

世界大油气田碳酸 盐岩油藏研究实例

[美]P.O. 罗海尔 P.W. 乔奎特 编

王正鉴 江若霓 等译

李希宗 等校



石油工业出版社

074433



世界大油气田碳酸盐岩油藏 研究实例

(美) P.O.罗海爾 P.W.乔奎特 编

王正鏊 江若霓 等译 李希宗 等校

5/103/13



200315177



石油工业出版社

(京)新登字 082 号

内 容 提 要

本书介绍了世界各地三十五个著名碳酸盐岩油气藏。通过沉积相、成岩作用、孔隙发育以及开采历史等方面的研究,来描述储集层的发育情况及成岩历史。书中附有大量的照片,使本书更具可读性。本书对从事碳酸盐岩油藏地质研究的人员来说是一本不可多得的宝贵资料,对我国碳酸盐岩油藏的研究有重大的借鉴作用。

Carbonate Petroleum Reservoirs

Perry O.Roehl Philip W.Choquette

Springer-Verlag New York Inc.1985

世界大油气田碳酸盐岩油藏研究实例

(美) P.O.罗海爾 P.W.乔奎特 编

王正鋈 江若霓 等译 李希宗 等校

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 33¹/₂印张 844千字 印1—1,500

1993年9月北京第1版 1993年9月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0842-4/TE·787

定价: 23.60元

前 言

P.O.Roechl

王正荃 译

P.W.Choquette

近些年来,通过碳酸盐岩储集层现代研究人员所获得的成果,发表了大量新文献,书中的内容和崭新的观点在综合分析方面作了大胆的尝试。在这本书中,我们仅选择了35个具有代表性的、著作中有很好记载的碳酸盐岩储集层实例。总起来说,这些实例表明了碳酸盐岩储集层圈闭中许多产油田的形成变化和发育程度的细微变化。实例研究还说明,需要对碳酸盐沉积环境及其沉积相、成岩作用及其对这些相的岩石学改造,以及所有这些相关因素所产生的储集性质的现代概念进行综合运用。最后,实例研究表明了区域构造——沉积框架的战略重要性,这种重要性既表现为建立起控制碳酸盐原始堆积的沉积条件,也表现为建立起最终确定一个灰岩体或白云岩体实际上能否成为石油储集层的气候、埋藏—成岩作用和构造影响的复合因素。

在碳酸盐岩油藏的开发和有效开采中,对于管理和工程要求来说,实际上可以看出所有这些实例的复杂性——侧向、垂向几何形态和连续性以及所有可测量的岩石物理性质——这迫切需要重新引起注意。这就需要涉及有效开采油气的工程师与涉及现代沉积研究的地质师之间密切结合,熟练确定和表征适合这些流体的储集层。

在所有这些实例研究中,重点强调碳酸盐沉积学中的现代概念和方法,将其应用于储层的地质研究上。然而,我们试图使这些研究对于其它学科的读者简明易懂。每个油藏实例均在实例研究前面的表中某种程度上概括出地质背景特征,储集层和圈闭性质,油气资源、孔隙度、渗透率及其他储层性质和参数,产量和储量综合数据以及其他资料。在实例研究中使用了地质分类和许多较深奥的术语,这对大多数碳酸盐沉积学家是熟悉的,但其油藏工程师同事一般可能不熟悉,词汇和分类说明概要汇总放在本书末尾。我们使用的地理名称力图与国际石油集团的主要用法一致。本书的目的不是为了取得任何地缘政治学机构或地理机构的承认。本书中使用的地理名称权威标准是1983年的国际石油百科全书(俄克拉荷马州,塔尔萨石油出版公司)。最后,我们得出本书中油藏实例收集方法的统一化,并将其与引言中的概要剖析一起列出。我们希望本书的这些特点将激励工程师和地质师们进一步阅读。

我们试图汇编一本碳酸盐岩油藏研究样板,从征稿开始,就寻求得到全世界石油工业社团和一些有关政府机构的支持。我们得到了约50位作者以篇名和摘要形式的热心回答,同时也得到了27位发起人的大力支持。在此,分别表示谢意。

通过大家的支持,我们提出了一套标准和描述格式,我们希望作者们和广大读者认可。1980年6月,在科罗拉多州Vail市召集提交原始手稿的作者们开了一次专题讨论会,每位候选作者提交了其论文以供他人评述。在这次会议上,我们有幸能出版一卷预印本,每位撰稿者借此评述和评价了目录中所有提交的原稿。然后,作者委员会提出了目录、方法、格式、图表形式、术语、文件编集和其它有关实例研究集的建议。虽然在实例研究中各种重点和方法依照固定的格式是不切实际的,但Vail会议提出的许多建议得以采纳,这在本书中是非常明显的。

在Vail专题讨论会之后,为了填补地质和(或)地理覆盖范围的空白,要求补充少量

实例研究。读者会认识到，在现有众多充分论证过的实例研究中，难以建立一个综合性样板，这正如我们试图在后面绪论中谈到的一样。但是，我们曾为之进行过努力。

采用专题讨论会预印本方法，如果没有许多人员和机构的慷慨帮助与财政支持，那是不可能的。迈阿密大学的 R.N.Ginsburg 对规划和实现 Vail 专题讨论会提出了有用的意见。马拉杜石油公司丹佛研究中心的全体职员汇编和打印预印本分配给所有作者和专题讨论会发起人。

本书的底稿通过多次起草，这是由马拉杜石油公司的 D.Hite, L.Millarke 和 C.Pedde 以及 Trinity 大学 L.McCabe 完成的。作者们提交的许多附图由 S.Hartline 和 A.Thompson 进行了修改或重绘。最终校对工作由马拉杜石油公司的 S.Andrews 和 Trinity 大学的 L.Traris 以及 R.Walters 完成。J.C.Olson 编写了大量主题索引，M.Roehl 编写了作者索引。我们特别要感谢马拉杜研究中心董事会和 Trinity 大学行政机关对这一项目的支持，也感谢在该书的长期酝酿过程中我们的妻子 M.Roehl 和 J.Choquette 坚定不移的精神支持。

我们感谢所有本专题 IC 编撰稿者们长期的耐心和合作，在同我们打交道过程中，他们为我们一样力图把广泛多样的实例研究熔成一个密切相关的整体。我们的一些同事，特别是马拉杜石油公司的 D.H.Craig 和 R.N.Ginsburg 为我们大力宣传、提出忠告、并评述我们的一些尝试，我们感谢他们的支持。虽然谈及这些，但我们表示并承认理所当然地对收集成果负主要责任，我们希望这些成果有用，有指导意义。

目 录

绪论	(1)
古生代油藏	(17)
1. 德克萨斯州西部Puckett气田下奥陶纪爱伦堡白云岩的沉积相及其成岩区和孔隙发育情况	(19)
2. 蒙大拿州Cabin Creek油田控制奥陶纪红河组白云岩储层孔隙的因素	(35)
3. 北达科他州Killdeer油田奥陶纪红河组白云岩储层	(53)
4. 蒙大拿州威里斯顿盆地Pennel油田奥陶纪红河组的沉积层序和特征	(63)
5. 蒙大拿州Cabin Creek油田沉积和成岩作用对志留纪潮间组潮积物储层发育和油层物理性质的影响	(75)
6. 俄克拉荷马州Kingfisher县Mt. Everette和Southwest Reeding油田Hunton群反旋回中的志留纪储集层	(94)
7. 密执安州东南部密执安盆地Belle River Mills气田中志留世(Niagaran)塔礁沉积相	(106)
8. 艾伯塔Rainbow油田“A”和“E”油藏蒸发岩中泥盆统塔礁的成因和成岩作用	(122)
9. 犹他州西北部Lisbon油田密西西比统Leadville组沉积相和储层岩相	(140)
10. 北达科他州威里斯顿盆地Little Knife油田米森峡谷组密西西比旋回碳酸盐岩的沉积相、成岩作用和储层特征	(151)
11. 北达科他州威里斯顿盆地Glenburn油田密西西比统米森峡谷组豆粒灰岩的孔隙发育情况	(166)
12. 伊利诺斯盆地北部Bridgeport油田密西西比统Ste. Generiere组鲕状岩和非潮上白云岩储集层	(180)
13. 德克萨斯州西部Midland盆地Seminole Southeast油田Strawn组下部地层的宾夕法尼亚世岩相—成岩油藏	(198)
14. 堪萨斯州西北部Happy油田和Seberger油田上宾夕法尼亚统碳酸盐岩油藏地质	(209)
15. 波兰西部苏台德沿海地区慕希斯坦统白云岩中碳酸盐油藏	(219)
16. 新墨西哥州东南部North Anderson Fanch油田二叠系块礁油藏	(231)
17. 新墨西哥州东南部Morton油田下二叠统Hueco组叶枝藻灰岩油藏的沉积作用和成岩作用	(241)
18. 德克萨斯州西部Reeves油田二叠系San Andres组产层的碳酸盐岩旋回	(250)
19. 德克萨斯州西部Blalock Lake East油田二叠系笛苔藓虫—管孔藻滩复合体的沉积史与储层发育情况	(268)
中生代油藏	(275)
20. 沙特阿拉伯Qatif油田侏罗系阿拉伯组C、D段储层的沉积、成岩岩相	(277)
21. 法国巴黎盆地中侏罗统碳酸盐的白云岩孔隙和储层性质	(296)

22. 阿拉巴马州Chatom油田侏罗系Smackover组颗粒灰岩储层的成岩作用	(310)
23. 南阿肯色州Mt. Vernon油田侏罗系Smackover组颗粒灰岩储层的晚期地下 次生孔隙	(320)
24. 路易斯安那州Hico Knowles油田侏罗系Smackover组礁碎屑储层的孔隙演 化和埋藏成岩作用	(334)
25. 委内瑞拉马拉开波盆地La Paz油田白垩系裂缝性碳酸盐岩储层的孔隙特征 和演化	(354)
26. 阿拉伯联合酋长国Dubai岸外Fateh油田中白垩统Mishrif组碳酸盐岩	(370)
27. 佛罗里达州南部 Sunniland 油田下白垩世沉积环境及地质概况	(386)
28. 墨西哥维拉克鲁斯州 Poza Rica 油田白垩系生物碎屑岩储集层	(398)
29. 巴西海上Campas盆地白垩系Macaó组核形石泥粒灰岩储集层的沉积作用 和成岩作用演化	(412)
30. 德克萨斯州东部Fairway油田下白垩统James礁的岩相、形态特征和储集层 的主要控制因素	(424)
31. 北海中部 Ekofisk 油田白垩系和第三系白垩	(433)
新生代油藏	(445)
32. 伊朗西南部Gach Saran和Bibi Hakimeh油田渐新统—中新统Asmari组裂缝 控制原油生产	(447)
33. 加利福尼亚州圣玛利亚谷地West Cat Canyon油田中新统Monterey组裂缝 性油藏的地质和开采特征	(459)
34. 菲律宾Nido B油田中新统塔礁油藏礁砾岩中的裂缝孔隙	(479)
35. 日本本州东北秋田省 Fukubezawa 油田中新统碳酸盐岩储层的成因	(492)
附录 实例研究中使用的分类	(500)
术语汇编	(517)

绪 论

P.O.Roehl
P.W.Choquette

王正鉴 江若霓 译

几十年来, 尽管碳酸盐岩储集层对世界油气产量作出了重要贡献, 但由于世界需求量的急剧变化以及许多真正的碳酸盐岩大油田受地理政治位置的限制而使它们的重要性显著增长。在调查至 1967 年已发现可采储量相当于 5 亿桶以上的 266 个大油气田中, Halbouty 等人 (1970) 引用了 116 油田 (占 44%), 其原油主要或完全产自碳酸盐岩储集层。统计研究表明, 这些碳酸盐岩储集层约占大油田可采石油的 61%。

在已发现的各种规模的油田中, 估计地质储量和可采储量的总和是不确定的。但是, 如果大油田约占全世界可采石油的 85% 的话 (Fitzgerald, 1980), 那么对大油田的统计结果必将对所有油田的统计有着明显的影响。如果人们假设整个生产能力的范围有直接关系的话, 则碳酸盐岩储集层应占全世界总可采供应量 (估计可采油量 8100 亿桶) 的 60% 左右 (即 4860 亿桶) (油气杂志, 1983, 12, 29)。如果详尽研究迄今发现的、由成岩作用形成的碳酸盐岩世界大油藏的话, 这些数字可能还会大一些。环太平洋—日本本州和加里福尼亚州海上和陆上一些中新世储集层就是这种类型的实例 (见 Aoyagi 和 Roehl 以及 Weinbrandt 的实例研究)。

一、本书的目的

本书报导了一些有关石油产量和储量统计结果, 不过在开始对收集的这些实例研究进行汇编时, 我们的主要目的并不在此, 而是集中在大量的碳酸盐岩储集层的地质特征上, 并对每一例子做一个简要介绍, 以便更好地统一地质实例研究。此外, 书中还包括了作者们所能提供的岩石物性和油藏体积资料, 通过集中估计最终可采储量和原始总石油地质储量, 改变了大多数其他“资源”评价方案, 认为一个油田的大小是用原始石油体积来衡量的。它主要与储层形成的地质条件有关。通过采取这种方法, 我们希望能减少影响采收率的地质作用的重要性, 因为采收率往往受各个油田发现的地质时代和开发方法的影响, 或缺乏所用的这些油田的开采寿命而有所偏差。

最近有一些编辑 (例如, Mazzucco, 1980) 集中在勘探和开发碳酸盐岩油藏研究上面, 重点是地质成果的日益增长的发展速度。但是, 直到近些年来, 已出版说明沉积及其在局部碳酸盐岩油藏中作用的实例研究相对来说很少。在文献中除极少数例外——主要是 Elf Aquitaine 的 Cussey 和其他法国沉积学家, 由 Reekman 和 Friedman 翻译并作了补充说明, 1982 年所进行的碳酸盐岩油气藏的实例研究, 特别是沉积作用对储层位置的控制都未曾单独汇编成册。甚至法国人的综述评包含的有关特殊油田的岩石物性, 生产数据和其他储层特征也很少。

本书试图填补空白, 在书中我们汇编了 35 个碳酸盐岩油藏的实例研究, 如图 I-1 和表

I-1 所示。我们认为, 这些实例反映了地质区域的类型、构造背景、储集层的地质时代, 孔隙系统变化, 储层岩相和形成碳酸盐岩储层的成岩作用史的主要部分。大多数实例研究采用了许多方法, 包括沉积学 (沉积作用和成岩作用)、岩石物理、测井和地震地球物理、地球化学、岩石力学以及经典地层学等学科。但是, 所有实例研究都着重强调沉积相及其在形成储层中的成岩作用 (或在裂缝性储层中关联很少) 的重要性。

收集这些实例研究的目的, 是对近年来碳酸盐岩储集层的地质分析和解释方面所取得的进步进行一些综合和评述。这些丰富的认识和理解现在可以应用于新碳酸盐岩储层的勘探和现有碳酸盐岩储层的开采研究方面, 它们包括了很多方面的科学和技术。有来自现代碳酸盐岩的基础研究; 来自分析有机物成熟度的新技术; 来自新的地球物理电缆测井的组合; 来自新的“地震”地层学, 来自板块构造和古地理重塑, 来自生物地层学和岩性地层学的新方法以及来自孔隙性地层岩石物性特征的各种方法。地质学家经过培训和经历分析沉积碳酸盐岩的现代概念和方法方面, 可能比他们的前辈在碳酸盐岩勘探方面和帮助选择储层产能的最佳条件方面获得的成功更大。碳酸盐岩地质学家这样做是及时的, 因为与纯构造圈闭相比, 在地层圈闭中勘探和开发油藏, 通常要求在分析沉积相方面具有更高的技术水平。

表 I-1 本书中讨论的碳酸盐岩储集层的分类 (部分根据 Wilson, 1980a)

主 要 孔 隙			
储集岩类型	成因	特征	时代及区域实例
隐伏不整合白云岩和石灰岩 (地面成岩作用地区)	近地表白云岩化作用和 / 或溶解和裂缝角砾岩化作用	各种: 印模、槽沟、大洞穴、溶蚀扩大裂缝和角砾岩。基质孔隙度常常很低, 且孔隙一般很粗	在美国安纳达科、威里斯顿、Paradox 和米德兰盆地为古生代; 在波斯湾地区、巴黎盆地和南佛罗里达州为中生代
旋回层序中潮下至潮上白云岩	白云岩化作用和伴随的溶解作用	晶间孔和伴随的粒间孔、印模孔、其他孔隙度中等至极少	美国威里斯顿和米德兰盆地为中生代
在陆棚和斜坡上碳酸盐砂; 一些伴生的白云岩	原生的; 一些溶解作用的影响	粒间孔及其他原生孔隙类型; 局部印模孔。孔隙度中等至高, 在白云岩中可以很高	美国安纳达科、伊里诺斯和二叠盆地中为古生代, 美国墨西哥湾沿岸、巴黎盆地、波斯湾和巴西海上为中生代
生物礁和礁丘 A. 浅陆棚 / 台地 B. 陆棚 / 台地边缘 (包括环礁) C. 外部 / 礁陆棚 / 斜坡 (“塔礁”)	原生的 (生物的和其他的), 破裂作用, 溶解作用 (可变的) 和溶解扩大	各种: 粒间孔、生长骨架、掩蔽孔等; 印模、各种溶解扩大孔隙类型; 孔洞等。孔隙度极低至高等、孔隙粗	德拉萨、米德兰盆地为古生代; 美国墨西哥湾沿岸为中生代; 塔礁: 密执安盆地志留系、西加拿大盆地为泥盆纪、菲律宾盆地为第三纪
碎屑沉积物	原生的; 可能受溶解作用、破裂作用的改造	粒间孔及一些其他孔隙、孔隙度极低至高等, 常为粗孔	内台地盆地墨西哥东北为白垩纪
白垩, 主要为深海和微粒的	原生的; 常常是裂缝的	粒间和粒内孔, 孔隙常被扩大、基质孔隙度中至很高, 但孔隙为微细级	北海盆地中为白垩纪 / 第三纪
断裂“海盆”和致密陆棚砂	破裂作用, 局部角砾岩化	裂缝; 角砾岩、基质孔隙度低至无	环太平洋盆地 (日本、加利福尼亚) 和波斯湾地区褶皱带为第三纪
其他	例如可能埋藏成岩溶解作用 (中期形成的)	溶解-粒间孔、印模孔, 孔隙度中等至高	美国墨西哥湾沿岸侏罗纪

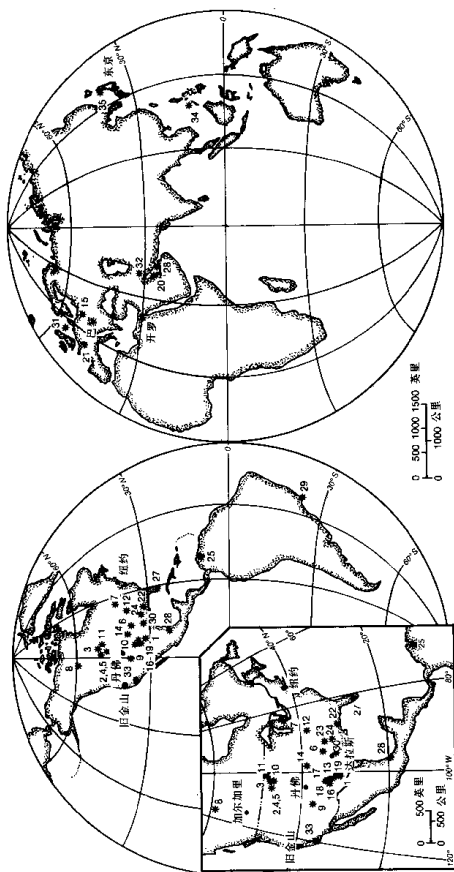


图 1-1 油气田的地理分布 (本图为朗伯投影)

1961年,我们作者之一对他的全体使用者写道:“为了扩大视界,通过对储集层三个主要方面的仔细考虑进行石油聚集作用的研究是地质学家和工程师的责任,即(1)储集层的形成、演化和岩石的目前物理化学特征;(2)几何形态、地面性质和孔隙空间体积;(3)所含流体的历史及相互关联状况。从直觉上看,象通过实际测量结果一样,我们认识到在这一顺序中是逐次控制起作用的。除了极少数的例外,本书中大多数实例研究都有一个共同点,它们都仅是二十年以前的一些体会。读者会发现,上述三个方面中的每一个,在这些实例中都做了大量的论述,并采用了重要的先进技术。

二、现代碳酸盐岩储集层地质研究的一些基础

在了解石灰岩和白云岩储层方面我们是如何取得进展的呢?也许关键的一步是现代沉积相和沉积作用的研究。早在五十年代,地质学家研究了近代碳酸盐岩环境作为沉积作用基础的线索和早期埋藏历史,以便确立现代沉积模型中与古代储集层的类比。尤其值得注意的是,以下研究人员如 Black (1933), Newell 等 (1951), Ginsburg (1956), Lowenstam 和 Epstein (1957), Goreau (1959), Lowenstam (1963) 和 Ball (1967) 等人所进行的现代生物成因环境的早期研究。对现代蒸发岩沉积物(包括白云岩)来说, Iuing (1954), Alderman 和 Skinner (1957), Adams 和 Rhodes (1960), Shearman (1963) 和他的学生, Iuing 等人 (1965) 和 Shinn 等 (1965) 所作的早期开创性研究是许多详细研究快速发展的重要基础。大概最近一些新的重大研究就是现代深海沉积物的研究。白垩, 燧石和同生深水白云岩已成为并将继续成为在深海钻探计划和其他计划支持下的特别工作组的研究对象, 并且是大石油勘探公司大规模海洋勘探的目标。近期在进行这项研究的有 Beau 和 Fischer (1969), Schlanger 和 Douglas (1974), Schoue (1977), Schlagor 和 Janes (1978) 及 Kelte 和 McKenzie (1982) 等人。深水白云岩的最新解释现在仅用于重要的储集层问题上(例如 Roehl 和 Weinbrandt, 本卷)。

不久,在了解成岩作用变化方面开始取得了重大进展,即由沉积层序的早期埋藏开始,成岩作用发生在许多阶段。在成岩作用和孔隙空间变化方面,早期主要研究中有 Bathurst (如 1958, 1966), Folk (如 1959), Ginsburg (1957), Shinn (如 1969), Choquette 和 Pray (1970), Füchtbauer (1970) 及 Matthews 和他的学生(如 Matthews 1974; Steinen 和 Matthews, 1973)。这里所列举的仅是少数名字。关于孔隙系统影响灰岩中成岩作用变化的最好评述出现在最近几年,例如 Bathurst (1971, 1980), Longman (1980) 及 James 和 Choquette (1983)。

通过许多现代研究,先是 Weyl (1960) 和 Murray (1960), Lucia (1962), Shinn 等 (1965), Iuing 等 (1965) 及 Hsu 和他的同事(如 Hsu 和 Seigenthaler, 1969),随后不久是 Badiamazani (1973) Land (1973a 和 b),以及其他许多人的研究,对白云岩化作用及其对孔隙度的影响已取得重大进展。Bathurst (1971) Zanger (1972) 和最近 Morrow (1982a 和 b) 已作了白云岩和白云岩化作用方面的有用评论。在 Pray 和 Murray (1965) 及 Zenger 等人 (1980) 的领导下,已汇编出特别重要的两本专题论文集。

在第二次世界大战后早期,孔隙几何形态和岩石物性一般也作了详细的研究(例如, Purceu, 1949, Archie, 1952, Thomeer, 1960; Stout, 1964)。并且随着模拟技术与 Wardlaw 等人 (1976, 1980) 对采收率的估计而不断发展。井下测井也取得了巨大的进

步，现在应用多孔隙仪和流体饱和度仪定量测定地下储集层的岩石物理性质已经是很平常的事了。

石灰岩和白云岩中孔隙系统的成因和变化作为特殊沉积环境和晚期成岩作用的产物已在一些早期研究中论及（例如，Murry, 1960, Lucia, 1962; Pray 和 Choquette, 1966, Choquette 和 Pray, 1970），最近许多研究人员也相继作了评论（例如 Wilson, 1980a 和 b; Cussey 和 Roekmann 与 Friedman 及他的同事，1982 以及 Feazel 和 Schatzinger, 在印刷中）。现在大家普遍认为，在记录中实际上保存下来大量孔隙的碳酸盐岩地层是较为少见的，碳酸盐岩的孔隙空间不归因于其相当特殊的环境组合。（Wilson, 1980, a; Feazel 和 Schatzinger, 在印刷中）。对形成和改变碳酸盐岩孔隙的沉积作用和成岩作用因素的更广泛的评述，我们建议用 Wilson 新近的论文（1980a 和 b）。

三、重申的一些原则

过去二十年左右所完成的主要工作充分说明：现代沉积碳酸盐岩沉积物的特征、沉积环境及其早期成岩途径是潜在储集岩可能性和范围的基本决定因素。沉积相决定了远景储集层的范围及孔隙的原始面貌。沉积物随后的各种变化——如雨水的渗滤作用、沉积物出露至高盐度水、压实作用、构造和非构造破裂作用等，必然都取决于原始沉积物的组分及沉积环境。

绝大部分的浅海碳酸盐岩沉积物，都是由来源于海相有机物（重要的是发育在稳定陆棚或陆缘环境的有机物）的各种生物成因的骨架碎屑组成，并伴生有鲕粒、粪粒以及这些环境中形成的其它非骨架颗粒。在许多陆棚和斜坡环境以及绝大部分的孤立碳酸盐台地上，非碳酸盐沉积物的稀释物是极少的。

除了平常短暂的构造不稳定性作用以及间歇海侵作用外，层序向上变浅和（或者）向海的进积是最常见的。这些基准面地质作用导致了沉积物沉积后的暴露以及气候的变幻莫测。雨水的渗滤结果导致了早期成岩作用，而在干旱地区，暴露面的改造形成了盐沼和成岩作用地区（最终是发生白云石化作用），以及蒸发岩相序列。根据我们的经验，很多碳酸盐储集岩都有原生孔隙的迹象；但由于这些环境动力学作用，绝大部分的原生孔隙正被改造——孔隙空间大大增加或者大部分被充填。

绝大部分碳酸盐岩是沉积在透明浅水海洋环境，但最近发现有一个重要的例外，沿着活跃板块的边缘，含油的非碳酸盐岩细粒碎屑岩和火山岩中发育了深水碳酸盐岩和来源于微生物、微动物群的硅质沉积物。这种碳酸盐和非碳酸盐沉积物大部分已共同蚀变为白云岩，在经历了沉积后的天然水力破裂后，目前岩石中已形成了大量的石油。这种成因的中新流岩石发育在环太平洋，它们是世界未来碳酸盐岩勘探的新目标。

四、碳酸盐岩储集层的主要类型

鉴于碳酸盐岩储集层的变化很大，要对其进行简单分类是很困难的。但根据人们所要强调的某种特性，我们可以提出各种方案。如用于勘探和生产地质研究的实用分类所强调的是储集层岩相及其共生体的地质特征，表 I-1 中的分类就是应用了这种方法。该分类部分是基于 Wilson 提出的储集层类型（1980a 和 b）之上的，但在某些方面与之有差异，另外还

增加了一些类型。根据我们的经验,大多数碳酸盐岩储集层岩相可分成七种主要类型。在第八种类型中,孔隙是由深埋藏(或后期埋藏)成岩过程中的溶解作用形成的,这种情况原则上似乎是很可能发生的,因而我们还是把它作为一种没有伴生的原生粒间孔或者近地表溶解孔隙的情况归为最后一种类型。本书中由 Druckman 和 Moore 所论述的 Vernon 山油田休罗系 Smackover 组颗粒灰岩储集层部分就是属于这种类型,也许将来我们还会识别出更多这种类型的储集岩。

虽然表 I-1 中的分类没有强调孔隙特征,但不仅定性上(如表中所指出的),而且常常在定量上,不同的储集岩类型其孔隙特征也不相同。这些孔隙空间类型和特征事实上可以用孔隙度-渗透率关系、流体饱和度、毛管压力特性以及其它岩石物性特征来表示。很多实例研究中的储层资料都说明,不同的储集岩类型具有不同的岩石物性。许多碳酸盐岩储集层并非简单地属于表 I-1 中的任何一种类型,而是由两种甚至更多的储集岩相组成,且各种岩相可能都具有相当的经济价值。很多浅水碳酸盐储层尤其如此,举例来说,储集层中的鲕粒或骨架颗粒灰岩相可以与各种骨架建造和潮坪粒泥灰岩、泥粒灰岩相一道产油。这种多岩相储集层是相当普遍的,可能还包括了大多数的大型和特大型碳酸盐岩油田。

五、本书的油藏综述

虽然凭所收集的少数油藏来确切地代表世界上已发现的各类油藏看来似乎是不太能的,但我们很幸运地得到了一些油田的例子,其范围从原始石油地质储量(1OIP)小于1百万桶的极小型油田至原始石油地质储量在300亿桶以上的特大型油田。这些油田的原始石油地质储量明显呈近似平滑的对数分布,如图 I-2 所示。我们无法判断这种分布是否是典型的,但在储量方面它明显地包括了大部分各种规模的油田。在可采储量方面(见图 I-3),则更趋向于台阶状分布,但它仍然包括了多种规模的碳酸盐岩油田——从10万桶至90亿桶左右。

在汇编过程中我们所遇到的问题是更好地将这些实例研究进行整理和归类。一开始我们是在储集岩沉积环境的基础上将油田进行归类,这样就得根据储集岩相的特征(如表 I-2 所示)以及决定各油田位置(如表 I-2 所示)的主要因素来进行组合,但是后来我们发现这种方法具有局限性,原因是很多油田都有着极其复杂的地质发育史,而且油藏的位置通常都是多种因素共同作用的结果。

另一方面,单纯按照地质年代的先后对油藏进行分类也有其独特的优点,如表 I-2 所示。通过这种方式,人们可以看出诸如碳酸盐颗粒类型的形成,礁和其它骨架碳酸盐岩构造的生物组成、几何形态和丰度、板块边缘、克拉通或陆缘沉积相的类型,以及局部陆上暴露的变化等在整个地质时期的变化趋势。如果有更多的例子的话,这种趋势将会更加明显。表 I-2 也显示了本书所收集油田的年代分布,显生宙中仅寒武纪和三叠纪没有代表油田。

在这些实例所代表的整个时间范围内,我们可以看出主要碳酸盐岩储层类型有明显的变化,即由古生代的潮缘和陆上暴露岩相,经历了长期的浅陆棚砂岩和礁层序,至白垩纪相变为较深海岩相,而第三纪则变为台地周缘的岩屑流以及深陆棚远洋白垩和盆地深部的混合岩相(后者已经发生成岩蚀变,主要是转变为白云岩)。但在显生宙的塔礁或其它礁相中则看不到有任何的“趋势”。

表1-2 本书中根据时代、位置因素和孔隙成因论述的油田概况

论文号	作者	油田	时代	油田位置								储层相性原					孔隙成因				
				1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
35	Aoyagi	Fukubazawa	中新世																		
34	Longma	Nido B	中新世																		
33	Rochi & Weinbrandt	West Cat Canyon	中新世-中新世																		
32	McQuillan	Ebi Hakimish	白垩纪-古新世																		
31	Fazeli et al.	Ertisik	白垩纪-古新世																		
30	Achauer	Fairway	白垩纪																		
29	Carozzi & Falkenstein	Garcous-Pempe																			
28	Chiriac	Rosa Rias																			
27	Fujer	Sandland																			
26	Jordan et al.	La Paz																			
25	Reijers & Barok	La Paz																			
24	Crevillo et al.	Hico Knowles	侏罗纪																		
23	Druckman & Moore	Mt. Vernon																			
22	Feazel	Chatom																			
21	Purser	Coulommies																			
20	Wilson	Gallif																			
19	Aquilin & Drake	Blalock Lake East	二叠纪																		
18	Chuber & Pusey	Reines																			
17	Cys & Mazzullo	Morton																			
16	Malek-Adani	North Anderson Ranch																			
15	Depowski & Pery	Tanchaly, Rybaki & Sulcin																			
14	Ebanks & Wetney	Hoppy Schager	寒武纪-奥陶纪																		
13	Mazzullo	Simisola SW																			
12	Choquette & Stainen	North Bridgeport	侏罗纪																		
11	Gehard	Glenburn																			
10	Linday & Kendall	Little Knife																			
9	Miller	NW Libon																			
8	Schmidt et al.	Rainbow	泥盆纪																		
7	Gill	Belle River Mills	志留纪																		
6	Morgan	Mt. Ennath & SW																			
5	Roehl	Reading																			
4	Clement	Cabin Creek																			
3	Roby & Kharick	Reading																			
2	Russ & Friedman	Cabin Creek																			
1	Loucks & Anderson	Puckett	寒武-奥陶纪																		

- 油田位置
1. 不整合(包括陆上或岩作用地区)
 2. 岩相/沉积相和/或成岩相
 3. 堆积的(硬块)
 4. 隆起和坳陷
 5. 盐体(下伏的)
 6. 活动带/板块边缘/深海和区域构造
 7. 迁移或水动力学
- 储集层岩石性质
1. 陆上或岩作用地区
 2. 湖/海/湾/扇上白云岩
 3. 陆相/斜交砂
 4. 硬 - 正
 5. 硬 - 负
 6. 硬 - 正
 7. 硬 - 负
 8. 硬 - 正
 9. 硬 - 负
 10. 硬 - 正
 11. 硬 - 负
 12. 硬 - 正
 13. 硬 - 负
 14. 硬 - 正
 15. 硬 - 负
 16. 硬 - 正
 17. 硬 - 负
 18. 硬 - 正
 19. 硬 - 负
 20. 硬 - 正
 21. 硬 - 负
 22. 硬 - 正
 23. 硬 - 负
 24. 硬 - 正
 25. 硬 - 负
 26. 硬 - 正
 27. 硬 - 负
 28. 硬 - 正
 29. 硬 - 负
 30. 硬 - 正
 31. 硬 - 负
 32. 硬 - 正
 33. 硬 - 负
 34. 硬 - 正
 35. 硬 - 负
- 孔隙成因
1. 原生孔隙
 2. 溶解作用, 接近地面
 3. 白云岩化作用
 4. 破裂作用
 5. 其它
 6. 其它
 7. 其它
 8. 其它
 9. 其它
 10. 其它
 11. 其它
 12. 其它
 13. 其它
 14. 其它
 15. 其它
 16. 其它
 17. 其它
 18. 其它
 19. 其它
 20. 其它
 21. 其它
 22. 其它
 23. 其它
 24. 其它
 25. 其它
 26. 其它
 27. 其它
 28. 其它
 29. 其它
 30. 其它
 31. 其它
 32. 其它
 33. 其它
 34. 其它
 35. 其它

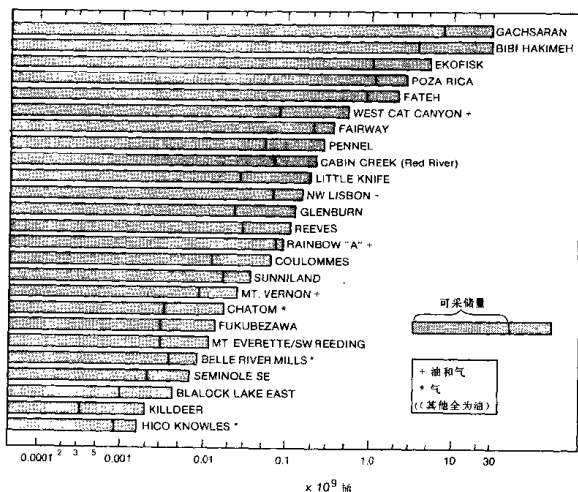


图 I-2 油气田按照石油地质储量总量排序图

图 I-2 包括 18 个油田, 3 个气田和 3 个油气田; 天然气对石油的容积转换系数为 6000×10^3 亿标准立方英尺 R / 桶油。这些储集层的时代和一些地质特性汇总表 I-2 给出

很多碳酸盐岩储集层与上述描述会有很大的不同。例如, 有一种重要的储集岩类型没有列入表 I-1 的分类之中, 这使得我们很遗憾。这种“后期的”, 通常出现在构造上或者喀斯特地貌的粗晶白云岩储集层在本书中没有描述。根据我们的了解, 在一些大油田中都发育有这种类型的储集岩, 如新墨西哥州东南部密执安盆地和印第安盆地 (宾夕法尼亚纪) 的 Albion-Scipio 油田 (奥陶纪), 利比亚 Sirte 盆地的 Samah 油田 (白垩纪)。

油藏圈闭类型通常都是简单地以地层、构造或者复合圈闭来描述的。根据作者们提供的资料, 我们对表 I-2 中决定油藏圈闭的主要因素尽力作出了更加明确的描述。有关这些因素的详尽描述以及圈闭的常规描述, 见各实例研究及其所附的油藏概况表。

如果根据表 I-1 和表 I-2, 再回到图 I-2 和图 I-3 的直方图, 我们可以总结出一些有趣的现象, 尽管并非 35 个实例研究的油藏流体数据都是有效的, 很多最大的油田都出现在第三纪的构造活动带以及其它受第三纪区域地质构造影响的地区, 主要是白垩纪至中新世碳酸盐岩。此外, 至少有 9 个最大的油田其油层产能主要是依靠裂缝; 且至少有 10 个较小的油田在一定程度上都与裂缝有关。

另一方面, 形成于浅陆缘、台地、潮缘、盐沼的碳酸盐岩很多都发育了大量各种类型的

储集层，并且包括了好些原始石油地质储量在 0.7~7 亿桶的油田。由生长于构造（尤其是下伏的盐底辟构造）上的浅海礁丘、环礁或塔礁复合形成的油田中，碳酸盐岩相在温暖、透光的浅水中常发育成孔隙性储集岩。Ekofisk、Fateh、Garoupa 和 Fairway 油田虽然都具有大量油藏，并且都是由特殊成因的碳酸盐岩组成，但它们都是发育在盐体构造之上（盐类构造作用）。没有盐水支撑的浅陆棚和礁形成的油田较小，原始石油地质储量小于 2 亿桶。

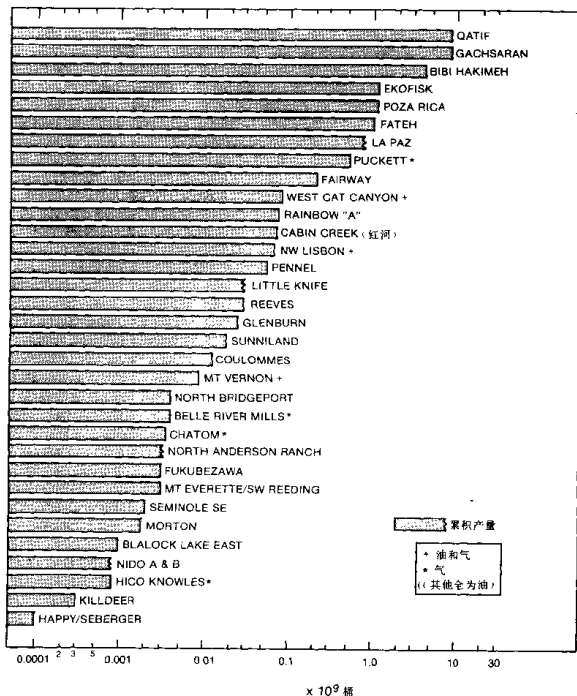


图 1-3 油田的可采储量当量排序图

图 1-3 包括 25 个油田、4 个气田和 4 个油气田，天然气同石油的容积转换系数为 6000×10 亿标准立方英尺/桶油。注意排序由于几个油田只有累积产量数据可用稍有歪曲。在大多数情况下（注意到在储集层汇总伴随单个实例研究例外），石油和当量油储量是用一次采油方法的可采容积，这些储集层的时代和一些地质特征汇总列于表 1-2 中

表 I-3 和 I-4 对 35 个实例研究的资料做了进一步的综合。在表 I-3 中, 我们概述了油藏的各种特征; 而表 I-4 则是对这些油藏孔隙系统的成因和类型的汇总。除了前而已经指出的外, 从这些表中我们还可以看出以下几点特征:

表 I-3 碳酸盐岩储集层特征的综合评述

调查的油田数	41
储集岩	
原始沉积环境	
潮缘	7
浅陆棚	16
深陆棚	2
深海、半深海	2
塔礁	3
斜坡	5
岩性	
灰岩	15
白云岩	11
复合的	6
灰岩为主	3
岩石物性范围	
孔隙度, %	1~45
渗透率, 毫达西	0.3~9500
裂缝为主的油田 ^①	9
原油比重, API 度	12~54
油田体积	
原始石油地质储量 (百万当量桶油)	1.7~32000
石油可采储量 (百万当量桶油)	0.1~9000
最终采收率, %	15~88
大型油田 ^②	8
时代	
渐新世-中新世	2
白垩纪 (和古新世 ^③)	4
侏罗纪	1
古生代 (奥陶纪)	1
岩性	
灰岩	5
灰岩为主	2
白云岩	1

①据其他许多油田报导, 裂缝对产量所起的一些作用。

②大型油田定义为可采油超过 5 亿当量桶; 气-油换算系数为 6000 标准立方英尺/桶油。

③储层时代为两个 (Ekofisk 油田)。

1. 在 8 个大型油田中, 除了 Puckett 油田以外, 储集岩都是地质年代较晚的碳酸盐岩; 大量实例中, 大型油田主要都是属于中生代和新生代, 这一比例是很令人吃惊的 (Halbouty 等, 1970)。

2. 表 I-3 所调查的 35 个油田, 大约有一半以上主要储集岩是灰岩, 而 8 个大型油田中有 7 个也是这样。如果我们再回头看一下表 I-2 的油田概况, 中生代油田中储集岩以灰岩