

# 基于首要教学原理的结构力学教学过程重构

周 臻,尹凌峰,缪志伟

(东南大学 土木工程学院,江苏 南京 210096)

**摘要:**文章分析了现行结构力学教学过程中存在的问题,对“首要教学原理”的五项基本原则和四项辅助策略及其对结构力学教学的指导意义进行了详细阐述,在此基础上对传统结构力学的教学过程进行重构,创建了“一个中心、四个阶段和八个支持”的新型结构力学教学模式。教学实践表明,基于首要教学原理重构的结构力学教学过程能够取得良好的教学效果,其理论方法和重构模式亦可为土木工程其它专业课程的教学改革与创新提供参考。

**关键词:**结构力学;首要教学原理;教学过程;重构

**中图分类号:**G642      **文献标志码:**A      **文章编号:**1005-2909(2011)05-0059-06

在土木工程专业的课程体系中,结构力学课程具有不容置疑的重要地位,它是联系基础力学课程(理论力学和材料力学)与工程设计课程(工程结构设计原理、建筑结构设计、桥梁结构、工程结构抗震等)的纽带,是使学生从力学基本理论过渡到工程实际应用的重要桥梁。因此,在各个高等工科院校土木工程专业的教学计划中,均将结构力学视为最重要的专业基础课<sup>[1]</sup>。然而,由于结构力学理论性和系统性较强,加之现行教学过程中存在一些问题,导致部分学生在付出努力后仍然不能取得理想的学习效果。因此,文章基于首要教学原理对结构力学的教学过程进行重构,为提升结构力学课程的教学质量提供方法和依据。

## 一、现行结构力学教学过程存在的问题

目前,多数结构力学教学都遵循“教材内容—课件制作—课堂讲授—作业解题”的标准过程,这样的教学过程在实践中存在以下一些问题。

### (一)重理论教学,轻联系实际

结构力学作为一门力学课程,其理论性较强,不少教师将其作为一门纯理论课程开展教学活动,教学内容中重点关注的是如何完成计算和解题,对于与之相关的实际工程问题则甚少涉及。学生在完成结构力学课程的学习后,往往掌握了具体的计算方法,但却不知如何在工程实践中应用,且在后续专业课程学习时,往往需要进行较长时间的“二次学习和理解”才能够映射到其它课程,

收稿日期:2011-07-19

基金项目:“结构力学国家精品课程”项目;东南大学教改重点项目“面向卓越土木工程师培养的结构力学创新教学模式”

作者简介:周臻(1981-),男,东南大学土木工程学院副教授,博士,主要从事土木工程结构分析研究,  
(E-Mail)seuhj@163.com。

从而影响了学习效果。实际上,结构力学作为土木工程的专业基础课,许多内容都和工程实际问题密切相关。如人为将结构力学的理论教学与实际工程割裂开来,既会影响学生工程思维能力的构建,也违背了结构力学课程开设的初衷。

### (二)重课件制作,轻教学设计

随着多媒体技术的飞速发展,多媒体课件在结构力学教学中的地位日益重要。为提高教学效率,教师可制作出优秀的多媒体课件,通过精美的版式设计和动画呈现教学内容。在此背景下,不少结构力学教师认为只要一次性投入精力制作出教学课件,则后续的教学过程只需依据课件实施,对于课件以外的内容则关注甚少,导致许多学生认为上课并不需要听讲,只需拷贝课件即可。然而,多媒体课件仅仅是表征教学内容的一种手段,呈现课件也只是教学过程的一个阶段。如将教学设计完全等同于多媒体课件的制作,则违背了教学过程的系统性和科学性,会严重影响到课程的教学效果<sup>[2]</sup>。

### (三)重教师主导,轻学生主体

由于结构力学课程在土木工程人才培养体系中的重要地位,教师对该课程的重视程度毋庸置疑,教师对该课程的主导作用也尤为突出。然而,教学应是“教”与“学”的有效融合与紧密统一,教师主导作用与学生主体作用是保证教学效果的不可分割的两个方面。但很多教师往往注重如何讲授结构力学知识,却忽视了如何激发学生的主观能动性,不能够让学生积极参与到教学过程当中,导致在结构力学课堂上经常出现“教师激情洋溢上课”和“学生死气沉沉听课”的极大反差现象。

### (四)重作业解题,轻实践训练

在讲述完知识点后布置相应作业的重要性,已得到绝大多数结构力学教师的认同。通过作业练习,能够强化学生对各种概念和方法的理解,起到巩固课堂教学效果的作用。然而,土木工程专业是一门实践性很强的学科,因此,结构力学课程也应注重让学生将所学理论知识尽可能迁移到生活实践中去,接受实践的检验和训练。但目前绝大多数结构力学的课外实践活动处于空白状态,其教学往往被狭隘地局限于培养学生解答习题和应付考试的能力,从而影响到学生工程实践能力的培养。

## 二、首要教学原理的基本内涵

### (一)五项基本原理

首要教学原理(First Principles of Instruction, FPI)由美国教学设计专家梅瑞尔教授首创。他认为:“information is not instruction”,即信息不是讲授,知识也不应灌输,并针对有效教学过程提出了五项基本的首要原理,认为课程教学效果与教学过程中首要原理的采纳比例直接相关<sup>[3]</sup>。这五项原理如下。

(1)聚焦解决问题:当教学让学生感觉能够用到解决实际问题时,学习才能得到促进。

(2)激活已有知识:当教学能激活学生原有相关知识和经验,并将其作为学习新知识的基础时,才能促进学习。

(3)展示论证新知:当教学充分展示论证了学习内容而非仅仅应用教学媒体告知相关的信息时,学习才能得到促进。

(4)尝试应用练习:当教学鼓励学生运用刚学到的新知识或新技能解决问题时,才能促进学习。

(5)融会贯通掌握:当教学鼓励学生将新知识技能融会贯通(迁移)到日常实践中去时,学习才能得到促进。

### (二)四项辅助策略

在实施 FPI 时,为保证五项基本教学原理的实施效果,可采取如下四项辅助策略。

(1)激发学习动机:这是最基本和重要的辅助策略,只有学生的学习兴趣 and 动机被充分调动,教学过程设计的其它策略和各项教学原理才能取得良好效果。首先,要创建富有吸引力的学习环境,这个环境不仅是指教室布置和教学设备等硬件条件,更重要的是教师通过精心的教学设计来营造活跃的课堂氛围;其次,应对学习内容与任务设计做个性化处理,以能够适应不同层次学生的特点;此外,在对学生的学习效果进行评价时,不是简单地告知学生好与坏或对与错,而应重视学生学习所得的内在反馈与激励,进行适时延迟判断。

(2)指引目标方向:教师应采取有效的手段让学生明白他们的学习目标(包括总目标与阶段性目标),并对学习内容的组织方式与教师教学过程的设计有充分了解,这样学生才能结合自己的实际情况制定合理的学习计划,并随着教学过程的深入而动

态地作出自我反馈、评价与修正;同时,当学生完成学习任务过程中存在错误时,教师应及时指出其错误根源,并让他们有自我改进的机会,从而提高知识点的掌握水平。

(3)多向师生互动:教师与学生之间的互动应是多方向的,包含直接和间接、正向和逆向的互动。例如:教师在课堂教学时通过创设问题情境引发学生思考与讨论,此即为直接互动;教师借助于多媒体课件的视频、动画、图片等素材,引导学生自主理解和掌握知识点,并形成初步的知识架构,此即为间接互动;教师主动参与学生的学习过程并为之讨论概念知识或题目求解,此即为正向互动;学生在课堂上主动参与到教师的教学过程,并勇于阐述自己的观点或方法,此即为逆向互动。

(4)异质生生合作:学生由于课程相关基础和理解水平的差异,知识掌握情况也参差不齐。教师可在教学进行到一定阶段时,依据学生前一阶段的学习效果和水平,将所有学生进行异质分组,共同完成一个规模较大、系统性较强的任务。这样,不同程度的学生在异质小组中能够分工合作、取长补短,从而有助于提高整个学生群体的教学效果。

### (三)结构力学教学的指导意义

由上述五项基本原理可发现:FPI强调学生的主体性作用,认为应充分激发学生的兴趣并使之积极参与到教学过程中,此点恰好对应结构力学教学中“重教师主导,轻学生主体”的缺陷;FPI强调教学应紧密联系实际情况,认为应在教学内容的导入时就让学生体会到所学内容与实际问题的相关性,此点恰好对应结构力学教学中“重理论教学,轻联系实际”的缺陷;FPI强调解决实践问题,认为在学生获得新知识或新技能后,应有机会能应用到实践中,此点恰好对应结构力学教学中“重作业解题,轻实践训练”的缺陷;同时,FPI还强调课堂教学不是传递信息而要展示论证,认为教学媒体本身仅仅是表征内容的手段而非目的,决定课堂教学效果的关键应是教学内容与教学过程设计,此点也恰好对应结构力学教学中“重课件制作,轻教学设计”的缺陷。由此可见,FPI的核心思想能够有效解决目前结构力学教学过程中存在的问题。同时,四项辅助策略集兴趣教学、互动教学和合作教学等多种教学模式的精髓为一体,能够有效指导结构力学教学过程的设计与实施。

### 三、基于 FPI 的结构力学教学过程重构

针对传统结构力学教学中存在的问题,笔者基于 FPI 对传统结构力学教学过程进行了重构,创建了“一个中心、四个阶段和八个支持”的新型结构力学教学模式,如图 1 所示。

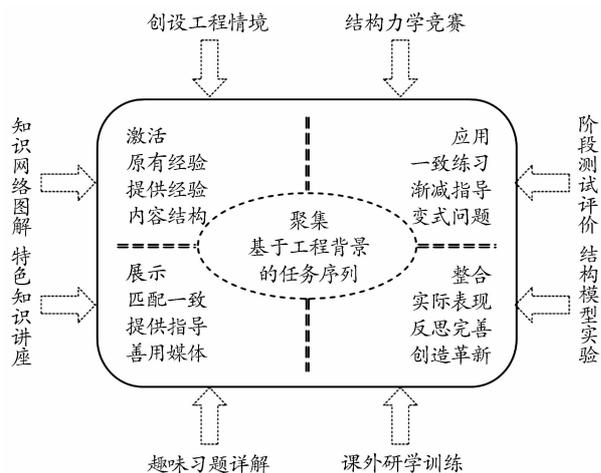


图 1 依据 FPI 重构的结构力学教学过程

#### (一)基于工程背景的任务序列:中心目标

结构力学教学作为土木工程的专业基础课,其最终目标是服务于实际工程结构的设计和分析。因此,结构力学教学的“聚焦”也应面向工程实际。为此,可基于结构力学各阶段教学内容的特点,将各阶段教学目标与实际工程应用结合,即将教学目标尽可能阐述为一个真实的工程任务,从而建立基于工程背景的教学任务序列,为学生学习提供真实的教学环境。例如将“影响线”的教学目标阐述为完成“桥梁结构在车辆移动荷载作用下的受力分析”和“厂房结构在吊车荷载作用下的内力计算”的工程任务;而“结构位移计算”的教学目标则被阐述为完成“基于设计规范的桥梁结构或房屋结构变形验算”的任务。这样,学生在每一阶段学习开始前,能够根据教学任务序列的指导,了解各部分内容的工程应用范围,从而充分激发学生的学习动机。

#### (二)激活—展示—应用—整合:关键阶段

##### 1. 激活——导入新知识内容的准备阶段

首先,教师应帮助学生充分回忆、联系、描述或应用已有的相关知识或经验,并作为新知识点学习的起点。如在进行“静定梁和静定刚架内力图绘制”教学时,教师可以以一个简单的静定梁结构为例,帮助学生回忆材料力学中应用截面法绘制内力图的基本步骤,并让他们完成一个简单的课堂习题。其次,

教师应向学生提供作为新知识点学习必要的基础知识和相关经验。如在进行“叠加法画弯矩图”教学时,教师应强调:在结构力学内力图绘制时,通常先绘制出弯矩图,然后利用荷载、内力之间的微分关系,进而画出剪力图和轴力图,而简支梁弯矩图的熟练掌握是叠加法画弯矩图的关键。最后,教师应引导或鼓励学生回忆用来组织新知识的结构,如理论力学“桁架计算”的内容结构可为结构力学中“静定桁架”的教学提供参考。

## 2. 展示——导入新知识内容的关键阶段

首先,教师应针对每一堂课的教学目标,优化设计相关匹配的教学内容,并进行充分的展示与论证。如在进行“平面几何组成规律”教学时,将“点—刚片”“两刚片”和“三刚片”的组成规律作为教学重点,并引出“二元体规则”等推论,进而通过大量例题阐述规律和推论的应用原则和方法。其次,教师应向学生提供适当的学习指导,尤其是向学生总结和展示各种原理和方法应用时的基本思路。如在展示应用几何组成规律分析问题的过程时,教师可提炼出“去支座—减二元体—找刚片,最大程度简化原结构”的基本思路,帮助学生尽快掌握该知识点。最后,教师应恰当地利用多媒体,以提高教学内容的展示效果。如通过视频动画播放演示桥梁结构在车辆移动荷载作用下的内力变化情况;通过多媒体课件分层动画演示复杂结构弯矩图的绘制过程。但需要注意的是,多媒体的形式和内容应完全服从于教学目标和教学设计,不能过于花哨而喧宾夺主,否则不仅不能促进教学效果,反而会干扰到学生而使其分心。

## 3. 应用——运用新知识内容的初步阶段

首先,在完成各知识点内容的展示后,教师可在课堂及课后布置与该知识点教学目标相一致的习题,此阶段切不可布置与教学目标和内容相关性不大的“偏题”“怪题”,或虽然相关却难度过大的练习题,否则会损害学生的知识建构过程,并影响其学习兴趣。其次,教师对学生在课堂练习或课后作业中出现的问题应给予恰当的反馈和指导,但随着知识点学习的深入,这种指导应逐步减少,而应强调培养学生的自我核查与纠正能力;最后,教师应针对每个知识点特点,尽可能要求学生解决一组不同的变式问题,从而全面考查和增强学生灵活解决问题的能力。例如,笔者针对相似的平面几何体系,局部改变

其中若干根杆件的位置或方向以形成变式问题序列,要求学生分析这组变式体系的几何组成性质,从而强化学生对不同组成规律的应用;针对相似的主从刚架体系,改变其中部分结点的约束性质(刚结、铰结或定向连接),要求学生绘制这组变式刚架的弯矩图,从而强化学生对不同类型结点内力特性的理解。

## 4. 整合——应用新知识内容的高级阶段

首先,在学习进行到特定阶段时,教师可要求和鼓励学生将新知识应用于解决一些实际工程问题,让其有机会展示和表现其所掌握的知识技能。如笔者在完成“影响线”的教学后,鼓励学生利用所学知识分析某一多跨静定梁桥的纵向影响线与横向分布系数;在完成“矩阵位移法”的学习后,要求学生利用矩阵位移法的基本原理和 MATLAB 的矩阵编程功能,编制计算程序求解某一房屋框架的内力和变形。其次,要鼓励学生在运用新知识解决问题时,对学到的新知识进行反思、质疑和辨析,以促进知识内容体系的修正与整合。例如,教师可要求学生在大跨空间结构体系中的“索桁架”进行几何组成分析,当学生按照结构力学的几何组成规律分析得到结果为几何可变体系时,让他们积极思考预应力在“索桁架”体系中的作用,引导他们对结构力学几何组成规律表述的适用性进行讨论和辨析,并提出更为准确合理的描述。

### (三) 辅助策略支持

(1) 创设工程情境:在导入新知识内容前,教师可通过图片、视频和动画等动态元素,创设实际的工程情境,从而引出该部分教学内容对应的工程任务,充分激发学生的学习动机。如教师在进行“影响线”的教学时,播放实际桥梁结构在车辆移动荷载作用下的内力与位移的变化情况(可通过有限元数值模拟和工程实测得到相应素材);在进行“结构动力学”的教学时,播放桥梁史上著名的美国塔科马海峡大桥在风荷载作用下大幅扭转摆动直至最终破坏的录像,以及房屋结构模型在振动台上进行模拟地震实验而破坏的视频;而在进行“结构稳定”的教学时,向学生展示工程实际中钢结构失稳的照片。

(2) 知识网络图解:学生在开始新的学习内容前,往往期望了解该部分内容需要掌握的知识点分布及其联系,以指导其知识体系的建构,便于他们复

习巩固所学新知识。为此,笔者针对结构力学的总体内容和各部分、各阶段内容分别建立了相应的知识网络图,为学生的学习提供全过程指引和复习指导。知识网络图是依据知识间的逻辑结构和人的思维结构来建立的知识点之间的关系图。在绘制知识网络图时,应将各知识点进行正确的层级划分,并针对各部分内容梳理出由中心知识点内容组成的主线,然后正确建立主节点与主节点、主节点与从节点、以及从节点与从节点之间的联结关系表征,从而创建出“主线清楚、逻辑性强、联系紧密”的知识网络架构。

(3)阶段测试评价:在有效的教学过程中,阶段性的测试是不可或缺的辅助手段。测试的目的有两个:一是为学生提供自测与自评的机会,让他们通过测试了解自己对知识的掌握水平,发现学习的薄弱环节,从而为下一阶段学习计划的制定或修正提供指导;二是为教师提供了解学生各阶段知识点真实掌握水平的机会,从而为下一阶段的教学计划修订提供依据。由于结构力学各部分内容之间联系紧密,同时各部分内容内部又独具完整的知识体系,针对此特点笔者构建了“各章测试+期中测试+期末考试”的多阶段测试评价系统,其中各章测试安排在每一章结束后进行,期中考试则安排在静定结构的所有内容全部讲解完后进行。

(4)结构力学竞赛:知识竞赛的形式往往能够激发学生的学习兴趣,并营造良性的学习竞争氛围,有效促进教学效果的提高。为此,笔者尝试在教学过程进行到一定阶段时举行面向土木、交通、力学等专业的全校性的结构力学竞赛,为学生创造相互交流的平台。为了充分体现学生的综合能力,竞赛内容被设计为三个环节:笔试、抢答、答辩。笔试形式与考试形式类似,但试题更为灵活,更注重考察学生的发散思维能力;抢答部分则以速绘弯矩图、迅速判断零杆、速绘影响线等趣味性较强的内容为主;答辩部分需要学生就结构力学内容中的某一主题或某一具体题目的解答向教师阐述,并回答教师提问,如“给定结构,已知部分内力,求结构所受荷载的问题”。

(5)趣味习题详解:结构力学由于其研究对象和分析方法的灵活性,存在很多能够引发学生积极思考并产生浓厚兴趣的趣味习题<sup>[4]</sup>。教师可针对各知识点的内容特点设计不同类型的趣题,通过引导、分

析、讨论和讲解,充分激发学生的学习兴趣,使他们能够对该知识点有更为深刻的了解。例如,在进行“几何组成分析”教学时,笔者设计了一组采用几何组成规律无法直接分析的趣题,让学生积极思考和讨论,然后再引入“构造等效变换”的概念将原结构进行转换后再直接分析,使他们体会“柳暗花明又一村”的感受,对几何组成规律的灵活应用有更深刻的体会;在进行“刚架结构弯矩图绘制”教学时,笔者利用一组趣味习题向学生展示“活用叠加法+对称性利用”最大程度地简化弯矩图绘制的过程,让学生体会到弯矩图绘制不仅是计算,更是灵活性和思维性的充分体现。

(6)特色知识讲座:结构力学内容经过多年发展已出现了一些特色的教学研究内容,如:计算结构力学、概念结构力学、定性结构力学、趣味结构力学等。这些内容是对传统经典结构力学的延伸和拓展。因此,在常规教学课时之外,教师可组织针对这些内容的特色结构力学知识讲座,以开阔学生的视野。笔者在结构力学的教学过程中,定期邀请本校和外校的一些著名结构力学专家给学生进行结构力学发展动态、特色知识及其工程应用方面的系列专题讲座,并在讲座结束后组织学生针对讲座内容进行小组讨论,最后提交相应论文报告,从而让学生对结构力学教学和科研的前沿动态有深刻了解。

(7)结构模型实验:结构模型实验是让学生从结构方案设计、结构受力计算、结构模型制作到最终结构加载实验而进行的一次完整的模拟工程实践活动,体现了学生定性思维能力、计算分析能力和动手实践能力的高度融合。在学习完某一阶段的结构力学知识后,可依据学生前一阶段的学习效果,按照异质原则进行分组(每组2~3人),让学生通过合作完成结构模型实验来整合应用所学知识,提升创新实践能力。笔者在完成影响线的教学后,让学生依据给定条件设计并制作一座在移动车辆荷载作用下的有机玻璃桥梁结构,并通过模拟车辆加载实验来检验学生结构模型的安全性;在完成结构动力学的教学后,让学生设计并制作一座多层木质房屋结构,并通过振动台的模拟地震荷载检验结构的抗震性能。学生在参与这些实践活动后,普遍反映对结构力学的相关知识有了更深入的了解,同时其工程思维和动手实践能力也得到了综合提高。

(8) 课外研学训练: 学生课外研学训练目前已成为锻炼学生创新能力的一个重要手段, 结构力学中有许多前沿性的问题非常适合学生开展相关的课外研学项目研究。例如, 在完成“几何组成分析”的教学后, 指导学生针对“预应力索杆结构”这种新型不定结构进行探索研究; 在完成结构动力学的教学内容后, 指导学生应用 MATLAB/SIMULINK 平台的简易编程功能, 构建多、高层房屋在荷载作用下的力学仿真计算程序和振动控制模拟平台; 在完成结构稳定分析的教学内容后, 指导学生深入研究目前关注较多的防屈曲约束支撑的工作原理及构造改进方案。这样的探究性研学模式能够充分调动学生的主观能动性, 活跃学生的工程思维, 使其在完成课程内容学习的同时, 有效培养和增强工程创新意识。

#### 四、结语

自 2007 年以来, 通过上述教学过程重构方法的实施, 东南大学结构力学课程取得了良好的教学实

践效果, 并于 2010 年被评为国家级精品课程。同时, 学生的定性思维能力、计算分析能力和工程实践能力均大幅提高, 在各级土木工程学生创新活动中取得了良好成绩。如笔者指导授课班上的学生在 2010 年全国、华东地区和江苏省“大学生结构设计竞赛”中均取得第一名的优异成绩。上述成果充分体现了应用首要教学原理指导教学过程重构的先进性, 其理论方法和重构模式亦可为土木工程其它专业课程的教学改革与创新提供参考。

#### 参考文献:

- [1] 刘鸣, 王新华, 贾红英. 从土木工程专业培养目标看结构力学课程建设[J]. 高等建筑教育, 2006, 15(3): 67-70.
- [2] 李书进, 厉见芬. 结构力学多媒体教学的策略与思索[J]. 高等建筑教育, 2010, 19(1): 131-135.
- [3] 盛群力. 教学设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [4] 单建. 趣味结构力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008.

## Teaching process reconstruction of structural mechanics based on first principles of instruction

ZHOU Zhen, YING Lin-feng, MIAO Zhi-wei

(School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, Jiangsu, P. R. China)

**Abstract:** Structural mechanics is one of the most important professional basis courses. Its teaching effect is strongly relevant to the student education quality of civil engineering. In the paper, some problems in the teaching process of structural mechanics are analyzed. The five basic principles and four ancillary strategies of “first principles of instruction”, and their reference significance to the course are detailedly explained. Then the teaching process of structural mechanics is reconstruction and a new teaching mode is established with ‘one center, four phases, and eight supports’ for structural mechanics. Teaching practice results show that the reconstructed teaching process perform well and its theoretical method and reconstruction mode can also provide a reference for the teaching reform and innovation of other courses of civil engineering.

**Keywords:** structural mechanics; first principles of instruction; teaching process; reconstruction

(编辑 詹燕平)