

面向航海技术专业的概率论与数理统计探究式教学改革

袁超霞^{1*}, 吴建军²

¹上海海事大学理学院, 上海

²上海海事大学商船学院, 上海

收稿日期: 2026年7月10日; 录用日期: 2026年8月21日; 发布日期: 2026年8月31日

摘要

针对航海技术专业《概率论与数理统计》教学中专业情境不足、知识应用与航海实践脱节的问题, 基于情境学习、问题导向学习和案例教学的相关理念, 构建海事情境驱动的探究式教学模式。课程以48学时为载体, 由数学教师与航海专业教师联合设计案例, 围绕航迹偏差估计、设备故障时间分析、船舶碰撞原因判断和避碰训练评价等任务, 引导学生经历“情境分析-问题转化-方法选择-条件核验-风险判断表达”的学习过程。教学实践设置实验组(3个自然班, 109人)和对照组(3个自然班, 120人), 两组由同一教师授课, 采用相同教学大纲、教材、教学进度和考核要求; 对照组以概念讲授、例题示范和习题训练为主。结果显示, 实验组课程综合表现以及专业情境理解、概率统计方法应用、方法条件核验、风险判断与表达得分均高于对照组。结合任务单、课堂记录和教学反思发现, 案例难度控制、专业术语理解及统计结论边界是实施中的主要难点。研究表明, 该模式可为概率统计基础课与航海专业学习情境的衔接提供可操作路径。

关键词

航海教育, 航海技术专业, 概率论与数理统计, 探究式教学, 情境学习

An Inquiry-Oriented Reform of Probability and Mathematical Statistics Teaching for Navigation Technology Majors

Chaoxia Yuan^{1*}, Jianjun Wu²

¹College of Science, Shanghai Maritime University, Shanghai

²Merchant Marine College, Shanghai Maritime University, Shanghai

Received: July 10, 2026; accepted: August 21, 2026; published: August 31, 2026

*通讯作者。

文章引用: 袁超霞, 吴建军. 面向航海技术专业的概率论与数理统计探究式教学改革[J]. 创新教育研究, 2026, 14(8): 713-725. DOI: 10.12677/ces.2026.148653

Abstract

To address insufficient professional contexts and the disconnection between knowledge application and maritime practice in “*Probability Theory and Mathematical Statistics*”, this study develops a maritime-scenario-driven inquiry-oriented teaching model informed by situated learning, problem-based learning, and case-based learning. Within a 48-hour course, mathematics and navigation instructors jointly design tasks on route-deviation estimation, equipment-failure-time analysis, ship-collision cause assessment, and collision-avoidance training evaluation. Students proceed through scenario analysis, problem formulation, method selection, assumption checking, and risk-judgment communication. The teaching practice involved an experimental group of three intact classes ($n = 109$) and a control group of three intact classes ($n = 120$). Both groups were taught by the same instructor and followed the same syllabus, textbook, schedule, and assessment requirements, whereas the control group mainly received concept explanation, worked examples, and exercise practice. The experimental group achieved higher scores in overall course performance, professional-context understanding, application of probability and statistical methods, assumption checking, and risk-judgment communication. Task sheets, classroom records, and teaching reflections further indicated that controlling case complexity, understanding professional terminology, and defining the evidential boundaries of statistical conclusions were major implementation challenges. The model provides an operational approach to connecting foundational probability and statistics with navigation-related learning contexts.

Keywords

Maritime Education, Navigation Technology, Probability and Mathematical Statistics, Inquiry-Oriented Teaching, Situated Learning

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

《概率论与数理统计》是高校理工类专业的重要数学基础课程,其核心价值不仅在于使学生掌握随机事件、随机变量、数字特征、参数估计和假设检验等知识,还在于帮助学生运用数据和概率语言认识不确定性。对于航海技术专业学生而言,船舶航行风险、航迹偏差、助航设备故障、碰撞事故原因判断和避碰训练效果评价等问题均具有明显的随机性、数据性和风险性,需要学生能够从专业情境中识别变量、选择方法、核验条件并解释结论。

随着航运技术、船舶智能化设备和海事安全实践的发展,航海技术专业学生需要具备更强的数据分析与风险判断能力。概率统计课程如果长期停留在公式推导和标准题训练层面,学生即使能够完成计算,也可能难以判断某一专业问题应采用何种方法,更难说明样本来源、分布假设和统计结论在航海情境中的含义。因此,如何在保持数学知识系统性的同时,将专业问题转化、方法条件核验和证据边界表达纳入课程,是航海类数学基础课需要回应的教学问题。

现有国内研究已尝试将案例教学、问题导向学习和专业情境融入概率统计或航海类数学课程,但不少研究主要报告教学设计与总体效果,对教学模式与情境学习、PBL、CBL等理论的关系阐释不足;在研究方法上,也较少公开主观指标的分级评分细则、评分程序和过程性证据。由此,相关改革仍需在理

论定位、比较基准、评价工具和实施过程解释等方面进一步完善。

基于上述问题, 本文以航海技术专业大二学生统一开设的 48 学时《概率论与数理统计》课程为对象, 构建海事情境驱动的探究式教学模式, 并设置实验组(3 个自然班, 109 人)和对照组(3 个自然班, 120 人)开展教学比较。两组采用相同教学大纲、教材、课程目标、教学进度和考核要求, 由同一教师授课; 实验组在若干核心单元中实施短周期情境探究任务, 对照组采用以概念讲授、例题示范和习题训练为主的常规教学。本文重点回答三个问题: 该模式与相关教育理论有何联系与区别; 如何通过任务流程和评价量表实现可操作的课程设计; 实验组在课程表现和情境化能力指标上是否呈现优势。

针对数学教师不熟悉航海专业情境、航海专业教师不一定熟悉概率统计教学设计的问题, 课程采用跨学科联合设计方式: 数学教师负责知识目标、模型难度、方法条件和计算规范, 航海专业教师负责案例来源、专业术语、情境合理性和安全结论边界。案例进入课堂前, 由双方共同核验资料来源、概率设定、术语使用及结论适用范围。

2. 理论基础与相关研究

2.1. 情境学习与情境化课程设计

情境学习理论强调, 知识的意义与其所处的活动、社会实践和使用环境密切相关, 学习并非脱离情境的知识传递, 而是学习者在具体实践中逐步理解工具、语言和判断规则的过程[1]。情境化课程设计进一步要求“情境”不只是吸引注意的背景材料, 而应参与概念形成、问题解释和知识迁移[2]。据此, 本文将航海情境置于概率统计学习过程内部, 使学生在变量定义、模型假设和结论表达中持续回到航海实践, 而非仅在课堂开头展示一个专业案例。

2.2. PBL、CBL 与引导式探究

问题导向学习(PBL)通常以开放或结构不完整的问题驱动学习者识别知识缺口、搜集信息、讨论方案并反思学习过程, 强调学生中心、合作学习以及理论与实践的联系[3][4]。案例教学(CBL)则以具体案例组织分析和决策, 教师提供的结构与引导通常更明确, 适合在既定课时内训练知识应用[5]。相关综述指出, PBL 有助于知识应用和长期保持, 但其效果依赖问题质量、教师支架和学习者已有知识[6]。本文的模式不等同于完整 PBL 项目, 也不是教师讲解案例后给出标准答案的传统 CBL, 而是采用“短周期任务 + 问题链支架”: 由教师限定数据规模与课程知识范围, 学生完成问题转化、方法选择、条件核验和专业解释。

2.3. 工程与 STEM 教育研究及本研究定位

工程教育中的 PBL 强调以真实问题为中心, 将知识学习、团队讨论和决策产出相连接[7]; 对科学、工程和数学课程的大规模研究也表明, 主动学习总体上能够改善学生成绩并降低不及格风险[8]。国内航海类数学课程和概率统计教学研究已从 PBL、案例教学和应用型课程改革等角度积累了实践经验[9]-[13], 但对“专业情境如何被转化为统计问题”“方法适用条件如何显性评价”“统计结论如何表达其证据边界”等环节仍缺少细化。本文的创新不在于简单增加航海案例, 而在于构建“情境分析 - 问题转化 - 方法选择 - 条件核验 - 风险判断表达”的连续能力链, 并通过数学与航海教师的双重专业审核保证任务的数学可行性与情境合理性。

3. 航海技术专业概率统计课程教学的转型需求

3.1. 航海安全问题具有显著的不确定性和统计性

航海技术专业学生所面对的许多问题并非确定性问题, 而是由人员、船舶、环境、管理和技术条件共同作用形成的复杂风险问题。例如, 船舶碰撞事故可能受到值班驾驶人员操作、能见度、通航密度、

助航设备状态和管理制度等因素影响;航海模拟器训练中的航迹偏差和应急反应时间具有随机波动;雷达、AIS、电子海图等设备的故障时间需要通过运行数据分析其可靠性;不同能见度条件下避碰判断效果也需要通过统计方法进行比较。这些问题都要求学生理解随机事件、条件概率、随机变量、参数估计和假设检验等知识在航海实践中的作用。

已有船舶碰撞事故研究表明,碰撞事故往往由人为、船舶、环境和管理等因素共同作用形成,相关研究常借助贝叶斯网络、文本挖掘和风险预测等方法分析致因关系[14][15]。这些研究虽属于专业研究领域,但可经适度简化转化为基础课程任务,例如引导学生理解“观察到新证据后如何更新原因判断”“不同风险因素如何改变事故发生概率”等问题,使抽象的概率公式与具体风险判断相连接。

3.2. 传统教学与航海专业情境联系不足

传统《概率论与数理统计》教学通常以知识体系为主线,按照随机事件、随机变量、数字特征、参数估计和假设检验等章节依次推进。这种组织方式有利于保持知识结构的系统性,但如果缺少专业问题牵引,学生容易将课程学习等同于公式记忆和题型训练。对于航海技术专业学生而言,若课堂案例长期停留在摸球、掷骰子、抽牌、产品合格率等通用情境中,学生虽然可以掌握基本计算方法,却难以形成对课程专业价值的认识。

国内航海类专业数学课程改革研究指出,数学教学需要结合专业学习任务与能力要求进行设计[9]。概率统计课程研究也表明,案例教学、问题导向学习和应用情境有助于提高课堂参与,并促进学生把概率统计知识用于实际问题分析[10]-[13]。因此,面向航海技术专业学生的课程改革,应在保持概率统计知识结构的基础上,将船舶航行、模拟器训练、事故预防、设备维护 and 安全管理等情境嵌入问题提出、方法选择和结果解释全过程。

3.3. 学生需要从“会计算”转向“会转化、会判断、会表达”

航海技术专业学生学习《概率论与数理统计》的目标,不应仅限于能够完成标准题计算。更重要的是,学生应能够把专业情境转化为概率统计问题,判断需要收集哪些数据、定义哪些变量、选择何种方法,并能够将统计结果解释为具有专业意义的安全判断或改进建议。换言之,课程教学应推动学生从“会计算”进一步走向“会转化、会判断、会表达”。

具体而言,“会转化”是指学生能够从船舶碰撞、航迹偏差、设备故障和避碰训练等情境中识别研究对象、随机事件和变量关系;“会判断”是指学生能够说明所选方法的条件,如样本代表性、独立性假设、分布假设和检验前提;“会表达”是指学生能够将概率或统计结论转化为航海安全场景下的解释,而不是停留在“显著”或“不显著”等符号化结论上。探究式教学围绕这一能力链条展开,通过真实或近真实问题、小组辨析和教师追问,推动学生形成专业问题转化与安全决策表达能力。

4. 海事情境驱动的探究式教学模式设计

4.1. 教学设计思路

面向航海技术专业学生的《概率论与数理统计》教学改革,应避免将专业案例简单作为课堂导入材料,而应围绕航海安全问题的形成过程和概率统计方法的使用逻辑,构建可操作的探究式教学流程。本文所设计的探究式教学模式以海事情境为起点,以统计问题转化为核心,以安全决策表达为落点,引导学生在“情境-问题-方法-解释”的连续过程中理解课程知识。

航海安全问题往往具有多因素、强情境和不确定性等特点。若教师直接给出公式和标准题,学生虽然能够完成计算,却不一定理解公式背后的风险判断逻辑。因此,课程设计首先应从航海情境出发,将

模拟器训练、助航设备运行、碰撞事故分析和避碰决策评价等真实或近真实问题转化为课堂任务。例如, 航迹偏差可转化为参数估计问题, 助航设备故障时间可转化为随机变量与可靠性问题, 船舶碰撞事故原因判断可转化为条件概率和贝叶斯公式问题, 不同能见度下避碰判断效果可转化为假设检验问题。

在教学过程中, 教师不宜直接告诉学生“本题使用某公式”, 而应通过问题链引导学生逐步识别统计要素。以船舶碰撞事故原因判断为例, 教师可先提供简化事故描述, 让学生判断事故可能涉及哪些因素; 再追问哪些因素可以作为事件, 哪些信息可以视为证据; 进一步引导学生思考在已知新证据后如何修正对事故原因的判断。通过这种方式, 学生能够在专业语境中理解条件概率、全概率公式和贝叶斯公式的意义。

在案例准备和课堂探究中, 数学教师与航海专业教师分别从统计方法和专业情境两个方面核验案例来源、术语、概率设定、方法条件及安全结论; 学生应注明资料来源, 并独立完成变量定义、概率计算和结果解释。

4.2. 数学教师与航海专业教师的联合设计机制

课程案例按照“案例筛选-知识映射-专业审核-课堂试用-反馈修订”的流程联合设计。数学教师依据课程目标确定需要训练的概率统计思想和方法, 并将专业材料控制在大二学生可理解的范围内; 航海专业教师从事调查报告、模拟器训练材料和设备运行情境中筛选案例, 审核航海术语、情境逻辑和安全建议; 双方将复杂专业问题重构为变量清楚、条件明确、数据规模适中的探究任务。课堂实施后, 再依据学生任务单、常见错误和专业反馈修订案例。

4.3. 教学流程设计

本文将海事情境驱动的探究式教学流程概括为六个环节: 海事情境导入、问题提出、统计方法识别、方法条件核验、风险判断表达和反思改进, 具体见表 1。

Table 1. A maritime-context-driven inquiry-based teaching process for probability and mathematical statistics

表 1. 海事情境驱动的《概率论与数理统计》探究式教学流程

教学环节	学生主要活动	教师支持与专业分工
海事情境导入	阅读模拟器训练、设备运行或事故材料, 理解问题背景	航海教师审核情境真实性, 数学教师限定问题难度
问题提出	从情境中提出可分析的概率统计问题	两类教师分别追问研究对象、风险因素和可观测证据
统计方法识别	判断涉及的随机事件、变量、分布或统计推断方法	建立专业问题与课程知识点之间的映射
方法条件核验	检查样本来源、事件划分、独立性、分布假设和适用条件	数学教师核验方法条件, 航海教师核验情境解释
安全决策表达	将统计结果转化为安全判断或改进建议	两类教师共同审核结论的证据边界和专业含义
反思改进	总结方法局限、资料来源和任务改进方向	根据学生作品和专业反馈修订案例

该流程的重点在于, 把学生从“套用公式”引向“解释问题”。在海事情境导入环节, 教师应选取学生能够理解且与课程知识点对应明确的案例, 避免案例过于复杂而偏离数学基础课教学目标。在问题提出和统计方法识别环节, 教师通过问题链帮助学生完成专业问题向概率统计问题的转化。在方法条件核验环节, 学生需要说明所使用方法的前提条件, 例如样本是否具有代表性、事件定义是否清楚、不同

观测是否可以近似看作独立、是否具备使用某种分布模型或检验方法的依据。在安全决策表达环节, 学生需要把计算结果或统计结论转化为专业语言, 例如“某类事故原因的后验概率较高, 因此在安全管理中应加强某环节的风险控制”, 而不是仅停留在公示结果。

4.4. 师生角色分工

在该教学模式中, 学生是探究活动的主体, 需要承担情境理解、问题提出、方法选择和结论表达的主要责任; 数学教师负责组织概率统计学习、控制任务难度并核验计算方法; 航海专业教师负责审核专业背景、术语和安全结论。

这种角色分工对于航海技术专业学生尤其重要。航海安全问题涉及生命安全、环境保护和职业责任, 统计分析的关键不仅是得到数值结果, 更在于判断数据来源是否可靠、变量定义是否合理、方法条件是否满足以及结论是否符合航海实践。通过两类教师分别从统计方法与专业情境进行审核, 学生能够在掌握概率统计方法的同时, 逐步形成严谨、规范和负责任的风险判断意识。

5. 面向航海技术专业学生的教学任务案例设计

面向航海技术专业学生的教学案例设计, 应遵循三个原则: 第一, 案例应来源于船舶航行、模拟器训练、事故预防和安全管理等专业场景, 使学生能够感知课程知识与专业学习之间的联系; 第二, 案例应与课程知识点对应明确, 避免因专业背景过重而削弱概率统计教学目标; 第三, 案例应能够形成探究任务, 引导学生经历变量识别、方法选择、条件核验和结果解释的过程。

基于上述原则, 本文设计了四类典型教学任务, 分别对应参数估计、随机变量与分布、条件概率与贝叶斯公式、假设检验等课程内容。

5.1. 航海模拟器训练中的航迹偏差估计: 参数估计任务

教师可提供某次航海模拟器训练中船舶相对于计划航线的横向偏差记录, 要求学生明确总体、样本和观测变量, 计算样本均值、样本标准差及总体平均偏差的置信区间, 并讨论是否需要按照海况、航段或操船阶段分层。该任务将参数估计与航迹保持能力联系起来, 使学生理解估计结果既包含中心水平, 也包含抽样不确定性。

成果表达不能停留在“平均偏差为多少”, 还需说明样本是否覆盖典型训练条件、置信区间反映什么、能否据此判断训练表现稳定。该案例比港口靠泊等待更贴近航海技术专业的模拟训练和船舶操纵场景。

5.2. 航海设备故障时间分析: 随机变量与可靠性任务

教师提供雷达、AIS 或电子海图设备的简化运行时间记录, 引导学生将“从启用到故障的时间”定义为连续型随机变量, 讨论分布函数、期望、方差和一定航行时间内的故障概率。若采用指数分布作为教学模型, 应明确其无记忆性和恒定故障率假设, 并要求学生说明该假设只是基础课程中的近似, 而非对实际设备寿命规律的直接断言。

5.3. 船舶碰撞事故原因判断: 条件概率与贝叶斯公式重点案例

船舶碰撞事故通常由人为、环境、设备和管理等因素共同作用形成, 相关研究常采用贝叶斯网络和风险预测方法分析致因关系^{[14][15]}。为适应基础课程教学, 本文将复杂致因网络简化为“主导原因类别-现场证据-后验判断”的任务, 使学生重点理解全概率公式和贝叶斯公式, 而不要求建立完整贝叶斯网络。

1. 事故材料与任务设置。教师提供一则依据公开事故材料重构的课堂案例: 某沿海狭水道夜间通航

密度较大, 能见度约 1.5 海里, A 轮与 B 轮形成交叉相遇局面。航行记录显示, 两轮最近会遇距离和到达最近会遇点时间持续减小后, 仍未及时采取足够明显的避让行动; A 轮助航设备曾发出报警, 事故后对主要设备检查未发现明显硬件故障。为突出概率推理, 教师将事故“主导原因”划分为人为操作、通航环境、设备状态和组织管理四类, 并在统一假设框架下设定先验概率及证据似然。相关参数用于课堂概率推演, 不对应特定事故的统计事实, 也不作为事故责任认定依据。

2. 事件与条件的识别。设 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 分别表示事故主导原因为人为操作、通航环境、设备状态和组织管理; 设 E 表示“在会遇态势持续恶化后未及时采取有效避让行动”。课堂模型把 $A_1 \sim A_4$ 处理为互斥且完备的主导原因分类, 以满足全概率公式的使用条件。教师同时强调, 真实事故通常具有多因素耦合特征, 这种互斥划分是课堂概率推演所采用的必要简化。

Table 2. Parameters for the classroom case on assessing causes of a ship collision

表 2. 船舶碰撞事故原因判断任务的课堂案例参数

主导原因事件	先验概率 $P(A_i)$	证据似然 $P(E A_i)$
A_1 : 人为操作	0.50	0.70
A_2 : 通航环境	0.20	0.25
A_3 : 设备状态	0.15	0.35
A_4 : 组织管理	0.15	0.45

3. 递进问题设计。教师按照由概念识别到专业解释的顺序提出七个问题: ① 四类主导原因是否构成样本空间的一个划分, 为什么需要“互斥且完备”; ② $P(A_i)$ 、 $P(E|A_i)$ 和 $P(A_i|E)$ 分别表示什么, 先验概率、证据似然和后验概率有何区别; ③ 如何利用全概率公式计算 $P(E)$; ④ 观察到证据 E 后, 四类原因的后验概率分别是多少, 排序如何变化; ⑤ 若进一步获得“主要助航设备检测正常”的证据, 能否直接把两个条件概率相乘, 尚需什么条件独立假设; ⑥ 后验概率最大的原因能否被表述为已经确定的事故原因; ⑦ 如何把概率更新结果转化为值班、避碰、设备维护和组织管理方面的改进建议。按表 2 数据, 学生可得到 $P(E) = 0.52$, 人为操作原因的后验概率 $P(A_1|E) \approx 0.673$, 但必须说明该结果是基于教学模型和给定证据的概率判断, 而不是事故责任认定。

4. 教学组织与跨学科支持。课前, 航海专业教师提供事故调查报告结构、会遇态势术语和常见致因分类, 数学教师据此重构数据和问题链; 课中, 学生 4~6 人一组完成事件定义、概率树绘制和后验计算, 航海教师重点追问专业情境, 数学教师重点追问概率关系和适用条件; 课后, 学生根据反馈修订分析报告。学生提交的材料须注明资料来源, 概率树、计算过程和安全结论均由本人或小组独立完成。

5. 常见错误、学习成果与评价。常见错误包括混淆 $P(A_i|E)$ 与 $P(E|A_i)$ 、未检验原因类别是否互斥完备、在缺少条件独立假设时直接相乘、把最大后验概率解释为确定因果, 以及提出与证据无关的安全建议。学生提交的成果包括事件定义表、概率树或概率表、完整计算、800 字左右的事故原因概率分析报告及结论边界说明。案例评价可按事件与条件定义 20%、计算准确性 25%、方法条件核验 20%、航海安全解释 25%、资料来源与反思 10% 计分。

5.4. 不同能见度下避碰判断效果比较: 假设检验任务

教师可利用航海模拟器训练的简化记录, 比较正常能见度与低能见度条件下学生避碰判断正确率或应急反应时间。学生需要明确比较的是总体均值、总体比例还是配对差异, 建立原假设和备择假设, 选择相应检验方法, 并核验样本独立性、配对结构和近似分布条件。该任务比一般“安全培训前后比较”

更贴近航海技术专业的值班与避碰训练。

结果解释应回到训练情境：统计显著并不等同于差异具有足够大的实践意义，结果不显著也不意味着两种条件完全相同。学生还需结合样本量、训练难度和评价指标讨论结论的适用范围。

5.5. 教学任务与课程知识点对应关系

上述任务与课程知识点之间的对应关系见表 3。

Table 3. Alignment between navigation tasks and topics in “Probability Theory and Mathematical Statistics”
表 3. 航海技术专业任务与《概率论与数理统计》知识点对应关系

航海教学任务	对应课程知识点	探究重点	学习成果
航海模拟器航迹偏差估计	总体与样本、均值、方差、置信区间	样本代表性与估计不确定性	航迹偏差估计报告
航海设备故障时间分析	随机变量、分布函数、期望、方差、寿命分布	故障时间建模及假设边界	设备可靠性分析说明
船舶碰撞事故原因判断	条件概率、全概率公式、贝叶斯公式	证据条件下的概率更新	事故原因概率分析报告
不同能见度下避碰判断比较	均值或比例的假设检验	检验对象、样本结构与实践意义	避碰训练效果评价报告

通过上述任务设计，课程内容不再以孤立知识点呈现，而是嵌入航海技术专业的典型学习与安全情境中。学生在完成任务时，需要依次回答：专业情境中真正要解决的问题是什么；该问题可以转化为哪类概率统计问题；所选方法依赖哪些条件；统计结果对航海安全训练和管理意味着什么。

6. 作业设计与评价方式改革

海事情境驱动的探究式教学能否真正落地，关键不只在课堂案例设计，还在于作业形式和评价方式是否同步调整。若仍然只以标准习题和期末考试评价学生，学生容易把航海安全案例视为课堂补充材料，而不会主动经历问题提出、方法选择和结果解释的完整过程。因此，面向航海技术专业学生的《概率论与数理统计》课程评价，应在保留必要基础训练的同时，增加专业情境任务、过程性材料和安全决策表达等评价内容。

6.1. 作业类型设计

课程作业可由基础训练、海事情境探究任务和反思改进三类构成。

第一类是基础训练作业，主要用于巩固概率统计基本概念和计算方法，包括随机事件运算、常见分布计算、数字特征、置信区间和假设检验等内容。这类作业仍然必要，因为探究式教学不能脱离基础知识。学生只有掌握基本概念和方法，才能在专业情境中进行合理应用。

第二类是海事情境探究任务，主要围绕航迹偏差估计、航海设备故障、船舶碰撞事故原因判断和避碰训练效果评价等问题展开。与传统习题不同，探究任务不直接给出完整条件和固定公式，而是要求学生先理解专业背景，再识别变量、选择方法、核验条件并解释结论。

第三类是反思改进作业，主要要求学生总结专业问题转化过程、方法选择依据、结果解释不足和后续改进方向，同时记录主要资料来源和核验过程。

6.2. 任务单设计

为了避免探究任务流于形式，教师可设计统一的任务单，引导学生按照固定结构完成作业。任务单可包括以下内容：

- (1) 问题背景：说明任务涉及的航海安全场景，如航迹偏差、设备故障、碰撞事故或避碰训练等。
- (2) 研究对象与变量：明确研究对象、随机事件、观测变量和可能影响因素。
- (3) 概率统计方法：说明任务对应的课程知识点和拟采用的方法，如参数估计、条件概率、贝叶斯公式或假设检验。
- (4) 方法条件核验：说明样本来源、变量定义、分布假设、独立性假设和方法适用边界。
- (5) 分析过程与结果：呈现必要的计算过程、图表或统计结论。
- (6) 安全决策表达：将统计结果转化为航海安全判断、管理建议或改进方向。
- (7) 资料来源与过程说明：记录主要资料来源、数据处理步骤及核验情况。
- (8) 反思改进：总结任务中的困难、方法局限和后续改进思路。

通过任务单设计，学生的学习过程可以被显性化，教师也能更清楚地判断学生究竟是在问题理解、方法选择、条件核验还是结果表达环节存在困难。

6.3. 评价量表设计

为降低主观评分的随意性，课程末情境化测评中的四项能力指标均采用 20 分制分级量表，具体见表 4。评分时先依据描述确定等级区间，再结合完成质量在区间内给分；资料来源和反思作为合规性要求，在相关维度中酌情扣分，不另设组间比较指标。

Table 4. Rubric for contextualized competency indicators
表 4. 情境化能力指标评分量表

评价指标(满分 20 分)	17~20 分：表现充分	13~16 分：基本良好	9~12 分：部分达到	0~8 分：需要改进
专业情境理解	准确说明背景、对象、风险因素及其关系，信息取舍合理	能说明主要背景与对象，个别关系解释不充分	能识别部分要素，但存在遗漏或混淆	情境理解明显错误，无法确定研究对象
概率统计方法应用	能正确转化问题、选择方法并完成规范分析	方法总体正确，转化或计算存在轻微不足	方法选择部分合理，但分析过程不完整	无法完成问题转化或方法选择明显不当
方法条件核验	系统核验样本、变量、独立性、分布及适用边界	能核验主要条件，少数条件说明不足	仅罗列条件，未结合任务判断是否满足	忽略关键条件，或对适用范围作错误判断
风险判断与表达	结论与证据一致，能区分统计关联、概率判断与责任认定	结论基本合理，证据边界说明较清楚	能够复述数值结果，但专业解释较弱	结论超出证据范围或与分析结果不一致

两位评分者在正式评分前共同讨论量表含义和边界，并使用典型作品校准评分口径；正式评分中先依据量表给分，再对差异较大的作品进行复核并形成最终分数。课程综合表现按统一的平时成绩 30%和期末考试 70%计算，实验组的情境探究任务替代同等次数和分值的常规作业，不额外加分。

需要说明的是,本轮课程档案仅保留了复核后的最终成绩,未保存两位评分者各自的独立原始评分,因此无法事后计算组内相关系数(ICC)等评分者信度指标。本文在局限部分对此作出说明,后续实施将保留独立评分数据,并报告 ICC 及其置信区间。

6.4. 与课程考核体系的衔接

探究式教学并不意味着削弱课程考试,也不意味着用开放任务完全替代基础训练。较为合理的做法是形成“基础考核 + 过程评价 + 综合任务”的多元评价体系。期末考试仍主要考查学生对概率统计基本概念、基本方法和规范计算的掌握情况;平时成绩则可由基础作业、小测、课堂讨论、海事情境探究任务和反思报告构成。

在具体实施中,可将海事情境探究任务设置为若干次短周期作业,每次对应一个或少数相邻知识点。例如,在参数估计教学后布置航迹偏差估计任务,在条件概率和贝叶斯公式教学后布置船舶碰撞事故原因判断任务,在假设检验教学后布置不同能见度下避碰判断效果比较任务。这样既能避免任务过大影响课程进度,也能使学生在不同知识模块中反复经历“专业问题 - 统计方法 - 安全解释”的学习过程。

7. 教学实施与成效评价

7.1. 实施对象与教学过程

本课程面向航海技术专业大二学生统一开设,共 48 学时。教学实践包括实验组和对照组,实验组由 3 个自然班 109 人组成,对照组由 3 个自然班 120 人组成。两组采用相同的教学大纲、教材、课程目标、教学进度和考核要求,由同一位教师授课。实验组在随机变量与分布、条件概率与贝叶斯公式、参数估计和假设检验等单元实施 4 次短周期海事情境探究任务,按照“课前阅读与问题初拟 - 课中小组辨析与条件核验 - 课后报告修订”的流程组织;对照组按照相同知识进度,以教师讲授概念、示范教材及通用例题、学生独立完成常规习题为主,不使用海事情境任务单,不组织上述小组探究,也不安排航海专业教师参与课堂。两组平时作业次数和分值保持一致。具体实施信息见表 5。

Table 5. Basic implementation information for the experimental and control groups
表 5. 实验组与对照组课程实施基本信息

项目	实验组	对照组	说明
班级与人数	3 个自然班, 共 109 人	3 个自然班, 共 120 人	均为航海技术专业大二学生
课程基本条件	48 学时; 采用相同的教学大纲、教材、教学目标、教学进度和考核要求	48 学时; 采用相同的教学大纲、教材、教学目标、教学进度和考核要求	保持基本教学条件一致
核心教学方式	海事情境探究; 4 次短任务; 任务单、小组辨析、条件核验和报告修订	教师讲授、通用例题和常规习题; 无情境任务单和小组探究	知识、课时和作业分值相同, 活动结构不同
实施信息	同一任课教师; 航海专业教师参与案例审核和部分课堂支持	同一任课教师; 航海专业教师不参与课堂	学校统一编班; 以自然班实施, 未进行个体随机分配
评价与成绩	平时 30% + 期末 70%; 情境任务替代等值常规作业; 完成统一测评	平时 30% + 期末 70%; 常规作业; 完成统一测评	四项能力指标采用同一任务和评分量表

7.2. 评价指标与数据记录

教学成效评价以实验组和对照组的组间比较为主。课程综合表现按照统一的平时成绩与期末考试权重计算；专业情境理解、概率统计方法应用、方法条件核验以及风险判断与表达来自课程结束时两组共同完成的同一套情境化测评任务，各指标满分 20 分，并按表 4 评分。考虑到两组标准差并非完全相同，组间比较采用不要求方差齐性的 Welch 独立样本 t 检验；同时根据两组均值、标准差和样本量计算 Cohen d 效应量，用于描述标准化差异幅度。评价结果见表 6。

$$d = \frac{\bar{X}_E - \bar{X}_C}{s_p}, s_p = \sqrt{\frac{(n_E - 1)s_E^2 + (n_C - 1)s_C^2}{n_E + n_C - 2}}.$$

Table 6. Comparison of teaching outcomes between the experimental and control groups

表 6. 实验组与对照组教学效果比较

评价指标	实验组(n = 109)	对照组(n = 120)	Welch t (P)	Cohen's d
课程综合表现	84.60 ± 7.20	81.30 ± 7.80	3.33 (0.001)	0.44
专业情境理解	17.10 ± 1.80	15.90 ± 2.10	4.65 (<0.001)	0.61
概率统计方法应用	16.80 ± 1.90	15.60 ± 2.00	4.66 (<0.001)	0.61
方法条件核验	15.90 ± 2.10	15.10 ± 2.20	2.81 (0.005)	0.37
风险判断与表达	16.50 ± 2.00	15.30 ± 2.30	4.22 (<0.001)	0.55

注：表中数据为均值 ± 标准差； t 为 Welch 检验统计量， P 为双侧检验概率， d 为按合并标准差计算的 Cohen 效应量。

7.3. 阶段性结果与证据呈现

实验组与对照组的课程综合表现分别为 84.60 ± 7.20 和 81.30 ± 7.80，Welch 检验结果为 $t = 3.33$ 、 $P = 0.001$ ，相应 Cohen's $d = 0.44$ 。实验组在专业情境理解、概率统计方法应用、方法条件核验以及风险判断与表达方面的平均得分也均高于对照组，相应效应量分别为 0.61、0.61、0.37 和 0.55。从差异幅度看，专业情境理解和概率统计方法应用的组间差异相对更明显，方法条件核验的差异相对较小。

7.4. 过程性材料的补充分析

为解释量化结果，本文进一步对现有学生任务单、作业反思以及教师备课和课后复盘记录进行归纳。需要强调的是，本研究未在实施前设计正式的半结构访谈或学生焦点小组，以下内容属于过程性材料的描述性分析，不作为独立的因果证据。

第一，学生在初次接触情境任务时，容易直接寻找公式，忽视事件划分、变量定义和方法条件；在多次经历问题链追问后，后续报告中对样本来源、独立性假设和结论边界的说明更为完整。第二，案例的专业信息若过多，会增加认知负担并挤压统计学习时间。课程据此采用“基础材料 - 必要术语 - 统计任务”的分层呈现方式，并在任务单中提供简短术语说明。第三，跨学科案例设计的主要困难是平衡情境真实性与数学可操作性：专业教师倾向保留复杂致因，数学教师则需保证事件划分和模型条件清晰，最终通过删减非关键背景、明确教学假设和增加结论边界说明解决。第四，小组任务中仍存在参与不均现象，后续将增加个人方法说明卡和个人反思，以区分小组产出与个体学习。

上述材料提示，该模式取得效果的关键并非案例本身，而是持续的教师支架、对方法条件的显性追问、案例复杂度控制以及统计结论与专业判断之间的边界说明。后续研究将增加课堂观察编码、教师访谈和学生焦点小组，并通过三角互证提高过程性结论的可信度。

7.5. 研究局限与后续改进

本研究仍存在若干局限。第一, 研究以自然班为单位实施, 学生虽由学校统一编班, 但未进行个体层面的随机分配, 且证据来自单一学校、单一学期和同一任课教师, 因果解释与外部推广均需谨慎。第二, 本轮课程仅保存复核后的最终评分, 未保留两位评分者的独立原始分数, 因而不能报告 ICC; 后续将统一开展评分者培训、保存双评分数据, 并在 ICC 不足时重新校准和复评。第三, 过程性材料来源于常规教学记录, 未开展正式访谈和焦点小组, 后续应建立系统的质性研究方案。第四, 航海案例仍需按照基础型、提升型和拓展型分层, 并持续积累经脱敏和课程适配的事故、模拟器与设备运行数据。第五, 数学教师与航海专业教师的联合设计流程需要进一步制度化, 并开展跨学期、跨教师和跨院校验证, 考察能力的长期迁移。

8. 结语

在海事背景院校的课程体系中, 《概率论与数理统计》不仅承担数学知识教学, 也应帮助航海技术专业学生形成数据思维、风险判断和证据表达能力。课程学习的重点不应局限于概率公式、分布计算和统计推断步骤, 还应包括如何从模拟器训练、助航设备可靠性、船舶碰撞事故和避碰决策等情境中识别统计问题, 并说明方法适用条件与结论边界。

本文提出海事情境驱动的探究式教学模式, 并在实验组和对照组各 3 个自然班中开展比较。该模式以航迹偏差估计、设备故障时间分析、碰撞事故原因判断和不同能见度下避碰效果比较等任务为载体, 引导学生经历情境理解、问题转化、方法选择、条件核验、结果解释和风险判断表达; 数学教师与航海专业教师分别从统计规范性和情境合理性对案例进行审核。

教学比较显示, 实验组学生的课程综合表现和四项情境化能力指标均高于对照组, 其中专业情境理解和概率统计方法应用的差异相对更明显。过程性材料表明, 案例复杂度控制、方法条件的显性追问、专业术语支持和证据边界表达是模式有效实施的重要条件。该改革为概率统计基础课与航海技术专业学习情境的衔接提供了可操作路径, 但其效果仍需通过更规范的评分者信度研究、正式质性研究以及跨学期、跨教师和跨院校验证进一步检验。

参考文献

- [1] Lave, J. and Wenger, E. (1991) *Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511815355>
- [2] Gilbert, J.K. (2006) On the Nature of "Context" in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, **28**, 957-976. <https://doi.org/10.1080/09500690600702470>
- [3] Hmelo-Silver, C.E. (2004) Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*, **16**, 235-266. <https://doi.org/10.1023/b:edpr.0000034022.16470.f3>
- [4] Savery, J.R. (2006) Overview of Problem-Based Learning: Definitions and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, **1**, Article 3. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002>
- [5] Williams, B. (2005) Case Based Learning—A Review of the Literature: Is There Scope for This Educational Paradigm in Prehospital Education? *Emergency Medicine Journal*, **22**, 577-581. <https://doi.org/10.1136/emj.2004.022707>
- [6] Yew, E.H.J. and Goh, K. (2016) Problem-Based Learning: An Overview of Its Process and Impact on Learning. *Health Professions Education*, **2**, 75-79. <https://doi.org/10.1016/j.hpe.2016.01.004>
- [7] De Graaff, E. and Kolmos, A. (2003) Characteristics of Problem-Based Learning. *International Journal of Engineering Education*, **19**, 657-662.
- [8] Freeman, S., Eddy, S.L., McDonough, M., Smith, M.K., Okoroafor, N., Jordt, H., et al. (2014) Active Learning Increases Student Performance in Science, Engineering, and Mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **111**, 8410-8415. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- [9] 卢俊宇, 熊益英. 航海类专业高等数学课程“三段式”PBL 教学模式改革研究[J]. 大学教育, 2025(12): 93-99.

-
- [10] 方茹, 田波平, 王勇. 谈案例教学法在概率论与数理统计教学中的应用[J]. 大学数学, 2014, 30(z1): 59-62.
 - [11] 陈海杰, 沙荣方, 刘明华. 应用案例分析提高概率论与数理统计教学效果[J]. 东北农业大学学报(社会科学版), 2012, 10(1): 98-100.
 - [12] 周兴才. 应用型本科院校概率论与数理统计教学研究[J]. 襄樊学院学报, 2011, 32(5): 60-63.
 - [13] 金今姬, 高彦伟. PBL 教学模式在“概率论与数理统计”教学中的应用[J]. 长春师范大学学报, 2023, 42(10): 152-157.
 - [14] 尚云龙. 基于贝叶斯网络的船舶碰撞事故致因分析[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2009.
 - [15] 吴伋, 江福才, 姚厚杰, 等. 基于文本挖掘的内河船舶碰撞事故致因因素分析与风险预测[J]. 交通信息与安全, 2018, 36(3): 8-18.