

冶金工程专业

“稀土冶金新技术及智能制造”课程教学大纲

课程名称：稀土冶金新技术及智能制造

英文名称：Metallurgy technology and intelligent manufacturing of Rare Earth

学时数：16

其中，讲授学时数：14 项目实践学时数：2

学分数：1

适用专业：冶金工程（稀土冶金方向）

一、课程的性质和教学目标

课程性质：专业选修课

专业能力目标：

课程目标 1：在冶金工程（稀土冶金方向）研究方案的实施过程中，结合文献调研，独立思考并提出具有创新性解决问题的思路，在稀土冶金工艺、设备以及稀土功能材料的设计、开发过程中，能够结合稀土冶金绿色低碳需求和稀土冶金的智能制造，正确处理与社会、安全及环境等可持续发展的关系。

课程目标 2：能够准确的查阅稀土冶金方面的英文文献资料，能够阅读相关英文文献并从中了解稀土冶金的最新动态、新技术以及高端稀土新材料的制备新技术。

课程目标 3：通过查阅中文及外文的书籍、期刊等文献资料，对其总结和分析，掌握撰写英文综述性结课论文的方法和技巧。

课程思政目标：

思政目标 1：使学生了解国内外稀土冶金最新的技术进展，引导学生树立科学的创新意识。

思政目标 2：通过课程学习，使学生明白掌握英文阅读能力可快速了解国际稀土冶金发展新动态，同时，明白掌握稀土冶金专业外语可促进我们在世界稀土冶金领域掌握主动权。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

课程支撑的毕业要求：

指标点 3-3：在稀土冶金产品、工艺和设备的设计、开发和优化过程中，能够结合稀土冶金智能制造及绿色低碳冶金技术需求，针对复杂工程问题综合考虑社会、健康、安全、法律、文化及环境等因素，体现创新意识，并能够以图纸、

说明书、论文等形式呈现设计和开发成果。

指标点 5-2：能够运用网络资源与信息检索工具等现代信息技术，进行文献检索与资料查询，获取稀土冶金新技术与智能制造等方面的最新进展。

指标点 10-1：具有外语听说读写的基本能力，了解稀土冶金工程技术领域的国际发展趋势和研究热点，能在跨文化背景下进行沟通和交流。

课程目标与专业毕业要求的关系见表 1。

表 1 课程目标与专业毕业要求的关系

序号	课程目标	毕业要求 指标点 3-3	毕业要求 指标点 5-2	毕业要求 指标点 10-1
1	课程目标 1	L2、L3		
2	课程目标 2		L2、L3	
3	课程目标 3			L4、L5

注：布鲁斯标准 L1 认知，L2 理解，L3 应用，L4 分析，L5 综合，L6 评判

三、课程教学内容的的基本要求、重点和难点

在教学内容上，根据课程教学目标来安排，系统地介绍稀土冶金整体流程的发展历程，结合近年来的英文文献，针对性讲解稀土湿法冶金、稀土火法冶金、稀土功能材料发展的新技术。并结合相关英文文献泛读让学生了解稀土冶金工程技术领域前沿科技现状和研究热点，扩展学生的国际视野，激发学生的学习兴趣。同时掌握其中基本的专业术语、习惯用法和翻译技巧。

第一章 稀土矿物分类冶金技术发展历程

第一节 稀土矿物分类

第二节 稀土湿法冶金技术发展

第三节 稀土火法冶金技术发展

第四节 稀土冶金前沿技术

【重点和难点】我国稀土工业的发展现状以及包头矿的处理流程

第二章 稀土精矿分离、萃取新技术

第一节 稀土精矿分解技术新进展

第二节 稀土元素分离新进展

第三节 稀土萃取新进展

第四节 稀土精矿分离、萃取过程“三废”处理新进展

【重点和难点】稀土矿物的分解、分离及萃取新技术；该过程中“三废”处理新技术进展。

第三章 熔盐电解新技术

第一节 稀土熔盐电解的电化学基础

第二节 稀土熔盐电解制备稀土金属新进展

第三节 稀土熔盐电解制备稀土合金新进展

第四节 含稀土废料回收新进展

【重点和难点】熔盐电解制备稀土金属及合金的新进展；稀土废料（钹铁硼、废抛光粉等）回收的新进展

第四章 金属热还原新技术

第一节 钙热还原生产稀土金属新进展

第二节 镧热还原-蒸馏法生产稀土金属新进展

第三节 其他稀土金属生产新进展

第四节 热还原直接生产稀土合金新进展

【重点和难点】热还原法的新进展；热还原法直接生产稀土合金的条件及新技术

第五章 稀土金属的精炼提纯技术

第一节 区域熔炼提纯法新进展

第二节 固态迁移法

第三节 电解精炼提纯法新进展

第四节 真空蒸馏提纯法新进展

【重点和难点】稀土金属提纯方法；不同类型稀土金属及合金对提纯方法的选择。

第六章 稀土功能材料生产新技术

第一节 稀土磁性材料生产新技术

第二节 稀土催化材料生产新技术

第三节 稀土抛光粉生产新技术

第四节 稀土纳米材料原位构筑新技术

【重点和难点】稀土功能材料发展现状及各类功能材料生产新技术。

四、教学方式及学时分配

表2 教学内容及学时分配

序号	主要内容	主要教学方式	学时分配	辅导答疑比例
1	稀土矿物分类冶金技术发展历程	讲授、作业、讨论	2	3:1
2	稀土精矿分离、萃取新技术	讲授、作业、讨论	2	3:1
3	熔盐电解新技术	讲授、作业、讨论	4	3:1
4	金属热还原新技术	讲授、作业、讨论	2	3:1
5	稀土金属的精炼提纯技术	讲授、作业、讨论	2	3:1

6	稀土功能材料生产新技术	讲授、作业、讨论	2	3:1
7	项目一：稀土功能材料全产业链工艺设计	综合运用上述知识，开展项目实践	2	—

项目一：稀土功能材料全产业链工艺设计

（1）学习目标：

能够综合运用第 1 - 6 章所学的稀土精矿分离、萃取、熔盐电解、金属热还原新技术等知识，以某一种稀土功能材料为切入点，开展从稀土矿物开始，设计制备该功能材料的全产业链工艺。

对应课程目标： 课程目标 1（L2 理解）、课程目标 2（L3 应用）

对应毕业要求： 3-3、5-2

（2）项目任务拆解

任务一：稀土功能材料选择与核心基础原材料确定

主要内容：以稀土磁性材料、稀土催化材料、稀土抛光粉、稀土纳米材料等为对象，结合第六章功能材料生产新技术和国内外文献资料，明确目标材料的应用场景、性能需求、稀土元素组成及关键技术指标；进一步分析其上游基础原料需求，确定所需稀土矿物、稀土精矿、稀土氧化物、稀土盐类、稀土金属或稀土合金等核心原材料。

成果要求：形成材料选择说明，列出目标产品、核心稀土元素、主要原料来源、关键性能指标及支撑文献，为后续全流程工艺设计奠定依据。

任务二：关键工艺方案细化与核心工艺设计

主要内容：围绕选定功能材料，构建从稀土矿物或精矿到功能材料产品的全产业链技术路线，重点细化精矿分解、浸出净化、萃取分离、中间化合物制备、熔盐电解或金属热还原、金属精炼提纯以及功能材料制备等关键环节；结合课程第 1 - 6 章知识，说明主要工艺原理、工艺条件、设备选择、物料流向和质量控制要点。

成果要求：绘制完整工艺流程图，形成关键工艺参数表和核心设备/控制要点说明，体现稀土冶金新技术在工艺设计中的综合应用。

任务三：方案优化与工艺完善

主要内容：从资源综合利用、产品质量稳定性、能耗降低、三废治理、安全生产、环境影响和智能制造等方面，对初步工艺方案进行比选与优化；重点分析废酸、废水、废渣、含稀土废料回收以及过程在线监测、数据采集、自动控制等环节，

提出绿色低碳和智能化改进措施。

成果要求：完成优化后的全产业链工艺方案，形成项目汇报材料或设计说明，能够说明方案的创新性、可行性及其对社会、安全、环境和产业发展的支撑作用。

（3）教学实施流程

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师结合课程目标、毕业要求指标点 3-3 和 5-2，说明项目任务、成果形式和评价重点；通过典型稀土功能材料产业链案例，引导学生理解从稀土矿物到功能材料产品的流程衔接关系，以及绿色低碳、三废治理和智能制造在工艺设计中的要求。学生完成选题方向确认，明确小组分工和资料检索任务。

第二阶段：小组分工与项目实施（1 学时）

学生以小组为单位开展项目实践，围绕目标功能材料进行中英文文献检索、原料分析、工艺路线设计和关键环节论证。小组内部可设置文献调研、原料与产品分析、工艺流程设计、环保与智能制造分析、汇报整理等角色；教师巡回指导，重点针对工艺路线完整性、关键技术选择、工艺参数合理性和绿色低碳措施进行启发式提问与过程反馈。

第三阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

各小组围绕目标产品、技术路线、关键工艺、优化措施和预期效果进行简要汇报，开展学生互评和教师点评。教师结合第 1 - 6 章知识点进行归纳复盘，强调稀土冶金新技术、功能材料制备、英文文献调研、工程设计表达和可持续发展意识之间的联系；学生根据反馈完善流程图、参数表和项目设计说明，实现知识迁移与能力内化。

五、其它教学环节的要求

本课程主要以课堂教学为主，讲授采用多媒体和板书相结合的方式，同时穿插适当的课堂讨论，在教学过程中安排稀土冶金专业相关英文课程论文的阅读、翻译、写作。培养学生认识问题、分析问题、提出解决问题方案的能力，要求学生按时出勤，独立完成作业。

六、本课程与其它课程的联系

本课程的先修课程为《稀土冶金工艺学》、《稀土功能材料》和《大学英语》，在完成稀土冶金方向主干专业课程后，作为扩大视野，了解稀土冶金行业最新发展动态的课程，作为理论联系实践的桥梁课程。

七、考核方式

本课程考核方式由课程论文、课后作业、期中考核组成。

课程论文成绩占总成绩的比例为 50%，课后作业占总成绩的比例为 30%、期中考核占总成绩的比例为 20%。

1.考核与评价方式

课程的考核主要是检查学生对各知识点的掌握程度和应用能力，本课程考核方式由课程论文和过程考核组成。

总成绩=课程论文成绩+过程考核成绩，其中结课考试总分 100 分，以给定题目撰写英文论文形式完成；过程考核包括对平时作业和期中考核的考核。在总评成绩评定中课程论文所占比例为 50%；平时作业占 30%；期中考核占 20%；

表 3 课程考核与评价方式

课程目标	支撑 毕业要求	考核与评价方式及成绩比例（%）			成绩比例（%）
		平时作业	期中考核	课程论文	
课程目标 1	3-3	14	7	19	40
课程目标 2	5-2	10	6	16	32
课程目标 3	10-1	6	7	15	28
合计		30	20	50	100

2.考核与评价标准

表 4 过程考核成绩评价标准

过程考核方式	评价标准				
	优秀	良好	中等	合格	不合格
平时作业 (课程目标 1,2)	课后作业完成及时，文献翻译准确流畅，能够忠实传达出原文所表达的全部意义及所承载的全部信息，译文通顺易懂，合乎规范。	课后作业完成及时，文献翻译基本准确，内容较完整。英文回答语法基本准确，语句较通顺。	课后作业完成较及时，文献翻译基本准确。	课后作业完成不够及时，文献翻译存在部分错误，有所理由。	课后作业完成不够及时，文献翻译离题较远，译文缺失较多。
课堂讨论 (课程目标 1,2)	讨论中观点正确、讲解思路清晰、逻辑性强。	讨论中观点正确，突出重点，讲解清楚，逻辑性强。	讨论中观点基本正确，突出重点，讲解清楚，逻辑性较强。	讨论中观点比较正确，讲解较清楚，逻辑性一般。	讨论中观点不正确、讲解不清楚，逻辑性差。

课程论文 (课程目标 3)	根据给定的专题,能够查阅的大量中外参考书籍、期刊等文献资料,系统地对其整理、分析总结;很好的掌握撰写英文综述性论文的基本方法,	根据给定的专题,能够查阅相关中外参考书籍、期刊等文献资料,较好对其整理、分析总结;掌握撰写综述性论文的基本方法,	根据给定的专题,能够查阅相关中外参考书籍、期刊等文献资料,能够系统地对其整理、分析总结;基本掌握撰写综述性论文的基本方法,	根据给定的专题,能够查阅相关文献资料,并对其分析总结;基本掌握撰写综述性论文的基本方法,	查阅的文献与给定专题题目不符,不能掌握撰写综述性论文的基本方法,
---------------------	---	--	---	--	----------------------------------

八、教学参考书目

《稀土冶金技术》,石富,冶金工业出版社,2009.

《稀土科学与技术进展》(英文版),中国稀土学会,2017.

《稀土提取技术》,黄礼煌,冶金工业出版社,2006.

《稀土生产废水处理技术》,严春杰、罗文君、周森,中国地质大学出版社,2016.

《Journal of Rare Earths》,中国稀土学会,期刊。

课程负责人:陈宇昕

执笔:陈宇昕

审核:张晓伟

冶金工程专业

“冶金工艺 AI 决策与控制”课程教学大纲

英文名称： AI-based Decision-making and Control for Metallurgical Processes

课程编号： 261102123

学时数： 64 学时，其中讲授学时数： 64，项目实践学时数： 0

学分数： 4 学分

适用专业： 冶金工程（智能冶金方向）

一、课程的性质和教学目标

本课程是冶金工程（智能冶金方向）专业的一门专业必修课。主要包括钢铁与有色等主流冶金工艺的生产机理、工业数据分析与智能建模、人工智能基础算法（机器学习、神经网络等）以及数字仿真原理在典型冶金场景中的应用。通过案例教学与启发式教学模式，将抽象的人工智能算法与动态控制理论嵌入到真实的钢铁、有色冶金工程项目中，使学生能够深刻理解并运用机理与数据双驱动模型、软测量技术、预测性维护以及智能控制等关键技术，掌握现代冶金工艺智能决策的架构与应用，培养利用交叉技术解决复杂冶金工程问题的能力，支撑智能冶金方向新工科应用人才的培养目标。

课程主要教学目标：

课程目标 1：掌握钢铁、有色等主流冶金工艺的生产机理、关键工艺参数、过程扰动因素及质量能耗影响规律，明晰传统冶金人工控制、经验决策的局限性与智能化升级的核心需求。

课程目标 2：具有分析与解决典型冶金工艺控制与决策问题的能力，综合运用数理统计、数据分析和机器学习等算法，构建针对冶金质量预测、参数寻优、故障诊断等场景的 AI 智能模型，制定出合理的冶金生产动态调控策略。

课程目标 3：具备一定工程问题研判与应急处置能力，能够识别智能冶金生产中的安全、环保隐患，结合 AI 监测数据制定合理的调控与处置方案，保障生产安全、高效、绿色运行。

课程目标 4：能够运用冶金工艺基本原理，分析冶金流程中工艺调控、产品质量管控等典型工程问题；结合人工智能、智能决策与控制技术，辨析问题成因，

并综合运用课程所学知识制定科学可行的初步优化与控制解决方案,具备运用交叉技术解决冶金质量与工艺控制问题的工程实践能力。

课程目标 5:能够综合运用冶金工程、智能控制与人工智能相关知识,识别并分析冶金领域复杂工程问题;结合行业发展现状,研判冶金新产品、新技术、新工艺推广应用对社会、安全、健康、法规等方面带来的潜在影响,树立法治意识与安全理念,自觉践行工程责任,主动承担行业发展与社会服务的使命。

课程思政目标:

思政目标 1:厚植工业强国与产业报国的家国情怀,引导学生深刻认识我国冶金行业从传统粗放生产到智能绿色制造的跨越式发展成就,理解智能化、数字化技术突破对高端冶金产业自主可控、打破技术壁垒的重要意义,树立扎根冶金行业、引领制造业智能绿色转型升级的责任担当。

思政目标 2:培育求真务实、守正创新的科学精神与绿色担当意识,引导学生在冶金 AI 建模、工艺决策、智能控制优化过程中坚守严谨求实的治学态度,秉持绿色低碳、节能减排的发展理念,自觉践行工匠精神、创新精神与生态文明理念,树立合规自律、精益求精的工程价值取向。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

课程支撑的毕业要求:

1-1:能够将数学、自然科学和相关工程专业基础知识综合运用于冶金工艺、设备及产品质量控制等工程问题的恰当表述中。

2-1:能够将数学、自然科学、工程基本原理综合运用于冶金生产工艺和产品质量控制问题的辨别和恰当表述当中。

3-1:能够根据冶金产品特定需求,基于专业基础知识,进行工艺流程设计,确定合理可行的解决方案。

4-1:能够针对冶金流程中工艺和产品质量控制等工程问题,结合冶金基本原理进行分析,提出初步解决方案。

6-3:能够基于冶金工程相关专业对复杂工程实践问题进行识别、分析,并评价冶金新产品、新技术、新工艺的开发和应用对社会、健康、安全、法律以及文化的潜在影响,并承担社会责任。

课程目标与专业毕业要求的关系见表 1:

表 1 课程目标与专业毕业要求的关系

序号	课程目标	毕业要求 指标点 1-1	毕业要求 指标点 2-1	毕业要求 指标点 3-1	毕业要求 指标点 4-1	毕业要求 指标点 6-3
1	课程目标 1	L1				
2	课程目标 2		L2			
3	课程目标 3			L3		
4	课程目标 4				L3	
5	课程目标 5					L4

注：布鲁斯标准 L1 认知，L2 理解，L3 应用，L4 分析，L5 综合，L6 评判

三、课程教学内容的的基本要求、重点和难点

1. 绪论

具体内容：钢铁与有色金属工业“双碳”目标压力，传统工艺人工控制与经验决策的局限性，冶金行业数字化转型发展机遇；人工智能（AI）主流技术体系，包括机器学习（以 XGBoost 质量预测为例）、深度学习（以 LSTM 时序预测炉温为例）、强化学习（以动态调整合金加料为例）在冶金领域的应用蓝图。

基本要求：了解我国冶金行业低碳化与智能化转型的发展背景，掌握 AI 技术（机器学习、深度学习、强化学习）的定义与分类，理解传统冶金经验决策的局限性，明晰冶金工艺智能化升级的核心需求。

知识点：双碳目标，数字化转型，机器学习（监督与无监督学习），深度学习与神经网络，强化学习马尔可夫决策过程，XGBoost 算法，LSTM 循环神经网络。

重点：传统冶金控制的痛点与 AI 技术解决思路，主流 AI 算法在冶金过程中的典型应用场景。

难点：机理模型与 AI 数据驱动算法在复杂动态冶金系统中的融合机制。

2. 炼钢过程数字化

具体内容：转炉、电炉炼钢过程的智能控制技术；精炼工艺（RH 精炼、LF 炉）工艺参数优化；连铸过程 AI 应用，包括结晶器液面监控、二冷区动态配水控制、铸坯质量缺陷预测；典型工业实践案例（宝钢“黑灯工厂”、浦项智能精炼系统、鞍钢数字孪生连铸平台）及未来面临的挑战与展望。

基本要求：掌握炼钢、精炼、连铸等核心工序的工艺流程及控制机理；理解结晶器漏钢预警、动态配水及缺陷预测的智能化实现路径；能分析实际钢厂数字

化建设案例。

知识点：一键炼钢，吹氧投料控制，RH/LF 终点温度预测，结晶器摩擦力监测，二冷区凝固传热模型，数字孪生技术。

重点：转炉/电炉一键智能炼钢控制原理，连铸二冷区动态配水及缺陷预测的 AI 应用。

难点：炼钢高温、多相、强扰动工况下关键工艺参数的软测量与在线动态优化。

3. 数理统计基础

具体内容：工业数据的数理描述方法，包括数据集中趋势、离散程度的度量；冶金异常数据的统计学识别与处理；概率论基础，包括连续与离散概率分布，工业抽样检验标准与假设检验的基本原理。

基本要求：掌握冶金生产现场数据的基本数理统计特征计算方法；熟悉常见的概率分布律；掌握假设检验的思想，能够对冶金检测数据进行异常值判别、清洗与合规性检验。

知识点：均值、方差、标准差、偏度、峰度，拉依达准则（ 3σ 原则），正态分布， χ^2 检验，t 检验，置信区间，假设检验。

重点：冶金多源噪声数据的统计特征提取，基于统计学的异常值清洗。

难点：结合冶金物理背景进行统计假设检验与质量波动显著性判定。

4. 数据分析与建模

具体内容：一元线性回归模型、多元线性回归模型、非线性回归模型的建模方法与显著性检验；时间序列分析（自回归模型与移动平均）；工业优化建模基础，包括线性规划与非线性规划的基本概念。

基本要求：掌握多元线性与非线性回归模型的数学原理及建立步骤；理解时序数据自相关性及分析方法；能够建立基本的冶金工艺参数优化目标函数及约束条件。

知识点：最小二乘法，回归系数检验（F 检验、t 检验），多重共线性，自回归模型（AR），移动平均模型（MA），目标函数与约束条件。

重点：多元线性回归在工艺指标预测中的建模，时间序列分析在过程参数预测中的应用。

难点：多变量强耦合特征下的非线性回归建模与约束寻优。

5. 人工智能基础

具体内容：人工智能的发展历程与核心要素（算力、算法、数据）；经典机器学习算法（支持向量机、决策树、随机森林及聚类算法）；神经网络分析与建模（感知机、BP 神经网络、卷积神经网络 CNN）；现代启发式算法（遗传算法、粒子群算法等）的基本原理。

基本要求：掌握支持向量机、决策树等传统机器学习算法的分类与回归机制；理解深度学习中 BP 算法的推导及卷积操作原理；掌握遗传算法等启发式算法的寻优流程。

知识点：核函数，信息熵与基尼系数，集成学习，前向传播与反向传播，卷积核，适应度函数，交叉变异，粒子惯性权重。

重点：BP 神经网络的结构与误差修正原理，基于遗传/粒子群算法的参数寻优。

难点：多层神经网络梯度消失/爆炸机制，启发式算法在冶金复杂解空间中的收敛性控制。

6. 数字仿真原理与应用

具体内容：连续系统和离散事件系统的数字仿真原理与算法；基于 Matlab/Simulink 的连续系统仿真，包括冶金温度、液位控制系统模拟；基于 AnyLogic 的离散事件系统仿真，包括炼钢-连铸车间物流与行车动态调度仿真。

基本要求：掌握连续与离散事件系统仿真的基本概念与数学描述；熟练运用 Simulink 对 PID 等控制回路进行仿真；理解 AnyLogic 等离散系统建模方法，能对车间物流调度进行模拟分析。

知识点：常微分方程数值解（欧拉法、龙格-库塔法），状态空间方程，Simulink 模块库，离散事件流，AnyLogic 代理模型，行车冲突避免算法。

重点：基于 Simulink 的冶金动态过程控制仿真，基于 AnyLogic 的车间行车调度系统建模。

难点：多行车、多工位、强约束下的炼钢厂物流调度离散事件精准建模与仿真优化。

7. 人工智能在炼铁及资源利用领域的应用

具体内容：炼铁高炉智能制造概论与智能化需求；高炉智能 AI 应用（如十字测温图像分析、炉况智能预警系统）；冶金过程数学模型（基于机理与数据双驱动的高炉热制度模型）；高炉过程 AI 控制系统架构；热风炉、风机等关键设备

预测性维护及故障诊断。

基本要求：理解高炉炼铁的复杂还原机理与主要工艺指标；掌握图像处理在十字测温中的应用原理；掌握机理与数据双驱动建模的方法；熟悉预测性维护的故障诊断流程。

知识点：高炉热制度，硅含量预测，风温控制，数字图像灰度化与边缘检测，机理与数据融合（残差建模），支持向量机（SVM）故障诊断。

重点：高炉炉温/硅含量的数据驱动预测模型，关键设备的预测性维护技术。

难点：高炉“黑箱”内部复杂多相流热力学机理与黑箱数据模型的高精度融合。

8. 人工智能在有色金属火法冶金中的应用与决策

具体内容：有色金属火法冶金工艺特点（超高温、剧烈扰动、多相反应）与智能化挑战；AI 在铝电解工业中的应用（电解槽槽况智能诊断与阳极效应预测）；AI 在铜、锌火法冶炼中的应用（熔炼炉熔体温度智能预测与喷吹控制）；某大型智能铜冶炼厂的 AI 控制架构案例解析。

基本要求：掌握铝电解、铜火法熔炼的典型工艺流程及核心控制参数；理解阳极效应预测的分类建模方法；掌握火法熔炼炉温度智能预测的软测量原理。

知识点：铝电解槽压，阳极效应，铜熔炼冰铜品位，富氧喷吹，炉体红外热成像分析，多变量动态矩阵控制。

重点：铝电解槽况智能诊断模型建立，铜闪速熔炼/熔池熔炼炉温 AI 预测。

难点：有色火法冶金强腐蚀、大时滞、非平稳多相混合界面的智能辨识与精确决策。

9. 人工智能在湿法与电冶金中的优化与控制

具体内容：湿法冶金过程的多级浸出、萃取及电解工序复杂性；基于数据驱动的软测量技术应用（如浸出液关键离子浓度、酸度在线计算）；萃取与浸出过程的智能控制（如加药量自适应调节、多级萃取智能协同）；电解/电积产品表面质量机器视觉在线检测。

基本要求：掌握湿法冶金及电解的工艺特征；理解基于神经网络或支持向量机的工艺参数软测量原理；掌握基于图像处理与深度学习的阴极板表面缺陷检测技术。

知识点：多级浸出，溶剂萃取分配比，在线软测量，机器视觉（图像分割、特征提取），卷积神经网络缺陷分类。

重点：关键组分浓度的智能软测量模型，基于机器视觉的电铜/电锌表面缺陷在线质检。

难点：湿法冶金化学反应滞后性大、离子交叉干扰下的软测量建模精度及自适应校正。

10. 冶金新技术与前沿交叉领域的 AI 决策

具体内容：外场冶金（微波、超声、电磁外场）与低碳新工艺（如氢冶金）的智能控制；“城市矿山”与二次资源回收 AI 决策（固废智能分选与资源化路径优化）；稀土及战略金属智能分离提取技术；冶金材料基因工程与 AI 新材料发现。

基本要求：了解低碳氢冶金、外场冶金等前沿技术的工艺控制要求；理解垃圾/废钢等“城市矿山”智能视觉分类分选原理；了解数据驱动的材料基因组设计流程。

知识点：竖炉氢还原控制，微波加热选择性，废钢级配识别，基于高光谱的固废分类，成分-性能映射，主动学习。

重点：氢冶金工艺过程智能动态平衡控制，“城市矿山”二次资源回收的智能辨识与决策。

难点：前沿交叉领域小样本、稀缺样本数据的 AI 建模以及多目标材料性能的预测精度。

11. 冶金全流程智能协同控制与综合课程设计

具体内容：冶金工业全局优化与多工序协同生产调度（全流程一体化排产、能效协同平衡）；典型工厂实际工业数据的综合实训、案例研讨与汇报；课程系统性总结与冶金 AI 工程师的职业规划。

基本要求：掌握冶金全流程“铁-钢-轧”或“采-冶-化”协同调度的全局寻优思想；能够针对实际现场生产数据建立多目标优化方案并进行讨论汇报；明确冶金智能制造背景下自身的职业道德和工程责任。

知识点：一体化计划排产（APS），能效协同平衡，多目标混合整数规划，数据可视化，PPT 答辩汇报。

重点：全流程多工序间物流、能流与质量流的智能协同控制算法及方案设计。

难点：各工序时序耦合、不确定性扰动下的全局系统稳定性控制与协同优化决策。

四、教学方式及学时分配

序号	教学模块	具体内容	学时
1	第一章 绪论	钢铁“双碳”目标与传统工艺人工决策局限；AI 技术体系（机器学习、深度学习、强化学习）及在冶金中的应用蓝图。	6
2	第二章 炼钢过程数字化	转炉/电炉智能控制；精炼工艺（RH、LF）参数优化；连铸过程 AI 应用（结晶器监控、二冷区配水、质量缺陷预测）；宝钢、浦项、鞍钢等典型工业案例与挑战。	12
3	第三章 数理统计基础	数据集中趋势与离散程度的描述；冶金异常数据的统计学识别与处理；概率分布、工业抽样检验标准与假设检验。	8
4	第四章 数据分析与建模	一元、多元及非线性回归模型建立与检验；时间序列分析（自回归与移动平均）；工业优化建模（线性与非线性规划）。	8
5	第五章 人工智能基础	AI 核心要素；机器学习算法（SVM、决策树、随机森林、聚类）；神经网络（BP、CNN）；现代启发式算法（遗传算法、粒子群算法）。	8
6	第六章 数字仿真原理与应用	连续与离散事件系统的仿真原理；基于 Simulink 的连续系统仿真（冶金温控模拟）；基于 AnyLogic 的离散事件系统仿真（车间物流与行车调度）。	8
7	第七章 人工智能在炼铁及资源利用领域的应用	高炉智能应用（十字测温图像分析、炉况智能预警）；机理与数据双驱动高炉热制度模型；高炉 AI 控制系统；设备预测性维护（热风炉、风机故障诊断）。	8
8	第八章 人工智能在有色金属火法冶金中的应用	有色火法工艺特点与控制挑战；铝电解槽况智能诊断与阳极效应预测；铜、锌火法冶炼熔体温度预测与喷吹控制；智能铜冶炼厂案例。	8
9	第九章 人工智能在湿法与电冶金中的优化与控制	湿法冶金及电冶金工序复杂性；关键离子浓度、酸度在线软测量；萃取与浸出智能优化（加药量自适应调节）；电解/电积产品表面质量机器视觉质检。	10
10	第十章 冶金新技术与前沿交叉领域的 AI 决策	外场冶金与低碳新工艺（氢冶金）智能控制；“城市矿山”固废/废钢智能视觉分选与回收决策；稀土智能分离；冶金材料基因工程与 AI 材料发现。	10
11	第十一章 冶金全流程智能协同控制与综合课程	全流程一体化排产与能效协同平衡优化；典型工厂现场生产数据综合实训、案例研讨与答辩；课程总结与职业道德、工程责任展望。	10
总计			64

项目一：炼铁高炉过程智能监测与预测性维护系统设计

（1）学习目标

知识能力目标：能够综合运用第 1 章（绪论）、第 3 章（数理统计）、第 5 章（人工智能基础）及第 7 章（炼铁及资源利用）所学的多源数据统计、经典机器学习、神经网络算法以及高炉炼铁工艺机理，针对复杂高炉“黑箱”系统，设计一套集炉温预测、炉况智能预警、关键设备预测性维护于一体的智能监测方案。

对应课程目标：课程目标 1（L2 理解）、课程目标 2（L3 应用）、课程目标 4（L4 分析）

对应毕业要求：1-1、2-1、4-1

重点：高炉多源噪声现场数据的清洗方法（如 3σ 异常剔除）；基于支持向量机（SVM）或 BP 神经网络的高炉铁水硅含量/炉温预测模型设计；热风炉、风机等关键设备的红外测温与振动信号预测性维护方案。

难点：高炉内部复杂气-固-液多相流热力学机理与黑箱数据模型的高精度融合；不平衡故障样本下的预测性维护精度控制。

软件：Python（数据清洗与统计分析）、Excel 或 MATLAB（模型推演与计算）。

硬件：学生自备笔记本电脑或使用机房计算机。

（2）项目任务拆解

任务一（基础任务）：高炉多源生产数据特征净化与统计描述方案设计

小组针对给定的“高炉传感器数据失真及交叉扰动”任务书，研讨现场数据特点。利用数理统计方法（均值、方差、假设检验、拉依达准则）对包含缺失值和高频噪声的原始高炉十字测温、风温、风压数据进行净化、特征提取与归一化，形成书面方案初稿。

任务二（核心任务）：基于机理与数据双驱动的高炉热制度（硅含量）预测模型设计

依据清洗后的关键特征，对比支持向量机（SVM）、决策树及 BP 神经网络的参数敏感性。设计并绘制一个“机理+数据”双驱动的高炉铁水硅含量预测控制模型拓扑图，说明模型的前向和反向传播计算过程，明确高炉炉况智能预警的逻辑判定规则。

任务三（提升任务）：关键设备预测性维护、排障与系统报告完善

针对热风炉、鼓风机等核心设备易发生故障的痛点，设计基于振动谱图或红外热成像图像的智能故障诊断技术方案；针对初版预测模型存在的“时滞补偿失

效”等瓶颈，引入 LSTM 等算法进行方案优化，撰写并提交高炉智能监测系统技术方案。

（3）教学实施流程

第一阶段：项目导入与目标解读（2 学时）

教师：以“高炉十字测温图像分析与炉况异常预警”为情境引入。展示由于炉温失控导致的悬料、结瘤事故，阐述传统高炉经验控制的盲区；解读任务书，明确项目一交付物（数据净化方案 + 双驱动预测算法拓扑 + 预测性维护路线图）及评分标准。

学生：明确学习任务，初步熟悉高炉智能化升级的数字化需求。

第二阶段：小组分工与方案设计（2 学时）

学生：各小组（3-4 人）明确分工（组长、工艺分析员、数据清洗员、算法设计员）；研讨高炉热制度机理，确定数据特征提取规则，绘制高炉智能监测系统初步方案草图。

教师：巡视指导，重点审查各组数据清洗逻辑是否合理、数据与机理融合思路是否切实可行。

第三阶段：理论讲授与算法细化实操（12 学时）

学生：在教师理论精讲的配合下，分步推演高炉铁水硅含量预测建模步骤。利用 Python 或计算工具对样本数据进行统计描述、异常处理；设计多层神经网络分类器的网络结构，并撰写模型寻优及防过拟合方案。

教师指导：开展理论精讲。系统讲授第 1、3、5、7 章核心内容。课中预留答疑时间，重点关注高炉“黑箱”机理建模、多层神经网络参数配置等技术共性难点，引导学生攻关。

第四阶段：方案成果展示与互评（2 学时）

小组成果展示：各组派代表展示高炉数据净化流程图、双驱动硅含量预测算法架构、关键设备预测性维护方案。

多元互评：组间相互质询（关注算法在冶金现场的鲁棒性），教师当场给出综合点评与改进意见。

第五阶段：总结复盘与知识内化（2 学时）

教师总结：梳理本项目核心知识点（高炉热制度、数据统计特征、机器学习与诊断分类器应用），串联理论与工业实践，强调高炉平稳运行对降碳的意义。

全员复盘：引导学生从数据质量控制、算法匹配度及团队协作等维度复盘，

明确后续项目的优化方向。

项目二：炼钢-精炼-连铸全流程数字化与动态仿真设计

（1）学习目标

知识能力目标：能够综合运用第 2 章（炼钢过程数字化）、第 4 章（数据分析与建模）及第 6 章（数字仿真原理）所学的转炉一键炼钢控制、精炼（RH/LF）工艺优化、连铸二冷区凝固传热机理、多元线性回归分析与系统数字仿真实论，针对“钢水冶炼-精炼-浇铸”的多工序动态过程，设计一套一键炼钢终点控制及连铸动态配水的仿真调控系统方案。

对应课程目标：课程目标 1（L2 理解）、课程目标 2（L3 应用）、课程目标 3（L3 应用）、课程目标 4（L5 综合）

对应毕业要求：1-1、2-1、3-1、4-1

重点：多元线性/非线性回归模型在转炉/精炼终点钢水温度及成分预测中的建模方法；基于 Simulink 的连铸二冷区动态配水仿真回路及 PID 参数自适应控制系统设计。

难点：炼钢高温、强腐蚀、大时滞等不确定扰动条件下的仿真模型参数校正与动态响应优化。

软件：MATLAB / Simulink（系统控制回路仿真）、Excel 或 Python（回归建模）。

硬件：学生自备笔记本电脑或使用机房计算机。

（2）项目任务拆解

任务一（基础任务）：转炉一键炼钢终点预测及多元回归分析建模

小组针对“转炉一键炼钢温度与碳含量控制”任务书，分析多变量耦合规律。选择合理的工艺输入特征，应用多元线性回归及非线性回归方法建立终点预测方程，并利用 F 检验和 t 检验对模型显著性进行评估。

任务二（核心任务）：连铸二冷区动态配水控制系统 Simulink 仿真设计

分析连铸凝固传热机理（结晶器液面、二冷区配水、电磁搅拌）。在 Simulink 仿真平台中搭建连铸温度与配水反馈控制系统框图（包含 PID 自适应控制器、配水调节阀、二冷区时滞环节），绘制连续系统的动态仿真响应曲线。

任务三（提升任务）：多工序协同调度分析、排障与系统优化

针对 Simulink 仿真中出现的“系统严重超调”或“时滞失控”进行参数调试与排障（如引入前馈控制或时序时间预测）；结合车间物流（连铸-精炼行车

调度),使用离散事件仿真思想对炼钢-连铸生产节拍进行初步匹配优化,完成全系统大作业报告。

(3) 教学实施流程

第一阶段:项目导入与目标解读(2学时)

教师:以“鞍钢数字孪生连铸平台”及宝钢“一键炼钢”为情境引入。展示铸坯裂纹、转炉喷溅等质量事故案例,阐明数字化动态调控的核心作用;解读任务书,明确交付物(回归预测模型+Simulink仿真模型及响应曲线+节拍匹配方案)及评分标准。

学生:明确学习任务,理清炼钢、精炼、连铸的串联关系。

第二阶段:小组分工与方案设计(2学时)

学生:各小组(3-4人)分工(组长、回归分析员、Simulink建模员、工艺节拍协调员);共同研讨一键炼钢和动态配水机制,设计控制回路的初步框图和回归分析变量表,提交审核。

教师:巡视检查各组变量选取的合理性与Simulink结构设计的科学性,给出针对性建议。

第三阶段:理论讲授与控制仿真细化(14学时)

学生:在教师理论授课下,学习炼钢数字化工艺(第2章)、回归建模原理(第4章)和Simulink连续系统建模算法(第6章)。在课下及课堂讨论环节中细化设计:建立回归方程、设计控制回路各模块传递函数,并在Simulink中进行运行模拟、参数调试与优化排障。

教师指导:重点讲授回归显著性检验、时间序列分析、常微分方程数值求解(龙格-库塔法)及行车冲突避免调度原理,在课堂上开展专题答疑,协助学生攻克控制仿真与回归拟合的难点。

第四阶段:系统方案汇报与互评(2学时)

小组成果展示:各组派代表汇报转炉终点回归模型检验结果,现场展示Simulink连铸温控仿真系统的动态响应曲线,演示不同PID参数对控温效果的改善。

多元互评:组间对控制系统的稳定性和回归参数的选择进行质询与技术讨论,教师当场给分。

第五阶段:总结复盘与知识内化(2学时)

教师总结:梳理本次项目核心知识点(一键炼钢、回归分析、Simulink连

续系统仿真、连铸动态控制), 串联各工序, 强调智能动态平衡在缩短冶炼周期、提升铸坯表面质量上的重要性。

全员复盘: 引导学生复盘仿真调参过程及回归检验失效成因, 内化回归分析与反馈控制思想。

项目三: 有色冶金全流程智能测控、低碳决策与社会合规性评估

(1) 学习目标

知识能力目标: 能够综合运用第 8 章(有色火法)、第 9 章(湿法与电冶金)、第 10 章(前沿交叉领域 AI 决策)及第 11 章(全流程智能协同调度)所学的有色金属冶炼机理、工业传感器与智能软测量、机器视觉缺陷检测、多目标协同优化调度算法以及低碳氢冶金、二次固废资源回收等前沿 AI 技术, 针对有色全流程工厂设计一套完整的智能决策、质检及低碳前沿决策方案, 并对该新技术推广进行多维度社会责任、健康、安全、法律合规性评估。

对应课程目标: 课程目标 2 (L3 应用)、课程目标 3 (L3 应用)、课程目标 4 (L5 综合)、课程目标 5 (L6 评判)

对应毕业要求: 2-1、3-1、4-1、6-3

重点: 有色火法(铝电解/铜熔炼)及湿法工艺中的关键离子浓度/槽况指标的智能软测量技术路线设计; 基于机器视觉和卷积神经网络(CNN)的电解板表面缺陷智能检测方案; 外场强化或二次资源化前沿新工艺推广的安全与环保合规性评估。

难点: 有色冶炼现场强酸碱、高腐蚀、大时滞下软测量模型的自校正设计; 从社会、健康、安全、法规等, 客观撰写系统性、合规性的新技术评价报告。

软件: Microsoft Visio / 亿图图示(系统架构与协同控制图绘制)、MindMaster(多属性决策树)。

硬件: 学生自备笔记本电脑或使用机房计算机。

(2) 项目任务拆解

任务一(基础任务): 有色典型工序瓶颈分析与在线软测量方案设计

小组针对“有色(铝/铜/锌等)熔炼或湿法萃取多参数监控”任务书, 分析复杂离子浓度或熔炼熔体温度难以直接在线测量的痛点; 设计基于支持向量回归或神经网络的自适应工艺参数软测量原理图与特征变量提取表。

任务二(核心任务): 基于机器视觉的电解极板缺陷检测与协同调度设计

设计一套针对电铜或电锌表面析出缺陷的智能机器视觉质检方案(包括工业

相机安装点位、打光系统、缺陷特征分割提取及基于 CNN 的分类识别网络)；绘制“采-冶-化”或全流程一体化排产协同控制架构。

任务三（提升任务）：前沿低碳工艺论证、安全法律合规评估与项目总结

分析在有色冶金或低碳新工艺中引入的外场强化（微波、超声）或固废资源化 AI 回收决策方案；结合我国最新环保法律、安全生产法规，深入研判并评估该全流程智能控制决策系统对社会生态环境、现场劳动者健康及工业安全的潜在正面与负面影响，完成合规性报告，汇总形成课程论文大作业。

（3）教学实施流程

第一阶段：项目导入与目标解读（2 学时）

教师：播放现代化铜火法冶炼厂或大型有色湿法车间的 AI 控制与视觉质检案例。引入多相反应、超高温、强腐蚀环境下的测控挑战，下发任务书，说明交付物要求（软测量设计 + CNN 极板缺陷质检拓扑 + 全流程调度方案 + 新技术社会责任合规性评估报告）及评分标准。

学生：明确学习任务，深刻领悟有色冶金智能升级的复杂度。

第二阶段：小组分工与方案设计（2 学时）

学生：各小组（3-4 人）分工（组长、软测量设计师、机器视觉设计师、安全合规性评估员）；共同研讨有色工艺，确定软测量自校正方案与极板缺陷检测的算法框架，完成草案提交。

教师：巡视各组草稿，重点指出软测量自适应校正缺失、光照不良导致图像失真等现场常遇设计漏洞，指导修改。

第三阶段：理论讲授与方案深度细化（14 学时）

学生：在教师配合下，系统学习有色火法/湿法智能决策（第 8、9 章）、低碳新技术 AI 应用（第 10 章）以及协同调度与职业担当（第 11 章）。分工细化各个设计模块：推导软测量算法层级，绘制 CNN 分类模型图，检索国家环保、职业健康安全等最新法规条文，撰写多维度社会合规性评估报告。

教师指导：精讲各章节理论。在答疑和讨论课中，重点指导化学多级萃取加药自适应逻辑、机器视觉卷积层特征映射机理以及工程合规性报告的撰写规范，强化学生的法治、低碳、环保和工程责任意识。

第四阶段：课程论文方案答辩与质询（2 学时）

小组成果展示：各小组进行 PPT 现场答辩，汇报软测量机制、质检 CNN 网络结构以及全流程协同优化框架，重点宣讲新技术引入在安全、健康、环保等方面

的合规性评估结论。

多元互评：其他小组作为“专家组”进行质询（重点围绕方案在重金属泄漏、安全红线等法规上的可行性提出质疑），共同打分，激发对复杂工程伦理问题的思考。

第五阶段：总结复盘与冶金 AI 人才展望（2 学时）

教师总结：总结有色冶炼智能控制规律，打通数据预处理（项目一）- 连续/离散仿真（项目二）- 软测量、质量质检与社会合规评估（项目三）的全课程核心脉络。结合“双碳”目标和材料基因组前沿，为学生树立扎根高端制造业、勇担社会责任的职业信念。

全员复盘：学生整理并提交课程论文大作业（项目三总报告），撰写包含“技术创新性”、“法治合规意识”、“协作效率”在内的自我复盘笔记。

五、其它教学环节的要求

课程教学方法及具体要求如下：

本课程采用项目式教学为主导，以真实工业场景驱动学习全过程，将理论讲授、项目研讨、小组协作与成果展示有机融合，贯穿课程始终。

（1）课前：教学资源准备与差异化预案

教师在课前必须进行充分的准备，认真钻研教材与最新的智能冶金行业标准，有效组织多学科交叉教学内容。提前准备高炉/转炉/有色冶炼项目任务书、典型钢厂与有色冶炼厂场景案例素材、工业数据脱敏样本集、Simulink/Python 等仿真软件操作指引等项目支撑资源，确保项目实施流程清晰、可操作；合理设计阶梯式任务难度梯度（基础任务→核心任务→提升任务），充分考虑智能冶金方向学生在计算机算法与控制理论上的个体差异，预设学困生帮扶举措与项目进度滞后应急预案。

（2）课中：课堂巡回指导与多元交互评价

在项目研讨和实操逻辑细化阶段，教师须全程进行课堂巡回与启发式指导，重点关注学生对冶金工艺机理的理解、AI 算法选型的合理性、控制仿真参数调试思路及小组协作效率，及时介入解决多变量耦合、数据噪声大等共性技术瓶颈。对汇报和方案设计中普遍出现的“数据过拟合、控制系统超调、合规性评估脱离环保法律红线”等典型问题，教师应进行集中剖析并讲解标准化解解决方案，串联理论知识与工程现场实践，强化知识内化；鼓励学生在成果答辩环节进行多元互评（小组互评、组员自评与互评），培养批判性工程思维与技术表达能力，记录

个人贡献度作为过程性评价依据。

(3) 课后：精细化批改反馈与教学策略调整

课后教师须及时批阅各项目技术方案、仿真图纸与阶段性合规性评估报告，从冶金机理分析深度、AI 算法逻辑严密性、控制回路设计完整性以及社会安全法律合规性等维度，给出针对性的书面反馈意见，作为调整后续教学进度、优化教学策略的重要依据。

六、本课程与其它课程的联系

本课程为专业必修课程，在第 6 学期进行，需要先修基础课和专业课，打下基础之后再修本课程。

七、考核方式

总成绩=课堂表现 5%+作业 5%+项目报告 40%+答辩展示 10%+期末考试 40%

表 7.1 考核环节及分值占比

考核环节	内容与占比	支撑课程目标	考核评价重点
过程性评价 (50%)	团队协作与互评 (20%): 组内互评 10%、组间互评 10%	课程目标 4, 5	评估学生在“炼铁、炼钢、有色”三大项目协作中的参与度、工程责任感、沟通表达能力及批判性思维。
	课堂表现 (5%)	课程目标 1-3	课堂出勤率、课堂案例讨论发言的主动性与专业性。
	作业完成质量 (5%)	课程目标 1, 2	课后基础理论与算法推导作业的提交及时性与正确率。
	项目报告 (20%): 项目一：高炉智能监测方案 (6%) 项目二：炼钢连铸控制仿真方案 (7%) 项目三：有色智能测控及合规性方案 (7%)	课程目标 1-4	评估项目设计方案的完整性、技术选型与算法构建的合理性、控制回路的设计创新性，以及方案中的节能降碳、安全运行和工程合规性考量。
答辩评价 (10%)	答辩展示 (10%)	课程目标 4, 5	针对选定项目的 PPT 制作质量、技术路线表达口才、回答教师及“专家组”提问的准确性与临场反应。
期末考试 (40%)	期末考试 / 课程论文 (40%)	课程目标 1, 2, 3, 4, 5	采用期末闭卷考试或撰写系统性学术课程论文的形式。重点考核学生对冶金 AI 决策与控制基本概念、核心算法原理、软测量与仿真方法的个体知识掌握水平，确保大纲要求的工程基础理论不缺失。

表 7.2 过程性考核环节评价标准

等级	优≥90%	良 80%-89%	中 70%-79%	及格 60%-69%	不及格<60%
项目报告	报告内容完整,涵盖高炉智能监测(项目一)、炼钢连铸仿真(项目二)、有色智能测控及合规评估(项目三)的所有核心要素;冶金工艺机理分析透彻, AI 算法选型科学, Simulink 控制回路设计严谨;数据图表规范,充分体现“双碳”绿色降碳、安全生产与法律合规性考量;格式极其严谨规范。	报告内容较完整,涵盖三大项目的大部分要素;工艺机理分析较清楚,算法与仿真模型建立较为合理;有一定创新性,报告中对绿色低碳及安全法规有基本分析;表达较为规范。	报告内容基本完整,涵盖主要要素;工艺与 AI 算法分析深度一般,仿真回路结构较为单一;创新性一般,对绿色安全合规性仅有简要提及;格式和图表基本规范。	报告内容不完整,遗漏较多关键要素;工艺分析有明显漏洞,算法选型与仿真逻辑存在少量错误;缺乏绿色低碳与安全法律合规考量;排版和图表欠规范。	报告内容严重缺失或存在抄袭;工艺机理完全错误,算法与仿真模型无法运行或不合逻辑;完全无视安全环保及法律法规底线;表达混乱。
课堂表现及作业完成情况	课堂学习热情高涨,始终保持积极求知欲,在冶金典型案例研讨中发言踊跃、见解深刻;自觉遵守所有课堂规则。课后作业中关于数理统计、算法推导及控制逻辑计算思路清晰,数据无误,图文高度符合内容。	学习态度积极认真,在课堂研讨中能主动思考并参与讨论,能自觉遵守课堂规则。作业分析与计算思路较为清晰,公式推导与工艺参数数据较为完整,结果可信。	学习态度较为被动,需教师提问才参与课堂讨论;偶尔违反课堂纪律,经提醒后能立即改正。作业分析与计算思路基本清晰,数据基本完整,图文基本符合内容,计算结果基本合理。	学习态度消极,对课堂案例讨论毫无兴趣;多次违反纪律,提醒后改正效果不佳。作业存在零星计算或推导错误,图文规范性不足,核心步骤有遗漏。	学习态度恶劣,故意扰乱课堂纪律;违反基本安全或纪律底线。作业抄袭或字迹极其潦草,计算思路混乱,工艺参数数据不完整,步骤严重缺失,结果错误。

团队 协作 与 互 评	主动承担工艺分析、数据清洗、算法设计或合规评估等挑战性任务并出色完成;组内沟通极其高效,信息同步及时;积极化解分歧,主动帮助组员;互评内容具体、有理有据、工程建设性强;虚心接受反馈并快速迭代优化方案。	能主动完成分配的项目任务;组内沟通顺畅,能及时同步方案进度;能积极配合团队解决意见分歧;互评内容较具体,能指出方案优缺点;能虚心接受反馈并做出相应调整。	被动接受并完成任务,主动性不足;沟通一般,技术细节传递偶有延迟;遇到矛盾回避或求助老师;互评内容较为笼统,缺乏具体技术依据支撑;能接受反馈但方案改进缓慢。	勉强完成分配的边缘任务,质量打折;沟通不畅,导致项目部分环节脱节;缺乏协作意识,各干各的;互评敷衍了事,内容空泛;对组员及教师的反馈存在抵触情绪。	未完成分内工作,推卸责任;拒绝沟通,造成团队项目进度严重受阻;制造矛盾,破坏团队协作氛围;未参与互评或恶意评价他人;无视任何改进建议。
答 辩 展 示	PPT 制作极其精美,冶金数据流图、AI 算法拓扑及合规性核查表清晰无误;专业术语(如还原度、阳极效应、CNN 等)使用规范,表达流畅、充满激情,回答教师与“专家组”提问精准到位。	PPT 设计较好,工艺图表与 AI 架构引用较为准确;专业术语使用较为规范;表达较为流畅自然,条理较清晰;回答提问基本正确。	PPT 质量一般,工艺数据与技术引用基本正确;专业术语基本规范;表达基本清楚但缺乏重点与感染力;回答问题基本正确。	PPT 制作一般,存在少量数据错误或术语使用不当,排版混乱;表达不流畅,多为照屏宣科;只能勉强回答部分专业性问题。	PPT 制作差,多处冶金数据错误或关键信息与报告不一致;无法清晰表达技术方案,语无伦次;无法正确回答任何专业提问。

八、教学参考书目

《冶金过程数学模型与人工智能应用》，龙红明 编，冶金工业出版社

九、课程建设团队

专任教师：任磊 刘培军 周梦程.

企业专家：朱君（内蒙古包钢钢联股份有限公司），刘南（内蒙古包钢钢联股份有限公司），谌智勇（内蒙古包钢钢联股份有限公司），刘玉宝（包头稀土研究院）

课程负责人：任磊 执笔：周梦程 审核：辛文彬

冶金工程专业

“冶金智能制造设计”教学大纲

课程编号：261102214

学时数：32 学时，其中讲授学时数：12，项目实践学时数：20

学分数：2 学分

一、课程的性质和教学目标

课程性质：独立设置实践教学环节

专业能力目标：

课程目标 1：能够根据冶金产品特定需求，综合运用《冶金原理》、《冶金工艺学》、《冶金设计基础》等专业理论知识，通过分析并结合文献调研，提出合理冶金工艺流程的初步设计方案。

课程目标 2：基于专业理论知识，能够通过冶金工艺物料平衡计算和热平衡计算，优化工艺参数，确定合理可行的冶金工艺流程。

课程目标 3：在确定冶金工艺参数和主体设备类型的基础上，能够对冶金生产主体设备进行设计和优化。

课程目标 4：能够运用计算机辅助设计软件、结合工程制图专业知识，表达冶金工程主体设备设计方面的问题。

课程目标 5：在冶金工艺流程及设备设计过程中，能够按照冶金工艺设计规范要求，并兼顾本行业节能环保、安全健康、资源综合利用等相关法律法规。

课程目标 6：能够将企业管理原理、技术经济分析方法应用于吨铁成本或吨钢成本的计算中。

课程思政目标：

思政目标 1：能够从冶金工程专业及冶金设计行业的特点和发展趋势中，引导学生热爱祖国、热爱社会、热爱自己的专业。

思政目标 2：树立冶金工程行业优秀设计专家作为榜样，培养学生积极进取、勇于探索实践的工匠精神和科学求真精神。

思政目标 3：从冶金工艺的开发、冶金工艺流程以及工艺设备与冶金工厂设计的相互关系，引入辩证唯物主义思想和方法论，引导学生思考在冶金工厂实际生产过程或车间设计中选择最优的参数进行生产或设计工作。

思政目标 4：从冶金工艺条件或车间的设计、选择及组合角度，引入工程伦理，培养学生节能降耗、绿色冶金、智能制造、安全防护、保护环境的理念。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

课程支撑的毕业要求：

2-3 能够综合运用工程知识、专业理论和研究方法，结合文献调研，分析冶金过程复杂工程问题的影响因素，寻求解决问题的多种途径，并通过比较分析获得有效结论。

3-1 能够根据冶金产品特定需求，基于专业基础知识，进行工艺流程设计，确定合理可行的解决方案。

5-1 能够运用计算机辅助设计软件、工程制图技术手段，结合相关专业知识，预测和表达冶金工程设计方面的问题。

6-2 熟悉冶金工程专业领域相关的行业标准、知识产权、产业政策和法律法规，以及企业健康、安全与管理体系。

11-2 能够将管理原理、技术经济方法应用于冶金生产、设计、研究开发等相关项目的评价及管理。

课程目标与专业毕业要求的关系见表 1。

表 1 课程目标与毕业要求的对应关系

序号	课程目标	毕业要求 指标点 2-3	毕业要求 指标点 3-1	毕业要求 指标点 5-1	毕业要求 指标点 6-2	毕业要求 指标点 11-2
1	课程目标 1	L1				
2	课程目标 2		L2			
3	课程目标 3			L3、L4		
4	课程目标 4				L4、L5	
5	课程目标 5				L4、L5	
6	课程目标 6					L6

注：布鲁斯标准 L1 认知，L2 理解，L3 应用，L4 分析，L5 综合，L6 评判

三、课程教学内容的基本要求、重点和难点

要求学生完成实习过程+虚拟仿真过程+理论课程三部分内容，最终课程成绩为实习过程考核成绩+虚拟仿真成绩+结课论文成绩。

（一）实习过程

通过本实践教学环节，使学生进一步深化、巩固已学过的基础理论知识，深入了解炼铁、炼钢、稀土生产的新技术、新工艺、新设备，丰富理论知识和实践经验。实习时在教师的指导下，认真观察收集有关技术数据和图纸，为毕业设计

中的智能化设计内容作必要准备。

炼铁部分 (支撑课程目标 1、2、3、4、5、6)

1. 厂址选择

(1) 了解冶炼中使用的原材料情况, 主要原材料的产地、成分、储量和运输等。

(2) 了解建厂的气象条件(气温、气压、温度等)、水文地质条件(地下水位、地质构造等)、交通运输、水电供应等。

(3) 了解炼铁厂的总图布置及运输, 其在钢铁联合企业中的地位。

2. 原料车间

(1) 烧结车间设计及规模的确定

烧结物料平衡与热平衡计算、带式烧结机的选择和计算、烧结抽风机。

(2) 球团车间设计及规模的确定

了解球团设备及其设计内容、掌握球团焙烧设备及其设计方法。

(3) 矿石的准备处理

了解生矿的储运与准备处理方法。

3. 高炉车间

(1) 高炉车间及高炉本体: 高炉座数的规划、高炉车间的平面布置类型、高炉内型的选择计算、高炉炉衬与砌筑技术、高炉冷却设备类型与结构、高炉钢结构及高炉基础。

(2) 上料及炉顶装料系统: 高炉原料供应、炉顶装料设备、探料装置、装料系统工作图表。

(3) 热风炉系统: 高炉鼓风机、蓄热式热风炉及其结构、热风炉用耐火材料及特性、热风炉砌筑、热风炉炉壳及基础、燃烧器及阀门、提高风温的途径。

(4) 喷煤系统: 煤粉的制备、喷煤系统、喷煤的计量与控制、喷吹煤粉的安全措施、喷煤工艺流程。

(5) 煤气除尘系统: 荒煤气管道、粗除尘装置、半精细除尘装置、精细除尘装置、煤气除尘系统附属设备、高炉炉顶余压发电。

(6) 渣铁处理系统: 风口平台及出铁场、炉前设备、铁水处理、炉渣处理。

4. 炼铁厂的企业管理、技术经济指标以及环境保护措施。

炼钢部分 (支撑课程目标 1、2、3、4、5、6)

1. 厂址选择

(1) 了解冶炼中使用的原材料情况，主要原材料的产地、成分、储量和运输等。

(2) 了解建厂的气象条件(气温、气压、湿度等)、水文地质条件(地下水位、地质构造等)、交通运输、水电供应等。

(3) 了解炼钢厂的总图布置及运输，其在钢铁联合企业中的地位。

2. 原料车间

(1) 铁水工段

铁水工段布置方式、工艺流程；铁水的供应、贮存方式，铁水预处理的目的是、方法；铁水罐的容量、尺寸、个数、使用次数；铁水吊车的台数、能力的确定。

(2) 废钢工段

供应方式、装卸方法、运输流程；废钢料坑的容量、尺寸、个数；磁盘吊车和废钢吊车的台数、能力选择；废钢料槽容积、尺寸、个数及称量。

3. 炼钢车间

(1) 炉容量、生产能力、炉型各部分尺寸、耳轴的位置、倾动设备类型，变压器容量，水冷炉壁结构、作用，炉衬的种类、寿命、修炉方法。

(2) 除尘方法、除尘设备布置情况、风机容量、除尘设备各部件的作用、尺寸、烟气净化效率及排放标准并绘制相关图纸。

(3) 氧枪类型、长度、喷头结构尺寸、材质、使用寿命和升降机构；底枪的类型、结构、布置、气源种类和各期用气量。电炉电极材质、作用。

(4) 冶炼操作过程中供氧、供电参数；制氧机的台数、能力；供电系统的构成、主要设备结构、作用。

(5) 原料供应方式、供料系统的类型、设备结构尺寸。

(6) 冶炼周期中各阶段时间、原料消耗、金属成分、温度、终点控制、炉渣变化、车间作业率及昼夜出钢炉数。

(7) 绘出车间平面图，标明各部分尺寸。

4. 精炼和连铸

(1) 精炼车间布局，主要精炼设备的作用、设备结构以及主要工艺流程和参数。

(2) 连铸车间布局，工艺流程及连铸机的构造，连铸机的主要参数包括拉速、理论小时产坯量、年作业率、年产量。

(3) 精炼和连铸车间的平面布置图，标明各部分尺寸。

5. 炼钢厂的企业管 理、技术经济指标以及环境保护措施。

实习方法：采取现场实践、钢铁流程虚拟仿真操作相结合的方式，现场实习将学生分组，轮换岗位。要求学生与企业同行进行沟通和交流，做好实习笔记，实习日志，收集查阅相关资料，做到理论联系实际，以加深对具体工程问题的理解。

指导方式：校内外指导教师配合指导，每班学生至少配备 2 名校内指导教师，带领学生参观考察，现场教学，并批阅实习日志。

考核内容包括实习过程的出勤率、实习日志和实习报告内容的完整性、规范性、合理性；

考核方式：实习中表现(如实习态度、出勤、实习笔记、与企业同行进行沟通和交流的情况)和实习日志占 40%，实习报告占 60%，具体见表 2。

表 2 过程考核成绩评价标准

	基本要求	评价标准				成绩比例 (%)
		优秀	良好	合格	不合格	
表现 日志 作业	按时出勤，不迟到早退，实习期间认真听讲，积极回答问题、参与讨论。	实习过程中能积极主动认真参与实习全过程，做日志，积极参与实习讨论。	实习过程中能认真参与实习全过程，做日志，积极参与实习讨论。	实习时比较认真，能够参与到实习过程中的讨论	实习不认真，不能按时实习，基本不参与讨论和回答问题。	40
实习报告	报告书写规范，字数在 5000 字以上，报告能够反映实习的全过程，以及学生的认知和感受。	报告书写规范，字数在 5000 字以上，报告能够完全反映实习的全过程，以及学生的认知和感受。	报告书写规范，字数在 5000 字以上，报告能够反映实习的全过程，以及学生的认知和感受。	报告书写基本规范，字数基本够，报告基本能够反映实习的全过程。	报告没有书写，或者完全不规范。	60

表 3 课程目标达成情况评价标准

课程目标	达成情况/评价等级	评分等级 (分)	课程目标达成情况评价的描述
课程目标 1	优秀	≥90	熟练掌握高炉本体结构及附属系统的结构特点、基本原理及工艺流程。掌握炼铁厂高炉本体及各辅助系统的现代设计方法，了解炼铁厂新工艺和新技术、经济技术指标及环境保护措施，

			并能够就炼铁方面专业问题与企业技术人员进行有效沟通与交流。
	良好	80-89	掌握高炉本体结构及附属系统的结构特点、基本原理及工艺流程。掌握炼铁厂高炉本体及各辅助系统的现代设计方法，了解炼铁厂新工艺和新技术、经济技术指标及环境保护措施，并能够就炼铁方面专业问题与企业技术人员进行有效沟通与交流。
	达成	60-79	理解高炉本体结构及附属系统的结构特点、基本原理及工艺流程。基本掌握炼铁厂高炉本体及各辅助系统的现代设计方法，了解炼铁厂新工艺和新技术、经济技术指标及环境保护措施，并能够就炼铁方面专业问题与企业技术人员进行有效沟通与交流。
	未达成	<60	未完成实习大纲中规定的基本要求，实习报告中有明显错误，考核时不能正确回答主要问题，或有原则性错误。实习中有违反纪律现象而教育改正情况不佳。
课程 目标 2	优秀	≥90	熟练掌握新一代炼钢生产工艺流程，主要包括铁水预处理、转炉或电弧炉炼钢、炉外精炼和连铸等设备组成、作用、参数选择，熟练掌握钢铁厂新工艺和新技术、冶炼钢种及产品规格、经济技术指标及环境保护措施，并能够就炼钢方面专业问题与企业工程技术人员同行进行有效沟通和交流。
	良好	80-89	掌握新一代炼钢生产工艺流程，主要包括铁水预处理、转炉或电弧炉炼钢、炉外精炼和连铸等设备组成、作用、参数选择，掌握钢铁厂新工艺和新技术、冶炼钢种及产品规格、经济技术指标及环境保护措施，并能够就炼钢方面专业问题与企业工程技术人员同行进行有效沟通和交流。
	达成	60-79	基本掌握新一代炼钢生产工艺流程，主要包括铁水预处理、转炉或电弧炉炼钢、炉外精炼和连铸等设备组成、作用、参数选择，基本掌握钢铁厂新工艺和新技术、冶炼钢种及产品规格、经济技术指标及环境保护措施，并能够就炼钢方面专业问题与企业工程技术人员同行进行有效沟通和交流。
	未达成	<60	未完成实习大纲中规定的基本要求，实习报告中有明显错误，考核时不能正确回答主要问题，或有原则性错误。实习中有违反纪律现象而教育改正情况不佳。
课程 目标 3	优秀	≥90	通过工程实习和社会实践，能够较好识别、分析和评价冶金过程对社会、环境产生的影响，并能够初步提出解决思路。
	良好	80-89	通过工程实习和社会实践，能够识别、分析和评价冶金过程对社会、环境产生的影响，并能够初步提出解决思路。
	达成	60-79	通过工程实习和社会实践，基本能够识别、分析和评价冶金过程对社会、环境产生的影响，并能够初步提出解决思路。
	未达成	<60	未完成实习大纲中规定的基本要求，实习报告中有明显错误，考核时不能正确回答主要问题，或有原则性错误。实习中有违反纪律现象而教育改正情况不佳。
课程 目标 4	优秀	≥90	通过学习国家冶金产业政策、法律法规等方面的相关文件，能够较好的认识到冶金生产可能对环境保护和社会可持续发展的影响，并能提出相应的解决方案。

	良好	80-89	通过学习国家冶金产业政策、法律法规等方面的相关文件，能够认识到冶金生产可能对环境保护和社会可持续发展的影响，并能提出相应的解决方案。
	达成	60-79	通过学习国家冶金产业政策、法律法规等方面的相关文件，基本能够认识到冶金生产可能对环境保护和社会可持续发展的影响，并能提出相应的解决方案。
	未达成	<60	未能认识到冶金生产可能对环境保护和社会可持续发展的影响，无法提出相应的解决方案。未完成实习大纲中规定的基本要求，实习报告中有明显错误，考核时不能正确回答主要问题，或有原则性错误。实习中有违反纪律现象而教育改正情况不佳。
课程 目标 5	优秀	≥90	通过系统的工程实习，能够熟练应用工程学知识及技术经济决策方法，进行经济分析评价。
	良好	80-89	通过系统的工程实习，能够应用工程学知识及技术经济决策方法，进行经济分析评价。
	达成	60-79	通过系统的工程实习，基本能够应用工程学知识及技术经济决策方法，进行经济分析评价。
	未达成	<60	通过系统的工程实习，不能够应用工程学知识及技术经济决策方法，进行经济分析评价较差。

（二）虚拟仿真过程

虚拟仿真过程包括高炉炼铁模块和炼钢模块两部分，平时出勤和课堂回答问题成绩占此部分成绩 50%，各部分考核成绩占虚拟仿真过程成绩 50%。

虚拟仿真高炉炼铁模块：1.高炉各系统的功能、设备及智能化方向。2.高炉冶炼的具体的操作。通过视频+讲解的授课方式，进行虚拟仿真高炉炼铁模块的教学任务。教学过程包括学生自操+现场解答。通过每个工艺环节介绍和操控讲解，使学生达到能够自主操作，完成高炉炼铁的过程，以达到设定目标接近程度综合考虑评分，获得学生对应的考核成绩，炼铁模块占虚拟仿真考核成绩的 50%

虚拟仿真炼钢模块：1.转炉炼钢各系统的功能、设备及智能化方向。2.转炉冶炼的具体的操作。通过视频+讲解的授课方式，进行虚拟仿真炼钢模块的教学任务。教学过程包括学生自操+现场解答。通过每个工艺环节介绍和操控讲解，使学生达到能够自主操作，完成炼钢的过程，以达到设定目标接近程度综合考虑评分，获得学生对应的考核成绩，炼钢模块占虚拟仿真考核成绩的 50%。

（三）理论课程

理论课程包括智能制造概论和智能制造应用案例及在冶金中的应用，共 8 学时课程。

理论课程旨在帮助学生完成三个层次的能力成长：

知识目标：掌握智能制造的核心概念、技术框架与发展历程，理解智能制造

在冶金工业中的典型应用场景与核心价值，熟悉主流智能制造技术的应用逻辑。

能力目标：能够区分传统制造与智能制造的差异，能够结合冶金生产流程分析智能制造技术的应用优势，具备初步梳理行业智能制造改造方向的能力。

素养目标：建立对高端制造业发展的认知，培养工程思维与创新意识，理解智能制造对传统冶金行业转型升级的意义，树立面向未来的行业发展责任感。

模块一：智能制造概论（4 学时）

教学内容

智能制造的起源与发展：从第一次工业革命到第四次工业革命的演进逻辑，德国工业 4.0、美国工业互联网、中国智能制造 2025 等国家/区域战略解读，智能制造概念的核心内涵。

智能制造的核心技术框架：新一代信息技术、先进制造技术的融合逻辑，核心技术模块讲解——物联网、工业大数据、人工智能、数字孪生、工业机器人、增材制造等。

智能制造的典型特征与优势：对比传统制造模式，分析智能制造在柔性生产、质量管控、降本增效、安全保障方面的特点，梳理智能制造对制造业整体的变革方向。

重难点

重点：智能制造的核心概念与技术框架

难点：理解新一代信息技术与制造技术融合的逻辑

模块二：智能制造应用案例及在冶金中的应用（4 学时）

教学内容

跨领域智能制造典型案例：汽车智能制造工厂、电子行业柔性生产线、航空航天复杂构件智能制造等代表性案例分享，总结不同领域智能制造落地的共性经验。

冶金行业智能制造发展背景：传统冶金行业的痛点——高能耗、高排放、劳动强度大、产品一致性波动大、安全风险高，分析智能制造对冶金行业转型升级的必要性。

智能制造在冶金各环节的应用：

原料环节：智能配料系统、原料场无人化作业的应用逻辑与效果

生产环节：高炉炼铁智能决策、连铸智能质量控制、热轧智能轧制的技术落

地案例

管理环节：数字孪生工厂、全流程质量追溯、能源智能管控的应用价值

冶金智能制造的发展趋势与挑战：当前技术落地的瓶颈，未来智能化升级的方向。

重难点

重点：智能制造在冶金核心生产环节的具体应用

难点：结合冶金生产痛点分析智能制造技术的适配性

本次理论课程的成绩占课程总成绩的 20%，考核方式包含两个部分：

课堂参与与讨论表现（50%）：根据学生课堂发言、讨论参与度打分。

课程论文（50%）：布置开放性作业——“选择一个冶金生产环节，分析智能制造技术的应用方向”，要求字数不少于 5000 字，根据完成质量打分。

四、教学方式及学时分配

序号	教学模块	具体内容	学时
1	智能制造概述	分组讨论并学习智能制造的基本知识	2
2	炼铁厂实践学习	了解熟悉炼铁厂基本工艺条件和关键智能化发展趋势	4
3	炼钢厂实践学习	了解熟悉炼钢厂基本工艺条件和关键智能化发展趋势	4
4	实践学习总结及图纸绘制	总结实践学习结果，绘制炼铁厂、炼钢厂车间平面布置图	2
5	项目一：虚拟仿真实践操作教学	仿真操作教学	2
6	虚拟仿真高炉炼铁模块学习	熟悉并分组进行高炉炼铁模块学习，完成高炉出铁操作	5
7	虚拟仿真转炉炼钢模块学习	熟悉并分组进行转炉炼钢模块学习，完成转炉炼钢操作	5
8	项目二：冶金智能制造关键工艺设计	完成虚拟仿真学习后开展此项目实践，理论课程及案例讲解	6
9	设计及展示	课程论文撰写、关键工艺设计及预测模型展示	2
总计			32

项目一：虚拟仿真实践操作教学

（1）学习目标：

知识能力目标：各小组结合任务一完成的基础实习和初步设计，开展虚拟仿

真高炉炼铁模块、炼钢模块操作：1.高炉炼铁、转炉炼钢各系统的功能、设备及智能化方向。2.高炉冶炼、转炉炼钢冶炼的具体的操作。通过视频+讲解的授课方式，进行虚拟仿真高炉炼铁、转炉炼钢模块的教学任务。教学过程包括学生自操+现场解答。通过每个工艺环节介绍和操控讲解，使学生达到能够自主操作，完成高炉炼铁、转炉炼钢的过程，完全掌握智能化制造设计的基础知识，并进行小组考核，具备分析实际冶炼问题并提出合理解决方案的能力。

对应课程目标：课程目标 1、课程目标 2、课程目标 3、课程目标 4、课程目标 5、课程目标 6

对应毕业要求：2-3、3-1、5-1、6-2、11-2

重点：高炉炼铁、转炉炼钢虚拟仿真学习

难点：高炉炼铁、转炉炼钢虚拟仿真操作和合理性工艺参数调整

软件：虚拟仿真平台

硬件：学生自备笔记本电脑或使用机房计算机

（2）项目任务拆解

任务一（基础任务）：高炉炼铁、转炉炼钢虚拟仿真学习。

小组根据给定的冶金智能制造设计要求进行高炉炼铁、转炉炼钢虚拟仿真操作学习，通过视频学习+教师讲解方式进行各环节关键工艺参数确定，明确原料条件和工艺参数与产品质量见的互联关系，形成初步的考核仿真操作思路。

任务二（核心任务）：基于理论学习的关键工艺参数设置。

依据仿真方案，在虚拟仿真平台进行操作练习，完成高炉炼铁、转炉炼钢的基本任务，获得合理的工艺参数，初步挖掘工艺关键过程节点的智能化设计方向。

任务三（提升任务）：目标导向性操作考核、方案优化与报告完善。

针对高炉炼铁、转炉炼钢关键操作环节，通过开展不同条件下目标导向性操作考核，完成操作制度方案的优化，以达到满足冶炼要求的目标，同时进行报告的完善与检验。

（3）教学实施流程

第一阶段：高炉炼铁虚拟仿真基础学习（2 学时）

小组通过 3D 视频+教师讲解，认知高炉全结构与核心设备参数，梳理送风、热工等关键检测指标逻辑，调试不同原料品位下的工艺变量，明确原料-参数-铁水质量的关联关系，形成覆盖四大核心制度的初步仿真操作思路。

第二阶段：转炉炼钢虚拟仿真逻辑搭建（2 学时）

完成转炉全工序链条认知，拆解顶底复吹模式下吹氧、渣系调控、终点控温的核心节点，通过仿真动画观察气渣金反应过程，记录枪位、供氧速率对冶炼异常现象的影响，梳理出从目标钢种反推全套操作制度的完整逻辑框架。

第三阶段：高炉仿真实操与智能节点挖掘（2 学时）

按前期思路完成全流程实操，从原料配比到铁水出铁全环节自主调试，记录炉况关键指标变化规律，优化出低焦比、高利用系数的合理参数区间，同步挖掘出炉况预警、布料自适应调整等可智能化升级的关键节点。

第四阶段：转炉仿真实操与智能路径探索（2 学时）

以达标钢种为核心目标，自主完成兑铁量、吹氧曲线、底吹流量等全参数设计，在反复实操中解决喷溅、终点不达标等问题，将终点成分命中率提升至 90% 以上，梳理出吹炼动态调整、终点精准预测等智能控制方向。

第五阶段：多工况考核与方案报告闭环优化（4 学时）

通过高硫铁水、窄成分高端钢种等差异化目标考核，反向优化适配多工况的操作制度方案，整合全流程学习、实操、优化成果形成完整报告，经交叉核验与教师评审，确保方案满足多场景冶炼的质量、能耗与效率要求。强调工业设计中可靠性与安全性的重要性。

全员复盘：引导学生从方案设计、实操过程、团队协作、问题解决四个维度复盘不足，明确后续工程设计实践的优化方向。

项目二：冶金智能制造关键工艺设计

（1）学习目标：

知识能力目标：能够综合运用第一、第二部分章节所学的设计原理和智能化分析技术，针对给定的关键工艺场景，综合论述冶金智能制造设计发展趋势及关键工艺环节智能化分析，并设计一套关键工艺环节预测模型；具备将关键工艺、大数据分析、模型构建有机整合的系统设计能力。

对应课程目标：课程目标 1、课程目标 2、课程目标 3、课程目标 4、课程目标 5、课程目标 6

对应毕业要求：2-3、3-1、5-1、6-2、11-2

重难点

重点：智能制造的核心概念与技术框架、智能制造在冶金核心生产环节的具体应用

难点：理解新一代信息技术与制造技术融合的逻辑、结合冶金生产痛点分析

智能制造技术的适配性

软件：Python

硬件：学生自备笔记本电脑（或机房计算机）

（2）项目任务拆解

任务一（基础任务）：智能制造理论知识学习及案例分析

各小组围绕“智能制造概论和智能制造应用案例及在冶金中的应用”进行分组讨论学习，构建完整的知识体系，分析冶金过程的关键工艺环节和智能化发展趋势，说明各关键技术内在联系依据。

任务二（核心任务）：论文综合论述及预测模型设计

细化冶金工艺过程关键工艺环节综合分析论述，分组撰写课程论文；绘制完整的预测模型系统架构图及数据采集-传输-处理流程图；完成方案可行性分析说明文档。

任务三（提升任务）：关键工艺环节模型展示及优化

针对模型中存在的逻辑漏洞或技术不合理处（如冶金工艺原理前后不一致性，关键特征值选取与指标值相关性差等问题）进行修正；完善并提交预测模型系统构建的完整报告。

（3）教学实施流程

第一阶段：智能制造理论分层拆解与冶金场景锚定（1 学时）

小组按“核心概念-通用技术-冶金落地”逻辑学习，梳理工业互联网、数字孪生等技术原理，对标冶金行业标杆智能工厂案例，结合冶金流程特性明确“感知-传输-建模-控制”全链路技术关联，搭建适配冶金场景的智能制造知识框架。

第二阶段：冶金智能化趋势与关键环节研讨（1 学时）

聚焦冶金全流程工艺节点拆解，梳理低碳降碳、全流程协同等核心智能化发展趋势，分析传统人工调度的痛点短板，论证智能技术的降本增效空间，形成全工艺环节智能化价值分析结论。

第三阶段：冶金智能化课程论文撰写（2 学时）

围绕高炉炉温预测、转炉终点成分预测等典型选题，梳理工艺技术演进脉络与现有研究短板，论述智能技术嵌入工艺环节的落地路径，补充文献与数据佐证，形成论据充分的完整课程论文。

第四阶段：预测模型架构设计与可行性论证（2 学时）

围绕预测目标绘制分层系统架构图与数据全链路流程图，从硬件条件、数据

可得性、算力支撑、落地效果四个维度完成可行性分析，形成适配冶金现场工况的可行性说明文档。

第五阶段：模型漏洞修正与最终报告提交（2 学时）

排查工艺原理矛盾、特征相关性差等核心问题，通过补充机理约束、优化特征筛选完成迭代优化，整合论文、架构图、测试记录等成果，形成完整的预测模型系统构建报告并提交。结合智能化战略，引导学生认识工业物联网对我国钢铁制造业数字化、网络化升级的重要意义。

全员复盘：引导学生从方案设计、实操过程、团队协作、问题解决四个维度复盘不足，明确后续综合实践与设计的优化方向。

五、其它教学环节的要求

课程教学方法及具体要求如下：

本课程采用产教融合型项目式教学作为核心模式，以钢铁冶金龙头企业的真实生产场景、一线岗位实操需求为核心驱动，将冶金智能理论精讲、虚实结合仿真实操、跨角色小组协同攻关、工程化成果展示全环节深度贯穿课程全周期。

（1）课前筹备阶段，教师需完成三重备课动作：深度拆解冶金智能方向的专业教材与行业最新技术标准，结合不同生源的前置知识基础精准适配教学内容；提前对接合作企业采集一线生产案例，配套编制项目任务书、冶金智能场景素材库、智能设备选型参考手册、高炉/转炉虚拟仿真平台操作指南等全流程支撑资源，确保项目落地路径清晰可执行；严格按照“基础认知-核心实操-优化提升”的逻辑设置阶梯式任务难度，针对不同学情的学生群体预设分层帮扶机制，配套设计进度滞后的弹性调整预案，覆盖所有学生的学习适配需求。

（2）课中实施阶段，教师在冶金智能项目实操全流程开展巡回驻场指导，重点关注学生在虚拟仿真操作中的工艺合规性、智能模型故障排查逻辑、跨角色小组协作效率，第一时间介入解决共性实操卡点。针对学生高频出现的工艺参数匹配错误、智能模型逻辑偏差等问题，通过集中复盘讲解串联冶金原理与智能技术的对应关系，打通理论到工程实践的转化路径；在成果展示环节推行多元评价机制，覆盖小组间互评、组员自评与岗位角色互评，同步记录每位学生的任务贡献度，直接纳入过程性考核的核心依据，同步锻炼学生的工程表达能力与批判性思维。

（3）课后复盘阶段，教师需在规定周期内完成所有学生的项目报告、全流程实操记录的批阅工作，从冶金方案的工艺合规性、智能仿真实操的完整度、问

题根因分析的深度等多个维度出具针对性改进意见，同步梳理全班级的共性知识薄弱点，作为迭代后续教学内容、调整实操任务难度的核心依据，形成教学闭环优化。

六、本课程与其它课程的联系

先修课包括：机器学习、深度学习、Python（计算机编程语言）。

七、考核方式

考核内容包括三部分：实习过程、虚拟仿真和理论课程。其中平时成绩包括实习过程、虚拟仿真和理论课程，所占比例：实习过程(50%)，虚拟仿真(30%)，理论课程(20%)，其中虚拟仿真和理论课程部分围绕项目一和项目二开展考核展示，任课教师根据分组学生得分进行打分评价。

八、教学参考书目

教材：

- 1.《炼铁计算》(第一版), 那树人, 冶金工业出版社, 2005.
- 2.《炼钢厂设计原理》, 王令福, 冶金工业出版社, 2009.
- 3.《有色冶金工厂设计基础》, 蔡祺凤 主编, 冶金工业出版社, 2016

参考书：

- 1.《炼铁工艺计算》, 那树人, 冶金工业出版社, 1999.
- 2.《炼钢厂设计原理》(上册), 张树勋 ,冶金工业出版社, 2005.
- 3.《钢铁厂设计原理》(下册), 李传薪, 冶金工业出版社, 2005.
- 4.《炼钢设计原理》, 冯聚和, 化学工业出版社, 2005.
- 5.《稀有技术冶金设计原理》, 田雨琛 编著, 东北工学院有色系稀冶教研室, 1991.
- 6.《稀土》, 徐光宪 主编, 冶金工业出版社, 1995.
- 7.《有色冶金炉设计手册》, 有色冶金炉设计手册编委会, 冶金工业出版社, 2000.
- 8.《智能制造概论》《冶金智能制造技术》, 搭配国内头部冶金企业智能制造白皮书。

九、课程建设团队

专任教师：刘培军、辛文彬

课程负责人：辛文彬 执笔：刘培军 审核：辛文彬

金属材料工程专业

“材料开发与人工智能”课程教学大纲

英文名称: Materials Development and Artificial Intelligence

课程编号: 261107204

学时数: 48

其中讲授学时数: 16 实验学时数: 0

上机学时数: 0 实践学时数: 32

学分数: 3

适用专业: 金属材料工程专业

一、课程性质和教学目标

本课程是一门融合材料科学与人工智能技术的交叉学科课程,具有较强的理论性、实践性和前沿性。从理论层面来看,课程系统涵盖了人工智能发展历程与基础概念、机器学习算法、深度学习网络架构、强化学习原理等人工智能领域的核心知识,同时结合智能材料加工的概念、材料加工中的数据特点等材料科学相关内容,构建了完整的理论体系,为理解智能材料领域的复杂问题提供了扎实的理论基础。

从实践层面来讲,课程设置了大量实践操作环节,如建立材料加工参数预测模型、微观结构图像识别与分析、基于强化学习的控制模拟实践等,引导学生运用 Python、Scikit-learn、TensorFlow、PyTorch、OpenAI Gym 等工具,将理论知识应用于实际问题的解决,培养学生的动手操作能力和实践创新能力。

从前沿性角度而言,课程聚焦智能材料加工这一新兴领域,探讨了人工智能在材料加工参数优化、质量预测、微观结构分析等方面的应用,紧跟学科发展趋势,有助于拓宽学生的学术视野,培养学生应对前沿复杂工程问题的能力,为满足毕业要求中对金属材料复杂工程问题的分析、解决及现代工具应用等能力需求提供有力支撑。

课程目标:

课程目标 1: 复杂加工问题分析与方案比较能力

学生能够围绕金属材料加工过程中的复杂工程问题,分析加工参数、材料成分、组织结构、性能指标和产品质量之间的关系,识别影响加工质量和性能稳定

性的关键因素；能够通过文献调研、案例分析等方法，提出不少于 2 种可替代的工艺优化或智能加工解决方案，并通过综合比较获得合理结论。

课程目标 2：组织性能控制问题发现与解决方案提出能力

学生能够在金属材料组织性能控制的学习与实践过程中，发现加工参数设置、组织调控、缺陷形成、性能波动等方面存在的问题；能够结合材料科学原理，分析问题产生的原因，并通过文献研究、案例对比或实验数据分析等方式提出具有针对性的解决方案。

课程目标 3：现代工具应用与加工性能预测能力

学生能够针对金属材料成分—加工工艺—组织结构—性能之间关系的复杂工程问题，选择并使用合适的现代工具，开展加工参数预测、组织图像识别、质量缺陷判断或性能预测；能够使用 Python、Scikit-learn、TensorFlow 或相关仿真分析工具，建立至少 1 个材料加工参数优化、缺陷识别或性能预测模型，并能够分析模型结果及其局限性。

素质目标：

弘扬文化自信与爱国情怀，践行社会主义核心价值观，形成工程师职业素养。能说明材料加工质量与产品性能、工程安全、制造业发展的关联，增强质量意识和工程责任意识。能阐述项目对绿色制造、材料产业智能化的价值（减废、节能、提效等）。能明确数据来源与验证方式，形成尊重数据、严谨求实、工程可靠的职业素养。在小组合作过程中完成分工、主动参与，体现团队协作能力。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

课程支撑的毕业要求：

2-3（0.4）能够分析金属材料复杂工程问题的关键点和参数，理解解决复杂问题的多种途径，能够通过文献调研等方法寻求可替代的解决方案，并通过综合分析获得有效结论。

4-1（0.2）能够在金属材料组织性能控制的研究过程中发现问题，结合材料科学原理，通过文献研究或相关方法，分析并提出解决方案。

5-3（0.4）能够针对金属材料成分-加工工艺-组织结构-性能之间关系的复杂工程问题，开发和使用满足特定需求的现代工具，模拟和预测金属材料的成分，组织和性能之间的关系，并能够分析其局限性。

课程目标与专业毕业要求的关系见表 1。

表 1 课程目标与专业毕业要求的关系

序号	课程目标	毕业要求 指标点 2-3	毕业要求 指标点 4-1	毕业要求 指标点 5-3
1	课程目标 1	L3		
2	课程目标 2		L4	
3	课程目标 3			L3
4	思政目标			

布鲁斯标准：L1 认知，L2 理解，L3 应用，L4 分析，L5 综合，L6 评判

三、课程教学内容

以“专创融合”为主线，将课程内容分为 7 个核心模块，前 6 个“讲授+实践”模块，每个模块均包含“理论学习→案例拆解→实践创新”三部分，第 7 个为实践模块，具体内容如下：

模块一 人工智能基础与智能材料加工导论项目

授课方式：讲授+实践

学时：2 学时

1.人工智能基础与智能材料加工导论项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生理解人工智能与智能材料加工的基本概念，掌握材料加工过程中常见的数据类型，包括温度、压力、速度、载荷等数值型数据，以及微观组织图像、表面缺陷图像等图像型数据；了解机器学习、深度学习等 AI 核心算法在材料加工中的基本应用场景。

在能力培养方面，使学生能够结合典型企业案例识别材料加工中的工程痛点，初步建立“专业问题—数据采集—算法分析—加工优化”的工程思维，培养学生工程问题分析能力、现代工具认知能力和专业创新意识。

学时：2 学时

前置基础：

学生已具备材料成形、金属材料、热处理或材料加工基础知识，能够理解温度、压力、组织、性能等基本概念。但多数学生对人工智能算法了解较少，对 AI 与材料加工之间的结合方式认识不足，需要通过案例导入和实践讨论完成知识衔接。

（2）重点、难点

重点：智能材料加工的基本内涵、材料加工数据类型、人工智能在材料加工中的应用逻辑。

解决举措：通过航空钛合金零件智能加工案例，引导学生从企业痛点、数据来源、算法应用和质量提升效果四个方面理解智能材料加工。

难点：理解人工智能并不是简单替代传统加工经验，而是通过数据建模提升加工过程的预测、优化和控制能力。

解决举措：组织学生对比传统加工与智能加工流程，帮助学生建立数据驱动加工决策的基本认知。

（3）教学资源及工具

多媒体课件、航空钛合金零件加工案例资料、智能制造案例视频、材料加工数据样例、课堂讨论记录表、在线协作工具、投影设备。

2.项目任务拆解

任务一：智能材料加工案例认知

学生阅读航空钛合金零件智能加工案例，识别传统加工中存在的参数依赖经验、质量稳定性不足、报废率较高等问题，初步梳理企业面临的专业痛点。

任务二：AI 赋能路径分析

学生围绕案例中的数据采集、算法建模、加工参数优化和质量预测过程开展小组研讨，分析人工智能如何提升钛合金零件加工合格率。

任务三：传统加工与智能加工对比总结

学生从参数设置、质量检测、缺陷预警、生产效率、成本控制等方面对比传统加工与智能加工的差异，形成小组分析表并进行简要汇报。

3.教学实施流程（2 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以航空钛合金零件加工案例导入，说明传统材料加工中存在的经验依赖、质量波动和工艺优化周期长等问题，明确本项目学习目标和任务要求。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.25 学时）

学生：完成分工，明确案例阅读、问题梳理、对比分析和汇报展示任务。

教师：指导学生围绕“痛点—数据—算法—效果”的思路设计分析框架。

第三阶段：自主探究与项目实操（0.5 学时）

学生：阅读案例材料，识别材料加工中的数值型数据和图像型数据，分析 AI 在加工参数优化和质量控制中的作用。

教师指导：帮助学生区分智能加工、自动化加工和传统经验加工之间的差异，纠正学生对 AI 应用的片面理解。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.25 学时）

小组成果展示：各小组展示传统加工与智能加工对比结果。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理智能材料加工的核心概念、材料加工数据类型和 AI 算法应用场景，汇总学生讨论中出现的共性问题。

全员复盘：引导学生从案例分析、专业理解、数据意识和团队协作四个维度复盘不足。

项目拓展、外延应用：引导学生思考 AI 还能应用于焊接、热处理、铸造、锻造、复合材料成型等哪些材料加工场景。

4.课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，内容包括案例背景、传统加工痛点、AI 赋能路径、传统加工与智能加工对比、问题总结和学习体会。

（2）拓展作业：查找一个 AI 应用于材料加工或智能制造的真实案例，分析其使用的数据类型、算法方法和工程价值。

模块二 机器学习算法及材料加工参数预测模型构建与优化项目

授课方式：讲授+实践

学时：2 学时

1.机器学习算法及材料加工参数预测模型构建与优化项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生掌握决策树、随机森林等机器学习算法的基本原理，理解信息增益、基尼系数、集成学习等核心概念；掌握材料加工参数预测模型的基本构建流程，包括数据导入、数据划分、模型训练、模型预测和结果评价。

在能力培养方面，使学生能够利用 Python 和 Scikit-learn 工具构建简单的材料加工参数预测模型，能够比较不同算法在加工缺陷预测中的效果差异，培养学生数据分析能力、算法应用能力和工程问题解决能力。

学时：2 学时

前置基础：

学生已学习智能材料加工基本概念，具备一定材料加工参数认知基础，能够理解温度、压力、变形速率、冷却速度等变量对材料质量的影响。但学生对机器学习建模流程、模型评价指标和算法适配性理解不足，需要通过实践操作建立直观认识。

（2）重点、难点

重点：

决策树、随机森林算法原理及材料加工参数预测模型构建流程。

解决举措：采用“数据划分—模型训练—预测输出—准确率评价”的步骤化任务，降低学生建模难度。

难点：

理解不同机器学习算法在材料加工缺陷预测中的适用性差异。

解决举措：设置决策树与随机森林对比实验，引导学生从准确率、训练效率和模型稳定性三个方面分析结果。

（3）教学资源及工具

Python 编程环境、Scikit-learn 工具包、Jupyter Notebook 或 PyCharm、合金锻造裂纹数据集、机器学习示例代码、模型评价记录表、多媒体课件。

2.项目任务拆解

任务一：数据理解与建模方案制定

学生阅读合金锻造裂纹数据集，识别加工温度、压力、变形速率、冷却速度等关键变量，明确模型输入、输出和预测目标，制定模型构建步骤。

任务二：裂纹预测模型构建

学生使用 Python 和 Scikit-learn 分别构建决策树模型和随机森林模型，完成数据划分、模型训练、预测输出和准确率评价。

任务三：模型对比与报告完善

学生比较两种算法在预测准确率、训练效率和稳定性方面的差异，分析模型对材料加工参数优化的参考价值，完善项目报告。

3.教学实施流程（2 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以合金锻造裂纹预测问题导入，说明锻造过程中参数控制不当可能导致裂纹、折叠、组织不均匀等问题，明确机器学习在缺陷预测和参数优化中的应用

价值。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.25 学时）

学生：完成数据分析、模型训练、结果记录和汇报分工。

教师：指导学生明确模型输入变量、输出结果和评价指标，审核建模流程是否合理。

第三阶段：自主探究与项目实操（0.5 学时）

学生：运行决策树和随机森林模型，记录预测准确率、训练时间和模型结果。

教师指导：解决学生在数据格式、变量选择、代码运行和模型评价中出现的问题，讲解算法参数对结果的影响。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.25 学时）

小组成果展示：展示两种算法的预测结果和对比分析。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理机器学习建模流程、决策树与随机森林的核心区别，汇总学生实操中常见的代码错误和模型评价问题。

全员复盘：引导学生从数据处理、模型选择、结果分析和团队协作四个维度复盘不足。

项目拓展、外延应用：引导学生思考机器学习在铝合金加工优化、钢铁热处理性能预测、高熵合金性能预测等场景中的应用。

4.课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，内容包括数据说明、模型构建流程、预测结果、算法对比、问题总结和心得体会。

（2）拓展作业：尝试调整随机森林模型参数，如树的数量、最大深度等，观察模型准确率变化，并说明参数调整对模型效果的影响。

模块三 深度学习网络架构与材料微观分析、质量预测应用项目

授课方式：讲授+实践

学时：2 学时

1.深度学习网络架构与材料微观分析、质量预测应用项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生理解 CNN 卷积神经网络在材料微观图像识别中的基本原理，掌握卷积层、池化层、全连接层的功能；理解 LSTM 长短期记忆网络在热处理温度—时间序列质量预测中的应用逻辑；了解图像增强、正则化等模型优化方法。

在能力培养方面，使学生能够初步搭建深度学习模型，完成材料微观缺陷识别或质量预测任务，培养学生图像数据分析能力、深度学习工具应用能力和材料质量预测能力。

学时：2 学时

前置基础：

学生已具备机器学习基础和材料微观组织基本知识，能够理解晶粒、裂纹、夹杂物、硬度、强度等概念。但学生对深度学习网络结构、图像特征自动提取和时序数据建模理解不足，需要通过可视化案例和实践操作加深认识。

（2）重点、难点

重点：

CNN 在材料微观缺陷识别中的应用，LSTM 在材料质量时序预测中的应用。

解决举措：通过钢板微观缺陷识别和热处理硬度预测两个任务，帮助学生理解深度学习在材料分析中的应用流程。

难点：

理解微观图像特征、热处理过程数据与材料最终性能之间的关联。

解决举措：引导学生对比模型预测值与实际检测值，分析误差来源，并提出数据增强、参数调整等优化方法。

（3）教学资源及工具

TensorFlow 或 Keras 环境、钢板微观组织图像数据集、热处理温度—时间序列数据、硬度检测数据、深度学习示例代码、GPU 或云端计算平台、多媒体课件。

2.项目任务拆解

任务一：图像数据识别与方案设计

学生观察钢板微观组织图像，识别裂纹、夹杂物、孔洞等典型缺陷，讨论图像数据与材料质量之间的关系，制定 CNN 识别方案。

任务二：CNN 缺陷识别与 LSTM 质量预测

学生使用 TensorFlow 或 Keras 搭建简单 CNN 模型，实现微观缺陷识别；同

时基于热处理温度—时间序列数据，构建简单 LSTM 硬度预测模型。

任务三：模型偏差分析与优化总结

学生分析预测结果与实际检测值之间的偏差，归纳误差原因，提出图像增强、增加数据量、调整网络参数等优化方向，完善项目报告。

3.教学实施流程（2 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以钢铁企业微观组织识别与性能预测案例导入，说明人工检测微观缺陷效率低、主观性强等问题，明确深度学习在材料微观分析中的应用价值。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.25 学时）

学生：完成图像整理、模型运行、结果记录和误差分析分工。

教师：指导学生明确 CNN 与 LSTM 的不同应用场景，审核模型搭建思路。

第三阶段：自主探究与项目实操（0.5 学时）

学生：运行 CNN 缺陷识别模型和 LSTM 硬度预测模型，记录识别结果、预测结果和误差情况。

教师指导：解决图像尺寸不统一、标签错误、训练不收敛、过拟合等问题，讲解图像增强和正则化的基本作用。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.25 学时）

小组成果展示：展示缺陷识别结果、硬度预测结果和模型优化建议。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理 CNN、LSTM 模型结构及其在材料图像识别和质量预测中的应用逻辑，汇总学生实操中普遍出现的问题及解决方案。

全员复盘：引导学生从数据准备、模型搭建、结果解释和团队协作四个维度复盘不足。

项目拓展、外延应用：引导学生思考深度学习在焊缝缺陷识别、铸件缺陷检测、复合材料损伤识别等场景中的应用。

4.课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，内容包括数据来源、模型结构、训练过程、预测结果、问题总结和心得体会。

（2）拓展作业：尝试更换 CNN 网络参数或增加图像增强操作，对比模型识别效果变化，提出优化建议。

模块四 强化学习原理及材料加工过程动态优化项目

授课方式：讲授+实践

学时：2 学时

1.强化学习原理及材料加工过程动态优化项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生理解强化学习的基本概念，掌握智能体、环境、状态、动作、奖励等核心要素；理解 Q-learning 算法的基本原理；能够将强化学习思想应用于材料加工过程动态参数优化问题。

在能力培养方面，使学生能够构建简化热处理模拟环境，分析不同工艺参数调整策略对优化效果的影响，培养学生动态决策能力、工程建模能力和加工过程优化能力。

学时：2 学时

前置基础：

学生已具备材料热处理基础知识，能够理解温度、保温时间、冷却速度等参数对组织和性能的影响；已学习机器学习和深度学习的基本应用。但学生对强化学习的交互式学习机制和奖励函数设计理解较弱。

（2）重点、难点

重点：

强化学习核心要素、Q-learning 算法原理及其在热处理动态优化中的应用。

解决举措：通过曲轴热处理过程动态优化案例，将状态、动作、奖励等概念对应到具体加工场景中。

难点：

理解奖励函数设计和探索率设置对优化效果的影响。

解决举措：组织学生对比不同探索率下的奖励值收敛曲线，分析策略变化对参数优化结果的影响。

（3）教学资源及工具

Python 环境、Q-learning 示例代码、热处理模拟环境、曲轴热处理案例资料、奖励值收敛曲线绘制工具、实验记录表、多媒体课件。

2.项目任务拆解

任务一：动态优化问题分析

学生分析曲轴热处理过程中温度、保温时间、冷却速度等参数对变形率和力学性能的影响，明确强化学习优化目标。

任务二：Q-learning 模型构建与运行

学生搭建简化热处理模拟环境，设置状态、动作和奖励函数，运行 Q-learning 算法，实现热处理参数动态调整。

任务三：收敛曲线分析与项目完善

学生记录不同探索率条件下的奖励值变化，分析优化策略的稳定性和收敛效果，总结强化学习在材料加工过程控制中的应用价值。

3.教学实施流程（2 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以汽车曲轴热处理变形控制案例导入，说明固定工艺参数难以应对材料批次差异和设备状态变化的问题，明确强化学习动态优化的应用意义。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.25 学时）

学生：完成环境设定、算法运行、曲线记录和结果分析分工。

教师：指导学生明确状态、动作和奖励函数设计原则，审核模拟环境设置是否合理。

第三阶段：自主探究与项目实操（0.5 学时）

学生：运行 Q-learning 算法，调整探索率参数，记录奖励值变化和最终参数优化结果。

教师指导：解决奖励函数设置不合理、参数范围过大、收敛速度慢等问题，帮助学生理解强化学习与传统机器学习的区别。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.25 学时）

小组成果展示：展示奖励值收敛曲线、参数优化结果和不同探索率对比分析。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理强化学习核心知识点、Q-learning 算法流程和热处理动态优化应用逻辑，汇总学生实操中的常见问题及标准化解决方案。

全员复盘：引导学生从方案设计、实操过程、团队协作、问题解决四个维度复盘不足。

项目拓展、外延应用：引导学生思考强化学习在轧制、焊接、多工序加工和

智能制造产线调度中的应用可能。

4.课后作业与拓展

(1) 撰写完整项目报告，内容包括热处理优化目标、强化学习要素设计、算法运行过程、奖励曲线分析、问题总结和心得体会。

(2) 拓展作业：尝试重新设计奖励函数，观察优化结果变化，并分析奖励函数对加工策略形成的影响。

模块五 人工智能在材料加工自动化中的应用项目

授课方式：讲授+实践

学时：4 学时

1.人工智能在材料加工自动化中的应用项目教学基本信息

(1) 学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生理解 AI 视觉定位技术、机器人协同控制和生产线数据驱动调度的基本原理；了解工业相机选型、图像预处理、特征匹配、机器人轨迹规划等关键技术；能够结合机器人焊接自动化案例分析 AI 与自动化设备协同运行的基本逻辑。

在能力培养方面，使学生能够查阅相关论文、提取技术要点、运行焊接视觉定位源码并修改关键参数，培养学生现代工程工具应用能力、自动化系统分析能力和工程实践能力。

学时：4 学时

前置基础：

学生已掌握机器学习、深度学习和材料加工基础知识，能够理解焊接、切割等加工场景中的质量控制需求。但学生对 AI 视觉定位与机器人自动化设备之间的协同机制理解不足，对论文技术要点转化为源码实操的能力较弱。

(2) 重点、难点

重点：

AI 视觉定位技术、机器人加工轨迹规划、生产线数据驱动调度及其在材料加工自动化中的应用。

解决举措：通过 CNN 视觉机器人焊接定位案例，将论文研读、源码运行和参数分析结合起来。

难点：

理解视觉定位参数、模型训练参数和加工精度之间的关系。

解决举措：组织学生修改源码中的图像尺寸、阈值、训练轮次、学习率等参数，观察定位精度或切割精度变化。

（3）教学资源及工具

论文《基于 CNN 视觉的机器人焊接定位系统设计》、焊接视觉定位源码、Python 或相关开发环境、工业相机资料、机器人焊接视频、图像预处理工具、实验记录表、多媒体课件。

2.项目任务拆解

任务一：论文研读与技术路线梳理

学生查阅机器人焊接 AI 自动化相关论文，提取 CNN 网络结构、图像预处理流程、视觉定位方法和定位精度评价指标，形成技术路线初稿。

任务二：源码运行与参数修改

学生运行焊接视觉定位源码，修改图像尺寸、阈值、训练轮次、学习率等关键参数，记录模型运行结果和精度变化。

任务三：精度分析与项目报告完善

学生分析“视觉定位参数—机器人轨迹—加工精度”之间的关系，总结 AI 视觉定位在焊接自动化中的工程价值与局限，完善项目报告。

3.教学实施流程（4 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以智能制造车间铜合金焊接自动化系统为案例导入，说明人工焊接和传统自动化焊接中存在的定位误差、适应性不足和质量波动问题，明确本项目任务要求。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.5 学时）

学生：完成论文研读、技术要点提取、源码运行、参数修改、结果记录和汇报展示分工。

教师：指导学生围绕“视觉感知—图像处理—模型识别—机器人执行—加工质量”设计项目方案。

第三阶段：自主探究与项目实操（2 学时）

学生：研读论文并提取关键技术路线，运行焊接视觉定位源码，修改相关参数，记录定位精度或切割精度变化。

教师指导：解决学生在环境配置、源码运行、参数设置、结果记录和精度解释中出现的问题，帮助学生理解 AI 与自动化设备的协同逻辑。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：展示论文拆解结果、源码运行截图、参数修改记录和精度分析结论。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理 AI 视觉定位、机器人协同控制、生产线数据调度等核心知识点，汇总学生实操中普遍出现的环境配置、参数修改和结果解释问题。

全员复盘：引导学生从方案设计、实操过程、团队协作、问题解决四个维度复盘不足。

项目拓展、外延应用：引导学生思考 AI 视觉技术在切割、打磨、喷涂、装配、缺陷检测等材料加工自动化场景中的应用。

4.课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，内容包括论文技术路线、源码运行过程、参数修改记录、精度变化分析、问题总结和心得体会。

（2）拓展作业：选择一个新的材料加工自动化场景，如激光切割、机器人打磨或焊缝检测，设计 AI 视觉定位应用方案。

模块六 基于 AI 的材料加工参数优化综合实践项目

授课方式：讲授+实践

学时：4 学时

1.基于 AI 的材料加工参数优化综合实践项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生综合运用机器学习、深度学习、强化学习和材料加工专业知识，完成一个较完整的 AI 材料加工参数优化项目；掌握选题论证、方案设计、数据采集与预处理、算法选型、模型训练、参数优化、报告撰写和 PPT 答辩的基本流程。

在能力培养方面，使学生能够围绕产业实际需求提出材料加工优化方案，具备工程问题分析能力、数据建模能力、团队协作能力、项目表达能力和创新实践

能力。

学时：4 学时

前置基础：

学生已完成前期人工智能基础、机器学习、深度学习、强化学习和材料加工自动化等模块学习，具备一定的算法应用和材料加工问题分析基础。但学生对综合项目的系统设计、工程表达和成果凝练能力仍需加强。

（2）重点、难点

重点：

AI 材料加工参数优化项目的完整实施流程，包括痛点识别、关键参数筛选、算法建模和结果优化。

解决举措：以铝合金轮毂加工参数优化案例为参考，引导学生按照“专业痛点—数据来源—算法选择—参数优化—成果表达”的流程推进项目。

难点：

实现专业问题、数据条件、算法方法和优化结论之间的有效匹配。

解决举措：设置项目可行性分析环节，要求学生明确专业痛点、AI 技术适配性、数据可获得性和预期成果。

（3）教学资源及工具

铝合金轮毂加工参数优化案例、材料加工实验数据集、Python、Scikit-learn、TensorFlow、数据预处理模板、项目可行性分析报告模板、PPT 答辩模板、项目评价量表、多媒体课件。

2.项目任务拆解

任务一：选题论证与方案初稿制定

学生 4—5 人组成项目组，围绕铝合金轮毂加工或其他材料加工质量问题确定选题，完成专业痛点分析、关键参数筛选、数据来源规划和技术路线设计。

任务二：数据处理、算法建模与参数优化

学生完成数据采集、数据清洗、特征选择和模型训练，选择随机森林、支持向量机、神经网络等算法构建“加工参数—材料性能”预测模型，并提出参数优化方案。

任务三：成果凝练与报告完善

学生整理模型结果、优化结论和工程应用价值，完成项目报告和 PPT 答辩材料，并根据教师和同伴反馈进行修改完善。

3.教学实施流程（4 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以铝合金轮毂加工参数优化案例导入，说明抗拉强度不达标、表面粗糙度偏高、尺寸精度波动等工程问题，明确综合实践项目的成果要求和评价标准。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.5 学时）

学生：完成组队和分工，明确选题负责人、数据负责人、建模负责人、报告负责人和答辩负责人，完成方案初稿。

教师：审核项目选题、技术路线和数据来源，避免出现选题过大、数据不可获得或算法选择不匹配等问题。

第三阶段：自主探究与项目实操（2 学时）

学生：完成文献调研、数据预处理、模型训练、算法对比和参数优化分析，形成阶段性结果。

教师指导：分阶段检查学生数据质量、模型结果和工程解释，指导学生解决数据缺失、模型过拟合、评价指标不合理、结论表达不清等问题。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：各小组进行项目汇报，展示项目背景、专业痛点、技术路线、模型结果、参数优化结论和应用前景。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理 AI 材料加工参数优化项目的完整流程，汇总学生在选题、数据处理、模型训练和结果表达中出现的共性问题。

全员复盘：引导学生从方案设计、实操过程、团队协作、问题解决四个维度复盘不足。

项目拓展、外延应用：引导学生将综合实践项目进一步拓展为创新创业项目、课程论文或竞赛项目。

4.课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，内容包括项目背景、方案设计、数据处理过程、模型构建过程、参数优化结果、问题总结和心得体会。

（2）拓展作业：在原有模型基础上增加一种算法进行对比，优化 PPT 展示材料，形成可用于课程答辩或创新竞赛初稿的项目成果。

模块七 自我开发创新实践项目

授课方式：实践

学时：48 学时

1.自我开发创新实践项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生能够面向真实材料加工场景，自主发现专业痛点，自主设计 AI 与材料加工融合方案，自主开展数据采集、模型构建、参数优化、系统设计或应用验证，最终形成具有一定创新性和工程应用价值的项目成果。

在能力培养方面，重点提升学生复杂工程问题分析能力、现代工具使用能力、创新设计能力、团队协作能力、项目管理能力和成果表达能力。该模块对接课程目标中的综合实践能力和创新创业能力培养要求，也可支撑学生后续参加中国国际大学生创新大赛、“挑战杯”等赛事。

学时：48 学时

前置基础：

学生已经完成前六个模块学习，掌握人工智能基础、机器学习建模、深度学习应用、强化学习动态优化、AI 加工自动化和综合参数优化实践等内容，具备开展自主创新项目的基础。但学生在真实问题凝练、创新点提炼、项目持续推进和成果转化方面仍需要教师分阶段指导。

（2）重点、难点

重点：

围绕材料加工领域真实问题，自主完成“选题—方案—实践—优化—展示”的完整创新项目。

解决举措：采用阶段性项目指导机制，对选题价值、技术路线、数据来源、算法模型、结果分析和成果展示进行全过程把关。

难点：

实现项目创新性、可行性、专业性和成果展示效果的统一。

解决举措：引导学生对照创新创业竞赛要求，聚焦产业实际问题，突出专业痛点、AI 技术适配性、实践过程和应用价值。

（3）教学资源及工具

项目申报书模板、项目报告模板、PPT 路演模板、材料加工案例库、文献数

数据库、Python、Scikit-learn、TensorFlow、仿真平台、实验室设备、材料加工数据集、项目过程记录表、项目评价量表。

2.项目任务拆解

任务一：自主选题与方案设计

学生4—5人组成项目组，围绕金属材料加工、复合材料成型、热处理质量预测、焊接自动化、缺陷检测、参数优化等方向自主确定项目主题，完成项目背景、专业痛点、技术路线、数据来源和预期成果设计。

任务二：创新开发与项目实操

学生根据项目方案开展文献调研、数据采集、数据清洗、算法选择、模型训练、参数优化、系统设计、仿真实验或应用验证，形成阶段性项目成果。

任务三：问题排查、成果凝练与项目完善

学生针对项目推进中出现的数据不足、模型效果不佳、技术路线不清、创新点不突出等问题进行优化，最终完成项目报告、PPT答辩材料、模型结果或系统原型展示。

3.教学实施流程（48学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（2学时）

教师介绍自我开发创新实践项目的目标、任务要求、评价标准和成果形式，展示优秀创新项目案例，引导学生理解该模块从“学习应用”转向“自主创造”的实践要求。

第二阶段：小组分工与方案设计（4学时）

学生：完成自主组队，确定项目负责人、技术负责人、数据负责人、报告负责人和答辩负责人；开展选题研讨，完成项目方案初稿。

教师：审核项目选题和实施方案，重点把关专业痛点是否明确、AI技术是否适配、数据来源是否可行、预期成果是否可展示。

第三阶段：自主探究与项目实操（36学时）

学生：按照项目计划开展文献调研、数据采集与预处理、算法建模、模型训练、参数优化、仿真实验、系统设计或应用验证，形成阶段性结果。

教师指导：定期开展过程检查和分组指导，帮助学生解决技术路线偏离、数据质量不足、模型训练效果差、结果解释不充分、团队协作效率低等问题，并指导学生逐步凝练项目创新点。

第四阶段：成果展示与互评优化（4学时）

小组成果展示：各项目组进行完整成果展示，汇报项目背景、专业痛点、技术路线、实践过程、模型结果、创新点、应用价值和后续拓展方向。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。教师结合项目成果、过程表现、团队协作和创新价值进行综合评价。

第五阶段：总结复盘与知识内化（2 学时）

教师总结：梳理自我开发创新实践中体现出的 AI 算法应用、材料加工问题分析、工程实践和创新表达能力，汇总学生项目中普遍出现的问题及改进建议。

全员复盘：引导学生从方案设计、实操过程、团队协作、问题解决四个维度复盘不足，明确后续工程实践的优化方向。

项目拓展、外延应用：鼓励学生将优秀项目继续完善为创新创业竞赛项目、课程论文、专利构想、软件著作权或企业应用方案。

4.课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，内容包括项目背景、专业痛点、方案设计、技术路线、数据处理过程、模型构建过程、实践结果、问题总结和心得体会。

（2）拓展作业：对项目进行拔高优化，进一步完善创新点、应用场景、商业价值和路演材料，鼓励优秀项目申报中国国际大学生创新大赛、“挑战杯”中国大学生创业计划竞赛或校级大学生创新训练项目。

四、教学方式及学时分配

序号	主要内容	主要教学方式	学时分配
1	人工智能基础与智能材料加工导论	讲授+实践	2
2	机器学习算法及材料加工参数预测模型构建与优化	讲授+实践	2
3	深度学习网络架构与材料微观分析、质量预测应用	讲授+实践	2
4	强化学习原理及材料加工过程动态优化	讲授+实践	2
5	人工智能在材料加工自动化中的应用	讲授+实践	4
6	基于 AI 的材料加工参数优化综合实践	讲授+实践	4
7	自我开发创新实践	实践	32

五、其它教学环节的要求

采用多媒体与板书相结合的课堂教授授课方式，结合人工智能发展历程、智能材料加工应用等授课内容，通过案例分析帮助学生掌握智能材料加工在航空航天等领域的应用特点；课堂研讨中，围绕机器学习算法、深度学习网络架构等知

识点，引导学生积极互动，深化对人工智能在材料加工中应用的理解，培养认识和解决复杂工程问题的能力；课程配套实验需认真完成，初步形成对材料加工流程中数据处理、组织观察与性能分析的思维，强化分析和解决问题的能力。学生需独立认真完成与算法应用、模型构建相关的作业，主动查阅智能材料加工领域的科技文献，积极参与课堂讨论，严格遵守考勤制度。

六、本课程与其它课程的联系

本课程为学科基础实践课，安排在第 7 学期进行。其先修课程为《高等数学》、《普通化学》、《大学物理》、《物理化学》、《python 语言》、《机器学习》、《深度学习》等课程，并已学习了《材料科学基础》等专业课程，对金属材料专业和人工智能技术有初步的了解。

七、考核与评价方式

本课程以“聚焦 AI 与材料加工专业融合创新能力、兼顾过程性与成果性、融入思政素养培育”为核心，采用“过程考核（60%）+结课报告（40%）”的评价体系，各考核环节均明确与课程目标、毕业要求的对应关系，细化评价标准与实施路径，避免“考核与能力脱节”。

其中，过程考核包括对出勤及作业、课堂讨论和案例分析互动的考核，具体比例见下表。

课程目标	支撑毕业要求	考核与评价方式及成绩比例(%)				成绩比例 (%)
		平时 作业	课程 讨论	案例 分析	结课 报告	
课程目标 1	支撑毕业要求 2-3	10	10	0	10	30
课程目标 2	支撑毕业要求 4-1	5	10	5	10	30
课程目标 3	支撑毕业要求 5-3	5	0	15	20	40
思政目标						
合计		20	20	20	40	100

1.过程考核（60%）：

（1）出勤+平时作业（20%）：强化“AI+专业”融合实操能力

作业内容：围绕课程模块设计“小而精”的融合实践作业，避免纯理论习题。

评价标准（满分 100 分，按 20%折算入总成绩）：

技术正确性（50%）：代码可运行、模型无报错、数据处理符合专业逻辑；

专业关联性（30%）：能说明“作业内容与材料加工专业需求的关联”；

规范性（20%）：代码注释清晰、报告格式规范。

（2）课程讨论（20%）：培育“AI+专业”融合创新思维

讨论形式与内容：每模块开展主题讨论，聚焦“AI 与专业融合的关键问题”

评价标准（满分 100 分，按 20%折算入总成绩）：

参与度（30%）：讨论全员参与；

观点创新性（40%）：能提出 AI 与专业融合的独特视角，而非复述教材内容；

逻辑清晰度（30%）：能结合专业知识（如材料热处理原理）、AI 技术原理（如算法适用场景）支撑观点。

（3）案例分析（20%）：掌握“AI+专业”融合逻辑

分析任务：每模块围绕“AI+材料加工”企业案例（如航空企业钛合金 AI 加工、车企轮毂参数优化），要求学生分组完成“案例分析报告”，核心内容包括：

专业痛点拆解（如“案例中钛合金零件报废率高的核心工艺原因”）；

AI 技术选型理由（如“为何选随机森林而非神经网络，是否适配案例中的数据量/专业需求”）；

融合方案复刻（用案例数据片段，尝试复现 1 个关键步骤，如“用 Scikit-learn 复现参数筛选过程”）；

工业价值总结（如“案例中 AI 优化对专业生产效率/质量的具体提升”）。

评价标准（满分 100 分，按 20%折算入总成绩）：

痛点与技术匹配度（40%）：能精准拆解专业痛点，且说明“AI 技术如何解决该痛点”；

方案复刻合理性（30%）：复现步骤符合 AI 与专业融合逻辑，数据处理、参数设置无明显错误；

报告完整性（30%）：结构清晰，专业术语、AI 术语使用准确。

2.结课报告（40%）：聚焦“AI+专业”融合创新成果输出

（1）报告内容要求

以“AI+材料加工”融合创新为核心，学生 4-5 人一组完成结课报告，需包含以下模块：

项目背景：明确材料加工领域的具体问题；

方案设计（AI+专业融合）：说明 AI 算法选型理由、数据来源、技术路线图（含数据预处理→模型构建→参数优化步骤）；

实践过程（成果验证）：呈现“AI+专业”融合实践的关键结果，需附可视化图表；

创新点（如有加分）：突出“AI 与专业的独特结合点”；

工业展望：分析项目的产业落地潜力，或提出改进方向。

（2）答辩与评价流程

答辩安排：每组 10 分钟汇报（含 5 分钟 PPT+5 分钟问答）

评价标准（满分 100 分，按 40%折算入总成绩）：

技术正确性（30%）：AI 模型可复现、专业工艺逻辑无错误；

融合创新性（30%）：创新点明确，且能解决专业实际问题；

工业价值（20%）：符合企业需求；

表达与规范（20%）：PPT 逻辑清晰、报告格式规范，答辩时能清晰回应。

（3）成绩评定

结课报告成绩=教师评分（70%）+企业工程师评分（30%），若报告存在数据造假、源码抄袭，直接按“不合格（<60 分）”处理，需重新提交并延期答辩。

3.思政素养嵌入式考核

思政素养不设单独分值，而是融入过程考核与结课报告，通过“正向加分、反向扣分”影响最终成绩，具体考核要点如下：

思政目标 1：结课报告中若分析“AI+材料加工”对国家制造业升级的价值（如“助力航空钛合金零件国产化”），或引用我国技术突破案例，可加 2-3 分；

思政目标 2：过程考核中若发现作业/报告存在数据造假、源码抄袭，扣 5-10 分/次；平时作业若规范标注数据来源、源码引用，加 1-2 分/次；

思政目标 3：课程讨论中若提出“AI 技术解决专业卡脖子问题”的思路（如“用 AI 优化高端轴承钢加工参数”），或结课报告中分析“项目对产业工人效率提升的影响”，可加 2-3 分。

有其他体现课程思政内容的也可加 2-3 分。

八、教学参考书目

自编讲义，含“人工智能在金属材料中的应用”章节，贴合工业实际案例；

参考资料：《机器学习实战》 《计算材料学——设计实践方法》 《材料加工过程数值模拟》

课程负责人：呼陟宇

审核：孙昊

金属材料工程专业

“人工智能在材料加工中应用”课程教学大纲

英文名称: Artificial Intelligence Applications in Materials Processing

课程编号: 261107204

学时数: 48

其中讲授学时数: 16 实验学时数: 0

上机学时数: 0 实践学时数: 32

学分数: 3

适用专业: 金属材料工程专业

一、课程性质和教学目标

本课程是一门融合材料科学与人工智能技术的交叉学科课程,具有较强的理论性、实践性和前沿性。

从理论层面来看,课程系统涵盖了人工智能发展历程与基础概念、机器学习算法、深度学习网络架构、强化学习原理等人工智能领域的核心知识,同时结合智能材料加工的概念、材料加工中的数据特点等材料科学相关内容,构建了完整的理论体系,为学生理解智能材料领域的复杂问题提供了扎实的理论基础。

从实践层面来讲,课程设置了大量实践操作环节,如建立材料加工参数预测模型、微观结构图像识别与分析、基于强化学习的控制模拟实践等,引导学生运用 Python、Scikit-learn、TensorFlow、PyTorch、OpenAI Gym 等工具,将理论知识应用于实际问题的解决,培养学生的动手操作能力和实践创新能力。

从前沿性角度而言,课程聚焦智能材料加工这一新兴领域,探讨了人工智能在材料加工参数优化、质量预测、微观结构分析等方面的应用,紧跟学科发展趋势,有助于拓宽学生的学术视野,培养学生应对前沿复杂工程问题的能力,为满足毕业要求中对金属材料复杂工程问题的分析、解决及现代工具应用等能力需求提供有力支撑。

课程目标 1: 复杂加工问题分析与方案比较能力

学生能够围绕金属材料加工过程中的复杂工程问题,分析加工参数、材料成分、组织结构、性能指标和产品质量之间的关系,识别影响加工质量和性能稳定性的关键因素;能够通过文献调研、案例分析等方法,提出不少于 2 种可替代的

工艺优化或智能加工解决方案，并通过综合比较获得合理结论。

课程目标 2：组织性能控制问题发现与解决方案提出能力

学生能够在金属材料组织性能控制的学习与实践过程中，发现加工参数设置、组织调控、缺陷形成、性能波动等方面存在的问题；能够结合材料科学原理，分析问题产生的原因，并通过文献研究、案例对比或实验数据分析等方式提出具有针对性的解决方案。

课程目标 3：现代工具应用与加工性能预测能力

学生能够针对金属材料成分—加工工艺—组织结构—性能之间关系的复杂工程问题，选择并使用合适的现代工具，开展加工参数预测、组织图像识别、质量缺陷判断或性能预测；能够使用 Python、Scikit-learn、TensorFlow 或相关仿真分析工具，建立至少 1 个材料加工参数优化、缺陷识别或性能预测模型，并能够分析模型结果及其局限性。

素质目标：

工程师职业素质的养成：弘扬文化自信与爱国情怀，践行社会主义核心价值观，形成工程师职业素养。

工程责任与质量意识：能说明材料加工质量与产品性能、工程安全、制造业发展的关联，增强质量意识和工程责任意识。

绿色制造与产业认知：能阐述项目对绿色制造、材料产业智能化的价值（减废、节能、提效等）。

科学精神与职业素养：能明确数据来源与验证方式，形成尊重数据、严谨求实、工程可靠的职业素养。

团队协作意识：小组合作过程中完成分工、主动参与，体现团队协作能力。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

课程支撑的毕业要求：

2-3（0.4）能够分析金属材料复杂工程问题的关键点和参数，理解解决复杂问题的多种途径，能够通过文献调研等方法寻求可替代的解决方案，并通过综合分析获得有效结论。

4-1（0.2）能够在金属材料组织性能控制的研究过程中发现问题，结合材料科学原理，通过文献研究或相关方法，分析并提出解决方案。

5-3（0.4）能够针对金属材料成分-加工工艺-组织结构-性能之间关系的复杂工程问题，开发和使用满足特定需求的现代工具，模拟和预测金属材料的成分，

组织和性能之间的关系，并能够分析其局限性。

课程目标与专业毕业要求的关系见表 1。

表 1 课程目标与专业毕业要求的关系

序号	课程目标	毕业要求 指标点 2-3	毕业要求 指标点 4-1	毕业要求 指标点 5-3
1	课程目标 1	L3		
2	课程目标 2		L4	
3	课程目标 3			L3
4	思政目标			

布鲁斯标准：L1 认知，L2 理解，L3 应用， L4 分析， L5 综合，L6 评判

三、课程教学内容

以“专创融合”为主线，将课程内容分为 7 个核心模块，前 6 个“讲授+实践”模块，每个模块均包含“理论学习→案例拆解→实践创新”三部分，第 7 个为实践模块，具体内容如下：

模块一 人工智能基础与智能材料加工导论项目

授课方式：讲授+实践

学时：2 学时

1.人工智能基础与智能材料加工导论项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生理解人工智能与智能材料加工的基本概念，掌握材料加工过程中常见的数据类型，包括温度、压力、速度、载荷等数值型数据，以及微观组织图像、表面缺陷图像等图像型数据；了解机器学习、深度学习等 AI 核心算法在材料加工中的基本应用场景。

在能力培养方面，使学生能够结合典型企业案例识别材料加工中的工程痛点，初步建立“专业问题—数据采集—算法分析—加工优化”的工程思维，培养学生工程问题分析能力、现代工具认知能力和专业创新意识。

学时：2 学时

前置基础：

学生已具备材料成形、金属材料、热处理或材料加工基础知识，能够理解温度、压力、组织、性能等基本概念。但多数学生对人工智能算法了解较少，对 AI 与材料加工之间的结合方式认识不足，需要通过案例导入和实践讨论完成知

识衔接。

（2）重点、难点

重点：

智能材料加工的基本内涵、材料加工数据类型、人工智能在材料加工中的应用逻辑。

解决举措：通过航空钛合金零件智能加工案例，引导学生从企业痛点、数据来源、算法应用和质量提升效果四个方面理解智能材料加工。

难点：

理解人工智能并不是简单替代传统加工经验，而是通过数据建模提升加工过程的预测、优化和控制能力。

解决举措：组织学生对比传统加工与智能加工流程，帮助学生建立数据驱动加工决策的基本认知。

（3）教学资源及工具

多媒体课件、航空钛合金零件加工案例资料、智能制造案例视频、材料加工数据样例、课堂讨论记录表、在线协作工具、投影设备。

2.项目任务拆解

任务一：智能材料加工案例认知

学生阅读航空钛合金零件智能加工案例，识别传统加工中存在的参数依赖经验、质量稳定性不足、报废率较高等问题，初步梳理企业面临的专业痛点。

任务二：AI 赋能路径分析

学生围绕案例中的数据采集、算法建模、加工参数优化和质量预测过程开展小组研讨，分析人工智能如何提升钛合金零件加工合格率。

任务三：传统加工与智能加工对比总结

学生从参数设置、质量检测、缺陷预警、生产效率、成本控制等方面对比传统加工与智能加工的差异，形成小组分析表并进行简要汇报。

3.教学实施流程（2 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以航空钛合金零件加工案例导入，说明传统材料加工中存在的经验依赖、质量波动和工艺优化周期长等问题，明确本项目学习目标和任务要求。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.25 学时）

学生：完成小组分工，明确案例阅读、问题梳理、对比分析和汇报展示任务。

教师：指导学生围绕“痛点—数据—算法—效果”的思路设计分析框架。

第三阶段：自主探究与项目实操（0.5 学时）

学生：阅读案例材料，识别材料加工中的数值型数据和图像型数据，分析 AI 在加工参数优化和质量控制中的作用。

教师指导：帮助学生区分智能加工、自动化加工和传统经验加工之间的差异，纠正学生对 AI 应用的片面理解。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.25 学时）

小组成果展示：各小组展示传统加工与智能加工对比结果。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理智能材料加工的核心概念、材料加工数据类型和 AI 算法应用场景，汇总学生讨论中出现的共性问题。

全员复盘：引导学生从案例分析、专业理解、数据意识和团队协作四个维度复盘不足。

项目拓展、外延应用：引导学生思考 AI 还能应用于焊接、热处理、铸造、锻造、复合材料成型等哪些材料加工场景。

4.课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，内容包括案例背景、传统加工痛点、AI 赋能路径、传统加工与智能加工对比、问题总结和学习体会。

（2）拓展作业：查找一个 AI 应用于材料加工或智能制造的真实案例，分析其使用的数据类型、算法方法和工程价值。

模块二 机器学习算法及材料加工参数预测模型构建与优化项目

授课方式：讲授+实践

学时：2 学时

1.机器学习算法及材料加工参数预测模型构建与优化项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生掌握决策树、随机森林等机器学习算法的基本原理，理解信息增益、基尼系数、集成学习等核心概念；掌握材料加工参数预测模型的基本构建流程，包括数据导入、数据划分、模型训练、模型预测和结果评价。

在能力培养方面，使学生能够利用 Python 和 Scikit-learn 工具构建简单的材料加工参数预测模型，能够比较不同算法在加工缺陷预测中的效果差异，培养学生数据分析能力、算法应用能力和工程问题解决能力。

学时：2 学时

前置基础：

学生已学习智能材料加工基本概念，具备一定材料加工参数认知基础，能够理解温度、压力、变形速率、冷却速度等变量对材料质量的影响。但学生对机器学习建模流程、模型评价指标和算法适配性理解不足，需要通过实践操作建立直观认识。

（2）重点、难点

重点：

决策树、随机森林算法原理及材料加工参数预测模型构建流程。

解决举措：采用“数据划分—模型训练—预测输出—准确率评价”的步骤化任务，降低学生建模难度。

难点：

理解不同机器学习算法在材料加工缺陷预测中的适用性差异。

解决举措：设置决策树与随机森林对比实验，引导学生从准确率、训练效率和模型稳定性三个方面分析结果。

（3）教学资源及工具

Python 编程环境、Scikit-learn 工具包、Jupyter Notebook 或 PyCharm、合金锻造裂纹数据集、机器学习示例代码、模型评价记录表、多媒体课件。

2.项目任务拆解

任务一：数据理解与建模方案制定

学生阅读合金锻造裂纹数据集，识别加工温度、压力、变形速率、冷却速度等关键变量，明确模型输入、输出和预测目标，制定模型构建步骤。

任务二：裂纹预测模型构建

学生使用 Python 和 Scikit-learn 分别构建决策树模型和随机森林模型，完成数据划分、模型训练、预测输出和准确率评价。

任务三：模型对比与报告完善

学生比较两种算法在预测准确率、训练效率和稳定性方面的差异，分析模型对材料加工参数优化的参考价值，完善项目报告。

3.教学实施流程（2 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以合金锻造裂纹预测问题导入，说明锻造过程中参数控制不当可能导致裂纹、折叠、组织不均匀等问题，明确机器学习在缺陷预测和参数优化中的应用价值。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.25 学时）

学生：完成数据分析、模型训练、结果记录和汇报分工。

教师：指导学生明确模型输入变量、输出结果和评价指标，审核建模流程是否合理。

第三阶段：自主探究与项目实操（0.5 学时）

学生：运行决策树和随机森林模型，记录预测准确率、训练时间和模型结果。

教师指导：解决学生在数据格式、变量选择、代码运行和模型评价中出现的问题，讲解算法参数对结果的影响。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.25 学时）

小组成果展示：展示两种算法的预测结果和对比分析。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理机器学习建模流程、决策树与随机森林的核心区别，汇总学生实操中常见的代码错误和模型评价问题。

全员复盘：引导学生从数据处理、模型选择、结果分析和团队协作四个维度复盘不足。

项目拓展、外延应用：引导学生思考机器学习在铝合金加工优化、钢铁热处理性能预测、高熵合金性能预测等场景中的应用。

4.课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，内容包括数据说明、模型构建流程、预测结果、算法对比、问题总结和心得体会。

（2）拓展作业：尝试调整随机森林模型参数，如树的数量、最大深度等，观察模型准确率变化，并说明参数调整对模型效果的影响。

模块三 深度学习网络架构与材料微观分析、质量预测应用项目

授课方式：讲授+实践

学时：2 学时

1.深度学习网络架构与材料微观分析、质量预测应用项目教学基本信息

(1) 学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生理解 CNN 卷积神经网络在材料微观图像识别中的基本原理，掌握卷积层、池化层、全连接层的功能；理解 LSTM 长短期记忆网络在热处理温度—时间序列质量预测中的应用逻辑；了解图像增强、正则化等模型优化方法。

在能力培养方面，使学生能够初步搭建深度学习模型，完成材料微观缺陷识别或质量预测任务，培养学生图像数据分析能力、深度学习工具应用能力和材料质量预测能力。

学时：2 学时

前置基础：

学生已具备机器学习基础和材料微观组织基本知识，能够理解晶粒、裂纹、夹杂物、硬度、强度等概念。但学生对深度学习网络结构、图像特征自动提取和时序数据建模理解不足，需要通过可视化案例和实践操作加深认识。

(2) 重点、难点

重点：

CNN 在材料微观缺陷识别中的应用，LSTM 在材料质量时序预测中的应用。

解决举措：通过钢板微观缺陷识别和热处理硬度预测两个任务，帮助学生理解深度学习在材料分析中的应用流程。

难点：

理解微观图像特征、热处理过程数据与材料最终性能之间的关联。

解决举措：引导学生对比模型预测值与实际检测值，分析误差来源，并提出数据增强、参数调整等优化方法。

(3) 教学资源及工具

TensorFlow 或 Keras 环境、钢板微观组织图像数据集、热处理温度—时间序列数据、硬度检测数据、深度学习示例代码、GPU 或云端计算平台、多媒体课件。

2.项目任务拆解

任务一：图像数据识别与方案设计

学生观察钢板微观组织图像，识别裂纹、夹杂物、孔洞等典型缺陷，讨论图

像数据与材料质量之间的关系，制定 CNN 识别方案。

任务二：CNN 缺陷识别与 LSTM 质量预测

学生使用 TensorFlow 或 Keras 搭建简单 CNN 模型，实现微观缺陷识别；同时基于热处理温度—时间序列数据，构建简单 LSTM 硬度预测模型。

任务三：模型偏差分析与优化总结

学生分析预测结果与实际检测值之间的偏差，归纳误差原因，提出图像增强、增加数据量、调整网络参数等优化方向，完善项目报告。

3.教学实施流程（2 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以钢铁企业微观组织识别与性能预测案例导入，说明人工检测微观缺陷效率低、主观性强等问题，明确深度学习在材料微观分析中的应用价值。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.25 学时）

学生：完成图像整理、模型运行、结果记录和误差分析分工。

教师：指导学生明确 CNN 与 LSTM 的不同应用场景，审核模型搭建思路。

第三阶段：自主探究与项目实操（0.5 学时）

学生：运行 CNN 缺陷识别模型和 LSTM 硬度预测模型，记录识别结果、预测结果和误差情况。

教师指导：解决图像尺寸不统一、标签错误、训练不收敛、过拟合等问题，讲解图像增强和正则化的基本作用。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.25 学时）

小组成果展示：展示缺陷识别结果、硬度预测结果和模型优化建议。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理 CNN、LSTM 模型结构及其在材料图像识别和质量预测中的应用逻辑，汇总学生实操中普遍出现的问题及解决方案。

全员复盘：引导学生从数据准备、模型搭建、结果解释和团队协作四个维度复盘不足。

项目拓展、外延应用：引导学生思考深度学习在焊缝缺陷识别、铸件缺陷检测、复合材料损伤识别等场景中的应用。

4.课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，内容包括数据来源、模型结构、训练过程、预测

结果、问题总结和心得体会。

(2) 拓展作业：尝试更换 CNN 网络参数或增加图像增强操作，对比模型识别效果变化，提出优化建议。

模块四 强化学习原理及材料加工过程动态优化项目

授课方式：讲授+实践

学时：2 学时

1.强化学习原理及材料加工过程动态优化项目教学基本信息

(1) 学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生理解强化学习的基本概念，掌握智能体、环境、状态、动作、奖励等核心要素；理解 Q-learning 算法的基本原理；能够将强化学习思想应用于材料加工过程动态参数优化问题。

在能力培养方面，使学生能够构建简化热处理模拟环境，分析不同工艺参数调整策略对优化效果的影响，培养学生动态决策能力、工程建模能力和加工过程优化能力。

学时：2 学时

前置基础：

学生已具备材料热处理基础知识，能够理解温度、保温时间、冷却速度等参数对组织和性能的影响；已学习机器学习和深度学习的基本应用。但学生对强化学习的交互式学习机制和奖励函数设计理解较弱。

(2) 重点、难点

重点：

强化学习核心要素、Q-learning 算法原理及其在热处理动态优化中的应用。

解决举措：通过曲轴热处理过程动态优化案例，将状态、动作、奖励等概念对应到具体加工场景中。

难点：

理解奖励函数设计和探索率设置对优化效果的影响。

解决举措：组织学生对比不同探索率下的奖励值收敛曲线，分析策略变化对参数优化结果的影响。

(3) 教学资源及工具

Python 环境、Q-learning 示例代码、热处理模拟环境、曲轴热处理案例资料、奖励值收敛曲线绘制工具、实验记录表、多媒体课件。

2.项目任务拆解

任务一：动态优化问题分析

学生分析曲轴热处理过程中温度、保温时间、冷却速度等参数对变形率和力学性能的影响，明确强化学习优化目标。

任务二：Q-learning 模型构建与运行

学生搭建简化热处理模拟环境，设置状态、动作和奖励函数，运行 Q-learning 算法，实现热处理参数动态调整。

任务三：收敛曲线分析与项目完善

学生记录不同探索率条件下的奖励值变化，分析优化策略的稳定性和收敛效果，总结强化学习在材料加工过程控制中的应用价值。

3.教学实施流程（2 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以汽车曲轴热处理变形控制案例导入，说明固定工艺参数难以应对材料批次差异和设备状态变化的问题，明确强化学习动态优化的应用意义。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.25 学时）

学生：完成环境设定、算法运行、曲线记录和结果分析分工。

教师：指导学生明确状态、动作和奖励函数设计原则，审核模拟环境设置是否合理。

第三阶段：自主探究与项目实操（0.5 学时）

学生：运行 Q-learning 算法，调整探索率参数，记录奖励值变化和最终参数优化结果。

教师指导：解决奖励函数设置不合理、参数范围过大、收敛速度慢等问题，帮助学生理解强化学习与传统机器学习的区别。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.25 学时）

小组成果展示：展示奖励值收敛曲线、参数优化结果和不同探索率对比分析。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理强化学习核心知识点、Q-learning 算法流程和热处理动态优化应用逻辑，汇总学生实操中的常见问题及标准化解决方案。

全员复盘：引导学生从方案设计、实操过程、团队协作、问题解决四个维度复盘不足。

项目拓展、外延应用：引导学生思考强化学习在轧制、焊接、多工序加工和智能制造产线调度中的应用可能。

4.课后作业与拓展

(1) 撰写完整项目报告，内容包括热处理优化目标、强化学习要素设计、算法运行过程、奖励曲线分析、问题总结和心得体会。

(2) 拓展作业：尝试重新设计奖励函数，观察优化结果变化，并分析奖励函数对加工策略形成的影响。

模块五 人工智能在材料加工自动化中的应用项目

授课方式：讲授+实践

学时：4 学时

1.人工智能在材料加工自动化中的应用项目教学基本信息

(1) 学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生理解 AI 视觉定位技术、机器人协同控制和生产线数据驱动调度的基本原理；了解工业相机选型、图像预处理、特征匹配、机器人轨迹规划等关键技术；能够结合机器人焊接自动化案例分析 AI 与自动化设备协同运行的基本逻辑。

在能力培养方面，使学生能够查阅相关论文、提取技术要点、运行焊接视觉定位源码并修改关键参数，培养学生现代工程工具应用能力、自动化系统分析能力和工程实践能力。

学时：4 学时

前置基础：

学生已掌握机器学习、深度学习和材料加工基础知识，能够理解焊接、切割等加工场景中的质量控制需求。但学生对 AI 视觉定位与机器人自动化设备之间的协同机制理解不足，对论文技术要点转化为源码实操的能力较弱。

(2) 重点、难点

重点：

AI 视觉定位技术、机器人加工轨迹规划、生产线数据驱动调度及其在材料

加工自动化中的应用。

解决举措：通过 CNN 视觉机器人焊接定位案例，将论文研读、源码运行和参数分析结合起来。

难点：

理解视觉定位参数、模型训练参数和加工精度之间的关系。

解决举措：组织学生修改源码中的图像尺寸、阈值、训练轮次、学习率等参数，观察定位精度或切割精度变化。

（3）教学资源及工具

论文《基于 CNN 视觉的机器人焊接定位系统设计》、焊接视觉定位源码、Python 或相关开发环境、工业相机资料、机器人焊接视频、图像预处理工具、实验记录表、多媒体课件。

2.项目任务拆解

任务一：论文研读与技术路线梳理

学生查阅机器人焊接 AI 自动化相关论文，提取 CNN 网络结构、图像预处理流程、视觉定位方法和定位精度评价指标，形成技术路线初稿。

任务二：源码运行与参数修改

学生运行焊接视觉定位源码，修改图像尺寸、阈值、训练轮次、学习率等关键参数，记录模型运行结果和精度变化。

任务三：精度分析与项目报告完善

学生分析“视觉定位参数—机器人轨迹—加工精度”之间的关系，总结 AI 视觉定位在焊接自动化中的工程价值与局限，完善项目报告。

3.教学实施流程（4 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以智能制造车间铜合金焊接自动化系统为案例导入，说明人工焊接和传统自动化焊接中存在的定位误差、适应性不足和质量波动问题，明确本项目任务要求。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.5 学时）

学生：完成论文研读、技术要点提取、源码运行、参数修改、结果记录和汇报展示分工。

教师：指导学生围绕“视觉感知—图像处理—模型识别—机器人执行—加工质量”设计项目方案。

第三阶段：自主探究与项目实操（2 学时）

学生：研读论文并提取关键技术路线，运行焊接视觉定位源码，修改相关参数，记录定位精度或切割精度变化。

教师指导：解决学生在环境配置、源码运行、参数设置、结果记录和精度解释中出现的问题，帮助学生理解 AI 与自动化设备的协同逻辑。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：展示论文拆解结果、源码运行截图、参数修改记录和精度分析结论。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理 AI 视觉定位、机器人协同控制、生产线数据调度等核心知识点，汇总学生实操中普遍出现的环境配置、参数修改和结果解释问题。

全员复盘：引导学生从方案设计、实操过程、团队协作、问题解决四个维度复盘不足。

项目拓展、外延应用：引导学生思考 AI 视觉技术在切割、打磨、喷涂、装配、缺陷检测等材料加工自动化场景中的应用。

4.课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，内容包括论文技术路线、源码运行过程、参数修改记录、精度变化分析、问题总结和心得体会。

（2）拓展作业：选择一个新的材料加工自动化场景，如激光切割、机器人打磨或焊缝检测，设计 AI 视觉定位应用方案。

模块六 基于 AI 的材料加工参数优化综合实践项目

授课方式：讲授+实践

学时：4 学时

1.基于 AI 的材料加工参数优化综合实践项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生综合运用机器学习、深度学习、强化学习和材料加工专业知识，完成一个较完整的 AI 材料加工参数优化项目；掌握选题论证、方案设计、数据采集与预处理、算法选型、模型训练、参数优化、报告撰写和 PPT 答辩的基本流程。

在能力培养方面，使学生能够围绕产业实际需求提出材料加工优化方案，具备工程问题分析能力、数据建模能力、团队协作能力、项目表达能力和创新实践能力。

学时：4 学时

前置基础：

学生已完成前期人工智能基础、机器学习、深度学习、强化学习和材料加工自动化等模块学习，具备一定的算法应用和材料加工问题分析基础。但学生对综合项目的系统设计、工程表达和成果凝练能力仍需加强。

（2）重点、难点

重点：

AI 材料加工参数优化项目的完整实施流程，包括痛点识别、关键参数筛选、算法建模和结果优化。

解决举措：以铝合金轮毂加工参数优化案例为参考，引导学生按照“专业痛点—数据来源—算法选择—参数优化—成果表达”的流程推进项目。

难点：

实现专业问题、数据条件、算法方法和优化结论之间的有效匹配。

解决举措：设置项目可行性分析环节，要求学生明确专业痛点、AI 技术适配性、数据可获得性和预期成果。

（3）教学资源及工具

铝合金轮毂加工参数优化案例、材料加工实验数据集、Python、Scikit-learn、TensorFlow、数据预处理模板、项目可行性分析报告模板、PPT 答辩模板、项目评价量表、多媒体课件。

2.项目任务拆解

任务一：选题论证与方案初稿制定

学生 4—5 人组成项目组，围绕铝合金轮毂加工或其他材料加工质量问题确定选题，完成专业痛点分析、关键参数筛选、数据来源规划和技术路线设计。

任务二：数据处理、算法建模与参数优化

学生完成数据采集、数据清洗、特征选择和模型训练，选择随机森林、支持向量机、神经网络等算法构建“加工参数—材料性能”预测模型，并提出参数优化方案。

任务三：成果凝练与报告完善

学生整理模型结果、优化结论和工程应用价值，完成项目报告和 PPT 答辩材料，并根据教师和同伴反馈进行修改完善。

3.教学实施流程（4 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以铝合金轮毂加工参数优化案例导入，说明抗拉强度不达标、表面粗糙度偏高、尺寸精度波动等工程问题，明确综合实践项目的成果要求和评价标准。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.5 学时）

学生：完成组队和分工，明确选题负责人、数据负责人、建模负责人、报告负责人和答辩负责人，完成方案初稿。

教师：审核项目选题、技术路线和数据来源，避免出现选题过大、数据不可获得或算法选择不匹配等问题。

第三阶段：自主探究与项目实操（2 学时）

学生：完成文献调研、数据预处理、模型训练、算法对比和参数优化分析，形成阶段性结果。

教师指导：分阶段检查学生数据质量、模型结果和工程解释，指导学生解决数据缺失、模型过拟合、评价指标不合理、结论表达不清等问题。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：各小组进行项目汇报，展示项目背景、专业痛点、技术路线、模型结果、参数优化结论和应用前景。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理 AI 材料加工参数优化项目的完整流程，汇总学生在选题、数据处理、模型训练和结果表达中出现的共性问题。

全员复盘：引导学生从方案设计、实操过程、团队协作、问题解决四个维度复盘不足。

项目拓展、外延应用：引导学生将综合实践项目进一步拓展为创新创业项目、课程论文或竞赛项目。

4.课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，内容包括项目背景、方案设计、数据处理过程、模型构建过程、参数优化结果、问题总结和心得体会。

（2）拓展作业：在原有模型基础上增加一种算法进行对比，优化 PPT 展示

材料，形成可用于课程答辩或创新竞赛初稿的项目成果。

模块七 自我开发创新实践项目

授课方式：实践

学时：48 学时

1.自我开发创新实践项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

通过本项目学习，使学生能够面向真实材料加工场景，自主发现专业痛点，自主设计 AI 与材料加工融合方案，自主开展数据采集、模型构建、参数优化、系统设计或应用验证，最终形成具有一定创新性和工程应用价值的项目成果。

在能力培养方面，重点提升学生复杂工程问题分析能力、现代工具使用能力、创新设计能力、团队协作能力、项目管理能力和成果表达能力。该模块对接课程目标中的综合实践能力和创新创业能力培养要求，也可支撑学生后续参加中国国际大学生创新大赛、“挑战杯”等赛事。

学时：48 学时

前置基础：

学生已经完成前六个模块学习，掌握人工智能基础、机器学习建模、深度学习应用、强化学习动态优化、AI 加工自动化和综合参数优化实践等内容，具备开展自主创新项目的基础。但学生在真实问题凝练、创新点提炼、项目持续推进和成果转化方面仍需要教师分阶段指导。

（2）重点、难点

重点：

围绕材料加工领域真实问题，自主完成“选题—方案—实践—优化—展示”的完整创新项目。

解决举措：采用阶段性项目指导机制，对选题价值、技术路线、数据来源、算法模型、结果分析和成果展示进行全过程把关。

难点：

实现项目创新性、可行性、专业性和成果展示效果的统一。

解决举措：引导学生对照创新创业竞赛要求，聚焦产业实际问题，突出专业痛点、AI 技术适配性、实践过程和应用价值。

（3）教学资源及工具

项目申报书模板、项目报告模板、PPT 路演模板、材料加工案例库、文献数据库、Python、Scikit-learn、TensorFlow、仿真平台、实验室设备、材料加工数据集、项目过程记录表、项目评价量表。

2.项目任务拆解

任务一：自主选题与方案设计

学生 4—5 人组成项目组，围绕金属材料加工、复合材料成型、热处理质量预测、焊接自动化、缺陷检测、参数优化等方向自主确定项目主题，完成项目背景、专业痛点、技术路线、数据来源和预期成果设计。

任务二：创新开发与项目实操

学生根据项目方案开展文献调研、数据采集、数据清洗、算法选择、模型训练、参数优化、系统设计、仿真实验或应用验证，形成阶段性项目成果。

任务三：问题排查、成果凝练与项目完善

学生针对项目推进中出现的数据不足、模型效果不佳、技术路线不清、创新点不突出等问题进行优化，最终完成项目报告、PPT 答辩材料、模型结果或系统原型展示。

3.教学实施流程（48 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（2 学时）

教师介绍自我开发创新实践项目的目标、任务要求、评价标准和成果形式，展示优秀创新项目案例，引导学生理解该模块从“学习应用”转向“自主创造”的实践要求。

第二阶段：小组分工与方案设计（4 学时）

学生：完成自主组队，确定项目负责人、技术负责人、数据负责人、报告负责人和答辩负责人；开展选题研讨，完成项目方案初稿。

教师：审核项目选题和实施方案，重点把关专业痛点是否明确、AI 技术是否适配、数据来源是否可行、预期成果是否可展示。

第三阶段：自主探究与项目实操（36 学时）

学生：按照项目计划开展文献调研、数据采集与预处理、算法建模、模型训练、参数优化、仿真实验、系统设计或应用验证，形成阶段性结果。

教师指导：定期开展过程检查和分组指导，帮助学生解决技术路线偏离、数据质量不足、模型训练效果差、结果解释不充分、团队协作效率低等问题，并指

导学生逐步凝练项目创新点。

第四阶段：成果展示与互评优化（4 学时）

小组成果展示：各项目组进行完整成果展示，汇报项目背景、专业痛点、技术路线、实践过程、模型结果、创新点、应用价值和后续拓展方向。

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。教师结合项目成果、过程表现、团队协作和创新价值进行综合评价。

第五阶段：总结复盘与知识内化（2 学时）

教师总结：梳理自我开发创新实践中体现出的 AI 算法应用、材料加工问题分析、工程实践和创新表达能力，汇总学生项目中普遍出现的问题及改进建议。

全员复盘：引导学生从方案设计、实操过程、团队协作、问题解决四个维度复盘不足，明确后续工程实践的优化方向。

项目拓展、外延应用：鼓励学生将优秀项目继续完善为创新创业竞赛项目、课程论文、专利构想、软件著作权或企业应用方案。

4.课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，内容包括项目背景、专业痛点、方案设计、技术路线、数据处理过程、模型构建过程、实践结果、问题总结和心得体会。

（2）拓展作业：对项目进行拔高优化，进一步完善创新点、应用场景、商业价值和路演材料，鼓励优秀项目申报中国国际大学生创新大赛、“挑战杯”中国大学生创业计划竞赛或校级大学生创新训练项目。

四、教学方式及学时分配

序号	主要内容	教学方式	学时
1	人工智能基础与智能材料加工导论	讲授	2
2	机器学习算法及材料加工参数预测模型构建与优化	讲授	2
3	深度学习网络架构与材料微观分析、质量预测应用	讲授	2
4	强化学习原理及材料加工过程动态优化	讲授	2
5	人工智能在材料加工自动化中的应用	讲授	4
6	基于 AI 的材料加工参数优化综合实践	讲授	4
7	自我开发创新实践	实践	32

五、其它教学环节的要求

采用多媒体与板书相结合的课堂教学授课方式,结合人工智能发展历程、智能材料加工应用等授课内容,通过案例分析帮助学生掌握智能材料加工在航空航天等领域的应用特点;课堂研讨中,围绕机器学习算法、深度学习网络架构等知识点,引导学生积极互动,深化对人工智能在材料加工中应用的理解,培养认识和解决复杂工程问题的能力;课程配套实验需认真完成,初步形成对材料加工流程中数据处理、组织观察与性能分析的思维,强化分析和解决问题的能力。学生需独立认真完成与算法应用、模型构建相关的作业,主动查阅智能材料加工领域的科技文献,积极参与课堂讨论,严格遵守考勤制度。

六、本课程与其它课程的联系

本课程为学科基础实践课,安排在第7学期进行。其先修课程为《高等数学》、《普通化学》、《大学物理》、《物理化学》、《python 语言》、《机器学习》、《深度学习》等课程,并已学习了《材料科学基础》等专业课程,对金属材料专业和人工智能技术有初步的了解。

七、考核与评价方式

本课程以“聚焦 AI 与材料加工专业融合创新能力、兼顾过程性与成果性、融入思政素养培育”为核心,采用“过程考核(60%)+结课报告(40%)”的评价体系,各考核环节均明确与课程目标、毕业要求的对应关系,细化评价标准与实施路径,避免“考核与能力脱节”。过程考核包括对出勤及作业、课堂讨论和案例分析互动的考核,具体比例见下表。

课程目标	支撑毕业要求	考核与评价方式及成绩比例(%)				成绩比例(%)
		平时作业	课程讨论	案例分析	结课报告	
课程目标 1	支撑毕业要求 2-3	10	10	0	10	30
课程目标 2	支撑毕业要求 4-1	5	10	5	10	30
课程目标 3	支撑毕业要求 5-3	5	0	15	20	40
思政目标						
合计		20	20	20	40	100

各考核环节细化设计

1.过程考核（60%）：

（1）出勤+平时作业（20%）：强化“AI+专业”融合实操能力

作业内容：围绕课程模块设计“小而精”的融合实践作业，避免纯理论习题。

评价标准（满分 100 分，按 20%折算入总成绩）：

技术正确性（50%）：代码可运行、模型无报错、数据处理符合专业逻辑；

专业关联性（30%）：能说明“作业内容与材料加工专业需求的关联”；

规范性（20%）：代码注释清晰、报告格式规范。

（2）课程讨论（20%）：培育“AI+专业”融合创新思维

讨论形式与内容：每模块开展主题讨论，聚焦“AI 与专业融合的关键问题”

评价标准（满分 100 分，按 20%折算入总成绩）：

参与度（30%）：讨论全员参与；

观点创新性（40%）：能提出 AI 与专业融合的独特视角，而非复述教材内容；

逻辑清晰度（30%）：能结合专业知识（如材料热处理原理）、AI 技术原理（如算法适用场景）支撑观点。

（3）案例分析（20%）：掌握“AI+专业”融合逻辑

分析任务：每模块围绕“AI+材料加工”企业案例（如航空企业钛合金 AI 加工、车企轮毂参数优化），要求学生分组完成“案例分析报告”，核心内容包括：

专业痛点拆解（如“案例中钛合金零件报废率高的核心工艺原因”）；

AI 技术选型理由（如“为何选随机森林而非神经网络，是否适配案例中的数据量/专业需求”）；

融合方案复刻（用案例数据片段，尝试复现 1 个关键步骤，如“用 Scikit-learn 复现参数筛选过程”）；

工业价值总结（如“案例中 AI 优化对专业生产效率/质量的具体提升”）。

评价标准（满分 100 分，按 20%折算入总成绩）：

痛点与技术匹配度（40%）：能精准拆解专业痛点，且说明“AI 技术如何解决该痛点”；

方案复刻合理性（30%）：复现步骤符合 AI 与专业融合逻辑，数据处理、参数设置无明显错误；

报告完整性（30%）：结构清晰，专业术语、AI 术语使用准确。

2.结课报告（40%）：聚焦“AI+专业”融合创新成果输出

（1）报告内容要求

以“AI+材料加工”融合创新为核心，学生 4-5 人一组完成结课报告，需包含以下模块：

项目背景：明确材料加工领域的具体问题；

方案设计（AI+专业融合）：说明 AI 算法选型理由、数据来源、技术路线图（含数据预处理→模型构建→参数优化步骤）；

实践过程（成果验证）：呈现“AI+专业”融合实践的关键结果，需附可视化图表；

创新点（如有加分）：突出“AI 与专业的独特结合点”；

工业展望：分析项目的产业落地潜力，或提出改进方向。

（2）答辩与评价流程

答辩安排：每组 10 分钟汇报（含 5 分钟 PPT+5 分钟问答）

评价标准（满分 100 分，按 40%折算入总成绩）：

技术正确性（30%）：AI 模型可复现、专业工艺逻辑无错误；

融合创新性（30%）：创新点明确，且能解决专业实际问题；

工业价值（20%）：符合企业需求；

表达与规范（20%）：PPT 逻辑清晰、报告格式规范，答辩时能清晰回应。

（3）成绩评定

结课报告成绩=教师评分（70%）+企业工程师评分（30%），若报告存在数据造假、源码抄袭，直接按“不合格（<60 分）”处理，需重新提交并延期答辩。

3.思政素养嵌入式考核

思政素养不设单独分值，而是融入过程考核与结课报告，通过“正向加分、反向扣分”影响最终成绩，具体考核要点如下：

思政目标 1：结课报告中若分析“AI+材料加工”对国家制造业升级的价值（如“助力航空钛合金零件国产化”），或引用我国技术突破案例，可加 2-3 分；

思政目标 2：过程考核中若发现作业/报告存在数据造假、源码抄袭，扣 5-10 分/次；平时作业若规范标注数据来源、源码引用，加 1-2 分/次；

思政目标 3：课程讨论中若提出“AI 技术解决专业卡脖子问题”的思路（如“用 AI 优化高端轴承钢加工参数”），或结课报告中分析“项目对产业工人效率提升的影响”，可加 2-3 分。

有其他体现课程思政内容的也可加 2-3 分。

八、教学参考书目

自编讲义，含“人工智能在金属材料中的应用”章节，贴合工业实际案例；

参考资料：《机器学习实战》 《计算材料学——设计实践方法》 《材料加工过程数值模拟》

课程负责人：呼陟宇

审核：孙昊

机械设计制造及其自动化专业

“计算机网络与工业物联网”课程教学大纲

英文名称: Computer Networks and Industrial Internet of Things

课程编号: 264103131

学时数: 32 学时, 其中讲授学时数: 24 ,项目实践学时数: 8

学分数: 2 学分

适用专业: 机械设计制造及其自动化人工智能方向

一、课程的性质和教学目标

本课程是机械设计制造及其自动化专业人工智能方向的一门限选课。主要包括计算机网络的基本原理、体系结构以及工业物联网的核心技术。通过项目式教学模式,将理论知识和专业技术嵌入工程实际项目中,通过实践操作能够深刻理解并运用 IP 地址、协议、网络调试等抽象概念,掌握计算机网络的设计与管理、工业物联网的架构与应用,以及两者在实际工业场景中的结合与应用,支撑新工科应用人才培养目标。

课程主要教学目标:

课程目标 1: 掌握计算机网络的基本原理与体系结构,理解分组交换、协议、层次、接口与网络体系结构等基本概念,理解 TCP/IP 体系结构及其主要协议的工作原理;熟悉工业物联网的概念、架构与关键技术,了解其在工业领域的应用场景。

课程目标 2: 具有分析与解决工业网络与物联网实际问题的能力,综合运用计算机网络体系结构、工业通信协议及传感网原理,设计与实现简单的工业物联网系统,具备一定的网络设备配置与管理能力。

课程思政目标: 引导学生深刻理解网络通信协议与国家科技自立自强的内在关联,激发科技报国的使命担当。培养严谨求实的工匠精神和精益求精的职业操守。强化集体主义观念与协同创新意识。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

课程支撑的毕业要求:

3.1 掌握工程设计和产品开发、全周期全流程的基本设计/开发方法合技术,了解各种影响因素,对本智能制造工程领域的设计、制造、运行、维护和管理中复杂工程问题提出合理解决方案。

3.2 能够针对特定需求，完成单元的设计，能综合运用相关知识针对零部件、系统、机械产品及生产流程的设计方案进行可行性分析与论证。

5.1 了解专业常用的现代仪器、工程工具、数据库、现代信息技术和模拟软件的使用原理和方法，并理解其局限性。

5.2 能够运用合适的仪器、信息资源、工程工具和专业模拟软件对本专业领域的复杂工程问题进行分析、计算与设计。

课程目标与专业毕业要求的关系见表 1：

表 1 课程目标与专业毕业要求的关系

序号	课程目标	毕业要求 指标点 3.1	毕业要求 指标点 3.2	毕业要求 指标点 5.1	毕业要求 指标点 5.2
1	课程目标 1	L1		L2	
2	课程目标 2		L3		L3

注：布鲁斯标准 L1 认知，L2 理解，L3 应用，L4 分析，L5 综合，L6 评判

三、课程教学内容的基本要求、重点和难点

课程教学内容：

1. 计算机网络概述

具体内容：计算机网络的组成、分类、性能和体系结构。

基本要求：了解计算机网络发展和演变过程，了解计算机网络的分类、性能指标、组成与结构，理解并掌握分组交换、协议、层次、接口与网络体系结构等基本概念。

知识点：计算机网络的定义与基本功能，网络拓扑结构的类型及其特点，网络协议的基本概念与作用，网络性能衡量指标（带宽、延迟、吞吐量、误码率等）。

重点：分组交换技术的基本概念，网络性能指标

难点：网络协议体系结构

2. 数据通信基础与物理层

具体内容：数据通信的理论基础，包括数字信号的特点与传输，信道容量与数据速率等；现有网络的数据传输，包括双绞线、光纤信号传输技术。

基本要求：了解数据传输的相关概念和术语，数据与信号的转换关系，数据衰减、失真、时延、噪声等常见的传输损伤，熟悉双绞线、同轴电缆和光纤导向传输媒体的特点。

知识点：物理层的基本概念，数据通信的术语、系统模型、信道的极限传输

速率，数字数据—数字信号，数字数据—模拟信号，物理层下面的传输媒体包括双绞线、同轴电缆、光纤、卫星通信，信道复用技术。

重点：数字信号的分析方法、带宽与数据速率之间的关系

难点：带宽与数据速率的量化关系，数字数据的编码机制、电话网络与有线网络数据传输方式。

2.数据链路层

具体内容：数据链路层功能：封装成帧、透明传输、差错控制、流量控制，差错控制：检错编码、纠错编码，流量控制：停止-等待协议、滑动窗口协议，介质访问控制：信道划分介质访问控制、随机访问介质访问控制、轮询访问介质访问控制，局域网技术：以太网、无线局域网。

基本要求：掌握数据链路层功能，理解并掌握物理链路、数据链路、点对点信道、广播信道基本概念，理解并掌握数据链路层需要解决的共性问题及方法，掌握集线器、网桥、交换机的工作原理和扩展以太网的方法。

知识点：封装成帧，奇偶校验码，循环冗余码，海明码，频分复用，时分复用，波分复用，码分复用，局域网技术。

重点：数据链路层服务和规范，使用广播信道的以太网，CSMA/CD 协议

难点：掌握交换机的自学习算法。

3.网络层

具体内容：网络层功能，IP 协议，路由选择协议，IPv6，网络地址转换。

基本要求：理解网络层与网络互联的基本概念；掌握 IP 地址的基本概念与分类方法；掌握 IP 协议的基本内容；学习地址解析的基本概念与方法；了解协议 ICMP；学习 IP 分组的交付与路由选择、路由选择协议的基本算法。

知识点：IPv4 地址，IPv4 数据报格式，IP 地址分类，子网划分，ARP 协议，ICMP 协议，路由选择算法分类，RIP 协议，OSPF 协议，BGP 协议，IPv6 地址，IPv6 数据报格式，IPv4 向 IPv6 过渡技术，NAT 原理、NAT 类型。

重点：IP 地址的基本概念与地址分配方法

难点：IP 分组的交付与路由选择、路由选择协议的基本算法

4. 运输层

具体内容：运输层功能：进程间通信、可靠数据传输、流量控制、拥塞控制，UDP 协议，TCP 协议。

基本要求：了解网络环境中分布式进程通的基本概念，掌握传输层的基本功

能与服务质量，UDP 协议，TCP 协议，可靠传输工作原理。

知识点：UDP 数据报格式，UDP 校验，TCP 报文段格式，TCP 连接管理，TCP 可靠传输，TCP 流量控制，TCP 拥塞控制，停止-等待协议，滑动窗口协议。

重点：TCP、UDP 工作原理

难点：可靠传输的工作原理

5. 应用层

具体内容：域名系统，文件传输协议，电子邮件。

基本要求：了解 FTP、SNMP 的基本工作原理，掌握 DNS、WWW 服务、E-mail、DHCP 的基本工作原理。

重点：FTP、E-mail、DHCP 协议的工作原理

难点：DNS 工作原理

知识点：域名结构，域名解析过程，DNS 报文格式，FTP 协议原理，FTP 命令，FTP 数据传输，电子邮件系统组成，HTTP 协议。

6. 工业物联网体系结构

具体内容：工业物联网体系结构的概念及定义，常见的物联网体系结构，物联网关键技术，无线传感器网络体系结构。

基本要求：掌握物联网体系结构的概念，理解物联网关键技术原理，了解感知与标识技术。

知识点：物联网的基本组成，关键技术，发展趋势。

重点：物联网的定义、主要技术特征、层次结构模型、关键技术。

难点：物联网的层次结构模型、关键技术。

标识与定位技术

具体内容：条形编码技术，RFID 技术，空间定位技术

基本要求：掌握标识技术的原理及分类，了解多维度空间定位技术。

知识点：一维和二维条形码技术原理，RFID 概念及原理，蜂窝定位，Wi-Fi 定位，卫星定位。

重点：标识技术

难点：空间定位技术

传感器与无线传感网

具体内容：传感器检测模型，传感器特性与分类，传感器技术原理，无线传感器。

基本要求：掌握传感器特性与分类，理解传感器技术原理，了解无线传感器的技术原理与应用。

知识点：传感器特性，传感器分类，电阻应变式传感器，电感式传感器，电容式传感器，点压式传感器，磁电感应式传感器。

重点：传感器的原理及分类，无线传感器网络基本工作原理及应用

难点：无线传感器工作原理

四、教学方式及学时分配

序号	教学模块	具体内容	学时
1	计算机网络概述	分组交换技术的基本概念，网络性能指标	1
2	数据通信基础与物理层	数字信号的分析方法，带宽与数据速率之间的关系	2
3	数据链路层；网络层	数据链路层服务和规范，广播信道以太网，CSMA/CD 协议 IP 地址的基本概念与地址分配	2
4	运输层；应用层	TCP、UDP 工作原理；FTP、E-mail、DHCP 协议的工作原理	2
5	项目一：计算机网络规划与路由器配置	完成第 1 - 6 章理论后开展此项目实践	11
6	物联网体系结构	物联网主要技术特征，层次结构模型	1
7	标识与定位技术	条形编码技术，RFID 技术，空间定位技术	2
8	传感器与无线传感	无线传感器网络基本工作原理及应用	2
9	项目二：工业物联网通信系统设计	完成第 7 - 9 章理论后开展此项目实践	9
总计			32

项目一：计算机网络规划与路由器配置

(1) 学习目标：

知识能力目标：能够综合运用第 1-6 章所学的网络体系结构、IP 地址规划、路由协议、TCP/UDP 传输机制及应用层协议等知识，完成一个中小型局域网的规划与路由器配置任务；具备分析实际网络问题并提出合理解决方案的能力。

对应课程目标：课程目标 1（L2 理解）、课程目标 2（L3 应用）

对应毕业要求：3.1、3.2、5.2

重点：IP 子网划分与地址分配方案设计；路由器静态/动态路由配置

难点：路由选择协议（RIP/OSPF）配置参数的理解与调试；跨子网通信故障排查

软件： Cisco Packet Tracer（网络仿真平台）

硬件： 学生自备笔记本电脑或使用机房计算机

（2）项目任务拆解

任务一（基础任务）： 网络需求分析与规划方案设计。

小组根据给定的"智能制造车间网络建设"场景任务书，研讨网络需求；明确网段数量、设备类型及互联关系；完成 IP 地址规划表（子网划分、地址分配）及网络拓扑图初稿，形成书面方案初稿。

任务二（核心任务）： 基于 Packet Tracer 的路由器配置与联通验证。

依据规划方案，在 Packet Tracer 中搭建网络拓扑；完成路由器接口 IP 配置、静态路由或 RIP/OSPF 动态路由协议配置；使用 ping、tracert 等命令验证各子网之间的互通性，截图记录配置命令与验证结果。

任务三（提升任务）： 故障排查、方案优化与报告完善。

针对联通验证中出现的故障进行系统排查（如路由表错误、掩码配置失误等），记录故障现象、原因分析及解决过程；对初始方案进行优化改进（如增加冗余链路、优化路由策略）；汇总形成完整的网络规划与配置实验报告。

（3）教学实施流程

第一阶段：项目导入与目标解读（1 学时）

教师以"某智能制造工厂新建生产车间需要建设内部局域网，实现生产设备、控制终端与服务器之间的互联互通"为情境引入项目；展示真实工厂网络拓扑图，说明网络规划不合理可能造成的生产延误风险；解读项目任务书，明确本次项目的工作目标、交付物要求及评分标准；介绍 Packet Tracer 软件基本界面与常用操作。

第二阶段：小组分工与方案设计（2 学时）

学生： 各小组（3-4 人）明确分工（组长、IP 规划员、拓扑搭建员、记录员）；共同研讨网络需求，初步确定子网划分方案与设备选型；完成拓扑图草稿与 IP 地址规划表，形成方案初稿并提交教师审核。

教师： 巡视各组方案，重点检查子网划分逻辑是否合理、地址是否存在冲突，给出书面或口头修改建议，确保各组方案具备可实施性后方可进入下一阶段。

第三阶段：自主探究与项目实操（4 学时）

学生： 依据审核通过的方案，在 Packet Tracer 中完成网络拓扑搭建；逐步完成路由器接口配置、路由协议配置；执行连通性测试并记录结果；遭遇故障时

主动查阅命令手册或与组内成员协作排障；同步填写实操记录表（含配置命令截图、测试结果、故障台账）。

教师指导：全程巡回指导，重点关注：路由表生成是否正确、OSPF 邻居关系是否建立、子网互通验证方法是否规范；对普遍性错误（如掩码配置错误、接口未激活）集中讲解纠正；对进度滞后小组适当降低任务难度（如改为纯静态路由配置）；对进度超前小组布置拓展任务（如配置 ACL 访问控制策略）。

第四阶段：成果展示与互评优化（2 学时）

小组成果展示：每组展示网络拓扑图、IP 规划表及关键配置命令，演示 ping 连通性测试结果，说明遇到的主要故障及解决方案。

多元互评：小组之间相互点评（重点评价方案合理性与配置规范性）；组员进行自评与互评，记录个人贡献度；教师当场给出点评与改进建议，汇总典型问题。

第五阶段：总结复盘与知识内化（2 学时）

教师总结：梳理本次项目核心知识点（子网划分、路由选择协议、连通性验证），汇总学生实操中普遍出现的故障问题（如路由黑洞、地址配置冲突）及标准化解决方案；串联理论（网络层 IP 协议、路由算法）与工程实践知识，强调工业网络设计中可靠性与安全性的的重要性。

全员复盘：引导学生从方案设计（IP 规划是否合理）、实操过程（配置步骤是否规范）、团队协作（分工是否高效）、问题解决（排障思路是否系统）四个维度复盘不足，明确后续工程实践的优化方向。

项目拓展与外延应用：引导学生思考：若该车间未来接入工业物联网设备（如传感器、RFID 读写器），现有网络规划需如何调整？为后续工业物联网模块学习埋下伏笔。

项目二：工业物联网通信系统设计

（1）学习目标：

知识能力目标：能够综合运用第 7-9 章所学的物联网体系结构、RFID 标识技术、空间定位技术及无线传感器网络原理，针对给定的工业制造场景，设计一套完整的工业物联网通信方案；具备将感知层、网络层、应用层有机整合的系统设计能力。

对应课程目标：课程目标 1（L2 理解）、课程目标 2（L3 应用）

对应毕业要求：3.1、3.2、5.1、5.2

重点： 工业物联网三层体系结构（感知层、网络层、应用层）的系统化设计；RFID 与无线传感器网络在工业场景中的综合应用

难点： 感知设备选型与参数匹配；无线传感器网络组网方式的合理选择；多技术融合方案的可行性论证

软件： Microsoft Visio / 亿图图示（系统架构图绘制）；Node-RED 或 MQTT 模拟平台（可选，用于简单数据流演示）

硬件： 学生自备笔记本电脑（或机房计算机）；条件允许时可提供 RFID 读写器、温湿度传感器模块进行实物体验

（2）项目任务拆解

任务一（基础任务）： 场景需求分析与系统架构设计

小组研讨给定工业场景（如"工业物联网智能工厂网络通信系统"）的业务需求；识别需要部署的感知设备类型（传感器种类、RFID 点位）、数据传输方式及上层应用需求；完成工业物联网三层架构设计框图初稿，说明各层关键技术选型依据。

任务二（核心任务）： 关键技术方案细化与数据流设计

细化感知层方案（传感器型号选型、RFID 读写器部署位置、无线传感网组网拓扑）；设计网络层通信方案（选择合适的无线通信协议，如 ZigBee/Wi-Fi/LoRa，说明选型理由）；绘制完整的系统架构图及数据采集—传输—处理流程图；完成方案可行性分析说明文档。

任务三（提升任务）： 方案优化、问题排查与报告完善

针对组内方案中存在的逻辑漏洞或技术不合理处（如通信距离不足、传感器量程不匹配）进行修正；结合项目一中的网络规划成果，思考如何将工业物联网感知层数据接入已规划的车间局域网；完善并提交系统设计方案完整报告。

（3）教学实施流程

第一阶段：项目导入与目标解读（1 学时）

教师播放工业物联网在智能制造中的典型应用视频（如汽车工厂 AGV 调度、京东物流厂库），以"某智能制造工厂希望对生产线进行全流程实时监控与物料追踪，需要设计一套工业物联网通信系统"为情境引入项目；解读任务书，明确方案需覆盖感知层、网络层、应用层三个层次，说明交付物要求（系统架构图+可行性分析报告）及评分标准；强调本次项目是对整门课程知识体系的综合检验。

第二阶段：小组分工与方案设计（2 学时）

学生： 各小组（3—4人）明确分工（组长、感知层设计员、网络层设计员、文档整理员）；共同研讨场景需求，确定系统总体架构思路与关键技术选型方向；完成系统架构草图与技术选型初稿，提交教师审核。

教师： 巡视各组方案，重点检查三层结构划分是否清晰、技术选型是否与场景需求匹配，给出书面或口头修改建议，确认方案框架合理后允许进入实操阶段。

第三阶段：自主探究与项目实操（2学时）

学生： 依据审核通过的架构框架，逐步细化各层设计内容；使用 Visio/亿图完成规范的系统架构图绘制；完成数据流程图与关键设备选型参数表；撰写可行性分析文档（包含技术可行性、成本估算、潜在风险分析）；有条件的小组可使用 RFID 读写器或传感器模块进行实物体验，记录实验现象。

教师指导： 全程巡回指导，重点关注：无线通信协议选型是否与通信距离、功耗要求匹配；感知层设备布点密度是否合理；数据流是否完整贯通三层结构；对普遍性问题集中讲解（如 ZigBee 与 Wi-Fi 的适用场景对比）；对进度超前小组布置拓展任务（如考虑网络安全防护方案或边缘计算节点的引入）。

第四阶段：成果展示与互评优化（2学时）

小组成果展示： 每组推选代表（2分钟）展示系统架构图，说明感知层、网络层、应用层的关键技术选型理由，演示数据流程，并汇报方案中的创新点或优化亮点。

多元互评： 小组之间相互点评（重点评价方案完整性、技术选型合理性、创新性）；组员进行自评与互评，记录个人贡献度；教师当场给出综合评价，表扬优秀方案，指出普遍性改进方向。

第五阶段：总结复盘与知识内化（2学时）

教师总结： 梳理本次项目核心知识点（物联网三层体系结构、RFID 原理、无线传感网组网、无线通信协议选型），汇总学生方案设计中普遍出现的问题（如层次混淆、协议选型不当）及标准化解解决思路；串联全课程知识脉络——从计算机网络基础（项目一）到工业物联网系统设计（项目二），体现网络技术在智能制造场景中的完整应用链条；结合科技强国战略，引导学生认识工业物联网对我国制造业数字化、网络化升级的重要意义。

全员复盘： 引导学生从方案设计（三层架构是否系统完整）、实操过程（技术细化是否规范）、团队协作（分工协作是否高效）、问题解决（技术难点突破思

路是否清晰）四个维度复盘不足，明确后续综合实践与课程设计的优化方向。

五、其它教学环节的要求

课程教学方法及具体要求如下：

本课程采用项目式教学为主导，以真实工业场景驱动学习全过程，将理论讲授、项目实践、小组协作与成果展示有机融合，贯穿课程始终。

课前教师必须进行充分的准备，认真钻研教材，有效组织教学内容，深入了解学生，合理选择教学方法。提前准备项目任务书、场景案例素材、设备选型参考表、仿真软件操作指引等项目支撑资源，确保项目实施流程清晰、可操作；合理设计阶梯式任务难度梯度（基础任务→核心任务→提升任务），充分考虑不同学情学生的接受能力，预设学困生帮扶举措与进度滞后应急预案。

课中教师在项目实操阶段须全程巡回指导，重点关注学生的操作规范性、故障排查思路及小组协作效率，及时介入解决共性问题。对实操中普遍出现的故障问题，教师应集中讲解标准化解决方案，串联理论知识与工程实践，强化知识内化；鼓励学生在成果展示环节进行多元互评（小组互评、组员自评与互评），培养批判性思维与表达能力，记录个人贡献度作为过程性评价依据。

课后教师须及时批阅项目报告与过程记录，从方案设计规范性、实操完整性、问题分析深度等维度给出针对性反馈意见，作为调整后续教学策略的重要依据。

六、本课程与其它课程的联系

先修课包括：计算机操作系统原理、编程基础。

七、考核方式

总成绩 = 课堂表现 5%+作业 5%+项目报告 50% +期末考试 40%

表 7.1 考核环节及分值占比

考核环节	内容与占比
过程性评价（50%）	团队协作与互评（20%）：组内互评 10%、组间互评 10%
	课堂表现（5%）
	作业完成质量（5%）
	项目报告（20%）：完整性、合理性、创新性、绿色及安全考量
答辩评价（10%）	答辩展示（10%）：PPT 质量、表达能力、问题回答
期末考试（40%）	考核基本概念、原理、方法等个体知识掌握水平，确保基础理论不缺失

表 7.2 过程性考核环节评价标准

等级	优≥90%	良 80%-89%	中 70%-79%	及格 60%-69%	不及格<60%
项目报告	报告内容完整，涵盖项目	报告内容较完整，涵盖大部	报告内容基本完整，涵盖主	报告内容不完整，遗漏较多	报告内容严重缺失；数据错

	各阶段要求的所有要素；数据准确可靠、来源规范；成果具有创新和实用价值；可视化表达质量高，格式严谨规范。	分要素；数据较为准确；有一定创新性和应用价值；表达较为规范，严谨	要素；数据基本可靠；创新性和应用价值一般；表达基本规范	要素；数据存在少量错误；缺乏创新和应用价值；表达欠规范	误严重；无任何创新性和应用价值；表达混乱
团队协作与互评	主动承担挑战性任务并出色完成；沟通高效，信息同步及时；积极化解分歧，主动帮助他人；互评内容具体、有理有据、建议建设性强；虚心接受反馈并快速迭代优化。	能完成分配任务，有一定主动性；沟通顺畅，能及时同步信息；能配合团队解决矛盾；互评内容较具体，有一定依据；能接受反馈并进行适当调整。	被动完成任务，主动性不足；沟通一般，信息传递偶有延迟；遇到矛盾回避或求助老师；互评内容笼统，缺乏具体事例支撑；能接受反馈但改进缓慢。	勉强完成任务，质量打折；沟通不畅，常有信息遗漏；缺乏协作意识，各干各的；互评敷衍了事，内容空泛；对反馈抵触或充耳不闻。	未完成分内工作，推卸责任；拒绝沟通，造成团队信息阻断；制造矛盾，破坏团队氛围；未参与互评或恶意评价他人；完全无视反馈，无任何改进。
课堂表现及作业完成情况	对课堂充满热情，始终保持积极求知欲；自觉遵守所有课堂规则。作业分析、计算思路清晰，数据完整，图文符合内容，结果可信。	态度积极认真，能自觉遵守课堂规则，无需教师额外管理。作业分析、计算思路较为清晰，数据较为完整，图文较符合内容，结果较可信。	态度较为被动，需外部激励才参与活动；偶尔违反课堂纪律，经提醒能改正。作业分析、计算思路基本清晰，数据基本完整，图文基本符合内容，结果基本可信。	态度消极，对课堂活动无兴趣；多次违反纪律，提醒后改正效果不佳。作业分析、计算思路基本清晰，数据基本完整，图文基本符合内容，结果基本可信。有个别错误。	态度恶劣，故意扰乱课堂；违反安全规定或课堂底线要求。作业分析、计算思路混乱，数据不完整，图文不规范，步骤不完整。结果不正确。
实验/操作	严格遵循实验/操作安全规程，数据记录原始、详实、规范，处理数据方法科学合理。	数据记录较完整规范，关键信息齐全；能发现异常数据并进行基本分析；数据处理方法正确。	基本能按规程操作，但生疏；有一定安全意识，数据记录基本完整但不规范；对异常数据不敏感；数据处理基本	操作随意，不按规程进行；安全意识差。数据记录残缺不全，实验条件记录不全；数据处理混乱，有少量错	违反安全操作规程，造成器材损坏或人身安全隐患。无数据记录或数据错误多或拒绝提交任何实验记录单。

			正确。	误。	
答 辩 展 示	PPT制作精美，数据、图表、引用来源精准无误；专业术语使用规范；无任何常识性错误。表达流畅自然、充满激情，语言精炼生动，回答问题精准。	PPT制作较好，数据与引用较为准确；专业术语使用较为规范。表达较为流畅自然、语言较为精炼。回答问题较正确。	PPT制作质量一般，数据与引用基本正确；专业术语基本规范；严谨性一般。表达基本清楚但平淡。回答问题基本正确。	PPT制作一般，存在少量数据错误或术语使用不当；部分信息来源不明。表达不流畅；照屏宣科；缺乏重点；能回答部分问题。	PPT制作差，多处数据错误或关键信息与报告原文不一致。无法清晰表达，语无伦次，不能正确回答问题。

八、教学参考书目

教材：

《计算机网络》（第5版），2021，清华大学出版社（吴功宜、吴英著）

《物联网技术导论》（第3版），2024，清华大学出版社（桂小林）

参考书目：

《工业互联网：技术与实践》（第2版），电子工业出版社（魏毅寅、柴旭东著）

《计算机网络》（第8版），2021，电子工业出版社（谢希仁）

《现场总线与工业以太网及其应用技术》（第2版），2023，机械工业出版社（李正军、李潇然著）

Douglas E. Comer, Computer Networks and Internets（第6版）, Prentice-Hall, 2015

九、课程建设团队

专任教师：闫洪波、赵鹏超、赵蓬勃，尚飞，张弘玉、王洪超、张晶

企业专家：张鹏、龙春彦（内蒙古第一机械集团股份有限公司），吴永刚（包钢集团炼铁厂）

课程负责人：闫洪波

执笔：闫洪波

审核：曹丽英、孟可可

机械设计制造及其自动化专业

“智能工厂设计”课程教学大纲

英文名称: Intelligent Factory Design

课程编号: 264103132

学时数: 32

其中: 讲授学时数: 16 实验学时数: 6 实践学时数: 10

学分数: 2

适用专业: 机械设计制造及其自动化专业

一、课程的性质和教学目标

智能工厂设计是智能制造工程专业选修课程（限选）。本课程讲述智能工厂的发展、概述，智能工厂的规划建设、数字化设计、强基固本，以及智能工厂的应用案例，讲解了智能工厂从设计到运行的全过程，展示智能工厂建设的关键要素和本质，提供了智能工厂建设过程中的诸多注意事项，使学生能够以“系统”和“动态”的观点去看待一个智能制造的超系统-智能工厂，为学生提供了一幅智能工厂的现状 & 未来智能工厂发展趋势的“全景”视图。帮助学生全面认识智能工厂的战略高度，培育数字化转型的思维能力、管理能力、领导能力等方面搭建知识模块和知识体系，并能结合工程实际，应用智能工厂相关理论的基本方法来分析、研究和解决其中的问题。

专业能力目标:

1、了解学习智能工厂发展历史现状和发展趋势；学习掌握智能工厂的基本概念和基本原理；学习掌握智能工厂设计的相关理论、方法、工具。（支撑毕业要求指标点 3.1）

2、学习掌握智能工厂从设计到运行的全过程，展示智能工厂建设的关键要素和本质，提供了智能工厂建设过程中的诸多注意事项，使学生能够以“系统”和“动态”的观点去看待一个智能制造的超系统-智能工厂。（支撑毕业要求指标点 5.2）

3、系统学习智能工厂对于智能制造的系统性影响，掌握智能工厂的现状 & 未来智能工厂发展趋势的“全景”视图。（支撑毕业要求指标点 7.2）

课程思政目标: 通过熟悉了解掌握中国制造业特别是智能制造领域的巨大成就，以灯塔工厂为代表的智能工厂相关内容，建立对于中国制造的巨大信心和

坚定信念，转化为为国家发展贡献力量的初心和本心。

1、使学生了解智能工厂（灯塔工厂）的发展历史和现状，树立爱国情操，激发学生爱国奋斗精神，牢记振兴祖国、复兴民族的使命。

2、通过智能工厂（灯塔工厂）相关理论的专业能力教学与训练，引导学生主动发现问题、自主分析问题、独立思考问题，培养学生养成辩证唯物主义的思维方法和科学方法论。

3、通过典型人物事例讲授、资料阅读和课程实验训练，培养学生精益求精、不畏困难、持之以恒、钻研技术的工匠精神，使学生初步具备工程师的职业素养。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

课程支撑的毕业要求：

3.1 掌握工程设计和产品开发、全周期全流程的基本设计/开发方法合技术，了解各种影响因素，对本智能制造工程领域的设计、制造、运行、维护和管理中复杂工程问题提出合理解决方案。

5.2 能够运用合适的仪器、信息资源、工程工具和专业模拟软件对本专业领域的复杂工程问题进行分析、计算与设计。

7.2 树立绿色制造的理念，能站在环境保护和可持续发展的角度评价本专业领域设计、制造、运行、维护和管理中工程实践对环境和社会发展的影响，指出可能造成的损害和隐患。

课程目标与专业毕业要求的关系见表 1。

表 1 课程目标与专业毕业要求的关系

序号	课程目标	毕业要求 指标点 3.1	毕业要求 指标点 5.2	毕业要求 指标点 7.2
1	课程目标 1	L4		
2	课程目标 2		L4	
3	课程目标 3			L5

布鲁斯标准 L1 认知，L2 理解，L3 应用， L4 分析， L5 综合，L6 评判

三、课程教学内容的基本要求、重点和难点

本课程理论部分主要包括智能工厂的由来、智能工厂的模样、智能工厂从规划建设开始、智能工厂从数字化设计开始、智能工厂从强基固本开始、智能工厂的应用案例等内容；实验部分包括典型系统的智能制造工厂全数字实验等内容。

1、理论教学部分

第1章 智能工厂的由来

- 1.1 技术发展推动智能工厂的诞生
- 1.2 数字经济发展促使智能工厂快速发展
- 1.3 “存量时代”使得智能工厂建设成为企业必经之路
- 1.4 客户倒逼企业转型升级加速智能工厂建设
- 1.5 智能工厂数字化能力成为企业高质量发展的重要引擎

基本要求：学习理解智能工厂的发展历史、现状和发展趋势。

重点和难点：智能工厂涉及的技术领域。

第2章 智能工厂的模样

- 2.1 初识智能工厂
- 2.2 如何理解智能工厂
- 2.3 智能工厂会为企业带来的变化

基本要求：学习理解智能工厂的基本要素和模块。

重点和难点：智能工厂涉及的技术模块。

第3章 智能工厂从规划建设开始

- 3.1 立足实际. 做好智能工厂评估
- 3.2 高屋建瓴. 制定数字化转型战略
- 3.3 有的放矢. 打造企业数字化运营能力
- 3.4 能力落地. 推动数据、技术、流程、组织四要素融合
- 3.5 积极尝试. 转变工作方式
- 3.6 脚踏实地. 夯实智能工厂建设策略和保障机制

基本要求：学习理解智能工厂的规划建设、设计、评估、运营、建设策略和保障机制。

重点和难点：智能工厂涉及的设计思维、方法工具。

第4章 智能工厂从数字化设计开始

- 4.1 数字化设计是什么
- 4.2 数字化设计从哪里开始

基本要求：学习理解智能工厂的核心要素：数字化设计。

重点和难点：数字化设计的核心技术及实现。

第5章 智能工厂从强基固本开始

- 5.1 智能工厂的数据管理

- 5.2 智能工厂的自动化建设
- 5.3 精益化生产运行
- 5.4 规范高效经营决策
- 5.5 绿色节能 I T 基础设施
- 5.6 自主可靠信息安全管控

基本要求：学习理解智能工厂的数据管理、自动化建设、精益化生产、经营运营、IT 基础设施、信息的安全管控。

重点和难点：应用实践及相关问题。

第 6 章 智能工厂的应用案例

- 6.1 案例一
- 6.2 案例二

基本要求：学习理解智能工厂的案例分析。

重点和难点：智能工厂案例分析中的工程设计要素。

2、实验教学部分

1) 实验装置：全数字智能制造工程模拟平台

2) 实验内容：

实验一 智能工厂概览及要素构成	1 学时
实验二 智能工厂运行模拟	4 学时
实验三 智能工厂数据处理及分析	1 学时

四、教学方式及学时分配

表 2 课堂授课环节学时分配

序号	教学内容	学时数
1	第 1 章 智能工厂的由来	1
2	第 2 章 智能工厂的模样	2
3	项目一：智能工厂概览与要素构成分析	2
4	第 3 章 智能工厂从规划建设开始	4
5	第 4 章 智能工厂从数字化设计开始	6
6	第 5 章 智能工厂从强基固本开始	3
7	项目二：智能工厂运行模拟与系统集成	6
8	第 6 章 智能工厂的应用案例	2
9	项目三：智能工厂数据处理与分析	6
	总计	32

项目一：智能工厂概览与要素构成分析

(1) 学习目标：

知识能力目标：能够运用第 1 - 2 章所学的智能工厂发展背景、基本概念与核心要素知识，通过操作全数字智能制造工程模拟平台，识别并描述智能工厂各功能模块的组成与相互关系，初步建立对智能工厂整体架构的感性认知与理性理解 1。

对应课程目标：课程目标 1（L4 分析）

对应毕业要求：指标点 3.1

学时：1 学时

重点：智能工厂各功能模块的识别与要素构成分析

难点：理解各模块之间的逻辑关联与协同关系

硬件：全数字智能制造工程模拟平台 1

软件：平台配套操作软件

辅助资源：平台操作指引手册、智能工厂模块要素构成分析表（学生填写版）、第 2 章智能工厂模块图谱

（2）项目任务拆解

任务一（基础任务）：平台初识与模块要素梳理

小组研讨平台整体界面与功能区域划分；对照第 1 - 2 章理论内容，识别平台中对应的智能工厂功能模块（如生产执行、物流仓储、质量检测、数据中心等）；填写模块要素构成分析表初稿，记录各模块的主要功能与关键设备。

任务二（核心任务）：模块关联分析与要素构成报告撰写

在模块识别基础上，分析各模块之间的数据流向与业务逻辑关联；绘制智能工厂要素构成关系图（思维导图或框架图形式）；对照“智能工厂会为企业带来哪些变化”的理论内容，结合平台观察总结关键价值点。

任务三（提升任务）：对比分析与认知深化

对比平台展示的智能工厂模型与课堂理论描述的差异点，提出疑问或优化建议；完善要素构成分析表，形成简要的项目小结报告，为后续项目二的深度运行模拟做好知识铺垫。

（3）教学实施流程

第一阶段：项目导入与目标解读（5 分钟）

教师展示真实灯塔工厂图片或短视频 1，以“眼前这座工厂究竟由哪些‘器官’组成，它们如何协同运转？”为问题引入；明确本次项目任务：以小组为单位，通过操作全数字仿真平台，完成智能工厂各功能模块的识别与要素构成分析；说

明交付物要求（模块要素构成分析表+关系图）及评价标准。

第二阶段：小组分工与方案设计（5 分钟）

学生： 各小组（3-4 人）明确分工（操作员、记录员、分析员、汇报员）；快速浏览平台操作指引，确定模块识别路径与分析思路；制定小组观察记录计划。

教师： 简要演示平台基本操作（2 分钟），提示重点观察方向；确认各组分工合理后启动实操阶段。

第三阶段：自主探究与项目实操（30 分钟）

学生： 按分工操作平台，逐一进入各功能模块区域，记录模块名称、核心功能、关键设备及与其他模块的关联关系；填写要素构成分析表；绘制模块关系图；组内讨论各模块对智能工厂整体运营的价值贡献。

教师指导： 巡回观察各组操作情况，提示易遗漏的模块（如信息安全、绿色节能 IT 基础设施等 1）；对普遍性困惑（如模块边界划分）集中口头说明；鼓励进度较快的小组进一步思考模块之间的数据流向。

第四阶段：成果展示与互评优化（10 分钟）

小组成果展示： 每组推选代表（1 分钟）展示模块要素构成关系图，说明最有价值的 1-2 个发现或疑问。

多元互评： 小组之间相互点评（重点评价模块识别的完整性与关联分析的逻辑性）；组员进行自评与互评，记录个人贡献度；教师给出综合点评，指出普遍性遗漏点。

第五阶段：总结复盘与知识内化（5 分钟）

教师总结： 梳理本次项目核心知识点（智能工厂功能模块构成、各模块协同逻辑），将平台实际观察结果与第 2 章理论内容（智能工厂会为企业带来的变化）进行串联印证；强调“系统”与“动态”视角看待智能工厂的重要性 1。

全员复盘： 引导学生从方案设计（模块识别路径是否系统）、实操过程（平台操作是否规范）、团队协作（分工是否高效）、问题解决（遇到模块边界不清时如何处理）四个维度复盘不足，明确后续项目二深度实操的准备方向。

项目拓展与外延应用： 引导学生思考：平台中哪些模块对应第 3-5 章将要学习的“规划建设、数字化设计、强基固本”内容？带着这个问题进入后续理论学习，为项目二做好知识储备。

项目二：智能工厂运行模拟与系统集成

（1）学习目标：

知识能力目标：能够综合运用第3-5章所学的智能工厂规划建设方法、数字化设计核心技术及强基固本（数据管理、自动化建设、精益生产、IT基础设施）等知识，在全数字智能制造工程模拟平台上完成各模块的综合运行仿真与系统集成验证；具备从系统全局视角分析智能工厂运行逻辑与关键问题的能力。

对应课程目标：课程目标1（L4分析）、课程目标2（L4分析）

对应毕业要求：指标点3.1、指标点5.2

重点：各功能模块的运行参数配置与协同联动逻辑；数字化设计工具在仿真平台中的具体应用

难点：多模块系统集成时的故障排查与参数协调；从运行结果中识别系统瓶颈与优化空间

硬件：全数字智能制造工程模拟平台

软件：平台配套仿真软件；数字化设计辅助工具（如平台内置数字孪生模块）

辅助资源：各模块运行配置操作手册、系统集成运行验证检查表、智能工厂运行仿真项目任务书（含生产场景参数设定）

（2）项目任务拆解

任务一（基础任务）：单模块运行配置与功能验证

小组根据项目任务书中给定的生产场景（如某产品的智能化生产订单），研讨各模块的运行配置方案；制定模块启动顺序与参数配置计划；完成平台中各功能模块（生产执行、物流仓储、质量检测、数据中心等）的单独运行配置与功能验证，形成单模块运行验证记录表。

任务二（核心任务）：多模块系统集成运行与联动仿真

在单模块验证通过的基础上，按照规划建设流程（第3章）和强基固本逻辑（第5章），依次启动并联通各功能模块；完成全系统集成运行仿真，观察并记录生产订单从下达到完成的全流程数据流向；验证各模块之间的协同联动是否正常，截图记录关键运行状态与数据指标。

任务三（提升任务）：运行故障排查、系统优化与报告完善

针对集成运行中出现的故障（如模块联动失败、生产节拍异常等）进行系统排查，记录故障现象、原因分析及解决过程；结合第5章精益化生产运行与经营

决策理论，对运行结果中发现的系统瓶颈提出优化建议（如调整缓冲区容量、优化调度策略）；汇总形成完整的智能工厂运行模拟项目报告。

（3）教学实施流程

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

教师以“某汽车零部件企业接到紧急大批量订单，需要在最短时间内完成智能工厂全系统联动生产调度”为情境引入项目；展示全数字平台的整体界面，说明本次仿真任务的生产场景参数（产品类型、订单数量、交期要求）；解读项目任务书，明确交付物要求（系统集成运行验证截图+故障台账+运行报告）及评分标准；简要回顾第 3 - 5 章核心理论要点，串联理论与本次实操的对应关系。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.5 学时）

学生：各小组（3 - 4 人）明确分工（系统配置员、运行监控员、故障记录员、报告撰写员）；共同研讨各模块启动顺序与参数配置方案；参照第 3 章规划建设方法制定本次仿真的实施步骤计划，形成书面方案初稿提交教师审核。

教师：巡视各组方案，重点检查模块启动逻辑顺序是否合理、参数配置是否符合生产场景要求；给出修改建议，确认方案可行性后允许进入实操阶段。

第三阶段：自主探究与项目实操（2.5 学时）

学生：依据审核通过的方案，逐步完成各功能模块的运行配置与单模块验证；推进全系统集成运行仿真，实时监控生产执行数据与物流调度状态；遇到故障时查阅排查清单，组内协作定位问题根源并记录解决过程；同步填写系统集成运行验证检查表（含配置参数、运行截图、故障台账）；完成数据指标对比分析（实际运行效率 vs. 理论设计目标）。

教师指导：全程巡回指导，重点关注：各模块间数据接口是否正确联通、精益生产指标（节拍时间、缓冲区利用率）是否达标、学生是否能从数据结果中发现系统问题；对普遍性故障（如模块间通信中断、调度参数冲突）集中讲解排查思路；对进度滞后小组简化仿真场景参数（如减少产品种类）；对进度超前小组布置拓展任务（如在平台中模拟绿色节能 IT 基础设施的参数优化）。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：每组推选代表（2 分钟）展示系统集成运行截图，说明仿真过程中的关键操作步骤、遇到的主要故障及解决方案，汇报生产订单完成效率等核心数据指标。

多元互评：小组之间相互点评（重点评价系统集成完整性、故障排查规范

性及数据分析深度)；组员进行自评与互评，记录个人贡献度；教师当场点评，汇总典型问题并给出标准化参考解答。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理本次项目核心知识点（规划建设流程、数字化设计落地、精益化生产运行、数据管理与 IT 基础设施），汇总学生实操中普遍出现的问题（如模块集成顺序错误、精益指标理解偏差）及标准化解决方案；以全流程仿真结果为依据，串联第 3 - 5 章理论与工程实践，强调“系统”和“动态”视角的核心价值 1。

全员复盘：引导学生从方案设计（模块启动逻辑是否合理）、实操过程（参数配置是否规范）、团队协作（分工协作是否高效）、问题解决（故障排查思路是否系统）四个维度复盘不足，明确后续项目三的优化方向。

项目拓展与外延应用：引导学生思考：在完整仿真运行过程中产生了哪些有价值的生产数据？如何对这些数据进行深度处理与分析以支撑经营决策？为第 6 章应用案例学习及项目三做好知识与兴趣铺垫。

项目三：智能工厂数据处理与分析

（1）学习目标：

知识能力目标：能够运用第 6 章应用案例所学的智能工厂典型场景数据处理方法，结合项目二仿真运行中产生的真实数据，完成生产数据的采集整理、可视化分析与结果解读；具备从数据中发现工厂运行问题、支撑工程设计决策的初步数据分析能力 1。

对应课程目标：课程目标 2（L4 分析）、课程目标 3（L5 综合）

对应毕业要求：指标点 5.2、指标点 7.2

重点：生产数据的分类整理与关键指标提取（如 OEE、节拍时间、质量合格率等）

难点：从数据分析结果中提炼有价值的结论，形成面向决策的优化建议

项目任务拆解

任务一（基础任务）：数据采集与整理

从平台导出项目二仿真运行中产生的生产数据；小组研讨数据分类方案（按生产、物流、质量、能耗等维度分类）；完成数据清洗整理，建立规范的数据记录表格，形成数据整理初稿。

任务二（核心任务）： 关键指标计算与可视化分析

依据数据整理结果，计算核心生产运营指标（如设备综合效率 OEE、生产节拍达成率、质量一次合格率等）；使用 Excel 或平台内置工具完成数据可视化（折线图、柱状图、饼图等）；结合第 6 章应用案例的分析逻辑，解读可视化图表，识别生产过程中的瓶颈环节与异常波动。

任务三（提升任务）： 结论提炼、优化建议与报告完善

基于数据分析结果，从工程设计角度提出针对性的优化改进建议（如调整设备参数、优化生产排程、改善缓冲区设计）；结合第 5 章绿色节能 IT 基础设施理论，评估数据中反映的能耗状况；完善并提交完整的数据处理分析报告，形成课程全程项目实践的最终成果。

（3）教学实施流程

第一阶段：项目导入与目标解读（5 分钟）

教师回顾第 6 章典型应用案例中数据分析支撑决策的关键场景，以“项目二中我们的工厂跑起来了，但它跑得好不好、问题在哪里，需要用数据来说话”为导入；明确本次项目任务（数据整理→指标计算→可视化分析→优化建议）及交付物要求（数据分析报告）；说明本次项目是对全课程知识的最终综合检验。

第二阶段：小组分工与方案设计（5 分钟）

学生： 各小组（3-4 人）明确分工（数据导出整理员、指标计算员、可视化制图员、报告撰写员）；商定数据分类维度与重点分析指标，制定数据处理流程计划。

教师： 演示平台数据导出操作（1 分钟）；确认各组数据获取成功、分析方向明确后启动实操。

第三阶段：自主探究与项目实操（30 分钟）

学生： 完成数据导出与清洗整理；计算 OEE、节拍达成率等核心指标；制作数据可视化图表；撰写分析结论与优化建议；对照第 6 章案例参考范本进行自我检查与完善。

教师指导： 巡回指导，重点关注指标计算公式应用是否正确、图表类型选择是否合理、分析结论是否有数据支撑；对数据导出出现问题的小组提供备用数据集；鼓励进度超前小组补充能耗数据分析维度。

第四阶段：成果展示与互评优化（10 分钟）

小组成果展示： 每组推选代表（3 分钟）展示核心数据可视化图表，说明

最重要的分析发现与优化建议。

多元互评： 小组之间相互点评（重点评价数据分析的完整性、结论的工程价值）；组员自评与互评，记录个人贡献度；教师综合点评，汇总优秀分析视角。

第五阶段：总结复盘与知识内化（10 分钟）

教师总结： 以本次数据分析结果为主线，串联全课程核心知识体系（从智能工厂的由来→规划建设→数字化设计→强基固本→应用案例→数据分析 1）；强调数据驱动决策在智能工厂运营中的核心价值；结合灯塔工厂案例，升华课程思政目标——中国制造的数字化转型正在以数据为引擎实现高质量发展 1。

全员复盘： 引导学生从方案设计（数据分类是否系统）、实操过程（指标计算是否规范）、团队协作（分工是否高效）、问题解决（数据异常的识别与处理）四个维度进行全课程项目实践复盘，明确未来工程实践中数据分析能力的提升方向。

项目拓展与外延应用： 鼓励学生在课后将三次项目成果（要素分析报告+运行模拟报告+数据分析报告）整合为一份完整的智能工厂综合设计与分析报告，作为课程期末综合作业提交，全面体现课程目标 1-3 的达成情况。

五、其它教学环节的要求

无

六、本课程与其它课程的联系

本课程为第 7 学期开设，《生产实习》是其前置课程，生产实习产生直观认识，本课程进行系统讲授。

七、考核方式

本课程采用过程性评价与终结性评价相结合的多元考核方式，以项目式教学全程表现为核心，兼顾个体知识掌握水平，注重考核学生在方案设计、工程实践、团队协作及知识综合应用等方面的综合能力。

总成绩 = 课堂表现（5%）+ 作业（5%）+ 项目报告（20%）+ 团队协作与互评（20%）+ 答辩展示（10%）+ 期末考试（40%）

表 3 考核环节及分值占比

考核环节	内容与占比
过程性评价 (60%)	团队协作与互评（20%）：组内互评 10%、组间互评 10% 课堂表现（5%）：出勤、课堂提问、课堂测验、小组研讨参与度 作业完成质量（5%）：课后作业规范性、完整性及按时提交情况

考核环节	内容与占比
	项目报告（30%）：三次项目报告综合评定（项目一 5%+项目二 15%+项目三 10%），考查完整性、合理性、创新性 & 绿色制造与安全考量 1
答辩评价（10%）	答辩展示（10%）：PPT 制作质量、表达能力、问题回答准确性；以项目二综合运行仿真成果为主要答辩内容
期末考试（40%）	闭卷笔试，考核智能工厂基本概念、规划建设原理、数字化设计方法、强基固本核心内容等个体知识掌握水平 1，确保基础理论不缺失；命题以"熟练掌握"和"掌握"内容为主，兼顾"理解"和"了解"部分

项目报告由三次项目实践报告构成——项目一（智能工厂概览与要素构成分析报告，5%）、项目二（智能工厂运行模拟与系统集成报告，15%）、项目三（智能工厂数据处理与分析报告，10%）。鼓励学生课后将三次报告整合为完整的智能工厂综合设计与分析报告作为期末综合作业。

表 4 过程性考核环节评价标准

等级	优（≥90%）	良（80%–89%）	中(70%–79%)	及格(60%–69%)	不及格(<60%)
项目报告	报告内容完整，涵盖三次项目各阶段所有要素；数据准确可靠、来源规范；智能工厂设计成果具有创新性和实用价值；可视化表达质量高，格式严谨规范；充分体现绿色制造理念与信息安全考量	报告内容较完整，涵盖大部分要素；数据较为准确；有一定创新性和应用价值；表达较为规范严谨；具备一定的绿色制造意识	报告内容基本完整，涵盖主要要素；数据基本可靠；创新性和应用价值一般；表达基本规范；对绿色制造有简要提及	报告内容不完整，遗漏较多要素；数据存在少量错误；缺乏创新和应用价值；表达欠规范；未涉及绿色制造或安全考量	报告内容严重缺失；数据错误严重；无任何创新性和应用价值；表达混乱；完全忽视绿色制造与安全要求
团队协作与互评	主动承担挑战性任务并出色完成；沟通高效，信息同步及时；积极化解分歧，主动帮助组员；互评内容具体、有理有据、建议建设性强；虚心接受反馈并快速迭代优化	能完成分配任务，有一定主动性；沟通顺畅，能及时同步信息；能配合团队解决矛盾；互评内容较具体，有一定依据；能接受反馈并进行适当调整	被动完成任务，主动性不足；沟通一般，信息传递偶有延迟；遇到矛盾回避或求助教师；互评内容笼统，缺乏具体事例支撑；能接受反馈但改进缓慢	勉强完成任务，质量打折；沟通不畅，常有信息遗漏；缺乏协作意识，各干各的；互评敷衍了事，内容空泛；对反馈抵触或充耳不闻	未完成分内工作，推卸责任；拒绝沟通，造成团队信息阻断；制造矛盾，破坏团队氛围；未参与互评或恶意评价他人；完全无视反馈，无任何改进
课堂表现及	对课堂充满热情，始终保持积极求知欲；自觉遵守课堂规则；主动参与项目研	态度积极认真，能自觉遵守课堂规则，无需教师额外管理；积极参与小组汇报。	态度较为被动，需外部激励才参与活动；偶尔违反课堂纪律，经	态度消极，对课堂活动无兴趣；多次违反纪律，提醒后改正效果不	态度恶劣，故意扰乱课堂；违反安全规定或课堂底线要求。作业分析

等级	优 (≥90%)	良 (80%–89%)	中(70%–79%)	及格 (60%–69%)	不及格 (<60%)
作业	讨与问题探究。作业分析计算思路清晰，数据完整，图文符合内容，结果可信	作业分析计算思路较为清晰，数据较为完整，图文较符合内容，结果较可信	提醒能改正。作业分析计算思路基本清晰，数据基本完整，图文基本符合内容，结果基本可信	佳。作业分析计算思路基本清晰，数据基本完整，有个别错误	计算思路混乱，数据不完整，图文不规范，步骤不完整，结果不正确
项目实操	严格遵循仿真平台操作规程；数据记录原始、详实、规范；系统集成运行验证截图完整；故障台账记录清晰；数据处理方法科学合理，能深度挖掘运行数据中的工程价值	基本遵循操作规程；数据记录较完整规范，关键信息齐全；能发现仿真运行中的异常数据并进行基本分析；数据处理方法正确	基本能按规程操作，但较生疏；数据记录基本完整但不规范；对运行异常数据不敏感；数据处理基本正确	操作随意，不按规程进行；数据记录残缺不全，仿真运行条件记录不全；数据处理混乱，有少量错误	违反操作规程，造成平台数据丢失或系统故障；无数据记录或数据错误多；拒绝提交任何实操记录
答辩展示	PPT制作精美，数据、图表、引用来源精准无误；智能工厂专业术语使用规范；无任何常识性错误；表达流畅自然、充满激情，语言精炼生动；问题回答精准，能结合工程实际深度阐述	PPT制作较好，数据与引用较为准确；专业术语使用较为规范；表达较为流畅自然，语言较为精炼；回答问题较正确	PPT制作质量一般，数据与引用基本正确；专业术语基本规范；严谨性一般；表达基本清楚但平淡；回答问题基本正确	PPT制作一般，存在少量数据错误或术语使用不当；部分信息来源不明；表达不流畅，照屏宣科，缺乏重点；能回答部分问题	PPT制作差，多处数据错误或关键信息与报告原文不一致；无法清晰表达，语无伦次；不能正确回答问题

八、教学参考书目

教材：

李俊杰 主编. 智能工厂从这里开始 智能工厂从设计到运行. 北京：机械工业出版社，2022

参考书目：

穆德敏 主编. 图解智能工厂. 北京：化学工业出版社，2023

杨汉录 主编. 打造灯塔工厂. 北京：企业管理出版社，2022

课程负责人：赵鹏超

执笔：赵鹏超

审核：闫洪波

机械设计制造及其自动化专业

“智能制造执行系统 MES” 课程教学大纲

英文名称: Intelligent Manufacturing Execution System (MES)

课程编号: 264103133

学时数: 32

其中讲授学时数: 10 实验学时数: 4

上机学时数: 0 实践学时数: 16

学分数: 2

适用专业: 机械设计制造及其自动化专业

一、课程的性质和教学目标

智能制造执行系统 MES 是智能制造工程专业选修课程(限选)。本课程系统讲授现代制造业中智能工厂制造执行系统(MES), 讲授 MES 的基本概念、原理和系统架构以及行业应用、功能模块和支撑技术, 帮助学生深入了解 MES 技术, 并为实际应用提供指导, 讲授 MES 项目的搭建实施过程和实际案例, 以期帮助学生形成智能制造执行系统的工程化设计方法体系, 并能结合工程实际, 应用智能制造执行系统相关理论的基本方法来分析、研究和解决其中的问题。

专业能力目标:

1、了解学习掌握智能制造执行系统的特点和需求, MES 的基本概念、原理和系统架构以及行业应用、功能模块和支撑技术, 智能制造执行系统的工程设计方法。(支撑毕业要求指标点 3.1)

2、学习掌握智能制造执行系统原理和系统架构以及行业应用、功能模块和支撑技术, 帮助学生深入了解 MES 技术, 并为实际应用提供指导。(支撑毕业要求指标点 5.2)

3、系统学习实际案例, 从不同方面诠释了智能制造执行系统的复杂性和多样性。(支撑毕业要求指标点 7.2)

课程思政目标: 通过熟悉了解掌握中国制造业特别是智能制造业领域的巨大成就, 建立对于中国制造的巨大信心和坚强信念, 转化为为国家发展贡献力量的初心和本心。

1、使学生了解智能制造执行系统的发展历史和现状, 树立爱国情操, 激发学生爱国奋斗精神, 牢记振兴祖国、复兴民族的使命。

2、通过智能制造执行系统相关理论的专业能力教学与训练，引导学生主动发现问题、自主分析问题、独立思考问题，培养学生养成辩证唯物主义的思维方法和科学方法论。

3、通过典型人物事例讲授、资料阅读和课程实验训练，培养学生精益求精、不畏困难、持之以恒、钻研技术的工匠精神，使学生初步具备工程师的职业素养。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

课程支撑的毕业要求：

3.1 掌握工程设计和产品开发、全周期全流程的基本设计/开发方法合技术，了解各种影响因数，对本智能制造工程领域的设计、制造、运行、维护和管理中复杂工程问题提出合理解决方案。

5.2 能够运用合适的仪器、信息资源、工程工具和专业模拟软件对本专业领域的复杂工程问题进行分析、计算与设计。

7.2 树立绿色制造的理念，能站在环境保护和可持续发展的角度评价本专业领域设计、制造、运行、维护和管理中工程实践对环境和社会发展的影响，指出可能造成的损害和隐患。

课程目标与专业毕业要求的关系见表 1。

表 1 课程目标与专业毕业要求的关系

序号	课程目标	毕业要求指标点 3.1	毕业要求指标点 5.2	毕业要求指标点 7.2
1	课程目标 1	L4		
2	课程目标 2		L4	
3	课程目标 3			L5

布鲁斯标准 L1 认知，L2 理解，L3 应用， L4 分析， L5 综合，L6 评判

三、课程教学内容的的基本要求、重点和难点

本课程理论部分主要包括现代制造业中智能工厂制造执行系统(MES)，讲授 MES 的基本概念、原理和系统架构以及行业应用、功能模块和支撑技术，帮助学生深入了解 MES 技术,并为实际应用提供指导，讲授 MES 项目的搭建实施过程和实际案例，以期帮助学生形成智能制造执行系统的工程化设计方法体系。实验部分包括典型智能制造系统 MES 分析实验等内容。

1、理论教学部分

第 1 章 MES 概述

1.1 制造业及 MES 和智能制造

1.2 MES 的定义、目标、特点

1.3 MES 的发展历程与现状

1.4 MES 的应用价值

基本要求：学习理解掌握 MES 的基本知识。

重点和难点：

第 2 章 MES 的行业应用

2.1 流程型制造业、离散型制造业与 MES

2.2 各典型行业对 MES 的需求

基本要求：学习理解 MES 的行业应用（需求分析）。

重点和难点：

第 3 章 MES 的系统架构

3.1 MES 的管理思想与要素

3.2 MES 的系统集成

3.3 MES 系统框架设计思路

基本要求：学习理解掌握 MES 的系统架构、系统集成、设计思路。

重点和难点：MES 的系统架构、系统集成。

第 4 章 MES 的功能模块

4.1 生产管理模型

4.2 影响生产的主要功能模型

4.3 基础功能模块的具体化延伸

基本要求：学习理解掌握 MES 的功能模块。

重点和难点：MES 主要功能模块

第 5 章 MES 的技术与理论支撑

5.1 硬件环境支撑

5.2 系统集成技术

5.3 MES 生产建模技术

5.4 MES 可重构平台技术

5.5 MES 生产调度优化技术

5.6 MES 数据采集技术

5.7 MES 生产监控技术

5.8 车间物联网技术

5.9 智能制造背景下的新兴技术

基本要求：学习理解 MES 的技术与理论支撑。

重点和难点：MES 的技术与理论

第 6 章 MES 项目的搭建实施

6.1 MES 实施难点概述

6.2 MES 项目的总体推进过程

6.3 MES 需求分析方法

6.4 MES 选型要点

6.5 MES 实施要点

基本要求：学习理解生产效率优化（PEM）的范畴和方法。

重点和难点：生产效率优化（PEM）方法

第 7 章 某钢铁企业智能制造管理与执行系统应用案例

7.1 整体方案综述

7.2 子系统 1：APS-高级计划与排程系统

7.3 子系统 2：PMS-制造管理系统

7.4 子系统 3：PES-制造执行系统

7.5 子系统 4：DAS-数据采集与应用系统

基本要求：学习理解智能制造管理与执行系统的案例分析。

重点和难点：智能制造管理与执行系统的案例分析。

2、实验教学部分

1) 实验装置：全数字智能制造工程模拟平台

2) 实验内容：

实验一 智能制造执行系统 MES 要素构成 1 学时

实验二 智能制造执行系统 MES 分析实验 3 学时

四、教学方法及学时分配

表 2 授课环节学时分配

序号	教学内容	方法	学时
1	第 1 章 MES 概述	讲授	1
2	第 2 章 MES 的行业应用	讲授	1
3	项目一：MES 要素构成与功能模块认知分析	项目式	4
4	第 3 章 MES 的系统架构	讲授	2
5	第 4 章 MES 的功能模块	讲授	2
6	第 5 章 MES 的技术与理论支撑	讲授	2

序号	教学内容	方法	学时
7	第 6 章 MES 项目的搭建实施	讲授	2
8	实验：全数字智能制造工程模拟平台	实验	4
9	某钢铁企业智能制造管理与执行系统应用案例	案例式	2
10	项目二：某汽车零部件企业 MES 综合系统分析与方案设计	项目式	12
总计			32

项目一：MES 要素构成与功能模块认知分析

（1）学习目标

知识能力目标：能够运用第 1-2 章所学的 MES 基本概念、定义目标、特点、应用价值及行业需求分析等知识，通过操作全数字智能制造工程模拟平台，完成以下三个层次的学习任务：

识别层（L2 理解）：能够在仿真平台中准确识别 MES 各功能模块（生产管理、质量管理、设备管理、数据采集等）的界面位置与基本功能；

分析层（L4 分析）：能够梳理各功能模块的要素构成及模块间的协同关联逻辑，建立对 MES 整体架构的系统性认知；

对比层（L4 分析）：能够结合第 2 章流程型/离散型制造业的差异化 MES 需求，初步分析平台模块设计的行业适应性，为后续项目二的跨行业对比分析奠定基础。

学时： 2 学时

重点一：MES 各功能模块的完整识别与要素构成分析

具体内容：学生需在平台中识别出生产调度、质量追溯、设备管理、物料管理、数据采集与监控等核心功能模块，并能描述各模块的主要要素、核心功能及服务对象。

重点二：各功能模块之间的数据流向与业务逻辑关联

具体内容：学生需理解生产计划下达→工序执行跟踪→质量数据采集→设备状态监控之间的信息传递链条，能用框架图表达模块间关联。

难点：从行业需求视角分析平台模块配置的适应性

硬件：全数字智能制造工程模拟平台

项目任务拆解

任务一（基础任务）：平台初识与功能模块清单梳理

小组按操作指引手册完成平台基本导航，熟悉各功能区域的界面布局；对照"MES 功能模块对照检查表"，逐一在平台中定位各功能模块（生产管理、质量管理、设备管理、物料管理、数据采集与监控、系统接口等）。

任务二（核心任务）：模块关联分析与行业适应性评判

在模块识别基础上，分析各功能模块之间的数据传递关系（如：生产计划模块→工序执行模块→质量检测模块的信息流向）；在"模块关系思维导图框架"中填入各模块间的数据流向箭头与关键数据项，绘制完整的 MES 要素构成关系图。

任务三（提升任务）：问题排查、深化思考与报告完善

核查分析表与关系图中是否存在模块遗漏、关联逻辑错误或描述不准确之处，进行系统性自查与修正；MES 要素构成关系图 + 分析表构成分析项目报告。实现对 MES 要素构成与功能模块认知分析。

教学实施流程

第一阶段：项目导入与目标解读

教师：展示真实 MES 系统界面截图（可选用第 7 章钢铁企业 MES 案例界面 2），让学生初步感受 MES 系统的功能全貌；明确本次项目任务："以小组为单位，通过操作全数字仿真平台，完成 MES 功能模块的识别与要素构成分析，回答'这个 MES 系统由哪些功能单元组成、它们如何协同运转'这一核心问题"；说明交付物（分析表+关系图）及评价标准，强调过程记录的完整性

第二阶段：小组分工与方案设计

学生活动：

各小组（3-4 人）快速明确分工：操作员（负责平台导航与截图）、记录员（负责填写分析表）、分析员（负责绘制关系图与行业评判）、汇报员（负责成果展示）；快速浏览平台操作指引手册，确认各功能模块的导航路径；结合第 2 章 MES 行业需求理论 2，确定模块识别的优先顺序（核心模块优先，接口模块次之）；制定小组观察记录计划。

教师活动：

演示平台基本操作（主界面导航、模块进入、数据查看方式），不做过多讲解，以免占用学生自主探究时间；快速巡视各组分工是否合理，确认每组均已成功登录平台并找到主界面后，宣布进入实操阶段。

第三阶段：自主探究与项目实操

教师指导：

巡回重点①： 检查各组是否遗漏关键模块，特别提示易遗漏的 MES 与 ERP/PLC 系统接口模块及数据安全管理模块 2；

巡回重点②： 观察关系图绘制情况，对数据流向箭头方向错误的小组（如将质量数据反馈流向与生产指令下达流向混淆）给予即时纠正；

集中说明： 若多个小组同时对某一问题产生困惑（如"物料管理模块和仓储管理模块是否是同一个"），暂停 1~3 分钟进行全班集中说明；

差异化指导： 对进度较慢小组，建议优先完成核心功能模块（生产管理+质量管理+数据采集 3 个模块）的深度分析，确保交付物质量；对进度较快小组，引导思考"若要将该平台应用于某汽车零部件企业的多品种小批量生产，哪些模块需要重新配置？"为项目二埋下伏笔。

第四阶段：点评与总结复盘

教师点评： 汇总各组共性遗漏点（如系统接口模块普遍遗漏），现场说明标准参考答案，指出下次实操中的注意事项。

教师总结： 以"MES 究竟是一个什么样的系统"为主线，结合学生本次平台操作中识别到的功能模块，将观察结果与第 1 章 MES 定义目标 2、第 2 章行业需求 2 进行逐一串联印证。

项目二：某汽车零部件企业 MES 综合系统分析与方案设计

学习目标

知识能力目标： 能够综合运用第 3~7 章所学的 MES 系统架构、功能模块、技术支撑、项目搭建实施方法及钢铁企业案例（参照对比）等全课程核心知识，以某汽车零部件离散型制造企业为工程背景，完成面向多品种小批量生产模式的 MES 四大子系统（APS 高级计划与排程、PMS 制造管理系统、PES 制造执行系统、DAS 数据采集与应用系统）的需求分析、系统架构设计与集成方案论证；能够识别离散型制造与流程型制造在 MES 需求与系统设计上的核心差异，具备针对不同制造场景提出合理 MES 解决方案的能力 2。

对应课程目标： 课程目标 1（L4 分析）、课程目标 2（L4 分析）、课程目标 3（L5 综合）

对应毕业要求： 指标点 3.1、指标点 5.2、指标点 7.2 学时： 10 学时

重点一： 离散型制造业 MES 与流程型制造业 MES 在需求、架构与功能配置上的核心差异

重点二： APS 在多品种小批量离散制造场景中的排程逻辑与 PES 的工序跟

踪机制设计

硬件：全数字智能制造工程模拟平台

项目任务拆解

任务一（基础任务）：行业差异识别与子系统需求分析

小组研读汽车零部件企业生产场景背景说明书，梳理该企业在生产调度、制造执行、数据采集等方面的核心痛点与 MES 建设需求；对照流程型 vs. 离散型 MES 需求对比参考表，识别本项目场景（离散型）与第 7 章钢铁企业（流程型）的核心差异；逐一梳理 APS、PMS、PES、DAS 四大子系统在汽车零部件场景中的功能定位与需求侧重点；填写子系统需求分析表初稿，制定后续系统架构设计的实施步骤计划。

任务二（核心任务）：系统架构设计与集成方案制定

基于需求分析结果，结合第 3 章 MES 系统架构设计思路与第 5 章技术支撑体系（硬件环境、系统集成技术、生产调度优化、数据采集、车间物联网等），针对汽车零部件多品种小批量场景，设计四大子系统的系统架构图及集成方案；重点说明 APS 排程策略如何应对多品种插单需求、PES 如何实现多工序跟踪、DAS 如何覆盖离散工位数据采集；明确各子系统之间的数据接口与信息流向；在方案中融入绿色制造理念（如 DAS 子系统加入能耗与废料监控模块）；完成系统集成方案论证报告初稿并提交教师审核。

任务三（提升任务）：方案排查优化、行业对比与报告完善

针对教师审核意见及组内研讨发现的方案逻辑问题进行系统性排查与修正；将本组汽车零部件 MES 方案与第 7 章钢铁企业 MES 方案进行对比分析，从系统架构、功能配置、技术选型三个维度总结行业差异并形成对比分析报告；结合第 6 章 MES 项目实施要点对方案的可实施性进行评估，提出优化建议；整合完善，形成完整的汽车零部件企业 MES 综合系统分析与方案设计报告。

教学实施流程

第一阶段：项目导入与目标解读(1 学时)

教师以“某国内头部汽车零部件供应商因订单插单频繁、工序跟踪困难、设备利用率低下等问题，导致交期延误、质量追溯困难，决定引入 MES 系统进行全面数字化改造”为情境引入项目；展示企业真实生产场景图片（多工序加工车间、装配线等），建立工程背景感知；引导学生回顾第 7 章钢铁企业案例的 APS+PMS+PES+DAS 四大子系统框架，提问：“同样是四大子系统，面向汽车零

部件离散制造场景，设计逻辑会有哪些不同？”激发对比探究欲；解读项目任务书，明确本次任务要求（需求分析→系统架构设计→集成方案论证→行业对比）；说明交付物要求（系统架构图+集成方案报告+行业对比分析）及评分标准；串联第2-7章核心理论要点与本次工程实践的对应关系。

第二阶段：小组分工与方案设计（2学时）

学生：各小组（3-4人）明确分工（APS/PMS需求与架构设计员、PES/DAS需求与架构设计员、系统集成分析员、报告与对比分析撰写员）；共同研读汽车零部件企业背景说明书，快速锁定核心需求痛点；参照第6章MES需求分析方法制定子系统分析框架与方案设计路径，形成书面方案初稿，提交教师审核。

教师：巡视各组初稿，重点检查：离散型需求特征是否准确识别（如多品种小批量、工序路径复杂等）、四大子系统功能定位是否适配场景需求；给出针对性修改意见，确认方案可行性后允许进入实操阶段。

第三阶段：自主探究与项目实操（4学时）

学生：依据审核通过的方案，逐步完成APS（多品种排程策略）、PMS（制造过程管理）、PES（多工序执行跟踪）、DAS（离散工位数据采集）四大子系统的需求分析与功能定位表填写；绘制各子系统系统架构图及系统集成总体框架图；分析各子系统数据接口与信息流向，验证集成逻辑完整性；撰写系统集成方案论证报告（含子系统功能说明、架构设计依据、集成方案描述、绿色制造与信息安全考量）；依托全数字仿真平台对方案关键模块进行验证与截图记录；完成与第7章钢铁企业方案的行业差异对比分析框架填写。

教师指导：全程巡回指导，重点关注：APS排程策略是否体现多品种小批量特点、PES工序跟踪设计是否覆盖主要工序节点、DAS采集方案是否适配离散工位分布特征；对普遍性问题（如离散型与流程型MES架构差异的理解偏差）集中口头说明，结合第2章行业需求分析内容进行纠偏；对进度滞后小组精简分析维度（如聚焦PES+DAS两个子系统深化）；对进度超前小组布置拓展任务（如引入数字孪生技术对PES工序仿真进行增强设计）。

第四阶段：成果展示与互评优化（2学时）

小组成果展示：每组推选代表（约5分钟）展示汽车零部件MES系统集成架构图，重点说明：①面向离散制造场景的核心设计亮点；②与钢铁企业方案（课本案例）最显著的差异；③方案中绿色制造相关设计内容。

多元互评：小组之间相互点评（重点评价：离散型需求特征把握准确性、

系统集成逻辑合理性、行业对比分析深度)；组员进行自评与互评，记录个人贡献度；教师当场综合点评，汇总典型设计偏差并给出标准化参考方案。

第五阶段：总结复盘与知识内化（1 学时）

教师总结：以汽车零部件 MES 方案与第 7 章钢铁企业 MES 案例的对比为主线，系统梳理全课程核心知识点在两类制造场景中的差异化应用（MES 系统架构→功能模块→技术支撑→项目实施→案例分析）；汇总学生方案中普遍出现的问题（如 APS 在多品种场景排程策略设计不足、DAS 采集点位设计过于简化、绿色制造融入流于形式等）及标准化优化思路；强调"需求驱动设计、行业场景适配"是 MES 工程实践的核心方法论。

全员复盘：引导学生从方案设计（离散型需求识别是否准确）、实操过程（架构图绘制是否规范）、团队协作（跨子系统协作分析是否高效）、问题解决（集成逻辑冲突的排查思路）四个维度复盘不足；特别引导学生反思：同一套 MES 框架（APS+PMS+PES+DAS）在不同行业场景下如何通过需求分析驱动差异化设计，明确在后续 MES 工程实践与毕业设计中的能力提升方向。

项目拓展与外延应用：引导学生思考：工业 AI、数字孪生等新兴技术如何进一步提升汽车零部件 MES 在多品种柔性制造场景下的智能化水平？鼓励学生课后将项目一与项目二的成果整合为完整的 MES 系统认知与工程设计综合报告（含 MES 要素构成分析+汽车零部件 MES 方案设计+行业对比分析），作为课程期末综合作业提交，全面体现课程目标 1-3 的达成情况。

五、本课程与其它课程的联系

先修课程为“生产实习”。

六、考核方式

总成绩 = 课堂表现（5%）+ 作业（5%）+ 项目报告（20%）+ 团队协作与互评（20%）+ 答辩展示（10%）+ 期末考试（40%）

表 3 考核环节及分值占比

考核环节	内容与占比
过程性评价 (60%)	团队协作与互评（20%）：组内互评 10%、组间互评 10% 课堂表现（5%）：出勤、课堂提问、课堂测验、小组研讨参与度 作业完成质量（5%）：课后作业规范性、完整性及按时提交情况 项目报告（30%）：两次项目报告综合评定（项目一 5%+ 项目二 25%）， 考查报告完整性、分析合理性、方案创新性、绿色制造与信息安全考量
答辩评价 (10%)	答辩展示（10%）：PPT 制作质量、语言表达能力、问题回答准确性；以项目二汽车零部件企业 MES 方案设计成果为主要答辩内容
期末考试	闭卷笔试，考核 MES 基本概念、系统架构原理、功能模块、技术支撑、项

考核环节 (40%)	内容与占比 目实施方法等个体知识掌握水平，确保基础理论不缺失；命题以"熟练掌握"和"掌握"内容为主，兼顾"理解"和"了解"部分
---------------	--

表 4 过程性考核环节评价标准

等级	优 (≥90%)	良 (80%–89%)	中 (70%–79%)	及格 (60%–69%)	不及格 (<60%)
项目报告	报告内容完整，涵盖项目各阶段要求的所有要素（模块识别、架构设计、需求分析、集成方案等）；数据准确可靠、来源规范；MES 方案设计具有创新性和实用价值；可视化表达（架构图、关系图等）质量高，格式严谨规范；充分体现绿色制造理念与信息安全考量	报告内容较完整，涵盖大部分要素；数据较为准确；方案有一定创新性和应用价值；表达较为规范严谨；具备一定绿色制造意识	报告内容基本完整，涵盖主要要素；数据基本可靠；方案创新性和应用价值一般；表达基本规范；对绿色制造有简要提及	报告内容不完整，遗漏较多要素；数据存在少量错误；方案缺乏创新和应用价值；表达欠规范；未涉及绿色制造或安全考量	报告内容严重缺失；数据错误严重；方案无任何创新性和应用价值；表达混乱；完全忽视绿色制造与安全要求
团队协作与互评	主动承担挑战性任务并出色完成；沟通高效，信息同步及时；积极化解分歧，主动帮助他人；互评内容具体、有理有据、建议建设性强；虚心接受反馈并快速迭代优化	能完成分配任务，有一定主动性；沟通顺畅，能及时同步信息；能配合团队解决矛盾；互评内容较具体，有一定依据；能接受反馈并进行适当调整	被动完成任务，主动性不足；沟通一般，信息传递偶有延迟；遇到矛盾回避或求助教师；互评内容笼统，缺乏具体事例支撑；能接受反馈但改进缓慢	勉强完成任务，质量打折；沟通不畅，常有信息遗漏；缺乏协作意识，各干各的；互评敷衍了事，内容空泛；对反馈抵触或充耳不闻	未完成分内工作，推卸责任；拒绝沟通，造成团队信息阻断；制造矛盾，破坏团队氛围；未参与互评或恶意评价他人；完全无视反馈，无任何改进

等级	优 (≥90%)	良 (80%–89%)	中 (70%–79%)	及格 (60%–69%)	不及格 (<60%)
课堂表现及作业完成情况	对课堂充满热情,始终保持积极求知欲;自觉遵守所有课堂规则;主动参与项目研讨与问题探究。作业分析、计算思路清晰,数据完整,图文符合内容,结果可信	态度积极认真,能自觉遵守课堂规则,无需教师额外管理;积极参与小组汇报。作业分析、计算思路较为清晰,数据较为完整,图文较符合内容,结果较可信	态度较为被动,需外部激励才参与活动;偶尔违反课堂纪律,经提醒能改正。作业分析、计算思路基本清晰,数据基本完整,图文基本符合内容,结果基本可信	态度消极,不参与课堂活动。作业分析、计算思路基本清晰,数据基本完整,图文基本符合内容,结果基本可信,有个别错误	态度恶劣,故意扰乱课堂;违反安全规定或课堂底线要求。作业分析、计算思路混乱,数据不完整,图文不规范,步骤不完整,结果不正确
项目实施	严格遵循仿真平台操作规程;模块识别完整、数据记录原始详实规范;系统分析方案科学合理;能深度挖掘MES模块关联逻辑与行业适应性,提出改进建议	基本遵循操作规程;模块识别较完整,数据记录较规范,关键信息齐全;能发现模块关联逻辑中的问题并进行基本分析;系统分析方法正确	基本能按规程操作,但较生疏;模块识别基本完整但有遗漏;数据记录基本完整但不够规范;对模块关联逻辑分析不够深入;系统分析基本正确	操作随意,不按规程进行;模块识别残缺不全;数据记录不完整;系统分析混乱,有少量错误;缺乏行业适应性评判意识	违反操作规程,造成平台数据丢失或系统故障;无有效模块识别记录;系统分析错误严重;拒绝提交任何实操记录
答辩展示	PPT制作精美,MES架构图、数据、引用来源精准无误;专业术语使用规范;无任何常识性错误;表达流畅自然,语言精炼生动;问题回答精准,能结合行业场景深度阐述设计逻辑	PPT制作较好,数据与引用较为准确;专业术语使用较为规范;表达较为流畅自然,语言较为精炼;回答问题较正确	PPT制作质量一般,数据与引用基本正确;专业术语基本规范;严谨性一般;表达基本清楚但平淡;回答问题基本正确	PPT制作一般,存在少量数据错误或术语使用不当;部分信息来源不明;表达不流畅,照屏宣科,缺乏重点;能回答部分问题	PPT制作差,多处数据错误或关键信息与报告原文不一致;无法清晰表达,语无伦次;不能正确回答问题

七、教学参考书目

教材:尹静.智能工厂制造执行系统(MES)[M].北京:化学工业出版社,2024

课程负责人:尚飞

执笔:刘文婧

审核:闫洪波

自动化专业“深度强化学习”课程教学大纲

英文名称: Deep Reinforcement Learning

课程编号: 267106162

学时数: 48

其中讲授学时数: 32 实验学时数: 0

上机学时数: 0 实践学时数: 16

学分数: 3

适用专业: 自动化(人工智能融合)专业

一、课程性质和教学目标

深度强化学习(Deep Reinforcement Learning)是自动化专业的一门理论性与实践性非常强的专业必修课程,是学生学习边缘智能技术等课程的基础,为学生完成智能自动化系统设计与运维以及后续课程学习提供理论支撑,对实现专业培养目标具有重要作用。

专业能力目标:使学生理解深度强化学习的理论,为学生从事人工智能领域的运行维护、设计开发、升级优化等工作奠定基础。

课程目标 1: 理解深度强化学习的基本概念、主要应用领域和核心思想。

课程目标 2: 掌握各种基本的深度强化学习算法,具备如何训练和评估从数据生成深度强化学习模型的能力。

课程目标 3: 初步具备将深度强化学习算法应用于解决实际问题、优化模型的能力。

课程思政目标:

思政目标:培养学生精益求精的工匠精神和团结协作精神。培养学生的大局意识、责任意识和底线意识。结合自动化专业特色激励学生提高专业素养,创造人生价值,报效祖国。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

课程支撑的毕业要求:

毕业要求 3-1 掌握工程设计和产品开发全周期、全流程的设计/开发方法和技术,了解影响设计目标和技术方案的各种因素。

毕业要求 4-2 能够根据对象特征,选择研究路线,设计实验方案。

毕业要求 5-1 了解专业常用的现代仪器、信息技术工具、工程工具和模拟软

件的使用原理和方法，并理解其局限性。

课程目标与专业毕业要求的关系见表 1。

表 1 课程目标与专业毕业要求的关系

序号	课程目标	毕业要求 指标点 3-1	毕业要求 指标点 4-2	毕业要求 指标点 5-1
1	课程目标 1		L2	
2	课程目标 2	L3		
3	课程目标 3			L3

布鲁斯标准 L1 认知，L2 理解，L3 应用，L4 分析，L5 综合，L6 评判

三、课程教学内容的的基本要求、重点和难点

第 1 章 深度强化学习概述（课程目标 1，思政目标 1、2、3）

1.1. 深度强化学习概述

1.2. 强化学习实例

1.3. 强化学习概念

1.4. 强化学习方法分类

1.5. 强化学习实践环境

1.6. 著名学者

基本要求：从强化学习示例中理解掌握深度强化学习的基本概念、定义、分类和学习过程；掌握强化学习开发所使用的开发工具；了解相关学科学者。

重点和难点：强化学习的概念与分类；深度强化学习的基本概念、分类和学习过程；强化学习开发所使用的开发工具。

第 2 章 强化学习数学建模（课程目标 1、2）

2.1. 马尔可夫决策过程

2.2. 基于模型和无模型

2.3. 求解强化学习任务

2.4. 探索和利用

基本要求：理解马尔可夫决策过程；掌握基于模型和无模型的强化学习方法；掌握求解强化学习任务的方法。

重点和难点：马尔可夫决策过程；基于模型和无模型的强化学习方法；求解强化学习任务的方法。

第 3 章 动态规划法（课程目标 2、3，思政目标 1、2）

3.1. 动态规划法概述

3.2. 策略迭代

3.3. 值迭代

3.4. 广义策略迭代

基本要求：掌握动态规划法基本概念；理解策略迭代、值迭代、广义策略迭代的概

念及过程。

重点和难点：动态规划法基本概念；策略迭代、值迭代、广义策略迭代的概
念及过程。

第4章 蒙特卡洛法（课程目标 2、3，思政目标 1、2）

蒙特卡洛法的基本概念

蒙特卡洛预测

蒙特卡洛评估

蒙特卡洛控制

基本要求：掌握蒙特卡洛法的基本概念；理解蒙特卡洛预测、蒙特卡洛评估、
蒙特卡洛控制的过程。

重点和难点：蒙特卡洛法的基本概念；蒙特卡洛预测、蒙特卡洛评估、蒙特
卡洛控制的过程。

第5章 时序差分法（课程目标 2、3，思政目标 1、2）

5.1. 时序差分预测

5.2. 时序差分控制

5.3. 最大化偏差与 Double Q-Learning

5.4. DP、MC 和 TD 算法的关系

基本要求：掌握时序差分法的基本概念和数学模型；理解时序差分预测、时
序差分控制的过程；理解最大化偏差与 Double Q-Learning 方法；了解 DP、MC
和 TD 算法的关系。

重点和难点：时序差分法的基本概念和数学模型；时序差分预测、时序差分
控制的过程；最大化偏差与 Double Q-Learning 方法。

第6章 深度学习（课程目标 2、3，思政目标 1、2）

6.1. 传统神经网络

6.2. 反向传播算法

6.3. 卷积神经网络

基本要求：理解传统神经网络的概念；掌握反向传播算法；掌握主流卷积神

神经网络。

重点和难点：传统神经网络的概念；反向传播算法；主流卷积神经网络。

第 7 章 PyTorch 与神经网络（课程目标 2、3，思政目标 1、2）

7.1. PyTorch 中的 Tensor

7.2. 自动梯度计算

7.3. 神经网络的模型搭建与参数优化

基本要求：掌握 PyTorch 中的 Tensor；了解自动梯度计算的过程；掌握神经网络的

模型搭建与参数优化。

重点和难点：PyTorch 中的 Tensor；神经网络的模型搭建与参数优化。

第 8 章 深度 Q 网络（课程目标 2、3，思政目标 1、2）

8.1. DQN 算法

8.2. Double DQN 算法

8.3. Prioritized DQN 算法

8.4. Dueling DQN 算法

基本要求：掌握 DQN 算法、Double DQN 算法、Prioritized DQN 算法、Dueling DQN 算法的算法过程。

重点和难点：DQN 算法、Double DQN 算法、Prioritized DQN 算法、Dueling DQN 算法的算法过程。

第 9 章 策略梯度方法（课程目标 2、3，思政目标 1、2）

9.1. 随机策略梯度法

9.2. 策略优化方法

9.3. 策略表达形式

9.4. 蒙特卡洛策略梯度法

9.5. 行动者-评论家

9.6. 确定性策略梯度

基本要求：掌握随机策略梯度法；掌握策略优化方法、策略表达形式；掌握蒙特卡洛策略梯度法；掌握行动者-评论家、确定性策略梯度方法。

重点和难点：随机策略梯度法；策略优化方法、策略表达形式；蒙特卡洛策略梯度法；行动者-评论家、确定性策略梯度方法。

第 10 章 基于策略梯度的深度强化学习算法（课程目标 2、3，思政目标）

10.1. DDPG 算法

10.2. DDPG 算法的实验结果与分析

基本要求：掌握 DDPG 算法；理解 DDPG 算法的实验结果与分析。

重点和难点：DDPG 算法。

第 11 章 基于 AC 框架的深度强化学习（课程目标 2、3，思政目标）

11.1. 行动者-评论家框架

11.2. A3C 算法

11.3. A2C 算法

基本要求：掌握行动者-评论家框架算法；掌握 A3C 算法、A2C 算法。

重点和难点：行动者-评论家框架算法；A3C 算法、A2C 算法。

项目式教学内容

第 1 章 动态规划算法求解 Gym 网格世界实践项目

1. 动态规划求解 Gym 网格世界项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

理解强化学习马尔可夫决策过程（MDP）核心要素，掌握动态规划两大核心算法策略评估、策略迭代，区分值迭代与策略迭代的实现逻辑、收敛条件与适用场景。

熟练使用 Gym 内置 GridWorld 网格环境，掌握环境状态、动作、奖励、转移概率的读取方式；复用前期 Anaconda 强化学习虚拟环境，规范代码项目文件结构。

独立完成 Gym 网格世界环境加载、状态转移矩阵构建；基于 Python 完整编写策略评估、策略迭代、值迭代三类动态规划代码；可视化输出状态价值热力图、最优策略动作图，验证算法收敛结果。

能够定位动态规划典型问题：价值函数不收敛、循环迭代溢出、动作选择逻辑错误、Gym 环境渲染报错、矩阵维度不匹配等，独立调试修复代码。

以小组完成项目方案设计、代码模块化开发、实验对比分析、成果汇报；具备强化学习算法实验文档撰写、实验数据记录、团队复盘总结能力。

学时：2 学时

前置基础：

学生已完成「强化学习实践环境安装项目」，可正常运行 Anaconda 虚拟环境、

Gym 仿真库；掌握 Python 基础循环、矩阵运算、Matplotlib 绘图；理解 MDP、状态、动作、奖励、折扣因子等强化学习基础概念；具备基础代码调试能力，但缺少强化学习算法模块化编码、数值迭代收敛调参、实验结果可视化分析经验；容易出现迭代阈值设置不合理、贝尔曼方程公式编码错误、网格环境状态索引混淆、可视化绘图逻辑混乱等问题；小组仅具备软件安装协作经验，无算法实验分工、对照实验设计经验。

（2）重点、难点

重点 1：Gym 网格世界 MDP 环境解析，状态转移概率提取

解决举措：教师分步演示 Gym GridWorld 环境交互代码，拆解状态空间、动作空间、奖励函数、转移矩阵；提供环境读取模板代码，课堂同步跟练打印环境参数。

重点 2：贝尔曼期望方程、最优贝尔曼方程代码实现（策略评估 + 值迭代）

解决举措：配套公式与代码逐行对照讲义；提供基础代码框架，学生填充核心迭代逻辑；统一设置折扣因子、收敛阈值等超参数。

重点 3：状态价值热力图、最优策略可视化与实验结果验证

解决举措：封装标准化绘图函数，一键生成网格价值热力图与最优动作分布图；给出收敛判定标准（价值变化小于阈值即停止迭代）。

难点 1：动态规划迭代收敛控制，超参数（折扣 γ 、收敛阈值 θ ）调优

解决举措：设计多组对照实验表格；给出超参数参考取值范围；针对不收敛、震荡等问题提供调参方案，班级统一汇总实验规律。

难点 2：策略迭代与值迭代算法逻辑区分，代码模块化区分实现

解决举措：绘制两种算法流程图对比；拆分独立函数（策略评估、策略提升、值更新）；设置对照实验，对比两者迭代收敛速度差异。

难点 3：算法实验标准化记录，定量分析实验结果（迭代次数、收敛速度）

解决举措：统一实验记录台账模板，要求记录每组超参数下迭代轮数、最终状态价值；引导学生绘制收敛曲线对比分析。

（3）教学资源及工具

硬件：计算机（Windows10+/Ubuntu20.04），已部署完成强化学习 Anaconda 虚拟环境；机房局域网。

软件：Anaconda3 虚拟环境（预装 gym、numpy、matplotlib）、PyCharm 社区版、Python3.8/3.9；

辅助教学资源：项目分步 PPT、MDP 与动态规划公式对照表、算法流程图；Gym 网格环境加载模板、动态规划基础代码框架、可视化绘图封装函数；实验记录台账、项目报告模板、小组互评打分表、故障排查手册；配套实操讲解视频、课程答疑微信群、校内云盘代码资源包。

2. 项目任务拆解

任务一：基础任务——小组研讨，设计动态规划实验方案（0.3 学时）

小组研读项目任务书，明确本次实验目标：基于 Gym 网格世界实现策略迭代、值迭代两种动态规划算法；组内划分分工：代码开发员、实验记录员、可视化分析员、汇报负责人；研讨实验变量（折扣因子 γ 、收敛阈值 θ 、网格尺寸），设计对照实验；预判代码报错、迭代不收敛、绘图失败等风险；撰写《动态规划算法实验方案初稿》，写明环境选型、算法实现思路、对照实验设计、风险解决方案，提交教师审核。

任务二：核心任务——代码开发，完成动态规划算法完整实现（1 学时）

环境加载：复用前期强化学习虚拟环境，导入 Gym 网格世界，读取状态、动作、转移概率矩阵；

算法编码：分模块实现策略评估函数、策略提升函数，完成完整策略迭代算法；独立编写值迭代算法；

迭代测试：设置多组折扣因子、收敛阈值运行代码，记录每轮迭代最大状态价值变化；

可视化验证：调用绘图函数生成状态价值热力图、网格最优动作分布图，确认算法收敛、最优路径合理。

任务三：提升任务——实验分析、故障整理、完善项目报告（0.7 学时）

故障台账整理：汇总代码报错（维度错误、循环死迭代、gym 渲染失败、绘图内存溢出等），记录故障现象、产生原因、修复代码；

对照实验分析：对比策略迭代与值迭代收敛轮数、计算效率；分析折扣因子 γ 对最终状态价值的影响；

完善项目报告：补充完整代码、实验运行截图、收敛曲线、热力图、实验数据表格；

小组排练汇报：梳理算法原理、代码实现流程、对照实验结论、实验难点与优化思路。

3. 教学实施流程（2 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

项目导入：展示 Gym 网格世界寻路仿真动画，抛出工程问题：已知完整环境转移概率时，如何快速求解全局最优策略？引出动态规划解决 MDP 的核心价值；解读项目学习目标、重难点、考核标准，明确项目产出：可完整运行的动态规划代码+实验方案+故障台账+可视化实验图表+汇报 PPT；发放任务单、代码模板、实验台账、评价打分表，现场解答学生基础概念疑问。

第二阶段：小组分工与实验方案设计（0.5 学时）

学生活动：4 人一组分配岗位职责；集体梳理策略迭代、值迭代执行流程，设计多组对照实验；预判代码迭代、绘图、环境交互相关故障；填写实验方案初稿，确定本组实验变量，提交教师审核。

教师活动：巡视各组，指导分工失衡、实验设计单一的小组；审核方案，标注实验变量缺失、算法逻辑漏洞等问题并反馈修改；汇总共性方案问题，统一讲解规范的实验设计思路。

第三阶段：自主探究与算法代码实操（0.3 学时）

学生活动：按照审核通过的方案加载 Gym 网格环境，基于模板补全动态规划核心代码；实验记录员实时记录迭代数据、报错截图；完成代码运行后生成价值热力图与最优策略图，验证算法收敛效果。

教师指导：巡回一对一帮扶学困生，重点指导贝尔曼方程代码编写、迭代收敛条件调试；收集全班高频代码错误，板书标准修正代码；管控实操进度，为滞后小组提供完整参考代码片段。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.4 学时）

小组成果展示：每组 2 分钟汇报，运行代码演示网格最优策略，展示价值热力图，讲解两组动态规划算法实验对比结果。

多元互评：小组间互相点评代码规范性、实验完整性、分析深度；组员完成自评、组内互评，填写个人贡献记录表；各组根据互评意见补充实验数据、完善故障台账与项目报告。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.3 学时）

教师总结：梳理 MDP、策略评估、策略迭代、值迭代核心理论；汇总全班高频代码 bug 与标准化解决方案；总结折扣因子、收敛阈值对动态规划结果的影响规律；说明动态规划作为无模型强化学习（蒙特卡洛、TD）的理论基础，串联后续课程内容。

全员复盘：引导学生从四维度反思：①是否提前设计对照实验，定量分析算法差异；②贝尔曼方程代码实现是否准确，有无公式理解偏差；③小组分工是否均衡，代码开发与实验记录配合效率；④遇到迭代不收敛等问题时，是否自主分析超参数、调整代码而非直接求助。

4. 考核评价

采用过程性评价+结果性评价，自评+互评+师评综合考核，总分 100 分，计入课程平时成绩。

评价权重：学生自评（20%）、小组互评（30%）、教师综合评价（50%）。

（1）过程性评价（60 分）

实验方案设计规范性（15 分）：MDP 实验逻辑清晰、对照实验变量完整、分工明确、风险预判全面、文档格式规范；

小组协作表现（15 分）：全员参与代码编写、实验记录、汇报准备，分工落实到位，组员互助研讨，无缺位现象；

代码实操与探究态度（15 分）：自主完成核心算法编写，主动调试收敛问题，不直接复制完整成品代码，遵守机房代码规范；

过程资料完整性（15 分）：代码分段截图、迭代数据记录表、故障台账、实验草稿、修改记录完整留存。

（2）结果性评价（40 分）

项目成品效果（25 分）：Gym 网格环境正常加载，策略迭代、值迭代代码无报错；算法正常收敛，可输出清晰状态价值热力图与最优策略图；多组对照实验数据完整有效；

成果汇报与复盘总结（15 分）：汇报逻辑清晰，准确区分两种动态规划算法；实验数据分析深入，能够总结超参数影响规律，提出代码优化、实验拓展思路。

5. 教学应急与保障

虚拟环境异常：复用前期环境安装项目离线依赖包，提供预配置好的 Anaconda 环境备份；无法运行 Gym 的设备切换备用电脑。

绘图/代码运行卡顿：限制网格尺寸大小，提供轻量化绘图函数；关闭多余渲染窗口，避免内存溢出。

实操进度滞后预案：提供可直接运行的基础代码框架，仅需学生填充核心迭代逻辑；课后开放机房 1 小时，教师延时答疑；拆分阶梯任务：先完成策略评估基础代码，再实现完整迭代算法。

代码规范要求：禁止直接复制他人完整代码，允许参考片段，核心迭代逻辑必须自主编写；统一文件命名、代码注释规范。

数据安全：代码、实验图表、项目报告统一存放至个人专属文件夹，机房电脑关机前保存文件，防止丢失。

学困生帮扶举措：强弱结对分组，代码熟练学生定点指导；提供逐行注释版代码模板，降低算法编写难度；优先完成基础策略迭代，值迭代作为选做拓展任务；微信群发布分步实操视频，线上实时解答代码报错。

6. 课后作业与拓展

基础作业：

撰写完整《基于 Gym 网格世界的动态规划算法实践项目报告》，内容包括：实验方案设计、Gym 环境解析、完整动态规划代码、多组实验数据表格、价值热力图/最优策略截图、故障汇总台账、个人代码调试心得、小组协作反思。

拓展拔高作业：

修改 Gym 网格世界地图，增加障碍物、终点奖励差异化设置，重新运行动态规划算法，对比地图变化对状态价值与最优策略的影响；

拓展实现广义策略迭代，对比三种动态规划算法（策略迭代、值迭代、广义策略迭代）的收敛速度；

封装动态规划通用工具类，支持任意尺寸网格 MDP，编写可复用工具脚本分享至班级资源库；

对比动态规划与蒙特卡罗算法在同一网格环境下的求解差异，撰写对比实验分析。

第 4 章蒙特卡罗算法求解 Gym 倒立摆仿真实践项目

1. 蒙特卡罗求解 Gym 倒立摆项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

区分有模型动态规划与无模型蒙特卡罗强化学习，掌握蒙特卡罗采样、回报计算、首次访问/每次访问价值更新、GLIE 控制核心流程；理解倒立摆 MDP 状态、动作、奖励、回合终止条件，明确无模型环境下仅依靠交互轨迹优化策略的核心逻辑。

熟练使用 Gym 内置 CartPole 倒立摆环境，掌握环境连续状态采集、离散动

作交互、回合终止判定；复用 Anaconda 强化学习虚拟环境，规范 Python 项目分层文件结构。

独立完成倒立摆回合轨迹采集、折扣回报计算；完整编写首次访问蒙特卡罗预测、GLIE 蒙特卡罗控制代码；可视化输出状态价值分布图、回合回报收敛曲线、最优策略性能对比图。

定位倒立摆蒙特卡罗仿真典型问题：回合过早终止、探索率失衡导致摆杆快速倾倒、回报震荡、采样轨迹数据冗余、连续状态离散化误差、绘图数据维度不匹配等，独立完成代码调试与故障修复。

以小组形式完成实验方案设计、模块化代码开发、多组对照实验分析、成果汇报；具备机器人控制类强化学习实验文档撰写、采样数据记录、团队分工复盘总结能力。

学时：2 学时

前置基础：

学生已完成 Gym 网格世界动态规划项目、蒙特卡罗基础理论学习；可正常运行 Anaconda 虚拟环境、Gym 仿真库；熟练 Python 循环、矩阵运算、Matplotlib 绘图；掌握 MDP、折扣因子、价值函数、 ϵ -greedy 基础概念；理解动态规划有模型求解思路。

现存薄弱点：倒立摆连续状态处理、回合终止边界判断模糊；难以平衡 ϵ -greedy 探索与利用；首次访问与每次访问蒙特卡罗更新逻辑易混淆；容易出现采样回合长度不足、奖励设置不合理、策略长期无法稳定立住摆杆、对照实验变量单一；小组仅掌握网格离散环境开发经验，缺少连续状态机器人控制仿真、大批量轨迹采样实验设计经验。

（2）重点、难点

重点 1：Gym 倒立摆 MDP 环境解析、回合轨迹采样与折扣回报计算

解决举措：教师分步演示 CartPole 环境交互代码，拆解小车位置、摆杆角度、角速度等连续状态、左右动作、奖励规则、倾倒终止条件；提供轨迹存储、折扣回报累加模板代码，课堂同步实操采集完整回合样本。

重点 2：首次访问/每次访问蒙特卡罗预测、GLIE 蒙特卡罗控制代码实现

解决举措：配套蒙特卡罗更新公式与代码逐行对照讲义；提供基础代码框架，学生填充价值均值更新、 ϵ -greedy 动作选择核心逻辑；统一设置折扣因子 γ 、探索率 ϵ 、总采样回合数、状态离散区间等超参数。

重点 3：回报收敛曲线、状态价值分布图、策略性能可视化与实验验证

解决举措：封装标准化绘图函数，一键生成每回合累计回报收敛折线图、离散化状态价值热力图、最优策略平均存活步数对比图；收敛判定标准：连续多回合平均存活步数达到环境最大限制且回报波动小于阈值。

难点 1： ϵ -greedy 探索与利用平衡，超参数（ γ 、 ϵ 、采样总回合、状态离散粒度）调优

解决举措：设计多组对照实验记录表；给出探索率、折扣因子、采样轮数、离散区间参考取值；针对摆杆频繁倾倒、回报剧烈震荡、策略无法收敛等问题提供标准化调参方案，课堂汇总全班实验规律。

难点 2：首次访问与每次访问蒙特卡罗逻辑区分，模块化独立编码实现

解决举措：绘制两种蒙特卡罗预测算法流程图对比；拆分独立函数：单回合轨迹采样函数、折扣回报计算函数、状态价值更新函数、 ϵ -greedy 策略提升函数；设置对照实验，对比两者收敛速度、价值估计偏差、倒立摆平均存活时长。

难点 3：大批量轨迹数据管理，定量分析采样回合、探索率对倒立摆控制效果的影响

解决举措：统一实验记录台账模板，记录每组超参数下平均回合回报、平均存活步数、收敛所需采样轮数；引导学生绘制多组参数收敛曲线开展定量对比分析。

（3）教学资源及工具

硬件：Windows10+/Ubuntu20.04 计算机，预部署强化学习 Anaconda 虚拟环境，机房局域网。

软件：Anaconda3 虚拟环境（预装 gym、numpy、matplotlib、collections）、PyCharm 社区版、Python3.8/3.9。

辅助教学资源：项目分步 PPT、倒立摆 MDP 参数表、蒙特卡罗预测/控制算法流程图；CartPole 环境交互采样模板、蒙特卡罗基础代码框架、可视化封装函数；实验记录台账、项目报告模板、小组互评打分表、故障排查手册；配套实操讲解视频、课程答疑微信群、校内云盘代码资源包。

2.项目任务拆解

任务一：基础任务——小组研讨，设计倒立摆蒙特卡罗对照实验方案（0.3 学时）

小组研读项目任务书，明确实验目标：在无模型 CartPole 倒立摆环境中，依

靠交互采样实现首次访问 MC 预测、GLIE 蒙特卡罗控制，训练稳定平衡摆杆的最优策略；组内划分岗位：代码开发员、采样数据记录员、可视化分析员、汇报负责人；研讨实验变量：折扣因子 γ 、探索率 ϵ 、总采样回合数、连续状态离散粒度；设计多组对照实验；预判摆杆提前终止、探索不足、回报计算错误、大批量采样内存溢出等风险；撰写《Gym 倒立摆蒙特卡罗强化学习实验方案初稿》，写明倒立摆 MDP 环境、无模型算法实现思路、对照实验设计、故障应急预案，提交教师审核。

任务二：核心任务——代码开发，完整实现蒙特卡罗控制算法（1 学时）

倒立摆环境交互采样：复用 Anaconda 虚拟环境，导入 gym.CartPole-v1，不获取环境动力学转移矩阵，通过 step() 循环交互采集完整回合轨迹；存储每回合状态、动作、即时回报序列，设置摆杆倾倒终止判定。

算法模块化编码：实现折扣回报计算函数；分别编写首次访问蒙特卡罗预测、每次访问蒙特卡罗预测；基于 ϵ -greedy 实现 GLIE 蒙特卡罗控制，迭代更新动作价值矩阵。

多组采样测试：更换不同 ϵ 、 γ 、总采样回合、离散粒度运行代码，逐组记录每百回合平均回报、小车平均存活步数。

可视化验证：调用封装绘图函数，生成回合回报收敛曲线、离散状态价值热力图、最优策略存活步数对比图，验证策略能否稳定平衡倒立摆、收敛效果达标。

任务三：提升任务——实验分析、故障整理、完善项目报告（0.7 学时）

故障台账整理：汇总典型报错：摆杆过早倾倒回合提前结束、折扣回报公式编码错误、 ϵ 贪心动作选择越界、大批量采样内存溢出、连续状态离散区间划分不合理、收敛曲线绘制失真等；记录故障现象、成因、修复代码片段。

对照实验定量分析：对比首次访问/每次访问 MC 预测的价值估计偏差与倒立摆平衡效果；分析探索率 ϵ 大小对策略收敛速度、平均存活步数的影响；对比动态规划（有模型）与蒙特卡罗（无模型）在倒立摆连续状态场景下的适用局限性。

完善项目报告：粘贴完整注释代码、多组实验运行截图、收敛曲线、状态热力图、实验数据表格；分析蒙特卡罗在机器人平衡控制场景的优缺点。

小组汇报排练：梳理倒立摆 MDP 原理、蒙特卡罗轨迹采样流程、 ϵ -greedy 探索机制、对照实验结论、算法优化拓展思路。

3. 教学实施流程（2 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

项目导入：播放 Gym 倒立摆仿真动画，抛出工程问题：仅能观测小车与摆杆状态、无法获取系统动力学方程时，如何通过不断试错训练出稳定平衡倒立摆的控制策略？引出无模型蒙特卡罗算法应用价值；解读项目学习目标、重难点、考核标准，明确项目产出：可运行蒙特卡罗完整代码+实验方案+故障台账+可视化图表+汇报 PPT；发放任务单、代码模板、实验台账、评价打分表，现场解答倒立摆采样、回报、探索相关概念疑问。

第二阶段：小组分工与实验方案设计（0.5 学时）

学生活动：4 人一组分配岗位职责；梳理蒙特卡罗预测、蒙特卡罗控制完整执行流程；设计多变量对照实验；预判采样中断、绘图卡顿、价值更新错误等故障；填写实验方案初稿，确定本组实验变量，提交教师审核。

教师活动：巡视各组，指导分工失衡、实验变量单一的小组；审核方案，标注连续状态处理缺失、超参数设计不合理、对照维度不足等问题并反馈修改；汇总共性方案问题，统一讲解机器人控制场景无模型实验标准化设计思路。

第三阶段：自主探究与算法代码实操（0.3 学时）

学生活动：依据审核通过方案加载 CartPole 倒立摆环境，逐回合采集交互轨迹；基于代码模板补全折扣回报、价值平均、 ϵ -greedy 核心逻辑；实验记录员实时记录采样数据、报错截图；代码运行完成后生成收敛曲线、状态热力图，验证摆杆平衡稳定性。

教师指导：巡回一对一帮扶学困生，重点讲解回合终止判断、连续状态离散化、折扣回报迭代、探索率调参；收集全班高频代码错误，板书标准修正代码；管控实操进度，为滞后小组提供轨迹采样模块参考代码片段。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.4 学时）

小组成果展示：每组 2 分钟汇报，运行代码演示倒立摆平衡控制效果，展示回报收敛曲线与状态热力图，讲解首次/每次访问 MC、不同 ϵ 参数下的平衡时长对比结果。

多元互评：小组间互相点评代码模块化程度、对照实验完整性、机器人控制效果分析深度；组员完成自评、组内互评，填写个人贡献记录表；各组结合互评意见补充采样数据、完善故障台账、优化项目报告图表。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.3 学时）

教师总结：梳理倒立摆 MDP 建模、无模型蒙特卡罗核心逻辑、首次/每次访

问区别、GLIE 探索控制原理；汇总全班高频代码 bug 与标准化解决方案；总结探索率 ϵ 、折扣因子 γ 、采样回合数、状态离散粒度对平衡效果与收敛速度的影响规律；衔接后续时序差分 TD 算法，对比蒙特卡罗、动态规划、TD 三类算法在连续状态机器人控制场景的优缺点，搭建完整强化学习知识体系。

全员复盘：引导学生从四维度反思：①是否设计多变量对照实验，定量分析超参数对倒立摆平衡效果的影响；②折扣回报、首次访问更新逻辑编码是否准确；③小组采样数据记录、代码开发分工配合效率；④出现摆杆持续倾倒、回报震荡不收敛时，是否自主调整 ϵ 、增加采样轮数、优化状态离散区间而非直接索取完整代码。

4.考核评价

采用过程性评价+结果性评价，自评+互评+师评综合考核，总分 100 分，计入课程平时成绩。

评价权重：学生自评（20%）、小组互评（30%）、教师综合评价（50%）。

（1）过程性评价（60 分）

实验方案设计规范性（15 分）：倒立摆 MDP 无模型实验逻辑清晰，对照实验变量完整，小组分工明确，采样提前终止、策略不收敛等风险预判全面，文档格式规范。

小组协作表现（15 分）：全员参与轨迹采样、代码编写、数据记录、汇报准备，分工落地到位，组员互助研讨，无缺位、划水现象。

代码实操与探究态度（15 分）：自主完成采样、回报计算、MC 更新核心代码，主动调试摆杆频繁倾倒、回报震荡等问题，不直接复制完整成品代码，遵守机房代码注释、文件命名规范。

过程资料完整性（15 分）：多组采样数据记录表、代码分段截图、故障台账、实验草稿、方案修改记录完整留存。

（2）结果性评价（40 分）

项目成品效果（25 分）：Gym 倒立摆环境正常交互采样，首次访问/每次访问 MC、蒙特卡罗控制代码无报错；多回合采样后策略稳定，摆杆可长时间平衡，可输出清晰状态价值热力图、回报收敛曲线、存活步数对比图；多组对照实验数据完整、可复现。

成果汇报与复盘总结（15 分）：汇报逻辑清晰，准确区分动态规划（有模型）与蒙特卡罗（无模型）、首次/每次访问 MC 算法；实验数据分析深入，能总结探

索率、采样轮数、状态离散粒度对倒立摆控制效果的影响，提出采样效率、状态离散优化拓展思路。

5.教学应急与保障

虚拟环境异常：复用前期离线依赖包，提供预配置 Anaconda 环境备份；GymCartPole 渲染报错设备切换备用电脑。

大批量采样绘图卡顿、内存溢出：限制单组最大采样回合数；提供轻量化绘图函数，关闭实时窗口渲染；增加轨迹数据分批存储、分段统计逻辑。

实操进度滞后预案：提供倒立摆轨迹采样基础代码框架，学生仅填充回报更新、 ϵ -greedy 核心逻辑；课后开放机房 1 小时，教师线上线下延时答疑；阶梯任务分层：先完成基础每次访问 MC 预测，GLIE 蒙特卡罗控制作为拓展任务。

代码规范要求：禁止全盘复制他人完整代码，允许引用采样、绘图工具片段，价值更新、 ϵ 贪心等核心逻辑必须自主编写；统一项目文件夹、函数命名、注释标准，固定随机种子保证实验可复现。

数据安全：采样轨迹数据、仿真图表、项目报告统一存放个人专属文件夹，机房关机前云端备份，防止数据丢失。

学困生帮扶举措：强弱结对分组，代码熟练学生定点协助倒立摆采样调试；提供逐行注释完整 MC 模板，降低算法编写门槛；优先完成基础每次访问 MC 预测，GLIE 控制作为选做拓展；微信群发布分步采样实操视频，线上实时解答采样、回报计算报错。

6.课后作业与拓展

基础作业：

撰写完整《基于 Gym 倒立摆的蒙特卡罗强化学习实践项目报告》，内容包括：实验方案设计、CartPole 倒立摆 MDP 环境解析、完整蒙特卡罗代码、多组超参数实验数据表格、回报收敛曲线/状态热力图/平衡效果截图、故障汇总台账、个人采样调试心得、小组协作反思。

拓展拔高作业：

修改倒立摆环境参数（摆杆长度、小车最大移动范围、奖励函数），重新运行蒙特卡罗算法，对比参数变化对平衡时长、策略收敛速度的影响。

实现衰减 ϵ -greedy 策略（随采样回合逐步降低探索率），对比固定 ϵ 与衰减 ϵ 两种探索方式下倒立摆平均存活步数、收敛效率。

封装通用蒙特卡罗控制工具类，适配离散动作类 Gym 环境（CartPole、

GridWorld)，兼容首次/每次访问两种更新模式，编写可复用脚本上传班级云盘资源库。

开展横向对照实验：同一倒立摆环境分别运行值迭代（动态规划）、蒙特卡罗控制，从环境先验条件、计算耗时、连续状态适配性、控制效果四个维度对比分析，撰写完整对比实验分析。

拓展实现离轨蒙特卡罗算法，对比在线 GLIE 蒙特卡罗与离轨蒙特卡罗在倒立摆任务上的采样效率、策略最终平衡性能。

四、教学方式及学时分配

表 2 教学方式及学时分配的关系

序号	主要内容	主要教学方式	学时分配	辅导答疑比例
01	第 1 章 深度强化学习概述	讲授、讨论、实践	2	4:1
02	第 2 章 强化学习数学建模	讲授、讨论	4	4:1
03	第 3 章 动态规划法	讲授、讨论、实践	4	4:1
04	第 4 章 蒙特卡洛法	讲授、讨论、实践	4	4:1
05	第 5 章 时序差分法	讲授、讨论、实践	6	4:1
06	第 6 章 深度学习	讲授、讨论	4	4:1
07	第 7 章 PyTorch 与神经网络	讲授、讨论	4	4:1
08	第 8 章 深度 Q 网络	讲授、讨论、实践	6	4:1
09	第 9 章 策略梯度方法	讲授、讨论、实践	6	4:1
10	第 10 章 基于策略梯度的深度强化学习算法	讲授、讨论	2	4:1
11	第 11 章 基于 AC 框架的深度强化学习	讲授、讨论	4	4:1
12	总复习	讲授、讨论	2	4:1

五、其它教学环节的要求

本课程分别在各章内容讲授完之后布置实践环节，主要包括环境搭建、动态规划法、蒙特卡洛法、时序差分法、深度 Q 网络、策略梯度方法、基于策略梯度的深度强化学习算法、基于 AC 框架的深度强化学习算法等，要求学生独立完成。

六、本课程与其它课程的联系

本课程的先修课程是“高等数学”、“线性代数”、“概率论”、“深度学习”、“计算机视觉”等。后修课程有“边缘智能技术”、“毕业设计”等。

七、考核方式

1、考核与评价方式

本课程是考试课，期末结课考核方式为闭卷考试。

总成绩包括过程考核成绩和期末结课考核成绩两部分，其中过程考核包括过程表现、课堂讨论、实践等环节。在总成绩评定中过程考核成绩占 40%，期末结

课考核成绩占 60%。

2、考核与评价标准

(1) 过程考核成绩评价标准：

本课程过程性考核包括平时表现及实践，具体考核方式及评价标准见表 3。

表 3 《深度强化学习》课程过程考核方式及评价标准

过程考核方式	课程目标	基本要求	评价标准				成绩比例 (%)
			优秀 ≥90%	良好 70%-89%	合格 60%-69%	不合格 ＜60%	
平时表现及实践	课程目标 1	理解深度强化学习的基本概念、主要应用领域和核心思想。	熟练深度强化学习的基本概念、主要应用领域和核心思想。	较好地理解深度强化学习的基本概念、主要应用领域和核心思想。	基本理解深度强化学习的基本概念、主要应用领域和核心思想。	没有理解深度强化学习的基本概念、主要应用领域和核心思想。	15%
	课程目标 2	掌握各种基本的深度强化学习算法，具备如何训练和评估从数据生成深度强化学习模型的能力。	准确掌握各种基本的深度强化学习算法，具备如何训练和评估从数据生成深度强化学习模型的能力。	较好地掌握各种基本的深度强化学习算法，具备如何训练和评估从数据生成深度强化学习模型的能力。	基本掌握各种基本的深度强化学习算法，具备如何训练和评估从数据生成深度强化学习模型的能力。	没有掌握各种基本的深度强化学习算法，具备如何训练和评估从数据生成深度强化学习模型的能力。	15%
	课程目标 3	初步具备将深度强化学习算法应用于解决实际问题、优化模型的能力。	完全具备将深度强化学习算法应用于解决实际问题、优化模型的能力。	具备将深度强化学习算法应用于解决实际问题、优化模型的能力。	基本具备将深度强化学习算法应用于解决实际问题、优化模型的能力。	不具备将深度强化学习算法应用于解决实际问题、优化模型的能力。	10%

(2) 结课考试考核与评价标准：

课程结课考试采用闭卷考试方式，具体考试内容与课程目标对应关系及评价标准和分值分配见表 4。具体评分标准见标准答案。

表 4 《深度强化学习》课程结课考试内容及评价标准

课程目标	基本要求	评价标准				成绩比例 (%)
		优秀 ≥90%	良好 70%-89%	合格 60%-69%	不合格 ＜60%	
课程目标 1	理解深度强化学习的基本概念、主要应用领域和核心思想。	熟练深度强化学习的基本概念、主要应用领域和核心思想。	较好地理解深度强化学习的基本概念、主要应用领域和核	基本理解深度强化学习的基本概念、主要应用	没有理解深度强化学习的基本概念、主要应	30%左右

			心思想。	思想。	思想。	
课程 目标 2	掌握各种基本的深度强化学习算法,具备如何训练和评估从数据生成深度强化学习模型的能力。	准确掌握各种基本的深度强化学习算法,具备如何训练和评估从数据生成深度强化学习模型的能力。	较好地掌握各种基本的深度强化学习算法,具备如何训练和评估从数据生成深度强化学习模型的能力。	基本掌握各种基本的深度强化学习算法,具备如何训练和评估从数据生成深度强化学习模型的能力。	没有掌握各种基本的深度强化学习算法,具备如何训练和评估从数据生成深度强化学习模型的能力。	20% 左右
课程 目标 3	初步具备将深度强化学习算法应用于实际问题、优化模型的能力。	完全具备将深度强化学习算法应用于实际问题、优化模型的能力。	具备将深度强化学习算法应用于实际问题、优化模型的能力。	基本具备将深度强化学习算法应用于实际问题、优化模型的能力。	不具备将深度强化学习算法应用于实际问题、优化模型的能力。	10% 左右

八、教学参考书目

《深度强化学习》，刘全，黄志刚，清华大学出版社，2021

《深度强化学习》，阿斯克·普拉特，清华大学出版社，2024

《深度强化学习》，莫西特·塞瓦克，国防工业出版社，2024

课程负责人：李小丽

执笔：李小丽

审核：李忠虎

自动化专业“工业智能机器人”课程教学大纲

英文名称: Intelligent Industrial Robot

课程编号: 267106156

学时数: 24

其中讲授学时数: 24

实验学时数: 0

上机学时数: 0

实践学时数: 0

学分数: 1.5

适用专业: 自动化

一、课程性质和教学目标

课程性质: 专业限选课。

教学目标 1: 掌握机器人领域基本概念与基础知识。

教学目标 2: 掌握 ROS 操作系统的框架与使用。

专业能力目标: 通过本课程的学习,使学生掌握机器人相关基础知识,包括三维空间刚体运动、基于视觉的机器人运动估计及 ROS 操作系统等。同时,使学生对机器人领域知识体系有一个初步的认知,包括硬件知识、软件知识、常用工具以及相关算法等,并初步具备使用 ROS 操作系统的能力。

课程思政目标:

鼓励学生努力学习,为国家科技进步做出贡献;学习新知识,赶超并引领世界科技潮流,为中华民族伟大复兴做贡献。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

课程支撑毕业要求:

4-2 能够根据对象特征,选择研究路线,设计实验方案。

5-1 了解专业常用的现代仪器、信息技术工具、工程工具和模拟软件的使用原理和方法,并理解其局限性。

课程目标与专业毕业要求的关系见表 1。

表 1 课程目标与专业毕业要求的关系

序号	课程目标	毕业要求 指标点 4-2	毕业要求 指标点 5-1
1	课程目标 1	L1	
2	课程目标 2		L3

布鲁斯标准 L1 认知, L2 理解, L3 应用, L4 分析, L5 综合, L6 评判

三、课程教学内容的基本要求、重点和难点

了解机器人的基本概念与分类及其在生产生活中的应用。掌握机器人系统的

组成，包括硬件结构和系统软件。掌握三维空间刚体运动基础知识与基于视觉的机器人运动估计基础知识。在此基础上掌握 ROS 系统的开发环境搭建与使用。

第一章 绪论 （课程目标 1）

1.1 机器人基本概念与分类

了解机器人基本概念与分类

1.2 机器人的组成

掌握机器人的系统框架及硬件结构

重点：机器人系统结构。

难点：机器人顶层结构与底层结构。

1.3 机器人涉及的知识

三维空间刚体运动 （课程目标 1）

2.1 刚体的位姿

了解刚体在空间中的位姿表达。

2.2 三维空间刚体运动

掌握三维空间刚体的旋转、平移以及运动的叠加。

重点：旋转矩阵与变换矩阵。

难点：运动的数学表达。

Ubuntu 系统 （课程目标 2）

3.1 linux 系统的发展历程

3.2 Ubuntu 系统的安装与使用

3.3 Ubuntu 系统的使用

重点：Ubuntu 系统的常用指令与使用方法。

第四章 数字图像处理基础 （课程目标 2）

4.1 数字图像基础

4.2 OpenCV 简介

重点：理解数字图像基础知识。

难点：OpenCV 使用。

第五章 机器人运动估计 （课程目标 2）

5.1 单目视觉运动估计

5.2 双目视觉深度计算

5.3 光束平差法简介

重点：理解单目视觉运动估计原理。

难点：基础矩阵与本质矩阵。

第六章 ROS 操作系统 （课程目标 2）

6.1 ROS 系统简介与开发环境搭建

6.2 ROS 系统的结构

6.3 ROS 系统的使用

重点：ROS 系统的结构与使用。

难点：ROS 通信机制。

项目一：物料视觉定位项目

一、物料视觉定位项目教学基本信息

学习目标及学时

学习目标：

①知识目标：掌握单目视觉成像原理、OpenCV 图像处理流程、ROS 视觉话题传输机制，巩固三维刚体坐标变换知识，对应课程目标 1，支撑毕业要求指标点 4-2（L1 认知层级），能够依据物料定位需求设计视觉检测方案。

②能力目标：熟练使用 Ubuntu、OpenCV、ROS 工具搭建视觉定位开发环境，理解视觉算法软件工具存在的局限，对应课程目标 2，支撑毕业要求指标点 5-1（L3 应用层级），可独立完成物料图像采集、特征提取、坐标解算全流程开发。

③思政目标：树立智能制造国产化视觉装备研发意识，培养团队协作、自主排查工程问题的钻研精神。

学时：4 学时

前置基础：

学生已完成课程绪论、三维刚体运动、Ubuntu 系统、数字图像处理、机器人运动估计、ROS 机器人操作系统及 OpenCV 基础函数，具备刚体位姿矩阵计算理论基础，但缺乏视觉定位综合项目整合实操经验，对算法工程落地、故障调试能力薄弱。

重点、难点：

重点：基于 ROS 与 OpenCV 的物料视觉定位完整流程搭建

难点：物料三维坐标解算、基础矩阵校正与视觉定位误差消除

解决举措：发放刚体变换矩阵速查表，建立常见定位误差问题台账，分组针

对性答疑，借助数学公式简化推导过程。

教学资源及工具

软件：Ubuntu20.04、ROS Noetic、OpenCV、Python；

硬件：USB 工业相机、标准物料工件、台式计算机；

辅助资源：课程自编讲义、ROS/OpenCV 官方文档、故障排查手册。

二、项目任务拆解

任务一：方案研讨与定位方案初稿设计

小组结合物料尺寸、相机安装位置，研讨视觉定位实现思路，绘制系统软硬件框架图，基于刚体变换理论设计物料坐标解算方案。

任务二：物料视觉定位系统开发调试

搭建 ROS 视觉开发节点，调用 OpenCV 完成物料灰度化、轮廓提取、特征点匹配，结合单目视觉原理计算物料二维像素坐标，通过变换矩阵换算三维空间坐标，实现物料实时定位输出。

任务三：故障排查、功能优化与项目报告完善

针对定位漂移、识别失效等问题逐项调试，优化图像阈值与相机标定参数。

三、教学实施流程（4 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

展示工业机器人物料抓取视觉应用案例，说明项目对应课程目标与毕业要求，讲解物料视觉定位整体技术路线，明确 4 学时项目完成标准。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.5 学时）

学生：4 人一组分工（方案设计、软件编程、硬件调试、记录汇报），研讨并绘制视觉定位系统方案；教师：巡回审核各组方案，纠正坐标变换、ROS 通信设计中的逻辑错误。

第三阶段：自主探究与项目实操（2 学时）

学生：分步搭建 Ubuntu+ROS 开发环境，编写 OpenCV 图像处理代码，调试视觉定位节点，记录报错与调试过程；教师指导：针对矩阵运算、相机标定、ROS 消息传输等重难点分组答疑，指导学生利用理论知识解决工程实操问题

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：现场运行视觉定位程序，演示物料识别、坐标输出功能，讲解方案设计思路；

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：串联三维刚体运动、机器视觉、ROS 通信核心知识点，打通理论与工程实践。

全员复盘：各组从方案合理性、代码实操、团队分工、故障处理四个维度梳理短板，明确后续机器人综合实训优化方向。

项目拓展、外延应用：拓展双目视觉物料定位、机器人抓取联动开发思路，对接智能制造生产线实际场景。

四、考核评价

采用过程性评价+结果性评价，自评+互评+师评的综合考核模式，总分 100 分，计入课程平时成绩。

评价主体：学生自评（20%）、小组互评（30%）、教师综合评价（50%）。

过程性评价（60 分）

方案设计规范性（15 分）：原理图绘制完整、方案逻辑清晰、设计合理；

小组协作表现（15 分）：分工明确、全员参与、配合默契、积极研讨；

实操规范与探究态度（15 分）：遵循实操标准、主动排查故障、积极解决问题；

过程资料完整性（15 分）：过程记录详实、问题台账清晰、阶段性资料齐全。

结果性评价（40 分）

-项目成品效果（25 分）：设备运行稳定、功能完整、无故障；

-成果汇报与复盘总结（15 分）：表达清晰、重点突出、复盘深刻、优化思路明确。

五、教学应急与保障

设备故障预案：备用工业相机、计算机、预装好 ROS 系统虚拟机镜像，硬件故障时切换虚拟机仿真实操；

进度滞后预案：提供简化版基础代码模板，课后开放机房延长实操时间；

安全保障：规范电脑用电操作，禁止随意修改系统底层配置，避免系统崩溃。

学困生帮扶举措：一对一辅导 Linux 基础指令、矩阵变换数学推导，发放分步操作教程，安排小组内基础扎实学生结对协助。

六、课后作业与拓展

（1）实操复盘任务：更换不同室内场景数据集，重复完成 Gmapping 建图，录制两段不同环境下稳定建图演示视频；

(2) 拓展实操任务：修改 Gmapping 核心参数，对比不同匹配阈值下地图精度差异，基于建好的栅格地图调用 ROS 导航包实现机器人定点自主移动，录制导航演示视频，形成实操优化成果。

项目二：同步定位与建图项目

一、同步定位与建图项目教学基本信息

(1) 学习目标及学时

学习目标：

知识目标：掌握激光雷达测距原理、Gmapping SLAM 建图算法逻辑、ROS 地图与坐标变换通信机制，巩固三维刚体位姿变换理论，对应课程目标 1，支撑毕业要求指标点 4-2（L1 认知层级），能够根据移动机器人场景需求设计 SLAM 建图实验方案。

能力目标：熟练基于 Ubuntu、ROS 搭建 Gmapping 激光 SLAM 开发环境，掌握雷达数据订阅、地图保存、机器人位姿解算完整流程，理解 SLAM 算法、激光雷达工具的固有误差与局限性，对应课程目标 2，支撑毕业要求指标点 5-1（L3 应用层级），可独立完成室内环境同步定位与栅格地图构建调试。

思政目标：了解国内自主移动机器人 SLAM 技术产业化应用现状，树立自主研发导航算法的科技自信，培养严谨的工程调试与团队攻关精神。

学时：4 学时

前置基础：

学生已掌握三维刚体运动变换、Ubuntu 系统操作、ROS 节点与消息通信、SLAM 基础理论；熟悉 Linux 命令行、ROS 包编译运行流程，但缺乏 SLAM 实操经验，对地图畸变、定位漂移问题分析能力不足。

重点、难点：

重点：基于 ROS+Gmapping 的激光雷达 SLAM 完整建图流程搭建

难点：开发环境搭建。

(2) 教学资源及工具

软件：Ubuntu20.04、ROS Noetic、Gmapping 功能包、激光雷达数据集、RViz 可视化工具、Python；

硬件：台式计算机；

辅助资源：课程自编讲义、ROS 官方 SLAM 教程、

二、项目任务拆解

任务一：方案研讨与 SLAM 建图方案初稿设计

下载激光雷达数据集并学习其使用方法，研讨 Gmapping 建图实现思路，绘制机器人软硬件系统框图，基于刚体运动理论设计雷达数据融合与机器人位姿估计方案。

任务二：激光 SLAM 系统开发调试 安装并启动激光雷达驱动，配置 Gmapping 参数，搭建 ROS 多节点通信框架，通过 RViz 实时观测雷达点云与机器人位姿，驱动底盘移动完成室内环境栅格地图实时构建。

任务三：故障排查、参数优化与项目成果整理 针对地图重影、定位漂移、雷达数据丢失等问题逐项调试，优化激光匹配阈值、运动更新频率等核心参数，录制稳定建图全过程演示素材。

三、教学实施流程（4 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

展示 AGV、服务机器人室内自主导航案例，说明本项目对应课程目标与毕业要求，讲解 Gmapping 激光 SLAM 整体技术路线，明确 4 学时项目验收标准。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.5 学时）

学生：4 人一组分工，研讨绘制 SLAM 系统整体方案；教师：巡回审核各组方案，纠正坐标变换、ROS 多节点通信逻辑错误。

第三阶段：自主探究与项目实操（2 学时）

学生：配置 Ubuntu 下 ROS 工作空间，编译雷达驱动与 Gmapping 功能包，启动多节点完成实时建图，记录程序报错、地图畸变等调试过程；教师指导：针对刚体运动估计、雷达数据匹配、RViz 可视化等重难点分组答疑，引导学生运用课堂理论解决 SLAM 实操故障。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：现场操控机器人遍历场地，实时生成栅格地图，讲解参数设置与方案设计思路；

多元互评：小组之间相互点评地图完整度、定位稳定性，组员自评、互评，记录个人实操贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：串联三维刚体运动、激光运动估计、ROS 多节点通信核心知识点，打通理论知识与机器人导航工程实践。

全员复盘：各组从方案合理性、软硬件调试、团队分工、故障处理四个维度梳理短板，明确后续机器人综合实训优化方向。

项目拓展、外延应用：拓展多传感器融合 SLAM、基于建好地图的自主导航开发思路，对接仓储移动机器人真实应用场景。

四、考核评价

采用过程性评价+结果性评价，自评+互评 +师评的综合考核模式，总分 100 分，计入课程平时成绩。

评价主体：学生自评（20%）、小组互评（30%）、教师综合评价（50%）。

过程性评价（60 分）

方案设计规范性（15 分）：软硬件框图完整、SLAM 位姿估计方案逻辑清晰、参数设计合理；

小组协作表现（15 分）：分工明确、全员参与雷达调试与底盘操控、研讨积极；

实操规范与探究态度（15 分）：Ubuntu、ROS 操作规范，主动排查雷达断连、地图漂移等故障；

过程资料完整性（15 分）：留存启动脚本、RViz 截图、故障调试记录、阶段性测试素材。

结果性评价（40 分）

项目成品效果（25 分）：栅格地图轮廓完整无明显畸变、机器人定位稳定、雷达数据无丢失；

成果汇报与复盘总结（15 分）：现场演示表达清晰，精准梳理 SLAM 调试难点，提出可行参数优化思路。

五、教学应急与保障

设备故障预案：备用激光雷达、机器人底盘、预装 ROS+Gmapping 虚拟机镜像，硬件故障时切换虚拟机仿真环境完成建图仿真；

进度滞后预案：提供完整可运行 Gmapping 启动脚本模板，课后开放实验室延长实操调试时间；

安全保障：规范电脑用电操作，禁止随意修改系统底层配置，避免系统崩溃。
学困生帮扶举措：加强 Linux 命令辅导与刚体变换数学推导，发放分步操作教程，安排小组内基础扎实学生结对协助调试雷达与 SLAM 节点。

六、课后作业与拓展

(1) 实操复盘任务：更换不同室内场景数据集，重复完成 Gmapping 建图，录制两段不同环境下稳定建图演示视频；

(2) 拓展实操任务：修改 Gmapping 核心参数，对比不同匹配阈值下地图精度差异，基于建好的栅格地图调用 ROS 导航包实现机器人定点自主移动，录制导航演示视频，形成实操优化成果。

项目三：物料视觉定位项目

一、物料视觉定位项目教学基本信息

学习目标及学时

学习目标：

①知识目标：掌握单目视觉成像原理、OpenCV 图像处理流程、ROS 视觉话题传输机制，巩固三维刚体坐标变换知识，对应课程目标 1，支撑毕业要求指标点 4-2（L1 认知层级），能够依据物料定位需求设计视觉检测方案。

②能力目标：熟练使用 Ubuntu、OpenCV、ROS 工具搭建视觉定位开发环境，理解视觉算法软件工具存在的局限，对应课程目标 2，支撑毕业要求指标点 5-1（L3 应用层级），可独立完成物料图像采集、特征提取、坐标解算全流程开发。

③思政目标：树立智能制造国产化视觉装备研发意识，培养团队协作、自主排查工程问题的钻研精神。

学时：4 学时

前置基础：

学生已完成课程绪论、三维刚体运动、Ubuntu 系统、数字图像处理、机器人运动估计、ROS 机器人操作系统及 OpenCV 基础函数，具备刚体位姿矩阵计算理论基础，但缺乏视觉定位综合项目整合实操经验，对算法工程落地、故障调试能力薄弱。

重点、难点：

重点：基于 ROS 与 OpenCV 的物料视觉定位完整流程搭建

难点：物料三维坐标解算、基础矩阵校正与视觉定位误差消除

解决举措：发放刚体变换矩阵速查表，建立常见定位误差问题台账，分组针对性答疑，借助数学公式简化推导过程。

教学资源及工具

软件：Ubuntu20.04、ROS Noetic、OpenCV、Python；

硬件：USB 工业相机、标准物料工件、台式计算机；

辅助资源：课程自编讲义、ROS/OpenCV 官方文档、故障排查手册。

二、项目任务拆解

任务一：方案研讨与定位方案初稿设计

小组结合物料尺寸、相机安装位置，研讨视觉定位实现思路，绘制系统软硬件框架图，基于刚体变换理论设计物料坐标解算方案。

任务二：物料视觉定位系统开发调试

搭建 ROS 视觉开发节点，调用 OpenCV 完成物料灰度化、轮廓提取、特征点匹配，结合单目视觉原理计算物料二维像素坐标，通过变换矩阵换算三维空间坐标，实现物料实时定位输出。

任务三：故障排查、功能优化与项目报告完善

针对定位漂移、识别失效等问题逐项调试，优化图像阈值与相机标定参数。

三、教学实施流程（4 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

展示工业机器人物料抓取视觉应用案例，说明项目对应课程目标与毕业要求，讲解物料视觉定位整体技术路线，明确 4 学时项目完成标准。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.5 学时）

学生：4 人一组分工（方案设计、软件编程、硬件调试、记录汇报），研讨并绘制视觉定位系统方案；教师：巡回审核各组方案，纠正坐标变换、ROS 通信设计中的逻辑错误。

第三阶段：自主探究与项目实操（2 学时）

学生：分步搭建 Ubuntu+ROS 开发环境，编写 OpenCV 图像处理代码，调试视觉定位节点，记录报错与调试过程；教师指导：针对矩阵运算、相机标定、ROS 消息传输等重难点分组答疑，指导学生利用理论知识解决工程实操问题

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：现场运行视觉定位程序，演示物料识别、坐标输出功能，讲解方案设计思路；

多元互评：小组之间相互点评，组员自评、互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：串联三维刚体运动、机器视觉、ROS 通信核心知识点，打通理论与工程实践。

全员复盘：各组从方案合理性、代码实操、团队分工、故障处理四个维度梳理短板，明确后续机器人综合实训优化方向。

项目拓展、外延应用：拓展双目视觉物料定位、机器人抓取联动开发思路，对接智能制造生产线实际场景。

四、考核评价

采用过程性评价+结果性评价，自评+互评+师评的综合考核模式，总分 100 分，计入课程平时成绩。

评价主体：学生自评（20%）、小组互评（30%）、教师综合评价（50%）。

过程性评价（60 分）

方案设计规范性（15 分）：原理图绘制完整、方案逻辑清晰、设计合理；

小组协作表现（15 分）：分工明确、全员参与、配合默契、积极研讨；

实操规范与探究态度（15 分）：遵循实操标准、主动排查故障、积极解决问题；

过程资料完整性（15 分）：过程记录详实、问题台账清晰、阶段性资料齐全。

结果性评价（40 分）

-项目成品效果（25 分）：设备运行稳定、功能完整、无故障；

-成果汇报与复盘总结（15 分）：表达清晰、重点突出、复盘深刻、优化思路明确。

五、教学应急与保障

设备故障预案：备用工业相机、计算机、预装好 ROS 系统虚拟机镜像，硬件故障时切换虚拟机仿真实操；

进度滞后预案：提供简化版基础代码模板，课后开放机房延长实操时间；

安全保障：规范电脑用电操作，禁止随意修改系统底层配置，避免系统崩溃。

学困生帮扶举措：一对一辅导 Linux 基础指令、矩阵变换数学推导，发放分步操作教程，安排小组内基础扎实学生结对协助。

六、课后作业与拓展

（1）实操复盘任务：更换不同室内场景数据集，重复完成 Gmapping 建图，录制两段不同环境下稳定建图演示视频；

（2）拓展实操任务：修改 Gmapping 核心参数，对比不同匹配阈值下地图精度差异，基于建好的栅格地图调用 ROS 导航包实现机器人定点自主移动，录制导航演示视频，形成实操优化成果。

项目四：同步定位与建图项目

一、同步定位与建图项目教学基本信息

(1) 学习目标及学时

学习目标：

知识目标：掌握激光雷达测距原理、Gmapping SLAM 建图算法逻辑、ROS 地图与坐标变换通信机制，巩固三维刚体位姿变换理论，对应课程目标 1，支撑毕业要求指标点 4-2 (L1 认知层级)，能够根据移动机器人场景需求设计 SLAM 建图实验方案。

能力目标：熟练基于 Ubuntu、ROS 搭建 Gmapping 激光 SLAM 开发环境，掌握雷达数据订阅、地图保存、机器人位姿解算完整流程，理解 SLAM 算法、激光雷达工具的固有误差与局限性，对应课程目标 2，支撑毕业要求指标点 5-1 (L3 应用层级)，可独立完成室内环境同步定位与栅格地图构建调试。

思政目标：了解国内自主移动机器人 SLAM 技术产业化应用现状，树立自主研发导航算法的科技自信，培养严谨的工程调试与团队攻关精神。

学时：4 学时

前置基础：

学生已掌握三维刚体运动变换、Ubuntu 系统操作、ROS 节点与消息通信、SLAM 基础理论；熟悉 Linux 命令行、ROS 包编译运行流程，但缺乏 SLAM 实操经验，对地图畸变、定位漂移问题分析能力不足。

重点、难点：

重点：基于 ROS+Gmapping 的激光雷达 SLAM 完整建图流程搭建

难点：开发环境搭建。

(2) 教学资源及工具

软件：Ubuntu20.04、ROS Noetic、Gmapping 功能包、激光雷达数据集、RViz 可视化工具、Python；

硬件：台式计算机；

辅助资源：课程自编讲义、ROS 官方 SLAM 教程、

二、项目任务拆解

任务一：方案研讨与 SLAM 建图方案初稿设计

下载激光雷达数据集并学习其使用方法，研讨 Gmapping 建图实现思路，绘制机器人软硬件系统框图，基于刚体运动理论设计雷达数据融合与机器人位姿估

计方案。

任务二：激光 SLAM 系统开发调试 安装并启动激光雷达驱动，配置 Gmapping 参数，搭建 ROS 多节点通信框架，通过 RViz 实时观测雷达点云与机器人位姿，驱动底盘移动完成室内环境栅格地图实时构建。

任务三：故障排查、参数优化与项目成果整理 针对地图重影、定位漂移、雷达数据丢失等问题逐项调试，优化激光匹配阈值、运动更新频率等核心参数，录制稳定建图全过程演示素材。

三、教学实施流程（4 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

展示 AGV、服务机器人室内自主导航案例，说明本项目对应课程目标与毕业要求，讲解 Gmapping 激光 SLAM 整体技术路线，明确 4 学时项目验收标准。

第二阶段：小组分工与方案设计（0.5 学时）

学生：4 人一组分工，研讨绘制 SLAM 系统整体方案；教师：巡回审核各组方案，纠正坐标变换、ROS 多节点通信逻辑错误。

第三阶段：自主探究与项目实操（2 学时）

学生：配置 Ubuntu 下 ROS 工作空间，编译雷达驱动与 Gmapping 功能包，启动多节点完成实时建图，记录程序报错、地图畸变等调试过程；教师指导：针对刚体运动估计、雷达数据匹配、RViz 可视化等重难点分组答疑，引导学生运用课堂理论解决 SLAM 实操故障。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：现场操控机器人遍历场地，实时生成栅格地图，讲解参数设置与方案设计思路；

多元互评：小组之间相互点评地图完整度、定位稳定性，组员自评、互评，记录个人实操贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：串联三维刚体运动、激光运动估计、ROS 多节点通信核心知识点，打通理论知识与机器人导航工程实践。

全员复盘：各组从方案合理性、软硬件调试、团队分工、故障处理四个维度梳理短板，明确后续机器人综合实训优化方向。

项目拓展、外延应用：拓展多传感器融合 SLAM、基于建好地图的自主导航开发思路，对接仓储移动机器人真实应用场景。

四、考核评价

采用过程性评价+结果性评价，自评+互评 +师评的综合考核模式，总分 100 分，计入课程平时成绩。

评价主体：学生自评（20%）、小组互评（30%）、教师综合评价（50%）。

过程性评价（60 分）

方案设计规范性（15 分）：软硬件框图完整、SLAM 位姿估计方案逻辑清晰、参数设计合理；

小组协作表现（15 分）：分工明确、全员参与雷达调试与底盘操控、研讨积极；

实操规范与探究态度（15 分）：Ubuntu、ROS 操作规范，主动排查雷达断连、地图漂移等故障；

过程资料完整性（15 分）：留存启动脚本、RViz 截图、故障调试记录、阶段性测试素材。

结果性评价（40 分）

项目成品效果（25 分）：栅格地图轮廓完整无明显畸变、机器人定位稳定、雷达数据无丢失；

成果汇报与复盘总结（15 分）：现场演示表达清晰，精准梳理 SLAM 调试难点，提出可行参数优化思路。

五、教学应急与保障

设备故障预案：备用激光雷达、机器人底盘、预装 ROS+Gmapping 虚拟机镜像，硬件故障时切换虚拟机仿真环境完成建图仿真；

进度滞后预案：提供完整可运行 Gmapping 启动脚本模板，课后开放实验室延长实操调试时间；

安全保障：规范电脑用电操作，禁止随意修改系统底层配置，避免系统崩溃。
学困生帮扶举措：加强 Linux 命令辅导与刚体变换数学推导，发放分步操作教程，安排小组内基础扎实学生结对协助调试雷达与 SLAM 节点。

六、课后作业与拓展

（1）实操复盘任务：更换不同室内场景数据集，重复完成 Gmapping 建图，录制两段不同环境下稳定建图演示视频；

（2）拓展实操任务：修改 Gmapping 核心参数，对比不同匹配阈值下地图精度差异，基于建好的栅格地图调用 ROS 导航包实现机器人定点自主移动，录制导

航演示视频，形成实操优化成果。

四、教学方式及学时分配

表 2 教学方式及学时分配

序号	主要内容	主要教学方式	学时分配	辅导答疑比例
1	绪论	讲授	1	
2	第二章 三维空间刚体运动	讲授	6	4: 1
3	第三章 Ubuntu 系统	讲授	3	4: 1
4	第四章 数字图像基础	讲授	3	
5	第五章 机器人运动估计	讲授	3	4: 1
6	第六章 ROS 操作系统	讲授	4	4: 1
7	专题讲座	讲授	4	

五、其它教学环节的要求

学生在自己电脑上搭建 Ubuntu 虚拟机开发环境，课上教学内容需要在 Ubuntu 系统下完成。

六、本课程与其它课程的联系

先修课：高等数学、线性代数、C 语言、C++、嵌入式系统。

后续课程：机器人及先进控制综合实训

七、考核方式

考查。本课程以大作业的形式考核。其中平时成绩占 40%，大作业成绩占 60%。
若平时 5 次点到缺勤或有屡教不改的不遵守课堂纪律行为，取消期末成绩。

表 3 考核方式

毕业要求	课程目标	考核内容	成绩占比 (%)	评价依据
毕业要求 4-2	课程目标 1	机器人基础知识	30%	大作业
毕业要求 5-1	课程目标 2	Ubuntu 系统基础知识、视觉基础、ROS 基础	70%	

八、教学参考书目

- 1、《机器人学导论》，约翰 J.克雷格，机械工业出版社
- 2、《ROS 机器人编程原理及应用》，怀亚特.S.纽曼，机械工业出版社
- 3、《OpenCV3 编程入门》，毛星云 电子工业出版社
- 4、OpenCV 官网
- 5、ROS 官网

6、《鸟哥 Linux 私房菜 基础学习篇》，何明 清华大学出版社

7、《C++ Primer Plus》史蒂芬·普拉达（Stephen Prata）著，张海龙，袁国忠 译，人民邮电出版社

课程负责人： 李少波 执笔： 李少波 审核： 自动化专业建设小组

自动化专业“机器人及先进控制综合实训”教学大纲

英文名称: Robot and Advanced Control Comprehensive Training

课程编号: 267106340

实训学时: 1.5 周

课程总学时: 1.5 周

学分数: 1.5

适用专业: 自动化

一、课程性质和教学目标

机器人及先进控制综合实训是为自动化本科生独立设置的实践教学环节。该实训由 ROS 操作系统和无人机及机器人关键算法三部分组成。ROS 操作系统部分实训的主要目的是使学生初步掌握 ROS 系统的基础知识,并具备使用 ROS 系统的能力。在实训过程中,使学生掌握 ROS 机器人开发环境搭建、ROS 节点的开发以及 ROS 通信原理等知识。通过无人机部分实训,使学生了解无人机飞行原理及平台各组件构成,完成基于 pix4 和大疆 n3 飞控的无人机平台的搭建,在此基础上完成传感器矫正,基础感度,动力带宽,姿态感度,姿态、刹车灵敏度配置。最后使用无人机完成无人机撞击试验、穿环试验以及无人机跟踪飞行试验。通过机器人路径规划、四旋翼无人机飞行控制、三自由度机械臂轨迹规划和控制关键算法的仿真研究,让学生掌握各种路径规划算法、机械臂轨迹规划算法及控制算法等知识。

教学目标:

通过机器人及先进控制综合实训,加深学生对 ROS 操作系统及无人机硬件结构、软件系统和各种算法的理解,并了解机器人领域常用算法。在掌握相关开发工具的基础上,实现具体的实训项目。

专业能力目标:

开发环境搭建、ROS 系统的使用、无人机系统的开发及路径规划、机械臂轨迹规划和各种控制算法。通过实践,使学生初步了解机器人系统构架,并学习机器人系统的设计与调试方法。

课程思政目标:

鼓励学生努力学习,为国家科技进步做出贡献;学习新知识,赶超并引领世

界科技潮流，为中华民族伟大复兴做贡献。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

课程支撑毕业要求：

4-3: 能够根据实验方案构建实验系统，安全地开展实验，正确地采集实验数据；

9-2: 能够在团队中独立承担任务，合作开展工作，完成工程实践任务；

10-2: 了解专业领域的国际发展趋势、研究热点，理解和尊重世界不同语言、文化的差异性和多元化；

11-3: 能在模拟环境下，在设计开发解决方案的过程中，运用工程管理与经济决策方法。

课程目标与专业毕业要求的关系见表 1。

表 1 教学目标与专业毕业要求的关系

序号	课程目标	毕业要求 指标点 4-3	毕业要求 指标点 9-2	毕业要求 指标点 10-2	毕业要求 指标点 11-3
1	教学目标 1	L3			
2	教学目标 2		L3		
3	教学目标 3			L3	
4	教学目标 4				L4

布鲁斯标准 L1 认知，L2 理解，L3 应用，L4 分析，L5 综合，L6 评判

三、教学内容与教学项目

教学项目一：ROS 小车激光雷达 SLAM 项目

1 ROS 小车激光雷达 SLAM 项目教学基本信息

(1) 学习目标及学时

学习目标：

知识目标：掌握 SLAM（同步定位与地图构建）的基本原理与系统框架，理解基于粒子滤波的 Gmapping 算法核心机制、栅格地图构建方法、激光雷达数据采集与 ROS 话题传输机制，巩固机器人运动学与坐标变换理论知识，能够依据场景建图需求设计激光 SLAM 系统方案。

能力目标：熟练使用 Ubuntu、ROS、Rviz 等工具搭建 SLAM 开发环境，掌握激光雷达驱动配置、Gmapping 节点参数调优、地图保存与复用的全流程开发技能，可独立完成从传感器数据采集到栅格地图构建的完整建图任务。

思政目标：树立自主移动机器人核心技术国产化研发意识，理解 SLAM 技术在智能制造、智能仓储、服务机器人等领域的战略价值，培养严谨求实的工程素养与团队协作、自主排查问题的钻研精神。

学时：12 学时

前置基础：

学生已完成课程绪论、ROS 操作系统基础（话题、服务、节点通信）、Ubuntu 系统操作、机器人运动学基础，具备基本的 Linux 命令行操作能力和 ROS 功能包使用经验，但缺乏 SLAM 综合项目整合实操经验，对激光雷达数据解析、Gmapping 参数调优、地图保存与复用等工程环节较为陌生。

重点、难点：

重点：基于 ROS 与激光雷达的 SLAM 建图完整流程搭建，包含激光雷达驱动配置、Gmapping 节点启动与参数配置、Rviz 可视化监控、地图保存与复用。

难点：Gmapping 核心参数（粒子数、地图分辨率、更新阈值等）的工程调优与建图精度控制、激光雷达数据预处理与坐标变换（tf）配置、不同场景下建图参数适配策略。

解决举措：发放 Gmapping 参数速查表与典型场景参数模板，建立常见建图故障台账（如地图漂移、闭环错位、粒子数过载等），分组针对性答疑，借助仿真环境预演降低实体设备调试风险。

（2）教学资源及工具

软件：Ubuntu20.04、ROS Noetic、Gmapping 功能包、Rviz 可视化工具、Gazebo 仿真环境；

硬件：搭载激光雷达的 ROS 移动小车（差分驱动）、台式计算机、遥控器（手柄/键盘控制）。

2 项目任务拆解

任务一：方案研讨与 SLAM 建图方案初稿设计

小组结合小车运动模型、激光雷达安装位置与性能参数、场景面积与复杂度，研讨 SLAM 建图实现思路，绘制系统软硬件框架图（激光雷达→ROS 驱动→Gmapping 算法→栅格地图→Rviz 可视化），基于粒子滤波理论设计建图参数配置方案。

任务二：SLAM 建图系统开发调试

搭建 ROS 工作环境与激光雷达驱动节点，调用 Gmapping 功能包完成激光

雷达数据采集、坐标系变换配置、栅格地图实时构建，通过 Rviz 可视化监控建图过程，使用遥控器控制小车遍历目标场景，实现完整环境地图构建与保存。

任务三：故障排查、参数优化与项目报告完善

针对地图漂移、闭环错位、建图不完整、粒子数异常等问题逐项调试，优化 Gmapping 核心参数（粒子数、地图分辨率、更新阈值、重采样策略等），完成多场景对比建图与项目报告撰写

3 教学实施流程（12 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

展示自主移动机器人在智能仓储、酒店服务、家庭扫地等场景的激光 SLAM 建图应用案例，说明项目对应课程目标与毕业要求，讲解 SLAM 建图整体技术路线（激光雷达扫描→点云数据→粒子滤波定位→栅格地图构建），明确项目完成标准。

第二阶段：小组分工与方案设计（2.5 学时）

学生：4 人一组分工（方案设计、软件编程、小车操控、记录汇报），研讨并绘制 SLAM 建图系统方案，包括 ROS 节点通信拓扑、tf 坐标变换配置、Gmapping 参数预配置方案；

教师：巡回审核各组方案，纠正坐标变换、话题配置、参数设计中的逻辑错误。

第三阶段：自主探究与项目实操（8 学时）

学生：搭建 Ubuntu+ROS 开发环境，配置激光雷达驱动，测试雷达数据话题发布；编写/配置 Gmapping 建图 launch 文件，启动 Rviz 可视化界面；操控小车遍历目标场景，观察栅格地图实时构建过程，记录各阶段建图效果；优化 Gmapping 核心参数（如粒子数、地图分辨率、更新阈值），对比不同参数下的建图精度差异；保存生成的地图文件（.pgm 和 .yaml），验证地图复用与加载功能。

教师指导：针对 Gmapping 参数调优、tf 坐标变换配置、地图闭环优化等重难点分组答疑，指导学生利用理论知识解决工程实操问题。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：现场运行 SLAM 建图程序，演示小车遍历场景、地图实时构建及最终地图保存功能，讲解方案设计思路与参数调优过程；

多元互评：小组之间相互点评，从方案合理性、建图质量、参数优化策略、汇报表达四个维度打分；组内进行自评与互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：串联 SLAM 基本原理（粒子滤波）、ROS 通信机制、Gmapping 工程实现核心知识点，打通理论与工程实践；汇总各组实操中出现的典型故障及标准化解决方案。

全员复盘：各组从方案合理性、代码实操、团队分工、故障处理四个维度梳理短板，明确后续自主导航综合实训优化方向。

项目拓展、外延应用：拓展 Cartographer（谷歌开源 SLAM 算法）建图对比、多传感器融合 SLAM（激光雷达+IMU）、基于构建地图的自主导航联动开发思路，对接智能制造与智能物流实际场景。

4 考核评价

采用过程性评价+结果性评价，自评+互评 +师评的综合考核模式，总分 100 分，计入课程平时成绩。

评价主体：学生自评（20%）、小组互评（30%）、教师综合评价（50%）。

过程性评价（60 分）

方案设计规范性（15 分）：原理图绘制完整、方案逻辑清晰、ROS 节点拓扑合理、参数配置方案科学；

小组协作表现（15 分）：分工明确、全员参与、配合默契、积极研讨、按时完成各阶段任务；

实操规范与探究态度（15 分）：遵循实操标准、主动排查故障、积极解决问题、参数调试过程记录完整；

过程资料完整性（15 分）：留存启动脚本、RViz 截图、故障调试记录、阶段性测试素材。

结果性评价（40 分）

项目成品效果（25 分）：SLAM 建图运行稳定、栅格地图完整清晰、地图保存与加载功能正常；

成果汇报与复盘总结（15 分）：现场演示表达清晰，精准梳理 SLAM 调试难点，提出可行参数优化思路。

5 教学应急与保障

设备故障预案：备用激光雷达、ROS 小车、预装好 ROS 系统的虚拟机镜像；硬件故障时切换 Gazebo 仿真环境完成建图实操流程。

进度滞后预案：提供简化版 Gmapping launch 文件模板和参数配置脚本，课

后开放实验室延长实操时间。

安全保障：规范小车操作流程（遥控器使用规范、建图过程中保持小车在视线范围内、禁止在人流密集区域高速运行），规范电脑用电操作，避免系统崩溃。

学困生帮扶举措：一对一辅导 Linux 基础指令、ROS 功能包编译、launch 文件编写，发放分步操作教程，安排小组内基础扎实学生结对协助。

6 课后作业与拓展

（1）实操复盘任务：更换不同室内场景数据集，重复完成 Gmapping 建图，录制两段不同环境下稳定建图演示视频；

（2）拓展实操任务：修改 Gmapping 核心参数，对比不同匹配阈值下地图精度差异，基于建好的栅格地图调用 ROS 导航包实现机器人定点自主移动，录制导航演示视频，形成实操优化成果。

教学项目二：ROS 小车定位与导航项目

1. ROS 小车定位与导航项目教学基本信息

（1）学习目标及学时

学习目标：

知识目标：掌握 ROS 自适应蒙特卡洛定位（AMCL）原理、全局路径规划（A*/Dijkstra）与局部路径规划（TEB/DWA）算法机制，理解代价地图（Costmap）的构建与更新策略，巩固栅格地图表示与坐标变换知识，能够依据场景导航需求设计定位与导航系统方案。

能力目标：熟练使用 Ubuntu、ROS、Rviz、Navigation Stack 等工具搭建定位导航开发环境，掌握 AMCL 定位配准、MoveBase 导航框架配置、路径规划算法参数调优的全流程开发技能，可独立完成从地图复用、定位初始化到自主导航目标点发送的完整导航任务。

思政目标：树立自主移动机器人核心技术国产化研发意识，理解定位导航技术在智能仓储、无人配送、服务机器人等领域的战略价值，培养严谨求实的工程素养与团队协作、自主排查工程问题的钻研精神。

学时：12 学时

前置基础：

学生已完成课程绪论、ROS 机器人操作系统基础、Ubuntu 系统操作、机器人运动学、SLAM 建图项目实操，已具备激光雷达建图能力，掌握基本的 Linux 命令行操作和 ROS 功能包使用经验，具备栅格地图与坐标变换理论基础，但缺

乏定位导航综合项目整合实操经验，对 AMCL 定位配准、代价地图配置、MoveBase 参数调优等工程环节较为陌生。

重点、难点：

重点：基于 ROS Navigation Stack 的定位导航完整流程搭建，包含 AMCL 定位节点配置、MoveBase 导航框架启动、全局与局部路径规划器配置、Rviz 可视化监控与导航目标点发送。

难点：AMCL 定位初始化与粒子收敛参数调优、代价地图（全局/局部）参数协同配置、路径规划算法（A*/DWA）参数工程整定与导航失败故障排查（如规划失败、振荡、目标不可达等）。

解决举措：发放 Navigation Stack 参数速查表与典型场景参数模板，建立常见导航故障台账（如定位丢失、规划超时、振荡卡死等），分组针对性答疑，借助仿真环境预演降低实体设备调试风险。

（2）教学资源及工具

软件：Ubuntu20.04、ROS Noetic、Navigation Stack（AMCL + MoveBase）、Rviz 可视化工具、Gazebo 仿真环境（备用）；

硬件：搭载激光雷达的 ROS 移动小车（差分驱动）、台式计算机、遥控器（手柄/键盘控制）；

辅助资源：Navigation Stack 官方文档。

2 项目任务拆解

任务一：方案研讨与定位导航方案初稿设计

小组结合已建地图特点、小车运动模型、场景面积与复杂度，研讨基于已有地图的定位导航实现思路，绘制系统软硬件框架图（地图加载→定位初始化→AMCL 位姿估计→MoveBase 路径规划→小车速度控制→Rviz 监控），基于导航栈原理设计参数配置方案，涵盖全局代价地图（Global Costmap）、局部代价地图（Local Costmap）及路径规划器选型。

任务二：定位导航系统开发调试

加载已有的栅格地图，配置 AMCL 定位节点实现小车在已知地图中的实时位姿估计，启动 MoveBase 导航框架并配置全局规划器（global_planner）与局部规划器（teb_local_planner 或 dwa_local_planner），通过 Rviz 发送 2D Nav Goal 目标点，实现小车从起点到目标点的自主路径规划与移动导航。

任务三：故障排查、参数优化与项目报告完善

针对定位丢失、路径规划失败、导航振荡、目标不可达等问题逐项调试，优化 AMCL 粒子参数、代价地图膨胀半径与障碍物阈值、规划器运动学约束等核心参数，完成不同场景/目标点下的导航功能验证与项目报告撰写。

3 教学实施流程（12 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

展示自主移动机器人在智能仓储（AGV 物料搬运）、酒店服务（机器人送物）、无人配送（快递/外卖）等场景的定位导航应用案例，说明项目对应课程目标与毕业要求，讲解定位导航整体技术路线（地图加载→定位初始化→全局路径规划→局部路径规划→速度控制→位姿反馈闭环），明确项目完成标准。

第二阶段：小组分工与方案设计（2.5 学时）

学生：4 人一组分工（方案设计、软件编程、小车操控与监控、记录汇报），研讨并绘制定位导航系统方案，包括 ROS 节点通信拓扑、tf 坐标变换配置（map→odom→base_link→laser）、AMCL/MoveBase 参数预配置方案、全局与局部代价地图参数方案。

教师：巡回审核各组方案，纠正坐标变换配置、代价地图参数、规划器选型中的逻辑错误。

第三阶段：自主探究与项目实操（8 学时）

学生：加载前期 SLAM 建图阶段保存的地图文件（.pgm & .yaml），验证地图加载与显示；启动 AMCL 定位节点，手动初始化小车位姿，观察粒子收敛过程与定位精度；启动 MoveBase 导航框架，配置 global_planner 与局部规划器，在 Rviz 中监控全局与局部路径规划效果；发送多个目标点，测试小车自主导航能力，记录不同目标点的规划时间、路径长度及导航成功率；优化 AMCL 粒子参数、代价地图膨胀半径、规划器运动学参数，对比不同参数组合下的导航性能差异。

教师指导：针对 AMCL 初始化定位、代价地图参数协同、路径规划失败诊断等重难点分组答疑，指导学生利用理论知识解决工程实操问题。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：现场运行定位导航程序，演示小车加载地图、AMCL 定位收敛、自主路径规划与目标点导航功能，讲解方案设计思路与参数调优过程。

多元互评：小组之间相互点评，从方案合理性、导航性能与稳定性、参数优化策略、汇报表达四个维度打分；组内进行自评与互评，记录个人贡献度。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：串联 AMCL 定位原理（粒子滤波）、路径规划算法（A*/DWA）、代价地图机制、ROS Navigation Stack 工程实现核心知识点，打通理论与工程实践；汇总各组实操中出现的典型故障及标准化解决方案。

全员复盘：各组从方案合理性、代码实操、团队分工、故障处理四个维度梳理短板，明确后续移动机器人综合实训优化方向。

项目拓展、外延应用：拓展多目标点巡航（导航点巡检）、动态障碍物避障（结合激光雷达实时检测）、多机器人协同调度开发思路，对接智能仓储 AGV 调度与智能制造物流配送实际场景。

4 考核评价

采用过程性评价+结果性评价，自评+互评 +师评的综合考核模式，总分 100 分，计入课程平时成绩。

评价主体：学生自评（20%）、小组互评（30%）、教师综合评价（50%）。

过程性评价（60 分）

方案设计规范性（15 分）：原理图绘制完整、方案逻辑清晰、ROS 节点拓扑合理、代价地图与规划器参数配置方案科学；

小组协作表现（15 分）：分工明确、全员参与、配合默契、积极研讨、按时完成各阶段任务；

实操规范与探究态度（15 分）：遵循实操标准、主动排查故障、积极解决问题、参数调试过程记录完整；

过程资料完整性（15 分）：过程记录详实、问题台账清晰、阶段性资料齐全。

结果性评价（40 分）

项目成品效果（25 分）：AMCL 定位稳定收敛、MoveBase 路径规划正常运行、导航功能完整（多个目标点自主移动、避障功能正常）；

成果汇报与复盘总结（15 分）：现场演示表达清晰、重点突出、数据充分、复盘深刻、优化思路明确。

5 教学应急与保障

设备故障预案：备用激光雷达、ROS 小车、预装好 ROS 系统的虚拟机镜像及提前构建好的地图文件；硬件故障时切换 Gazebo 仿真环境完成定位导航实操流程。

进度滞后预案： 供简化版 AMCL+MoveBase launch 文件模板和参数配置脚

本，课后开放实验室延长实操时间。

安全保障：规范小车操作流程（导航运行前确保场地开阔无障碍、遥控器急停随时待命、运行过程中保持小车在视线范围内、禁止在人流密集区域运行），规范电脑用电操作，避免系统崩溃。

学困生帮扶举措：一对一辅导 ROS 功能包编译、launch 文件编写、坐标系变换配置，发放分步操作教程，安排小组内基础扎实学生结对协助。

6 课后作业与拓展

（1）实操复盘任务：基于已建地图，在小车上完成至少 3 个不同位置目标点的自主导航任务，录制导航过程演示视频（含 Rviz 界面），分析不同目标点下路径规划的效率差异；

（2）拓展实操任务：修改 AMCL 核心参数（粒子数、更新频率、全局定位采样频率等），对比不同参数下定位收敛速度与精度差异；修改局部规划器（DWA/TEB）核心参数（加速度限制、路径权重、避障权重等），对比不同参数组合下导航平滑性与避障能力差异；实现多目标点自动巡航功能（导航点巡检），录制完整巡航演示视频，形成实操优化成果。

四、实训项目与内容提要

实训由 ROS 操作系统、无人机及机器人常用算法三部分组成，学生可任选其中一个作为实训内容。ROS 操作系统实训内容见表 2，无人机实训见表 3。

表 2 实训内容

序号	实验名称	内容提要	每组人数	支撑教学目标
1	开发环境搭建	安装 Ubuntu 虚拟机，并以此为 基础搭建 ROS 开发环境。	6-10 人	教学目标 2
2	ROS 小海龟控制	启动 ROS 小海龟节点和键盘控制 节点，控制小海龟运动，并能 说清楚其中通信原理。	6-10 人	教学目 标 1、3、4
3	ROS 节点开发	编写 ROS 节点，控制小海龟节 点运动。	6-10 人	教学目 标 1、3、4
4	运行开源代码（可 选）	搭 建 开 发 环 境 ， 运 行 ORB-SLAM2 或 gmapping。	6-10 人	教学目 标 1、3、4

表 3 无人机实训内容

序号	实验名称	内容提要	每组 人数	支撑教学 目标
----	------	------	----------	------------

1	无人机飞控平台搭建实训	了解无人机飞行原理及平台各组件构成，完成基于 pix4 和大疆 n3 飞控的无人机平台的搭建	6-10 人	教学目标 1、2、3、4
2	无人机飞行控制实训	传感器矫正，基础感度，动力带宽，姿态感度，姿态、刹车灵敏度配置	6-10 人	教学目标 2、3、4
3	无人机在环仿真实训	1.无人机撞击实验。 2.无人机穿环实验。 3.无人机跟踪飞行实验	6-10 人	教学目标 1、2、3、4

表 4 机器人实训仿真内容

序号	实验名称	内容提要	每组人数	支撑教学目标
1	机器人路径规划算法仿真	了解机器人路径规划的原理、要求及各种算法，选择路径规划算法，编程调试并分析结果。	6-10 人	教学目标 1、2、3、4
2	四旋翼无人机控制仿真	建立四旋翼无人机数学模型，选择控制算法，构建四旋翼无人机控制系统，编程调试并分析结果。	6-10 人	教学目标 1、2、3、4
3	三自由度机械臂轨迹规划及控制仿真	建立三自由度机械臂数学模型，选择轨迹规划算法及控制算法，构建三自由度机械臂控制系统，编程调试并分析结果。	6-10 人	教学目标 1、2、3、4

五、实训方式与基本要求

1、实训前需要提前预习相关资料；

2、完成实训内容，并撰写实训报告。只有实训内容通过指导老师审核后可以写实训报告。实训报告按照模板格式写，除实验结论等不适合手写的内容需要打印，其余部分一律手写。

六、考核内容与方式

实训考核方式包括实训成绩和实训报告成绩。其中实训成绩有学生实训完成情况决定，占 50%；实训报告成绩由学生对实训内容的理解程度及撰写规范决定，占 50%。

表 5 ROS 实训考核方式及评价标准

序号	考核方式	分值	课程目标 1	课程目标 2	课程目标 3	课程目标 4
1	实际操作	40	10	10	10	10
2	实训报告	60	15	15	15	15
3	总评	100				

表 6 无人机考核方式及评价标准

序号	考核方式	分值	课程目标 1	课程目标 2	课程目标 3	课程目标 4
1	实际操作	40	10	10	10	10
2	实训报告	60	15	15	15	15
3	总评	100				

表 7 机器人实训仿真考核方式及评价标准

序号	考核方式	分值	课程目标 1	课程目标 2	课程目标 3	课程目标 4
1	实际操作	40	10	10	10	10
2	实训报告	60	15	15	15	15
3	总评	100				

七、参考资料

- 1、《机器人学导论》， 约翰 J. 克雷格，机械工业出版社
- 2、《ROS 机器人编程原理及应用》，怀亚特.S. 纽曼，机械工业出版社
- 3、 ROS 官方网站
- 4、《多旋翼无人机的设计与制作》，电子工业出版社，陆元杰 著
- 5、《四旋翼飞行器快速上手 》电子工业出版社， 陈志旺 等编著
- 6、《Python 图像处理实战》，机械工业出版社，[印度] 桑迪潘·戴伊（Sandipan Dey） 著，陈盈，邓军 译

课程负责人：李少波 执笔：李少波、任彦 审核：自动化专业建设小组

自动化专业“流程工业综合自动化技术实训”教学大纲

英文名称: Comprehensive Automation Technology Training of Process Industry

课程编号: 267106323

实习周数: 1.5 周

学分数: 1

一、课程性质和教学目标

《流程工业综合自动化技术实训》是自动化专业实践教学环节必修课程。

该课程能够使学生运用科学原理,并采用科学技术方法和先进技术手段,结合专业工程实际,设计实训方案,构建实训系统,安全进行实训;能够使用常用工程软件进行自动化系统工程的实现、调试、运行和维护,使用仿真工具对自动化领域复杂工程问题进行预测与模拟(并理解其局限性);在解决方案的设计和实施过程中能正确处理自动控制系统安装、调试、运行、维护与环境及可持续发展的关系;具备一定的组织管理能力和较强的表达能力,作为团队负责人能够为团队成员营造出和谐的工作氛围并能充分激发他们的工作积极性和创造性;该课程能够使学生通过系统集成,设计实际工程控制系统,体现集成创新,并能够通过图纸、报告、仿真和实物等形式,展示设计/开发成果,呈现给业界同行及社会公众,并对此进行沟通和交流。

专业能力目标:

该课程方向 1 支撑学生掌握典型流程控制系统的分析、设计方法,通过理论分析对实际系统进行辨识确定其系统模型及相关控制参数的设置,对已知系统进行分析、设计、参数优化。在实训过程中,拓宽知识面,培养学生分析问题和解决问题的能力、提高学生的实际操作技能,使学生能够深入、确切地理解自动控制系统。

该课程方向 2 使学生理解实训系统的开发是一个强弱电结合、软件与硬件相结合、元件与系统相结合的综合性和系统性较强的实践环节。该方向目的在于加强自动化专业学生对相关课程理论知识的理解,增强实践能力和创新意识,培养独立完成实际工程的能力。同时培养自动化专业的学生的综合运用知识的能力、独立分析和设计实训方案的能力、独立选择仪器设备、独立安装和系统调试、独立查阅相关资料和工具书的能力、具备一定的组织管理能力和较强的表达能力。

课程方向 1 和方向 2 由指导教师指定或学生选做。

课程方向 1 的课程目标如下：

课程目标 1：了解自动控制系统及智能仪器的控制原理和控制方法，掌握智能数显仪表的基本操作；熟悉典型系统构成及工作原理，掌握控制系统参数的整定方法。

课程目标 2：熟悉流程控制类生产过程的设备组成、工作原理、检测技术、控制手段以及实现方式，理论联系实际，巩固和加深所学基本理论知识，培养运用所学知识观察分析实际问题的能力。

课程目标 3：培养学生的工程意识与交流合作能力，以逐步培养学生应具备的基本工程素质。

课程目标 4：能够绘制控制结构图，完成简单硬件系统搭建，把所学相关理论知识与实际操作相结合，最终达到能够实际应用的目的。

课程目标 5：具有从事流程控制系统的分析、设计、运行及实验验证的工程实践能力和创新能力。

课程方向 2 的课程目标如下：

课程目标 1：能够运用所学的基础和专业知识，并采用科学技术方法和先进技术手段，设计合理的实验方案，并能够熟练的使用相应的工程软件进行软硬件的设计。

课程目标 2：构建实验系统，安全进行实验，对实验结果能进行合理的分析，得到正确的结论。

课程目标 3：具备较强的团队合作精神，能够为团队成员营造出和谐的工作氛围并能充分激发他们的工作积极性和创造性；同时具备一定的组织管理能力和较强的表达能力。

课程目标 4：培养能够安装、调试、运行、维护的实际工程控制系统的能力，并能够通过图纸、报告、实物等形式，展示设计/ 开发成果。

课程目标 5：具有系统的工程实习经历，掌握实训中涉及的工程管理原理与经济决策方法。

课程思政目标：在实训过程中融入思政教育，有助于提高工科专业学生思想觉悟、形成正确的人生观和政治思想态度，有助于激发学生内心对专业的认同和学习积极性；培养具有高尚思想道德、坚定政治立场、良好专业素质的技术人才。

联系一些教学知识点，引导学生在思想上，积极进取，坚持对党的理论知识的学习，进一步提高自己的思想觉悟。切实执行党的纪律、国家的法律以及学校、

学院的各项规章制度，加强自身修养。将思想政治教育与课程教学相结合，坚持立德树人，努力践行社会主义核心价值观。

二、课程目标与毕业要求的对应关系

课程支撑的毕业要求：

4-3 能够根据实验方案构建实验系统，安全地开展实验，正确地采集实验数据。

5-3 能够针对具体的工程问题对象，通过组合、选配、改进、二次开发等方式创造性地使用现代工具进行模拟和预测，满足特定需求，并能够分析其局限性。

9-3 能够组织、协调和指挥团队开展工作。

10-1 能就专业问题，以口头、文稿、图表等方式，准确表达自己的观点，回应质疑，理解并包容与业界同行和社会公众交流的差异性。

11-3 能在模拟环境下，在设计开发解决方案的过程中，运用工程管理与经济决策方法。

课程方向 1 的课程目标与专业毕业要求的关系见表 1。课程方向 2 的课程目标与专业毕业要求的关系见表 2。

表 1 课程方向 1 的课程目标与专业毕业要求的关系

序号	课程目标	毕业要求 指标点 4-3	毕业要求 指标点 5-3	毕业要求 指标点 9-3	毕业要求 指标点 10-1	毕业要求 指标点 11-3
1	课程目标 1	L3				
2	课程目标 2		L4			
3	课程目标 3			L2		
4	课程目标 4				L3	
5	课程目标 5					L5

布鲁斯标准 L1 认知，L2 理解，L3 应用， L4 分析， L5 综合，L6 评判

表 2 课程方向 2 的课程目标与专业毕业要求的关系

序号	课程目标	毕业要求 指标点 4-3	毕业要求 指标点 5-3	毕业要求 指标点 9-3	毕业要求 指标点 10-1	毕业要求 指标点 11-3
1	课程目标 1	L3				
2	课程目标 2		L3			
3	课程目标 3			L2		
4	课程目标 4				L3	
5	课程目标 5					L4

布鲁斯标准 L1 认知，L2 理解，L3 应用， L4 分析， L5 综合，L6 评判

三、实训内容与要求

(1) 课程方向 1 的实训内容与要求

实训内容：

流程工业综合自动化技术实训是自动化专业本科生的实践性必修课程,属自动化专业三个教育平台的第二层次(专业教育平台)。

流程工业综合自动化技术实训可以使学生将自动化专业课程的理论应用到实际中,拓宽知识面,培养学生分析问题和解决问题的能力、提高学生的实际操作技能,使学生能够深入、确切地理解自动控制系统。通过对温度、压力、流量、液位等典型过程参数所组成的控制对象,采用多种控制方案及手段进行控制,让学生熟悉主流的工业控制产品,培养其操作、选型、设计能力,独立完成有一定难度的自动控制系统运行调试。主要包括:

1. 重点掌握过程控制中各种检测设备(压力变送器、液位变送器、热电阻、流量计等)、执行机构(调节阀、变频器、加热器)和智能仪表的基本工作原理、结构、特点和应用情况。
2. 掌握典型流程控制系统的控制结构,完成系统硬件连线。
3. 掌握对典型流程控制系统的分析、设计方法,通过理论分析及仿真对未知系统进行辨识、仿真确定其系统模型及相关控制参数的设置,对已知系统进行分析、设计、参数优化。

表 3 课程方向 1 的实训具体内容

序号	实验名称	内容提要	每组人数	实验属性	备注
1	熟悉实验装置及各部件功能	1.了解实验装置,认识各部件; 2.了解各部件的工作原理,学会如何使用;	3-5	认知	必做
2	双容液位单回路控制系统实验	1.选择被控对象,设计实验方案; 2.掌握单回路控制系统的构成; 3.熟悉 PID 参数对控制系统的影响,学会参数设定;	3-5	设计	四个题目选择一个完成
3	串级控制系统实验	1.掌握串级控制系统的组成及特点; 2.掌握串级控制主、副控制回路的选择; 3.掌握串级控制系统参数整定方法;	3-5	设计	
4	流量比值控制系统实验	1.了解比值控制系统的结构组成; 2.掌握比值系数的计算; 3.掌握比值控制系统参数整定;	3-5	设计	
5	前馈控制系统实验	1.掌握前馈反馈控制系统的原理; 2.学会整定前馈反馈控制系统。	3-5	设计	

其中实训内容可根据具体条件进行适当的调整。

实训要求:

1. 实训在指导教师指导下，由学生分组完成。
2. 实训指导教师在实训过程中应认真负责、组织好实训环节，使实训时间能够得到充分利用。
3. 实训期间必须严格遵守实验室的一切规章制度。
4. 指导教师做好出勤记录和过程检查记录。
5. 实训期间应按计划规定的内容进行，按时完成实训报告，报告内容要详细，写清所选题目的控制要求、所用主要设备、实训过程描述及总结（包括控制结构图和接线图，主要设备的参数设置，记录过程数据，进行结果分析）。

（2）课程方向 2 的实训内容与要求

课程方向 2 的实训内容与要求见表 4。

表 4 课程方向 2 的实训具体内容

序号	实验名称	内容提要	实验学时	每组人数	实验属性	备注
1	自动混合装置控制系统实训 (支撑专业能力目标 1、2、3 和课程思政目标)	1、根据任务书及收集的参考文献熟练掌握自动混合装置控制系统工艺过程及控制要求。 2、掌握博途软件的 S7-1200PLC 的硬件组态、编程调试及组态监控画面的使用。 3、根据控制要求确定 PLC 的 I/O 点数及 I/O 地址分配表，画出 I/O 的连接图，并且对 PLC 的外围电路接口进行设计。确定 PLC 的模块数量和外围电器和材料的数量。 4、掌握逻辑控制程序的编制方法和调试过程，熟练掌握常用逻辑指令的使用方法，编写应用程序，设计监控画面（较高要求）。 5、软、硬件结合进行系统调试。 6、完成实训报告。	16	3	综合、设计	选做
2	仓库存储自动控制系统实训 (支撑专业能力目标 1、2、3 和课程思政目标)	1、根据任务书及收集的参考文献熟练掌握仓库存储自动控制系统工艺过程及控制要求。 2、掌握博途软件的 S7-1200PLC 的硬件组态、编程调试及组态监控画面的使用。 3、根据控制要求确定 PLC 的 I/O 点数及 I/O 地址分配表，画出 I/O 的连接图，并且对 PLC 的外围电路接口进行设计。确定 PLC 的模块数量和外围电器和材料的数量。 4、掌握逻辑控制程序的编制方法和调试过程，熟练掌握常用逻辑指令的使用方法，编写应用程序，设计监控画面（较高要求）。 5、软、硬件结合进行系统调试。 6、完成实训报告。	16	3	综合、设计	选做
3	四层传送带的自动监控系统	1、根据任务书及收集的参考文献，熟练掌握四层传送带的自动监控系统工艺过程及控制要求。 2、掌握博途软件的 S7-1200PLC 的硬件组态、编程调试及组态	16		综合、	选做

	模 拟 实 训 (支撑专业 能力目标 1、2、3 和 课程思政 目标)	监控画面的使用。 3、根据控制要求确定 PLC 的 I/O 点数及 I/O 地址分配表,画出 I/O 的连接图。确定 PLC 的模块数量和外围电器和材料的数量。 4、设计控制系统的电气原理图,包含主电路、控制电路和 PLC 接口电路。 5、掌握逻辑控制程序的编制方法和调试过程,熟练掌握常用逻辑指令的使用方法,编写应用程序,设计监控画面(较高要求)。 6、软、硬件结合进行系统调试。 7、完成实训报告。			设计	
4	智力竞赛 抢答器的 设计实训 (支撑专业 能力目标 1、2、3 和 课程思政 目标)	1、根据任务书和参考有关智力竞赛抢答器的功能,自己设计一个功能较高级的智力竞赛抢答器,并将其转化为详细的控制要求。 2、掌握博途软件的 S7-1200PLC 的硬件组态、编程调试及组态监控画面的使用。 3、根据控制要求确定 PLC 的 I/O 点数及 I/O 地址分配表,画出 I/O 的连接图,并且对 PLC 的外围电路接口进行设计。确定 PLC 的模块数量和外围电器和材料的数量。 4、掌握逻辑控制程序的编制方法和调试过程,熟练掌握常用逻辑指令的使用方法,编写应用程序,设计监控画面(较高要求)。 5、软、硬件结合进行系统调试。 6、完成实训报告。	16	3	综合、设计	选做
5	水塔水位 自动控制 及报警系 统模拟实 训实训(支 撑专业能 力目标 1、 2、3 和课 程思政目 标)	1、根据任务书及收集的参考文献,熟练掌握水塔水位自动控制及报警自动监控系统工艺过程及控制要求。 2、掌握博途软件的 S7-1200PLC 的硬件组态、编程调试及组态监控画面的使用。 3、根据控制要求确定 PLC 的 I/O 点数及 I/O 地址分配表,画出 I/O 的连接图。确定 PLC 的模块数量和外围电器和材料的数量。 4、设计控制系统的电气原理图,包含主电路、控制电路和 PLC 接口电路。 5、掌握逻辑控制程序的编制方法和调试过程,熟练掌握常用逻辑指令的使用方法,编写应用程序,设计监控画面(较高要求)。 6、软、硬件结合进行系统调试。 7、完成实训报告。	16	3	综合、设计	选做
6	四层楼电 梯自动控 制(支撑专 业能力目 标 1、2、3 和课程思 政目标)	1、根据任务书及收集的参考文献熟练掌握四层楼电梯自动控制工艺过程及控制要求。设计控制要点如下: (1). 三层楼电梯轿厢上下行由一台交流电动机控制,门开关由一台直流电机控制:正转(上升)、反转(向下)。每层设有呼叫开关 SB1—SB4;呼叫指示灯 H1-H4 和到位行程开关 ST1-ST4。 (2).若令电梯上升途中只响应上升呼叫,下升途中只响应下降呼叫,任何方向呼叫均无效。 (3). 因实际电梯的呼叫开关为按钮开关,所以 SB1-SB4 开关要求瞬间接通有效。 (4).各层楼有效运行时间应小于 20S。	16	3	综合、设计	选做

		2、掌握博途软件的 S7-1200PLC 的硬件组态、编程调试及组态监控画面的使用。 3、根据控制要求确定 PLC 的 I/O 点数及 I/O 地址分配表,画出 I/O 的连接图。确定 PLC 的模块数量和外围电器和材料的数量。 4、设计控制系统的电气原理图,包含主电路、控制电路和 PLC 接口电路。 5、掌握逻辑控制程序的编制方法和调试过程,熟练掌握常用逻辑指令的使用方法,编写应用程序,设计监控画面(较高要求)。 6、软、硬件结合进行系统调试。 7、完成实训报告。				
7	可 编 程 控 制 器 (S7-1200 PLC) 组成的 温度 闭 环 监 控 系 统(支撑专业 能力 目 标 1、2、3 和 课 程 思 政 目 标)	1、根据任务书及收集的参考文献熟练掌握温度闭环监控系统工艺过程及控制要求。 2、掌握博途软件的 S7-1200PLC 的硬件组态、编程调试及组态监控画面的使用。 3、根据控制要求确定 PLC 的 I/O 点数及 I/O 地址分配表,画出 I/O 的连接图,并且对 PLC 的外围电路接口进行设计。确定 PLC 的模块数量和外围电器和材料的数量。 4、掌握热电阻的测温方法及 PLC 的模拟量处理方法;掌握逻辑控制程序的编制方法和调试过程,熟练掌握常用逻辑指令的使用方法,掌握 PID 软件模块的编程,编写应用程序,设计监控画面(较高要求)。 5、软、硬件结合进行系统调试。 6、完成实训报告。	16	3	综 合 、 设 计	选 做
8	可 编 程 控 制 器 (S7-1200 PLC) 组成的 步进 电 机 调 速 控 制 系 统(支撑专业 能力 目 标 1、2、3 和 课 程 思 政 目 标)	1、根据任务书及收集的参考文献熟练掌握温度步进电机调速控制系统工艺过程及控制要求。 2、掌握博途软件的 S7-1200PLC 的硬件组态、编程调试及组态监控画面的使用。 3、根据控制要求确定 PLC 的 I/O 点数及 I/O 地址分配表,画出 I/O 的连接图,并且对 PLC 的外围电路接口进行设计。确定 PLC 的模块数量和外围电器和材料的数量。 4、掌握步进电机控制原理及相应的控制指令;掌握逻辑控制程序的编制方法和调试过程,熟练掌握常用逻辑指令的使用方法,编写应用程序,设计监控画面(较高要求)。 5、软、硬件结合进行系统调试。 6、完成实训报告。	16	3	综 合 、 设 计	选 做

教学内容与教学项目

项目一：破碎机料位自动控制项目

破碎机料位自动控制项目教学基本信息

学习目标及学时

学习目标:

本项目教学旨在通过“破碎机料位自动控制系统”这一典型工业场景，使学生掌握破碎机料位控制的原理、系统构成及工业价值（知识目标）；培养学生进行控制系统设计、工程调试及运用理论分析解决实际工程问题的实践能力（能力目标）；同时，引导其树立严谨规范的安全责任意识、形成系统优化的工程思维，并理解自动化技术对产业升级的意义，激发精益求精的工匠精神与科技报国的使命感（思政目标），从而为未来从事相关技术工作奠定坚实基础。

学时：12 学时

前置基础：

- ①掌握 PLC 基本逻辑指令及梯形图编程方法；
- ②了解常见工业传感器的类型与信号类型；
- ③初步了解变频器工作原理及调速方法；
- ④具备基本的上位机组态软件操作经验。

重点、难点：

重点：

①料位闭环控制系统方案设计与硬件组态。 解决举措：提供标准控制框图模板和硬件选型清单，引导学生按“传感器→控制器→执行器→被控对象→反馈”的逻辑依次完成方案设计；使用 PLC 模拟量模块完成传感器信号采集与变频器频率输出的硬件组态。

②PID 控制在料位调节中的工程实现。 解决举措：采用“先仿真、后实物”策略——先在 PLC 编程软件中运行 PID 仿真功能观察响应曲线，再下载至实物设备；提供标准 PID 功能块调用模板，降低编程门槛；通过“固定 P、调整 I、增加 D”的递进式实验，让学生直观感受各参数作用。

③上位机监控界面的设计与数据交互。 解决举措：提供组态软件的标准画面模板，引导学生修改绑定变量，重点实现料位实时显示、趋势曲线、手自动切换、远程设定值修改等核心功能。

难点：

①PID 参数工程整定的实际操作与现象分析。 解决举措：设计“临界振荡法+经验试凑法”双路径整定流程，提供参数整定记录表格，要求记录每组参数下的响应曲线特征（超调量、调节时间、稳态误差）；教师通过典型失败案例（如振荡发散、响应迟缓）进行集中讲解，帮助学生建立“参数-现象”的对应认知。

②模拟实验环境与实际工况的映射理解。 解决举措：采用对比类比教学法，

通过表格清晰呈现水箱液位与破碎机料位在结构原理、过程模型、输入输出等方面的对应关系，反复强调“输入输出特性等价”的核心逻辑——两种系统的数学本质相同，学生只需关注控制算法本身，无需纠结物理对象差异。

③系统联调时故障排查的全局定位能力。 解决举措：教授“分段排查法”将系统划分为传感器段、PLC 处理段、执行器段、通信段，按“信号流向”逐段检查；提供常见故障排查清单，培养学生系统级故障诊断的思维习惯。

教学资源及工具

硬件：过程控制实验平台，PLC 控制器，上位机电脑；

软件：PLC 编程软件（TIA Portal 或 STEP 7），上位机组态软件（WinCC 或组态王/力控等）。

项目任务拆解

任务一：系统认知与方案设计

理解料位控制系统的工艺背景与控制需求，了解破碎工艺全流程（储料仓→刮板机→破碎机→转运皮带），完成系统方案设计。

任务二：控制系统搭建与 PID 调试

根据方案设计图完成水箱液位模拟平台的硬件接线，完成 PLC 控制程序编写、PID 参数整定及闭环控制调试。

任务三：系统联调优化与项目总结

完成全系统联调，总结项目经验，完善技术报告。

教学实施流程（12 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

播放矿山破碎机现场运行视频，引出“为什么要实现料位自动控制”的核心问题；发布项目任务书，明确项目目标、评价标准、时间安排与安全注意事项。

第二阶段：小组分工与方案设计（2.5 学时）

学生活动：各小组内部讨论，选举组长，进行角色分工（方案设计、硬件接线、PLC 编程、上位机组态、报告撰写等），每人至少承担一项具体职责。

教师指导：巡视各组研讨情况，检查方案设计的合理性（重点检查 I/O 分配是否遗漏、控制逻辑是否闭环、安全保护是否考虑周全），针对方案中的共性问题进行集中讲解。

第三阶段：自主探究与项目实操（8 学时）

学生活动：按方案设计完成硬件接线与检查（通电前经教师确认）；分步编

写 PLC 程序（模拟量采集→PID 调用→变频器输出→上位机通信），每完成一步进行子测试；开展 PID 参数整定实验，通过改变比例、积分、微分参数，观察响应曲线变化并记录数据；调试上位机监控界面，设定值修改、趋势显示等功能。

教师指导：逐一验收硬件接线、程序基础功能、PID 调试效果，避免问题累积到联调阶段集中爆发；针对调试过程中出现的普遍问题进行及时干预与集中讲解；对进度滞后的组给予专项辅导，记录各组表现，作为过程性评价的依据。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：每组进行 5 分钟汇报（含方案设计思路、调试过程关键节点、PID 参数整定对比数据、最终控制效果展示）；现场操作演示系统在设定值变化时的响应过程。

多元互评：小组之间相互点评，从方案合理性、调试方法、效果质量、汇报表达四个维度打分；组内进行自评与互评，每位学员对自身贡献度和协作表现进行反思，评价同伴在项目中的具体贡献。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理本次项目的核心知识点（闭环控制原理、PID 工程应用、模拟量处理方法）；汇总各组实操中出现的典型故障问题及标准化解决方案；串联理论知识（自动控制原理）与工程实践（PLC 实现），强化“学以致用”的认知闭环。

全员复盘：引导学生从方案设计、实操过程、团队协作、问题解决四个维度反思不足；每组提出 1-2 条“如果再做一次，我们会改进什么”的优化思路；

项目拓展：提出延伸思考——“如果增加前馈控制（根据给料量提前调节），系统会有什么改善？”，激发学生对更先进控制策略的探索兴趣。

考核评价

采用过程性评价+结果性评价，自评+互评+师评的综合考核模式，总分 100 分，计入课程平时成绩。

评价主体：学生自评（20%）、小组互评（30%）、教师综合评价（50%）。

过程性评价（60 分）

方案设计规范性（15 分）：控制框图绘制完整、方案逻辑清晰、设计合理，I/O 分配合理、硬件选型正确、安全逻辑无遗漏；

小组协作表现（15 分）：分工明确、全员参与、配合默契、按时完成各阶段任务；

实操规范与探究态度（15分）：接线规范、调试过程记录完整、主动排查故障、积极提问与解决问题；

过程资料完整性（15分）：过程记录详实、问题台账清晰、阶段性资料齐全。

结果性评价（40分）

项目成品效果（25分）：PLC程序运行正常、闭环控制稳定、监控界面功能完整；

成果汇报与复盘总结（15分）：汇报表达清晰、重点突出、数据充分、复盘深刻、优化思路明确。

教学应急与保障

设备故障预案：课前全面检查所有实验设备（PLC、变频器、传感器、水泵、通信线缆），确保完好率100%；若某组设备出现严重故障且无法快速修复，采用两组共用设备轮流操作的方式，完成核心调试环节。

进度滞后预案：对进度滞后的组，教师课后提供专项辅导，协助攻克技术瓶颈。

安全保障：实验前进行安全交底（严禁带电插拔接线、水泵运行期间不得将手伸入水箱等），所有硬件接线在通电前须经教师检查确认，实验过程中如出现设备冒烟、异味等异常，立即切断电源并报告教师。

课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，包含方案设计、过程、问题总结、心得体会；

（2）拓展作业：在现有单闭环PID基础上，增加前馈补偿环节（根据水泵转速前馈调节设定值），对比优化前后系统的抗扰动性能，撰写优化报告。

破碎站智能交通灯控制项目

破碎站智能交通灯控制项目教学基本信息

学习目标及学时

学习目标：

本项目教学旨在通过“破碎站智能交通灯控制系统”这一典型工业场景，使学生掌握基于储煤仓料位信号的智能交通灯控制原理、系统构成及工程实施（知识目标）；培养学生进行控制系统设计、工程调试及运用理论分析解决实际工程问题的实践能力（能力目标）；同时，引导其树立严谨规范的安全责任意识、形成系统优化的工程思维，并理解智能感知与自动控制技术对矿山智能化升级的意义，激发精益求精的工匠精神与科技报国的使命感（思政目标），从而为未来从事相

关技术工作奠定坚实基础。

学时：12 学时

前置基础：

- ①掌握 PLC 基本逻辑指令及梯形图编程方法；
- ②了解常见工业传感器的类型与信号类型；
- ③具备基本的上位机组态软件操作经验。

重点、难点：

重点：智能交通灯控制系统方案设计与交通灯状态切换逻辑的工程实现。解决举措：提供标准控制框图模板和硬件选型清单，引导学生按“料位传感器→PLC 控制器→交通信号灯→拉煤车放行/禁行→料位反馈”的逻辑依次完成方案设计；使用 PLC 开关量/模拟量模块完成传感器信号采集，通过编程实现交通灯控制。

难点：多料位阈值与控制策略的协同优化。解决举措：设计“固定阈值+回差控制”双参数整定流程，提供参数整定记录表格，要求记录不同阈值设定下的系统响应特征（放行效率、等待时长、料位波动），帮助学生建立“阈值-现象”的对应认知。

教学资源及工具

硬件：交通灯模块，PLC 控制器，上位机电脑；

软件：PLC 编程软件（TIA Portal 或 STEP 7），上位机组态软件（WinCC 或组态王/力控等）。

项目任务拆解

任务一：系统认知与方案设计

理解破碎站智能交通灯控制系统的工艺背景与控制需求，了解破碎站卸煤全流程（储煤仓料位检测→智能交通灯控制→拉煤车有序放行/禁行），完成系统方案设计。

任务二：控制系统搭建与逻辑调试

根据方案设计完成 PLC 和交通灯模块的硬件接线，完成 PLC 控制程序编写，进行程序调试。

任务三：系统联调优化与项目总结

完成系统联调（料位信号→PLC 决策→交通灯响应→模拟卸煤动作的闭环验证），总结项目经验，完善技术报告。

教学实施流程（12 学时）

第一阶段：项目导入与目标解读（0.5 学时）

播放矿山破碎站现场运行视频（重点展示拉煤车排队卸煤、料位波动、交通指挥等场景），引出“为什么要实现智能交通灯自动控制”的核心问题（解决人工指挥效率低、料仓溢出或空仓导致停产、车辆无效等待等痛点）；发布项目任务书，明确项目目标、评价标准、时间安排与安全注意事项。

第二阶段：小组分工与方案设计（2.5 学时）

学生活动：各小组内部讨论，选举组长，进行角色分工（方案设计、硬件接线、PLC 编程、上位机组态、报告撰写等），每人至少承担一项具体职责。

教师指导：巡视各组研讨情况，检查方案设计的合理性（重点检查 I/O 分配是否遗漏、状态切换逻辑是否完整、安全保护是否考虑周全），针对方案中的共性问题进行集中讲解。

第三阶段：自主探究与项目实操（8 学时）

学生活动：按方案设计完成硬件接线与检查（通电前经教师确认）；分步编写 PLC 程序，每完成一步进行子测试；开展阈值参数整定实验，通过改变高/中/低三级料位阈值及回差参数，观察交通灯切换响应及模拟卸煤效果，记录数据；调试上位机监控界面。

教师指导：逐一验收硬件接线、程序基础功能、PID 调试效果，避免问题累积到联调阶段集中爆发；针对调试过程中出现的普遍问题进行及时干预与集中讲解；对进度滞后的组给予专项辅导，记录各组表现，作为过程性评价的依据。

第四阶段：成果展示与互评优化（0.5 学时）

小组成果展示：每组进行 5 分钟汇报（含方案设计思路、调试过程关键节点、阈值整定对比数据、最终控制效果展示）；现场操作演示系统在料位变化时交通灯的自动切换响应过程。

多元互评：小组之间相互点评，从方案合理性、调试方法、效果质量、汇报表达四个维度打分；组内进行自评与互评，每位学员对自身贡献度和协作表现进行反思，评价同伴在项目中的具体贡献。

第五阶段：总结复盘与知识内化（0.5 学时）

教师总结：梳理本次项目的核心知识点（PID 工程应用、模拟量处理方法）；汇总各组实操中出现的典型故障问题及标准解决方案；串联理论知识与工程实践，强化“学以致用”的认知闭环。

全员复盘：引导学生从方案设计、实操过程、团队协作、问题解决四个维度

反思不足：每组提出 1-2 条“如果再做一次，我们会改进什么”的优化思路；

项目拓展：提出延伸思考“如果增加车流量检测（根据排队长度动态调整阈值），系统会有什么改善？”，激发学生对更智能控制策略的探索兴趣。

考核评价

采用过程性评价+结果性评价，自评+互评+师评的综合考核模式，总分 100 分，计入课程平时成绩。

评价主体：学生自评（20%）、小组互评（30%）、教师综合评价（50%）。

过程性评价（60 分）

方案设计规范性（15 分）：控制框图绘制完整、方案逻辑清晰、设计合理，I/O 分配合理、硬件选型正确、安全逻辑无遗漏；

小组协作表现（15 分）：分工明确、全员参与、配合默契、按时完成各阶段任务；

实操规范与探究态度（15 分）：接线规范、调试过程记录完整、主动排查故障、积极提问与解决问题；

过程资料完整性（15 分）：过程记录详实、问题台账清晰、阶段性资料齐全。

结果性评价（40 分）

项目成品效果（25 分）：PLC 程序运行正常、状态切换准确、上位机监控界面功能完整；

成果汇报与复盘总结（15 分）：汇报表达清晰、重点突出、数据充分、复盘深刻、优化思路明确。

教学应急与保障

设备故障预案：课前全面检查所有实验设备，确保完好率 100%；若某组设备出现严重故障且无法快速修复，采用两组共用设备轮流操作的方式，完成核心调试环节。

进度滞后预案：对进度滞后的组，教师课后提供专项辅导，协助攻克技术瓶颈。

安全保障：实验前进行安全交底（严禁带电插拔接线），所有硬件接线在通电前须经教师检查确认，实验过程中如出现设备冒烟、异味等异常，立即切断电源并报告教师。

课后作业与拓展

（1）撰写完整项目报告，包含方案设计、过程、问题总结、心得体会；

(2) 拓展作业：在现有料位阈值控制基础上，增加“车流量检测”动态调整放行阈，对比优化前后系统的通行效率与料位稳定性，撰写优化报告。

四、实训程序与时间安排

(1) 预习要求：学生要根据实训题目要求查阅参考资料，提前进行认真的预习，初步看懂实训内容、原理，并写出预习报告；预习报告应包括基本的实训内容和实训方案，基本实训步骤、过程以及数据记录，对于有设计内容的项目要提前做好设计方案。

(2) 操作要求：进入实训室后，任课教师需向学生讲清课程实训的性质、任务、要求、实训守则及实训室安全制度等。学生要搞清本次实训需使用的仪器，每种仪器在实训中所起的作用，合理选择使用仪器，正确使用测量方法。根据已设计的实训步骤并经老师同意后开始实训。实训 3-5 人 1 组，学生要认真观察分析实训现象，记录实训数据。运用所学知识解决实训中发生的问题；每项实训结果，需经教师认可后，方可结束实训；实训后认真填写实训开出记录。

(3) 时间安排：实训安排在第四学年的上学期（总学期第 7 学期）进行，总学时为 2 周。

表 5 教学方式及学时分配

序号	主要内容	学时分配
1	熟悉实验装置及各部件功能	1 天
2	方案设计	2 天
3	完成实训任务	3 天
4	过程检查	1 天
5	总结，撰写实训报告	1 天

五、实训方法与指导方式

每 3-5 人为一组，分配一套实训装置；电脑一台；按实训要求完成实验。

指导方式：

(1) 直观教学：先由指导教师讲解、介绍实训内容。然后通过观摩、教师的指导、答疑，组织学生进行系统操作、调试、运行。

(2) 实际操作：按实训的要求，独立进行相关实验。在实训中，指导教师能及时指导和解决学生所遇到的各种专业问题。

指导方式为现场指导，同时结合微信或 QQ 群答疑。

表 6 针对课程目标的考核方式及评价权重分配表

序号	考核方式	权重(%)	课程目标 1	课程目标 2	课程目标 3	课程目标 4	课程目标 5
1	实际操作	30		20	10		
2	实训报告	70	10	20	10	20	10
3	总评	100					

表 7 针对课程目标的考核内容、评价指标及评分表

班级：		姓名：		学号：	
考核方式内容及评价指标		支撑课程目标	分数	得分	评阅人
实际操作表现（30分）	实际操作（安全、完整的搭建实验操作过程，对实验结果能进行合理的分析）	课程目标 2	20		
	实训态度（具有团队合作精神和一定的组织管理能力，同时具备较强的表达能力）	课程目标 3	10		
实训报告（70分）	能够运用所学的基础和专业知识，并采用科学技术方法和先进技术手段，设计合理的实验方案，并能够熟练的使用相应的工程软件进行软硬件的设计。	课程目标 1	10		
	构建实验系统，安全进行实验，对实验结果能进行合理的分析，得到正确的结论。	课程目标 2	20		
	具备较强的团队合作精神，能够为团队成员营造出和谐的工作氛围并能充分激发他们的工作积极性和创造性；同时具备一定的组织管理能力和较强的表达能力。	课程目标 3	10		
	培养能够安装、调试、运行、维护的实际工程控制系统的能力，并能够通过图纸、报告、实物等形式，展示设计/开发成果。	课程目标 4	20		
	具有系统的工程实习经历，掌握生产实习中涉及的工程管理原理与经济决策方法。	课程目标 5	10		
总分			100		

表 8 “流程工业综合自动化技术实训”课程教学目标达成情况学生自评、评教调查表

序号	课程教学目标	学生自评达成度 (5 分)					学生评教达成度 (5 分)					教学中存在的问题	改进建议
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1		
1	课程目标 1: 能够运用所学的基础和专业知识, 并采用科学技术方法和先进技术手段, 设计合理的实验方案, 并能够熟练的使用相应的工程软件进行软硬件的设计;												
2	课程目标 2: 构建实验系统, 安全进行实验, 对实验结果能进行合理的分析, 得到正确的结论;												
3	课程目标 3: 具备较强的团队合作精神, 能够为团队成员营造出和谐的工作氛围并能充分激发他们的工作积极性和创造性; 同时具备一定的组织管理能力和较强的表达能力;												
4	课程目标 4: 培养能够安装、调试、运行、维护的实际工程控制系统的能力, 并能够通过图纸、报告、实物等形式, 展示设计/开发成果;												
5	课程目标 5: 具有系统的工程实习经历, 掌握实训中涉及的工程管理原理与经济决策方法。												

九、参考资料

课程方向 1 参考资料:

(1) 实训教材:《流程控制自动化技术实训》自编。

(2) 参考书目:

1. 《过程控制系统》黄德先,王京春,金以慧著. 清华大学出版社, 2011.5
2. 《过程控制及其 MATLAB 实现》刘晓玉著. 电子工业出版社, 2021.1
3. 《流程工业仪表工程师手册》全国化工自动控制设计技术中心站, 2021

课程方向 2 参考资料:

(1) 实训任务书: 自编。

(2) 参考书目:

1. 《电气控制与 PLC 原理及应用》陈建明等, 机械工业出版社, 2020, 9 第一版

2. 《电机与拖动》许晓峰，高等教育出版社，2014，2 第八版
3. 《工厂电气控制技术》方承远等，机械工业出版社，2018，8 第二版
4. 《深入浅出西门子 S7-1200PLC》刘锴等，北京航空航天大学出版社，2020，8 第一版
5. 《西门子 S7-300PLC 应用技术》秦益霖等，电子工业出版社，2007，4 第一版
6. 《电机原理及拖动》彭鸿才，机械工业出版社，2012，8 第二版
7. 《电机拖动》周绍英，冶金工业出版社，2012，2 第二版

课程负责人：田海 执笔：田海、刘丕亮 审核：自动化专业建设小组