

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2016.03.038

定位于辅助地位的结构动力学软件研发与辅助教学实践研究

侯祥林, 郑夕健, 费 焱

(沈阳建筑大学 机械工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

摘要:从多媒体的辅助教学手段定位观点出发,研制了结构动力学辅助教学与测试系统软件,包括教学内容、复习测试、无纸考核、虚拟交互计算、动画与图片五大部分的16个功能模块。强调了以板书教学为主、多媒体为辅助的教学手段,分析了正确运用辅助教学软件,解决课程的辅助学习、虚拟实验、考核测试等方面问题。辅助教学提升了结构动力学课程的教学改革实践效果,文章为力学类课程的教学改革实践提供良好借鉴。

关键词:结构动力学;多媒体辅助软件;辅助教学;教学改革实践

中图分类号:G642.0;TU312

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2016)03-0160-08

结构动力学是建筑类高校机械专业的核心课程和特色课程,机械类结构力学课程涉及起重机、混凝土泵车、装载机械、擦窗机等大型工程机械的振动问题分析,结构动力学的理论和方法指导现代大型工程机械的设计。随着计算机媒体技术迅猛发展,如何做好计算机辅助教学也成为教学改革实践的重要问题。在多年的不断教学实践中,笔者逐渐认识到课堂教学仍需坚持以板书为主,多媒体为辅的教学定位。在此定位下如何展开教学改革实践,怎样利用现代计算机技术做好辅助软件研发与应用,提升教学效果,成为课程教学的重要课题^[1-8]。

2012-2015年,笔者先后承担“机械类结构力学课程体系和内容的改革与实践研究”、“机械类结构力学课程无纸考试系统研究与实践”和“机械类结构力学课程体系和内容的改革与实践研究”等教学研究项目,在多媒体辅助软件研发、运用与教学改革研究等方面深入研究,下面就多媒体辅助软件研发和如何进行辅助教学两个方面谈谈体会。

一. 定位于辅助地位的结构动力学辅助教学软件开发与辅助教学功能

定位于多媒体辅助教学地位,辅助教学软件的开发与运用是重要问题。在不断的教学实践和软件应用之下,基于 Visual Basic 平台环境,通过嵌入 3Dmax、Powerpoint、Photoshop、Mathematica 和 Excel 等技术,研发了结构动力学辅助教学

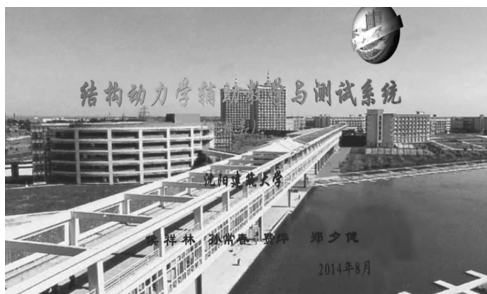
收稿日期:2015-11-26

基金项目:沈阳建筑大学研究生教学改革与实践专项项目“机械类结构力学课程体系和内容的建设与实践”(YB2012002);辽宁省“十二五”教育科学规划项目“机械类结构力学课程无纸考试系统研究与实践”(JG15DB348)

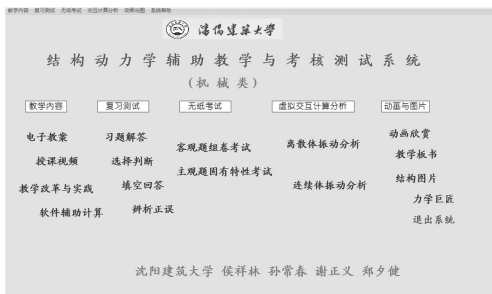
作者简介:侯祥林(1962-),男,沈阳建筑大学机械工程学院教授,博士,主要从事机械工程中的力学研究,(E-mail)drhouxl@tom.com。

与测试系统,包括教学内容、复习测试、无纸考核、虚拟交互计算、动画与图片五大部分,含电子教案、授课视频、教学改革、软件辅助计算、习题解答、选择判断、填空练习、辨析正误、客观题组卷测验、固有特性

主课题考试、离散体固有特性与响应分析、连续体固有特性与响应分析、动画欣赏、结构图片和力学巨匠等16个功能模块。图1为软件首页面,具体内容与应用如下。



(a) 软件进入画面



(b) 软件首页面

图1 软件首页面

(一) 教学内容部分(含电子教案、授课视频、教学改革与实践、软件辅助计算4个模块)

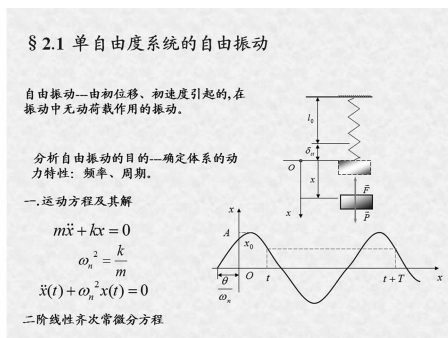
统的振动、多自由度系统的振动、无限自由度体系的振动分析和结构动力学的数值解法等章节内容PPT,适用学生课前课后的辅助学习。图2(a)为电子教案引导画面,图2(b)为电子教案章节画面。

1. 电子教案模块

依据机械类结构动力学教学大纲基本要求,基于Powerpoint开发环境,编制涵盖绪论、单自由度系



(a) 电子教案分章引导画面



(b) 电子教案画面

图2 电子教案模块

2. 授课视频模块

图3是教学授课现场录制的授课视频截取画面,现代教学中,可以代替课堂笔记。

该模块针对教学大纲、教学内容、考试改革、试卷与大作业的理论教学内容强化学生理解与领会。图4为教学大纲截图。



图3 授课视频截图

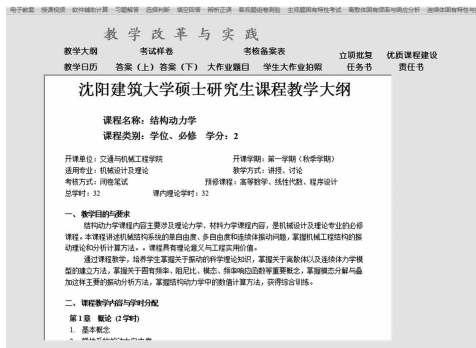


图4 教学改革与实践部分截图

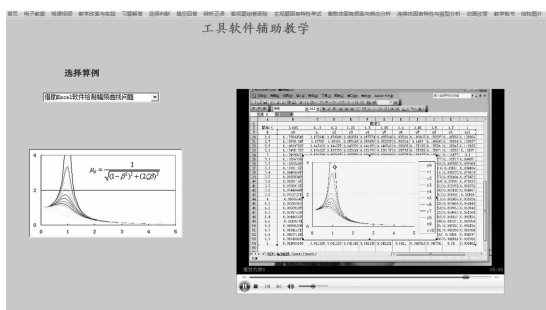
3. 教学改革与实践模块(含教学大纲、教学日历、考试样卷、样卷答案、考试改革、大作业等具体内容)

4. 软件辅助计算

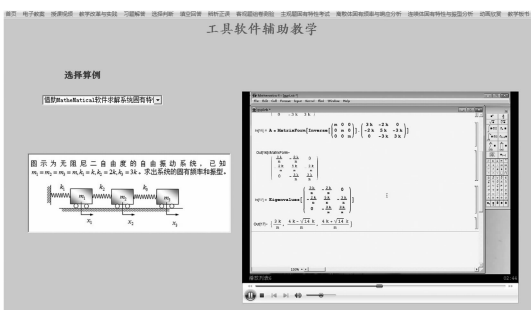
该模块是应用数学软件求解复杂结构动力学问题,培养学生运用工具软件解决实际问题的能力。

图5(a)为应用 Excel 软件绘制幅频曲线问题,图5(b)为应用 Mathematica 软件求解系统固有特性问题

题,强化软件的工程应用。



(a)应用Excel软件绘制幅频曲线问题



(b)应用Mathematica软件求解系统固有特性问题

图5 软件辅助计算模块实例图

(二)复习测试部分(包括习题解答、选择判断、填空回答、辨析正误4个模块)

填写答案,给出判定结果。图8为填空练习模块实例图。

1. 习题解答模块

该模块列出各章节部分重要典型习题,并按步骤给出正确的解答过程,通过平时作业按步骤的分析求解,强化学生的作业环节。图6为三个自由度振动问题求解的实例图。

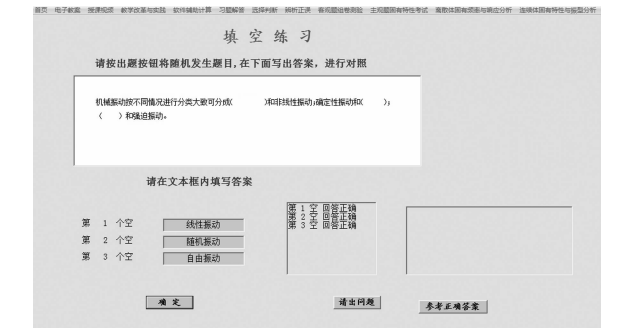


图8 填空练习模块实例图

2. 选择判断模块

该模块为四选一测试题型。通过随机发生题目,交互选择正确答案。图7为选择判断模块的实例图。

4. 辨析正误

该模块为是非判断题型。通过批量发生题目,判断题目描述问题的对与错。图9为辨析正误模块画面图。选择判断、填空回答和辨析正误几类题型可加深学生对结构动力学概念的理解。

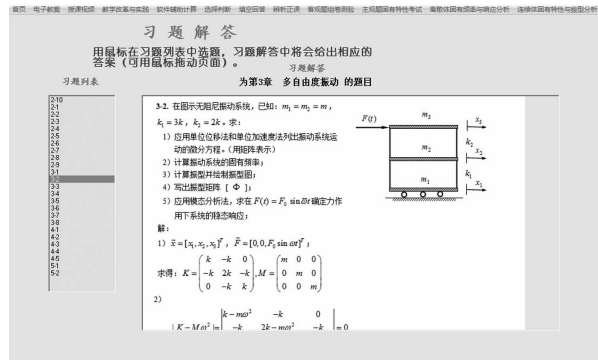


图6 习题解答模块实例图

3. 选择判断模块

该模块为四选一测试题型。通过随机发生题目,交互选择正确答案。图7为选择判断模块的实例图。

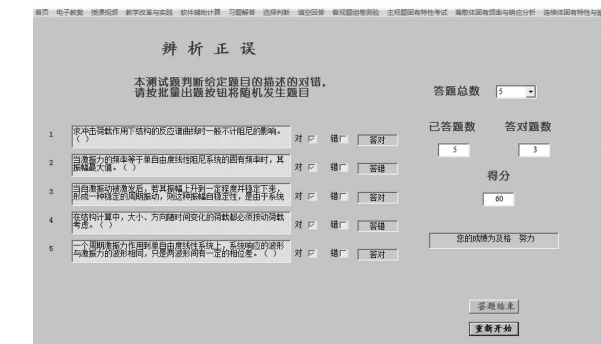


图9 辨析正误模块画面图

(三)无纸考试部分(包括客观题组卷考试和主观题固有特性考试2个模块)

3. 填空回答模块

该模块为填空测试题型。通过随机发生题目,

1. 客观题组卷考试模块

应用了VBA技术,针对选择题、填空题和判断题三种题型,通过随机选题自动生成word试卷,然后答卷、上交,并评定出成绩。实现对于学生客观题型的综合考核,如图10。

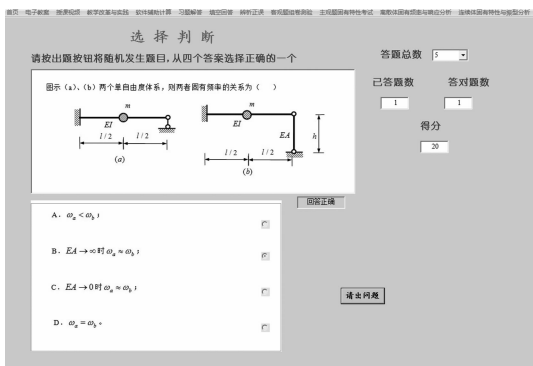


图7 选择判断模块实例图

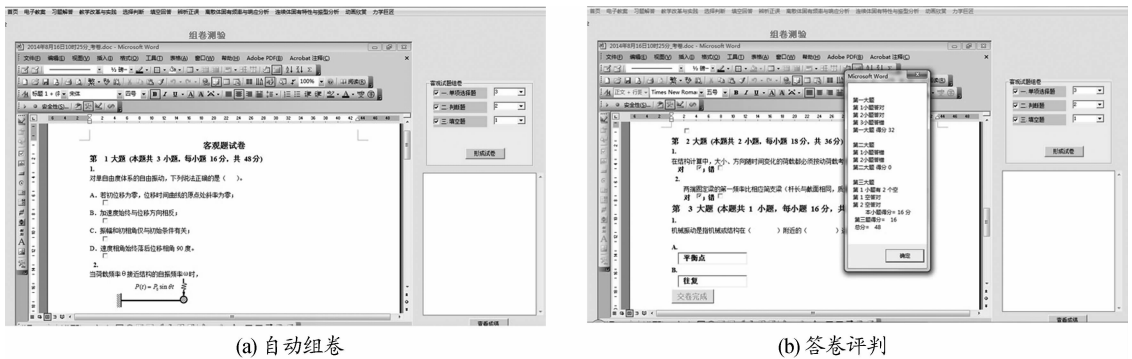


图 10 客观题组卷考试

2. 主观题固有特性考试模块

主观考试与评判尝试。图 11 为主观题固有特性考试交互答卷与评判截图。

图中给出交互答卷求解系统固有频率与振型，并通过评判给出成绩，该模块是针对典型类型题的

主观考试与评判尝试。图 11 为主观题固有特性考试交互答卷与评判截图。

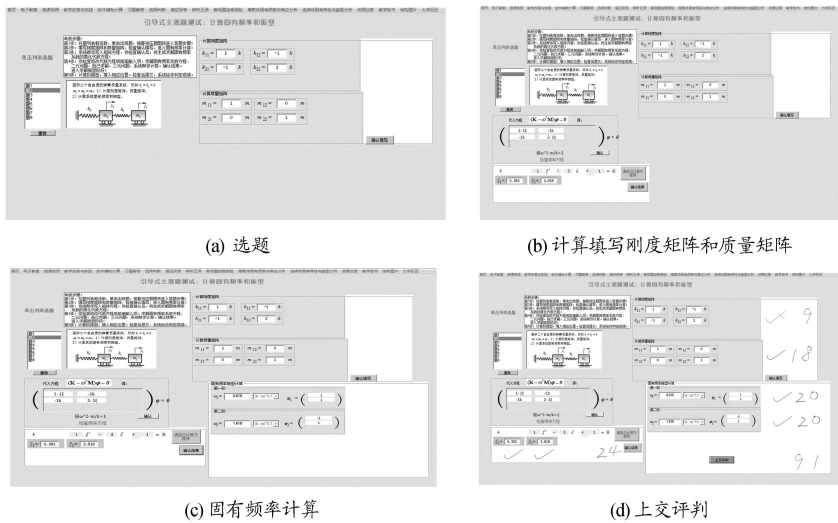


图 11 主观题固有特性考试交互答卷与评判截图

(四) 虚拟交互计算分析部分(包括离散体和连续体两类重要问题的固有特性和振动响应的交互计算分析 2 个模块)

通过动态交互输入,组成离散振动系统,计算固有频率振型,求解振动响应。图 12 是两个自由度系统实例的固有特性与响应分析的求解分析过程与结果。

1. 离散体振动分析模块

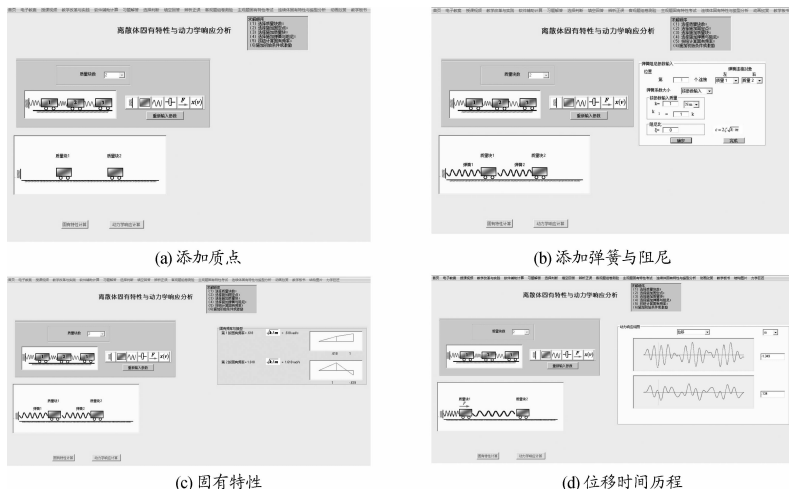


图 12 离散体振动分析实例图

2. 连续体振动分析模块

通过动态交互,完成梁系统在不同约束的固有频率振型计算、载荷下的振动响应求解。图13是一



图13 连续体振动分析实例图

以上2个模块相当于固有特性与响应的求解器,可实现手算难以完成的效果。

(五)动画与图片部分(包括动画欣赏、教学板书、结构图片和力学巨匠等4个模块)

1. 动画欣赏模块

提供观看动画文件环境,并集成由3Dmax软件制作的与结构动力学教学内容相关的20多个动画,这部分可加强学生对振动问题的理解。图14为单质点的实例画面。



图14 动画欣赏模块实例画面

2. 教学板书模块

给出教师授课画面图片,强化以板书为主、多媒体为辅的教学理念。

3. 结构图片模块

给出自行拍摄与工程机械相关照片,用于加强学生对机械工程动力学的了解。图15为结构图片的实例画面。



图15 结构图片实例图

端固定另一端铰链约束的梁的固有特性与响应分析的实例分析过程与结果。

4. 力学巨匠模块

给出牛顿、达朗贝尔、拉格朗日、钱学森和闻邦椿等12位中外著名力学科学家的力学贡献成果展示,用于鼓励学生产生对力学课程的学习兴趣。图16为具体力学巨匠讲解画面。



图16 力学巨匠模块图

二、多媒体辅助教学定位下的结构动力学课程体系和内容的改革与实践

(一) 板书为主、多媒体为辅的课堂教学设计

大学课堂教学以教师为主导,学生为主体,是一种强调教学过程要以板书为主、以多媒体为辅的教学手段。在教学环节中,可提倡启发式、讨论式、交互式等多种教学方式,营造师生互动的课堂氛围,以激发学生的学习兴趣,以培养学生的基本素质与能力为目的。

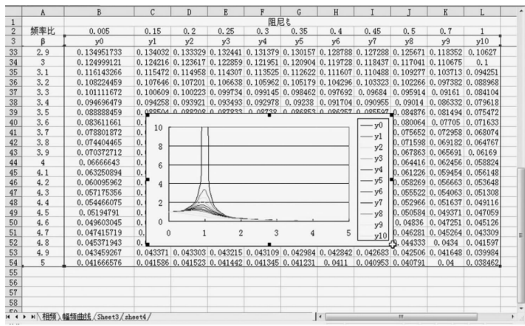
同时必须明确的是,屏幕不能完全替代板书,屏幕应该完成对教学内容的补充,如图形演示、数据计算等。例如讲授一个知识点,可在屏幕上显示其内容,但是针对知识点的证明与推导过程要用板书完成,由此深化学生对知识点内容的理解。当运用知识点分析与解决具体问题,可以通过屏幕显示题目,而讲授问题的求解过

程需要板书按步骤分析讲解。软件在教学内容中提供授课视频,给出了清晰的教学过程。

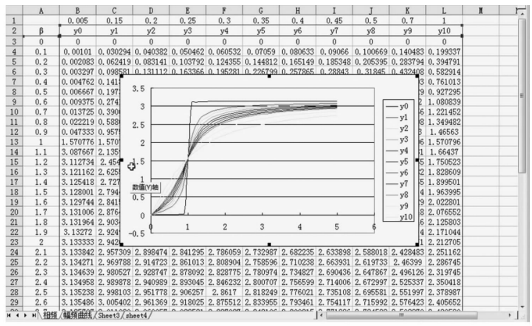
(二)通用工具软件的课堂即时应用

借助于计算机的媒体技术,引入计算方法,实现从计算尺到计算器,再从计算器到计算机的一个飞跃。现代教学过程中,需要教师具备程序设计能力和工程软件使用的基础。结构动力学的离

散体和连续体的固有频率求解、幅频特性响应图的绘制是技能也是技巧。学会数学软件工具解决这些问题,可达到事半功倍的效果。将通用的 Excel 和 Mathematica 等工具软件直接引入课堂,求解如多阶矩阵问题和三阶高阶代数方程这类不能直接通过手算求解的问题。图 17 为课堂应用 Excel 绘制幅频曲线与相频曲线图。



(a) 幅频曲线



(b) 相频曲线

图 17 课堂应用 Excel 现场绘制幅频与相频曲线图

(三)考试改革实践

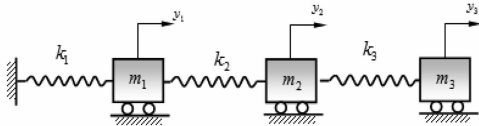
根据结构动力学课程教学要求,着重加强学生实践能力和创新意识的培养。在成绩考核方面实施大幅度的改革。采取全过程考核,包括平时测验、大作业和期末考试,其分值占比分别为 10%、20% 和 70%。平时测验结合软件的客观题进行考试评定;大作业采取一人一题的方式进行,针对解

决机械多自由度离散动力学问题的大作业,克服了期末考试受时间和手算能力对命题复杂程度的限制,实现了对多自由度离散系统的自由振动和受迫振动的实例求解分析,并通过软件所提供的虚拟交互计算分析获得了验证对比,从而提升学生对理论知识掌握。图 18 为大作业题目与分配图。

2014 级机械工程硕士研究生结构动力学大作业

(共 20 分) 图示三个自由度的弹簧质量系统,具体参数见表。

- 计算振动系统的固有频率,绘制振型图。
- 第 1 个质点上施加 $F = F_0 \sin \omega t$ 时,求系统振动响应。
- 应用提供的可视化程序分析计算,并打印对比。



质量组合	m_1	m_2	m_3	弹簧组合	k_1	k_2	k_3	激励组合	F_0	ω
I	m	$2m$	$3m$	A	k	k	k	a	$1mg$	$\sqrt{k/m}$
II	$2m$	$3m$	m	B	k	$2k$	$3k$	b	$2mg$	$2\sqrt{k/m}$
III	$3m$	m	$2m$	C	k	$3k$	$2k$	c	$3mg$	$3\sqrt{k/m}$
				D	$2k$	k	$3k$	d	$4mg$	$4\sqrt{k/m}$
				E	$3k$	k	$2k$	e	$5mg$	$5\sqrt{k/m}$
				F	$2k$	$3k$	k	f	$6mg$	$6\sqrt{k/m}$

序号	学号	姓名	专业	质量组合	弹簧组合	激励组合
1	1426380548	陈盟盟	机械设计及理论	I	A	a
2	1426380549	陈爽	机械设计及理论		B	b
3	1426380550	程晶晶	机械设计及理论		C	c
4	1426380554	洪文	机械设计及理论		D	d
5	1426380558	刘翔	机械设计及理论		E	e
6	1426380562	王鹏飞	机械设计及理论		F	f
7	1426380564	王永振	机械设计及理论	II	A	a
8	1426380566	徐畅	机械设计及理论		B	b
9	1426380567	叶晓帅	机械设计及理论		C	c
10	1426380569	张东跃	机械设计及理论		D	d
11	1426380572	张强	机械设计及理论		E	e

图 18 大作业题目与分配图

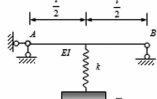
期末考试内容注重于基本理论和振动分析方法的掌握,注重对知识点概念的理解和掌握,避免

死记硬背的理论考核。图 19 题为期末考试试卷图。

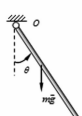
2014 级机械工程专业硕士研究生结构动力学试题

一、计算、分析并填空 (每小题 5 分, 共 25 分)

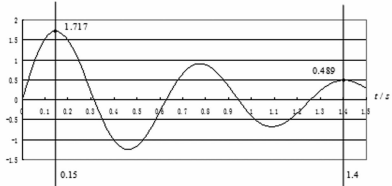
1) 如图所示, 质量为 m 的物块与梁 AB 和刚度为 k 的弹簧串联, 若视 AB 梁为不计质量的弹簧, 则物块振动的固有频率为: _____。
(注: 简支梁中点加载集中力 F 时, 中点挠度公式为: $\Delta = \frac{Fl^3}{48EI}$)



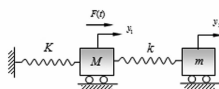
2) 图示单摆为均质杆, 其长度为 l , 质量为 m , 绕 O 点转动惯量为 $J_O = \frac{1}{3}ml^2$, 在重力作用下绕 O 点往复摆动, 其摆角坐标为 θ , 则系统振动的微分方程为: _____; 若初始摆角和角速度 $\theta|_{t=0} = \theta_0, \dot{\theta}|_{t=0} = 0$, 则在 $\theta = 0$ 位置的角速度大小为 _____。



3) 画图描述主动隔振和被动隔振。
4) 应用数值法计算辅助系统的固有频率时, 应用瑞利能量法可以求 _____; QR 法可以求 _____; 子空间迭代法可以求 _____。举出二种非线性振动系统响应数值算法, 包括 _____ 和 _____。
5) 图示有阻尼的单自由度系统的位移响应曲线, 则对数衰减系数 $\delta =$ _____; 系统的阻尼比 $\zeta =$ _____。

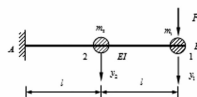


二、(本题 20 分) 图示为具有单自由度的动力减振器的辅助系统, M, K 为主系统质量和弹簧刚度, m, k 为减振器质量和弹簧刚度, 建立系统的振动微分方程, 主系统上施加正弦激励 $F(t) = F_0 \sin \omega t$, 通过设稳态解的方法, 求解主系统和减振器质量的响应, 并确定满足题设条件, 主系统的振幅为 0。



三、(本题 30 分) 图示弯矩刚度为 EI 、不计质量的梁 AB 上布置两个质点, 质量 $m_1 = m_2 = m$ 。尺寸如图, 系统振动方程形式为: $\delta M \ddot{y} + \delta y = \delta F$, 其中 M, δ, I 分别为质量矩阵、柔度矩阵和单位矩阵。

- (1) 应用适当的方法, 计算系统的柔度矩阵 δ ;
- (2) 计算辅助系统的固有频率和相应振型, 并绘制振型图;
- (3) 应用杜哈积分计算系统在突加荷载 $F(t) = F_0$ 作用下的响应。



四、(本题 25 分) 长度为 l 、单位长度质量为 m 、抗弯刚度为 EI 的梁 AB。

- (1) 求梁横向振动频率方程。
- (2) 若取静挠度曲线 $\phi(x) = Ax^2(3x - 2l^2)$, 应用瑞利法估算一阶固有频率。

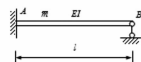


图 19 期末考试试卷图

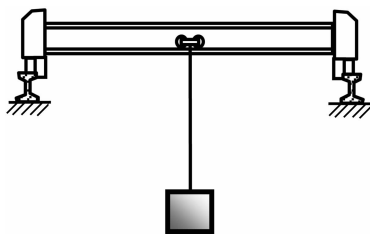
(四) 虚拟交互实验设计

强化对结构动力学工程问题的掌握与分析, 针对离散系统和连续体系统, 建立动力学多媒体可视化分析程序。通过内嵌 QR 法、Newmark 法程序设计原理, 针对固有振动和受迫振动问题, 实现具有系统参数输入条件下的交互式分析; 实现系统固有频率与振型计算以及振型图形绘制; 实现在不同频率激励下的系统响应曲线绘制。具体内容包括: (1) 离散系统固有频率与振型计算分析; (2) 离散系统振动响应计算分析; (3) 典型连续体系统固有频率与振型计

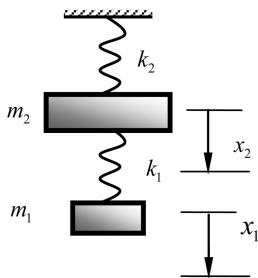
算分析。从结构动力学基本原理和计算机两个方面得以实现, 加强学生对力学基本原理和精髓内容重难点的图。

(五) 工程典型问题的实例应用

课堂上通过针对工程机械中具体问题实例模型的建立, 实现理论学习内容与实际工程的联系。图 20(a) 为桥式起重机简图, 20(b) 为对应的 2 个自由度振动简图。图 21(a) 为混凝土泵车臂架简图, 21(b) 为对应的连续体振动模型图。该实例应用使学生充分认识到理论与工程实际应用的关系。



(a) 简图

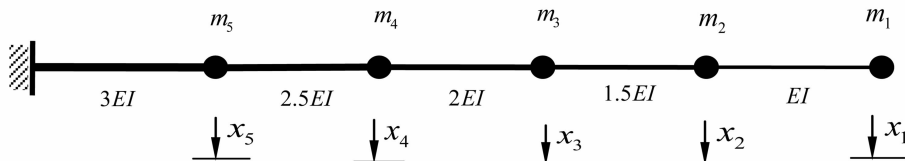


(b) 2 个自由度振动模型

图 20 桥式起重机动力学模型



(a) 混凝土泵车臂架简图



(b) 混凝土泵车臂架连续体振动模型图

图 21 混凝土泵车臂架动力学模型

三、结构动力学教学改革实践成果

2012-2015年,针对结构动力学课程在教学体系、教学内容、教学方法、多媒体辅助教学软件研发与应用等方面展开了教学改革实践,提出了归类分析模块化的讲授思路,强调以板书教学为主、多媒体教学为辅的教学手段,探讨并实践了结构动力学课程考核测试方法改革,逐渐形成了独有的课程教学特色,收到良好的教学效果。同时,提升了学生运用结构动力学知识解决工程问题的能力,强化了机械工程学科硕士研究生的力学基础理论,提升了针对工程问题的力学分析运用能力。独特研发的机械类结构动力学多媒体辅助教学系统与测试系统软件在2014年第十四届全国多媒体课件大赛上,获得高教理科组二等奖,同时获得唯一的最佳技术实现奖;2015年,获得辽宁省教育软件大赛一等奖。高质量辅助软件的研发帮助学生完成课程学习中知识点的掌握和虚拟实验等功能的实现。2014年,结构动力学课程获得学校研究生优质课程;2015年,结构动力学课程获得学校研究生精品课程。多年来,笔者在学校教学质量评价中获得优秀,2015年被评为学校研究生的良师益友。

四、结语

文章以结构动力学教学改革与辅助教学实践研究为主线,以结构动力学课程辅助教学软件的研发

与运用为载体,探讨在现代教学环境下,如何进行辅助教学软件的功能设计和程序实现,并有效地实现辅助教学作用。文章强调发挥教师主体作用和辅助软件教学效果,从而深化教学内容讲授。

参考文献:

- [1] 陶宗国,多媒体辅助教学要有“度”[J].当代教育科学,2003(3):60.
- [2] 陈伟华.基于多媒体辅助的引探发现教学模式[J].教育学报,2007(10):35-36.
- [3] 邱李华.Visual Basic 程序设计教程[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [4] 马振平.多媒体技术与课堂教学现代化[J].中国电化教育,2005,(7):69-70.
- [5] 侯祥林,孙雅珍.浅议大众化教育背景下高校基础课程教学问题与改革措施[J].沈阳建筑大学学报:社会科学版,2010,12(2):250-252.
- [6] 侯祥林,孙雅珍等.力学系列课程多媒体辅助教学系统的研发与应用探讨[J].沈阳建筑大学:社会科学版,2012,14(3):318-321.
- [7] 侯祥林,郑夕健,费焯,结构力学多媒体辅助教学软件研发与辅助教学应用中的探讨,高等建筑教育,2015,24(4):139-146.
- [8] 教育部教育管理信息中心.侯祥林,结构动力学多媒体辅助教学系统,全国第十四届多媒体课件大赛高教工科组二等奖[DB/OL].<http://www.cern.net.cn>,2014.10.

Software development and assisted teaching practice of structural dynamics located in the assisted status

HOU Xianglin, ZHENG Xijian, FEI Ye

(School of Mechanical Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, P. R. China)

Abstract: From multimedia assisted teaching positioning views, structural dynamics assisted teaching and testing system software is studied. It includes teaching content, review test, paperless examination, virtual interactive computing, animation and picture 5 parts. Teaching method of blackboard as primary and multimedia as assisted is emphasized. Correct application of assisted teaching software is analyzed to solve course assisted learning, virtual experiments, testing and other aspects. Teaching curriculum reform and practical effect of structural dynamics are enhanced. The research can be used to provide teaching reform and practice of mechanics courses.

Keywords: structural dynamics; multimedia assisted software; assisted teaching; teaching reform and practice