

# 人工智能技术在石油工业中的应用

贺远鹏

中海油节能环保服务有限公司 天津 300450

**摘要:** 近年来,人工智能(AI)已广泛应用于石油勘探和生产行业中的优化问题。本文提供了基于不同类型的人工智能算法综述了它们在石油工业中的应用领域。为此,本文将人工智能方法分为四个主要类别,包括进化算法、群体智能、模糊逻辑和人工神经网络。此外,还介绍了这些类型的算法在石油工程中的应用。该综述强调了人工智能方法在优化工业决策所必需的各种目标函数方面的卓越性能,这些目标函数包括最小混相压力、采油速度和封存体积。此外,各种人工智能技术的杂交和/或组合可以成功地应用于解决重要的优化问题并获得更好的解决方案。本文中提供的详细描述作为人工智能优化技术的综合参考,用于该领域的进一步学习和研究。

**关键词:** 人工智能技术; 石油工业; 应用

## Application of artificial intelligence technology in petroleum industry

Yuanpeng He

Cnooc Energy Conservation and Environmental Protection Service Co., LTD. Tianjin 300450

**Abstract:** In recent years, artificial intelligence (AI) has been widely applied to optimization problems in the petroleum exploration and production industry. This paper provides a review of the application of different types of AI algorithms in the petroleum industry. For this purpose, the paper categorizes AI methods into four main categories, including evolutionary algorithms, swarm intelligence, fuzzy logic, and artificial neural networks. In addition, the paper introduces the application of these types of algorithms in petroleum engineering. The review emphasizes the outstanding performance of AI methods in optimizing various objective functions necessary for industrial decision-making, including minimum miscibility pressure, oil production rate, and reservoir sealing volume. Moreover, the hybridization and/or combination of various AI technologies can be successfully applied to solving important optimization problems and obtaining better solutions. The detailed descriptions provided in this paper serve as a comprehensive reference for AI optimization techniques for further learning and research in this field.

**Keywords:** artificial intelligence technology; Petroleum industry; application

### 引言

随着人工智能的发展,石油行业对人工智能的重视程度也越来越高。在全球石油和天然气的大背景下,为了节约能源,提高生产效率,降低石油生产成本的第一选择。将人工智能应用于石油行业,可以有效地提升其生产效率,提高其经济效益,并推动其发展。

### 一、进化算法在石油工业中的应用

根据达尔文进化论,数百万年来,许多物种进化以适应不同的环境。类似地,如果我们把环境看作问题的一种形式,把进化算法看作种群适应最佳环境的一种适应,同样的概念可以应用于数值优化。进化算法的基本思想是在一个类似于自然选择、变异和繁殖的选择性过程下进化出一群候选解,直到获得更好的解。具体来说,使用有效的搜索算法,父解被组合以生成后代解,这些后代解可以被评估并且可以自己产生后代。世代循环的

延续导致更好的搜索、优化和设计问题的解决方案。EA包括许多算法,如进化规划、遗传算法、进化策略和进化程序。由于遗传算法(GA)和差分进化(DE)在处理各种石油工程问题的解决方案方面的突出表现,这类技术石油工程应用中变得非常流行<sup>[1]</sup>。

#### 1.1 遗传算法

遗传算法根据“适者生存”的原则,将气体作为自然环境中生物物种的进化这种随机优化算法高效、通用,适用于多目标优化问题。虽然遗传算法最初是作为研究生物过程的学术工具提出的,但由于它能够处理多个相互冲突的目标,现在它被应用于许多石油工程领域。

研究人员结合遗传算法和禁忌搜索方法来优化控制变量,例如水替代气比、周期时间、注入速率和采油井的井底压力。提出的模型显著提高了收敛速度,增加了采收率和净现值(NPV)。埃德蒙兹等人使用GA方法优化蒸汽和溶剂循环过程,这将物理累积蒸汽与油比

(CSOR) 降低到接近 1 的值。

### 1.2 差异进化

DE 是一种基于群体的方法, 它使用具有自适应随机搜索 (ARS) 的实数编码 GA 和正常随机发生器来寻找目标函数的全局最小值。GA 和 DE 的主要区别在于 GA 依靠交叉操作寻找最优解, 而 DE 多基于变异操作, 像其他进化算法一样, DE 包括四个阶段: 初始化、变异、交叉和选择。在初始化步骤期间, 使用每个定义变量的最小和最大值以及范围从 0 到 1 的均匀随机值, 创建具有固定数量的候选解, 下一步是进化初始种群, 其中每个解都通过将来自当前种群的两个随机解的差添加到按因子  $f$  缩放的不同的选定随机解而变异。然后, 在交叉过程中, 通过应用交叉概率比率 (CR) 在新生成的候选解中创建多样性。差分进化算法有两种主要的交叉变量: 指数型和二项式。最后, 在选择步骤中, 将试验种群中的每个解向量与初始种群中的对应向量进行比较, 并且根据问题的性质 (最小化或最大化), 将具有较低或较高目标函数值的解向量移动到下一代。重复四步过程, 直到满足停止标准 (达到最大代数或获得当前代和前一代中目标函数值之间定义的不同容差)。

在实际石油工作中、DE、模拟退火以及它们与正交排列和响应面代理技术的混合被考虑用于油砂和裂缝性碳酸盐储层中的蒸汽和溶剂应用。结果表明, 使用代理节省了 95% 的计算时间, 而利用正交表 (具有最小最大准则) 改善了模型收敛行为以寻找最优解。研究人员使用具有二进制和连续编码优点的遗传算法设计了优化工具, 并将其与油藏模拟器耦合, 以优化饱和油藏中蒸汽辅助重力泄油 (SAGD) 过程的蒸汽注入速率<sup>[2]</sup>。萨尔马奇等人建立了包括储层模拟器、优化方法 (DE) 和经济目标函数 (NPV) 的综合框架, 以获得煤层气储层中加密井的最佳位置。

## 二、群体智能在石油工业中的应用

群体智能 (SI) 是一种创新的智能优化技术, 它模仿蚂蚁、蜜蜂、鱼群和昆虫群体在寻找食物、相互交流和在群体中混合时的社会和集体行为。系统集成模式的主要特征是在没有中央控制系统的情况下, 群体内个体之间的自组织、去中心化、交流和合作行为。虽然这些个体的相互作用是简单的, 但最终它们会导致复杂的整体行为, 这是 SI 的核心。近年来, 已经提出了许多硅基技术, 它们覆盖了不同的研究领域。在这些技术中, 两种方法变得特别流行并广泛用于解决离散和连续优化问题: 粒子群优化 (PSO) 和蚁群优化 (ACO) 方法。在这里, 我们讨论粒子群算法的理论及其在石油工业中的实际应用。

### 1. 粒子群优化算法

埃伯哈特和肯尼迪提出了基于鸟群集或鱼群的自然模式的 PSO 技术。与 GA 技术一样, PSO 算法从随机产生的群体开始, 使用适应度函数值来评估群体, 并使用随机技术更新群体和搜索。然而, PSO 技术不使用交

叉和变异算子。它考虑具有两个主要参数的粒子: 对应于搜索空间中唯一位置的向量和粒子运动的速度作为起点, 该算法随机产生粒子的位置和速度。然后, 每个粒子更新其位置和相关的速度, 直到获得满意的解决方案。换句话说, 使用速度函数 (定期更新), 每个粒子根据其最佳位置和整个组的最佳位置迭代地通过搜索空间因此, 粒子的经历将是跟踪和记忆最佳遭遇位置和最佳群体大小, 这被称为群体。PSO 结合一个粒子的最佳经验和另一个粒子的最佳经验来更新粒子在每次迭代中的位置。

## 三、模糊逻辑在石油工业中的应用

模糊逻辑是一种强有力的数学工具, 它通过将任何特定的理论从清晰的 (离散的) 形式推广到连续的 (模糊的) 形式来模拟现实世界中信息的不确定性。FL 的每个变量通常由一个真值组成, 其范围在 0 和 1 之间以及完全正确和完全错误之间。

研究人员使用 GA 和 PSO 算法优化油田 E 段的油气水气交替性能。与参考案例相比, 结果显示, GA 和 PSO 发现的 NPV 的最佳总体值分别高出 12.8% 和 13.2%, 而对于作为目标函数的增量采收率, GA 和 PSO 分别提高了 15.2% 和 17.2%。

如今, 液体燃料在石油和天然气行业有许多应用。使用模糊神经网络和反向传播神经网络, Ouenes 评估了影响岩石破裂的因素, 并测量了它们与破裂强度的关系。从中发现, 使用 FL 方法和随机框架可以最大限度地降低与数据驱动技术相关的风险, 并有助于解释过程。在研究中, 为了确定模糊变量, 对影响油井压裂的因素进行了分析, 然后利用模糊数学模型为了选择压裂候选井, 通过分析不同的有效参数, 确定压裂效果与参数之间的关系, 划分各影响参数的等级区间, 设计了模糊评判数学模型<sup>[3]</sup>。

同时开发了一种使用自适应神经模糊系统 (ANFIS) 的方法, 根据 SARA (饱和物、芳烃、树脂、沥青质) 的百分比、粘度和密度数据对油包水乳状液的形成进行建模。阿提亚等人描述了使用 FL 和神经网络来预测油田地面管道中多相流压降的模型。结果表明, ANFIS 优于其他神经网络。

## 四、人工神经网络在石油工业中的应用

ANN。在工业中应用非常广泛, 发展迅速的人工智能, 利用人类的思想, 解决一些难以用逻辑学和分析学的方法去解决的问题, 比如非线性问题, 优化计算, 联想记忆, 模式识别等。ANN 技术在石油和天然气的储运、管道泄漏检测、管道腐蚀速度预测等领域具有重大突破。

阿夫沙尔等人采用 FL 和神经网络模型计算泡点压力, 作为气体比重、石油比重、溶解气油比和储层温度的函数。为了避免陷入局部极小值并提高精度, 他们利用遗传算法优化的模型。结果表明, 用遗传算法进行优化可以防止它们的神经网络和神经模糊模型陷入局部极

小值,这是反向传播算法的常见情况。拉万迪等人(2014)使用 GA 和 ANFIS 生成了两个新的优化模型,用于孔隙度计算和含水饱和度确定<sup>[4]</sup>。获得的结果与其他方法的输出之间的比较表明,推荐的用于估计孔隙度和含水饱和度的模型的准确性显著提高(平均标准误差分别为

(0.00007 和 0.00033)。艾哈迈迪和伊巴迪设计了具有不同类型隶属函数(例如,曲线形、三角形和梯形)的 FL 方法,以指定注入气体和储层油的 MMP。他们得出结论,与其他测试类型的隶属函数不同,曲线形的隶属函数显示出与实验结果更好的匹配。拉梅和阿卜杜勒拉希姆(2014)将 ANFIS 与 DE 方法耦合以再现任意储层模型的生产数据。

此外展示了模糊推理系统(FIS)和人工智能技术在管道风险评估中的可行性,开发了两个混合管道风险评估系统,包括 FIS 和神经网络,采用专家风险评估方法。奥拉通吉等人提出了一种混合系统,通过 FL 系统和基于灵敏度的线性学习方法的组合来模拟石油和天然气储层的渗透率和 PVT 特性。在他们的工作中,FL 系统用于管理油藏数据的不确定性和训练输出。在另一项研究工作中,在不同温度下进行不同的自然损耗测试,开发了一个 FL 模型来预测实验温度范围内的沥青质沉淀。在模型结果和 WinProp 模块(计算机建模组(CMG)软件)的输出之间进行了比较研究,结果显示其 FL 模型的性能是可接受的。

巴克亚尼等人设计了一个基于自适应神经模糊推理系统(ANFIS)的模型,并用粒子群优化算法对其进行优化,以预测不同油藏温度和压力下二氧化碳在原油中的扩散率。设计了一个分析模型,使用 FL 评估天然气管道中的腐蚀失效可能性(CFL)。他们将腐蚀减薄因子、腐蚀开裂因子、检验有效性和检验次数作为关键因素,确

定了关键因素与 CFL 之间的模糊规则。结果表明,该模型应用成功,可作为管道检测和维护计划的参考<sup>[5]</sup>。同年又提出了一种使用实验数据集和 ANFIS 来模拟单相湍流中蜡沉积厚度的新方法。根据他们的结果,ANFIS 模型在单相湍流中表现出用于采油优化和蜡沉积厚度预测的有前途的性能。

## 五、结束语

为了达到石油产业的高效、利益最大化,石油产业需要有专门的知识与技术来构建人工智能框架。在新世纪的不断发展与革新中,将传统的石油产业与人工智能技术相结合,将会使炼油企业的生产成本大幅下降,从而使炼油企业的生产效率得到进一步的提升,从而达到更好的效果。

## 参考文献:

- [1] 张亚飞. 人工智能技术在石油和天然气工业中的应用[J]. 电子世界, 2021(15):2.
- [2] 邴绍强. 关于人工智能技术在油田生产管理中应用的实践与思考[J]. 石化技术, 2020, 27(5):2.
- [3] 李阳, 廉培庆, 薛兆杰, 等. 一大数据及人工智能在油气田开发中的应用现状及展望[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2020, 44(4):11.
- [4] 孙孔明, 杨先闻, 高少锋, 胡锦涛. 人工智能技术在石油工程领域的应用[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(12):28-29.
- [5] 王斌. 人工智能技术在石油工程领域的最新应用[J]. 信息系统工程, 2018(10):95.
- [6] 林伯韬, 郭建成. 人工智能在石油工业中的应用现状探讨[J]. 石油科学通报, 2019, 4(04):403-413.