油井防蜡清蜡技术研究现状

周鹏高*[1],李亚双[2]
(1.克拉玛依职业技术学院,新疆 克拉玛依 834000;2.中国石油新疆油田公司采油一厂,新疆 克拉玛依 834000)

摘　要:在油田长期开采过程中,油井清蜡成为了确保油井正常生产的重要工作。随着开采条件越发严峻,清蜡技术的研究在油田生产中显得尤为重要。全面调研国内外油井清蜡技术之基础上,重点探讨了常规物理方法、电磁与超声波法、化学法、生物法等多种清蜡技术优势与局限性,指出了清蜡技术发展中的关键问题及未来的研究方向。

关键词:防蜡清蜡;物理法;化学法;生物法
中图分类号:TE358　**文献标识码:**B　**文章编号:**1004-5716(2024)09-0091-04

油井防蜡清蜡是石油勘探开发中的一个重要环节。油井生产过程中,原油从地层进入管道系统后,温度和压力的变化会引起蜡组分凝结形成固体蜡层,随着时间推移堆积越来越多,管道内部阻力逐渐增大进而影响传输效率,增加能源消耗,甚至会引起管道堵塞[1-2]。蜡沉积也会导致管道设备的腐蚀和破坏,进一步加剧油井老化。科学应用防蜡清蜡技术,可以保持油井设备和管道通畅,延长油井使用寿命,降低生产成本。因此,加强对油井防蜡清蜡技术的研究和应用具有重要的现实意义。本文对油井防蜡清蜡技术的现状进行了综述和总结,并提出了研究建议。

1　物理防蜡清蜡技术现状

1.1　常规物理防蜡清蜡技术

常规物理防蜡清蜡技术是油井防蜡和清除蜡堵的一种重要方法,包括热解法和机械方法。热解法是一种应用热能提高油管温度,增加油流速度,从而避免油管壁上结蜡或将已结蜡熔解的技术。其中,常用的热解剂包括蒸汽、热水和热油等。热解法防蜡清蜡主要优点在于[3-5]:可快速提高油管温度,清蜡速度快,减少了油井停产时间,提高油井运作的经济效益;不须压制油井产能,保障油井能持续生产;不涉及化学药剂,避免了可能对油层造成的污染;热载体循环、电加热等多种方式适应不同的油井条件和需求。热解法操作简单、效果明显,但也存在能耗较高、对设备要求高、存在作业安全和环境风险、清蜡效果可能难以持久等问题[3-5]。

机械清蜡是一种使用机械工具和设备来清除油井管道中蜡沉积的技术。与化学方法或热力学方法相比,机械清蜡主要优点在于[6-7]:能够直接作用于蜡堵塞区域,通过机械力量将蜡从管道表面或管腔中清除,清洁效果更加彻底,避免了蜡在管道中重新沉积;可以长期维持清洁状态,不像某些化学方法需要定期添加化学品来维持效果;相比于热力学方法,机械清蜡不需要大量的能源用于加热管道,从而节约能源并降低环境影响;适用于各种类型和规格的油井管道,可以根据具体情况选择合适的机械工具进行清蜡作业;操作人员可以根据需要对机械清蜡过程进行监控和调节,确保清蜡作业的效果和安全;清蜡过程相对稳定可靠,降低了因使用化学品而可能引起的安全风险。机械清蜡虽然是一种有效的清洁方法,但也存在一些缺点[6-7],包括较高的成本、时间消耗、潜在的管道损坏风险、人力依赖性、无法完全预防蜡沉积等。

1.2　电磁与超声波防蜡清蜡技术

电磁技术是通过电磁场的作用来实现油井防蜡清蜡,其原理是利用电磁波在纳米级尺度上与油井内的蜡颗粒发生相互作用,将其分散或破坏,从而实现对沉积的蜡阻垢清除[8-11]。电磁技术通过连续可调节宽频电磁场,在碳钢井管内形成的磁场能,不会干扰抽油机工作,并可同步、长期稳定地运行,其自动化设计免除

* **收稿日期:**2024-06-03
基金项目:克拉玛依市创新环境建设计划项目(编号:2024hjcxrc0020)。
第一作者简介:周鹏高(1981-),男(汉族),湖北天门人,副教授,现从事石油工程方面的教学与科研工作。

了对装置的日常维护,节省了大量人力物力。

超声波技术是利用超声波在液相中的传播特性来实现对油井蜡阻垢的清除,其原理是通过超声波振动发生的微旋涡和破碎效应来实现对蜡阻垢的破坏,并通过超声波的剪切力促进蜡颗粒与溶剂之间的分散和混合,从而提高清蜡效果[12-14]。超声波清蜡法具有非接触、高效、无污染等优点,清洁高效、操作简便,在油井防蜡清蜡中得到了广泛的应用。

电磁与超声波技术作为油井防蜡清蜡的重要手段,在清蜡效果、操作简便度和环保性等方面具有明显的优势,近年来在油井防蜡清蜡中取得了显著进展。通过优化电磁波频率、振动频率和功率等参数,以及调整超声波频率和强度等指标,提高清蜡效果。同时,结合其他技术手段如化学药剂的协同作用,进一步增强了清蜡效果。电磁与超声波技术在油井防蜡清蜡中仍存在一些问题和挑战[8-14]。例如,技术设备的成本较高,操作人员对设备的使用要求较高等。对于不同类型的蜡阻垢,电磁与超声波技术的适用性和效果还需要进一步研究和验证。

2 化学防蜡清蜡技术

化学防蜡清蜡技术的创新在解决油井防蜡清蜡难题方面发挥了重要作用。通过深入研究蜡形成机理和特性,设计合成高效防腊清蜡剂,取得了显著成果。化学防蜡清蜡主要采用抑制剂与分散剂,以及化学溶蜡与熔蜡方法。

2.1 抑制剂与分散剂的应用

抑制剂是一种能改变系统平衡状态的物质。通过添加合适的抑制剂到油井生产系统中,可以抑制蜡晶体的形成和沉淀,从而有效防止管道堵塞。目前,常用的抑制剂主要有聚合物抑制剂和表面活性剂等。

聚合物抑制剂是最常用的抑制剂之一,其具有高溶解度和低粘度的特点[15]。聚合物抑制剂能够与蜡形成络合物,改变蜡的晶体结构,提高蜡的溶解度。此外,聚合物抑制剂还能够通过分散蜡颗粒,防止其堵塞管道。聚合物抑制剂以其高效、低成本等特点得到广泛应用。表面活性剂也是一种常用的抑制剂,其具有良好的乳化和分散性能[16]。通过添加表面活性剂到油井系统中,可以使蜡颗粒变得更小且更均匀分散,从而减小了蜡的堵塞风险。表面活性剂还能在油水界面上形成一层薄膜,防止蜡颗粒沉积在管道壁面上。

除了抑制剂,分散剂也是防蜡清蜡技术中不可或缺的一部分。分散剂是一种能够将蜡颗粒均匀分散在油中的物质。分散剂通过改变蜡颗粒的表面性质,使其变为亲水性,从而使蜡颗粒更容易被悬浮在油中。常见的分散剂有有机酸、有机碱和界面活性剂等。

抑制剂和分散剂在油井防蜡清蜡技术中起着重要的作用。它们能够有效地防止蜡的析出和堵塞,提高油井生产效率。然而,目前的研究还存在一些问题,例如针对具体油井如何选用最佳的抑制剂和分散剂及其用量等,仍需要进一步的研究。

2.2 化学溶蜡方法

化学溶蜡方法是油井防蜡清蜡技术中的重要手段之一。通过采用化学物质的加热或添加,可以有效地溶解或熔化油井中的蜡沉积物,从而实现对油井产液通道的恢复和清除。

溶蜡剂是一类可以与蜡沉积物发生化学反应,并将其溶解的化学物质[17-19]。常见的溶蜡剂包括酸类、碱类和有机溶剂等。酸类溶蜡剂例如盐酸和硫酸,可以通过与蜡沉积物中的烃类发生酸化反应,使蜡变得可溶于水。碱类溶蜡剂例如氢氧化钠和氢氧化钾,可以与蜡沉积物中的酸类物质发生中和反应,进而溶解蜡。有机溶剂例如甲苯和乙酸乙酯,具有良好的溶解性,可以直接与蜡沉积物相互作用,实现蜡的溶化。化学溶蜡方法的优点是作用迅速、效果显著,能够迅速分解和溶解蜡沉积物,实现对产液通道的清除。然而,化学溶蜡方法也存在一些局限性[17-19]。首先,对于一些结晶型蜡,化学溶蜡方法的效果较差。其次,化学溶蜡方法会产生一些副反应产物,可能对油井设备和环境产生不良影响。

3 生物防蜡清蜡技术现状

传统的化学方法对于清除蜡垢具有一定的效果,然而,这些方法往往伴随着环境污染和设备损坏等问题。近年来,生物防蜡清蜡技术得到了广泛的关注和研究,主要包括微生物降解和生物酶解技术。

3.1 微生物降解技术

微生物降解技术是一种有效的油井防蜡清蜡技术,已得到广泛研究和应用[20-22]。该技术利用特定的微生物菌株,通过其生物酶的作用,将油井中的蜡分解成无毒、易溶于石油的化合物,从而达到清除蜡沉积的目的。目前已有多种微生物菌株被开发用于油井清蜡,如聚蜡菌、水杨酸杆菌等。这些菌株不仅能够降解蜡沉积,还能通过分泌胞外多糖等物质与油井管壁形成生物膜,从而有效减少蜡的再沉积。此外,还有一些新型的微生物降解技术被提出,如利用遗传工程手段改

良菌株的降解能力，或结合其他清蜡技术共同作用等。微生物降解技术的主要优点在于：能够高效清除油井中的蜡，在短时间内恢复油井的产能；具有环保性，能够避免传统清蜡技术中产生的二次污染问题；可应用于高温、高压等恶劣条件下的油井清蜡作业。

尽管微生物降解技术具有很多优点，但也存在一些挑战和局限性[20-22]。首先，菌株的选取和培养需谨慎，需要考虑其适应性、降解能力以及对环境的影响等因素。其次，微生物降解技术的应用还需要进一步完善，包括菌株筛选、培养条件优化以及降解产物的处理等环节。此外，清蜡效果的持续性和经济性也是需要考虑的因素。

3.2 生物酶解技术

生物酶解技术作为一种环境友好、高效可行的清蜡技术，近年来逐渐应用于油井防蜡领域[23-25]。该技术利用生物酶的特性，可以有效分解油蜡结构，降低沉淀物的粘附性，从而达到清除油井中蜡的目的。其主要作用机理是通过酶的催化作用，使蜡分子结构发生改变，从而使其更容易溶解和分散于油井环境中。酶能够与蜡分子特定的官能团相互作用，使其空间排列变得松散，增加溶解度，解决了传统清蜡方法效果不佳的问题。

目前，常用的生物酶解技术包括微生物发酵法和纯化酶法。微生物发酵法利用特定的微生物菌株进行发酵，产生酶来降解蜡状物质。这种方法具有操作简单、成本低廉等优势，但需要选用合适的微生物菌株，且发酵过程需要一定的时间。纯化酶法则是直接提取纯化的酶来进行蜡解，操作相对复杂，但速度较快。在应用过程中，生物酶解技术还需要考虑一些因素的影响，如温度、pH值、酶浓度和反应时间等。这些因素直接影响酶的活性和稳定性，进而影响清蜡效果。因此，在实际应用中，需要针对具体情况进行调控和优化。生物酶解技术作为一种环境友好、高效可行的清蜡技术，具有较大发展潜力。然而，在实际应用过程中仍然存在一些问题需要解决，如酶的稳定性和活性的提高，大规模生产的经济性等，未来还需要进一步的研究和优化[23-25]。

4 结论

（1）油田清防蜡技术经过多年发展已取得长足进步，形成了机械清蜡、热力清蜡、化学清蜡等多种类型的清防蜡技术，在延长油井使用周期、提高原油采收率等方面发挥着重要作用。目前的清防蜡技术日趋成熟，但仍面临一些亟待解决的问题和挑战。单一清蜡方法往往难以满足多样化的清蜡需求，仍需开发更加高效、经济、环保的清防蜡新技术新工艺。

（2）不同油藏结蜡特性差异大，清蜡剂污染、出砂加剧结蜡等问题亟待解决。未来应加强油藏结蜡机理研究，并加强清防蜡与防砂治理的协同，开发智能清蜡装备，优化组合清防蜡工艺，实现清防蜡工艺的优化组合与规模化应用。

参考文献：

[1] 李颖川.采油工程[M].2版.石油工业出版社,2009:319-323.
[2] 宋佳恒,徐颖,刘晓燕,等.油井结蜡与清防蜡技术研究进展[J].当代化工,2022,51(8):1960-1964.
[3] 丁振武,李艳辉,李海香,等.油井自能热洗清蜡技术研究与应用[J].新疆石油天然气,2011,7(2):66-69.
[4] 任维娜,张庆华,魏裕森,等.海上稠油油田电加热改善原油流动性技术研究[J].长江大学学报:自然科学版,2019,16(3):37-42.
[5] 王树涛,张风义,张占女,等.油井结蜡影响因素及电加热管柱下入深度优化[J].当代化工,2021,50(1):196-199.
[6] 李帆.机械清蜡工艺技术改进及现场应用[J].石化技术,2021,28(4):187-188.
[7] 邓荣.新型步进式刮蜡器的设计研究[D].中国石油大学(华东),2014.
[8] 都芳兰,刘鑫,冀海南,等.井口电磁防蜡技术在冀东油田现场应用[J].石油化工腐蚀与防护,2011,28(5):31-34.
[9] 马德洲. 电磁油井防蜡技术的探索与实践[J].化学工程与装备,2016(4):149-150.
[10] 高宝元,郑维师,范辉.油井电磁防蜡在线装置研究应用[J].石油化工自动化,2023,59(4):78-80,97.
[11] 刘艳.强磁防蜡器在油田中的应用[J].化学工程与装备,2021(6):102-104.
[12] HAMIDI H. The Ultrasonic Waves Effects on Oil-water Emulsification,Coalescence, Detachment, Mobilization and Viscosity in Porous Media[D]. UniversitiTeknologi Malaysia, 2014.
[13] RAZAVIFAR M, QAJAR J. Experimental Investigation of the Ultrasonic Wave Effects on the Viscosity and Thermal Behaviour of an Asphaltenic Crude Oil[J]. Chemical Engineering and Processing-Process Intensification,2020,153: 107964.
[14] 李昂,杨万有,郑春峰,等.可投捞式声波防蜡工艺技术研究[J].石油机械,2018,46(12):78-82.
[15] 张智丹,张伟民,张文博,等.固体防蜡剂的研究进展[J].辽宁化工,2023,52(6):863-866,873.
[16] 高松.FMES/OP-8二元体系在防蜡剂配方中的应用[J].石油石化节能,2023,13(3):6-9.

（下转第97页）