

流动地磁监测数据处理流程^{*}

陈 斌¹, 袁洁浩¹, 王 粲¹, 徐如刚², 王振东¹

(1. 中国地震局地球物理研究所, 北京 100081; 2. 安徽省地震局, 安徽 合肥 230031)

摘要: 阐述了中国地震局流动地磁团队现在采用的数据处理流程, 包括最近台站替代法的日变通化和自然正交分量模型的长期变化改正。并采用该流程对野外地磁测量数据进行了日变通化和长期变化改正, 得到岩石圈磁场年度变化数值, 残差分析表明误差不大于 10 nT, 一般在 5 nT 之内。

关键词: 流动地磁监测; 数据处理流程; 日变通化; 长期变化改正; 误差分析

中图分类号: P318

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2017)03-0335-05

0 引言

地震的孕育及发生过程中, 地下能量的积累与释放过程必然会引起岩石圈介质性质, 如温度、应力等状态的改变。这一性质的改变将通过各种震磁效应引起岩石磁化率的改变 (黄平章等, 1990; 郝锦琦等, 1992, 1993; 侯登录等, 2003; 李海燕, 张世红, 2005), 从而在地面产生能观测到的岩石圈磁场异常变化。因此通过监测地面的岩石圈磁场异常变化研究地震活动性是地磁学科主要研究方向之一。我国的地震学者通过监测地磁台站的连续观测数据, 发现了某些可能的地震地磁异常现象, 取得了如“低点位移”“转换函数”等理论 (冯志生等, 2000, 2004; 刘哲, 2002; 史勇军等, 2002; 王亶文, 2003; 陈伯舫, 2003; 丁鉴海等, 2004; 王世昌等, 2004; 张淑兰, 江在森, 2004; 吴小平等, 2004; 李树华, 2004; 李琪等, 2005; 张继红, 乔惠珍, 2005; 蒋延林等, 2005; 杨涛等, 2005), 但由于地磁台站的空间间隔较大, 这一类研究对空间的辨识率不高。流动地磁研究者也使用空间高分辨率的流动地磁数据进行了地震地磁相关性的分析 (解用明等, 2001, 2002, 2005; 詹景立, 黄健, 2004), 但仅重点分析以震中为中心的某一段时间-空间区域的变化, 缺乏全时间-空间尺度的辨析, 且不同地区、不同时间的地震活动对应的地磁变化形态并不一致, 这可归因于其中的某些变化是磁

场的正常变化。自 2010 年初以来, 中国地震局流动地磁技术团队在大华北、南北地震带和南北天山 3 个区域持续开展了年尺度的矢量地磁复测, 发现了一些与地震相关地磁异常现象, 如围绕地震震中出现高梯度分布或者磁偏角零变线等现象 (顾春雷等, 2010, 2012; 倪喆等, 2014a, b, c; 苏树鹏等, 2016)。本文主要阐述了流动地磁技术团队采用的的数据处理过程, 并分析数据处理过程中误差的可能数值范围。

1 监测目标

按照来源的不同, 地球磁场可分为内源磁场和外源磁场。内源磁场可细分为源于地球液体外核磁流体动力学过程的主磁场和源于地壳及上地幔物质磁性的岩石圈磁场。外源场可细分为源于固体地球之外的各种电流体系产生的磁场和固体地球内部产生的感应磁场。

由于岩石圈磁场包含了地壳和上地幔物质状态和结构的丰富信息, 因此通过对岩石圈磁场的研究可以推进对地球演化、地质构造演变及成矿研究等相关领域的基础研究。从地震监测预报目的来看, 发生在地表 60 km 范围内的浅源地震往往比同级别的深源地震会带来更大破坏 (傅淑芳等, 1980; 许忠淮, 2014), 所以地磁场的地震监测目标重点应为对应浅源地震深度的岩石圈磁场。岩石磁学的实验室研究表明: 岩石的状态, 如温度、应力状态、岩石颗粒度及铁磁性物质含量等发生

* 收稿日期: 2017-01-21.

基金项目: 2015 年度地震行业科研专项经费项目“2015.0 年代中国地磁参考场编制”(201508013) 资助.

改变时,其磁性会发生相应的改变,即产生如压磁效应、膨胀磁效应、感应磁效应、热磁效应等震磁效应。地震的孕育及发生过程中,地下能量的积累与释放过程必然会引起岩石圈介质性质状态的改变,并产生能观测到的磁场异常变化。因此通过监测岩石圈磁场的空间分布及时间变化的异常特征来研究地震活动性是我们的目标。

合理、准确地描述岩石圈磁场的空间分布及时间变化需要尽可能精准地从观测数据中消除各种外源磁场以及地球主磁场的影响。因此,中国地震局制定了观测技术规范^①以及日变通化、长期变化改正的数据处理流程,以便得到尽可能精确的岩石圈磁场数据。

2 日变通化

日变通化的主要目的是消除观测数据中的规则日变场和其他外源场成分,得到观测地磁场数据中的内源场部分。其计算公式为:

$$\begin{aligned} F_{\text{site_int}_T_i} &= F_{\text{site_mea}_T_i} - F_{\text{site_ext}_T_i} \\ &= F_{\text{site_mea}_T_i} - F_{\text{obs_ext}_T_i} \\ &= F_{\text{site_mea}_T_i} - (F_{\text{obs_mea}_T_i} - F_{\text{obs_int}_T_i}) \\ &= F_{\text{site_mea}_T_i} - (F_{\text{obs_mea}_T_i} - F_{\text{obs_int}_{T_0}}) \\ &= F_{\text{site_mea}_T_i} - (F_{\text{obs_mea}_T_i} - F_{\text{obs_mea}_{T_0}}) \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $F_{\text{site_int}_T_i}$ 为 T_i 时刻观测的某一地磁要素的日变通化结果; $F_{\text{site_mea}_T_i}$ 为该地磁要素 T_i 时刻的测量值; $F_{\text{site_ext}_T_i}$ 为该地磁要素 T_i 时刻测量值中的外源场部分; $F_{\text{obs_ext}_T_i}$ 为距测量位置最近地磁台站的该地磁要素 T_i 时刻测量值中的外源场部分; $F_{\text{obs_mea}_T_i}$ 为距测量位置最近地磁台站的该地磁要素 T_i 时刻测量值; $F_{\text{obs_int}_T_i}$ 为距测量位置最近地磁台站的该地磁要素 T_i 时刻观测值中的内源场部分; $F_{\text{obs_int}_{T_0}}$ 为距测量位置最近地磁台站的该地磁要素日变通化日地方时午夜 00:00—03:00 的测量值中的内源场部分; $F_{\text{obs_mea}_{T_0}}$ 为距测量位置最近地磁台站的该地磁要素日变通化日地方时午夜 00:00—03:00 的测量值。

式 (1) 给出了日变通化的数据推导过程,从中可看出在日变通化过程包含了 3 次近似处理,其理由为:

(1) 用台站 T_i 时刻的外源磁场部分替代了同时刻测点的外源磁场部分。采用这种近似处理是由于包含规则日变场的外源磁场空间分布较为均匀,空间信号尺度较大(徐文耀,李卫东,1994)。

(2) 用台站 T_0 时刻的内源场部分替代了台站 T_i 时刻的内源场部分,即认为在 T_i 至 T_0 的时间内,台站的内源场没有发生变化。这种近似要求 T_0 距离 T_i 的时间长度不宜较长,否则会引起较大的误差。

(3) 用台站 T_0 时刻的测量值替代了台站 T_0 时刻的内源场值,这一近似要求对 T_0 的选择较为严苛,我们选择磁场日变形态极为平静日的当地午夜 00:00—03:00 作为 T_0 时刻,以求达到该时刻磁场测量值中包含的外源场部分最少。

对应以上 3 点近似处理的要求,日变通化过程中需要注意以下 2 点:

(1) 当台站距离测点较远时,应考虑在测点附近架设磁场连续观测仪器,以减小日变场的空间不均匀引起的误差。

(2) 日变通化日的选择应该非常仔细,需要选取距测量日期较近时间范围内的磁场平静日作为日变通化日。根据经验,通化日距测量日不宜超过 30 d。

3 长期变化改正

流动地磁的监测目标为岩石圈磁场的空间分布及时间变化,目前主要分析数据为岩石圈磁场的年度变化,即岩石圈磁场与去年的差异变化。其计算公式为:

$$\begin{aligned} \Delta F_{\text{Lith}_T_2 - T_1} &= F_{\text{Lith}_T_2} - F_{\text{Lith}_T_1} \\ &= (F_{\text{Int}_T_2} - F_{\text{Main}_T_2}) - (F_{\text{Int}_T_1} - F_{\text{Main}_T_1}) \\ &= (F_{\text{Int}_T_2} - F_{\text{Int}_T_1}) - (F_{\text{Main}_T_2} - F_{\text{Main}_T_1}) \end{aligned} \quad (2)$$

式中: $\Delta F_{\text{Lith}_T_2 - T_1}$ 为某一地磁要素 T_2 时刻至 T_1 时刻的岩石圈磁场之差; $F_{\text{Lith}_T_2}$ 、 $F_{\text{Lith}_T_1}$ 分别为该地磁要素在 T_2 和 T_1 时刻的岩石圈磁场; $F_{\text{Int}_T_2}$ 、 $F_{\text{Int}_T_1}$ 分别为该地磁要素在 T_2 和 T_1 时刻的内源磁场; $F_{\text{Main}_T_2}$ 、 $F_{\text{Main}_T_1}$ 分别为该地磁要素在 T_2 和 T_1

① 中国地震局监测预报司. 2015. 关于印发《流动地磁测量基本技术要求(试行)》的通知.

时刻的主磁场; T_2 和 T_1 时刻的内源磁场 $F_{\text{Int}_T_2}$ 和 $F_{\text{Int}_T_1}$ 即为 T_2 和 T_1 时刻的日变通化结果; 而 $F_{\text{Main}_T_2} - F_{\text{Main}_T_1}$ 为 T_2 和 T_1 时刻的主磁场之差, 即为 T_2 和 T_1 时刻的地磁场长期规律变化。

流动地磁技术团队建立了 1995 年 1 月 1 日至今的中国大陆地磁场长期变化 NOC 模型, 该模型基于 1995 年 1 月 1 日至今的中国地区 36 个台站的地磁场要素 H 、 D 、 Z 绝对连续观测时均值, 并不断追加后续的台站观测数据。经过对台站原始数据的预处理, 舍去了台站数据完整率与正确率较低的 5 个地磁台的记录数据, 同时在计算区域的边界位置均匀地布设了 15 个边界控制点, 用国际地磁参考场 (IGRF) 计算这 15 个边界控制点上的地磁场长期变化数据, 最终将总计 46 个空间点位上的地磁数据作为 NOC 分析和建立长期变化模型的基础数据。在经过必要的处理后, 将非磁扰日地方时 00:00—03:00 每 10 d 的观测时均值的平均值作为具体研究对象。这批数据在空间上覆盖了中国大陆地区, 在时间上跨越了接近 2 个太阳活动周期。

以各台站地磁要素 X 、 Y 、 Z 非磁扰日地方时 00:00—03:00 的每 10 d 的计算平均值分别构建地磁要素观测数据矩阵 \mathbf{A}^X 、 \mathbf{A}^Y 和 \mathbf{A}^Z , 并进行了 NOC 计算:

$$\begin{aligned}\mathbf{A}_{46 \times 758}^X &= \mathbf{U}_{46 \times 46}'^X \cdot \mathbf{A}_{46 \times 46}'^X \cdot \mathbf{V}_{46 \times 758}'^X^T \\ \mathbf{A}_{46 \times 758}^Y &= \mathbf{U}_{46 \times 46}'^Y \cdot \mathbf{A}_{46 \times 46}'^Y \cdot \mathbf{V}_{46 \times 758}'^Y^T \\ \mathbf{A}_{46 \times 758}^Z &= \mathbf{U}_{46 \times 46}'^Z \cdot \mathbf{A}_{46 \times 46}'^Z \cdot \mathbf{V}_{46 \times 758}'^Z^T\end{aligned}\quad (3)$$

式中: 数据矩阵 \mathbf{A}^X 、 \mathbf{A}^Y 和 \mathbf{A}^Z 的每一行为某一台站、相应地磁要素的时间变化; \mathbf{A}'^X 、 \mathbf{A}'^Y 和 \mathbf{A}'^Z 为观测数据矩阵 \mathbf{A}^X 、 \mathbf{A}^Y 和 \mathbf{A}^Z 的本征值矩阵, 是能量分配的描述; 由于观测数据矩阵 \mathbf{A}^X 、 \mathbf{A}^Y 和 \mathbf{A}^Z 的构建所决定, \mathbf{U}'^X 、 \mathbf{U}'^Y 和 \mathbf{U}'^Z 为矩阵 \mathbf{A}^X 、 \mathbf{A}^Y 和 \mathbf{A}^Z 的空间域本征向量矩阵, 是各地磁要素空间分布特征的描述; \mathbf{V}'^X 、 \mathbf{V}'^Y 和 \mathbf{V}'^Z 为矩阵 \mathbf{A}^X 、 \mathbf{A}^Y 和 \mathbf{A}^Z 的时间域本征向量矩阵, 是各地磁要素时间变化特征的描述。

选用三次样条函数对各阶本征值能量的时间变化进行拟合插值, 计算公式如下:

$$S_i(x) = \frac{M_{i-1}}{6h_i}(x_i - x)^3 + \frac{M_i}{6h_i}(x - x_{i-1})^3 + \left(\frac{y_{i-1}}{h_i} -$$

$$\frac{M_{i-1}}{6}h_i)(x_i - x) + \left(\frac{y_i}{h_i} - \frac{M_i}{6}h_i\right)(x - x_{i-1}) \quad (4)$$

式中: $M_i = S''(x_i)$, $i = 0, 1, 2, \dots, n$; $h_i = x_i - x_{i-1}$, $i = 1, 2, \dots, n$; $x_{i-1} \leq x \leq x_i$; M_i 是待定参数, 其中 $M_0 = M_n = 0$, 其余的 M_i 由下式得到:

$$\begin{cases} \gamma_1 M_0 + 2M_1 + \alpha_1 M_2 = \beta_1 \\ \gamma_2 M_1 + 2M_2 + \alpha_2 M_3 = \beta_2 \\ \dots\dots\dots \\ \gamma_{n-1} M_{n-2} + 2M_{n-1} + \alpha_{n-1} M_n = \beta_{n-1} \end{cases} \quad (5)$$

式中: $\gamma_i = \frac{h_i}{h_i + h_{i+1}}$, $\alpha_i = 1 - \gamma_i$, $i = 1, 2, \dots, n$;

$$\beta_i = \frac{6}{h_i + h_{i+1}} \left(\frac{y_{i+1} - y_i}{h_{i+1}} - \frac{y_i - y_{i-1}}{h_i} \right), \quad i = 1, 2, \dots, n。$$

选用曲面样条函数对各阶本征值能量的空间分布进行拟合插值, 计算公式如下:

$$\begin{aligned}W(x, y) &= a_0 + a_1 x + a_2 y + \sum_{i=1}^N F_i r_i^2 \ln(r_i^2 + \varepsilon) \\ \sum_{i=1}^N F_i &= \sum_{i=1}^N x_i F_i = \sum_{i=1}^N y_i F_i = 0\end{aligned}\quad (6)$$

式中: $r_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2$, $\varepsilon = 10^{-7}$ 。

受限于原始数据的时间范围和空间范围, 其有效时间范围为 1995 年 1 月 1 日至今, 有效空间范围为 ($18^\circ \sim 54^\circ \text{N}$, $73^\circ \sim 136^\circ \text{E}$)。将 (2) 式中的 T_2 和 T_1 代入 (4) 式, 将测量数据的空间位置代入 (6) 式, 并将结果带入 (3) 式, 并选取适当的截断阶数, 即可计算得到 (2) 式中 $F_{\text{Main}_T_2} - F_{\text{Main}_T_1}$ 的数值, 并完成长期变化改正, 得到岩石圈磁场的差 $\Delta F_{\text{Lith}_T_2 - T_1}$ 。

4 整体误差分析

图 1 为各年度经过日变通化和长期变化改正后年度变化的中值 (用黑色柱状图表示) 和偏离中值的标准偏差 (用黑色垂直线段表示), 如 2011 年位置显示的为经过日变通化和长期变化改正后, 2011 年度数据减去 2010 年度数据的中值和标准偏差计算结果。按照传统的地磁学理论, 除非发生地震、火山活动等剧烈的地壳物质运动, 否则岩石圈磁场的基本不发生改变 (徐文耀, 2003)。因

此,我们将岩石圈磁场的趋势性偏差,即中值作为判断数据处理方法流程的整体误差,将与中值的标准偏差作为数据偏离程度的衡量,即岩石圈年度改变量值的大致范围。从计算结果可得到如下几点:

(1) 2011—2016 各年度 X 、 Y 、 Z 要素数据处理误差均小于 10 nT。

(2) 除 2012 年度的 X 要素、2013 年度的 Y 要素和 2016 年度的 Z 要素,其余大部分年度的各要素数据处理误差小于 5 nT。

(3) 各年度、各要素的数据处理标准偏差为 10 nT 左右。各年度磁场年度变化均正负值共存,在偏差较大的年份会出现正值较多(2016 Z)或负值较多的情况(2012 X 、2013 Y)。

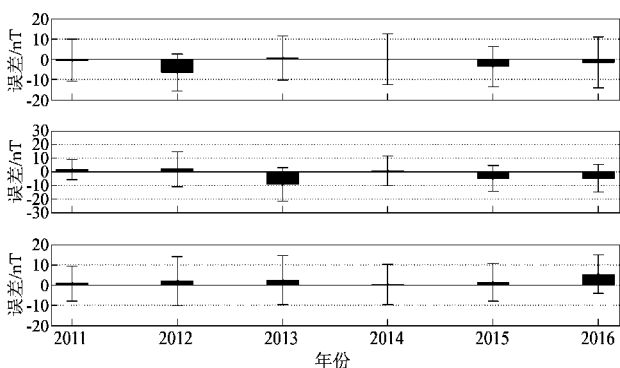


图1 年度误差柱状图及标准偏差

Fig. 1 The annual error histogram and standard deviation

5 结论与讨论

本文阐述了中国地震局流动地磁团队现有的数据处理流程,该流程依据地磁学的相关知识,利用台站连续观测数据,建立了独立的地磁学日通化和长期变化模型,形成了稳定可靠的数据处理流程,得到了高精度的岩石圈磁场年度变化数据。

选用测点最近地磁台日变通化和自然正交模型长期变化改正的数据处理方法过程中需要有诸多特别需要注意的地方。该处理流程带来的整体误差小于 10 nT,大部分数据误差保持在 5 nT 之内。但该流程仍然有诸多可以改进的地方,如日变通化处理过程中运用的三点近似处理方法和长期变化改正过程中对数据的强烈依赖性都是今后

值得仔细思考和改进之处。

本文是中国地震局流动地磁团队集体工作成果的阐述,所用流动地磁测量数据为全团队的工作结果,在此向全体团队成员表示感谢。日变通化和长期变化改正所使用的地磁台站数据来自国家地磁台网中心,感谢台网中心和全国地磁台站工作人员对流动地磁团队的长期大力支持。中国地震局流动地磁技术团队希望各位审者和读者给我们提出宝贵的意见和建议,以促进我们团队的健康进步,促进流动地磁监测乃至地磁学科的科学研究水平的提高,促进我国的防震减灾事业长远稳固发展,在此再次感谢。

参考文献:

- 陈伯舫. 2003. 日本鹿屋台地磁转换函数的变化[J]. 华南地震, 23(1): 8-12.
- 丁鉴海, 余素荣, 肖武军. 2004. 地磁异常现象及其在地震预报中的应用[J]. 石油地球物理勘探, 39(增刊1): 27-30.
- 冯志生, 梅卫萍, 张秀霞, 等. 2004. 中强震前地磁谐波振幅比的趋势性变化特征初步研究[J]. 西北地震学报, 26(1): 50-56.
- 冯志生, 王建宇, 梅卫萍, 等. 2000. 江苏地区地磁 Z21 测值空间相关异常及其标志体系[J]. 地震地磁观测与研究, 21(1): 44-49.
- 傅淑芳, 刘宝成, 李文艺. 1980. 地震学教程[M]. 北京: 地震出版社.
- 顾春雷, 张毅, 顾左文, 等. 2012. 华北地震区岩石圈磁异常场零值线和中强震震中分布关系[J]. 西北地震学报, 25(2): 174-179.
- 顾春雷, 张毅, 徐如刚, 等. 2010. 地震前后岩石圈磁场变化特征分析[J]. 地球物理学进展, 25(2): 472-477.
- 郝锦琦, 黄平章, 周建国. 1992. 岩石流变磁效应——震磁效应的一种可能机理[J]. 中国地震, 8(2): 53-60.
- 郝锦琦, 黄平章, 周建国. 1993. 微破裂对岩石剩磁的影响——对地震预报的意义[J]. 地球物理学报, 36(2): 203-211.
- 侯登录, 徐静, 唐贵德, 等. 2003. SrRuO₃ 的磁化率随温度的变化关系[J]. 稀有金属, 27(5): 652-654.
- 黄平章, 郝锦琦, 周建国, 等. 1990. 深阳震区岩石磁性的温度和应力效应[J]. 中国地震, 6(1): 56-64.
- 蒋延林, 赵卫红, 赵永红, 等. 2005. 高邮地震台地磁异常与江苏及邻区地震的关系研究[J]. 华北地震科学, 23(1): 32-36.
- 解用明, 鞠永, 韩和平, 等. 2005. 震前地磁幅值比异常研究[J]. 华北地震科学, 23(1): 37-40.
- 解用明, 乔子云, 陈建国. 2002. 流动磁测在地震预报中的作用[J]. 内陆地震, 16(2): 170-174.
- 解用明, 乔子云. 2001. 河北省及邻区中等地震活动前的地磁异常[J]. 华北地震科学, 19(4): 54-58.
- 李海燕, 张世红. 2005. 黄铁矿加热过程中的矿相变化研究——基于磁化率随温度变化特征分析[J]. 地球物理学报, 48(6): 1384-1391.
- 李琪, 杨冬梅, 张素琴, 等. 2005. 地磁转换函数方法之典型震例及数

模对比[J]. 地震, 25(3):85-90.

李树华. 2004. 云南地磁场变化与异常特征分析[J]. 四川地震, (1):31-36.

刘哲. 2002. 用地磁场总强度空间线性相关方法对辽宁省内及周围地区几次中强地震的预报总结[J]. 华北地震研究, 18(2):46-50.

倪喆. 2014a. 洱源 5.5 级地震前后地磁场变化异常特征分析[J]. 地震研究, 37(3):426-432.

倪喆, 陈双贵, 袁洁浩, 等. 2014b. 芦山 7.0 级地震前后岩石圈磁场异常变化研究[J]. 地震研究, 37(1):61-65.

倪喆, 袁洁浩, 王黎, 等. 2014c. 2014 年云南鲁甸 6.5 级、永善 5.0 级地震前岩石圈磁场局部异常特征分析[J]. 地震研究, 37(4):537-541.

史勇军, 孙燕萍, 朱燕, 等. 2002. 伽师强震群活动过程中喀什台地磁加卸载响应比变化特征研究[J]. 内陆地震, 16(1):84-88.

苏树鹏, 李博, 宋志刚, 等. 2016. 晋冀蒙地磁总强度加密区观测资料分析[J]. 地震地磁观测与研究, 37(2):84-89.

王亶文. 2003. 地磁日变规律的破坏与地震的关系研究[J]. 地震地磁观测与研究, 24(1):1-6.

王世昌, 鄧红魁, 宋建锁. 2004. 地震孕育过程中地磁日变规律的分析[J]. 地震地磁观测与研究, 25(5):18-23.

吴小平, 辛华, 张永久. 2004. 地磁“低点位移”与“磁暴”相结合预测发震时间[J]. 四川地震, (2):21-26.

徐文耀, 李卫东. 1994. 地磁场 Sq 的经度效应和 UT 变化[J]. 地球物理学报, 37(2):157-166.

徐文耀. 2003. 地磁学[M]. 北京:地震出版社.

许忠淮. 2014. 地震学百科知识(九)中国浅源地震震源机制图[J]. 国际地震动态, (3):39-40.

杨涛, 刘庆生, 付媛媛, 等. 2005. 陇西及周边地区地震活动与震磁效应的高阶统计量研究[J]. 华北地震科学, 23(1):52-56.

詹景立, 黄健. 2004. 鲜水河断裂带流动地磁变化特征与地震[J]. 四川地震, (2):33-35.

张继红, 乔惠珍. 2005. 地磁前兆异常的动态从属函数[J]. 地球物理学进展, 20(1):142-146.

张淑兰, 江在森. 2004. 我国西部地磁绝对测量大台距差值发对中强地震的反应[J]. 地震, 24(增刊 1):98-102.

Data Processing Flowchart of Chinese Mobile Geomagnet Monitoring Array

CHEN Bin¹, YUAN Jiehao¹, WANG Can¹, XU Rugang², WANG Zhendong¹
(1. Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China)
(2. Ahhui Earthquake Agency, Hefei 230031, Anhui, China)

Abstract

This paper presents the data processing flowchart that is used by mobile geomagnetic monitoring team of China Earthquake Administration. The processing flowchart includes reducing of diurnal variation and secular variations to get annual variation of lithospheric magnetic field. The result shows that residual error is less than 10 nT, generally within 5 nT.

Keywords: mobile geomagnetic monitoring; data processing flowchart; reducing of diurnal variation; reducing of secular variations; error analysis