

中国南方二叠纪礁类型及 成礁的控制因素*

杨万容 李 迅

(中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008)

内 容 提 要

我国南方的二叠纪礁主要分布在黔、桂、川东、湘鄂西以及中下扬子地区,有两次大的成礁期,即茅口期和长兴期,且以长兴期礁发育好、分布普遍。根据礁的成因、组构及礁岩类型,将南方二叠纪礁分成4类:生物礁,生物丘,灰泥丘和地层礁。各类礁均具有其自身独有的特征,同时它们的形成、演化和消亡,明显地受到古构造(尤其是古断裂)、古地理、古环境和海水进退、海平面升降的严格控制。

关键词 礁类型 控制因素 二叠纪 中国南方

我国南方二叠纪是晚古生代海域最宽时期,也是继中泥盆世之后的最大成礁期。出现两次大的成礁旋回,即茅口期和长兴期,但以长兴期礁发育好,分布普遍,其主要分布于黔、桂、川东、湘鄂西以及中下扬子地区。

一、礁体类型及特征

1. 分类

追溯礁(reef)一词的原意及Chillinger(1972)对礁术语提出的广泛定义,以及Stanton(1967),Heckel(1974)先后所启用的“岩隆”(buildup)的含义,作者根据多年来对我国南方二叠纪众多类型礁体的成因、组构、造礁生物丰度、造礁能力和作用,以及所形成的礁岩类型的研究,在Dunham(1970)礁分类的基础上,对我国南方二叠纪礁进行成因实用分类,共分为4类,即生物礁,生物丘,灰泥丘和地层礁。该分类可与国内外学者对礁的主要分类进行比较(表I)。

从表I中可看出,“岩隆”(buildup),完全是形态术语,而不涉及其内容。岩隆既可能是由造架生物形成的抗浪构造,也可能是水流作用形成的生物屑或鲕粒滩,还可能是灰泥堆积,因此它包括生物成因、水动力成因,甚至可以包括数种成因(奚瑾秋等,1990)。

本文所划分的4类礁体,在古地理位置、形成环境、礁组合相带、造礁生物丰度和礁岩类型等方面,均具有各自的特征(表II)。

* 国家自然科学基金资助项目(49172104)。

表 I 礁的分类
Systems of reef classification

作者	Dunham(1970)	Stanton(1967) Heckel(1974)	范嘉松(1983)	本文成因实用分类	
分 类	生态礁 (ecologic reef)	碳酸盐岩隆 (carbonate buildup) 包括:生物礁 生物丘 灰泥丘 地层礁 生物滩	生物岩隆礁 (organic buildup reef)	生物礁 (organic reef)	台 缘
			障积岩隆礁 (baffling buildup reef)	生物丘 (bioherm)	台 内
			灰泥岩隆礁 (lime-mud buildup reef)	灰泥丘 (lime-mud mound)	
	地层礁 (stratigraphic reef)				
滩	生物滩		生物滩	生物滩	

表 I 礁成因实用分类及特征
Practical classification of reefs based on origin

特征 类型	地貌景观	古地理位置	环境	礁组合	造礁生物	礁岩类型
生物礁	隆起幅度大 呈陡崖状	台地边缘	开阔,水动 能中一强	具礁前、礁后相、 礁核厚度大	含丰富的造架 生物,造礁能 力强	骨架岩-粘结骨架 岩为主,障积岩次 之
生物丘	隆起幅度不 大,呈石林 状	台地内部	局限,水动 能弱	礁组合不完整, 无礁前礁后沉积	以障积生物为 主,含量不高	以障积岩-粘结障 积岩为主,骨架 岩、盖覆岩次之
灰泥丘	具丘状隆起	台内,斜 坡脚	水动能极弱	仅是块状碳酸盐 灰泥丘核	主要为灰泥, 含菌藻类	以藻粘结岩为主
地层礁	地貌凸起不 明显,横向 延伸较远	台地内部	水动能 弱一中	厚层块状生物 层,无礁前礁后 沉积	造架、障积、粘 结生物一般至 丰富	骨架岩,障积岩

从表 I 可以看出,不同类型的礁其造礁生物的丰富度、造礁能力的强弱和所构成的礁灰岩类型也明显不同。关于礁灰岩分类,Embry 和 Klovan(1972)根据造礁生物在造礁过程中所起的作用,将礁灰岩划分成 3 类,即骨架岩、障积岩和粘结岩,以及与其伴生的礁前由滑塌形成的砾屑岩和漂浮岩。在此分类基础上,钱宪和(1980)对其进行了补充,提出在造礁作用过程中,生物作用不只 3 种,而是 5 种,故钱氏将礁灰岩分为 5 类,即骨架岩、障积岩、粘结岩、捆绑岩和盖覆岩。根据我国二叠纪礁在形成过程中的藻类生物,尤其是包壳红藻古石孔藻(Archaeolithoporella)在造礁过程中的粘结、包壳和缠绕作用,对连接骨架、进一步坚固礁体,均起了重要的作用。因此,本文在对礁灰岩的分类中,增补了一些过渡类型(表 II)。

表 II 礁岩分类

Classification of reef rocks

沉积时原始组分捆结在一起				沉积时原始组份分散状		
造礁生物起障 积作用	造礁生物起粘 结作用	造礁生物起造 架作用		砾级颗粒 > 10%		
				含灰泥 (灰泥基质)	缺泥 (亮晶胶结)	
障积岩	粘结岩 (bindstone)	骨架岩 (framestone)		灰泥支撑	颗粒支撑	
(bafflestone)						
障积岩	粘结 障积岩	粘结岩	粘结 骨架岩	造礁生物起盖 覆作用	漂砾岩 (floatstone)	砾屑岩 (rudstone)

粘结障积岩(binding bafflestone)(图版 I, 图 1), 茎状、枝丛状等障积生物(海百合茎、单体海绵和珊瑚等), 其外被粘结包壳生物(蓝绿藻、古石孔藻、*Tubiphytes* 和 *Fistulipora* 等)所包覆缠绕, 构成一种粘结障积结构的格架, 互不相连, 其间空隙被大量泥晶方解石灰泥所填积, 灰泥很丰富。

粘结骨架岩(binding framestone)(图版 I, 图 2), 短柱状、块状、丛状群体等造架生物(串管海绵、水媳、珊瑚), 其外被粘结、包壳生物所包覆、缠绕, 相互紧密连接, 构成一种粘结骨架的支撑格架, 其架间被亮晶方解石胶结, 具几个世代的胶结结构, 或被少量泥晶方解石灰泥填积。前者表明是在水动力强的条件下形成, 而后者则显示其形成时水动力较弱。

粘结盖覆岩(binding coverstone)(图版 I, 图 3), 片状水媳等盖覆生物, 其外被粘结生物所包壳, 构成一种粘结盖覆的格架, 其空间常被泥晶方解石灰泥所填积。

2. 各类礁体典型实例

1) 生物礁(organic reefs) 这类型礁以鄂西见天坝长兴期海绵生物礁和湖南慈利长兴期珊瑚生物礁发育最为典型。它们均形成于台地边缘, 故又可称为台地边缘礁, 其隆起幅度大, 礁组合相带完整, 具礁前、礁核和礁后相沉积; 造礁生物丰富, 礁岩类型以骨架岩和粘结骨架岩为主, 障积岩和粘结障积岩次之。其中湖南慈利珊瑚生物礁, 为江汉石油勘探设计院刘岭山等(1987)* 首次在我国二叠系中发现。1993 年, 笔者等** 去该珊瑚生物礁产地(湖南慈利县长坪乡神仙湾村)工作时, 在其西侧约 5km 之观音庵村, 又发现一发育更好的珊瑚礁, 其规模、厚度均较神仙湾的大, 应属该地区珊瑚生物礁真正的礁核部位。石林状地貌发育, 出露高度大于 5m, 为大的块状灰岩体, 其上全由原地生长的丛状四射珊瑚目中的卫根珊

* 刘岭山等, 1987: 生物礁及礁型油气藏学术讨论会论文(摘要)汇编。广东石油学会。

** 参加野外工作的还有沈建伟、张国芳。

瑚(*Waagenophyllum indicum*)组成(由沈建伟鉴定),保存完好的生长状态,呈扇状叠置向上生长(图版 I,图 1),其连续厚度大于 50m,甚为壮观。该珊瑚生物礁具有完整的礁组合相带。从南向北,依次出现,远礁盆地含硅质条带灰泥岩相(图版 I,图 2)、礁前斜坡角砾岩相(图版 I,图 3)、礁核珊瑚骨架岩相(图版 I,图 5;图版 II,图 1)和礁后绿藻屑泥粒岩相(图版 II,图 4);其纵向序列具礁基棘屑泥粒岩滩相(图版 I,图 6)、礁核相和礁盖含白云质条斑灰泥岩相(图版 II,图 5)。该珊瑚礁体白云石化很强,多数珊瑚群体遭到强烈白云石化,内部结构保存较差,这使造礁生物珊瑚的生物学研究受到一定影响,但为生物礁白云石化的成岩作用和成岩环境研究提供了宝贵的资料。同时,白云石化如此强烈,且分布面广,可作为很好的油气储集层段。

2)生物丘(bioherms) 这种类型礁体在南方二叠纪陆棚上分布普遍,呈丘状,常成群出现在台地内部,故又可称之为点礁(群)。以川东老龙洞长兴期海绵生物丘、浙江桐庐茅口期海绵生物丘较为典型。一般隆起幅度不高,其最大特征是礁组合相带不完整,无礁前礁后相沉积,礁核部位造礁生物不很丰富,且个体小,造礁能力弱,故礁灰岩常以障积岩(图版 I,图 4)和粘结障积岩为主,泥晶方解石灰泥丰富。川东老龙洞海绵生物丘发育较好,古地貌为一丘状凸起,比同期沉积的非礁相的硅质条带灰泥岩厚 60m,无礁前礁后相沉积。在长兴期,川东一鄂西为清水碳酸盐台地,老龙洞海绵生物丘正形成于该台地的西端,但其东侧面向开阔海的一方,由于受到见天坝台地边缘海绵生物礁障壁作用影响,水流不畅,水动能较弱,环境较为局限,致使造礁生物海绵、水螅的生长发育受到极大影响,造礁能力弱,所形成的礁灰岩以障积岩和粘结障积岩为主,缺乏骨架岩,而泥晶方解石灰泥丰富,所形成的礁体规模较小,且纵向演化上因受到海平面频繁升降的影响而出现两次成礁旋回,但总的趋势是海平面不断下降,水体不断变浅,造礁生物停止生长,其上则被潮坪沉积所覆盖,即海侵成礁,海退消亡。

3)灰泥丘(lime-mud mounds) 这一类型的礁体,以江苏无锡嵩山长兴组的灰泥丘较为典型。该丘为一大的碳酸盐块状体,主要由灰泥岩组成,呈一丘状凸起,其厚度比同期沉积的层状含硅质灰泥岩、含生屑粒泥岩厚 50m。王恕一等(1990)对该剖面进行过研究,认为该灰泥丘为台地边缘生物礁。笔者对该灰泥丘进行初步研究后表明,该灰泥丘的特征是造礁生物少,主要为泥晶方解石灰泥,含少量生物屑,在其下部含有少量海绵、单体珊瑚,但发育不好,个体小,缺乏造架能力,且多呈碎屑状,分布在灰泥基质中,在泥晶方解石灰泥中,含有隐藻类。初步分析,该灰泥丘的形成,可能主要与菌藻类的生物作用有关。

4)地层礁(stratigraphic reefs) 这一类型礁呈厚层块状产出,不具地貌隆起,横向延伸较远,造礁生物呈横向水平发展,故又可称之为生物层(礁)。湖北秭归新滩长兴组所产生的两层珊瑚生物层,具典型的地层礁特征(迄今未见报道),该两层珊瑚层产于长兴组上部,层厚约 1.5—2m,为厚层块状,横向延伸较远,整层岩石全为卫根珊瑚组成的骨架岩,珊瑚呈丛状群体,保持完好的原地生长状态(图版 II,图 6),构成层状的碳酸盐块体。其珊瑚的生长速度,在较大的范围内,近于同期松散沉积物的堆积速度,因此该生物层块体的厚度,与同期沉积的非礁相碳酸盐岩相差无几。该珊瑚层中的珊瑚骨架孔隙之间,全为泥晶方解石灰泥填积。这表明该珊瑚地层礁在形成过程中水动力较弱,环境较为局限。

二、成礁的控制因素

礁是由能造礁的生物(造架、粘结生物)在特殊环境条件下形成的一种生物碳酸盐地质体,它的发育、消亡受到一系列因素的控制,既有生物因素又有非生物因素。生物因素,首先要有能造礁的生物的繁殖、生长,在南方二叠系中,造礁生物主要为串管海绵(sphinctozoa)、卫根珊瑚、水螅、苔藓虫、古石孔藻、蓝绿藻和 *Tubiphytes*,这些生物的造架作用和捕获、粘结灰泥的能力很强,对礁的形成起了主要作用。非生物因素主要是外部条件,如构造、古地理、古环境、海侵(退)和海平面升降等。它们对造礁生物的生长、发育,礁体形成的类型和规模大小,起了非常重要的控制作用。

我国南方二叠纪两次较大的成礁期,即茅口期和长兴期,在区域构造背景下,由断块差异升降运动产生的高部位上大量底栖生物繁盛,形成生物碎屑滩(以棘皮屑较多),成为造礁生物生长的基础(礁基)。在此基础上,造礁生物海绵、水螅、珊瑚、包壳红藻、*Tubiphytes*、笛苔藓虫等大量繁殖,迅速生长,构成格架,发育成礁体。因此,其成礁的控制因素除了造礁生物自身的生长、发育和演替的内在因素外,外部因素的控制也很重要,其主要有:

1. 古构造、古地理和古环境的控制

二叠纪我国南方为一浅海陆棚(陆表海)。栖霞期陆棚较为稳定,古地理、沉积环境无明显

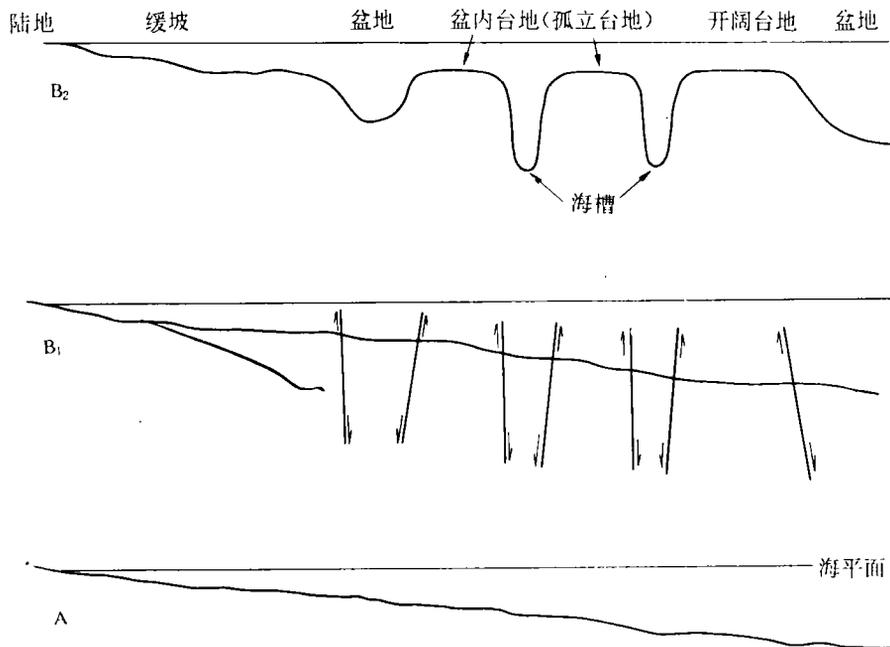


插图1 中国南方二叠纪陆棚演化阶段示意

Diagram showing stages of Permian shelf evolution in south of China

A. 栖霞期,陆棚较为稳定,为一浅水缓坡台地,古地理和沉积相无明显分异

B₁—B₂. 茅口期中晚期,块断差异升降运动活跃,陆棚解体,形成台盆(槽)相间的古地理格局

显分异,但至茅口期中晚期,由于块断差异升降运动活跃,陆棚解体,下降地区的成盆地,上升的地区成台地,结果出现台、盆相间,台内有盆,盆内有台(孤立碳酸盐台地)的格局(插图 1),古地理、沉积环境和沉积相也产生了极大的分异。在形成的清水碳酸盐台地边缘和内部,适宜造礁生物繁殖、生长的地方,发育了生物礁(台地边缘)和生物丘、生物层(台地内部),以及灰泥丘(台地内部和斜坡脚)。

2. 海水进退和海平面升降的控制

礁在形成过程中,其生长、发育和消亡受到海水进退和海平面升降的控制。

二叠纪我国南方出现两次较大的海侵海退旋回,即栖霞期—茅口期为第一旋回,吴家坪期—长兴期为第二旋回。与其相应出现的两次较大成礁期,都是在海侵进一步扩大的茅口期和长兴期,其礁体都是在清水碳酸盐台地区发育起来的(插图 2)。同时,在各期成礁旋回中又出现若干小的成礁旋回。由于陆棚上海平面变化较为频繁,造礁生物常呈间歇性出现,因而在剖面内出现多层位成礁。在这种条件下形成的礁体一般规模不大,厚度较小,为台地内部形成的生物丘或生物层(地层礁)常具的特征。由于受到海平面升降的制约,这种礁呈间歇性(或韵律性)地生长,海平面的升降与造礁生物的生长、发育和消亡之间密切相关,当海平面上升速度与造礁生物生长速度在一段相当长的时期内相适应时,则水体始终保持同一深度,造礁生物的生态环境基本保持不变,礁体就持续不断地向上生长,形成规模较大的生物礁;当海平面上升速度大于造礁生物生长速度时,水体加深,造礁生物的生态环境发生极大变化,尤其是光的透射度和水温等逐渐减弱和降低,环境不利于造礁生物的生存,于是礁体停止生长而消亡。反之,当海平面上升速度小于造礁生物的生长速度时,水体不断变浅,水介质发生变化。若气候干燥,蒸发量增大,则海水发生咸化;若气候潮湿,多雨,淡水注入量增加,则海水淡化。此外,水动力增强等外界环境的变化,也不利于造礁生物的生长,礁体则趋于消亡,并为局限环境或生物碎屑滩所代替。由于陆棚上海水进退较为频繁,因此,海平面上升速度与造礁生物生长的速度时常处于相适应而又不相适应的情况下。两者相适应时,礁体不断向上生长,不相适应时礁体则消亡,再度适应时,造礁生物再度生长,形成新的礁体,致使成礁层位呈间歇性、旋回性或韵律性出现。这是我国南方二叠纪陆棚上形成的礁体最大特征之一。其在台地内部所形成的生物丘、生物层中最为常见,即在礁的发育、演化的纵向序列上,从礁的生长、发育到消亡,从礁基相(棘屑泥粒岩滩相)→礁核相(海绵或珊瑚骨架岩—障积岩相)→礁盖相(含生物屑粒泥岩—灰泥岩潮坪相),呈多旋回出现。

二叠纪长兴期,黔、桂、川东、湘鄂西地区发育了清水碳酸盐台地,在台地边缘和内部,形成了众多不同类型的礁体,分布也较普遍。当时海水由南向北侵进,因此成礁层位也有从南到北升高的趋势。例如在湘鄂西一带,长兴期成礁层位为长兴组中部,而向其西北的川东一带,成礁层位则提高到长兴组的中上部。在空间上成礁层位从南到北逐渐爬升,表明礁体形成是南早北晚。

上述二叠纪各类礁的发育、演化和消亡过程,是构造、环境因素、造礁生物自身内在因素和沉积作用相互协调的产物。海平面的升降控制了成礁的多旋回性,而造礁生物群落及其演化则是礁发育的内在潜力。长兴期,在川东、鄂西和湘西一带发育了碳酸盐台地,在台地边缘,发育了规模较大、形成条件、原因不同的两类典型的生物礁,即鄂西见天坝海绵生物礁和湖南慈利珊瑚生物礁。两种生物礁虽都生长在台地边缘,但由于其所处的部位(前者迎风,后

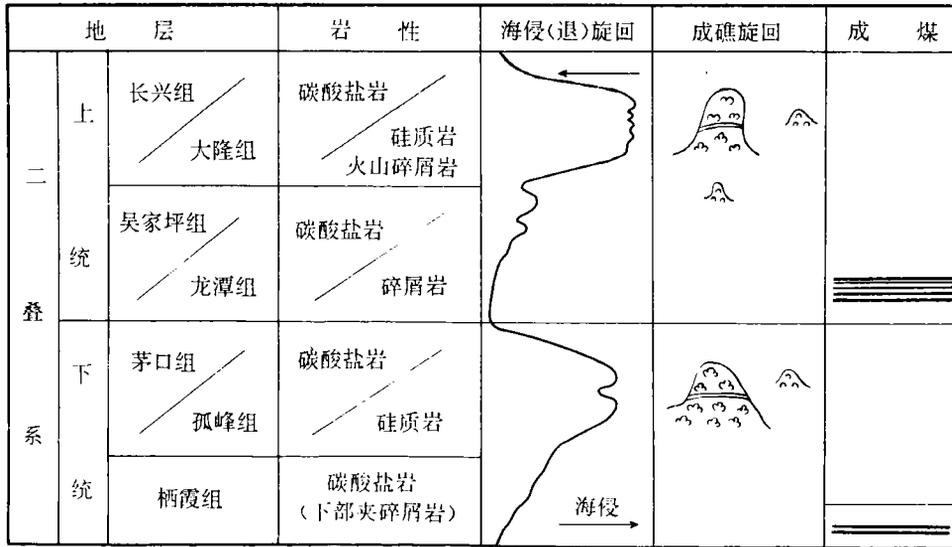


插图 2 二叠纪礁形成与海侵(退)旋回关系示意

Diagram showing relations between formation of Permian reefs and cycles of transgression(regression)

者背风)和造礁生物所需环境的不同,结果形成了不同的造礁生物、不同组构所构成的生物礁。在川东—鄂西碳酸盐台地东缘见天坝所形成的生物礁,造礁生物全为海绵。二叠纪,由于海水是由南向北侵进,因此该礁体面向开阔海,处于迎风一面,受到一定的海浪冲击,水动能较强,水流循环较好,由海水带来的营养物(浮游生物)丰富,环境适宜于造礁海绵的生长、发育,结果形成规模较大、抗浪能力较强的海绵生物礁。该海绵生物礁具完整的礁组合相带,从东至西,依次为远礁盆地相、礁前斜坡角砾岩相、礁核串管海绵骨架岩相和礁后相。其地貌景观可与美国西得克萨斯瓜达卢布山的卡皮顿礁媲美。该海绵生物礁以骨架岩为主,骨架间为亮晶方解石胶结,具两个世代以上的胶结结构,较普遍地发育栉壳结构。同时在野外还可观察到部分串管海绵呈原地倒伏状,未能保持原始的生长状态。这表明该海绵生物礁在形成过程中的水动力较强。但在其东南,隔海相对的江南碳酸盐台地(冯增昭,1992)西北缘湖南慈利地区,在长兴期则发育了珊瑚生物礁,由于其背向迎风面,且水体又较见天坝为深,水动力较弱、较平静,环境极为适宜造礁的四射珊瑚生长,因而丛状群体的卫根珊瑚极为发育,珊瑚群体密集地向上生长,保存了完好的生长状态。这在地史时期的礁体中实属罕见。珊瑚呈丛状群体,紧密相连,构成很好的支撑格架,其间隙为泥晶方解石灰泥填积,这些表明,该珊瑚生物礁在形成过程中水动力较弱。当时,由于造礁珊瑚的生长速度与海平面的上升速度在一个相当长的时间内相适应,于是造礁珊瑚就不断向上生长,形成一规模较大的典型珊瑚生物礁(生态礁)。但由于环境较为局限,造架生物以卫根珊瑚为主。尔后由于海平面下降,水体变浅,环境不利于造礁珊瑚的生长,于是礁体停止发育而消亡,其上被生物屑滩所覆盖。

参 考 文 献

- Dunham, R. T., 1962: Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *Mem. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, **1**:108—121.
- Embry, A. F. and Klovan, J. E., 1972: Absolute water depths Limits of Late Devonian Paleocological Zones. *Geol. Rdsch.* 61/2, 10 Figs., Stuttgart.
- Heckel, P. H., 1974: Carbonate buildups in the geologic record; a review; In Laporte, L. F. (ed.): *Reefs in Time and Space*. p. 90-154. *Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Miner.*, **18**, Tulsa.
- Link, T. A., 1975: Theory of Transgressive and Regressive Reef (Bioherm) Development and origin of Oil, In *Carbonate Rocks 3: Organic Reefs*. AAGP. Reprint Series, (15)49—81.
- Stanton, R. J., 1967: Factors controlling shape and internal facies distribution of organic carbonate buildups; *Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, **51**:2462—2467.
- Yang Wan-rong, 1991: *Sedimentology and Microfacies Analysis of Reef Mound from Late Permian Changhsing Formation at Laolongdong, Beipei, Chongqing, China, Palaeoecology of China*. Vol. 1. Nanjing University Press.
- 张 维, 张孝林, 1992: 中国南方二叠纪生物礁与古生态. 地质出版社。
- 杨万容, 1994: 晚古生代生物礁碳酸盐岩. 王英华等编著; 中国碳酸盐岩. 地质出版社。
- 杨万容, 1987: 广西来宾吴家坪期生物岩礁. *石油与天然气地质*, **8**(4):424—428。
- 冯增昭等, 1991: 中下扬子地区二叠纪岩相古地理. 地质出版社。
- 钱宪和, 1986: 生物在碳酸盐建造中的生态及作用. *国外地质*, 1986(5):30—35。
- 范嘉松、刘怀波、刘岭山、张 维, 1988: 湖北西部利川县上二叠统见天坝生物礁. *中国科学院地质研究所集刊*, **2**:53—66. 科学出版社。
- 王恕一、朱宏发、陈亚中、施伟军, 1990: 无锡嵩山长兴期海绵生物礁的发现及其意义. *地层学杂志*, **14**(4):308—310。

[1994年8月3日收到]

PERMIAN REEF TYPES AND CONTROLLING FACTORS OF REEF FORMATION IN SOUTH CHINA

Yang Wan-rong and Li Xun

*(Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, Nanjing 21008)***Key words** reef type, controlling factors, Permian, South China**Summary**

In South China, the Permian is a period of maximal marine transgression in Late Paleozoic and the best reef-formation since Middle Devonian. There are two major Permian reef-formation cycles, the Maokouan and the Changhsingian. In the Changhsingian, reefs are better developed and common in occurrence, mainly occurring in Guizhou, Guangxi,

eastern Sichuan, Hunan, western Hubei and the Lower Yangtze Region.

Based on the reef-forming origin, composition and texture, abundance of reef-forming organisms and reef rock types, with reference to the classification of Dunham (1962), the Permian reef in South China are of the premagmatic origin and may be divided into 4 types: (1) Organic reefs; (2) Bioherms; (3) Lime-mud mounds; and (4) Stratigraphic reefs. The Changhsingian reefs in Cili of Hunan are the largest Permian organic reefs in China, which are entirely built of corals (*Waagenophyllum*) and preserved with original growing conditions in situ (ecological reef), with clumpy branching corals closely woven together.

There are many types of Permian reefs developed in South China. Their growth, development and disappearance were controlled not only by internal biological factors, but also by external factors such as tectogenesis (especially fault-block movement), paleogeography, paleoenvironments, transgression-regression and eustatic changes. The bioherms and stratigraphic reefs formed on platforms are especially sensitive to sea-level changes. Since the reef growing rate is sometimes in accordance and sometimes in discordance with the rise of sea-level, the vertical distribution of reefs shows multicyclic and rhythmic characteristics in stratigraphic sequence.

图版说明

标本保存在中国科学院南京地质古生物研究所。

图版 I

1. 古石孔藻 (*Archaeolithoporella*) 包覆枝茎状生物, 构成粘结障积岩, a 为古石孔藻, b 为海百合茎。×6, 单偏光。薄片号: LWM1b-4-1。浙江桐庐冷坞组。
2. 古石孔藻包覆造架生物 (*Tabulozoa* 等), 构成粘结骨架岩, a 为古石孔藻, b 为硬海绵, c 为苔藓虫。×10, 单偏光。薄片号: LWM1b19-2。产地层位同上。
3. 古石孔藻包覆水螅, 构成粘结盖覆岩, a 为古石孔藻, b 为片状水螅。×5, 单偏光。薄片号: LWM1b3-2。产地层位同上。
4. 海绵障积岩, 薄片, ×10, 自然光。川东老龙洞长兴组。
5. 珊瑚 (*Waagenophyllum*) 骨架岩礁核, 岩石全由珊瑚组成, 并呈原始生长状态。露头, 湖南慈利神仙湾长兴组。
6. 棘屑泥粒岩 (礁基)。×7, 自然光。薄片号: CCX16。湖南慈利神仙湾。

图版 II

1. 珊瑚 (*Waagenophyllum*) 丛状群体, 呈原始生长状态, 像扇状层层叠叠向上生长, 构成珊瑚骨架岩礁核。剖面露头, 湖南慈利观音庵长兴组。
2. 远礁盆地含硅质 (条带) 灰泥岩相, 湖南慈利双龙泉长兴组。
3. 礁前斜坡礁角砾岩相, a 为珊瑚碎块。剖面露头, 湖南慈利双龙泉长兴组。
4. 绿藻属 (*Dasycladaceae*) 泥粒岩礁后相。×7, 自然光。薄片号: CCX17。湖南慈利神仙湾。
5. 含云斑灰泥岩礁盖相。剖面露头, 湖南慈利神仙湾长兴组中上部。
6. 珊瑚骨架岩生物层。地层礁剖面露头, 湖北秭归新滩长兴组。

