

中俄石油地质 学术交流会论文集

(2003 莫斯科)



王 涛 主编

石油工业出版社

《中俄石油地质学术交流会论文集
(2003 莫斯科)》
编 委 会

主 编 王 涛

副 主 编 贾承造

B. П. 加弗里洛夫

编 委(以姓氏笔画为序)

王大锐 王玉萍 沈平平 李丕龙 李启明 周新源

张一伟 B. П. 菲里波夫 缪 昕 A. И. 科拉廖夫

序

当前,中国石油工业正处在稳定发展时期,天然气勘探处在快速发展阶段,但仍然不能适应国内经济长期持续快速发展的需求,目前,三分之一的原油依靠进口,而且资源接替紧张的矛盾始终未能缓解。因此,必须加强国内油气资源的勘探。国内油气资源潜力还很大,新领域也很多,勘探大有可为。根据新一轮石油远景资源量预测,目前石油资源的探明率还不到30%,天然气探明地质储量也只是预测储量的8%。在中西部低勘探程度地区,继续找到大油气田的前景广阔,在东部勘探程度相对较高的地区,岩性等隐蔽油气藏的勘探方兴未艾。与此同时,油气勘探也面临着诸多挑战,如一些重点勘探区大部分为沙漠、高山和黄土塬所覆盖,地下地质条件也极为复杂,如克拉通盆地内部碳酸盐岩、前陆盆地高陡构造带以及大范围岩性油气藏的勘探等都要求在勘探理论和勘探技术方面有所创新。

“他山之石,可以攻玉”。新区勘探要参照老经验,老区勘探要有新思想。俄罗斯是我国的近邻,拥有丰富的油气资源,是世界上重要的油气生产大国,具有复杂多样的地质构造条件,在俄罗斯发育的主要含油气盆地有元古宇、古生界和中生界的克拉通盆地以及处在这些克拉通与造山带之间的前陆盆地,这些都与我国油气地质条件有诸多相似之处。他们在油气勘探生产方面都取得了很大成就,积累了丰富的经验,在基础地质理论研究和科技进步方面有许多独到之处,因此,有许多值得我们学习和借鉴之处。

2002年6月我率中国全国人大环境与资源委员会代表团访问俄罗斯期间,与俄罗斯国立古勃金石油天然气大学校长A.弗拉吉米罗夫院士商定,中俄双方于2003年4月下旬在俄罗斯莫斯科共同组织召开“中俄石油地质学术交流会”,目的在于交流中俄双方在石油地质理论及勘探技术进步方面的新成果,互相借鉴,共同提高,为我国油气勘探服务。同时,也可进一步密切中俄两国石油界和石油教育界的关系,加深两国人民之间的友谊。

通过中俄双方的共同努力,经过3个月左右的筹备,交流会于2003年4月22—24日在俄罗斯国立古勃金石油天然气大学如期召开。双方对本次会议给予了高度重视,都做了精心的准备工作。中俄双方共交流学术报告25个,其中,俄方报告19个,中方6个。俄方所作报告主要涉及以下内容:①大型复合型盆地油气生成、聚集与分布特点;②俄罗斯及独联体油气聚集带和富集中心、非常规油气藏——脉状油气聚集带的勘探;③沉积盆地基岩含油气理论及勘探实践;④碳酸盐岩地层含油气性及油气分布规律;⑤地震勘探技术,包括非构造油藏的地震勘探、地震成像算法的精确度分析、AVO地震反演等;⑥里海盆地石油、天然气地质及油气分布规律;⑦油气领域地理信息技术;⑧生烃地球化学理论及勘探方法。中方报告主要涉及:①中国油气资源潜力与勘探前景;②提高采收率研究进展;③中国板块构造演化;④陆相生油理论研究进展;⑤塔里木盆地油气分布规律;⑥复式油气藏富集规律。

这次交流会取得了圆满成功,达到了预期的效果,双方所作的报告得到与会者的好评。通过交流,增进了了解,加深了友谊,为进一步开展科技合作创造了条件,并将对中俄油气勘探产生积极深远的影响。

从此次提供交流的论文看,俄罗斯国立古勃金石油天然气大学在以下几方面的研究具有较高的水平,并对我国的油气勘探技术及石油地质理论研究有所启示。

(1) 俄罗斯石油地质学家在基础地质理论研究方面拥有较新的思维,在技术创新方面有独到之处。

俄罗斯专家所作的报告很多,但每一个报告的研究选题都很有新意,涉及的面并不很宽,但工作很细,研究的特点是强调基础工作的扎实性和有效性。例如,俯冲带油气生成聚集机理、脉状油气藏、基岩油气藏形成机理、超压条件对油气相态的影响等研究,对我们进行科研生产的选题、进一步深化石油地质基础研究有重要的借鉴意义。

(2) 俄罗斯的勘探实践及地质认识对中国中西部勘探具有重要的借鉴意义,使我们坚定了在中国进一步寻找大油气田的信心。

从俄罗斯及全球范围看,油气聚集极不均一。从地质条件来看,以俯冲型盆地(相当于被动陆缘、边缘拗陷至前陆盆地)油气最富集(占80%),如伏尔加—乌拉尔、特提斯油气聚集带,其次是裂谷型和克拉通内拗陷型(塌陷型)盆地。分析俄罗斯的伏尔加—乌拉尔、北里海盆地和与特提斯关闭有关的高加索—帕米尔北西向油气聚集带的石油地质条件,对中国西北地区前陆盆地的油气勘探具有重要的借鉴意义,也坚定了我们在中国西北前陆盆地进一步寻找大油气田的信心。

对北里海盆地的研究对塔里木、四川、鄂尔多斯等具有古老基底的古生代克拉通盆地油气藏形成规律认识有指导意义,古生代礁滩型等岩性圈闭勘探潜力巨大;具古生界基底的中生代盆地有准噶尔、吐哈、柴达木、酒泉等盆地,塔里木、四川、鄂尔多斯盆地也在古生界之上叠加了中生界盆地,这些盆地的成藏研究可以借鉴中里海盆地;在南里海盆地巨厚的新生界找到了若干巨型油气田,对中国西北地区勘探指导意义重大,尤其是山前拗陷超晚期成藏特点。

(3) 西伯利亚克拉通古老碳酸盐岩地层含油气性对认识中国中西部海相克拉通盆地的勘探具有重要的启示。

俄罗斯西伯利亚古老碳酸盐岩可以发育好的生油层;大型构造—古地貌是油气聚集的背景;盐岩盖层是非常优越的条件;除了经历喀斯特化的白云岩可成为优质储层外,受浅海相、生物礁及潮汐相等控制的具有原生粒间孔、溶洞和裂缝型储集空间的储层也可形成大油气田,造礁活动与构造运动也可形成好的储层。这些层系均比我国下古生界地质时代早,因此,应该相信,在我国克拉通盆地下古生界中可以发育不完全受喀斯特化控制的、带有原生性质的优质储层。

(4) 在油气生成及烃的起源等理论研究方面,俄罗斯国立古勃金石油天然气大学提出了一些独到的新见解,对深部油气相态预测具有指导意义。

B. И. 叶尔莫尔金教授从统计学的观点出发,统计了撒哈拉、阿拉伯、南里海、东高加索和西西伯利亚等地区的3500个油田,研究其生成温度、压力及其与油气相态关系,并利用温度、压力(K_0 ——地层压力系数)将石油和天然气的形成从纵向上划分为几个相带,提出:压力在油气生成过程中是和温度同样重要的因素,它们互为条件且相互影响,只有将二者(温度和压力)同时考虑,才能准确地预测油气相带。在埋深小于4000m的浅层油气藏和埋深大于4000m的深部油气藏的相态形成分布是不同的,在深部油气藏形成过程中,压力对成藏的作用更大。这对我们进行深部油气预测具有指导意义。

俄罗斯与我国是近邻,大地构造发育具有关联性,含油气盆地形成、演化和油气聚集有较多的相似性和可比性,因此,开展合作对比研究的领域宽广、潜力很大。例如:

(1) 对烃类起源进行新的理论研究,从地质力学的角度研究碳氢化合物在岩石圈中的分

布规律。

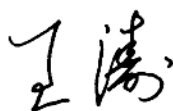
(2) 研究形成液态和气态烃类的古代地质、地球化学条件以及油气和凝析物勘探预测方法。

(3) 在油藏研究中提高标准井的信息量。

(4) 利用地震勘探识别和描述非构造油气藏。

(5) 对比研究俄罗斯东部及南部、中国以及相邻陆相和海相含油气盆地的地质特征、含油气规律的相似性和差异性以及地质力学演变的内在关系。

相信将这次交流会上的论文用中、俄两种文字出版，会更广泛地加强中俄石油界的合作，推动我国油气勘探及勘探理论与技术的进步和发展。



2004年3月3日

目 录

油气生成的地质动力学构想	В. П. 加弗里洛夫 (1)
中国陆相油气理论研究新进展	程克明 熊 英 (11)
气态烃、液态烃的古地温、压力和地化成因条件及其对油、气、凝析油 勘探的预测方法	В. И. 叶尔莫尔金 В. П. 菲里波夫 В. А. 恰赫马切夫 (27)
沉积盖层中油气生成、形成及分布特征——以滨里海、卡拉库姆和东西伯利亚 沉积盆地为例	В. И. 叶尔莫尔金 В. П. 菲里波夫 В. А. 恰赫马切夫 (32)
中国油气资源潜力与勘探远景	张一伟 (42)
油气聚集环带和油气富集中心——以俄罗斯和独联体国家为例	В. П. 加弗里洛夫 (49)
中国板块构造演化与含油气盆地特征	靳久强 (53)
世界碳酸盐岩含油气性的基本规律	В. Г. 库兹涅佐夫 (62)
塔里木盆地石油地质特征	周新源 王清华 (75)
西伯利亚地台碳酸盐岩古老地层的含油气性	В. Г. 库兹涅佐夫 (84)
里海盆地的油气地质及油气分布特点	Д. Л. 费多罗夫 (99)
沉积盆地基岩的含油气问题	В. П. 加弗里洛夫 (104)
沉积盆地的基岩含油气层	О. А. 什尼普 (106)
基岩储集层	В. В. 波斯佩洛夫 (110)
基岩中石油生成和聚集的可能模式	В. П. 加弗里洛夫 (113)
脉状油气藏——一种新的油气藏类型	Б. В. 格里戈里良茨 (121)
中国提高采收率技术研究现状与展望	沈平平 袁士义 朱 斌 (126)
根据三维地震勘探资料在因素分离的基础上对介质多因素各向异性弹性性质 的评价	А. К. 乌鲁波夫 В. А. 巴吉罗夫 (136)
地震剖面绘制算法的精度分析	Б. Р. 扎瓦利申 (143)
济阳坳陷隐蔽油气藏勘探理论与实践	李丕龙 张善文 肖焕钦 王永诗 邱桂强 (150)
非构造油气藏的地震勘探	М. Б. 拉波波尔特 В. И. 雷日科夫 (162)
地震 AVO 属性分析用于区别岩性 (煤) 异常和烃类异常的可能性	Ю. Н. 沃斯科列森斯基 (169)
应用地质—地球物理方法评价复杂圈闭、小规模 and 深层油气藏及其评价标准	В. П. 菲里波夫 В. Т. 赫拉莫夫 (174)
提高油气藏研究中标准测井的信息量	М. М. 艾兰斯基 (187)
俄罗斯油气领域的地质信息技术	С. А. 米列尔 (194)

油气生成的地质动力学构想

B. П. 加弗里洛夫

(俄罗斯国立古勃金石油天然气大学)



B. П. 加弗里洛夫 地质矿物学博士，俄罗斯国立古勃金石油天然气大学地质教研室主任，教授，俄罗斯联邦功勋科学家，从事含油气盆地地质动力学研究，发表学术论文 350 多篇。

摘要 本文阐述了基于地质动力学（板块大地构造）思想的油气生成新理念。地壳中油气的生成和聚集与地壳的地质演化有关。完整的演化旋回包括两个主要阶段，即洋壳形成阶段和陆壳形成阶段。这两个阶段又细分为期和幕。有证据表明，油气生成的最有利条件产生于海相裂谷幕和整个俯冲（俯冲—仰冲）幕。与此相对应，可划分出两个主要生油机制（模型）——裂谷型和俯冲—仰冲型。

在铁橄榄石参与的情况下，大洋水的热解和溶解于其间的二氧化碳气体通过矿化途径有可能形成烃类。

可以作出结论：油气生成过程是多因素和多方式的，而这种过程本身又具有混杂性（混合成因）。

本文阐述的油气成因构想的基础是油气生成过程与整个岩石圈的全球演化过程具有密切的成因联系的观点。油气是岩石圈的产物，所以，逻辑上可以设想，油气的整个“生命历程”首先直接取决于岩石圈的演变。根据威尔逊原理及其发展，可以将一个完整的岩石圈演化旋回分为两个阶段：大洋（造洋）阶段和大陆（造陆）阶段（加弗里洛夫，1985）（图 1）。

造洋阶段是早先存在的岩石圈由于裂谷作用而破碎和裂解的过程，并通过扩张作用而形成新的洋壳。这个阶段可分为以下几个幕，即初始裂解、大陆裂谷、海洋裂谷、海底扩张、局部俯冲和全面俯冲（俯冲—仰冲幕）。因此，造洋阶段的特点是一个完整的大洋开启和关闭的旋回。

造陆作用表现为大陆岩石圈的加固和厚度加大，包括以下几个幕，即克拉通化、拗拉谷、台向斜、地台、后地台活化。

在上述各幕中，我们认为对油气生成最有利的是海洋裂谷、局部俯冲和全面俯冲幕（俯冲—仰冲幕）。

我们之所以持这种看法，主要是基于以下两个依据：

- (1) 在这些幕期，在相对局限的地区内堆积了大量的、含残余有机物的沉积。
- (2) 在一定地质历史时期内，地壳的高热流和强烈的构造活动对于有机物快速（地质意义上）演变成烃类气体和液态石油起了决定性作用。

除此以外，岩石圈演化的这些幕期使地壳最大限度的开启，这为地表和深层之间的流体交换创造了有利条件。

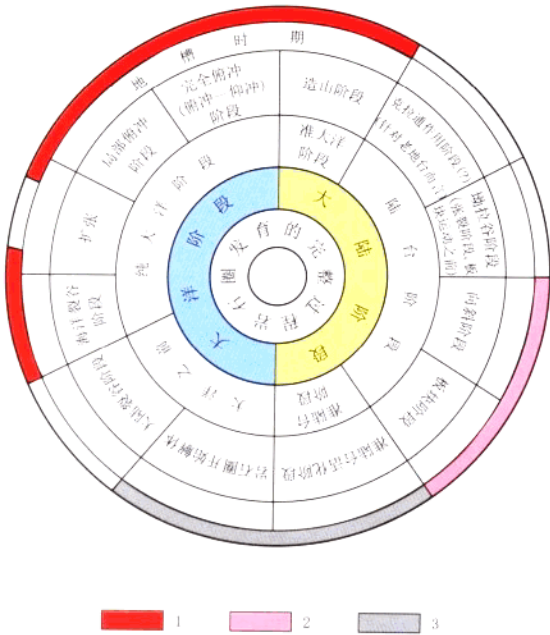


图1 岩石圈演化的一个完整的地质动力学旋回示意图
1—油气生成的最有利时期；2—油气生成的有利时期；
3—油气生成的不利时期

据此，建议划分出石油生成的两个主要机理（模式），即俯冲—仰冲模式和裂谷成因模式。

油气生成的俯冲—仰冲模式是大洋边缘俯冲带和大洋关闭时陆陆碰撞拼贴带的特点。其机理是，大量富含分散有机质的沉积物质堆积在一起（增生棱柱体），并直接进入高温高压的消减带。在经历了 $100 \times 10^4 \sim 200 \times 10^4$ 年并在 $100 \sim 400^\circ\text{C}$ 的高温作用下，使有机物演化为烃类。它类似于短时间内实验室的人工裂解有机物的条件，在经强烈的高温作用后，从动植物残骸中可以获得合成石油。

对烃类形成的这种机理的可能的疑问通常是因为远海淤泥中有机物贫乏。但是，随着向俯冲带的推进，这些淤泥可获得有机物的补充，而且，在深海沟区有机碳的平均含量已经超过了 0.78%（特罗丘克、马林娜，1988）（图 2）。

进入下俯冲断层带的大洋沉积一般都含有孔隙水和结晶水，其含量常达 50%。在加热的情况下，这些水转变成温度高达

400℃、压力超过 20MPa 的流体。这些流体将从下俯冲断层带下部向低压区运移。在运移过程中，这种流体必然排出、溶解、并脱出液滴状石油，这种从烃源岩中排出的微量石油的强劲因素确保了分散的微量石油有效地排出和运移。沿裂缝向上运移的含有烃类（游离或溶解

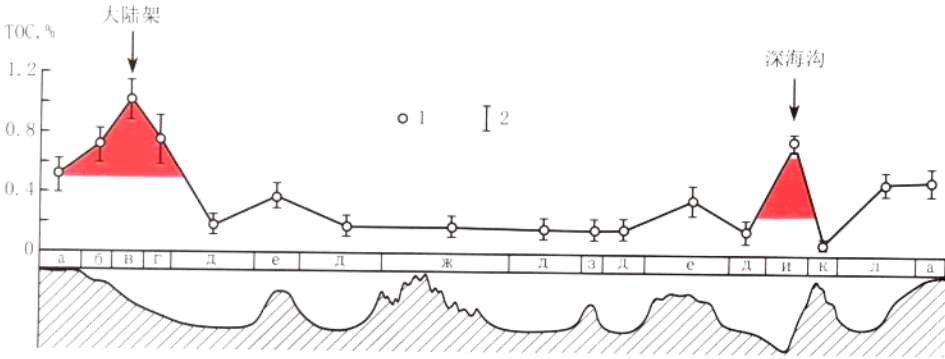


图2 洋底不同地貌结构带的有机碳含量统计评价分布图

1—有机碳含量平均值，%；2—均方差（σ）；地貌结构带：а—大陆架；б—边缘高地；в—大陆斜坡；
г—山脚；д—深海谷地；е—海谷隆起和无地震活动的山脊；ж—洋中脊；з—海谷中的火山；и—深海沟；
к—岛弧；л—大洋边缘的半封闭盆地

状态)的高温水将在岩石圈隆起带和岛弧体系后方卸载而形成油气藏(图3)。

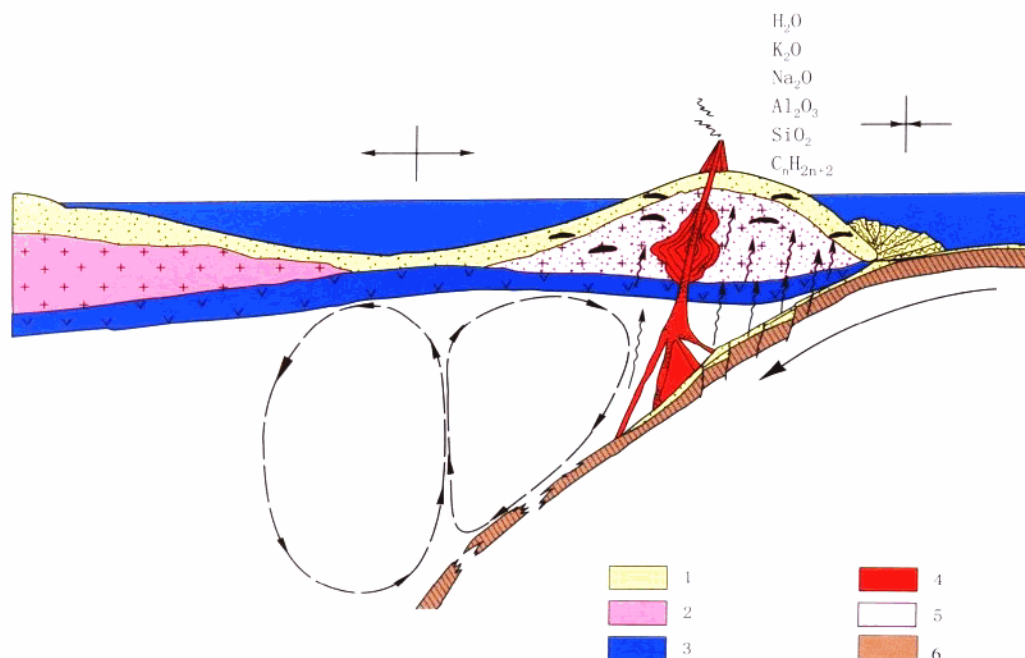


图3 下俯冲断层带的油气生成

1—沉积层; 2—花岗岩层; 3—玄武岩层; 4—火山; 5—增生花岗岩壳; 6—洋壳

在该机理中,油气田的形成、分散以及有机质的聚集和运移是高温水对沉积岩层“冲洗”的结果。高温水把汇聚的含烃类深层矿化水推向低压区,也就是向下俯冲断层带相反的方向运移。高温水的剩余压力主要是靠大洋沉积物中的孔隙水以及俯冲带地壳脱水时释放出的水的不断汇集和加热来保持的。

随着逐渐远离下俯冲带,高温水的温度和压力减小,其渗流速度也减缓,从而形成了有利于油气聚集的条件。

在俯冲—仰冲机理作用下,油气的聚集在大洋完全关闭时期达到顶峰,此时,在原来大洋空间部位形成造山褶皱区,该褶皱区通过山前拗陷与大陆地台分隔开来。

应该把促使烃类生成的下俯冲断层的两种主要机理区别开来。第一种机理是大洋板块下冲到岛弧或大陆之下(俯冲作用)。第二种机理是岛弧或大陆边缘仰冲到其大陆的被动边缘之上(仰冲作用)。我们认为,在油气丰度和油气生成的规模上,第二种机理要大大优于第一种机理(图4)。这可以解释为,被动大陆边缘(其下部往往有较厚的沉积岩透镜体)也参与到了烃类的“生产”进程中。这也说明了在靠近褶皱区的地台边缘具有较高的地下油气丰度(图5)的原因。

油气生成的裂谷成因模式是指早期在陆相条件下堆积了巨厚沉积岩(10~12km)之后堆积了一套类似现代红海的陆间海沉积。稳定的沉积环境十分有利于形成一套地球化学还原环境下的富含有机质的泥岩。

来自岩石圈底部地幔(软流圈隆起)附近的高热流激发了有机物转化为滴状液态石油的

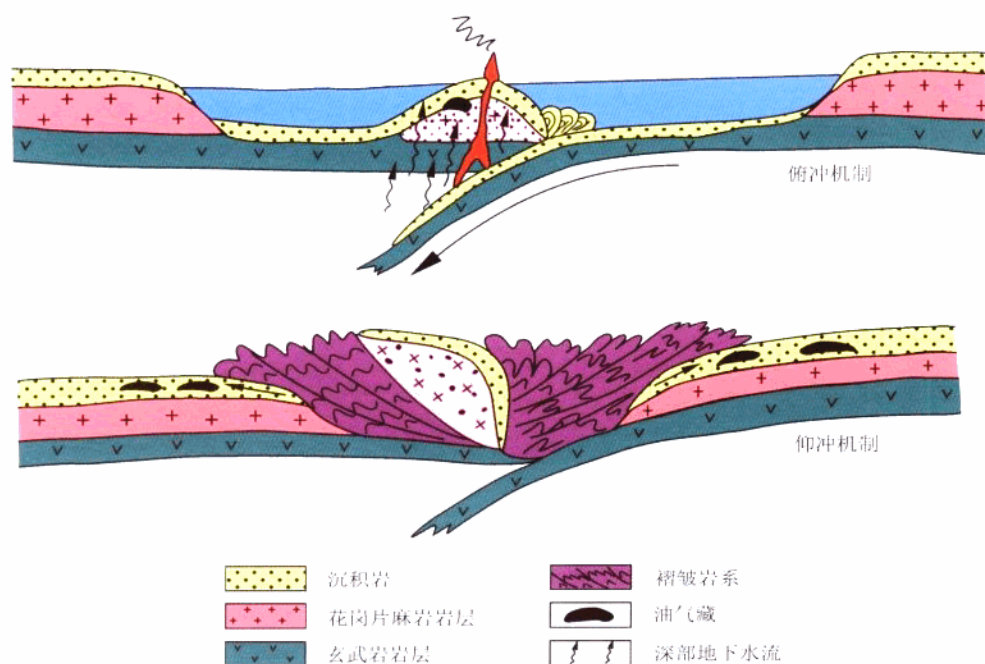


图4 俯冲(上)和仰冲(下)成油机理

过程。在这种情况下,烃源岩并不一定要埋藏得很深,早在海底沉积物中的油气就可以开始生成和流动,例如现今红海的“热坑”(图6)。

随着裂谷自身的发展,内陆裂谷演化为具有扩张中心的大洋盆地。在所形成的大洋两侧产生了被动大陆边缘,也就是原始裂谷沉积盆地的残余部分(图6)。

被动大陆边缘的演化一直伴随着其基底的沉降作用和补偿沉积作用。由此可见,被动大陆边缘经受与裂谷同样的油气生成机理,即主干河流参与的快速沉积、沉积岩高含有机碳、地下高温加热作用。

如果裂谷形成时大洋没有开启,仅停留在裂谷阶段,那么,在裂谷构造上通常会出现大型拗陷或台向斜。大陆内部将形成区域性裂谷型油气聚集带,西西伯利亚、北海、苏伊士湾以及其他一些油田就属于这种类型的油气聚集带。在一些夭折的大洋,地壳能量只能形成不同类型的裂谷系,这些裂谷系将进一步演化成为大型上叠地台型拗陷(台向斜)。

由此可见,裂谷的地质动力学体系可以在大陆内部(称为陆内裂谷体系),也可以在被动大陆边缘形成(称为大陆边缘裂谷体系)。

下面举一个中生代时期南大西洋被动边缘形成顺序方面的例子,这个例子实际材料较多(图7)。侏罗纪时期,冈瓦纳超级大陆已经受到了早期裂谷作用,并形成了内陆裂谷体系,超级大陆被内陆裂谷体系肢解成碎块,后来成为了现今南半球的各大陆。

白垩纪时,超级大陆进入大洋发育阶段。晚白垩世末期,内陆裂谷系成为分隔南美洲和非洲的陆间裂谷系,只是在现代几内亚湾地区存在一条构造转换带。

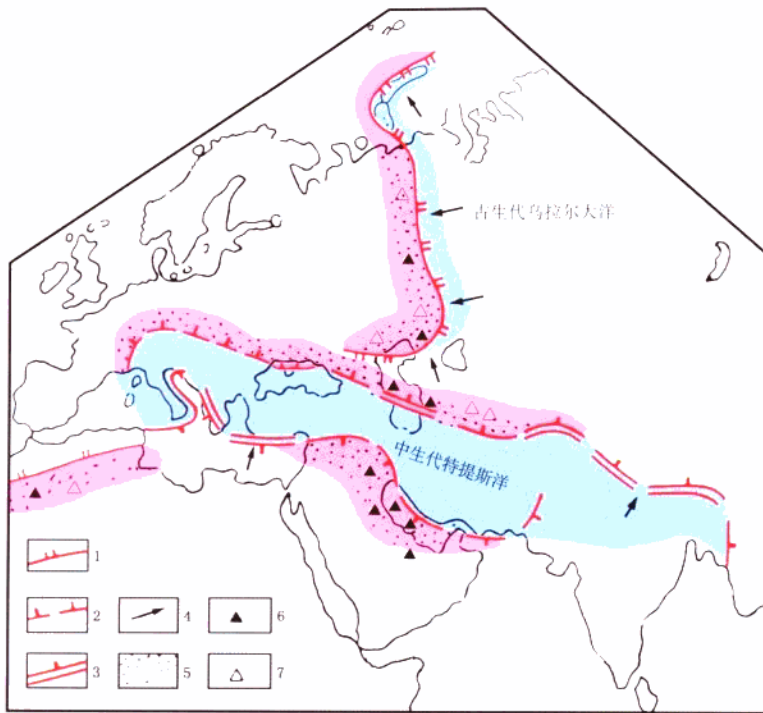


图5 乌拉尔和特提斯古大洋边缘的含油气性

1—古生代；2—中生代；3—现今活动带；4—下冲方向；
5—区域性含油气区；6—石油；7—天然气

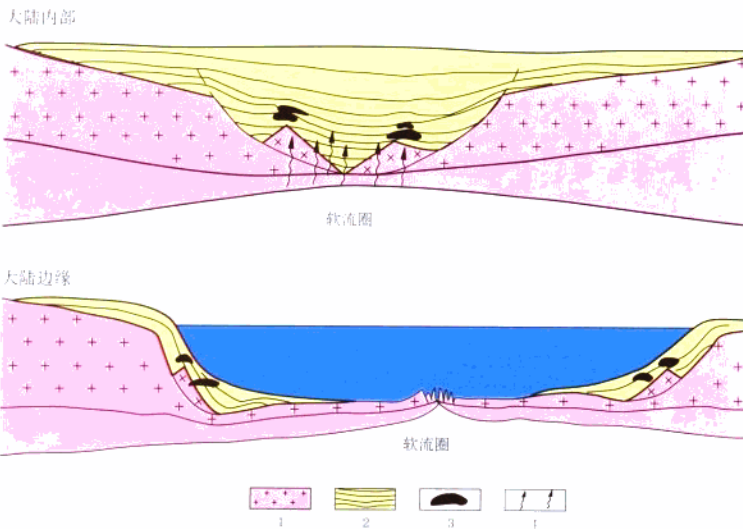


图6 油气形成的裂谷模式

1—固结地壳；2—沉积盖层；3—油气藏；4—深部地下水流

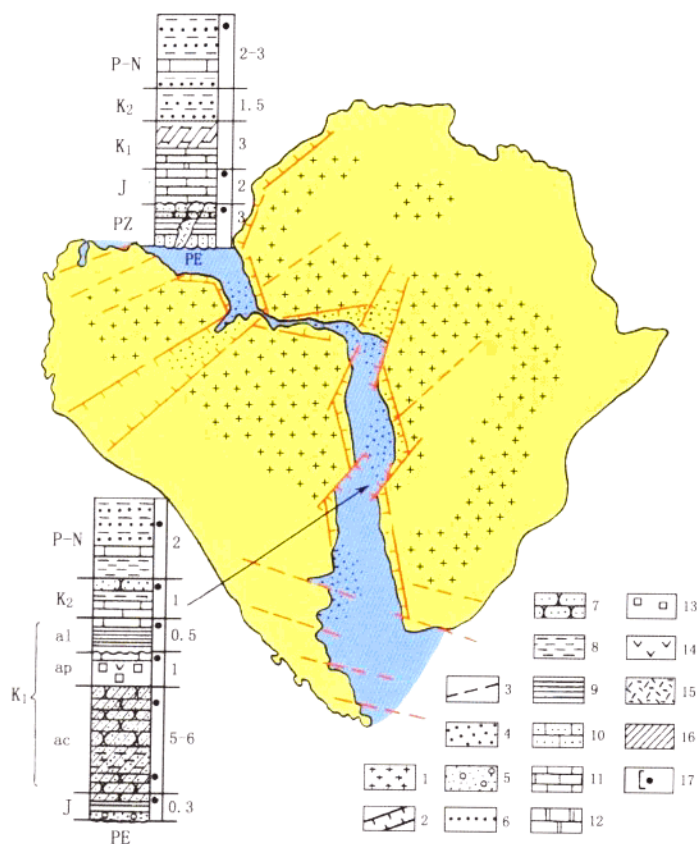


图7 白垩纪初期南大西洋演化重建示意图

1—基底结晶岩露头（地质）；2—裂谷；3—断裂；4—古三角洲区；
5—陆相粗碎屑岩地层；6—散沙层；7—砂岩；8—泥岩；9—富含有机质的泥质页岩；10—砂质灰岩；11—灰岩；12—白云岩；13—蒸发岩；14—喷发岩；15—侵入岩；16—红色地层；17—工业含油气层段

（图中的数字为沉积厚度，单位为 km）

在稳定的海湾盆地条件下堆积一套富含有机物的沉积，该盆地具有高地温特征。毫无疑问，这对油气生成起了决定性的作用。目前，不论在非洲大西洋大陆架，还是在南美洲大陆架，尼欧克姆、亚普第和阿尔必阶地层都是区域性含油气层。其他一些现代的被动大陆边缘也有类似的成油机理的特点。

在研究上述两个主要地质力学机理（在很大程度上决定了岩石圈中油气的生成）的同时，并未否认传统的“坳陷”或“盆地”油气生成模式，该模式适用于那些大型地台内部的坳陷，也可能还包括一些未被裂谷复杂化的山间盆地。与俯冲—仰冲作用的裂谷体系、坳陷体系具有地热梯度低的特点，因此，也就具有“萎缩”的油气形成过程。为了进一步演化，原始沉积岩需要深埋到 2~3km 的深度，也就是要进入一个最有利的温压带（进入主生油气带，据 H. B. 瓦斯索耶维奇）。

实际上，所有现代的油气成因理论以及已有地壳中油气聚集和分布的规律都是建立在坳陷（盆地）观点基础之上的。从油气生成观点来看，必须存在偏咸水盆地、还原地化沉积环境、特殊的生油岩系、长久（几亿年）且稳定的构造沉降作用、原始地层沉降到足够的深度的条件，以使其具有高温条件（油气主生成带）；拥有足够的地静压力以便把原生石油从生油岩中挤压排驱到储集层内部等等。同时，如果含有分散有机质的沉积岩进入到经仰冲—俯冲作用的裂谷体系，那么，上面列举的烃类生成的必要条件就不是那么重要了，而是要让位于那些对岩石圈中油气生成更重要和更具有决定性的因素——地下地质动力学机理。

对各种地质动力学机理下的油气形成规模以及地下聚集的烃类储量进行一下对比也并非没有意义。我们以冈瓦纳为例做了评价（图 8）。从图中的分析可以得出，实际上，所有的含油气区带都位于冈瓦纳大陆边缘。按照它们的空间分布特点，在重建的冈瓦纳大陆内可以

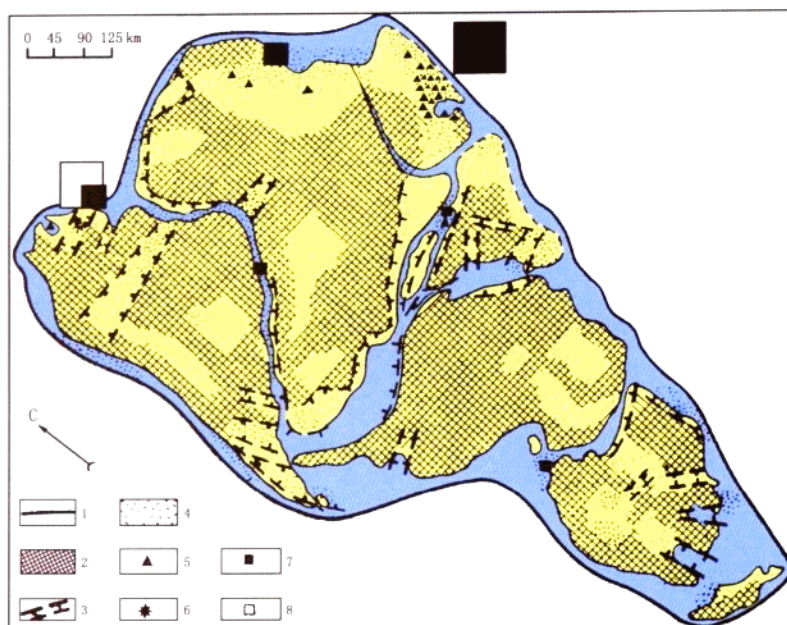


图 8 冈瓦纳各含油气区分布图

1—超级大陆边界（各大陆位置按中生代初重建后的位置，据 A. M. 戈罗德尼茨基、Л. П. 卓年沙因）；2—沉积盖层缺失区（盆地以外）；3—裂谷边界；4—陆地、海域含油气区；5—一些巨型油气田；6—委内瑞拉奥菲西纳—特列姆布拉多重油和固体沥青带；7—探明可采油气储量的相对数值；8—探明重油和固体沥青可采储量的相对数值

分成两类区带，即分布在大陆内部的内部区带和边缘的边缘区带。沿冈瓦纳大陆边缘分布的含油气区带的形成受到了不同地质时间段（主要是新生代特提斯洋关闭时期）的仰冲和俯冲作用机理的影响。

我们和其他一些专家评价表明，已探明油气储量的 80% 分布在俯冲—仰冲地质动力学机理的形成地区，15% 是在裂谷作用下形成的，只有 5% 是在坳陷机制下形成的。

地壳的开启性成为裂谷模式和仰冲—俯冲模式油气生成的主要特征，这是表层和深层流体互相交换的前提。这种情况有利于在地壳深处形成合成水热力甲烷的有利条件，即在铁橄榄石参与下，由大洋水（即其中溶解的二氧化碳气体）热解而合成甲烷气。在相对不高的温

度（约 200~300℃）条件下，上述化学反应的作用结果可形成甲烷和蛇纹岩，其反应式如下（索罗赫金、乌沙科夫，1991；德米特利耶夫斯基等，2002）：



据该反应式作者估算，上述现象生成甲烷的规模大约是每年 $900 \times 10^8 \text{ t}$ （图 9，图 10）。

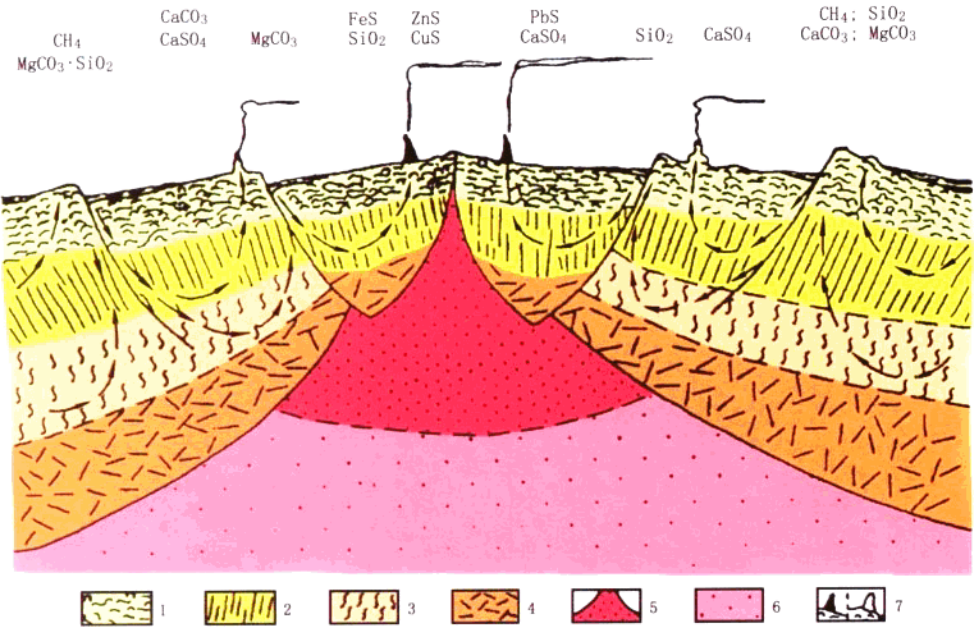


图 9 大洋中脊裂谷带洋壳的形成和水热作用的地球化学

1 玄武岩（枕状熔岩）；2—辉绿岩墙；3 蛇纹岩层；4—下岩石圈；5—大洋中脊岩浆源头；
6—软流圈；7—黑、白烟囱（箭头为海水深入洋壳的路径）

因此，在地壳、水圈、大气圈中很可能存在有有机和无机这两种烃类流体，并且，这两种流体在自身的演化过程中互相渗透与相互混合。如果从广义角度来看这一问题，那么，烃类（至少其主要组成部分——碳和氢）会渗入到俯冲带的地幔里，也会进入到宇宙中，然后，再从宇宙返回到地球，这一过程周而复始，往复循环。在图 11 中，实线为自然界中碳的传统循环，而虚线则是对碳的循环途径的推测。两个循环向下方向的分支在进入生物圈后重合。这样，不管碳是如何来到地球上的，动植物都会将它消化吸收并转化成有机物。然后，有一部分碳会“散失”、保存在岩石圈的油气藏、煤和碳酸盐岩层中，但大部分碳经过俯冲带进入地幔。在这里，经过地球内部发生的复杂演化后，碳又以地下“气体流”（含有 CO_2 ， CO ， CH_4 和其他气体）形式重新返回到岩石圈、水圈、生物圈和大气圈中。同样，在这些向上的碳循环分支中也有一部分碳“散失”，保存在油气藏和岩石中，大部分碳进入到大气圈，局部扩散到了近地球的宇宙空间。碳在自然界中的这两种循环类型有一个共同点，即都要经过生物圈里的动植物的作用。

可以设想，对自然界中碳和氢循环过程的这种观点在某种程度上可以让“有机论者”和“无机论者”相安无事。甚至，即使烃类气体从地壳深处或上地幔上升到地表，那么，作为

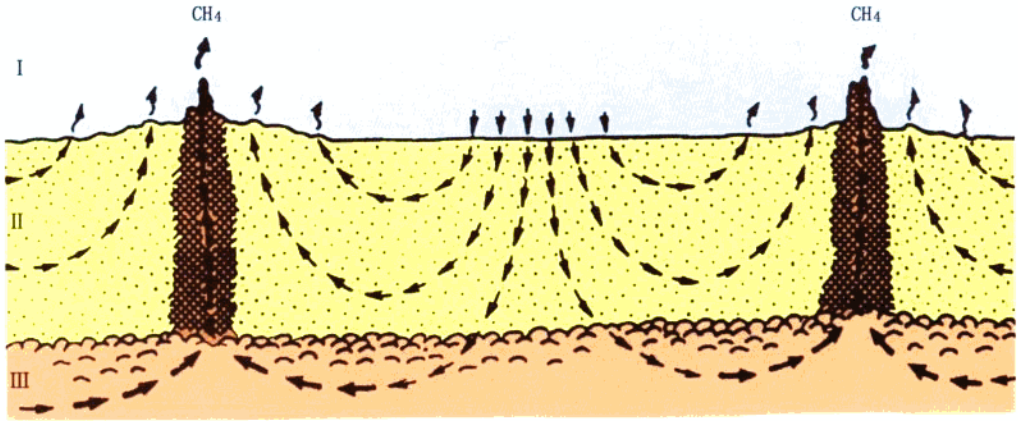


图 10 裂谷带玄武岩中孔隙型沉积岩层内的海水对流循环
I—大洋水体；II—沉积层中地下水的对流；III—洋壳基岩中的热水流
(虚线为地下水热力作用下的磷酸盐地层和黑烟窗)

其组成部分的碳当某一时间进入生物体内，终究会在地球生物圈中发生变异。至于石油的起源问题，再一次强调，从地质动力学的观点来看，讨论它已毫无意义，因为不论碳、氢还是一些石油组分都早已存在于宇宙、生物体、地壳和地幔当中了。在古老地层中，当有机生命的种类和数量极为有限，不存在现在意义上的生物圈时，碳在自己的循环中没有形成大量的烃类化合物。烃类化合物的大量产生是在地球上出现生物圈之后。而且，随着有机生物的繁盛，石油的“生成量”才开始增加。因此，如果研究一下古老地质和年轻地层中石油储量的变化情况，那么，将看到如下现象（据 A. A. 巴基洛夫）：前寒武纪地层中的油藏目前发现还很少。在全世界的石油储量中，下古生界地层占 3.1%，上古生界占 3.7%，中生界占 68%，新生界占 25.2%。而烃类气体也是如此，分别占 0.4%；26.3%；62.0%；11.3%。如果研究这些地质时间内生物种属数量的变化情况，那么，可以看出，从古到今，“生命波”变得越来越强（图 12）。油气储量和生物种属两个数量的最大值都出现在中生代后半期（侏罗纪和白垩纪）。按照我们的观点，这表明只是生物圈的出现才为油气形成创造了条件。

现在，回到油气成因问题，在油气科学发展的现今阶段，必须认同油气生成过程的多因素性和多方式性，消除有机论者和无机论者之间的矛盾。烃类的形成归因于诸多因素，具有混合成因的特点。在自然界的全球物质演化过程中，不同成因的石油混合

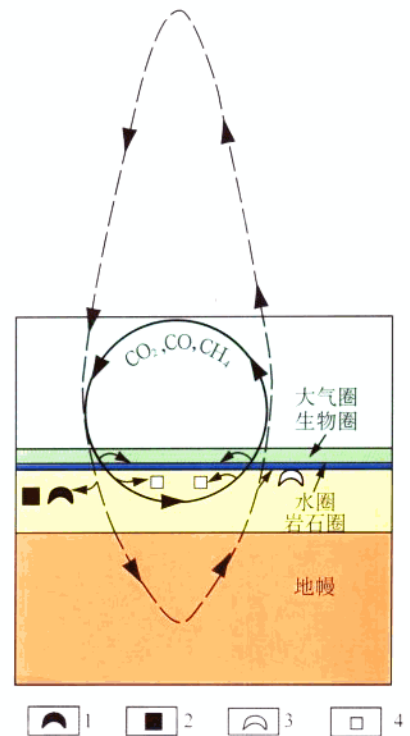


图 11 自然界中的碳循环
1—石油；2—煤；3—天然气（ CO_2 ， CH_4 ）；
4—石灰（箭头为碳运动方向）

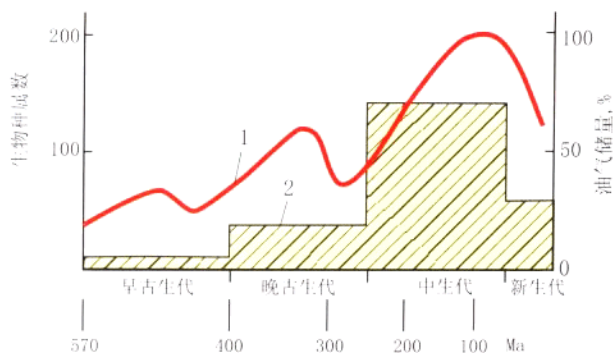


图 12 显生宙地层中油气储量分布比例
和生物种属数量的变化

1—生物种属数量变化曲线 (据 C. A. 乌沙科夫、H. A. 雅萨曼诺夫);
2—显生宙地层中油气储量分布比例直方图 (据 A. A. 巴基洛夫)

在一起形成统一的、间或矛盾的烃类化合物家族。

根据油气起源的地质动力学观点,在油气田全球分布规律和普查勘探工作目标方面应当修正那些陈旧的观点。

结论:

(1) 油气生成过程具有多因素性和多方式性。

(2) 地球上的烃类圈具有混合成因。

(3) 在油气起源、油气田全球分布规律和普查勘探工作目标方面必须用新观点修正那些陈旧观念。

(4) 地球上的烃类资源是可以

再生的。

参考文献

- Дмитриевский А. Н., Баланюк И. Е., Сорохтин О. Г., Матвеев В. В. Океаническая кора — источник образования углеводородов. В кн. «Нефтегазоносность фундамента осадочных бассейнов». — М.: «Интерконтакт Наука», 2002
- Гаврилов В. П. Геодинамическая модель нефтегазообразования в литосфере и ее следствия. // Геология нефти и газа — №6 — 1998
- Гаврилов В. П. Взаимосвязь океанообразования с образованием и накоплением углеводородов в земной коре // Океанология — 1985 — т. XXV — №2 — с. 3—10
- Сорохтин О., Ушаков С. А. Развитие Земли. — М.: Изд. МГУ, 2002
- Троцюк В. Я., Марина М. М. Органический углерод в отложениях Мирового океана. — М.: Наука, 1988 — 34 с

中国陆相油气理论研究新进展

程克明 熊 英

(中国石油勘探开发研究院)



程克明 教授级高级工程师，博士生导师，长期从事石油地质及油气地球化学研究，已在国内外发表论文 80 余篇，出版学术专著 15 部。获国家自然科学奖、国家科学进步奖及省、部级科技进步奖 11 项，在陆相生油和煤成烃理论研究方面有一定造诣。

摘要 本文在概述陆相生油机理及其分布规律的基础上，重点论述了十余年来陆相生油理论研究的新进展，特别是在未熟—低熟油和煤成烃的生烃机制研究和实例剖析等方面所取得的新进展。文中在论述了我国未熟—低熟原油分布规律的基础上，重点剖析了吐哈盆地中、下侏罗统形成商业性煤成油气的地质地球化学条件。勘探实践和油源对比结果已经证明，水进条件下（水进相）形成的煤系有机质（包括煤、碳质泥岩和煤系泥岩）在特定的地质条件下可以形成大型油气田。

一、陆相生油概述

中国陆相油气主要生成于各类湖泊沉积物中，特别是在那些富营养型、沉积面积大于 1000km^2 以上的继承性沉降和构造断陷湖盆中，这些湖盆是陆源有机质（包括湖生低等生物）堆积和油气生成的主要场所。因此，陆相生油必然与地质历史上湖泊的形成和发展有着密不可分的联系。

1. 中国陆相烃源岩的分布

在地质历史上，元古宙和古生代海侵广泛，中、新生代以来，伴随着陆壳增生，在辽阔的陆地上，产生了大量的和不同成因的湖盆沉积，这在中国地质历史上表现得尤为突出。中国中、新生代各种不同成因类型的湖盆沉积发育十分广泛，在 $960 \times 10^4\text{km}^2$ 范围内，面积大于 1000km^2 的深水、半深水湖相沉积盆地多达 245 个（图 1）。

在中国，自古生代晚期至中生代早期海水相继退出大陆之后，基本上再没有遭受过较大范围的海侵，喜马拉雅海槽发展到晚第三纪早期也最终关闭。因此，中国中、新生代陆相湖盆沉积比世界其他地区更为发育，其陆相湖泊沉积岩分布具有规模大（沉积面积大于 1000km^2 的湖盆多达 245 个）、沉积类型多（咸水、半咸水、淡水、煤系等）、暗色泥岩发育（一般占沉积岩的 40%~60%）、烃源岩中分散有机质丰度高（TOC 含量平均高达 2%~3%）等特点，这就是陆相石油在中国占有重要地位的根本原因。

从古地理环境分析，中国晚二叠系在准噶尔、吐鲁番和华北等地区已开始发育一些大型陆相生油湖盆；上三叠统大型生油气湖盆主要发育于塔里木北部、鄂尔多斯和四川诸盆地；