

# 基岩潜山油气藏储集空间 分布规律和评价方法

王端平 金 强 著  
戴俊生 张敬轩

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

## 内 容 提 要

我国东部含油气盆地发现的基岩潜山油气藏越来越多,其中的储集空间成因类型和分布规律复杂多变,制约着这类油气藏的油气富集程度和高效开发。本书以胜利油区的研究成果和勘探开发技术为基础,探讨了不同地质时代、不同岩性的基岩潜山裂缝和溶洞等储集空间的形成条件、成因机制和分布模式;介绍了如何利用地震、测井和油田开发资料研究基岩潜山储集空间的各种方法。

本书是从事基岩潜山油气藏勘探和开发研究人员的技术指南,也是油气地质和地球物理研究人员、大专院校相关专业师生的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

基岩潜山油气藏储集空间分布规律和评价方法/王端平等著.

-北京:地质出版社,2003.4

ISBN 7-116-03821-3

I.基… II.王… III.基岩-裂隙油气藏-研究-中国

IV.P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 026356 号

---

责任编辑:牟相欣 陈 磊

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324577(编辑部)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京印刷学院实习工厂

开 本:787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>

印 张:13.25

字 数:320 千字

印 数:1—1000 册

版 次:2003 年 4 月北京第一版·第一次印刷

定 价:33.00 元

ISBN 7-116-03821-3/P·2375

---

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

# 前 言

20世纪60年代,胜利油田就在平方王的寒武系碳酸盐岩中发现了工业油流,1972年在义和庄凸起奥陶系灰岩中首次获得日产千吨的油井。当时正值古近系和新近系油气勘探高峰,来不及对其进行系统研究。1975年,在冀中拗陷任丘构造发现了中新元古界蓟县系雾迷山组白云质灰岩高产油田(即著名的任丘古潜山油田),单井日产原油曾达3000吨。从此,在渤海湾盆地范围内掀起了一股寻找古潜山油气藏的热潮。经过近20年来持续不断的勘探,胜利油区除在义和庄凸起、陈家庄凸起周围不断发现基岩潜山油气藏外,还发现了王庄、桩西、垦利、东风港、富台和埕岛等潜山基岩油气藏,它们为胜利油田的增储上产做出了贡献。基岩潜山油气藏的储集空间以裂缝和溶蚀孔洞为主,由于受多种因素控制,它们的分布很复杂。正是因为储集空间分布的复杂性,胜利油区的地质学家和工程师们经过多年的努力,研究出一系列基岩潜山油气藏储层评价、采油工艺和提高原油产量的方法技术。其中,对埕岛基岩潜山油藏的地质研究和开发工艺等做得非常深入,采用了国内外各种先进技术和方法,取得了重要的技术成果和经济效益。因此,有必要开发和总结胜利油区的基岩潜山储集空间分布规律及其评价方法,为该类油气藏开发的科技进步做出贡献。

在国外,最早发现的基岩潜山油气田可能要数1948年在东委内瑞拉盆地找到的巴拉斯油田了,其储层为基底火成岩,随后世界各地发现了一批基岩油气藏。1960年,美国的Landes首次提出基岩油气藏的概念(即基底火成岩和变质岩组成的储层聚集了盆地内烃源岩生成油气的油气藏),并且提出了成因类型和勘探方法。结合我国的勘探实际可以认为,所谓基岩潜山油气藏是指组成盆地基底的古老岩石以潜山的形式出现在盆地盖层中,并以自身发育的储集空间储集着源自盆地内油气而形成的油气藏。由于渤海湾盆地是中新生代沉积盆地,所以它下伏的前中生代古老岩石(包括古生界、前寒武系)均可称为基岩。但是,胜利油区发现的基岩潜山油气储层基本上是下古生界碳酸盐岩和前寒武系变质岩,因此本书所指基岩主要包括这两种岩性。

实践证明,基岩潜山储层与盆地内古近系和新近系砂岩储层有很大的差异性:前者以下古生界碳酸盐岩和前寒武系变质岩为主,储集空间以成因复杂的裂缝和溶洞为主,含油气性及其油气生产具有较强的复杂性;后者以粒间孔隙为主,储集性能的好坏受控于沉积相带和成岩作用,储层评价和油气开发工艺比较成熟。由此可见,基岩潜山的储集空间(裂缝和溶洞)分布规律、评价方法等还需要深入研究,以求该类油气藏的开发取得新的科技进步。虽然前人对基岩潜山做了许多工作,也取得过许多成果,但是基岩潜山油气藏成因的复杂多变、储集空间的强烈非均质性,仍然存在许多理论和实际问题,需要综合运用各种新技术新方法不断探索这些问题,以利于指导基岩潜山油气藏的勘探和开发工作。

本书以胜利油区及周边地区发现的基岩潜山油气藏储集空间的研究成果和勘探开发技术为基础,重点介绍埕岛等前寒武系变质岩和下古生界碳酸盐岩裂缝和溶洞储集空间特征、识别方法以及油气渗流和开发特点,以期揭示胜利油区碳酸盐岩和变质岩潜山油气藏储集空间成因模式和分布规律,同时结合任丘等著名潜山油气藏及国外同类油气藏的研究成果,

总结和提出一套具有胜利油区特色的基岩潜山储集空间研究成果和方法,为从事该类油气藏勘探开发的研究人员提供理论和技术服务。

通过文献调研和实例研究,我们认为综合利用地质、测井和地震资料识别基岩潜山储层的储集空间分布特征是关键技术之一;充分利用盆地周围基岩露头表现出的裂缝和溶洞形成模式,阐明(或建立)地下基岩裂缝和溶洞的发育和分布模式也是关键技术之一。在此基础上研究基岩潜山储层的渗流特征和油气开发方案就能做到高效益的油气生产。因此,本书着重讨论组成基岩潜山的前寒武系变质岩和下古生界碳酸盐岩地层层序和分布特征、构造演化特征、裂缝和溶洞等储集空间的形成和分布规律;着重介绍地下基岩潜山与露头区同层位、同岩性对比研究成果和方法,给出碳酸盐岩裂缝-溶洞、变质岩裂缝的成因和分布模式,指导潜山储集空间的预测工作;着重展示测井和地震等地球物理新方法在解释和识别基岩裂缝、溶洞方面的新成果,阐明地质、地球物理等综合研究的成功思路 and 手段;最后介绍地层测试等钻井和采油工艺在基岩裂缝-溶洞带预测中的作用和成果,并讨论不同岩性基岩的渗流特性以及提高基岩潜山油气藏采收率的措施和方法等。在此之前,还介绍了国外同类油气藏的研究实例和方法。

通过胜利油区的基岩潜山油气藏研究,阐明了胜利油区潜山型前寒武系变质岩成因模式和下古生界碳酸盐岩裂缝-溶洞成因模式,建立了一整套基岩储集空间的地质、测井、地震和生产测试综合研究方法,介绍了国内外潜山型油气藏先进的研究成果,对于该类油气藏的勘探开发具有一定的指导意义。

# 目 录

## 前 言

第一章 绪论 .....	(1)
第一节 胜利油区基岩潜山储层特征 .....	(1)
一、已发现的基岩潜山油气藏 .....	(1)
二、基岩潜山的储层类型 .....	(3)
三、基岩潜山分布的控制因素 .....	(4)
第二节 国外基岩潜山油气藏研究现状 .....	(5)
一、美国二叠盆地白云岩储层特征和研究方法 .....	(5)
二、碳酸盐岩裂缝展布方向的识别 .....	(9)
第三节 基岩潜山储集空间的研究内容和方法 .....	(12)
一、裂缝的研究内容 .....	(12)
二、裂缝的主要研究方法 .....	(12)
三、岩溶的研究内容 .....	(13)
四、岩溶的主要研究方法 .....	(14)
第二章 太古宇泰山群和下古生界岩性特征及储集空间形成的地质背景 .....	(15)
第一节 泰山群的组成和岩性特征 .....	(15)
第二节 下古生界碳酸盐岩层序和岩性特征 .....	(16)
一、下古生界碳酸盐岩地层层序 .....	(16)
二、下古生界岩性特征 .....	(20)
三、下古生界碳酸盐岩沉积环境 .....	(20)
第三节 基岩潜山构造演化史 .....	(21)
一、太古宙结晶基底形成阶段 .....	(21)
二、元古宙长期剥蚀阶段 .....	(22)
三、古生代稳定克拉通发展阶段 .....	(22)
四、印支期褶皱发育阶段 .....	(23)
五、燕山期潜山早期发育阶段 .....	(26)
六、古近纪潜山构造定型阶段 .....	(31)
七、新近纪和第四纪埋深加大阶段 .....	(33)
第三章 基岩潜山储集空间的成因类型及其地质研究 .....	(34)
第一节 基岩潜山裂缝描述 .....	(34)
一、埕岛潜山岩心裂缝发育特征 .....	(34)

二、露头区裂缝发育特征 .....	(37)
三、裂缝形成期次研究 .....	(44)
四、影响裂缝发育的地质因素 .....	(46)
第二节 基岩潜山裂缝预测 .....	(50)
一、风化作用形成的裂缝预测 .....	(50)
二、剖面曲率法对构造裂缝的预测 .....	(51)
三、构造应力场模拟法预测构造裂缝 .....	(53)
四、断层应力强度因子法计算构造裂缝的发育程度 .....	(57)
五、裂缝分布的综合评价 .....	(59)
第三节 碳酸盐岩裂缝-溶洞的成因类型 .....	(61)
一、下古生界碳酸盐岩储集空间产状和组合类型 .....	(61)
二、碳酸盐岩潜山储集空间成因模式及其影响因素 .....	(66)
第四节 潜山型碳酸盐岩储集空间的地质描述方法 .....	(75)
一、碳酸盐岩岩溶储集空间的分布规律 .....	(75)
二、潜山型碳酸盐岩储集空间的描述方法 .....	(76)
三、潜山型碳酸盐岩储集性能的评价 .....	(79)
第五节 古地磁在岩心定向中的应用 .....	(79)
一、岩心定向方法简介 .....	(79)
二、古地磁学的基本原理 .....	(80)
三、古地磁岩心定向法的基本原理与测试技术 .....	(82)
四、埕岛油田岩心古地磁定向研究 .....	(83)
五、埕岛油田岩心古地磁定向结果 .....	(86)
六、问题讨论 .....	(88)
<b>第四章 碳酸盐岩裂缝-溶洞和变质岩裂缝的测井方法与解释 .....</b>	<b>(90)</b>
第一节 微电阻率扫描成像测井识别基岩裂缝和溶洞 .....	(90)
一、微电阻率扫描成像测井的基本原理 .....	(90)
二、基岩裂缝或碳酸盐岩裂缝-溶洞的识别与评价 .....	(91)
第二节 全声波和井下声波成像测井信息研究基岩裂缝 .....	(95)
一、声波波形信息确定储层的裂缝强度和产能 .....	(95)
二、声波成像测井技术 .....	(96)
三、声波成像测井的应用及裂缝型储层的评价 .....	(98)
第三节 核磁共振测井识别碳酸盐岩储集空间 .....	(101)
一、核磁共振测井的原理和仪器简介 .....	(101)
二、核磁共振测井仪 CMR 简介及其资料解释 .....	(102)
三、核磁共振测井的应用 .....	(103)
第四节 基岩储集空间的测井新技术综合评价 .....	(108)
一、埕北 30 区块地质和基岩储层基本情况 .....	(109)
二、潜山基岩测井综合解释 .....	(110)
三、基岩储层参数计算 .....	(117)

<b>第五章 地震信息识别基岩储集空间</b> .....	(125)
第一节 埕北 30 基岩潜山的构造解释 .....	(125)
第二节 地震资料反演处理 .....	(127)
一、原理简介 .....	(127)
二、资料处理流程 .....	(129)
第三节 储层描述与评价 .....	(133)
一、太古宇储层分布描述 .....	(133)
二、太古宇储层和隔层厚度解释 .....	(134)
三、古生界储层描述 .....	(137)
四、油层厚度与储集物性解释 .....	(137)
第四节 相干分析 .....	(140)
第五节 储层预测效果分析 .....	(141)
<b>第六章 生产井资料分析基岩潜山的储集性能</b> .....	(143)
第一节 稳定试井预测基岩裂缝特征参数 .....	(143)
一、稳定试井原理和测试方法 .....	(143)
二、常见的试井曲线 .....	(143)
三、稳定试井资料确定基岩裂缝参数 .....	(144)
第二节 不稳定试井分析基岩裂缝 .....	(147)
一、不稳定试井的原理和方法 .....	(147)
二、不稳定试井曲线的流动阶段特征 .....	(148)
三、油气藏的裂缝储层参数求取 .....	(152)
第三节 井间干扰试井研究基岩裂缝 .....	(153)
一、干扰试井方法和用途 .....	(153)
二、干扰试井储层参数预测的基本方程 .....	(153)
三、不同井网干扰试井对裂缝走向的评价 .....	(154)
四、裂缝孔隙度的评价 .....	(156)
五、利用图解法确定裂缝走向 .....	(156)
六、井下示踪剂资料在识别裂缝储层中的应用 .....	(157)
第四节 现代试井在胜利油区基岩裂缝油藏研究中的应用 .....	(160)
一、油藏开发初期的试井应用 .....	(161)
二、试井资料在油藏开发方案编制中的应用 .....	(166)
三、试井资料在增产措施效果评价中的应用 .....	(169)
<b>第七章 胜利油区基岩潜山类型与储层特征</b> .....	(171)
第一节 基岩潜山储层类型 .....	(171)
一、已发现的基岩潜山 .....	(171)
二、基岩潜山储层类型 .....	(176)
第二节 不同类型的基岩潜山储层特征 .....	(177)
一、残丘型太古宇变质岩储层——以王庄地区为例 .....	(177)
二、断块山型储层特征——以埕岛地区为例 .....	(183)

三、断褶山型储层特征 .....	(188)
第三节 胜利油区基岩潜山的分布规律 .....	(198)
一、基岩潜山储层分布的控制因素 .....	(198)
二、基岩潜山的分布特点 .....	(199)
主要参考文献 .....	(202)

# 第一章 绪 论

近些年来,我国胜利油区在基岩潜山油气勘探和开发方面取得了重要成果;国外在碳酸盐岩和变质岩的储集空间基础研究方面也进展显著。现将这两方面加以介绍和分析,希望对我国基岩潜山油气藏分布规律和储集空间的研究有所帮助。

## 第一节 胜利油区基岩潜山储层特征

胜利油区基岩潜山储层泛指古近系和新近系不整合面以下的油气储层。从这种意义上讲,除太古宇变质岩外,中、古生界沉积岩亦划在基岩的范围内。

### 一、已发现的基岩潜山油气藏

经过近 40 年的勘探开发,胜利油区已发现多种类型潜山油气藏,它们在济阳坳陷 4 个凹陷和滩海地区均有分布。滩海地区有桩西下古生界潜山、埕岛潜山,沾化凹陷有垦利潜山、孤南 2 块中生界潜山、套尔河潜山车古 9 圈闭、东风港潜山车古 53 圈闭、平南油田、罗家潜山罗古 2 圈闭、孤岛油田孤古 4 奥陶系含油圈闭、孤北潜山带、义和庄潜山、长堤中生界潜山,车镇凹陷有富台潜山、义北油田中生界潜山、大王庄油田潜山,东营凹陷有王庄潜山、滨南油田滨古 11、滨南油田滨 233 含油圈闭、单家寺油田单古 2、单家寺油田单 66 含油圈闭、郑家油田郑 29 含气圈闭、乐安油田草古 1 圈闭、平方王油田滨 188 和滨 78 含油圈闭,惠民凹陷有阳 5 圈闭等。它们的分布基本上有以下特点:

#### (一)沿风化壳(不整合面)分布

凡是在风化壳附近出现的基岩(可能是残丘山、断褶山或断块山),就有次生储集空间(孔、洞、缝)的产生,就有基岩潜山的形成。

例如,桩西下古生界潜山上部岩溶带距风化壳 0~200m,构造高部位风化剥蚀作用强,地下水比较活跃,溶蚀作用比较充分,先期形成的大量构造裂缝经过溶蚀作用形成了“大缝大洞”型潜山储层。其中,桩西地区桩古 10 井和桩古 2 井潜山顶面发育潜山油藏,钻井钻遇风化壳顶面奥陶系上、下马家沟组时,泥浆大量漏失,钻具放空,还有强烈的井喷和井涌。桩古 10 井试油获得了 3600 t/d 的高产油流,桩古 2 井原油日产量也大于 100t,表明潜山高部位风化溶蚀缝洞十分发育。又如埕岛地区经过多次构造运动形成了一个平行古风化壳的岩溶带,距风化壳约 0~300m,其中埕北 20 潜山带胜海古 2 井沿风化壳发育良好的储层厚约 300m。

不同构造带和不同构造部位遭受风化淋滤的作用不同,形成的储集空间也有所不同。如果上古生界和中生界厚度较大时,下古生界储集空间就会相对较差,如埕北 11 潜山构造带中西部、埕北 20 潜山带东北部;反之,埕北 11 潜山带东部、埕北 20 潜山带东南部、埕北 30 潜山带上古生界剥蚀殆尽,中生界残留薄(100~400m)或被古近系和新近系直接覆盖,则在

印支、燕山、喜马拉雅期强烈溶蚀作用下形成“大洞大缝”等储集空间。

胜利油区基岩潜山沿不整合面分布的还有车西凹陷的套尔河油田、东营凹陷的乐安油田等。

### (二)沿断层分布

构造裂缝是基岩潜山中主要的储集空间。它不但可以单独作为储集空间,还可以起“桥梁”作用,将孔、洞、缝连接起来形成统一的渗流系统,提高孔隙渗透性。现今有效的构造裂缝主要是喜马拉雅期断裂运动产生的。伴随断裂运动产生的断块的掀斜运动和地壳短暂的抬升也会产生构造裂缝。其次还有燕山期的构造裂缝,它们在燕山期被方解石充填,在古近纪和新近纪由于溶蚀作用产生部分有效空间。此外还有少量印支期的残余裂缝。

在平面上,构造裂缝主要沿断层两侧分布,距离断层的远近由断层的规模而定。据 Dyer (1988)研究,断层附近由断层产生的扰动应力带的宽度与断层高度的比值为 $0.1\sim 0.3$ ,由此可以推出裂缝的发育带宽度(单侧宽度)与断层高度的比值大致为 $0.1\sim 0.3$ 。例如桩西地区下古生界基岩潜山的桩古 19 井、桩古 10-19 井靠近桩西南界大断层(100m 之内),通过 4 口井裂缝识别的测井资料统计,表明断层附近裂缝发育带宽度略等于该断层的落差(约 300m)。

埕北地区下古生界基岩潜山的埕北 30 西断层、埕北 30 南断层,与众多的中生代断层相交成众多面积在 $2.0\text{km}^2$ 左右的断块,各断块裂缝相当发育,整个埕北 30 潜山带即为裂缝发育带。断层一盘发育有牵引构造或先期有褶曲存在的部位,构造裂缝也较为发育。此外,桩西地区潜山在逆断层倒转褶曲部位的裂缝储集空间非常发育(如桩古 17 井、桩古 13 井和桩古 13-3 井附近)。构造裂缝的发育方向与断层走向平行或垂直,或与断层呈共轭关系。桩西油田下古生界断层为北西走向,从裂缝走向玫瑰花图来看,油田东部以北东走向裂缝为主,而中部和北部存在北东、北西两组裂缝。埕岛地区的构造裂缝也有类似的特征。如埕北 30 下古生界潜山,断层主要为北东向和北北东向,构造裂缝主要与断层垂直或平行,根据岩心资料做出的 154 条定向裂缝统计,其中北东向 84 条,占 53%,近东西向 52 条,占 34%。从剖面上看,构造裂缝发育深度与断层规模有关,断距越大,沿断面产生的剪切力、张应力(或压应力)越大,受断层应力场影响的岩层也就越厚,裂缝的垂向发育深度也越大。沿断层分布的基岩潜山还有富台油田、义和庄油田等。

### (三)古地形低处

古地形直接影响水平溶蚀储集空间的发育。在一定时期内,构造运动相对不强烈时,古潜山的潜水面深度大致保持不变,古地形低洼处,距潜水面近,反之则远。例如桩西古潜山的桩古 10 井、桩古 2 井和桩古 15 井地区所处的位置比桩古 7 井、桩古 13 井所处的位置低,更接近于潜水面,因此易发育大型的溶蚀洞穴。试油试采也说明了这一点,如桩古 10 井放空 3 次,试油时日产油 $3600\text{t/d}$ ,累计原油采出量大于 20 万吨。桩古 2 井发生漏失,累计采油 18 万吨,桩古 15 井累计采油 32 万吨(其中试油产量为 $2700\text{t/d}$ 左右);桩古 13 井所处的风化壳距潜水面比较远,水平溶蚀程度较低,储集空间不发育,没有油气成藏。

### (四)构造相对低部位

对于变质岩而言,构造低部位是储集空间较为发育的位置。山顶或高部位的岩石,经过风化后形成风化残积物,这些残积物不会永远停留在高部位,而会在风、流水等介质的作用下搬运至低处。特别是在气候干旱的条件下,残积层缺乏土壤的保护,更容易被搬运至低

处。因此,从这个意义上讲,储集空间发育的最佳位置,不在山顶或构造高部位,而在构造相对低的部位。如王庄变质岩潜山,山顶郑 4-6 井等部位形成的裂缝,由于剥蚀作用被破坏,剥蚀物被搬运至低处,因此储层不甚发育。郑 4-6 井与郑 4-18 井,前者位于山顶,后者位置偏低,井距 230m,总孔隙度分别为 3% 和 8%,渗透率分别为  $0.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  和  $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。郑 4-16 井与郑 4-8 井,前者构造位置高,后者低,井距 230m,总孔隙度分别为 4% 和 9.5%,渗透率分别为  $0.6 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  和  $10 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

## 二、基岩潜山的储层类型

储层的分类原则有很多,依据基岩潜山储层所在储油气圈闭的成因、形态及储集层特征等,可将基岩潜山储层的类型划分为 3 个亚类。

### (一)残丘型基岩潜山储层

即形成的油气圈闭是残丘圈闭。前古近系和新近系基岩随地壳的抬升长期暴露地表,经历了长期风化剥蚀;由于岩性、气候和地表水活动的不同,会造成出露的潜山差异风化,形成地形上的残存凸起,即残丘型潜山(地貌潜山)。残丘型潜山形成以后,于古近纪被埋藏,进而形成了如今的潜山全貌。根据组成残丘圈闭的储层岩性及时代不同又可分为 3 种。

#### 1. 残丘型太古宇变质岩储层

储层为变质岩系,即由太古宇形成的残丘型潜山,储集空间主要是裂缝,其次是溶蚀孔洞与微孔隙。这类储层主要分布在王庄油田、滨南地区的滨 233 含油圈闭及单家寺的单古 2 含油圈闭、郑 29 含气圈闭、单 66 含油圈闭等。

#### 2. 残丘型下古生界灰岩储层

储层是寒武系、奥陶系石灰岩,储集空间是孔隙、裂缝与溶洞,属风化壳淋滤带。在剥蚀面以下 100m 储集性能往往变差。如分布在平方王古近系潜山披覆构造带的滨 188 和滨 78 寒武、奥陶系含油圈闭内的储层。

#### 3. 残丘型中生界砂岩储层

如垦利潜山,其储层是中生界上侏罗统,在古近纪为湖中岛,后沙三段灰色泥岩覆盖其上,形成丘圈闭。储层为上侏罗统风化面附近的一组渗透性含砾砂岩。

### (二)断块型基岩潜山储层

前古近系和新近系总体为单斜构造,后期被断层复杂化,也可以说水平岩层或垂直岩层由于断裂作用使断块产生掀斜所致。胜利油区的断块山大部分为多层结构,据储层类型及层位,又可分为 4 种。

#### 1. 断块型中生界碎屑岩储层

储层由中生界砂、砾岩组成;盖层通常由古近系非渗透性砂、砾岩或沙三段泥岩组成。其典型实例是义北油田的大部分中生界油藏、孤南油田孤南 2 块的孤南 2-10、孤南 2-11 等中生界油藏;桩西油田、埕岛油田的中生界含油圈闭也属于此种类型。

#### 2. 断块型上古生界碎屑岩储层

组成上古生界断块山圈闭的储层是太原组与山西组细粒石英砂岩及白云质砂岩,因后期次生成岩作用强烈,石英次生加大和镶嵌结构比较普遍,因此砂岩致密坚硬,储集物性较差。组成圈闭的盖层是上古生界剥蚀面以上的古近系沙河街组—孔店组泥岩;局部盖层则是上古生界泥质岩;侧向封堵层通常由孔店组组成。典型实例是义和庄油田 991 潜山的石

炭-二叠系油藏,大王庄油田的上古生界含油圈闭或区块。

### 3. 断块型下古生界碳酸盐岩储层

储层是寒武—奥陶系石灰岩的风化壳淋滤带,储集空间类型繁多,可归纳为裂缝、溶洞、孔隙 3 大类,非均质性强烈。组成圈闭的盖层多数为上石炭统本溪组底部泥岩,有的则由沙四段—孔店组非渗透性砂砾岩或东营组泥岩作盖层。侧向封堵层通常是由石炭系、中下侏罗统及沙三段泥岩等组成。典型实例分布在义和庄、套尔河、垦利油田的下古生界、平南油田、埕岛油田等。此外,孤岛油田孤古 4 奥陶系含油圈闭、罗家油田罗古 2 含油圈闭、沾 4 潜山义古 15 下古生界含油圈闭的储层亦属于此种类型。

上述的多层结构潜山圈闭,例如 991 潜山、垦利潜山等,往往具有多种类型的储层,既有下古生界碳酸盐岩储层和上古生界碎屑岩,还有中生界碎屑岩储层。

### 4. 断块型下古生界潜山内幕储层

储层并非是风化壳淋滤带,而是下古生界碳酸盐岩在断层的侧向溶蚀及断层张裂作用下形成的储集空间。其典型实例是义和庄古近系潜山披覆构造带的沾 4 潜山、义古 79 寒武系石灰岩储层。

### (三)断褶山型基岩潜山储层

在褶皱基础上形成的古潜山又被断层切割而复杂化形成断褶山。此类储层在胜利油区内分布局限,比较肯定的是沾化凹陷的桩西潜山储层及车镇凹陷的富台潜山储层。前者储集空间主要为构造裂缝与古岩溶带,后者储集空间主要为裂缝。二者都存在储层非均质性强的特点。

## 三、基岩潜山分布的控制因素

基岩潜山的分布主要受控于盆地的形成和演化过程,也就是受控于构造运动,因此构造运动为控制潜山分布的最主要因素。

沉积岩的储集空间主要为沉积作用产生的原生孔隙、成岩作用产生的次生孔隙和成岩后作用产生的次生孔隙。在沉积埋藏过程中,沉积物产生原生孔隙和成岩次生孔隙,二者互为消长关系;在沉积间断期间,由于风化剥蚀和大气水淋滤作用则会产生溶蚀孔洞缝等储集空间。对岩浆岩和变质岩,特别是变质岩而言,储集空间主要是在近地表附近形成的风化剥蚀孔洞缝;岩浆岩中的原生孔隙如气孔构造是岩浆岩中的主要储集空间。当地壳水平运动产生褶皱、断裂运动时,就产生构造裂缝。

胜利油区在太古宇基底上沉积了下古生界碳酸盐岩和上古生界碎屑岩,经历了中生代的挤压、伸展作用与新生代的裂陷作用和裂陷后作用。在挤压、上升、下降和伸展断裂的过程中会产生不同时代的储集空间。挤压作用首先发生在印支期,形成了近东西向的宽缓褶皱和北西向的逆断层,使得古生界隆起的高部位遭受强烈剥蚀,低部位剥蚀较弱,这样高部位由于风化剥蚀作用可形成残余次生储集空间。燕山期表现为挤压和伸展交替,形成的储集空间主要有与断层有关的构造裂缝,与风化剥蚀作用有关的孔、洞、缝。新生代喜马拉雅运动以断裂作用为主,伴随断裂运动及断块的掀斜运动,产生了大量构造裂缝。地壳短暂的抬升过程也容易形成大量的微裂缝。历次的构造运动形成的储集空间,往往会被后一次构造运动所充填。因此,那些有效的储集空间,其形成时间与油气的大规模运移和聚集时间基本一致。

## 第二节 国外基岩潜山油气藏研究现状

20 世纪 40 年代,在南美洲的东委内瑞拉盆地首先发现了基岩油藏。随后的 50 年代和 60 年代,相继在非洲的阿尔及利亚、利比亚,美国的加利福尼亚、得克萨斯、俄克拉何马等地发现了基岩潜山油气藏。国外发现的基岩油藏的储层基本上都是结晶基底或火成岩,而且认为是不整合或古侵蚀面以上沉积的年轻烃源岩所生的油气,运移聚集在下伏的古老变质岩及火成岩中(Landes, 1960)。在渤海湾盆地基岩潜山油气藏发现以后,我国学者把基岩油藏的概念做了补充,即未变质的下古生界也可作为储层,并且根据任丘等基岩潜山油藏研究的成果,提出 3 种成因类型的潜山:侵蚀潜山、构造潜山、构造-侵蚀潜山(田在艺等,1987)。

前人的研究侧重在基岩潜山油气藏的成因和类型上,特别强调了不同时代地层的缺失和地层不整合界面长期风化溶蚀,所造成的渗流物性很高的裂缝-溶洞储集系统;还强调了基岩潜山油气藏的勘探方法。但是,在勘探程度较高的今天,如何搞清楚基岩潜山储集空间的分布规律已成为能否高效开发这类油气藏的关键。因此,我们根据国外同类油气藏的研究成果及研究方法,总结出若干规律,期望对国内相关研究有所帮助。

### 一、美国二叠盆地白云岩储层特征和研究方法

美国得克萨斯州奥斯汀大学经济地质局对各种类型油气储层作了大量研究,对于碳酸盐岩溶蚀地貌形成的储层也进行了深入研究,其中对二叠盆地艾伦伯格群白云岩溶蚀孔洞及其角砾岩储集空间的研究成果(Kerans, 1988)比较突出。

二叠盆地位于得克萨斯州,属于早古生代克拉通盆地,以碳酸盐岩沉积为主,其中在奥陶系发生过 3 次规模较大的沉积间断(图 1-1),并且在下奥陶统白云岩顶部(即艾伦伯格群顶部)形成风化淋滤作用带,成为重要的油气储集相带。下面就以具有古喀斯特地貌特征的艾伦伯格群白云岩为例,介绍溶蚀孔洞和裂缝等储集空间的形成特征和分布规律。

#### (一)艾伦伯格群白云岩地质特征

角砾岩和裂缝是艾伦伯格群(特别是上部 60~120m 范围内)最显著的岩石学特征,目前钻井所取岩心中有 1/3 是角砾岩,有人称其为“破裂白云岩”。角砾岩主要是喀斯特垮塌作用形成的,裂缝也主要是在喀斯特发育过程中形成的,当然构造活动可能引起局部的裂缝和角砾岩形成。风化淋滤作用导致角砾岩和裂缝的成因有 3 条依据:①精细的沉积相研究指出艾伦伯格群没有角砾岩相带;②喀斯特角砾化作用控制了艾伦伯格群白云岩的储层性质和非均质性,而构造角砾化的控制作用不很明显;③喀斯特模式成为该类储层非均质性的预测工具,而构造活动产生的裂缝则不能完全解释储集空间的分布规律。

艾伦伯格群的角砾岩可分成两种类型:①喀斯特角砾化作用原地形成的裂缝和镶嵌状角砾岩;②基质或碎屑支撑的混杂角砾岩,即由原生碎屑和重力滑塌碎屑混合形成的角砾岩。这两种类型的角砾岩有的可以进行井间对比(即艾伦伯格群上部 90~120m),有的钻井厚度可达 180m,但是无法跟其他井对比,说明变化很大。其中可作井间对比的储集相带是由 3 种岩性组成的:下部为原生白云岩,溶蚀孔洞发育;中部为两种角砾岩组成,其下段为厚度较大的具有碎屑充填的混杂角砾岩,上段为粘土等碎屑支撑的角砾岩;上部为厚度较薄的碎裂白云岩。它们的垂向变化及其电性特征见图 1-2 所示。其中粘土等碎屑支撑的角砾岩在自然伽马和电阻率

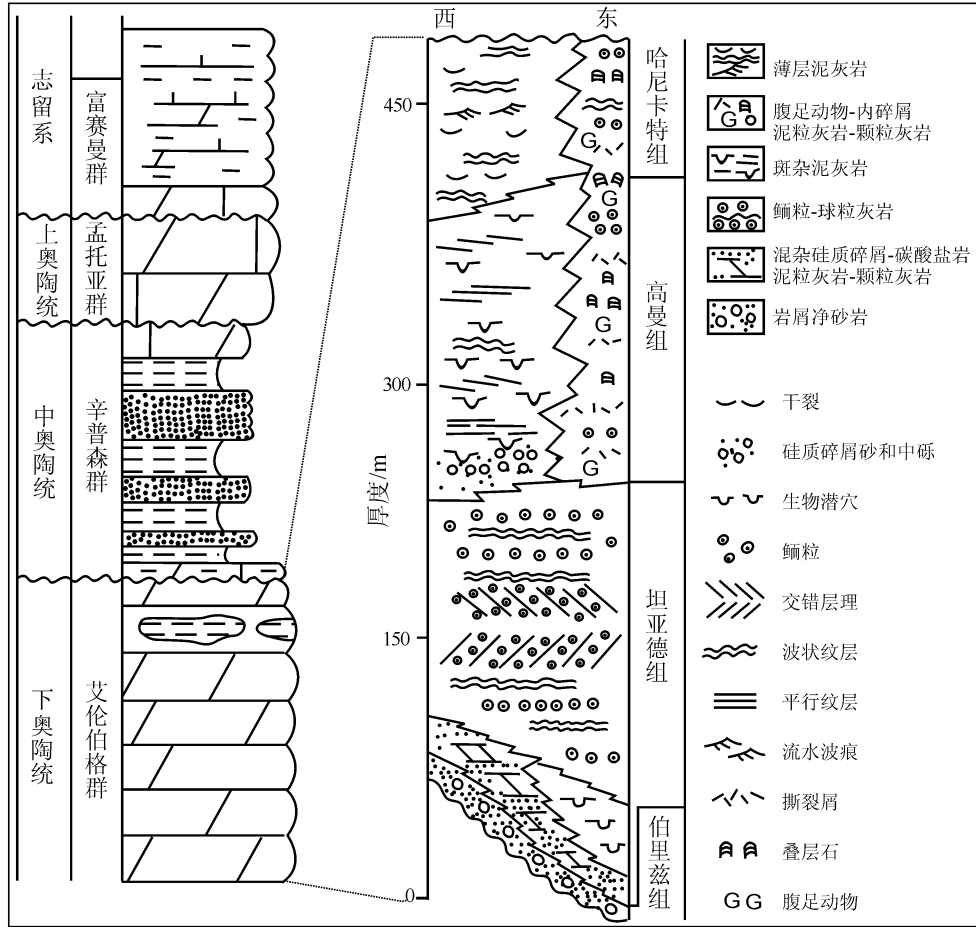


图 1-1 美国二叠盆地下古生界简化柱状图和艾伦伯格群岩性特征图  
(据 Visser C A, et al., 2000)

等测井曲线上最容易识别,所以成为混杂角砾岩和碎裂白云岩的对比标志。

### (二)角砾状白云岩的喀斯特成因模式

上述的混杂角砾岩和碎屑支撑的角砾岩是在碳酸盐溶洞中形成的溶洞充填沉积物(图 1-3),其中的粘土和硅质碎屑可能是从围岩和上覆地层中搬运而来的。溶洞充填物距离艾伦伯格群与上覆辛普森群之间的不整合面一般约 30m,表明该区溶洞形成期具有一个稳定的区域潜水面,因为潜水面附近的渗流作用使碳酸盐岩快速溶蚀,溶洞可以快速扩大。

位于原生白云岩之上的碎裂白云岩和镶嵌状白云质角砾岩是溶洞顶部垮塌作用形成的(图 1-3)。在此之上才形成溶洞充填物(混杂角砾岩和碎屑支撑角砾岩)。

原生白云岩的裂缝和溶蚀孔洞是在风化淋滤过程中形成的。此外,在上覆辛普森群沉积时,地下水活动及其性质变化也促使一些裂缝和溶蚀孔洞形成。同时在辛普森群沉积和埋藏过程中,由于艾伦伯格群白云岩溶蚀孔洞发育不均衡,或由于角砾充填的不均匀,它们受到的压实作用也不均衡,以致产生了更多的裂缝。因为溶洞顶层的裂缝和角砾岩中很少发现辛普森群的碎屑物质,所以溶蚀孔洞主要是在辛普森群沉积之前发育的。那些没有被

艾伦伯格群或辛普森群充填的溶蚀孔洞，由风化淋滤产生的裂缝及差异压实作用而导致了溶洞顶部的垮塌，形成混杂-垮塌式角砾岩，而不是形成原地的裂缝镶嵌状白云质角砾岩。

### (三) 艾伦伯格群古喀斯特形成的模式

艾伦伯格群沉积后海平面下降，二叠盆地成为广泛出露的碳酸盐台地。在大气水和残余海水交互作用下，形成了由潜水面控制的区域白云岩溶蚀现象，并形成大面积的(约 12950km<sup>2</sup>)喀斯特地貌。上述可以进行井间对比的角砾岩组合就是在区域喀斯特地貌中形成的。

艾伦伯格群沉积后的古喀斯特明显地受潜水面控制。根据多方面研究，其古潜水面距风化面(即现今的艾伦伯格群与辛普森群之间的不整合面)的深度约为 30~60m，而且延续了相当长的时间。图 1-3 所示的碎屑支撑的艾伦伯格角砾岩(垮塌堆积物下部)，是溶洞发育结束期沉积形成的。由于淡水和残余海水在构造裂隙中的渗流，使溶蚀作用可以深达 300m。

中奥陶世初期，海平面上升，辛普森群开始沉积，艾伦伯格群白云岩的溶蚀和溶洞充填作用逐渐中止。但是，局部地区由于辛普森群的差异压实作用，造成溶洞顶部垮塌，形成垮塌角砾岩，同时形成艾伦伯格群和辛普森群混合碎屑充填物。

随着辛普森群的继续沉积，艾伦伯格群埋藏深度加大，原来没有完全充填的溶蚀孔洞周围裂缝继续发育，洞顶白云岩的垮塌作用和洞内的角砾岩继续形成。此时，即埋藏-压实作用导致的溶洞垮塌作用形成的角砾岩，是储集物性最好的溶蚀垮塌相带储层(图 1-4)。其他储集物性较好的相带是靠近原生白云岩的下部垮塌角砾岩(图 1-2)。

### (四) 构造裂缝和孔隙度的发育

艾伦伯格群白云岩的裂缝发育主要受控于自身的成岩作用史，即埋藏—抬升风化—埋藏的历史。有些研究人员认为，虽然艾伦伯格群在沉积之后的中奥陶世初期—晚奥陶世末期经历了风化淋滤，产生了许多裂缝和溶蚀垮塌现象，但是得克萨斯州中西部古生代末期(宾夕法尼亚期)的前陆造山运动产生的裂缝更加明显，而且使奥陶纪形成的白云质角砾岩孔隙得以连通、孔隙度扩大，储集性能得以改善。宾夕法尼亚期的裂缝切割了溶洞充填的角

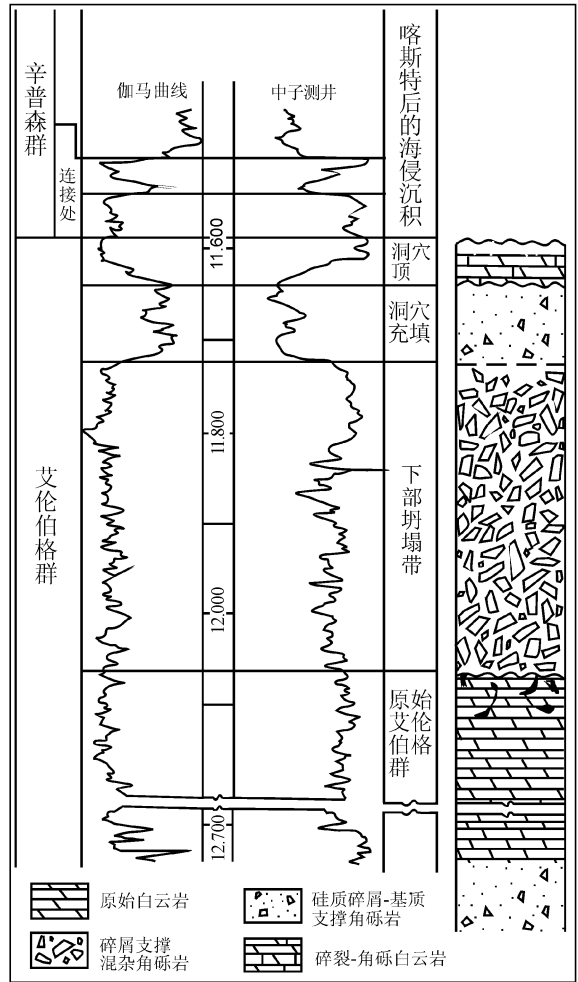


图 1-2 艾伦伯格群上部分布较广、井间可对比的含砾白云岩岩性组成及电性特征  
(据 Visser C. A., et al., 2000)

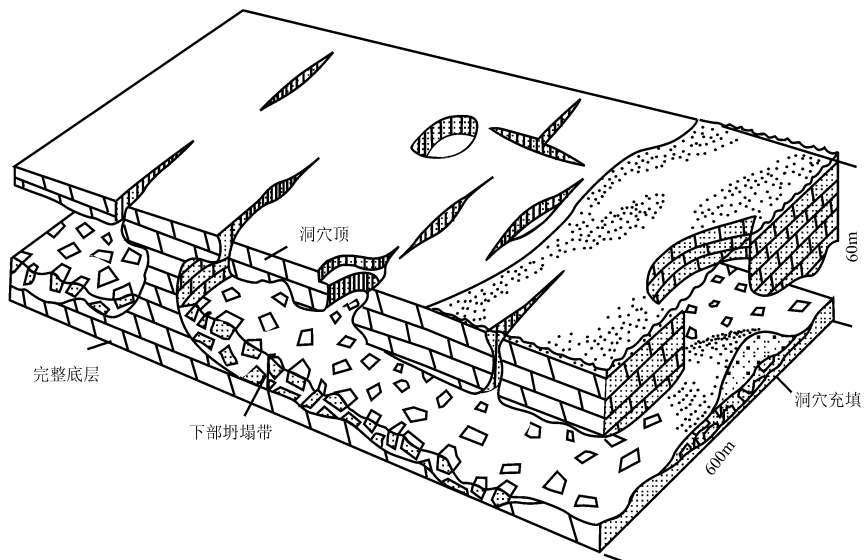


图 1-3 艾伦伯格群白云质砾岩成因模式图  
(据 Visser C A, et al., 2000)

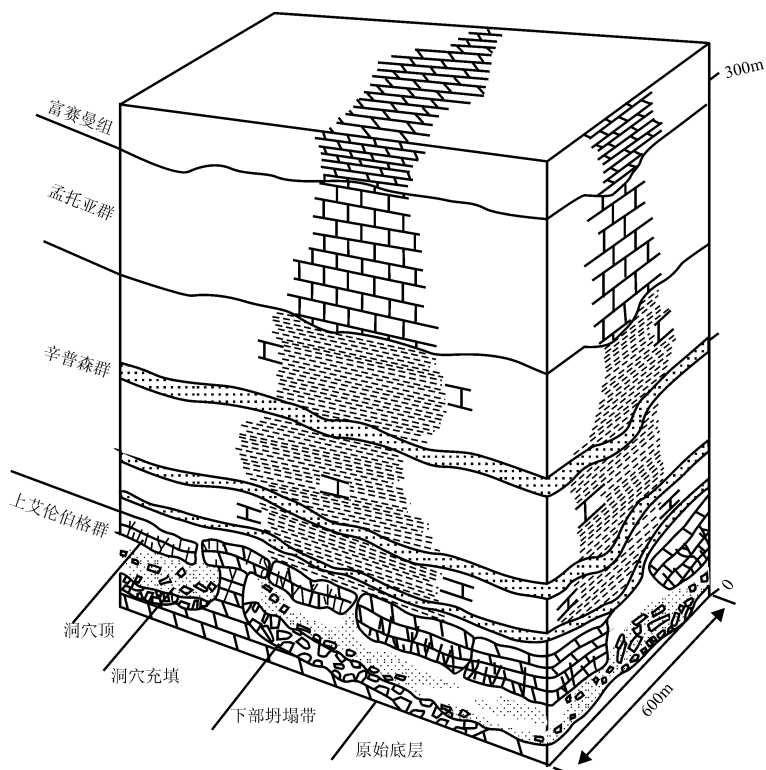


图 1-4 艾伦伯格群溶蚀的孔洞在辛普森群沉积埋藏过程中形成储集性能很好的洞顶垮塌角  
(据 Visser C A, et al., 2000)

砾和白云质胶结物,也是鉴别晚期裂缝与早期裂缝的依据。

与喀斯特有成因联系的裂缝一般顺层分布,局限在角砾岩相带之上 30m 的厚度范围内。而与晚期构造活动有关的裂缝随机地分布在整個艾伦伯格群白云岩层之内。

#### (五)古喀斯特控制的储层非均质性

在地表条件下的风化和喀斯特溶蚀垮塌作用,使艾伦伯格群白云岩成为储层起了决定性的作用。由于原生的艾伦伯格群白云岩非常致密,基本上不发育粒间孔隙和晶间孔隙,而碎裂、溶蚀、垮塌形成的裂缝、溶蚀孔洞和角砾岩产生了大量储集空间。但是这种储集空间具有明显的垂向和横向非均质性;垂向非均质性主要是由溶蚀孔洞、裂隙和角砾岩垂向上分带作用造成的,与上述的角砾岩、溶洞充填物相带有关;横向非均质性主要是在喀斯特时期,地下水运动受到不渗透的垮塌物的阻拦而改变流向形成的溶蚀孔洞在水平方向不连续的现象。

利用油藏开发中的试井资料可以判断喀斯特地貌形成的储层非均质性,而岩心观察很难发现该类储层垂向和横向非均质性。但是试井资料无法区分裂缝是构造成因的,还是喀斯特成因的,只能依靠裂缝与角砾及其胶结物的切割关系判断裂缝的成因和期次。

## 二、碳酸盐岩裂缝展布方向的识别

这里介绍美国二叠盆地的一个研究实例(Major and Holtz,1997),但是研究层位是二叠系圣安得雷斯组灰岩。该灰岩基本由两个旋回组成:

(1)由 0.3~1m 韵律组成的滩坝相粒屑灰岩和泥粒状灰岩,泥粒状灰岩之上为潮坪泥岩所覆盖。粒屑灰岩的胶结程度较高,孔隙度很低,而上覆的泥粒状灰岩孔隙较发育。粒屑灰岩中的颗粒主要是鲕粒、棘皮动物屑、软体动物壳和有孔虫等。这个旋回的韵律层太薄,测井信息无法分辨。

(2)由 3~5m 的厚层韵律组成,其岩性主要为潮坪相分隔的不连续的泥粒状灰岩和粒屑灰岩。由于潮坪相泥岩富含有机质并具有一定厚度,所以自然伽马测井能够将其分辨出来,自然伽马值降低时,就是孔隙发育的泥粒状灰岩或粒屑灰岩。

研究区位于 13 标段的 B-2 块。该块有 22 口井,并且取有不少岩心。研究人员主要利用测井和试井资料综合研究了裂缝的展布方向。虽然在岩心上没有见到开启的裂缝,但是在 37m 长的岩心中发现了 22 条愈合的裂缝。愈合的裂缝充填物为白色白云石,裂缝宽度一般小于 0.5mm,垂直或高角度倾斜层面,裂缝基本平直。裂缝长度一般为 0.3m,长者不超过 0.6m。裂缝常常终止在缝合线上,所以说裂缝的发育与沉积作用无关。

微电阻率成像测井反映了裂缝发育及井壁受构造应力作用而崩塌的现象,崩塌井段的长度一般在 6m 以下。但是有两口井的崩塌井段比较长,一个是在井深 1343~1549m 范围内,井壁崩塌方向为北东-南西向;另一个在 1290~1327m 井段内,崩塌方向为北西-南东向。

#### (一)裂缝发育段孔隙度及剩余油含量

因为圣安得雷斯组储层含有石膏矿物,所以普通的中子和密度测井效果不好。对声波测井孔隙度进行岩心孔隙度校正时,必须考虑岩心高温清洗过程中可能会将部分石膏洗掉,从而岩心孔隙度值会偏高。因此,对含石膏岩心的清洗要采取低温、不破坏岩石结构的脱水方法,再进行孔隙度测量。这样校正得到的声波孔隙度对于评价裂缝发育的储层基质孔隙度还是比较准确的。虽然中子测井不能用于孔隙度计算,但是仍然可以用于井间储层对比。

用测井信息计算了孔隙度之后,对每一储层进行了剩余油饱和度( $S_o$ )和储层厚度( $h$ )