

B06

New Tool and Programming and Methodological Software of Geophysical Propagation in Well

I.N. Eltsov* (Institute of Petroleum Geology&Geophysics SB RAS), M.I. Epov (Institute of Petroleum Geology&Geophysics SB RAS), K.N. Kayurov (Institute of Petroleum Geology&Geophysics SB RAS), A.N. Petrov (Institute of Petroleum Geology&Geophysics SB RAS), C.V. Suhorukova (Institute of Petroleum Geology&Geophysics SB RAS), A.Y. Sobolev (Institute of Petroleum Geology&Geophysics SB RAS) & A.A. Vlasov (Institute of Petroleum Geology&Geophysics SB RAS)

SUMMARY

Traditional task as a identification boundary of beds, definition of lithology and the estimation of oil saturation can be solved by new logging tool SKL. In advantage fresh tasks as estimation of the dielectric conductivity and it dispersion in frequency range of HILS can be solved by this tool also. Identification of invaded zone can be made by only one tool combined two different tools - LL & HILS. The example of real LL and HILS logs is applied. Effective interpretive system EMF-Pro is designed to processing SKL logs

Введение

С увеличением глубины разрабатываемых коллекторов нефти и газа наблюдается все более сложное строение разрезов, вскрываемых скважинами. Уплотнение и преобразование пород на большой глубине приводит к глинизации и пиритизации межзернового пространства и смене типа эффективной пористости коллекторов с межзерновой на трещинную. Со временем также усложняются технологии бурения, в частности, повсеместно применяется высокопроводящий биополимерный буровой раствор. В этих условиях плохо работают традиционные методы электрокаротажа, которые разрабатывались в свое время для неглубоко залегающих мощных однородных терригенных коллекторов. В ЗАО НППГА «Луч» разработан и успешно опробован новый комплекс каротажной аппаратуры, позволяющий одновременно измерять основные физические характеристики, по комплексу которых можно расчленять разрез, устанавливать литологию пластов и оценивать параметры коллектора. В декабре 2007 г. первым экземпляром аппаратуры проведено пробное измерение в одной из скважин Колтогорского месторождения, а летом 2009 - серия измерений в 10 скважинах. В ИНГГ СО РАН для нового комплекса создана автоматизированная система численной интерпретации.

Аппаратура СКЛ

В состав кабельного комплекса СКЛ (рис. 1) входят наиболее распространенные электрические методы (БКЗ, БК и ПС), резистивиметр, модули ННКт, ГК, инклинометра и ВЭМКЗ-20. Комплекс измеряет около 50 физических параметров, его длина составляет 19 м. Количество модулей в связке определяется решаемой геологической задачей с учетом их совместимости и точек записи.

Модуль ВЭМКЗ-20 высокочастотного электромагнитного каротажного зондирования создан на базе серийно выпускаемого ЗАО НППГА «Луч» (г. Новосибирск) прибора ВИКИЗ (Технология ... 2000). Состоит из 9 индукционных зондов длиной от 0,5 до 2 м. Зонды трехкатушечные, несимметричные, одна генераторная и две приемные катушки. Измеряется разность фаз и отношение амплитуд сигналов в приемных катушках и абсолютные значения амплитуд зонда 0,5 м (Петров, 2004).

Разработка комплекса базировалась на концепции модульного построения комплексной аппаратуры, включающей:

- кабельную телеметрию типа «Манчестер-2», согласованную с наиболее массово применяемыми каротажными станциями;
- единый общий модуль телеметрии, находящийся всегда сверху связки и имеющий сверху стандартный стыковочный узел под трехконтактную кабельную головку;
- транзитные линии связи и питания во всех измерительных модулях;
- межмодульный интерфейс RS-485 с гальванической развязкой;
- унифицированные узлы соединения с обеспечением «гибкости» в местах соединения в пределах 3—5°;
- механическое соединение модулей с помощью накидных гаек;
- электрическое соединение через разъем СН-47-7, обеспечивающий межмодульную гидростатическую развязку при аварийной разгерметизации одного из модулей;
- электрическую изоляцию общего провода, шасси и экранов от корпусов приборов;



Рис. 1. Комплекс СКЛ.

- датчик натяжения кабеля, датчик давления и акселерометр в модуле телеметрии.

Конструктивно модуль ВЭМКЗ расположен между модулями БК и БКЗ, причем стальной охранный корпус модуля ВЭМКЗ одновременно служит экранирующим электродом модуля БК, а зондовая стеклопластиковая часть работает как электроизолятор для модуля БКЗ. Модуль телеметрии одновременно выполняет функции технологического модуля и работает как часть приборов БК и БКЗ, обеспечивая их питанием током 400 Гц, при этом его корпус также имеет функции электродов и изоляторов. В результате такой тесной интеграции модулей удалось при приемлемой длине совместить наиболее широко распространенные методы измерений в одной связке, при этом точки записи большинства методов оказались сгруппированы не слишком далеко от нижней законцовки комплекса, что обеспечивает минимально необследуемую «мертвую зону» у забоя скважины.

Система численной инверсии и примеры интерпретации

EMF PRO – экспериментальная программная система интерпретации данных электрических и электромагнитных геофизических методов исследования в скважинах. Результат интерпретации – 1D цилиндрически-слоистая геоэлектрическая модель. В программе реализован алгоритм решения совместной обратной задачи, который заключается в том, что по результатам измерений двумя или более методами одновременно определяются параметры среды, что снижает область эквивалентности значений параметров геоэлектрической модели. Задача сводится к минимизации функционала, который описывает расхождение теоретически рассчитанных и экспериментальных данных. Обратная задача считается решенной тогда, когда невязка (суммарное расхождение по всем измерениям) становится минимальной.

Программа позволяет импортировать каротажные данные из файла LAS-формата и выгружать/загружать результаты интерпретации в SII-формат. Используется несколько настраиваемых алгоритмов фильтрации и алгоритмов автоматической расстановки границ. Предусмотрена визуализация всех введенных в систему сигналов и их трансформаций. Для визуализации используется подход, основанный на макетном представлении данных, принятый в современных интерпретационных системах — ПРАЙМ, GeoПоиск, Geo Office solver, СИАЛ-ГИС и др.

Все длительные операции выполняются в отдельном системном потоке, что позволяет интерпретатору во время вычислений работать с пользовательским интерфейсом. Алгоритмы групповых операций адаптированы для вычислений на многопроцессорных и многоядерных архитектурах (Core2 Duo и Core2 Quad, Intel; Athlon X2 и Phenom, AMD). Система реализована на языке C++ с помощью кросс-платформенной графической библиотеки Qt. Работает под управлением MS Windows NT/2000/2003/XP/Vista.

Система разделена на модули, которые взаимодействуют между собой через заданные интерфейсы. Каждый модуль является независимой частью системы и состоит из программы, дополнительных файлов, необходимых для работы, данных локализации и пользовательской помощи. Общие классы и интерфейсы объединены в библиотеки. Каждый геофизический метод представлен как отдельный модуль. Это позволяет добавлять модули количественной интерпретации для новых геофизических методов и приборов. Также организовано встраивание новых вычислительных алгоритмов: фильтрации, построения стартовой модели, решения прямых и обратных задач.

В процессе бурения коллектора формируется зона, измененная проникновением фильтрата бурового раствора. По распределению УЭС в этой зоне могут быть оценены параметры коллектора с помощью гидродинамического моделирования (Ельцов и др. 2005), поэтому очень важно точно установить параметры этого распределения. При инверсии данных одного из методов электрокаротажа значения параметров измененной зоны обычно характеризуются широкой эквивалентностью (Табаровский, Эпов 2006). Но разная чувствительность и разрешающая способность БКЗ и ВЭМКЗ обеспечивают возможность значительного сужения этой эквивалентности при построении геоэлектрической модели по комплексу этих методов.

Дополнительное измерение относительных амплитуд ΔA позволяет повысить надежность оценки УЭС и мощностей цилиндрических слоев, а также оценивать диэлектрическую проницаемость, которая зависит от водонасыщенности пласта. Анализ пространственной чувствительности зондов ВЭМКЗ (Глинских, Эпов 2005) показал, что при определении значений УЭС по относительным амплитудам область среды, влияющей на сигнал, менее локальна, чем при определении по разностям фаз, а при определении диэлектрической проницаемости – наоборот, более локальна. Поэтому для оценки УЭС измененной зоны и пласта небольшой мощности предпочтительны разности фаз $\Delta\phi$. Оценка диэлектрической проницаемости следует проводить по комплексу $\Delta\phi$ и ΔA (Никитенко, Эпов 2008). Также на характеристику ΔA с меньшей разрешающей способностью к прискважинной области меньше влияет эксцентриситет зонда.

Фрагмент практических диаграмм для 5 основных зондов ВЭМКЗ, а также ГК, НКТ и БКЗ показан на рис. 2. Диаграммы $\Delta\phi$ более дифференцированы по глубине, чем диаграммы ΔA . В верхнем пласте глин на диаграммах ΔA не заметно влияния скважины и зоны проникновения, в то время как на диаграммах $\Delta\phi$ это влияние явно выражено. Интервалы проницаемых пород отмечаются сильным расхождением сигналов зондов разной длины для обеих характеристик.

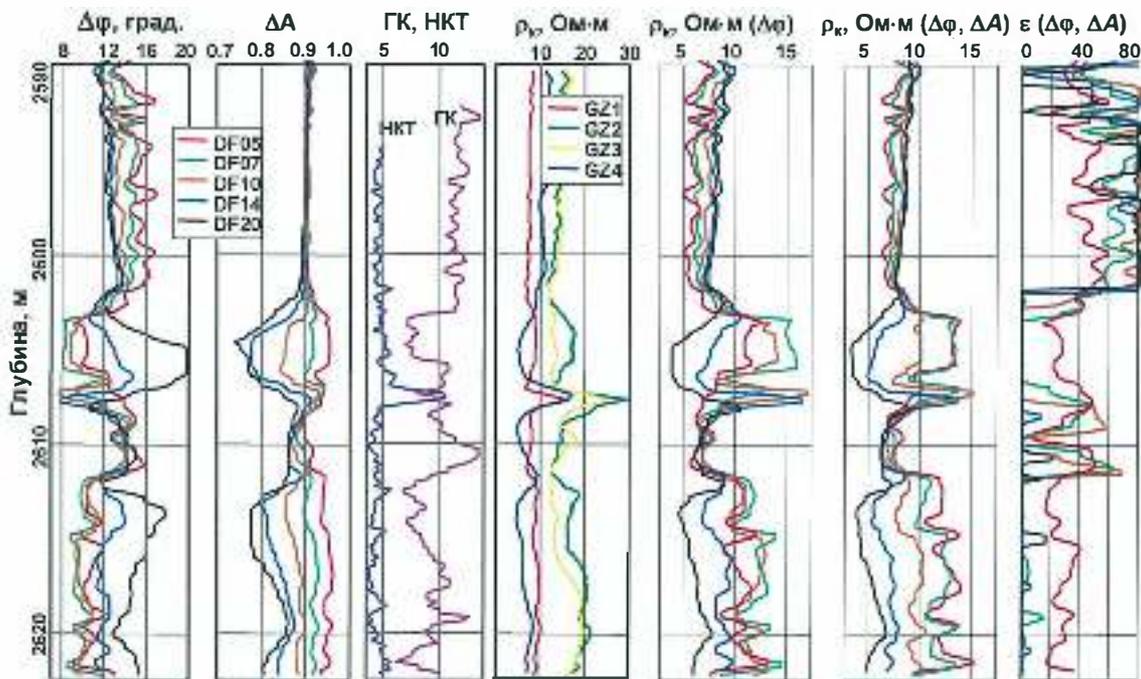


Рис. 2. Практические диаграммы ВЭМКЗ, ГК, НКТ, БКЗ. Справа - диаграммы кажущихся сопротивления и диэлектрической проницаемости.

Диаграммы трансформаций ρ_k и ϵ_k показаны на рис. 1 (3 колонки справа). Диаграммы ρ_k , рассчитанные по $\Delta\phi$ ($\rho_k^{\Delta\phi}$, обычно используемое для ВИКИЗ и ВЭМКЗ) и совместно по $\Delta\phi$ и ΔA ($\rho_k^{\Delta\phi, \Delta A}$), отражают указанные выше особенности – $\rho_k^{\Delta\phi, \Delta A}$ в силу большей чувствительности ΔA к сопротивлению пласта в проницаемых пластах (2603–2606 и 2613–2622 м) показывает более низкое ρ_k , чем $\Delta\phi$, в то время как в глинистом пласте (2590–2603 м) значения ρ_k (для длинных зондов) практически одинаковы. Также трансформация $\rho_k^{\Delta\phi, \Delta A}$ более сглажена в области плотного высокоомного пласта (2607–2608 м). В радиальном направлении также трансформация $\rho_k^{\Delta\phi, \Delta A}$ в пласте глин оказывается менее дифференцированной – диаграммы зондов ближе между собой, чем в случае $\rho_k^{\Delta\phi}$.

Диаграммы кажущейся диэлектрической проницаемости по практическим данным получены впервые. Высокие значения ϵ_k (для длинных зондов – 60–80), получаемые в глинистом пласте, обусловлены высокой поляризуемостью глин. Тот же порядок величины ϵ_k для глин и суглинков в диапазоне частот зондов ВЭМКЗ приводится зарубежными и российскими специалистами. В проницаемых водонасыщенных пластах ϵ_k по сигналам длинных зондов не определяется, а коротких зондов – изменяется от 20 до 40 единиц.

В мощных пластах преимущественно глинистого состава иногда фиксируется сильное несоответствие кажущихся сопротивлений по БКЗ и ВЭМКЗ. В этих случаях возможна частотная дисперсия эффективного значения относительной диэлектрической проницаемости в диапазоне рабочих частот ВЭМКЗ (Талалов, Даев 1996). Вначале по данным БКЗ строится геоэлектрическая модель пласта, потом подбираются значения $\epsilon_{эфф.}$ для зондов ВЭМКЗ каждой рабочей частоты. Для таких исследований в системе заложен расширенный диапазон значений ϵ (от 1 до 1000). Рассчитанные по практическим данным СКЛ частотные зависимости $\epsilon_{эфф.}$ соответствуют данным, приведенным Талаловым и Даевым (1996).

Выводы

По комплексу измеряемых новым аппаратурным комплексом СКЛ величин решаются как традиционные задачи разделения разреза на пласты, установление литологии и оценка насыщения, так и новые – уточнение строения измененной зоны по комплексу БКЗ+ВЭМКЗ, оценка значения эффективной диэлектрической проницаемости и ее дисперсии в диапазоне частот ВЭМКЗ. Показан пример практических диаграмм сигналов БКЗ и ВЭМКЗ и их трансформаций.

Создана эффективная интерпретационная система EMF Pro для комплексной интерпретации сигналов, измеряемых предлагаемым комплексом.

Ссылки

Глинских В.Н., Эпов М.И. [2005] Анализ пространственной чувствительности относительных характеристик в задачах высокочастотного электромагнитного каротажа. *Геология и геофизика*. Т.46. № 11. 1168–1175.

Ельцов И.Н., Эпов М.И., Кашеваров А.А. [2005] Новый системный подход к интерпретации данных ГИС и ГТИ на основе комплексных геофизических и гидродинамических моделей. *Технологии ТЭК*. №5. 12–18.

Никитенко М.Н., Эпов М.И. [2008] Измерение относительной амплитуды магнитного поля зондами ВИКИЗ. *Каротажник*, № 9 (174). 21–35.

Петров А.Н., Киселев В.В. [2004] Устройство для электромагнитного каротажа скважин. Патент РФ № 2230344. 10 с.: 2 ил. *Бюлл.* № 16.

Табаровский Л.А., Эпов М.И. [2006] Оценка разрешающей способности электромагнитных методов. *Геология и геофизика*. Т. 47. № 5. 568–578.

Талалов А.Д., Даев Д.С. [1996] О структурном механизме частотной дисперсии электрических свойств гетерогенных горных пород. *Физика Земли*. № 8. 56–66.

Технология исследования нефтегазовых скважин на основе ВИКИЗ. [2000] Под ред. М. И. Эпова, Ю. Н. Антонова. Новосибирск: НИЦ ОИГГМ СО РАН, Издательство СО РАН. 112 с.