



力学专业研究生计算力学能力培养及其课程体系建设

杨庆生¹⁾ 龙连春 刘赵焱 叶红玲

(北京工业大学机电学院, 北京 100124)

摘要 提出了力学专业研究生的计算力学能力要素, 介绍了培养研究生计算力学能力和相关课程设置的一些新理念和做法. 初步实践表明, 具有高水平计算力学能力的高层次应用型创新人才受到工业技术领域的青睐.

关键词 计算力学, 能力培养, 课程体系, 研究生

中图分类号: O33, TB12, G643.2 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-0879(2012)04-066-04

DOI: 10.6052/1000-0879-12-146

引言

为了适应新的形式, 满足国家经济社会发展对应用型人才需求, 我国高等学校正在开展研究生培养机制改革的试点工作. 北京工业大学从“培养应用型人才为主”的实际情况出发, 根据本校办学目标、办学特色和人才需求情况, 加大应用型人才的培养力度, 探索包括学术型研究生与专业学位研究生分类型培养的具体办法, 区别目标定位, 创新培养模式, 提高各类研究生人才的培养质量. 在充分调研的基础上, 统一认识, 制定和完善了新的学术型和专业学位研究生培养方案.

对于学术型和专业学位硕士研究生除了具备本学科基本知识、能力和素质外, 还应具备工程问题的研究、开发、设计能力, 具备能够解决复杂工程问题的综合能力. 根据研究生培养规律, 在本科知识结构的基础上, 跟踪国民经济发展需求及专业技术领域发展前沿, 强化课程设计和教学要求, 夯实研究生应具备的基础理论和基本能力; 加强案例教学和实践教学, 提高研究生认识、分析和解决问题的能力.

力学专业的研究生培养目标是力学学科和相关学科(机械、土木、车辆、船舶、化机、航空航天、海洋工程、能源工程、材料科学、生命科学等) 培养具有解决理论或实际问题能力的人才, 具有开拓创新的素质, 善于联系实际解决工程问题, 成为各领域中具有发展潜力的科学研究或技术开发能力的优秀创新人才. 本专业主要学习力学、数学基本理论和知识, 受到必要的工程技能训练, 具有应用计算机和现代实验技术手段解决与力学有关的工程问题的基本能力.

1 力学专业特点与能力要素

力学是关于力、运动及其关系的科学, 主要包括力学中的基本问题和方法、动力学与控制、固体力学、流体力学、生物力学、爆炸与冲击动力学等学科领域. 力学基础课程和

力学基础知识是大多数工科专业的必备基础. 同时, 力学学科自身也深入各工程领域, 具有独立解决工程实际问题的能力. 因此, 力学具有基础和技术学科的双重特征.

力学专业不仅十分关注科学技术的发展前沿, 成为推动新学科发展的重要力量, 而且特别注重解决工程实际问题. 例如在固体力学的范畴内, 新材料的发展带来了新的固体力学问题. 这些新的力学问题与传统的连续介质力学问题有很大的不同, 经典的连续、均匀、小变形假设不再成立, 要想找到精确解是不可能的, 唯一的解决手段是计算力学方法. 另一方面, 在经济和社会发展中的重大工程问题中, 例如交通运输、先进装备、化工电子以及航空航天等领域, 工程力学的作用越来越大. 现代工程力学问题追求更加真实的工程环境以及多尺度、多物理的相互影响, 因而提出了大量的计算力学问题. 计算力学是力学学科最活跃的分支之一. 著名科学家钱学森院士^[1]早在20世纪90年代就指出:“今日力学是一门用计算机计算去回答一切宏观的实际科学技术问题, 计算方法非常重要. 另一个辅助手段是巧妙设计的实验.” 计算力学专家钱令希院士^[2]指出:“计算力学有很大的能动作用, 它拓展了设计分析的领域, 成为力学通向工程应用的桥梁; 它极大地增强了力学的手段, 发现了许多未知的现象; 对力学的理论体系发生了深刻的影响. 所有这些清楚地表明, 计算力学已成为工程力学中最活跃的成员之一, 计算力学的发展现仍处在年青阶段, 在下世纪定会取得更大的成就”. 由此可见, 计算力学的概念、方法已经成为处理工程技术问题的主要手段, 也是力学专业研究生必须掌握的基础知识和基本技能^[3].

多年来, 我校在力学专业研究生的培养上, 进行了多方面的探索, 找到了一条培养深受社会欢迎的高素质、高层次人才的正确道路. 根据我校的人才培养定位和力学专业的特点, 力学专业一直重视研究生计算力学能力的培养, 并着重体现在如下几个方面:

(1) 对实际问题进行力学-数学建模的能力. 建立正确的模型是进行计算分析的基础. 对于工程问题, 首先要建立反映问题本质的数学模型. 具体说就是要建立反映问题各量之间关系的微分方程及相应的定解条件, 这是数值计算的出发点. 没有正确完善的数学模型, 数值计算就无法模拟真实的情况. 要求学生针对各种实际问题建立起合理的力学分析模型.

2012-04-09 收到第1稿, 2012-05-30 收到修改稿.

1) 杨庆生, 教授, 国家级力学教学团队带头人, 北京市精品课程负责人, 研究方向为新型材料和结构的力学. E-mail: qsyang@bjut.edu.cn

(2) 进行模型求解和结果分析的能力. 力学模型建立以后, 数学求解是一个关键问题, 只有正确的算法才能得到正确的结果. 因此计算力学研究生要具备算法的发展、设计和应用能力, 并能理解所用算法的原理、实现以及效率、限制和应用条件. 其次, 要掌握运用所学力学知识进行结果分析和讨论的能力, 不能只看到表面上的数字和图表, 而是通过分析和讨论, 挖掘数字和图表后面所隐含的力学原理和实际意义, 学会判断计算结果的正确性、精确度、应用限制与改进方法.

(3) 程序编制的能力. 具有程序的编制能力, 是创新的基本保证, 是实现自己新思想、新方法的唯一途径. 软件是指程序以及开发、使用、维护程序所需的所有文档. 软件架设数学模型和求解结果的桥梁, 是求解方法的体现, 软件开发的能力是现代计算力学实现问题的计算机化的必备条件. 教学中要求学生自主开发小型程序或对较大型程序的结构思路有清晰的分析.

(4) 软件的综合应用与开发能力. 软件的综合应用能力是解决工程问题的一把利器, 也是分析和提高计算的可靠性、有效性和精确性的有利方法. 现代计算力学发展已经逐步专业化、产业化, 功能强大的、成熟的商业软件是解决工程实际问题的有力工具. 在掌握模型建立的基础上, 让学生熟悉一两种商业软件的使用既有利于对前期建模、计算方法、有限元分析等知识的进一步深化, 也为今后解决工程实际问题掌握了有力工具. 教学中要求学生针对具体的、较复杂的工程问题采用成熟软件进行模拟分析, 写出分析报告, 并在课堂讲解接受答辩.

2 计算力学核心课程体系

北京工业大学工程力学学科为北京市重点建设学科, 拥有力学一级学科博士点和力学博士后流动站, 是国家级力学实验教学示范中心, 拥有一支国家级基础力学教学团队, 形成了完善的力学专业高层次人才培养体系.

新的培养方案按照一级学科制定, 以“稳定学制, 拓宽口径, 突出核心, 扩大选修, 提高要求, 融入国际”为原则, 突出培养研究生的创新能力. 按照“培养高层次应用型人才为主”的总目标, 和“在本门学科上掌握坚实的基础理论和系统的专门知识; 具有从事科学研究工作或独立担负专门技术工作的能力”的总要求, 结合力学学科的认知规律、知识结构体系和创新人才培养的特点, 我们在方案中加强了计算力学能力培养和计算力学课程体系的设计. 整个课程体系的设置如图 1 所示. 这些课程的前期预备知识是计算方法、C 语言或 Fortran 语言设计、弹塑性力学和张量分析.

计算力学核心课程体系以计算力学的基本概念、基本方法和基本技能为起点, 以有限元法为课程核心, 兼顾各种特殊的或新兴的计算力学方法, 内容覆盖固体和流体力学的线性与非线性问题、静力与动力问题、流固耦合问题以及各个专题. 课程设置有基础学位课计算力学 (48 学时)、学位必修课程非线性计算力学、计算流体力学和计算结构动力学, 在

这些课程的基础上, 再开设数值模拟技术与软件开发课程, 使学生学到的基础知识上升到软件技术的开发与应用上. 这些课程总计 11 学分, 占硕士研究生应修总学分的 11/26.

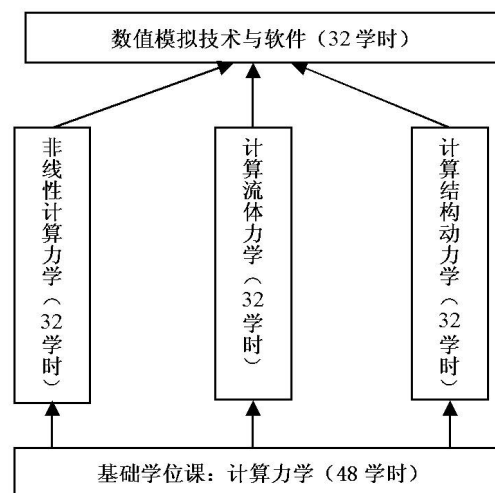


图 1 计算力学核心课程体系及其相互关系

基础学位课计算力学主要讲授计算固体力学的数学基础 (包括变分原理、加权余值法)、主要分析方法 (有限差分法、有限元法、边界元法、加权余值法等)、计算力学的模型、软件设计与编制、计算力学在实际工程中的应用技术等. 介绍计算力学的应用现状和发展趋势. 使学生了解和掌握计算力学在现代工程的设计、力学分析和服役服务中的作用与应用技术, 掌握计算力学的基本原理和基本方法, 会编制和应用弹性力学问题的计算机程序, 能够对工程结构 (杆件、板壳、三维实体) 的静力学问题、动力学问题和场问题进行数值计算.

非线性计算力学课程主要讲述非线性有限元法的基本原理、方法原理和计算机程序的实现过程. 主要内容为材料非线性和几何非线性有限元方程的建立、解法和程序. 上机进行非线性问题的数值计算和分析, 介绍非线性有限元法的发展动态, 掌握非线性计算力学的理论、方法和软件, 掌握材料弹塑性、超弹性、几何非线性等问题的有限元计算方法和计算机程序.

计算流体力学主要讲述求解流体力学问题的数值方法、理论基础和发展前沿. 包括: 流体力学基本方程组、离散化方法 (有限差分法和有限体积法)、流体特征处理模式、求解方法及其工程应用、发展前沿等. 课程强调理论联系实际, 注重工程应用, 通过课堂讲授、程序编制和上机实践, 使学生掌握计算流体力学的基本思想和知识体系, 培养学生应用计算流体力学方法解决实际工程应用问题的能力, 为学习后续课程和从事科学研究和相关专门技术工作打下基础.

计算结构动力学课程主要讲述结构动力分析中最常用的理论及数值方法. 包括: 单自由度、多自由度系统和连续体振动的基本概念、基本方程和计算方法, 讲解运用有限元等

方法进行动力学计算的离散化、结构动态特性与动态响应的计算原理和方法。对于大型动力学结构,掌握子结构、凝聚与缩并等降阶方法。通过各教学环节,培养学生工程数值计算的实际动手能力,为科学研究和解决实际问题奠定扎实的基础。

数值模拟技术与软件课程主要内容包括软件工程基础、软件设计语言简介、软件设计环境、基础数据管理、图形图像实现和界面设计、Matlab 编程、商业软件 Abaqus、Nastran、Ansys、CFX 等软件使用等。要求学生掌握软件开发的基本过程与方法,掌握在现代工程设计、分析中使用的软件设计原理、设计方法、商业化技术及国际流行数值计算软件的特点与作用。要求至少会用一种商业软件进行对固体和流体进行线性与非线性静力、动力分析、场分析、流场分析等,用数值模拟软件解决工程实际问题,能够在商业软件平台上进行程序的二次开发或编写用户子程序。要求应用相关软件解决实际工程问题,写出有较高水平的报告或课程论文。

3 主要教学环节的设计与实施

我校力学专业的研究生主要来自机械、土木或材料等相关专业,本科的力学基础大部分为理论力学和材料力学,经过研究生第一学期的数值方法、弹塑性理论和流体力学的学习,具备了学习计算力学的基础知识。由于研究生所从事的研究课题不同,对他们的计算力学能力的要求也不一样。例如对于偏重于实验力学的研究生,其要求就相对降低一些。因此计算力学的教学和能力要求也是分层次的、多维度的。但是,计算力学基础课程作为专业基础课,是要求所有研究生必须学的。

在各个课程教学中,特别注意重点内容的选择,把主要精力放在计算力学的基本原理、建模和程序实现上,避免过多地陷入具体的算法中,特别是不能把计算力学讲成计算方法或线性代数。参考国内外最先进的计算力学著作,我们自己编著和翻译了各个课程的适用教材^[4-7]。围绕计算力学能力的培养,科学安排课程的重点和主要教学环节。进一步明确并强化了学生利用计算机技能和计算方法解决力学问题能力的培养。

(1) 阅读和调试源程序。要求学生不仅理解计算力学程序的设计流程、主要模块功能、算法实现和调试验证等主要环节的基本原理,而且要求学生具备对于源程序进行修改、增加功能模块和自行编制调试程序的能力。各个课程均准备了计算机源程序。例如,在计算力学课程上我们准备了3个程序,入门级的三角形常应变程序、平面问题的等参元程序和板壳单元程序,所有的学生必须理解和会用前两个程序,而那些以计算力学为主要研究手段的研究方向的研究生,则必须理解和掌握所有的3个程序。在非线性的计算力学课程中,有弹塑性力学有限元和大变形有限元程序两个计算机源程序,研究生可以根据自己的兴趣和后续的论文选题需要进行选择。

(2) 面向工程实际的自主建模。为了培养研究生解决实际工程问题的能力,特别是工程问题的建模能力,我们在上机实习、考试和课外作业中实行自我命题、自我解决、自我判断的能力培养环节。在理解一个计算机程序后,学生要面向实际的工程问题,选择合适的程序和方法,建立正确的分析模型,得到数值结果,并对结果做出合理的解释。在这个过程中,特别强调模型的合理性和对结果的深入分析。工程问题的分析模型可能有多个,鼓励研究生对不同的几何简化、载荷工况和边界约束进行分析比较。通过比较分析,找到合理的模型,积累建模的经验。对于结果的深入分析,会进一步增加对于基本理论的假设、程序的限制、模型的合理性的认识。

(3) 大规模实行课堂讨论课。大家互相交流、互相评议,吸收他人好的经验,提高分析问题的能力。有些自己没有碰到的问题,通过交流,开拓视野,使学生知道如何借鉴和处理所遇到的问题。

(4) 大量阅读最新文献。计算力学已经是各个研究领域的重要手段,几乎在每一个研究领域都有大量的采用计算力学的方法。通过阅读文献,掌握计算力学的发展趋势。

此外,我们在研究生培养中大力实施国际化战略,与国外多所大学建立了学术交流关系,定期邀请国外的计算力学课程教师来校授课,并且在研究生培养方案中预留相应的学时和学分。2000年,我们邀请澳大利亚 Deakin 大学的高级讲师用英语为研究生开设了32学时的计算力学应用技术的选修课程,2011年我们又邀请澳大利亚国立大学的教授用英语开设了计算力学前沿的12学时的系列讲座。国外教师的课程不仅提高了研究生的外语应用能力、而且使研究生体会了国外知名大学的教学方式。国外教师对于教学一丝不苟的精神深受学生的拥戴,教学效果非常好,为我们今后的课堂教学改革提供了一个有价值的参考。

初步的实践表明,绝大多数研究生都是在课程体系的实践中完成第一篇论文的撰写或者素材、框架的准备工作,并且积极参加各类会议的交流学习。如一年一度的北京力学年会上,我校研究生撰写的论文每年都在50篇以上,基本完成了课程体系培训的研究生,都能在会议上宣读一到两篇论文,这样既增加了学习机会和兴趣、有了一定的成就感,又为后续研究和论文撰写工作打下了很好的基础。最近几年的毕业生,多数在航空航天、机械、土木等领域的大型国有高技术研究和开发单位就业,用人单位看中的是我们研究生的高水平计算力学能力和训练。事实上,这些毕业生在工作单位确实担负起了计算机辅助工程的重担。

4 结论

计算力学的知识和能力是力学专业研究生应具备的基本素质。现代科学技术和工程技术的发展为计算力学人才提供了广阔的用武之地和发展前景。通过系列化的课程设置、工程化的培养手段和国际化的教学理念,为国家培养了大批具有高水平计算力学能力的力学和相关专业人才。

参 考 文 献

- 1 钱学森. 我对今日力学的认识. 力学与实践, 1995, 17(4): 1
- 2 钱令希. 谈计算力学. 力学与实践, 1995, 17(4): 2-4
- 3 王希城. 力学与计算技术的互动发展. 见: 力学史与方法论论文集, 武际可, 隋允康主编, 北京: 中国林业出版社, 2003
- 4 杨庆生编著. 现代计算固体力学. 北京: 科学出版社, 2007
- 5 杨庆生, 郑代华编著. 高等计算力学. 北京: 科学出版社, 2009
- 6 John D. Anderson, JR. 著. 吴颂平, 刘赵森译. 计算流体力学基础与应用. 北京: 机械工业出版社, 2007
- 7 龙连春编著. 数值模拟技术与分析软件. 北京: 科学出版社, 2012

(责任编辑: 刘俊丽)

教学方法之内容结构与层次安排

李 敏¹⁾ 陆 磊

(北京航空航天大学航空科学与工程学院, 北京 100191)

摘要 本文论述了教学内容的结构与层次安排的重要性, 并结合材料力学的基本教学内容展示了如何设计内容结构与层次安排.

关键词 教学方法, 材料力学

中图分类号: O341 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-0879(2012)04-069-02

DOI: 10.6052/1000-0879-12-155

1 内容结构与层次安排的重要性

教科书中列出, 在教学大纲规定范畴的内容是课堂教学的基本内容, 但简单、直白地讲叙基本内容在教学效果上是“苍白”与“平面”的. 对于学生而言, 这仅仅又是一个需要去记忆的“考点”. 如何让课堂教学显得色彩丰富且立体感十足, 除了教师在教学表达的基本功上下功夫, 教学内容的结构与层次安排是非常关键的, 其原因可以通过以下的问题体现.

尽管教师为提高教学效果花费了大量的时间与精力, 但同样不可否认学生上课学习也是十分疲惫的. 学生可以不问其中的原因, 但作为教师应该思考其中的道理. 上课无非是老师讲, 学生听; 老师演示, 学生看; 老师提问, 学生回答. 事实上, 与这种模式类似的活动有很多, 例如听幼儿园老师讲故事, 听广播, 评书, 看电视、电影等等. 但少有人提出在这些活动中感觉很累, 都是一方演示, 一方接受, 但感觉决然不同. 究其原因在于教科书的内容仅仅是“结局”, 它是研究者经过大量科学工作获得的经验总结, 是一个最终结论. 尽管教科书上有一些与之相关的推导, 但那只不过是为了证明其成立的公理逻辑体系, 从简洁性而言, 它是优美的 (而教科书也必须这样编写), 但从讲叙与展示的观点上它是残缺的, 而讲叙者的任务就是补充完整这个“故事”, 让它处于合适的位置, 从不同的视角去展开、去描述、去欣赏. 这是教学方法中有关内容结构与层次安排的主导思想, 也是我们常说“讲课”

与“讲书”的重要差异.

2 合理的内容结构与层次安排

如何做到使“故事”完整、立体、丰富, 有一些公认的步骤与流程. 例如, 从背景与问题引入, 建立其物理模型与数学模型, 然后分析推导其基本公式, 得出结论、适用范围以及对问题机理解释等等. 值得注意的一点, 并不是每一个章节或学时都要完整地包含所有的部分, 而是结合讲叙内容的特点, 用合适的模式展开, 最好让它自己“说话”.

在材料力学的基本内容中, 杆件应力分析是主体内容, 以梁的弯曲应力讲叙为例, 多数的教师均在引入弯曲平面假设的基础上直接推导应力公式, 对于学生而言, 必须集中所有的记忆力去接受与理解每一个推导步骤, 这种教学方式本身不能说是错误的, 但从材料力学学科训练的视角, 演示这些公式推导过程是教学的重点吗? 事实上, 这些公式的推导过程在教科书上是完整的, 尽管有些关键点需要教师加以指点, 但仅仅展示公式推导绝不是教师的主要任务. 从该部分内容的特点上看, 利用弯曲平面假设简化分析过程 (简化了什么? 弯曲切应力是否存在, 弯曲线应变线性分布), 利用变形协调 + 物理本构 + 平衡条件解决静不定问题, 有限静不定度与无限静不定度问题在表达上的异同等, 这是该问题讲叙的层次安排, 而公式推导过程是以上层次的载体. 从问题的来源看, 梁的应力分析比较靠前, 适合于从研究历史的时间尺度上引入, 讲叙伽利略的均布应力假设与马略特的单三角与双三角分布假设, 可以展示这部分的研究历程. 这种朴素的思想与假设使学生很容易接受, 因为同学们设想自己如果处于当时的时代也会做出这样的假设, 也极有可能重复同样的错误. 一方面把问题放在时间的尺度上使之有“景深”, 另一方面提升学生的科学研究自信. 从以上问题的时间尺度引入与结构层次安排, 该部分的教学方法就清晰显示出来: 从研究历史引入问题, 由假设条件说明如何简化问题的分析, 由推导过程展示如何利用力学三类方程解决复杂的静不定问

本文于 2012-04-18 收到.

1) 李敏, 男, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为压电驱动器气动弹性主动控制与结构非线性气动弹性分析与控制.

E-mail: limin@buaa.edu.cn