

doi: 10.11720/wtyht.2014.6.11

王珺璐,冯兵,杨万军,等.非震物化探找油方法优选组合研究——以鄂尔多斯盆地为例[J].物探与化探,2014,38(6):1159–1163.<http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.6.11>

Wang J L, Feng B, Yang W J, et al. The optimized combination of non-seismic geophysical and geochemical exploration methods in the prospecting for oil: A case study of Ordos Basin[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(6): 1159–1163. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.6.11>

非震物化探找油方法优选组合研究 ——以鄂尔多斯盆地为例

王珺璐¹,冯兵²,杨万军³,王萌⁴,张继锋²,曹金舟⁵,闫新智⁵

(1.中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,河北廊坊 065000;2.长安大学地质工程与测绘学院,陕西西安 710054;3.陕西省地质矿产勘查开发局,陕西西安 712000;4.中国国土资源航空物探遥感中心,北京 100083;5.陕西延长石油(集团)有限责任公司,陕西西安 710075)

摘 要:依据非震物化探找油的基本原理及反映油气藏的特点,分析了鄂尔多斯盆地内多个油气区的非震物化探指标的油气探测效果,研究了非震物化探异常区之间的相关度及与油气富集区的相关系数,提出了鄂尔多斯盆地内非震物化探多方法找油优选组合的一般模式。该研究对今后鄂尔多斯盆地内非震物化探找油工作具有一定的指导意义。

关键词:鄂尔多斯盆地;油气藏;非震物化探;相关系数;优选指标组合

中图分类号: P632 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2014)06-1159-05

地震勘探一直是寻找油气藏的主要方法,并且收到了很好的效果。但随着油气勘探目标从构造圈闭向岩性、地层圈闭的转变,未来油气勘探条件更加复杂,常规的用于直接找油或圈定油藏边界的地震勘探效果不明显,特别是在一些特殊景观条件下,如鄂尔多斯盆地,地形地貌复杂,黄土覆盖厚,构造幅度小,地震勘探工作受到了很大限制。近 20 年来,非震物化探找油方法迅速发展,已成为油气勘探中不可忽视的力量^[1-4]。

非震物化探找油技术是除地球物理勘探中的地震勘探以外的所有物化探找油方法的总称,可分为地球物理和地球化学两大类,其勘探成本低,在油气勘探开发的各个阶段均可发挥重要的作用^[5]。

非震物化探的方法指标较多,不同方法的研究对象与探测原理不尽相同;受油气藏的地质、地理条件与观测、分析精度等因素的影响,各指标与油气藏对应关系复杂,因此单一物化探方法往往不能满足勘探要求。从众多的非震物化探方法中选择最佳的组合方式,可降低油气勘探成本与勘探风险,提高工作效率,可为油气储量的计算提供依据,还可进行无机成油气理论的研究^[6-8]。

以鄂尔多斯盆地为例,笔者对盆地内多个油气区的非震物化探指标应用效果进行了系统研究,分析了各类指标与油气有利区的对应关系,提出了鄂尔多斯盆地内非震物化探找油优选组合的一般模式,对今后非震物化探找油工作具有参考意义。

1 非震物化探方法

非震物化探找油的理论基础是烃类的微渗逸效应,形成这种微渗逸效应的原因很复杂,目前尚无权威定论。具有代表性的有:“烟囱”效应说(Pirson, 1964)、细菌噬烃说(Soli, 1957)、深层水排泄论(保罗·H·琼斯, 1984)、微磁铁矿化说(D·F·桑德斯, S·A·特里, 1985)、垂直运移说(Martin·T·Davidson, 1985)、微气泡上升说(J·C·Price, 1985)、油气层上方土壤烃组构似源说(龚维琪, 1995)等^[9-12]。虽原因复杂,认识不同,但是这种微渗逸是客观存在的,由此形成的“渗逸踪迹”(包括烃类渗逸区、蚀变区以及近地表氧化还原带)也是可以探测的^[13]。根据不同的研究对象及方法原理,形成了不同的探测指标和方法。

非震物化探指标的分类方法较多。反映油气藏

本身的参数,以及反映渗透到地表上的油气特征元素组分及其化合物的指标,属于直接指标;反映烃类微渗透导致盖层及其上覆各地层岩石所形成物理、化学变化的指标属于间接指标。另外,按工作方法

可分为物探与化探方法;按反映微渗透的时间属性分为瞬时参数与积累参数;一些参数还与地层属性或是构造特点等有关^[14-21]。结合以往工作经验,将非地震物化探方法汇总如表 1。

表 1 非震物化探油气勘探方法

类型	主要方法	主要指标举例	研究对象	主要效应	异常特征	参数特点
化探	酸解烃分析	C ₁ ~C ₅ 饱和烃	烃类渗透区	微渗透效应	环状、半环状	直接、瞬时
	氢吹脱	C ₁ ~C ₄ 饱和烃	烃类渗透区	微渗透效应	环状、半环状	直接、瞬时
	轻烃通量	C ₁ ~C ₄ 饱和烃	烃类渗透区	微渗透效应	环状、半环状	直接、瞬时
	吸附丝法	C ₅ ~C ₁₅ 饱和烃、轻芳烃	烃类渗透区	微渗透效应	环状、半环状	直接、瞬时
	紫外荧光	芳烃及其衍生物	烃类渗透区	微渗透效应	环状、半环状	直接、瞬时
	微量元素	Mn、Fe、Co、Ni、Ba	烃类渗透区	油气伴、衍生	环状、半环状	间接、积累
	氦气测量	He	烃类渗透区	油气伴、衍生	环状、半环状	间接、构造有关
	壤气汞测量	Hg	烃类渗透区	油气伴、衍生	顶部异常、环状	间接、构造有关
	热释汞分析	Hg	烃类渗透区	油气伴、衍生	顶部异常、环状	间接、构造有关
	ΔC 分析	CO ₂	烃类蚀变区	土壤蚀变效应	环状、半环状	间接、积累
物探	土壤磁化率测量	磁化率、磁滞回线	烃类蚀变区	磁性蚀变矿化作用	高磁、变化剧烈	间接、积累、地层属性
	重力	Δg、归一化总梯度	油气赋存区、烃类渗透区、蚀变区	重力场效应	低值、两高一低	直接、地层属性
	自然电位法	氧化还原电位	烃类渗透区	电化学作用	负值	间接、积累、地层属性
	电阻率测深	电阻率	烃类蚀变区	电化学作用	浅层低阻深层高阻	间接、积累、地层属性
	CSAMT	电阻率	烃类蚀变区	电化学作用	浅层低阻深层高阻	间接、积累、地层属性
	激电测深	极化率	赋存区、蚀变区	电化学作用	高值	间接、积累、地层属性
	浅层激电	极化率	近地表氧化还原带	电化学作用	高值	间接、积累、地层属性
	高精度磁测	磁场值 ΔT	烃类蚀变区	磁性蚀变矿化作用	高频低幅值	间接、积累、地层属性
	土壤磁化率测量	磁化率、磁滞回线	烃类蚀变区	磁性蚀变矿化作用	高磁、变化剧烈	间接、积累、地层属性
	放射性测量	U、Th、K、Rn、 ²¹⁰ Pb	油气赋存区 烃类渗透区	屏蔽作用 微渗透效应	环状、半环状	间接、积累、地层属性

油气物化探异常的成因学说比较多,探测的指标亦较多。但是,从以上各类勘探方法基本原理可以看出,不管哪种指标,其实质问题都是要直接或间接地探测由于油气藏中烃类的垂直运移、扩散作用以及蚀变效应,所形成的地球物理和地球化学场的变化规律。尽管所采用的方法不同,表现形式各异,但异常源是一致的,形成异常的机理是一样的。

同时,各指标的影响因素不同,单参数往往具有多解性和局限性。因此,如何利用不同的成因机制,采用多参数的最佳组合方法,克服单方法、单参数的多解性和局限性,对提高油气勘探的成功率具有十分重要的意义。

2 鄂尔多斯盆地内物化探指标有效性评价

对鄂尔多斯盆地内分布较分散的多个油气区的非震物化探指标应用效果进行了研究,采用特征分析法分析了各物化探指标之间的相关度,并计算了物化探指标与油气有利区的相关系数。

在进行分析之前,必须进行单元的划分和变量的提取与赋值^[22]。统计单元的划分必须在同一沉积单元上进行。在特征分析中,定性变量采用二态

变量取值,即:在该单元中某变量对成油有利则取值为 1;在该单元中某变量对成油不利或性质不确定则取值为 0。因此,一般对于顶部异常的赋值问题不大;对于环状异常,则需要丰富的解释经验。

2.1 面积性参数之间的相关性

对于不同成因、不同机理的参数异常,若非同一原因所致,它们的相互配置关系及相关性较差;反之,由油气藏引起的物化探异常是地下富集烃类活动的结果,由于其同源性,必然表现出某种相关性。因此,各种物化探参数之间的相关度间接地反映了其与油气区的对应性,尤其在缺少钻井、地质资料时,这种分析具有十分重要的意义。

特征分析法是一种对定性描述资料的多元统计分析方法。通过对已知模型区内各变量之间相互关系的定量分析,来确定每个变量(参数)的权重,查明变量之间的内在联系,确定各个变量特征的成油和找油意义。其数学原理是:从乘积矩阵 Z^*Z (Z 为原始数据矩阵) 和匹配矩阵 T 出发,采用主分量分析的雅可比法寻找最大特征值 (λ_1) 及其相应的一组特征向量 (b_{ij}), 来确定各变量的相关度,建立模型与变量线性关系,提供定量评价、预测^[22]。

利用特征分析法计算了不同油气区内各个指标异常之间的相关度,并统计了单个指标在多个区块内的平均相关度(表 2)。

多个区块的总体变化基本一致,则平均值能反映总体趋势。从统计结果看,酸解烃系列、吸附烃系列与总体异常数据的相关性最高;自然电位、蚀变碳酸盐、紫外荧光次之;微量元素、氧化还原指数和测汞再次之;磁测和能谱的相关性最低。

表 2 面积性参数之间的平均相关度统计

吸附烃综合	酸解烃综合	氧化还原指数	蚀变碳酸盐	测汞	微量元素 Co	微量元素 Ni	微量元素 Fe	微量元素 Ba
0.0938	0.0930	0.0719	0.0675	0.0652	0.0717	0.0743	0.0635	0.0620
微量元素 Mn	自然电位	紫外荧光综合	测氢	能谱(铀)	能谱(钍)	能谱(钾)	能谱总道	高精度磁测
0.0619	0.0615	0.0588	0.0536	0.0603	0.0486	0.0408	0.0504	0.0462

表 3 面积性参数异常区与油气富集区的相关系数统计

吸附烃综合	酸解烃综合	氧化还原指数	蚀变碳酸盐	测汞	微量元素 Co	微量元素 Ni	微量元素 Fe	微量元素 Ba
0.4180	0.3227	0.2399	0.1961	0.3210	0.3879	0.3080	0.3430	0.4293
微量元素 Mn	自然电位	紫外荧光综合	测氢	能谱(铀)	能谱(钍)	能谱(钾)	能谱总道	高精度磁测
0.4172	0.1245	0.2499	0.3244	0.0818	0.3207	0.2981	0.1901	0.1106

2.3 面积性参数应用效果分析

从圈定异常方法的角度来说,化探圈定异常主要依据平面等值线中环状、半环状的形态。在圈定过程中,夹杂了一定的人为因素,尤其是在获得一定地质资料和油气钻井资料时,圈定异常时受人为因素影响更大。本次解释中,为保证原始资料的信息,采用一定数值大小的等值线自动圈出异常范围。因此自然电位、高精度磁测与总体异常的相关性较低;而微量元素、氧化还原指数、测汞与总体异常的相关性较高。另外,利用特征分析法计算各指标之间的对应性时,将指标微量元素中 5 个指标(Ba、Fe、Co、Ni、Mn)合在一起计算与总体异常的相关性,由于 5 个指标之间具有较好的相关性,导致微量元素与总体异常的相关性较高。

综合以上物化探指标相对综合油气有利区的相关性分析,结合以往工作经验,将物化探分为四级:第Ⅰ级包括酸解烃、吸附烃;第Ⅱ级包括蚀变碳酸盐、微量元素、紫外荧光;第Ⅲ级包括自电、能谱、Hg、氧化还原指数、土壤测氢;第Ⅳ级为高精度磁测。另外,微量元素(Fe、Ni、Mn、Co、Ba)、能谱(Rn、K、Th、U、Tc)内各指标之间没有一定的优选规律。

利用物化探指标的评级,可以分析指标的优选性,对利用已知的多指标参数,综合圈定油气有利区也具有指导意义。

2.4 剖面参数应用效果分析

剖面测量属于精细勘探方法,是在面积性勘探有利区的基础上进行的工作,主要包括电阻率测深、

2.2 面积性参数与油气富集的相关性

通过计算 3 个区块内各指标异常与综合油气有利区的相关系数,统计了单个指标的平均相关系数,如表 3 所示。3 个区块的总体变化基本一致,平均值能反映总体趋势。从计算结果看,酸解烃系列、吸附烃系列、放射性、微量元素与综合油气有利区的相关系数较高;蚀变碳酸盐、紫外荧光、氧化还原指数次之;自然电位、磁测的相关系数较低。

CSAMT、激电测深与浅层激电等。这类方法不仅可以分析烃类微渗逸的物理作用,而且可分析地层属性及构造、断裂等地质条件。对盆地 5 个区块内剖面测量方法的应用效果进行了统计(表 4)。此外,浅层激电的视极化率与地形的相关系数达到-0.48,即浅层激电测量结果受地形影响很大,这可能是沟壑中含黏土的地下淡水层引起的干扰^[23]。

因此,电阻率测深、CSAMT、激电测深异常与油气重合率较高;浅层激电受地形影响严重,效果不理想。

表 4 剖面性参数异常区与油气富集区重合效果

方法	与油气重合率/%	统计数量
电阻率测深	61.6	4 个区,15 条测线
CSAMT	71.5	1 个区,3 条测线
激电测深	76.7	1 个区,3 条测线
浅层激电	低于 30%	2 个区,8 条测线

3 指标的优选组合

研究非震物化探方法的优选与最佳组合,是实现不同类型、不同研究对象的指标之间的最佳匹配。

指标的优选与组合应考虑直接探测参数与间接探测参数相结合的原则。理论上讲,直接参数反映了下部油气的存在性特点,若直接指标无异常,则其他指标的异常不能说明是油气富集所形成的结果;间接参数是直接参数探测油气藏的补充和证明,故两者相互依赖,相互佐证,不可分割。第二个原则是需分析目前的油气微渗逸动态特征,并结合长期积

累特征,研究油气藏的现状及历史沿革。另外,勘探区内的地质特征和各单方法基本功能匹配的问题,不应脱离所研究对象的地质演化和地质控制因素。一些反映构造、断裂的指标,有利于进行解释并判断油气藏保存的完好性^[17]。

依据非震物化探找油的基本原理及反映油气藏的特点,结合鄂尔多斯盆地多个区块的非震物化探资料与油气藏的对应关系,给出非震物化探参数组合方式(表5)。

表 5 非震物化探方法优选组合的一般模式

工作范围	物化探方法	解决的问题	类型			
			物、化探	直、间接	积累、瞬时	地层属性
区域工作	重力	可分析基底、岩体的分布及变化特征	物探	直接	积累	有关
	磁力			间接	积累	有关
面积工作	酸解烃	分析烃类微渗逸	化探	直接	瞬时	无关
	吸附烃					
	紫外荧光	分析烃类微渗逸	化探	间接	积累	无关
	蚀变碳酸盐					
	热释汞					
剖面工作	放射性	分析烃类微渗逸、断裂及近地表黏土吸附性	化探	间接	积累	有关
	自然电位	分析烃类微渗逸	物探	间接	积累	无关
	电阻率测深					
	CSAMT	分析烃类微渗逸的物理作用,且可分析地层属性及构造、断裂等地质条件	物探	间接	积累	有关
	激电测深					

4 结论

笔者分析了非震物化探探测油气藏中各种方法的基本原理,以及各参数在反映油气藏上的特点。以鄂尔多斯盆地为例,研究了盆地内多个油气区的非震物化探指标与油气有利区的对应关系,提出如下几点认识:

(1)在鄂尔多斯盆地内,利用非震物化探找油方法可以达到寻找油气藏的目的,特别是选择合适的物化探组合方式,可以降低勘探成本,提高勘探效果。

(2)根据物化探指标相对综合油气有利区的相关性分析,结合以往工作经验,将物化探找油的方法、指标分为四个等级,对今后利用多指标,综合分析油气有利区具有指导意义。

(3)提出了鄂尔多斯盆非内非震物化探多方法找油的一般优选组合方式,在工作中可根据实际情况选择合理的组合方式开展工作。

参考文献:

[1] 何展翔,贺振华,王绪本,等.油气非地震勘探技术的发展趋势[J].地球物理学进展,2002,17(3):473-479.

[2] 文百红,杨辉,张研.中国石油非地震勘探技术应用现状及发展趋势[J].石油勘探与开发,2005,32(2):68-71.

虽然利用高精度磁测直接找油的效果一般,但是利用磁力、重力指标可分析基底、岩体的分布及变化特征。电导率、微量元素、浅层激电受介质属性影响太大不推荐采用。

表中的组合方式具有广泛性、通用性,实际工作中还要考虑具体研究区的特殊性,如地质特征、地形地貌条件等。对于解决同一问题的多种方法,可以根据实际情况选择其中的某些方法进行。

[3] 袁永真,孟小红,钟清,等.非地震方法在内蒙古地区乌兰盖盆地的应用[J].物探与化探,2012,36(1):13-18.

[4] 胡艳,邹立群,董文彤.基于神经网络的非地震综合评价[J].物探与化探,2005,29(2):161-162,166.

[5] 何展翔,贾进斗,苟量.非地震技术在油气勘探开发中的作用[J].石油勘探与开发,2011,28(4):70-72.

[6] 刘崇禧,汪怀.油气化探方法最佳组合初探[J].石油实验地质,1989,11(1):41-49.

[7] 朱炳球,余慧.油气勘查中非常规综合物化探方法的优化组合及其成效[J].物探与化探,1996,20(4):265-273.

[8] 高志亮,邱彦章,张钊.非地震多方法找油最佳组合问题的初探[J].西安工程学院学报,1998,20(1):11-13.

[9] 阮天健,费琪.石油天然气地球化学勘探[M].武汉:中国地质大学出版社,1992.

[10] Soli G G. Microorganisms and geochemical methods of oil prospecting[J].AAPG Bulletin,1957,41(1):134-140.

[11] Martin J D,李国平.油气垂直运移法:一种有潜力的地球化学勘探方法[J].地质地球化学,1987,01:8-11,71.

[12] 汤玉平,龚维琪,邓树立,等.油气化探异常类型及成因机理研究[C]//程同锦,戴联善.第四届全国油气化探学术会议论文集.武汉:中国地质大学出版社,1995.

[13] 徐忠祥,侯卫国,苏江玉,等.塔里木盆地雅克拉地区油气地球物理地球化学异常系统研究[M].武汉:中国地质大学出版社,1999.

[14] 吴传璧,周书欣.油气化探理论与方法[M].北京:地质出版社,1989.

[15] 吴传璧,谭惠静.油气化探发展脉络与思考[M].北京:地质出版社,1996.

[16] 张辉,张光华.综合物化探方法直接找油气的尝试[J].石油地球物理勘探,1996, 31(4): 546-551.

[17] 姜宏训.综合地质物化探多参数直接勘探油气方法与效果[M].西安:陕西科学技术出版社,1995.

[18] 贾国祥,陈远荣,姚锦琪.我国特殊景观区油气综合化探技术[M].北京:石油工业出版社,2003.

[19] 王赐福,陈安福.鄂尔多斯盆地非地震油气勘探[M].北京:地质出版社,1992.

[20] 任俞,尚慧芸 曾国寿.非地震物化探法油气勘探百例集[M].北京:中国石油天然气总公司,1991.

[21] 郭新顺,潘作枢.非地震找油气方法分类及油气垂向迁移探讨[J].西安地质学院学报,1996,18(3):77-83.

[22] 钱善章.用激电法直接找油应受地质条件的约束[J].石油物探,1985,24(1):38-48

[23] 陶虎生.鄂尔多斯盆地非地震油气勘探特征值分析解释[D].西安:西安交通大学,2001.

The optimized combination of non-seismic geophysical and geochemical exploration methods in the prospecting for oil : A case study of Ordos Basin

WANG Jun-Lu¹, FENG Bing², YANG Wan-Jun³, WANG Meng⁴,
ZHANG Ji-Feng², CAO Jin-Zhou⁵, YAN Xin-Zhi⁵

(1.Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China; 2. School of Earth Sciences and Resource, Chang'an University,Xi'an 710054, China; 3.Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development of Shaanxi Province, Xi'an 712000, China; 4.China Aero geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China; 5. Shaanxi Yanchang Petroleum (Group) Co., Ltd., Xi'an 710075, China)

Abstract: According to the characteristics of oil and gas reservoirs and the basic principles of the non-seismic geophysical and geochemical exploration methods, the authors analyzed the function of the non-seismic geophysical and geochemical indexes. The result shows the close corresponding relationship between the indicators of the non-seismic geophysical and geochemical exploration methods and the beneficial hydrocarbon zones which are located in oil and gas zones of the Ordos Basin. An optimized combination of the non-seismic geophysical and geochemical exploration methods in the prospecting for oil in the Ordos Basin is put forward in this paper. The results achieved by the authors will play a guiding role in the further oil prospecting work in the Ordos Basin.

Key words: Ordos Basin; oil reservoir; non-seismic geophysical and geochemical exploration method; coefficient of association; optimized combination

作者简介: 王珺璐(1988-),男,硕士,助理工程师,主要从事电磁法数值模拟与方法应用研究。E-mail:wangjunlu2007@126.com

通讯作者: 冯兵(1962-),男,博士,副教授,主要从事电法勘探的理论及应用研究。E-mail:fb8005@126.com