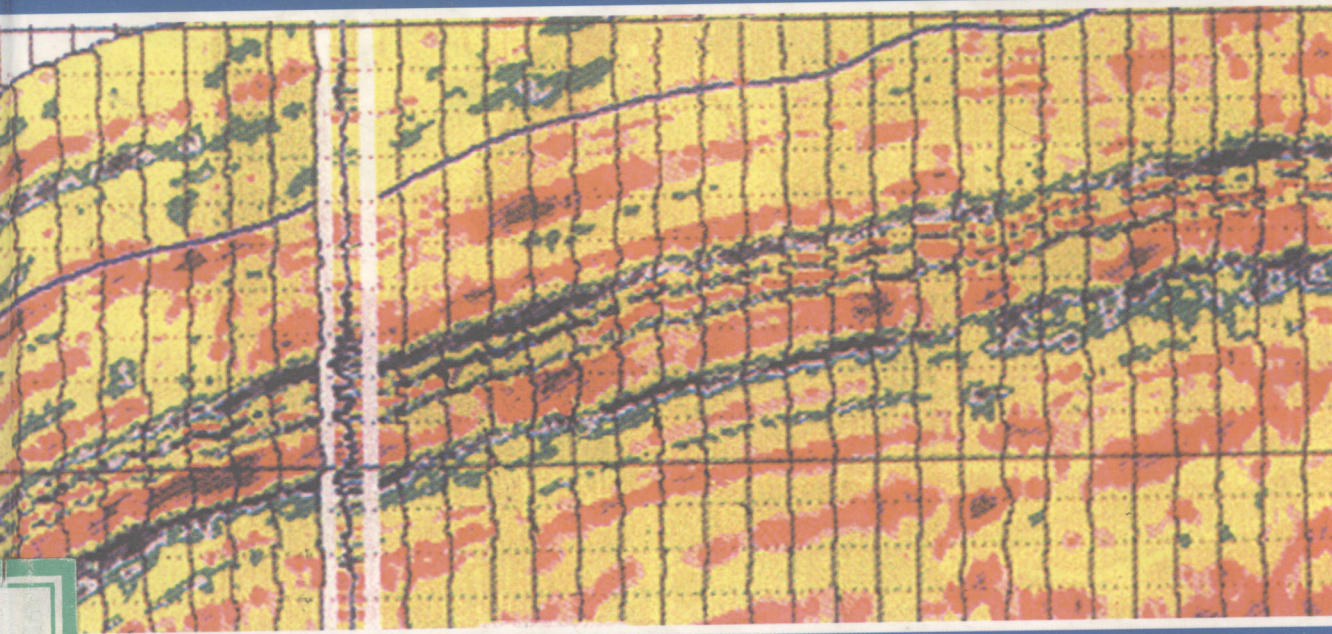


# 储层地震预测理论与实践

赵政璋 赵贤正 王英民 等著



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 储层地震预测理论与实践

赵政璋 赵贤正 王英民等著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书分三篇。第一篇为基础理论篇,系统介绍了储层地震预测的地质基础、地震基础和层序地层学基础;第二篇为技术方法篇,系统介绍了地震反演方法、地震属性提取及分析技术、不同地质目的储层地震预测方法以及储层地震预测软件的主要特点;第三篇为应用实践篇,系统介绍了国内陆上五个储层地震预测的典型实例。

### 图书在版编目(CIP)数据

储层地震预测理论与实践 / 赵政璋, 赵贤正, 王英民等著. —北京: 科学出版社, 2005

ISBN 7-03-014803-7

I. 储… II. ①赵…②赵… III. 储集层-地震预报 IV. P315.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 006585 号

责任编辑: 谢洪源 罗 吉 / 责任校对: 钟 洋

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2005 年 5 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2005 年 5 月第一次印刷 印张: 27 1/2

印数: 1—1 300 字数: 627 000

定价: 220.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

# 序

随着勘探程度的不断提高和勘探领域的不断延伸,我国陆上油气勘探已经进入了一个岩性地层油气藏勘探与构造油气藏勘探并重的新阶段。

最新的油气资源评价结果显示,我国陆上岩性地层油气藏剩余资源量占总剩余资源的42%,这充分揭示了岩性地层油气藏勘探的良好前景。与此同时,近年来中国石油的岩性地层油气藏勘探工作成绩斐然,在各种类型的盆地和圈闭中均获得了重要突破,取得了一大批可喜的勘探成果,为保持储量稳定增长发挥了重要作用。可以预见,在今后相当长的一个时期内,岩性地层油气藏将是我国陆上最现实、最有潜力、最有普遍性的油气勘探领域。

由于地质条件的复杂性、圈闭条件的多样性、岩性空间的突变性以及储层内部的非均质性,岩性地层油气藏勘探对技术的要求更高。近年来的实践证明,主导勘探新技术的推广与应用,在岩性地层油气藏勘探中发挥了不可替代的作用,特别是以高分辨率三维地震为基础的储层预测技术的发展,对岩性地层油气藏勘探产生了巨大的推动和促进作用。目前,储层地震预测技术已经成为岩性地层油气藏勘探的核心技术之一。

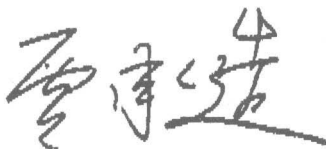
随着岩性地层油气藏勘探进程的不断深入,中国石油在储层地震预测技术的研究与实践领域取得了一系列的成果,积累了丰富的资料,包括成功的经验和失利的教训,值得认真地加以总结、升华和提高。为了更好地促进技术的发展,加快岩性地层油气藏的勘探步伐,本书作者都是一批来自产、学、研等多家单位的专家学者,历时近三年的时间,缜密构思,反复推敲,数易其稿,终于推出了《储层地震预测理论与实践》一书。

正如书名所言,本书最大的特色就是“理论”与“实践”的有机结合。主要表现在“三个结合”:地质基础与地震基础的结合,基础理论与技术方法的结合,理论研究与实践应用的结合。这“三个结合”,与岩性地层油气藏自身的特点、储层地震预测技术的性质以及勘探工作的需求是一致的,我们从中不难看出作者的独具匠心。

作为一本技术专著,本书突出了实用性和可操作性,比较全面地展示了我国目前储层地震预测技术的水平,为我们油气勘探工作者和岩性地层油气藏勘探工作提供了可借鉴和参考的有力工具。

岩性地层油气藏勘探方兴未艾,储层地震预测技术必将大有可为。我相信,本书的出版,将会对储层地震预测技术的发展起到促进作用,进而推动岩性地层油气藏勘探工作向前迈进。这是作者的愿望,也是我的希望,是为序。

中国石油天然气股份有限公司总地质师、中国科学院院士



2004.10

# 前 言

随着勘探程度的不断提高,近年来我国陆上油气勘探对象已经发生了很大变化,前陆盆地冲断带构造油气藏勘探、岩性地层油气藏勘探以及老区滚动扩边已经成为油气勘探发现的主要领域。东部大部分探区已经从过去以构造油气藏为主进入以岩性地层油气藏为主要对象的勘探阶段,中西部探区也已进入了以构造油气藏和岩性地层油气藏勘探并重的阶段。从中国石油 2003 年储量统计数字来看,当年新增石油探明储量中岩性地层油气藏储量所占比例已经达到 55%,这表明岩性地层油气藏勘探已经成为我国陆上新增油气储量的最主要来源。

岩性地层油气藏的主要特点是:油气藏成因复杂、类型繁多、形态隐蔽、纵横向变化大,因此岩性地层油气藏的识别难度大、勘探风险高。岩性地层油气藏的油气聚集不像单纯的构造油气藏那样主要受构造因素控制,而是主要受储层物性等因素的控制,例如松辽盆地、鄂尔多斯盆地中生界大面积低丰度岩性油气藏勘探以及川西北浅层气勘探的关键是含对油气砂体的准确识别与精细描述,以发现主砂带、裂缝发育带等“甜点”;再如塔里木盆地台盆区、四川盆地、鄂尔多斯盆地地下古生界碳酸盐岩油气藏勘探的关键是确定碳酸盐岩溶洞型储层内幕及风化壳孔、洞、缝系统的展布等等。查明岩性地层油气藏储层的岩性、几何形态、物性参数及含油气性,为地质综合评价、井位部署、储量估算等提供重要依据,是储层地震预测的主要任务。

储层地震预测自 20 世纪 70 年代末在我国油气勘探开发中投入实际应用以来,经历了二十多年的实践和发展,积累了大量的经验,也有不少的教训。从储层地震预测技术的方法原理和勘探实践来看,它是一门涉及面广、综合性强的应用技术,要做好储层地震预测,除了要求正确掌握储层预测处理软件外,还对地震基础资料的品质、地质条件的可行性、解释人员的素质、项目的组织管理等方面都有着许多特定的要求。储层地震预测不仅仅是要求多学科专业人员加入到同一个项目组的形式上的融合,更重要的是要求项目成员知识结构上的相互扩展、相互渗透,只有这样才能达到多学科间相互沟通、相互印证、相互补充的效果。

目前,能够将地球物理、地质等学科结合起来“融会贯通”的储层地震预测技术书籍较少,大多数的相关书籍都是彼此独立、相关较少的本学科专著。储层地震预测工作需要多学科间的有机融合,应用人员更需要技术知识方面的跨学科有机融合,现有的书籍难以满足这一需求。油气勘探实践急需一本以储层地震预测为核心内容的、地质与物探相结合的参考书籍。

有鉴于此,为适应岩性地层油气藏勘探的需要,本书针对从事油气勘探生产的研究人员和管理人员的业务需要,以勘探为出发点叙述地质理论和物探技术方法原理,立足地震、地质相结合来讨论储层地震预测问题,使之有别于一般的地球物理和沉积学专著,旨在从基础上帮助有关人员全面提高储层地震预测的理论基础知识和实际工作能力,力求

做到突出基础知识、突出勘探意识、突出对生产过程中容易忽略的一些关键问题的提醒和讨论。

本书编著人员既有长期从事基础理论与教学的大学教师,又有长期从事应用技术研究与生产实践的科研人员;既有长年从事油田一线生产研究的技术人员,又有长年从事油气勘探开发生产技术管理的管理人员;既有偏重地球物理背景的物探专家,又有偏重地质背景的地质家,还有地质—物探相互融合的复合型专家。本书完全不同于一般的文献汇编,它是编著者多年从事应用研究所获成果和心得的浓缩总结,是理论与实践、技术与应用、物探与地质相结合的产物,它同时还兼收并蓄了同行的最新研究成果和最新理论知识,是一本以技术应用为主要目的、物探与地质相结合的储层地震预测技术专著。

全书分为基础理论篇、技术方法篇和应用实践篇三大主体部分。在基础理论篇中,讨论了储层预测的地质基础、地震基础及层序地层学基础;技术方法篇中讨论了地震反演方法、地震属性分析技术、储层地质参数的地震预测,还对部分主流储层预测软件的特点作了介绍;应用实践篇中介绍了碎屑岩、碳酸盐岩和火成岩三类储层预测的应用实例。在三大主体部分之前,采用总论的方式,紧紧围绕勘探生产实践的需要,对储层地震预测的基本概念、主要技术方法和基本要求进行了简明的讨论,力图对整个储层地震预测的技术理论与实际应用理出一个清晰的整体脉络,让不同类型的读者在不需要有很多背景知识的情况下,能对储层地震预测的理论基础、技术作用、技术要求、注意要点的概貌有一个基本的认识,从而引起对后面主体部分的阅读和思考。

本书由赵政璋、赵贤正整体策划,提出对本书的整体构想和具体要求,并多次组织研讨,拟定了详细的编写提纲。具体编写分工如下:前言由赵政璋、张颖编写,总论由赵政璋、张研、张颖、孙夕平、郑晓东、孙虎生、徐基祥、王英民等编写,第一章由徐樟有、袁选俊、王英民、赵贤正编写,第二章由陈崇河、王英民、孙夕平、李幸栗编写,第三章由王英民、徐樟有、池英柳、周海民、董月霞、金武弟编写,第四章由陈崇河、郑晓东、张昕编写,第五章由陈崇河、甘利灯、王英民、辛仁臣编写,第六章由王英民、周学先、刘豪、李宏兵编写,第七章由陈崇河、阎世信、刘晓、李静平等编写,第八章由徐樟有、赵贤正、李景明、李明、赵一民、刘晓、钱鑫方、欧阳永林、易士威、温声明等编写,结束语由赵政璋、张颖编写,李久承担了参考文献及校对工作。最后由赵政璋、赵贤正、邹才能、张颖、张研统编定稿。

本书理论性和生产实践性要求都非常高,涉及面比较广。为了达到出版本书的初衷,保证质量,编写工作历时近三年,其间反复讨论,五易其稿。由于水平所限,错误和不足在所难免,恳请广大读者批评指正。希望本书能够对有关人员有所帮助和启迪,起到抛砖引玉的作用。

在本书正式出版之际,特别感谢中国科学院贾承造院士在百忙之中为本书专门作序,这是对全体作者的鼓舞与激励。

在本书的编写过程中,中国石油勘探与生产公司、中国石油大学(北京)、中国石油勘探开发研究院以及廊坊分院给予了许多帮助,李景明、李东旭等做了大量的协调工作并提出很多宝贵建议,阎世信、李静平、曾忠等负责收集整理国内外公司的相关资料;华北油田分公司、吉林油田分公司、塔里木油田分公司、西南油气田分公司、大庆油田有限责任公司、冀东油田分公司以及东方地球物理勘探有限公司等单位同意发表并提供了各自探区的相关资料;在讨论了储层地震预测的基本理论、技术方法后,为了能让读者对实际生产

中储层地震预测的具体实现方法、手段有更加深刻的感性认识,一些外国公司提供了各自储层预测主体软件的情况介绍,并授权发表,以飨读者,由于时间的关系,软件介绍部分未能囊括市场上所有的商业软件,但它们基本上代表了当前国际市场上储层地震预测的主流软件和技术方法。在定稿的后期,刘晓同志帮助做了大量工作。对上述单位和个人的大力支持和帮助,我们在此表示衷心的感谢!

作者

2004年10月

# 目 录

序	
前言	
绪论	(1)
一、储层地震预测的基本概念	(1)
二、储层地震预测的主要方法和技术	(5)
三、储层地震预测的基本要求	(16)
第一篇 基础理论篇	
第一章 储层预测的沉积学基础	(27)
第一节 陆相沉积体系	(28)
一、冲积扇砂体	(30)
二、河流相砂体	(37)
三、湖盆三角洲砂体	(45)
四、水下扇砂体	(56)
第二节 海相沉积体系	(64)
一、海相三角洲	(65)
二、滨岸砂体	(69)
三、海底扇砂体	(74)
四、碳酸盐岩古岩溶及风化壳储层	(78)
五、生物礁及滩坝储层	(84)
第三节 火成岩体系	(90)
一、火成岩成因模式	(90)
二、火成岩储层的地质特征	(91)
三、火成岩储层的测井曲线特征	(93)
四、火成岩地震反射特征	(94)
五、火成岩油气勘探	(96)
第二章 储层预测的地震基础	(97)
第一节 地震记录的形成与意义	(97)
一、地震记录的形成	(97)
二、地震剖面的含义	(99)
三、人工合成地震记录	(100)
第二节 基本概念	(106)
一、波阻抗	(106)



二、反射系数 .....	(106)
三、地震子波 .....	(106)
四、振幅 .....	(107)
五、信噪比 .....	(109)
六、频谱 .....	(110)
七、弹性参数 .....	(113)
第三节 速度的基本概念和含义 .....	(114)
一、几个常用的地震速度概念 .....	(114)
二、不同速度之间的联系 .....	(116)
三、影响速度的主要地质因素 .....	(118)
四、地震资料解释中与速度有关的问题 .....	(120)
五、速度在储层预测中的应用 .....	(123)
第四节 地震资料的分辨率 .....	(124)
一、地震勘探的分辨能力 .....	(124)
二、地震子波与分辨能力的关系 .....	(125)
三、薄层的分辨 .....	(127)
<b>第三章 储层预测的层序地层学基础</b> .....	(133)
第一节 地震地层学基础 .....	(133)
一、地震层序及其基本原理 .....	(133)
二、地震层序(沉积层序)的识别与划分 .....	(134)
三、地震地层学研究方法 .....	(135)
四、地震相分析 .....	(136)
五、陆相地震相模式 .....	(140)
第二节 层序地层学基础 .....	(141)
一、基本理论 .....	(141)
二、层序地层学的三大理论体系 .....	(142)
三、问题讨论 .....	(146)
第三节 层序地层划分对比方法及层序识别 .....	(150)
一、层序级别的划分 .....	(150)
二、划分方法及识别标志 .....	(153)
第四节 层序地层学格架与油气成藏要素的关系 .....	(159)
一、不同体系域的圈闭潜能 .....	(159)
二、陆相层序地层等时地层格架的建立 .....	(162)
三、坳陷型湖盆层序地层模式与岩性地层圈闭 .....	(163)
四、断陷型湖盆层序地层模式与岩性地层圈闭 .....	(164)
第五节 渤海湾南堡凹陷高精度层序地层学研究 .....	(166)
一、层序地层格架的建立 .....	(166)
二、各层序沉积体系的分布及时空演化 .....	(167)
三、层序类型及其控制因素分析 .....	(171)

四、岩性地层油气藏成藏条件分析 .....	(177)
五、岩性圈闭识别与钻探效果 .....	(181)

## 第二篇 技术方法篇

<b>第四章 地震反演方法</b> .....	(189)
<b>第一节 地震反演的主要方法和类型</b> .....	(190)
一、叠前反演 .....	(190)
二、叠后反演 .....	(192)
<b>第二节 主要地震反演方法简介</b> .....	(192)
一、道积分反演方法 .....	(192)
二、递推反演方法 .....	(194)
三、基于模型的反演方法 .....	(195)
四、波动方程反演 .....	(199)
五、神经网络反演 .....	(199)
<b>第三节 叠后地震反演存在的问题及技术关键</b> .....	(200)
一、叠后地震反演存在的问题 .....	(200)
二、反演对地震资料的要求 .....	(202)
三、地震反演的技术关键 .....	(202)
<b>第五章 地震属性分析技术</b> .....	(207)
<b>第一节 常规地震属性分析方法</b> .....	(209)
一、地震属性及其物理意义 .....	(209)
二、地震属性的分类与提取 .....	(218)
三、地震属性的优化 .....	(220)
四、地震属性分析方法与应用 .....	(221)
<b>第二节 地震波形属性分析</b> .....	(226)
一、基本原理 .....	(227)
二、实现过程 .....	(229)
<b>第三节 相干体属性</b> .....	(231)
一、基本原理 .....	(231)
二、实现过程 .....	(233)
<b>第四节 频谱分解</b> .....	(234)
一、概述 .....	(234)
二、楔形模型响应 .....	(237)
三、实现方法 .....	(238)
<b>第六章 储层地质参数的地震预测方法</b> .....	(244)
<b>第一节 储层地质参数预测基础</b> .....	(244)
一、速度、密度与储层地质参数之间的关系 .....	(244)
二、利用声波速度和密度估算孔隙度 .....	(247)
三、影响岩石速度、密度和波阻抗的控制因素的层次分析 .....	(249)

第二节 岩性预测主要方法	(250)
一、基于波阻抗反演的岩性预测	(250)
二、基于地震属性的岩性预测	(252)
三、其他储层岩性预测方法	(259)
第三节 形态预测主要方法	(262)
一、基于波阻抗特征的储层分布形态预测	(262)
二、基于地震属性的储层形态预测	(265)
三、其他储层形态预测方法	(267)
第四节 物性预测主要方法	(268)
一、基于波阻抗反演的储层物性预测方法	(269)
二、基于地震属性的储层物性预测	(269)
三、其他储层物性预测方法	(272)
第五节 含油气性预测方法	(276)
一、AVO 技术	(276)
二、基于模式识别的含油气性预测	(278)
三、基于神经网络的含油气性预测	(280)
四、其他含油气性预测方法	(282)
<b>第七章 储层地震预测典型软件的主要特点</b>	(286)
第一节 地震属性分析软件	(287)
一、地震属性分析及软件概述	(287)
二、地震相分析软件	(288)
三、运用沿层地震属性约束储层参数预测软件——LPM	(299)
第二节 频谱成像软件介绍	(303)
一、谱分解分析及软件概述	(303)
二、Image 储层频谱成像软件系统	(304)
三、体反射谱软件系统——VRS	(309)
第三节 相干体分析软件介绍	(310)
一、相干体分析及软件概述	(310)
二、CohTeec	(311)
第四节 三维可视化及三维解释软件介绍	(314)
一、三维可视化基本步骤及软件概述	(314)
二、VoxelGeo 三维可视化系统	(314)
三、Geoprobe 三维可视化解释软件	(320)
第五节 地震反演软件介绍	(322)
一、地震反演软件系统概述	(322)
二、Seislog 地震反演软件	(322)
三、ISIS 地震反演软件	(327)
四、地学研究平台 Jason	(333)
五、Geoview 地震反演系统	(339)

六、AVO反演软件——Probe .....	(341)
------------------------	-------

### 第三篇 应用实践篇

第八章 储层地震预测实例 .....	(349)
第一节 二连盆地乌里雅斯太凹陷南洼槽近岸水下扇砂砾岩体预测 .....	(349)
一、地质概况 .....	(349)
二、基本地质特征 .....	(350)
三、技术思路与方法 .....	(355)
四、勘探成效 .....	(360)
第二节 松辽盆地南部英台地区扇三角洲前缘砂体预测 .....	(368)
一、地质概况 .....	(368)
二、技术难点 .....	(370)
三、技术思路与方法 .....	(371)
四、地质效果与启示 .....	(376)
第三节 塔里木盆地轮南奥陶系碳酸盐岩风化壳储层预测 .....	(381)
一、地质概况 .....	(381)
二、技术难点 .....	(382)
三、技术思路与方法 .....	(383)
四、地质效果与启示 .....	(386)
第四节 四川盆地东北部地区飞仙关组碳酸盐岩鲕滩储层预测 .....	(393)
一、地质概况 .....	(393)
二、技术难点 .....	(394)
三、技术思路与主要技术方法 .....	(395)
四、地质效果与启示 .....	(402)
第五节 松辽盆地北部深层火成岩储层预测 .....	(403)
一、地质与勘探概况 .....	(403)
二、气藏勘探的技术难题与对策 .....	(404)
三、研究思路与技术方法 .....	(405)
四、结论 .....	(415)
结束语 .....	(417)
主要参考文献 .....	(419)

# 绪 论

近十多年来,我国陆上油气勘探发生了很大变化。油气勘探从过去以寻找构造圈闭为主逐渐转化为以寻找复合型圈闭以及各类岩性地层圈闭为主的新阶段。

在早期构造勘探时期,主要勘探目标是比较大型的构造圈闭,埋深一般比较浅,因此圈闭评价、井位部署主要考虑的是“圈闭面积、闭合高度和高点埋深”构造三要素。储层描述只是在进入开发阶段后才受到关注,其目的是为了更加合理地部署注采井网,提高开采效率。一般采用地质、钻井、测井、录井等资料通过小层对比来完成。随着勘探程度的不断提高和勘探领域的不断延伸,油气勘探对象发生了很大变化。人们发现勘探实践中遇到的储层非均质性问题越来越突出,储层物性的好坏不仅仅决定着探井是否高效,而且往往还决定着探井的成败,特别是对于岩性地层油气藏勘探更是如此。在这种情况下,研究人员不仅需要了解勘探目标储层的宏观形态特征,而且还需要对诸如砂体叠置与侧变关系、各类储层物性的横向变化细节等有尽可能多的了解。因此,储层的预测与评价逐渐成为勘探阶段必须考虑的重要因素。

储层地震预测理论与技术正是在这种背景之下应运而生的一项综合性的地球物理勘探技术分枝。这项技术建立在地震波动理论、信号分析、沉积学、岩石物理等学科的基础之上,充分利用了地震资料在空间上密集采样的优势,能够在无井或少井控制条件之下,对勘探目的层系储集层的沉积相带、岩性、分布、形态、物性(孔、渗参数)甚至是含油气性做出预测和描述,基本满足勘探阶段对储层的评价要求。经过十多年的应用与发展,储层地震预测已经成为我国陆上油气勘探中的一项常规技术手段。

## 一、储层地震预测的基本概念

相对于油气勘探开发过程中其他各项基础研究和应用技术而言,储层地震预测技术具有较强的综合性和基于地球物理基本原理的相对独立性,在实际生产应用中又具有明显的阶段性。综合性体现于描述的对象十分复杂,地震资料所提供的各种地球物理信息都是间接的,必须要较好地融合地质、钻井、测井、录井、试油等环节的成果,才有可能系统而有效地刻画出储层的基本特征。独立性是指储层预测的基础是地震资料,所有数据处理必须遵循相关的地球物理学和统计学基本原理,与地层、构造、沉积等基本石油地质方面描述性研究有较大的差异。这项技术应用的阶段性是由于不同勘探阶段地质认识、评价需求以及占有资料不同,应用的手段、预测内容和精度也随之不同。

### (一) 储层和储层地震预测

储层是储集层的简称,在油气勘探生产中特指地下可供油气聚集、赋存的岩层。顾名思义,凡是能够储集油气的岩层都可以成为储层。事实上,构成地壳的三大岩类都可以成

为储层,目前已经发现的油气储层就有碎屑岩储层、碳酸盐岩储层、火成岩储层、变质岩储层和泥质岩储层等。分布最广、最重要的储层是各类砂岩、砾岩、砂砾岩、石灰岩、白云岩和礁灰岩。也就是说,绝大部分储集层属于沉积岩类。一般把沉积岩储层称作常规储层,而把火成岩、变质岩及其他类储层称作非常规储层。

岩层之所以成为储层,是因为其具有孔隙性,即具有能供油气储存的孔隙空间。一般来说,岩层孔隙越发育,孔隙度就越大,其储集油气的能力就越强。然而,若岩石孔隙间的连通性不好,即使它的孔隙发育、总孔隙度大,但由于它的渗滤性差,也不利于油气的运聚和次生油气藏的形成;对于原生气藏,若储层孔隙间的连通性不好,即使储层总孔隙度大、油气充满度高,但由于其孔隙连通性差、渗透率低,对于油气藏的开发来说也是没有太大意义的。因此油气勘探生产中所关心的储层是有效孔隙度大(即连通孔隙空间比例高)的储层。孔隙性的好坏直接决定岩层容纳流体的数量,而渗透性的好坏则决定着储集层内所含流体的产能。严格地讲,地壳上各类岩石都具有大小不等的孔隙和渗透性能,绝对致密无缝的岩石是很少的。不论什么岩石,只要具备了一定的孔隙性和渗透性就可以作为油气储层。油气储层这个术语只是强调了具备储存油气的能力,并不意味着其中一定储存了油气。已证实含有油气的储集层称为含油气层。已经开采的含油气层称为生产层或产层。

通常从储层的岩性、形态、物性和含油气性四大方面对储层进行表征。储层岩性是用来描述储层构成成分的要素,它直接或间接地反映了岩层的储集性能和储层特征,一般从储层的岩性、所处相带等方面进行描述,对于碎屑岩储层还常用砂地比(或砂泥岩百分比)来描述其储集性能;储层形态是对储层的几何形态特征进行描述的重要参数,常用的描述参数主要有储层的分布范围、储层顶界面构造形态、储层厚度等;描述储层物性的参数主要是孔隙度和渗透率;储层的含油气性描述主要包括储层是否含有流体、储层含流体的类型和含油气饱和度。

因此,储层预测就是在油气勘探开发的某个阶段,根据勘探开发的需要,应用一切现有的资料和认识,尽可能采用一切技术手段,对认为是有效储层的某些(或全部)特征进行预测,以满足圈闭评价、探井部署、储量计算、开发方案设计、生产井网调整等阶段勘探开发人员对储层特征了解的需求。显然,储层预测具有阶段性,在勘探开发的不同阶段,由于拥有资料的程度不同,勘探开发需求不同,所采用的储层预测方法和对储层预测的内容和精度要求也有所不同。例如,在一个勘探程度很低的新盆地,受资料的限制,对某个潜在储层的预测可能仅仅采用露头资料,使用岩心描述的方法进行粗略的评价;而对一个开发程度较高的油气藏,一般都会采用以钻井资料为主的方法进行描述、建模。

储层地震预测与一般的储层预测的任务并无太大的不同,所不同的只是它所依赖的资料来源和主要技术手段上的不同。储层地震预测,顾名思义,就是以地震信息为主要依据,综合利用其他资料(地质、测井、岩石物理等)作为约束,对油气储层的几何特征、地质特性、油藏物理特性等(具体来说就是储层的岩性、形态、物性和含油气性)进行预测的一门专项技术。

目前储层地震预测技术已经成为油气勘探过程中储层预测的主导技术,并且已经延伸到了开发阶段,成为油气田开发中油气藏动态描述的重要技术手段。它能较好地根据勘探开发不同阶段的资料状况和工作需要,提供不同类型、不同精度的储层预测成果,为

油气勘探开发服务。储层地震预测在某种程度上也成了提高勘探成功率的关键环节,特别是在岩性地层油气藏勘探过程中更是如此。

随着三维地震资料的大量采集和计算机技术的飞速发展,以现代沉积学为基础、以地震资料为载体、以计算机为工具、以钻井资料为约束、以合成地震记录为纽带的储层地震预测技术发展很快。做好不同勘探阶段的储层地震预测工作,不仅是对勘探工作的基本要求,而且也是对勘探人员技术素质的基本要求。

## (二) 储层地震预测的目的和作用

储层地震预测的主要目的是提供对储层特征的预测成果,具体讲就是要利用地震资料进行储层岩性、储层形态、储层物性和储层中流体性质的预测,为油气勘探开发中具体井位部署、勘探开发方案确定提供依据。油气勘探开发工作是一个连续的过程,传统上一般划分为勘探与开发两大工作阶段。但在具体业务管理上,根据勘探开发业务的特点和便于实现规范化管理的要求,一般在以盆地评价为主要内容的勘探前期准备结束以后,将勘探开发业务划分为圈闭预探、油气藏评价和油气田开发三个工作阶段。由于各个阶段的特点、任务各有不同,它们对储层预测的需求也随之不同,因此,储层预测在勘探生产不同阶段的目的、作用以及手段也有所不同。

### 1. 圈闭预探阶段的储层地震预测

圈闭预探是油气勘探的早期阶段。从开始钻第一口预探井到钻探见油,再到提交控制储量,整个过程都属于预探阶段,工作跨度相对较大。该阶段的工作环节主要包括区带优选、圈闭预探等,其主要工作目标是多获发现、开辟新的勘探地区和领域;其主要任务是提交控制储量。这一阶段是探索性很强的工作,也是上游业务的灵魂。

探区的勘探程度决定了预探工作的研究重点,也同时决定了研究中所应采用的研究方法。从这个角度,可以大体上将预探工作划分为两个层次。第一个层次是预探目标评价,这项工作着眼于在新的地区或新的层系获得突破。一般而言,这是油气勘探开发的初始阶段,地震资料以二维为主,可供借鉴的资料,特别是钻井资料很少,研究人员除了依据区域地质资料对研究区石油地质基本条件进行深入的分析之外,还需要通过储层预测来补充和完善沉积、储层方面的宏观认识。因此,储层地震预测的主要目的是建立沉积储层的宏观概念,具体包含两个方面内容:一是地层纵向总体配置关系,包括烃源岩、储层及盖层发育情况、目的层段储层(如陆相沉积中砂岩发育段)特征;二是沉积体系平面关系,包括生烃中心及砂体展布、物源方向等,与之相对应的是地层学、构造学、沉积学及层序地层学等方面研究内容。第二个层次是预探井成功之后以落实储量规模为目的的评价工作,此时研究人员的地质认识已经深化,地震资料要么是三维地震资料,要么是测网较密的二维地震资料,资料更加丰富,预测目标更加集中,针对性更强,预测作用也更加重要,最终目的是结合钻井资料建立起已发现油气藏的宏观三维空间概念。

### 2. 油气藏评价阶段的储层地震预测

油气藏评价阶段的主要任务是在预探阶段提交控制储量,或在圈闭预探有重大发现

的基础上,利用各种手段对油藏进行评价并对油藏开发的经济价值做出评估。对于评价认为具有开发价值的油气藏,要提交探明储量,并完成和优化开发方案设计。

评价阶段的储层地震预测涵盖内容最广泛,技术手段最丰富,发挥作用最明显,面向油气藏是这一阶段储层预测的核心。不同类型油气藏储层类型不同,同一类型油气藏储层特征与含油气性不同,这些问题都需要在这一阶段通过学科之间的结合,深化储层发育相带、储层岩性、形态、物性以及含油气性方面的认识,形成可供实施的开发设计方案。这一阶段储层地震预测的主要技术思路是明确的,即遵循岩性、形态、物性和含油气性四个步骤逐步进行。在实际应用中,受不同类型油气藏特征影响,所开展预测工作的侧重点有所差异,大致可以分成两大类:一是陆相沉积层序砂岩、泥岩二元结构储层预测;二是碳酸盐岩、火成岩等特殊岩性储层预测。砂岩、泥岩二元结构储层成层性较强,纵向上具有一定的韵律性,储层条件受压实作用影响最大,储层地震预测难点体现在两点:首先是砂岩、泥岩薄互层时,常规地震资料纵向分辨率常常难以分辨;其次是当砂岩、泥岩速度差异较小时,单纯依靠波阻抗差异无法区分储层与非储层。因此,储层地震预测的重点是解决纵向分辨率问题,即在层序地层学指导下通过储层反演、地震属性分析等技术手段提高预测精度。第二大类储层地震预测是针对碳酸盐岩、火成岩等特殊岩性储层,这类储层的发育不完全受岩性控制,构造作用、溶蚀作用、次生成岩改造作用都有可能对储层条件产生影响,储层空间形态变化较大,非均质性较强,影响油气成藏因素较多,预测难度较大。因此,储层地震预测需要结合实际地质条件灵活应用多种技术手段加以综合分析。从目前我国油气勘探的实际情况看,这一阶段大部分地区已经实施了三维地震资料的采集,储层地震预测的资料基础非常好,特别是东部探区更是如此。

各种成因的裂缝系统对储层的改造作用十分重要,这是储层地震预测的另一大难点。由于裂缝系统形成机制与发育程度不同,从技术角度出发,目前尚没有建立起广泛适用的储层地震预测技术系列,实际工作中需要针对具体问题提出不同的技术对策。此外储层含油与含气会导致不同的地球物理响应,具体预测思路与方法不尽相同。

### 3. 油气田开发阶段的储层地震预测

油气田开发阶段是油气勘探开发的后期阶段,主要任务是把勘探阶段发现的油气储量通过各种办法开采出来,特别是要千方百计提高采收率,以实现生产经营目标,最大限度地实现投资回报。具体来说,在产能建设阶段,就是按照开发方案要求完成和优化实施方案设计、地面工程初步设计、施工设计,按设计完成产能建设并投产;在生产阶段,就是维持已建成产能的区块正常生产,并在生产过程中不断加深对油藏的认识,做出调整计划。因此,在产能建设实施过程中,需要对地质情况进行跟踪分析并根据新的认识不断对方案进行调整;在生产阶段要围绕提高采收率、降低生产成本这一目标,不断采用新技术,实现油田的长远稳定生产与高效开发。

一般来说经过评价阶段的工作,在产能建设及生产阶段,已经对油藏的储层特征认识得比较清楚,此时钻井较多,井筒资料丰富,储层的描述相对勘探阶段来说要精细许多,是一个地震资料和钻井资料有机结合的过程。通过精细储层描述,完全可以建立起比较精细的油气藏地质模型,基本满足开发中对储层的岩性、几何特征、物性参数描述的需要。对于非均质性很强的复杂储层,随着生产井网的逐渐加密和调整,可能会出现与原有认识



不相符合的情况,比如砂层出现断层错断、侧向尖灭、砂体变厚或变薄、砂层增多、油水边界变化等等,这时就需要根据新的钻井或生产动态资料,采用与评价阶段类似的方法,针对出现的情况在过井地震剖面上通过地震、地质相结合,对储层进行更进一步的精细研究,解决新出现的问题,修正原来对储层的有关认识,为下一步调整提供依据。油气田开发阶段储层地震预测的显著特点就是加密井和储层地震预测相结合,不断动态地滚动进行。此外,随着开发程度的不断提高,更加受到关注的将不再是常规意义下的储层特征,而将是剩余油的分布范围,以及水驱(或气驱、混相驱、蒸汽吞吐等)的波及范围,这时开发中对地震技术的需求已经从储层表征转化为对油气藏的动态监测,地震技术以四维地震技术(四维地震即随时间推移重复采集的三维地震)为主要代表,在国外相对成熟,但由于国内特殊的油气藏特征,目前国内应用尚不成熟,均属于试验阶段。

## 二、储层地震预测的主要方法和技术

储层地震预测的主要工作内容大体分为四个方面:一是储层岩性预测,即研究构成储层的岩性以及控制储层发育的相带;二是储层形态预测,包括储层的分布、厚度和顶、底面构造形态;三是储层物性预测,主要研究储层的物性参数,即孔隙度和渗透率;四是储层含油气性综合分析,即研究储层内所含流体性质及其分布。经过数十年的发展,储层地震预测技术已经发展成一门技术方法繁多、综合性强、相互交叉的技术系列,单项技术不下数十种。总体来说,储层地震预测技术大体上可以分为地震反演方法、地震属性分析技术、幅距分析(AVO)技术等三大类,这些都是以常规的地面地震反射纵波法勘探为基础的储层地震预测技术,它们也是当前储层地震预测技术的主体。此外,一些发展中的前缘技术,如利用地震纵横波差异研究储层特征的多波多分量地震技术、利用井眼激发接收的井间地震技术和 VSP 技术、重复观测的时间推移地震技术、利用钻头作为震源的随钻地震技术、利用地震数据的谱分解来识别超薄层的谱分解技术等,为储层地震预测增添了丰富的技术手段。

### (一) 储层地震预测发展史及技术现状

与任何其他科技发展史一样,储层地震预测理论的发展超前于技术的发展。储层地震预测的基础理论研究可以追溯到 20 世纪初,早在 1899 年和 1919 年,Knott 和 Zoeppritz 就完成了 AVO 理论的基础工作,奠定了日后储层地震预测的理论基础。

将地震反射理论应用于油气勘探始于 1927 年,最初使用的是机械式光点记录地震仪,勘探仅限于寻找浅层的简单构造。1951 年 Gassmann 研究了地震速度与岩石物理性质的关系,成为日后孔隙流体预测的基础。1952~1953 年前苏联开始利用振幅信息探测构造圈闭的油—水界面和气—液界面,由于当时使用的还是 51 型光点照相记录地震仪,振幅信息无法保真,因此误差较大,这一油气检测技术不可能达到工业应用水平。1955 年 Koefoed 利用 Zoeppritz 方程研究了 AVO 与地层界面两侧泊松比变化的关系,时至今日仍是 AVO 解释的基础。

储层地震预测技术的蓬勃发展是在多次覆盖技术和数字地震技术出现之后。1956