

doi:10.13582/j.cnki.1674-5884.2019.04.023

数学类课程在机械动力学硕士培养中的作用探析

蒋勉^a, 毛征宇^b

(湖南科技大学 a.机械与健康维护湖南省重点实验室;b.机电工程学院,湖南湘潭 411201)

摘要:机械动力学是现代机械动力学性能设计的重要理论基础。针对如何充分发挥数学类课程在机械动力学方向学术型硕士研究生培养中的作用问题,分析了开展机械动力学方向研究所需的数学基础;以某省属重点大学机械工程专业学术型硕士研究生培养方案为例,分析了数学类课程在学术型硕士研究生培养方案的设置情况及存在的若干问题。充分发挥数学类课程在机械动力学方向研究生培养作用,必须做到:(1)优化课程体系,重视教材建设;(2)设置科学合理的课程考核机制;(3)充分发挥计算机辅助教学优势;(4)营造学术交流氛围,建立定期研讨机制。

关键词:机械动力学;学术型硕士研究生;课程体系;数学类课程

中图分类号:G643.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-5884(2019)04-0136-05

在我国机械工程学科研究生教育培养体系中,硕士研究生主要可分为学术型学位硕士研究生和专业型学位硕士研究生两大类^[1,2]。学术学位型一般按照机械工程学科特点进行设置,较多侧重于机械设计及自动化理论、机械制造系统理论和机械动力学理论等方面研究。目前学术型硕士学位研究生培养目标是面向高等学校、科研单位培养传授理论知识为主的后备教学或科学研究人员。从发展历程来看,学术型学位硕士培养课程开设时间相对较早,社会认可程度普遍较高。但由于修业年限的限制和理论课程设置的原因,其科学理论功底不扎实,分析能力、逻辑思维和推理能力等有待进一步提高。

机械动力学方向学术型学位硕士研究生培养质量离不开扎实的数学基础构建,主要是充分发挥数学类课程在培养过程中的重要作用。机械动力学方向^[3]是研究某类型机械在平稳、瞬态运转过程中的受力、机械中各组成构件的质量与机械运动之间的相互关系,是现代机械动力学性能设

计的理论基础,也是从受力和机械运动相互作用的角度进行机械动力学性能设计与改进的研究方向。其主要研究内容包括:(1)在已知外力作用下根据建立的模型求解机械系统的真实运动特性和变化规律;(2)分析机械系统运动过程中各组成构件之间的相互作用力和关系;(3)研究旋转构件和机械结构平衡(动平衡)的理论和方法;(4)研究机械系统运转过程中各种能量的平衡和分配关系;(5)机械系统振动的分析研究;(6)机构分析和机构综合。随着机械结构向柔性化、高速化和轻量化方向发展,基于稳定性分析的机械动力学方法广为采用,其研究对象已扩展到包括具有不同动力学特性的动力机和控制调节装置在内的整个机械系统,自动控制理论的应用已渗入到机械动力学研究领域的各个方面。各种动态系统理论、系统工程理论及运动和动力参数的测试方法,日益成为现代机械动力学研究的重要工具和手段。因此机械动力学方向的研究需要以坚实的数学理论如动态系统、信号处理与分析、自动控

收稿日期:20181114

基金项目:湖南省普通高等学校教研项目(湘教通[2014]247号-266)

作者简介:蒋勉(1983-),男,湖南宁乡人,副教授,工学博士,主要从事机械动力学与振动噪声控制研究。

制理论等为基础,可以说数学类课程在机械动力学方向学术型硕士研究生培养中具有非常重要的地位和作用。

1 机械动力学方向研究所需的数学基础分析

机械动力学方向学术硕士的培养环节主要是进行动力学理论科学研究,要求深入了解和理解动力学理论的基本知识。硕士学位论文必须是研究生本人在导师指导下独立完成,并能体现综合运用科学理论、科学计算方法和技术手段分析及解决问题的能力。偏重于机械动力学理论发展和应用创新,也有的是将其他领域成熟的数学工具运用到机械动力学研究中来。机械中的许多构件、部件、机构都是复杂的运动系统,从降低计算复杂度的角度来说,迫切需要建立合理近似的力学模型描述机械结构的固有特性。例如,对于多自由度的有阻尼振动系统,其振动线性微分方程可建立如下^[4]:

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = f(t) \quad (1)$$

其中 M, C, K 分别表示振动系统的质量, 阻尼和刚度矩阵, $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]^T$ 为多自由度的广义坐标列阵。根据多自由度方程(1)设计或者研究掌握其数值求解方法, 可计算振动系统机构固有频率、固有阵型、固有阻尼等模态参数^[5]的同时, 也可以在参数和输入变化情况下分析振动系统动力学行为特征。更进一步, 也可以考虑系统的非线性因素建立非线性振动微分方程分析系统的非线性动力学行为等。学术型硕士研究生需要深刻理解常微分方程动态系统理论, 数值计算方法, 动力学行为分析方法等数学工具并能熟练运用。

而面对柔性机械系统则需要理解分布参数系统理论, 如柔性转子系统非线性振动建模、大型风力机叶片的动力学行为分析等。以柔性转子系统非线性振动模型构建为例, 柔性转子系统在高速运转时由于质量偏心, 即质心偏离转子的名义中心, 在与转子转速同步偏心离心力的作用下产生强迫振动。由于柔性转子上不同位置点之间的振动存在相互影响, 即存在耦合关系, 因此柔性转子系统的非线性振动具有时空耦合特征, 本质上是无穷维分布参数系统^[6]。在很多场合下, 若把弹性系统当作无限多自由度系统来研究, 则需要用

数学物理方程即偏微分方程来进行描述分布参数系统的动力学行为:

$$\frac{\partial X(z, t)}{\partial t} = AX(z, t) + Bu(z, t) + \mathcal{F}(X(z, t), u(z, t)) \quad (2)$$

式(2)表示一个时间上为一阶导数的数学物理方程(偏微分方程), 其中 t 为时间变量, $z \in \Omega$ 为空间变量, $X(z, t), u(z, t)$ 分别表示与时间变量和空间变量有关的状态变量和输入变量。 A, B 分别为相应的空间微分算子, $\mathcal{F}(X(z, t), u(z, t))$ 为与状态变量和输入变量及其导数有关的非线性函数。此外, 方程(2)还需要满足一定的边界条件和初始条件。同样, 这就需要深刻理解和掌握偏微分方程动态系统理论及求解方法, 数值计算方法等理论。

此外, 在根据测试得到的输入输出数据对机械系统进行模型辨识和参数估计的过程中, 需要对智能辨识算法如神经网络、支持向量机、极限学习机, 优化计算方法如下降算法、进化算法, 参数估计算法如最小二乘、极大似然估计等方法能够熟练掌握和运用。由此可见, 进行机械动力学方向的研究需要掌握较多的数学知识和理论, 充分发挥数学类课程在机械动力学方向学术型硕士研究生培养中的作用非常重要。

2 数学类课程在学术型硕士研究生培养方案的设置分析

以我国中部地区某省属重点大学机械工程专业学术型硕士研究生培养方案为例^[7-9], 其培养目标为: 紧密跟踪学科发展前沿, 围绕国家重大战略需求, 在矿山装备、新能源装备、数控制造装备、国防武器装备等领域, 瞄准资源开发装备与技术、复杂装备智能诊断与健康维护、机电系统动力学与振动控制、绿色高效精密制造理论与技术等等的技术创新和自主开发, 培养诚实可靠、勤奋踏实、基础扎实、工程应用能力强、遵守职业道德并具有一定创新能力的应用型、复合型高层次工程技术和工程管理人才。具体为: 掌握机械工程领域坚实的科学基础理论和宽广的机械工程专业知识, 在机械工程领域的某一方向具有独立担负工程规划、工程设计、工程实施、工程研究、工程开发、工程管理等专门技术工作的能力; 熟悉机械工程领域的相关规范; 具有良好的职业素养, 掌握并能熟

练运用一门外国语。其开设的与数学和建模相关的课程、学分、课时和开课单位如表1所示:

表1 某省属重点大学机械工程专业学术型硕士研究生培养方案中数学相关课程

课程类别	课程名称	学分	课时	开课单位
理论基础课	矩阵论	3	54	数学与计算机科学学院
	数值分析	3	54	数学与计算机科学学院
	数理统计	3	54	数学与计算机科学学院
	数学物理方程	3	54	数学与计算机科学学院
选修课	有限元分析及应用	3	54	机电工程学院
	系统建模与仿真	2	36	机电工程学院
	机械系统建模与动态分析	2	36	机电工程学院
	运筹学	2	36	机电工程学院

学术型硕士研究生的理论课程设置必须进行科学、合理安排,数学和建模类课程的开设应紧密围绕各研究方向培养目标,注重数学理论知识的基础性、综合性与应用性。避免硕士研究生基础理论课投入不够,基础知识基础较弱的缺陷,兼顾基础性和应用性的统一。充分调研现有机械工程学科几大研究方向,综合考虑学生未来科研方向开展研究的需求来设置数学类课程。从表1的课程结构设置可以看出^[10],机械动力学方向硕士研究生课程设置一般存在如下的问题:一是课程体系设置不合理,教材建设重视程度不够。本科课程设置与研究生课程设置层次性不够;学术型硕士课程设置的导向性不足;学生根据自己的研究方向选课余地较小。针对机械动力学研究方向学术型硕士研究生来说,其培养方案中数学课程的设计要满足学生个体差异化的需求,未能满足机械动力学领域多样化研究方向的需要。教材没有根据工学硕士的特点来选择和编写,不适应机械动力学方向硕士课程教学。二是课程考核机制不够科学合理。数学课程设置在总学分的控制下,通过选修课和限选课来实现。留给研究生自由选修课程的余地,但是针对机械动力学领域多样化研究方向的课程考核机制不够科学合理。三是计算机辅助教学优势未能充分发挥。如复杂动力学行为的展示采用计算机辅助教学将更为直观,可帮助学生更好的理解机械系统的非线性动力学行为。从目前的情况看,计算机辅助教学的优势未能充分发挥,不利于学生理解和接受动力学分析的相关理论。四是不同研究方向的学术交流和研讨机制未能充分建立。合理的学术交流机制是研究生从同学和同行中汲取新思想、新信息、发展动

态的有效渠道。目前研究生在同门之间闭门造车的情况较为普遍,由于缺乏较好的交流机制和渠道未能充分吸收其他领域的思想。

3 发挥数学类课程在机械动力学方向研究生培养作用的措施

3.1 优化课程体系,重视教材建设

建议数学类课程设置以机械动力学各研究方向需求为导向^[11,12],以理论研究综合素养提高为核心。加强理论型课程体系的建设和,开设足够的基础和应用型数学类课程,根据机械工程各研究方向的特点来进行课程设置,与专业方向相关性较弱的基础性课程可适当合并授课。硕士课程体系设置要在强化基础理论知识的同时,增加对学科研究前沿、计算机与互联网应用技术、科技资料 and 情报获取与分析等方面的培训。机械动力学方向硕士研究生数学类教学内容上要与其理论应用对象特点相适应,进一步强化基础理论的应用性。在课堂教学中增加面向机械动力学理论实际应用的讨论学时比重,拓宽学术型硕士研究生的知识面。对于机械动力学方向硕士研究生数学类课程的教材问题,一方面要根据工学硕士的特点选用和编写教材,由工程应用的需要来倒推所需数学课程内容的学习;另一方面,要求任课教师根据学生的具体情况进行教学指导上的局部改革,增添数学知识在机械动力学理论工程应用的教学内容。机械动力学方向数学类课程教材的建设问题,特别是这类适宜于机械动力学方向硕士使用的理论加应用类教材,建议组织机械动力学方向研究的资深专家共同商讨本方向学术型硕士数学类教材的改革和编撰。

3.2 设置科学合理的课程考核机制

实现科学合理的学术型硕士研究生培养过程管理是培养质量的基本保证^{[5][13]}。学术型机械工程硕士由于其培养目标和方式、研究对象复杂多样以及课程设置特点决定了其考核评价方式必须多元化。针对机械动力学方向的研究对象和特点,建立一套科学合理的课程考核评价机制和评价指标。课程考核评价综合考察学生平时课堂成绩、科学研究表现和应用实践能力,将平时培养过程考核、科学素养和理论知识考核与能力测验测试相结合,包括课堂讨论、平时作业情况、研究综述情况等。理论知识考核采用闭卷或开卷,结合发表的小论文情况,考察硕士研究生对理论知识的掌握情况。以机械动力学方向的学术型硕士研究生为例,在考察其基本科学理论知识的掌握情况时,需要根据其未来的研究方向和研究课题,通过健全的规章制度、科学的管理组织实现理论知识考察过程的规范化和精细化。对于导师制定研究方向偏重于对于机械结构的理论建模和数值计算分析的学术型硕士研究生,应偏重于考核学生根据研究对象进行理论建模并利用数值方法和计算软件如 matlab 等进行编程计算和分析的能力,而对于导师制定研究方向偏重于利用 Ansys 和 Solidworks 等软件对复杂机械结构进行动力学分析的学术型硕士研究生,课程考核应偏重于考核学生根据复杂机械对象进行三维建模并利用有限元仿真软件进行动力学分析的能力。

3.3 充分发挥计算机辅助教学优势

计算机辅助教学是时代发展的趋势,将逐步取代传统的教学手段,实现现代教学手段不仅对工程硕士重要,对学术型硕士培养也同样重要。对授课教师来说,首先要掌握各种软件和计算机操作技术,并通过课件向研究生传授较大的知识量。对研究生来说,可掌握利用电脑来解决工作中出现的大量数据的处理、计算、分析、制表和制图等问题。许多数学理论教学中的计算分析问题不是黑板和粉笔能解决的,通过电脑教学进行演示,有利学生理解和接受。学术型硕士研究生培养过程中,传统的数学理论教学过程以抽象的公式推导为主,学生很难将数学符号和实际物理含义对应起来。以机械动力学方向为例,其主要工作在于对复杂机械结构进行振动模态分析,以确定机械结构的振动模态参数和动态特性,从而

优化机械结构的几何结构特性和动力学特性。传统动力学分析方法需要的数学计算求解和分析工具非常多,而且模态固有频率、模态参数的意义过于抽象,学生难以理解和接受。通过采用计算机辅助教学,对复杂机械系统应用仿真分析软件设计结构的模态分析实验,对复杂机械系统的输入激励与输出响应做系统参数辨识分析并从中获取机械结构的模态参数,可使得机械结构各阶振型形象化甚至动态化,激发学生使用较为高深的数学理论和工具,提高把实验分析方法应用到实际对象的能力,达到加强加深机械动力学概念理解、提高实际动手能力、鼓励科研探索的目的。

3.4 营造学术交流氛围,建立定期研讨机制

对机械动力学方向内具体每个研究方向都应有具体的培养计划,尊重学术型硕士研究生的个性特点和能力特长,重视和鼓励学生的个性化理论创新。对学生因材施教,尽量发掘他们在理论研究中的潜力,发挥和培养研究生创造性。在共同学习数学类课程以后,机械动力学不同研究方向之间的学生可建立交流机制,相互参加对方的学术活动探讨所用到和掌握的理论知识和新方法。建立合理的学术交流机制,是研究生从同学和同行中汲取新思想、新信息、发展动态的有效渠道,也是机械动力学方向硕士研究生提高自身理论素养,提高数学理论在机械动力学方向研究上的认识的有效措施。另一方面,可设立数学类指导教师与机械动力学方向研究生的教研基金^[14],建立数学类教师与硕士研究生的定期研讨机制,一方面可培养既具有较高数学素养和理论深度,又有数学理论实际应用经验的教师,又可以获得研究生理论知识掌握情况的反馈。还可以设立机械动力学方向硕士研究生的院级科研创新基金,安排一部分资金允许硕士研究生小组自主申报学院限定范围内的基金项目,并配备相应的数学理论指导教师(不一定是研究生自己的指导教师)。以硕士研究生研究小组为主开展学习科研活动,也是建立数学类指导教师与工科类研究生定期研讨机制,提高机械动力学方向硕士研究生理论研究和数学知识储备的一种方式。

4 结论

针对如何充分发挥数学类课程在机械动力学方向学术型硕士研究生培养中的作用问题,本文

分析了开展机械动力学方向研究所需的数学基础;以我国中部地区某省属重点大学机械工程专业学术型硕士研究生培养方案为例,分析了数学类课程在学术型硕士研究生培养方案的设置情况。要想充分发挥数学类课程在机械动力学方向研究生培养作用,建议做到以下四个方面:(1)优化课程体系、重视教材建设;(2)设置科学合理的课程考核机制;(3)充分发挥计算机辅助教学优势;(4)营造学术交流氛围,建立定期研讨机制。研究结果有助于机械动力学方向学术型硕士研究生提高自身理论研究素养,结合动力学理论实际应用进行科学研究的能力。

参考文献:

- [1] 贾楠,高欣.新时代工科研究生创新能力培养探析[J].管理观察,2018(31):121-122.
- [2] 袁凌杰.新工科背景下的理工科研究生培养对策研究[J].高教学刊,2018(19):165-167.
- [3] 张策.机械动力学[M].北京:高等教育出版社,2008.
- [4] 王伟,梅雄,张心羽,等.研究生机械动力学教学科研相结合的探讨[J].实验科学与技术,2016(5):6-10.
- [5] 梁君,赵登峰.模态分析方法综述[J].现代制造工程,2006(8):12-18.
- [6] Jiang M, Li X J, Wu J G, etc. A precision on-line model for the prediction of thermal crown in hot rolling processes [J]. International Journal of Heat and Mass Transfer, 2014 (78): 967-973.
- [7] 蔡小春.工科研究生中外联合培养的创新模式及对国内工程教育的启示[J].高教学刊,2018(24):5-9.
- [8] 俞建峰,王东祥,袁方洋.基于新工科理念的机械工程专业学位硕士研究生综合实践能力培养[J].教育现代化,2018(31):008.
- [9] 肖燕,周康渠,贾秋红.地方工科院校全日制工程硕士研究生培养体系探索与实践[J].当代教育实践与教学研究,2018(5):120-121.
- [10] 王树凤,崔国臣,孙文盛.工科研究生培养质量分析及改善措施[J].教育现代化,2018,5(19):16-18.
- [11] 狄慧鸽,华灯鑫.工科专业研究生学术研究深度与工程能力培养探索研究[J].教育教学论坛,2018(3):81-82.
- [12] 刘霖,马娟娟,童志伟.地方院校工科研究生能力培养探索与实践[J].教育教学论坛,2017(52):143-144.
- [13] 梁桂英,刘俊景.开放式实验教学改革的实践与研究[J].实验科学与技术,2012(3):63-64.
- [14] 李茂林,牛津.导师制与创新人才的培养[J].河南教育(高教版),2006(7):56-57.

Study on the Role of Mathematics Courses in Cultivating Graduate Students Majoring Dynamics of Machinery

JIANG Mian^a, MAO Zhengyu^b

(a. Hunan Provincial Key Laboratory of Health Maintenance for Mechanical Equipment;

b. School of Mechanical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Dynamics of machinery is an important theoretical basis of the design of mechanical system. This paper discusses the methods of enhancing the role of mathematics courses in master program of dynamics of machinery, the mathematical foundations of the research of mechanical dynamics and the setting of mathematical courses in the training program. Thus, four procedures are proposed in this paper to improve the functions of mathematical courses in cultivating postgraduates of dynamics of machinery: (1) optimizing the course system and attaching importance to the textbook construction; (2) setting a scientific and reasonable course examination mechanism; (3) giving full play to the advantages of computer-aided teaching; (4) creating an academic exchange atmosphere and establishing a regular discussion mechanism.

Key words: dynamics of machinery, academic postgraduate, curriculum system, mathematical courses

(责任校对 钟丽)