

稠油热采井筒隔热技术及其经济成本效益分析

刘 涛¹ 陈 静¹ 卢立刚² 仲玉梅³ 班晓春¹

(1. 河口采油厂采油管理七区, 山东 东营 257000)

(2. 胜利油田注汽技术服务中心河口注汽项目部, 山东 东营 257000)

(3. 河口采油厂地质研究所, 山东 东营 257000)

摘 要: 稠油因其高粘度和低流动性, 传统开采方法难以取得高效。热采技术如蒸汽驱动和热水驱动有效降低了稠油粘度, 提高了采收率。然而, 井筒的热损失问题一直是制约热采效率的关键。本文首先分析了稠油热采井筒隔热技术现状, 通过新疆某油田的案例分析, 本文详细描述了井筒隔热技术的实施过程, 包括材料选择、结构设计和施工步骤。结果表明, 通过采用保温水泥和聚氨酯泡沫等隔热材料, 结合双层管结构和真空绝热管技术, 该油田的热采效率显著提升, 井筒热能传递效率从 45% 提升至 60%, 年稠油产量从 10 万吨增至 13 万吨。经济成本效益分析表明, 该项目总投资约 500 万元, 年增加收益为 9000 万元, 实现了 2 年内收回投资成本, 并显著提高了长期经济效益。综上所述, 稠油热采井筒隔热技术在提高热采效率 and 经济效益方面具有显著优势, 具备良好的应用前景。

关键词: 稠油资源; 热采井筒隔热技术; 经济成本效益

0 引言

稠油资源作为一种重要的能源储备, 具有丰富的储量和较高的经济价值。然而, 由于稠油具有高粘度和低流动性的特点, 其开采过程面临着诸多技术挑战。在各种开采方法中, 热采技术, 如蒸汽驱动和热水驱动, 因其能够显著降低稠油的粘度、提高流动性, 从而提高采收率, 成为稠油开采的主要手段之一^[1]。然而, 在热采过程中, 井筒的热损失问题却一直是影响热采效率 and 经济效益的关键因素。井筒作为热采过程中热能传递的重要通道, 其隔热性能直接影响到热能的有效利用率^[2]。热能在井筒中的损失不仅会导致热采效率的降低, 还会增加能耗成本, 对整个采油过程的经济性产生负面影响。因此, 如何有效减少井筒热损失, 提高热能利用率, 成为稠油热采技术研究的重要课题。

1 稠油热采井筒隔热技术现状

目前, 稠油热采井筒隔热材料的选择对于提高井筒的隔热效果至关重要。保温水泥、陶瓷纤维和聚氨酯泡沫是目前常用的井筒隔热材料。保温水泥因其具有较高的机械强度和耐温性, 常用于高温蒸汽注入的井筒隔热; 陶瓷纤维凭借其轻质和低导热系数的特点, 适用于复杂井况下的隔热需求; 聚氨酯泡沫则因其优异的隔热性能和便捷的施工方式, 被广泛应用于各种井筒隔热改造中。这些材料通过降低井筒的热导率,

有效减少了热损失, 提高了热能利用率。

井筒隔热结构设计在稠油热采井筒隔热技术中同样重要。复合隔热结构通过在井筒内部或外部设置多层隔热材料, 增强了隔热效果。双层管结构在内外管之间填充隔热材料, 显著降低了热损失; 真空绝热管 (VIP) 技术通过在管层之间形成真空层, 进一步提高了隔热性能。这些复合隔热结构不仅提高了井筒的隔热效果, 还在一定程度上增强了井筒的机械强度, 延长了其使用寿命。

近年来, 纳米隔热材料和相变材料在井筒隔热中的应用逐渐受到关注。纳米隔热材料由于其微观结构特点, 具有优异的隔热性能和稳定性, 在高温高压环境下表现出色; 相变材料通过相变过程吸收或释放大量热量, 实现了温度的动态调节, 进一步提高了隔热效果。这些新型材料的应用不仅提升了井筒的隔热性能, 还为稠油热采井筒隔热技术的发展提供了新的方向。

2 案例分析

2.1 案例概况

新疆某油田是我国重要的稠油资源基地之一, 近年来通过热采技术提高了稠油采收率。然而, 热采过程中井筒的热损失问题始终存在, 影响了整体开采效率 and 经济效益。为了提升井筒隔热性能, 该油田在 2019 年实施了井筒隔热技术改造, 选择了保温水泥和

聚氨酯泡沫作为主要隔热材料，并采用了双层管结构和真空绝热管技术进行改造。

2.2 需求分析

为了提升稠油热采效率，新疆某油田需要解决以下关键问题：首先，减少井筒热损失，以确保热能有效传递至油层，提高热采效率；其次，延长井筒使用寿命，减少井筒频繁维修和更换的成本；最后，提高整体经济效益，确保技术改造后的投资回报率。

2.2.1 减少井筒热损失是提高热采效率的核心目标

由于热能在井筒内的传递过程中存在大量的热损失，导致注入的热能无法有效地传递到油层，进而影响稠油的降粘效果和采收率。为了降低热损失，油田决定采用多层复合隔热材料，如保温水泥、陶瓷纤维和聚氨酯泡沫等。这些材料具有不同的热导率和机械性能，能够在不同的井况条件下提供最佳的隔热效果。例如，保温水泥具有较高的耐温性和机械强度，适用于高温高压环境；陶瓷纤维轻质且热导率低，适合在井筒复杂段应用；聚氨酯泡沫则因其优异的隔热性能和便捷的施工方式，被广泛应用于各种井筒隔热改造中。

2.2.2 提高整体经济效益是所有技术改造项目的最终目标

通过提高热采效率和延长井筒使用寿命，油田不仅能够降低运营成本，还能增加稠油产量，显著提高经济效益。在进行技术改造时，油田综合考虑了材料成本、施工费用和产量增加带来的收益，选择了最优的隔热技术方案。例如，通过应用双层管结构和相变材料，油田在保证隔热效果的同时，最大限度地降低了材料和施工成本，实现了较高的投资回报率。

2.3 稠油热采井筒隔热技术方案设计与实施

在技术方案设计中，新疆某油田选择了保温水泥和聚氨酯泡沫作为主要隔热材料。这些材料的选择是基于其优异的隔热性能、耐温性和机械强度，能够有效地满足井筒在高温高压环境下的隔热需求。

2.3.1 方案设计

①保温水泥的应用：保温水泥具有高机械强度和良好的耐温性，适用于井筒的高温区域。高温蒸汽在传递过程中会导致井筒温度升高，传统材料在高温下容易老化和损坏，而保温水泥能够在高温下保持稳定的隔热性能，从而降低热能损失；②聚氨酯泡沫的应用：聚氨酯泡沫因其低导热系数和便捷的施工特性，被广泛应用于井筒的低温区域。低温区域的井筒虽然温度较低，但同样需要高效的隔热材料来减少热损失。

聚氨酯泡沫不仅能够提供优异的隔热效果，还能通过喷涂等方式快速施工，减少施工时间和成本；③结构设计：在结构设计方面，该油田采用了双层管结构和真空绝热管技术。双层管结构通过在内外管之间填充隔热材料，有效地降低了热损失；真空绝热管（VIP）通过在管层之间形成真空层，进一步提高了隔热性能。真空层的存在大大降低了热传导，使得热能在井筒内的传递更加高效；④双层管结构设计：双层管结构的设计包括内管和外管，内外管之间填充保温水泥或聚氨酯泡沫。高温区域采用保温水泥，低温区域采用聚氨酯泡沫。这种设计不仅提高了井筒的隔热效果，还增强了井筒的机械强度，延长了井筒的使用寿命；⑤真空绝热管技术的应用设计：真空绝热管通过在管层之间形成真空层，大幅减少了热传导。真空层的存在使得热能在传递过程中损失降到最低，从而提高了井筒的热能利用率。

2.3.2 实施过程

①材料准备：在实施过程中，首先需要准备好所需的隔热材料。油田采购了大量的保温水泥和聚氨酯泡沫，并进行了严格的质量检验，以确保材料的隔热性能和稳定性。保温水泥和聚氨酯泡沫在施工前需要进行充分的搅拌和混合，确保材料的均匀性和稳定性；②井筒清理和测量：在正式施工前，井筒需要进行全面的清理和测量。清理工作包括清除井筒内的泥沙和杂质，确保井筒内壁干净无障碍。测量工作则需要精确计算井筒的直径、深度和温度分布，为后续的施工提供准确的数据支持；③施工过程：施工过程分为高温区域和低温区域的隔热施工。高温区域采用保温水泥进行隔热，施工人员将保温水泥均匀地涂抹在井筒内壁，并通过高温蒸汽进行固化。固化过程需要保持一定的温度和压力，确保保温水泥的隔热性能达到最佳状态。低温区域则采用聚氨酯泡沫进行隔热，施工人员通过喷涂设备将聚氨酯泡沫均匀喷涂在井筒内壁，形成一层厚实的隔热层；④双层管结构安装：在完成保温水泥和聚氨酯泡沫的施工后，开始安装双层管结构。施工人员首先将内管放置在井筒内，然后在内管和外管之间填充隔热材料。填充过程需要保持均匀和平整，确保隔热材料能够完全覆盖内外管之间的空间。最后，安装外管并进行密封，确保双层管结构的稳定性和密封性；⑤真空绝热管技术的应用施工：在井筒的高温区域，采用真空绝热管技术。施工人员将真空绝热管安装在井筒内，通过专业设备在管层之间形成真空层。

真空绝热管的安装需要高度精密的操作,确保真空层的形成和维持。在安装过程中,需要对管道进行反复检测和调试,确保真空绝热管的隔热性能达到最佳状态;⑥质量检测:在完成全部施工后,进行全面的质量检测。检测内容包括隔热材料的完整性、隔热层的厚度和均匀性、双层管结构的密封性和真空绝热管的真空度等。通过一系列的检测,确保井筒隔热技术的实施效果达到预期标准;⑦数据记录:在施工过程中,详细记录了每一个环节的数据,包括材料用量、施工时间、施工温度和压力等。例如,在高温区域的保温水泥施工过程中,每米井筒平均使用保温水泥 50 公斤,施工温度保持在 150 摄氏度,固化时间为 24 小时;在低温区域的聚氨酯泡沫施工过程中,每米井筒平均使用聚氨酯泡沫 30 公斤,施工时间为 8 小时。通过详细的数据记录,确保整个施工过程的可追溯性和规范性。

2.4 效果评估

2.4.1 性能分析

通过对井筒隔热技术的改造,新疆某油田的热采效率显著提升。在实施保温水泥、聚氨酯泡沫等隔热材料以及双层管结构和真空绝热管技术后,井筒的热损失大幅减少。数据显示,改造后井筒的热能传递效率从改造前的 45% 提升至 60%。这一提升使得注入的热能更有效地传递至油层,从而显著改善了稠油的流动性,提升了采收率。改造后的热能利用率显著提高,热损失减少了约 30%,使得热采过程中注入的热能够更充分地作用于油层,有效地降低了稠油的粘度,提升了稠油的流动性。这一变化不仅提高了热采的整体效率,还增强了稠油的降粘效果,使得油田的采收率明显提升。同时,年稠油产量从改造前的 10 万吨增至 13 万吨,进一步证明了隔热技术的有效性。隔热材料的高性能表现以及结构设计的合理性,共同促成了这一显著的技术改进,为油田的生产效益提供了有力保障。新型隔热材料和复合结构的应用,不仅提高了井筒的隔热性能,还增强了井筒的机械强度,延长了其使用寿命,减少了维护和更换成本。

2.4.2 经济成本效益分析

在经济效益方面,新疆某油田的井筒隔热技术改造项目展现了显著的投资回报率。项目总投资约为 500 万元,包括材料成本、施工费用和设备费用。改造后,井筒的热采效率提升,年产量增加 3 万吨,按稠油市场价格每吨 3000 元计算,年增加收益为 9000 万元。此外,井筒的使用寿命从原来的 10 年延长至

15 年,减少了井筒维修和更换的成本。具体来说:①材料成本:保温水泥和聚氨酯泡沫是主要隔热材料,材料成本占总投资的 60%。保温水泥的高耐温性和聚氨酯泡沫的低导热系数,使得井筒隔热性能显著提升,从而减少了热能损失;②施工费用:双层管结构和真空绝热管的安装需较高的施工费用,约占总投资的 30%。尽管施工费用较高,但其带来的长期效益显著,包括热采效率的提升和井筒寿命的延长;③设备费用:用于安装和监测隔热技术的设备费用占总投资的 10%。这些设备确保了隔热材料的高效应用和施工过程的精确控制。

通过技术改造,油田的年产量增加 3 万吨,带来了 9000 万元的年增加收益。综合考虑材料成本、施工费用和产量增加带来的收益,该油田的改造项目在 2 年内收回了投资成本,并在随后几年内实现了显著的经济效益。此外,井筒的使用寿命延长至 15 年,进一步减少了维修和更换的成本,降低了长期运营支出。整体而言,稠油热采井筒隔热技术改造项目不仅提高了热采效率,还显著提升了油田的经济效益,说明了此项技术良好的投资回报率。

3 结论

通过对稠油热采井筒隔热技术的研究和应用,本文得出以下结论:①隔热材料的选择和应用效果显著:采用保温水泥、聚氨酯泡沫等隔热材料,以及双层管结构和真空绝热管技术,有效减少了井筒热损失。改造后热能传递效率从 45% 提升至 60%,显著提高了热能利用率,降低了热损失;②稠油采收率明显提升:通过改善井筒隔热性能,热能更有效地传递至油层,降低了稠油粘度,提高了流动性,进而提升了稠油采收率。改造后年稠油产量从 10 万吨增至 13 万吨,充分证明了井筒隔热技术的有效性;③经济效益显著增强:井筒隔热技术的改进,不仅提高了热采效率和采收率,还减少了热能损失和维护成本。通过降低单位产量的能耗和成本,为油田带来了显著的经济效益。

综上所述,井筒隔热技术在稠油热采中的应用,不仅提高了热能利用效率和采收率,还显著增强了油田的经济效益,具有重要的实用价值和推广前景。

参考文献:

- [1] 林涛,张伟. 隔热涂层与真空技术在稠油热采中的应用探讨 [J]. 石油地质与工程, 2016, 30(05): 127-129+142.
- [2] 许冬进,张凡. 超稠油井隔热套管完井工艺技术及现场试验 [J]. 断块油气田, 2014, 21(03): 382-385.