

сейсморазведка

Определение трещиноватости с использованием проходящих поперечных волн

A look at fracture characterization using transmitted shear waves

Эд L. Nebrija, Bhoopal R. Naini, Saudi Aramco, и Shabbir Ahmed, Schlumberger объясняют как использовать проходящие поперечные волны, для измерения сейсмической характеристики трещиноватости, которое должно помочь при добыче газа на ближневосточном месторождении

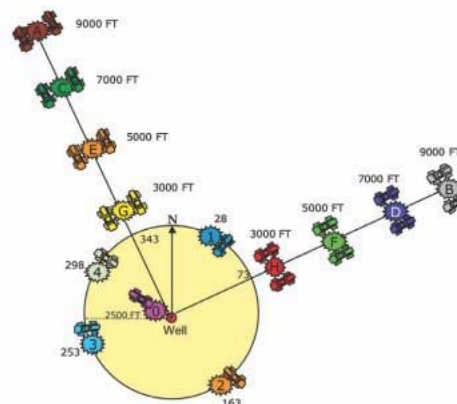
Возможность подтверждения результатов широкоазимутальных трехмерных данных 3 компонентного (3С) непродольного ВСП, с проходящей поперечной волной из-под находящейся под давлением газовой песчаной залежи, дало долгожданную возможность подтвердить данные, полученные из анизотропного анализа наземной сейсморазведки для нахождения точного местоположения трещин и дать дополнительную информацию о системе фильтрации жидкости. Выбранная техника - концепция восстановления разложения на поперечные составляющие, которое в прошлом было осложнено влиянием вышележащих пластов и возбуждением поперечных волн на поверхности.

P-S волновое преобразование можно осуществить когда оцениваемая скоростная граница выше интересующей зоны, P-S волновое преобразование предлагает новый, практический подход. Несколько примеров проходящих поперечных волн могут быть проанализированы. Конечная комбинация азимутов группы пунктов взрыва и выноса с многократными поперечными волнами, проходящими через ту же самую трещину залежи приводит к множеству направленных поперечных волн, все из них направлены в направлении В-З, как ожидается исходя из анализа анизотропии поверхностных данных Р-волн и ориентации трещин, полученному из геомеханического анализа резервуара.

Полевая обстановка

Коллекторы резервуара имеют среднюю пористость 3-9 % и проницаемость меньше чем 10 мД, являются толстослоистыми (приблизительно 250-300 футов) и проверены на газ и нефть с дебитом 10-15 миллионов фт³/Д и до 2000 Б/Д, соответственно из вертикальных скважин. Поскольку коллекторы песчаника высоко сцементированны и ломки, детальный геомеханический анализ ствола скважины проводился, используя данные разрушения ствола скважины по измерению диаметра скважины и испытания напряжения на образце для исследований, взятом из керна. Исследуемые залежи, встречающиеся на 14 000-15 000 футах ниже поверхности, залегают ниже высоко-скоростных формаций, которые в свою очередь, перекрываются низко-скоростным сланцем Нижне -Триасового возраста.

3С, азимутальная, непродольная ВСП съемка была проведена по песчаникам залежи газа, чтобы определить ориентацию трещин, что должно сыграть важную роль для определения продуктивности газовой залежи. В дополнение к ВСП с нулевым выносом проводимому в вертикальных скважинах, были



1 непродольного ВСП в СКВ №2. Два источника Vibroseis использовались по двум азимутам, а один источник для выноса источника, который был 2500 футов или менее.

проведены две съемки ВСП в ортогональных азимутах при различном удалении источника до приемника, и четыре отдельных ВСП при других азимутах. С помощью Zoeppritz моделирования, использование дипольного звукового и плотностного коротажа, показало, что P-S преобразование (из-за большого изменения скорости Р-волны с вышелегающей глиной) должно было происходить на кровле вышелегающей толщи карбоната. Результаты съемки подтвердили это ожидание. Анализ показал, что направление максимального горизонтального напряжения в вертикальных скважинах, которые бурят до настоящего времени, соответствует результатам, полученным по соседним месторождениям. На вторую пробуренную скважину на том же месторождении азимутальное, непродольное ВСП было запланировано, чтобы обнаружить присутствие трещин и определить их ориентацию с помощью определения направления быстрых поперечных волн (Crampin, 1985). Анализ отражений анизотропии Р-волны также проводился и результаты этой съемки служили бы подтверждением поверхностно - сейсмических анизотропных исследований.

План Съемки базирующейся на моделировании Zoeppritz

Вертикальная ВСП съемка, проведенная в поисковых скважинах, показала главные изменения интервальной скорости как следствие чередования карбоната и обломочных формаций пород.

Была построена двухслойная модель глин, лежащих над пластом с высокой скоростью, и моделирование амплитуды отраженных и проходящих волн на основании уравнения Zoeppritz для углов падения 30-35 %. На этой поверхности Р-волна была бы почти столь же высокоамплитудная, как проходящая поперечная волна, это позволило

Сейсморазведка

выполнить запись проходящей поперечной волны на приемнике расстановки по площади, расположенной ниже подошвы резервуара. Существенная трещиноватость залежи приводит к разложению на составляющие энергии проходящей волны. Восемь полярных углов (азимутов) были первоначально намечены вокруг скважины с 45° приращением, но только шесть из них использовались из-за трудностей во время бурения. Полярные углы были взяты таким образом, что два направления были параллельны и перпендикулярны, соответственно, к главному СВ-ЮЗ разлому, ограничивающему структуру на юге. Два из этих азимутов (Н-В и G-A на рис. 1), которые были направлены приблизительно по диагонали относительно направления напряжения, содержали по четыре источника взрыва на выносах, но не были 'истинным' уровнем ВСП, потому что намерение состояло не в том, чтобы измерить АВО отклик (сигнал), а скорее сделать запись поперечных проходящих волн через месторождение около TD. Остальная часть азимутов состояла из ВСП с одним выносом, которые были зарегистрированы от TD до глубины 3000 футов. Для тех же самых значений глубин было также проведено ВСП с нулевым выносом.

Обработка с hodograms

Данные вертикального ВСП, были обработаны, используя 3 компонентный анализ и разложение волнового поля (Esmeroy, 1990, Leaneu, 1991) с использованием анализа разложения на составляющие поперечных волн для определения азимутальной анизотропии.

(Параметрическое разложение включает моделирование сигнала расстановки как векторной суммы четырех зависимо-направленных волновых полей, предполагаемыми в некоторых местах плоскими.)

Исходные данные были отсортированы по оцененным визуально - глубине и качеству трасс по стволу скважины. Было использовано медианное суммирование.

Идущие вниз Р и S волны при выносе в 2500 футов содержат очень небольшое количество шумов и четкие, когерентные и непрерывные оси синфазности (Рис. 2а и 2б). Техника поляризации использовалась для извлечения поперечных волновых полей; оба горизонтальных компонента (X и Y) использовались, чтобы вычислить максимальную энергию.

Годограммы были вычислены по трем компонентам на каждом регистрационном уровне, используя временное окно 60 мс после первого вступления. Главные оси этих Годограмм определяют направление максимальной энергии в горизонтальной плоскости. Р и S волновые поля были разделены по направлению инлайнов и кросслайнов.

Разложение на составляющие поперечной волны

Когда поперечные волны распространяются через азимутально анизотропную среду, каждая из них разбивается на быструю и медленную поперечные волны, когда источник не совмещен со средним направлением поляризации естественной среды.

Когда направления двух ортогональных источников, используемых в этом анализе не были выровнены с направлением поляризации среды, эти четыре компонента - должны были быть повернуты в направлении поляризации быстрой и поперечной волн.

Для проектирования поперечных составляющих вдоль быстрого и медленного направления поперечных волн,

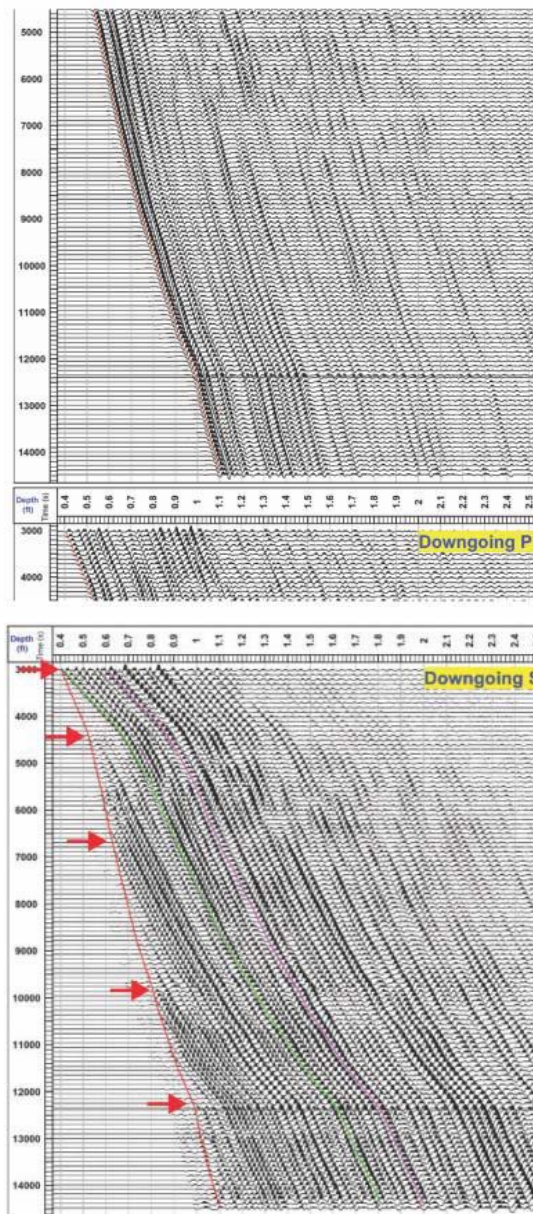
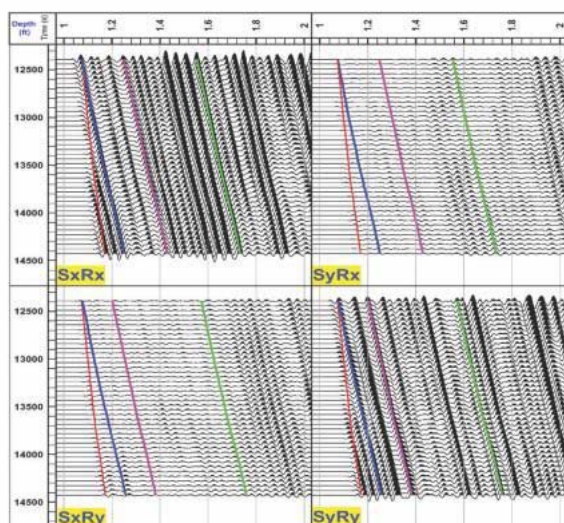


Рис 2 (а) Нисходящие Р-волны были зарегистрированы при возбуждении в Источнике 1 с выносом 2500 футов от вертикальной скважины. Красная линия является вступлением прямой волны, а пропускающий фильтр - 5-80 гц. (б) Нисходящие S-волны были также зарегистрированы при возбуждении в Источнике 1; красные стрелки указывают появление некоторых из поперечных волн.

использовались алгебраические методы обработки (Zeng и MacBeth, 1993), а результаты были проверены, используя метод линейного - преобразования (Ли и Stampin, 1993), который определяет линейность преобразованного движения поперечных волн в системе координат среды с естественной поляризацией. Были определены четыре линейных преобразования. Рис. 3- пример этого преобразования. Если в изотропной среде, диагональные компоненты будут нулем, сильная когерентная энергия регистрируется в поперечном направлении, то вероятно залежь является анизотропной, и происходит разложение на составляющие поперечных волн.

сейсморазведка



4-Component Data Matrix

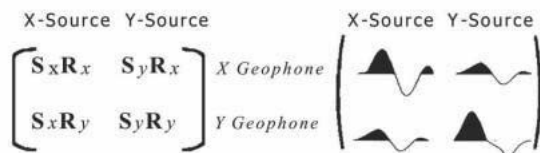


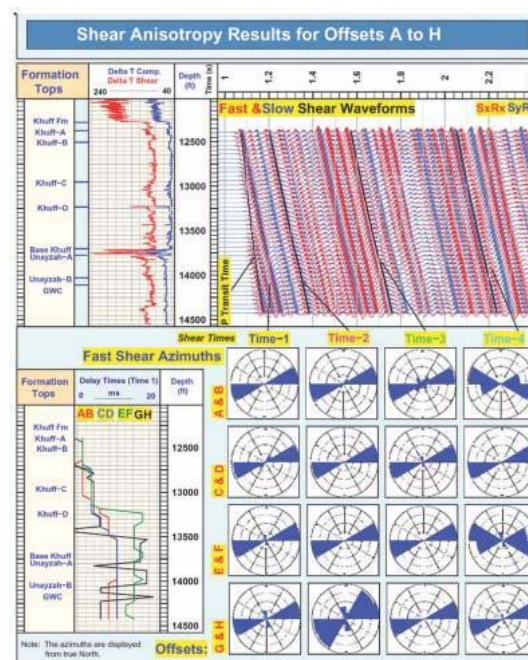
Рис 3 Проходящие поперечные волны после вращения указывают на присутствие когерентной энергии в трансверсальных приемниках, признак того, что резервуар анизотропен, и происходит разложение поперечных волн

Определение распределения трещиноватости

Для четырех различных пар источников возбуждения по НВ и ГА азимутам этого ВСП проекта, было сделано разложение на составляющие четырех поперечных волн генерируемых от различных поверхностей выше залежи. Ось синфазности 1 - обменная поперечная волна, от кровли высоко - скоростной формации, в то время как ось 4 - от самой неглубокозалегающей границы в скважине. Комбинация различных пар источников возбуждения и поперечных волн приводит к 16 независимым направлениям главных осей анизотропии. Преобладающее направление быстрых поперечных волн было в основном в В -З направлении на всех графиках. То же самое направление было получено во всех секторах вокруг ствола скважины, указывая на то, что есть только одно предпочтительное направление анизотропии или вероятной трещиноватости. Рис. 4 также показывает временные запаздывания между быстрыми и медленными поперечными волнами, полученными для оси синфазности 1. Различия во временах прихода между этими двумя волнами могут быть целых 18 мс, определяя меру анизотропии.

Достоверность сейсморазведки

Методы для проверки полученных данных и использования при изучении трещиноватости в конечном счете приводят к улучшению достоверности модели трещиноватости.



четырем парам возбуждений по ортогональным азимутам и четырем вступлениям поперечной волны. Поперечная волна 1 - обменная P-S волна на границе формации. Волны с 2 по 4 - это обменные волны, образованные на более мелких границах.

Идея состоит в том, что достоверность является ключом к успеху проекта. В этом случае данные использовались, чтобы продемонстрировать факторы, связанные с механизмами течения газа в трудно дифференцируемой низкопроницаемой залежи песчаника.

Признательность

Мы благодарим за поддержку Saudi Aramco при подготовке материала, представленного в этой статье, наряду с поддержкой и вкладом в доклад на котором эта статья базируется ('Характеристика трещин используя проходящие поперечные волны в 3С азимутальном неперодольном ВСП' Эдом L. Nebrija, Bhoopal R. Naini, Saudi Aramco, и Shabbir Ahmed, Шлюмберге Ближний Восток, подготовленный для SEG Денвера 2004).

Ссылки

- Crampin, S. [1985] Evaluation of anisotropy by shear-wave splitting. *Geophysics*, **50**, 142-152.
- Leaney, W.S. and Esmeroy, C. [1989] Parametric Decomposition of Offset VSP Wave Fields, *Extended abstracts, SEG meeting*, Dallas, Texas.
- Li, X.Y. and Crampin, S. [1993] Linear-transform techniques for processing shear-wave anisotropy in four-component seismic data. *Geophysics*, **58**, 2, 240-256.
- MacBeth, C., Boyd, M., Rizer, W., and Queen, J. [1998] Estimation of reservoir fracturing from marine VSP using local shear-wave conversion. *Geophysical Prospecting*, **46**, 1, 29-50.