

材料力学课程中内力求解 的改进设正法及其教学实践^①

朱维伟, 冯国建, 杜俊, 邱志刚

昆明学院 城乡建设与工程管理学院, 昆明 650214

摘要: 设正法是材料力学课程中求解内力的常用方法, 传统设正法有值得商榷之处. 研究提出了一种改进的设正法, 并通过算例对其应用过程进行了介绍, 同时分析了应用该方法教学时应注意的问题. 教学实践表明, 用改进设正法求解内力, 可以有效降低出错率, 提高学生内力分析的能力, 增加学习材料力学课程的自信, 可对后续相关课程的学习产生正迁移效应. 在日常教学中, 教师应对学生是否能真正灵活地应用该方法进行必要的监控.

关键词: 材料力学; 内力; 改进设正法; 学习迁移

中图分类号: G420

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2019)06-0127-05

材料力学是土木类、机械类专业重要的专业基础课, 为学习后续专业课程奠定必要的力学理论和分析方法基础. 材料力学中的内力, 是指在外力作用下, 物体各质点之间相互作用力的变化量, 是物体内部各部分之间因外力作用而引起的附加相互作用力, 即附加内力^[1]. 分析构件的内力是研究构件的强度与变形的基础, 是学好材料力学课程首先要掌握的基本功. 教学实践表明, 对于初学者, 材料力学是一门较难学的课程, 不少学生往往不能正确理解和掌握构件内力的正负问题, 导致内力计算错误, 从而影响学习本课程的积极性. 因此, 有必要对内力的求解方法进行提炼总结, 形成行之有效的教学方法, 提高学生的学习积极性, 加深和促进相关知识的理解与应用.

1 求解内力的改进设正法

1.1 传统设正法

设正法现已成为材料力学中求解构件内力的常用方法. 传统设正法^[2-3]的基本思想是: 无论构件发生何种变形, 画脱离体受力图时, 其截面上的内力统一设成与规定为正的力相一致的方向, 然后按照设定的参考轴建立力系的平衡方程, 力系平衡方程中, 与坐标正方向一致的力带正号, 反之带负号. 求解所得的数值为正, 说明所设内力方向与实际方向相同, 数值为负, 说明所设内力方向与实际方向相反. 下面举一简单算例说明传统设正法求解内力的过程.

算例 1: 等截面直杆受外力作用如图 1(a)所示, 所有外力作用线均沿杆轴线, 试求杆件 $m-m$ 截面上的内力(单位: kN).

解: 如图 1(b), 假想用 $m-m$ 截面将杆件截开, 取左脱离体分析, 因材料力学规定轴力中拉力为正,

① 收稿日期: 2017-03-27

基金项目: 昆明学院应用型人才培改革创新项目(2016-6).

作者简介: 朱维伟(1981-), 男, 博士, 副教授, 主要从事工程力学的教学与道路工程的研究.

故将截面上的内力设为正(离开截面),并建立一个参考轴 x (本例中取水平向右为正).

按坐标轴方向建立平衡方程:

$$\sum F_x = 0$$

即

$$50 - 30 + F_N = 0$$

求得 $F_N = -20(\text{kN})$. 负号表示截面上的内力实际应为负(指向截面),即实际为压力.

这种解法有值得商榷之处:在建立平衡方程的过程中,参考轴的建立是具有任意性的,一般可根据解题的实际需要,以方便为原则建立.本例在

求解过程中,因为 x 轴取水平向右为正,正好使力系平衡方程中的轴力 F_N 保持正号.但是,即便 x 轴取在水平方向,也不能保证方向与坐标轴正向一致的轴力一定是拉力,如图 1(c),按传统设正法,用 $m-m$ 截面将杆件截开,取右脱离体分析,将截面上的内力设为正(离开截面),仍建立一个水平向右为正的参考轴 x ,按参考轴方向建立平衡方程: $\sum F_x = 0$, 即 $-F_N - 110 + 90 = 0$, 求得 $F_N = -20(\text{kN})$, 负号表示截面上的内力实际应为负(指向截面),即实际仍为压力.至此,不少学生会有疑问,既然是设正法,为什么在平衡方程中已被“设为正”的内力 F_N 又要记为负? 实际上,正是因为这种传统的设正法容易造成参考轴方向的正负与内力正负的混淆,对刚开始接触内力计算的学生容易产生思维上的混乱,为避免这种混乱,笔者提出改进的设正法.

1.2 改进设正法

用改进的设正法求解内力,其步骤是:

1) 无论构件发生何种变形,画脱离体受力图时,其截面上的内力统一设成与规定为正的内力相一致的方向.

2) 不需画出参考轴,直接列出力系的平衡方程.列平衡方程时,先写设为正的内力,其它力的符号,与设为正的内力同向则为正,反向则为负(这里说的力是指广义力,包括力偶矩).

3) 求解力系平衡方程.求解得到内力数值为正,说明实际内力就是规定为正的内力;数值为负,说明实际内力就是规定为负的内力.

步骤 2) 中,列平衡方程时,之所以先写设为正的内力,是因为这样处理便于判断除所设内力外其它力的正负,教学实践证明这样处理确实可以大大降低学生的犯错率.

2.3 改进设正法应用算例

算例 2: 题目如算例 1, 受力分析如图 2.

解: 如图 2(b), 用 $m-m$ 截面将杆件截开, 取左脱离体分析, 因材料力学中规定轴力中拉力为正, 故将截面上的内力设为正(离开截面), 不画参考轴, 直接列出平衡方程:

$$F_N - 30 + 50 = 0$$

求得 $F_N = -20(\text{kN})$. 负号表示截面上的内力就是规定为负的内力(压力).

若取右脱离体分析, 如图 2(c), 将截面上的内力设为正(离开截面), 不画参考轴, 直接列出平衡

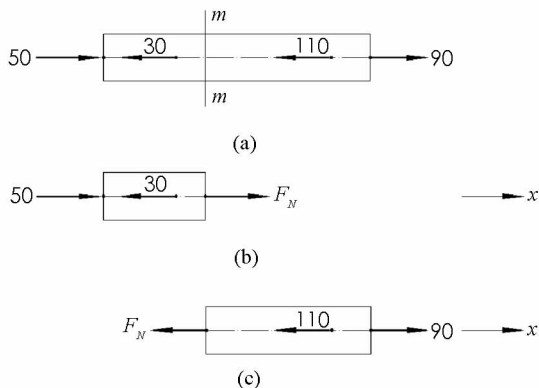


图 1 算例 1 受力分析

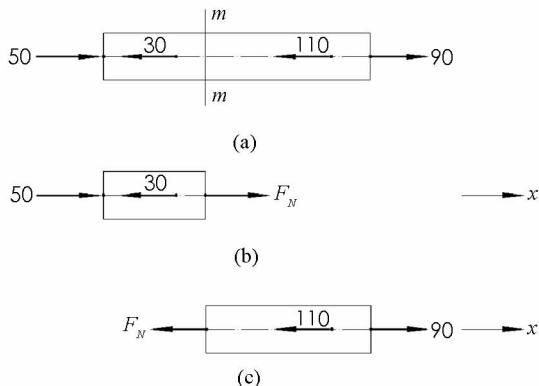


图 2 算例 2 受力分析

方程:

$$F_N + 110 - 90 = 0$$

求得 $F_N = -20(\text{kN})$. 负号表示截面上的内力就是规定为负的内力(压力).

算例 3: 简支梁 AB 受力如图 3(a), 试求梁 $m-m$ 截面上的内力.

解: 对梁 AB 进行整体受力分析, 其受力如图 3(b), 由静力平衡方程可求得支座反力 $F_A = 7 \text{ kN}(\uparrow)$, $F_B = 3 \text{ kN}(\uparrow)$, 求解过程略.

用 $m-m$ 截面将梁截开, 取左脱离体分析, 如图 3(c), 因规定使脱离体梁段顺时针转的剪力为正, 故将截面上的剪力设为正(向下); 规定使脱离体梁段下侧受拉的弯矩为正, 故将截面上的弯矩设为正(逆时针). 不需要建立参考轴, 直接列出平衡方程:

$$F_S - 7 + 10 = 0$$

$$M + 10 \times 2 - 7 \times 6 = 0$$

求得剪力 $F_S = -3(\text{kN})$, 弯矩 $M = 22(\text{kN} \cdot \text{m})$. 求得的剪力值为负, 表示截面上的剪力实际就是负剪力.

若取右脱离体分析, 如图 3(d), 将截面上的剪力设为正(向上), 弯矩亦设为正(顺时针). 不需要画出参考轴, 直接列出平衡方程:

$$F_S + 3 = 0$$

$$M + 5 - 3 \times 9 = 0$$

求得剪力 $F_S = -3(\text{kN})$, 弯矩 $M = 22(\text{kN} \cdot \text{m})$. 求得的剪力值为负, 表示截面上的剪力实际就是负剪力.

这种改进的设正法也可用于求解扭矩、写弯矩方程和剪力方程等, 此处不再举例赘述.

应该指出, 在求解内力的传统设正法中, 列力系平衡方程时均要画一个正向参考轴出来, 作为平衡方程中力的正负号的参照, 如图 1 中的 x 轴. 而本文提出的改进设正法无需画出这个参照轴, 这可以理解为规定为正的广义内力的指向, 就是这个潜在的参考轴的正向, 只是无需将其画出罢了.

2 改进设正法教学实践分析

经过几年的课程教学实践, 我们认为采用改进设正法进行内力求解的教学有以下优点:

1) 在熟悉了内力的本质和符号规定的基础上, 在轴力、扭矩、剪力、弯矩等内力的求解中, 掌握改进的设正法, 均有利于学生加深对这些内力的基本概念和知识的理解, 提高内力分析和求解的正确率, 从而提高学好材料力学课程的自信心和积极性.

2) 学习和掌握内力求解的改进设正法, 可以对材料力学中后续内容的学习以及其它涉及内力分析内容的课程的学习产生复杂的正迁移效应, 如图 4, 以土木工程专业为例, 图中的顺向迁移和逆向迁移均为正迁移, 并形成课程之间的良性互动.

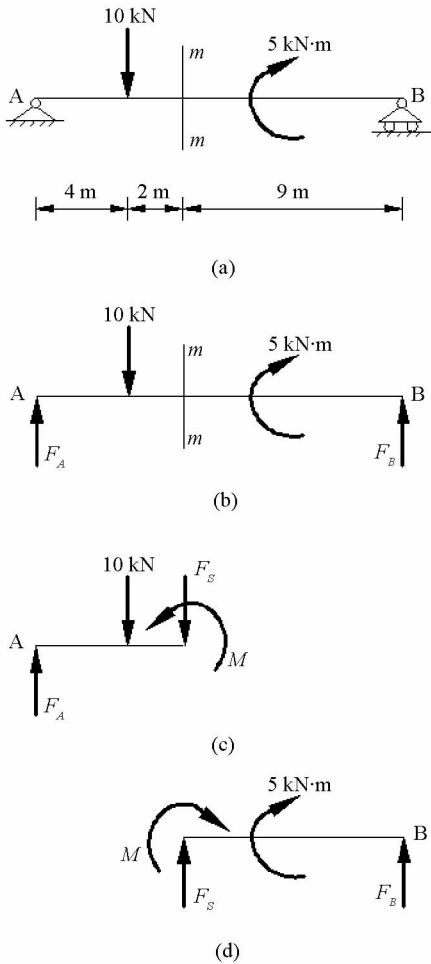


图 3 算例 3 受力分析

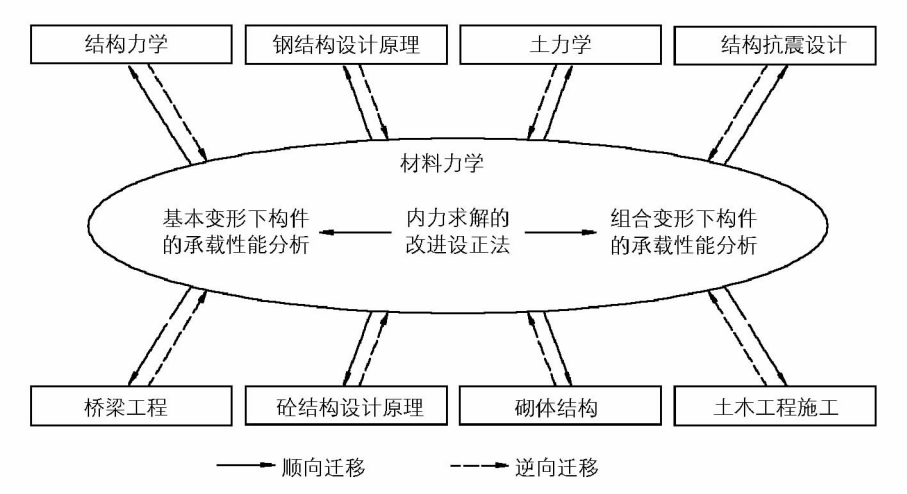


图 4 学习改进设正法引起的学习迁移

但是，任何一种教学方法都不是万能的，不是适用于所有学生的。教学实践告诉我们，在用改进设正法进行内力求解的教学中，应注意以下问题：

1) 学生是否形成了“只要是求解内力，就一定要用改进设正法”的思维定势，使简单问题复杂化。如图 5，若求外伸梁 $m-m$ 截面上的内力，显然，分析右脱离体，根据梁内力的符号规定就可以直接写出：剪力 $F_s = 5(\text{kN})$ ，弯矩 $M = -(5 \times 2) = -10(\text{kN} \cdot \text{m})$ ，而无需去画脱离体受力图并用改进设正法列平衡方程来求解。因此，要指导学生活学活用，对分析的问题先有一个总体的认识，而不是凡是求内力就不加思索地直接用改进设正法。在日常教学中、课后作业的批阅中，要多观察学生灵活应用该方法的能力。

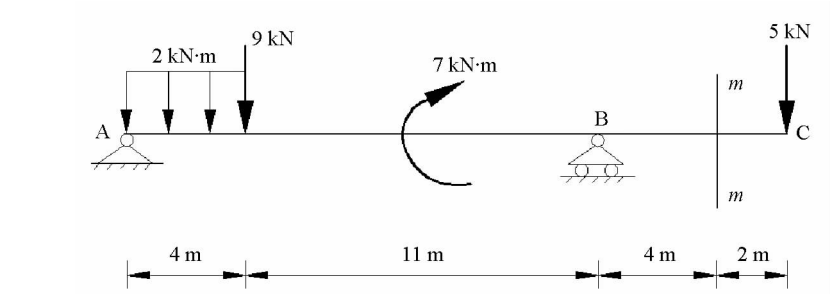


图 5 某外伸梁受力情况

2) 教学中应有意识地加强学生学习迁移能力的培养。我们在前几年的教学中发现，不少学生在学完轴向拉伸和压缩时，基本能熟练地应用改进设正法求内力，而在刚接触扭转、弯曲时，往往又不能想到并正确地应用该方法，其原因就是学生对扭转、弯曲变形的特征，以及扭矩、剪力、弯矩等内力的本质和符号规定理解不到位。鉴于此，在材料力及其他课程的教学过程中，已有学者提出研究型教学模式^[4]、发现法教学模式^[5]、以实验为先导的自主参与式教学模式^[6-7]、角色转换教学模式^[8]，这些都是十分有意义的探索。近两年，我们将求解内力的改进设正法与发现法相结合进行教学，在教学过程中重现知识发现的过程，从方法论角度培养学生的迁移能力、自学能力和创新思维能力，取得了较好的效果。

3 结 语

内力计算与分析是材料力学课程的基础内容，作为任课教师，有必要通过日常教学活动总结、归纳一些学生容易掌握的内力求解方法，提高课程学习效率，近几年我们在教学中采用了本文提出的改进设正法，取得了良好的教学效果。但应注意，在日常教学课后作业的批阅中，教师要对学生是否能真正灵活地应用该方法进行必要的监控，同时，应有意识地运用一些创新教学方法加强学生学习迁移能力的培养。

参考文献:

- [1] 刘鸿文. 材料力学 I [M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [2] 李金权, 王茂廷. 内力设正法在《材料力学》课程中的应用 [J]. 大学教育, 2014, 17(3): 164-165.
- [3] 王转怀. 工程力学课《轴向拉压变形内力》教学浅谈 [J]. 西北职教, 2006(5): 43.
- [4] 彭细荣. 基于创新项目的材料力学教学中能力培养探索 [J]. 教育教学论坛, 2015(50): 101-102.
- [5] 隋允康, 宇慧平, 杜家政. 材料力学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [6] 叶荣昌, 强文江, 郑磊, 等. 材料力学课程本科生综合素质及能力培养探索 [J]. 中国冶金教育, 2015(3): 35-36.
- [7] 姚丽萍, 马永昌, 郑应彬. 机械类材料力学课程教学改革的探索 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2015, 40(4): 152-154.
- [8] 严岩. 材料科学前沿课程教学革新与探索 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2016, 41(5): 231-233.

An Improved Method of Positive Assumption for Internal Force Solving in *Mechanics of Materials* Course and Its Teaching Practice

ZHU Wei-wei, FENG Guo-jian, DU Jun, QIU Zhi-gang

School of Urban and Rural Construction & Engineering Management, Kunming University, Kunming 650214, China

Abstract: Method of positive assumption is a conventional way to solving internal force in *Mechanics of Materials*, but traditional method of positive assumption is debatable. In this paper, an improved method of positive assumption has been presented, and the application process of this improved method is introduced by some examples, matters to be noted in teaching by this improved method are also analyzed. Teaching practice shows that using improved method of positive assumption to solve internal force, can effectively reduce the error rate, improve the students' ability to analyze the internal force, increase the confidence in *Mechanics of Materials* learning, and can produce positive transfer effect for subsequent rated courses learning. In the daily teaching, teachers should be fully aware of whether students can really use the method flexibly.

Key words: *Mechanics of Materials*; internal force; improved method of positive assumption; learning transfer

责任编辑 汤振金