

## 01 高等工程数学

### 一、课程概述

工程领域已成为人类创新活动的前沿,更细微的尺度、更本质的现象、更完备的系统是新型工程技术的重要特点,数学理论及其基础知识成为工程技术创新所不可或缺的工具。同时,工程技术与信息技术的融合也是机械工程领域发展的热潮,智能制造成为人类智能的外延技术,是更符合人类工作习惯和社会生产特征需求的新一代制造技术。另外,在各种与机械工程学科关系密切的应用领域,采用数学工具对客观规律与现象进行建模,从而提供更高效的解决方案与技术路线,也是生产精益化、管理标准化、研发智能化的必由之路。因此,工程数学知识必然是现代化高水平工程技术人员的必备核心技能。

高等工程数学是机械工程学科研究生核心课程,适合高等院校机械工程及相关专业研究生开设。本课程系统讲授在机械工程领域从事学术研究和创新产品开发及生产活动所涉及的主要数学理论知识及应用方法,主要包括数值分析、优化理论、数理统计、泛函分析等几大模块。教学内容可以根据具体需要有所取舍,但至少来完成其中两大模块的学习。教学目标侧重工程数学理论的基础性和全面性,并把握现代科学技术的前沿发展方向,紧密结合社会需求和工程实际,为学生参与具备一定门槛的工程技术研发工作打下必要基础。本课程除讲授基础知识体系,还将重视实践能力尤其是工程计算能力与思维的培养;课程涵盖商用级软件的研发与应用能力,体现数学的工程化思想和工程的数学思维,强调应用背景与兴趣牵引,引导学生从工程问题中发现数学的工具特征,培养学生活用、巧用数学理论的能力,将生硬的符号体系转化为生动的思维过程,培养学生的科研兴趣。

### 二、先修课程

本课程是机械工程学科与近机类专业研究生核心课程,以高等数学、线性代数、计算数学、概率论、C语言等为前导课程,应具备一定的算法分析、数值计算、软件编程、软件应用方面的能力。

### 三、课程目标

通过本课程教学,研究生掌握的知识 and 具备的能力包括:

(1) 了解与工程技术关系密切的数学基础理论,具备对常用工程技术进行数学背景分析和建模的能力;

(2) 对工程数学的主要领域所具备的应用背景有深刻认识,能够对常见工程问题进行数学建模,具备对主要工程领域进行通用数据处理和分析的能力;

(3) 了解现代工程软件的数学基础,掌握通过工程数学软件解决通用工程数学问题的能力,具备工程数学软件的基础开发能力,能够通过商用软件和自行编写软件模块解决工程数学问题;

(4) 了解现代计算与工程技术的耦合及联合应用方式,工程技术的发展对计算、仿真能力及其背后数学运算能力的依赖和需求,计算智能的数学原理。

#### 四、适用对象

机械工程学科及近机类专业博士研究生和硕士研究生。

#### 五、授课方式

借鉴传统数学课程讲授的宝贵经验,为在课堂讲授中充分体现以学生作为教学活动主体的理念,注重学生学习兴趣的培养和课堂思考的及时性、有效性,增强师生互动和教学的启发性、趣味性,以实际工程问题、工程背景、技术发展史等直观、生动的内容为切入点,以解决问题的逻辑顺序和思维规律组织编撰授课内容,使授课内容由浅及深,自然流畅,符合大多数工科学生的认知规律。

注重新媒体技术的应用,以形象化展示工程技术的基本理念和问题求解的思维方法,鼓励学生结合自身研究方向进行深入思考,设置灵活的弹性考核方式启发学生开展课程创新,鼓励学生结合生活经验、研究经历以及学科发展前沿进行大胆思考,揭示工程数学的发展对社会生活的深远影响。密切关注工程技术发展的新趋势,结合最新案例阐述基本原理,使讲授内容具有时代特征和自我维新的生命力。

#### 六、课程内容

##### 第一章 绪论

主要内容:明确课程的性质、学习目的与要求;介绍工程数学知识对工程技术的奠基作用及对工程创新的促进作用;介绍工程数学方法、工程数学软件在国民经济发展中的重要性;介绍工程数学的总体知识体系及其发展过程与趋势;介绍主流的现代工程数学商用软件。

本章重点:了解工程数学对工程技术发展的重要意义;工程数学在工程实践中的重要作用;掌握现代工程技术的发展趋势;了解数字化、智能化技术对工程数学的需求与依赖;主流商用工程数学软件的应用现状与应用范围。

##### 第二章 数值分析

主要内容:阐述工程领域数值分析技术的基础知识,介绍算法复杂性、范数、矩阵的基本概念;讲述线性代数方程组的数值解法;讲述矩阵特征值和特征向量的计算方法;非线性方程(组)的主要求解方法以及迭代法的收敛性;学习插值与逼近的基本概念和样条方法;最小二乘拟合法;数值积分方法和常微分方程(组)的求解方法。

本章重点:矩阵工具的使用和矩阵理论的熟悉;方程组的求解;迭代法及其相关概念与理论的理解;最小二乘在工程中的应用技术。

本章难点:矩阵工具及其工程应用背景的理解与掌握;计算效率的评判标准。

### 第三章 优化理论

主要内容:培养学生优化理论的基础概念和主要思想,掌握优化理论的基本原理和应用方法;对工程问题进行优化数学建模的方法,明确优化数学模型的基本要素;讲授优化理论的基本方法,包括线性优化、无约束优化、约束优化的求解方法;介绍神经网络算法、拓扑优化设计等理论;讲授常用优化软件工具的使用方法。

本章重点:掌握无约束优化的算法;约束优化中最优性条件、拉格朗日对偶等算法及其应用;惩罚函数法的思想及其工程应用。

本章难点:理解优化理论的思想特点,通过优化理论对工程问题进行数学建模的能力。

### 第四章 数理分析

主要内容:总体分布与样本、统计量及其分布、三大抽样分布、充分统计量;参数的点估计的概念与无偏性、矩估计及相合性,最大似然估计、最小方差无偏估计、区间估计;假设检验的基本思想与概念,正态总体参数的假设检验、其他分布参数的假设检验、似然比检验与分布拟合检验、正态性检验、非参数检验;方差分析、一元线性回归。

本章重点:掌握数理统计的基本概念、主要统计量(样本均值和样本方差)、三大抽样分布;掌握点估计的方法和估计量的评选标准;假设检验的基本概念及其应用;掌握方差分析和一元线性回归方法。

本章难点:数理统计的思想方法、样本分布与总体分布的关系;最大似然的思想 and 最大似然估计在数学上的合理性、置信区间的随机性;假设检验的思想;单因子方差分析的思想、回归分析的思想。

### 第五章 泛函分析

主要内容:通过理论、方法及实例讲解,掌握线性算子谱分解、算子半群、分布与 Sobolev 空间、非线性分析初步等主要内容,重点在理解的同时,学会很好地运用这些泛函工具来解决工程实际遇到的技术问题;掌握自伴算子谱分析理论和 Sobolev 空间知识及其工程应用;介绍算子半群及其在线性偏微分方程中的应用;学习泛函分析在非线方程中的应用并介绍变分法相关知识。

本章重点:Sobolev 空间的基本概念;非线性分析基础;变分的概念及应用。

本章难点:可靠性概念、理论与方法的理解与应用;泛函分析的工程背景;非线性分析和有限元、变分、图像处理等应用。

## 七、考核要求

本课程考核可采用考查的形式进行,总评成绩=课堂成绩+课后作业成绩+工程案例分析报告(或论文),考核标准为:

- (1) 课堂成绩(考勤、课堂讨论、课堂作业)占 20%;
- (2) 课后作业成绩(MATLAB 等软件应用)占 30%;
- (3) 工程案例分析报告(或论文)占 50%。

## 八、编写成员名单

赵罡(北京航空航天大学)等

## 02 现代设计理论(含高等工程力学)

### 一、课程概述

在社会经济发展需求的推动下,设计理论随着计算机技术的飞速发展不断推陈出新并逐渐完善,在工程应用与产品开发中的作用越来越重要。现代设计以高等数学为基础,继承了传统设计的精髓,对工程问题进行升华和总结并揭示事物的内在规律和本质。在工程应用方面,以市场产品开发需求为驱动,考虑产品的可靠性和人、机、环境相容性等因素,采用先进设计理论、方法和技术,借助计算机进行分析、计算、评价、决策和信息处理,核心目的是通过设计提高产品的开发效率和质量。现代设计已成为科研人员和工程技术人员必不可少的工具和手段。

现代设计理论属于机械工程学科研究生核心课程,适合机械工程学科与近机类专业研究生开设。本课程介绍现代设计涉及的高等工程力学、数值方法、优化设计、可靠性设计以及当前前沿设计理论。其目标在于系统培养学生现代设计理论基础知识,理解各种现代设计方法思想及求解步骤,提高综合运用现代设计商用软件的能力。结合实践教学环节和必要的基本训练,为学生进行产品设计和创新设计打下基础。本课程开设,应注重现代设计思想与方法多样化论述,启发式培养学生创新思维;应通过理论基础与开发自主软件或与商用软件应用结合,培养学生分析问题和工程应用的能力;应介绍现代设计最新技术,使得学生了解科技前沿并培养学生科研兴趣。

### 二、先修课程

本课程是机械工程学科与近机类专业研究生核心课程,以高等数学、线性代数、概率论、理论力学、材料力学、弹性力学、机械设计、机械原理、机械振动等为前导课程,应具备一定的算法分析、数值计算、软件编程和软件应用方面的能力。

### 三、课程目标

通过本课程教学,研究生掌握的知识和具备的能力包括:

- (1) 了解现代设计技术基础理论,具备解决机械工程问题的逻辑思维能力;
- (2) 了解并掌握开发自主软件或与商用软件应用结合,具备机械工程设计所需的计算分析能力,使得所设计的机械系统能够满足工程实际需求;
- (3) 通过分析机械工程问题的影响因素,学会对机械系统设计方案的可行性进行优化与可靠性设计,提升设计方案的合理性;
- (4) 学习当前前沿设计理论的内涵与原理,了解现代设计理论发展趋势,拓展学生解决工

程问题的思路与能力。

#### 四、适用对象

机械工程学科及近机类专业博士研究生和硕士研究生。

#### 五、授课方式

秉承培养学生创新思维和提升科研兴趣的理念,采用启发式互动教学手段,阐述理论和工程实际问题的内在关系。提倡“理论讲解+习题练习+方法编程+商用软件应用”的教学模式,利用现有商用软件将本课程生动、形象地呈现给学生,帮助学生理解和思考问题,建立学生的创新思维和解决工程问题的能力。

理论、方法等抽象的东西应形象地表达出来,理清各理论公式表达的物理含义,介绍各种现代设计方法提出的初衷及目的,培养学生创新逻辑思维。同时,为了拓展学生的创新思维,结合国内外研究现状,阐述课程部分理论和方法的局限性,展望研究领域的前沿思想和方法,发散学生的创新思维。另外,理论、方法只有与工程实际问题结合,阐述其内在的关系和应用途径,才能更好地帮助学生深入的理解,提高其分析问题的能力与工程应用水平。工程案例的选择必须具有很强的针对性才能达到更好的教学效果,并且复杂的工程问题也要做到抽丝剥茧般地形象地呈现给学生。

#### 六、课程内容

##### 第一章 绪论

主要内容:明确课程的性质、学习目的与要求;介绍现代设计理论与方法在国民经济发展中的重要性;现代设计理论的发展过程与趋势;阐述现代设计理论的特点与基本流程;现代设计商用软件。

本章重点:了解现代设计理论与方法在经济发展中的定位和产品开发中的重要作用;掌握现代设计理论技术特点与发展趋势;了解现代设计商用软件的应用现状与应用基本流程。

##### 第二章 高等工程力学

主要内容:阐述高等工程力学的基础知识,学习力、应力、应变、位移等力学量的概念与表征;引入力学中的场变量,介绍桁架、梁、板和壳以及二维和三维问题的平衡方程、几何方程、物理方程和边界条件;论述弹性力学的能量原理等。

本章重点:推导平衡方程、几何方程和物理方程,理解力、应力、应变和位移等之间的关系;了解能量原理中控制方程的“强”与“弱”形式。

本章难点:平衡方程、几何方程和物理方程在工程力学分析中的物理含义与作用;控制方程“强”与“弱”形式的特点。

##### 第三章 数值方法基础及应用

主要内容:了解有限元、有限差分、有限体积等数值方法的思想、基本理论和解题步骤;理解机械结构空间离散与动力学问题时间离散的概念与原理;介绍数值方法程序开发技术;学会用有限元等数值方法解决机械设计中的实际问题;介绍成熟的商用 CAE 软件的功能及分析步骤;能够运用 CAE 商用软件进行数值模拟分析,具备解决实际工程问题的能力。

本章重点:了解有限元、有限差分、有限体积等数值方法的思想、基本理论和解题步骤;掌握数值方法程序开发技术;能够应用 CAE 商用软件开展机械结构计算与模拟。

本章难点:理解不同数值方法的思想及基本理论。

#### 第四章 优化设计方法及应用

主要内容:培养优化设计的思想,掌握优化设计的基本原理和方法;学会工程问题优化数学建模,明确优化模型的三要素;讲解传统优化设计的主要方法,包括一维搜索方法、无约束优化方法、约束优化方法以及多目标优化方法;介绍蒙特卡罗方法、遗传算法、神经网络算法、拓扑优化设计等理论;应用数学方法和计算机软件,培养解决机械优化设计问题的初步能力。

本章重点:了解机械优化设计的基本概念,机械优化设计的基本思想;结合实例掌握传统与智能优化方法的原理和迭代过程;结合优化设计软件,上机实践进行机械结构优化设计。

本章难点:工程实际问题的优化建模;优化理论的理解及应用。

#### 第五章 机械可靠性设计

主要内容:通过理论、方法及实例讲解,掌握可靠性的概念和原理;掌握机械静强度可靠性分析与设计方法;了解可靠性优化设计方法;机械系统可靠性及可靠性实验方法;学生不仅需掌握可靠性的基本知识,也需强化学生对机械产品可靠性的实际应用能力,以便于在今后的工作中开展机械可靠性方面的实践。

本章重点:了解可靠性的定义和特征量,明确安全系数设计法和可靠性设计法的区别与联系;应力强度干涉理论,可靠度计算的一次二阶矩方法;掌握机械强度的可靠性优化设计;系统可靠性分类与串、并联系统可靠度计算;开展机械结构可靠性实例设计。

本章难点:可靠性概念、理论与方法的理解与应用。

#### 第六章 现代设计理论前沿

主要内容:了解现代设计方法的发展趋势与前沿;掌握几类前沿设计方法的基本理论,包括材料-结构-功能一体化设计、面向低碳节能的绿色设计、基于多学科的仿生设计、面向增材制造的设计、全生命周期设计等;拓展学生创造性思维和创新技法。

本章重点:了解前沿设计理论的内涵与原理,并能与工程实际问题结合拓宽学生的知识面。

本章难点:理解现代设计理论的前沿思想及原理。

### 七、考核要求

本课程考核可采用考查的形式进行,总评成绩=课堂成绩+课后作业成绩+工程实例设计报告,考核标准为:

- (1) 课堂成绩(考勤、课堂讨论、课堂作业)占 20%;
- (2) 课后作业成绩(Ansys、MATLAB 等软件应用)占 30%;
- (3) 工程实例设计报告占 50%。

### 八、编写成员名单

韩旭(河北工业大学)、张义民(沈阳化工大学)、刘钊(同济大学)、雒建斌(清华大学)、谭建荣(浙江大学)

## 03 先进制造理论与技术(含工程材料)

### 一、课程概述

先进制造技术是一个集机械工程、电子科学与技术、光学工程、信息与通信工程、材料科学与工程、生物学、管理科学与工程等学科成果的多学科交叉体系,是制造业不断吸收机械、电子、信息、能源及现代系统管理等方面的成果,并将其综合应用于市场分析、产品设计、制造加工、检测管理、销售服务以及回收的制造全过程,是自然科学和社会科学的有机融合。

先进制造理论与技术属于机械工程学科研究生核心课程,适合机械工程学科与近机类专业研究生开设。本课程介绍先进制造理论与技术涉及的信息科学、纳米科学、材料科学、生命科学、管理科学和制造科学前沿理论。其目标在于系统培养学生先进制造理论与技术基础知识,理解各种先进制造技术及应用的内涵,拓展创新思维,提高综合运用先进制造技术解决实际工程的能力。

### 二、先修课程

本课程是机械工程学科与近机类专业研究生核心课程,以高等数学、线性代数、概率论、理论力学、材料力学、弹性力学、机械原理、机械设计、工程材料、机械振动、自动化控制等为前导课程,应具备一定的力学分析、算法分析、数值计算、软件编程和虚拟设计软件应用方面的能力。

### 三、课程目标

通过本课程教学,应掌握的知识和具备的能力包括:

- (1) 了解先进制造技术基础理论与工程材料的分类和特殊工程材料的加工特点,具备通过先进制造技术解决工程实践问题的能力;
- (2) 具备机械工程技术人员所需的先进工艺技术、先进制造管理技术、分析加工影响因素的能力;
- (3) 了解先进制造技术发展趋势,拓展创新思维,具备推进制造业智能转型的能力。

### 四、适用对象

机械工程学科及近机类专业博士研究生和硕士研究生。

### 五、授课方式

采用启发式互动与案例式教学手段,提倡“理论讲解+案例教学+工程实践与应用”的教学模式,利用现有多媒体与虚拟教学将本课程生动、形象地呈现给学生,通过工程实际问题的剖析帮助学生深入的理解先进制造技术的机理,提高学生的创新思维和解决机械制造加工中工程问题的能力。

## 六、课程内容

### 第一章 先进制造技术概论

主要内容:简述先进制造理论与技术在国民经济发展中的重要性,先进制造理论与技术的发展过程与趋势;介绍先进制造理论与技术的特点与内涵;讲解先进制造技术的工程应用。

本章重点:先进制造理论与技术在国民经济发展中的定位和在产品开发与制造中的重要作用;新一代智能制造的技术机理——“人-信息-物理系统”的特点。

### 第二章 先进制造系统的基础理论

主要内容:阐述先进制造技术的基本构成与基础知识,多学科领域相交叉发展的研究成果促进先进制造技术发展的过程。介绍先进制造系统建模方法,人工智能工具、计算智能方法、制造过程的三维数值模拟和物理模拟、计算机辅助制造技术、计算机辅助分析技术。

本章重点:制造信息学、纳米制造科学、仿生制造学、制造管理科学和可重构制造系统的基本构成,先进制造系统建模方法与计算机辅助分析技术。

本章难点:先进制造系统功能模型、先进制造系统性能模型。

### 第三章 先进装备技术

主要内容:了解精密与超精密加工技术、虚拟制造技术、智能制造技术、增材制造、仿生制造的概念,掌握利用上述技术解决机械加工实际工程问题的方法。

本章重点:精密与超精密加工技术、虚拟制造技术、智能制造技术、生物 3D 打印、金属增材制造、仿生制造工程在实际中的应用。

本章难点:精密与超精密加工技术、高速与超高速加工技术、特种加工技术、微细加工技术解决工程实际问题的方法。

### 第四章 先进工艺技术

主要内容:介绍先进制造工艺的基本原理和方法、精密和超精密加工的机理、微细加工的理论基础、纳米制造的概念、激光加工的原理和特点,讲解精密和超精密加工、微细加工、激光加工、特种加工工艺技术。

本章重点:精密和超精密加工、微细加工、典型激光加工方法;电火花加工、电化学加工、超声波加工、水喷射加工、电子束和离子束加工工艺。

本章难点:典型精密和超精密加工、微细加工、激光加工的机理与工艺。

### 第五章 先进制造智能装备

主要内容:通过实例讲解智能工厂、数字化生产的概念和原理;讲解工业机器人、机加工自动生产线、自动化立体仓库的基本知识,提高学生对智能装备实际应用能力。

本章重点:了解智能工厂、数字化生产、数控机床及加工中心、工业机器人的概念,智能工厂、数字化生产的区别与联系;掌握智能工厂实例设计流程。

本章难点:智能工厂、数字化生产、数控机床及加工中心的理解与应用。

### 第六章 先进制造管理技术

主要内容:了解先进制造管理技术的发展趋势与前沿;介绍计算机集成制造技术、制造资源计划技术、企业资源计划技术、制造执行系统技术、全面质量管理技术的基本理论;介绍 CIMS 应用工程典型案例、全面质量管理的应用实例。



本章重点:先进制造管理技术发展的内涵,精益生产、敏捷制造、柔性制造系统等工程实际案例。

本章难点:计算机集成制造技术、制造资源计划技术、企业资源计划技术、制造执行系统技术、全面质量管理技术的应用。

### 第七章 数字化与智能制造

主要内容:介绍数字化与智能制造的定义,数字化与智能制造技术的主要内容与内涵、数字化与智能制造的实现模式,通过数字化与智能制造的相关案例理解其意义与内涵,让学生了解数字化与智能制造的实现模式。

本章重点:了解数字化与智能制造的内涵与原理,设计数字化、制造装备数字化、生产过程数字化、管理数字化、企业数字化的案例,掌握数字化与智能制造的实现模式。

本章难点:设计数字化、制造装备数字化、生产过程数字化、管理数字化、企业数字化的作用及实施方法。

### 第八章 工程材料与加工工艺

主要内容:介绍工程材料的分类方法与性能,学习材料制备/零件制造一体化与加工新技术,通过工程材料的学习,让学生了解先进制造技术与工程材料的内在联系。

本章重点:材料制备/零件制造一体化与加工新技术,有机合成材料、复合材料等特殊工程材料加工方法。

本章难点:复合材料制备/零件制造一体化与加工新技术。

## 七、考核要求

本课程考核可采用考查的形式进行,总评成绩=课堂成绩+课后作业成绩+工程实例设计报告,考核标准为:

- (1) 课堂成绩(考勤、课堂讨论、课堂作业)占 20%;
- (2) 课后作业成绩(案例分析与实践)占 30%;
- (3) 工程实例设计报告占 50%。

## 八、编写成员名单

邵新宇(华中科技大学)、李培根(华中科技大学)、朱获(南京航空航天大学)、许剑锋(华中科技大学)、杨家军(华中科技大学)