

鄂尔多斯盆地 沉积岩磁化率特征与油气的关系

卢伟 彭作林 黄华芳

(中国科学院兰州地质研究所)

提要 鄂尔多斯盆地古生界、中生界暗色沉积岩系的磁化率较大,这与有机质作用下,次生磁性矿物的形成有关;通过岩石磁化率各向异性分析,恢复了盆地主力生油层上三叠统沉积时的古水流向;利用磁化率各向异性椭球体形态的变化特征讨论了盆地区域及时代上构造应力的相对强度,并运用构造动力对油气影响的有关理论,分析了油气生、储的相关条件。

关键词 磁化率 磁各向异性

第一作者简介 卢伟 男 35岁 助理研究员 古地磁学 构造地质学

一、盆地沉积岩系磁化率特征

充分认识鄂尔多斯盆地沉积岩系的磁化率特征,不但为解释和分析盆地磁异常提供详尽的磁地质体背景,而且能为油气勘探提供新的途径和方法。

沉积岩的次生磁性,特别是暗色岩系的次生磁性可能与有机质活动有关,因而已引起人们的重视。一般认为,有机质在转化为烃类时,同时形成一些氢的硫化物,增强了局部的还原环境,使周围地质环境中的三价铁被还原为二价铁,从而次生了诸如磁铁矿、磁黄铁矿等磁质体。例如,美国俄克拉荷马大学的学者们对北美油田条带状灰岩所做的磁性矿物学研究,就在暗色条带灰岩及其裂隙中溢出的沥青脉中发现了较高含量的这类次生的磁性矿物。他们甚至根据沥青脉样品的古地磁测试及对比分析,推断出了该沥青脉的大致形成时代,为油气的生成或运移提供了直接的时代依据。

鄂尔多斯盆地沉积岩的磁性矿物是以三价铁类还是以二价铁类为主,这对认识其磁性的次生性是非常重要的。

三价铁的自然磁性矿物以赤铁矿为最常见。针对盆地周缘出露和盆内钻遇的不同时代若干红层的样品分析,除个别层段外,一般其磁化率并不大,剩磁强度亦不高(测试仪器选用了改进的国产WCL-1型磁化率仪及美国DSM-1型数字旋转磁力仪)。震旦系—寒武系紫红色变质岩, K (磁化率) $\approx 10^{-6}$ (苏峪口); 下二叠统红色砂岩, $K < 10^{-6}$ (甘肃平凉、山西离石); 上二叠统红色砂岩, $K \approx 10^{-6}$ (山西吴堡、军渡口等地)、紫褐色砂岩 $K \approx 10^{-6}$ (龙二井); 三叠系红色、浅红色砂岩, 分别为 $K < 10^{-5}$ (石沟驿煤矿、吴堡) 和 $K < 10^{-6}$ (永参一井、平凉); 上侏罗统红色砂岩, $K \approx 10^{-6}$ (汝淇沟); 下白垩统 $K \approx 10^{-6}$ (太白、直

罗镇等地)。这些红层的磁化率比暗色岩系普遍低一到两个数量级 (图 1)。

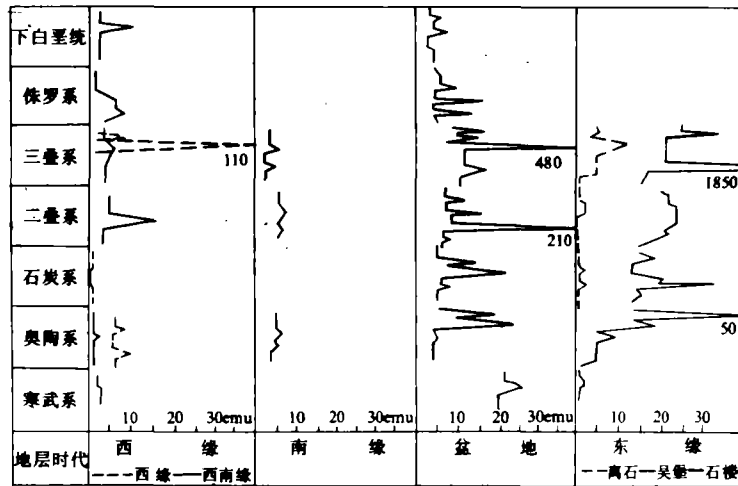


图 1 鄂尔多斯盆地沉积岩系磁化率强度特征曲线

Fig. 1 The suceptibility intensity curve of the sedimentary rocks in Erdos Basin.

对暗色沉积岩系近 300 个样品热退磁实验表明 (测试选用美国 TSD-1 型热退磁仪, 退磁温度间隔为 25—50℃), 在 450℃ 以下, 样品剩磁出现迅速衰减 (图 2)。

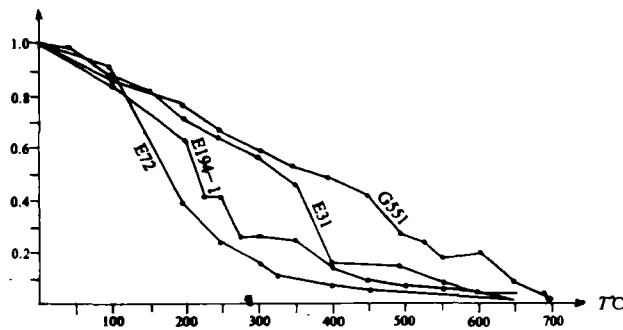


图 2 沉积岩热退磁代表性曲线

Fig. 2 The representative curves of the thermal demagnetization of sedimentary rocks in Erdos Basin.

二价铁常见的自然磁性矿物为磁铁矿、磁黄铁矿、钛磁铁矿等, 它们的居里点温度均低于 550℃。在这一温度之下出现岩石剩磁迅速衰减, 说明磁性矿物大多为上述类型的。

赤铁矿 (无论 γ 或 α 型) 的居里点温度均高于 550℃, 在 670—720℃ 之间, 但在退磁温度升达这一阶段之前, 大部分剩磁已被清洗。由此可见, 现今观测到的鄂尔多斯盆地沉积岩系之磁性载体大多为二价铁类的磁性矿物。

前已提及, 盆地沉积岩系尤以暗色层系之磁化率普遍较强, 如图 1 显示的几个峰值层段中下奥陶统的暗色灰岩, 磁化率 (K) 平均在 $20\text{—}30 \times 10^{-6}$, 最高达 50×10^{-6} 。上石炭统煤

系地层与之类似；上三叠统为最高，其磁化率竟达 $480 \times 10^{-6} \times 10^{-6}$ 。其它如寒武系、二叠系、上侏罗统及白垩系等浅色、杂色沉积岩系，磁化率普遍较之低是一个明显的特征。

还应注意到，即使是在暗色岩系内，磁化率的大小也并非划一，其中以富含有机质者平均值更大些。

笔者曾观测到另一种磁化率较强的现象。如色1井岩心二叠系灰白色砂岩段，似曾为油气通道或储集层（油浸迹浓重），其磁化率比上下未经油浸的层段要高一个数量级。类似的现象在剖14井上侏罗统的长石石英砂岩内亦见到。

另外，二叠系的红层在盆地内及周缘露头采集到的样品磁化率并不高，但在盆内麒参1井钻遇的二叠系红层局部地段却高出两个数量级。

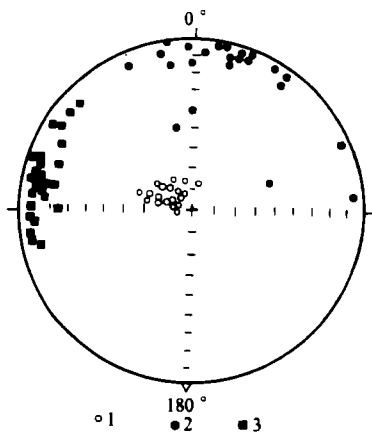
综上所述，可以认为鄂尔多斯盆地的沉积层系之磁性，特别是富含有机质层段，其磁性具相当成分的次生性。这种次生性可能与有机质的转化或烃类物质的活动有密切关系。如在盆地油气勘探中，进一步展开详尽的次生磁异常的研究工作，可望能找到油气生成、运移或富集的某些规律。

二、晚三叠世盆地古水流向

上三叠统是盆地主力生油层，研究其沉积时的古水流条件的意义是无需赘述的。

把沉积岩磁化率各向异性特征与沉积水动力条件建立起联系的研究工作，自50年代至今，经 Graner, Rees 和 Hamilton 等许多学者在前人工作的基础上不断地发展，不仅已从沉积岩原生磁化率各向异性组构中判断出古水流向，还能就古沉积环境做多方面的探讨。

岩石磁化率在其自身空间的不同方位，大小不一即为磁化率各向异性。本文对岩样进行了18个不同方位的磁化率测量，将所得数据进行矢量换算及坐标转换，求出三个相互垂直方向上的主合矢量。



1.最小主轴磁化率 2.中间主轴磁化率
3.最大主轴磁化率

图3 洞穴沉积物的磁化率主轴分布图
(据 Noel M.1986)

Fig. 3 Directions of the principal axes of susceptibility in sediments from a cavern.

图3是 Noel M. (1986) 从英国某地山顶洞穴沉积物中获取的原生沉积磁化率各向异性组构。这被认为是一种典型的原生性组构。它的特点是数十个岩样经测量所得的三个主轴磁化率的方向分别相对集中，最大主磁化率 (K_{max}) 和最小主磁化率 (K_{min}) 的倾角甚小，近于平行层面，中间主磁化率 (K_{int}) 倾角较大，近于垂直层面，且位于投影圆中心。

Rees、Hamilton、Galehou 等均认为，若 K_{max} / K_{int} 大于 K_{int} / K_{min} ，则表示磁线理明显，组构原生性强。磁线理与 K_{max} 方向一致，最终可用等面积法求出古水流向（表1）。

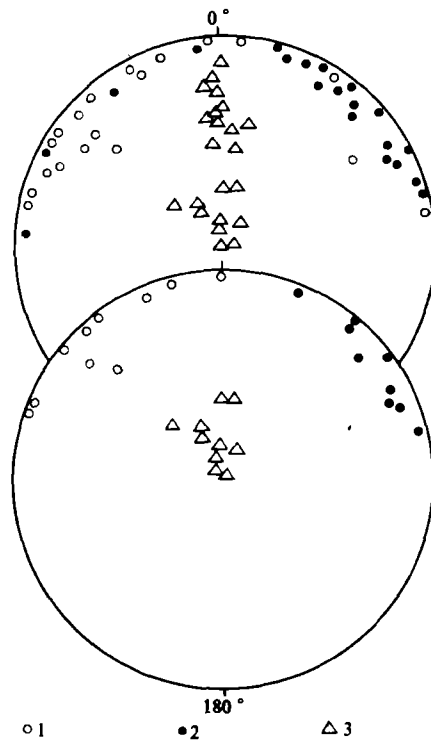
虽然沉积岩的原生磁化率组构在后期构造

应力或诸如前面谈及的有机质等的影响下, 可能会被改造或次生叠加。但运用一定的方法对样品进行筛选, 是可以得到沉积原生磁各向异性组构的。

表 1 鄂尔多斯盆地晚三叠世古水流向参数表

Table 1 The parameters of directions of palaeocurrent in Late Triassic, Erdos Basin.

汝其沟	城 22 井	镇川 1 井	王家山	塞 8 井	大宁	英旺西
172°	64°	75°	75°	58°	273°	46°
任四井	阳 17 井	麒参 1 井	绥一吴	芦参 1 井	宜川东	
52°	356°	61°	38°	342°	96°	
庆深 2 井	剖 14 井	马蹄沟	塞 90	安深 1 井	宜一英	
152°	324°	53°	302°	142°	48°	



1.最大主轴磁化率 2.中间主轴磁化率 3.最小主轴磁化率

图 4. A 剖十四井岩心主轴磁化率分布图 B 剖十四井岩心 (沉积原生) 主轴磁化率分布图

Fig. 4 A Directions of the principal axes of susceptibility B Directions of the (sedimentary original) principal axes of susceptibility (in drill cores from Pou 14 well.)

图 4A 是对剖 14 井上三叠统样品 (PS7—PS42) 测量后得到的磁各向异性组构。易见该组构与图 3 所示组构具相似之处, K_{max} 和 K_{int} 的倾角均较小, 投影在赤平大圆的圆周部位。 K_{min} 倾角较大, 与层面近于垂直, 但就 K_{min} 的分布亦可明显看出, 它呈现出两个集中区, 一位于圆心, 另一偏离圆心。该组构原生性如何, 笔者采用了各向异性椭球体形态分析。这类分析是据三个相互垂直的主轴磁化率间数值的大小比例关系, 将其构成的磁椭球体简单地划分为两类端元形态。当磁线理发育 (K_{max} 数值相对较大), 椭球体形态为长轴状, 表明磁椭球未经或微经应力等改造; 当磁面理发育 (K_{min} 数值相对较大), 其形态趋于扁平, 表明其经历了较强的应力改造。

图 5 是对图 4 原生性分析结果。椭球体形态参数 K_m 的关系表达式为:

$$K_m = S / Y + Y / Z - 1$$

其中: $X = 1 / K_{max}$, $Y = 1 / K_{int}$, $Z = 1 / K_{min}$

显然, 当 $K_m > 1$ 时, 磁线理明显, 磁椭球体为沉积压实 (或压缩) 阶段的长轴状; $K_m < 1$ 时, 其处于应力作用压扁状, 磁面理明显。

从图 5 可见, 一部分样品的 K_m 值已落入压扁的区域内, 很显然这一组构是被改造了的。如分离除去这些各向异性成分 (除去图 4A 中偏离投影圆中心的 K_{min} 及相应的 K_{max} 和 K_{int} 成份), 得到的是图 4B 的组构。其特征明显具原生性。

据上述原理, 按采样点的位置, 编制了上三叠统沉积时的古水流图 (图 6)。上三叠统为一套湖相沉积, 图 6 显示湖水总的流势是由东向西, 当时的湖盆已呈现东高西低的倾斜状。在盆地中部具一较大汇水区及西部南北向并列存在两个规模较小的汇水洼地。

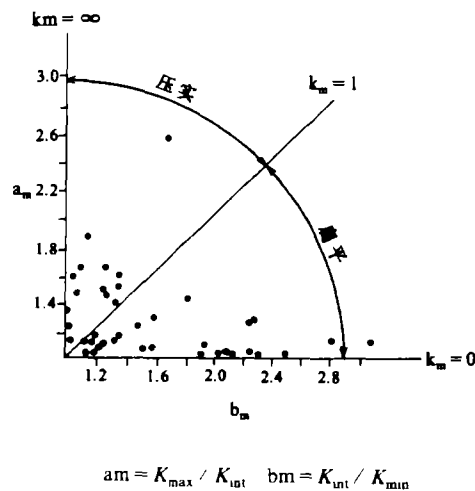


图 5 剖 14 井 T_{3Y} 岩心磁化率椭球形态投影图

Fig. 5 Plots for shapes of susceptibility ellipsoids in drill cores from Pou 14 well.

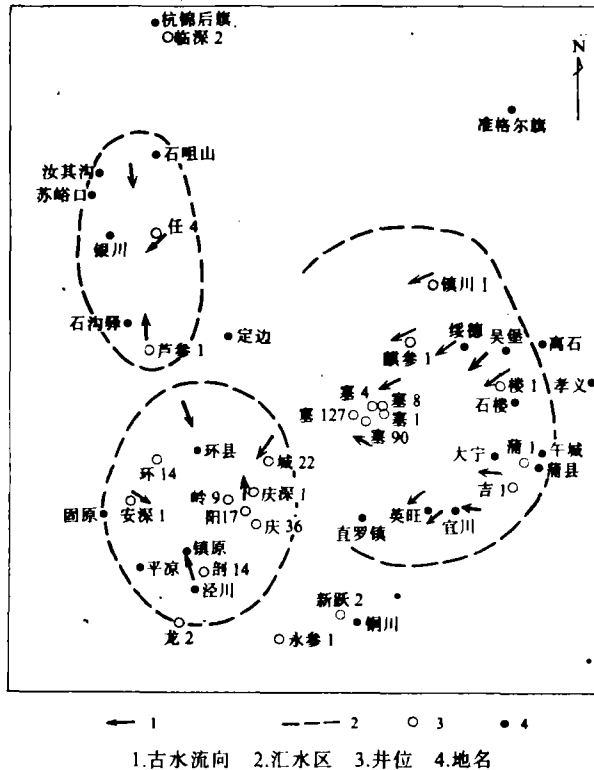


图 6 鄂尔多斯盆地晚三叠世古水流向图

Fig. 6 Directions of paleocurrents in the Later Triassic in Erdos Basin.

三、 古生代、中生代盆地构造应力相对强度特征

近几年来，苏联一些学者，如 Г.И.Атурский, Н.Н.Соловьев 等，在详尽研究了苏联若干沉积盆地后，认为构造动力与油气生成条件有直接的关系。

煤与石油的生成有着相似的有机质转化亲缘关系。通常认为，煤的深成作用主要是受大地热流（地温）及埋藏深度控制。但苏联等国学者们的研究表明，深部热流并不是含煤地层在构造形变同期及后期发生深成作用的主导因素。在一些盆地中，除了见到由地温、埋深因素形成的有机质（或煤）的转化呈近似垂直的成岩带外，还突出见到在水平挤压方向上，有机质转化程度出现近似水平的分带性。如褐煤在区域上形成以线状分带性为特征的广泛煤牌号分段，即使是同时代、同深度的煤在相邻两个构造历史不同的盆地，煤的深成作用级别也不同（如苏联特克瓦切克煤田与阿尔齐赫、特基布尔、沙奥等煤田的对比）。

现代油气地质理论认为，形成油气田的充分必要条件之一是有机质转化为烃类过程的时间问题。当生烃系统能量供给速度不高时，上述转化过程就进行得很慢，转化速度低于烃类的自然散失速度。从理论及实验机理上讲，构造动力为有机质转化提供了内生热能的补充。从而加大其转化速度或缩短其转化时间。因此，烃类聚集的主要阶段与构造动力（活跃）加速油气形成阶段是一致的。正如沙洛夫也夫（1989）指出，动力作用同样是地壳中有机质转化为烃类的重要因素之一。

基于上述理论，本文利用盆地古生代、中生界沉积岩磁化率各向异性特征，分析和讨论了盆地区域上及时代上构造动力（应力）的强弱，以及对油气生成等条件的影响。

Grevus、Oldshow (1967) 曾经指出，磁性组构是非常敏感的变形作用标志。一些构造形迹不甚明显的应力应变，在磁组构中却能反映出来。这是因为磁化率椭球体与应力应变椭球体具有对应关系。

当岩石遭受一定程度的构造应力作用后，其磁化率椭球体则趋向于扁平。 K_m 越大，它的形态就越扁平，反映构造应力作用强度也越大。据此原理，通过对盆地古生界、中生界近千个沉积岩样（主要为二叠系、三叠系）磁化率各向异性测量及其椭球体形态分析，探讨了奥陶纪以来构造应力相对强度在区域及时代上的演化特征。

图 7 是自二叠纪末、早中三叠世末和晚三叠世末期以来构造应力强度在盆地区域东西向的相对变化曲线。

盆地东部（如午城地区）二叠纪末以来的构造应力（主要指水平挤压）的相对强度不是很大， K_m 值为 0.7 左右（曲线 A）。这一地区上二叠统沉积岩所做的磁椭球体形态分析（图 8）表明有相当一部分椭球体形态还处于沉积压实的区域内，原生性很强，所以说明该地区构造水平挤压活动较弱。演化曲线 A 由东向西经缓慢上升，再经平缓达西缘时出现陡然转变上升，至平凉达最高， K_m 值近 0.1 左右。对平凉地区岩样做的椭球体形态分析表明（图 8），其形态全部落入应力压扁区，且投影点远离坐标原点并贴近 $K_m = 0$ 的极限边界。说明椭球体经过强烈的应力作用而发生很大变形。换言之，该区曾经历了强烈的构造水平挤压运动。

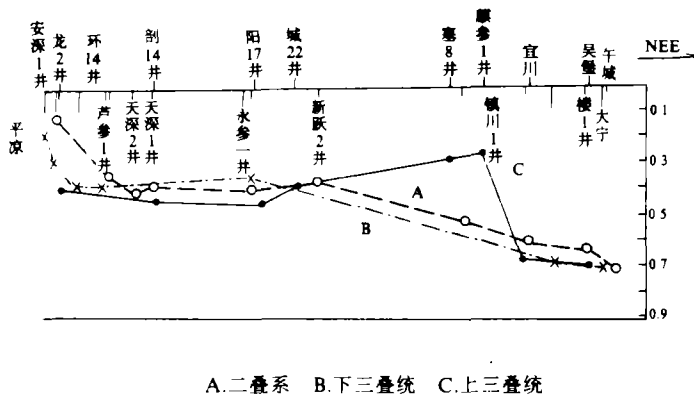
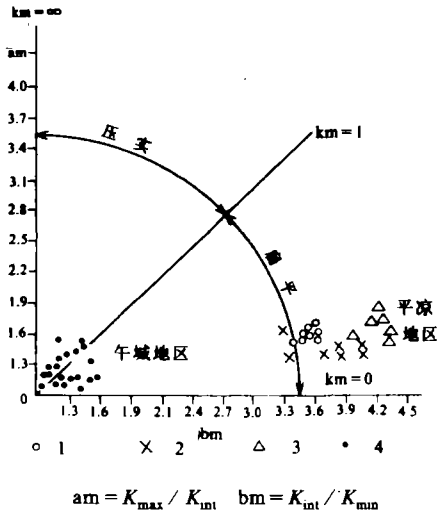


图 7 盆地东西向水平挤压构造相对强度曲线（据岩石磁各向异性）

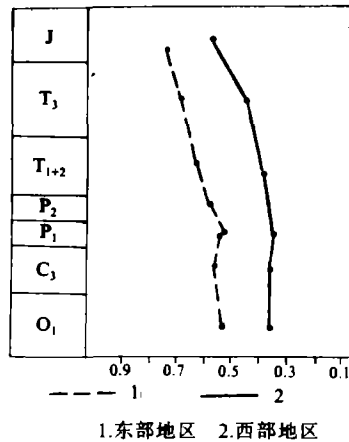
Fig. 7 Curves of the relative tectonic intensity in levelpress on E-W in Eerdos Basin. (based on susceptibility anisotropy of rocks)

对比曲线 A 与 B，二者间的相似性是突出的，暗示了二叠系与中下三叠统所受应力作用径迹甚接近。但将其与曲线 C 比较又出现明显的差异。曲线 C 显示的应力强度特征或作用径迹仅表明晚三叠世末以来的内容，而曲线 A、B 包含的既有晚三叠世末，也有其以前的内容，所以其间的差异恰说明中三叠末期的构造运动及其应力表现。



1.中下三叠统 2.上二叠统 3.奥陶系 4.上二叠统
图 8 平凉、午城地区岩石磁化率椭球体形态投影图

Fig. 8 Plots for shapes of susceptibility ellipsoids in rocks from Pingliang and Wucheng.



1.东部地区 2.西部地区
图 9 盆地奥陶—侏罗纪构造相对强度演化曲线 (据岩石磁各向异性)

Fig. 9 Evolutional curves of the relative tectonic intensity from Ordovician to Jurassic in Erdos Basin.

从逻辑上讲,越老的岩石经历的构造运动越多,累积的应变强度越大。从图 7 可见,西部地区自奥陶纪以来,应力强度的变化基本保持在同一水平,直至中三叠世之后才出现明显的减弱。由此可见,中三叠世末的印支运动是西部地区自古生代以来最为强烈的一次构造挤压运动。具体表现为西缘逆冲带的鼎盛发展,盆地出现明显地第一次收缩。

对应来看,东部地区从奥陶纪至二叠纪末,构造挤压始终比西部低近二个强度数量级(图 9),三叠纪趋于更弱。

鄂尔多斯盆地油气源岩,上为下侏罗统、上三叠统(主要为油源),下为上石炭统煤系地层及下奥陶统的暗色灰岩系(主要为气源)。直至中下三叠统所经历的印支运动无疑对古生界油气源起到重要的作用。尤其是盆地西部地区。在评价油气生成的门限时,除了应考虑到古地温条件及源岩的埋藏深度外,还应重视构造水平挤压的应力条件。据以上应力相对强度曲线,按照对角线模式(有机质垂直的地热和埋深转化梯度带与动力近水平作用转化梯度带对角线相交的位置为有机质转化活跃地段)。西部地区在同样古地温、埋深条件下,生油气岩有机质转化的深成作用比东部大,在寻找古生界气源时,西部不如东部。尽管西部生油气门限较低,但西部所受应力始终较东部强近 2 个数量级。这可能会使得该区源岩早熟,但保存条件不如东部。另外,从奥陶纪至中三叠末的应力强度演化来看,中三叠末可能是西缘逆冲带突出发展阶段,从时代上来看,逆冲带的下部应压伏有古生代的油气源岩。从这点来看,西部也具有寻找古生界气藏的有利条件。

东部地区由图 8, 9 分析,古生代至三叠纪受到的构造应力始终相对较弱,对古生界气源来说,其一,较弱的应力环境,使其长期处于弱演化阶段,延缓了源岩的转化时期,不至

使烃类过早散失。其二,相对稳定的构造环境,大大降低了封盖条件的破坏程度,使烃类得以较好保存。

盆地内部,晚三叠世以来的应力强度似乎与以前相反,图8显示盆内东部的应力强度反而相对较高。为什么这一现象在图8与图9中对更老的岩石分析却没见过呢?笔者对盆内几十口井的钻井岩心产状观测,发现许多地区古生界地层倾角反而比其上覆层更平缓。这种现象可能是盆地腹体下降,盆地收缩过程中表层挤压造成的。实际上,在我国西部柴达木、准噶尔等后期转为挤压性的盆地中,表层挤压褶皱的现象并不鲜见。那么鄂尔多斯中生代后期以来盆内部出现挤压应力较强的特点具体为何时开始?从午城地区中上侏罗统的磁椭球体中也有形变较强的特征来看,起码可以说,东部较西部应力较强的时代至少在白垩或第三纪。遗憾的是没能对时代更新的岩样做分析。可以认为盆地内部,对于同样埋深条件而言,东部中生代油源生油门限要低,迄今,就 R^0 指数所反映的油源成熟度,东部确比西部高。一定程度上讲,东部应力转高阶段,也许是促进东部古生代气源岩转化的时期,并形成工业性气流。

把岩石磁化率特征的研究与油气地质建立起联系的工作国内目前还少见,笔者对此做了初步的尝试,不完善及谬误之处在所难免。请读者不拘指正。

本项研究得到长庆石油管理局有关同志的帮助,在此致谢。

收稿日期:1990年5月3日

参 考 文 献

- (1) Elmore R. D., Engel M. H. et. al., 1987, Nature, V.325, No.29, p.428—430.
- (2) Hamilton N and Rees A. I., 1970. The use of magnetic fabric in palaeocurrent estimation palaeogeophysics. Published by Academic Press (London) Ltd.
- (3) Noel M., Geophys J. R., 1986, Astr. Soc V 84, p.445—454.
- (4) Атурский, Г.И. Соловьев Н.Н.等, 高明杰, 黄开敬译, 四川石油普查, 1989专辑, 总第29期, 89—95页。
- (5) Соловьев Н.Н.等, 郑章治译, 四川石油普查, 96—101页。

The Magnetic Susceptibilities of Sedimentary Rocks and Its Relation with Oil and Gas in Ordos Basin

Lu Wei Peng Zuolin Huang Huafang

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

The data from several hundreds measured samples of Palaeozoic–Mesozoic sedimentary rocks shows that the magnetic susceptibility of samples of the dark rock systems is higher than that of the lightcolor rock systems and redbeds in Ordos Basin. For example, the dark limestones of the lower Ordovician, the coal-bearing formation of the upper Carboniferous as well as the dark–grey sandstones of the upper Triassic and the susceptibility of samples and the applying of the directions of magnetic linears in original susceptibility fabrics, the directions of the palaeocurrents and the confluences regions are showed in the Late Triassic Period when the main oil source beds were deposited.

By the parameter (K_m) of patternal changes of the anisotropic susceptibility ellipsoids, the relatively strength of the tectonic stress (horizontal tectonic press) is discussed in basinal scale. According to the theory of the influence of tectonic stress on the forming of oil and gas, it suggests that the eastern Ordos has a good condition of preserving the Palaeozoic oil and gas because the region had undergone weaker tectonic stress from the Late Palaeozoic to the Late Triassic Period; while lower Jurassic is 1–2 number grade higher than that of other rock systems. Even within dark rock systems the susceptibilities of samples from the organic rich rocks is higher than those of organic poor ones, and within lightcolor rock systems the data from oil-bearing rocks is also higher than those from other rocks. These phenomena imply that there may exist some relation between the high susceptibilities and organic matter.

The results of thermal damage show that most of remanence of the rock samples is removed prior to 450°C, which indicates that the magnetic minerals in rocks might be mainly the type of Fe^{2+} .

By measuring and analysing of the anisotropic magnetic the western Ordos might have unfavourable condition because the region had undergone stronger tectonic stress in the end of the Triassic, which made the Palaeozoic oil and gas region matured early but not easy to be preserved. Since the Jurassic Period, stronger tectonic stress led to the maturation of oil and gas source rock (Palaeozoic–Mesozoic) of eastern Ordos and made the preservative ability better.