

# 浅谈川西地区中深井常规钻井工艺挖潜提效

刘晓龙

中国石化重庆钻井分公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i10.7323

**[摘要]** 在中深井中发展成本高昂的新工艺、新技术来达到提速目的不可取。本文首先阐述川西地区中深井提速现状和常规钻井工艺应用现状，接着对川西地区常规钻井工艺应用存在的问题做出了细致地分析，最后针对这些问题提出了改进和完善的思路。

**[关键词]** 川西地区；中深井；单井指标；常规工艺；挖潜提效

## A Brief Discussion on Tapping Potential and Improving Efficiency of Conventional Drilling Techniques for Medium and Deep Wells in Western Sichuan Region

Liu Xiaolong

Sinopec Chongqing Drilling Branch

**[Abstract]** It is not advisable to develop expensive new processes and technologies in medium and deep wells to achieve the goal of speed increase. This article first elaborates on the current situation of speeding up deep wells and the application of conventional drilling technology in the western Sichuan region. Then, a detailed analysis is made on the problems existing in the application of conventional drilling technology in the western Sichuan region. Finally, improvement and perfection ideas are proposed for these problems.

**[Key words]** Western Sichuan region; Mid deep well; Single well indicators; Conventional process; Tapping potential and improving efficiency

### 引言：

随着经济的不断发展，石油天然气已经成为了工业的必要支柱和人们在日常生活中的必需品。随着对于石油天然气的迫切需要，对于增强石油天然气的开采力度是非常重要的。作为中石化五大会战之一的“川西增储上产会战”，老区中深井占有较大比例，故中深井钻井的提速对“川西增储上产会战”起到重要的作用。而影响钻井速度因素较多，如何提高中深井钻井速度是需要急切解决的问题。因中深井投资有限，且随工期不断缩短、成本相应降低，在中深井中发展成本高昂的新工艺、新技术来达到提速目的无疑是一种不可取的做法。在中深井中只有通过优化常规钻井工艺技术，挖掘常规工艺潜力才能够保障可持续发展。

### 1、川西地区中深井提速现状

高庙 31 井、高沙 301 井均为二开制常规井眼直井，先施工的高庙 31 井完钻井深 3112.00m，建井周期 70.61d，后施工的高沙 302 井完钻井深 2951.00m，建井周期仅 49.33d。

川孝 615 井、新沙 22-9 井均为二开制常规定向井，先施工的川孝 615 井完钻井深 2627.00m，建井周期 45.29d，后施工的新沙 22-9 井完钻井深 2665.00m，建井周期仅 22.17d。

新沙 21-16H 井、新沙 21-29H 井均为同类型常规井眼水平井，先施工的新沙 21-16H 井完钻井深 2933.00m，建井周期 92.44d，后施工新沙 21-29H 井完钻井深 3104.00m，建井周期仅 48.80d。

从上述数据可以看出，常规工艺仍然有进步的潜力。

### 2、常规钻井工艺应用现状

#### 2.1 浅表层 PDC 钻头应用的错误认识

钻井实践充分证明，钻头的选用效率直接影响到钻井速度及整体作业效益。其核心是钻头类型的合理选择，这直接决定钻头在地层作业中的作用和表现。在现阶段的技术水平下，钻头与地层的适配性是选型合理性的主要考量。因为地层岩性的多样性和破碎机制的差异性，钻头设计需针对特定岩石特性展开，由此得知，钻头与地层之间匹配性的重要性。基于地层岩石硬度的不同分级，钻头亦被赋予相应的软硬度标识，方便在实施钻井作业时能依据目标地层的岩性特点，精准选择与之硬度相匹配的钻头类型。基于岩性分析的钻头定性选型策略已成为现场广泛采纳的标准做法。除此之外，还有一种辅助选型方法，也就是依托过往钻井实践中的实际表现来评估，具体是通过分析钻头的技术效能指标（如钻头进尺量、使用寿命）或经

济指标（如平均机械钻速、钻头单位进尺成本）来综合判断钻头的适用性，为钻头选型提供全面、量化的依据。

PDC 钻头，全称聚金刚石复合片钻头，其核心为金刚石复合片，这是一种在极端高温与高压环境下，通过先进工艺将人造金刚石与硬质合金材料一次性融合而成的超硬质复合材料。该材料巧妙融合金刚石的高强度、卓越耐磨性与硬质合金的出色抗冲击性能及大出刃特性，实现性能优势互补。采用 PDC 钻头作为钻井作业中的切削工具，能够提高钻头的作业效率，是现代钻井技术中不能缺少的高效切削解决方案。我们一般认为常规 PDC 钻头在含砾石的浅表地层不适用，一是钻头保护难度大且成本高、二是井斜控制难度大。上述直观的现象均制约了浅表层机械钻速的发挥。

### 2.2 钻具组合限制了机械效率

制约平均机械钻速的最直接因素是钻井参数和轨迹控制：

- 1) 使用钻铤数量过多，钻机转盘负荷大，转速开不起来。
- 2) 为了控制轨迹，采取降低钻井参数的被动措施。

### 2.3 过分控制直井段井斜及防斜措施不积极

在钻井工作中不但要求速度快，而且要求质量好。井身质量的好坏是油气井完井质量的前提和基础，它直接关系到油、气田的勘探和开发工作。在钻井工作中不但要求速度快，而且要求质量好。井身质量的好坏是油气井完井质量的前提和基础，它直接关系到油、气田的勘探和开发工作。

井眼斜度（井斜）的明显增大，将直接导致井眼轨迹偏离预设井位，严重扰乱油气田开发的整体布井规划。在勘探阶段，井斜的加剧不光会造成井深测量的误差，还会使收集的地质数据失真，尤其对于小型断块油田而言，这种偏离可能直接错失油气层，对勘探成果构成重大负面影响。除此之外，井斜问题还给钻井作业本身带来了许多挑战，包括增加钻井难度，甚至可能诱发安全事故。在斜井环境中，钻柱倾向紧贴井壁一侧，旋转时加剧的摩擦加速钻柱磨损，还可能导致其折断。特别是在井斜急剧变化的井段，钻柱易发生弯曲，进一步增加钻具损坏和井壁失稳（如坍塌）的风险，同时也可能引发键槽卡钻等复杂情况。若对井斜控制不力，一旦超出允许范围，往往需要采取填井纠斜措施，这不仅造成了巨大的经济浪费，还会显著延长完井周期。更重要的是，井斜问题还直接关联到固井质量，表现为下套管困难、套管居中性差，进而可能引发固井窜槽、管外油气泄露等质量问题。对于采油作业而言，井斜过大同样构成不利影响，其干扰分层开采和注水作业的正常进行，如增加封隔器下入难度、降低密封效果等。也加剧油管和抽油杆的磨损与断裂风险，对油井的长期稳定运行构成威胁，甚至可能引发严重的井下故障。所以，井斜过大对油气田的勘探和开发都有很大危害。如何控制井斜是钻井工作的一个重要课题。

采用常规钻具组合钻进，不主动进行轨迹监测，当发现井斜增长时，采取吊打等被动措施，严重的降低全井平均机械钻速。或者直接控制了钻井参数，防止井斜过快增长。

## 3、常规钻井工艺挖潜提效

### 3.1 优化浅表层常规工艺及措施

#### (1) 正确认识浅表地层 PDC 应用

在川西地区浅表层主要由第四系、剑门关组、蓬莱镇组地

层构成，在第四系、剑门关组地层中均不同程度的含砾石，PDC 在砾石层中钻进机械钻速不高，容易造成井斜超标，钻头容易过早磨损，故在浅表层剑门关组及以下地层不是发挥 PDC 钻头高机械钻速优势的时候，当钻过剑门关组地层后，机械钻速会明显提升，过早的放开钻井参数不仅会影响轨迹控制，还会导致钻头过早磨损。

#### (2) 浅表层 PDC 钻头钻进防斜配套措施

在  $\Phi 311.2\text{mm}$  井眼中 PDC 的应用主要总结有以下几点：

1. 在砾石层钻进控制最大钻压不超过 20KN，钻进时钻速虽然较慢，但是可以有效的保护 PDC 复合片不过早磨损和达到防斜打直的目的，确保钻头使用寿命，以便在非砾石地层快速钻进。

2. 采用钟摆+塔式钻具组合配合，如  $\Phi 311.2\text{mm}$  PDC 钻头 +  $\Phi 241.3\text{mm}$  钻铤  $\times 3$  根 +  $\Phi 290\text{mm}$  扶正器 +  $\Phi 203.2\text{mm}$  无磁钻铤  $\times 1$  根 +  $\Phi 203.2\text{mm}$  钻铤  $\times 5$  根 +  $\Phi 177.8\text{mm}$  钻铤  $\times 15$  根 +  $\Phi 127\text{mm}$  加重钻杆  $\times 45$  根 +  $133.4\text{mm}$  方钻杆。这样的钻具组合本身就有利于防斜打直，只有消除了轨迹控制的风险才能有效的释放最大机械效率。

3. 控制最大钻压不超过最大尺寸钻铤的一次弯曲，确保防斜打直。

4. 采用高转盘转速钻进、划眼，根据井斜控制需求通过调整划眼方式（将下单根提出划眼、高转盘转速划眼）来达到降斜目的，或者钻进时就提高转盘转速来达到控制井斜目的，同时还能充分发挥 PDC 钻头的参数优势。

### 3.2 利用有利的钻具组合释放机械参数

#### (1) 最大限度发挥机械参数

在钻井作业中，PDC 钻头是不可缺少的开采工具。和牙轮钻头相比较的话，PDC 钻头的特点就是结构十分简单，机械的钻速比较高，纯钻时间很长，安全性能高，能够和井下动力钻具相配合使用，具有井下事故少，和井身质量好的优点。虽然 PDC 钻头有众多的优点，但是因为轨迹控制等原因，往往不能按理想发挥正常的机械效率。

钻头型号相同，钻井参数相同，机械效率则相同。一般为了达到防斜打直和其它轨迹控制目的，常控制最大钻压小于最大钻铤一次弯曲。而实践使用中，当钻压超过钻铤二次弯曲也可达到和小钻压吊打一样的效果，针对川西地区地层倾角大的特点，我们的防斜手段，主要还是要从监测着手，发现井斜有快速增加的趋势，应提前下入单弯螺杆进行控制【1】。

#### (2) 单弯螺杆防斜、打快

当前，防斜钻具的主流设计包括钟摆钻具组合、双稳定器满眼钻具、柔性防斜钻具及偏轴防斜钻具等，其均核心依赖于钻具产生的钟摆力来实现防斜与纠斜的目的。钟摆钻具在直井段钻进时应用广泛，其在常规地层中展现出明显的防斜效能。但是面对大倾角地层时，其防斜能力受限，不光很难有效提升机械钻速，还可能导致井斜控制不力。想要强化钻具的防斜与纠斜性能，并同时提升机械钻速，业界根据动力钻具的特性进行创新应用。通过动力钻具的高转速驱动钻头高速旋转，实现钻进效率与井斜控制的双重提升。实践验证，这种钻具组合无需依赖传统的小钻压吊打方式，即可有效控制井斜，并大幅度提高机械钻速，缩短钻井周期，从而实现良好的经济效益。

### 3.3 提高定向效率

通过螺杆工具的正确选择和降低井内摩阻，可有效的提高钻井效率。

#### (1) 螺杆工具的选型

1. 根据井眼大小确定使用螺杆钻具的尺寸。

2. 根据所施工井眼类型和所设计造斜率的大小来选用螺杆钻具类型：直螺杆、单弯、双弯（同向双弯和异向双弯），进一步确定其长度、弯壳体度数、稳定器外径及稳定器数量。

3. 用于复合钻进的双壳体螺杆的度数应根据井眼尺寸的大小来定，只要所选弯壳体螺杆的弯曲点绕井眼轴线的公转半径  $R \leq \Phi/2$  ( $\Phi$  为钻头直径 mm)，就不会导致井眼扩大。R 的计算如下：

$$R = L_2 \sin \{ \arctan [ L_1 \sin \gamma / (L_2 + L_1 \cos \gamma) ] \} + d/2 \quad \text{式中}$$

R：弯壳体的弯曲点绕井眼轴线的公转半径 mm

L1：钻头到弯曲点的长度 m

L2：弯曲点至其上第一个切点或至上稳定器的长度 m

$\gamma$ ：弯壳体的弯曲度数 °

d：弯壳体外壳直径 mm

4. 针对井底温度异常升高的特殊井况，为保障钻井作业顺利进行，需选用具备卓越耐高温性能的螺杆钻具。常规螺杆钻具的耐高温上限通常为 120° C，而在此类高温井底环境中，则需选用专门设计的、耐高温能力远超此标准的螺杆钻具，以适应并克服极端温度带来的挑战。

表 1 不同井眼尺寸对应的螺杆公称外径型号

井眼尺寸	螺杆公称外径型号
118-120 (45/8-43/4)	95mm
120-142 (43/4-55/8)	105mm
149-165 (55/8-61/2)	120 或 127mm
172-200 (63/4-77/8)	140mm
200-216 (77/8-81/2)	159mm
216-222 (81/2-83/4)	172mm
222-241 (83/4-95/8)	185mm
251-270 (91/2-105/8)	197 或 203mm
270-289 (105/8-113/8)	210mm
289-311 (113/8-121/4)	216mm
311-394 (121/4-151/2)	244mm
394-508 (151/2-20)	286mm

5. 在相同排量条件下，螺杆钻具马达转子的头数与其转速及扭矩之间存在直接关联：转子头数增多时，马达自身转速相应降低，但产生的扭矩显著增加；反之，转子头数减少则导致转速提升，而扭矩相应减小。针对地层特性进行选型时，如果井段地层较为松软，为追求更高的机械钻速，应优选头数较少的螺杆，从而利用其高转速特性；反之，在相对坚硬的地层中作业，需选择多头螺杆，从而保障井下作业时能输出足够的扭矩，满足现场实际需求。正因如此，马达转子头数的设定是该型号螺杆钻具转速与扭矩特性的基础决定因素。但是螺杆钻具的实际输出转速还受到马达设计参数、实际输入流量以及井下

负载状况等多种综合因素的共同影响。可以结合实际情况优选更适合现场的螺杆钻具（见表 1）。

#### (2) 正确的降低摩阻

摩阻过大是中深井中制约机械钻速和整体效益的原因之一，摩阻随井斜角和摩擦因数的增大而增大。降低摩阻可以通过降低套管摩擦因数、裸眼摩擦因数、降低钻具与裸眼的接触面积、降低钻柱对井壁的正向压力以及通过减小液柱压差的方法来解决。

##### 1. 钻井液性能的调节

###### (1) 钻井液体系选择。

目前世界上多数大位移井是采用油基钻井液或合成基钻井液钻成的。在川西地区首先应根据钻井设计选择钻井液，同时要能根据井内情况作出及时调整，以达到水平井钻井需要。

###### (2) 钻井液润滑性的改善。

水平井钻井作业对钻井液的润滑性能提出明确要求：钻井液的润滑因数需低于 0.15，且滤饼的摩擦因数亦应小于 0.1。油水比作为关键因素，直接影响钻井液的润滑效能。油基钻井液在油水比为 90/10 时，相较于 68/32 的油水比配置，其摩擦因数能明显降低 40% 以上。对于水基钻井液体系，为增强其润滑性能并减少钻井过程中的摩擦力，常通过添加极压润滑剂及聚合醇等专用处理剂来实现。这些添加剂能有效提升钻井液的润滑特性，从而降低钻井作业中的摩擦阻力。除此之外，采用固体润滑剂如石墨和塑料小球（如二乙烯苯与苯乙烯共聚物制成）也是降低钻井摩阻的有效手段。石墨的应用原理在于其能附着于套管壁，使原本钻杆与套管壁之间的摩擦转变为石墨鳞片层间的低摩擦滑动，从而降低套管摩擦因数。而塑料小球因其独特的“滚珠效应”，将钻柱与井壁间的滑动摩擦转变为滚动摩擦，大幅减少了接触面积，进而显著降低摩擦因数。实际应用中，加入塑料小球可明显降低扭矩达 35%，并减少起下钻阻力超过 20%，证明其在降低钻井摩阻方面的效果<sup>[2]</sup>。

#### 结论：

从川西现阶段油气开采情况来看，中深井仍是川西气藏开发的主力，在中浅井钻井成本不断被压缩，钻井物资价格不断上涨的情况下，通过优化常规钻井工艺技术来达到降本增效的目的迫在眉睫。川西中深井的开发对我国整体油气开发具有重要意义，使用成本高额的新工艺来达到提速目的在川西中深井的开发中已不切实际，而通过优化常规钻井工艺技术可以达到进一步提速目的，且潜力巨大。我们应从实际出发，使常规工艺优化从理论进一步回归到钻井实践中，提出更多实施有效的优化措施，实现理论和实践结合，最终达到常规钻井工艺挖潜提效的目的。

#### [参考文献]

[1]周晨表.伊拉克祖拜尔油田中深井的钻井工艺[J].钻采工艺, 1989, 012(1): 15-18.

[2]刘铭.中深层地热井钻井工艺关键技术研究[J].中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(18): 193-195.

# 基于特征重建的无监督木材图像异常检测

李洋

武汉信息传播职业技术学院

DOI: 10.12238/jpm.v5i10.7324

**[摘要]** 本研究针对木材工业中的缺陷检测问题，提出了一种基于无监督学习的木材图像异常检测方法。通过构建 MVTec Wood AD、Wood Defect AD 和 Wood Surface AD 三个数据集，设计了 IRNet 模型，并引入了记忆模块和融合模块，以提高检测的精度和鲁棒性。实验结果表明，IRNet 在图像级和像素级的 AUROC 评分上均显著优于现有方法，尤其在处理复杂纹理和多样化异常时表现突出。这一方法为提高木材工业中的缺陷检测效率和产品质量控制提供了重要的技术支持。

**[关键词]** 木材图像异常检测；无监督学习；深度特征重建；多尺度特征生成

Unsupervised wood image anomaly detection based on feature reconstruction

Li Yang

Wuhan Vocational and Technical College of Information Communication

**[Abstract]** In this study, an unsupervised learning-based wood image anomaly detection method is proposed for the defect detection problem in the wood industry. By constructing three datasets, MVTec Wood AD, Wood Defect AD and Wood Surface AD, IRNet model is designed and memory module and fusion module are introduced to improve the accuracy and robustness of detection. Experimental results show that IRNet significantly outperforms existing methods in both image-level and pixel-level AUROC scores, especially when dealing with complex textures and diverse anomalies. This method provides important technical support for improving defect detection efficiency and product quality control in the wood industry.

**[Key words]** wood image anomaly detection; unsupervised learning; deep feature reconstruction; multi-scale feature generation

木材是工业生产中广泛使用的基础材料，然而木材缺陷对产品质量和经济效益有着严重影响。因此，如何快速、准确地检测木材中的缺陷成为了工业生产中的重要问题。现有的方法主要依赖于人工检测和机器视觉手段，但由于木材缺陷的多样性和复杂性，这些方法往往存在效率低、识别效果不佳的问题。为此，本文提出了一种基于无监督学习的木材图像异常检测方法，旨在通过深度学习技术自动检测和定位木材中的缺陷，从而提高工业生产中的检测效率和产品质量。

## 1 研究背景

近年来，随着深度学习技术的快速发展，图像异常检测领域取得了显著进展。传统的异常检测方法，如基于统计学的异常检测、支持向量机 (SVM) 以及孤立森林 (Isolation Forest) 等，通常依赖于有标签的数据，这在实际应用中面临着标注成本高、数据不平衡等问题。因此，越来越多的研究开始关注无监督学习在异常检测中的应用。无监督学习不需要预先标注的数据，能够通过学习正常样本的特征分布来检测异常，在大规

模工业场景中具有广泛的应用前景。

在木材图像异常检测领域，由于木材缺陷的多样性和复杂性，基于传统机器视觉和人工检测的方法难以满足实际需求。这些方法在面对纹理复杂、形状多变的木材图像时，往往表现出较低的检测效率和准确性。因此，研究者们开始探索如何将深度学习技术，特别是无监督学习方法应用于木材图像异常检测。

目前，基于深度自编码器 (Autoencoder)、生成对抗网络 (GAN) 等模型的异常检测方法已经取得了一定成果。这些方法通过学习正常木材图像的低维特征表示，在重建过程中检测出异常区域。然而，现有方法仍然存在一定的局限性，如对异常的泛化能力不足、重建误差大不稳定等问题。

针对这些问题，研究者们提出了基于多尺度特征生成和深度特征重建的新型方法，通过引入预训练网络、记忆模块和融合模块，显著提升了模型的检测精度和鲁棒性。这些进展不仅提高了木材图像异常检测的效果，也为其他工业领域的异常检