

A VES görbék értelmezése digitális számítógépen

R. B Á R T A

Az előadás témája: a terepi VES-görbék számítógépes értelmezési lehetőségeinek tárgyalása. Két részből áll: az első részben ismertetik az értelmezési eljárás lényegét és a programot; a második rész gyakorlati példákat mutat be az elméleti és a terepi VES-görbék értelmezéséről.

A programot a GIER számítógépre ALGOL programnyelven állították össze: két alprogramból áll. Az elsőben a $\varrho_2(r)$ mérési értékekből az ún. magfüggvényt, $R_1^{[n]}(m)$ -et állítják elő az alábbi formula alapján:

$$R_1^{[n]}(m) = 1 + \int_0^{\infty} \left(\frac{\varrho_2}{\varrho_1} - 1 \right) \frac{1}{r} J_1(mr) dr, \quad (1)$$

A másodikban eme függvény alapján, melynek analitikai kifejezése a következő:

$$R_1^{[n]}(m) = \frac{\text{th} \left(mh_1 + \frac{\text{arth } \frac{\varrho_2}{\varrho_1}}{\text{arth } \frac{\varrho_2}{\varrho_1}} R_2^{[n-1]}(m) \right)}{\text{cth} \left(mh_1 + \frac{\text{arth } \frac{\varrho_2}{\varrho_1}}{\text{arth } \frac{\varrho_2}{\varrho_1}} R_2^{[n-1]}(m) \right)}. \quad (2)$$

$$R_1^{[n-1]}(m) = \frac{\text{th} \left(mh_2 + \frac{\text{arth } \frac{\varrho_3}{\varrho_2}}{\text{arth } \frac{\varrho_3}{\varrho_2}} R_3^{[n-2]}(m) \right)}{\text{ctg} \left(mh_2 + \frac{\text{arth } \frac{\varrho_3}{\varrho_2}}{\text{arth } \frac{\varrho_3}{\varrho_2}} R_3^{[n-2]}(m) \right)} \quad (3)$$

a legkisebb négyzetek módszerével lépésről-lépésre számítják ki az ismeretlen ϱ_i és h_i paramétereket.

В докладе рассматриваются возможности интерпретации общих полевых кривых ВЭЗ на цифровой вычислительной машине. Он разделен на две части. В первой части дается объяснение сущности интерпретационного процесса и описывается программа. Во второй части приводятся практические примеры интерпретации теоретических и полевых кривых ВЭЗ.

Программа была составлена для цифровой вычислительной машины ГИЕР на языке А ГОЛ и состоит из двух подпрограмм. По первой вычисляется из измеренных значений $\varrho_2(r)$ т. наз. ядровая функция $R_1^{[n]}(m)$ по отношению

$$R_1^{[n]}(m) = 1 + \int_0^{\infty} \left(\frac{\varrho_2}{\varrho_1} - 1 \right) \frac{1}{r} J_1(mr) dr$$

По другой постепенно вычисляются по этой функции, аналитическая форма которой, нижеприведена

$$R_1^{[n]}(m) = \frac{\text{th} \left(mh_1 + \frac{\text{arth } \frac{\varrho_2}{\varrho_1}}{\text{arth } \frac{\varrho_2}{\varrho_1}} R_2^{[n-1]}(m) \right)}{\text{cth} \left(mh_1 + \frac{\text{arth } \frac{\varrho_2}{\varrho_1}}{\text{arth } \frac{\varrho_2}{\varrho_1}} R_2^{[n-1]}(m) \right)}$$

$$R_2^{[n-1]}(m) = \frac{\text{th} \left(mh_2 + \frac{\text{arth } \frac{\varrho_3}{\varrho_2}}{\text{arth } \frac{\varrho_3}{\varrho_2}} R_3^{[n-1]}(m) \right)}{\text{cth} \left(mh_2 + \frac{\text{arth } \frac{\varrho_3}{\varrho_2}}{\text{arth } \frac{\varrho_3}{\varrho_2}} R_3^{[n-1]}(m) \right)}$$

при помощи метода наименьших квадратов все неизвестные параметры ϱ_i и h_i .

Der Vortrag behandelt die Möglichkeiten einer Interpretation der allgemeinen Geländekurven VES auf dem Rechenautomaten. Der Vortrag besteht aus zwei Teilen: im ersten Teil wird das Wesen des Interpretationsvorganges aufgeklärt und das Programm beschrieben; im zweiten Teil werden praktische Beispiele von der Interpretation der theoretischen und der Geländekurven VES angeführt.

Das Programm wurde für den Rechenautomaten GIER in der Sprache ALGOL zusammengestellt und besteht aus zwei Unterprogrammen. Im ersten wird aus den Messwerten $\varrho_2(r)$ die sog. Kernfunktion $R_1^{[n]}(m)$ nach der Beziehung

$$R_1^{[n]}(m) = 1 + \int_0^\infty \left(\frac{\varrho_2}{\varrho_1} - 1 \right) \frac{1}{r} J_1(mr) dr$$

berechnet.

Im zweiten werden von dieser Funktion, deren analytische Form wie folgt lautet:

$$R_1^{[n]}(m) = \frac{\text{th} \left(mh_1 + \frac{\text{arth} \frac{\varrho_2}{\varrho_1} R_2^{[n-1]}(m)}{\text{arch} \frac{\varrho_2}{\varrho_1}} \right)}{\text{cth} \left(mh_1 + \frac{\text{arth} \frac{\varrho_2}{\varrho_1} R_2^{[n-1]}(m)}{\text{arch} \frac{\varrho_2}{\varrho_1}} \right)}$$

$$R_2^{[n-1]}(m) = \frac{\text{th} \left(mh_2 + \frac{\text{arth} \frac{\varrho_3}{\varrho_2} R_3^{[n-2]}(m)}{\text{arch} \frac{\varrho_3}{\varrho_2}} \right)}{\text{cth} \left(mh_2 + \frac{\text{arth} \frac{\varrho_3}{\varrho_2} R_3^{[n-2]}(m)}{\text{arch} \frac{\varrho_3}{\varrho_2}} \right)},$$

stufenweise mit der Methode der kleinsten Quadrate alle unbekannte Parameter ϱ_i und h_i berechnet.

A geoelektromos mérések elméletéből ismeretes, hogy horizontális határfelület, valamint föld-levegő határvonal jelenlétében az egyenáramú pontforrás potenciálját a következő összefüggéssel írhatjuk le a föld felületén:

$$U_1(r) = \frac{I\varrho_1}{2\pi} \int_0^\infty R_1^{[n]}(m) J_0(mr) dm. \quad (1)$$

A négyelektródás szimmetrikus gradiens-rendszer látszólagos fajlagos ellenállását kifejező, ismert összefüggést az (1) egyenletből kapjuk.

$$\varrho_z(r) = \varrho_1 r^2 \int_0^\infty R_1^{[n]}(m) m J_0(mr) dm, \quad (2)$$

ahol

$$r = AB/2$$

$$J_1(mr) = \text{Bessel-függvény}$$

$$R_1^{[0]}(m) = a \varrho_i\text{-től és } h_i\text{-től függő ún. magfüggvény}$$

$$[n] = a \text{ rétegek száma.}$$

Az $R_1^{[n]}(m)$ mag-függvényt a Laplace-féle parciális differenciálegyenletből a peremfeltételek segítségével számítjuk ki. Ez egy rekurrens függvény, amely a következő alakban írható

$$R_1^{[n]}(m) = \frac{\text{th} \left(mh_1 + \frac{\text{arth} \frac{\varrho_2}{\varrho_1} R_2^{[n-1]}(m)}{\text{arch} \frac{\varrho_2}{\varrho_1}} \right)}{\text{cth} \left(mh_1 + \frac{\text{arth} \frac{\varrho_2}{\varrho_1} R_2^{[n-1]}(m)}{\text{arch} \frac{\varrho_2}{\varrho_1}} \right)}$$

$$R_2^{[n-1]}(m) = \frac{\text{th} \left(mh_2 + \frac{\text{arth} \frac{\varrho_3}{\varrho_2} R_3^{[n-2]}(m)}{\text{arch} \frac{\varrho_3}{\varrho_2}} \right)}{\text{cth} \left(mh_2 + \frac{\text{arth} \frac{\varrho_3}{\varrho_2} R_3^{[n-2]}(m)}{\text{arch} \frac{\varrho_3}{\varrho_2}} \right)}$$

$$\vdots$$

$$R_{j-1}^{[2]}(m) = \frac{\text{th} \left(mh_{j-1} + \frac{\text{arth} \frac{\varrho_j}{\varrho_{j-1}} R_j^{[1]}(m)}{\text{arch} \frac{\varrho_j}{\varrho_{j-1}}} \right)}{\text{cth} \left(mh_{j-1} + \frac{\text{arth} \frac{\varrho_j}{\varrho_{j-1}} R_j^{[1]}(m)}{\text{arch} \frac{\varrho_j}{\varrho_{j-1}}} \right)}$$

$$R_j^{[1]}(m) = 1 \quad (3)$$

Ezek elemi hiperbolikus és hiperbolometrikus függvényekből állnak, s lényegében az összes ismeretlen ϱ_i és h_i paraméterek függvényei.

A (3) egyenlet sor egyszerű átalakításával megkapjuk azt a rekurrens képletet, melynek segítségével „*redukálhatjuk*” az $R_1^{[n]}(m)$ függvényt az $R_1^{[n-1]}(m)$ függvényalakra:

$$\begin{aligned} R_2^{[n-1]}(m) &= \frac{\varrho_1}{\varrho_2} \operatorname{th} (\operatorname{arth} R_1^{[n]}(m) - mh_1) \\ R_3^{[n-2]}(m) &= \frac{\varrho_2}{\varrho_3} \operatorname{th} (\operatorname{arth} R_2^{[n-1]}(m) - mh_2) \\ &\vdots \\ R_j^{[2]}(m) &= \frac{\varrho_{j-1}}{\varrho_j} \operatorname{th} (\operatorname{arth} R_{j-1}^{[3]}(m) - mh_{j-1}) \end{aligned} \quad (4)$$

Ezen összefüggések alapján az „ n ”-ed fokú függvényből, a ϱ_1 , ϱ_2 és a h_1 paraméterek ismeretével levezethetjük az „ $n-1$ ”-ed fokú függvényt, valamint az „ $n-1$ ”-ed fokú függvény által meghatározhatjuk, a ϱ_3 és a h_2 paraméterek ismeretével az „ $n-2$ ”-ed fokú függvényt, és így tovább.

A logaritmikus léptékben ábrázolt $R_1^{[n]}(m)$ függvény lefutása hasonló a $\frac{\varrho_2(r)}{\varrho_1}$ függvény lefutásához. Könnyen bizonyítható, hogy az $R_1^{[n]}(m)$ függvény

viselkedése megegyezik a $\frac{\varrho_2(r)}{\varrho_1}$ függvény viselkedésével (megőrzi a $\frac{\varrho_2(r)}{\varrho_1}$

függvény valamennyi tulajdonságát), amelyet az $AB/2$ alacsony értékei esetében a mélyebben fekvő rétegek jelentősebben nem befolyásolnak, viszont, az $AB/2$ nagy értékeinél nem észlelhető a közvetlen felszín alatti rétegek hatása. Hasonló a helyzet az $R_1^{[n]}(m)$ függvény esetében is. Az m nagyobb értékeinél a görbe menetét csak a ϱ_1 , ϱ_2 és a h_i paraméterek befolyásolják úgy, hogy bizonyos szakaszon két rétegűnek tekinthetjük és érvényes a következő összefüggés:

$$R_1^{[n]}(m) = \operatorname{th} \left(mh_1 + \operatorname{arth} \frac{\varrho_2}{\varrho_1} \right),$$

amely lehetővé teszi két pont – m_k és m_{k+1} – segítségével a paraméterek közelítő kiszámítását a következő képletek alapján:

$$\bar{h}_1 = \frac{1}{2(m_k - m_{k+1})} \ln \frac{B_1^{[n]}(m_{k+1})}{B_1^{[n-1]}(m_k)},$$

ahol

$$B_1^{[n]}(m_k) = \frac{R_1^{[n]}(m_k) - 1}{R_1^{[n]}(m_k) + 1}; \quad (5)$$

és

$$\bar{\varrho}_2 = \varrho_1 \operatorname{th} (\operatorname{arth} R_1^{[n]}(m_k) - m_k \bar{h}_1). \quad (6)$$

Ha ezeket a paramétereket a (4) összefüggésbe behelyettesítjük, megkapjuk az $R_1^{[n-1]}(m)$ redukált függvényt, amely bizonyos szakaszon ismét kétrétegű. Ebből az (5) és (6) képlet segítségével kiszámíthatjuk a további ϱ_3 és h_2 ismeretlen paramétereket.

Így folytathatjuk a számítási ciklusokat, amíg valamennyi paramétert ki nem számítjuk.

Az $R_1^{[n]}(m)$ függvény $q_z(r)$ értékeiből való kiszámítását a Hankel-féle integrál-transzformáció ismert összefüggései segítségével hajtjuk végre, kiindulva a (2) függvény integrál-alakjából. Ezek után az $R_1^{[n]}(m)$ -t, mint spektrális függvényt a következőképpen fejezhetjük ki:

$$R^{[n]}(m) = 1 + \int_0^{\infty} (q_z/q_1 - 1) \frac{1}{r} J_1(mr) dr. \quad (7)$$

A feltüntetett összefüggésben rejlik az ún. közvetett (megfordított) feladat lényege, amelynek alapján kidolgoztuk a VES interpretációjának algoritmusát önműködő számítógépekre.

Az egész értelmező eljárás három részből áll, amelyek keretén belül a következő műveleteket hajtottuk végre:

1. a bemeneti értékek előkészítése;
2. az $R_1^{[n]}(m)$ függvényértékek kiszámítása a $q_z(r)$ értékeiből;
3. a q_i és a h_i paraméterek interpretációja az $R_1^{[n]}(m)$ függvényből.

Ez ideig az első műveletet „*kézileg*” hajtjuk végre. Szükség szerint az értékeket kiegészítjük és meghatározzuk a következő pontokban:

$$r_t = 10^{t/6-1}$$

$$t = 0 - 30 \text{ értékek esetén}$$

Ezeket az értékeket perforálás útján beírjuk a lyukszalagra, és mint a tulajdonképpeni számítási program bemeneti értékei szerepelnek.

A második művelet számára a (7) képlet alapján önálló programot dolgoztak ki, amely végrehajtja az $R_1^{[n]}(m)$ függvényértékek kiszámítását a következő pontokban:

$$m_k = 10^{1-k/6},$$

$$\text{ahol} \quad k = 0 - 30.$$

E függvény értékeit bevezetjük a program utolsó részébe, amely a fentebb említett módon végrehajtja a q_i és a h_i paraméterek értelmezését.

Tekintettel az elkerülhetetlen hibákra, amelyek a mérésekből és a $q_z(r)$ függvény integrálásából erednek, az interpretációt a legkisebb négyzetek módszere segítségével végezzük el. Mindezek előtt viszont át kell alakítanunk a (3) képletek által kifejezett nem lineáris elméleti $R_1^{[n]}(m)_p$ függvényt a megfelelő lineáris alakra, a q_i és a h_i paraméterek szerinti Taylor-féle sorbafejtéssel. Ha a második és a magasabb derivált tagokat kihagyjuk, akkor lineáris regressziós függvényt kapunk, amelyet fokozatosan keresztül fektetünk az $R_1^{[n]}(m)$ -t függvény (7) képlet szerint kiszámított pontjain.

A program felülvizsgálatát néhány háromréteges görbén végeztük el, amelyeket az elméleti grafikonok halmazából választottunk ki. A $q_z(r)$ értékeit az r_t pontokban közvetlenül a grafikonról olvastuk le.

A látszólagos ellenállás elméleti görbéit a Piljajev-féle grafikonok összességéből vettük át úgy, hogy a megadott paraméterek egyértelműek. A gyakorlati görbéket terepmérésekből kaptuk.

A terepi lemért értékek kiegyenlítését kézzel végeztük el. Tekintettel arra, hogy a görbék „lemérése” a terepen gyakran nincs befejezve, a látszólagos fajlagos ellenállás további lefutását hozzátétőlegesen állapítottuk meg, egészen az utolsó réteg ellenállásának aszimptotájáig. Űgyszintén megközelítően állapítjuk meg az első réteg valóságos ellenállását.

Lapszemle

Erdöl und Erdgas Zeitschrift, 87. évf. 5/6, 1971. május – június.

W. H. Fertl: Rückblick auf das 12. Internationale Symposium für geophysikalische Bohrlochmessverfahren (Visszapillantás a geofizikai fúrólúkkimérési módszerekkel foglalkozó 12. Szimpóziumra), 171 – 173 old.

A szimpóziumot 1971. májusában tartották Dallas-ban (Texas) a Hilton szállóban. A cikk az előadások felsorolását és rövid tartalom-ismertetését, valamint méltatását adja.

T. G.

Fizikai Szemle XXI. 8. 1971. augusztus.

Kónya Albert: Az Interkozmosz együttműködés a szocialista országokban, 225 – 231 oldal. Az ember első űrrepülésének 10. évfordulója alkalmából 1971. április 5-én és 6-án a MTESZ Központi Asztronautikai Szakosztály által rendezett ünnepi ülés bevezető elődása.

Barta György: A mesterséges holdak mérései és a Föld belső szerkezete, 231 – 234. oldal.

A szerző megállapítja, hogy a mesterséges holdak által nyújtott új mérés technika ma már lehetővé teszi Földünk belső szerkezetének és folyamatainak az eddigénél pontosabb és behatóbb vizsgálatát, sőt módot nyújt a fizika elvi alapjainak tisztázására is.

Illés Erzsébet: A magaslégkör geomágneses viharok idején, 234 – 237. oldal.

A Csillagvizsgáló Intézet Szputnyikmegfigyelési Csoportja a geomágneses viharokkal kapcsolatos felsőlégköri fluktuációk tanulmányozásával foglalkozik; a cikk több megfigyelési eredmény kapcsán új feldolgozási módszert mutat be. Egy ábrában közlik az 1967. május 26-i geomágneses vihar idején kapott ekvivalens időtartam magasságfüggését.

Szemerédy Pál: A földkörüli térség szerkezete, 237 – 241. old. Rövid történeti áttekintés után a légkörnek mintegy „kiterjesztéseként” az interplanetáris laboratóriumok mérései kapcsán felfedezett „magnetoszféra” szerkezetét és legjellemzőbb tulajdonságait írja le a szerző.

Somogyi Antal: A bolygóközi tér kutatása a kozmikus sugárzás segítségével, 241 – 244. oldal.

„Mi szükség van a kozmikus sugárzásra, mint bolygóközi mérőeszközre”, teszi fel a kérdést a szerző cikke elején. Válaszadásában leszögezi, hogy a műholdak és űrhajós kozmikus sugárzás-mérések nagyságrendileg több és pontosabb információt nyújtanak a bolygóközi térről, mint a földfelszínen végzett ilyen megfigyelések. Szerző ezt a használatos módszerek rövid leírásával és több mérési példa bemutatásával támasztja alá.

Abonyi Iván: A szoláris plazma vizsgálata mesterséges égitestekkel, 244 – 245. oldal.

B. Ny. Rogyionov: Topográfiai felmérés a LUNOHOD-1 útvonalán, 245 – 247. oldal.

A LUNOHOD-1 útvonalán topográfiai felmérés készült 150 m szélességgel. A felmérés az alapvonal lefektetéséből, az álláspontokon pedig televíziós panorámák és felvételek készítéséből állt. A topográfiai vázlat relatív hibája 1 : 25, a térkép relatív hibája pedig 1 : 100.

Az eredményekből kitűnik, hogy a vizsgált terület síkvidék jellegű és déli irányban fokozatosan emelkedik. A krátereken kívüli helyi lejtők jelentéktelenek, a 1 – 2°-os értéket is csak ritkán érik el. A kráterek többnyire lekoptak, éles széleik nincsenek. Olyan fiatal krátereket, melyeknek széle és lábvonala éles, ritkán lehetett találni. A cikket 2 szöveg közti ábra és egy, a megvizsgált terep egy részét ábrázoló külön melléklet egészíti ki.

Almár Iván: A Hold, a bolygók és a csillagok vizsgálata az űrkutatás eszközeivel, 248 – 251. oldal.

Marx György: Tíz esztendő és az ötmilliárd, 251 – 257. oldal. Szerző azt a kérdést taglalja, hogy az űrkutatás által jellemzett tudományos-technikai forradalom során kifejtett erőfeszítések milyen messzire vihetnek az univerzum megismerésében. „Vajon, jut-e a parvenü emberiségnek elegendő hely, jut-e elég hosszú élet, hogy ambíciójával arányos művet alkosson? Vajon meddig tarthat a tudományos-technikai forradalom?”

Marx György: Tiszteletadás a világtér halottainak, 258. old.

TG