

油气活动的烟囱作用

王金琪

(地矿部西南石油地质局, 成都 610081)

构造相对活跃地区, 深部已形成的油气聚集, 通过断层和裂缝垂向上窜, 大部分可能散失于地表, 部分被封盖截流成为各种较浅的次生油气藏, 有其特定的油气规律。本文着重研究烟囱作用的烃源基础、通道和动力、截流的阻抗形式、岩层致密化程度等成藏机理, 突出探索次生富集油气田的地质条件。

关键词 叠合盆地 垂向通道 烟囱动力阻抗截流 致密化 次生烃藏

作者简介 王金琪 男 69 教授级高工 石油地质

0 引言

在墨西哥老油区内, 发现许多上新统一更新统油气藏中有过成熟天然气和凝析油, 推测是中生界甚至古生界向上运移而成, 垂直距离最大可达万米。J. C. Pratsch(1992)认为过去在该区大陆架的勘探实际只针对了次生油田, 而这些都是从原生油田中渗漏上来的。预测按新思路可能再找到相当于已探明储量的油气新组合。他指出许多盆地的垂直运移作用被忽视, “迄今还沿用错误的假说”。

北海盆地的主要烃源岩公认为 Kimmeride(J_3)泥岩, 同生构造及该期砂岩都发育, 不整合面上 K_1 盖层很厚, 其下形成许多重要油气田。但穿过厚盖层在未成熟的第三系(含 K_2 白垩层)的油气储量, 已超过中生界。P. C. Barnard 等认为深部高压和垂直通道形成了烟囱作用, 把油气从烃厨垂直上移到新的层位。并引证 Leonard(1984)的意见: 地震资料显示在烃厨和其上有明显断层连通的, 勘探成功率可达 40%, 而没有断层的不到 10%, 断层和裂缝起了关键作用。但他们强调: 油气向第三系运移之前已在侏罗系内生成并聚集了。

在多数盆地中, 油气生、储、盖自律, 以侧向捕集为主, 仍然是油气成藏的基本方式, 原生邻储的适时聚集, 是大型油气田的主要条件。地球上此类相对简单而丰富的油气田已越来越少, 今后较多的是各种复杂而隐蔽的烃藏。本文所论烟囱作用的次生聚集, 是其重要的一种。界定为油气垂直运移超过 500m, 其间有盖层, 不属生、储层排烃和分子扩散范畴。

1 叠合盆地和烟囱作用的关系

板块活动方式、活动阶段和所处位置, 决定叠合盆地模式, 朱夏(1983)曾用 A. B. C/a. b. c 形式反映中国古生代和中新生代两种体制的叠合盆地, 深刻阐明两个世代所形成盆地的性质和结构之间的关系。本文则研究叠合盆地油气重新分配的问题, 甚至同一盆地深、浅层的油气转移。

烟囱作用多发生在陆块边缘、台内裂陷等沉积岩很厚的地区, 下伏盆地或盆地下部有丰富的烃源, 上复盆地晚期构造相对活跃, 产生各种运移通道, 使深部油气转移聚集于浅层。年青的盆地由于同生正断层发育, 沟通深、浅层, 也产生类似的烟囱作用。稳定的地台或后期构造稳定的地区, 很少有这种现象。俄罗斯地台、美国中部地台、阿拉伯地台等, 构造长期稳定, 上复盆地沉积岩较薄, 一般不产生烟囱作用。我国地台虽不大, 但中间稳定区也少见烟囱现象。川中各套油气组合除侵蚀面外都是自成体系, 超压的大安寨-凉高山油气组合, 油气藏分布广泛, 其上的沙溪庙组及蓬莱镇组砂岩很发育, 孔渗条件也不错, 但钻井中却很少有象样的油气显示。而向东至华蓥山构造影响地区, 向西至龙门山前, 浅层油气比比皆是, 甚至成为重要的勘探对象(图 1-a)。塔里木盆地边缘活动带纵向油气很活跃, 可上窜至中新统及更新地层成为富集油气田。但轮台断层以南晚期构造相对稳定的广大地区, 苏维依组、吉迪克组以及卡普沙良组等虽有极好的储盖组合, 油气也进不去。满加尔寒武-奥陶系巨大生烃拗陷, 深井钻探证明油

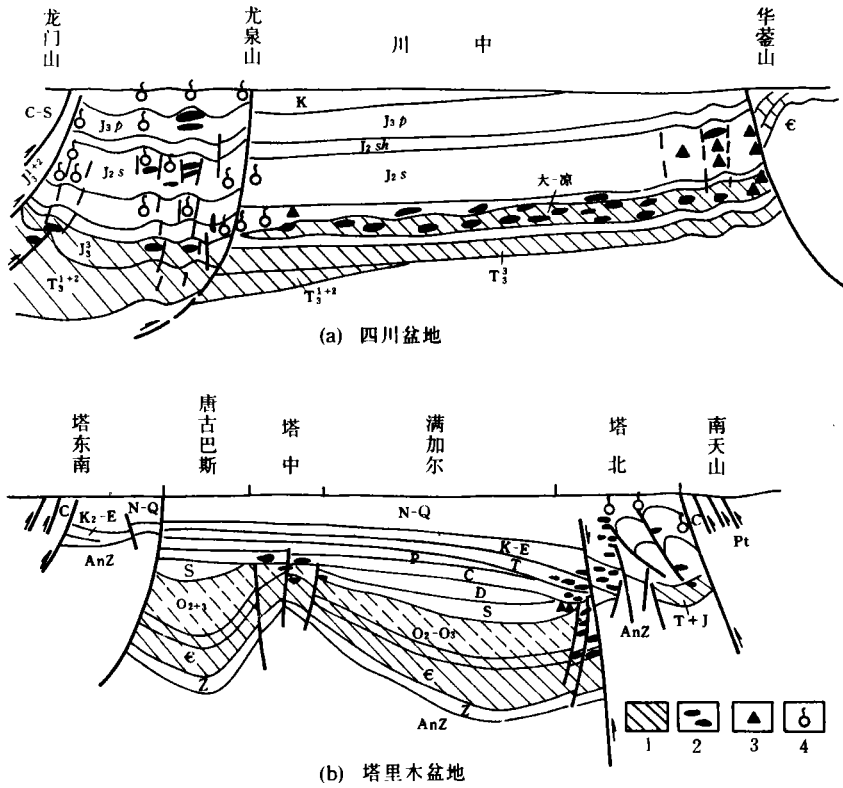


图 1 中国主要叠合盆地烟囱作用示意

1. 主要生烃层; 2. 油气藏; 3. 重要油显示; 4. 重要气显示

气很难透过后期稳定的志留-泥盆系地层(图 1-b)。鄂尔多斯台内的下古、上古和中生界油气都是各成系统,除侵蚀面混源外,各组合自有特色,互不相干。

下伏盆地沉积末期,往往沉积很厚的蒸发岩,优良的盖层可以阻止烟囱作用的发展,如滨里海南部二叠系孔谷组盐岩,封堵住古生界油气向上运移的势头,形成了田吉兹、阿斯特拉罕等特大古生界深部油气田(刘淑萱,1992)。扎格罗斯山前带晚期构造虽然强烈,但油气很少能穿越下法尔斯组膏盐层系。

2 典型烟囱作用油气成藏范例

2.1 川西拗陷区烟囱作用

图 2 是根据新场气田上百口钻井和测试资料的抽象,表示须家河组烃源向红层运移的现象,蓬莱镇组最上部气藏到上三叠系顶的垂向距离大于 2300m。经过多种地化方法对比、追踪,确认侏罗系红层中多个气藏与须家河上组合同源;也证明川西红层为非生烃岩,有机碳仅约 0.02%~0.19%;天然气成分从下至上的变化,也符合运移过程中气成

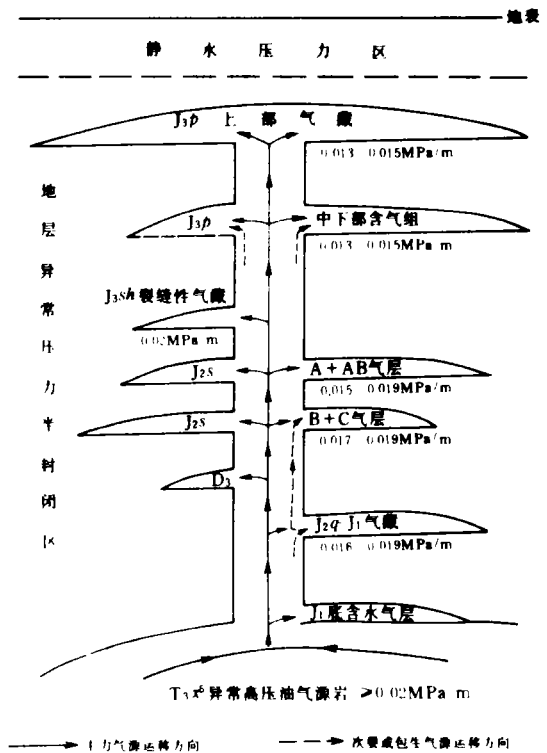


图 2 新场气田各气藏形成模式示意图
(按西南石油地质局十一普原图未作改动)

分的变化规律。

喜山运动龙门山强烈向盆地推挤,断层逆冲掩复或在柔性泥岩中滑行,龙泉山作为前缘带,断层上翘、反冲,应力逐步消失。图 3 代表川西拗陷中段构造样式。钻探获知深、中、浅层天然气相当普遍,不但须家河组有一批超致密背斜裂缝气藏,在 3000m 厚的红层中也发现不少气藏,新场的蓬莱镇、沙溪庙、千佛岩 3 组次生气藏复合成为较大的气田,最浅的只有 500 多米。这种较大次生气田的形成,要求特殊的配套条件,作者认为有 6 个必要因素。

(1)深部有丰富的烃源,如新场位于须上盆高生气强度区、须下盆生烃拗陷的上坡。

(2)在高生烃阶段紧邻储层尚未严重致密化,新场地区有明显的早期隆起,直到全区主要沉积结束时,仍处于相对隆起状态,有利于进行适时的规模聚集。

(3)深部有超高压气。新场附近的孝泉、玉泉等地,须上组合地层压力梯度很高,多半超过 2。尤其

超致密化后垂直上窜势能增强。

(4)要有适度的向上运移通道。钻探结果表明,上通的断层不宜太多太大,而由断层影响的裂缝带最有利。孝泉背斜系由深部逆推断层牵引的构造,在东南陡翼发现一个十多公里长的沙溪庙组次生裂缝气藏。新场东北端有较大的逆断层通到地表,构造本部可辨的断层很少。根据 70 多口产井对蓬莱镇组气藏的地压系数、 iC_1/nC_4 、甲烷含量、储量弹性容积系数等平面展布,结合产能分布规律,确定 3 条气源缝通道。地震剖面进行分形分维处理,在波阻抗剖面(图 4)和重建声波曲线剖面(图 5)中,也可见到相应气源缝在沙溪庙组盖层中的显示。

(5)在较新地层有良好相带,且后期埋藏不深,保持较好的储层物性。在川西地层普遍致密情况下,新场特有此优势。蓬莱镇组位于龙门山前冲积扇和新都半深水湖过渡带的三角洲沉积环境中。砂岩孔隙条件接近常规储层要求,实际成为致密高压区中一块渗透岩体,具有压力漏斗作用,天然气竟向注入低

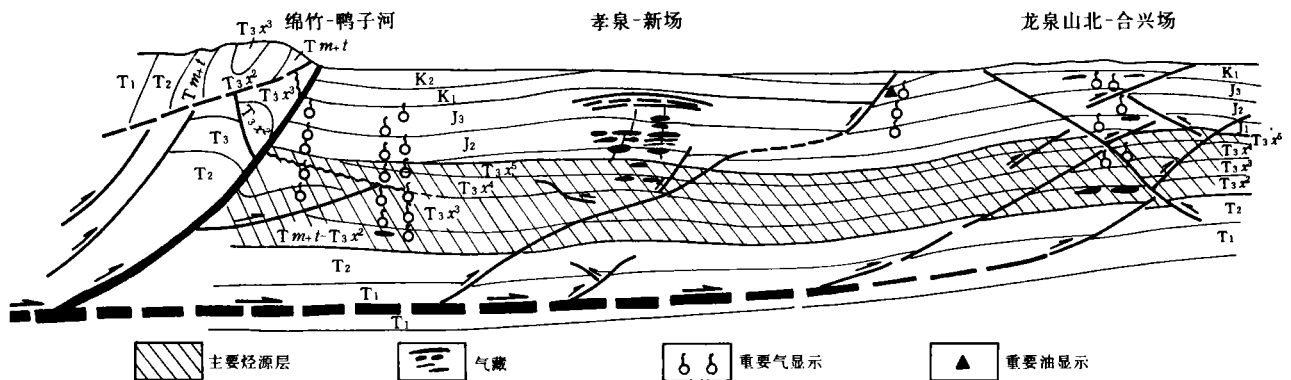


图 3 川西拗陷油气垂直运移及次生聚集示意

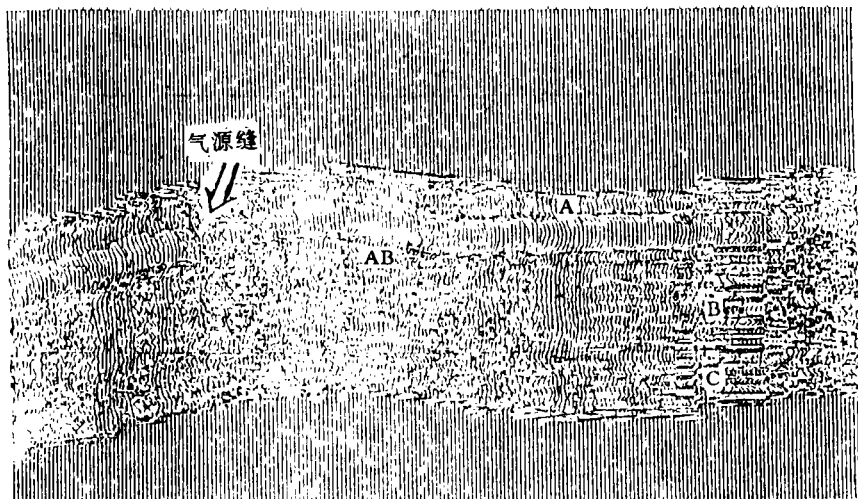


图 4 青 91-31 线波阻抗剖面
(据西南石油地质局二物)

势区。

(6)良好盖层和圈闭。蓬莱镇组曾有4~5次湖泛周期,新场地区测井曲线在气层上部有1~2层显著的自然伽玛和声波时差高峰及低电阻率,应为区域性优质盖层。新场气藏受背斜控制,向孝泉构造高部位则以岩性及成岩为遮挡,孝泉无缝的超致密砂岩基质成为隔层。

上述6点,是川西红层形成较大次生气藏的必要条件,缺一不可,是寻找川西富集气田的理论指向。川西烟囱作用大多数可能以中、小型裂缝气藏为主,领域非常广阔,除众多背斜外,致密层中一条潜

伏断层、一条扭动裂缝带或局部孔渗带,都可能产生次生气藏。但这些非常规气藏不易预测,须提高含气直接响应的地震技术,降低勘探成本。

2.2 塔里木盆地烟囱作用

塔里木油气资源潜力巨大,但生烃岩偏老。据塔北科研攻关资料(胡民等,1991),总生烃量中,古生界占94%,中生界占5.5%。据最新盆地模拟研究(王英民,1996),除去剥蚀的累计总排烃量中,古生界占约99%。而大多良好储、盖组合则在中、新生界。因此,在构造相对活跃地区,烟囱作用是调节烃源与储集的媒介,如阿克库勒(图6-a)、雅克拉

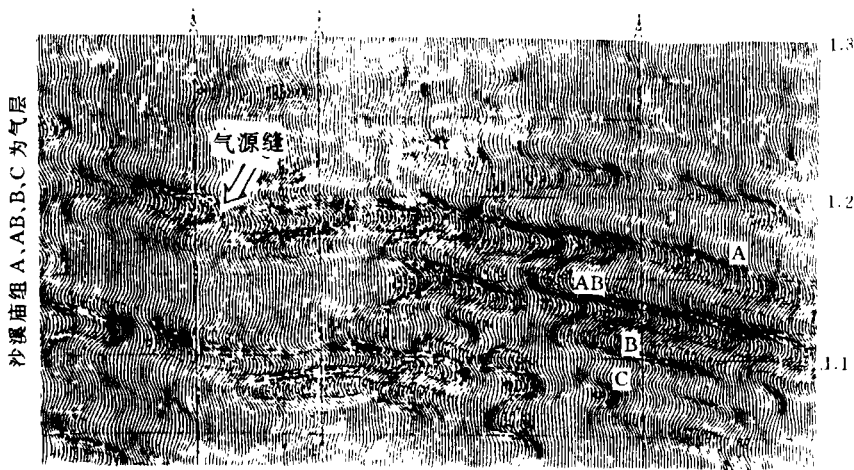


图5 青92-62线沙溪庙组重建声波曲线剖面(据二物)

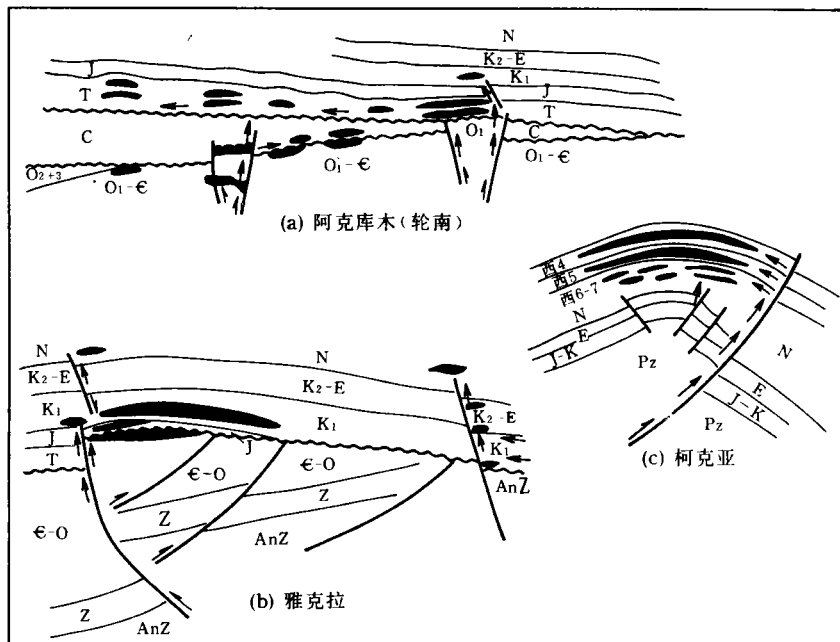


图6 塔里木盆地油气垂直运移模式

(图 6-b)、柯克亚(图 6-c)等,都是通过各种样式的烟囱作用形成的油气藏。而在晚期构造稳定的广大地区,这种情况很难出现(图 1-b)。

此处着重介绍烟囱作用显著的雅克拉地区:雅克拉构造的侏罗系、白垩系原油(沙 4,5 井),中新统油砂(沙 15 井)和其下寒武、奥陶系原油及生油岩(沙参 2、沙 7 井)等,都源于海相地层。在碳同位素、轻烃组成对比、芳烃红外光谱、饱和烃环数分布等,皆有亲缘关系,油源主要来自南部古生界生油拗陷及斜坡。而轮台构造的沙 3 井(E)、二八台的沙 8 井(K)、牙哈(N)以及依奇克里克(J)等则为陆相油源,来自库车(T、J)生油拗陷。

雅克拉断隆带在海西晚期由轮台断裂及亚南断裂相背逆冲而致,中生代成为库车前陆盆地的前隆,其上形成披复背斜,原海西断裂继续向上活动,出现最早的烟囱作用。晚第三纪北部剧烈下陷,产生一系列正断层,有些利用原来的逆断层面下滑。喜山晚期,天山再次向塔里木强烈推挤,库车拗陷褶皱、逆推、滑脱,其前缘抵雅克拉,披复构造加强,断裂也有新的活动。因此,雅克拉早、晚期的逆、正断层组成上下通道系统,把南来的海相、北来的陆相油气,通过烟囱作用向上运移,成为宝塔式油气藏组合,垂向运移最高达 2000m 以上。

雅克拉的特色是两侧逢源,烟囱网络复杂,5000m 以下砂岩还有高孔渗性,并有多套优质盖层。在披复构造范围内,断层通到那里,油气藏成到那里,被称为“断层戴帽”模式,通道断层两侧对置岩性也非常关键(陈发景,1991)。在断隆北侧,通道断层牵引而成的小圈闭,也都能为油气充满,成为壮观的串珠油气藏。

2.3 断陷、拗陷叠合盆地的烟囱作用

我国东部拉张盆地一般为先断、后拗两个阶段。东北地区断、拗则是两个系统不同性质盆地的叠合。下伏 J_3-K_1 含煤及火山岩沉积断陷,属于古亚州洋后期活动的 J_3-K_1 巨大构造带;上复中、上白垩系松辽盆地,属太平洋板块俯冲弧后有关的沉积拗陷(大庆油田石油地质志编写组,1993);登娄库组(K_2^3)具有过渡性质。已经在多处发现油气由下伏盆地通过断层向上复盆地运移,并以气藏为主。如三肇地区的升平—宋站气藏,泉头组上部(扶杨油层)的

天然气性质为煤型气与煤成油,与青山口组油源相异,显然是从侏罗系运移而来(丁贵明,1993)。该区断裂极为发育,断穿 T_5 界面的有 600 多条,主要是近南北向的同生正断层,图 7-a 表示侏罗系气源向上运移的烟囱作用,垂向距离约 500~600m。德昌登娄库组上部气藏(图 7-b)有 3 种类型天然气,经气源追踪研究(高瑞祺,1993),认为芳深 5 井是登娄库组内部生烃供应;芳深 1,2 井由徐家围子断陷侏罗系源岩经侧向再通过断层向上运移形成气藏,垂向运距达几公里;而芳深 3,4 井则有混源现象。

松辽盆地青山口组、嫩江组等上覆盆地主力源岩到南部逐渐变差,而砂体发育尚好。下伏断陷以生气为主的源岩有机质丰度甚高(王德荣,1988),油气通过断层输入上复盆地的圈闭中,有其广阔前景。这种模式在我国东部先断后拗的盆地中具普遍意义,许多深部断陷的油气源,经由同生正断层向上运移至凸起或斜坡上的砂体,只要封隔条件具备,可层层注入油气,也是烟囱作用的一种形式。孤岛等本地无源,邻区沙河街组油气侧向、垂向并举进入馆陶、明化镇组而成藏,垂直运移超过千米。深部石炭-二叠系的煤型气通过断层向上运移成藏也很重要。

3 结语

烃厨的概念,不是生烃母岩,是指经过排烃初次运移进入孔隙层的油气。如果深部地层已严重致密化,必须是早期已经成藏或聚集为源,烟囱才能起作用,因为抽吸与连续流有关。烟囱作用的主要动力是深、浅层之间的压差,其次是热差和浮力,烃分子浓度差的扩散作用不属此范畴。

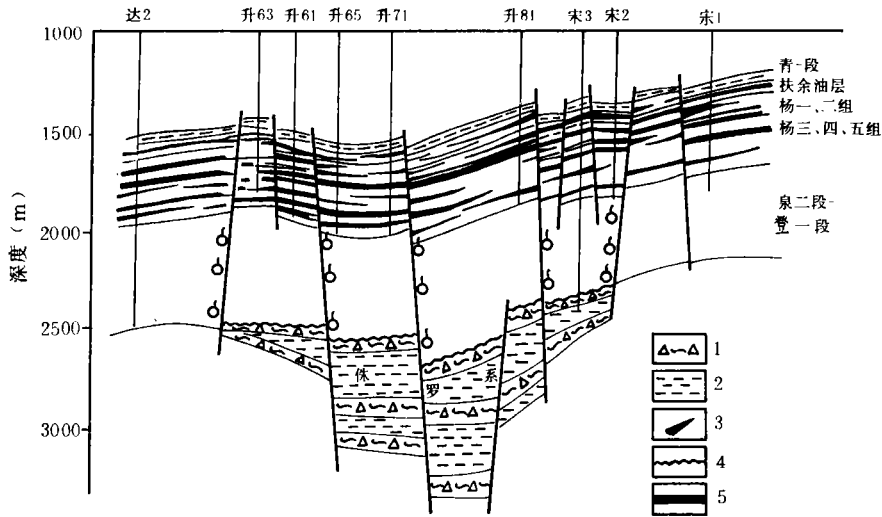
烟囱从厨房经过通道向空中散发烟尘,油气垂直运移总趋势也是如此,向空中或地表散失的烃量远大于被阻抗(impedance)截流的成藏量,通到地表或疏松层的断层及裂缝是主要破坏因素。断层和裂缝即使在圈、盖以下消失,油气藏保存也是相对的,如剩余压力大于盖层破裂压力,盖层将失去封隔能力,如图 8-(d),(e),其中(e)通到地表,(d)为上一盖层封住。真柄钦次(1991)强调的压力封闭,认为“对构造活动带附近地区深部致密气藏特别有效”^①。但在新场等地实践则是另一种情况:气层测井声波时

① Kinji Magara. 压力封闭——烃圈闭的重要因素. 原载《Petroleum Science & Engineering》,1993,9(1),陈炜译,载《油气地质译丛》25(4), 1~11

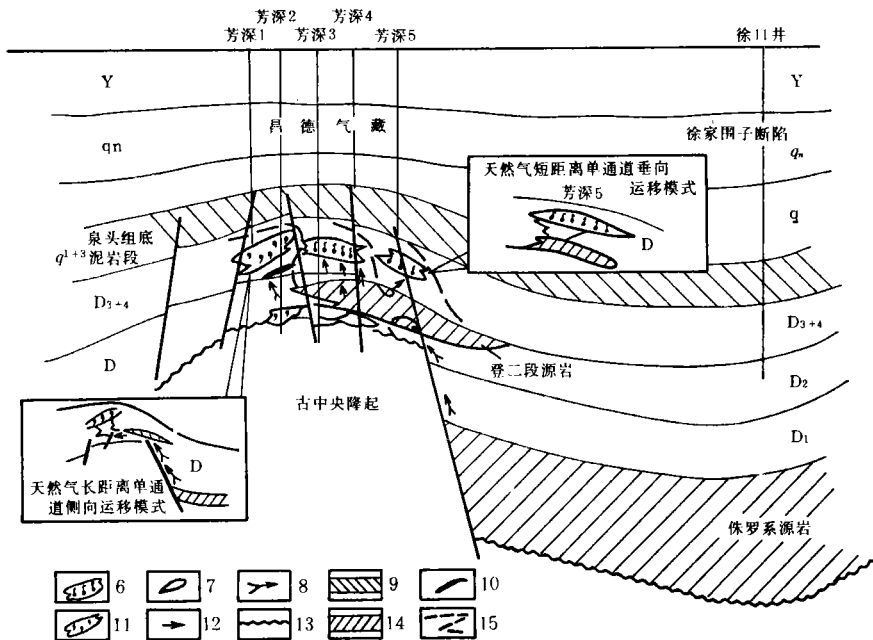
差值(AC)大于其上泥岩盖层,而且泥岩 AC 趋势无高异常;地震波阻抗及重建声波曲线剖面(图 4,5),充气砂岩反射率为负、泥岩为正,不反映泥岩欠压实超压性质,作者曾称之为“临时盖层”(王金琪,1993)。图 8 的(a)、(b)和(d)的上、下储层泄漏后,剩余压力等于或小于盖层突破压力可暂时平衡。次生灌注成藏是逐级节流、节压机制,保存条件是相对

的、暂时的。总之:烟囱通天导致破坏[图 8(e)];烟囱作用可能止于特优盖层[图 8(c)];烟囱作用弱于封盖下的孔渗层,油气将迅速侧向运移,压力随之下降[图 8(a)、(b)及(d)上储层]。后二者正是大型次生烃藏的要求。

中生代拉张盆地中,一般以生、储、盖自律组合油气藏为主。但在沉积岩很厚的先断后拗盆地,深



(a) 升平-宋站地区气藏形成模式图



(b) 昌德气藏油-气-源岩分布关系及天然气运移模式图

图 7 松辽地区断、拗叠合盆地垂直运移次生气藏模式(据丁贵明、高瑞祺等)

1. 火山角砾岩;2. 泥岩;3. 气层;4. 不整合面;5. 水层;6. 过成熟气;7. 混合气;
8. 过成熟运移方向;9. 泥岩盖层;10. 高成熟油;11. 高成熟气;12. 高成熟运气方向;
13. 地层界限和不整合面;14. 烃源岩层;15. 天然气类型界限

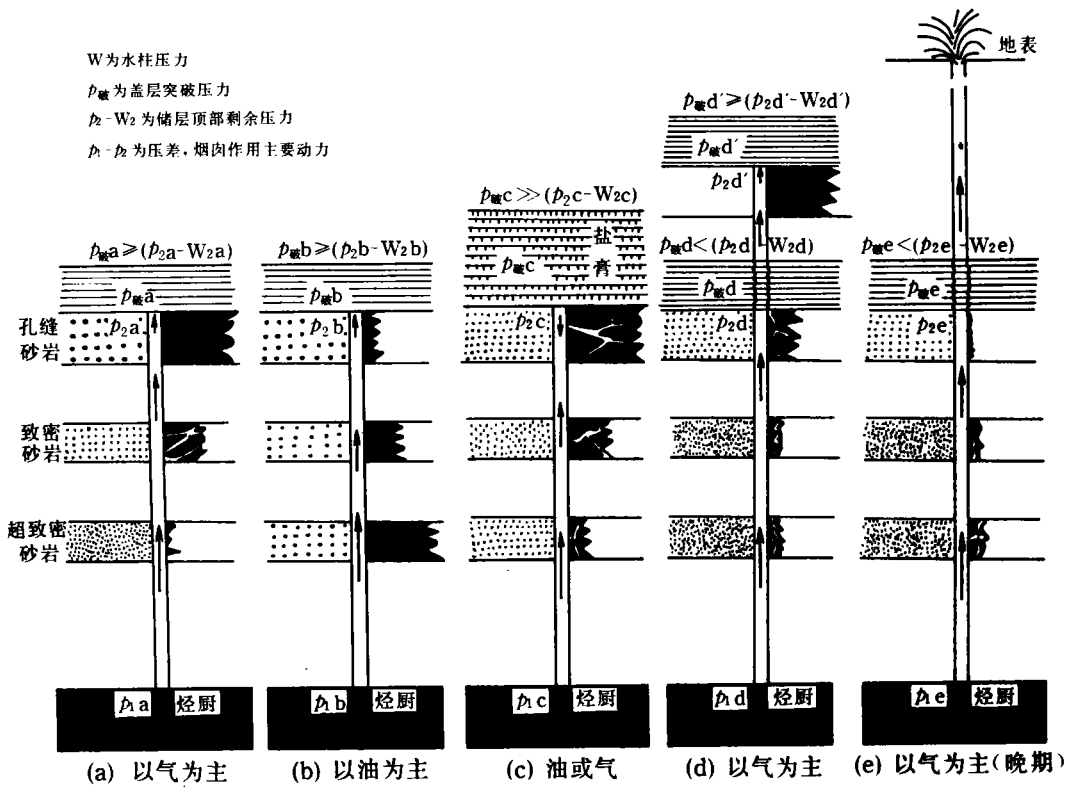


图8 油气烟囱作用几种形式

部生油岩往往发育较好、成熟度高, 同生正断层是自然烟囱通道, 循断层依次充注, 多以常压油藏为主 [图 8(b)], 只有在下伏含煤断陷时, 才以气藏为主。

古生代、中生代叠合盆地, 深部烃源丰富而老岩层致密化程度高; 浅部烃源差但储、盖层条件好。烟囱作用成为调剂上下余缺、沟通组合优势的桥梁。在古地台内部或晚期构造稳定区, 烟囱作用不大。边缘或台内断隆构造相对活跃地区, 烟囱作用很突出, 甚至是成藏的主要形式。在深部超致密化岩层中, 基质孔隙不允许油气侧向运移, 但高压气可在缝隙中曲折遇回上窜, ($P_1 - P_2$) 很强时能冲破阻抗制造裂缝前进。烟囱通道不限于断层, 在圈闭范围内, 构造裂缝系统可能更重要。浅部如有封盖下良好的砂岩层, 侧向容量越大, 次生气藏也越大 [图 8(a)、(d) 的上气藏]; 如缺乏好的孔渗层, 则形成众多的中、小型裂缝气藏群 [图 8(d) 下部]。由于液体油难于从致密原储层疏导出来形成烟囱连续流, 且深部多已裂解为气, 所以在这类叠合盆地中, 烟囱作用的油藏比气藏少得多 [图 8(a)、(d)、(e)]。

参 考 文 献

- 1 Pratsch J C. Geologist argues of renewed, deeper look at U.S Gulf Coast. *World oil*, 1992, 57~63
- 2 Barnars P C & Bastow M A. Hydrocarbon generation, migration, alteration, entrapment and mixing in the central and Northern North Sea. England W A & Fleet A I (Editors). Petroleum migration geological society special publication No 59. Published by the geological Society, 1991, 176~179
- 3 朱夏. 试论古全球构造与古生代油气盆地. 石油与天然气地质, 1983, 4(1): 17~24
- 4 刘淑莹. ЛЕЛЮХА Ю А. 主编. 深层油气藏储集与相态预测. 北京: 石油工业出版社, 1992, 3~21
- 5 张子枢编. 世界大气田概论. 北京: 石油工业出版社, 1990, 97~113
- 6 陈正辅, 邵志兵, 罗宏. 塔东北地区油气性质及成因类型. 贾润胥主编, 中国塔里木盆地北部油气地质研究(二), 武汉: 中国地质大学出版社, 1991, 185~195
- 7 胡民, 张奇良, 虎北辰. 塔里木盆地北部油气资源前景. 贾润胥主编, 中国塔里木盆地北部油气地质研究(二), 武汉: 中国地质大学出版社, 1991, 215~223
- 8 王英民, 邓林, 刘玲等. 残余盆地三维盆地模拟及油气资源评价. 成都: 四川科学技术出版社, 1996, 196~198

- 9 陈发景. 塔北地区盆地构造演化及其与油气关系. 贾润晋主编, 中国塔里木盆地北部油气地质研究(二). 武汉: 中国地质大学出版社, 1991, 35~36
- 10 大庆油田石油地质志编写组. 中国石油地质志卷二, 大庆、吉林油田(上册), 大庆油田. 北京: 石油工业出版社, 1993, 115~119
- 11 丁贯明. 松辽盆地三肇凹陷扶杨油层油气运移特征. 张厚福主编, 油气运移研究论文集. 北京: 石油大学出版社, 1993, 130~139
- 12 高瑞祺, 冯子辉. 昌德致密砂岩气藏油气源的判别及天然气运移特征. 张厚福主编, 油气运移研究论文集. 北京: 石油大学出版社, 1993, 228~237
- 13 王德荣. 松辽盆地 J₃-K₁ 沉积特征及岩相古地理. 地矿部石油地质研究所编, 石油与天然气地质文集(1). 北京: 地质出版社, 1988, 189~193
- 14 真柄钦次. 石油圈闭的地质模型. 童晓光, 贾承造译. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991, 74~76
- 15 王金琪. 超致密砂岩含气问题. 石油与天然气地质, 1993, 14(3), 176~177

(收稿日期: 1997 年 1 月 28 日)

THE CHIMNEY EFFECTS OF HYDROCARBON ACTIVITY

Wang Jinqi

(Southwest Bureau of Petroleum Geology, MGMR, Chengdu 610081)

Abstract

When a deep-seated hydrocarbon accumulation had formed in a structurally active area, the hydrocarbons will migrate vertically up through a fault or a fracture, the major part of which was apt to lose to the surface, but the minor part was cut off by the caprocks to form into various shallower secondary oil/gas pools with their specific oil-gas laws. The study highlights pool-forming mechanisms related to chimney effects such as the basis of hydrocarbon source, conduits and power, the impedance type of cut-off process, the compactness of rocks etc; and mainly approaches to the geological conditions for the oil/gas fields of secondary enrichment.

《中国含油气盆地原型分析》即将出版

地矿部石油地质中心实验室张渝昌教授等著《中国含油气盆地原型分析》一书将于 1997 年 10 月正式出版公开发行。该专著是地矿部“八五”重大基础科技项目成果的反映, 运用并发展了朱夏院士关于油气盆地的学术思想, 是一份系统的、有所创新的高水平科研成果, 具有重要的理论意义和推广应用价值, 对油气勘探实践具有指导意义。

该书集中反映了中国地史演化中不同阶段、不同原型盆地形成的构造环境和不同世代盆地原型并列与迭加对油气形成与分布的控制关系, 强调了盆地数值模拟方法在盆地原型系统研究中起到检验模式、揭示过程和预测未知的功能, 并通过我国大型盆地原型并列与迭加控油规律的典型解释及其模式的匹配分析, 从不同层次、不同角度论证了潜在油气藏的勘探方向。

全书约 100 万字, 插图 450 张, 由南京大学出版社出版, 全部精装, 每本定价 98 元。

欲购书者请与徐旭辉联系:

地址: 江苏无锡九一六信箱

邮编: 214151

电话: (0510) 3203883

传真: (0510) 3202742