

参加美国石油地质学家协会 (AAPG)

第七十四届年会和在美参观访问报告

张文昭 武守诚 钱凯 朱国华

朱国华

中国石油天然气总公司

一九八九年六月



登录号	085605
分类号	P631.4
种次号	053

目 录



200313687

一、第七十四届AAPG年会和在美参观访问情况

二、在石油地质勘探业务方面的主要收获

(一) 成熟区的油气勘探

(二) 未成熟区与新领域的油气勘探

(三) 沉积学与储层研究方面的进展

(四) 源岩研究方面的新进展

(五) 盆地分析与数字模拟

(六) 油气资源评价研究工作新进展

(七) 新技术新方法的发展与应用

三、意见与建议



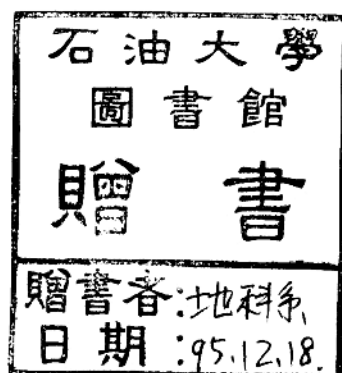
附件1, San Antonio地区地质旅行纪要

附件2, 华人石油协会石油科技研讨会

附件3, 东德克萨斯油田参观访问纪要

附件4, 为90年的邀请赛而准备: 一旧金山 (1990年6月3-5日)

附件5, 访美国墨西哥湾油气区



参加美国石油地质家协会 (AAPG)

第七十四届年会和在美参观访问报告

一、第七十四届AAPG年会和在美参观访问情况

美国石油地质家协会 (AAPG) 第七十四届年会于1989年4月23日—26日在美国圣安东尼奥召开, 中国石油天然气总公司派出张文昭 (勘探部付主任)、武守诚 (北京石油勘探院高级工程师)、钱凯 (胜利油田研究院付院长)、朱国华 (浙江石油地质研究所高级工程师) 参加这次会议。会后参加休斯敦华人石油协会举办的科技讨论会, 并受埃克森 (Exxon) 公司邀请参观访问了著名的东德克萨斯油田。历时14天 (1989年4月21日—5月4日)。

(一) 1989年4月22日—4月27日参加AAPG年会, 这次AAPG年会是和美国经济古生物和矿物学会 (SEPM)、能源矿物协会 (EMD) 一起召开, 正式会议自4月23日—4月26日共4天。来自美国和世界各国参加这次会议的人数共6300人, 少于去年 (见下表)。

年 份 (地点)	1984年 (圣安东尼奥)	1985 (新奥尔良)	1986 (Atlanta)
参加会议人数	9122	9116	3841
年 份 (地点)	1987 (洛杉矶)	1988 (休斯敦)	1989 (圣安东尼奥)
参加会议人数	4659	7645	6300

参加会议的成员主要是世界上各石油公司和其他与石油有关的专业公司, 其次是大学和各研究单位。世界上石油地质界一些知名人士也参加了会议。4月22日晚4:30—5:30我们会见了世界著名的石油地质专家哈尔布蒂, 并就石油地质有关问题进行了交谈。

会议规模比较大, 共分为5个大部分:

1. 会议论文报告和展出, 共分为七个会场同时宣读论文 (Orate Session),

共有论文331篇。

主会场设在大戏院 (Theater)，主要宣读一些综合性、方向性的大报告，是一些世界上知名专家的论坛。分会场共六个，同时宣读一些专题论文。在这次年会上，我国发表了二篇论文，武守诚、张文昭宣读了中国板块演化与含油气盆地；朱国华、钱凯宣读了粘土矿物对陕甘宁盆地南部中生界砂岩储层的影响及其意义。都受到与会者的欢迎，会后纷纷向作者索取论文。

与此同时在展览厅的东南角专门开辟了一个成果张贴会议 (Poster sessions)，由各公司、大学张贴出近期勘探、开发、科研所取得的成果 (论文摘要和图表、实物)，有专人介绍讲解，参观者有问题可以随时提问，讲解者予以回答，很受与会者欢迎，每天都有40—50项成果展出，观众十分踊跃，会议期间总共张贴出论文192篇。在张贴会议中，中国石油地质共有6篇论文，除中国石油大学郝石生、刘光第《中国前寒武纪油气》外 (论文已提交，但人未到会)，其他几篇都是与外国人合作的成果，有四川盆地、塔里木、准噶尔盆地南缘、展出的都是野外地质露头照片和人造卫星图片、成果资料。

2. 展览会 (Exhibition)

会议期间在展览大厅全面展出100多家公司、厂商的产品，包括新技术、新装备。勘探开发技术更新换代很快，所有新产品都在展厅中展出推销，也可以说这里是一个技术市场。

其中集中地反映在高技术—即计算机软件的宣传及销售上，展厅中约1/3面积为计算机所占用，充分反映出当代石油地质中广泛利用电子计算机的水平。在展厅另一个角落是有关石油地质、物探勘探的图表、杂志展览销售、和加工很精致的岩矿、古生物标本展览销售，也只有在这个场合可以选购你有用的图书、杂志和岩矿化石标本。这是一个很难得的机会。

3. 短训班 (short courses)

会前和会议期间由南德克萨斯地质学会、经济、古生物和矿物工作者协会，和AAPG就近期石油地质的新进展和新技术联合举办1—3天的短训班，此次年会共举办短训班9个，每班人数自30—150人不等，每人收费60—850\$元。这是对石油地质人员再教育的好机会。

这次我们参加了二个短训课，钱凯参加了STGS (南德克萨斯地质学会) Courses

1: 利用油井和露头资料进行地震地层层序的解释。武守诚参加了STGS Courses

2 勘探工作者计算机业务介绍,获得了一套完整的资料,拟翻译后供有关人员使用。

4. 野外地质旅行 (Field Trips)

在会议前后和会议期间都有野外地质旅行,共有路线13条,短的一天,长的可达5天,费用从55—561\$不等。我们4人就近选择了“圣安东尼奥地区地质”,观察了南德克萨斯白垩系灰岩露头 and 第三系陆层,观察了白垩系油、水层储层和盖层的岩性露头(见附件1)。

5. 在会议期间还有很多社交活动和旅游,如鸡尾酒会、看戏、参观动物园、古老圣安东尼奥夜游……等。会议轻松愉快、生动活泼。

(二) 1989年4月29日参加休斯敦华人石油协会在休斯敦举办的科技讨论会。

休斯敦华人石油协会成立于1982年,目前已有会员130多人,是一个以非营利性、非政治性的华人学术联谊团体。每年在AAPG和OTC(国际海洋技术会议)会议期间均要召开技术讨论会,是美国的华人石油界和海峡两岸中国石油界科技成果交流和联络友谊的好机会。这次科技讨论会于4月29日在休斯敦大学工程馆召开,参加会议的除休斯敦华人石油协会会员外,还有中国石油天然气总公司4人,中国海洋石油总公司8人和中国石油股份有限公司(台湾)3人,共20余人。4月29日大会报告共有8篇论文,我们4篇,华人石油学会4篇,(见附件2)。与会者对王国定发表的《在美成立华资石油公司的构想》感到兴趣(见附件3)。

4月30日在华人石油协会姚凤北先生陪同下,于休斯敦附近参观了墨西哥湾沿岸(陆上和浅海海滩)的油田,这个油田叫鹅溪油田(Goose Creek oil and gas field)。1908年发现的,已经开发了30多年了,现在还在打调整井,有很多家石油公司经营(有Exxon、Coastal和雪夫龙公司……),在地面上划成很多小块,有些小块只有几百到几千平方米,只能打1—2口井,有些井距只有5—10m。这反映了外国公司对复杂油田的勘探历程和经营方式。这些位于浅海海滩的小油田都是因地制宜因陋就简地用单井小平台进行采油,这对我国今后渤海湾浅海勘探开发是一个启发。

4月30日下午,华人石油协会与北美中华地球科学协会联合召开油气勘探座谈会,参加会议的中国、台湾等石油公司,华人石油协会等共20余人;主要议题是如何开展高成熟地区的油气勘探、和深层天然气勘探。华人协会翁和航、胡子川、黄建章、黄武良等介绍了墨西哥湾沿岸和浅海成熟区油气勘探情况和认识。

提出成熟盆地勘探应以寻找小油气田为目标，特别要注重断层圈闭，地层岩性圈闭、不整合圈闭（包括下切河谷、河道）和成岩圈闭（包括深层砂岩之孔隙异常），在勘探方法上必须有创新的勘探观念，要运用精确的震测影像（三维地震、VSP、RVSP、Tomography...），层序地层学（sequence），详细的沉积相分析和成岩的模式。在这次会议上我们已收集有关论文十余篇，拟翻译出版。

（三）1988年5月2日受Exxon公司邀请，由Exxon公司勘探部地质顾问Leslie White、油藏工程师 Georg Mc Carthy和Teresa Brady 等三人陪同参观了德克萨斯油田和展览馆，这是1930年发现的美第二大油田，由30多家公司共同经营，1933年高峰期年产量达2760多万吨，目前年产量约500万吨（日产油量11万桶）（合1.6万吨/日）。全油田全部是自动化遥控，体现了三十年代的老油田、八十年代的新水平。油田上绿树成荫、草坪遍地、非常美丽。这个老油田已经开发了59年，现在还在调整，建立新的注水站，由几十家公司共同管理。（详见附件3）。

5月3日离休斯顿经旧金山回北京。

二、在石油地质勘探业务方面的主要收获

（一）成熟区的油气勘探

成熟区，可以是很大的区域，也可以是一个大区中的某一部份。这里选择墨西哥湾和奥克拉荷马州及加利福尼亚州的部分地区为例，说明，即使人们公认的高成熟区，勘探工作也仍然可以有所作为。

（1）墨西哥湾地区

1. 主要工作量

1937年海上钻第一口井，水深10英尺，木头平台。到1987年共钻23569口，生产井11814口，干井11755口，平台3077个，管线长1546英里。

2. 储量

海上已找到可采石油储量110亿桶，天然气130兆立方英尺。其中世界级大油田20个，大于1亿桶的80个，小油田500多个。已采出石油70亿桶，天然气50兆立方英尺，剩余石油可采储量40亿桶，天然气80兆立方英尺。

3. 储量发现史

墨西哥湾海上储量发现史上出现了四次高峰。

①1948年，第一次高峰。

当年发现储量23.1亿桶。原因是，当时的单波道地震技术已能把大构造准确

地找出来发现了一批大和较大的油气田。

②1958年，第二次高峰。

原因是迭加地震技术投入实际应用，这年发现可采储量27亿桶。

③第三次高峰出现在60年代末，70年代初。

最高年发现储量20亿桶。这次高峰与技术进步关系不大，主要是因为油价上涨的刺激，特别是从1973年阿拉伯石油涨价开始。

④第四次高峰出现在80年代。

这时，勘探面临着比以往都要大的困难。但是，由于地震技术与沉积学理论的紧密结合特别是偏移迭加、亮点技术、深度偏移、层序地层学、新沉积模式及微地层学理论和技术的应用，地球化学在沉积学与地史学理论指导下对一些生油禁区的开放，为第四次高峰的出现创造了条件。

随着勘探开发工作的进展，钻井采油工程技术也不断取得进步，愈来愈能适应更大的水深。

1938—1988年墨西哥湾的水域勘探工作（英尺）

	1938年	1948年	1958年	1968年	1978年	1988年
①招 标 水 深		100	250	600	12000	12000
②租地最大水深	60	90	200	440	2940	9300
③钻井最大水深	10	17	125	385	2000	7520
④生产井最大水深		16	90	285	355	1025

4. 现状与未来

墨西哥湾现有石油剩余可采储量40亿桶，天然气80兆立方英尺。预测还可找到60.3亿桶石油，59.4兆立方英尺天然气。当前有三个重要认识在鼓舞着人们进一步进行油气勘探活动。

①墨西哥湾从石炭纪→侏罗纪→白垩纪→第三纪，为退复沉积，储层及油气

藏，特别是第三纪油气藏呈平行海岸的带状分布。由于同生断层的作用，第三系三角洲及滩坝相砂岩的厚度轴常与控制沉积的断层平行。向岸靠断层遮挡，向盆地中心尖灭，其间断块、滚动背斜岩性圈闭均可储油。生油岩向盆地中心时代渐新，而储层、圈闭、油藏渐次呈带向盆地中心推移。因此加密、扩大勘探都会有新发现。

②由于埋深大，地温梯度高（ $4^{\circ}\text{C}/100\text{米}$ 左右）。

过去认为墨西哥湾最晚只能到中新世，更迟便没有石油生成，现在认识到，上新世及更新世地层也能生成石油，这样对墨西哥湾的评价便大大提高，勘探领域也随之扩大。

③浊流沉积使大面积厚层碎屑岩储层可以在深水沉积中广泛发育，比如，根据最近的研究，密西西比扇厚达4000米，有17个砂岩发育层系。这样，第三纪各时期近岸、远岸地区都将可以找到石油。

可能正是基于上述认识，1989年中墨西哥湾的招标、投标活动甚为活跃，钻井工作也将明显增加。从揭晓的情况看，1989年3月，美国矿产管理局提供租地5970块共32122674.26英亩租出591块共2972566.17英亩，约达招标租地的9.2%。获得租金397513998（近4亿）美元有821标投在155块上，其中10882租地获得最高租金，每英亩3665.40美元。（平均每英亩133.7\$）。

有81家公司参予投标。其中最积极的是BP投标范围主要在墨西哥湾北部的Green Canyon和Atwater Valley地区；第二个积极分子是壳牌石油公司，他对60个区块投了标。其他公司有Chevron和Exxon。另有一个新油田公司是五个区块的最高投标者。

从成交租地之多、租金之高、投标公司的数目之大和名气之响亮看，墨西哥湾1989年的勘探活动将是很活跃的。对于此事的反映，美国矿产管理局局长Bob. Kallman说，“墨西哥湾成为新产油区的前景是光明的，对于这些地区参加投标的公司之多和1989年探井数将要增加的事实，反映了对这些地区工业前景的乐观主义态度。”

（II）俄克拉荷马地区

大会期间未见到该区的全面统计资料，但从一些个别地区的报导看，勘探显然仍在取得进展。

1. Carter 县Hewitt带发现以寒武、奥陶系泥岩为油源的油藏，据说将对未来的成功产生神奇的影响。

Hewitt带产油历史已有75余年，产出了大量石油被认为是高成熟探区。但是最近在该带中Cooftowood Creek 地区获得成功，又激起了人们找油的巨大兴趣。因为常规地球化学方法就已证明（共分析了27个油样）Cottonwood 油田中的油，来自奥陶系至石炭系的生油岩。Cottonwood和Hewitt两油田中的性质相近，是奥陶至石炭系生油岩混合的结果。由于两种原油成熟度不同，混合程度不同，原油性质有关规律性的变化，这主要取决于油运移的通道—不整合面和张性断裂。两油田原油性质相近还表明，两个油田分开前，油已进入密闭。

2. Ouachita地区

该区在Oklahoma东南部。油气产在与构造单元平行的古地理单元中。其中前缘带已产气1兆立方英尺，现在的勘探主要还是集中在前缘带的石炭系储层中，以扩大生产。但最重要的发现是1987年的 ARCO 2 井的发现和 Broken Bow 隆起 Schio 1-22 井的试油，证明Arbuckle组是Oklahoma Ouachita 下面最有前景的碳酸盐储层，下步勘探将集中在Arbuckle探区，这种构造、地层两种因素都很有利。

〈Ⅲ〉加利福尼亚州

加利福尼亚95号租地安排在1990年出租，该块包括Santa Maria 盆地。该区已达到成熟勘探阶段，但仍有三个近岸区域有很高的远景。它们是Santa Maria北岸，San pedro盆地，Point Dume和Santa monica陆架间的地区。三个区都位于陆上和海高产带之间，部分靠近洛杉矶盆地的惠明顿、高顶顿滩及新港油田。目前地震资料提供了关于该区区域和局部地质构造的清晰认识，认为是成熟区中可能有大发现的场所。

（二）未成熟区与新领域的油气勘探

未成熟油气勘探的成果，大会所提供的报告较成熟区为多，但是，我们认为这仍然只能是实际勘探成果的很小一部分。重要的有下述进展。

（I）中、南美洲

1. 东委内瑞拉盆地Monagas逆冲带上的巨大发现。

东委内瑞拉盆地北侧钻的两口深探井试出了高产工业油流，油质中到轻。产层为始新世到渐新世的块状砂岩。两口井钻在Musipán和Carito 地区，日产原油

5000到 10000桶,比重26—34° API产油地层为Caratas, los jabillos和Naricual油砂厚度超过500米, 平均孔隙度为14%。含油构造群在 Monagas逆冲带上, 由与逆冲断层相伴的东西向背斜组成。构造的地表面积为100km², 包括Furrial油田, 闭合度超过1000米。

盖层为上复的 Carapite 组页岩, 生油层为 Cenomaniaa - Turonian 阶的 Querecual页岩。

在已确定的12个远景区中, 已试油2口, 正钻3口, 在新发现的构造上已布署了控制井, 预计可找到60亿桶石油, 使该区成为拉丁美洲和西半球的最大油区之一。

2. 巴西油气勘探在不断前进中

巴西有29个可供勘探的沉积盆地。包括陆上和海岸盆地。属于 Kienme' s的 I、II、III、IV型盆地。23个油气盆地见到油气显示, 16个盆地有接近工业价值的烃类聚集, 7个盆地产油。日产水平是60万桶。现在的勘探程度是: 地震1km²/5.2km², 探井1口/1250km², 已发石油地质储量400亿当量桶。储量分布相当集中。Campos盆地占64%, Campos 和Recon-Cavo 两盆地占80%, 前四个盆地占97%。其余盆地只占3%。勘探的头十年(1954—1963) 勘探不很成功, 但从那以后便常有发现。现在潜力很大, 很有吸引力, 关键是需要大量投资, 只要有大量投资, 必定会有新发现。

目前引入注目的发现是在上亚马逊地区古生界 Solimões (少里苗尔斯) 盆地。以前认为Solimões属于上亚马逊盆地, 远景面积30万km²。近来发现实际上有purus隆起将其与亚马逊盆地分开。这一发现立刻引起注意。晚侏罗—早白垩世, 受区域性压力影响, 产生了一系列NE-SW向构造。盆地中有利探区在雁行状逆断层的上冲块上, 是典型的扭动长垣。尽管热带丛林有一系列困难, 但是还是做了大量工作, 发现了两个重要含油带, 一是jurua 含气带, 一是Urucu河油、气及凝析油带。后者于1988年投入开发, 成为巴西油气勘探史的一个重要里程碑, 特别是古生界地盆地, 在巴西有上百万平方公里的面积, 因此对投资者很有吸引力。

3. 哥伦比亚预计还可发现100亿桶石油。

这次会议上哥伦比亚的论文有10多篇, 是中南美国家提供石油地质方面报告最多的一家。

但谈到真正具体发现的还未见到。归纳起来, 总的情况是:

该国1918年产油,至1988年,累计产30亿桶,现日产水平为40万桶。预计1991年—2000年达到60万桶/日。产油盆地主要有 Ilanos (雅诺斯), Putumayo、Magdalena和Catatumbo计269000km²。1983年偶然发现Canō Limon大油田(加鸟理蒙大油田)控制该油田储量用探井56口产层为白垩系及下第三系砂岩,生油岩为同时代页岩。

现在该国勘探程度相当于加拿大1950年的水平,探井1口/200km²。预计还可发现100亿桶石油。

(II) 北美洲

1. 美国

除去海域新区及深层外,对中小油田的勘探甚为重视,陆上老探区,除气外,对中小油田及扩边勘探活动较多。已报导的例子如,在内华达pine谷就发现了三个油气田,构造上属晚中新世逆冲带,泥盆系是主要目的层之一。储层是陆架边缘相碳酸盐,形成礁—礁前—盆地相沉积体系。另外的储层有石炭系砂岩,第三系火山碎屑岩。圈闭为中生界压性构造。储层有数亿桶。

2. 加拿大

① Nova Scotia省蒸发岩中发现油气田

区内地层为下石炭至上二迭统Horton组,为陆相冲积物、河流三角洲及湖相沉积。上复层Windsor为海相碎屑岩、碳酸盐岩和蒸发岩Stoney Creek 是加拿大东部唯一的油气田。产层为陆相Korfa组。

新发现是,在上复海相蒸发岩层中见到了巨大的超压天然气流。天然气来自Windsor组底部的盐岩和硬石膏层。Horton组厚500—1000米,其上的Windsor以前没有勘探过,所以新发现意义巨大。

② Rainbow油田据三维资料,进行勘探增加了储量。

Rainbow 是加拿大西部第三大油田,储量16亿桶储层为白云岩化礁灰岩。已开发很长时间。最近据三维资料重新解释,改变了对岩层形态和规模的认识,从新探井中找到了新储量1400万桶,这才是开始。

3. 西阿尔伯达贝利河组出现新的深层大气区。

文章报导不详,但指出过去钻探深层泥浆比重过大所以失败了。现在看来深层是个大气区。

(III) 欧洲

从大会提交的论文和报告看，引人注目的还是北海。据Chevron从London北海勘探部报导，1985年在Witch Ground地堑的Horda组，中始新世砂岩中发现石油，深度为海面下6100英尺，后来打了12口井，包括斜井，圈定了Alba油田。该油田为地层圈闭，面积3600英亩，储层为半深海沉积中的水下扇体系，是建设性沟道/天然堤复合体砂岩，基层及封堵层均为页岩。储层物性：均质未固结细砂岩，平均孔隙33%。渗透率2.8达西，地下石油储量11亿桶，比重20° API。

另据报导北海设德兰盆地东部中、下侏罗有可能发现8-9.4亿立方（50-60亿桶）石油。

〈IV〉澳洲

澳大利亚东南部勘探出现好苗头。该国东南部有Otway、Bremer、Eyre geat Aastralian Bight (GAB) Duntron和Sorell诸盆地是冈瓦那大陆瓦解的产物，性质类似。发育中、新生代生储油层。其中Otway盆地发现了油气（Cape Sorell 1号井）。布了27口探井，其中17口井在Otway盆地，北部GAB盆地（400×200km²沉积岩厚10km）只布了一口井。目前勘探已见光明，未来肯定是勘探重点。

〈V〉新领域的探索

1. 北极地区水化天然气的勘探

水化气是结晶物质，由水和气组成。氢分子在网络状保存于透明水的晶格中，此种水化气在北极很多地区都有发现。西伯利亚和阿拉斯加北坡可作为潜在水化气资源区。苏联研究证明水化气是一种直接可采天然气。苏联西西伯利亚地区的Messyakh气田在过去8年中已产出大约1000亿立方英尺的水化气体。

苏联地质调查所水化气课题（苏联能源部设立）的主要目的就是确定水化气并评价认识他们的性质以及在阿拉斯加北坡的分布。

美国人研究认为，水化甲烷气的稳定带在海岸平原下分布广泛，在Prudhol湾地区，厚度可超过3000英尺。

水化气已在4口井中根据电测资料被识别出来，这是与已知井的对比确定的。从两个井段EXXON和ARCO两个公司采出了水化气。美国人发现阿拉斯加水化气主要出现在6个隔向上连续的上白垩和下第三系砂、砾岩中。地理上水化气分布在Kuparuk河油田东部和Prudhol油田西部油层之上，预测储量8-10兆立方英尺，约是Prudhol常规气储量的1/3。

这些水化气是生物气和热成气的混合物，他们或者直接形成水化气，或者进

入围闭后转为水化气。热成气的运通与重油一致是断裂。

据另外的文章报导,在各海洋现代沉积物中也有分布。

2. 对南极近期勘探目标的认识

美国1988年作了3200米的地震剖面,据此,结合陆地露头 and 深海钻井资料再造了陆架的演化历史。当Atuk扩张中心逐渐俯冲到南极板块边缘下时,该区逐渐由主动边缘变为被动边缘。新生界沉积作用受构造和古气候控制。影响沉积作用的主要因素是①大陆植被的破坏,河流的消失②大面积冰基的形成③陆架在冰川作用下加深④晚中新世海侵作用增加。研究指出,南极半岛大陆架油气远景向南变好,原因是适合的储层沿该方向上增加。在Hero断裂带北部较差,在Hero和Tula之间中等,Tula断裂带南部是较好的。

3. 中央阿伯拉契亚盆地泥盆系页岩中产气带的探索。

研究认为,①该盆地有大量还未被开发的天然气资源;②生气母质为陆源植物和海相藻类;③储气层是盆地发育早期的粒碎屑岩(包括浊流沉积)中的变层;④高产带沿断层分布,这是勘探的战略方向。

4. 关于新方向的探索,论述不详。如:致密气储层—未来资源的分析;深层气的探索;

深水扇的勘探,以密西西比扇为例,上新世—更新世生油气层的研究。

(三) 沉积学与储层研究方面的进展

本届年会上有关沉积学及储层研究方面的论文多达200篇左右,占论文总数的1/3,内容丰富。主要有以下几方面(代表性论文)。

(I) 沉积与构造的关系

1. 河流样式随构造运动的变化,Valley, los Monas 地区第三系冲积砂体露头的研究表明,从河流—三角洲到辫状河,到高弯曲度曲流河的纵向变化是由周围区域上升运动控制的。

2. 多米尼加共和国Enriquillo盆地蒸发盐的构造控制。

构造控制了古新世两个不同的蒸发岩相。①浅水蒸发岩相分布在古新世盆地北部边缘50km²的高背斜区。②深水蒸发岩相形成于浅水区以南150km²的低向斜上。浅水蒸发岩形成于活动的生长背斜上,深水蒸发岩形成于活动的向斜轴部。

(II) 沉积研究方法上的新思路

1. 用沉降资料进行定量古水深分析

传统上以经典的沉积学和古生态学来分析古水深,但此法对井下剖面很少可用。如能用常规地下资料来研究,将可更精确地预测沉积相分布。

沉降分析对提供各类沉积环境的古水深是很有用的。以密执安盆地中奥陶统为例,先通过地层和沉降模型,再进一步分析古水深。将Black River和Trenton碳酸盐岩等厚线加在构造沉降模式图上,可以提供定量的盆地充填模式。将这一模式化的古水深与探井资料对比进行相解释。对于浅水到深水台地和盆地相碳酸盐岩说,符合很好。这一技术,对于构造沉降模型能被精确模式化的盆地都可应用来确定古水深。

2. 古土壤是勘探(发现)河道相储层的工具。测井解释及取心资料一般集中于河流砂体而不是漫岸沉积。始新世Willwood但(怀俄明世)证明,古土壤对确定河道砂体位置和形态很有帮助。几乎所有Willwood漫岸沉积都由垂向迭加的古土壤组成。可根据颜色、颜色层序、接触面特征、结核和地化资料识别出五种类型,它们代表了不同的土壤成熟阶段,随着与同时期河道砂岩的距离的增加而发生侧向变化。某一特定类型的土壤提供了与河道砂体距离的近似值,未成熟的古土壤最靠近古河道砂体和最重要的储层。对预测条带状砂体的延伸方向很有用。古土壤的垂向层序表明向上成熟度的变化,记录了河道方向及砂体随时间的迁移。古土壤成熟度还与盆地沉降有关,成熟差的土壤为盆地快速沉降的特征,而河道往往位于附近。横越盆地,古土壤也可帮助确定盆地的轴线位置。

(III) 岩相和生物相环境解释的数学地质分析

以墨西哥湾Chapas中西部下Sierra Madre灰岩的环境解释为例。

时代属白垩系的Sierra Madre灰岩厚2140m有六种岩相类型,分别代表潮上、潮间、台地封闭陆架、开阔陆架、浅滩的开阔海。根据聚类分析,建立了三种生物相组合,沿岸陆架、近岸陆架、内陆架。

(IV) 风成沉积

1. 亚利桑那侏罗系page风成砂岩层序的重塑

构成风成单元的沙丘,沙漠层序和层型的解释与规模大小很有关系。中侏罗统page砂岩风成区的星状三维露头有36米高,周长约1 km,电子测距仪作图详细标出了边界的延伸、定向和横剖面。根据层型可判别沙丘大小、形态、空气动力学和沙丘迁移特征,从而确定沙丘的性质。

2. 科罗拉多州侏罗系Wingate砂岩风成体系三维结构的分析

古代风成层序的区域边界有助于建立用常规方法未能获得的风成层序。与所测剖面的详细对比,可以建立Wingate砂岩的三维结构。通过对比,沙漠沙丘的四个发育时期可以用来确定风成沙丘的三维结构:①不连续的沙体、孤立沙丘和多水环境;②大的复合沙丘;③复合沙丘与局部厚层沙席互层;④广泛分布的沙丘和被河流侵蚀之前的臂形韵律层。

区域界面特征反映了沙丘、沙漠形成的不同机制,包括风蚀、气候变化和逆行沙。

侧向重建和沙丘、沙漠层序对比表明,盆地的古地理和构造对风成系统的控制。区域对比表明,盐隆改造了风成沙作用。非风成沉积物表明,地理变化与盐构造发育期并不符合。

用区域边界建立侧向剖面是重建风成体系三维模式的有效方法。

(V) 现代沉积研究,前人工作表明密西西比扇以细粒陆源碎屑沉积为主,由密度流和碎屑流再沉积作用形成。然而沉积过程以何种方式影响细粒沉积物的堆积,仍然很少了解,部分原因是不同机制形成的泥质沉积的相似性造成的。

把图像处理技术运用到X射线照相术中,定量分析难以区分的泥质岩,可以对岩相类型进行细分。另外的沉积分析,包括粒度分析与X衍射,与上述X射线照相术所划分的亚相相符,并提供了每一岩相类型的识别标志。

微结构研究(几微米—几厘米)能评价细粒牵引沉积作用的特殊过程。发现了正递变、反递变、小冲刷和各种各样微细纹层和生物扰动特征。

这一研究成果,提高了对细粒深水沉积过程的理解,并促使我们进一步研究泥质沉积体系,包括其在古代沉积中的作用。

总的看来,沉积学研究正在和已经在向定量化和模式化不断发展。数学地质、测井、地震资料越来越广泛地用于沉积学的研究。思路不断更新,古土壤、古沙漠、近代沉积的研究正在促进沉积学的发展。部分论文内容与勘探和发现新的油气储层,预测砂体分布很有参考意义。

(VI) 储层性质预测

很多学者都在探索如何预测储层性质, 总的发展趋势是搞模拟,搞预测模型,有明显进展。

1. Meshri 认为可用化学模拟来预测储层性质。进行化学模拟要获得岩石成分、结构、地层水成分、(水/岩)比值、压力、温度和成岩矿物的热力学参数。

化学模拟可预测封闭系统（流体运动微弱）成岩序列的预测。与物理模拟，物质迁移模拟结合则可用于开放系统成岩矿物时空分布的预测，也可用于强化采油过程中地层损害的预测。

存在问题是很多矿物还缺少可靠的热力学参数和溶解、沉淀速率的动力学资料。

2. Shamsugan强调了不整合面对储层性质的影响。临近不整合的浅部位次生孔隙增加，一个经验性的模型已用于挪威北海油田三叠系和侏罗系储层的孔隙分布预测。Lundegard 也认为北海侏罗系Brent 砂岩中长石溶蚀和高岭石沉淀与海平面下降期的侵蚀和失水作用有密切联系。

3. Schmoker 提出，沉积物压实是时间和温度的函数，认为热成熟度对储层的影响比埋深更重要。提出了预测地下储层孔隙度的计算式： $\phi = 7.5 (R_o)^{-1.11}$ 或 $\phi = 30 (TIT)^{-0.22}$ 。Bloch也持类似观点。 ϕ = 孔隙度

Scherer提出的计算式是：

$$\phi = 16.60 + (4.73 \times \ln \text{石英}) + (17.37 / \text{分选}) - (3.9 \times \text{深度} \times 10^{-3}) - (4.65 \times \ln \text{年令})$$

4. Painter研究了南得克萨斯深部Wilcox砂岩中的次生孔隙，指出邻近页岩压降带的砂

岩中次生孔隙发育。因压降代表页岩中大量流体（具溶解能力）释放部位。

5. Surdam提出了不同温度区间（<60℃，60—130℃和>130℃）砂岩中碳酸盐胶结物的成因、分布和骨架颗粒稳定性的不同控制因素。在取得水文条件、水化学性质、羧酸/CO₂ 比值、硫酸盐/有机质比值等资料的基础上，可进行孔隙分布预测。

6. Ghosh等人研究了委内瑞拉Mosoal层B₂砂岩的成岩作用后指出，盆地沉降，抬升对储层

性质的影响，可用沉积间断和不整合面预测孔隙分布。

（VI）成岩作用机理方面

1. Hutcheon 等指出，储层中硅酸盐和碳酸盐相互作用，可能是成岩体系中CO₂的重要来源。硅酸盐的水解作用对地层水pH值有重大影响。这一观点和我们研究陕北延长组砂岩中沸石的成因所指出的机理相似。

2. Macgowan, Surdam等人进一步完善了几年来提出的成岩体系中无机—有机

反应对砂岩成岩作用的影响的理论。指出成岩环境中的羧酸有多种形成机制：甲烷与脱硫细菌反应生成；干酪根热演化和矿物氧化生成；硫酸盐对烃的氧化作用产生。有机-无机反应所生成的 H_2S 、羧酸、 CO_2 使砂岩中碳酸盐、硅酸盐溶解从而产生次生孔隙。

(Ⅴ) 成岩作用对储层性质的影响

1. Iarese综述了控制储层成岩演化的因素有：埋藏前的构造位置、物源和沉积相控制了成岩环境和方向，时间、温度和压力，以及地层水的性质对成岩变化有重要影响。

2. Hays研究了卡罗拉多Spindle油田Terry砂岩的成岩作用，指出砂体上倾方向高岭石的形成与砂体下倾方向硅酸盐矿物溶解后水中 Al^{3+} 增加有关，这些水在向上运移时沉淀出高岭石。

3. Hays, Iarese, 和Al-Shaieb等若干作者都提出了砂粒周缘的矿物膜、特别是绿泥石膜能阻止石英、长石等碎屑颗粒的再生长，从而有保护孔隙的作用，这与我们国内的研究结论是相似的。

4. McBride研究了埋深1100—14500英尺井段砂岩的成岩作用。认为压实是导致孔隙下降的主要因素，压溶作用始于1915英尺。

Dotton研究了东德克萨斯油田下白垩系Travis Peak层砂岩成岩作用后则认为随埋深而增加 SiO_2 胶结物是导致渗透率下降的主要原因。

Barnes研究了密执安盆地深层中Peter砂岩成岩作用，提出不同沉积相砂岩经成岩作用后储层性质不一样。具虫孔和生物搅动的风暴沉积，成岩后孔隙度较高，但渗透率低；具交错层和层理的滨岸沉积，成岩后孔隙度较低，而渗透率较高。

(Ⅵ) 油层改造、二次和三次采油过程中储层中的成岩变化

1. Nagy通过研究指出，在二次、三次采油中由于流体注入地层，并和岩石与地层水反应能产生很多自生高岭石，还可能形成一些其他粘土矿物，降低储层孔隙度和渗透率。

2. Bowker研究了二叠系Weber砂岩中注 CO_2 后引起的变化，长石、碳酸盐、自生粘土矿物溶解，水中则富集了 Fe^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 。溶解对改善渗透性的作用被矿物微粒迁移堵塞喉道所抵销。

总的看，储层成岩作用，储层性质预测，成岩机理方面都提出了一些新的思路和实例，进展较快。虽然如此，很多问题仍处于探索阶段，很多实例也仅具地