

# “结构力学”课程中“活化结构、理念思维” 教学法对于学生创新能力的影晌研究

张晨利

**摘要:**“结构力学”课程是高等工科院校一门重要的专业基础课。传统“结构力学”的教学侧重结构分析方法的讲解,以分析方法讲授为导向的教学方式致使学生形成了“记方法、背公式、做题目”的固定学习模式,限制了创造性思维能力的锻炼提高。本文遵循“加强力学素质教育,培养学生创新能力”的课程改革目标,从揭示“结构力学”行为机制的角度探索“活化结构、理念思维”教学法的推广应用,深入发掘力学规律的智慧性和人文性,促进学生形成符合力学逻辑的理念思维。教学实施效果表明,本文提出的教学方法获得学生的高度认可和好评,学生的课堂参与度得到大幅度提高,学习的主动性和创造性被有效激发出来,力学学习能力也得到锻炼和提升。

**关键词:**创新能力;活化结构;理念思维;人文特性;教学设计

## 1 引言

“结构力学”课程的主要内容是关于结构力学的知识,大如三峡大坝、跨江大桥,小如公园凉亭、停车雨棚;高耸入云的上海中心、深埋地下的海底隧道、蜿蜒起伏的万里长城、气势恢宏的北京故宫等都是充分运用力学原理的典型结构。认识结构体系的组成性质,分析结构构造的力学规律,“结构力学”课程发挥着联系力学理论与工程实践的纽带作用,一直是工科院校三大核心基础力学课程之一。结构力学的学科历史悠久,它兴起于 19 世纪初,至 19 世纪中叶,已发展成为一门独立的学科<sup>[1]</sup>。进入 21 世纪,结构力学随着力学学科的发展而与时俱进,范围逐渐扩展,内涵不断加深。在新时代教育背景下,为了培养具有扎实专业知识的高素质创新型人才,传统教学方式与新时代育人任务碰撞融合,“结构力学”课程迎来了

---

**作者简介:**张晨利,女,上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院副研究员,工学博士,主要从事微纳米计算力学的研究以及基础力学的教学和相关研究工作,邮箱:chlzhang@sjtu.edu.cn。

**基金项目:**新疆工程学院 2021 年度校级专项教学改革项目(2021gcxyjg27)。

新的挑战,需探索一种符合课程特点、激发专业兴趣、锻炼创新思维、提高学习能力的更高效教学方法。

## 2 “活化结构、理念思维”教学法的提出

“结构力学”课程旨在使学生学会对复杂杆系结构进行分析计算的方法和具备解决实际工程中相关力学问题的能力。围绕解决各种复杂结构力学问题而产生的结构分析方法成为课程教学的主体内容,以“分析方法讲授”为导向的教学设计成为“结构力学”课程教学的主流,“讲原理、记公式、做题目”三步走的教学模式成为“结构力学”课程教学的首选。学生被束缚于复杂结构计算的框架里,对课程形成了“体系庞杂、记忆量大、题目难做”的刻板认知,因而学生难以跳出复杂计算的束缚去深入理解各分析方法间的力学逻辑关系和结构力学响应的本质原因,也无法锻炼其对结构力学行为进行预判的能力。结构力学教育的本质要求学生不仅具备对结构进行分析计算的能力,更要具备深入理解结构力学响应的机制并形成结构力学行为预判的思维理念,这也是培养学生创新能力的源泉。

### 2.1 “结构力学”课程教学中面临的主要问题

“结构力学”课程历史悠久,已经形成了一套较完善的知识体系和讲授方式。由于它是一门侧重“分析方法讲授”的学科,其知识构成一般按照经典分析方法,如力法、位移法、力矩分配法等由易到难形成完整的体系,讲授过程也依次分别讲解各种分析方法,希望使学生具备采用一定方法分析计算结构力学问题的能力。这种教学方式能够帮助学生全面地理解原理并记忆公式,但却过于强调结构计算能力的训练,也容易忽略各方法之间的内在逻辑联系,无形中形成了各分析方法之间的鸿沟。学生在固定的教学套路中形成了记方法、背公式、做题目的学习模式,这不利于他们理解结构力学行为这一结构力学学习的主旨,缺乏创造性思维训练,难以帮助学生认清“先有结构,后有方法”这个正确的力学逻辑关系。

在课程安排上,“结构力学”课程一般安排在“理论力学”“材料力学”课程之后,此时学生已经掌握了一定的力学基础知识和具备一定的分析问题能力。因此,“结构力学”课程教学应充分利用这一特点,启发学生借助旧知识思考新问题,增加学习的主动性,自主获取新的理论知识。传统教学模式往往忽略这一教学出发点,仍沿用灌输原理、记忆公式这种对待力学初学者的教学方式,学生只会体验到课程难度升级、公式庞杂难记,无法把创新思维的训练贯穿于“结构力学”课程教学的全过程之中。

### 2.2 以培养学生创新能力为目标的新教学方法尝试

创新是社会进步的源泉、经济发展的动力。早在1919年,教育学家陶行知先生就把“创造思想”引入到现代教育领域,指出培养学生的创新能力是国家富强和民族兴亡的关键<sup>[2]</sup>。在当前国家各行各业高速发展的背景下,对创新人才的需求日益迫切。“结构力学”课程应

借助合理改革、科学施教,使课程焕发生机的同时为国家培养越来越多的拔尖创新型人才,这既是结构力学学科教育义不容辞的责任,更是每一位高校教师肩负的育人使命。

为了培养学生的创新能力,许多力学专家在“结构力学”课程中曾推行过一系列教学改革举措<sup>[3-6]</sup>。有案例教学、对比教学、实践教学相融合的多元教学法<sup>[3]</sup>,有学生主导课堂的主动学习模式<sup>[4]</sup>,有增加课程挑战度的工程化教学理念<sup>[5]</sup>,也有分层次重过程的课程考核新模式<sup>[3-4]</sup>。寇素霞等<sup>[2]</sup>研究了结构力学教学不同环节对学生创新能力培养的贡献度。蔺新艳等<sup>[6]</sup>从夯实学生基础知识,同时注重理论联系实际的角度探讨了结构力学教学中学生创新能力的培养方式。众多教学改革措施在课程教学内容系统化、教学和考核方式多样化等方面做了大量尝试,学生创新能力的培养引起了力学教育工作者的高度关注。而新时代对高素质、能力强、创新型人才的呼唤需要结构力学教学改革进一步深化,探讨适合于不同学生类型的创新能力培养方法,寻找将课程知识体系和创新人才培养深度融合的更高效教学方法。

在探索“结构力学”课程教学方式改革多过程中,我们一直遵循“加强力学素质教育,培养学生创新能力”的课程改革目标,并立足于三个原则:以学生为主体、以课程特点为基石、以理解结构为主线。由于“结构力学”是一门对结构进行分析计算的学科,对结构的认识、分析、理解需要贯穿于整个教学过程。教师一方面需要启发学生利用已有知识自主发现结构的力学规律,通过深度解析赋予这些规律合理的人文特性,引领学生共同发现结构的“活化”因素,于寓教于乐中帮助学生从本质上记忆结构的力学行为。另一方面,在发掘结构“活化”因素的过程中,还要引导学生跨越各分析方法之间的鸿沟,建立起对实际工程结构的力学“感悟”,这种感悟就是对结构力学响应和变形趋势进行预判的能力,形成科学的工程理念,领会“先有工程结构,后有计算方法”的结构分析主旨。

### 3 “活化结构、理念思维”教学法的内涵和教学设计

“结构力学”课程涵盖了理论力学、材料力学、工程力学等课程中涉及的各种结构和相关力学问题,为充分调动全体学生参与学习的积极性,我们探索研究了“活化结构、理念思维”教学法的应用,坚持教书育人和以人为本,发掘“结构力学”课程的自身特点,兼顾理论性、综合性、实践性和趣味性等因素,致力于为培养拔尖创新型力学人才服务。

#### 3.1 “活”的内涵——活出智慧

在日常的“结构力学”课程教学中,教材是静态知识的载体,学生在听与学的过程中看到的是一个静态的杆件、各种各样的荷载和联结形式,教师需要讲授的是客观、权威的理论体系。虽然杆件、荷载、原理、公式在“结构力学”教学中始终处于中心地位,但它们应该怎样被教、怎样被学却值得深思。结构在外力的作用下产生响应,某些部位内力大、某些地方变形大、某些结点有侧移、某些结点有转动等,这些都是力学规律在结构中的反映。结构在力

学规律的指引下,会自主合理地传递荷载、分配内力、协调变形,这是结构力学行为的本质所在。将力学规律与结构体有机结合起来,并用全局的、普遍联系的观点纵观这些规律就会发现,结构不再是静止的杆件组合体,而是承载着力学规律、会思考、有生机的“智慧”体系。例如力在结构中传递时,好像会“思考”似的,总会沿着最短的路径传向支座,自主避开了绕弯的、复杂的路径。再比如力偶荷载在结构中会按各杆件的刚度进行分配,刚度大的杆件承受的力偶荷载也大,这时结构就像有“智慧”的决策部门,其按照“能者多劳”的原则将任务分配给各个杆件,能力强(即刚度大)的杆件承担的任务也最多。

结构的这种“智慧”既是力学原理在结构中的体现,又为合理对结构进行力学分析指明了方向。采用活化结构的教学方法,在教学中改变静止的灌输式讲授方式,梳理知识体系的逻辑演变过程,深入剖析结构力学行为的理论依据,发掘这些理论的智慧要素,以欣赏的眼光体会自然科学规律的精妙,可以调动学生的创造智慧和力学专业情怀,大大提高教学效率。

### 3.2 “化”的内涵——化为人格

育人之本,在于立德铸魂。高校作为培养社会主义事业建设者和接班人的关键阵地,始终要为“三全育人”的目标不断改革和努力奋斗,推进落实立德树人的教育根本任务<sup>[7]</sup>。“结构力学”是计算性很强的理工类课程,看似缺乏德育教育的切入点,实则与贯彻健全人格培养理念有天着然的内在联系。结构在力学规律的指引下闪耀着“智慧”的光辉,同时这些智慧也折射出一定的人文特点。各种客观、完美的力学规律以结构作为载体表现出来,力学规律本身具有严谨的逻辑性,与辩证唯物主义的哲学观相统一,这使得结构在力学响应的行为过程中自发折射出了一定的人格特点。这些特点有的是可敬可佩的,有的是可赞可叹的,抑或许是可爱有趣的,反映了“万事万物普遍联系”的哲学观点<sup>[8]</sup>。举例来说,组合形成的静定结构据其力学特点可以分为基本部分和附属部分,基本部分因联结形式复杂在结构体系中占主导地位,作用在基本部分上的外力不会向附属部分传递,但作用于附属部分上的外力一定会向基本部分传递。从人文角度来看,这一力学特性展示了基本部分具有“勇于承担责任、乐于帮助弱者”的品质,当附属部分需要其帮助时,会不遗余力地伸出援手。在讲述力学原理的过程中可以启发学生探讨其中蕴含的人文内涵,穿插渗透文化教育,不仅可以增强学习的趣味性,还可以帮助学生树立正确的人生观和价值观,活跃创造思维,提高创新能力。

### 3.3 “理念思维”内涵的三个层次

“结构力学”课程教学中的“理念思维”教学法包含三个层次,分别是:问题思维理念、工程思维理念和预判思维理念。

#### 3.3.1 问题思维理念

“结构力学”是一门理论性很强且又灵活多变的课程,教学中需注重培养学生对结构的力学“感悟”能力,使学生真正掌握结构力学行为、力学原理的逻辑关系以及结构分析方法的

力学本质。因此,在教学中要合理设计具有启发性、导向性的问题,充分调动学生的学习自主性,激发学习潜能,引导学生深入思考,培养学生对力学问题迅速做出科学判断的能力,养成问题思维意识。

比如,在“结构力学”课程中有两种重要的结构分析方法:力法和位移法。根据“问题思维理念”,教师在讲授中一改以往孤立讲解各方法的教学方式,代之以启发学生思考两种方法有怎样的内在联系?是否反映了某种共同的力学原理?如何从力学底层逻辑理解两种方法的相通之处?进而鼓励学生跨越分析方法之间的鸿沟,充分发挥创造性思维,优化结构分析方法,提高计算效率。

### 3.3.2 工程思维理念

“结构力学”课程为力学理论知识和工程实践架起了一座桥梁,对于培养学生的科学思维和工程素质至关重要。根据工程思维理念,教师在讲授知识的过程中时刻将相关原理和例题等与实际工程结构和工程问题等联系起来,帮助学生建立对工程实物和实践的感性认识,在力学抽象过程中理解工程实物的力学规律,从感性认知过渡到理性思考,激发学生的探究热情,推动理论知识的实际应用。

“结构力学”课程以国家基础建设的迅速发展为时代大背景,涉及丰富多样的工程结构。以上海的结构工程为例,黄浦江上一座座宏伟的桥梁为教学提供了丰富的优秀案例。如杨浦大桥是当时世界上最大跨径的双塔面钢筋混凝土叠合梁斜拉桥<sup>[9]</sup>。该桥的总设计师林元培院士面对桥梁内力计算的难题,创造性地提出了“空间结构稳定理论”,成功攻克了大桥内力计算的难关<sup>[10]</sup>。在超静定结构内力计算的教学环节中,教师引入杨浦大桥内力计算的工程案例,不仅可以锻炼学生们对工程结构进行力学抽象和分析的能力,也可以学习林院士脚踏实地、勇于创新的科学精神。

### 3.3.3 预判思维理念

在“结构力学”教学中需纠正“重计算,轻预判”的教学模式,而加强培养学生对结构的定性分析能力。朱慈勉<sup>[11]</sup>提出了“概念结构力学”的说法,强调结构力学教学从定量迈向定性的重要性,认为概念设计应贯穿于整个结构,这是培养学生创新性思维的关键。因此,教师在教学中设计典型案例,引导学生仔细观察,积极思考,培养学生养成对结构的力学响应和变形趋势进行预判的能力,提升力学素质,锻炼创新能力,将预判思维理念有机融合到结构力学的教学全过程中。

绘制结构内力图是结构力学教学的重要内容,内力图绘制不必只依靠计算,也可以借助预判思维。例如,利用力在结构中总会沿着最短路径传向支座这一原理,就可以不经计算预先知道结构中哪些部分内力一定为零,哪些部分内力不为零,从而快速分析得出结构的内力分布情况。

## 3.4 基于“活化结构、理念思维”教学法的教学设计思路

为达成“加强力学素质教育,培养学生创新能力”的课程改革目标,基于“活化结构、理念

思维”教学法的教学设计在宏观上根据学生不同能力的培养分为三个模块(见图1),在微观上主要根据不同教学内容设计具有启发性的思考题或教学案例。下面以超静定结构的力学分析为例进行说明。

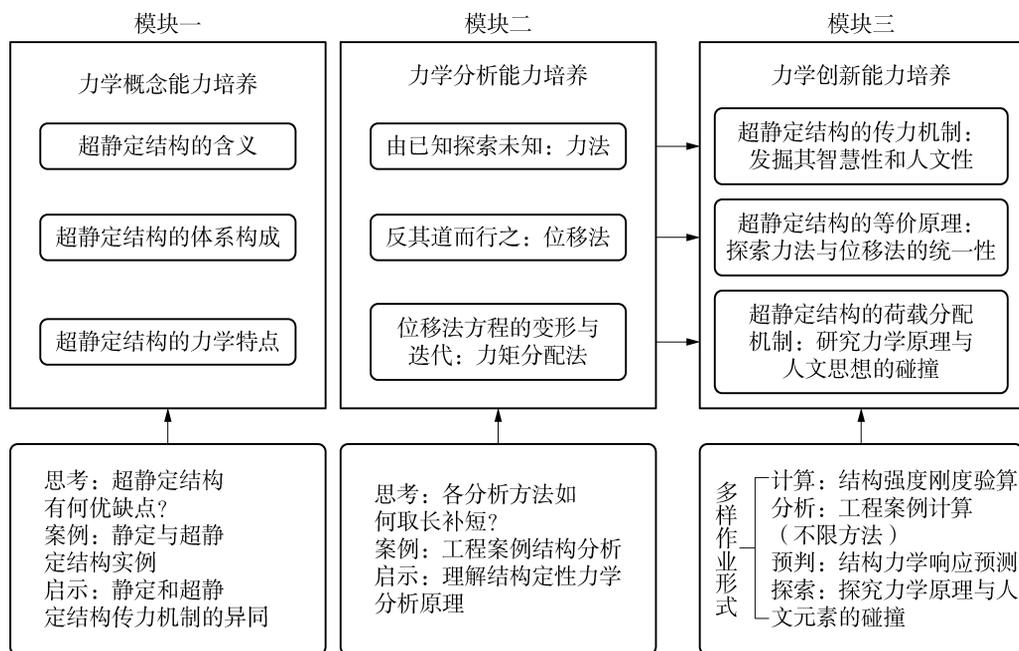


图1 超静定结构力学分析的教学设计

如图1所示,教学设计的三个宏观模块分别是力学概念能力培养、力学分析能力培养和力学创新能力培养。在模块一的教学,使学生理解超静定结构的构成。通过分析静定与超静定结构的异同点,帮助学生掌握超静定结构的传力机制,建立起力学概念。模块二的教学是课程教学的主要组成部分。首先以工程案例为引例,启发学生探索其力学问题的解决方法。然后按照力学理论逻辑依次展开各方法原理的讲解,同时将模块三关于创新能力的培养贯穿于模块二的教学中,带领学生深入剖析力学原理同时着力培养其智慧性和人文性方面的力学素质,锻炼学生对结构力学行为进行预判的能力,启迪学生不拘泥于一种方法来分析结构力学问题的创造性思维。此外,作业设计也是教学设计中的重要环节。除计算题形式的作业外,还包括工程案例分析、结构力学响应预测、力学原理探索等多种形式的作业,不仅能促进学生对教学内容的理解,还能有效锻炼学生理论与实践相结合的能力。

#### 4 融入思政元素的“活化结构、理念思维”教学实施案例

结构力学离不开结构工程,“结构力学”课程教学的重要特色是依托工程结构讲解力学原理和结构分析方法,选用合适的、有特色的工程案例,使其在“结构力学”课程教学中发挥

关键性作用。“活化结构、理念思维”教学法的实施一方面需要深度挖掘力学规律的智慧性和人文性,将各种理念思维形成的讲授与分析贯穿于“结构力学”的教学全过程中;另一方面也要选择具有启发性、应用性、趣味性的教学案例,并将思政元素融合到案例中,用人文精神去引导学生<sup>[12]</sup>,为学生打开一个全新的学习视角,提升其对理论知识的接受和归纳水平,培养学生的力学专业情怀,从而实现全方位育人,全过程育人。

#### 4.1 案例一:探究拱结构中透射出的合作共赢思想

拱结构的力学分析和计算是结构力学教学中的重要内容,当拱圈形状采用合理拱轴线时,在外力作用下,拱截面上的内力仅表现为压力,如图2所示,外荷载经过拱圈以压力的形式传递给基础。为帮助学生理解这个知识要点,给出如图3所示的石堆例子,各石块直接堆积成拱形,之间没有任何黏结剂,却可以立得住,原因何在呢?通过合理拱轴线的力学原理就可以找到答案。石块堆砌成一个接近合理拱轴线的形状,之间的相互作用力主要为压力,相互挤压形成一个平衡的受力体系。

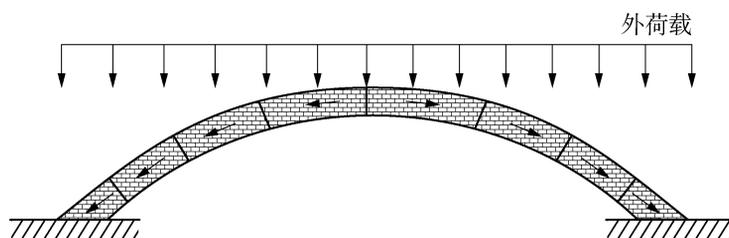


图2 拱结构荷载传递示意图

拱结构在实际工程中的应用十分广泛。始建于隋代,屹立千年不倒的赵州桥是世界上现存年代久远、跨度最大的石拱桥,对全世界桥梁建筑都有着深远的影响(见图4)。现代建筑中也不乏拱结构的成功案例,造型优美的地铁出入口,被誉为“新世纪彩虹”的上海卢浦大桥(见图5),其主体结构均采用了合适的拱形,极大发挥了拱结构的力学优势,合理传递外荷载,获取较大的承重力。



图3 拱形古堆



图4 赵州桥



图5 现代拱形结构  
(a) 地铁出入口;(b) 上海卢浦大桥

拱结构之所以应用广泛,是由于合理拱轴线这一力学原理使得拱圈各截面之间相互挤压,自成一體,从而能够抵抗较大的外荷载。结合各种实例讲解这一原理可以使学生充分理解拱结构的传力机制,感悟力学原理赋予拱结构的传力智慧。而且,进一步观察图3、图4所示的结构可以发现拱结构大多由砖石、砌块等堆砌而成,各砌块之间紧密挤压,这就像密切合作的团队,互相扶持,共同抵御外力,实现了合作共赢。在教学中,依托结构实例讲解力学原理,启发学生深入理解结构的传力机制,感悟这些机制赋予结构的智慧和人文特性,可以实现工科教育和人文智慧的碰撞交融,也有助于学生健全人格的培养。

#### 4.2 案例二:欣赏对称结构中蕴含的天人和谐之道

对称性是建筑结构中经常使用的元素,对称的杆件布局和联结形式使得建筑结构可以表现出对称的内力、变形和位移等力学响应,这一对称性力学原理同时富含深厚的人文精神。

首先,对称性力学原理赋予结构力与美的统一。整齐划一、布局严谨的对称结构具有独特的审美价值,而且所运用的力学原理又进一步维护了结构的对称美,使得结构能够富有智慧地在力学响应上呈现出对称的性质。教师启发学生站在统一和审美的角度去理解对称性原理远比死记硬背的教学效果好。



图6 对称古建筑代表  
(a) 北京故宫;(b) 天坛

其次,对称结构中还蕴含着中华文化的天人和谐之道,这在我国的众多古建筑中都得到了充分体现。中国自古地大物博,建筑艺术源远流长。我国古代的皇宫、园林、坛庙等建筑

庄严雄伟、整齐对称、实用美观,是中国传统文化的重要组成部分。如图 6(a)所示的北京故宫是对称古典建筑群的杰出代表,图 6(b)所示的天坛也具有中心对称的结构特点。这种秩序井然的中轴对称布局,不仅是建筑艺术和美学的完美结合,也体现了人与自然和谐统一、均衡包容的人文思想,即以人为本,遵守自然界的客观规律,并运用这些规律创作更美好的世界<sup>[13]</sup>。在教学中引入古建筑中的对称结构案例,将古建筑中的人文艺术特性有机融入力学原理的讲解中,可以提升当代大学生的审美修养,吸收古建筑中的营养元素,让中华文明得以弘扬和传承,增强文化自信。

### 4.3 案例三:趣味教学下预判思维理念的培养

在“结构力学”的课程教学中,培养学生对结构力学响应和变形趋势进行预判的能力,是提升其力学素质,锻炼创新能力的重要环节。特别是部分学生经过前序两门基础力学课程的学习,已形成了“分析问题—>求解计算—>获取结果”的解题思路,但缺乏预判思维理念的训练。因此,基于力学原理赋予结构的智慧性和人文性,设计合理的结构算例,不失趣味性地将算题中体现的力学原理与人文教育有机结合,以启发引导的形式对学生进行预判思维理念的培养锻炼。

如图 7(a)所示,超静定结构仅受水平向右荷载  $F_P$  的作用,如何不经计算直接做出其弯矩图(内力图)的大致形状呢? 经过简单直观的判断容易得出支座  $A$  与  $B$  的水平约束力  $F_{Ax}$  和  $F_{Bx}$  均向左,以抵抗外荷载的作用。接下来,竖向约束力  $F_{Ay}$  和  $F_{By}$  会指向哪? 约束力偶  $M_A$  和  $M_B$  又是什么转向呢? 大部分学生对此问题不知如何分析。注意到主动荷载  $F_P$  以及力  $F_{Ax}$  和  $F_{Bx}$  构成了顺时针转向的力偶,为主动力偶。因此约束力偶  $M_A$  和  $M_B$ , 以及约束力  $F_{Ay}$  和  $F_{By}$  应共同构成被动力偶与主动力偶相抵消。基于力学原理赋予结构智慧性和人文性的特点,把主动力偶看成结构的“外来入侵者”,结构的被动力学响应力偶  $M_A$  和  $M_B$ , 以及力  $F_{Ay}$  和  $F_{By}$  共同抵抗“外来入侵”,它们会通力合作,且不会出现任何形式的“背叛”。因此,各约束力偶的转向都是逆时针的,如图 7(b)所示,由此得出结构弯矩图大致形状如图 7(c)所示。结构被动力之间“相互合作,互不背叛”的特性可爱又可敬,这实际上是“被动力数值一般不会大于使其产生的主动力数值”这一力学原理在结构中的体现。

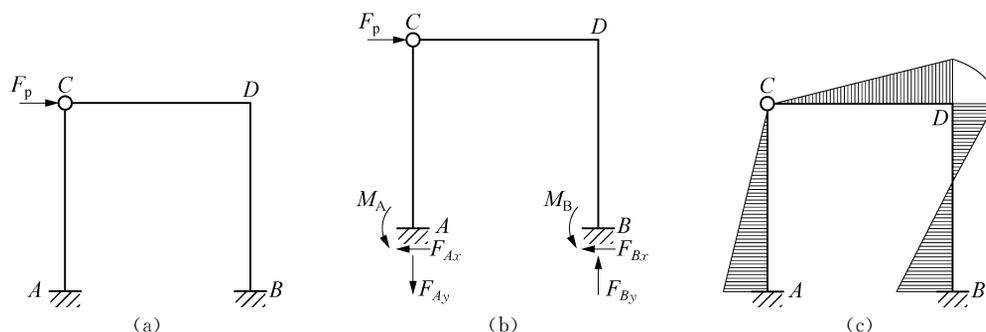


图 7 预判思维训练结构算例

(a) 外荷载作用下的原结构; (b) 结构所受的约束力; (c) 结构弯矩图(内力图)大致形状

这种不失趣味性的预判思维理念培养方式,一方面将专业力学知识与人文元素融合,寓教于乐,营造了轻松愉快的课堂学习氛围;另一方面也有助于激发学生的学习兴趣和力学专业情怀,于潜移默化中将教书和育人有机结合在一起。

## 5 “活化结构、理念思维”教学法的有效性分析

“活化结构、理念思维”教学法的应用改进了“讲原理、记公式、做题目”三步走的传统教学策略,抓住“理解结构力学响应行为的本质”这一教学主线,以学生的视角思考问题,从力学原理出发探索结构力学行为中体现出的智慧性和人文元素,将问题思维、工程思维和预判思维的理念贯穿于教学全过程中,赋予力学原理新的生机,为学生打开了全新的学习视角,充分激发了学生的学习兴趣,有效锻炼了学生的创新能力,全面提升了学生的思想道德素质。

在翻转课堂的过程中,学生成为课堂主导,代替教师讲解力学原理的图片。其余学生在听讲的过程中积极思考,大胆质疑,共同研讨。“活化结构、理念思维”教学法的应用激发了学生学习力学知识的主动性和创造性,越来越多的学生自参与到课堂教学中来,包括问题交流、感悟分享、合作研究等,营造了轻松愉快、富于创造性的课堂氛围,提高了课程教学效率和人才培养质量。

图8是学生的作业,这一作业充分展示了学生的创造性思维。从学生回答问题的思路可以看出,围绕超静定结构内力的计算方法(力法),学生衍生出三个问题,分别从物理含义、位移补偿、平衡条件等三个不同于经典力法原理的角度进行了分析论证,思路新颖,分析透彻。体现出学生能够在深入理解力学原理的基础上大胆质疑、举一反三、创新思维、合理论证的能力。

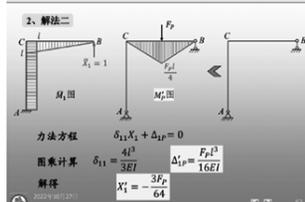
**关于力法自由项思考题作业的解答**

力法/用力法计算超静定结构

姓名:

学号:

**2、解法二**



方法方程  $\delta_{11} X_1 + \Delta_{1p} = 0$

图乘计算  $\delta_{11} = \frac{4l^3}{3EI}$ ,  $\Delta_{1p} = \frac{F_p l^3}{6EI}$

解得  $X_1 = \frac{3F_p}{64}$

本例中 $\bar{R}_C$ 与 $M_C$ 不对应,但仍然能求出正确的结果。

**第一个问题: 这个自由项 $\Delta_{1p}$ 代表什么?**  
 此处图乘计算满足“一组平衡力与一组可能位移”的条件,因此图乘成立。观察方程:  

$$\Delta = \sum \bar{R}c = \sum \int \frac{M\bar{M}}{EI} dx$$
 已知 $\Delta = 0$ , 因此 $\Delta_{1p} = \sum \bar{R}c = \bar{R}_C c_C + \bar{R}_B c_B$ , 即广义支座位移项。

**第二个问题: 为什么要引入不存在的支座位移?**  
 $M_C$ 图去除了A处的转角约束,那么结构承载荷载时,A处可能出现转角,为了补偿这一转角, $M_C$ 图引入了B支座的位移。这种补偿的原理为,如果 $\bar{R}_B c_B = \sum \int \frac{M\bar{M}}{EI} dx$ ,那么B处支座位移已补偿了全部的虚功,必有 $\bar{R}_B c_B = 0$ , 而 $\bar{R}_B \neq 0$ ,  $\bar{R}_B = 1$ , 则必有 $c_B = 0$ ,  
 $c_B = \sum \int \frac{M\bar{M}}{EI} dx = \Delta_{1p}$ , 达到了用 $c_B$ 消除 $c_A$ 的目的。

**第三个问题: 这样处理下的力法方程代表什么?**  
 在第二个问题的分析可知,平衡条件已得到满足,A处约束通过补偿也得到满足,只剩B处由于假设的支座位移尚未补偿,因此B处需要被向下拉扯以补偿假设的支座位移,此处力法方程代表了同样是满足平衡条件和A处约束的限制下,为补偿B处虚设位移所需的拉力,最终将上一步得到的结果,与补偿所用拉力的结果叠加,得到满足平衡方程和所有的约束,又经理解的唯一性,此合理解即为唯一解。

**总结:**  
 当去除的约束与选定的基本结构不一致时,图乘法计算的物理意义自动转化为补偿基本结构未考虑的约束,所需发生的支座位移,而力法方程的物理意义自动转化为补偿支座位移所需的额外约束力,最终结果仍然正确。

得分: 10分

评语: 举一反三,多角度分析问题,思路具有创新性,分析透彻、论述正确。

图8 创造性思维在学生作业中的体现

为了进一步总结教学经验,检验教学效果,提高教学质量,本文针对“活化结构、理念思维”教学法的实施效果,在上海某大学工程力学系本科生中开展问卷调查,调查统计结果如图9所示。81%的学生认可所提出的“活化结构、理念思维”教学方法,其中超过半数学生认为新的教学方法“很好”。新教学方法的应用极大调动了学生学习的自主能动性,激发了学生的创造性思维。进一步的调查结果表明,超过76%的学生认为在课程学习中,通过新教学法的实施,提高了力学学习能力并锻炼了创造性思维。本课程强调的学习能力,不仅包括结构分析计算能力,还包括对结构内力变形等力学响应行为的深入理解、预判和创新性思维。因此,可以得出结论,“活化结构、理念思维”教学法有助于学生创新能力的提高,收到了很好的教学效果。

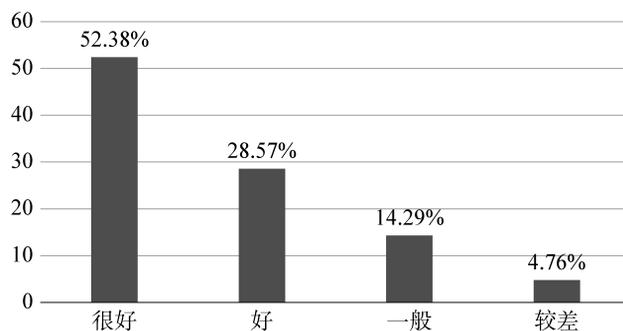


图9 “教师授课方式评价”调查问卷结果统计

“结构力学”课程的教学改革应随着力学学科的发展与时俱进,本文提出的“活化结构、理念思维”教学法也需在今后的教学实践中立足于学科的未来发展和创新性人才培养,不断加以完善。教师用何种方式授课直接影响人才的培养效果,教学改革也需要更多人不断地深入探讨。

## 6 结论

结构力学在力学理论和工程实践之间架起了一座桥梁。“结构力学”课程要遵循“加强力学素质教育,培养学生创新能力”的课程改革目标持续推进课程建设,具体可以在三个方面进行改进和提升。

(1) 改变以“分析方法讲授”为导向的教学模式,借助“活化结构”教学法将深入理解结构力学行为机制作为课程教学的主旨。“结构力学”的教学不应局限于教会学生计算结构力学问题的方法,还要让学生能够深刻理解结构力学响应的机制,理解各分析方法之间的相融相通性。从“万事万物普遍联系”的哲学观点帮助学生领悟力学原理应用于结构而折射出的智慧光辉和人文特性。

(2) 将问题思维理念和工程思维理念贯穿于结构力学教学的全过程。结构力学涉及的

概念和原理虽然多,但它们之间有着明确的力学逻辑关系。在教学中需引导学生积极思考如何设计具有启发性、导向性的问题,鼓励学生从多角度深入探索各力学之间的逻辑关系。此外,结构力学离不开结构工程,对于教学中的主要原理和关键例题均应以实际工程案例为背景,锻炼学生对工程问题进行力学抽象的能力,学习卓越工程师解决工程难题的方法和勇于创新的科学精神。

(3) 培养学生对结构传力机制和变形趋势进行预判的能力,激发创造性思维。在结构力学的教学中帮助学生形成结构预判思维是培养其创新能力的关键。在教学中设计结构预判能力的训练环节,启发学生在深入理解力学原理的基础上对结构力学行为进行定性判断,分析各内力、变形等产生的本质原因,从而逐步帮助学生形成定性分析习惯,并在定性分析中锻炼提升学生的创造性思维。

## 参考文献

- [1] 杨迪雄. 结构力学发展的早期历史和启示[J]. 力学与实践, 2007, 29: 83 - 87.
- [2] 寇素霞, 张爱民, 左宏亮, 等. 创新能力培养在结构力学教学中的体现[J]. 黑龙江教育·理论与实践, 2016, 1 - 2: 81 - 82.
- [3] 鲁双, 刘派, 仲晓雷. 《结构力学》课程改革方案[J]. 教育教学论坛, 2020, 14: 181 - 182.
- [4] 张新春, 汪玉林. 以学生学为中心的结构力学课程教学改革[J]. 大学教育, 2021, 1: 72 - 75.
- [5] 曹艳梅, 于桂兰, 向宏军, 等. “3E+3E”工程化教学理念下的结构力学一流课程建设[J]. 高等建筑教育, 2022, 31(2): 110 - 118.
- [6] 蔺新艳, 董春敏, 孟海平. 结构力学教学中学生创新能力的培养[J]. 教育教学论坛, 2011: 115 - 116.
- [7] 吴忠铁, 范萍萍, 李守华, 等. 土木工程专业结构力学课程思政建设的探索和实践[J]. 高教学刊, 2022, 7: 84 - 88.
- [8] 周海龙, 李平, 李昊. 哲学观点在结构力学课程教学中的应用[J]. 高等建筑教育, 2017, 26(4): 72 - 74.
- [9] 林元培. 南浦大桥与杨浦大桥[J]. 土木工程学报, 1995, 28(6): 3 - 10.
- [10] 林元培, 李文祺. 从中国第一到世界第一——林元培的桥梁设计人生[J]. 档案春秋, 2018(3): 4 - 9.
- [11] 朱慈勉, 尹小明. 概念设计的意义和应用分析[J]. 建筑技术, 2005, 36(8): 626 - 628.
- [12] 张新, 张南. 新建工科本科高校的人文教育刍论[J]. 重庆科技学院学报(社会科学版), 2018, 2: 109 - 110 + 121.
- [13] 程孝良, 冯文广, 曹俊兴. 中国古建筑的社会学含义[J]. 成都理工大学学报, 2007, 15(4): 7 - 12.

---

## A study on the impact of the teaching method of “Activating Structures, Ideational Thinking” in structural mechanics on students’ creative abilities

Zhang Chenli

**Abstract:** Structural Mechanics is a crucial foundational course in engineering colleges. Traditional structural mechanics teaching focuses on the explanation of structural analysis methods, and the teaching approach guided by “teaching analysis methods” leads students to form a learning mode of “memorizing methods, remembering formulas, and

calculating problems”, which limits the improvement of students’ creative thinking abilities. By follow the curriculum reform objective of “enhancing the education of mechanical qualities, cultivating students’ innovation abilities”, this paper aims to explores the application of the teaching method of “activating structures, ideational thinking” from a deep understanding of structural mechanisms. It deeply explores the wisdom and humanity reflected by the laws of mechanics, and promotes the formation of thinking corresponding to the logic of mechanics for students. The implementation of teaching has shown that the teaching method proposed in this paper has been highly recognized and well approved by students. There has been a significant increase in students’ classroom participations, and their initiatives and creativity in learning have been effectively inspired. Students’ abilities to understand mechanics has also been exercised and enhanced.

**Key words:** creativity abilities; activating structures; ideational thinking; humanistic characteristics; teaching design