

微量元素方法应用于近地表油气化探研究进展

王国建^{1,2} 程同锦¹ 汤玉平¹ 王多义³

(1. 中国石化石油勘探开发研究院 无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151 2. 中国地质大学 资源学院, 湖北 武汉 430074 3. 成都理工大学 能源学院, 四川 成都 610059)

摘要:介绍了微量元素应用于近地表油气化探的基本原理、微量元素观测方法的分类、指标的示油气意义,及其在油气藏勘探方面应用研究的进展,指出了微量元素地球化学研究的发展趋势。

关键词:微量元素 油气化探 地球化学

中图分类号: P632 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2006)03-0236-04

微量元素方法作为一种间接的油气化探方法近年来逐渐得到了勘探界的关注,它不受近地表生物成因烃类及有机质的干扰,具有稳定性、重现性好的特点,因此,在油气化探中微量元素方法具有独特的作用,利用区域上的微量元素资料可以进行含油气远景评价。

1 基本原理

测试分析表明,在原油、凝析气和湿气中含有30多种微量元素。作为油气的重要组分,微量元素与油气的关系已经得到应用并引起重视。经研究证实,地下深部油气藏中的烃类在浮力、水动力、压差、温度梯度等作用下,能够以近似垂直方向往上运移至地表土壤而形成可检测到的化探异常^[1]。烃类向上运移的微细气泡流,有助于将这些金属元素捕获,从而携带这些元素以准气态和离子形式向上运移,迁移至地表的伴生元素可以被土壤和沉积物层捕获^①。同时烃类的长期微渗漏也能使地表地球化学环境改变^[2],使元素发生迁移或沉淀。这2种作用都能引起近地表地球化学场发生变化,经过后期油气改造、叠加作用的地区,在微量元素含量和组合关系上与周围背景区有特征差异。因此,通过对油气区内、外所采集土样中油气特征微量元素的分析,可以追踪油气分布规律和进行含油气远景评价。

2 地表化探中微量元素观测方法

微量元素在土壤中有多种相态,包括离子交换

态、碳酸盐结合态、弱有机结合态、强有机结合态、铁锰结合态、残渣态。由油气藏迁移至近地表土壤的伴生元素,容易被有机质、铁锰氧化物及胶体氢氧化物等地球化学“障”阻挡而富集,另外,还可以被高岭石、含水高岭土和其他粘土矿物吸附而富集,即离子交换态赋存而形成后生地球化学异常^[3]。用微量元素进行油气勘探,国内外学者都进行过卓有成效的尝试,取得了一系列成果,他们主要应用地电化学测量方法,包括元素赋存状态法、热磁地球化学方法、离子提取法。另外,有些学者尝试应用了元素的全量分析方法。具体的观测方法^[4-5]如下。

2.1 元素赋存状态法

这里的赋存状态指的是重金属元素的有机结合态。运动状态的金属元素沿近于垂直的方向迁移到达地表后,与有机酸结合形成重金属的腐殖酸盐。该方法研究的对象即是这种腐殖酸盐。在地表3~5 cm处采集含有腐殖酸盐的样品。然后选择特定的溶剂对样品进行处理并分析样品中重金属元素的含量。

2.2 热磁地球化学方法

该方法通过对样品进行热和磁处理,提取出与铁、锰氢氧化物有关的重金属物质。由于氢氧化铁对于运动状态的重金属元素是很好的聚合物,故通过分析这种物质,可以确定样品中运动状态的重金属元素的含量。在实际操作中,从地表15~20 cm处采样,加工成1 mm大小,取其30 g在800~900℃下煅烧,冷却后进行磁选分离,选出其磁性成分,

①Путников О Ф.等. 油气藏上方重金属元素气流型分散量及其在评价油气藏参数中的应用. 邱郁文译. 油气化探 2001(3):50.

收稿日期 2005-08-19

基金项目 中国地质调查局国土资源大调查项目(1212010310302)资助

即热磁组分,然后把热磁组分进一步研磨成粉状,通过谱分析方法分析出组分中的重金属元素(如 Cu、Pb、Zn、Mo 等)的含量。

2.3 离子提取法

该方法有供电电极和接收电极(元素接收器)。通过供电电极向地下供电,运动状态的重金属离子在电场作用下进入接收器的溶液里,分析接收器溶液中重金属离子的种类和含量;根据分析结果建立每种元素的含量与通电时间的关系,即地电化学时距曲线;根据时距曲线可以确定某种元素进入接收器的初始时间及元素累积增长的速度,前者可以确定金属源与接收器间的距离,后者则可以用来分析元素的性质。

2.4 全量分析法

该方法主要分析土壤中的元素总量,包括各种相态。对于油气化探而言,在油气区,该法所测得的微量元素含量包括了与油气有关的微量元素信息和表生元素地球化学信息的综合,虽然其干扰因素较大,但分析成本却远远低于上述几种方法。经过一些地区的试验研究与探索,有学者认为全量分析方法对油气微渗漏还是有一定的指示作用。

3 微量元素指标的油气地球化学意义

国内外微量元素指标应用于油气化探,主要讨论与油气藏的对应关系,在其对油气的指示意义上讨论甚少或不深入。笔者通过综合研究和已知油气田上方的试验^[6],探讨了一些指标的油气指示意义,为指标应用提供地球化学依据。

铁族元素 Fe、Mn、V、Ni 和 $w(\text{Fe})/w(\text{Mn})$ 、 $w(\text{V})/w(\text{Ni})$,以及碱金属 Ba、卤素 Cl 等指标是地表化探中常用指标。一方面,油气藏或者油气田水中含有这些元素并随微渗漏烃以离子或络合物形式迁移到地表,形成后生地球化学异常;另一方面微渗漏烃蚀变可以使近地表地球化学环境发生变化,使元素地球化学行为发生改变。对后者而言,近地表土壤中微量元素指标示油气的地球化学意义如下。

3.1 Fe、Mn、 $w(\text{Fe})/w(\text{Mn})$

在内生作用条件下,Fe、Mn 常共生在一起,而在表生条件下受风化环境中 pH 值的控制,两者可能发生分离,由于 Fe、Mn 氢氧化物沉淀的 pH 值不同,Fe 氢氧化物沉淀的 pH 值较低,在酸性条件下,风化作用的产物往往是纯铁帽(Mn 随水介质移出),而在碱性条件下风化作用形成锰-铁帽(两者均不能迁移)^[7]。在油气田区,油气藏中的烃类微渗漏到地表土壤,细菌和辐射作用又使其分解成醛、酮、酸和

二氧化碳,而二氧化碳溶于水后生成的碳酸降低了介质的 pH 值,油气田区土壤中 pH 值在 6.7 ~ 8.6^[2]。土壤地球化学环境的 pH 值改变,使 Fe 沉淀富集,Mn 活化迁移。因此,在油气藏上方或边界烃类渗漏较强区域的土壤中,一般形成 Fe 的高异常,Mn 在油气田正上方为低值,在边界处为高异常; $w(\text{Fe})/w(\text{Mn})$ 在烃类渗漏区域一般应形成高异常。例如,在美国的俄克拉荷马州卡特县的道尔油田上方,形成有 Fe、Mn 及 $w(\text{Fe})/w(\text{Mn})$ 的环形晕。

3.2 V、Ni、 $w(\text{V})/w(\text{Ni})$

这些是文献中最常见的用于指示烃类微渗漏的微量元素指标,它们在地表土壤中的地球化学行为与 Fe、Mn、 $w(\text{Fe})/w(\text{Mn})$ 指标有些类似。由于垂向微渗漏的烃改变了土壤的 pH 和 E_h ,使 V、Ni 在油气藏上方近地表形成环形晕。例如,在科罗拉多州丹佛西大约 7.5 km 的克里克油气渗漏区,发现 V、Ni、 $w(\text{V})/w(\text{Ni})$ 的值过渡区 > 氧化区 > 还原区^①。

3.3 Ba

对于 Ba 在地层和土壤中产生异常的原因,认为主要是由于微渗漏烃引起的上覆盖层及土壤层地球化学环境发生改变,使 Ba 在气藏上方的地层及土壤中富集形成异常。因此,Ba 对寻找天然气藏具有一定的指示意义。在黑龙江省开展化探扫面时,在大庆油田发现了 Sr、Ba 异常^②。

3.4 Cl

对于卤素在油气化探中的应用,国内外一般用碘指标。但 Cl、Br 也有人尝试过。长期以来,人们已熟知油气藏可以产生微弱的氧化还原电池效应,并因此而产生从油藏到地表的电流异常。由于这些电流实际上是垂直流动的,所以会在油气藏正上方地表产生异常,异常与下伏油气藏基本对应。Tompkins(1990)进一步完善了这种与电流密切相关的氧化还原电池模型。研究发现,油气藏上方向量元素异常与用该模型得出的解释结果非常相符。氧化晕状异常是地下还原体逐步被氧化而生成的,晕状异常也由此得名(Clark,1995)。任何一种还原体,包括油气藏和各类矿床,都可以生成某一种异常。氧化晕状异常具有高衬度值特征,该氧化序列的微量元素包括 Cl、Br、I、As、Sb、Mo、W、Re、Se、Te、V、U、Th。实验数据和野外证据都表明,氧化序列的微量元素是以卤素气体和挥发性卤化物形式运移至

① <http://www.geotech.org>

② 李锡平. 黑龙江省锶钡的分布特征及其与油气田关系. 油气化探, 1988(6):129.

地表的。这些元素的气体 and 组分是在地下氧化-还原电池阳极附近的酸性-氧化环境条件下产生的,氧化异常会在地下还原体地表投影周围形成典型的不连续也不对称的晕圈,但指示氧化异常的微量元素并不代表地下还原体的组成^①。

总之,油气微渗漏引起的地表微量元素地球化学异常归于 2 种作用,即油气微渗漏把深部油气藏中的微量元素携带至地表和微渗漏使地表地球化学环境发生改变,使某些元素沉淀富集或活化迁移。

4 现状

关于利用微量元素进行油气地球化学勘探的问题,在国外研究较早。Tedesco 认为碘是油气聚集有利区的一种良好的间接指示元素,对卤族元素在油气普查中的应用进行了详细的研究,包括卤素元素的化学反应、碘的聚集作用、采样等,并列出了典型的探例^②。Roeming 和 Donovan(1985)发现用 DTPA(二亚乙基三胺戊醋酸)提取的高浓度的全量铁和锰异常以晕状模式环绕 Bell Creek 油田分布^③。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^[8-9]。20 世纪 90 年代后,还先后在波罗的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。由地电化学方法所确定的十几口预探井中 80% 为油气流井^[11]。如 C. Г. Алексеев 等研究了油气藏上方地电化学异常的带状结构及其应用,在西西伯利亚沙伊姆含油气区捷捷列夫油田上方,可以看到不同元素的空间分离现象;波罗的海含油气区北斯拉文油田的测量结果,可以说明活动态金属元素分散晕的空间位移现象^④。随后,该方法技术在欧洲、北美洲和澳洲开始得以应用。

国内方面,碘指标被先后应用在松辽盆地北部双城地区和南部后五家户地区、濮阳凹陷、辽河盆地、鄂尔多斯盆地等工区的测量中,并取得了较好的效果^[10]。中国地质大学祁士华、阮天健等在陕北斜坡的元城油田进行了无机地球化学勘查研究,用偏提取方法分析微量元素(仅包括 Fe、Mn、Mg、Ca、Na、K),得出了一些认识^[11]。有研究发现,塔北雅克拉和藏北伦坡拉油气藏上方地植物与相邻的非油气区地植物相比,具有发育不良,体内微量元素 Li、Fe、Mn、Ni 等丰度高,Rb、Ca、Sr、Ba 等丰度低的特征,这种异常特征与化探异常有好的对应关系^[14]。1998

年以来,中国石油勘探开发研究院遥感地质所从俄罗斯引进了地电化学油气勘探技术,先后在柴达木涩北一号气田、鄂尔多斯盆地四郎庙油田、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^⑤。贾国相、姚锦琪用全量分析方法研究了微量元素在四川盆地油气各生、储层中的含量特征,并试验研究了松华镇气藏、白马庙气藏、大兴场气田、资阳气田、瓦市气田上方壤中某些气体元素, Ba 及 Fe、Cu 等元素与油气藏的关系,结果显示这些元素对油气藏有明显的指示作用,可作为指示油气藏存在的指标^[13]。赵琦、罗正春、刘永平通过对德阳新场气田上方土壤全量微量元素化探成果的分析,对土壤化探元素预测天然气进行了探索,认为 As、Sb、Hg、Ba、Mn 及 Cu、Pb、Zn、Mo、Cd、Ni、V、P 是预测天然气的指示元素^[14]。周奇明、董树政等用电吸附法在柴达木盆地冷湖油田、黄骠坳陷羊三木油田上方进行实验,认为该法寻找隐伏油气藏的试验效果与已知油气藏位置吻合程度高,对应性较好,能够准确反映油气藏分布位置^[3,15]。潘爱芳、赫英等在收集前人资料的基础上,对鄂尔多斯盆地元素(全量分析)地球化学场的特征及其与能源矿产的关系进行研究,获得了该盆地的地球化学分区,初步揭示了各地球化学分区内能源矿产分布的关系^[2]。已知油气田上方土壤微量元素丰度的变化与深部油气微渗漏的关系也得到了细致的研究^[6],证明了油气田上方的微量元素含量的确存在烃类微渗漏的影响。

上述国内外微量元素应用于地表油气地球化学勘探的研究,在一定程度上使该方法的发展得到了石油地质界的注意。但是由于在微量元素应用于地表地球化学勘探的机理还存在不同争议,加之地表微量元素含量又受深部(如地热、深大断裂等)和浅部(表壳岩石、外界冲积物源等)一些因素的影响,所以当研究地表微量元素分布与油气富集区的关系时,应当结合有机地球化学指标进行综合研究。

① Clark J R, Tompkins R, Hill G T. 土壤地化异常与深部油气藏间的关系. 张彦霞译. 油气化探 2003, 10(3): 38.

② Steven A Tedesco, 等. 碘——一种油气勘探方法. 吴传芝译. 油气地质译丛, 油气化探合刊, 1990(9): 30.

③ Klusman R W. 微渗漏烃的多种微量元素检测法. 王国建译. 油气化探, 1998, 5(3): 36.

④ Алексеев С Г, 等. 油气藏上方地电化学异常的带状结构研究及其应用. 邱郁文译. 油气化探 2000, 7(4): 34.

⑤ 夏响华, 任春, 邓国荣, 等. 油气化探综合评价新技术. 中国石化科技开发项目报告 2003.

5 发展方向

加强微量元素找油气的机理研究,包括源岩—储层—盖层—地表的微量元素检测、水岩相互作用中的微量元素变化特征等,发挥微量元素在油气运移研究中的作用,为其应用提供可靠依据。

加强微量元素的近地表干扰因素研究。开展与油气有关的元素与表生元素、深成元素的成因研究,寻找“指纹”元素。在油气化探中,要综合考虑地质因素和表生作用,另一方面要利用数据处理方法抑制干扰因素,提取与油气有关的微量元素信息。

积极开展已知油气区上方微量元素全量分析与地电化学提取方法的关系研究,探讨微量元素全量分析与油气微渗漏的关系,为利用目前国土资源大调查资料结合石油地质、地球物理进行含油气远景评价提供有价值的参考依据。

加强有机与无机方法综合应用,是油气化探技术体系发展中的重要组成部分。

参考文献:

- [1] 汤玉平,刘运黎. 烃类垂向微运移的地球化学效应及其机理讨论[J]. 石油实验地质, 2002, 24(5): 431.
- [2] 潘爱芳,赫英,马润勇. 鄂尔多斯盆地地表元素地球化学场与

能源矿产关系初探[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(6): 629.

- [3] 周奇明,董树政,黄华鸾,等. 电吸附方法在油气勘探中的试验研究[J]. 矿产与地质, 2002, 16(6): 337.
- [4] 周子勇. 石油层上方重金属元素的射流晕分布及其地电化学研究方法[J]. 地质科技情报, 2001, 20(4): 37.
- [5] 卢荫麻,白金峰. 元素活动态测量的分析方法[J]. 物探与化探, 2000, 24(1): 28.
- [6] 王国建,程同锦,王多义. 微量元素方法在地表油气化探中的试验研究[J]. 石油实验地质, 2005, 27(5): 544.
- [7] 韩吟文,马振东,张宏飞,等. 地球化学[M]. 北京:地质出版社, 2003, 113.
- [8] 文百红,林蓓,刘吉敏. 油气微渗漏的垂向结构与地面地电化学油气检测[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(5): 33.
- [9] 周子勇,Путиков О Ф. 石油层上方重金属射流晕分布的数学—物理模型[J]. 物探与化探, 2002, 26(5): 329.
- [10] 张金来,邓国荣. 地下水中轴的油气化探意义及其应用[J]. 物探与化探, 1993, 17(2): 102.
- [11] 刘崇禧. 油气化探文集[M]. 北京:地质出版社, 1995, 135.
- [12] 王津义,余琪祥,曾华盛,等. 地植物异常判别油气微渗漏的实例[J]. 石油与天然气地质, 1998, 19(1): 80.
- [13] 贾国相,姚锦琪. 油气田上方的某些化探新指标与油气埋深的关系之研究[J]. 矿产与地质, 2001, 15(2): 124.
- [14] 赵琦,罗正春,刘永平. 土壤化探元素预测天然气的探索[J]. 物探化探计算技术, 2001, 23(3): 253.
- [15] 周奇明,周立宏,董树政. 电吸附找矿方法[J]. 物探与化探, 2004, 28(3): 200.

THE ADVANCES IN APPLYING THE TRACE ELEMENT METHOD TO NEAR-SURFACE OIL AND GAS GEOCHEMICAL EXPLORATION

WANG Guo-jian^{1,2}, CHENG Tong-jin¹, TANG Yu-ping¹, WANG Duo-yi³

(1. Wuxi Institute of Petroleum Geology, Academy of Petroleum Exploration and Development, SINOPEC, Wuxi 214151, China; 2. Institute of Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3. College of Energy Resource, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: This paper deals with the basic principle of applying trace element technique to near-surface oil and gas geochemical exploration, the classification of trace element observational methods, the oil-indicating significance of the criteria, the advance in the application of the trace element method to oil and gas exploration, and the development trend of the trace element geochemical researches.

Key words: trace elements; oil and gas geochemical exploration; geochemistry

作者简介: 王国建(1972—)男,辽宁大连人,工程师。1996年毕业于成都理工学院石油地质专业,2005年获中国地质大学(武汉)地球化学专业硕士学位,现为中国地质大学(武汉)石油系在读博士生。主要从事油气地球化学勘查及石油地质研究工作,发表论文多篇。