

Построение пластовой модели среды: возможности и ограничения

Р.Г. Анисимов* (Яндекс.Терра (ООО «Сейсмотек»)), Р.Т. Давлетханов (Яндекс.Терра (ООО «Сейсмотек»)), С.Л. Лангман (Яндекс.Терра (ООО «Сейсмотек»)), О.А. Силаенков (Яндекс.Терра (ООО «Сейсмотек»)), Д.Б. Фиников (Яндекс.Терра (ООО «Сейсмотек»))

Введение

В последнее десятилетие в практике сейсморазведки всё большую популярность приобретают методы построения глубинно-скоростной модели среды (ГСМ) в существенно расширенных классах моделей (рис. 1). Исследуются градиентные и анизотропные (преимущественно трансверсально-изотропные) свойства среды, изучаются рассеянные компоненты волнового поля, большое внимание уделяется динамическим параметрам. Между тем давно известные свойства обратной задачи сейсморазведки: её структурная неустойчивость (неустойчивость по модели), некорректность в расширенных классах моделей – декларируются, но на практике игнорируются. Не будем повторять эти широко известные истины, а обратим внимание на то, что преодоление неопределённостей в решении задачи должно опираться на априорную информацию. Этот тезис сам по себе также повисает в воздухе, если речь не идёт о конкретном районе, конкретных сейсмогеологических условиях, наличии скважинных данных и плохо формализуемых, но всегда имеющих сведения геологического характера. Популярные средства построения сеточных моделей среды томографическими методами зачастую могут приводить к одиозным решениям и, во всяком случае, должны контролироваться перечисленными данными, для чего необходим специальный инструментарий.



Рисунок 1 Типы расширенной параметризации модели пласта.

Геофизики на разных этапах обработки опираются на разные модели среды, которые зачастую заходят в противоречие друг с другом. Так, нередко обработка начинается в модели средних скоростей, ВЧР описывается моделью статики, параметры статических поправок и скоростей суммирования подбираются так, чтобы обеспечить хорошие условия суммирования, а после этого описание модели усложняется с целью получения более детального описания среды и, в конечном счете, построения глубинного изображения, сопровождаемого принятым набором атрибутов. По нашему мнению, все наработанные приёмы, используемые в практике обработки, хорошо подходят для параметризации кинематических параметров. Однако эти приёмы необходимо отделять от этапа построения модели, который должен приниматься во внимание с первых шагов обработки. В докладе мы продемонстрируем, каким образом, с нашей точки зрения, должна строиться обработка, с ранних этапов ориентированная на построение глубинно-скоростной модели среды, а также расскажем какими средствами мы для этого располагаем.

Параметризация годографа через аналитическую кинематику и статику

В вопросе кинематических инверсий всегда немаловажной остаётся проблема измерения поля времён. В простых случаях данные могут быть хорошо описаны гиперболой, но для более сложных ситуаций: рельеф, сильные преломления, петли – был разработан и применяется на практике метод кинематико-динамического преобразования, смысл которого заключается в миграции данных в некоторой модели, описании остаточной кинематики в глубинной области

и последующей кинематической демиграции описанных глубинных кривых, или поверхностей, во временную область [1]. Однако ни гиперболический анализ, ни кинематико-динамическое преобразование не смогут справиться с условиями очень сложной верхней части разреза, в результате влияния которой годограф усложняется настолько, что не описывается никакой аналитической функцией, а плотность данных совместно со сложной формой годографа не позволяют сделать устойчивый пикинг. В связи с этим, а также из-за каких-либо иных дополнительных трудностей, данные в первую очередь проходят через процедуру «гиперболизации» посредством определения и ввода статических поправок. При этом существенным образом может искажаться реальная кинематика отражённых волн, в том числе и её азимутальная составляющая, что в процессе построения ГСМ может привести к серьёзным структурным искажениям. По этой причине лучшим решением будет попытка учесть все средне- и длиннопериодные аномалии, связанные с верхней частью, в ГСМ посредством построения её кинематического эквивалента. Для этих целей было предложено описывать временное поле посредством гиперболы и статики [2]. Другими словами, сначала данные гиперболизируются при помощи статических поправок, а затем «реальная» кинематика выражается через время гиперболы и соответствующие поправки за источник и приёмник, но не исходной статики, а её гладкой составляющей, той, которую мы способны учесть в модели.

При обработке сухопутных данных, а зачастую и морских, успех в решении задач глубинных построений во многом определяется корректным учетом влияния верхней части разреза, поэтому следующим важным шагом после описания поля времён является построение кинематически эквивалентной модели ВЧР. Для этих целей могут быть использованы инструменты вставки и томографии. При этом необходимо знать априорное глубинное положение некоторого опорного горизонта, без данной информации данная задача не может быть решена в принципе [3].

Вставка горизонта (реконструкция слоя)

Данный инструмент разрабатывался для решения задачи построения ГСМ в условиях наличия априорной информации или априорных представлений о конфигурации отражающего горизонта и сложной неоднородной толщи над ним, в которой устойчивые отражения от промежуточных границ не сформированы, что не позволяет включить эти неоднородности в модель. Такие условия характерны для сложной ВЧР, мерзлоты, подсолевой зоны и т.п. Смысл данного метода заключается в разбиении рассматриваемой толщи на два интервала с индивидуальными скоростными характеристиками с целью отыскания кинематического эквивалента пласта, обеспечивающего попадание в исходные данные при фиксированном положении отражающей границы. Данный способ был предложен В.М. Глоговским и использовался им в 2D исполнении для построения и доказательства наличия кинематически эквивалентных моделей.

Технически алгоритм состоит из двух этапов. На первом этапе, при некоторых предполагаемых скоростях сверху и снизу, по нормальным лучам отстраивается преломляющая граница, обеспечивающая соблюдение баланса времён t_0 . Данная задача имеет единственное решение. После этого моделируется временное поле отражённой волны для проверяемых скоростей и построенной преломляющей границы. Из всех возможных пар скоростей выбирается пара, обеспечивающая лучшее попадание в исходные данные. Проблема выбора оптимума может быть решена при помощи использования алгоритмов численной оптимизации или же отдана на решение геофизику посредством построения соответствующих спектров. Также возможен и часто применяется на практике вариант задачи с фиксированной скоростью в верхнем или нижнем интервале с целью получения более ожидаемого решения и удовлетворения имеющимся априорным сведениям о распределении скоростей. Описанная выше задача оптимизации носит локальный характер, другими словами скорости анализируются на некоторой заданной сетке и на некоторой локальной базе решения. При этом предполагается, что локально скорости можно описать константой. Правомерность данного предположения

очень сильно зависит от мощности рассматриваемой толщи и степени неоднородности скоростей в реальной среде. Тем не менее, метод позволяет выбирать основные скоростные тренды, которые в дальнейшем могут быть уточнены при помощи томографии.

Кинематическая сейсмическая томография

Применяемая нами трёхмерная лучевая томография работает в модели с пластовой параметризацией, тем самым являясь логическим расширением всей существующей подсистемы построения ГСМ в обобщённой пластовой модели. Она может сочетаться со всеми инструментами построения пластовой модели.

Посредством описываемой лучевой томографии могут решаться несколько практических задач:

- Уточнение построенной ТГСМ без предположений о её локальной однородности.
- Посадка на скважины посредством разбиения слоя на стратиграфически согласованные интервалы и отыскания распределения скоростей в каждом из них.
- Учёт вертикального градиента скоростей посредством разбиения слоя на стратиграфически согласованные интервалы и поиска ответа в виде линейных функций.
- Возможен учёт промежуточных отражений. Посредством применения стратиграфической разбивки пластовую модель можно наделить чертами гибридной параметризации и контролируемым образом обойти её внутренние противоречия.

Геофизик по своему усмотрению и в зависимости от решаемой задачи может выбирать, какие слои необходимо обновлять, положение каких горизонтов требуется фиксировать, а какие пласты нужно разбить на стратиграфически согласованные интервалы для учёта имеющихся неоднородностей. Таким образом, томографию можно настроить как для решения локальной задачи уточнения одного слоя, так и для решения глобальной задачи обновления всей модели.

Определение параметров анизотропии

Помимо учёта сложной ВЧР зачастую приходится сталкиваться с кинематическими эффектами, которые могут быть удобно описаны анизотропной моделью. Задача определения параметров анизотропии заключается в отыскании таких параметров V_0 , ϵ и δ , а также пространственной ориентации оси симметрии, которые позволяют отобразиться в исходное временное поле с достаточной для практики точностью. Ввиду неединственности решения постановка задачи включает в себя требование использования известного глубинного положения отражающего горизонта. Для различных практических случаев возможны несколько вариантов постановки и решения данной задачи:

- Задача определения параметров V_0 , ϵ и δ при известной пространственной ориентации оси симметрии, как VTI или STI, так и произвольно заданной оси (задаётся в виде карт).
- Задача определения параметров V_0 , ϵ , δ и азимута оси анизотропии для NTI случая.
- Задача определения параметров V_0 , ϵ , δ и пространственной ориентации оси симметрии.

Описанное выше касается параметров Томсена, но задача также решается и в терминах квазианизотропных сред.

Кинематическая инверсия слоя

Включение в пластовую модель интервалов, характеризующихся анизотропией или вертикальным градиентом скорости, на практике без особой на то причины не производится. Все построения при этом ведутся в локально-однородной изотропной модели, для определения параметров которой мы обладаем уникальным инструментом быстрой кинематической

инверсии слоя, который позволяет одновременно определять, как глубинное положение отражающего горизонта, так и скоростные характеристики слоя над ним. Помимо этого, решение в локально-однородной изотропной пластовой модели позволяет строить специальный критерий, обеспечивающий проверку гипотезы о локальной однородности слоя, что делает данный инструмент особенно ценным средством построения ГСМ.

Расчёт модели ориентированной статистики

Последним шагом технологии обычно является расчёт статических поправок, ориентированных на построенную ТГСМ. Для этого от выбранных в модели горизонтов рассчитываются трёхмерные прямые задачи, и ответ сохраняется в специальные таблицы. Далее эти таблицы используются в качестве скоростного закона для коррекции высокочастотных статических поправок. Таким образом, качество получаемого изображения может быть повышено за счет адаптации исходных данных к построенной модели.

Выводы

Основные, по нашему мнению, преимущества описанного набора инструментов для построения ГСМ состоят в том, что каждый из них, и все в совокупности, обладает необходимыми методами контроля достоверности, позволяет построить непротиворечивую модель среды в эффективных параметрах и при этом учесть все принятые в современной обработке факторы, определяющие получение качественных изображений. При этом, следует иметь в виду, что проблемы структурной неустойчивости и некорректности задачи не снимаются в полной мере. Можно заменить анизотропный пласт слоистым, а слоистый – градиентным, и получить изображения сходного качества, но с различными структурными и динамическими особенностями. Поэтому главным выводом из накопленного опыта мы считаем, что в конкретных сейсмогеологических условиях необходимо проведение комплекса исследовательских работ, опирающихся на математическое моделирование волновых полей [4,5]. Только так можно попытаться оценить надежность комплекса процедур, направленных на решение обратных задач сейсморазведки.

Библиография

1. Лангман С.Л., Силаенков О.А. Кинематико-динамическое преобразование — инструмент параметризации волнового поля // Геомодель 2011. 13-я конференция по проблемам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных при геологическом моделировании месторождений углеводородов. — Геленджик, Россия, Сентябрь.2011.
2. Давлетханов Р.Т., Силаенков О.А. Учёт влияния ВЧР на основе поверхностно-согласованной параметризации годографа отражённой волны // Технологии сейсморазведки. — 2016. — Т. 13, № 3. С. 102—113.
3. Анисимов Р.Г., Лангман С.Л., Фиников Д.Б. Возможности расширения класса пластовых моделей сред при решении обратной кинематической задачи. Часть 1. Реконструкция пласта. Вставка горизонта // Технологии сейсморазведки. — 2015. — Т. 12, № 2. — С. 69—76.
4. Фиников Д.Б., Шалашников А.В. Трансформация волновых полей: миграция, погружение, моделирование // Тюмень 2013. Новые геотехнологии для старых провинций. — Тюмень, Россия, Март.2013.
5. Каплан С.А., Лебедев Е.Б., Фиников Д.Б., Шалашников А.В. Прямые задачи в обработке и интерпретации сейсмических данных // Санкт-Петербург 2016. 7-я международная геолого-геофизическая конференция и выставка «Санкт-Петербург 2016. Через интеграцию геонаук — к постижению гармонии недр». — Санкт-Петербург, Россия, Апрель.2016.