

附件 1： 教学成果总结报告

新时代机械大类工程科学人才 “三通三融”培养改革与实践

完成人：奚立峰、胡永祥、彭志科、王丽伟、张执南、
陈璐、郭为忠、杨培中、张文明、陈江平、吴艳琼、
王新昶、黄宏成、蒋丹、黄靖涵

上海交通大学

2022 年 10 月 15 日

一、问题的提出

1.1 问题提出背景

新一轮科技革命和产业变革加速演进，推动制造业高质量发展，解决关键核心技术“卡脖子”问题，是当前和今后一个时期我国经济发展中的重大战略任务。当前能够服务国家重点行业和领域核心技术攻关的**高层次工程人才短缺，结构性矛盾突出**，已经成为制约制造业高质量发展的主要因素之一。面对世界科技与经济变局，为适应创新驱动下制造业高质量发展面临的技术、产业与模式问题，**工程与科学融合**是支撑高端制造自主创新，促进学科交叉科学原理创新应用，突破“卡脖子”技术的基础。新工科建设开拓了我国工程教育改革新路径。机械类专业作为制造业人才培养主体，须**主动顺应新时代变革**，改革传统工程教育，发展高层次工程教育。

通过持续的人才培养改革探索与实践，2016 年专业确立**机械大类工程科学人才培养定位**：厚植基础，交叉融合创新，未来能解决高复杂性和挑战性工程问题，**承载颠覆式创新**。

1.2 主要教学问题

围绕工程科学人才培养目标，传统机械大类工程教育存在的不足与问题主要体现在三个方面：

【1】如何打破传统固化的课程体系，突破学科边界，着重培养跨学科交叉融合的知识结构？传统培养模式主要集中在机械学科内部“精耕细作”，学科知识单一，知识体系固化，人才培养综合、交叉不足，难以突破学科边界，催生学科交叉创新解决高复杂性工程问题的能力；

【2】如何改革以技能为主的实践方式，从实践能力训练到发展系统与批判性思维，激发创新潜质？传统金工实习等侧重工程技能培养，限于

标准答案，不重视工程需求，不足以承载工程科学人才系统与批判性思维培养需求；

【3】如何突破现有工程教育范式，通过企业工程需求“真”问题驱动，强化解决复杂工程问题的创造力？新一代技术革命背景下工业转型速度加快，工程教育体系更新速度与科技变革需求不匹配，培养过程缺少工程“真”问题场景，解决复杂性和挑战性工程问题的创造力不足。

1.3 问题研究价值与意义

传统机械专业培养模式主要集中在学科内部单一知识体系传授，跨学科知识体系与综合素养存在不足，难以适应新时代制造业高质量发展技术、产业与模式变革。面向国家高端制造自主创新迫切需求，结合国际顶尖工程教育发展趋势，探索新工科建设路径，开展机械大类工程科学人才培养改革，形成人才培养新理论、新路径、新范式，为国家高端制造自主创新提供关键人才支撑。

二、 解决问题的过程与方法

2.1 解决问题的过程

上海交通大学机械工程学科设立于 1913 年，始终与国家和时代需求同频共振，落实立德树人根本任务，培养具有家国情怀和担当意识的国家栋梁。自 1998 年与密歇根大学开展合作办学以来，建立了包括机械工程、能源与动力等的机械大类本科教学平台与实践教学体系，建设了设计与制造等系列课程，开展项目式教学与国际产学合作，本硕博贯通培养卓越工程人才，逐步形成“厚基础、宽口径、重创新、国际化”的办学特色。

面向新时代发展对于机械类专业工程教育变革需求，注重顶层设计以及持续改进制度保障，自 2009 年以来积极探索和改革机械类专业

人才培养体系。以强基础、重交叉、求创新为重点，着力打通学科边界、贯通理论与实践，互通产教资源，推进学科交叉融合、科教融合、产教融合，构建了多学科交叉融合课程体系、创建了教研融合的全方位创新实践体系、打造了“真问题”驱动的产教融合范式，形成了机械大类工程科学人才“三通三融”培养新体系（如图 1 所示），全方位、全要素、全过程支撑跨学科的知识结构、系统与批判性思维、复杂工程问题解决的创造能力的培养。



图1 机械大类工程科学人才 “三通三融” 培养体系

2016 年开始在学院实施该培养体系改革，专业确立机械大类工程科学人才培养定位，深入落实立德树人，扎实融入课程思政，积极开展教学改革实践并持续改进。培养体系支撑工程科学人才培养成效显著，毕业生深受国家重点行业和高新技术产业好评，走出一条适应中国国情的工程科学人才培养改革新路径。

2.2 解决问题的方法

(1) 打通学科边界，创建多学科交叉融合的课程体系，培养跨学科的知识结构

改革单一学科知识架构，通过跨学科平台与课程模块打通学科壁垒，构建多学科交叉融合课程体系【附件 2.1.2】。顺应学科发展，构建数、理、化、

电、信息五类跨学科基础课平台，强化工程基础知识深度，夯实数理化与多学科基础。深化宽口径专业基础，建立设计与制造、力学与材料、传热与流体、测试与控制【附件 2.1.2】四类核心课程群，拓宽学科知识广度，深化宽口径专业基础。面向新兴产业与前沿，建设创新设计、智能制造、机电控制、智能汽车、先进动力、未来能源等六类专业方向课程模块，促进前沿知识更新。推行项目式教学，促进多学科知识的融会贯通，培养跨学科融合的知识结构。

建设课程 50 余门，《设计与制造 I》等 8 门课程入选国家一流/精品在线课程【附件 2.2】；《制造工艺》等 24 门入选市级课程；《工程热力学》获首届国家优秀教材奖【附件 2.3】。



图2 多学科交叉融合机械大类课程体系

(2) 贯通理论实践，构筑科教融合的全方位创新实践体系，塑造系统与批判性思维

将科创实践纳入课程学分【附件 2.1.2】，建设《工程与社会》《工程实践》《科学研究与创新实践》等系列进阶实践课程，依托科研基地推行科研导师制，理论和实践贯通，建立课程项目、自由立题、研究课题等开放问题牵引的全方位创新实践体系。强化课程实践，推行课堂教学与实践“双主线并行”项目式教学法，突出“学中做”与“做中学”；全员科研导师制赋能好奇心驱动的科研创新，夯实“做中创”；多元主体协同的过程考核

方式改革，驱动学生敢于质疑、勇于挑战不确定性问题，提高批判性思维素养。

创新实践体系衔接科研资源与创新能力培养，60%以上教师担任科研导师，100%工程技术人员指导创新实践，科教融合支撑工程能力与科学思维同步发展，实现从工程思维到系统与批判性思维的跃升。



图3 科教融合的全方位创新实践体系

(3) 互通产教资源，打造“真问题”驱动的产教融合协同育人范式，培养解决复杂工程问题的创造力

主动引入产业资源，创建产教融合毕业设计，公开征集企业工程实践问题并严格筛选，学生团队在双导师制指导下解决“真问题”【附件 2.6.1】。以产教融合毕设为牵引，引导企业资源反哺实践基地、课程项目、新兴技术公开课建设，全链条贯穿“校内课程-校外实践-毕业设计”，培养职业素养与专业情怀。联合国际一流大学和跨国企业开展国际联合毕设，拓展国际视野，提升国际胜任力。通过多环节产教资源互通，支撑解决复杂工程问题的创造力培养。

通过构建“企业工程师-学生-教师”多方共赢长效机制，企业资源赋能人才培养。吸引中国商飞、上汽大众、ABB 等 300 余家国内外知名企业参与，累计完成产教融合联合毕设项目 779 项【附件 2.6.2】。

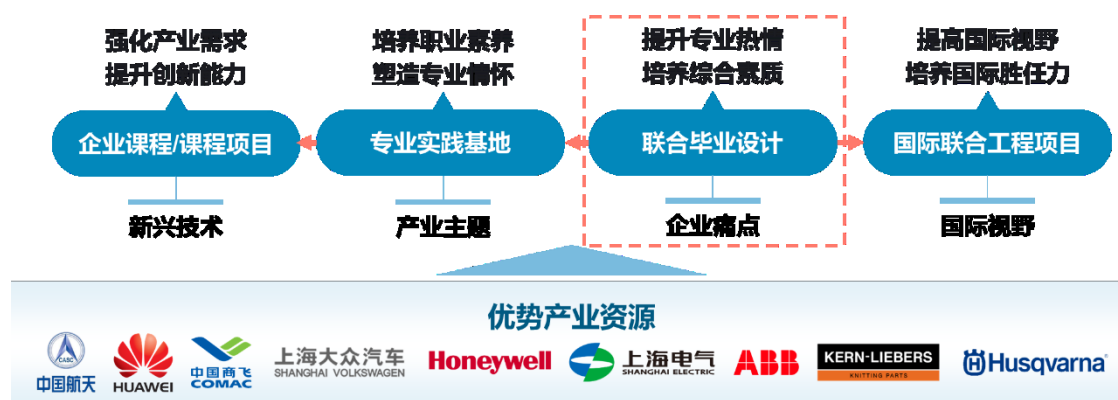


图4 “真问题”驱动的产教融合协同育人范式

三、成果的主要创新点

（1）创建了机械大类工程科学人才“三通三融”培养新体系

面向新时代高端制造自主创新对高层次工程人才需求，结合学科服务制造业属性，提出机械大类工程科学人才培养新理念，着力培养多学科交叉融合的知识结构、系统与批判性的思维、解决复杂工程问题的创造力。以强化工程基础、重视交叉创新、协同多方资源为重点，探索出工程科学人才“三通三融”培养新体系，打通学科边界、贯通理论与实践，互通产教资源，推进学科交叉融合、科教融合、产教融合，构建了学科交叉融合的课程体系、科教融合的全方位创新实践体系以及“真问题”驱动产教协同育人范式。

（2）探索出从工程思维到系统与批判性思维逐级进阶的培养新路径

以多学科交叉课程体系重构为基础，打通第一、第二课堂，贯通理论与实践，建设《工程与社会》《工程实践》《科学研究与创新实践》等系列实践课程，依托科研基地推行科研导师制，通过学中做、做中学、做中创，强化工程伦理、认知、实践和科学思维训练，通过自由立题、课内挑

战赛、企业难题榜、研究课题等开放问题牵引，赋能好奇心驱动的科研创新，科教融合支撑工程能力与科学思维同步发展，形成从工程思维到系统与批判性思维逐级进阶的培养新路径。

(3) 打造了多方共赢、企业真问题驱动的产教融合育人新范式

以产业需求为牵引，以学生发展为中心，聚焦教学范式创新，充分利用产业优势资源，建立多渠道、多模式的产教融合平台，以具有挑战性的企业实际需求驱动，激发学生开展创新产品研发的责任感和使命感，教会学生如何在不确定性环境中开展团队工作，培养学生复杂工程问题解决能力、沟通合作能力、领导力，激发创造力。同时拓展指导教师产学研合作空间，助力企业人才储备、产品创新与升级换代，形成“学生-教师-企业”多方共赢、企业真问题驱动的产教融合育人新范式。

四、 成果推广效果

通过近些年在机械大类人才培养模式的探索和实践，构建了机械大类工程科学人才培养“三通三融”模式。上海市高等教育学会组织的以李培根院士为组长的教学成果鉴定专家组认为“**理念先进、体系完整、创新点突出、实施成效显著，建议在国内同类型高校的工程教育中大力推广**”

【附件 1】。 教育改革成效体现在以下四个方面：

(1) 培养体系改革提升了毕业生深造意愿，服务制造业成效突出

近五年本科毕业生从事工程科学研究的意愿逐年增强，毕业深造率持续保持 70%以上，其中攻读博士学位占比达 33%。78%以上毕业后投身国家重点行业领域或者学术就业，服务制造强国建设。2011 届本博校友王贺现任航天科技 211 厂副总经理，获国防工业管理创新一等奖、航天一院长征奖。陈光、陈永昕等一批毕业生在北大、佐治亚理工等国内外一流大学任教职。多位毕业生创立了伯镭、禾赛等高成长新兴技术企业。2013 届

崔运凯、白泽宇等入选胡润 30 岁以下创业领袖、福布斯中国 30 岁以下精英榜。

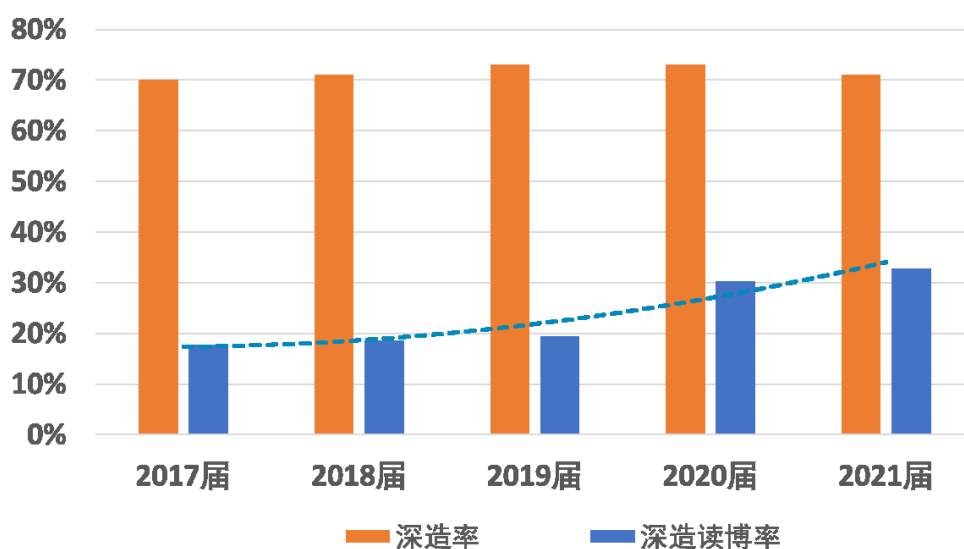


图5 2017-2021本科毕业生深造情况

(2) 优势学科资源充分发挥，学生思维力与创造力显著提升

学科资源全方位支撑本科生创新能力培养。近五年，科创竞赛成绩显著，获国际级奖励 497 项，国家级奖励 972 项；发表学术论文 107 篇，申请发明专利 125 项【附件 2.5.2.2】。2011 年至今，累计 5 次、近三届连续 3 次荣获全国“挑战杯”竞赛特等奖，连续 11 年获全国节能减排竞赛特等奖；连续四届获国际机械原理竞赛冠亚军（唯一）【附件 2.5.3】。2017 级本科生郭孟迪等发明了一体式可逆燃料电池，获第十七届“挑战杯”特等奖，并获评第十三届中国青少年科技创新奖【附件 2.5.3】。2018 届本科毕业生韩东霖发现了基于极化高熵高分子的巨电卡效应，以共同第一作者发表 **Nature** 期刊论文【附件 2.5.2.1】。2021 届本科生郭孟迪等发明了一体式可逆燃料电池，获第十七届“挑战杯”特等奖，并获评第十三届中国青少年科技创新奖【附件 2.5.3】。



图6 机械大类本科生科研创新成效

（3）多方共赢产教融合协同育人模式成为新工科建设典范

产教融合模式影响力持续提升。企业提交毕设项目数、参与企业数量逐年递增。2017年以来，毕业设计全部来自中国商飞、上汽大众、ABB等国内外企业【附件 2.6.2】，累计完成毕设 779 项【附件 2.6.2】，参与的国际学生 600 余名，真场景、真问题支撑解决复杂工程问题的创造力提升，毕设成果支撑了企业技术突破与产品研发。创业上市企业骄成超声持续资助毕设项目，“开发的微聚焦超声波技术显著支撑了企业新产品研发”。毕设成果 2 次荣获机械行业卓工联盟毕设大赛唯一金奖【附件 2.6.3】。



图7 2017-2022产教融合联合毕业设计项目情况

（4）形成可复制与具有推广价值的培养体系与模式

专业建设成效显著，入选教育部“三全育人”试点学院【附件 2.1.3】，负责教育部机械工程专业虚拟教研室建设【附件 2.1.4】；获批教育部首批“新工科”项目并验收优秀【附件 2.7.2】。《设计与制造 I》等 8 门课程入选首届国家一流课程【附件 2.2.1】；《工程热力学》荣获首届国家优秀教材奖【附件 2.3】。《设计与制造 II》等 8 门在线课程被机械类教指委推荐使用，选课人次超 20 万【附件 2.2.10】。课改成效连续五年列入教育部机械基础课分教指委主任报告。承办国际机械工程教育大会，欧美等十余个国家和地区 900 余人参加，受邀在美国工程教育年会、教育部教指委大会等交流推广经验 100 余次【附件 2.7.1】。机械、能动教指委现场观摩项目式教学与产教融合毕设，受邀在中国-东盟教育交流周开幕式展出【附件 2.7.1】。成果被人民日报、光明日报等主流媒体报道百余次【附件 2.7.4】。在《高等工程教育研究》等期刊发表论文 30 余篇【附件 2.7.3】。

李培根院士领衔的成果鉴定专家组一致认为“理念先进、创新点突出、实施成效显著，建议在国内同类型高校的工程教育中大力推广”。