

Построение пластовой модели среды: возможности и ограничения

Анисимов Руслан Гурьевич, Давлетханов Р.Т., Лангман С.Л., Силаенков О.А.,
Фиников Д.Б.

Яндекс Терра (ООО «Сейсмотек») / Москва

Введение

В последнее десятилетие в сейсморазведке большую популярность приобрели методы построения глубинно-скоростной модели среды (ГСМ) в существенно расширенных классах моделей (рис. 1). Геофизиков интересуют градиентные, анизотропные и другие характеристики среды, но при этом известные свойства обратной задачи сейсморазведки: её структурная неустойчивость (неустойчивость по модели), некорректность в расширенных классах моделей – объявляются, но на практике игнорируются. Не повторяя этих широко известных истин, скажем, что преодоление неоднозначности при решении задачи должно опираться на априорную информацию. Этот тезис сам по себе выглядит повисшим в воздухе, когда мы не говорим о конкретном районе, конкретных сейсмогеологических условиях, наличии скважинных данных и плохо формализуемых, но всегда имеющих сведения геологического характера. Томографические методы построения моделей среды зачастую могут приводить к неправдоподобным решениям, которые при этом хорошо отображаются во входные данные, и по этой причине должны контролироваться перечисленными данными, для чего необходим специальный инструментарий.

Геофизики на разных этапах обработки опираются на разные модели среды, зачастую заходящие в противоречие друг с другом. 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. Мы полагаем, что все наработанные практические приёмы обработки хорошо подходят для параметризации кинематических параметров волнового поля. Но стоит отметить, что эти приёмы должны быть отделены от этапа построения модели, который должен учитываться с самых первых шагов обработки. В своём докладе мы расскажем об обобщённой пластовой модели, продемонстрируем каким образом по нашему мнению должна быть организована обработка, с ранних этапов ориентированная на построение глубинно-скоростной модели, а в представленных тезисах расскажем какими средствами мы для этого располагаем.



Рисунок 1 Типы расширенной параметризации модели пласта.

Параметризация годографа через аналитическую кинематику и статику

В вопросе кинематических инверсий всегда немаловажной остаётся проблема измерения поля времён. В простых случаях данные можно достаточно точно описать гиперболой, но в более сложных ситуациях: рельеф, сильные преломления, петли – такой подход не подойдёт. Для этого был разработан и применяется на практике метод кинематико-динамического преобразования. Но ни гиперболический анализ, ни кинематико-динамическое преобразование не подходят для применения в условиях 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. По этой причине на практике обычно в самом начале обработки определяются и корректируются поверхностно-согласованные статические поправки, другими словами мы пытаемся привести данные к виду, при котором данные хорошо описываются гиперболическими функциями. При этом существенным образом искажается реальная кинематика отражённых волн, включая её азимутальную составляющую, что при построении ГСМ может привести к серьёзным структурным искажениям. По этой причине, по нашему мнению, лучше постараться учесть все средне- и длиннопериодные аномалии, обусловленные верхней частью, в ГСМ путём построения кинематически эквивалентной модели ВЧР. Для этого нами было предложено описывать временное поле при помощи гиперболы, в общем случае любой аналитической функции, и гладкой составляющей поверхностно-согласованной статики.

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.

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.

Выводы

Мы описали набор инструментов для построения глубинно-скоростной модели, и, по нашему мнению, его основные преимущества заключаются 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. Однако проблемы структурной неустойчивости и некорректности задачи не снимаются в полной мере. Так 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. Только так можно попытаться оценить надежность комплекса процедур, направленных на решение обратных задач сейсморазведки.