

南泥湾油田钻井岩芯古地磁学初步研究*

杨斌谊¹, 吴汉宁¹, 李学森², 吕建军³

(1. 西北大学地质系, 陕西西安 710069; 2. 胜利石油管理局物探研究院, 山东东营 257000;

3. 中国海洋石油研究中心勘探研究院, 河北高碑店 074010)

摘要: 热退磁处理可有效分离次生粘滞剩磁(低温分量)和原生剩磁(高温分量)。粘滞剩磁方向应与现今磁场方向一致; 原生剩磁方向应与岩石沉积时的磁场方向一致。利用这一原理, 通过矢量合成可确定钻井岩芯的原始方位。由于磁性矿物受当时磁场作用往往呈定向排列, 导致岩石磁化率各向异性, 反映了岩石的磁组构特征。磁组构主要表现了岩石沉积组构, 因此, 可通过磁组构研究岩石沉积的环境信息, 确立古水流方向和砂体展布方向。南泥湾油田近期所钻探井中岩芯的古地磁定向和磁组构研究结果表明, 该区储层砂体的展布方向即水流方向为近 EW 向。

关键词: 粘滞剩磁; 原生剩磁; 磁组构; 矢量合成; 砂体展布; 南泥湾油田

第一作者简介: 杨斌谊, 男, 38 岁, 博士生, 盆地分析及古地磁学

中图分类号: P631.2 **文献标识码:** A

1 样品采集及加工

本次采样于南泥湾油田近期所钻的探井岩芯中进行, 其层位主要集中于长₆¹ 中部, 岩性主要为一套暗色泥岩夹浅灰色粉细砂岩, 深度约 500~600 m, 为退水后水下分流河道和河道间泥质沉积序列。所采样品的岩性主要为细粒、中细粒砂岩。选取了位于西区的岳屯区、松树林及刘台区的 7 口井(G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7)。这些井在空间上具有一定的分散性和连续性, 适合本次研究的目的。

将岩芯手标本样品加工成 2cm × 2cm × 2cm 规格的适于仪器测量的样品, 切割时, 同一块岩芯标本的所有样品均在横截面顶面划上统一标志线, 确切标好每块样品的相对位置及标志线方向。为避免随机误差、人为误差, 每块岩芯加工样品 4~20 块, 共加工岩芯样品 74 块。

对所采部分样品使用 MTT 热退磁仪进行了热退磁处理。为达到分离低温分量, 在低温阶段退磁间隔设定为 20~30℃, 在 150℃ 以上改为间隔 50℃, 到最后又适当加多温度段的设定。剩磁强度的测量使用了 2G 三轴低温超导磁力仪, 其测试灵

敏度为 1×10^{-8} SI, 实验精度足以满足测试需要。磁组构样品测试使用了捷克生产的卡帕桥 KLY-3S 新型磁化率仪, 样品的重复测量效果良好。

2 原始方位恢复

2.1 原理

古地磁学通常用如下原理来准确地恢复钻井岩芯的原始方位^[1,2]: 岩芯的粘滞剩磁分量方向与现代地磁场方向从统计意义上来说是一致的; 岩芯的高温剩磁分量方向与岩石形成时地磁场方向是一致的。通过提取与分离次生的粘滞剩磁分量(低温分量)与原生的沉积剩磁分量(高温分量)的方法即可获得钻井岩芯原始方位。

粘滞剩磁主要形成于沉积剩磁之后, 是长期地质历史时期中于较低的温度阶段(通常小于 150℃)获得的剩磁, 其稳定性较差, 故可在低温阶段退去; 沉积剩磁则是在沉积与成岩作用过程中形成的, 比较稳定, 它准确的记录了岩石形成时期当地的地磁场方向, 在高温阶段方可退去。故通过逐步退磁实验可分别获得两组剩磁分量组平均方向。

2.2 方法

为满足矢量合成的需要, 选择合适的逐步热退磁温度设定, 加密加多低温阶段的测量, 让次生粘滞剩磁分量逐步分离出来。本次退磁温度设定为 NRM, 50℃, 80℃, 100℃, 120℃, 150℃, 200℃,

* 国家自然科学基金资助项目(编号: 49525406)

收稿日期: 2002-04-23

250 ℃, 300 ℃, 400 ℃, 450 ℃, 500 ℃, 550 ℃, 565 ℃, 580 ℃, 620 ℃。

严格选取低温温度段的剩磁分量是正确分离次生粘滞剩磁的前提。因所采样品均为 500~600 m 深度, 其温度一般比较低(远小于 150 ℃), 在长期微弱的地磁场的作用下, 易获得粘滞剩磁, 故选取了 NRM~150 ℃ 的温度段作为低温分量拟合对象, 通过逐步的矢量合成分离出各点的剩磁低温分量, 将其方向投影到 Zijdeveld 矢量图上, 采用 Kirschvink 主分量分析法找出几个主分量进行线性拟合即可获得低温分量。然后对同一个采点内的所有样品的低温分量进行标准的 Fisher 方法统计, 或者用特征分量与有限制点的重磁化大圆弧交会法处理, 得到低温分量的组平均方向。计算过程中使用了 Enkin 编制的程序。高温分量的温度段一般选取 400~580 ℃, 拟合方法与低温分量相同。

2.3 结果

本文以 G1 井为例分析样品的退磁特征, 并采用上述方法对数据做了处理。样品坐标系下 G1 井所有退磁样品的 Zijdeveld 矢量图及剩磁强度图表明了 G1 井具以下退磁特征。

(1) 大部分样品发现两个或两个以上的分量。当退磁温度达到 150~250 ℃ 时, 低温分量即可完全分离出来, 此时 Z 氏图剩磁强度变化曲线会出现一个拐点, 拐点以前的点可线性拟合为一条直线, 即低温分量; 拐点以后, 可拟合为另一条直线, 即高温分量, 拐点即低温分量的解阻温度。

(2) 当达到低温分量的解阻温度(150~250 ℃) 时, 剩磁强度减少了 20%~50%, 即低温分量占天然原生剩磁的 20%~50%, 说明了粘滞剩磁对原生剩磁的叠加、改造及影响是比较明显的。

(3) 岩芯的剩磁强度在 150~400 ℃ 间剩磁强度有较大的减少, 说明岩芯可能含有具较低解阻温度的磁性矿物如磁黄铁矿、钛磁铁矿、针铁矿、菱铁矿等。当岩芯样品退磁到 400~450 ℃ 时, 高温分量部分的强度已经非常小了, 说明磁铁矿(解阻温度 575 ℃) 的含量相对要低一些。在 580 ℃ 磁性几乎全部被退掉, 说明缺少赤铁矿。

表 1 给出了 G1 井低温分量(LTC) 的组平均方向。对高温分量(HTC) 做了同样处理。结果表明 G1 井低温分量拟合良好, 高温分量拟合效果亦较好。

G1 井的高温分量拟合结果为, 磁偏角 347.5°,

磁倾角 74.9°, 而该区三叠纪古地磁极偏角为 329.7°, 磁倾角为 43.6°^[3,4], 说明了三叠纪至今岩层可能受到后期构造作用的影响, 或者受到了后期形成的解阻温度较高的次生剩磁的叠加影响, 其高温分量 D_s 与当时极偏角基本一致, 可得岩芯标志线的方位需逆时针转 17.8°, 即高温分量确定的岩芯标志线方位 342.2° 与低温分量确定的岩芯标志线方位 353.4° 做了对比, 符合度良好。

表 1 G1 井低温分量统计结果

Table 1 Statistic results of low temperature component from G1 well

参数	样品号						
	G1-1	G1-3	G1-5	G1-6	G1-7	G1-9	G1-11
磁偏角 $D_s/ (^{\circ})$	332.4	356.0	183.4	51.1	352.0	31.4	62.4
磁倾角 $I_s/ (^{\circ})$	57.9	63.1	58.9	67.1	66.5	60.2	73.1

对其余各井做相同的分析处理, 结果如表 2 所示。依据矢量拟合程度与所用方法及置信圆大小综合考虑, 将所得结果的可信度分为高、中、低, 分别用 A、B、C 表示, 其标准主要采用了 α 95 参数: α 95 小于 15 为 A, 15~30 为 B, 30 以上为 C。

表 2 南泥湾钻井岩芯剩磁组分矢量合成结果

Table 2 results of remanence Vector from drilling cores in Nanniwan oil field

井位	LTC 组平均方向			HTC 组平均方向		
	偏角 $D_s/ (^{\circ})$	倾角 $I_s/ (^{\circ})$	可信度	偏角 $D_s/ (^{\circ})$	倾角 $I_s/ (^{\circ})$	可信度
G1	6.6	65.8	A	347.5	74.9	B
G2	249.2	-53.8	B	211.7	-62.8	B
G3	291.1	-55.9	B	239.0	-77.2	C
G4	106.3	-0.3	B	44.9	-61.8	C
G5	169.9	63.0	A	183.7	70.8	B
G6	135.6	67.7	A	141.5	63.6	B
G7	12.0	68.4	A	351.0	64.6	A

表 2 反映出低温剩磁分量的拟合结果明显优于高温剩磁分量, 经分析认为, 高温分量易受后期多种因素影响(如具有较高解阻温度的次生化学剩磁的影响等), 且较难确定其是否为原生沉积剩磁, 须通过各种检验来验证分析(如褶皱检验等), 而低温分量则很少受到热剩磁及化学剩磁的影响, 简单可靠, 若与高温分量结合使用则可获得较好效果。

本文主要采用低温分量拟合结果并辅以高温分量拟合结果对钻井岩芯进行了原始方位恢复。

在进行主分量分析时,应对岩芯坐标系投影结果进行方向和倾向校对。Kirschvink 程序给出如下参数:标本自然产状(走向 A, 倾角 B)、地层产状(走向 S, 倾角 D)。开始 A, B, S 和 D 都赋了 0 值。只要调整 A 和 B 的值,使低温分量方向指向地理北,倾角等于采样地地磁场的倾角,那么调整后的 A 值即为岩芯原始方位(标志线方向),B 值为岩芯倾角。因采样地点的地磁场倾角为 55.8° ,即对样品在进行主分量分析的同时,先调整 B 值使低温分量的倾角为 55.8° ,然后再调整 A 值使低温分量的方向指向正北,则 A 值就是标志线的真方向。本次分析的绝大多数样品低温分量倾角与现今地磁场倾角相差不大,故主要对偏角做了校正,定向结果见表 3。

表 3 南泥湾油田岩芯定向结果

Table 3 Oriented results of cores from Nanniwan oil field

参数	井号						
	G1	G2	G	G4	G5	G6	G7
标志线 方向	353.4	110.8	68.9	284.8 [*]	190.1	224.4	348
可信度	A	B	B	C	A	A	A

注: * * 上标代表高温分量定向结果。

3 磁组构

磁组构是指岩石内部磁性矿物分布排列特点,岩石的磁组构特征决定磁化率各向异性的大小,故可利用岩石磁化率各向异性(AMS)来研究岩石磁组构特征。磁化率各向异性特征可由一个定向的三轴相互垂直的椭球体表征,椭球体长轴、中间轴和短轴分别与磁化率的最大值、中间值和最小值相对应。通常只考虑不同方向上的相对磁化率,并使用椭球体各轴比值(磁面理及磁线理)来描述磁化率各向异性的基本性质^[1,5]。

沉积和成岩作用过程中,沉积岩内的各种矿物颗粒(包括磁性矿物)会以一定的方式或方向排列,这种排列往往不易被觉察,而由岩石矿物颗粒形状引起的磁化率各向异性却能很好地从统计角度反映磁性颗粒的分布排列^[1]。故磁组构在沉积岩中主要表现了沉积组构,由沉积过程中铁磁性矿物的取向所控制,它可以研究沉积岩的形成方式(搬运、充填方式)、查明沉积盆地中水流的流向,以及沉积层面的特征,且测定磁组构的效率要比地质上常用

的岩组分析方法高得多。

沉积岩磁化率各向异性主要受沉积过程和压实作用控制。主要因素为流体动力作用,地磁场只小于 0.03 mm 的铁磁性矿物有影响^[5]。对于水流介质而言,其浮力场往往使矿物颗粒以扁平面平行于沉积表面,而水动力条件作为决定非等轴状磁性矿物排列优选方位的主导因素^[5,6],较缓的水流使颗粒大于 $0.03\sim 0.05\text{ mm}$ 的颗粒长轴平行于水流流动方向;若流速大于 1 cm/s ,一些颗粒就可能发生滚动,使其长轴垂直于流向^[6],因此,矿物优选方位长轴的方向与水流平行还是垂直主要取决于水动力条件,但最小磁化率方向总是垂直或近垂直于沉积层面。不同的磁性矿物属不同的矿物晶系而有其不同晶形和易磁化方向,因而磁性矿物的种类可能为影响颗粒分布排列的另一因素^[5]。

由上可知,利用剩磁组构来分析沉积组构可以获取岩石在沉积时的各种沉积环境的信息。在石油地质中,用磁组构判断古水流方向及储层砂体展布方位等方面的应用得到了较快发展,显示了磁组构良好的应用前景^[1,7~9]。

本次对所采全部样品进行了磁组构测量,依次对岩芯样品的三个相互垂直方向进行了测量,经重复测量效果比较好,并采用 Lienert 编制的 APLOT9 程序^[10]对所有样品的数据进行了处理。

钻井岩芯原始方位确定之后,可利用磁组构方法来分析古流向,研究砂体的展布问题。只有若干样品 AMS 的统计平均结果才有确定的物理意义。采用 APLOT9 程序对所有样品的数据进行了统计处理,并考虑相互垂直的三主轴在球面的分布形式,从而提高了统计的客观性和可靠性。

图 1 给出了南泥湾钻井岩芯在样品坐标系下部分样品 AMS 椭球体赤平投影图,三轴测试结果良好,椭球体短轴基本上分布于圆心附近,长轴和中间轴在靠近圆边的方向变化。本文采用 Graham's V 参数对每口井 AMS 可信度进行了划分,A, B, C 代表可信度高、中、低,大于 25 为 A 级,介于 $25\sim 15$ 为 B 级,小于 15 为 C 级,可知 G1(35.8), G6(35.7), G7(27.8) 为 A 级, G2(18.5), G4(21.6), G5(19.8) 为 B 级, G3(6.4) 为 C 级。结合前面岩芯原始方位恢复结果,采用磁组构坐标转换程序对样品坐标系下 AMS 椭球体数据进行了转换,得出的 AMS 椭球体长轴方向即为地理坐标系下的储层砂体展布方位,即古水流方向(表 4)。

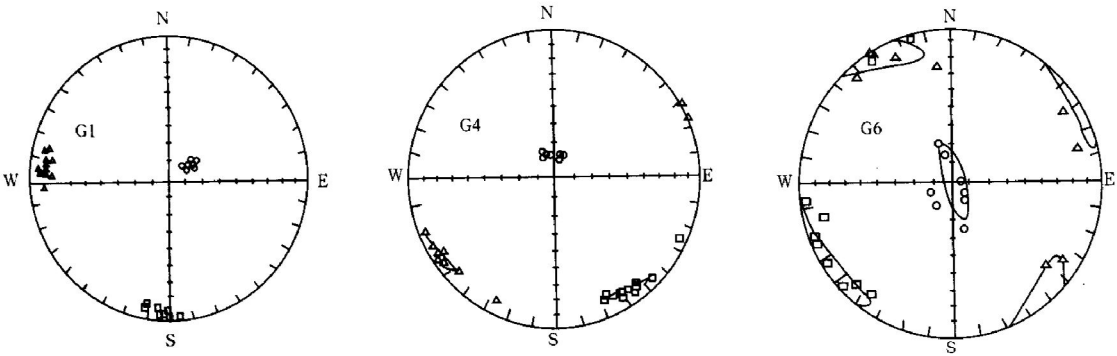


图 1 南泥湾砂岩样品 AMS 三轴在样品坐标系下的赤平投影图
其中方块、三角、圆分别代表长轴、中间轴、短轴

Fig. 1 Stereonet showing AMS three axle of sandstone samples under sample coordinate from Nanniwan oil field

表 4 南泥湾油田磁组构综合分析结果

Table 4 Comprehensive analytic results of magnetic fabric from Nanniwan oil field

参数	井号						
	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
砂体展布方位/(°)	177.5	86.3	270.3	253.3	122.3	100.6	53.1
定向结果可信度	A	B	B	C	A	A	A
磁组构可信度	A	B	C	B	B	A	A
磁组构综合评价	好	中等	差	中等	好	好	好

直于层理方向。经退磁分析知,本地区磁性载体主要为二价铁的铁磁性矿物(磁铁矿、磁黄铁矿、钛磁铁矿等),故最大轴的方向即代表了古水流方向^[1,5,7]。南泥湾地区三叠系延长组为一套三角洲前缘相沉积,研究区既受河流单向水流的作用,又受到蓄水体波浪的改造作用,沉积厚度较大,沉积类型复杂,储层发育,具备较好的成藏条件。本次采样层位位于水下分流河道入湖的地方,发育水下分流河道沉积和水下分流河道间沉积,其分流汇合和侧相迁移频繁,磁组构研究结果表明了研究区储层砂体展布方位即古水流方向为近 EW 向。

最小轴均分布于圆心附近,说明最小轴总是垂

通过将井位位置、钻井岩芯原始方位恢复结果及磁组构结果综合反映在图 2 上,可以清楚地获得

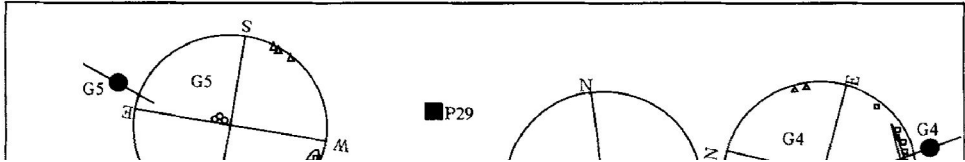


图 2 南泥湾油田磁组构综合评价图

Fig. 2 Comprehensive evaluation map of magnetic fabric in Nanniwan oil field

每个井位具体位置的古流向, 进而通过连片处理分析, 可获得某未知区块的古流向整体及局部趋势, 预测砂体的展布方位, 提供地下地质信息。

研究区沉积岩磁性比较微弱, 但其磁组构现象却比较明显, 可以确定古流向, 预测砂体展布方位。当多口井岩芯砂岩的古水流方向确定后, 就可以根据井位区实际地质情况来推测某地的古水流方向及储层砂体展布方位, 以指导油田的进一步勘探开发。

致谢: 采样过程中南泥湾钻采公司刘建宏工程师给予了大力协助, 在中国科学院地质与地球物理研究所测样过程中得到朱日祥教授、潘永信博士、石采东博士的热情指导与帮助, 特致谢意。

参 考 文 献

- 1 吴汉宁, 岳乐平. 古地磁学在油气勘探中的应用[A]. 见: 徐文耀. 地磁大气空间研究及应用[C]. 北京: 地震出版社, 1996. 91~ 95
- 2 岳乐平, 王建其, 邸世祥, 等. 油气田钻井岩芯及岩芯裂缝方位

- 确定的古地磁原理与方法[J]. 地球物理学进展, 1997, 12(3): 71~ 76
- 3 马醒华. 鄂尔多斯盆地晚古生代以来古地磁研究[M]. 北京: 地震出版社, 1992
- 4 侯守信, 田国荣. 古地磁岩芯定向及其在地应力测量上的应用[J]. 地质力学学报, 1999, 5(1): 90~ 96
- 5 Hrouda F. Magnetic anisotropy of rock and its application in geology and geophysics[J]. Geophysical Survey, 1982, 5: 37~ 82
- 6 Tarling D H. Magnetism principles and applications in geology, geophysics and archaeology[M]. London: Chapman and Hall Press, 1983
- 7 孟小红, 周海民. 冀东油田钻井岩芯的磁学研究[J]. 地球物理学报, 1997, 40(6): 809~ 820
- 8 杨振宇. Montcornet 钻孔岩芯的古地磁学研究[J]. 地球物理学报, 1998, 41(5): 652~ 657
- 9 Schieber J, Ellwood B B. Determination of basin wide paleocurrent patterns in a shale succession from AMS: a case study of the mid-Proterozoic Newsland Formation, Montana[J]. J Sediment Petrol, 1993, 63: 874~ 880
- 10 Lienert B R. Monte Carlo simulation of errors in the anisotropy of magnetic susceptibility: a second-rank symmetric tensor[J]. J Geophys Res, 1992, 96: 19 539~ 19 544

PALEOMAGNETIC RESEARCH OF DRILLING CORES IN NANIWAN OIL FIELD

Yang Binyi¹ Wu Hanning¹ Li Xuesen² Lu Jianjun³

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an; 2. Geophysical Exploration

Research Institute of Shengli Petroleum Administration, SINOPEC, Dongying, Shandong;

3. Exploration Research Institute of China Offshore Petroleum Research Center, Gaopiedian, Hebei)

Abstract: Secondary viscous remanence (low- temperature component) and primary remanence (high- temperature component) can be effectively separated by thermal- demagnetizing process. The orientation of the viscous remanence should be correspondent with that of available magnetic field, and the primary remanence should be consistent with the magnetic field orientation of then deposition of rocks. The original direction of drilling cores can be determined by vector compounds in line with above principle. The anisotropy of rock magnetic susceptibility, caused by the oriented arrangement of magnetic minerals effected by then magnetic field , reflects the feature of the rock magnetic fabric. The magnetic fabric shows mainly as the rock depositional fabric, therefore, environmental information of rock deposition can be gained and pale- current orientation and extension direction of sand body can be defined by studying the magnetic fabric. A research on the paleomagnetic orientation and magnetic fabric from recent drilling cores in Nanniwan oil field indicates that the extension direction of reservoir sand body in the area(namely, water flow direction) is near EW.

Key words: stagnant remanence; primary remanence; magnetic fabric; vector composition; sandbody extension; Nanniwan oil field