第 28 卷 第 11 期　　地质与勘探　　Vol. 28, No. 11
1 9 9 2 年 11 月　　GEOLOGY AND PROSPECTING　　November, 1992

油气综合化探异常模式初探

陈远荣　贾国相　栾继深　张茂忠　朱其胜　黎　式

（有色金属工业总公司矿产地质研究院·桂林）

本文总结了主要几种油气藏的综合化探异常模式。通过有关样品测试及对油气藏盖层特征分析，初步探讨了综合异常模式的形成机制，认为各组分异常特征是其地球化学行为、油气藏盖层特征、运移通道及深部地下水活动规律等因素共同作用的结果。

关键词：油气化探；异常模式；形成机制

物探与化探

与油气藏有关的直接指标吸附烃，与众多的间接非烃指标的异常模式，随着油气化探研究的不断发展和深入，人们作了许多有益的探讨和总结。B.A.索科洛夫指出：来自油气藏的烃类的近垂向运移现象，是油气地球化学普查方法的科学依据，但来自油气藏的分散烃气的运移分异过程，又主要以吸附一色层分离效应和分解色层分离效应为主，轻烃先出来，重烃后出来，同气相色谱分析相类似；但这种烃晕（异常）是在漫长的地质年代中形成的。

70年代以来，由于新一代高灵敏度色谱仪的出现，使人们能检测到微量烃气运移留下的痕迹，从而总结出了与油气藏（田）有关的各类异常模式。但由于不同组分、元素的地球化学行为和所处的地质、地球化学环境不同，所以，在不同盆地，甚至同一盆地不同类型油气藏上异常模式亦不相同（主要表现为异常组合的差异）。如奥尔顿·V·加拉赫对不同油气田上的碘异常进行研究后指出，“高浓度的碘有时出现在油田或天然气

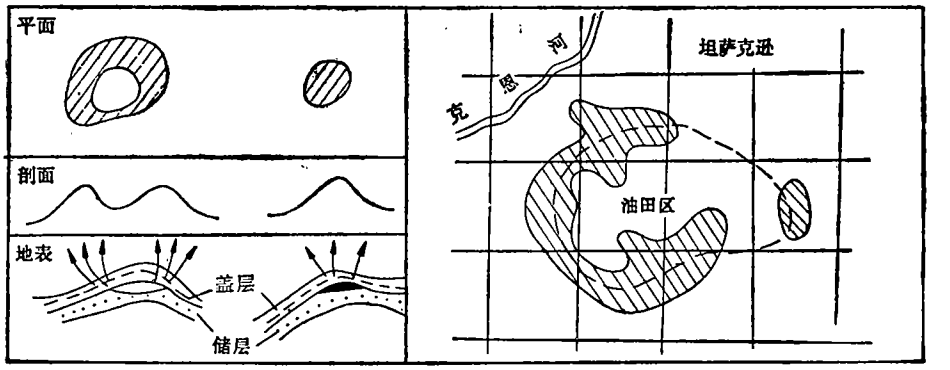

图 1　油气渗流的简化异常模式（左）及美国加利福尼亚州克恩县坦萨克逊油田ΔC地球化学晕（右）

（左图据Davidson资料整理；右图据Dnchscherer等）

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

田边缘附近，即晕效应，有时则出现在油田或天然气田正上方，即顶端效应”[1]。

目前，对于异常分布模式与形态结构，国内外的大量报道都有一个共同的认识，即要么油气田（藏）正顶形成块状异常（或称顶部晕），要么分布在油气田（藏）边缘形成环带异常，又称晕圈效应（图1-A）。如美国Duchsc herer等人对400多个油气田进行研究后指出，大多数油气田上方均有ΔC 异常反映，且主要表现为晕圈式(图1-B)[2]。就某个具体矿田而言，多数限于单类指标的研究和总结，多指标的综合化探异常模式相对较少。另一方面，由于油气圈闭的多类型、多形态及复杂油气圈闭的存在，烃气及其伴生组分地球化学活动性的差异及其向地表运动过程中常受地质构造、盖层封闭程度、水动力和地表景观地球化学条件等因素制约，导致各单类指标晕圈异常形态不规则、环带不连续，而产生各种环带异常、港湾状异常、串珠状异常、同心圆状异常、新月状异常、条带状异常和云彩状异常等。

主要油气综合化探异常模式与特征

本文依据近几年的研究和国内外研究报道，认为油气综合化探异常模式主要包括以下几种类型。

1．各类指标齐全，Hg呈顶部晕的综合异常模式

这种综合异常模式有4大特点：一是各类指标齐全，无论烃类还是非烃类都有异常反映，而且各指标异常发育，浓度分带明显，内、中、外带均有出现。其中所有烃类、ΔC、荧光、电导率、Fe^{2+}和卤素都表现为环带晕特征，特别是烃类中的重烃、乙烷、丙烷等指标，其形态表现为各种环状、港湾状、新月状；二是Hg表现为块状、带状顶端异常；三是在空间上形成Hg与其他所有指标

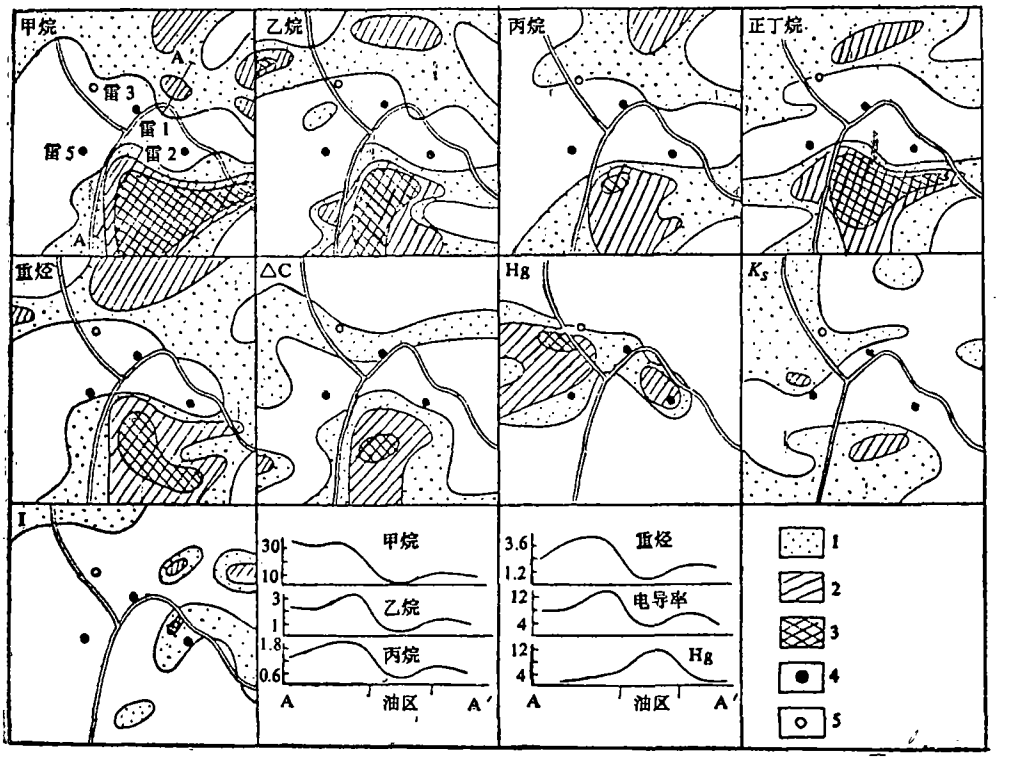

图 2 百色盆地雷公油田化探异常分布图

1—异常外带；2—异常中带；3—异常内带；4—见油气井；5—无油气井

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

镶嵌分布的组合结构，即油气藏（田）主要分布于Hg异常高值区及其他环带异常内的相对低值区中。四是这种模式主要见于油藏或以油为主的油气藏上方。如广西百色盆地雷公油田（图2）。吸附烃中的重烃、甲烷、乙烷、丙烷、正丁烷异常都很发育，浓度分带明显，均在油田周边形成晕圈并且有港湾状异常特点；非烃指标ΔC、K_S、I异常亦较发育，在油田周围表现为断续环带异常；Hg异常不但清晰，而且表现为明显的顶端块状异常，它与其他指标的镶嵌特征很明显[3]。山东林樊家油田亦存在类似的规律（图略）。

2．各类指标基本齐全，Hg呈环带晕的综合异常模式

这种综合异常模式多见于气田或以气为主的油气藏上方，相对而言，正常情况下气藏或以气为主的油气藏的盖层封闭性好，以致于穿透能力很强的Hg也无法大量直接从气藏顶部迁移至地表构成异常，而象吸附烃一样主要沿油气藏边缘向上运移。这种综合异常模式的主要特点是：

（1）各类异常指标较齐全，其中烃类、ΔC、Fe^{2+}异常较发育，浓度分带也较明显；Hg、K_S、卤素、荧光等指标有时有较明显的异常反映，有时则以点异常为主，这些指标即使有异常发育，浓度带亦多以中、外带为主。

（2）各指标异常主要呈环带状、半环带状、港湾状、断续环带状分布于气藏周围。

（3）各指标异常的环内相对低值区为气藏主要分布区。

（4）Hg异常有时也较发育，且表现为环带晕特征，但在空间上其异常内带偏向烃类环带异常的内侧，即相对地Hg异常仍较吸附烃异常接近于气藏分布区。山东信阳16井气藏分布区（图3）和广西百色盆地江泽油田（图4）即发育该模式。

3．发育部分指标的综合异常模式

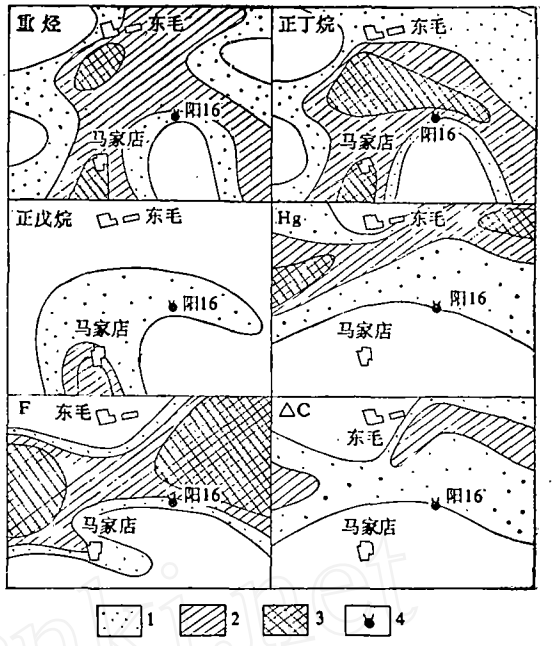

图 3　信阳测区阳16块油气藏化探异常

1—异常外带；2—异常中带；3—异常内带；4—见油气井

这种模式的主要特点是：异常指标发育不齐全，只有某几个烃类指标和非烃指标有异常反映，且浓度分带以中外带为主。它常见于以下几种油气藏上方。

（1）*埋藏深度较大的油气藏*　由于油气藏埋深大，烃类及其他伴生组分运移到地表的量较少，甚至无法在地表构成异常，因而导致异常衬度小，以中外带居多。但一般来说，这类油气藏上方仍发育有较好的甲烷、乙烷、丙烷、ΔC、K_S、Hg异常，只是丁烷、戊烷、荧光等指标异常很少或很弱（图略）。

（2）*埋深浅但能量低的油气藏*　这类油气藏虽然埋深不大，但由于作为异常源的油气藏能量低，各烃类及其他组分向地表运移量很少，所以形成的异常较弱且零星（图5）。

（3）*盖层封闭能力很强的油气藏*　油气藏的盖层封闭能力很强，各类组分、元素

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

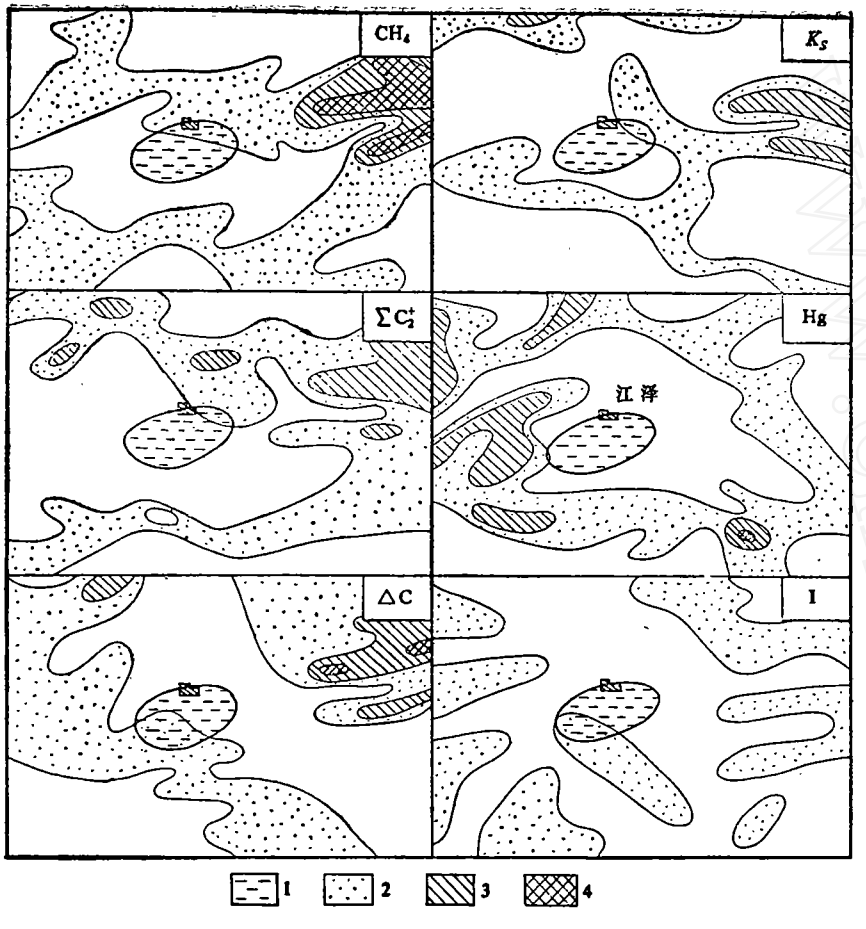

图 4 百色盆地江泽油气田化探综合异常

1—油气田范围；2—异常外带； 3—异常中 带；4—异常内带

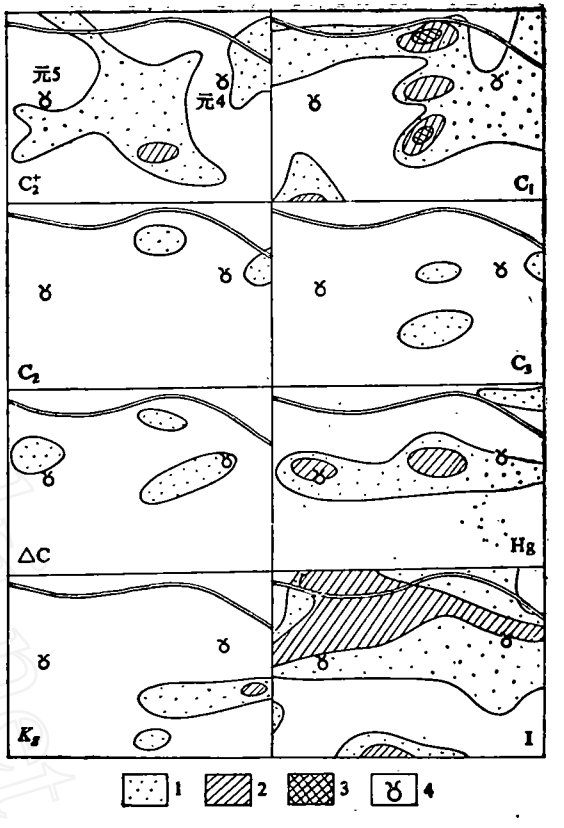

图 5 百色盆地南部斜坡浅层气藏（元4、5井）分布区化探异常

1—异常外带；2—异常中带；3—异常内带；4—气井

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

向地表运移逸散的量较少，所以形成的异常较弱或根本没有异常反映。

需要指出，产生这种异常模式的原因，除上述埋深、油气藏的能量、盖层封闭能力等因素外，还可能与地表景观条件、地下水作用等诸多因素有关。当地表土壤为酸性且以砂土为主时，不利于烃类的吸附，可导致烃类异常不发育；另外，有些区段并没有油气藏存在，但有较明显的油气活动，这时也可形成一些指标不齐全的综合异常。所以，在进行异常评价时，应结合研究测区的具体地质条件和地球化学环境进行综合评价，既避免漏掉一些真实反映油气藏特征的低缓异常信息，又不致于被一些干扰或无意义异常所迷惑，提高勘探效果。

综合异常模式的形成机制

如前所述，油气藏上方吸附烃和ΔC等指标异常多数表现为晕圈式，而Hg则多为顶端式。为了解其形成机理，分别对广西百色盆地花茶油田的百56井（见油井）及油田边缘的百42井（无油井）的岩心（或岩屑）样品做了吸附烃、Hg、I、K_s、ΔC等分析，结果表明，①无论轻烃或重烃都具有随深度增加含量增高的趋势，并在油藏周围含量达最高值（图6，百56井图略），这表明存在一个以油藏为中心的异常场，作为异常源的油藏确实存在部分烃气向地表运移散失，这种规律在我国冀中坳陷及前苏联均有发现（见表及图7）；②油藏边缘的无油井的烃类

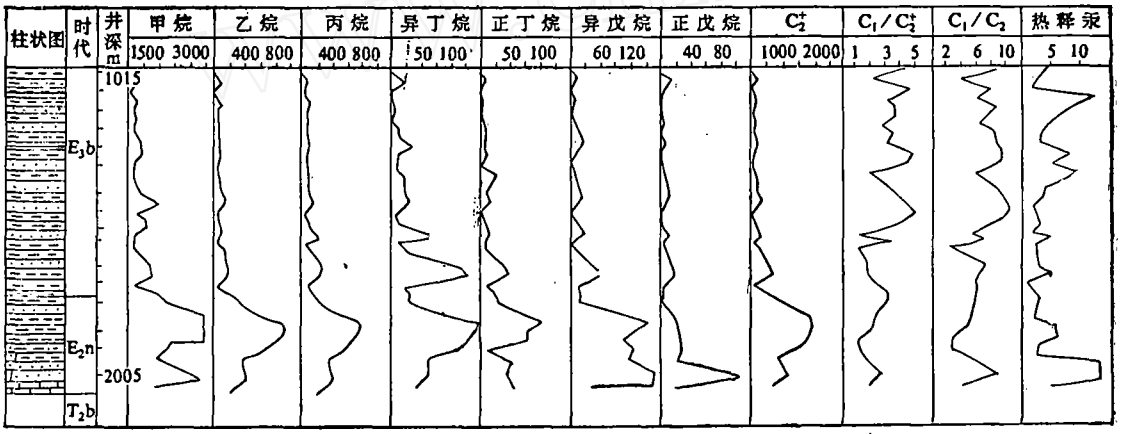

图 6　百色盆地百42号井化探指标垂向变化图

冀中坳陷任丘地区任8井吸附气态烃概况

地　层	岩　性	总　烃 μL/kg	重　烃 μL/kg	湿　度 %
Q	灰黄粉砂质粘土	443.75	57.83	13.03
Nm^2	灰黄（或绿）棕红含钙泥岩	449.94	55.96	12.41
Nm^1	棕红粉砂质泥岩；泥岩	1104.15	151.36	13.64
Ng	紫红、灰绿泥岩	1218.61	156.64	12.64
Ed^6	灰绿泥岩	4149.18	625.89	13.00
Ed^2	灰绿泥岩	5462.30	873.20	17.94
Es^{2+3}	灰黑泥岩	90474.21	23706.52	35.51
$\in f_1$	灰色灰岩	46254.56	17784.38	38.45

注：据罗斌杰等。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

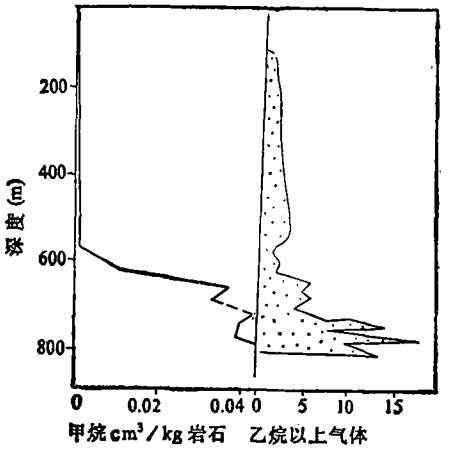

图 7 前苏联库姆—达格地区某测井示意图

(Yasenev，1962)

平均值高于见油井的烃类平均值，百56井（油井）的总烃、重烃平均值分别为1675.1和367.5μL/kg，而百42井（无油井）为1780.56和548.55μL/kg，③从变化梯度看，则含油井大于无油井。即由下往上，含油井各烃类含量迅速下降（百56井），无油井（百42井）则为逐渐下降，这种差异以重烃组分表现最为明显。④Hg与吸附烃相反，在百42井(无油)Hg含量较低，垂向变化无规律，而百56井（含油）Hg含量高，且变化有规律，由下往上呈渐增趋势。

上述规律充分表明了油气藏中的烃气向上运移散失时，主要沿着油气藏的边缘向上运移，而Hg则主要沿油藏顶部向上迁移。所以，吸附烃在油气藏上方主要形成环带晕，Hg则呈顶部晕是客观的必然。

为了进一步探讨不同组分运移规律差异的原因，本文试图从理论上作一分析。

油气藏的盖层特征是影响油气藏中烃气及有关伴生组分向上运移的关键因素，而泥岩是油气藏盖层的主要类型，所以首先要分析泥质岩的孔隙结构特征。

泥质岩虽然在一定程度上可看作为极细粒的砂质岩，其孔隙几何形态基本上可看作是一系列狭小喉头连通或是孤立的不规则孔隙体系。但与砂质岩不同，泥质岩不但孔隙很小，而且具有巨大的比表面积，在微小的孔隙空间中，分子间很强的静电吸力使介电常数高、带极性的水分子很容易被吸附在矿物表面，形成一个单分子的水层，每个水层厚度约为3Å。这些吸附水在一般温度、压力条件下是不能流动的，特别是紧靠颗粒表面的水层。这些水具有较高的密度（1.15～1.4g/cm³)和较高的粘度(0.001～0.008Pa·s，Miller，1963；Low，1976)，Diskey称其为结构水（Structured Water)，并认为它们是半固态的不能流动的水[3]。

另一方面，随着泥岩埋深的加大，其狭小的孔隙越来越扁平。Jungten和Kwawell等人（1970）在测量和外推的基础上做出了一条孔隙直径与深度的关系曲线（图8）[4]。从该曲线可发现，2000m深处的页岩孔隙直

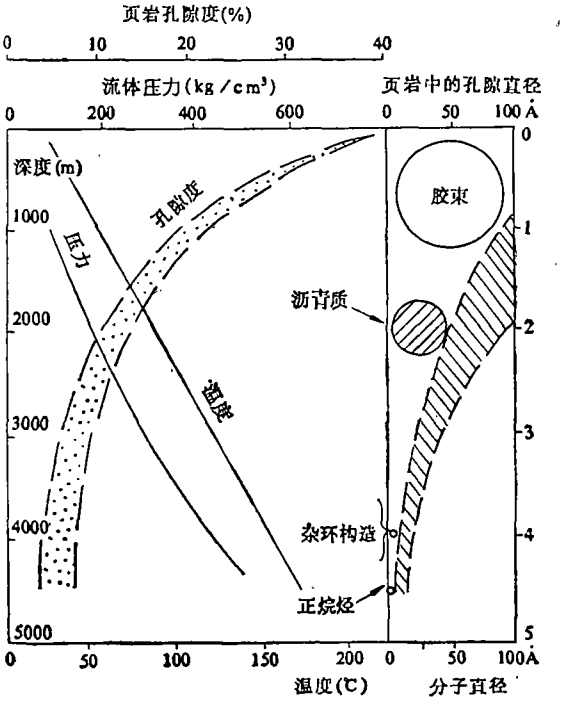

图 8 泥质岩的各种物理参数与埋深的关系

(据Jungten和Karwenll等人，1970)

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

径约为50～100Å，2500米深处变为30～60Å，愈往深处，其孔隙直径愈小。

很显然，吸附水层越厚，可供流动的有效孔隙空间越小，比如孔隙两边矿物颗粒表面各有4层吸附水时，会占去孔隙空间24Å，那么对于埋深达2000m，原具有50～100Å孔隙的页岩来说，剩下的有效空间为26～76Å，对于埋深为2500m，孔隙为30～60Å的页岩，剩下的有效空间为6～36Å。如果考虑到孔隙的喉头直径比孔隙直径还要小得多，那么可供流动的有效空间会更小。

各烃类的有效分子直径分别为$CH_4$3.8、$C_2H_6$4.4、$C_3H_8$5.1、2·C_4H_{10}5.3、n·C_5H_{12}5.8Å。它们与泥岩孔隙可供流动的有效空间相差无几，从而使得烃类在其中运移较困难；不仅如此，泥岩孔隙水存在，又给烃类的运移带来巨大的毛细管阻力。因此，油气藏中的烃类向上运移还必须具备其他有利条件（包括通道和动力）。在油气藏周边，常有一些裂隙，它们不仅是油田水的排泄通道，也为烃气的运移提供了有利通道，同时油田水的排泄可为烃气运移提供另一推动力——流体力。这样，烃气必然会主要通过这些裂隙向上运移，从而导致其在油气藏上方主要形成环带异常；当然，并非所有的油气藏边部都存在裂隙，但油田水却普遍存在，油气藏油水界面处的油田水排泄、循环作用，能抵消或减小毛细管阻力，为烃气的运移疏通通道，并提供运移的推动力，毫无疑问，这时烃类亦主要在油气藏上方形成环状异常。

虽然ΔC为何种碳酸盐的认识问题还未解决，但ΔC的成因与烃气密切相关却是公认的，因而它具有与烃类相似的环状异常特征。

Hg具有很高的电离势，为亲铜元素的首位，因此易于还原为自然汞（Hg^0），Hg^0的直径为3.08Å，比烃气中直径最小的甲烷（3.8Å）还要小，而且小于水分子的有效直径（3.2Å）。这表明Hg^0向上运移时，比甲烷还要容易得多，能象水分子一样相对较易于通过泥质岩的细小孔隙。另一方面，汞具有很高的蒸气压和挥发性，从而具有较强的穿透能力。因此，一般情况下，油气藏中的汞在向上迁移时，不需舍近求远，可直接穿过盖层，从而在大多数油气藏上方Hg均表现为顶端异常。

综上所述，在油气藏上方吸附烃、ΔC等异常表现为环状，Hg表现为顶端异常的特征是油气藏盖层特性、各组分（元素）地球化学性质、行为，油田水的活动规律，裂隙系统的发育特点等诸因素共同作用的结果。各组分（元素）地球化学行为的差异性，导致它们各自具有不同的地球化学场，并表现出既有统一性又有差异性的特殊的异常组合规律，从而形成了不同的异常模式。

参考文献

[1] A. V. 加拉赫，石油物探技术，1986，第8卷，第2期.

[2] Duchscherer, W., Oil and Gas Journal, 1981, Oct. 9, p.312~327.

[3] 李明诚等，《石油与天然气运移》，石油工业出版社，1987年.

Composite Geochmical Anomaly Pattern over Oil (Gas) Reservoirs

Chen Yuanrong Jia Guoxiang Luan Jishen
Zhang Maozhong Zhu Qisheng Li Wu

This paper summarizes some important composite geochemical anomaly patterns observed over oil (gas) reservoirs. Through measurements of adsorbed hydrocarbons and associated consituents and an analysis of the features of the beds covering the oil (gas) reservoirs, the formation mechanisms of the patterns are discussed. It is considered that the geochemical behavior of various constituents, the characteristics of the covering beds, oil migration mode, and the regularity of deep under ground water activity are the contributory factors for the formation of the composite geochemical anomaly patterns over oil (gas) reservoirs.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net