

结构构件内力本质探讨及工程应用

潘佳仪, 叶 兰, 关纪文*

南宁学院土木与建筑工程学院, 广西 南宁

收稿日期: 2026年4月11日; 录用日期: 2026年5月2日; 发布日期: 2026年5月12日

摘 要

内力是在工程力学比较抽象、理论性强的一个概念, 但它贯穿于工程力学教学的始终。本文深入探讨工程力学中的重要概念——内力的探讨。阐述了内力的概念、分类、产生原因、内力的计算、内力图以及在不同工程领域中存在的主要意义。通过对杆件上的内力的研究, 得出内力对杆件具有稳定性、变形和强度等方面的影响。针对杆件内力需掌握的知识, 总结出计算内力的方法和绘制内力图的方法。同时, 探讨了内力与外力的关系, 两者之间的相互作用、相互影响, 以及内力在工程力学中的应用。

关键词

内力, 工程力学, 变形

Discussion on the Nature of Internal Forces in Structural Components and Engineering Applications

Jiayi Pan, Lan Ye, Jiwen Guan*

School of Civil and Architectural Engineering, Nanning University, Nanning Guangxi

Received: April 11, 2026; accepted: May 2, 2026; published: May 12, 2026

Abstract

Internal force is a relatively abstract and highly theoretical concept in engineering mechanics, yet it permeates the entire teaching process of this discipline. This paper explores the important concept in engineering mechanics—the discussion of internal forces. This paper expounds the concept and classification of internal force, the causes of its generation, calculation methods, internal force diagrams, and their primary significance in various engineering fields. Through the study of internal

*通讯作者。

forces on the rod, it is concluded that internal forces influence the stability, deformation, and strength of the rod. Based on the essential knowledge required for analyzing internal forces in structural members, this paper summarizes methods for calculating internal forces and constructing internal force diagrams. Meanwhile, the relationship between internal force and external force, their mutual interaction and influence, as well as the application of internal force in engineering mechanics are discussed.

Keywords

Internal Force, Engineering Mechanics, Deformation

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

工程力学作为工程专业的一门基础学科，在众多工程领域中都有着重要的作用。内力作为工程力学中的核心概念之一，在桥梁工程中，内力分析是检验安全的关键，通过计算桥梁的内力，可以评估出构建的承载能力以及稳定性[1]-[3]。在建筑工程中，内力分析起着至关重要的作用，通过内力分析来预测荷载对结构的影响，有助于采取更好的措施来完成建筑[4]-[6]。内力的求解，然后进行构件的强度、刚度及稳定性的计算。内力分析在工程力学中起着至关重要的作用，通过对内力的探讨分析，工程师可以更好的控制结构的性能，从而有利于更安全的保护建筑和确保工程的安全及建筑物的可靠性[7]-[9]。

随着我国城市化进程加快，基础设施建设投资规模持续扩大，内力分析的应用场景不断拓展，其理论与方法也在不断迭代升级[1] [10]-[12]。在隧道工程中，地面堆载等复杂工况下的内力分析，直接关系到管片结构的安全性，通过引入应力释放率等参数优化内力计算模型，可显著提升分析结果的准确性[13]。在超静定结构设计中，传统内力求解方法存在计算复杂的弊端，而积分法等新型方法的应用，为复杂荷载作用下的内力求解提供了高效路径，兼顾了理论严谨性与工程实用性[14]。

对于工程专业而言，内力分析的精准度直接影响工程计价的科学性，合理的内力分析可优化构件选型与材料用量，实现造价控制与结构安全的双重目标[15][16]。当前，有限元分析等数值计算技术与内力分析深度融合，进一步提升了工程设计的效率与可靠性，也对工程力学教学及实践提出了更高要求[12]。本文围绕内力分析的核心要点、应用场景及优化方法展开研究，结合工程实例完善分析思路，为工程实践及相关学科研究提供参考。

2. 内力的概念及产生原因

2.1. 内力的概念

物质由质点构成，在没有外来物对物体实施攻击，也就是不存在外力的情况下，物体内的各质点之间会产生相互作用。而当外力施加于物体时，物体内部各质点的相对位置会发生变化，同时质点间的相互作用力也会出现改变。这种因外力作用而导致的物体内部质点间相互作用力的变化量被称作内力。从两个角度来说，内力在微观层面主要体现为原子间的排斥力或者吸引力；在宏观层面则表现为杆件结构内部的压、拉、弯、剪等形态。内力会随着外力的增大以及变形的增大而增强，当内力抵达一定限度时，便会引发构件的损坏。所有结构的内力、外力(如轴力、剪力、弯矩和扭矩)都应当保持平衡，不然结构就

会出现破坏甚至倒塌的情况[3]。而内力的产生原因大致有四种：外力作用；温度变化；地基不均匀沉降；其他因素。

2.2. 弹性变形与内力

当物体遭受到外力的作用时，物体将会出现一种可恢复的形状改变，这被称作弹性变形。在外力撤除之后，物体可以回归到其原本的状态，这一过程彰显出物体所具有的弹性，弹性也是物体的一项基本物理属性。

在弹性变形这一阶段，物体内部的某些微观粒子构造，也就是原子和分子结构会在外力的影响下出现位移，不过这种位移是极为微小且有限的，并不会致使物体结构产生永久性的改变。故而，当外力消失后，物体能够回到原始状态。这种可逆转的变形是物体针对外力作用的一种回应，也是物体能够承受一定外力而不出现永久性变形的缘由。而对上部结构的应力变形分析也能够较好地体现出物体弹性所带来的影响[4]。

2.3. 塑性变形与内力

当物体受到某些外力的影响，并且这一外力超过了物体所能承受的范畴时，物体就会出现一种永久性的变形，物体无法恢复到初始状态，这一过程被称作塑性变形。

在塑性变形阶段，物体的形状会产生不可逆转的改变，直至变化抵达最终的稳定态势。当物体遭受外力的冲击时，物体在微观层面上会出现结构变化，进而致使物体的宏观性质也随之改变。

在塑性变形的初始时期，物体内部的应力并非均匀分布，这就会导致局部出现较高的集中应力。倘若变形持续发生，这些应力集中的区域将会扩展，从而让材料的内部结构变得更加均匀。以南宁五象新区某深基坑工程项目为例，该项目地处南宁盆地边缘，土层以淤泥质粉质黏土为主，含水量高、抗剪强度低，且周边临近既有地铁线路与商业建筑，施工工况复杂，对支护结构的变形控制要求极高[5]。项目针对受限工况下的地质与环境特点，选用拉森 IV 型钢板桩结合钢支撑的支护体系，通过现场监测与理论计算相结合的方法，对钢板桩在塑性变形过程中的内力分布、应力演化规律展开系统分析，明确了变形发展中应力集中区域的扩展特征，验证了该支护体系在实现材料内部结构应力重分布、达到新稳定状态过程中的合理性与有效性[5]。在这个过程中，材料的微观结构会不断的变化，以用来适应外部应力的作用，并且能最终达到一个新的稳定状态。

3. 内力的计算方法

3.1. 截面法

内力的计算方式主要为截面法，其具体步骤如下：

(1) 进行假想截断：在需要求解内力的截面处(通常为横截面)，通过假想的方式用截面将杆件分割为两部分；

(2) 实施替代：随意选取其中一部分，其舍弃部分对留存部分的作用，用作用于截面上相应的内力(力或力偶)来予以替代；

(3) 达成平衡：对于留存的部分要构建起平衡方程，依据其上面的已知外力来计算杆件在截开面上的未知内力；此时，截开面上的内力对于所保留部分来说属于外力[6]。

3.2. 应力分析

在工程设计的某些计算里，通过截面法求出轴向受拉(压)杆横截面上的轴力 F 之后，还不能即刻就

判定杆是否会遭到破坏。举例来说,会用到两根粗细各异的拉杆,在相同的轴向拉力 F 作用下,它们横截面上的轴力是一样的,也就是都为 $F_N = F$,然而很可能出现细杆被拉断了可粗杆却依然完好无损的情况。这是由于轴力仅仅是杆横截面上分布内力的合力,也就是说,虽然两杆的轴力相同,可是因为杆横截面面积的大小不一样,所以在两杆横截面上分布内力的集度大小也不相同。

基于力学及数学平衡方程,进一步提出了计算机程序的实现原理,并给出了部分程序代码,给工程应用分析提供了准确且高效的手段[7]。因此,如果要判断杆在外力作用下是否会破坏,不但要知道内力的大小,还必须知道内力在横截面上的分布规律和分布内力的集度。内力的集度的最大值才是判断杆是否会破坏的重要因素。

4. 内力在杆件中的应用

为了展现内力沿着杆长的变化规律,可以沿着杆轴构建起 x 轴,通过坐标来体现横截面在轴线上的位置。在列出任意截面上的内力表达式之后,就可以能够用图线来呈现这一函数。为了能更直接地知晓轴力沿着横截面位置的变化情形,可以依照所选定的比例尺,不过需使用垂直于杆轴线的坐标来表示各横截面轴力的大小,并且用于绘制体现轴力与截面位置关系的图线,这种图线就普遍被称作轴力图。而对于这种用于表达内力沿着杆长度变化规律的图线,称之为内力图。

倘若杆件受到了超过两个的轴向外力作用时,在杆件的不同截面上轴力将会不一样,在这样的情况下,当对杆件进行强度、刚度计算时就需要运用到数学,所以,即必须要了解杆件的各个横截面上的轴力,还可以计算出最大轴力的一些数值以及其所在截面的位置。故在画图时,通常习惯把正值的轴力绘制在上侧,而把负值的轴力绘制在下侧。

4.1. 轴向内力

所提及的轴向内力,一般是指沿着杆件轴线方向施加的内力,如图1所示。在力学的学习过程中,当杆件遭遇拉伸或者压缩时,就会出现轴向内力。这主要是用于分析杆件强度、刚度以及稳定性的关键参数。比如说,一根遭受拉伸的直杆,其两端会受到沿轴线方向向外的拉力,这样在该杆的内部就会产生沿轴线方向的内力,以此来抵御这种拉伸作用,从而维持杆件的平衡。轴向内力的大小能够通过静力平衡方程来进行计算。

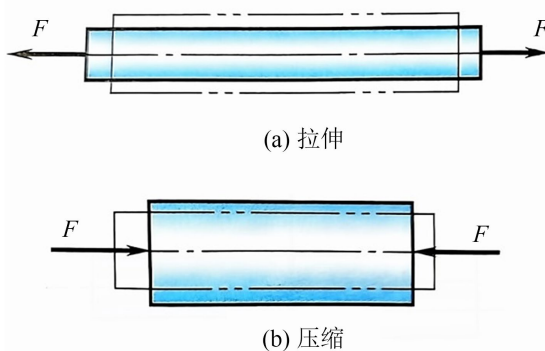


Figure 1. Schematic diagram of axial internal forces [7]

图1. 轴向内力示意图[7]

4.2. 剪切内力

在一对相距很近、大小相等、方向相反的横向外力作用下,杆件的主要变形是横截面沿外力作用方

向发生相对的错动。这种变形形式称为剪切。剪切内力是指在构件受到剪切的作用时，它的内部会产生抵抗剪切变形的内力。在发生剪切变形的截面上往往产生剪切内力，如图 2 所示。其剪切内力大小都是通过静力平衡条件来确定。比如，铆钉在连接两个钢板时，铆钉所受到的力就是叫做剪切力，而其内部所产生的内力就叫做剪切内力。

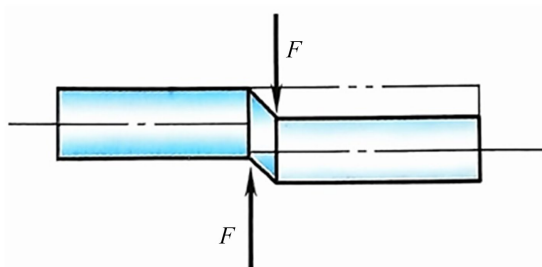


Figure 2. Schematic diagram of shear internal forces [7]
图 2. 剪切内力示意图[7]

4.3. 弯曲内力

在一对大小相等、转向相反、位于杆的纵向平面内的外力偶作用下，杆件的轴线是由直线弯成曲线，这种变形形式被称为弯曲。在竖向荷载作用下，弧形梁承受弯矩、剪力、扭矩等，受力情况复杂[8]。而弯曲内力是指杆件在受到弯曲作用时，它的内部产生的抵抗弯曲变形的内力。

当部分杆件受到垂直于其轴线的横向力，或者在杆件的纵向平面内受到力偶作用的时候，杆件就会出现弯曲变形现象。并且依据在弯曲变形的进程中，杆件横截面上会产生两类内力，即剪力和弯矩，如图 3 所示。

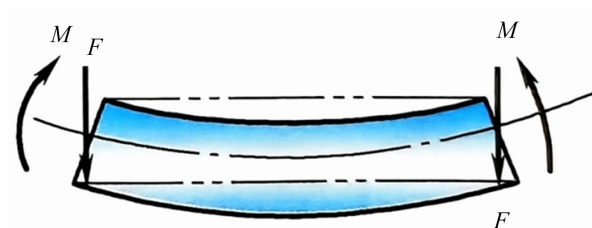


Figure 3. Schematic diagram of bending internal forces [7]
图 3. 弯曲内力示意图[7]

剪力指的是横截面切向分布内力的合力，其会促使杆件沿着横截面产生相对错动；弯矩是指横截面法向分布内力的合力偶矩，其又会致使杆件发生弯曲。

计算弯曲内力通常需要首先依据静力平衡方程求出支座反力，而后再通过截面法确定指定截面处的剪力和弯矩。

而在工程实际里，像桥梁的梁、房屋的大梁等这些结构构件在承载时都会产生弯曲内力，对弯曲内力进行准确分析是确保这些结构安全可靠的关键前提。

5. 内力在工程结构中的重要性

5.1. 内力乃是衡量结构承载能力的重要指标

当结构承受外部荷载时，其内部所产生的内力分布与大小径直决定着该结构能否稳定承载且不出

破坏。借由对内力的剖析，能够精确评判结构在各种工况下的安全性。

5.2. 恰当的内力状态有益于提升结构的稳定性

内力既对结构的刚度产生影响，也对结构的稳定性施加作用，避免其出现失稳状况。合理的内力分布能够确保结构具备充足的刚度，减少变形，同时也维系了其正常的某些使用功能。内力在结构中分布的是否均匀，以及它的强度的大小，对于整个结构的稳定性都具有决定性的影响。关键在于内力的存在和变化直接关系到结构的稳定性和安全性。但是当结构的稳定性则取决于内力的合理分布及其大小。内力分布的优化不仅可以增强结构的承载力和抵抗倾覆的能力，还可以显著提高结构的稳定性和耐久性。可以通过优化内力分布，可以显著增强结构的承载力和抵抗倾覆的能力。

这种优化的过程还涉及到了结构分析、材料选择和设计方法等多个方面的综合考量，得以实现结构在各种载荷作用下的最优性能。通过对内力分布的优化，它能够有效降低结构产生的应力和变形，从而又提高了结构的承载能力和抗倒塌能力。

5.3. 内力为结构设计提供依据

在设计阶段，工程师需依据预计的荷载来计算内力，进而明确结构的构件尺寸、材料选用以及连结方式等，以此确保结构既经济又安全。内力强度设计在结构设计中占据重要地位。其旨在确定结构构件的尺寸、材料以及构造形式，这是基于对结构所受内力的剖析与运算，目的是确保结构在投入使用后能够承受各类荷载的作用，且不会出现破坏或过度变形的情况。

对于混凝土构件，就需要检验其抗压强度、抗拉强度；对于钢结构构件，则要检验其屈服强度、稳定性等，这需依照所选材料的力学性能以及相关设计规范，针对这些内力进行组合并检验，进而明确构件所需的承载能力。详细而言，内力强度设计首先需要依据结构所承受的外部荷载，诸如恒载、活载、风载、地震作用等，通过力学分析的方法算出结构内部各截面的内力，这其中包含了轴力、剪力、弯矩等。

在这一强度设计的过程中，还需要综合考虑诸多因素，比如结构的可靠性、耐久性以及经济性等方面。并且，在保障结构安全的基础上，还需要通过合理的内力强度设计来实现材料使用的优化，降低成本。

5.4. 内力监测在结构的健康评估与维护中起着关键作用

在结构的使用进程中，为维修和加固提供了科学的决策依据，能够延长结构的使用寿命。对内力的实时监测能够及时察觉潜在的问题与损伤。在工程实际情况下，杆件有可能同时遭受不同样式的荷载进而出现复杂的变形，然而这些都能够视作是上述的基本变形进行的组合。由两种及两种以上基本变形共同构成的复杂变形被叫做组合变形。

变形控制属于工程领域里极为重要的一个理念。其指的是借助各类手段与方法，把结构或构件在受到力、温度变化、湿度变化等物理或其他要素影响下所产生的变形量控制在既定的允许范畴内。

变形控制的目的是主要包含以下几个层面：首先是要保证结构或构件在使用过程中的安全性与稳定性，以防因过大的变形致使结构损坏或失效；其次是要确保结构的正常使用功能，比如要避免因变形过大而对建筑物的美观、门窗的正常开合、设备的正常运转等产生影响；再者就是要延长结构的使用寿命，以及减少因变形积累而造成的某些损害。

在实际工程里，达成变形控制通常从设计阶段就需要予以考虑，涵盖合理地选取结构形式、材料，以及精确计算受力状况等。在施工过程中，也需要严格依照设计要求来操作，保证施工质量。监测和评

估同样是变形控制里的重要环节，且要通过定期对其结构的变形进行监测，从而及时发现问题并采取相应的措施加以解决。

5.5. 内力与外力的关系

内力是由于外力作用(变形)而引起的物体内部的相互作用力。当物体受到外力作用时，物体为恢复原状，对变形起抵抗和阻止作用，故必然引起内力，以保持物体的平衡和稳定。当内力随外力增大至某一限度时，构件发生破坏。

外力则是物体外部施加于物体上的力。内力会随着外力的变化而变化，二者相互关联。当外力发生变化，内力会进行重新分布和调整，由此来适应外力的作用，使物体在新的状态下达到平衡或保持某种特定的运动状态。故内力是对外力的一种响应和平衡机制，它们共同作用于物体，决定了物体的变形、应力和运动等特性。

6. 内力在工程中的应用及挑战

6.1. 内力在建筑工程中的应用

结构规划方面：借助对结构内力(像梁、柱等的弯矩、剪力与轴力等)的剖析，合理设定构件的尺寸、形态以及材料，以此保障结构的安全稳固性。

桥梁项目中：明晰桥梁各部位的内力分布状况，能够用来明确恰当的桥梁样式(见图 4)、支撑位点以及强化手段等。

建筑施工作业时：在施工进程中，考虑施工荷载所引发的内力变动(见图 5)，采用相应办法确保施工安全以及结构质量。

材料选用上：按照内力特点选取适宜的工程材料，令其能够承受预期的内力作用。例如土工合成材料加筋土挡墙是一种新型的挡土结构(如图 6)，它具有经济性好、性能优越、适应性强等优点[10]。



Figure 4. Elevated bridge and circular pile structure
图 4. 高架桥梁及圆形墩柱结构



Figure 5. Reinforcement binding construction for steel-concrete frame beam-column joints
图 5. 钢筋混凝土框架梁柱节点钢筋绑扎施工



Figure 6. Example of a reinforced retaining wall project
图 6. 加筋挡土墙工程示例

6.2. 内力分析面临的挑战

(1) 复杂结构与多工况带来的难题：面对复杂的工程结构体以及多种不同荷载情形的组，要精确剖析内力的分布状态会相当棘手，且计算量极大。从看似简单的问题入手，深入探讨了极易被普遍忽视，而教学思考中不得不深入研究的问题；主要研究对称结构在反对称荷载作用下，对称轴处内力问题[1]。

(2) 材料非线性产生的困扰：当材料呈现出非线性的特质，像是弹塑性等，内力的分析就会更为繁杂，

需要综合考虑材料性能变化对内力的影响。利用非线性材料结构余能及静力平衡条件,构造了新泛函数,对新泛函数进行一阶求导,即可方便求得静不定非线性材料结构杆件的内力[9]。

(3) 模型简化产生的偏差:在构建分析模型时不可避免地要进行一定程度的简化,这可能致使内力分析结果出现偏差。且数据获取方面的困难:要精确获取与内力有关的数据,如荷载信息、结构特性等,有时也面临着挑战[11]。

7. 结论

本文通过深入探究和剖析内力,可获得结论如下:内力属于工程力学中较为抽象且理论性很强的一个概念,但却始终贯穿于工程力学教学的整个过程。内力在工程领域里占据着极为关键的地位,乃是维系结构稳定性与安全性的的重要因素。明晰内力的分布规律以及变化特点,对于合理规划结构、保证其在各类工况下的性能表现有着重大意义。

然而,内力分析并不简单,会面临诸如复杂结构与多工况组合的繁杂性、材料非线性带来的挑战、动态效应的不确定性、边界条件的不明确性、大变形情况下的特殊要求、多物理场耦合导致的复杂状况以及模型简化和数据获取的艰难等众多问题。

纵然存在这些挑战,可随着技术的持续进步以及研究的不断深入,学者们对于内力的认识会不断加深,分析的方法和手段也会不断改进与创新,进而能更好地为工程实践提供服务,推动工程领域持续向前迈进,达成更高的质量和效益。

参考文献

- [1] 石文明. 关于工程力学中的重要概念——内力的探讨[J]. 中国科教创新导刊, 2008(16): 191.
- [2] 张志革, 王敏丰. 工程力学中构件内力求解方法的研究[J]. 科技展望, 2016, 26(9): 30.
- [3] 卢伟煌. 结构中不平衡弯矩产生的内力问题分析研究[J]. 福建建筑, 2019(10): 11-14.
- [4] 高兴和, 张峰, 吕彝, 等. 基于压缩曲线的非线性弹性地基上结构内力与沉降分析[J]. 岩土工程技术, 2023, 37(5): 590-594.
- [5] 黄鹏, 陈仁君, 韦早. 复杂工况下拉森钢板桩深基坑支护内力变形特性研究[J]. 广西土木建筑, 2022, 45(3): 45-49.
- [6] 罗俊. 某大型调蓄池外墙结构内力分析简化计算方法[J]. 水利技术监督, 2022(12): 271-274.
- [7] 何培, 邵国建, 许成祥. 工程力学[M]. 第2版. 北京: 机械工业出版社, 2024.
- [8] 朱平. 双向弯矩作用下后置锚栓群内力分析及计算机程序实现[J]. 中国建筑金属结构, 2022(9): 9-11.
- [9] 刘志, 蒋友宝, 谭光宇, 等. 某混凝土弧形梁结构考虑楼板约束的受力性能研究[J]. 建筑结构, 2021, 51(21): 54-58.
- [10] 吴晓, 刘奇元. 非线性材料杆系结构的内力求解[J]. 力学季刊, 2021, 42(2): 388-396.
- [11] 刘华北, 汪磊, 王春海, 等. 土工合成材料加筋土挡墙筋材内力分析[J]. 工程力学, 2017, 34(2): 1-11.
- [12] 程时宇, 黄志强, 李冬梅. 基于线性与力学特征分析对称性结构内力[J]. 山西建筑, 2021, 47(22): 46-48.
- [13] 焦安红, 代美泉. 工程力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2025.
- [14] 项鹏飞, 齐永洁, 姜海波, 等. 地面堆载下考虑盾构施工开挖效应的隧道内力研究[J]. 岩土工程学报, 2026, 48(1): 126-136.
- [15] Wei, P., Hong, S., Li, L., Hu, J. and Man, H. (2025) Research on the Internal Force Solution for Statically Indeterminate Structures Under a Local Trapezoidal Load. *Computation*, **13**, Article 229. <https://doi.org/10.3390/computation13100229>
- [16] 王桂林, 陈辉. 工程力学[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.