

Особенности образования трещин при гидравлическом разрыве пласта (ГРП) на нефтяных сланцах

Сабогу Джозеф, группа РМм 21-1, РЭНГМ, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, sabogujooseph@gmail.com

Механизмы образования сложных сетей трещин важны для планирования гидроразрыва пласта.

В лабораторном исследовании Джианминг и др. исследовали различные узоры расширения трещин гидроразрыва в кернах из песчаника, сланца и гранита при одинаковых условиях напряжения и скорости закачки жидкости. Все образцы керна, включая керны из песчаника, сланца и гранита, были пробурены 50-миллиметровыми алмазными бурами с водяным охлаждением. Торцевые плоскости сердечника были вырезаны алмазным диском с промывкой водой и отшлифованы копланарно до максимального отклонения $\pm 0,02$ мм.

Отверстие диаметром 8 мм для имитации ГРП было просверлено по центральной оси каждого цилиндрического образца сверху вниз образца для имитации ствола скважины.

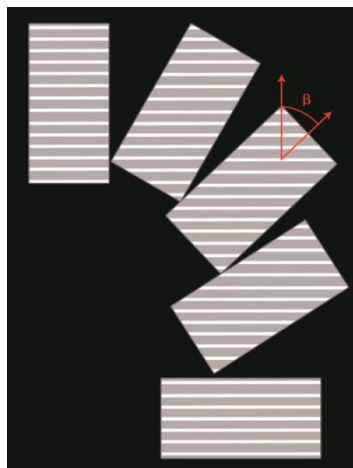


Рисунок 1. Принципиальная схема отбора сланцевого керна

Эксперименты проводились с использованием трехосевой системы испытаний горных пород GCTS RTX-3000 в Университете Тунцзи, Китай. Система трехосного нагружения позволяет трехосное нагружение образцов породы с одновременным введением жидкости для гидроразрыва. Осевое напряжение прикладывается с помощью поршня, установленного внутри изолирующего сосуда, путем контроля девиаторного напряжения. Удерживающее давление создается с помощью удерживающей жидкости (гидравлического масла).

Образцы были помещены в трехосную барокамеру и подвергнуты предварительно заданным напряженным условиям (вмещающее давление $P_{conj} = 20$ МПа: представляет собой равномерное горизонтальное напряжение, вертикальная нагрузка $\sigma_v = 25$ МПа: моделирует вертикальное напряжение в дальней зоне и равномерное давление жидкости). В верхней части образца было использовано уплотнительное кольцо для обеспечения герметизации соединения и предотвращения какого-либо сообщения между внешней жидкостью (маслом), используемой для приложения желаемого ограничивающего давления, и внутренним объемом в керне породы во время эксперимента по гидроразрыву пласта.

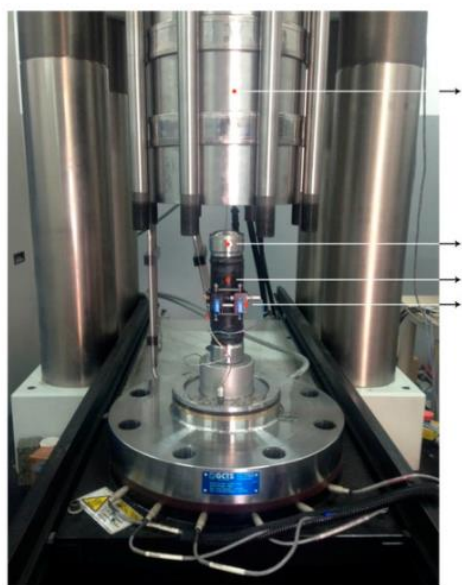


Рис. 2. Фото установленных экспериментальных устройств.

Процедуры эксперимента были установлены в пять шагов. Первый этап включал увеличение всестороннего давления до целевого уровня со скоростью 0,1 МПа/с. Следующим шагом было увеличение осевого напряжения до целевого напряжения со скоростью 0,2 МПа/с за счет контроля девиаторного напряжения. После этого стрессовое состояние сохранялось постоянным в течение пяти минут. Затем в образец через просверленное отверстие впрыскивалась вода с постоянной скоростью. Наконец, для достижения равновесного состояния всей экспериментальной системы постоянная инъекция продолжалась еще одну минуту после разрыва образца.

Компьютерный томограф использовался для получения пространственного распределения гидроразрывов в трещиноватых кернах песчаника, сланца и гранита. Были проанализированы различные узоры распространения трещин в

кернах песчаника, сланца и гранита. Результаты дают новое представление о характере распространения трещин в различных формациях-коллекторах. На рис. 3а–g представлены четыре типичных КТ-изображения для каждого образца, разрушенного закачкой под высоким давлением (сланец (а–е), песчаник (f) и гранит (g)). Красные пунктирные линии на рис. 3 представляют трещины гидроразрыва.

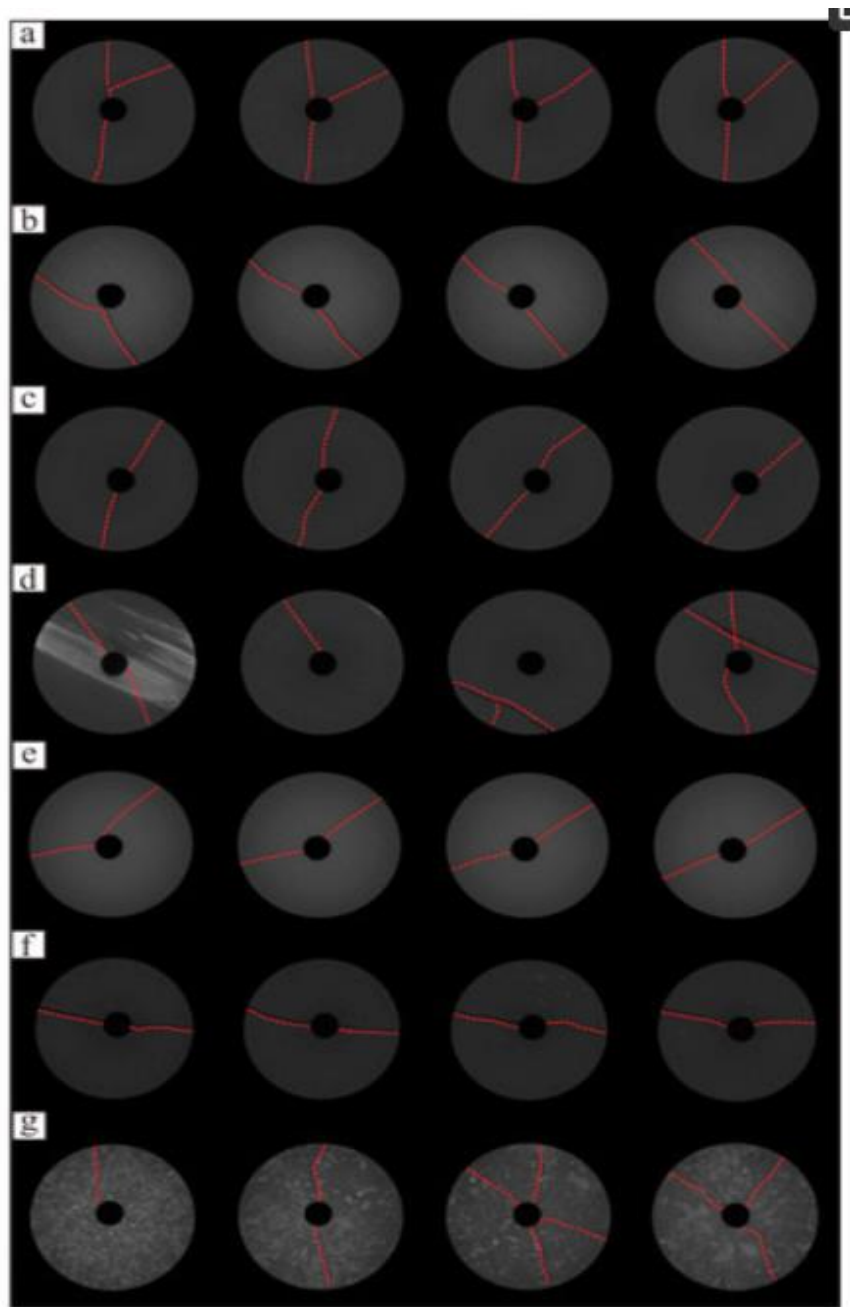


Рис. 3. Типичные изображения КТ трещиноватого сланца (а–е); керны из песчаника (f) и гранита (g)

Результаты компьютерной томографии трещиноватых сланцевых кернов показывают распределение трещин гидроразрывов. Трещины не являются простыми симметричными трещинами, как в трещиноватом песчанике. По сравнению с песчаником уникальная внутренняя структура сланца играет важную роль в процессе распространения трещины гидроразрыва. Плоскости напластования можно рассматривать как слабые плоскости. Трещина гидроразрыва начинается в стволе скважины, когда трещина гидроразрыва сталкивается с относительно слабой плоскостью напластования, можно наблюдать три формы морфологии трещины. Трещина может распространяться вдоль плоскости напластования, поперек плоскости напластования или задерживаться плоскостью напластования. Первоначально трещины были идентифицированы невооруженным глазом и выделены вручную черными пунктирными линиями на рисунке 3.

Можно сделать вывод, что эксперименты по компьютерному сканированию демонстрируют пространственное распределение трещин гидроразрыва в трещиноватых кернах песчаника, сланца и гранита. Распространение трещин в кернах сланца сильно отличается от распространения трещин в кернах песчаника и гранита.

Список используемые литературы

1. Гидроразрыв пласта [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2020-may/4620383/> (дата обращения: 28.10.2020).
2. Экспериментальное исследование закономерностей распространения трещин при ГРП с кернами из сланца, песчаника и гранита [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/1996-1073/9/12/1018/htm> (дата обращения: 01.12.2026).

Научный руководитель: Севастьянов Алексей Александрович, профессор кафедры РЭНГМ, д.т.н., доцент