Karotázsszelvények számítógépes relatív mélységegyeztetése*

*SZENDRŐ DÉNES***

A karotázs mérések értelmezésénél szükség van a szelvények relatív mélységegyeztetésére. Ez hagyományos, kézi értelmezésnél a szelvények összerajzolásával történik. A számítógépes értelmezési rendszerek többsége e probléma automatikus megoldását nem, vagy csak részben tudja elvégezni.

A mért görbék számítógépes relatív mélységegyeztetésére a bemutatandó matematikai modell került kidolgozásra, amely a pontról pontra harmonikaszerűen változó mélységeltéréseket előbb kiszámolja, majd számszerű értékeik birtokában a szelvények korrigálását teszi lehetővé.

При интерпретации результатов каротажных измерений необходимо согласование каротажных диаграмм по глубине. Обычно при ручной интерпретации это выполняется путем счерчивания диаграмм на один лист. тольшая часть систем интерпретации каротажных диаграмм при помощи ЭВМ не может или может только частично выполнить эту задачу автоматически.

Для согласования по глубине каротажных диаграмм при помощи ЭВМ разработали математическую модель, которая сначала рассчитывает от точки к точке разхождения глубин, изменяющиеся в виде гармоники, а затем, имея цифровые величины, становится возможным выполнить введение попраки в диаграммы.

For the interpretation of well loggings a relative depth correlation of profiles is needed. This is made in the course of traditional manual interpretation by drawing the profiles together. The bulk of computerized interpretation systems can not provide an automatic solution of the problem or they can give only a partial solution.

For the computerized relative depth correlation of measured curved a mathematical model has been elaborated and presented; this computes at first the bellows-like varying depth deviations, then having at disposal their numerical values it makes the correction of profiles possible.

I. BEVEZETÉS

Mint minden mérési eredménynek – így a fúrólyukban végzett karotázs szelvényezésnek is –, a mérési eljárást, a mérési körülményeket, a mérő műszert és a mért mennyiséget jellemző pontatlansága van. A mérési módszerek és a mért mennyiségek nagymértékben különböznek egymástól, de tulajdonságaik meghatározásainál közös vonások is fellelhetők.

Karotázsszelvények ilyen közös jellemzője, hogy a mért adatok a mélység függvényében kerülnek rögzítésre. Mivel a szondázások általában egymás után következnek, a valódi mélységértékekhez tartozó geofizikai paraméterek mért értékei a felvételeken nem azonos helyre esnek, mélységeltolódások lehetségesek. A teljesség igénye nélkül ennek okaiként a szondák vonatkoztatási pontjainak eltérése, a kábelnyúlás, a szonda megakadása, a mélységjel korai vagy késői beérkezésének az észlelő által folyamatosan történő korrekciója és radioaktív méréseknél a rateméterek hatása említhető meg.

A mélységeltérések csökkentése érdekében vagy a mérési eljáráson kell változtatni, vagy pedig a szelvényeket kell utólag korrigálni. Az elsőnek említett esetben szondaszerelvények alkalmazására lenne szükség, de az összes

* Elhangzott az MGE Mélyfúrási Geofizika Szakosztályának 1977. IX. 8-án megtartott ülésén.

** Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet.

mérés egyidejű elvégzésére a karotázs paraméterek nagy száma miatt ekkor sem lenne lehetőség. A második esetben a hagyományos, kézi kiértékelésnél bevált módszerek alkalmazhatók, amikor a görbék jellemző helyeit (maximum, minimum, inflexiós pont stb.) figyelembe véve történik a szelvények összerajzolása, azaz mélységegyeztetése.

Addig, amíg a hagyományos eljárásnál a szakember tapasztalata és a görbék vizuális szemlélete igen jó eredményt szolgáltat, számítógépes feldolgozás területén a mélységegyeztetésre a szakirodalomban igen kevés utalás történik. Vagy a problémát megkerülve a feldolgozást a hagyományos módon összerajzolt szelvények digitalizálásával, illetve rétegek kézi úton történő kijelölésével és jellemző értékeik leolvasásával kezdik, vagy pedig egyszerű keresztkorrelációt alkalmazva csúsztatják egymáshoz a szelvényeket.

A közvetlen mágnesszalagra történő regisztrálás az első változatnak mond ellent, hiszen csak azért kirajzoltatni a szelvényeket, hogy hagyományos úton egyeztethetők legyenek, majd újra ledigitalizálni rendkívül gazdaságtalan eljárás.

A keresztkorrelációs módszer csak a szelvény egészéhez tartozó konstans csúszást küszöböli ki, holott a mélységeltérések nagysága pontról-pontra változhat, harmonikaszerű összetevőkből állhat.

Az említett hiányosságokat kiküszöbölve számítógépes eljárást mutat be a jelen dolgozat, amikor matematikai megfogalmazásban tárgyalja a mélységegyeztetés lehetőségét.

II. MÉLYSÉGEGYEZTETÉS

A matematikai megfogalmazás érdekében tekintsük az *1. ábrát*. Első közelítésben tegyük fel, hogy $Y_2(X)$; $Y_3(X), \ldots, Y_N(X)$ görbék egymáshoz viszonyítva mélységileg helyesek, a korrigálandó $Y_1(X)$ függvényt ezekhez szeretnénk egyeztetni. Az X_i mélységpontban ($i=1, 2, \ldots, L$) az $Y_2(X_i)$, $Y_3(X_i) \ldots, Y_N(X_i)$ függvényértékekhez az egyeztetendő függvény $X_i+\Delta(X_i)$ helyen felvett $Y_1[X_i+\Delta(X_i)]$ értéke tartozik. A szemléletesség kedvéért az összetartozó függvényértékeket az ábrán bejelöltük, s a $\Delta(X)$ pontról pontra változó értékű eltérés függvényt alul ábrázoltuk.

Célunk éppen az ábrázolt $\Delta(X)$ mélységeltérést leíró függvény meghatározása, mivel ennek ismeretében a mélységkorrekció a megfelelő $Y_1[X_i+\Delta(X_i)]$ függvényérték $Y_1(X_i)$ helyére való tevéséből áll az $i=1, 2 \ldots, L$ mintavételezési pontokban.

A számítás elvégzésének céljából feltételezzük, hogy az összetartozó értékek valamely F operátorral leírható kapcsolatban vannak egymással, hiszen ugyanarról a helyről szolgáltatnak bizonyos geofizikai információt:

$$Y_1[(X_i+\Delta(X_i)] = \mathrm{F}[Y_2(X_i), Y_3(X_i), \ldots, Y_N(X_i)]$$
$$(i=1, 2, \ldots, L) \qquad (1)$$

Amennyiben az F operátort pontosan ismernénk, az (1) egyenletrendszer elvileg megoldható lenne, mivel L db ismeretlent tartalmaz a $\Delta(X_i)$, $i = 1, 2 \ldots L$ mélységeltérés mintavételezési pontokban felvett értékeiben és összesen L db egyenletből áll. Az F operátor pontos ismerete azonban ellenmondásként hatna, mivel azt jelentené, hogy az $Y_1(X)$ görbét elő lehetne állítani a többi görbéből, s így azt mérni sem volna szükség. Természetes, hogy ez geofizikailag

nem állhat fenn, mivel az egyes szelvényezési eljárások a többi szelvényhez viszonyítva sajátos, plusz információt is szolgáltatnak.

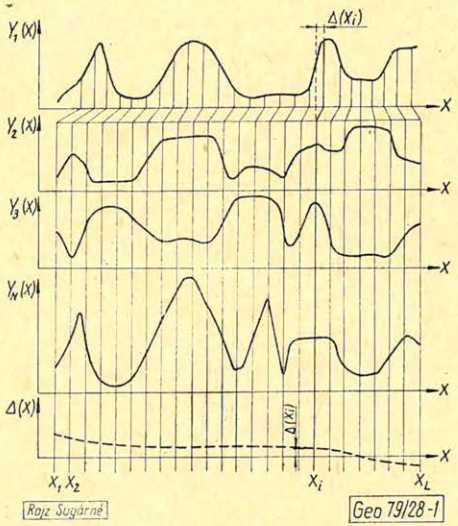
Így csak annyit tételezhetünk fel, hogy az F operátor hatása közelíthető például az $Y_2(X)$, $Y_3(X)$, ..., $Y_N(X)$ görbék lineáris vagy kvadratikus kombinációjával. Ezekben az összefüggésekben azonban újabb paraméterek lépnek fel, így az (1) egyenletrendszer az ismeretleneknek az egyenleteknél való nagyobb száma miatt közvetlenül nem oldható meg.

A pontról pontra változó mélységeltérés meghatározása érdekében a $\Delta(X)$ mélységeltérést leíró függvény geofizikai vizsgálatára van szükség. A mélységeltérés okait figyelembe véve a $\Delta(X)$ függvénynek az alábbi típusú tagokból kell állnia:

a) A mélység függvényében konstans tag a szondák vonatkoztatási pontjainak eltérését írja le,

b) A mélység függvényében lineáris tag a kábelnyúlásban jelentkező eltérések következő okaiként adódik:

- különböző súlyú szondákkal történt a szelvényezés
- a szondák súrlódása, illetve falhoz szorítása a lyukfalon különböző



1. ábra. A mélységeltérés függvényének szemléltetése $Y_1(X)$ – az egyeztetni kívánt görbe; $Y_2(X)$, $Y_3(X)$,..., $Y_N(X)$ – az egyeztetésnél figyelembe veendő görbék; $\Delta(X)$ – a meghatározni kívánt mélységeltérést leíró függvény

Рис. 1. Наглядное представление зависимости расхождения глубин $У_1(X)$ – кривая, которую необходимо согласовать; $У_2(X)$, $У_3(X)$,..., $У_N(X)$ – кривые-принимаемые во внимание при согласовании; (X) – зависимость, описычающая расхождение глубины, которое необходимо определить

Fig. 1. Presentation of the depth difference function $Y_1(X)$ – the curve to be correlated; $Y_2(X)$, $Y_3(X)$,..., $Y_N(X)$ – curves to be taken into account with the correlation; (X) – the function describing the depth deviation to be determined

Ugyancsak lineáris tag írja le az irodai digitalizálásnál a film vagy a papír tényleges mértékében történő változás hatását.

c) A mélység függvényében másodfokú tag a kábelnyúlásban jelentkező eltérések következő okaiként adódik:

- különböző súlyú kábellel történt a szelvényezés,
- az iszap viszkozitása, s így a kábel súrlódása az iszapban két húzás között megváltozott,
- a különböző típusú kábelek súrlódása a lyukfalon más és más,
- a mélység függvényében közelítőleg lineárisan emelkedő hőmérséklet megváltozása a fúrólyukban két húzás között,
- az iszap fajsúlyának, s így a hidrosztatikus nyomásnak a megváltozása.

d) Az előző tagokhoz járulva magasabb fokúak írják le a

- szonda megakadásának hatását,
- a szonda harmonikus rezgő mozgásából adódó eltérést,
- az észlelő folyamatos „mélységkorrekcióját".

A geofizikai sajátosságokat figyelembe véve most már látható, hogy a mélységeltérés pontról pontra változó értéke polinommal közelíthető. Így az (1) egyenletrendszer $\Delta(X_i), i = 1, 2, \ldots L$ ismeretlenei helyett jóval kevesebb, csak a mélységeltérést leíró polinom tagjaiban szereplő együtthatók meghatározására van szükség.

Mivel így az egyenletrendszerben szereplő ismeretlenek számát sikerült jóval kevesebbre csökkenteni, mint ahány egyenletünk van, az (1) egyenletrendszer túlhatározott lett, megoldására pedig például a bal oldal Taylor-sorba fejtése után, a bal és jobb oldalak eltéréseinek négyzet összegét minimalizálva iterációs eljárással kerülhet sor.

A mélységeltérés függvényében szereplő paraméterek meghatározása után — ezek felhasználásával — a mélységeltérések pontról pontra harmonikaszerűen változó értékei mintavételezési pontonként megkaphatók.

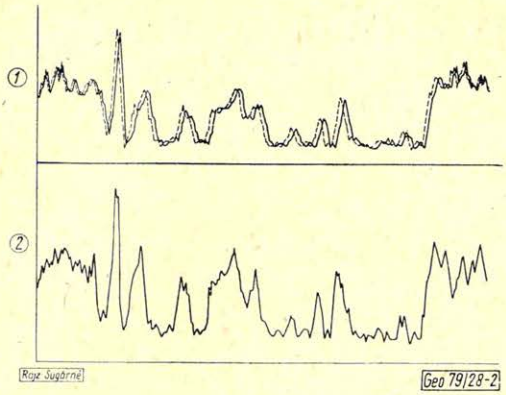
A mélységeltérések számszerű értékeinek birtokában az $X_i (i = 1, 2, \ldots L)$ mintavételezési pontokban rendre az interpolált $Y_1(X_i + \Delta(X_i)$ függvényértékeket helyezve a mélységeltérésre korrigált görbe értékei állíthatók elő.

Ha kiindulási alapként nincsenek mélységhelyes, illetve mélységhelyesnek tekintett szelvények, akkor a mélységegyeztetés N db fázisból áll. Valamely görbét Y_1-nek tekintve az előzőleg tárgyalt módon korrigáljuk a többi $(N-1)$ db szelvény felhasználásával, majd a másodikat, a harmadikat, N-ediket tekintjük Y_1-nek, úgy, hogy a felhasználandó $(N-1)$ db szelvény között már az előzőleg korrigált szelvények fordulnak elő.

A tárgyalt mélységegyeztető eljárás automatikus elvégzésére számítógépes program készült a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézetben.

A program számára bemenő paraméterként a felhasználandó szelvényeken kívül csak a mélységeltérés leírására bevezetett polinom fokszámát és az iterációk számát kell megadni. A polinom fokszáma a megengedhető „harmonikázások" számával kapcsolatos, az iterációk száma pedig akkor helyes, ha tovább növelve a korrekció lényegében már nem változik.

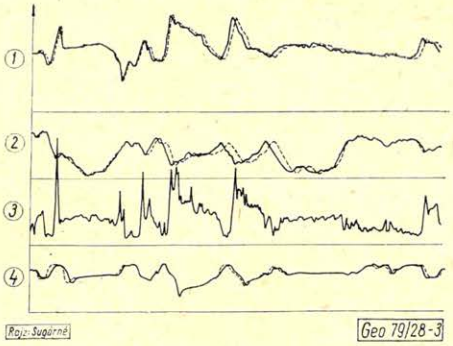
A mért és a korrigált szelvényeket plotteren kirajzolva néhány eredmény megtekintésére a *2.* és *3. ábrán* van lehetőség.



2. ábra. A számítógépes mélységegyeztetés eredménye
1 – egyeztetendő szelvény: optimális laterolog; 2 – alapszelvény: mikrolaterolog; – mért görbék; ---- korrigált görbe; M = 1 : 200

Рис. 2. Результат согласования глубин на ЭВМ
1 – согласуемая диаграмма: оптимальный зонд бокового каротажа; 2 – основная диаграмм: микробоковой каротаж – измеренные кривые; ---- исправленные кривые; M = 1 : 200

Fig. 2. Result of the computerized depth correlation 1 – the profile to be correlated: optimal laterolog; 2 – basic profile: microlaterolog; – measured curves; ---- corrected curve; M = 1:200



3. ábra. Mélységileg egyeztetett szelvények
1 – Neutron-gamma; 2 – Természetes-gamma; 3 – Mikrolaterolog; 4 – PS; – mért görbék; ---- korrigált görbék; M = 1 : 500

Рис. 3. Согласованные по глубине диаграммы
1 – диаграмма нейтронного каротажа; 2 – диаграмма естественной гамма-активности; 3 – диаграмма микробокового каротажа; 4 – PS; – измеренные кривые; ---- исправленные кривые; M = 1 : 500

Fig. 3. Depth correlated profiles
1 – Neutron-gamma; 2 – Natural-gamma; 3 – Microlaterolog; 4 – PS; – measured curves; ---- corrected curves; M = 1 : 500

III. ÖSSZEFOGLALÁS

A karotázsszelvények helyes mélységegyeztetése az értelmezés elengedhetetlen előfeltétele. A bemutatott eljárás lehetővé teszi, hogy a vizuális szemlélettől és az interpretátor tapasztalatától megfosztott számítógép a mérés és a kiértékelés közötti lépcsőfokra, a relatív mélységegyeztetésre is használható legyen.

Az alkalmazott matematikai eljárás biztosítja, hogy tetszőleges számú görbesereget figyelembe véve, a mélységeltérés leírására bevezetett polinom segítségével a harmonikaszerű mélységkorrekció matematikai megfogalmazást nyerjen.

Mivel a matematikai eljárás a mélységpontok számát nem változtatja meg, – a keresztkorrelációval ellentétben a széleken hiányos szakasz nem lép fel – célszerű egymásután olyan intervallumokat korrigálni, amelyek megegyeznek a kábelen levő mélységjelek távolságával.

A mélységeltérést leíró polinom nulladfokú tagja a szondák vonatkoztatási pontjainak eltérését, az első és másodfokú tagja a kábelnyújtásból származó pontatlanságot, a magasabb fokú tagok pedig a szonda beakadásából, harmonikus rezgőmozgásából és az észlelő folyamatos korrigálásából adódó eltérést írják le.

Az eljárás alkalmazása nem teszi szükségessé valamely görbe kitüntetett szerepét, de biztosítja azt a lehetőséget is, ha egyes szelvényeket nem szükséges korrigálni, akkor ezeket etalonoknak tekintve, felhasználásukkal csak a fennmaradó szelvényeket egyeztessük.

A kidolgozott módszer a mélységeltérést nem találgatással határozza meg, hanem kiszámolja azt, így még a keresztkorrelációs eljárásnál is lényegesen gyorsabb annak ellenére, hogy nem csak a lineáris eltolódást veszi figyelembe.

A mélységegyeztetésre kidolgozott módszer nemcsak karotázsszelvények korrigálására használható, hanem minden olyan esetben, amikor függvények „párhuzamosítására" van szükség.

A jelenleg MINSZK – 32 típusú számítógépen működő mélységegyeztető program ismertetésére és numerikus eljárások bemutatására egy következő cikkben kerül sor.

Egyesületi hírek

Az ELGI Könyvtárában

Könyvek, könyvrészletek:

1. *Tjapkin*, 1962. Moszkva. Véges kiterjedésű földtani testek által keltett gravitációs anomáliák kiértékelése.
2. *Kaufman A. A.* 1965. NAUKA Novoszibirszk. Az indukciós karotázs elmélete.
3. *Usztinov V. J. – Grinenko V. A.* 1965. NAUKA. Moszkva. Preciziós tömegspektrométeres módszer a kén izotópösszetételének meghatározására.
4. *Komarov V. A.* 1973. Elektromos kutatás gerjesztett polarizációs módszer segítségével.
5. *Kulinkovics A. E.* 1967. NEDRA. Moszkva. A mélyfúrási geofizikai adatok számítógépen történő feldolgozása.

Jegyzetek:

1. Schlumberger Well Surveying Corp. 1966. Párizs. A kútszelvény-értelmezés alapelvei.
2. Schlumberger, 1969. New York. Szelvény-értelmezési elvek. Szelvény-értelmezési diagramok