

# 生物礁地质特征 与地球物理识别

赵邦六 杜小弟 编著

石油工业出版社

# 生物礁地质特征与地球物理识别

赵邦六 杜小弟 编著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书详细描述了生物礁的概念、分类、形成发育、时空分布、成岩作用与储层物性,以及滩体地质特征,对生物礁的储层物性和油气成藏的控制因素进行了分析,并结合具体实例介绍了生物礁的地球物理识别方法。

该书可供从事石油勘探的工程技术人员及高等院校相关专业师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

生物礁地质特征与地球物理识别/赵邦六,杜小弟编著.

北京:石油工业出版社,2009.12

ISBN 978-7-5021-7597-9

I. 生…

II. ①赵…②杜…

III. 生物礁-研究

IV. P736.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 135451 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.com.cn

编辑部:(010)64523533 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

---

2009 年 12 月第 1 版 2009 年 12 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:14.25

字数:365 千字

---

定价:98.00 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

## 序

几十年来,我国以陆相含油气盆地的工作对象创立了自己的石油工业,不仅在十分困难的情况下支撑了国民经济对石油的需求,而且在实践中创立并完善了陆相含油气理论。与此同时,我们也一直针对广泛分布的海相碳酸盐岩进行着不懈的探索,先后在四川、塔里木、鄂尔多斯、渤海湾等盆地发现了一批以海相碳酸盐岩为储层的油气藏,特别是四川、塔里木、鄂尔多斯等盆地,已经成为近期油气勘探的主要对象。

陆相含油气盆地与海相含油气盆地相比,油气形成条件是基本一致的,但油气藏分布特征和富集规律差别很大。尽管我们已经发现了一批以海相碳酸盐岩为储层的油气藏,但和陆相含油气盆地的勘探相比,我们对海相含油气盆地勘探的经验还比较少,不管是地质认识还是勘探思路,甚至勘探技术,许多工作都有待不断探索。

四川盆地龙岗1井的重大发现,揭开了海相碳酸盐岩生物礁、滩体油气藏勘探的新篇章,给我们针对海相碳酸盐岩生物礁滩体油气藏勘探以新的启迪。如何快速、有效地扩大勘探成果,搞清生物礁滩体的储量规模,是摆在我们面前的重要课题。《生物礁地质特征与地球物理识别》的出版,为我们解决这一课题提供了有效技术思路和借鉴,相信会对生物礁滩体油气勘探实践提供很好的帮助和指导。

《生物礁地质特征与地球物理识别》一书,不仅系统地介绍了不同地质年代生物礁的成因与分布规律,而且对生物礁的地质、地球物理特征进行了详细描述,同时还通过大量的勘探实例介绍了生物礁的地球物理识别方法,这对我们从事碳酸盐岩油气勘探工作启发甚大。所以我特别向关心和关注,以及具体从事有关方面油气勘探工作的研究人员和管理人员推荐此书。希望大家能从中受到启发,对中国石油海相碳酸盐岩的油气勘探事业有所帮助。同时更希望在碳酸盐岩油气藏(特别是生物礁油气藏)的勘探实践中形成我们自己独到的地质理论和相应的勘探技术系列,发现更多优质、整装、成规模的大油气田,为保障国家油气能源安全和稳定供应做出应有的贡献。

祝愿我国生物礁油气藏的勘探在新的理论和新的技术方法指导下取得更好更大的成果。

中国石油天然气股份有限公司副总裁



2009年12月26日于北京

# 前 言

从全球油气资源分布来看,海相碳酸盐岩油气资源蕴藏量巨大。作为碳酸盐岩油气主要储集体类型的生物礁滩体,因其巨大的勘探价值而一直成为重要的勘探对象。在墨西哥、利比亚和中东等地区生物礁油气藏更是其储量和产量的主要来源。我国海相碳酸盐岩分布广泛,针对碳酸盐岩的油气勘探活动一直持续不断,特别是在四川、塔里木、鄂尔多斯等盆地已经成为近期油气勘探的重要领域和主要战场,生物礁滩油气藏勘探也取得了一些重要的发现。在四川盆地发现了龙岗气田、普光气田等,在塔里木盆地发现了塔中Ⅰ号坡折带油田等,在柴达木盆地发现了跃进油田,在渤海湾盆地济阳拗陷发现了平方王油田等生物礁油田,在珠江口盆地发现了流花11—1等油田。另外,在羌塘盆地和湘西、贵州、广西、陕南、赣西北、浙西、山东等地区都发现了生物礁的存在。

与国外近二百年的生物礁勘探研究历史相比,尽管我国已发现了不同时代的生物礁并在生物礁油气藏勘探上已取得重大突破和成果,但毕竟起步较晚,加上勘探难度较大,研究的深度、广度不够。主要表现在:(1)生物礁基础研究侧重于一般性观察描述,综合性研究程度不够,包括造礁生物的组成、生物礁发育与生物大绝灭的相关性研究、造礁生物群落的演替、生物礁形成与破坏作用等方面的研究尚显薄弱;(2)从系统研究的角度来看,将生物礁及相关沉积组合作为一个整体的油气成藏体系研究较少,在生物礁及其含油气性的研究过程中,注重单纯的生物礁储层研究的多;(3)有关地下隐伏生物礁预测方面的研究滞后,相对于各种地球物理手段的快速发展,对生物礁分布的控制因素与地质预测研究的精细程度不够,尚不能有效地指导生物礁油气勘探。如构造活动与生物礁分布规律方面的研究,仅仅局限于认识到生物礁的发育及空间分布与大地构造有成因上的联系是不够的,需要开展精细的地质、地球物理研究,深入掌握其联系的实质及其成因意义,以便对隐伏生物礁滩体及含油气性进行预测。

为了便于从事与生物礁滩油气藏研究和相关勘探工作者系统掌握生物礁的生长发育条件、发育特征、时空分布、油气成藏主控因素和生物礁滩油气藏识别方法等相关知识,了解国内外生物礁及相关油气藏的勘探现状,有针对性地开展生物礁油气勘探工作,努力提高生物礁滩油气藏的勘探成功率,在查阅大量国内外相关资料的基础上,笔者历时两年编著完成此书。

本书系统地介绍了不同地质年代生物礁的成因与分布规律,对生物礁的地质、地球物理特征进行了详细描述,同时还通过10个国内外的勘探实例介绍了生物礁的地球物理识别方法。希望本书对具体从事有关方面油气勘探工作的研究人员和管理人员有所启发,对中国海相碳酸盐岩的油气勘探事业有所帮助。同时更希望在碳酸盐岩特别是在生物礁油气藏的勘探实践中形成中国独到的地质理论和相应的勘探技术系列,发现更多优质、整装、成规模的大油气田,

为保障国家油气能源安全和稳定供应做出应有的贡献。

本书由赵邦六和杜小弟执笔。在编写过程中,引用了李军、张延充、汪泽成、殷积峰、谢芬、彭才、李邗、李秋芬、杨涛、金武弟、李乐、朱亚东、董同武、黄忠范、曾忠、梁奇、刘国强、杨彦东、尉晓玮、徐胜峰、王智诒等人的部分资料,在此表示衷心的感谢。编写工作还得到了中国石油勘探开发研究院石油地质研究所、石油物探技术研究所及东方地球物理勘探有限责任公司、川庆地球物理勘探公司的大力支持,特向这些单位表示谢意。

在成书过程中得到了赵文智、杜金虎、张国珍、吴国干、邹才能、徐春春、何海清、王喜双、吴晓敬、段红、沈平、张岩、詹世凡、李亚林、李志荣、曾忠、汪恩华、陈莉、甘利灯、李劲松等各位领导和专家的帮助,一并致谢。

要特别感谢的是中国石油天然气股份有限公司赵政璋副总裁,他不但提议编写此书,在百忙的工作中还抽出时间多次审阅书稿,提出了具体的修改意见和建议,进一步提高了书稿的质量,最后还亲自为本书作序,让笔者十分感动和敬仰。在此,笔者特向赵政璋副总裁表示深深的谢意。

由于笔者水平有限,书中难免有疏漏之处,敬请读者在阅读过程中批评指正。

作者

2009年12月于北京

# 目 录

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| 第一章 生物礁的概念、分类及研究现状 .....          | (1)   |
| 第一节 生物礁的研究历史及现状 .....             | (6)   |
| 第二节 生物礁的概念及相关的一些常见术语 .....        | (9)   |
| 第三节 生物礁的分类 .....                  | (13)  |
| 第四节 生物礁研究方法 .....                 | (20)  |
| 第二章 生物礁的形成发育及其时空分布 .....          | (25)  |
| 第一节 生物礁的生长发育阶段划分及生长发育的主控因素 .....  | (25)  |
| 第二节 生物礁时空分布特征 .....               | (33)  |
| 第三章 生物礁的成岩作用与储层物性 .....           | (43)  |
| 第一节 现代生物礁的形成环境与沉积作用 .....         | (43)  |
| 第二节 古代生物礁沉积物类型及岩相 .....           | (48)  |
| 第三节 生物礁的成岩作用 .....                | (59)  |
| 第四节 生物礁储层的物性特征 .....              | (63)  |
| 第五节 生物礁储层物性的主控因素 .....            | (71)  |
| 第四章 生物礁油气成藏的控制因素分析 .....          | (75)  |
| 第一节 油源条件 .....                    | (76)  |
| 第二节 盖层—封堵条件 .....                 | (79)  |
| 第三节 生储盖组合配置关系 .....               | (82)  |
| 第四节 生物礁油气藏发育特征 .....              | (86)  |
| 第五章 滩体地质特征 .....                  | (92)  |
| 第一节 滩体的概念及基本特征 .....              | (92)  |
| 第二节 碳酸盐岩滩体形成的控制因素、形成方式及主要类型 ..... | (93)  |
| 第三节 滩储集体的物性特征 .....               | (108) |
| 第四节 机械成因滩体的地球物理与地质识别方法 .....      | (110) |
| 第六章 生物礁的地球物理识别 .....              | (114) |
| 第一节 重磁方法在生物礁勘探中的应用 .....          | (114) |
| 第二节 生物礁的测井识别 .....                | (119) |
| 第三节 生物礁地震特征及识别方法 .....            | (125) |
| 第四节 生物礁识别的陷阱 .....                | (150) |

|                                            |       |
|--------------------------------------------|-------|
| 第七章 生物礁的地球物理识别实例 .....                     | (157) |
| 第一节 珠江口盆地生物礁 .....                         | (157) |
| 第二节 四川盆地黄龙场地区生物礁 .....                     | (162) |
| 第三节 塔里木盆地塔中 I 号坡折带奥陶系生物礁 .....             | (168) |
| 第四节 四川盆地龙岗地区上二叠统长兴组生物礁 .....               | (174) |
| 第五节 四川盆地川东北地区三叠系飞仙关组鲕滩体 .....              | (181) |
| 第六节 加拿大 Rainbow 地区中泥盆统生物礁 .....            | (192) |
| 第七节 阿拉伯联合酋长国阿布扎比布哈撒(Bu Hasa)生物礁 .....      | (197) |
| 第八节 美国密执安盆地志留系尼亚加拉统陆棚边缘生物礁 .....           | (203) |
| 第九节 加拿大阿尔伯达省西南部 Ricinus 地区 Leduc 生物礁 ..... | (207) |
| 第十节 美国墨西哥湾东部中新世机械沉积滩 .....                 | (211) |
| 参考文献 .....                                 | (217) |

# 第一章 生物礁的概念、分类及研究现状

生物礁具有良好的储集性能,是多种矿产资源的有利富集场所,尤其是油气储集得天独厚的“天堂”。据国际化学工业学会(CIA)1977年的统计表明:全球已发现的生物礁及相关的滩油气田的可采储量分别达到了  $1000 \times 10^8 \text{ bbl}$  和  $1200 \times 10^8 \text{ bbl}$  油当量。这大约占世界所有类型油藏探明和部分探明储量总和的 19%,约占世界所有石灰岩油藏探明可采储量的 47%。

根据美国石油地质家协会(AAPG)、HIS 能源公司、美国《油气杂志》等机构的定义,原油可采储量大于  $5 \times 10^8 \text{ bbl}$  (约  $7000 \times 10^4 \text{ t}$ ) 或天然气可采储量超过  $3 \times 10^{12} \text{ ft}^3$  (约  $849 \times 10^8 \text{ m}^3$ ) 的油气田为大型油气田(Giant Oil or Gas Fields)。根据该标准,截至 1970 年,世界上大型生物礁油田有 31 个,滩油田 21 个,生物礁、滩油气田数量占所发现的 260 个大型油田数量的 20%。其中有 16 个生物礁或与生物礁有关的油田以及 16 个滩油田的最终可采储量都超过了  $10 \times 10^8 \text{ bbl}$  油当量。两者加在一起占世界单个可采储量大于  $10 \times 10^8 \text{ bbl}$  油当量的 120 个油田和 33 个气田储量总和的 21% (Halbouty, 1970)。其中有 4 个超大型油田(可采储量大于  $100 \times 10^8 \text{ bbl}$ ),它们是:沙特的侏罗系 Ghawar 油田( $603 \times 10^8 \text{ bbl}$ )、伊拉克白垩系 Rumaila 油田( $138 \times 10^8 \text{ bbl}$ )、伊拉克渐新世 Kirkuk 油田( $163 \times 10^8 \text{ bbl}$ )和墨西哥白垩系 Reforma 油田(大于  $300 \times 10^8 \text{ bbl}$ ) (McCaslin, 1977) (表 1-1 至表 1-3)。随着油气勘探的不断深入,将有更多的生物礁油气田(包括大型油气田)被发现。

从单井产量上看,世界上现有 8 口日产油超万吨的油井,都是产在碳酸盐岩沉积区,而且有 4 口井产在生物礁型油田中,其中 3 口井集中在墨西哥黄金巷环礁油区。墨西哥黄金巷环礁油区的高产油井塞罗阿苏耳 4 号井初产为  $31740 \text{ t/d}$ ,数十年稳产在  $28500 \text{ t/d}$  左右(李钟模, 2007)。

生物礁滩油气藏由于其巨大的勘探价值而成为重要的勘探对象。在加拿大、墨西哥、利比亚和中东地区更是重要的储量产量来源,如在墨西哥生物礁油气田的油气产量占全国油气总产量的 70%,加拿大则为 60%。在我国,生物礁分布十分广泛,生物礁及其相关的滩油气藏勘探也取得了一些重要的发现,在四川盆地发现了建南、铁山、天东、云安厂、黄龙场、七里北、普光气田(孙珍琴, 2006)、龙岗气田等,在塔里木盆地发现了塔中 62—塔中 82 井区油藏等(邬光辉,黄广建等, 2007),在柴达木盆地发现了跃进油田(温志峰,钟建华等, 2005),在渤海湾盆地济阳坳陷发现了平方王油田、义和庄油田、义东油田、邵家油田等生物礁油田(李勇,钟建华等, 2006),在珠江口盆地发现了流花 11-1 等油田(岳大力,吴胜和等, 2005),另外在羌塘盆地和湘西、贵州、广西、陕南、赣西北、浙西、山东等地区都发现了生物礁(夏军等, 2006;刘春燕,林杨松等, 2007;曾鼎乾,刘炳温,黄蕴明, 1989;范嘉松,胡平忠,王金中, 1996)。

虽然我国已发现了一批生物礁油气藏(田),但所发现的油气田规模和对生物礁油气藏的研究深度与国外相比相差甚远。为更好地探索生物礁油气田分布规律,发现更多更大的油气藏(田),开展生物礁的深入研究,搞清生物礁的生长发育条件、发育特征、时空分布及生物礁油气成藏主控因素对生物礁滩型油气藏的勘探与发现,十分重要。

表 1-1 世界上主要的大型生物礁油气田

| 编号 | 油田或区带                               | 地理位置    | 年代     | 礁类型    | 最终(探明+控制)可采储量              |                                           |                                 |              | 油气田产量                                     |                 |
|----|-------------------------------------|---------|--------|--------|----------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------|--------------|-------------------------------------------|-----------------|
|    |                                     |         |        |        | 油<br>(10 <sup>6</sup> bbl) | 天然气<br>(10 <sup>9</sup> ft <sup>3</sup> ) | 总烃<br>(10 <sup>6</sup> bbl 油当量) | 油<br>(bbl/d) | 气<br>(10 <sup>6</sup> ft <sup>3</sup> /d) | 油气当量<br>(bbl/d) |
| 1  | Reforma Trend                       | 墨西哥     | 白垩纪    | 陆棚边缘礁  | 30000                      | —                                         | 30000                           | 900000       | —                                         | 900000          |
| 2  | Kirkuk                              | 伊拉克     | 渐新世    | 堡礁     | 14750                      | —                                         | 14750                           | 960000       | —                                         | 960000          |
| 3  | Shaybah                             | 沙特      | 白垩纪    | 斑点礁    | 5553                       | 15259                                     | 8356                            | —            | —                                         | —               |
| 4  | North Rumaila                       | 伊拉克     | 白垩纪    | 未分异生物礁 | 7000                       | —                                         | 7000                            | 150000       | —                                         | 150000          |
| 5  | Bu Hasa                             | 阿联酋阿布扎比 | 白垩纪    | 斑点礁    | 6089                       | 4930                                      | 6939                            | 680000       | —                                         | 680000          |
| 6  | Nasser (Zelton)                     | 利比亚     | 古新世    | 未分异生物礁 | 4411                       | —                                         | 4411                            | 128414       | —                                         | 128414          |
| 7  | Defa                                | 利比亚     | 古新世    | 未分异生物礁 | 3124                       | —                                         | 3124                            | 91520        | —                                         | 91520           |
| 8  | Arun                                | 印尼苏门答腊  | 中新世    | 未分异生物礁 | 653 (NGL)                  | 11680                                     | 2670                            | 21861        | 4716                                      | 100047          |
| 9  | Poza Rica                           | 墨西哥     | 白垩纪    | 礁堆积    | 2088                       | 2170                                      | 2462                            | 53000        | 12.2                                      | 55025           |
| 10 | Kelly Snyder                        | 美国得克萨斯  | 宾夕法尼亚纪 | 环礁     | 1245                       | 1015                                      | 1420                            | —            | —                                         | —               |
| 11 | Intisar "A"                         | 利比亚     | 古新世    | 塔礁     | 1349                       | —                                         | 1349                            | 71540        | —                                         | 71540           |
| 12 | Bai Hassan                          | 伊拉克     | 渐新世    | 未分异生物礁 | 1235                       | —                                         | 1235                            | 34000        | —                                         | 34000           |
| 13 | Naranjos Corro Azul                 | 墨西哥     | 白垩纪    | 环礁     | 1184                       | —                                         | 1184                            | 8200         | —                                         | 8200            |
| 14 | Intisar "D"                         | 利比亚     | 古新世    | 塔礁     | 1127                       | —                                         | 1127                            | 196416       | —                                         | 196416          |
| 15 | Swan Hills                          | 加拿大     | 泥盆纪    | 环礁     | 1002                       | 348                                       | 1062                            | 104100       | —                                         | 104100          |
| 16 | Arenque                             | 墨西哥     | 侏罗纪    | 礁堆积    | 1000                       | —                                         | 1000                            | 22000        | —                                         | 22000           |
| 17 | Michigan Reef <sup>3</sup><br>Trend | 美国密歇根   | 志留纪    | 塔礁     | 400 ~ 600                  | 3000 ~ 5000                               | 917                             | —            | —                                         | —               |
| 18 | Ciucuo                              | 美国哥伦比亚  | 中新世    | 未分异生物礁 | 240                        | 3890                                      | 911                             | 478          | 5.7                                       | 1428            |
| 19 | Yates                               | 美国得克萨斯  | 二叠纪    | 未分异生物礁 | 900                        | —                                         | 900                             | 204681       | —                                         | 204681          |
| 20 | Redwater                            | 加拿大     | 泥盆纪    | 塔礁     | 806                        | —                                         | 806                             | 85000        | —                                         | 85000           |
| 21 | Rainbow                             | 加拿大     | 泥盆纪    | 环礁     | 699                        | 399                                       | 768                             | 83000        | —                                         | 83000           |
| 22 | Toteco                              | 宾夕法尼亚   | 泥盆纪    | 环礁     | 750                        | —                                         | 750                             | 3019         | —                                         | 3019            |
| 23 | Bagre                               | 宾夕法尼亚   | 白垩纪    | 环礁     | 750                        | —                                         | 750                             | 15800        | —                                         | 15800           |
| 24 | Sahabi "D"                          | 利比亚     | 古新世    | 塔礁     | 750                        | —                                         | 750                             | 6300         | —                                         | 6300            |

注:1ft<sup>3</sup> = 0. 028317m<sup>3</sup>; 1t(原油) = 7. 33bbl(原油)。

表 1-2 分时代生物礁油气田情况表

| 时代  | 油田或区带         | 地理位置   | 埋深<br>(ft) | 岩性         | 生物礁类型  | 面积<br>(acre) | 生物礁厚度<br>(ft) | 产层有效厚度<br>(ft) | 平均孔隙度<br>(%) | 平均渗透率<br>(10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> ) | 最终可采储量                     |                                         |                                    | 油气田产量        |                                         |                      |
|-----|---------------|--------|------------|------------|--------|--------------|---------------|----------------|--------------|----------------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------------------------------|----------------------|
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              | 油<br>(10 <sup>6</sup> bbl) | 气<br>(10 <sup>9</sup> ft <sup>3</sup> ) | 总烃<br>(10 <sup>6</sup> bbl<br>油当量) | 油<br>(bbl/d) | 气<br>(10 <sup>6</sup> ft <sup>3</sup> ) | 总烃<br>(bbl<br>油当量/d) |
| 中新世 | Aurm          | 印尼苏门答腊 | 9500       | 珊瑚藻灰岩      | 未分异生物礁 | 21450        | 1200          | 500            | 16           | 17                                           | 653                        | 1168                                    | 2670                               | 21861        | 471.6                                   | 100047               |
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              | 240                        | 3890.5                                  | 911                                | 478          | 5.7                                     | 1428                 |
| 渐新世 | Cicuco        | 美国哥伦比亚 | 8115       | 珊瑚灰岩       | 未分异生物礁 |              |               | 62             | 15           | 30 ~ 350                                     |                            |                                         |                                    |              |                                         |                      |
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              |                            |                                         |                                    |              |                                         |                      |
| 渐新世 | Kirkuk        | 伊拉克    | 1410       | 白云岩化珊瑚灰岩   | 堡礁     |              |               | 1150           | 20           | 50 ~ 1000                                    | 14750                      |                                         | 14750                              | 960000       |                                         | 960000               |
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              |                            |                                         |                                    |              |                                         |                      |
| 古新世 | Bai Hassan    | 伊拉克    | 1750       | 白云岩化珊瑚灰岩   | 未分异生物礁 | 20756        |               | 875            | 20           | 200                                          | 1235                       |                                         | 1235                               | 34000        |                                         | 34000                |
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              |                            |                                         |                                    |              |                                         |                      |
| 古新世 | Intisar "A"   | 利比亚    | 9750       | 珊瑚藻灰岩      | 塔礁     | 4000         | 1200          | 980            | 21           | 26                                           | 1349                       |                                         | 1349                               | 71540        |                                         | 71540                |
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              |                            |                                         |                                    |              |                                         |                      |
| 白垩纪 | Defa          | 利比亚    | 5400       | 珊瑚藻灰岩      | 塔礁     | 34600        |               | 370            | 20           |                                              | 3124                       |                                         | 3124                               | 91520        |                                         | 91520                |
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              |                            |                                         |                                    |              |                                         |                      |
| 白垩纪 | ReformatTrend | 墨西哥    |            | 厚壳蛤砂屑白云质灰岩 | 陆棚边缘礁  | 36000        |               | 3280           | 14 ~ 26      |                                              | 30000                      |                                         | 30000                              | 900000       |                                         | 900000               |
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              |                            |                                         |                                    |              |                                         |                      |
| 侏罗纪 | Shaybah       | 沙特     | 4494       | 砂屑灰岩       | 斑点礁    | 85800        |               | 190            | 24           | 10                                           | 5553                       | 16259                                   | 8351                               |              |                                         |                      |
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              |                            |                                         |                                    |              |                                         |                      |
| 侏罗纪 | Arenque       | 墨西哥    | 11350      | 石灰岩        | 礁堆积    | 768000       |               | 115            |              |                                              | 1000                       |                                         | 1000                               | 22000        |                                         | 22000                |
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              |                            |                                         |                                    |              |                                         |                      |
| 侏罗纪 | Urtabulaskoye | 前苏联    | 7167       | 石灰岩        | 未分异生物礁 | 12500        |               | 164            | 25           | 1000                                         |                            | 3625                                    | 625                                |              |                                         |                      |
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              |                            |                                         |                                    |              |                                         |                      |
| 三叠纪 | Yates         | 美国得克萨斯 | 1500       | 白云岩化灰岩     | 未分异生物礁 | 20700        |               | 220            | 19           | 42                                           | 900                        |                                         | 900                                | 204681       |                                         | 204681               |
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              |                            |                                         |                                    |              |                                         |                      |
| 三叠纪 | Empire        | 美国新墨西哥 | 6014       | 白云岩        | 未分异生物礁 |              |               | 300            | 10           | 985                                          | 218                        |                                         | 218                                |              |                                         |                      |
|     |               |        |            |            |        |              |               |                |              |                                              |                            |                                         |                                    |              |                                         |                      |

续表

| 时代  | 油田或区带                  | 地理位置   | 埋深<br>(ft)    | 岩性        | 生物礁类型     | 面积<br>(acre)      | 生物礁厚度<br>(ft) | 产层有效厚度<br>(ft) | 平均孔隙度<br>(%) | 平均渗透率<br>( $10^{-3} \mu\text{m}^2$ ) | 最终可采储量                      |                              |                                 | 油气田产量        |                              |                   |
|-----|------------------------|--------|---------------|-----------|-----------|-------------------|---------------|----------------|--------------|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------|------------------------------|-------------------|
|     |                        |        |               |           |           |                   |               |                |              |                                      | 油<br>( $10^6 \text{ bbl}$ ) | 气<br>( $10^9 \text{ ft}^3$ ) | 总烃<br>( $10^6 \text{ bbl}$ 油当量) | 油<br>(bbl/d) | 气<br>( $10^6 \text{ ft}^3$ ) | 总烃<br>(bbl 油当量/d) |
| 二叠纪 | 龙岗                     | 中国四川   | > 19685       | 白云岩、灰岩    | 台地边缘礁、斑点礁 | > 247103          | 164 ~ 1017    | 34.1 ~ 218.6   | 3.41 ~ 11.25 | 0.68 ~ 10.65                         |                             |                              |                                 |              |                              |                   |
|     | 普光                     | 中国四川   | 16404 ~ 19685 | 白云岩       | 台地边缘礁、斑点礁 | 11268 (截至 2005 年) | 702 ~ 1999.2  | 216.5 ~ 1701.6 | 7.52         | 180.04                               |                             | 6651 (截至 2005 年)             | 1131                            |              |                              |                   |
| 石炭纪 | kelly Snyder           | 美国得克萨斯 | 6225          | 生物碎屑灰岩    | 环礁        | 51000             |               | 230            | 7            | 15                                   | 1245                        | 1015                         | 1420                            | 532          |                              | 532               |
|     | Aneth                  | 美国犹他州  |               | 叶状藻白云岩化灰岩 | 斑点礁       | 48000             |               | 81             | 10           | 20                                   | 452                         | 200                          | 486                             | 900          |                              | 900               |
| 泥盆纪 | Swan Hills             | 加拿大    | 7800          | 层孔虫灰岩     | 环礁        | 101200            | 395           | 88             | 7            | 20                                   | 1002                        | 348                          | 1062                            | 104100       |                              | 104100            |
|     | Redwater               | 加拿大    | 3208          | 层孔虫灰岩     | 环礁        | 37500             | 1040          | 103            | 7            | 500                                  | 806                         |                              | 806                             | 85000        |                              | 85000             |
| 志留纪 | N. Michigan Reef Trend | 美国     |               |           | 塔礁        |                   |               | 600            | 5 ~ 30       |                                      | 400                         | 3000                         | 917                             |              |                              |                   |
|     | A. Onondaga            | 美国     | 3718          | 层孔虫白云岩化灰岩 | 塔礁        | 914               |               | 92             | 6            | 30                                   | 8.3                         | 8.9                          | 9.8                             |              |                              |                   |
| 奥陶纪 | 塔中 I 号构造带              | 中国新疆   | 14825 ~ 18499 | 礁灰岩、颗粒灰岩  | 台地边缘礁     | 57427 (截至 2005 年) | 492           | 170.9 ~ 207.3  | 1.5 ~ 10.1   | 5.35                                 | 30.8 (截至 2005 年)            | 776.2 (截至 2005 年)            | 162.8                           |              |                              |                   |

注: 1ft = 0.3048m; 1 acre = 0.0040469 km<sup>2</sup>。

表 1-3 世界上主要的机械成因碳酸盐岩滩体油田

| 编号 | 油田              | 地理位置         | 圈闭类型    | 年代    | 储层内碎屑类型 | 岩性  | 单井日产量<br>(bbl) | 孔隙度(%)  | 渗透率<br>( $\times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ) | 最终可采储量<br>( $\times 10^4 \text{ bbl}$ ) |
|----|-----------------|--------------|---------|-------|---------|-----|----------------|---------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 1  | Ghawar          | 沙特阿拉伯        | 背斜圈闭    | J     | 球粒      | 石灰岩 | 12860          | 20 ~ 22 | —                                         | 60300                                   |
| 2  | Abqaiq          | 沙特阿拉伯        | 背斜圈闭    | J     | 球粒      | 石灰岩 | 12030          | 20      | —                                         | 9100                                    |
| 3  | Manifa          | 沙特阿拉伯        | 背斜圈闭    | J + K | 鲕粒 + 球粒 | 石灰岩 | —              | 25 ~ 16 | —                                         | 8600                                    |
| 4  | Berri           | 沙特阿拉伯        | 背斜圈闭    | J     | 球粒      | 石灰岩 | —              | 18      | 200 ~ 300                                 | 8000                                    |
| 5  | Khurais         | 沙特阿拉伯        | 背斜圈闭    | J     | 球粒      | 石灰岩 | 2769           | 22 ~ 18 | —                                         | 4400                                    |
| 6  | Abu Sa'fah      | 沙特阿拉伯        | 背斜圈闭    | J     | 球粒      | 石灰岩 | 3750           | —       | —                                         | 4039                                    |
| 7  | Qatif           | 沙特阿拉伯        | 背斜圈闭    | J     | 球粒      | 石灰岩 | 3380           | 15 ~ 17 | 140                                       | 3200                                    |
| 8  | Mingish         | 科威特          | 背斜圈闭    | K     | 鲕粒      | 石灰岩 | 3785           | 20      | 300                                       | 3005                                    |
| 9  | Dukhan          | 卡塔尔          | 背斜圈闭    | J     | 球粒      | 石灰岩 | —              | 19 ~ 25 | 50 ~ 1600                                 | 2400                                    |
| 10 | Nasser          | 利比亚          | 断块圈闭    | E     | 生物碎屑    | 石灰岩 | 7700           | 18 ~ 35 | 100                                       | 2200                                    |
| 11 | Idd El Shargi   | 卡塔尔          | 背斜圈闭    | J     | 球粒      | 石灰岩 | —              | 20      | 20 ~ 1600                                 | 2100                                    |
| 12 | Wafra           | Neutral Zone | 背斜圈闭    | K     | 鲕粒      | 石灰岩 | 363            | 22      | —                                         | 1690                                    |
| 13 | Marjan          | 沙特阿拉伯        | 背斜圈闭    | K     | 鲕粒      | 石灰岩 | 745            | —       | —                                         | 1290                                    |
| 14 | Dammam          | 沙特阿拉伯        | 背斜圈闭    | J     | 球粒      | 石灰岩 | 1055           | 20 ~ 25 | 60 ~ 290                                  | 1050                                    |
| 15 | Abu Hadria      | 沙特阿拉伯        | 背斜圈闭    | J     | 球粒      | 石灰岩 | 6111           | —       | —                                         | 1038                                    |
| 16 | Umm Gudair      | 科威特          | 背斜圈闭    | K     | 鲕粒      | 石灰岩 | —              | —       | —                                         | 977                                     |
| 17 | Dehra, E./Hofra | 利比亚          | 断块圈闭    | E     | 生物碎屑    | 石灰岩 | 1500           | 20 ~ 30 | 20 ~ 500                                  | 700                                     |
| 18 | Defa            | 利比亚          | 断块圈闭    | E     | 生物碎屑    | 石灰岩 | 1500           | —       | —                                         | 600                                     |
| 19 | Fadhili         | 沙特阿拉伯        | 背斜圈闭    | J     | 球粒      | 石灰岩 | 187            | 11      | —                                         | 557                                     |
| 20 | Weyburn         | Saskatchewan | 地层不整合圈闭 | M     | 鲕粒 + 球粒 | 白云岩 | —              | 17      | —                                         | 478                                     |
| 21 | Gudair, South   | Neutral Zone | 背斜圈闭    | K     | 鲕粒      | 石灰岩 | 3271           | —       | —                                         | 420                                     |

注: M 为北美地区的密西西比纪, 相当于早石炭世。

## 第一节 生物礁的研究历史及现状

从科学的角度对生物礁进行研究始于 18 世纪末到 19 世纪初。达尔文 1837 年从科学的角度阐明了珊瑚岛的成因(库兹涅佐夫,1983);著名地质学家 Lyell 在 1841 年对生物礁进行了研究,随后 Hall(1862),Vaughan(1911)和 Cumings(1932)等都对生物礁开展了早期的研究。20 世纪中叶,生物礁的研究受到重视,尤其是 20 世纪 20 年代,由于在生物礁中发现了大量的油气,从而更加刺激了人们对生物礁的兴趣,油气的发现使 20 世纪 70—80 年代在国外掀起了生物礁研究的热潮,有关成果大量涌现。

20 世纪 40 年代,在墨西哥发现了波扎·里卡生物礁油田,1948 年美国在二叠盆地发现了斯库瑞生物礁油田,可采储量  $2.6 \times 10^8 \text{t}$ 。20 世纪 50—70 年代,随着世界经济的复苏,生物礁的油气勘探发展迅速。1967 年利比亚的锡尔特盆地发现了茵蒂萨尔 A、D 两个大型生物礁油田,石油可采储量分别为  $1.64 \times 10^8 \text{t}$  和  $2.05 \times 10^8 \text{t}$ 。其中茵蒂萨尔 D 油田钻探的 D-1 井初期日产量达  $1 \times 10^4 \text{t}$ 。1968 年在伊拉克的波斯湾地区发现的基尔库克油田,石油可采储量达  $20.5 \times 10^8 \text{t}$ 。1971 年印度尼西亚的苏门答腊发现了 Arun 大型油气田,油气当量达  $26.7 \times 10^8 \text{bbl}$ 。1972 年在墨西哥发现了西美奥和卡西图斯生物礁油田。该时期,由于采用地震共深度点法,改善了对盐下构造的成像精度,形成了油气发现的高潮,先后发现了肯基亚克油田、阿斯特拉罕气田等多个与生物礁有关的油气田。20 世纪 80 年代至今,随着技术的进步和能源需求的增长,生物礁油气藏的勘探更是不断升温,有更多的油气田被发现,如 20 世纪 90 年代在里海北部发现的卡萨冈生物礁油田,其石油地质储量达  $70 \times 10^8 \text{t}$ (甘玉青,肖传桃,张斌,2009)。

我国生物礁的研究起步于 20 世纪 30—40 年代,相对于国外近 200 年的研究历史,晚了很多,但近 20 年我国生物礁研究及油气勘探发展迅速。我国近现代有关生物礁的研究分为两大领域:一是对古代生物礁的研究;二是对现代珊瑚礁的研究。

### 一、古代生物礁的研究历史及现状

#### (一)1980 年以前的生物礁研究起步阶段

该阶段以野外生物礁露头剖面测量研究为主要特点,辅以内岩石学研究,主要研究生物礁的造礁生物的种类、生物礁年代、层位分布、产出状态、空间展布和岩性特征。20 世纪 30—40 年代,著名地质学家黄汲清开拓了二叠纪海相碳酸盐岩的古生物和地层学研究,鉴定了岩层中的古生物组分,发现了古珊瑚的新属种,探索了古珊瑚物种的演化。1955 年初黄汲清和谢家荣指出了勘探生物礁的重要意义,地质部组织开展了石油普查工作。20 世纪 60 年代初,石油工业部组织了南方古生界找油勘探队伍。1963 年何可梗编写的“贵州西南部紫云、望谟、册亨一带上二叠系生物礁岩的初步探讨”研究报告中首次认为贵州西南部晚二叠世可能存在生物礁,被誉为我国古代生物礁研究的第一篇论著。在 20 世纪 70 年代,我国生物礁的研究仅限于西南地区的贵州、广西和滇东。1970 年贵州石油勘探指挥部特意组织了二叠纪生物礁调查。1973 年王治华和钟筱清在“贵州西南部紫云、望谟、册亨一带上二叠统生物礁相石油调查研究总结报告”中肯定了二叠系露头所见到的化石富集,块状、无层理、厚度大于相邻同一地层的特殊沉积就是古代生物礁(赵焕庭,1996)。

在油气勘探方面,1974 年建 16 井的突破,发现了四川盆地东部地区第一个二叠系生物礁气藏——建南生物礁气藏,开创了我国生物礁油气藏勘探的新纪元(甘玉青等,2009)。

## (二)1980—1999 年期间的生物礁深入研究、快速发展并在生物礁油气藏勘探取得突破阶段

该阶段以生物礁的综合研究为特点,开展了生物礁体特征、岩石学、造礁生物特征及生态学、油气成藏等多方面研究,同时将研究成果用于指导生物礁油气藏勘探并取得突破。

20 世纪 80—90 年代,得益于在我国多个地区发现了生物礁油气藏和礁型层控矿床,如四川东部地区铁山、天东、云安厂、黄龙场等二叠系生物礁气藏、山东东营地区古近系生物礁油藏和珠江口盆地惠州 33-1-1、陆丰 15-1-1、流花 11-1 等古近—新近纪生物礁油气田(藏)等,生物礁的研究获得重视和快速发展,生物礁研究不断深入,从礁体形态、轮廓、规模的研究,逐渐扩展到对礁体的结构、构造、生物组合、群落和古生态、相带分析、生长发育阶段,以及分布规律等多方面的研究。特别是对生物礁的微相分析和生物群落研究,大大地加深了生物礁的成因和演化认识。把古生物研究和沉积学研究紧密结合起来,是 20 世纪 80 年代生物礁研究的主要特色,从而使我国生物礁研究达到了新的阶段(范嘉松,1996)。如广西、云南、四川、湖北、湖南、贵州各石油和地矿部门、地质和石油院校开展了大量野外普查工作,取得了大量野外调查资料,发现了许多生物礁体。曾鼎乾,刘炳温,黄蕴明 1989 年在《中国各历史时期生物礁》一书中较系统总结了我国生物礁的研究成果,第一次系统阐述了生物礁的定义、造礁生物特点、生物礁的形成条件和生物礁分类;我国从震旦纪—新近纪各地质历史时期生物礁区域分布和发育特征;生物礁岩的储集物性;生物礁的判别标志及勘探方法。尤其难能可贵的是将生物礁的研究与生物礁油气藏相结合,总结了地下隐伏生物礁和生物礁油气藏的勘探方法。1996 年出版的由范嘉松主编的《中国生物礁与油气》一书展示了中国南方各时代生物礁,并论述了生物礁的类型、形态、规模和时空展布;生物礁的结构、构造;生物礁的造架生物和生物群落;生物礁的岩石类型、成岩作用、孔隙类型与油气演化;生物礁的形成模式;生物礁的生长发育规律及其区域分布的控制因素,此外还介绍了泥盆纪礁控矿床。

## (三)2000 年以来以生物礁滩为对象的礁滩油气藏勘探成果不断扩大阶段

随着生物礁研究的不断深入,生物礁油气藏引起石油勘探部门的高度重视,有意识地以生物礁油气藏为对象进行勘探取得重大突破,勘探成果不断扩大。继 1999 年中国石油四川油气田分公司在四川盆地黄龙场发现生物礁气田之后,2000—2003 年持续进行对生物礁气田评价勘探,成果显著。2004 年,中国石化南方勘探开发分公司在四川盆地宣汉—达县区块的川东断褶带东北段双石庙—普光 NE 向构造带钻探的普光 2 井在二叠系长兴组生物礁获得日产气  $58.88 \times 10^4 \text{ m}^3$  的工业气流,发现了普光气田。2005 年中国石油西南油气田分公司有意识的针对地震异常在四川盆地川东地区七里北构造部署七里北 2 井,该井钻揭长兴组生物礁骨架灰岩总厚度达 260 余米,礁相白云岩厚度 57m,有效厚度 23m。完井测试,12mm 孔板,日产气  $5.55 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,发现了七里北生物礁气藏。2006 年中国石油西南油气田分公司在四川省南充市仪陇县境内的龙岗地区根据生物礁体地震剖面反射特征部署了风险探井龙岗 1 井,该井 2006 年 4 月 19 号开钻,同年 9 月 12 号钻达井深 6530m 完钻,经完井测试,长兴组和飞仙关组分别获日产气  $65.3 \times 10^4 \text{ m}^3$  和  $126.48 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,无阻流量分别为  $187 \times 10^4 \text{ m}^3$  和  $727 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,发现了龙岗大气田。同时,在塔里木盆地塔中地区针对生物礁滩体的勘探也不断取得新的发现,勘探成果持续扩大。

## 二、现代珊瑚礁的研究历史及现状

1928 年 5—6 月,以中山大学沈鹏飞教授为首的西沙群岛调查团(成员有两广地质调查所

朱庭枯及有关单位科技人员共 15 人)赴西沙群岛,考察了珊瑚岛陆地的地质、矿产、土壤和植物,对灰沙岛的自然特征有了最基本的认识,揭开了我国现代珊瑚礁科学研究的序幕。马廷英在 1933—1934 年连续发表了 3 篇论文,报道了古生代珊瑚化石内部构造上有类似植物年轮的季候生长现象,又发现了现代造礁珊瑚内部组织上亦存在此种构造,并证实它是季候成长或年成长的记录。1936 年 4—9 月,马廷英在东沙岛调查,采集了大批珊瑚标本,还获得了当地观象台的海水温度逐日记录,完成了现代造礁珊瑚成长率与海水温度之关系的研究报告,证明了现代各种造礁珊瑚的成长率受海水温度的制约,造礁珊瑚的成长率与海水温度的增高率成正比,指出“比较与研究现代与过去造礁珊瑚的成长率确不失为研究古气候的一个极可靠的工具”,从而开创了造礁珊瑚生长与环境温度关系的研究。抗日战争胜利后,我国收复了南海诸岛。1946—1947 年间,我国有关单位的科技人员多人分批前往西沙群岛或南沙群岛考察,随后陆续发表了一批现代珊瑚礁矿产地质、地理、地貌、土壤、植物、珊瑚和软体动物的论著,测绘了地形图。郭令智 1948 年发表的《Geomorphology of the Tizard Bank and Reefs, Nansha, China》则是我国研究环礁地貌的第一篇科学论文(赵焕庭,1996)。

近几十年来,我国对现代珊瑚礁的调查研究已从大陆和大陆岛的沿岸遍及南海诸岛,愈来愈多的不同专业的科技人员投入到现代珊瑚礁研究中来,研究领域不断开拓,硕果累累。

#### (一)珊瑚礁生物的种属研究方面

珊瑚礁生物多样性很突出,造礁生物和附礁生物繁多。前者主要为浅水造礁石珊瑚类和珊瑚藻科的属种。海南岛的珊瑚属种,马廷英(1937)、Д. В. 纳乌莫夫(1960)、邹仁林等(1962—1965, 1975)、颜京松(1987)、中国科学院南海海洋研究所、南沙综合科学考察队(1973—1975)和广东省海岸带和海涂资源综合调查大队(1980—1986)等先后开展了珊瑚礁生物多样性研究,取得了重要成果。在海南岛采集的珊瑚有 13 科 34 属和 2 亚属、110 种和 5 亚种,其中有 1 个新种(邹仁林等,1975)。西沙群岛有石珊瑚 12 科 33 属 113 种和亚种,水螅珊瑚 2 属 7 种,笙珊瑚和苍珊瑚各 1 属 1 种。此外,华南大陆沿岸有 21 属 45 种,台湾岛有 40 属 129 种和亚种,东沙群岛有 27 属 70 种,黄岩岛有 19 属 46 种。中国科学院南海海洋研究所、南沙综合科学考察队在南沙群岛先后采集了共 124 种,有藻类、软体动物、柳珊瑚、软珊瑚、苔藓虫、有孔虫、介形类、棘皮动物、龙介科、海绵动物、鱼、虾、蟹、龟和其他海洋生物种数以千计。目前南沙群岛礁区生物调查研究还不够充分,有待进一步深入。

#### (二)珊瑚礁地貌与沉积研究方面

前苏联专家(1960)、曾昭璇等(1960—1961)、中国科学院海洋研究所和南海海洋研究所(1962—1965)、中国科学院地质研究所、南海海洋研究所、同济大学和华南师范学院(20 世纪 70—80 年代)、沙庆安等(1981—1986)、朱袁智等(1979)、华南师范学院地貌教研室(1981)、何起祥等(1985)等对我国海南岛沿岸、西沙群岛开展了珊瑚礁地貌和沉积学方面的研究工作,取得了丰硕成果:

(1)将海南岛沿岸和西沙群岛的珊瑚礁划分为环礁、台礁、礁丘、封闭潟湖礁等类型;

(2)海南岛和西沙群岛区域地质、地貌和岛屿时代、礁坪和岛屿海滩的物质组成等研究,揭示了灰沙岛地貌的发育规律,研究了岛屿类型和现代滨岸风暴沉积,确定了石岛风成石灰岩并发现了古土壤。

(3)在近年的地貌考察中,使用回声测深,全球定位系统(GPS)和旁侧声呐扫描等技术,对礁体地貌有了比较全面的认识。对礁区表层沉积物的粒度、生物组分、矿物成分和化学成分进行了分析,还结合地貌学、岩石学的分析,就礁体表层沉积相划分了向海坡、礁坪、潟湖等相

带和亚带,并整理了礁区现代沉积元素分布图。

### (三) 珊瑚礁地质与古环境演化研究方面

基于在南海珊瑚礁岛上所钻探井取得的岩心样品的系统岩矿、地球化学、微体古生物分析等方面的研究,取得了大量的珊瑚礁地质与古环境方面的研究成果。

在南海珊瑚礁岛上钻探的探井主要有:西永1井(石油工业部南海石油勘探筹备处在1973—1974年间于永兴岛实施钻探的井,井深1384.68m,揭露礁体厚1251m,基底为古生代变质岩);地质矿产部海洋地质研究所于1983—1984年间在西沙群岛的琛航岛、永兴岛和石岛上钻3口井(未穿透礁体);南永1井(中国科学院南沙综合科学考察队于1990年在南沙群岛的永暑礁礁坪上实施的探井,井深152.07m,未穿透礁体);南永2井(中国科学院南沙综合科学考察队1994年在永暑礁人工岛上实施的探井,井深413.69m,已钻进中新世晚期地层,但也未穿透礁体)等。

主要研究成果有:

(1)初步建立了中新世晚期以来的南海生物礁相地层层序。

(2)鉴定、分析了大量的造礁和附礁生物化石种属和组合、矿物、岩土物理力学、常量和微量化学元素、氧碳铅锶同位素和多种年龄数据等实际资料,系统论述礁体的地质年龄和地层学、礁的沉积岩石学、岩土物理力学、工程地质、生物组分、元素地球化学、碳酸盐全岩同位素地球化学、沉积相与礁体演化、古气候与古海平面变化,以及新构造运动问题。

(3)根据生物组合及其指相意义识别不同的相带及其纵向变化,结合生物礁沉积—成岩作用变化,划分出沉积旋回,结合其他实测资料研究古气候与古海平面变化规律。

除上述三方面的研究工作外,还进行了大量的珊瑚记录的环境变化和珊瑚礁工程地质方面的研究工作。

总结我国生物礁的研究主要有如下特点:

(1)我国生物礁的研究主要侧重于古代生物礁、南海和西沙现代生物礁。古代生物礁的研究工作主要集中在古生代生物礁的研究(范嘉松,1996;Fan Jiasong et al.,1991;巩恩普,1998;覃建雄等,1999;田树刚,范嘉松,2002;吴亚生,范嘉松,2001,2002;吴亚生,1989)。新生代的生物礁的研究也有,但不多(胡平忠等,1996;Zhong et al.,2004)。

(2)我国生物礁的研究侧重于野外露头剖面的仔细观察、测量和描述,总体上先进的分析测试工作相对不足。

(3)对地下隐伏的生物礁的重磁、测井和地震等地球物理方法的识别及预测、生物礁油气成藏规律方面的总结成果不多,研究成果“油味不浓”。

## 第二节 生物礁的概念及相关的一些常见术语

### 一、生物礁概念

在漫长的地质历史中,从太古代的微生物藻礁到现代的珊瑚和珊瑚藻礁,可以说生物礁是地球上最早的生命作用的产物。海洋条件的变化,如海平面、海洋面积和海水盐度的变化(Reading,1982),都会对生物礁的生长、胶结作用和微生物的成岩作用产生重要影响,同时对生物礁形成非常重要的 $\text{CaCO}_3$ 的沉淀也会因此而受到影响。这些因素以及造礁生物在地质历史时期中的进化和灭绝事件都会影响生物礁的生长、发育和演化。其结果就是在不同的地质