

运移对生物标志物的影响

曾宪章 刘淑珍 马顺平

(华北石油勘探开发研究院)

本文通过对冀中坳陷霸县凹陷岔河集油田渐新统东营组 and 沙河街组几层具有相同来源的原油的分析对比,探讨了运移对甾烷、萜烷类生物标志物分布特征的影响。研究表明, C_{21} — C_{22} 低碳数甾烷、重排甾烷、甾烷 $\alpha\alpha\alpha$ -20S 异构体和 $\alpha\beta\beta$ - (20R+20S) 异构体的相对丰度,以及三环萜烷的相对丰度,均随运移而增加。在确定油源和母岩成熟度以后,这些生物标志物相对丰度可以作为运移指标。

近几年来,有关运移对生物标志物分布特征的影响的报道很多,但认识却不完全一致。W.K.Seifert 和 J.M.Moldowan (1980, 1981) 认为,原油在运移期间会发生地质色层分异效应,所含甾烷的 $\alpha\beta\beta$ 型异构体较之 $\alpha\alpha\alpha$ 型异构体易于运移,萜烷中的三环组分比五环萜烷运移得更快。他们编制了根据甾烷 C-20 和 C-14、C-17 位上立体化学变化判断原油成熟度和运移作用的模式图^[2,3]。C.F.Hoffmann 等人 (1984) 在研究印度尼西亚加里曼丹马哈卡姆三角洲汉迪尔油田具有相同来源、但经历了不同距离运移的 9 个原油样的生物标志物分布特征时,却没有看到甾烷的这种分异现象,而只发现单芳甾烷相对富集。因此,他们认为,单芳甾烷/三芳甾烷这一比值对运移作用更敏感^[4]。Cs.Sajgó (1984) 通过对匈牙利东南部 Makó-Hódmezővásárhely 地堑 4 组共 25 个经受了不同程度运移影响的原油样品的研究,得出了同 C.F.Hoffmann 等人 (1984) 相同的结论^[4]。

为了探讨运移究竟是否影响甾烷、萜烷类生物标志物的分布特征,我们对冀中坳陷霸县凹陷岔河集油田几层同是来源于沙河街组三段生油岩的原油,进行了分析对比。下面报道的是初步研究结果。

一、地质背景

岔河集构造位于渤海湾盆地冀中坳陷中部的霸县凹陷西侧,是一个为北北东向和东西向两组正断层所复杂化的逆牵引背斜(图1)。该构造具有多套含油层系,目前已发现的含油层系有渐新统东营组一、二、三段和沙河街组一、二、三段,主要产层是东营组三段(Ed_3)和沙河街组一段(Es_1)上部。

以往曾对岔河集油田的地质特征及其形成条件作过较深入研究(例如段佩潜等,1981;吴华元和梁狄刚,1984),结果表明,该油田具有以下几个特点:

1. “下生上储”式的生储盖组合 岔河集油田邻近霸县凹陷中心。该凹陷东营组 and 沙河街组一段上部, 是一套红层, 不具备生油能力。而油田附近沙河街组三段成熟生油岩, 厚度大于 500 m, 有机碳含量平均为 1% 左右, 烃的平均含量达 689 ppm, 达到了好生油岩标准。因此, 该地区呈现出生油层在下、储层在上的“下生上储”特征。

2. 供油断层发育 岔河集油田的东、西两侧和内部有 12 条断距为 100—300 m, 最大可达 800 m 的正断层, 为原油从生油层向圈闭运移提供了通道。

3. 具备“两期”相一致的配置条件 构造形成、断层活动期与生油层的大量排烃、运移期相一致。

岔河集构造是在渐新世东营时末这次大的构造运动时期, 伴随着霸县凹陷西界牛东大断层的活动而形成的。在构造开始发育的渐新世沙一时, 作为该油田可能生油层的沙三段埋藏还很浅, 尚未成熟(图 2A)。而在构造发育最为明显的东营期, 随着牛东大断层的强烈活动, 派生了许多次一级断裂, 形成了岔河集断裂背斜。这时, 沙三段已部

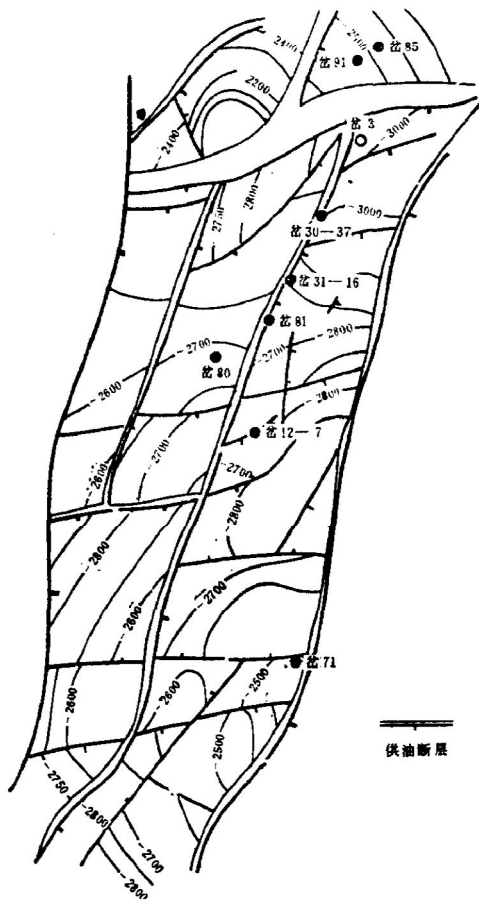


图 1 岔河集油田构造图(东三段底界)

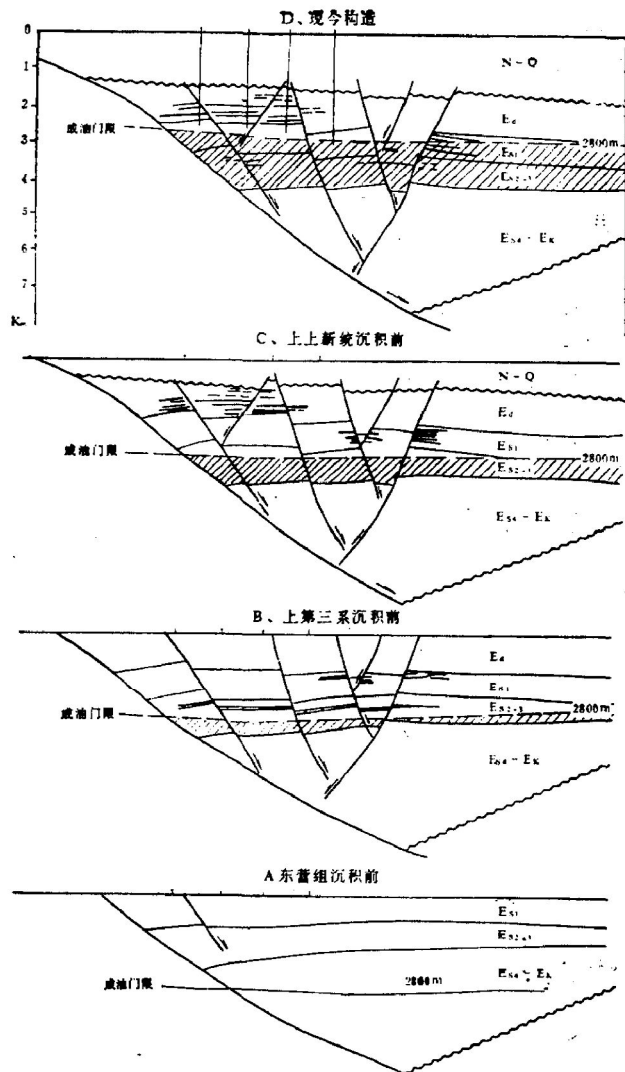


图 2 岔河集油田形成发育图(吴华元等, 1984)

分埋到生油门限深度以下,生成的油气开始沿断面向上运移(图2B)。到中新统馆陶组沉积时,大规模的构造活动已经过去,岔河集构造基本定形,沙三段生油岩也已全部成熟,大量排出的烃类进入上覆的圈闭内聚集下来,形成了岔河集油田(图2C)。

根据上述地质特征推断,岔河集油田东营组和沙一段原油,当来自下面的沙三段生油层。

二、油源的地球化学证据

为了证实上述推断,我们在岔河集构造不同断块、不同储层和不同深度,采集了8个具有不同物性的原油样品(取样井位见图1,原油产层、埋深及物性见表1),用多离子检测法(MID)进行了GC-MS分析,并用已被许多作者(曾宪章等,1982;史继扬等,1982;周光甲等,1984)证实不受成熟度影响、却能充分反映原始沉积有机质组成特征的 $\alpha\alpha\alpha$ -20R构型的 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 甾烷的相对组成,以及螺旋三萜烷、奥利烷、 γ 蜡烷的相对丰度等指标,与东营组、沙一段、沙三段等有关生油岩作了对比。对比结果表明:

表1 岔河集原油的井深、层位及物性

井号	井深(m)	层位	比重(d_4^{20})	粘度(50℃, mp)	胶质+沥青质(%)	含蜡量(%)
85	2310—2337	Ed ₃	0.7912	1.35	1.74	13.27
30-37	2877—2882	Es ₁	/	/	/	/
31-16	2899	Es ₁	0.8385	5.84	9.73	19.65
12-7	2849—2900	Es ₁	0.8437	6.96	14.31	17.63
71	3268—3284	Es ₁	0.8542	7.80	11.15	12.70
81	3632—3658	Es ₂	0.8596	10.00	21.50	23.80
91	3630—3670	Es ₃	0.8467	7.64	23.50	22.10
80	3922—3926	Es ₃	0.8902	50.91	29.50	24.60

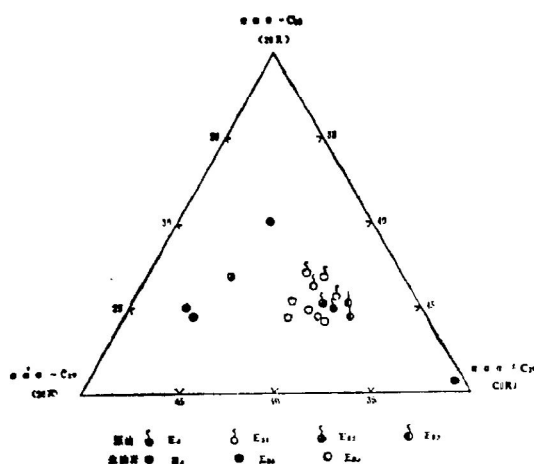


图3 岔河集原油和生油岩甾烷对比三角图

1. 岔河集油田从东营组到沙三段的几层原油, 尽管其物性明显不同, 但 $\alpha\alpha\alpha$ -20R型 C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29} 三种甾烷的相对组成, 非常相似。它们都以含有相对丰度较高的 C_{29} 甾烷为特征, 其点群恰好同沙三段生油岩落在一起, 而同东营组及沙一段生油岩则相距较远(图3)。由此可见, 这几层原油确实同源, 它们都和沙三段生油岩具有明显的亲缘关系。

2. 岔河集油田几层原油的五环三萜烷组成特征与甾烷相吻合。它们均明显含有来源于陆生高等植物的奥利烷和螺

旋三萜烷，螺旋三萜烷/ $\alpha\beta$ - C_{29} 藿烷以及奥利烷/ γ 蜡烷这些比值非常接近，并且与沙三段生油岩具有很好的可比性（点群集中在一起），而同东营组、沙一段生油岩却明显不同（点群相距很远，图4）。这进一步证实了岔河集油田东营组和沙一段等浅层原油，同沙三段原油具有相同的来源，它们都是从下面的沙三段生油层运移上来的。

三、运移的影响

从8个原油样品的GC-MS分析结果中，我们发现，岔河集油田具有相同

来源的几层原油，尽管其上述油源指标非常相似，但就整个甾烷、萜烷分布特征看，却有明显差别，主要表现在不同层位和不同深度的原油，其 C_{21} — C_{22} 低碳数甾烷、重排甾烷、 $\alpha\alpha\alpha$ -20S甾烷和 $\alpha\beta\beta$ -(20R+20S)甾烷以及三环萜烷的相对丰度各不相同。更有趣的是，通常被用来作为成熟度指标的甾烷比值 $\alpha\alpha\alpha$ -20S- C_{29} / $\alpha\alpha\alpha$ -(20R+20S)- C_{29} 、 $\alpha\beta\beta$ -(20R+20S)- C_{29} / ΣC_{29} 、 Σ 重排甾烷/ $\alpha\alpha\alpha$ -20R- $C_{27+28+29}$ 以及萜烷比值 Σ 三环萜烷/ $\alpha\beta$ - C_{30} 藿烷等，其数值都和原油储层深度呈负相关关系（原油埋藏越浅，这些比值反而越大，见表2和图5）。显然，这不能用原油聚集后所经受的热力作用不同来解释，因为储层越浅，地温通常越低。也很难用原油在生油岩中已经达到的成熟度就不相同来解释，因为该油田邻近凹陷且埋深达4215—4180 m的岔3井沙三段生油岩，其 $\alpha\alpha\alpha$ - C_{29} 甾

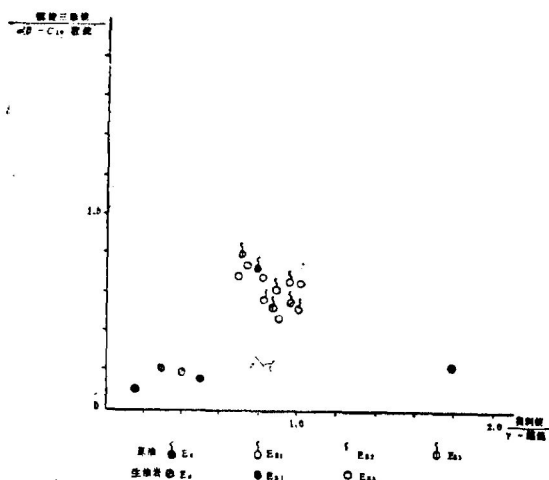


图4 岔河集原油和生油岩甾烷对比图

表2 岔河集油田几层原油及其生油岩的甾烷、萜烷比值

井号	井深 (m)	层位	样品 类别	甾 烷			萜 烷
				A	B	C	Σ 三环 $\alpha\beta$ - C_{30} 藿烷
85	2310—2337	Ed ₃	原油	50.9	50.8	1.62	1.01
30-37	2877—2882	Es ₁	原油	39.8	34.6	0.71	0.62
31-16	2899	Es ₁	原油	42.6	33.0	0.73	0.59
12-7	2849—2900	Es ₁	原油	40.0	34.8	0.69	0.58
71	3268—3284	Es ₁	原油	38.7	32.6	0.45	0.33
81	3632—3658	Es ₂	原油	39.4	29.0	0.36	0.20
91	3630—3670	Es ₃	原油	37.9	31.8	0.40	0.23
80	3922—3926	Es ₃	原油	35.6	25.3	0.34	0.15
81	3755—3780	Es ₃	生油岩	34.4	23.0	0.20	0.15
3	3932—3945	Es ₃	生油岩	34.7	25.7	0.31	0.16
3	4215—4180	Es ₃	生油岩	36.8	31.6	0.37	0.24

A= $\alpha\alpha\alpha$ -20S- C_{29} / $\alpha\alpha\alpha$ -(20S+20R)- C_{29} %

B= $\alpha\beta\beta$ -(20R+20S)- C_{29} / ΣC_{29} %

C= Σ 重排甾烷/ $\alpha\alpha\alpha$ -20R- $C_{27+28+29}$ 规则甾烷

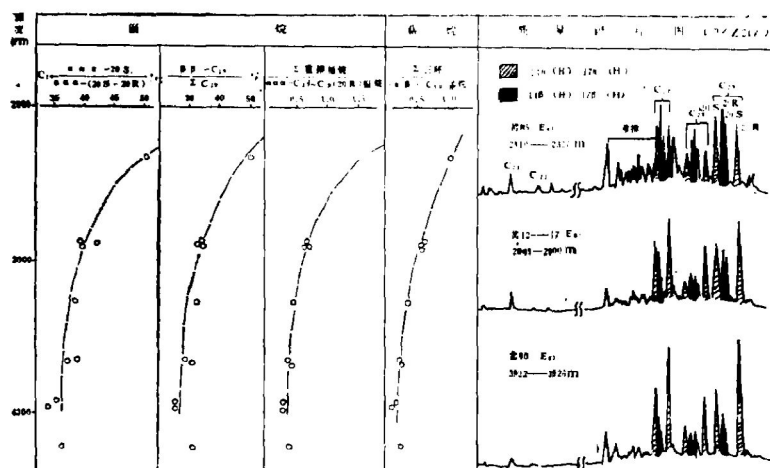


图5 岔河集原油留烷萘烷指标与储层深度的关系

烷 $20S/(20R+20S)$ 值仅 36.8%, $\alpha\beta - (20R+20S) - C_{29}$ 留烷 / ΣC_{29} 留烷值仅 31.6%, 都远远低于岔 85 井 2310—2337 m 的原油 (这两个比值分别为 50.9% 和 50.8%, 见表 2)。我们认为, 上述负相关关系的出现, 是由于原油在运移过程中发生了分异效应。其依据是:

1. “自生自储”式原油与母岩具有很好的相关性 在被分析的 8 个原油样品中, 埋藏最深的岔 80 井沙三段 (3922—3926 m) 原油, 来自本段母岩, 运移距离很近, 可以认为没有发生过分异作用。事实上, 也正是这个原油样品, 与沙三段生油岩呈现出很好的相关性, 它的各项生物标志物指标值, 都同岔 3 井沙三段 (3932—3945 m) 生油岩非常近似 (表 2)。

2. 埋深相似的原油, 具有相似的生物标志物比值 岔河集油田几层原油, 不论断块和层位是否相同, 只要储层埋深相似, 其各项生物标志物比值就相近似。例如, 分属两个不同断块的岔 81 井沙二段原油和岔 91 井沙三段原油, 埋深都是 3600 多米, 其“地质型”留烷、重排留烷以及三环萘烷的相对丰度就都比较近似 (表 2)。岔 31 断块的岔 31-16 井、岔 30-37 井和岔 12 断块的岔 12-7 井 3 处埋深基本相同的沙一段原油, 上述各项生物标志物指标值也都很相近。这种相似性很可能反映原油的运移距离相近。由于该油田原油的运移方式主要是纵向运移, 所以储层深度在一定程度上反映了运移距离。

3. 不同的运移途径, 导致了不同的结果 值得注意的是, 在纵向上同岔 30-37 井只差 450 m 左右的岔 85 井沙三段原油, 呈现出异常高的相应比值 (表 2)。这是由于它经历了不同运移途径之故。根据测压和声速时差等资料分析, 岔河集油田邻近凹陷中心的沙一段—东营组, 为一地区性的高压异常带 (图 6), 它对原油的垂向运移起了隔层作用, 迫使原油沿着高压异常带下部的砂层由凹陷中心的欠压实部位向边缘正常压实区作较远距离的侧向运移, 从而增加了分异作用。

综上所述, 岔河集油田几层原油中重排留烷、“地质型”留烷以及三环萘烷的相对丰度, 与运移距离密切相关。这证实了运移过程中的地质层析效应, 是导致生物标志物分布特征发生变化的主要影响因素。

岔河集原油在运移过程中, 出现如此明显的分异作用, 可能与其储层特征有关。据

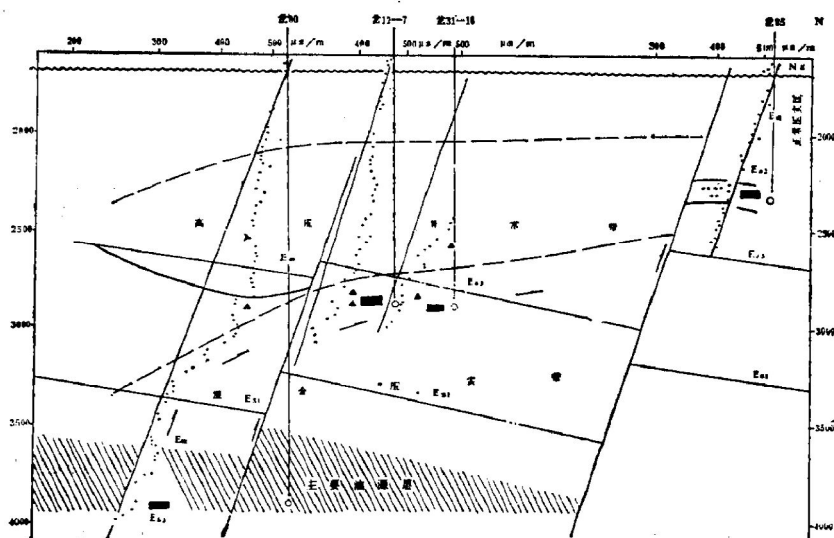


图6 压力异常与油藏分布剖面图

研究, 该油田储层主要为含泥质长石细-粉砂岩, 粒度中值介于 0.08 至 0.15 mm 之间, 泥质胶结, 胶结类型多为孔隙-基底式和基底式, 渗透率多在 100 mD 以下 (秦珂林, 1984)。

应当指出的是, W.K.Seifert 等人 (1981) 认为甾烷 $\alpha\alpha\alpha-20S/\alpha\alpha\alpha-20R$ 值不受运移的影响, 然而岔河集油田的研究结果表明, 这一比值也明显受运移影响。而且, 这种现象不单是岔河集油田存在, 其他地区也发现过。我们就曾在我国某盆地遇到过一些与生油岩相距甚远的原油, 其 $\alpha\alpha\alpha-C_{29}$ 甾烷 $20S/(20R+20S)$ 值高达 60.7—64.4%, 显然是受了运移的影响。

甾烷 $\alpha\alpha\alpha-20S$ 和 $\alpha\alpha\alpha-20R$ 两种异构体, 在运移中发生分异作用是不难理解的。因为 C-20 位上构型的不同, 对其分子的总长度有很大影响^[5]。就 $\alpha\alpha\alpha-20S$ 和 $\alpha\alpha\alpha-20R$ 这对异构体而言, 前者分子总长度比后者要小, 这势必造成两者流经地质色层柱的难易程度有所不同, 从而产生分异作用。

四、结 论

1. 在应用甾烷、萜烷类生物标志物进行油/油、油/岩对比或评价原油成熟度时, 应考虑运移的影响;

2. 在确定了油源和母岩成熟度以后, 甾烷指标 $C_{21+22}/C_{27+28+29}$ 、 $\alpha\alpha\alpha-20S-C_{29}/\alpha\alpha\alpha-(20R+20S)-C_{29}$ 、 $\alpha\beta\beta-(20R+20S)-C_{29}/\Sigma C_{29}$ 、重排甾烷/规则甾烷, 以及萜烷指标三环萜烷/五环萜烷等, 可以作为运移指标。

致谢: 本文撰写过程中, 得到罗强同志的热情协助, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] Hoffmann, C.F. et al., 1984, Chem. Geology, Vol. 42, P. 1—23.
- [2] Seifert, W.K. and Moldowan, J.M., 1980, Adv. Org. Geochem. 1979, Pergamon Press.
- [3] Seifert, W.K. and Moldowan, J.M., 1981, Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 45, P. 783—794.
- [4] Sajó, Cs., 1984, Org. Geochem., Vol. 6, P. 569—578.
- [5] Van Grass, G. et al., 1982, Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 46, P. 2399—2402.
- [6] 史继扬等, 1982, 地球化学, 第1期.

INFLUENCES OF MIGRATION ON BIOMARKERS

Zeng Xianzhang Liu Shuzhen Ma Shunping

(Research Institute of Petroleum Exploration and
Development, Huabei Petroleum Administration)

Abstract

The authors studied the biomarkers in Oligocene crude oil and source rocks of Chaheji oilfield in Hebei Province, and found out that the values of the parameters such as C_{21+22} sterane/ $C_{27+28+29}$ sterane, $\alpha\alpha\alpha$ -20S- C_{29} sterane/ $\alpha\alpha\alpha$ -(20R+20S)- C_{29} sterane, $\alpha\beta\beta$ -(20R+20S)- C_{29} sterane/ ΣC_{29} sterane, rearranged sterane/regular sterane and tricyclic terpane/pentacyclic terpane increase as the migration distance increases.

第三届全国数学地质学术会议在宜昌举行

由中国地质学会数学地质专业委员会召开的第三届全国数学地质学术会议, 1986年11月24—30日在湖北宜昌市举行。会议代表 215 人, 来自地质、石油、煤炭、冶金、有色、化工、核工业等部门以及中国科学院和大专院校。这是我国数学地质学界第六次全国性的学术活动, 也是 1981 年以来最大的一次盛会。会议共收到论文 260 余篇, 在会上宣读 170 多篇。其中关于矿产资源定量预测的 73 篇, 有关地质数据处理方法研究和应用的 45 篇, 有关地质统计学研究和应用的 26 篇, 有关地质信息的计算机管理系统、处理系统、显示系统以及其它应用软件的 21 篇, 关于计算机模拟地质过程、专家系统在地质中的应用以及国外数学地质发展动态的 13 篇。

会上发表的关于油气方面的数学地质论文共 33 篇, 涉及到资源预测、数据处理、数据库、人工智能、过程模拟等方面, 成绩显著。

五年来, 矿产资源定量预测和评价有了很大发展, 统计方法和其它数学方法在地质工作中应用的广度和深度都有所提高, 线性地质统计学的应用已趋成熟, 计算机技术的应用范围愈加广阔, 专用地质数据库、数据处理系统、绘图系统已经出现。但数学地质在上述某些方面的进展还仅是开始, 尚缺乏按专门的地质领域作系统、深入的研究。到会的同志表示要巩固已有成绩, 并向涉及不久或有待涉及的领域发展, 使我国数学地质持续不断地前进, 为加快地质学定量化作出更大贡献。

(潘源教)