

# 皮尔逊相关系数算法在 B 油田优选化学防砂措施井的应用

王殿武<sup>1</sup>, 赵云斌<sup>2</sup>, 尚丽英<sup>2</sup>, 王凤刚<sup>2</sup>, 张震<sup>2</sup>

(1. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459;

2. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300459)

**摘要:** B 油田是海上常规稠油油田, 开发至今油井出砂严重, 导致部分油井关停。近几年主要采用化学防砂工艺治理, 利用 FSG 药剂胶固地层砂, 达到控砂的目的。从油藏角度进行研究, 对已治理井生产数据跟踪分析, 引用皮尔逊相关系数算法研究化学防砂效果与油藏涉及参数的相关性, 识别出泥质含量和米采液指数与化学防砂效果相关性较强, 其次是日产液和采液指数参数。应用上述成果辅助 C 平台化学防砂工艺选井, 实施后增产控砂效果显著, 对后期油藏化学防砂措施选井有一定的指导意义。

**关键词:** 皮尔逊相关系数; 化学防砂; 油藏; 措施选井

中图分类号: TE53

文献标志码: A

文章编号: 1008-1100(2022)07-0026-03

DOI: 10.19482/j.cnki-3237.2022.07.07

## Application of Pearson correlation coefficient algorithm in selecting chemical sand control measure wells in B oilfield

WANG Dian-wu<sup>1</sup>, ZHAO Yun-bin<sup>2</sup>, SHANG Li-ying<sup>2</sup>, WANG Feng-gang<sup>2</sup>, ZHANG Zhen<sup>2</sup>

(1. CNOOC China Limited, Tianjin Branch, Tianjin 300459, China;

2. CNOOC EnterTech-Drilling & Production Co., Ltd., Tianjin 300459, China)

**Abstract:** B oilfield is an offshore conventional heavy oil field. Sand production has been serious so far, leading to the shutdown of some oil wells. Chemical sand control technology was mainly used in recent years. FSG was used to cement formation sand and achieve the purpose of sand control. This paper studied from the reservoir parameters, analyzed the production data by using Pearson correlation coefficient algorithm to find out the correlation between the sand control effect and reservoir parameters, and identified that the shale content and meter production fluid index had strong correlation with sand control effect, followed by daily production fluid and production fluid index. Applying the results to assist the well selection of chemical sand control technology of platform C was remarkable, which has certain guiding significance for the chemical sand control well selection of reservoir in the later period.

**Key words:** Pearson correlation coefficient; chemical sand control; reservoir; measures of selecting well

B 油田是海上常规稠油油田, 主要含油层为浅水三角洲沉积, 生产明化镇组下段, 储层高孔高渗, 油藏类型以构造-岩性油藏、岩性-构造油藏和岩性油藏为主。油田从 2004 年投产开采至今, 随着油田产液规模不断扩大, 增注及换大泵提液等油水井措施不断实施, 油田整体产液强度不断提高, 出砂井数也在不断攀升, 导致部分油井关停, 部分

油井生产低效, 严重影响着油田的高效开发。

### 1 化学防砂措施

油井出砂治理最常见的防砂工艺是机械防砂工艺和化学防砂技术<sup>[1]</sup>。相比于机械防砂, 化学防砂技术工艺流程简单、易于后续作业与处理等优势, 在 B 油田中广泛应用。B 油田化学防砂工艺主要是

收稿日期: 2022-03-29

作者简介: 王殿武(1977-), 男, 工程师, 研究方向: 油气田开发。

通讯作者: 赵云斌(1994-), 男, 工程师, 研究方向: 油田开发。

利用 FSG 药剂来胶固地层砂，形成具有一定强度和渗透能力的人工井壁。该药剂分子具有外界感知能力，当外界环境发生变化时，在地层中含水孔隙中发生反应，生成聚合物，在岩石表面、地层砂颗粒间架桥，将地层砂粘合在岩石表面，达到控砂、堵水而不堵油的目的<sup>[2]</sup>。

## 2 皮尔逊相关系数算法

皮尔逊相关系数是描述 2 个定距变量间联系紧密程度，衡量变量  $X$  和  $Y$  之间的线性相关关系的参数，其值介于  $-1$  与  $1$  之间，一般用  $r$  表示，计算公式见式 (1)。

$$r_{xy} = (n \sum XY - \sum X \sum Y) / \sqrt{[N \sum X^2 - (\sum X)^2][N \sum Y^2 - (\sum Y)^2]} \quad (1)$$

式中， $n$  为样本量， $X$ 、 $Y$  分别为 2 个变量的值。若  $r > 0$ ，反映 2 个变量为正相关关系；若  $r = 0$ ，则表示 2 个变量不相关；若  $r < 0$ ，反映 2 个变量为负相关关系。 $r$  的绝对值越大，表明相关性越强。

通常情况下，按如下取值区间对相关性强弱进行判断， $r$  的绝对值在  $0.8 \sim 1.0$  之间为极强相关， $0.6 \sim 0.8$  之间为强相关， $0.4 \sim 0.6$  之间为中等程度相关， $0.2 \sim 0.4$  之间为弱相关， $0.0 \sim 0.2$  之间极弱相关或无相关<sup>[3]</sup>。

该方法运算效率高，根据原理能够快速建立数学计算模型，进行客观的定量分析，对各项参数定量计算，避免了定性分析的不确定性，且实用性强<sup>[4]</sup>。

## 3 皮尔逊相关系数算法的应用

近几年，油田累积对多口关停井实施了化学防砂措施治理，部分井效果好，也存在效果较差的情况。本研究单独从油藏选措施井角度出发，不考虑工艺和现场施工方面等其他因素影响，基于已实施化学防砂措施井的生产数据进行分析，研究哪些油藏参数影响该化学防砂工艺的效果，防砂效果通过防砂后恢复正常生产过程中再次出砂的情况来量化。这样就形成了油藏储层物性参数和相关开发技术指标与化学防砂后正常生产过程中再次化验次出砂频次 2 个参数之间的相关性进行判断。

油藏参数选择主要依据油井出砂机理<sup>[5]</sup>，基于地质条件和开采因素两方面考虑。地质条件主要考虑油层厚度、渗透率、孔隙度以及泥质含量方面因

素；开采因素主要考虑日产液、含水、生产压差、采液指数和米采液指数<sup>[6]</sup>。

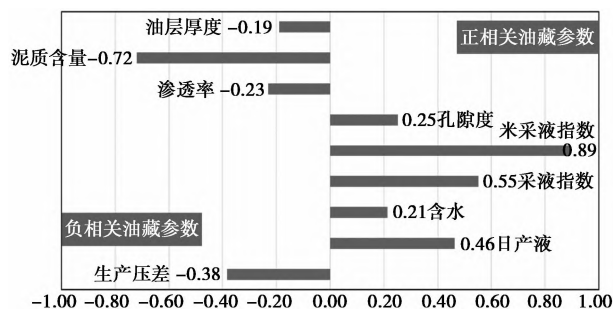


图1 各油藏参数与化学防砂后出砂频次的皮尔逊相关系数

应用皮尔逊相关系数算法进行计算，得到不同油藏参数与出砂频次的相关程度（见图1）。计算结果显示，正相关参数有孔隙度、米采液指数、采液指数、含水和日产液 5 个油藏参数，其中米采液指数为强相关，采液指数和日产液为中等程度相关，含水和孔隙度为弱相关，即出砂频次越高，对应油藏参数值越高，反应化学防砂措施效果一般。负相关参数有泥质含量、油层厚度、渗透率和生产压差 4 个油藏参数，其中泥质含量为强相关，渗透率和生产压差为弱相关，油层厚度为极弱相关，即出砂频次越高，对应油藏参数值越低，反应化学防砂措施效果一般。

上述分析结果与 FSG 药剂控砂作用机理<sup>[2]</sup>在一定程度上相呼应，泥质含量高，供药剂分子胶结的颗粒就多，越容易在岩石表面和地层砂颗粒之间



图2 各油藏参数与化学防砂效果分级树状图

架桥, 固结强度也越高, 越有利于防砂。同样, 米采液指数越高, 采液强度越大, 对药剂与地层砂、泥质颗粒结合形成的胶结体冲刷越强, 越不利于控砂。通过皮尔逊相关系数算法计算得出的结论与药剂控砂机理相似, 表明该项分析结果具有一定的可靠性。

依据上述计算结果, 根据各个油藏参数与化学防砂后出砂频次相关性强弱, 建立优选化学防砂措施并树状图 (见图 2)。在油藏选井前, 优先考虑泥质含量和米采液指数, 其次考虑采液指数和日产液, 生产压差、渗透率和孔隙度等参数由于相关性

较弱, 可作适当参考。基于皮尔逊系数计算结果, 辅助油藏优选出更适合该项工艺的油井, 保障措施后油井能够更好的稳定生产。

以 B 油田 C 平台为例, 平台由于出砂井较多, 在制定措施计划时, 在考虑单井增产效果的同时, 采用该项研究成果进行措施优选, 对相关油藏参数进行对比分析, 优选出 C32H 井进行化学防砂措施治理。治理后一直生产稳定, 产液量较之前提高一倍, 且生产过程中未有出砂迹象。该井措施前日产油  $25\text{m}^3/\text{d}$ , 措施后日产油  $60\text{m}^3/\text{d}$ , 日增产  $35\text{m}^3/\text{d}$ , 累计增产  $1.58\text{万 m}^3$ , 控砂增产效果显著 (见图 3)。

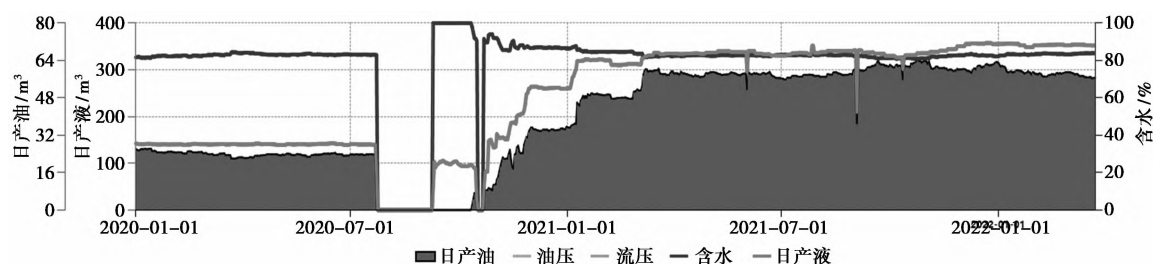


图 3 B 油田 C32H 井生产曲线

#### 4 结论

(1) 通过运用皮尔逊相关系数算法, 从油藏单一角度进行研究分析, 对 B 油田近几年已实施化学防砂措施井油藏参数研究分析, 明确了油藏物性参数和相关开发参数与化学防砂工艺效果的相关关系, 在一定程度上能够为措施选井提供参考依据, 辅助提高油田化学防砂措施成功率。

(2) 基于皮尔逊相关系数运算结果, 根据各油藏参数与化学防砂效果相关性情况, B 油田油藏优选化学防砂工艺措施井时, 应优先考虑泥质含量和米采液指数, 其次考虑采液指数和日产液参数。

(3) 皮尔逊相关系数算法虽然在 B 油田应用中取得了一定的效果, 但由于化学防砂工艺效果不

仅取决于油藏先天条件, 还应考虑工艺水平、现场施工等其他等条件, 因此该方法还存在一定的局限性, 还需要进一步进行研究。

#### 参考文献

- [1] 詹宁宁, 张丽锋. 油田化学防砂技术综述[J]. 当代化工研究, 2021(24): 11-13.
- [2] 李啸南, 曾鸣, 冯青, 等. 海上油田 FSG 控砂堵水一体化技术研究与应用[C]. 西安石油大学、陕西省石油学会、北京振威展览有限公司、西安华线网络信息服务有限公司, 2019.
- [3] 贾俊平. 统计学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [4] 王涓, 吴旭鸣, 王爱凤. 应用皮尔逊相关系数算法查找异常电能表用户[J]. 电力需求侧管理, 2014, 16(2): 52-54.
- [5] 蔡云. 油井出砂机理分析及防砂措施研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(1): 184-185.
- [6] SY/T 6366—2005. 油田开发主要生产技术指标及计算方法[S]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2005.

### 赢创推出全新多肽产品 cQrex AC

2022 年 6 月 22 日, 赢创宣布推出一种高纯度胱氨酸肽 cQrex AC, 可提高生产单克隆抗体、疫苗、病毒载体和治疗用细胞的生物工艺效率和生产力。

L-胱氨酸是细胞培养中的必需氨基酸, 其充足的供应对于支持生物治疗药物的生产至关重要。然而, L-胱氨酸在中性条件下难以溶解, 对细胞的供应量往往不充足。多肽产品 cQrex AC (N,N'-二-L-丙氨酸-L-胱氨酸) 是一种非动物来源、化学成分明确且高度可溶的 L-胱氨酸, 在中性条件下溶解度为普通 L-胱氨酸的 20 倍以上。它可被细胞有效代谢, 并用于配制高浓度的流加培养和灌流培养基。因此, cQrex AC 有效满足工艺强化和简化方面一些未被解决的需求。工艺强化和简化是目前生物制药中细胞培养的主要趋势。

(王莉华)