

石油物理 勘探找油的探索

王家林 张林祥 金国英

摘要

根据对 R 油田、D 油田的航磁资料试算结果的分析，以及在 SH 区南部应用磁法找油的实测试验，可以看到油气藏和磁异常之间有一定的相关性。本文就磁测找油的几个关键问题进行了讨论。

ABSTRACT

According to the analysis of aeromagnetic data acquired from R and D oil fields, and in the light of magnetic detection experiment conducted in the south of SH region, we can see that hydrocarbon reservoir is related to magnetic anomaly. We also discuss the cruxes in oil detection by magnetic survey.

从研究磁场着手，开展找油试验，过去一直很少有人进行。从传统的理论出发，一般也认为磁测找油是难以奏效的。但是，我们通过对实测资料的试算及实测试验，发现了从实测磁场中提取与油气藏有关的信息是可能的。

从磁测资料中提取与油气藏有关的信息，必须要了解油气藏可能引起的磁场具有什么特点。

对此，目前有两种看法：（1）可能是一个非位场。美国的皮尔逊提出了油气藏上氧化还原燃料电池的理论，他认为在油气藏上方的氧化还原电位界面上产生的地电流可以在地面上引起磁场，而且是一个环流不等于零的非位场，这样它就与属于位场的地下磁性体磁场有了明显的不同。（2）不是非位场，有可能仍是一个位场，是一个直接或间接与油气藏有关的局部磁异常，它与基底、构造等因素引起的磁异常也能区别开来。因此，如果能证实与油气藏有关的磁场存在，这部分信息又能被现有仪器观测到，那末不论它具有何种特点，都有可能设法通过专门的处理，从实测场中把它们提取出来，据此推测油气田的大致范围和位置，进行含油远景区的预测。

R、D 地区航磁资料试算结果的分析

R 地区 1:20 万航磁测量和 D 地区 1:10 万航磁测量分别是六十年代和五十年代完成的。为了压制测量误差和干扰的影响，对航磁资料作了平滑处理，并对磁测数据网格

石油地球物理勘探

化，将其化成正方形网格，然后采用了皮尔逊所设计的磁电滤波器计算了两个地区的磁电异常。这里需要说明一点的是，我们没有采用皮尔逊提出的直接线积分法求磁场的环流，因为线积分法理论上存在问题，同时航磁异常是一标量，也无法求得可靠的线积分值（在后面还将讨论到）。线积分法求环流与磁电滤波器在概念上也是截然不同的，前者有明确的物理意义，而后者仅是突出某个局部异常的一种滤波方法。在这里我们依据磁电异常的正、负区，其中正区即为有利区，负区即为不利区。将磁电异常图（图 1 和图 2）和原有的航磁图及地质资料对照可以看出：

1. 有利区包括了已知油田的大部和某些较小规模的油田的一部分。例如，R 油田的绝大部分，M 油田、Y 油田和 L 油田的部分都包含在磁电异常的正区即有利区内；又如 D 油田的主要部分，X 油田和 LH 油田的全部以及 SH 油田的部分均包括在有利地区内。这一现象反映了油气藏与磁异常有着一定的相关关系。

2. 某些规模较小的油田和一些油田的个别地段位于不利区内。其原因不甚清楚。初步分析认为可能与油田的规模、干扰、磁测精度等因素有关。

3. 两个地区磁电异常有利区均比油田的实际范围大得多，原因也可以是多方面的，磁测精度较低、非油气干扰因素的影响以及计算磁电异常的滤波方法本身的不完善等等都会导致这种现象。

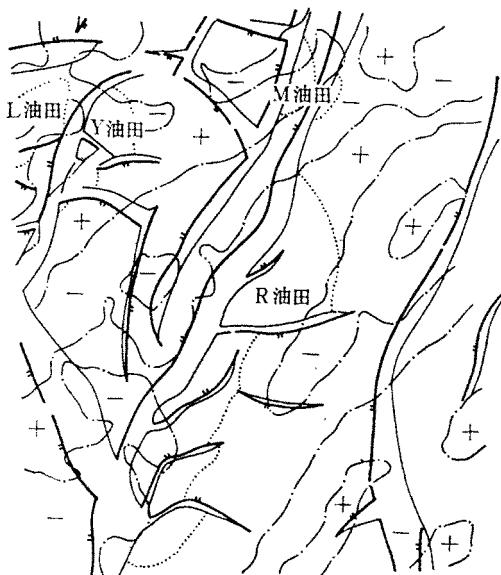


图 1 R 区磁电异常图

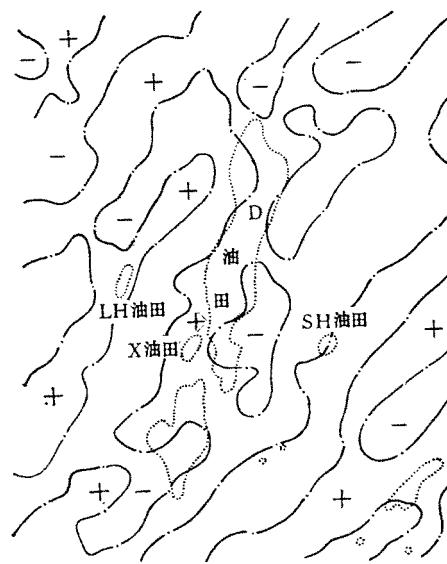


图 2 D 区磁电异常图

上述成果告诉了我们，油气田上磁场是复杂的，但是经过恰当的处理，从实测的磁场中提取出某些与油气藏有关的磁场信息仍是可能的。

SH区南部磁法找油的实测试验成果

一九八一年八月至十月，石油部物探局研究院、普查大队、武汉地质学院及同济大学

组成的试验队在 SH 区南部凹陷一构造带上开展了自电、激电、磁测综合找油的实测试验。该地区的主要勘探地层为下第三系的东营组和沙河街组，区内已发现有五个断块油藏，主要受北西向古隆起控制，后被多组北东向断裂分割。该区仍在进一步勘探。

在该地区进行了磁场总场、水平分量及垂直分量的观测。从测区总磁异常 ΔT 平面图(图 3)可以看到，本区区域场所呈现的东高西低的趋势反映了磁性基底的大致变化。但在区域场背景上叠加有明显的局部场，其位置在测区中部靠北，虽然这个局部场没有圈闭，但在等值线上反映出一个局部扭曲。从等值线受畸变的情况可以估计这个局部异常为一负异常，异常幅度为 10 伽马以上，走向近于北东，其中心在英武村附近。对比已知油田资料，发现这个磁力低的局部异常与该处断块油田等含油远景较好地段是相符合的。此外在测区南部 16 井附近也有一个相类似的不甚明显的局部异常。

在磁异常水平分量矢量图(图 4)中也可以发现，本区区域场水平分量大体指向东，但在测区中部英武村附近水平磁异常矢量的大小、方向有较大变化。这里需要说明的是由于本区磁异常较弱，所以水平分量的方向误差就大(水平矢量的方向误差与水平异常大小成反比)，看起来比较杂乱，但是，从统计角度看，仍然可以从英武村附近水平分量大小、方向的剧烈变化说明这个局部磁异常的存在。

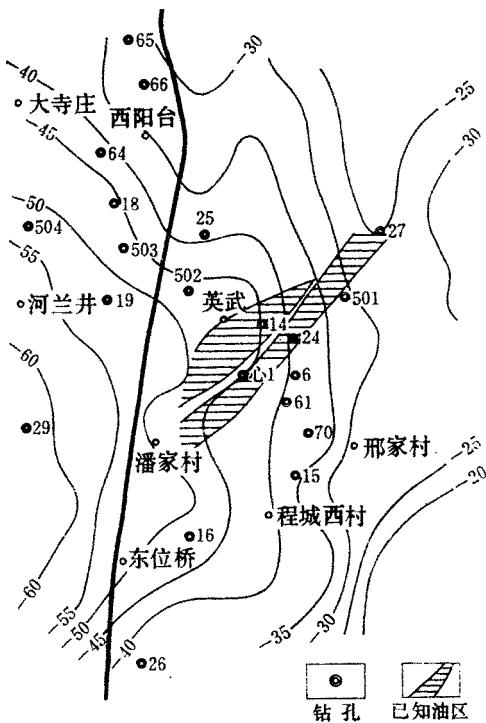


图 3 总磁异常 (ΔT) 平面图

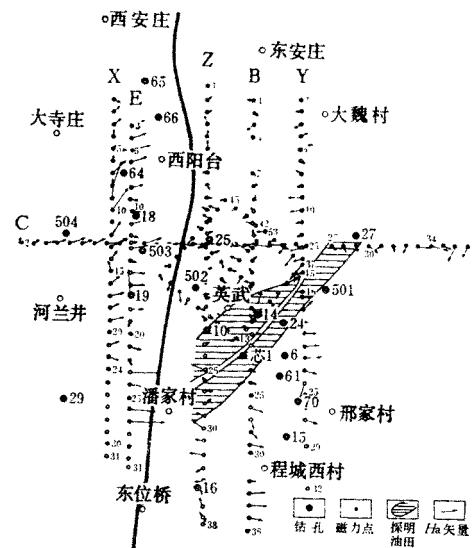


图 4 水平磁异常 (H_a) 矢量图

综合本区总磁异常、水平异常、垂直异常三方面资料可以证实在测区中部英武村附近确实存在较明显的局部异常，这个局部异常与已知油气藏有较好的对应关系，并与本区的自电异常也大致吻合，这就更启发我们必须进一步去研究油气藏与磁异常、自电异常

石油地球物理勘探

之间的这种相关关系。但是，也应指出本区的局部异常还不止一个，例如 16 井附近与已知油区也有一定关系，只是位置上不全吻合，这里有勘探程度不高、情况不清的因素，也有异常受其他非油气因素控制等原因。

有关磁测找油的几个问题

与油气藏有关的磁异常是否存在的问题

按照以往的认识，人们在油区只研究由构造等非油气地质因素引起的磁异常，而没有发现与油气藏有关的磁异常。上述几个实例却反映了磁异常与油气藏有着一定的对应关系。在美国，皮尔逊等人在俄克拉荷马州和得克萨斯州的几个油田上也发现了这种磁异常，并利用它进行含油气远景区的预测，获得了一定成效；在苏联也有人开始研究这种关系，并指出苏联的许多油气区在碳氢化合物储集体周边记录到了振幅为 20—30 伽马的异常。最近，我们对其他油区磁测资料的研究，也发现了在含油区有幅度不大的局部磁异常。但是油气藏上磁效应是否具有普遍性，其规律性如何？对于这样一个关键问题是不能仅凭少量资料可以作结论的。我们下一步将进一步收集更多油区的实测资料进行试算，有条件时，配合其它直接找油方法开展高精度磁测试验，深入摸清油气藏与磁异常的相关关系，了解其规律性，并以此确定我们理论研究的主攻方向。

关于油气藏上磁效应机理的探讨

目前对于这个问题的研究是十分不够的。美国的皮尔逊提出了比较系统的磁电勘探理论，他认为由于烃类的垂直运移，使油气藏上含油岩系与围岩之间存在物理、化学性质上的差异，特别是其中氧化还原性质上的差异，使得在油气藏上方形成了地电流，地电流在地面所引起的感应磁场，叠加在原有的地磁场上，出现了有意义的扰动。这里首要的问题是地电流。皮尔逊通过地球化学测量、放射性测量、氧化还原电位测量及自然电位测量等多方面工作证实了地电流的存在，其中并中自然电位泥岩基线偏移是一个更重要的验证手段。我们在 R 油田收集过十口井资料，在几口高产井中获得的可能与油气有关的泥岩基线偏移为 10~15 毫伏/250 米，换算求出地电流通量密度为 20~30 毫安/英亩。但应指出，皮尔逊所作的一些工作是有局限性的，同油气藏有关的地电流是否普遍存在？若存在这类地电流，是否就是由氧化还原电位差异所引起？要回答这一问题，必须从大量实际资料尤其是从井中自电资料中进行统计整理和必要的模型实验。

除了地电流以外，是否还有其他原因能引起油气藏上的磁效应呢？对此是不能不加以认真考虑的。因为皮尔逊的磁电理论仅是解释油气藏上磁效应的一种假说，其中也还存在有不少问题。我们认为对于油气藏本身及其围岩磁性的详细研究，对于还原环境中所产生的某些矿物的磁性研究以及在成油过程中由于物理、化学条件的变化引起岩石磁性变化的研究，都是有意义的。例如，苏联现在已有人提出由于油气藏上覆地层中的后生作用，使地层中磁性矿物重新分布而产生磁异常；有人也指出有油气藏时，磁化率会减小，从而直接引起了局部磁异常。总之目前对于油气藏上磁效应的研究较以前是重视了，但由于资料缺乏，研究不深入，还难于作出中肯的判断。然而多方面的研究是会有

助于弄清油气藏土磁异常的真实原因的。

关于提取与油气藏有关的磁异常信息方法的讨论

这一问题显然是与上述问题密切相关的，对机理的不同认识也会导致提取方法上的差异。

从地电流的观点出发，皮尔逊假设了一个地电流模型（图 5），他认为水平散开的地电流及远处垂直向上的地电流所产生的磁效应可以忽略或抵消。因此可以只考虑集中在柱体内垂直向下的地电流产生的磁效应，并用一个柱状电流模型来等效。柱状电流能引起感应磁场，并且为一个环流不等于零的非位场，于是皮尔逊就提出用计算磁场环流的线积分法来提取与油气藏有关的信息。

通过研究，我们认为皮尔逊所提出的磁电勘探理论，除了地电流这个根本问题还需要讨论外，在提取方法上还有几个问题需要讨论：（1）关于地电流的分布模式。虽然皮尔逊通过井中自然电位梯度资料给出了类似图 5 的模式，但是由于气藏本身的复杂性及烃类运移所造成的还原环境规模及形态上的复杂性，那种理想对称的地电流分布是难于获得的，在地电流分布模式不清的情况下就不便讨论感应磁场的特点。（2）退一步讲，如果承认这种地电流分布，也不能简单地把它等效于一段柱状电流产生的磁场，从而得出这是一个环流不等于零的非位场结论。实际的情况是，任何地下的地电流总要受到地表空气的屏蔽，在地下自行闭合，因此，在地面上任何地方沿水平闭合回路的磁场的环流值总是等于零，即不存在环流不等于零的这种由于地下电流所引起的非位场。这样，通过求磁场环流的线积分法来提取与油气藏有关的磁场信息的原理就有了问题。（3）如果承认这个与油气藏有关的非位场存在，也不能采用皮尔逊提出的那个线积分法。因为磁场是个矢量，要严格地计算磁场环流，必须进行专门的磁场强度矢量观测，计算公式为

$$\oint_l \vec{T} d\vec{l} = \oint_l \vec{H} d\vec{l} + \oint_l \vec{Z} d\vec{l} = \oint_l \vec{H} d\vec{l} = \oint_l \vec{X} d\vec{l} + \oint_l \vec{Y} d\vec{l} = 4\pi I$$

式中： T 、 H 、 X 、 Y 、 Z 分别为磁场强度总矢量、水平矢量、 x 轴分量、 y 轴分量和垂直分量； l 为水平闭合回路； I 为回路中所包含的电流强度。但是皮尔逊却作了这样的假设： T 与正常地磁场 T_0 方向一致， H 与正常地磁场 H_0 方向一致，因此就用 T_0 或 H_0 方向代替实际测点上各不相同的 T 和 H 方向进行线积分运算。理论分析及模型试算都表明，这个假设是不允许的，它实际上是用标量代替了矢量，使计算结果带来了不可忽视的误差。表 1 就说明了这一点。既然皮尔逊的线积分法有问题，那末为什么我们仍然得到了与油气有关的磁信息呢？那是因为皮尔逊实际使用的并不是线积分公式，而是设计了一些滤波器，这些滤波器具有高通滤波和方向滤波特性，因而为提取与油气藏有关的磁异常提供了一种手段。我们利用这些滤波器计算了 R、D 地区的航磁资料并获得了有

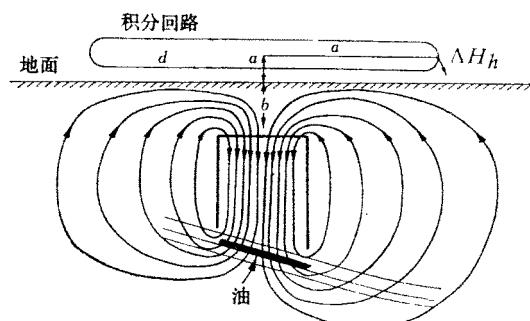


图 5 磁电测量原理示意图

石油地物勘探

一定意义的成果。

表 1

	模 型	ΔT_{\max} (伽马)	最大磁异常环流 (毫安/英亩)	
			严 格 方 法	皮 尔 逊 方 法
位 场	垂直磁化球体	599	0.69	183
	垂直磁化长方体	167	0.89	38.8
非 位 场	有限长线电流	57	435	109

从局部磁异常的观点出发，我们认为更要重视研究有关的滤波方法。由于油气藏埋深大，即使岩石物性差异较大或者地电流较强，在地球物理中反映的磁异常对正常场、区域场来讲也是较弱的。因此，在干扰背景上如何区分弱信号，以及如何区分由于油气或非油气干扰因素所造成的局部异常都是需要认真考虑的。

利用磁测寻找油气的工作在我国还刚刚起步，油气藏与磁异常的相关关系虽然有一些显示，但还不甚清楚。关于油气藏上磁效应的机理也是众说纷纭，较之提取与油气藏有关的磁场信息的方法更是不成熟，但是国内外的实际资料告诉我们，进行磁测找油的研究工作是很有意义的。

参 考 文 献

- [1] S.J.Pirson 等著，陆邦干等译，《磁电勘探直接找油找气（译文集）》，石油工业部物探局研究院情报室
- [2] Р.С.Сейфуллин, Соотношение тепловых и магнитных аномалий над залежами углеводородов с сопственными электрическими пульсами, «Нефтегазовая геология и Геофизика», №.8, 1980
- （上接55页）
- [4] 李大潜等，有限元素续讲，科学出版社。
- [5] William L. Rodi, A technique for improving the accuracy of finite element solutions for magnetotelluric data, Geophys. J. R. astr. Soc., Vol. 44, P. 483—506, 1976
- [6] M. N. Berdichevsky, V. I. Dmitriev, Basic principles of interpretation of magnetotelluric sounding curves, Geoelectric and Geothermal studies, KAPG geophysical monograph, Budapest Akadémiai Kiadó, 1976