

产学研用协同下高性能计算与船舶工业软件课程群改革探索*

王宇华 徐悦竹 江海英* 潘海为

哈尔滨工程大学 计算机科学与技术学院, 哈尔滨 150001

摘 要 为适配船舶工业软件自主化复合型人才需求, 破解高性能计算教学与行业应用脱节问题, 依托哈尔滨工程大学特色化软件学院, 开展“高性能计算+船舶工业软件”交叉课程群建设。课程群遵循“基础—核心—综合—创新”递进逻辑, 整合软件工程、并行计算与船舶 CAE 核心课程, 以有限元分析、流体仿真等真实场景重构教学内容, 搭建线上线下混合教学平台, 联合中船集团等院所建立需求直通、能力进阶、创新孵化、动态优化的四维协同育人机制。实践表明, 学生并行编程实操通过率达 89.5%, 科创竞赛获奖率 56%, 较改革前提升 20%, 形成可复用的教学平台与案例库。改革打通了理论、案例与创新实践的贯通路径, 为新工科船舶软件自主化人才培养提供了可推广范式。

关键词 新工科; 高性能计算; 船舶工业软件; 课程群建设; 产学研协同育人

Exploration of Curriculum Group Reform for High Performance Computing and Shipbuilding Industrial Software under Industry-University-Research-Application Collaboration*

Wang Yuhua Xu Yuezhu Jiang Haiying* Pan Haiwei

College of Computer Science and Technology, Harbin Engineering University, Harbin 150001, Heilongjiang, China
wangyuhua@hrbeu.edu.cn; xuyuezhu@hrbeu.edu.cn; jianghaiying@hrbeu.edu.cn; panhaiwei@hrbeu.edu.cn

Abstract—To meet the demand for interdisciplinary talents in domestically developed shipbuilding industrial software and to address the disconnection between high-performance computing (HPC) instruction and industry applications, this study, based on the Specialized Software College of Harbin Engineering University, constructs a cross-disciplinary curriculum group integrating HPC and shipbuilding industrial software. The curriculum follows a “foundation – core – comprehensive – innovation” progressive logic, integrating core courses in software engineering, parallel computing, and ship CAE. Teaching content is reconstructed with real-world scenarios such as finite element analysis and fluid dynamics simulations. An online-offline blended teaching platform is established, and a four-dimensional collaborative education mechanism—covering demand orientation, capability progression, innovation incubation, and dynamic optimization—is built in partnership with leading institutes such as CSSC. Practice shows that the pass rate of students in parallel programming practice reaches 89.5%, and the award rate in science and innovation competitions reaches 56%, an increase of 20 percentage points over the pre-reform level. Reusable teaching platforms and case libraries have been developed. The reform has established a coherent pathway linking theory, case studies, and innovative practice, providing a replicable paradigm for cultivating independent shipbuilding software talents in new engineering education.

Keywords—new engineering education; high performance computing; shipbuilding industrial software; curriculum group construction; industry-university-research collaborative education

1 引 言

船舶工业是国家海洋强国战略的核心支撑产业, 船舶工业软件作为船舶设计、制造、运维全流程的底层技术核心, 其自主化水平直接决定船舶工业的数字化转型进程。高性能计算作为船舶结构有限元分析、

流体动力学仿真、多物理场耦合计算等核心环节的关键技术, 成为船舶工业软件研发人才的必备核心素养^[1]。2020 年教育部、工业和信息化部联合启动特色化示范性软件学院建设工作, 明确要求聚焦国家软件产业发展重点, 培养“产业急需、特色鲜明”的软件人才, 为高性能计算与船舶工程交叉融合的教学改革指明了方向。当前高校高性能计算课程教学普遍存在课程体系碎片化、实践资源匮乏、教学内容滞后于产业前沿、

*基金资助: 黑龙江省高等教育教学改革项目 (SJGYB2024128)
哈尔滨工程大学教育教学改革项目 (JG2023B0604)

*通讯作者: 江海英, jianghaiying@hrbeu.edu.cn

人才培养与行业需求契合度低等问题^[2], 难以满足船舶工业软件研发对兼具 HPC 技术能力和船舶工程背景的复合型人才需求。基于此, 依托哈尔滨工程大学“船海”特色学科优势, 以特色化软件学院建设为载体, 开展高性能计算与船舶工业软件融合的课程群建设研究, 通过课程体系重构、教学模式创新、育人机制优化, 构建适应船舶工业需求的 HPC 复合人才培养体系, 助力国产船舶工业软件突破技术壁垒。海洋强国战略落地过程中, 船舶数字化仿真核心工具长期存在国外软件垄断的痛点, 商用船舶 CAE 软件不仅采购、运维成本高昂, 核心求解器、并行加速模块闭源, 难以适配我国特种船舶、深海装备等定制化仿真需求, 关键数据安全与技术自主可控存在重大隐患。在此行业背景下, 国内头部船舶院所与船厂均提出迫切用人需求: 人才不能仅掌握通用并行编程理论, 更要理解船舶水动力、结构力学、多场耦合等工程机理, 具备自主开发、优化船舶仿真工业软件的综合能力。传统单一计算机类或船舶工程类专业培养模式存在天然割裂, 计算机专业学生不懂船舶力学仿真场景, 船舶工程专业学生缺乏大规模并行程序开发、超算调度优化能力, 两类人才均无法独立承担国产船舶工业软件迭代研发工作, 交叉复合型人才供给缺口持续扩大, 进一步凸显本次课程群教学改革现实紧迫性与战略价值。

2 国内外研究现状与现存问题

2.1 国内外研究现状

国外高校较早开展高性能计算与海洋工程融合的教学探索, 形成了“产教融合、项目驱动、学科交叉”的鲜明特征。麻省理工学院(MIT)与海洋工程企业共建联合实验室, 将HPC技术融入海洋工程仿真课程, 让学生直接参与企业真实船舶仿真项目^[3]; 挪威科技大学(NTNU)在“海洋工程数值模拟”课程中强化并行算法与船舶工程问题的结合, 注重学生工程实践能力培养; 英国南安普顿大学与劳斯莱斯、英国船级社等企业合作, 开设“高性能计算与船体流体动力学”联合课程, 课程内容直接对接船舶工业实际需求^[4]。

国内高校在新工科理念指导下, 逐步推进HPC课程与行业应用的融合改革。哈尔滨工程大学、大连海事大学等船舶类高校开始尝试将HPC技术融入船舶工程专业课程; 中国地质大学、江西理工大学等院校针对HPC课程建立了一体多元的协同育人体系^[5]; 在产业应用方面, 天津超算中心联合国防科技大学研发的通用显式动力学数值模拟软件, 实现了HPC技术在工业软件领域的国产化替代^[6], 为高校教学提供了产业实践案例。我国船舶工业软件研发也取得阶段性成果, 如沪东中华的SPD软件、哈工程与中船702所联合开发的“数值水池虚拟试验系统”^[7], 为HPC与船舶工业软

件融合的教学改革提供了本土化技术支撑。

2.2 现存核心问题

结合国内高校教学实践与船舶工业人才需求调研(调研对象为16家船舶工业软件研发企业(研究所)、4所船舶类高校, 发放企业及个人问卷126份, 回收有效问卷106份(企业63份, 高校43份), 当前高性能计算相关课程群建设仍存在四方面突出问题:

课程体系碎片化: HPC课程与船舶软件研发、软件工程等课程缺乏系统性衔接, 知识点分散, 62.5%的调研企业反映毕业生难以将HPC理论知识与船舶工程实际问题结合;

实践平台资源不足: 72.1%的高校表示现有HPC平台以科研为主, 难以支持大规模工业级船舶仿真计算, 学生缺乏接触真实工程场景的实践机会;

教学内容滞后: 课程内容偏重传统理论, GPU加速、国产化超算平台应用、千万级网格并行优化等前沿技术融入不足, 与船舶工业软件研发实际需求脱节;

工程实践能力薄弱: 传统教学实践环节占比不足20%, 学生解决复杂工程问题的能力薄弱, 59.4%的企业认为毕业生需要6个月以上的岗前培训才能胜任工作。

调研过程中还发现一项隐性育人短板: 现有课程普遍缺少国产软硬件生态教学内容。多数课堂仍以国外商用超算框架、商业 CAE 软件作为教学载体, 国产 DCU 加速芯片、国产并行编译环境、FastCAE 开源国产仿真平台等自主技术体系讲解占比不足 10%。学生在校阶段长期依赖海外技术工具, 进入船舶研发岗位后, 面对国内院所主推的国产化数值水池、自主求解器项目存在严重适应壁垒。同时, 现有评价体系偏重笔试理论分数, 缺少针对工程项目完整交付、并程序性能调优、工业软件文档标准化撰写的过程性考核指标, 学生普遍重代码实现、不重视工程规范与性能优化, 与船舶企业工业软件研发岗位真实考核标准存在明显偏差, 进一步放大了人才培养与产业岗位需求的错位。

3 融合课程群建设路径

以“船舶领域导向、理论实践并举、校企深度合作、多维协同育人”为办学特色, 围绕课程群顶层设计、教学内容重构、混合式教学模式、产学研用协同育人四大核心维度, 构建“高性能计算+船舶工业软件”交叉课程群, 实现 HPC 技术与船舶软件研发教学的全流程、深度融合。课程群建设整体框架如图 1 所示。



图1 高性能计算与船舶工业软件融合的课程群建设整体框架

3.1 课程群顶层设计：三重贯通的体系架构

遵循“基础-核心-综合-创新”的螺旋上升逻辑，打破传统学科壁垒，整合软件工程、船舶工程、HPC三大领域的核心课程，组建系统性课程群体系，实现知识点、案例、实践的三重贯通。

核心课程整合：选取《软件工程基础》《分布式与并行计算》《船舶CAE/CAD导论》《船舶CAE/CAD软件设计》《工业软件设计与架构--CAE课程》5门核心课程组建课程群，明确各课程的教学目标与衔接关系，形成“基础铺垫-核心突破-综合应用-创新实践”的能力培养链条；

阶梯式知识点融合：将MPI、OpenMP、CUDA三大并行计算核心技术分解为“认知-理解-应用-创新”四阶知识模块（如表1所示），有机嵌入各门课程，实现知识点的层层递进、融会贯通；

表1 并行计算核心技术阶梯式知识点融合设计

知识阶段	核心内容	融入课程	教学目标
认知阶段	领域软件工程（融合船舶CAE软件开发案例）、敏捷开发方法	《软件工程基础》	掌握船舶领域工业软件开发基础理论，建立工程化、团队软件开发思维
理解阶段	MPI通信模型、OpenMP任务并行、CUDA基础语法	《分布式与并行计算》《船舶CAE/CAD导论》	理解三大并行技术的核心原理与适用场景
应用阶段	CUDA加速核心算法、MPI/OpenMP混合编程、基于VTK及FastCAE软件开发	《船舶CAE/CAD软件设计》	能将并行技术、及开源CAE相关技术应用于船舶CAE软件模块开发
创新阶段	融入百万级网格并行优化求解的典型CAE软件研发	《工业软件设计与架构--CAE课程》（实践课程）	能综合运用并行技术优化船舶工业软件全流程

锚案例全程贯穿：选取“十万吨级散货船全船有限元分析”“船舶流体动力学（CFD）仿真”等具有重大工程背景的真实项目作为“锚案例”，覆盖课程群教学全程，让学生在不同课程中完成需求分析、算法设计、模块开发、全流程集成的完整研发流程；

国产化与思政元素融入：将“数值水池创新专项”等国产船舶工业软件研发案例融入课程，剖析团队突破国外技术封锁的研发历程，将自主创新、科技报国等思政元素融入教学各环节，强化学生的行业责任感。

3.2 教学内容重构：对接船舶工业实际需求

突破传统软件工程课程偏重管理系统开发的局限，以船舶工业软件研发的实际需求为导向，重构HPC教学内容，将船舶领域典型HPC仿真问题作为核心教学载体，实现学生从“写代码”到“造工具”的能力跃迁。

场景化教学任务设计：在《软件工程基础》中设计“基于MPI的船舶结构显式动力学并行求解器开发”，在《船舶CAE/CAD软件设计》中设计“基于CUDA的船舶流场仿真加速模块开发”等场景化任务，让学生完整经历需求分析、架构设计、编码实现、测试部署的全过程；

前沿技术融入教学：在传统MPI及OPENMP技术基础上，增加GPU加速、国产化超算平台（DCU）应用、百万级网格并行效率优化、多物理场耦合计算等前沿内容，弥补传统教学内容滞后的短板；

强化工程化能力培养：融入工业软件研发的工程规范，如代码注释、版本管理（Git）、性能测试、技术文档撰写等，培养学生的工程化思维和团队协作能力。

3.3 混合式教学模式：线上线下协同强化

依托学校高性能计算中心资源，构建“线上资源筑基-线下实战深化-思政价值引领-多维互动增效”的混合式教学模式，突破时空限制与硬件资源壁垒，将课内实验学时占比提升至35%以上，大幅提升学生的工程实践能力。

线上资源建设：基于数值水池（一期）及FASTCAE开源技术，开发高性能计算虚拟仿真平台，集成船体波浪载荷计算、螺旋桨空化模拟等10类船舶CAE典型场景，支持学生在线配置算例参数、选择并行框架、可视化仿真结果；建设模块化数字资源库，包括12个MPI调试、CUDA内存优化等专题试验，以及10个“中国数值水池”并行优化方案等开源案例库，实现学生“边看边练”的自主学习；

线下实践优化：定制化搭建面向教学的轻量化HPC子平台，与校高性能计算平台对接，支持学生远程提交作业、监控任务状态、查看计算结果（如船舶应力云图、流场结构）；导入船舶研究院所等企业级项

目(《工业软件设计与架构--CAE课程》),以3-5人为团队开展实训,完成架构设计、敏捷开发、超算集群部署验证的全流程实践;

多维互动机制构建:依托教学平台行为分析系统、AI代码分析引擎等技术,构建教师、学生、平台三方互动机制。教师基于平台学习热力图开展针对性教学设计及答疑,平台实现实验程序自动测评,调用AI推送优化建议,形成“学情-教学-评估”的动态闭环。

3.4 产学研用协同育人:构建四维闭环培养

以HPC能力培养为核心,联合中国船舶集团第七〇二、七〇四研究所、沪东船厂等6家头部企业与科研机构,构建“需求牵引-能力共建-创新孵化-动态优化”的四维产学研用协同育人闭环,实现人才培养与产业需求的精准对接。

企业需求直通课堂:与企业共建“新玖零幺”新创工作室(网络教研室),引入企业真实痛点问题作为教学案例,工作室教师与企业工程师共同将其转化为适合教学的项目任务。目前,工作室已累计收录并转化了20余个涵盖船舶结构分析、流体动力学仿真等领域的典型案例;

学生工程能力阶梯式培养:工作室为学生设计了从“社团”到“公司”再到“竞赛/就业”的进阶式成长路径。学生首先通过加入学生社团,学习基础的并行编程技术和软件工程规范;随后进入模拟公司,以3-5人为一组,承接来自企业的真实项目,在“做中学”,完整经历需求分析、架构设计、编码实现、测试部署的全流程;最终,学生带着项目经验和实战能力,参与FastCAE开源社区代码开发,或参加全国船舶CAE工业软件“浪花平台”应用大赛等高水平竞赛,或直接进入合作企业实习;工作室运行模式如图2所示:

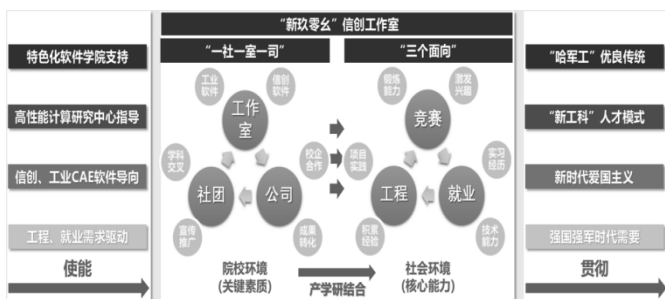


图2 “新玖零幺”创新工作室运行模式

双师型师资能力提升:实施教师、学生研发驻场制,选派4名教师带领学生赴七〇二研究所等单位参与“船舶CAE2.0”等国产项目研发;邀请多名企业高级工程师走进课堂,讲授工业场景中的CAD、CAE技术应用与优化技巧;

动态优化培养体系:建立校企人才培养反馈机制,每半年召开校企研讨会,根据企业对毕业生的能力评

价,实时迭代优化课程内容、教学方法和实践项目,确保人才培养始终贴合产业发展需求。

4 课程群建设实践成效

依托哈尔滨工程大学特色化软件学院2022-2023级软件工程专业(船舶工业软件方向)开展教学实践,累计覆盖学生60人,通过问卷调查、能力测评、竞赛获奖、就业情况等多维度开展成效分析,课程群建设取得显著育人成效,有效解决了传统教学中的知识割裂、资源匮乏、实践不足等问题。具体成效如下:

学生知识掌握与实操能力显著提升:课程群实施后,学生并行计算核心知识点考核通过率从改革前的71.3%提升至91.8%,MPI/OpenMP/CUDA并行编程实操通过率从65.2%提升至89.5%,90.3%的学生能独立完成船舶CAE软件单一模块的并行开发;

学生科创能力与竞赛获奖率大幅提高:近两年,学生共组建9支团队参与船舶工业软件、高性能计算相关科创竞赛,获国家级奖项2项、省部级奖项3项,竞赛获奖率达56%,较改革前提升20个百分点,部分学生的研发成果已应用于企业实际项目;

形成可复制的教学模式与资源成果:开发轻量化HPC教学平台1个、编制特色教材1部、教学案例集10余项,形成的混合式教学方案、课程群建设模式。

课程群建设前后学生核心能力指标对比见图3。

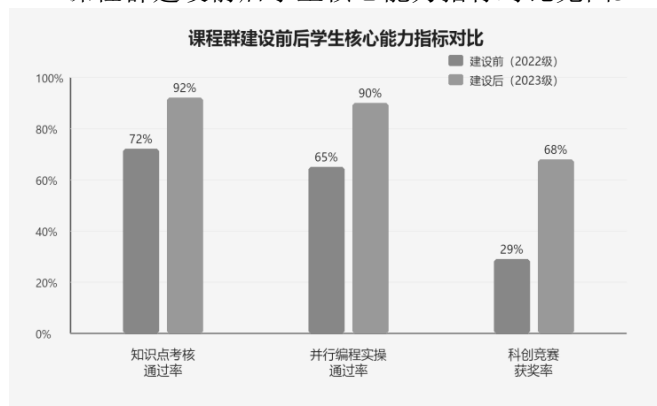


图3 课程群建设前后学生核心能力指标对比

除量化指标提升外,课程群改革在学生价值塑造与行业认知层面也形成长效育人成效。课程锚案例、企业驻场实训、国产软件研发思政案例三位一体的浸润式教学,让学生充分认识船舶工业软件“卡脖子”技术难题,学生主动参与国产FastCAE开源社区、多名学生在毕业设计阶段主动选择船舶并行求解器、流场仿真加速模块等国产化研发选题,部分毕业设计成果被合作中船院所采纳用于内部预研项目。

5 结语

本研究立足国家船舶工业软件自主化战略需求,

针对高性能计算教学与船舶工程应用脱节、跨学科复合型人才培养不足等关键问题,依托哈尔滨工程大学特色化示范性软件学院建设契机,系统开展“高性能计算+船舶工业软件”交叉课程群建设与教学改革实践。通过构建“基础—核心—综合—创新”四层递进课程体系、重构船舶场景化教学内容、打造线上线下混合式教学平台、建立产学研用四维协同育人机制,打通了理论知识、工程案例与创新实践的贯通路径,形成了可复制、可推广的跨学科课程建设范式。教学实践成效表明,改革有效提升了学生的并行编程能力、工程实践能力与科创竞赛水平,为国产船舶工业软件人才培养提供了坚实支撑。

面向海洋强国与数字造船的长远发展,高性能计算与船舶工业软件的融合仍需持续深化。未来将紧跟智能计算、数字孪生、异构并行等技术前沿,进一步丰富课程内容、升级教学平台、拓展校企合作深度,推动人才培养与产业需求同频共振。同时不断完善质量评价与动态优化机制,持续输出高素质复合型创新人才,为我国船舶工业软件核心技术自主可控、船舶工业高质量发展贡献教育力量。

参考文献

- [1] 黄永勤, 吴俊, 李超. 新工科背景下船舶工业软件人才培养模式探索[J]. 计算机教育, 2024(05):156-160.
- [2] 刘强, 马丽娟, 张铭. 面向国产工业软件的高性能计算实践教学体系构建[J]. 实验技术与管理, 2023,40(08):121-126.
- [3] 张艳秋, 李翔, 王浩. 国外高校海洋工程专业高性能计算教学模式研究及启示[J]. 高等工程教育研究, 2022(06):178-184.
- [4] 陈宇, 王勇, 刘佳. 船舶工程专业高性能计算交叉课程建设探索[J]. 计算机教育, 2023(09):45-49.
- [5] 李丽, 王明, 赵阳. 新工科下并行计算课程群“岗课赛证”融合教学改革[J]. 计算机工程与科学, 2024,46(03):589-596.
- [6] 天津超算中心. 工业软件自主化的超算探索与实践[J]. 中国超算, 2023(02):34-40.
- [7] 王宁, 李建峰, 张勇. 中国数值水池研发与船舶工业软件教学融合实践[J]. 船舶工程, 2024,46(01):145-150.
- [8] 周伟, 李娜, 孙明. 软件工程专业船舶 CAE 方向课程体系重构[J]. 工业和信息化教育, 2023(10):36-41.
- [9] 高晓光, 王鹏, 刘敏. 混合式教学在高性能计算课程中的应用研究[J]. 计算机教育, 2022(11):89-93.
- [10] 张明, 王伟, 李华. 产学研协同的船舶工业软件人才培养机制构建[J]. 高等理科教育, 2024(02):98-105.
- [11] 王群, 陈蒙, 李秋丽. 面向新工科的软件工程应用型人才培养模式研究[J]. 计算机技术与教育学报, 2022(10):39-42.
- [12] 郭俊. 科教融合视域下人工智能类课程教学案例探析[J]. 计算机技术与教育学报, 2023, 11(2):46-50.
- [13] WANG L, CHEN S, ZHANG Q. Design of Hybrid Teaching Model for High Performance Computing Courses in Marine Engineering[J]. Journal of Computers in Education, 2023, 10(02):45-62.
- [14] ZHANG Y, LI X, WANG H. Industry-University Collaboration in HPC Education for Marine Software Development[J]. IEEE Transactions on Education, 2024, 67(01):89-90.