

多信息储层预测和 油 气 判 别

(原理、方法与应用实例)

孙家振 李兰斌等 著

中国地质大学出版社

国家自然科学基金项目资助

多信息储层预测与油气判别

（原理、方法与应用实例）

孙家振 李兰斌 等著

中国地质大学出版社

内容提要

本书针对我国陆相盆地储层分布和油气地质的特殊性,从理论与实践两方面全面系统地介绍了多信息储层预测和油气判别的基本原理、方法。全书共8章。重点论述陆相盆地层序地层学和地层对比、沉积微相和地震微相分析、薄互层反射特征分析与层位标定、地震和地质信息有效性分析与应用范围、模糊综合评判原理与过程等方面的内容。通过不同地区的典型实例介绍,阐明如何综合应用地震、地质、测井和油气等多种信息,对储层进行定性和定量预测与评价。本书偏重于实用技术的介绍,特点是地质与地震、地质与测井密切结合,是一部很有特色的专著。

本书可供从事油气田勘探和开发的科研、技术人员和高等院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

多信息储层预测与油气判别(原理、方法与应用实例)/孙家振、李兰斌等著. —武汉:中国地质大学出版社, 1997. 9

ISBN 7-5625-1237-X

I. 多…

II. ①孙…②李…

III. ①原理-预测-油气②方法-预测-油气③实例-判别-油气

IV. P618

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 张晓红 责任校对 胡义珍

印 刷 武汉工业大学出版社印刷厂

开本 787×1092 1/16 印张 7.5 字数 200 千字

1997年9月第1版 1997年9月第1次印刷 印数 1—1000 册

定价: 16.00 元

前 言

80年代以来,以地震资料为基础发展起来的储层预测与油气检测技术广泛地应用到油气勘探的各个阶段,对加速油田的发现,提高勘探效益,调整开发井网,提高采收率,均起到了十分显著的效果。作为一门综合性和实用性很强的勘探技术,储层预测的应用大大地提高了石油地质学家的预测能力。但受资料多解性和分辨率的限制,其预测精度还不是很高。面对油气勘探难度和风险增大,我国东部地区逐步转入岩性油气藏(包括断层+岩性)详细勘探阶段,如何在油田周边和油田内部寻找新的油田和油气藏,如何预测油藏质量,提高油藏开发效率,进一步提高储层和油气预测的精度是石油地质工作者面临的主要研究课题之一。

近年来,以预测储层分布为主要目的发展起来的层序地层学和高分辨率层序地层学,力图将地层的沉积规律、分布模式与地震反射剖面 and 测井资料更紧密地结合起来,从而得出更精确的地层学解释和预测更小单元储层。在预测方法上除注重速度分析外,则更加强调地震分辨率的提高和各种新技术、新方法的应用,实践证明三维高分辨率地震资料应用和准确的层位标定可大大地提高储层预测精度。对于油气检测,则更加注重各种反映油气信息的有效性分析和包括地质和物探等多种信息的综合分析与应用。

自1988年以来,笔者等人先后在伊通地堑、松辽盆地南部新民-新店地区和泌阳凹陷从事储层预测和油气检测方面的研究工作。本书以在这些地区研究实践为基础,从理论和实践两方面分别讨论多信息储层预测和油气检测的原理、方法及其应用效果。其主要目的是针对陆相盆地地下地质情况的特殊性以及资料条件限制,在应用地震、地质、测井和油气等多种信息开展储层预测和油气检测等方面,探索出一条既适合陆相盆地实际地质条件,又能对储层和油气进行预测的切实可行的思想方法与技术新路,从而达到提高储层和油气预测精度的目的。笔者相信随着大量的地质资料和研究工作积累,在新的地区,新的类型、新的思路与研究方法的应用,储层预测必将得到更加深入的发展和更为广泛的应用。

本书共分八章。第一章从储层预测研究现状和解决的关键问题出发,重点阐述研究思路和基本方法,强调地震与地质、构造与沉积储层、油气预测与圈闭评价、数学分析和综合评价密切结合。第二章在引入层序地层学核心思想的前提下,针对陆相盆地地层分布模式的特殊性,讨论了陆相盆地地层分析的基本原则和地震反射界面与层序界面的相关性等问题,介绍层序分级与储层预测规模的对应关系和地层对比的一般方法。第三章从沉积微相的概念模型出发,重点介绍地震微相和测井相分析的基本方法和典型的微相类型。第四章从薄互层反射特征分析出发,重点讨论测井资料与地震资料的匹配和合成记录对比解释中陷阱问题。第五章结合典型的研究实例和地质模型系统介绍各种地震信息(速度信息、振幅和频率信息)的有效性问题、参数的选取与应用条件和范围。第六章介绍模糊综合评判分析的基本原理、方法和过程。第七章以泌阳凹陷王集和双赵两个地区为例,重点介绍多信息油气检测系统方法的应用与效果分析。第八章以松辽盆地新店地区为例,突出储层综合预测系统方法。

本书由中国地质大学石油系孙家振教授任主编。第一、二、三章由孙家振编写。第四章由李兰斌编写。第五章由孙家振、顾汉民和李兰斌编写。第六章由李树新和孙家振编写。第七章由孙家振、张志业和陈汉军编写。第八章由刘江平、孙家振编写。

本研究先后得到国家自然科学基金项目、中国石油天然气总公司重点科技攻关项目、河南石油勘探局和吉林油田管理局科研协作项目的资助。参加本项研究的有中国地质大学杨香华、陈长发、姚光庆、罗文君；河南石油勘探局张建国、李长宏、何祖荣、阎复旺等。在研究工作中得到河南石油勘探局领导宋振宇副总地质师、开发公司领导钟俊娴、王开朝高级工程师、河南石油勘探局研究院和吉林油田管理局研究院各级领导的大力支持和帮助。笔者在此一并表示衷心感谢。文中不妥之处，欢迎批评指正。

目 录

第一章 储层预测的技术思路.....	(1)
第一节 研究现状与研究内容.....	(1)
第二节 拟解决的关键问题.....	(2)
第三节 研究思路与基本方法.....	(3)
第二章 层序地层分析.....	(6)
第一节 层序地层分析在储层预测中的作用.....	(6)
一、层序地层学的基本概念.....	(6)
二、陆相盆地层序地层分析的基本原则.....	(9)
三、层序分级与储层预测规模.....	(12)
第二节 地震反射界面与层序界面的相关性.....	(14)
一、地震反射界面与不整合面的对应关系.....	(14)
二、地震反射界面与地层面的对应关系.....	(15)
第三节 地震层序分析.....	(16)
一、地震层序划分的标志.....	(16)
二、地震层序的划分.....	(17)
三、地震准层序组的确定.....	(18)
第四节 地层对比.....	(19)
一、一般的地层对比方法.....	(20)
二、测井资料对比.....	(20)
第三章 沉积相、测井相、地震相与构造分析.....	(23)
第一节 沉积相与微相分析.....	(23)
一、相和环境的概念.....	(23)
二、沉积环境和相的分类.....	(23)
三、相分析方法.....	(25)
第二节 测井相分析.....	(25)
一、测井曲线选择及形态要素.....	(26)
二、典型沉积特征与测井曲线的对应关系.....	(26)
三、时间地层单元划分.....	(28)
第三节 地震相分析.....	(30)
一、地震相标志与类型.....	(30)
二、典型地震相分析.....	(32)
第四节 地震微相分析.....	(34)
一、地震波形与地层结构分析.....	(34)
二、地震微相类型的建立.....	(35)
三、地震微相解释与转换沉积微相.....	(37)

第五节 构造分析在储层预测中的作用	(39)
一、盆地类型、边界断层对沉积的控制作用	(39)
二、生长断层对沉积的控制作用	(41)
三、生长断层的识别与解释技巧	(42)
第四章 薄互层反射特征分析	(44)
第一节 地震反射的分辨能力	(44)
第二节 储层层位标定	(46)
一、褶积模型	(47)
二、子波参数	(48)
三、测井资料与地震资料的匹配问题	(48)
四、层位标定与地震记录的极性问题的	(49)
五、合成记录对比解释中陷阱问题	(50)
第三节 薄互层反射振幅特征	(51)
第五章 地震信息的有效性分析与应用	(58)
第一节 速度信息分析与应用	(58)
一、影响速度的一般因素和速度分布规律	(58)
二、层速度求取与砂泥岩百分比的转换	(60)
三、层速度岩性解释	(62)
第二节 振幅信息的有效性分析	(62)
一、振幅信息与岩石物性及地层的关系	(63)
二、主振幅信息在油气和岩性判别中的应用	(64)
第三节 吸收衰减信息的有效性分析	(65)
一、影响吸收衰减的主要因素	(65)
二、吸收衰减信息在油气判别中的应用	(66)
第四节 主频率信息的有效性分析	(67)
一、影响频率的一般因素	(67)
二、频率信息在油气判别中的应用	(68)
第五节 虚测井 (G-log) 信息的有效性分析	(69)
一、虚测井资料的一般特点	(69)
二、虚测井 (G-log) 资料的解释	(69)
三、G-log 剖面典型特征分析	(72)
第六节 层间速度差 (DIVA) 信息的有效性分析	(75)
一、基本原理	(75)
二、实现方法	(75)
三、DIVA 剖面解释	(76)
第六章 模糊模式判别分析	(78)
第一节 模糊综合评判的基本原理	(78)
一、基本原理与概念	(78)
二、隶属函数的模糊统计建立	(80)
第二节 模糊综合评判分析的基本原理	(80)

一、模糊综合评判分析原理	(80)
二、模糊因素集与模糊评判集的选取	(81)
三、隶属函数的建立	(82)
四、模糊评判矩阵的确定	(83)
第七章 油气综合预测在泌阳凹陷中的应用	(84)
第一节 区域地质特点	(84)
一、概况	(84)
二、地层构成与油组划分	(84)
三、沉积、构造基本特征	(85)
第二节 储层特征与含油性	(87)
一、次级砂组划分与反射同相轴的对应关系	(87)
二、微相类型分析	(87)
三、含油储层分布的一般规律	(89)
第三节 油藏判别模型的建立	(90)
一、油藏地质模型的特点	(90)
二、油藏地质模型剖面特征与地震信息的关系	(90)
三、多项信息判别的结果分析	(93)
第四节 应用模糊数学进行油气综合评判	(95)
一、隶属函数的建立	(95)
二、信息选择与有效性分析	(96)
三、综合判别与结果分析	(98)
第八章 储层综合预测在松辽盆地中的应用	(101)
第一节 区域地质特点	(101)
一、研究区概况及位置	(101)
二、地层构成与油组划分	(102)
三、沉积、构造基本特征	(102)
第二节 应用模糊数学评判预测地层含砂量	(104)
一、隶属函数的建立	(104)
二、数学模型的构成	(105)
三、模糊综合评判与判别结果分析	(105)
第三节 储层特征预测	(107)
一、地震速度预测孔隙度的基本原理	(107)
二、应用实例与结果分析	(108)
主要参考文献	(110)

第一章 储层预测的技术思路

第一节 研究现状与研究内容

当今,随着石油勘探领域不断地向深度和广度进军,油气勘探活动越来越复杂,相应的勘探技术水平在不断地提高。面对简单的构造圈闭越来越难以发现的勘探现状,以及不断要求提高钻探成功率,减少勘探风险,提高经济效益的实际需要,如何有效地利用新的技术手段和新思路,发现和科学地预测各种类型的圈闭和油气赋存状态,对于指导油气勘探和开发具有十分重要的实际意义,并普遍受到人们的关注。

世界石油勘探历史证实。每一次新思路、新技术、新方法的出现和应用,必然开拓新的勘探领域,给石油勘探带来新的生机。70年代末期 Vail 等人为主建立的地震地层学,克服了仅利用地震反射剖面进行构造解释的局限性,开创了利用地震资料进行地下沉积体系和相分析的先河。随着地球物理资料获取和处理技术方面的进步以及有关在沉积学方面的进展,地震地层学的发展已日趋成熟。地震地层学的研究,可以勾绘大套地层层系沉积体系的展布,提供盆地规模储层预测,并为重塑盆地的构造史、沉积史、埋藏史与资源评价提供基础依据。与地震地层学并行发展的储层横向预测技术,即地震岩性学或局限地震地层学,是在利用计算机分析地震速度、振幅、频率、相位和其他地震信息的基础上,结合储层地质模型分析,进行横向砂体预测。

概括起来,储层预测的主要内容包括:①研究储层的分布、连续性及其横向变化;②研究储层的空间位置和顶面构造形态;③研究储层的物性参数(孔隙度和非均质性);④研究储层内流体性质及其分布,并对其含油性进行评价,为油气勘探和开发服务。

70年代末期 Vail 等人(1977)在地震地层学基础上发展起来的层序地层学, Brown 等(1979)提出的关于地震资料综合地质解释的基本思想对储层预测研究具有重要意义。所谓层序地层学在勘探中的应用实质上是力图将地层的沉积规律、地层分布模式与地震反射资料更紧密地结合起来,从而达到能更准确预测三维空间地层分布的目的。纵向上,层序地层学以等时界面和时间地层单元为单位,研究层序的垂向变化规律;横向上,以相或沉积体系为单元研究沉积地层的平面展布。

综合地震地质解释则提出以盆地分析为核心,利用各种可能获得的资料,全面分析和研究与油气勘探和开发有关的问题,在盆地总体认识的基础上,进行局部的精细处理和解释,藉以指导进一步的石油勘探(金福锦, 1991)。随着层序地层学在世界范围内的推广和应用,以及一系列与岩性识别和油气检测有关的新技术(速度反演、岩性模拟、AVO、波形分析、模式识别和神经网络)的出现与实际应用,使得储层横向预测技术无论在理论基础上和预测精度上都得到了迅速发展与提高,并已经成为油气勘探和开发活动中十分重要的工作之一。

毫无疑问,储层预测工作具有阶段性,面对我国东部地区已经转入深挖细找隐蔽油藏(包

括岩性和小断块油藏)的详细勘探阶段,如何在油田周边和油田内部寻找新的油田和油气藏,以及如何预测油藏质量,提高油藏开发效率等油气勘探开发的实际需要,储层预测的研究必将继续深入地发展下去。

第二节 拟解决的关键问题

需要指出的,在利用地震信息进行储层预测工作中,受地震分辨率和地下地质条件的限制,用于储层预测和油气检测的各项技术和方法均存在一定的局限性、不确定性、甚至矛盾性。迄今为止,尚没有一种十分成熟的勘探方法和技术能够准确地预测储集层的横向变化和流体性质(Neal, 1995),并得到广泛的推广应用(梁光河, 1993)。究其原因主要存在以下几方面的问题。

1. 层序地层学在陆相盆地的应用问题

层序地层学的基本原理和概念是以被动大陆边缘浅海环境为典型建立起来的,对于其他类型的盆地,如陆内断陷和坳陷盆地则存在一些问题。如层序界面的划分标准、湖平面升降曲线的建立、沉积层序的地层模式、微古生物地层学和磁性地层学的应用、是否有海侵及其影响范围以及构造对沉积的控制作用和古气候的变化等等,都有待进一步工作去解决。事实上,针对陆相湖盆,由于受气候影响其湖平面变化极为频繁,在湖盆边缘形成的沉积是很难保存下来的,因此,在湖盆层序地层分析中,不能完全照搬海相地层层序分析的方法,如盆地边缘地震反射终止现象的应用。另外受地理环境的控制单个湖盆湖平面变化是不能与全球海平面变化对比的。但是,在盆地范围内进行地层对比和储层预测引入层序地层学的基本思想,确定层序界面和相应的等时面是可行的。正如 Neal(1993)指出的:层序地层学的主要问题是扩展模式以适应每一种研究区。由此可见,层序地层学的基本原理是具有普遍指导意义的,但在具体应用过程中应针对不同性质的研究对象具体分析、区别对待,以满足油气勘探与开发的实际需要。

2. 地层层序界面与地震反射界面的对应关系问题

储层横向预测中最重要的工作,必须把岩性对比线与沉积作用的时间界面区分开,建立等时的时间-地层单元,只有在同一时间同一地层单元内,才能客观地认识沉积体系的空间展布,并进行相、微相分析和砂体预测。研究实践证明,一般情况下,区域性连续的地震反射界面通常具近似的等时性,可作为预测沉积体系和大套储集层的等时界面。对于薄互层,特别是在陆相盆地中,碎屑岩储集层垂向和横向变化大,非均一性十分明显,地震反射趋向于以一种微妙的波形变化“追踪”岩性-地层界面,而这些微细波形变化指示着沉积层序中的成因单元(Davis, 1987),具有一定的指相意义。但是,对于这种薄互层的地震反射界面往往是穿时的。随着地震分辨率的提高,地震反射的物性界面特征越来越明显,“地震反射同相轴实质上是追踪着反射系数而不是追踪砂岩”(李庆忠, 1993)。由此可见,建立时间地层-单元有一个尺度和规模问题,在砂岩相对发育且横向变化大的冲积扇和三角洲地区,受形成地震反射资料固有的地质条件的限制,通常不能直接利用地震反射资料进行时间-地层单元划分。

3. 利用地震信息进行储层和油气预测的有效性问题

自70年代“亮点”技术的首先应用以来,相继出现了利用多种信息进行岩性和油气预测的技术和方法,经过生产实践逐渐认识到,由于地上、地下地质条件存在很大的差异性,地震信息在不同的区域和不同的地质条件下地震响应差异大,由此造成储层和油气预测的成功

率很不稳定。因此,在利用各种地震信息之前对地震资料的质量提出了严格的要求。为了消除影响岩性和油气预测的各种因素。即要求常规处理应实现“三高、三细、三保持”。所谓“三高”就是高信噪化、高分辨率、高保真;“三细”就是精细处理、精细速度分析、精细监视;“三保持”就是保持相对振幅、保持频率、保持波形。事实上,在生产实践中这样严格的条件很难达到,即使上述条件都能达到,也往往由于地震信息本身固有的矛盾性和解释人员的认识水平不同而存在较大的不确定性。例如,提高分辨率使得信噪比降低;分辨率降低又影响地震信息有效性。此外,由于解释人员造成层位对比的错误、断层的影响,也往往造成地震信息的差异性很大,很难区分正常异常或其他干扰异常。因此,在目前资料和技术条件下(资料频带的有限性、信息不足和方法本身的缺陷),对于地震信息的利用必须根据资料条件结合本区地质特点进行有效性分析,建立地震属性与储层特征间的统计关系(Fournier 等, 1995),筛选出适合工区储层和油气预测的有效信息,才能获得较为可信的预测效果。

4. 地质模型与地震模型之间的相关性问题

勘探实践证实,地质模型建立的正确与否对于地震信息的认识、地震模型的建立、储层与油气的预测均具有极为重要的意义。一般来讲,地质模型应包括构造模型、沉积模型和油藏模型,正确的地质模型只有在充分分析本区构造特征、沉积展布规律和油气地质条件的基础之上才能建立,而只有在正确的地质模型与地震模型有机地结合,建立适合本区地质特点和地震资料之间相关性的基础上,才能获得较好的预测效果。研究实践证明理论模型在启发人们思路上有一定的指导意义,但往往使问题简单化,与要解决的实际地质问题之间存在一定的距离。因此,在储层和油气预测中,根据工区实际资料条件和地质特点,对特定地区地质、地震、测井和油气等资料信息之间进行模型的相关性分析,是一项极为重要的基础性工作。同时,在地质模型建立过程中,还需研究盆地类型、演化历史、沉积充填史、断裂与油气的活动历史,沉积盆地的水动力条件,断裂活动对砂体的控制作用与配置关系以及和油气藏形成的各种影响因素等。

第三节 研究思路与基本方法

1. 研究思路

根据目前的技术水平和资料条件,单方面利用地震信息进行储层横向预测,由于多种因素(包括客观的和人为的)干扰必然存在较大的不确定性。为了克服上述各因素产生的不稳定性 and 差异性,提高储层和油气预测的准确性,我们的基本研究思路是,在以综合分析为主导,充分利用钻井、测井、地震和油气等资料的基础上,强调地震与地质、构造与沉积、储层和油气预测与圈闭评价密切结合,通过数学统计分析和综合评价从而获得最终的预测结果。通过几年的努力,我们建立了一套较为完善的储层与油气预测系统(图 1-1)。总体上,该系统由地质基础研究、信息分析和综合判别分析三部分组成。其主要内容包括:①收集和整理地质、测井和试油等资料,建立钻井、测井、试油和地震等各项资料数据库系统,在充分研究储层的结构模型和分布规律基础上,从井出发进行砂体和主要反射层的界面标定;②以高分辨率或三维地震资料为基础,在人机联作工作站上开展微构造和断裂的精细解释、层拉平和信息提取等方面的工作,开展地震微相分析,建立地震微相类型与沉积微相的相关关系;③将地震微相分析、地震参数分析(振幅、频率、速度、吸收)和对应的储层层位地质模型结合起来进行统计分析,建立地震属性与储层或油气之间的统计关系,从而对砂体和油气进行模糊模

式判别分析；④在结合精细构造和沉积微相分析结果，进行综合分析的有效圈闭评价，并提交最终预测结果，包括砂体几何形态和横向变化以及油气分布情况等。实践证明，在目前的技术水平条件下，该套方法和思路是可行的。

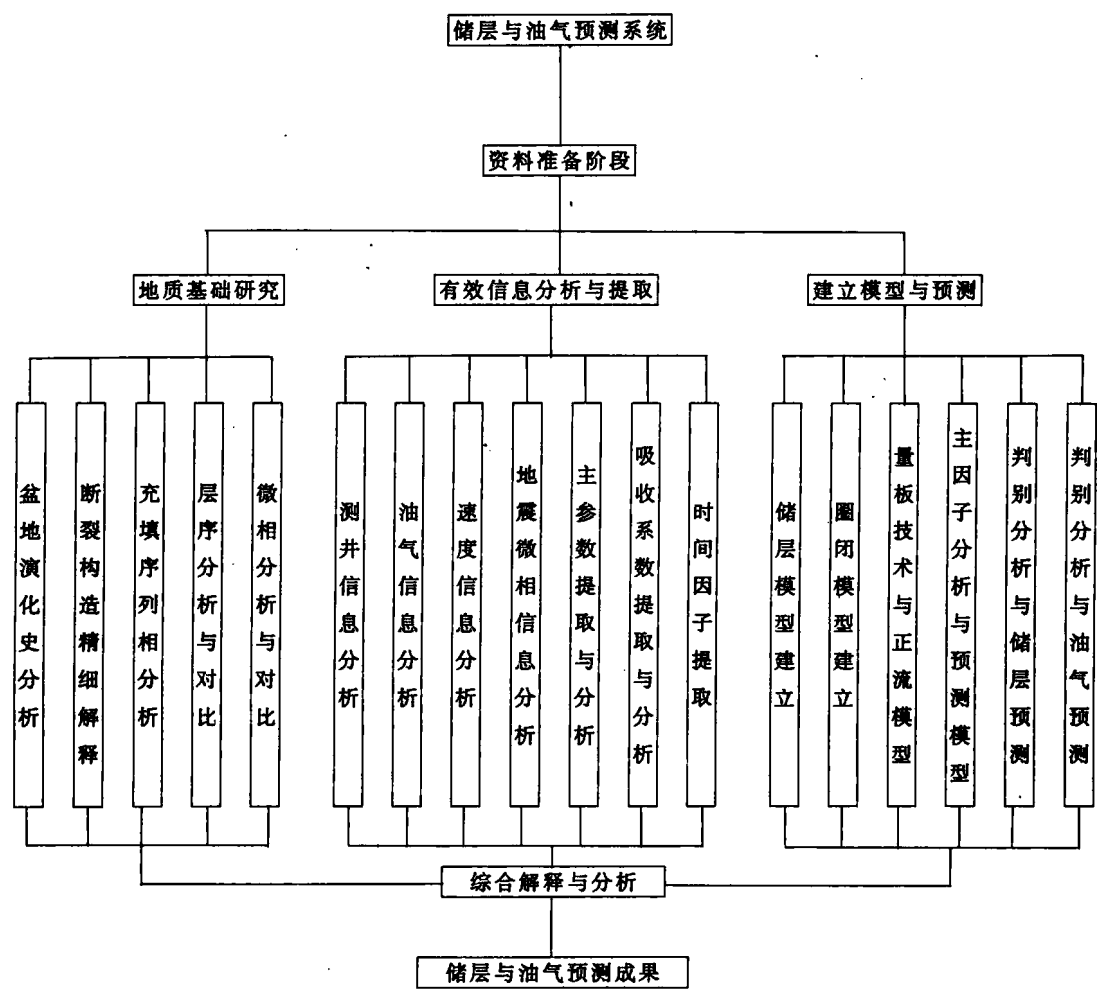


图 1-1 多信息储层横向预测与油气判别系统流程

2. 技术关键

需要指出的是：为了较好地实施上述技术路线并逐步达到预测目标，在研究过程其技术关键是：

(1)逐渐推进法。储层预测从大到小逐步逐级展开，首先进行层序划分，并利用地震地层技术进行盆地或层序规模的沉积体系和相带的预测，一般情况下，结合钻井分析是可以弄清层序内沉积相分布的。然后在此基础之上，结合钻井、测井等资料进行沉积充填序列分析，垂向上划分准层序组、准层序，横向上以地震剖面为主，结合测井曲线对比、测井相和沉积相分析，确定各层序组或准层序单元亚相带，最后以亚相带为单元，划分时间地层单元，在层位精细标定的基础上结合地震单波波波形分析和信息判别分析，确定亚相带内的微相分布，然后根据微相类型、砂岩百分含量，预测砂层厚度，从而达到预测单砂层平面展布的目的。

(2)定性描述与定量计算相结合。在整个储层预测过程中,无论储层预测的规模大小,必须做到定性描述与定量计算相结合,如盆地规模阶段的储层预测,则应做到层速度计算与地震反射特征分析、沉积环境和沉积相分析相结合;精细储层预测阶段,需做到精细速度分析与计算,各种地震参数的提取和计算与地震微相、沉积微相、微同生构造分析等地质因素相结合。由前面的分析可知,由于各种因素的干扰,地震信息在反映岩性和油气方面还存在许多不确定性,尽管如此,但利用定量计算结果可以给出一个明确差值和判别界线。只是相邻值差别很大时,就有可能不符合客观地质规律。因此,在综合判别时需结合定性描述的分析成果,这样可以消除定量计算取值时所产生的某些极端现象。

(3)模型建立和信息有效性分析。无论储层预测的规模大小,建立适合本区地质特征的地质模型和对反映这些地质模型的各种信息进行有效性分析都是十分重要的。地质模型建立需要指出的是:①要有代表性,能反映本区的主要地震地质特点;②与主要预测和勘探目标、地层结构和相态类型相近;③模型要分区带建立,因为不同区带的地质模型它们产生的地震响应是不同的,且差异很大。在信息有效性分析过程中一定要与本区具体地质模型相结合,这样才能建立适合于本区特点的地震属性与地质模型之间的判别关系,并确定恰当的取值范围。

第二章 层序地层分析

第一节 层序地层分析在储层预测中的作用

储层预测中一项十分重要的基础工作就是等时界面的确定与地层的横向追踪和对比,无论采用何种技术和方法进行储层横向预测,前提是只有在同一时间地层单元内才能做到准确地预测储集层的几何形态和空间展布。否则,就会产生穿时现象,从而使不同时间地层单元的砂层、砂组或微相地层单元并置在一起造成解释和预测错误。毫无疑问,层序地层学关于时间地层格架的建立,层序界面的等时性分析,对于在储层预测工作中指导地层对比具有重要的意义,无论在地层对比方法和精度上都比年代地层学和岩性地层学更进了一步。研究表明,虽然在实际工作中等时面的确定仍存在许多细节问题,但是,作为一种思路和勘探方法在储层预测中引入层序地层学的基本原理是非常重要的。

一、层序地层学的基本概念

层序地层学是 Vail 等人在综合应用地震资料、钻井、测井和露头资料的基础上发展起来的应用性学科。其基本原理和概念是以被动大陆边缘浅海环境为基础建立起来的。层序地层学通过年代地层格架的建立,海平面变化分析,沉积体系和体系域的建立,以及地震反射模式的综合解释,从而达到预测盆地范围内沉积层序的岩石组合和储层几何特征与储层性质。

层序地层学作为一种有用的勘探工具和研究方法,强调了等时性界面分析和年代地层格架的建立,根据 Vail(1977)、Brown(1987)、Van Wagoner(1990)观点:层序地层学是以研究侵蚀面或无沉积作用面或与之相应的整合面为界的,成因上有联系的、重复地层的,年代地层框架内的岩层组合关系的一种分析方法。层序为一套相对整合的、连续的、成因上有联系的地层序列构成,其顶底面以不整合或与其相关的整合为界。一个层序可以分为体系域,它们是以其在层序内的位置以及以海泛面为界的准层序组和准层序的叠置方式来定义的。

准层序和准层序组是层序的基本构成单元。一个准层序是以海泛面和与之可对比的面为界的、成因上有联系的、相对整合的一套岩层或岩层组,准层序组是由一套成因上有联系的准层序组成,具有独特的叠置方式(Van Wagoner, 1985)。这种叠置方式是通过地层单位界面的侧向连续性以及这些地层单位内部地层的垂向和侧向叠置方式和几何关系决定,而没有考虑地层单位的厚度、形成的时间长度以及与区域和全球的关系。准层序组的边界:①可以为分开独特、准层序的叠置方式;②可以与层序边界重合;③可以是下超面和体系域边界。准层序组内准层序的叠置方式取决于沉积速率与可容空间的比值,可以是前积式、退积式或加积式准层序组(图 2-1)。

加积式准层序组,后续的年青准层序沉积在另一个准层序之上,且没有明显的横向位移;总体上可容空间腾空速率近似等于沉积速率。前积式准层序组,后续的年青准层序进一步向

盆地方向沉积的准层序，总体上沉积速率大于可容空间腾空速率。退积式准层序组，后续的年青准层序以向陆阶进的方式进一步向陆地方向沉积的准层序；总体上沉积速率小于可容空间腾空速率(Van Wagoner, 1990)。

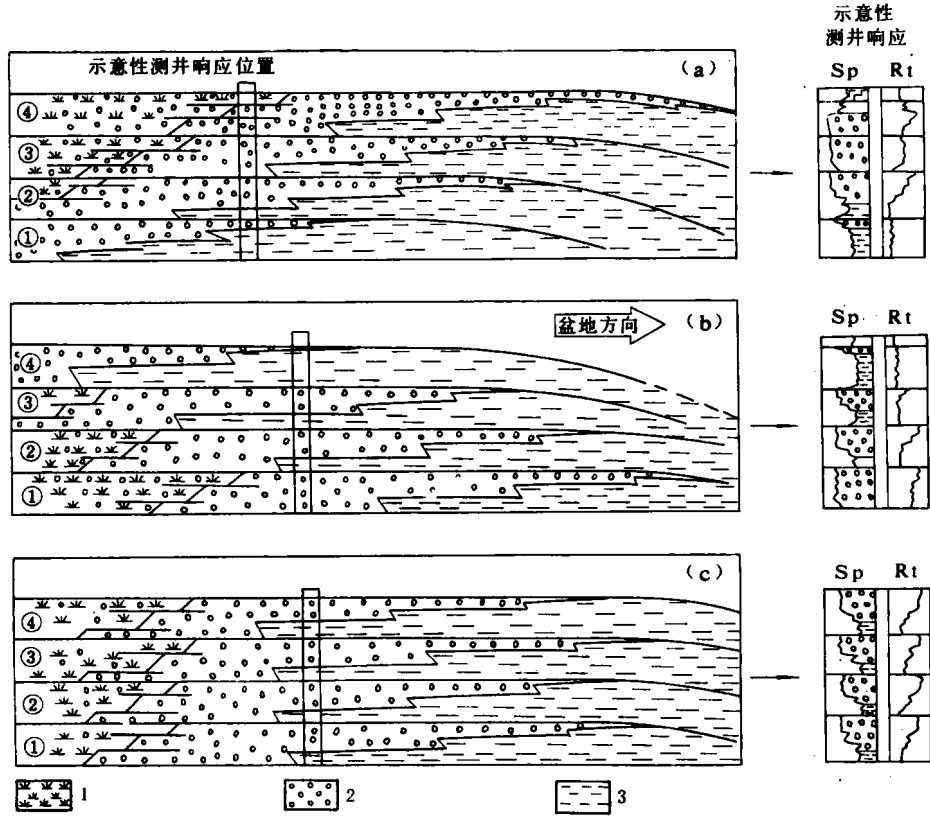


图 2-1 不同类型准层序组内部地层叠置方式与测井响应特征

(a)前积式准层序组，沉积速率/容纳空间腾空速率 >1 ；(b)退积式准层序组，沉积速率/容纳空间腾空速率 <1 ；
(c)加积式准层序组，沉积速率/容纳空间腾空速率 $=1$ 。1. 海岸平原砂岩和泥岩；2. 浅海砂岩；3. 陆架泥岩。
①—④为各个准层序

层序地层学不仅强调了等时性界面分析，而且也强调沉积过程和控制沉积过程的各要素的分析。即层序地层单元的几何形态和岩性受 4 大参数(构造沉降、海平面变化、充填速率、古气候)的控制。其中，构造沉降控制沉积物的沉积空间，海平面升降控制地层和岩相型式，沉积物供给控制沉积物充填和古水深，古气候控制沉积物类型。沉积物的分布取决于可容空间大小、盆地边缘的形态、沉积速率及古气候，例如，在海平面上升期间构造沉降产生的盆地大于海平面上升期间构造抬升所产生的盆地。层序地层学通过研究沉积、沉降速率与相对于盆地边缘的海平面位置之间的关系，从而达到预测储层砂岩的位置与分布。例如，在沉积速率较大的深水盆地，通常砂首先沉积，在盆底形成水下扇，随着盆地范围的扩大逐渐向盆地边缘扩展，随着海平面向陆架边缘缓慢上升，海岸线向陆地方向迁移，砂向后退积，形成三角洲沉积以及深水页岩。在沉积物供应充足的条件下，砂将向盆地方向迁移。

沉积层序是依据沉积时期的相对海平面变化和体系域构成，即相对海平面较低时期的低水位体系域、海岸线向陆地方向移动时的海进体系域和相对海平面较高时期的高水位体系域

构成 I 型层序；陆架边缘体系域、海进体系域和高水位体系域构成 I 型层序。一个体系域是由一系列同时沉积的沉积体系组成，沉积体系是一种三维岩相组合体(Brown 和 Fisher, 1977)。体系域是根据其界面类型、在层序内的位置以及准层序组和准层序的叠置方式加以定义的。体系域还用几何结构和相组合加以表征。

勘探实践证明，体系域是具有可预测的地层序列、形态和成分的组合，仔细研究体系域几何形态及岩性是利用层序地层学进行储层横向预测的基础。每个体系域均具有特定的岩石组合、沉积体系和与之相应的测井曲线形态特征和地震响应(图 2-2)。如低水位体系域通常包括三个独立的单位：低水位盆底扇、陆坡扇和低水位楔。盆底扇以陆坡盆地底部上的海底扇沉积为特征。扇的形成与海底峡谷进入陆坡的侵蚀作用以及河谷进入陆架的下切作用相伴生。盆底扇与海底峡谷的形成以及下切河谷的侵蚀作用被解释为海平面相对下降产生的。盆底扇一般是由来自冲积河谷或近岸砂的分选良好的颗粒流或浊积砂所构成的，可发育相对独立的舌状体或全盆地范围的大型堆积体。测井曲线表现出块状，具突变接触的顶和底。地震反射向下弯曲，其顶面可形成丘状。一般具良好的储集性质，孔隙性、渗透性极好，连续性有一定的变化。世界上许多大油气田的大型舌状浊积体均属于低水位期盆底扇和陆坡扇等砂体沉积。

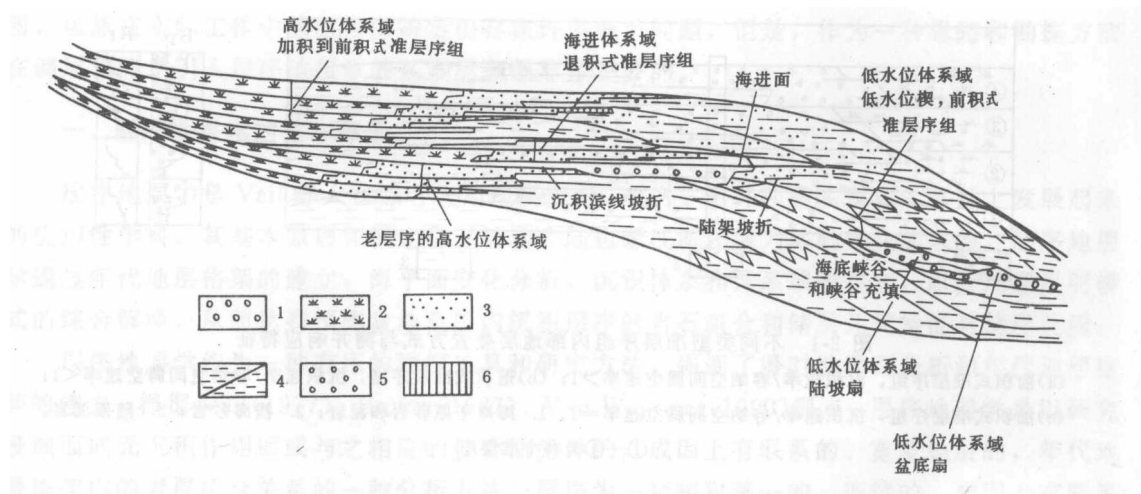


图 2-2 具有陆架坡折的盆地内沉积的 I 型层序的地层分布模式

1. 下切河谷中河流或河口湾砂岩；2. 海岸平原砂岩和泥岩；3. 浅海砂岩；4. 陆架和陆坡泥岩及薄砂岩；
5. 海底扇和有堤河道砂岩；6. 密集段沉积

海进体系域代表海平面迅速上升时期的沉积作用，它以一个或多个退积式准层序组为特征。海进体系域内部的准层序在朝陆地方向上超于层序边界面上，在朝盆地方向下超于海进面之上。该面以退积式准层序组变为加积式准层序组为特征，为最大海泛面，地震上这个界面为连续的平行反射。准层序组的自然电位和伽马测井曲线表现为向上变细的特点，在地震剖面上由于厚度较薄，通常不易分辨。

高水位体系域代表海平面相对较高时期的沉积作用，广泛分布在陆架上，以一个或多个加积式准层序组为特征。高水位体系域内部的准层序在朝陆地方向上超于层序边界面上，在朝盆地方向下超于海进或低水位体系域顶面之上。以页岩为主，含粉砂岩和砂岩。自然电位

和伽马测井曲线表现为逐渐降低的特点。地震反射与前积楔形反射类似,以S型地层模式为特征。

由此可知,层序地层学的核心就是通过等时性界面、沉积过程的旋回性和主控因素分析,以及层序、准层序组、准层序的划分,提供地层对比和建立年代地层框架的有力方法;体系域的分析提供了确定各级旋回性沉积垂向和侧向的叠置方式与空间几何关系和地层展布模式。勘探实践证实,通过将层序、准层序组、准层序进一步细分为更小的时间-地层单元,为详细的地层和砂体对比、大比例尺作图、沉积相和沉积微相解释、预测储层、生油层的分布并确定其位置,提供了可靠的理论基础和实用方法。

二、陆相盆地层序地层分析的基本原则

层序地层学的基本原理和概念以及地层分布模式是以被动大陆边缘浅海环境为典型建立起来的,当层序地层学应用到被动大陆边缘以外的范围时,由于盆地的控制作用不同,地层模式也不尽相同。近年来,先后有 Hubbard(1985)、Baltzer(1991)、Cojom(1993)、Allen(1993)、Keith(1994)、Van Wagoner(1995)、Risch(1996)等许多学者开展了陆相盆地层序地层方面的研究,并对层序地层学的概念、术语和预测的地层模式做过详尽的研究和修改。Mitchum 等(1977), Van Wagoner 等(1990)在综合利用测井、岩芯和露头资料的基础上把层序、准层序和准层序组的概念应用到碎屑岩地层模式的确定和解释上,并指出层序及其组成部分的体系域仅仅是由地层自身的自然关系定义的。即每一地层单元(它们均归属于层序、准层序和准层序组)只能根据地层的自然关系来定义和识别,地层的自然关系包括单元地层的几何形态、纵向叠置模式以及界面的侧向连续性,厚度、形成时间,区域性或全球性的成因解释都不能用于定义地层单元;准层序和层序则能在测井曲线、岩芯和露头上识别,并用来建立地层格架,而不管其与海平面升降变化的关系如何。

与被动大陆边缘盆地相比陆相地层的沉积是十分复杂的,陆相地层的沉积既受到区域构造作用和气候之类异旋回的控制,也受到沉积条件等自旋回的控制。针对陆相湖盆自身的特点,Hubbard 认为控制层序边界的主要因素是局部沉积物的供应速率和各种构造作用(裂谷作用、热沉降和沉积负荷)之间的平衡。Baltzer(1991)、Cojom(1993)分别在研究东非裂谷现代湖泊沉积和法国白垩纪至古新世河流及湖泊相地层基础上,强调湖泊体系沉积基准面(湖平面)变化主要受构造和气候等因素的控制。正如 Shanley(1994)指出当陆相地层厚度增加时,很难区别异旋回现象造成的区域侵蚀面与河床冲刷面。

Scholz 等(1990)通过对荷兰二叠纪地层的研究,建立了断陷湖盆的沉积地层模式(图 2-3)。湖泊沉积与海相沉积在许多方面相似,具有滑塌、碎屑流、浊积岩、湖滩、河口湾和前积模式。其主要差别是:湖泊体系受湖泊大小、水体深度及其与海洋隔绝程度等因素的控制,对于沉积物的注入、构造作用、气候等局部变化更为敏感。在干旱环境中,内陆湖盆可具有低水位蒸发岩和风成砂岩,在湖盆中央有上覆水进的细泥坪,沿滨岸有斜坡砂坪,伴生有广布的内陆萨布哈和河流沉积。在湖盆中央高水位沉积以泥坪为主,而在湖滨周围则以干谷沉积为主。Shanley 和 McCabe(1994)进一步指出,低水位沉积由顶部遭河道切割的向上变粗的碎屑岩楔状体或席状体组成,高水位期以缺氧湖泊中沉积的富有机质暗色泥岩为特征。不随季节变化的湖泊水体是分层的和缺氧的。季节性的温度变化促使湖水循环流动,使湖底保持氧化环境。

到目前为止,大多数的陆相沉积研究集中在冲积体系,这主要是:①由于沉积物的深切