

主频计算法对测井曲线沉积旋回的精细分析

吕炳全, 王红翌, 赵会民, 张彦军

(同济大学 海洋地质与地球物理系, 上海 200092)

摘要: 用主频计算法对长庆气田主力储层中下奥陶统马家沟组马五₁段碳酸盐岩的自然伽玛测井曲线进行了分析, 得出其主要沉积旋回周期为 100、57、36 和 26 ka, 基本与米兰科维奇旋回的地轴自转偏心率和地轴倾角变化周期相一致, 因而, 可以认为储层的沉积旋回是地轴自转偏心率和地轴倾角变化引起气候周期性变化形成的, 其中又以偏心率影响最大, 表明主频计算法用于测井曲线进行分辨率较高的沉积旋回分析是可行的。

关键词: 主频计算法; 测井曲线; 沉积旋回; 长庆气田

中图分类号: TE121.34

文献标识码: A

对于碎屑岩储层的油气探井, 测井曲线结合录井的岩石成分可以进行沉积旋回分析; 而对于钻及碳酸盐岩的探井, 利用测井曲线等分析沉积旋回就比较困难了, 因为碳酸盐岩岩性比较均一。在一定条件下, 对测井曲线采用主频计算法可以进行分辨率较高的沉积旋回分析。

对一个复合波系采用富利叶变换将其分解成若干振幅和相位不同的简谐波, 并找出其中振幅最大的波, 即该复合波系中主频率或主周期的波, 这一计算方法称为主频计算法^[1,2]。采用主频计算法对碳酸盐岩储层的自然伽玛测井曲线进行计算, 便能得到分辨率较高的沉积旋回。本文采用主频分析法计算了鄂尔多斯盆地长庆气田中下奥陶统马家沟组储层马五₁段的自然伽玛曲线。通过 20 口探井的计算, 得出其沉积旋回基本符合米兰科维奇旋回, 主周期为 100、57、36 和 26 ka, 是地轴自转偏心率和地轴倾角周期性变化引起气候变化造成的, 现分述于下。

1 碳酸盐岩储层的自然伽玛曲线分析

长庆气田位于华北地块鄂尔多斯盆地中部的中央隆起上, 主要由下古生界的碳酸盐岩组成, 中央隆起面积达 6 万 km²^[3], 但隆起幅度仅 500 m, 可见地层产状十分平缓, 基本呈水平状态(图 1), 表明该区构造运动稳定。气田主力储层为中下奥陶统马家沟组的马五₁段, 属蒸发边缘海相的碳酸盐岩沉积, 主要由颗粒云岩、膏云岩、藻云岩和云岩等组成^[4]。储层为古风化壳, 孔隙、裂缝结构复杂, 测井电阻率高, 泥浆在井中侵入深远, 有自然伽玛曲线的测定, 高自然伽玛值显示储层中有泥质薄层存在, 同时, 泥质薄层呈现低视电阻率、正自然电位和井径扩大(图 2)。

华北地块马家沟期, 碳酸盐台地洪水期泥质含量增多, 它代表台地上海泛面的位置, 也是准层序的分界面, 反映当时古气候多雨湿热, 有藻云岩和泥质薄层, 而干热时, 出现蒸发沉积组分的岩盐和石膏等。湿热和干热气候交替变化

收稿日期: 2002-03-21

作者简介: 吕炳全(1939—), 男, 教授, 博导, 从事海洋地质、石油地质学研究。E-mail: bqlu@mlab.tongji.edu.cn

形成碳酸盐岩中的沉积旋回^[5],因而,可将储层自然伽玛测井曲线进行主频计算,来分析它的

沉积旋回。

2 自然伽玛曲线的主频分析

首先,对区内 20 口井(图 3)的自然伽玛曲线按深度步长为 0.2 m 的等间距取值,进行数字化,并将其离散,再将所得数据进行傅里叶转换(FFT),使时间域转换成频率域,得出频谱曲线(图 4),图中纵坐标代表功率,横坐标表示谱频数,由于所求功率为模数,故曲线左右对称,功率高点表示其时间序列中的相对重要性,因此高点的谱频数对应于曲线的主频率,去掉两端的零频干扰,找出主频系列,将其转化为相应波长,从而得出旋回周期。采用这一分析方法对区内 20 口井分析结果,大多数自然伽玛曲线中,包括谱频数为 4、7、11 和 15 的峰值,将其转化为相应波长,则得近似于 32.0、18.5、11.5 和 8.5,由于采样间距为 0.2 m,故主要地层旋回厚度为 6.4、3.7、2.3 和 1.7 m 左右,其波长比近似为 1.00、0.57、0.36 和 0.26,其中以第 1 主频峰值 P_A 和第 2 主频峰值 P_A 为主,第 3 和

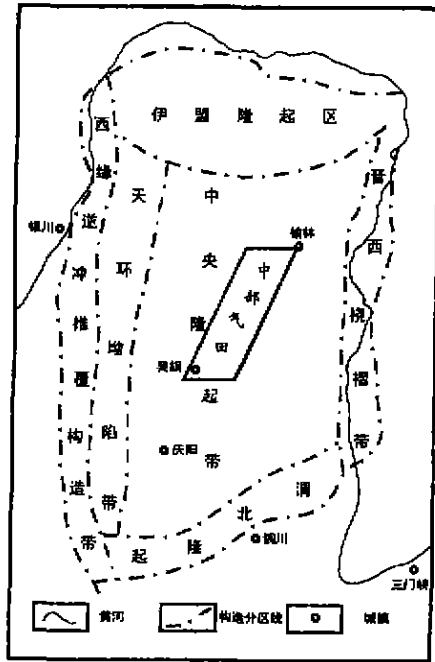


图 1 长庆气田构造位置

Fig1. Tectonic setting of Changqing Gas Field

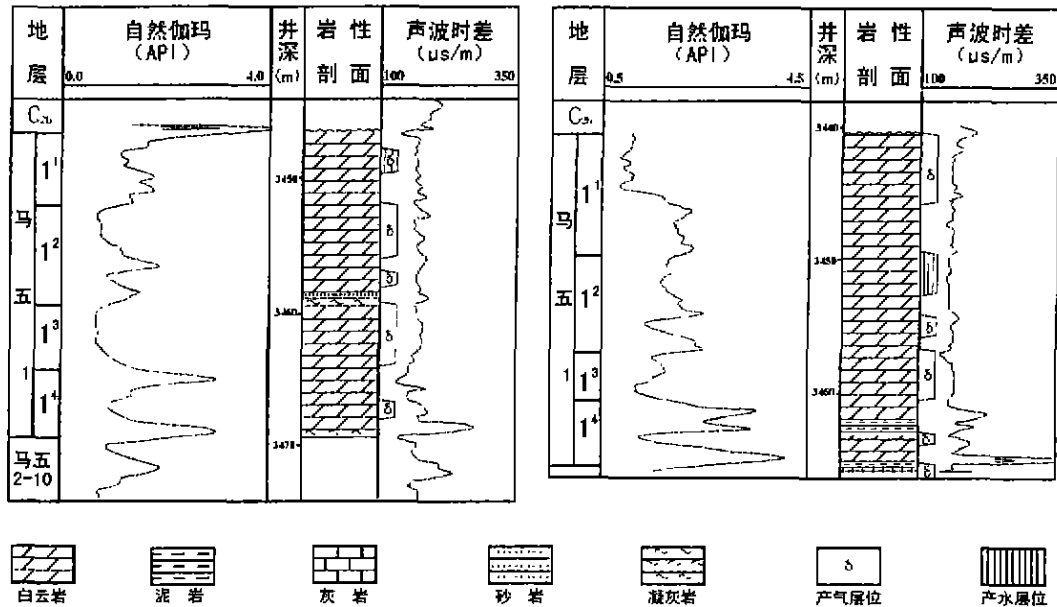


图 2 S37 井(左)和 SC1 井(右)剖面

Fig2. Profiles of S37 well (left) and SC1 well(right)

第 4 主频值(P_4 和 P_5)次之,这一主频系列在区内具有一定的稳定性。

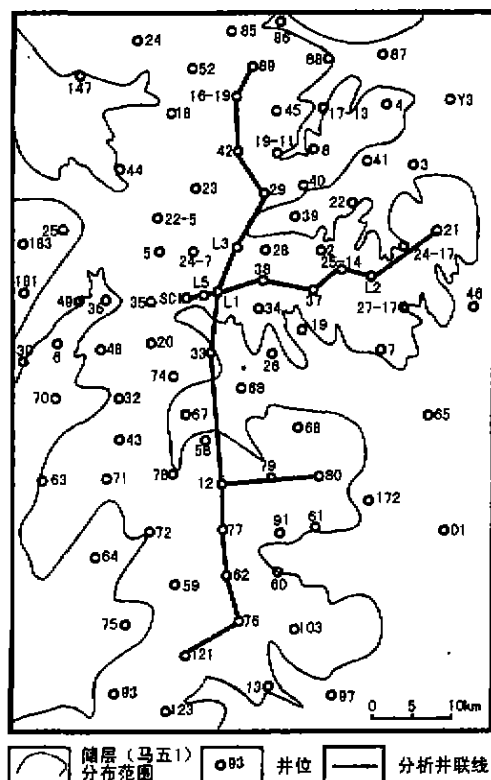


图 3 主频计算井位分布图

Fig3. distribution of studied wells

3 米兰科维奇旋回的确立

在构造运动稳定区,气候因素是地层沉积旋回的控制因素,而决定气候的主要因素是日照。米兰科维奇认为^[6],地球的轨道因素是影响日照的主因,包括地球的偏心率、黄赤道面交角(地轴倾角)和岁差,偏心率周期是地球绕太阳的椭圆轨道造成的,地轴倾角周期是地轴斜度变化的周期,而岁差周期是地轴沿通过地心黄道面的法线作圆锥运动产生的。在近 3 Ma 内,偏心率长周期主要为 0.4 Ma,短周期主要为 0.1 Ma,地轴倾角的变化周期是 0.041 Ma,岁差变化的长周期主要为 0.023 Ma,短周期主要为 0.019 Ma,并且随着时间的推移,以上旋回的频率有降低的趋势。Berger(1992)^[7,8]估算了

地质历史时期的米兰科维奇旋回,他认为偏心率旋回没有变化,地轴倾角和岁差旋回的频率有随着时间的推移而降低的趋势(表 1)。

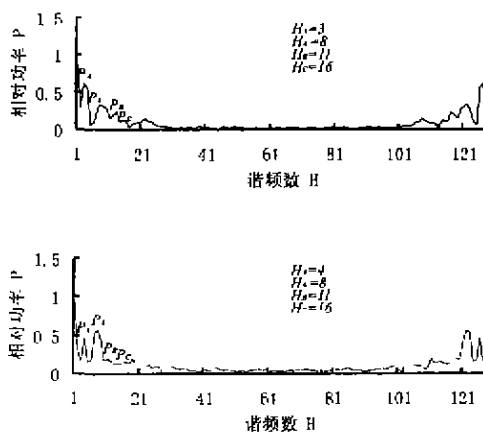


图 4 SC1 井(上)和 S37 井(下)频谱曲线

Fig4. Spectrum diagrams of SC1 well(up)and S37(down)

本次计算的 20 口井结果,其波长比近似为 1.00、0.57、0.36 和 0.26,与奥陶纪时偏心率和地轴倾角的比值 1.00、0.57、0.36 和 0.29 非常接近。由此可以认为,偏心率和地轴倾角是影响本区地层旋回的主要因素,其中以偏心率影响最大。每个旋回的时间为 100、57、36 和 29 ka。这与对二叠纪 Castile 盆地的纹层状蒸发岩具有 100 ka 的沉积旋回的研究结果(Anderson, 1984)^[9]相近。

4 结论

(1) 对测井曲线采用主频分析可以得到分辨率较高的沉积旋回。在本次工作中,测得鄂尔多斯盆地长庆气田主力储层中下奥陶统马家沟组的马五₁段的沉积旋回周期为 100、57、36 和 29 ka。

(2) 马五₁段沉积旋回周期基本与米兰科维奇旋回的偏心率和地轴倾角变化周期相一致,因而可以认为,偏心率和地轴倾角是影响本区储层旋回的主要因素,其中以偏心率影响最

大。

表1 地史时期部分米兰科维奇旋回周期的估量值(Berger等,1989)

Tab. 1 Estimated values for some Milankovitch periods through geological time(Berger et al.,1989)

地质时期	年代/Ma	米兰科维奇周期/ka					
		偏心率		倾斜度		岁差	
		A	A'	B	C	D	F
全新世	0	100.000		54.000	41.000		23.000 19.000
晚白垩纪	72	100.000		51.226	39.381		22.481 18.645
早二叠纪	270	100.000	57.000	44.284	35.145	30.000	21.034 17.638
晚石炭纪	298	100.000		42.936	34.291		20.725 17.421
中泥盆纪	380	100.000		39.484	32.053		19.886 16.824
早志留纪	440	100.000		37.222	30.546		19.296 16.339

(3) 马五₁段自然伽玛测井曲线的周期变化反映本区储层中泥质含量的周期变化,高泥质期为碳酸盐台地洪泛面期,代表多雨湿热气候期,低泥质期为碳酸盐岩台地少雨、干热和蒸发量大的气候期,它们的周期与米兰柯维奇旋回的偏心率和地轴倾角变化周期基本一致。

参考文献:

- [1] Cara M. Time-frequency analysis[J]. Eos, Transactions, American Geophysical Union, 1982, 63(51): 12-20.
- [2] 张映红,朱筱敏,郭兴生. 陆相层序地层地质周期的时频分析方法[J]. 长春科技大学学报, 1998, 28(专辑): 59-65.
- [3] 长庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志(12卷)长庆油田[M]. 北京:石油工业出版社, 1992. 62-78.
- [4] 吕炳全,李银德,黄月明,等. 蒸发边缘海相的储层研究[M]. 上海:同济大学出版社, 1995. 63-71.
- [5] 吕炳全,胡 钧. 陕甘宁气田储层层序地层学和沉积环境特征[J]. 同济大学学报(自然科学版), 1995, 23(增刊): 176-181.
- [6] 张金川,陈建文. 米兰科维奇理论与地层旋回[J]. 海洋地质通报, 1996, (2): 7-9.
- [7] Berger A, Loutre M F, Laskar J. Stability of the Astronomical Frequencies over the Earth's History for Paleoclimate Studies[J]. Science, 1992, 255: 560-565.
- [8] 孙尧铭,李培廉. 高分辨率层序地层学在划分滇黔地区晚古生代地层中微层序的应用[J]. 上海地质, 1995, (3): 38-44.
- [9] Anderson R Y. Orbital Forcing of Evaporite Sedimentation[A]. Berger et al(eds). Milankovitch and Climate, Part I[M]. 1984. 147-162.