



国防科技大学

NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY



基于能力产出导向的飞行动力学与控制 专业人才培养模式改革

国防科技大学

郑伟

二零一九年四月

主要内容

MAIN CONTENTS

01

概述

02

培养模式构建

03

培养模式实施

04

总结与展望

基于能力产出导向的飞行动力学与控制专业人才培养模式改革



一、概述

飞行动力学与控制是航空航天领域的主要专业方向之一，探究飞行器在内外环境作用下的**运动规律**和满足任务要求的**导航、制导与控制问题**。





一、概述

本方向1958年创建于哈尔滨军事工程学院，60年来在人才培养、科学研究、教育教学改革等方面从未中断，培养了以**中国科学院院士姜杰、全军一等功臣陈德明**为代表的一大批杰出人才。





一、概述

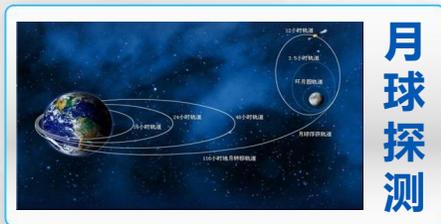
进入新世纪以来，我国航天科技事业和航天装备快速发展，**系统越来越复杂、技术越来越尖端、应用越来越深入**，给飞行动力学与控制方向的人才培养提出了新的挑战。



交会对接

系统特性复杂、涉及学科门类多、工程实践性强

能够创造性解决空天飞行器运动机理分析和控制系统设计中复杂工程问题



月球探测

飞行动力学与控制问题

工程技术人员能力要求

人才培养目标

培养中存在的问题



高超飞行

综合性知识、系统性思维
自主创新意识、实践能力

能力模型系统性不强
核心能力细化程度不够
能力培养落实途径不清晰



一、概述

CDIO为全面、系统的能力落实提供了一套可行的**理念**、**方法论**和**操作指南**。



直接套用CDIO大纲构建专业能力模型：

- 专业针对性不强；
- 条目繁多，实施存在困难。

**借鉴CDIO，构建针对飞行动力学与控制方向
专业人才特点的能力模型和实施途径！**

主要内容 MAIN CONTENTS

01

概述

02

培养模式构建

03

培养模式实施

04

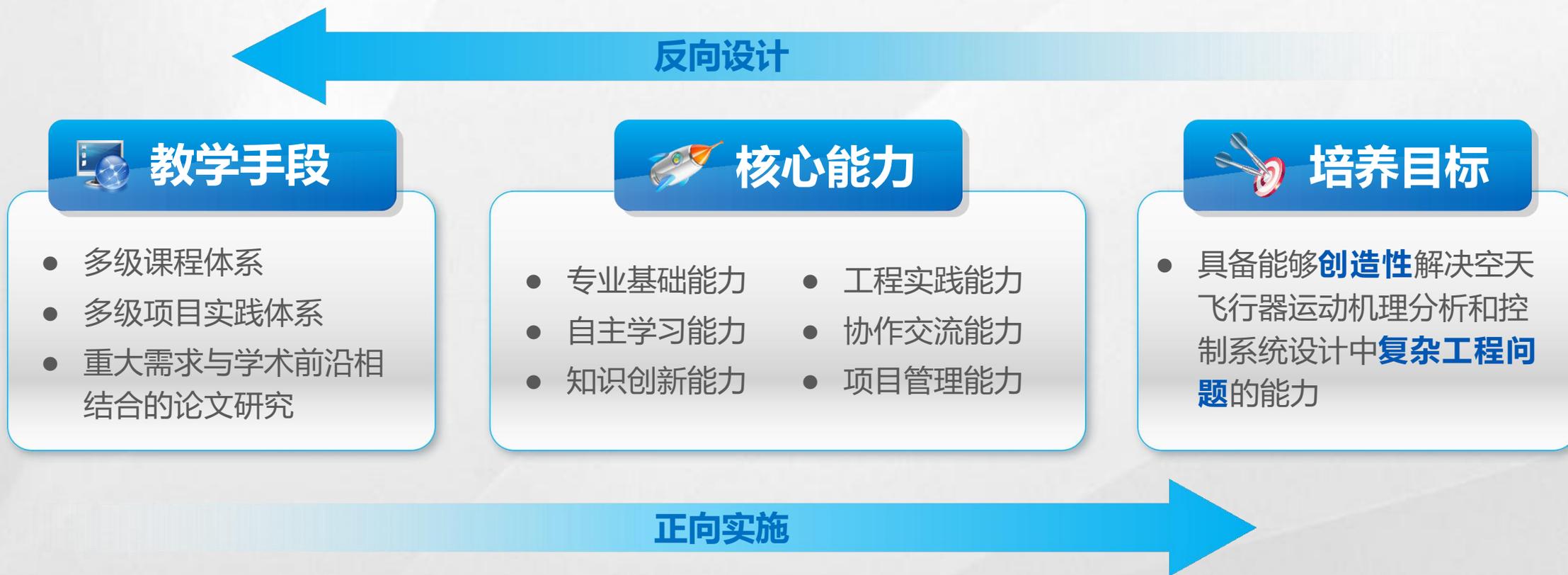
总结与展望

基于能力产出导向的飞行动力学与控制专业人才培养模式改革



二、培养模式构建

按照**反向设计、正向实施**的思路，提炼出了该方向**多层次**专业人才的**两级核心能力体系**，探索和细化了核心能力培养在教学环节中的落实途径，得到了基于能力产出导向的培养模式。





二、培养模式构建

★ 根据学科方向特点，提炼出了飞行动力学与控制方向**两级核心能力体系**，探索形成了“**课程固基础+实践练应用+论文育创新**”三位一体的能力培养手段，构建了培养手段对核心能力的支撑矩阵，把能力培养落实为**规定动作**。



二、培养模式构建

1. 梳理核心能力体系

专业基础

- 1.1高等的数学与力学知识
- 1.2飞行力学知识
- 1.3飞行器导航、制导与控制知识
- 1.4先进控制理论知识
- 1.5气动、热力学、结构、材料等其它相关领域知识

自主学习

- 2.1探索空天领域专业知识的主动性
- 2.2紧跟国际空天技术发展前沿的意识
- 2.3文献检索与分析能力
- 2.4使用空天领域相关软硬件工具的能力
- 2.5终身学习的意愿和能力

知识创新

- 3.1运用批判性思维审视飞行控制理论与技术的能力
- 3.2对飞行控制的复杂问题具有概念化和抽象化能力
- 3.3在复杂控制系统设计问题中发现细节和差异的能力
- 3.4控制系统设计时提出假设并基于最新控制理论及设备开展推理验证的能力
- 3.5构建数值仿真或半实物仿真实验来验证假设的能力



工程实践

- 4.1运用系统性思维发现问题
- 4.2利用专业知识构建数学模型描述工程问题
- 4.3制定、分析、评估和改进问题的解决方案
- 4.4在内外环境约束条件下解决控制系统设计问题
- 4.5运用空天专业知识解决多学科设计问题
- 4.6运用空天专业知识解决多目标优化设计问题

协作交流

- 5.1与人沟通、交流和协作的主动意愿
- 5.2简练、准确、专业的口头语言与多媒体表达能力
- 5.3专业规范的书面交流能力
- 5.4与不同学科、不同文化背景的人员协同工作的能力
- 5.5主动融入团队并承担责任的能力

项目管理

- 6.1根据项目所涉学科方向组建有效团队的能力
- 6.2管理团队高效运行的能力
- 6.3制定、执行与优化项目实施方案的能力
- 6.4人员、时间、资源的协调管理能力
- 6.5面对复杂控制系统设计中不同方案、不同指标时的决策能力

★ 6个
一级能力指标

★ 31个
二级能力指标

★ 提高能力模型
系统性和细化
程度



二、培养模式构建

2. 构建核心能力支撑矩阵

培养手段	核心能力	1、专业基础能力					2、自主学习力					3、知识创新能力					3.1 运用批判性思维审视飞行控制理论与技术的能力	3.2 对飞行控制的复杂问题具有概念化和抽象化能力	3.3 在复杂控制系统设计问题中发现细节和差异的能力	3.4 控制系统设计时提出假设并基于最新控制理论及设备开展推理验证的能力	3.5 构建数值仿真或半实物仿真实验来验证假设的能力
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5					
课程教学	核心基础课程	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	特色专业课程	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	前沿课程	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	课程综合设计	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
创新实践	创新训练项目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	专业学科竞赛	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	实际工程项目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	实际工程项目	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
创新实践	课程综合设计																课堂辩论				
	创新训练项目																技术创新率评价				
	专业学科竞赛																技术方案研讨				
	实际工程项目																技术创新率评价	问题描述	技术方案优劣分析	方案论证	实验验证

主要内容 MAIN CONTENTS

01

概述

02

培养模式构建

03

培养模式实施

04

总结与展望

基于能力产出导向的飞行动力学与控制专业人才培养模式改革



二、培养模式构建

1. 构建三级课程体系，强化课程基础性作用

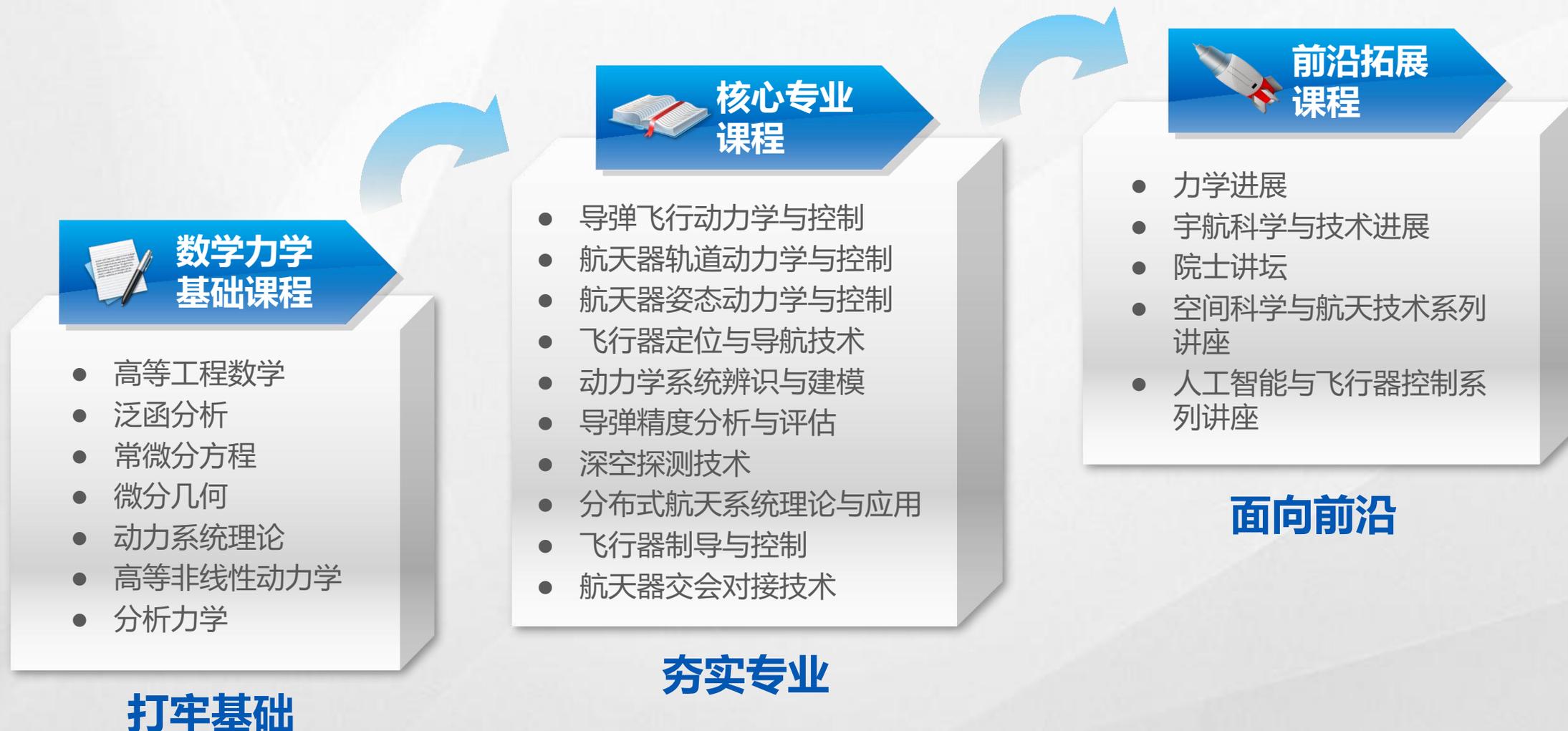
★ 构建了“**数学力学基础+核心专业+前沿拓展**”的三级课程体系，将**工程应用背景**融入课程体系的各个环节，强化课程教学在人才培养中的基础性作用。

1



二、培养模式构建

1. 构建三级课程体系，强化课程基础性作用





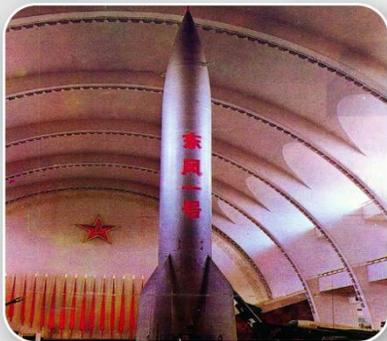
二、培养模式构建

1. 构建三级课程体系，强化课程基础性作用

充分发挥广泛深度参与国家重点型号工程项目的优势，将工程应用背景融入课程教学的各个环节。

液体导弹
远程火箭
弹道设计

1960s



固体导弹
上升段制导

1980s



再入飞行器
再入动力学
与制导

2000s



滑翔飞行器
先进轨迹规划与
制导控制

2010s



导弹飞行动力学与控制课程建设历程



二、培养模式构建

1. 构建三级课程体系，强化课程基础性作用



专业基础

- 1.1 高等的数学与力学知识
- 1.2 飞行力学知识
- 1.3 飞行器导航、制导与控制知识
- 1.4 先进控制理论知识
- 1.5 气动、热力学、结构、材料等其它相关领域知识

自主学习

- 2.1 探索空天领域专业知识的主动性
- 2.2 紧跟国际空天技术发展前沿的意识
- 2.3 文献检索与分析能力
- 2.4 使用空天领域相关软硬件工具的能力
- 2.5 终身学习的意愿和能力

知识创新

- 3.1 运用批判性思维审视飞行控制理论与技术的能力
- 3.2 对飞行控制的复杂问题具有概念化和抽象化能力
- 3.3 在复杂控制系统设计问题中发现细节和差异的能力
- 3.4 控制系统设计时提出假设并基于最新控制理论及设备开展推理验证的能力
- 3.5 构建数值仿真或半实物仿真实验来验证假设的能力

能力目标	实现方式
1.1	课堂讲授
1.3	课堂讲授
2.3	大作业：（文献阅读）
2.4	大作业：全程轨迹设计
3.2	课程总结
3.4	大作业：高超声速飞行器控制方案设计
3.5	控制系统半实物仿真实验

构建每门课程的能力实现矩阵！

具体到每一章节！

导弹飞行动力学与控制课程能力实现



二、培养模式构建

2.打造四级实践教学体系，提高工程实践能力

★ 着眼提高学员解决实际工程问题的能力，构建了由“**课程综合设计+创新训练项目+专业学科竞赛+实际工程项目**”组成的四级项目实践体系，形成了“**以项目为驱动、学生为主体、创新为核心、平台为依托**”的**四维一体**教学模式。

2



二、培养模式构建

2. 打造四级实践教学体系， 提高工程实践能力

01. 课程综合设计

代表性课程综合设计：

导弹飞行动力学与控制

- 弹道导弹主动段弹道设计
- 载人飞船再入弹道设计与制导
- 高超声速飞行器滑翔段弹道设计

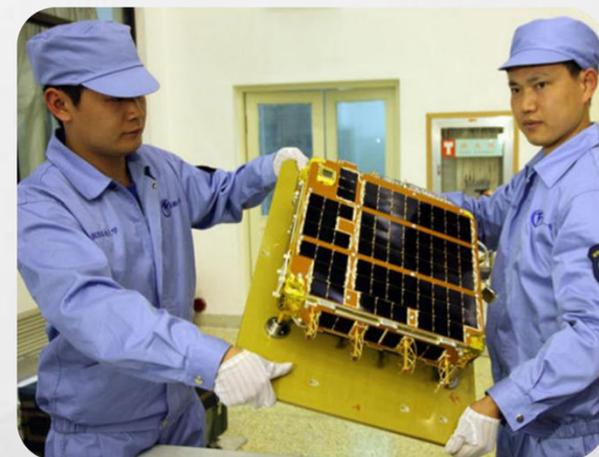
航天器轨道动力学与控制

- 多脉冲远程交会轨道设计与优化
- 月球探测轨道设计
- 人造地球卫星精密轨道确定

航天器姿态动力学与控制

- 星敏和太阳敏感器姿态确定算法设计
- 微纳卫星姿态控制系统设计

“航天器姿态动力学与控制”课程综合设计中提出的“偏置动量轮+磁力矩器低成本纳星姿态控制系统”方案被我校“天拓”系列微纳卫星采用





二、培养模式构建

2.打造四级实践教学体系，提高工程实践能力 >>> 02.创新训练项目

代表性创新训练项目：

- 1 地球同步轨道在轨服务任务规划研究
- 2 高超声速飞行器俯冲机动制导策略研究
- 3 微型多旋翼飞行器设计与飞行试验
- 4 基于小推力的多行星交会轨道优化设计
- 5 基于X射线脉冲星的火星探测器高精度自主导航方法研究
- 6 面向微纳卫星的新型惯性星光罗盘系统研究
- 7 基于卡尔曼滤波的地磁导航算法研究



记者 邵海风 周富敬 张飞斌
智能单兵作战系统问世 主研人员为军校学员

科技日报
84122
彭宏 2015年5月5日 星期二

**国防科大本科学员
研发智能单兵作战系统**

科技日报讯（张天宇）近日，在国防科技大学第十四届“长城信息杯”学员科技创新竞赛优秀作品展现场，由该校本科学员董秋武自主研发的一款智能单兵作战系统成为关注焦点。

该系统由头盔、通信、计算机、导航、能源和武器6个子系统组成。头盔上装配有摄像头、耳麦等信息采集设备，将战场态势信息传输至计算机子系统进行处理，再由无线通信设备传输给指挥部或配备系统的其他单兵。该项目属于本科生课外探索研究项目，但被专家认为具有重要的军事应用价值。

学生综合运用卫星侦察、卫星导航、卫星通信等专业知识研制的智能单兵系统项目，被中央电视台、《科技日报》等媒体报道



二、培养模式构建

2. 打造四级实践教学体系，提高工程实践能力 >>> 03. 专业学科竞赛

国际空天领域主要创新实践活动或竞赛：

实践活动	国别	特点
空天工程设计研讨会	美国	美国科罗拉多大学主办，围绕高年级顶峰项目和研究生项目式教学
北美空天项目	北美	北美六校协作的CDIO实践项目
UNP (大学纳星计划)	美国	由AFOSR、AFRL和AIAA联合设立的全美大学综合创新项目
GTOC(国际轨道设计竞赛)	全球	全球性竞赛，冠军负责次年出题
NSBT(临近空间气球团队)	美国	是加州大学圣地亚哥分校 (UCSD) 设立的学生综合创新实践项目
UTSDC (多伦多大学空间设计竞赛)	加拿大	加拿大多伦多大学2003年开始设立的全加大学航空航天设计竞赛
.....



二、培养模式构建

2. 打造四级实践教学体系，提高工程实践能力 >>> 03. 专业学科竞赛

空天工程设计研讨会

美国科罗拉多大学主办，围绕航空航天专业高年级顶峰项目和研究生项目式教学改革开展国际范围内的合作与研究，以构建空天科学与工程领域新的实践教学体系。

项目名称	项目用途	简介
GLADYADR	滑翔姿态动力学与发展研究	对1/10逃逸动力学飞行器模型的稳定性进行设计、仿真、实验和定型
Hyperion	无人飞行器	设计、制作可伸展机翼飞行器
LEOPARD	用于太空残骸捕获与恢复的低地轨道项目	制作可按先后顺序捕获两个物体的太空残骸捕获系统
LoCELS	低成本地面探测系统	为将小型载荷运送至月球表面提供一条经济可行的途径
MinXSS	微型X射线太阳频谱仪	能够测试阳光发射与传输并存储数据的立方体卫星
SCUA	小型联合无人飞行器	制作盒式机翼无人飞行系统，能够以单元组件的方式飞行至指定地点，并分解成小单元
TRACSat	目标识别与获取立方体卫星	用于冷气推进组件的三自由度实时控制系统
.....



二、培养模式构建

2. 打造四级实践教学体系， 提高工程实践能力

03. 专业学科竞赛

空天工程设计研讨会

GLADYADR
GLiding Attitude Dynamics And Deployment Research
Customer: Escape Dynamics

Background: Customer is developing reusable launch vehicle incorporating the use of microwave energy beamed from the ground to deliver payloads into LEO.

Goal & Requirements: The goal of GLADYADR is to design, simulate, test, and verify the **stability** of a 1/10 Escape Dynamics spacecraft prototype.

Requirement	Description
0.PRJ.1	A 1/72 spacecraft replica shall verify Autodesk 360 virtual wind tunnel predictions for lift over drag ratio, stability, and pitching moment values.
0.PRJ.2	The 1/10 spacecraft replica shall be geometrically and spatially consistent to customer components of the spacecraft.
0.PRJ.3	The 1/10 spacecraft replica shall be deployed at conditions that are defined by steady gliding flight.
0.PRJ.4	The 1/10 spacecraft replica shall obtain a 15 degrees pitch and 0 degrees roll attitude during gliding flight.
0.PRJ.5	The 1/10 spacecraft replica shall maintain roll and pitch attitude in gliding flight for a minimum duration of 6.4 seconds.





GLADYADR项目:可回收利用的发射器

SCUA项目: 制作盒式机翼无人飞行系统

SCUA
Small Combined Unmanned Aircraft

Customer: Dr. Brian Argrow
Design Team: Grant Boerhave, Dominique Gaudyn, Garrett Hennig, Jennifer Milliken, Cameron Trussell, Jacob Varhus, Matthew Zeigler

Goal: To create **box wing** UAS units capable of flying to a location as an **assembly of units**, that demonstrate the ability to **separate** into small assemblies, and exhibit equal and independent **performance** capabilities.



"Eagle Owl" box wing concept by Matt Osborne
Aircraft connected at wingtips for:
Modular alternative to "Mother-Ship"
Increased loiter time
Increased efficiency

Future Applications:
Communication
Reconnaissance
Weather measurement






二、培养模式构建

2. 打造四级实践教学体系， 提高工程实践能力

03. 专业学科竞赛

参加的主要学科竞赛：

- 1 研究生未来飞行器创新大赛
- 2 国际轨道设计竞赛
- 3 全国轨道设计竞赛
- 4 研究生数学建模竞赛
- 5 挑战杯
- 6 中国载人月面着陆与上升飞行器大赛

中国研究生未来飞行器创新大赛项目 “充气式火星再入气动减速系统设计”





二、培养模式构建

3. 打造四级实践教学体系，提高工程实践能力

03. 专业学科竞赛



- 自由组队
- 跨单位、跨专业
- 学员主导
- 组长负责制



- 5.1 与人沟通、交流和协作的主动意愿
- 5.2 简练、准确、专业的口头语言与多媒体表达能力
- 5.3 专业规范的书面交流能力
- 5.4 与不同学科、不同文化背景的人员协同工作的能力
- 5.5 主动融入团队并承担责任的能力

协作交流

- 6.1 根据项目所涉学科方向组建有效团队的能力
- 6.2 管理团队高效运行的能力
- 6.3 制定、执行与优化项目实施方案的能力
- 6.4 人员、时间、资源的协调管理能力
- 6.5 面对复杂控制系统设计中不同方案、不同指标时的决策能力

项目管理



二、培养模式构建

2. 打造四级实践教学体系， 提高工程实践能力

» 04. 实际科研项目

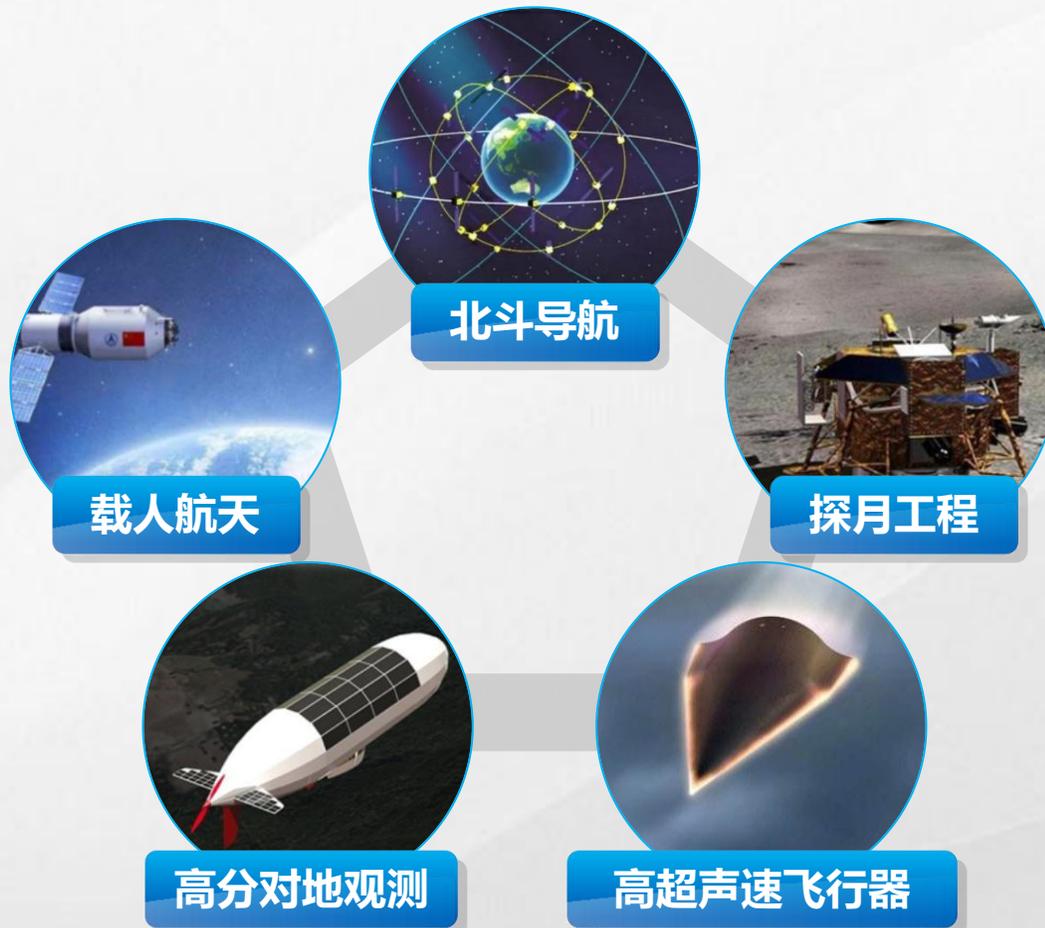


导师的科研项目
70%以上源于国家重大
项目或重大型号任务



研究生80%以上参
与过实际工程项目

用真实的背景、真实的问题来锤炼学生的能力!

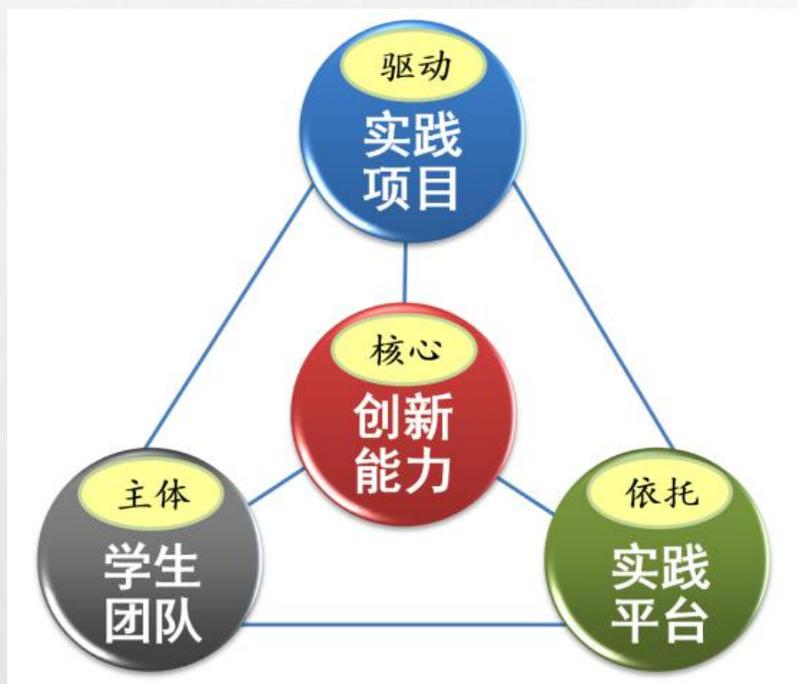




二、培养模式构建

2.打造四级实践教学体系，提高工程实践能力

在指导学生开展实践的过程中，总结了“以项目为驱动、学生为主体、创新为核心、平台为依托”的四维一体教学模式，形成了对学生实践活动指导的有效范式。





二、培养模式构建

3.确立学位论文选题原则，培育优秀论文

★ 深化论文研究在人才培养中的核心地位，确立论文选题瞄准“**国家重大工程需求与学术前沿结合点**”的基本原则，在解决重大工程问题中**培养知识创新**和**工程应用能力**。

3



二、培养模式构建

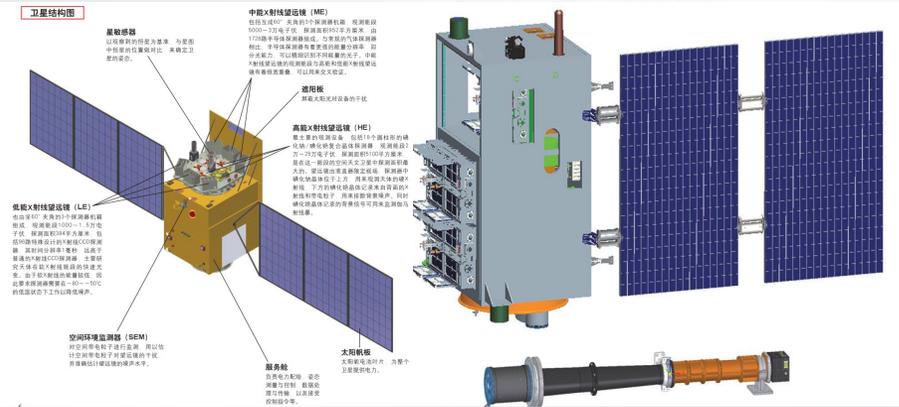
4.确立学位论文选题原则，培育优秀论文





二、培养模式构建

4.确立学位论文选题原则，培育优秀论文



博士研究生王奕迪：

论文 选题

基于X射线脉冲星的航天器自主导航，源于国家第二代卫星导航系统重大专项

研究 过程

提出了脉冲星**信号在轨处理**方法和脉冲星导航**系统误差传播机理与补偿**理论，成功解决了我国第一颗脉冲星导航试验卫星（脉冲星01星）和“慧眼”天文卫星任务中脉冲星**数据处理与导航体制**验证等难题。

凝练 成果

发表SCI论文13篇，授权专利9项，论文总引数151次，获2017年度全军优秀博士学位论文、2018年度全国航空宇航科学与技术学科优秀博士学位论文，入选2017年全国博士后创新人才支持计划。

第三届航空宇航科学与技术学科
全国优秀博士学位论文

获奖
证书

论文名称：

X射线脉冲星信号处理与导航方法研究

学位授予单位： 国防科技大学

作者姓名： 王奕迪

导师姓名： 郑伟

第七届国务院学位委员会
航空宇航科学与技术学科 中国航空学会
评议组召集人

王超图 郑伟

二零一八年十月

证书编号:HKYHYB2018003

主要内容 MAIN CONTENTS

01

概述

02

培养模式构建

03

培养模式实施

04

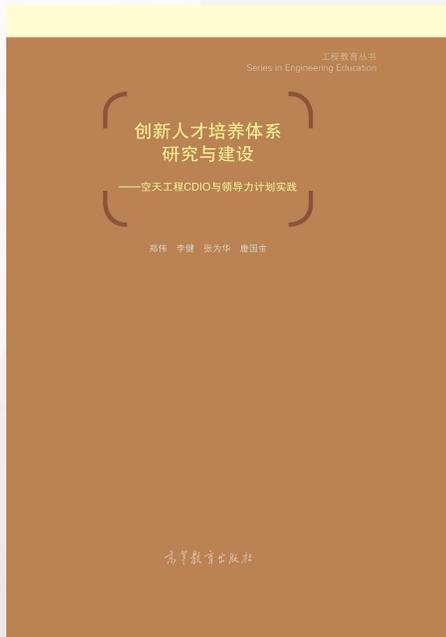
总结与展望

基于能力产出导向的飞行动力学与控制研究生培养模式改革



四、总结与展望

1. 总结



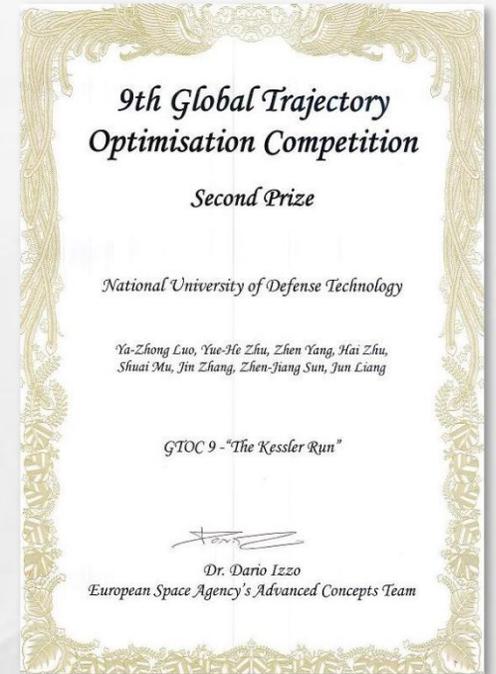
- 能力产出导向的核心是学生的未来职业发展能力，单纯的课程教学和学位论文质量并不能保证这一点；
- 针对飞行动力学与控制方向的特点，建立了核心能力体系，构建了能力支撑矩阵；
- 从课程教学、创新实践和论文研究等三个方面讨论了能力产出导向模式的具体实施；
- 相关成果获中国学位与研究生教育学会研究生教育成果二等奖；



四、总结与展望

1. 总结

获国际轨道设计竞赛亚军，全国轨道设计竞赛冠、亚军，中国研究生未来飞行器创新大赛一、二等奖，“挑战杯”二等奖，实践成果被中央电视台、《科技日报》等报道。





四、总结与展望

1. 总结



建成3门省级精品
(在线开放) 课程

导弹飞行动力学与控制

动力学系统辨识与建模

航天器轨道力学

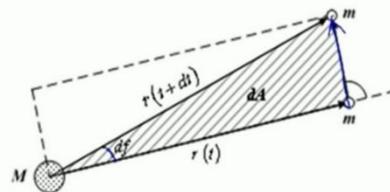


航天器轨道力学导论



椭圆轨道

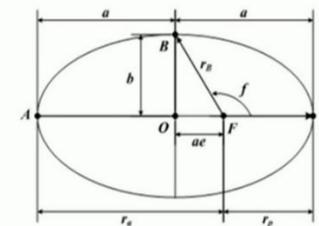
椭圆轨道的周期



$$dA = \frac{1}{2} r^2 df$$

$$f = \frac{h}{r^2}$$

$$\dot{A} = \frac{h}{2}$$



开普勒第二定律：单位时间扫过的面积为常数。



11:10 / 16:34

高清

1.00x





四、总结与展望

1. 总结

规划出版飞行动力学与控制系列教材，5部被兄弟高校和国防工业部门选作教材和技术参考书，被誉为“航天部门科研人员的案头参考书”。





2. 展望

- 工科专业本科生、硕士生和博士生的培养，都是新工科的重要组成部分；
- 同一专业不同阶段的学生，需要建立既有专业特点，也有衔接和递进的能力体系；
- 本科生的培养，突出能力的基本训练和个人特长的发掘。而研究生更关注知识创新和工程研发能力；
- 工科研究生现有的培养模式，刚性的约束还是“学分+论文”，如何把能力产出量化，并作为明确的毕业要求，还有待进一步摸索；
- 需要进一步强化职业发展潜力在工科学子培养中的地位，既要使他们在真实的工程背景中得到研究的锻炼，也需要得到职业发展所需的多方面训练。





2. 展望

- 把**工程领导力**的相关理念融入工科学生的能力体系，为培养未来的**工程领袖**奠定基础。

能力	内容
领导性格	责任心、正直、忠诚、自我反思、个人见解
理解认同	对周围世界的感知
意义建构	倾听与寻求折衷、交流与推广、广泛联系、事业心
目标愿景	开发创新、界定解决办法、建立概念
实现愿景	组建团队、管理项目、创新、发明、实施、操作
技术知识与批判性思维	问题解决、批判思考、咨询调查



国防科技大学

NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY



谢谢，请批评指正！