

论石油地震地质学

袁秉衡 孙廷举

(石油工业部地球物理勘探局)

石油地震地质学的10项基本内容是:构造图的编制,大地构造研究,盆地属性研究,盆地内部构造特征研究,局部构造研究,区域地震地层学研究,隐蔽圈闭研究,生油条件研究,储集层研究,含油区远景综合评价。这一学科的形成经历了3个阶段:构造认识阶段,构造研究与地层研究阶段,油气远景综合评价阶段。这一学科的3个特点是:不可简化性,可分解性,明显的层次性。

随着石油地质科学的不断发展,特别是地震勘探技术的飞速进步,石油地震地质学这门边缘学科自然而然地诞生了。目前,它已经成为石油地质学的一个重要分支。从系统论的思维方法考虑,它是一门自成一格的“系统综合”学科。

一、石油地震地质学的基本内容

从目前的发展情况看,石油地震地质学主要包括十大内容。

1. 构造图的编制

现在的地震信息尽管已经可以解决很多地质问题,但编制构造图仍是一项基本的重要的工作。一套优质的构造图应能如实反映客观实际,明确表达编图观点,清晰反映构造形态。要根据地质任务需要,提供多层构造图,灵活地表达各种圈闭的形态与产状。为了提高图件精度,要不断提高地震解释水平。当前要注意研究垂直剖面法、三维地震资料解释以及利用专用计算机制图等方法。

2. 大地构造研究

大地构造研究的内容是,研究地壳深部地质构造特征,研究基底性质及格架以及邻区地震构造特征,从而弄清含油气区在板块构造上的位置,为进一步分析盆地构造属性打好基础。国际大陆地壳反射计划(COCORP)执行结果提示,在地壳上部20—30公里内,有些地区存在一些水平反射,可能是巨大水平构造推覆作用形成的滑脱面。这对研究含油气盆地的大地构造和形成机理,有重大价值。

3. 含油气盆地构造属性的研究

油气储存的基本单元是沉积盆地。不同类型的沉积盆地,其油气分布特征不相同,丰富程度也不相同。利用地震资料研究盆地的演化、分类,是评价含油气远景的重要一环。除了研究大地构造背景外,还要分析盆地的地球动力学背景,了解盆地形成机理,

研究构造运动及其型式,并建立各时期的沉积模式和演化模式等。这些都是研究盆地属性的主要内容。当前以地震为主,综合多种物探及其他信息,可以基本达到研究的目的。

4. 含油气盆地内部构造特征的研究

利用地球物理资料研究含油气盆地内次一级构造单元的特征,是多年来一直在进行的工作。由于各种资料精度的不断提高,这项工作日趋深入。

5. 局部构造的研究

各类局部构造形成的应力背景不同,油气藏类型以及找油方法也不相同。研究同沉积背斜、挤压背斜以及推覆构造等这些不同类型构造的发生、发展、展布规律等,是油气勘探中的重要一环。当前的地震信息大体上可以达到上述要求。

6. 区域地震地层学研究

这是当前利用地震资料进行地质解释的主要内容之一。结果是建立各时期的沉积模式,恢复岩相古地理面貌。它是生储盖层研究,隐蔽圈闭研究及远景评价的基础。方法是找出不整合,划分地震层序,赋予年代地层意义,解释地震相,转换为沉积相,恢复岩相古地理共6个步骤。

7. 隐蔽圈闭研究

一些隐蔽的和难以寻找的复杂圈闭往往在地震的振幅、频率与速度三个基本特性参数上有所反映。这些隐蔽圈闭也是成排成带的,如中国东部地区就有10种左右:复杂的断裂构造圈闭带,层间构造圈闭带,剥蚀不整合圈闭带,潜山圈闭带,岩性构造圈闭带,岩性上倾尖灭圈闭带,凹陷内部砂岩透镜体(浊积砂)圈闭带,地层超覆圈闭带,特殊岩性圈闭带,礁灰岩岩性圈闭带等。

8. 生油条件研究

烃类生成研究的基本内容不外乎有机质丰度、生油母质质量、生油岩体积及生油层的成熟度等。其中关键是热成熟作用的研究。首先是利用地震剖面上的CRP点作沉积曲线,搞清各层温度与时间的关系,并据此估计各点生油门限深度,开始生油生气的时间等。然后计算资源量,为评价油气远景打下基础。

9. 储集层研究

利用地震信息,可以进行大区域大套地层含砂比例的预测及小层储集层的研究,圈定有利的油气储层分布区。

10. 含油气远景综合评价

综合上述成果,对含油气区或构造进行综合评价,是石油地震地质学的最终目的。近年来国内在这方面进展很快。根据评价制定下一勘探阶段的任务与做法,使勘探工作的科学性和目的性增强了,效果也较好。我国东部地区在“滚动勘探、滚动开发”的思想指导下,地震配合详探评价、油田开发甚至开发中的调整钻探的方案等,都获得了一定的成果。当然,这方面的工作刚开始,有待进一步深入。

二、石油地震地质学是一门“系统综合”学科

石油地震地质学和其他“系统综合”学科一样,是逐步发展完善起来的,它大体上经历了3个阶段,即构造认识阶段(地震构造学),构造研究与地层研究阶段(地震地层学),

对油气远景进行综合评价阶段(石油地震地质学)。这与人类认识自然的规律是一致的。回顾人类对客观事物的认识,在方法论上大体上经历了朴素整体论、传统分析论、系统综合论三个阶段,螺旋式前进。石油地震地质学的发展也符合这一规律。古代由于生产力水平低下,人们只能在直观观察范围内,把宏观事物的整体形态作为考虑的基本层次。这样了解到的只是事物总体的一般情况,获得的认识不够细致与严密。石油地震地质学的构造认识阶段即如此,那时利用地震、重磁力、电法等资料,只能笼统地了解含油气盆地的范围和大体形态等,充其量也只能通过多层构造图的编制,研究局部构造的发展史及盆地的演化情况。在各种资料质量差、多解性大的情况下,研究更难深入。第二阶段在一般自然科学上称之为传统分析论。由于这种方法是把事物从整体中单个地抽取出来,逐个地加以研究,因而使人们对自然界认识的深度、广度、精度都比前一阶段大大地提高了。这个阶段是从哥白尼开始的。在石油地震地质学方面,第二阶段大体上相当构造与地层研究并进的时期。六十年代末到七十年代中期,由于地震信息的进一步丰富以及沉积学的发展,人们从沉积的角度来解释地震信息,产生了地震地层学。石油地震地质学家们把构造研究与地层研究单独抽取出来专门加以研究,认识程度加深了。然而分析方法也有其固有的局限性。对某一事物分解得越深,并不意味着对它了解得越深。因为事物本是一个统一的整体,分解、分析的方法尽管能使研究深化,却忽略并割断了事物内部各个部分的固有联系。分解得越细,就越不能把握事物整体的本质。石油地震地质学也如此。近年来地震信息广泛应用于石油地质的各个方面,并进而注意了它们与油气资源评价之间的联系,这样就把这些单一的研究统一为一个整体。这和自然科学发展的第三阶段“系统综合”时代是相对应的。

石油地震地质学是由相互作用、相互依赖的若干部分组成的具有确定层次的系统科学,它具有以下三个特点:首先是石油地震地质学具有不可简化性,它是由上述10个基本部分组成的,具有一定结构联系的有机体。地层的分析离不开构造形态的解释。而在构造制图过程中常常要注意某些地层岩性现象在反射资料上的反映,如不能把前积反射解释成一系列反向正断层,也不能把断层现象解释成岩性变化。第二,石油地震地质学具有可分解性。石油地震地质学的10项基本内容,联系起来就组成这个学科完整的整体,而分解开来又可各自成为单独存在的学科。这10个课题大体上可归纳为构造方面、地层方面及资源评价方面三大部分。如构造研究方面包括构造图的编制、大地构造研究、盆地属性研究、盆地内部构造特征及局部构造研究等几个课题。第三,这一学科具有明显的层次性。这里所谓的“层次性”,主要指石油地震地质系统学科有序地分层。若以这个系统学科作为一整体,则整个石油地震地质学是一个层次(一个层)。它的10个部分为另一个层次。每个部分又可更详细地分成若干个具体的课题,这又是一个层次。随着地震技术和地质科学的发展,有可能再详细地划分层次。注意到这些层次,对我们的研究工作是有好处的。在任务安排上,无论是长远项目还是含油气盆地或地区的项目,都应该考虑“层次性”。在专业人员的使用上,也应考虑“层次性”,使专业人员得到最优化的分配使用,各得其所。

以上对石油地震地质学的剖析,目的在于试用系统论的方法建立、完善和提高这一新兴的学科。运用系统论的方法要在动态中协调整体与部分的关系,使部分的功能目标

服从于总体的最佳目标,最后在总体目标上体现最佳效果。具体说,如果石油地震地质学各个部分都研究得很出色,但从总体上看却不好,这种做法并不可取。如果某个局部的效果不好,而整体系统效果好,这样做法依旧可取。这就是系统思维方法的最佳化,这一点是任何传统思维方法做不到的,因此必须从系统学科的角度来研究石油地震地质学。

三、石油地震地质学的发展

油气勘探开发是日益繁重的任务,必须迅速发展石油地震地质学。发展石油地震地质学主要应借鉴各种新技术和新理论,加强有关的基础理论研究。具体引用的新技术、新理论有以下几个方面。

1. 迅速提高地震勘探技术,为地震地质解释提供更为丰富的信息

地震勘探和地震资料的电子计算机处理技术在近年内发展很快,已在油气勘探中起到明显的作用。预计今后将有更快的发展,特别是在以下几个方面:

(1) 三维勘探 这是搞清复杂地质构造的一种有效的新方法,目前在中国东部地区已较普遍地应用了。今后应着重研究三维模型、三维一步法偏移、三维速度、三维倾斜动校正、三维人机联作解释。

(2) 垂直地震剖面(VSP)法 它是利用三分量检波器在井中各个深度点接收地震波。由于检波器直接与地层接触,因而所获取的地震信息避免了地表的各种干扰。再者,由于地震信号少走了上行的一半路程,故接收到的地震信号强。这样,VSP法得到的资料,其信噪比与保真度均较高。应用VSP资料有利于研究地震波场特性,准确标定反射层的地质层位,较精细地识别岩性变化、断层、地层产状,求取子波,识别多次波以及研究直接与油气有关的层速度、孔隙度、吸收和衰减系数等。这一方法的优越性已引起了人们广泛的重视。

(3) 纵、横波联合勘探 近几年国外利用横波(剪切波)进行油气勘探已见到一些效果。利用各种岩石纵波与横波速度的不同、反射波的极性不同、振幅强弱不同、视频率不同等特点,联合应用纵、横波勘探,对提高分辨率、研究岩石物性、直接找油等,都是有前途的。

(4) 计算机解释系统与立体显示 随着三维勘探和其他复杂勘探技术的发展,数据越来越多,解释工作量越来越大,要求也越来越高。所以,应用人机联作或计算机辅助解释,再加上显示技术的不断提高,不仅能减轻解释人员的劳动,还有利于反复解释、深入认识,特别是有利于提高解释的精度与可靠性。计算机解释在中国东部刚刚开始应用,在国外也是一门新兴技术,今后随着地质要求的提高,一定会不断发展,为解释工作提供更多的方便。

(5) 人工智能 人工智能是七十年代末、八十年代的产物。控制论、信号处理与计算机科学的飞跃发展,为人工智能系统的发展创造了条件。人工智能是将基本理论、实践经验和专家知识等方面综合起来,模拟人类智能,应用计算机自动求解。因而,人工智能系统的发展可以代替人的部分脑力劳动,协助人们进行最优化选择。

此外,对地震波的形成与传播机理、地震噪音形成机理、复杂构造下的成像机理、岩石弹性波的性质等方面的基础理论研究,也十分重要。这些研究工作将为创造采集、处理 and 解释的新方法和新仪器,即提高整个地震技术水平,提供理论根据。

2. 发展其他地球物理勘探技术,为石油地震地质综合研究提供条件

卫星照片是油气勘探的手段之一。目前陆地资源卫星照片的分辨率可达 50 m。据报道,法国 SPOT 卫星可提供更高分辨率的图像,其黑白负片可以达到 10 m。卫片可使用较宽的频谱,利用不同的波长工作。如美国“陆地资源卫星C”,有多光谱扫描仪(MSS),可用 4 个波长工作。通过假色处理,可以把 4 个波长综合在一起,形成所谓假彩色合成图像。遥感资料的解释有助于构造地质的研究,特别是对断裂与局部构造的预测和解释,具有较理想的效果。最近应用一系列计算机处理方法增强图像清晰度,对构造与岩性解释均有一定益处。随着科学技术的发展,外层空间遥感可采集到的信息将大大超出肉眼所及的波长范围;再经过进一步的多种方法增强、滤波等的处理,将会提供更多的信息。结合其他资料综合解释后,一定会解决更多的地质问题。

重力勘探方法,无论是过去或将来,都将是石油勘探中的一个重要手段。今后的发展方向是速度快、精确与加深解释。快速的方法是采用连续式重力记录,包括航空重力测量与船上重力测量两种。这两种方法目前的精度还不够高,船上重力仪的精度不超过 0.5 mGal,航空重力测量只有约 ± 1 mGal。井下重力(BHGM)也是应该注意发展的一个项目,它实际上是一种密度测井,可以检测未钻遇地层的物性、盐丘、礁、岩性变化等。重力解释工作近年来无论在定性或定量上都使用了电子计算机,今后的方向是如何完善这种解释方法。

磁场勘探一直与重力配合进行。目前测量精度已达 $\pm 0.25 \gamma$,比过去的 2.5γ 提高了几倍。但仍应继续提高仪器精度及灵敏度,同时也需要利用计算机进行一系列的处理工作,争取能提交 2—3 个(不是 1 个)磁力标准层的磁性埋藏深度图,以便配合其他资料提高综合解释效果。

电法勘探要广泛采用磁大地电流法(或称大地电磁法,MT)。其穿透深度较大,美国用以研究壳下层和上地幔的岩石导电性,海底的测量深度可达 5—7 km。经解释可提供不同电阻率层的横剖面图,据此可转换成地质剖面。显然,这一方法提供的成果要比其他电法勘探好得多。此外,重力、电法等方法进行油气检测的探索也应引起注意。

上述各种非地震的地球物理方法,要通过综合解释才能得到更理想的效果。目前的解释方法比较落后,大部分图件仍由人工制作,综合分析也采用把各种图件叠合在一起的做法,应用数字记录之后,这些资料就可以输入到计算机中,得出各种彩色编码的合成图件。此外,发展计算机处理与模型试验依然是极其重要的方向。总之,这些非地震方法的发展必将促进石油地震地质解释的进展。

3. 密切结合测井资料,提高石油地震地质解释水平

地球物理测井一直为地震解释提供很重要的信息,诸如地震层位标定,地层岩性解释以及油气水层的划分等等。随着数字技术的发展,测井技术也面临着飞速发展的局面。不久,我国石油地球物理测井技术将会全面实现系列化、数字化和标准化,应用电子计算机对测井信息进行处理和解释,进而发展成为“测井地质学”。已经应用多年的

岩石电学信息还有较大潜力。放射性测井也应发展。同时还要大力推广地面地球物理与井下地球物理结合的测井方法,如重力测井、垂直地震测井(VSP)等。这些新技术、新方法的发展,将会对解释井下地层、识别油气水层、研究岩石物性、寻找裂缝,乃至对断层、构造以及水流方向、岩相古地理等诸多方面的研究,提供极为有益的资料。测井资料的综合解释对我们有更大的用处,如根据测井曲线划分的“测井相”,对地震地层研究就有很大的帮助。可以相信,进一步结合测井资料将使石油地震地质学的研究向前迈进一步。这一点是指日可待的。

4. 汲取其他地质学科的新理论, 进一步提高石油地震地质学的基础理论研究水平

石油地震地质学刚刚创建,各方面还很不成熟。如何提高研究水平,除了上述几点之外,还应汲取其他有关的新理论,建立石油地震地质学自身的基础理论研究工作。

(1) 板块构造学说 板块学说自六十年代问世以来,影响很大。我国各大地构造学派以及整个地质界,也都程度不同地接受了这一学说。在石油地震地质学的十大课题中,很多方面均需引用板块构造学的概念。对中国板块的研究,现在已有许多专家、学者在着手进行,而地震信息可以提供很有价值的资料,如地壳测深反射剖面即如此。我国南方已经做了一些工作,以后这项工作还会有所发展。

(2) 沉积学 地震地层学是石油地震地层学主要组成部分。它实际上应用沉积学概念解释地震资料,因而地震地质学家必须有清晰的沉积学概念。近年来沉积学和其他地质学科一样,已有长足的进展。对河流沉积、三角洲沉积以及湖泊沉积的沉积机制、相模式等,均有了进一步的认识。在某些方面,甚至建立起了与原来完全不同的概念。应该承认,我们不少地震地质家还缺乏这方面的知识,在解释上常出现漏洞,急需弥补这方面的缺陷。

(3) 沉积压实理论 自从六十年代差异压实理论问世以来,进展很快。其内容主要是研究各种塑性地层包括欠压实页岩、石膏、岩盐层等的超压作用。我国沉积盆地内也有许多塑性地层,可以造成许多同生断层及同沉积构造、滑脱构造等等。这些塑性地层在地震特性信息上均有清楚的反映,如许多欠压实地层在层速度上出现明显的反转现象,在诸如频率、振幅、反射特征等方面也有所反映。搞清沉积压实理论并根据地震信息建立各种模式,对同沉积构造的研究将会起一定的指导作用。

(4) 数学地质学 数学地质学是引用数学方法研究地质学的一门新学科。大量地、有效地把数学引入石油地质学只有二十年左右的历史。石油地震地质学的各个部分均需引用数学方法。从应用的内容上看,主要有多元统计法、数学模拟、数据储存、提取、处理与显示等。它可以解决沉积、构造以及油气资源评价方面的一些问题。但当前我们还只应用了数学的一小部分,潜力还很大。八十年代的地质学已经由原来的定性、描述科学逐渐变为一门预测的科学,石油地质学也不例外。油气远景预测进一步朝着量化方向发展,将建立各种油气远景预测的模型。

我国有丰富的油气藏资源。大力发展石油地震地质学这一新生的边缘学科,将会为在2000年实现我国油气资源储量和产量翻番作出新的贡献。

参 考 文 献

- [1] 王尚文编, 1983, 中国石油地质学, 石油工业出版社。
[2] 朱 夏, 1980, 关于盆地研究的几点意见, 石油实验地质, 第3期。
[3] 袁秉衡、安延恺, 1982, 地震地质的内涵与外延, 石油学报增刊。
[4] C·E·佩顿编, 1977, 地震地层学, 牛毓荃等译, 1980, 石油工业出版社。

DISCUSSION ON PETROLEUM SEISMOGEOLOGY

Yuan Bingheng Sun Tingju

(Bureau of Geophysical Exploration, Ministry of Petroleum Industry)

Abstract

Petroleum seismogeology contains 10 basic aspects: the structure maps, geotectonics, basin affection, structural properties inside basins, local structures, regional seismic stratigraphy, subtle traps, oil generation, reservoirs and the comprehensive evaluation of oil-bearing areas. The formation process of this subject can be divided into 3 phases.

中国北方白垩纪地层古生物及含油气
远景学术讨论会简况

中国石油学会石油地质委员会和中国古生物学会联合发起, 于1986年8月17日至23日在大庆油田召开了“中国北方白垩纪地层古生物及含油气远景学术讨论会”, 来自中国科学院、高等院校、石油工业部、地质矿产部、煤炭工业部、核工业部等单位的代表127名出席, 著名学者郝诒纯教授、顾知微研究员、关士聪教授、田在艺高级工程师, 以及日本地层古生物学者木村达明教授和田村实教授应邀参加了会议。会议收到论文和论文摘要88篇(宣读59篇), 其内容十分广泛而丰富, 主要有两方面:

一、论述北方白垩系的划分、对比和分界问题, 即白垩系的三分或二分、区域对比、底界, 特别是含热河生物群地层的归属问题。有相当数量的论文从古生物学(单或多门类)侧重生物的演化、组合进行较系统详细的研究; 有些同时结合古生态、古环境、古地理、古气候等方面进行划组和分区分带, 并与东北及毗邻国外海相地层进行对比研究; 有的从岩石、建造、构造运动等方面对代表性地层剖面作了较细致的划分, 并进行了区域对比; 有的着重从同位素年龄值或古地磁方面作了论证。目前虽仍存在一些分歧, 但“热河群”置于松花江群之下的认识比较统一, 为进一步深入研究奠定了良好的基础。

二、以盆地为单位论述了我国北方地区白垩系成油成气条件和油气资源远景。有较多的论文从沉积、构造、有机地化等方面阐明了白垩系油气形成、聚集条件和前景, 并经与会代表的热烈讨论认为: (1) 我国北方白垩系分布广、沉积厚, 含油气潜力大, 为重要成油成气层系。其中, 属大、中型坳陷区陆相细碎屑岩沉积者, 如松辽、酒泉等盆地赋存有特大和大、中型油田; 属中、小型断陷区陆相煤系沉积者(时代?), 如二连、海拉尔盆地具有中、小型油气田; 并在不同沉积类型的众多盆地内发现工业油气流和油气显示, 如三江、延吉、开鲁、松辽南、阜新、周口、临清、六盘山等盆地。此外, 在塔里木盆地西南等地海相白垩系也有较好的含油气前景。(2) 目前应进一步着重普查勘探的地区, 是以松辽南为中心的东北区, 以临清为中心的华北区, 其次是河西走廊包括河套等地区以及塔里木、准噶尔等盆地的新疆地区。

(刘光兴)