

从含油气盆地地质学的理论看塔北隆起及其附近的油源岩和远景区

甘克文

(北京石油勘探开发科学研究院)

塔北沙参2井产油以来,对源岩的看法就一直存在分歧。作者认为由于各方取自同一原油的不同分析指标,矛盾永远无法解决。采用油气盆地地质学概念,考虑到源岩要能生成足够的烃量和有利的运移和聚集条件,即从该区的盆地演化条件出发,中生代源岩比古生代的可能性更大,而不同的源岩观点会导致不同的勘探部署决策,从而出现不同的勘探效果。

前言

从塔里木盆地塔北隆起的沙参2井发现高产油流以来,就产生了关于油源岩的争论,核心是中生界油源还是古生界油源。大概这场争论再过许多年也不会统一,因为,双方都有各自认为相当充分的理由。有意义的是各方面的依据都来自沙参2井原油的分析成果。赞成陆相中生界油源岩为主的,可以列举原油中含三叠系的孢粉,甾烷的 C_{20} 优势,以及有奥利烷等指标;强调海相古生界油源岩的,则提出以含钒的卞啉和钒、镍比大于1为依据。也还有采取调和折衷的见解。有意义的是有些同一指标,如 $\delta^{13}C$ 值,不同的人具有完全相反的解释;而且同一来源的样品,不同单位的分析会得出不同的结果。这表明按地化结果同样存在相当大的随机性。关于这方面的论述参见王云龙(1985)、曾完全(1985)、杨斌和王宝钰(1985)的文章。

应该确定的一个前提是,塔北隆起以沙参2井为代表的油藏特征属潜山圈闭,储集层是组成潜山的海相下古生界碳酸盐岩,上覆层是中生界陆相碎屑岩为主的层序,它们之间存在一个巨大的不整合面。

实际上,现有地球化学分析指标对比的主要依据是油源物质的前身结构和演化条件,而油源物质的前身结构取决于原始有机物质的组成。它们因沉积环境和时代而异。同时,烃类在运移和聚集过程中,又必然会受到运载层及其储集岩中以有机质为主的各种组分的影响。因此,单纯地依据原油的某些地球化学指标确定源岩的沉积环境往往是困难的。最近Moldowan(1985)认为区别海、陆相最好的地球化学参数是 C_{30} 甾烷,其次是硫含量、多芳甾烷和高分子石蜡含量,其它如CPI、姥/植比和碳同位素都不是指标参数。North(1985)更是明确指出依赖卞啉的性质作为石油成因的指标,从来没有表明是正当的。我设想这些结论也具相对性,首先要从有机质沉积的来源和沉积环境考虑,如果是三角洲和近岸沉积环境,必然会出现陆生植物特征的指标;如果是稳定的静

水湖相的沉积,就具以浮游生物特性的标记。其次应联系油源岩和储集层的关系,不然会出现一些复杂现象。从这种设想出发,有必要用油气盆地地质学的观点分析塔北的油源问题。

一、有关潜山圈闭油田源岩的讨论

在一个区域不整合面下块断发育的盆地中,因上覆沉积前的侵蚀和后来沉积物的超覆关系,往往形成古地貌或潜山圈闭。这种圈闭中不整合面以下的各个层序直到结晶基岩,由于溶蚀和裂缝孔隙发育,都可成为储集层。它们的油气源岩多数认为是上覆沉积中富含有机质的岩层。这种例子很多,如:设得兰群岛西侧泥盆系老红砂岩中的油,源岩认为是中生界(Ridd, 1981);北海北部维京地堑区的侏罗、三叠系砂岩断块潜山圈闭油田区,源岩是上覆的启莫里页岩(Goff, 1983);西班牙巴伦西亚湾的卡沙布兰卡等中生界碳酸盐岩潜山圈闭油田,源岩是上覆的中中新统富含有机质的泥灰岩(Watson, 1982);美国中陆地区中堪萨斯隆起上许多结晶基岩和寒武、奥陶系的油田,认为源岩是上覆宾夕法尼亚系的页岩(Walter, 1953);我国任丘中、晚元古界雾迷山组碳酸盐岩潜山油田,源岩是下第三系的沙河街组。至于如圣华金盆地、马拉开波盆地、锡尔特盆地和酒泉盆地中的个别基岩油藏,源岩更是无疑为上覆的沉积岩系^①。

但是七十年代以来,人们开始强调古老生油层的二次生油,其典型例子是阿尔及利亚的哈西梅萨乌德和美国的俄克拉荷马城油田。应该强调的是所谓二次生油,其实质仍是晚期成熟。利用Webb(1976)和Tissot等(1975)的资料可以看出(图1、2)这两个油田附近的生油层在重要的不整合面发生前,或者是根本尚未达到成熟的生油门限,至少大部分处于未成熟阶段。经不整合以后上覆沉积的进一步负载和深埋加温,才促使生油层成熟,而不是已经成熟的油源岩再成熟,因为热成熟过程只能是单向反应。

二、含油气盆地地质学的油源岩观

人们讨论油气源岩的流行观点是根据有机地球化学分析的各项指标。但是从含油气盆地地质学的观点,单纯的地球化学的数据值得怀疑。因为世界上的盆地按USGS的统计共575个,已知产油气的215个,只占37.4%(Parker, 1982)。可以设想还会有些盆地今后可能产工业油气,估计其极限值约占45%,说明至少有一半以上的盆地不具经济开采价值的油气。上述数字还不包括严重变形的沉积岩区,以及深海区的或面积小于1000平方公里的盆地,否则可能产油气盆地的比例数将更小。然而,几乎所有的沉积盆地都可找到各种各样的烃显示。所以,我们可以由此得出结论,能够生成一定量(不管多少)烃的沉积岩系是非常广泛的,但是能够“生成和释放出足够的烃类形成商业性石油和天然气聚集”(Hunt, 1979),成为油气源岩的却有限。所以,从含油气盆地的观点出发,有必要严格区分生油气岩和源岩的定义。如果单纯从地球化学指标及烃显示来

^①潘钟祥, 1980, 基岩油藏。

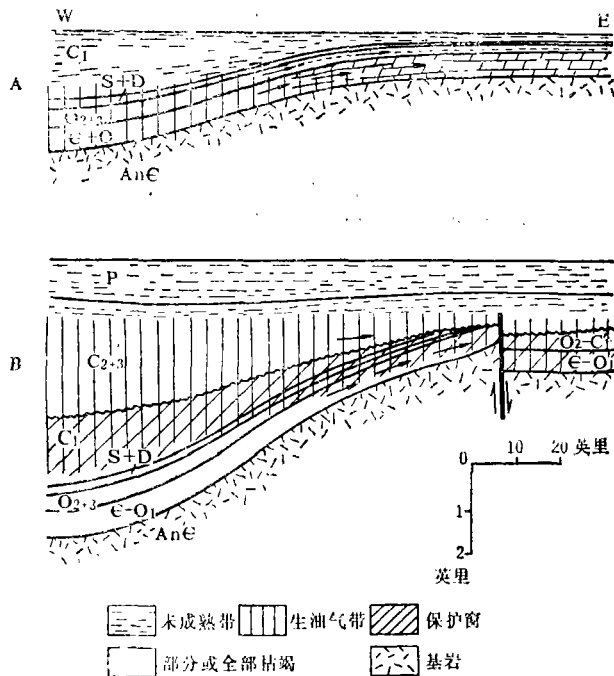


图1 美国阿纳达科盆地圣佛克拉荷马城油田的油气生成及运移聚集演化剖面(据Webb, 1976)

A. 前宾夕法尼亚纪不整合面以前; B. 二叠系沉积以后, 注意前宾夕法尼亚纪的生油层带在以后的期间本质上不再生油

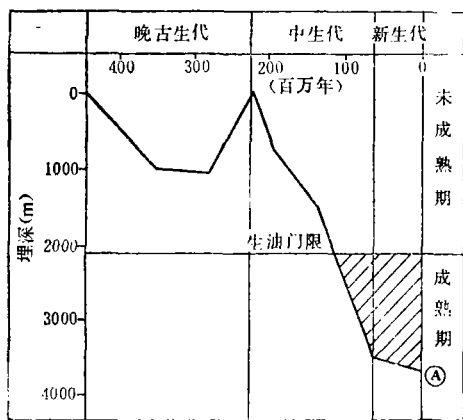


图2 阿尔及利亚哈西梅萨乌德地区志留

系源岩埋深及成烃演化剖面

(据Tissot等, 1975改绘)

地温梯度: 23.5°C/km

定, 不考虑足够形成商业性聚集的经济条件, 那仅仅是生油岩, 则无论有机、无机, 不管早期、晚期, 甚至宇宙天体或地壳以下的深处, 都能找到生成油气的证据。假如严格考虑成为能形成经济价值的油气田的生油气岩——源岩, 就存在许多限制条件。国际上近年来结合测井地层学认为许多暗色海相泥质岩并非源岩, 只有那些高电阻和高放射性的泥质岩才是真正的源岩。这从一个侧面说明这种认识趋势。

应该认为, 当前流行的有机质或干酪根热解成因生油理论, 实际上正是肯定上述对源岩定义的必然结果。如果不是

是这样, 对于油气源岩的理论就是一个永远扯不清的生油问题。因为, 单纯从生成油气出发, 确实是各种成因都成立。所以, 作者认为源岩的生油地化指标评价, 应在中等以上。按北海的一般标准, 泥质岩的总有机碳不低于1% (Cornford, 1986)。换句话

说,只有优质而分布广泛的生油气岩,才有可能成为提供经济价值油气聚集的源岩。北部北海盆地丰富的油气聚集生油岩曾经被认为是上侏罗统、下白垩统和下第三系的海相页岩,最后比较趋于一致的见解,区域性的源岩是同裂开期(晚侏罗世至早白垩世)沉积的启莫里页岩,可以认为正是基于这种考虑。

三、源岩必须与盆地演化的时空关系相适应

当前国内研究油气源岩,往往偏重于各项地球化学指标,近来更趋向于着重微观的生物标记化合物。但是油气盆地理论认为除了更应该注重宏观指标外,还必须考虑盆地演化的时空关系。因为,具有生油可能性的富含有机质的地层,能否成为源岩,必须依赖于盆地演化背景中与之相匹配促使其热成熟并产生有效运移的时空条件。

通常对热成熟的有关分析是根据上覆地层的厚度、时间分析即TTI法。一般盆地条件下这是对的,但是从盆地演化的时空关系分析,特别是对于象塔里木那样的一个多种基本盆地类型组合和叠合形成的盆地区,就不免偏向于简单化。因为上覆地层厚度即使在特定时间内,也不是决定地层热度的唯一因素。朱夏提出热体制对盆地起控制作用^①。反过来说,特定时期不同的盆地原型具有不同的热体制。一般地说,在前渊或山前拗陷区是低热流值区,克拉通地台区为中等或正常热流值区,到了克拉通内部断陷盆地多为高热流值区。如果再具体些分析,内部断陷盆地或裂谷盆地的裂开(rift)期显然应比洼陷(sag)期具有较高的热流值背景。此外,盆地演化过程中的区域构造背景又对源岩形成的油气运移起关键作用。使具备生油条件的岩层转变为有效的源岩,需要具备一定的运移条件。正是根据这一原理,人们才可以从已有的油气聚集和区域构造背景演化了解油气运移途径,从而推断源岩的所在地及其主要层位。

考虑到上述条件,有可能了解油气性质和特征可变性的原因。一方面油气在生成过程中有一个不断热力学演化的改变,同时在运移和聚集过程中又将出现降解或添加的变化。

四、塔北隆起区的油源岩讨论

塔里木盆地虽然已发现的油气田有限,但各种各样不同时代层位的油气显示非常广泛。因此,盆地内的生油层系,从古生界到新生界似乎都有存在。而且分别可以提出许多明显的证据。问题是谁能够提供工业性聚集的源岩。有机地球化学家们偏重以各种地球化学指标和生物标记化合物讨论油源岩。如前所述,目前以沙参2井原油为代表的塔北隆起上的古生界碳酸盐岩聚集层中的原油性质,具有多解性的各种指标。所以,按地化指标讨论,这一争论永远解决不了。去年六月中美塔里木盆地技术座谈会上,美方代表根据沙参2井原油的钒镍比同意为海相成因。为此笔者与他们的地球化学专家代表 Demaison 教授交换意见,指出由于原油中钒含量实际值偏低只5—11ppm,而储集层属

^①朱夏,1981年,板块构造与中国石油地质。

海相地层，因此必须考虑含有卟啉的原油具有络合地层中金属元素的可能性。对此，Demaison认为这确实是值得进一步研究的问题。至于Moldowan (1985)认为区分海相与陆相最佳指标 C_{30} 甾烷，但至今还未见这一生物标记化合物的分析报告，即使存在，如果也仅仅是痕量，恐怕同样不能据此论断。因为微量元素和微量的生物标记化合物都有可能从运移过程中或从储集层中获得 (Gol'dberg等, 1986)，特别是当经过某些曾经生成微量烃但并非源岩的地层时，这种情况将更加明显。

按照能形成商业性油气聚集的观点，塔里木盆地具有中等以上生油条件的沉积层系主要有两：侏罗、三叠系和石炭、二叠系，它们的页岩有机碳含量普遍在1%以上，是最有希望的源岩。侏罗、三叠系的油源岩已知形成塔北隆起以北库车拗陷中的依希克里克油田，而且在整个盆地北部分布较普遍，所以，处于最有希望的源岩地位，其中拜城-库车拗陷区的更具优势。至于石炭、二叠系，从通过沙参2井以西900m的K83-23地震测线反射剖面的地质解释 (图3)，从塔北隆起北部起已不再存在。还有一个潜在

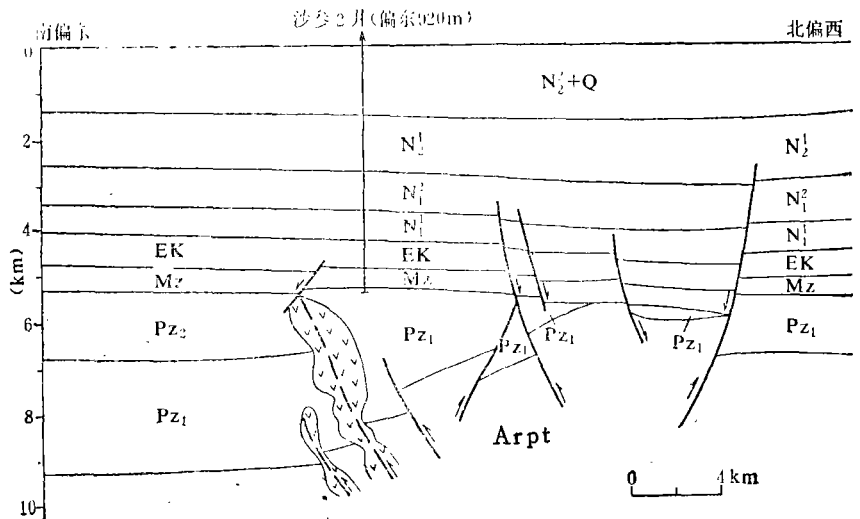


图3 通过塔北隆起的K83-23地震测线的地质解释剖面(垂直放大一倍)

的源岩对象是下古生界碳酸盐岩，虽然在一些晶洞或裂缝中见到油气显示，然而整个剖面的有机质含量一般不超过0.15%，与当今世界上公认碳酸盐岩源岩有机碳含量低限0.3—0.4%的标准有相当大的差距。

考虑到形成源岩的重要条件是源岩所生成的油气能够存在有效的运移途径和与之相匹配的聚集条件，要求与源岩热成熟相适应的构造演化条件。由图3剖面可以看出，塔北隆起及其邻区的演化至少包含三个阶段。古生界经过海西运动的改造表现为压性构造体制。中生界和下第三系显示为与古生界极性相反的张性构造体制。新生界从上第三系以来逐渐转变为具前渊性质的区域下沉洼陷的特征，洼陷中心叠置在经海西运动冲断变形的高点之上。值得注意的是：晚古生代后期，伴随着基底冲断破裂发生岩浆活动，前中生代的不整合面反映为区域性向南抬升；沙参2井所处的位置实际上是海西期冲断上升

的塔北隆起的南沿,是前中生代侵蚀面上的潜山带顶部,并在中生界和下第三系中存在披覆或差异压实褶皱。这条地震反射剖面在作地质解释时,为了简化起见,采用地震层速度和沙参2井地层分层资料比较后取得的平均速度转换成深度剖面。实际地震速度数据表明,各层层速度从南向北有普遍增加的趋势,如果按照变速解释,中新生界的区域性北倾坡度将适当加大,各层厚度也同时向北有所增加。

这一地震剖面所提供的信息表明,如果主要是石炭、二叠系的上古生界提供油源,则沿不整合面运移的方向应指向南,而不是向北的下倾方向。如果是循上古生界内部层理侧向运移,由于古生界局部南倾只10km许,供应腹地有限,加以北端被循冲断层充填的侵入体所遮挡,很难会有油气穿越这一岩体而聚集在潜山顶上。反之,如果是中生界的油源,则整个区域北倾背景为形成包括潜山及其以上的披覆褶皱油气聚集提供了充分的保证条件,而张性断裂又为向上覆新生界的储集层提供了油气聚集的可能性。这种从油气生成到运移、聚集的客观条件分析较之具多解性的地球化学指标,似乎更加明确而不容易引起争论,也能从实际勘探成果中找到许多有关的证据。

五、从油源和盆地演化看塔北及其邻区的远景

为了讨论远景条件,需要把一个局部的构造单位置于较广泛的背景中来考虑。根据前面图3的剖面,结合相邻地区的主干地震剖面和一些公开的地质调查资料,可以描绘出这样一个演化轮廓。塔里木作为晚元古代硬化的古老克拉通块体,在古生代时本质上属于沉积海台,四周为深海槽所环绕。经过加里东和海西构造旋回以后,特别是海西运动的影响,海台南北两侧发生构造逆转,深海槽区转化为褶皱带,地块边缘则发生基底冲断,伴随着基性岩浆活动,并遭受强烈削蚀。这一基底冲断带上的侵蚀残丘成为后来中生代沉积时的潜山。

古生代时的这段演化历史使我们相信,当时地块上的海台沉积层序具有正常的大陆地壳热力学条件,至晚期伴随岩浆事件使得热力作用进一步加强。缺失中生界的柯坪地区石炭、二叠系 R° 达1.3—1.83%,很可能主要反映这种热力学体制的影响。

作者设想,如果古生代时,海台与海槽之间存在宽阔的过渡带或者冒地槽沉积发育带,那么在构造逆转受到挤压时,在这个过渡带上甚至海台边缘将会出现明显的掩冲和滑脱褶皱构造带,如同在北美的阿巴拉契亚和落基山前缘所见到的那样。现在不见这种构造体制,表明当时海台与海槽的边界是急剧的,因此构造的逆转表现为基底冲断风格。此外,在海台的中央隆起区很可能属压扭性质,沿破裂带伴随有基性岩浆岩体的贯入。整个海台沉积层序具有岩性和厚度相对稳定的特征,在主干地震剖面中反映为波形特征和反射标准层的大面积连续追踪而缺少变化。只有在塔东拗陷南翼例外,那里的上古生界可能主要为石炭、二叠系向北倾方向属不补偿沉积,并呈现明显的相变特征。

中生代至早第三纪时,海台中央上升出露地表,而海西活动期曾经为冲断隆起的塔北这时下沉为向北下倾的平缓斜坡,并在原来的冲断带轴部存在不发育的张性正断层。这时的洼陷具有两种类型。一种发生在天山南麓的库车-拜城区,在古生界基底冲断的基础上,具有深断陷湖相沉积发育的特征。陈荣林(1987)据剖面中碳酸盐岩的同位

素分析和泥岩中的微量元素判别,认为侏罗、三叠系沉积层序中存在海泛的影响。另一种在地块东北部的阿瓦提-满加尔拗陷上,属稳定基底背景之上的浅洼陷,推测应以平原型的河湖交替相沉积为主。这一时期的热力学条件,根据大地构造单元及盆地的成因机制推测,分别为稍高至中等。

晚第三纪时盆地南北的天山和昆仑山迅速上升,在山脉前缘形成前渊洼陷,向着盆地中央的地块区渐次变浅,并构成低地温梯度的特点。当晚第三纪后期,因印度板块整个与欧亚板块碰撞而使中国西部遭受严重挤压时,在山前区原来的海西褶皱基础上发生严重的褶皱基底冲断以及中新世代层序中的滑脱褶皱变形。但是一旦进入原来的稳定地块区,那种强烈的褶皱变形很快消失。影响中新世代构造的除了区域性向北平缓倾斜以外,主要是前中生代海西侵蚀面所形成的潜山面貌。

因此,作者认为塔北隆起是一个前中生代海西运动期间的基底冲断隆起,在整个中新世代时基本上属于向拜城-库车拗陷下倾的平缓斜坡带的一部分。

由于盆地的演化特征,表现为大地构造单位性质、沉积体制和构造变形风格的一致性。所以,由此可以推测上古生界的理想源岩区是阿瓦提-满加尔洼陷的北半部,它的油气形成时期如果不是早第三纪也应在晚中生代。无论其沉积时的构造背景还是后期的区域变动,油气运移指向都应朝向南面的中央隆起区方向。结合石炭、二叠系沉积相带分析,最有前景的层带应是被称为地质异常体的可能礁滩相发育带,其次是中央隆起带。

下古生界生油条件似乎不容怀疑,然而,是否能发育成为源岩却不能不产生疑问。首先按照它们沉积埋深的温度、时间条件,古生代末已完全具备成熟生油气的条件。地震剖面的层速度资料,也反映为下古生界的反射速度显著增高。问题在于海台构造升降平缓或缺乏平面相带分异的沉积背景,难以促使形成大型的油气聚集。或者说这种沉积构造背景本质上更可能形成分散性的油气显示,而不利于成为良好的源岩,除非后期盆地特别是在有机质进入成油门限值的晚古生代时期发展成为差异沉降或块断沉降阶段,同时伴随有良好的区域性盖层封堵。由于海西运动产生的严重改造,完全可以相信潜在的下古生界远景层带,只能存在于塔里木盆地的中央隆起带上。

概括地讲,塔北隆起带及其以北的古生界,虽然沉积古地理条件是由浅海大陆架沉积迅速转变为深海槽,由于经历海西变动以后,本质上已成为褶皱基底,无法看作是源岩,却具备形成潜山圈闭及上覆沉积层披盖褶皱圈闭的卓越条件。

中生界发育良好的源岩和后来长期下沉深埋的历史,提供了丰富油气聚集的潜力。从现在或晚第三纪初以来的区域背景分析,洼陷中心在拜城-库车拗陷的南侧。油气向北运移的部分,因受到复杂的断层和褶皱的影响,出现了许多十分诱人的油气显示;向南运移的部分,因保存良好,完全有条件在适当的圈闭条件下组成油气田。沙参2井的油气可认为就是在这种背景上形成的。按照这一设想,我们还可以确信,库车拗陷中的许多第三系构造上的油苗,都是油气因断层向上运移逸出的结果。按照这种推测,这里最有远景的圈闭应是中生界的披覆褶皱以及前中生界不整合面以下的潜山,最佳层带位置在这一不整合面隆起轴线的北坡。同时,应对库车拗陷的南半部的构造圈闭前景加以重新考虑,需要从下第三系和中生界中可能存在滑脱面,又有古生界褶皱基岩冲断的双重影响,去研究其圈闭条件和油气聚集的可能性。

六、结 语

按照“实践是检验真理的唯一标准”的原则，任何理论认识，都需要以实践结果来检验它们的可信性。假如我们认为塔北的油源来自古生界，那么以前中生代不整合面的潜山高带轴线为界，它的南侧是主要的油气聚集场所，考虑到古生界的发育程度，向东有加厚的趋势，则东段向库尔勒方向应更加有利。如果考虑源岩是中生界，则潜山高带轴线以北的圈闭最有利，而且在拜城、库车以南的中段更为丰富，向东很可能缺乏足够的源岩而变得不利。十分明显，两种观点会导致不同的勘探部署决策，很可能也会出现不同的勘探效果。本文提出从盆地演化的整体出发考虑油源问题，以求用更多的新思路来看待塔里木这个油气勘探的老地区新领域。这样也许能较快地促进那里的新发现。

(收稿日期：1988年8月1日)

参 考 文 献

- [1] 王云龙, 1985, 对沙参2井油源的初步认识, 石油与天然气地质, 第6卷增刊。
- [2] 陈荣林, 1987, 塔里木盆地三叠-侏罗系沉积及其油气远景, 石油实验地质, 第9卷, 第3期。
- [3] 杨斌、王宝钰, 1985, 从沙参2井原油的油源分析展望塔里木盆地的含油远景, 石油与天然气地质, 第6卷增刊。
- [4] 曾亮全, 1985, 沙参2井油源问题探讨, 石油与天然气地质, 第6卷增刊。
- [5] Cornford, C., 1986, Source rocks and hydrocarbons of the North Sea. in 'Introduction to the petroleum geology of North Sea', Blackwell Scientific Publication,
- [6] Goff, J.C., 1983, Hydrocarbon generation and migration from Jurassic source rocks in the East Shetland basin and Viking graben of the North Sea. J. Geol. Soc. Lond. 140.
- [7] Gol'dberg et al., 1986, Patterns of vanadium accumulation in petroleum and natural bitumen. International Geology Review, Vol. 28, No.6.
- [8] Hunt, J.M., 1979, Petroleum Geochemistry and Geology. W. H. Freeman and Comrany.
- [9] Moldowan, J. M., et al., 1985, Relationship between composition and depositional enviroment of petroleum source rock. AAPG. Bull., Vol.69, No.8.
- [10] North, F.N., 1985, Petroleum Geology. Allen and Unwin Inc.
- [11] Parker, J.M., 1982, Finding the undiscovered petroleum of the Circum-Pacific. Third Circum-Pacific energy and mineral resources conference transactions.
- [12] Ridd, M.F., 1981, Petroleum geology west of Shetlands. in 'Petroleum geology of the continental shelf of North-West Europe', Heyden and Son Ltd.
- [13] Tissot, B., et al., 1975, Etude comparee de l'epoque de formation et d'expulsion du petrole dans diveses provinces geologique. Proceeding of 9th World Petroleum Congress, vol.2.
- [14] Walter, R.F., 1953, Oil production from fractured Pre-Cambrian basement rocks in Central Kansas. AAPG. Bull., vol.37, No.2.
- [15] Watson, H.J., 1982, Casablanca field offshore Spain, a paleogeomorphic trap. in 'The deliberate search for the subtle trap'. AAPG. Memoir 32.
- [16] Webb, G.W., 1976, Oklahoma City oil--Second crop from preserved subunconformity source ricks. AAPG. Bull., Vol.60, No.1.

STUDY OF SOURCE ROCKS IN AND AROUND NORTH TARIM UPLIFT WITH THE GEOLOGICAL THEORY OF HYDROCARBON BEARING BASIN

Gan Kewen

(Beijing Scientific Research Institute of Petroleum Exploration
and Development)

Abstract

There have been different opinions on source rocks since the oil discovery of Shacan No.2 well in north Tarim. The author considers that the problem can never be solved if different analytical indices are taken for a single crude oil. With the geological concept of hydrocarbon bearing basin, considering the evolution condition of the basin, i.e. sufficient hydrocarbons from the source rocks, and favourable conditions of migration and accumulation, the source rocks is suggested to be of Mesozoic age rather than Paleozoic, however. Different ideas of source rock lead to different strategic decisions and arrangements and thereby different results of exploration.