

## 一种多尺度裂缝封堵条件评估及实验方法

### 技术领域

本发明涉及一种多尺度裂缝封堵条件评估及实验方法，属于油气藏开采领域。

### 背景技术

低渗透油气藏在我国油气资源储量中占比很大，是我国未来保证油气产量稳定增长的重要基础，对我国的能源供应意义重大。渗透率极低，渗流困难，常规开采方式自然产能低，通常采用水平井加压裂的方式来提高产能，水平井超过 3000 口，年产量突破 300 万吨。

低渗储层由于原生裂缝和人工压裂产生的支撑裂缝的存在，裂缝系统与基质储层的复杂孔喉多尺度交织在一起，储层非均质性程度被大大加强，油水渗流机理变得更加复杂，使得传统调剖堵水技术应用效果并不理想。

因此，急需一种多尺度裂缝封堵条件评估及实验方法来有效指导堵剂研究方向。

### 发明内容

为了克服现有技术中的问题，本发明提供一种多尺度裂缝封堵条件评估及实验方法。

本发明解决上述技术问题所提供的技术方案是：一种多尺度裂缝封堵条件评估及实验方法，包括以下步骤：

步骤一、制备多个不同尺度裂缝岩样，并计算每个多尺度裂缝岩样的裂缝导流能力，并按照图 3 所示的裂缝导流能力大小进行排序；

步骤二、根据同一尺度裂缝导流能力平均大小，选用某一类堵水剂对多尺

度裂缝岩样锥型水淹封堵过程进行仿真模拟和数据评估；

步骤三、预备多类堵水剂，设置不同生产压差，对多尺度裂缝岩样水淹封堵过程进行实验环节设定，分析不同堵水剂在不同物性条件下的作用机理和表现形式；

步骤四、首先选用由高分子聚合物和成胶诱发剂等主要组成的固液双性复合堵水剂；

步骤五、然后选用粒径为 0.5~1.0mm 的堵水颗粒封堵剂；

步骤六、最后选用由纤维素微球和表面活性剂配制而成的起泡堵水剂；

步骤七、汇总试验参数，计算不同生产压差下多尺度裂缝岩样的封堵率；根据不同压差封堵率对多尺度裂缝岩样封堵条件进行分析与评估；

步骤八、对多尺度裂缝岩样进行油样饱和，并计算每次油样饱和后的含油饱和度，再对多尺度裂缝岩样进行封堵条件评估实验，并计算不同含油饱和度多尺度裂缝岩样的封堵率；

步骤九、最后根据上述步骤，基于裂缝导流能力差异、生产压差差异、含油饱和度差异，对多尺度裂缝封堵条件进行总体分析与评估。

进一步的技术方案是，所涉及的裂缝导流能力计算公式为：

$$T = \frac{2.23V_p(f_{LH}L^2 - 4.19\eta NL^5)}{V_b(1 - f_{LH} + 4.19\eta NL^3)^2}$$

式中： $T$ 为同一尺度裂缝导流能力平均大小； $V_p$ 为多尺度裂缝内容积； $V_b$ 为包含多尺度裂缝的地层外观视体积； $f_{LH}$ 为导流因子系数； $L$ 为多尺度裂缝平均缝长； $\eta$ 为有效沟通渗流的多尺度裂缝占比； $N$ 为同一尺度裂缝岩样总数。

进一步的技术方案是，所涉及的封堵率计算公式为：

$$K = (p_1 - p_2) / p_1$$

式中： $K$ 为封堵率； $p_1$ 为实验中恒定温度和压差保持 15 小时后的岩心夹持

器下游的压力值； $p_2$ 为实验中恒定温度和压差保持24小时后的岩心夹持器下游的压力值。

进一步的技术方案是，所述步骤七中油样饱和的具体步骤为：将多尺度裂缝岩样放入岩样饱和仪中，在实验压力下用蒸馏水充分饱和24小时；再用油样驱替多尺度裂缝岩样中的地层水，油驱直到岩样出口产液不含水为止，最后计算多尺度裂缝岩样的含油饱和度。

进一步的技术方案是，涉及到的含油饱和度计算公式为：

$$S = (V_o / V_p) \times 100\%$$

式中： $S$ 为含油饱和度； $V_o$ 为多尺度裂缝渗出油体积。

本发明具有以下有益效果：本发明可以为提高封堵措施效率和有效指导堵剂研究方向提供帮助。

### 附图说明

图1为本发明的流程框图；

图2为多尺度裂缝岩样锥型水淹界面分布仿真模拟图；

图3为不同尺度裂缝占比下的裂缝导流能力趋势图；

图4为多尺度裂缝岩样封堵模拟实验装置简图。

### 具体实施方式

下面将结合附图对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

如图1所示，本发明的一种多尺度裂缝封堵条件评估及实验方法，包括以下步骤：

步骤一、制备多个不同尺度裂缝岩样，并计算每个多尺度裂缝岩样的裂缝导流能力，并按照图 3 所示的裂缝导流能力大小进行排序；

所涉及的裂缝导流能力计算公式为：

$$T = \frac{2.23V_p(f_{LH}L^2 - 4.19\eta NL^5)}{V_b(1 - f_{LH} + 4.19\eta NL^3)^2}$$

式中： $T$  为同一尺度裂缝导流能力平均大小； $V_p$  为多尺度裂缝内容积； $V_b$  为包含多尺度裂缝的地层外观视体积； $f_{LH}$  为导流因子系数； $L$  为多尺度裂缝平均缝长； $\eta$  为有效沟通渗流的多尺度裂缝占比； $N$  为同一尺度裂缝岩样总数。

步骤二、根据同一尺度裂缝导流能力平均大小，选用某一类堵水剂对多尺度裂缝岩样锥型水淹封堵过程进行仿真模拟和数据评估；

根据地应力分布，包括注入堵水剂诱导井周地应力分布模型、温度变化诱导井周地应力分布模型和人工裂缝诱导井周地应力分布模型等，流固耦合叠加处理，研究多尺度裂缝岩样锥型水淹界面分布，仿真模拟结果如图 2 所示，根据仿真结果和实验数据，安排进行实验。

实验装置结构如图 4 所示，图中所示 1 为储水罐（罐内为模拟地层水条件的制备水样）、2 为加压泵、3 为开关阀门、4 为压力表、5 为岩心夹持器外的围压机（模拟生产压差且可调节）、6 为岩心夹持器整体装置（岩心夹持器上下游两端各带有测  $p_1$ 、 $p_2$  的压力计）、7 为堵水剂注入器（带流量监测和流量调节功能）8 为排水容纳瓶（计量封堵后排出水量）。

所涉及的封堵率计算公式为：

$$K = (p_1 - p_2) / p_1$$

式中： $K$  为封堵率； $p_1$  为实验中恒定温度和压差保持 15 小时后的岩心夹持器下游的压力值； $p_2$  为实验中恒定温度和压差保持 24 小时后的岩心夹持器下游的压力值。

步骤三、预备多类堵水剂，设置不同生产压差，对多尺度裂缝岩样水淹封堵过程进行实验环节设定，分析不同堵水剂在不同物性条件下的作用机理和表现形式；

分别将每个多尺度裂缝岩样放入岩心夹持器内进行封堵条件评估实验，并记录实验中恒定温度和压差保持 15 小时后的岩心夹持器下游的压力值  $p_1$  以及恒定温度和压差保持 24 小时后的岩心夹持器下游的压力值  $p_2$ 。

步骤四、首先选用由高分子聚合物和成胶诱发剂等主要组成的固液双性复合堵水剂；

先对夹持岩心注入高分子聚合物液，再注入成胶诱发剂，实验模拟不同生产压差下的物化过程，控制用液量大小，确定封堵位置。实验结果为在任一生产压差下  $p_1$ 、 $p_2$  均有明显差值，可观察到复合堵水剂集聚成胶，并在夹持岩心裂缝处形成高承压纤维体，完成裂缝封堵，多尺度裂缝封堵效果尚佳，不过总体试验时间较长。

步骤五、然后选用粒径为 0.5~1.0mm 的堵水颗粒封堵剂；

该型堵水剂颗粒粒径较小，可随携置液通过水平井段射孔孔眼进入裂缝孔隙，形成充填式封堵。实验时，用携置液携带堵水剂颗粒进入岩心夹持器整体装置，打开加压泵，观察其堵水能力。

实验结果发现，在初始生产压差下  $p_1$ 、 $p_2$  无差值，且排水容纳瓶无积水，改变生产压差亦无太大变化。拆洗岩心夹持器整体装置，发现岩心夹持器下游端积聚大量堵水剂颗粒，表明堵水剂颗粒无法对多尺度裂缝实现有效封堵。

步骤六、最后选用由纤维素微球和表面活性剂配制而成的起泡堵水剂；

纤维素微球依靠悬挂、缠绕、吸水，进而形成团块来实现封堵，同时，表面活性剂与堵水剂其它溶质作用产生微泡沫，微泡沫可提高封堵压力，进一步

## 说 明 书

增强纤维素微球的封堵性能。

实验时，夹持岩心中注入起泡堵水剂， $p_1$ 、 $p_2$  均出现一定的升高，且岩心渗透率越低， $p_1$ 、 $p_2$  差值就越大。岩心渗透率低于 50mD 时，封堵率可达到 90% 以上；岩心渗透率在 100~500mD 时，封堵率可达到 85% 以上；岩心渗透率达到 800mD 时，封堵率可达到 78%，多尺度裂缝封堵效果优良。

步骤七、汇总试验参数，计算不同生产压差下多尺度裂缝岩样的封堵率；  
根据不同压差封堵率对多尺度裂缝岩样封堵条件进行分析与评估；

大尺度裂缝封堵条件及封堵率				
生产压差	稳压时间	堵水剂种类	封堵压力	封堵率
0.1 MPa	60min	固液双性复合堵水剂	3.4MPa	80.9%
	30min	堵水颗粒封堵剂	0.1 MPa	9.8%
	30min	起泡堵水剂	5.3 MPa	95.6%
0.5 MPa	60min	固液双性复合堵水剂	5.6MPa	82.4%
	30min	堵水颗粒封堵剂	0.3 MPa	12.6%
	30min	起泡堵水剂	7.9 MPa	90.9%
0.8 MPa	60min	固液双性复合堵水剂	7.2MPa	88.6%
	30min	堵水颗粒封堵剂	0.4 MPa	10.6%
	30min	起泡堵水剂	9.9MPa	91.4%
1.0 MPa	60min	固液双性复合堵水剂	8.1MPa	89.7%

## 说明书

	30min	堵水颗粒封堵剂	1.8MPa	11.2%
	30min	起泡堵水剂	12.2MPa	90.3%

裂缝性油气藏储层非均质性较强，地层中裂缝网络系统复杂多变，在注水开发过程中较易形成水窜通道，极易引起严重水淹现象。故而优先考虑大尺度裂缝封堵及封堵效果，上表为大尺度裂缝封堵条件及封堵率实验数据展示。

步骤八、对多尺度裂缝岩样进行油样饱和，并计算每次油样饱和后的含油饱和度，再对多尺度裂缝岩样进行封堵条件评估实验，并计算不同含油饱和度多尺度裂缝岩样的封堵率；

涉及到的含油饱和度计算公式为：

$$S = (V_o / V_p) \times 100\%$$

式中： $S$ 为含油饱和度； $V_o$ 为多尺度裂缝渗出油体积。

步骤九、最后根据上述步骤，基于裂缝导流能力差异、生产压差差异、含油饱和度差异，对多尺度裂缝封堵条件进行总体分析与评估。

在本实施例中所述步骤八中油样饱和的具体步骤为：将多尺度裂缝岩样放入岩样饱和仪中，在实验压力下用蒸馏水充分饱和 24 小时；再用油样驱替多尺度裂缝岩样中的地层水，油驱直到岩样出口产液不含水为止，最后计算多尺度裂缝岩样的含油饱和度。

本发明可以对裂缝导流能力差异、生产压差差异、含油饱和度差异对多尺度裂缝封堵条件的评，从而提高封堵措施效率和堵剂研究方向提供指导性意见。

以上所述，并非对本发明作任何形式上的限制，虽然本发明已通过上述实施例揭示，然而并非用以限定本发明，任何熟悉本专业的技术人员，在不脱离本发明技术方案范围内，可利用上述揭示的技术内容作出些变动或修饰为等同

## 说 明 书

---

变化的等效实施例，但凡是未脱离本发明技术方案的内容，依据本发明的技术实质对以上实施例所作的任何简单修改、等同变化与修饰，均仍属于本发明技术方案的范围内。