

PP и PS волны в вулканических газовых резервуарах. PP and PS response from volcanic gas reservoirs

Shumin Chen,² Xiang-Yang Li,^{1*} Xianyi Sun,² Hengchang Dai,¹ и Peiyun Jiang²

В настоящие дни многокомпонентные сейсмические работы завоевали больше внимания нефтегазовой отрасли, чем несколько лет назад. Несмотря на это, прорыв в господствующей технологии все еще ожидается. Одним из узких мест является нехватка убедительных примеров данных, демонстрирующих преимущества технологии. Это особенно касается наземной и многокомпонентной сеймики. В качестве шагов к восполнению этого пробела, мы представляем пример практического использования обменных PP и PS волн при описании вулканических газовых резервуаров на месторождении Daqing, в северо-восточном Китае.

Месторождение Daqing – крупнейшее действующее месторождение нефти в Китае, оно является действующим уже более 40 лет. Малоуглубленные целевые объекты, залегающие на глубинах менее 2 км, уже в значительной мере истощились и в настоящее время основной целью является поиск более глубоких объектов, залегающих на глубинах от 2800 м до 3600 м, которые имеют большой потенциал для роста запасов. Эти глубинные резервуары представлены, большей частью, вулканическими газовыми резервуарами, и часто дают начало некогерентным Р-волнам. Проведенные сейсмические эксперименты с многокомпонентными измерениями дают надежду на потенциальное использование обменных PS волн с целью построения изображений целевых объектов, но результаты были ограничены из-за качества данных. Недавний успех в применении цифровых датчиков MEMS (микро-электромеханических систем) вновь разжег интерес к использованию данных обменных волн в целях оконтуривания вулканических резервуаров в этом районе. По сравнению с традиционными сейсмоприемниками, датчики MEMS имеют более низкий динамический диапазон и более широкую полосу частот, что улучшает качества данных. Благодаря этому, многокомпонентный эксперимент был начат в 2005, и результаты его представлены в данной статье.

Область исследований

Область работ находится в бассейне Songliao северо-восточного Китая. Район характеризуется относительно гладким рельефом, с небольшим уклоном в сторону северо-запада (рисунок 1). Среднее превышение около 140-190 м над уровнем моря на области площадью 1500 км². Большая часть области лежит в зоне сельскохозяйственных земель и небольших деревень. Также в качестве главным препятствием для проведения съемок широко распространены нефтяные трубопроводы. Средняя мощность ЗМС 6-10 м на севере и 8-10 м на юге. Условия для распространения приповерхностным Р-волн относительно удачные, приповерхностные участки однородны, средняя скорость Р-волн порядка 1000 м/с. Однако, условия распространения S-волн более сложные, и скорость S-волн варьирует от 150 м/с до 530 м/с. Были пробурены неглубокие скважины для размещения источников, литологически они представлены песчанистыми сланцами.

Неглубокие породы до 2 км представлены сланцеватыми осадками, преимущественно пологими, имеется много небольших разломов. Ожидается, что эти сланцеватые осадки являются причиной вертикальной трансверсальной анизотропии (VTI) при распространении сейсмических волн. Ниже этих пород залегают преимущественно Юрские песчаники, измененные разломообразованием. На большей глубине залегают вулканические породы с газовыми залежами, являющиеся целью наших исследований.

Получение данных и их описание

Эксперимент включал в себя получение шести профилей 2D, 90 км из них имело полную кратность, как показано на Рисунке 1. Шесть профилей формируют несколько точек пересечения, проходящие через 10 скважин, пробуренных до вулканических резервуаров. Многокомпонентные ВСР работы были также проведены в трех скважинах в целях облегчения корреляции разрезов PP- и PS, совместно с несколькими АК исследованиями на Р-и S-волнах. Четыре профиля были получены с использованием центральной расстановки с максимальным удалением 6605 м, номинальный интервал между приемниками был 10 м, взрывной интервал равнялся 40 м. Число каналов для записи каждой компоненты был 1220, что давало номинальную кратность 152. Два другие профиля были получены фланговыми расстановками с максимальным

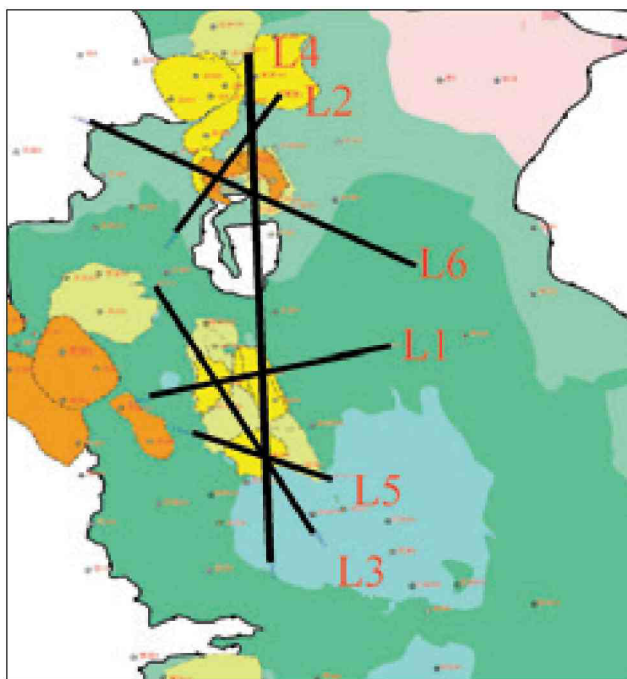


Рисунок 1 Область работ и схема профилей. удалением 5805 м,

¹ British Geological Survey, West Mains Road, Edinburgh EH9 3LA, UK

² PetroChina Daqing Ltd. Helongjiang, China

* Corresponding author, E-mail: xyl@bgs.ac.uk

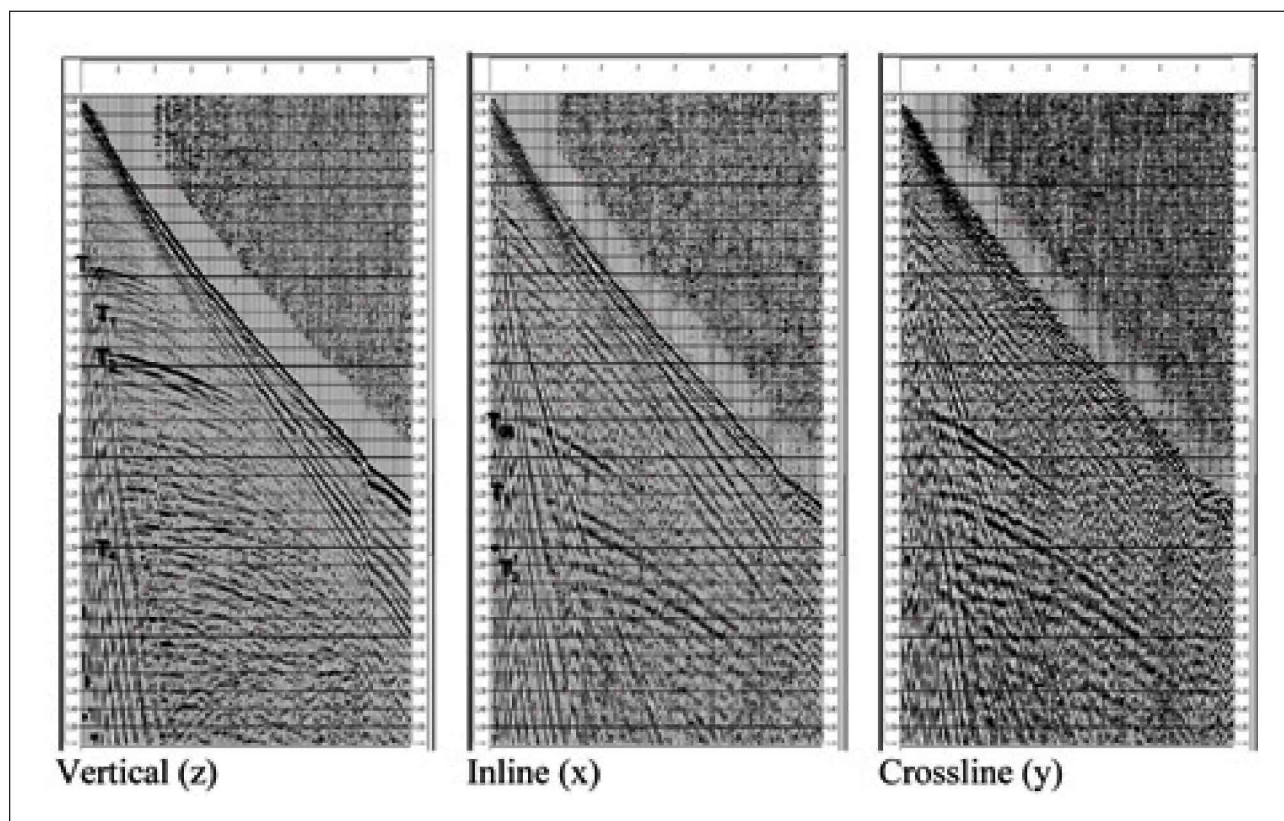


Рисунок 2 Выборочные сейсмограммы ОПВ с профиля 6 фланговой расстановки.

с интервалом между приемниками 5 м, взрывным интервалом 20 м, и номинальной кратностью 145.

Использование цифровых датчиков MEMS помогло получить данные по поперечным волнам очень высокого качества (Рисунок 2), и большая часть осей синфазности может быть ясно идентифицирована на исходной записи ОПВ, несмотря на то, что наблюдается некоторые поверхностные волны. Доминирующая волна 40 Гц для Р-волн и порядка 20 Гц для обменной волны. Имеются много волн на компоненте кросслайна (Y), что указывает на присутствие двойного преломления поперечных волн (Wang et al., 2006).

Обработка данных

Благодаря хорошему качеству, обработка была относительно простой. К вертикальной (PP-) и горизонтальной (PS-) компонентам были применены следующие этапы: 1) загрузка геометрии; 2) статические поправки; 3) подавление шума (поверхностные волны); 4) бинирование ОСТ для PP, но бинирование АСП (по асимптотической точке обмена) для PS при этом отношение скоростей бинирования $\gamma=2.0$; 5) скоростной анализ, 6) кинематические поправки; 7) суммирование; 8) анализ скоростей миграции; и 9) окончательная миграция до суммирования во временной области.

Предварительная обработка и подавление шума

Одним из ключевых этапов предварительной обработки данных является подавление шума в целях улучшения соотношения сигнал-шум. Основной проблемой подавления шума для этих данных была поверхностная волна, широко представленная в данных. При традиционном

получении данных, расстановка обычно формируется оптимальным образом для уменьшения поверхностных волн. Здесь, данные были получены с помощью одноточечных датчиков, поэтому высокоамплитудная поверхностная волна наблюдается в данных. Мы протестировали различные методики подавления поверхностных волн, включая методику, основанную на построении детерминистической модели (Qian and Zhao, 2003), и традиционную F-K фильтрацию. На рисунке 3 сравниваются результаты подавления шума каждым из этих методов. Ясно, что метод, основанный на построении модели более эффективен, чем традиционная F-K фильтрация, в особенности для трасс ближних удалений.

Оценка параметров анизотропии для VTI

Отметим, что при обработке данных обменных волн, помимо проблемы шума, была другая проблема негиперболичности приращения времени, вызванная асимметрией траектории луча и анизотропией, в частности, вертикальной трансверсальной анизотропией (VTI). По Li и Yuan (2003), для анализа скорости обменной волны и ввода кинематической поправки в присутствии VTI необходимо знать четыре параметра. Этими параметрами является отношение скоростей P- и S- волн γ_0 , отношение эффективных скоростей $\gamma_{\text{эфф}}$ скорость суммирования обменных волн $V_{\text{с2}}$ и параметр анизотропии $\chi_{\text{эфф}}$. Отметим, что $\gamma_{\text{эфф}}$ связан с γ_0 и отношение скоростей суммирования NMO P- и S-волн γ_2 ($\chi_{\text{эфф}}$ является мерой анизотропии времени пробега обменных волн, и представляет собой комбинацию параметров анизотропии P-волны и S-волны (более подробно смотрите в работе See Li и Yuan, 2003).

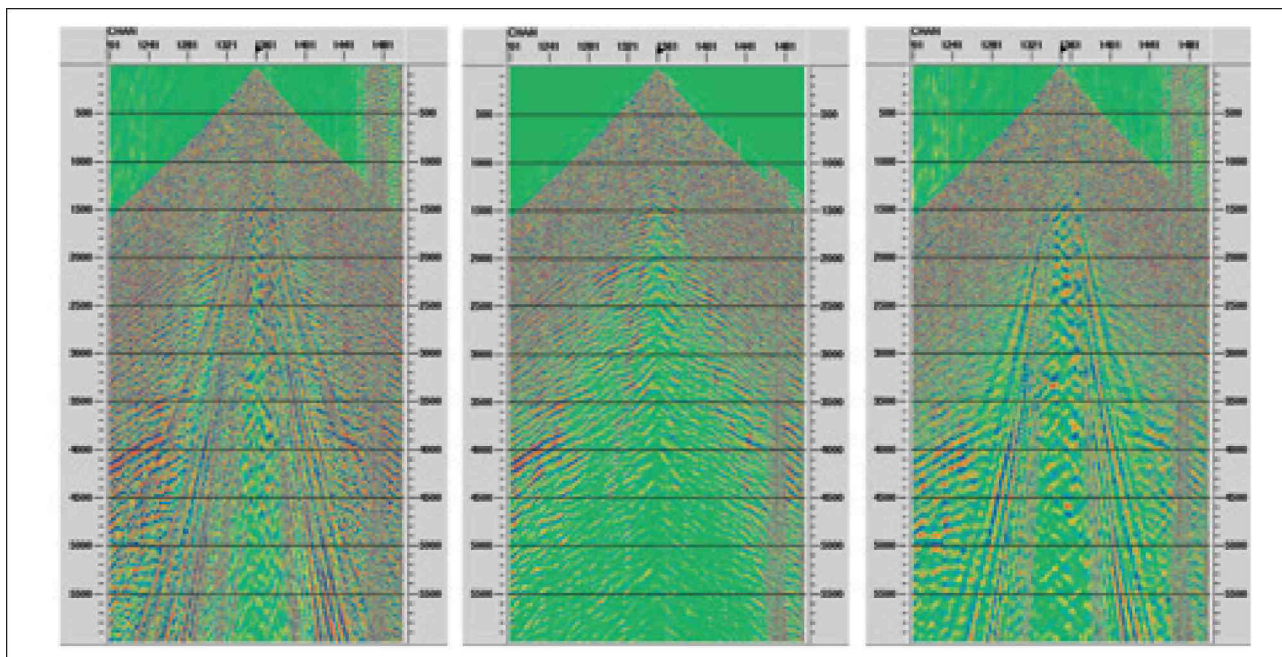


Рисунок 3 Сравнение результатов подавления шума, данные X-компоненты по инлайну, введенные в сортировке ОПВ для профиля 5. (a) исходные данные, (b) результаты методики на основе построения модели (Qian and Zhao, 2003); (c) результаты F-K фильтрации.

Для определения этих четырех параметров (V_{C2} , γ_0 , $\gamma_{эфф}$ и $\chi_{эфф}$): 1) можно использовать следующий поток обработки: получить γ_0 путем проведения грубой корреляции между суммарными разрезами на P- и S-волнах; 2) оценить V_{C2} из кинематического сдвига для ближних удалений (отношение удаление-глубина $x/z < 1.0$); 3) оценить $\gamma_{эфф}$ по кинематическому сдвигу для средних удалений ($x/z < 1.5$) и $\chi_{эфф}$ по кинематическому сдвигу для дальних удалений

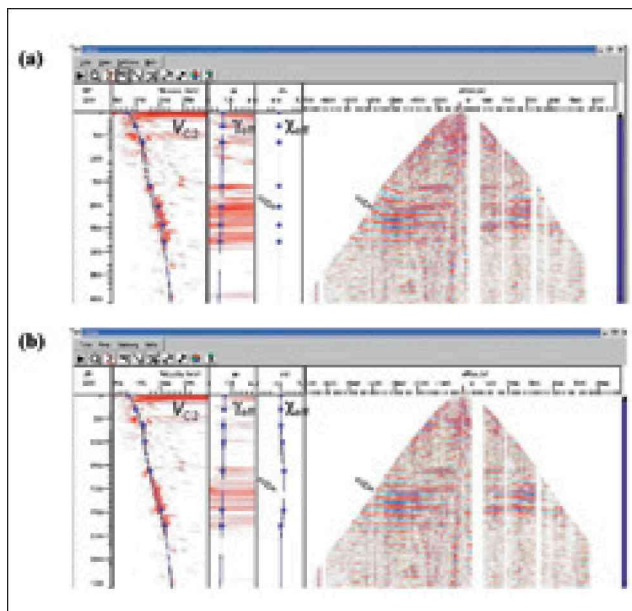


Рисунок 4 Анализ влияния анизотропии на обменные волны: скоростной анализ и кинематическая поправка (a) без и с анизотропией (b). Заметим, что слева направо, три панели отображают анализ функции подобия для V_{C2} , $\gamma_{эфф}$ и $\chi_{эфф}$ соответственно. Данные взяты для X по инлайну профиля 2.

($x/z < 2.0$). Модуль интерактивного анализа скоростей был разработан Dai (2003), его можно использовать для выполнения всех этих шагов.

Примеры анализа анизотропных скоростей радиальной компоненты (PSV-волны) показаны на Рисунке 4. В малоглубинной части разреза, остается существенный остаточный кинематический сдвиг без учета анизотропии (Рисунок 4a – приведение к нулю $\chi_{эфф}$), тогда как ось синфазности хорошо выравнивается после учета анизотропии (Рисунок 4b – ненулевое $\chi_{эфф}$). Мы можем видеть, что кинематическая поправка очень чувствительна к наличию VTI.

Окончательные мигрированные результаты

Все данные были обработаны с использованием потока обработки, описанного ранее. Модель скоростей суммирования, полученная по Рисунку 4, была использована в качестве исходной модели миграции во временной области до суммирования (Li et al., 2004; Li et al., 2007). Потом эти сейсмограммы использовались для обновления модели скоростей для финальной миграции. Примеры окончательных мигрированных разрезов на PP- и PSV-волнах для профилей 1 и 2 приведены на Рисунках 5 и 6, соответственно, региональные реперы (T06, T1 и T2, и т.д.) все можно закартировать по PP- и PS-разрезам, что дает основание высокой надежности корреляции. Также хорошо отображаются разломы в малоглубинной части разреза.

Анализ данных и структурная интерпретация

Мы получили несколько высококачественных мигрированных разрезов PP и PS волн, как показано на Рисунках 5 и 6. Здесь можно оценить достоинства использования совместно данных PP и PS для структурной интерпретации.

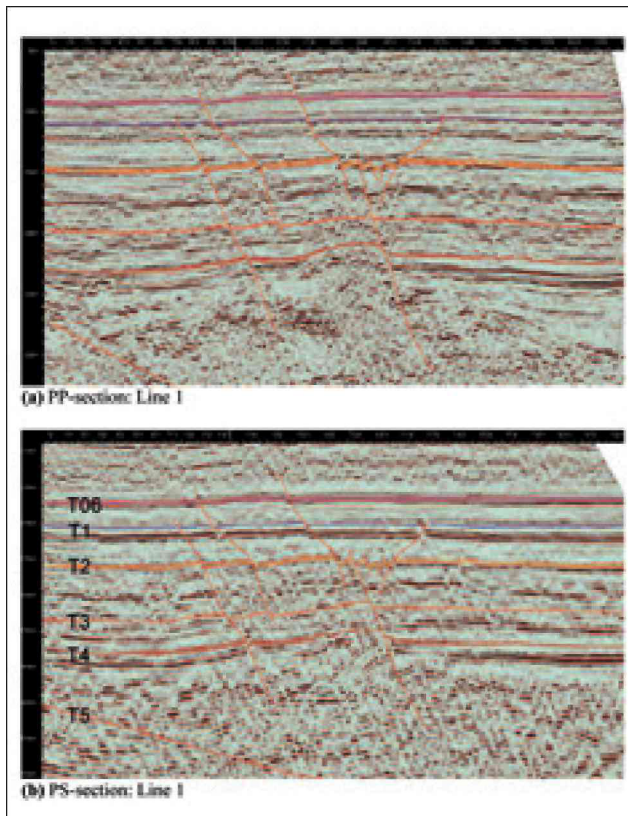


Рисунок 5 Финальные мигрированные разрезы с профиля 1 : (a) PP-волны и (b) обменные PS волны. Региональные маркеры T06, T1, T2..., могут быть прокоррелированы на обоих разрезах.

Анализ основных сейсмических отражающих границ

На области исследования имеется 6 основных отражающих границ, и как показано на Рисунках 6 и 7, эти отражения идентифицируются как T06, T1, T2, T3, T4, и T5. Обсудим их основные характеристики на разрезах на PP и PS волнах.

Маркер T06. На разрезе Р-волн, эта ось синфазности имеет 1-2 периода, и видимую частоту порядка 50 Hz. Это высокоамплитудная и хорошо прослеживаемая ось синфазности по всему региону и легко и точно может проследиваться по всему району. Это отражение имеет схожие характеристики на разрезе на PS-волнах, но там она имеет более низкую видимую частоту.

Маркер T1. На разрезе по Р-волнам, это слабое, но прослеживаемое по всему региону отражение, тогда как на разрезе PS -волн, отражение имеет малую амплитуду и прерывистое, и его трудно проследить по всему району. Для проведения корреляции этого отражения уже недостаточно полагаться на его характеристики. Теперь уже требуются независимая информация о соотношении скоростей Р- и S-волн для более точной корреляции.

Маркер T2. Характеристики записи этого маркера схожи с T06. Эта ось синфазности высокоамплитудная и хорошо прослеживается на разрезе как на PP- так и PS-волнах, имеет стабильную форму записи, и может быть аккуратно прослежена на всем районе. Видимая частота на PP-разрезе около 40 Гц, слегка ниже, чем для T06.

Маркер T3. Эта ось синфазности не очень четкая на обоих разрезах PP- и PS-волн, ее трудно проследить на всей области. Амплитуда обычно слабая и изменчивая, состоит из 3-4 фаз. Интерпретация разреза PS-волн крайне субъективно и имеются неопределенности.

Маркер T4. Амплитуда этого отражения лежит между амплитудами T06 и T3 отражений, а видимая частота на разрезе Р-волн порядка 35 Гц. Оси синфазности на обоих разрезах четки и могут проследиваться на всей области.

Маркер T5. Это самая трудная для интерпретации ось синфазности. Она представляет собой отражение от глубокозалегающих пород фундамента, и ось синфазности прерывистая и низкоамплитудная. Ее можно идентифицировать иногда на разрезе Р-волн, но она нечеткая в большей части разреза из-за резких вариаций глубины и структуры. Интерпретация на разрезе по PS-волнам – поле для отгадок и проводилась только в качестве справки.

Анализ характеристик разломов

Резкие измерения характеристик волновой записи на разрезах PP- и PS-волн могут указывать на наличие разломов. Среди изменений могут быть внезапные окончания прослеживания, или вертикальные смещения одного или нескольких осей синфазности, внезапные изменения амплитуды отражений или фазы, идентификация отражений от плоскостей разломов, и т.д.. Все эти характеристики, изменения в структуре или наличие отражений от плоскостей разломов часто указывает на широкомасштабное разломообразование в масштабе бассейна, изменения в амплитудах и фазах отражения часто связаны с малыми разломами.

Мы выполнили детальный анализ характеристик разломов для всех шести профилей, пример показан на Рисунке 7. На рисунке показано детальное сравнение мигрированные разрезов на PP- и PS-волнах для профиля 3. Мы можем видеть, что на разрезе на Р-волнах разломы выделяются лучше, чем на разрезах на обменных PS волнах.

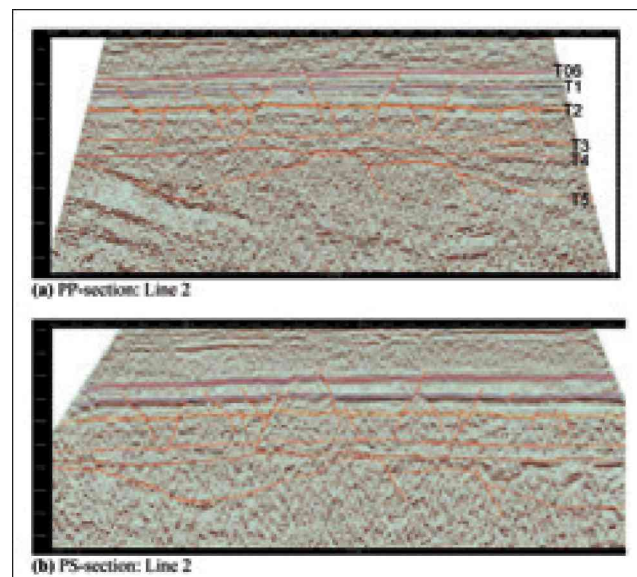


Рисунок 6 Сравнение финальных мигрированных разрезов: (a) PP-волны и (b) обменные PSV волны (радиальная компонента), профиль 2.

Это типично для данного района. Общее число разломов, идентифицированных на всех профилях, включая профили на PP- и PS-волнах, суммировано в таблице 1. Число разломов, проинтерпретированных на разрезе PP-волн больше, чем на разрезе PS-волн. Также имеются отличия в положении разломов. К счастью, мы находим это отличие незначительным и менее 30 м по латерали. Результаты построений Р- волн скорее всего более надежные, чем результаты для PS, потому, что они согласуются с сейсмическими данными 3D, полученными по этому району. Причина этого факта неясна, но мы считаем, что следующие факторы внесли свой вклад.

Первое, PS-волна имеет асимметричную траекторию луча, тогда как траектория луча PP - симметрична. При асимметрии луча, происходит большее сглаживание в процессе построения отображения, по сравнению с симметричным случаем, в особенности при суммировании энергии по лучам противоположных направлений. Для PP-волн, суммирование улучшит качество изображения благодаря взаимности траектории симметричного луча. Для PS-волн, принцип взаимности не выполняется, и суммирование смажет точку отображения и сгладит все поле волн. Также, ошибки в построении модели скорости могут еще более ухудшить разрешение. Второе, этот эффект можно отнести к низкочастотному содержанию волн PS по сравнению с PP-волной, что также может сократить латеральное разрешение обменной волны.

Вышеприведенный анализ подтверждает, что за исключением нескольких особых случаев, таких как наличие газового облака, Р-волны в общем, являются лучшим выбором для построения структурных изображений, чем волны других типов. Преимущества использования обменных PS волн, скорее всего, связаны с литологией и предсказанием флюидонасыщения, а не с получением лучших изображений.

Анализ характеристик газового резервуара

Здесь мы проанализируем характеристики PP- и PS-волн для описания вулканических газовых резервуаров. Они включают отношение скоростей Р- и S-волн (V_p/V_s), и амплитуды Р- и S-волн. Анализ дву-лучепреломления поперечной волны можно найти у Wang et al. (2006).

Анализ отношения V_p/V_s

Одной из наиболее важных характеристик для предсказания флюида и литологии является отношение скоростей Р-волн и S-волн.

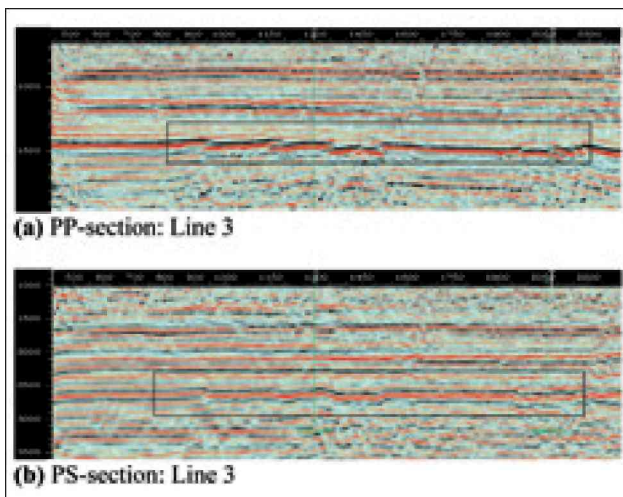


Рисунок 7 Финальные мигрированные разрезы по профилю 3: (а) PP- и (б) PS-волны, демонстрируют разное разрешение при выделении разломов.

Присутствие газа в вулканических породах уменьшает скорость Р-волн, тогда как его влияние на S-волны относительно небольшое (Jiang et al., 2004), поскольку S-волны обычно менее чувствительны к присутствию флюида, чем Р-волны. Это приводит к явным аномалиям отношения скоростей Р- и S-волн (V_p/V_s). Для подтверждения чего, мы сначала проанализируем скорости Р-волн и S-волн по данным каротажа скважин. Полноволновые каротажные диаграммы АК были получены в нескольких скважинах на области работ, и мы сравнили скорости Р- и S-волн для известных образцов с газом и без него.

На рисунке 8а показаны кривые полноволнового АК из скважины SS101 по профилю 2 в качестве примера. Две формации отмечены зелеными линиями: верхняя – формация песчаников и нижняя вулканическая формация. Соответствующие кроссплоты между скоростями Р- и S-волн для песчаников и вулканической формации по всем скважинам приведены на Рисунках 8б и 8с. Звездочками указаны измерения для сухих образцов, треугольниками - для образцов с газом. Несмотря на некоторые наложения, большая часть образцов явно разделены как для песчаников (рисунок 8б) так для вулканических пород (Рисунок 8с). Также можно видеть, что

Line #	Seismic horizons												Total		
	T06			T1			T2			T4					
	Faults		Diff.	Faults		Diff.	Faults		Diff.	Faults		Diff.	Total faults		Diff.
PP	PSV	PP		PSV	PP		PSV	PP		PSV	PP		PSV		
L1	2	2	0	4	4	0	7	7	0	2	2	0	7	7	0
L2	2	2	0	11	11	0	15	15	0	0	0	0	21	21	0
L3	1	1	0	7	7	0	9	7	-2	3	3	0	12	10	-2
L4	6	4	-2	14	10	-4	21	16	-5	3	3	0	31	25	-6
L5	2	2	0	6	6	0	11	12	1	1	1	0	13	14	1
L6	0	0	0	8	6	-2	11	8	-3	3	3	0	14	11	-3

Таблица 1 Сравнение числа разломов, полученных на разрезах на PP- и PS-волнах.

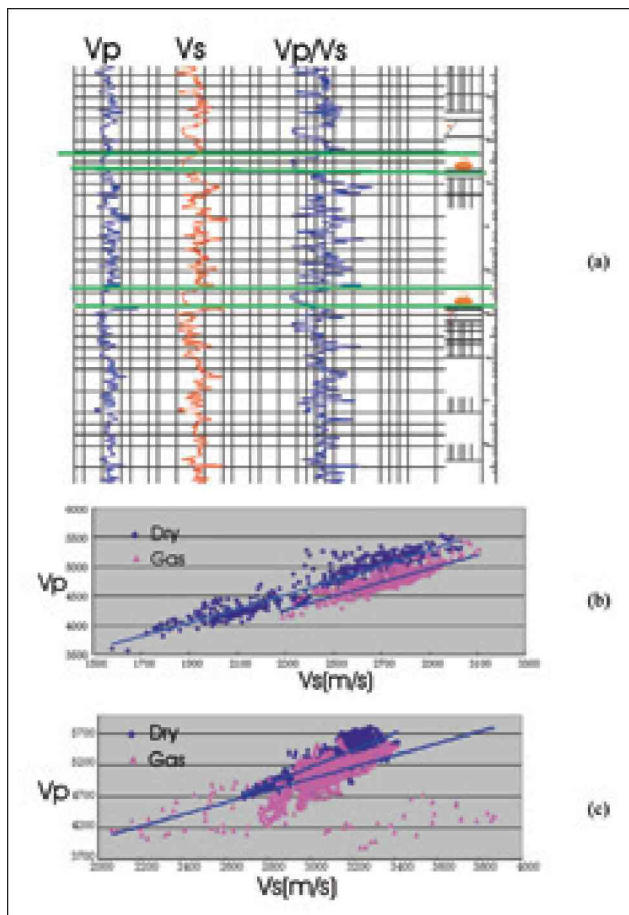


Рисунок 8 Характеристики PP и PS для вулканической формации: (a) каротажные кривые для скважины SS1 01 по профилю 2; оранжевым в правой колонке показаны газосодержащие формации; и кроссплоты скоростей P- и S-волн для (b) формации песчаников и (c) вулканической формации, помеченные на (a) зелеными линиями.

еще меньше наложений имеется для образцов-песчаников, по сравнению с вулканическими образцами. Это вызвано тем, что вулканические образцы более рассеянные, чем образцы песчаника, что соотносится в известными фактами. Эти наблюдения дают нам основание для использования многокомпонентных данных в целях выделения газовых резервуаров, и в особенности для будущих совместных работ по сейсмической инверсии PP и PS.

Вариации амплитуд PP- и PS-волн Присутствие газа в вулканических породах также увеличивает эффекты затухания и рассеяния P-волн, тогда как S-волны остаются почти без изменений. Это в свою очередь, ведет к явным аномалиям амплитуд P- и S-волн. На рисунке 9 сравниваются амплитуды P- и PS-волн по скважине, дающей газ SS202, и сухой скважине SS201. Отражение P-волн от газовой формации слабое, и эффект рассеяния выражен больше, как показано красным прямоугольником и кратной и желтой стрелками. В противоположность этому, отражения PS-более сильные и оси синфазности лучше прослеживаются. По сравнению с скважиной, из которой нет добычи, как PP- так и PS-отражения очень сильные и непрерывные, как показано на рисунке 9b.

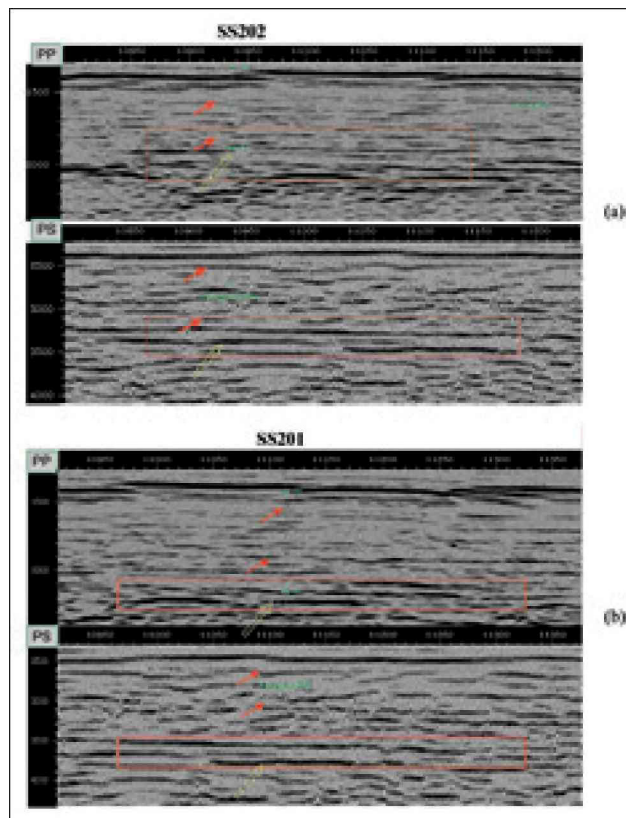


Рисунок 9 Сравнение амплитудных характеристик PP- и PS для вулканической формации для профиля 6: (a) из скважины, с добычей газа SS202, и (b) из сухой скважины SS201.

Выявление границ резервуаров

В добавление к Рисунку 9, вышеуказанные аномалии могут наблюдаться по всем шести профилям с 10 скважинами в области исследования. Отражения P-волн слабые и рассеянные в точках скважин, из которых производится добыча газа, тогда как отраженные PS волны высокоамплитудные и хорошо прослеживаются. В скважинах, из которых не производится добыча, как P- так и S-волны характеризуются высокоамплитудными прослеживаемыми осями синфазности. В таблице 2 подводится итог характеристик отражения по 10 скважинам. Таким образом, мы можем использовать эти аномалии для более уверенного выделения газовых резервуаров. Отметим, что в скважинах XS4 и XS6 отраженные PP волны характеризуются высокоамплитудными и прерывистыми осями синфазности, что указывает на возможные измерения в свойствах пород.

Как показано на Рисунке 9a, области затемнения на разрезах P-волн интерпретируются как зоны отложения газа. На соответствующих разрезах PS волн, эти зоны характеризуются высокоамплитудными и непрерывными осями синфазности. Более того, выделенные газовые резервуары хорошо коррелируются с границами резервуаров, полученными по данным бурения. На рисунке 10 показаны результаты интерпретации профиля 3. Такие же результаты получены по другим профилям, области затемнения на разрезе P-волн и яркие участки на разрезе PS-волн,

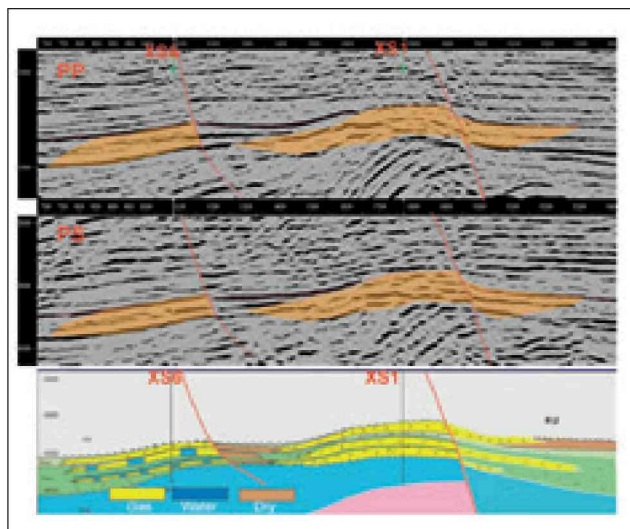


Рисунок 10 Выделение вулканических газовых резервуаров по данным PP и PS волн на профиле 3. Верхние две панели показывают газовые резервуары, выделенные по сейсмическим данным на основе аномалий амплитуд PP и PS волн (Рисунок 9 и Таблица 2). На нижней панели показан резервуар, определенный по газо-водяному контакту на основе данных бурения.

коррелируются очень хорошо, и они, в свою очередь, коррелируются с известными границами газовых резервуаров, полученными по данным бурения.

Обсуждение и выводы

Мы представили практический пример изучения совместного использования отраженных PP- и PS-волн в целях выделения газовых резервуаров в формациях песчаника и вулканических породах. Многокомпонентные данные получают с использованием цифровых датчиков MEMS (микроэлектромеханических систем). Несмотря на высокое качество получаемых данных преломленных волн, данные с одним датчиком загрязнены высокоамплитудными поверхностными волнами. На данных по обменным волнам PS также видны негиперболические эффекты. Для борьбы с этими трудностями необходим специальный инструмент и аккуратная обработка.

Использовалась методика подавления поверхностных волн на основе построения модели (Qian and Zhao, 2003) и эта методика оказалась эффективной по сравнению с другими традиционными методиками. Для обработки данных по обменным волнам, мы использовали недавно разработанный аппарат Cxtools

(Dai, 2003; Li et al., 2004), который помогает иметь дело с негиперболическими эффектами и строить модели скорости, которые необходимы для построения изображений на обменных волнах. В результате, мы получили мигрированные разрезы PP- и PS-волн высокого качества.

Все региональные реперы, такие как T06, T1, T2, и т.д. могут выделяться на разрезах как PP- так и PS-волн, что дает основание говорить о высокой корреляции общих структурных вариаций. Однако имеются небольшие тонкие различия между разрезами PP- и PS-волн, а именно, различия в картировании разломов. На разрезе PP-волн разломы выделяются гораздо лучше, чем на разрезе по PS-волнам, и это справедливо для всех шести профилей данного эксперимента. Возможной причиной этого является то, что на разрезах PS волн происходит большее сглаживание и расползание данных, чем на разрезах PP-волн из-за асимметрии траектории луча и не-взаимности направлений положительного и отрицательного отстрела. Ошибки в построении моделей скоростей также могут добавить еще больше проблем.

Что касается отклика от газового резервуара, атрибуты PP- и PS-волн говорят об устойчивых аномалиях, которые являются признаками присутствия газа. Соотношение V_p/V_s говорит о четком разделении образцов с газом и без него. При наличии газа отражения PP-волн слабые, тогда как отражения PS-волн устойчиво высокоамплитудные, эта особенность подтверждается для всех профилей во всех точках скважин на всей области работ. Результаты выделения газовых резервуаров по совместному амплитудному анализу данных PP- и PS-волн, согласуются с результатами бурения на области работ. Эти результаты являются очевидным свидетельством, демонстрирующим преимущества многокомпонентных сейсмических данных, полученных цифровыми датчиками MEMS.

Благодарности

Мы благодарим PetroChina Daqing Oilfield за разрешение на публикацию данных. Мы благодарим Wang Guishui, Min Chunhua, и Qian Zhongping за обработку данных. Эта работа поддерживается международной программой совместного сотрудничества CNPC и PetroChina Daqing посредством проекта Edinburgh Anisotropy Project (EAP) Британской Геологической Службы (BGS), и публикуется после одобрения всех партнеров проекта и исполнительного директора BGS (NERC).

Скв#	Литология	PP-отражение	PSV-отражение	Добыча
XS1	Вулканич.	слабое, прерывистое	сильное, прерывистое	Коммерческий газ
XS2	Вулканич.	сильное, прерывистое	сильное, прерывистое	Небольшие газовые проявления
XS4	Вулканич.	сильное, прерывистое	сильное, непрерывное	Коммерческий газ
XS6	Вулканич.	сильное, прерывистое	сильное, непрерывное	Коммерческий газ
SS1	Грубые пески	слабое	сильное с обращением полярности	Коммерческий газ
SS202	Вулканич.	слабое	сильное, непрерывное	Коммерческий газ
SS201	Вулканич.	сильное, непрерывное	сильное, непрерывное	Сухая скважина
SS101	Вулканич.	слабое	сильное, непрерывное	Коммерческий газ
SS2-1	Вулканич.	слабое, прерывистое	сильное, прерывистое	Коммерческий газ
SS1	Пески	Нет отражений	сильное, непрерывное	Коммерческий газ

Таблица 2 Характеристики волн PP- и PS- в точках скважин.

Литература

Dai H. [2003] Integrative analysis of anisotropy parameter and velocities for PS converted waves. *73rd SEG meeting, Dallas*, Expanded Abstracts, 1577-1580. Jiang, C., Chen, S., Zhang, E., and Zhong, D. [2004] Methodology and application of seismic prediction of gas-bearing volcanic reservoir. *74th SEG Meeting, Denver*, Expanded Abstracts, 1595-1598.

Li, X.-Y., Dai, H., and Mancini, F. [2004] Converted-wave imaging in anisotropic media: an overview. *74th SEG Meeting, Denver*, Expanded Abstracts, 881-884. Li, X.-Y., Dai, H., and Mancini, F. [2007] Converted-wave imaging in anisotropic media: theory and case studies. *Geophysical Prospecting*, 55, in press.

Li, X.-Y. and Yuan, J. [2003] Converted-wave moveout and conversion-point equations in layered VTI media: theory and application. *Journal of Applied Geophysics*, 54, 297-318.

Qian, Z. and Zhao, B. [2003] A regular noise elimination method for prestack 3D seismic data: *73rd SEG Meeting, Dallas*, Expanded Abstracts, 2040-2043. Wang L., Li X.-Y., and Sun X. [2006] Analysis of converted-wave splitting in volcanic rocks: a case study from northeast China. *68th EAGE Conference and Exhibition, Vienna*, Expanded Abstracts, P295.