

普光、元坝碳酸盐岩台地边缘 大气田勘探理论与实践

郭旭升 郭彤楼 著



科学出版社

P618. 13
13

普光、元坝碳酸盐岩台地边缘 大气田勘探理论与实践

郭旭升 郭彤楼 著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以川东北地区普光、元坝海相大气田勘探成果和认识为基础,系统阐述了川东北地区二叠系—三叠系台地边缘礁滩相沉积、储层特征,深层、超深层优质储层形成机理,相带描述和储层识别及预测技术、方法,多旋回构造运动下油气成藏与富集规律,并详细介绍了普光、元坝大气田发现、探明历程和气田特征,总结了大气田勘探的启示。

本书材料翔实,论述深入,不仅是对普光、元坝大气田典型实例的解剖,同时也系统地提供了研究深层、超深层碳酸盐岩台地边缘礁滩相气田的思路和方法;可供从事石油地质综合研究及碳酸盐岩油气勘探的人员参考,也可作为高等院校地质与地球物理等相关专业的师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

普光、元坝碳酸盐岩台地边缘大气田勘探理论与实践/郭旭升,郭彤楼著.
—北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-033605-7

I. ①普… II. ①郭…②郭… III. ①碳酸盐岩—大油气田—油气勘探
IV. ①P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 027595 号

责任编辑:彭胜潮/责任校对:刘小梅

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

*

2012年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012年3月第一次印刷 印张:26 1/2

字数:612 000

定价:158.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

碳酸盐岩分布面积占全球沉积岩总面积的 20%，所蕴藏的油气储量占世界总储量的 52%，全球高达 90% 的油气储量发现于海相地层。我国海相碳酸盐岩层系分布广泛，面积达 455 万 km^2 ，油气资源丰富，勘探潜力巨大。

我国针对海相碳酸盐岩的油气勘探工作可以追溯到 20 世纪初，由于我国海相碳酸盐岩发育区经历了多期构造叠加、多期生烃和多期成藏和调整改造，与国外海相碳酸盐岩油气勘探主要针对中浅层和单旋回成藏存在明显的不同。“六五”以来的多轮国家科技攻关表明，沿用陆相或照搬国外比较成熟的、针对单旋回海相碳酸盐岩盆地的勘探理论与技术，无法有效地指导我国海相碳酸盐岩层系油气勘探。山地、深层与碳酸盐岩是当前国内外油气勘探的三大难点与前沿领域。中国石化位于四川盆地东北部的探区，同时兼有上述三个难点，工区山高林密、沟壑纵横，地表、地质条件复杂，主要目的层埋深 5500~7000m，面对的都是世界级难题。

四川盆地作为一个古生代、中生代的叠合盆地，是我国最早开发和利用天然气的地区，从震旦系到侏罗系都有油气发现。经过几代石油人 50 余年勘探和不懈追求，证实其具备形成大型气田的资源基础，截至 2000 年天然气探明储量近 7000 亿 m^3 ，成为我国重要的天然气基地。但始终未发现超过千亿立方米储量的大型整装气田。我们经过对所属区块及邻区的充分调研，认识到研究区要么主要构造带高点已被钻探并失利，要么处于构造低部位、埋深大，成藏条件复杂。我们在进行系统的基础研究的同时，还开展了对世界上已发现的碳酸盐岩油气田调研，全球碳酸盐岩油气田 70% 以上埋深小于 3000 m，主要储层类型生物礁和颗粒滩占了半数。基于此，研究区晚二叠一早三叠世是否发育台地边缘相带，埋深大于 5000 m，甚至到 7000m 的超深层还有没有优质储层发育，复杂多期构造演化历史中油气藏的改造、调整和再富集机理等就成为了制约勘探的关键问题。为此，通过野外地质、钻井、地震多学科研究与攻关，重新对晚二叠一早三叠世的地层进行划分，结合高分辨率地震攻关成果，确定了台地边缘相带的展布，提出了“以长兴组—飞仙关组礁、滩孔隙型白云岩储层为主的构造-岩性复合型圈闭为勘探对象”的勘探思路。2001 年部署了普光 1、毛坝 1、大湾 1、清溪 1、河坝 1 五口井位，2002 年以来上述五口井陆续获得高产工业气流。

2003 年 7 月 30 日位于四川盆地东北部地区宣汉-达县区块的普光 1 井飞仙关组试获高产工业气流，宣告了普光气田的发现，截至 2007 年底已累计探明天然气地质储量 4121 亿 m^3 。普光气田成为四川盆地首个超千亿立方米的大气田，也是我国目前最大的海相碳酸盐岩整装气田。2007 年 7 月元坝 1 井长兴组试获高产工业气流，标志着元坝气田的发现，2011 年 9 月提交一期探明储量 1592 亿 m^3 ，成为我国目前埋藏最深的大气田。罗家寨、龙岗、兴隆场、铁山坡等气田的勘探也都取得重大突破和进展，这些气田都沿着二叠纪长兴期—三叠纪

飞仙关期碳酸盐岩台地边缘分布，具有埋深大、富集高产的特点，展示了良好的勘探潜力。以普光气田为资源基础的国家重点工程——“川气东送”工程已建成投产，“海相深层碳酸盐岩天然气成藏机理、勘探技术与普光大气田的发现”被两院院士评为“2006 年国家十大科技进展”之一。

气田勘探过程中形成的理论、技术引起了国内外的广泛关注。近十年在以川东北地区为重点的四川盆地油气勘探实践中，国家、中国石油化工集团公司和勘探南方分公司设立了一系列科技攻关项目，在取得上述勘探成果的同时，逐步揭示了海相深层碳酸盐岩优质储层发育机理和多期叠加改造条件下油气成藏与富集规律，形成了针对复杂山地深层碳酸盐岩储层的地质评价及地球物理综合预测技术，建立了海相深层碳酸盐岩层系油气分布的分级评价方法体系。许多同行希望我们能够把勘探实践中形成的理论、技术与思路进行系统提炼、总结，以便能更好地指导本区勘探，也为类似地区的勘探提供借鉴。

本书共分六章，第一章主要介绍台地边缘体系的特征与世界上油气勘探的概况，第二章通过露头、钻井和地震资料的研究主要展示了川东北及邻区层序地层特征，第三章、第四章重点分析台地边缘储集层发育特征和横向预测技术开展情况，第五章重点分析了大气田成藏主控因素，第六章重点向读者介绍了普光、元坝气田的勘探历程和气田特征，最后总结了普光、元坝气田的勘探启示。

本书的具体分工是：第一章由郭旭升、郭彤楼、付孝悦执笔；第二章由郭旭升、郭彤楼、凡睿执笔；第三章由郭彤楼、郭旭升、李宇平执笔；第四章由郑天发、蒲勇、尹正武、袁卫国执笔；第五章由郭旭升、郭彤楼、黄仁春执笔；第六章由郭彤楼、胡东风、高林执笔。全书由郭旭升、郭彤楼统稿。

油气勘探是一项庞大的系统工程，每一个成果的取得都是集体智慧的结晶。因此，无论是川东北勘探取得的成果还是本书的写作，都离不开中国石化总部以及参与南方勘探与研究攻关的各油田、科研院所、高校诸多专家、学者和广大科研人员的大力支持！勘探南方分公司研究院绘图组负责完成了本书大多数图件的清绘工作。在此笔者表示衷心的感谢！

限于作者水平，在编写过程中难免有不足之处，恳请广大读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 概 论	1
第一节 台地及台地边缘体系	1
一、台地、台地边缘的定义及其特征	1
二、台地边缘与油气富集	8
第二节 川东北地区区域地质背景	16
一、构造变形特征	16
二、沉积充填演化	20
三、主要构造运动及其对油气控制作用	22
四、晚二叠世地幔柱事件及台地边缘相带形成	25
第二章 川东北地区长兴组—飞仙关组层序地层	27
第一节 长兴组—飞仙关组地层划分与对比	28
一、地层划分标志	28
二、长兴组—飞仙关组地层特征	31
第二节 层序地层格架	47
一、层序及体系域界面识别	47
二、层序划分标志	55
三、长兴组—飞仙关组典型剖面Ⅲ级层序划分	56
四、长兴组—飞仙关组层序地层格架	62
第三节 沉积相特征	71
一、沉积相标志	71
二、沉积相划分	86
三、典型沉积相剖面	93
四、长兴组—飞仙关组沉积相展布	104
五、长兴组—飞仙关组沉积模式	114
第三章 台地边缘海相储集层	119
第一节 储层岩石学特征	119
一、储层岩石类型	119
二、储层岩石组合类型	121
第二节 储集空间特征	126

一、储层储集空间类型及特征	126
二、储层储集空间组合类型	129
三、储层孔喉结构特征	129
第三节 储层物性特征	133
一、长兴组储层物性特征	133
二、飞仙关组储层物性特征	136
第四节 储层成岩作用与孔隙演化	138
一、成岩作用类型及特征	138
二、主要成岩作用的环境标志	141
三、储层成岩作用的分布	164
四、孔隙演化	166
第五节 长兴组—飞仙关组优质储层发育机理及分布规律	175
一、台地边缘相带控制优质储层发育的位置	176
二、储层孔隙主要形成于大气淡水或混合水溶蚀改造并受古地形控制	176
三、白云岩化作用与储层发育	179
四、多期裂缝的发育促进了储层的发育	179
五、晚期封闭性成岩环境和烃类充注决定了鲕滩白云岩孔隙的保存	179
第四章 储层横向预测	181
第一节 储层预测概述	181
一、两类重要的碳酸盐岩储层及其预测方法	181
二、储层预测方法适用性分析	182
第二节 深层碳酸盐岩礁滩储层预测关键技术	183
一、岩石物理测试与分析技术	183
二、礁滩储层地震数值模拟技术	192
三、礁滩储层的地震多属性识别技术	199
四、基于波形分类的地震相分析技术	215
五、礁滩储层的测井综合评价技术	221
第三节 台地边缘礁滩储层横向预测	246
一、生物礁滩储层的横向预测方法	246
二、台内鲕粒滩型储层地震预测方法	272
三、碳酸盐岩礁滩储层地震油气检测方法	274
第五章 台地边缘礁滩气田成藏机理	280
第一节 天然气成因与来源	280
一、天然气化学组成特征	280
二、天然气来源分析	289
三、烃源岩生烃潜力及演化	305
第二节 油气藏形成与改造过程	309

一、普光气田的压力演化过程	309
二、油气充注历史	316
三、输导体系及演化	321
四、古油藏形成以来的物理化学改造	323
第三节 大气田形成控制因素与成藏模式	332
一、充足烃源是大中型气田形成的基础	332
二、良好的构造-保存条件是大中型气田形成的必要条件	333
三、优质储层是控制大中型气田形成与高产富集的关键因素	334
四、气藏具有多元供烃、多期充注、晚期调整成藏特征	334
五、油气成藏富集模式	335
第六章 川东北地区台地边缘油气勘探实践	338
第一节 普光气田的发现与探明	338
一、概况	338
二、前期勘探历程	339
三、勘探思路的转变	340
四、普光大气田的发现与勘探历程	351
五、气田地质特征	355
第二节 元坝气田的发现与勘探	370
一、勘探历程	370
二、元坝气田地质特征	380
第三节 普光、元坝气田勘探的几点启示	393
一、转变思路是勘探突破的基础和前提	393
二、核心问题的创新是勘探突破的关键	394
三、技术进步是勘探突破和高效勘探的保障	396
参考文献	398
附录 主要科研成果报告	412

第一章 概 论

第一节 台地及台地边缘体系

回顾碳酸盐岩的研究历史,自20世纪50年代发现碳酸盐岩中赋存着丰富油气资源以来,对其研究和认识不断深化。在肖(Shaw, 1964)提出“陆表海和陆缘海沉积”概念后,大量研究者对现代和古代碳酸盐岩的沉积环境、相模式进行了全面而深入的研究。纵观这些研究成果,浅海(包括陆表海和陆缘海)是最为重要的、也是研究最为深入的碳酸盐岩沉积环境,这与大部分碳酸盐岩油气藏发育在浅海的碳酸盐岩台地边缘相带有关。

一、台地、台地边缘的定义及其特征

1. 碳酸盐岩台地及台地边缘的定义

“碳酸盐岩台地”最初源于对巴哈马台地现代碳酸盐岩沉积的研究,指地形平坦的浅水碳酸盐岩沉积环境;后来泛指所有浅水碳酸盐岩沉积环境(Read, 1985),而不论其地形是否平坦。其又可分为潮坪、生物滩、局限台地、开阔台地、台地边缘等多种环境。台地边缘是指台地邻近斜坡的部分,是碳酸盐岩台地的一个重要组成部分,这里的阳光、水温、盐度、水深、浊度、营养成分比较适合造礁生物的生长,往往发育大量生物礁;由于是从斜坡向台地水深由深变浅的过渡带,往往也是地形坡度变化较大、水体能量较高的沉积环境,有利于浅滩的形成。台地边缘主要发育反映高能沉积环境的砂屑石灰岩,鲕粒灰岩和礁石灰岩,颗粒的分选和磨圆度好,向台地方向与台地内其他沉积相呈过渡关系。台缘浅滩或台缘礁多沿台地边缘呈条(环)带状或链状断续分布,露头、钻井及物探资料显示,川东北长兴期台地边缘相带发育的礁滩体宽约10km,长约350km。

2. 不同类型的碳酸盐岩台地及其边缘特征

自从Irwin(1965)提出了“X-Y-Z”三相带模式后,Laporate(1967, 1969)、Wilson(1969, 1975)、Ginsburg和James(1974)、Kendall(1981)、Schlager(1981, 1992, 2000)、Ahr(1973)、Read(1982, 1985, 1995)、Tucker(1985)、Tucker和Wright(1990)、Whitaker(1988)、Carozzi(1989)、James和Kendall(1992)、Handford和Loucks(1993)、Sanantonio(1993)、Lukasik(2000)、Burgess(2001)、Gischler等(2002)以及我国沉积学家刘宝珺(1980)、曾允孚(1983, 1986)等,根据不同的研究实例,提出和细化了多种碳酸盐岩沉积模式,大致可归纳为镶边台地、陆表海台地、缓坡型台地、孤立台地和淹没台地五种类型(图1-1)。显而易见,在众多的碳酸盐岩沉积模式中,台地边缘相带的发育与否及其发育的

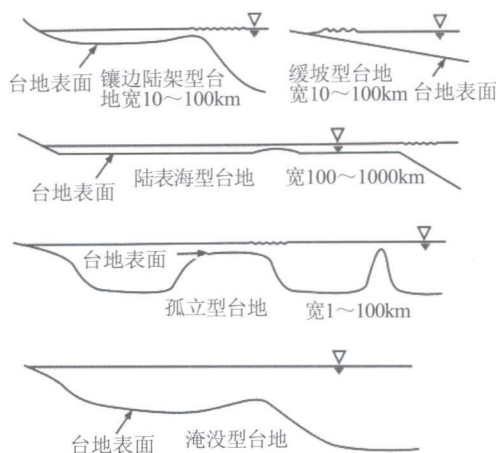


图 1-1 碳酸盐岩台地主要成因类型略图(据 Tucher and Wright, 1990)

地理位置是区分各种模式的关键因素之一。

(1) 镶边台地及其边缘

它的显著特点是向陆一侧为开阔台地沉积,向海一侧发育连续-半连续的碳酸盐岩礁滩,而且礁滩通常在陆架和陆坡之间的转折带上形成台地的镶边。由于镶边型台地的台地边缘相带规模大,在油气勘探中占有重要地位,因此关于此类碳酸盐岩沉积的研究最为详尽,提出了多种模式,包括 Wilson 模式、Tucker 模式、Read 模式和关士聪模式等。其中, Wilson 综合古代和现代碳酸盐岩的沉积特点建立的碳酸盐岩沉积模式,即著名的 Wilson 碳酸盐岩 9 相带标准模式(图 1-2F),被认为是最为经典的碳酸盐岩台地沉积模式。该模式将一个由盆地至海岸的理想剖面划分为 9 个标准相带: 1A. 浊积岩和窄地槽深水相; 1B. 盆地相(克拉通内部深盆及克拉通边缘冒地槽盆地); 2. 广海陆棚相; 3. 盆地边缘或深陆棚边缘相; 4. 碳酸盐岩台地前缘斜坡相; 5. 台地边缘生物礁相; 6. 台地边缘浅滩相; 7. 开阔台地相; 8. 局限台地相; 9. 台地蒸发岩相。同时 Wilson 还提出了组成上述 9 个相带的 24 个标准微相。镶边台地进一步可以分为 3 种类型: 沉积型或增生型边缘镶边陆架台地、超越型边缘镶边陆架台地和侵蚀型边缘陆架台地(Read, 1985)。

镶边台地的现代典型实例是澳大利亚昆士兰大堡礁(图 1-2 A—E)。近岸为陆源碎屑砂泥带,中部带是陆源和碳酸盐岩砂质泥的混合带,然后是纯碳酸盐岩砂、泥以及外陆架的礁群。中部和内陆架的碳酸盐岩颗粒由软体动物、苔藓动物和底栖有孔虫组成。礁占优势的外陆架碳酸盐岩颗粒则由珊瑚、珊瑚线藻、仙掌藻和底栖有孔虫组成。在台地边缘礁的前礁浅水带有发育良好的沟、槽结构,沟槽内覆盖着枝状的鹿角珊瑚、珊瑚藻和千孔螅。生物礁有明显的分带特征(图 1-3)。

(2) 孤立台地及其边缘

它是一种特殊类型的碳酸盐岩台地,远离海岸,成环形(或不完整环形),中间有封闭或半封闭的潟湖。环礁在分布形态上与堡礁相似,但它不是围着陆地或在接近陆地的海洋里生长,一般是大洋中形成的一个珊瑚岛礁群体系。孤立台地的四周都被深水(水深几百米~

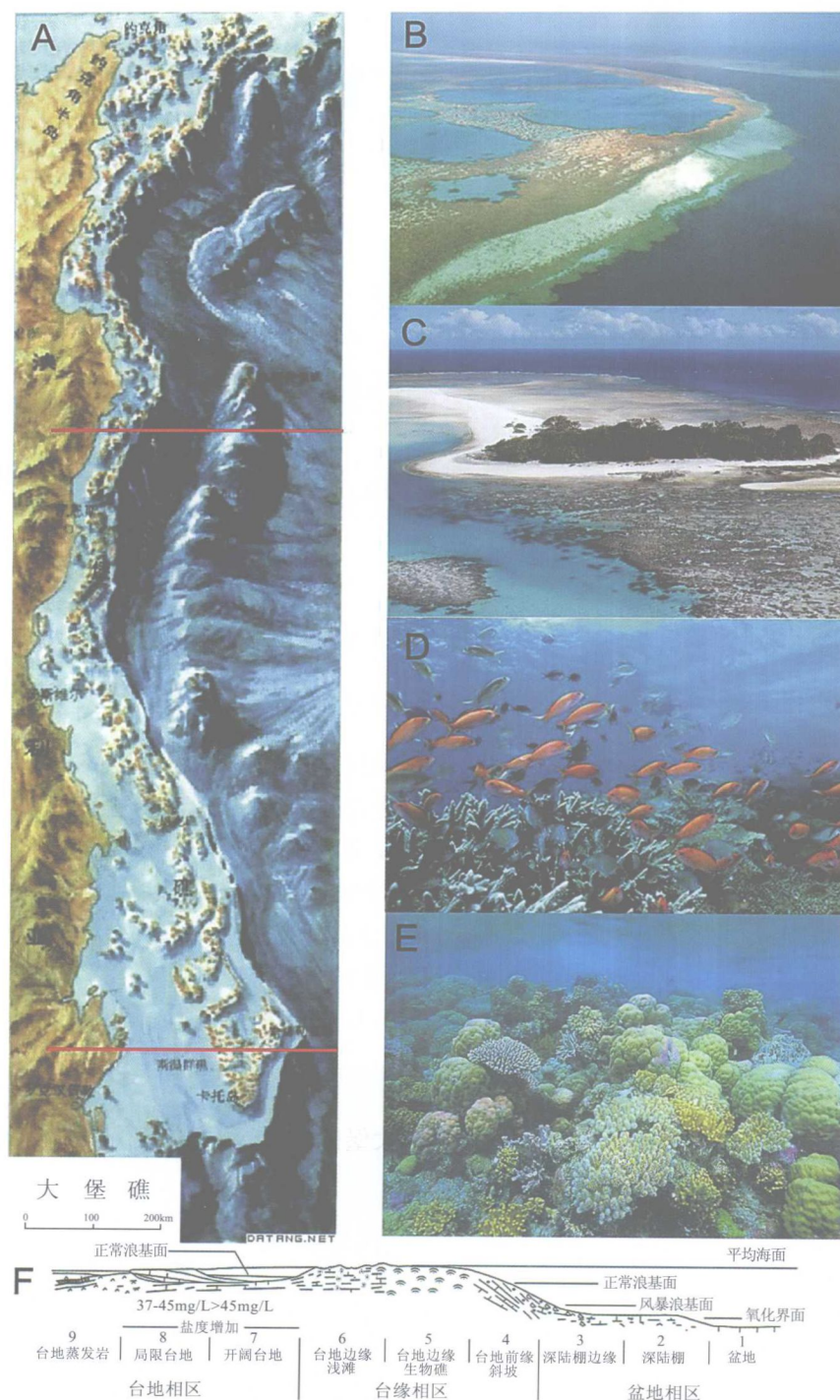


图 1-2 澳大利亚昆士兰大堡礁

A. 大堡礁地形地貌, 近平行于海岸的礁滩带形成陆棚镶边; B. 大堡礁鸟瞰图; C. 台地边缘礁及红树林; D. 生物礁的海底生态; E. 礁冠上的珊瑚; F. 威尔逊碳酸盐岩模式。图 A 中红线方向的横切剖面与威尔逊碳酸盐岩模式具有较好的吻合度

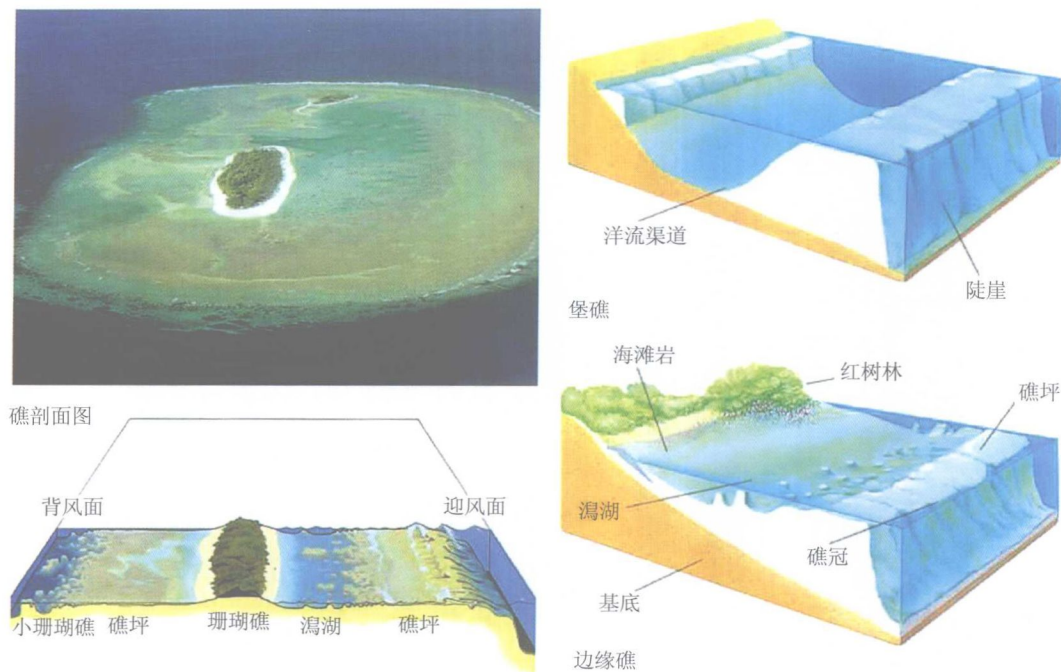


图 1-3 大堡礁的台缘礁体分带示意(据 McCoy, 1999)

4 000 多米) 所包围, 而台地上水体相对浅, 构造相对稳定, 碳酸盐岩自旋回作用明显, 岩性较单一, 受区域构造和全球海平面变化及碳酸盐岩产率的明显控制(图 1-4)。从台地边缘到盆地, 其相带划分为: I. 台缘礁和浅滩砂、砾屑; II. 可达 200 m 或更高的陡崖; III. 环台地边缘的塌积物, 边缘以礁为主, 则塌积物中含大量的礁块。边缘以滩为主, 则含大量的再沉积的滩砂, 并和已胶结的砂屑共生在一起; IV. 水道化的斜坡灰泥具有串珠状的由砂和砾石充填的沟槽, 若无水道化的斜坡, 那么变细的环台地边缘的塌积物将取代该相带; V. 下斜坡为近源粒序浊积岩、角砾灰岩、灰泥灰岩, 向外变细; VI. 盆地远源浊积岩和灰泥灰岩或页岩。

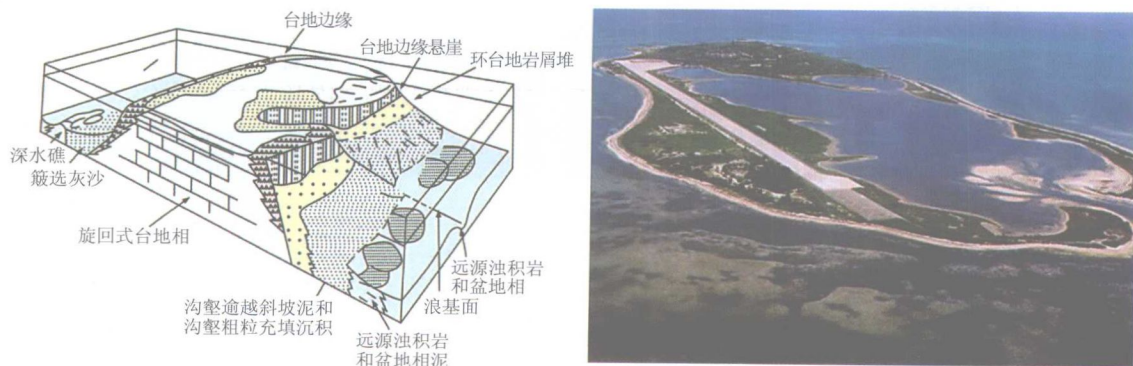


图 1-4 孤立碳酸盐岩台地模式(据 Read, 1985) 及阿尔达布拉环礁

阿尔达布拉环礁为一孤立碳酸盐岩台地, 四周为环状成长的礁滩复合体组成的孤立碳酸盐岩台地边缘, 礁体中心为潟湖, 地貌上为一个孤立的碳酸盐岩建隆

如我国的扬子西南边缘在泥盆纪后受古特提斯海域影响,形成了由西南向东北方向阶梯式推进的海侵型碳酸盐岩台地。台地的演化由与陆地相连的碳酸盐岩缓坡快速转变为破碎陆架上的孤立碳酸盐岩台地(图 1-5)。

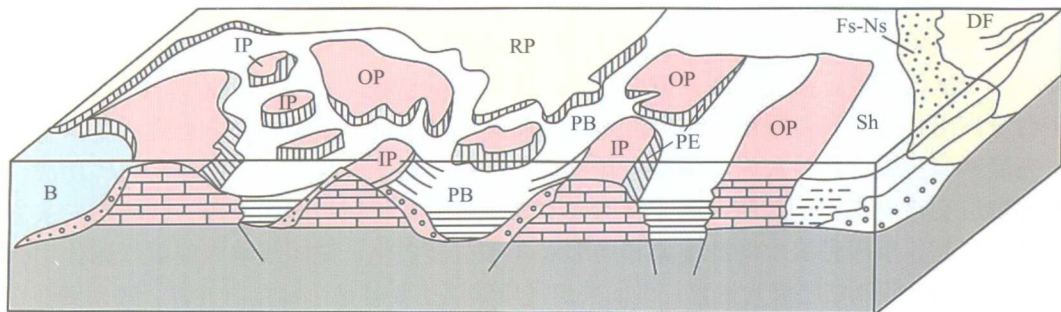


图 1-5 南方地区泥盆纪—石炭纪台—盆相间沉积模式(据刘宝珺等, 1993)

图中: B. 盆地; IP. 孤立台地; OP. 开阔台地; RP. 局限台地; PE. 边缘浅滩; PB. 台间盆地;

Fs—Ns. 前—近滨; Sh. 陆架; DF. 三角洲扇

(3) 陆表海型台地

通常发育于板内克拉通盆地之上,其分布范围极广,地形平坦、水浅,一般不超过 10m。潮坪环境沉积、潮流沉积及风暴沉积组成了陆表海沉积的主体,以潮下浅水低能相及向上变浅的相序组合为主。该类台地边缘礁滩相带往往受控于克拉通边缘或内部的古隆起。

(4) 缓坡型台地

以其相对平缓的坡降(一般小于 1°)和较低的水动力条件为特征,其沉积物表现为近海岸的高能浅滩颗粒灰岩向海方向逐渐变成较深水的细粒碳酸盐岩沉积物并最终变为盆地泥质岩类(赵文智, 2002)。根据滨岸到盆地的几何形态可进一步划分为 3 种类型:单斜型缓坡台地、远端变陡型缓坡台地和具滨外浅滩型缓坡台地(Read, 1982, 1985; Chen and Webster, 1994)。

(5) 淹没台地

它是早期台地由于沉降作用或海平面上升超过其本身的加积作用被淹没所致。引起碳酸盐岩台地被淹没的主要因素包括快速的海平面上升和碳酸盐岩产率的大幅减少(Tucker and Wright, 1990)。碳酸盐岩台地被淹没后,其沉积作用的特点与早期台地相比发生了很大变化,主要表现在沉积水体明显加深,浅水沉积相类型被深水碳酸盐岩沉积和远洋一半远洋的沉积所取代,主要为结核状至薄层状细粒灰岩和薄页岩夹层沉积。

上述碳酸盐岩台地类型是几种典型的端元类型,在一定地质条件下,随着碳酸盐岩台地发育主控因素的变化,它们之间可以进行互相转换和演化(Read, 1985)。如随着台地边缘斜坡逐渐变陡,单斜缓坡型可向远端变陡型缓坡或镶边陆架型台地转化;镶边陆架型台地通过断裂下陷可向侵蚀型、悬崖超越型、增生型、缓坡型台地转化。

3. 台地边缘相带划分及特征

碳酸盐岩台地中,台地边缘相带水动力能量最高,环境变化的敏感性最强,沉积物类型

最为丰富。按照不同的沉积物类型,以威尔逊碳酸盐岩模式的相带划分为标准,可分为台缘滩、台缘礁、礁(滩)间和台地前缘斜坡等类型。

(1) 台缘滩

台缘滩是碳酸盐岩台地中最为重要的沉积类型之一,水深从5~10m到高出水面,海水循环良好,氧气充足,盐度正常,但由于底质处于活动状态,故不适宜海洋生物栖息繁殖。由于台缘高出台地背景,受海流作用强烈,因而其环境水动力能量较高,岩性主要由生屑灰岩、亮晶砂屑灰岩、鲕粒灰岩、枝状层孔虫灰岩、白云岩、藻团粒、藻纹层灰岩等构成,具低角度楔形交错层理和逆粒序,底冲刷构造发育,显示有较强的簸选作用。浅滩颗粒灰岩结构成熟度较高,层序见淡水淋滤现象和局部混合水白云岩化,说明浅滩有间歇暴露作用。

川东北地区鲕滩储层极为发育,飞仙关组优质储层主要就是由鲕粒白云岩、残余鲕粒白云岩组成;此外还发育有鲕粒灰岩。飞仙关组鲕粒岩主要分布于台地边缘浅滩和台地内浅滩相带,鲕粒大小一般为0.3~2mm,部分可达3~4mm;含量一般50%~75%。鲕粒具有特征的沉积结构和孔隙演化特征,是碳酸盐岩台地沉积、成岩环境研究的重要对象(Erik Flügel, 2004)。

①古环境的代表物。微结构、鲕粒的大小分布和鲕粒灰岩的沉积构造(如交错层理、沙纹层理、细纹层状)反映了控制水能量、盐度和水深的环境条件。

水能量标准和搬运过程:高能量和低能量环境的差异控制了鲕粒的生长和有影响的微结构,并控制了原地鲕粒和异地鲕粒的数量。原地鲕粒所具有的特征是:很少或缺少磨损,很少有单一和破碎的鲕粒组合,鲕粒以相同最大尺寸生长。从放射状到切向同心状微结构的变化与跨越颗粒粒度门限相结合,能推测出古流向(Heller et al., 1977)。异地鲕粒具有的特征是:各种大小鲕粒的混合和纹层的磨损。这些鲕粒与原地沉积形成的鲕粒区别在于:微结构、大小、壳层的厚度以及伴生的颗粒(Chow and James, 1987)。

盐度:淡水鲕粒通常不同于海水鲕,原因在于它有极度不规则的表面和形状,以及常见的切向或微亮晶的纹层。形成于超盐度环境的鲕粒,与其他鲕粒类型比较起来似乎具有放射鲕的优势。

水深:一些学者使用鲕粒的数量作为测量水深的方法(Fabricius, 1967)。巴哈马群岛的鲕粒集中生长在很浅的水体中。在移动的鲕粒边缘和砂坪(深度<1m)上,它们的丰度范围在75%~95%之间(HalTiS, 1979)。

②海平面的波动。海平面的波动影响循环模式和水下地貌,地貌又控制了鲕粒生长的局部条件。这可能表现为明显的组分变化,即从骨骼的到鲕粒的颗粒灰岩或从鲕粒的到骨骼的颗粒灰岩的变化。海平面的下降可能导致暴露和快速的胶结作用,以及鲕粒工厂的消亡(Bosellini et al., 1981)。

③区域对比。能被长距离侧向追踪的鲕粒岩层,是很好的地层标志。例子是泥盆纪铁质岩层,在开阔陆架被风暴搬运了几十千米,该岩层由铁质鲕和生物碎屑组成(Dreesen, 1989)。

④沉积背景。海洋鲕粒沉积于斜坡的临滨环境、内台地、接近台地的外边缘和作为外来的沉积物沉积在大陆斜坡、盆地的近端或远端部分。可以从鲕粒类型、丰度、结构、原地和异地鲕粒的数目来判断特定的环境。

⑤古气候和古海洋学。鲕粒经常被作为温水或热带环境的代表(Opdyke and Wilkinson, 1990; Kiessling et al., 2002)。主要的假设是碳酸盐岩鲕粒喜欢具高盐度的温水(Lees,

1975), 鲕粒岩的沉积似乎是古气候的良好指示。在整个显生宙, 它们通常聚集在热带和较低的亚热带, 但没有处在赤道或很接近赤道的地方。古鲕粒成因的不同, 要归因于气候的影响。早期少量大气水胶结物被解释为干旱气候的结果, 然而大量的大气水胶结物则应该反映一个更为潮湿的气候(Hird et al., 1988)。

(2) 台缘生物礁

台缘生物礁是台地边缘相带中又一高能环境。由于台地边缘面向斜坡及海盆, 波浪和上升流作用频繁, 海水中携带的营养丰富, 因此碳酸盐岩的产率高, 适合于造礁生物的大量生长, 是生物礁体发育的有利场所。按造礁生物的组成可分为层孔虫礁、珊瑚-层孔虫礁、蓝绿藻-层孔虫礁、肾形藻丘及海绵藻礁, 主要以板状、块状、球状层孔虫礁、珊瑚和珊瑚-层孔虫礁为主。礁岩类型包括骨架、障积、黏结、捆结、骨架-黏结、隆积黏结 6 种类型。根据岩石特征、生物群组成等特征, 可进一步划分为台缘生物礁、礁后坪、礁后滩、礁后潟湖、礁前、边缘浅滩等亚相。岩性主要由生物屑灰岩、亮晶砂屑灰岩、鲕粒灰岩、枝状层孔虫灰岩、白云岩、藻团粒、藻纹层灰岩等构成。我国海相地层中的碳酸盐岩台地边缘生物礁广泛分布于不同地区的不同层位, 并且各地生物礁的特征、规模及分布有别, 如华南地区泥盆系生物礁(图 1-6、图 1-7)。

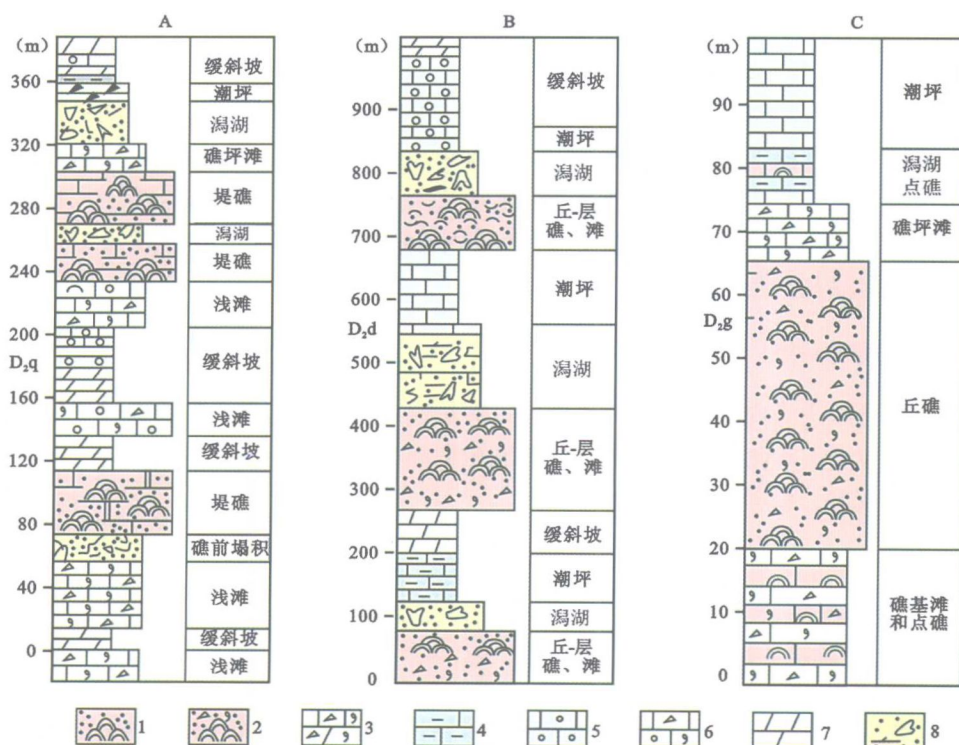


图 1-6 向上变浅序列的台缘礁几种剖面结构(据陈洪德等, 2002)

- A. 盘溪堤礁; B. 古木丘礁-层状礁; C. 甘溪丘礁; 1. 礁灰岩; 2. 礁滩相灰岩; 3. 生物屑白云岩;
4. 泥灰岩; 5. 砾屑灰岩; 6. 生物碎屑灰岩; 7. 白云岩; 8. 含生物碎屑砂泥岩

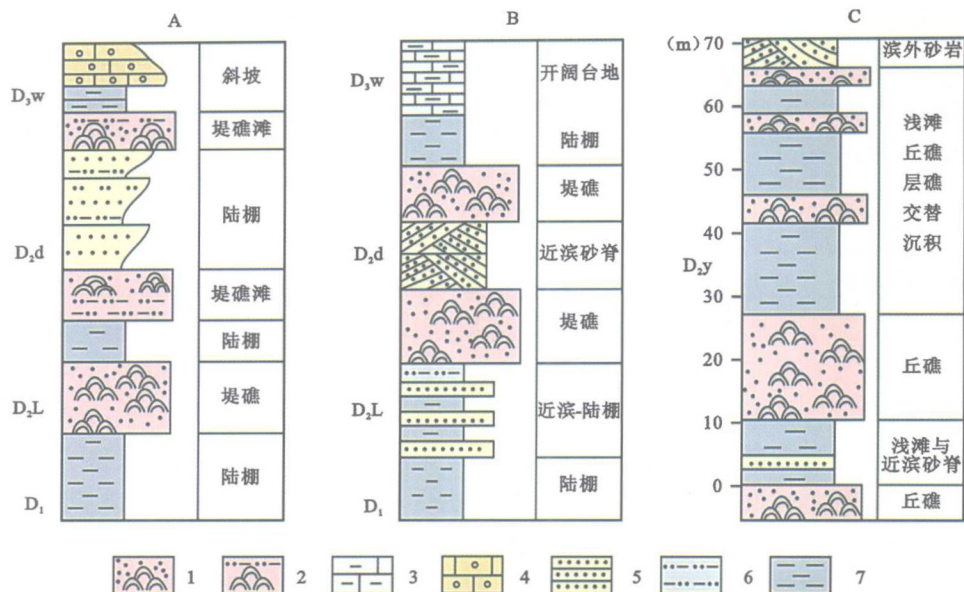


图 1-7 混合序列礁的几种剖面结构(据陈洪德等, 2002)

A. 向上变深的堤礁序列(王佑, D_1l-D_2d); B. 向上变浅的堤礁序列(布寨, D_2d); C. 向上变浅的丘礁序列(甘溪, D_2y)
1. 礁灰岩; 2. 礁滩相灰岩; 3. 生物屑灰岩; 4. 瘤状灰岩; 5. 砂岩; 6. 粉砂质泥岩; 7. 泥岩

(3) 滩(礁)间

滩(礁)间是指位于滩(礁)间地形相对低洼、水体相对较深的环境。它位于正常浪基面之下, 水体较滩、礁深, 但一般不超过 50m, 海底能量通常较低。沉积物以层薄、粒细、色暗和泥质含量相对较高为特征。生物以介形虫、蓝绿藻、腕足、海绵骨针为主, 其次可见有棘皮、苔藓虫等生物, 生物扰动构造发育, 可见冲刷面和薄粒序层。岩石类型主要为泥晶灰岩、含生屑的泥晶灰岩及泥灰岩等。

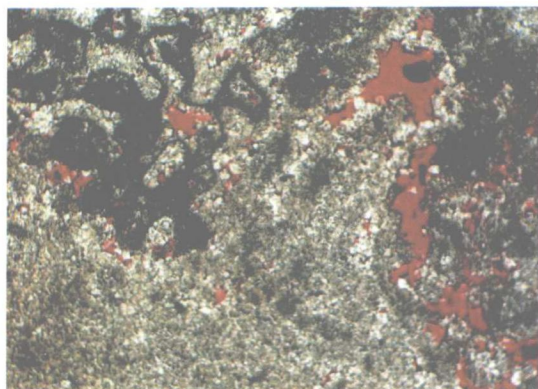
(4) 台地前缘斜坡

该相位于台地边缘向海一侧。沉积作用以颗粒流、碎屑流为主。浅水碳酸盐岩碎屑是台地前缘斜坡的主要沉积物, 塌积碎块、滑塌堆积物等是该相沉积物的主要特征, 同时还有原地沉积的泥晶灰岩、粉砂岩、泥岩等。

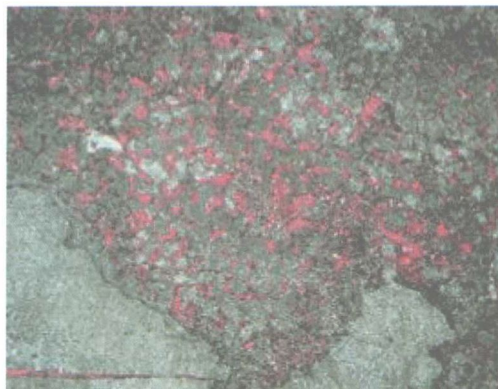
二、台地边缘与油气富集

1. 台地边缘相带为优质储层发育区

台地边缘为一“高能”沉积环境, 其礁、滩相带沉积的颗粒灰岩和生物格架灰岩有利于原生粒间孔和原生粒内孔的保存, 并有利于成岩流体进入。因此颗粒灰岩和生物格架灰岩易受溶蚀或白云岩化等建设性成岩作用的改造, 形成次生孔洞(如溶孔、白云石晶间孔), 进一步改善它们的储渗性能, 成为良好的油气储层(图 1-8)。如我国四川盆地的普光气田、元坝气田均属台地边缘礁滩储层油气田。



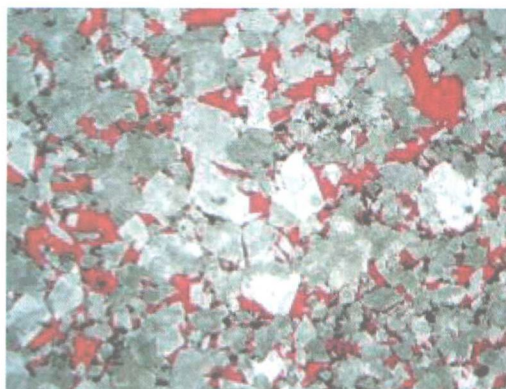
(a) 海绵礁白云岩, 发育晶间孔和海绵体腔内溶蚀孔,
长兴组, 宣汉盘龙洞, 2.5×4



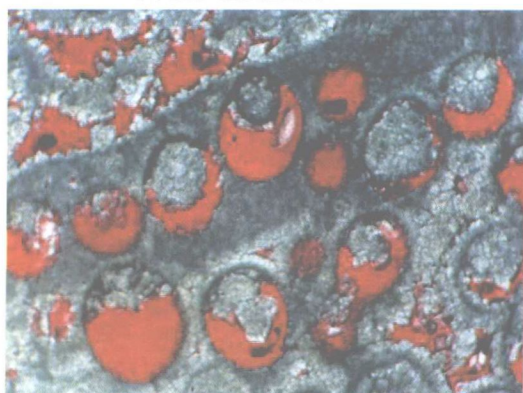
(b) 礁白云岩, 发育生物体腔孔
长兴组, G6 井, 2.5×4



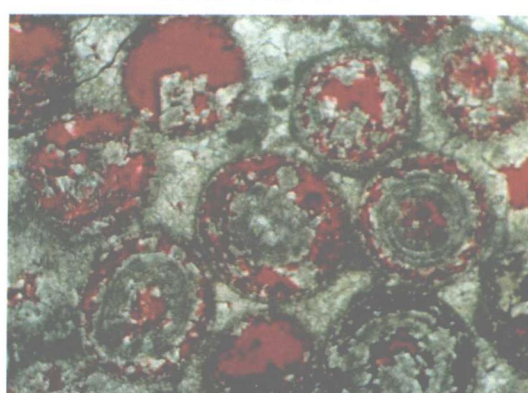
(c) 鲕粒白云岩, 发育粒间溶孔
长兴组, 宣汉盘龙洞, 2.5×4



(d) 浅滩结晶白云岩, 发育晶间孔和晶间溶孔
长兴组, G6 井, 2.5×4



(e) 亮晶鲕粒灰岩的次生溶孔
飞仙关组, G2 井, 2.5×4



(f) 亮晶鲕粒灰岩的次生溶孔
飞仙关组, G2 井, 2.5×4

图 1-8 礁、滩相带的颗粒灰岩和生物格架灰岩

溶蚀作用和白云岩化作用形成的粒间、粒内及晶间溶孔是油气的主要储集空间

台地边缘由于处于浅水区, 是具有高生产率的碳酸盐岩工厂(包括无机和有机碳酸盐岩沉积物), 同时由于这个地区对海平面升降变化敏感, 礁滩相带随同海平面变化而迁移, 形成大规模的进积与加积序列(图 1-9)。另外, 台地边缘在地形上常常高于其相邻环境, 由于