陕西省地方标准

《低渗致密油田二氧化碳驱油与封存油藏工程监测技术规范》

编制说明

# 工作概况

陕北地区低渗致密砂岩油藏石油地质储量巨大，但其储层渗透率低，注水开发难度较大，注气开发是低渗透油田开发的有效措施。以延长石油、西安石油大学为代表的省内相关企业、科研院所将煤化工产业链中排放的CO2用于油气田开发，是发展绿色循环经济的大胆探索和尝试，对于油田也是挖潜增效的重大举措，实现了环保和经济双赢。

## 1.1 任务背景

**（1）政策需求**

2020年9月22日中国政府在第75届联合国大会上承诺：中国将提高国家自主贡献力度，采取更加有力的政策和措施，CO2排放力争2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和。我国能源结构以煤为主，习近平总书记2021年榆林考察时强调：“煤炭能源发展要转化升级，走绿色低碳发展的道路”。同时，目前我国石油对外依存度已达70%以上，远超国际能源安全警戒线。党的二十大报告指出，要“加大油气资源勘探开发和增储上产力度，加快规划建设新型能源体系”“确保能源安全”。如何保障国家能源安全、实现煤炭清洁利用是能源企业面临的重大挑战。2022年陕西省《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的实施意见》进一步要求推动产业结构绿色低碳升级，着力构建清洁低碳安全高效能源体系，构建绿色低碳科技创新体系，健全法规标准和统计监测体系。

**（2）行业与技术现状**

CO2捕集、利用与封存(CCUS)是实现碳减排的战略性引领技术，根据国际能源署预测，CCUS对全球碳减排的累积贡献可达15%。其中，油藏是适合CO2地质封存的场所之一，具有提高原油采收率和地质封存碳减排的双重效益。

鄂尔多斯盆地是我国重要的油气煤生产和能源化工基地，开展CCUS具有“气源丰富、源汇匹配、构造简单、绿色节水”等优势。陕西省致密砂岩油藏石油地质储量巨大，注CO2能够快速补充地层能量，驱油效果好于注水，适合低渗致密油藏开发；同时，陕北地区气候干旱，注气代替传统注水开发，可节约大量水资源。

以延长石油2009年探索实施了第一口注CO2驱油试验井。“十二五”期间，建成靖边、吴起2个CO2驱油与封存先导试验区（5万吨/年）；“十三五”期间，建成杏子川CCUS示范工程（10万吨/年）。“十四五”期间，建成投运26万吨/年CCUS注入工程。近年来，依托众多国家级、国际合作项目及省部级项目，攻关形成超低渗透油藏CO2驱油及地质封存关键技术，率先打造了国内首个煤化工CCUS全流程一体化示范项目，实现CO2捕集、油田驱油及地质封存协同发展。在CO2驱油与封存理论研究与矿场实践中，通过深入开展各项油藏工程监测工作，逐渐探索形成了一套成熟的低渗致密油藏的CO2驱油与封存油藏工程监测技术规范。

**（3）必要性**

CO2驱油与封存是一项跨专业、跨行业、跨部门的系统工程，包括地质工程、油藏工程、采油工程及化学工程等多个专业。油藏工程监测是CCUS工程重要的技术环节，也是CO2驱油与封存过程动态分析、效果评价、方案调整及安全监测的重要依据。其内容涉及生产动态监测、流体性质监测、油藏压力监测、注入剖面监测、驱替前缘监测、剩余油分布监测，以及监测技术、目的参数、监测频率等，监测时间覆盖CCUS工程全生命周期，必须依据油藏特点和开发工作要求科学实施。

目前CCUS规模化、商业化应用步伐不断加快，但是国内外专门的油藏工程监测国家标准、行业标准、地方标准尚未出台**（见陕西省标准化研究院地方标准查新报告书（DJS 2023-021））**，油藏工程监测缺乏技术指导，难以满足生产实际需要，很有必要及时制定关于CO2驱油与封存的油藏工程监测技术规范。

## 1.2 主要工作过程

2023年1月，陕西省市场监督管理局关于下达《关于征集2023年陕西省地方标准制修项目的通知》（陕市监函〔2022〕1022号）。依据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的标准编写要求，本标准编制组对《CO2驱油与封存油藏工程监测规范》标准开展了相关编制工作，并完成了标准草案。

2023年2月，本编制组提交了立项申请书和标准草案。

2023年4月，标准编制组参加“2023年度陕西省地方标准立项评审会”，并通过立项评审。

2023年5-8月，本标准制订任务下达。陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院积极组织，成立标准编写领导小组，明确标准编写任务。标准编制组调研相关企业、科研院所及高校的基础上，开始起草标准。编写人员就标准内容进行了认真讨论，并邀请相关专家提供建设性的意见和建议。

2023年9月，借鉴其他标准编写经验、查阅资料，前往相关单位调研交流，内部讨论。

2023年10月至2024年8月，矿场实践及验证，接受现场技术人员反馈，对标准草案进行修改完善，并根据专家意见，形成《低渗致密油田二氧化碳驱油与封存油藏工程监测技术规范》（征求意见稿）。

2024年10月，申请在陕西省市场监督管理局网站公示。

## 1.3 起草组组成成员及其所做的主要工作

标准起草小组成员为魏登峰、王香增、王维波、汤瑞佳、江绍静、郝世彦、王锰、刘春江、高辉等九人，具体分工如下：

表1 项目组成员分工

|  |  |
| --- | --- |
| 姓名 | 分工 |
| 魏登峰 | 项目总负责 |
| 王香增 | 技术指导 |
| 王维波 | 负责标准申报、具体技术内容和结构的组织、编写 |
| 汤瑞佳 | 标准的技术分析、标准起草、意见汇总和标准修改 |
| 江绍静 | 负责标准的调研、申报、具体技术内容和结构的组织、编写及总结 |
| 郝世彦 | 负责标准中气驱运移前缘监测技术调研与验证 |
| 王 锰 | 负责标准文格式指导和校核，流体性质监测技术调研与验证 |
| 刘春江 | 负责标准中油藏压力监测技术调研与验证 |
| 高 辉 | 负责标准中注入剖面、剩余油监测技术调研与验证 |

# 二、标准编制原则

本标准根据《标准化工作导则》GB/T 1.1-2009编写规定进行编写，符合以下原则：

1、科学合理，技术先进，积极借鉴、采用国内外先进技术方法、标准；

2、目的明确，有利于促进技术进步，提高科研水平，提高现场实施效果；

3、经济适用，有利于合理利用油气田废水资源，提高经济效益；

4、安全可靠，可操作性强；

5、符合国家的政策，贯彻国家的法律法规。

# 三、标准编制的主要内容

本标准征求意见稿内容共9章，第1章规定了标准的适用范围；第2章为本标准的规范性引用文件；第3章为生产动态监测；第4章为流体性质监测；第5章为井筒温压梯度监测；第6章为静压监测；第7章为试井测试；第8章为吸气剖面监测；第9章为气驱前缘监测；第10章为剩余油监测；附录A为资料性附录，包括CO2注入、生产参数与流体性质分析数据表等。

# 四、主要实验（或验证）情况分析

1、确定标准主要内容的论据

本标准参照了中华人民共和国国家标准和石油天然气行业标准，并结合CO2驱油埋存的实际特点以及低渗致密（陕北鄂尔多斯盆地）油藏地质条件，确定了本标准的主要内容。本标准制定过程中参照的主要标准见如下：

GB/T 13610 天然气的组成分析 气相色谱法

GB/T 26981 油气藏流体物性分析方法

SY/T 0532 油田注入水细菌分析方法 绝迹稀释法

SY/T 5402 原油水含量的测定 电脱法

SY/T 5523 油田水分析方法

SY/T 6130 注蒸汽井参数测试及吸汽剖面解释方法

SY/T 6172 油井试井技术规范

2、本标准涉及的实验检测内容及方法

①本标准涉及检测内容

本标准涉及检测内容包括：注水生产动态参数、注气生产动态参数、流体性质、地层压力、吸气剖面、气驱前缘。

②本标准涉及检测内容的实验测试方法

产出水CO2、HCO3-、CO32-离子含量、矿化度，铁离子含量、pH值、溶解氧及细菌（如SRB、TGB）：按照SY/T 5523-2016油田水分析方法执行。

3、现场实施验证

（1）监测内容

延长石油CO2先导试验区分靖边和吴起2个区块，注入井共10口，累计注入液态CO2 13.88万吨，靖边试验区注入压力从注入前的2.5MPa上升到9MPa左右，吴起试验区注入压力从4MPa上升至12MPa左右，地层压力得到了有效补充，阶段累计增油量达到1.13万吨。

① 生产动态监测

在现场实施的整个过程中要对试验区的整个生产动态进行全面跟踪监测，包括注水井、注气井和生产井参数的录取，通过生产动态监测的数据，能够及时地发现现场注入生产过程中存在的问题，同时利用监测数据资料及时分析处理，也为整个试验区的效果分析提供数据来源。

② 流体性质监测

CO2的浓度的变化会影响地层水的pH值、矿化度、离子组成、铁离子含量等，以及CO2原油萃取的作用会引起地层原油的组分变化。当CO2驱替前缘到达生产井时，生产井会有大量CO2产出，通过测油井CO2浓度以及地层水和原油的组分来相互验证CO2驱替前缘是否到达油井。

③ 地层压力监测

通过井筒温压梯度监测，可以测出注气井井筒内不同深度的温度和压力，进而可以计算出不同位置CO2的密度，得出一条CO2的密度和井深的关系曲线，由此曲线可以计算出注气井的液柱压力，在已知岩石破裂压力的情况下，可以计算出井口最大注入压力。

注水井和注气井关井后，对其进行压力降落试井，可以得到一条压力与关井时间的关系曲线，曲线与横坐标的积分称为压降指数，其可以反应井周围地层流动性。当对注入井进行调剖措施后，增大了地层的渗流阻力，注入井关井后压力降落趋势较调剖前缓慢，反应在压降指数上为调剖前比调剖后高，因此压机降落试井可以反映注入井的调剖效果。

选取不影响生产的长期关停井进行静压监测，由于井长期关停，井底压力与地层压力相近，可以近似的看成地层压力。生产井关井后进行压力恢复试井，可以得到一条压力和关井时间的曲线，从曲线中可以反推出地层压力。将静压监测和压力恢复分别测出的地层压力进行相互验证，保障地层压力的准确性。

④ 吸气剖面监测

通过吸水剖面和吸气剖面监测，能够清楚的认识到试验区各个小层的注入量的分布情况，为以后水窜和气窜的治理提供依据。

⑤ 气驱前缘监测

采用气相示踪剂监测技术，测试气体推进速度、运移方向以及井间连通情况，判断气窜治理效果。

（2）监测频率

为保障试验区的稳定生产，确保监测数据能够及时、有效的反映试验区的真实情况，根据试验区实际施工、地质情况以及前期的监测经验，制定了各个监测内容的监测频率。实践证明，按照标准中建议的监测频率能够实现油藏工程监测的目的。

# 五、征求意见情况

该标准送往陕西延长石油（集团）有限责任公司研究院采收率所进行评审，共收到10条有效意见。意见汇总及采纳情况见表2。

表2 意见汇总及采纳情况

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **标 准 名 称** | | **低渗致密油田二氧化碳驱油与封存油藏工程监测技术规范** | | |
| **序号** | **意见章条及原标准内容** | **修改意见及依据** | **提出单位** | **意见处理** |
| 1 | 标准第1章，内容为：本标准规定了CO2驱油与封存过程中油藏工程监测的生产动态监测、流体性质监测、井筒温压梯度监测、静压监测、试井监测、吸气剖面监测和气驱前缘监测。 | 意思表述不清，建议删除重复的“监测” | 王蓓蕾 | 全部采纳。修改为：本标准规定了CO2驱油与封存过程中的生产动态、流体性质、井筒温压梯度、静压、试井、吸气剖面以及气驱前缘监测。 |
| 2 | 标准3.1.1中注水数据。 | 月度注水量、年注水量和累计注水量与录取频率不符，建议删除。 | 郭茂雷 | 不采纳。原因：常规注水日报表都存在月度注水量、年注水量和累计注水量三个指标，在现在录取时，将日注水数据加到上述数据中即可。 |
| 3 | 标准第3章中的生产动态参数的录取频率。 | 建议统一写法，将第三章中的录取频率当作一条单独列出。 | 杨永超 | 全部采纳 |
| 4 | 标准5.2 监测方法。 | 建议详细列出井筒温度、压力梯度的计算方法。 | 杨永超 | 全部采纳 |
| 5 | 标准9.1 选井原则。 | 指向性不明确，建议用一段话表述。 | 杨永超 | 全部采纳 |
| 6 | 附录A中的各个表格。 | 建议在标准的各个章节中添加与附录A中的各个表格相对应的文字表述。 | 段景杰 | 全部采纳 |
| 7 | 标准中4.2.1和4.3.1关于测试项目。 | 建议在附录中增加关于产出水、原油性质的表格。 | 李娜 | 全部采纳 |
| 8 | 标准4.3.2，原文：“每间隔（90±5）监测1次”。 | 原文中少了一单位“天”，建议加上。 | 谢旭强 | 全部采纳 |
| 9 | 标准4.2.1中测试的主要离子：K+、Na+、Mg2+、Ca2+、Al3+、ΣFe、Cl-、CO32-、HCO3-、SO42-、NO3-。 | 测试NO3- 、Al3+的费用高且意义不大，建议删除。 | 罗婷婷 | 全部采纳 |
| 10 | 压力测试等覆盖的井数 | 需要明确选取的井数比例 | 郭茂雷 | 继续论证，暂未采纳 |

# 六、产业化情况，推广运用论证和预期达到的经济效果情况

1、本标准能够科学指导CCUS工程CO2驱油与封存油藏工程监测工作，为技术标准化、规范化提供示范引领。该标准有利于推动CO2驱油与封存油藏工程监测技术的规范化应用，对于科学评价CO2驱油与封存效果，将陕西地区纳入国家碳减排统计核算体系提供数据支撑具有重要意义。本标准将填补“碳达峰、碳中和”背景下陕西省油气能源行业实施CO2驱油与封存在油藏工程监测技术规范方面的空白，有力推动陕西省CO2驱油及地质封存标准体系建立，为陕西省双碳战略目标的实现提供技术支撑。

2、本标准具有公正性、合理性和科学性，预计可产生良好的社会效益和经济效益。

# 知识产权说明

任何单位使用本标准所产生的知识产权归该单位。

# 八、采标情况

无

# 九、与现行相关法律法规、规章及现行有效标准的协调性

本标准与现行的国家相关法律、法规和强制性标准没有冲突。

# 十、重大分歧意见的处理经过和依据

根据编写组多次讨论和意见反馈后形成编写组讨论稿，在稿件的形成过程中，参与编制人员认识一致，不存在重大分歧意见。

# 十一、标准性质的建议说明（推荐性标准还是强制性标准）

本标准为首次制定，处于技术发展和完善阶段，建议为推荐性标准。

# 十二、贯彻标准的要求、措施和建议

1、加强宣传，做好宣传培训，使延长石油研究院各单位掌握标准的各项技术要求，加强示范推广，使标准的应用真正落到实处。

2、对标准执行情况进行跟踪调查，及时发现标准执行中的问题，不断修改完善，提升标准水平，提高标准的科学性、合理性、协调性和可操作性。

# 十三、废止现行相关标准的建议

无。

# 十四、其他应予以说明的事项

无。