

飞行仿真技术

课程编号：03113109

课程中文名称：飞行仿真技术

课程英文名称：Flight Simulation Technology

开课学期：秋季

学分/学时：3.0/48

先修课程：理论力学，自动控制原理

建议后续课程：系统建模与仿真技术

适用专业/开课对象：控制科学与工程/硕士研究生一年级

团队负责人：王江云 执笔人：王江云、李妮 核准院长：王磊

一、课程的性质、目的和任务

课程内容涵盖构成飞行仿真的支撑技术——建模原理、数学算法、仿真方法等，以及两个重要的研究对象——飞机飞行模拟器、导弹虚拟样机的组成、建模与仿真实现方法。课程内容丰富，注重理论联系实际，问题分析透彻，针对具体问题给出参考实例，有助于培养学生运用所学建模与仿真方法处理和解决实际复杂工程问题。通过该课程的学习，可以使学生了解和掌握飞行建模与仿真的基本理论、基本方法和基本工具，能够对复杂的航空航天飞行器系统进行分析和设计，有能力从事航空航天飞行器的建模与仿真研发工作。

二、课程内容、基本要求及学时分配

飞行仿真技术课程内容包括飞行仿真的发展历程、飞行器建模原理、飞行仿真系统类型及特点、飞行动力学、飞行环境仿真、飞行控制系统仿真、导航系统仿真、飞行模拟器组成系统（飞行管理系统仿真、飞行仪表显示、动感模拟系统、声音模拟系统、操纵负荷系统、教员台系统）和飞行仿真支撑环境、飞行仿真模型 VV&A 技术等关键技术。

各章节具体内容、要求和学时分配如下：

第一章 绪论（4 学时）

1.1 本课程特点

1.2 飞行仿真技术体系

1.3 飞行仿真技术发展过程

1.4 国内外先进飞行仿真技术发展现状

1.5 飞行仿真技术应用案例

基本要求：理解飞行仿真技术课程的特点，工程应用背景较强，涉及多学科；理解飞行仿真的技术体系，以及研究对象特点；了解飞行仿真技术的发展过程以及应用现状；掌握飞行仿真技术在复杂系统研发中的作用。

第二章 建模仿真概念及飞行仿真系统分析（6 学时）

2.1 模型基本概念

2.2 工程技术人员建模过程

2.3 飞行实时仿真系统组成及特点

2.4 飞行实时仿真系统分类及方法

基本要求：理解模型、仿真的基本概念以及建模过程；理解实时仿真的概念、定义和限制因素；掌握工程技术人员建模及仿真步骤；掌握飞行实时仿真系统的组成、分类，掌握数学仿真、软件在回路仿真、硬件在回路仿真、人在回路仿真、铁鸟仿真、飞行中仿真以及卫星控制系统全物理仿真的特点和方法；掌握构成飞行仿真系统的各模块的功能以及它们之间信息交互关系。

第三章 飞行动力学建模（8 学时）

3.1 飞行动力学特点

3.2 气动力和气动力矩

3.3 坐标系和坐标变换

3.4 四元数法

3.5 运动方程

3.6 动力系统建模

3.7 起落装置建模

3.8 飞行仿真模型

基本要求：深刻理解飞行器所处的大气和风场环境，和由此产生气动力、气动力矩的原因及基本计算方法；理解基元旋转矩阵和一般坐标系变换的原理；掌握飞行仿真中常用的坐标系的定义和飞行参数定义方法；理解四元数的定义以及用四元数描述的运动学微分方程；掌握六自由度飞行运动方程，以及转化为飞行仿真模型的方法；理解推进系统、气动系统建模原理与方法。

第四章 飞行环境仿真（6 学时）

4.1 综合自然环境表示与交换规范

4.2 大气环境建模方法

4.3 地形环境建模方法

4.4 海洋环境建模方法

4.5 大气对飞行器运动影响的环境效应

4.6 大气与传感器探测影响的环境效应

4.7 目标红外成像建模与仿真

基本要求：理解综合自然环境表示与交换规范的组成、内容以及相互关系；掌握常见的大气环境、地形环境、海洋环境的建模方法；掌握大气对飞行器运动、传感器探测的影响机理及计算方法；理解红外成像建模原理及仿真方法。

第五章 飞行导航系统仿真（2 学时）

5.1 导航原理

5.2 导航计算

5.3 导航参数

5.4 无线电导航系统仿真

5.5 惯性导航设备及仿真

基本要求：深入理解导航原理、导航参数以及导航计算方法；掌握两类常见的导航系统（无线电导航系统、惯性导航系统）仿真方法。

第六章 飞行控制系统仿真（2 学时）

6.1 飞行控制系统组成及功能

6.2 飞行控制系统工作原理及飞行模态

6.3 飞行控制系统控制原理分析仿真

6.4 飞行控制系统仿真软件

基本要求：理解飞行控制系统的组成、功能；熟练掌握飞行控制系统的三种飞行模态（俯仰方式、横滚方式、自动油门方式）；深入理解飞行控制系统涉及的纵向通道、横向通道、自动油门、比较器、高度报警、配平系统的控制原理。

第七章 飞行模拟器系统（10 学时）

7.1 飞行仪表显示系统仿真

7.2 飞行管理系统仿真

7.3 动感系统仿真

7.4 操纵负荷系统仿真

7.5 视景及音响系统

7.6 教员控制台

7.7 飞行模拟器性能评估

基本要求：理解飞行模拟器特有的飞行仪表显示系统、飞行管理系统、动感系统、操纵负荷系统、视景及音响系统、教员台系统在飞行模拟器中的作用，以及这些分系统的工作原理和仿真方法；掌握这些分系统和飞行动力学系统、飞行控制系统、飞行导航系统的相互关系；理解国际和我国的飞行模拟器标准，对飞行模拟器进行性能检测和评估的主观测试、定量测试方法；掌握开发飞行模拟器自测试软件的工具。

第八章 飞行仿真模型 VV&A 技术（2 学时）

基本要求：深入理解模型校核、验证和确认（VV&A）的基本概念、作用；掌握 VV&A 的定性和定量方法。

第九章 飞行仿真支撑环境技术（6 学时）

9.1 飞行仿真模型组件及模型组装技术

9.2 飞行仿真模型库/数据库管理技术

9.3 基于实时仿真环境的数据交互

9.4 基于飞行仿真支撑环境的导弹虚拟样机系统

基本要求：深入理解飞行仿真模型组件的概念，以及模型封装技术；深入理解模型库、数据库的组成关系以及在飞行仿真中的应用，飞行仿真中大量数据和模型的存储方式、管理方式；掌握保障实时仿真环境正确运行的数据交互技术。

第十章 飞行仿真技术展望（2 学时）

基本要求：了解飞行仿真技术的发展前景，人工智能、机器学习、深度学习、智能优化设计、云仿真、大数据等技术在飞行仿真中的应用。

三、教学方法

课堂讲授、讨论结合参考文献阅读。引入案例式和探究式教学方法，以某飞行器为案例引导学生深入掌握飞行仿真建模方法；以课堂讨论方式，探讨飞行仿真前沿技术及其应用。

四、课内外教学环节及基本要求

为了强化本课程理论结合实际的特点，开设 1~2 次（2~4 学时）专题讨论课，引导学生将所学的建模理论和仿真方法应用于常见的航空航天器仿真实践中；课外指定一定数量的关于飞行仿真前沿学术论文，要求学生阅读理解其中的主要内容，鼓励学生基于所学理论和知识对其中的结果进行验证。

五、考核方式及成绩评定

本课程成绩由平时成绩和期末考试组合而成，采用百分计分制。各部分所占比例如下：

平时成绩占 40%，主要考查各章知识点的理解程度、学习态度和自主学习能力，课堂讨论时的沟通和表达能力。具体包括：自主学习能力、表达能力等。

期末成绩占 60%，采用开卷考试的考核方式，题型为分析题、问答题、设计题等。

六、教材和参考资料

教材：

[1] 王行仁等，飞行实时仿真系统及技术[M]，北京：北京航空航天大学出版社，1997 年。

参考材料：

[1] 王行仁等，飞行控制与飞行仿真[M]，北京：国防工业出版社，2019 年。