

【环境与能源 / Environment and Energy】

顺北地区三维抗钻特性参数分布规律

靳永红¹, 李双贵^{2,3}, 陈帅⁴, 陈修平^{2,3}, 刘景涛^{2,3}, 于洋^{2,3}, 石祥超⁴

1) 中国石化西北油田分公司采油二厂, 新疆轮台 841604; 2) 中国石化西北油田分公司石油工程技术研究, 新疆乌鲁木齐 830011; 3) 中国石化缝洞型油藏提高采收率重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830011; 4) 西南石油大学油气藏地质及开发工程全国重点实验室, 四川成都 610500

摘要: 针对三维抗钻特性参数难以确定的问题, 基于岩性特征优选了适合顺北地区的抗钻特性参数预测模型. 通过对测井资料的分析和计算, 获取了22口井的抗钻特性参数. 根据井位和地层信息建立了三维几何模型, 通过赋值、井的粗化以及纵横向高斯插值得到三维抗钻特性参数模型. 结合现场需求得到了新近系—奥陶系的抗钻特性参数纵向分布规律, 以及二叠系地层的横向分布规律. 研究结果显示, 二叠系中浅地层的研磨性较小, 而二叠系以下的地层研磨性显著增加. 从新近系到奥陶系, 岩石抗钻特性参数呈增加趋势, 其中, 古近系和二叠系地层相较于相邻地层具有更大的抗钻特性参数, 同时表现出较为明显的软硬交错. 在顺北地区, 二叠系北部地层的抗钻特性整体上高于南部地层, 而东西部之间的抗钻特性参数差异并不明显. 建立的三维岩石抗钻特性参数模型为进一步研究提供了基础, 应用二叠系和石炭系—志留系地层抗钻特性的预测结果进行钻头选型和钻井参数的优化, 二叠系和石炭系—志留系的机械钻速分别提高了53.80%和35.10%. 该方法不仅有效提高了钻头与目标地层的匹配程度, 而且为顺北地区的钻井提速提供了重要的理论依据.

关键词: 油气井工程; 顺北地区; 三维模型; 抗钻特性; 二叠系; 可钻性; 研磨性

中图分类号: TE353

文献标志码: A

DOI: 10.3724/SP.J.1249.2025.02154

Distribution law of 3D anti-drilling characteristic parameters in Shunbei block

JIN Yonghong¹, LI Shuanggui^{2,3}, CHEN Shuai⁴, CHEN Xiuping^{2,3},
LIU Jingtao^{2,3}, YU Yang^{2,3}, and SHI Xiangchao⁴

1) No. 2 Oil Production Plant of Sinopec Northwest Oilfield Company, Luntai 841604, Xinjiang Uygur Autonomous Region, P. R. China

2) Petroleum Engineering Technology Research Institute of Sinopec Northwest Oilfield Company, Urumqi 830011, Xinjiang Uygur Autonomous Region, P. R. China

3) Sinopec Key Laboratory of Enhanced Recovery of Fracture-Cave Reservoir of Sinopec, Urumqi 830011, Xinjiang Uygur Autonomous Region, P. R. China

4) National Key Laboratory of Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, Sichuan Province, P. R. China

Abstract: Based on the characteristics such as lithology, a predictive model for anti-drilling characteristic parameters suitable for the Shunbei block was selected. By analyzing and calculating logging data, anti-drilling characteristic parameters for 22 wells were successfully obtained. Subsequently, a three-dimensional geometric

Received: 2024-03-14; **Accepted:** 2024-06-14; **Online (CNKI):** 2024-09-27

Foundation: National Natural Science Foundation of China (U20A20266); CNPC-SWPU Innovation Consortium Alliance (2020CX040103)

Corresponding author: Professor SHI Xiangchao (sxcdream@swpu.edu.cn)

Citation: JIN Yonghong, LI Shuanggui, CHEN Shuai, et al. Distribution law of 3D anti-drilling characteristic parameters in Shunbei block [J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2025, 42(2): 154-162. (in Chinese)



model was established based on well locations and stratigraphic information, and a three-dimensional anti-drilling characteristic parameter model was obtained through assignment, well roughening, and longitudinal and transverse Gaussian interpolation. A detailed analysis based on the model revealed the longitudinal distribution characteristics of anti-drilling characteristic parameters from the Neogene to Ordovician and the lateral distribution characteristics of Permian strata. The results showed that the abrasiveness of shallow layers in the Permian is relatively low, while the abrasiveness of layers below the Permian significantly increases. From the Neogene to the Ordovician, the anti-drilling characteristic parameters of rocks show an increasing trend, with the Permian and Neogene strata having larger anti-drilling characteristic parameters compared to adjacent strata, and showing a more obvious alternation between soft and hard layers. In the Shunbei block, the overall anti-drilling characteristic parameters of northern Permian strata are higher than those of southern strata, while the difference in anti-drilling characteristic parameters between eastern and western parts is not significant. The successfully established three-dimensional rock anti-drilling characteristic parameter model provides a basis for further research. Finally, the predicted results of anti-drilling characteristic parameters for Permian and Carboniferous-Silurian formations were applied to optimize drilling bit selection and drilling parameters, The mechanical drilling rate (ROP) in the Permian formations increased by 53.80%, and that in the Carboniferous-Silurian formations increased by 35.10%. This method not only effectively improves the matching between the drill bit and the target strata but also provides important theoretical basis for rapid drilling in the Shunbei block.

Key words: oil and gas well engineering; Shunbei block; three-dimensional model; anti-drilling characteristic; Permian; drillability; abrasiveness

顺北油气田位于中国塔里木盆地顺托果勒低隆起北部, 包括4个区块, 油气储量达 1.7×10^9 t以上, 是近年来新发现的重要油气田之一。根据地质解释, 顺北油气田共有13条断裂带, 主要钻探区域集中在1号、4号和5号断裂带。该区域井底因高温高压、岩性复杂多变、岩石可钻性差和研磨性强等因素导致石油钻探面临挑战, 如牙轮钻头磨损失效快、聚晶金刚石复合片(polycrystalline diamond compact, PDC)钻头易崩齿等。

目前, 石油钻井工程主要采用PDC钻头技术, 随着该技术的不断进步, 钻井效率得到提高, 同时钻井成本也有所降低^[1]。PDC钻头在石油和天然气钻探的总进尺中的占比已经从19世纪80年代的5%增至2021年的90%以上^[2-3]。然而, PDC钻头在深部难钻地层中的钻进效果并不理想^[4]。主要原因之一是对地层抗钻特性的认识不足, 同时配套破岩工具使用不当也会对钻进效果产生不良影响, 从而导致机械钻速降低。为了最大化提高钻井速度, 许多学者开展了高效破岩工具的研究。同时, 进行地层抗钻特性的精准识别工作也具有重要意义。

岩石抗钻特性是石油钻井工程中钻头选型的重要依据, 因此, 了解该地区的岩石抗钻特性对后续优化钻完井方案有重要意义。获取岩石可钻性的方法主要有声波时差预测法、实钻法、微钻法、岩石

力学预测法和岩屑预测法等^[5-10]。但随着钻探深度的增加, 对预测精度的要求更为苛刻, 而现有的方法也存在局限性。声波时差预测方法等仅能够得到某一段地层或某一点的可钻性级值, 难以指导新井开钻, 对于制定合理的油气资源钻采方案支撑不够充分。因此亟需一种新的方法来获取某地区的整体岩石抗钻特性参数。本研究基于顺北地区测井资料, 根据调研和室内试验数据建立适合该地区的声波预测抗钻特性参数模型, 利用预测模型计算得到岩石抗钻特性参数, 并利用Petrel软件建立三维抗钻特性参数模型。依据得到的地层抗钻特性参数, 分析及预测钻井设计中指定井位下岩石力学及可钻性级值, 为顺北地区的钻井提速技术提供有力支撑。

1 地质特征和钻井概况

1.1 地质特征

顺北油气田南北部岩性差异显著, 尤其是各地层难钻的火成岩累积厚度也存在较大差异, 北部岩性统计结果如图1(a)至(c)所示。其中, 二叠系以上柯吐尔组主要为泥岩和砂岩相互交错; 二叠系英安岩、砂岩和泥岩居多, 夹杂凝灰岩和玄武岩, 英安岩累积层厚约为156 m, 见图1(a); 石炭—志留

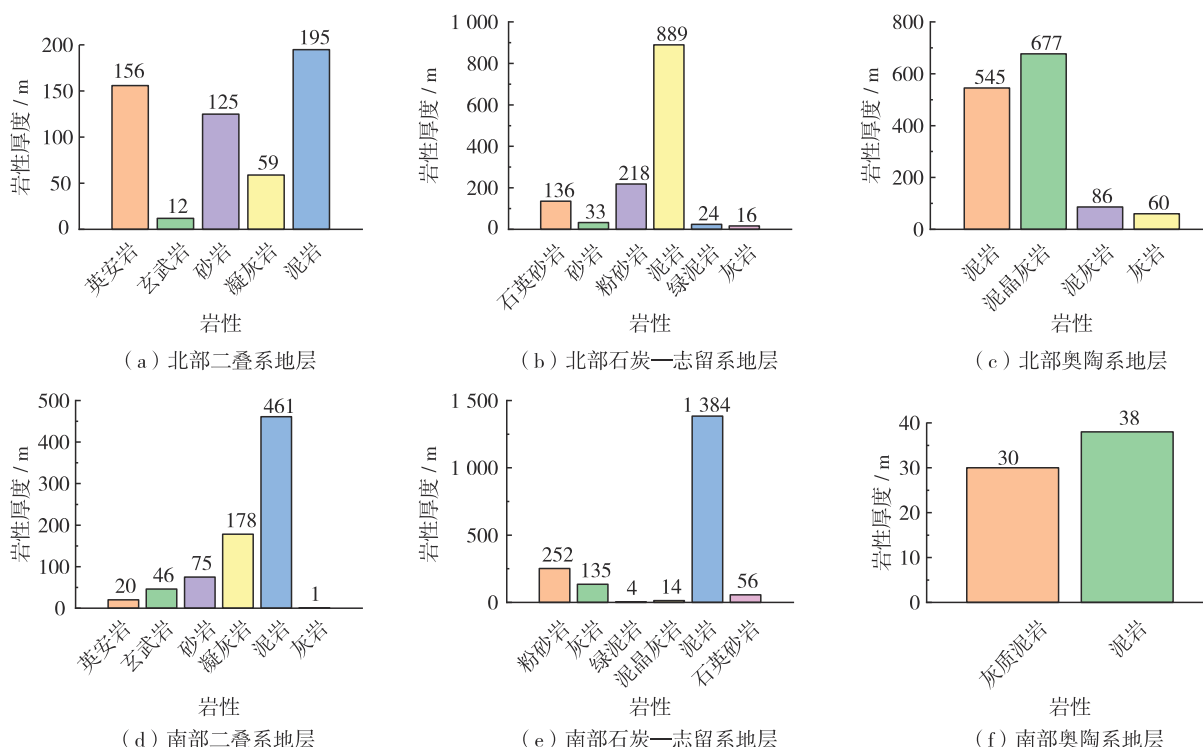


图1 顺北地区分地层各岩性累积层厚统计结果

Fig. 1 Statistical results of accumulated layer thickness of different lithologies in Shunbei area. (a) Northern Permian formation. The orange, green, purple, yellow and blue columns are dacite, basalt, sandstone, tuff and mudstone respectively. (b) Northern Carboniferous-Silurian formation. The orange, green, purple, yellow, blue and pink columns are respectively quartz sandstone, sandstone, siltstone, mudstone, chlorite and limestone. (c) Northern Ordovician formation. The orange, green, purple and yellow columns are mudstone, micrite, marl, chlorite and limestone respectively. (d) Southern Permian formation. The orange, green, purple, yellow, blue and pink columns are dacite, basalt, sandstone, tuff, mudstone and limestone, respectively. (e) Southern Carboniferous-Silurian formation. The orange, green, purple, yellow, blue and pink columns are respectively siltstone, limestone, chlorite, micrite, mudstone and quartz sandstone. (f) Southern Ordovician formation. The orange and green columns are gray mudstone and mudstone respectively.

系主要为泥岩夹石英砂岩, 见图1(b); 奥陶系主要为上部泥岩, 下部泥晶灰岩, 见图1(c). 南部统计结果如图1(d)至(f)所示. 其中, 二叠系以上柯吐尔组主要为泥岩, 层厚达到461 m, 夹杂英安岩和灰岩; 石炭—志留系主要为泥岩和粉砂岩相互交错, 泥岩岩层厚共计1 384 m; 奥陶系主要为泥岩和灰质泥岩, 泥岩层厚38 m.

1.2 钻井概况

分析顺北油气田2016—2023年的钻井井史发现: 1号断裂带位于顺北地区的北部; 4号断裂带位于顺北地区的南部; 5号断裂带贯穿该地区的南北部. 在不同断裂带上所钻井的机械钻速差异较大, 其中, 1号和4号断裂带均比5号断裂带的平均机械钻速快30%以上. 研究不同断裂带和不同井之间机械钻速差异大的原因, 可以为后续钻新井提供科学指导. 由于钻井作业是一项复杂的综合工程,

地层、工具和工艺等都会对机械钻速产生影响, 需要综合众多因素对钻井的影响才能揭示不同断裂带机械钻速差异巨大的原因. 本文重点研究地层因素对机械钻速的影响.

2 基于测井数据的抗钻特性分析

2.1 模型优选

20世纪80年代以来, 学者们相继提出利用声波速度或声波时差计算岩石抗钻特性参数的模型^[11-17], 对推动钻井工程师更清晰认识地层抗钻特性做出了重大贡献. 声波计算表明岩石抗钻特性受多种因素影响, 其中岩性的差异是预测模型精度低的根本因素. 不同岩性的矿物学特征和结构特征差异显著, 导致不同岩性之间的抗钻特性参数预测模型呈现多样化, 不考虑岩性而建立的抗钻特性预测

模型往往会牺牲预测结果的准确度. 因此, 为提高顺北油气田地层抗钻特性的预测精度, 优选出针对不同岩性的预测模型(表1). 其中, K_d 为可钻性级值; Δt 为声波时差, 单位: $\mu\text{s}/\text{m}$; v_p 为纵波速度, 单位: m/s ; p_{UCS} 为单轴抗压强度, 单位: MPa ; ω 为研磨性, 单位: mg/cm^3 ; H 为岩石硬度.

表1 模型优选结果			
Table 1 Model optimization results			
模型	公式	模型建立依据	模型来源
$K_d = -1.86 + 2.30 \times 10^{-3} \times v_p$	(1)	砂岩	本研究
$K_d = 13.44e^{(-0.0142\Delta t)}$	(2)	灰岩、云岩	文献[12]
$K_d = 11.697e^{(-0.0054\Delta t)}$	(3)	火山岩	文献[13]
$p_{\text{UCS}} = 0.89 \times (304.8/\Delta t)^{2.82}$	(4)	泥岩	文献[14]
$p_{\text{UCS}} = 5.16 \times 10\Delta t^{-1.997}$	(5)	火成岩	文献[15]
$p_{\text{UCS}} = 0.032 \times v_p - 43.78$	(6)	灰岩	文献[16]
$\omega = (0.2718e^{-0.00263H})^{\frac{1}{0.604}}/100$	(7)	通用地层	文献[17]

首先, 基于室内实验数据建立砂岩可钻性预测模型(图2), 岩石可钻性的获取参照石祥超等^[18-19]提出的改进方法; 然后, 通过大量调研选用高斐等^[12-13]建立的灰岩和火山岩可钻性预测模型. 预测砂泥岩、火成岩和灰岩的力学参数则采用卫增杰等^[14-16]建立的预测模型. 研磨性预测模型主要和岩石矿物组构有关, 因此可以针对不同岩性使用一个模型, 本研究采用赵靖影等^[17]建立的研磨性预测模

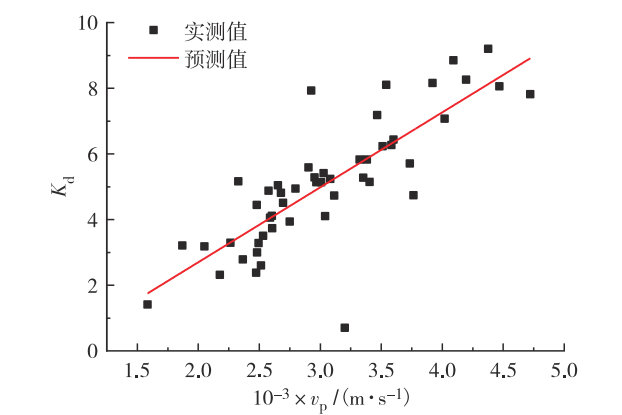


图2 纵波速度与可钻性级值相关性

Fig. 2 Correlation between longitudinal wave velocity and drillability index. The black square represents the measured value and the red line represents the predicted value.

型. 陆吉等^[20]在2023年提出的智能岩性识别为本研究提供了思路, 在计算顺北地区岩石抗钻特性参数时采用顺序编码的方法来识别岩性, 并根据岩性识别结果选择对应的预测模型进行计算.

2.2 抗钻特性参数

本研究选取的抗钻特性参数为单轴可钻性(K_{d1})、三轴可钻性(K_{d3})、岩石磨蚀性指数(β_{CAI})、单轴抗压强度(p_{UCS1})和三轴抗压强度(p_{UCS3}). 1号断裂带位于顺北地区的北部, 在1号断裂带选择3口井进行分析. 图3为不同地层的岩石抗钻特性参数. 分析图3可知, 随着深度的增加, 地层抗钻特性逐渐增强. 进入二叠系地层, 地层可钻性和研磨性显著增强: 单轴可钻性均值达到5.47, 中位数为5.49; 三轴可钻性均值达到7.48, 中位数达到7.54; 研磨性均值为2.53, 中位数为1.73.

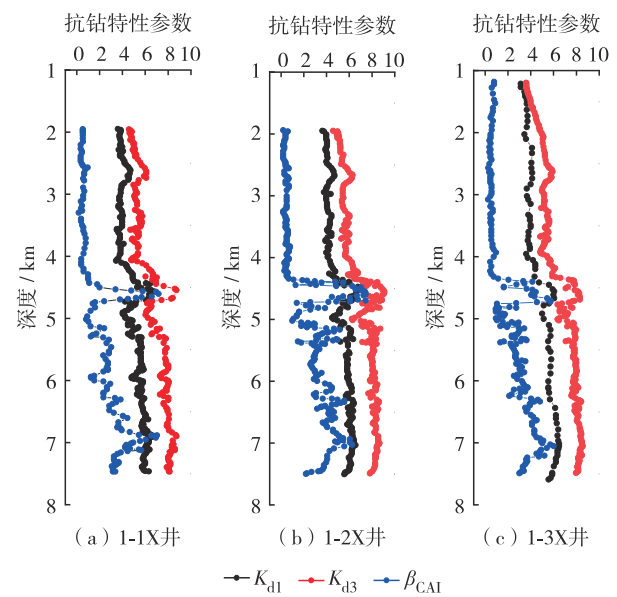


图3 1号断裂抗钻特性参数

Fig. 3 Drilling resistance characteristic parameter of No. 1 fracture zone. (a) Well 1-1X, (b) well 1-2X, and (c) well 1-3X. Black, red and blue are single-axis drillability, three-axis drillability and abrasiveness, respectively.

4号断裂带位于顺北地区的南部, 图4为4号断裂带3口井的岩石抗钻特性参数在纵向的变化规律. 由图4可见, 二叠系地层和白垩系上部地层相较于相邻地层, 抗钻特性参数变化更为显著; 进入一间房组地层, 岩石的抗钻特性显著增强.

5号断裂带贯穿该地区的南部和北部, 岩石抗钻特性参数变化较1号断裂带和4号断裂带更为复杂. 地层从浅往深有两个层位较难钻进, 分别是古

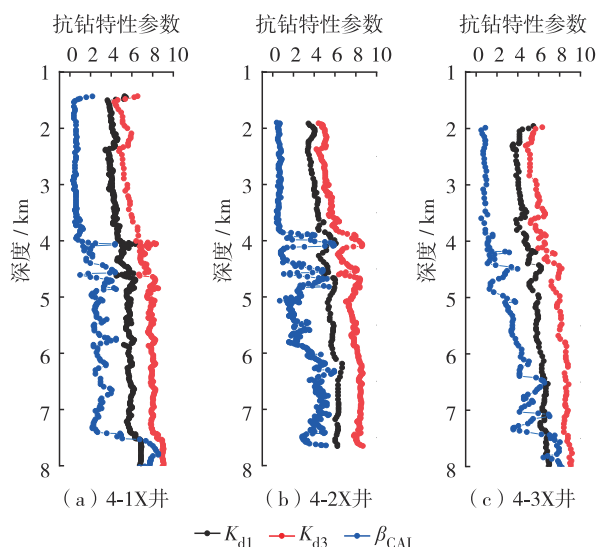


图4 4号断裂带抗钻特性参数

Fig. 4 Drilling resistance characteristic parameter of No. 4 fracture zone. (a) Well 4-1X, (b) well 4-2X, and (c) well 4-3X. Black, red and blue are single-axis drillability, three-axis drillability and abrasiveness, respectively.

近系和二叠系。古近系地层岩石可钻性比相邻两个层位的大, 原因主要是古近系含有少量石英砂岩, 相较于另外两个层位的粉砂岩和泥岩等更为坚硬。由图5可知, 白垩系地层的岩石抗钻特性显著降低。同理, 因为岩性的差异, 二叠系地层的岩石抗钻特性较三叠系地层显著增强。

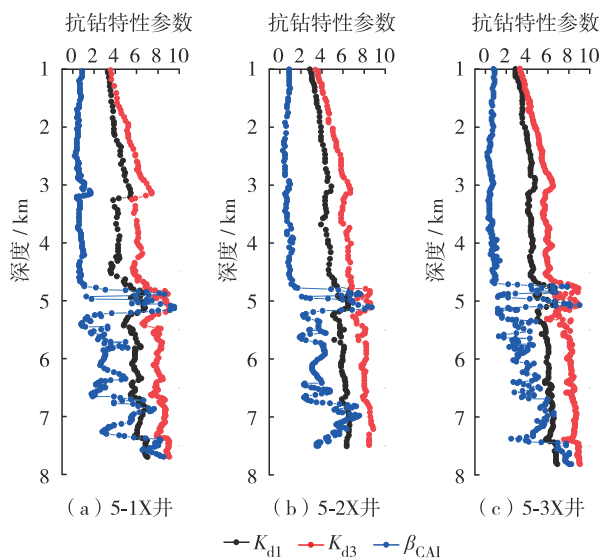


图5 5号断裂带抗钻特性参数

Fig. 5 Drilling resistance characteristic parameter of No. 5 fracture zone. (a) Well 5-1X, (b) well 5-2X, and (c) well 5-3X. Black, red and blue are single-axis drillability, three-axis drillability and abrasiveness, respectively.

3 三维岩石抗钻特性参数研究

3.1 顺北地区抗钻特性参数纵向分布规律

传统方法得到的抗钻特性参数纵向分布规律仅能够代表目标井位上的岩性特征, 无法准确描述该地区未打井位的抗钻特性参数。建立顺北地区三维抗钻特性参数模型, 将对该地区整体抗钻特性参数有更全面的认识。本研究依据测井资料计算得到了22口井的抗钻特性参数, 涉及该地区包含的1号、4号和5号断裂带。三维抗钻特性参数建模的步骤如下: 首先, 根据井位信息和层位信息在Petrel软件中建立顺北地区的几何模型; 然后, 利用井轨迹数据在模型中赋予每口井抗钻特性参数; 最后, 利用数据的分布规律进行粗化处理和高斯插值, 得到该地区抗钻特性参数在三维空间中的分布规律。

图6为顺北地区抗钻特性参数纵向分布。由图6(a)和(b)中单轴可钻性和三轴可钻性的纵向分布规律可以发现: 单轴可钻性和三轴可钻性从新近系到奥陶系整体呈增加趋势, 该地区 K_{d1} 为3.51~7.76, 均值为5.11, 中位数为5.03, 标准差为1.14; K_{d3} 为4.50~9.00, 均值6.79, 中位数为6.82, 标准差为1.61; 因古近系和二叠系附近分别含有石英砂岩和火山岩, K_{d1} 和 K_{d3} 的值均高于相邻地层。由图6(c)中研磨性的纵向分布规律可以发现: 二叠系以浅地层的研磨性较小(整体小于1); 二叠系以深地层的研磨性显著增加, 磨蚀性指数(cerchar abrasivity index, CAI)值差异较大, 大多数岩石CAI范围为1.00~8.20, 均值为2.19, 中位数为0.87, 标准差为2.25。单轴抗压强度和三轴抗压强度在纵向分布上整体呈增加趋势(图6(d)和(e)), 二叠系以深的岩石强度较上部地层增加显著。 p_{UCS1} 为15.00~75.00 MPa, 均值为36.61 MPa, 中位数为31.50 MPa, 标准差16.66 MPa。 p_{UCS3} 整体范围在50.00~400.00 MPa, 均值167.07 MPa, 中位数为128.14 MPa, 标准差107.59 MPa。

3.2 二叠系抗钻特性横向分布规律

本研究建立了从新近系到奥陶系地层的三维抗钻特性模型, 从岩石纵向分布特征和分层机械钻速上综合分析二叠系地层最为复杂, 也是钻井提速的重点和难点。因此选择二叠系作为本研究横向分布规律研究的重点。岩石的可钻性、研磨性和抗压强度在二叠系的横向分布规律较为相似。岩石抗钻特

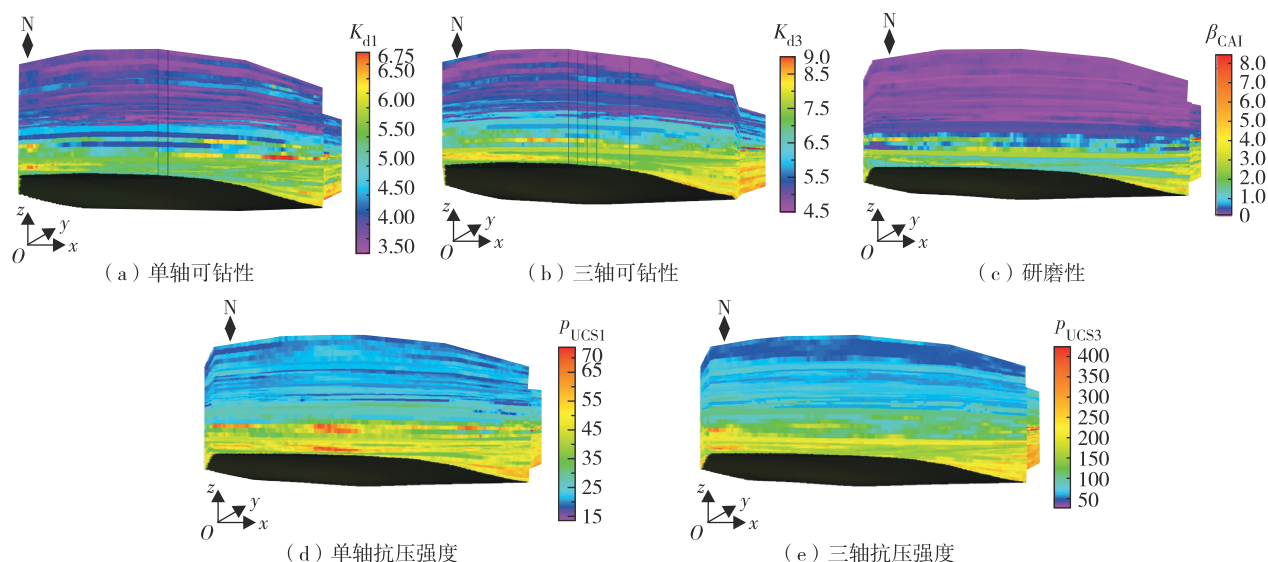


图6 顺北地区抗钻特性参数纵向分布

Fig. 6 Longitudinal distribution of anti-drilling characteristic parameters in Shunbei area. (a) Single-axis drillability, (b) three-axis drillability, (c) abrasiveness, (d) uniaxial compressive strength, and (e) triaxial compressive strength.

性参数在顺北油气田的南北部有显著差异, 见图7. 通过统计南部和北部多口井的计算数据可知, 南部的平均 $K_{d1} = 5.13$, $\beta_{CAI} = 1.93$; 北部的平均 $K_{d1} = 5.60$, $\beta_{CAI} = 3.13$. 由此可见, 二叠系北部的岩石抗钻特性参数整体相较于南部要大, 也就是1号断裂带和5号断裂带北部所处的地层要比4号断裂带和5号断裂带南部所处的地层更难钻. 由三维抗钻特性模型的结果中得知, 该地区二叠系地层整体 K_{d1} 主要分布在 $4.30 \sim 6.60$, 均值为 5.80 , 中位数为 5.86 , 标准差为 0.89 . K_{d3} 主要分布在 $5.00 \sim 8.75$, 均值为 7.93 , 中位数为 8.04 , 标准差为 0.97 . β_{CAI} 主要分布在 $0.50 \sim 7.00$, 均值为 3.77 , 中位数为 2.90 , 标准差为 2.84 MPa. p_{UCS1} 主要在 $24.00 \sim 70.00$ MPa, 均值为 54.22 MPa, 中位数为 58.17 MPa, 标准差为 18.05 . p_{UCS3} 主要分布在 $100.00 \sim 350.00$ MPa, 均值为 173.78 MPa, 中位数为 143.54 MPa, 标准差为 95.06 MPa. 得到二叠系地层定量化岩石抗钻特性参数对于破岩工具的选取具有重要意义.

4 现场应用

4.1 钻头优选和钻井参数优化

为提高顺北区块钻井速度, 根据该区块不同地层岩石抗钻特性参数, 制定了钻头选型和钻井参数优化方案. 对于岩石可钻性好、胶结疏松的二叠系

以浅地层, 推荐采用高转速和及时排屑的方法, 钻压建议保持在 $80 \sim 100$ kN, 转速建议 $80 \sim 100$ r/min, 优选使用5刀翼、19 mm齿的江钻KS1952 DGR钻头. 二叠系地层主要提速难点在岩石强度大于80 MPa的火成岩地层, 需要强化钻压和大幅度提高转速, 钻压建议 $120 \sim 140$ kN, 近钻头转速需要达到 $120 \sim 160$ r/min, 优选使用5刀翼、19 mm尖圆齿的江钻KS1952DGRX钻头. 石炭系一志留系地层发育大段硬质泥岩, 岩石强度高, 其中, 柯3段夹石英砂岩, 研磨性强, 需要预防井斜的前提下, 强化钻压, 配套穿砂泥岩互层的高性能异型齿PDC钻头, 提高单趟钻头进尺, 建议钻压保持在 $100 \sim 160$ kN, 转速为 $100 \sim 120$ r/min, 优选使用5刀翼、16 mm异形齿、双排齿的PDC(KS1652DGRX)钻头. 奥陶系桑塔木组地层以巨厚灰质泥岩为主, 钻井参数敏感性强, 地层易斜, 需要利用垂直钻井工具强化钻井参数提高机械钻速, 建议钻压保持在 $80 \sim 100$ kN, 转速为 $60 \sim 80$ r/min, 优选使用5刀翼、16 mm异形齿、双排齿的哈里伯顿弯刀齿GT55DKS钻头.

4.2 应用效果评价

根据钻头选型和钻井参数优化方案, 在顺北SH-X1井二叠系和SH-X2井石炭系一志留系进行了现场试验, 现场应用情况见图8. 顺北SH-X1井中二叠系层位 $4186 \sim 4820$ m, SH-X2井中石炭系一志留系层位为 $5118 \sim 6755$ m. 在SH-X1井中,

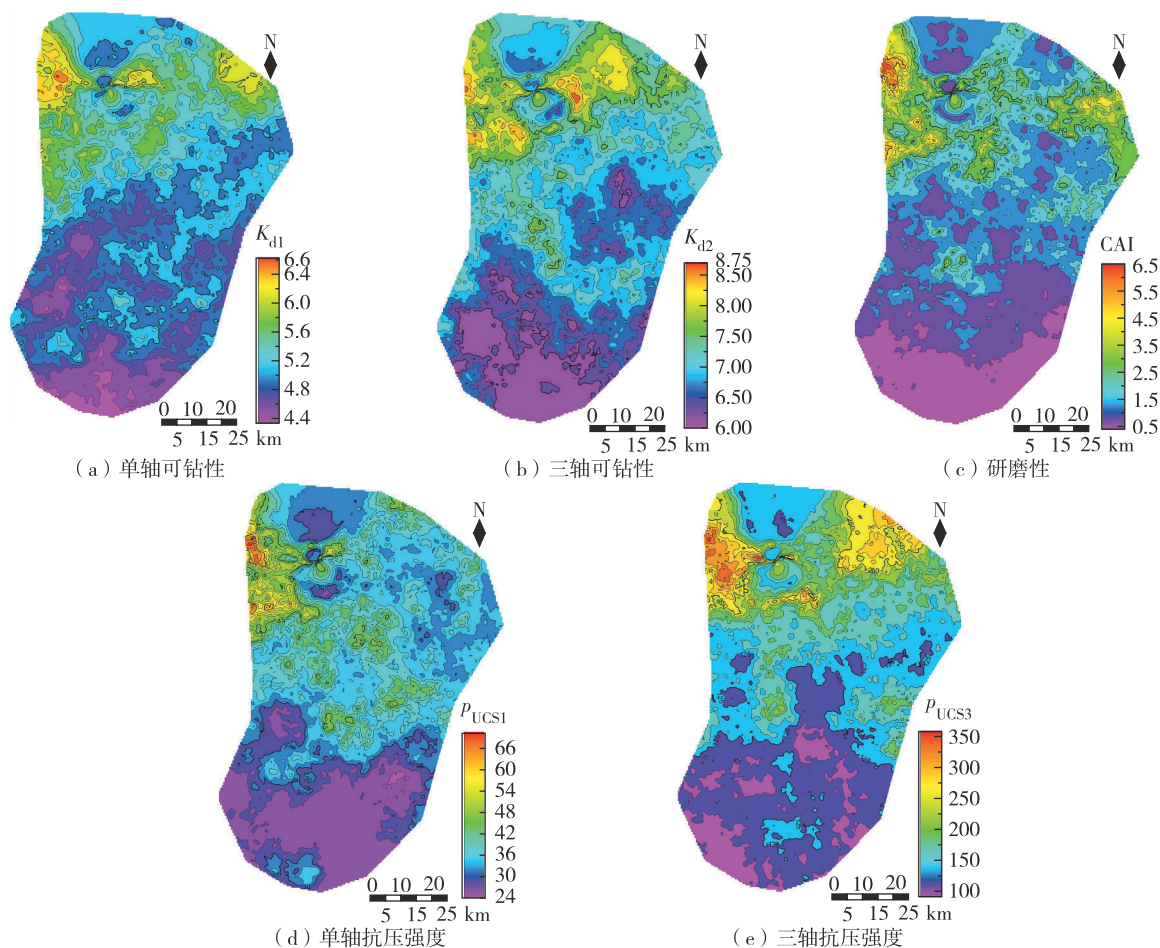


图7 二叠系抗钻特性参数横向分布

Fig. 7 Lateral distribution of drilling resistance parameters in Permian formation. (a) Single-axis drillability, (b) three-axis drillability, (c) abrasiveness, (d) uniaxial compressive strength, and (e) triaxial compressive strength.

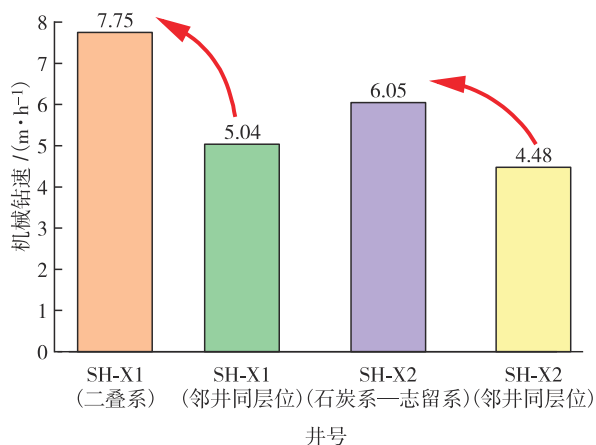


图8 二叠系和石炭系一志留系现场应用情况

Fig. 8 Field application of Permian and Carboniferous Silurian systems. Orange and green are the mechanical drilling rates before and after Permian application, and purple and yellow are the mechanical drilling rates before and after carboniferous Silurian application.

试验井段为 4 517 ~ 4 626 m, 使用的钻压为 120 ~ 140 kN, 近钻头转速控制在 120 ~ 160 r/min, 使用的钻头为 PDC(KS1952DGRX), 机械钻速达到 7.75 m/h, 相较于邻井同层位的 PDC 钻头机械钻速提高了 53.80%。在 SH-X2 井中, 试验井段深度为 5 287 ~ 5 550 m, 使用的钻压为 100 ~ 160 kN, 近钻头转速控制在 100 ~ 120 r/min, 使用的钻头为 PDC(KS1652DGRX), 机械钻速达到 6.05 m/h, 相较于邻井同层位的 PDC 钻头机械钻速提高了 35.10%。

5 结 论

1) 通过对室内试验和已公开发表的数据进行模型优选, 建立适合顺北地区抗钻特性参数预测模型, 提高了该地区抗钻特性参数计算的准确性。同时, 构建了三维岩石抗钻特性参数模型, 为新井的选址和部署提供了理论支持。

2) 二叠系以浅地层的岩石磨蚀性指数较小,然而,自二叠系往下,地层的岩石磨蚀性指数显著增加.从新近系到奥陶系,岩石抗钻特性参数呈逐渐增加的趋势,与相邻地层相比,古近系和二叠系地层的抗钻特性参数更为显著.

3) 顺北地区北部整体岩石抗钻特性参数较南部更高.此外,东西部地区的岩石抗钻特性参数差异并不明显.

4) 利用建立的三维模型,可以获取顺北地区任意一点的岩石抗钻特性参数.以二叠系地层为例,整体单轴可钻性主要分布在4.30~6.60,平均为5.80;三轴可钻性主要分布在5.00~8.75,平均值为7.93;岩石磨蚀性指数主要分布在0.50~7.00,平均值为3.77;单轴抗压强度主要分布在24.00~70.00 MPa,平均值为54.22 MPa;而三轴抗压强度主要分布在100.00~350.00 MPa,平均值为173.78 MPa.

5) 利用二叠系和石炭系一志留系地层抗钻特性预测结果进行了钻头选型和钻井参数优化,效果显著,有效提升了钻头和目标地层之间的匹配度,为顺北地区的快速钻井技术提供了重要的理论支持.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(U20A20266);中国石油-西南石油大学创新联合体资助项目(2020CX040103)

作者简介:靳永红(jinyh.xbsj@sinopec.com),中国石化西北油田高级工程师.研究方向:油田开发技术研究工作.

引文:靳永红,李双贵,陈帅,等.顺北地区三维抗钻特性参数分布规律[J].深圳大学学报理工版,2025,42(2):154-162.

参考文献 / References:

- [1] YAHIAOUI M, GERBAUD L, PARIS J Y, et al. A study on PDC drill bits quality [J]. *Wear*, 2013, 298/299: 32-41.
- [2] ZHANG Zengzeng, ZHAO Dajun, ZHAO Yan, et al. 3D numerical simulation study of rock breaking of the wavy PDC cutter and field verification [J]. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2021, 203: 108578.
- [3] LIU Wei, ZHU Xiaohua, LI Bo. The rock breaking mechanism analysis of rotary percussive cutting by single PDC cutter [J]. *Arabian Journal of Geosciences*, 2018, 11(9): 192.
- [4] ZHANG Chunliang, WANG Jincheng, KE Xiaohua, et al. Rock-breaking performance analysis of worn polycrystalline diamond compact bit [J]. *Geoenergy Science and Engineering*, 2023, 221: 211352.
- [5] CHEN Shuai, SHI Xiangchao, BAO Heng, et al. Experimental study of shale drillability with different bedding inclinations under varying wellbore pressure conditions [J]. *Journal of Petroleum Exploration and Production*, 2021, 11(4): 1751-1759.
- [6] CHEN Shuai, SHI Xiangchao, WANG Yuming, et al. Drillability characteristics of sandstone with different pores under simulated bottom hole conditions [J]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 861(2): 022055.
- [7] 李乾, 张海山, 邱康, 等. 东海深部地层岩石可钻性预测方法研究[J]. *中国海上油气*, 2020, 32(2): 126-133.
LI Qian, ZHANG Haishan, QIU Kang, et al. Research on the rock drillability prediction methods of deep strata in the East China Sea [J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2020, 32(2): 126-133. (in Chinese)
- [8] 李春山, 李伟, 何亚彬. 利用岩屑元素含量评价岩石可钻性方法研究[J]. *钻采工艺*, 2018, 41(4): 25-26.
LI Chunshan, LI Wei, HE Yabin. Study on rock drillability evaluation by elements' contents in cuttings [J]. *Drilling & Production Technology*, 2018, 41(4): 25-26. (in Chinese)
- [9] MAO Shuai, SHI Xiangchao, MENG Yingfeng, et al. Experimental investigation of rock drillability for three rock types under varying wellbore pressure conditions [J]. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 2018, 51(8): 2439-2445.
- [10] 陈帅, 石祥超, 高雷雨, 等. 不同冷却时间对高温花岗岩可钻性实验研究[J]. *地质科技通报*, 2023, 42(2): 356-364.
CHEN Shuai, SHI Xiangchao, GAO Leiyu, et al. Experiment research of the influence of different cooling times on the drillability of high-temperature granite [J]. *Bulletin of Geological Science and Technology*, 2023, 42(2): 356-364. (in Chinese)
- [11] 刘新田, 李泰武, 钟吉彬, 等. 应用声波测井仪对苏里格地区岩石可钻性分级[J]. *石油和化工设备*, 2010, 13(5): 32-34.
LIU Xintian, LI Taiwu, ZHONG Jibin, et al. Application of acoustic logging on drillability Sulige area classification [J]. *Petro & Chemical Equipment*, 2010, 13(5): 32-34. (in Chinese)
- [12] 高斐, 楼一珊, 吴琼, 等. 鄂尔多斯盆地马家沟组地

- 层可钻性研究及应用[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(5): 137-139.
- GAO Fei, LOU Yishan, WU Qiong, et al. Research on drillability and its application in Majiagou formation of Ordos basin [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(5): 137-139. (in Chinese)
- [13] 熊壮, 甘贵鹏, 乔木, 等. 玛湖地区火山岩地层可钻性分布规律研究[J]. 石油石化物资采购, 2020(28): 96, 117.
- XIONG Zhuang, GAN Guipeng, QIAO Mu, et al. Study on the drillability distribution of volcanic rock strata in Mahu area [J]. Petroleum & Petrochemical Material Procurement, 2020 (28): 96, 117. (in Chinese)
- [14] 卫增杰. 基于声波测井资料的川西地区深层岩石单轴抗压强度预测[J]. 石油天然气学报, 2011, 33(1): 111-114.
- WEI Zengjie. Prediction of uniaxial compressive strength of deep rock in western Sichuan based on acoustic logging data [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2011, 33(1): 111-114. (in Chinese)
- [15] 刘景涛, 黄勇, 李文霞. 顺北二叠系火成岩地层抗钻特性预测及应用研究[J]. 钻采工艺, 2022, 45(1): 47-52.
- LIU Jingtao, HUANG Yong, LI Wenxia. Prediction of anti-drilling characteristics of Permian igneous rock strata and its application in Shunbei block [J]. Drilling & Production Technology, 2022, 45(1): 47-52. (in Chinese)
- [16] 谢佳. 灰岩声波波速和力学参数之间的关系研究[J]. 湖南理工学院学报自然科学版, 2020, 33(1): 34-37.
- XIE Jia. Study on relations between acoustic wave velocity and mechanical parameters for limestone [J]. Journal of Hunan Institute of Science and Technology Natural Sciences, 2020, 33(1): 34-37. (in Chinese)
- [17] 赵靖影, 邓金根, 谢玉洪, 等. 通用地层研磨性预测模型的建立及应用[J]. 中国海上油气, 2011, 23(5): 329-334.
- ZHAO Jingying, DENG Jingen, XIE Yuhong, et al. Establishment and application of a universal prediction model of formation abrasivity [J]. China Offshore Oil and Gas, 2011, 23(5): 329-334. (in Chinese)
- [18] 石祥超, 陈帅, 孟英峰, 等. 岩石可钻性测定方法的改进和优化建议[J]. 石油学报, 2023, 44(9): 1562-1573.
- SHI Xiangchao, CHEN Shuai, MENG Yingfeng, et al. Suggestions for improvement and optimization of rock drillability determination methods [J]. Acta Petrolei Sinica, 2023, 44(9): 1562-1573. (in Chinese)
- [19] 石祥超, 陈帅. 岩石可钻性分级标准的改进建议[J]. 石油学报, 2024, 45(9): 1432-1442.
- SHI Xiangchao, CHEN Shuai. Suggestions for improving the grading standards of rock drillability [J]. Acta Petrolei Sinica, 2024, 45(9): 1432-1442. (in Chinese)
- [20] 陆吉, 林柏韬, 史璨, 等. 克拉玛依油田七区砂砾岩油藏智能岩性识别[J]. 深圳大学学报理工版, 2023, 40(3): 361-369.
- LU Ji, LIN Botao, SHI Can, et al. Intelligent lithologic identification of sandy conglomerate reservoirs in District No. 7 of Karamay oilfield[J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2023, 40(3): 361-369. (in Chinese)

【中文责编: 晨兮; 英文责编: 天澜】