

文章编号: 1000-0550(2003)01-0137-05

# 油气沉积学发展回顾和应用现状

顾家裕 张兴阳

(中国石油勘探开发研究院 北京 100083)

**摘要** 将我国解放后油气沉积学的发展分为三个阶段,即向国外学习和创建实践阶段(1949~1970年)、油气沉积理论的充实和完善阶段(1970~1990年)和油气沉积学与层序地层学、地震、测井和实验、计算机新技术相结合的生产实用阶段(1990年以后)。同时论述了现阶段油气沉积学在油气勘探中的应用;特别强调了层序地层学、测井沉积学和地球物理学全面应用于油气沉积研究中所产生的良好效果,它们使沉积研究在宏观和微观上都得到了充分的展示,研究更全面、更精确可靠,并实现了沉积研究的三维可视化。

**关键词** 油气沉积学 地震 测井 反演 模拟

**第一作者简介** 顾家裕 男 1944年出生 教授 石油地质与沉积储层

**中图分类号** TE12 **文献标识码** A

沉积学是研究沉积物(岩)的特征及其形成过程的学科。它主要探讨沉积物(岩)的物质组成、结构、构造、产状及接触关系,并进一步阐明其成因和分布规律,总结沉积物(岩)形成的理论,包括风化、剥蚀、搬运和沉积作用过程及其后期变化等。在此基础上,明确成岩、成矿机理,分析沉积物(岩)的发育特征和空间分布规律,恢复沉积物形成时的古地理和大地构造环境,并以此推测矿床的生成、储集条件,预测其层位和地点。

## 1 解放后中国沉积学发展的三个阶段

这里所说的三个阶段实际上是相互穿插、逐渐过渡的,不是绝然分开的,它反应了一个发展趋势。

### 1.1 第一阶段: 向国外学习阶段和创建实践阶段 (1949~1970年)

上个世纪 70 年代以前,我们的老一辈沉积学家、地貌学家和石油地质学家主要是留学归国、热心爱国的人士主要向前苏联及少量西方国家学习并吸收他们的精华。他们翻译了部分国外著作来教学和应用,如鲁欣的《沉积岩石学原理》《普通古地理学原理》,马尔克维奇的《相的概念》,列兹尼可夫的《沉积岩相与建造》等<sup>[1]</sup>。同时,在条件艰苦,既无资料又无设备的情况下,凭着热情、志气和顽强的作风,高等学校的老师们也编写了自己的教材,如石油学院 1958 年吴崇筠编写的《沉积岩石学参考材料》,1961 年出版的《沉积岩石学》,成都理工学院出版的《沉积相及古地理教程》等<sup>[2]</sup>。其他有关高等学校也相继出版了有关沉积学方

面的教材,沉积学方面的研究和人才培养进入一个发展阶段,并为理论研究和实际应用打下了基础。

在高等学校向前苏联学习和自己编写教材、培养人才过程中,矿产勘探单位已经在实际生产中应用了沉积学的原理和方法,石油、煤、铁、铝、磷等地质矿产部门都进行了大量的研究工作。许多单位(高等院校、大庆油田)成立了沉积实验室,进行粒度、重矿物分析和沉积作用研究,在找锰矿藏的过程中总结了沉积环境和地球化学相等<sup>[3]</sup>。同时进行了沉积岩石学的研究,并对沉积相进行了初步的探讨。地质矿产部和煤炭部及有关院校的师生和研究单位的工作人员,也对矿区的古地貌和沉积特征、沉积相等进行了野外调查和室内研究。中国科学院兰州地质所对青海湖进行了调查,其中一个重要内容是沉积物的调查,华东师范大学还进行了室外水槽河流沉积的地貌模拟……。本阶段油气沉积学主要注重野外实地考察,观察沉积物的形态、纵横向变化、粒度变化和旋回特征;在油田主要应用于比较粗糙的沉积相划分和鉴定,这是应用的最初阶段。

### 1.2 第二阶段: 油气沉积理论的充实和完善阶段 (1970~1990年)

文化大革命期间许多有志的学者刻苦学习英语和有关资料,文化大革命一结束,特别是改革开放以后,西方国家的先进理论和技术与我国学者良好的英语能力和高涨的忘我工作的热情发生碰撞,激发了中国沉积学无尽的火花,新的理论和技术如潮水般涌进开放的中国。大量的翻译作品和适合中国自己陆相沉积特

点的自编教材和著作层出不穷。此阶段内,热烈的学术气氛和实实在在的书藉和资料,国内外活跃的学术交流、各地的野外考察都在忙而不乱地进行,大家都亲身经历了一场知识的大革命,掀起了向国外学、向同事学、向书本学、向实践学的高潮。我国的沉积学研究进入飞速发展阶段,许多老前辈都是沉积学发展的直接推动者和见证人、有功之臣,值得大家敬仰和学习。如叶连俊和孙枢先生等积多年研究成果,1981年出版了涉及从震旦纪至现代的各种岩相及一些矿产形成条件的著作,并将构造和岩相紧密结合,做出了开创性的工作并成立了中国第一个沉积岩研究室。刘宝珺、曾允孚等对西南广大地区进行了全面研究并编写了大量著作,对沉积学研究有重要的指导作用<sup>[4,5]</sup>。关士聪、王鸿祯等分别编著了中国的沉积古地理图<sup>[6]</sup>。同济大学及华东师范大学严钦尚等对现代长江三角洲进行了大量的工作<sup>[7]</sup>。石油大学冯增昭等对中国碳酸盐沉积特征和古地理的研究,并出版了一系列著作。石油部大庆油田、地矿部武汉地质学院、中国科学院地质所、地理所对中国东部含油气盆地进行了全面的沉积学研究。还有一大批老前辈的沉积学家为陆相盆地沉积学的充实完善做出了重要贡献,在此就不一一介绍了。

随着沉积学的充实和完善,各高等院校有关沉积、岩相古地理、储集层等研究的专业不断扩大,培养层次不断提高,包括本科生、硕士生、博士生和博士后,老、中、青的教学和科研队伍已经形成,同时大批高水准的毕业生源源不断地向地质、矿产等部门输送,使现场生产单位的研究和生产水平大大提高,解决生产实际问题的能力不断增强。科研单位和高等院校到基层参与研究和生产,同样使理论得到升华并用理论指导了生产,重点生产项目的科技攻关就是一种好的形式。中国陆相盆地的沉积理论和技术在实践中发展和成熟。本阶段已基本建立了一套陆相油气沉积的理论并在勘探中对沉积相的划分十分细致,建立了各类沉积体的沉积模式;在室内建成了各油气田的沉积研究室和沉积实验室,进行岩石、矿物鉴定和微观的沉积构造研究,并取得了相当的成绩。与此同时,随着测井和地震技术的不断提高和技术的进步,逐渐地用测井和地震的方法解决沉积问题,并出现一些有用的处理软件,为测井和地震广泛地应用于沉积学的解释打下良好的基础。

### 1.3 第三阶段:沉积学与层序地层学、地震、测井和实验、计算机新技术相结合的生产实用阶段(1990年以后)

进入90年代以后,特别是90年代的后5年和进入二十一世纪,随着计算机技术的进步,各种实验手段、地震技术和测井技术的进步,沉积学的研究从定性

和半定量向定量过渡,研究沉积学的方法体系发生了革命性的转变,从原来的野外描述性、推断性和不可检验性走向计算机物理模拟、三维可视化和定量计算了。在此阶段出版和发表了大量关于油气沉积的书藉和文章<sup>[8-10]</sup>,在此就不一一列举了。

## 2 当前沉积学在油气勘探中的应用

沉积学在油气勘探中一直处于十分重要的地位。进入二十一世纪后,其应用性更加突出,主要是在隐蔽油气藏的勘探中,随油气勘探的需求,在方法体系上发生了革命性的变化。

### 2.1 油气勘探中沉积学的方法体系

#### 2.1.1 野外观察体系

野外观察是沉积学研究的传统方法,但也是沉积学研究最直接和有效的方法,从宏观上认识沉积特征和现象。当前不但不能放松,而且应该更严格地强调,才能更正确地认识客观的沉积体,并进行定量的描述和预测。

#### 2.1.2 实验观测和分析体系

实验观测和分析体系也是传统的方法,但随着技术进步和设备的改进,许多实验仪器的数字分析、记录和输出都是通过计算机来实现,使数据更精细、正确,形态更逼真可视。从而能揭示许多以前所不能发现的现象,能更本质深刻地认识微观特征和解释各种现象,取得更多的地质信息。

#### 2.1.3 层序地层学建立沉积解释的等时格架

层序地层学的兴起为沉积学的解释提供了等时格架。过去在地层对比解释中砂对砂、泥对泥的穿时现象使沉积相的解释中发生较大误差,造成油气勘探中不等时的砂体人为地给以连接起来,造成储量计算和开发注水等的失误。而应用层序地层学的方法使沉积层的解释具有等时性和可比性,特别是可标定在地震剖面上,从而避免了上述种种失误。

#### 2.1.4 盆地充填的地球物理模拟与数值模拟方法

物理模拟和数值模拟的前提是建立野外露头的沉积机制、沉积体形态、砂体分布、界面形态、展布规律、各类非均质性特征等资料的数据库。通过各种不同的参数的变化,应用实验水槽进行物理实验模拟,以取得与野外相似的结果,可以在模拟中取得一系列在野外观察不到的动力学的数据和中间过程的数据。并用这些数据充实野外所得到的实际参数,再进行数值模拟,从而更深刻地认识和研究沉积体的形成机理、沉积过程、沉积物的性质、特征和历史的演化。

#### 2.1.5 测井新技术

测井技术在沉积研究中的应用十分广泛,测井可

以确定沉积物的物理性质,如粒度、成份、变化韵律、沉积构造、地层倾角等,还可应用精细的测井资料可约束地震,从而进行精细的反演和正演等。

### 2.1.6 三维可视化技术

通过对沉积体和沉积过程的模拟和地球物理资料在计算机上的解释,可以用三维可视化技术在计算机上重演,也可以采用等时的切片重现沉积过程,并在图像上进行定量的统计,计算不同沉积类型、沉积相、微相、砂体、烃源岩沉积体等在平面上的分布、厚度、粒度、孔隙性、渗透性、非均质性等定量信息。

### 2.1.7 其它新技术、新方法

各类检测技术、分析技术和其它有关地球物理技术。

## 2.2 多种先进技术结合进行沉积学研究

### 2.2.1 沉积相的平面和剖面研究

通过野外露头沉积现象的观察和测量、测井上对自然伽玛曲线、自然电位曲线、电阻率曲线、密度曲线等的研究,可对岩性及其旋回进行标定。同时应用野外和测井研究结果可对地震波的速度、波形、频率、波阻抗等进行多参数反演,可以使沉积相、微相的分布十分清晰,而且可以进行面积和厚度的计算,而不是根据人为的意识进行推断(图 1),从而使沉积相的研究精细可靠,特别是对油气勘探时井位的标定起了十分重要的作用。

### 2.2.2 沉积砂体的平面和剖面研究

通过野外和测井剖面上岩性分布的研究,特别是



图 1 地震波形分类研究沉积相

Fig. 1 Using seismic waveform classification to study sedimentary facies

测井剖面上各段岩性的精细预测,可以在地质和测井资料的约束下,利用声波时差、自然伽玛或其它有关参数,根据不同地区不同的测井曲线对区分砂泥岩最敏感的参数进行约束,也可以用波阻抗、地震波形分析、地震属性分析、多参数聚类分析和地震相分析的方法进行反演和分析(图 2)。但其前提是测井资料必需进行校正,消除井旁垮塌对测井资料的影响;地震资料必

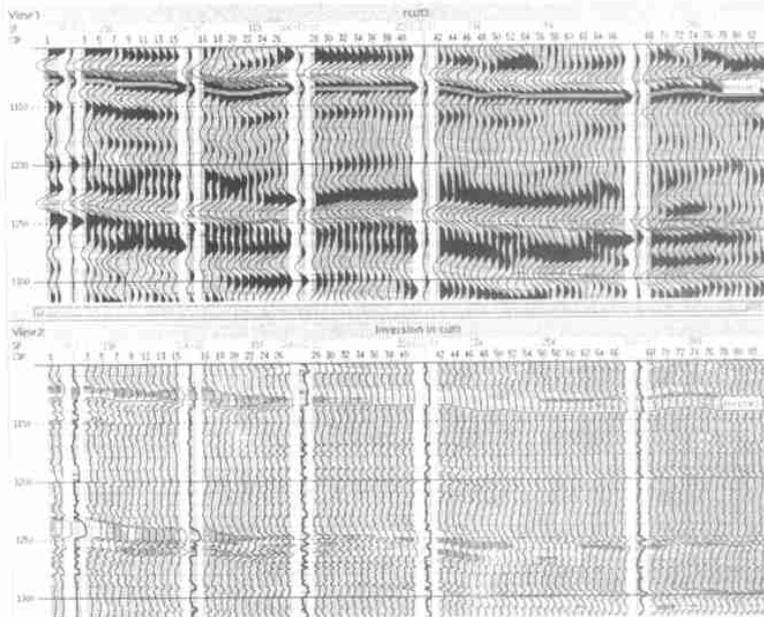


图 2 测井约束反演地震剖面(上图为原地震剖面,下图为反演剖面)

Fig. 2 Inversion seismic profile constrained by well logging the upper is the original seismic profile and the lower is the inversion profile

需具有较高的分辨率和信噪比。而标定是整个资料反演的关键,要分析测井资料特征和地震资料品质,评价速度和密度及一切能反映砂体地震特性和岩性关系的信息。这样,才能使砂岩体或储集体在平面和剖面上得到正确的反映,并可以测量砂体的大小、厚度、砂体在整个沉积层中所占的比例及有用的物理参数。

### 2.2.3 沉积砂体在平面上和剖面上孔隙度和渗透率的研究

在油气勘探中知道沉积相的分布和砂体在平面和剖面中的分布不是研究的全部,而更重要的是要搞清楚砂体中什么层位、什么地区储层物性最好,即高的孔隙

度和渗透率分布区,这是油气勘探中沉积砂体研究的最终目的。这种研究同样需要地质、测井和地震的联合研究,通过对野外和井中沉积物的取样分析,了解井中砂体高孔隙度、高渗透率的分布段、长度和性质,并分析井中高孔隙、高渗透率段的测井曲线响应特征,而且要除去非沉积砂体对测井曲线的影响,并以测井中对物性影响最敏感的参数去对地震进行正确的标定。同时以最能反映储层特征的测井曲线进行重构,形成拟声波曲线,使测井所反映的曲线变成地震模型,从而找出地震上最能反映特性的砂体段,以此进行地震资料的特殊处理、反演和多技术分析(图 3)。

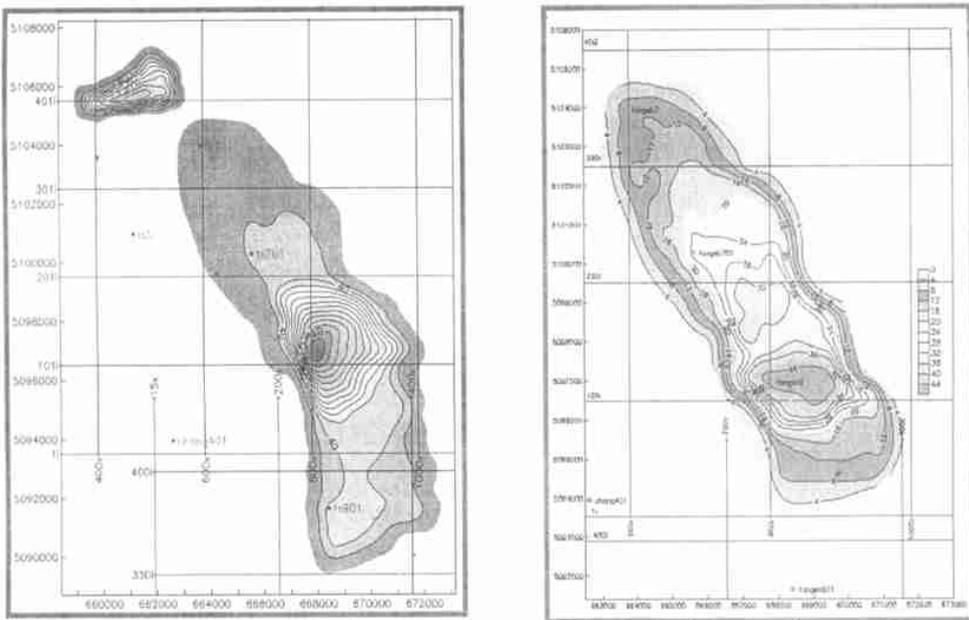


图 3 地震反演后的储层厚度(左)和孔隙度图(右)

Fig. 3 Reservoir thickness(left) and porosity (right) distribution plan resulted from seismic inversion

### 2.2.4 关于细粒沉积物作为盖层的研究

盖层的研究主要集中在细粒沉积物的分布、厚度和性质上。细粒沉积物的分布和厚度的研究方法,主要是研究细粒沉积物的封盖性质,即细粒沉积物的厚度和它的突破压力研究。突破压力研究主要是通过测井资料进行计算。

## 3 结论

油气沉积学的发展大致经历了三个阶段,目前已进入全面应用地震、测井、地质和实验分析多种方法相结合的阶段。特别是层序地层学方法的应用,为沉积学的解释提供了一个研究的等时格架,可以在等到时格架范围内进行沉积体系、沉积旋回、沉积物横向变化等的研究。测井和地震波形和曲线形态是地下岩层性质的反映,在去除干扰后,它能客观地反映岩层的岩性、粒度、构造、孔渗等各类物理性质。因此,地球物理方法

的有效处理和反演能真实地重现沉积物的性质、形态和三维空间的分布。在沉积学的研究中还必需充分利用计算机进行数值模拟和正反演工作,使沉积学的研究无论在宏观上更全面和三维可视,在微观上更正确、细致,从而能基本上满足油气勘探对沉积学的需要。

### 参考文献 (References)

- 1 鲁欣.沉积岩石学原理(上、中、下)[M].北京:地质出版社,1956 [Рухин И.Б. Principle of sedimentary petrology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1956]
- 2 成都地质学院.沉积相和古地理教程[M].中国工业出版社,1961 [Chengdu College of Geology. Sedimentary facies and paleogeography textbook[M]. Beijing: Science Press, 1961]
- 3 叶连俊.中国锰矿床的沉积条件[M].中国科学院地质研究所地质集第一号,1956 [Ye Lianjun. Formation conditions of manganese mineral beds in China[M]. The first geological collections of CSL, Geology Research Center, 1956]

- 4 刘宝珺等. 沉积岩石学 [M]. 北京: 地质出版社, 1980 [Liu Baojun, et al. Sedimentary petrology [M]. Beijing Geological Publishing House, 1980]
- 5 刘宝珺, 曾允孚. 岩相古地理基础和工作方法 [M]. 北京: 地质出版社, 1985 [Liu Baojun, Zeng Yunfu. Basis and work methods of lithofacies paleogeography [M]. Beijing Geological Publishing House, 1985]
- 6 关士聪等. 中生代陆相盆地发育与油气 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1987 [Guan Shicong, et al. Development and petroleum of Mesozoic and Cenozoic Continental basins [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1987]
- 7 严钦尚. 地貌学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1985 [Yan Qin-shang. Geomorphology [M]. Beijing High Education Press, 1985]
- 8 吴崇筠, 薛叔浩等. 中国含油气盆地沉积学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993 [Wu Congyun, Xue Shuhao, et al. Petroliferous basin sedimentology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1993]
- 9 冯增昭. 沉积岩石学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1994 [Feng Zengzhao. Sedimentary petrology [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1994]
- 10 冯增昭, 王英华, 刘焕杰等. 中国沉积学 [M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1994 [Feng Zengzhao, Wang Yinghua, Liu Huanjie, et al. Sedimentology of China [M]. Beijing Petroleum Industry Press, 1994]

注: 九十年代以后由于关于油气沉积的书籍和文章大量出版与发表, 这里不能一一列出, 请谅解

## Development Review and Current Application of Petroleum Sedimentology

GU Jia-yu    ZHANG Xing-yang

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083)

**Abstract** Development history of petroleum sedimentology into China has been divided in three stages, i. e., learning from the foreign countries, founding and practicing stage (1949~ 1970), enriching and consuming stage of petroleum sedimentology theory (1970~ 1990), and applying stage with the combination of sedimentology and sequence stratigraphy, seismic, well logging, laboratory and computer technology (1990 - now). The current application of petroleum sedimentology in petroleum exploration has also been introduced. The good results generated by the applicaiton of sequence stratigraphy, well-log sedimentology and geophysics in petroleum sedimentology study have been stressed, which bring efficient presentation of sedimentology study in macro- and micro-scale, more comprehensive and precise methods and 3-D visualization to sedimentology study domain.

**Key words** petroleum sedimentology, seism, well logging, inversion, modeling