

某些周期性事件的成因讨论

——谱分析的应用实例

杨蔚华 刘友梅

余志伟

(中国科学院地球化学研究所)

(中国矿业学院)

地质或地球化学演化中周期性事件屡见不鲜,但只有对周期性事件定量描述后方有可能与已知事件对比,探讨其周期事件发生的原因。描述周期性的数学模式为统计学中的时间序列分析。本文对我国古代陨石和火流星坠落以及黄土地球化学演化的周期性进行了分析,并获得了满意的对比结果和成因解释。

陨石和火流星坠落的记录数与人口数为正相关的线性关系,而人口数与年代间具正指数关系。因此可以用回归法去掉因人口因素造成的陨石、火流星坠落记录数的趋势值,再用滑动平均法去掉随机干扰。经检验,陨石和火流星坠落的序列为平稳时间序列。为求该序列的隐周期,本文采用了适用于离散、平稳时间序列的功率谱的两种估计法:Blackman-Tukey估计法和最大熵谱估计法。前者是熟知的,后者是国际上近年来发展起来的,其原理是:设 x_t 是一个离散的平稳时间序列, $X(w)$ 为 x_t 的傅氏变换, $|X(w)|^2$ 是 x_t 的功率谱估计。如果有一滤波器传递函数 $H(w)$,那么有 $X(w)H(w)=K$,其中 K 为常数,因此可将 $K^2/|H(w)|^2$ 作为 x_t 的功率谱估计。该估计法的优点是:(1)它是相关函数的非线性变换;(2)它只承认由资料算出的相关函数的信息,不外加其它信息;(3)由于利用了赤池最终预报误差准则来选定最大阶数 K_0 ,使精确度提高。

由Blackman-Tukey估计法求得的陨石坠落的隐周期(年)为:1350±212, 286.3±27.5, 107±29, 61.4±4.05, 34.3±3.08, 19.6±1.72, 10.5±0.71。用Blackman-Tukey法求得的火流星坠落的隐周期(年):为1586±278, 205±36, 108±9, 69.3±4.0, 44.3±6.3, 28.7±2.1, 16.2±1.0, 11.5±1.4;用最大熵法估计的隐周期(年)为:1586±278, 213±18, 109±4, 65.5±2.4, 45.8±6.2, 30.4±2.6, 16.5±1.0, 11.3±1.3。

用两种功率谱估计法所求得的陨石和火流星的隐周期(年)基本上是相似的。为了认识这些周期发生的原因,做了如下对比。陨石坠落的隐周期(年):286±27.5, 61.4±4.05, 10.5±0.71和火流星坠落的隐周期(年):213±18 (205±36), 65.5±2.4 (69.3±4.0), 11.3±1.3 (11.5±1.4), 分别与太阳黑子活动的三个周期(年):257±9.8, 61±1.3, 11±0.46非常接近,它们之间可能存在着某种制约关系。陨石坠落的隐周期(年):1350±212, 107±29, 34.3±3.08, 19.6±1.72, 火流星坠落隐周期(年):1586±278, 109±4 (108±9), 30.4±2.6 (28.7±2.1), 16.5±1.0 (16.2±1.0), 分别和多纳提彗星、英仙流星群,狮子流星群及施瓦斯曼-瓦赫曼彗星的周期(年):约2000, 110, 33.2和16.4比较接近。某些彗星出现后陨石和火流星坠落的记录数出现峰值,因此,它们间可能存在着因果关系。一个特殊的火流星坠落的隐周期(年)为45.8±6.2,它不与已知的任何彗星的

周期对应，但它与木星、火星和地球三者相对处于某一特定位置的复原周期约47年很接近。因此，猜想当上述三个星体相对处于某一特定位置时，将对小行星的运行轨道产生扰动，影响火流星的坠落。

陨石和火流星坠落的周期，主要受太阳黑子活动和某些彗星及流星群出现周期的制约。

洛川黄土剖面是中国黄土-古土壤发育最完整的地层序列，记录了距今约2400Ka以来黄土高原的自然环境变迁过程。通常认为黄土是在干冷气候条件下堆积的，古土壤则是黄土在湿温气候条件下风化成土作用的产物。因此黄土与古土壤的交替堆积是大陆上气候连续变化在地层中的记录，并具有明显的旋回性。我们发现一些受气候制约的元素或元素比值，如Zn、CaCO₃、FeO/Fe₂O₃等，其含量的变化也具有周期性，与黄土-古土壤的旋回是同步的。从而启示我们用上述元素或比值在剖面上的变化来划定古气候变迁的周期性。

古气候变迁不但有周期性，而且有纯随机性波动。对所研究的特定地区来说，还有区域性小气候的影响。但它们有一个随着时间推移而变化的总特点。因此，可将这种变化视为一个时间序列，同时用一个与时间有关的函数来描述它。此函数可表示为：

$$Y(t) = U(t) + V(t) + \varepsilon(t)$$

式中U(t)为趋势性变化的函数；V(t)为周期性变化的函数；ε(t)为纯随机性波动变化的函数，在理论上可把ε(t)看着是“白噪声”，它的谱密度函数在整个频率域内为一恒值。故ε(t)对V(t)的干扰可忽略不计。我们所研究的古气候变迁的样品是等距的(约为11ka)，是离散型样本。研究离散型样本周期性变化的数学模型较多，我们仅选用了自相关系数和功率谱分析两个模式。数学模型选定之后，再检验气候的周期性变化是否为平稳性过程。即平稳随机过程；若为平稳过程，则其统计特性不随时间而变化。检验结果表明，元素或比值的周期性变化是平稳的。为了消除畸变，对原始谱密度值进行海明窗滑动，计算结果见表1。从表1的主要周期中，可概括出：364—222ka，141—84ka，45—34ka和25—14ka等四个稳定出现的周期段。

表 1 洛川剖面中元素组分及比值的主要周期

时 间 序 列		周 期 (ka)									
名 称	长度(ka)										
Zn	2400	650	253	147	92	53	39	25	22		
CaCO ₃	2400		248	141	84	70	52	35	26	22	14
FeO/Fe ₂ O ₃	2400		212	171	101	69	45	34	25	22	
黄土-古土壤交替	2400		364	222	125	95	70	42	33	25	21

洛川剖面的四个周期段的出现绝非偶然，可能与某种制约古气候演化的主要因素有关。为了探明这种因素，我们采取了类比法。首先对位于17°N，74°24'W的V₁₂₋₁₂₂深海岩心和位于3°15'N，159°E的V₂₈₋₂₃₃深海岩心的δ¹⁸O进行了自相关与功率谱计算。然后对米兰柯维奇根据气候天文假说所计算的65°N的太阳辐射量值和由Vernekaz所计算的偏心率(e)的变化值进行自相关和功率谱计算(表2)。

表 2 深海岩心的 $\delta^{18}\text{O}$ 和太阳辐射量及偏心率的主要周期

时 间 序 列		周 期 (ka)									
名 称	长度(ka)										
$V_{1.2}-_{1.22}\delta^{18}\text{O}$	450	327				73	50	36	30	19	
$V_{2.8}-_{2.39}\delta^{18}\text{O}$	2100		230	120	94	68	47	32	26		12
65°N太阳辐射量	600		157			54		40	24	19	15 11
偏心率变化值(e)	4000	429	122	95	64						
深海岩心*			122	87			47	38	24	21	19
$V_{2.8}-_{2.39}\delta^{18}\text{O}$			104	92	59	52	30	23			19

• Hays等, 1976; Kominz, 1978。

由表2可见, 深海岩心除个别长周期外, 其余周期与Hays等和Kominz等的计算结果基本一致。太阳辐射量和偏心率的周期与Berger所计算的近5 Ma来地球轨道三个主要素(e , ε , p)变化的主要周期可以对照。我们对表2中所计算的太阳辐射量, 偏心率的周期及两个深海岩心的 $\delta^{18}\text{O}$ 的周期分别加以概括, 前者有429ka, 157—95ka, 54—40ka和24—15ka四个稳定的周期段。后者有327—230ka, 120—73ka, 50—32ka和26—12ka四个稳定的周期段。这两组周期段与洛川黄土剖面元素演化的四个周期段基本一致。

以上计算和研究可得出结论: 黄土与古土壤交替堆积的旋回是受古气候控制的。此旋回与剖面中受气候制约的元素组分含量或其比值的旋回是同步的; 它们都具有明显的四个周期段, 即364—222ka, 141—84ka, 45—34ka和25—14ka, 这四个周期段与米兰柯维奇根据天文因素所计算的周期是一致的; 与深海岩芯中反映温度变化的 $\delta^{18}\text{O}$ 的周期也是吻合的。364—222ka的周期段与冰川活动的周期接近。141—84ka的周期段与偏心率变化的周期相似。45—34ka的周期段与地轴倾角变化的周期一致。而25—14ka的周期段可与岁差变化的周期对应。至于Zn的660ka的长周期可能也是偏心率长周期变化的反映。因此, 元素地球化学的变化规律也说明第四纪气候变迁是受天文因素控制的。

多维交叉谱及其沉积地球化学意义

周永章 杨蔚华

(中国科学院地球化学研究所)

1. 多维交叉谱分析过程 设经预处理(如求距平和滤波)的剖面资料为 X_{ij} ($i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, P$), 其中, N 表示剖面的长度, P 为时间序列的维数。