

以学生为中心的复合材料力学课程建设研究

王 会

南京工业大学 江苏南京 211816

摘 要: 复合材料力学课程教学公式抽象难懂、学生实践能力弱、学习积极性不高等问题。传统授课模式难以满足培养创新人才的需求。本文从不同方面探讨了课程建设思路:一是将思政教育融入课堂,以国产 C919 大飞机为典型案例,培养工匠精神和科技报国理念;二是采用“理论学习+软件实操”模式,将抽象公式转化为可视化的结构变形图,增强工程问题解决能力;三是引入编程训练,用 Matlab 简化复杂计算过程,提升逻辑思维;四是打造线上线下混合课堂,打破学生学习的时空限制,将考核方式转向“课堂表现+线上学习+项目实践+考试”的综合评价。本文研究为工科课程改革提供了实施路径。

关键词: 复合材料;课程思政;有限元分析;Matlab 应用;混合教学

1 复合材料力学课程教学现状

复合材料是指由两种或多种不同性质的材料用物理和化学方法在宏观尺度上组成的具有新性能的材料^[1]。由于其比强度高、比模量高,在提升结构安全性且实现结构轻量化设计方面具有巨大潜力,已被广泛应用航空、航天、化工、能源等关键领域。国内理工科院校逐步将复合材料力学课程列为力学等工科专业必修或选修课程,构建了分层递进的复合材料力学课程体系,即:在本科阶段开设复合材料力学基础模块,重点培养学生复合材料各向异性本构建模能力;研究生阶段开设高等复合材料力学选修课程,深度聚焦复合材料力学前沿课题,形成了贯通本硕的创新人才培养体系。

目前,国内多采用沈观林等编著的《复合材料力学》作为教材^[1],其涵盖内容全面。也有作者根据不同侧重点,编著了相应教材。如陈建桥主编的教材添加了复合材料结构的有限元分析内容^[2];李峰和张恒铭编著的教材结合 Matlab 数学软件,对复合材料力学宏观基础理论进行了讲解。教师在教学过程中可结合这些教材,对复合材料力学知识进行整合,并传授给学生。

然和,复合材料力学在本科教学中仍面临一些问题,主要包括:(1)复合材料力学课程的理论综合性较强,分析过程对数学和力学基本功要求较高。学生面对抽象的力学知识,往往表现出畏难情绪。(2)教学往往以理论讲课为主。灌输式教学导致学生难以将理论知识联系实际并解决实际问题。(3)复合材料力学作为专业课程,多安排在大

学三年级。学生面临考研与就业等问题,往往难以全身心投入课程学习。采用传统单一的授课方式,很难调动学生的学习积极性及课堂参与度。

基于以上教学现状,也有不少学者开始对复合材料力学教学进行改革与创新。如,刘伟教授团队设计了复合材料力学课程的虚拟仿真实验室,解决了复合材料力学实验教学内容及深度受限的问题^[4]。夏晓东教授团队探索了翻转课堂在复合材料力学教学中的应用^[5]。张娟教授团队深入挖掘复合材料力学课程中的思政元素,将思政教育融入课程教学,起到了良好的教学效果^[6]。

以上文献表明,打破传统授课方式,对复合材料力学课程教学进行研究与改革,是提升人才培养质量的关键。本文基于当前复合材料力学课程教学现状,以学生需求为中心,主要从课程思政建设、工程应用、综合能力、教学模式等方面对复合材料力学教学及学生培养进行研究,提升复合材料力学教学效果,培养全方位复合型创新人才。

2 以学生为中心的课程建设思路

2.1 课程思政融入专业课程

为贯彻习近平总书记关于教育的重要论述,落实教育部《高等学校课程思政建设指导纲要》要求,教师在复合材料力学教学过程中积极挖掘相关思政元素,将思政教育融入专业课程。如在讲解复合材料概论部分时,引入 C919 国产大飞机典型案例(复合材料用量达 12%),讲解其中复合材料的应用及其研制历程,激发学生科技报国的热情和使

命担当。且项目从立项到商业首飞，历时 16 年，突破多项技术难题，其成功的背后是无数科研人员的不懈努力。讲解 C919 项目中的模范事迹，可培养学生精益求精的大国工匠精神。最后，C919 研制过程总共进行 3748 次飞行试验，其中，极限载荷静力试验、最大垂直力着陆试验、最大刹车能量中断试飞试验等均涉及力学相关知识。通过这些实验，让学生认识到自己所学的知识是有巨大用处的，提升了学生的专业认同感。

2.2 有限元软件辅助教学

在学习过程中，学生普遍反映被困于繁琐的公式推导，对如何应用理论知识解决实际问题思考不够深入。因此，在教学过程中，注意将教师科研项目融入教学，可以极大提升学生学习兴趣。如在复合材料层合板刚度分析部分，将教师科研成果转化为教学案例，介绍复合材料在汽车领域的相关应用，要求学生采用理论知识和有限元方法对复合材料板簧结构进行优化设计。通过理论和有限元分析，学生对比结果，可以让学生直观的了解结构的变形，加深对理论知识的理解。图 1 为采用有限元方法对板簧结构的变形及受力分析。经过实践，提高了学生应用理论知识解决实际问题的能力。

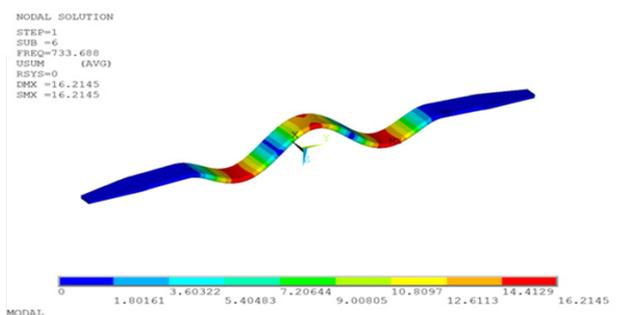


图 1 复合材料板簧变形图

教师还注意将有限元软件引入教学过程中，提升学生对抽象力学概念的理解。如针对复合材料的各向异性，学生的理解往往停留在理论层面，理解不够深入。在授课过程中，采用有限元方法建立各向异性单层板分析模型，分析不同材料弹性常数下单层板的变形及受力，学生可直观感受各向异性材料与各向同性材料的区别。在复合材料层合板耦合特性分析方面，纯理论公式推导较枯燥。采用有限元方法建立层合板分析模型，对不同铺设方式下的层合板结构进行变形分析。学生通过云图直观了解复合材料层合板的铺设、变形耦合等概念，辅助理解教学中矩阵推导过程。

2.3 Matlab 编程训练

复合材料力学公式较多，且涉及矩阵运算，计算过程繁琐，且手算只能针对简单问题进行分析。很多学生存在嫌麻烦、眼高手低等情况。如在层合板强度分析部分，要想对层合板强度进行校核，必须计算各单层板刚度矩阵，再根据铺设方式计算层合板刚度。学生容易出现厌倦情绪。以学生为中心，在掌握理论求解的基础上，引导学生梳理复合材料力学理论知识，搭建自己的知识体系，将理论知识灵活运用，是解决学生为难、眼高手低的重要解决办法。因此，在教学过程中，教师引入编程方法，引导学生建立自己的知识体系，实现复合材料力学问题求解的程序化。这一教学方法极大提高了学生学习效率，且通过实际编程操作，培养了学生的逻辑思维，提升了学生的科学研究能力。程序片段 1 和程序片段 2 为某学生采用编程方法搭建的知识体系。程序片段 1 为计算任意对称层合板刚度矩阵的程序。程序片段 2 为定义的层合板刚度矩阵计算函数。在实际问题中，通过调用程序片段 2 中 Stiffness 函数，可在程序片段 1 程序中直接输入层合板材料属性，实现刚度矩阵的快速计算。此方法也体现了合理使用科研、学习工具，提升科研、学习效率的重要方法，对培养学生逻辑思维及科研能力起到了非常重要的作用。实践表明，通过搭建知识体系，计算耗时可降低约 80%。

程序片段 1：复合材料层合板刚度计算程序：

```
clc,clear,close all;
```

```
E1=100; E2=10.5; % E1,E2 分别为 1 和 2 方向弹性模量  
v21=0.30; G12=5.0;% v12,G12 为分别为泊松比和面内剪切模量
```

```
t=0.2;% t 为每层厚度，定义为厚度相同
```

```
theta=[0;45;45;0];% 铺设角度
```

```
[A,B,D] = Stiffness(E1,E2,v21,G12,t,theta)% 层合板刚度矩阵
```

程序片段 2：复合材料层合板刚度计算函数定义：

```
function [A,B,D]= Stiffness(E1,E2,v21,G12,t,theta)
```

```
% 函数功能：计算层合板的刚度系数矩阵 A、B、D
```

```
% 输入参数： E1,E2,v21,G12,t,theta，其中，theta 为向量
```

```
n=length(theta);
```

```
z=-n*t/2:tk:n*t/2;
```

```
A=zeros(3);B=zeros(3);D=zeros(3);
```

```

for i=1:n
    Q(:,i)=planepstiffness(E1,E2,v21,G12,theta(i));
% 函数调用求解 Q 矩阵
A=Q(:,i)*(z(i+1)-z(i))+A;
    B=0.5*Q(:,i)*(z(i+1)^2-z(i)^2)+B;
    D=(1/3)*Q(:,i)*(z(i+1)^3-z(i)^3)+D;
end
end
    
```

2.4 混合教学模式与考核改革

在数字化教育新常态下，复合材料力学教学模式正经历深度重构，即：教育信息化进程推动教学重心从知识的单向传递转向学生能力建构，驱动教学模式发生从“师主”到“生本”的范式转换，即学生要从被动接受者转变为自主知识建构的发起者。因此，本课程以学生为中心，在超星平台搭建了在线学习平台，供教师采用线上线下相结合的方式进行教学。在线课程内容包括：视频资源（理论教学、有限元软件操作教学、Matlab 编程教学）、章节测试题、学习资料等。具体实施模式为：教师课前在学习通发布学习视频，学生可进行初步学习并记录难点；课上，学生针对难点，有的放矢，积极听讲；课后，学生可继续通过在线学习视频巩固所学知识，并完成在线测试。同时，开放线上论坛，鼓励学生就学习重点、难点展开讨论。线上线下相结合的教学方式打破了传统教学中时间、地点的限制，学生可以根据自己时间安排随时随地学习，为学生提供了极大的学习自主性，极大提升了学生的学习积极性。图 2 为复合材料力学在线资源的课程框架及章节节选。



图 2 在线资源框架及章节节选

结合线上线下混合教学模式下，可动态观察学生学习行为，及时调整内容。同时，课程考试方式采用“课堂表现+线上学习+项目实践+考试”的综合评价方法，由传统的期末考核为主转变为过程性综合考核方式。具体考核成绩占比为：课堂表现 10%、在线学习情况 20%、项目实践 20%、期末测试 40%。最终期末测试由原占比 70% 将至 40%，增设项目实践评级环节，极大提升了学生学习积极性。

3 结语

本文融合工程伦理培养、计算思维训练与信息化手段的复合式改革，培养了学生可迁移的学习能力，教学效果良好，为工科专业类课程的教学改革提供了可借鉴范式。

参考文献：

[1] 沈观林,胡更开,刘彬.复合材料力学[M].清华大学出版社,2013.

[2] 陈建桥.复合材料力学[M].华中科技大学出版社,2020.

[3] 李峰,张恒铭.MATLAB 复合材料力学[M].科学出版社,2022.

[4] 刘伟,孙毅,樊久铭,李志兴,姚辽军,李忠刚,高维成,果立成.《复合材料力学》课程虚拟仿真实验建设与实践[J].西南交通大学学报(社会科学版),2023,24(2):144-148.

[5] 夏晓东,袁亚军,罗建阳,肖厦子,陶勇.工程化理念下复合材料力学课堂教学研究[J].长沙大学学报,2023,37(2):104-112.

[6] 张娟,康国政,阚前华,苗鸿臣.力学专业课程思政教育的探索与实践——以“复合材料力学”为例[J].西南交通大学学报(社会科学版),2023,24(2):172-176.

[7] 中华人民共和国教育部.《高等学校课程思政建设指导纲要》,教高(2020)3号.2020.

课题信息：

此课题为中国建设教育协会教育学科立项课题成果论文。项目名称：以学生为中心的力学类专业课程的信息化建设研究与实践——以《复合材料力学》为例（批号：2023180）。课题资助还包括南京工业大学教改课题：以学生需求为牵引的力学专业素养类课程的课程思政探索与实践、研究生优质教学资源建设项目《复合材料力学》。