

美国大学计算机软件辅助力学课程教学模式探讨

易平, 仲伟秋, 黄丽华

(大连理工大学 建设工程学部, 辽宁 大连 116024)

摘要: 笔者通过在美国新泽西州州立大学对多门力学课程跟班听课, 感受 Matlab、Excel、ANSYS 等计算机辅助软件在理论力学、材料力学、结构力学等力学系列课程中的应用。通过辅助软件加深学生对抽象力学知识的理解, 培养他们的学习兴趣, 提高他们的工程能力、创新能力, 值得国内高校借鉴。

关键词: Matlab; Excel; ANSYS; 力学

中图分类号: TP31; G642.0

文献标志码: A

文章编号: 1005-2909(2012)04-0132-04

2010年笔者在美国新泽西州州立大学访问一年, 期间跟班听了多门力学系列课程, 包括 Mechanics of Materials (材料力学)、Engineering Mechanics: Statics (对应国内理论力学的静力学部分)、Engineering Mechanics: Dynamics (对应国内理论力学的运动学、动力学部分)、Structural Materials (结构力学) 以及两位教师分别讲授的 Engineering Mechanics (工程力学)。这些力学系列课程在授课过程中都普遍采用 Matlab、Excel、ANSYS 等计算机软件辅助力学教学, 在课堂上不仅讲解软件辅助解题过程和验证力学知识, 而且还随堂布置课后作业, 甚至课程大作业。通过辅助软件加深学生对抽象力学知识的理解, 培养他们的学习兴趣, 为其将来解决工程实际问题打下坚实基础。

一、Matlab 在力学类课程中的应用

Matlab 是美国 Mathworks 公司推出的兼有数值计算和符号计算功能的大型数学软件, 广泛应用于科研和工程技术的各个领域, 是当今国际认可的最好的科学计算工具^[1]。它不仅拥有高效方便的矩阵、数组运算以及微分、积分等数值计算功能, 而且拥有强大的作图、可视化功能。Matlab 语言语法简单、易于掌握, 用简单的指令就可以完成大量的计算与作图功能, 程序设计方便。Matlab 的可扩展性也很强, 可以方便地运行其他语言编写的程序。由于 Matlab 的强大功能, 它日益受到广大科技工作者的青睐, 在欧美尤其风行。

在美国 Dynamics 课程的课堂上, Matlab 的主要应用是利用其强大的微分、积分数值计算功能来求解运动学和动力学问题, 尤其是求解点的运动学和质点动力学问题。由于数学计算的复杂性, 国内在教学过程中经常对一些问题避而

收稿日期: 2012-03-15

作者简介: 易平 (1973-), 女, 大连理工大学建设工程学部副教授, 博士, 主要从事力学教学和结构优化与可靠度分析, (E-mail) yiping@dlut.edu.cn。

不讲,如质点动力学中力是速度、时间和空间位置等多参数的函数来求质点运动方程时,通常仅指出其难度太大,略过不讲。而对质点系运动的大部分内容,国内课程同样仅关注其瞬时分析,动态过程因为数学上的复杂性避而不讲。但在美国,教师普遍借助 Matlab 这一强大数学软件求解复杂的运动学方程^[2]。Matlab 解常微分方程(组)的指令十分全面,同时还有解偏微分方程的工具箱。用 Matlab 学习非线性力学,学生无须设计算法(这对熟悉计算机语言编程的人也非易事),只需按照固定的格式调用专用的指令,问题便能迎刃而解。

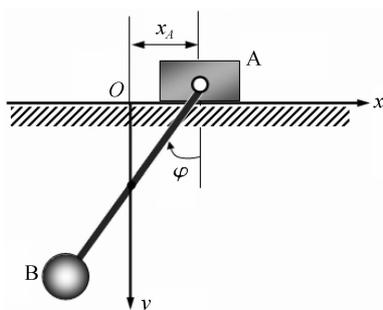


图1 两自由度系统

如在图 1 所示的运动系统中,可沿光滑水平面移动的重物 A 的质量为 m_1 ;可在铅直面内摆动的摆锤 B 的质量为 m_2 。两个物体用无重杆连接,杆长为 l 。物块 A 初始在原点 O 位置,将摆杆和摆锤转到 φ_0 位置然后无初速度释放,研究求此系统的运动。

该系统为两自由度,选取 x_A 、 φ 为广义坐标,用拉格朗日方程可得系统的运动由下列运动微分方程控制,得:

$$\ddot{x}_A = \frac{m_2 l \ddot{\varphi} \cos \varphi - m_2 l \dot{\varphi}^2 \sin \varphi}{m_1 + m_2} \quad (1)$$

$$\ddot{\varphi} = \frac{\cos \varphi \cdot \ddot{x}_A - g \sin \varphi}{l} \quad (2)$$

用手算的方法直接求解这组非线性微分方程非常困难,所以,国内教学中基本上都是解到这一步就结束了。但利用 Matlab 中给出的 ode45 函数很容易求解,然后利用相关控件及绘图功能,可以很方便地绘制广义坐标、广义速度随时间的变化规律,如图 2 所示。具体 Matlab 程序如下所示。

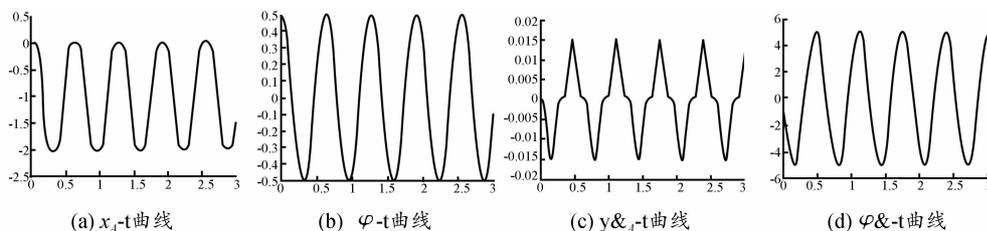


图2 广义坐标、广义速度随时间的变化规律

```
function dy = ttt(t, y)
m1 = 500;
m2 = 310;
l = 1;
g = 9.8;
dy = zeros(4, 1);
dy(1) = y(3);
dy(2) = y(4);
dy(3) = (m2 * l * cos(y(2)) * dy(4) - m2 *
l * sin(y(2)) * y(4) * y(4)) / (m1 + m2);
dy(4) = (cos(y(2)) * dy(3) - sin(y(2)) *
g) / l;
dy = [dy(1); dy(2); dy(3); dy(4)];
tspan = [0, T];
y_init = [0; phi_0; 0; 0];
```

```
[t, y] = ode45(@ ttt, tspan, y_init);
figure;
plot(t, y(:, 1), 'r');
figure;
plot(t, y(:, 2), 'g');
figure;
```

显而易见,在 C 语言中需要上千行代码才能解决的问题,利用 Matlab 软件只需十几行代码即可完成,学生也能容易理解掌握。通过 Matlab 的运用让学生关注过程分析,从而加深学生对整个运动过程全貌的认识、理解与把握,激发学生对许多力学规律的进一步探讨和研究兴趣。

在 Mechanics of Materials(材料力学)的教学中, Matlab 的应用则更多集中在利用其强大的作图、可

可视化功能绘制剪力图、弯矩图、应力圆以及求解最大弯矩和主应力。在材料力学的学习中引入 Matlab 可以简化力学中繁琐的计算和绘图,激发学生学习兴趣,提高其力学建模能力,为其将来解决工程实际问题打下扎实基础。

二、Excel 在力学类课程中的应用

Excel 是美国微软公司开发的 Office 组件中的电子表格软件,应用非常广泛。但我们熟悉的仅仅是它强大的电子表格处理功能,能利用 Excel 对表格数据进行检索、排序、分类和统计。对大多数用户而言,对于 Excel 的计算功能,特别是数学计算功能多半不熟悉。

在 Structural Materials (结构力学) 的美国课堂上,教师利用 Excel 解决超静定结构的计算,不仅课上演示计算的过程,也布置了相应的课后作业。超静定结构计算的位移法和力法都需要解线性方程组,而 Excel 中提供了矩阵加减、矩阵相乘、矩阵求逆等大量的矩阵运算函数,线性方程组的求解可以通过 Excel 强大的矩阵运算功能快速解决^[3]。而矩阵位移法中局部坐标系下单元刚度矩阵建立、整体坐标系下单元刚度矩阵的生成、等效荷载转换等,都是计算量很大的矩阵运算,都可以通过 Excel 轻松解决。

美国很多大学土木工程专业都会专门开设一门利用 Excel 解决工程问题的计算表单 (Spread sheet) 课程。因为在美国,计算表单是对结构工程师的一

项基本要求,美国注册结构工程师的考试大纲就明确将计算表单列为考试内容^[4]。让学生将结构力学课程和 Excel 的运用联手,在学习结构力学的过程中辅以 Excel 程序应用,不仅解决学习阶段的问题,还可以为以后的职业生涯开辟更宽广的道路。

三、ANSYS 在力学类课程中的应用

ANSYS 软件是由美国 ANSYS 公司开发的大型通用有限元分析软件,主要包括前处理、分析计算和后处理三个核心模块。ANSYS 提供结构静力学分析、动力学分析、非线性分析、流体动力学分析等,已经成为结构工程师进行分析、设计的主要工具软件^[5-6]。ANSYS 软件在力学课程教学中的主要优势是其具有直观形象的图形显示功能,可将抽象的内力、应力、应变、位移、变形等数据转化为形象生动的图形甚至动画。如理论力学中桁架内力的求解包含了大量空间位置关系和几何要素,在 ANSYS 中可以很方便地利用其前处理模块进行建模,利用后处理模块进行内力、位移的图形显示。在材料力学弯曲梁横截面上的应力分布规律、圆轴弯扭组合变形时应力分布规律、静定或静不定梁和刚架的变形的教学过程中,同样借助于 ANSYS 软件强大的后处理功能,将原本需要大量时间讲解和板书绘图仍难以理解的抽象力学理论直观化、形象化,帮助学生理解教材内容。如图 3 为简支梁受均布荷载,使用 ANSYS 软件的后处理功能绘制的变形图和跨中横截面正应力分布图。

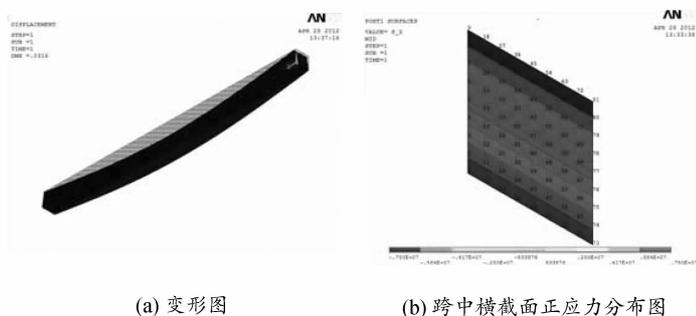


图 3 受均布荷载的简支梁的 ANSYS 分析

让人耳目一新的还有 ANSYS 在材料力学压杆稳定分析中的应用。压杆失稳的有关概念与计算是材料力学中较难理解的内容,进行实验也比较困难。在国内教学中,压杆稳定章节基本都只安排 4 个学时左右的时间,对失稳、屈曲的知识点讲得都不深入。而在美国课堂上,教师借助 AN-

SYS 以图形的方式将不同杆端约束的压杆屈曲变形直观、形象地展示给学生,如图 4 所示。而且通过 ANSYS 的辅助,教师能在有限的课堂时间内扩充欧拉公式及屈曲模态的相关知识,丰富了教学内容,从学生现场活跃的气氛也可看出,起到了很好的教学效果。



图4 不同杆端约束的压杆屈曲变形

四、结语

美国大学在力学系列课程中通过 Matlab、Excel、ANSYS 等计算机辅助软件的应用,加深了学生对抽象力学知识的理解,培养了他们的学习兴趣,起到了很好的教学效果。同时也提高了学生的工程能力、创新能力,为以后的职业生涯开辟更宽广的道路,值得国内高校借鉴。

参考文献:

[1]张智星. Matlab 程序设计与应用[M]. 北京:清华大学出版社,2002.

[2]朱艳英,陈月娥,李伟英. 理论力学课程教学中 Matlab 的应用研究[J]. 教学研究,2006 (5):258 - 259.
 [3]王培麟. 用 Excel 求解线性规划及线性方程组的方法[J]. 西北民族学院学报:自然科学版,2002,23(2):37 - 39,49.
 [4]谢剑,赵彤. Excel 在建筑工程中的应用[M]. 天津:天津大学出版社,2009.
 [5]刑静忠. ANSYS7.0 分析实例与工程应用[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
 [6]黄忠文,李元松,郑贤中. 弹塑性力学有限元法及 ANSYS 应用[M]. 武汉:湖北科学技术出版社,2011.

Mechanics course teaching assisted by computer software in American universities

YI Ping, ZHONG Weiqiu, HUANG Lihua

(Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning, P. R. China)

Abstract: Through the experiences of participating in some mechanics courses in American university, we learned that some common computer software, such as Matlab, Excel and ANSYS, was often applied to assist mechanics courses teaching. Through the assist, the abstract mechanical concepts and theories become easy to understand, which in return arouses the enthusiasm of students. This teaching method can also improve students' engineering skills and innovation capability, we will carry forward.

Keywords: Matlab; Excel; ANSYS; mechanics

(编辑 詹燕平)