

东营凹陷牛 38 井沙三中上段 红灰韵律层中的环境信息

王慧中¹ 盛蔚¹ 舒小辛¹ 刘青春² 司志华² 李云新²

¹(同济大学海洋地质开放实验室, 上海 200092) ²(胜利油田钻井地质公司, 东营 257000)

提 要 通过环境磁学、沉积学、遗迹化石学与地球化学对牛 38 井厘米级红灰韵律层的综合研究发现红层中具明显的胶体凝聚现象, 其磁化率值、总铁与游离铁含量较高, 层内生物扰动作用相对较强, 表明气候变化引起的化学沉积是控制韵律旋回的主因, 底栖生物的潜穴活动促进了沉积界面处微化学环境的变化。

经频谱分析等时序分析法的估算可知该红灰韵律层是受十年级与百年级主周期的控制, 可能与太阳黑子或太阳磁场活动等天文周期有关。虽然此类天文周期对地球气候变化的影响能力也许不强, 但由于化学沉积对气候变化反应灵敏, 而且可能当时湖水化学环境正处于胶体沉积的临界值附近, 因而水体化学性质稍有偏离即可导致韵律层的形成。

关键词 韵律沉积 气候旋回 絮凝作用 频谱分析 气候响应 沉积临界值

第一作者简介 王慧中 男 57 岁 副教授 沉积学

前 言

沉积韵律与旋回是地质记录中最常见的现象之一, 也是古湖泊学研究的一个重要方面。搞清韵律形成机制与规律可为揭示全球气候周期变化、了解各种天文周期如何通过气候系统转化为沉积记录提供理论依据, 同时也为油源岩的生成环境提供有关古气候、古水文、古水化学与地质事件的重要信息。此外, 纹层年代学可为高分辨率研究古环境提供可靠的时间尺度, 特殊韵律变化段还可作为标志层用于区域地层对比。我国各含油盆地的各类层系中虽存在大量保存良好的韵律层段, 但尚未被充分注意, 未曾作过专题系统研究, 也缺乏有效的综合研究手段与方法。

韵律沉积在胜利油田东营凹陷连续取芯达 600 m 的牛 38 井(图 1)中有相当明显的反映, 在沙三中亚段有红、灰色相间色泽为主的沉积韵律, 并可分出米级、厘米级与毫米级三种级别, 相互叠加干扰, 形成复杂的变化图式; 在沙三下亚段则是由油页岩的纹层表现出来的各级韵律, 与前者在表现形式上虽有不同, 但大体上也可分出三级旋回。本文试选取沙三中亚段上部(2774.5—2781.7 m)红灰韵律清晰(图版 I-1)、外来干扰较少的厘米级层段进行研究, 以期在方法学上作些试验, 并对本区湖相沉积的韵律现象作初步的探讨。为此, 运用了环境磁学、沉积学、遗迹化石学、地球化学与频谱分析等多种手段, 对与形成韵律有关的岩石磁性特征, 湖水动力变化, 沉积速率及充氧条件等古湖水化学环境进行综

合解释, 并估算红灰韵律变化的主周期, 从而确定韵律更替的控制因素与可能的驱动力。

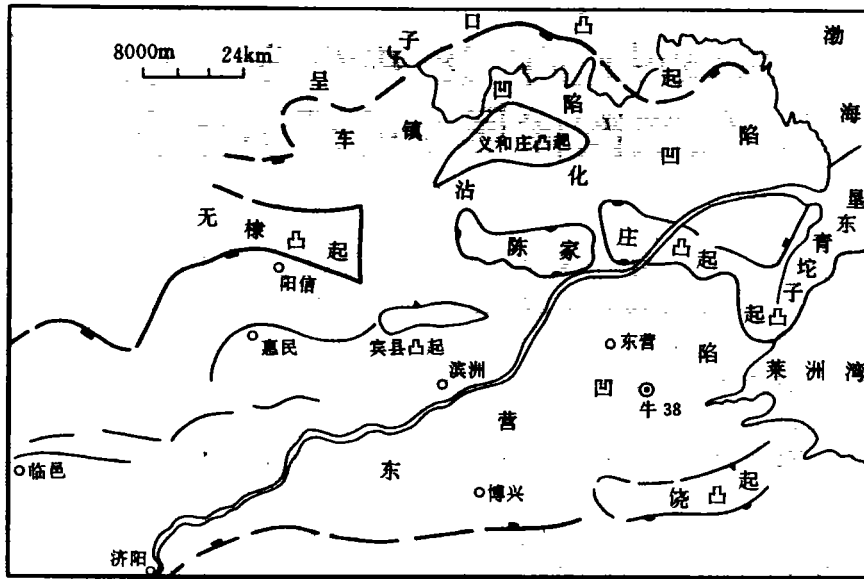


图1 东营凹陷牛38井位置图

Fig. 1 Location of Well Niu-38 in Dongying Depression

1 红灰韵律层的基本单元及其控制因素

本文所研究的两个红灰韵律层段总厚约6 m, 其间相隔约0.5 m。根据色泽与岩性的更替可划分88个韵律层系, 并可区分出三种基本岩性单元, 即红褐色泥岩及粉砂质泥岩、灰色或灰绿色粉砂质泥岩及泥质粉砂岩以及灰白色粉、细砂岩。经磁化率测量^[1]表明, 红色层磁化率具高值, 一般在20—40, 最高达56; 灰色层居中, 一般在14—17, 而灰白色层为磁化率低值层, 在7—11之间, 在韵律层柱状图上清晰可见它们的对应变化(图2)。

根据对同一韵律旋回中三种岩性单元(使用同济大学WIF半自动化粒度分析仪)分别进行薄片粒度分析, 并将各自的粗组分粒度频率分布曲线进行对比(图3), 可以看出灰白色层的分布形态与其它两单元有明显区别。此外, 灰白色层有时缺失, 但若出现时, 其底部常伴有冲刷面, 显示短暂停顿的现象。因此, 灰白色粉、细砂岩可能是快速的重力流沉积, 为幕式事件的产物, 只是其规模小、厚度薄, 无递变层理, 应属末端相的沉积。显然, 在讨论与估算湖相韵律周期时, 应予以识别并剔除。

因此, 本文研究的韵律层实际上是由红色层与灰色层两单元组成的韵律层系。通过同一韵律层系中红灰两单元粗组分粒度分布频率曲线(图3)及结构参数(表1)的对比, 可以看出两者粒度分布十分接近, 表明它们在沉积时的湖水动力条件是相近的。从灰色层若干剥离面上植物炭屑延长方向所作的走向玫瑰花图(图2)可看出有时它们的走向相当集中。虽然由于钻井条件所限, 无法判别具体的流向, 但至少说明当时水流流速较强。

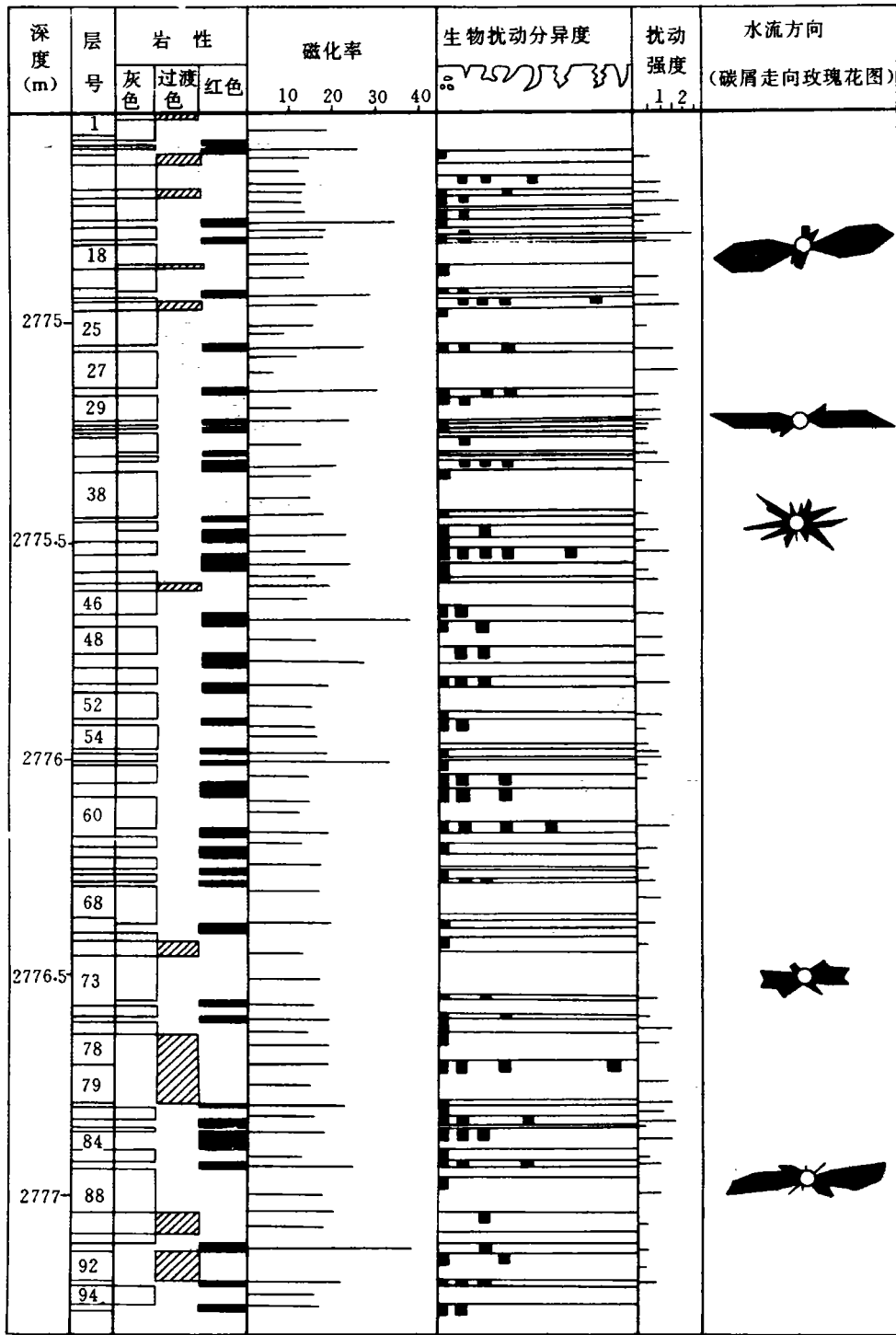


图 2 牛 38 井沙三井亚段上部红灰韵律层柱状剖面图

Fig. 2 Columnar section of reddish-grey rhythmic beddings at 2774.5—2773.3 m in Well Niu-38

表1 红灰韵律层结构参数对比

Table 1 Comparison of textural parameters of red and grey laminations

颜色	深度(m)	平均值	标准偏差	偏态
红色层	2774.80	4.45φ	0.48	-0.025
灰色层		4.51	0.51	-0.012
红色层	2774.85	4.23	0.53	0.048
灰色层		4.12	0.59	0.102
红色层	2776.35	4.43	0.47	0.075
灰色层		4.35	0.57	0.025
红色层	2775.32	3.62	0.41	-0.07
灰色层		3.54	0.40	0.01
灰白色层		3.01	0.36	0.28
红色层	2775.45	4.10	0.40	0.23
灰色层		4.09	0.38	0.25
灰白色层		3.65	0.39	0.01

红灰两种岩层最大差异在于岩石中胶结物及基质的成分与含量。镜下观察,红色层与灰色层之间的界线比较清晰(图版 I, 2),呈平直或不规则状;两者不仅在色泽上明显不同,而且红色层中具大量红褐色絮凝物质,含量可达40%—60%,絮凝物质呈不规则的丝状、球粒状、棉絮状、团块状,一般都平行层理分布(图版 I, 3, 5)。有时絮凝物质可局部集中,甚至可单独形成透镜状分布(图版 I, 4);有时絮凝物质可围绕若干陆源碎屑形成发育不良的包壳结构及藻凝块石(图版 I, 6)。

这些都清楚的显示属原生化学胶体沉积而不是成岩作用的产物,更不象是岩芯提取后地表短暂的氧化作用所引起。与此相反,灰色层中凝聚物质含量锐减(<10%),粘土物质明显增多。因此,胶体凝聚物质的增减是红灰色调变化的主因。另据对各种形态铁含量的分析发现,两者在总铁含量上有明显差异,红色层高于灰色层一倍以上,而游离铁(非硅酸盐类矿物的铁)含量的差异更为明显,红色层高出4—5倍(表2)。尽管对游离铁的组成与粒径尚待进一步研究确定,但这个事实是与化学凝聚作用的观点是一致的。此外,X衍射粉晶分析表明红层陆源碎屑中长石含量较低,似乎也暗示红层形成时期集水区存在强烈的化学风化作用,这可能是导致游离铁含量高度富集的主要原因。

对若干红灰韵律层系进行了热解色谱分析,两单元有机质成分的差异表现出一定的规

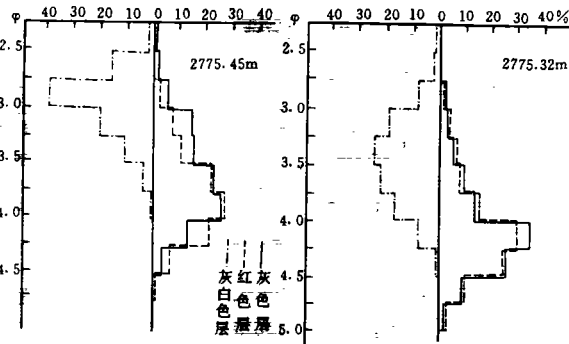


图3 韵律层中三种基本单元粒度分布状态的对比

Fig. 3 Comparison of frequency curves among three elements in the same rhythmic beddings

表2 红灰韵律层各种形态氧化铁含量

Table 2 Comparison of total Fe and free Fe contents of red and grey laminations

深度(m)	岩性	含铁量(%)	络合态铁(%)	游离铁(%)
2774.60	红色粉砂质泥岩	8.37	0.07	3.42
2774.71	深灰色粉砂质泥岩	3.90	0.02	0.72
2775.50	红色泥岩	8.11	0.03	3.25
2779.80	灰色粉砂岩	3.37	0.02	0.73
2780.20	灰白色细粉砂岩	1.93	0.02	0.36

律(表 3), 大部分情况下红层中的有机碳与干酪根热解量似乎要略高于灰层。从最高热解温度来看, 大部分样品均未达到 435℃ 这个生油门限(其中具 442℃ 的样品干酪根值小于 0.5, 可视为不确切值), 因此估计难以用排烃的差异来解释。是否可能由于红层泥质含量较高, 特别是含有大量胶凝物质, 对有机物质具有更大的吸附能力; 或者由于红层的沉积速率低于灰层, 在相同的厚度单元内, 红层所富集的有机质含量相对灰层更高些, 对此尚需作进一步的研究。

表 3 红灰韵律层热解色谱分析

Table 3 Comparison of pyrolytic chromatographic analysis of red and grey laminations

深度 (m)	岩性	有机碳 (%)	干酪根 热解量 (mg/g)	最高热 解温度 (℃)	有机质 类型
2774.70	褐红色粉砂质泥岩	0.27	0.43	435	I 2
	灰色粉砂质泥岩	0.26	0.48	430	I 2
2776.34	褐红色泥岩	0.46	0.41	442	I 2
	灰色泥质粉砂岩	0.41	0.82	435	I 2
2785.20	暗红色粉砂质泥岩	0.66	0.72	436	I 2
	灰色泥质粉砂岩	0.61	0.69	434	I 2
2874.30	紫红色粉砂质泥岩		0.99	434	
	灰色粉砂质泥岩		0.81	441	
2866.60	紫红色粉砂质泥岩		0.91	432	
	灰色粉砂质泥岩		0.41	435	
2872.80	紫红色粉砂质泥岩		0.52	430	
	灰色泥质粉砂岩		0.29	432	

此外, 对本层段出现的石针迹、管枝迹等生物遗迹化石观察表明, 生物扰动作用对红灰韵律层有着一定的影响。根据这里的具体情况可将生物扰动的强度(潜穴的密度)分为五级(表 4), 而石针迹本身的形态也十分多样。通过逐层对比, 可以看出红色层的扰动强度大, 达 3—4 级, 潜穴形态也多样, 而灰色层扰动强度则在 0—2 级, 形态单调(图 2)。这显然表明红色层沉积速率比灰色层慢, 因而潜穴生物有较充分的时间挖掘、涂衬或修饰自己的洞穴, 形成较强的生物扰动层⁽²⁾。

表 4 生物扰动强度分级表

Table 4 Grades of bioturbation in brown laminations

生物扰动强度	0 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
生物扰动密度	无扰动	零星	<10%	10%—30%	30%—60%	>60%

此外,生物扰动作用还可促使潜穴周缘发生氧的扩散作用,不同程度地改变表层沉积物氧化还原界面的原始分布^[2]。例如,通过肉眼与薄片观察,常见虫穴边缘色调明显加深变暗,各红色层上部清晰均匀,色调浓厚,向下红色渐退、模糊。由此可知,化学沉积作用是形成红灰韵律层的主导因素,而底栖生物对沉积界面处的氧化环境的转变(如高价铁的富集)亦起了一定作用。

本文研究的层段属沙三中亚段,据胜利油田管理局等(1990)对沉积相与沉积微相研究,牛38井位于三角洲前缘与三角洲前缘斜坡地带,与源区的供应有着密切的联系,能较灵敏的反映集水区自然条件的变化。据孢粉资料分析,当时属松科含量高、雨量较充沛的中亚热带气候,气温相当于我国现代的南岭至长江中、下游地区,因而具备热湿气候下化学风化的基本条件,一般可达到红土化阶段^[3],因此可为盆地提供充足的游离铁,并在一定条件下发生化学胶凝作用。例如,Anderson等利用沉积物捕集器(sediment trap)在水柱中采样时证实,冬夏季停滞时期溶解在湖下层的还原的铁与锰,在季节性湖水环流跃变时期可以被氧化成暗棕色的絮凝物^[4]。红色层与灰色层呈韵律性交替显然反映集水区化学风化作用强度与水体化学环境发生过周期性变化。

2 红灰韵律层主周期的估算

Sander (1986) 与 Schwarzacher (1975)都曾论证过,当地层厚度呈有规律的变化时,就不可能是由时间上的随机过程形成,即使地层厚度变化无规律时,也不能排除时间上规则旋回的存在^[5],因此有可能通过厚度序列的分析来研究气候与环境周期变化。具体来说,就是将地层厚度(或其它与气候变化有关的参数)的连续变化通过一定的方法转换为时间周期。但是,由于气候与环境演变过程中还存在许多非线性的影响因素(如地震、滑坡、重力流、洪流等)干扰着正常湖相沉积序列,因此需识别非正常的沉积(如上述的灰白色粉细砂岩层),并将它们排除在计算之外。然后,可通过多种方法估算主周期值,相互验证、对比,以期得到比较可靠的结论。

例如,通过统计所有红灰韵律层系的厚度作出厚度频率分布直方图(图4)。方法虽然简便,但也能从图上对韵律的主周期作粗略的计算。从图4a, b可看出,两个研究层段的主众数值均在3.5—4.5 cm的区间内,表明其主周期可能就在该区间所代表的时间段内。姚益民等根据古地磁极性倒转年代测定的数据计算了牛38井沙三中亚段上部的沉积速率为约0.91 mm/年,据此,可以得知该两层段所共有的主周期大约为38—50年。此外,第二层段还存在

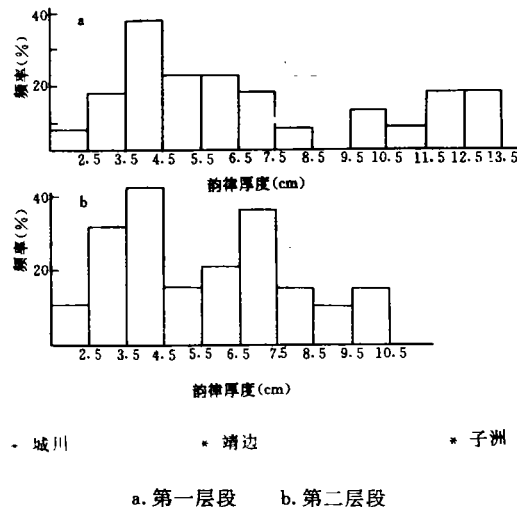


图4 红灰韵律层厚度频率分布图

Fig. 4 Frequency curves of thickness of reddish-grey rhythmic beddings

6.5—7.5 cm 的次主周期,大约为 70—80 年左右。

自相关法也能对主周期作初步估算。利用一组连续的信号(如厚度序列),在一定条件下(例如每次运算向下移动一行)与自身的信号不断进行相关分析,从而获得连续的相关系数谱线图(图 5),从中寻找重复出现的高峰值带,这可能就是旋回的主周期。从图 5a、b 上可见两层段都有一系列不同级次的主周期,分别为 32—35.5 cm(相当于 350—390 年);22—24.5 cm(相当于 240—270 年);7—9 cm(77—100 年);以及 3.5—5.0 cm(38—55 年)。说明这两组厚度系列在上述这些区间内有较好的重复性,可能是沉积韵律周期的表现。

当然,由于这里所计算的相关系数的峰值均不太高(0.2—0.4),峰值重复周期变化区间也不太稳定,因此对上述估算的可靠程度还有待斟酌。但如果对比层厚频率分布的估量值,其两个较小的周期相当接近,都具有 40 年以及 80 年左右的重复周期。由此看来,自相关法也能概略地反映韵律的变化。

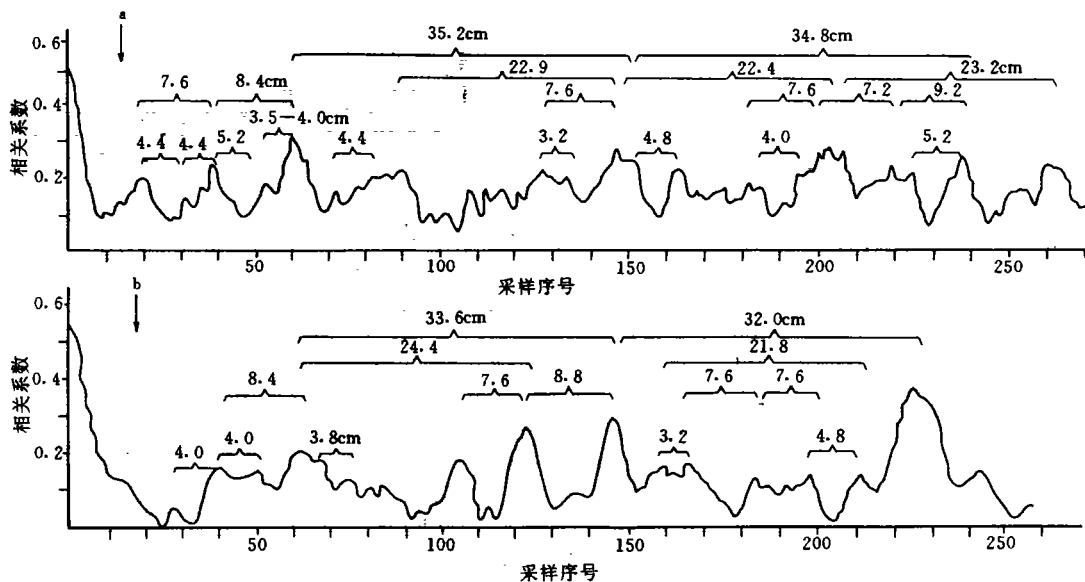


图 5 红灰韵律层相关系数谱线图

Fig. 5 Self-correlation coefficient spectral distribution of reddish-grey rhythmic sections

相对来说,频谱分析法是估量韵律主周期最有效、最可靠的方法。它是将时间系列(由厚度或其它参数组成)看作是若干规则波形相互叠加的复合波系,通过特殊的数字处理与运算^[6],将这些规则的简谐波分解出来,以确定它们各自的频率、振幅与相位。当振幅越大,说明它在时间序列中的作用越重要,可以代表韵律的主周期。其中,沃尔什(Walsh)变换法^[7]适用于厚度这样的不连续离散数据,构成一系列的方形波;而傅利叶(Fourier)变换法则适用于数据连续变化(如磁化率、地化指标等)的正弦波系列。

据此,我们依据两层段所测红灰韵律层系的厚度分别采取 512 个采样值进行沃尔什变换法运算^[7],分别获得两个时间序列的功率谱图(图 6)。图 6 中出现许多尖峰,将其中能量值大于 2 的峰看作是可靠峰。这样,在图 6a 显示 6 个可靠值,经计算它们的周期(厚度值)分

别为: $T_1=36\text{ cm}$, $T_2=18\text{ cm}$, $T_3=13\text{ cm}$, $T_4=6.5\text{ cm}$, $T_5=3.8\text{ cm}$, $T_6=3.3\text{ cm}$, 其中由于 $T_2=T_1/2$, $T_4=T_3/2$, $T_6=T_3/4$, 即呈整数倍递减, 因此可以将 T_1, T_3, T_5 看成是基波, T_2, T_4, T_6 则为它们的谐波(harmonic), 应除去^[6]。这样只有 T_1, T_3, T_5 才是该层段真正的主周期, 分别代表大约 42, 142, 395 年的周期。图 6b 是第二层段的功率谱, 也存在 5 个可靠峰, 分别为 $T_1=36\text{ cm}$, $T_2=18\text{ cm}$, $T_3=13\text{ cm}$, $T_4=5.3\text{ cm}$, $T_5=3.8\text{ cm}$, 其中的 T_2 也是谐波。这样第二层段就存 大约 42, 58, 395 年的周期, 与第一层段十分相符, 也与前述两种方法的估算相接近。

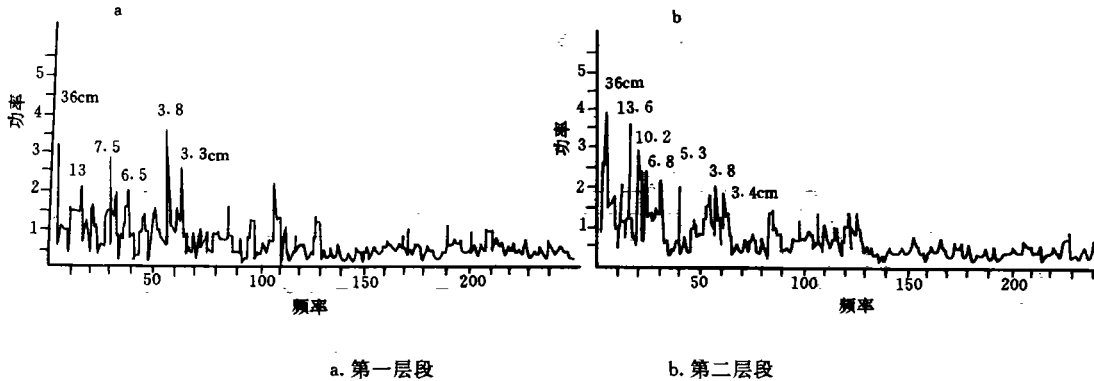


图 6 红灰韵律层沃尔什变换的功率谱

Fig. 6 Walsh power spectra of reddish-grey rhythmic sections

利用第一层段的 128 个磁化率连续采样值, 还进行了傅利叶变换^[6]的尝试, 相应得到傅利叶功率谱(图 7), 其中在 36cm 周期处有一明显的高峰值, 其它的峰能量低, 且为其谐波, 再次显示大约 395 年是该层段的主周期。由于磁化率测量点距较大, 难以进行密集采样, 在作傅利叶变换时所取的间距(2cm)过大(沃尔什变换采样的间距为 0.4cm), 所以在功率谱上未能获得更小的周期。

综观上述, 尽管估算主周期的具体方法、采样的方式及采样的参数不同, 但求得的估算值大多都比较接近, 可以相互印证, 这应该不会是偶然的巧合。但考虑到测年条件的限制, 根据磁性地层学确定的沉积速率不一定能代表其间较短时间内的沉积速率, 可能受到各种因素的干扰(如沉积间断、成岩压实作用等), 所以这里所依据的沉积速率还只是一种粗略的背景值, 因此据此确定的主周期值不一定十分确切。尽管如此, 估算结果仍清楚地表明, 沙三中亚段上部这些厘米级的韵律层确实存在着十年级及百年级的周期变化。

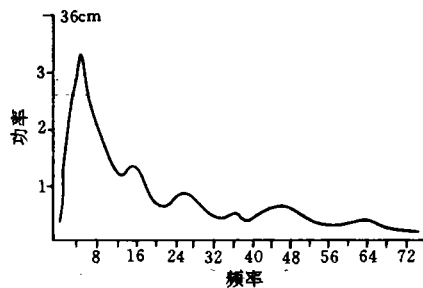


图 7 红灰韵律层傅氏变换的功率谱

Fig. 7 Fourier power spectra of reddish-grey rhythmic sections

3 韵律周期成因的讨论

沉积韵律与旋回的现象可以有不同的级别与不同的成因。除了构造成因、成岩作用外,最重要的影响因素是气候周期的变化。自然界有许多不同形成机制与不同时间跨度的地球内、外驱动力可以引起气候冷暖周期的变化。在众多的地外驱动力中,除地日轨道参数变化的天文周期外,还存在太阳黑子与磁场、月球及其他行星,甚至太阳系在银河系中运动轨道参数周期变化^[8,9]的影响。其时间跨度可从日、年级到万年级(表 5),乃至千万年级与亿万年级水平。本文所确定的十年级与百年级的周期很可能与太阳的活动或其他天文周期有关。这些潜在的、能影响地球气候波动的天文周期已由极地冰芯中¹⁰Be 的波动周期与树轮的生成周期及其¹⁴C 同位素测年资料证实是客观存在的,并已在古代地层中找到若干置信水平(confidence level)很高的实例^[10]。

表 5 潜在的地外驱动力及其对地球可能的影响程度

Table 5 Potential astronomic driving of climatic cycles and its possible effect on rhythmic deposits :

周期 (年)	日 周期	年 周期	2—10	10—12	20—23 44	62	80—90	130	200	556	2500	19000、23000	41000	100000、413000
天文 周期	地球 自转	地球 公转	南半球震动 爱厄尼诺	太阳 黑子	太阳磁场 极性倒转	月球 近日点	太阳黑子 或极光	极 光	太阳 黑子	月球 近地点	?	岁 差	地轴 倾斜角	地球轨道 偏心率
影响 强度 的估算	100	130	?								?	10	5	12

(据 Glenn 与 Kelts, 1991^[10]及 Anderson, 1986^[8]资料汇编)

值得注意的是,各种天文周期对地球气候的影响程度并非均一的。其中,年季节性周期对湖相沉积的影响最为明显。假定日昼夜变化的周期引起的影响强度为 100(潮汐日周期的影响在湖相沉积中可以忽略),那么年周期约为 130^[10],而其它的天文周期明显变小(表 5)。因此,本文所涉及的周期对地球的影响力不会很大,据分析,所以能在牛 38 井中出现相当清晰的红灰韵律沉积,很可能取决于下述两方面的原因。

一种可能是由于湖盆内各种沉积体系(机械的、化学的、生物的)对于气候变化的差异响应(differential response)。由于受到颗粒间粘聚力、内摩擦力等的影响,机械沉积作用对气候转变的反应比较迟钝,存在着“能量障碍效应”(energy barrier effect),实际上,它对气候变化起着一定的缓冲作用^[8],因而对影响力较弱的天文周期不易作出敏感的反应。化学沉积则不同,气候稍有变化就会迅速波及到湖水化学的平衡状态而作出灵敏的反应,从而促进或抑制化学沉积的发生。

其次,湖相韵律的变化还可能与湖水本身的化学环境要素密切相关,其中化学沉积的临界值(threshold)是一个至关重要的因素。本文所论及的胶体凝聚作用不仅受到胶体浓度影响,而且还受到湖水温度、压力、pH 值、Eh 值、电解质性质、水体含氧量、生物活动等多方面因素的制约。例如,带正电胶体微粒遇到带负电的离子或微粒后,就会经中和作用而发生‘相互聚沉作用’^[3];对于 Fe(OH)₃ 这样的两性胶体,湖水的 pH 值的变化可以直接影响到它的

溶解或聚沉,因为 pH 值的变化可以改变两性胶体所带电荷正与负的性质。当湖水的 pH 值达到或接近两性胶体物质的等电 pH 值(即呈中性不带电荷时的 pH 值)时,就会因为其电动电位趋零,扩散层消失而发生聚沉^[3]。因此,当湖水化学的环境要素,例如 pH 值经常处于该化学物质沉积的临界值附近时,就很容易形成韵律性层理,因为只要湖水化学条件稍许偏离临界值,就可以引起该物质的沉淀与溶解。此时即使气候驱动力较弱,但仍可影响水体化学环境要素的变化而导致沉积韵律的产生。

结 语

1)通过沉积学、矿物学、环境磁学与地球化学分析表明本文研究的红灰‘韵律层系’两单元在粗组分的成分与结构上无明显差异,但胶结物与基质明显有别。红层中有众多原生胶凝现象,总铁量与游离铁含量显著增多。说明化学沉积作用是形成韵律的主因。同时,生物活动对沉积界面附近微化学环境的变化起一定的促进作用。

2)多种时序分析方法的试验,取得比较相近的结果。其中以频谱分析法最为有效可靠。经估算,本文研究的厘米级韵律层受十年级与百年级主周期的控制,可能与太阳黑子与磁场活动等天文周期有关。

3)尽管十年级与百年级天文周期对地球气候变化影响力并不强,但由于化学沉积对气候变化反应灵敏,有可能作出有感的响应;同时也可能由于湖水总是处于胶体沉积的临界值附近,弱的气候周期变化也能导致韵律层的形成。

4)本文对古湖泊韵律层的研究仅是初步的尝试。工作中尚存在不少问题,特别是方法学上还有一定困难,例如红灰层之间存在一些过渡色调,采样设定代码时^[6]本应给予一定的加权系数方能得到更逼近的结果,但实际工作中很难确定具体的加权值。又如,对于古代地层进行韵律周期的估算需有可靠而适宜的时间标尺,本文依据的古地磁极性倒转年代的资料可以保证一定的精度,但标定点时间跨度较大,对于十年与百年级周期来说,显然不及¹⁴C 那样的测年标尺,但由于地质年代过老,已不可能取得这样的资料。

本文工作过程中,胜利油田钻井地质公司与同济大学海洋地质系许多同志参加了岩芯观察与取样工作,吴健生副教授为频谱分析编制程序并进行运算。工作过程中还得到中国科学院西安黄土与第四纪地质研究所的大力支持,在成文过程中,得到封卫青、刘卓红、翦知泯、沈丹青、陶明等热心帮助,汪品先与王国忠教授对本文提出重要而有益的意见,在此一并表示深切谢意。

收稿日期:1994-12-2

参 考 文 献

- [1] 舒小辛,刘志伟,王慧中等,磁化率在牛 38 井早第三纪古湖泊沉积物研究中的初步应用,复式油气田,1993,(3): 10—18。
- [2] 王慧中,江浙一带现代海滩的生物扰动构造及其指相意义,地质科学,1985,(1):53—58。
- [3] 刘宝 王君,沉积岩石学,北京:地质出版社,1980,8—26,48—54。
- [4] Anderson, R. Y. & Dean, W. E., Lacustrine varve formation through time. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 1988, 62: 215—23.

- (5) Weedon, G. P. , The detection and illustration of regular sedimentary cycles using Walsh Power Spectra and filtering, with examples from the Lias of Switzerland. *Journal of the Geological Society, London*, 1989, 146: 133—144.
- (6) 程乾生, 信号数字处理数学原理, 北京: 石油工业出版社, 1978。
- (7) Negi, J. G. and Tiwari, K. G. , Periodicities of geomagnetic intensity and paleomagnetic variations: a Walsh spectral approach, *Earth Planet. Sci. Lett.* , 1984, 70: 139—147.
- (8) Anderson, R. Y. , The varve microcosm: propagator of cyclic bedding. *Paleoceanography*, 1986, 1(4): 273—282.
- (9) 徐道一, 杨正宗, 张勤文, 孙亦因, 天文地质学概论, 北京: 地质出版社, 1983, 1—284.
- (10) Glenn, C. R. and Kelts, K. , Sedimentary rhythms in lake deposit. in "Cycles and Events in Stratigraphy" Einsele, et al. , (eds.), 1991, 88—221.

Environmental Information in Reddish-Grey Lacustrine Rhythmic Deposits of the Core Niu-38 in the Upper and Middle Members of Shahejie Formation, in Dongying Depression, Shengli Oilfield

*Wang Huizhong*¹ *Sheng Wei*¹ *Su Xiaoxin*¹
*Liu Qingchun*² *Si Zhihua*² and *Li Yunxin*²

¹ (Department of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092)

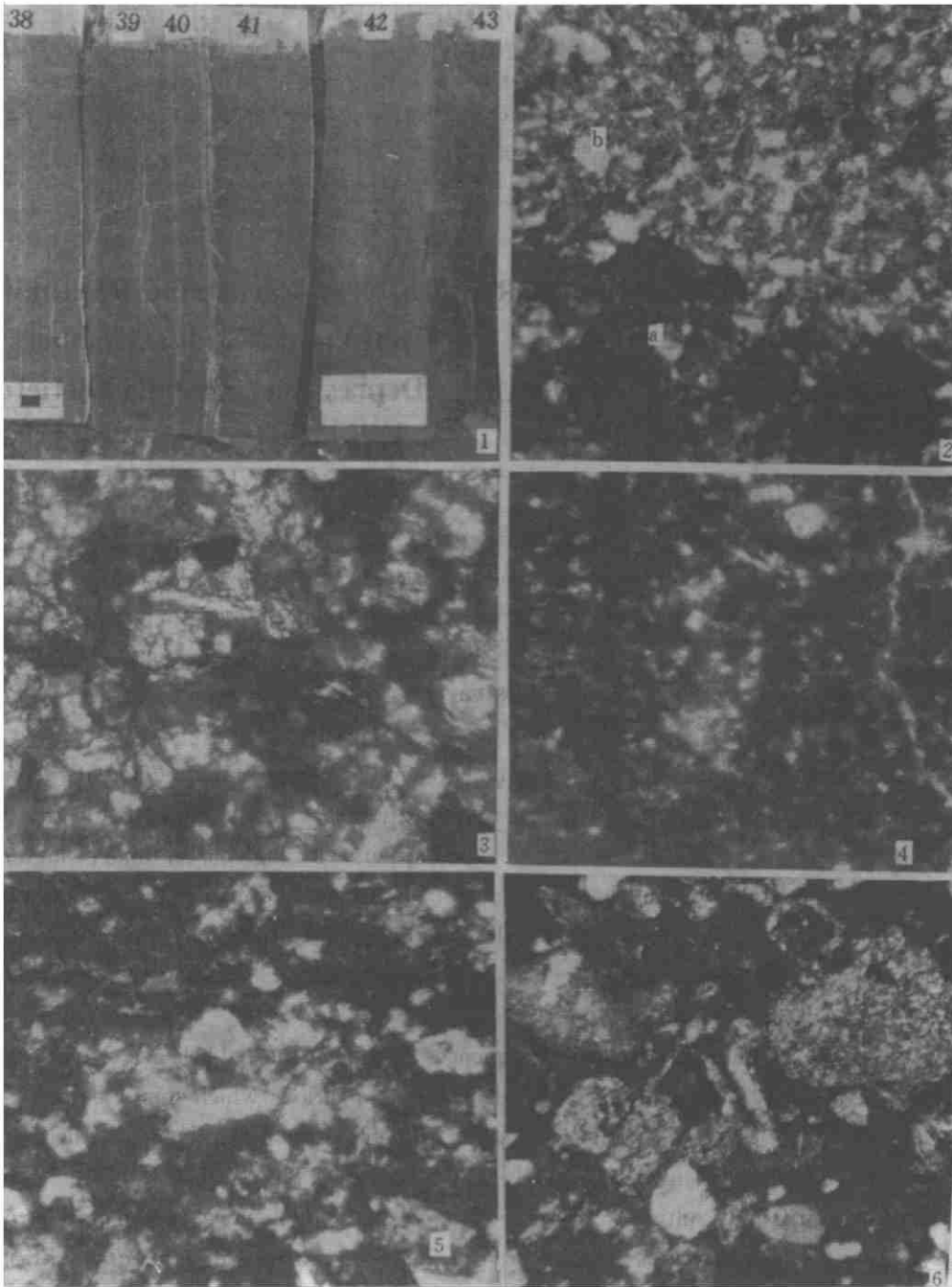
² (Geological Drilling Company, Shengli Petroleum Administration Bureau, Dongying 257000)

Abstract

Based on multidisciplinary analyses of sedimentology, environmental magnetism, ichnology, mineralogy and geochemistry, it is found that, in the reddish-grey lamination in rhythmic deposits, there are various features about flocculent deposits with high susceptibility, high contents of total Fe and free Fe, and higher grades of bioturbation, showing that changes with chemical sedimentation caused by climatic cycles are the main controlling factor on the rhythmic beddings, and bioturbation could accelerate changes in micro-chemical environment on surface between water and sediments.

Results from spectral analysis on time sequences show that the reddish-grey rhythmic deposits were controlled by decade- or century-level climatic periods which might be related to several astronomic cycles, such as sunspot or solar magnetic field. The influence of these astronomic factors on climatic changes is not likely very strong, but this kind of rhythmic bedding could be visible, probably resulting from the sensitive response of chemical sedimentation to climatic cycles, and/or the lacustrine chemical environment was nearby the sedimentary threshold for flocculation during the period in the upper and middle member of Shahejie Formation.

Key Words: rhythmic deposit climatic cycles flocculation bioturbation spectral analysis response to climate sedimentation threshold



图版说明: 1. 红灰韵律层系, 其中 39, 41, 43 层为红色层。红色层上部见多种形态的生物潜穴。岩芯劈开面, 比例尺总长 2 cm。 2. 红灰韵律层的界线清晰, 红色层具有高含量的絮凝物质(a), 灰色层絮凝物质锐减, 粘土含量增加(b)。薄片, 正交, $\times 310$ 。 3. 红色层中的棉絮状物质。薄片, 正交, $\times 630$ 。 4. 红色层中絮凝物质局部集中, 顺层呈透镜状产出。薄片, 正交, $\times 630$ 。 5. 红色层中絮凝物质平行层理分布, 显示原生沉积的特征。薄片, 正交, $\times 630$ 。 6. 红色层中絮凝物质围绕陆源碎屑形成发育不良的包壳构造。薄片, 正交, $\times 630$ 。