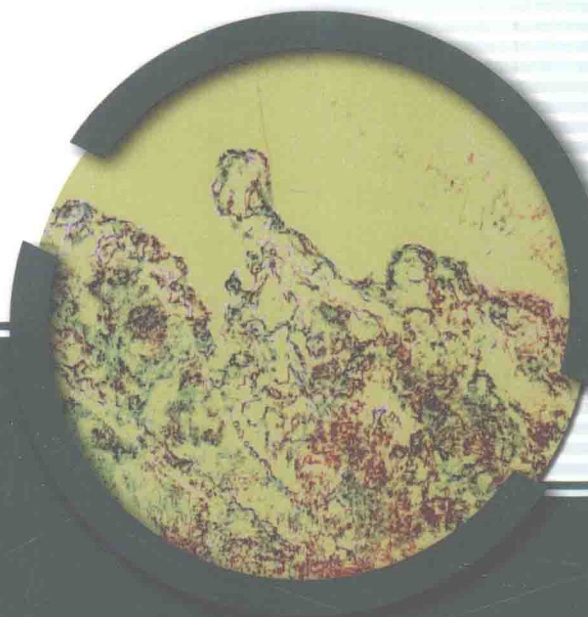


石油地质勘探类系列书

REEF FLAT RESERVOIR
RECOGNITION AND EXPLORATION

礁滩储层 识别与勘探

胡伟光◎编著



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

礁滩储层识别与勘探

胡伟光 编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书以四川盆地海相礁滩型储层识别与预测的勘探实例为基础,系统阐述了礁滩型储层识别与预测的原理及详细的技术方法、应用实例。针对四川盆地内海相礁滩型储层的识别与预测,应用古地貌分析技术、基于叠前或叠后地震资料相关的地球物理技术方法分别进行计算,并对关于礁滩型储层的预测成果进行分析、研究;还总结了这些地球物理技术方法的应用情况及特点,提出礁滩型储层预测的一些关键技术要点;利用本书所提供的技术方法、参数可开展礁滩型储层的识别、预测及研究工作,所得的成果可为勘探井或开发井井位布设提供相关的论证材料及依据。

本书可供全球各大石油公司从事碳酸盐岩及礁滩型储层的勘探、开发的研究人员参考,也可供高等院校石油地质、地球物理、石油工程等相关专业的师生学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

礁滩储层识别与勘探 / 胡伟光编著. —北京:
中国石化出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-5114-4338-0

I. ①礁… II. ①胡… III. ①储集层-地震识别②储集层-地震勘探
IV. ①P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 275090 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市朝阳区吉市口路9号
邮编:100020 电话:(010)59964500

发行部电话:(010)59964526

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

700×1000 毫米 16 开本 10.25 印张 174 千字

2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷

定价:42.00 元

前言

礁滩型油气藏目前在国内外已经发现不少，礁滩型油气藏的储量在世界油气探明总储量中约占 10%。该类油气藏具有油气丰度大、产能高等特点，一直是油气勘探家们重点研究的目标。在中国无论新疆塔里木盆地、四川盆地，还是南海区域等，都发现了礁滩型油气储层，并获得了相关的油气突破及商业化生产。但是生物礁滩预测一直是油气勘探的难点，在四川盆地以往预测的生物礁经多数钻井钻探揭示，基本上都落空了（没钻遇礁滩相），据统计该盆地钻井中经钻探发现的礁滩相有 90% 以上都是随机钻遇的，这些勘探实例表明相关的礁滩相识别及预测技术还有待探索及提高。

近些年来，中国石化勘探分公司在四川盆地海相礁滩型储层的油气勘探中取得了大规模的工业突破及商业发现，获得了一批高产工业气流井并荣获相关的油气勘探奖项。其中，在普光、元坝、涪陵等地区的长兴组均钻遇大型的礁滩型储层，并完成相关的国家油气储量申报，取得了相当可观的勘探及经济效益。

为了更好地指导及研究礁滩型储层的识别及预测，应业内同行要求，我们针对元坝、涪陵等地区长兴组礁滩型储层的预测成果进行分析研究，集结成书，探索、研究中国石化勘探分公司在这些地区礁滩型油气勘探中的成功经验，期待为中国乃至全球的礁滩型储层预测、勘探实践提供指导和借鉴作用。

本书共分为 5 章，第一章介绍礁滩型储层的特点及相关的地球物理技术，有助于读者了解相关的礁滩型储层及其识别、预测的技术特

点。第二章至第四章重点阐述礁滩型储层识别与预测的原理及实践操作、应用实例,利用成熟的商业软件对有关地区的礁滩型储层进行预测并展示成果。第五章是对礁滩型储层预测的集成总结,结论可以给读者一些启示及思考。

礁滩型储层预测是世界性的,使用相当广泛,世界上多个高产的油气田均为礁滩型油气田。中国石化勘探分公司在四川盆地的礁滩型储层的预测及实践中,获得了一些有益、有用的经验。本书尽可能收集元坝、涪陵等地区的长兴组礁滩型储层的预测资料,并结合相关储层预测成果进行分析、总结。在对礁滩型储层预测过程中,我们获得的主要认识和成果简述如下:

(1)礁滩型储层的沉积相及古地貌研究相对重要,它可以确定礁滩相的平面和垂向上的分布位置,为后续相关的储层预测提供准确的礁滩相位置信息。

(2)叠后属性及反演技术可以提供礁滩型储层的厚度及空间位置信息,但泥岩类往往会对礁滩型储层的预测形成干扰。叠后波阻抗反演技术可利用去泥质技术,排除泥岩类对储层预测的干扰。此外,礁滩型储层在地震剖面上往往表现出亮点的反射特征。

(3)各种裂缝预测技术具有各自的优缺点,大多数情况下使用单一裂缝预测技术难以对整个礁滩相区的裂缝进行全覆盖。其中,叠前地震资料可预测微观—中型规模的裂缝(如P波各向异性分析技术),叠后地震资料则难以对该级别的裂缝进行预测,但对于识别大级别的宏观裂缝如断裂,使用叠后的相干技术则相对较好。

(4)针对裂缝方向的预测,由构造应力场分析技术所计算的裂缝方向与井上的实测裂缝方向相比误差较小,由其他裂缝预测技术所得的预测结果则与实测结果相比误差相对较大。

(5)要预测礁滩型储层中的溶孔及裂缝所充填的不同流体,可利用AVO/FVO技术及叠前弹性波阻抗反演中的相关计算属性、交会分析技术实施不同流体预测;而使用叠后地震资料进行烃类检测(如吸收衰减

技术), 对于 AVO/FVO 技术及叠前弹性波阻抗反演来说, 精确度相对差一些, 准确度也差。另外, 要注意泥岩类对这些技术预测流体的干扰, 在实际操作过程中要对其进行剔除。

(6) 要采用沉积相、裂缝、烃类检测等综合分析及预测手段, 实施对研究区礁滩型储层的预测, 这样的预测结果相对更为准确、实用。

本书是中国石化参与四川盆地礁滩型储层勘探决策、评价研究和物探技术攻关的全体管理及技术人员集体智慧的结晶, 从多年的礁滩型储层预测研究成果中进行总结, 在这项集体劳动成果集结出版的时候, 笔者对上述参加人员表示衷心的感谢! 也感谢为本书编撰辛勤付出的绘图人员。

本书在中国石化勘探分公司各级领导关怀下, 由胡伟光编撰、统稿完成。由于现阶段的油气勘探进程较快, 相关的礁滩型储层预测成果的分析、认识可能不足, 并且本书成果集成总结的时间相对紧张, 再加上作者水平有限, 书中错误和分析不妥之处望读者不吝赐教。

目 录

1 概 论	(1)
1.1 礁滩储层简介	(1)
1.1.1 礁滩储层特征	(3)
1.1.2 四川盆地礁滩型储层	(8)
1.2 相关地球物理技术简介	(20)
1.2.1 古地貌分析技术	(21)
1.2.2 地震属性分析技术	(22)
1.2.3 地震反演技术	(24)
1.2.4 裂缝预测技术	(27)
1.2.5 油气检测技术	(31)
2 礁滩相识别技术	(34)
2.1 基于地震解释及沉积相分析	(35)
2.1.1 波形地震相分析	(35)
2.1.2 古地貌分析技术	(42)
2.2 地震属性分析法	(45)
2.2.1 三瞬属性	(46)
2.2.2 振幅反射特征	(50)
2.3 叠后反演技术	(61)
3 礁滩相裂缝检测	(66)
3.1 基于叠后地震资料检测	(69)
3.1.1 相干体技术	(69)

3.1.2	曲率技术	(75)
3.1.3	构造应力场模拟	(80)
3.2	基于叠前地震资料检测	(87)
3.2.1	方位地震 P 波属性裂缝预测	(90)
3.2.2	AVA(方位 AVO) 分析法	(90)
3.2.3	VVA 分析法	(93)
3.2.4	IPVA 分析法	(93)
3.2.5	FVA 分析法	(94)
3.2.6	AVAZ 分析法	(94)
3.2.7	实践计算分析流程	(94)
3.2.8	方位地震 P 波属性应用实践	(96)
4	礁滩相含气检测	(109)
4.1	基于叠后地震资料检测	(110)
4.1.1	吸收衰减的应用原理	(112)
4.1.2	吸收衰减分析法应用实践	(115)
4.2	基于叠前地震资料检测	(118)
4.2.1	AVO/FVO 技术	(118)
4.2.2	基本弹性参数	(119)
4.2.3	纵波与横波	(120)
4.2.4	速度、密度与波阻抗、孔隙度和弹性系数的关系	(121)
4.2.5	AVO 反演属性成果及油气物性含义	(122)
4.2.6	CMP 道集处理及叠前弹性波阻抗计算	(127)
4.2.7	AVO/FVO 技术应用实践	(130)
5	结束语	(143)
	参考文献	(145)

1 概 论

1.1 礁滩储层简介

随着中国经济的快速增长,我国对能源的需求量越来越大,国内的油气产能已不能满足国民经济发展的需要,所以对石油天然气的勘探及开发显得相对迫切。现在,我国从碳酸盐岩储集层中发现的油气储量已接近世界油气储量的一半,产量则已达总产量的60%以上。

随着油气勘探的不断深入以及勘探技术的提高,油气勘探的重点已经从简单的构造性油气藏向复杂的岩性油气藏转移。生物礁储层作为典型的岩性油气藏储层,在油气勘探中显得至关重要。生物礁储层和其他类型储层相比,具有较高的孔隙度、渗透率,因此是一种优良的碳酸盐岩储层,容易形成大型、超大型油气田;同时,礁滩型油气藏由于产能高和采收率高等优点而日益受到国内外石油公司的重视。

据粗略统计,碳酸盐岩占全球沉积岩总面积的20%,所蕴藏的油气储量占世界油气总储量的52%;目前已经探明的碳酸盐岩油气可开采总量为 $1434.5 \times 10^8 \text{t}$,探明可采石油为 $750.1 \times 10^8 \text{t}$,探明可开采天然气为 $684.4 \times 10^8 \text{t}$,其中生物礁储层油气储量约占碳酸盐岩油气总储量的20%;世界碳酸盐岩储层的油气产量约占油气总产量的60%,目前世界已确认的7口日产量达到 $1 \times 10^4 \text{t}$ 以上的油井,有一半属于生物礁型油气田。因此,研究生物礁滩储层具有重要意义。

生物礁是由固着生物所建造的原地沉积的碳酸盐生物建隆,从科学的角度对生物礁进行研究开始于18世纪末到19世纪初,至今已有近200年的研究历史。20世纪20年代,在生物礁中发现了大量的石油天然气,更加刺激了人们对生物礁的兴趣,掀起了生物礁研究的热潮,并有许多重大发现。在国外,大型生物礁滩油气藏主要分布在美国、伊拉克、利比亚、巴西、澳大利亚、科威特、墨西哥等国家,比如,北美地区的墨西哥湾盆地、印尼的撒拉瓦蒂盆地、中东波斯湾盆

地、美国二叠盆地、澳大利亚西南部的卡那封盆地和奥特韦盆地等，都勘探出了世界级生物礁型巨型油气田。在中国，也曾勘探出大型生物礁油气田，如四川盆地二叠系生物礁油气藏、南海莺歌盆地生物礁油气藏、南海北部珠江口盆地生物礁油气藏等，还有新疆塔里木盆地、鄂尔多斯盆地等。这些海相盆地规模大，生、储、盖条件优越，有利于形成大型油气藏，因此具有重要的勘探前景。

四川盆地位于中国西部，是典型的海相碳酸盐岩沉积盆地。在该盆地区域内，碳酸盐岩具有层系多、分布广泛、厚度大等特点，具有广阔的油气勘探前景。例如川东北地区油气勘探从 20 世纪 50 年代开始，经过几十年的发展，在油气藏勘探理论和实践操作经验方面，取得了丰硕成果，发现了一批大中型油气田。王一刚等指出四川盆地勘探大中型生物礁油气藏的有利相带是“开江—梁平”古海槽陆棚边缘带，在此基础上，张延充等把四川盆地中生物礁气藏的有利相带扩展为“泛开江—梁平海槽”东西两侧的岩隆相带。1963 年关于鲕粒滩相的工业气流首次在石油沟构造的飞仙关组滩相储层中钻获，从此开始，川东北地区长兴组生物礁滩储层和飞仙关组鲕粒滩储层都取得了重大突破，尤其是近 20 年来，在四川盆地发现了铁山、梁平、黄龙、渡口河、罗家寨等油气储量巨大的生物礁和鲕粒滩相储层(图 1-1)。2003 年，中国石化在川东北普光地区的飞仙关组和长兴组储层中，连续发现 pg1 井和 pg2 井，并都钻获高产工业气流，从而发现了中国特大型气田——普光气田，其天然气探明储量超过 $0.45 \times 10^{12} \text{ m}^3$ ，至此，奠定了四川盆地在我国油气勘探方面的重要地位。川东北地区长兴组生物礁滩储层具有储层厚、储量大、单井产量高等特点，因此成为四川盆地重点的油气勘探区域。

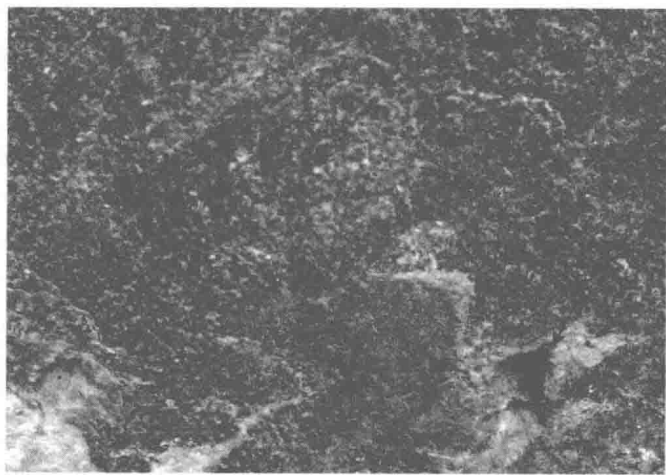


图 1-1 鲕粒灰岩中发育的粒间孔及溶孔(箭头处为溶孔)

近几年来中国石化勘探分公司在普光气田之后,相继在川东北地区的上二叠统长兴组和下三叠统飞仙关组的生物礁滩储层中发现了元坝大气田,并在川东南的涪陵地区也发现了长兴组的礁滩型气田,中国石油也在元坝地区附近的龙岗地区相应的沉积相带打到日产近 $200 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的天然气井。进一步确立了四川盆地上二叠统长兴组和下三叠统飞仙关组生物礁、滩气藏的巨大勘探开发潜力。

现代的油气勘探开发除地质、钻探工作之外,地球物理资料,尤其是高精度三维地震资料是不可或缺的,对于埋藏深度较大的目的层(大于 3000m),若缺少可靠的地球物理资料,将给钻探带来很大风险。但是利用地球物理资料进行深层生物礁滩相储层预测也是一项世界性的研究难题,据刘划一等人的资料,四川石油局在 20 世纪 80 年代初投入了较多的礁滩勘探工作量,至 1997 年年底在已钻探的 30 口礁井中,属于正确预测的只有 10%,其余均是“随机”钻遇的,礁圈闭预探井失误率高达 80% 以上。礁滩气藏的勘探在相当一段时期内处于“想打的打不到,未打的又碰到”的可遇(到)不可(预)测的被动局面。

生物礁滩相储层地球物理预测的主要困难在于:①礁滩相油气储层以岩性—构造型为主,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,均难以准确地成图、成像。②有意义的礁滩储层往往埋藏深度大,大深度地震资料的分辨率和信噪比低,有效信号的识别和解释困难,多解性强、可靠性不高。③碳酸盐岩的地震波传播速度高及大多数礁体规模不大,造成双程反射时差小,地震波的运动学特征不明显;礁与非礁岩石的物性差异也不大,且非均质性强,使地震波的动力学特征差异也不明显,增加了地球物理反演的不确定性。④礁储层类型多,内部结构复杂,响应特征多变;鲕粒滩储层常伴有薄互层的地震调谐特征,识别生物礁储层的地球物理判别准则常常彼此矛盾。⑤反映有效储层的地震资料往往还要受到复杂表层结构和复杂地下构造的影响,极易产生识别陷阱。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。

1.1.1 礁滩储层特征

1) 生物礁定义

从 Walther(1911)、Ladd(1944)到 Lowenstan(1950)、Newell 等(1953)对生物礁严格定义为由生物作用形成的抗浪构造,到 20 世纪 70 年代 Dunham(1970)提出礁的双重概念(地层礁和生态礁),生物礁的定义有了跨时代的发展。加上西欧、北美等地广泛使用的岩隆(buildup)一词,生物礁的概念及其相关术语的发

展呈现出定义繁多、难以掌握的局面。面对这种情况,范嘉松、张维(1985)、范嘉松(1988)综合考虑到使用者的习惯,建议把繁多的术语统一于一个基本术语——“岩隆礁(buildup reef)”或称“碳酸盐岩隆礁(carbonate buildup reef)”之内,并建议将滩(bank)这一术语保留下来继续使用,从而形成岩隆礁、滩、层的命名体系,用以概括各种类型的碳酸盐隆起构造。但是,此后的生物礁概念并未形成统一,直到目前仍存在很大分歧。曾鼎乾等(1988)认为,礁是由原地生长的造礁生物营造,具有抗浪格架、凸镜状或丘状的外部形态,并突出于四周同期沉积物,前后常形成不同的相带。强调生物的有机成因、抗浪构造的重要性以及突出于同期沉积物的外部形态。梅冥相(1997)认为,生物礁是一种独特的沉积体系,是由复杂的物理、化学、生物综合作用形成的具有抗浪性的特殊碳酸盐岩体。从狭义上讲,生物礁在横向上是局限的,其生长发育具有明显的生物证据。齐文同(2002)认为,生物礁是由生物构成,包括造架生物、联结包覆生物和礁栖生物,且与生物的长期演化、绝灭和复苏密切相关,反映环境特征甚至全球环境变化的是生物礁。

一般能为大多数地质学家所认同的生物礁定义是一种坚硬的、抗浪固着的生物骨架,它是由骨架单元及其碎屑残余组成的一种碳酸盐岩建造,碎屑残余物质充填于骨架内部空间和骨架间的孔隙中。从石油地质角度考虑,对礁采用这样的概念:礁是由造礁生物和附礁生物组成的、具有突出于同期沉积物的丘形状态,能影响四周沉积环境的碳酸盐岩隆,并把与礁在成因上有关的碳酸盐沉积的集合体称为礁复合体。生物礁具体描述如下:

(1)礁的主体是由造礁生物和附礁生物在原地生长、“筑积”而成,这有别于碎屑岩的“填积”式沉积;

(2)礁具有突出于同期沉积物的正地形地貌特征,形成岩隆并因此而能影响其临近地域和成岩环境;

(3)礁复合体包含了礁及成因上与礁有关的沉积岩体。

2) 生物礁地质特征

成熟的生物礁一般具有前礁、礁核和后礁相带,由造礁生物组成的格架是礁的一个重要组成部分。各时代生物礁常见的格架有3种:①支撑格架:是由“枝状”生物组成,常被藻叠层所缠绕;②块状格架:是由群体和块状造礁生物紧挨在一起组成;③堆集缠结格架:这是由造礁生物死亡后原地堆集,经藻叠层缠绕黏结而形成。格架能够有效地抵抗风浪的袭击,有利于礁的继续生长,并起着改变沉积环境和控制沉积相的作用。礁核部分具有特殊的桡壳结构或晶簇状结构,

它由文石转化的柱状或针状的低镁方解石组成，常常垂直造礁生物体壁呈放射状生长。另外礁内还有大量的填隙物，如亮晶方解石胶结物、灰泥充填物、砂砾屑和附礁生物等。

根据古代生物礁各部位及其岩相特征，从陆向海方向可以将生物礁划分为3个相带(图1-2)：①礁后相：位于生物礁向陆的一侧，一般是礁后泻湖，主要为白云岩、石灰岩、砂岩、页岩及硬石膏等的互层沉积；②礁核相：是生物礁的主体，主要由生物格架岩和生物黏结岩组成，孔隙十分发育；③礁前相：生物礁前面向海一侧，生物礁在海浪的冲击下形成塌积岩和礁前角砾岩，也具有发育的孔隙。再向海方向就过渡为以沉积灰色—黑色页岩和石灰岩为特征的盆地相。

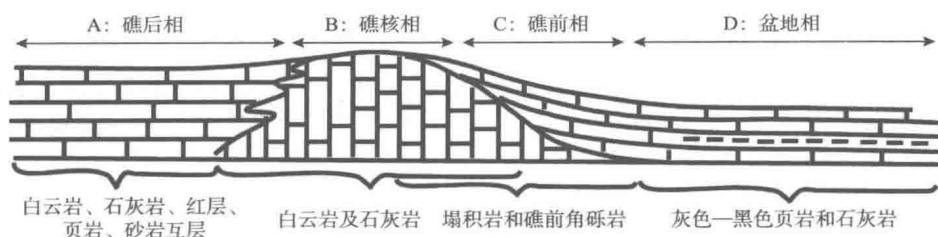


图1-2 古代生物礁的各部分及其岩相分布特征示意图(据 A. I. Levorsen, 1967 改编)

3) 生物礁形成

中国各地质历史时期生物礁十分发育，分布范围较广，目前所发现的生物礁遍及西北、西南及华北地区，在南海北部大陆架的中新统和华北的始新统中也有礁体分布。自震旦纪以来，中国各地质时期海相地层中均有礁的分布，各时代生物演化和兴衰更替，使得各时期的造礁生物及其附礁生物的组合有很大的不同，形成不同类型、不同规模和特征的礁体。其中，泥盆纪、二叠纪和新近纪时期礁体发育最盛，礁体不但数目众多，而且规模巨大，构成中国历史上3个主要的造礁期(表1-1)。晚震旦世灯影期，中国南方海侵使整个西南地区发育一套以碳酸盐岩为主的沉积建造。因气候温和、阳光充足、海水洁净，给生物发育提供了良好的生活环境，这一时期造礁生物基本上是单一的藻类，形成以藻类为主体的各种形态的叠层石。至奥陶纪时，寒武纪盛极一时的古杯类已少见，继而出现海绵、床板珊瑚、层孔虫、苔藓虫和瓶筐石等新的生物门类，它们成为了重要造礁生物；同时，腕足类、棘皮类、足类、腹足类、有孔虫和介形虫等附礁生物大量涌现。石炭纪生物礁丘稀少，主要造礁生物特征不明显，可能主要为苔藓虫、珊瑚和藻类。二叠纪是中国生物礁丘发育的鼎盛期，礁体遍及西北、西南和东南广

大地区。礁体和造礁生物特征明显，造礁生物主要为海绵，还有苔藓虫、水螅、床板珊瑚和藻类等次要造礁生物，常见藻类和钙质海绵礁丘，部分为藻类、海绵、珊瑚及苔藓虫生物礁丘。

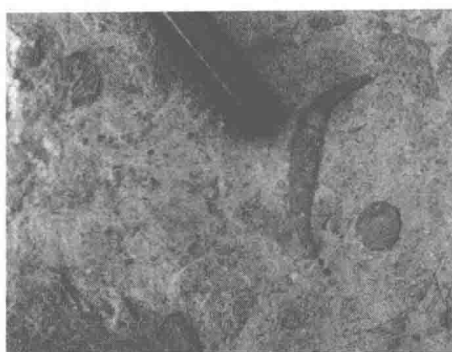
表 1-1 中国各地质时期生物礁的类型及其分布特征

时代	生物礁类型	造礁生物	分布地区	备注
新近纪	格架礁和点礁	钙藻、六射珊瑚、苔藓虫和海绵等	中国南海北部、华北东部地区	第三重要造礁时期
中侏罗世—早白垩世	点礁为主	海绵、层孔虫和六射珊瑚为主	西藏安多、羌塘盆地、措勤盆地	部分发育，晚白垩世—古近纪不发育
中—晚三叠世	点礁为主	红藻类、海绵及六射珊瑚	四川、贵州、广西、西藏羌塘盆地	
二叠纪	格架礁，规模大	海绵、苔藓虫、床板珊瑚和藻类等	浙江桐庐、赣西北、湘南、四川、贵州，广西和昆仑山等广大地区	第二重要造礁时期
石炭纪	生物礁丘少	苔藓虫、珊瑚和藻类	中国南方、华北东部、陕西秦岭地区	不发育
泥盆纪	格架礁，礁体规模大，达 900m	四射珊瑚、层孔虫	陕西、四川、湘西、滇、黔、桂等地区	第一重要造礁时期
早志留世	点礁和生物丘	藻类、层孔虫、床板珊瑚和苔藓虫	川西北广元—陕西宁强、川东南—黔北地区	
奥陶纪	格架礁和点礁	晚奥陶世为床板珊瑚、层孔虫和藻类；早、中奥陶世为海绵、瓶筐石和藻类	湖北松滋、湘西北、浙西—赣东、塔里木地区	
早寒武世	层状礁和点礁	古杯类和藻类	湖北宜昌、黔北，川西—陕南地区	
晚震旦世	叠层石	藻类	浙西、黔北地区	

(1) 造礁生物。生物堆积或生物作用的产物对生物礁的形成具有重要的作用。在相关的造礁生物中，主要有藻类、古杯动物、苔藓虫、海绵动物、腔肠动物、棘皮动物(海百合)和软体动物(厚壳蛤类)等(图 1-3)。



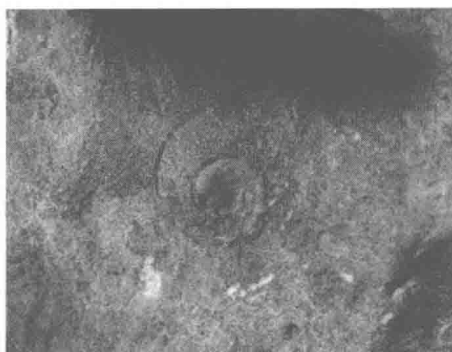
(a) 软体动物及其他生物碎屑



(b) 古生物礁化石及其他生物碎屑



(c) 古生物礁化石



(d) 软体动物类



(e) 古珊瑚类



(f) 造礁生物

图 1-3 重庆北碚长兴组露头剖面中的古生物礁化石

(2) 大地构造与生物礁。在漫长的地质历史中，构造运动的影响是广泛而深远的。大地构造单元的不同特征是控制礁发育演化的重要因素之一。根据 Scoffin (1978) 的研究，生物礁的生长发育往往出现在那些首先形成的地形稍高的地区，因为在这种地区浅水珊瑚生长较快而且沉积物的沉积速率较低。而 Kuznetsov

(1990)则认为大地构造是生物礁发育演化压倒一切的控制因素,不同的地质历史时期,生物礁的类型、规模、不同类型所处的构造背景以及古地理(地貌)控制都发生了明显的变化。

(3)海平面变化与生物礁。此外,海平面变化是控制生物礁生长演化的又一重要因素。在海平面不断变化及其与礁生长速度的不同配置作用影响下,生物礁的几何形态、内部结构、组分特征、群落演替、生态序列、生长速率、生长方式以及堆积型式等各不相同。如二叠世的茅口期和长兴期是我国两次较大的成礁期,而这两次成礁期就正好对应了我国南方出现的两次较大规模的海侵海退旋回中海侵进一步扩大的阶段。

1.1.2 四川盆地礁滩型储层

四川盆地的陆相及海相地层中发育多套有利的油气储层,如海相长兴组的礁滩储层,在钻遇这种类型储层的一些钻井经测试获得工业气流,实现相关区域的油气突破及商业化生产。现对四川盆地的这个重要油气储层段分主要的研究地区描述如下:

1)元坝地区长兴组

川东北元坝地区二叠系长兴组的区域地层厚度约为40~360m,位于礁滩相带的长兴组地层厚度多为200~300m,局部可达360m。长兴组与上覆飞仙关组为整合接触(图1-4、图1-5),飞仙关组底部为灰色泥灰岩或含泥灰岩,测井曲线以高伽马、低电阻率为特征;长兴组顶部礁滩相带为灰色白云岩、含云灰岩或生屑白云质灰岩,测井曲线以较低伽马和较高电阻率为特征。

根据不同沉积相带的岩性组合特征,元坝地区台地边缘礁滩主体相带长兴组可分为上、下两段,分别对应两套储层,岩电特征明显,可对比性好。在台地边缘浅滩相带(yb12、yb22井区)长兴组难以区分上下段,储层主要发育于长兴组中上部。现分别描述如下:

①长兴组台地边缘浅滩:yb12井、yb22井钻探揭示,地层厚度分别为216m和207m,礁后生屑滩处于开阔台地及台地边缘生物礁相带之间,早期滩形成于生物礁未形成障壁之前地貌高部位,后期为生物礁已形成障壁,生物礁被打碎在礁后堆积形成。yb12井为两期滩相的叠加,岩性以亮晶生屑白云质灰岩及亮晶生屑含白云质灰岩为主;yb22井早期滩不发育,岩性以生屑灰岩、生屑含云灰岩为主。电性特征上,自然伽马值为低值,曲线平直且变化平缓,FMI动态图像显示为块状特征。

②长兴组礁滩主体上段：地层厚度多为 110 ~ 180m，局部可达 230m 以上。长兴组上段沉积时元坝地区西南部以台地边缘礁滩相沉积为主，生物礁发育。岩性组合底部为深灰色含泥灰岩，中部为灰色生屑灰岩、礁灰岩和云质灰岩，顶部为浅灰色白云岩、溶孔白云岩、生屑白云岩、生屑灰岩。受生物礁影响，处于礁体中心的厚度要大于礁体边部。测井上除早期伽马值较高外，整个长兴组上段均为平直低伽马，电阻率曲线整体呈高阻状，在储层发育部位呈相对低阻。



图 1-4 北碚地区长兴组与飞仙关组呈整合接触关系(虚线为分界线)

③长兴组礁滩主体下段：地层厚度约为 90m。长兴组下段沉积时元坝地区以开阔台地相沉积为主，生屑滩主要发育于下段中上部，分布广泛，仅 yb27、yb204 井附近不发育；同时，yb11、yb9 井在下段底部钻遇一套优质生屑滩储层，推测该套储层可能在 yb11→yb9 井呈北西向条带状展布。岩性主要为灰色白云岩、含云生屑灰岩，地层厚度变化不大，反映古地形较为平缓。但受总体南西高北东低的地貌影响，仍具有由北东向南西逐渐加厚的趋势。测井上自然伽马由早期的锯齿状高伽马逐渐变化为储层段的箱状低伽马。