

米兰柯维奇地质定年方法的数学表达及其意义

陈清华^{1,2}, 刘池阳¹, 李 琴²

(1. 西北大学 地质学系, 陕西 西安 710069; 2 石油大学 图书馆, 山东 东营 257061)

摘要:重点讨论了米兰柯维奇理论地质定年若干问题的数学表达及其意义。结果表明:利用米兰柯维奇理论进行地质定年的理论依据是充分的;加强对沉积速率及其分布特征的统计和研究是改进米兰柯维奇理论地质定年效果的重要途径之一,另一重要途径则是提高被处理层段地质持续时间的确定精度;被处理井段所对应的地质持续时间,应不小于米兰柯维奇理论地质定年方法的分辨率;当被处理井段厚度较大时,应当注意米兰柯维奇旋回对应频率成分的能量大小,是否能保证旋回识别的有效性。该方法是一种新的定年方法,其数学表达式易于计算机运算的实现,为自动化定年提供了可能。

关键词:米兰柯维奇理论;地质定年方法;数学表达

中图分类号:P53 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-274 X (2003)05-0599-04

1 问题的提出

随着地层学研究的不断深入,人们对地层学研究精度的要求越来越高,迫切需要新的等时面意义上的地层划分和对比工作。随着大量新的地层学研究方法和手段的不断涌现,使地层学研究逐步告别史密斯地层学阶段,高分辨率地层学的核心和最高目标是建立高于百万年级的高分辨率地质时间坐标。要实现这一目标,必须开发利用地层记录中新的时间信息资源,而受控于宇地系统运动规律和圈层尺度因素制约形成的旋回层、韵律层和事件层^[1],如米兰柯维奇旋回等,是建立高分辨率地层时间坐标的重要信息。

米兰柯维奇理论是天文古气候学的理论基础^[2~4],最早由塞尔维亚学者米兰柯维奇提出。该理论在地层学研究中的应用已有较长时间,且越来越受到人们的重视^[5~9],应用的主要内容包括地质定年和地层划分对比。该理论认为,地球公转轨道参数(包括轨道偏心率、地轴斜率和岁差)影响地球表层单位面积接收到的日照量,日照量的变化引起气候系统的变化,气候系统的变化进一步影响沉积环境

的变化,沉积环境的变化造成沉积地层的物理化学性质及沉积结构的变化。即,沉积地层中保存了轨道参数变化的信息。研究表明,地球轨道参数呈现近似周期性变化,这决定了日照量、气候、沉积环境和沉积地层的近似周期性变化。大量的实际研究也证明地层中确实存在与米兰柯维奇旋回(偏心率、斜率、岁差)相应的周期性信息^[10~25]。这一点非常重要,是米兰柯维奇理论地质定年方法的实践基础。

文献[26]对天文周期的计算结果表明,在漫长的地质历史之中,偏心率周期基本不变,岁差和斜率的周期单调增大。由此,不同地质时代的偏心率、岁差与斜率所对应周期的比值不同,利用这一特点可以进行地质定年。

对于覆盖区地层,用于米兰柯维奇理论地质定年的资料可以是对沉积环境反映敏感的各种数据,对砂泥岩剖面,通常选择对泥质含量敏感的自然伽马数据。数据处理方法可采用小波变换、傅里叶变换等^[27],目的在于分离出地层中包含的米兰柯维奇旋回的周期信息。本文采用傅里叶变化提取旋回信息,系统地介绍米兰柯维奇理论地质定年的数学表达。迄今为止,未见对米兰柯维奇理论地质定年计算方法进行具有地质意义的系统探讨,本文重点讨论这

收稿日期:2002-09-03

基金项目:国家重点基础研究发展规划资助项目(G1998040801)

作者简介:陈清华(1959-),男,山东单县人,西北大学博士生,教授,从事石油地质学研究。

一问题,旨在从算法方面介绍米兰柯维奇理论地质定年的理论基础,并探讨改进这种方法的可能途径。

2 数学表达

设被处理的数据对应的顶底深度分别为 h_1 和 h_2 (m), 所对应的时间区间为 t_1 和 t_2 (距今时间; ka), 取样间隔为 Δh (m), 其平均沉积速率 (m/ka) 可以表示为

$$v = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1}, \quad (1)$$

每一取样间隔所对应的时间间隔 (Δt) 可表示为

$$\Delta t = \frac{\Delta h}{v} = \frac{(t_2 - t_1) \cdot \Delta h}{h_2 - h_1}. \quad (2)$$

快速傅里叶变换要求离散数据的个数满足 2^n , 当被变换的数据个数不能恰好满足 2^n 时, 可以在被处理数据系列的尾部补零, 达到这一要求。若以 C 表示需要补零的个数, 则有

$$2^n = \frac{h_2 - h_1}{\Delta h} + C, \quad (3)$$

当 $C = 0$ 时, $2^n = \frac{h_2 - h_1}{\Delta h}$ 。

记傅氏变换后所得频谱图最高频率为 f_{\max} , 计算公式为

$$f_{\max} = \frac{1}{2 \cdot \Delta t} \frac{h_2 - h_1}{2(t_2 - t_1) \cdot \Delta h}, \quad (4)$$

单位频率间隔, 又称频谱的采样间隔 (Δf) 可以表示为

$$\Delta f = \frac{f_{\max}}{\frac{1}{2} \cdot 2^n} = \frac{h_2 - h_1}{(t_2 - t_1) \cdot \Delta h}. \quad (5)$$

特定周期旋回的理论位置 (k) 可以表示为

$$k = \frac{1/T}{\Delta f} = \frac{2^n \cdot \Delta h \cdot (t_2 - t_1)}{T(h_2 - h_1)}, \quad (6)$$

式中 T 为周期。

当 $C = 0$, 即 $\frac{h_2 - h_1}{\Delta h} = 2^n$ 时, 由式(6)可得

$$k = \frac{t_2 - t_1}{T}. \quad (7)$$

因 $v = \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1}$, 由式(6)可得

$$k = \frac{2^n \cdot \Delta h}{T \cdot v}. \quad (8)$$

由于 v 的单位通常为 cm/ka, 取 Δh 的单位为 cm, T 的单位为 ka, 则有

$$k = \frac{100 \cdot 2^n \cdot \Delta h}{T \cdot v}. \quad (9)$$

米兰柯维奇不同旋回参数在频谱图出现峰值理论位置, 又称波数。常用于地质定年的米兰柯维奇旋回周期有 5 个, 一个偏心率 (记为 T_e), 两个斜率周期 (记为 T_b, T_c), 两个岁差周期 (记为 T_s, T_f)。对于某一特定地质年代, 可表达为

$$k_i = \frac{100 \cdot 2^n \cdot \Delta h}{T_i \cdot v} \quad (i = a, b, c, e, f). \quad (10)$$

以 K_b 与 K_a 为例, K_b 与 K_a 的比值可表示为

$$\frac{K_b}{K_a} = \frac{\frac{100 \cdot \Delta h \cdot 2^n}{T_b \cdot v}}{\frac{100 \cdot \Delta h \cdot 2^n}{T_a \cdot v}} = \frac{1}{\frac{T_b}{T_a}} = \frac{T_a}{T_b}. \quad (11)$$

其他情况可以以此类推。式(11)表明, 米兰柯维奇各个旋回参数在频谱图上的波数比, 等于它们相应周期比的倒数。

3 意义

1) 式(11), 即 $\frac{K_b}{K_a} = \frac{T_a}{T_b}$ 及相关公式构成了米兰柯维奇理论地质定年的理论基础。大量研究表明, 沉积记录中客观存在着米兰柯维奇旋回周期, 选择合理的处理方法可以识别出地质记录中的米兰柯维奇旋回, 因而运用米兰柯维奇理论进行地质定年的理论依据是充分的, 方法是可行的。

2) 式(9)和式(10), 即 $k = \frac{100 \cdot 2^n \cdot \Delta h}{T \cdot v}$ 和 $k_i = \frac{100 \cdot 2^n \cdot \Delta h}{T_i \cdot v}$ ($i = a, b, c, e, f$) 表明, 影响米兰柯维奇旋回波数的因素是平均沉积速率 v , 加强对沉积速率及其分布特征的研究是改进米兰柯维奇理论地质定年效果的重要途径之一。

3) 式(7), 即 $k = \frac{t_2 - t_1}{T}$ 的意义可以从三方面考虑: ① 影响米兰柯维奇旋回波数的另一重要因素, 是被处理井段所对应的地质持续时间的精度, 提高地质持续时间的精度是改进米兰柯维奇理论地质定年效果的另一重要途径, 选用无沉积间断的连续地层, 采用地质统计和试验的方法, 可以寻找提高地质持续时间确定精度的方法; ② 根据波数, 即频谱图上各个周期对应峰值频率的位置的确定原则, 被处理井段所对应的地质持续时间应不小于米兰柯维奇旋回最大周期所代表的地质时间 (100 ka) 的 2 倍, 即 $t_2 - t_1 \geq 2T$, 反映在被处理地层厚度方面, 存在一个最小地层厚度值, 大于这一厚度值才有地质定年意义, 可以把这一厚度定义为米兰柯维奇理论

地质定年方法的分辨率;③在频谱图上,低频成分能量强,高频成分能量低,总体表现出指数衰减的规律,当被处理井段的厚度越大所代表的地质持续时间越长时,米兰柯维奇旋回在频谱图上的位置越向高频方向移动,这时应当注意米兰柯维奇旋回所对应范围频率成分的能量应能保证旋回识别的有效性。

参考文献:

- [1] 孟祥化. 沉积节律性及其动力学研究[J]. 地学前缘, 1997, 4(3-4): 147-153.
- [2] LOUTRE M F. Pre-Quaternary milankovitch frequencies[J]. Nature, 1989, 342: 9.
- [3] BERGER A L. Milankovitch theory and climate[J]. Review of Geology, 1988, 26(4): 624-657.
- [4] 戴新刚, 尚可政, 丑纪范. 天文古气候理论及其进展——从米兰柯维奇到贝尔杰[J]. 地球科学进展, 1997, 12(5): 488-491.
- [5] 李培廉, 盛蔚. 米氏旋回在平湖油气田高分辨率层序地层分析中的应用[J]. 中国海上油气(地质), 1994, 8(3): 171-177.
- [6] 吴志勇, 姜衍文. 米兰柯维奇韵律及其年代地层意义[J]. 地层学杂志, 1996, 20(3): 237-240.
- [7] 柳永清. 地球轨道旋回沉积节律研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(3): 217-223.
- [8] 金之钧, 范国章, 刘国臣. 一种地层精细定年的新方法[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1999, 24(4): 379-382.
- [9] 龚一鸣, 李保华. 高分辨率地层学与Milankovitch旋回和ENSO事件沉积[J]. 地质科技情报, 1999, 18(2): 32-36.
- [10] TIMOTHY D H, ALFRED G F. Milankovitch climatic origin of mid-Cretaceous black shale rhythms in central Italy[J]. Nature, 1986, 321: 739-743.
- [11] VAN E E, WEEDON G P. Milankovitch cyclicity and the Boom Clay Formation: an Oligocene siliciclastic shelf sequence in Belgium[J]. Geology Magazine, 1990, 127(6): 599-604.
- [12] HENRIK O. Astronomical forcing of meandering river behavior: Milankovitch cycles in Devonian of East Greenland[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1990, 79: 99-115.
- [13] REIJMER J G, SPRENGER A. Periodicities in the composition of Late Triassic calciturbidites (Eastern Alps, Austria)[J]. Spec Publs Int Ass Sediment, 1994, 19: 323-343.
- [14] YANG C S, BAUMFALK Y A. Milankovitch cyclicity in the Upper Rotliegend Group of the Netherlands offshore[J]. Spec Publs Int Ass Sediment, 1994, 19: 47-61.
- [15] BORD R, HUANG Z, CONNELL S O. Milankovitch cyclicity in Late Cretaceous sediments from Exmouth Plateau off northwest Australia[J]. Spec Publs Int Ass Sediment, 1994, 19: 145-166.
- [16] PAUL E O, DENNIS V K. Milankovitch climate forcing in the tropics of Pangaea during the Late Triassic[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1996, 122: 1-26.
- [17] KENJI K, MASAYULI R. Long term climato-limnological oscillation during the past 2.5 million years printed in Late Baikal sediments[J]. Geophysical Research Letters, 1998, 25(5): 659-662.
- [18] de BOER P L, SMITH D G. Orbital forcing and cyclic sequences[J]. Spec Publs Int Ass Sediment, 1994, 19: 1-14.
- [19] COLMAN S M, PECK J A, KARABANOV E B, et al. Continental climate response to orbital forcing from biogenic silica records in Lake Baikal[J]. Nature, 1995, 378: 769-771.
- [20] 江大勇, 郝维城, 白顺良. 广西泥盆系吉维特阶上部地层中的化学旋回与米兰柯维奇偏心率旋回的关系[J]. 科学通报, 1999, 44(9): 989-992.
- [21] 梅冥相, 周洪瑞, 杜本明. 雾迷山旋回层的相序组构特征及其在长周期层序中的有序叠加形式——来自前寒武纪的米兰柯维奇旋回证据[J]. 现代地质, 1999(2): 226-227.
- [22] 柳永清, 孟祥化, 葛铭. 华北地台中寒武世碳酸盐旋回沉积、古海平面变动控制及旋回年代学研究[J]. 地质科学, 1999, 34(4): 442-450.
- [23] 胡受权, 郭文平, 邵荣松. 泌阳断陷下第三系核三上段高频层序中米兰柯维奇天文旋回信息[J]. 矿物岩石, 2000, 20(3): 20-34.
- [24] 郝维城, 白顺良, 江大勇. 法门阶上部米兰柯维奇旋回在中国发育的一致性[J]. 科学通报, 2000, 45(15): 1654-1660.
- [25] 刘白宙, 王长文, 张占全. 米兰柯维奇事件与河南中、新生代盆地沉积[J]. 焦作工学院学报, 1998, 17(1): 39-43.
- [26] BERGER A L. Pre-Quaternary Milankovitch frequencies[J]. Nature, 1989, 342: 133.
- [27] COLIN E D. Identification of sedimentary cycles through fourier analysis of geochemical data[J]. Chemical Geology, 1974, 13: 217-232.

(编辑 张银玲)

The mathematical representation and their significance of geological timing with Milankovitch theory

CHEN Qing-hua^{1,2}, LIU Chi-yang¹, LI Qin²

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069, China; 2. Library of University of Petroleum, Dongying, 257061, China)

Abstract: The mathematical representations and their significance are discussed in geological dating with Milankovitch theory. The results show that the theoretical basis is practicable for geological dating using Milankovitch theory. The study of the depositional velocities is an important way to improve the effect of the geological dating. Another important way is to determine the time interval of the strata to be processed accurately. The time interval must be longer than the largest Milankovitch cycle, which can be taken as the lower limit that can be recognized in geological dating. When the thickness is quite big, it should be paid attention to the effectiveness of the energy degree for the frequencies related to Milankovitch cycles. The Milankovitch theory dating method is a new method. Its mathematical representations can be used in the computer. This provide an automatic method for geological dating.

Key words: Milankovitch theory; geological dating; mathematical representation

(上接第 574 页)

[9] 王卓伟,余茂德,鲁成. PVP 在桑叶总 DNA 提取中的应用[J]. 西南农业大学学报, 2001, 23(1): 61-62.

DNA 方法的比较[J]. 新疆农业大学学报, 1999, 22(4): 320-322.

[10] 曲延英,张强,孔祥祯,等. 4 种快速提取棉花总

(编·辑 徐象平)

Comparison research of methods of DNA extraction from grape

DANG Wei, WEI Ya-hui, ZHANG Hua-ping, LIU Ke

(College of Life Science, Northwest University, Xi'an 710069, China)

Abstract: Five methods, i. e. CTAB, high salt-low pH, basic method, high salt precipitation, improved SDS method, were used to extract total DNA from the young leaves of grape. The resulted DNA samples of five methods were tested qualitatively and quantitatively using the value of A_{260}/A_{280} , agarose gel electrophoresis and RAPD. The results show that high salt precipitation and high salt-low pH methods are better as a whole. The purity of extracted DNA by improve SDS is the best. So we should select the proper method according to the objective in the study.

Key words: grape; total DNA; methods of extraction; RAPD