

文章编号:1001-1986(2003)06-0014-04

# 测井曲线频谱分析在含煤地层沉积旋回研究中的应用

李凤杰<sup>1,2</sup>, 王多云<sup>1</sup>, 郑希民<sup>1</sup>, 刘自亮<sup>1</sup>, 王峰<sup>1</sup>, 王志坤<sup>1</sup>, 李树同<sup>1</sup>

(1. 中科院兰州地质研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 中科院兰州地质研究所气体地球化学国家重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:**利用频谱分析法,以鄂尔多斯盆地陇东地区延安组延二段为例,对发育泥炭沼泽河流体系的自然伽马测井曲线进行分析,得出地层中保存着厚度稳定的地层旋回,其厚度比值与米兰科维奇旋回比值之间有很好的一致性。因此,可以认为:米兰科维奇旋回是影响本区地层沉积旋回发育的主要因素;古气候周期性变迁决定着大面积沼泽化的曲流河—网状河流体系中高频沉积旋回的发生、发展和定格。其中偏心率周期引起的地层旋回厚度变化范围为8.72~11.29 m;地轴倾角周期和岁差周期引起的地层旋回厚度变化范围分别为2.54~4.3 m和1.23~1.91 m。本区含煤层和碳质泥岩地层旋回厚度约10 m,其发育受控于时间为123 ka的偏心率周期。自然伽马曲线包含丰富的地质信息,很好地反映了由气候变化引起的地层旋回。

**关键词:**测井曲线;米兰科维奇旋回;快速傅立叶变换;延安组;鄂尔多斯盆地

中图分类号:P618.1102 P539 文献标识码:A

## 1 引言

沉积地层不仅具有成层性,而且具有周期性。

收稿日期:2003-04-05

基金项目:中国科学院资源环境领域知识创新工程重要方向项目资助(编号:KZCX3-SW-128-04)

作者简介:李凤杰(1972—),男,山东沂水县人,中科院兰州地质研究所博士生,从事沉积学和地球化学研究。

造一岩性油藏。该油气藏已钻探生产的井,主要分布在深水沟道浊积岩体的东部,建议在永554井以西,即该砂砾岩体的西部部署深探井,以3 500~3 600 m的次水道微相和近漫溢微相作为目的层段。

## 参考文献

- [1] Hsu K J, et al. Resedimented facies in Ventura Basin, California, and model of longitudinal transport of turbidity current [J]. AAPG, 1980, (64): 1034—1051.
- [2] Walker R G. Mudstones and thin-bedded turbidites associated with the upper Cretaceous Wheeler Gorge conglomerates, California: a possible channel-levee complex [J]. Sedim. Petrol., 1985, (55): 279—290.
- [3] Goodwin R H, Prior D B. Geometry and depositional sequences of the Mississippi canyon, gulf of Mexico [J]. Sedim. Petrol., 1989, (59): 318

地质时期的复杂周期运动是由多个不同周期的简单运动叠加而成,沉积旋回则是沉积事件的周期性重复<sup>[1]</sup>,表现在沉积物的结构、构造、岩性及岩相的变

—329.

- [4] 吴崇筠.湖盆砂体类型[J].沉积学报,1986,4:1—27.
- [5] 姜在兴,赵澄林.一种沿深水箕状谷纵向搬运的重力流沉积[J].石油实验地质,1988,2:106—116.
- [6] 赵澄林,刘孟慧.东濮凹陷下第三系砂体微相和成岩作用[M].东营:华东石油学院出版社(石油大学出版社),1988,9—13.
- [7] 赵澄林,张善文,袁静等.胜利油区沉积储层与油气[M].北京:石油工业出版社,1999,34—39.
- [8] 卢刚臣.塘沽—新村三维区几种典型地震相分析[J].石油地球物理勘探,1998(增刊)1:79—88.
- [9] Carlos H L, Walker R G. Internal architecture and sedimentary evolution of coarse-grained turbidites channel-levee complexes, early Eocene Regencia canyon, Espírito Santo basin, Brazil [J]. Sedimentology, 1997, (44): 17—46.
- [10] 袁静,王乾泽.东营凹陷下第三系深层碎屑岩储层次生孔隙垂向分布及成因分析[J].矿物岩石,2001,1:43—47.

## Sedimentary facies models of channel turbidites of the fourth member of Paleogene

### Shahejie Formation in Yong 554 well block, Dongying Sag

YUAN Jing<sup>1</sup>, XU Genwang<sup>2</sup>

(1. University of Petroleum (East China), Dongying 257061, China; 2. Shengli Oil Field, Dongying 257061, China)

**Abstract:** The characteristics are studied on the conglomerate body of the member 4 of Paleogene Shahejie Formation in Yong 554 well block, Dongying sag by core observing, thin-section and grain size analysis, seismogram and logging. It is showed that this conglomerate body was a deep water channel turbidites formed in a trough fault paralleling sag's long axis controlled by Tuo-Yong-Sheng fault and it's secondary faults on the south-east slope in Dongying sag. The conglomerate body had low compositional maturity and textural maturity. Being the main rock types, medium sandstone and coarse sandstone, which were arkoses and litharenite mainly, and conglomerate had poor coefficients of psephicity and sorting. It is showed by grain size analysis that graded suspending was the main transition manner of clasts. Most of the sedimentary structures were generated by 1 gravity flow. The paper found its offlap facies model including channel subfacies and overflowing subfacies by discussing facies markers. The properties and cause of formation of reservoir in this channel turbidites were analyzed in the end of the paper.

**Key words:** channel turbidite; sedimentary facies model; reservoir property; Paleogene; Dongying sag.

化中。现阶段可进行沉积旋回分析的资料中,地震资料分辨率较低,而钻井岩心虽有最高的分辨率,但取心费用昂贵。相比较而言,利用测井曲线可以克服上述不足。测井曲线不但分辨率高,达到米级尺度,而且能够敏感、连续地反映所测地层的特征,沉积物的结构、构造、岩性及岩相等周期性变化必定记录在测井数据中,是高频旋回研究的主要资料。

某一事件周期性出现的频繁程度,可用时间序列中的频率来表示,频谱分析技术是研究周期性现象中最为常用的一种统计分析方法,其主要是通过对一复合的波系进行数据变换,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,即该复合波中的主要频率<sup>[2]</sup>。频谱分析的方法较多,其中最常用的是快速傅立叶变换法(FFT)和最大熵谱分析法(MEM)<sup>[3]</sup>。本文采用快速傅立叶变换法(FFT),对鄂尔多斯盆地陇东地区侏罗系延安组延二段的测井自然伽马曲线进行频谱分析,从中提取其所包含的丰富地质信息,找出其沉积旋回的主要周期特征,为多井解释、油藏描述和地层对比及高频层序演化分析奠定基础。

## 2 原始资料的选取与分析

## 2.1 研究区及测井数据的选取

本文所选研究区是鄂尔多斯盆地陇东地区，属二级构造单元陕北斜坡南部(图1)。

鄂尔多斯盆地侏罗纪早期的延安组是主要含煤、油地层,是由甘陕古河和庆西古河早期河道充填一曲流河和网状河—湖泊三角洲组成。区内延安组延二段内部发育多层重要煤层和碳质泥岩,属于古河道充填基础上发育的大面积沼泽化曲流河—网状河流沉积体系。

含煤地层通常发育在盆地构造变动相对稳定时期,它对沉积环境的改变,尤其对气候的变化更为敏感,这种变化引发沉积作用发生改变,并记录在地层中。在众多的沉积作用信息中,含煤地层旋回是重要的、容易识别的信息之一,它小到几厘米,大到上百米,这些多重的旋回级次和叠加式样,为寻找沉积规律、揭示沉积控制因素创造了有利条件,是其他地层所不具备的研究基础。研究表明,除快速堆积的粗碎屑沉积外,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<sup>[4]</sup>。自然伽马曲线对古气候变化有良好的记录,是反映内陆干旱盆地气候与环境变化良好的代用指标<sup>[5~7]</sup>。为确保所选的自然伽马曲线的准确,参考了声波测井,同时

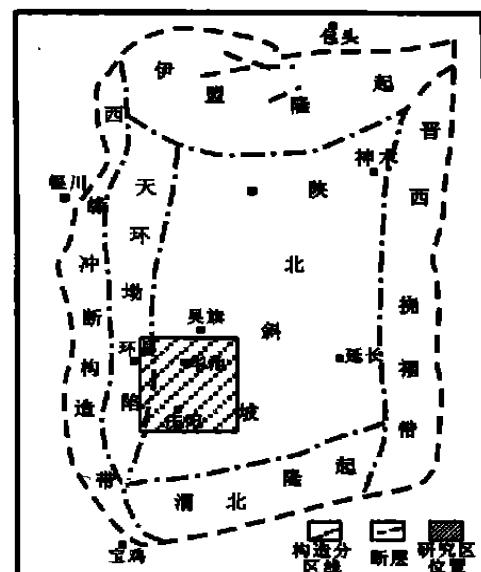


图 1 鄂尔多斯盆地构造单元划分及研究区位置

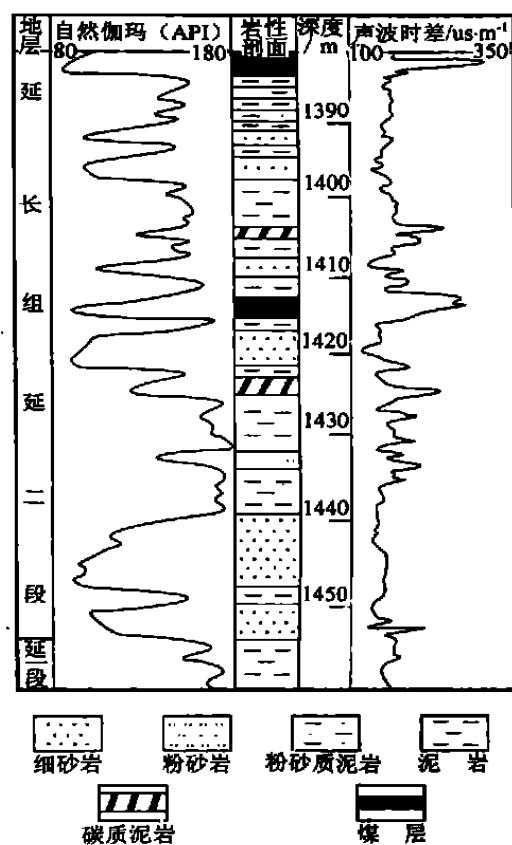


图 2 P33-10 单井剖面图

观测了所选井区的岩心，考察了所用资料的测井质量，认为测井数据是可靠的。（图 2）

## 2.2 自然伽马曲线的频谱分析

首先对区内 P28—10 和 H180—4 井自然伽马曲线按深度等间距 0.2 m 的间隔取值, 进行数字化, 并将其离散化, 然后对所得离散化数据进行快速傅立叶变换(FFT), 进行时一频转换, 将资料的时间(深

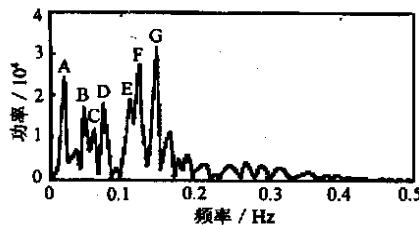


图 3 P28-10 井频谱分析曲线

度)领域转换到频率领域,得出频谱曲线(图 3)。

经过计算所得到的频谱曲线,其地质学意义在于:由多个不同周期的沉积旋回叠加测井曲线,通过数学变换,被分解成各自独立的周期旋回,以频率的形式记录成频谱曲线。频率值低,表明该沉积周期长,表现为地层旋回厚度大;反之频率值高,表明该沉积周期短,地层旋回厚度就小。而图中功率高点表示该频率的沉积旋回在地层中的重要性。功率值越大,表明该周期的沉积旋回在地层中出现的越频繁,因此高点处的频率对应于曲线的主要频率,这样可以找出频谱曲线中的主要频率值,进而可以求出相应的波长,得出旋回周期。

从图 3 中可以看出,P28-10 自然伽马曲线中包括主要频率点:A、B、C、D、E、F、G,分别对应频率值为 0.018 5、0.048 7、0.061 7、0.074 1、0.111 1、0.123 5 和 0.148 1,转化为相应波长 54.05、20.53、16.21、13.49、9.0、8.1 和 6.75 m,由于曲线的采样间隔为 0.2 m,所以地层主要旋回厚度为 10.8、4.11、3.24、2.7、1.8、1.61 和 1.35 m 左右,其地层主要旋回厚度之比近似于 1:0.38:0.30:0.25:0.168:0.149:0.125。采用这一分析方法,对研究区延安组延二段资料进行计算,得出各测井的旋回厚度及其比值,结果见表 1。从表中看出,陇东地区延安组延二段沉积旋回基本存在 8.72~11.4 m 的长周期,3.89~4.3 m 的较长周期,2.54~3.29 m 的中短周期,2.22~2.85 m 的较短周期,以及 1.48~2.13 m 和 1.23~1.68 m 的短周期。各沉积旋回周期的比值近似为:1:0.364~0.381:0.279~0.309:0.228~0.267:0.169~0.188:0.141~0.152。

### 3 米兰科维奇旋回的确定

米兰科维奇旋回是南斯拉夫学者米兰科维奇在解释第四纪冰期成因时提出的天文假说。他认为下半年日照量的减少是冰期形成的主要原因,而对于地球上任一纬度而言,日照量主要取决于地球公转轨道的偏心率、地轴倾角和岁差 3 个轨道变化周期<sup>[8]</sup>。这 3 个旋回的变化周期分别为:岁差长短周期分别约为 23.19 ka;地轴倾角长短周期分别约为

表 1 鄂尔多斯盆地延长组延二段地层旋回厚度和厚度比

井名	井段/m	偏心率		地轴倾角		岁差	
		A	A'	B	C	D	E
H601	1 406~1 455	10.67	6.40	/	2.91	/	1.88
		1.00	0.601	0.279		0.176	1.59
H13-26	1 398~1 457	10.9	6.20	4.13	3.13	2.48	/
		1.00	0.569	0.379	0.284	0.228	1.65
P32-02	1 163~1 230	10.7	6.11	/	3.05	/	1.86
		1.00	0.57	0.286		0.174	1.59
P33-01	1 383~1 438	10.8	8.10	4.05	3.24	2.49	2.13
		1.00	0.749	0.375	0.30	0.231	1.55
P29-05	1 410~1 466	11.4	6.40	/	3.54	2.67	2.13
		1.00	0.56	0.309	0.234	0.187	1.60
P41-9	1 289~1 360	10.7	4.70	3.89	3.29	2.85	1.81
		1.00	0.439	0.364	0.307	0.267	1.58
P36-01	1 380~1 438	8.72	5.09	/	2.54	2.22	1.48
		1.00	0.454	0.292	0.254	0.172	1.23
P28-10	1 492~1 564	10.8	/	4.11	3.24	2.70	1.80
		1.00		0.380	0.30	0.25	0.169
H180-4	1 437~1 498	11.29	/	4.3	/	2.65	1.91
		1.00		0.381		0.23	1.68

注:1——/代表该井没有显著周期;2——各数值表示为  $\frac{\text{厚度/m}}{\text{比值}}$

54.41 ka; 偏心率短周期为 123 ka, 而且在过去的 5 Ma 内, 偏心率旋回没有变化, 地轴倾角和岁差旋回有随着时间的推移而降低的趋势<sup>[9]</sup>。

在缺乏准确地层时间域的测年数据情况下,要分析地层中的米兰科维奇旋回,只能在空间域用间接的方法。而间接方法是基于地球轨道周期性变化和记录这些变化的沉积地层之间是否符合同一叠加模式,如果时间域和空间域相符合,则可以用空间域的旋回分析代替时间域的周期分析<sup>[10]</sup>。本次研究中利用频谱分析计算地层中主旋回厚度之比和地球轨道变化的周期之比进行比较,如果两者的比值有很好的相似性,则说明本区空间域和时间域有相同的叠加模式,那么可以认为本区地层旋回是由地球轨道的周期性变化引起的。频谱曲线的米兰科维奇旋回的分析是一复杂的过程,必须逐个反复比较和鉴定,分析每一个峰值频率(幅度高于一般的频率)的波长及其相互间的比率关系,目的在于发现分析时段范围内部那些波长比率与地质时期气候变化的旋回周期比率相同或相似的频率。两者的比率关系越接近,越能说明这些波长的频率反映古气候变化的信息,即捕捉到所要分析时段的高频旋回信息<sup>[11]</sup>,为沉积旋回分析提供依据。

根据 Berger(1992)<sup>[12]</sup>计算的地质历史时期米兰科维奇旋回周期的变化,求得早侏罗世时的岁差周期 21.8 和 17.9 ka; 地轴倾角周期 46.8 和 36.7 ka; 偏心率周期恒定不变,为 123 ka。三者之间的比率 1:0.38:0.298:0.177:0.146。从表 1 中可以看出,

本次计算的测井结果中,B 旋回与 A 旋回的比值变化范围 0.364~0.381,与对应的米兰科维奇旋回偏心率周期和地轴倾角长周期之比 0.38 的误差不超过 4.2%;C 旋回与 A 旋回的比值变化范围 0.279~0.309,与对应的米兰科维奇旋回偏心率周期和地轴倾角短周期之比 0.298 的误差不超过 6.3%;E 旋回与 A 旋回的比值变化范围 0.169~0.188,与对应的米兰科维奇旋回偏心率周期和岁差长周期之比 0.177 的误差不超过 6.2%;F 旋回与 A 旋回的比值变化范围 0.141~0.152,与对应的米兰科维奇旋回偏心率和岁差短周期之比 0.146 的误差不超过 4.1%。此外,A' 旋回与 A 旋回的比值变化范围 0.454~0.749,变化范围较大,也就是说,不存在稳定性;D 旋回与 A 旋回的比值变化范围 0.228~0.267,也有很好的稳定性。上述各比值,除 A' 和 D 旋回与 A 旋回的比值外,其余均与米兰科维奇旋回周期之比误差不超过 6.3%。

#### 4 讨论

地质学家研究表明,地质记录中的米氏旋回,不但存在于深海沉积物中<sup>[13]</sup>,而且存在于湖泊沉积物中<sup>[14]</sup>。同样,河流沉积也受控于米兰科维奇旋回<sup>[15]</sup>。鄂尔多斯盆地陇东地区延安组延二段属于古河流充填基础上发育的大面积沼泽化的曲流河一网状河流沉积体系。该地层保存完整,煤层、碳质泥岩不但发育,而且对气候变化反映敏感,旋回性强,容易保存。自然伽马测井曲线的频谱分析可以看出,沉积旋回有较稳定的地层厚度周期,各周期之间的比值有很好的一致性。这说明陇东地区延安组延二段的沉积旋回受某种周期性变化因素的控制。

T.A.Cross(1994)认为地层旋回的发育是由不同级别的基准面旋回所决定的,基准面的变化受湖平面、构造沉降、沉积物补给和沉积地形等综合因素所制约<sup>[16]</sup>。长周期的基准面旋回变化决定着低频层序的形成和高频层序的发育。在构造运动稳定区,短周期的基准面旋回变化受控于湖平面高频振荡性波动,湖平面的这种变化又起因于米兰科维奇轨道旋回所驱动的古气候变迁<sup>[17]</sup>。古气候的周期性变化,势必造成短期基准面上升和下降,与之对应的沉积物粗细旋回变化也被记录在地层中。古气候温暖潮湿和干旱周期性变化,在含煤地层中表现得尤为突出,随着气候的改变,大量煤层和碳质泥岩的出现与消失均被忠实的记录在地层中,而这些由气候引起地层旋回的变化又被自然伽马测井曲线很好地反映出来,这也使沉积地层旋回定量化研究成为可能。

频谱分析的结果也反映了本区稳定的旋回厚度比值与米兰科维奇旋回比值之间很好的一致性。因此,可以认为米兰科维奇旋回是影响本区地层沉积旋回发育的主要因素,古气候周期性变迁决定着大面积沼泽化的曲流河一网状河流体系中,高频沉积旋回的发生、发展和定格。该区延安组延二段的沉积旋回周期分别为 123、46.8、36.7、21.8 和 17.9 ka,其中偏心率周期、地轴倾角周期和岁差周期引起的地层旋回厚度变化范围分别为 8.72~11.29 m、2.54~4.3 m 和 1.23~1.91 m。本区主要煤层和碳质泥岩层的间隔约 10 m,落在了偏心率周期引起的沉积旋回厚度范围内,因此可以判断本区煤层和碳质泥岩的发育周期为 123 ka。

#### 参考文献

- [1] 王贵文,邓清平,唐为清.测井曲线频谱分析方法及其在沉积旋回研究中的应用[J].石油勘探与开发,2002,29(1):93~95.
- [2] Cara M. Time-frequency analysis[J]. Eos, Transactions, American Geophysical Union, 1982, 63(51): 12~20.
- [3] 王多云,陈应泰,刘文彬等.用最大熵谱分析进行等时沉积序列的相关性对比[J].沉积学报,1992,10(2):62~68.
- [4] 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.
- [5] 陈晔,袁林旺,周春林等.柴达木盆地第四纪古气候变化在物测井自然伽马曲线上的记录[J].古地理学报,2001,3(2):29~37.
- [6] Johan H V, George Postma. Astronomically forced variations in gamma-ray intensity: Late Miocene hemipelagic successions in the eastern Mediterranean basin as a test case[J]. Geology, 1996, 24(1): 15~18.
- [7] 刘泽纯,陈晔,袁林旺等.应用自然伽马测井反演 2.85 MaBP 以来古气候变化[J].中国科学 D辑,2000,30(6):608~618.
- [8] 吴智勇.米兰科维奇韵律层及其年代地层意义[J].地层学杂志,1995,19(2):156~160.
- [9] Berger A. Pre-Quaternary Milankovitch frequencies[J]. Nature, 1989, 342(9): 133.
- [10] 张小会,赵重远.鄂尔多斯盆地上三叠统延长组米兰科维奇旋回的确定[J].石油与天然气地质,2002,23(4):372~375.
- [11] 齐永安,刘保民,崔建国.米兰科维奇旋回及沉积作用[J].焦作工学院学报,1998,17(5):331~335.
- [12] Berger A. Stability of the astronomical frequencies over the earth's history for paleoclimate studies [J]. Science, 1992, 255 (9): 560~566.
- [13] Hays J D, Imbrie J, Shackleton N J. Variations in the Earth's orbit: pacemaker of the ice ages[J]. Science, 1976, 194: 1121~1130.
- [14] Olsen P E. A 40-million-year lake record of early Mesozoic orbit climatic forcing[J]. Science, 1986, 234: 842~848.
- [15] Olsen H. Astronomical forcing of meandering river behaviour: Milankovitch cycles in Devonian of East Greenland [J]. Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 1990, 79: 99~115.
- [16] Cross T A, Lessenger M A. Sediment volume partitioning: rationale for stratigraphic evaluation and high-resolution stratigraphic correlation [R]. Accepted for publication in Norwegian Petroleum's Forening Conference Volume. July. 1996, 1~24.
- [17] 胡受权,郭文平,杨凤根等.试论控制断陷湖盆陆相层序发育的影响因素[J].沉积学报,2001,19(2):256~262.

## • 矿井地质 •

文章编号: 1001-1986(2003)06-0018-04

# 煤体脆—韧性变形微观识别标志

苏现波, 谢洪波, 华四良 (焦作工学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:**以煤体的光学显微镜和扫描电镜观测为主,结合手标本和井下宏观观测,以华北西部部分矿区的主要煤层为研究对象,研究了煤体的脆—韧性变形标志,发现煤体在构造应力的作用下先后经历了脆性、脆—韧性和韧性变形阶段。脆性变形阶段以煤体破裂为主要特征,初期以格里菲斯裂隙为主,后期以剪性裂隙为主,偶尔见张性裂隙。处于脆—韧性变形阶段的煤体脆性和韧性变形的标志共存。典型韧性变形主要集中在糜棱煤中。岩石中发现的韧性变形标志在煤体中,除了重结晶现象,几乎都存在。

**关键词:**煤体;脆韧性变形;识别标志

**中图分类号:**P618.1102    **文献标识码:**A

## 1 引言

煤作为一种特殊的沉积岩在其形成与演化过程中,在构造应力的作用下经历了其他沉积岩所无法记录的变形史,达到了其他沉积岩所无法达到的变形程度。尤其是强烈的韧性变形的出现,在其围岩中是不存在的。煤体变形研究首先对再造构造应力场的演化史具有重要意义。由于煤的低杨氏模量和高泊松比的岩石力学性质<sup>[1,2]</sup>,使得在相对较低的温度和较弱的构造应力作用下即可达到较强的变形程度,因此煤中记录的构造应力演化信息要比其围岩详细和全面。其次,煤体变形研究是煤体结构成因探讨的前提和基础。原生结构煤在构造应力作用下

依次破坏为碎裂煤、碎粒煤和糜棱煤<sup>[3]</sup>,这一过程的复杂性和控制因素的多样性,也是其他沉积岩中难以见到的。而煤与瓦斯突出往往与煤体破坏严重的碎粒煤和糜棱煤有关<sup>[3~5]</sup>。煤既是煤层气的源岩又是其储层,因此,煤体变形机制的研究对于煤体结构时空展布预测和煤矿瓦斯灾害治理具有重要意义。关于煤体脆性变形特征,特别是煤中裂隙的研究已有大量的文献报道,但关于煤体韧性变形领域的研究涉足者较少。以往有限的煤体变形领域的研究主要集中在两个方面:其一局限于岩石力学领域<sup>[6,7]</sup>,即采用岩石力学的方法,在一定的围压和温度下测定煤的应力—应变特征,根据应力—应变曲线确定煤体脆—韧性变形,发现在一定的温度和围压下煤

收稿日期: 2003-03-03

基金项目: 河南省自然科学基金资助项目(0211060800);国家重点基础研究发展规划项目(2002CB211705)

作者简介: 苏现波(1963—),男,河南洛阳人,焦作工学院教授,从事煤油气、煤层气地质学的科研与教学工作.

## The application of frequency spectral analysis of logging curves on sedimentary cycle studies in coal-bearing strata

LI Feng-jie<sup>1,2</sup>, WANG Duo-yun<sup>1</sup>, ZHENG Xi-min<sup>1</sup>, LIU Zi-liang<sup>1</sup>, WANG Feng<sup>1</sup>, WANG Zhi-kun<sup>1</sup>, LI Shu-tong<sup>1</sup>

(1. Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 2. State Key Laboratory of Gas Geochemistry, Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** By means of frequency spectral analysis method, the authors use the Gamma-ray curves of fluvial depositional system growing carbonaceous marsh to analyze the sedimentary cycle of Y2 member, Yan'an Formation in Longdong area, Ordos Basin, reaching that sedimentary cycles having stable thickness are conserved very well in the strata. The ratio of the thickness of the sedimentary cycles corresponds with the ratio of Milankovitch cycles. Therefore, it is reasonable to deduce that the sedimentary cycles are controlled by palaeoclimate, which caused by the Milankovitch cycles, and its cyclical transformation determined the formation and the evolution of high frequency sedimentary cycle in marshland or floodplain deposit and transitional facies of river-lake alternately appearing. The thickness ranges of sedimentary cycles caused by the eccentricity cycle, the obliquity cycle and the precession cycle are respectively 8.72~11.29 m, 2.54~4.3 m and 1.23~1.91 m. The thickness of the stratigraphic cycles including coal and carbonaceous shale is about 10 m, and it is controlled by the eccentricity cycle, which is 123 ka. Gamma-ray curves including a great amount of geological information reflect well stratigraphic cycles caused by climate changes.

**Key words:** logging curves; Milankovitch cycles; fast Fourier transform; Yan'an Formation; Ordos Basin