

山东车镇凹陷义北油田中生代 煌斑岩侵入体油藏孔隙研究

周自立

(胜利油田地质科学研究所)

在山东胜利油田,发现一个罕见的中生代煌斑岩侵入体油藏,并获得能稳产的工业油流。生油岩为下第三系沙河街组的暗色泥岩。储油的煌斑岩储集性能好,最大孔隙度为25.2%,最大渗透率为30mD,均高于相邻的砂岩储层,属孔隙型储集岩。辉石和角闪石晶溶孔是主要储集空间类型。溶解作用是在深埋期进行的,溶质来自生油岩的有机酸。构造裂缝发育,为酸性溶液运移提供了通道,对深埋期次生孔隙的形成起了重要作用。

煌斑岩是一种浅成侵入岩,属暗色二分脉岩,具有全晶质显晶结构,为非渗透结晶岩,从未作为油气勘探对象进行过专门研究。

1978年,在山东北部济阳拗陷车镇凹陷东端、义和庄凸起向北倾没斜坡上的义北油田,通过大43-35井取心,首次证实有孔隙型煌斑岩储集体,并获得单井日产50t的工业油流。近七年来的勘探和开发实践证明,煌斑岩是义北油田的主力油层,分布面积虽小,但却能稳产。

火成岩储集体,在世界范围内分布较少,所见报道多属喷出岩^[1],或为火山碎屑岩^[2],孔隙型侵入岩储集体十分罕见。利比亚奥吉拉油田的基岩油藏,虽由花岗岩及花斑岩侵入体构成^[3],但其储集空间以构造裂缝和风化作用形成的孔隙为主;而义北油田所见的煌斑岩储集体的孔隙则是由深层溶解作用形成的。对煌斑岩储集体进行研究,将有助于开阔思路,扩大油气勘探领域。

一、地质概况

研究区属渤海湾复式块断盆地的一部分,有很厚的新生界陆相碎屑沉积。下第三系沙河街组有良好的生油层。第三系砂岩是最主要的储集岩。中生代晚期的煌斑岩沿构造裂隙侵入于侏罗系及其下伏的古生界及太古界中。义北油田储油的煌斑岩,侵入于侏罗系坊子组煤系地层中。该煌斑岩油藏位于古生界基岩油藏之上(图1),

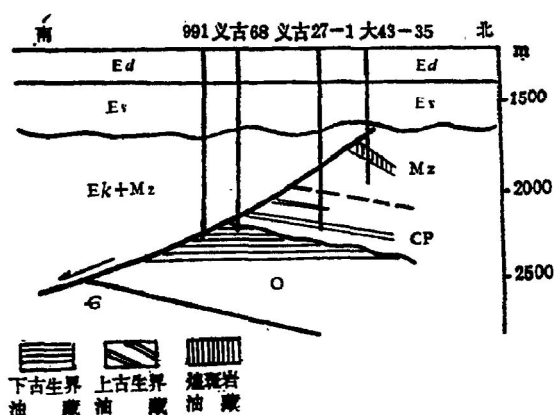


图1 义北油田油藏剖面示意图

为一反向屋脊式块断油藏,受北西西走向断层控制。

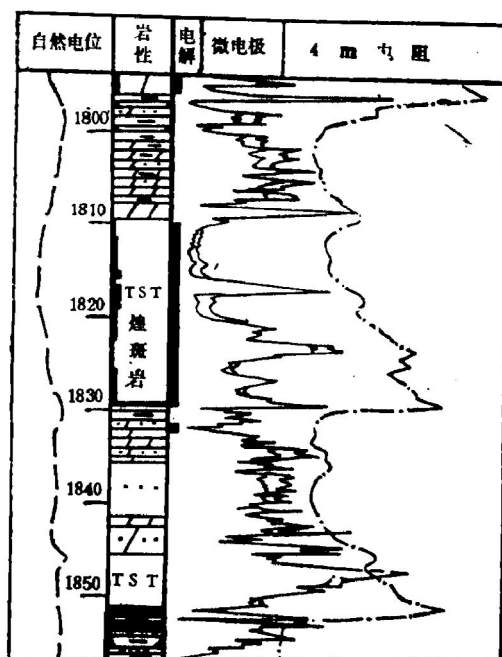


图2 大43-35井侏罗系中煌斑岩含油井段柱状剖面图

侵入于坊子组不同层位的一系列煌斑岩脉,视厚度变化大。以大43-35取心井为例(图2),最厚可达20 m(井深为1810—1830 m),根据地球物理测井解释,煌斑岩储集体的渗透性较其上下的砂岩储层要好,而其内部变化大,非均质性强。

根据对岩心和探井、开发井的观察,煌斑岩储油岩及隔层的裂缝均较发育,构成以孔隙为主的裂缝连通体,在整个东西长5.5 km、南北宽300—400 m的煌斑岩含油范围内,有统一的油水界面(约1900 m)。油层的压力及产量稳定,且相当一致。7 mm油嘴月产油50 t,弹性产率为670—720 t/atm。油质轻,比重为0.88;粘度小,一般为0.020—0.029 Pa·s。油水性质在纵向及横向上变化不大。

该煌斑岩油藏的生油岩为邻近凹陷中的下第三系沙河街组暗色泥岩。这一结论已被碳同位素比值、异戊二烯类烃、正构烷烃分布特征及原油孢粉等对比指标所证实。

二、储油煌斑岩的岩性特征

根据肉眼观察,未蚀变的煌斑岩为深灰色,具块状构造,虽含有大量黑云母片,但均无定向排列,容易和其他岩石区别;如经蚀变,颜色变浅,带有绿的色调;如具有孔隙均匀含油时,外观上与褐色含油砂岩颇为相似。最初进行岩心录井时,曾误认为是含油砂岩,若仔细观察,根据含有大量无定向排列的黑云母而无石英砂粒这一特征,不难与含油砂岩区分。

在偏光显微镜下观察,岩石为全晶质显晶质,具斑状结构(图版I-1)。斑晶主要由自形黑云母及受蚀变的自形辉石组成(图版I-2),还可有少量斜长石及自形角闪石,一般为0.3—3 mm(图版I-3)。基质的矿物成分基本与斑晶的矿物成分相同,一般小于0.3 mm(图版I-1)。

岩石中黑云母占30%,多呈自形晶,多色性强,Ng为棕红色,Np为浅黄色。黑云母斑晶具有环带构造,由颜色变化(或含铁量变化)形成。辉石占7—15%,自形斑晶的横断面为八边形(图版I-2,4),次生蚀变强,多被皂石、绿泥石及闪石类矿物交代。有的辉石形成溶孔,后被铁白云石充填(图版I-4)。钠长石及钾长石等碱性长石占50—60%,其中往往含有许多包裹体,常见者为黑云母、磷灰石及辉石,说明长石形成较晚。副矿物有自形磷灰石2%(图版I-5)、自形黄铁矿及钻石1%。

埋藏成岩期形成的自生矿物种类较多,根据薄片、扫描电镜及能谱分析,可鉴定的

有铁白云石、方解石、发丝状伊利石、自生石英和自生钾长石(图版Ⅱ-3,4,5)。

义北油田的煌斑岩,根据其主要矿物种类及含量,可详细定名为辉石云煌岩。云煌岩是最常见的一种煌斑岩,但辉石云煌岩则少见。辉石云煌岩中含有较多不稳定的暗色矿物辉石及角闪石,这是形成次生储集空间的有利条件。

三、储集空间特征

煌斑岩是由沿构造缝侵入的岩浆冷凝固晶形成的,不可能具有连通的原生孔隙。为了认识煌斑岩储集空间的性质,在详细观察岩心的基础上,选取有代表性的样品,做了7项室内分析:薄片、铸体薄片、孔隙度、渗透率、碳酸盐含量、扫描电镜及能谱分析。通过综合研究已有资料,对储集空间特征得出以下认识。

1. 具较好的孔隙性

根据大43-35及大43-49两口井105个岩心样品的分析资料统计,煌斑岩的渗透率及孔隙度平均值均高于侏罗系含油砂岩(表1)。煌斑岩的最大孔隙度为25.2%,最大渗

表1 中生代煌斑岩与砂岩的储油物性数据对比

井号	岩性	样品数	孔隙度(%)			渗透率(mD)		
			最大	最小	平均值	最大	最小	平均值
大43-35	长石砂岩	14	19.5	5	14	10	0.09	2.1
	煌斑岩	69	25.2	5.2	15	30	0.9	6.6
大43-49	长石砂岩	10	14.6	6.8	10	5.7	0.08	1.5
	煌斑岩	12	21.7	14.3	16.6	1.6	0.12	0.3

透率为30mD;而侏罗系含油长石砂岩的最大孔隙度为19.5%,最大渗透率为10mD。煌斑岩储层具有大量孔隙,并不是以微裂缝为主,应属于孔隙型储集岩,和某些砂岩储层的物性特征相似。

2. 储集空间类型简单(表2)

表2 煌斑岩的储集空间类型

储集空间类型	一般大小(mm)	丰度	形成机理
构造裂缝	<5	++	构造应力作用
收缩缝	<5	+	岩浆冷凝收缩
暗色矿物晶溶孔	0.05—1	+++	深埋期层内的溶解作用
长石晶溶孔	0.05—1	+	
晶间溶孔	0.02—0.1	+	
解理溶缝	0.02—0.03	+	
晶间孔(原生)	0.01—0.03	+	自形黑云母的结晶作用

根根成因可区分为7种,以次生孔隙及构造裂缝为主。各种孔隙大小悬殊,相对丰度差别大,分布不均匀(图版Ⅰ-1,2)。

3. 构造裂缝发育具良好的渗流通道

根根肉眼观察,在岩心上可见缝面平直的三组裂缝。有两组斜交呈X形排列,缝宽0.2—1 mm,延伸短;另一组为垂直缝,宽1—5 mm,延伸长,由张应力形成。裂缝的平均线密度为15条/m。裂缝对次生溶孔的形成起控制作用,沿裂缝密集处,次生孔隙较多。不同时期的裂缝,构成交截切割(图版Ⅰ-6)。

4. 晶溶孔是最主要的储集空间

辉石和角闪石最易形成晶溶孔,不仅数量多,而且孔径较大(图版Ⅰ-2,3)。此外可见孔径较小的长石溶孔(图版Ⅰ-6)、黑云母晶间孔(图版Ⅰ-1)及晶溶孔(图版Ⅰ-3)和铁白云石溶孔。根根扫描电镜观察,常见造岩矿物溶孔的形成是有规律的:晶内微缝隙的存在是形成晶溶孔的有利条件,许多矿物都是从解理缝开始溶解。解理缝宽的矿物(如辉石及角闪石)易形成晶溶孔;不稳定的暗色矿物易发生次生变化,被碳酸盐及绿泥石等不稳定次生矿物交代,同时出现晶间微孔隙,有利于进一步溶解形成晶溶孔。由此可见,煌斑岩的矿物组合特征,较之一般砂岩,更有利于形成晶溶孔。依此可进一步说明为什么表1中煌斑岩的孔隙度高于其上下砂岩的孔隙度。

煌斑岩晶溶孔的连通性较差,所以岩石的孔隙度和渗透率之间没有好的线性关系(图3),特别是当孔隙度大于15%时,渗透率的变化基本与孔隙度的变化无关。对于这种储集岩,渗透率主要取决裂缝的发育程度,采取压裂增产措施,预期可收到好的效果。

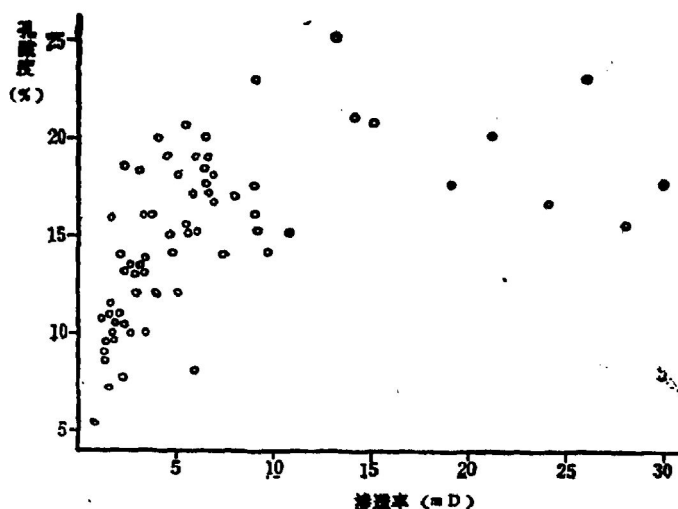


图3 大43-35井煌斑岩孔隙度和渗透率的关系图

5. 胶结作用是减少储集空间的主要作用

根据薄片、扫描电镜及X-射线衍射分析,煌斑岩中充填次生孔隙的自生矿物(胶结物)有铁白云石、方解石、绿泥石、发丝状伊利石、自生石英及自生长石(图版Ⅰ-4,图版Ⅰ-3—5)。后两种自生矿物仅见于个别裂缝中,形成时期较晚。上述自生矿物中,以碳酸盐矿物对孔隙性影响最大。根据煌斑岩孔隙度和碳酸盐含量所做的散点图(图4)

来看,随碳酸盐含量增加,孔隙度有明显降低的趋势,符合这一规律的样品占80%。

综上所述,煌斑岩储集空间的形成及演化历史(图5),主要受溶解作用及胶结作用控制,不同于主要受沉积特征控制的碎屑岩及碳酸盐岩储层。值得注意的是,各种原生的及次生的微小缝隙往往是较大次生孔隙形成的基础,详细研究这种渐进的溶解作用颇为重要。

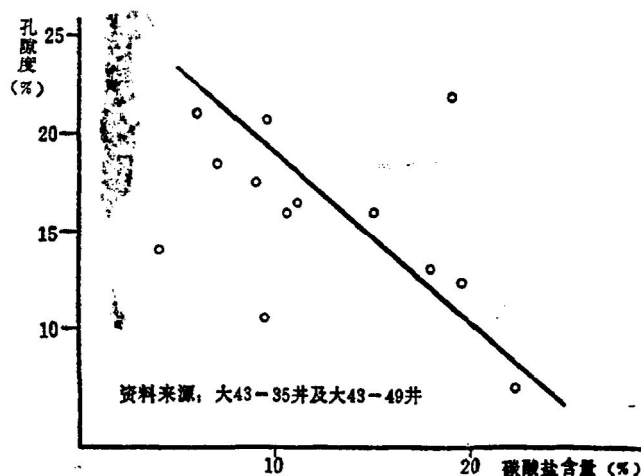


图4 煌斑岩孔隙度和碳酸盐含量的关系

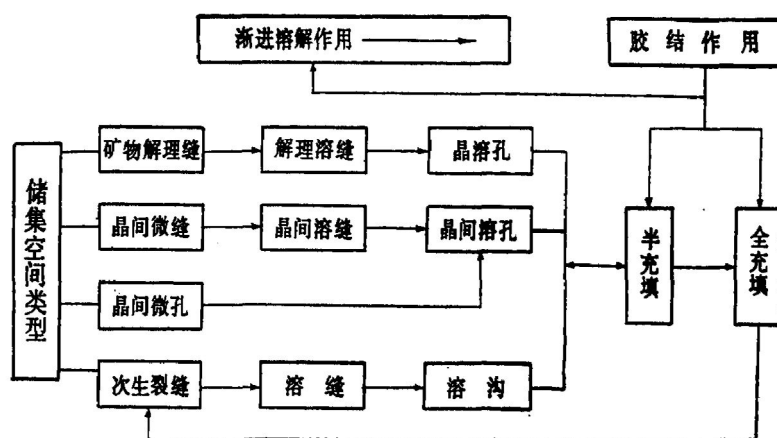


图5 煌斑岩孔隙的形成演化史

四、次生溶孔的成因及分布

传统地质学认为,大部分次生溶孔都是在近地表带形成的,与表生成岩作用或风化作用有关,即由富含氧和 CO_2 的大气水溶解抗酸弱的矿物形成的,同时可形成氧化矿物。研究区所见煌斑岩深埋地下,其次生溶孔是在深埋期形成的,主要依根是:(1)无任何表生作用和风化作用特征,岩石为暗绿黑色,无氧化褪色现象,镜下未见铁的氧化物;(2)辉石的次生蚀变矿物皂石、绿泥石及闪石等,虽化学性质很不稳定,但没有受氧化的迹象;(3)根据岩石结构及成岩作用顺序的研究,次生溶孔是在典型埋藏成岩矿物自生长石及铁白云石形成前后产生的;(4)在近地表带极不稳定的磷灰石可见于煌斑岩溶孔附近,晶形完好(图版I-5)。根据Mortone (1984)^[4]的研究,磷灰石只在深埋条件下稳定。此外,结合煌斑岩的产状特点及区域地质资料分析,可以确定煌斑岩的次生溶孔是在地下深处溶解各种铝硅酸盐矿物形成的。

铝硅酸盐矿物的溶解是一个铝的迁移问题。近年来Surdam^[5,6]有关次生孔形成化学

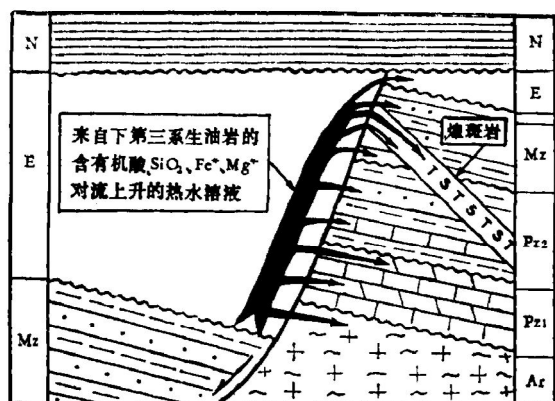


图6 义北油田燧石岩油藏及其他油藏类型
次生溶孔成因模式

机理的研究最受重视。他的实验数据表明,与油田水相同浓度和相同温度范围的醋酸溶液和草酸溶液,能使铝的溶解度分别增加1和3个数量级,使铝变成有机络合物进行转移。生油岩的有机质在成熟演化过程中,可产生有机酸和二氧化碳。在地下深处这些有机酸和岩石相互作用,可形成溶孔和自生矿物^[7]。义北油田的储油燧石岩,具有形成次生溶孔的下述有利条件(图6):

1. 燧石岩油藏距第三系生油岩近

在油气运移到燧石岩以前,生油岩内有机质转化早期所形成的有机酸溶液,只需短距离运移,就可与燧石岩中某些易溶的铝硅酸盐矿物发生反应,形成各种次生溶孔。

2. 有足够的流动流体 第三系有巨厚的泥岩,随埋深和温度增加,由于渐进埋藏成岩作用,出现粘土矿物转化等脱水变化,形成流体。由于温差产生的对流作用,使储层中的流体不断流动,同时不断改变其溶解成分,这对形成溶孔及自生矿物均具有重要意义^[8]。

3. 具有有机质成熟演化较快的有利条件 义北油田及其周围地区属高地热区,地热梯度为3.5—4℃/100m。在高地热区,生油岩中由有机酸溶液形成到烃类成熟、演化过程进行得较快,次生孔隙形成后,随即有烃类充填,及时终止了碳酸盐等次生矿物充填孔隙的作用。

4. 有机酸溶液有良好的渗流通道 义北油田及其周围地区断裂作用发育,在油藏形成前,有北西西及北东向两组基岩断裂活动,并与凹陷中下第三系沙河街组生油层连通,为有机酸溶液的迁移提供通道。燧石岩是沿构造裂缝侵入的,由于继承性断裂活动,侵入岩内形成的多期构造缝,更为有机酸溶液在燧石岩内的流动和溶解作用提供了有利条件。

上述认识,对寻找各种深成次生溶孔储集体或基岩油藏都是有实际意义的。生油凹陷周边和内部的凸起,是寻找基岩油藏的有利地区;与生油凹陷连通并在聚油期前基本结束活动的基岩断裂带附近,是勘探基岩油藏的有利带。此外,通过对燧石岩油藏孔隙成因的研究,还可以得到一个重要的启示:在一定的地质条件下,任何岩石类型,包括侵入岩和变质岩,都有可能形成储集岩,只是这种机遇率对不同岩性差别很大。勘探油气藏时,要在充分考虑主要目的层的同时,兼顾特殊储层。

五、结 论

综上所述,可以得出以下结论:

1. 没有原生孔隙的燧石岩类结晶岩,在一定的地质条件下可以形成孔隙型储集岩,并可具有相当于中—低渗透性砂岩的孔隙度和渗透率。

2. 煌斑岩类结晶岩的主要储集空间类型是晶内溶孔。构造缝对晶内溶孔的形成和连通以及油气运移和聚集都是必要条件。

3. 晶溶孔的形成, 一般都是从解理缝或微裂缝开始逐渐溶解扩大。煌斑岩中解理缝发育的不稳定矿物辉石及角闪石, 是很有利于形成晶溶孔的矿物。

4. 形成次生溶孔的溶解作用, 是在深埋期进行的。溶质来自第三系生油岩的有机酸。

5. 研究煌斑岩次生孔隙的成因, 不仅为扩大勘探领域提供理论依据, 而且对评价和开发以次生孔隙为主的油藏, 如基岩油藏, 都是有利的。

致谢: 我院王德坪同志详细审阅了本文初稿, 并提出不少修改意见; 在工作中, 得到我院电镜组李载铎及岩矿组吕正谋的帮助, 特此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Komatsu, N. et al., 1983, Proc. 11th World Petr. Congr., London, P. 411—420.
- [2] Seeman, U. and Scherer, M., 1984, Clay Minerals 19, P. 457—470.
- [3] Willms, J. J., 1972, AAPG Mem. 16, P. 623—632.
- [4] Morton, A. C., 1984, Clay Minerals 19, P. 287—308.
- [5] Surdam, R. C. et al., 1984, AAPG Mem. 37, P. 127—149.
- [6] Surdam, R. C. and Crossey, L. J., 1985, Phil. Trans. R. Soc. Lond. A315, P. 135—156.
- [7] 周自立等, 1985, 石油学报, 第6卷, 第2期, 13—21页。
- [8] Blackburn, G. A., 1984, Clay Minerals 19, P. 377—389.

STUDY ON THE RESERVOIR POROSITY IN MESOZOIC LAMPROPHYRIC INTRUSIVE BODY, YIBEI OIL FIELD

Zhou Zili

(Geological Institute of Shengli Oilfield)

Abstract

A rare oil pool of Mesozoic lamprophyric intrusive body has been found on the Yihezhuang Uplift in the Chezhen Depression, North Shandong. This paper deals with the origin and distribution of porosity in the particular reservoir rocks.

The study made by means of many petrological methods shows that,

1. The lamprophyric reservoir rocks are characterized by rich intracrystal porosity of augite and hornblende, clearly different from ordinary sedimentary reservoir rocks;

2. The porosity (5.2—25.2%) and the permeability (0.12—30 mD) are higher than that of the top and bottom sandstone reservoir rocks;

3. The secondary porosity was formed in the course of deep buried stage and the acid organic solution came from adjacent organic rich source rocks of the Lower Tertiary (short distance migration);

4. The tectonic fractures have provided favourable passage for the migration

of acid organic solution and oil;

5. The rapid evolution that started from the generation of organic solvent to hydrocarbon maturation associated with adequate fluid flux is another favourable condition for the formation of secondary porosity.

The periphery of the oil generation depression and the uplift within it are favourable targets for oil exploration when their basement faults are connected with the depression and various rocks there have fractures and easily dissolving component.

我国近海油气勘探的新进展

1986年,我国近海油气勘探共发现了12个新的含油气构造,并钻获工业油气流,这是近几年来发现油气田最多的一年。这12个含油气构造分布在辽东湾3个,渤海湾2个,东海2个和南海5个。目前我国海域的陆架区已初步形成6个大型油气富集区:即辽东湾海域锦州14-20海区;渤海湾南部的Bz-28-1和Bz34海区;东海陆架盆地的西湖凹陷区;珠江口的西江-惠州和陆丰海区以及莺歌海的崖13-1含气区。

去年海域共打探井33口,其中有18口井见到油气流;海上全年共产原油37.5万吨,比1985年增长28.1万吨。近海油气勘探成果表明,我国陆架区海域很有希望找到连片的大油气田。至今全海域打了上百口勘探井,平均每打5口探井就能有2口见到油气流,这种较高的成功率在国际上也是少有的。同时,还圈定了上百个局部构造,有古潜山、背斜、滚动背斜、礁体等各种类型圈闭,而且构造面积很大,最大可达400—500 km²,尤其是有一些构造是连片或成排分布。这些都充分展现了我国近海广阔的找油领域。据资源预测,渤海、南黄海、东海及南海的珠江口、莺歌海、北部湾等盆地的石油地质储量可达100多亿吨。

我国海洋石油自1979年开始对外合作以来,在油气勘探与开发工作中取得了丰硕成果。全海域完成地震测线5万多公里,完成钻探井100多口,打出了40多口见油气井。先后两轮的对外招标,现已圆满结束。至今已有美国、日本、英国、法国、荷兰、挪威、意大利、西班牙、科威特、澳大利亚等12个国家的58家石油公司同中国签订了33个海上石油勘探合同和3个物探协议,合作面积近15万平方公里。双方已投资了24亿多美元和近4亿元人民币。现在,我国的近海石油勘探已经进入了“多发现期”,并开始陆续由勘探进入开发期。目前,我国已确定的海上油田有10个。渤海埕北油田1985年9月投产,至今已生产原油20多万吨;北部湾涠10-3油田1986年8月投入试生产,该油田全面投产后,年产原油可达90—100万吨;还有5个油田正在积极进行开发可行性研究;莺歌海崖13-1天然气田,中美合作正在进行开发前的准备,从海南岛的三亚市到深圳市的1000多公里输气管道的选线工作已基本完成,预计1989—1990年向陆地上输气。由我国自行勘探的东海油气资源,国家已列为“七五”计划的早期开发项目。

由于我国近海域是目前世界上为数不多的尚未进行开发的处女地,因此这里的油气开发前景对外国石油公司来说,仍然是颇有吸引力的。尽管去年国际油价出现暴跌,但没有一家公司表示要撤离中国,反而又有5家公司在石油市场不景气的情况下与我国签订了5个合同和3个物探协议。现在仍有6家石油公司与我方商谈,可望达成新的协议。

(莫杰)