

中等专业学校教学参考书

材 料 力 学

曹 宇 平 等 编

中国建筑工业出版社

本书系根据原高等教育出版社出版的中等专业学校教材《材料力学》一书纸型重印的。全书系以1958年建筑工程出版社出版曹宇平编《材料力学》为基础，增加了非圆截面杆的扭转、连续梁、强度理论的概念，以及扭转与弯曲的组合四节，按原中华人民共和国建筑工程部教育局1962年7月修订的中等专业学校土建类材料力学教学大纲改编成的，可作为中等专业学校土建类材料力学课的教学参考书。

中等专业学校教学参考书

材料力学

曹宇平 等编

(根据原高等教育出版社纸型重印)

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：850×1168毫米 1/32 印张：9½ 字数：267 千字

1978年12月新一版 1980年12月第二次印刷

印数：100,141—132,740册 定价：0.83 元

统一书号：15040·3544

序

本书系以曹宇平编《材料力学》为基础，按照中华人民共和国建筑工程部教育局 1962 年 7 月修订的中等专业学校土建类材料力学教学大纲改编而成的，可作为中等专业学校土建类材料力学课程的教材。

在改编过程中，南京、郑州、安徽、北京等地的建筑工程学校和武汉城市建设学院、北京建筑工业学院均曾给予大力支持。参加本书改编工作的有：曹宇平（第一、三、四、五、六章）、吕子华（第十一章）、杨之瑞（第七、八章）、姜锡瑞（第二、十二章）、余家铭、姜锡瑞（第十章）、朱善昶（第九章）等；由曹宇平负责主编。

本书审查工作系由吕子华、唐化驯、杨之瑞负责。

编者

1963年10月

目 录

序

第一章 绪论1

- § 1-1. 材料力学的任务1
- § 1-2. 材料力学的发展简史2
- § 1-3. 祖国人民的贡献4
- § 1-4. 材料力学与其他课程的联系6
- § 1-5. 材料力学的研究方法6
- § 1-6. 关于弹性体的概念7
- § 1-7. 变形固体的基本假设7
- § 1-8. 外力和内力9
- § 1-9. 截面法·应力10
- § 1-10. 杆件变形的基本形式14

第二章 轴向拉伸和压缩16

- § 2-1. 轴向拉伸和压缩的概述16
- § 2-2. 纵向变形和横向变形17
- § 2-3. 横截面应力的计算20
- § 2-4. 虎克定律·纵向弹性模量22
- § 2-5. 拉伸实验27
- § 2-6. 压缩实验33
- § 2-7. 容许应力和安全系数35
- § 2-8. 拉伸及压缩的强度条件及三类问题38
- § 2-9. 自重对应力和变形的影响42
- § 2-10. 拉伸和压缩的超静定问题46
- § 2-11. 温度对超静定结构的影响·温度应力54
- § 2-12. 装配的不精确对超静定结构的影响·装配应力57

第三章 剪切和挤压59

- § 3-1. 剪切和挤压的概念59
- § 3-2. 剪切和挤压的实用计算61
- § 3-3. 榫接计算和铆接计算62
- § 3-4. 剪切虎克定律·剪切弹性模量70

第四章 应力状态分析	74
§ 4-1. 单轴向拉伸及压缩时斜截面上的应力	74
§ 4-2. 应力状态概念	78
§ 4-3. 双轴向拉伸和压缩时斜截面上的应力	80
§ 4-4. 用应力圆求主应力	88
第五章 平面图形的几何性质	93
§ 5-1. 静矩	93
§ 5-2. 惯矩·惯性半径·极惯矩	96
§ 5-3. 惯积	99
§ 5-4. 惯矩和惯积的平行移轴公式	100
§ 5-5. 组合图形的惯矩和惯积	103
§ 5-6. 平面图形的主惯轴和主惯矩	109
第六章 梁的内力、弯矩与剪力	117
§ 6-1. 直梁弯曲的概念	117
§ 6-2. 梁的支承反力	118
§ 6-3. 梁截面的内力·剪力和弯矩	119
§ 6-4. 用静力法绘制剪力图和弯矩图	122
§ 6-5. 弯矩、剪力和荷载集度间的微分关系	129
§ 6-6. 绘制和检验剪力图及弯矩图的法则	132
§ 6-7. 用简捷法绘制剪力图和弯矩图	134
§ 6-8. 用叠加法绘制剪力图和弯矩图	138
§ 6-9. 小结	139
第七章 梁的应力	144
§ 7-1. 前言	144
§ 7-2. 纯弯曲时的法向应力	144
§ 7-3. 梁截面的合理形状	152
§ 7-4. 平面弯曲时的剪应力公式	161
§ 7-5. 按剪应力校核梁的强度	166
§ 7-6. 按主应力校核梁的强度	168
§ 7-7. 弯曲强度计算的一般步骤	170
第八章 梁的变位	177
§ 8-1. 概论	177
§ 8-2. 变位的两种基本形式——线变位和角变位	177
§ 8-3. 弹性曲线微分方程	179
§ 8-4. 求梁变位的图解解析法	185

§ 8-5. 最简单的超静定梁	198
§ 8-6. 連續梁	203
第九章 扭轉	213
§ 9-1. 圓杆受扭的变形特征	213
§ 9-2. 圓杆的扭轉应力和扭轉角公式	214
§ 9-3. 圓杆扭轉的計算	218
§ 9-4. 扭轉时的主应力	220
§ 9-5. 扭矩图	223
§ 9-6. 非圓截面杆的扭轉	225
第十章 直杆的組合强度	228
§ 10-1. 前言	228
§ 10-2. 斜弯曲	229
§ 10-3. 拉伸和弯曲或压缩和弯曲	237
§ 10-4. 偏心压缩	241
§ 10-5. 强度理論的概念	255
§ 10-6. 扭轉与弯曲的組合	258
第十一章 压杆的稳定校核	262
§ 11-1. 压杆稳定的概念	262
§ 11-2. 确定压杆临界力的欧勒公式	264
§ 11-3. 超过比例极限时压杆的稳定	268
§ 11-4. 压杆稳定的实用計算	270
第十二章 按破損荷載法計算的原理	277
§ 12-1. 按破損荷載法計算的概念	277
§ 12-2. 按破損荷載法計算梁	279
§ 12-3. 按极限状态法計算的簡介	284
附軋制型鋼表	287

第一章 緒論

§ 1-1. 材料力学的任务

材料力学是一門技术基础課程。它的研究对象，是由各种不同的材料制成并处于各种各样受力状态下的工程結構的构件。因而只有从工程实物来考察，才能具体地說明这門課程的任务。

为了保证人民生命財產的絕對安全，对任何一座結構物中任何一个构件的基本要求，應該是在一切可能預見的外力作用下，在其整个使用时期，不会产生事故和灾害。例如，对于图 1-1, *a* 所示的鉸結杆系，当它受到外力 P 作用时，我們首先应考虑整个杆系的安全問題，会不会因杆件的尺寸不足而发生断裂，使杆系毁坏。在工程上，我們把这类問題称为强度問題。另一方面，經驗和实验告訴我們，一般固体在外力作用下，都要产生一定程度的变形，也即形状和尺寸都要发生一定的改变。如果构件在受力后变形过大，則会影响正常使用，以至結構本身发生危險。因此我們也要考虑組成結構构件的剛度問題。最后，再看图 1-1, *a* 的 BC 杆，从图 1-1, *c* 的示力图中看出，这是一根受压杆件（图 1-1, *b*）。实践证明，如果杆件比較細长，当压力大到某一程度时，原来的直綫平衡

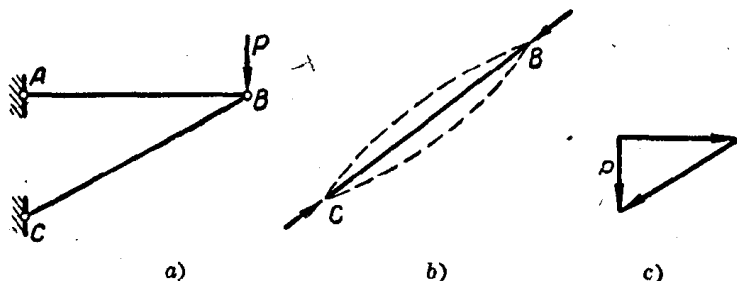


图 1-1

状态就会引起变化,而以一種新的曲綫平衡状态出現(图中虛綫所示的位置)。这是一种不稳定的平衡状态,对保证結構的充分安全來說,是應該避免的。为此,在考虑某一結構构件的强度和剛度时,还須考虑它的稳定問題。材料力学的首要任务,就是研究构件的强度、剛度和稳定問題。

以上从安全观点出发提出的材料力学的任务,只是問題的一个方面。另一方面,为了節約資金,加速社会主义建設,当設計工程結構的任何构件时,不仅應該保证它在整个使用时期的坚固性和持久性,而且也應該考虑到它的經濟問題;就是說,要充分发挥材料的性能,使結構构件的尺寸不过大。要做到这一点,就必须按照构件受力的情况和材料的物理力学性质,来为构件选择充分合理的截面形状和尺寸。因此,作为材料力学的任务,还要从最大經濟的观点出发,研究如何合理选择結構构件的尺寸和形状。

綜合上述,材料力学的任务就是要建立一套計算結構构件的原理,使从事設計工作的人們能为結構构件选择合适的材料,充分利用材料的性能,設計出既安全又經濟的截面形状和尺寸。

§1-2. 材料力学的发展簡史

材料力学的发展,是与社会生产力的发展有密切关系的。人类为了征服自然,在生产实践过程中,获得了选用材料来制作工具的經驗,将这些經驗累积起来,經過整理与加工,便逐漸形成研究材料强度方面的一門科学。这种由实践获得的科学理論,反过来又推动了生产技术的进一步发展。当这种发展超出了現有理論范围,不能用現有理論来解釋时,人們将又不得不总结現有的經驗,根据新的实验結果,来探討适用于新的問題和要求的科学理論。

材料力学作为一門科学來說,一般认为是从十七世紀前半期

开始发展的。当时欧洲封建社会解体，商业資本开始发达，国际間航海貿易漸盛，采矿冶金工业也在萌芽，这时新的經濟情况提出了一系列新的技术問題，針对这些問題的研究，材料力学便应运而生了。意大利科学家伽利略(1564~1642)首先对建筑材料的力学性质和梁的强度作了初步的研究，并于1638年发表了“两种新科学”这篇著作。奠定这门科学基础的还有：英国的科学家虎克(1635~1703)，他根据彈簧实验的結果，提出了杆件的应力与应变成正比的虎克定律，为材料力学的进一步发展打下了基础；荷兰科学家雅可普·伯努利(1654~1705)在研究梁的变形时，提出了平面截面假設；法国科学家庫倫(1736~1806)运用了静力学方程来分析梁截面上的內力，并提出了有关圓杆扭轉的理論；瑞士科学家欧拉(1707~1783)在1744年首先解决了有关压杆稳定的問題。

材料力学的进一步发展，是与建筑及机械制造业的发展紧密地联系着的。在这門科学繼續发展的过程中，一些工业比較先进的国家的学者曾經作出了許多卓越的貢獻。例如：俄国桥梁工程师儒拉夫斯基(1821~1891)在1854年提出了矩形截面梁的剪应力計算方法；德国工程师庫尔曼(1821~1881)和摩尔教授(1835~1918)曾致力于用图解法来分析梁弯曲时任一点的应力；由法国科学家圣維南(1707~1886)得到的杆件扭轉和弯曲問題的精確解，开辟了用彈性理論方法来解决实用問題的道路。其他如发现軸向伸长必定引起橫向收縮的泊松(1781~1840)，对物体彈性曾作深入研究的数学家斯托克斯(1819~1903)，桥梁受压弦杆計算方法与压杆近代計算的奠基者雅兴斯基教授(1856~1899)，解决工字梁弯曲稳定問題并提出許多有关强度計算方法的铁摩辛柯教授，以及曾提出联合强度理論的达維靖考夫教授等等。他們辛勤的劳动都給世界科学的园地，創造了宝貴的財富。

§ 1-3. 祖國人民的貢獻

祖國勞動人民在力學方面的貢獻和成就，在世界歷史上，占着很重要的地位。

在房屋建築方面，我國木結構中常採用斗拱的形式。斗拱的作用是承托由橫梁傳來的屋頂荷載，並把這些荷載集中起來，通過立柱傳送至基礎，從而減低了梁端的巨大剪力和應力集中現象。我國木結構建築保存的年代，有長達千年以上的，例如山西五台山的佛光寺、河北薊縣的獨樂寺，距今都有一千多年歷史了。在這些建築中，斗拱發揮了顯著的功效。另外，如山西應縣佛宮寺的木塔，八角九層，總高 66 米余，始建於公元 1056 年，為了適應力學上的各種需要，其上下內外竟共用了 57 種不同的斗拱。由此可見，我國勞動人民在建築方面獲得了多么光輝的成就。

在橋梁建築方面，我們勤勞勇敢的祖先也有過許多輝煌的成就。可以舉出幾個比較突出的例子，來說明我國人民是如何善于利用材料的性能來建造不同型式的橋梁的。

趙州石拱橋 這座橋跨越在趙縣汶水河上，跨長 37 米多，是中國古代著名橋梁工程師李春（公元 581~618 年）建造的。它不僅是當時世界上跨度最大的一座拱橋，而且在主拱上做了四個小拱，以減輕橋身重量，並減少橋身對水流的阻力。

瀘定鐵索橋和灌縣竹索橋 橫跨西康境內的瀘定鐵索橋，建於 1696 年，為世界上第一座跨長 100 米的吊橋。因為鐵索又貴又重，因此又有竹索的發明，如四川灌縣的竹索橋，橫跨泯江，長達 320 米。

祖國人民不僅在房屋建築和橋梁建築方面表現了自己的創造才能，就是在機械和船舶的製造方面，也曾有不少的貢獻和成就。根據周禮考工記以及最近殷墟出土的車子和甲骨文的記載，在殷

代我们已会制造有辐条车轮的车辆。在造船方面，在公元六世纪的隋代，在永安地方建造过能容八百多名战士的战船；到了宋代，我们的船只已有具有四桅九帆的装备；至明代则更发展为能够航行远洋的大船了。

以上所述，说明了我们的祖先在很早的年代中，对力学方面曾作出过卓越的贡献。

但是由于我国长时期受到封建统治，生产力受到束缚，科学得不到应有的发展，以至劳动人民在生产实践中获得的成就，未能总结成系统的理论。更由于解放以前近百年的帝国主义侵略和三十多年国民党的法西斯统治，人民的创造能力不能发挥，因而在科学技术上更趋于落后。

解放以来，我国各族人民，在伟大、光荣、正确的中国共产党的领导下，正为加速建成社会主义社会而热情地劳动着。为了适应国防建设和经济建设的需要，新中国的科学研究事业得到了史无前例的发展。像其他科学一样，材料力学也获得了不少的成就。例如，在治淮工程和荆江分洪工程中由于精确的分析而省去了基桩；在钢筋混凝土设计中，因采用了极限荷载法，从而节省了大量的材料；在武汉长江大桥工程中，采用了最新的大型管钻孔法，克服了旧的压气沉箱法所不能解决的困难；至于北京车站的双曲扁壳屋顶和北京工人体育馆的悬索结构，更是重量轻，用材省，节约了不少建设资金。我们深信，材料力学在我国将会获得更大的发展和应用。

§ 1-4. 材料力学与其他课程的联系

材料力学是一门技术基础课,是基础课与专业课之间的桥梁;它以数学、物理、理论力学等课程为基础,又为后继的技术基础课(如机械零件、结构力学等)和专业课提供必需的基础知识和计算方法。值得提出的是材料力学课程的研究方法,是建立在实验和理论分析的基础上的,这对我们今后的学习和工作,都有极其重要的意义。

§ 1-5. 材料力学的研究方法

材料力学的方法包括实验、假设、理论分析及验证等方面。

材料力学中所研究的结构构件是由各种不同材料制成的,其物理性质极为复杂,在各种外力作用下,所表现的力学性能也不一致。为了使所研究的问题简化,材料力学与其他科学一样,将人们在生产实践中获得的有关资料集中起来,分门别类地进行分析研究,了解与问题有关的各种因素,同时通过实验加以比较,分清主次关系,从而运用人们的思维能力,建立一系列表达问题主要方面的假设,作为理论分析的基础。很明显,只有这样突出问题的主要方面,略去次要方面,才能建立起一套对工程技术具有普遍指导意义的基本理论和方法。至于从理论分析中所得的结论,还要通过实践的验证,才能判定是否正确可靠。

材料力学在进行理论分析时,常以数学、物理学和理论力学为工具,从静力平衡条件、几何条件及联系力与变形的物理条件三个方面来考虑。

为了解决强度、刚度及稳定问题,必须知道常用材料的一些机械性质,而这方面的资料要通过实验才能得到。

可见在材料力学中,理论、实践和实验三者是紧密相联、彼此不可分割的。所以说,理论没有实践和实验就根本不能成立,理论也只有通过实践和实验的校核,才能够为人们所接受。

§ 1-6. 关于弹性体的概念

在理论力学中,我们只研究物体的外部效果,把物体看作是理想刚体,完全忽略物体因外力作用而引起的变形。在材料力学中则着重研究物体的内部效应,必须考虑物体的变形,认为一切物体都是变形固体。由于材料力学所研究的主要内容是构件在外力作用下的强度、刚度和稳定等问题,因此变形就成了物体主要的基本性质之一。

变形是一个几何概念,也是一种物理现象。变形的大小不仅与作用在物体上的外力有关,而且也与物体的几何尺寸以及材料的物理性质有关。物体所以发生变形,是由于在外力作用下,组成物体的各微粒间的相对位置发生了变化。如果作用在物体上的外力不超过某一限度,则在外力撤去后,变形就会立即消失。物体在外力撤去后即恢复其原来形状和尺寸的这种性质,称为弹性。

在外力撤去后能完全恢复原状的物体,叫做完全弹性体,不能完全恢复原状的物体,叫做部分弹性体。部分弹性体的变形有两部分:一部分是随着外力撤去即消失的变形,叫做弹性变形;另一部分是外力撤去后不能消失的变形,叫做塑性变形或残余变形。

在自然界中并没有完全弹性体;一般变形固体,既具有弹性,也具有塑性。但是实验指出,常用的金属、木材等建筑材料,当外力不超过某一限度时,可以看成是完全弹性体。

§ 1-7. 变形固体的基本假设

在材料力学中常用下列基本假设,作为理论分析的基础。

1. 材料均匀连续的假设: 这个假设认为物体的机械性质在处处都是均匀的, 而且把物体看成是由密实的质点组合而成。因之, 在物体的整个几何容积内到处都充满了物质。

实验说明, 运用这个假设作为材料力学理论分析的前提条件, 对于某些材料(例如钢、铜、铸铁等), 因其组成与假设近似, 可得到与实际情况极为一致的结论; 但对于木材、混凝土或钢筋混凝土、砖石等材料, 因其组成与假设颇有出入, 故只能得到比较粗糙的结果。

根据这个假设, 我们可以从物体的任何部分取出微小的六面体来研究物体的性质; 也可以把由较大尺寸试件通过实验所得的材料性质, 移用到微小的六面体上去。

2. 材料各向同性的假设: 这个假设认为材料在各个不同的方向都有相同的物理机械性质。铸铁、铸铜、玻璃以及混凝土都可以看作是各向同性的材料。

根据这个假设, 我们从物体任何部分取出的微小六面体在各个方向都会有相同的性质。

只在一定的方向上才有相同的物理机械性质的材料, 称为单向同性材料。例如: 纤维整齐的木材、辗钢、钢丝等。

3. 变形微小的假设: 这是一个近似假设; 假设物体几何形状的改变与其总尺寸比较起来是很微小的。

为了安全和适用, 在工程结构中, 一般构件允许产生的变形都很微小。这就使我们在建立静力平衡方程时, 可以不考虑外力作用点在物体变形时所产生的位移, 从而使问题大为简化。虽然这样会引起一些误差, 但数值是非常微小的, 在实用上可以不去计较。

除了上述几个基本假设外, 在材料力学中还常常对某些具体问题采用一些简化计算的假设, 这在以后有关的章节中将分别地

指出来。

§ 1-8. 外力和内力

1. 外力: 外力又称荷载, 是一物体对另一物体的作用力。外力使物体内的诸质点改变位置, 从而改变物体的尺寸和形状。外力可分为:

(1) 表面力: 这种力是作用在物体表面的, 可分为分布力与集中力两种。沿某一面积或长度连续地作用于结构上的外力, 称为分布力或分布荷载。分布在整个面积上的分布力, 单位用吨/平方米或公斤/平方厘米(t/m^2 或 kg/cm^2); 沿长度分布的分布力, 单位用吨/米或公斤/厘米(t/m 或 kg/cm)。外力分布的面积远小于物体时, 可以把这外力看成是集中作用于一点, 这种外力称为集中力或集中荷载, 其单位用吨(t)或公斤(kg)。

(2) 体积力(或称为质量力), 这种力是作用在物体内部所有各质点上的外力, 例如万有引力(物体自重), 惯性力等。

2. 内力: 组成物体的质点与质点之间, 原来就存在着互相作用的结合力。当外力使物体发生变形, 质点发生相对位移时, 由于质点间的距离改变, 相互之间的结合力也就有所改变。这种因外力作用而引起的质点结合力的改变量, 我们称为内力(或弹性力)。由于变形固体具有弹性, 这种内力不仅能抵抗外力, 阻止物体发生变形, 而且还力图消除已产生的变形, 使物体保持原来的形状和体积。

据上所述, 现在来分析一个受轴向力 P 作用而处于弹性平衡状态下的物体(图 1-2)。

设物体的长度为 l , 在外力 P 作用下产生了 Δl 的总伸长。假定在一条平行于物体轴线的直线上有两个质点 A 与 B (图 1-2, a), 当物体伸长时 A 与 B 分别移到了 A' 与 B' 的位置, 这样物体内部

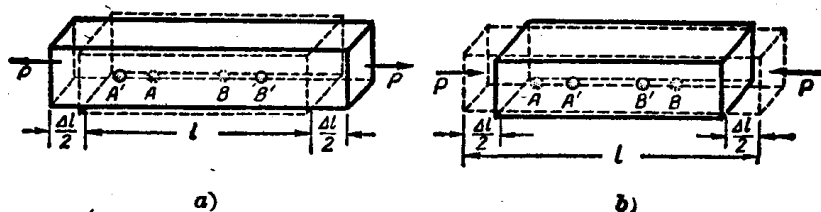


图 1-2

质点之间就产生有互相靠拢倾向的内力。同样，在图1-2, b中, 当物体被压缩而产生 Δl 的缩短时, 物体内部质点之间便产生相互排斥的内力。总之内力的产生是与物体形状的改变分不开的, 并且随着外力的增加, 内力也相应地增加。对于每一种材料, 内力的增加都有一定的限度, 超过这一限度, 物体就会破坏。若用这个限度来表示材料的强度, 我们就可用内力来作为衡量材料强度的尺度。

由此易见, 强度一般是指材料或构件抵抗外力的能力。

§ 1-9. 截面法 · 应力

(一) 考察内力的截面法

截面法是揭示内力最方便的方法。这个方法可把内力转化成外力形式, 并且求出它的大小。

设一物体在外力作用下处于弹性平衡状态(图1-3)。我们可以这样想象: 既然整个物体是处于平衡状态, 那么, 从它中间取出任一部分, 若使这一部分所受的力, 与未分割出来时所受的力相同, 则它也应该处于平衡状态。

设以一假想平面 mn (图1-3, a)把物体截开, 分成两部分A和B。部分A受着一些外力作用, 要使这部分保持平衡, 在截面上必定产生内力(图1-3, b)。这些内力也就是部分B对于部分A的作用力; 具体说, 就是部分B截面上的质点对部分A截面上的质点的作用。这两部分截面上的质点是——对应的, 由力的作用与反作

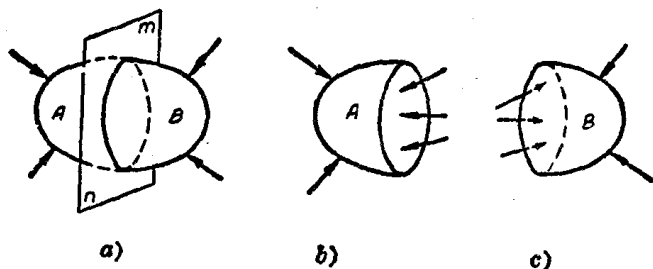


图 1-3

用定律可知，部分 A 对于部分 B 也必有大小相等而方向相反的力作用着(图 1-3, c)。因此，当我们分析物体某一截面上的内力时，可以随便选取哪一部分来研究。

据上所述，要求物体某一截面上的内力，可假想地将物体沿这个截面截开，移去一部分，这时作用在留下部分截面上的内力的合力，一般可用下列两个方法得到：

1. 仅从留下部分考虑，列出留下部分力的平衡方程。在习惯上我们常说，留下部分截面上的内力，就是该部分上外力的平衡力。

2. 将移去部分的外力向留下部分截面的形心简化。在习惯上我们常说，留下部分截面上的内力是移去部分对留下部分的作用。

一般说来，作用在留下部分截面上的内力的合力，将是一个力和一个力偶，在特殊情形下，可能是一个力或一个力偶。

必须注意：就整个物体而言，由截面法揭示的内力，就是以前所说的那种免使物体变形的内力；但就分离体而言，内力却起了外力的作用。

运用截面法，我们不但证实了物体内部力的存在以及存在的原因，而且更重要的是把这种力转化为我们所熟知的外力。以后我们在讨论任一分离体时，都可以应用静力平衡条件来求内力。

(二) 内力的集度——应力

为了解决强度问题，我们不但要知道杆件可能沿哪个截面破