

低空技术与工程学术博士培养方案

(专业代码：0823J1 授予工学博士学位)

自动化与智能学院

一、学科专业及培养方向

(一) 学科简介

低空技术与工程是“交通运输工程”、“信息与通信工程”、“机械工程”、“系统科学”与“计算机科学与技术”五个一级学科博士点及硕士点共同支撑、交叉融合的交叉学科。该学科针对低空飞行器在各类典型场景应用中面临的核心重大科技难题，以学校“交通运输工程”、“系统科学”、“机械工程”、“计算机科学与技术”与“信息与通信工程”等优势学科为基础，实现多院系多学科交叉联合创新，形成“低空飞行器系统工程-低空智能航行-低空安全保障-智能立体交通工程-低空域规划与管理”的“融合型”研究思路，探索研究上述各环节之间的相互耦合和反馈机制，解决单一学科所无法解决的难点问题，并由此产生符合低空技术与工程学科作为新兴交叉学科定位的新概念体系、理论体系和方法体系。

(二) 培养方向

北京交通大学“低空技术与工程”学科围绕国家低空、交通和物流等行业重大需求，瞄准国际学术前沿，形成了低空运载器系统工程、低空智能航行技术、低空安全保障技术、智能立体交通工程、低空域规划与管理等优势研究方向。各培养方向的主要内容概括如下：

01 低空运载器系统工程

本研究方向针对低空运载器在复杂空域中的安全飞行与合规运行需求，开展适航设计、环境适应性设计与智能飞行控制等研究。主要包括：低空运载器适航构型综合设计、系统冗余与失效模式分析、适航标准体系建设；面向复杂气象与地空环境的气动结构优化、复合扰动建模、自适应鲁棒控制及动态响应策略；融合人工智能与深度学习的智能飞控架构、动态路径规划与避障重构算法、多机协同与群体飞行控制技术，形成“结构-系统-任务-法规”一体化的适航设计与认证体系。

02 低空智能航行技术

本研究方向针对低空飞行器在高动态、强实时、复杂电磁与气象环境下的智能航行需求，开展智能通信组网、高精度定位导航与自主运行技术研究。主要包括：空天地频谱管理与干扰协调、异构网络接入与自组网、飞行器身份标识与编队协同机制；多源异构信息融合定位导航（卫星/惯性/视觉/激光雷达）、空天地协同授时、位置感知服务与性能评估系统；基于 AI 与 5G/6G 的自主感知、智能避障、实时动态路径规划、分布式决策控制及去中心化架构，突破能耗与通信瓶颈，实现多飞

行器高效协同运行。

03 低空安全保障技术

本研究方向针对低空运载器适航验证、非合作目标反制及信息安全防护需求，开展智能验证、主动防御与韧性防护技术研究。主要包括：基于数字孪生的适航测试平台、强化学习与形式化验证结合的智能符合性验证系统；多模态融合感知与大模型驱动的非合作目标行为图谱构建、自适应防御引擎（电磁干扰/导航诱骗/激光拦截）及去中心化协同反制蜂群攻击；涵盖漏洞挖掘、加密通信、动态认证的信息安全主动防护体系，突破深度伪造防御，部署嵌入式安全探针形成“监测-隔离-自愈”一体化闭环。

04 智能立体交通工程

本研究方向针对城市空中交通与物流场景中大规模异构飞行器的协同运行需求，开展多模态环境感知、立体交通建模与群智控制技术研究。主要包括：激光雷达/视觉/ADS-B等多源传感器融合感知、动态三维建图与空-地-天一体化感知网络；宏观-微观耦合交通流模型、数字孪生仿真平台、联邦学习与深度强化学习驱动的分布式协同航路规划；基于共识算法与博弈论的去中心化控制策略、仿生集群避碰与编队重构、分层混合智能控制（强化学习+模型预测控制）及对抗性协同训练，提升集群在干扰环境下的鲁棒性。

05 低空域规划与管理

本研究方向针对低空多元飞行需求与有限空域资源的高效利用问题，开展航路网络设计、飞行规划调度与空域资源管理研究。主要包括：基于飞行器性能的分层空域结构设计、点对点/枢纽辐射/三维立体航路拓扑优化、动态流量分配及智能算法求解；巨量并发飞行需求预测、时隙分配与拥挤收费等经济管理手段、飞行冲突预测解脱、应急响应机制及微观-宏观行为建模；时空维度动态空域划分（高度层/网格化）、数字化表征与全流程治理、容量评估模型、集中-分布式结合的人机协同决策，形成空域资源利用率优化与绿色低空飞行管理方法。

二、培养目标

本专业人才以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，面向知识创新发展需要，培养具有社会主义核心价值观，健全的人格和健康的身心，较强的社会责任感，具备较高的学术素养和职业素养、较强原创精神、扎实科研能力、德智体美劳全面发展的学术创新型人才。培养大力发展低空经济背景下从事学术研究的高端科研人才及适合低空产业需求的应用型、技术型、复合型的高级专业技术人才。

本学科工学博士学位申请人

1. 思想道德方面：学位申请人应当拥护中国共产党的领导，拥护社会主义制度，遵守宪法和法

律，遵守学术道德和学术规范。

2. 学术水平方面：适应能够适应我国低空交叉领域科研与工程建设需要，熟悉系统科学、通信、计算机、控制、机械和交通运输领域专业知识、前沿理论，具备独立分析与解决低空飞行器设计、控制、调度、反制等关键技术和方法，交通、信息与管理相融合的低空领域专门技术与管理复合型人才。

3. 能力水平方面：应具有独立从事低空技术与工程交叉学科领域创新性科学研究工作和实际工作能力，及与之相适应的获取新知识与归纳科学问题的能力、理论分析与技术综合以及工程实现的能力等；并具有撰写学术论文和进行国际学术交流的能力。

4. 成果水平方面：应通过在读期间的科研实践凝练出相应的具有创新性并公开发表的论文和其他科研成果（论文的数量和水平及其他科研成果的形式由学校规定），并独立完成学位论文。

三、培养方式及修业年限

1. 培养方式

博士研究生的培养以科学研究为主，实行导师负责制。采用导师指导或导师负责与导师团队培养相结合的指导方式。对从事交叉学科研究的博士生培养工作，可成立由相关学科导师组成的导师团队。

2. 修业年限

博士研究生基本修业年限为 4 年，最长修业年限 6 年。

四、科学研究与实践

从事高水平的科学研究是培养高水平拔尖人才、产生高水平科研成果和论文的必要条件，也是培养研究生严谨的治学态度、求实的科学精神、团结合作的品质、开放创新的思维、“具有独立从事本学科创造性科学研究工作和实际工作能力”的有效手段和途径。所以，在导师的指导与安排下，博士生必须全方位、全过程地参加科研工作，进行系统的科研训练。

博士研究生实际参加科研时间不应少于在读时间的 60%。科学研究与实践工作包括但不限于以下内容：

1. 参加国家级或省、部级重大或重点课题，并在解决其中的科学和技术问题中发挥主力作用；参加的自选课题必须是国家科学技术中或国民经济建设中急需解决的难题；

2. 参与项目的申请、论证、答辩、招标等工作；

3. 参与（或了解）国家或省、部级科研平台及实验室的申报和（或）建设工作。

博士生在进入论文撰写阶段前需撰写并提交科研实践总结报告，导师和所在科研团队对该生的科研态度和成果给出评价和成绩。

五、学位论文

进行科学研究与撰写学位论文，是对研究生进行科学研究能力训练、培养创新能力的主要途径，也是衡量研究生能否获得学位的重要依据之一，要求研究生完成相应的论文环节，具体内容及要求按照《北京交通大学博士研究生培养过程管理规定》执行。学位论文包括的主要环节如下：

1. 学术例会

研究生在学期间须参加学术例会，至少每 2 周参加一次学术例会。

2. 博士生资格审核

在进入博士论文阶段前对博士生进行综合审核，一般应在第二学期末或第三学期初完成。博士生资格审核小组至少应由 5 名具有博士生指导资格的教师组成，重点考查其是否具备进行创新性研究工作所需的本学科坚实宽广的基础理论和系统深入的专门知识及从事科学研究的综合能力。

3. 学位论文开题报告

博士生开题在通过博士生资格审核后进行，具体时间由学院安排，一般应于第四学期末前完成，最迟距离申请论文送审时间不少于 1 年。

开题报告应包括：选题的背景和意义、国内外研究现状综述及分析、拟研究内容、研究方法、预期的创新点、研究成果和研究计划等。开题报告以学术交流形式或答辩形式进行。开题报告答辩应由 3~5 名相关学科具有博士生指导资格的教师组成，对博士研究生学位论文选题的科学性、创新性和可行性进行评估，指出存在问题和提出建议，并对博士研究生的综合能力给出考核意见。

博士研究生开题后，如果学位论文内容和题目有重大方向变动，应重新做开题报告，以保证论文质量。已通过评审的开题报告，以书面形式提交学院研究生科备案。

4. 博士论坛

研究生在学期间须参加各类学术活动。博士生主讲学术报告不少于 2 次，其中至少 1 次使用外文。

5. 学位论文中期检查

学位论文中期检查是对博士生学位论文工作进行的一次阶段性检查，一般应于开题一年后进行，由学院组织安排。学院组织检查小组，由 3~5 名相关学科具有博士生指导资格的教师组成，对博士生论文进展情况进行检查。

6. 论文答辩等环节和要求

在学位论文工作基本完成后，博士研究生学位论文答辩和学位授予工作按照《北京交通大学博士学位论文答辩及学位申请若干规定》执行。

7. 成果要求

博士研究生在申请学位论文答辩前，应达到的研究成果要求，按照《自动化与智能学院研究生申请博士学位应取得创新成果的要求》的相关规定执行。

六、其他要求

其他有关要求按照“北京交通大学关于博士研究生培养工作的若干规定”和学院的有关规定执

行。

七、学分要求与课程设置

为了使博士生达到“在本门学科掌握坚实全面的基础理论和系统深入的专门知识”的要求，博士生除在导师指导下进行自我学习和在科研实践中进行学习以外，还应学习必要的课程。

1. 应修最低学分

应修学分包括课程和培养环节两部分。博士研究生应修最低学分 18，其中课程 12 学分，培养环节 6 学分。

2. 课程设置

(1) 课程分类。研究生课程按课程性质分为四大课程平台：素养提升平台、能力提升平台、专业深造平台、学术及实践创新平台。在平台下设置课程模块，具体设置见课程设置框架。

(2) 课程学分与学时。除政治素养等课程外，每学分对应 16 学时。

(3) 课程结构设置。课程的设置以能力培养为核心，针对不同能力培养要求，丰富课程设置结构，注重前沿方法论、实验实践类、跨学科类、全英文教学等课程的设置，培养创新和实践能力。

博士研究生课程设置的基本框架与学分要求（总学分不低于 18 分）

课程类别	课程模块	课程编号	课程名称	学分	开课学期	学分要求	备注
素养提升平台	政治素养	A209001B	中国马克思主义与当代	2	秋	2	
	综合素养实践	H200502B	国际交流、科研、学术讲座	1		1	附注 1
能力提升平台	语言能力模块	C418001B	英文学术论文写作	1	秋	1	
	数学能力模块	C408003B	最优化方法 II	2	春		
		C408001B	数值分析 II	2	春		
专业深造平台	博士课程模块	M601013B	学习控制	2	秋	≥8	≥9
		M618004B	无人机群体智能	2	春		
		M601035B	强化学习理论	2	春		
		M618002B	智能系统前沿技术	2	秋		
		M618001B	深度学习算法与实践	2	秋		
		M601008B	电磁兼容理论	2	秋		
学术及实践创新平台	学术例会	H200101B		1		5	
	博士论坛	H200901B	不少于 2 次，其中至少 1 次使用外文	1			
	资格考核	H200201B		1			
	开题报告	H200301B		1			

	学位论文中期	H200403B		1			
--	--------	----------	--	---	--	--	--

附注 1： 综合素养实践包括国际交流、科研、学术讲座等形式，考核方式如下：

- （1）国际交流：参加国际会议 2 次及以上或出国联合培养半年以上；
- （2）科研：参与导师科研项目，取得相应研究成果并发表科技论文，撰写总结报告；
- （3）学术讲座：参加前沿讲座报告不少于 8 次，包括学院公布的聘请校内外专家的各种学术讲座。

低空技术与工程学术直博培养方案

(学科代码：0823J1 授予工学博士学位)

自动化与智能学院

一、学科专业及培养方向

(一) 学科简介

低空技术与工程是“交通运输工程”、“信息与通信工程”、“机械工程”、“系统科学”与“计算机科学与技术”五个一级学科博士点及硕士点共同支撑、交叉融合的交叉学科。该学科针对低空飞行器在各类典型场景应用中面临的核心重大科技难题，以学校“交通运输工程”、“系统科学”、“机械工程”、“计算机科学与技术”与“信息与通信工程”等优势学科为基础，实现多院系多学科交叉联合创新，形成“低空飞行器系统工程-低空智能航行-低空安全保障-智能立体交通工程-低空域规划与管理”的“融合型”研究思路，探索研究上述各环节之间的相互耦合和反馈机制，解决单一学科所无法解决的难点问题，并由此产生符合低空技术与工程学科作为新兴交叉学科定位的新概念体系、理论体系和方法体系。

(二) 培养方向

北京交通大学“低空技术与工程”学科围绕国家低空、交通和物流等行业重大需求，瞄准国际学术前沿，形成了低空运载器系统工程、低空智能航行技术、低空安全保障技术、智能立体交通工程、低空域规划与管理等优势研究方向。各培养方向的主要内容概括如下：

01 低空运载器系统工程

本研究方向针对低空运载器在复杂空域中的安全飞行与合规运行需求，开展适航设计、环境适应性设计与智能飞行控制等研究。主要包括：低空运载器适航构型综合设计、系统冗余与失效模式分析、适航标准体系建设；面向复杂气象与地空环境的气动结构优化、复合扰动建模、自适应鲁棒控制及动态响应策略；融合人工智能与深度学习的智能飞控架构、动态路径规划与避障重构算法、多机协同与群体飞行控制技术，形成“结构-系统-任务-法规”一体化的适航设计与认证体系。

02 低空智能航行技术

本研究方向针对低空飞行器在高动态、强实时、复杂电磁与气象环境下的智能航行需求，开展智能通信组网、高精度定位导航与自主运行技术研究。主要包括：空天地频谱管理与干扰协调、异构网络接入与自组网、飞行器身份标识与编队协同机制；多源异构信息融合定位导航（卫星/惯性/视觉/激光雷达）、空天地协同授时、位置感知服务与性能评估系统；基于 AI 与 5G/6G 的自主感知、智能避障、实时动态路径规划、分布式决策控制及去中心化架构，突破能耗与通信瓶颈，实现多飞

行器高效协同运行。

03 低空安全保障技术

本研究方向针对低空运载器适航验证、非合作目标反制及信息安全防护需求，开展智能验证、主动防御与韧性防护技术研究。主要包括：基于数字孪生的适航测试平台、强化学习与形式化验证结合的智能符合性验证系统；多模态融合感知与大模型驱动的非合作目标行为图谱构建、自适应防御引擎（电磁干扰/导航诱骗/激光拦截）及去中心化协同反制蜂群攻击；涵盖漏洞挖掘、加密通信、动态认证的信息安全主动防护体系，突破深度伪造防御，部署嵌入式安全探针形成“监测-隔离-自愈”一体化闭环。

04 智能立体交通工程

本研究方向针对城市空中交通与物流场景中大规模异构飞行器的协同运行需求，开展多模态环境感知、立体交通建模与群智控制技术研究。主要包括：激光雷达/视觉/ADS-B等多源传感器融合感知、动态三维建图与空-地-天一体化感知网络；宏观-微观耦合交通流模型、数字孪生仿真平台、联邦学习与深度强化学习驱动的分布式协同航路规划；基于共识算法与博弈论的去中心化控制策略、仿生集群避碰与编队重构、分层混合智能控制（强化学习+模型预测控制）及对抗性协同训练，提升集群在干扰环境下的鲁棒性。

05 低空域规划与管理

本研究方向针对低空多元飞行需求与有限空域资源的高效利用问题，开展航路网络设计、飞行规划调度与空域资源管理研究。主要包括：基于飞行器性能的分层空域结构设计、点对点/枢纽辐射/三维立体航路拓扑优化、动态流量分配及智能算法求解；巨量并发飞行需求预测、时隙分配与拥挤收费等经济管理手段、飞行冲突预测解脱、应急响应机制及微观-宏观行为建模；时空维度动态空域划分（高度层/网格化）、数字化表征与全流程治理、容量评估模型、集中-分布式结合的人机协同决策，形成空域资源利用率优化与绿色低空飞行管理方法。

二、培养目标

本专业人才以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，面向知识创新发展需要，培养具有社会主义核心价值观，健全的人格和健康的身心，较强的社会责任感，具备较高的学术素养和职业素养、较强原创精神、扎实科研能力、德智体美劳全面发展的学术创新型人才。培养大力发展低空经济背景下从事学术研究的高端科研人才及适合低空产业需求的应用型、技术型、复合型的高级专业技术人才。

本学科工学博士学位申请人

1. 思想道德方面：学位申请人应当拥护中国共产党的领导，拥护社会主义制度，遵守宪法和法律，遵守学术道德和学术规范。

2. 学术水平方面：适应能够适应我国低空交叉领域科研与工程建设需要，熟悉系统科学、通信、计算机、控制、机械和交通运输领域专业知识、前沿理论，具备独立分析与解决低空飞行器设计、控制、调度、反制等关键技术和方法，交通、信息与管理相融合的低空领域专门技术与管理复合型人才。

3. 能力水平方面：应具有独立从事低空技术与工程交叉学科领域创新性科学研究工作和实际工作能力，及与之相适应的获取新知识、归纳科学问题的能力、理论分析与技术综合以及工程实现的能力等；并具有撰写学术论文和进行国际学术交流的能力。

4. 成果水平方面：应通过在读期间的科研实践凝练出相应的具有创新性并公开发表的论文和其他科研成果（论文的数量和水平及其他科研成果的形式由学校规定），并独立完成学位论文。

三、培养方式及修业年限

1. 培养方式

博士研究生的培养以科学研究为主，实行导师负责制。采用导师指导或导师负责与导师团队培养相结合的指导方式。对从事交叉学科研究的博士生培养工作，可成立由相关学科导师组成的导师团队。

2. 修业年限

直接攻读博士学位研究生（直博生）基本修业年限为5年，最长修业年限7年。

四、科学研究与实践

从事高水平的科学研究是培养高水平拔尖人才、产生高水平科研成果和论文的必要条件，也是培养研究生严谨的治学态度、求实的科学精神、团结合作的品质、开放创新的思维、“具有独立从事本学科创造性科学研究工作和实际工作能力”的有效手段和途径。所以，在导师的指导与安排下，博士生必须全方位、全过程地参加科研工作，进行系统的科研训练。

博士研究生实际参加科研时间不应少于在读时间的60%。科学研究与实践工作包括但不限于以下内容：

1. 参加国家级或省、部级重大或重点课题，并在解决其中的科学和技术问题中发挥主力作用；参加的自选课题必须是国家科学技术中或国民经济建设中急需解决的难题；
2. 参与项目的申请、论证、答辩、招标等工作；
3. 参与（或了解）国家或省、部级科研平台及实验室的申报和（或）建设工作。

博士生在进入论文撰写阶段前需撰写并提交科研实践总结报告，导师和所在科研团队对该生的科研态度和成果给出评价和成绩。

五、学位论文

进行科学研究与撰写学位论文，是对研究生进行科学研究能力训练、培养创新能力的主要途径，也是衡量研究生能否获得学位的重要依据之一，要求研究生完成相应的论文环节，具体内容及要求

按照《北京交通大学博士研究生培养过程管理规定》执行。学位论文包括的主要环节如下：

1. 学术例会

研究生在学期间须参加学术例会，至少每 2 周参加一次学术例会。

2. 博士生资格考核

在进入博士论文阶段前对博士生进行综合审核，直博生应在第四学期末或第五学期初完成。博士生资格考核小组至少应由 5 名具有博士生指导资格的教师组成，重点考查其是否具备进行创新性研究工作所需的本学科坚实宽广的基础理论和系统深入的专门知识及从事科学研究综合能力。

3. 学位论文开题报告

博士生开题在通过博士生资格考核后进行，具体时间由学院安排，一般应于第六学期末前完成，最迟距离申请论文送审时间不少于 1 年。

开题报告应包括：选题的背景和意义、国内外研究现状综述及分析、拟研究内容、研究方法、预期的创新点、研究成果和研究计划等。开题报告以学术交流形式或答辩形式进行。开题报告答辩应由 3~5 名相关学科具有博士生指导资格的教师组成，对博士研究生学位论文选题的科学性、创新性和可行性进行评估，指出存在问题和提出建议，并对博士研究生的综合能力给出考核意见。

博士研究生开题后，如果学位论文内容和题目有重大方向变动，应重新做开题报告，以保证论文质量。已通过评审的开题报告，以书面形式提交学院研究生科备案。

4. 博士论坛

研究生在学期间须参加各类学术活动。博士生主讲学术报告不少于 2 次，其中至少 1 次使用外文。

5. 学位论文中期检查

学位论文中期检查是对博士生学位论文工作进行的一次阶段性检查，一般应于开题一年后进行，由学院组织安排。学院组织检查小组，由 3~5 名相关学科具有博士生指导资格的教师组成，对博士生论文进展情况进行检查。

6. 论文答辩等环节和要求

在学位论文工作基本完成后，博士研究生学位论文答辩和学位授予工作按照《北京交通大学博士学位论文答辩及学位申请若干规定》执行。

7. 成果要求

博士研究生在申请学位论文答辩前，应达到的研究成果要求，按照《自动化与智能学院研究生申请博士学位应取得创新成果的要求》的相关规定执行。

六、其他要求

其他有关要求按照“北京交通大学关于博士研究生培养工作的若干规定”和学院的有关规定执行。

七、课程设置与学分要求

为了使博士生达到“在本门学科上掌握坚实全面的基础理论和系统深入的专门知识”的要求，博士生除在导师指导下进行自我学习和在科研实践中进行学习以外，还应学习必要的课程。

1.应修最低学分

应修学分包括课程和培养环节两部分。博士研究生应修最低学分 42 学分，其中课程 36 学分，培养环节 6 学分。

2. 课程设置

（1）课程分类。研究生课程按课程性质分为四大课程平台：素养提升平台、能力提升平台、专业深造平台、学术及实践创新平台。在平台下设置课程模块，具体设置见课程设置框架。

（2）课程学分与学时。除政治素养等课程外，每学分对应 16 学时。

（3）课程结构设置。课程的设置以能力培养为核心，针对不同能力培养要求，丰富课程设置结构，注重前沿方法论、实验实践类、跨学科类、全英文教学等课程的设置，培养创新和实践能力。

本科生毕业直博攻读博士学位研究生课程设置的基本框架（总学分不低于 42 分）

课程类别	课程模块	课程编号	课程名称	学分	开课学期	学分要求		备注	
素养提升平台	政治素养课程	A209002B	中国特色社会主义理论与实践研究	2	秋春	5			
		A209004B	自然辩证法概论	1	秋春				
		A209001B	中国马克思主义与当代	2	秋				
	综合素养课程	A201002B	工程经济与项目管理	1	秋	2			
		A201001B	工程伦理	1	秋				
	综合素养实践	H200502B	博士综合素养实践	1		1	附注 1		
能力提升平台	语言能力模块	C418001B	英文学术论文写作	1	秋	1			
			学校语言能力模块课程	3	秋春	3			
	数学能力模块	C308102B	数值分析 I	2	秋	≥4	≥25		
		C308103B	矩阵分析 I	2	秋				
		C308101B	随机过程 I	2	秋				
		C308104B	最优化方法 I	2	秋				
		C408001B	数值分析 II	2	春				
		C408003B	最优化方法 II	2	春				
		C408002B	矩阵分析 II	2	春				
	信息能力模块	C402021B	机器学习	2	秋				
		C402026B	人工智能导论	2	春				
专业深造平台	学科专业核心课	M501046B	线性系统理论 I	2	秋	≥8			
		M501050B	最优控制理论及应用	2	秋				
		M501047B	智能交通系统	2	秋				
		M518002B	交通信息智能融合及应用	2	春				
		M518022B	电磁兼容测量技术	2	秋				
		M518017B	大模型理论与应用	2	秋				
		M518020B	无人机自主智能	2	秋				
		M518021B	低空视觉与感知	2	春				
	专业拓展课	M501110B	无人系统自主导航	2	秋	≥3			
		M501030B	信息安全技术及应用	2	春				
		M518008B	多智能体协同与控制	2	秋				
	跨学科课程群组		详见学校本研跨学科课程群课程						
	博士课程	M601013B	学习控制	2	秋	≥6			

		M618004	无人机群体智能	2	春			
		M601035B	强化学习理论	2	春			
		M618001B	深度学习算法与实践	2	秋			
		M618002B	智能系统前沿技术	2	秋			
	专业补修	C401014B	计算思维综合训练	0				
学术及实践创新平台	学术例会	H200101B		1	春秋	5		
	博士论坛	H200901B	不少于2次,其中至少1次使用外文	1				
	资格考核	H200201B		1				
	开题报告	H200301B		1				
	学位论文中期检查	H200403B		1				

附注1：博士阶段综合素养实践包括国际交流、科研、学术讲座等形式进行计1学分；

考核方式：

- (1) 国际交流：参加国际会议2次及以上或出国联合培养半年以上；
- (2) 科研：参与导师科研项目，取得相应研究成果并发表科技论文，撰写总结报告；
- (3) 学术讲座：参加前沿讲座报告不少于8次，包括学院公布的聘请校内外专家的各种学术讲座。

低空技术与工程学术硕士培养方案

（专业代码：0823J1 授予工学硕士学位）

自动化与智能学院

一、学科专业及培养方向

（一）学科简介

低空技术与工程是“交通运输工程”、“信息与通信工程”、“机械工程”、“系统科学”与“计算机科学与技术”五个一级学科博士点及硕士点共同支撑、交叉融合的交叉学科。该学科针对

低空飞行器在各类典型场景应用中面临的核心重大科技难题，以学校“交通运输工程”、“系统科学”、“机械工程”、“计算机科学与技术”与“信息与通信工程”等优势学科为基础，实现多院系多学科交叉联合创新，形成“低空飞行器系统工程-低空智能航行-低空安全保障-智能立体交通工程-低空域规划与管理”的“融合型”研究思路，探索研究上述各环节之间的相互耦合和反馈机制，解决单一学科所无法解决的难点问题，并由此产生符合低空技术与工程学科作为新兴交叉学科定位的新概念体系、理论体系和方法体系。

（二）培养方向

北京交通大学“低空技术与工程”学科围绕国家低空、交通和物流等行业重大需求，瞄准国际学术前沿，形成了低空运载器系统工程、低空智能航行技术、低空安全保障技术、智能立体交通工程、低空域规划与管理等优势研究方向。各培养方向的主要内容概括如下：

01 低空运载器系统工程

本研究方向针对低空运载器在复杂空域中的安全飞行与合规运行需求，开展适航设计、环境适应性设计与智能飞行控制等研究。主要包括：低空运载器适航构型综合设计、系统冗余与失效模式分析、适航标准体系建设；面向复杂气象与地空环境的气动结构优化、复合扰动建模、自适应鲁棒控制及动态响应策略；融合人工智能与深度学习的智能飞控架构、动态路径规划与避障重构算法、多机协同与群体飞行控制技术，形成“结构-系统-任务-法规”一体化的适航设计与认证体系。

02 低空智能航行技术

本研究方向针对低空飞行器在高动态、强实时、复杂电磁与气象环境下的智能航行需求，开展智能通信组网、高精度定位导航与自主运行技术研究。主要包括：空天地频谱管理与干扰协调、异构网络接入与自组网、飞行器身份标识与编队协同机制；多源异构信息融合定位导航（卫星/惯性/视觉/激光雷达）、空天地协同授时、位置感知服务与性能评估系统；基于 AI 与 5G/6G 的自主感知、智能避障、实时动态路径规划、分布式决策控制及去中心化架构，突破能耗与通信瓶颈，实现多飞行器高效协同运行。

03 低空安全保障技术

本研究方向针对低空运载器适航验证、非合作目标反制及信息安全防护需求，开展智能验证、主动防御与韧性防护技术研究。主要包括：基于数字孪生的适航测试平台、强化学习与形式化验证结合的智能符合性验证系统；多模态融合感知与大模型驱动的非合作目标行为图谱构建、自适应防御引擎（电磁干扰/导航诱骗/激光拦截）及去中心化协同反制蜂群攻击；涵盖漏洞挖掘、加密通信、动态认证的信息安全主动防护体系，突破深度伪造防御，部署嵌入式安全探针形成“监测-隔离-自愈”一体化闭环。

04 智能立体交通工程

本研究方向针对城市空中交通与物流场景中大规模异构飞行器的协同运行需求，开展多模态环境感知、立体交通建模与群智控制技术研究。主要包括：激光雷达/视觉/ADS-B 等多源传感器融合感知、动态三维建图与空-地-天一体化感知网络；宏观-微观耦合交通流模型、数字孪生仿真平台、

联邦学习与深度强化学习驱动的分布式协同航路规划；基于共识算法与博弈论的去中心化控制策略、仿生集群避碰与编队重构、分层混合智能控制（强化学习+模型预测控制）及对抗性协同训练，提升集群在干扰环境下的鲁棒性。

05 低空域规划与管理

本研究方向针对低空多元飞行需求与有限空域资源的高效利用问题，开展航路网络设计、飞行规划调度与空域资源管理研究。主要包括：基于飞行器性能的分层空域结构设计、点对点/枢纽辐射/三维立体航路拓扑优化、动态流量分配及智能算法求解；巨量并发飞行需求预测、时隙分配与拥挤收费等经济管理手段、飞行冲突预测解脱、应急响应机制及微观-宏观行为建模；时空维度动态空域划分（高度层/网格化）、数字化表征与全流程治理、容量评估模型、集中-分布式结合的人机协同决策，形成空域资源利用率优化与绿色低空飞行管理方法。

二、培养目标

本专业人才以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，面向知识创新发展需要，培养具有社会主义核心价值观，健全的人格和健康的身心，较强的社会责任感，具备较高的学术素养和职业素养、较强原创精神、扎实科研能力、德智体美劳全面发展的学术创新型人才。培养大力发展低空经济背景下从事学术研究的高端科研人才及适合低空产业需求的应用型、技术型、复合型的高级专业技术人才。

本学科工学硕士学位申请人

1. 思想道德方面：学位申请人应当拥护中国共产党的领导，拥护社会主义制度，遵守宪法和法律，遵守学术道德和学术规范。
2. 学术水平方面：适应能够适应我国低空交叉领域科研与工程建设需要，熟悉系统科学、通信、计算机、控制、机械和交通运输领域专业知识、前沿理论，具备独立分析与解决低空飞行器设计、控制、调度、反制等关键技术和方法，交通、信息与管理相融合的低空领域专门技术与管理复合型人才。
3. 能力水平方面：应具有独立从事低空技术与工程交叉学科领域创新性科学研究工作和实际工作能力，及与之相适应的获取新知识与归纳科学问题的能力、理论分析与技术综合以及工程实现的能力等；并具有撰写学术论文和进行国际学术交流的能力。
4. 成果水平方面：应通过在读期间的科研实践凝练出相应的具有创新性并公开发表的论文和其他科研成果（论文的数量和水平及其他科研成果的形式由学校规定），并独立完成学位论文。

三、培养方式及修业年限

1. 培养方式

硕士生的培养方式为导师负责制，采取课程学习和学位论文研究工作相结合的方式。

2. 修业年限

学术型硕士研究生基本修业年限为 3 年，最长修业年限 5 年。

四、科学研究与实践

通过科研项目、实习、硕士论文和课内外科技创新活动等主要教学及科研环节，引导学生积极参与科学研究全过程，明确科学研究的基本要求，掌握科学研究的基本方法，提高学生运用所学知识发现问题、分析问题和解决问题的综合能力。开展工程训练，结合实际操作、现场教学、模拟演示等方式，使研究生在工程实践能力、创新思想、现代化工程意识等方面得到培养和锻炼。

五、学位论文

学位论文工作作为研究生培养的重要组成部分，是对研究生进行科学研究能力训练、承担专业工作全面训练、培养创新能力和实践能力的主要途径，也是衡量研究生能否获得学位的重要依据之一，要求研究生完成相应的论文环节。学位论文主要环节具体内容及要求按照《北京交通大学学术型硕士研究生培养过程管理规定》执行。学位论文包括的主要环节如下：

1. 学术例会

研究生在学期间须参加学术例会，至少每 2 周参加一次学术例会。

2. 开题报告

硕士研究生开题答辩在第三学期初由学院统一组织，最迟距离申请答辩日期不少于半年。硕士研究生在导师指导下确定具体研究内容撰写开题报告。开题报告详细阐明选题背景和意义，国内外研究现状，重点研究内容和研究方法，预期研究成果和创新点，研究工作计划。开题报告答辩小组由 3-5 名具有硕士生指导资格的教师组成。开题报告答辩采取导师评分回避制，研究生指导教师可列席旁听。

3. 学位论文中期考核

针对学术型硕士研究生，学校实行学位论文中期考核制度。考核时间一般应安排在第四学期进行。开题报告通过满半年后，方可参加中期考核。中期考核主要检查学术型硕士论文完成进展、发表论文等情况。中期考核小组由 3-5 名具有硕士生指导资格的教师组成。采取导师评分回避制，研究生指导教师可列席旁听。

4. 论文答辩等环节和要求

在学位论文工作完成后，硕士研究生学位论文答辩和学位授予工作按照学校相关文件和学院《自

自动化与智能学院硕士研究生培养过程质量监控实施细则二》执行。

5. 成果要求

学术型硕士研究生在申请学位论文答辩前，应达到的研究成果要求，按照《自动化与智能学院硕士研究生培养过程质量监控实施细则二》执行。

六、其他要求

其他有关要求按照“北京交通大学关于研究生培养工作的若干规定”和学院的有关规定执行。

七、学分要求与课程设置

课程学习实行学分制。学术硕士研究生应根据科学研究和学位论文的需要，在导师指导下选择适合的课程进行学习，在申请答辩之前应修满所要求的学分。

1. 应修最低学分

学术硕士研究生应修最低学分 29，其中课程 25 学分，培养环节 4 学分。

2. 课程设置

（1）课程分类。研究生课程按课程性质分为四大课程平台：素养提升平台、能力提升平台、专业深造平台、学术及实践创新平台。在平台下设置课程模块，具体设置见课程设置框架。

（2）课程学分与学时。除思想政治等课程外，每学分对应 16 学时。

（3）课程结构设置。课程的设置要以能力培养为核心，针对不同能力培养要求，丰富课程设置结构，注重前沿方法论、实验实践类、跨学科类、全英文教学等课程的设置，培养创新和实践能力。

学术型硕士研究生课程设置与学分要求（总学分不低于 29 分）

课程类别	课程模块	课程编号	课程名称	学分	开课学期	学分要求	备注
素养提升平台	政治素养课程	A209002B	中国特色社会主义理论与实践研究	2	秋 春	3	
		A209004B	自然辩证法概论	1	秋 春		
	综合素养课程	A201002B	工程经济与项目管理	1	秋	2	
		A201001B	工程伦理	1	秋		
	综合素养实践	H200501B	必修	1		1	附注 1
能力提升平台	语言能力模块	C418002B	学术写作与规范	1	秋	≥ 4	附注 2
			学校语言能力模块课程	3	秋 春		
	数学能力模块	C308101B	随机过程 I	2	秋	≥ 4	
		C308102B	数值分析 I	2	秋		
		C308103B	矩阵分析 I	2	秋		
		C308104B	最优化方法 I	2	秋		
	信息能力模块	C402021B	机器学习	2	秋		
		C402026B	人工智能导论	2	春		
	学科专业核心课	M501046B	线性系统理论 I	2	秋	≥ 9	
		M501050B	最优控制理论及应用	2	秋		
		M501047B	智能交通系统	2	秋		
		M518002B	交通信息智能融合及应用	2	春		
		M518022B	电磁兼容测量技术	2	秋		
		M518017B	大模型理论与应用	2	秋		
		M518020B	无人机自主智能	2	秋		
		M518021B	低空视觉与感知	2	春		
	专业拓展课程	M501110B	无人系统自主导航	2	秋	≥ 3	
		M501030B	信息安全技术及应用	2	春		
		M518008B	多智能体协同与控制	2	秋		
	跨学科课程群	研究生院公布的“本研跨学科高级课程群”开课清单					
	专业补修	C401014B	计算思维综合训练	0	夏		
学术及实践创新平台	学术例会	H200101B	必修	1	春秋	3	
	开题报告	H200301B		1			
	学位论文中期检查	H200403B		1			

附注 1：详见《研究生综合素养实践模块指导意见》。

附注 2：主要内容为：学位论文写作方法、不同类别学术论文写作方法，课题研究报告写作方法、策划书等。

院（系）审核意见：**同意**

签字：

日期：

学院学位委员会审批意见：**同意**

签字：

日期：