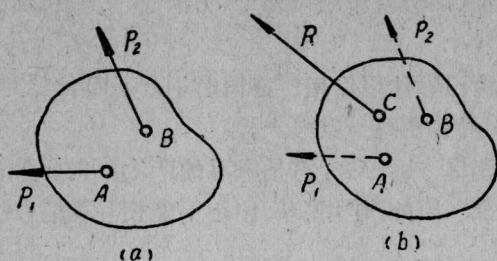


图 2

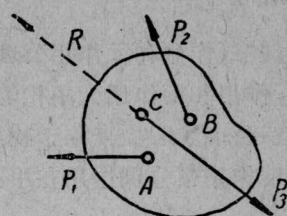


图 3

(二)基本公理 所谓公理,是人们经过对客观现实无数次的慎重观察和实践,公认为符合客观现实的真理。公理的真实性,不能用更基本的原理来证明,只能通过实验来考察。静力学是在下面的几个基本公理基础上开展讨论的。

公理一(二力平衡公理):作用在刚体上的两个力,如果二力大小相等,方向相反,并且作用在同一直线上,则此二力对刚体的运动不起作用。也就是说,二力相互平衡。

譬如有一刚体 K , 在其 A 点和 B 点上分别受到 $\bar{P}_1$ 和 $\bar{P}_2$ 的作用(图 4), 若 $P_1 = P_2$, 都在 AB 联线上、而且反向, 则事实表明, 这样的两个力是不能使刚体得到运动的。

公理二: 在刚体上加上(或取消)任一平衡力系, 不影响刚体的运动状态。

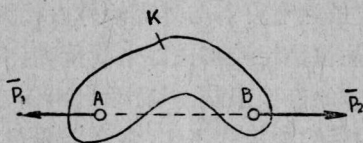


图 4

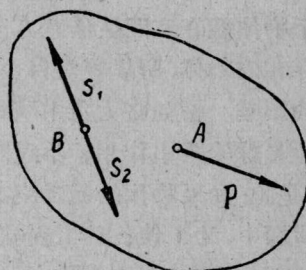


图 5

例如有一刚体(图 5), 在 P 力的作用下以某种状态运动着, 如果再加上任一平衡力系(譬如加上一对相互平衡的力 S_1 和 S_2), 则事实证明, 物体将保持原有的运动状态不变。

[推论]: 力在刚体上沿作用线移动, 其效应不变。

设有一物体, 在力 P (图 6) 的作用下作某种运动; 今在 P 力的延长线上任一点 B 处(图 6b), 加施一对力 P_1 和 P_2 , 设 P_1 和 P_2 的方向相反, 并且 $P_1 = P_2 = P$ 。则虽加施了一对力, 但物体原有运动状态不改变, 因加上去的是平衡力系; 另一方面, 因 $P_2 = P$, 并且相等而反向, 故可按第二公理将其舍去, 于是物体上剩下了 P_1 (图 6c), 但仍保持在 P 力的作用下所得到的运动状态。由于 P_1 与原有的 P 力比较起来, 只是作用点不同, 故可认为 P_1 实质上是 P 力由作用点 A 沿其作用线移到了作用点 B , 而移动以后, 并没有影响物体的运动。这表明力的作用线上

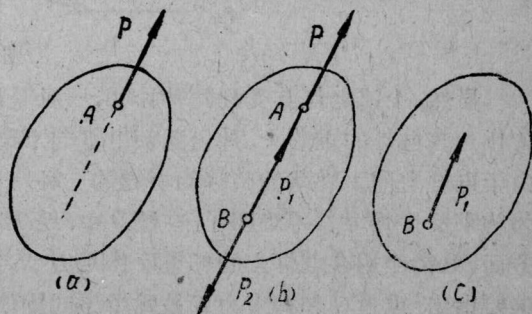


图 6

任一点皆可作为力的作用点，也就是說，力可以沿着作用綫移动。力的这一性質，称为“力的可傳性”。

公理三(作用和反作用公理): 甲物体給乙物体以作用，必同时引起乙物体給甲物体以反作用，作用和反作用大小相等、方向相反，并且在同一直綫上。

第三公理表明力来源于物質；力不可能单方面存在，总是成对的产生。但要着重指出，作用和反作用系分別作用在甲乙两个物体上，因此，作用和反作用不能相互抵消(或相互平衡)。

公理四(平行四边形公理): 相交二力的合力，与此二力作用在同一点上，其大小和方向，等于以此二力为边所組成的平行四边形的对角綫。

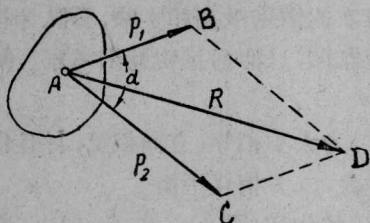


图 7

設在某物体的 A 点上，作用有二力 P_1 和 P_2 (图 7)，它們之間的夹角为 α 。为求出其合力，按平行四边形原理，可以自二力的矢尾 B 和 C 作与二力平行的綫段 BD 和 CD ，于是得到一平行四边形 $ABCD$ ，其对角綫 AD 按一定比例，代表所求合力 R ，方向由 A 指向 D 。

第四公理提供了求合力的基本原理。

§ 4 約束与約束力

如果一个物体能在空間往任意方向自由地运动，就称此物体为自由体。由于自然界沒有絕對孤立存在的物体，所以絕對自由的物体也是沒有的。任何物体，总是不可避免地要受到外界物体的影响。譬如在太空中飞行的人造行星，虽然它沒有与外界物体直接接触，但毕竟还受到其他星球的吸引作用。不过在靜力学里，往往是比較狭义地来看待物体的自由与不自由，也就是說：如果物体的运动沒有受到其他物体的直接限制，就称为自由体。

在工程問題中，为了使各种工程結構能按預定的目的承担起工作，常常需要組成結構的构件，按各种不同方式相互依靠起来，或者将构件在某些方向的运动加以限制。例如在桥梁結構中(图 8)，桥梁需用桥墩来支承，桥墩需要基础和地基来承托全部結構的作用。再如悬在天花板下的电灯(图 9)，需要借电綫的限制，使电灯不可能向下墜落。在力学中，把这种限制物体位移自由的障碍物称为約束。在图 9 中，对于电灯來說，电綫是約束，电灯是被約束物。

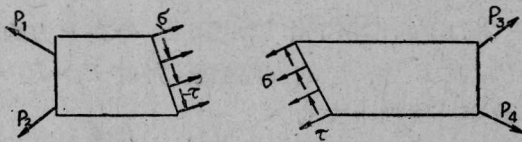


图 8

显然，上述电灯其受到两种作用，一种是地球对电灯的吸引作用，即电灯本身的重力 G ， G 作用在电灯的重心上，并企图使电灯向下墜落。另一种是电綫对电灯的牵制作用 N ， N 是由于电灯有向下墜落的趋势而引起的一种反作用。今后我們称約束对于被約束物的反作用为約束反作用力。不难明了：在图 9 中，地球吸引电灯的力 G ，等于电灯对电綫的作用；另一方面，电綫作用在电灯上的約束反作用力 N ，必等于电灯的重力 G ，所以电灯能維持平衡。但要指出：重力 G 和約束力 N 是两个不同物体对同一物体的作用，而不是直接相联的两个物体之間的作用和反作用。因为两个物体之間的作用和反作用是不能相互平衡的。

从上述的分析中应当明确: (1) 约束和被约束是依据所考察的对象来决定的。譬如在图 9 中, 如果是考察电灯的平衡, 则绳子是约束, 电灯是被约束物。如果问题是考察电线的受力情况, 则天花板是约束, 电线是被约束物, 而电灯的自重系作用在绳子上的荷重或主动力。(2) 在任何情况下, 约束力总是一种反作用, 是被动力。(3) 约束力的方位和指向与被约束物的运动趋向有关; 与约束性质有关。下面研究几种常见的约束性质, 也就是研究它们的一般结构和约束力的方向。

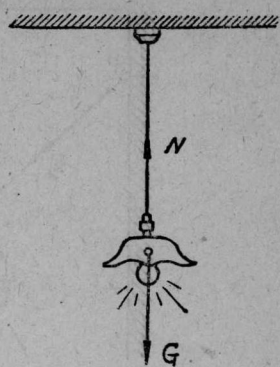


图 9

(1) 光滑约束: 这种约束与被约束物之间以点、线或面相接触, 二者互不固联, 并假定它们的接触表面是绝对光滑的 (即认为表面没有摩擦) 因而在接触处的公切线方向互相没有阻碍作用。下面是光滑约束的几个例子。

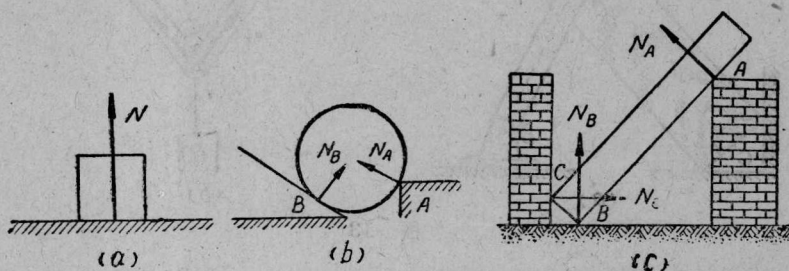


图 10

图 10a 所示, 是一物块放置在桌面上; 图 10b 示一圆柱放置在斜面和棱柱体的棱上; 图 10c 示一木头插在两垂直墙垣之间。由于它们的接触表面是光滑的, 因而在接触处的公切线方向没有阻力, 它们之间的相互作用, 只能在接触表面的公切线方向, 所以光滑约束的约束力作用线与接触表面的公法线一致, 而箭头指向被约束物。图中 N 、 N_A 、 N_B 及 N_C 等矢量, 表示各接触处的约束反作用力。

(2) 柔性约束: 诸如绳索、链条、皮带和钢丝之类的物体, 当它们对别的物体的运动有限制作用时, 就将其称为柔性约束。

图 11 示电灯用电线 AC 悬挂在天花板下, 并被拴在侧墙上的绳子 BC 牵住, 使电灯偏向墙的一边。由于柔性物体只能抵抗伸张作用, 所以, 柔性约束的约束力的作用线, 总是与自己的中心线一致, 箭头背向物体。图中用 N_1 、 N_2 分别表示各柔性约束的约束力。

(3) 杆件约束: 实际问题中, 常以杆件作支座, 并用铰销将支座与被支承物穿联起来。铰销联结的特点是容许被联结的物体之间, 可以相对转动, 但不能分离, 如图 12 示一钳子的铰销联结。

图 13a 示一木头 AC , C 端倚靠在墙脚处, A 端用杆件 AB 支撑着, 杆件 AB 的两端, 分别用铰销与木头和基座穿联起来。显然, 杆件 AB 的作用, 在于控制木头上的铰销 A 与基座上的铰销 B 保持一定距离, 既不允许多 A 和 B 之间的距离缩短, 也不允许多 A 离开 B , 但不能阻

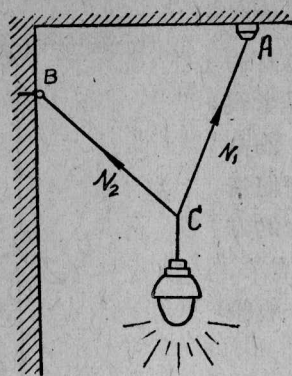
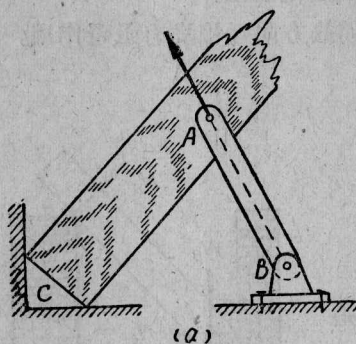


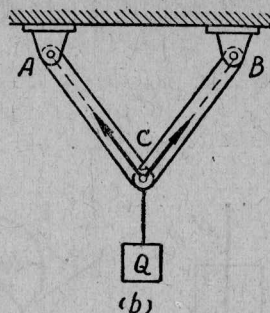
图 11



图 12



(a)

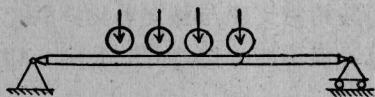


(b)

图 13

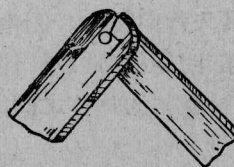
止物体 AC 繞着杆件 AB 迴轉。所以，杆件約束的約束力地作用綫，总是与两个鉸銷中心的联綫一致，而約束力的箭头系指向被約束物或背向約束物，究竟向着哪里，需要視被約束物的运动趋势而定。如果被約束物有沿杆件靠近基座的趋势，則杆件約束力系指向物体，反之，則背向物体。在图 13a 中，若仅考虑到木头自重的影响，則杆件 AB 的約束力系由 B 指向 A ；图 13b 中杆件 AC 和 BC 的約束力，則系由 C 指向 A 和 B ，因为重物 Q 有向下运动的趋势。

(4) 鉸鏈約束：現代机器結構和建筑結構中常用到鉸鏈支座。鉸鏈支座分固定鉸鏈和活動鉸鏈支座两种，如图 8 所示桥梁結構的两端就是用这两种鉸鏈支座支承在桥墩上的。为了使桥在温度变化及在外力作用下发生弯曲时能在纵向自由的伸縮，桥的一端用固定鉸鏈支座，另一端用活动鉸鏈支座。图 14 中的 (a) 和 (b) 分别为这两种鉸鏈支座的构造图和計算示意图。

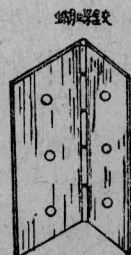


(弯曲)

图 14



(a)



(b)

图 15