



有机地球化学论文集

中国科学院地球化学研究所
有机地球化学与沉积地球化学研究室 编

科学出版社

24971

有机地球化学论文集

5715/26
中国科学院地球化学研究所

有机地球化学与沉积地球化学研究室 编



00317948



200203500

科学出版社

1986

内 容 简 介

本书收入全国第一届有机地球化学学术会议部分论文和新近的研究成果共二十篇,内容包括主要盆地沉积类型有机地球化学特征;生物标志化合物,包括甾、萜、 β 胡萝卜素、伽马蜡烷、类异戊二烯烷烃、氨基酸等;有机质成岩作用,如类异戊二烯烷烃的热演化,芳烃红外光谱等;干酪根与固体沥青,包括干酪根中氨基酸、碳酸岩热变沥青;热模拟实验,如原油与沥青的氧化加热实验、原油成气模拟以及油页岩热变实验;现代沉积物有机地球化学,如冲绳海槽现代沉积物中的不饱和脂肪酸;石油运移,如江汉盆地的油气运移;有机粘土复合体等。

本书可供从事有机地球化学研究、教学及能源(石油、天然气和煤)勘探的科研和生产人员、有关高等院校师生参考。

有机地球化学论文集

中国科学院地球化学研究所
有机地球化学与沉积地球化学研究室 编
责任编辑 周明鉴

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1986年5月第一版 开本:787×1092 1/16
1986年5月第一次印刷 印张:11 3/4 插页:2
印数:0001—2,250 字数:270,000

统一书号:13031·3168

本社书号:4624·13—14

定价: 2.95 元

前 言

有机地球化学是一门新兴边缘学科,主要研究地球沉积圈有机质的组成、结构与命运。有机地球化学在能源,特别是石油,以及其他沉积矿产资源的成因与勘探中已日益显示出其重要的意义。

近年来,有机地球化学研究正在不断深入,并已取得重要进展,主要表现在生物标志化合物、干酪根、有机成岩作用、深海钻探与现代沉积物有机地球化学等诸方面。国内现代有机地球化学研究开展虽较晚,但进展迅速,尤其是近三至五年内色谱-质谱-电子计算机(C-GC-MS)等先进技术的广泛引进,在陆相沉积生物标志物研究等方面已取得了一系列新成果。1982年5月于贵阳召开的全国第一届有机地球化学学术会议检阅与肯定了我我国这一年轻的有机地球化学,特别是石油有机地球化学学科的主要成果,并对今后该学科的发展提出了展望意见。

在全国第一届有机地球化学会议的基础上,我们编辑了这一《论文集》,试图从一个侧面反映我国这一年轻学科的某些进展。收入本论文集的部分论文是会上报告过的,其余部分是会后组织的稿件,论文内容包括了以下几个方面:1.主要盆地沉积类型有机地球化学特征;2.生物标志化合物,包括甾、萜、 β 胡萝卜素、伽马蜡烷、异戊二烯烷烃、氨基酸等;3.有机质成岩作用,如异戊二烯烷烃热演化,芳烃红外光谱等;4.干酪根与固体沥青,包括干酪根中氨基酸、碳酸岩热变沥青;5.热模拟实验,如原油与沥青的氧化加热实验,原油成气模拟以及油页岩热变试验;6.现代沉积物有机地球化学,如冲绳海槽现代沉积物中的不饱和脂肪酸;7.石油运移,如江汉盆地的油气运移。

本文集由中国科学院地球化学研究所傅家谟、史继扬、吴泽霖及洪锡裕四人组成编审小组,参加审稿工作的还有汪本善、周中毅、盛国英、贾蓉芬、刘德汉、阎佐鹏、范善发、徐芬芳、陈德玉、向明菊、胡成一等。

本文集编写过程中曾得到石油工业部、地质矿产部等有关部门的大力支持;图件由我所十三室绘图组侯晓风完成,谨此致谢。

由于时间仓促和业务水平所限,本文集在选题、编辑诸方面均存在不少缺点,恳请读者批评指正。

中国科学院地球化学研究所

有机地球化学与沉积地球化学研究室

一九八三年十一月

目 录

前言

中国主要含油气盆地沉积类型的有机地球化学特征·····	傅家谟、盛国英 (1)
北部湾拗陷第三系石油地球化学研究·····	汪本善、张丽洁、范善发、傅家谟、徐芬芳 (18)
古地温地质模式与油气评价·····	周中毅、刘德汉、盛国英 (29)
我国某些陆相原油和生油岩中甾烷、萜烷的地球化学·····	·····曾宪章、王忠然、张振才、陈献忠、刘淑珍 (38)
江汉盐湖盆地潜江组油气的运移·····	江继纲 (50)
陆相沉积物和原油中的 β 胡萝卜烷和伽马蜡烷·····	史继扬 (59)
沉积岩和原油中的 C_{15} — C_{20} 类异戊二烯烷烃的分布与成熟度关系·····	范善发、徐芬芳 (68)
甘肃马兰黄土中的氨基酸·····	向明菊、孙福庆 (74)
轻质油的研究方法及其地球化学特征的初步研究·····	贾蓉芬、傅家谟、徐世平 (79)
类异戊二烯烷烃的演化特征及植醇生成类异戊二烯烷烃的又一新模式·····	·····刘宝泉、段贵银、罗开齐、姜俊良、单景芬、于立正 (90)
沉积岩有机物中姥鲛烷、植烷比值在过成熟阶段的变化特征·····	陈海树 (101)
利用芳烃红外光谱特征探讨陆相有机质的演化程度及母质类型·····	阳垂洲 (107)
干酪根中氨基酸·····	黄籍中、谷国华 (118)
碳酸盐岩干酪根中的氨基酸·····	阎佐鹏、贾蓉芬 (129)
碳酸岩中的沥青在研究油气生成演化和金属矿床成因中的应用·····	刘德汉 (133)
原油热变固体产物与天然沥青的热模拟实验研究·····	陈德玉、刘高魁、彭文世 (139)
乌鲁木齐二叠系油页岩的热转变试验·····	·····盛国英、周中毅、沈汝浪、宋明仁、栗能先、卢家烂 (147)
在实验室条件下石油烃的热演化·····	王涵云、杨天宇 (159)
冲绳海槽中细菌标志物不饱和脂肪酸的分布特征·····	姜善春、傅家谟、栾作峰 (168)
新疆乌鲁木齐二叠系油页岩中有机粘土复合体及其转化的初步研究·····	·····林茂福、周中毅、李太俊、盛国英、卢家烂、刘德汉 (176)

SELECTED RESEASCH PAPERS ON ORGANIC GEOCHEMISTRY

CONTENTS

Geochemical Characteristics of Sedimentary Type in some of Chinese Oil and Gas bearing Basin	Fu Jiamo and Sheng Guoying (1)
Investigation of Petroleum Geochemistry of Tertiary in North Gulf Sag, China... ..	Wang Benshan, Zhang Lijie, Fan Shanfa, Fu Jiamo and Xu Fenfang (18)
Geological Mode of Paleotemperature and Evaluation of Gas and Oil	Zhou Zhengyi, Liu Dehan and Sheng Guoying (29)
Geochemical Significance of Steranes and Terpanes in some Non-marine Oils and Source Rocks of China	Zen Xianzhang, Wang Zhongran <i>et al.</i> (38)
Migration of Oil and Gas of Qianjiang group in Basin of Jiangnan Salinity Lake	Jiang Jigang (50)
β -Carotane and Gammacerane in Non-marine Oils and Sediments	Shi Jiyang (59)
Occurrence of C_{15} — C_{20} Isoprenoid in Oils and Sediments and Their Geochemical Significance	Fan Shanfa and Xu Fenfang (68)
Amino Acids of Malang Loess in Gansu Province	Xiang Mingju and Sun Fuqing (74)
Research Methodology of Light Oils and Preliminary Study of Their Geochemical Characteristics	Jia Rongfen, Fu Jiamo and Xu Shiping (79)
Characteristics of Isoprenoid Evolution and Another New Mode to Generate Isoprenoids from Phytanol	Liu Baoquan, Duan Guiyin, Luo Kaiqi, Jiang Junliang, Shan Jingfen and Yu Lizheng (90)
Characteristics of Pr/Ph Ratio in Sedimentary Rocks in Over-mature Stage	Chen Haishu (101)
A Study of Evolution Extent of Non-marine Organic Matter and Source Type of Terrestrial Organic Matter by IR Characteristics of Aromatic Hydrocarbon...	Yang Chuizhou (107)
Amino Acids in Kerogen	Huang Jizhong and Gu Guohua (118)
Amino Acids in Kerogen of Carbonate Rocks	Yan Zuopeng and Jia Rongfen (129)
Investigation of Oil-Gas-Evolution and Origin of Metallic Deposit by Asphalts in Carbonate Rocks	Liu Dehan (133)
Experimental Thermo-Simulation of Natural Bitumen and Thermo-Altered Solid from Oil	Chen Deyu, Liu Gaokui and Peng Wenshi (139)
Experimental Thermo-Simulation of Permian Oil Shale and Carboniferous Source Rock in Ürümqi	Sheng Guoying, Zhou Zhongyi, Shen Rulang, Song Mingren, Su Nengxian and Lu Jialan (147)
Thermo-Evolution of Hydrocarbon by Experimental Simulation	Wang Hanyun and Yang Tianyu (159)
Occurence of Bacteria Marker — Unsaturated Fatty Acids in Okinawa Trough sediments	Jiang Shanchun, Fu Jiamo and Luan Zuofeng (168)
Preliminary Investigation of Organo-Clay-Complex of Permian Shale Obtained from Yaomosan, Ürümqi of Xinjiang	Ling Maofu, Zhou Zhongyi, Li Taijun, Sheng Guoying, Lu Jialan and Liu Dehan (176)

中国主要含油气盆地沉积类型的 有机地球化学特征

傅家谟 盛国英

(中国科学院地球化学研究所)

一、前言

近十多年来,石油成因理论经历了巨大的变革。正是由于有机地球化学研究在有关沉积盆地生油岩中有机质的沥青、总烃含量与性质随深度变化方面积累了大量资料,进而否定了沉积物有机质直接成油说,并有力地证实了沉积岩中有机母质大量转化成烃类需要一定的埋藏深度与温度^[1]。在此基础上提出了油气勘探中一个十分重要的问题——石油演化。A. A. 卡尔泽夫和 И. B. 瓦索耶维奇等(1971)^[2]首先提出了石油形成有一主要阶段,随后 W. C. 普西第三 (1973)^[3]提出了石油分布之“液态窗”,傅家谟与史继扬(1975)^[4]亦认为石油有一演化上限(即生油门槛)与油气演化下限。近年来,石油演化理论在国内受到充分重视。例如通过研究,发现南方海相碳酸岩地层已普遍处于石油演化晚期阶段^[4,5],因而提出南方油气勘探应该是找气为主、找油为辅。在我国陆相生油理论研究中也广泛探讨了石油演化^[6,7,11]。在中新生界含油气盆地评价中也已普遍考虑生油岩的生油门槛深度等。

有机地球化学基础研究的另一个重要领域是生物标志化合物或分子有机地球化学^[8]。近年来,生物标志物不仅是沉积环境、油源对比的新指标,而且已特别成功地应用于判断生油岩与原油的成熟度^{[9,10,2)},从而受到石油地质工作者的重视。我国已引进色谱-质谱-计算机先进技术,广泛用于陆相沉积盆地原油与沉积岩可溶有机质的生物标志化合物研究,取得了丰富的实际资料^[11-15],并提出了我国陆相含油气盆地评价中一些值得重视的新课题,如某些深部来源原油、未成熟原油等^{[12,16,3)}。

本文根据近年来研究成果中的实际资料,尝试按我国含油气盆地沉积的主要类型,简要讨论其石油有机地球化学特征与油气评价问题。

二、中国含油气盆地沉积的主要类型

油气田的形成与展布都以沉积盆地为基础,因此含油气盆地类型的划分与类比研究

-
- 1) 大庆石油管理局科学研究设计院,1982,陆相油气的形成与演化论文集。
 - 2) Mackenzie, A. S., 1983, 生物标志物在石油地球化学中的应用。
 - 3) 陈安定,1983,临深2井等原油成熟度研究。

在油气勘探与评价中就显得十分重要。生油岩及其衍生物——油、气，同样是以沉积盆地的时空条件为其存在基础。因此，根据沉积盆地类型或沉积盆地沉积的类型来总结我国生油岩与油、气的有机地球化学特征将是一个有益的尝试。

(一) 盆地分类的原则

沉积盆地可以按照不同的原则与需要进行分类。盆地分类的首要因素是构造条件，其次尚需考虑古气候条件、沉积条件与地热条件。

(1) 构造条件 朱夏与陈焕疆^[17]认为，在中国大致以印支(海西)运动为转折点，古生代油气盆地属于槽台构造体制，即与槽台构造相联系的古地台盆地；中生代油气盆地则在板块体制下形成，大多属于“中国板块”的内部盆地，以陆相生油为其最大特色。

按盆地形成动力可划分出拉张型盆地、挤压型盆地等。我国东部中生代盆地属断陷-拗陷型盆地或“裂谷”盆地，为张性盆地。中生代盆地又多属拗陷型，即盆地结束时有挤压作用，新生代盆地则多属断陷型盆地。按地质构造位置划分，中生代盆地主要属板内断陷-拗陷盆地，为陆相沉积盆地；仅陆壳边缘断陷-拗陷盆地，如莺歌海盆地的上第三系发育海相沉积。板内或陆缘的断陷-拗陷盆地内，普遍发育拉张断裂形成之箕形凹陷或地堑凹陷^[18,19]。盆地呈北北东向分布，由西而东分五个沉积带，其成油期变新，沉积幅度加大，地壳活动、火山活动加强^[20]。

我国西部中生代盆地是与造山带有关之前陆盆地，属于造山型盆地(或造山后盆地)。它们沿造山带靠山脉一侧分布，成盆应力以挤压作用为主。靠造山带一侧凹陷剧烈，挤压强，而靠稳定区一侧减弱^[18]。盆地呈北西西向展布，由北而南分布三个沉降带，构造活动逐渐加强^[20]。

(2) 古气候条件 古气候条件控制了蒸发岩、煤系与生油岩的发育。蒸发岩的分布只与干旱、半干旱气候带有关；而煤系分布只与潮湿、半潮湿气候带有关。也有与煤系伴生的生油岩。值得注意的是我国中生代一些含油气盆地发育蒸发岩-生油岩组合，例如渤海湾地区的沙四段主要发育膏盐-生油泥岩-碳酸岩，而江汉盆地与东濮盆地为两个由蒸发岩-生油泥岩组合形成之油田。断陷湖盆的发育阶段以及箕状凹陷的形态与物源控制了湖盆中蒸发岩与生油岩组合的具体分布。在断陷湖盆演化的发育期常常生成蒸发岩-暗色泥岩组合。在空间上，该组合一般分布于湖盆中心，并与凹陷沉降中心一致，但在物源方向影响下也可以偏离沉降中心^[21]。

(3) 沉积条件 沉积相及其组合控制了生油岩的发育和石油的原生运移。古地台盆地发育中晚元古代与古生代海相地层，生油岩主要是盆地相碳酸岩与黑色页岩。中生代含油气盆地的生油岩则主要是陆相暗色泥岩；东部盆地暗色泥岩生油岩属近海相湖盆沉积，而西部盆地的属内陆湖泊相沉积，在有机物源上也存在一定差异。生油岩沉积相的此种差异在下面将讨论的有机地球化学特征上是有所反映的。生油岩与储集岩沉积相的组合情况则控制了石油的原生运移。东部第三纪断陷盆地(裂谷盆地)发育水下扇浊积岩砂体、三角洲前缘砂体、滨岸带的各种沙坝、生物礁、鲕滩等^[22]。这些储集相带的发育及其与暗色生油泥岩配置情况直接决定了排烃条件及盆地的油气远景。同属膏盐相沉积盆地的江汉盆地与东濮盆地，其生油岩发育状况相似，而油气聚集程度差别甚大；这主要是由于

江汉盆地沉积旋回薄,韵律性盐层多,主要含油层位砂岩厚度小,妨碍了油气的充分聚集^{1,2)}。

(4) 地热条件 晚期成油说认为,生油岩形成后的受热史直接控制了油、气的生成状况。莫霍面分布特征表明,中国东部盆地的莫霍面深度一般比西部盆地浅,且东部盆地拗陷与莫霍面呈镜象关系,而西部盆地拗陷往往偏离地壳上隆区(图1),因此东部盆地的平均热流值与平均地温梯度偏高,而西部盆地均偏低^[17,18]。根据周中毅等^[23]研究,塔里木盆地西南的古地温确实很低,因而甫沙地区侏罗纪生油岩的门槛值深达3,200m。这预示着在西部盆地时代老而埋深大的地层中仍可找到原生油气。

含油气盆地均属同生盆地^[24]。但就生油岩热演化成油史而言,情况并非都如此,典型的如华北地区的中晚元古代-古生代盆地,其上覆中、新生代巨厚盖层沉积之前的沉积间断时间甚长,因而这些盆地的可能海相碳酸岩(页岩)生油岩沉积甚早,而其热演化成油时期却可能相当晚。

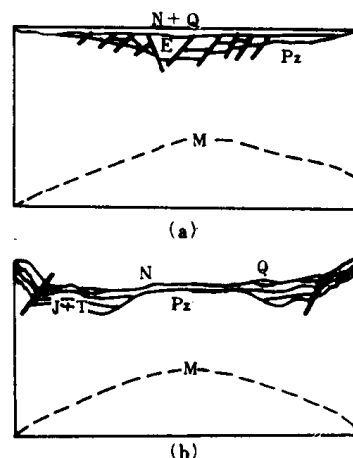


图1 东部(a)西部(b)盆地拗陷与莫霍面关系示意图

M.莫霍面 Pz.元古界 J+T.侏罗系+三叠系 E.下第三系 N+Q.上第三系+第四系

(二) 盆地沉积的主要类型

根据上述盆地分类原则及现有地球化学资料,本文着重讨论下面四类盆地沉积与油气的有机地球化学特征。

(1) 断陷盆地陆相碎屑岩沉积 中国东部许多中、新生代含油气盆地沉积均属于此类型。

(2) 断陷盐湖盆地膏盐-碎屑岩沉积 属于这一类的典型代表是江汉盆地与东濮盆地的早第三纪沉积岩。前者代表原生运移条件差,后者代表运移条件好的沉积岩组合。

(3) 山间盆地型内陆湖泊相碎屑岩沉积 这里主要指西部中、新生代含油气盆地,盆地沉积中也偶尔含海相地层,如海相第三纪碳酸岩-碎屑岩沉积层。

(4) 古地台海相碳酸岩沉积 主要指晚元古代与古生代盆地的海相碳酸岩沉积,其间亦夹海相黑色页岩,如南方广泛发育的晚元古代与早古生代地层中的黑色岩系。南方盆地海相碳酸岩与黑色页岩均可成为好的生油岩。从热成熟度看,该沉积已普遍处于高成熟一过成熟阶段。而华北、江苏(或许还有新疆)的类似盆地沉积的成熟度稍低,有可能仍处于成熟一高成熟阶段。

三、主要含油气盆地沉积类型的有机质丰度、类型与演化

根据各含油气盆地已有的大量实际资料^{[6,7,25-36], 3)},简要讨论各类沉积的有机质丰度、

1) 陈斯忠、钱凯,1981,中国第三系生、含油盆地分类原则及沉积模式的探讨。

2) 江继纲,1983,江汉盐湖盆地潜江组油气运移的特点及规律。

3) 陆丕济,1978,生油岩研究项目和指标的选择。

表 1 我国主要含油气盆地沉积类型的有机质丰度与类型

沉积类型	产地	层位	有机质丰度					干酪根类型		
			有机碳 (%)	沥青“A” (%)	总烃 (ppm)	沥青“A” 有机碳(%)	总烃 有机碳(%)	I	II _A	III _A III _B
断陷盆地陆	松辽盆地	白垩系嫩江组一段	2.40		1,467		6.11	I	II _A	III
		白垩系青山口组二、三段	0.71		285		4.01			
		白垩系青山口组一段	2.21		1,612		7.29	I		III
		白垩系泉头组三段	0.33		28		0.85			
相碎屑沉积	辽河断陷西部凹陷	下第三系沙三下段	2.29	0.35	2,002	15.28	8.74	I		
		下第三系沙一下段	1.70	0.12		7.06		I		
	黄骅拗陷	下第三系沙三下段	1.49	0.19		12.75		I		
		下第三系沙一下段	0.94	0.05		5.32			II	III
	冀中拗陷	下第三系沙三下段	0.60	0.02		3.33				
		下第三系沙四段—孔店组	1.19	0.073	451	6.13	3.78		II	III
	饶阳凹陷	下第三系沙三段	0.70	0.053	351	7.57	5.01			
		下第三系沙三段	0.86	0.205	1,055	23.84	12.27	I	II	
	济阳拗陷	下第三系沙三段	2.80	0.28	1,500	10.00	5.36	I _B	II	III
		下第三系沙一段	1.30	0.15	250	11.54	1.92			
	泌阳凹陷	下第三系东营组	0.70	0.028	78	4.00	1.11			
		下第三系核一段	0.60						II	
陕甘宁盆地	陕甘宁盆地	下第三系核二段	1.33	0.049—0.208	870—1718	8—10		I		
		下第三系核三段	1.59							
		三叠系延长二段	1.43	0.098	419	6.85	4.19		II _B	III
		三叠系延长一段	0.81	0.031	70	3.83	0.86			III
		侏罗系延安四段	1.87	0.062	146	3.32	0.88			III

山间盆地型内陆 湖泊相碎屑岩沉 积	四川盆地		三叠系香溪统 三叠系大安寨组	1—1.50 0.73—2.12	0.05—0.11 0.12—0.32	150—463 657—1473	1.32—3.04 6.99—9.00		II	III
			侏罗系三工河组	1.61	0.050	233	3.11	1.45	II	III
	准噶尔 盆地	三叠系白碱滩组	1.31	0.024	106	2.16	0.94	II _B	III _A	
		二叠系乌尔禾组	0.94	0.014	64	1.49	0.68		III	
	南缘	下第三系安集海组	1.31	0.036	167	2.75	1.27	II	III	
		侏罗系三工河组	0.38	0.012	52	3.16	1.37			
	江汉盆地	广华寺	下第三系潜三段 下第三系潜四段	0.55 0.51	0.285 0.331	1,476 2,230	51.82 64.90	26.83 43.73	II II	
		钟寺	下第三系潜三段 下第三系潜四段	0.66 0.52	0.105 0.103	457 550	15.90 19.81	6.92 10.58	II II	
			济阳	罗家鼻状构造下第 三系沙四段	1.047	0.28		26.74		II
	断陷盐湖盆地膏 盐-碎屑岩沉积	冀中	晋县赵兰庄	0.54					II _A	
柴达木盆地、茫崖坳陷		0.05—0.38	0.041—0.037	18.3—143.2	8.2—9.82					
四川盆地		三叠系茅口组-栖霞组	0.35	0.012*		3.43*	I			
塔里木盆地		白垩系-下第三系 石炭系-二叠系	0.09 0.305	0.029 0.036	115	32.67 11.80	12.78	I I I		
占地台海相	准噶尔盆地		石炭系	1.01 0.95	0.086	1,970 30	0.91	19.50 0.32	I I	
碳酸岩沉积										

* 因成熟度较高而数值偏低。

类型与演化特征如下:

(一) 有机质的类型与丰度

沉积岩有机质绝大部分以干酪根形式存在,因此有机质类型即干酪根类型。干酪根类型划分最初采用了煤地质学的方法,将干酪根划分为三类:腐泥型、腐植-腐泥型(过渡型或混合型)与腐植型,或称 I、II、III 型^[37]。目前国内应用时又进一步细分,如划分为 I_A、I_B、II_A、II_B、III_A、III_B^[37];标准腐泥型(I₁)、含腐植的腐泥型(I₂)、腐植腐泥型(II)、含腐泥的腐植型(III₁)、标准腐植型(III₂)^[34]等。

陆相成因的三类盆地沉积的干酪根类型较复杂,受沉积相带与生物组合控制明显。多数生油岩由 II 型干酪根构成,如渤海湾地区的沙三段(II 或 II_A 型)、福山凹陷流沙港组——El(II)、松辽盆地(II_A)以及江汉盆地的潜三、四段(II 或 II_B)。属于 I 型的典型例子有松辽盆地青一段(主要由藻类构成)、泌阳拗陷核三段(可能与微生物改造有关)^[37]。也还有一些生油能力差的典型 III 型干酪根,如陕甘宁盆地的 J_{1y}、四川盆地的 J_h、以及属于咸化湖泊的柴达木盆地茫崖拗陷第三—第四纪沉积(旱 2 井)。

海相碳酸岩沉积的干酪根类型较为单一,常用指标方法很难应用于碳酸岩,尤其是高演化碳酸岩有机质。根据刘德汉对南方海相沉积干酪根的大量镜下观察,震旦纪至泥盆纪碳酸岩与黑色页岩原始有机质基本上属 I 型,到石炭纪后才有陆源有机物的明显混入,在成煤环境影响下则尤为突出。如二叠纪灰岩沉积时期又为成煤期,陆相植物碎屑带人较普遍,在接近含煤地层层位的灰岩、泥质灰岩尤为明显,干酪根变为 II 型。

我国海相碳酸岩沉积的有机质丰度较低,达到 0.20% 以上的较少,这可能与碳酸岩性质及高演化程度有关。盐湖沉积的丰度稍高,一般为 0.4—1.0%,而淡水湖相沉积的有机质丰度最高,一般为 1.4—2.2%。表 1 说明,碳酸岩有机质含量低,而沥青 A/C_{有机} 与烃/C_{有机} 值不低,这可能与碳酸盐矿物对有机质的某种特殊作用有关^[38]。盐湖沉积的沥青 A/C_{有机} 与烃/C_{有机} 值亦较高;当有机质类型相似或甚至较差、有机质成熟度相当或较低时,其值仍高于淡水湖相沉积,这可能暗示高盐环境对有机质的某种尚待研究的特殊作用。

(二) 有机质的热演化

控制沉积岩有机质热演化的主要因素是温度和时间。中国东部断-拗盆地沉积由于沉积速率快、地温梯度高、沉积间断时间短(主要含油盆地),因而成油门槛时间(即从生油岩沉积到进入生油门槛所经历的时间)与生油期(大量生成油至成油结束)均较短。例如东部早第三系断陷湖盆(包括盐湖盆地)沉积速率高达 0.2—0.3mm/a。六个含油断陷盆地的平均地温梯度达 3.73℃/100m,最高 4.78℃/100m(下辽河盆地),最低 2.7℃/100m(京津地区)。盐湖盆地的地温梯度变化大,如江汉盆地地温梯度的平均值为 3.1℃/100m,不含盐的层系高达 3.7℃/100m,而主要含盐岩地区仅 2.3℃/100m。断陷湖盆(包括盐湖盆)沉积的成油门槛深度为 1,700—2,700m 门槛温度 90—95℃,门槛时间与成油期均较短,分别

1) 李永康、高瑞祺,1982,陆相油气形成过程中的某些有机地球化学(I)——干酪根类型划分与最大产烃率。

为 40—50Ma 与 30—45 Ma。我国目前已知门槛时间最短的盆地可能是柴达木茫崖拗陷(旱 2 井, Q + N), 沉积速率高达 0.5mm/a, 其门槛值分别为 3,300m, 126℃, 6.5Ma。中生代断-拗盆地门槛值稍有差异, 如松辽盆地为 1,330m、66℃、25Ma。

西部一些中生代山间盆地沉积由于古地温梯度低, 如塔里木盆地的西南地区, 由于地温梯度偏低(2.2℃/100m), 生油门槛深度深于一般值。周中毅等根据古地温地质模式计算得出: 柯克亚地区下第三系的生油门槛值深达 5,000m; 甫沙地区侏罗系大于 3,200m; 固满构造的中、上石炭系现今埋深为 8,000 多米, 但仍有可能产干气。

古地台碳酸岩盆地沉积的沉积速度低和(或)古地温梯度低, 因而门槛时间与生油期均较长, 如四川威远震旦系气藏的成油门槛时间与生油期分别为 330Ma 与 80—100Ma 左右^[9]。而黔东麻江一志留纪古油藏的成油门槛时间与生油期则分别为 30—215Ma 与 50—150Ma^[39]。

华北古地台沉积不仅由于地温梯度低(中元古代、寒武纪与奥陶纪分别为 1.1、1.8、1.1℃/100m)¹⁾, 沉积速率低, 且因沉积间断长(如冀中中元古界-奥陶系多直接为巨厚第三系所覆盖), 而有机质成熟度普遍比南方低(据刘宝泉、贾蓉芬资料)。中元古代—奥陶纪碳酸岩、页岩生油岩的成油门槛在某些地区可晚至第三纪, 生油期可延续至今, 因而存在二次生油²⁾。

四、主要含油气盆地沉积类型的生物标志化合物组成

下面着重介绍断陷盆地陆相碎屑沉积所产出原油的生物标志物组成特征, 并简要讨论其他沉积类型原油的特征。

(一) 断陷盆地陆相碎屑岩沉积的特征

此类原油的生油母质以陆相混合型为主, 且成熟度往往偏低, 生物标志物具下列特征:

(1) 正烷烃 正烷烃碳数分布范围较宽(达 C_{40}), 具双峰型, 主峰为 C_{17} 、 C_{19} , 次主峰为 C_{22} 、 C_{23} 或 C_{27} 。高分子量正烷烃占优势, C_{20} 前/ C_{20} 后小于 1。原油高碳数部分具奇偶优势, 如东营原油 CPI 值为 1.14—1.29³⁾。

(2) 类异戊二烯烷烃 以姥鲛烷和植烷为主, 且多数原油 Pr/Ph 接近于 1 或大于 1 (据梅博文^[40]资料, 多数原油的 Pr/Ph 为 1—2)。亦有植烷占优势的, 如我国东部一些低成熟原油的 Pr/Ph 为 0.3—0.8^{[28], 4, 5)}。长庆油田田和盆地侏罗系原油 Pr/Ph 高达 2.8。碳数低于姥鲛烷的低分子量类异戊二烯烷烃含量少, $iC_{18} + iC_{16} + iC_{15}/Pr + Ph$ 值小于 1, 低成熟原油仅为 0.2—0.5。碳数高于植烷的类异戊二烯烷烃亦较少见。

(3) 甾烷 甾烷系列中较为普遍的化合物是胆甾烷系列(C_{27})、麦角甾烷(C_{28})和豆甾烷(C_{29})系列。主要有 C_{27} — C_{29} 的规则甾烷、重排甾烷以及 4-甲基甾烷。如松辽盆

1) 郝石生、冯石, 1982, 华北地区震旦界古地温演化及冀中地区原生气藏形成条件初探。

2) 刘宝泉等, 1983, 华北地区碳酸岩油源探讨。

3) 胜利油田勘探开发研究院报告集, 第二分册(1977)。

4) 刘宝泉等, 1982, 类异戊二烯烷烃的演化特征及植烷生成类异戊二烯烷烃的又一新的模式。

5) 陈海树, 1982, 沉积岩姥鲛烷、植烷比值在过成熟阶段的变化特征。

地原油中检测出了较为完整的甾烷系列¹⁾，有 $13\beta(H)$ 、 $17\alpha(H)$ $20R$ 和 $20S$ ， $13\alpha(H)$ 、 $17\beta(H)$ $20R$ 和 $20S$ 的 C_{27} — C_{29} 重排甾烷；还有相应的 4-甲基规则甾烷和 4-甲基重排甾烷。长庆油田临河拗陷第三系低成熟的临深二井原油中有丰富的 C_{28} — C_{30} 4-甲基甾烷²⁾ (图 2)。低分子甾烷， C_{21} — C_{22} 妊甾烷和高妊甾烷亦较普遍。

甾烷分布及其立体异构化参数的特点为：胆甾烷和豆甾烷含量相当，或豆甾烷高于胆甾烷，也有胆甾烷含量高于豆甾烷的，如东部第三系原油饱和烃的 m/e 218 图上可见 $C_{27} > C_{28} > C_{29}$ (图 3)。冀中凹陷一些原油则 C_{28} 麦角甾烷含量较低，反映了原始母质来源的差异。甾烷异构化参数比值基本上达到异构化平衡终点值或接近于平衡值。亦有一些低成熟油出现低异构化值，如沾化凹陷一些原油 $\frac{\alpha\alpha\alpha(20S) - C_{29}}{\alpha\alpha\alpha(20S + 20R) - C_{29}}$ 甾烷比值仅为 17—36%；廊固凹陷原油则为 9—23%，上述参数反映了这些原油属于低成熟或未成熟油。

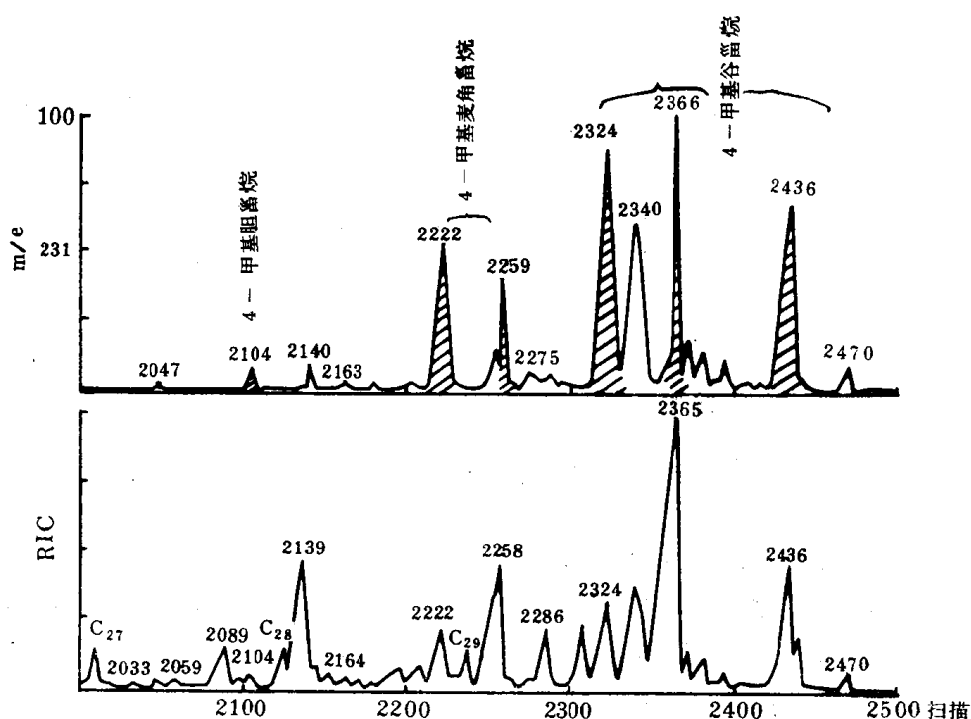


图 2 临深 2 井原油中的 4-甲基甾烷
(据陈安定)

(4) 萜烷 与甾烷相比，我国陆相原油中萜烷含量要高一些，萜烷分布种类亦较多，包括低分子量的倍半萜烷到高分子量的升藿烷。如松辽盆地、冀中凹陷中的一些混合型母质原油中均含有较丰富的萜烷，广泛存在着五环三萜系列，三个 C_{27} 三降藿烷—— $18\alpha(H)$ 、 $17\alpha(H)$ 和 $17\beta(H)$ 异构体以及升藿烷 (C_{31} — C_{35})，有的含六升藿烷 (即 C_{36})。松辽盆地原油中还有来源于高等植物具海松系骨架的三环二萜烷 (C_{16} — C_{19})。还有反映植物来源特征的化合物如芒柄花根烷、奥利烷、羽扇烷等 (松辽、饶阳原油)。鄂尔多斯陆相原

1) 大庆石油管理局科学研究设计院, 1981, 松辽盆地原油和生油岩中的萜烷、甾烷特征。

2) 长庆油田勘探开发研究院, 1982, 临深 2 井等原油成熟度研究。

油中有丰富的 $18\alpha(H)$ 奥利烷,如岭 55 井延 4 + 5 原油, $m/e 191$ 质量色谱图中的奥利烷相对强度与 C_{30} 藿烷相当(图 4),可能来自高等植物母质——含氧的桦木酮类^[7]。姜乃煌等分别在松辽盆地、陕甘宁盆地的一些原油中检出了陆源植物来源的 γ 羽扇烷。胜利油田第三系原油中及泌阳凹陷第三系原油中均含有 γ 蜡烷,而在松辽盆地的深湖浮游生物和藻类为主的古龙凹陷原油中均未发现奥利烷和 γ 蜡烷。

萜烷分布及异构化参数的特点: T_m/T_s 、 $C_{30}-17\beta(H)21\alpha(H)/C_{30}-17\alpha(H)21\beta(H)$ 、 $\frac{C_{27}+C_{29}}{C_{30}}$ 藿烷、 $\frac{C_{31}-(22S)}{C_{31}-(22S+22R)}$ 比值基本上处于异构化平衡终点值。还有一些低成熟原油,如东营义和庄凸起第三系义 18 井原油保留着 22 R 构型的弱优势^[12]。松辽盆地白垩系低变质原油的 T_m/T_s 为 0.18—0.90。

四萜烷系列: 迄今,我国东部原油中具有胡萝卜素碳骨架的胡萝卜烷发现不多,只在胜利油田第三系、内蒙古下白垩系等原油中检出了少量 β 胡萝卜烷,但未检出 γ 胡萝卜烷。

(5) 卟啉及色素 由于分离分析原油卟啉的流程长,方法较为繁琐,影响了对原油卟啉分布的深入研究。目前我国陆相原油中的金属卟啉主要是镍卟啉(亦有和微量钒卟啉共存的),含量不高,一般在 ppb 至 ppm 级^{1,2)}。冀中凹陷、济阳凹陷等原油所检出的主要是镍卟啉,个别高含量的原油如辽河油田第三系高升原油含镍卟啉超过 500ppm。脱金属卟啉的研究表明,原油中镍卟啉脱金属后主要为 DPEP 和 ETIO 型,且 $DPEP >$

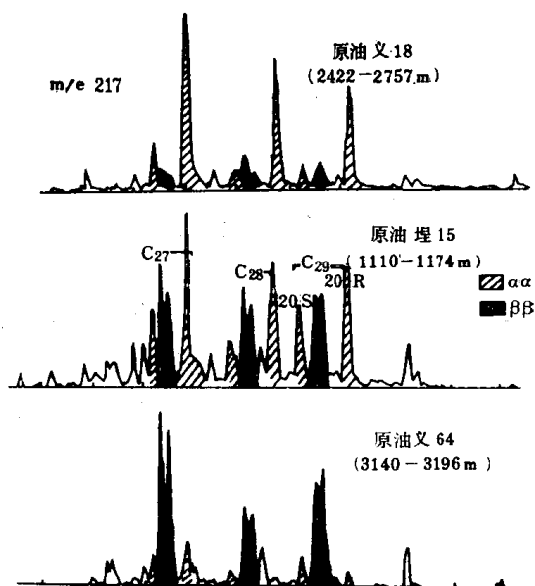


图 3 沾化凹陷一些原油中的甾烷分布 (据史继扬)

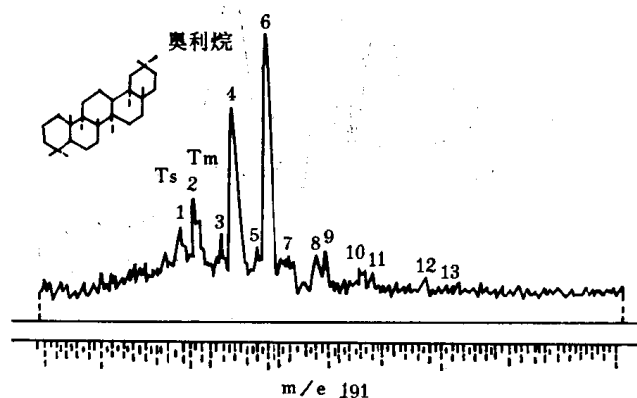


图 4 延 4 + 5 原油中的奥利烷 ($m/e 191$ 质量色谱图)(据于志梅)

- 1) 周光甲等,1982,湖相生油岩中四吡咯色素的分布和演化。
- 2) 郎纫赤等,1982,高升原油卟啉化合物的分离与鉴定。

ETIO。如低成熟的义 18 井原油 DPEP/ETIO 为 2.41^[12]。低变质程度的茂名油页岩脱金属卟啉中含 C₃₁-DPEP 达 90%。演化程度高的原油则很少检出卟啉。

除了卟啉以外,在我国胜利油田、任丘油田一些生油岩中还检出了绿素以及尚未弄清结构的红色有机物^[41],但这些色素类化合物目前均未发现于原油中。

(6) 芳香甾烷、芳烃 关于原油中的芳香甾烷研究得尚不多,史继扬等^[12]在我国东部第三系原油中检出了C₂₇—C₂₉系列的 C-环单芳甾烷及 C₂₀ 和 C₂₇ 的三芳甾烷,八个原油的芳构化程度参数: C₂₀/C₂₀ + C₂₇ 三芳甾烷比值和 C₂₇ (三芳甾烷)/C₂₇ (三芳甾烷) + C₂₈ (单芳甾烷)比值分别在 56—92% 和 3—11%,亦与其他标志物参数一致,属于低成熟和成熟原油。

原油芳烃馏份中单个化合物的研究报道不多,已检出的化合物主要是烷基联苯、烷基萘和烷基菲系列。程中第等²⁾在内蒙古白垩系二连陆相原油赛 1 井和阿 3 井的芳烃馏份中,鉴定出 34 种 2—5 环的芳烃化合物,除了含极少量苯、萘、菲、蒽、苯并蒽、苝等芳烃化合物外,主要是含不同碳数侧链的烷基萘、烷基菲。初步研究表明:甲基萘、乙基萘和甲基菲、乙基菲的含量随演化程度增高而增加。

(二) 盐湖相沉积原油中生物标志物的特征

我国中生代盐湖相沉积原油中生物标志物具下述特点。

(1) 正烷烃呈偶碳优势分布 江汉油田潜江组原油正烷烃分布具有明显的陆源母质特征,高碳数烷烃含量较多,在 C₁₈—C₃₀ 之间呈明显的偶碳优势,主峰碳位于 C₂₂、C₂₈, OEP 值为 0.74—0.99; 沾化凹陷义和庄古潜山原油中 CPI 为 0.77,产自晋县第三系古盐湖赵 8 井原油正烷烃在 C₁₆—C₂₆ 范围内亦有明显偶奇优势^[7,28,42](图 5)。

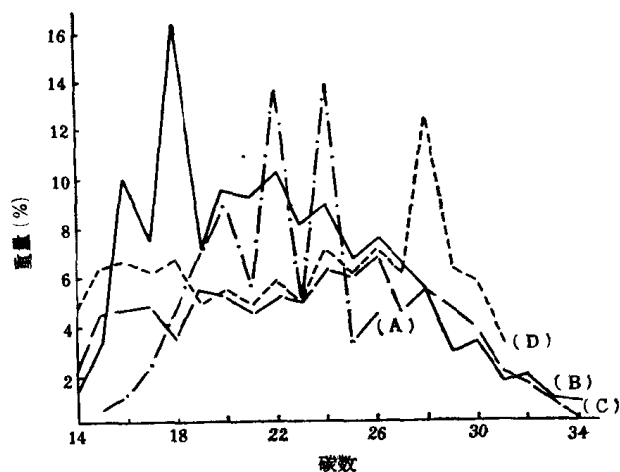


图 5 盐湖相沉积原油中的正烷烃偶碳优势分布

(A) 沾化凹陷义 64 井 (B) 冀中凹陷晋县赵 8 井
(C) 江汉盆地广 4-9 (D) 江汉盆地王-8-3 井

1) 盛国英、傅家谟,沉积岩中一种新的有机色素(即将出版)。

Sheng Guoying and Fu Jiamou, A Novel Kind of Fossil Pigments Found in sedimentary Rocks. (即将出版)

2) 程中第、姜乃煌,1982,气相色谱、色谱-质谱-计算机联用仪分析原油及生油岩中芳烃化合物的研究。

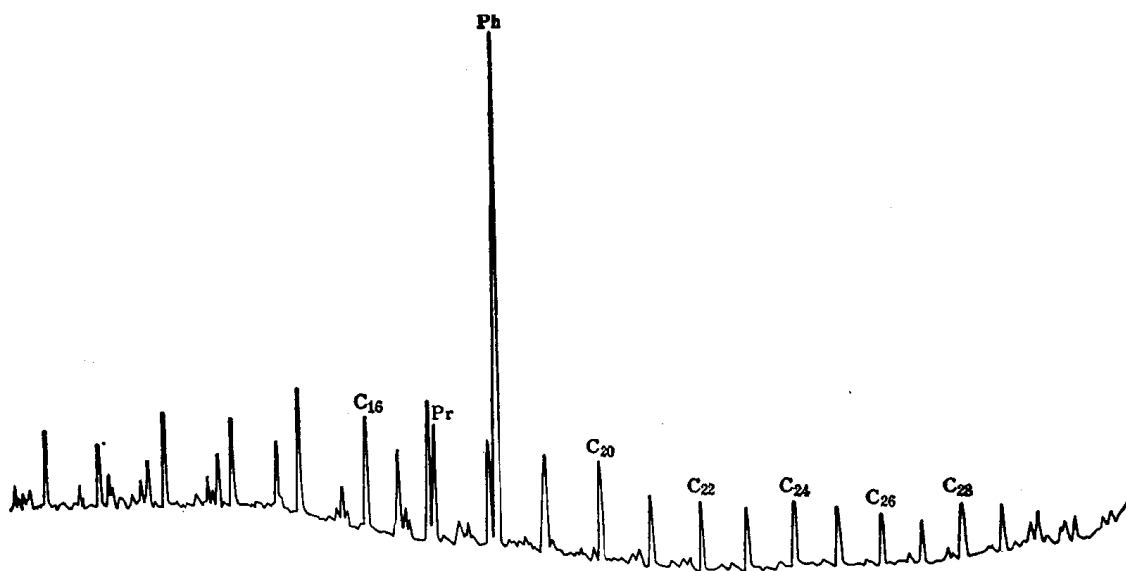


图6 江汉盐湖盆地广33井原油中的植烷优势

张谦证实¹⁾,江汉地区盐湖相原油和生油岩正烷烃偶碳优势亦具类似于奇碳优势的演化规律,即随着埋深的增加,高偶碳优势逐渐演化到偶奇相当(OEP值由小于1变化到等于1)。

(2) 高植烷 盐湖相原油的另一特点是具高含量的植烷即 Pr/Ph 低,如江汉油田潜江组王场地区原油王-1-34-9井Pr/Ph为0.064,江汉广华寺广33井原油具高植烷优势(图6)。该地区其他原油的 Pr/Ph 值均小于1。沾化凹陷河口大王庄原油的 Pr/Ph 也小于1(0.26—0.44),饶阳凹陷赵兰庄原油为0.25—0.57。而且这类原油饱和烃色谱上往往都以植烷为主峰。

(3) 丰富的金属卟啉 盐湖相原油往往伴随着高含量的金属卟啉,从江汉潜江组具偶碳优势的原油看,大多数成熟度不高的原油中都有镍卟啉,含量从微量至几百个 ppm 不等,如该地区广华寺广33井低成熟原油,不但含有镍卟啉,还含有微量钒卟啉,金属卟啉含量达164ppm。脱金属卟啉主要也为脱氧叶红卟啉和初卟啉型²⁾。

(4) 甾、萜分布 甾、萜分布及其参数变化基本上与淡水湖相类似。值得注意的是高含量的 γ 蜡烷。原油饱和烃色谱-质谱鉴定的 m/e 191 质量色谱图上可以看到突出的 γ 蜡烷峰(图7),如低成熟王-1-34-9原油的 γ 蜡烷/C₃₀藿烷比值高达2.33。最近我们在一些江汉高盐相原油中还检出了四萜烷- β 胡萝卜烷及其同系物。

盐湖相原油除了上述特征外,还具有含蜡量高,比重大,含硫高等共同特点。

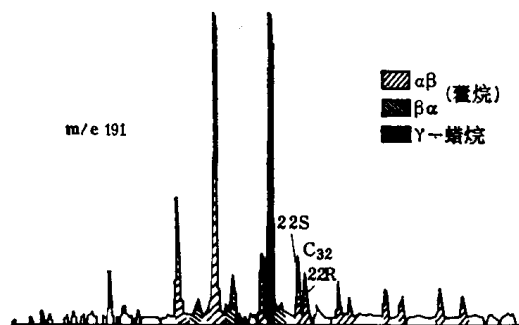


图7 江汉盐湖盆地王-8-3井原油中的 γ 蜡烷色谱

1) 张谦,1981,陆相含盐盆地中有机质演化与石油生成。

2) 杨志琼、董育英、樊兆安,1982,江汉盐湖盆地原油及生油岩中甾、萜、卟啉、菲的特征及其应用。