

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Н.С. Палеотектонические условия формирования Биргильдинско-Томинского рудного узла // Геофиз. методы поисков и развед. рудных и нерудн. месторожд: Межвуз. научн. темат. сб. - Свердловск: Изд-во СГИ, 1980. - С.8-14.
2. Филатов В.В. Теория и практика геодинамического анализа гравитационного поля (на примере рудных районов Урала): Дис. ... д-ра геол.минер.наук. - Свердловск, 1990. - 376 с.
3. Филатов В.В., Кузнецов Н.С. Прогнозирование Березняковского золото-порфирового месторождения на основе тектонофизического анализа гравитационного поля // Изв.вузов. Горный журнал. Уральское горное обозрение. - 1999. - № 9-10.
4. Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов.- Новосибирск: Наука, 1983. - 112 с.

УДК 550.837

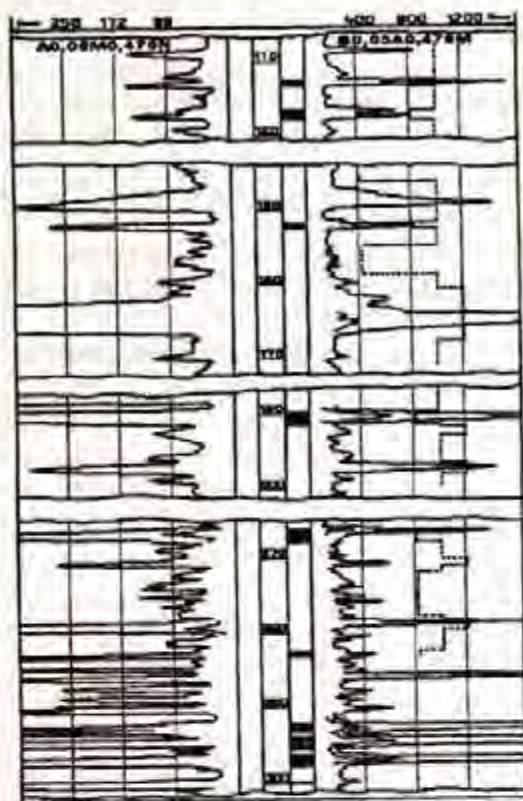
А.К.Козырин, А.И.Мишнев

СПОСОБ ДВУХ ЗОНДОВ

В современные комплексы ГИС, часто весьма обширные по составу, в особенности - в промышленной геофизике [5], входят устойчивые сочетания методов, своего рода мини-комплексы, решающие в различных физико-геологических условиях вполне определенный круг задач. Наиболее характерным примером является сочетание методов сопротивления (КС) и естественного электрического поля (ПС), в варианте измерения потенциала последнего. Это сочетание является настолько эффективным с методической точки зрения, применяемым как на месторождениях нефти и газа, так и на рудных месторождениях, и удобным технически, что получило наименование "стандартный каротаж". Попутно отметим, что вследствие помех от блуждающих токов, особенно в промышленно развитых районах, и определенных недостатков использования градиента ПС при исследовании, например, скважин на медноколчеданных месторождениях, метод потенциала ПС приходится заменять методом электродных потенциалов (МЭП). Впрочем, отметим, что в УГГГА опробован для медноколчеданных месторождений способ регистрации кривых потенциала ПС в условиях больших помех от блуждающих токов [7].

Анализ комплексов ГИС в рассматриваемом плане позволяет выделить еще одно сочетание также двух методов: измерение КС с градиент- и с потенциал-зондом. Правомочность такого выделения можно показать на примерах производственной практики, а также на некоторых новых разработках. Совместно градиент- и потенциал-зонд прежде всего используются при расчленении сложных в геоэлектрическом отношении разрезов, когда оптимальный зонд не вполне справляется с этой задачей. Такие примеры дают, в частности, мелкопластовые месторождения ископаемых углей и угольные пласты сложного строения.

На рисунке показан соответствующий случай каротажа на одном из полей Буланашского каменноугольного месторождения. Диаграммы градиент- и потенциал-зонда, размеры которых соответственно 0,5 и 0,05 м, получены при переключении крайних электродов трехэлектродного зонда. Такое устройство можно назвать зондом общего монтажа, в котором расстояния x и y между смежными электродами находятся в соотношении $x < y$.



Диаграммы способа двух зондов и механического каротажа по скв. 617

Дальне-Буланашского участка:

- 1 - каменный уголь; 2 - кривые КС потенциал- и градиент-зонда; 3 - кривая механического каротажа

поэтому на ней многие пропластки и прослои не выделяются. При номинальном диаметре скважины $d=76$ мм и сопротивлении бурового раствора $\rho_0=20$ Ом потенциал-зонд в данном случае, напротив, хорошо расчленяет разрез скважины по сопротивлению. Кривые комплекса двух зондов с качественной точки зрения дополняются диаграммой σ механического каротажа, построенной по данным хронометража бурения, выполненного Буланашской ГРП. Масштаб диаграммы крепости σ приведен в условных единицах, так как коэффициент k , зависящий от параметров и режима бурения, неизвестен:

$$\sigma = k \cdot \tau, \quad (3)$$

где τ - продолжительность проходки.

В целом данный пример иллюстрирует возможность выделения каменных углей в разрезе скважины при помощи совокупного применения методов КС и механического каротажа. Это - одно из решений задачи разделения углей и песчаников при каротаже. Следует отметить, однако, что разработка соответствующей аппаратуры для регистрации τ колонкового бурения связана с

Зонды общего монтажа весьма удобны с технической точки зрения и чаще всего применяются при рядовом каротаже, когда не проявляется заметно так называемый парадокс потенциал-зонда [2]. Под этим термином объединяют два эффекта - наблюдение в случае достаточно мощных пластов высокого сопротивления:

а) асимметричность кривой НПЗ и неравенство для зондов общего монтажа:

$$\rho_{\text{НПЗ}} < \rho_{\text{ГЗ}} < \rho_{\text{ППЗ}}, \quad (1)$$

где аббревиатуры НПЗ, ГЗ и ППЗ означают соответственно неопределенный потенциал-зонд, градиент-зонд и предельный потенциал-зонд;

б) резкую несимметричность кривой НПЗ.

При этом, как легко видеть,

$$\frac{\rho_{\text{ГЗ}}}{\rho_{\text{ППЗ}}} \approx \frac{Y}{X} \quad (2)$$

При проявлении парадокса неопределенный потенциал-зонд становится неэквивалентным предельному, и для его использования требуется применять большие расстояния между парными электродами, во всяком случае большие мощности исследуемого пласта. В случае неглубоких скважин, когда индукционными наводками от питающих жил кабеля на приемные можно пренебречь, при проявлении парадокса потенциал-зонда следует переходить на предельный вариант последнего.

Диаграмма градиент-зонда (см. рисунок), который в условиях Буланашского месторождения является оптимальным, на отдельных участках сильно искажена за счет влияния экранных эффектов, и

трудностями, которые не существенны при турбинном и роторном бурении [2].

Следующий пример совместного применения двух зондов относится к выделению пористых и проницаемых горизонтов [2]. В этом случае так же как и в предыдущем, удобно использовать зонды общего монтажа, например М0,5А2,5В и В0,5А2,5М. Лучшие результаты при этом получаются в случае повышающего проникновения фильтрата бурового раствора. В этом случае полуметровый потенциал-зонд на фоне КС существенно большего по размеру градиент-зонда повышенными сопротивлениями выделяет зону проникновения фильтрата бурового раствора. На практике, однако, для выделения пористых и проницаемых горизонтов по способу двух зондов используют микрозонды общего масштаба: потенциал-зонд размером 5 см и градиент-зонд размером 3,75 см.

Некоторые разработки применения способа двух зондов выполнены на кафедре прикладной геофизики УПГА. Рассмотрим сначала применение этого способа для определения удельного электрического сопротивления (УЭС) ρ и среднего диаметра d скважины в случае отсутствия зоны проникновения фильтрата бурового раствора.

Горные породы по параметру ρ дифференцированы в весьма широком диапазоне [3], что вместе с принципиальной технической простотой измерений, например, в СЭП, КЭП, ВЭЗ в электроразведке и каротаже с обыкновенными зондами и одноэлектродным зондом [6], определяет эффективность и простоту применения методов сопротивления. Изучение УЭС горных пород *in situ* является, как известно, очень важной задачей.

В ГИС наиболее точные и полные результаты при этом получают методом БКЗ, который, однако, несколько громоздок и выполняется, например, на рудных месторождениях и месторождениях ископаемых углей весьма редко, но входит в комплексы ГИС нефтяных и газовых месторождений [5]. Поскольку в последнем случае в комплексы ГИС включен также и метод ДС (кавернометрия), постольку для оперативной оценки ρ можно применять простой в исполнении метод исправленных значений КС, который в обобщенном виде состоит в следующем. Если ρ - УЭС пласта, h - его мощность, $\rho_{\text{вм}}$ - УЭС вмещающих горных пород, d - диаметр скважины, L - размер зонда, ρ_0 - УЭС бурового раствора, $\mu = \rho/\rho_0$, то

$$\frac{\rho_K}{\rho_0} = f\left(\frac{L}{d}, \mu, \frac{\rho_{\text{вм}}}{\rho_0}, \frac{h}{d}\right). \quad (4)$$

Метод основан на введении поправок в КС или за счет влияния скважины, т.е. величин d и ρ_0 , что возможно при достаточно большом значении $h > L$ или за счет величин $\rho_{\text{вм}}$ и h при $L \gg d$ [2, 9].

Для одновременного введения обеих поправок можно предложить использование палеток ЭКЗ, графически отображающих зависимость (4). Для оценки УЭС из альбома палеток ЭКЗ подбирают по значениям $\rho_{\text{вм}}/\rho_0$ и h/d палетки, соответствующие данным условиям. Нанеся на плоскость палетки точку $\rho(L/d, \rho/\rho_0)$, определяют модуль μ . Эта методика еще не отработана и, по-видимому, на практике не опробована.

При введении поправок по палеткам ЭКЗ нужно использовать экстремальные значения КС, а по палеткам БКЗ-1 - оптимальные значения КС. Отметим одну из особенностей этих методик - невысокие требования к точности определения ρ_0 . Действительно, если, например, значение ρ_0 занижено, то при интерпретации будет завышено значение μ , и таким образом ошибки при вычислении ρ взаимно компенсируются.

Значения ρ_0 и d , которые необходимо знать для применения указанных методик оценки ρ , определяют при помощи резистивметра и каверномера соответственно. Измерения с резистивметром, представляющим собой зонд специальной конструкции, находятся в ряду других

геофизических измерений, объектом которых являются физические поля. Каверномер из этого ряда несколько выпадает, поскольку этот электромеханический прибор относится к разделу техники электрических измерений неэлектрических величин. Измерения с каверномером менее технологичны, чем с резистивиметром, и в практике геофизических исследований скважин колонкового бурения применяются редко. Уже по этой причине целесообразно рассмотреть методику оценки ρ и d , не требующую применения каверномера.

Сущность методики весьма проста. Пусть измерения КС производятся двумя обыкновенными зондами, отличающимися друг от друга размерами L_1 и L_2 , или типом, или тем и другим вместе. Тогда

$$\frac{\rho_{k1}}{\rho_0} = f_1\left(\frac{L_1}{d}, \mu\right), \quad (5)$$

$$\frac{\rho_{k2}}{\rho_0} = f_2\left(\frac{L_2}{d}, \mu\right).$$

Выражения (5) в совокупности представляют собой систему двух уравнений с двумя неизвестными μ и d , решая которую, их можно определить. Решение может быть выполнено наиболее просто следующим образом.

Выразим $1/d$ из второго уравнения системы (5):

$$\frac{1}{d} = \frac{1}{L_2} \varphi\left(\frac{\rho_{k2}}{\rho_0}, \mu\right).$$

Подставляя это значение в первое уравнение (5), получаем:

$$\frac{\rho_{k1}}{\rho_0} = f_1\left(\frac{1}{L_2} \varphi\left(\frac{\rho_{k2}}{\rho_0}, \mu\right), \mu\right), \quad (6)$$

откуда находим:

где $n=L_1/L_2=\text{const}$.

Зная по диаграммам КС значения ρ_{k1} и ρ_{k2} при определенном значении n из уравнения (6), можно определить μ . Тогда $\rho=\mu \cdot \rho_0$, а значение d легко найти по палетке БКЗ-1. Уравнение (6) реализуется в виде номограммы, построенной в логарифмическом масштабе для заданного значения n . Параметром кривых является μ , по осям координат отложены $\lg \frac{\rho_{k1}}{\rho_0}$ и $\lg \frac{\rho_{k2}}{\rho_0}$.

Номограмму целесообразно строить для способа двух зондов. Построение легко осуществляется по палеткам БКЗ-1 для градиент- и потенциал-зонда.

Опробование этого метода интерпретации кривых было произведено по шести пластопересечениям на Буланашском каменноугольном месторождении (построение номограммы и интерпретация выполнены Е.В.Габышевой). Использовались диаграммы зондов, символы которых показаны на рисунке. Таким образом, в данном случае $n=10$. В качестве контрольных значений μ принимались таковые, определенные методом введения поправок за влияние скважины в значения КС градиент-зонда по палетке БКЗ-1а. Оказалось, что погрешность применения способа двух зондов лежит в пределах от нуля до девяти процентов.

Способ двух зондов при оценке ρ и d может быть применен также и в несколько ином

варианте. Для его графической реализации строят кривые μ по параметрам $\frac{\rho_{k1}}{\rho_0}$ и $\frac{\rho_{k2}}{\rho_0}$:

$$\mu = \varphi_1 \left(\frac{L_1}{d}, \frac{\rho_{k1}}{\rho_0} \right), \quad (7)$$

$$\mu = \varphi_2 \left(\frac{L_2}{d}, \frac{\rho_{k2}}{\rho_0} \right). \quad (8)$$

Для этого на палетках БКЗ-1 градиент- и потенциал-зонда на уровнях, соответствующих этим параметрам, проводят прямые, параллельные осям зондов, и по точкам пересечения прямых с кривыми палеток находят пары значений $\frac{L_1}{d}, \mu$ и $\frac{L_2}{d}, \mu$, по которым строят кривые (7) и (8) в логарифмическом масштабе. По точке пересечения находят значения μ и ν , где ν - отношение любого из размеров зонда к диаметру скважины. Пусть $n > 1$ и $\nu = \frac{L_1}{d}$, тогда при построении кривой (8) точки кривой должны быть смещены по оси координат на $\lg n$, поскольку

$$\lg \frac{L_2}{d} = \lg \frac{L_1}{d} - \lg n.$$

Значения ρ и d находятся по формулам $\rho = \mu \cdot \rho_0$ и $d = \frac{L_1}{\nu}$.

Естественно, что погрешности определений в этом случае такие же, как и в предыдущем.

Отметим, что в случае проявления парадокса потенциал-зонда кривые (7) и (8) не пересекаются и выполняется приближенное равенство (2).

Применение способа двух зондов для определения ρ и d делает использование этого мини-комплекса более полным. Особенно целесообразно это при каротаже скважин на месторождениях ископаемых углей, где в комплексе ГИС градиент- и потенциал-зонд обычно входят.

Рассмотрим далее применение способа двух зондов в скважинной электроразведке при определении размера хорошо проводящей рудной залежи, имеющей изометричную форму. Сюда относятся жильные и рудные штоки, карманы и т.д. [1], имеющие размеры от десятков метров. Моделью изометрического тела является сфера.

Пусть в проводящей сфере радиуса a на расстояниях r и d от ее центра O находятся электроды A и M . Потенциал в точке M , согласно [4], будет

$$U = \frac{\rho_2 I}{4\pi\sigma_2} \left[\frac{1}{R} + \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(n+1)(\sigma_2 - \sigma_1)}{n\sigma_2 + (n+1)\sigma_1} \cdot \frac{d^n r^n}{a^{2n+1}} \cdot P_n(\cos\theta) \right], \quad (9)$$

где σ_2 и σ_1 - соответственно проводимости сферы и вмещающей ее среды, $R=AM$ и θ - угол между прямыми OM и OA .

Обозначая $\sigma_1 = \frac{1}{\rho_1}$, $\sigma_2 = \frac{1}{\rho_2}$ и выделяя нулевой член ряда, получаем:

$$U = \frac{\rho_2 I}{4\pi} \left[\frac{1}{R} + \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2} \cdot \frac{1}{a} + \frac{1}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(n+1)(\rho_1 - \rho_2)}{n\rho_1 + (n+1)\rho_2} \cdot \frac{d^n r^n}{a^{2n}} \cdot P_n(\cos\theta) \right]. \quad (10)$$

Кажущееся сопротивление, измеренное потенциал-зондом, будет равно

$$\rho_{\text{кпз}} = \rho_2 + (\rho_1 - \rho_2) \frac{AM}{a} + \rho_2 \frac{AM}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(n+1)(\rho_1 - \rho_2)}{n\rho_1 + (n+1)\rho_2} \cdot \frac{P_n(\cos\theta)}{a^{2n}} \cdot d^n r^n / a^{2n} \quad (11)$$

В этом выражении первый член соответствует однородной безграничной среде с сопротивлением ρ_2 , второй - поправка за сферическую границу раздела, соответствующая положению одного из электродов зонда в точке О, третий член есть поправка за положение электродов. Ограничиваясь в выражении (11) первыми двумя членами и вычисляя радиус сферы, получаем его приближенное значение:

$$a_k = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_{\text{кпз}} - \rho_2} \cdot AM. \quad (12)$$

Если сфера является идеально-проводящей, то $a_k = a$. Формула для вычисления a , получающаяся из (12) при $\rho_2 = 0$, которая, конечно, может быть выведена совершенно элементарным путем, будет иметь следующий вид:

$$a = \frac{\rho_1}{\rho_{\text{кпз}}} \cdot AM. \quad (13)$$

Ошибка в определении a по формуле (12) тем меньше, чем меньше ρ_2 и расстояние d или g электрода А или М от центра сферы. Отметим, что, как показывает обширный опыт работ по МЭК [8], результаты применения потенциал-установки при оценке размеров медноколчеданной залежи мало зависят от положения установки внутри залежи.

Как следует из выражения (11), а также из формул (12) и (13), кажущееся сопротивление, измеренное потенциал-зондом, сильно зависит от размера сферы. Поэтому не рекомендуется применять потенциал-зонд для определения или оценки УЭС локального объекта. Показания градиент-зонда зависят от размера объекта в меньшей степени, и эта зависимость уменьшается до нуля при УЭС объекта, стремящемся к нулю. Исходя из этих замечаний, при применении формул (12) и (13), в измеренные потенциал- и градиент-зондом значения КС нужно вводить поправки за влияние скважины, как это было описано выше. При этом для градиент-зонда можно полагать, что $\rho_k \approx \rho_2$.

На примере идеально-проводящего вытянутого сфероида рассмотрим ошибки применения предлагаемой методики, возникающие при отклонении объекта от изометричной формы. Если потенциал-зонд находится внутри этого сфероида, то имеем:

$$\rho_{\text{кпз}} = AM \cdot \frac{\rho_1}{2c} \cdot \ln \frac{a+c}{a-c}, \quad (14)$$

где a - большая полуось и c - полуфокусное расстояние. Тогда, согласно (13), получаем:

$$a_k = \frac{2c}{\ln \frac{a+c}{a-c}}. \quad (15)$$

Погрешность σ определения истинного объема V сфероида будет равна

$$\delta = \left| \frac{V - V_k}{V} \right| \cdot 100 \% , \quad (16)$$

где V_k - объем сферы радиуса a_k .

При $\epsilon=0$ погрешность отсутствует. При увеличении ϵ она возрастает сначала медленно, потом все более резко. Например, при $a=50$ и эксцентриситете 0,8 погрешность составляет всего 12,5 %, а при $\frac{\epsilon}{a} \rightarrow 1$ величина δ становится неограниченно большой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горелова Н.Г., Забродин В.Ю. и др. Формы геологических тел. - М: Недра, 1977. - 246 с.
2. Дахнов В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований результатов геофизических исследований разрезов скважин. - М: Недра, 1955. - 492с.
3. Дахнов В.Н. Промысловая геофизика. - М: ГНТИ, 1959. - 692 с.
4. Заборовский А.И. Специальные функции для геофизиков-разведчиков. - М.,Л: ГОНТИ, 1939. - 199 с.
5. Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин / Под ред. В.М.Добрынина. - М: Недра, 1988. - 175 с.
6. Козырин А.К., Блинкова Н.В. Теория одноэлектродного каротажа //Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. - 1984 - С. 30-34.
7. Козырин А.К. Одноэлектродный каротаж в пределах горных отводов рудодобывающих предприятий // Горный журнал. - 1985 - № 5 - С. 28-32.
8. Козырин А.К. Электрическая корреляция разрезов скважин. - М: Недра, 1985. - 134 с.
9. Комаров С.Г. Каротаж пластов высокого сопротивления. - М: Гостоптехиздат, 1950. - 280 с.

УДК 550.834

В.И. Бондарев, С.М. Крылатков, С. Г.Сальгрев

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛОЩАДНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

При разведке сложных геологических объектов (соляные купола, рифы, зоны тектонических нарушений и др.), проведении мониторинга месторождений или детальном их изучении наблюдаются сложные волновые поля с обилием волн, приходящих по разным направлениям к пунктам приема. Расшифровка их и правильная геологическая интерпретация получаемых материалов чрезвычайно затруднены в этих случаях при проведении двумерных наблюдений, что в конечном счете приводит к ненужным затратам на бурение скважин, которые попадают в неоптимальные условия.

Поэтому в последние годы все большее применение находит трехмерная сейсморазведка (3D-сейсморазведка), которая является закономерным развитием ее двумерной модификации (2D). Переход на трехмерную сейсморазведку и площадные системы наблюдений приводит к более полному использованию энергии источников сейсмических колебаний и получению пространственной, а также более надежной информации об изучаемых геологических телах.

Однако, несмотря на расширяющееся использование методов объемной сейсморазведки, до сих пор еще недостаточно разработаны критерии выбора параметров методики трехмерных наблюдений.

Одной из важных характеристик любых сейсмических работ по методу общей глубинной точки является кратность системы наблюдений. В сейсмической литературе чаще всего