

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：深空探测科学教育虚拟仿真实验

专业类代码： 教育学 0401

负责人： 陈卫东

联系电话： 025-84896239

申报学校： 南京航空航天大学

填表日期： 2021 年 6 月 6 日

推荐单位： 南京航空航天大学

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	深空探测科学教育虚拟仿真实验	是否曾被推荐	● 是 ○ 否
实验所属课程 (可填多个)	航天工程概论、动手学航天		
性质	○ 独立实验课 ● 课程实验		
实验对应专业	航空航天、教育学		
实验类型	○ 基础练习型 ○ 综合设计型 ● 研究探索型 ○ 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 type="checkbox"/> 不可逆操作 <input type="checkbox"/> 大型综合训练		
实验语言	● 中文 ○ 中文+外文字幕(语种) ○ 外文(语种)		
实验 已开设期次	共 2 次: 1. 2019 年 12 月、143 人 2. 2020 年 12 月、150 人		
有效链接网址	http://space-exploration.nuaa.edu.cn		

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	陈卫东	1962.08	南京航空航天大学	智能装备动力学中心常务副主任	教授	13705174335	chenwd@nuaa.edu.cn	项目设计与策划/在线教学服务人员
2	杨宇晓	1984.01	南京航空航天大学	实验中心常务副主任	副教授	13776569061	yyx-nuaa@163.com	实验设计与开发/在线教学服务人员
3	郑峰婴	1981.10	南京航空航天大学	无	副教授	13913960006	zhfy@nuaa.edu.cn	实验设计与开发/在线教学服务人员

4	沈 萍	1982.08	南京航空航天大学	教学实验中心副主任	讲 师	13914725121	shenping@nuaa.edu.cn	实验设计与开发/在线教学服务人员
5	张燕华	1982.10	南京航空航天大学	教学实验中心党支部书记	实验师	13914775920	xixi82823@nuaa.edu.cn	实验设计与开发/在线教学服务人员

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	盛庆红	1978.05	南京航空航天大学	副院长	副教授	深空探测认知实验设计
2	高有涛	1983.04	南京航空航天大学	系党支部书记	副教授	轨道转移实验设计/在线教学服务人员
3	罗轶欣	1993.09	南京航空航天大学	无	实验师	着陆控制实验设计/在线教学服务人员
4	张佳栋	1997.10	南京航空航天大学	无	硕士生	轨道转移实验设计/在线教学服务人员
5	田宜桐	1996.02	南京航空航天大学	无	硕士生	深空探测任务设计/在线教学服务人员
6	龙星宇	1982.06	贵州师范大学	无	讲 师	深空探测认知设计/在线教学服务人员
7	贾辈辈	1994.05	南京恒点信息技术有限公司	程序部主管		技术开发/技术支持人员

8	郑馨语	1992.03	南京恒点信息技术有限公司	策划部 主管		运营保障/ 技术支持 人员
9	邢书恒	1995.05	南京恒点信息技术有限公司	工程师		运营保障/ 技术支持 人员
10	何欣	1990.01	南京恒点信息技术有限公司	UI 设计师		效果设计/ 技术支持 人员
11	朱军	1977.09	南京恒点信息技术有限公司	场景 美术师		场景设计/ 技术支持 人员

团队总人数：16 人 其中高校人员数量：11 人 企业人员数量：5 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）

团队负责人陈卫东，南京航空航天大学航空宇航科学与技术学科二级教授，博导，智能装备动力学中心常务副主任。曾任南京航空航天大学航天学院院长，高度重视学科建设与专业建设的同步发展，提出了航天工程专业人才教育与培养的改革思路和框架，组织制定航天类专业跨学科培养方案，构建航天工程工匠型人才培养体系。主持的“课程群类导向 短期团队实践——航天工匠型研究生培养体系”项目获 2018 年度江苏省研究生教育改革成果二等奖。兼任中央军委装备发展部太空安全技术专家组成员、国家载人航天计划论证专家组成员、国家国防科工局航天技术专家组成员。先后承担国家 863 项目、军委科技委基础加强重点基础研发项目、航天装备预研项目、国家自然科学基金重大项目及重点项目等 20 余项；获国家科学技术进步奖二等奖 1 项、省部级科学技术进步奖一等奖 1 项、二等奖、三等奖各 2 项。

教学团队近 5 年来承担《航天工程概论》、《动手学航天》、《微机原理与应用》等课程的实验教学任务，教学经验丰富，教学效果良好。自 2019 年深空探测科学教育虚拟仿真实验上线以来，针对航空航天工程、光电信息科学与工程、飞行器控制与信息工程三个本科专业，分别于 2019-2020 学年第 1 学期、2020-2021 学年第 1 学期开展虚拟仿真实验教学，共有 393 名本科生完成虚拟仿真实验。

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）

深空探测科学教育虚拟仿真实验将国家航天重大工程——“嫦娥四号”转化为实验教学课程，建设了国内首个以深空探测为主题的科学教育虚拟实验平台。本实验课程主要面向普通高校理工专业本科生通识教育，以及教育学科学教育专业本科生的专业教育，可有效提高空间科学教学水平，促进人才培养能力建设。

（1）虚拟实验课程的必要性

1、科学教育是提高公民科学素质的重要国策，空间科学教育是航空航天类高校的责任和义务。

公民科学素质状况是决定综合国力强弱的重要因素，科学教育是提高公民科学素质的手段和基础。2016年国务院颁布了科学教育领域的重要文件——《全民科学素质行动计划纲要实施方案（2016-2020年）》，《方案》指出“推进高等教育阶段科学教育和科普工作”是高等学校科学教育的工作重点，“充分发掘高校的特色科学教育资源，实现高校优质科研资源的科普化”是提升科学教育水平的关键措施，对推进科学教育专业领域发展具有重要意义。

空间科学是科学教育的三大重点领域之一。南京航空航天大学在空间科学领域拥有深厚的研究底蕴和优良的科研条件，深度参与了“嫦娥三号”、“嫦娥四号”、火星、小行星及载人登月等所有的国家深空探测任务和多项深空探测工程项目。嫦娥系列探测器总指挥、南航航天学院院长叶培建院士十分重视科普工作，叶院士指出：将优质科研资源科普化，推动空间科学领域的科学教育发展，是以南航为代表的航空航天类高校的责任和义务。

2、《航天工程概论》、《动手学航天》课程是我校空间科学通识教育的核心内容，实验教学是其重要组成部分。

《航天工程概论》、《动手学航天》等课程主要用于引导学生了解航天系统工程基础、深空探测基础和前沿发展动态，是培养学生热爱航天事业、立志航天报国的启蒙课程。其知识点涉及力学、电磁学、自动控制和电工电子等多个学科门类，包含了航天器轨道设计、航天器姿态与轨道控制、测控与通信等航天分系统。由于学生对航天知识缺乏直观认知，仅通过理论讲解难以达到较好的教学效果，

因此，在《航天工程概论》和《动手学航天》和中共设计了 6 个学时的实验课程，通过实验教学环节加深学生对所设知识点的理解和掌握。

3、空间科学实验教学存在“看不见、摸不着、做不了、做不好”等困难，需要借助虚拟仿真技术实现。

空间科学具有系统复杂，技术先进、耗资巨大等显著特点，难以在地面模拟完整的实验教学环境，传统的空间科学实验教学普遍存在“看不见、摸不着、做不了、做不好”等实际困难，需要借助虚拟仿真平台加以解决。航天重大型号工程知识体系完整、创新性强、社会关注度高，是空间科学教育的优质资源，但航天工程存在建设周期长、投资体量大、技术难度高等特点，难以转化为实验教学资源。因此，利用虚拟现实技术将国家重大型号工程转化为实验教学项目，可以有效提高空间科学教学水平，促进人才培养能力建设。

深空探测作为空间科学与技术创新的重要途径和人类航天活动的重要方向，代表了空间科学领域的前沿科技。“嫦娥四号”任务是深空探测领域的重点工程，创造了月背软着陆、月背中继通信等多项“人类第一”，实现了重大科学创新，本项目以“嫦娥四号”探月工程为实验背景，可以激发学生对空间科学教育的学习热情，促进学生对深空探测科学原理的理解，实现学生对航天特色文化精神的传承，践行高校立德树人的精神风貌。

因此，南航针对普通高校通识科普教育和科学教育专业人才培养的需求，开发了深空探测科学教育虚拟仿真实验项目，填补了我国科学教育专业在空间科学虚拟仿真实实践教学平台方面的空白。

（2）虚拟实验课程的实用性

深空探测科学教育虚拟仿真实验课程以“嫦娥四号”探月工程为实验背景，遵循深空探测的基本原理和任务流程进行设计，涵盖了探月工程的地面实验、轨道转移、月面着陆和任务实施等关键阶段。本虚拟仿真实验包含了基础知识认识、基本原理分析、关键参数设计和实验结果验证等不同知识层次，且实验课程紧贴工程实际，可以满足航天类专业学生对于轨道设计、姿态控制等专业知识的探究式学习，也可以满足非航天专业学生和普通大众对于航天基础知识和航天特色文化的科普学习。

(3) 教学设计的合理性

深空探测科学教育虚拟仿真实验课程将轨道转移、月面着陆等传统教学难以完成的实验项目利用虚拟技术加以呈现，为学生创作了沉浸式实验条件，可显著提高实验教学质量。本虚拟仿真实验以“嫦娥四号”探月工程为实验任务，通过基础知识认识、基本原理分析、关键参数设计和实验结果验证等多层次教学环节，使学生循序渐进的学习和掌握空探测的基本科学原理和关键参数设计方法，因此，**本虚拟仿真实验教学目标设计合理，教学目标达成度高。**

本虚拟仿真实验共分为认知环节，航天器轨道转移设计，探测器姿态控制，深空探测任务模拟四个实验模块。所有实验模块紧贴工程实际，根据“嫦娥四号”探月工程的任务流程和关键技术进行设计，部分实验数据来源于教学团队所承担的科研项目，**因此，本虚拟仿真实验教学内容设计合理。**

本虚拟仿真实验采用“多元化探究式”实验教学方法，培养学生利用基本物理学原理解决复杂科学问题的综合能力。在此基础上，通过比较法、等效替代法和控制变量法等实验方法，引导学生进行自主学习、自主探索和自主分析，并且学生可根据自身知识情况对某些关键参数进行探究式实验，体现了实验的“高阶性”和“挑战度”，**因此，本虚拟仿真实验教学方法设计合理。**

(4) 实验系统的先进性

本虚拟仿真实验课程来源于“嫦娥四号”探月工程，该工程创造了月背软着陆、月背中继通信等多项“人类第一”，实现了重大的科学创新。教学团队深度参与了“嫦娥三号”、“嫦娥四号”，实验模块设计紧贴工程实际，**因此，实验内容具有极强的前沿性和先进性。**

本虚拟仿真实验课程采用了“多元化探究式”实验教学方法，通过“学生自主学习”的任务分配，面向“多元化”的能力培养，基于“探究式”的实验过程设计，培养学生知识理解，工程问题解决，复杂问题分析的能力。**因此，实验教学方法具有先进性。**

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认知环节，航天器轨道转移设计，探测器姿态控制，深空探测任务模拟四个主要环节，每个环节的教学目标如下：

1、认知环节

通过本项目认知环节，使学生掌握深空探测工程的基本常识，培养学生对探月工程各个任务阶段和深空探测航天器组成的认知能力，能够理解和领会航天精神特色内涵；

2、航天器轨道转移设计

通过本项目轨道设计环节，使学生掌握地月轨道转移的基本原理，培养学生对地月转移轨道的设计能力，能够分析速度参数与轨道转移效果的作用机理；

3、探测器姿态控制

通过本项目姿态控制环节，使学生掌握刚体定轴转动的基本原理，培养学生对航天器姿态控制的设计能力，能够计算和分析航天器的姿态控制时间；

4、深空探测任务模拟

通过本项目任务模拟环节，使学生掌握深空中继通信的基本知识，培养学生对中继通信参数的设计能力，能够分析辐射功率、通信距离等参数与中继通信能力的相互关系。

综上所述，通过本虚拟仿真实验课程学习，可以使学生建立航天系统工程和航天器系统的基本概念，具备航天系统工程和航天器系统深入学习的基础知识能力；通过虚拟仿真实验平台的故障模拟环节，使学生具备分析问题和解决问题能力，通过“嫦娥四号”国家重大型号工程的实践学习，激发学生对空间科学的学习热情，实现学生对航天特色文化精神的传承，践行高校立德树人的精神风貌。

3-3 实验课时

(1) 实验所属课程课时： 64 学时

(2) 该实验所占课时： 10 学时

表 1: 实验所属课程及学时

所属课程名称	课程学时	实验总学时	本实验所占学时
航天工程概论	32	4	4
动手学航天	32	32	6

3-4 实验原理

(1) 实验原理(限 1000 字以内)

本虚拟仿真实验项目围绕深空探测工程各环节打造,实验框架包括认知环节,航天器轨道转移设计,探测器姿态控制,深空探测任务模拟四大环节。

认知环节: 包括深空探测任务认知、探测器系统认知和航天精神认知,采用视频展现和实物展示的方式使学生学习和掌握深空探测基本工作原理。

航天器轨道设计环节: 通过二体问题原理和脉冲机动原理,设计航天器绕地、地月转移和绕月三个阶段的轨道。以此,理解简化模型下的航天器轨道转移的机动控制要求。

探测器姿态控制环节: 将通过应用刚体定轴转动定律、角动量定理、姿态角速度和姿态角变化来计算姿态推力器控制姿态偏差时所需要的推力器作用时间。以此掌握航天器姿态控制基本方法。

深空探测任务模拟环节: 模拟“嫦娥四号”与中继卫星“鹊桥”通信,再由“鹊桥”与地球进行通信,通过设置通信距离、辐射功率等参数。以此掌握无线电通信可靠性的主要影响因素。

根据嫦娥探月工程的基本任务和工作原理,深空探测科学教育虚拟仿真实验框架如图 1 所示,实验框架包括认知环节、航天器轨道转移设计、探测器姿态控制、深空探测任务模拟。

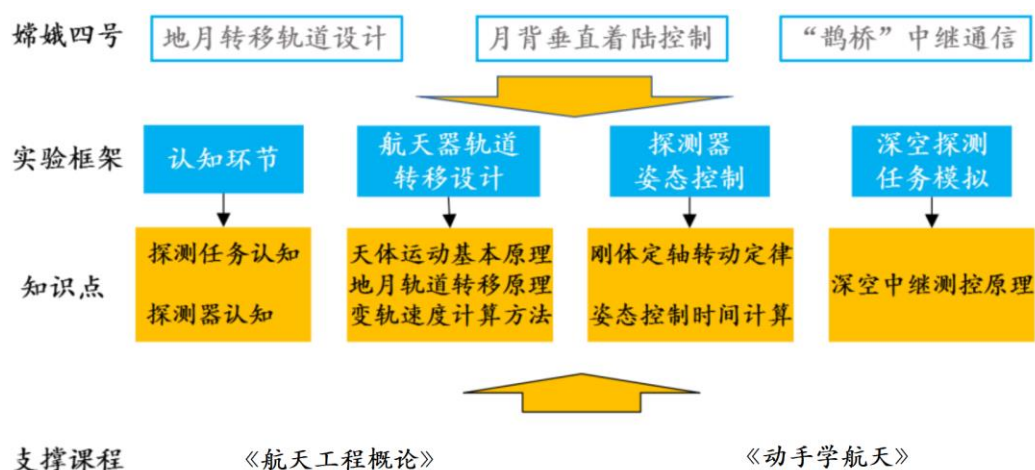


图 1 深空探测科学教育虚拟仿真实验框架

实验原理框图如图 2 所示。实验包括认知学习和探究学习,考察学生对深空探测任务的认识和核心环节基本工作原理的掌握。



的转动惯量与刚体在此合外力矩作用下所获得的角加速度的乘积。刚体在总外力矩的作用下，所获得的角加速度与总外力矩成正比，与转动惯量成反比。

6. 姿态控制计算方法；

实验中采用姿态推力器控制航天器姿态。姿态推力器在固定时间内连续喷气工作方式以形成恒定的作用力和力矩控制航天器姿态变化。通过刚体定轴转动定律、角动量定理、姿态角速度和姿态角变化来计算修正姿态偏差所需的推力器作用时间。

7. 深空中继测控原理。

“嫦娥四号”卫星在月球背面着陆，由于月球自转周期与绕地球公转周期相同，月背对于地球永远不可见，而无线电波难以穿透月球，因此，“嫦娥四号”需要先与中继卫星“鹊桥”通信，再由“鹊桥”与地球进行通信，实现深空中继测控。无线电波的可靠性与通信距离、辐射功率等参数关系密切，通信距离越小、辐射功率越大，则通信可靠性越高。

（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）

本项目中通过主要认知实验模块和探究实验模块，结合虚拟仿真技术、动画技术、实物展示技术等多样化表现深空探测任务的核心要素。通过模拟地月轨道转移，探测器着陆姿态控制，深空测控任务着力还原真实深空探测实验的教学要求、实验原理、操作环境及互动感受。核心要素的仿真度达 100%。

3-5 实验教学过程与实验方法

（1）实验教学过程

本实验项目采用“多元化探究式”实验教学过程，包括通过“学生自主学习”的任务分配，面向“多元化”能力培养，基于“探究式”实验过程设计。通过具有系统性知识体系的探究性实验内容和多元化的能力培养方式，从而系统掌握航天器轨道转移设计方法、探测器姿态控制方法、深空中继测控方法。

具体教学过程举例说明如下：

1、基于“探究式”实验过程设计

探究性实验过程设计不再强调唯一的参数和结果，学生可以通过应用所学知识设计不同的控制参数从而得出不同的结果，并进一步分析获得理想的控制和设计方案。

以航天器轨道转移技术实验教学应用为例，学生在地月转移设计上能体现这一探究过程。学生根据地月转移设计轨道要求，设计转移轨道的速度增量，判断速度增量是否在正确范围内，并分析是否能够到达月球影响球，进行多次转移控制轨道实验。最终学生通过对问题的描述，结果的形成原因，改进措施等方面进行深入分析，撰写实验报告。

航天器轨道转移技术实验教学应用过程如图 3 所示。

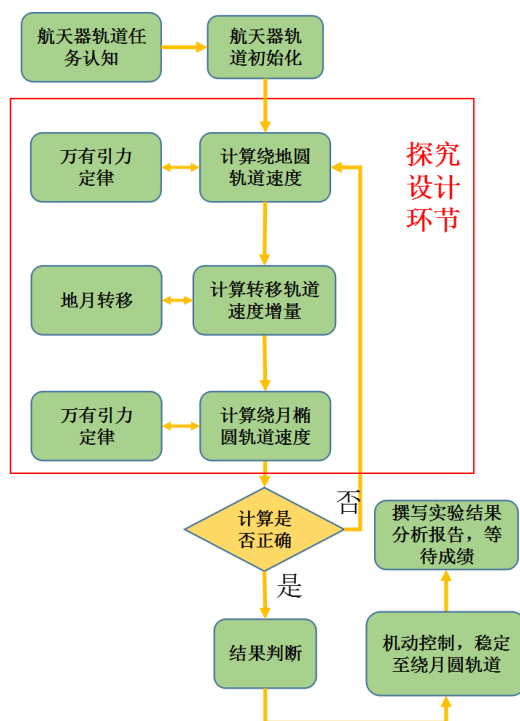


图 3 航天器轨道转移技术实验教学方法

2、“多元化”能力培养

通过本实验可以多元培养学生知识的掌握能力、控制的探索优化能力、问题和结果的分析总结能力等工程实践能力，从而进一步满足学生的创新学习的需求。

以航天器着陆姿态控制实验为例，学生通过对传感器、执行机构布局等环节，掌握传感器和执行机构的工作原理和使用方法，通过实践培养学生知识的掌握能力；学生通过运动刚体定轴转动定律，角动量定理及姿态控制计算方法的学习探索航天器姿态控制基本原理。通过姿态推力器的是时间设计方法学习，培养复杂

问题的探究能力；通过对控制过程和结果的深入分析和实验报告撰写，培养工程问题的分析总结能力。

航天器着陆姿态控制实验教学应用过程如图 4 所示。

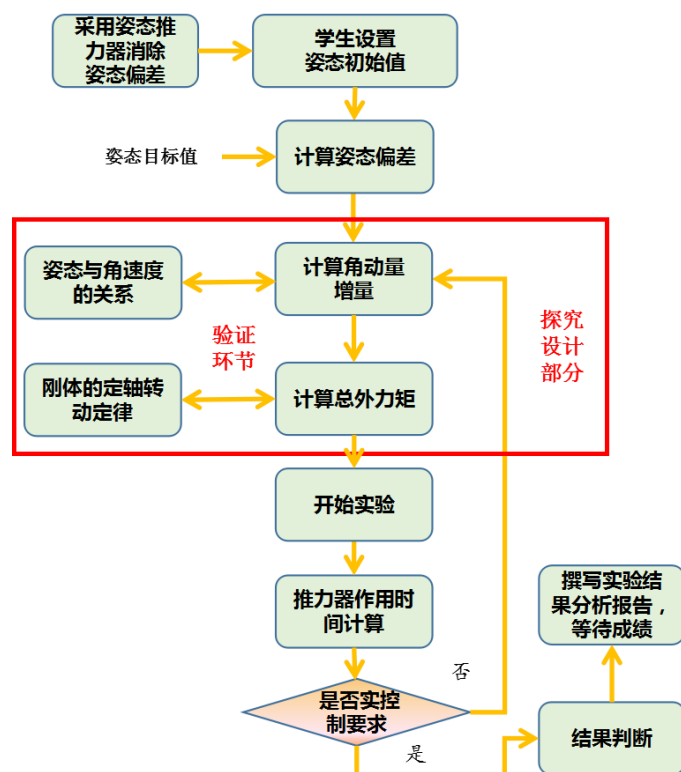


图 4 航天器着陆姿态控制实验教学方法

探测器控制器参数设计探究验证环节如图 5 所示：

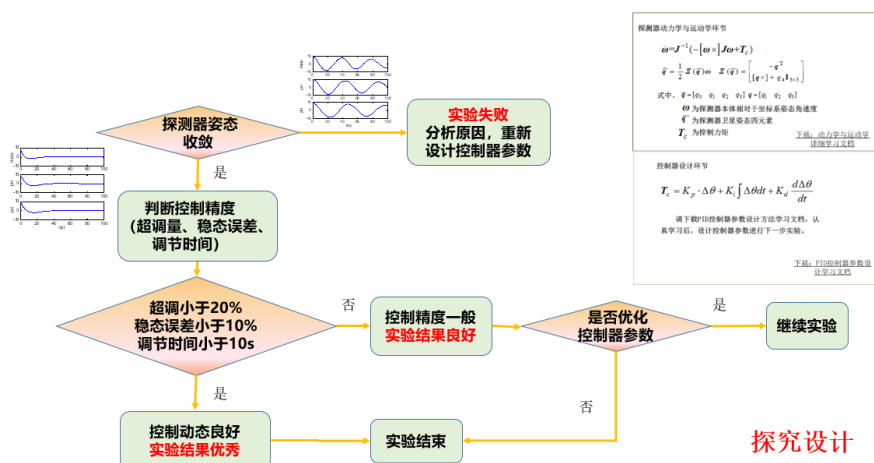


图 5 探测器控制器参数设计探究验证环节

值得注意的是，这里分别用了两个实验举例说明本实验的教学实验方法，但是从三个实验教学方法图中可以发现，每个实验都涵盖了上述所有教学方法和理念。深空探测两器互拍实验模块如图 6 所示。

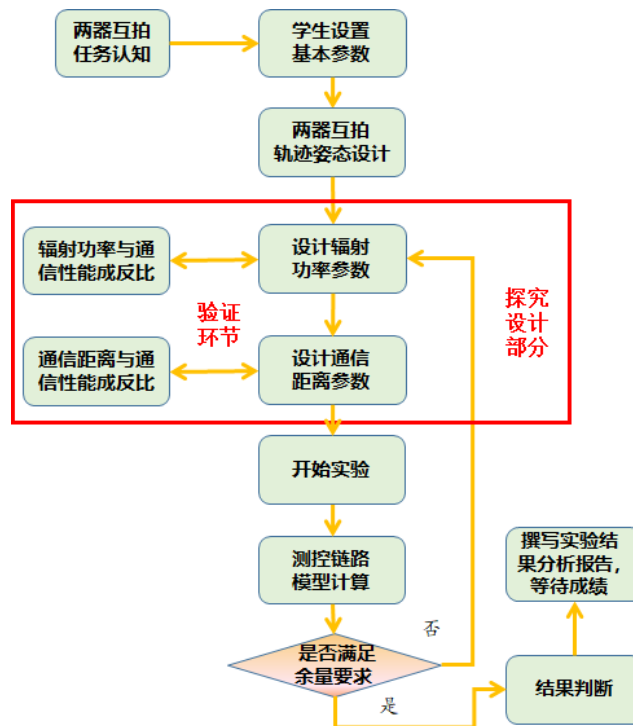


图 6 深空探测两器互拍实验教学方法

(2) 实验方法

本实验所采用的实验方法有比较法、等效替代法和控制变量法。具体教学方法举例说明如下：

1、控制变量法

以探测器轨道转移技术实验模块教学应用为例，在地月转移轨道设计环节中，通过控制航天器初始速度变量和到达速度变量，生成不同形状轨道，来研究不同的控制变量下的轨道形状变化。

2、等效替代法

以探测器姿态控制实验模块教学应用为例，实验将复杂的航天器姿态控制问题转换为归纳刚体定轴转动模型，通过刚体定轴转动定律、角动量定理、姿态角速度和姿态角变化来计算修正姿态偏差所需的推力器作用时间。

3、比较法

以深空探测任务模拟实验模块教学应用为例，通过改变辐射功率、通信距离，

以此分析比较控制变量（辐射功率、通信距离）对中继通信的影响，确定控制变量与中继通信的因素关系。

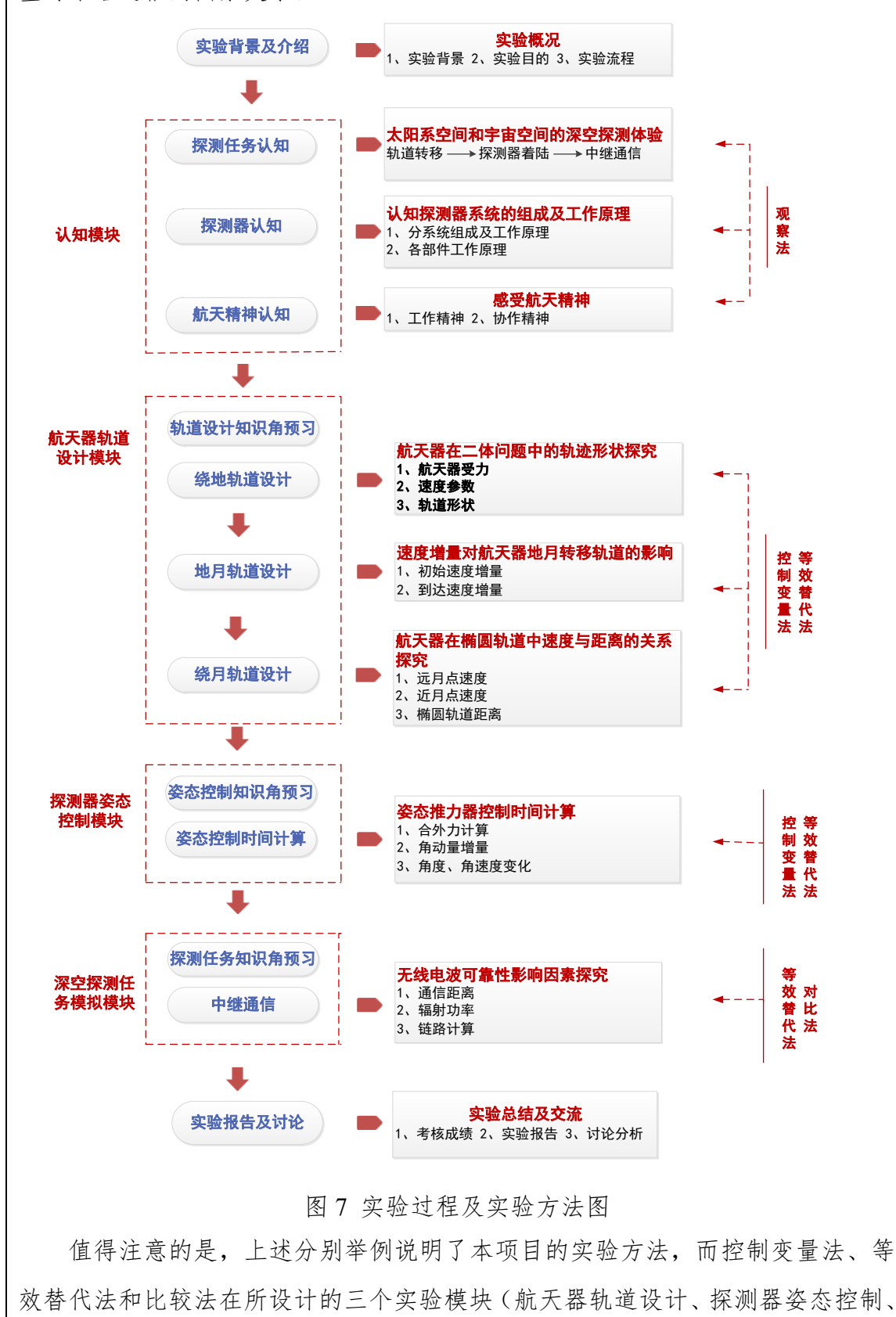


图 7 实验过程及实验方法图

值得注意的是，上述分别举例说明了本项目的实验方法，而控制变量法、等效替代法和比较法在所设计的三个实验模块（航天器轨道设计、探测器姿态控制、

深空探测任务模拟) 中均有采用, 如轨道设计实验模块中, 采用等效替换法将复杂的轨道转移问题转换为万有引力基本模型。实验过程及实验方法如图 7 所示。

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 19 步

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	正确选择认知类型	5 分钟	操作正确 1 分 操作错误 0 分	1	<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	掌握深空探测任务的基本工作原理	10 分钟	完成预习 2 分 未完成预习 0 分	2	<input type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input checked="" type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
3	掌握探测器基本工作原理	10 分钟	完成预习 2 分 未完成预习 0 分	2	<input type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input checked="" type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
4	完成认知知识考核	30 分钟	按题目设计分值给分, 满分 24 分	24	<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
5	正确进入轨道设计模块	5 分钟	操作正确 1 分 操作错误 0 分	2	<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	掌握航天器轨道设计知识	10 分钟	操作正确 1 分 操作错误 0 分	2	<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
7	完成航天器轨道设计预习考核	10 分钟	完成预习 2 分 未完成预习 0 分	2	<input type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input checked="" type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告

8	正确设计航天器绕地轨道	10 分钟	按题目设计分值给分，满分 8 分	8	<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
9	正确设计航天器地月转移轨道	10 分钟	按题目设计分值给分，满分 8 分	8	<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
10	正确设计航天器绕月轨道	10 分钟	按题目设计分值给分，满分 8 分	8	<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
11	学习态度控制知识角，掌握该模块所需基本知识	10 分钟	操作正确 1 分 操作错误 0 分	2	<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	完成探测器姿态控制模块预习考核	10 分钟	完成预习 2 分 未完成预习 0 分	2	<input type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input checked="" type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
13	建立姿态控制动力学模型	10 分钟	按题目设计分值给分，满分 8 分	8	<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
14	计算推力器作用时间，消除姿态误差	10 分钟	按题目设计分值给分，满分 8 分	8	<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
15	进行深空探测任务模拟，掌握知识角相关知识	10 分钟	选择正确 2 分 选择错误 0 分	2	<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

16	完成深空探测任务模拟模块预习考核	10 分钟	完成预习 2 分 未完成预习 0 分	2	<input type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input checked="" type="checkbox"/> 预习成绩 <input type="checkbox"/> 教师评价报告
17	进行两器互拍操作，勘探月球面貌	10 分钟	按题目设计分值给分，满分 8 分	8	<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
18	设置中继通信系统参数，完成两器互拍照片传输	10 分钟	按题目设计分值给分，满分 8 分	8	<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
19	自动生成实验报告	5 分钟	教师根据实验报告形成评价	0	<input type="checkbox"/> 操作成绩 <input type="checkbox"/> 实验报告 <input type="checkbox"/> 预习成绩 <input checked="" type="checkbox"/> 教师评价报告

(2) 交互性步骤详细说明

本实验项目主要包括“认知实验”、“航天器轨道设计”、“探测器姿态控制”、“深空探测任务模拟”等 4 个实验模块和 19 个步骤。

运行软件后，进入实验欢迎界面，如图 8 所示：



图 8 实验开始界面

结合虚拟仿真界面，介绍本项目实验方法、操作步骤和实验要求：

步骤 1

操作任务： 开始进行认知实验

操作目的： 选择不同的认知类型；

操作过程： 选择“任务认知 ”和“探测器认知 ”



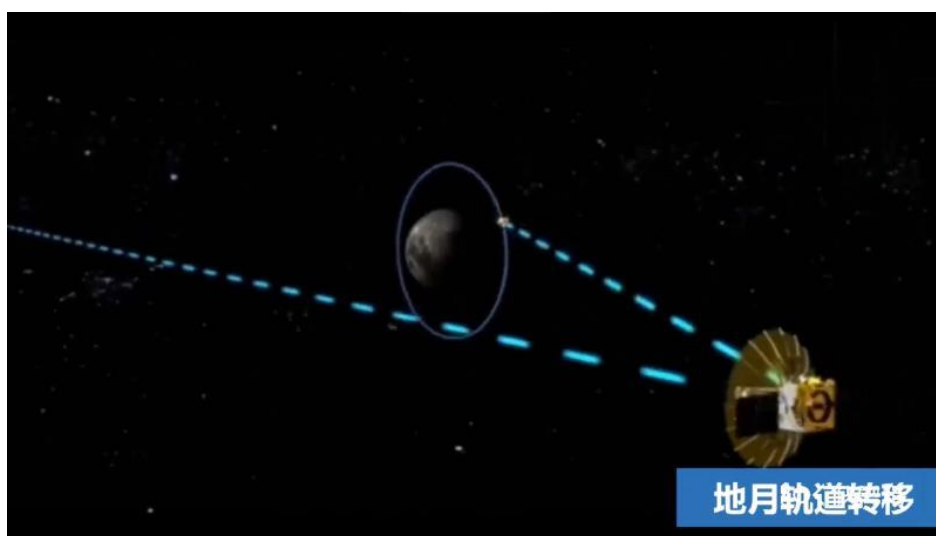
图 9 认知实验界面

步骤 2

操作任务： 学习深空探测任务认知；

操作目的： 掌握深空探测任务的基本工作原理；

操作过程： 进入“任务认知 ”页面，观看“地月轨道转移”、“鹊桥中继卫星”、“探测器着陆”视频。



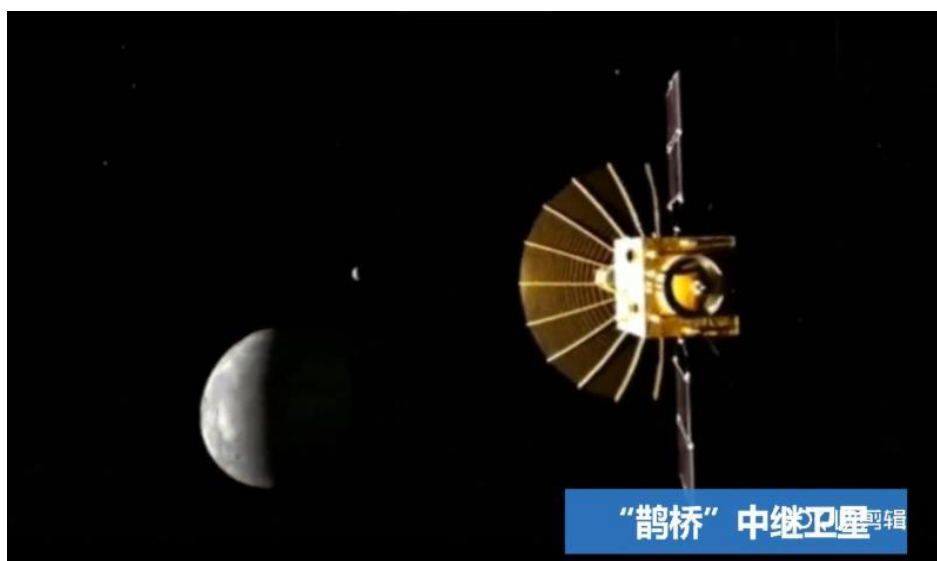


图 10 任务认知实验展示

步骤 3

操作任务：学习探测器认知；

操作目的：掌握探测器基本工作原理。

操作过程：进入“探测器认知”页面。可选择探测器组成的各大系统，熟悉其组成部件，学习探测器及其部件工作原理。



图 11 探测器认知实验展示

步骤 4

操作任务：进行认知考核；

操作目的：检验认知学习成效；

操作过程：点击“认知考核”，进入认知考核环节，考核题目主要围绕探测任务规划和探测器基本概念，探测器组成机器基本工作原理。



图 12 认知考核环节

步骤 5

操作任务：开始航天器轨道设计；

操作目的：进入轨道设计模块；

操作过程：点击“航天器轨道设计”进入航天器轨道设计实验。共有航天器绕地轨道、航天器地月转移轨道和航天器绕月轨道三个环节。

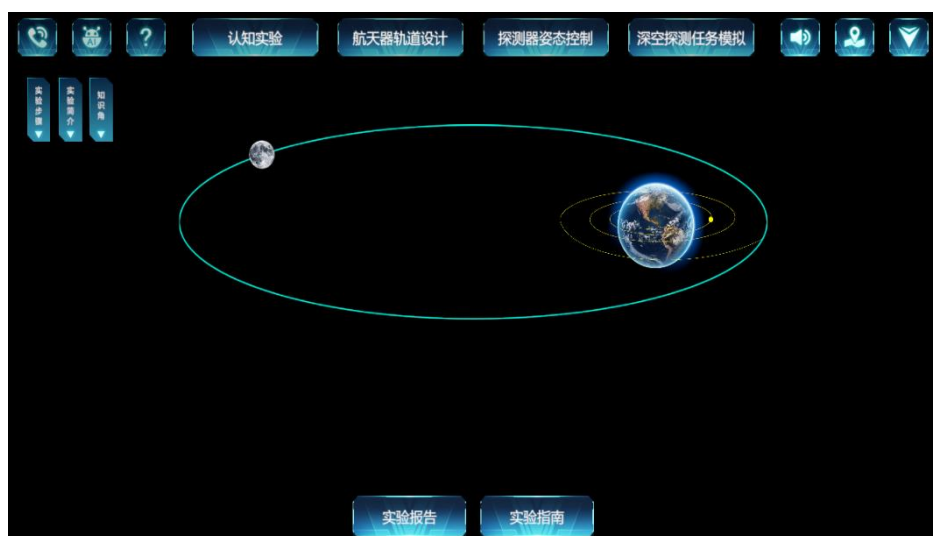


图 13 航天器轨道设计实验

步骤 6

操作任务：学习航天器轨道设计知识角；

操作目的：掌握该模块所需基本知识；

操作过程：点击“深空探测知识角”，选择航天器轨道设计模块，进行学习。

操作过程：点击“确定”按钮，进行仿真，查看不同计算参数对轨迹形状的影响。



图 16 “航天器绕地轨道”环节

绕飞过程中将展示绕地轨道中各特征点的受力和速度。



图 17“航天器绕地轨道”环节动画

步骤 9

操作任务：设计航天器地月转移轨道；

操作目的：掌握地月轨道转移方法；

注意事项：学生线下计算航天器初始速度增量和到达速度增量，输入到相应的对话框中；

操作过程：点击“确定”按钮，进行仿真，查看地月转移轨道参数设计的准确

性。



图 18 “航天器地月转移轨道”环节

转移过程中将展示地月转移轨道中特征点的受力和速度。



图 19 “航天器地月转移轨道”演示

步骤 10

操作任务：设计航天器绕月轨道；

操作目的：掌握航天器在椭圆轨道中速度与距离的关系；

注意事项：学生线下计算航天器在绕月轨道中的远月点速度和近月点速度，在相应的对话框中输入远月点速度和近月点速度；

操作过程：点击“确定”按钮，进行仿真，查看绕月轨道参数设计的准确性。分析椭圆轨道中不同速度与距离的关系。

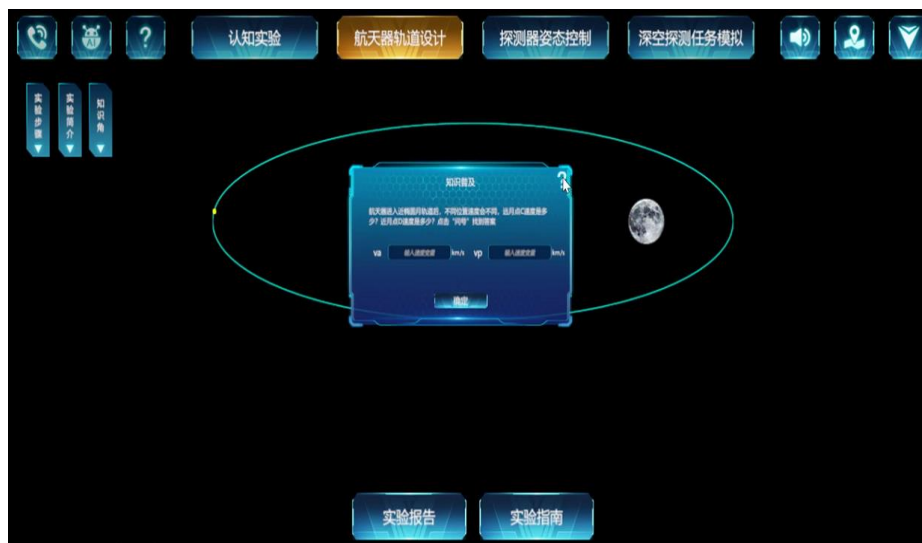


图 20 “航天器绕月轨道”环节

绕飞过程中将展示绕月轨道中特征点的受力和速度。

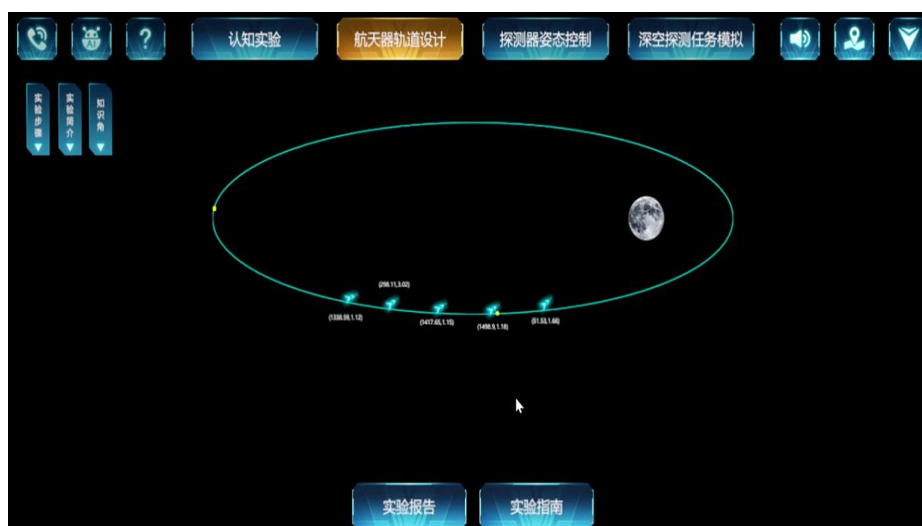


图 21 “航天器绕月轨道”环节动画

步骤 11

操作任务：开始进行探测器姿态控制；

操作目的：进入姿态控制模块；

操作过程：学习姿态控制知识角，掌握该模块所需基本知识。点击“深空探测知识角”，选择探测器姿态控制模块，进行学习。

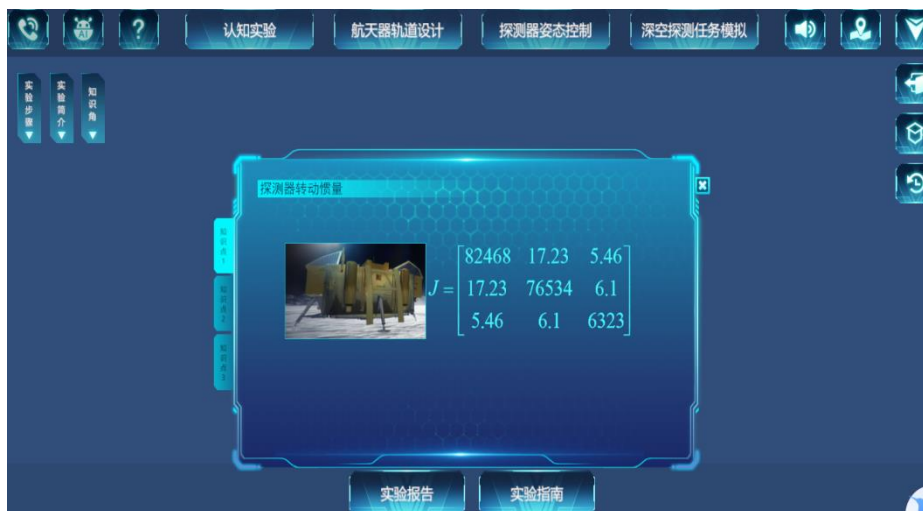


图 22 探测器姿态控制模块知识角学习

步骤 12

操作任务：探测器姿态控制模块预习考核

操作目的：检验该模块预习效果。

操作过程：点击“预习考核”，选择“探测器姿态控制”，进入该模块考核环节。



图 23 探测器姿态控制模块预习考核

步骤 13

操作任务：设置探测器姿态控制基本参数；

操作目的：建立姿态控制动力学模型；

操作过程：在相应的框中输入探测器转动惯量和质量；设置卫星初始姿态欧

拉角，初始角速度，建立探测器姿态控制基本模型。



图 24 设置姿态控制基本参数

步骤 14

操作任务：计算的推力器作用时间

操作目的：消除姿态误差。

注意事项：学生结合刚体定轴转动定律，角动量定理、姿态角速度和姿态角变化线下计算姿态推力器消除误差所需要的作用时间，在相应对话框中输入；

操作过程：点击“开始模拟”进行验证。当计算正确时，探测器以正确的姿态完成着陆。



图 25 姿态控制演示界面

当计算错误时，探测器着陆时，存在一定的姿态偏差，会导致探测器损坏。



图 26 探测器着陆姿态偏差

步骤 15

操作任务：开始进行深空探测任务模拟；

操作目的：进入任务模拟模块；

操作过程：学习姿任务模拟知识角，掌握该模块所需基本知识。点击“任务模拟知识角”，选择探测器任务模拟模块，进行学习。

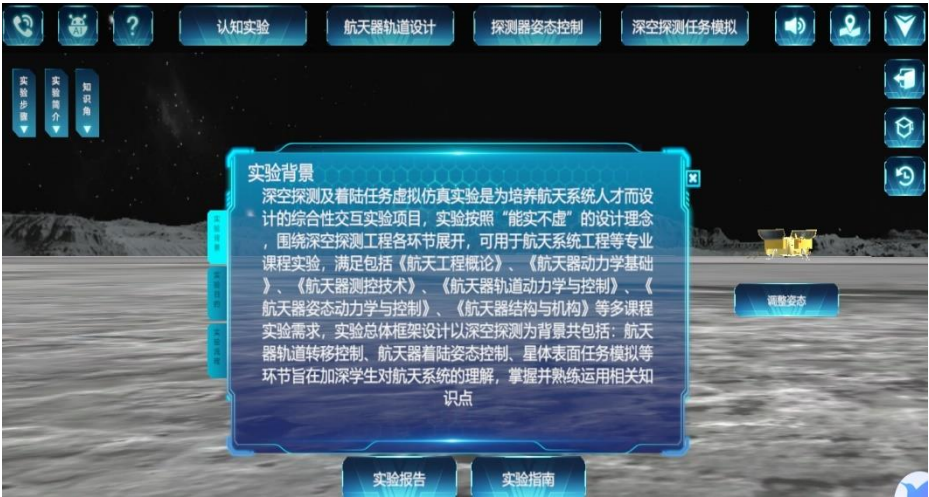


图 27 深空探测任务模拟知识角

步骤 16

操作任务：深空探测任务模拟模块预习考核；

操作目的：检验该模块预习效果；

操作过程：点击“预习考核”，选择“深空探测任务模拟”，进入该模块考核

环节。



图 28 深空探测任务模拟预习考核

步骤 17

操作任务：进行两器互拍操作；

操作目的：勘探月球面貌；

操作过程：点击“两器互拍”，使得探测器和玉兔号开始准备执行两器互拍任务。



图 29 玉兔号到达预定拍照点

点击“调整姿态”按钮，实现玉兔号的姿态调整，使相机镜头对准探测器，探测器镜头对准玉兔号。



图 30 玉兔号调整姿态

点击“拍照”按钮，完成玉兔号和探测器的“两器互拍”任务。



图 31 两器互拍任务实验

步骤 18

操作任务:设置中继通信系统参数;

操作目的: 完成两器互拍照片传输;

操作过程: 设置中继通信系统参数, 输入发射功率和通信距离, 输入相应对话框。点击“开始模拟”, 进行验证。当计算链路正确时, 表明中继图像传输正常。



图 32 中继通信参数输入

当计算链路小于 3dB 时，表明中继测控链路不可靠，传输图像将出现误码。



图 33 中继通信演示界面

步骤 19

操作任务:完成实验报告;

操作目的: 给出实验成绩;

操作过程: 完成认知模块及主体实验模块内容，根据实验记录的数据进行认知考核，预习考核和实验过程考核，生成实验报告，给出实验成绩。



图 34 实验报告

3-7 实验结果与结论（说明在不同的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	不同椭圆轨道上近地点运行速度	航天器脱离该运行轨道	轨道 1 速度 3.64km/s, 轨道 2 速度 3.87km/s。
2	不同椭圆轨道进行地月转移的速度增量	航天器无法正常进入地月转移轨道	轨道 1 速度增量 1.11 km/s, 轨道 2 速度增量 0.57km/s。
3	绕月轨道上不同位置速度	航天器脱离该绕月轨道	远月点速度 1.10km/s, 近月点速度 1.19km/s。
4	着陆时不同姿态 PID 参数	着陆姿态异常造成部件或航天器整体损伤	调节时间 5s, 超调量小于 10%, 上升时间小于 5s 稳态误差小于 0.5 度

3-8 面向学生要求

(1) 专业与年级要求

本虚拟实验课程面向普通高校理工专业本科生通识教育，以及教育学科学教育专业本科生的专业教育，年级为大一至大二本科生。

(2) 基本知识和能力要求

本虚拟实验课程仅要求学生具备《高中物理》等课程的知识储备，对于大众化、非专业学生来说，对其专业基础知识没有特殊要求，只要会使用网络便可顺利访问学习。

3-9 实验应用及共享情况

(1) 本校上线时间：2019 年 12 月 08 日（上传系统日志）

(2) 已服务过的学生人数：本校 293 人，外 100 人

(3) 附所属课程教学计划或授课提纲并填写：

纳入教学计划的专业数：3，具体专业：航空航天工程、光电信息科学与工程、飞行器控制与信息工程，

教学周期：2，学习人数：393

(4) 是否面向社会提供服务：●是 ○否

(5) 社会开放时间：2019 年 8 月 29 日

(6) 已服务过的社会学习者人数：56 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）

空间科学具有系统复杂，技术先进、耗资巨大等显著特点，传统的空间科学实验教学普遍存在“看不见、摸不着、做不了、做不好”等实际困难，需要借助虚拟仿真技术解决。本实验项目将国家航天重大工程转化为实验教学课程，建设了国内首个以深空探测为主题的科学教育虚拟实验平台，有效提高了空间科学教学水平，促进了人才培养能力建设。对照教育部高教司吴岩司长提出的“两性一度”（创新性、高阶性和挑战度）金课标准，本项目特色体现在：

（1）实验项目具有极强的前沿性和创新性

1、本项目来源于“嫦娥四号”探月工程，该工程创造了月背软着陆、月背中继通信等多项“人类第一”，实现了重大的科学创新，因此，实验内容具有极强的前沿性和创新性，体现了本实验课程的“创新性”。

2、本项目采用先进的虚拟仿真教学形式，将“嫦娥四号”探月工程进行地面数字模拟，为学生创造了深空探测的实验条件，使学生可以开展轨道转移、姿态控制等传统教学难以完成的实验项目，实现了对传统教学的延伸和拓展。

(2) 实验设计着重培养学生解决复杂问题的综合能力和思维方式

1、本项目利用万有引力、刚性定轴转动定律等基本物理学知识，使学生学习和掌握复杂的深空探测转移轨道设计、探测器姿态控制等科学原理和设计方法，着重培养了学生利用基本原理解决复杂空间科学问题的综合能力，体现了本实验课程的“高阶性”。

2、本项目在航天器轨道设计、探测器姿态控制、深空探测任务模拟实验环节，通过采用比较法、等效替代法和控制变量法等实验方法，使学生可以从基本原理、基本概念和基本方法出发，深刻理解航天复杂问题的内在原理、解决思路 and 实现方法，培养学生自主学习、自主探索和自主分析的思维方式。

(3) 实验知识点设计考虑了课程的挑战性和实验结果的个性化

1、实验知识点分为认知学习类和探究学习类，探究学习类知识点具有一定的难度，需要学生利用知识角学习和线下自学掌握基础知识，在此基础上进行探究式实验，未认真进行预习的学生将难以通过题目考核，体现了本实验课程“挑战度”。

2、本项目采用开放式设计思想，对于需要学生掌握的关键知识点，在实验步骤中对其参数设计不做限制，学生可以根据自身的情况进行探究式实验，可得到正确、错误甚至是航天器损毁等破坏性实验结果，体现了实验结果的“个性化”。

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) 2 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）

本虚拟仿真项目带宽要求为 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，最大限度的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项目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项目网站进行 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项目网页的速度。

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时有发生，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。

<p>经测试，当用户数量达到在 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%。</p> <p>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。</p>
<p>6-2 用户操作系统要求（如 Windows、Unix、IOS、Android 等）</p> <p>(1) 计算机操作系统和版本要求</p> <p>计算机操作系统为 Windows7、Windows8、Windows10、Deepin15.7（国产 Linux 系统）</p> <p>(2) 其他计算终端操作系统和版本要求</p> <p>无</p> <p>(3) 支持移动端： <input type="radio"/>是 <input checked="" type="radio"/>否</p>
<p>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）</p> <p>(1) 非操作系统软件要求（支持 2 种及以上主流浏览器）</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> 谷歌浏览器 <input type="checkbox"/>IE 浏览器 <input checked="" type="checkbox"/>360 浏览器 <input checked="" type="checkbox"/> 火狐浏览器 <input type="checkbox"/>其他</p> <p>(2) 需要特定插件 <input checked="" type="radio"/>是 <input type="radio"/>否</p> <p>如勾选“是”，请填写：</p> <p>插件名称：（插件全称）<u>浏览器 Google Chrome</u></p> <p>插件容量：<u>48.1MB</u></p> <p>下载链接：<u>http://dl.hdmool.com/tools/chrome_x64.exe</u></p> <p>(3) 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）</p> <p>无其它要求。不提供软件下载服务。</p>
<p>6-4 用户硬件配置要求（如主频、内存、显存、存储容量等）</p> <p>(1) 计算机硬件配置要求</p> <p>Web 端 用户硬件要求</p> <p>处理器：Intel（R）Core（TM）i5</p> <p>主频：2.4GHz</p> <p>内存：8GB</p>

<p>显卡：NVIDIA GeForce GTX GT740 2G</p> <p>(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。</p>
<p>6-5 用户特殊外置硬件要求（如可穿戴设备等）</p> <p>(1) 计算机特殊外置硬件要求 无</p> <p>(2) 其他计算终端特殊外置硬件要求： <input checked="" type="radio"/> 无 <input type="radio"/> 有 如勾选“有”，请填写其他计算终端特殊外置硬件要求：</p>
<p>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）</p> <p>(1) 证书编号： 32010743001-21001</p> <p>(2) 请附信息系统安全等级保护备案证明</p>

7. 实验教学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>基于 B/S 和 C/S 架构的虚拟教学平台。系统服务器部分代码采用 PHP 语言编写，由个人中心、课程编辑，网页学习、管理后台、API 等模块构成。系统采用 MySQL 数据库，并采用缓存技术来提升访问速度。客户端支持 pc 端和移动端，对应的有 vr 版本和非 vr 版本，通过互动伺服器实现和平台的数据交互，以及实现不同终端之间的互动教学。</p>

		<pre> graph TD subgraph 机房 DB[数据库] --> WA[Web应用] WA <--> V[视频] WA --> S[交换机] end S --> CE[课程编辑(网页)] CE --> IN[互联网/校园网] IN --> IS[互动伺服器] IN --> WL[网页学习] </pre>
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 checked="" 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 checked="" type="checkbox"/> Visual Studio <input type="checkbox"/> 其他
	运行环境	服务器 CPU 16 核、内存 32GB、磁盘 1000GB、 显存 16GB、GPU 型号 NVIDIA GRID K1 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 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	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

	率等)	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	丰富完善基础知识认知的器件库建模
第二年	补充深化深空探测转移轨道设计模块知识点
第三年	补充深化月面着陆探测器姿态控制设计模块知识点
第四年	补充深化深空探测中继通信技术设计模块知识点
第五年	基于 VR 的 3D 虚拟教学系统建设

其他描述:

深空探测科学教育虚拟仿真实验项目已投入 30 余万元, 未来 5 年拟持续投入 50 万元, 用于项目的持续建设和更新, 以便更好地涵盖专业内容, 增加更多的实验任务, 更深入开展探究性实验项目, 以解决深空探测工程实验实践教学平台短缺的难题, 满足新时代航天工程专业人才的培养需求。

(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	300	2	100
第二年	10	500	5	300
第三年	15	1000	10	600
第四年	20	2000	15	1000
第五年	30	3000	20	1500

其他描述:

1) 面向高校的教学推广应用计划

本项目已在贵州师范大学、南京晓庄学院进行了教学应用, 今后 5 年将继续加强与西部高校合作, 深化与兄弟单位的沟通交流, 把项目推广到更多的学校中, 满足其教学实验需求。

目前, 尚无其他高校开展空间科学教育虚拟仿真实验项目建设, 本项目实验具有很大的推广空间, 可与工业部门和兄弟院校进行合作, 推广本项目应用, 使得课程资源更丰富, 课程内容与实际贴合更紧密。

2) 面向社会的推广应用计划

完善和提升课程开发和服务团队，保证持续安全运行，提高服务水平。继续面向社会免费开放，积极推广，扩大受益面和影响力。

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	深空探测科学教育虚拟仿真实验软件 V1.0
是否与课程名称一致	<input checked="" type="radio"/> 是 <input type="radio"/> 否
<p>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，可自行增加著作人填写栏进行填报。</p>	
著作权人	著作权人类型
	<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	2019SR0933055
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）：



年 月 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。）