Elektromágneses geofizika, föld- és környezettudomány

Szarka László Csaba
(az MTA levelező tagja)
székfoglaló előadása
2013. szeptember 17.

I. Elektromágneses geofizika

- Elv
- Analóg modellezés
- A magnetotellurikus impedanciatenzor

$$\Phi = B_v \cdot A \cdot \sin \omega t = B \cos i \cdot (1/2) L^2 \sin 2\alpha \cdot \sin \omega t.$$

Az indukált feszültség

$$U_{AB} = \frac{d\Phi}{dt} = (1/2) B\omega L^2 \cos i \cdot \sin 2\alpha \cos \omega t.$$

Az A és A' közé kötött izzólámpa akkor világít, ha U_{AB} effektív értéke $U_{AB\,\max}/\sqrt{2} = U = 1$ V. (Lényeges, hogy az izzót A és B közé egyenes vezetővel kössük, mert különben az összekötő vezetékben indukált feszültség nem biztosan 0.)

$$(1/2) B\omega L^2 \cos i \sin 2\alpha/\sqrt{2} = U, \quad \text{innen}$$

$$\omega = \frac{2\sqrt{2}U}{BL^2 \cos i \sin 2\alpha}, \quad n = \frac{\sqrt{2}U}{BL^2\pi \cos i \sin 2\alpha} \approx 1{,}41 \cdot 10^5\ s^{-1}.$$

(4 pont) *Szarka László* (Nyíregyháza, Krúdy Gy. Gimn., IV. o. t.)

EM hullámok	Ált. elektrodinamika	Kvázistacionárius tér	Stacionárius tér	Statikus tér
$\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial \mathbf{t}} >> \mathbf{j}$		$\left(\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} << \mathbf{j} \text{ and } \frac{\partial}{\partial \mathrm{t}} \neq 0\right)$	$\left(\mathbf{j} \neq 0, \quad \frac{\partial}{\partial t} = 0\right)$	$\left(\mathbf{j} = 0, \quad \frac{\partial}{\partial t} = 0\right)$
$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} \cong \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$ $\mathrm{div}\,\mathbf{B} = 0$ $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$	$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$ $\mathrm{div}\,\mathbf{B} = 0$ $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$	$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} \cong \mathbf{j}$ $\mathrm{div}\,\mathbf{B} = 0$ $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$	$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} = \mathbf{j}$ $\mathrm{div}\,\mathbf{B} = 0$ $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$	$\mathrm{rot}\,\mathbf{H} = \mathbf{0}$ $\mathrm{div}\,\mathbf{B} = 0$ $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$ magnetosztatika
$\mathrm{rot}\,\mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ $\mathrm{div}\,\mathbf{D} = 0 \quad (\delta = 0)$ $\mathbf{D} = \varepsilon\mathbf{E}$	$\mathrm{rot}\,\mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ $\mathrm{div}\,\mathbf{D} = \delta$ $\mathbf{D} = \varepsilon\mathbf{E}$	$\mathrm{rot}\,\mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$ $\mathrm{div}\,\mathbf{D} = \delta$ $\mathbf{D} = \varepsilon\mathbf{E}$	$\mathrm{rot}\,\mathbf{E} = 0$ $\mathrm{div}\,\mathbf{D} = \delta = \mathrm{constant}$ $\mathbf{D} = \varepsilon\mathbf{E}$	$\mathrm{rot}\,\mathbf{E} = 0$ $\mathrm{div}\,\mathbf{D} = \delta = \mathrm{constant}$ $\mathbf{D} = \varepsilon\mathbf{E}$ (elektrosztatika)
$\mathrm{div}\,\mathbf{j} = 0, \frac{\partial \delta}{\partial t} = 0$ $\mathbf{j} = 0, \sigma = 0$	$\mathrm{div}\,\mathbf{j} + \frac{\partial \delta}{\partial t} = 0$ $\mathbf{j} = \sigma\,\mathbf{E}$	$\mathrm{div}\,\mathbf{j} + \frac{\partial \delta}{\partial t} = 0$ $\mathbf{j} = \sigma\,\mathbf{E}$	$\mathrm{div}\,\mathbf{j} = 0, \frac{\partial \delta}{\partial t} = 0$ $\mathbf{j} = \sigma\,\mathbf{E}$	$\mathrm{div}\,\mathbf{j} = 0, \frac{\partial \delta}{\partial t} = 0$ $\mathbf{j} = 0, \sigma = 0$
Légkörfizika, űrfizika (plazma: j=v×B)	**Georadar**	**EM indukciós módszerek**	**Geoelektromos módszerek**	**Geomágnesség (magnetosztatika) Elektrosztatika**

A klasszikus elektrodinamikán túlmenő
elektromágneses tér + atommag kölcsönhatások: pl. NMR (állandó mágneses tér + atommag), IP stb.

Földi anyagok ρ fajlagos elektromos ellenállása (Ωm)

$\rho = 1/\sigma$ (σ: fajlagos elektromos vezetőképesség)

r: távolság, V: térfogat, A felület

Gravitációs és geomágneses anomáliák

Gravitációs tér: $$\boldsymbol{g} = -\gamma \ \mathbf{grad}\left[\int_V (d/r)\, dV\right]$$

γ: gravitációs állandó, d: kőzetsűrűség

Mágn. tér (dipól): $$\boldsymbol{H_m} = -(\mu_0/4\pi)\ \mathbf{grad}\left[\int_V \boldsymbol{M}\ \mathbf{grad}\,(1/r)\, dV\right]$$

μ_0: a vákuum mágneses permeabilitása, $\boldsymbol{M}$: kőzetmágnesezettség

Elektromágneses anomáliák

Mágn. tér (áram): $$\boldsymbol{H_e} = -(1/4\pi)\ \mathbf{rot}\left[\int_V (\boldsymbol{j}/r)\, dV\right]$$

$\boldsymbol{j}$: térbeli áramsűrűség

Elektromos tér: $$\boldsymbol{E} = -(1/4\pi\varepsilon_0)\ \mathbf{grad}\left[\int_V (\delta/r)\, dV + \int_A (\tau/r)\, dA\right]$$

ε_0: a vákuum dielektromos permittivitása, δ: tértöltés-sűrűség, τ: kőzethatár-felületi töltéssűrűség

felszíni elektromágneses tér

E, H

- **töltésrendszer** ***τ***
- **áramrendszer** ***j***

- **anyagi tulajdonságok *(ρ, μ, ε)* eloszlása a mélyben**
- **a gerjesztő tér jellege (geometria és időbeli változás)**

forrástér:	*f(z)*	*f(y,z)*	*f(x, y, z)*
ρ:			
f(z)	**1D**	**2D**	**3D**
f(y, z)	**2D**	**2D, 3D**	**3D**
f(x, y, z)	**3D**	**3D**	**3D**

A „szondázási görbe” (elv)

Magnetotellurikus szondázási görbe (példa)

Ádám 1967
(analóg regisztrátum egyedi kiolvasásaiból)

Lemperger 2013
(digitális idősor, mediánokból számítva)

NAGYCENK

MTA CSFK GGI
Széchenyi István Geofizikai Obszervatórium

I. 1. Elektromágneses analóg modellezés

Analóg modellezés:

sasbérc fölötti geoelektromos és mágneses anomáliák a felszínen

egy x (vízszintes) irányú áramelektróda-pár terében (felső sor: a, b, c, d);

ill. két elektródapárból számított invariánsuk (alsó sor e, f, g, h):

E_x H_y $Z_{xy}=E_x/H_y$ $P_{xy}=E_x H_y$

(Szarka L.: Geophysical Prospecting 1987)

A „szondázási görbe” (elv)

Acta GG 1992

Geophysical Prospecting 1999

„Normál” és „overshooting”

„Kulcslyuk”

„Kulcslyuk”

I. 2. A magnetotellurikus impedanciatenzor $\begin{bmatrix} \boldsymbol{Z_{xx}} & \boldsymbol{Z_{xy}} \\ \boldsymbol{Z_{yx}} & \boldsymbol{Z_{yy}} \end{bmatrix}$

$$E_x = \boldsymbol{Z_{xx}} H_x + \boldsymbol{Z_{xy}} H_y$$
$$E_y = \boldsymbol{Z_{yx}} H_x + \boldsymbol{Z_{yy}} H_y$$

A földtani környezet dimenziószáma	A tenzorelemek száma	A független invariánsok száma
1D	2^1	2-1=1
2D	2^2	4-1=3
3D	2^3	8-1=7

Szarka L., Menvielle, M:
Geophysical Journal International, 1997

$$\det(\mathbf{Z}) = Re\det(\mathbf{Z}) + i\, Im\det(\mathbf{Z})$$

$$Re\det(\mathbf{Z}) = \det Re(\mathbf{Z}) - \det Im(\mathbf{Z})$$

50ohmm, 500ohmm

Terepi adatokra csak az „alap” (területi) invariánsok használhatók

„alakjelző” „éljelző” „sarokjelző”

modell:

terep:

egyezés: jó gyenge gyenge

Novák A. (PhD, Sopron), 2009

„Alakjelző” invariánstérkép (determináns) a pilisszentkereszti ciszterci apátság romjai körül

A rutinszerű „szelvényezés”: nem kielégítő

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{xx} & \rho_{xy} \\ \rho_{yx} & \rho_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} j_x \\ j_y \end{bmatrix}$$

területi mérés,
50 ezer adat

Varga M. et al.: Near Surface Geophysics, 2006

KŐOLAJIPARI MT MÉRÉSEK ÚJRAFELDOLGOZÁSA

Novák A. (PhD, Sopron) 2009

a)
ρ(z)
ρa(r)
300 m
resistivity (Ohm-m)
depth z and separation r (m)
b)
ρ(z)
ρa(r)
100 m
resistivity (Ohm-m)
depth z and separation r (m)
c)
ρ(z)
ρa(r)
60 m
resistivity (Ohm-m)
depth z and separation r (m)

Geoelektromos szelvényezés karsztterületen (Homód-árok, Bakony)

tavasszal

nyár végén

Szalai et al.: Karsztfejlődés XI 2006

Rendkívüli mágnesezettség („másodrendű mágneses fázisátalakulás”) a földkéregben?

Kiss J., Prácser E., Szarka L.: Geophysical Research Letters, 2005

IAGA 12th Scientific Assembly, Mérida (Yucatán, Mexico, 26-31 August, 2013) Paper J5-4: Features of the long-term variations of the Earth's impedance and its gradients (Petrishchev M. S., Semenov V. Yu.)

„The greatest changes in the resistance of the Earth in time – in active regions (Europe)"

„A Föld elektromos ellenállásának legnagyobb időbeli változásai geológiailag aktív régiókban (főként Európában) találhatók"

II. Föld- és környezettudomány

Mesterséges EM zajok észlelése:

Szarka L.: Geophysical Prospecting 1983
Ádám A., Szarka L., Verő J.: PEPI 1986
Szarka L.: Surveys in Geophysics 1988

MTA MENÜPONTOK

A Magyar Tudományos Akadémiáról

Az MTA tagjai

Az MTA doktorai

Közgyűlési képviselők

▸ AZ MTA HÍREI

<< VISSZA

2012. 04. 01.

Magyar geofizikusok új modellje a geomágneses viharok elleni védekezésben

Az *MTA Csillagászati és Földtudományi Kutatóközpont Geodéziai és Geofizikai Intézet geo-elektromágneses kutatócsoportja* elkészítette az európai kontinentális lemez elektromos vezetőképességének modelljét. Az EURHOM elnevezésű modell felhasználási célja kettős: segíti az európai litoszféra lemeztektonikai folyamatainak jobb megértését, illetve a napkitörések után fellépő geomágneses viharok által legsebezhetőbb területek azonosítását.

In vivo fanedváramlás-mérés
a fatörzs különböző pontjai között
kialakuló elektromos potenciálkülönbség
változásainak 2 évnyi monitorozásával

Koppán A., Szarka L.,Wesztergom V.:
Comptes Rendus, Life Sciences 2000

A Föld Bolygó Nemzetközi Éve keretében elhangzott megállapítások

Felszín alatti vizek: **a felszín alatti vízkészletet (az ivóvízbázist) az emberiség sokkal nagyobb ütemben fogyasztja, mint ahogyan az utánpótlódik (54%);**

Föld és egészség: orvos-geológus együttműködéssel hárommilliárd ember egészségén lehetne javítani;

Éghajlatváltozások: **a) A Föld története éghajlatváltozások története, és természetesen a mi jövőnket is erősen fogja befolyásolni az éghajlat alakulása, b) első alkalommal történik meg, hogy egy faj, a Homo sapiens, vált a Földrendszer és a klímarendszer megváltoztatásának egyik tényezőjévé;**

***Természeti veszélyek*: a természeti katasztrófák számának az utóbbi évtizedekben tapasztalt növekedése elsősorban a sérülékenység (vulnerability) megnövekedéséből származik;**

***Természeti erőforrások*: a jövőbeni energiaellátás kérdőjelekkel teli (a szénhidrogén néhány évtizedre, a szén évszázadokra elég; a „megújulók" iránti elvárások túlzók); a nyersanyagok közül ritkafémekből keletkezhet leghamarabb hiány (közönséges nyersanyagokból hiány nem várható);**

Óriásvárosok: cél az óriásvárosok fenntarthatóbbá tétele;

A Föld mélye: **az emberi tevékenység manapság már geológiai hatótényezőként is figyelembe veendő, hiszen az emberiség egy nagyságrenddel több anyagot mozgat meg, mint a felszíni geológiai folyamatok együttvéve (a kontinensek felszínének 40-50%-át átalakította az ember);**

Óceánok: az óceánok mélye számos tudományos meglepetést tartogat (nyersanyag- és energia, biológiai alapfelismerések, környezeti kockázatok);

Talaj: **A Föld valószínűleg képes ugyan ellátni 9 milliárd embert, de az ökoszisztéma és a biodiverzitás feláldozásával, ráadásul úgy, hogy nem (vagy alig) marad hely biomassza-termelés számára;**

Föld és Élet: **Veszélyben van a globális ökológiai rendszer.**

Vélemény két témakörről:

Éghajlatváltozás:

Nincs bizonyítva, hogy az éghajlatváltozásért kizárólag az antropogén széndioxid-kibocsátás lenne a felelős. Az éghajlatváltozásokat több természeti tényező, így pl. a Nap (naptevékenység), a felhőképződés, az óceáni áramlási rendszerek, a földfelszín és a hidrológiai rendszerek ember általi megváltoztatása, sőt további természeti és mesterséges tényezők (pl. energiafelhasználás, felszínátalakítás), illetve mindezek kölcsönhatásai is okozhatják.

(„The" SCIENTIFIC „debate is" NOT „over")

Katasztrófák:

A természeti katasztrófa az ember és a természet közötti sajátos kölcsönhatás emberközpontú elnevezése. A természeti katasztrófák számbeli és méretbeli növekedésének oka elsősorban az emberiség terjeszkedésében (mindenekelőtt a – népességnövekedésnél sokkal gyorsabb ütemű – fogyasztásnövekedésben, az emberek és az anyagi javak egyre veszélyesebb helyekre koncentrálódásában) keresendő, és nem a természet természetes működésében.

(ld. Müncheni Viszontbiztosító)

A LEGFONTOSABB GLOBÁLIS KÉRDÉSEK RENDSZERE

Richard Smalley (2003) sorrendje:

1. energia, 2. édesvíz, 3. talaj, 4. környezet,

5. szegénység, 6. terrorizmus, háború, 7. betegségek, 8. oktatás, 9. demokrácia, 10. népesség

„…anyagi hatalmának korlátlan növekedésével az emberiség olyan hajóskapitány helyzetébe került, akinek hajója szilárdságát már annyi acél és vas biztosítja, hogy a tájoló mágnestűje kizárólag a vasszerkezetekre reagál; az északi irányt végleg elveszítette.”
(Heisenberg, 1958)

2013: Nem is olyan szilárd…

Összefoglalás, következtetések

Elektromágneses geofizika:
Szigorú következetesség jellemzi; rámutat a nehézségekre és a korlátokra.
(Például, hogy az általunk preferált paradigmából származtatott modell következményének egyeznie kell a valósággal, és ha van is egybeesés a tapasztalati adatokkal, még akkor sem biztos, hogy a modell a valóságot jól leírja.)

Környezettudomány:
Kevés adatból (néha egyetlen korrelációból) túl magabiztosak a következtetések;
más összefüggések figyelmen kívül maradnak.

Földtudomány:
A legfontosabb környezeti tényezők (az energia és az ásványi nyersanyagok, az édesvíz, a talaj, a környezet) nagyrészt földtudományi vonatkozásúak. Ezért elsősorban a földtudomány felelőssége, hogy elvégezze – globálisan és hazai szinten is – a természeti kincsek (erőforrások és a környezet) újraértékelését, tárja fel reálisan a lehetőségeket.

A tudomány:
Eddig valahogy mindig nyújtott valamiféle megoldást, de a Föld véges adottságaiból adódó korlátok egyre szembetűnőbbek. Future Earth („A Föld a jövőben”): 10 éves program a globális környezeti változások következményeinek felmérésére és a tennivalók kidolgozására…

Külön köszönet geofizikus tanáraimnak, kutatótársaimnak, egykori diákjaimnak:

Ádám Antal
Bencze Pál
Fischer, Gaston
Frischknecht, Frank C.
Hjelt, Sven-Erik
Kiss János
Kaikkonen, Pertti
Kohlbeck, Franz
Koppán András
Lemperger István
Madarasi András
Menvielle, Michel
Müller Imre
Nagy Zoltán
Novák Attila
Pirjola, Risto
Prácser Ernő
Spichak, V. V.
Steiner Ferenc
Szalai Sándor
Takács Ernő
Tarits, Pascal
Ubránkovics Csaba
Varga Géza
Varga Mihály
Verő József
Viljanen, Ari
Wallner Ákos
Weaver, John
Wesztergom Viktor
Zhang Dahai

KÖSZÖNET!

TISZTELETTEL HÍVOM A HALLGATÓSÁGOT A SZÉKFOGLALÓ UTÁNI FOGADÁSRA, A KRÚDY-TEREMBE