

陆相石油地质论文集

胜利石油管理局地质科学研究院 编

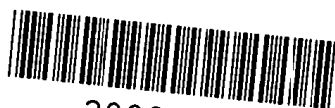
石油工业出版社



登录号	89379
分类号	P618.130.2-53
种次号	004

陆相石油地质论文集

胜利石油管理局地质科学研究院 编



200868169

SY14/25



0093 0956



石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 简 介

《陆相石油地质论文集》分油气生成、沉积作用、湖相沉积资源三部分。旨在交流陆相石油勘探的新技术、新方法、新观点和新经验。书中有关胜利油区的论文反映了陆相石油勘探中等成熟盆地的科研动向,同时收集了东非裂谷盆地、法国、西班牙、英格兰、加拿大及中国东部等地湖相分析的有关译文。

本书可供石油地质、煤田地质和湖泊学的科研人员以及有关院校的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

陆相石油地质论文集/胜利石油管理局地质科学研究院编

—北京:石油工业出版社,1994.3

ISBN 7-5021-1453-X

I. 陆...

Ⅱ. 胜...

Ⅲ. 陆相生石油—石油天然气地质—研究—文集

IV. P618.130.2

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里2区1号楼)

山东省东营新华印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开 15.75印张 19图版 375千字 印1—1000

1994年3月北京第1版 1994年3月第1次印刷

定价:15.00元

前 言

中国中、新生代陆相沉积盆地发育。这些众多的盆地是寻找油气的有利场所。这样,中国石油地质学就具有陆相成油学派的鲜明特色。

我国学者 30 年代就肯定了陆相成油的事实,40 年代初便将其理论化。由于当时他们发现的油田较小,陆相成油学说还不为人们所重视。

新中国成立后,在党和人民政府领导下,组织了大规模的石油与天然气勘探,积累了大量资料。50 年代末,大庆油区的发现是陆相成油理论的重大突破,陆相湖盆中大油田的发现为世人震惊。60 年代初,渤海湾油区的发现即复杂块断盆地中大油田的发现使陆相成油理论发展到一个新的阶段,并为世人瞩目。

国外不少国家生产陆相石油,例如蒙古、巴基斯坦、印度尼西亚、澳大利亚、独联体、美国、哥伦比亚、巴西和非洲的一些国家。然而,他们对陆相成油的认识只是在 50 年代末,他们对陆相成油理论有组织地进行研究也不过在 60 年代末,也就是在中国发现陆相大油田之后。1967 年以来,国际上多次召开古湖泊学术讨论会,还组织了对东非裂谷湖泊的钻探。这些年来有研究古湖泊有大量学术成果问世。1991 年,Anadon 等主编的《湖相分析》(Lacustrine Facies Analysis)论文集是最新的成果,使我们产生了浓厚的兴趣,其中大部分论文已选译在本文集中。

胜利油区是渤海湾盆地重要的组成部分,其油气生成、沉积特征、构造及圈闭类型、油气分布规律是渤海湾复式油区的典型地区。胜利油区 30 余年的地质研究成果及其勘探经验集中反映于《胜利油区地质研究与勘探实践》一书中,关于低熟油研究的进展、湖相礁灰岩和浊积岩、湖相粒屑碳酸盐岩、三角洲相和河流相碎屑岩的形成及分布规律、油气以生油洼陷为中心呈环状分布的特点等,书中都作了论述。

本文集分油气生成、沉积作用、湖相沉积资源三部分,搜集的胜利油区的研究论文反映了该区石油地质学科的研究动向,同时搜集了《湖相分析》中的有关译文,汇编成集。其目的在于交流新技术、新方法、新观点和新经验,开拓视野,活跃学术气氛,丰富和发展陆相成油理论。值得重视的是,湖相沉积中有着丰富的自然资料,例如山东油气区就蕴藏着丰富的煤、石膏、盐类、硫、二氧化碳、氦,还有金、银、镍等贵重金属。为此,文集选编了“东非新生代裂谷盆地湖泊沉积的自然资源”一文,以期引起大家的重视。

本文集中,为减少篇幅,译文稿的致谢及参考文献均已从略。朱宗浩、张敦祥、向维达、程慧、王清臻参加了编辑组的工作。由于时间紧促和水平限制,错漏及不当之处,请读者批评指正。

目次

前言	王秉海(1)
----	--------

油气生成

陆相块断湖盆油气的生成	周光甲(2)
孤东油田含颗石藻生油岩的地球化学特征及生油机理探讨	宋一涛 李树青 李素娟(14)
中国东部济阳及平邑裂谷坳陷第三纪湖相和沼泽相岩石中的有机组织	E. I. Robbins 周自立 周志成(22)
湖相碳酸盐岩的相模式及油气特征	N. H. Platt V. P. Wright(36)
法国东南比利牛斯山前北部纳博讷盆地第三纪湖泊体系的演化	J. Szulc Ph. Roger M. P. Mouline M. lenguin(52)

沉积作用

临清坳陷东部下第三系层序地层学研究	宋国奇(62)
东非马拉维湖沉积区高分辨声波特征及其与沉积过程的关系	D. L. Scott P. Ng'ang'a T. C. Johnson B. R. Rosendahl(74)
封闭裂谷湖中滨湖带沉积作用和沉积相:肯尼亚 Bogoria 湖全新世湖滩沉积	R. W. Renaut R. B. Owen(86)
东非裂谷北坦噶尼喀湖深部晚更新世及现代的碎屑沉积	F. Baltzer(103)
西班牙东北部中新统 Rebielos de Mora 盆地层序序列及不对称充填物	P. Anadón LL. Cabrera R. Julià M. Marzo(127)
西班牙伊比利亚地区 La Serranía de Cuenca 盆地下白垩统韵律纹层状湖相碳酸盐岩	J. C. Gómez Fernández N. Meléndez(146)
加拿大新斯科舍省下石炭统 Horton Bluff 组浪控湖相沉积及其构造控制的旋回性	A. T. Martel M. R. Gibling(155)
间歇湖、泥粒丘及风成砂岩和粉砂岩:对苏格兰北部泥盆系湖泊旋回的重新认识	D. A. Rogers T. R. Astin(169)

湖相沉积资源

陆相断陷盆地油气藏的分布与形成——以东营凹陷第三系油气环状分布为例	李春光(186)
东非新生代裂谷盆地湖泊沉积的自然资源	J. J. Tiercelin(201)
图版与图版说明	(225)

前 言

中国中、新生代陆相沉积盆地发育。这些众多的盆地是寻找油气的有利场所。这样,中国石油地质学就具有陆相成油学派的鲜明特色。

我国学者 30 年代就肯定了陆相成油的事实,40 年代初便将其理论化。由于当时他们发现的油田较小,陆相成油学说还不为人们所重视。

新中国成立后,在党和人民政府领导下,组织了大规模的石油与天然气勘探,积累了大量资料。50 年代末,大庆油区的发现是陆相成油理论的重大突破,陆相湖盆中大油田的发现为世人震惊。60 年代初,渤海湾油区的发现即复杂块断盆地中大油田的发现使陆相成油理论发展到一个新的阶段,并为世人瞩目。

国外不少国家生产陆相石油,例如蒙古、巴基斯坦、印度尼西亚、澳大利亚、独联体、美国、哥伦比亚、巴西和非洲的一些国家。然而,他们对陆相成油的认识只是在 50 年代末,他们对陆相成油理论有组织地进行研究也不过在 60 年代末,也就是在中国发现陆相大油田之后。1967 年以来,国际上多次召开古湖泊学术讨论会,还组织了对东非裂谷湖泊的钻探。这些年来有研究古湖泊有大量学术成果问世。1991 年,Anadon 等主编的《湖相分析》(Lacustrine Facies Analysis)论文集是最新的成果,使我们产生了浓厚的兴趣,其中大部分论文已选译在本文集中。

胜利油区是渤海湾盆地重要的组成部分,其油气生成、沉积特征、构造及圈闭类型、油气分布规律是渤海湾复式油区的典型地区。胜利油区 30 余年的地质研究成果及其勘探经验集中反映于《胜利油区地质研究与勘探实践》一书中,关于低熟油研究的进展、湖相礁灰岩和浊积岩、湖相粒屑碳酸盐岩、三角洲相和河流相碎屑岩的形成及分布规律、油气以生油洼陷为中心呈环状分布的特点等,书中都作了论述。

本文集分油气生成、沉积作用、湖相沉积资源三部分,搜集的胜利油区的研究论文反映了该区石油地质学科的研究动向,同时搜集了《湖相分析》中的有关译文,汇编成集。其目的在于交流新技术、新方法、新观点和新经验,开拓视野,活跃学术气氛,丰富和发展陆相成油理论。值得重视的是,湖相沉积中有着丰富的自然资料,例如山东油气区就蕴藏着丰富的煤、石膏、盐类、硫、二氧化碳、氦,还有金、银、镍等贵重金属。为此,文集选编了“东非新生代裂谷盆地湖泊沉积的自然资源”一文,以期引起大家的重视。

本文集中,为减少篇幅,译文稿的致谢及参考文献均已从略。朱宗浩、张敦祥、向维达、程慧、王清臻参加了编辑组的工作。由于时间紧促和水平限制,错漏及不当之处,请读者批评指正。

陆相块断湖盆油气的生成

周光甲

(胜利石油管理局地质科学研究所)

摘要 陆相生油的基本依据仍是世界上通用的干酪根热降解学说。但是,济阳坳陷油气勘探中发现这个学说需要补充和发展,本文提出了早晚两期油气生成的地球化学模式。

早期油气生成的母源物质是湖盆中某些生物体含有的低化学活性的烃类聚合物部分。如富含烃的葡萄藻类,活体经培植有40%以上的可溶烃,热模拟后(相当 $R_o < 0.30\%$)生成饱和烃系列。孤东地区浅层油藏油源岩有可能是富含葡萄藻的泥岩。

晚期油气生成过程分为干酪根热解聚、热降解两个阶段。热解聚生成低熟油气,热降解生成成熟油气。有利生油气的干酪根母质受生物富集层控制,形成主力生油层。其生油门限因块断湖盆地温场差异而不同,故又为小洼陷沉积单元所控制。

前 言

80年代末,我国以湖相为主的陆相油气生成学说已经具有丰富的实际资料,在理论上也有一定的建树。

陆相湖盆油气生成学说的基本理论依据仍是当前世界上通用的地球热力学观点——干酪根热降解油气生成学说。其主要的地球化学模式,无论是用残留于地下的干酪根或是用“原始”有机质的热模都表现为沿温度增高(埋深增大)的烃产率积分曲线。曲线上的突出部分被称为“石油窗”,它的上下温度(深度)界限,限定了石油烃类发生、发展的过程。

陆相盆地油气勘探中的资源评价,已经普遍应用了这种地球化学模式。尤其是数值模拟评价盆地油气生成潜力的近代方法,地质概念模型、地球化学模型及数学模型组成了相互验证、相互修饰、逼近真解的模拟系统,在我国几个主要含油气盆地的实际评价业已证明,合理地油气生成地球化学模型乃是影响评价油气资源量的决定性因素。

但是,随着我国陆相盆地油气勘探工作的深入,特别是类似济阳坳陷复式含油气区这样的陆相块断盆地,勘探了30多年,打了3800口探井,东营、沾化凹陷已达 $0.11 \sim 0.13$ 口/ km^2 ,已进入高成熟勘探区。某些凹陷评价计算的资源量,虽然采用了较高的聚集系数,但目前探明加控制储量竟然超过了剩余资源量,出现了资源评价方法上的“危机”,这说明以干酪根热降解为主的晚期生油气学说似乎难以概括济阳坳陷第三纪以来的全部油气生成历史,因此,从勘探的实际、科学的探索、研究的深度、学说的发展都要求我们思索和重新认识一些新的问题。

一、生物体含烃对早期油气生成的贡献

现代湖泊多形成于河流的汇水区,河流带来各种有机质,丰富了湖盆的营养,使湖盆中繁衍大量水生生物,形成具有陆相特色的生物群,如青海湖每平方公里水生生物达70t,其中藻类可形成数百米的绿色堤岸。云南抚仙湖,面积212km²,可以形成浮满湖面的葡萄藻(*Botryococcus braunii* Kutzing,亦译作丛粒藻)水华。生物体是油气生成的物质基础,但是,干酪根生成油气学说强调生物体首先要形成干酪根,然后进入生烃门限温度才能大量生成石油烃。B. 杜朗认为它“在多数情况下仅占生物物质原始数量的极少一部分,没有经历完全的生物再循环和物理化学分解而进入沉积物中,这一部分就是沉积有机质的主要来源”^[8]。这些观点着重考虑了自然界各种营力作用,包括沉积地质作用,对生成油气的母质进行了改造和提炼,集中了那些对生成油气特别有价值的部分;但是,它可能忽略了生物体中已存在着的低化学活性的烃类聚合物部分。特别是那些富含烃类的生物体,在沉积作用中又没有遭受物理、化学作用的破坏,就可能不经过干酪根形成阶段,而在较低的地温条件下,直接对油气生成作出贡献。也就是说在成岩作用早期,已经发生了油气的生成、运移和聚集。

生物体内含烃及烃类聚合物在世界上早有报导,Clark测定12种藻类,它们含正烷烃 $nC_{14} \sim nC_{32}$ 。几内亚湾海滩崖石中有“石油虫”,含油量78.8%,居民用之点灯均无烟。澳大利亚陆地上两种生长旺盛的毒草,每公顷可提取原油65桶。澳大利亚达尔文湖葡萄藻,报导含烃类17%~35%。按含烃30%计,每年产油3500t/km²(Hillen L. W. 1979)^[1]。我国武汉水生生物所培植的云南抚仙湖葡萄藻,其氯仿抽提物47.4%(许常虹等,1989)^[2]。对于生物体烃类加热模拟转化为饱和烃类,国内做了不少实验。在密封高压釜内加温320℃(15.5MPa,恒温64h),对9种生物体进行模拟实验。浮游动物样品,每克有机碳生成氯仿可溶物和总烃分别为394mg和198mg,气633mg(主要是CO₂、CH₄);水生生物分别为282mg和79mg,气450mg;陆生植物为311mg和83mg,气300mg。模拟后样品饱和烃色谱一般有 $nC_{15} \sim nC_{31}$ 完整系列,但特点不同,生物标记物也不尽相同(王新洲,1982)^[3]。近几年,我们利用真空加热模拟方法,将云南抚仙湖和美国淡水湖两种类型葡萄藻进行170℃~350℃加热模拟,证实从170℃开始(折算 R_o 为0.27%),原样中的总烃即成倍增加。抚仙湖藻种原样中含类异戊二烯烃—葡萄藻烯转化为 $nC_{11} \sim nC_{31}$ 的饱和烃系列,同时有含 $nC_1 \sim nC_5$ 和CO₂气体产生,饱和烃系列类似孤东原油,具有双峰形(图1)。在170℃时,抚仙湖藻种每克有机碳生成氯仿抽提物和总烃分别为400mg和520mg,比以前做的生物样品生烃率要高数倍(表1,图2)。

济阳拗陷内富集葡萄藻化石的地层首先发现在孤东油田上第三系馆陶组上段多层含油储层的泥岩夹层内。图3中岩性为灰黄、绿灰、浅灰色泥岩或砂质层泥岩,葡萄藻化石最多者,一块载片可超过300粒。见明显的放射状排列结构的球状群体,和现代葡萄藻相同。扫描电镜下见清晰的脂肪杯。与其共生的孢粉化石说明葡萄藻所处生态环境是以常绿、阔叶和针阔叶混交林为主的植被,放映温暖多雨的亚热带气候。湖水古盐度一般<

10‰, 相对 PH 值 9±, 极相似于云南抚仙湖和澳大利亚达尔文湖的生态环境。进而发现, 第三系内包括古新统龙口组(黄县煤田)、始新统、渐新统的源岩地层中都含葡萄藻化石, 其富集程度、个体大小、颜色深浅都不一样, 说明葡萄藻不但对早期成油做出过贡献, 同时也参与了晚期成油的干酪根形成和热降解过程。馆陶组富集葡萄藻, 其生态环境表明济阳坳陷在中新世时并非都是冲积平原相辫状河道沉积, 坳陷东北部至埕岛浅海一带, 馆陶组最大沉积厚度 900~1000m, 埕东、孤岛、孤东、埕岛等油田亦围绕馆陶组的洼子分布, 馆陶

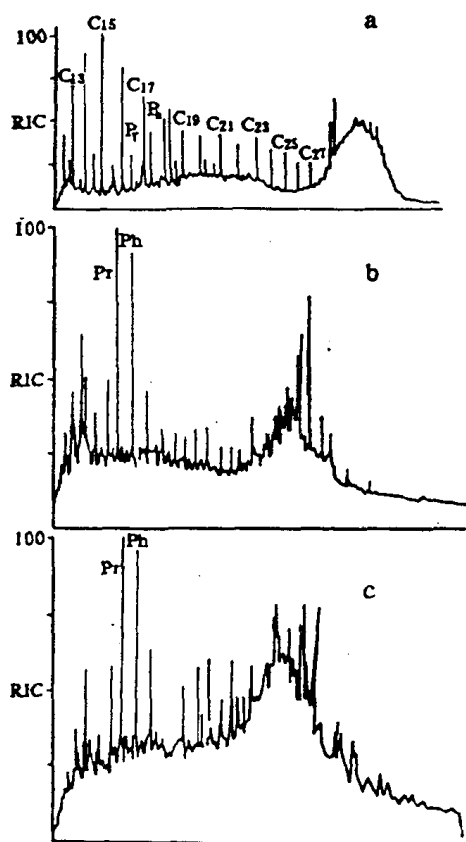


图 1 抚仙湖葡萄藻 170℃热模拟样品(a)和孤东 20—1 井(b)、孤东 14 井(c)原油样品的对比(据周光甲, 1992)

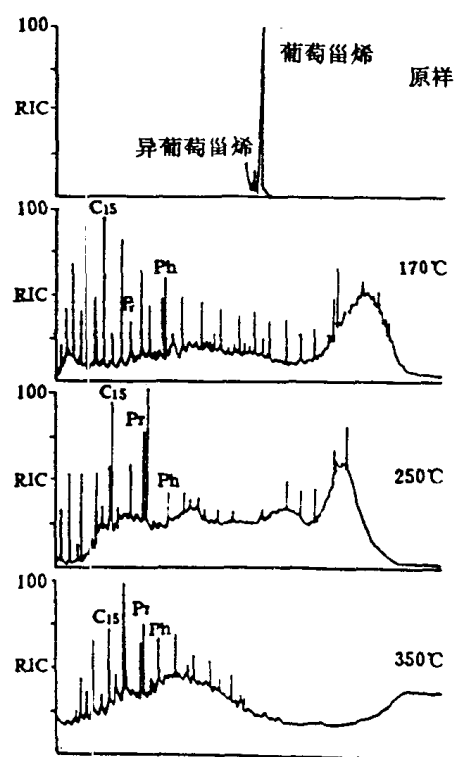


图 2 抚仙湖葡萄藻原样抽提物和热模拟后饱和烃分布图

组上段有淡水浅湖存在。

在湖盆的生油史中, 由于早期生油已较为彻底地进行了排驱, 目前残余烃产率曲线无法显示其丰度, 因此, 虽然在认识上可以恢复其生成模式, 但实际上定量评价却难度较大。我们在孤东油田解剖了 1m 厚的葡萄藻富集层, 若按现代葡萄藻的产率和模拟实验估算, 1m 富集层可以生油 2×10^8 t。这是个惊人并值得参考的数字, 可以形象地告诉人们: 生物体内含烃对油气生成的贡献是不能被忽视的, 在新的资源评价方法中, 要注意埋深较浅的地层有油气生成、排驱、聚集的可能性。

表 1 葡萄藻热模产烃量及组成

编号	样品	样品量 (g)	热模温度 (℃)	颜色	含量 (%)						饱和/芳	折算* Ro(%)	总烃/藻 (mg/g)	总烃/有机碳 (mg/g)
					有机碳	氯仿 抽提物	饱和烃	芳香烃	非烃	沥青质	总烃			
B ₁	抚仙湖藻种	0.140	原样	黄	77.45	43.22	2.27	37.35	35.08	9.23	40.62	0.08	175.6	226.7
		0.363	170	褐	/	58.91	1.06	67.14	22.61	/	68.20	0.27	401.8	/
		0.600	250	黑	74.27	49.50	39.34	23.12	23.12	3.30	62.46	0.57	309.2	416.3
		0.519	350	深黑	/	15.62	3.13	45.98	22.77	7.59	49.11	>1.3	76.7	/
B ₂	美国藻种	0.500	原样	绿	40.97	25.18	0.44	0.44	24.44	49.78	0.88		2.2	5.4
		0.539	170	黑褐	/	38.37	0.40	5.56	21.43	30.95	5.96		22.9	/
		0.351	250	黑	/	30.17	6.96	4.11	23.42	36.71	11.07		33.4	/
		0.928	350	亮黑	/	7.52	3.03	5.56	24.75	39.90	8.59		6.5	/
B ₃	美国藻种	0.250	原样	绿	54.20	26.68	1.85	3.70	29.26	42.69	5.55		14.8	27.3
		0.248	170	黑褐	/	39.12	7.41	1.85	22.61	42.59	9.26		36.2	/
		0.503	250	黑	/	38.91	8.17	2.94	27.78	31.78	11.11		43.2	/
		0.757	350	亮黑	/	6.81	/	11.31	27.77	38.91	11.31		7.7	/

* 以UMSP-50显微荧光分光光度计分析葡萄藻颜色光谱,用Q值方法和Ⅱ型干酪根数据折算(李佩珍同志提供)。

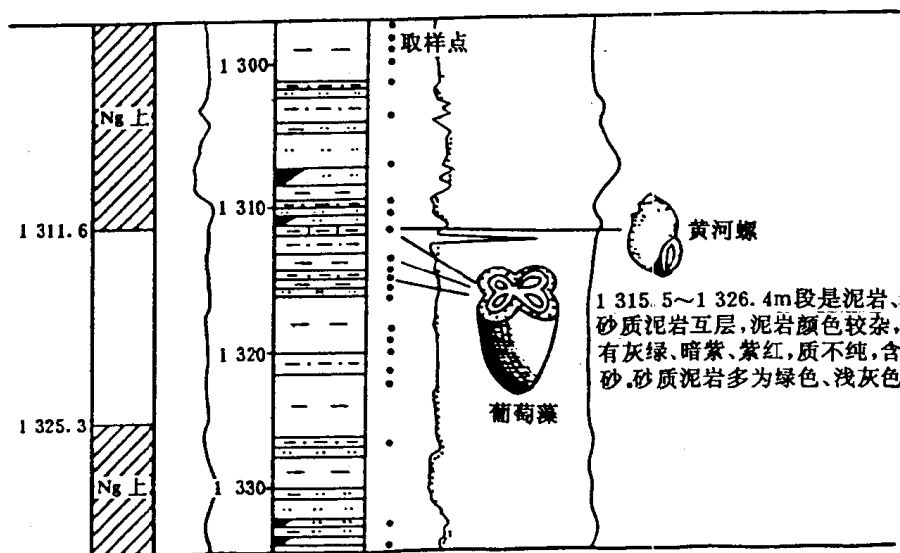


图3 孤东14井葡萄藻化石富集层图

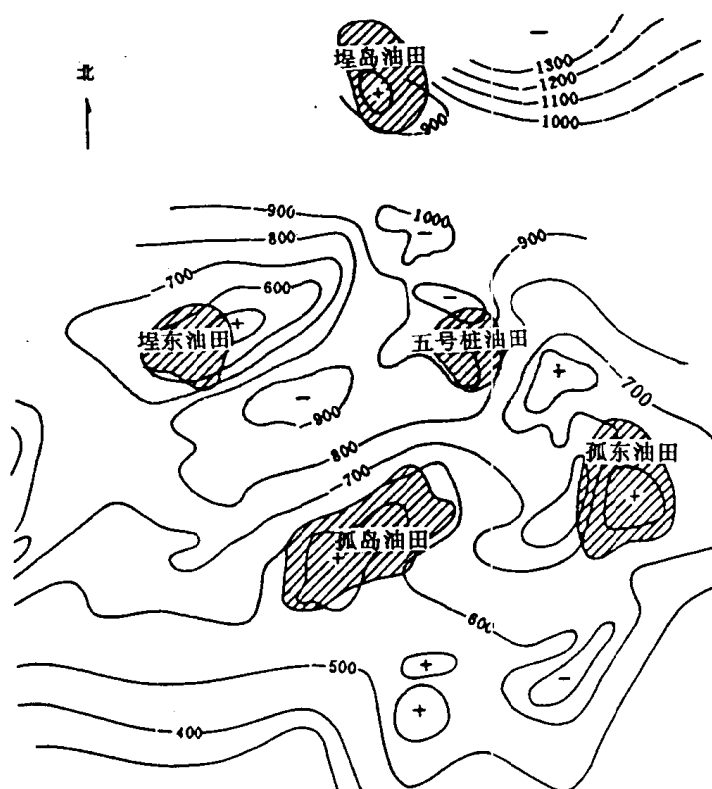


图4 馆陶组地层等厚图和油藏分布图

二、未成熟生油岩中低熟原油的生成

干酪根热降解学说所积极倡导的“石油窗”和大量烃类的生成门限,在我国油气勘探实践中,对其提出的疑义愈来愈多。石油地质家和地球化学家无论如何也不能确信,地下

表2 山东北部地区第三系主要岩心剖面葡萄藻统计表

地 层			地 区	剖 面	岩 性	含 量 粒/片	特 征 描 述		
统	组	段					颜 色	群体大小 (μm)	其 它
中 新 统	馆 陶 组	上 段	孤 东	孤东34	绿灰色砂质泥岩	20	浅黄 ~ 黄色	30~50	单个细胞2~3.5 μm , 放射状清晰,边缘波浪状
渐 新 统	东 营 组	三 段	东 营	2下—	紫红色泥岩	10	浅黄 ~ 黄色	25~60	单个细胞2~3.5 μm , 放射状清晰,边缘波浪状
	沙 河 组	一 段		2— 观18	灰绿色砂质泥岩 及灰色、深灰色、 灰褐色泥岩、油页岩	56	黄色 ~ 褐黄色	30~70	单个细胞2.5~5 μm , 放射状不太清晰, 边缘较平
		二 段	孤东	孤东34	紫红色泥岩	0.5	褐黄	20~35	保存较差
		三 段	东 营	面5井	灰色泥岩	6	黄褐色	20~50	单个细胞3~6 μm , 放射状不明显,边缘平滑
					灰色泥岩	19	黄褐色	30~60	单个细胞3~6 μm , 放射状不明显,边缘平滑
古 新 统	龙 口 组		黄 县	主 检 查 孔	灰色泥岩	15	黄褐 ~ 红褐	30~75	单个细胞3~5 μm , 放射状明显,边缘呈波状

油气生成存在一个截然的界线,如傅家谟(1983)指出“生油门限仅代表了有机质开始大量转化成烃的拐点,拐点上下变化是逐渐的,而非截然地变化,有时门限以上层位的沥青和烃类含量也并不低”〔4〕。80年代以来色质联机等现代化手段的引入,进行了大量地油源对比工作。各油田见到不少原油的生物标志物特征和未成熟生油岩相似,于是低熟油的报导和研究也日益增多,人们正在突破“门限值”的概念,对于酪根热降解成油理论赋予新的内容。

低熟原油应泛指那些浅于成熟门限的沉积有机质(干酪根)所生成的石油,目前可能认为是未熟生油岩中所生成的烃类。众所周知,生油岩成熟度是以镜煤反射率 R_o 值并参照其它指标划分的。原油不可能测定 R_o ,但原油和生油岩中均有反映成熟度的生物标志化合物指标。作者曾用广义对应分析方法讨论生物标志物的指标,发现原油中甾烷 $5\alpha C_{27}\beta\beta/\alpha\alpha+\beta\beta$ (或 C_{29})和 $5\alpha C_{29}20S/20S+20R$ 两个异构化指标区分不同成熟度的能力较强,且能和其它成熟度指标相对应(周光甲等,1986)〔5〕。据此,可以确定原油的成熟度。用济阳坳陷170个原油样品作两个指标的相关图,其回归方程为直线方程, $Y = 0.9551X - 0.0236$,相关系数0.86,直线反映了原油从低熟至高熟的成熟序列。对生油岩样品也作出两个指标的相关直线,回归方程为 $Y = 0.9147X - 0.0620$,相关系数0.93。这样二者叠合,按 $R_o < 0.44\%$ 界线,就可以确定低熟油和未成熟生油岩的关系。低熟原油相应的低异构化程度指标为: $5\alpha C_{27}\beta\beta/\alpha\alpha+\beta\beta < 0.25$, $5\alpha C_{29}20S/20S+20R < 0.35$ 。在两个指标的相关图上可以划分出低熟油区。

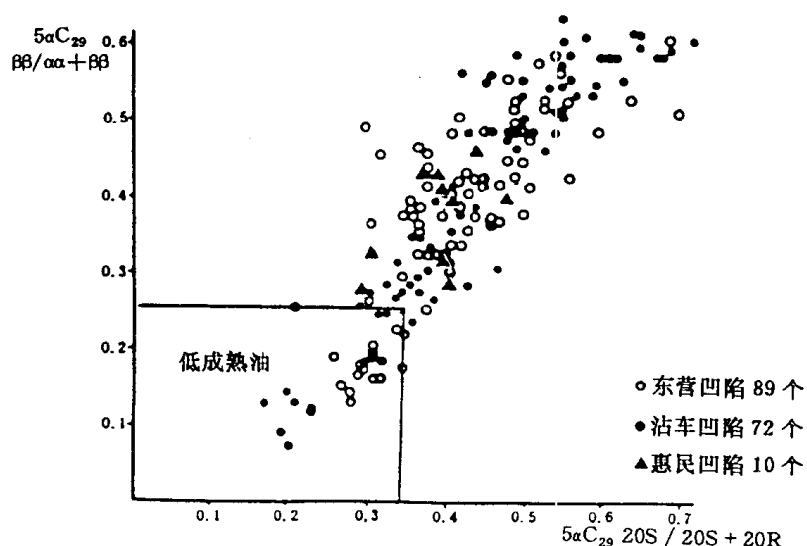


图5 济阳坳陷原油成熟度分布图(据周光甲,1992)

低熟原油不仅有生物标志物的低异构化特征,而且也有独特的化学特征。除去那些受生物降解的低熟油样,一般表现为:

- ① 烃类组成为饱和烃低、芳烃高、饱/芳比值低(平均为3.2);

②饱和烃一般为 $C_9 \sim C_{35}$, 但 OEP 变化范围大 (1.05~1.30)。主峰碳多在 $C_{23} \sim C_{25}$ 。少数具偶奇优势;

③芳烃较多, 含 6 环以上重芳烃, 轻芳含较多的 3-甲基菲和 2-甲基菲。芳烃红外光谱说明芳环上的长侧链 $(-CH_2)_n$ ($n \leq 4$) 结构的 720cm^{-1} 处有较多吸收。芳烃组分中的 H 原子主要分布于高碳数芳烃结构的长侧链上, 组成了非特征性芳烃;

④低异构化的甾烷是主要特征。低熟油的甾烷指纹简单; 壬烷重排甾烷、四甲基甾烷均不发育, 主要是规则甾烷系列。低熟油的 $5\alpha C_{27}\beta\beta / +\beta\beta$ 变化在 0.05~0.25; $5\alpha C_{29}20S + 20R$ 为 0.15~0.35。低限约相当于生油岩 $R_o = 0.30\%$ 。藿烷不发育, 大部分低熟油只含少量的三环二萜烷, 但伽马蜡烷都比较发育。

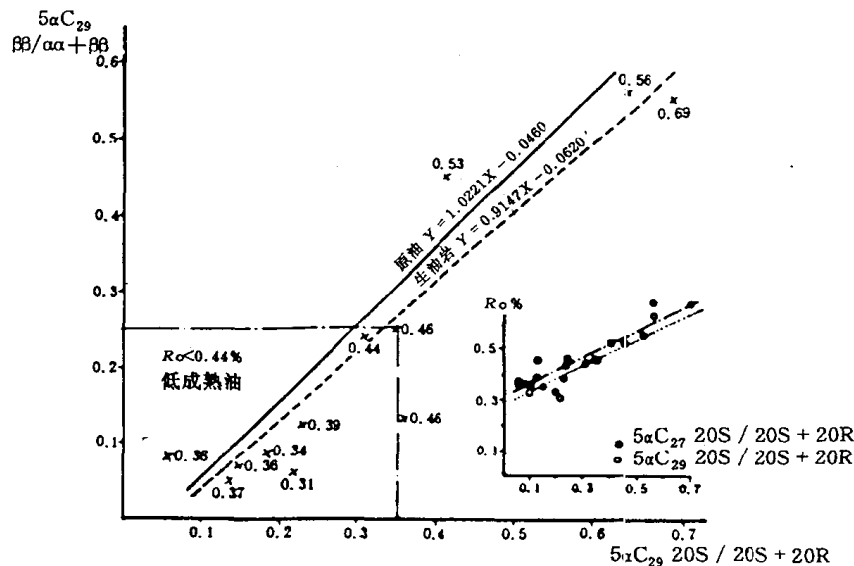


图 6 济阳坳陷原油和生油岩成熟度对比图(据周光甲, 1992)

胜利油区自提出浅层可能有低熟油藏富集(周光甲, 1986)〔6〕以来, 在勘探中不断发现低熟原油。目前在油源对比研究已经确定, 济阳块断湖盆主要生油层沙一、三、四段, 都有低熟原油生成, 各具生物标志物特征。渤南油田沙一段白云岩中自生自储的低熟原油(埋深 2800m), 以含有 5α 甾烷 $C_{26} \sim C_{29}$ 系列、 5β 甾烷 $C_{27} \sim C_{29}$ 、较高的伽马蜡烷为特征, 生油岩干酪根为 I 型。东营凹陷南坡的低熟油以八面河油田为代表, 油源岩为牛庄洼陷中的沙四段, 干酪根为 I 和 III 型。原油(埋深 1300~1700m, 沙四、沙三段)中含高丰度植烷、 β -胡萝卜烷和类胡萝卜烷系列 ($C_{14}H_{28} \sim C_{31}H_{62}$) 是重要标志。此外, 二环倍半萜发育, 主要特征是 8β (11) 的 C_{15} 锥满烷、 C_{14} 二环烷烃含量高。高含伽马蜡烷, 升藿烷 C_{35} 、 C_{34} 含量大于 C_{33} 。生物标志物某些特点反映了油源岩的强还原环境和较高盐度的生态环境, 与沙四段生油岩特征是一致的。最近在临清坳陷北部德州附近的德 1 井发现低熟原油(埋深 2400m, 沙三段), 确定油源岩为沙三段, 干酪根为混合型, 该原油含蜡高 (37%), 有宽范围 ($C_{11} \sim C_{38}$) 的正烷烃分布, 主峰碳在 C_{28} , 甾烷低异构特点, 这些情况说明不同类型干酪根的沉积有机质, 都经历了低熟成油阶段, 而不同类型的低熟原

油又都带有母源岩有机质的生物标志物特征。

济阳坳陷的低熟原油分布在中生界、下第三系的沙四、沙三、沙一、东营各组段及上第三系馆陶组储层中，而在沙二段三角洲相的砂体储层中未发现低熟原油。低熟油埋深从 1000~3000m，在 1000~2000m 居多。但是从各组段油气生成的古湖盆演化来看，低熟原油大部分分布在湖盆边缘上倾超覆的地层中。东营凹陷的沉降中心和沉积中心在下第三系沉积中继承性好，南部斜坡的羊角沟、八面河、草桥一带在沙三、沙四、馆陶组的上倾地层中形成了低熟油藏的聚集。沾化凹陷渤南油田沙一段低熟油藏现今埋深达 2800m，但原处于沙一段古湖盆的边部，在白云岩透镜体储层中储集了低熟原油。

依据低成熟原油成熟度低于生油门限和在湖盆边缘浅处地层储集的地质特点，推测低成熟原油形成在干酪根热降解大量成烃作用之前，石油大学秦匡宗教授称之为“热解聚阶段”。未熟干酪根具有大分子多聚物性质，在热解聚阶段中其活化能比热降解生油的要低的多，因此可形成解聚烃类。随着压实作用的进行，早期解聚的烃更具有排驱通畅的条件，因此常在湖盆边部储层中聚集。低熟油藏聚集量的定量估算也是个难题，还需对不同类型的未熟生油岩做大量热模拟实验以求得定量参数。不过，从目前东营凹陷已找到的探明控制储量中，约 1/6 是低熟油，占整个地质预测储量（聚集量）的 1/10。折算低熟油生油量为 $40 \times 10^8 \text{t}$ 。

三、干酪根热降解学说应用的进展

从 70 年代开始，陆相生油学说已经完全接受了干酪根是生油母质的概念。80 年代初，各油田都陆续发表了不同干酪根类型的烃类生成演化曲线，并将有机质丰度（有机碳和氯仿抽提物）、类型（干酪根分为三或四类）、成熟度（成油门限，上限和下限）这三个基本要素作为定性和定量评价盆地油气生成潜力的主要指标。1984 年由北京石油勘探开发科学研究院地质所汇总了各油田生油岩评价成果，统一划分了有机质丰度、类型和成熟门限的数值界限，以氯仿“A”法对陆上具有生油评价条件的 25 个盆地（80 个生油凹陷），计算了生油量并预测了油气资源量。与此同时，胜利石油管理局地质科学研究院、北京石油勘探开发科学研究院、中国海洋石油总公司研究中心等引进和发展了盆地数值模拟评价油气资源量的方法，从此干酪根降解生烃的地球化学模式更加得到充分的应用。

我们应用干酪根热降解生烃的地球化学模式进行的资源评价工作，有以下几点新的认识^[7]：

①主力生油层段控制了大部分生油量，所以要在主力生油层段选取样品，以表征其丰度有机质类型和烃产率曲线。

过去评价一个生油组段时不注意选择代表性样品或是采取平均方法计算参数，故不能正确地反映丰度、类型和成熟度，给资源评价带来误差。近年来我们解剖了东营凹陷牛庄洼陷牛 38 井沙三中一下段的 606m 暗色生油岩岩心，共取样 96 个，发现有机质不是均匀的，有机碳含量 0.46%~3.4%，在沙三中最下段 90m 明显是富集层，藻类化石极其丰

富,氯仿“A”最高达 0.48%,其生油量占沙三中最下段 333m 生油层段的 50%左右。济阳坳陷第三系大段暗色泥岩中有很多生物富集层,如沙四段枝管藻灰岩,沙三段的介形虫层(称芝麻饼),沙一段颗石藻层、生物灰岩层,馆陶组葡萄藻层、螺灰岩层等都可能成为主力生油层。通过钻井取心、测井和地震地层学资料,确定一个组段内有几个主力生油层段,再测定地化参数,这样比采取大平均值要准确、合理。

②采取有机岩石学方法,对干酪根组分深入研究,提高确定生油组段有机质类型的准确度。

在显微镜下观察生油岩干酪根,根据各种组分的比例,计算类型指数,以划分干酪根类型,这是常用的方法。类型的优劣,固然受控于湖盆沉积物中生物体的性质,但类型准确与否,直接影响着烃产率曲线及门限的选择。

目前,国内观察、鉴定干酪根有两种分类基础,即孢粉学和煤岩学的分类体系。但两种方法都是从岩石中富集干酪根,因此忽略了有机物和岩石无机物的联系。我们提倡采用有机岩石学的全岩分析,以透射光、反射光、荧光综合观察,确定生油岩有机质类型的方法。已有的两种分类都把 I 型干酪根中富集的无定形视为对生油最有利的组分,但无定形有富氢和贫氢两种,以透射光和荧光观察,能区分出源于水生藻类和高等植物的两种无定形,从而修正了原来鉴定的类型(殷沫,1990)。早期生油灰质如葡萄藻类残余和提供低熟烃类的有机残体也需要在干酪根镜下观察,以确定最有利生油的有机质类型。

③块断盆地地温场的差异性大,凹陷中不可能有统一的成熟门限,应以小洼陷为评价单元,才能提高评价精度。

1980 年我们确定东营凹陷沙三段生油岩成熟门限为埋深 2200m,相应地温 93°C 、 $R_o = 0.44\%$ (张纆秋,1980)。尔后在济阳坳陷作数值模拟评价时,已感到四个凹陷不能用统一的门限深度(王捷,1985)。经研究更加证实,在一个凹陷内也没有统一的门限深度(温度)。如滨南油田北部的洼陷,经生油岩叶绿素和卟啉的研究确定门限深度为 1500m。临南洼陷用芳香甾烷等新指标确定门限值为 2800m(洪志华,1986)。孤南洼陷沙一段门限深度为 2000m(张春荣,1989)。总之,块断湖盆由于既分割又统一的基底状况,其地温场是复杂的,以坳陷或凹陷作为数值模拟评价单元,势必掩盖了差异。

研究结果说明,应用干酪根热解研究成烃的模式,是可以发展的。对于济阳坳陷这种陆相块断湖盆,进行油气资源数值模拟评价,应以洼陷为单元,首先确定主力生油层,准确地取得丰度、类型、成熟度等参数,才能提高定量评价的精度。最近我们与南京大学合作,建立以单井数值模拟评价为基础的定量评价方法(张方吼等,1990),将有利于发展干酪根热降解成烃地球化学模式的应用。

四、陆相块断湖盆成烃的地球化学模式

济阳坳陷是渤海湾盆地中有代表性的第三系陆相块断湖盆,中生代以后,它以持续沉降、快速堆积、成湖地史中气候温暖潮湿造成有机质大量富集等为特色,在四千多万年内演绎出一部绚丽的油气生成、运移、聚集史。其油气生成的地球化学模式应归纳为早、晚

两期的历史(图7)。

湖盆形成早期,局部地区汇水,淡水或盐度不高的水体适应富烃藻类或植物的发育,形成了早期生油的基础。富烃的有机体,在快速沉降和堆积的地质条件下,没有遭受微生物或其它物理、化学营力的完全破坏,随着沉积埋藏作用,于成岩作用早期,即受地温影响而转化为烃类。通畅的水动力条件,有利于压实排驱,从而在疏松的储集层中形成早期油气藏的聚集。济阳坳陷的油气聚集,约有1/3储量在浅于1500m地层中,在没有充足的从深部大规模油气运移证据的前提下,早期生成油气也可能是一种符合实际的认识。

成岩作用过程中,沉积有机质经一系列的物理、化学变化,形成了干酪根。在未达到大量降解生烃的埋藏深度(温度)之前,低活化能的大分子聚合物由于热解聚作用,也可生成一定数量的低熟烃类。这部分烃类在合适的湖盆地质条件下,压实排驱至上倾超覆的浅部储集层,也能形成相当规模的油气藏。

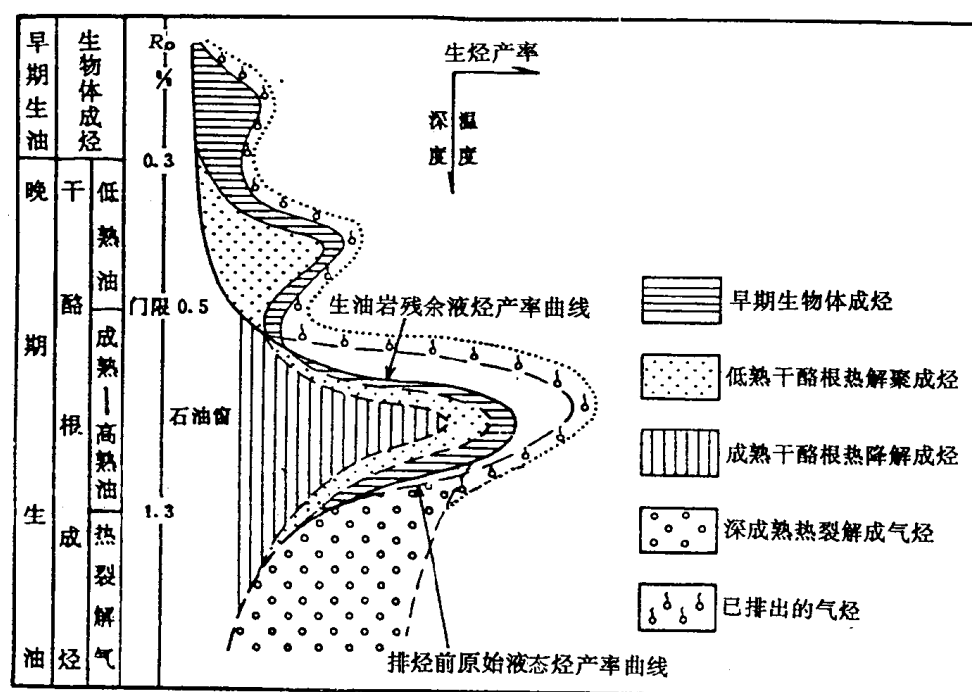


图7 陆相块断湖盆油气生成的地球化学模式(据周光甲,1992)

当不同干酪根类型的有机质富集层分别埋藏达到不同的深度时,依据各自所需的活化能及反应的频率因子条件而产大量烃类。由于地史时期所处的压力场和应力场的空间位置不同,产生了不同类型的油气运移和聚集。块断湖盆油气生成、运移、聚集的全部历史,实际上是沉积有机质在不同时空条件下与湖盆沉积物的温度场、压力场和应力场相互制约的复杂过程,这也是形成复式油气田的内涵。

总之,陆相块断湖盆的油气生成地球化学模式应是早期生油和晚期生油的两期成油论。它为油气勘探工作拓展了前景。如图7所示,当前地层中的残余烃产率曲线已是油气生成地史作用的结果。早期的和低熟的烃类已经发生了运移、聚集,这就造成了在定量