

课题完成单位：机电学院

完成人：刘俊岩，王飞，张勇，王懋露

深化国际交流与合作下航空宇航制造

工程专业研究生培养模式探索与实践

课题来源：校级2022年面上研究课题

国际交流与合作不断深化的态势为国内高校航空宇航有关专业的发展带来前所未有的机遇。航空宇航制造工程作为其中一门重点分支学科，其具有学科交叉、涵盖专业知识范围广等学科特色，这些特色加大了该专业研究生培养模式的改进难度。航空宇航制造工程专业如何在国际交流与合作不断深化的背景下，正确利用国际高校及其研究团队的教学与科研资源，从而实现研究生培养模式的探索与创新，对专业的未来发展显得尤为重要。本项目以国内外航天尖端院校的研究生培养模式为基础，为深化国际交流与合作下航空宇航制造工程专业对新型研究生培养模式的探索提出了建议和提供了成功实践案例。

关键词

国际合作；航空宇航制造；研究生培养；课程体系构建；联合办学

千秋基业，人才为先。习近平总书记在出席多项重要会议中重复强调要“实施人才强国战略”。2022年10月16日，习近平总书记在中国共产党第二十次全国代表大会上指出：“深化人才发展体制机制改革，真心爱才、悉心育才、倾心引才、精心用才，求贤若渴，不拘一格，把各方面优秀人才集聚到党和人民事业中来。”可见在世界发展的新阶段下，人才资源开发在国际竞争中扮演着举足轻重的角色，而人才培养模式的创新则对提高人才资源质量起到了决定性作用^[1]。

近年来，伴随着国内航天事业的迅速发展，社会各界对航空航天有关高校和科研院所的科研成果、人才培养及去向愈发重视。而航空宇航制造工程作为其中的一门重点分支学科，立足于丰厚的理论基础、着眼于各色的研究方向，具有鲜明的学科特色。2023年，全球航天活动在运载火箭、深空探测、载人航天等多个领域取得了多项重要进展。在这样的时代背景下，各高校须对航空宇航制造工程学科的人才培养方案进行改革创新，以顺应科技潮流，培育出素质优秀、规模可观的创新型科技人才。

以往，航天国际合作多为发达国家间的政府合作，而随着我国航天能力的逐渐提升，航天私营企业、科研院所和各高等院校也逐渐跻身政府间的国际合作中，这为国内航空宇航学科的发展和人才培养创造了机遇^[2]。本文就深化国际交流与合作的前提下，如何对现有航空宇航制造工程专业的研究生培养模式进行改良与创新进行探究，并以本团队在研究生培养中引入加拿大多伦多大学A. Mandelis教授讲授的《光热科学与探测技术》及荷兰莱顿大学M.Orrit教授讲授的《单分子光学》课程为例，介绍国际合作在航天人才培养中得到的实践。



我国将硕士研究生分为学术研究型 and 工程应用型进行分类培养，这种培养模式已在今天国内加快新型工业化进程的过程中发挥了重要的作用。而随着近年我国对航空宇航方面专业人才的需求迅速提升，对领域人才专业素质、培养质量的要求也在进一步提高。本章以两所国内外航天类头部院校：美国麻省理工学院对科学硕士(Master of Science)的培养^[3]和我国哈尔滨工业大学对航空宇航学科的研究生培养^[4]为例，通过对国内外研究生教育及培养模式的介绍和对比，汲取先进教学经验，为新型研究生培养模式的探索起到借鉴作用。

1. 麻省理工学院航空宇航学科的研究生培养

麻省理工学院(MIT)对研究生的课程学习培养与国内相近，包括基础课程、数学课程、专业课程和科技文章写作等内容。

MIT要求MS研究生完成的课程节数少，但普遍学时量大且持续时间长；且MIT为不同研究课题方向制定了针对性的课程体系，基础课程中至少有一半学分为本系的专业课程，如喷气推进方向可选

择高等流体机械课程、太空系统方向可选择人造卫星工程；具体课程设置上有很强的灵活性，各方向基础课程对数学、物理的理论知识水平要求各异，则如喷气推进方向（基础课程对流体力学要求很高）的数学课程要比其他方向更加深入。

2. 哈尔滨工业大学航空宇航学科的研究生培养

哈尔滨工业大学充分应用了基于项目的培养模式，在教学计划外提出了一种基于科研项目驱动的本学科创新型人才培养体系。学校寻找具有参与航空宇航科研项目意愿的学生，经师生双选后让学生参与到基于项目的系统学习，进行多步培养。这种培养模式的应用已获得了显著的成效，如紫丁香微纳卫星学生团队，使学生拥有自主设计、研制和管控卫星的能力。

教学方面，哈尔滨工业大学除了统一设置的公选课、基础课与专业课之外，还开设了选修课、专业课与实验课，并鼓励学生积极参与国内外学术会议与学术活动。



03 航空宇航制造工程研究生新型培养模式探索

当今，中国航天事业正逐步加快国际化的进程，各航天企业、科研院所与一系列国际知名航天组织建立战略合作伙伴关系、主办各项国际会议、并将优秀的航天人才推荐到国际航天组织当中，取得了显著的成果^[5]。各高校也瞄准了国际合作的机遇，如北京航空航天大学、哈尔滨工业大学等高校与欧洲多国航天研究机构共同成立空间技术联合实验室等。有机遇定有挑战，航空宇航制造工程学科需要把握住国际合作创造的条件，学习他人的优长之处，实现培养模式的改革创新。

1. 学习研究生培养的先进课程体系

航空宇航制造工程是门对基础及应用基础研究同等重视的学科，要求研究生既有扎实的理论水平，还要有动手能力和创新意识；学科研究体系庞大，具有多种交叉研究方向。以哈尔滨工业大学的航空宇航制造工程为例，其包括宇航空间机构及控制、航空宇航高效精密制造技术、空间机器人技术、宇航特种加工技术及地面模拟与测试技术五个研究方向。其涵盖空间机构学、系统动力学、特种加工、新材料技术、控制理论、信号处理等诸多学科方向。学院统一开设基础课程、而未对各研究方向作针对性的课程设置，容易出现研究生理论基础薄弱，缺少前驱课程铺垫的问题，最终导致研究生难以深入理论研究。

优秀的研究生培养体系需将专业制定的培养目标及与之相应的培养方案很好地呼应起来，故若提高培养效率、使研究生们在短时间内有大幅度的能力提升，需要学院认真研讨培养目标和实现培养目标的方案^[6]。借助国际交流合作的机会，国内航天院校可学习国外航天类头部院校的先进课程体系，如航空宇航制造系可借鉴麻省理工学院的培养模式，为不同研究课题方向制订针对性的课程体系，为研究生初学阶段打下扎实的理论基础。



2. 与国际院校开展联合办学与研究

国际交流与合作带来的另一个优质条件，即为教学资源与科研资源的共享。多派留学生和高访学者、进行联合办学、联合科研、聘请外专，也能有效提升研究生培养的质量。通过这种渠道，既能使研究生接触不同的教学模式、学习国际院校课程内容和课程体系的优长之处，又方便获得国际最新的航天技术发展动态、以对技术未来发展趋势做出正确预判和人才储备准备。



与学习研究生培养的先进的课程体系相同，中外联合培养也不能盲目开展，需把握以下两点，使国内科创、教学需求与国外优质资源实现有机结合^[7]：

(1) 对参与中外联合培养的研究生进行专业外语培训，使学生更好理解国外院校讲师的授课内容、课程讲义，减少或消除研究生因语言问题而额外产生的理解障碍；

(2) 协调双方院校的教学内容、综合双方的学术要求，使联合办学的课程设置能够起到兼顾双方专业课程安排，并有效引进国际先进教学内容与教学理念的效果。

04 国际交流与合作在人才培养中得到的实践

迎着国际交流与合作的浪潮，哈尔滨工业大学航空宇航制造工程系与多所国际知名院校的研究团队建立长期稳定的合作关系，通过联合培养、学术交流与合作、邀请讲学等方式提升研究生培养模式的质量。如本团队带领的研究生团队，面向航空航天新材料、新结构等领域应用多种新型检测方法，如光热科学探测、红外热波成像与视觉智能检测等，涉及深入的理论知识基础。故刘俊言教授采取联合办学的模式，邀请加拿大多伦多大学A. Mandelis教授以及荷兰莱顿大学M.Orrit教授为团队研究生讲授《光热科学与探测技术》与《单分子光学》课程，介绍两种新兴检测技术：光热检测、单分子荧光检测技术，为研究生将来投身的研究方向打下扎实的理论基础。

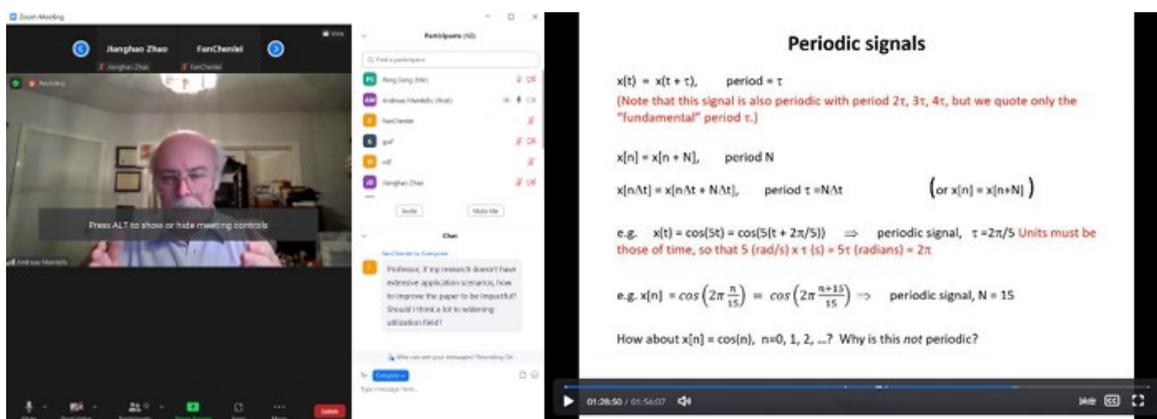


图1 加拿大皇家科学院、工程院院士A.Mandelis教授为研究生线上授课

A. Mandelis教授讲授的《光热科学与探测技术》课程介绍了一种应用于金属材料表面和近表面组织状态与缺陷的无损检测方法：光热探测(PTD)。其利用强度调制的热源辐射到材料表面，使材料表面产生周期性的温度场分布（即热波）。通过多种方法，如红外光热辐射计、光电热探测等方法对热波在材料内部传播产生的多种现象进行探测，从而了解材料表面和近表面的缺陷特征^[8]。这种新

型无损检测方法近年来得到了广泛的应用，如对合金经激光表面硬化处理后的硬化层深度，喷涂图层厚度、质量及内部缺陷进行检测。通过邀请讲学，使从事红外热波成像检测的研究生们对光热科学与热波理论有着更深入的研究与理解，在接下来的研究工作中能够更好地将理论应用于实际，产出更优质的成果。

M.Orrit教授讲授的《单分子光学》课程深入介绍了单分子荧光成像的原理，即用荧光探针标记、检测和分析单个分子。该技术常用于全内反射荧光显微镜(TIRF)方法中，利用衰减波的特性，使得极其靠近全反射面的待观测样本区域被激发，改进了宽场显微镜成像信噪比较差的缺陷。单分子荧光成像目前用于生物研究中对分子和细胞集群的检测，随着该技术的普及，未来会逐步向超精密加工的无损检测中应用。通过邀请讲学，使研究生了解当今尖端检测技术，为未来新型无损检测方法的开发打好坚实的理论铺垫。



05

项目研究中的重要突破

在国际化交流与合作背景下，航空宇航制造工程专业培养模式的建设，要明确“自主创新，教学相长，产学研结合”等宗旨，重点有以下几个重要突破。

(1) **在自主创新上**，团队科研过程中引入科研助理制度，按照科研助理管理办法、科研助理实施、评价办法等规章制度运行，通过高水平科研项目的高强度历练，使得研究生具备科研创新能力。目前航空宇航制造工程系设置科研助理岗位近100余个，科研助理即使学校学生，同时也是项目经理及实际项目骨干成员，多数学生毕业后进入长期联系单位。

(2) **在教学相长上**，本团队先后开展了无损检测技术交流会等本学科前沿的专题大讨论。以航空宇航制造方向上，面向航空航天新材料、新结构、半导体材料与器件及医学诊断等领域应用的检测新方法/新技术和航天特种材料/结构极限化制造的需求开展了红外无损检测技术、激光增减材混合制造等学科前沿进行大量的互动交流，实现了科研与教学的相互促进，保证了培养模式的长效机制的有效运行。

(3) **在产学研结合上**，以实验室为平台，与航天五院529厂、航天三院159厂、中国兵器集团53研究所、中国电科集团53研究所及航天一院703所等单位建立了校外实践基地，为研究生的理论研究成果提供试验就会。同时邀请了国内外一线生产技术专家、学者来校或线上开设了多场讲座，为研究生带来目前生产前沿的重大需求，使得研究生的研究成果更好的应用于生产一线。



图2 参加学科发展论坛以及深入航天五院502所交流学生就业

1.获得国家外专局外专项目2项

(1) 调制载流子辐射检测技术, 引进加拿大工程院、科学院院士A.Madenlis教授, 国家外专局高端外国专家项目

(2) 重用航天器复材损伤的多源热波成像检测技术研究, 引进意大利拉奎拉大学S.Stefano教授, 国家外专局高端外国专家项目

2.指导学生获创新竞赛国际级二等奖1项

海峡两岸大学生集成电路与电子设计大赛全国二等奖, 研究生荣晓旭、岳卓言、赵江浩参加比赛

3.省级二等奖以上3项

(1) 全国大学生光电设计竞赛东北赛区二等奖, 研究生岳卓言、赵江浩, 本科生陈诗琦、卢成祥、王宝岩参加比赛

(2) 黑龙江省大学生光电设计竞赛一等奖, 研究生岳卓言、赵江浩, 本科生陈诗琦、卢成祥、王宝岩参加比赛

(3) 第十六届 iCAN 大学生创新创业大赛黑龙江赛区一等奖, 研究生娄伟康、朱学岩、李威、荣晓旭、赵林参加比赛

4.其他级别竞赛获奖3次

(1) 第十三届“祖光杯”创意创新创业大赛优秀奖, 研究生周毅豪、赵江浩、杨子旋参加比赛

(2) 第十四届“祖光杯”创意创新创业大赛铜奖, 研究生谢云际、梁志鹏、周毅豪参加比赛

(3) 第十九届中国研究生电子设计竞赛, 研究生周毅豪、梁志鹏、谢云际参加比赛

5.发表教学论文12篇

(1) Talent cultivation method of aerospace manufacturing engineering incorporating new aerospace technology, SHS Web Conference 137, 01016(2022)

(2) “光热科学与探测技术”课程中思政工作导入研究, 第三届全国高等学校航空航天类专业教育教研研讨会论文集.2022,No.HG10007

(3) “思政课程+课程思政”大思政课体系建设研究, 第五届全国高等学校航空航天类专业教育教研研讨会, 2023, 144-147

(4) 航空宇航制造工程专业“先进无损检测技术”一流课程建设探索与实践, 第五届全国高等学校航空航天类专业教育教研研讨会, 2023, 397-400

(5) 深化国际交流与合作下航空宇航制造工程专业研究生培养模式探索与实践, 第五届全国高等学校航空航天类专业教育教研研讨会, 2023, 1108-1111;



(6) 一流课程建设视域下国际交流合作的教学路径与实践研究, 第五届全国高等学校航空航天类专业教育教学研讨会, 2023, 392-396;

(7) 航空宇航制造工程学科虚拟仿真实验课程建设-以无损检测技术课程为例, 第五届全国高等学校航空航天类专业教育教学研讨会, 2023, 1004-1007;

(8) 深化国际交流合作过程中教学思政内容融合方法研究, 第五届全国高等学校航空航天类专业教育教学研讨会, 2023, 1135-1139;

(9) 航空复合材料成型工艺课程思政实践探究, 第五届全国高等学校航空航天类专业教育教学研讨会, 2023, 66-70;

(10) “自动检测技术”课程思政实践探究, 第五届全国高等学校航空航天类专业教育教学研讨会, 2023, 129-132;

(11) “增材制造技术”课程思政内容融合方法研究, 第三届全国高等学校航空航天类专业教育教学研讨会论文集.2022,No.HG1006;

(12) 立德树人宗旨下的高效课程思政研究—以无损检测技术课程为例, 第三届全国高等学校航空航天类专业教育教学研讨会论文集.2022,No.HG1005

6.其他

(1) Thermography, 研究生共建课程建设(刘俊岩, A.Mandelis);

(2) Bio-Thermodynamics: Fundamental and Experimental Perspectives, 研究生专题专家讲座(S.Stefano)

07

结论

国际交流与合作的不断深化, 为航空宇航制造工程的新型研究生培养模式探索带来了机遇。国内航天院校既可以学习国际顶尖院校研究生培养课程体系的先进之处, 又能实现资源的共享、引进国际院校优秀的授课与科研资源。而挑战应运而生, 如何真正将国际合作带来的优质条件反映到研究生培养模式质量的提升上, 依赖于各院校在培养计划改革、开展联合办学前的严谨策划。

本项目以哈尔滨工业大学航空宇航制造工程系邀请国际院校教授讲学为优秀实践案例, 为如何结合学科特色与科研方向正确引进国际合作资源提供了思路与参考。望各航天院校在深化国际交流与合作的大背景下, 能够真正实现研究生培养模式的探索与创新, 培养一批先进的、与国际接轨的高水平航天人才。

参考文献略。

