

第二批国家级一流本科课程申报书

(虚拟仿真实验教学课程)

课程名称： 舰载机着舰纵向飞行控制律设计

虚拟仿真实验

专业类代码： 自动化类 0808

负责人： 江驹

联系电话： 025-84892300

申报学校： 南京航空航天大学

填表日期： 2021年6月9日

推荐单位： 工业和信息化部

中华人民共和国教育部制

二〇二一年四月

填报说明

1.专业类代码指《普通高等学校本科专业目录（2020）》中的专业类代码（四位数字）。

2.文中○为单选；□可多选。

3.团队主要成员一般为近5年内讲授该课程教师。

4.文本中的中外文名词第一次出现时，要写清全称和缩写，再次出现时可以使用缩写。

5.具有防伪标识的申报书及申报材料由推荐单位打印留存备查，国家级评审以网络提交的电子版为准。

6.涉密课程或不能公开个人信息的涉密人员不得参与申报。

1. 基本情况

实验名称	舰载机着舰纵向飞行控制律设计虚拟仿真实验	是否曾被推荐	<input type="radio"/> 是 <input checked="" type="radio"/> 否
实验所属课程 (可填多个)	飞行控制系统 舰载机着舰引导与控制		
性质	<input type="radio"/> 独立实验课 <input checked="" type="radio"/> 课程实验		
实验对应专业	自动化, 探测、制导与控制		
实验类型	<input type="radio"/> 基础练习型 <input type="radio"/> 综合设计型 <input checked="" type="radio"/> 研究探索型 <input type="radio"/> 其他		
虚拟仿真必要性	<input checked="" type="checkbox"/> 高危或极端环境 <input checked="" type="checkbox"/> 高成本、高消耗 <input checked="" type="checkbox"/> 不可逆操作 <input type="checkbox"/> 大型综合训练		
实验语言	<input checked="" type="radio"/> 中文 <input type="radio"/> 中文+外文字幕(语种) <input type="radio"/> 外文(语种)		
实验已开设期次	共 2 次: 1. 2019 年 9 月、67 人 2. 2020 年 4 月、65 人		
有效链接网址	http://virtualsim.nuaa.edu.cn/exp/14.html		

2. 教学服务团队情况

2-1 团队主要成员(含负责人, 总人数限 5 人以内)								
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	手机号码	电子邮箱	承担任务
1	江驹	1963.2	南京航空航天大学	院长	教授	13951834108	jiangju@nuaa.edu.cn	教学项目总策划/在线教学服务
2	王新华	1977.10	南京航空航天大学		副教授	13914734343	xhwang@nuaa.edu.cn	着舰引导技术实验设计/在线教学服务
3	杨姗姗	1983.9	南京航空航天大学		实验师	13851943520	shanshankity@nuaa.edu.cn	着舰认知实验课程设计/在线教学服务
4	夏静萍	1983.10	南京航空航天大学		实验师	13776683935	xiajingping@nuaa.edu.cn	虚拟实验考核环节设计/在线教学服务
5	张绍杰	1978.10	南京航空航天大学	系副主任	副教授	13901596972	zhangsj@nuaa.edu.cn	着舰控制律实验设计/在线教学服务

2-2 团队其他成员						
序号	姓名	出生年月	单位	职务	职称	承担任务
1	盛守照	1977.10	南京航空航天大学	系实验室主任	教授	自动飞行控制律实验设计/在线教学服务
2	甄子洋	1981.1	南京航空航天大学	系副主任	教授	雷达引导技术实验设计/在线教学服务
3	袁锁中	1971.1	南京航空航天大学		副教授	人工助降实验设计/在线教学服务
4	唐超颖	1979.5	南京航空航天大学	系副主任	副教授	仪表着舰引导实验设计
5	刘剑慰	1976.3	南京航空航天大学	系党支部书记	副教授	增稳控制律实验设计
6	曹栋	1965.5	海军航空大学	参谋长	教授	着舰控制认知
7	张力	1980.7	海军航空大学		副教授	着舰人机界面设计/在线教学服务
8	张志冰	1975.6	沈阳飞机设计研究所	副所长	研究员	着舰控制认知
9	王志刚	1976.3	沈阳飞机设计研究所	飞控部部长	研究员	着舰控制系统架构设计/在线教学服务
10	刘海港	1976.8	沈阳飞机设计研究所	航电部书记	研究员	着舰航电系统架构设计/在线教学服务
11	郑馨语	1992.3	南京恒点信息技术有限公司	策划部主管		项目策划/技术支持
12	伍志明	1996.11	南京恒点信息技术有限公司	U3D 研发工程师		软件设计/技术支持
13	赵大力	1997.4	南京恒点信息技术有限公司	U3D 场景工程师		软件设计/技术支持
14	项洁	1996.10	南京恒点信息技术有限公司	U3D 场景工程师		软件设计/技术支持
团队总人数：19 人 其中高校人员数量：12 人 企业人员数量：7 人						

2-3 团队主要成员教学情况（限 500 字以内）

（近 5 年来承担该实验教学任务情况，以及负责人开展教学研究、学术研究、获得教学奖励的情况）

1. 近 5 年承担该实验教学任务情况

团队成员完成了线下实验教学 6000 余人时数，自 2019 年虚拟仿真实验课程上线后，已经完成了 3000 余人时数的线上虚拟仿真实验教学任务，同时还为西北工业大学、沈阳飞机设计研究所等提供了教学服务。

2. 负责人开展教学研究、学术研究、教学奖励情况

在江驹教授带领下，团队成员开展了舰载机、无人机精确引导与控制技术研究，承担国家自然科学基金、装备预研等重大项目 50 余项，获得国防科学进步奖二等奖 2 项，三等奖 3 项，发表 SCI 检索论文 50 余篇，出版教材专著 8 部，承担省部级教改项目 10 余项，省部级以上教学成果奖 5 项。主要教改项目和教学奖励如下：

1) 新工科人才培养实践创新平台建设的探索与实践，教育部第二批新工科研究与实践项目，2020

2) 多学科交叉复合的航空航天特色新兴工科专业建设探索与实践，教育部第一批新工科研究与实践项目，2018

3) 需求引领，学科协同，跨界融合—航空航天领域研究生培养模式创新与实践，国家级教学成果二等奖，2018

4) 优化课程体系，创新实践模式—面向航空航天工程的控制类课程改革与实践，江苏省教学成果一等奖，2017

注：必要的技术支持人员可作为团队主要成员；“承担任务”中除填写任务分工内容外，请说明属于在线教学服务人员还是技术支持人员。

3. 实验描述

3-1 实验简介（实验的必要性及实用性，教学设计的合理性，实验系统的先进性）

舰载机着舰纵向飞行控制律设计虚拟仿真实验主要面向自动化和探测、制导与控制专业主干核心课“飞行控制系统”以及面向全校各工科专业的新生研讨课“舰载机着舰引导与控制”开设，也是研究生专业课“现代飞行控制系统”、“飞行综合控制系统”等课程实验的核心内容，同时还可为相关领域的创新创业实践活动提供平台支撑。

由图 1 可知，飞行控制系统课程总学时为 48 学时，课程实验占 10 学时，其中线下实际实验（如图 2 所示）4 学时。虚拟仿真实验课程 6 学时，包括舰载机着舰纵向飞行控制律设计、舰载机着舰侧向飞行控制律设计（在建中）以及舰载机着舰综合仿真优化等内容。另外为了配合对外共享，还建立了舰载机认知模块作为线上自学环节，不占实验课时。本次申报实验课程以纵向着舰姿态、纵向轨迹控制律设计及着舰综合仿真优化为主，总计 4 学时。同时该虚拟仿真实验还作为舰载机着舰引导与控制新生研讨课的配套实验，理论研讨与实践仿真相互印证，增强课程的教学效果。

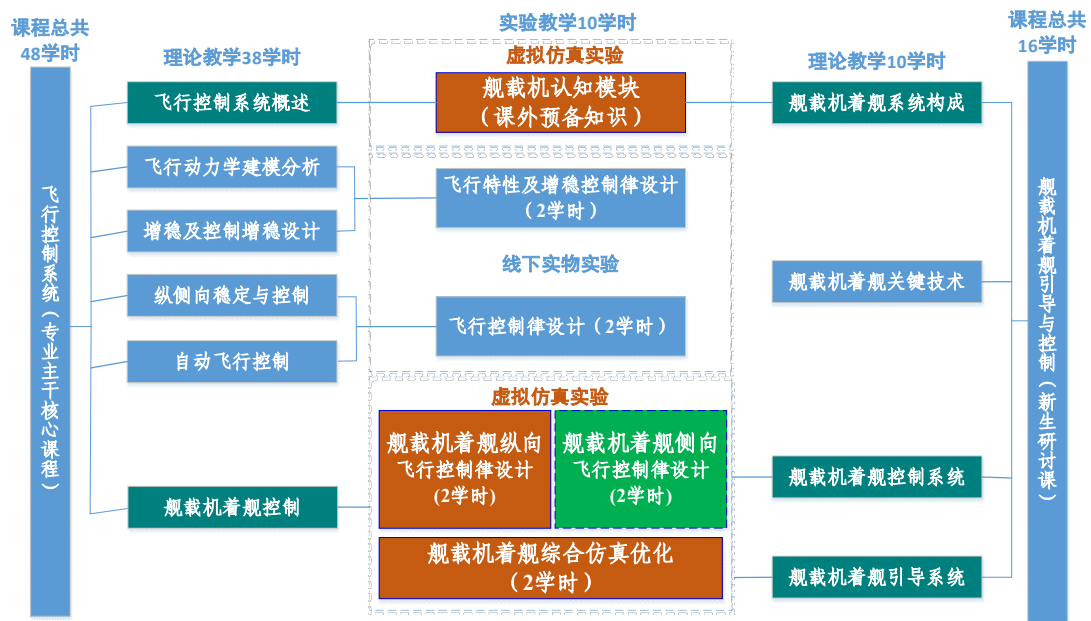


图 1 虚拟仿真实验课程内容框架

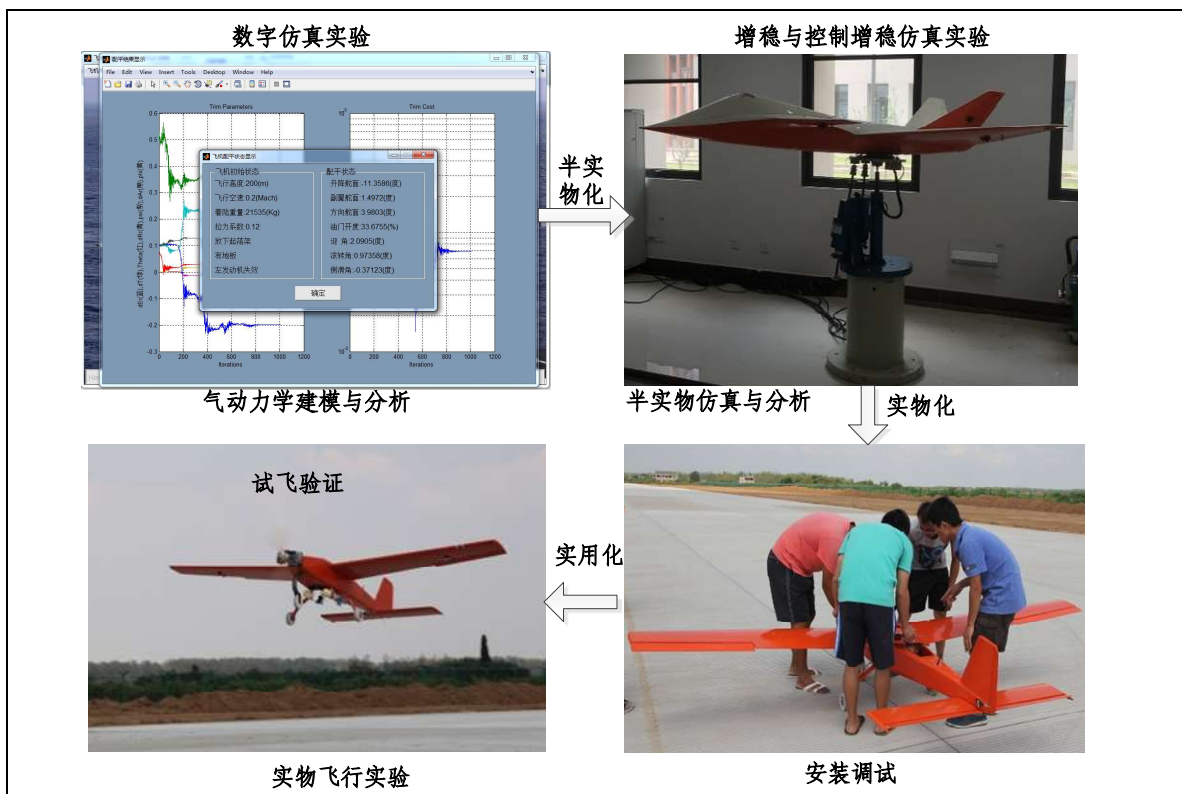


图 2 线下实际课程实验项目

1、虚拟实验课程的必要性

(1) 航母舰载机是国家战略，专门人才培养是工业部门的刚性需求

航母舰载机是国家重大发展战略之一，是增强国家国防综合实力、推行深海防御战略和威慑敌对势力的有效手段，也是**高难度、高风险、高消耗**的多学科综合化系统工程，尤其是舰载机着舰更是被誉为“刀尖上的舞蹈”，是一个国家科学综合技术实力的集中体现。进而，为相关科研单位培养舰载机卓越工程技术人才成为航空院校面临的严峻难题。

为了进行舰载机着舰引导与控制关键技术研究人才培养，各研究机构**花费巨资**建立了相应的半实物仿真环境和铁鸟台架测试系统，由于整个系统**庞大繁杂**，稍有不慎将造成**不可挽回的人身伤害和财物损失**，只适合熟练掌握相关知识与技能的专门技术人员使用，不适合高校直接用于教学实验。

因此，建立适合相关专业在校大学生，或刚参加工作的应届毕业生的舰载机着舰控制虚拟仿真实验课程，成为了理论与实践结合，培养专业综合素养和创新实践能力的必要途径。

(2) 航母舰载机工程中的先进事迹，是高校大学生思政教育的生动教材

舰载机着舰是近年来我国重大工程项目之一，是国之重器，在此过程中涌现

了一大批为该工程奉献心血和汗水的先进代表，有像罗阳总指挥、张超烈士等忠诚祖国，勇于担当，献出了生命代价的先驱者，也有像我校杨一栋教授在“为国防出力”的强烈使命感下，几十年如一日开展舰载机着舰技术研究，年逾七旬仍拼搏在一线，夜以继日、笔耕不辍，先后出版了“舰载机着舰引导与控制（飞行员培训教材）”等 15 部相关著作的幕后英雄，当然更多的是那些默默无闻，坚守在各自岗位上的普通工程技术人员。

因此面向新进大学的大一新生和对行业有所了解的高年级大学生，开设舰载机着舰纵向飞行控制律设计虚拟仿真实验课程，除了可以传授专业知识，拓宽技术领域外，更是一种**创新与奉献精神的传承**，是深耕大学生面对和解决复杂工程技术难题勇往无前，开拓创新意识品质的有效手段。



图 3 航母舰载机舰载机工程先进代表事迹

(3) 三十余年的科研成果累积，为转化为虚拟教学项目奠定了坚实基础

本课程依托的南京航空航天大学自动化专业经过 60 余年的发展，先后获批国防重点专业（2007 年）、国家特色专业（2008 年）、工业和信息化部重点专业（2012 年）、江苏省重点专业类（2012 年）、教育部卓越计划专业（2013 年），2019 年获首批国家级一流专业建设点，2020 年获批江苏省品牌专业二期建设，并于 2015 年和 2018 年两次通过工程教育专业认证。

南京航空航天大学先进飞行控制创新团队依托自动化专业建有的“国家工科基础课程电工电子教学基地（1996年）”、“国家电工电子实验教学示范中心（2006年）”、“航空工程国家级实验教学示范中心（2009年）”、“电气工程与自动化国家级实验教学示范中心（2012年）”、“飞行器综合控制江苏省实践教育中心（2015年）”等，如表1所示。

表1 本虚拟仿真实验课程所依托的线下实验资源

国家实验教学示范中心	电气工程与自动化实验教学中心
	航空工程实验教学中心（联合建设）
教育部工程研究中心	飞行器自主控制技术
工信部重点实验室	先进飞行器导航、控制与健康
	中小型无人机先进技术（联合建设）
江苏省重点实验室	物联网与控制技术
江苏省实践教育中心	飞行器综合控制
工信部协同创新中心	直升机技术（联合建设）
江苏高校协同创新中心	轻型通用航空飞行器技术（联合建设）
	卫星通信与导航（联合建设）



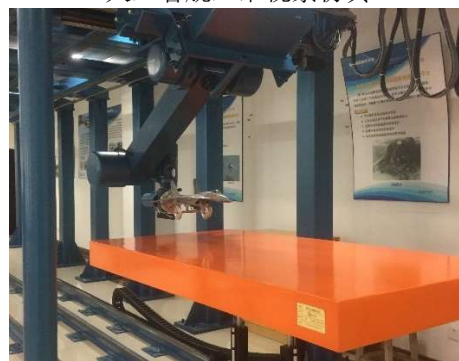
着舰试飞无人机



人工着舰三维视景仿真



全自动着舰视景仿真



舰载机着舰半物理仿真

图4 已建设的舰载机着舰半实物仿真平台

本团队从上个世纪90年代初开始，一直致力于舰载机着舰引导与控制技术的

研究，先后承担了多项海装国防重大预研项目，并与国内航空工业集团和船舶工业集团下属研究机构开展了广泛深入的合作，协助其建立了多个数字仿真及半实物仿真系统（如图 4 所示），积累了从舰载机飞行控制律设计、着舰引导系统建模、着舰环境（甲板运动、舰尾流等）建模、弹射/拦阻装置建模等系列化的虚拟仿真资源，为本项目的建设奠定了坚实的基础。

（4）弥补实物实验教学不足，增强实验交互性与提升人才培养质量

由于舰载机飞行控制涉及到空气动力学、刚体运动学、传感器技术、控制理论等多个领域的知识，其复杂性可想而知，单纯依靠课堂教学，往往不能使学生真正理解飞行控制原理的物理实质，需要借助实物/半实物仿真实验平台增强其学习效果。

团队现有的舰载机半实物仿真实验系统包含三轴仿真转台、多自由度运动平台、多通道融合三维视景系统等造价昂贵的元部件，出于安全考虑，只能开展演示性实验，大学生在其中也只是获得基础概念。团队现有的以小型舰载机和地面移动平台为基础的实物飞行演示平台，一方面需要良好稳定的空域和场地条件以及众多专业人员保障，另一方面如果控制律设计不当（对于初学者这种情况出现的概率非常大）会造成舰载机损毁甚至造成附加人员伤亡或财物损失。因此在数字仿真基础上，借助虚拟现实技术建立可数字仿真驱动的舰载机着舰三维场景，既可以避免出现上述安全事故（在虚拟实验过程中允许出现失误），又可以反复实验通过关键参数分析对舰载机运动特性的影响过程，从而利于对舰载机飞行控制深入理解和创新开发。

由以上分析可知，现有的实物实验交互性不强，造成学生在学习过程中主动性不够，参与程度不高。如果增加实际飞行试验，又存在实验难度大，风险高等问题，而通过虚拟现实构建实际工程情境，辅以嵌入式飞控软硬件系统，以虚实结合的形式，让学生既能主动参与到实验中来，并通过实际操作进行开发性和创新性实验，又不会增加实验风险。

2、虚拟实验课程的实用性

在实验课程设计中，为了与相关工业部门实现无缝对接，遵循数字飞行控制系统工业部门规划、设计以及实施的标准化流程，以“舰载机着舰纵向飞行控制律设计”为实验任务，构建了从基础部件认知、控制理论分析、综合仿真验证为主线的丰富的实验模块，涵盖了从基础认知实验、设计性实验、综合性实验等不同阶

段的虚拟仿真实验，力求可以满足从无基础知识的本科生到有知识储备的博硕士研究生（甚至部分非本专业青年教师）理论与实验课程学习需求，并能支撑其进一步的创新性研究，甚至为舰载机飞行员，研究机构技术人员培训提供理论与实践教学平台。

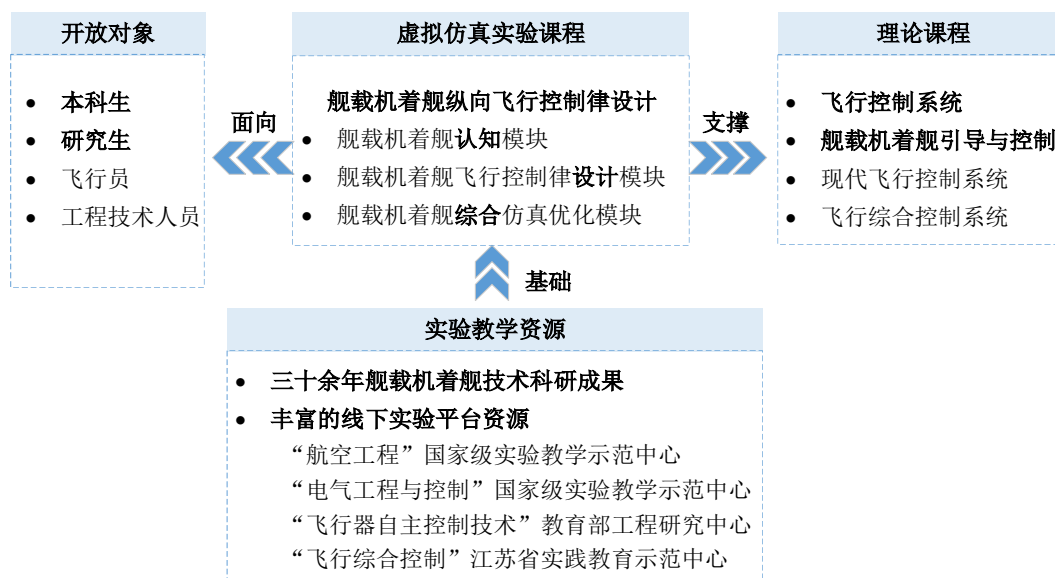


图 5 以多类型人才培养为目标的建设思路

3、教学设计的合理性

(1) 教学目标明确，实验难度阶梯性增加，教学效果达成度高

本虚拟仿真实验课程教学目标是，以复杂环境下舰载机着舰控制技术为基础，要求学生通过舰载机着舰认知，姿态/轨迹控制律设计，综合仿真优化等实验环节，了解舰载机着舰系统组成与原理，掌握飞行控制律设计与仿真验证方法以及复杂环境下控制参数优化分析方法。

实验过程中难度逐步递进，并注重与理论课程内容相呼应，并允许学生针对同一实验环节多次操作比较分析，逐步掌握其知识点，并在后续实验环节中进一步训练和提高，进而提升教学目标的达成度。

例如，在姿态控制律设计环节中，学生可以多次修改控制参数，进行仿真分析，最后存储 5 组较优参数，并最后通过对比分析选择一组最优参数。在后续轨迹控制律设计环节中，学生再次运用同样的方式方法进行控制参数设计，但在难度上又有所提升。

(2) 教学内容瞄准工程需求，紧密围绕舰载机着舰控制核心问题开展系统化持续建设

相比于一般飞机的飞行控制，舰载机着舰由于其存在低动压不可控、复杂着舰环境，甲板运动跟踪等技术难点，因此是飞行控制设计研究的热点领域。本虚拟仿真实验课程以舰载机精确着舰飞行控制技术为核心，围绕着舰系统组成与原理、轨迹与姿态控制律设计及着舰全流程仿真优化三项内容展开，分两期进行建设，首先建立了“舰载机着舰纵向飞行控制律设计”虚拟仿真实验，在此基础上持续建设“舰载机着舰侧向飞行控制律设计”、“全自动与人工着舰引导综合仿真”虚拟仿真实验，最终目标是建立独立的舰载机着舰控制技术虚拟仿真教学课程，即可为相关课程服务，又可以作为专业综合设计及大学生创新实践训练平台。

(3) 教学方式上坚持以学生为中心的实验教学理念，以明确的任务驱动为主线，引领学生通过控制变量法、观察法、比较法等实验方法进行实验学习

为了提升实验效率和效果，本虚拟仿真实验课程采用任务驱动方式推动实验进程，在每个关键实验环节（或步骤）首先弹出任务目标窗口，向学生明确本环节（步骤）需要完成的实验任务和达到的实验目标。

在此基础上，根据实验提示逐一顺序改变控制参数（控制变量法），然后通过虚拟模型演示、仿真曲线、性能指标数据等多种形式，供学生进行不同维度的观察、比较，激励其自主进行思考和分析，并最终确定一组优化的控制参数。在确定控制参数过程中，各参数的变化与虚拟仿真演示结果相互印证，让学生掌握各参数变化的规律，从而达到从物理实质理解控制参数设计原则的目的。

(4) 教学评价采用过程考核，鼓励积极探究式学习，培养独立思考和解决问题的能力

建立了以能力考核为引领的完整过程评价体系，在每个关键知识点设置考核环节，根据能力培养目标，赋予不同的考核分值。同时学生鼓励进行自主探究、反复尝试，避免走马观花、浅尝辄止式的实验过程，因此实验系统将记录关键设计环节的仿真分析次数，并赋予一定的分值加权系数。让学生在实验过程中除了掌握知识、训练综合技能外，还可养成探究和创新思维习惯。

这种过程式的考核方式，还可以在在一定程度上区分学生是否未进行相应过程设计，直接抄袭别人的实验结果数据，进而达到对独立思考并解决问题的学生进行鼓励的效果。

4、实验系统的先进性

首先，本虚拟仿真实验教学课程来源于团队的科研项目，经过多年潜心研究和积累，相关成果获得国防科技进步奖，舰载机着舰控制核心技术已经达到了国内领先和国际先进水平，在**实验内容上具有非常强的先进性**。

其次，本虚拟实验系统是基于 B/S 架构设计的虚拟仿真实验教学平台。采用了轻量化的开发语言和模块化设计方案，部署简单、使用方便。同时支持分布式部署方案，可随使用情况动态扩充容量，基于容器化部署还可实现自动扩容，无需人为干预，在**系统平台架构上具有很强的先进性**。

再次，为了提高实验教学质量采用了任务驱动式、自由探索式等多种主被动开放式教学模式，让学生从模拟的视角对理论知识进行分析研究，将理论知识向教学实践逐步转化与应用，促进了理论研究与实践研究的融合，实现了理论与实验教学的一体化进步，在**教学方式和方法上具有先进性**。

最后，本虚拟仿真实验教学课程的大部分模块均来源于工程实际，学生需要在实验报告中对实验结果进行分析，对问题的描述、结果的形成原因以及改进措施等方面进行深入分析，着重提升实验的工程探究性，激发学生自主学习和思考能力，在**工程能力培养模式上具有先进性**。

3-2 实验教学目标（实验后应该达到的知识、能力水平）

本虚拟仿真实验课程包括姿态控制律设计、轨迹控制律设计以及综合仿真优化三个主要环节，此外还有舰载机着舰认知，作为基础知识训练。针对每个实验环节教学目标如下：

1、舰载机着舰认知

通过舰载机三维虚拟实物模型，让学生了解舰载机的操控原理、飞行控制基本组成与原理、惯导/大气传感器、飞行控制计算机、舵面作动器、着舰引导设备等实际设备的组成与原理，配合课堂讲授，让学生积累舰载机相关工程知识。

2、纵向姿态控制律设计

（1）了解舰载机数学模型的一般形式，以及舰载机姿态控制基本原理，掌握舰载机自然特性分析的流程和关键指标的计算分析方法，提高其分析实际工程问题的能力。

（2）了解舰载机姿态控制经典控制结构，以及仿真分析方法，掌握控制律参数设计与仿真分析的流程，以及控制参数整定的方法，提高其解决复杂工程问题

的能力。

3、纵向轨迹控制律设计

(1) 了解舰载机轨迹控制基本原理，掌握舰载机轨迹回路开环特性分析的流程和关键指标的计算分析方法，提高其分析实际工程问题的能力。

(2) 了解舰载机轨迹控制经典控制结构，以及仿真分析方法，掌握控制律参数设计与仿真分析的流程，以及控制参数整定的方法，提高其解决复杂工程问题的能力。

(3) 了解舰尾流对着舰精度的影响因素，掌握在舰尾流扰动下，进行轨迹控制参数优化的方法，提高其面对实际工程难题，综合运用所学专业知进行综合设计的能力。

(4) 了解甲板运动对着舰精度的影响因素，掌握在甲板运动跟踪补偿下，进行轨迹控制参数优化的方法，提高其面对实际工程难题，综合运用所学专业知进行综合设计的能力。

4、综合仿真优化

(1) 了解不同海况对着舰精度的影响，了解舰载机着舰过程中关键性能信息，了解着舰过程中关键点（过舰尾、触舰点等）性能指标约束，了解着舰引导、拦阻、逃逸复飞等核心概念，提高其工程核心素养，培养其对行业从业人员所付出艰辛的理解与以其为先锋榜样的意识。

(2) 掌握在复杂海况干扰下，进一步进行控制参数优化设计的方法，掌握根据综合仿真结果曲线分析问题，并进行姿态/轨迹控制参数协同优化的方法，提高其面对复杂工程技术问题，自主探索，全面分析，不断优化的创新实践能力。

综上所述，针对在校本科生和研究生，本虚拟仿真实验课程通过配合理论课程教学，建立从基础知识认知与储备，核心知识学习与实验验证，知识开拓与创新实践逐层递进式的实验教学模式。同时还可以为舰载机飞行员以及工程技术人员工程经验升华与系统性学习提供理论与实践交互验证平台，进而提高其理论水平，推动工程技术人员的创新性研究。

3-3 实验课时

(1) 实验所属课程课时：48 学时

(2) 该实验所占课时：4 学时

3-4 实验原理

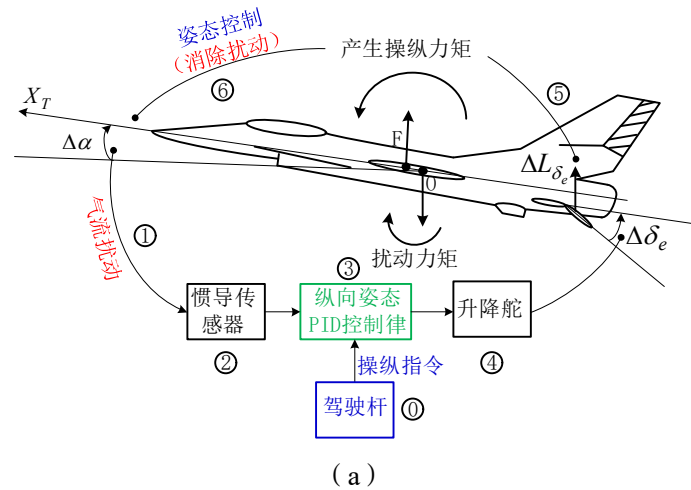
(1) 实验原理(限 1000 字以内)

本虚拟仿真实验课程主要包括三个实验环节：纵向姿态控制律设计、纵向轨迹控制律设计以及着舰综合仿真优化。

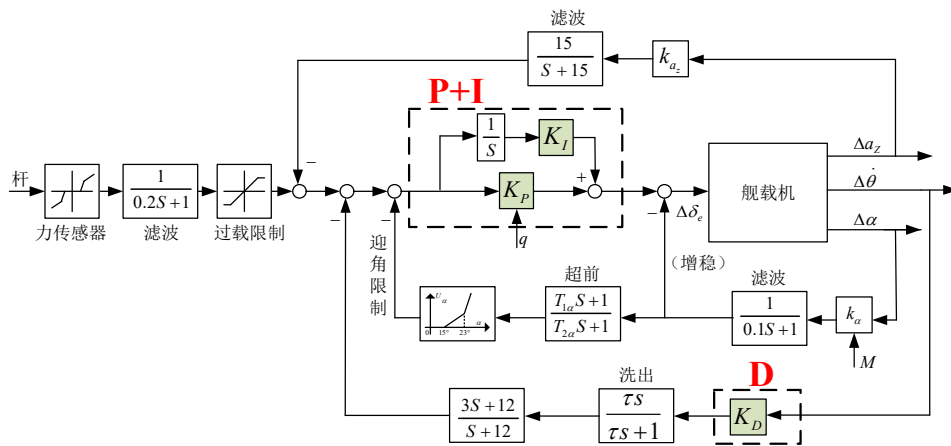
1) 着舰纵向姿态控制律设计实验原理

由图 6 (a) 可知，当飞行员操纵驾驶杆时，其操纵指令发送给纵向姿态 PID 控制律，与惯导传感器测得姿态数据进行比较，经过 PID 控制律计算生成升降舵操纵指令，升降舵面偏转 $\Delta\delta_e$ ，产生 ΔL_{δ_e} 气动力变化，对重心产生俯仰操纵力矩，进而使飞机姿态跟踪飞行员的操纵指令。

当飞行员不操纵驾驶杆，但飞机收到气流扰动，导致俯仰角发生变化时，则该变化通过惯导传感器反馈给纵向姿态 PID 控制律，进而生成升降舵偏转指令，升降舵偏转后产生稳定力矩，消除气动扰动影响，使飞机保持原有飞行姿态。



(a)



(b)

图 6 着舰纵向姿态控制律设计实验原理

由图 6 (b) 可知, 通过调节虚线框中的三个 PID 参数可以改善舰载机纵向姿态闭环响应特性, 进而满足舰载机着舰控制性能要求。

2) 着舰纵向轨迹控制律设计实验原理

如图 7 (a) 所示, 在着舰下滑过程中, 如果着舰引导设备 (如着舰引导雷达) 测得高度出现偏差, 则该偏差送入纵向轨迹控制律, 经 PID 计算后生成姿态控制指令, 由纵向姿态控制律生成升降舵指令, 操纵飞机姿态 (迎角) 变化, 改变飞机升力, 产生垂直方向的加速度, 经两次积分后调整飞机高度, 直至跟踪理想下滑线。

如图 7 (b) 所示, 可以通过轨迹 PID 控制虚线框内的 PID 控制参数, 改善纵向轨迹控制动静态性能, 从而满足精确着舰需求。由于着舰过程中还要抑制舰尾流和跟踪甲板运动, 因此可以在这两种不同外部因素影响下, 进一步优化轨迹控制参数。

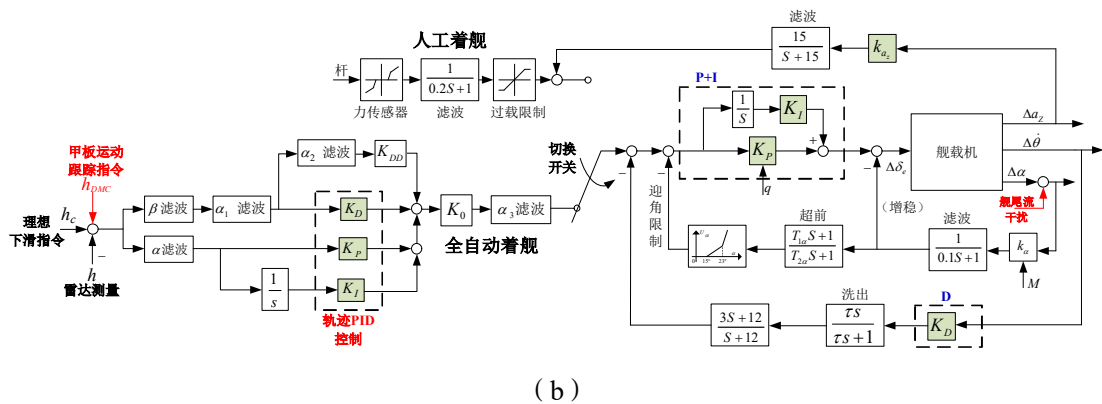
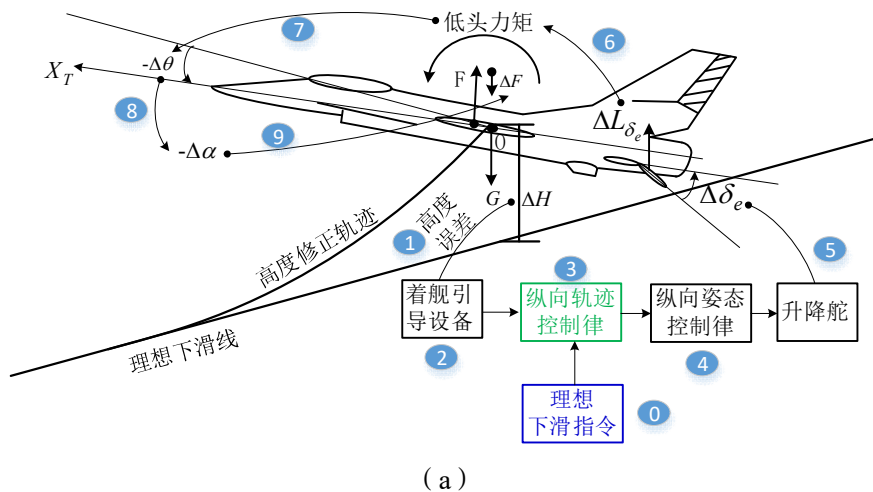


图 7 着舰纵向轨迹控制律设计实验原理

3) 着舰综合仿真优化实验原理

上述两个环节已经完成了在典型指令（单位阶跃输入）姿态内回路和轨迹外回路设计与优化分析，在此环节将引入不同海况等级真实数据，舰尾流，甲板运动以及拦阻索模型等，在着舰下滑指令作用下，以过舰尾高度和触舰点偏差为评价指标，对前面设计的控制律参数在不同海况下进行仿真验证，并据此进一步对各控制律参数进行综合优化，是面向真实着舰环境的一次性能考核与品质提升。

知识点：共 6 个

1. 舰载机着舰数学模型与自然特性
2. 舰载机纵向姿态控制律设计
3. 舰载机纵向轨迹制导律设计
4. 舰尾流影响及扰动抑制技术
5. 甲板运动影响及跟踪补偿技术
6. 舰载机着舰控制综合仿真验证技术

(2) 核心要素仿真设计（对系统或对象的仿真模型体现的客观结构、功能及其运动规律的实验场景进行如实描述，限 500 字以内）

舰载机着舰飞行控制虚拟仿真模型架构如图 8 所示，包括舰载机数学模型、飞行控制系统数学模型（包括姿态、轨迹控制等）、舰船运动数学模型、舰尾流干扰数学模型、拦阻装置数学模型、各类着舰引导系统数学模型、舰船运动预测模型等。这些核心要素的仿真数据和底层驱动模型均来自于科研实际，已经在相关研究机构的工程设计过程中发挥了重要作用，因此本虚拟实验中核心要素具有很高的仿真度。

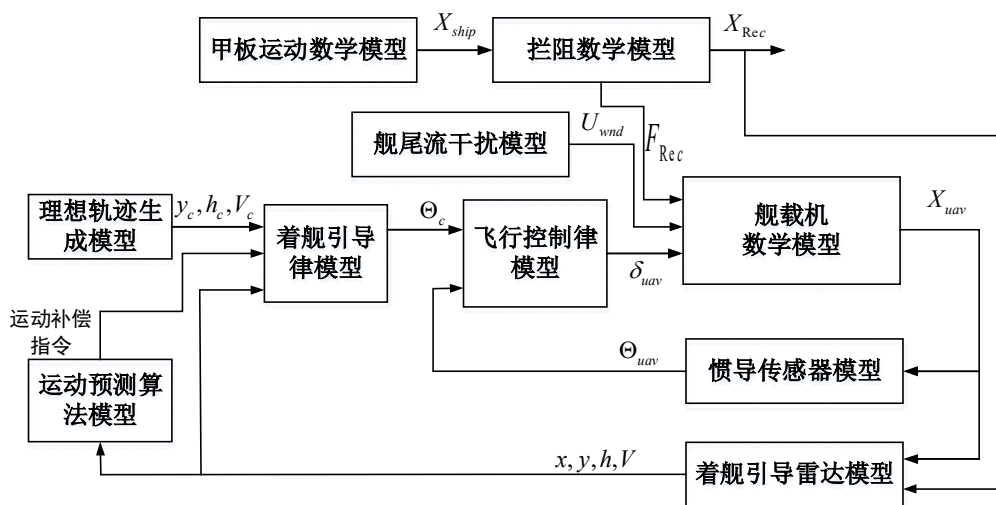


图 8 舰载机着舰综合仿真模型架构

首先，采用部件级建模，通过气动力学分析、刚体运动学分析以及发动机数

学建模等，并辅以工程数据修正，提高了核心仿真模型的仿真度，如图 9 所示。

其次，根据美国军用规范建立了由自由大气紊流、雄鸡尾流、舰尾流周期分量和舰尾流随机分量组成的舰尾流模型以及基于 Conolly 线性理论而建立六自由度甲板运动模型，与真实着舰环境具有高度逼真性。

最后，在三维逼真的虚拟环境里，建立了实际飞行场景，可进行实时交互，感知和操作虚拟实验环境中的各种部件和系统，从而获得身临其境的感受和体会，如图 10 所示。

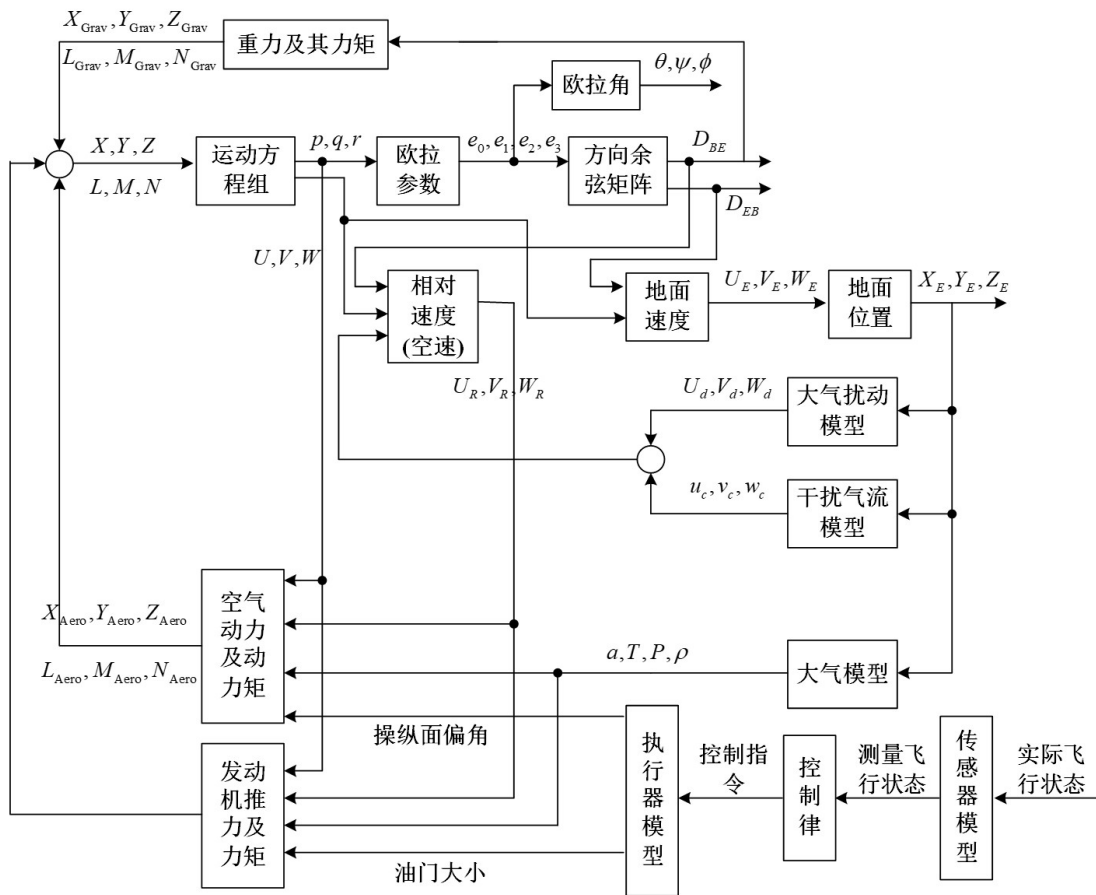


图 9 舰载机仿真模型架构



图 10 舰载机着舰综合仿真场景

3-5 实验教学过程与实验方法

舰载机着舰认知作为本实验课程的预备环节，主要包括两个子环节：舰载机组成认知和舰载机操纵原理认知，该环节采取提示讲解与自主操作体验相结合的模式，以航母机库为主场景，分别对舰载机机身组成、GPS/惯导/大气传感器、飞行控制计算机、作动器等核心部件内外部结构进行爆炸图展示，同时结合各关键部件的原理讲解，迅速帮助学生完成对舰载机着舰系统全面认知和理解，为后续实验开展奠定基础。

在此基础上，对舰载机操纵原理进行展示，学生可以操纵界面右侧的操纵杆，对俯仰、滚转及航向通道进行操纵，通过观察操纵后飞机运动及弹出的提示信息框，掌握舰载机操纵的基本原理。

在上述过程中，主要采用了观察法和比较法等实验方法，学习后将掌握舰载机着舰控制系统组成与原理相关知识，为后续具体设计积累基础知识。

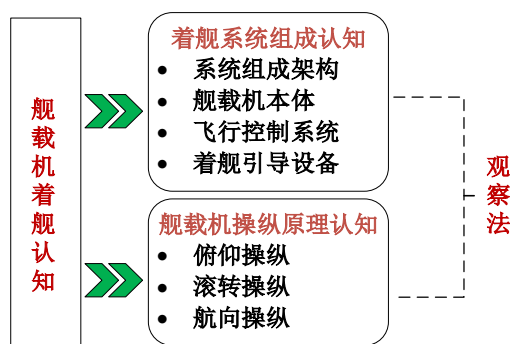


图 11 舰载机着舰认知教学流程

本虚拟仿真实验共分为三个环节，分别为着舰纵向姿态控制律设计、着舰轨迹控制律设计和舰载机着舰综合仿真优化。三个环节又可细分为七个子环节（实验内容），每个子环节内包含多个实验步骤，采用了观察法、比较法、控制变量法、等效法等实验方法，最终学生可获得六个核心知识点的实践训练。其总体架构和实验方法如图 12 所示。

1) 舰载机纵向着舰姿态控制律设计

在此环节首先通过理论指导和任务引导，使学生了解纵向姿态控制律原理和基本结构，其次根据给出纵向姿态状态空间模型求取姿态开环传递函数，并分析其稳定性、阻尼比和自然频率等自然飞机特性，在此基础上，通过运用经典控制理论，自主完成姿态 PID 控制参数的整定（即控制变量法），最后通过单位阶跃响应曲线和动静态性能指标，通过多次仿真现象（曲线）的观察，比较选取一组最

优控制参数。在整个过程，需要学生根据设计规则调整参数，观察时域响应特性，并据此寻找规律调整参数，形成一种不断反馈优化的设计流程，从而提高学生解决实际复杂工程问题的能力。

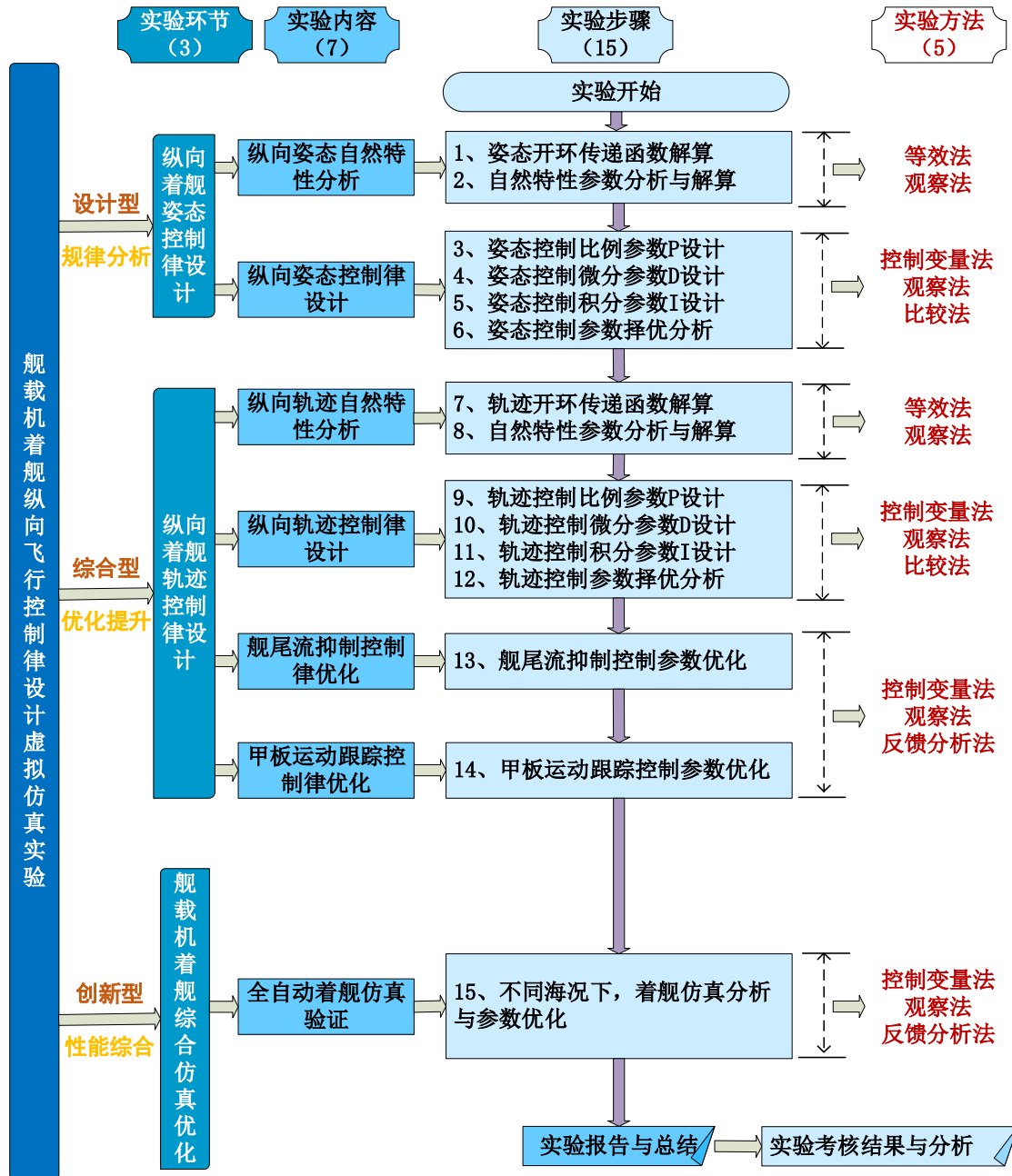


图 12 虚拟仿真实验课程架构及其实验方法

该环节在理论指导和任务引导基础上，采用传递函数等效变换法、控制变量法、观察法及比较法等实验方法，指导学生自主操作与不断反馈优化，通过交互式操作，完成实验工作，掌握舰载机着舰数学模型与自然特性和舰载机纵向姿态控制律设计两个知识点，达到了了解舰载机姿态控制经典控制结构及仿真分析方法

法，掌握控制律参数设计与控制参数整定的方法，进而提高学生解决复杂工程问题的能力等实验目标。

2) 纵向着舰轨迹控制律设计

在此环节首先通过理论指导和任务引导，使学生了解纵向轨迹控制律原理和基本结构，其次根据给出纵向姿态闭环传递函数等求取轨迹开环传递函数，并分析其稳定性、阻尼比和自然频率等自然飞机特性，在此基础上，通过运用经典控制理论，自主完成轨迹 PID 控制参数的整定（即控制变量法），最后通过单位阶跃响应曲线和动静态性能指标，通过多次仿真现象（曲线）的观察，比较选取一组最优控制参数。

在此基础上，考虑到在着舰过程中，将会受到舰尾流和甲板运动影响，因此在上述因素影响下，通过观察和比较抑制或跟踪曲线，进一步对轨迹 PID 参数进行优化分析。

该环节在理论指导和任务引导基础上，采用控制变量法、观察法、比较法以及反馈分析法等实验方法，指导学生自主操作与不断反馈优化，通过交互式操作，完成实验工作，掌握舰载机纵向轨迹制导律设计、舰尾流影响及扰动抑制技术、甲板运动影响及跟踪补偿技术三个知识点，达到了解舰载机轨迹控制经典控制结构与仿真分析方法，掌握控制律参数设计与控制参数整定方法，掌握在舰尾流扰动和甲板运动跟踪补偿下，进行轨迹控制参数优化的方法，提高其面对实际工程难题，综合运用所学专业进行综合设计的能力等实验目标。

3) 舰载机着舰综合仿真优化

在此环节采取理论指导和任务引导，首先对着舰环境（海况）参数进行设置，然后进行着舰下滑仿真验证，通过观察过舰尾高度和触舰点误差等关键点性能指标，以及过程响应曲线，并在不同海况和不同控制参数下进行比较分析，对轨迹和姿态参数进行综合优化，并最终确定一组最优化的控制参数。

在此过程中，主要采用了控制变量法、观察法以及反馈分析法等实验方法，掌握舰载机着舰控制综合仿真验证技术知识点，可以通过增加海况等级提升实验难度，带动学生主动思考，开拓创新，培养其不畏艰难，勇于进取的创新精神。

3-6 步骤要求（不少于 10 步的学生交互性操作步骤。操作步骤应反映实质性实验交互，系统加载之类的步骤不计入在内）

(1) 学生交互性操作步骤，共 15 个步骤

步骤序号	步骤目标要求	步骤合理用时	目标达成度赋分模型	步骤满分	成绩类型
1	根据纵向状态空间模型，等效分析俯仰通道的开环传递函数	5 分钟	5 分钟内完成，正确 3 分 5-10 分钟完成，正确 2 分 10 分钟以上完成，正确 1 分 未完成或错误 0 分	3	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
2	根据开环传递函数分析舰载机自然特性	5 分钟	稳定性 正确 1 分/错误 0 分 阻尼比 正确 2 分/错误 0 分 自然频率 正确 2 分/错误 0 分	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
3	根据舰载机自然特性，设计姿态比例参数	5 分钟	每设计一组参数并仿真分析得 1 分，超过 5 分不再累加	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
4	根据舰载机自然特性，设计姿态微分参数	5 分钟	每设计一组参数并仿真分析得 1 分，超过 5 分不再累加	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
5	根据舰载机自然特性，设计姿态积分参数	5 分钟	每设计一组参数并仿真分析得 1 分，超过 5 分不再累加	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
6	设计参数优化选择	2 分钟	调节时间： 小于 3 秒 3 分 3-5 秒 2 分 5 秒以上 1 分 超调量： 小于 5% 3 分 5%-10% 2 分 10%以上 1 分 上升时间： 小于 1 秒 3 分 1-3 秒 2 分 3 秒以上 1 分	12	<input type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

			稳态误差： 小于 0.1 度 3 分 0.1 度-0.2 度 2 分 0.2 度以上 1 分		
7	根据俯仰通道设计结果，等效分析纵向高度通道开环传递函数	5 分钟	5 分钟内完成，正确 3 分 5-10 分钟完成，正确 2 分 10 分钟以上完成，正确 1 分 未完成或错误 0 分	3	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
8	根据高度开环传递函数，分析高度通道自然特性	5 分钟	稳定性 正确 1 分/错误 0 分 阻尼比 正确 2 分/错误 0 分 自然频率 正确 2 分/错误 0 分	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
9	根据舰载机自然特性，设计轨迹比例参数	5 分钟	每设计一组参数并仿真分析得 1 分，超过 5 分不再累加	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
10	根据舰载机自然特性，设计轨迹微分参数	5 分钟	每设计一组参数并仿真分析得 1 分，超过 5 分不再累加	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
11	根据舰载机自然特性，设计轨迹积分参数	5 分钟	每设计一组参数并仿真分析得 1 分，超过 5 分不再累加	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
12	设计参数优化选择	2 分钟	调节时间： 小于 3 秒 3 分 3-5 秒 2 分 5 秒以上 1 分 超调量： 小于 5% 3 分 5%-10% 2 分 10%以上 1 分 上升时间： 小于 1 秒 3 分 1-3 秒 2 分 3 秒以上 1 分 稳态误差： 小于 0.1 米 3 分 0.1 米-0.2 米 2 分	12	<input type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

			0.2米以上 1分		
13	根据舰尾流干扰情况，优化PID参数	5分钟	稳态误差： 小于0.1米 5分 0.1-0.2米 3分 0.2米以上 2分	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
14	根据甲板运动情况，优化PID参数	5分钟	稳态误差： 小于0.1米 5分 0.1-0.2米 3分 0.2米以上 2分	5	<input checked="" type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
15	根据不同海况，优化PID参数	15分钟	过舰尾性能： 高度误差小于等于0.8m 2分/大于0.8m 1分 侧偏误差小于等于1.0m 2分/大于1.0m 1分 俯仰角误差小于等于0.5度 1分/大于0.5度 0.5分 滚转角误差小于等于0.5度 2分/大于0.5度 1分 航向角误差小于等于1.0度 2分/大于1.0度 1分 迎角误差小于等于0.5度 1分/大于0.5度 0.5分 触舰点性能： 触舰点水平误差小于等于10m 2分/大于10m 1分 侧偏误差小于等于1.0m 2分/大于1.0m 1分 俯仰角误差小于等于0.5度 1分/大于0.5度 0.5分 滚转角误差小于等于0.5度 2分/大于0.5度 1分 航向角误差小于等于1.0度 2分/大于1.0度 1分 迎角误差小于等于0.5度 1分/大于0.5度 0.5分 本环节最终的得分根据用户选择的等级乘以下方的系数 1-3级海况 0.8 4-6级海况 0.9 7-9级海况 1.0	20	<input type="checkbox"/> 操作成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

(2) 交互性步骤详细说明

运行软件后进入欢迎界面，如图13所示。

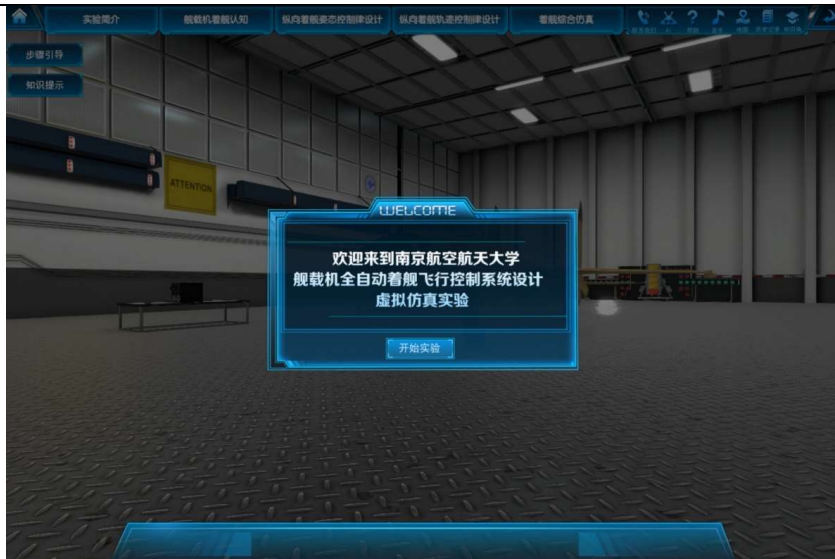


图 13 软件欢迎界面

本虚拟仿真实验课程包含学生交互性步骤数量：15 步，下面按实验顺序分别进行描述。

1) 纵向着舰姿态控制律设计环节

本环节主要包括纵向姿态特性分析和纵向姿态控制律设计两个子环节，共有 6 个交互操作步骤。

子环节 1: 纵向姿态特性分析

点击“纵向着舰姿态控制律设计”，选择“纵向姿态特性分析”进入该子环节。首先弹出“任务目标”面板，如图 14 所示。

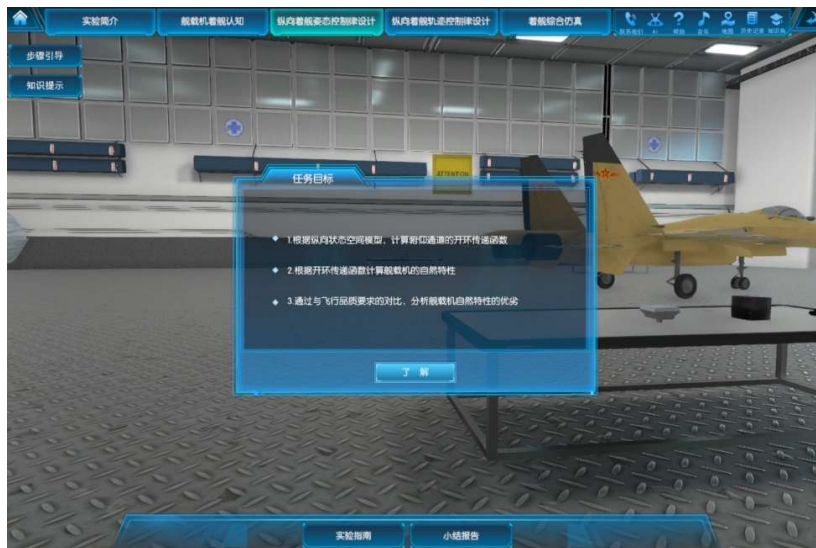


图 14 “任务目标”面板

该子环节主要有三项任务目标：

- a) 根据纵向状态空间模型，计算俯仰角通道开环传递函数；
- b) 根据开环传递函数计算舰载机自然特性；
- c) 通过与飞行品质要求的对比，分析舰载机自然特性的优劣。

步骤 1: 纵向姿态开环传递函数等效分析

操作目的: 了解舰载机数学模型的一般形式，以及舰载机姿态控制基本原理，掌握纵向姿态开环传递函数等效分析方法，为后续控制律设计奠定基础。

操作过程:

a) 点击“了解”按键，关闭面板，弹出如图 15 所示的设计界面，左上为舰载机纵向姿态控制框图，左下为舰载机纵向动力学模型数据，右侧为选择作答部分。



图 15 开环传递函数等效分析界面

b) 学生根据左侧舰载机状态空间模型线下等效得到俯仰通道开环传递函数，然后从右侧四个备选选项中选择正确答案并提交。

弹出如下提示窗口，点击“确定”，进入下一步骤分析界面。



图 16 答案提示窗口

操作结果: 通过状态空间模型等效变换，获得俯仰通道开环传递函数，做为自然特性分析的对象模型。

步骤 2: 纵向姿态自然特性分析


操作目的: 了解舰载机数学模型的一般形式, 以及舰载机姿态控制基本原理, 掌握纵向姿态自然特性参数求取方法, 为后续控制律设计提供参考。

操作过程:

设计界面如图 17 所示。左上为纵向状态空间模型, 下面为脉冲输入响应曲线, 右侧上面为提示信息, 中间为作答部分, 下部为飞行品质规范要求。

在此步骤, 要求根据上一步选择题中正确的传递函数及左侧的仿真曲线, 线下计算和分析稳定性、阻尼比和自然频率, 并填写到作答框。

并与下面的飞行品质要求进行对比, 分析舰载机俯仰通道的不足。

点击特性分析旁边的帮助按钮即 , 弹出相关帮助说明。

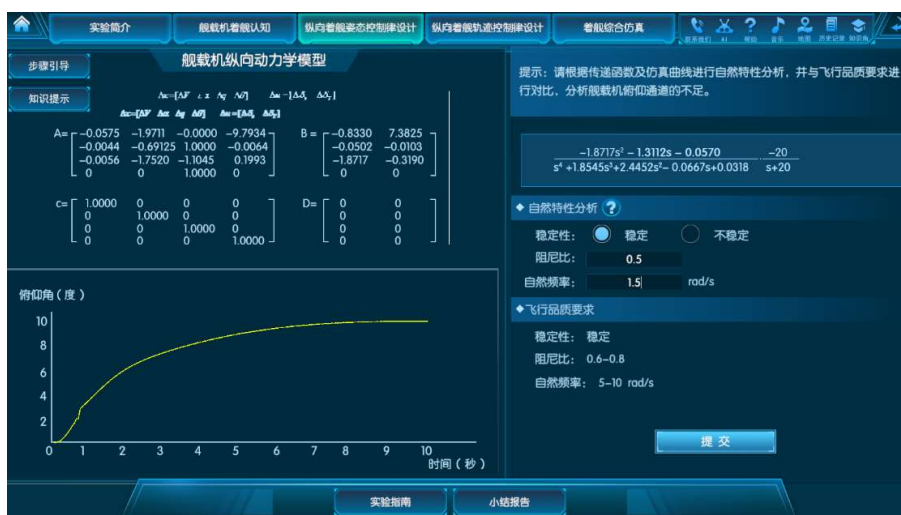


图 17 舰载机俯仰通道分析

点击分析界面“提交”按钮, 提交答案, 弹出提示如下:



图 18 设计结果提交窗口

点击“确定”, 将进入子环节 2“纵向姿态控制律设计”界面。

操作结果：通过俯仰通道开环传递函数，获得俯仰通道的自然特性，与飞行品质规范要求比较，了解舰载机自身的不足，为后续控制律设计指明方向。

子环节 2：纵向姿态控制律设计

默认完成上一子环节操作后，直接进入本子环节。学生也可以通过直接点击菜单栏“纵向着舰姿态控制律设计”，选择“纵向姿态控制律设计”进入。

首先弹出“任务目标”面板，如图 19 所示。

该子环节主要有三项任务目标：

- a) 根据上一步的舰载机特性分析结果，进行 PID 控制参数设计；
- b) 运行并保存 PID 参数设计数据；
- c) 选择一组满足性能指标要求的最优数据，用于后续环节的参数设计与仿真验证。

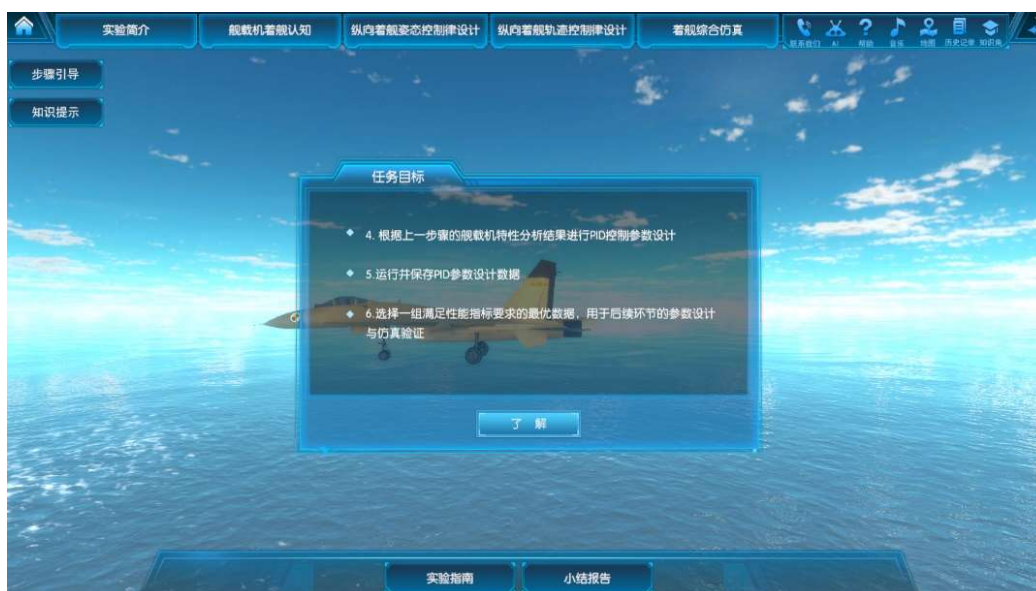


图 19 任务目标窗口

步骤 3：PID 控制比例参数设计

操作目的：通过调节比例参数，改善姿态响应的稳定性、快速性，让学生掌握比例参数的调节规律。

操作过程：

点击“了解”，关闭任务目标面板，弹出“PID 参数设计”界面，如下图所示。



图 20 PID 参数设计界面

界面主体为舰载机侧视图，右侧为性能指标和单位阶跃响应曲线，下面为 PID 参数调节部分，如图 21 所示。

在左下角的“比例环节 (P)”文本框内输入比例参数（数值从小到大变化），点击“运行”，观察右侧参数曲线的动态响应，以及性能指标中的上升时间，当上升时间小于 1 秒，并出现明显振荡时，比例参数调节完成。



图 21 比例参数调节

操作结果：通过调节比例参数，加快舰载机姿态响应的上升时间和调节时间，改善动态响应快速性。同时也会带来较大的振荡，需要通过微分参数来消除该振荡。

步骤 4: PID 控制微分参数设计

操作目的: 通过调节微分参数, 消除上一步骤引起的姿态响应振荡, 改善舰载机的动态阻尼特性。让学生掌握微分参数调节规律。

操作过程:

本步骤操作界面不变, 如图 22 所示。在“微分环节 (D)”文本框中输入微分参数 (数值从小到大变化), 点击“运行”, 观察右侧参数曲线的动态响应, 以及性能指标中上升时间, 无明显振荡, 且上升时间小于 5 秒, 微分参数调节完成。



图 22 微分参数调节

操作结果: 通过调节微分参数, 消除响应振荡现象, 改善动态响应阻尼特性。

步骤 5: PID 控制积分参数设计

操作目的: 通过调节积分参数, 消除俯仰响应的稳态误差, 改善姿态响应的控制精度。让学生掌握积分参数调节的规律。

操作过程:

本步骤操作界面不变, 如图 23 所示。在“积分环节 (I)”文本框中输入积分参数 (数值从小到大变化), 点击“运行”, 观察右侧参数曲线的动态响应, 以及性能指标中的超调量、上升时间和稳态误差, 当满足超调量不大于 5%, 上升时间不大于 2 秒, 稳态误差不大于 0.1 度, 积分参数调节完成。



图 23 积分参数调节

操作结果: 通过调节积分参数, 消除稳态误差, 改善控制精度。

步骤 6: 控制参数择优分析

操作目的: 从上一步骤保存的 5 组参数中, 通过相互比较选择一组最优控制参数, 进一步让学生掌握 PID 参数调节规律, 以及性能指标的衡量标准

操作过程:

在完成上一设计步骤后, 可点击“保存”保存仿真结果。在此基础上, 还可进一步调节 P、D、I 三个参数, 观察在当前 PID 参数的影响下, 飞机的飞行姿态响应曲线和性能指标, 得到一组自认为满意参数后, 点击“保存”进行数据保存 (最多可保存 5 次 PID 参数, 仿真结果将在下一步骤“参数择优界面”展示)。注意如不点击“保存”, 则运行结果不自动保存, 该运行结果在点击运行后被清除。

保存完 5 组参数后, 点击“参数择优”按钮, 进入“参数择优界面”, 如图 24 所示。图中右侧为性能和曲线显示窗口, 右侧为“运行参数数据记录”展示所保存的所有 PID 参数。左边参数曲线和右边数据记录相对应, 右侧选中某条参数时则左侧对应曲线高亮显示。

学生选择其中一条参数, 则响应曲线高亮显示, 同时显示性能指标, 通过对五组参数曲线和性能指标进行比较, 选择一组最优参数点击“提交”, 则提交此参数, 此时弹出提交成功提示框。

在做参数择优时, 尽量满足如下性能指标要求: 舰载机响应超调量不大于

5%，上升时间不大于 2 秒，稳态误差不大于 0.1 度。



图 24 参数选择界面

点击“返回”将返回 PID 参数设置界面，如果保存数据小于 5 组，学生还可以进一步调节控制参数，保存数据，并供择优选择。

操作结果：通过 PID 参数择优，选择一组最优参数，并以该参数作为后续轨迹控制律设计的基础。

3) 纵向着舰轨迹控制律设计环节

本环节主要包括纵向轨迹特性分析和纵向轨迹控制律设计、舰尾流抑制性能优化设计和甲板运动跟踪优化设计四个子环节，共有 8 个交互操作步骤。

子环节 1: 纵向轨迹特性分析

点击“纵向着舰轨迹控制律设计”，选择“纵向轨迹特性分析”，首先弹出任务目标面板，如下图所示。

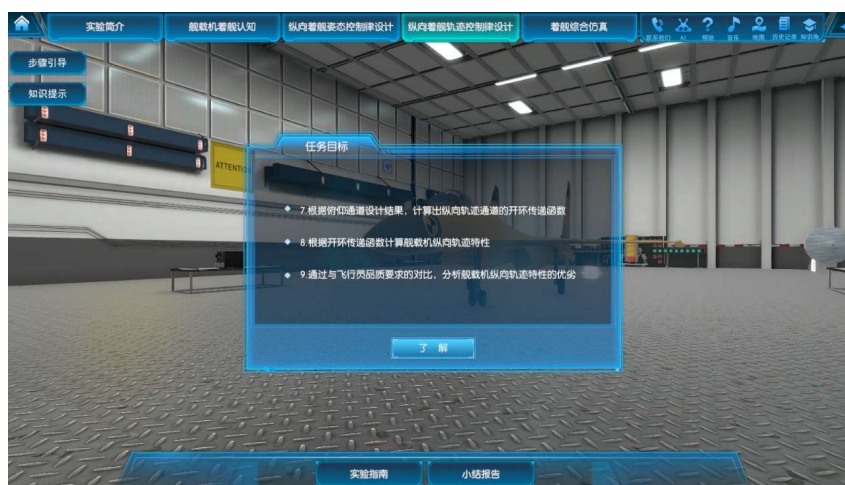


图 25 任务目标面板

该子环节主要有三项任务目标：

- a) 根据俯仰通道设计结果，计算出纵向轨迹通道开环传递函数；
- b) 根据开环传递函数计算舰载机自然特性；
- c) 通过与飞行品质要求的对比，分析舰载机纵向轨迹特性的优劣。

步骤 7: 求解轨迹通道开环传递函数

操作目的：了解舰载机轨迹控制基本原理，掌握舰载机轨迹回路开环传递函数等效分析方法，提高其分析实际工程问题的能力。

操作过程：

点击“了解”关闭面板，弹出开环传递函数填空界面，如下图所示。该界面左侧为轨迹控制原理框图和姿态闭环传递函数等信息。右侧为作答界面。



图 26 轨迹开环传递函数填空界面

学生根据第二环节中俯仰通道开环传递函数和择优选择的控制参数，线下分析得出轨迹控制回路开环传递函数。将答案填写在图中右侧的填空处。

填写完毕后，点击“提交”，如提交的答案错误，则弹出提示框，如下图所示。点击“确定”继续下一步，点击“返回”可重新填写。

操作结果：通过对姿态控制回路的综合分析，获得轨迹通道开环传递函数，做为轨迹自然特性分析的对象模型。



图 27 错误提示

步骤 8: 求解轨迹通道自然特性参数

操作目的: 了解舰载机轨迹控制基本原理, 掌握舰载机轨迹回路开环自然特性参数计算分析方法, 提高其分析实际工程问题的能力。

操作过程:

上一步骤点击“确定”后, 将以正确的开环传递函数进行下一步“纵向轨迹特性分析”, 界面如下图所示。界面左侧为轨迹控制律结构框图和脉冲输入响应曲线, 右侧为作答界面。

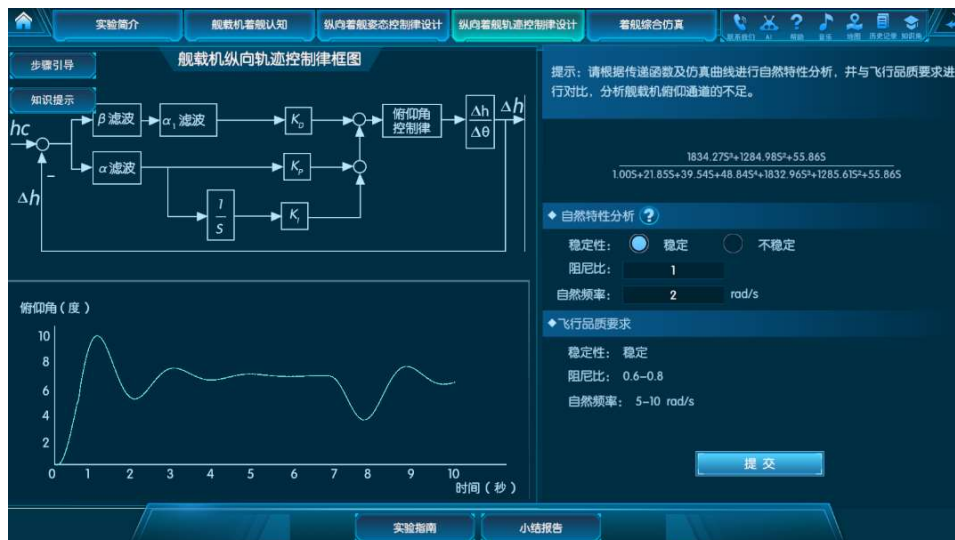


图 28 纵向轨迹特性分析界面

学生根据轨迹开环传递函数及仿真曲线进行纵向轨迹特性分析, 对稳定性作出评价选择, 并填写阻尼比和自然频率。并与飞行品质要求进行对比, 分析舰载

机高度通道的自然特性的优劣。

点击“提交”按钮，提交答案，弹出提示如下图所示。



图 29 提交结果提示

操作结果：通过轨迹通道开环传递函数，获得轨迹通道的自然特性，与飞行品质规范要求比较，了解舰载机轨迹响应的不足，为后续控制律设计指明方向。

子环节 2：纵向轨迹控制律设计

点击“确定”进入下一子环节“纵向轨迹控制律设计”，首先弹出任务目标面板，如图 30 所示。



图 30 任务目标面板

该子环节主要有三项任务目标：

- a) 根据上一步的舰载机纵向轨迹特性分析结果进行 PID 控制参数设计；
- b) 运行并保存 PID 参数设计数据；

c) 选择一组满足性能指标要求的最优数据，用于后续环节的参数设计与仿真验证。

步骤 9: PID 控制比例参数设计

操作目的: 通过调节比例参数，改善轨迹响应的稳定性、快速性，让学生掌握比例参数的调节规律。

操作过程:

点击“了解”，关闭任务目标面板，弹出“PID 参数设计”界面，如下图所示。



图 31 轨迹 PID 参数设计界面

界面主体为舰载机侧视图，右侧为性能指标和单位阶跃响应曲线，下面为 PID 参数调节部分，如图 32 所示。

在左下角的“比例环节 (P)”文本框内输入比例参数（数值从小到大变化），点击“运行”，观察右侧参数曲线的动态响应，以及性能指标中的上升时间，当上升时间小于 3 秒，并出现明显振荡时，比例参数调节完成。

提示：如果出现响应曲线振荡发散现象，可以通过微分参数来消除。

操作结果: 通过调节比例参数，加快舰载机轨迹响应的上升时间和调节时间，改善动态响应快速性。同时也会带来较大的振荡，需要通过微分参数来消除该振荡。



图 32 比例参数调节

步骤 10: PID 控制微分参数设计

操作目的: 通过调节微分参数，消除上一步骤引起的姿态响应振荡，改善舰载机的动态阻尼特性。让学生掌握微分参数调节规律。

操作过程:

本步骤操作界面不变，如图 33 所示。在“微分环节 (D)”文本框中输入微分参数 (数值从小到大变化)，点击“运行”，观察右侧参数曲线的动态响应，以及性能指标中的上升时间，当无明显振荡，且上升时间小于 5 秒，微分参数调节完成。



图 33 微分参数调节

操作结果：通过调节微分参数，消除响应振荡现象，改善轨迹动态响应的阻尼特性。

步骤 11: PID 控制积分参数设计

操作目的：通过调节积分参数，消除轨迹响应的稳态误差，改善轨迹响应的控制精度。让学生掌握积分参数调节的规律。

操作过程：

本步骤操作界面不变，如图 34 所示。在“积分环节 (I)”文本框中输入积分参数（数值从小到大变化），点击“运行”，观察右侧参数曲线的动态响应，以及性能指标中的超调量、上升时间和稳态误差，当满足超调量不大于 5%，上升时间不大于 2 秒，稳态误差不大于 0.1 度，积分参数调节完成。



图 34 积分参数调节

步骤 12: 控制参数择优分析

操作目的：从上一步骤保存的 5 组参数中，通过相互比较选择一组最优控制参数，进一步让学生掌握 PID 参数调节规律，以及性能指标的衡量标准

操作过程：

在上述设计步骤基础上，学生还可多次调整 P、D、I 三个参数，观察在当前 PID 参数的影响下，飞机的飞行状态和响应曲线。

通过对 PID 参数的多次设置和运行，观察并对比参数曲线，直至达到学生自己认为满意的参数，并点击保存进行数据保存（学生最多可保存 5 次 PID 参数，保存结果将在下一步骤“参数择优界面”展示）。如不点击保存，则运行结果不保存，运行结果将在点击运行时被清除。

点击“参数择优”，进入“参数择优界面”，如下图所示。图中右侧为性能和曲线显示窗口，右侧为“运行参数数据记录”展示学生所保存的所有 PID 参数。左边参数曲线和右边数据记录相对应，右侧选中某条参数则左侧对应曲线高亮显示。



图 35 参数选择界面

选择其中一条参数，则响应曲线高亮显示，同时显示性能指标，学生通过对五组参数曲线和性能指标进行比较，选择一组最优参数点击“提交”，则提交此参数，此时弹出提交成功提示框。

点击“返回”将返回 PID 参数设置界面。选择参数并提交，弹窗提示提交成功。点击确定，进入下一步“舰尾流抑制性能优化设计”。



图 36 参数提交界面

操作结果：通过 PID 参数择优，选择一组最优参数，并以该参数作为后续轨迹控制律进一步优化的基础。

子环节 3 (步骤 13): 舰尾流抑制性能优化设计

操作目的: 加入实际着舰环境下的舰尾流干扰, 通过时域仿真分析, 了解舰尾流干扰对着舰轨迹的影响, 掌握通过 PID 参数优化改善干扰抑制的方法。

操作过程:

点击“舰尾流抑制性能优化设计”, 首先弹出“任务目标”面板, 如图 37 所示。



图 37 “任务目标”面板

该子环节主要有两项任务目标:

- 根据上一步的 PID 参数加入舰尾流干扰进行仿真;
- 分析舰尾流干扰抑制效果, 进一步优化 PID 参数并保存。

点击“了解”, 进入此部分的 PID 参数设计界面, 如图 38 所示。其界面与纵向轨迹控制律设计相似, 只是右侧上面为姿态响应曲线。



图 38 PID 参数设计界面

与前面 PID 控制参数步骤类似，学生可进行 PID 参数调整，并观察在舰尾流扰动下，曲线动态响应时间和稳态误差，并选择一组最优参数保存。

操作结果：通过在舰尾流干扰下的 PID 参数优化，进一步提高在真实着舰环境中的舰尾流抑制能力。

子环节 4（步骤 14）：甲板运动跟踪性能优化设计

操作目的：加入实际着舰环境下的甲板运动跟踪指令，通过时域仿真分析，了解舰载机甲板运动跟踪能力，掌握通过 PID 参数优化改善甲板运动跟踪的方法。

操作过程：

点击“甲板运动跟踪性能优化设计”，首先弹出“任务目标”面板，如图 39 所示。



图 39 “任务目标” 面板

该子环节主要有两项任务目标：

- a) 根据上一步的 PID 参数加入甲板运动跟踪进行仿真；
- b) 分析甲板运动跟踪效果，进一步优化 PID 参数并保存。

点击“了解”，进入此部分的 PID 参数设计界面，如图 40 所示。其界面与舰尾流抑制优化设计相似，只是主界面为后视图，左下方为侧视图缩窗。



图 40 PID 参数设计界面

与前面 PID 控制参数步骤类似，学生可进行 PID 参数调整，并观察在甲板运动跟踪指令下，曲线动态响应时间和稳态误差，并选择一组最优参数保存。点击确定，进入“着舰综合仿真优化”环节。

操作结果：通过在甲板运动跟踪下 PID 参数优化，进一步提高在真实着舰环境中甲板运动跟踪补偿能力。

4) 着舰综合仿真验证环节

进入“着舰综合仿真验证”，首先弹出“任务目标”面板，如下图所示。

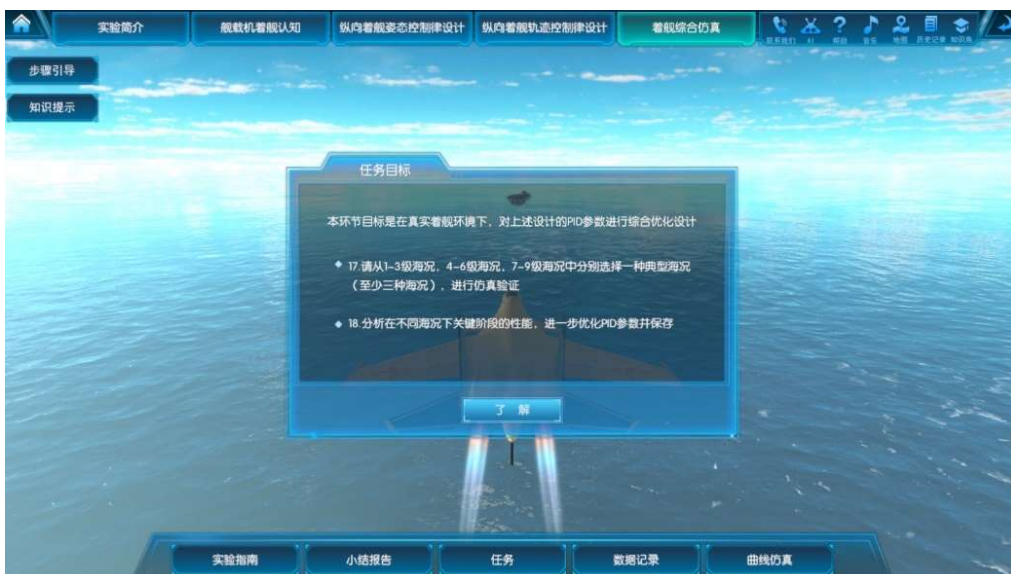


图 41 “任务目标”面板

该子环节主要有两项任务目标：

a) 请从 1-3 级海况, 4-6 级海况, 7-9 级海况中分别选择一种典型海况, 进行仿真验证;

b) 分析在不同海况下关键阶段的性能, 进一步优化 PID 参数并保存。

点击“了解”, 进入海况等级设置与 PID 参数优化界面。如图 42 所示。图中中间为视景仿真演示部分, 可以通过右下方的视角切换按钮切换视角。左侧为海况选择与参数显示窗口。右侧为高度、空速和侧偏曲线窗口。



图 42 海况等级设置与 PID 参数优化界面

步骤 15: 不同海况着舰综合仿真优化

操作目的: 在不同海况 (1-9 级) 下, 进行下滑着舰分析, 通过观察在逼真着舰环境下的仿真现象和关键性能数据, 并分析仿真曲线, 进一步优化着舰姿态和轨迹控制 PID 参数, 使所设计的参数具有工程应用参考价值。

操作过程:



图 43 过舰尾时暂停

在左侧从 1-9 级海况中选择仿真海况等级, 点击运行开始仿真, 在仿真过程

中，默认视角后向视角，学生可以点击切换按钮，切换到侧向/后向和舰上视角。
 在仿真过程中，在过舰尾时，暂停仿真，并弹出如下性能提示窗口。
 点击继续按钮，继续仿真，在触舰时，暂停仿真，并弹出如下性能窗口。



图 44 触舰时，暂停

仿真结束，弹出最后着舰结果。



(a) 成功降落



(b) 失败爆炸

图 45 仿真结束，结果提示

可通过曲线分析按钮打开如下仿真过程数据查看窗口，点击相应曲线窗口查看按钮，则放大显示。点击确定按钮关闭当前窗口。

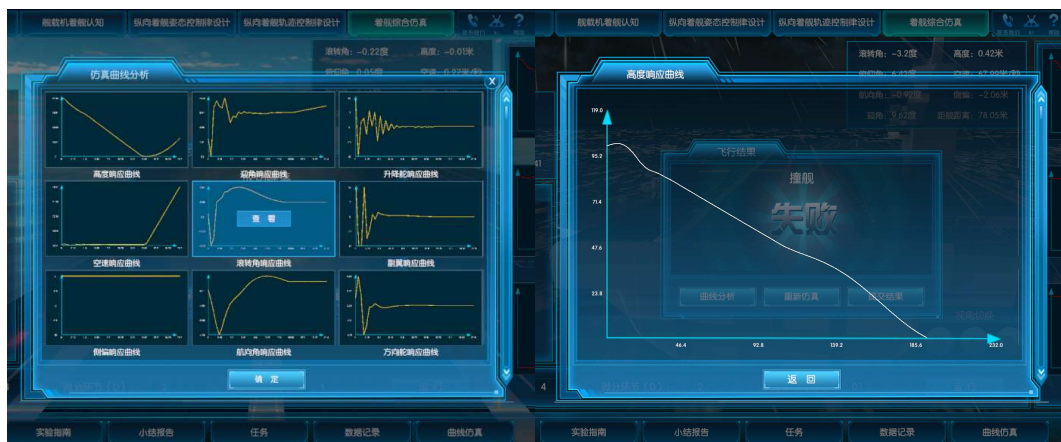


图 46 仿真曲线分析

点击“数据记录”可以跳转到实验记录页面，可以查看仿真过程数据，通过回放按钮，进行离线回放进一步供学生进行性能分析和实验总结。



图 47 参数提取与分析

操作结果: 通过在真实着舰环境下的仿真，分析过舰尾和触舰点性能，对 PID 参数进行综合优化，不断提升在高海况下的精确着舰能力。

最终实验报告成绩以提交保存的每一次参数数据为依据进行考核打分。

3-7 实验结果与结论（说明在不同实验条件和操作下可能产生的实验结果与结论）

序号	不同实验条件或参数	可能的实验结果和结论	考核标准
1	姿态控制比例参数 姿态控制微分参数 姿态控制积分参数	比例参数越大，上升时间越快，但振荡越激烈，调节时间变长。反之，上升时间变慢，振荡平缓 微分参数越大，振荡越平缓，但上升时间变慢。反之，振荡变激烈，但上升时间变快。 积分参数越大，稳态误差越小，但超调量增加。反之，稳态误差变大，超调量减小。	调节时间小于 3 秒 超调量小于 5% 上升时间小于 1 秒 稳态误差小于 0.1 度
2	轨迹控制比例参数 轨迹控制微分参数 轨迹控制积分参数	比例参数越大，上升时间越快，但振荡越激烈，调节时间变长。反之，上升时间变慢，振荡平缓 微分参数越大，振荡越平缓，但上升时间变慢。反之，振荡变激烈，但上升时间变快。 积分参数越大，稳态误差越小，但超调量增加。反之，稳态误差变大，超调量减小。	调节时间小于 3 秒 超调量小于 5% 上升时间小于 1 秒 稳态误差小于 0.1 米
3	舰尾流干扰下不同 PID 参数	在舰尾流干扰作用下，不同 PID 参数，对应干扰抑制性能不同，可由响应稳态误差分析	稳态误差小于 0.1 米
4	甲板运动跟踪下不同 PID 参数	在甲板运动作用下，不同 PID 参数，对应运动跟踪性能不同，可由响应稳态误差分析	稳态误差小于 0.1 米
5	不同海况，不同 PID 参数	不同海况，不同 PID 参数下，舰载机最终呈现成功降落、逃逸复飞、危险触舰、撞舰爆炸、坠海爆炸等不同结果	成功降落

3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

- **专业主干核心课：飞行控制系统**

专业：自动化，探测、制导与控制技术

年级：3 年级

- **新生研讨课：舰载机着舰引导与控制**

专业：航空航天相关专业

年级：1 年级新生

(2) 基本知识和能力要求

对**飞行控制系统课程**学生来说要求具有《航空航天概论》、《自动控制原理》等相关课程基本知识，具备一定的原理分析和参数设计能力。

对**舰载机着舰引导与控制**新生研讨学生来说要求具备一定的**航空航天物理知识**，并对该课程具有**强烈的学习兴趣和热诚**。

本实验项目，既适用于在校专业学生，也可以是相关专业学生，航空院所的技术人员、社会从事与飞行控制相关工作的人员。

3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2019 年 9 月 1 日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校 132 人，外校 25 人

(3) 附所属课程教学计划或授课提纲并填写：飞行控制系统

纳入教学计划的专业数：2，具体专业：自动化，探测、制导与控制

教学周期：2，学习人数：157

(4) 是否面向社会提供服务：●是 ○否

(5) 社会开放时间：2020 年 6 月 15 日

(6) 已服务过的社会学习者人数：100 人

4. 实验教学特色

（该虚拟仿真实验教学课程的实验设计、教学方法、评价体系等方面的特色，限 800 字以内）

(1) 科研转化教学，实验内容遵循工程实践规律

本课程实验内容来自于团队多年研究成果，在与国内航空工业集团和船舶工业集团下属研究机构开展了广泛深入的合作，建立了多个数字仿真及半实物仿真系统基础上，积累了从舰载机飞行控制律设计、着舰引导系统建模、着舰环境（甲板运动、舰尾流等）建模、弹射/拦阻装置建模等系列化的虚拟仿真资源。

(2) 深挖思政教育元素，不断提升大学生的政治素养，铸魂育人

舰载机着舰是近年来我国重大工程项目之一，是国之重器，因此开设舰载机着舰纵向飞行控制律设计虚拟仿真实验课程，面向新进大学的大一新生和对行业有所了解的高年级大学生，除了可以传授他们专业知识，拓宽技术领域外，更是一种创新与奉献精神的传承，是深耕大学生面对和解决复杂工程技术难题勇往无前，开拓创新意识品质的有效手段。

(3) 完善开放共享教学模式，突出实验核心元素的自主性和探索性

面向工程问题探索最优控制参数的工程实践能力和创新能力的培养，以及复杂的着舰环境的随机性、突发性，设置个性化的任务分配策略，控制参数不同，仿真结果亦不同，从而激发学生的探索精神和实践兴趣，启发并培养学生的创新意识。

(4) 丰富多元化考核手段，构建了合理有效的评价改进体制

一方面，通过个性化任务避免了抄袭偷懒的现象，利用“多元化”的考核方式，构建了多角度、多层次的学生实验成绩评价体系，除了评价学生掌握系统知识的能力外，还注重评价学生的创新能力，解决工程实际问题的能力。另一方面，建立了完备的实验系统评价体系，基于学生的实验成绩评价，并结合调查问卷收集学生对实验系统、实验设计、学习效果等方面的评价与反馈信息，进行统计分析，以便于项目团队进一步改善虚拟实验课程的功能，提高虚拟仿真实验的教学质量。

5. 实验教学在线支持与服务

(1) 教学指导资源: 教学指导书 教学视频 电子教材 课程教案

(申报系统上传) 课件(演示文稿) 其他

(2) 实验指导资源: 实验指导书 操作视频 知识点课件库 习题库

(申报系统上传) 测试卷 考试系统 其他

(3) 在线教学支持方式: 热线电话 实验系统即时通讯工具 论坛

支持与服务群 其他

(4) 11 名提供在线教学服务的团队成员; 4 名提供在线技术支持的技术人员; 教学团队保证工作日期间提供 12 小时/日的在线服务

6. 实验教学相关网络及安全要求描述

6-1 网络条件要求

(1) 说明客户端到服务器的带宽要求 (需提供测试带宽服务)

带宽要求: 20M 下行对等带宽。

经测试客户机, 带宽在 20M 以上时, 能够有较快的加载速度和较好的交互体验。

本次测试基于主流配置计算机, 模拟学生在校内校外不同的使用环境, 最大限度地还原用户上网学习虚拟仿真实验的需求。

测试一: 物理连接链路测试。测试目的: 测试客户机和虚拟仿真实验课程网站的延迟和丢包情况; 测试方法: 客户机对本次虚拟仿真实验课程网站进行 PING 操作。

测试二: 网络质量测试。测试目的: 测试不同网络环境访问本虚拟仿真实验页面的加载情况。测试方法: 通过 IP 代理, 测试客户机在不同地域环境下打开虚拟仿真实验课程网页的速度。

测试结果:

当客户机带宽小于 20M 时, 丢包情况严重、网络延时都很高, 部分环境延时可以达到 20ms 以上, 丢包率超过 5%;

当客户机带宽小于 20M 的时候, 在不同 IP 对本虚拟仿真实验网页打开的测试中, 网页打开速度较慢, 特别是课件加载卡顿现象也常有发生, 访问效果不理想。

基于以上测试结果, 我们推荐客户机的带宽应大于 20M。

(2) 说明能够支持的同时在线人数 (需提供在线排队提示服务)

本虚拟仿真项目的服务器最佳响应并发数为 300。

我们模拟用户访问虚拟仿真项目网站首页、用户登录和加载课件等操作。

经测试, 当用户数量在 300 以下时, 各项服务均能在 0.2s 内做出响应, 服务器负载处于较低水平, 课件加载也很快。当用户数达到 2000, 服务响应时间维持在 0.8s 以内, 但课件加载速度下降严重。当用户数达到 6000 时, 服务响应时间超过 1s, 服务器负载也超过了 80%。

基于以上测试结果我们认为本虚拟仿真项目服务器的最佳响应并发数为 300。

6-2 用户操作系统要求（如 Windows、Unix、IOS、Android 等）

(1) 计算机操作系统和版本要求

计算机操作系统为 Windows7、Windows8、Windows10
Deepin15.7（国产 Linux 系统）

(2) 其他计算终端操作系统和版本要求

无。

(3) 支持移动端： 是 否

6-3 用户非操作系统软件配置要求（兼容至少 2 种及以上主流浏览器）

(1) 非操作系统软件要求（支持 2 种及以上主流浏览器）

谷歌浏览器 IE 浏览器 360 浏览器 火狐浏览器 其他

(2) 需要特定插件 是 否

如勾选“是”，请填写：

插件名称：无。

插件容量：-- M。

下载链接：无。

(4) 其他计算终端非操作系统软件配置要求（需说明是否可提供相关软件下载服务）

学生需要在 Windows7、Windows8、Windows10 系统环境下，使用以下浏览器打开：

浏览器类型	支持 WebGL	不支持 WebGL
Mozilla Firefox 52 及以上版本	支持	
Google Chrome 57 及以上版本	支持	
Apple Safari 11 及以上版本	支持	
MS Edge 16 及以上版本	支持	
360 浏览器	基于（Chrome）内核，并且开启极速模式、智能开启硬件加速情况下支持存在右键划线问题，属于浏览器自身设置原因，关闭浏览器鼠标手势即可	基于（IE）内核，不支持

浏览器:Google Chrome

下载地址：http://dl.hdmoool.com/tools/chrome_x64.exe

6-4 用户硬件配置要求（如主频、内存、显存、存储容量等）

(1) 计算机硬件配置要求

Web 端 用户硬件要求

处理器：Intel (R) Core (TM) i5

主频：2.4GHz

内存：8GB

显卡：NVIDIA GeForce GTX GT740 2G

(2) 其他计算终端硬件配置要求

无特殊要求，满足能上网功能即可。

6-5 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）

(1) 计算机特殊外置硬件要求

无

(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求：☉无 ○有

如勾选“有”，请填写其他计算终端特殊外置硬件要求：

无

6-6 网络安全（实验系统要求完成国家信息安全等级二级认证）

(1) 证书编号：

32010743001-21001

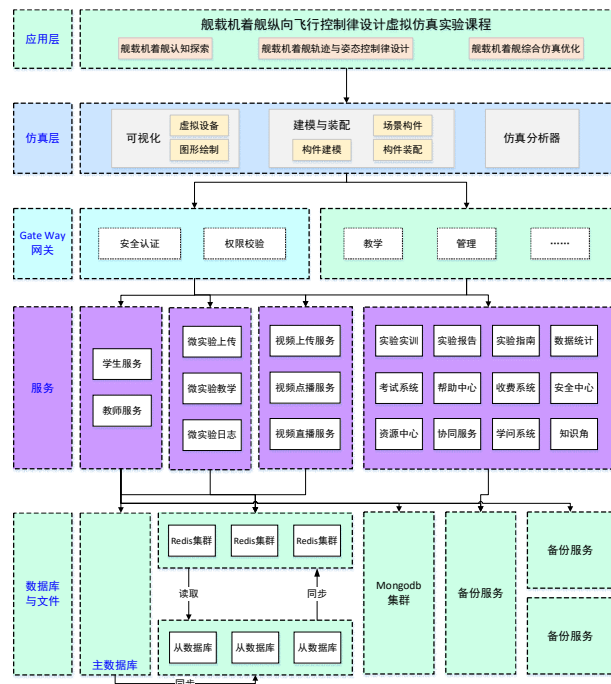
(2) 请附信息系统安全等级保护备案证明

见附件。

7. 实验的技术架构及主要研发技术

指标	内容
系统架构图及简要说明	<p>本系统是基于 B/S 架构设计的虚拟仿真实验教学平台。系统采用轻量化的开发语言和模块化设计方案，部署简单、使用方便。系统支持分布式部署方案，可随使用情况动态扩充容量，基于容器化部署还可实现自动扩容，无需人为干预。</p> <p>系统包含实验实训、实验报告、实验指南、数据统计、考试系统、帮助中心、收费系统、安全中心、资源中心、协同服务、学</p>

问系统和知识角等功能模块。系统除支持虚拟仿真实验外还可上传视频和其它文档资料，支持系统化课程体系学习。系统可对学生实验、学习数据做详细记录并分析每个学生的学习情况和整体学生知识掌握情况，实验报告系统可对学生提交的实验报告进行自动批阅也可由教师人工批阅或学生相互阅评。



系统用户可分为教师和学生两种角色。教师可发布实验资源、建设实验课程、设置课程共享信息、可查看发布课程的学习情况、可批阅学生实验报告和考试。学生可报名参与课程，可观看报名课程的视频操作课程的实验资源，可查看个人的学习情况，可评价学习课程、参与课程讨论，可参与实验报告互评等。

实验 教学	开发技术	<input checked="" type="checkbox"/> VR <input type="checkbox"/> AR <input type="checkbox"/> MR <input checked="" type="checkbox"/> 3D 仿真 <input type="checkbox"/> 二维动画 <input type="checkbox"/> HTML5 <input type="checkbox"/> 其他
	开发工具	<input checked="" type="checkbox"/> Unity3D <input checked="" type="checkbox"/> 3D Studio Max <input checked="" type="checkbox"/> Maya <input type="checkbox"/> ZBrush <input type="checkbox"/> SketchUp <input type="checkbox"/> Adobe Flash <input type="checkbox"/> Unreal Development Kit <input type="checkbox"/> Animate CC <input type="checkbox"/> Blender <input type="checkbox"/> Visual Studio <input type="checkbox"/> 其他
	运行环境	服务器 CPU <u>16</u> 核、内存 <u>32</u> GB、磁盘 <u>1000</u> GB、 显存 <u>16</u> GB、GPU 型号 <u>NVIDIA GRID K1</u> 操作系统 <input type="checkbox"/> Windows Server <input checked="" type="checkbox"/> Linux <input type="checkbox"/> 其他 具体版本： 数据库 <input checked="" type="checkbox"/> Mysql <input type="checkbox"/> SQL Server <input type="checkbox"/> Oracle <input type="checkbox"/> 其他 备注说明 （需要其他硬件设备或服务器数量 多于 1 台时请说明） 是否支持云渲染： <input type="radio"/> 是 <input checked="" type="radio"/> 否
	实验品质（如：单场景模型总面数、贴图分辨率、每帧渲染次数、动作反馈时间、显示刷新率、分辨率等）	单场景模型总面数：40 万三角面 贴图分辨率：512*512 每帧渲染次数：30fps 动作反馈时间：1/90s 显示刷新率：60HZ 分辨率：4K

8. 实验教学课程持续建设服务计划

(本实验教学课程今后 5 年继续向高校和社会开放服务计划及预计服务人数)

(1) 课程持续建设

日期	描述
第一年	舰载机着舰侧向姿态控制律设计
第二年	舰载机着舰侧向轨迹控制律设计
第三年	菲涅尔透镜人工着舰技术
第四年	基于 VR、AR 的沉浸式教学环境建设
第五年	舰载机着舰控制 独立虚拟仿真实验课程建设

其他描述:

南京航空航天大学已落实舰载机着舰飞行控制系统的实验教学建设经费近 200 万元, 其中虚拟仿真教学实验已投入约 40 万元。本项目未来 5 年内拟再投入 150 万, 用于项目的持续建设与更新, 将在今后的几年内继续整合舰载机(包括舰载直升机、舰载无人机等)着舰相关的虚拟仿真实验案例, 补充增加其他的实验内容。

团队将持续推动舰载机着舰飞行控制系统仿真实验系统的建设, 进一步加强科教融合, 并拓展至更多的专业课实践教学, 力争在今年的五年内构建特色鲜明、国内领先和国际先进的虚拟仿真实实践教学平台。

(2) 面向高校、社会的教学推广应用计划

日期	推广高校数	应用人数	推广行业数	应用人数
第一年	5	1000	3	300
第二年	10	2000	5	500
第三年	15	3000	10	800
第四年	20	4000	15	1000
第五年	25	5000	20	1200

其他描述:

1) 面向高校的教学推广应用计划

项目组有步骤有计划地向北京航空航天大学、西北工业大学、海军航空工程大学、中国试飞院飞行员学院以及具有航空特色的其他地方院校或专业实施推广, 并做好教学保障工作, 支持线上答疑、交流。

2) 面向社会的推广应用计划

按照建设要求，被认定后 1 年内面向高校和社会免费开放并提供教学服务，1 年后至 3 年内免费开放服务内容不少于 70%，3 年后免费开放服务内容不少于 50%。

本项目将向航空工业沈阳飞机设计研究所、航空工业一飞院、航空工业洪都集团公司、航空工业成都飞机设计研究所，以及试飞院、海军航空兵学院等科研院所推广，为新员工（或舰载机飞行员）提供培训平台，并通过举办会议、成立论坛、接待参访等形式，与相关机构的对口院系和实验室进行项目建设思路、经验和成果的资源共享。

本项目还将作为南京航空航天大学的航空特色向社会普通大众开放，对相关航空背景单位提供培训，对中小学生和公众开展科普航空飞行控制技术、培养青少年群体的科学探索兴趣方面，社会效益显著。

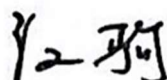
9. 知识产权

软件著作权登记情况	
以下填写内容须与软件著作权登记一致	
软件名称	舰载机着舰纵向飞行控制律设计虚拟仿真实验软件
是否与课程名称一致	<input checked="" type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 否
每栏只填写一个著作权人，并勾选该著作权人类型。如勾选“其他”需填写具体内容；如存在多个著作权人，可自行增加著作权人填写栏进行填报。	
著作权人	著作权人类型
南京航空航天大学	<input checked="" type="radio"/> 课程所属学校 <input type="radio"/> 企业 <input type="radio"/> 课程负责人 <input type="radio"/> 学校团队成员 <input type="radio"/> 企业人员 <input type="radio"/> 其他
权利范围	全部权利
软件著作登记号	2020SR1602614
如软件著作权正在申请过程中，尚未获得证书，请填写受理流水号。	
受理流水号	

10. 诚信承诺

本团队承诺：申报课程的实验教学设计具有一定的原创性，课程所属学校对本实验课程内容（包括但不限于实验软件、操作系统、教学视频、教学课件、辅助参考资料、实验操作手册、实验案例、测验试题、实验报告、答疑、网页宣传图片文字等组成本实验课程的一切资源）享有著作权，保证所申报的课程或其任何一部分均不会侵犯任何第三方的合法权益。

实验教学课程负责人（签字）：



2021年6月10日

11. 附件材料清单

1. 课程团队成员和课程内容政治审查意见（必须提供）

（申报课程高校党委负责对本校课程团队成员以及申报课程的内容进行政审，出具政审意见并加盖党委印章；团队成员涉及多校时，各校党委分别对本校人员出具意见；非高校成员由其所在单位党组织出具意见。团队成员政审意见内容包括政治表现、是否存在违法违纪记录、师德师风、学术不端、五年内是否出现过重大教学事故等问题；课程内容审查包括价值取向是否正确，对于我国政治制度以及党的理论、路线、方针、政策等理解和表述是否准确无误，对于国家主权、领土表述及标注是否准确，等等。）

2. 课程内容学术性评价意见（必须提供）

〔由学校学术性组织（校教指委或学术委员会等），或相关部门组织的相应学科专业领域专家（不少于3名）组成的学术审查小组，经一定程序评价后出具。须由学术性组织盖章或学术审查小组全部专家签字。无统一格式要求。〕

3. 校外评价意见（可选提供）

（评价意见作为课程有关学术水平、课程质量、应用效果等某一方面的佐证性材料或补充材料，可由课程应用高校或社会应用机构等出具。评价意见须经相关单位盖章，以1份为宜，不得超过2份。无统一格式要求。）

“舰载机着舰纵向飞行控制律设计”虚拟仿真实验
附件材料目录

序号	材料名称	页码
1	政治审查意见	61
2	课程学术性评价意见	63
3	软件著作权证书	65
4	校外评价意见 1	67
5	校外评价意见 2	69
6	2019-2020 学年教学计划	71
7	2019-2020 学年系统日志	79
8	信息系统安全等级保护备案证明	81
9	信息系统安全等级保护备案表	83

政治审查意见

兹证明我校所申报的虚拟仿真实验教学一流课程《舰载机着舰纵向飞行控制律设计虚拟仿真实验》内容，能够严格遵守国家、地方和部门的法律法规，政治导向正确，政治方向正确、价值取向正确。

本项目团队成员包括：江驹、王新华、杨姗姗、夏静萍、张绍杰、盛守照、甄子洋、袁锁中、唐超颖、刘剑慰、曹栋、张力、张志冰、王志刚、刘海港、郑馨语、伍志明、赵大力、项洁，团队成员均未发现违法违纪行为。

特此证明。

中国共产党南京航空航天大学委员会



课程学术性评价意见

南京航空航天大学《舰载机着舰纵向飞行控制律设计虚拟仿真实验》课程以国家航母舰载机重大工程为背景，以服务国家专业人才培养为目标，秉承虚实互补的教学理念，坚持立德树人，以学生综合素质发展为中心，具备了良好的开放共享成效。

课程目标符合学校办学定位和人才培养目标，注重知识、能力、素质培养，围绕目标达成、教学内容、组织实施工和多元评价需求进行整体规划，教学策略、教学方法、教学过程、教学评价等设计合理。

课程内容满足时代性、科学性、先进性的要求，同时符合教育部给出的高阶性、创新性、挑战度的要求。在教学实施中，通过任务驱动、容错探究等教学模式和教学方法，提高了课堂教学的参与度、融入感。

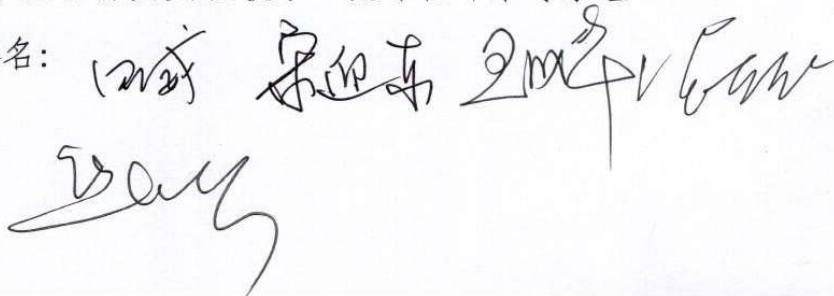
课程针对教学目标、教学内容、教学组织等采用多元化考核评价，过程可回溯，诊断改进积极有效。教学过程材料完整，可借鉴可监督。

课程共享范围广，在同类课程中有很好的导向性和示范性，课程教学团队教学成果显著。

故推荐其参加申报国家级虚拟仿真实验教学一流课程。

南京航空航天大学虚拟仿真实验教学一流课程评审专家组

成员签名：

The image shows four handwritten signatures in black ink. The first signature is on the left, followed by three more signatures to its right, all written in a cursive style.

中华人民共和国国家版权局
计算机软件著作权登记证书

证书号： 软著登字第6403586号

软件名称： 舰载机着舰纵向飞行控制律设计虚拟仿真实验软件
[简称： 着舰纵向飞控仿真实验软件]
V1.0

著作权人： 南京航空航天大学

开发完成日期： 2020年03月20日

首次发表日期： 2020年06月15日

权利取得方式： 原始取得

权利范围： 全部权利

登记号： 2020SR1602614

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。



No. 06741608



2020年11月18日

应用证明

航母舰载机是国家重大发展战略之一，是一个国家科学技术综合实力的集中体现。南京航空航天大学飞行控制类课程教学团队以舰载机着舰控制方面多年积累的研究成果为基础，建立了“舰载机着舰纵向飞行控制律设计”虚拟仿真实验课程，对突出专业课程思政教育以及相关领域卓越技术人才培养具有重大推动作用。

该虚拟仿真实验课程以复杂环境下舰载机着舰控制技术为基础，要求学生通过舰载机着舰认知，姿态/轨迹控制律设计，综合仿真优化等实验环节，了解舰载机着舰系统组成与原理，掌握飞行控制律设计与仿真验证方法以及复杂环境下控制参数优化分析方法。实验过程中难度逐步递进，并注重与理论课程内容相呼应，采用了任务驱动式、交互体验式和容错探究式教学方法，具有开放性、自主性和探索性等特色。

西北工业大学自动化专业在飞行控制课程教学中尝试引入了“舰载机着舰纵向飞行控制律设计”虚拟仿真实验，学生普遍反映该虚拟仿真实验具有较强的国防教育特色，实验内容可操作性强，经过实验训练，可以了解舰载机着舰相关知识，初步掌握着舰控制律设计方法。

应用单位（盖章）：西北工业大学自动化学院



2021年6月16日

公开

应用证明

南京航空航天大学飞行控制课程群教学团队，自上个世纪 90 年代开始，一直致力于舰载机着舰引导与控制核心技术的研究，并与我单位开展了广泛深入的合作，积累了丰富的舰载机着舰虚拟仿真资源。“舰载机着舰纵向飞行控制律设计”虚拟仿真实验课程正是该团队科研成果转化为实验教学的典型案例之一，对在校大学生以及从事相关专业的技术人才培养具有重要的意义。

团队在实验课程设计中，遵循着舰控系统研究规划、设计以及实施的标准化流程，以“舰载机着舰纵向飞行控制律设计”为核心，构建了从舰载机自然特性分析、多回路控制律设计以及综合仿真优化为主线的实验流程，涵盖了从基础认知、设计性、综合性及创新性不断递进的虚拟仿真实验，可以满足从本科生到博硕士研究生理论学习与创新实践的需求，也为研究机构技术人员培训提供理论与实践教学平台。

我单位技术人员使用后一致认为：该虚拟仿真实验知识点课件库内容丰富，知识体系完整，实验内容贴合工程实际，理论与实践结合紧密，可促进技术人员理论水平和实验技能的提升。

中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所



课程教学计划

周数 12
讲课 38 学时
课堂练习 0 学时
讨论课 4 学时
实验课 10 学时
上机练习 0 学时
共 52 学时

课程名称 飞行控制系统 总学时 52 教材名称 Flight Stability and automatic control
 2019-2020 学年 第 2 学期 专业 自动化 班级 0317101-0317106

周次	每周学时数	讲课内容 (教学大纲章节和题目的名称)	学时数				上机练习	备注
			讲课	课堂练习	讨论课	实验课		
第 1 周	4	绪论 第一章 基础知识 1.1 大气特性 1.2 空气动力学基础知识	4					
第 2 周	6	1.3 空气动力的产生与计算 1.4 坐标系与变量的定义 1.5 传感器	3		1		2	舰载机着舰认知(虚拟仿真实验)
第 3 周	4	第二章 飞机静稳定性与控制分析 2.1 静稳定性与平衡(配平)状态的概念 2.2 飞机纵向静稳定性的概念及飞机各部分对稳定性的影响	4					

第 4 周	4	2.3. 飞机纵向配平 2.4 铰链力矩、杆力与纵向控制 2.5 航向静稳定性与控制分析 2.6 滚转静稳定性与控制分析	4					
第 5 周	4	第三章 飞机运动方程 3.1 飞机的运动方程的推导 3.2 机体坐标与地面坐标关系推导 3.3 小扰动线性化 3.4 纵向气动导数分析 3.5 侧向气动导数	3		1			
第 6 周	6	第四章 飞机纵向运动分析 4.1 纵向单自由度运动分析 4.2 纵向运动状态方程 4.3 纵向飞行模态分析 4.4 纵向飞行品质	4			2		
第 7 周	6	第五章. 飞机侧向运动分析 5.1 单自由度航向运动分析, 5.2 单自由度横滚运动分析 5.3 侧向运动状态方程	4			2		

	5.4 侧向运动模态分析 5.5 侧向飞行品质 5.6 阻尼器设计									
第 8 周	6 第六章 飞行控制系统设计 6.1 飞机运动的传递函数 6.2 纵向阻尼器及俯仰姿态控制回路设计 6.3 高度控制系统设计 6.4 速度控制系统的设计 6.5 舰载机着舰控制系统设计（纵向）	3	1	2						舰载机纵向着舰控制律设计虚拟仿真实验
第 9 周	6 6.6 滚转阻尼器及滚转角控制系统 6.7 航向协调控制系统设计 6.8 侧向轨迹控制系统设计 6.9 舰载机着舰控制系统设计（侧向）	4		2						舰载机侧向着舰控制律设计虚拟仿真实验
第 10 周	6 6.10 飞机飞行控制系统设计实例-舰载机着舰引导与控制系统	3	1	2						舰载机着舰综合仿真优化虚拟仿真实验

课程教学计划修订情况说明

针对前一年“课程总结表”中分析的不足之处，在教学计划中做出的若干改进情况进行详细说明。

前一年的课程总结表中显示，学生对于飞机的基本概念掌握不好。另外学生在做大作业时间，不清楚系统设计的过程及要求，故本学期的教学计划中增加了舰载机虚拟仿真及讨论课的学时，加强学生对于基本概念的理解，提高系统设计的能力。

任课教师 袁汉中

辅导教师 _____

系主任 唐颖

教学院长 王玮琳

2021年6月9日

课程教学计划

课程名称 飞行控制系统 总学时 52 教材名称 Flight Stability and automatic control
 2019-2020 学年 第 1 学期 专业 探测、制导与控制 班级 0317501-0317502
 周讲 12 学时
 课堂练习 38 学时
 讨论课 0 学时
 实验课 4 学时
 上机练习 10 学时
 共 52 学时



周次	每周学时数	讲课内容 (教学大纲分章和题目的名称)	学时				备注	
			讲课	课堂练习	讨论课	实验课		上机练习
第 1 周	4	绪论 第一章 基础知识 1.1 大气特性 1.2 空气动力学基础知识	4					
第 2 周	6	1.3 空气动力的产生与计算 1.4 坐标系与变量的定义 1.5 传感器	3		1	2		舰载机着舰认知(虚拟仿真实验)
第 3 周	4	第二章 飞机静稳定性与控制分析 2.1 静稳定性与平衡(配平)状态的概念 2.2 飞机纵向静稳定性的概念及飞机各部分对稳定性的影响	4					

第 4 周	4	2.3. 飞机纵向配平 2.4 铰链力矩、杆力与纵向控制 2.5 航向静稳定性与控制分析 2.6 滚转静稳定性与控制分析	4					
第 5 周	4	第三章 飞机运动方程 3.1 飞机的运动方程的推导 3.2 机体坐标与地面坐标系推导 3.3 小扰动线性化 3.4 纵向气动导数分析 3.5 侧向气动导数	3	1				
第 6 周	6	第四章 飞机纵向运动分析 4.1 纵向单自由度运动分析 4.2 纵向运动状态方程 4.3 纵向飞行模态分析 4.4 纵向飞行品质	4			2		
第 7 周	6	第五章. 飞机侧向运动分析 5.1 单自由度航向运动分析, 5.2 单自由度横滚运动分析 5.3 侧向运动状态方程	4			2		

	5.4 侧向运动模态分析 5.5 侧向飞行品质 5.6 阻尼器设计								
第 8 周	6 第六章 飞行控制系统设计 6.1 飞机运动的传递函数 6.2 纵向阻尼器及俯仰姿态控制回路设计 6.3 高度控制系统设计 6.4 速度控制系统的设计 6.5 舰载机着舰控制系统设计（纵向）	6	3	1	2	1	2	舰载机纵向着舰控制律设计虚拟仿真实验	
第 9 周	6 6.6 滚转阻尼器及滚转角控制系统 6.7 航向协调控制系统设计 6.8 侧向轨迹控制系统设计 6.9 舰载机着舰控制系统设计（侧向）	6	4				2	舰载机侧向着舰控制律设计虚拟仿真实验	
第 10 周	6 6.10 飞机飞行控制系统设计实例—舰载机着舰引导与控制系统	6	3	1	2	1	2	舰载机着舰综合仿真优化虚拟仿真实验	

课程教学计划修订情况说明

针对前一年“课程总结表”中分析的不足之处，在教学计划中做出的若干改进情况进行详细说明。

前一年的课程总结表中显示，学生对于飞机的基本概念掌握不好。另外学生在做大作业时间，不清楚系统设计的过程及要求，故本学期的教学计划中增加了舰载机虚拟仿真及讨论课的学时，加强学生对于基本概念的理解，提高系统设计的能力。

任课教师 杨忠

辅导教师 _____

系主任 唐延敏

教学院长 王琳琳

2021年6月9日

舰载机着舰纵向控制律设计虚拟仿真实验项目

总体情况

学习完成情况		成绩分布								
完成人次	未完成人次	60-69	70-79	80-89	90-100					
132	0	8	35	57	32					
第1期										
开课时间	2019.9.01	招生开始时间	2019.9.01	招生结束时间	2019.12.29					
学习完成情况		成绩分布								
完成人次	未完成人次	60-69	70-79	80-89	90-100					
67	0	4	16	31	16					
序号	身份	姓名	学号	单位	专业	进度%	进入时间	离开时间	用时	得分
1	学生	李昕程	031550120	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	65
2	学生	张会民	031550127	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	86
3	学生	张博言	031650105	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	77
4	学生	杨凯	031650111	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	87
5	学生	贺怡铭	031750101	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	85
6	学生	王心菡	031750102	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	83
7	学生	孙静怡	031750103	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	84
8	学生	张曜琪	031750104	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	87
9	学生	李萱露	031750105	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	87
10	学生	吴昊	031750106	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	85
11	学生	程一唯	031750107	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	90
12	学生	秦思怡	031750108	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	88
13	学生	方诗雨	031750110	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	83
14	学生	杜蔚峰	031750111	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	75
15	学生	李浩冉	031750113	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	88
16	学生	孔祥明	031750114	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	68
17	学生	张浩迪	031750115	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	92
18	学生	冯超杰	031750116	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	85
19	学生	张祚铭	031750117	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	61
20	学生	魏凌霄	031750118	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	80
21	学生	郭子健	031750119	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	81
22	学生	滕奎丞	031750120	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	78
23	学生	邢思远	031750121	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	66
24	学生	褚凯祥	031750122	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	79
25	学生	邓安迪	031750123	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	91
26	学生	李浩轩	031750124	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	94
27	学生	尉迟天逸	031750125	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	76
28	学生	帅嘉	031750127	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	90
29	学生	施棋	031750128	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	90
30	学生	王亚楠	031750129	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	96
31	学生	甘业凡	031750130	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	72
32	学生	张华昕	031750132	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	88

33	学生	任超	031750133	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	86
34	学生	张啸晋	031750134	自动化学院	探测制导与控制技术2017-1班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	92
35	学生	谢尚志	031650231	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	72
36	学生	刘鸿睿	031650234	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	82
37	学生	姜涵颖	031750201	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	71
38	学生	李佳	031750202	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	73
39	学生	苗慧	031750203	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	79
40	学生	程兴钰	031750205	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	84
41	学生	沈彦君	031750206	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	85
42	学生	齐彤	031750208	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	89
43	学生	王盈颖	031750209	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	83
44	学生	曹柳	031750211	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	95
45	学生	叶林威	031750212	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	84
46	学生	翟墨	031750214	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	80
47	学生	王浩鑫	031750213	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	82
48	学生	俞邦望	031750214	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	96
49	学生	孙潇然	031750215	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	95
50	学生	王心昊	031750216	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	92
51	学生	王维	031750217	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	80
52	学生	陈博瀚	031750218	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	78
53	学生	张长健	031750219	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	86
54	学生	张智琦	031750220	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	86
55	学生	王聪	031750221	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	92
56	学生	江盛恺	031750222	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	78
57	学生	康晖明	031750223	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	84
58	学生	段焜杰	031750224	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	86
59	学生	覃臻乐	031750226	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	92
60	学生	张舒晗	031750227	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	72
61	学生	王浩杰	031750228	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	82
62	学生	秦睿智	031750229	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	71
63	学生	罗奇比	031750230	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	73
64	学生	徐仁	031750231	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	79
65	学生	朱守东	031750232	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	84
66	学生	马铭江	031750233	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	91
67	学生	朱子睿	031750234	自动化学院	探测制导与控制技术2017-2班	100%	2019/10/9 10:30	2019/10/9 12:00	90	81
第2期										
开课时间			2020.3.09	招生开始时间			招生结束时间			
学习完成情况			成绩分布							
完成人次	未成人次	0-59	60-69	70-79	80-89	90-100				
65	0	0	4	19	26	16				
1	学生	祝铭焯	011710105	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	90
2	学生	浦湛	031510123	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	67
3	学生	张浩渝	031610115	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	84
4	学生	许泽坤	031610119	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	97

5	学生	高源	031710101	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	83
6	学生	虞焱	031710102	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	97
7	学生	吴倩倩	031710103	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	87
8	学生	高孟	031710107	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	97
9	学生	杨紫薇	031710108	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	84
10	学生	周东玥	031710109	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	97
11	学生	寸欣	031710110	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	83
12	学生	孟浩成	031710111	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	83
13	学生	汤禹昕	031710112	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	90
14	学生	李志取	031710113	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	76
15	学生	潘浩天	031710114	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	87
16	学生	任天旺	031710116	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	80
17	学生	宋世旺	031710117	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	80
18	学生	肖培信	031710118	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	70
19	学生	刘维团	031710121	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	94
20	学生	熊超	031710123	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	80
21	学生	宋英杰	031710124	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	90
22	学生	尚肖丰	031710125	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	74
23	学生	方宇航	031710126	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	73
24	学生	王一滢	031710127	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	73
25	学生	季伟	031710128	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	83
26	学生	陈俊哲	031710130	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	90
27	学生	罗瑞	031710131	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	90
28	学生	贾韵钧	031710132	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	83
29	学生	金凌云	031710133	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	73
30	学生	黄巧月	031730302	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	90
31	学生	王彤	051710913	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	84
32	学生	范婉舒	061720101	自动化学院	自动化2017-01班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	93
33	学生	张凯翔	011710129	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	77
34	学生	王琪	031510209	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	90
35	学生	王涛	031510216	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	80
36	学生	董贤绎	031710201	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	90
37	学生	孙笑	031710202	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	87
38	学生	周金梅	031710204	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	83
39	学生	胡雯裕	031710205	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	93
40	学生	王珂儿	031710207	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	80
41	学生	程艳	031710209	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	76
42	学生	董凌霄	031710211	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	84
43	学生	闫贺文	031710212	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	87
44	学生	鲁世辉	031710213	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	74
45	学生	徐耕赤	031710214	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	70
46	学生	吴乐夫	031710215	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	86
47	学生	裴俊武	031710216	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	83
48	学生	王宇航	031710217	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	77
49	学生	刘超	031710218	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	73

50	学生	夏兆祥	031710219	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	80
51	学生	马佳晖	031710220	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	70
52	学生	张文康	031710221	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	74
53	学生	狄兴涛	031710222	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	71
54	学生	朱梦青	031710223	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	74
55	学生	刘超旭	031710224	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	91
56	学生	陈思源	031710225	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	83
57	学生	赵洋	031710227	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	74
58	学生	郝一凡	031710228	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	70
59	学生	杨龙进	031710230	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	87
60	学生	王健	031710232	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	60
61	学生	刘艳宁	031730303	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	67
62	学生	董康	031740123	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	66
63	学生	王知明	051720109	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	81
64	学生	郭冬男	061720118	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	83
65	学生	徐士博	151720113	自动化学院	自动化2017-02班	100%	2020/4/8 14:30	2020/4/8 16:00	90	77

信息安全等级保护 备案证明

依据《信息安全等级保护管理办法》的有关

规定，南京航空航天大学 单位

的：

第二级 南京航空航天大学虚拟仿真实验教学共享平台系统

予以备案。

证书编号：**32010743001-21001**

中华人民共和国公安部监制



备案表编号:

--	--	--	--	--	--	--	--

—

--	--	--	--	--	--	--	--

信息系统安全等级保护 备案表

备 案 单 位: 南京航空航天大学 (盖章)

备 案 日 期: _____

受理备案单位: _____ (盖章)

受 理 日 期: _____

中华人民共和国公安部监制

填 表 说 明

- 一、 **制表依据。**根据《信息安全等级保护管理办法》（公通字[2007]43号）之规定，制作本表；
- 二、 **填表范围。**本表由第二级以上信息系统运营使用单位或主管部门（以下简称“备案单位”）填写；本表由四张表单构成，表一为单位信息，每个填表单位填写一张；表二为信息系统基本信息，表三为信息系统定级信息，表二、表三每个信息系统填写一张；表四为第三级以上信息系统需要同时提交的内容，由每个第三级以上信息系统填写一张，并在完成系统建设、整改、测评等工作，投入运行后三十日内向受理备案公安机关提交；表二、表三、表四可以复印使用；
- 三、 **保存方式。**本表一式二份，一份由备案单位保存，一份由受理备案公安机关存档；
- 四、 本表中有选择的地方请在选项左侧“”划“”，如选择“其他”，请在其后的横线中注明详细内容；
- 五、 **封面中备案表编号（由受理备案的公安机关填写并校验）：**分两部分共11位，第一部分6位，为受理备案公安机关代码前六位（可参照行标GA380-2002）。第二部分5位，为受理备案的公安机关给出的备案单位的顺序编号；
- 六、 **封面中备案单位：**是指负责运营使用信息系统的法人单位全称；
- 七、 **封面中受理备案单位：**是指受理备案的公安机关公共信息网络安全监察部门名称。此项由受理备案的公安机关负责填写并盖章；
- 八、 **表一 04 行政区划代码：**是指备案单位所在的地（区、市、州、盟）行政区划代码；
- 九、 **表一 05 单位负责人：**是指主管本单位信息安全工作的领导；
- 十、 **表一 06 责任部门：**是指单位内负责信息系统安全工作的部门；
- 十一、 **表一 08 隶属关系：**是指信息系统运营使用单位与上级行政机构的从属关系，须按照单位隶属关系代码（GB/T12404—1997）填写；
- 十二、 **表二 02 系统编号：**是由运营使用单位给出的本单位备案信息系统的编号；
- 十三、 **表二 05 系统网络平台：**是指系统所处的网络环境和网络构架情况；
- 十四、 **表二 07 关键产品使用情况：**国产品是指系统中该类产品的研制、生产单位是由中国公民、法人投资或者国家投资或者控股，在中华人民共和国境内具有独立的法人资格，产品的核心技术、关键部件具有我国自主知识产权；
- 十五、 **表二 08 系统采用服务情况：**国内服务商是指服务机构在中华人民共和国境内注册成立（港澳台地区除外），由中国公民、法人或国家投资的企事业单位；
- 十六、 **表三 01、02、03 项：**填写上述三项内容，确定信息系统安全保护等级时可参考《信息系统安全等级保护定级指南》，信息系统安全保护等级由业务信息安全等级和系统服务安全等级较高者决定。01、02 项中每一个确定的级别所对应的损害客体及损害程度可多选；
- 十七、 **表三 06 主管部门：**是指对备案单位信息系统负领导责任的行政或业务主管单位或部门。部级单位此项可不填；
- 十八、 **解释：**本表由公安部公共信息网络安全监察局监制并负责解释，未经允许，任何单位和个人不得对本表进行改动。

表一 单位基本情况

01 单位名称	南京航空航天大学												
02 单位地址	江苏 省(自治区、直辖市) 南京 地(区、市、州、盟) 秦淮 县(区、市、旗) 御道街 29 号 218.94.136.160/27 58.213.51.32/28												
03 邮政编码	2	1	0	0	1	6	04 行政区划代码	3	2	0	1	0	4
05 单位 负责人	姓 名	单忠德			职务/职称	校长							
	办公电话	025-84892411			电子邮件								
06 责任部门	国有资产管理处/节能管理办公室												
07 责任部门 联系人	姓 名	邹望鑫			职务/职称	实验室管理科科长 助理研究员							
	办公电话	025-84892765			电子邮件	zouwangli@nuaa.edu.cn							
	移动电话	18651800325											
08 隶属关系	<input checked="" type="checkbox"/> 1 中央 <input type="checkbox"/> 2 省(自治区、直辖市) <input type="checkbox"/> 3 地(区、市、州、盟) <input type="checkbox"/> 4 县(区、市、旗) <input type="checkbox"/> 9 其他_____												
09 单位类型	<input type="checkbox"/> 1 党委机关 <input type="checkbox"/> 2 政府机关 <input checked="" type="checkbox"/> 3 事业单位 <input type="checkbox"/> 4 企业 <input type="checkbox"/> 9 其他_____												
10 行业类别	<input type="checkbox"/> 11 电信 <input type="checkbox"/> 12 广电 <input type="checkbox"/> 13 经营性公众互联网 <input type="checkbox"/> 21 铁路 <input type="checkbox"/> 22 银行 <input type="checkbox"/> 23 海关 <input type="checkbox"/> 24 税务 <input type="checkbox"/> 25 民航 <input type="checkbox"/> 26 电力 <input type="checkbox"/> 27 证券 <input type="checkbox"/> 28 保险 <input type="checkbox"/> 31 国防科技工业 <input type="checkbox"/> 32 公安 <input type="checkbox"/> 33 人事劳动和社会保障 <input type="checkbox"/> 34 财政 <input type="checkbox"/> 35 审计 <input type="checkbox"/> 36 商业贸易 <input type="checkbox"/> 37 国土资源 <input type="checkbox"/> 38 能源 <input type="checkbox"/> 39 交通 <input type="checkbox"/> 40 统计 <input type="checkbox"/> 41 工商行政管理 <input type="checkbox"/> 42 邮政 <input checked="" type="checkbox"/> 43 教育 <input type="checkbox"/> 44 文化 <input type="checkbox"/> 45 卫生 <input type="checkbox"/> 46 农业 <input type="checkbox"/> 47 水利 <input type="checkbox"/> 48 外交 <input type="checkbox"/> 49 发展改革 <input type="checkbox"/> 50 科技 <input type="checkbox"/> 51 宣传 <input type="checkbox"/> 52 质量监督检验检疫 <input type="checkbox"/> 99 其他_____												
11 信息系统 总数	6 个	12 第二级信息系统数	6 个	13 第三级信息系统数	0 个								
		14 第四级信息系统数	0 个	15 第五级信息系统数	0 个								

	4	数据库	1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	____%
	5	服务器	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	____%
	6	其他 ____		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	____%
08 系统采用服务情况	序号	服务类型		服务责任方类型			
				本行业（单位）	国内其他服务商	国外服务商	
	1	等级测评	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	2	风险评估	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	3	灾难恢复	<input checked="" type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	4	应急响应	<input checked="" type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	5	系统集成	<input checked="" type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	6	安全咨询	<input checked="" type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	7	安全培训	<input checked="" type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	其它____		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
09	等级测评单位名称						
10	何时投入运行使用						
11	系统是是分系统						
12	上级系统名称						
13	上级系统所属单位名称						

表三（ / ） 信息系统定级情况

	损害客体及损害程度	级别
01 确定业务信息安全保护等级	<input type="checkbox"/> 仅对公民、法人和其他组织的合法权益造成损害	<input type="checkbox"/> 第一级
	<input checked="" type="checkbox"/> 对公民、法人和其他组织的合法权益造成 严重 损害 <input type="checkbox"/> 对社会秩序和公共利益造成损害	<input checked="" type="checkbox"/> 第二级
	<input type="checkbox"/> 对社会秩序和公共利益造成 严重 损害 <input type="checkbox"/> 对国家安全造成损害	<input type="checkbox"/> 第三级
	<input type="checkbox"/> 对社会秩序和公共利益造成 特别严重 损害 <input type="checkbox"/> 对国家安全造成 严重 损害	<input type="checkbox"/> 第四级
	<input type="checkbox"/> 对国家安全造成 特别严重 损害	<input type="checkbox"/> 第五级
02 确定系统服务安全保护等级	<input type="checkbox"/> 仅对公民、法人和其他组织的合法权益造成损害	<input type="checkbox"/> 第一级
	<input checked="" type="checkbox"/> 对公民、法人和其他组织的合法权益造成 严重 损害 <input type="checkbox"/> 对社会秩序和公共利益造成损害	<input checked="" type="checkbox"/> 第二级
	<input type="checkbox"/> 对社会秩序和公共利益造成 严重 损害 <input type="checkbox"/> 对国家安全造成损害	<input type="checkbox"/> 第三级
	<input type="checkbox"/> 对社会秩序和公共利益造成 特别严重 损害 <input type="checkbox"/> 对国家安全造成 严重 损害	<input type="checkbox"/> 第四级
	<input type="checkbox"/> 对国家安全造成 特别严重 损害	<input type="checkbox"/> 第五级
03 信息系统安全保护等级	<input type="checkbox"/> 第一级 <input checked="" type="checkbox"/> 第二级 <input type="checkbox"/> 第三级 <input type="checkbox"/> 第四级 <input type="checkbox"/> 第五级	
04 定级时间	2021 年 6 月 1 日	
05 专家评审情况	<input type="checkbox"/> 已评审 <input checked="" type="checkbox"/> 未评审	
06 是否有主管部门	<input type="checkbox"/> 有 <input checked="" type="checkbox"/> 无（如选择有请填下两项）	
07 主管部门名称		
08 主管部门审批定级情况	<input type="checkbox"/> 已审批 <input checked="" type="checkbox"/> 未审批	
09 系统定级报告	<input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 无 附件名称关于南京航空航天大学虚拟仿真实验教学共享平台安全等级保护定级报告	
填表人： 邹望鑫	填表日期： 2021 年 6 月 2 日	

备案审核民警：

审核日期： 年 月 日

信息系统编号： 00006

关于南京航空航天大学虚拟仿真实验教学共享平台 安全等级保护定级报告

一、南京航空航天大学虚拟仿真实验教学共享平台描述

(一) 责任定位

南京航空航天大学虚拟仿真实验教学共享平台 2016 年立项，由南京恒点信息技术有限公司、南京易天智能教育科技有限公司、南京先极科技有限公司、朗伯体（南京）智能信息技术有限公司共同组织开发，2017 年 7 月上线投产，目前该系统由南京恒点信息技术有限公司负责运行维护，国有资产管理处/节能管理办公室是该信息系统业务的责任部门，南京航空航天大学是该信息系统的安全责任单位，承担相应的安全保护责任。

(二) 定级依据

南京航空航天大学虚拟仿真实验教学共享平台安全等级保护的定级依据有：

《信息安全技术 网络安全等级保护定级指南》（GB/T 22240-2020）；

(三) 系统描述

南京航空航天大学虚拟仿真实验教学共享平台是学校开展虚拟仿真实验教学的重要载体，供在校学生使用，学生可以反复

学习演练，减少实际作业危险性和耗材损耗。

南京航空航天大学虚拟仿真实验教学共享平台是学校开展虚拟仿真实验教学的重要载体，供在校学生使用，学生可以反复学习演练，减少实际作业危险性和耗材损耗。南京航空航天大学虚拟仿真实验教学共享平台（<http://virtualsim.nuaa.edu.cn/>）包含10门独立的虚拟仿真实验课程，分别为：

1、舰载机着舰纵向飞行控制律设计虚拟仿真实验

<http://virtualsim.nuaa.edu.cn/exp/14.html>

2、飞机机身壁板断裂力学虚拟仿真实验系统

<http://fmve.nuaa.edu.cn>

3、应急物资航空运输相机决策与调度虚拟仿真实验

<http://ceml-vr.nuaa.edu.cn>

4、大型飞机结构振动特性虚拟仿真实验

<http://virtualsim.nuaa.edu.cn/exp/4.html>

5、脑神经元网络电信号微电极采集与分析虚拟仿真实验

<http://virtualsim.nuaa.edu.cn/exp/11.html>

6、航空航天先进复合材料固化虚拟仿真实验

<http://ideahouse.nuaa.edu.cn>

7、金属层状复合材料构件的制备与性能虚拟仿真实验

<http://jsczfhcl.nuaa.edu.cn>

8、空间辐射效应与防护虚拟仿真实验

<http://virtualsim.nuaa.edu.cn/exp/23.html>

9、航空发动机原理虚拟仿真教学实验

<http://virtualsim.nuaa.edu.cn/course/details-expe/3.html>

10、深空探测科学教育虚拟仿真实验

<http://virtualsim.nuaa.edu.cn/course/details-expe/6.html>

目前南京航空航天大学虚拟仿真实验教学共享平台的网络部署在互联网，边界处通过出口防火墙交互。该系统基于 Linux 服务器，数据库管理软件采用 mysql5.6，系统为 B/S 架构，网络设备和安全设备均部署在南京航空航天大学将军路校区 1 号楼 5 楼数据中心机房。系统内设备有：核心交换机、堡垒机、VPN、态势感知、防火墙等等。拓扑结构如下：

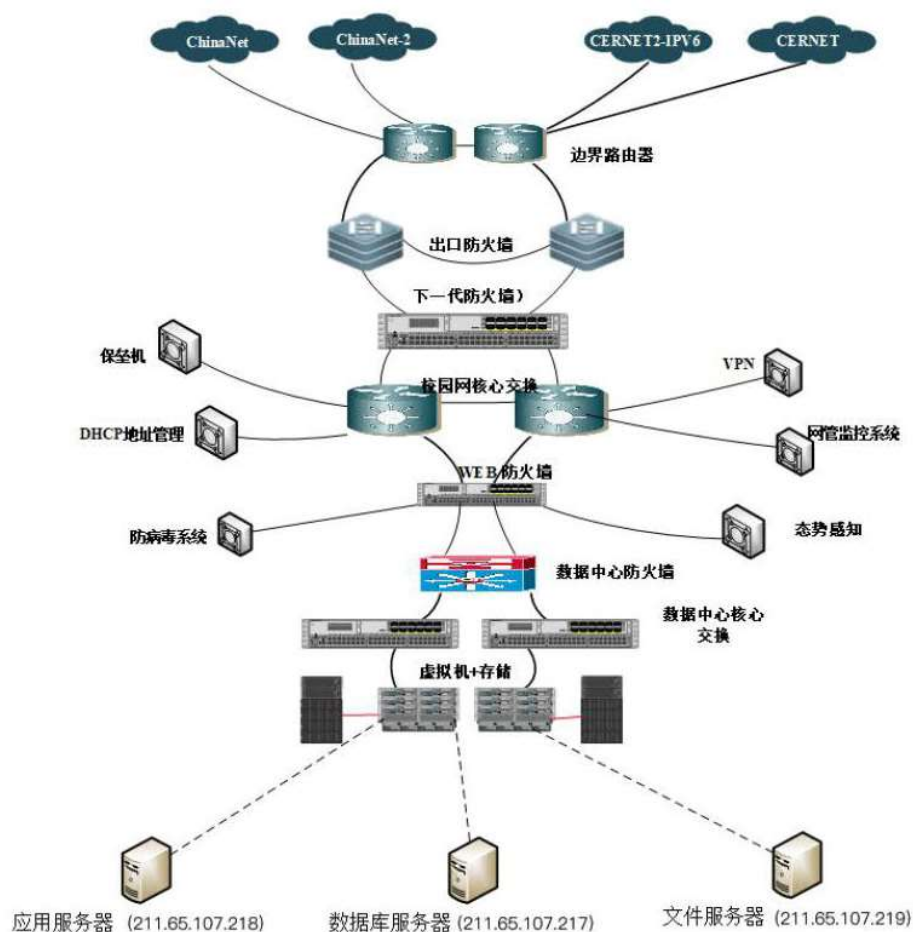


图-1：南京航空航天大学虚拟仿真实验教学共享平台拓扑图

二、虚拟仿真实验教学共享平台安全保护等级确定

(一) 业务信息安全保护等级的确定

1、业务信息描述

通过构建虚拟仿真实验教学共享平台，集成各个虚拟仿真实验教学系统，方便师生进行仿真实验的教学和学习。业务信息主要为学校的教学信息。

2、业务信息受到破坏时所侵害客体的确定

虚拟仿真实验教学共享平台的业务信息遭到入侵、修改、删除等不明侵害，会对该系统造成严重影响和损害，可以表现为：影响学校管理效率及教学效率、内部资料的丢失、学生的正常使用等。

3、信息受到破坏后对侵害客体的侵害程度的确定

上述结果的程度表现为：对公民、法人和其他组织的合法权益造成严重损害。

4、业务信息安全等级的确定

查《定级指南》表 2 知，业务信息安全保护等级为第二级。

系统服务被破坏时所侵害的客体	对相应客体的侵害程度		
	一般损害	严重损害	特别严重损害
公民、法人和其他组织的合法权益	第一级	第二级	第二级
社会秩序、公共利益	第二级	第三级	第四级

国家安全	第三级	第四级	第五级
------	-----	-----	-----

(二) 系统服务安全保护等级的确定

1、系统服务描述

该系统属于虚拟仿真实验教学业务系统，利用该系统为校内外相关专业师生提供仿真实验平台。服务范围未全国，其服务对象主要为：校内外相关专业师生。

2、系统服务受到破坏时所侵害客体的确定

该系统服务遭到破坏后，校内外相关专业师生将无法正常使用该平台，无法及时对业务信息进行管理等。所侵害的客体是以上所有服务对象，受侵害客体为公民、法人和其他组织的合法权益。

3、系统服务受到破坏后对侵害客体的侵害程度的确定

虚拟仿真实验教学共享平台服务受到破坏后，对侵害程度方面表现的侵害结果为：对公民、法人和其他组织的合法权益造成严重损害（影响学校的管理及学生学习等）。

4、系统服务安全等级的确定

按《定级指南》要求，当对公民、法人和其他组织的合法权益造成严重损害时，查《定级指南》表 3 知，该系统的系统服务保护等级为第二级。

系统服务被破坏时所侵害的客体	对相应客体的侵害程度		
	一般损害	严重损害	特别严重损害
公民、法人和其他组织的合法权益	第一级	第二级	第二级
社会秩序、公共利益	第二级	第三级	第四级
国家安全	第三级	第四级	第五级

(三) 安全保护等级的确定

信息系统的安全保护等级由业务信息安全等级和系统服务安全等级较高者决定，最终确定虚拟仿真实验教学共享平台安全保护等级为第二级。

信息系统名称	安全保护等级	业务信息安全等级	系统服务安全等级
虚拟仿真实验教学共享平台	第二级	第二级	第二级