

腐蚀大数据分析技术融入《油气田腐蚀与防护》课程的教改探索

赵学芬, 黄 茜

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8日; 录用日期: 2025年12月17日; 发布日期: 2025年12月26日

摘 要

为了满足油气田生产、存储和运输领域在金属设施的腐蚀防护方面对既懂专业又懂腐蚀防护的智能化技术的需求, 本文旨在改变以往《油气田腐蚀与防护》课程单一的以油气田腐蚀机理和防护经验为主的教学体系, 探讨将油气田腐蚀大数据分析技术系统性融入该课程教学的必要性、具体融合内容、创新教学方法及预期成效。通过构建“机理-数据”双轮驱动的教学新范式, 培养学生利用多源数据进行分析、预测和决策的能力, 从而提升课程的前沿性与实用性, 为油气行业输送具备面向未来和数据科学素养的新型复合型人才。

关键词

腐蚀大数据, 教研教改, 数据融合, 预测性维护

Integrating Corrosion Big Data Analysis Technology into the “Oil and Gas Field Corrosion and Protection” Course: An Exploration of Teaching Reform

Xuefen Zhao, Qian Huang

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

Received: October 8, 2025; accepted: December 17, 2025; published: December 26, 2025

Abstract

To address professional demand for intelligent corrosion protection technologies that combine

professional expertise with corrosion prevention in the production, storage, and transportation of oil and gas fields, this paper aims to reform the traditional teaching system of the “Oil and Gas Field Corrosion and Protection” course, which has predominantly focused on corrosion mechanisms and empirical protection methods, discussing the necessity of systematically integrating big data analysis technology into oil and gas field corrosion and protection curriculum, specific integration content and innovative teaching methods, and expected outcomes. By establishing a new “mechanism-data” dual-driven teaching paradigm, this study will cultivate students’ ability to analyze, predict, and make decisions using multi-source data, which will enhance the course’s relevance to advanced and practical applications, thereby preparing future-oriented, data-survey multidisciplinary talent for oil and gas industry.

Keywords

Corrosion Big Data, Teaching Research and Reform, Data Integration, Predictive Maintenance

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

油气田金属设施的腐蚀问题一直是影响油气开采、存储和运输安全保障的主要挑战之一。传统的《油气田腐蚀与防护》课程的理论教学侧重于电化学腐蚀基础理论、金属腐蚀类型及机理等经典理论和金属腐蚀防护技术, 其中防护技术主要包括材料选择、缓蚀剂及防护涂层和阴极保护。实验主要以缓蚀剂验证实验和防腐涂层的涂装和测量为主。然而, 在油气行业数字化转型的背景下, 油气田利用 SCADA 系统、在线无损检测技术、在线腐蚀监测探头、无人机巡检等设备, 存储了包括采出油气的温度、压力、流量以及采出水质的矿化度、离子含量、pH 值、微生物指标、设备腐蚀速率、视频图像在内的多模态、高维度、持续增长的“腐蚀大数据”。对这些腐蚀大数据进行分析的技术正在为油气管道腐蚀状态评估提供了全新的思路和手段[1]-[4]。例如, 董绍华等人[2]基于大数据建立管道腐蚀状态分析模型, 孙鹏等人[3]以内检测数据为基础, 建立了内外腐蚀大数据分析模型, 并基于大数据进行管道缺陷修复, 预测管道腐蚀缺陷扩展趋势、制订腐蚀缺陷修复计划等。袁鹏斌等人[4]采用大数据分析技术预测管道未来安全状况等。可见, 大数据技术与油气田腐蚀防护的分析、预测和评价紧密结合的发展趋势已经成为油气储运专业教育的新方向。

本次教改探索源自“新工科”建设的内在要求与当代工程教育范式的转型。首先, “新工科”教育强调打破学科壁垒, 推动学科的交叉融合与前沿技术的嵌入, 其核心目标之一是培养能够应对未来产业变革的复合型创新人才[5]。而将大数据信息技术深度融入传统的油气田腐蚀与防护课程, 正是对“新工科”理念“从学科导向转向产业需求导向”的积极实践。其次, STEM 素养是个体在科学、技术、工程和数学领域以及相关交叉领域中综合运用这四门学科相关知识的能力[6], 显然数据素养已成为现代工程师的一种核心能力, 他们不仅需要理解专业原理, 更需要具备从海量数据中提取信息、构建模型并解决复杂工程问题的“数据驱动”思维和跨学科知识整合解决问题的能力[7]。因此, 提升学生的数据分析和计算思维能力作为关键教学目标之一, 是对油气储运本科生数据素养培养的有效补充。在具体的教学方法中, 基于项目的学习(PBL)是实现上述目标的有效路径。通过设置真实的诸如基于历史腐蚀数据的某管线的剩余寿命预测这类复杂的工程问题, 能够有效激发学生的学习自主性, 并在解决实际问题的过程中有机整

合多学科知识, 锤炼团队协作与工程实践能力[8]。本教改通过引入腐蚀大数据分析项目, 旨在将 PBL 教学模式的优势具体化, 让学生在“做中学”中完成知识建构与能力转化。

目前《油气田腐蚀与防护》课程教学与“新工科”的要求以及油气田生产对高级应用复合型人才应具有的数字素养要求出现了显著脱节, 学生缺乏处理、分析这些腐蚀大数据的能力, 这将导致其毕业后无法马上利用现场存储的大量腐蚀相关数据对金属设施进行科学有效的管理。

在当代工程教育转型的关键时期, 大数据分析技术也日益提升油气田腐蚀防护的手段和策略, 而且现有教学研究与实践也正在将数字素养整合到教学体系中, 并结合基于项目的学习的实践教学方法提高学生解决问题的能力。为此, 本文基于大数据智能化的时代背景下, 借鉴将数字素养和基于项目的学习实践整合到教学体系中, 本文将本课程的腐蚀防护机理教学结合数字驱动腐蚀预测、评价和防护决策的教学模式, 提出“机理(腐蚀防护方面的)+ 数据(大数据分析技术)”双轮驱动的教学模式, 探索利用提出的这种教学模式对《油气田腐蚀与防护》课程进行实践教学改革, 在传统的注重腐蚀防护机理讲解的课程中深度融合大数据分析技术, 提高油气储运复合应用型本科人才解决复杂工程问题的能力, 这不仅是学科发展的必然趋势, 更是服务国家能源战略, 满足培养创新型工程人才的迫切需求。

2. 腐蚀大数据分析技术融入课程的必要性

2.1. 油气工业发展需求驱动

随着大数据分析技术的迅猛发展, 它也在以前所未有的力度改变着油气田金属设施的腐蚀防护方法。油气生产、存储和输送企业为了保障金属设施的安全运营, 正从设备或管道已经因腐蚀发生故障才采取维修活动的“事后维修”向通过一系列先进的检测和监测技术(如超声波测量管道壁厚、腐蚀速率监测和管道机器人等)收集设备状态数据进行预测评价的“预测性维护”转型。而对于预测性维护收集到的海量数据, 需要依赖于具有腐蚀大数据分析等专业知识的技术人员来操作或解析数据, 进而提出腐蚀的预防控制措施。因此现场急需既懂油气田金属设施腐蚀机理和防腐技术, 又能利用大数据分析工具进行腐蚀风险实时评估和剩余寿命预测的复合应用型人才。

2.2. 提升学生竞争力

《油气田腐蚀与防护》这门课程的教学目标是使油气储运工程专业的学生能够分析整个油气田地面工程中包括油气集输管道、处理装置、长输和存储设备等这些金属设施的腐蚀成因, 并提出相应的腐蚀控制措施。但是, 课堂教学内容主要侧重于腐蚀机理以及防护方法的应用, 从未涉及将油气田收集的大量腐蚀相关数据进行处理、建模和评估腐蚀状态的新思路和新手段—腐蚀大数据技术, 与今后油气田腐蚀防护预测性防护的数据智能化发展趋势脱节。如果通过改革本门课程的教学内容, 让油气储运专业的学生掌握腐蚀大数据分析技能, 将使具备解决复杂工程问题的能力, 在就业市场中脱颖而出。

3. 大数据分析技术与课程内容的融合设计

3.1. 大数据分析融入课程内容的设计

将腐蚀大数据分析技术融合到油气田腐蚀与防护课程的过程并不是简单地增加一个章节, 而是将数据思维和大数据分析工具有机渗透到现有的教学体系中, 形成腐蚀防护机理教学渗透大数据分析技术的“机理-数据”双轮驱动的教学模式。表 1 是将数据分析技术融入到油气田腐蚀与防护具体教学内容的设计方案[9]-[13]。

Table 1. Teaching content design for integrating big data analysis into corrosion and protection of oil and gas fields
表 1. 大数据分析融入油气田腐蚀与防护的教学内容设计

传统课程模块	大数据技术融合点	具体教学内容设计
第一章 绪论	扩展“腐蚀监测技术”内涵	增加“智能腐蚀监测与数字化系统”，介绍 SCADA、物联网等在腐蚀管理中的应用。
第三章 金属腐蚀类型	多源数据关联分析	以局部腐蚀(点蚀、应力开裂)为例，展示如何将水质分析数据、操作工况数据、巡检图像数据相结合，利用统计分析和机器学习(如决策树)挖掘导致腐蚀事件发生的关键特征。
第四章 腐蚀防护技术	效果评估与优化	在讲解缓蚀剂评价时，引入在线监测的腐蚀速率时间序列数据。让学生学习使用时间序列分析方法(如变化点检测)来精准评估缓蚀剂注入效果和最佳浓度。
第五章 腐蚀寿命预测与风险管理	大数据预测建模	这部分为课程设计重点内容。主要讲授机器学习算法(如随机森林、梯度提升树)在管道剩余寿命预测中的应用。利用油气田企业提供的可公开使用的集输管道数据或模拟的管道数据集(包括管道的材质、工况、检测历史等)，指导学生构建一个简单的腐蚀速率预测模型。

3.2. 教学内容的细节设计

以第五章为例设计 4 学时(180 分钟)“基于 Excel 和 Orange 的腐蚀数据快速分析与寿命预测”的教学模块案例。

(1) 确定模块的教学目标。① 理解腐蚀大数据的多元性，并建立“数据驱动预测”的基本思想；② 掌握使用 Excel 进行数据预处理和基础分析，并使用可视化数据挖掘工具 Orange 构建预测模型。

(2) 使用的软件工具。① 使用 Microsoft Excel 进行数据预处理、描述性统计和简单的可视化，学生几乎不需要学习就能进行数据处理；② 使用完全免费和开源的 Orange Data Mining 进行建模和高阶的可视化。学生利用该软件的图形化界面，进行拖拽式操作就可以采用其内置的数据预处理、学习算法、模型评估和可视化组件主观地展示数据分析流程。

(3) 数据集的来源。根据课题组页岩气田集输管道腐蚀评价项目的历史数据和管道在线检测报告，构造一个具有代表性的包含噪声和缺失值的数据集，以便更好地模拟真实数据环境。

(4) 详细的教学安排设计。① 理论引入和软件介绍(45 分钟)：回顾腐蚀寿命预测传统方法的局限性，引出采用腐蚀大数据分析技术的必要性(15 分钟)；讲解“数据获取→清洗→探索→建模→评估→应用”的通用流程(15 分钟)；Orange 界面演示和介绍，拖拽一个简单的“文件→数据表→散点图”工作流，让学生感受软件的适用性。② 实战演练。第一步数据预测处理(30 分钟)：教师演示在 Excel 中使用排序和筛选功能，快速查找异常(如负值的壁厚)，定位处理缺失值，并使用数据透视表快速计算不同特征类型的均匀腐蚀速率；第二步构建腐蚀预测模型(45 分钟)：在 Orange 中给学生演示数据读取、训练集和测试集的分割、模型选择以及训练和预测，然后查看结果，进而分析哪些环境因素对腐蚀影响最大；第三步解释结果和估算寿命(30 分钟)：讨论模型预测效果并通过绘制“预测值对比真实值”散点图，直观判断预测准确性，最后利用模型预测出的腐蚀速率计算剩余寿命 = (当前测量壁厚 - 最小允许壁厚)/预测腐蚀速率。③ 总结与展望(30 分钟)：总结回顾整个数据驱动分析流程，强调其相对于经验公式的优势。拓展思考当前油气储运行业更先进的实践(如在线监测数据流、深度学习等)，激发学生深入探索的兴趣。

(5) 具体考核标准。重点考察对数据分析流程的理解和对结果的解释，总评成绩为 100 分。① 提交的 Orange 数据分析流程文件(40 分)，分析流程是否完整、清晰、可运行(20 分)；是否采用不同模型进行对比(10 分)；是否对特征重要性进行深入分析(10 分)；② 提交分析报告(60 分)：说明数据预处理时在 Excel 中如何处理缺失值和异常值(15 分)；通过截图来展示模型结果展示并能进行简单分析(25 分)；至少

展示一条管道的剩余寿命计算过程和讨论预测结果的可靠性和意义(20 分)。

4. 教学方法与手段创新

4.1. 案例式教学

选择国内外经典的腐蚀事故案例(如 11·22 青岛输油管道管道泄漏[9])和成功的大数据分析应用案例,引导学生讨论如何利用数据分析手段避免事故,将“事后维修”转化成“预测性维护”,化被动为主动,提高油气生产和运营的流动保障。以青岛输油管道壁厚因腐蚀减薄造成泄漏为切入点,引导学生进行角色代入,假定他们就是输油管道的运营管理人员,为了避免管道因腐蚀减薄造成潜在的泄漏风险,请他们利用可行的管道检测手段去设计管道内外腐蚀损伤检测、数据收集、评价腐蚀状态和预测管道剩余使用寿命等方案。通过案例式教学中的角色设定,让他们通过情景投入感受到肩负的管道安全运营的责任,在学习的过程中就将认识到管道预防性维护的重要性。

4.2. 课后大作业设计

将学生分组,提供收集到的油气管道的数据集,要求其完成一个从数据预处理到模型预测的完整分析项目,最终进行成果汇报,培养团队协作和解决实际问题的能力。

(1) 集输管道缓蚀剂智能加注方案优化。给学生提供一组包含管道材质、规格、输送介质组成、流量、温度、压力、采出水的水质分析、和缓蚀剂加注前后的腐蚀速率等数据资料。要求学生根据所给的集输管道数据资料,分析腐蚀速率与各种影响腐蚀因素的相关性,建立腐蚀速率预测模型,并最终提出基于工况变化的“优化加注方案”建议。

(2) 管道腐蚀缺陷高风险区预测。给学生提供某集输管道历次在线检测报告的简要数据信息(含检测时间、缺陷长度、深度、位置、类型等)及其对应管段的具体资料、运行历史数据。要求学生对所给的数据资料进行统计分析,探究哪些腐蚀影响因素与腐蚀缺陷深度大于 80%壁厚的高风险缺陷显著相关,建立腐蚀高风险区预测模型,预测出腐蚀高风险管段并提出控制对策。

4.3. 非编程工具链引入课程

由于课时的限制,在教学过程中需要弱化复杂的编程,主要介绍低代码或者开源工具,例如 Power BI 可视化工具。课上采用非常适合教学的非编程工具,尤其是行业领先的可视化工具和机器学习平台,通过导入数据或者拖拽节点的方式构建数据分析,实现数据输入、预处理、特征选择、模型训练、预测和可视化,让学生轻松地学会制作出能展示腐蚀风险的空间分布。在教学过程中一定要降低学习门槛,注重思维培养。

4.4. 校企协同共育

邀请油气田、页岩气田或国家管网公司的专家开展集输管道腐蚀防护讲座,请他们分享油气集输、长输管道腐蚀面临的数据采集、存储和利用所面临的挑战,以及在利用收集的海量运行管理数据分析预测金属设备的腐蚀状态和预期的剩余使用寿命,进而给出解决方案所面临的困境,让学生接触油气田现场的实际情况,并了解现场对腐蚀相关大数据分析的最真实的需求。

5. 预期成效与挑战

5.1. 预期成效

从学生能力提升的角度看,将腐蚀大数据分析技术融合到油气田腐蚀与防护课程体系,通过案例教

学、完成大作业、非编程工具链引入课程以及校企合作的协同作用,学生在油气田设施腐蚀与防护方面的数据知识结构从“理论-经验”(电化学腐蚀基础理论-腐蚀防护经验方法)升级为“理论-数据-决策”(电化学腐蚀基本理论方法+数据分析技术+多源数据关联分析驱动决策),数据分析能力、批判性思维 and 创新能力显著提升。

从课程的持续性改进方面看,通过将腐蚀大数据分析技术融入到授课内容中,教学方式不再局限于传统的以教师为主体的灌输式教学模式,融入数据可视化、机器学习平台使得课程设计更具先进性。这不仅契合国家关于推动智能+的教育指导方针,进一步推进本门课程支撑新工科所倡导的“学科交叉、产教融合、培养解决复杂工程问题能力”,而且通过分析重大安全事故案例,强化安全生产的职业责任感和家国情怀。

从本研究的理论贡献看,①提出了一个新的整合框架,构建了一个“机理与数据”二者融合的理论框架,为工程教育模式转型时期教学系统的运行提供了新的视角;②发展了教师角色理论:在双轮驱动模式下,教师角色从单纯的知识传授者,转变为“机理-数据”的联结者和教学智慧的决策者。

从实用价值的角度看,①提供了一种具有可操作型的教学模式,提出的不仅是一种教育理念,还为从事教学工作的教师开展教学提供了“如何将机理与数据结合”的具体实施路径、操作流程和案例的模板;②提升了教学过程的“可见度”,通过数据分析技术,使学生内隐的思维过程变得“可见”,教师更能有针对性地解决学生存在的问题,实现了教学过程的精细化管理。

5.2. 可能挑战与对策

(1) 大数据分析方面的师资力量不足。解决对策是提议学院支持任课教师参加短期的、以应用为导向的教师大数据分析技能培训研修班,学习免编程的软件工具和智能平台应用技术,以便教师能够利用4学时的有限时间结合某区块油气集输管线的腐蚀寿命预测项目来介绍大数据分析技术以及相关软件和智能化平台及其使用。在起步阶段,可以与计算机科学与工程学院的智能科学与技术专业的青年教师合作,邀请他们的相关专业教师作为客座讲师承担2~4学时的大大数据分析技术讲座,讲授内容为针对油气田金属设备腐蚀检测和监测数据为主的大大数据分析入门和机器学习算法精讲,实现跨学科提高学生的数字素养。

(2) 缺乏教学数据集。解决的最好方法是与校企合作单位沟通,尝试与油气田集输管道运营部门、国家管网公司或者专门从事腐蚀防护业务的企业洽谈,共同建设“教学案例库”和“脱敏教学数据集”,计划与企业签订协议,在保证不泄漏保密数据信息的基础上,对企业提供的数据集进行脱敏处理,既可以对他们提供的数据分析处理、建模和评价,给现场提供一定的技术参考,又能利用这些数据集训练和培养学生的数字素养,进一步发挥校企合作的的优势,形成更有价值的产学研合作项目。其次可用采用数值模拟软件(如 COMSOL Multiphysics 等)生成用于教学的仿真数据,这也是一种非常可靠且可控的教学数据集的来源。

(3) 授课学时的限制。由于《油气田腐蚀与防护》这门课程为32学时,除了4学时实验课之外,课堂授课只有28学时,需要对原来的教学内容进行课时的优化调整,才能将表1所示的4部分大数据融合点的内容加入到课程体系中。为此,做出如下调整:①将原来2学时的绪论内容精简为1学时,关于腐蚀程度的表征放到全面腐蚀中,增加1学时扩展“腐蚀监测技术”内涵;②将第二章8学时的电化学腐蚀机理精简到6学时,在课上减少双电层和电极电位、极化的深入探讨,主要讲腐蚀机理及如何利用这些机理解释分析油气田金属腐蚀现象等,在第三章腐蚀分类中增加2学时的多源数据分析;③在第四章,精简腐蚀防护方法概述、防腐涂层的分类及功用、油气集输系统的腐蚀等内容,节省出来6学时,利用其中的2学时教学生使用时间序列分析方法来精准评估缓蚀剂注入效果和最佳浓度,用4学时来讲增加

的第五章内容, 利用大数据预测建模, 做到大数据分析技术融合到交叉学科的专业学习内容中。

6. 结论

将腐蚀大数据分析技术融入《油气田腐蚀与防护》课程, 是应对石油天然气生产、存储和输送行业对流动安全保障要求从被动维修到积极主动预测性维护的转变以及行业发展数字化转型的必然选择。本文提出的将大数据分析融入到油气田腐蚀防护教学的“机理-数据”双轮驱动教学模式, 通过将腐蚀大数据思维、技术有机嵌入理论教学和课后大作业设计中, 旨在培养能够充分利用油气企业存储的大量腐蚀相关数据进行主动的预防性维护、精通专业、善于创新的新时代油气储运工程师。这一教改实践不仅能够有效提升教学质量, 为油气田的安全生产和智能化建设提供坚实的人才支撑, 更能支撑新工科建设和推动课程思政, 培养学生严谨求实的科学态度和注重安全生产的职业责任感。

基金项目

重庆科技大学本科教育教学改革研究项目: 基于大数据智能化理念的《油气田腐蚀防护》课程改革实践(202379)。

参考文献

- [1] 张达威, 刘智勇, 王福会, 等. 腐蚀大数据的发展及展望[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2018, 30(5): 549-556.
- [2] 董绍华, 安宇. 基于大数据的管道系统数据分析模型及应用[J]. 油气储运, 2015, 34(10): 1027-1032.
- [3] 孙鹏, 孙宇, 吴昊, 等. 大数据在管道本体缺陷扩展及修复中的应用[J]. 管道技术与设备, 2021(3): 11-14.
- [4] 袁鹏斌, 刘凤艳, 舒江, 等. 大数据时代油气管道的安全与防护[J]. 无损检测, 2015, 37(4): 51-55.
- [5] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动[J]. 高等工程教育研究, 2017(3): 1-6.
- [6] 王盈. 全球化时代美国教育政策的战略调整[J]. 世界教育信息, 2007(2): 11-12.
- [7] 余胜泉, 胡翔. STEM 教育理念与跨学科整合模式[J]. 开放教育研究, 2015, 21(4): 13-22.
- [8] Helle, L., Tynjälä, P. and Olkinuora, E. (2006) Project-Based Learning in Post-Secondary Education—Theory, Practice and Rubber Sling Shots. *Higher Education*, **51**, 287-314. <https://doi.org/10.1007/s10734-004-6386-5>
- [9] 凌晓, 徐鲁帅, 高甲程, 等. 基于大数据的金属管道腐蚀状态分析模型与应用[J]. 热加工工艺, 2021, 50(12): 34-38.
- [10] 侯世中, 林杰勇. 大数据背景下石油管道腐蚀监测与防护系统的研究[J]. 唐山师范学院学报, 2019, 41(6): 68-70.
- [11] 张航远. 基于大数据的油气田地面管线寿命分析与研究[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国石油大学(北京), 2019.
- [12] 安超, 王飞跃, 刘鹏程, 等. 油气管道数据集成及可视化发展现状分析[J]. 现代化工, 2024, 44(S2): 19-23, 28.
- [13] 仇九子. 青岛市“11·22”东黄输油管道泄漏爆炸事故处置分析[J]. 中国应急救援, 2014(1): 43-45.