

对加深中国东部地区地震勘探 工作的检讨

袁秉衡 谭试典 刘秋生

摘 要

中国东部地区在油气勘探上是相对成熟的老区,已获得丰富的油气资源,同时也是当前扩大油气储量、迅速提高产能的最现实地区。但是,本区地质构造、岩性岩相复杂多变,给地震工作带来了很大的困难。

根据东部含油气区的油气分布规律、地质构造特点,我们对加深该区的地震勘探工作提出一些建议:以新的思路评价含油气圈闭带;提高野外采集精度、搞好精细处理、编制准确的构造图;推广三维地震和垂直地震剖面法,以期在今后几年内获得更多的油气后备储量。

ABSTRACT

Eastern China is a relatively mature area in petroleum exploration where a large amount of oil and gas has already been produced, and this area is also the most realistic area in increasing both oil and gas reserve and production at present. However, it is very difficult to undertake seismic survey there due to the complexity of geological structures, and the variations of lithology and lithofacies in the area.

In order to enlarge the oil and gas reserve in the next few years, the following recommendations in reinforcing the seismic exploration work are proposed based on hydrocarbon distributions and structural characteristics within oil and gas bearing areas: 1) new principle for the evaluation of hydrocarbon trapping zone, 2) more accurate field acquisition, data processing and contour mapping and 3) extensive 3D seismic survey and vertical seismic profiling.

引 言

中国东部含油气区位于大兴安岭、太行山、武陵山以东,小兴安岭以南,南岭以北的广大区域。区内共有四十余个中、新生界沉积盆地,其中松辽、华北、江汉、南阳、

泌阳、苏北等盆地,已证实含有丰富的油气资源,是我国当前主要的油气产区。本区勘探时间较长,已进行了较多的地震及钻井工作,在国内属于勘探程度较高的老区。但与国外勘探高成熟区相比,其勘探程度仍然是很低的。到目前为止,这些地区钻井总计才两万余口,平均40余平方公里一口探井。钻井较多的华北盆地也只达到20~30平方公里一口井。而美国的墨西哥湾面积约70~80万平方公里,却钻探井一百万余口,平均1.4平方公里就有一口井。陆地上的德克萨斯州与路易斯安那州也是平均1.3平方公里一口井。估计这些地区仍有30~40%的油气资源尚未发现。相形之下我国东部的勘探程度还是低的,对3,000米以下、老油田外围等地区的工作做得更少,对深层、隐蔽复杂的油气藏也刚开始寻找,尚有可观的潜力可以挖掘。只要认真、细致、深入地分析这些油气藏的分布规律,就有可能更多、更快地发现新的油气藏。针对本区复杂多变的地质构造条件,必须以新的思路、新的技术、探索新的领域,以提供更多的后备资源。

东部沉积盆地地质构造特征

中、新生代以来,中国东部由于库拉-太平洋板块向西强烈俯冲消减,使中生代以前不同的大地构造单元受毕乌夫带的控制,形成了统一的扩张大陆边缘活动带。大陆边缘类型由中生代的安底斯山型转化为新生代的岛弧-边缘海型。因此沉积盆地形成于扩张背景之中,盆地类型以裂谷型为主,块断裂陷作用显著。由于强烈的块断裂陷作用,盆地构造成地堑-地垒或半地堑-半地垒式结构,构造作用与沉积作用同步发生,造成多凹多凸的景观,对盆地内的构造面貌及沉积条件均有深刻的影响。

一、盆地内构造具有错综复杂的断裂系统

由于盆地是块断裂陷的产物,区域性拉伸作用、超压泥岩作用、火成岩的底辟作用等形成了一系列与沉积作用同步发生的断层,即滑脱型正断层。这些断层不但控制了凹陷与隆起(凸起)的形成,同时也造成了类型繁多、形态各异的局部构造。这些局部构造又常常被断裂所复杂化。二级构造带在构造图上往往表现为一条密如蛛网的断裂密集带。在穿过构造顶部的地震剖面上常可见到许多断层,每公里可有数条,甚至一、二百米的距离内即有数条断层。这不但破坏了局部构造的完整性,也影响了上、下层构造的一致性。致使构造带的范围很难勾绘,往往在构造之外,还存在着各种各样的断块圈闭。

这些众多的断层常常与不整合面、各种储集体有机配置,构成一个三维的油气运移通道体系。油气沿断层垂直运移至上覆地层,也可形成次生油气藏。

由于油气藏多被断层所切割,造成油、气、水分布复杂,具有多压力系统、多流体性质、多驱动类型的特点。

二、多期裂陷作用,形成了众多的不整合面

以华北盆地为例,第三系本身即可见到全区分布的五至六个区域性不整合面,即明化镇组与馆陶组之间、馆陶组与东营组之间、东营组与沙一段之间、沙一段与沙二段之间、沙三段与沙四段之间、沙四段与孔店组之间等。苏北盆地高邮凹陷的中、新生代内部也发育着五个不整合面。在局部地区还可能有更多的不整合面,如廊固凹陷的牛北斜

坡在沙四段一孔店组内部即可找到三个不整合面。江汉盆地潜江凹陷的白垩系地层内也有两个区域性不整合面及五个沉积间断面。

由于这些不整合面的存在，造成沉积层多次超覆与退覆，也造成了上、下构造层中的构造不一致、高点发生偏移。如前所述，这些不整合面不仅在油气运移上起着重要的作用，更重要的是长时期的间断、侵蚀、切割，使不整合面上、下造成各种类型有利的圈闭。如华北盆地各坳陷内的古潜山油藏，以及济阳孤岛的不整合油藏等等。

三、多沉积体系造成了多种储集岩体

东部盆地多凹多凸，具有多物源、多沉积体系的特点。在不同发育阶段又具有不同类型的沉积序列。因此东部盆地具有多种类型的储集体，主要有三角洲、水下冲积扇、深水浊积扇及深水水道砂、席状砂、生物粒屑灰岩、礁灰岩等。此外，古潜山中的古生界、中—上元古界的白云岩、灰岩以及其上的坡积、塌积砾岩、花岗岩风化壳等，也被证实为优良的储集层。而中生界与第三系的火成岩也可成为较好的储集层。

四、多套生油层系

东部中、新生代沉积盆地叠置在不同的大地构造单元之上，华北盆地叠合在中朝陆块中—上元古代、古生代陆表海盆之上，松辽盆地基底是兴安岭褶皱带，苏北、江汉盆地叠置在扬子陆块的古生代陆表海或陆缘海盆之上。不但中、新生代发育有多套生油层系，而且前中生代地层也有生油层存在。从古地理的位置而言，这些中、新生代盆地，多属滨海的陆相湖盆。已经证实松辽盆地的白垩系以及华北、南阳、苏北、江汉等盆地的下第三系是优良的生油层，是上述盆地的主要油源。近几年来生油问题的研究，认为石炭—二叠系地层生油生气是可能的，东北地区石炭—二叠系地层未变质或轻微变质，亦有可能具备生成油气的条件。华北地区的古生界与中—上元古界原生油气藏仍有可能存在。总之，自中—上元古界起，到古生界、中生界、新生界均有可能成为油气的来源。

五、复杂的地质构造背景造成了丰富多彩的圈闭类型

我国东部地区除了上述复杂的构造、断层形成的大量受断层破坏的构造圈闭外，还存在着各式各样的隐蔽圈闭。笔者曾把中国东部的隐蔽圈闭划分为四类九种，即：

潜山圈闭

潜山山头圈闭

潜山山坡圈闭

潜山山腹圈闭

地层圈闭

地层超覆（不整合面以上）圈闭

地层不整合（不整合面以下）圈闭

岩性圈闭

透镜状岩性圈闭

砂岩上倾尖灭圈闭

塌积、坡积砾岩圈闭

混合圈闭

断层岩性圈闭

以上各类圈闭, 如果生、储、盖条件配置得当, 便可形成油气藏。

地震资料的复杂性

陆地与海洋不同, 表层介质多变, 加以上述石油地质条件的复杂性, 使地震资料异乎寻常的复杂。

首先是地震资料的信噪比比海上的资料要低得多, 而即使在有较高信噪比的资料中, 也常常出现许多异常的地质构造现象, 给解释工作带来困难。由于岩性变化大、岩相带狭窄、构造多、断层密集、不整合多等等地质因素, 致使地震剖面上连续的反射同相轴少, 异常波(包括侧面波)发育, 干涉现象严重。因此容易把地震剖面上的构造现象与地层反映混淆起来, 有时漏掉了层间构造, 有时认错了潜山、砂层, 有时判断错了平点、亮点等。例如大兴凸起下的兴3井区, 地震剖面上曾因有一组强反射波, 被误认为是断阶带的 T_2 波, 钻探结果证实是水下扇的砂、砾岩与泥岩互层的反映。1976年晋县凹陷的赵兰庄构造, 地震剖面上一组强波, 曾被解释为潜山山头的基岩反射, 钻探后发现是一套近源角砾岩组成的丘状体。后经地震地层学的研究及钻探资料的证实, 确定是杂乱的丘状地震相, 属山坡重力滑动而形成的塌积锥。1981年以前束鹿凹陷按标准层作构造图, 全凹陷基本上未发现构造, 1982年经资料的精细处理, 重新解释, 发现了荆丘层间构造, 并根据“平点”等振幅异常提供评价井位, 结果全部见油, 从而确定了含油气范围。荆丘油田的勘探与开发是陆地勘探中一个比较成功的实例。

对于更为难以捉摸的隐蔽圈闭的勘探则办法更少。目前除了地质条件优越的局部地区(如东营)外, 尚未见到便于解释的波阻抗剖面以及较为细致的、质量良好的层速度剖面, 对振幅信息的分析也很不够, 尚需加强这方面的研究。

总之, 对东部这样复杂的地区, 地震勘探, 还远远达不到地质工作的要求。

加深地震勘探工作的意见

世界上石油勘探虽然只有百多年的历史, 但由于石油工业一直处于高速发展之中, 勘探工作中积累的经验和资料日益丰富。特别是近二十年来发展了许多新观点、新技术, 给予我们的勘探工作不少有益的启示。面对东部沉积盆地复杂的地质条件, 我们也应借鉴这些新观点、新技术, 以崭新的姿态来进行工作。根据笔者近年来工作中的体会, 提出以下意见, 供从事地震勘探的同志们参考。

一、首先要以新的思路评价有利的含油气圈闭带

如上所述东部含油气盆地复杂的石油地质条件是形成多种隐蔽圈闭的地质背景, 而探索它们的分布规律是寻找并评价这些圈闭的前提。实践表明这些含油气盆地内的含油气构造一般均沿着构造分布。华北盆地各个坳陷的古潜山油气藏也是沿着潜山带分布

的。最近通过我们的研究认为,其它的隐蔽油气藏也将是成排成带分布的。我们把包括构造带和潜山带在内的含油气带统称为圈闭带,归结起来大致有以下五种含油气圈闭带:

构造圈闭带

潜山圈闭带

不整合圈闭带

地层超覆圈闭带

岩性尖灭圈闭带

上述这些圈闭带在平面上是有其展布规律的。众所周知,构造带与潜山带多呈线状或带状分布,其它各种圈闭带均受其地质构造背景所控制,或呈线形、或呈弧形、或呈蛇形弯曲、或断续分布。如不整合圈闭带往往出现在以下各种区域构造背景下:一是凹陷缓坡基底之上覆层的挠曲带处,即沿枢纽线(Hinge Line)分布;二是分布在凹陷陡翼大断层的台阶处;另外还可能分布在凸起的两翼。因此,不整合带往往呈带状或略有弯曲。而岩性尖灭带则较为复杂,因为受古地理条件控制的砂体,形态变化很大,但了解其沉积背景之后,仍然有规律可循。因此,认识了这些规律之后,我们即可预测盆地中各种圈闭带的分布,并可按寻找二级构造带那样,圈定各种圈闭带的位置。这样在含油气盆地中将不是无规律可循的,而同样存在着若干个隐蔽圈闭带。按这种思想找油有可能大大地开阔我们的视野,扩大找油的领域。

上述五种含油气圈闭带的观点与当前盛行的复式油气聚集带的理论并不矛盾。我们认为所谓复式油气聚集带,就是各种类型油气圈闭带互相交叉、叠置组合而成。因此要搞清复式油气聚集带的分布规律,似乎应从搞清各种类型油气圈闭带入手,深入分析研究这些圈闭带,根据各自的特点有针对性地进行工作。

二、以有利圈闭带为对象做好地震信息采集工作

以往东部地区虽然做了大量的地震工作,但从以寻找各种类型圈闭带为目的来讲,似乎精度仍不够高,针对性也不够强。一般而言,少于十二次覆盖的资料是不能满足要求的(随着勘探程度加深、地质要求的提高、野外信息的采集精度还应不断提高)。按照这个标准,冀中地区大体要淘汰掉 $1/4 \sim 1/3$ 的工作量,有的甚至要淘汰掉40~50%的工作量,这无疑等于降低了勘探程度。此外,原有的测网都是根据构造圈闭带的延伸方向、分布范围布设的,显然不适应寻找其它类型的圈闭。因此,以挑选出有利的圈闭带为对象,剔除不合要求的测线之后,在尽量利用原有测线的基础上重新部署测线。

今后的野外工作必须按高标准要求,做到高保真、高分辨率、高信噪比。要尽可能地使用数字地震仪,尽量保持足够的覆盖次数(一般不低于24次),要因地制宜地选用适当的工作方法。在某些复杂的有利地区还可使用三维地震方法。

三、针对各类圈闭的特点进行精细的资料处理工作

资料处理是地震勘探中的一个重要环节。近年来地震技术在这方面发展很快,目前全国的处理能力已有明显的发展,处理出的资料水平虽有提高,但对在东部相对成熟区寻找复杂的圈闭来说,却不能满足地质需要,切望迅速地、有效地提高。

首先是常规处理方面。地震资料的常规处理以及老资料的重复处理潜力都很大。往

往要在参数选择上下些功夫,或针对某一地区存在的问题选择有效的处理项目即可见到明显的效果,这种实例比比皆是。反复、细致、深入的处理也是提高效果的重要手段。另外,还应强调东部地区的地震资料应采用保持振幅处理,以利于解释岩性变化、检测油气层及寻找其它的复杂圈闭。

特殊处理也是一个重要的课题。目前简便而较有效的项目是复数道分析(三瞬)和碳氢检测(包括亮点技术)。这些处理项目应在各圈闭带上大量进行。必须指出,到今天为止,国内在层速度剖面及波阻抗剖面的效果仍不够理想(除个别地区,如东营凹陷外)。尽管国外利用地震信息研究小层岩性尚处于摸索阶段,但他们毕竟可以提供质量较好的层速度剖面和波阻抗剖面,甚至在我国陆地上的复杂地区,他们也有得出较好成果的例子。如美国GSI公司对冀中的霸县顾辛庄潜山的g-Log剖面效果就很显著。笔者曾据通过该潜山的g-Log剖面认为有一个坡积—塌积砾岩体的圈闭。同样的地区为什么人家能得出效果较好的资料?除了值得我们深思之外,今后我们应在这方面多做些脚踏实地的工作。模型反演技术主要用来检验复杂地质构造的解释结论是否合理,是解释工作必不可少的。近几年虽已做过不少模型并用于解释,但仍然不够普及与深入。我们认为不论是在勘探的概查、普查、详查、细测哪个阶段,只要遇到感兴趣的地质现象。例如礁块、火成岩,甚至复杂而难以解释的局部构造、潜山等,均应进行模型试验,验证解释合理后再作为地质成果上交。

四、对东部相对成熟区有利圈闭带的精细的地震地质解释工作,首要的一环仍然是扎扎实实地搞好构造图

当前,尽管地震信息已经可以解决很多地质问题,但基本的一条仍然是搞准构造,交出优质的构造图。笔者认为,一套(不是一张)优质构造图应做到能如实地反映客观实际、明确地表达作图观点、清晰地反映构造形态。其标准如下;

1. 构造的区域轮廓要清楚,必要时应附有局部轮廓图;
2. 局部圈闭的高点位置、圈闭产状要明确;
3. 作图层位依需要而定。在有构造或其它圈闭的部位,可加做两个作图标准层之间的反射层构造图。也应注意有兴趣的浅层与深层构造图;
4. 以各种不同形式的作用表示各类圈闭的构造形态、产状、闭合情况等;
5. 有多种解释方案时,应作几种不同方案图;
6. 构造等值线要以虚、实线标明,质量定级;
7. 平面、剖面图要协调一致。

以上是我们的一些初步体会仅供参考。

五、针对要寻找的圈闭类型有的放矢地作图,是东部解释工作的另一重要课题

在已有构造图的基础上研究各种类型圈闭,作出反映其闭合情况的拼合构造图。如断块型的潜山圈闭可用断面与潜山顶面拼接起来联合作图(拼接线应在断块山的断棱峰顶线上),以表明潜山的闭合情况及产状。不整合型的圈闭亦可用不整合面上、下不同层位拼合成图,拼接线在不整合圈闭的高点线上。超覆尖灭型圈闭要作被超覆层(目的层)顶、底板的构造图,每张图上标出尖灭超覆线的位置。这两张图可以叠合在一起。

根据这些反映圈闭情况的特殊构造来计算所寻找圈闭的闭合要素（面积、幅度等）。

六、学习并用好地震资料解释、绘图系统

近年来国外已开始应用由小型计算机控制的各种类型的解释与绘图系统，如美国 Digcon 公司的 Discovery 系统，美国 GSI 公司的 Vax 11/780 等。这些我们均将引进使用，国内也在试制。这种用于解释的计算机是解释人员的有利工具，可以使用其上的终端进行对比、分析和绘制图件，省去解释人员许多繁琐的具体工作，使解释人员能把更多的精力投入到思维劳动中去。必须指出这种计算机虽然具备许多功能，但它毕竟是工具，它仍需靠解释人员的思维来驾驶。如能结合国内的复杂地质构造，进行有针对性的软件研究，以扩展其功能、那就更好了。

七、迅速推广三维地震技术

三维地震技术在世界各地已见到良好的效果，无可置疑这是我们复杂地区地震勘探的发展方向。国外有关这方面的报道已经很多了。国内冀中的顾辛庄、河南的文南、江汉的高场等地区的三维地震均见到显著的效果。在成本上，顾辛庄与高场三维地震费用大体只相当一口探井的花费。因此在东部地区的有利复杂带上应尽量发展三维地震工作。

另外，还需用三维技术的思路发展二维技术。国内一些地震专家认为三维与二维技术相比，其根本差别与优点在于三维归位，而我们地震勘探工作本身就是三维的体积测量，无非二维地震的数据网较稀而已。我们可用线距较密（ $1\text{km} \times 1\text{km}$ 或 $0.5\text{km} \times 0.5\text{km}$ ）的二维地震地区，用内插的办法加密数据网，再用这些资料进行三维偏移的试验。或据此提供三维切片，进行三维解释。笔者认为这种想法很好，颇值得一试。

八、加快试验和应用垂直地震剖面法

垂直地震剖面法（VSP）是苏联最早研究和应用的。近年来西方国家也有了迅速的发展。这种方法在西方与苏联均已取得很好的效果。最近孟尔盛总工程师一再热情宣传、组织、促进这项工作，这是颇有远见的。

垂直地震剖面法首先是能精确地对比钻井与地震层位。这就解决了地震地质解释工作中多年来存在的地震波与地质层位的准确对比问题，为定量的岩性研究及复杂构造打下了坚实的基础。当然，其它作用如提供本区所需的反褶积、子波处理、计算吸收系数，以及研究横波，甚至查明钻井附近的复杂地质构造等都是很有益的。

九、搞好地震地质解释基础理论研究

近年来由于地震信息越来越丰富，所解决的地质问题日益广泛。地震勘探成果已由单纯提供构造图，发展到涉及油气勘探领域中几乎所有的问题了。“石油地震地质学”这一石油地质领域中的新兴的边缘学科也就应运而生了。要搞好东部地区的地震勘探工作，我们地质人员不仅要认真学会使用地震信息，还要对地震地质学的一些基本问题及研究方法进行研究。如应用地震信息进行地层、岩性方面的研究，进行含油气盆地的特征和演化规律的研究，进行同生与后生构造的研究，进行油气生成、演化方面的研究，进行各个勘探时期资源预测的研究等，使地震资料在石油勘探中更加广泛、深入地发挥

其作用。

结 束 语

中国东部地区的油气资源丰富,含油气远景很大,但由于其自身地质结构复杂,使勘探工作极为困难。要迅速增加后备储量,必须认真搞好地震工作。以上搞好东部地震勘探的几点意见,是笔者数年来工作中的一些体会,提出来仅供读者参考。

本文引用了全国有关单位许多未发表的物探资料,在此对有关作者深表谢意。

参 考 文 献

- [1] 王尚文、张万选、张厚福、谭试典,《中国石油地质学》,石油工业出版社,1983
- [2] 卫祖德、陈隽,江汉HK地区三维地震勘探的地质效果,《石油地球物理勘探》,第5期,1983
- [3] 梁绍全编译,三维地震在石油勘探和开发中的应用,《石油物探译丛》,第1期,1984
- [4] H. Roicl Nelson著,范伟粹译,地球物理勘探技术的发展方向,《油气勘探译丛》,第1期,1984
- [5] 李汉瑜,关于某些复杂油气圈闭的认识与勘探工作,《石油地质》,第4卷,第一期,1980
- [6] G. A. Gabrielyants等著,甘克文译,不同地质环境下油气勘探的最佳战略,《第十届世界石油会议报告论文集》,第二分册,1980
- [7] G. P. Ovanesov等著,程守礼译,非构造圈闭勘探的发展,《第十届世界石油会议报告论文集》,第二分册,1980
- [8] 袁秉衡、林梁,中国东部含油气盆地隐蔽圈闭的地震反射特征及其勘探技术,《石油实验地质》,第6卷,第1期,1984
- [9] 袁秉衡、安延恺,地震地质的内涵与外延,《石油学报》,1982年增刊