

国外油气新技术

(三)

中国石油天然气总公司情报研究所



目 录

地 质 勘 探

1. 碳酸盐岩石油地质研究现状及动向..... (1)
2. 当前天然气勘探和研究的两大课题..... (5)
3. 古地理重建与油气区评价..... (8)
4. 能使油气勘探开发效率最佳化的地学新技术..... (11)
5. 油气形成动力学研究的回顾与现状..... (14)
6. 油气化探新方法——土壤磁化率测量..... (16)

地球物理勘探

7. 地震勘探..... (21)
8. 用井间电磁感应技术进行储层描述..... (24)
9. 瞬变电磁测深与重力数据联合反演确定盆地深度..... (27)
10. 交互处理, 解释软件在美国发展的新信息..... (31)
11. 测井—地震层序地层学分析法——90年代勘探家的新技术..... (34)
12. 一种油藏成象与监测的新技术——反垂直地震剖面法..... (37)

地球物理测井

13. 高分辨率电阻率层析技术在小型油田中的应用..... (42)
14. 碳/氧比测井的使用条件及仪器的可能改进..... (45)
15. 新型电阻率测量系统——阵列感应测井仪..... (47)
16. 层析成象测井仪——跨世纪的测井高技术..... (49)

钻 井

17. 斜井、定向井用斜井钻机技术..... (53)
18. 国外8000米以上超深井钻井技术..... (56)
19. 先进的钻井设备和技术..... (62)
20. 近两年来国外泥浆技术的发展..... (65)
21. 电动潜油离心泵的技术发展..... (68)
22. 改善井下摄像的新技术..... (74)

油 气 开 采

23. 块状裂缝性灰岩的压裂增产技术..... (78)
24. 超短半径径向孔系统(URRS)在非固结砂岩油田中的应用..... (81)

25.应用凝胶调剖增加石油的产量	(85)
26.国外油田注入水精细过滤技术的发展	(89)
27.加利福尼亚重油砂岩油藏单井注采蒸汽驱(SWIPS) 方法的评价.....	(93)
28.应用凝析油净化采出的含油污水.....	(95)
29.应用中子密度计测定蒸汽的干度.....	(97)

炼 制

30.Z-Forming工艺: LPG与轻石脑油转化至芳烃.....	(99)
31.国外油田丁烷生产MTBE联合工艺的开发.....	(103)

碳酸盐岩石油地质研究

现状及动向

周 堃

一、研究现状

(一)生油问题

1980年10月在美国佐治亚州亚特兰大召开的美国地质学会年会上,由J.G.Palacas组织举行了“碳酸盐岩石油地球化学和生油岩潜力”讨论会。会后于1984年出版了同名专集。作者们综合了世界20个盆地的资料,论证了碳酸盐岩生油岩的特征。他们从碳酸盐岩生油岩的形成环境,铁氧化物对有机质的催化作用,成烃及排驱机制等几个争论焦点问题,说明碳酸盐岩生油岩对烃类形成作出了贡献,并认为由于碳酸盐沉积序列上晚期常出现蒸发岩,使其油气聚集条件优于碎屑岩(砂页岩捕油率约20—40%,中东地区碳酸盐—蒸发岩剖面中的捕油率可达70%)。但碳酸盐岩生油岩与泥质岩生油岩在成烃特征上也存在某些差异。如:

1.有机质演化上的差异

在相同生成条件下,碳酸盐岩生油岩有机质成熟度往往低于泥质岩生油岩成熟度。我国南方二叠系、美国密西西比含盐盆地、威利斯顿盆地、日本东北Takanosu地区中新统,均发现这种现象。目前认为,主要由于碳酸盐岩中缺乏粘土矿物和成岩固结早引起的。

2.干酪根演化与可溶有机质演化上的差异

在我国南方二叠系高一过成熟生油岩分布区,发现同一块碳酸盐岩生油岩样品中,干酪根的成熟度已达干气阶段,但可溶有机质的成熟度仍处于成油阶段^①。表明干酪根成熟度明显高于可溶有机质的成熟度。两者的 T_{max} 可相差10—30°C,个别差116°C。进一步研究揭示,这种现象与碳酸盐岩中存在的晶包有机质有关,其含量可达抽提物量的20—40%。通过可溶有机质的地球化学研究,发现丰富的生物标记化合物,有助于恢复原始有机母质类型,判断生成环境,进行烃源对比。

3.成烃模式上的差异

泥质岩生油岩主要通过干酪根降解大量成烃,而碳酸盐生油岩存在多期成烃。未成熟阶段,主要由蛋白质和类脂化合物的可溶有机质在低温还原条件下转化成烃,形成未熟油(如河南泌阳第三系白云岩中的油);成熟阶段,除沥青和胶质继续成烃外,干酪根开始大量降解成烃;高一过成熟阶段,晶包有机质解析,释放出烃类物质,形成所谓的“高温”石油。当 $R_o = 2\%$ 左右,热解温度 $T_{max} = 485^{\circ}\text{C}$ 时,晶包有机质开始大量释放。

4.由于碳酸盐岩成岩固结时间比碎屑岩和泥质岩早,抗压实能力也较强,对碳酸盐岩

^①这一工作国外还没有进行——作者注。

中烃类运移的载体性质及来源,以及运移机制等问题,至今存在争议。

(二)储层问题

碳酸盐岩储层,除了孔隙外尚有溶洞、裂缝等储集空间。它们良好地组合在一起,使碳酸盐岩常具备形成油气高产的条件。世界上8口万吨井均是碳酸盐岩储层即是证明。

碳酸盐岩储集岩受沉积相和成岩作用的双重控制。沉积相主要控制储集岩的类型及分布;成岩作用主要影响碳酸盐岩储层空间的兴衰。此外,构造作用对裂缝发育起控制作用。碳酸盐储层特点为:

1.有众多的储集岩类型

包括生物屑灰岩、白云岩、各种碳酸盐滩、生物礁、碳酸盐角砾岩、粗粒等深积岩和浊积岩等。前面4类岩石属浅海成因,后面3类是深水成因。对浅海成因的储层一般研究较多,而对深水成因的储层则研究不够。但70年代以来,美国、墨西哥、中东和北海的古代深水碳酸盐岩中,已发现可观的油气储量。表明深水碳酸盐岩是潜在的勘探对象。

2.大气淡水淋滤作用、白云岩化作用、深部溶解作用可大大改善碳酸盐岩的储集空间条件。研究表明,大气淡水淋滤作用形成的溶孔、洞和溶缝,只有当上覆存在封盖层时才能被保存下来,否则将被易溶矿物和碎屑充填死。实验表明,当温度 370°C 、地层压力为200大气压时,碳酸钙在水中的溶解度比通常条件下增大20倍。所以,在4000米以下往往仍有高的孔隙度存在。据C.T.Feaze等(1985)研究,使碳酸盐岩孔隙得以保存的机理和作用有7种:1)最小埋藏深度(大气成岩作用);2)减少埋藏应力(增加孔隙压力);3)增加结构强度(岩化作用及颗粒支撑);4)孔隙水排出(烃类进入);5)稳定的矿物成分(交代作用和新生变形作用);6)阻渗层(成岩封闭);7)孔隙再生(溶蚀作用)。因此,由于碳酸盐岩成岩作用的复杂性和对物理、化学作用的敏感性强,造成孔隙兴衰的多变性。以致目前多数情况下在理论上和实验室内均未能对碳酸盐岩孔隙减少的过程细节作出定量解释。

(三)成藏特点

世界上古生代剖面中碳酸盐岩是很常见的。东欧地台的伏尔加—乌拉尔盆地和Timan—Pechora盆地中,碳酸盐岩占古生代层系的60%;北美地台的密执安盆地、伊利诺斯盆地和二叠盆地中,碳酸盐岩占70%以上;西伯利亚地台上的勒拿—通古斯盆地中,碳酸盐岩超过80%(包括硫酸盐组合)。碳酸盐岩储层的巨大石油潜力与下列因素有关:1)侵蚀的高地和礁(如中堪萨斯隆起);2)大隆起上受强烈侵蚀的寒武系—奥陶系灰岩和白云岩(如Bend穹隆、俄克拉何马城油田、Apko油田);3)强烈的破裂区和次生白云岩化作用区(如辛辛那提隆起翼部Trenton灰岩中的Lima—Indiana油田、Scipio油田、Pulaski油田和Albian油田)(Maximov, 1984)。

碳酸盐岩的成藏特点为:

1.古隆起对区域油气聚集往往起控制作用。

2.多种圈闭类型及多期生油的特点,决定其油气藏类型的多样性(包括原生的和次生的)。邻近盆地或凹陷的构造圈闭,往往组合了不整合、岩性、地层等多种油藏类型,从而在总体上增加油气的富集程度。在勘探中不能光考虑单一的圈闭因素,而要从多种圈闭因素上拓宽勘探领域。

3.据统计,古老地台中总碳氢化合物中天然气的百分数随产层时代变老而减少。新生

代—中生代—上古生代中为50—45%，中—下古生代为42—32%。这是由于强烈的破坏作用或与缺乏含盐层的封闭有关(Maximov, 1984)。国内的勘探实践也表明，由于古生代地层中常存在沉积间断，又遭受多期构造变动的影响，碳酸盐岩油气藏需要良好的保存条件。

二、研究动向

总的特点是像其它学科一样，石油地质学也开始摆脱传统的定性描述，与现代科学技术结合在一起逐步走向定量化。如：

1. 地球化学盆地模拟

其目的是评价和发现油气有利分布区。Raymond Leonard(1989)提出地球化学盆地模拟有4个步骤：1)建立多层三维网络来描述盆地埋藏史；2)地温分析，了解古地温，直至数学模型的古地温与成熟度相符合；3)源岩分析，包括生油岩的丰度、厚度，烃源对比，热模拟等；4)建立在阿雷尼乌斯方程基础上的烃类生成的动力学模型研究。

2. 区域孔隙度预测的定量化

1985年，J.W.Schmoker提出应用 $\theta = a(TTI)^b$ 公式进行区域孔隙度预测(θ = 区域孔隙度，TTI是时—温指数， a 对一个资料组来说是常数， b 约等于-0.372)。其理论基础是，假定在所有其它条件相等的情况下，碳酸盐岩孔隙度在地下减少的成岩作用为一成熟过程。在温度上呈指数相关，在时间上为线性关系。D.C.Kopaska—Merkel(1991)提出应用三端之孔隙图板分析碳酸盐岩孔隙系统。他将孔隙分成三类：铸模孔加次生粒内孔，粒间孔，晶间孔。根据岩心薄片统计三类孔隙，制成三角形图。在三角形图上，同一口井的不同储集岩相各自构成一个独立点群，彼此不重叠。每个点群相当于一个流动系统。据此可了解不同孔隙类型的地理分布特征，确定不同地区可能存在的孔隙相。

3. 层序地层学已发展为定量动力地层学(Quantitative Dynamic Stratigraphy)

1988年2月在美国丹佛举行了为期4天的定量动力地层学专题研讨会，会后于1990年出版了同名专集。它是应用数学定量方法来分析沉积盆地的地球动力学、地层学、沉积学和水动力学等特征。虽然它并不肯定优于定性模型或概念模型，但它是理论基础很广阔，并相互紧密关联的盆地分析方法；是通过数学模型实现从概念认识向作用—响应模拟转变的有效方法。除了地质学家可以通过计算机终端来验证各种假说外，还可以提高寻找工业油气藏的预测能力和评价的置信度。由于碳酸盐岩发育在古生代的海相盆地中，更要求从盆地分析的整体研究中掌握基本的石油地质规律。定量动力地层学是应用现代科学技术提高油气评价精度的有效方法。

4. 石油体系研究

强调油源岩与聚集的关系。研究并建立石油生成、运移和圈闭三种地质作用的时、空关系。该体系有一定的层位限制、地理范围、经历的时间及保存时期。这实质上是研究油气聚集和富集规律的综合科学，与我们通常所称的“四史”（即沉积史、生油史、孔隙演化史和构造演化史）研究相类似。在同一个沉积盆地内，可能存在多个石油体系。根据同一盆地或不同盆地内存在的多种石油体系，可进一步对石油体系作出成因分类。这是建立石油盆地成因分类的一种工作术语，也是新区勘探的一种手段。

总之，定量化研究的要害是研究各种地质作用，研究每个作用的成因及主要控制因素，并把它转变成数学语言和数学模型。但只利用基本定律来建立复杂地质体的模型在目前是不可能的。因此，就要求把经验关系式和基本定律联系在一起。定量化研究是促进石油地质科学走向现代化的必经之路。

当前天然气勘探和研究的两大课题

戴金星

近40年来,天然气工业蒸蒸日上,且比石油工业发展更快。从1950年至1990年,世界天然气的产量和剩余储量的增长速度比石油的快1倍和1.2倍。天然气工业飞速发展的原因是多方面的,以下两个课题可视为其中最重要的因素。

一、煤成气理论的建立和应用

加速了天然气工业的发展

传统的油气地质理论把天然气与石油生成及演化完全联系在一起,认为石油与天然气均由腐泥型和混合型(Ⅱ₁)有机质的源岩生成,煤系地层不作为源岩,此可谓油型成气论。在油气勘探的早期,利用这种理论指导找到了不少油型气田。例如:从1916年世界上发现第一个大气田门罗气田,至1950年之前世界上共发现20个大气田,其中油型气大气田占19个。在这个时期天然气勘探只用油型气理论作依据。

本世纪40年代,德国学者首先提出含煤地层(其中煤与泥质岩)能生成大量天然气,并能运移出来在煤系本身或其上覆下伏地层中形成工业性气田,从而诞生了煤成气理论。煤成气理论为在含煤盆地开展天然气勘探提供了理论依据,开拓了天然气勘探的一个新领域。本世纪50年代开始用煤成气理论对一些含煤地层进行勘探,找到了许多富气的煤成气盆地。以煤成气理论为指导的天然气勘探首先在中欧盆地西部开始,并又以1959年发现储量为2万亿米³的特大型煤成气田即格鲁宁根气田而推动了世界的煤成气勘探与研究。原苏联是较早进行煤成气研究,同时以其指导天然气勘探的国家,由此而发现了卡拉库姆盆地、西西伯利亚盆地北部和维柳伊盆地等富气的煤成气盆地,从而使之成为第一产气大国。此外,在澳大利亚的库珀盆地,新西兰的塔腊纳基盆地均发现了较多的煤成气田。从50年代开始以煤成气理论指导的天然气勘探后,世界天然气勘探的效率大大提高,特别在大气田勘探上有重大突破。在世界探明储量大于 1×10^{12} 米³特大型煤成气田有8个,世界上最大的气田乌连戈伊气田就是煤成气田。1951—1980年30年间世界上发现大气田94个,总共探明储量 51.44×10^{12} 米³,其中煤成气大气田47个,共计探明储量 30.60×10^{12} 米³,即该时间内共发现煤成气大气田占总大气田数的50%,探明煤成气大气田的储量占大气田总储量的近60%。

初期的煤成气理论认为煤系地层以成气为主,成油为辅。从澳大利亚吉普斯兰盆地发现油气并重煤系成烃后,进一步研究阐明煤系源岩当角质组分含量较大时(一般煤系含量在5%以下),在长焰煤—焦煤阶段则出现油气并重局面,例如吉普斯兰盆地和我国吐鲁番—哈密盆地丘陵地区等。因此,煤成气理论还是一个处于发展中理论,有许多问题有待进一步研究,一些规律有待发现,故继续加强煤成气研究对发现更多煤成气田和煤成油均

具有重大意义，特别对于我国煤成气研究较晚国度尤其如此。

最近以来对煤层中吸附甲烷的开采随着开采技术的提高有了较大的进展，经济效益提高，显示出良好前景。美国现进行地面钻井压裂井下煤层开采煤层甲烷，1990年产煤层甲烷约100亿米³。

二、加强研究气聚集带

所谓气聚集带系指成因上联系紧密、横向上分布彼此毗邻、受相似地质因素控制的若干气田（藏）的组合体。同一类型或两种类型相邻的若干气聚集带在空间上有规律匹配组合则形成气聚集区。天然气地质学研究阐明：“气田和大气田在含气（油）盆地中分布是极不均衡的，它们主要集中在气聚集带中，而盆地的大部分地区气田几乎不发育或寥寥无几。故气聚集带是气田和大中型气田发育最佳处，由表1可知：国外一些含气（油）盆地和含气（油）地区，气聚集带上气田占总气田数的83%至94%。在含气盆地通常气聚集带发育，但在含油气盆地特别在含油盆地，气聚集带往往不大发育或发育差。

气聚集带和气聚集区的研究还极薄弱，以往世界上对油气聚集带做了大量研究，但实际上是以研究油聚集带为主。虽然油、气聚集带有些共同点，然而也有许多不同点。因此，单独研究气聚集带十分必要。1979年，N.B.维索茨基首次对气聚集带，气聚集区作了较系统研究、分类，并对西西伯利亚盆地、卡拉库姆盆地和四川盆地等气聚集带和气聚集区作了划分及其特征研究。但至今有关气聚集带和气聚集区的研究文献不多。

表 1 国外一些含气盆地(地区)气聚集带上气田占总气田数的百分比

盆地或位置	在气聚集带上 气田数(个)	不在气聚集带 上气田数(个)	气聚集带上气田占 总气田数(%)
西西伯利亚盆地内带北区	53	5	91.3
卡拉库姆盆地	105	7	93.8
维柳伊盆地	9	1	90.0
英吉利盆地	13	2	86.6

气聚集带研究表明，大、中型气田绝大部分发育在气聚集带中，例如，国外一些含气盆地或含气区的大气田100%在气聚集带中（表2）。由此可见，研究大中型气田发育的气聚集带特征，对提高天然气勘探效率具有十分重要的意义。近一年多来，综合了国内外气聚集带与大中型气田关系的研究，初步认为发育大中型气田的气聚集带具有以下四个特征。

1. 潜伏的烟煤阶段的煤系中或其上、下的气聚集带最有利于发现大中型气田。国外在这类气聚集带中发现了大量的大、中型气田（表2），例如：西西伯利亚盆地北部乌连戈伊气聚集带，是个聚气最丰富、规律最大的气聚集带。在该气聚集带中，已发现了12个气田，探明天然气总储量（A+B+C₁级）13.1万亿米³多，占西西伯利亚盆地探明天然气整个储量的一半左右。在发现的12个气田中，当中4个是储量超过1000亿米³的大气田，其

表 2

世界上一些潜伏(亚)煤系气源的气聚集带大、中型气田发育概况

盆 地	(亚)煤系或地层名称	主 要煤 阶	主要产层与(亚)煤系关系	发现大中型气田气聚集带						最大型气田实例	
				总聚集带数(个)	发现大型气田聚集带数(个)	聚集带上				名称	储量 $\times 10^8 \text{m}^3$
						大型气田数(个)	占总大型气田%	中型气田数(个)	占总中型气田%		
西西伯利亚内带北区(叶尼塞河口气聚集带除外)	波库尔组	亚烟煤为主	之中	8	8	19	100	16	88.8	乌连戈伊	77701.70
卡拉库姆	中一下侏罗统	烟煤	之上	22	10	12	100	22	91.6	沙特雷克	6230.00
维柳伊	哈朴查盖群等	气煤、长焰煤为主	之中和之上	3	1	1	100	3	100	中维柳伊	1872.82
英吉利(中欧盆地最西部)	维士法阶	烟煤	之上为主	3	2	4	100	2	50	利曼	3965

中乌连戈伊气田(8.0915 万亿米³)和亚姆堡气田(4.7563 万亿米³)是储量超过1万亿米³的超大型气田。

2. 在生气中心及其沿边的气聚集带有利于大中型气田的发育。从国内外有关资料统计,一般生气强度在25亿米³/公里²以上的气聚集带才能发现中型气田。

3. 古今构造兼备的气聚集带发现大中型气田的概率高。西西伯利亚盆地北部的许多大中型气田发育的气聚集带,也明显受着古构造背景制约。例如:乌连戈伊气聚集带和塔佐夫气聚集带沉积层中的构造,明显受从北冰洋伸入直至西西伯利亚盆地南部的新瓦修甘的南北向大裂谷两侧的基底隆起控制。

4. 孔隙性为主的气聚集带才适于大中型气田的形成。大中型气田只出现在孔隙型为主的气聚集带中。世界大气田储集层的统计说明:以砂岩为主要储集层的大气田,储集空间主要是孔隙型的,纯产层的厚度一般在25—45米,有效孔隙度主要在15—35%。砂岩储集层的大气田,纯产层厚度下限是6米,有效孔隙度的下限为9%。以碳酸盐岩为主要储集层的大气田,储集空间主要是孔隙—裂缝型,纯产层的厚度是50—120米,有效孔隙度一般是8—18%。碳酸盐岩储集层的大气田,纯产层厚度的下限为6米,孔隙度的下限为5%。根据以上分析,只有在孔隙型储集层发育的气聚集带中,才适于勘探大中型气田。

总之,气聚集带和气聚集区是天然气的最富集区,是大中型气田发育最佳区、是气田分布密度最大区和发现气田(藏)概率最高区。因此,加强气聚集带研究不仅在理论上,而且在生产实践上有重大意义。由于气聚集带研究基础薄弱,开展研究时间较短,加强这方面研究是十分必要的。

古地理重建与油气区评价

武守诚

近几年来,世界石油地质学家们越来越意识到:利用古地磁、古气候、古生态,重建古地理,对油气盆地大环境的研究,具有战略的意义,它可为油气区的评价提供理论的依据。它是当今石油地质前缘学科之一。

一、古地磁研究

板块理论证明当今的油气盆地是地壳在软流圈上运动的结果,不同地质时代盆地所处位置不同,石油地质条件亦不同。因此,盆地在地球上的位置及其在运动中的地质条件,直接影响着烃类的生成、运移、聚集。板块位置的确定,必需综合各方面的资料,但古地磁资料是最重要的资料之一。

古地磁是通过测定各种岩石的剩余磁性来研究岩石形成期及其后某时代地磁场方向和强度的。由于地磁具有较高的稳定性,古地磁可保存至今,通过实验室专门处理可鉴定出原始地层纬度,利用古地磁热点的变化可相应地大致确定经度,并配合以构造挤压量、拉张量的测量等等,恢复板块在不同历史时期的位置是完全有可能的。

壳牌公司的Scotese C.R. (1989, 1990)发表了,应用交互性的三维计算机制图进行古地理再造的文章^[1]。他编制了一套计算机软件—MEGADRIFTER,可进行板块构造、古气候、古地理的再造,它是由数字化基础资料信息所组成,可描述各种各样的地理、地质特征诸如地形地貌、水深、断层、裂隙带、缝合线、磁力等值线、火山岩体、岩相类型、古等压线、古风向等。可进行全球三维空间模拟,由视觉确定的最好拟合旋动参数,同时应用了标准化绘图技术(GCTP)。

得克萨斯大学Lawer L.A. (1991)在古地磁研究基础上建立了POMP (Paleoceanographic Mapping Project)软件,概括了全球的204板块资料,具有15种地质要素,在研究东南亚—澳洲大地构造演化中起了重要作用,是盆地分析的基础工作。

二、古气候研究

在古地磁研究板块位置的同时,各国学者特别重视古大气环流与洋涌流的全球性研究,为区域性生烃环境的研究提供了理论依据。Moore G.T. (1990)发表了世界晚二叠世早期(Kaganian喀山阶)的古气候论文^[2],应用的是雪佛龙的现版通用气候模型。认为潘基亚泛大陆的边部板块在此期间开始分离,这个世代是一个温暖而广泛干燥的世界,无大规模冰冻,并且为一种充满压力,对生物圈恶劣的大气环境。当时气候变暖作用造成两个半球海冰向极地退缩,降雨量与蒸发量增加,排泄被限制在强烈的降雨区,东风被限制在南

半球,与特提斯海西部及潘萨拉沙(Panthalassa)洋东部赤道相汇合,潘基亚东南端(澳大利亚北部)是全年降雨量的焦点,降雨量发生在较高的纬度($50-55^{\circ}$),潘基亚西部,海岸风暴造成崩塌的痕迹,在美国二叠盆地的镁灰岩统(P_2)和前苏联的Perm盆地都具有较高的蒸发率,潘基亚内部为中—高纬度严寒的冬季(-40°)及很热的夏天(60°)。

根据Brock.J(1989)对印度洋阿曼海洋涌流有机碳沉积以及生物生产率地貌的控制认为^[3],海洋边缘流在潜水陆相区冲击,并向洋离散,被潜在旋流驱动,导致局部洋涌流,提高了第一性生产率,增加了沉积物中的有机质丰度,结合过去海岸线轮廓和古海洋的再造与识别过程,能够追索原始有机碳富集区,海岸洋涌流的有机碳沉积是用海底沉积物有机碳含量等值线图来评价的。其研究的途径是从全球运动资料出发,对比现今风的运动,洋涌流与生产率之间的关系来研究各种变化。

三、古生态研究

1990年美国USGS报道了Barron J.A.的研究结论,他认为:由于太平洋古地形古气候变化导致中新统一早上新统硅藻沉积的变化。早中新世晚期到早中中新世($18-1.5\text{Ma}$)在太平洋北部具有广泛的生物硅质沉积,此种沉积受深水盆地分级抬高的影响,硅藻沉积受一系列冷却阶所控制。

1. 高纬度冷却是在 $14.9-12.4\text{Ma}$ 之间,造成了在太平洋边缘区内洋涌流的加剧,它可以由分布广泛的纹层沉积以及碳酸盐岩的减少而证明;

2. 中中新一晚中新世($10.3-8.3\text{Ma}$)冷却作用穿过边界,导致洋涌流进一步增强,在加利福尼亚和秘鲁东部赤道内生物蛋白聚集率上升;

3. 晚中新世末—早上新世初($6.2-4.8\text{Ma}$)的冷却作用造成了北太平洋内生物硅质沉积在更远区的变化,在洋涌流区内生产率变化梯度大,生物蛋白聚集率在太平洋东部赤道内下降,但在加利福尼亚和白令海内沿岸洋涌流中可能上升;

4. 在早上新世初($4.5-4.0\text{Ma}$)加利福尼亚南部水域中硅藻沉积下降,它与太平洋赤道内蛋白质聚集率下降和古温度较暖期相符合,而同期发生在海洋南部的生物硅沉积明显增加。

四、古地理再造

Scotese, Christopher.R.(1990)的研究直接将大地构造的研究与烃类资源的古地理相结合,他对亚洲中南部(阿富汗到泰国)进行了研究^[5],他认为:中南亚是由冈瓦纳碎片所组成,在新生代中期与欧亚板块的南部相碰撞,Cimmerian地体(土耳其、伊朗、阿富汗、羌塘、缅甸—马来西亚)开始在晚石炭世从冈瓦纳分离而去,并在晚三叠世—侏罗世加积到亚洲,推测拉萨地体也从冈瓦纳分离,在晚侏罗世加积到亚洲。早白垩世印度—马达加斯加已经从非洲及澳大利亚—安他克蒂卡分离,中白垩世印度迅速从马达加斯加裂开离去,并在早始新世与亚洲碰撞,西藏高原隆升,此造山带可由阿富汗、巴基斯坦通向缅甸。

在中南亚已发现了大约70亿桶石油和50亿立方英尺的天然气,大部分是新生代三角洲

砂岩，或碳酸盐岩储层，在裂谷中（孟买），被动边缘（孟买陆棚），以及印度、巴基斯坦、孟加拉的山前盆地，与缅甸的弧前位置。油源岩大多是第三系页岩，在巴基斯坦有些是古生代与中生代源岩，新的勘探正在进行，并在印度、孟加拉、尼泊尔和缅甸开始。

总之，古地理的重建是在古地磁、古气候、古生态等方面综合研究的基础上而得到的，这项工作的开展将有助于我国华北—鄂尔多斯、新疆、南方的海相沉积区的石油勘探工作的开展。

参 考 文 献

1. Scotese Christopher. C., and Malcalmi Ross, 1989. Paleogeographic Reconstructions using Interactive Three—Dimensional Computer Graphics. AAPG Book of Abstracts p.94.

2. C. J. Peoples, G. T. Moor, 1990. The Paleoclimate of the Kazanian (Early Late Permian) World. AAPG Book of Abstracts p.140

3. Brock John C., and William W. Hay, 1989. Topographic Controls on Bioproductivity and Organic Carbon Deposition, Oman Arabian Sea Coastal upwelling Region p.21

4. Barron, Eric J., and Eddy Kruijs, 1989. Model for predicting paleo-productivity and Source Rock Distribution

5. Scotese Christopher. C., W. W. Tyrrell, Jr. K. A., 1990. Maher The Tectonic Development of South Central Asia and The Paleogeographic Setting of Its Hydrocarbon Resources, AAPG Book of Abstracts p.164—165

能使油气勘探开发效率最佳 化的地学新技术

张绍海

众所周知，在目前的技术和经济条件下，我们还只能采出探明石油地质资源的一小部分，全球石油的平均采收率仅为35%左右，相当大一部分资源得不到开发利用。比如美国，有关机构估计石油总资源可达7000亿桶，但到目前为止仅采出了1500亿桶多点，约占总资源量的20%。剩下的5000多亿桶石油究竟能采出多少，不仅取决于油价，更重要的是勘探开发技术。

据分析，在美国剩余的5000多亿桶石油中，相当部分（约3350亿桶）分布在已发现油田的储层中，圈闭在复杂的非均质储层和分隔状储层中。经过多年的实践和研究，发现目前的一些技术可以实现油气勘探和开采的最佳化。

一、先进的油气圈闭物理模拟

地质学家进行地质构造的物理模拟已有100多年的历史了，所用的模型多是为勘探的目的建立的，粘土饼和层状砂的一侧画上线条就代表了层面。模型多是二维的，施力下的构造演化通过对模型各侧面照相记录下来。模型材料和边界条件的适用性完全由是否与天然构造相类似来判断。过去几年，利用地质构造的物理模拟来帮助解释地震反射剖面，提高含油气圈闭确定的准确性又重新燃起兴趣。现代模拟技术还为预测油气圈闭的区域展布及产出状态奠定了基础。此外，更庞大更详细的模型还有助于解释被断层栅格化了的储层。新旧两代物理模拟的主要区别体现在：①现代模型的设计和解释考虑了动力标定的定量化，即重力对大型地质构造的形成有重要影响，所以模拟实验必须进行重力标定；②出现了象硅氧烷聚合物、玻璃微球体、及记录应变的碳网等新型材料；③出现了象数控离心机、程控步进器系统及温度压力电子监控设备等新仪器。

二、复杂正断层圈闭的剖面平衡技术

地质剖面，结合地震资料和井资料的解释，是确定潜在油气圈闭的常用工具。地质师通过评价剖面的准确性和真实性，便能更好地掌握一个地区的地质史，预测复杂构造圈闭的形成和演化。新的剖面平衡技术就是为提高复杂构造演化的解释精度而发展起来的。使用自动计算机程序，可以迅速地试验不同的断层几何特征和参数，从而得出地质上最合理的解释。虽然褶皱—逆掩带的剖面平衡技术也日臻成熟，但对于张性剖面，尤其是在盐成构造区的计算机平衡，必须采用别的方法。为此，目前正在研制能解释具复杂构造的张性

地区的剖面平衡计算机程序。由于有同生变形沉积、压实、断层下盘变形、盐岩和超压页岩等塑性物质的运动等现象，薄皮张性地区的剖面恢复相当复杂。在恢复张性剖面时，假设水平层沉积在一种已知的环境中，通过一层层地剥去上覆的年青地层和去掉倒转、平移、褶皱和压实的影响，将较老的地层逐步恢复到原始沉积状态。正如生长断层所显示的，在断层两边，沉积和变形差别非常大，因此断块的恢复必须逐个进行。恢复是否成功，可在每阶段由断块是否吻合，恢复的构造是否合理来检验。

由于断块变形的机理还众说纷纭，认为除了平行于地层的剪切力外还有其他力的作用，所以进行剖面恢复的计算机软件必须具有选择功能，并能包括剪切、倒转角，及欠压实参数。在盐成因的构造区，塑性的盐体充填了未变形断块底部和刚性基底之间的空间。在进行张性横剖面平衡时，可以监测到塑性岩体形状和大小的变化。恢复不当可能是由于地震解释或深度转换上的错误，也可能是由于恢复参数选择不当，可以通过快速评价找到最合理的解释。

剖面的逐步恢复可以提供关于圈闭几何形态的变化、断层运动史、局部沉积中心的位置、盐体运动和变形的相互作用等方面的详细信息，因而对于预测烃类运移通道及确定圈闭的形成时间、几何形态都大有帮助。此外，平衡技术还为在构造栅格化储层确定未泄油断块提供更好的解释。

三、层序地层学储层模型

由于现有的相模式一般都是为指导盆地分析而发展起来的，所以对于预测井间的储层展布用处不大。但我们目前关心的重点往往是后者，比如我们现在不太注重碳酸盐粒状灰岩坝相对于陆棚边缘的方向，而是想弄清楚粒状灰岩坝的内部结构，也就是搞清楚各组成粗粒岩相（高流动单元）和与之伴生的细粒披盖层和夹层（低流动障壁）的形状和规模。为了准确解释一套储层内的流体流动状态，地质分辨力需要达到数十到数百英尺规模，也就是要能对数百英尺以内的情况作出准确的推断，而井眼资料所能提供的分辨规模达不到这一要求。

高分辨力的层序地层学，以测井、取心和露头资料的综合为基础，着重于小于地震规模的沉积层序的分析，能为建立油藏规模的详细准层序模型提供关键性框架。这种高分辨力的准层序分析为确定内部流动单元，评价储层非均质性的分布及对产率的影响奠定了基础。通过对二叠盆地圣安德列斯组碳酸盐岩的类比研究，发现准层序底部的海洋冲刷面是泥质很高的低渗透屏障，将整套储层分隔成段，同时也控制了流体流动的类型和最终的采收率，并且可从该框架内观察到高能量粒状灰岩单元的侧向不连续性。储层内准层序叠置形式的最终确定及其与较大沉积层序模式的对比提供了可预测的地质框架。评价储层质量的变化趋势和储层的栅格化特征则可供确定加密井位。

四、三维地质网格状储层模拟

先进的三维地质网格状模拟是建立先进的储层表征模型最有前途的新手段之一。先进的储层模型需要地质、岩石物理和工程数据在三维综合骨架体中的综合和精确的空间分

布。地层地质网格状模拟程序与高速三维计算机工作站结合，被用来有效地产生实际的内部构造格架。一旦建立了基本的地层和构造格架网络面，就可利用来限制随后在整个三维矩阵上岩石物理、地震和工程数据的内插。格架矩阵元由三维单元层构成，这些单元层被安放在适当位置来拟合断层面和模拟储层中的层理面。模型可能由几百个层组成，每个层又可细分成成千上万个单元。

有效的三维模拟系统必需能在一次操作中插入多个储层特征参数。用户选择适当的插入值来确定每个特征参数的分配。因此，孔隙度或渗透率可以用移动平均运算进行插值，而岩相类型则根据最邻近算法来分配。不同的插值参数适用于不同的储层段，因此使用者可对各个层段应用一个沉积偏差。现已证明这种方法在分析河流—三角洲叠加层序时极为有用，这种层序中的分流河道砂岩记录了物源和搬运方向的周期性变化。

先进的模拟系统必须能迅速产生储层骨架空间的三维透视横剖面和平面对象。解释人员必须能够沿单元的行和列在设定的x和y位置之间确定纵向和横向的模型切面。这些圆形显示的组合必须易于综合成单个图象，以便直接观察复杂的关系并由此预测产层的分布。

地质网格状模拟还处于发展初期，但无疑它是产生内部一致性的三维储层定量模型的极其有用的工具。它将地质师、地球物理师和工程师的工作联系在一起，提供一种快速产生储层模型的手段，这些模型可以显示和分析纯产层的分布及其内部流动障壁，从而有助于更好地确定加密井井位。此外，自动化的地质网格状模拟还为计算储层容积提供了一种更精确的方法，也为扩大储层模拟的地质解释成果提供了一种先进的石油工程手段。

（摘译自《Geotimes》，1991，No.3）

油气形成动力学研究的回顾与现状

张绍海

动力学是研究反应对时间的依赖性及其控制反应速度各因素的一门化学。早在认识到时间和温度对油气形成的重要性之前, Franks等在20年代就提出了时间和温度对油页岩蒸馏以及对天然煤化作用的影响。Habicht于1964年提出了油气形成动力学对确定有效生油岩的重要性。接着, Philippi于1965年提出了时间在油气生成量评价中的重要性。虽然这两种方法对于研究油气形成动力学远非完善, 但他们都提出了时间和温度在石油形成中的重要性。

Tissot于1969年提出并于1975年改进了一个油气形成的动力学模型, 该模型假设干酪根部分降解成油的反应是6个平行的一级反应, 每个反应的反应速度随温度而变化, 且遵循阿雷尼乌斯方程, 每个反应都有自己的活化能和频率因子。Tissot和Espitalié不仅为II型干酪根, 也为I型和III型干酪根提出了6套动力学参数。对于三种主要干酪根类型, 赋予每个平行反应的活化能是一样的。但每个平行反应的频率因子和所消耗的干酪根数量是不一样的。活化能的这种不连续分布在石油形成过程中只有6种已知键能的化学键发生断裂。Tissot和Welte (1978) 指出, 这些动力学参数是根据天然成熟生油岩和实验室成熟生油岩的沥青抽提物获得的。

与此同时, 另一种以煤化作用为基础的方法被提了出来。Lopatin于1971年提出了一个镜质体素质的反射率随煤阶升高而变化的动力学模型, 后来Lopatin和Bostick又对此模型作了修改。该模型用天然成熟煤样进行了刻度, 并以这样的假设为基础。即温度每升10℃, 反应速度翻一番。Hood和Lopatin等后来(1975, 1976)又将由此方法获得的时间-温度指数与石油形成的阶段建立起联系。Lopatin的这种方法无需计算机就能对镜质体反射率作出合理的预测, 使之在石油勘探中得到广泛应用。然而, 认为从各种类型干酪根形成石油时的断键(热裂解)与镜质体成熟过程中键的形式(芳香缩合)是一样的, 这种假设未免又过于简单了。因此, 虽然可以将这种方法看作是研究沉降盆地热力史的较好手段, 但它不一定就是研究石油形成的好方法。

阿雷尼乌斯和Lopatin的模型主要依靠井下资料。由于井下资料在确定古温度、地温梯度、上升与剥蚀事件、地层时代等方面存在不确定性, 所以在研制动力学模型时就更需使用实验室热解分析。1975年后, 有机地球化学研究的实验室热解迅猛发展。实验室热解试验包括这三类: 开放无水热解, 封闭无水热解和有水热解。

70年代末期和80年代初期, 热解研究重点在于弄清楚油气的形成过程及评价源岩的生烃潜力。直到80年代中期, 才将重点放在获得生油动力学模型的实验室热解上。此间所用的两种主要热解方法是开放无水热解的非等温试验(Ungerer, 1984; Braum等, 1987)和有水热解的等温试验(Lewan, 1985)。

应用开放无水热解的非等温方法的最新版本(Ungerer等, 1987)中, 孤立干酪根样