



普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材
高校建筑学专业指导委员会规划推荐教材

建筑力学

(第二版)

BUILDING
MECHANICS

吕令毅 吕子华 编著

中国建筑工业出版社



普通高等教育土建学科专业“十一五”规划教材
高校建筑学专业指导委员会规划推荐教材

建筑力学

(第二版)

**BUILDING
MECHANICS**

吕令毅 吕子华 编著

中国建筑工业出版社

第二版前言

《建筑力学》一书于 2006 年正式出版了第一版，现应市场和出版社的要求推出第二版。

建筑力学是面向工程一线工程技术人员的专业课程，其讲授体系需尽可能密切跟踪生产一线的需求、适时进行教学改革。近十年来，国内建筑结构计算软件发展很快，生产一线繁琐的结构精确计算工作已经完全由结构设计软件所承担。20 世纪 70 年代以前，广为工程设计人员所青睐的结构渐进计算方法（如力矩分配法）已逐步丧失了其在结构计算中的主导地位。然而，在计算机逐步将人力从繁琐计算工作中解脱出来的同时，另一种依赖于人脑进行的分析需求正在工程一线悄然增长。众所周知，计算软件虽然将人力从繁琐的演算工作中解脱出来，但由于隐含了大量的中间过程，所以，工程技术人员迫切需要掌握一种快速判断软件计算结果正确性的方法。不仅如此，工程技术人员在进行建筑初步设计时，也需要对所规划的建筑有整体的、宏观的理解。而这种初步设计中的宏观认识是现有设计软件无法提供的。针对生产一线的这些需求，作者对现有教学体系进行了改革，在对经典教学内容进行有机重组的基础上，增加了第 11 章“结构快速分析简介”。结构快速分析一方面保留了传统力矩分配法在新形势下的有效部分，大胆删减了和现行实际工程计算无关的细节。一方面，既帮助工程一线人员提高快速分析能力，也为传统的力矩分配法找到了归宿；另一方面，结构快速分析将建筑力学教学中分散讲授的各类技巧，以结构快速分析为线索，进行有机的组合，使读者在深入理解建筑力学各类技巧和方法的同时，也提高了综合分析问题的能力。

总之，第二版中新增的“结构快速分析简介”一章引入了笔者当前在建筑

力学和结构力学教学改革中的许多新思想。作为一种新的尝试，其实用性还有待市场的检验，我们非常希望读者指正。

为方便任课教师制作电子课件，我们制作了包括本书中公式、图表等内容的素材库，可以从 www.cabp.com.cn/td/cabp19058.rar 下载。

在第二版的写作过程中，汤卓、苏龙、潘宇、王凯、张源、程济凡、宋拓、唐建设等承担了许多插图和例题的计算工作，在此表示由衷的感谢！

第一版前言

本书写作的初衷主要是面向非结构专业（如建筑学专业）的学生和工程技术人员，帮助他们在短时间内掌握建筑结构设计所必备的基本力学知识。

基于本书的写作背景，笔者以力的起源和静力学基本理论框架的建立为起点，一直讲述到对现代结构分析产生重大影响的位移法，其间穿插了结构分析所必备的有关力学知识。具体包括：第1章绪论，主要介绍建筑力学的任务和作用；第2章静力学基础，介绍静力学基本理论框架的形成过程和相关内容；第3章建筑结构的类型、结构计算简图和结构受力图，旨在阐述结构分析模型的建立方法和基本过程；第4章平面杆系结构的几何稳定性分析，介绍结构的构成和稳定性的基本判别方法；第5章静定结构内力分析，讨论静力学方法在静定结构分析中的应用问题；第6章杆件应力、应变分析，介绍如何由杆件的内力来计算杆件的应力和应变；第7章静定结构的位移计算，讨论杆系结构位移计算的若干技巧；第8章力法，介绍超静定结构分析的经典方法——力法；第9章位移法，介绍现代结构分析的基础——位移法；第10章压杆稳定，讨论结构弹性稳定验算的有关基本内容。

按照经典的学科分支划分方法，本书的内容涉及理论力学、材料力学、结构力学和弹性力学，此外还有部分结构设计原理的相关内容。要在30万字的篇幅内，面向以初等力学知识为背景的读者，自成体系地完成这项工作，不是件容易的事。这就必须对现行的讲授体系进行适当的改革。本书的第6章在教学体系上做了较大变动，在这一章里我们从弹性力学的应力、应变概念出发，讨论了物体内的应力、应变状态和及其物理关系；然后通过介绍特定的工程假定，将杆件拉伸、压缩、纯弯曲和横力弯曲作为单向应力状态和平面应力状态的特例展现给读

者。建立这样的教学体系有几个优点：第一，避免了应力应变概念教学过程中的重复性，节省了篇幅；第二，杆件应力应变分析体系的逻辑性大为加强；第三，将拉伸、压缩和弯曲作为特定应力状态的实例来介绍，有助于读者举一反三，同时将一般弹性理论运用到实际工程分析中。当然这样的教学体系要求读者具备一定的思维成熟性，对于大学低年级学生可能会感到有点吃力。和第6章类似，本书的第2、3、5、7章也对现行教学体系作了一些调整，最大限度地减少了教学内容的重复性。

写作过程中，笔者得到了多方面的大力支持和帮助。东南大学的周月庭、李强、邢俊刚、杨波、何学兵负责本书的插图绘制工作；陈彬、汤伟方承担了部分例题、习题的试算和验算工作；复旦大学的陈道勇教授、上海天文台的曹新伍研究员、东南大学的陆可人教授为本书的写作提出了许多有益的建议，对此笔者表示衷心的感谢！

本书涉及的学科分支比较多，限于笔者的才识，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 建筑力学的使命	2
1.2 建筑力学的任务	3
1.3 建筑力学的基本内容和作用	4
1.4 怎样欣赏建筑力学这门学科	5
第2章 静力学基础	7
2.1 力的概念	8
2.2 静力学的定律和原理	10
2.3 力系的分类和简化	12
2.4 静力分析·平面力系的平衡条件	16
2.5 空间力系的平衡条件	23
2.6 本章小结	24
习题	25
第3章 建筑结构的类型和结构计算简图	29
3.1 常见建筑结构的类型	30
3.2 结构计算简图	33
3.3 结构受力分析图	42
3.4 本章小结	44

习题	44
第4章 平面杆系结构的几何稳定性分析	47
4.1 对一则感性实例的思考	48
4.2 几何稳定性分析的基本概念	49
4.3 几何不变体系的基本组成规则	52
4.4 本章小结	59
习题	59
第5章 静定结构内力分析	63
5.1 内力和内力图的一般概念	64
5.2 静定结构指定截面的内力分析	66
5.3 直杆的荷载—内力关系	70
5.4 单跨静定梁的简单弯矩图	72
5.5 叠加法作弯矩图	75
5.6 多跨静定梁分析	78
5.7 静定平面刚架分析	81
5.8 静定平面桁架分析	87
5.9 本章小结	93
习题	94
第6章 杆件应力、应变分析	99
6.1 应力分析	100
6.2 应变分析	105
6.3 应力、应变关系	107
6.4 拉（压）杆的应力、应变分析	109
6.5 梁平面弯曲的应力、应变分析	112
6.6 杆件的强度验算	120
6.7 本章小节	124
习题	125
第7章 静定结构的位移计算	129
7.1 结构位移计算的一般概念	130
7.2 变形体的虚功原理	132
7.3 结构位移计算的一般公式·单位力法	143
7.4 结构在荷载作用下的位移计算	145
7.5 图乘法	148
7.6 刚架和组合结构在荷载作用下位移计算举例	153
7.7 结构由于温度变化、支座移动所引起的位移计算	155
7.8 互等定理	158

7.9 本章小结	161
习题	162
第8章 力法	165
8.1 超静定结构的一般概念	166
8.2 力法的基本原理	169
8.3 力法的一般分析步骤和示例	173
8.4 对称性的利用·半结构	177
8.5 温度变化和支座移动影响下的超静定结构分析	184
8.6 本章小结	188
习题	188
第9章 位移法	193
9.1 位移法的基本原理	194
9.2 等截面直杆的单元分析	196
9.3 位移法的一般分析步骤	199
9.4 实例分析	203
9.5 本章小结	208
习题	209
第10章 压杆稳定	213
10.1 压杆稳定的一般概念	214
10.2 简支细长中心受压杆的临界力·欧拉公式	216
10.3 不同边界条件下细长中心受压杆的临界力	219
10.4 本章小结	226
习题	226
第11章 结构快速分析简介	227
11.1 结构快速分析要点概述	228
11.2 单节点力矩分配法	232
11.3 结构快速分析实例讲解	237
习题	240
附录 I 部分习题答案	243
附录 II 常用截面的几何性质计算公式	249
附录 III 索引	250
参考文献	254

第1章 绪论

Chapter 1 Introduction

中国古代文论源远流长，博大精深，是中华民族文化宝库中的瑰宝。本章主要介绍中国古代文论的基本概念、发展历程、主要流派及其代表人物。通过本章的学习，读者可以了解中国古代文论的博大精深，为后续的学习打下基础。

中国古代文论的发展经历了漫长的历史过程。从先秦两汉的萌芽，到魏晋南北朝的繁荣，再到唐宋元明清的成熟，中国古代文论形成了独特的理论体系和审美观念。本章将重点介绍这一过程中的重要理论和人物，帮助读者建立起对中国古代文论的整体认识。

中国古代文论的主要流派包括儒家文论、道家文论、法家文论等。儒家文论强调文以载道，注重文学的社会功能；道家文论则强调自然无为，追求文学的审美价值。法家文论则强调文学的实用性，注重文学对政治的辅助作用。这些流派在中国古代文论的发展中起到了重要的推动作用。

本章的学习目标包括：了解中国古代文论的基本概念和术语；掌握中国古代文论的发展历程；熟悉中国古代文论的主要流派及其代表人物；能够运用中国古代文论的理论分析文学作品。通过本章的学习，读者将对中国古代文论有一个全面的认识，为后续的学习做好铺垫。

1.1 建筑力学的使命

1.1.1 建筑力学——人类古老文明的结晶

建筑是人类文明的一个象征，是社会科学、自然科学和文学艺术有机结合的产物。从某种程度上说，建筑的历史和人类文明的历史一样久远。一个国家、一个民族、一个时代的特征，无不深深烙在了这个国家、这个民族、这个时代的建筑上。

力学作为人类科学史上的第一门带头学科，它的历史古老而悠远。力学对现代科技的发展发挥了巨大的推动作用。它对现代人的影响，已经深入到了生活的每一个角落、每一个瞬间，几乎无处不在、无时不见。

建筑力学作为人类这两个最伟大的文明相结合的产物，注定是一门具有不朽魅力的学科。经过几个世纪的大浪淘沙，呈现在我们面前的是一幅精美的长卷。它的每一章、每一节，都是人类在特定历史时期的智慧结晶。面对这样一幅长卷，我们不仅是在学习，更多的是在欣赏、是在品味。

1.1.2 建筑三要素和建筑力学的使命

在学习一门学科之前，首先要对这门学科有个整体的了解。要理解建筑力学在建筑设计中的地位和作用，有必要从建筑设计的基本理念谈起。建筑设计的理念取决于建筑价值观。从本质上看，建筑是人的居所。基于这一最基本的建筑价值观，2000年前古罗马奥古斯都时期的建筑理论家维特鲁威，在他著名的《建筑十书》中就提出了“坚固”、“适用”、“美观”的建筑设计原则。这一经典性的建筑设计理念，被后人当作金科玉律，世代流传。现已成为举世公认的建筑三要素。由此可见，西方历史上一直把“坚固”和“适用”作为评判优秀建筑的第一和第二准则。正因为如此，希腊、罗马和埃及的古老建筑才能历经几个世纪的风雨沧桑，而完好地保存了下来。

在实现建筑设计的第一要素方面，建筑力学发挥着举足轻重的作用。正是基于建筑力学的分析、计算，才保证了建筑物在其使用过程中能够抵御各种外荷载的侵袭，为用户提供一个安定、稳固的居住环境。实际上，建筑的第一要素和第三要素之间也存在相互影响的问题。“坚固”是一个比较客观的概念，不随人主观意志的改变而改变。而“美观”的标准，主观成分就比较大。将坚固作为建筑第一要素有其非常积极的一面，这会在潜意识中将人们的审美情趣引向健康、向上的一面，而不是去追求片面的病态美。从这一角度看，建筑力学的熏陶也有助于增强设计者对“力之美”的理解和运用。

海德格尔有句名言：“人应该诗意地栖居。”“诗意地栖居”的前提，是我们生活在一个安定、闲适的环境中。优秀建筑不仅要在事实上提供一个稳固的栖居环境，而且也应该向居住者传递出稳定、从容的信息。这正是建筑力学所肩负的使命。

1.2 建筑力学的任务

1.2.1 建筑界的专业分工

维特鲁威的建筑三要素理念直接促成了建筑业三大专业的形成。这就是建筑学专业、结构工程专业和建筑设备专业。这三大专业在现代建筑的建设过程中既分工明确,又相互制约。只有通过它们之间的协同工作,才能保证建筑三要素在个体上的有机结合。要充分理解建筑力学在建筑设计中的具体任务,就要对这三大专业在建筑工程中发挥的作用有个整体的认识。

迄今为止,建筑业各部门之间的信息交换和成果交接都是以图纸方式进行的。通过各专业所递交的图纸,就可以了解它们的分工和作用。一幢建筑完工后的所有图纸,统称为该项建筑的建筑工程图。建筑工程图是以投影原理为基础,按国家规定的制图标准,把已经建成或尚未建成的建筑工程的形状、大小等准确地表达在平面上的图样,并同时标明该工程所用的材料以及生产、安装方面的要求。它是工程项目建设的技术依据和重要的技术资料。建筑工程图包括方案设计图、建筑工程施工图和工程竣工图。由于工程建设各个阶段的任务要求不同,各类图纸所表达的内容、深度和方式也有差别。方案设计图主要是为征求建设单位的意见和供有关上级管理部门审批时使用的图纸;建筑工程施工图是施工单位组织施工的依据;工程竣工图是工程完工后按实际建造情况绘制的图样,作为技术档案保存起来,以便于需要的时候随时查阅。

在设计阶段工作量最大、最关键的一步就是建筑工程施工图,简称施工图。施工图是表示工程项目总体布局、建筑物的外部形状、内部布置、结构构造、内外装修、材料做法以及设备、施工等要求的图样。它是设计工作的最后成果,是进行工程施工、编制施工预算和施工组织设计的依据,也是进行施工技术管理的重要技术文件。一套完整的建筑工程施工图,一般包括:建筑施工图、结构施工图和设备施工图。

建筑施工图简称“建施”。它一般由设计部门的建筑学专业人员进行设计绘图。建筑施工图主要反映一个工程的总体布局,表明建筑物的外部形状、内部布置情况以及建筑构造、装修、材料、施工要求等等。它可用来作为施工定位放线、内外装饰做法的依据,同时也是结构施工图和设备施工图的依据。建筑施工图包括:设计说明、建筑总平面图、建筑平面图、建筑立体图、建筑剖面图等基本图纸,以及墙身剖面图、楼梯、门窗、台阶、散水、浴厕等详图和材料做法说明等。

结构施工图,简称“结施”。它是结构工程师根据建筑物使用时的外荷载情况,对建筑主要承重构件进行力学分析计算后绘制的,描述建筑物骨架布置和制作方法的图样。结构施工图主要反映了结构构件的布置、断面形状、大小、材料、内部构造以及相互关系等。它是施工放线、基础开挖、构件制作、结构安装、设置预埋件和编制预算和施工组织计划的主要依据。结构施工图一般包括:结构设计说明、基础平面图和基础详图、结构平面图、构件详图等有关内容。

设备施工图是给水排水、采暖通风以及电气设备等施工图的统称,是建筑设备专业技术人员设计工作的体现。

从上面介绍的各专业所递交的图纸内容可以看出,建筑学专业是建筑工程设计中的龙头,负责建筑的整体设计、规划和各细节的制作设计。结构工程和建筑设备是特定建筑功能的专项专业。其中,结构工程专业主要负责建筑物的骨架设计,以确保建筑第一要素在实际工程中的体现。

1.2.2 建筑力学的任务

在整体上把握了建筑工程设计施工的各个环节之后,就很容易理解建筑力学在建筑物建设中的具体任务和作用了。

通过前面的介绍我们已经知道,建筑工程的设计工作具体包括:建筑设计、结构设计和设备布置三大部分。其中,结构设计又可分为结构分析和构件设计两个环节。结构分析主要负责将建筑物抽象成骨架形式——建筑结构,然后根据建筑物在其使用期内可能遭遇到的荷载情况,运用结合建筑结构固有特性的力学原理和方法,对结构进行分析、计算,以确定各结构构件的负荷;构件设计则根据结构分析的成果,按照各结构构件的负荷情况,对构件的尺寸、材料、制作方法、节点处理方式等进行设计,以保证各构件能够承担各自的责任。其中结构分析中依据的原理和使用的方法,就是建筑力学所要讨论的内容。由此可见,建筑力学在实现建筑第一要素的过程中,发挥着不可或缺的作用,它是结构工程工程师必备的主干专业知识。

虽然实现建筑第一要素主要是结构工程技术人员的职责,但建筑师作为建筑工程设计的总体负责者,也必须具备一定的建筑力学知识。实际上,建筑方案的制定就已经牵涉到了许多结构问题。例如,建筑总体方案就存在结构选型的问题;建筑平面图中就涉及柱网的布置问题,如此等等,不一而足。具备一定的建筑力学知识有助于建筑师开拓思路,提出现实而大胆的方案。建筑方案的制定过程,是一个交织着现实和创意矛盾的创造过程。对建筑力学的感悟,可以帮助建筑师在现实和创意的矛盾中找到最佳的平衡点。因此,建筑力学对建筑师来说,也是一门应该有所了解的学科。

1.3 建筑力学的基本内容和作用

从整体上说,建筑力学包括两方面的内容:一是经典力学的基础知识;二是融合了建筑结构固有特征的专业力学知识。

基础力学知识部分主要介绍一些普适的力学原理和方法。这一部分内容有些可能并不直接运用于实际生产,但它却是学习专业力学知识的基础。例如,第2章静力学基础、第5.1节内力和内力图的一般概念、第5.2节静定结构指定截面的内力分析、第5.3节直杆的荷载—内力关系、第6章杆件应力应变分析、第7.1节结构位移计算的一般概念、第7.2节变形体的虚功原理、第10.1压杆稳定的一般概念,等等,就属于基础力学知识的范畴。

建筑力学中的专业力学知识部分,主要介绍在建筑工程特有背景下提出的一些分析方法和力学概念。这一部分内容大幅度地提高了基础力学知识在解决建筑工程实际问题时的操作效率。专业力学知识将直接运用于实际工程分析中。例如,第3章建筑结构的类型·结构计算简图和结构受力图、第4章平面杆系结构的几何稳定性分析、第5.4节单跨静定梁的简单弯矩图、第5.5节叠加法作弯矩图、第5.6节多跨静定梁分析、第5.7节静定平面刚架分析、第5.8节静定平面桁架分析、第7.3节结构位移计算的一般公式·单位力法、第7.4节结构在荷载作用下的位移计算、第7.5节图乘法、第7.6节刚架和组合结构在荷载作用下位移计算举例、第7.7节结构由于温度变化、支座移动所引起的位移计算、第8章力法、第9章位移法、第10章压杆稳定,等等,就属于专业力学知识的范畴。

基础知识和专业知识的联合运用,就可以解决结构分析中的各种实际问题。例如,第3章建筑结构的类型·结构计算简图和结构受力图,就解决了从实际建筑中抽象出承载骨架的问题;第4章平面杆系结构的几何稳定性分析,解决了建筑结构的基本存在问题和组成问题;第5章、第6章、第7章和第9章的联合运用,解决了结构的强度验算问题;第5章、第7章和第8章的联合运用,可以解决结构的刚度验算问题;第5章、第8章和第10章联合运用,可以解决结构的稳定性问题。这样建筑结构的存在性和坚固性问题就得到了圆满的解答。

1.4 怎样欣赏建筑力学这门学科

被动地去“学”一门学科是一件比较枯燥的事,当这门学科比较复杂的时候尤其如此,而主动地去“欣赏”一门学科就是另外一回事了。

前面我们已经提到,建筑力学由人类两大文明支脉汇合而成。经过几个世纪的大浪淘沙,这里积淀的是人类智慧的结晶。因此,这应该是一门有足够魅力让我们去品味的学科。问题是我们怎么去欣赏她,站在哪个角度去欣赏她。

即使单从力学的角度上看,建筑力学也汇集了理论力学、材料力学、结构力学和弹性力学这四个经典力学分支的内容。因此,在这门学科的学习过程中,需要不断变换欣赏角度,这正是建筑力学比较难学的一面。

力学本身是一门具有双重性的学科,它既有注重纯粹理性思辨的一面,也有注重工程技术性的一面。对于不同的内容,应该从不同的角度去思考。例如,本书第2章的许多内容,实际上就是现代物理学起源的部分内容。从力的产生到力的度量,到力的运算,直至解决实际问题,这充分体现了从物理学概念出发,构造以定律为基石的理论框架,直至应用定理去解决实际问题的现代物理学工作模式。又如第6章介绍的胡克定律,它成功地将复杂应力状态下的应力应变关系投射到三个待定常数上,然后通过简单应力状态下的力学实验来确定这些待定常数,最终达到了对材料弹性性能进行完整描述的目的。这一整套思维模式,几个世纪以来一直影响着现代科学的各个分支,至今未变。这些内容即使是站在哲学的角度思考,也是十分耐人寻味的。

力学,在完成了现代物理学理性起源的历史使命之后,近代开始转向工程实

际应用。作为工程领域的一个重要分支，专业力学分支比较注重解决问题时的方法性和技巧性。虽然没有基础力学内容那样辉煌夺目，但它那极富灵气的各种技巧和方法也足以让观赏者赏心悦目，流连忘返。例如，结构位移计算原本是一个基于杆件弹性变形的几何问题，但第7章的讨论，通过引入虚功的概念，在建立虚力原理的基础上，戏剧性地将它演变成了一个结构的内力计算问题。细细回味，实在令人嗟吁不已。像这样的令人叹为观止的技巧，贯穿全书，俯拾即是。

总而言之，对于基础力学的内容，学习时可以相对增加些哲理方面的揣摩，而对于专业力学方面的内容，也许更应该注重品尝它的技巧性和方法性。

第 2 章 静力学基础

Chapter 2

Elements of Statics

2.1 力的概念

2.1.1 什么是力

力是人们在生产实践和日常活动中逐步总结和抽象出来的一个物理学概念。从生活层面上讲，力是一个很容易感知的东西。例如，当人们提取重物时会感到手臂肌肉紧张，人们会说这件物体很重，提起来很费劲。这种“费劲”的感觉就是人们对力的最原始的描述。作为物理学的一个基本概念，“力”在生活直觉的基础上，经过了提炼和升华。在物理学中，力被定义为：物体之间的一种相互作用，这种作用将使物体的运动状态或形状发生变化。

理论上之所以采用这样一种文绉绉的方式，来描述原本非常朴素和直观的一个生活现象，完全是基于理论体系的自恰性和可操作性的考虑。这种经过提炼处理后的物理概念和其原始的“费劲”的感觉已经有了很大区别。力的物理学定义表明，当我们提取重物时，力是重物和手之间的一种相互作用，这种相互作用将使手下坠，肌肉拉长。为了克服这种下坠和拉长，大脑将调动肌体为手臂提供能量以保持原样，于是我们就有了所谓费劲的感觉。这种费劲的感觉实际上是大脑对手和重物之间相互作用的一种的评判和度量。

从上面的讨论可以看出，力作为物体之间的一种相互作用是不能直接被观测和测量的。在力的物理学定义中，后半句陈述很重要，它表明力会改变物体的运动状态和形状。这实际上规定了力是物体之间的一种机械作用，改变物体的运动状态和形状是力对物体的机械作用效应，前者称为运动效应，后者称为变形效应。众所周知，物体的运动状态和形状的改变是外在的，很容易被感知和测量。这样一来，我们就可以通过力的作用效应来感知力和测量力。但是，要通过力的作用效应来测量力，必须首先解决两个问题，一是建立“力”和“物体的运动状态改变”之间的定量关系，二是建立“力”和“物体形状改变”之间的定量关系。解决这两个问题可不是件容易的事，它花了人类很长时间。幸运的是，感谢牛顿（Isaac Newton）和虎克（Robert Hooke）等人的杰出贡献，这两个问题已经得到了圆满解决，那就所谓的牛顿第二定律

$$F = ma \quad (2-1)$$

和胡克定律

$$F = k\varepsilon \quad (2-2)$$

式中 F ——力；

m 和 k ——分别为物体的质量和刚度，是物体的固有属性；

a ——物体的加速度，是对“物体运动状态改变”的度量；

ε ——物体的变形率，是对“物体变形程度”的度量。

至此，我们不仅规定了力的性质，而且给出了力大小的度量方法，于是，“力”这样一个普通的生活概念也就堂堂正正地走进了现代物理学的殿堂。