

碳酸盐岩潜山 有利储集层预测

■ 王学军 著



TANSUAN YANYAN QIANSHAN
YOU LI CHUJICENG YUCE

石油工业出版社

碳酸盐岩潜山有利储集层预测

王学军 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书概述了碳酸盐岩潜山勘探的关键技术,并基于大量的岩心、测井、地震、分析测试及其他研究资料,重点剖析富台下古生界碳酸盐岩潜山的发育、演化历史及成藏特征,明确了该潜山主要储集层段;分析了富台潜山储集层的矿物学及岩石学特征;总结了潜山储集层的储集空间特征、发育影响因素;研究了裂缝性储集层储集空间的发育规律;建立了孔隙度测井预测模型。本书在地震属性参数分析的基础上,筛选出了能较好地反映富台碳酸盐岩潜山储集层特性的地震属性参数,结合神经网络、多尺度相干分析、有限元数值模拟及拟合速率等研究方法,建立了富台碳酸盐岩有利储集层的定量预测评价方法,并提出了相应的评价标准。

本书是对碳酸盐岩潜山油气勘探生产研究成果的总结,注重理论、技术与方法的结合,可供石油地质、地球物理等专业的科技人员及院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

碳酸盐岩潜山有利储集层预测/王学军著.

北京:石油工业出版社,2008.2

ISBN 978-7-5021-6442-3

I. 碳…

II. 王…

III. 碳酸岩油气田-储集层-地震勘探-研究

IV. TE 344

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 000355 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:www.petropub.cn

发行部:(010) 64210392

经 销:全国新华书店

印 刷:保定彩虹印刷有限公司

2008 年 2 月第 1 版 2008 年 2 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:10.5

字数:264 千字 印数:1—1000 册

定价:60.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

继 1994 年全国第二次油气资源评价之后, 2003—2005 年, 在中国石油、中国石化和中海油三大石油公司研究成果基础上, 由国土资源部、国家发展和改革委员会及国家财政部联合组织开展了全国新一轮油气资源评价。根据评价结果, 除南海南部 14 个盆地外, 我国陆地和近海海域 115 个含油气盆地石油总原地资源量 (原文为远景资源量, 按照 GB/T 19492 - 2004 关于石油天然气资源/储量的分类和定义, 应为总原地资源量。著者注。) $1085.57 \times 10^8 \text{t}$ 、地质资源量 $765.01 \times 10^8 \text{t}$ 、可采资源量 $212.03 \times 10^8 \text{t}$, 天然气总原地资源量 $55.89 \times 10^{12} \text{m}^3$ 、地质资源量 $35.03 \times 10^{12} \text{m}^3$ 、可采资源量 $22.03 \times 10^{12} \text{m}^3$ (王大锐, 2007)。可以说, 我国是一个油气资源较为丰富的国家, 但是, 经过几十年的勘探, 我国剩余油气资源的质量进一步变差, 低品位资源所占比例增大, 剩余资源的隐蔽性增强, 勘探难度增大。随着国民经济可持续发展, 以及对油气能源需求的不断增长, 迫切需要立足国内找出更多的油气资源来, 预计到 2010 年我国石油缺口将达 $(0.8 \sim 1.2) \times 10^8 \text{t}$ 。因此, 在继续寻找新生代陆相碎屑岩沉积盆地油气资源的同时, 还应及早开拓新的勘探领域, 探索前新生代 (中生代、古生代, 甚至太古代) 的油气资源。

潜山作为一个重要的油气勘探领域, 具有成藏条件好、勘探潜力大、富集高产等特点, 越来越受到石油科技工作者的青睐。以渤海湾盆地为代表的我国陆相断陷盆地发现了大量富集高产的潜山油气藏, 例如, 骊中坳陷任丘潜山, 黄骅坳陷千米桥潜山, 济阳坳陷富台潜山等。这些都大大拓宽了油气勘探空间, 表明古潜山油气藏已经成为重要的增储上产领域之一。

国内前新生代海相残留盆地中, 古潜山探明的储量已占相当比例。渤海湾盆地的潜山勘探实践表明, 碳酸盐岩潜山分布广泛, 已知的 61 个古潜山油气藏的探明储量占盆地总储量的 10.4%, 并以古生界、中上元古界碳酸盐岩占有绝对优势。其中, 辽河坳陷的 8 个古潜山油气藏占坳陷油气总储量的 20.3%, 黄骅坳陷 (8 个) 占 2.9%, 济阳坳陷 (20 个) 占 14.8%, 冀中坳陷 (21 个) 占

59.7%，渤海海域（4个）占2.3%。因此，以碳酸盐岩为储集层的潜山就成为油气勘探科技工作者瞩目的焦点。

目前，虽然对碳酸盐岩潜山的认识日趋统一，但是由于潜山的形成是一个复杂长期的地质过程，受到构造运动、风化作用、溶蚀作用、岩石性质等多种因素的影响，潜山油气藏的成藏机理和油藏类型十分复杂，进而产生了极为复杂的地球物理场，加上其有利储集层的预测尚未形成一套成熟有效的方法，大大增加了这类油气藏勘探的难度，因此，进一步完善潜山储集层非均质性研究的技术思路，建立有利储集层的定量评价方法是此类油藏勘探不断取得突破的关键之一。

下古生界在华北地台绝大部分地区为连续沉积，而且分布稳定，在调研前人研究成果基础上，结合济阳拗陷车镇凹陷富台地区已有的地质认识，富台碳酸盐岩潜山具有一定的代表性。本书针对碳酸盐岩潜山勘探中存在的问题，在总结其研究技术方法的基础上，以富台碳酸盐岩潜山为例，通过地质、分析测试、测井及地震技术等手段，较为系统地解剖了以富台潜山为代表的碳酸盐岩潜山基本特征，在潜山储集层储集空间单井评价与特征分析、储集层地球物理属性筛选及有利储集层定量预测和综合评价等方面进行研究，从另一角度建立了碳酸盐岩潜山有利储集层的预测方法，并对富台潜山有利储集层进行预测，取得了较好效果。

由于水平所限，文中如有不妥，欢迎指正，作者不胜感激。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 潜山特征及分类	(1)
第二节 碳酸盐岩潜山储集层研究现状	(5)
第二章 碳酸盐岩潜山石油地质基本特征	(8)
第一节 区域地质特征	(8)
第二节 岩性特征及沉积环境	(11)
一、岩性特征	(11)
二、沉积环境	(13)
第三节 潜山构造演化和形成机制	(14)
一、构造特征	(14)
二、潜山发育演化	(17)
三、潜山形成机制	(19)
第四节 潜山油气藏成藏特征	(20)
一、油源条件	(20)
二、生储盖组合	(20)
三、油藏类型	(20)
四、成藏控制因素	(22)
第三章 碳酸盐岩潜山勘探技术	(27)
第一节 潜山识别	(27)
一、高精度重力勘探	(27)
二、地震连片处理	(29)
三、三维叠前深度偏移	(30)
四、相干分析	(31)
第二节 有利储集层预测	(33)
一、测井	(34)
二、地震	(36)
第三节 储集层裂缝预测	(42)
一、多尺度边缘检测	(42)
二、构造反演恢复	(42)
第四节 含油气性预测	(43)
一、模式识别技术	(44)
二、MRIL P 型核磁共振测井	(45)
第五节 工程及油气层保护	(47)
一、钻井工艺技术	(47)

二、酸化压裂改造	(48)
第四章 碳酸盐岩潜山储集层特征	(49)
第一节 储集层矿物及岩性特征	(49)
一、矿物特征	(49)
二、岩性特征	(50)
第二节 储集空间类型	(51)
一、孔洞	(52)
二、裂缝	(54)
第三节 裂缝测井识别	(55)
一、电阻率测井	(55)
二、声波测井	(57)
三、放射性测井	(57)
四、井轴声波成像测井	(58)
五、FMI 成像测井	(58)
第四节 储集层空间发育特征	(61)
一、孔洞发育特征	(61)
二、裂缝发育特征	(63)
第五节 裂缝发育机制	(70)
一、裂缝成因类型	(70)
二、裂缝影响因素	(70)
三、地应力及有效裂缝方位分析	(71)
第六节 储集系统特征	(74)
一、储集系统类型	(74)
二、储集系统分布规律	(77)
三、储集系统控制因素	(78)
第五章 储集层孔隙度测井定量评价	(82)
第一节 评价原理和方法	(82)
一、总孔隙度	(82)
二、裂缝孔隙度	(82)
三、岩块孔隙度	(83)
第二节 测井评价结果分析	(84)
一、车古 201 井评价结果	(84)
二、车古 202 井评价结果	(84)
三、车古 203 井评价结果	(87)
四、车古 204 井评价结果	(87)
五、车古 205 井评价结果	(87)
六、车古 206 井评价结果	(87)
七、车古 207 井评价结果	(87)
八、车古 208 井评价结果	(92)
九、车古 209 井评价结果	(92)

第六章 碳酸盐岩潜山储集层地震属性分析	(97)
第一节 资料品质的定量分析	(97)
一、频谱分析	(97)
二、信噪比分析	(98)
三、相对分辨率分析	(99)
第二节 地震属性提取与分析	(100)
一、单时窗沿层地震属性概述	(100)
二、反映地层平均吸收性质地震属性概述	(106)
三、地震属性体沿层属性概述	(108)
第三节 地震属性与储集层参数相关性分析	(113)
一、地震属性归一化处理和优选	(113)
二、相关性分析	(114)
第七章 碳酸盐岩潜山有利储集层预测评价	(119)
第一节 储集层孔隙度预测	(119)
一、神经网络分析法原理	(119)
二、预测结果	(120)
第二节 储集层裂缝预测	(123)
一、多尺度相干分析	(123)
二、有限元数值模拟	(129)
三、拟合曲率分析	(136)
第三节 储集层地球物理属性预测	(139)
一、综合参数分析	(139)
二、判别分析	(143)
第四节 有利储集层综合评价	(146)
参考文献	(149)
图版	(155)

第一章 概述

第一节 潜山特征及分类

潜山 (Buried hills) 一词, 较早见于 S. Powers (1922) 的“潜山及其在石油地质学中的重要性”一文中, 后来, 其他一些地质学家也使用了这一术语, 例如, A. I. 莱复生 (1975) 在《石油地质学》一书中将盆地接受沉积前就已形成的基岩古地貌称之为潜山。

杨宗起等 (1982) 将潜山概念扩大, 把现今被不整合埋藏在年轻盖层之下, 属于盆地基底的基岩突起称之为潜山。

现在一般都将古潜山构造看作是内外地质营力综合作用的产物, 将埋藏于盆地沉积盖层之下的盆地基底具正向构造的基岩块体, 都称为潜山。它既包括具有基岩古地貌特征的古潜山, 也包括新生代盖层沉积期间或沉积后发生断裂、褶皱、火山岩体等构造变动而形成的具正向构造的基岩块体。它们都具有潜山成藏特征, 都能形成“新生古储”式的潜山油气藏, 在勘探方法上也大体相同。

世界上较早从基岩中获得油流的, 是美国辛辛纳堤隆起东翼的摩罗县潜山油藏, 是在 1909 年勘探中、新生界油气资源时, 钻遇基岩而偶然发现的, 含油层位是寒武系铜岭白云岩。最早有目的、有计划地钻探潜山油藏并获得成果的是委内瑞拉, 1953 年在马拉开波盆地白垩系下伏变质地层中发现日产原油 557t 的高产潜山油藏。此外, 在巴西、伊朗、阿尔及利亚、摩洛哥、安哥拉、埃及、南斯拉夫、匈牙利、罗马尼亚、苏联等国家也都相继发现了潜山油藏。

我国最早于 1959 年在酒泉盆地发现了中志留统泉脑沟组变质裂缝性页岩潜山油藏, 于 1972 年在渤海湾盆地的济阳拗陷义和庄奥陶系石灰岩中获得了高产, 1975 年在冀中拗陷发现了任丘雾迷山组白云岩潜山油藏。到目前为止, 已经在冀中、辽河、济阳、黄骅和渤海海域 (王秉海等, 1991) 等地区发现了数十个潜山油气藏。其中, 济阳拗陷富台油田的发现, 是在总结以往成功勘探经验及地质认识的基础上, 在“陆相断陷湖盆多样性潜山成因、成藏”理论认识指导下勘探成功的典型实例。

潜山的形成是一个复杂的、长期的地质过程, 由于潜山成因类型多样、结构复杂, 因此, 目前尚无统一的分类原则, 常见的有岩性分类、地层—结构分类、形态分类、形成时间和成因—机制分类等。

刘建中等 (1999) 根据基岩山的形成和盖层沉积时间的关系, 将潜山分为原生潜山、同生潜山和后生潜山。

首皓等 (2006) 根据潜山岩性, 将潜山分为碳酸盐岩潜山、碎屑岩潜山、火成岩潜山和变质岩潜山。

王秉海等 (1991) 根据潜山的埋藏时代, 将其划分为低潜山和高潜山。

童小兰等 (2006) 根据潜山成因, 将潜山划分为断块型潜山、隆升型潜山、侵蚀型潜

山和褶皱型潜山 4 种（图 1-1）。断块型潜山指基岩经剥蚀被盖层覆盖时还未切开，而是在盖层沉积后断裂，并随盖层块体一起抬升倾斜的断块山；隆升型潜山系指持续上升而受长期剥蚀的隆起，后被覆盖的地貌山；侵蚀型潜山为不整合面下的基岩经风化溶蚀出现差异，残留凸起被盖层所覆盖的地貌侵蚀山；褶皱型潜山为基岩褶皱时不断遭受剥蚀，盖层沉积后基岩又随盖层一起抬升而形成的地貌山。

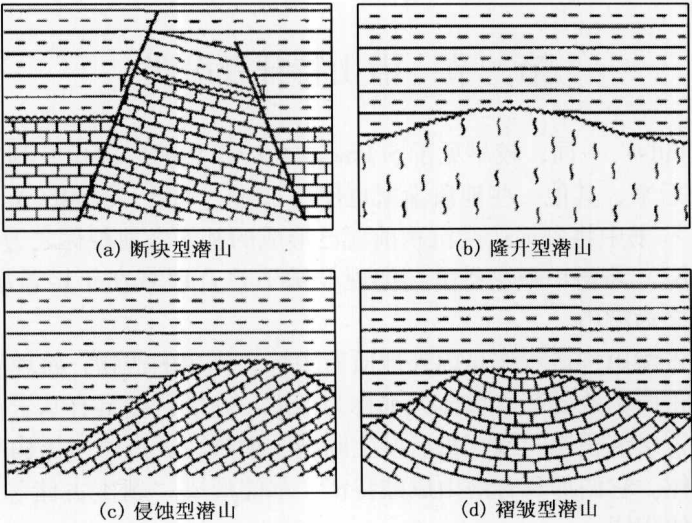
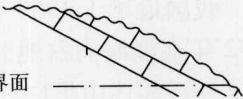
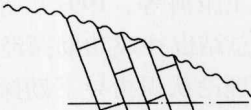
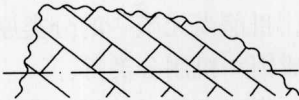
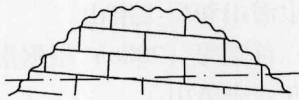
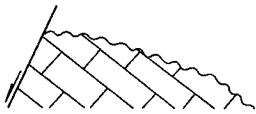
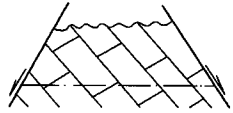
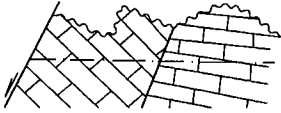


图 1-1 江汉盆地古潜山类型图（据童小兰等，2006）

根据潜山形态，柏松章等（1996）将其划分为 4 大类 8 小类（表 1-1）。

表 1-1 潜山形态分类表
(据柏松章等，1996)

大 类	小 类	构 造	形 态
斜坡型	楔状斜坡	单斜	
	带状斜坡	单斜	
山包型	不对称山包	单斜	
	对称山包	单斜或褶皱	

大 类	小 类	构 造	形 态
断块型	断斜型	单斜	
	断块型	单斜或褶皱	
	断阶型	单斜或褶皱	
不规则型		单斜或褶皱	

斜坡型：潜山顶面为一个近于单方向倾伏的斜坡，受断层控制，它是整个潜山顶面的一个组成部分。楔状斜坡是下部有非渗透层，上部为剥蚀面，分布于潜山斜坡上，油藏夹于其中，呈楔状。带状斜坡是上、下部都有非渗透层，上倾部位与潜山顶面接触处为风化剥蚀面，分布于潜山腰部，平面上呈带状展布。潜山面较缓，层面倾角较大。

山包型：顶面具有典型潜山面的特点，全部由风化剥蚀面组成。潜山顶面各方向的坡度相近称为对称型，反之，称为不对称型。

断块型：潜山顶面由断面和剥蚀面两部分组成，断面遭受明显的风化剥蚀。断斜型潜山的一面为断面，其他方向为剥蚀面。断块型潜山面除顶面为剥蚀面外，其他方向为断层面。断阶型有两块以上平行的断斜型组成，并呈阶梯状展布。

不规则型：潜山顶面形态变化较大，有几个形态各异的潜山组成潜山带或潜山群，其底座为碳酸盐岩体隆起带，整体为一个油藏。

杨宗起等（1982）根据潜山形成时间、成因、岩类和构造形态将潜山分别进行了分类。根据形成时间将潜山分为古潜山和后成潜山；根据成因将潜山划分为构造潜山（断块潜山和褶皱潜山）、侵蚀潜山、构造—侵蚀潜山（断块—侵蚀潜山和隆起—侵蚀潜山）；根据岩类将潜山划分为碳酸盐岩潜山、碎屑岩潜山、火成岩潜山和变质岩潜山；按构造形态根据构造地质学以横剖面形态命名的法则，将潜山划分为单斜、背斜和向斜。

构造潜山：是内营力构造变动形成的。断块潜山是由断裂活动使基岩块体抬升而形成的，潜山侵蚀面与上覆层产状平行，断棱是潜山的最高部位，由于侵蚀作用，其侵蚀面可能为夷平面或斜坡。褶皱潜山是由后期褶皱作用形成的，顶部和翼部上覆地层厚度相近。统称为后成潜山。

侵蚀潜山：由差异侵蚀作用形成，是岩性不均一和构造破坏程度不同的岩层在外营力地质作用下形成的。

构造—侵蚀潜山：由构造和侵蚀两种因素共同作用形成，是内外应力共同作用的结果。

断块—侵蚀潜山是一种生长性的，在古侵蚀面上潜山有一定的幅度，幅度的增长主要由断层活动引起的。隆起—侵蚀潜山是由于基底的褶皱，或由于两条平行的大断裂造成的地垒带，在盆地发育过程中持续上升形成的。

侵蚀潜山和构造—侵蚀潜山统称为古潜山。

李丕龙等（2003）根据潜山形成机制，以潜山结构类型为基础，结合勘探生产实践，对潜山进行了划分（表 1-2、图 1-2）。根据潜山成因将其划分为拉张型、挤压—拉张型和侵蚀型；根据潜山形态将其划分为块断山、断块山、滑脱山和残丘山；根据潜山内幕结构将其划分为内幕单斜、内幕褶皱。

表 1-2 济阳坳陷潜山成因—结构分类
(据李丕龙等，2003)

成因分类	形态及内幕结构分类
拉张型潜山	内幕单斜块断山
	内幕单斜断块山
	内幕单斜滑脱山
挤压—拉张型潜山	内幕褶皱块断山
	内幕褶皱断块山
	内幕褶皱滑脱山
侵蚀型潜山	内幕单斜残丘山
	内幕褶皱残丘山

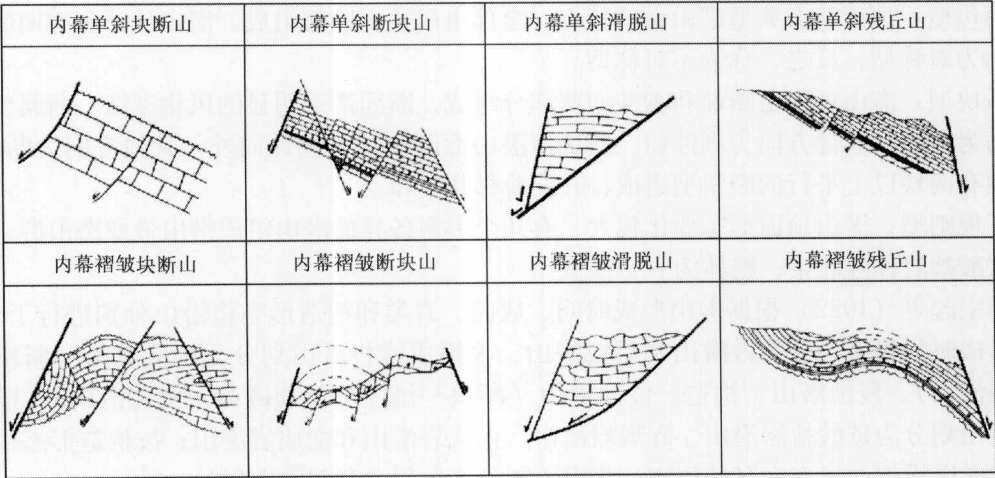


图 1-2 济阳断陷盆地潜山类型图（据李丕龙等，2003）

内幕单斜块断山：由控制洼陷沉积的断层活动使下古生界块体单斜翘倾形成的规模较大的反向屋脊潜山，如垦利潜山。内幕单斜块断山多分布于洼陷中，对古近系沉积起分割作用，其隆起幅度及上覆地层取决于控洼边界断层的活动强度，其最高部位位于主控断层的上升盘断棱。

内幕单斜断块山：下古生界块体被早期反向正断层切割形成多个单斜断块，后期又被顺

向正断层改造形成的规模较小的潜山。其特点是潜山高部位遭受风化剥蚀，新地层由低部位向潜山顶部呈超覆式沉积，新老地层之间为角度不整合接触。潜山走向与早期反向断层走向一致，潜山幅度与成山断层断距呈正相关，多分布于凹陷的缓坡带，如义和庄潜山。

内幕单斜滑脱山：在张应力作用下，凹（洼）陷边界大断层及其派生次级断层强烈活动，下古生界块体在控制凹（洼）陷的长期活动的边界大断层的作用下，脱离凸起主体沿断层面下滑形成滑脱断阶。这种潜山主要分布于断陷湖盆陡坡带，与边界断层平行展布，剖面上呈上大下小的“Y”形结构，如富台碳酸盐岩潜山。

内幕褶皱块断山：早期挤压应力作用下，下古生界逆冲产生褶皱，又被后期正断层切割形成的潜山，但仍保留内幕褶皱形态，其主要特点是逆断层发育，褶皱轴部潜山地层厚度明显增大并发生重复，如桩西潜山。

内幕褶皱断块山：早期的挤压、褶皱作用成山，并被后期正断层切割改造形成的存在内幕褶皱、地层分布复杂的潜山，其特点是断层发育，断块破碎，顶部地层剥蚀差别大，分布十分复杂，如埕北 30 潜山。

内幕褶皱滑脱山：由早期挤压褶皱的下古生界块体，在后期控凹边界大断层的作用下，滑离褶皱主体形成的潜山，它们平面上濒临内幕褶皱断块山或内幕褶皱块断山，沿边界主断层平行展布，剖面上其地层厚度明显增大并发生重复。

内幕单斜残丘山：下古生界单斜块体受风化剥蚀形成的丘状突起，其形状高低各异，可独立成峰，也可成峰丛。它们可以被第三系致密地层覆盖包围成为孤立的潜山圈闭，也可以由寒武系泥岩侧向遮挡形成寒武墙与第三系致密地层覆盖共同形成潜山圈闭。残丘型潜山圈闭的有效性取决于第三系的致密程度，如广饶潜山。

内幕褶皱残丘山：是由早期挤压褶皱的下古生界块体，受后期风化剥蚀形成的丘状突起。

第二节 碳酸盐岩潜山储集层研究现状

碳酸盐岩潜山包括两个方面的含义，一是构成潜山的基岩主要为碳酸盐岩，二是潜山被新地层覆盖。

碳酸盐岩潜山一般必须具备三个基本地质条件：一是碳酸盐岩顶面必须经过风化剥蚀，具有风化剥蚀面；二是风化顶面的局部高部位是古地貌的高点，是沉积盆地碳酸盐岩基底的突起；三是碳酸盐岩被新的沉积物覆盖。从这个定义出发，不论其成因与形成时间的早晚，凡是盆地碳酸盐岩基底突起被新地层覆盖的都可称为碳酸盐岩潜山（柏松章等，1996）。

不管潜山类型如何划分，以碳酸盐岩潜山最有利于储集油气，在我国潜山油气田中占有极其重要的位置，渤海湾盆地潜山油气田的绝大部分地质储量都蕴藏在这类储集岩中。

碳酸盐岩作为石油与天然气的重要储集层，其油气储量占世界总储量的一半，产量已达到总产量的 60% 以上（宋国奇等，2000），碳酸盐岩油气藏在国内甚至世界油气藏的分布中占有的地位越来越重要，其主要特点是裂缝比较发育，单井产量高，可以很快建成比较高的生产能力，因此，这类油气藏的勘探与开发引起人们越来越广泛的重视，多年来一直是各国和各大石油公司的重要勘探对象，成为油气工业界重要的研究目标。美国能源部（DOE）对致密低渗透岩石中的裂缝天然气储集层给予了特别的重视，他们预计在 2030 年以前，美国国内一半以上的天然气产量将来自低渗透储集层。在我国，四川盆地和鄂尔多斯盆地的天

然气,塔里木盆地的石油和天然气,都与碳酸盐岩有密切的关系。胜利油区勘探开发 30 多年来,先后在义和庄、垦利、桩西、埕岛、富台等十几个油田发现了下古生界碳酸盐岩潜山油藏。随着我国油气田勘探开发的进展,碳酸盐岩油气储集层的深入研究一直是近 10 年来各油田关注的焦点。

在地质综合研究的基础上,应用地球物理资料进行精细油藏描述一直是油气勘探家们特别是地球物理勘探家极为关注的问题,是石油地质学的重要课题。在该研究领域,通常使用的地震资料向油藏参数的转换是基于地震解释和统计相关理论基础之上的,没有考虑到地震波传播特征和油藏性质之间的物理联系。因此,需要加深对这方面的物理意义的理解。进入 20 世纪 90 年代以来,国内外很多学者都曾对不同岩石的地震响应做过研究,建立了地震特性和储集层参数之间的一些很重要的关系。如 Angelieri (1982)、Han 等 (1986)、Doyen (1988)、Mehta (1991)、孙树梅 (1993)、张应波 (1994)、钟森等 (1994)、李春华等 (1997)、Amons 等 (1998) 等研究了孔隙度和泥质含量与地震特征间的关系;Bakulin 等 (2000)、Cazau 等 (2000)、Alumbaugh 等 (2001) 等研究了岩石微观结构和构造与地震特征之间的关系;Chen (1999)、Bakulin 等 (2000) 等研究了岩石裂隙与地震特征之间的关系;Lorenzetti (1993) 和赵志超等 (1995) 等研究了岩性与地震特征间的关系;朱广生 (1995)、汪云家等 (1997)、Allen 等、曹正林等 (2001) 等研究了孔隙流体与地震特征之间的关系。这些已有的岩石物理理论和已建立的相应模型,可以帮助更好地利用地震反射特征来预测油气储集层的性质,从而达到比常规的统计转换方法更高的预测准确度。在该领域,一个重要的发展方向就是在现有基本理论的基础上,建立起岩石物理与岩石学之间的联系,实现地质、地球物理和岩石物理三者之间的完全交融,统一指导碳酸盐岩潜山油气藏的勘探和开发。具体地说,就是首先要建立岩石学和岩石物性之间的联系,这将改善利用地震振幅信息进行储集层表征和预测的准确度,因为岩石学对于储集层的几何形态和孔隙分布具有宏观的控制作用;另外,岩石类型在横向和垂向分布上可预测性还可以用来研究沉积过程和沉积环境。

20 世纪 90 年代,许多有关油藏表征的新技术、新方法在国内外得到充分发展。但是潜山油藏的储层表征还处于相对落后的状态,这造成了我国在潜山油藏开发方面还处于较落后的局面。由于古潜山油藏的岩性复杂,又遭受长期风化及复杂构造改造,形成复杂的储集空间和储集层非均质性,因此,其储集空间的识别和评价一直是有待攻克的地质难题,尤其是裂缝发育的潜山油藏,任何单一的研究方法均不能对其裂缝做出总体特征描述。

国内华北石油勘探开发设计研究院通过任丘油田的勘探开发积累了相当多的经验,中国石化股份胜利油田分公司在借鉴国内外成功经验的基础上,结合探区的特点,积极探索,也取得了较大的进展。

济阳拗陷是在前寒武系结晶岩和古生界碳酸盐岩及含煤碎屑岩组成的稳定地台基础上发展起来的中、新生代裂谷陆相断陷湖盆。济阳拗陷碳酸盐岩潜山勘探,从 60 年前钻探第一口参数井——华 7 井以来,经过 40 年的曲折历程,在寒武系和奥陶系 12 个组的碳酸盐岩地层中都发现了油气流或油气显示。共钻探了 20 余个潜山带,近 100 个潜山圈闭,发现义和庄、套尔河、大王北、垦利、桩西、埕岛、广饶、平南、富台等油田或油藏和一批含油气构造,已控制含油面积 100.5km^2 ,探明和控制石油地质储量 $10607 \times 10^4\text{t}$,至目前已累计生产原油 $300 \times 10^4\text{t}$,天然气 $5 \times 10^8\text{m}^3$ 。共钻达古生界碳酸盐岩潜山探井 550 口,其中 5000m 以上的深井有 11 口之多,桩古 45 井最深达 5562m,千吨级油井 10 多口,桩古 10 井最高日产

油达 3635t, 天然气 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$, 古生界是济阳坳陷千吨级高产井比例最高的层系。随着油气勘探工作由寻找构造油气藏向寻找各种隐蔽油气藏的转变, 为了更好地对碳酸盐岩潜山油藏进行勘探, 先后开展了《济阳坳陷灰岩潜山油气藏勘探技术》、《济阳坳陷古潜山成藏规律研究》、《胜利探区前第三系油气藏勘探目标优选与储量评价》等课题的研究工作, 对下古生界碳酸盐岩潜山储集层的成因机制、控制因素、分布规律进行了系统研究, 并对储集层地球物理描述进行了探索, 初步形成了潜山储集层的配套研究技术。

随着科学技术的进步, 各种新理论、新技术、新方法的提出和应用, 潜山油气藏的研究必将提高到一个新水平。

第二章 碳酸盐岩潜山石油地质基本特征

华北地区古生界沉积时期,区域构造相对稳定,在距今约 8 亿~2.5 亿年的地质历史时期内,沉积了达 9000 余米的巨厚沉积。华北地区古生界除在燕山隆起区、山西隆起区大面积出露外,在鄂尔多斯、渤海湾和南华北拗陷区内也广泛发育,后者受构造控制,形成不同类型的碳酸盐岩潜山。

华北地区古生代沉积总体上由广泛的浅水海盆逐渐过渡为陆相河湖, 在下古生代形成广泛的碳酸盐岩沉积。华北地区的下古生界包括寒武系和奥陶系的中、下统, 基本缺失上奥陶统、志留系、泥盆系和部分下石炭统 (郭绪杰等, 2002)。

华北地区寒武系是一套以陆表海碳酸盐岩为主的沉积,在全区广泛分布,岩性变化较为稳定;奥陶系区域构造相对稳定,形成大套石灰岩、白云岩沉积,局部夹膏岩。

特定的区域构造背景,使得碳酸盐岩潜山在华北地区广泛发育,这里着重以富台下古生界碳酸盐岩潜山为例分析其石油地质的基本特征。

第一节 区域地质特征

富台下古生界碳酸盐岩潜山构成富台油田主力油气储集层系,该潜山位于山东省无棣县境内。区域构造上属于渤海湾盆地济阳坳陷西北部,处于车镇凹陷的车西洼陷与大王北洼陷之间,北以埕南断层与埕子口凸起相接(图2-1)。

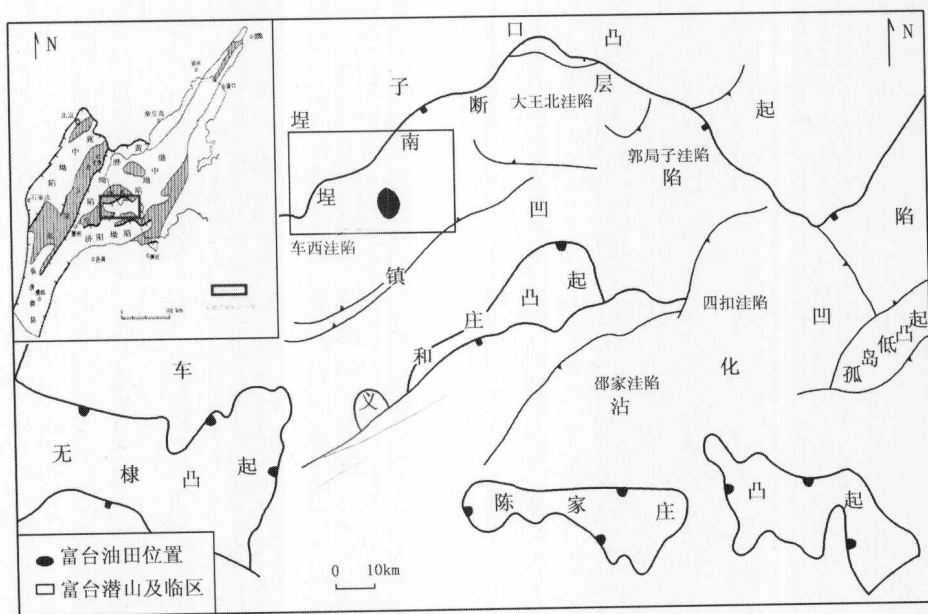


图 2-1 富台下古生界碳酸盐岩潜山位置略图

富台下古生界碳酸盐岩潜山的勘探经历了早期普查、区带预探、整体评价 3 个勘探阶段。整体评价阶段,通过综合分析,认为在靠近台阶断层部位储集层发育,有形成复式油气聚集带的可能性。1999 年 9 月部署车古 201 井,该井在下古生界及太古宇见良好的油气显示,裸眼测试奥陶系八陡组 3265.23 ~ 3314m 井段,8mm 油嘴折算日产油 77.9t,气 4683m³,无水;裸眼测试奥陶系冶里—亮甲山组 3905.95 ~ 3959.5m 井段,畅喷折算日产油 222.8t,无水。2000 年上报控制含油面积 17.4 km²,控制石油地质储量 2107 × 10⁴t,发现了胜利油区当时较大的油田——富台油田。

富台地区地层自下而上依次为太古宇、古生界、古近系、新近系和第四系(表 2-1)。

表 2-1 富台地区地层发育简表

界	地 层				代号	厚度 (m)	岩 性 概 述
	系	统	组	段			
新 生 界	第四系	上新统	平原组		Qp	200 ~ 300	灰黑色粘土和粉细砂岩
	新近系	中新统	明化镇组		Nm	200 ~ 600	棕黄、棕红、灰色泥岩夹粉细砂岩
			馆陶组		Ng	600 ~ 800	上段:灰白色砂岩夹棕红、灰绿泥岩,向上变为泥加沙。下段:块状砂岩、含砾夹泥岩
	古近系	渐新统	东营组		Ed	0 ~ 1000	灰色、灰绿色泥岩、灰质泥岩,洼陷边部发育砂岩
			沙河街组	沙一段	Es ₁	0 ~ 350	灰褐色、灰质油泥岩、油页岩,底部夹白云岩、生物灰岩
				沙二段	Es ₂	0 ~ 400	灰绿色、棕红色砂泥岩互层
				沙三段	Es ₃	0 ~ 1200	暗色泥岩、油页岩夹薄层砂岩、白云岩
				沙四段	Es ₄	0 ~ 500	上部:暗色泥岩、灰岩夹砂质膏岩、杂色砾岩 下部:棕红、红色泥岩夹砂、砂砾岩,膏岩
		始新统	孔店组	孔一段	Ek ₁	0 ~ 400	紫红色、紫色泥岩、砂质泥岩与棕色砾状砂岩互层,夹少量灰色泥岩、泥质粉砂岩
				孔二段	Ek ₂	0 ~ 100	灰色泥岩为主,夹少量暗紫色泥岩与灰色含砾砂岩
				孔三段	Ek ₃	0 ~ 200	紫红色、紫色泥岩、砂质泥岩与棕色砾状砂岩互层,夹少量灰色泥岩、泥质粉砂岩
上 古 生 界	二叠系		石盒子组		Psh	0 ~ 150	灰色—灰白色石英砂岩、长石砂岩与灰、紫灰色、黄绿色及杂色泥岩互层
			山西组		Psx	0 ~ 100	深灰色泥岩、灰色泥质石英中细砂岩、泥质硬砂岩夹煤层和炭质泥岩
	石炭系		太原组		Ct	0 ~ 150	灰、深灰色泥岩夹灰色砂岩、黑灰色碳质泥岩、煤层和深灰色薄层海相灰岩
			本溪组		Cb	0 ~ 50	下部及底部为含铁铝质较硬的泥页岩及铝土岩;中上部为深灰色灰岩夹灰色砂岩页岩及薄而质差的煤层,与下伏奥陶系假整合接触