

稠油热采方法研究进展及应用效果评价

叶志权

中国石化河南油田分公司勘探开发研究院 河南 南阳 473000

摘要: 随着全球能源需求的不断增长,传统原油资源逐渐难以满足需求,稠油作为一种储量丰富的潜在能源受到了广泛关注。然而,稠油因其高粘度、高密度等特殊性质,开采难度极大。热采方法成为提高稠油采收率的关键手段。深入研究稠油热采方法的进展及其应用效果,有助于优化开采工艺,提高能源利用效率,对保障能源供应和推动石油工业发展具有重要意义。

关键词: 稠油热采; 应用; 效果评价

引言

在当今能源格局下,稠油资源的开发利用日益受到重视。稠油的开采是石油工业面临的一个巨大挑战,其复杂的物理化学特性使得常规开采方法收效甚微。热采方法应运而生,并且在多年的发展历程中不断演进。对稠油热采方法的研究进展进行梳理,并客观评价其应用效果,能够为后续的技术创新、成本控制以及环境保护等多方面提供理论依据和实践参考,是实现稠油高效开采的必要举措。

1 稠油的特性

稠油具有一系列独特的特性,在物理性质方面,稠油的粘度极高,这是其最为显著的特征之一。其粘度通常比普通原油高出几个数量级,导致流动性极差,在油藏中难以依靠常规的压力驱动进行有效开采。稠油的密度较大,一般接近甚至超过水的密度,使得在开采过程中与其他流体的相互作用更为复杂。从化学组成来看,稠油中沥青质和胶质的含量很高。沥青质是一种大分子、高芳香性的物质,具有复杂的结构,容易形成聚集体,增加了稠油的粘度和稳定性。胶质也具有较大的分子量,在稠油中起到一种“胶黏”的作用,使稠油分子之间的相互作用增强。此外,稠油中的轻质组分含量相对较少,这也是其粘度高的一个原因。在油藏特性方面,稠油往往分布在较深的地层或者特殊的油藏类型中,如油砂矿等,并且油藏的渗透率相对较低,进一步加大了开采的难度。

2 开采难点

稠油开采面临着诸多难点,由于稠油的高粘度,其流动性极差。在油藏中,常规的地层压力差难以驱动稠

油流向生产井,这使得依靠自然能量开采几乎无法实现有效采油。即使在人工干预的情况下,如注水开发,也因为稠油与水之间的流度比差异巨大,导致驱替效率极低,大部分稠油仍会残留在油藏孔隙中。稠油的密度大,在开采过程中容易与其他流体形成复杂的相态分布。例如在多相流开采时,稠油与水、气的混合流动特性难以准确把握,这给开采工艺的设计和优化带来了极大挑战。稠油富含沥青质和胶质,在开采过程中,温度、压力等条件的变化容易导致沥青质析出、沉积。这些沉积物会堵塞油藏孔隙、井筒和地面设备,降低油井产能,增加设备维护成本和开采风险。另外,稠油油藏的渗透率往往较低,这限制了流体在油藏中的渗流能力,进一步阻碍了稠油的开采。而且,稠油开采通常需要消耗大量的能源来提升其流动性,这在增加开采成本的同时,也面临着能源供应和环境保护方面的压力。

3 稠油热采方法的应用

3.1 蒸汽吞吐的应用

蒸汽吞吐是一种广泛应用于稠油开采的热采方法,其应用过程主要包括注汽、焖井和采油三个阶段。在注汽阶段,通过向油层注入高温高压的蒸汽。高温蒸汽能够将热量传递给稠油,使稠油的温度升高,从而降低其粘度。例如在一些浅层稠油油藏中,注入的蒸汽温度可达到300-350°C,蒸汽压力根据油藏深度而定。这一过程中,蒸汽会在油层中形成一个加热带,加热半径取决于注汽量、注汽速度等参数。焖井阶段是蒸汽吞吐的关键环节,焖井时间的长短需要根据油藏特性和注汽情况进行优化。在焖井期间,热量在油层中持续扩散,使更多的稠油得到加热,进一步降低粘度并增加其流动性。一般来说,焖井时间可能从几天到数周不等。采油阶段,随着油井开井生产,由于稠油粘度降低,在油藏压力和重力作用下,稠油能够流向井底并被采出。在实际应用

作者简介: 叶志权(1971年10月),男,汉族,安徽,本科,籍贯:安徽省六安市,中级职称,研究方向:稠油油藏开发

中,蒸汽吞吐能够在短期内显著提高油井的产量。例如某油田应用蒸汽吞吐后,初期日产油量从原来的几立方米提高到几十立方米。而且,蒸汽吞吐技术相对简单,对油藏的适应性较强,不需要复杂的井网系统,尤其适用于油层较厚、渗透率相对较高的稠油油藏。

3.2 蒸汽驱的应用

蒸汽驱是提高稠油采收率的重要热采方法之一,从井网布置来看,蒸汽驱通常采用规则的井网形式,如五点法、七点法等。注汽井连续向油层注入高温蒸汽,蒸汽在油层中扩散并形成蒸汽带,将热量传递给稠油,使稠油粘度降低并被驱向生产井。在这个过程中,蒸汽的驱替作用是提高采收率的关键因素。例如在某大型稠油油藏开发中,采用七点法井网进行蒸汽驱,注汽井以一定的速度(如100-200立方米/天)注入蒸汽,蒸汽温度保持在250-300℃左右。蒸汽驱的应用需要精确的注采参数优化,注汽速度、注汽压力、蒸汽干度等参数直接影响驱油效果。合适的注汽速度能够保证蒸汽在油层中的有效扩散,避免蒸汽窜流。较高的蒸汽干度意味着更多的热量传递给稠油,有利于提高驱油效率。在实际操作中,通过监测生产井的温度、压力、产液量和产油量等数据,不断调整注采参数。蒸汽驱的优势在于其能够提高油层的波及系数,从而提高采收率。与蒸汽吞吐相比,蒸汽驱可以采出更多的原油,采收率可达到30-60%。然而,蒸汽驱也面临一些挑战。例如,在油层非均质性较强的情况下,蒸汽容易沿着高渗透层窜流,导致蒸汽驱效果不佳。此外,蒸汽驱需要较长的时间才能达到较好的驱油效果,并且在整个过程中需要消耗大量的蒸汽,对能源和水资源的需求较大。

3.3 火烧油层的应用

火烧油层是一种独特的稠油热采方法,具有其特殊的应用方式和效果。在应用火烧油层时,要解决点火问题。通过专门的点火装置,在油层中点燃原油,这一过程需要精确控制点火位置和点火能量。例如在一些油藏中,采用电加热点火或化学点火的方式,确保原油能够稳定燃烧。一旦点火成功,燃烧前缘会在油层中向前推进。燃烧过程中会产生大量的热量,使周围的稠油温度急剧升高,粘度大幅降低。同时,燃烧还会产生二氧化碳、水蒸气等气体,这些气体具有驱油作用,能够将受热后的稠油驱向生产井。火烧油层的应用对于油藏的要求有一定的特殊性,它更适用于油层较厚、原油具有一定可燃性的稠油油藏。在实际应用中,要密切关注燃烧前缘的推进情况。通过监测生产井的温度、气体成分等参数,来判断燃烧前缘是否按照预期推进。如果燃烧前

缘失控,可能会导致窜流、油层过早被突破等问题。例如,在某油藏的火烧油层试验中,由于油层的非均质性未得到充分考虑,燃烧前缘出现了局部快速推进的现象,影响了整体的驱油效果。火烧油层的优点在于其具有较高的能量利用效率,一旦燃烧开始,原油自身燃烧产生的热量能够持续为驱油提供动力,不需要像蒸汽驱那样持续注入大量的外部能源(如蒸汽)。而且,火烧油层的采收率理论上可以达到较高水平,可达50-80%。但是,火烧油层也存在较大风险,如燃烧过程难以精确控制,可能引发安全事故;燃烧产生的废气需要进行处理,以避免对环境造成污染等。

3.4 电磁加热的应用

电磁加热作为一种新兴的稠油热采方法,在稠油开采中展现出独特的应用价值。在应用电磁加热时,通过在油井中下入电磁加热装置,向油层发射高频电磁波。油层中的稠油在电磁波的作用下,内部的分子发生振动,从而产生热量,使稠油温度升高,粘度降低。例如在一些浅层稠油井中,采用频率为1-10MHz的电磁波进行加热,能够在较短时间内使油层温度升高数十摄氏度。这种加热方式具有很强的针对性,能够对特定区域的油层进行加热,减少热量的无效散失。电磁加热的应用在不同类型的油藏中有不同的表现,对于低渗透油藏,电磁加热可以在不破坏油藏结构的前提下,有效改善稠油的流动性。与传统热采方法相比,电磁加热不需要大量的水或蒸汽注入,这对于水资源匮乏的地区尤为有利。而且,电磁加热设备相对灵活,可以根据油井的具体情况进行调整和优化。然而,电磁加热在应用中也面临一些挑战。电磁加热设备的成本相对较高,包括设备的购置、安装和维护费用等。电磁加热的有效加热范围有限,对于较大规模的油藏开发,可能需要布置较多的电磁加热装置,进一步增加了成本。此外,电磁加热技术还处于不断发展和完善阶段,其在复杂油藏条件下(如高矿化度油藏)的应用效果还需要进一步研究和验证。但随着技术的不断进步,电磁加热有望在稠油开采中发挥更重要的作用。

4 效果评价

4.1 采收率方面的效果评价

采收率是衡量稠油热采方法有效性的关键指标,蒸汽吞吐在初期能够显著提高采收率,一般可采出原始地质储量的10-20%左右。它通过周期性地注入蒸汽加热油层,使近井地带的稠油粘度降低得以采出。然而,随着吞吐轮次增加,由于蒸汽波及范围有限,采收率增长幅度逐渐减小。蒸汽驱相对于蒸汽吞吐,采收率有较大提

升,能达到30-60%。蒸汽驱通过持续注入蒸汽,形成蒸汽带驱替稠油,扩大了波及体积,将更多油藏中的稠油驱向生产井。但油层的非均质性会影响蒸汽驱的效果,导致部分区域驱替不完全。火烧油层理论上采收率较高,可达50-80%。燃烧产生的热量和驱替气体能有效降低稠油粘度并推动其流动。但在实际应用中,由于燃烧前缘控制难度大,采收率往往难以达到理论值,并且不同油藏条件下差异较大。总体而言,各种热采方法在提高采收率方面各有优劣,且都受到油藏特性的显著影响。

4.2 经济效益方面的效果评价

在经济效益方面,稠油热采方法的评价涉及多个因素。蒸汽吞吐的初期投资相对较低,设备和工艺较为简单,主要成本在于蒸汽的产生和注入。在短期内能提高油井产量,带来一定的经济效益。但随着吞吐轮次增多,产量递减加快,后期需要不断增加注汽量来维持产量,导致成本增加,经济效益逐渐降低。蒸汽驱的投资成本较高,需要建设完善的注汽系统和复杂的井网。然而,如果油藏适合蒸汽驱且操作得当,由于其较高的采收率,能够在较长时间内采出更多的原油,从而实现较好的经济效益。但如果油层非均质性导致蒸汽驱效果不佳,大量的蒸汽注入成本无法得到有效回报,就会面临经济损失。火烧油层的成本主要集中在点火设备、燃烧监测和控制方面,虽然其采收率潜力大,但由于技术复杂、风险高,如燃烧失控可能造成巨大损失。在油藏条件合适且操作成功的情况下,火烧油层能够以相对较少的外部能源投入采出较多原油,具有较好的经济效益前景,但目前应用仍受到较多限制,大规模推广的经济可行性还需进一步评估。

4.3 环境影响方面的效果评价

稠油热采方法对环境存在不同程度的影响,蒸汽吞吐和蒸汽驱都需要大量的水资源来产生蒸汽,这可能导致在水资源匮乏地区面临水资源供应压力,并且采出液中的含油污水如果处理不当,会对土壤和水体造成污染。此外,蒸汽的产生通常依赖于燃烧化石燃料,这会释放大量的二氧化碳等温室气体,加剧全球变暖。火烧油层燃烧过程中会产生二氧化碳、氮氧化物等废气,如

果不进行有效的处理,会对大气环境造成污染。同时,燃烧可能改变油藏的物理化学性质,存在引发地层变形、微地震等地质环境问题的风险。相比之下,电磁加热等新型热采方法如果能够得到广泛应用,由于不需要大量的水和蒸汽,在水资源保护方面具有优势,并且其能源消耗结构如果以清洁能源为主,在温室气体排放方面也会有较好的表现。但目前电磁加热技术还不够成熟,其环境影响的全面评估还需要随着技术发展进一步深入。

结束语

综上所述,稠油热采方法在不断发展并取得了诸多成果。从蒸汽吞吐到蒸汽驱,再到火烧油层以及新兴的电磁加热等方法,每种方法都有其独特的原理、进展和应用效果。虽然在采收率、经济效益和环境影响方面各有优劣,但整体上为稠油开采提供了有效的技术手段。未来,应继续深入研究以进一步提高采收率、降低成本并减轻环境影响,推动稠油开采技术迈向新的高度,从而更好地满足全球能源需求。

参考文献

- [1]高玉德.稠油油藏热采水平井均衡采油方法[J].化学工程与装备,2022,(08):113-114.
- [2]王国栋.稠油热采伴生气物质来源及影响因素[J].特种油气藏,2022,29(03):64-68.
- [3]朱丽云,王森,王国涛,等.稠油热采四通管冲蚀特性影响因素数值模拟研究[J].表面技术,2022,51(11):244-252+270.
- [4]刘亚宾.稠油热采水平井割缝筛管工况模拟与安全评价[D].中国石油大学(华东),2021.
- [5]陈紫荆.稠油热采水配制聚合物压裂液的研究及应用[D].中国石油大学(北京),2021.
- [6]孙玉豹,王少华,吴春洲,等.适于稠油热采封窜用耐温冻胶体系的研究[J].当代化工,2021,50(04):803-807.
- [7]高清春,汪志明,叶西安,等.稠油热采垂直井筒热量损失计算模型与应用[J].科学技术与工程,2021,21(05):1770-1774.