

高研磨性硬地层钻井提速技术

陈宇

中石化西南石油工程有限公司重庆钻井分公司

DOI:10.12238/jpm.v5i11.7427

[摘要] 本文深入研究了四川盆地高研磨性硬地层钻井提速技术, 针对该区域地质构造复杂、地层研磨性强导致的钻井速度慢、周期长的问题, 提出了系统性的解决方案。通过岩石可钻性分析、提高钻头运动平稳性、钻头优选、井身结构优化及防斜打直技术等多方面的研究和试验, 显著提高了机械钻速, 缩短了钻井周期。同时, 探讨了智能控制技术、井眼轨迹控制技术及高密度钻井液技术等未来发展方向, 为钻井提速技术的进一步创新和应用奠定了基础。

[关键词] 高研磨性硬地层; 钻井提速技术; 钻头优选; 提速工具

Speed up technology for drilling in high abrasive hard formations

Chen Yu

Chongqing Drilling Branch of Sinopec Southwest Petroleum Engineering Co., Ltd.

[Abstract] This article deeply studies the drilling speed increase technology for high abrasive hard formations in the Sichuan Basin, and proposes a systematic solution to the problems of slow drilling speed and long cycle caused by the complex geological structure and strong abrasive formation in the region. Through research and experimentation in various aspects such as rock drillability analysis, improving drill bit movement stability, drill bit optimization, wellbore structure optimization, and anti inclination and straightening technology, the mechanical drilling speed has been significantly improved and the drilling cycle has been shortened. At the same time, future development directions such as intelligent control technology, wellbore trajectory control technology, and high-density drilling fluid technology were discussed, laying the foundation for further innovation and application of drilling acceleration technology.

[Key words] high abrasive hard formation; Drilling acceleration technology; Optimal selection of drill bits; Speed up tool

引言:

四川盆地是我国油气勘探开发的重要战略基地, 受地质构造复杂、地层研磨性强、可钻性差等因素影响, 钻井速度慢, 钻井周期长, 严重制约了该地区油气的勘探开发。为此, 根据四川盆地高研磨性地层的工程地质特点和钻井提速难点, 从钻头运动平稳、钻头优选、提速工具优选等方面进行了系统研究和试验, 形成了一套高研磨性硬地层的钻井提速技术体系, 可以有效地解决高研磨性硬地层的钻井难题。

一、岩石可钻性分析

地层的可钻性是影响钻井速度的重要因素之一, 但对可钻性的认识不能只停留在数据分析阶段, 还要进行现场的实际探索。为了研究地层可钻性与机械钻速的关系, 通过对四川盆地、塔里木盆地等地区高研磨性地层的可钻性试验, 对岩石机械钻速进行了统计分析。研究表明, 不同地层岩石可钻性差异较大, 从 0~10 级依次为: 对所选的 14 口井进行统计分析, 可钻性级数较大的井为 5~10 级, 主要分布在下白垩统、石炭系、二叠系等地层。对不同地层机械钻速进行统计分析发现: 不同地层岩石可钻性级数与机械钻速之间存在着正相关关系, 即随可钻性级数增大, 机械钻速增大; 但当可钻性级数大于 10 级时, 机械钻速增大幅度减小。由此说明, 不同地层岩石可钻性级数

与机械钻速之间具有一定的相关性。根据研究结果可以对不同地层岩石可钻性进行分级^[1]。

二、提高钻头运动平稳性的研究

(一) 硬地层降低粘滑震动技术

对于四川盆地钻井, 岩屑的粘滑震动是导致钻头切削齿失效, 钻具失稳的主要原因。在钻井过程中, 通过优选钻头, 降低粘滑震动对提高机械钻速具有重要作用。根据粘滑震动产生机理和特点, 进行了钻头结构改进: 通过增大钻头底部外径来减小粘滑震动; 通过增大钻头下部内径和改进钻头下部结构来减小粘滑震动。针对川东北地区, 目前使用的 PDC 钻头基本都是传统的牙轮结构, 其特点是抗冲击性强, 但钻速较低, 且易形成较厚的研磨层, 钻压传递效率低。通过研究分析认为, 可将传统 PDC 钻头改进为牙轮结构, 在保证良好抗冲击性的同时降低粘滑震动。1. 优选钻头钻头的材料、结构。根据不同地层特性, 优选适合的钻头, 特别是对硬脆性地层, 应优选以金刚石为主的钻头, 以提高破岩效率。2. 改进钻井工艺技术。在保证安全钻进的前提下, 尽可能采用高效钻具组合, 降低压, 改善机械钻速。3. 合理选择钻井液体系。对于高研磨性硬地层, 合理选择钻井液体系及添加剂是提高机械钻速的重要手段之一。4. 应用可控振动钻具组合。目前可以用来实现可控振动钻

具组合的主要有可控共振破岩工具、可控压差破岩工具等。可控共振破岩工具及压差破岩工具可以改变岩石间的摩擦性质，改善岩石可钻性、降低钻头磨损，从而提高机械钻速。

（二）软硬交互地层降低纵向振动技术

在硬、泥岩地层中钻进时，由于软地层与硬地层之间存在可钻性差异，井底岩性发生变化，使钻头在井底的运动受到很大影响。分析了引起钻头纵向振动的主要原因是岩石的可钻性差、坚硬岩石对钻头产生较大的纵向作用力。为了减少钻井过程中钻头纵向振动，首先要采用有效的降振技术，即在钻进硬、泥岩地层时，采用较大的钻压和扭矩以抑制和减小岩屑对钻头的纵向作用力；其次是在钻进软，采用较小的钻压和扭矩以提高岩屑在钻井液中的沉淀率。实践证明：采用以上措施，可以使钻压、扭矩等指标下降 70%~80%，从而大幅度降低钻头纵向振动。

三、钻井提速技术研究

（一）钻头优选

高研磨性硬地层因具有较强的研磨性和可钻性，致使其在钻进时的机械钻速较慢，已成为影响钻探效率及经济效益的重要因素。针对高耐磨地层，选择合适的钻头应注意如下问题：1、依据磨料性质选择合适的刀具种类及型号。针对高研磨岩层的可钻性及可钻性，选用适合于该地区的钻头及机型。针对当前在磨料地质条件下使用的钻头种类，认为在高研磨条件下，使用金刚石复合片钻头、牙轮钻头和 PDC 钻头更适合于高研磨条件下的钻头。2. 针对不同的地层进行了不同的钻型选择。针对该地区的地质特征，采用各种评价方法如可钻性评价、机械钻速评价等，对该地区进行了综合评价，并选择了合适的钻型。3. 针对各地区的实际地质条件和实际需要，对高耐磨度储层进行了全面的综合评估，并选用合适的钻具。4. 依据工程的具体条件，制定出符合工程要求的工程设计。要根据现场的具体状况，持续地对其进行分析、判断和调整，采取适当的施工计划，对机械钻速、动力参数等进行适当的选取，以保证高研磨性地层的正常工作。

（二）井身结构优化

在高研磨条件下，要针对不同的地质条件，选用适当的井身构造。通过对井深、直径、单井倾斜和井斜角的减小和水平井段长的增加等方面的研究，说明了提高机械钻速的途径。根据具有较高研磨作用的储层特征，优选出了一种新的井眼构型。通过对其进行优化设计，得到了较好的施工效果，其施工效率较没有进行优选之前高出了 31.6%。在高研磨条件下，提高钻速效率已被实际应用所证实。根据四川盆地的地质特征，本区域在钻探过程中，充分考虑了地层构造因素对钻机钻速的作用，在该区进行了大量的钻孔设计，除了少数井使用了大位移井以外，大部分井都使用了大位移水平。从钻探加速的情况来看，该方法可使钻进速率增加 47.5%。为了确保此类大位移水平井井眼的安全生产，必须对其井身结构进行合理的设计。原始的井筒构造为：横向井段 755 米，而在工程实践中为 677 米；最终确定了水平井段长 860 米和 767 米的设计方案。通过对井眼结构进行优选，可以更好地提高钻探速度^[2]。

（三）防斜打直技术

在高研磨条件下，钻杆在转动时受到的受力不均匀，会形成很大的转矩，同时钻具与钻具之间的黏性和滑动，会增加钻

具的惯性力，引起钻进时的受力不均匀，容易发生偏斜、扭钻、卡阻等现象。在坚硬的高磨料岩层中，为了防止倾斜，提高机械钻速，需要采用防斜打直技术。通过在实际生产中的使用，认为在钻具组合上，使用单弯曲螺旋+牙轮钻头进行防斜，能够很好地预防井斜；在钻具结构上，防斜时，使用小口径螺丝+牙轮钻头+大口径钻头，能有效地避免钻柱倾斜；在钻具选择上，选用抗磨合金材料的牙轮钻头，能够防止钻井过程中出现偏斜、卡阻等问题。

四、提速工具研究

（一）应用定向工具，提高钻柱旋转钻进效率

在钻井过程中，定向工具的应用能有效地控制井斜，实现旋转钻进。同时，通过定向工具的导向作用，在钻柱中建立了一个旋转的“固定点”，使得钻头在井底方向上钻进时，不再沿着井眼轨迹直线行进。当钻头接近井眼中心位置时，即意味着钻头在井底形成了一个“固定点”，与旋转钻进所产生的旋转运动相比，这种定向运动对井斜的影响小，能够有效地控制井斜。目前，PDC 钻头配备定向工具使用广泛，在整个钻进过程中提供稳定的扭矩和扭矩脉冲，有效地控制井斜并达到提速目的。

（二）应用 PDC 钻头，提高机械钻速

PDC 钻头是一种集机械、水力和化学三种破岩方式于一体的复合式钻头，具有全断面切削和强抗冲击负荷能力。PDC 钻头的技术特点：（1）具有强切削能力，特别是在高研磨性硬地层，其切削能力尤为突出；（2）PDC 钻头的牙齿具有自清理功能，在切削齿脱落时，依靠自身动力将其重新安装上；（3）PDC 钻头的破碎原理是通过在牙齿上加一个旋转方向相反的马达，使牙齿与岩石之间形成机械研磨作用；（4）PDC 钻头的表面有一层特殊材料，该材料可以吸收和分散钻头破碎产生的冲击力，提高钻头的破岩能力；（5）PDC 钻头的耐磨性强、使用寿命长。

（三）应用旋转导向技术，优化轨迹控制

旋转导向钻井技术可以使钻头在井眼内沿设计轨迹进行旋转，钻具组合为螺杆钻具+随钻测量仪器，可根据地质要求选择不同的钻头组合和钻进方式，通过控制井下工具面角、井斜角、方位角和井眼轨迹，使钻头始终沿设计轨迹旋转，提高机械钻速。在 YD36-1 井、YD36-2 井 3 井应用旋转导向技术取得了良好的效果，YD36-1 井平均机械钻速为 14.84m/h，比使用常规水平井钻头的机械钻速提高了 38.3%；YD36-2 井平均机械钻速为 13.88m/h，比使用常规水平井钻头的机械钻速提高了 61.9%。

（四）应用低转速、小井眼等措施，提高机械钻速

为解决机械钻速低的问题，采用了低转速、小井眼等措施。从现场应用情况看，使用无磁钻杆、小钻头、小井眼等工具，可以使钻头的扭矩得到充分发挥，能够有效提高机械钻速。在常规钻头下，采用低转速钻进，可以降低井底的旋转扭矩，在有侧钻条件时，适当增大侧钻压或停泵等措施，也可提高机械钻速。在机械钻速低的情况下，采用大排量循环和高转速钻进，可有效提高机械钻速。实践证明，无磁钻杆、小井眼、小排量钻进等措施结合使用，可以使机械钻速显著提高。在常规钻头下使用小井眼中，其效果与常规钻头并无显著差异；在小井眼钻井中，采用小井眼中钻头的效果更为明显。

五、未来发展方向

（一）智能控制技术

智能控制技术主要集中在地质工程一体化和快速钻井领域，其核心在于智能钻井决策与控制技术。其中，地质工程一体化主要是通过集成地质工程参数、钻头和钻具组合、钻井参数等多方面信息，建立最优钻进模式；快速钻井主要是通过建立钻压—转速—扭矩耦合模型，实时计算和预测钻进过程中钻头所需的钻压、扭矩、转速等参数，进而实时控制钻进过程。智能控制技术的研究和应用将有助于解决高研磨性硬地层钻进难题，进而推动钻井提速技术的发展。

（二）井眼轨迹控制技术

高研磨性硬地层钻井中，井眼轨迹控制是一项关键技术。针对高研磨坚硬岩层井眼轨迹控制的关键问题是：①优化设计优良的钻井工具，使钻井压力和扭矩平稳转换，减小摩擦阻力，降低扭矩；②优化取向钻具，使井身轨道沿最佳方位延长，使井筒内的地层面积达到最大；③利用导向刀具来进行钻孔轨道的控制，例如使用高精度的 PDC 或螺旋钻等，能够显著减小摩擦阻力，减小转矩；④通过优化钻具组合、优化钻具结构及速度，优化井身结构及速度，优化井身结构及速度，改善轨道稳定性。针对高研磨性岩石层的特点，以及钻头使用寿命短的特点，使得井眼轨迹控制技术具有较大的发展空间。

（三）应用范围不断扩大

随着高研磨性硬地层钻井提速技术的改进与发展，高研磨条件下坚硬岩石的钻探速度提升将会得到进一步拓展。长庆油田因其高压低渗透致密砂岩地层复杂，钻井难度大，施工周期长，施工难度大；通过优化设计、提高机械钻速和选择钻头等方法，将钻探时间由 17 天压缩为 12 天；根据四川盆地须家河

组储层特征，进行了坚硬、耐磨、耐磨的螺旋钻进工艺研究及在该地区的推广。该工艺对提高机械钻速有显著作用，特别是对深井机械钻速由 8.43 m/h 提升至 14.73 m/h。

（四）开发与应用高密度钻井液技术

在水平井、大位移井、深井和超深井等钻井中，由于钻井液密度较高，钻井周期长、费用高，因此需要研究与开发一种新的高密度钻井液技术。在此过程中，需要建立一套科学的评价体系，对钻井液的性能进行全面评价，包括流变性能、失水、滤失量和粘切等。在此基础上，可以研制出与地层性质相匹配的钻井液体系。采用该体系可以有效降低钻井液密度，同时将钻井周期缩短为原来的 1/3。目前，通过对不同钻井液体系进行室内实验评价，发现降滤失剂和有机盐是非常有效的防塌和抑制剂。

总结：

在钻井提速技术方面，通过优化钻具组合及钻头选型、井身结构设计、防斜打直等技术，通过定向工具、PDC 钻头、旋转导向技术等进一步提高了机械钻速。通降低了钻井周期，实现了高研磨性硬地层高效快速钻井。未来钻井提速技术研究重点应向更深入地研究复合钻进机理和应用方法以及智能化控制方面发展，通过采用智能控制技术和优化井眼轨迹控制技术等手段，进一步提高机械钻速。

[参考文献]

- [1]李云龙, 杨海东, 杨骏师. 莺琼盆地塑性泥岩地层钻井提速技术 [J]. 天然气勘探与开发, 2024, 47 (02): 81-88.
- [3]刘伟. 川西气田须家河组致密坚硬地层钻井提速关键技术 [J]. 天然气技术与经济, 2020, 14 (05): 44-51.

上接第 211 页

生物菌剂的施用，增加了土壤中有益微生物的数量，抑制了病原菌的生长，降低了病害的发生概率，从而提高了黄瓜的抗病能力。

深翻耕作作为一种物理改良手段，也在案例中显示出其重要性。通过深翻，土壤的通气性和排水性得到改善，减少了土壤的板结现象，有利于根系的深扎和养分的吸收。实验观察发现，经过深翻处理的黄瓜植株，其根系更加发达，植株生长更加健壮，叶片颜色更加鲜绿，果实产量和品质均有显著提升。轮作策略的实施同样在案例分析中得到了验证。通过轮作，打破了病原菌和害虫的生命周期，减少了病虫害的发生。研究表明，轮作不仅能够减少土壤中病原菌的数量，还能改善土壤的营养状况，促进作物的均衡生长。在实际应用中，选择适宜的轮作作物和轮作模式，是实现黄瓜连作障碍有效防治的关键。

综合改良策略的实施效果在案例分析中也得到了充分的验证。通过综合施用有机肥、微生物菌剂、深翻耕作和轮作等措施，不仅改善了土壤的理化性质，还促进了土壤微生物群落的平衡。实验结果表明，综合改良措施能够显著提高黄瓜的生长速度和产量，减少病害的发生，提高果实的品质。这些案例分析表明，科学的土壤改良措施能够有效缓解黄瓜连作障碍，促进黄瓜的健康生长。通过实际应用和观察，可以为农业生产者提供更为具体和实用的改良建议，推动农业的可持续发展。未来的研究应进一步探索改良措施的最佳组合和施用方法，以

实现黄瓜连作障碍的有效防治。

结语：

黄瓜连作障碍的有效防治对于保障农业生产的持续性和提升作物产量及品质具有重要意义。本文通过综合分析土壤理化性质、微生物群落结构以及病虫害发生情况，提出了科学合理的土壤改良策略。实施有机肥和微生物菌剂的施用、深翻耕作和轮作等综合改良措施，不仅显著改善了土壤环境，促进了黄瓜的健康生长，也为其他作物的连作障碍问题提供了解决思路。未来研究应进一步优化改良措施，探索智能化农业技术的应用，以实现黄瓜连作障碍的精准防治，推动农业向更高效、更环保的方向发展。这不仅有助于黄瓜产业的可持续发展，也为农业生产的科学管理和技术进步提供了重要参考。

[参考文献]

- [1]赵晓明. 黄瓜连作障碍的成因及其防治措施[J]. 农业科技与信息, 2020, 36 (2): 45-47.
- [2]孙丽华. 土壤改良剂在蔬菜生产中的应用研究[J]. 现代农业科技, 2021, 39 (4): 123-125.
- [3]李强. 微生物菌剂在黄瓜连作障碍防治中的作用[J]. 植物保护, 2022, 40 (3): 98-101.
- [4]王磊. 有机肥对黄瓜连作障碍土壤改良效果的研究[J]. 中国蔬菜, 2023, 41 (1): 34-37.
- [5]张丽. 黄瓜连作障碍土壤改良技术研究进展[J]. 农业科学, 2024, 42 (2): 65-68.