

东营凹陷第三纪湖相沉积物磁性特征 及其与环境变化的关系

舒小辛 刘志伟 王慧中

(上海同济大学海洋地质开放实验室, 上海 200092)

刘传联 陈东敬 洪太原

(山东胜利油田管理局钻井公司, 东营 257000)

提 要 本文应用环境磁学方法, 测量了东营凹陷牛 38 井中第三纪湖相沉积物(以泥、页岩为主)的磁化率值, 并初步研究了造成沉积物磁化率值变化的沉积环境因素。研究结果表明: 沉积物磁化率值的变化, 与水体的含氧量有直接关系, 是沉积物早期成岩过程中活化铁稳定性的反映。一般地, 当水体富氧时, 沉积物中活化铁稳定, 磁化率值高。反之, 则活化铁易向黄铁矿转化, 造成磁化率值的降低。

关键词 磁化率 活化铁 沉积环境 黄铁矿化 指数(DOP)

第一作者简介 舒小辛 男 34 岁 讲师、博士 海洋湖泊地质

环境磁学是 70 年代发展起来的一门新兴学科。该学科利用简便的磁测量仪器, 测定细粒沉积物质的磁性特征, 了解磁性矿物的组成及变化, 进而解释其中所包含的环境信息。作为常规研究手段, 该方法已在第四纪研究中得到了广泛应用(如 Kurla et al, 1988, Maher et al., 1991, Tarduno et al., 1991, Yu et al., 1990 等), 并取得了令人满意的成果。中国东部第三纪古湖泊沉积物中有大量的泥、页岩, 其中许多是潜在的生油层。搞清这些岩石的形成条件, 对找油是有促进作用的。但以往由于缺乏有效手段, 对这一类岩石的研究程度总是无法深入下去, 因此无法详细解释泥、页岩中的微环境变化规律。能否引进环境磁学的方法来补偿对泥、页岩研究的不足呢? 基于这一想法, 笔者以山东东营牛 38 井岩芯为研究对象, 测定了岩芯的磁化率值, 并以此为基础, 对部分岩芯进行了地球化学及矿物学的工作, 以期找出磁化率值变化与沉积环境之间的可能联系, 为在第三纪湖相沉积物中应用环境磁学提供依据。

1 方法与原理

从环境磁学的角度看, 沉积物中各种铁的氧化物、氢氧化物(如赤铁矿、针铁矿等, 统称为活化铁)和顺磁性矿物(如黄铁矿、菱铁矿等)的相对含量组成及粒径对沉积物的磁性特征有很大影响。而这些矿物在沉积物中的赋存状态, 反映了沉积时的气候、水体化学、集水盆地土壤等的变化。环境磁学就是通过对沉积物磁性特征的测定, 配合其它方法, 来了解沉积物中磁性物质的组成, 以反演当时的沉积环境特征。

在本次研究中, 笔者使用英国 Bartington 公司生产的 MS2 型手提式磁化率仪, 对牛 38 井

600m 长的岩芯进行了磁化率值测定。该值反映沉积物外加磁场下产生感应磁场的的能力。主要与沉积物中磁性矿物的浓度、粒径及组合有关(Oldfield et al., 1986)。在测量过程中,测点密度在 2770—3202m 段取 10cm 为一间隔,3202—3367m 段取 20cm 为一间隔,共测取了 5150 个点,同时对岩芯进行了详细的观察和描述。

在现场测量的基础上,对三个代表岩性段:2774.6—2781.2m 段(红色泥岩、灰色粉砂质泥岩互层)、2788.05—2790.5m 段(红褐色泥岩)及 3302.76—3319.25m 段(黑色页岩)采样并进行了化学和矿物学分析。化学分析主要测定了样品的全铁、活化铁及全硫。其中活铁测定采用的是连二亚硫酸钠法(何群,1985)⁽²⁾。矿物分析步骤如下:粉碎样品至 180—200 目,清洗后用三溴甲烷进行重矿物分离,然后定性确定样品中赤铁矿、褐铁矿、磁铁矿与黄铁矿的相对含量。

2 主要结果

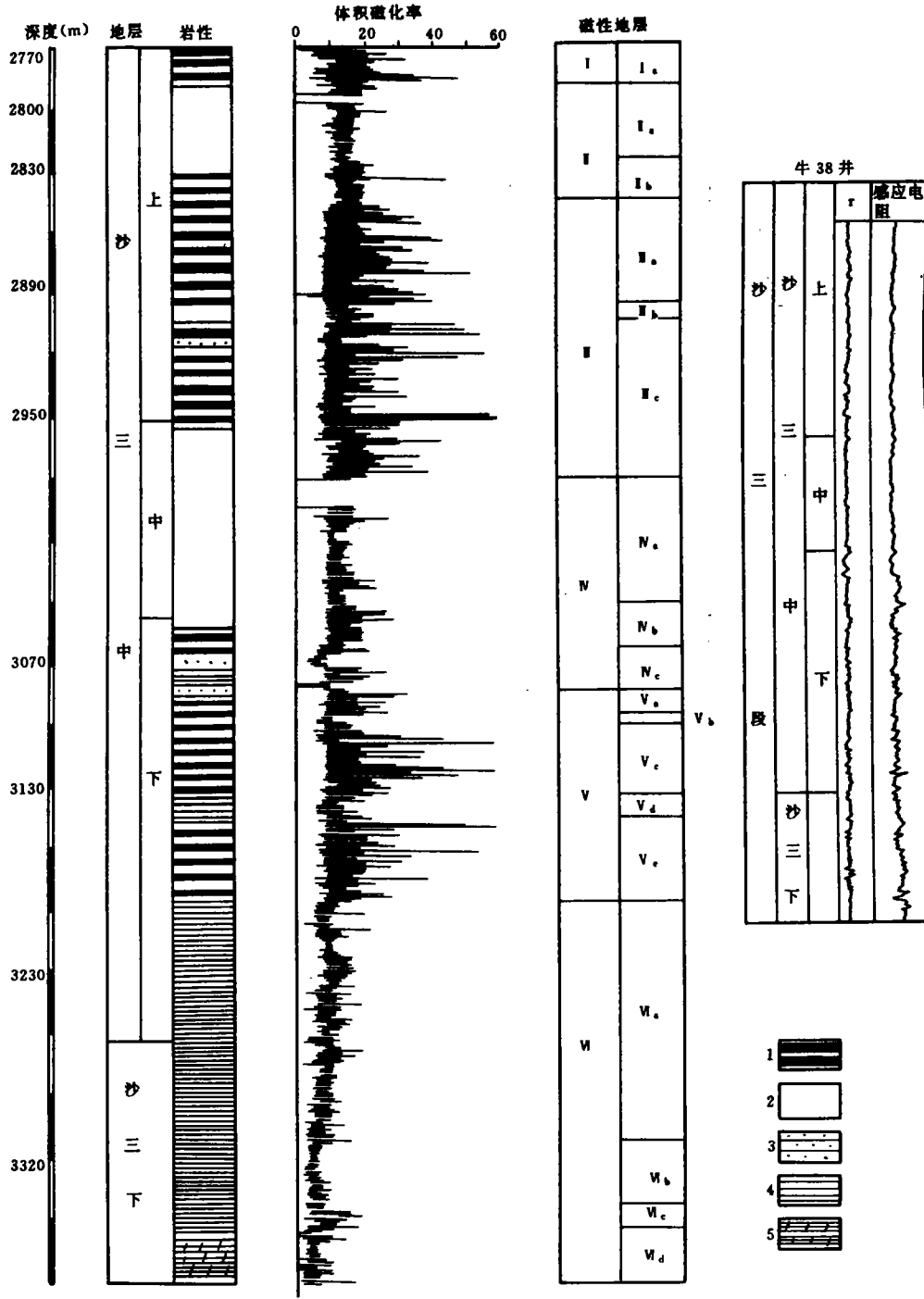
牛 38 井岩芯磁化率值测定结果请见图 1。从图中可以总结出以下几点特征:1)根据岩石磁化率值变化规律,大致可以分出六个磁性地段。其中 I、III、V 段以数值变化幅度大(磁化率值变化于 6—80 之间)、高值多(大于 20 的值占总数的 20%、14%、8%)为特征;II、IV、VI 段以变化幅度小(II、IV 段在 5—30、VI 段在 1—20 之间)、高值少(大于 20 的值分别为 5%、2.5%、和 0.1%)为特征。由此形成自上而下由高到低的三个周期变化;2)在某些磁性地层段内,还可根据磁化率值的细微变化,分出小的亚段;3)岩性与磁化率值关系密切,主要表现为红—红褐色泥岩磁化率值高,灰色泥岩、粉砂质泥岩及黑色页岩磁化率值低。细粒岩石的值比粗粒的高(表 1);4)与图 1 右方的 γ 曲线和感应电阻曲线对比,磁化率曲线反映的岩性变化是十分明显的。 γ 曲线基本上没有变化。而感应电阻曲线只是在沙三中下到沙三下段钙质含量增高时有所反映。

表 1 牛 38 井中岩性与磁化率值关系

Table 1 The relation between susceptibilities and lithological character in the Niu 38 core

岩 性		磁 化 率	
		>20 (102 个点)	<15 (40 个点)
颜 色	红	82%	—
	灰红	18%	—
	红灰	—	20%
	灰	—	80%
粒 径	泥岩	84%	44%
	粉砂质泥岩	16%	56%
	泥质粉砂岩	—	
	细砂岩	—	

重砂矿物定性分析表明,红色泥岩中以赤铁矿、褐铁矿为主,有极少量黄铁矿。灰色粉砂质泥岩中黄铁矿较红色泥岩中多,但仍有赤铁矿和褐铁矿。黑色页岩中以黄铁矿为主。



1. 红灰相间泥岩、粉砂质泥岩 2. 灰色泥岩、粉砂质泥岩、砂质混岩 3. 灰色砂岩 4. 灰黑—黑色钙质泥岩
5. 油页岩

(图中 γ 曲线和感应电阻曲线引自姚益民等,1989^①)

图1 牛38井磁化率曲线及岩性图

Fig. 1 Lithology and susceptibilities of Niu 38 core

① 姚益民等,1989,《牛庄油藏牛38井沙河街组三段中、下亚段地层划分、古环境、古地磁极性年代》,p5-6.

表 2 列出了不同岩性全铁、活化铁、全硫的分析值,并根据 Berner(1970)的方法计算了岩石的黄铁矿化指数(DOP):

$$DOP = \frac{Fe_{py}}{Fe_{py} + Fe_x}$$

其中: Fe_{py} 由全硫乘 0.871 得出,为黄铁矿中的铁。

Fe_x 为活化铁,由赤铁矿、针铁矿、磁铁矿等组成。

从分析结果看,红色泥岩、灰色粉砂质泥岩和黑色页岩的全铁含量与磁化率值的变化关系较为复杂,没有明显的线性关系。尤其是黑色页岩,尽管磁化率值低,但全铁含量却不是很低。说明全铁不是控制磁化率变化的主要因素。活化铁和全硫的含量与磁化率值的关系比较明确,除牛 38—No25 样品外,活化铁与磁化率值呈正相关,而全硫与磁化率值呈反相关,表明这两种成分是控制磁化率值变化的重要因素。按 Raiswell(1988)给出的 DOP 指数与沉积物界面以上的水体含氧状态关系:当 DOP 在 0—0.4 时,水体含氧,在 0.5—0.7 时,水体为少氧或无氧,但 H_2S 很少,当 $DOP > 0.7$ 时,水体中缺氧且含大量 H_2S 。相比之下,牛 38 井中红色泥岩和灰色粉砂质泥岩中低的硫及 DOP 指数,表明它们在形成过程中是处于有氧水体中的。黑色页岩中 DOP 指数和硫含量高,是在缺氧且有大量 H_2S 存在的水体中形成的。

表 2 牛 38 井样品全铁、活化铁和硫的分析结果

Table 2 The results of analyses of total iron, reactive iron and total sulfur of samples from Niu 38 core

样品号	深度 (m)	岩性	磁化率 $10^{-8}m^3kg^{-1}$	全铁* $Fe_2O_3\%$	活化铁* $Fe\%$	全硫 Δ $S\%$	DOP
牛 38—No1	2774.60	红色泥岩	14.46	8.37	2.63	0.051	0.02
牛 38—No2	2774.70	红色泥岩	11.11	3.90	0.64	0.034	0.04
牛 38—No25	2780.20	灰色粉砂质泥岩	5.01	1.93	0.30	0.19	0.35
牛 38—No52	2788.25	红褐色泥岩	15.90	4.65	0.71	0.58	0.42
牛 38—No62	2789.18	红褐色泥岩	13.69	5.07	0.63	0.37	0.34
牛 38—No95	3305.18	黑色页岩	3.56	3.56	0.25	1.26	0.81
牛 38—No121	3313.19	黑色页岩	2.60	2.83	0.22	1.22	0.83
牛 38—No138	3317.59	黑色页岩	7.17	5.24	0.35	1.14	0.74

* 中国科学院南京土壤研究所物化室;何群、邵宗臣、王维君

Δ 上海海洋地质调查局中心实验室;王维法、沈祖荣

3 讨 论

笔者从三个方面来考虑在第三纪泥、页岩地层中应用环境磁学的可能性:①磁性数据是否对泥、页岩有高的灵敏性;②磁性特征是否代表了沉积时的特点(即受成岩作用影响后,不应有大的变化);③磁性特征与沉积环境的关系如何。

与作为常规落井测试手段的伽玛曲线及感应电阻率曲线对比,磁化率曲线在不同的岩性及不同的地层中,变化是比较明显的,灵敏度显然高于前两者,而且能清晰的表现出岩芯整体的周期性变化。与姚益民等(1989)根据生物及其它参数划分的地质层有相似之处。从图 1 看,沙三中上与中及沙三中中与下的界线与磁性地层的相应界线(Ⅱ与Ⅳ及Ⅳ与Ⅴ)在位置上有些差异,但后者在界线间的变化是很明显的。而磁性曲线在沙三中下与沙三下之间无明显变化,岩性在这条界线上也没有明显反映,故从磁化率曲线看,影响岩石磁性的沉积环境在此界线附

近没有大的变化。

矿物学分析表明,被测定的岩石磁化率值主要由岩石中活化铁的含量决定。当岩石中黄铁矿含量高而活化铁含量低时,磁化率值会降低很多。活化铁主要是外来碎屑成因的,但也有部分是内生(以 FeOOH 形式出现的各种矿物)。在早期成岩过程中,活化铁的变化主要有两种形式:①当处于氧化水体环境时,由于底栖生物扰动的影响,沉积物界面以下几十公分内细菌对硫的还原作用不能很充分的进行,因此只形成极少量的黄铁矿,而多数活化铁被保存下来。虽然针铁矿、纤铁矿等可能向赤铁矿转化,但它们对岩石磁化率值的贡献是相似的(Oldfield等,1986);②当处于还原水体时, H_2S 在水体和沉积物中大量生成,并和活化铁反应形成黄铁矿。黄铁矿是顺磁性矿物,对岩石磁化率的贡献远远小于活化铁。因此,由于活化铁向黄铁矿的转化使岩石中的磁化率值降低很多。在这两种过程中保存下来的活化铁和黄铁矿及其相对含量,在晚期成岩过程中的变化是很小的(Raiswell et al., 1988)。因此,可以认为目前测的第三纪湖相沉积物的磁化率值的变化,是由于早期成岩作用造成的而这种作用与沉积环境的关系密切。

从DOP指数与磁化率值的关系看,两者基本上是呈反相关的。总的来说,红色泥岩磁化率高,DOP值低,而黑色页岩磁化率低,DOP值高。灰色粉砂质泥岩磁化率较低,但DOP仍处于有氧水体范围内。从岩性上看,这类岩石粒径较红色泥岩要粗些,无虫穴构造,属邓宏文等(1990)^[1]划分的流控泥岩,堆积速度较快,物源可能来自边坡沉积物再搬运。这种再搬运降低了此类岩石中活化铁的含量,是磁化率降低的主要原因。而引起沉积物再搬运的动力—洪水或其它不稳定因素(如风暴等)会引起湖底含氧状态的变化,有氧水体进入湖底,阻止了铁的硫化物的形成,故灰色粉砂质泥岩的DOP值较低。由此可以认为牛38井中泥、页岩的磁化率值变化与沉积环境是有密切关系的。通常高的磁化率值反映沉积物形成于有氧环境,而低的磁化率值则常与缺氧环境有关。沉积速率也会影响沉积物的磁化率值。据此,可以将图1中的磁化率曲线变化特征解释为从下部(VI段)的深水相缓慢缺氧沉积发展成V段以上的深水相快速堆积,其中夹有有氧缓慢沉积(I、II、IV段),而这种缓慢有氧沉积(红色泥岩段,虫孔发育)可能与湖平面下降,气候相对干旱有关。

综合上面的分析,笔者认为将环境磁学的方法应用于泥、页岩分析的可能性是存在的。本文只对牛38井的岩芯进行了研究,对泥、页岩沉积环境与磁化率的关系的了解是有限的。可以预见,如果能够在岩石磁化成因方面做更多的工作,建立起完整的泥、页岩磁化率值变化规律,那么在应用环境磁学方法对老地层中泥、页岩的地层划分对比、环境变化周期及湖水化学特征等方面的研究是很有前途的。

本文在撰写过程中,得到了华东师范大学俞立中副教授和山东胜利油田钻井公司李云新、司志华、刘青春、丁莲花、陈嘉树等同志的大力支持,在此一并致谢!

参 考 文 献

- [1]邓宏文、钱凯,1990,深湖相泥岩的成因类型和组合演化,沉积学报,(8),1—18。
- [2]何群、陈家坊,1985,土壤胶体中氧化物矿物的化学区分,《土壤胶体》,熊毅等编,241—303,北京:科学出版社。
- [3]Kukla, G., Heller, F., Liu, X. M., Xu, T. C., Liu, T. S., and An, Z. S., 1988, Pleistocene climates in China dated by magnetic susceptibility, *Geology*, V. 16, p. 811—914.
- [4]Maher, B. A., and Thompson, R., 1991, Mineral magnetic record of the Chinese loess and paleosols, *Geology*, V. 19, p. 3—6.
- [5]Raiswell, R., Buckley, F., Berner, R. A., and Anderson, T. F., 1988, Degree of pyritization of iron as a paleo—envi-

ronmental indicator of bottom-water oxygenation. *J. Sediment. Petrol.*, V. 58, p. 812-819.

[6] Tarduno, J. A., Mayer, L. A., Musgrave, R., and Shipboard Scientific Party, 1991, 11. High-resolution, whole-core magnetic susceptibility data from leg 130, Ontong Java Plateau. In Kroenke, L. W., Berger, W. H., Janecek, T. R., et al., *Proc. ODP, Init. Repts.*, V. 130, p. 541-548.

[7] Oldfield, F., and Thompson, R., 1986, *Environmental Magnetism*. George Allen & Unwin, London.

[8] Yu, L. Z., Oldfield, F., Wu, Y. S., Zhang, S. F., and Xiao, J. Y., 1990, Paleoenvironmental implication of magnetic measurements on sediment core from Kunming Basin, Southwest China, *Journal of Paleolimnology*, V. 3, p. 95-111.

The Magnetic Properties of Lake Sediments from Dongying Depression and Their Relation to the Change of Environment

¹*Shu Xiaoxin* ¹*Liu Zhiwei* ¹*Wang Huizhong*
²*Liu Chuanlian* ²*Chen Dongjing* and ²*Hong Taiyuan*

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

(2. Drilling Company of Shengli Oilfield, Dongying 257000)

Abstract

There are lot of Tertiary lake sediments along the east part of China. Many of them are composed of muds and shales and have high oil-bearing potentialities. To understand the genesis of those sediments, a new magnetic method drawn from environmental magnetism has been introduced. Also, feasibility in applying it to research Tertiary lake sediments has been evaluated. We chose the Niu 38 core composed of red and grey muds and black shales from Dongying Depression as research material. Susceptibility (Sus.) of those rocks has been measured. Heavy mineral analysis and total iron, reactive iron and total sulfur analyses of the controlling samples have been done to explain the causes of the Sus. properties in those sediments.

From the profile of Sus., we can get three interesting facts: the first is that sediments with different colors, sizes have their own special Sus.; the second is that the change rythem of the Sus. is very clear and it can be divided into three main cycles from the bottom to the top; the third is that the Sus. profile is more sensible to the change of muds and shales than resistivity logs.

Heavy mineral analysis shows that red muds with high Sus. are composed chiefly of haematites; grey muds with low Sus. contains less haematites and a bit of pyrites; black shale with low Sus. mainly pyrites. DOP index suggests that the red muds formed under oxygen water and black shell in euxinic environment. Maeanwhile the grey muds form in a condition of high rate of sedimentation. So we can conclude that the shift of reactive iron to pyrites in the sediments under different redox conditions is the main controlling factor of change of Sus.. Then the link between the change of Sus. in Tertiary sediments and their environmental significance can be set up. It is possible for us to predict sedimentary conditions through analyses of Sus. logs.

Key words: susceptibility reactive iron environmental pyrite