

中国石炭纪生物礁

CARBONIFEROUS REEFS OF CHINA

巩恩普 ● 著



NEUPRESS

东北大学出版社

中国石炭纪生物礁

CARBONIFEROUS REEFS OF CHINA

巩恩普 著



NEUPRESS
东北大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国石炭纪生物礁/巩恩普著. —沈阳:东北大学出版社,1997. 4
ISBN 7-054-185-4

I. 中...

II. 巩...

III. 中国石炭纪生物礁

IV. P5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 00853 号

◎东北大学出版社出版

(沈阳·南湖 110006)

东北大学印刷厂印刷

东北大学出版社发行

1997 年 4 月 第 1 版

1997 年 4 月 第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:9

字数:225 千字

印数:1~1000 册

定价:20.00 元

作者简介

巩恩普,男,辽宁省沈阳市人,1958年3月生。1978年2月考入中南工业大学地质系读本科,1981年12月毕业。1982年2月至1985年5月继续在中南工业大学地质系读研究生,获硕士学位,毕业后留校任教。1986年8月调入东北大学地质教研室任教。1992年11月开始攻读东北大学在职博士研究生,并于1995年获得博士学位。现任东北大学地质教研室主任、副教授。长期从事中国石炭纪生物礁研究。近年来,在《地质学报》、《科学通报》、《沉积学报》、《地质论评》和《地层学杂志》,以及国内外各种学术会议上共发表论文五十余篇。主要有:

1. Gong Enpu, Growth Dynamics of the Middle Devonian Jukoupu Bioherm, Xinshao, Hunan. *Acta Geologica Sinica*, 1994, 7(1), p95—106.
2. Gong Enpu, Guan Guangyue, Extension pattern of the Carboniferous coral limestone belt in the eastern part of North China and its geologic significance. *Chinese Science Bulletin*, 1997, 40(11).
3. 巩恩普,辽东太子河流域中石炭世若干生物礁的发现及研究。《沉积学报》,1994,12(1), p. 23—31.
4. 巩恩普,韩书和、关广岳,河北柳江盆地中晚寒武世藻类丘礁的演化。《沉积学报》,1995,13(1)
5. 巩恩普,湖南新邵巨口铺中泥盆世生物礁生长动力学研究。《地质学报》,1993,67(3), p. 276—286
6. 巩恩普,辽宁本溪本溪组生物礁的发现。《地层学杂志》,1992,16(3), p. 222—228
7. 巩恩普、关广岳,华北东部石炭纪巨型珊瑚岩带的展布规律及其地质意义。《科学通报》, 1995, 40(9)
8. 巩恩普,河北柳江盆地中上寒武统藻类丘礁演化及沉积环境。《辽宁省首届青年学术会议论文集》,东北工学院出版社,1992.
9. 巩恩普,辽宁本溪地区本溪组生物礁的发现及其环境意义。《辽宁地质学报》,1991,第1期。
10. 巩恩普,石炭纪造礁生物群落的古生态学研究——以本溪地区生物礁为例。《辽宁地质学报》,1992,第1期。
11. Gong Enpu, Carboniferous Reefs of North China. 30th International Geological Congress, Beijing, 1996.
12. Gong Enpu, An Algal—Foraminifera Reef of Carboniferous in Qinling, China. 30th International Geological Congress, Beijing, 1996.

序

地质历史时期生物礁的研究一直是沉积学和古生物学领域里一个十分活跃的课题。无论是地史时期还是现代,生物礁都有广泛的分布。现代最著名的生物礁是分布在澳大利亚东北岸的大堡礁,长达2000km,向岸外延伸达50—145km。在古代,整个显生宙都有礁发育。由于生物礁是生物在特定的环境下形成的极为独特的自然体系,并且具有重要的理论意义和实用价值,因而人们对生物礁有着广泛的兴趣。

生物礁岩是碳酸盐岩的一种独特类型,由于造礁生物极高的生产力,使生物礁成为海洋中碳酸盐岩形成的重要场所。近三、四十年来,碳酸盐岩及其含油、气特性的研究已逐渐成为石油与天然气勘探和开发的重要内容,而生物礁又是极好的储集空间,因而生物礁岩已成为碳酸盐岩储油岩的一种重要类型。世界许多含油气盆地都发现了礁型油气田,且多为高产油、气田。如加拿大泥盆纪的礁油气田,美国石炭、二叠纪礁油气田,前苏联泥盆纪、石炭纪和二叠纪礁油气田,我国二叠纪和第三纪礁油气田等。我国各时期碳酸盐岩地层十分发育,积极开展生物礁研究对我国碳酸盐岩型油气田的勘探与开发将产生巨大的推动作用。生物礁对研究沉积物的形成环境,特别是恢复地史时期古地理环境也有巨大的意义。礁的存在不仅形成一个特殊的沉积空间,它还以特有的方式影响或改变着周围同时期沉积物的形成和分布。

生物礁是一个巨大而复杂的生态体系,礁上栖居着种类繁多,数量惊人的各种生物,它们组成特殊的生物群落。在生物礁内具有各式各样的小生境,生物之间的生态关系复杂而有趣,是研究古生物学和古生态学的最佳场所,从而吸引了大批古生物学家和古生态学家对此进行研究。礁的生物群落极其复杂多样,且产能很高。生物群落高的丰富度和分异度,决定了它能迅速地从海洋中分泌碳酸钙,使生物礁具极高的生长速度。

纵观全部地质历史时期生物礁,我们会发现石炭纪生物礁的研究是极其薄弱的。这一方面是由于该期生物礁发现的较少,另一方面,也是由于石炭纪生物礁不象泥盆纪和二叠纪生物礁那样壮观。它常常是小规模的,甚至礁相也发育的不完全。导致这种现象的原因是与石炭纪特殊的地质环境分不开的。我国关于石炭纪生物礁的研究还属空白,仅有为数不多的学者进行探讨。

巩恩普博士多年潜心研究我国石炭纪生物礁,取得了一系列理论成果。在华北和华南等地发现了若干个石炭纪生物礁。在大量野外工作基础上,对中国石炭纪生物礁进行了比较系统的综合研究,并形成了关于中国石炭纪生物礁的第一本

专著,诚可庆贺。全书共七章 20 余万字。包括石炭纪生物礁研究现状,石炭纪生物礁发育地质地理环境分析,若干个石炭纪生物礁研究实例、礁岩石学与沉积相,造礁生物古生物学和古生态学、中国石炭纪生物礁发育基本规律及成礁模式等内容。几乎涉及到了生物礁研究的各个主要方面。各部分内容充实、立论有据,反映了作者扎实的理论基础和较强的综合研究能力。其中,一些新的观点和认识更是体现了作者对石炭纪地质学的深刻了解和大胆探索的精神,如太子河流域海陆交互相中生物礁的识别,华北地区岸礁体系的存在,秦岭海槽生物造礁作用,石炭纪造礁群落演化的二分性特点,即石炭纪生物绝灭事件的确认等,不仅立意新颖,而且意义重大。相信本书的出版对提高我国石炭纪生物礁研究水平,缩小我国在这方面与国外的差距具有重要意义。我衷心祝愿它能够为我国生物礁研究的繁荣做出应有的贡献。

俄罗斯联邦自然科学院院士
长春科技大学教授

王东坡

一九九七年四月一日

前 言

生物礁研究是地质科学领域中非常重要的课题,其研究范围涉及沉积学和古生物学两方面,同时又与多种矿产有成因上的联系。生物礁从地史时期到现代在世界各地有着广泛的分布。无论从海洋生物学还是海洋地质学,都是最引人注目的自然体系。它们最适宜的是热带和亚热带海洋。

生物礁是由各种生物建造而成的碳酸盐岩隆。礁中栖居着种类繁多、数量巨大的特有的生物群落。生物礁是一个极为独特的地质体,它的发生、发展与其它碳酸盐岩沉积体系完全不同。由于生物礁特殊的成岩作用,使之发育有各种各样的空隙,是石油和天然气的理想储集场所。

本书结合我国目前所发现的几个石炭纪生物礁开展了多方面的探索,以求获得对中国石炭纪生物礁一般特征和发育规律的深刻理解。本书研究范围包括陕西、贵州、辽宁、广西和北部湾等省区。其它地区尚未发现石炭纪生物礁。我国石炭纪生物礁分别产在大塘阶、威宁阶和马平阶三个层位,通过与欧美等国大量石炭纪生物礁的对比研究,发现这些层位的生物礁在世界各地具有很强的可比性和代表性,对这些典型生物礁的研究能在很大程度上代表中国石炭纪生物礁发育的一般规律。

生物礁研究的大部分工作是在野外进行的,生物礁的野外观察和测量是一项艰苦细致的工作,然而它又是必不可少的。随着现代测试手段的更新和普及,野外地质工作似乎受到一定程度的削弱,并有逐步被室内分析和测试所取代的趋势。这是一个很危险的途径,因为地质学是一门实践性极强的学科,野外就是进行各种地质研究最好的天然实验室,扎实可靠的野外工作是确保地质科学研究顺利开展的关键。基于上述思想,我们将研究工作立足于野外,全部第一手材料和主要结论的依据均来自于野外的实际观察与测量。少数研究实例引用他人研究成果。作者共实测剖面 12 条,总长约 6000 多米;采集岩石、古生物等各类标本 700 余块;先后共磨制各类薄片 300 余片,光片 50 余块;分析了礁灰岩中 Sr, Ba, Cu, Pb, Zn, Ti, Mn, Co, Cr, V 等微量元素和有机炭的含量。

本书是作者经过三年的时间对辽宁、陕西和贵州的若干个生物礁进行详细研究,并在此基础上结合他人工作成果对中国石炭纪生物礁的岩石学、沉积学、古生物学和古生态学特征进行初步总结,力图从理论上揭示石炭纪生物礁生长过程中各种因素的内在联系和对生物礁生长的综合影响。在研究过程中重点开展以下几方面的工作:

- (1) 系统研究石炭纪各生物礁的形态、规模、地层和岩石结构特征。
- (2) 查明中国石炭纪生物礁造礁群落的面貌。
- (3) 开展含礁层系生物地层学和重要造礁生物的研究,进行造礁生物群落生态分析。
- (4) 研究石炭纪造礁生物群落演化与生物绝灭事件之间的关系。
- (5) 开展生物礁岩石学和沉积相研究。
- (6) 生物礁含油气评价。
- (7) 在充分研究区域岩相古地理背景的基础上,探索石炭纪生物礁地质地理分布规律。
- (8) 建立石炭纪生物礁成礁模式。

通过上述几方面的研究,基本上查明了中国石炭纪生物礁的特征,并与国外同期生物礁建立了良好的对比关系。在研究中着重探讨了石炭纪造礁群落在整个地质历史时期造礁群落演化谱系中的位置,特别是生物绝灭事件对造礁群落的形成、发展和衰亡历史的影响,以及生物绝灭事件与生物造礁能力的关系等诸多方面的理论问题。对石炭纪造礁群落面貌二分性的特征从理论上进行分析,并结合全球石炭纪造礁群落演化的阶段性与旋回性识别出一次中等规模的生物绝灭事件。

本书在对石炭纪各个生物礁分别研究的基础上,初步总结了石炭纪生物礁一些宏观规律。地质历史时期中的生物礁,除泥盆纪和二叠纪外,还很少开展断代的系统研究。本书对中国石炭纪生物礁的综合研究在某种程度上具有一定的断代总结的意义。但是,由于石炭纪生物礁发现的很少,因而研究的难度是很大的。本书仅是这方面工作的初步尝试,意在填补这一空白领域并能引起同行们的广泛关注。

通过几年来的研究,作者深深认识到今后生物礁的研究还应从理论上、研究方法上和手段上有所突破,提高研究精度和广度。今后应在以下几方面有所加强:

(1)加大野外工作的力度,提高野外观察与测量的精度。为了准确地揭示生物礁空间展布特征,应将地质填图的原理和方法引入生物礁的野外研究,填制生物礁分布地质图,开展全方位立体研究。它能克服以往研究中仅依靠几条剖面来研究生物礁的片面性。

(2)多学科多方向综合研究。由于生物礁是特殊的地质体,对生物礁的研究除传统的岩石学和古生物学研究外,还应尽快吸收和借鉴相关领域的新进展,运用到生物礁研究中。如:层序地层学由于其理论的先进性和在油气勘探中的实用性,已成为沉积学研究的重要手段。利用层序地层学方法可解决生物礁研究中的两个问题。一是利用地震测井资料和各种地震反射剖面建立起区域性的三维空间地层格架,将生物礁放到整体格架中进行研究,以确定生物礁形成的背景和宏观演化规律;二是通过沉积体系的分析,了解区域性海平面变化规律,进而将生物礁的生长阶段同盆地演化过程联系起来。

(3)加强生物礁新研究领域的探索。生物礁生长动力学研究是近年出现的一个新领域。以往国内外关于生物礁研究大多围绕着它的形态特征和内部结构以及古生物学和礁岩石学方面来进行。然而生物礁的形成是一个极其复杂的动态过程,是生物礁内在和外在多方面因素相互作用的结果。生物礁生长动力学研究就是从生物礁的建造作用、破坏作用、沉积作用和成岩作用这四个基本方面入手,全面分析它们共同作用的效应,进而将生物礁研究推向更高的层次。

地质科学发展的全部历史表明,地质学研究需要理论与实践长期不断的积累,并由此进一步深化人们对自然界更深刻的了解。当这一积累过程达到某一程度时,便会使人类对自然界的认识产生质的飞跃。作者真诚希望本书能够成为这一过程中的一砖一石,在通往真理的道路上尽微薄之力。

因受时间的限制,特别是作者的学识与经验之不足,在研究中定会存在不足之处。希望各位专家、前辈及同行提出宝贵意见,以利于作者今后在这一领域更好地开展工作。在此作者向各位专家、学者、前辈及同行表示诚挚的谢意。

作者

1997年3月

目 录

作者简介

序

前 言

第 1 章 石炭纪生物礁研究概况	1
1.1 全球石炭纪生物礁研究历史及现状	1
1.2 中国石炭纪生物礁研究现状及评述	3
1.3 主要问题及展望	4
1.4 研究石炭纪生物礁的意义	5
第 2 章 中国石炭纪区域地质特征	7
2.1 中国石炭系的分布和沉积类型	7
2.1.1 分布	7
2.1.2 分区	7
2.1.3 沉积类型	9
2.2 中国石炭纪古地理环境	10
2.3 中国石炭纪生物礁地质地理分布特征	17
第 3 章 中国石炭纪生物礁研究实例	19
3.1 太子河流域晚石炭世早期生物礁	19
3.1.1 生物礁地质概况	19
3.1.2 造礁生物群特征	23
3.1.3 生物礁岩石微相划分	25
3.1.4 生物造礁习性	25
3.1.5 生物造礁过程与方式	26
3.1.6 生物礁类型的讨论	27
3.1.7 生物礁综合成因模式	28
3.2 华北东部晚石炭世早期巨型珊瑚灰岩带——可能的岸礁体系	30
3.2.1 实际材料	30
3.2.2 珊瑚灰岩带的展布特点	31
3.2.3 地质意义	31
3.3 秦岭海槽晚石炭世晚期生物礁	33

3.3.1 区域地质	33
3.3.2 生物礁基本特征	34
3.3.3 成礁模式	40
3.3.4 几点认识	40
3.4 贵州紫云晚石炭世晚期叶状藻礁	42
3.4.1 区域地质背景	42
3.4.2 生物礁的生物组成	43
3.4.3 礁灰岩类型	43
3.4.4 叶状藻礁的发育特点	43
3.5 广西田林县浪平碳酸盐台地石炭纪大塘期苔藓虫——珊瑚点礁	44
3.5.1 区域地质概况	44
3.5.2 代表性剖面的基本岩性特征及环境概况	45
3.5.3 苔藓虫——珊瑚礁的特征、微相及发育阶段	47
3.5.4 沉积环境及生物礁的演化	48
3.6 北部湾石炭纪藻礁	52
3.6.1 地质概况	52
3.6.2 北部湾石炭纪藻礁的划分	52
3.6.3 北部湾石炭纪藻礁的主要造礁生物	54
3.6.4 北部湾石炭纪藻礁的碳酸盐的岩石特征和成岩作用	54
3.6.5 北部湾石炭纪藻礁的生长演化	54
3.6.6 北部湾石炭纪藻礁的形成环境	54
3.6.7 北部湾石炭纪藻礁礁岩与非礁岩的识别	55
3.6.8 北部湾石炭纪藻礁油藏的储集岩及储集空间	55
3.7 本章小结	57
第4章 中国石炭纪生物礁碳酸盐岩石学与沉积相分析	58
4.1 生物礁碳酸盐岩一般特征	58
4.1.1 微量元素特征	58
4.1.2 结构组分	58
4.1.3 沉积构造	60
4.2 中国石炭纪生物礁岩分类	60
4.3 主要岩石类型	61
4.4 中国石炭纪生物礁岩石微相组合特征	63
第5章 中国石炭纪生物礁古生物学和古生态学	65
5.1 中国石炭纪造礁生物组成及基本特征	65
5.1.1 造礁生物的基本分类	65

5.1.2 中国石炭纪主要造礁生物特征	69
5.1.3 中国石炭纪生物礁各类生物分布	72
5.2 中国石炭纪生物礁群落结构和古生态学	74
5.2.1 研究群落结构的意义	74
5.2.2 群落的营养结构	74
5.2.3 群落的功能群团结构	75
5.2.4 古生态学	76
5.3 中国石炭纪生物礁群落演化与生物绝灭事件	80
5.3.1 造礁群落演化的旋回性	80
5.3.2 中国石炭纪各时期造礁群落	81
5.3.3 与国外同期群落的对比	81
5.3.4 群落演化动力学与生物绝灭事件	82
5.3.5 几点认识	84
第6章 中国石炭纪生物礁发育的基本规律及成礁模式	85
6.1 生物礁沉积相特征	85
6.2 石炭纪生物礁发育成熟度的探讨	87
6.3 中国石炭纪生物礁类型	88
6.4 中国石炭纪生物礁成礁环境分析	92
6.5 全球石炭纪生物礁的对比	93
6.6 中国石炭纪生物礁造礁模式	94
6.7 中国石炭纪有利成礁区预测	95
6.8 中国石炭纪生物礁含油气评价	96
第7章 主要结论	98
参考文献	100
中文摘要	106
英文摘要	108
后 记	112
图版说明	113
图版	116

第1章 石炭纪生物礁研究概况

关于石炭纪生物礁的研究最早是从北美和欧洲开始的。地质学的前辈们在那里发现了大量该时期的生物礁,并进行了初步描述和简单的分析,其研究历史近百余年。目前,石炭纪的生物礁已在北方大陆各地陆续发现,其层位从密西西比纪的杜内阶到宾夕法尼亚纪的格泽里阶都有分布。非洲的北部也发现了少量生物礁。尽管如此,石炭纪在晚古生代无论是在生物礁的数量上、规模上还是其地理分布的广泛性上都是相对较少的(图1-1)。总的看来,石炭纪的生物礁在全球各地分布不均匀,研究程度也有差异。

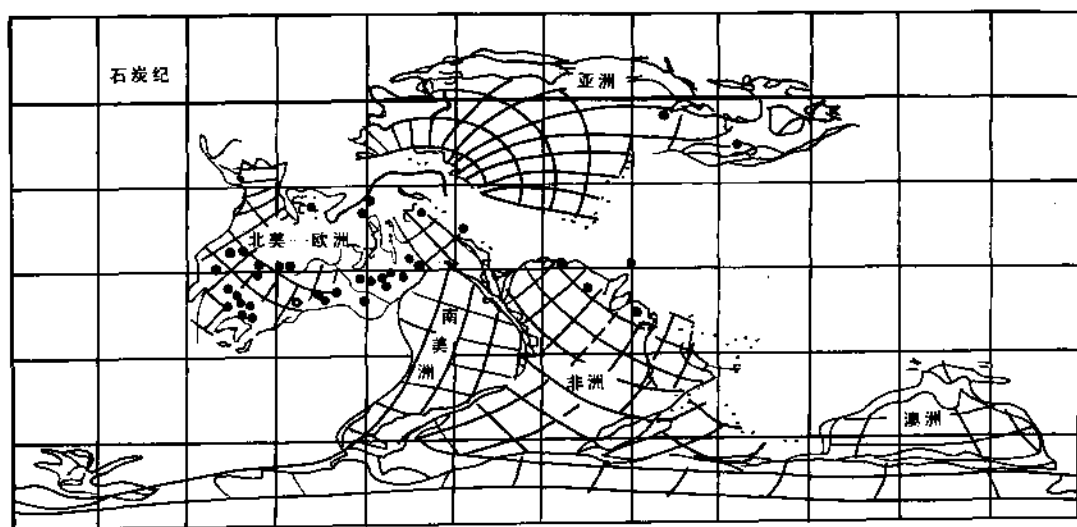


图1-1 全球石炭纪生物礁分布略图(据 Flügel, E., 1992)^[1]

1.1 全球石炭纪生物礁研究历史及现状

西欧对石炭纪生物礁的研究最早是从 Waulsortian 相开始的,这是广泛分布于北半球的早石炭世(杜内期—韦宪期)地层中,含有为数不多分散状的海百合和苔藓虫碎片,并具有特殊的呈层排列的栉状晶洞构造的块状粒泥灰岩,它们在野外常呈透镜状和丘状。这些特殊的岩石构成一个独特的而又分布广泛的相。最早对这种岩隆进行研究的是 Dorlodot(1893)^[2],他根据比利时那缪尔以南的狄南特盆地内的小村庄的名称来命名。在以后的二三十年间一些学者对 Waulsortian 相又进行了更广泛的研究^[3-5]。然而这些研究并未能对 Waulsortian 相的成因和一些特殊的构造做出过满意的解释。应该看到,这一时期对石炭纪生物礁的研究仍属感性认识阶段,更多的是从形态学和地层学角度出发,研究 Waulsortian 相与相邻岩系的关系和作为地层对比标志层等,这些仍属地层礁的研究范围。但是不可否认,正是由于这一时期的深入研究才获得了 Waulsortian 相在全欧洲的地理分布范围和地层层位的基本概念,这是石炭纪生物礁研究的重要奠基时期。

到了 20 世纪 50 年代,石炭纪生物礁的研究进入了一个高潮期。这是由于石油工业的发展,特别是在一些生物礁中发现了巨大规模的油气田之后,生物礁研究进入了全新时期。首先在生物礁发育的层位上由早石炭世扩展到整个石炭纪。生物礁的类型也由单一的 Waulsortian 相发展到珊瑚、苔藓虫、多孔动物以及各种钙藻所建造的礁体。也正是在这一时期 Anderson 等人开始注重了对造礁生物的研究^[9-12]。包括造礁生物群落的面貌,古生态学以及生物造礁作用等方面的综合研究。比较有代表性的是 Ladd, H. S. (1944) 提出了礁能抗浪的观点,这是由于对现代珊瑚礁的研究发现,热带珊瑚礁都是发育于强有力的波浪扰动带内。由此又进一步形成了礁是由造礁生物和联结生物组成,它们有足够的力量形成坚固的抗浪构造的概念^[13-14]。至此,生态礁的观点已基本形成,并成为这一时期生物礁研究的主流。显然,从 20 世纪初地层礁的观点发展到 50 年代生态礁概念的形成,代表了生物礁的研究已从简单的感性认识上升到开始对它的成因进行全面探索和深刻理解的理性认识阶段。

20 世纪六七十年代礁型油气勘探产生重大突破。前苏联的乌拉尔—伏尔加地区、美国中西部以及加拿大、墨西哥、利比亚和许多中东国家都找到了大型礁型油气田,因而生物礁的普查与研究受到极大重视,也取得了一系列显著的成果。其中对石炭纪生物礁也开展了系统的研究。Duncan, H. M. 研究了产于美国密西西比纪的重要造礁生物 *Chaetetes* 的古生态学^[15-16]; Lane, N. G. 论述了棘皮动物与生物礁之间的关系^[17]; Ball, S. M. 等研究了叶状藻在石炭纪生物礁中造礁的重要性^[18]; Breuninger, R. H. 研究了 *Palaeoplysina* 在爱达荷州石炭纪碳酸盐建造中的作用等等^[19],这些都反映了这一时期在造礁生物方面研究的重要进展。此外, Nelson 和 Langenheim (1980) 关于内华达州 *Chaetetes* 生态学方面的系统研究完善了以往对 *Chaetetes* 生态学的认识^[20]。他们关于 *Chaetetes* 个体生态的研究表明, *Chaetetes* 要求硬底环境并且当它部分地被细粒沉积物阻塞后具有再生能力。在一项关于宾夕法尼亚 Marble Falls 组的研究中, Winston (1965) 将 *Chaetetes* 层状礁确认为代表其最大的海退沉积旋回顶部的冲刷面,因而认为 *Chaetetes* 是潮间带环境的标志^[21]。Connolly 等人 (1989) 根据 *Chaetetes* 层状礁的微相分析和群落分析认为 *Chaetetes* 形成于潮汐带之下或者是浪底之下的正常海水中。Parks 关于新墨西哥州萨克拉门托山脉宾夕法尼亚系造礁生物群落的一系列研究代表了这一时期对造礁生物方面所取得的成就。^[22-24]

与此同时,生物礁相的研究也受到重视。Kotila (1978) 探讨了钙藻的古生态学特征与相的关系^[25]。Flügel (1977) 关于底栖钙藻群落的环境模式的论述更是这一理论研究方向的成功范例^[26]。Wray (1977) 关于晚古生代钙质红藻的专著系统地阐述了藻类与环境的关系^[27]。Taverner-Smith 和 Milliams (1971) 对现代和古代苔藓虫骨骼结构的研究揭示了这类生物的造礁作用,为生物礁的比较学研究打下了基础^[28]。Wiedenmayer (1978) 开展的现代海绵礁与古代礁的对比研究正是这一领域的杰出代表^[29]。生物礁是碳酸盐岩相的重要组成部分之一,碳酸盐岩的研究在很大程度上促进了生物礁研究的深入, Wilson (1975) 关于地质历史时期碳酸盐相的研究为生物礁的系统研究做出了重要的贡献^[30]。Flügel (1978) 系统地论述了碳酸盐岩(包括礁灰岩)微相分析的基本方法、微相特征、薄片中的化石鉴定标志、微相类型、相的鉴别和相模式(含成礁模式)等,全面地反映了这一时期在礁岩石学和造礁生物这两方面所取得的成就,深化了人们对生物礁的认识^[31]。

80 年代以来,一系列有关礁的基础理论方面的研究成果代表了生物礁研究的最高水平。Toomey (1981) 主编的《欧洲化石礁模式》一书概括总结了欧洲不同时期各种生物礁(含石炭

纪)的基本特征、礁体类型、生物面貌、礁的演化等主要成果^[32]。Fagerstrom(1987)的《礁群落的演化》一书则着重对各时代造礁生物群落的形成、造礁作用、群落面貌、演化以及造礁模式进行了详尽的论述,尤其是他关于造礁生物群落功能结构群团的划分更是开创了生物礁研究的新篇章^[33]。上述研究成果极大地推动了全球生物礁研究向深度和广度全面发展。

纵观整个显生宙,石炭纪的生物礁是非常不发育的。James(1984)认为石炭纪与寒武纪、早奥陶世、晚白垩世和早第三纪相似,仅有一些礁丘形成^[34]。这是因为在这些时期里缺乏能造架的大型后生动物。显然,弗拉斯期后生物绝灭事件所引发的晚泥盆世造礁群落的迅速而彻底的瓦解^[35],导致了后续的造礁群落无法发展起来,进而影响石炭纪生物礁的形成。这方面的成果也表现在 West(1988)^[36],Fagerstrom(1987)^[32]和 Stanley(1988)^[37]的论著中。

当前,欧美等国仍然不断加强石炭纪生物礁的研究,并普遍开展造礁生物、礁体类型、地质地理分布、群落演化、微相分析、成礁模式以及礁体生长动力学等方面的研究,促进了对石炭纪生物礁的全面了解。

1.2 中国石炭纪生物礁研究现状及评述

我国生物礁研究起步较晚,1963年何可梗首次报导了中国西南地区二叠纪生物礁,这是第一篇关于我国生物礁的研究成果^[38]。其后,各地生物礁的研究陆续开展。然而,取得重大进展还是近一二十年的事。目前已在古生界、中生界及新生界内发现各种类型生物礁。其中尤以泥盆纪和二叠纪发育最好,研究最详。而石炭纪生物礁数量少,研究程度也低。

1985年方少仙、侯方浩两教授报导了我国第一个石炭纪生物礁^[39]。该礁体是发育在广西田林县浪平的一个早石炭世大塘期的苔藓虫——珊瑚礁,这是我国目前发现层位最低的石炭纪生物礁。文中对该礁体产出的古地理背景、沉积环境的演化、主要造礁生物特征和礁岩微相特征等多方面做了详细的论述,为我们了解中国石炭纪早期生物礁的基本特征提供了重要的依据。

1991年谭代友报导了产于贵州猴场翁刀湾的晚石炭世红藻礁^[40]。该文初步介绍了主要的造礁生物、礁灰岩类型、管孔藻的成礁方式及其生物礁的地质学意义。该地生物礁规模小,数量多,在同一层位中成群出现。

1994年范嘉松教授进一步考察了上述礁体,对其中的叶状藻礁进行了细致的研究考察,初步查明了礁体发育的古构造背景、产礁的层位和赋存的古地理环境^[41]。这是我国首次发现的叶状藻礁,对于指导石炭纪生物礁的研究,特别是与国外进行对比研究具有重要意义。欧美地区晚石炭世叶状藻礁非常普遍,是晚石炭世生物礁的主要类型。范嘉松等人的研究为探讨中国石炭纪生物礁的演化特征建立了良好的对比关系。

1991年巩恩普博士在辽东太子河流域本溪组上部海相层中发现了晚石炭世早期(莫斯科期或威宁期)的生物礁^[42]。该礁出露规模不大,位于本溪牛毛岭北侧。最初确定为点礁,随后在该礁体东侧又陆续发现一些小礁体。从区域岩相古地理特征及这些礁体的分布特征等方面分析,推测它们代表了一个小型的岸礁体系。在对整个华北地台进行了全面研究之后发现,辽东地区这一岸礁体系向西至少可延伸到太行山东侧,很可能代表了整个华北陆表海北部的一个岸礁体系^[43]。这项研究作为重新解释华北地区晚石炭世早期的岩相古地理特征及其海侵方向等问题提供了新的思路。

1993年巩恩普博士又对发育于陕南秦岭东段三里峡晚石炭世晚期生物礁进行了细致的

研究考察,初步查明了造礁生物群落面貌、礁岩特征、成礁模式及区域古地理背景,并对比了地槽区和地台区两类不同大地构造背景下生物礁发育的异同。

上述事实表明,我国石炭纪生物礁研究基础还相当薄弱,生物礁发现甚少,因而石炭纪生物礁的基本特征尚不清楚,同国外相比差距更大。显然,对石炭纪生物礁的研究还有很多工作要做。

1.3 主要问题及展望

(1)影响石炭纪生物礁发育的因素有待探讨。石炭纪生物礁在全球发现的很少,礁体发育得也不典型,这一事实已引起生物礁研究者的广泛关注,但至今尚未得出令人满意的解释。我国石炭纪生物礁已在各地陆续发现,随着研究的深入,应逐步加强对影响石炭纪生物礁发育因素的探讨,以便更好地从理论上认识石炭纪生物礁在整个显生宙生物礁演化过程中所处的地位。

(2)开展中国 Waulsortian 相的研究。Waulsortian 相是广泛发育于欧洲早石炭世的典型礁相,它的形成严格地受古构造和古地理环境的控制。类似的地质背景在中国也普遍存在,然而至今尚未发现典型的 Waulsortian 相,涉及到 Waulsortian 相的一些基本问题也无法开展研究。这是我国早石炭世生物礁研究中的一个缺陷。

(3)造礁生物研究。造礁生物是生物礁研究的主要内容。由于石炭纪生物礁的特殊性,使我们对石炭纪造礁生物群落的基本面貌缺乏足够的了解,特别是晚石炭世重要造礁生物,如叶状藻和有孔虫类。它们既是造架生物又是粘结生物,数量众多,具有重要意义。从古生物学角度重点研究这些生物在造礁过程中的作用是极其必要的。

(4)群落古生态学研究。目前,群落古生态学研究已逐渐成为生物礁研究中的一个重要方面,它是在各门类生物生态研究基础上,对全部造礁生物进行的综合研究。内容包括确定群落结构、各功能群团在造礁过程中的相互作用和群落演化关系等。二叠纪和泥盆纪生物礁由于研究基础较好,因而群落古生态学研究工作也得以顺利开展。与此相反,石炭纪生物礁造礁生物群落古生态学研究还处于刚刚起步阶段^[45]。

(5)礁体结构与礁岩分类。石炭纪生物礁普遍规模较小,发育不典型,反映出缺乏稳定的成礁环境,因而礁体结构的分异性不好。事实上,研究生物礁内部结构是了解礁系统内各种微环境及其演变过程的重要手段,也是研究造礁生物群落内功能群团的重要依据^[46,47]。目前,我国石炭纪生物礁尚未开展此项研究,应选择适当礁体加强这方面的工作。

(6)生物礁微相分析。微相分析是生物礁宏观研究的基础,可通过它进一步分析生物礁的成岩作用、基本相带的划分以及进行沉积环境的比较等。我国石炭纪生物礁研究中尚未开展这方面的工作。仅早石炭世进行过微相研究^[39]。显然这方面工作应加强。

(7)生物礁与矿产的关系。生物礁研究大多局限于理论探讨,但是由于生物礁是由生物建造而成,含有数量众多的生物化石,这些生物体保留了大量有机分子遗迹,是石油和天然气形成的重要物质来源。又由于生物礁本身具有多孔的性质,有较高的渗透率,因而与油气赋存有密切关系。我国二叠纪生物礁已发现了一定的油气显示,但石炭纪生物礁尚未获得有价值的线索。最近南海北部湾发现了石炭纪含油生物礁,这是一个良好的开端。石炭纪生物礁还应加强某些有机地球化学标志的分析,以阐明礁内有机质丰度及转化程度,并进一步确定有机质性质,分析礁组合的储集性能。如孔隙度和渗透率的变化等,为评价含油气远景,决定勘探方向等

提供可靠的科学依据。

(8)成礁模式。生物礁研究的最终成果是建立起具有广泛代表性的成礁模式。目前,泥盆纪和二叠纪生物礁的成礁模式已很好地建立起来,反映了该期生物礁生长的真实过程,对生物礁的进一步研究具有重要的指导意义,而石炭纪生物礁尚停留在单个礁体研究阶段。相信随着对众多石炭纪生物礁的深入研究,将尽快建立起符合中国实际情况的石炭纪生物礁成礁模式。该模式应是由多种模式组成。如:造礁生物群落演化模式,生物礁结构模式,环境模式和生物礁生长动力学模式等等。

1.4 研究石炭纪生物礁的意义

石炭纪是整个地质历史中极为独特的时期,该期生物礁研究没有受到应有的重视。就晚古生代而言,石炭纪生物礁的研究同泥盆纪和二叠纪相比,处于非常薄弱的地位。因而,无法对泥盆纪造礁生物群落的演化方向和二叠纪造礁生物群落的起源等问题进行深层次的探索,进而影响了我们对整个晚古生代生物礁演化线索的认识。

生物礁研究的应用价值在于为油气勘探开发提供指导。生物礁型油气藏作为一种理论已开始进入实用阶段。然而我国长期以来一直没有重大突破,特别是我国发育较好的晚古生代生物礁中没有找到具有工业价值的油田。这一情况反映了我国生物礁理论研究长期以来不能直接与油气勘探实际很好地接轨的事实。到目前为止,对石炭纪生物礁的形态、结构、造礁生物特征、生物礁识别标志、礁岩孔隙特征和储集性能等方面仍缺乏足够的认识。毫无疑问,理论研究的滞后必将极大地制约找油工作的开展。

开展石炭纪生物礁研究,除填补空白和具有应用意义外,还有十分重要的理论意义。主要有以下几方面:

(1)探讨在弗拉斯—法门期生物绝灭事件背景下石炭纪造礁生物群落的重建过程,将有助于加深对群落早期形成历史的认识。

(2)美国堪萨斯州立大学的 West(1988)曾对石炭纪造礁生物群落的演化历史同前石炭纪造礁生物群落的形成和发展全过程进行过对比,并得出结论:石炭纪重演了前石炭纪造礁生物群落形成和发展的全过程^[36]。即在弗拉斯—法门期生物绝灭事件后,石炭纪造礁生物群落是从最低的序列(从兰绿藻开始)重新发展起来的(相当于寒武纪)。这一认识同 James(1984)关于礁体群落演化的模式有较大差异。James 认为造礁群落受外界打击停止发育后,下一旋回的造礁群落将在前一序列的基础上连续发展,并不重演已经发生的过程^[34]。这两种观点虽然是针对不同的演化规模、不同的时间尺度,但是作为礁体群落的演化,它们应遵循共同的内在规律。这正是生物造礁理论所要探讨的一个重要课题。在研究我国石炭纪生物礁的同时,有可能对上述观点进行探讨,并对群落演化理论做出应有的贡献。

(3)晚古生代作为一个重要的地质阶段,有其固有的特殊性和规律性。石炭纪作为其中一个纪,具有承前启后的特殊地位。如能加强石炭纪生物礁研究,将使整个晚古生代生物礁的研究更为系统化。并在此基础上进一步探讨整个晚古生代生物礁演化的规律性,其研究意义将远远超出石炭纪生物礁本身的研究。

同欧美相比,我国石炭纪生物礁的研究远远落后于当今国际水平。弗吕格尔(Flügel, 1992)的一篇关于全球生物礁研究总结最能反映这一现实^[1]。该文罗列了近 800 篇石炭纪生物礁研究文献,其中只有一篇是研究中国石炭纪生物礁的。我国在这一领域的差距由此可略见一斑。

中国幅员辽阔,中国的实际材料在世界地质研究中占重要地位。很难设想在没有包括中国实际材料的前提下能够对全球石炭纪生物礁做出全面系统地研究。因此,在某种程度上说,正是由于中国石炭纪生物礁研究的不足,间接地影响了全球石炭纪生物礁研究的进程。事实上,我国石炭纪生物礁产出条件也相当好,造礁生物比欧美大陆还要丰富,因而完全有条件对石炭纪生物礁发育规律及其造礁生物群落特征进行系统研究,以改变我国在石炭纪生物礁研究方面的落后状态。