

提高石油钻探速度的工艺技术

田 勇

河北省煤田地质局第二地质队（河北省干热岩研究中心） 河北 邢台 054000

摘 要：本文概述了当前钻探技术的智能化、高效化、深地化发展趋势，并重点介绍了钻具优化技术，包括新型钻头设计、钻杆与钻铤的优化、钻具组合的优化以及钻具的智能化与自动化。同时，探讨了钻井液改进技术，如高性能钻井液的研发、实时调整与优化、环保型钻井液的应用以及钻井液的循环与净化技术。这些技术共同推动了钻探效率的提升。

关键词：石油钻探；钻探速度；钻具优化；自动化钻进

引言

随着科技的进步，钻探技术正不断朝着更高效、更智能、更深地的方向发展。钻具作为钻探过程的核心部件，其性能的优化直接关系到钻探效率 and 安全性。同时，钻井液作为钻探过程中的重要介质，其性能对钻探过程的顺利进行也起着至关重要的作用。本文将重点探讨钻具优化技术和钻井液改进技术，以期为推动钻探技术的发展提供参考。

1 当前钻探技术概述

当前钻探技术正朝着智能化、高效化、深地化的方向快速发展。钻探技术作为获取地球内部信息、揭示地球深部奥秘的重要手段，在矿产资源勘探、地质科学研究等领域发挥着不可替代的作用。随着科技的不断进步，钻探技术已经取得了显著进展。例如，我国在深地钻探领域已经成功研制出“地壳一号”万米钻机等先进装备，实现了亚洲国家大陆科学钻井新纪录。此外，智能化技术的应用也使得钻探过程更加精准、高效和安全，如远程监控、自动化控制和数据分析等功能的实现，大大提高了钻探作业的智能化水平。随着全球对可再生能源需求的日益增长，地热井钻探技术也成为了一个热点领域，其发展水平直接关系到地热资源的有效利用^[1]。

2 钻具优化技术

2.1 新型钻头设计

近年来，随着材料科学和工程技术的飞速发展，新型钻头的设计取得了显著突破。以聚晶金刚石复合片（PDC）钻头为例，这种钻头通过将聚晶金刚石层与硬质合金基体结合，实现了高硬度、高耐磨性和良好的热稳定性，极大地提高了在硬地层中的钻进效率。在PDC钻头的基础上，研究人员进一步探索了切削齿的优化设计。通过改变切削齿的形状、大小和排列方式，可以显著影响钻头的破岩效果。例如，针对高研磨性地层，采

用锥形齿设计可以增加切削齿的吃入深度，提高破岩效率；而在软地层中，则可以采用更锋利的切削齿，以减少能量损失和钻头磨损。此外切削齿的材料也在不断创新，如高温高压微米聚晶金刚石合成技术，使得切削齿的硬度和耐磨性进一步提升。除了PDC钻头，其他新型钻头也在不断涌现。如自激轴冲与诱导卸荷耦合破岩钻头，这种钻头通过自激轴冲作用产生高频振动，同时利用诱导卸荷技术降低井底岩石应力，实现了深部地层的快速钻进。还有利用磨料射流辅助破岩的钻头，通过高压水流携带磨料颗粒冲击岩石表面，提高了破岩效率和钻头寿命。

2.2 钻杆与钻铤的优化

钻杆和钻铤作为连接钻头和地面设备的纽带，其性能对钻探过程的稳定性和安全性至关重要。在材料方面，高强度合金钢和复合材料的应用显著提高了钻杆和钻铤的强度和韧性。例如，采用高强度合金钢制成的钻杆，不仅具有更高的承载能力，还能在高温高压环境下保持稳定的性能。而复合材料钻杆则结合了金属和非金属材料的优点，既具有高强度和轻量化的特点，又具有良好的耐腐蚀性和耐磨性。在结构方面，钻杆和钻铤的设计也更加注重细节。通过优化截面形状、壁厚和连接方式等参数，可以显著减少应力集中现象，提高钻具的疲劳寿命。例如，采用抛物线型台肩过渡的钻杆接头，可以有效降低应力集中系数，减少疲劳裂纹的产生。在工艺方面，热处理和表面强化处理技术的应用也显著提高了钻杆和钻铤的性能。通过合理的热处理工艺，可以消除材料内部的残余应力，提高钻具的韧性和耐磨性。而表面强化处理则可以在钻具表面形成一层硬度更高的保护层，进一步提高钻具的耐磨性和抗腐蚀性能^[2]。

2.3 钻具组合的优化

钻具组合的优化是通过合理搭配不同类型的钻具，

可以充分发挥各自的优势,提高钻探效率和井身质量。在定向钻井和水平钻井等复杂地质条件下,钻具组合的优化尤为重要。例如,在定向钻井中,采用螺杆钻具与PDC钻头的复合钻井技术,可以实现精确的轨迹控制和高效的破岩钻进。螺杆钻具通过旋转产生扭矩,驱动钻头进行破岩作业;而PDC钻头则利用其高硬度和高耐磨性,实现快速钻进。此外,通过优化螺杆钻具的弯角和稳定器的位置,还可以进一步提高轨迹控制的精度和稳定性。在深部地层的钻探中,钻具组合的优化也面临着更大的挑战。由于深部地层岩石硬度大、研磨性强、地应力高,传统的钻具组合往往难以满足钻探需求。因而,研究人员不断探索新的钻具组合方案,如采用多级钻具组合、增加减震器等措施,以提高钻探效率和安全性。

2.4 钻具的智能化与自动化

智能化钻具通过集成传感器、控制器和通信模块等智能元件,实现对钻探过程的实时监测和远程控制。智能钻头通过内置传感器可实时监测切削齿的磨损情况和井底岩石的硬度等参数,并根据这些信息自动调整钻进参数和轨迹控制策略。同时,智能钻头还可通过无线通信模块与地面设备进行实时数据传输和交互,实现远程监控和控制。在钻杆和钻铤方面,智能化技术也取得显著成果。智能钻杆通过内置传感器可实时监测其受力状态和变形情况,及时发现并预警潜在的安全隐患。智能钻杆还可根据实时监测数据自动调整钻进参数和轨迹控制策略,以提高钻探效率和安全性。2025年1月17日,金融界报道中海油田服务股份有限公司申请了一项名为“一种智能化自控降摩减阻提速复合螺杆钻具”的专利。该复合螺杆钻具由正向直螺杆钻具、智能化自控降摩减阻提速系统、工具面角度测量系统、MWD随钻测量短接及正向单弯螺杆钻具组成,通过智能化控制手段,实现钻具的降摩减阻和提速,极大提升了油田的开采效率。

自动化钻井系统的应用也极大提高了钻探过程的效率和稳定性。自动化钻井系统通过集成传感器、控制器和执行器等元件,实现对钻探过程的全面自动化控制。在自动化钻井系统中,可通过预设的钻进程序和参数,实现无人值守钻井或远程操控钻井等操作模式。这种操作模式不仅降低了劳动强度和安全风险,还提高了钻井作业的精度和效率。例如,国能准能集团有限责任公司与徐州徐工矿业机械有限公司联合研发的智能牙轮钻机,自2023年2月起在中国神华能源股份有限公司哈尔乌素露天煤矿开展钻孔作业应用,截至目前已累计作业673小时,钻孔数为1260个,进米数为25470米。应用前,采用传统人工方式进行单孔18m的钻孔作业,作业效率为

16-18分钟/孔。应用后,可实现一键调平、一键开孔、自动钻进等功能,单孔18m的钻孔作业为15分钟/孔,钻孔效率提升6.25%-16.67%,同时有效降低了钻机司机的劳动强度,并使其远离恶劣和危险作业环境,具体数据对比见表1。

表1 传统人工钻孔与智能牙轮钻机钻孔数据对比

对比项目	传统人工钻孔	智能牙轮钻机钻孔
单孔 18m 作业时间	16 - 18 分钟 / 孔	15 分钟 / 孔
累计作业时长	-	673 小时
钻孔数量	-	1260 个
进米数	-	25470 米

3 钻井液改进技术

3.1 高性能钻井液的研发

随着钻探技术的飞速发展,对钻井液的性能要求也日益严苛,高性能钻井液的研发已成为钻探领域的研究热点。近年来,科研人员在这一领域取得了显著成果,主要集中在提升钻井液的多个关键性能上。在抑制性方面,通过引入创新的抑制剂如聚胺化合物、铝酸盐络合物等,钻井液对黏土水化膨胀的抑制效果得到了显著提升。这些抑制剂能有效减少井壁失稳和坍塌的风险,为钻井作业提供了更稳定的井眼环境。润滑性的提升也是高性能钻井液研发的重要方向。通过添加脂肪酸盐、聚合物润滑剂等高效润滑添加剂,钻井液的润滑性能得到了显著增强。这不仅降低了钻头与井壁之间的摩擦阻力,提高了钻井效率,还有效延长了钻头的使用寿命。同时,为了提高钻井液的携岩能力,科研人员通过优化钻井液的流变性能,使其能够更好地悬浮和携带岩屑,从而防止井眼堵塞和钻井事故的发生。此外,针对高温高压等极端钻探条件,研发人员还开发了抗高温、抗污染的高性能钻井液处理剂,确保了钻井液在恶劣环境下的稳定性。这些研发成果为钻探技术的进一步发展提供了有力支撑^[3]。

3.2 钻井液的实时调整与优化

在钻探过程中,钻井液的性能受到多种因素的影响,如地层压力、地层温度、钻井液成分等。为了确保钻井液的性能始终满足钻探需求,研究人员通过引入先进的传感器和在线监测设备,对钻井液的性能参数进行实时监测。例如,通过测量钻井液的密度、黏度、pH值等参数,可以及时了解钻井液的性能状态,并根据监测结果进行相应的调整。除了实时监测外,钻井液的实时调整与优化还需要借助先进的算法和模型。研究人员通过建立钻井液性能与钻探条件之间的数学模型,可以预测钻井液在不同条件下的性能表现,并根据预测结果

进行相应的优化调整。例如,在钻探过程中遇到高温高压地层时,可以通过调整钻井液的配方和处理剂用量,以提高钻井液的抗高温性能和稳定性。此外,随着智能化技术的不断发展,钻井液的实时调整与优化也实现了自动化和智能化。通过引入智能控制系统和机器学习算法,钻井液的性能可以实现自动监测、自动调整和优化,从而进一步提高钻探效率和安全性。

3.3 环保型钻井液的应用

在环保型钻井液的研发方面,研究人员通过引入可生物降解的材料和环保型添加剂,显著降低了钻井液对环境的污染。例如,采用植物油基钻井液、淀粉基钻井液等生物基钻井液,可以减少对石油资源的依赖,并降低钻井液对环境的污染。这些生物基钻井液还具有良好的抑制性、润滑性和携岩能力,能够满足钻探工程的需求。此外,研究人员还开发了多种环保型钻井液处理剂,如抗高温聚合物、抗盐聚合物等,这些处理剂不仅能够提高钻井液的性能,还能减少对环境的污染和破坏。例如,采用可生物降解的抗高温聚合物作为钻井液处理剂,可以在高温高压条件下保持钻井液的稳定性,并减少对环境的污染。在实际应用中,环保型钻井液已经取得了显著成效。通过采用环保型钻井液进行钻探作业,不仅减少了对环境的污染和破坏,还降低了钻井液的处理成本和运输成本。同时环保型钻井液的应用还得到了社会各界的广泛认可和支持,推动了钻探技术向更加环保、可持续发展的方向发展。

3.4 钻井液的循环与净化技术

在钻井液的循环方面,研究人员通过优化钻井液的循环路径和流量控制,确保了钻井液在井眼内的均匀分

布和有效循环。例如,在钻探过程中,通过调整钻井液的循环速度和压力,可以实现钻井液的均匀循环和有效携岩。同时,通过采用高效的振动筛、离心机等设备,可以进一步提高钻井液的循环效率和净化效果。在钻井液的净化方面,研究人员通过引入先进的固相控制技术,有效去除了钻井液中的有害固相颗粒,提高了钻井液的清洁度和稳定性。例如,通过采用化学絮凝、物理分离等方法,可以将钻井液中的有害固相颗粒有效去除,防止其对钻井液性能和钻探过程造成不良影响。此外,随着智能化技术的不断发展,钻井液的循环与净化技术也实现了自动化和智能化。通过引入智能控制系统和机器学习算法,可以实现对钻井液循环与净化过程的实时监测和自动调整,从而进一步提高钻探效率和安全性。

结语

通过本文的深入探讨,我们深刻认识到钻具优化技术与钻井液改进技术对于提升钻探效率的重要性。新型钻具的设计与智能化组合,为钻探作业带来了革命性的变化;而高性能、环保钻井液的研发与应用,则进一步保障了钻探过程的稳定性和可持续性。这些技术的进步,共同推动着钻探技术向更高效、更环保的方向发展。

参考文献

- [1]郝绵甲.提高石油钻探速度的工艺技术措施[J].建筑工程技术与设计,2020(8):4927.
- [2]袁双平,高三峰.提高石油钻探速度的工艺技术措施[J].化工设计通讯,2019,45(4):258.
- [3]郝绵甲.提高石油钻探速度的工艺技术措施[J].建筑工程技术与设计,2020(8):4927.