

微量元素谱图油气评价 及其在岩性油藏勘探中的应用

文百红¹, 刘显阳², 林蓓¹

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083 2. 长庆油田公司 勘探开发研究院, 陕西 西安 710021)

摘要:微量元素谱图油气评价技术是在引进俄罗斯地电化学油气勘探方法的基础上开发的一项含油气性及油气属性评价预测新技术。试验研究表明, 油区内外土样电化学提取微量元素 Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn 的 ICP 质谱特征存在特征差异。利用微量元素谱图特征在五谷城和姬塬地区进行了油气评价和有利目标预测。地电化学微量元素谱图相关系数异常与微量元素浓度异常及烃类异常有较好的配置关系, 与自然电位和可控源音频大地电磁确定的有效砂体储层相对应。2001 及 2002 年在五谷城和姬塬地区微量元素谱图油气评价预测的有利区内及附近钻获油流, 证实了微量元素谱图油气评价在长庆岩性油藏勘探中的作用及有效性。

关键词:微量元素谱图; 电化学提取; 油气评价; 油气渗漏; 岩性油藏

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2006)02-0103-04

寻找地层岩性等非构造油气藏是油气地球化学勘探的优势。与地震勘探不同, 油气化探是直接检测由烃源岩和油气藏在深部地质条件下产生和逸散的碳氢化合物或伴生的化学物质, 从而对深部地质体的含油气性进行评价的方法。微量元素谱图油气评价是在引进和吸收俄罗斯地电化学油气勘探方法的基础上开发的一项含油气性及油气属性评价预测新技术, 通过测试样与含油气标样微量元素谱图的相关分析, 评价测试样所反映的深部地质体的含油气性及油气类型^[1-3]。地电化学油气勘探方法是 20 世纪 80 年代末前苏联开发、90 年代在俄罗斯及独联体国家逐步推广应用的一项油气勘探新技术^[4-5]。90 年代末中石油勘探院通过引进开发, 在十几个探区开展了构造类型和非构造类型油气勘探试验, 先后在柴达木涩北一号气田、鄂尔多斯四郎庙油田、安塞油田进行了应用实验, 所确定的油气藏边界与钻探证实的油水或气水界面对应良好, 在局部地段, 还预测了新的油气储层位置^[6-7]。另外, 在六盘山肖家湾构造、鄂尔多斯庙湾和五谷城地区有利目标区以及合肥盆地和鄱阳盆地重点预探区进行了含油气性评价, 展示了良好的应用前景。

1 地电化学油气勘探方法简介

在 20 世纪 80 年代末, 前苏联地质勘探家首先在西西伯利亚油气区、伏尔加—乌拉尔油气区中 20

多个油气田上利用土样微量元素的电化学提取方法进行油气勘探和评价, 取得了良好的验证和预测效果, 初步形成了地电化学油气勘探的方法程序^[4]。90 年代后, 还先后在波罗地海油气区和环里海油气区进行了勘探应用试验, 取得了明显的勘探效果和经济效益^[5]。由地电化学方法所确定的十几口预探井中 80% 的为油气流井。随后该方法技术在欧洲、北美洲和澳洲开始得到应用。

Roeming 和 Donovan(1985)利用 DTPA 提取的 Fe 和 Mn 晕环状异常与 Bell Creek 油田分布对应很好。Tedesco 和 Goudge(1989)对微量元素碘(I)在油气勘探中的应用进行了许多成功的应用实验。俄罗斯勘探家雷斯、奥登堡、阿列克谢耶夫等(1994、1996)在西西伯利亚和伏尔加乌拉尔地区利用地电化学方法和热磁地球化学测量提取了油气区土壤中 Ni、Co、V、Cu、Pb、Zn、Cr、Mn、Ga 等微量元素晕环状异常, 有效地确定了油气藏(田)的分布范围。

1998 年以来, 中国石油勘探开发研究院引进和开发了地电化学油气勘探技术, 建立了较完整的油气属性的评价原则和油气勘探目标的三维预测模型^[6-7], 使这项技术具有较严密的科学性和广泛的实用性。

2 微量元素谱图油气评价

地电化学油气勘探技术是以油气微渗漏现象为

事实依据,在总结几十年的油气勘探地质资料和大量的物理模拟实验和数学模拟数据的基础上,我们提出了油气微量元素气体携带迁移模型^[2,7-8]。

在地下油气藏周围中存在 2 种主要的气体来源:地壳深部的地气(geogas)、油气藏渗漏的轻烃和芳香烃气体。在地表附近还存在腐殖物产生的生物气。这些气体在深部压力和气体浮力的作用下,往往是以微气泡的形式,沿着岩石的孔隙和裂隙近垂向地向上迁移。在经过油气藏时,由于微泡具有表面张力与活性,微泡与油层水中的油气微量元素发生了化学吸附作用,在微泡表面上形成了一种电偶吸附层。在随微泡向上迁移的过程中,微泡上电偶层中的油气微量元素与周围介质(地下水和岩石颗粒等)发生动态的离子交换作用。随着气泡的不断向上迁移,微泡不断地从油层水中俘获油气微量元素并携带到上伏岩层。在近地表氧化环境中,微泡上电偶层释放的油气微量元素被土壤颗粒吸附。在长期的油气微渗漏中,微泡携带上来的油气微量元素与土壤颗粒吸附的微量元素达到动态平衡。因此,近地表土壤吸附的油气微量元素蕴涵了地下油气藏相关的微量元素信息。

精确的测试分析结果表明,原油、凝析水和湿气中含有 30 多种微量元素。已检出的微量元素 40% 以上集中在元素周期表的第四周期有多价态的过渡元素中。这些过渡元素主要富集在抽提物的沥青质和非烃中,在芳烃和重正烷烃中含量较少。油气中的这些微量元素可随渗漏气体迁移至地表,或溶解在孔隙水中在毛细作用下向上迁移。迁移到近地表环境中的这些微量元素将被化学还原,或进入吸附水中、或被土壤颗粒所吸附吸收。这些油气微量元素的含量和组合关系与周围背景条件下土壤中微量元素的含量和组合关系具有特征差异性。

图 1 为鄂尔多斯南部安塞地区红柳沟油田油层水(红 20,长 6 油层段)与镰刀湾油田油层水(镰 2,长 2 油层段)中微量元素 ICP 质谱特征的对比。总

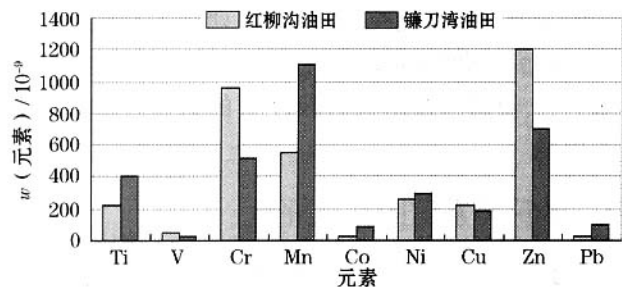


图 1 红柳沟油田与镰刀湾油田油层水样微量元素 ICP 质谱特征

体上红柳沟油田水样的 Zn、Cr、Mn 含量较高,且 $w(\text{Zn}) > w(\text{Cr}) > w(\text{Mn})$,其他元素含量较低。而镰刀湾油田水样的素 Zn、Cr、Mn、Ti 含量也较高,但 $w(\text{Mn}) > w(\text{Zn}) > w(\text{Cr}) > w(\text{Ti})$,其他元素含量较低。但 2 个油田 Ni 含量高于 V,是陆相原油的基本特征,且微量元素比值 $w(\text{V})/[w(\text{V}) + w(\text{Ni})] < 0.25$,是油气藏的反映。进一步与原油族组分微量元素含量的对比表明,红柳沟和镰刀湾油田水样微量元素含量的差异性是一含油气层不同油层段原油芳烃和沥青质中微量元素含量差异性的反映。可见,利用油田水微量元素质谱特征差异可以识别和预测不同油层组原油的组分特征。

图 2 是红柳沟油田上方近地表(2 m 深)土样电化学提取的微量元素的 ICP 质谱特征。从形态上看,红柳沟油田上方土样微量元素与图 1 红柳沟油田水样(红 20,长 6 油层段)微量元素的 ICP 质谱特征具有相似性(相关系数为 0.94),而与镰刀湾油田水样(镰 2,长 2 油层段)微量元素 ICP 质谱特征差异较大(相关系数为 0.69)。可见,从油田上方近地表土样中通过电化学提取的微量元素特征代表了地下油田水的微量元素特征,也间接地反映了对应油层组的微量元素基本特征。

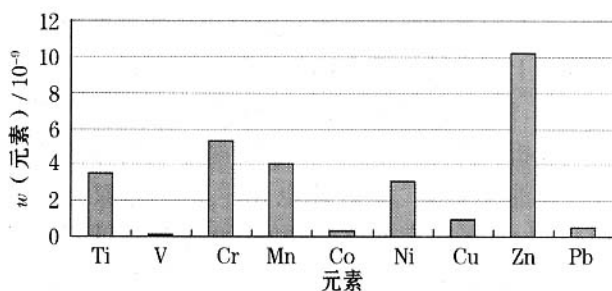


图 2 红柳沟油田上方土样电化学提取微量元素 ICP 质谱特征

综上所述,由于油气渗漏,油田水的微量元素特征被微气泡携带到近地表,因此近地表土壤吸附的油气微量元素的质谱特征在一定程度上揭示了与地下油气藏相关的油气地球化学组分特征。这正是利用微量元素谱图特征进行油气评价的基本思想。

应特别提出的是,已知油区内外土样的微量元素谱图特征也存在明显差异,相关性很小^[3]。红柳沟油区内土样电化学提取的微量元素 Mn 普遍低于油区外,而油区内的微量元素 Cr、Cu、Zn 普遍高于油区外。这与镰刀湾油田的情况不同。镰刀湾油区内的微量元素 Mn、Cr、V 大于油区外,而油区内的微量元素 Ti 小于油区外。因此,利用已知油田上方土样与研究区测试样的电化学提取的微量元素谱图特

征的相关系数不仅可以预测研究区原油地球化学组分特征,而且还可以圈定不同油层组的分布范围。因此,在总结不同地区油气微量元素谱图结构特征的基础上,可用电化学提取的微量元素谱图结构特征来划分不同类型的油气藏,从而为油气藏属性评价提供了新的和有效的地球化学指标。

3 长庆油田岩性油藏勘探试验

长庆油田是我国典型的低孔低渗地层岩性油田。在中油股份公司科技部及勘探与生产分公司的支持下,2000~2002年在长庆安塞地区开展了地层岩性油藏的勘探试验。在红柳沟、新城、大路沟、五里湾、张渠、镰刀湾等已知油区上,地球化学采样和微量元素电化学提取分析结果表明:

(1) Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn 这 8 种元素地电化学提取样的测试结果重复性稳定,是有效的地电化学指标;

(2) 油藏上方测试样微量元素谱图特征基本相似,而油区内外微量元素谱图特征存在特征差异;

(3) 油区边缘测试样的浓度异常围绕油藏油水边界呈晕环状分布;

(4) 测试样与对应油藏上方出油井附近(50 m 以外)的含油标样微量元素谱图的相关系数异常与油藏范围吻合,呈块状分布;

(5) 根据这种分布特征有效地划分出长2、长4+5、长6和延9不同油层段油藏的分布范围,与实际吻合率达到86%。

与此同时,在靖西地区2个重点勘探区带进行了微量元素谱图油气属性评价勘探试验研究。下面重点介绍在五谷城地区勘探试验成果。为了对比及综合研究,除了对采集的土样进行微量元素电化学提取分析外,还进行了热释烃和酸解烃分析,后来还开展了自然电位测量和可控源音频大地电磁测量,进行有利砂体分布预测。

图3b为研究区测试样与附近红柳沟油田上方含油标样微量元素谱图的相关系数异常(>0.7)。由图中可见,微量元素谱图异常以面块状为主,分布在测区的西南部,预测为与红柳沟油田储层类似(三叠系长6段)的含油气区块。热释烃异常与微量元素浓度异常具有相似性,以点块状为主,与微量元素谱图异常有较好的配置关系,围绕谱图异常呈晕环状分布。由自然电位(图3a)及可控源音频大地电磁确定的4个三叠系砂体储层,其中,在西南部微量元素谱图异常重叠区推断有三叠系和侏罗系砂体储层砂体分布。因此,根据综合评价结果认为,有微量元素谱图异常的西南部应是三叠系长6段砂体油藏发育的最有利位置,建议实施钻探。其他3个预测的砂体位置含油气性较差。

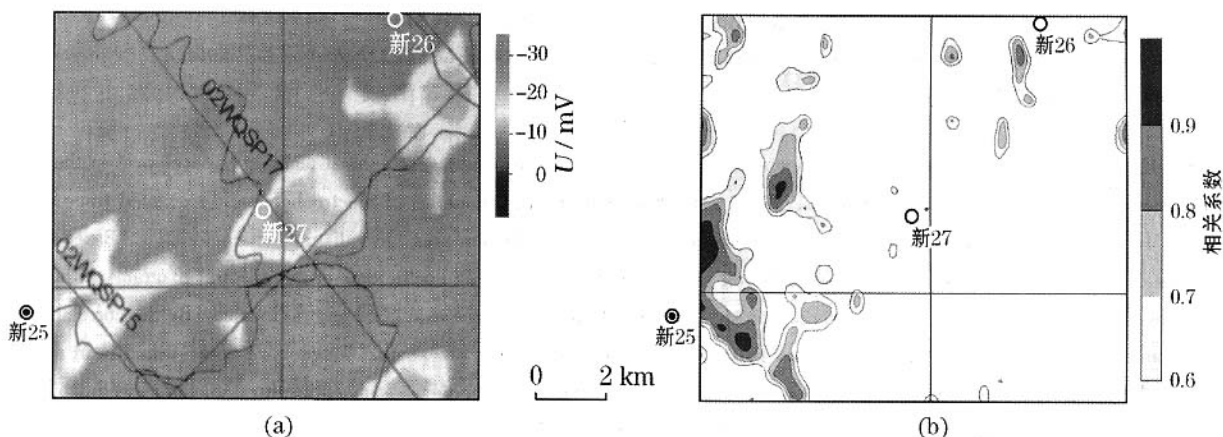


图3 五谷城地区自然电位异常砂体预测(a)与微量元素谱图相关系数异常油气评价(b)

2001年油田根据其他地质资料,钻探了4口井。其中钻在微量元素谱图异常预测的有利区边缘的新25井钻遇长6段油流,而钻在谱图异常预测不利区的新26和新27井均为干井。初步证实了微量元素谱图含油气评价的有效性。

此外,在姬塬地区进行了重力、遥感和地电化学微量元素综合含油气评价预测了3个有利区。其中2002年在预测的一级有利区中部署的2口井(耿15

和耿21井)钻遇长8段工业油流,再一次证实了微量元素谱图油气评价的有效性。

4 结论

(1) 在深部压力和气体浮力的作用下,不论构造圈闭,还是地层岩性圈闭的油气藏在聚集成藏后都存在一定的油气渗漏现象。

(2) 由于油气渗漏,油田水中的微量元素被携

带到近地表 ,通过土壤的吸附和吸收 ,被保存在土壤介质中。

(3)油田上方土样电化学提取的微量元素谱图特征与地下油田水微量元素谱图特征具有相似性 ,油田水的微量元素质谱特征又与原油芳烃和沥青质中微量元素含量有关。因此通过电化学提取的土样微量元素谱图特征可揭示地下油气藏地球化学组分结构信息。

(4)油区内外土样的微量元素谱图特征存在特征差异。利用测试样与含油标样微量元素谱图特征的相关系数可以预测油气藏的分布范围。

(5)3 年的初步勘探试验表明 ,利用微量元素谱图特征可以有效地评价长庆油田三叠系砂岩储层的含油性 ,有利于提高钻探成功率。

参考文献 :

[1] 文百红 林蓓 刘吉敏. 油气微渗漏的垂向结构与地电化学油气检测[J]. 石油勘探与开发 ,1999 26(5) 33.

[2] Putikov O F ,Wen Baihong. Geoelectrochemistry and Stream Dispersion[Chapter 2][A]. Handbook of Exploration Geochemistry (Govett G J S ,Hale M [C] ,Elsevier Science B V 2000 7 ,15 – 77.

[3] 文百红 林蓓 刘显阳. 油气微渗漏组分的赋存形态及其油气指示性[J]. 石油勘探与开发 2001 28(1) 43.

[4] Рысс Ю С ,Гольдберг И С ,Васильева В И и др. Возможность применения геоэлектрoхимических методов для поисков нефтегазовых месторождений[J]. Советская геология ,1990 , (6) 28.

[5] Васильева В И ,Ворошилов Н А. Оценка перспективности площадей на нефти геоэлектрoхимическими методами[J]. Геофизика ,1995 (2) 29.

[6] 文百红 林蓓. 油气微量元素示踪技术的应用分析[J]. 油气化探 2000 7(3) 30.

[7] 文百红. 油气浮渗流模型与遥感地球化学油气勘探[A]. 2000 年中国博士后学术大会论文集(材料与能源分册) [C]. 北京 : 科学出版社 2001 255.

[8] Wen Baihong ,Putikov O F. Gas bubble-facilitated transport of metals in lithosphere[J]. Transactions of Nonferrous metals societny of China. 1999 9(1) 152.

OIL-GAS APPRAISAL BY TRACE ELEMENT SPECTRAL DIAGRAM AND ITS APPLICATION TO THE PROSPECTING FOR OIL RESERVOIR OF STRATIGRAPHIC TRAP

WEN Bai-hong¹ ,LIU Xian-yang² ,LIN Bei¹

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development ,PetroChina ,Beijing 100083 ,China ;2. Institute of Exploration and Development ,Changqing Oilfield Company Ltd. ,Xian 710021 ,China)

Abstract Hydrocarbon prospect appraisal by trace element spectral diagram is a new geochemical technique developed on the basis of Russian geoelectrochemical exploration methods. Field tests show that spectral diagrams of electrochemically extracted trace elements Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni、Cu、Zn in soil samples from within and outside oil production area have distinct characteristics. Based on these differences of spectral diagrams of trace elements in soil samples and the correlation coefficients of the spectral diagrams with standard soil sample from oil-bearing area ,the hydrocarbon prospects of the study area can be evaluated and delineated. By the correlation coefficient anomalies of trace element spectral diagram in soil samples one oil-bearing prospect in Wugucheng area ,which is in consistent with results of alkane geochemical analysis and self-potential anomaly and audio-frequency magneto-telluric anomaly ,and 3 oil – bearing prospects in Ji yuan area are predicted. In 2001 and 2002 the predicted oil-bearing prospects were verified by the following drilling wells.

Key words : spectral diagram of trace elements ;electrochemical extraction ;oil/gas-bearing prospect appraisal ;hydrocarbon seepage ;oil reservoir of stratigraphic trap

作者简介 :文百红(1963 –)男 湖南衡山人 ,俄罗斯地质矿物学博士 ,高级工程师。1985 年毕业于中南工业大学地球物理勘探专业 ,1997 年毕业于俄罗斯圣彼得堡矿业学院。现在主要从事油气综合物化探研究工作。