Laterolog kiértékelési görbeseregek számítása

FÖLSZ ATTILA

A laterolog módszer az utóbbi években mind nyugaton, mind a Szovjetunióban egyre nagyobb szerepet játszik a modern karottázs gyakorlatában. Hazánkban is számos terepi példa bizonyítja a laterolog szelvények előnyeit a konvencionális szelvényekkel szemben. Ezek az előnyök a legszembetűnőbben a karbonátos tárolókban és sós fúróiszappal fúrt lyukak esetén mutatkoznak meg.

A KGST táboron belül a laterológ karottázs hatékonyságát gyengítette az a körülmény, hogy ezideig nem rendelkeztünk olyan kiértékelési segédletekkel, amelyek lehetővé teszik a laterológ szelvények mennyiségi kiértékelését. Ezért meg kellett elégedni a laterolog szelvények kvalitatív értékelésével.

E hiány pótlására 1961-ben célul tűztük ki olyan kiértékelési nomogramoknak az elkészítését, amelyek a laterolog szelvényekről leolvasható mérési indikációk és a kőzetek keresett geofizikai paraméterei közötti függvénykapcsolatot ábrázolják.

Az előadás be kívánja mutatni az előadónak e témakörben eddig végzett munkálatait és eredményeit.

A feladatot matematikai úton végeztük el. Az előadás bemutatja a laterolog mérőszonda és a mérési tér együttesének fizikai modelljét, majd a modellhez illeszkedő matematikai feladatot. Vázolja a matematikai feladat megoldásának útját, és közli az eredményként adódott végformulákat, amelyek a numerikus számítási munka alapját képezik.

A numerikus számítási munka mennyisége megköveteli programvezérlésű digitális elektronikus számológép felhasználását. Erre a Nehézipari Minisztérium National-Elliot 803 elektronikus számológépén nyílott lehetőség.

Az előadás a továbbiakban bemutatja a numerikus számítások elvégzésére szolgáló elektronikus számológépi programot, a számítások pontosságára vonatkozó igényt, majd a kapott numerikus eredmények grafikus feldolgozásának módját.

Bemutatjuk az eddig kidolgozott két kiértékelési görbesereg albumot, vázoljuk az albumok használatát a gyakorlati munkában.

Végezetül a munka továbbfejlesztéséről és az előttünk álló feladatokról adunk rövid áttekintést.

За последние годы метод бокового каротажа приобретает все большее значение в практике промысловой геофизики как в западных странах, так и в СССР. В Венгрии также многочисленные примеры свидетельствуют о преимуществах бокового каротажа перед конвенциональными методами исследования скважин. Наиболее ярко эти преимущества выражаются при исследованиях разрезов карбонатных пород и в скважинах, бурящихся на соленом буровом растворе.

В странах-членах СЭВ повышению эффективности бокового каротажа препятствовало отсутствие пособий интерпретации, позволяющих проводить количественную интерпретацию. Поэтому обработка материалов ограничивалась качественной интерпретацией кривых бокового каротажа.

Для устранения этого недостатка в 1961 г. была поставлена задача составить палетки, кривые которых изображают функциональную зависимость показателей, отсчитываемых с кривых бокового каротажа от геофизических параметров горных пород.

В настоящей работе излагаются результаты исследований, проведенных автором в этом направлении. Задача решена математическим путем. Описываются физическая модель зонда бокового каротажа и измерительной площади, а также математические задачи, соответствующие этой модели. Схематически представляется путь математического решения задачи и приводятся полученные в конечном итоге формулы, входящие в основу нумерических вычислений.

Объем вычислительных работ потребовал применения электронной вычислительной машины с програмным управлением. Для этой цели былиа применена машина National-Elliot 803 Министерства тяжелой промышленности.

В дальнейшей части доклада описывается программа вычислений, излагаются требования по точности расчетов и способ графической обработки результатов нумерических расчетов.

Показаны два альбома разработанных до сих пор палеток и анализируется практическое применение альбомов.

В заключение дается обзор подлежащих решению дальнейших задач и путей усовершенствования этой работы.

Die Laterolog-Methode spielt eine immer grössere Rolle in der Karottage-Praxis. Ihre Vorteile gegenüber den konventionellen Profilen zeigen sich am auffallendsten im Falle von Karbonatgesteinen und bei versalztem Spülwasser. Die Auswertung der Profile geschah aber bis jetzt nur qualitativ. Im Interesse der quantitativen Auswertung haben wir in 1961 die Anfertigung solcher Nomogrammen angefangen, die die Funktionen der Relationen zwischen den Messangaben und den Parametern der untersuchten Gesteine darstellen.

Man hat die ausgedehnten Rechnungen mit der elektronischen Rechenmaschine National-Elliott 803 des Ministeriums der Schwerindustrie ausgeführt. Zwei Kollektionen der bisher verfertigten, zur Auswertung dienenden Formeln werden angeführt.

A laterolog fúrólyuk szelvényezési eljárás az utóbbi években egyre nagyobb szerepet játszik a modern elektro-karottázs gyakorlatában.

Hazánkban is számos terepi mérés bizonyítja a laterolog szelvények előnyeit a hagyományos BKZ szelvényekkel szemben. Ezek az előnyök legszembetűnőbben a karbonátos tárolókban és sós fúróiszappal fúrt lyukak esetén mutatkoznak meg.

1961-ben célul tűztük ki olyan kiértékelési nomogramok elkészítését, amelyek a laterolog szelvényekről leolvasható mérési indikációk és a földi kőzetek keresett geofizikai paraméterei közötti függvénykapcsolatot ábrázolják.

A nomogramok elkészítésének két célszerű útja van. Az egyik az elméleti út, amely fizikai – matematikai modellből indul ki és matematikai módszereket használ. A másik út az analóg modellezés útja.

Véges vastagságú rétegek esetén a matematikai formulák rendkívül bonyolulttá, a számítások pontatlanná válnak, ekkor viszont az analóg modellezés kielégítő pontosságú.

A Szovjetunió VNII-Geofizikai Kutató Intézete rendelkezik a megfelelő analóg modellel, úgynevezett elektrointegrátorral; nálunk pedig a Nehézipari Minisztérium Elektronikus Számolóközpontjában üzemel az *Elliott 803* elektronikus számológép, amely alkalmas az elméleti út során adódó nagymennyiségű numerikus számolás elvégzésére. Ily módon kézenfekvő volt az a gondolat, hogy a feladat teljes megoldása érdekében egyesítsük erőnket a moszkvai VNII-Geofizikai Kutató Intézettel.

A fúrólyukkal harántolt, végtelen vastag elárasztott réteg esetén az alábbi paraméterek lépnek fel: ϱ_c a fúróiszap fajlagos elektromos ellenállása, ϱ_Δ az infiltrált zóna, ϱ_n az érintetlen réteg fajlagos elektromos ellenállása. A fúrólyuk átmérőjét d, az infiltrált zóna átmérőjét D jelöli. A fúrólyuk tengelyében helyezkedik el a 7-elektródás laterolog szonda. A központi A_0 elektródán állandó intenzitású J_0 mérőáramot, a rövidrezárt A_1 és A_1' elektródák mindegyikén szabályozott intenzitású J_1 terelőáramot küldünk a mérési térbe. A laterolog szabályozó berendezés az I_1 áram intenzitását az $U(S_1) = U(S_2)$ egyenletbe foglalt feltételt teljesíti. Itt az U jelenti a potenciált a jelzett elektródán.

A szonda látszólagos ellenállását definíció szerint a következő formula szolgáltatja:

$$\varrho_K = K \frac{U(S_1)}{I_0} \qquad \ldots (1)$$

$U(S_1)$ matematikai kifejezését felírhatjuk a következőképpen (a közönséges potenciálszondák látszólagos ellenállásának definícióját és a lineáris szuperpozíció elvét felhasználva):

$$U(S_1) = \frac{I_0}{4\pi}\left\{\frac{\varrho^{A_0S_1}}{A_0S_1} + \frac{I_1}{I_0}\cdot\left(\frac{\varrho^{A_1S_1}}{A_1S_1} + \frac{\varrho^{A'_1S_1}}{A'_1S_1}\right)\right\} \quad \ldots (2)$$

Itt a nevezőkben egyszerű távolságok szerepelnek, a számlálókban az indexek által meghatározott táp- és mérőpontokat tartalmazó potenciálszondák látszólagos ellenállásai foglalnak helyet. Az I_1/I_0 arányt a (2) alapján közvetlenül, csupán indexcserével felírható $U(S_1) = U(S_2)$ egyenletből határozhatjuk meg, amely I_1/I_0-ra nézve lineáris egyenlet.

Eredményül adódik, hogy

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{\dfrac{\varrho^{A_0S_1}}{A_0S_1} = \dfrac{\varrho^{A_0S_2}}{A_0S_2}}{\dfrac{\varrho^{A_1S_2}}{A_1S_2} - \dfrac{\varrho^{A_1S_1}}{A_1S_1} + \dfrac{\varrho^{A'_1S_2}}{A'_1S_2} - \dfrac{\varrho^{A'_1S_1}}{A'_1S_1}} \quad \ldots (3)$$

A (2) és (3) kifejezéseket (1)-be visszahelyettesítve megkapjuk a ϱ_k kiszámítására szolgáló formulát.

Potenciálszondák látszólagos ellenállására vonatkozóan végtelen vastag elárasztott rétegek esetén rendelkezünk elméleti görbékkel, – ezek a BKZ kiértékelési görbeseregek – azonban ezen grafikus anyagról leolvasható értékek pontossága kevésnek bizonyult a (3) képletben való felhasználhatóság szempontjából. Ezért nagy pontossággal – 5, 7 értékes számjegy pontossággal – kiszámítottuk a laterolognál komponensként szereplő potenciálszondák látszólagos ellenállását a különféle elárasztási mélységekkel és ellenállás kontrasztokkal jellemezhető rétegek paramétereinek elegendően széles változási intervallumában. Az A táp- és M mérőelektródával rendelkező potenciálszonda látszólagos ellenállását a következő képlet fejezi ki:

$$\varrho_{AM} = 4\pi AM\cdot\frac{U(M)}{I} \quad \ldots (1')$$

A feladat az $U(M)$ érték meghatározása.

A potenciál elméletből ismeretes, az $U(r, \varphi z)$ potenciálfüggvénynek ki kell elégíteni a hengerkoordinátákban felírt Laplace-féle $\Delta U = 0$ differenciálegyenletet a tér minden pontjában az origót kivéve.

$$\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} = 0 \quad \ldots (5)$$

Ezenkívül teljesülnie kell az alábbi határfeltételeknek:

$$\left.\begin{aligned} U_0(r,z) &= U_1(r,z) \quad \text{ha } r = \frac{d}{2} \\ U_1(r,z) &= U_2(r,z) \quad \text{ha } r = \frac{D}{2} \\ \frac{1}{\varrho_c}\frac{\partial U_0}{\partial r} &= \frac{1}{\varrho_\Delta}\frac{\partial U_1}{\partial r} \quad \text{ha } r = \frac{d}{2} \\ \frac{1}{\varrho_\Delta}\frac{\partial U_1}{Ir} &= \frac{1}{\varrho_n}\frac{\partial U_2}{\partial r} \quad \text{ha } r = \frac{D}{2} \end{aligned}\right\} \quad \ldots (5)$$

Az (5) határfeltételekre illeszkedő megoldás a λ-ra vonatkozó integráljaként adódik, ahol az integrációs határok 0 és $+\infty$.

A részletes számítások elvégzése után a következő végformula adódik:

$$U(M) = \frac{\varrho_n I}{2\pi d} \cdot \int_0^\infty \frac{e^{-2\lambda \frac{AM}{d}}}{P^2(\lambda) + Q^2(\lambda)} d\lambda \qquad \ldots (6)$$

$$P(\lambda) = [1 + \beta q(k\lambda)][1 + \alpha \cdot q(\lambda)] - \alpha\beta n(\lambda) m(k\lambda)$$

$$Q(\lambda) = \beta n(k\lambda)[1 + \alpha q(\lambda)] + \alpha n(\lambda)[1 - \beta p(k\lambda)] \qquad \ldots (6)$$

$P(\lambda)$ és $Q(\lambda)$ kifejezésben használt jelölések értelmezése:

$$\alpha = \frac{\varrho_\Delta}{\varrho_c} - 1; \; \beta = \frac{\varrho_n}{\varrho_\Delta} - 1; \; K = \frac{D}{d}$$

$$m(\lambda) = \frac{\pi \cdot \lambda}{2} Y_0(\lambda) Y_1(\lambda)$$

$$n(\lambda) = \frac{\pi \cdot \lambda}{2} J_0(\lambda) J_1(\lambda)$$

$$p(\lambda) = \frac{\pi \cdot \lambda}{2} J_0(\lambda) Y_1(\lambda)$$

$$q(\lambda) = \frac{\pi \cdot \lambda}{2} Y_0(\lambda) J_1(\lambda)$$

ahol: $J_0(\lambda)$ és $J_1(\lambda)$ elsőfajú, nulla és elsőrendű Bessel-függvények.

$X_0(\lambda)$ és $X_1(\lambda)$ másodfajú, nulla és elsőrendű Bessel-függvények.

A (6) formulákra nézve rögtön kitűnik, hogy $U(M)$ értékének egyszeri kiszámítása is nagyon sok számolást igényel.

Egy 7 elektródás laterologszonda látszólagos ellenállásának meghatározásához 6 különböző hosszúságú potenciálszonda látszólagos ellenállását, azaz $U(M)$-jét kell nagy pontossággal kiszámítani. Ahhoz, hogy a gyakorlatban jól felhasználható kiértékelési segédleteket nyerjünk a számolást el kell végezni a geometriai típusú (d és D), valamint az ellenállás típusú (ϱ_c; ϱ_Δ; ϱ_n) paraméterek nagyon sokféle értékrendszere mellett. A kvantitatív interpretáció elvégzésére három különböző laterologszonda mérési indikációjára van szükség. E gyakorlati célt legjobban megvalósító szondahármasnak az ún. optimális-, mélybehatolású- és pszeudolaterolog szondahármas bizonyult.

E három szondára kell elvégezni az előbb vázolt számolási munkát. A program az $U(M)$ kifejezésben szereplő integrálást nagy pontosságú numerikus integrálási formulába való behelyettesítéssel végzi, a formulákban szereplő Bessel-függvények kiszámítása a programba beépített szubrutin segítségével történik.

A számítások eredményeit grafikus formában két albumba összegyűjtve dolgoztuk fel. Ez az album kis formációfaktorokra készült, amikor $\varrho_\Delta / \varrho_c < 100$-nál.

A másik albumot a nagy ($\varrho_\Delta/\varrho_c > 30$) formációfaktorok tartományára készítettük.

Az albumok mindenegyes nomogram lapja két állandó paraméter értékhez tartozik, ezek d és ϱ_Δ/ϱ_c.

Ezek ismeretében a másik két ismeretlen, ϱ_n/ϱ_c és D meghatározható.

A jelenlegi módszernek a hiányossága az, hogy feltételezi ϱ_Δ/ϱ_c értékének a laterológtol független mérés útján való meghatározhatóságát. Jövőbeni munkáink e hiány kiküszöbölésére irányulnak.

Digitális mérési módszer alkalmazása a nyersanyagkutatásban, különös tekintettel a nukleáris szelvényezésre

BALÁZS GYÖRGY

A mélyfúrási geofizika hagyományos analóg mérési módszerével szemben, a digitális mérési módszer több előnnyel rendelkezik, az információ tárolása, továbbítása és feldolgozása területén.

Az információtárolás céljára jól alkalmazható a mágnesszalagos tárolás, továbbítási célokra pedig többcsatornás U. H. R. telemetrikus rendszer. Szembetűnő a digitális rendszer előnye az információfeldolgozás területén, ahol digitális célfeldolgozó egységek alkalmazhatók. Ezen szempontok szem előtt tartásával alakítottuk ki alább ismertetésre kerülő célműszereinket:

1. Időszerinti összegező áramkör.

A beérkező radioaktív impulzusokat megszámláljuk egy 3 dekádos számlálóval. A készülékbe beépítésre került 2 Hz-es generátor, amely az összegezés időintervallumait szabja meg. Az időintervallum 0,5 s-től 128 s-ig állítható. Időintervallumonként a beérkezett impulzus számot memória egységekbe írjuk át, majd a számlálókat nullázva a számlálást újrakezdjük. Csatlakoztatható digital-analóg konverter révén analóg kijelzőrendszerhez.

2. Szonda útszakasz szerinti összegező áramkör.

A kábel végén megjelenő radioaktív impulzusokat és a szonda útszakasz szinkron jeleit mágnesszalagra rögzítjük. A szalagról visszajátszott impulzusokat megszámláljuk, s az ugyancsak megszámlált útszinkron jelekkel memóriákba írjuk és dekádolás után kinyomtatjuk, s kompenzográffal analóg módszerrel, folyamatosan regisztráljuk.

3. Osztóáramkör az intenzitás meghatározására.

A kábel végén megjelenő radioaktív impulzusokat, egy hiteles frekvenciájú generátor időjeleit, valamint a szonda útszakasz szinkronjeleit mágnes-szalagra rögzítjük. A szalagról visszajátszott impulzusokat megszámláljuk és az útszinkron jelek időpillanataiban a kettő hányadosát képezzük, memóriaegységekbe átírjuk, analóg módon kompenzográffal folyamatosan regisztráljuk és dekádolás után a hányados értékét kinyomtatjuk.

4. Mélységjeladó áramkör.

A szonda méterben kifejezett mélységét 10-es számrendszerben írja le, impulzusok segítségével. Az egyes számjegyek impulzusait szünet választja el egymástól. A jeleket mágnesszalagon tároljuk.