

新工科背景下油气层渗流力学课程 教学改革与探讨

汤子余, 关富佳

长江大学 石油工程学院, 湖北 武汉 430100

摘 要 : “新工科”建设是为了培养出能够综合应用理论和实践知识解决实际问题的、适应新时代要求的复合型人才, 适应当前及今后一个时期经济社会发展对复合型人才的需要。油气层渗流力学目前的教学方法和教学手段难以满足这一需求, 通过项目驱动、虚拟仿真、油气藏数值模拟、实验教学等手段, 完善学生评价标准, 提高学生的参与度, 提高学生应用油气层渗流力学的理论和方法解决油气田生产实际中的复杂渗流问题的能力, 为将来从事石油方面的工作奠定了坚实的基础。

关 键 词 : 油气层渗流力学; 教学改革; 复合型人才; 虚拟仿真

Exploration and the Course Reform of Seepage Mechanics under the Background of Emerging Engineering Education

Tang Ziyu, Guan Fujia

School of Petroleum Engineering, Yangtze University, Wuhan, Hubei 430100

Abstract : The construction of "emerging engineering education" is aimed at cultivating interdisciplinary talents who can comprehensively apply the oretical and practical knowledge to solve practical problems and meet the requirements of the new era, to satisfy the current and future demands of economic and social development for compound talents. The current teaching methods and means of oil and gas reservoir seepage mechanics are difficult to meet this demand. Through project-driven, virtual simulation, oil and gas reservoir numerical simulation, experimental teaching, etc., the student evaluation standards are improved, Enhance student participation, improve their ability to apply the theories and methods of seepage mechanics to solve complex seepage problems in oil and gas field production, laying a solid foundation for their future work in the petroleum industry.

Keywords : seepage mechanics in oil and gas reservoirs; teaching reform; interdisciplinary talents; virtual simulation

引言

“新工科”建设是我国在经济发展到一定阶段时应对产业变革的一项重要举措, 它是根据国家战略发展的新需要, 国际竞争的新形势, 以及人才培养工作的新要求而提出的^[1-2]。“新工科”建设是为了跟上相关产业结构调整的步伐, 有针对性地调整当前高等教育模式, 培养出能够综合应用理论和实践知识解决实际问题的、适应新时代要求的复合型人才。石油工程是传统艰苦工科行业, 也是关系国家经济命脉和能源安全的基础产业。随着国家“能源革命”的持续推进和“碳中和、碳达峰”目标的提出, 在教育部系列政策的指导下, 目前各大高校也在积极采取改革措施用以满足建设需求, 如朱海燕等^[3]提出的“地质-工程-生态”一体化教学新理念和改革思路。

石油工程专业的人才培养目标是“掌握本专业所必须的工程科学基础理论和专业知识, 具备综合应用所学知识分析和解决石油工程实际问题的初步能力, 具有一定的组织管理能力和创新意识”^[4]。

“渗流力学”是石油工程专业课程中一门核心专业课程^[5], 课程目标是培养学生掌握扎实的掌握渗流力学的基本理论和方法, 能够对典型油气田渗流问题进行求解、分析和应用。随着工科教育新理念的提出, 传统的油气层渗流力学课程面临着新的挑战和机遇, 油气层渗流力学课程内容难以跟上日益更新的新技术、新理论, 因此, 在这一背景下, 油气层渗流力学课程的教学改革迫在眉睫^[6], 必须注重理论与实践的结合、工程问题驱动的教学模式以及学生能力的全面提升。

一、新工科背景下的教学改革需求

（一）行业需求的变化

随着能源产业的转型升级，油气勘探开发领域面临越来越复杂的技术挑战。传统单纯以理论为导向的教学模式，以教学多媒体和板书为手段，讲述课程的知识点，而油气层渗流力学，公式多、概念多，可视化程度差，学生很难完全理解和掌握全部所学的内容，同时，技术的更新迭代，要求学生不仅仅掌握油气层渗流力学课程的内容，还需要学生对于新的技术有所了解，如水平井、裂缝和溶洞等多孔介质的渗流问题，以满足企业对学生的需求。

（二）学生需求的变化

新工科培养的目标是具备扎实的理论基础、广泛的跨学科知识、良好的团队合作与沟通能力、以及较强的创新与实践能力的复合型工程技术人才。油气层渗流力学课程需要通过课程内容、教学方法和评价方式的改革来适应学生对实践和创新能力培养的迫切需求。

（三）技术和方法的创新

随着信息技术、人工智能、大数据等新兴技术在油气勘探和开发中的应用，传统的油气层渗流力学教学方法和工具需要与时俱进，引入现代计算工具、实验技术和数据分析方法，以增强学生的技术应变能力，增强学生的创新能力。

二、油气层渗流力学课程改革的核心目标

（一）强化跨学科融合

油气层渗流力学课程的教学改革应体现跨学科融合的特点，将数学，地质学，流体力学，计算机科学等多学科的知识相结合，融会贯通。帮助学生理解油气层渗流的复杂性，培养解决复杂的石油天然气工程难题的本领。

（二）理论与实践相结合

油气层渗流力学不仅需要传授基础理论，还应通过实验、案例分析、数值模拟等方式，将理论与工程实践紧密结合，帮助学生解决实际油气开发中的渗流问题。

（三）提升创新与解决问题能力

通过项目驱动、案例教学等方式，激发学生的创新思维，培养他们在面对不确定、复杂问题时的解决能力，使其能应对油气开发过程中的挑战。

三、教学改革的实施策略

（一）课程内容的优化与更新

目前，多数高校油气层渗流力学课程的内容不仅要覆盖经典的渗流理论，还应增加与现代油气开发技术相关的内容，重点包括：

1. 致密油气的渗流理论

我国油气藏致密资源潜力大，分布区域广。现阶段已成为我

国油田稳产、上产的重要保障。致密储层岩石致密，主流喉道小，渗透率低，微尺度流动效应的影响显著，传统的油气渗流理论已经不能对这类油气藏的流动规律进行准确描述。目前研究的主要进展主要包括：致密油气藏应力敏感及数学模型、致密油气藏非线性运动方程、非线性渗流规律和致密基质裂缝耦合模型等^[7]。

2. 油田高含水阶段两相渗流理论

由于高含水期储层剩余油呈现非连续分布的特征，传统两相渗流理论无法准确描述高含水期油水两相流动过程。基于 N-S 方程耦合相场方法建立了微观两相流模型，揭示了孔隙尺度下油水两相流动规律及影响因素，建立了高含水期油水两相渗流模型，为高含水油藏进一步开发提供了理论支持^[8-9]。

3. 多尺度油气藏渗流理论与技术

随着非常规等油气藏碳酸盐岩油气藏的不断勘探开发，渗流介质尺度差异越来越大，多尺度特征越来越影响油气流动。通常研究不同尺度上的渗流问题，如关联不同尺度上的渗流机理和规律，在宏观尺度上形成一套系统的渗流理论，这对油气田开发是十分重要的^[10-11]。

（二）教学方法与手段的创新

1. 项目驱动与案例教学

采用项目驱动和案例教学法，设计与油气层渗流力学相关的工程项目或案例，培养学生解决问题的综合能力。例如，讲授油气层渗流力学“油井不稳定试井”时，可以使用试井解释软件，指导学生进行油田实测的数据试井解释，求取地层参数、探测半径、井储等，深刻理解井底压力恢复规律及其理论。

2. 虚拟仿真与数值模拟

结合现代计算机技术和仿真软件（如 Matlab、COMSOL、Eclipse、CMG 等），鼓励学生进行油气藏渗流的数值模拟，模拟不同条件下的流动过程、压力场等。苏关东^[12-13]等基于 Matlab2015a 平台，开发了各种渗流力学虚拟仿真实验平台，学生模拟不同渗流模型下的渗流场。通过仿真教学，学生在虚拟的环境中可以进行各种各样的试验，获得直观的反馈，对油气层渗流机理的认识应进一步加深。

3. 实验教学与现场调研

通过实验教学，学生可以亲身体验油气层渗流实验，掌握基本的实验技能，验证渗流理论；同时，组织学生参观油田现场，通过现场调研了解实际工程中的渗流问题，增强实践能力。

4. 跨学科协作与团队合作

课程教学应鼓励跨学科的团队合作，尤其是在处理复杂的油气层渗流问题时，往往需要多学科知识的融合，如数学，地质学，计算机科学等。教学团队将知识点与工程案例相结合，拆解子项目任务，可以组织学生进行跨专业小组合作，在项目中进行知识的互补和协作，提升其跨学科解决问题的能力^[14]。

5. 评估与反馈机制的改革

评估方式应关注学生的过程性学习和综合能力，主要包括以下几个方面：

过程性评估：通过项目进度、实验记录等形式，对学生的学

习进度和参与情况进行持续跟踪。团队评估与自我评估：鼓励学生评价队员。并通过自我评估反思自己的学习和贡献。综合性评估：既考查了学生对理论知识的掌握程度；还要评估其在实际项目中运用知识解决问题的能力。

对考核方式进行改革。改变过去陈旧的“教师对学生进行评价”模式，学生既担当项目参与者角色，也是评价者。通过这种模式，学生能够将自己的主观能动性发挥出来^[15]。

四、教学改革与挑战与应对策略

（一）教师角色转变

在新工科背景下，教师需应根据市场需求，不断更新知识结构，熟练掌握新技术、新工具和教学方法，以适应新工科教育的要求。教师应主动参与学术研究和行业实践，提升自己的技术水平与实践经验，同时，指导学生参加创新大赛、石油工程大赛，培养学生学科竞争力。

（二）资源配置问题

项目驱动教学和实验教学需要大量的资源支持，学校应加大

对教学资源的投入，特别是虚拟实验平台的搭建，给学生一个很好的学习环境。此外，可以通过校企合作、行业资助等途径拓展资源来源。

（三）学生自主学习能力的差异

在项目驱动式教学中，学生的自主学习能力差异较大，一些学生可能会因为缺乏足够的实践经验而面临困难。教师要针对学生的学习进度、能力差异等情况，有针对性地进行个性化辅导，确保每个学生在项目中都能有所收获。

五、结束语

新工科背景下，油气层渗流力学课程通过项目驱动教学、实验教学、虚拟仿真、数值模拟等多样化教学手段，行业前沿技术与课程内容相结合，增强学员的理论知识水平，增强学生对油田开发实际问题的解决能力。这种教学模式能够更好地培养适应未来油气工程发展的高素质技术人才，为中国石油天然气工业的自己的力量。

参考文献

- [1] 吴莹, 徐志敏, 张陵. 适应“新工科”人才培养需求的力学实验教学新模式[J]. 力学与实践, 2019, 41 (01): 86-90.
- [2] 范瑞娟, 方苏, 马海军. 新工科背景下“发酵工程”课程改革探索与实践[J]. 微生物学杂志, 2023, 43 (01): 122-128.
- [3] 朱海燕, 刘清友, 程孝良. “双碳”背景下石油与天然气工程类专业“地质-工程-生态”一体化教学创新[J]. 中国地质教育, 2024, 33 (4): 64-68.
- [4] 陈朝晖, 连运晓. “油藏数值模拟原理”兴趣激发式教学方法研究[J]. 石油教育, 2016, (06): 29-31.
- [5] 王怒涛. 《油气层渗流力学》教学思考[J]. 高教学刊, 2020, (02): 114-116.
- [6] 刘兴凤. 基于胜任力的高校工科教师绩效评价研究[D]. 武汉理工大学, 2016.
- [7] 曹仁义, 程林松, 杜旭林, 等. 致密油藏渗流规律及数学模型研究进展[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2021, 43 (5): 113-136.
- [8] 魏祥祥. 基于VOF模型的特高含水期剩余油微观动用机制研究[D]. 中国石油大学(华东), 2022.
- [9] 舒平华. 基于微观两相流数值模拟的高含水阶段渗流模型研究[D]. 中国石油大学(华东), 2022.
- [10] 姚军, 黄朝琴, 孙海, 严侠, 刘子攸, 王浩. 油气渗流力学多尺度研究方法进展[J]. 石油科学通报, 2023, 01: 32-68.
- [11] 樊宏恩, 李彦辉, 张蕾, 等. 当前渗流力学理论遇到的挑战与对策思考[J]. 石油科学通报, 2024, 9 (03): 449-464.
- [12] 苏关东, 顾勋, 张鹏, 等. 基于Matlab GUI的渗流力学虚拟仿真实验平台开发[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(6): 129-134.
- [13] 苏关东, 顾勋, 赵兰苓, 等. 基于Matlab PDETOOL的渗流力学可视化教学与上机实验[J]. 实验室研究与探索, 2017, 36(8): 137-142.
- [14] 郭晶晶, 王海涛. 互动式教学模式在油气层渗流力学教学中的探索[J]. 吉林省教育学院学报, 2016, 32 (06): 99-101.
- [15] 卞小强, 黄金辉, 杨火海. 基于CDIO工程教育模式的油气渗流力学教学改革[J]. 中国冶金教育, 2018, (01): 1-3.