

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和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和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和经济效益。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，使得油井的采收率明显提升。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.