

# 现代飞行控制系统

课程编号：03112305

课程中文名称：现代飞行控制系统

课程英文名称：Modern Flight Control Systems

开课学期：春季

学分/学时：3/48

先修课程：理论力学，自动控制原理，现代控制理论，计算机控制系统

建议后续课程：飞行控制系统设计与综合分析

适用专业/开课对象：控制科学与工程学科 硕士/博士研究生

团队负责人：周锐 执笔人：李卫琪、张晶 核准院长：王磊

---

## 一、课程的性质、目的和任务

课程的性质和任务：现代飞行控制系统”针对在大气层内飞行的飞行器的姿态稳定和飞行轨迹控制问题，通过基本气动力分析、经典与现代设计方法应用、飞机系统分析与评估方法介绍、各种气流与风的描述与影响等方面内容，使学生掌握大气层内飞行器的动力学特性、姿态稳定与航迹控制的基本概念与现代控制理论设计方法，使学生初步了解飞行控制系统的设计要求与评估方法，并对于近年来飞行控制技术与飞行控制系统的最新发展有所了解。

教学目标：本课程的教学目的是，在具备理论力学、自动控制原理和计算机控制系统实现技术的基本概念的基础上，重点了解以下内容：

- 1) 飞行力学初步知识与飞机飞行动力学建模原理，非线性模型与线性模型，线性飞机的基本特性；
- 2) 经典飞行控制系统与现代飞行控制系统的构成原理、设计方法和评估方法。具体包括：
  - (1) 电传操纵系统的构成原理和设计方法；
  - (2) 战斗机电传操纵系统的评估方法；
  - (3) 飞机的内环增稳控制、姿态控制与轨迹控制概念与控制系统设计方法；
- 3) 大气紊流与突风、切变风模型及其对飞机的影响；
- 4) 具有不同主动控制功能的系统及其控制技术；
- 5) 综合飞行控制系统的构成与基本概念；
- 6) 新型飞行控制系统结构与余度可靠性控制技术。

通过本课程学习，使学生具备对现代飞行器建模与特性分析、飞行控制系统与控制技术的初步知识和基本概念，为今后参与飞行控制系统设计研究和研制开发打下基础。通过综合作业和小型实验，使学生初步掌握飞控系统建模、分析与设计的基本方法和验证方法，初步具备完成一个电传增稳系统设计分析的能力。

## 二、课程内容、基本要求及学时分配

本课程包括 24 次授课，共计 48 学时，讲授内容及学时安排具体如下：

### 绪论（2 学时）

介绍飞行控制的基本概念、现代飞行控制系统的基本结构、飞行控制系统发展状况、新型飞行器与飞行控制技术及学习的目的意义，使学生对飞行控制系统的基本概念与发展状况有初步的了解，对本课程将要学习的内容、要求和掌握的基础知识有所了解。

### 第一章 飞机数学模型（14 学时，每节 2 学时）

1.1 飞行动力学——空气动力学基本知识，坐标系，飞机的运动参数，操纵机构，空气动力学系数等（2 学时）；

1.2 纵向气动力和气动力矩——升力、阻力、纵向力矩（2 学时）；

1.3 横侧向气动力和气动力矩——侧力、滚转力矩、偏航力矩、铰链力矩（2 学时）；

1.4 飞机的运动方程——飞机的数学模型、非线性方程与线性化（2 学时）；

1.5 飞机的纵向运动——纵向运动方程与线性化、纵向运动的典型模态、模态的概念与传递函数、长短周期运动分析、定速稳定性与定载稳定性、油门杆偏转的动力学响应（2 学时）；

1.6 飞机的横侧向运动——横侧向运动方程与线性化、横侧向运动的典型模态与传递函数、3 种模态的近似传递函数、气动导数变化的影响（2 学时），留综合习题 1（飞机纵侧向典型模态分析）；

1.7 飞控系统的传感器与执行机构——介绍飞控系统所用的传感器，包括速率陀螺、角度陀螺、高度、速度传感器、攻角与加速度传感器等；执行机构与舵回路、助力器等基本结构（2 学时）。

能力培养：掌握和了解飞行力学初步知识、飞行原理、飞行器动力学建模方法与过程、飞机运动方程与纵侧向动力学分析、飞机纵横向基本特性与模态、飞机操纵的基本概念与操纵系统和飞控系统主要组成、传感器与执行机构的基本原理与构成。

### 第二章 飞机飞行性能（2 学时）

内容：飞行性能——推力特性、高度特性、速度与燃油、盘旋飞行特性等。

### 第三章 飞机飞行品质（4 学时，每节 2 学时）

3.1 飞行品质介绍 1——电传操纵系统飞行品质要求、军机飞行品质规范、民机世行要求初步概念、纵向与横航向飞行品质基本要求、纵向军标等效拟配方法与指标等；

3.2 飞行品质介绍 2——电传操纵系统纵向飞行品质、横航向飞行品质、大迎角非线性飞行品质、敏捷性概念与评估方法、试飞验证等。

能力培养：了解飞机的基本飞行状态、飞行性能要求与飞行品质要求，了解飞行品质与操纵品质评估的基本概念与要求，了解电传系统飞行品质、操纵品质的评估方法。

### 第四章 飞机电传操纵系统分析与设计（8 学时，每节 2 学时）

4.1 电传飞控系统综述——电传操纵系统概念、要求、发展历史、一个典型电传飞控系统纵向与横航向结构图与控制功能分析；

4.2 电传飞控系统设计方法——飞控系统内回路、姿态稳定回路与航线控制回路介绍、内回路控制律分析、阻尼器、增稳控制与控制增稳控制律设计方法；

4.3 电传飞控系统设计——飞控系统现代控制方法应用介绍、最优控制方法介绍、控制增稳控制律设计与应用，留综合习题 2（飞机纵向运动的最优设计）；

4.4 非线性系统设计——介绍非线性方程与非线性设计方法，大迎角控制模态与控制律介绍，电传飞控系统的余度系统结构，多模态控制律切换方法。介绍空客和波音电传飞机的基本结构和发展。

能力培养：了解电传飞行控制系统的发展状况与基本结构，通过 1-2 个典型实际电传系统分析；了解和掌握飞控系统基本设计概念与方法，学会和掌握一种利用最优控制理论的控制增稳设计方法。

### 第五章 主动控制技术（6 学时，每节 2 学时）

5.1 主动控制概念与发展概况——基本术语与发展概况介绍、RSS 分析、边界控制；

5.2 大气扰动分析——大气扰动模型、扰动影响、阵风减缓系统介绍与设计实例；

5.3 直接力控制——基本概念、几种基本模式、纵向解耦控制律、机动载荷控制与颤振抑制（仅介绍基本概念）。

能力培养：了解主动控制放宽静稳定性的概念、风模型及风的扰动对飞行的影响、阵风减缓概念与方法、直接力控制概念与初步设计方法、军机机动载荷控制欲大飞机机翼载荷控制概念与设计方法等。

### 第六章 飞机姿态与航迹自动控制系统（4 学时，每节 2 学时）

6.1 飞机姿态控制——3 通道姿态控制原理与控制系统，设计方法与设计举例、自动协调转弯、

高度保持、速度保持等控制律介绍；

6.2 起飞着陆控制——VOR 保持、自动着陆系统、下滑坡度控制、拉平控制、侧向波束控制与抗侧风着陆控制等。

能力培养：掌握飞机三通道姿态控制方法、几种基本航迹控制设计方法和起飞着陆控制系统设计方法，了解在风干扰环境下精确着陆控制的基本概念与方法。

#### 第七章 飞控系统验证与确认（2 学时）

内容：飞行控制系统及控制的验证与确认相关技术介绍。

能力培养：了解现代数字电传飞控系统评估与确认需求及发展、飞控系统试验需求、试验内容、试验计划、工作流程，增加学生对飞控系统工程实际的了解，对可能参与的飞行控制试验相关工作建立基本概念。

#### 第八章 综合飞行控制系统概述（4 学时）

内容：介绍飞行控制与综合控制技术的最新进展，包括综合飞行/推进控制、主动重心控制在内的典型综合控制技术，概要介绍飞行管理系统结构与功能等。

能力培养：了解现代新型战斗机的飞行控制与推力控制、飞行控制与火力（武器）控制的基本概念和发展状况、最新技术及其对飞行控制、提高战斗机的攻击能力的改进，使学生增长这方面的知识，开阔对于飞行控制的认识。

#### 习题课（2 学时）

加强学生对所学过的知识的复习与认识，尤其是习题课较为重要，是使学生深入实践掌握基本知识和方法的有效途径。通过习题课对一个综合习题的分析可以获得更为深入的学习效果。

### 三、教学方法

本课程授课对象为硕士研究生，因此教学方法采用以教师为主导的启发式讲授教学法，重点讲授物理概念和基础知识，同时引入课堂研讨的方式充分调动学生的参与度和积极性。通过课堂讲授和研讨并举的方式强化专业基础知识，培养学生主动思考的能力。

### 四、课内外教学环节及基本要求

本课程以课堂讲授为主。

全课布置多个大作业，全部在课外完成。完成作业的过程中，学生将使用软件工具进行对飞机特性进行分析，设计飞行控制律并仿真验证。加深学生对本课程已学内容的了解；同时可以培养学生更深层次地了解飞行控制原理与设计概念。

### 五、考核方式及成绩评定

采取平时成绩+闭卷笔试相结合的综合考核方式给出最终百分制成绩。其中平时成绩（四次综合作业）占 40 分，期末闭卷笔试占 60 分。

## 六、教材和参考资料

- [1] 文传源主编，现代飞行控制系统，北航出版社，2004 年 12 月。
- [2] 张明廉主编，飞行控制系统，航空工业出版社，1994 年 7 月。
- [3] 鲁道夫布罗克豪斯著，金长江译，飞行控制，国防工业出版社，1999 年 9 月。
- [4] Flight Control Design - Best Practices, RTO Technical Report 29, 2000.
- [5] M. Cook, Flight Dynamics Principles, Second Edition: A Linear Systems approach to Aircraft Stability and Control. Butterworth-Heinemann, 2007.