

# 礁滩储层 地震识别

Seismic Prediction  
of Reef-Bank Reservoirs

■ 文晓涛 黄德济 等 著 ■



科学出版社



地理信息

地理识别

地理信息

地理识别

地理信息

地理信息

# 礁滩储层地震识别

文晓涛 黄德济 等著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

礁滩相储层是我国乃至世界最重要的油气储层之一。尽管我国碳酸盐岩礁滩储层的分布广、层位多、资源量大,有着广阔的勘探开发前景,但遇到的难题也不少。发展高精度的针对礁滩储层的地震储层及预测和流体识别技术对于指导井位的部署和资源量的评价及预测有着重要的意义,同时对国家油气资源战略接替和可持续发展具有重要的战略意义。本书以礁滩储层地震预测理论和方法为重点,系统地介绍了礁滩储层地震响应特征、礁滩储层地震预测机理、礁滩储层地震预测方法、礁滩储层流体识别方法、多源信息(地质、测井、钻井、地震等)储层综合预测方法。并以川东北YB区和珠江口盆地LH、HZ等区为例介绍了礁滩储层地震预测和综合预测的工作流程与应用效果。

本书可供从事油气地球物理和油气地质勘探的科技人员参考,也可供相关专业的高校研究生和高年级大学生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

礁滩储层地震识别 / 文晓涛等著. —北京: 科学出版社, 2014.12  
(地球探测与信息技术丛书)  
ISBN 978-7-03-042640-6

I. ①礁… II. ①文… III. ①储集层-地震识别 IV. ①P618.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 279208 号

责任编辑: 杨 岭 黄 桥 / 责任校对: 韩雨舟  
责任印制: 余少力 / 封面设计: 墨创文化

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>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2014年12月第一版 开本: 787×1092 1/16

2014年12月第一次印刷 印张: 15 1/2

字数: 370千字

定价: 108.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

《礁滩储层地震识别》(*Seismic Prediction of Reef-Bank Reservoirs*)一书主要介绍利用地震勘探方法预测礁滩相储层并识别储层内的流体性质。书中的主要内容和结论是作者及其所在的研究团队近年来在理论研究和实践过程中获得的成果与认识。本书较全面地探讨了礁滩及礁滩相储层的地震响应特征、礁滩性油气藏地震预测的方法理论,礁滩相储层及储层内流体地震响应特征及其数值模拟方法、礁滩相储层综合预测等。虽然其中的一些内容还需要进一步的研究,但目前已经取得的部分进展与突破可为后续的研究奠定基础并提供可借鉴的思路,为我国礁滩性油气藏勘探整体科技水平的提高及相关油田油气储量和产量的增长提供技术支持。

本书受以下项目资助:①基于复杂弱信号检测的礁滩相储层预测及油气检测技术研究,国家自然科学基金青年基金(编号:40904034,研究期限:2010年1月~2012年12月);②裂缝性储层地震识别机理及相应方法研究,国家自然科学基金(编号:41174115,研究期限:2012年1月~2015年12月);③海相碳酸盐岩礁滩储层地震预测与识别方法研究,国家自然科学基金“石油化工联合基金”重点项目(编号:40839905,研究期限:2009年1月~2012年12月)。本书同时受成都理工大学“复杂储层地震检测”科研优秀创新团队培育计划资助。

研究工作是在贺振华教授、黄德济教授的指导下,由作者及其所在团队内的研究生完成。这些研究生主要有:蒋炼、许平、高刚、蔡涵鹏、刘开元、李如山、杨小江、李福强、杨璐、贾雨婷、周东勇、陈程、胡军辉、李小霞、朱恒、李文博、徐艳秋等。由于研究生人数较多,这里不便一一列举,他们的姓名及其成果将在参考文献中标出。本书作者在此向贺振华教授、黄德济教授的悉心指导表示感谢,并向所有参考文献的作者表示敬意。另外,郝亚炬硕士在整理书稿和校稿过程中,做了大量工作,对本书的出版极为重要。作者对郝亚炬硕士表示感谢。

全书共分七章,前五章以理论方法为主,后两章为应用实例及结论。其中第1章绪论部分主要介绍了礁滩性油气藏地球物理预测研究的目的是和意义以及国内外的研究现状与发展方向。

第2章主要论述礁滩储层的测井及岩石物理特征。包括不同相带、同一相带不同流体的测井响应特征及岩石物理特征的差异。

第3章主要介绍礁滩储层地震波场特征。包括生物礁滩几何外形特征、储层的数值模拟及储层地震波场特征分析、含流体介质的数值模拟及地震波场特征分析。

第4章主要介绍储层预测的地震方法,包括常规阻抗反演、匹配追踪阻抗反演、基于孔隙结构的孔隙度反演、渗透率预测及其他。

第5章主要介绍礁滩储层内部流体的识别,包括叠前弹性反演、AVO分析、低频伴影分析技术、频率衰减梯度、储层约束下的流体识别等。

第 6 章以珠江口盆地 LH、HZ 等区为例介绍礁滩储层地震识别及储层内部的流体并给出礁滩储层多源信息综合预测的原则与思路。

第 7 章对礁滩性油气藏地球物理预测的理论和技術方法进行了总结，并提出了获得较好预测效果应具有的前提条件。

由于我们的水平和研究能力有限，尽管我们非常细心，书中可能仍然存在谬误之处，请各位专家、同仁批评指正。

作者

2014 年 6 月

# 目 录

第1章 绪论 .....	1
1.1 研究目的和意义 .....	1
1.2 礁滩储层地震预测技术及流体识别研究现状 .....	2
1.2.1 礁滩储层地震预测技术研究现状 .....	2
1.2.2 流体识别研究现状 .....	3
第2章 礁滩储层测井及岩石物理特征分析 .....	6
2.1 灰岩与其他岩性测井参数比较 .....	6
2.1.1 灰岩与碎屑岩测井参数比较 .....	6
2.1.2 火成岩的识别 .....	10
2.2 灰岩中不同测井参数之间关系 .....	13
2.2.1 碳酸盐岩密度与纵波速度关系 .....	13
2.2.2 碳酸盐岩孔隙度与阻抗关系 .....	17
2.2.3 碳酸盐岩中含流体时不同参数之间的关系 .....	18
2.3 不同相带测井统计分析 .....	19
2.3.1 相带对孔隙度及阻抗的宏观影响 .....	19
2.3.2 不同相带基本物性参数分析 .....	21
2.3.3 相带与孔隙度对测井参数影响的比较 .....	21
2.3.4 岩石组分与孔隙度对测井参数影响的比较 .....	28
2.4 流体敏感参数分析 .....	28
2.4.1 现有主要的流体识别因子 .....	28
2.4.2 礁滩储层流体识别因子优选 .....	29
2.5 测井统计规律及可靠性分析 .....	34
第3章 礁滩储层地震波场特征 .....	36
3.1 生物礁滩的地震响应特征 .....	36
3.1.1 生物礁的地震响应特征 .....	36
3.1.2 生物滩的地震响应特征 .....	38
3.2 礁滩储层的数值模拟 .....	39
3.2.1 建模方法 .....	39
3.2.2 地震地层格架控制下储层模型的建立 .....	43
3.2.3 数值模拟 .....	44
3.3 含流体介质数值模拟 .....	54
3.3.1 弥散-黏滞波动方程数值模拟 .....	54
3.3.2 低频伴影现象的数值模拟 .....	56

3.3.3	叠前黏滞-弥散数值模拟原理及参数讨论	58
3.4	AVO 特征分析	64
3.4.1	AVO 理论数理基础	64
3.4.2	AVO 地震特征响应分析	68
3.5	生物礁识别陷阱研究	78
3.5.1	与火成岩岩隆的差别	78
3.5.2	与其他地质体地震响应特征差异	81
3.6	礁滩相带地震资料的特点及进行储层预测需注意的问题	82
3.6.1	地震同相轴的对比	82
3.6.2	古地貌恢复及礁滩复合体空间分布预测	85
3.6.3	地震低频信息的充分利用	87
<b>第 4 章</b>	<b>礁滩储层预测的地震方法</b>	<b>90</b>
4.1	多属性的提取与优化	90
4.1.1	属性的概念、分类与提取方式	90
4.1.2	振幅类属性	92
4.1.3	相位、频率类属性	93
4.1.4	曲率属性	94
4.1.5	属性的优化	102
4.2	地震相分析	108
4.2.1	方法原理	108
4.2.2	应用效果分析	110
4.3	关联维分析	113
4.3.1	EMD 方法基本原理	113
4.3.2	关联维的计算	115
4.4	匹配追踪阻抗反演	116
4.4.1	常规阻抗反演原理及不足	116
4.4.2	常规匹配追踪反演	117
4.4.3	双极子匹配追踪反演原理	124
4.5	基于孔隙结构的孔隙度反演	129
4.5.1	岩石物理模型的建立	130
4.5.2	岩石物理测试和测井分析	134
4.5.3	孔隙度预测	138
4.6	基于非规则曲线拟合的孔隙度反演	140
4.6.1	阻抗-孔隙度关系的非规则曲线拟合	141
4.6.2	基于距离加权的横向孔隙度预测	144
4.6.3	相约束孔隙度预测	145
4.7	礁滩储层的裂缝检测	147
4.7.1	小波多尺度边缘检测	147
4.7.2	时频空域分析	152



4.8	地质体突出显示	153
4.8.1	基于值域变换的地质体突出显示	153
4.8.2	各向异性扩散滤波	158
4.9	礁滩储层渗透率的地震响应特征	165
4.9.1	Johnson 模型	165
4.9.2	渗透率的地震响应特征	167
<b>第5章</b>	<b>礁滩储层内部流体识别</b>	<b>170</b>
5.1	弹性反演	170
5.1.1	叠前弹性波阻抗反演三项式	170
5.1.2	叠前弹性波阻抗反演二项式	171
5.1.3	实际测井数据试算	172
5.1.4	应用效果分析	173
5.2	高灵敏度流体识别	175
5.2.1	流体识别可行性分析	175
5.2.2	实例应用	176
5.3	流体的低频伴影分析	178
5.3.1	低频伴影现象	178
5.3.2	高精度时频分析	178
5.3.3	实际地震资料应用实例	182
5.4	频率衰减梯度	187
5.4.1	方法原理	188
5.4.2	仿真模拟	190
5.4.3	应用实例分析	192
5.5	流度属性及渗透率预测	193
5.5.1	流度属性的物理含义及提取方法	194
5.5.2	模型试算	196
5.5.3	实例应用	197
5.5.4	黏滞系数反演	198
5.6	时频谱等效属性	202
5.7	储层约束下的流体识别	205
5.7.1	D-S 证据理论与信息熵结合的新算法	205
5.7.2	应用实例	206
<b>第6章</b>	<b>应用实例</b>	<b>207</b>
6.1	HZ 地区礁滩储层预测及流体识别	207
6.1.1	区域构造特征	207
6.1.2	沉积相特征	209
6.1.3	油气运移通道	209
6.1.4	储层有利区带划分原则	210
6.1.5	有利区带	211

6.2 YB地区礁滩储层预测及流体识别 .....	215
6.2.1 过已知井的地震联井剖面分析 .....	215
6.2.2 有利储层的级别分类 .....	217
6.2.3 储层综合预测 .....	218
6.3 LH地区礁滩储层预测及流体识别 .....	223
<b>第7章 结论与建议</b> .....	<b>228</b>
7.1 结论 .....	228
7.2 建议 .....	229
<b>参考文献</b> .....	<b>231</b>
<b>索引</b> .....	<b>237</b>

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 研究目的和意义

油气资源的供给,是我国经济和社会可持续发展的重要保证。然而,我国的油气勘探和生产还远远赶不上快速发展的社会需求。中国原油对外依存度在 2007 年首次突破 50% 的警戒线,而中石油经济技术研究院发布的《2013 年国内外油气行业发展报告》显示,2013 年原油对外依存度达到 58.1%,并预测到 2014 年原油净进口量仍将进一步增长 7.1%。2013 年中国天然气进口量为 530 亿立方米,对外依存度达到 31.6%,成为全球第三大天然气消费国。从目前形式来看,“增储上产”是摆在我国油气工作者面前的重要而艰巨的任务。

礁滩相储层是重要的油气储集空间。生物礁是由固着生物所形成的本质上是原地沉积的碳酸盐建造。白云岩化后的礁体内部孔隙和孔洞非常发育,因而成为油气和其他流体的有利富集场所。台内滩储层通常较生物礁厚度薄,但白云岩化后有较大的孔隙度,且分布范围广,也是油气勘探的重要目的岩层。两者在沉积环境方面有相关性,人们将两者统称为礁滩储层。这一类储层具有储量大、产量高的特点,如加拿大的油气资源约有 60% 产自生物礁油气藏,墨西哥的石油资源约有 70% 产自生物礁油气藏,世界上最大的油田——沙特的 Chawar 油田为典型的滩相储层,伊拉克的 Kirkuk、哈萨克斯坦的 Kashagan 等大油田也以礁滩相储层为主。在我国,海相碳酸盐岩主要有三大类储层:生物礁滩、白云岩、岩溶风化壳。目前的重大发现主要集中在台地边缘生物礁滩相储层和岩溶风化壳储层。1987 年在南海北部发现了储量达 2 亿多吨的 LH11-1 油田。2005 年在塔克拉玛干大沙漠的塔中 I 号坡折带上发现了我国第一个奥陶系生物礁型亿吨级整装凝析大油气田,该油田探明加控制油气当量约 1.4 亿吨。近年来,中石化先后在普光、元坝等地上二叠统长兴组和下三叠统飞仙关组有重大发现。其中,普光气田天然气探明储量为 5000 亿~5500 亿立方米,是国内最大的气田之一,目前已完成钻井 7 口。元坝气田目前累计探明天然气地质储量 2194.57 亿立方米。在相应的沉积相带,中石油在龙岗地区也打到了日产近 200 万立方米的高产天然气井。

虽然近年来我国在礁滩储层有大发现,但遇到的问题仍然很多。其中面临的主要难题有三个。第一,台地边缘浅滩分布范围广,资源量大,但储层较薄,多为厚度小于 1 米的薄互层。第二,该类油气藏的油水或气水关系复杂。中海油自发现 LH11-1 大型油田之后,先后在惠州、陆丰及 LH11-1 东钻井几十口,虽然生物礁解释的成功率高达 92%,但除 LH4-1-1、LH4-2-1 等井有较大发现外,其余井在礁滩储层内部多钻遇水。中石油在龙岗地区上二叠统长兴组生物礁内除个别井钻遇气层外,其余大多数井钻遇水层或气水同层。第三,某些地区虽钻遇气层,但孔隙度较低,为三类储层。以元坝地区

为例,目前已钻井中,长兴组有效储层孔隙度范围为 2.01%~24.63%,平均孔隙度 4.51%,主要为孔隙度小于 4.0%的三类储层。其中在生物礁内三类气层占 42%,台地边缘浅滩内三类气层(孔隙度仅 2%~5%)占 62%。这种低孔储层地震响应很弱。

综上所述,尽管我国碳酸盐岩礁滩储层的分布广、层位多、资源量大,有着广阔的勘探开发前景,但仍然存在很多急需解决的难题。概括起来有三大难题:①针对薄储层的高分辨研究;②储层内部的气-水或油-水识别;③储层内部连通性问题(针对低孔储层,连通性尤其重要)。

## 1.2 礁滩储层地震预测技术及流体识别研究现状

### 1.2.1 礁滩储层地震预测技术研究现状

目前针对礁滩储层的地震预测包括礁滩体的地震识别和礁滩体物性的地震检测两个部分。对于前者目前研究较多,相关方法主要基于地震反射外形特征(生物礁的岩隆外形、礁两翼上超、披覆、杂乱的内部反射、反射缺失、明显的振幅、频率差异等)。例如: Bake(2011)利用地震切片技术对澳大利亚布鲁斯盆地新生界台地边缘礁、台内弧形礁带、补丁礁发育带的分布进行了刻画。Ma 和 Wu(2011)通过对 2D 地震剖面的分析,成功识别了中国南海西沙群岛的点礁、台地边缘礁等。滩与礁相比虽无明显的几何外形和反射特征,但两者的沉积环境有很大的相关性,常以礁滩复合体的形式出现。因此许多学者在沉积相的控制下,结合地震反射特征对其展布规律进行了预测(Zampetti et al., 2004; 郭旭升等, 2011)。总体来看,对于礁滩体的识别目前较准确,即便无法区分礁与滩的分界线,但结合沉积相、井资料、地震资料获得礁滩复合体的范围一般是可实现的。对于后者,则包括定性预测和定量预测两方面。对储层的定性预测,涉及储层物性的好坏和储层的分布等问题。目前采用的方法主要有地震属性分析、阻抗反演等。如殷积峰等(2007)利用地震属性分析技术对川东北黄龙场生物礁储层的分布进行了预测。Huuse 等(2005)采用地震声学反演对大澳大利亚湾的碳酸盐岩进行了孔隙度预测。Wu(2009)等利用该方法对琼东南盆地深水礁滩储层进行了定性分析,并取得了很好的效果。对储层的定量预测,目前主要集中在储层孔隙度和储层厚度研究两方面,且对孔隙度的预测研究较多。利用地震资料预测孔隙度的主要方法大致可分为四类:第一,根据 Willie 时间平均方程,利用岩石物理测试数据分别求出速度与孔隙度关系,密度与孔隙度关系,二者结合可求得阻抗与孔隙度关系,并最终利用该关系式从阻抗反演体获得孔隙度数据体(邹冠贵等, 2009);第二,直接利用测井资料拟合阻抗(或其他测井参数)与孔隙度的线性和非线性公式,进而从阻抗反演体(或其他测井参数反演体)获得孔隙度数据体(Parra et al., 2009);第三,神经网络反演方法。通过提取地震波的多个特征参数,用这些参数与孔隙度测井资料建立非线性映射关系函数,应用神经网络求得三维体各点的孔隙度(Hampson et al., 2001)。第四,基于孔隙结构的孔隙度预测。2004 年,美国得克萨斯 A & M 大学的 Sun 教授提出,孔隙结构是继孔隙度之后影响地震波速度的重要因素。贺振华等(2011)在实际资料分析中也发现这一现象,并发展了基于孔隙结构的孔隙度预测技术。

尽管利用地震资料进行礁滩相储层的识别近年来取得了较大的进展,但仍然存在很大的困难。我们的研究发现,我国生物礁滩相储层地球物理预测的主要困难在于:①国外的滩相油气田多为构造型,我国的滩相油气储层则以岩性-构造型为主;国外的生物礁油气藏虽然也多为岩性圈闭,但类型较为单一。我国的则多属于更复杂隐蔽的礁滩相复合圈闭,其空间分布很不规则,基于常规地震同相轴对比追踪的“地震相面法”,或构造勘探方法,难以准确地成图、成像;②我国有意义的礁滩储层埋藏深度大,礁与非礁岩石物性差异小,非均质性强,地球物理异常差异不明显,储层属性反演结果模糊不清;③礁滩储层类型多,内部结构复杂,具有多尺度性,地球物理响应特征多变,识别生物礁储层的判别准则常常彼此矛盾;④由于地震分辨率的限制,定量解释程度低,多解性强;⑤识别“陷阱”多,生物礁的岩隆外形与火成岩岩隆(如白云 7-1 构造)、泥岩刺穿易混淆;⑥反映有效储层的地震资料往往还要受到复杂地下界面和复杂起伏地表及表层结构不均匀的影响,易产生识别陷阱;⑦滩没有礁那样特殊的几何外形,因此预测难度更大。这些困难和问题在很大程度上制约了礁滩相油气的勘探开发步伐和进程,需要认真思考和持续不断的研究。

### 1.2.2 流体识别研究现状

近年来,随着各大油田高含水井的出现,流体识别的研究已刻不容缓。目前来看,研究者主要从以下几个方面入手。

#### 1. 亮点、平点、暗点等技术

该技术是一项古老的技术。1963年,Churlin和Sergeyev报道了几项直接烃类指示的技术,这几项技术包括亮点测定、油藏边界的干涉模式、平点和吸收。在石油界,亮点技术的广泛应用大约是在20世纪70年代。与亮点技术几乎同时发展起来的还有平点、暗点、同相轴下拉等。平点是油水界面(或气水界面)产生的,暗点是由于含油(气)区的振幅衰减产生的,同相轴下拉是储层位置速度较低所致。以上技术目前虽然仍在使用,但在礁滩相的油气田应用较少。原因在于:①礁滩储层内部波场复杂,很难观测到由油气产生的亮点或暗点;②礁滩储层非均质性强,一般无统一的油水或气水界面(即便在小范围内也是如此),因此也很少有平点现象产生。

#### 2. 以振幅随偏移距变化(Amplitude Versus Offset, AVO)分析为基础的找油气标志

AVO技术研究地震反射振幅随炮检距或入射角变化而变化的规律。其理论基础为Zoeppritz方程,但由于该方程比较复杂,一直以来多用其近似形式。Shuey给出的不同角度项表示的反射系数近似公式是目前应用最广泛的近似方法。Hilterman在此基础上建立了泊松比与反射系数之间的联系,并据此求取泊松比等岩性参数,进一步可推断流体的存在,使AVO分析又上了一个台阶。而后郑晓东、杨绍国等人给出了平面波反射和透射的统一公式,Goodway给出主要体现拉梅常数对油气敏感的反射系数公式。以上方法和理论为AVO在流体识别方面的应用进一步奠定了基础。尽管AVO分析在很多地区的实践中取得了很好的应用效果,但还存在以下不足:①目前气层的AVO分类和AVO检测标志是针对砂岩储层的,针对碳酸盐岩尤其是礁滩储层没有明确的AVO分类和检

测标志。②通过正演模拟我们发现, 饱和水和饱和气的 AVO 特征差异较明显, 但含水与饱和气之间的 AVO 特征无明显差异。

### 3. 以弹性阻抗为基础的高灵敏度流体识别因子

1999 年, Connolly 发展了弹性阻抗反演技术, 弹性阻抗充分利用了叠前地震资料, 包含了丰富的岩性及流体信息。2002 年, Whitcombe 通过对 Connolly 公式的修正, 推导了扩展弹性阻抗的方程(EEI), 并可直接用于岩性和流体预测。从 2003 年起, 我国马劲风、甘利灯、倪逸、王保丽等先后提出了射线弹性阻抗、广义弹性阻抗的概念, 推动了弹性阻抗的进一步发展。通过弹性反演获得的纵、横波速度和密度, 可计算获得纵、横波速度比和泊松比等多个参数。近年来, 许多学者发现, 组合流体识别因子在识别流体方面具有更高的灵敏度, 并提出了多个流体识别因子(Russell, 2003; 贺振华, 2006)。利用该方法在礁滩储层内部进行流体识别近年来也较普遍(Mohamed, 2010)。这类方法的不足在于: ①需要较大角度的道集, 这种条件在某些地区很难满足; ②解释存在多解性, 例如: 速度的降低可能是流体引起的, 也有可能是岩性或物性引起的。因此该类方法需要与其他信息结合进行解释。

### 4. 以时频属性为基础的找油气标志

此类方法包括两种。第一种是分别分析高频与低频剖面, 即通常我们所用的低频伴影技术。Taner 等指出在储层的正下方, 经常可以看到地震低频伴影, 但是这种现象是经验性的, 存在多解性, 而且当时对产生地震低频伴影的机理尚未搞清。后来, Ebrom (2004)的研究指出了产生含气层地震低频伴影的 10 个可能的影响因素。Goloshubin (2012)对气层下方低频伴影现象给出了一个猜测, 即由于快、慢横波相互转换所致。因地震低频伴影的影响因素较多, 因此定量化识别的目标至今未能实现, 但低频伴影现象确实可以作为油气识别的一个重要标志。Castagna 等(2003)利用地震记录的时-频分析, 将低频伴影识别碳氢化合物的应用效果提高到了一个新水平。Goloshubin(2006)在厚页岩裂缝性储层中使用该方法, 取得了较好的效果。陈学华、贺振华等(2009)利用广义 S 变换提取单频剖面进行低频伴影现象分析, 取得了较好的效果。第二种是直接求取吸收衰减参数, 如频率衰减梯度等。该方法主要利用高频端振幅谱包络进行研究。Wang (2007, 2010)利用匹配追踪算法获取子波, 并得到子波的吸收衰减属性。该方法与以往方法不同的是, 以往的谱分解用的是对称的、非因果的子波作为基小波, 而 Wang 采用 Morlet 小波作为基小波, 该小波可反映地震波在传播过程中产生的吸收、衰减。

这一类方法目前遇到的困难在于: 储层含油气后, 地震波的吸收衰减特征往往表现得没有我们想象的那么明显。Marc-Andréndr 等于 2013 年成功地模拟了含油 77% 与饱水情况下地震波  $V_p$ 、 $V_s$ 、 $Q_p$ 、 $Q_s$  随频率的变化, 从模拟结果来看, 尽管地震波的衰减特征与含油饱和度密切相关, 但考虑到表层噪声等因素, 这种吸收衰减的变化在实际地震记录中很难被检测出来。

### 5. 储层约束下的流体识别

相对流体识别, 利用地震资料进行储层预测难度较小, 其结果也相对可靠。因此,

许多研究者在进行流体识别之前一般先进行储层预测，在储层预测结果的约束下进行流体识别。例如：王香文、于常青等(2006)在对鄂尔多斯盆地定北区块的流体识别研究中，先利用地震属性分析获得研究区的有利储层分布，在此基础上，再利用 AVO 技术对储层内部进行含气性识别。Henrique 等(2013)在对 Blackfoot 油田进行含气性评价时同时考虑了储层厚度、孔隙度和含气性多种因素。该类研究目前存在的问题在于：尽管研究者在进行含气性评价时一般会首先考虑储层的好坏，但这两者的结合多采用人工干预的方式，主观性较强。

## 第2章 礁滩储层测井及岩石物理特征分析

不同地区，同一地区不同深度的地层由于受沉积环境、成岩作用、埋藏深度等多种因素的影响，测井参数及岩石物理参数的变化很大。但不同岩性、不同孔隙度、不同流体所表现出来的参数的变化规律是较稳定的，如通常情况下，同一地区灰岩的自然伽马(GR)值较碎屑岩小，孔隙度增大时引起声波速度和岩石密度降低等。鉴于此，本书以珠江口盆地 LH、HZ 等地区为例，分析不同岩性、不同孔隙度、不同流体测井参数及岩石物理参数的变化规律。

### 2.1 灰岩与其他岩性测井参数比较

#### 2.1.1 灰岩与碎屑岩测井参数比较

碎屑岩是由于机械破碎的岩石残余物，经过搬运、沉积、压实、胶结，最后形成的新岩石。又称陆源碎屑岩。一般情况下，碎屑岩的速度、密度、阻抗及弹性参数均较灰岩小。

##### 1. 灰岩与碎屑岩测井参数比较

GR 可有效区分灰岩与碎屑岩。一般而言，灰岩 GR 较小，碎屑岩 GR 较大。图 2-1 为 LH4-2-1 井不同参数的交会图，色标代表 GR 值，图中红色充填区域(注意：右侧曲线充填色与左边交会图充填颜色均反映岩性，且两者一致，以下同)为 GR 较低区域(区域内为绿色散点，对应 GR 约 38API 以下)，图中天蓝色充填区域为 GR 较高区域(区域内为粉红色散点，对应 GR 约 109API 以上)。比较图 2-1(a~f)，可以得出以下结论：

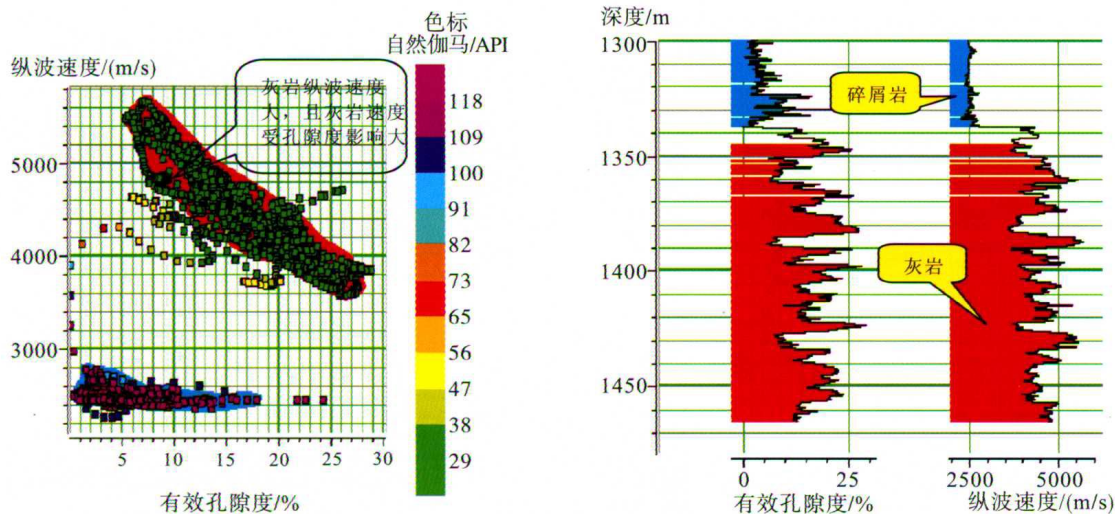
(1)灰岩  $V_p$ 、 $V_s$ 、 $Z_p$ 、 $Z_s$ 、 $\lambda$ 、 $\mu$  均大于碎屑岩；灰岩的  $\sigma$ (泊松比)小于碎屑岩。一般而言，当孔隙度较大且含油时，泊松比会更小，LH4-2-1 井在灰岩段的有效孔隙度较大，该井灰岩上部含油，因此泊松比小是符合常规认识的。

(2)灰岩和碎屑岩  $V_p$ 、 $V_s$ 、 $Z_p$ 、 $Z_s$  随密度， $Z_p$ 、 $Z_s$  随  $V_p$ 、 $V_s$  变化规律均有良好的正比关系。

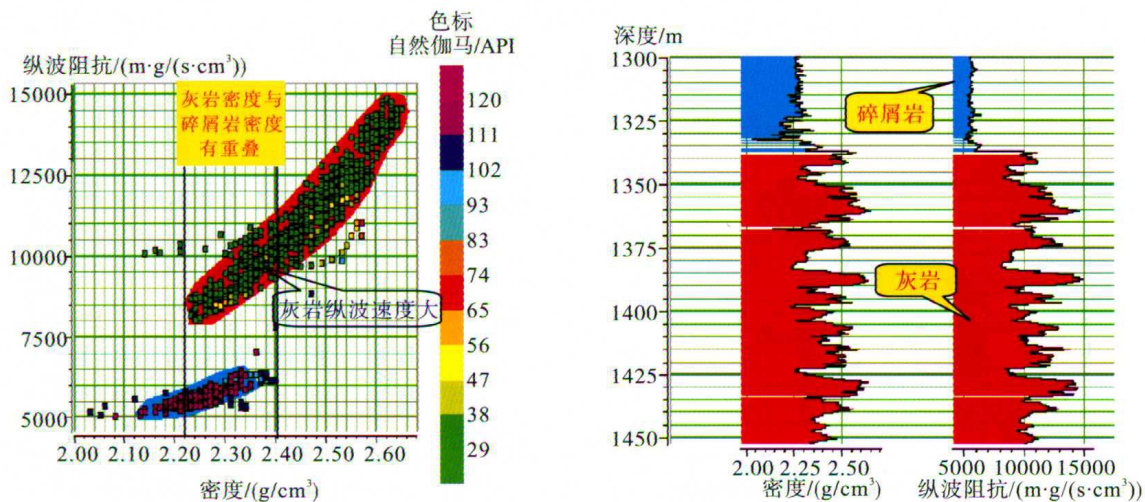
(3)灰岩与碎屑岩密度差异不明显(见图 2-1(b))，此参数不宜用于识别灰岩。

(4)相对碎屑岩而言，灰岩受孔隙度的影响大。

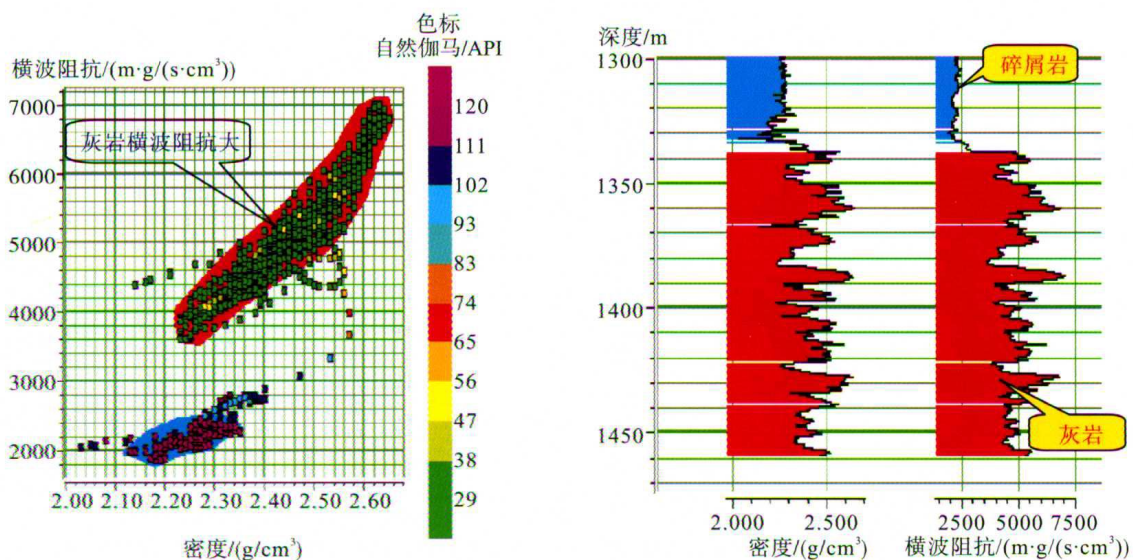




(a)有效孔隙度与纵波速度交会图(左)及有效孔隙度、纵波速度曲线(右)



(b)密度与纵波阻抗交会图(左)及密度、纵波阻抗曲线(右)



(c)密度与横波阻抗交会图(左)及密度、横波阻抗曲线(右)