

“定向钻井技术”课程的教学难点与应对措施

彭念, 谢川, 向世林, 许红林

重庆科技大学石油与天然气工程学院, 重庆

收稿日期: 2025年10月6日; 录用日期: 2025年11月4日; 发布日期: 2025年11月11日

摘要

“定向钻井技术”作为石油工程专业的重要选修课程, 在教学过程中面临着诸多挑战。本文首先简述了“定向钻井技术”课程的概况, 包括课程基本信息、课程教学内容、课程教学目标及能力要求。然后深入分析了该课程在教学实践中遇到的主要难点, 包括课程概念稠密且耦合度高、学生学习成效呈现显著分层、实验环节达成度不足、课程考核维度单一等问题。针对这些难点, 提出了丰富教学手段、优化教学内容、开展差异化教学、巩固编程知识、优化考核方式等应对措施。本文研究旨在提高定向钻井技术课程教学质量, 提升学生的学习效果, 为学生未来从事定向钻井相关工作打下坚实基础。

关键词

定向钻井技术, 教学难点, 教学措施, 石油工程, 教学改革

Teaching Difficulties and Countermeasures for the “Directional Drilling Technology” Course

Nian Peng, Chuan Xie, Shilin Xiang, Honglin Xu

School of Petroleum Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: October 6, 2025; accepted: November 4, 2025; published: November 11, 2025

Abstract

“Directional Drilling Technology,” as a key elective course in the petroleum engineering major, faces numerous challenges in its teaching. This paper first provides a brief overview of the “Directional Drilling Technology” course, including basic information, course content, course objectives, and competency requirements. It then conducts an in-depth analysis of the main difficulties encountered in teaching this course, including a dense and highly coupled set of course concepts, significant stratifi-

cation in student learning outcomes, insufficient achievement in the experimental component, and a single assessment dimension. To address these difficulties, countermeasures are proposed, including enriching teaching methods, optimizing teaching content, implementing differentiated instruction, consolidating programming knowledge, and optimizing assessment methods. This study aims to improve the teaching quality of the directional drilling technology course, enhance student learning outcomes, and lay a solid foundation for future careers in directional drilling.

Keywords

Directional Drilling Technology, Teaching Difficulties, Teaching Measures, Petroleum Engineering, Teaching Reform

Copyright © 2025 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

在石油与天然气工程领域，现场常需钻定向井来高效开发地下油气资源[1]，例如大位移井、水平井、鱼骨井、丛式井等。随着油气资源勘探开发的不断深入，钻井现场对定向钻井技术的要求也越来越高[2]。石油类高校作为培养定向井工程师的专门院校，让学生学会学懂学精定向钻井技术对于保障国家能源安全、推动油气行业高质量、绿色可持续发展至关重要。一方面，非常规、深层、深水以及位于生态敏感区的油气资源日益成为增储上产的主阵地，只有熟练掌握并不断创新大位移井、水平井、鱼骨井、丛式井等复杂结构井的设计与施工技术，才能用最少井口、最小地面足迹、最低环境影响撬动最大地下储量，实现“降本、增效、减排”的多重目标。另一方面，数字化、智能化、低碳化浪潮正深刻重塑油气工程：随钻测量、旋转导向、地质导向、远程决策支持系统等高端技术的普及，要求毕业生既懂钻井工艺又懂数据科学。“定向钻井技术”这门课程对于石油工程专业的学生来说，既是对先修课程“钻井工程”的深化和拓展，也是连接理论知识与实际工程应用的关键桥梁。然而，“定向钻井技术”课程特有的“高密度 - 高耦合”知识网络极易导致学生工作记忆过载，此外，传统“PPT + 板书”的授课方式还会进一步放大外在认知负荷，这会使得学生对课程内容理解困难和学习兴趣下降[3]-[5]。认知负荷理论指出，当元素交互度大于工作记忆容量时，学习者将被迫“随机探索”而非“系统建构”[6][7]，这正是学生在课堂上出现“概念碎片化”与“工具性焦虑”的根源。建构主义学习理论强调，知识只有在“最近发展区”内通过“认知冲突 - 社会协作 - 脚手架”循环才能被主动建构[8][9]。这就意味着，在授课过程中，得先让学生“看得懂、算得出”，再引导他们“想得更深、做得更稳”，这样“先减负、再加难”，学生才能循序渐进地建立起知识库。本文将以“定向钻井技术”课程为例，深入探讨该课程教学难点与应对措施，以期提高“定向钻井技术”课程教学质量，提升学生课程学习效果。

2. “定向钻井技术”课程概述

(1) 课程基本信息

“定向钻井技术”是石油工程专业大四上学期开设的一门专业教育选修课程，学分为 2 个学分，总学时为 32 学时，其中理论课 24 学时，上机实验课 8 学时。学生在修读本课程之前，需先修完工程力学、钻井工程、专业生产实习等课程。通过本课程的学习，学生能够为后续的石油工程综合设计、毕业设计等课程做好准备，并为将来从事油气井钻井工程设计、施工和技术管理等工作奠定坚实基础。

(2) 课程教学内容

“定向钻井技术”理论教学内容涵盖了定向钻井的各个方面。在绪论部分，主要介绍定向钻井的定义、发展历程、应用领域等基础知识；在定向井井眼轨迹计算部分，学习如何基于定向井测斜基础参数确定定向井的井眼轨迹；在定向井井眼轨道设计章节，探讨如何根据地质条件和工程要求设计合理的井眼轨道；在定向井井眼轨迹控制部分，学习钻井过程中如何优选钻具组合和调整工具面角控制井眼轨迹以达到设计要求；在定向钻井常用工具和仪器章节，介绍常用工具和仪器的结构、功能和使用方法；在定向钻井的难点与新技术章节，分析当前定向钻井面临的挑战和最新的技术进展。

(3) 课程教学目标及能力要求

通过学习该课程，期望学生能够正确理解定向钻井的专业术语、基本概念和基本工艺过程，掌握井眼轨迹测斜计算方法，掌握常规二维定向井轨道的设计方法，熟悉定向钻井施工中井斜和方位控制的基本原理和方法，了解定向钻井常用工具和仪器，了解定向钻井的难点与新技术。

具体课程教学目标及能力要求如下：

掌握定向钻井技术专业知识，了解定向钻井工具相关知识，具备扎实的定向钻井技术基础知识和一定的定向井轨道设计能力。

能够结合定向钻井专业知识和文献调研，识别和判断定向钻井相关工程问题的关键环节；具有应用相关原理和方法正确认识、分析和解决复杂工程问题的综合能力。

3. “定向钻井技术”课程的教学难点

(1) 概念稠密且耦合度高，学生易产生认知碎片化

定向钻井课程的知识单元呈现“高密度 - 高耦合 - 高交叉”的三高特征。术语层面，井眼轨道、井眼轨迹、测深、井斜角、方位角、工具面角、磁偏角等核心概念需在三维球坐标系与地球磁场框架中同步表征，其几何关系通过欧拉角变换、空间向量投影及磁坐标的椭圆修正实现映射，学生一旦对任一基准面或旋向约定理解偏差，便会引发连锁式的概念混淆。内容层面，课程纵向贯通“轨道设计 - 轨迹计算 - 轨迹控制”三大环节，横向关联钻井力学、岩石破碎学、钻井工艺、地球物理测井与优化控制理论，形成多维知识网络。此外，现场决策对实时性与精度的双重要求，使案例教学必须同时覆盖丛式井防碰、大位移井摩阻扭矩控制、水平井地质导向等复杂工况，进一步增加了学生在短时间内完成知识整合与迁移的难度。

(2) 学生数学先备知识离散，学习成效呈现显著分层

定向钻井技术课程所依赖的数学工具主要集中于三维解析几何、球面三角与误差传播理论，其应用深度直接决定学生对井眼轨迹建模与优化算法的掌握程度。然而，专业生源的数学先备结构呈高方差分布：具备扎实数理基础的学生可在较短时间内完成坐标系转换、空间向量运算及最小曲率法推导，并将之迁移至实钻数据反演；而数学基础薄弱者往往在球面三角形余弦定理、欧拉角旋转矩阵等关键步骤出现认知阻滞，进而触发“工具性焦虑”。该负面情绪通过降低自我效能感，进一步削弱其对课程的整体投入度，最终表现为学习进度滞后与成绩两极分化。

(3) 部分学生编程基础薄弱，导致实验环节达成度不足

随着计算机技术在定向钻井领域的广泛应用，编程能力成为学生必须具备的重要技能之一。定向钻井课程的课带实验聚焦于井眼轨迹计算与井眼轨道设计的程序化实现：学生须在规定时间内独立完成坐标系转换、测斜数据解析、最小曲率算法或圆柱螺旋法轨迹重构，以及多目标约束下的轨道优化建模。然而，部分学生因变量类型、循环结构与矩阵运算等编程基础薄弱，难以将上述算法高效转化为可运行代码，调试耗时显著延长。其结果是实验报告仅能完成基础功能，轨道精度与迭代优化环节被迫省略，

既妨碍了对课程理论-算法-工程对象映射关系的深度理解,也直接削弱了实验教学的完整性与有效性。

(4) 考核维度单一,难以精准映射学习目标达成度

现行“定向钻井技术”课程考核由平时作业(20%)、实验报告(20%)与闭卷笔试(60%)三项构成,侧重知识再现与常规操作,形成性评价与终结性评价权重失衡。其局限在于:① 轨迹计算、轨道优化等关键能力缺乏高阶任务考核,难以衡量学生在多约束条件下综合建模、方案迭代与风险权衡的素养;② 创新思维、工程决策与团队协作等课程隐性目标未纳入量化指标,导致学习成果片面;③ 结果导向的评分模式弱化过程数据,无法动态追踪学生能力演进轨迹。因此,课程考核方式还需要进一步优化,以更全面地评估学生的学习效果。

4. “定向钻井技术”课程难点的应对措施

(1) 多元教学手段耦合与内容动态优化:提升概念认知与知识整合效能

为缓解课程概念稠密、知识跨度大所带来的认知负荷,可在教学策略层面构建“可视化-虚拟化-案例化-精炼化”四维联动机制,具体路径如下:

① 可视化表征:依托多媒体技术将抽象概念与复杂算法转译为动态图示与影像。例如,借助三维动画与实时录井视频同步呈现井下动力钻具结构特征、工作机理及与井眼轨迹耦合关系,强化学生对装备运行状态的直观感知。

② 虚拟仿真沉浸:引入高保真虚拟仿真平台,构建“设计-施工-调控”全生命周期数字孪生场景。学生可在零风险环境中反复演练轨迹优化、工具面设定及摩阻扭矩敏感性分析,借助交互式反馈回路实现“做中学”与“错中学”的迭代深化。例如,在仿真平台导入某井数据,学生通过约束条件反复调试钻压、转速、工具面等参数,确保钻具组合安全下入井眼。

③ 案例驱动探究:遴选典型成功与失败工程案例,构建“问题情境-决策节点-结果复盘”三段式教学脚本。例如,通过企业钻井设计实例和石油工程设计大赛钻完井设计作品,引导学生解构井眼轨道设计假设、施工控制策略与失效机理,训练其在不确定约束下的系统性思维与工程判断力。

④ 内容动态精炼:建立“学术前沿-行业需求-教学时空”三维映射的内容更新机制。一方面,将最新旋转导向算法、地质导向模型及智能钻探数据标准嵌入课程主线;另一方面,通过知识图谱技术标识核心概念与扩展节点,对非核心内容实施“课堂精讲+在线自学”的分流供给,确保教学资源聚焦并兼顾个性化深度学习。

(2) 以学生为中心的多路径差异化教学:激发学习动机并提升异质群体的学习成效

为应对学生数学先备知识离散、学习动机与学习成效显著分层的问题,可构建“诊断-分层-协同-拓展”闭环机制,具体实施策略如下:

① 课前精准学情诊断:课前采用在线问卷、基线测试与半结构化访谈相结合的方式,对学生的空间几何、矩阵运算及误差分析、三角函数等关键数学能力进行量化画像,形成可追踪的个体学习档案,为后续教学决策提供数据支撑。

② 课堂内异质协作:依据诊断结果实施动态同质-异质分组,构建“高-中-初”能力梯度互补的小组学习共同体。通过任务驱动的协同研讨,如同步推导井眼轨迹最小曲率方程、圆柱螺线测斜计算方程、扭方位装置角计算等,促使不同水平学生实现认知冲突与知识重构,缓解低起点学生的“工具性焦虑”,同时强化高水平学生的认知监控能力。

③ 课后个性化支持:建立“一对一”与“一对多”混合辅导路径。对基础薄弱者推送微视频与自适应练习,并安排固定时段的精准答疑;对能力突出者开放拓展课题,鼓励其参与科研训练或学科竞赛,实现纵向提升。

④ 动机与情境耦合：将定向钻井涉及的工程案例，如轨道设计、测斜与计算、钻具组合设计、井斜与方位控制等内容嵌入教学主线，通过情境化问题激活内在动机。同时，利用企业参访、虚拟井场漫游及校企联合微项目，将抽象知识点与现场决策场景深度关联，强化学生的职业认同与持续学习意愿。

(3) 多通道夯实编程基础，案例驱动实验教学：提升上机效能

为缓解学生编程先备差异对井眼轨迹计算与轨道设计实验达成度的制约，可构建“课前预修-课中案例拆解-同步辅导-课后反思”的递进式支持框架，具体措施如下：

① 课前预修：依托在线学习平台发布模块化微课件与渐进式编程练习，涵盖数组操作、矩阵运算、文件 I/O 与调试技巧等核心语法要点，学生须在实验前完成自测并上传运行结果，系统自动生成诊断报告供教师精准定位知识缺口。

② 课中案例驱动：选取典型定向井轨道优化案例，按“数据读入→坐标转换→不同测斜方法计算→误差分析→可视化输出”五阶段进行任务分解，教师以现场实测数据为蓝本，逐段演示算法实现与参数敏感性分析，使学生在真实情境中理解编程逻辑与工程需求之间的映射关系。

③ 同步辅导与协作：实验任务发布后，教师采用“巡回指导+同伴互助”双轨策略，针对高频错误现场示范调试方法，同时组织同组学生共享代码片段与问题定位思路，通过组内代码走查提升集体调试效率。

④ 课后反思与迭代：学生须提交结构化实验报告，报告除结果陈述外，需附算法复杂度分析与改进设想；教师依据报告给出量化反馈，并遴选优秀作业作为下一周期案例库的补充素材，形成“教学-产出-再教学”的闭环优化机制。

(4) 构建多元考核体系，实施多维度学习目标达成度评价与持续改进机制

为突破现行“作业-实验-笔试”单一考核框架对学习目标达成度诊断的局限，课程可以建立“内容多元、维度多层、反馈闭环”的综合评价体系，具体路径如下：

① 考核内容与形式再设计：在保持既有平时作业、实验成绩的基础上，增设课堂即时测评、小组研讨表现、阶段项目报告等过程性考核单元，并将过程性权重由 50% 提升至 60%~70%，以强化学习投入激励。终结性评价则采用“笔试+口试+项目答辩”三维组合，笔试聚焦概念与算法；口试通过现场提问检验知识迁移；项目答辩要求学生就自选的井眼轨迹优化方案进行汇报与 5 质询，综合考察系统思维与表达逻辑。

② 多维度学习目标量化评价：依据布鲁姆认知-技能-情感分类框架，构建 4 个量化指标。其中：

- 知识掌握(权重 30%)：以闭卷笔试与在线测验测度概念、公式与算法准确性；
- 实践能力(权重 25%)：通过实验操作与项目代码审查评估井眼轨迹程序化实现与调试效率；
- 综合分析(权重 25%)：以案例分析报告与答辩评分衡量学生整合地质-工程约束、权衡多目标函数的能力；
- 创新思维(权重 20%)：依据项目报告中提出的改进算法或新型轨迹模型评价其原创性与可行性。

③ 即时反馈与持续改进闭环

教师在线及时发布评语，学生可在线提交改进计划，系统自动比对前后差异，生成成长曲线。课程结束后，教学团队召开学情诊断会议，依据达成度数据与问卷反馈调整案例库、优化实验脚本和教学内容，并将修订记录纳入下一轮课程大纲，形成“评价-反馈-改进”的持续迭代机制。

5. 讨论

本文针对“定向钻井技术”课程教学面临的难点，提出了相应的应对措施和改进建议。然而，在实际实施过程中仍面临一些挑战，例如高保真虚拟仿真机房建设成本较高，对于经费受限院校可能难以有

效实施。此外,多元考核机制会使教师人均批阅工作量大幅增大,这可能会打消部分教师积极性。在课程应对措施推广方面,若将方案移植至地方高职院校,由于学生三维解析几何先备知识可能不足,或者虚拟仿真硬件短缺,可能存在难以有效开展和实施的情况。对于一门课程而言,课程教学效果和学生学习效果受多方面、多因素的综合影响,本文仅列出了部分较主要的教学难点和应对措施,建议在后续的研究和实践中,进一步思考、凝练和总结相应难题和解决方法,不断优化和改进,持续提升课程教学和学习效果。

6. 结论

“定向钻井技术”课程在教学过程中面临着诸多挑战,但通过多元教学手段耦合与内容动态优化、开展以学生为中心的多路径差异化教学、多通道夯实编程基础、案例驱动实验教学、构建多元考核体系、实施多维度学习目标达成度评价与持续改进机制等措施,可以有效应对定向钻井技术课程教学难点,提高教学质量,提升学生的学习效果。本文提出的应对措施能够为“定向钻井技术”课程教学面临的实际问题提供有益的参考和借鉴,从而为培养石油与天然气工程领域优秀的定向钻井技术人才提供服务。

参考文献

- [1] 骆香茹. 中国科学院院士高德利: 油气勘探开发离不开定向钻井技术[N]. 科技日报, 2023-11-30(005).
- [2] 高德利, 黄文君. 深层、超深层定向钻井中若干基础研究进展与展望[J]. 天然气工业, 2024, 44(1): 1-12, 201.
- [3] 徐建根, 李猛, 苏堪华, 等. “钻井工程”课程的教学改革研究[J]. 职业技术, 2023, 22(5): 20-25.
- [4] 陈冬, 张敏, 周舟, 等. 国内外高校“钻井工程”课程知识体系研究[J]. 教育教学论坛, 2023(32): 9-12.
- [5] 崔滔. 基于 OBE 模式的“钻井工程”教学改革研究[J]. 西部素质教育, 2019, 5(10): 180-181.
- [6] 庞维国. 认知负荷理论及其教学涵义[J]. 当代教育科学, 2011(12): 23-28.
- [7] 周爱保, 马小凤, 李晶, 崔丹. 提取练习在记忆保持与迁移中的优势效应: 基于认知负荷理论的解释[J]. 心理学报, 2013, 45(8): 849-859.
- [8] 王菊芝. 建构主义学习理论与课堂教学设计[J]. 中国校外教育, 2018(36): 144-145.
- [9] 李新义, 刘邦奇. 基于建构主义的智慧课堂教学模式研究[J]. 中国教育信息化, 2018(6): 44-48.