

混合研究方法在力学研究生培养中的运用

吴志静, 温舒瑞, 李凤明

哈尔滨工程大学航天与建筑工程学院 黑龙江哈尔滨 150001

[摘要] 为了实现我国制造强国的战略目标, 高等院校必须加大力度培养力学专业研究生。本文分析了力学专业研究生的培养目标, 给出了混合研究方法在力学专业研究生培养中的运用策略, 通过实例说明了混合研究方法在力学研究生培养中运用的有效性。

[关键词] 混合研究方法, 力学, 研究生培养

[中图分类号] G302 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1647-9326(2023)-0031-01 **[收稿日期]** 2023-03-24

引言

在2015年国务院印发的《中国制造2025》中, 明确了我国制造强国的战略目标^[1]。力学专业作为数学与工程问题的桥梁专业, 势必将在我国实现制造转型升级的过程中发挥重要作用。因此, 高等院校和科研院所必须加大力度培养力学研究生, 使其能够采用科学有效的研究方法完成对科研问题的探索, 在完成科学任务的过程中, 使其具有适应时代发展所必备的科研素养。

1 力学专业研究生的培养目标

力学专业是一门理论联系实际的专业, 是将数学理论知识与工程实践相联系的桥梁。从事力学研究的科研人员应具有利用理论建模推导、应用力学软件和现代实验技术手段解决在航空、航天、船舶、机械等领域与力学相关工程实际问题的基本能力。

1.1 力学理论建模能力

建立力学模型是研究工程问题的重要方

法。力学建模应是高等院校中力学专业学生应掌握的看家本领。对于力学建模能力的全方位培养, 可以从以下三方面, 按照顺序开展: (1) 注重课堂基础力学概念的传授, 加深学生对于力学基本概念的理解。万丈高楼平地起, 打牢力学基础, 厘清力学知识链条, 构建严谨全面的力学知识体系, 是培养力学建模能力的根基。(2) 增加力学建模的练习量, 在练习实践中, 鼓励学生大胆的运用力学知识去构建出力学模型, 在大量的练习中, 培养学生力学建模的思维, 掌握基本的力学建模方法。(3) 培养力学建模的严谨性。模型建立出来后, 要严谨地分析所建立模型的有效性。考虑模型建立的前提假设和适用范围, 是否符合力学原理, 是否抓住了问题的本质以及主要矛盾等。

1.2 力学软件运用能力

力学模拟仿真技术广泛应用于航空、航天、船舶等领域。在生产制造前期, 通过模拟仿真软件对研究对象进行设计、对系统的求解以及对真实结果的预判、对原型结构设计的优化等是非常重要的。尤其是对于复杂

的结构和机构系统，通过仿真模拟软件的分析后进行加工、制造、投入使用，能够极大地提高系统的可靠性和有效性。具备对于本专业仿真软件良好的掌握和运用能力，对于力学研究生是至关重要的。对于力学软件运用能力的培养，可以从以下两方面开展：（1）结果复现。从参考书目中基础案例做起，按照软件书籍中的案例，逐步地将结果进行复现。进一步地，针对某文献中研究对象，独立运用软件完成对文献中结果的复现。（2）仿真结果的校核。对于软件而言，不论模型建立和软件操作过程是否准确，通过计算都会呈现出结果。这就要求科研人员对于仿真结果的准确性进行校核，只有输出准确的结果，软件仿真才有其意义。

1.3 力学实验能力

力学实验能力的培养，即是对学生实验设计能力，动手能力以及独立解决问题能力的培养，其终极目标是培养学生运用理论知识解决工程实践问题的能力。实验性教学是提升研究生力学实践能力的重要环节，已经成为了高等学校教学改革研究的重点之一。在力学实验能力培养过程中，可以从以下两方面开展：（1）通过基础性实验使得学生掌握仪器使用、操作规范、实验安全、数据采集、整理及分析等基础性知识。（2）通过开展探究式研究型实验，培养学生的实验设计、突发事件处理、对未知领域探索能力。

2 混合研究方法

高等院校为了达到对力学专业研究生的培养目标，应在研究生培养过程中着力培养其力学理论建模能力、力学软件运用能力和力学实验能力。因此，从研究方法上，应该是多元的，混合的，而不应该是单一的。另一方面，现今高等院校力学专业研究生在从事科学研究的过程中，大多需要解决复杂、难度大的问题并且对分析过程、研究结论的可靠性要求比较高。因此，采用单一的研究方法难以完成研究生阶段的科研任务。应采用混合研究方法，即有机结合理论、仿真和实验研究方法对其课题进行研究。

学生可以基于理论研究方法，对研究对象进行理想化假设，抓住问题的主要矛盾对问题进行简化。将实际研究对象抽象为力学模型，利用数学工具对力学模型进行求解和分析。从力学模型的求解中，总结参数影响规律、对问题的本质机理进行探究。对于研究对象，尤其是无法获得解析式的研究对象，采用软件仿真方法，利用数值解法对科学问题进行仿真求解是非常有效的研究方法。利用相对成熟的商业仿真软件对研究对象进行仿真模拟，能够高效的进行建模、试错、优化和改进。力学实验研究方法能够使得研究对象在相对真实的工况下呈现出某些力学特性。在对课题的研究过程中，准确的实验研究结果通常具有较高的可靠性。

采用混合研究方法，即是采用两到三种研究方法对课题开展研究，大幅提高研究结

论的可信性。将两种或三种研究方法所获得数据进行对比过程中，厘清不同研究方法的优势和不足，也可以对所采用不同研究方法获得分析结论的准确性加以验证。

3 混合研究方法运用实例

隔振器是一种连接机械设备（振源）和

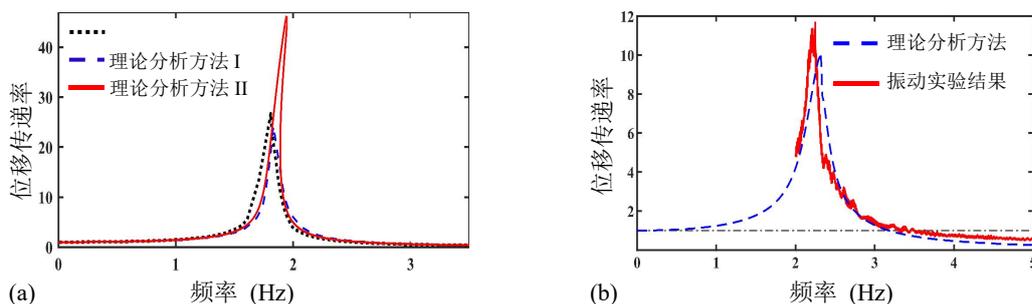


图 1. 理论分析方法、软件仿真、实验研究结果对比

我们提出了一种组合非线性隔振装置。结合理论建模、数值仿真和实验研究方法，对非线性隔振器开展研究。采用理论分析方法，建立了组合非线性结构的力学模型，通过两种理论推导方法得到了位移传递率的理论解；利用机械系统动力学自动分析软件（ADAMS）软件对结构进行建模并进行数值仿真；通过振动试验测试技术，获得了位移传递率的实验结果。通过将三种研究方法对比（如图 1 所示），验证了对计算结果的准确性，增加了结论的可信性。该研究成果发表于国际高水平 SCI 期刊^[2]。

基础的弹性元件，可以有效减小或消除由设备传递到基础和由基础传递到设备的振动。一些研究人员发现，在一些传统隔振结构中引入非线性构件可以有效地提高隔振性能。在研究生培养过程中，我们采用混合方法开展对非线性隔振器的设计和分析。目前，采用混合研究方法已初见成效。

4 结束语

本文基于力学专业特点，分析了力学专业研究生为适应时代发展所应具备的能力：力学理论建模能力、力学软件运用能力和力学实验能力。为了培养以上三种能力，在力学研究生进行科学研究的过程中，可采用结合理论研究方法、软件仿真方法以及力学实验研究方法于一体的混合研究方法。最后，本文通过对非线性隔振器设计以及隔振性能分析作为案例，说明了混合研究方法在研究生培养过程中运用的有效性。

基金项目：2021 年哈尔滨工程大学研究生教育教学改革研究项目，项目名称：混合实验模式在促进创新人才培养中的设计与构

建, 项目编号: JG2021Y021

作者简介: 吴志静, (1985-), 女, 辽宁省黑山县人, 博士, 哈尔滨工程大学航天与建筑工程学院副教授, 研究方向: 结构动力学, 振动与噪声控制; 温舒瑞, (1985-), 男, 黑龙江省龙江县人, 博士, 哈尔滨工程大学航天与建筑工程学院副教授(通讯作者), 研究方向: 结构动力学, 振动与噪声控制; 李凤明, (1969-), 男, 黑龙江省林甸县人, 博士, 哈尔滨工程大学航天与建筑工程学院教授, 研究方向: 非线性动力学, 振动与噪声控制。

参考文献:

[1]陈鹏, 庞学光. 《中国制造 2025》与现代职业教育转型发展[J]. 教育发展研究, 2015, 000(017): 15-20.

[2]Xiaoqiang Chong, Zhijing Wu, Fengming Li. Vibration isolation properties of the nonlinear X-combined structure with a high-static and low-dynamic stiffness: Theory and experiment. Mechanical Systems and Signal Processing, 2022, 179: 109352.

The application of mixed research methods in the training of graduate students in mechanics

Zhijing Wu, Shurui Wen*, Fengming Li

College of Aerospace and Civil Engineering, Harbin Engineering University, Harbin, 150001

Abstract: In order to realize the strategic goal of China's manufacturing power, colleges and universities must strengthen the training of graduate students in mechanics. In this paper, the training objectives of graduate students majoring in mechanics are analyzed, and the application strategies of a mixed research method in the training of graduate students majoring in mechanics are proposed. An example is given to illustrate the effectiveness of the mixed research method in the training of graduate student in mechanics.

Keywords: Mixed research methods, mechanics, graduate student training