

鄂尔多斯盆地上三叠统延长组 米兰科维奇旋回的确定

张小会, 赵重远

(西北大学地质系, 陕西西安 710069)

摘要: 由天体轨道周期变化引起的气候变化被广泛地记录在沉积地层中。自然伽马曲线很好地反映了气候变化引起的地层旋回。消除高频干扰和低频趋势以后, 自然伽马曲线可以用来分析地层中的米兰科维奇旋回。对鄂尔多斯盆地陕 15 井中延长组按油层段进行系统分析, 得出陕 15 井由偏心率周期引起的地层旋回厚度在 9.6~18.75 m 之间; 地轴倾斜和气候岁差周期引起的旋回层厚度在 1.18~6.82 m 之间。各油层组的沉积速率变化在 7.8~14.2 cm/ka 之间。

关键词: 米兰科维奇旋回; 延长组; 沉积速率

第一作者简介: 张小会, 男, 39 岁, 博士后, 含油气盆地地质学

中图分类号: P534.51 文献标识码: A

在露头、岩芯和测井曲线上广泛出现的延续时间在 0.01~0.1 Ma 范围内的旋回沉积, 众多的研究者对其进行过研究。Schwarzacher^[1]和 Fisher^[2]等人将这一级别的旋回沉积称作“旋回地层”; Wagoner, Mitchum^[3]将其称为“准层序或准层序组”; Goldhammer^[4]等则将其称之为“复合海平面变化旋回”。尽管称谓各不相同, 概念也有差异, 但这些研究者都认为其形成是与地球轨道变化引起的气候周期性变化密切相关。由气候变化而形成的旋回地层又常被称作米兰科维奇旋回^[1]。

大量已发表的米兰科维奇旋回的研究成果, 绝大部分都是建立在对野外露头或岩芯分析测试的基础之上, 方法已较为成熟。以测井资料为主的研究较为少见, 仅有 Molinie, Ogg^[5]利用滑动时窗谱分析法, 从海洋钻探的测井曲线中研究了沉积速率变化; Maltezou, Anderson^[6]亦从电阻率曲线中分析出米兰科维奇旋回, 但由于沉积速率的限制, 仅发现了其中的长周期旋回。这些研究均已显示出用电测曲线分析米兰科维奇旋回的良好前景。

鄂尔多斯盆地上三叠统为稳定构造背景下的湖盆沉积, 经过长期勘探, 有大量的电测曲线可以利用, 具备研究米兰科维奇旋回的良好条件。分析上三叠统延长组中的米兰科维奇旋回, 可以为深入

研究地层中高频层序成因、精细分析储层展布规律提供新的思路。

1 确定米兰科维奇旋回的方法

1.1 基本思想

要直接分析沉积地层中的时间周期, 准确的地层测年数据是必不可少的。在缺乏准确测年数据的情况下, 只能在空间域用间接的方法分析地层中的米兰科维奇旋回。间接分析方法是基于地球轨道变化周期的复杂性, 即沉积环境变化对气候变化的响应在时间域和空间域都不是一个简单的周期函数, 而是一组不同周期函数的叠加。地层中常常记录了这种复杂的叠加形式。如果空间域和时间域的叠加型式符合同一模式, 则认为可以用空间域的旋回分析代替时间域的周期分析。在研究中, 利用地层中旋回厚度的峰值之比和天体轨道周期之比进行比较, 如果两者的比值有很好的相似性, 也就是说在空间域和时间域的叠加模式相同, 那么就认为这样的地层旋回是由天体轨道的周期性变化引起的。

1.2 旋回的定量表示

地层旋回的定量表示是米兰科维奇旋回分析的基础。用于定量分析的资料根据来源可分为 3 类: 露头资料、岩芯分析资料和测井曲线。一般而言, 定量数据如层厚度、沉积物颗粒、化学成分及由此派生的电阻率、声波及自然伽马测井曲线等, 不

仅会反映气候的变化,而且包涵了构造运动和其他地质因素对地层产生的影响。

用于分析气候变化的定量数据,要求其中必须包涵气候变化的成分,但并不要求该数据只反映气候变化而不受其他因素的影响。研究表明^[7],除快速堆积的粗相带外,绝大多数陆相沉积环境,其沉积物粒度变化、泥质含量的多少及沉积速率的大小与岩石的自然放射性之间有很好的对应关系。因此,自然伽马曲线能很好地满足分析气候变化对数据的要求。

1.3 测井曲线的预处理

自然伽马曲线是各种地质因素引起的地层周期性变化的综合反映,但其中也包括了与地质因素无关的测井过程产生的一些干扰信号。为了保留和分离出反映气候变化的有用信号,对测井曲线进行了两种预处理:高频干扰的抑制和低频背景的消除。

高频干扰是通过频率域滤波方法来抑制的。先对曲线进行频谱分析,确定要消除的高频干扰的频率范围。设计一个低通滤波器,将干扰波频段的频率变为零,再进行傅利叶逆变换。这样得到的信号中高频干扰成分就被消除了。

低频背景是按照地质变化将其划分为不同的小层进行消除的,对每个小层采用线性回归模型来消除低频背景。消除低频变化以后的伽马曲线就成为一种呈“平稳状态”的序列,这样,就可以用来分析其中的米兰科维奇旋回。

1.4 频谱分析

频谱分析技术是研究周期性现象中最常用的一种统计分析方法。米兰科维奇理论揭示了地层记录中周期现象的成因,频谱分析技术很自然地成为研究地层记录中米兰科维奇旋回存在的最好方法。我们采用了两种不同的频谱分析方法:快速傅利叶变换法(FFT)和最大熵谱分析法(MESA),分别用在不同时窗长度的情况下。在分析数据较长的情况下,两者效果基本相同,前者运算效率高;在分析数据较短时,后一种方法效果好。

2 延长组中的米兰科维奇旋回

以长庆油田对延长组的进一步细分为基础,计算了每个油层组的频谱,以确定其中的米兰科维奇旋回。在计算过程中对一些分层界限进行了调整,使每个层段内部没有明显的沉积速率变化。

以陕63井1260~1310 m井段为例,对该井段的测井曲线进行频谱分析,分析其中的米兰科维奇旋回,其结果如图1所示。图中纵坐标代表能量,每个能量集中的地方表示一个周期峰值;横坐标表示频率,单位为周期数/m。从图1可以看出该井段的峰值频率A, A', B, C, D, E, F代表的地层厚度分别为12.5 m, 7.14 m, 4.55 m, 3.57 m, 2.78 m, 2.08 m和1.85 m,峰值厚度之比为1:0.57:0.36:0.29:0.22:0.17:0.148。根据Berger^[8]计算的地质历史时期轨道周期的变化,求得晚三叠世时岁差周期分别为21.3 ka和17.8 ka;地轴倾斜周期分别为44.3 ka和35.4 ka。延长组中的偏心率周期取123 ka,由此得到地球轨道不同周期之间的比值为123:44.3:35.4:21.3:17.8即1:0.36:0.29:0.17:0.145。除过A'峰对应的7.14 m和D峰对应的2.78 m旋回外,其他各峰与天体轨道变化周期之间均有良好的对应关系。因此,可以认为12.5 m的旋回与123 ka的偏心率周期对应;4.55 m和3.57 m的旋回分别与43.5 ka和34.5 ka的地轴倾斜周期对应;2.08 m和1.85 m的旋回层分别与21.3 ka和17.8 ka的岁差周期对应。如图1所示,在1260~1310 m地层段内共有4个12.5 m的旋回,每个旋回沉积持续时间为123 ka。据此,可计算出本段地层的平均沉积速率为10.16 cm/ka。

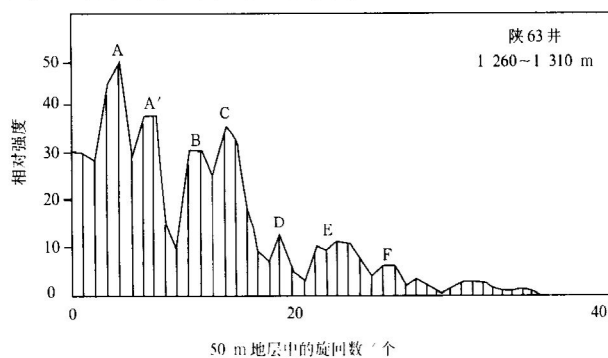


图1 陕63井中1260~1310 m井段的频谱分析图

Fig. 1 analytical diagram of frequency spectrum from 1260~1310m of Shaan No. 63 well

用类似的方法,对盆地内保存较完整的陕15井延长组进行了系统分析,得出各油层组内的旋回层厚度及其比值,并与米兰科维奇旋回进行比较。然后计算出各油层组沉积持续时间和沉积速率,结果如表1。

从总体上看,地层中旋回地层厚度之比与米兰科维奇周期之比十分接近:对于地轴倾斜周期而言,B旋回与A旋回的比值变化范围是0.346~

0.384, 与对应的米兰科维奇周期比值的误差不超过 6.7‰; C 旋回与 A 旋回的比值在 0.278~ 0.296 之间变化, 与对应的米兰科维奇周期之比的误差不超过 4‰。对于气候岁差旋回, E 旋回与 A 旋回的比值变化范围是 0.167~ 0.180, 与对应的米兰科维奇周期之比的误差不超过 4‰; F 旋回与 A 旋回的

比值变化范围为 0.135~ 0.153, 与对应的米兰科维奇周期之比的误差不超过 5.6‰。表中的 D 旋回与 A 旋回比值变化范围在 0.20~ 0.24, 也有很好的稳定性。在分析井段中, 所有的比值与米兰科维奇周期之比的误差皆不超过 6.7‰。

表 1 陕 15 井延长组旋回地层厚度、厚度比、沉积持续时间和沉积速率

Table 1 Thickness, thickness ratio, sedimentation duration and sedimentation rate of the Yanchang Formation cycles in Shaan No. 15 well

井段/m	油层组	偏心率	地轴倾斜		D	岁 差		持续时间 / ka	沉积速率 / (cm/ ka)
		A	B	C		E	F		
		厚度/m 比值							
932	长 ₁	13. 00	4. 880	3. 170	2. 69	2. 230	2. 000	750. 0	10. 4
1 010		1. 00	0. 375	0. 285	0. 21	0. 171	0. 153		
1 116	长 ₂	9. 64	3. 530	2. 720	2. 00	1. 660	/	1 341. 8	7. 9
		1. 00	0. 364	0. 282	0. 21	0. 172			
1 229	长 ₃	/	5. 380	4. 190	/	2. 500	2. 170	957. 6	11. 8
			0. 360	0. 280		0. 167	0. 144		
1 325	长 _{4+ 5}	9. 60	3. 310	2. 820	2. 18	1. 600	/	1 230. 8	7. 8
		1. 00	0. 346	0. 293	0. 22	0. 167			
1 390	长 ₆ ¹	13. 00	4. 460	3. 820	3. 10	2. 240	/	619. 0	10. 5
		1. 00	0. 355	0. 294	0. 24	0. 172			
1 468	长 ₆ ¹	13. 00	4. 730	3. 630	2. 79	2. 260	1. 180	735. 8	10. 6
		1. 00	0. 364	0. 279	0. 21	0. 173	0. 145		
1 518	长 ₆ ²	16. 67	5. 880	4. 760	3. 57	/	2. 270	370. 4	13. 5
		1. 00	0. 352	0. 286	0. 21		0. 138		
1 558	长 ₆ ³	/	4. 450	3. 640	2. 50	2. 160	1. 780	392. 2	10. 2
			0. 360	0. 294	0. 20	0. 174	0. 144		
1 591	长 ₆ ³	13. 20	4. 780	3. 670	/	2. 360	/	308. 4	10. 7
		1. 00	0. 362	0. 280		0. 178			
1 679	长 ₇	9. 78	3. 520	2. 840	2. 20	1. 760	1. 490	1 113. 9	7. 9
		1. 00	0. 360	0. 290	0. 23	0. 180	0. 150		
1 746	长 ₈	13. 40	5. 150	3. 940	3. 05	2. 310	1. 810	620. 4	10. 8
		1. 00	0. 384	0. 294	0. 23	0. 172	0. 140		
1 879	长 ₉	11. 08	4. 150	3. 240	/	1. 980	1. 680	1 461. 5	9. 1
		1. 00	0. 370	0. 292		0. 178	0. 151		
2 028	长 ₁₀	18. 75	6. 820	5. 560	/	3. 130	/	1 049. 5	14. 2
		1. 00	0. 360	0. 290		0. 170			
2 145	长 ₁₀	/	6. 150	4. 880	/	3. 080	2. 480	841. 7	13. 9
			0. 360	0. 290		0. 180	0. 154		

注: / 表示无数据

通过对陕 15 井晚三叠世地层自然伽马曲线的频谱分析可以看出, 延长组中很好的保存了米兰科维奇旋回。其中, 偏心率周期引起的地层旋回厚度变化范围为 9.6~ 18.75 m; 地轴倾斜率和气候岁差周期引起的地层旋回厚度变化范围在 1.18~ 6.82 m 之间; 旋回层厚度的变化是由沉积速率变化引起的。

3 结论

(1) 鄂尔多斯盆地陕 15 井晚三叠世沉积中广泛地保存了米兰科维奇旋回, 这些旋回性地层通过伽马测井曲线得以很好的反映。

(2) 从所分析的陕 15 井可以看出, 地球轨道变化的偏心率周期引起的地层旋回厚度变化范围在 9.6~ 18.75 m 之间, 这是轨道变化长周期产生的地层沉积旋回; 地轴倾斜和气候岁差周期引起的地层

旋回厚度变化范围在 1.18~ 6.82 m 之间, 是轨道变化短周期产生的地层沉积旋回。

(3) 利用米兰柯维奇旋回分析法, 可以准确地计算出一小段地层沉积持续时间, 进而可以求出该段地层的沉积速率, 提高了求取沉积速率的精度, 还可以根据沉积速率在纵向和横向上的变化划分和对比高频层序, 使高频层序的研究向定量化方向迈进了一步。

(4) 本文采用的研究方法, 是分析米兰科维奇旋回的一种有效方法。对于一般的含油气盆地而言, 有大量的地球物理测井资料可供利用, 因此该方法有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- 1 Schwarzacher W. Cyclostratigraphy and the Milankovitch Theory[M]. Amsterdam: Elsevier, 1993. 11~ 56
- 2 Fisher A G. Climatic rhythms recorded in strata[J]. Ann Rev Earth

Planet Sci, 1986, 14: 351~ 376

- 3 Van Wagoner J C, Mitchum P M, et al. Siliclastic sequence stratigraphy in well logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies[J]. AAPG Methods in Exploration Series, 1990, (7): 1~ 55
- 4 Goldhammer R K, Dunn P A, Hardie L A. Depositional cycles, composite sea-level changes, cycle stacking patterns, and the hierarchy of stratigraphic forcing: example from Alpine Triassic platform carbonates[J]. Geol Soc Am Bull, 1990, 102: 535~ 562
- 5 Molinie A J, Ogg J G. Sedimentation rate curve and discontinuities from sliding-window spectral analysis of logs[J]. The Log Analyst, 1990, 31 (6): 370~ 374
- 6 Maltezos F, Anderson R N. Milankovitch cycles in electrical resistivity logs from the TOA BAJA scientific drillhole, Puerto Rico[J]. Geophysical Research Letters, 1991, 18(3): 517~ 520
- 7 黄智辉. 地球物理测井资料在分析沉积环境中的应用[M]. 北京: 地质出版社, 1986. 46~ 57
- 8 Berger A L. Pre-Quaternary Milankovitch frequencies[J]. Nature, 1989, 342(9): 133

DEFINITION OF MILANKOVITCH CYCLES FOR YANGCHANG FORMATION OF THE UPPER TRIASSIC IN ORDOS BASIN

Zhang Xiaohui Zhao Zhongyuan

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi)

Abstract: Climate changes caused by orbital are widely recorded in sedimentary record and reflected by Gamma-ray logging data. The thickness range of stratigraphic cycles in Yangchang Formation is obtained through analyzing the Gamma-ray logging data of Shaan NO. 15 in Ordos basin. The thickness range caused by eccentricity is 9.6~ 18.75m and the thickness range caused by obliquity of the earth's axis and climate precession is 1.18~ 6.82m. The sedimentation rate of various oil layers in Yangchang Formation ranges from 7.8 to 14.2cm/ka.

Key words: Milankovitch cycles; sedimentation rate; Yangchang Formation