

Многодисциплинарный выпуск

Новое понимание томографии для временной миграции

Fresh insight into time migration tomography

Richard Leggott и Richard Morgan из Veritas DGC обсуждают применение томографического алгоритма, который обладает большим потенциалом для улучшения скоростной модели при сейсмическом анализе данных.

При разведке и освоении залежей углеводородов, глубинные изображения сейсмических данных используются для точной геологической интерпретации, определения свойств горных пород, предсказания порового давления и многих других целей. Все эти исследования зависят от качества сейсмических данных, что в свою очередь требует точной скоростной модели. Поскольку все больше информации извлекается из сейсмических данных в областях со сложным структурным строением, роль качества скоростной модели стала еще более критичной.

В этой статье описан идеализированный алгоритм томографии, который одновременно отображает сейсмические данные и обновляет скоростную модель, используя этот же алгоритм. При использовании данных каждой выборки сейсмического изображения, уточненная томографией скорость помогает отображать геологические свойства с более высоким разрешением, которое не могут дать другие способы анализа скоростей. Результаты томографии показаны с использованием изображений временной миграции в изотропных и анизотропных средах.

Традиционный скоростной анализ

Метод, обычно используемый при получении скоростной модели для визуализации – это вертикальная корректировка (Deregowski, 1990). При этом, модель начальных скоростей используется, чтобы преобразовать полученные сейсмические данные к виду сейсмограмм общих изображений (CIGs).

Скорректированные среднеквадратичные (rms) скорости находят, используя нормальные приращения времени (NMO), чтобы выровнять отобранные сейсмические отражения на сейсмограммах CIGs. Эта скорость часто сглаживается, преобразуется к интервальной скорости, сглаживается и клиппируется. Новое сейсмическое изображение формируется с помощью скорректированной скоростной модели. Если требуется, процедура повторяется, пока исходные сейсмические отражения не выравниваются на сейсмограммах CIGs.

Вертикальная корректировка подходит только для простых геологических случаев. Метод предполагает, что применение остаточного приращения времени с NMO – разумная аппроксимация перестроенного изображения сейсмических данных с использованием скорректированной скоростной модели и может быть применена, когда геологическая структура имеет простое строение. Кроме того, нужно быть осторожным, когда пикируются среднеквадратичные скорости для высокого разрешения по времени, во избежание нестабильности интервальных скоростей. Это означает, что скорость для тонких прослоев не может быть пропикирована точно и что скоростной контраст между различными литологическими слоями может идентифицироваться, только когда та граница соответствует сильному сейсмическому отражению.

Существует много других методов отображения сейсмических данных (миграция Кирхгофа во временной области, миграция Кирхгофа в глубинной области, миграция на основе волнового уравнения и др.)

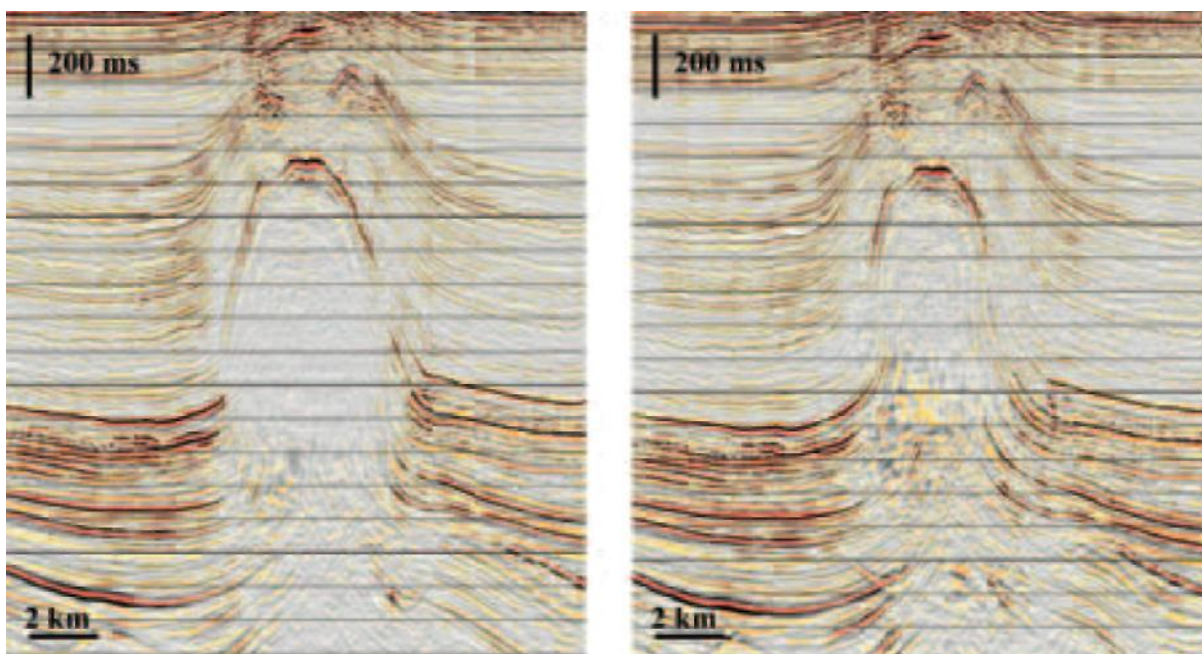


Рис 1 Сейсмическое изображение, полученное с использованием обычного анализа скоростей (слева) и скорости из томографии с высоким разрешением (справа).

Многодисциплинарный выпуск

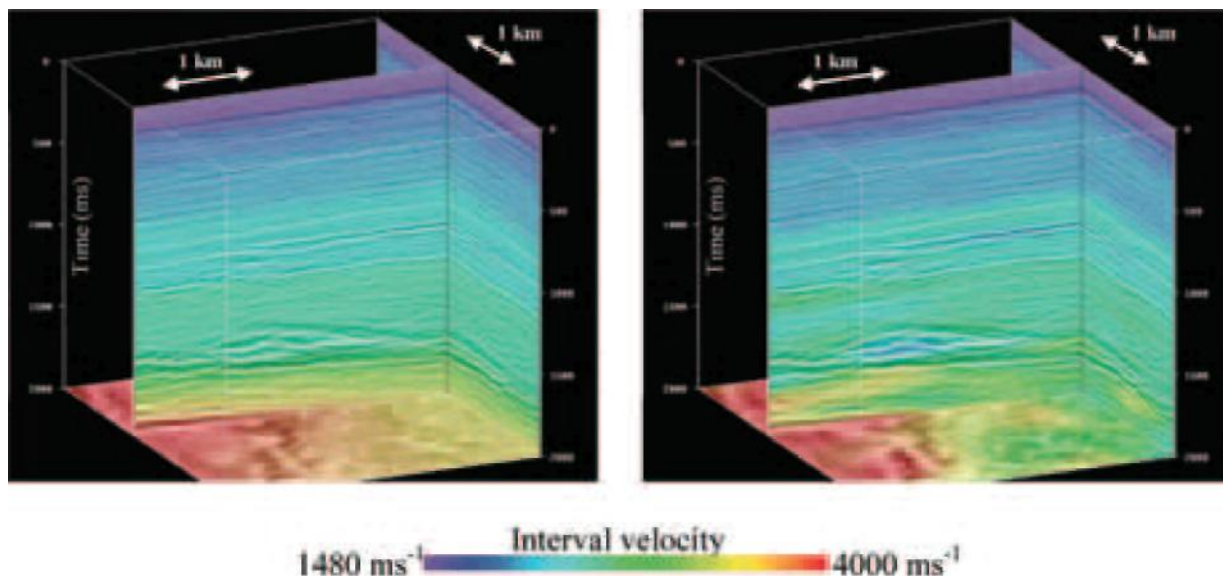


Рис 2 Скоростной профиль с соответствующим сейсмическим изображением до (слева) и после (справа) томографической скоростной корректуры. Отметим, что новая скорость имеет значительно большую детальность, включая уменьшение скорости в пределах газоносной зоны.

Различные методы формирования сейсмического изображения используют скоростную модель по-разному. Следовательно, скоростная модель, подходящая для одного алгоритма изображения, предположительно не может подходить для другого. Например, соответствующая скоростная модель для временной миграции Кирхгофа, вообще, не будет адекватна для глубинной миграции Кирхгофа. Существует связь между скоростной моделью и используемым алгоритмом отображения. Другими словами, сейсмическое представление и анализ скоростей - два аспекта одной и той же проблемы и нужно показывать, каким образом выбрана скоростная модель.

Современный томографический анализ скоростей

Томография — термин для методов, которые уточняют скоростные модели способами, которые учитывают то как получено сейсмическое изображение. В последние годы в промышленности широко применяется ряд успешных томографических алгоритмов (например, Zhou и др., 2001), которые идентифицируют выбранные отражения на изображаемых сейсмических данных. Основываясь на этом выборе, и модели начальной скорости проводится трассирование лучей для оценки того, как выбранные отражения соотносятся с полученными сейсмическими данными. При известной траектории луча, скорость корректируется, чтобы уменьшить остаточное искривление, существующее на выбранных отражениях.

Томографический метод «остаточной кривизны» успешно применяется при получении «хороших» скоростей в плотных осадочных породах (в Мексиканском заливе). В других условиях этот метод требует бдительности при получении подходящей скоростной модели: сильный контраст скоростей на литологических границах является часто трудно различимым при ограниченном числе отдельных отражений. Кроме того, наземные сейсмические данные являются более трудными, чем морские данные из-за того, что формирование траекторий луча, которые в явном виде отражают

сейсмическую картинку, требует знания азимутов приемных расстановок, которые обычно теряются при отображении.

Полный цикл томографических решений

При заданной исходной скоростной модели сетки, остаточное приращение на сейсмограммах CIGs используется для оценки ошибки скорости. Затем можно изменить один элемент исходной скоростной модели. Сейсмические данные могут быть отображены повторно и может быть измерено новое остаточное приращение на сейсмограммах CIGs. Можно увидеть всесторонний эффект от изменения элемента скоростной модели на сейсмическом изображении. Может быть измерена также и когерентность сейсмических данных, чтобы шум или другие некогерентные отражения не портили результат. Изменение скоростей желательно, когда полное остаточное приращение уменьшается, и наоборот. Это может повторяться, для каждого элемента модели начальной скорости, который изменяется в свою очередь. Могут использоваться математические методы, чтобы скорректировать скоростную модель и уменьшить остаточное приращение, налагая подходящие ограничения на скорость, тип сглаживания. Уточненная скорость будет иметь высокую детальность, которая минимизирует остаточное приращение на всех сейсмограммах CIGs. Эта процедура последовательна: алгоритм изображения используется для отображения сейсмических данных и для управления изменением скорости.

Эта томографическая процедура требует отображения полученных сейсмических данных многократно, используя слегка различные скоростные модели. Чрезмерно высокая стоимость более дорогих в вычислительном отношении алгоритмов отображения, типа глубинной миграции Кирхгофа или миграции на основе волнового уравнения, не позволяет в настоящее время их применить. Для менее трудоемких в вычислительном отношении алгоритмов, типа временной миграции Кирхгофа, их можно применить, и процедура включает полный

Многодисциплинарный выпуск

томографический цикл. Так как изучается результат изменения каждого элемента начальной скорости, на сейсмическое изображение, единственным пределом детальности является дискретизация полученных сейсмических данных и параметры, используемые в данном методе (разрешение сеточной модели скорости и любое примененное сглаживание).

Пример из центральной части Северного моря

На Рис 1 (слева) показано изображение солевого диапира, полученное с помощью модели начальной скорости. Кровля отражающего горизонта соли отображена поверх диапира, но основание соли очень плохо отображается с краев. Значительное остаточное приращение на сейсмограммах CIGs, говорит о том, что эта скоростная модель далека от истины.

На Рис 1 (справа) показано изображение соляного диапира после 25 итераций томографии временной миграции, хотя модель фактически сходилась после первых 10 итераций. Самое заметное различие - непосредственно в строении диапира, который теперь стал гораздо меньшим по величине и толщине объектом. Верхний отражающий горизонт можно отследить по диапиру с некоторой точностью, а выклинивание отражающих горизонтов, выше и на основании отслеживаются в Меловых и Палеоценовых отложениях. В верхней части Мела находится главная нефтяная залежь и скорректированное изображение ясно показывает выклинивание верхних отражающих горизонтов мела на склоне диапира, которые не видны на первом изображении. Кроме того, положение этих отражений существенно меняется.

Пример продуктивного газового коллектора в Северном море

Второй пример взят из другой части Северного моря. Модель начальных скоростей была получена, используя коррекцию по вертикали совместно с автоматизированными методами получения RMS скорости. Эта модель, наложенная на соответствующее сейсмическое изображение, показана на рисунке 2 (слева). Тонкий слой газового коллектора Третичного

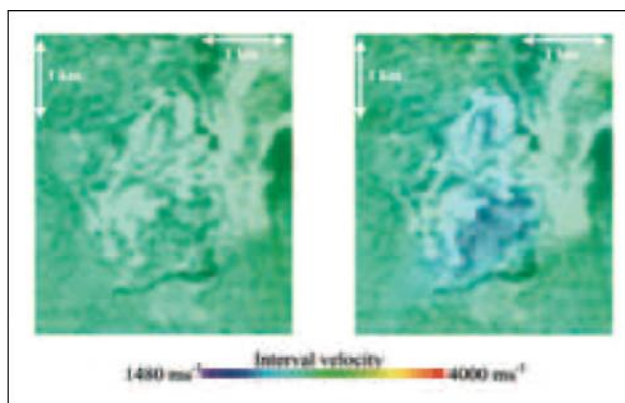


Рис 3 Временной срез через данные, показанные на рисунке 2, центральная часть газового коллектора. Граница газа может ясно прослеживаться на сейсмическом изображении. Томография обновляет скоростную модель, уменьшает интервальную скорость в пределах газа. Поскольку пласт с газом в этой зоне относительно тонок, этот результат может быть достигнут путем высокоразрешенного анализа сейсмограмм CIGs.

возраста может быть выделен на сейсмическом изображении, но он не представлен на скоростном изображении, при том что скорость в пределах газового коллектора меньше, чем в зоне прилегающих осадочных пород. Точное изменение скоростей в пределах тонкого газоносного слоя - трудно отследить обычными методами. На Рис 2 (справа) показана скоростная модель и сейсмическое изображение после применения томографии. Новая скоростная модель имеет большую детальность, чем начальная модель и, как ожидалось, скорость в пределах газового коллектора отличается от нижележащей зоны.

На рис 3 показаны два эквивалентных временных среза через газосодержащую зону. На изображении слева показана начальная интервальная скорость и сейсмическое изображение. Пример справа показывает томографически измененную

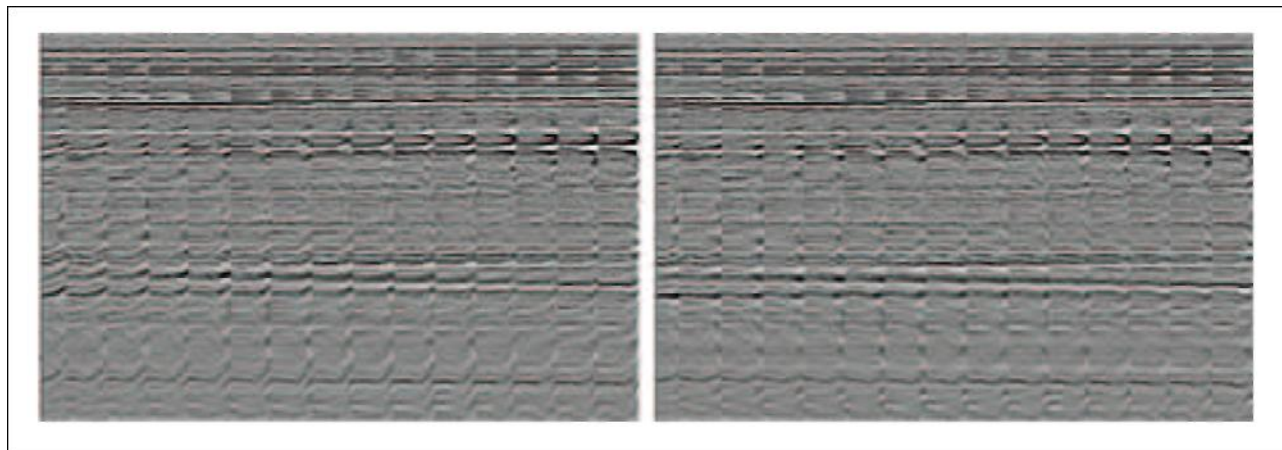


Рис 4 Сейсмограммы CIGs шельфа Западной Африки до (слева) и после (справа) томографического изменения v . Диапазон удалений - от 376 до 6176 м. Остаточное приращение более высокого порядка, заметное на сейсмограммах CIGs перед корректировкой было в значительной степени исправлено применением анизотропии.

Многодисциплинарный выпуск

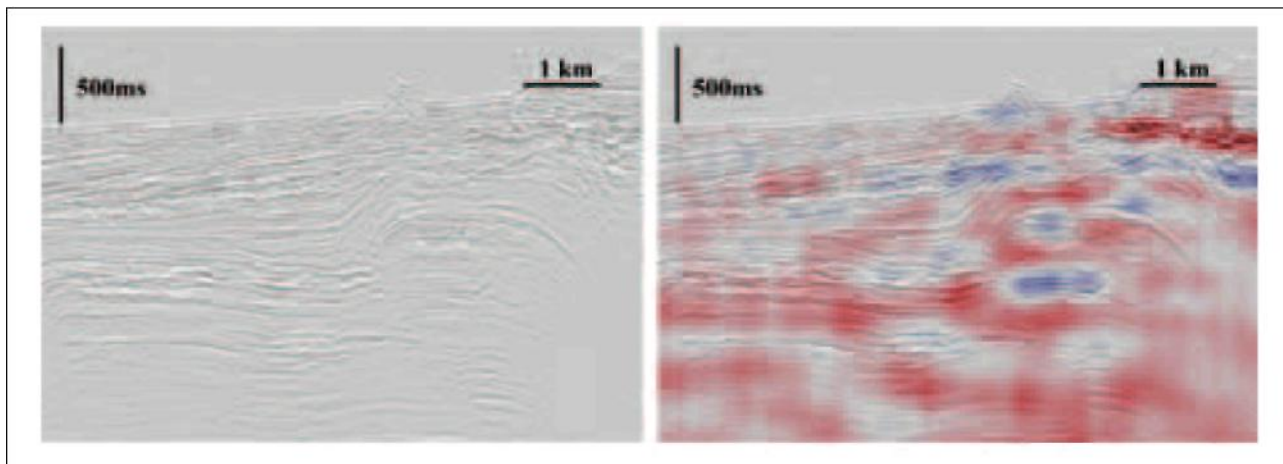


Рис 5 Сейсмическая анизотропия, наложенная на сейсмическое изображение до (слева) и после (справа) томографического изменения для r . Начальное значение r было всюду нулевым, с помощью томографии получена разумная модель анизотропии.

скоростную модель и соответствующее сейсмическое изображение. Это сейсмическое изображение ясно отражает контур газовой залежи, где скорость ниже. Превосходная корреляция между сейсмическим изображением и скорректированной скоростной моделью показывает преимущества измерения и использования остаточного приращения на CIGs при максимально возможном разрешении. Измененная скоростная модель также дает лучшее сейсмическое изображение.

Модель анизотропии скорости на шельфе Западной Африки

Геология шельфа Западной Африки, как известно, отличается значительной анизотропией. Чтобы правильно представить сейсмические данные в присутствии поперечной изотропии с вертикальной осью симметрии (VTI), должен быть известен параметр анизотропии r (Alkhalifah и Tsvankin, 1995).

Анизотропия слабее влияет на временную миграцию, чем скорость. В результате точная оценка анизотропии затруднительна. Традиционный подход состоит в том, чтобы инвертировать выбранные высшие степени приращения для получения T . Однако, высший порядок приращения трудно выбрать, и инверсия для получения параметров анизотропии непостоянна. Следовательно, с учетом этого требования трудно получить устойчивые параметры анизотропии.

Новый томографический метод, проиллюстрированный выше, можно использовать, чтобы скорректировать анизотропную скоростную модель. Метод, используемый для изменения r , подходит для пересчета интервальной скорости; но теперь изменяется модель анизотропии, а не скоростная модель. Это позволяет измерить эффект анизотропии приращений CIGs более высокого порядка. Результат эквивалентен изменению скорости: информация с высоким разрешением используется для обновления модели анизотропии, с дополнительными ограничениями. Отметим, что временная миграция Кирхгофа была основана на прослеженных временах пробега луча, с целью объяснения любого более высокого порядка приращения, вызванного вертикальными скоростными изменениями. Любой остающийся высший порядок приращения является атрибутом анизотропии.

На Рис 4 показан CIGs трехмерного сейсмического набора данных, полученных с шельфа Западной Африки. Изображение слева отображает сейсмограммы CIGs после применения

временной миграции с томографически полученной изотропной скоростной областью (оптимизированной, чтобы сгладить второй порядок приращением CIGs). Изображение справа показывает эквивалентные CIGs, после анизотропной временной миграции с томографически полученной r областью. Эффект "хоккейной клюшки" на изотропных CIGs был в значительной степени удален учетом анизотропных параметров.

Рис 5 показывает суммированный сейсмический разрез до (слева) и после (справа) после применения анизотропии, с наложением в цвете соответствующей области r . Отметим, что полученная модель анизотропии гладкая и устойчива при разумных значениях. Можно отметить, что области, обозначенные на рисунке 5 (справа) говорят о более низких значениях анизотропии и соответствуют расположению каналов в данных отражениях. Эти каналы – песчаные пласты коллекторы, и изображенные изменения в анизотропии отражают сильные изменения в литологии.

Заключение

Полный спектр томографических решений, показанный здесь, позволяет получить анизотропную скоростную модель с высокой разрешающей способностью. Эта модель вычисляется, для получения оптимального изображения временной миграции по сейсмическим данным. Метод может также быть расширен, чтобы пересчитать модель скоростной анизотропии. Результаты скорректированного томографического изображения и полученной скоростной модели могут использоваться для получения более точного представления о разрезе.

Ссылки

- Alkhalifah, T. and Tsvankin, I. [1995] Velocity analysis for transversely isotropic media. *Geophysics*, 60, 1550-1566.
 Deregowski, S. [1990] Common offset migrations and velocity analysis. *First Break*, 8, 224-234.
 Zhou, H., Guo, J., and Young, J. [2001] An alternative residual-curvature updating method for prestack depth migration. *71st SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts*, 877-880.

