

碳酸盐岩石油地球化学 及生油潜力

〔美〕 J. G. 帕拉卡斯 主编

科学出版社

1990

碳酸盐岩石油地球化学 及生油潜力

〔美〕 J. G. 帕拉卡斯 主编

周堃 赵国先 卞良樵 等 译

李晋超 胡文海 校

科学出版社

1990

译校者的话

长期以来,人们对碳酸盐岩能否生成工业性油气藏有着两种不同的看法。持否定意见者认为,碳酸盐岩的沉积属浅水氧化环境,对有机质保存极为不利,致使其中的有机质平均含量只是泥质岩的四分之一;由于碳酸盐岩中较少粘土矿物,缺乏泥质岩对有机质转化成烃的催化作用;碳酸盐岩成岩作用过程中无压实作用,不利于提供油气运移的流体等。持肯定意见者根据碳酸盐岩的石油储量约占世界总储量 40% 的事实,认为它无疑是重要的油源岩。本书作者们则以不同时代的碳酸盐沉积盆地为例,用大量的地质和地球化学资料,详细地论证了碳酸盐生油岩的特征。就本书提供的材料来说,值得注意的有如下几点: 1) 优质碳酸盐生油岩的有机相,通常是缺乏陆源有机质和碎屑而富含藻类,沉积物一般具暗色纹层,它们形成于具较高盐度的缺氧环境中,高含有机质(有机碳含量常大于 1.5%,最低不少于 0.3%,烃含量常在 1000ppm 以上); 2) 碳酸盐生油岩中几乎不含粘土矿物,但含较高的石英和铁的氧化物, 已经证实铁的氧化物对有机质成烃有催化作用; 3) 源于碳酸盐岩和泥质岩的原油,有着不同的化学组成和地球化学特征; 4) 碳酸盐岩在成岩过程中,随着周期性的重结晶而明显地经历了压溶作用,它有助于有机质降解成烃; 5) 已有资料证实了 碳酸盐岩具有一定的压实作用,排出的流体可以通过其本身大范围发育的微裂缝进行垂向和水平运移; 6) 据现代碳酸盐沉积物的压实和热模拟实验,证实它有与泥质岩类似的成烃及排驱机制; 7) 碳酸盐沉积在相序上常出现蒸发岩,它为油气聚集提供了良好条件,统计表明,砂页岩剖面的捕油率约为 20—40%,而中东地区的碳酸盐-蒸发岩剖面的捕油率可能达 70% 以上。上述表明,碳酸盐岩在油气生成及运移聚集上存在着许多不可忽视的优越条件,并构成了有别于泥质岩类的油气地质因素。

我国的碳酸盐岩沉积分布广阔,约达 250 万平方公里,预示良好的含油前景。但由于对其油气生成的地质及地球化学研究还有待深入,致使在石油勘探上还未获重大突破。但愿本书能有助于我国地质和石油地球化学工作者在碳酸盐岩油气勘探中作出贡献。

本书由石油工业部石油勘探开发科学研究所和浙江省石油地质研究所从事碳酸盐岩研究的同志译出,由李晋超和胡文海复校。在本书翻译和校订过程中得到了石宝珩同志的大力支持,谨致谢忱。书中有几篇论文作者采用英制计量单位,如英尺、磅等,也有的论文使用 psi 等非国际标准计量单位。为保持数字完整准确,译文未修改成法定计量单位,希读者阅读或使用时留意。

由于时间仓促,译、校者水平有限,或有不少的缺点和错误,恳请读者指正。

李晋超

1988 年 6 月 3 日于北京

前 言

碳酸盐岩具有多种特征。它们不但是富产石油的生油岩而且也是石油的极好储层。由碳酸盐岩产生的石油通常具有与众不同的、能显示其成因的总体化学特征和分子特征。由于地质界对这些事实缺乏广泛重视,所以成为1980年10月在佐治亚州亚特兰大的美国地质学会年会上,组织并举行了“碳酸盐岩石油地球化学和生油岩潜力”讨论会的一个理由。该讨论会是在我担任有机地球化学分会主席期间,由地球化学学会的有机地球化学分会主办的。讨论会上提出了18篇论文,本书包括12篇论文和4篇摘要。后来挑选的两篇论文也包括在内。

我希望这个综合了大约20个不同沉积盆地资料的论文集,将有助于改正对碳酸盐岩作为巨大油源的评价的任何误解。我也相信本书介绍的信息,包括参考文献,对于评价其它碳酸盐层系内的石油产状,以及对于未勘探的、部分勘探的、甚至碳酸盐产生的油气可能已被忽视了的已经勘探的盆地内,确定其油气藏位置,将提供有价值的借鉴。

前面按地质年代次序编排的11篇论文,是描述和解释年代从前寒武纪到中新世的具体碳酸盐生油岩(也就是典型史例)。下面简介这些论文的某些最精采部分。

傅家谟、戴永定、刘德汉和贾蓉芬的文章,除了描述年代从前寒武纪到三叠纪的石油聚集和生油岩的地球化学外,还指出中国东部前寒武纪碳酸盐岩热历史上的重要差别。在一个盆地内,前寒武纪碳酸盐岩是意外地热变未成熟,并有重油和沥青。在另一个盆地内,前寒武纪碳酸盐岩却是明显地过成熟,并生成了富含甲烷的气。

麦柯迪、坎茨勒、埃米特和奥尔德里奇对南澳大利亚东部的奥菲瑟(Officer)盆地的文章,包括有首次报道的非海相碳酸盐岩的例子和类似于犹他州始新世格林河组石油的寒武纪石油。

加德纳和布雷在他们对密执安盆地原油的研究中指出,志留纪礁间纹层状碳酸盐岩是志留纪塔礁内工业性石油聚集的主要油源。该发现的一个重要方面是提供一个以有机碳含量相对较低为特征的例子(平均约0.3%)——一些地球化学家确认的生油岩所需的最低值。

鲍威尔的文章对加拿大西部泥盆纪热变未成熟的、富含有机碳的碳酸盐岩已经生产的重油和沥青方面提出有力证据,而在成熟背景下类似的碳酸盐相则是较轻的常规石油的可能油源。

在四篇文章中,详细的地球化学资料支持以前提出的概念,这些概念主要以地质依据为基础,也就是三个中生代著名的碳酸盐岩地层单位是巨大石油聚集的油源。三个丰产的碳酸盐岩单位是:1)墨西哥湾沿岸地区侏罗纪斯马科弗组的下部(Oehler);2)哥伦比亚晚白垩世拉鲁纳(La Luna)组(相当于委内瑞拉的拉鲁纳组)(Zumberge);和3)得克萨斯晚白垩世奥斯汀白垩(Grabowski, Hunt 和 McNichol)。

帕拉卡斯·安德斯和金的文章,论证使用较新而有效的技术去对比和解释成熟度,使用高分子量的生物标记分布(例如甾烷和三萜烷),为南佛罗里达早白垩世桑尼兰德

(Sunniland) 石油指出具体的碳酸盐生油岩相。

虽然碳酸盐生油岩一般是油型的,但赖斯的报告却概述科罗拉多州、堪萨斯州和内布拉斯加州丹佛盆地东部晚白垩世尼奥布拉拉(Niobrara)组,在浅部热变未成熟的、富含有机质的白垩内早期成岩的(生物成因的)富含甲烷的气的出现和成因。该区的天然气储量估计为 0.34×10^{12} 立方米。在过去,对于丹佛盆地内这类气的聚集很少勘探,而类似的情况在其它地区可能也被忽视。

最后一篇典型史例的论文中,德梅松和布儒瓦依据原油与源岩间的地球化学对比,简要地论证了一组有趣的地质条件。他们证明,在西班牙海上塔拉戈纳(Tarragona)盆地的卡萨布兰卡(Casablanca)油田上,上覆较年轻的碳酸盐生油岩相[中新世艾卡纳(Alcanar)组]生成的石油注入到了下伏较老的(侏罗纪)石灰岩储层中。然而,报告的重要性在于对有机相的分析作了极好的综合,一开始就鉴定古环境条件和生油潜力,最后预测已知区内生油层的地层分布。

三篇专题论文的第一篇中,琼斯比较了碳酸盐生油层与页岩生油层的地质和地球化学特征,并在此意义上讨论碳酸盐生油岩的一般特性(上列的亨特和麦克尼科尔以及奥勒的其它两篇文章也包含有涉及碳酸盐生油岩一般特性方面的重要贡献。这两篇文章因对地质特征和生油岩的地球化学特征作了更全面的综合而必将被人们参阅)。琼斯的文章包括了对有机相概念的详细讨论和严格地重复校核了一些因素,例如有机碳需要量、催化作用和影响碳酸盐生油岩的排-运机制。该文内往往有争议的解释必将激励更进一步的讨论和研究,这对解决可能是矛盾的意见有帮助。

休斯证明利用有机硫化合物(噻吩)把来源于碳酸盐岩的油和来源于硅质碎屑岩的油区分开。大量的硫化物是许多碳酸盐生油岩和来自碳酸盐油的特征,了解它们的相对丰度可导致改进油和生油岩的指纹技术。

最后一篇全文内,希恩、罗宾和克莱普尔谈到碳酸盐岩内石油的排驱和运移机制——远非为人们完全了解的过程。他们从两方面进行压实作用试验,在压力相当于 4000 米盖层和 100—200℃ 低热下对佛罗里达湾全新世碳酸盐沉积的岩心进行测试。初步结果表明,机械的和化学的(即压溶)压实作用能为驱动含烃流体进入输导层或直接进入储层提供“动力”。

论文集的第三部分包含 4 篇论文摘要*,它们是在 1980 年美国地质学会年会的碳酸盐讨论会上提交的。这些摘要提供碳酸盐生油岩研究的另外地理范围,并支持现今收集的全部文章中的大部分结论。

我感谢所有作者对本论文集所作的贡献。不管从本书的报告中可以产生多少益处,都必将归功于他们的精心之作。表彰和感谢下面那些审稿人,他们认真阅读和有益的评审使论文得到提炼: C. Barker, J. R. Castaño, G. E. Claypool, J. L. Clayton, H. Dembicki, T. D. Fouch, W.E. Harrison, J. M. Hunt, K. A. Kvenvolden, S. R. Larter, C. F. Jordan, M. D. Lewan, D. Leythaeuser, P. Müller, W. L. Orr, P. L. Parker, K. E. Peters, T. G. Powell, L. M. Pratt, M. A. Rogers, L. M. Rooss, E. A. Shinn, C. P. Summerhayes, B.E. Torkelson, J. A. Williams, J. C. Winters, A. Young 和 J. E.

* 这部分摘要在译本中省略了。——译者

Zumberge。

也应该感谢 V. E. Swanson 仔细和有益地编辑几篇手稿。我对本书责任编辑 W. D. Rose 的协助表示感激。我深深感谢 D. R. Malone 对大量函件和打印部分原稿所做的工作。

最后,我愿为美国石油地质家协会对本论文集的出版表示感谢。

J. G. 帕拉卡斯

美国地质调查所 科罗拉多,丹佛

目 录

译校者的话

前言..... J. G. 帕拉卡斯 (iii)

△✓中国碳酸盐岩(前寒武纪—三叠纪)中烃的分布与成因.....

.....傅家谟、戴永定、刘德汉、贾蓉芬 (1)

南澳大利亚州奥菲瑟盆地东部寒武系碳酸盐岩中的烃类成因与有机相.....

.....D. M. 麦柯迪、A. J. 坎茨勒、J. K. 埃米特、A. K. 奥尔德里奇 (13)

密执安盆地尼亚加拉礁体(志留系)中的石油和生油岩.....

.....W. C. 加德纳、E. E. 布雷 (41)

△加拿大西部中泥盆统堡礁复合体烃类地球化学的某些特征.....T. G. 鲍威尔 (51)

密西西比、亚拉巴马和佛罗里达侏罗系斯马科夫走向带的碳酸盐生油岩.....

.....J. H. 奥勒 (73)

△南佛罗里达盆地——碳酸盐生油岩的一个典型实例.....

.....J. G. 帕拉卡斯、D. E. 安德斯、J. D. 金 (85)

得克萨斯中南部上白垩统奥斯汀白垩中烃类的生成和运移... G. J. 小格拉博斯基 (120)

得克萨斯南部白垩系奥斯汀白垩——一种油源岩... J. M. 亨特、A. P. 麦克尼科尔 (144)

哥伦比亚中马格达莱纳盆地拉鲁纳组(上白垩统)生油岩..... J. E. 朱姆伯杰 (155)

东丹佛盆地上白垩统未成熟富有机质白垩中的原生生化气..... D. D. 赖斯 (164)

✓西班牙近海塔拉戈纳盆地卡萨布兰卡油田中部中新统(艾卡纳组)碳酸盐岩生油层

✓的沉积环境.....G. 德梅松、F. T. 布儒瓦 (184)

△碳酸盐和页岩生油岩的比较.....R. W. 琼斯 (198)

碳酸盐生油岩和粘土生油岩原油特征的区分——噻吩类有机硫化合物的应用.....

.....W. B. 休斯 (222)

△现代碳酸盐沉积物的压实作用对生烃和排烃的意义.....

.....E. A. 希恩、D. M. 罗宾、G. E. 克莱普尔 (243)

中国碳酸盐岩(前寒武纪—三叠纪)中烃的分布与成因*

傅家谟 戴永定 刘德汉 贾蓉芬

摘 要

中国广泛分布震旦系(上元古界)至三叠系的碳酸盐岩。在中国北方和南方这些岩石中含有大量的油苗和分散的沥青物质。在这些地层中已经发现了大的气藏和小的油藏,地质和地球化学证据表明碳酸盐岩至少是这些油气藏的部分源岩。

中国东部的碳酸盐岩中的烃经历了较强的热作用并且达到了热演化的较高阶段。本文建立了一个晚期演化的剖面以评价碳酸盐岩地层中烃的远景。在某些地方虽然固体沥青和干酪根的成熟度很高,仍然生成了工业规模的天然气并在地下储集岩中得到了保存。

引 言

碳酸盐岩广泛分布于中国特别是东部地区(图1),在中国南方前寒武纪(晚元古代)至三叠纪(距今1.95—12 亿年)厚达5000米的碳酸盐岩地层中含有丰富的油苗和分散的沥青物质(图2),某些大规模聚集的沥青沉积已被开采做为燃料。在中国西南部的这些地层中已经发现了大型的天然气藏和小型的油藏。在中国华北地区,大部分震旦纪至奥陶纪的碳酸盐岩埋藏于古生代至新生代陆相地层特别是第三纪陆相页岩之下。在这些震旦纪至早古生代的碳酸盐岩中已经有许多地表的和地下的油苗和分散沥青产出。图3列出了一个代表地区(燕山地区),在该地产生了震旦系和下古生界的碳酸盐岩(王铁冠,1981)。除了原生的油苗和沥青沉积之外,在震旦纪碳酸盐岩中发现的工业油藏被认为主要来源于第三纪的陆相页岩。

中国西南的川南地区

川南是勘探和地质研究很高的地区之一,在这一地区已经发现了中—大型的气藏和小型的油藏。大部分油气产于震旦系上部白云岩和下二叠统(P_1)及三叠系(T_c 和 Tr)碳酸盐岩中(图4)。地质和地球化学证据表明,特别是下二叠统中的天然气和三叠系(Tr 及 T_c)岩石中的原油可能是就地来源于碳酸盐生油岩。该地区天然气的年产量大约为58亿米³,其中一半产自下二叠统(P_1)的碳酸盐岩中。川南下二叠统(P_1)地层主

* 本文原以英文发表(1984)。原题: Distribution and Origin of Hydrocarbons in Carbonate Rocks (Precambrian to Triassic) in China. 作者: Fu Jia Mo, Dai Yong Ding, Liu De Han, Jia Rong Fen. 现据原作译成中文。

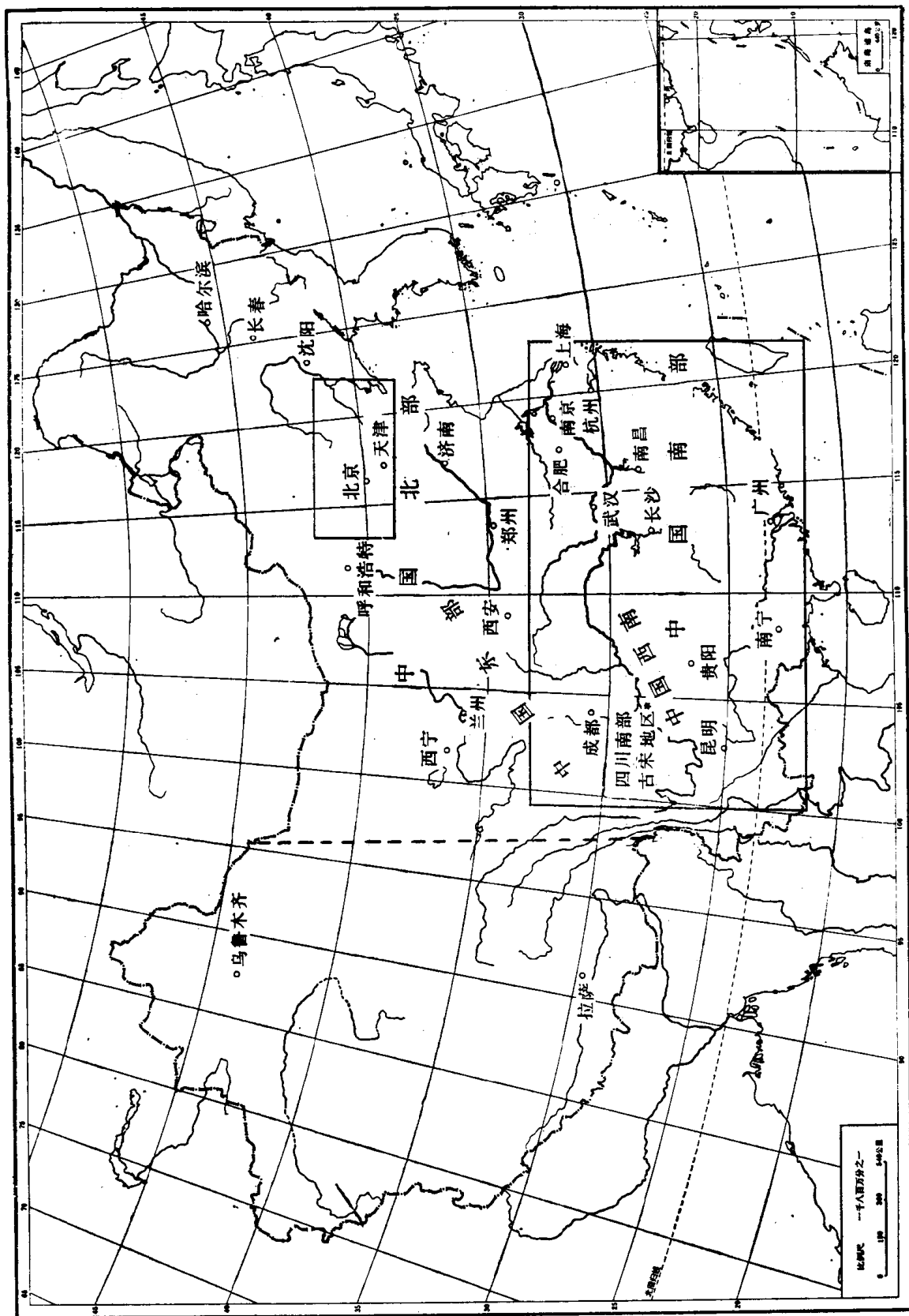


图 1. 中国东部以及华南和华北两个特定地区的位置图

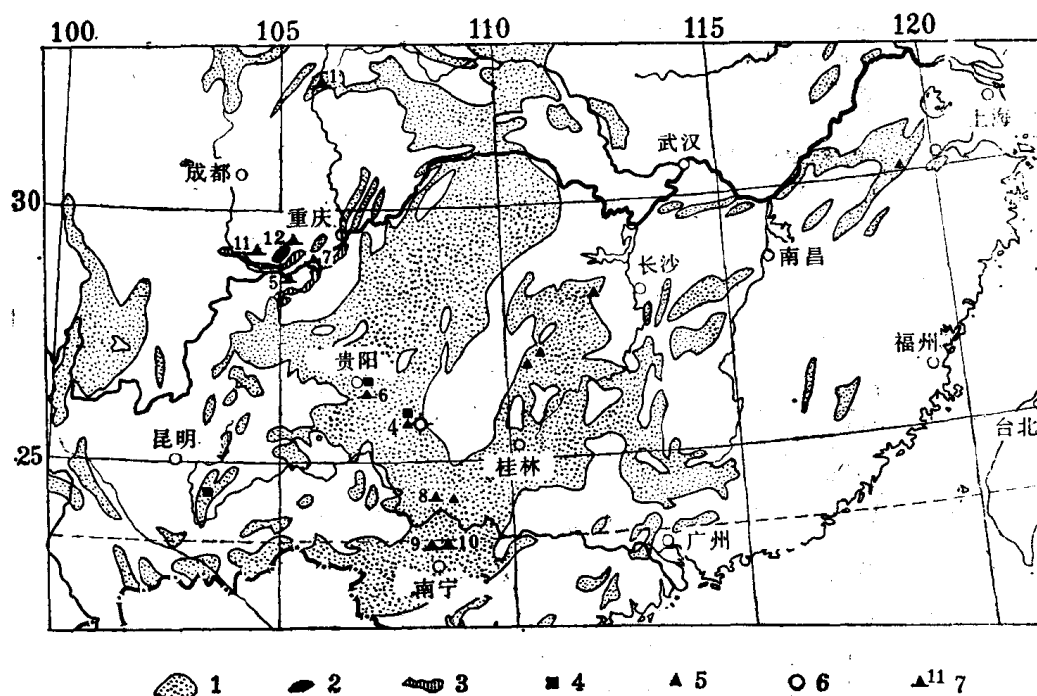


图 2. 中国南部震旦系至三叠系碳酸盐岩中油田、气田、油苗和沥青的分布
1. 碳酸盐岩露头; 2. 油田; 3. 气田; 4. 油苗; 5. 沥青; 6. 钻井; 7. 采样位置及编号(见表3)。

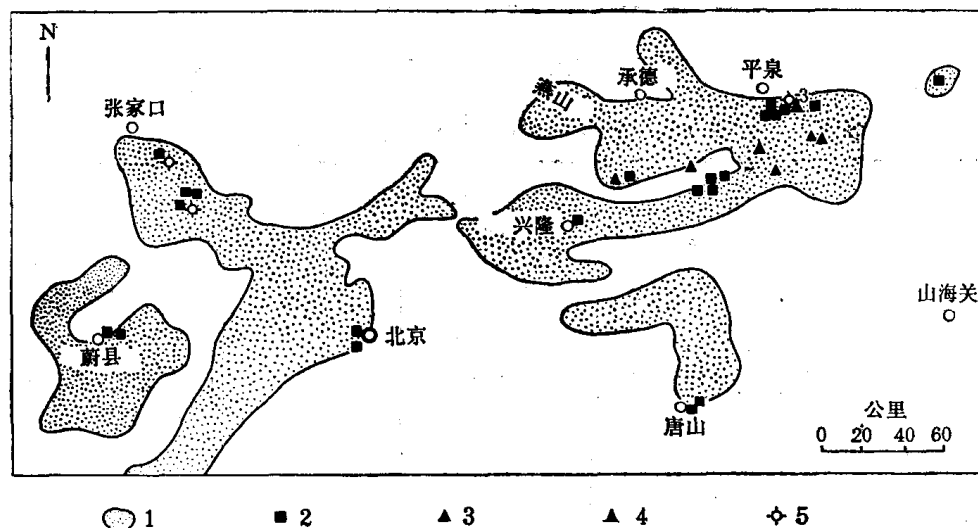


图 3. 华北震旦系至奥陶系碳酸盐岩中油苗和沥青的分布
1. 碳酸盐岩露头; 2. 油苗; 3. 沥青; 4. 取样位置和编号(见表3); 5. 钻井。

要由生物碎屑灰岩组成，上覆地层为上二叠统 (P_2) 的煤和玄武岩以及下三叠统 (T_3f) 的页岩(图 4)。三叠纪的碳酸盐岩地层 (T_c , T_r) 由白云质灰岩和白云岩组成，其中夹有蒸发岩。这些三叠纪地层之上覆盖了较厚的侏罗纪陆相页岩和砂岩地层。

表 1 列出了川南震旦纪—侏罗纪地层中天然气样品的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 年龄测定资料，结果表明下二叠统的天然气就地来源于下二叠统的岩石，即天然气既生成于又聚集于下二叠统的碳酸盐岩中(沈平等, 1984)。大部分三叠系 (T_c) 的天然气具有类似于下二叠统

地层柱状图	地层	厚度 (米)	岩 性	气油等
	Jh	514	暗灰色砂岩 粘土岩和煤层	气 少量油
	Tr	160	灰色白云岩	气 轻质油 生油岩
	Tc	650	生物碎屑灰岩 夹蒸发岩	
	Tf	400	紫色杂砂岩和页岩	盖层
	P ₂	172	含煤地层	
	P ₁	360	主要为灰色生物 碎屑灰岩	气 生油岩
	S	150	主要为紫色粉砂岩、页岩	盖层
	O	350	泥灰岩和泥岩	
	G	806	白云质灰岩 石膏和粘土岩 基底黑色页岩	
	Zb	150	浅灰色藻白云岩	生油岩 气

图 4. 川南沉积地层柱状图

表 1 川南震旦系—侏罗系 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 值和 Ar-Ar 年龄

地 层	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$		样品数	Ar-Ar 年龄 (10^6 年)
	范围	平均		
侏罗系	445—686	566	2	172—180
Tc³ Tc⁴ Tc³ Tc² Tc¹ + Tf	435—1371	875	35	大部分样品显示了与下二叠统 (P ₁) 气类似的年龄
P₂ P₁	630—1189	925	79	290
震旦系	4440—9255	7009	3	2900

的天然气的年龄,说明三叠系 (Tc) 的天然气也来自下二叠统的碳酸盐生油岩。三叠系 (Tc) 和下二叠统 (P₁) 的天然气的烃组成 (C₂—C₅ 烷烃/C₁ 值的范围大致是 0.005—0.05) 明显不同于上二叠统 (P₂) 煤层中的煤矿瓦斯气(比值 <0.001), 进一步证明了由 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 资料所得到的结论, 即下二叠统和三叠系的天然气都不是来源于上二叠统的煤层(见图 10)。

如果下二叠统 (P₁) 的天然气的确是就地成因的, 那么问题就是要确定下二叠统石灰岩是否含有适当的生油岩以形成足够的烃类来聚集成为大的天然气藏。

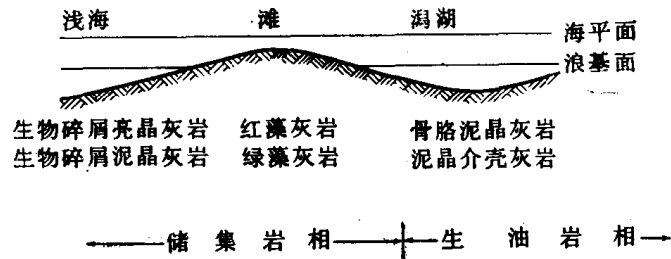


图 5. 川南茅口组碳酸盐岩相分布示意图

川南下二叠统 (P_1) 碳酸盐地层的地质研究包括露头样品和井下岩心样品的详细显微镜研究(戴永定等, 1978)说明确实存在有利的生油岩和储集岩相。茅口组 (P_1) 生物碎屑灰岩含有丰富的和种类繁多的海相化石, 这些生物在石油和天然气的生成和聚集中起了很重要的作用。茅口组中被认为属于生油岩和储集岩的主要的碳酸盐岩相包括了红藻亮晶灰岩、绿藻亮晶灰岩、有孔虫 (*Glomospira*) 亮晶灰岩和泥晶灰岩、介壳泥晶灰岩和骨屑(珊瑚骨屑)泥晶灰岩(图版 1—图版 8)。这些碳酸盐岩沉积于富含藻屑的浅海碳酸盐-滩的环境、富含介屑和骨屑的潟湖环境以及聚集了有孔虫灰岩的边缘海环境(图 5)。形成于碳酸盐-滩和边缘海环境的藻灰岩和有孔虫灰岩是好的储集岩相, 而形成于潟湖环境的介壳泥晶灰岩和骨屑泥晶灰岩则被认为是好的油气源岩。

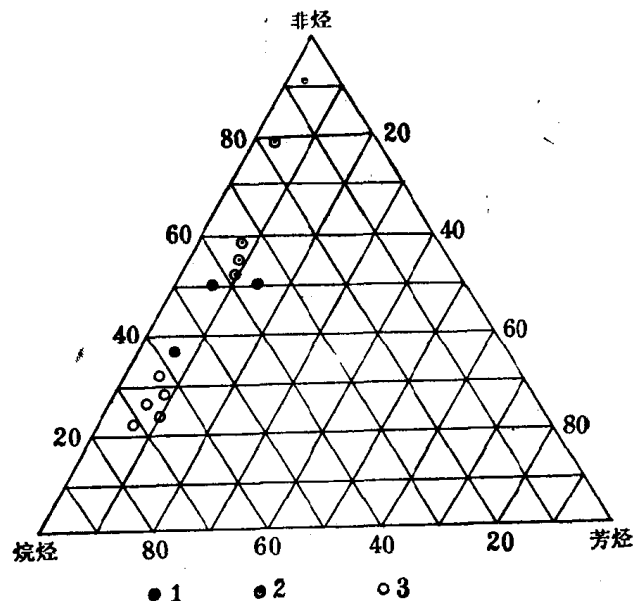


图 6. 川南碳酸盐岩中可提抽有机质的成分

1. 下二叠统 (P_1) 石灰岩; 2. 第三纪页岩; 3. 三叠系 (Tc) 白云质灰岩。

茅口组和栖霞组 (P_1) 的岩心和岩屑分析资料表明, 较纯石灰岩中有机碳的含量为 0.05—1.86%, 平均 0.35% (126 个样品), 可抽提的沥青含量平均为 120ppm (61 个样品), 而泥灰岩和泥质石灰岩的平均有机碳含量较高, 为 0.93% (61 个样品)。大部分石灰岩、泥质石灰岩和泥灰岩的有机碳含量较高, 达到了生油岩的标准。川南碳酸盐生油岩比中国东部第三纪页岩生油岩更富含烷烃和芳烃(图 6)。古宋地区茅口组和栖霞组的碳酸盐岩估计占地层 350 米总厚度中的 140 米。

二叠纪地层中碳酸盐生油岩的广泛分布及其与碳酸盐储集层的有效共生组合可能是川南盆地之所以能发现许多大型的天然气藏的一个主要原因。该地区天然气的年产量达到了 30 亿米³。

华北燕山地区

在华北的震旦系—奥陶系的碳酸盐岩中已发现了烃苗包括油苗和沥青苗,尤其在燕山地区的震旦纪地层中尤为普遍。5000—9130 米厚的元古代岩石(19—8 亿年前)主要由碳酸盐岩组成,这些碳酸盐岩中烃类显示的主要形式是黑—黄色的液状原油、黑色的半液状原油和固体沥青。这些固体沥青可以部分地溶解于有机溶剂中。这个地区气的显示是不普遍的。

地质和有机地球化学证据说明烃的显示主要来源于震旦系的碳酸盐生油岩。固体沥青物质平行于沉积地层层序分布,而原油则细分散于或聚集于碳酸盐岩的小空隙和裂缝。油苗的组成明显不同于附近的第三纪陆相页岩的抽提物。油苗特别富含烷烃,包括低分子量的烷烃以及芳烃。震旦系碳酸盐岩中可能的生油岩是暗灰—黑色的白云岩和石灰岩,它们含有机碳 0.3—0.6%,沥青 100—400ppm。

在燕山地区南面的震旦系碳酸盐岩和第三纪砂岩储集层中聚集了原油,这些烃类主要来自第三纪的页岩,然而也有证据表明震旦系的碳酸盐岩有可能提供了一定的贡献。在北京南面第三纪廊固深断陷盆地中产出了廊固油田。如图 7 所示,该油田的京 30 井的原油来自奥陶系石灰岩的一个油捕,它不同于这个第三纪盆地中的其它油捕。

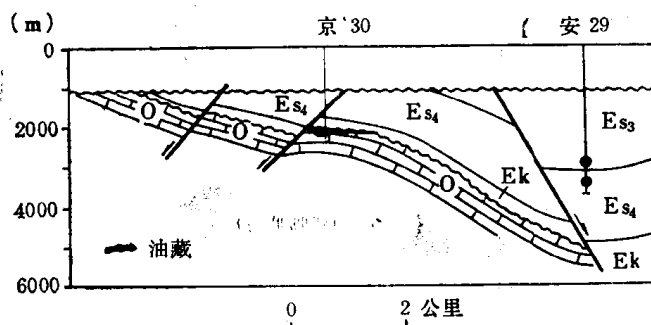


图 7. 华北廊固油田剖面

Ek. 渐新世页岩和砂岩层; Es. 始新世页岩和砂岩层; O. 中奥陶世石灰岩。

甾烷和萜烷的色谱-质谱分析资料表明,第三纪原油与可能的第三纪生油岩存在很好的对比关系,但是京 30 井的原油和第三纪页岩抽提物的对比性似乎不好(图 8)。用甾烷的 m/z 217 质量色谱图可以提出四个表示原油特征的甾烷比值(张振才等, 1981)。表 2 中列出的京 30 井原油和安 29 井页岩的这些比值表明,京 30 井原油已达到了该盆地样品

表 2 奥陶系原油和第三纪页岩中甾烷的比值

井号	样品	深度 (m)	$\frac{5\alpha-C_{27}}{5\alpha-C_{29}}$	$\frac{5\beta-C_{27}}{5\alpha-C_{27}}$	$\frac{5\alpha-20S-C_{29}}{5\alpha-20R-C_{29}}$	重排甾烷 $\frac{5\alpha(C_{27} + C_{28} + C_{29})}{5\alpha(C_{27} + C_{28} + C_{29})}$
京 30	原油	2001—2037	1.84	1.8	1.8	1.1
安 29	页岩	2835	1.11	0.6	0.3	0.4
安 29	页岩	3515—3520	1.64	1.4	1.0	1.0

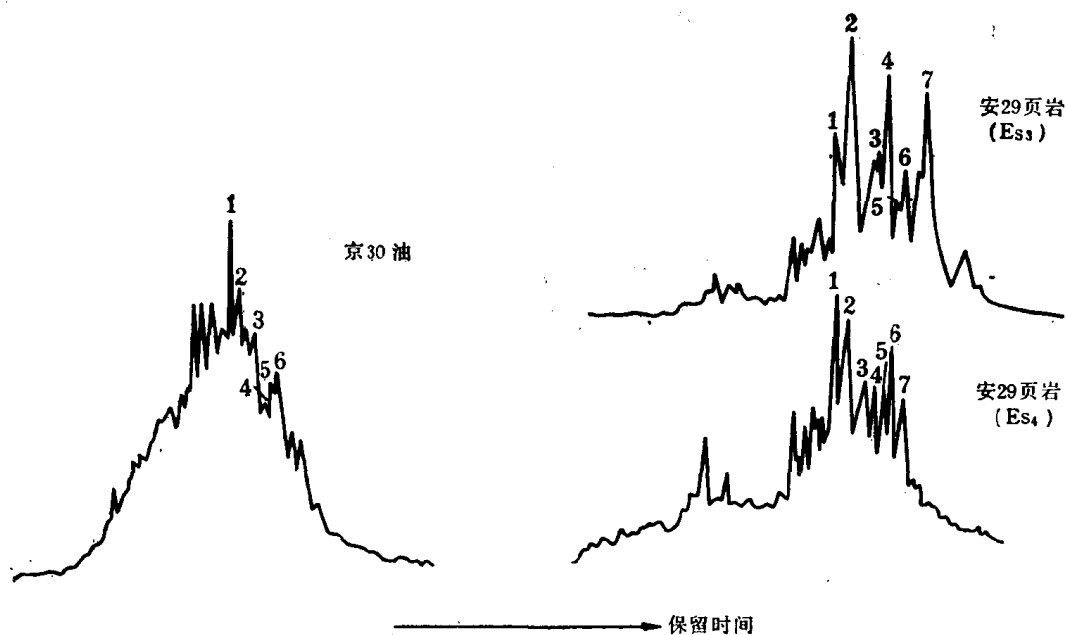


图 8. 奥陶系原油的 m/z 217 质量碎片图

中最高的成熟度 (Mackenzie 等, 1980)。因此作者认为京 30 井原油有可能来源于奥陶纪灰岩或盆地中较深层位的石灰岩。但要解决京 30 井原油的油源问题还需要做更多的工作。

碳酸盐岩中烃的晚期演化

正如许多石油地质学家和石油地球化学家(如 Hunt, 1967; 周中毅和贾蓉芬, 1974)所指出的, 有机质的丰度和沉积环境是形成碳酸盐生油岩的重要因素, 热成熟度对碳酸盐生油岩的形成也很重要。中国东部碳酸盐岩中的烃类一般都经历了较强的热历史并达到了演化的较高阶段。川南震旦纪和古生代的碳酸盐岩地层是烃类晚期演化的一个很好的实例。在野外调查和实验研究的基础上, 笔者系统地讨论了烃类的演化并确定了原油消失的下限以及工业天然气藏生成和聚集的下限。显然, 晚期热演化阶段烃的组成特征可用来帮助在碳酸盐岩中勘探石油和天然气以及帮助确定中国东部地区可能的生油岩。

晚期阶段的烃具有许多演化的特征。总的来说, 重烃和轻烃之比低, 因而所发现的天然气比原油更多。在碳酸盐岩中发现的原油和油苗几乎都由轻烃组成, 大部分分散的和聚集的固体沥青都是热变质成因的, 尤为重要是能够反映有机质前身物性质的某些生物标记化合物和明显的正构烷烃的分布特征已经消失了。川南所有的岩石, 包括碳酸盐岩和富含陆相生物的含煤地层在正构烷烃的组成上都非常相似, 它们都由轻烃组成, 几乎看不到奇偶优势(图 9)。90 个不同类型岩石样品的奇偶优势 (OEP) 平均值为 1.01, 变化范围是 0.87—1.16, 正构烷烃的主峰碳是 C_{20} (汪本善等, 1975)。

除了上述晚期热成熟阶段的烃演化特征之外, 碳酸盐岩中烃的演化也还有在某些特定的变化。随着地质年代的变老和埋藏深度的增加, 在有机质中发生了一系列的变化, 例

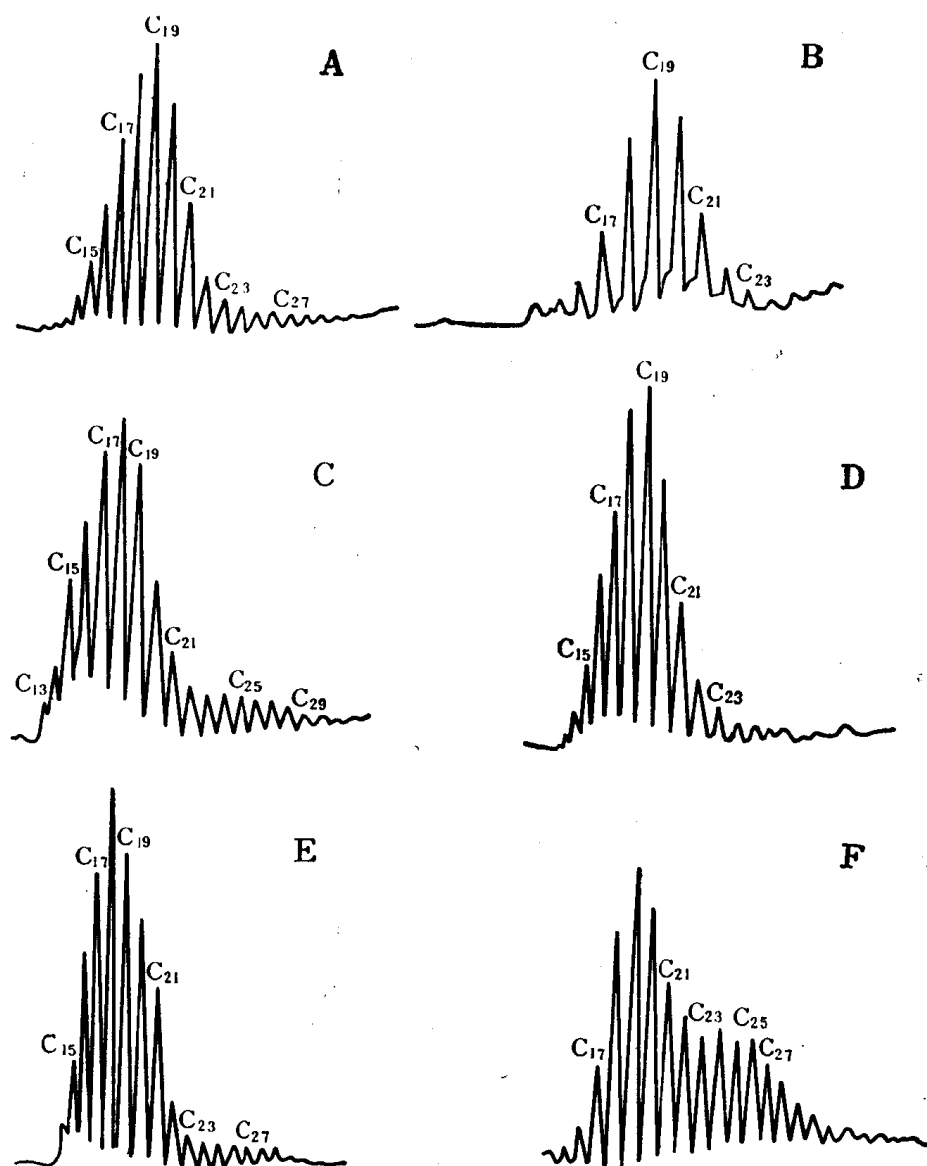


图 9. 川南岩石样品中正构烷烃分布气相色谱图

A. 石灰岩 (Tc); B. 陆相页岩 (P₁); C. 石灰岩 (P₁); D. 石灰岩 (O₂); E. 石灰岩 (C₁); F. 白云岩 (Zn)。

如: (1) 岩石中吸附烃(如乙烷和其它较重的气体烃)逐渐减少,而仅仅保留了甲烷 (图 10)(张丽洁和王文琳,1978); (2) 可溶沥青和有机碳的比值明显地减少,在图 11 剖面底部几乎达到零(烃和有机碳的比值随深度的变化也具有类似的关系); (3) 干酪根和固体沥青的反射率 (R_o) 从 0.59% 增至 4.5% (表 3),而它们的 H/C 原子比由 1 变到约 0.3 (图 13); (4) 固体沥青烯则变质成为碳沥青 (图版 9—11)。研究沥青物质成熟度的一个有效的方法是 X 射线衍射法。笔者用这个方法观察到它的变化相当于晶间距 (d_{002}) 从 3.91 Å 到 3.44 Å (表 3),这可被用做热成熟度指标。

笔者在川南确立了一个碳酸盐岩中烃类晚期演化的极好剖面。该区存在一些不同的工业产层,地质和地球化学资料表明三叠系储层中的原油和部分天然气来自于三叠系生

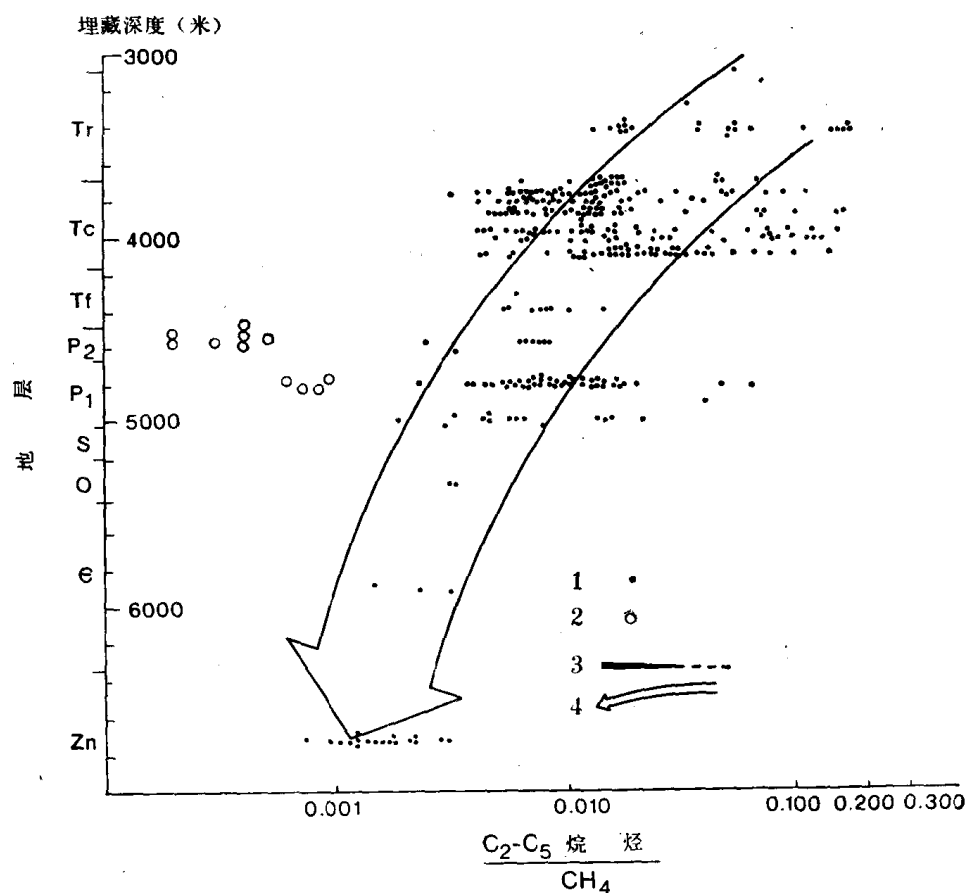


图 10. 川南震旦系—侏罗系岩石的成熟度

表 3 中国东部碳酸盐岩中某些沥青样品的成熟度指标

样品号和位置	地 层	H/C(原子比)	最大反射率 $R_o(\%)$	X 射线衍射晶间距		备注
				$d_{002}(\text{\AA})$	$d_{100}(\text{\AA})$	
1 四川北部	S	1.18	0.59	3.9069		原油和天然气
2 辽宁(煤)	Pg	1.00	0.62	3.8567		
3 河北	Zn		0.59—1.00			
4 贵州	O	0.90	1.09	3.5442		
5 川南	Tc		1.51			
6	P ₁		1.65			天然气
7 川南	P ₁	0.73	1.85	3.5147		
8 广西	D ₂	0.19	3.85	3.5065	2.0891	
9 广西	D ₂	0.27	3.84	3.5092	2.0939	
10 广西	D ₂	0.19	4.8	3.4849	2.0822	
11 川南	Zn		4.5	3.4703		
12 四川	Zn	0.37	>4.5	3.4434	2.0385	
13 四川北部 (沥青岩)	S	0.63	4.01	3.4930		模拟实验条件: 400 °C, 500 大气 压, 400 小时
14 辽宁(煤)	Pg	0.48	1.84	3.5366		

油岩,而二叠纪地层中发现的天然气则来自于二叠系生油岩。震旦系中的天然气可能来自震旦系的岩石或埋藏更深的岩石。根据大量的勘探资料和分析数据,笔者发现原油

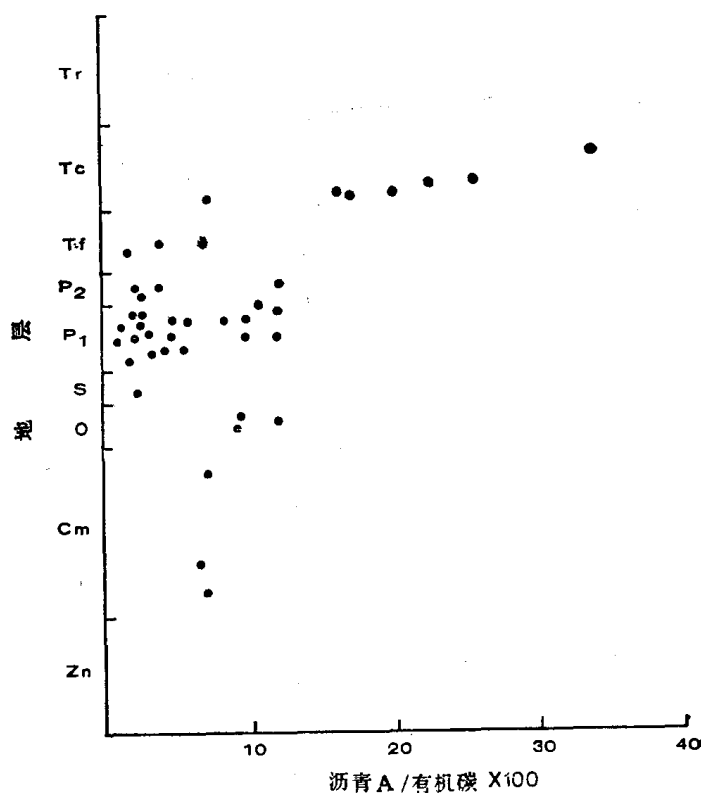


图 11. 沥青A与有机碳比值随地层间隔(地质时代)的变化

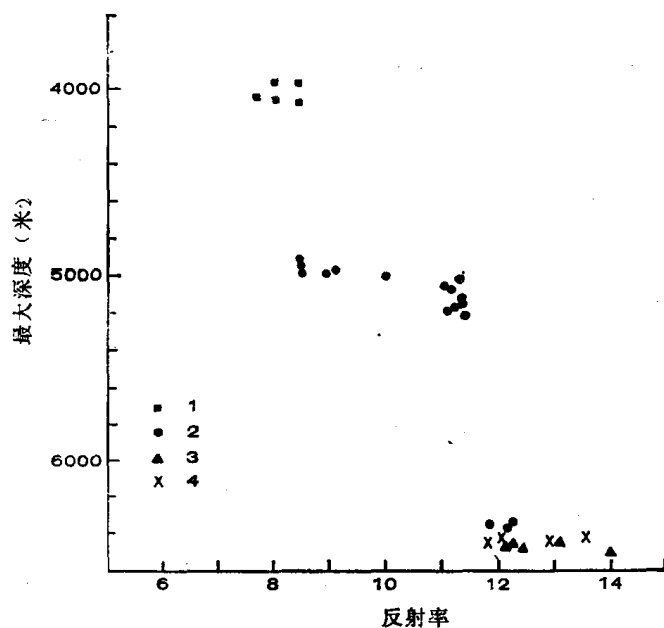


图 12. 有机质反射率随最大埋藏深度的变化(川南)

1. 页岩中的镜质体; 2. 碳酸盐岩中的干酪根; 3. 碳酸盐岩中的焦沥青; 4. 石英晶体中的焦沥青。反射率为 $R_o(\%)$ 。

和天然气组成随着地质时代和埋藏深度的增加而发生某些有趣的变化。有证据表明原油只存在于下三叠统 (T_3f) 以上的地层 (Tc^1 、 Tc^3 、 Tc^5 、 Tr 、 Jh 等, 见图 4) 以及 T_3f