

597566

高等学校教学用书

材料力学教程

上册 第一分册

M. M. 費洛宁軻-鮑罗第契主編

高等教育出版社

TB301

079.161

江南大学图书馆



91101331

高等子仪教子用音



材料力学教程

上册 第一分册

M. M. 費洛宁軻-鮑罗第契主編
陶 学 文 譯

个
8430

沈
良
才

高等教育出版社

本書系根据苏联國立技術理論書籍出版社（Государственное издательство технико-теоретической литературы）出版的費洛寧柯-鮑羅第契（М. М. Филоненко-Бородич）主編，費洛寧柯-鮑羅第契（М. М. Филоненко-Бородич）、依魯莫夫（С. М. Изюмов）、奧利索夫（Б. А. Олисов）、庫特略甫采夫（И. Н. Кудрявцев）、馬里清諾夫（Л. И. Мальчинов）合著“材料力学教程”（Курс сопротивления материалов）1955年版第一冊第四版修訂本譯出。原書經苏联高等教育部審定為高等工業學校教科書。

原書分第一、第二兩冊，中譯本相應地分為上下二冊，上冊又分為第一、第二兩分冊出版。原書新版第一冊可成獨立部分，適用於一切需要詳細學習材料力學的專業；第二冊則是第一冊中某些專門問題的深入研究，是一般專業可以不學的。第一冊內容除緒論外包括第一至第七篇，分述：拉伸和壓縮，剪切，彎曲，扭轉，組合強度，材料強度，彈性平衡形式的穩定性，動力學問題，彈性系統的一般計算方法等共十八章。中譯本上冊第一分冊包括緒論及第一篇拉伸、壓縮和剪切，第二篇彎曲等共七章。

中譯本上冊由陶學文同志翻譯。

本書上冊原由商務印書館出版，根據新版重譯後改由本社出版。

材料力学教程

上冊 第一分冊

М. М. 費洛寧柯-鮑羅第契主編

陶學文譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

（北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號）

三星印刷所印刷 新華書店總經售

書號 15010·242 開本 850×1168 1/32 印張 10 13/16 字數 280,000

一九五三年十月商務初版（共印 20,000）

一九五六年十月上海新一版

一九五六年十一月上海第二次印刷

印數 5,001—11,000

定價（10）¥ 1.60

第四版序

本書第四版首先對於第一卷和第二卷的材料分配方面作了重大變更。這樣做的目的，是要在按照蘇聯高等教育部審定的大綱全部講授材料力學的所有高等工業學校中，使本書第一卷單獨就能成為主要教本。第二卷則深入討論第一卷內的問題。這樣，讀者就只在遇到若干特殊問題時才需查考第二卷（或其他適當的資料）。由上所述，必須把過去（第三版時）在第二卷中的大量材料移到第一卷。其中包括如下各個章節（按新的編號）：§§ 26、34 和 94（電線、繩索和容器的計算）、§ 91（求彈性線的一般方法）以及 §§ 92 和 93（連續彈性地基上的梁）；第十一章（平面曲桿），第十二章（強度理論），第十三章（材料的機械性質），第十六到十八章（彈性系統的一般計算方法）。

要移動這麼大量的材料，只有仔細修改第一卷的敘述方式，加以縮減，有時還要採用新的解釋問題的方法（例如 § 82 等節）。同時還必須加進若干新材料；比如說，第一章和第十三章中講述了按極限狀態計算建築結構的新方法，這是現在於土建結構新的設計標準批准後獲得廣泛應用的一種方法。

第七篇（彈性系統的一般計算方法）按性質是屬於結構靜力學的，現在收入第一卷內，這是由於考慮到機械製造高等工業學校是沒有結構靜力學課程的。這部分材料的份量，在各类高等工業學校里是不同的。著者認為對於這些問題保留第三版中比較完全的敘述是有益的。

說明理論的例子也經過修改，有些地方換了新的例子。第二卷已經定稿，份量減了很多，因而能夠收進一些新的重要篇章，例如，彈性理論方程及其若干應用，桿系動力學和振動理論。

准备本版第一卷时，著者分工如下：

M. M. 費洛寧軻-鮑罗第契：§§ 1—10, 26—34, 82—83, 85, 91—94 和第十二, 十四到十八章, §§ 145 和 163 除外。

C. M. 依西莫夫：§§ 17, 20—24, 35—37, 163 和第三到五章, 第八到十章。

B. A. 奥利索夫：§§ 11—16, 18, 19, 25, 145 和第十一章, 第十三章。

И. H. 庫特略采夫：§§ 79—81, 84, 86—90 各節以及 §§ 82 和 92 中的例。

A. H. 米丁斯基仔細閱讀了本書手稿，提出極多有益的意見，著者非常感謝。

M. 費洛寧軻-鮑罗第契

一九五四年十月。

目 錄

第四版序

緒論	1
§ 1. “材料力学”的研究对象和在其他科学中的地位	1
§ 2. 力在物体上的作用。变形及变形和力的关系	5
§ 3. 外力和内力	7
§ 4. 材料力学問題的解題步驟	10
§ 5. 当作内力尺度的应力。納維埃应力面	12
§ 6. 線变形和角变形	15
§ 7. 力和变形的关系。材料的彈性	17
§ 8. 桿和細長桿。外力作用的分类	20

第一篇 拉伸和压縮。剪切

第一章 直桿的拉伸和压縮	22
§ 9. 一般概念。均匀拉伸(压縮)	22
§ 10. 拉压理論的基本公式	26
§ 11. 材料試驗用的機器和儀器	29
§ 12. 拉伸圖	36
§ 13. 波桑系数	41
§ 14. 拉伸变形能	42
§ 15. 塑性材料和脆性材料	44
§ 16. 压縮	46
§ 17. 局部应力。承压	49
§ 18. 荷重作用的性質、時間及溫度的影响	50
§ 19. 安全系数。許可应力	51
§ 20. 最簡單的拉伸和压縮的強度計算	55
§ 21. 靜不定問題	58
§ 22. 靜不定桿系的一般性質。装配应力的实际意义	62

§ 23. 用确定承载能力的方法作靜不定桿系的計算	65
§ 24. 關於土建工程結構按照極限狀態計算的方法	70
§ 25. 自重作用下的拉伸和壓縮。等強度桿	73
§ 26. 電線和繩索的計算	76
第二章 拉伸和壓縮的進一步研究。剪切	86
§ 27. 斜斷面上的應力	86
§ 28. 相對剪變形和剪應力虎克定律	90
§ 29. 二向的拉壓	94
§ 30. 應力橢圓和莫爾圓	98
§ 31. 純剪。剪應力互等定律	99
§ 32. 三向的拉壓	102
§ 33. 普遍虎克定律	106
§ 34. 薄壁容器的計算	110
§ 35. 剪切的實際計算。鉚接	116
§ 36. 鉚接計算	121
§ 37. 樁接計算	125
第二篇 彎曲	
第三章 平面圖形的慣性矩	127
§ 38. 定義	127
§ 39. 對於平行軸的慣性矩	128
§ 40. 慣性主軸的概念	130
§ 41. 簡單圖形的慣性矩	131
§ 42. 對稱組合斷面的慣性矩	133
§ 43. 座標軸旋轉時慣性矩的變化	134
§ 44. 主慣性矩。主軸方向	136
§ 45. 慣性半徑。慣性橢圓	139
§ 46. 離心慣性矩的計算。例	142
§ 47. 求慣性矩的近似分析法和圖解法	145
第四章 梁的外力和斷面內力	147
§ 48. 平面彎曲。梁支座種類	147
§ 49. 梁的分佈荷重以及集中荷重。支座反力的確定	151
§ 50. 梁斷面內力。彎矩和剪力。符號規則	156

§ 51. 弯矩圖和剪力圖的分析作法	159
§ 52. 弯矩、剪力与荷重強度間的微分关系。危險断面	163
§ 53. 微分关系在作圖和校核圖形时的应用	165
§ 54. 荷重为力偶的情形	169
§ 55. 分佈力矩荷重	172
§ 56. 用疊加的方法作圖	176
§ 57. 弯矩圖和剪力圖的圖解作法	178
第五章 直梁的应力	182
§ 58. 純弯曲。应力和外力間的靜力学关系	182
§ 59. 变形。平面断面假定	184
§ 60. 弯曲理論的基本关系式。正应力公式	187
§ 61. 梁受弯曲的計算。抵抗矩	191
§ 62. 梁断面的合理形狀	195
§ 63. 弯曲时的剪应力	197
§ 64. 剪应力作用引起的橫断面的翘曲变形	202
§ 65. 圓形断面內的剪应力	204
§ 66. 薄壁工字形断面的剪应力分佈	206
§ 67. 梁計算中的剪应力校核。內力偶臂	208
§ 68. 剪荷重情形	211
§ 69. 等強度梁	215
§ 70. 平面应力状态的普遍情形	218
§ 71. 主应力。最大剪应力	221
§ 72. 弯曲时的主应力	225
§ 73. 主平面方向。应力軌跡	229
§ 74. 組合梁計算。鉚接梁	232
§ 75. 銲接梁	237
§ 76. 不对称断面梁的弯曲	239
§ 77. 薄壁断面的弯曲中心	241
§ 78. 按承載能力作鋼梁計算	244
第六章 梁的彈性線	251
§ 79. 彈性線的微分方程	251
§ 80. 彈性線微分方程的積分	256
§ 81. 荷重复雜的情形	260
§ 82. 圖解分析法。假想荷重	266

§ 83. 外伸梁	275
§ 84. 圖解法	278
§ 85. 弯曲时的廣义虎克定律	284
第七章 弯曲的靜不定問題	286
§ 86. 一或二个固定端的單跨梁	286
§ 87. 双跨梁	294
§ 88. 連續梁, 三弯矩方程	299
§ 89. 从圖解分析法的观点看靜不定梁	308
§ 90. 按承載能力作靜不定梁計算	310
§ 91. 求梁的彈性線的一般方法	313
§ 92. 連續彈性地基上的梁	324
§ 93. 彈性地基上的無限長梁	328
§ 94. 容器壁由於变形限制而引起的弯曲	334

緒 論

§ 1. “材料力学”的研究对象和在其他科学中的地位

工程师設計結構或机器时,必須解决很多和該結構物將來工作情形有关的各种問題。这些問題又牽涉到一系列的物理性質的科学,即物理、化学和力学,这些科学都是工程师所必須經常用到的;这些科学提出並且解决了許多在技術上很重要的問題。随着技術的發展,这种問題的数目增加極快,而且在很多情況下,这些問題已有了最合於工程实际的專門解法。同类的問題組成了新的所謂技術学科或工程学科,从力学、物理和化学中独立出來,这主要是在十九世紀。这些学科中主要的有:材料力学、机械原理、結構理論(建筑力学)、热工学、电工学、工業化学和其他;这些学科的基础是物理、化学和力学;这些学科的目的及其所用方法,決定於技術的要求。技術的進步直接決定技術学科的進步。物理、化学和力学通过技術学科而深入技術,帮助技術發展,技術則又反過來通过技術学科而深入一般理論学科,向这些学科提出新的問題,从而往往引起这些学科中新的方法的發展。

在那些用到力学的技術学科中,很自然地应用着或多或少的成熟的数学工具。於是最抽象的科学之一的数学也被吸引進了那种存在於理論科学和应用科学間的緊密联系和互相依賴性中。

只有在这种互相依賴性上,才可能作出對於材料力学的最完全的評述。

材料力学研究結構構件和机械零件的強度計算方法。这里說的是实际的物体,可見必須考慮物体的物理性質,因而必須通曉一系列的物

理知識。結構或机器的任一部分受着其他部分的作用；这种作用必須用力的形式表示出來，就是說，必須运用理論力学的知識。

实际的物体受力作用时，多少是要改变形狀(变形)的。物体的变形和所受的力有密切的关联；这种关联反映着物体受力作用时的極重要的物理現象；材料力学不能不考慮这种关联的。因此必須运用彈性理論的方法和知識。彈性理論是一門發生在十九世紀初叶、詳細研究彈性体和塑性体内这种关联的科学。

塑性材料受力时变形的理論在十九世紀就已經有了，但是到二十世紀，特別是在最近几年，才得到很大發展。現在已經獨立成为一門科学，叫作“塑性理論”。苏联学者作了很多工作，發展了塑性理論，給了它完成的形式，使它能夠解決工程上的重要問題^①。

材料力学中为了使問題解決較簡便而用的一些假定和簡化，根据的是彈性理論的較精确的解答；这些解答，因为太复雜，有时候不能在材料力学教程中講述，此时就只限於引用其結果；在类似这种情形，有时就不加証明地引用那些本身在直接的实际应用方面很重要的結果。然而日益增長着的对工程計算的完备和深度方面的要求，使彈性理論的方法得到了進一步用在材料力学上的权利。这种性質的問題在本書第二卷中研究。

上面所說的一切，主要地是評述了材料力学的理論部分；至於材料力学的實驗部分，它的意义並不比理論部分为小，即使不能說比后者为大。材料力学的實驗部分的目的是：

(一)研究材料受力作用而破坏的現象，确定这时候的温度和化学因素的影响；

(二)由試驗得到建立強度計算理論所必需的材料特性；

(三)檢驗根据理論作出的強度計算和机械零件及結構構件中的实际現象的符合程度。

① 这些工作往后在本書相当的地方再指出。

像在物理、化学和一些别的科学中一样,实验是着手解决提出的理论问题所必需的,也是最后解决这些问题所必需的;实验之所以需要,是因为解决问题必须根据物理定律,另外,实验之所以需要,也是为了检验所得到的解答,因为理论不可能同时并且足够深刻的考虑实际物体受力作用时发生的全部复杂现象,因而解答总是有些近似的。理论只是在它恰当的考虑了主要的,决定该现象的一切因素,并抛开那些只能使问题变复杂而对结果没有重大影响的一切因素时,才能指望成功和有实际应用。实验应该决定理论是成功的或不成功的。

由上所述,可见材料力学的实验和理论部分之间的联系紧密到什么程度;理论没有实验就不能建立;反过来理论不提出清楚的问题,不指示应该在什么方向期待回答,不指示什么应该在实验设备中务必要有,以及什么要取消,或什么要尽可能避免,那么实验就会失去它的目的性和明了性。

打下材料力学的基础的最先几个实验是在十七和十八世纪做的,做这些实验的是著名的物理学家:伽里略、虎克、马利奥特、杜加米里、库隆等。但第一次相当大规模的材料性质的试验是十九世纪初特里德高里特和特里福特做的。

十九世纪机器制造和铁路建设的发展,对于机械零件和结构构件的计算理论,以及对和这有关的金属及其他建筑材料的试验都提出了很大的要求。这一切的结果,一方面是材料试验专门试验室或“力学试验室”^①的建立,另一方面要求编写材料力学的教科书并在高等工业学校内讲授这门课程,把这些方面的知识系统化和固定起来。早在十九世纪上半世纪,就有了纳维埃(法国人)的材料力学教科书。这里必须指出,在十九世纪的,以及一般地说,革命前的俄国工程书刊中,几乎就没有注意俄国技术及技术科学的歷史,因而俄国学者和工程师所发现

^① 这些试验室之所以称为“力学”的,是区别于化学试验室,那里也是研究材料,但是从材料的化学成份的观点研究的。

的許多東西被遺忘了。原因之一似乎是十九世紀後半期及二十世紀初許多外國工程公司及機關在俄國投資的加強；許多俄國工程師不得已在這些企業中工作，使用外國書刊，於是在早已由俄國學者及工程師獲得的成就方面，對於外國科學及技術的意義以及外國學者的優先地位產生了誇大的和錯誤的概念。最近幾年，經過系統和仔細地研究了檔案材料及文獻以後，才可以確定說，雖然十九世紀俄國技術一般是落後的，但俄國許多傑出的研究者達到了國外在強度科學方面的成就，而這些也就準備了以後許多蘇維埃學者和工程師以勞動為蘇聯在這方面的科學爭得的榮譽地位。在這篇很短的緒論里很難詳盡地闡述這個極重要的問題；現在已有專門的著作闡述這個問題了。我們只提到早在1825年，我們俄國已有金屬試驗機；1837年 Н. Ф. 雅斯脫熱姆斯基出版了第一本“材料力學”教科書；在材料試驗及其方法方面，十九世紀內俄國有許多傑出學者進行了研究：М. С. 沃爾科夫，Н. Ф. 雅斯脫熱姆斯基，С. В. 基爾別茲，Д. И. 茹拉夫斯基，С. Ф. 克魯契科夫，П. И. 邵勃闊，Н. А. 別列留勃斯基等，以及在俄國工作的外國學者，例如 Г. 拉密，克拉帕依隆。必須指出，十九世紀後半期由 П. И. 邵勃闊和 Н. А. 別列留勃斯基創办的道路工程師學院的試驗室是歐洲這種類型的最好試驗室之一。

現在這種試驗室網在蘇聯和在外國都很發展。這種試驗室有很多種極不相同和極複雜的機器，可在試件上加幾公斤，有時到二千噸（這大約是二十輛重機車的重量）的荷重，又有極精確的儀器，可量試件尺寸的微小變化（小於1米克龍=0.001公厘）。根據力學試驗室工作的結果，已有了研究材料性質和材料受力作用時性狀的大量文獻。在蘇聯，非常複雜和尺寸特別大的機器和結構物的建造是發展得極迅速的，並且是按照強大社會主義工業所必需的那種大規模進行的。這一切都要求有高度發展的科學基礎、理論基礎和實驗基礎。蘇聯在強度問題方面的科學研究所和試驗室網非常的大，而且有着各種各樣的極完善

的設備，用於試驗各種各樣的材料，能夠試驗試件或模型，也能夠試驗實際尺寸的零件或整體結構物。本書主要講述計算問題，實驗方面不多，只講述最初研究這門課所必需的最重要的知識。但是應該記得，一個工程師，以後發展和運用這裡所得知識到實際中去，必須使自己對所用材料的性質和所設計結構有進一步完善的知識，以避免造成引起事故的錯誤，以避免那怕只是使結構和機器的工作得不好的錯誤。

材料的結構和化學成份相關聯的材料物理性質的研究，已成為科學中的廣大而專門的一個領域。這裡所做研究的基本目的是在增加工業用材料的強度和耐力，達到更大的經濟。

現在我們結束關於材料力學研究對象的介紹，進而說明有關判斷結構構件和機械零件的強度和穩定性的那些問題的解決方法。

§ 2. 力在物體上的作用。變形及變形和力的關係

(一) 一切物體受力作用時，都要改變一些形狀，即所謂變形。例如，垂直桿受掛在下面的重物作用而伸長，擱在支座上的梁，由於自重和加在梁上的荷重而彎曲。

變形是幾何性的概念；從這方面去研究變形，可以建立變形的幾何理論。實際上，可以研究有關線、幾何圖形、面以及幾何體（稜柱、角錐、圓柱體、球等等）的形狀變化的問題；這類問題在近世幾何中很重要。

但研究力在物體上的作用時，只研究這現象的一個幾何方面是不夠的：變形的性質和大小不但和作用在物體上的力有關，而且和這物體本身的物理性質也是有關的。

如果我們取兩根尺寸完全相同的桿（圖 1, a 和 b），掛相同的重量 P ，那麼一般說來，兩根桿的伸長是不相同的；伸長和桿的材料有關。例如，

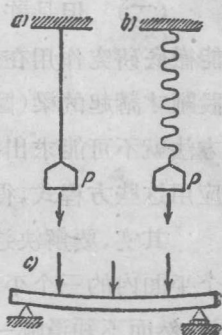


圖 1.

設有兩桿：鋼和橡皮的，各長 1 公尺，每根的斷面積 1 平方公分；桿下掛 1 公斤重物，於是橡皮桿伸長約 20 公厘，而鋼最多伸長 $1/2000$ 公厘。由此可見，物体变形是一种物理現象，和这物体的物理性質是有密切关系的。

關於建築材料的物理性質，以后還要作較詳細的研究；这里只指出許多材料都有某種程度的彈性，就是材料受力作用時，稍變形，在力取消時，就回到原先的形狀和大小。彈性是材料的極重要的性質，這性質在建築和機械製造中廣泛利用着。

許多剛體都是即使受力很大，變形也極微小；因此有可能在許多涉及這種物體的問題中，把變形略去不計，而把物體看作是絕對剛體；在研究絕對剛體的平衡和運動的理論力學中，所解決的就是這種問題。

這就十分清楚，絕對剛體這概念是一個抽象的概念，是在變形不大的情形用來簡化問題的解決的，如果變形不大，則在許多情形中，變形是可以略去不計的。例如，靜力學中解決梁（圖 1, c）在支座上的壓力問題。梁上放重物時，梁稍彎曲，因此梁上加荷重的那些點相對於支座的點的位置稍有改變；但如果梁的彎曲很小，像普通實際情形中那樣，那麼這種力位置的改變極微小，就可以略去不計；就是說，這樣的梁在求反力時可以看作是絕對剛體。

（二）但是許多非常重要的實際問題，不先研究物體的變形，就不能徹底研究作用在這些物體上的力，這種問題叫作靜不定問題。例如，設剛才講起的梁（圖 1, c），如果支座不是二個，而是三個，則用靜力學方法就不可能求出這梁在支座上的壓力，因為靜力學方程式數目不夠；應用這些方程式，得不到支座反力的確定值。

其實，要解決這問題，也就是要把荷重和梁的重量的合力分解為一個平面內的三個平行力。大家從靜力學知道，這可以有無數個分解方法，然而不知道哪一個分解符合實際情況。

不難了解，這時候各支座壓力的分配和梁本身的變形有關。設梁

的中間支座(圖 2, a)比端支座稍低。如果梁是彈性的,但足夠“剛硬”,由於自重和荷重所生的下垂度不大,可能仍沒碰到中間支座上,於是全部壓力分配在端支座 A 和 C ; 而如果梁較軟,那麼下垂之後,也就落到中間支座上;這時候壓力就分配在所有三個支座上。顯然,這分配是和梁的剛度有關的,就是說,和梁受一定荷重時的下垂度的大小是有關的。

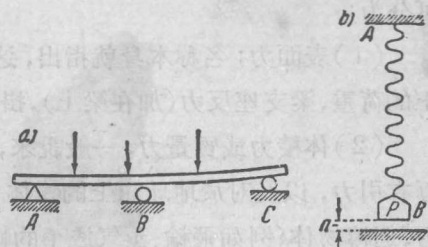


圖 2.

由上所述,顯然,在求各力的大小時(這是今後必須解決的),有些情形往往不得不先研究受這些力作用的物體的變形,雖然這並不是該問題的直接目的。

極大多數的問題是這樣的,因此,建立結構的強度和穩定性理論時,對於幾乎一切涉及力在物體上的作用的,我們在往後將研究的問題中,都必須像以上分析的例子那樣,研究如下的三個方面:

(1) 由靜力學得到的作用在物體上的各個力間的關係(問題的靜力學方面)。

(2) 變形的幾何性質(問題的幾何方面)。

(3) 聯繫力和變形的,即表明兩者互相間關係的物理定律(問題的物理方面)。

這三個方面決定了所有這類問題的共同解決方法。

§ 3. 外力和內力

(一) 我們稍仔細的講一下材料力學問題的靜力方面。

以前討論中,我們說到作用在物體上的力;今後這些力應分為兩類:(甲)外力;(乙)內力。

外力指那些加在物体上的力,是由别的物体的作用產生的;外力又可分为:

(1)表面力;名称本身就指出,这些力是加在物体表面的;例如梁上的荷重,梁支座反力(加在梁上),掛在彈簧下的重物;

(2)体積力或質量力,一般說來,即加在物体內所有点的力;例如万有引力,以及對於地球面上的物体——物体重量;这里也包括慣性力,迴轉物体(例如飛輪、蒸汽透平的輪叶)中的离心力。

內力指物体一部分对別部分作用引起的力。甚至在一物体不受任何外力时,物体內还是有內力的;正是內力維持了物体存在的样子。在这物体上加外力,会引起內力的一些改变;換句話說,由於在物体上加了外力,物体內就發生了附加的內力。往后我們主要就是研究这些附加內力,因为和物体对外力作用的抵抗力有緊密联系的,因而也就是和強度問題有緊密联系的,正是这些附加內力。

內力的性質和物体变形現象还在十九世紀就用物質構造的分子理論說明了。大家知道,現代物理在原子構造的研究方面有驚人的成就;由試驗發現了巨大的原子內力;物体受外力作用时变形的理論已相当完善,但要利用於作实际应用和結論,还顯得非常复雜。因此在彈性理論、塑性理論和材料力学中到現在为止根据的都是物体密实構造的假設,依这假設,物体整个几何容積假定都充滿了物質。因为由这假設可建立起和实验很相符合的理論,我們就把它作为一个有用的假設,不是用來說明在物体內部進行的現象的本質,而是用來簡化必需的實用性質的結論。

但是应用这个有用的假設时,必須注意使材料力学在論証上跟它借用了方法和結論的一般力学不脫節。因此我們應該,第一、論証密实結構物体中存在着內力,第二、找出方便实用的方法以暴露並确定这些內力,即把內力轉入外力一类,因為我們對外力的概念比較清楚,對外力的处理也比較習慣。