

中国科学技术大学微专业课程开设申请表

(新开设课程)

微专业名称	磁约束可控核聚变	牵头单位	核科学技术学院
课程名称	磁约束装置与位形	课程英文名称	Magnetic Confinement Devices and Configurations
微专业课程编号		W2140103	
课程负责人	祝曹祥	所在单位	核科学技术学院
联系电话		联系邮箱	
课程类别	☐ 核心课程 ☒ 拓展课程 (二选一)		
面向对象	☒ 本科生 ☒ 研究生 (默认应为全选)		
学分及学时	_1_学分_20_学时 (默认为 1 学分对应 20 学时)		
授课语言	☒ 中文 ☐ 英文 ☐ 双语	开课学期	☒ 春 ☐ 夏 ☐ 秋
教学方法	☒ 讲授法教学 ☒ 小组学习 ☒ 案例教学 ☒ 影像学习 ☐ 网络教学 ☐ 企业实践课堂 ☐ 体验教学 ☒ 企业参观 ☐ 角色扮演实景教学 ☐ 自主学习 ☐ 商业实景游戏 ☐ 其他_____		
课程教材与参考书目	教材：自编讲义 参考书目： (1)《等离子体物理与聚变能》(Jeffrey Freidberg 著) (2)《磁约束聚变:原理与实践》(石秉仁 著)		
课程定位与必要性	本课程是微专业拓展课程，承担理论联系实际、物理衔接工程的重要作用。与校内《核聚变工程导论》不同，本课程以装置与位形为核心，涵盖多种磁约束位形及装置系统组成、运行控制等工程内容，并设置多种装置现场教学，增强工程实践认知，是培养学生工程思维和系统观念、衔接聚变工程技术课程的必要环节。		

课程内容 与教学安排	（说明本课程教学大纲与教学进度安排，包括课程章节主要教学内容、教学重难点、教学目标和基本要求、教学安排与学时分配等，可另附页） 见附件
课程负责人 简介	（课程负责人现任职务、教学经验及相关荣誉、科研/产业经历及相关荣誉等，可另附页） 见附件
教学团队 成员简介	（教学团队成员姓名、所在单位、教学经验及相关荣誉、科研/产业经历及相关荣誉、本课程教学工作分工等，可另附页） 见附件
教学组织 与保障	（说明教学时段、教学方法、教学场地、实践平台、安全保障等相关安排是否到位、可落地执行，可另附页） 见附件
考核方式	√ 过程性考核：__20%__（课堂表现、出勤情况、课后作业、阶段性任务成果等） √ 实践成果考核：__30%__（项目报告、产品原型、实验成果、设计方案、案例分析报告等） √ 综合考核：__50%__（技能测试、综合答辩等） （需另附页详细说明课程考核方式科学性、考核标准可操作性，以及考核方式、考核标准与学生实战能力培养的相关度、体现度）
师德师风 审核意见	经我单位调研审查，本课程负责人及教学团队所有成员皆不存在师德失范、治学不严、违反学术规范等情形，同意其参与本课程教学。 微专业牵头单位负责人(单位盖章):

课程负责人签字:|

祝带祥

日 期:

附件清单：

- 1 课程负责人及教学团队成员简介（1 份）
- 2 课程内容与教学安排说明（1 份）
- 3 教学组织与保障说明（1 份）
- 4 考核方式详细说明（1 份）

附件 1：课程负责人及教学团队成员简介

一、课程负责人简介

祝曹祥，男，中国科学技术大学特任教授、博士生导师，等离子体物理与聚变工程系执行主任。

教育与工作经历：2012 年、2018 年在中国科学技术大学先后获得学士和博士学位；2018 年至 2022 年在美国普林斯顿大学等离子体物理国家实验室（PPPL）担任助理研究员和副研究员；2022 年 3 月全职加入中国科学技术大学核科学技术学院。

教学经验：长期从事磁约束聚变装置设计与位形优化方向的教学和科研工作，主讲《磁约束聚变原理与装置》《等离子体数值模拟》等课程，指导博士、硕士研究生 10 余名。教学注重理论与工程设计结合，善于将前沿研究成果和装置设计实践融入课堂，培养学生的工程思维和创新的能力。

科研经历：主要研究方向为磁约束聚变仿星器的磁场位形优化与三维线圈设计，在三维线圈新型设计方法、仿星器位形优化、永磁体仿星器设计、三维磁流体平衡计算、新概念磁约束装置探索等方面取得系列成果。在 Physical Review Letters、Nuclear Fusion 等国际顶级期刊发表论文 50 余篇，在国际原子能机构（IAEA）聚变能大会、美国物理学会年会等国际重要学术会议做特邀报告 10 余次。主持国家自然科学基金、中科院战略性先导科技专项、安徽省重点研发项目等多项科研项目。荣获李正武青年奖、蔡诗东等离子体物理奖、IOP 出版集团中国高被引论文奖等荣誉。

本课程分工：担任课程负责人，统筹课程整体设计、教学大纲制定和教学质量监控；主讲第 1、5、9、10 次授课；负责课程考核标准制定和最终成绩审定。

二、教学团队成员简介

1. 孙玄

男，中国科学技术大学教授、博士生导师，青年创新人才计划入选者。

教育与工作经历：1997 年获东南大学学士学位，2000 年获中国科学技术大学硕士学位，2005 年获美国西弗吉尼亚大学博士学位；曾在美国洛斯阿拉莫斯国家实验室和

Tri Alpha Energy (TAE) 公司从事聚变研究；2011 年回国加入中国科学技术大学，2014 年建成国内最大的串列磁镜装置 KMAX 并实现放电。

研究方向：磁镜和场反位形（FRC）等离子体物理、空间等离子体现象的实验室研究、阿尔芬波实验、先进场反磁镜聚变技术。中国场反位形聚变技术奠基人，在磁约束聚变创新位形研究方面具有深厚积累和丰富的装置建设经验。

教学经验：长期从事磁约束聚变装置实验和教学工作，指导博士、硕士研究生多名，具有丰富的装置设计、建设和运行教学经验，擅长结合装置工程实践讲解位形原理。

本课程分工：负责第 7、8 次授课，负责 KMAX 装置现场讲解和装置工程案例教学。

2. 毛文哲

男，中国科学技术大学副教授、硕士生导师。

研究方向：反场箍缩位形物理、撕裂模不稳定性、等离子体湍流、太赫兹诊断技术。长期从事反场箍缩磁约束聚变实验研究，在反场箍缩位形特性、MHD 不稳定性控制等方面具有深厚积累。

教学经验：多次参与等离子体物理相关课程教学和实验指导，具有丰富的实验物理教学经验，擅长结合实验数据讲解位形物理。

本课程分工：负责反场箍缩实验案例教学和课后作业设计。

3. 孙有文

男，中国科学院等离子体物理研究所研究员、博士生导师

本课程分工：负责第 2 次授课

4. 李国强

男，中国科学院等离子体物理研究所研究员、博士生导师

本课程分工：负责第 3, 4 次授课

三、教学团队整体情况

本课程教学团队由核科学技术学院 3 位教师（2 位教授、1 位副研究员）组成，均为长期从事磁约束聚变装置研究和教学的校内骨干教师，形成“位形设计+装置工程+实验物理”互补的团队结构。团队成员研究方向覆盖 MHD 平衡、托卡马克、仿星器、反场箍缩、磁镜/FRC、装置系统、运行控制等课程全部内容，且均具有装置设计、建设和运行的丰富实践经验，能够将真实的装置工程实践融入课堂教学，保障课程的实践性和工程性。

附件 2：课程内容与教学安排说明

一、课程基本信息

项目	内容
课程名称	磁约束装置与位形
课程英文名称	Magnetic Confinement Devices and Configurations
微专业课程编号	W2140103
课程类别	拓展课程
学分/学时	1 学分 / 20 学时
面向对象	二年级及以上本科生、硕博研究生
开课学期	2027 年春季学期
授课语言	中文
先修课程	磁约束聚变能导论、等离子体物理概论（建议）

二、课程定位与培养目标

上亿摄氏度的等离子体，怎样才能留在一台装置里？看不见的磁场，为什么能成为约束它的“容器”？同样为了实现聚变，为什么有的装置像圆环，有的线圈扭曲复杂，还有的沿直线展开？

《磁约束装置与位形》邀请你带着这些问题，认识聚变装置的结构与工作方式。在 20 学时中，我们将通过装置图片、三维模型和真实案例，了解不同磁约束方案，看看磁体、真空、加热、诊断和控制系统如何共同支撑一次实验。课程还安排 EAST、KTX 和 KMAX/FLAME 三次现场教学，让你把课堂上的示意图与眼前的设备联系起来。

如果你关注能源技术，想知道物理原理如何变成大型设备；如果你学习机械、电气、材料、计算机或控制，想了解自己的专业知识与聚变装置有哪些联系，这门课将提供一个具体的观察入口。

课程欢迎非等离子体物理与聚变背景的本科生、研究生修读，承接《磁约束聚变能概论》和《等离子体物理概论》。我们将从必要的概念、直观的图像和实际问题出发，帮助你逐步读懂一台聚变装置。

学生学习收获：再次看到聚变装置的照片时，你将能够辨认主要结构，理解它们为什么这样设计；走进装置现场时，你将知道可以观察什么、向运行人员提出什么问题；面对不同技术路线时，你将能够结合运行目标和工程条件，说明各自的优势与局限。

三、教学内容与学时分配

本课程共 20 学时，安排 10 次课（含 3 次现场教学），每次 2 学时。具体教学内容与学时分配如下：

次数	教学单元	内容介绍
1	课程导论与装置工程问题	知道聚变的原理，离造出一台装置还有多远？ 从等离子体所需的条件出发，追问装置要多大、需要怎样加热、热量往哪里排，理解物理目标如何转化为设备需求和工程约束。
2	磁场位形与 MHD 平衡基础	看不见的磁场，怎样成为约束高温等离子体的“容器”？ 从磁面和平衡截面图入手，理解磁场结构、等离子体压强与磁力的关系，认识平衡方程的作用，学习把抽象概念与装置结构对应起来。
3	托卡马克与球形托卡马克装置	把一个圆环做得更“胖”，装置会有什么不同？ 比较托卡马克与球形托卡马克，了解等离子体电流和变压器原理，看看形状变化如何影响磁体布置、真空室、偏滤器及工程空间。
4	EAST 现场教学	走到 EAST 面前，你能认出哪些支撑实验的关键设备？ 带着课堂上的结构图走进现场，辨识磁体、真空、加热、诊断和控制系统，听取运行人员讲解，了解一次实验的组织、运行和安全要求。
5	仿星器位形与装置	线圈为什么要扭得这么复杂？ 借助三维模型，观察外部线圈如何形成约束等离子体的磁面。结合 W7-X 和 LHD，理解这种结构带来的运行特点，以及制造、安装和维护上的挑战。
6	KTX 现场教学	如果磁场在边缘反向，一台装置会怎样工作？ 在 KTX 现场认识反场箍缩装置，了解位形怎样形成、磁场怎样测量、实验怎样运行，把磁场结构与真实设备联系起来。
7	磁镜与场反装置	磁约束一定要绕成一个环吗？粒子会从两端跑掉吗？ 从磁镜的端损失问题出发，认识串列磁镜和场反位形，比较它们与环形装置在约束方式、磁体布局、加热和诊断上的差异。
8	KMAX/FLAME 现场教学	课堂上的磁镜和场反位形，在实验室里长什么样？ 走近实验平台，辨识主要设备，通过现场交流了解科研装置如何建设、调试和运行，观察一张设计图变成实验设备需要解决哪些问题。
9	装置系统工程与运行控制	如何知道等离子体的状态，又怎样及时作出调整？ 沿着“测量—判断—执行”的过程认识诊断与控制，并把磁体与低温、真空、加热、加料排灰和维护联系起来，理解系统协同与长脉冲运行的要求。
10	综合案例与课程总结	如果由你选择装置方案，你会看哪些证据？ 结合典型装置，从位形、系统组成、运行目标和工程难点出发比较技术路线，在小组讨论与汇报中，用图、参数和案例解释自己的判断。

四、教学内容详细说明

第 1 讲 课程导论与装置工程问题（2 学时）

承接前置课程，简要说明聚变装置需要满足的温度、密度、约束、加热、排热和运行条件，明确本课程聚焦装置与工程。介绍装置的尺度、性能指标、系统边界和工程约束，帮助学生建立“物理目标—装置方案—系统集成”的分析框架。

第 2 讲 磁场位形与 MHD 平衡基础（2 学时）

只回顾读懂装置位形所必需的概念：磁面、闭合磁面、环向/极向磁场和压强平衡。介绍 Grad - Shafranov 方程所描述的问题及其参数含义，不安排完整推导和数值求解，把重点放在平衡截面、磁面和装置结构的对应关系。

第 3 讲 托卡马克与球形托卡马克装置（2 学时）

集中介绍托卡马克和球形托卡马克的装置化特征，包括等离子体电流、变压器运行、纵横比、磁体、真空室、偏滤器及加热系统。结合 EAST、ITER 和典型球形托卡马克进行结构和工程权衡，不重复前置课程中的发展史和路线概览。

第 4 讲 EAST 现场教学（2 学时）

通过现场参观认识全超导托卡马克的总体布局 and 主要子系统，观察装置运行流程、控制室或观摩区及典型实验介绍。学生完成装置系统辨识和简短观察记录，具体路线以装置开放条件为准。

第 5 讲 仿星器位形与装置（2 学时）

突出仿星器三维外部线圈、无大等离子体电流和稳态运行潜力等装置特点，介绍线圈、真空室和模块化结构。以 W7-X、LHD 等案例说明三维位形带来的系统复杂度与维护挑战；准对称性和线圈优化仅作概念介绍。

第 6 讲 KTX 现场教学（2 学时）

围绕反场箍缩装置的结构、位形形成、测量系统和运行流程开展现场教学，将第 4 讲的概念与真实实验装置对应起来，并讨论反场箍缩在约束、稳定性和工程实现方面的特点。

第 7 讲 磁镜与场反装置（2 学时）

介绍磁镜的端损失问题、串列磁镜的基本思路和 FRC 的磁场结构，重点比较磁镜/FRC 与环形装置在约束方式、磁体布局、加热、诊断和工程复杂度方面的差异，为 KMAX/FLAME 现场教学作准备。

第 8 讲 KMAX/FLAME 现场教学（2 学时）

观察串列磁镜、FRC 及相关实验平台，辨识磁体、真空、加热、诊断和控制设备，了解科研装置建设、调试和运行中的工程问题，完成现场交流和记录。

第 9 讲 装置系统工程与运行控制（2 学时）

以系统接口为主线，串联磁体与低温、真空、加热与电流驱动、诊断、控制、加料排灰和维护等内容。强调“测量—判断—执行”闭环，以及长脉冲运行、安全联锁和可维护性要求。

第 10 讲 综合案例与课程总结（2 学时）

学生以一个典型装置或位形为对象，从位形原理、主要系统、运行目标、工程难点和技术路线权衡等方面进行综合分析。通过小组汇报和答辩，检验学生将前置课程知识转化为装置工程判断的能力。

五、装置现场教学

教学内容：组织学生前往中科院等离子体物理研究所 EAST 全超导托卡马克装置、西区 KTX 反场箍缩实验装置、北区 KMAX 场反磁镜装置/高新区 FLAME 装置开展现场进行教学实践，包括装置总体介绍、装置现场参观、运行人员讲解运行流程和典型实验、与科研人员交流互动。

教学目标：通过现场教学，让学生近距离接触大科学装置，直观理解磁约束装置的结构组成和运行原理，增强工程实践认知。

安全保障：参观前进行安全培训，签署安全告知书，全程由专业人员陪同，严格遵守装置现场安全规定。

六、教学重难点总结

教学重点：磁流体平衡、托卡马克位形与装置结构、仿星器三维位形、主要位形优缺点比较、装置系统组成、装置现场教学。

教学难点：Grad-Shafranov 方程推导、仿星器三维磁场物理图像、不同位形的性能比较与工程权衡、大科学装置系统工程复杂性。

七、教材与参考书目

自编讲义：课程教学团队编写《磁约束装置与位形》课程讲义，随课程进度发放。

主要参考书目：

- (1) 《等离子体物理与聚变能》（Jeffrey Freidberg 著）
- (2) 《磁约束聚变:原理与实践》（石秉仁 著）

附件 3：教学组织与保障说明

一、教学时段安排

开课学期：2027 年春季学期（2027 年 2 月-6 月）。

上课时间：每周二晚 19:30-21:05（第 11-12 小节），共 7 周理论课，另安排 3 次周末现场教学（共 6 学时）。安排在后半学期的晚间授课，不占用学生白天正常教学时间，与微专业其他课程错开，方便学生连续修读。

上课地点：中国科学技术大学西区多媒体教室（可容纳 30-50 人）。

现场教学：安排 3 次周末半天的装置现场教学（共 6 学时），具体时间根据不同装置运行计划协商确定。

二、教学方法与手段

本课程采用理论讲授、工程案例、现场教学相结合的多元化教学方法，突出“理实融合”特色：

- （1）讲授法：系统讲授 MHD 平衡理论、各种磁约束位形原理和装置系统组成。
- （2）案例教学：结合 EAST、ITER、W7-X、KMAX 等典型装置的真实设计案例和运行数据讲解抽象理论。
- （3）视频教学：播放装置建设、运行、实验的视频资料，帮助学生建立直观认识。
- （4）设计实践：安排简单的位形参数设计和线圈设计练习，培养工程设计思维。
- （5）现场教学：组织 EAST 装置现场参观和讲解，增强工程实践认知。
- （6）小组研讨：围绕不同磁约束位形的技术路线比较等问题组织小组研讨。
- （7）线上辅助：利用智慧教学平台发布课程资料，开展在线答疑。

三、教学场地与设备保障

理论教学场地：西区多媒体教室，配备高清投影、音响系统、网络设备，支持多媒体教学和三维模型展示。

设计实践场地：配备计算机房，安装 MHD 平衡计算相关软件。

现场教学场地：中科院等离子体物理研究所 EAST 装置现场，设有参观观摩区、控制室观摩区和装置讲解区。

线上教学平台：中国科学技术大学智慧教学平台。

四、实践平台与资源保障

（1）EAST 全超导托卡马克装置：国家大科学工程，组织 1 次现场教学，由装置运行人员现场讲解。

（2）KTX 反场箍缩装置：国内最大的反场箍缩装置，组织 1 次现场教学，由装置运行人员现场讲解。

（3）KMAX 串列磁镜装置（校内）：孙玄教授主持建设的国内最大串列磁镜装置，安排 1 次装置参观，现场讲解磁镜/FRC 位形原理。

（4）装置设计软件平台：利用开源 MHD 平衡计算程序和线圈设计工具，搭建课程设计实践平台。

（5）数字资源库：整理装置设计经典教材、综述论文、装置图片、建设视频、运行案例等数字资源。

（6）前沿学术讲座：邀请聚变装置设计和运行领域专家做 1-2 次专题讲座。

五、安全保障措施

理论教学安全：课堂教学在标准多媒体教室进行，无安全风险。

设计实践安全：计算机房内进行设计练习，无物理安全风险。

EAST 装置现场教学安全：（1）参观前组织专门的安全培训，讲解安全规定、辐射防护知识和应急处置流程，签署安全告知书；（2）参观过程由课程教师和装置运行人员全程陪同，严格按照指定路线行进；（3）控制单次参观人数不超过 20 人，分批次

进行；（4）配备必要的个人辐射剂量计和安全防护用品；（5）制定现场教学应急预案。

KTU、KMAX 装置参观安全：参观前进行安全告知，由装置运行人员全程陪同，保持安全距离。

六、师资保障

课程负责人：祝曹祥教授（系主任），统筹课程整体设计和教学质量监控。

授课教师：孙玄教授、毛文哲副教授（均为校内教师）和孙有文研究员、李国强研究员（均为中国科学院等离子体物理研究所研究员），分别承担课程核心章节教学。

现场教学师资：邀请中科院等离子体物理研究所 EAST 装置运行人员参与现场教学讲解。

教学助教：配备 1 名研究生助教，负责课后答疑、作业批改、设计实践辅导和现场教学组织协调。

师资稳定性：课程团队成员均为核科学技术学院在编教师，长期从事磁约束聚变装置研究，能够保障课程教学和现场教学的连续性。

七、教材与教学资源保障

参考书目：指定 2 本主要参考教材和若干精选装置设计论文。

多媒体课件：每章配套 PPT 课件，包含装置结构图、位形示意图、三维模型、工程参数表和运行案例。

视频资源：收集整理 EAST、ITER、W7-X、KMAX 等装置的建设和运行视频。

习题库与设计题：建立课后习题库和装置设计练习题。

八、教学质量保障

（1）集体备课制度：开课前组织集体备课，统一教学要求和进度。

（2）教学研讨制度：课程进行中定期组织教学研讨，及时解决教学问题。

- (3) 教学督导：邀请学院教学督导专家听课指导。
- (4) 学生评教：课程结束后组织学生评教，重点收集对现场教学环节的意见。
- (5) 课程档案：建立完整的课程教学档案。
- (6) 现场教学评估：每次现场教学后进行教学效果评估，持续优化现场教学。

附件 4：考核方式详细说明

本课程采用过程性考核、实践成果考核和综合考核相结合的方式，总评成绩满分 100 分。具体为：过程性考核 20%（课堂表现、出勤情况、课后作业、阶段性任务成果等）；实践成果考核 30%（项目报告、产品原型、实验成果、设计方案、案例分析报告等）；综合考核 50%（技能测试、综合答辩等）。考核重点是学生对磁约束装置基本概念的理解、装置资料的阅读能力、技术路线的比较能力以及将物理认识联系工程问题的能力。

（一）过程性考核（20%）

过程性考核内容：过程性考核贯穿课程教学全过程，包括课堂表现、出勤情况、课后作业和阶段性任务成果等。课堂表现主要考查学生参与课堂讨论、现场教学和课程研讨的情况；出勤情况根据理论课、现场教学和综合研讨的实际参与情况记录；课后作业和阶段性任务用于了解学生对基本概念和阶段性内容的掌握情况。过程性考核合计按 20%计入总评。

现场教学属于课程实践环节，原则上必须参加；因不可抗力无法参加时，应完成教师安排的等效虚拟参观或补充任务。无故缺勤达到总课时三分之一及以上者，课程总评原则上不予及格。

（二）实践成果考核（30%）

实践成果考核主要通过现场教学成果、案例分析报告、设计方案或其他与课程内容相关的实践成果进行评价，重点考查学生对装置资料和现场信息的整理能力、对技术路线的分析能力以及将课程知识用于实际问题的能力。实践成果按 30%计入总评，具体成果形式根据教学进度和现场条件确定。

（三）综合考核（50%）

综合考核包括技能测试、综合性大作业和综合答辩等形式，重点考查学生对课程核心知识的综合掌握，以及分析、判断和表达装置问题的能力。大作业可采用案例分析或概念性方案，结合书面报告、技能测试和综合答辩进行评价。综合考核按 50%计入总评。

（四）考核方式科学性、标准可操作性与能力培养关联

1. 考核方式的科学性

三类考核分别对应学习过程、实践成果和综合能力，既关注学生的持续参与和阶段性进步，也评价学生完成实践任务、分析装置问题和综合表达的能力，能够较为全面地反映课程学习成效。

2. 考核标准的可操作性

考勤和课堂表现依据课堂记录评价，作业和阶段性任务依据提交成果评价，实践成果依据报告、方案或案例成果评价，综合考核依据技能测试、大作业和答辩表现评价。各类考核均明确评价内容、成果形式和成绩比例，便于教师评分、学生理解和过程反馈。

3. 与学生实战能力培养的相关度和体现度

考核内容围绕磁约束位形、典型装置和装置系统展开，要求学生阅读装置资料、分析技术路线、理解系统接口并形成规范成果。考核任务与聚变装置领域所需的资料整理、技术判断、工程分析、团队协作和学术表达能力直接相关，能够体现课程“理论联系装置、知识联系工程”的培养目标。

（五）成绩评定与补交

总评成绩=过程性考核成绩×20%+实践成果考核成绩×30%+综合考核成绩×50%。
课程结束前公布成绩构成和评分结果。因特殊情况未能按时提交作业、实践成果或参加现场教学的学生，应在规定时间内完成补交或等效任务；无故不提交综合考核成果者，综合考核成绩按零分计。

附件 3:

中国科学技术大学微专业课程开设专家评审意见

汇 总 表

微专业名称	磁约束可控核聚变
牵头单位	核科学技术学院
课程名称	磁约束装置与位形
微专业课程编号	W2140103
课程开设情况	☐ 校内已有课程 ☒ 新开设课程
课程试讲表现	☒ 通过 ☐ 不通过
综合评审结论	☒ 通过 ☐ 不通过
建议意见	本课程作为磁约束可控核聚变微专业拓展课程，定位精准，承担理论衔接工程实践的功能，以装置与位形为核心覆盖多类技术路线，设置 3 次现场教学，实践性突出。教学团队兼具校内师资与院所专家，工程实践经验深厚，考核侧重过程评价与综合大作业，符合课程特点。建议进一步细化现场教学的评价标准。同意该课程开设。
专家签字	