Reducing Geologic Uncertainty in Seismic Interpretation: Case Study of Lower Mannville Channels in Western Canadian Sedimentary Basin

V. Rybakov* (IHS Markit), J. Bock (IHS Markit)

SUMMARY

When dealing with seismic and well data interpreters often face certain challenges characteristic of both data types. Well data is very detailed vertically and gives rich detail in specific locations, but the rest of the field remains unknown at that level of detail. Seismic data is almost nearly the opposite; it provides very good resolution laterally, but is much less detailed vertically and typically doesn't provide a direct measurement of physical properties of interest. Combining both data types, geologic models capable of filling in the gaps between seismic and well data sets have become exceedingly valuable. In this investigation we studied a number of uncertainty reducing workflows associated with both forward and inverse modeling techniques. How can we make predictions as to what attributes will uniquely discriminate between reservoir and non-reservoir rocks and fluids with confidence? Forward modeling of geophysical data uses well-defined geological models to calculate specific seismic field responses. Using available log data combined with geologically reasonable model constraints, geomodelers may construct a number of modeled seismic responses that can be used to validate or annul various working geologic models. In contrast, geophysical inverse modeling techniques attempt to construct a physical property model based off a geophysical response.

Уменьшение геологической неопределенности в сейсмической интерпретации на примере нижних каналов Меннвилля в Западно-Канадском осадочном бассейне

В.П. Рыбаков* (IHS Markit), Джим Бок (IHS Markit)

Введение

При работе с сейсмическими и скважинными данными интерпретаторы часто сталкиваются с определёнными проблемами, характерными для обоих типов данных. Скважинные данные дают очень подробное описание различных параметров разреза вдоль ствола скважины, но являются точечными и остальная часть поля остается неизвестной на этом уровне детализации. Сейсмические данные, в свою очередь, являются почти противоположными скважинным; они обеспечивают очень хорошее площадное разрешение, но гораздо менее подробно вертикальное и обычно не обеспечивают прямого измерения физических свойств, представляющих интерес. Комбинируя оба типа данных, геологические модели, способные заполнять пробелы между сейсмическими и скважинными данными стали чрезвычайно важным инструментом интерпретаторов.

В этом исследовании мы изучили ряд рабочих процессов по снижению неопределенностей, связанных с методами прямого и обратного моделирования. Как можно спрогнозировать какие атрибуты будут однозначно различать между породами и флюидами пласта-коллектора и пласта не содержащего углеводородов? Прямое моделирование геофизических данных использует четко заданные геологические модели для расчета конкретных характеристик сейсмического поля. Используя имеющиеся данные каротажа скважин, в сочетании с геологически обоснованными ограничениями модели, специалисты по геомоделированию могут построить ряд смоделированных сейсмических решений, которые могут использоваться для проверки или аннулирования различных рабочих геологических моделей. И напротив, методы обратного геофизического моделирования или инверсии используются для построения модели физических свойств, основанных на геофизических характеристиках.

Методы прямого и обратного моделирования

Многие важные геофизические задачи можно описать уравнениями математической физики. Математические модели подобных задач обычно делятся на прямые и обратные. Задача прямого моделирования заключается в вычислении неизвестного строения объекта основываясь на определенной модели Земли. В этом случае каждая такая модель генерирует одно уникальное решение. На рисунке 1 показана смоделированная гравитация с плотностью контраста около 50 кг/м^3 . Результаты модели показаны синей линией ниже. Проблема состоит в том, что можно получить одинаково точные результаты с несколькими моделями.

Рисунок 1. Смоделированная гравитация с плотностью контраста 50 кг/м^3

Рисунок 2. Множественные модели генерируют идентичную аномалию.

Обратное геофизическое моделирование является прямой противоположностью прямого моделирования: задача инверсии состоит в создании модели основываясь на наборе наблюдений, или установленных зависимостей или известной модели к неизвестному анализируемому объекту. Решение обратной задачи является более трудным, так как результат может быть не единственным, что в свою очередь означает, что множественные модели могут генерировать идентичные аномалии (Рис. 2).

Проблема неединственности решений обратной задачи

Проблема неединственности решений в обратном геофизическом моделировании не может быть полностью устранена, но может быть значительно уменьшена. В нашем исследовании для уменьшения неединственности и большого количества ошибочных моделей мы задали определённые ограничения в двух пространствах:

- в пространстве данных (измерения или наблюдения) с помощью:
 - увеличения плотности как пространственных так и временных и глубинных вертикальных данных (каротажные данные и кубы скоростей (Рис. 3))
 - использования сейсмических импульсов (вейвлетов)
 - использования дополнительной геологической информации
- в пространстве параметров модели с помощью:
 - задания соответствующих параметров (количество параметров модели, их пространственный интервал и физические атрибуты)
 - изначально правильного предположения исходной модели
 - наличия априорной информации

Рисунок 3. Куб скоростей, использованный для ограничения проблемы неединственности.

Прямое и обратное моделирование нижних каналов Меннвилля в Западно-Канадском осадочном бассейне

В качестве объекта нашего исследования были выбраны нижние каналы Меннвилля в Западно-Канадском осадочном бассейне, которые были образованы во время Нижнего мела. Речные каналы в Меннвилле оказались очень значительными. Индивидуальные коллектора имели от 100 до 300 мбб добытой нефти и газа. Моделирование этих каналов проводилось в 3 этапа:

- 1D моделирование было использовано для увязки сейсмических данных со скважинами.
- С помощью 2D моделирования были сгенерированы изолированные геотела, представляющие собой песчаные каналы с низкой скоростью около 2900 м/с и заполненные илом каналы со скоростью около 4100 м/с (Рис. 4).
- С помощью использования инверсионного алгоритма имитации отжига были сгенерированы кубы относительного и абсолютного импеданса (Рис. 5).

Рисунок 4 . Модель заполненного илом канала со скоростью около 4100 м/с .

Рисунок 5 . Абсолютный импеданс.

Использование алгоритма имитации отжига

Принцип работы алгоритма имитации отжига заключается в искусственном возмущении модели, когда процесс протекает при постоянно понижающейся температуре. Для каждой температуры происходит поиск оптимальной трассы импеданса, чтобы соответствовать исходной сейсмической трассе и минимизировать ошибку. Когда оптимальная трасса импеданса найдена, то температура падает и количество возмущения модели становится всё меньше и меньше. В конце процесса мы получаем синтетическую трассу, которая очень точно воспроизводит исходную сейсмическую трассу (Рис. 6).

Рисунок 6 . Синтетическая трасса, точно воспроизводящая исходную сейсмическую

Дальнейшая интерпретация

В дальнейшем можно рассчитать псевдо-свойства пласта между скважинами, при наличии надлежащей калибровка на уровне пласта. В этом случае можно наблюдать взаимосвязь между инверсией и эффективной средней пористостью и использовать полученное уравнение для преобразования данных инверсии в куб пористости (Рис. 7).

Рисунок 7. Кросс-плот взаимосвязи между инверсией и эффективной средней пористостью.

Выводы

В заключение нужно сказать, что в рамках процесса принятия решений геологические модели могут быть ключевым компонентом. Во многих случаях модели дают дополнительное представление о том, где существует определенный уровень неопределенности и как эту неопределенность можно уменьшить. В рассмотренном здесь примере было не ясно, какой тип канала мы могли идентифицировать в Нижнем Меннвилле. Моделируя ожидаемый сейсмический отклик, мы смогли подтвердить наличие заполненного илом канала и исключить канал, заполненный песком. Мы также рассмотрели вопрос о «неединственности» и обсудили пути сокращения общего числа решений, увеличивая вероятность того, что наши модели приближаются к «реальному миру». И, наконец, мы рассмотрели, как при правильной калибровке можно получить дополнительную информацию от моделей. В частности, расчет псевдо-свойств пласта путем построения кросс-плотов модельных данных с данными скважины в ограниченном диапазоне глубин с подобными свойствами горных пород.

Благодарности

Выражаем нашу искреннюю благодарность компании Explor Seismic за предоставленные данные 3D сейсмической съемки

Список Литературы

- Peterson, J.A., 1981. Stratigraphy and Sedimentary Facies of the Madison Limestone and Associated Rocks in Parts of Montana, Nebraska, North Dakota, South Dakota, and Wyoming: USGS Professional Paper 1273-A
- Reimer, D.A., 1988. Chapter 6, Mississippian Reservoirs: Geophysical Atlas of Western Canadian Hydrocarbon Pools: The CSEG/CSPG
- Sherwin, M.D., 2001. Mannville Paleo-topography and Depositional Trends in the Glauconitic Formation, Southern and Central Alberta: The CSPG Annual Convention, 2001