

# 自然正交分量方法在地震地磁监测中的应用\*

陈 斌

(中国地震局 地球物理研究所, 北京 100081)

**摘要:** 对比分析了地震地磁监测中运用自然正交分量方法建立的我国地磁场长期变化模型与传统的磁场线性预测长期变化模型在地震地磁监测中的误差, 发现 NOC 方法优于线性预测方法, 应在地震地磁监测中予以推广应用。在 NOC 模型建立过程中, 还发现 NOC 方法有助于提取可能与地震活动性相关的地磁场微弱能量的时间变化, 但还有待于进一步的研究。

**关键词:** 自然正交分量方法; 地磁场变化; 地磁场模型; 震磁监测

**中图分类号:** P315.72<sup>+1</sup>

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2011)04-0466-04

## 0 引言

地球磁场可分为内源场、外源场和感应场(徐文耀, 2003)。依据来源的不同, 内源场又可分为源于核幔边界磁流体发电机的地球主磁场和源于地球上地幔及地壳的岩石圈磁场。主磁场占地磁场的主要能量成分, 时间变化缓慢而有规律。岩石圈磁场的变化时间可等视为地质年代, 它被认为是除火山、地震活动等影响之外的准静态分布。

岩石圈物质的组分、构造、微裂隙程度及其所受的应力、温度、湿度等因素决定了岩石圈磁场的空间分布结构。地震发生时, 固体地球内部岩石圈构造的微小破碎和改变将引起岩石圈磁场的变化。通过监测岩石圈磁场空间形态及其随时间的变化趋势, 可以为研究岩石圈构造的分布特征及运动趋势提供磁学参考背景。地磁观测也是地震监测的常规前兆手段之一。

2006 年以来, 中国地震局监测预报司主持在首都圈地区, 苏、鲁、皖交界地区, 滇东北地区等重点监视区持续开展流动地磁三分量监测工作(倪喆等, 2011)。由于地震引发的地磁改变量级约为 20 nT(丁鉴海等, 1994), 这就要求地震地磁监测的整体精度必须小于 20 nT, 才可能从观测数据中提取可信的岩石圈磁场异常变化信息, 进而研究该异常变化与地震活动之间的相关性。

在这一过程中, 须选取合适的长期变化模型对地磁数据进行长期变化改正。传统的观测方法是通过选取对应时间段内的线性长期变化模型来实现这一过程(郭启华等, 1986; 顾左文等, 2006; 陈斌等, 2010), 然而, 实际工作中选用的传统的线性预测长期变化模型引入了不可忽视的误差。顾左文等(2009)运用自然正交分量方法(Natural Orthogonal Components, 简称 NOC)建立了更为准确的地磁场长期变化模型, 在地震地磁监测中应用该模型能减弱数据处理过程中的误差。

## 1 NOC 方法

NOC 方法是数学上线性系统研究的一个重要理论方法, 该方法由 Golovkov 等(2000)首先运用于地磁场模型的研究, 我国地磁学家也利用该方法进行过地磁场变化的研究(徐文耀, 2002; 王月华, 2002)。该方法的优势在于可以无人工干预地从具备一定时间—空间分布形态的目标数据中自然提取快速收敛的正交能量基, 从而将目标数据分解到各独立能量所表征的时间—空间分布, 有利于从变化复杂的时间—空间数据中提取主要的时空分布形态, 也有利于提取淹没于大能量变化中的微弱能量所表征的时间—空间分布特征。

NOC 方法的基本步骤为, 当一个任意  $N \times M$  阶矩阵  $A$  具有  $p$  (一般地,  $p < N < M$ ) 个非零本征值时可表述为:

\* 收稿日期: 2011-03-14.

基金项目: 2009 年度地震行业专项: 中国地球物理场观测——青藏高原东缘地区、第四专题(200908029-04)。

$$\mathbf{A}_{N \times M} = \mathbf{U}'_{N \times p} \cdot \mathbf{A}'_{p \times p} \cdot \mathbf{V}'^T_{p \times M} \tag{1}$$

其中：

$$\mathbf{A}'_{p \times p} = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_p \end{bmatrix}, \tag{2}$$

$$\mathbf{U}' = [u_1, u_2, \cdots, u_p], \tag{3}$$

$$\mathbf{V}' = [v_1, v_2, \cdots, v_p], \tag{4}$$

即

$$\mathbf{A}_{N \times M} = u_1 \cdot \lambda_1 \cdot \mathbf{v}_1^T + u_2 \cdot \lambda_2 \cdot \mathbf{v}_2^T + \cdots + u_p \cdot \lambda_p \cdot \mathbf{v}_p^T. \tag{5}$$

公式 (2) 中的  $\lambda_i$  为矩阵  $\mathbf{A}$  的非零本征值,  $u_i$  和  $v_i$  分别为  $\mathbf{U}$  空间和  $\mathbf{V}$  空间中相应的标准正交本征向量。上述公式可以被理解为：当一个任意  $N \times M$  阶矩阵  $\mathbf{A}$  具有  $p$  个非零本征值时, 则矩阵  $\mathbf{A}$  可被分解为三个独立空间中的矩阵  $\mathbf{U}$ 、 $\mathbf{A}$  和  $\mathbf{V}$ , 且可以用公式 (5) 以  $p$  个独立成分之和的形式描述。

将地磁台站的观测数据构建成矩阵  $\mathbf{A}$  是运用 NOC 方法的第一个技术步骤, 矩阵描述如下：

$$[a_{i,j}], i=1,2,\cdots,N; j=1,2,\cdots,M, \tag{6}$$

其中  $N$  为地磁台站数,  $M$  为各台站某一地磁要素的连续观测数据个数,  $a_{i,j}$  为某一时刻某一地点的地磁场要素数据。

2 自然正交分量方法建立的地磁场长期变化模型

笔者选取 1995 年 1 月 1 日至 2010 年 6 月 30 日我国 36 个台站的地磁场要素  $H$ 、 $D$ 、 $Z$  的绝对连续观测时均值数据, 作为 NOC 方法的目标数据, 分析各能量对应的时间—空间分布特征, 并确定前三阶能量共同表征地磁场的长期变化过程, 建立地磁场长期变化 NOC 模型。

实际工作中, NOC 模型与预测线性模型所描述的地磁场长期变化存在显著差异, 运用这两种模型进行长期变化改正后的岩石圈磁异常场变化也存在显著不同。图 1 为运用这两种方法得到的 2008 年 10 月至 2009 年 5 月苏鲁皖监测区的岩石圈磁异常场变化的空间分布。图 1a 为运用地磁场长

期变化 NOC 模型进行长期变化改正得到的岩石圈磁异常场变化, 图 1b 为运用地磁场线性预测模型进行长期变化改正得到的岩石圈磁异常场变化。图中给出了流动地磁观测点及其名称、编号。

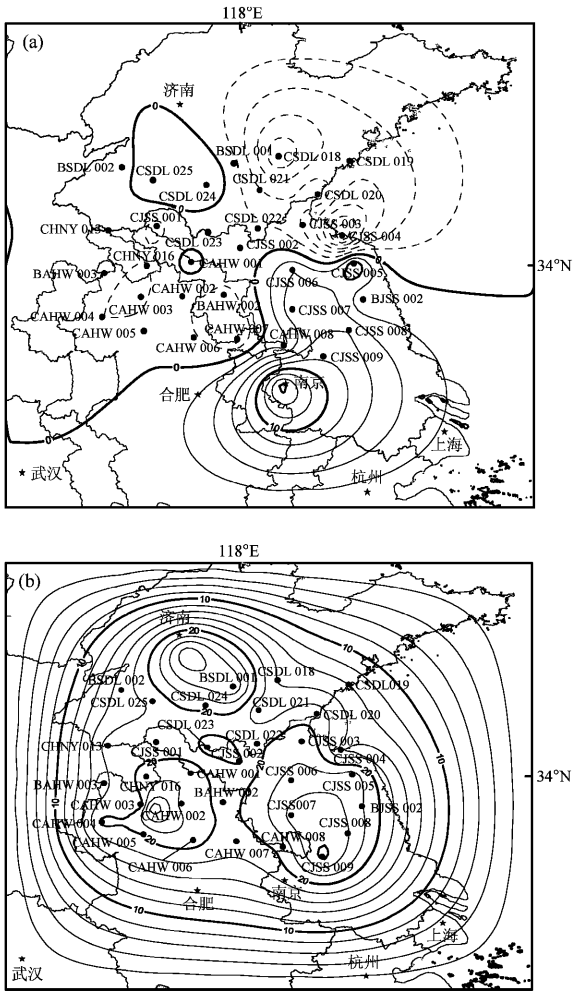


图 1 NOC 方法 (a) 与线性方法 (b) 得到的 2008 年 10 月至 2009 年 5 月苏鲁皖监测区半年岩石圈磁异常场变化  
Fig.1 Variation of lithospheric geomagnetic field in half a year by NOC method (a) and linear predicted method (b) in Shandong-Jiangsu-Anhui region from Oct., 2008 to May, 2009

在线性长期变化改正后得到的岩石圈磁异常场 (图 1b) 在整片监测区约增加了 15 nT, 而运用 NOC 长期变化模型进行改正得到的岩石圈磁异常场变化 (图 1a) 则没有这种整体性的增加趋势。结合台站实际观测资料分析, 笔者认为两个方法所得结果的差异主要是由于线性预测长期变化模型存在较大误差所导致。

与台站实际观测数据相比较可以看出，NOC 方法给出的地磁场变化比线性预测模型更符合地磁场的实际变化情况（图 2）。笔者运用线性预测方法预测的 2005 ~ 2010 年地磁场变化与西南地区（以通海地磁台为例）的实际变化平均每年相差 14 nT，而这一误差在华北地区（天津静海地磁台为例）为 20 nT/年。这也正是应用线性预测长期变化模型在苏鲁皖监测区得到的岩石圈磁异常场变化存在 15 nT 左右的整体抬升的原因。

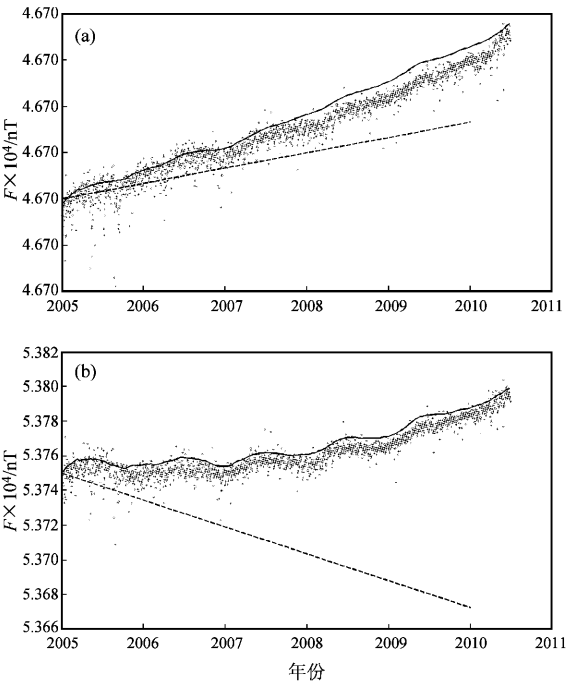


图 2 NOC 方法与线性预测方法与台站实际数据的变化趋势比较（黑点表示台站数据；虚线表示线性预测数据；实线表示 NOC 数据）  
(a) 通海地磁台；(b) 静海地磁台  
Fig. 2 Geomagnetic variation by NOC method and linear predicted method  
(Spots stand for Observation data, dashed line represents data by linear predicted method, line represents data by NOC method)  
(a) Tonghai Station; (b) Jinghai Station

### 3 地磁场弱能量与地震活动性的相关性

在实际工作中，NOC 分解结果显示地磁场似乎存在与地震相关的微弱变化形态，如图 3 所示，NOC 分解的第五阶结果的时间变化形态存在一定的

相关性。  
图 3 为 NOC 分解的五阶时间变化曲线与地区年度  $M_s \geq 4.0$  地震个数的时间曲线。两者在 2000 年及 2007 年左右都处于低值状态，而在 2002 年及 2008 年均处于历史高值期，似乎存在一定的相关性。当然这一现象尚需进一步深入研究。

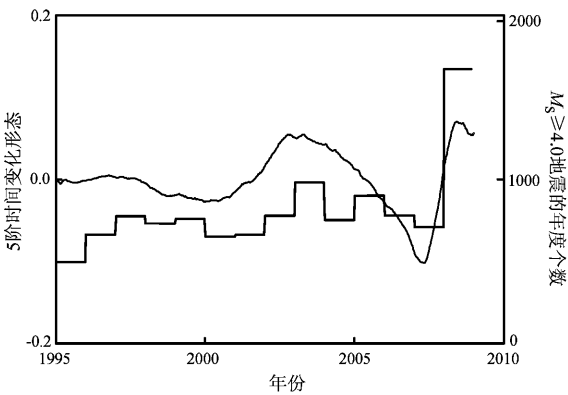


图 3 五阶 NOC 的时间变化与  $18^\circ \sim 54^\circ \text{N}$ ,  $73^\circ \sim 136^\circ \text{E}$  区域内  $M_s \geq 4.0$  地震的年度个数（光滑曲线表示五阶 NOC 的时间变化；阶梯状曲线表示  $M_s \geq 4.0$  地震的年度个数）  
Fig. 3 Time change of  $k = 5$  NOC and year number of earthquakes with  $M_s \geq 4.0$ . In the figure. Dashed line represents the time change of  $k = 5$  NOC, line represents the yearly number of earthquake with  $M_s \geq 4.0$

### 4 结果与讨论

将由 NOC 方法建立的地磁场长期变化模型运用于地震地磁监测工作中，能更准确地得到岩石圈磁异常场的变化信息及其特征，准确提取磁异常变化特征，可以为有效提高地震地磁监测能力提供技术支持。  
相比于传统的线性长期变化模型，NOC 方法能够实时地添加台站观测数据以更新模型，提供地磁场长期变化模型的时间分辨率。  
NOC 方法提取的地磁场弱能量与地震活动性存在相关性，然而两者的关系及相关机制尚需开展更详细的研究。

参考文献：  
陈斌,顾左文,高金田,等. 2010. 中国地区地磁长期变化研究[J]. 地球物理学报,53(9):2144-2154.  
丁鉴海,卢振业,黄雪香. 1994. 地震地磁学[M]. 北京:地震出版社.

- 顾左文, 安振昌, 高金田, 等. 2006. 2003 年中国及邻区地磁场模型的计算与分析[J]. 地震学报, 28(2): 141 – 149.
- 顾左文, 陈斌, 高金田, 等. 2009. 应用 NOC 方法研究中国地区地磁时空变化[J]. 地球物理学报, 52(10): 2602 – 2612.
- 郭启华, 林云芳, 曾小平, 等. 1986. 关于区域性地磁长期变化的探讨[J]. 地震研究, 9(01): 101 – 112.
- 倪喆, 李春光, 陈斌, 等. 2011. 2006 ~ 2010 年云南东南部地区磁偏角变化特征[J]. 地震研究, 34(1): 30 – 34.
- 王月华. 2002. 1985 – 1997 年中国地磁场长期变化的正交模型[J]. 地球物理学报, 45(5): 624 – 630.
- 徐文耀. 2002. 地球主磁场的 NOC 模型[J]. 中国科学(D 辑), 32(7), 576 – 687.
- 徐文耀. 2003. 地磁学[M]. 北京: 地震出版社.
- Golovkov V P, Bondar T N, Burdelnaya I A. 2000. Spatial-temporal modeling of the geomagnetic field for 1980 – 2000 period and a candidate IGRF secular-variation model for 2000 – 2005. Earth Planets Space. 52: 1125 – 1135.

## Application of the Natural Orthogonal Components Method to the Seismic Geomagnetic Monitoring

CHEN Bin

(*Institute of Geophysics, CEA, Beijing 100081, China*)

### Abstract

In China, there are two models for the seismological and geomagnetic observation. One is the model of geomagnetic secular variation, which is built through the method of Natural Orthogonal Components (NOC). Another is the linear prediction model of the secular variation of geomagnetic field. Comparing the two models, we find that the former is superior to the latter. We also find that NOC is useful to extract the weak geomagnetic variation which is possibly related with the earthquake activity.

**Key words:** Natural Orthogonal Components (NOC) method; geomagnetic variation; geomagnetic model; seismological and geomagnetic survey