

# 地磁日变化中的震磁效应研究\*

陈 伯 航

(香港大学物理系、地理地质系)

## 摘 要

本文试图从地磁静日变化的三分量中提取与大震有关的震磁信息。研究方法称为两台的“视深比”法。先用单台  $Z/H$  法计算同纬度或纬度差不大的两台的视深 ( $T=24$  h)，再分析两台视深比随时间的变化。1962—1988 年期间北京与兰州的视深比变化与北京附近的三次大地震似乎存在一定的关系。震前视深比呈现正异常，震后呈现负异常。

**关键词** 地磁日变化；单台  $Z/H$  法；深部电导率；震磁效应

## 前 言

地磁日变化中是否存在震磁信息？至今还难有肯定的答案。姚法章和任丽君（1988）的研究指出，地磁垂直分量日变幅值的空间分布异常与未来大震震中区有一定的关系。他们以通过年变、季变、纬变影响等改正后的垂直分量静日变幅的季均值作为基本数据，绘出日变幅值的空间分布图。空间分布的正异常区与未来大震的地点似乎相关。这说明在地磁垂直分量静日变幅的季均值中含有大震的震磁信息。

本文试图从地磁静日变化的三分量中提取大震的震磁信息。方法是用单台  $Z/H$  法计算春秋季节中每月的感应尺度  $C$  (inductive scale length)。然后研究周期为 24 h 的视深 ( $C'_{re}$ ) 随时间的变化。

## 1 单台 $Z/H$ 法原理

单台  $Z/H$  原理可参看 Schmucker (1970), Parkinson and Hutton (1989), 陈伯航 (1992)。这里仅重点简述一下。Chapman and Bartels (1940) 曾指出：春秋季节时， $S_q$  的主要球谐项为  $P_2^1(\cos\theta)$ ,  $P_3^2(\cos\theta)$ ,  $P_4^3(\cos\theta)$ ,  $P_5^4(\cos\theta)$ ，也就是说，春秋季节的  $S_q$  电流体系相对磁赤道而言近于对称，上述球谐项能相当好地描绘  $S_q$  场的特征。这时地面上两个相互正交的水平分量  $B_\varphi^m$  和  $B_\theta^m$  应有异相关系 ( $m=1, 2, 3, 4$  表示频率为  $1, 2, 3, 4, d^{-1}$  的谐波成份)。实际资料分析出的  $B_\varphi^m$  和  $B_\theta^m$  往往不会正好是异相的。但我们可以旋转坐标轴使两个水平分量的异相关系成立。按此步骤可推出

\* 1993 年 2 月 18 日收到初稿，1993 年 5 月 15 日决定采用。

$$|B_{\varphi}^m / B_{\theta}^m| = m P_{m+1}^m(\cos \theta_v^m) \left[ \sin \theta_v^m \frac{d}{d \theta_v^m} P_{m+1}^m(\cos \theta_v^m) \right]^{-1} \quad (1)$$

式中,  $B_{\varphi}^m$ ,  $B_{\theta}^m$  表示新坐标系中的两个水平分量,  $\theta_v^m$  称为‘真余纬’(virtual colatitude)或‘有效余纬’.  $\theta_v^m$  可由式(1)计算确定.  $\theta_v^m$  确定后, 我们可用以下两种方法计算内外场之比  $Q^m (= B_i^m / B_e^m)$ .  $B_i^m$ ,  $B_e^m$  分别为内场与外场.

由  $B_i^m / B_{\theta}^m$  计算  $Q^m$ ,  $B_r^m$  为磁场的径向分量.

$$Q^m = B_i^m / B_e^m = [(m+1)\alpha^m - \beta^m] / [(m+2)\alpha^m + \beta^m] \quad (2)$$

$$\beta^m = B_r^m / B_{\theta}^m \quad (3)$$

$$\alpha^m = P_{m+1}^m(\cos \theta_v^m) / \frac{d}{d \theta_v^m} P_{m+1}^m(\cos \theta_v^m) \quad (4)$$

由  $B_r^m / B_{\varphi}^m$  计算  $Q^m$

$$Q^m = B_i^m / B_e^m = [(m+1)\sin \theta_v^m - im\gamma^m] / [(m+2)\sin \theta_v^m + im\gamma^m] \quad (5)$$

其中

$$\gamma^m = B_r^m / B_{\varphi}^m \quad (6)$$

值得强调一下, 上述两种方法计算的  $Q^m$  应完全一致, 否则计算程序必然有错误之处. 最后,  $C^m$  可由下式确定:

$$C^m = \frac{R}{n+1} \left( 1 - \frac{n+1}{n} Q^m \right) / (1 + Q^m) \quad (7)$$

式中,  $n=m+1$ ,  $R$  为地球半径.  $C$  的实部  $C_{re}$  称为视深, 它的含意大致可理解为感应电流可到达的深度.

## 2 用 $Z/H$ 法分析台站资料的一般结果

笔者用单台  $Z/H$  法分析了 12 个台站多年的春秋季磁静日季均值资料, 得出的  $C'$  (周期为 24 h 的  $C$  值) 列于表 1. 表 1 的最后两列为  $C'$  的实部和虚部, 括号中的数字是用

表 1 用单台  $Z/H$  法计算出的  $C'$  值

台 站	地 球 坐 标		使 用 资 料 时 间 a	$C'_{re}$ /km	$C'_{im}$ /km
	$\lambda_E$ /(°)	$\varphi_N$ /(°)			
伊尔库次克(IRT)	104.5	52.2	1962—1968	498(218)	-190(110)
长 春(CHC)	125.2	44.0	1979—1984	686(161)	-647(210)
乌 鲁 木 齐(URU)	87.7	43.8	1978—1984	750(48)	-274(105)
北 京(BJG)	116.2	40.0	1974—1985	833(129)	-448(105)
兰 州(LZH)	103.8	36.1	1959—1985	890(72)	-320(47)
余 山(SHS)	121.2	31.1	1960—1984	1086(82)	-473(71)
成 都(CHD)	103.7	31.0	1982—1985	1040(75)	-445(40)
武 汉(WUH)	114.6	30.5	1963—1985	1038(68)	-429(59)
拉 萨(LAS)	91.0	29.6	1963—1966 1984—1985	809(74)	-447(42)
泉 州(QZH)	118.6	24.9	1982—1984	1056(100)	-550(59)
广 州(GZH)	113.3	23.1	1972—1985	1231(66)	-440(79)
琼 中(QGZ)	109.8	19.0	1982—1984	1249(18)	-642(110)

稳健技术(robust technique)确定的平均绝对偏差, 表示稳健统计的误差。本文用的稳健技术取自 Press *et al.* (1986) 编写的“Numerical Recipes”一书。所用的方法是最简单的一种方法, 即让统计结果的绝对偏差趋于极小。

由于单台  $Z/H$  法的原理忽略了主要谐波项外的其余项, 计算出的  $C'_{re}$  值与台站纬度有明显关系。这一结论可由图 1 看出。但是是否具有普遍性则尚不能作结论, 只能说对中国地区的台站是如此。

笔者还研究了同纬度或近于同纬度的两个台站的视深随时间的变化, 发现有明显的相关性。图 2 为一例: 1977—1986 年余山与武汉每年 3, 4, 9, 10 月的  $C'_{re}$ 。图中每个点代表该月

5 个国际磁静日均值计算的数据。两台中如有一台计算的  $C$  不满足  $C$  值合理性的判据

$$-45^\circ < \arg(C) < 0^\circ \quad (8)$$

则选择 5 个国际磁静日中的 3 天的均值计算  $C$  值。如任何 3 日的组合都计算不出合理的  $C$  值或缺资料, 则图中无数值表示。图 2 显示春秋季节中  $C'_{re}$  的逐月变化很大, 说明单台  $Z/H$  法并不能充分地消除外空场变化的影响。但纬度相近的两台  $C'_{re}$  随时间的变化有明

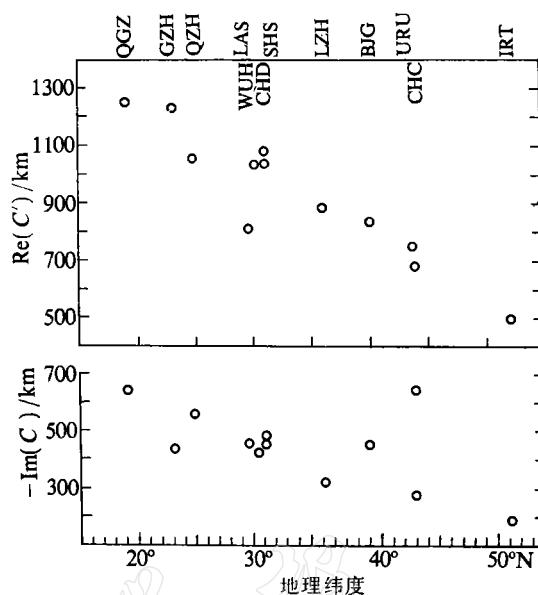


图 1 中国地区的台站资料用  $Z/H$  法得出的  $C'$  与台站纬度的关系

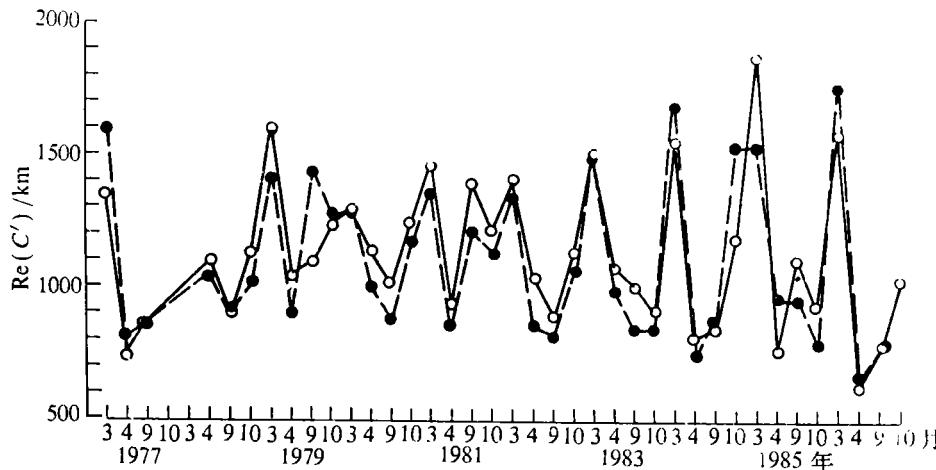


图 2 1977—1986 年期间余山台与武汉台的  $C'_{re}$  变化

“○”表示余山台的数据, “●”表示武汉台的数据

显的相关性. 余山与武汉  $C'_{re}$  的相关系数为 0.89.

### 3 探索与大震的关系

鉴于同纬度的两台站  $C'_{re}$  随时间变化的相关性相当高, 如果我们取两台的比值则可进一步削弱外空场变化的影响, 突出与地方性因素有关的内场变化. 图 3 为 1962—1988 年期间北京与兰州两台  $C'_{re}$  比值随时间的变化. 其中“○”为 5 个国际磁静日的均值计算出的  $C'_{re}$  比值, 其条件是两台的  $C'$  均需满足式(8). 如有一台的  $C'_{re}$  不满足式(8), 则寻找 5 个国际磁静日中的 3 天取均值计算两台的  $C'_{re}$  [以满足式(8)为条件去选择]. “●”表示 3 日均值的数据. 缺点的月份是因为找不到合理的  $C'_{re}$  值(不论是一台找不出或两台均找不出). 上述计算仅适用于每年春秋季节的月份, 即 3 月、4 月、9 月和 10 月. 考虑到单台  $Z/H$  法的假设其余月份的资料没处理. 另外, 图 3 中的平均线是根据两台的稳健均值计算出来的, 见表 1 中的数据.

从图 3 可见, 北京附近的 3 次大地震(1966 年 3 月的 6.8 级邢台地震, 1969 年 7 月的 7.3 级渤海地震与 1976 年 7 月的 7.8 级唐山地震)震前或震前后  $C'_{re}$  比值均有异常. 表现为大震前  $C'_{re}$  比值有较大的正异常, 大震后  $C'_{re}$  比值或有负异常. 但  $C'_{re}$  比值异常并不与大震一一对应; 1981 年 9 月的正异常没对应大地震, 1971 年 10 月和 1979 年 10 月的负异常之前亦无大地震.

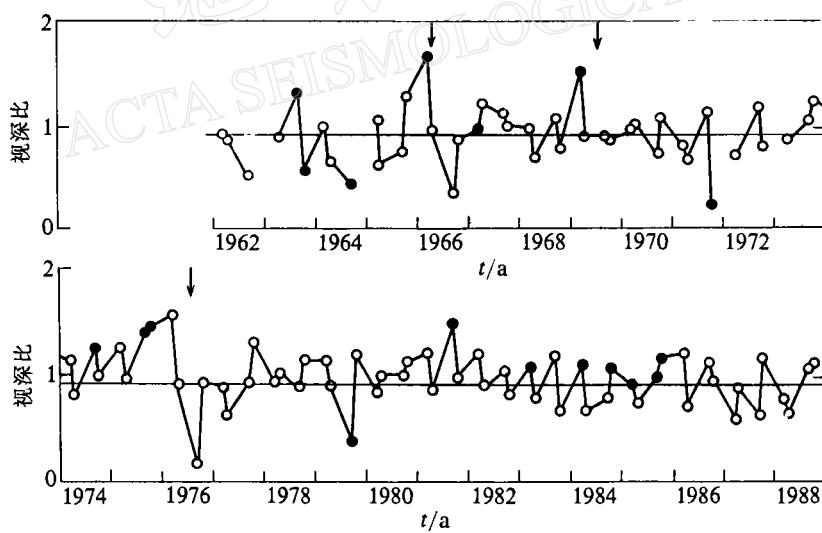


图 3 1962—1988 年期间北京台与兰州台的视深比  $C'_{re}$  (北) /  $C'_{re}$  (兰) 随时间的变化.

图中箭头表示 3 次大震: 1966 年 3 月的 6.8 级邢台地震, 1969 年 7 月的 7.3 级渤海地震和 1976 年 7 月的 7.8 级唐山地震

同样, 笔者计算了 1977—1986 年期间余山与武汉的  $C'_{re}$  比值的时间变化(见图 4 曲线 1). 在这 10 年中, 余山台附近有两次 6 级地震(1979 年 7 月的 6.0 级溧阳地震, 1984 年 5 月的 6.2 级黄海地震). 两次地震前均无明显的正异常, 但震后有较小的负异常伴随. 是否因震级较小所致, 供参考. 值得注意的是, 图 4 曲线 1 显示  $C'_{re}$  比值涨落较小,

图 3 中的比值涨落较大. 考虑到余山台与武汉台纬度非常接近, 而北京台与兰州台纬度相差较大, 我们可以认为这种涨落仍反映外空场的残余影响. 正因为这个缘故, 图 3 中的 3 个地震反映的震磁效应是否可靠需慎重对待. 另一方面, 图 4 中的曲线 2 是 1977—1986 年期间兰州与武汉台组的  $C'_{re}$  比值的变化. 由于兰州与武汉附近在此 10 年中并无大震发生, 其视深比的涨落可视为外空场残余的正常影响. 虽然兰州与武汉两台的纬度差比北京与兰州的纬度差大, 但前者视深比的涨落总的说来比后者的涨落小. 这一现象提供了一个反证, 说明图 3 中显示的与 3 次大震相关的比值异常似乎不能完全归于外源场变化的影响.

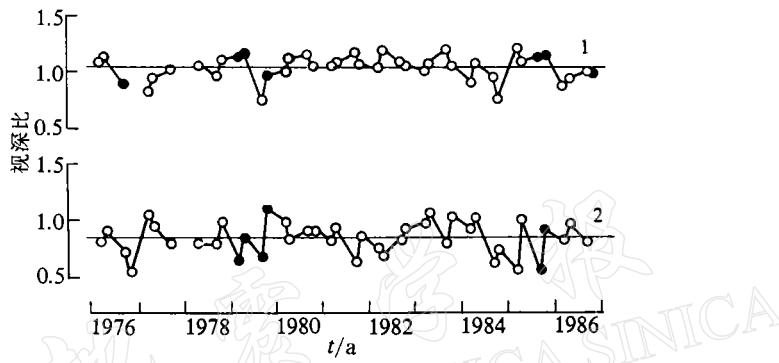


图 4 曲线 1 是余山台与武汉台的视深比  $C'_{re}$ (余)/ $C'_{re}$ (武)随时间的变化,  
曲线 2 是兰州台与武汉台的视深比  $C'_{re}$ (兰)/ $C'_{re}$ (武)随时间的变化,  
图中的平均线是根据表 1 中各台的稳健均值计算出来的

为进一步考察上述的震磁效应, 我们可以看看唐山地震前后两个异常月(1976 年 3 月与 9 月)的日变曲线形态. 图 5a 为北京与兰州 1976 年 3 月三分量日变曲线. 横坐标为地方时. 图 5a 显示两台的  $Z$  日变曲线相当一致,  $D$  日变曲线也很一致, 但  $H$  日变曲线有明显的差别. 相对而言, 北京的  $H$  日变幅比兰州的大, 极小值的相位滞后近一小时. 图 5b 为北京与兰州 1976 年 9 月的三分量日变曲线, 显示两台的  $D$  曲线相当一致, 北京的  $H$  日变幅略大于兰州的日变幅. 突出的差异在于  $Z$  日变曲线; 北京的  $Z$  日变幅明显地偏小, 且北京的  $Z$  变化相位超前兰州. 1976 年 3 月的日变差异造成了  $[C'_{re}(\text{北})/C'_{re}(\text{兰})]$  上升; 1976 年 9 月的日变差异造成了  $[C'_{re}(\text{北})/C'_{re}(\text{兰})]$  下降.

由上述二例可见, 单台  $Z/H$  法得出的结果既可反映  $Z$  或  $H$ (或  $D$ )的变幅差异, 又可反映它们的相位差异. 就某种意义而言, 此法能综合三分量日变曲线差异显示非外场的效果. 如两台的纬度相同, 显示非外场的效果应该更好. 值得再强调指出的是: 上述日变曲线不是某一天的可能带有偶然性因素的事件, 而是不相连的 5 个国际磁静日的平均日变曲线. 因此, 用此法得出的异常变化有希望探索可能存在于地磁日变中的震磁信息.

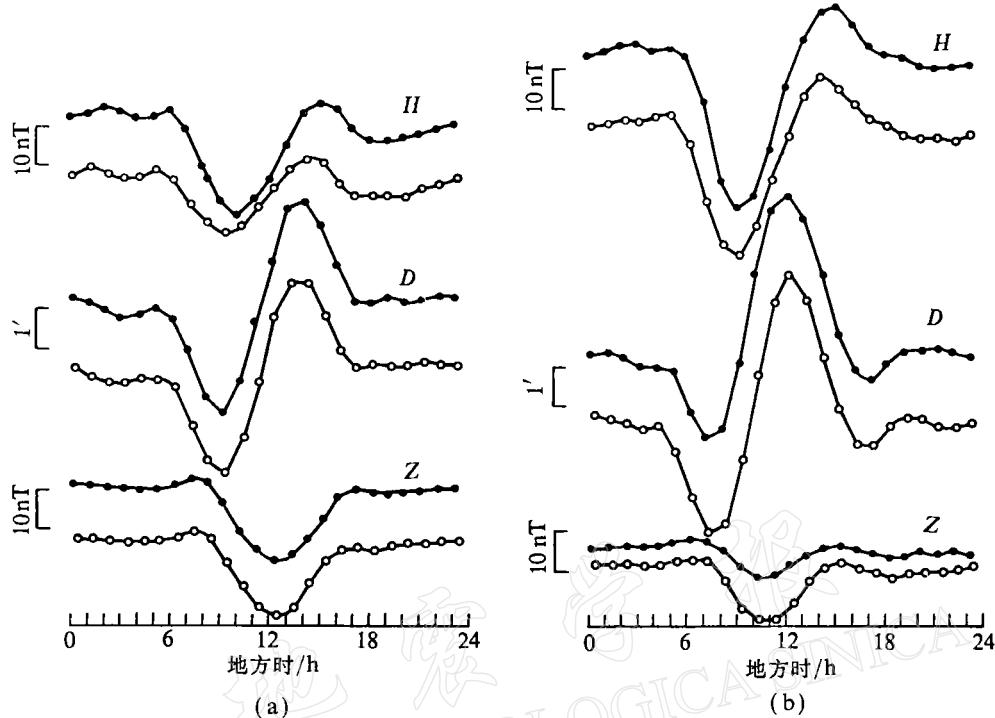


图 5 北京与兰州 1976 年 3 月(a)和 1976 年 9 月(b)5 个国际磁静日平均的三分量曲线

●—●为北京台的曲线, ○—○为兰州台的曲线

#### 4 结 论

(1) 本文的研究方法为:选用同纬度的两台站的三分量日变资料(其中一台作为参考台),按单台  $Z/H$  法分别计算各台  $T=24$  h 的视深,然后以视深比的时间变化研究大地震在地磁日变化中的震磁效应.建议简称为“视深比”法.

(2) 北京、兰州台组的视深比变化显示在 3 个 7 级左右的大震前后有异常变化.震前为正异常,震后为负异常.余山、武汉台组的视深比变化表明余山附近的两次 6 级地震震前均无明显变化,但震后有较小的负异常反应.后一台组的反应可能是震级较小所致.

(3) 本文仅计算春秋季节各月份的视深比,因此缺乏时间上的连贯性.如何研究夏季及冬季各月份的静日月均值资料是急需解决的课题.

(4) 除  $T=24$  h 的视深比可利用外,其余周期的视深比或其它物理量能否研究震磁效应还值得继续探索.总之,本文的结果是非常初步的探索结果.笔者认为:如何科学地综合分析三分量日变化中存在的震磁信息还未解决,现在的工作只是个开始.

## 参 考 文 献

- 陈伯舫, 1992. 用地磁静日变化研究深部电导率的单台  $Z/H$  法. 地球物理学报, 35, 增刊, 401—407.
- 姚法章、任丽君, 1988. 华北及川滇地区  $M_s \geq 7$  地震前地磁日变特征. 中国地震, 4, 106—112.
- Chapman, S. and Bartels, J., 1940. *Geomagnetism*, 1049 pp. Clarendon Press, Oxford.
- Parkinson, W. D. and Hutton, V. R. S., 1989. The electrical conductivity of the Earth, In: Jacobs, J. A. (editor). *Geomagnetism*, Vol. 3, 261—321. Academic Press, London.
- Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A. and Vetterling, W. T., 1986. *Numerical Recipes*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Schmucker, U., 1970. An introduction to induction anomalies. *J. Geomag. Geoelectr.*, 22, 9—33.