

文章编号: 1000-0550(2003)01-0096-10

# 上震旦统灯影组中非叠层石生态系兰细菌白云岩<sup>①</sup>

方少仙 侯方浩 董兆雄

(西南石油学院 四川南充 637001)

**摘要** 上震旦统灯影组 2 段和 3 段是四川盆地主要天然气储层之一。在浅色白云岩地层中富含炭化的黑色非叠层石生态系兰细菌白云岩。它既可发育于沉积期和胶结作用期,也可发育于表生成岩作用期。沉积期发育的非叠层石生态系兰细菌白云岩呈纹层状产出或围绕颗粒的四周生长。这类兰细菌白云岩的单层厚度从 1 mm 到 > 10 cm 不等,其总厚度约占灯影组 2 段和 3 段的 1/10 左右,有时也呈不连续的黑色小点发育于白色叠层石生态系兰细菌白云岩的叠层石、层纹石中。胶结作用期,二或三个世代亮晶胶结物交替发育“充填”孔隙。表生成岩作用期,黑色的兰细菌主要呈多世代的线状纹层与白色纤维状白云石组成多世代的间互纹层充填在岩溶溶洞、溶沟以及扩溶的裂隙中。非叠层石生态系兰细菌主要形态有球形、椭球形和棒形,偶有蘑菇形及其它形状。群体呈现为串珠状、草丛状、分叉树枝状和类似于火山喷发状等等。群体的古生态表现为向上生长、围绕颗粒向四周发散生长、粘结颗粒,或向原生粒间孔隙、次生溶洞、溶沟中心向心生长。

对现代兰细菌的降解实验佐证所讨论的非叠层石生态系兰细菌是灯影组中烃源岩之一。

**关键词** 上震旦统 灯影组 兰细菌白云岩 烃源岩

**第一作者简介** 方少仙 女 1933 年出生 教授 沉积学和储层地质学

**中图分类号** P588.24 5 **文献标识码** A

## 1 前言

Andrew H K 和 Stanley M A<sup>[1]</sup> 将古微生物(兰细菌)生态划分为叠层石生态系和非叠层石生态系。前者,叠层石生态系“主要是造席生物”的兰细菌“形成席状粘质的表层,并捕获、缠结沉积物”<sup>[1]</sup>的产物,包括各种形态的叠层石、层纹石、核形石等。后者,非叠层石生态系指非造席的单细胞兰细菌生物。已知非叠层石兰细菌“在前寒武纪岩石中相当普遍”,“在早期海洋生物群中占有重要的地位”。这类兰细菌既有底栖的,也有浮游的。底栖类“常常沿层面密集分布”,而浮游的则“通常随机地散布在整个薄片”中。

“兰细菌以前称为蓝藻,因其为原核生物与细菌相似,而与真核生物的藻类完全不同;所以越来越多的微生物学家和藻类学家主张将它放在细菌中”<sup>[4]</sup>。

西南地区,特别是四川盆地的上震旦统灯影组白云岩地层,无论地面或井下岩心中,除发育有浅色叠层石生态系的兰细菌白云岩外,也发育有黑色(已炭化)非叠层石生态系的兰细菌白云岩夹层。更有意义的是,非叠层石生态系的兰细菌也存在于胶结作用期,表生成岩期和埋藏成岩期。

## 2 概述

四川盆地震旦系灯影组白云岩地层广泛分布,除川西北和川西地表有出露外,其余地区主要分布于地下。灯影组由下向上分别为灯一、灯二、灯三和灯四段。

位于川西南威远—自贡—资阳地区的大型古隆起(威远古隆起)发育有世界上最古老的天然气气藏,即威远气田,主要分布于该隆起的中部。二十世纪九十年代中叶(1993年)又在该隆起的北斜坡资阳地区钻遇工业气流。威远和资阳地区天然气气藏主要储层为灯三段,次为灯二段白云岩。

对井下岩心和川西北、川西地面露头研究发现,灯三段和灯二段以浅色白云岩地层为主,主要为浅灰色细晶、粉晶和颗粒白云岩,其次为浅灰白色的叠层石生态系兰细菌层(微生物层状)沉积<sup>[2]</sup>的层纹石、低起伏波状和柱状叠层石、核形石及含菌球粒粉晶白云岩。在这套浅色白云岩中夹有具原地生长生态的纹层状(0.1~1 cm)和薄层状(1~10 cm,少数>10 cm)的黑色(已炭化)非叠层石生态系兰细菌白云岩(图版 I -1)占灯三和灯二段地层厚度的 1/10 左右,以灯三段中为多。较厚的白云岩层由球状或椭球状非叠层石生态系兰细菌

① 西南石油学院 油气藏地质及开发工程国家重点实验室资助项目(编号 97PLN10)

收稿日期: 2002-12-26 收修改稿日期: 2003-01-10

菌围绕暗色或浅色颗粒生长并互相连接成似团块状,团块间由二或三个世代白色亮晶白云石充填,最终形成黑白相间、错落有序,俗称“雪花状”的白云岩层(图版I -2,3)。此外,也可以发育于白色叠层石生态系兰细菌沉积的层纹石和叠层石的纹层包壳间(图版I -4)。

除原地生长的非叠层石生态系兰细菌外,在成岩作用的各个阶段亦可发育存在。早成岩(胶结作用)环境中,兰细菌与二个或二个以上世代亮晶胶结物间互生长充填粒间孔隙(图版I -5)。震旦纪末桐湾运动使灯影组抬升,表生成岩环境中形成了古岩溶溶洞和溶沟,在较大溶洞溶沟中,已炭化的黑色兰细菌与白色纤维状白云石组成间互线纹层衬溶洞。溶沟壁多期生长并向心充填,形成花边状构造(图版I -6)。较小的,一般直径 1 cm 左右或更小的溶洞中,非叠层石生态系兰细菌成球形、半球形或僧帽形并列群体向溶洞上方生长,其间被粒状亮晶方解石充填。较小的溶沟中,这类兰细菌与纤维状白云石相间成包壳状发育形成渗流鲕粒(岩)(图版I -7),甚至在溶洞充填物再次遭受岩溶崩塌的角砾岩的角砾间,兰细菌可与亮晶白云石再次充填并胶结角砾,或粘附少量白云岩细屑形成豆粒<sup>[2]</sup>。在构造裂隙基础上扩溶的溶沟、洞中,黑色炭化非叠层石生态系兰细菌也与白色纤维状和叶片状白云石成间互线纹层衬溶沟壁向心生长充填。甚至在断层角砾岩角砾间经淡水参与溶解的溶洞中亦见与亮晶白云石间互生长充填。说明这类已炭化的非叠层石生态系兰细菌既可以发育于沉积期,也可以出现在早成岩期、表生期,乃至埋藏期。

非叠层石生态系兰细菌的单体主要以球形、似球形(图版I -8)和椭球形为主,也见杆形(图版II -1),少数成蘑菇形、僧帽形(图版II -2)等。其群体形态各异,常见的形态有单列向上生长的串珠状(见图版I -1)、螺旋状,或由串珠状向上分叉组成草丛状(见图版I -3)、漫散的念珠状(图版II -3)、树叉状(图版II -4)、火山喷发状(图版II -5)等。当围绕颗粒向四周生长时发育成狼牙棒状群体(见图版I -3)。

戴永定指出:化石细菌不保存内含物,只具有形态特征<sup>〔3,4〕</sup>,更因灯影组经历了 5.7 亿年的埋藏史,这类非叠层石生态系兰细菌均已炭化,不同环境下生长的兰细菌的细结构特征即使在扫描电镜下亦无法区分,只能从形态上识别。但有一点是明显的,即兰细菌单体、群体的形态、生态受制于发育的环境。当环境稳定,有足够的生长时间和空间的情况下,兰细菌单体的个体大,其群体可发育成各种形态,向四周,特别是向上生长的生态,如树枝状、草丛状、火山喷发状等(见

图版II -3,4,5)。当上覆沉积物的沉积或周边胶结物的沉淀速度较快时,兰细菌个体细小、群体形态和生态则受沉积物、特别是胶结物充填速度和形态的控制。如发育于古岩溶溶洞、溶沟中两个世代快速沉淀的纤维状白云石胶结物间的兰细菌、单体细小,其群体亦成细线纹状夹于两个世代纤维状白云石之间(见图版I -6)。

对现代丝状蓝藻(细菌)人工硅化石和有机质的降解研究<sup>〔3〕</sup>,在 250°C, 1.013×10<sup>7</sup> Pa 条件下模拟的样品中,蓝藻(细菌)呈黄褐色,细胞内色素结构解体,细胞壁部分可见降解的棕褐色有机质聚集弥散。在 350°C, 3.040×10<sup>7</sup> Pa 条件下模拟的样品中,蓝藻(细菌)呈明显的黑褐色,衣鞘和细胞壁已不太清楚。以上亦佐证,灯影组中已炭化的非叠层石生态系兰细菌白云岩应该是有利的烃源岩之一。

### 3 不同环境中非叠层石生态系兰细菌的生态

#### 3.1 沉积期非叠层石生态系兰细菌的生态

##### 3.1.1 在细粉晶白云岩晶间或细粉晶屑白云岩粒间发育

由于这类白云岩晶间孔或粒间孔极为细小,非叠层石生态系兰细菌虽填满孔隙,其单体亦极细小。在细粉晶屑白云岩中,可由不同粒径的晶屑白云石组成不同粒径的纹层,较粗粒径晶屑白云岩中的粒间孔的孔径相对较大,孔隙度较高,因此兰细菌发育亦相对较多。最终形成如图版II -6那样明暗相间的不规则显微纹层。由于兰细菌个体细小,在高倍显微镜下亦无法辨认其形态,极易被误认为晶间或粒间充填的沥青。

##### 3.1.2 沿层理方向线状纹层发育

发育于浅灰白色微(泥)晶白云岩中。微晶白云岩是在水体安静的环境中缓慢沉积的产物。这类兰细菌沿(平行)层理成发育线状纹层,线纹一般 0.3~0.5 mm 或更厚,可以只发育一条黑色的线纹,也可以若干条线纹不等距地发育。显微镜下非叠层石生态系兰细菌单体为球形,直径 0.005~0.01 mm,其群体生态可以是纵向密集排列的串珠状体;但更多的是向上小角度分裂生长的草丛状体(见图版I -1)。这一生态特征表明,兰细菌发育于微晶白云岩沉积的静水环境中,当向上分裂生长过程遇到环境略有改变,如微晶白云岩的沉积速度增大,沉积水介质受到弱的波浪扰动等,兰细菌的发育受到抑制,当微晶白云岩的沉积速度减缓,环境恢复安静后,兰细菌又再度发育生长。

##### 3.1.3 包绕白云岩碎屑颗粒向四周发育

常见于亮晶砂屑、细砾屑白云岩中,当水体比较平静,非叠层石生态系兰细菌在粒间亮晶白云石胶结物

沉淀之前包绕碎屑颗粒向四周放射状分裂生长,但以上方最为发育(图版I-2,3)。紧贴颗粒边缘的兰细菌密度较高,但个体较小,向外有数量减少、个体增大的趋势,尤以上方明显。兰细菌有的为球形,有的为椭球形、短棒形,单体常较大,长径可达 0.05~0.1 mm。图版I-3中紧贴颗粒的兰细菌为圆形和椭球形,向外逐渐发育成短棒形,最大长径可达 0.5 mm,上述生态特征表明,环绕碎屑颗粒兰细菌开始发育时,由于早期水体较流畅,无胶结物沉淀的干扰,兰细菌的数量多,生长快,且互相竟生,因之密度大,个体较小,形态上主要为球形、椭球形。随着胶结物的沉淀,兰细菌的数量逐渐减少,形态上发育成“逃逸胶结物掩埋”的短棒形。随着一代亮晶胶结物的快速沉淀,兰细菌的发育被抑制。

在水体动荡,特别是早期胶结物淀出速度较快的环境中,兰细菌的发育既受到动荡水体的抑制,又要与早期胶结物竟生,只能以细小、密集的集合体包绕碎屑颗粒成厚度不均一的薄膜状发育(图版II-7),如果胶结物的淀出速度相对稍慢,颗粒外的兰细菌薄膜较厚,可以与胶结物交替发育,这时极易被误认为小型核形石白云岩(图版II-8)。常见兰细菌包绕碎屑颗粒生长的同时将若干个碎屑颗粒粘在一起,形成团块状或“葡萄状”组构(图版III-1,2)。

无论上述那种情况,都由已炭化的黑色非叠层石生态系兰细菌粘结或包缠碎屑,其间由白色亮晶的白云石充填,形成黑白相间的组构,俗称“雪花状”白云岩。

非叠层石生态系兰细菌的发育受胶结物淀出的消长关系从图版III-3可以清楚地看出。当碎屑颗粒沉积的最初期尚无胶结物淀出,兰细菌围绕颗粒成“包壳”状快速地密集生长发育,随着一代纤维状亮晶白云石的淀出,黑色的兰细菌与白色的纤维状白云石两者在颗粒“包壳”的最外缘成指状交错状竟生,最终因胶结物淀出速度和淀出量的加大,兰细菌停止发育。

### 3.1.4 在微冲刷面之上,或白云岩沉积间歇期成向上漫散念珠状或树叉状发育

非叠层石生态系单体成球形的集合体向上发散生长,有的发育成向上漫散的念珠状或柏树枝状。由于有利的生长空间和时间,兰细菌的直径可达 0.1 mm 或更大(图版II-3)。此外偶见直径达 0.2 mm 左右具孢核的椭球形或不规则的兰细菌,其集合体亦略具有树枝状向上发散生长的生态(图版II-4),这类兰细菌集合体均因两个世代亮晶白云石充填而抑制发育。

### 3.1.5 与叠层石生态系的层纹石和核形石伴生或在其上发育

由于层纹石的席状纹层沉积速率高,炭化的非叠层石生态系兰细菌的生长相对受到抑制,故只成细小的、漫散的单体零星地发育于浅色的藻层纹间(见图版II-5右下角)。相反,核形石在水面下生长速度相对缓慢,非叠层石生态系的兰细菌能与浅色的叠层石生态系兰细菌席组成不等厚的、互为消长的“色壳状”构造,这种情况下,炭化的非叠层石生态系兰细菌发育好,数量多,且单体亦较大(见图版I-4)。

另一种情况是:由于层纹石或核形石生长发育的环境发生改变,也可能是沉积介质中白云质的短期锐减,致使层纹石或核形石停止生长,使得炭化非叠层石生态系兰细菌获得良好的发育环境,这种情况下,后者在层纹石或核形石上面成火山喷发状或火焰状发育生长(见图版II-5,III-4)。

上述 5 种同生沉积期发育的非叠层石生态系兰细菌可以在某小段白云岩中单独存在,但也常见两种以上生态在同一样品,甚至同一薄片中共时存在。此外,亦见具有两种以上生态之间的过度形式,特别是在“雪花状”白云石中明显。

## 3.2 准同生期和胶结作用期非叠层石生态系兰细菌的生态

### 3.2.1 围绕颗粒溶膜孔内外边缘发育

常见颗粒溶膜孔隙的边缘非叠层石生态系兰细菌集合体既向粒间孔隙方向、也向溶膜孔隙内方向衬边发育,这一现象极似泥晶套(图版III-5)。从图版III-5看出,碎屑颗粒溶膜孔隙是在胶结物沉积前准同生期溶解形成的,随着溶解作用的发生,兰细菌围绕溶膜套向粒间孔隙和溶膜孔隙内同时发育生长。此外粒间孔隙和溶膜孔隙中充填的亮晶白云石组构一致,表明两者是同时沉淀出的,两类孔隙充填的亮晶白云石残余孔隙中均有沥青再充填。

### 3.2.2 在世代胶结物之间发育

颗粒白云岩中,特别是颗粒边缘已有炭化非叠层石生态系兰细菌包绕以及兰细菌粘结细碎屑形成的“团粒”状颗粒白云岩的粒间孔隙中,一代代的纤维状亮晶白云石或微晶状白云石胶结物淀出后,在胶结物层边缘又有兰细菌群体向孔隙中心生长,组成黑色环带(见图版I-5)。胶结物有三个世代时,在一世代和二世代胶结物之间,二世代与三世代胶结物之间分别发育有兰细菌的黑色环带(图版III-6)。由于一代纤维状或微晶胶结物是早期快速淀出的胶结物,而二世代粒状或复三方偏三角面体亮晶白云石淀出速度较慢,导致一代和二世代胶结物间黑色环带中兰细菌也发

育快,且很快随着二世代胶结物的淀出被抑制生长,因此单体细小且密集,即使高倍显微镜下亦无法看清兰细菌单体的轮廓,环带的厚度大小一般  $< 0.05 \sim 0.02 \text{ mm}$  相反发育在二世代与三世代胶结物之间的兰细菌单体较大,常可在黑色环带的外缘清晰的看清楚单体的形态,环带的厚度有时较大(见图版I-5)但也有相反的情况(见图版III-6),另外,由于二世代亮晶胶结物淀出速度较慢,在其晶间孔中亦多少会有黑色的兰细菌发育其中(见图版I-5 III-6)

### 3.3 表生成岩期非叠层石生态系兰细菌的生态

#### 3.3.1 沿溶沟壁与纤维状亮晶白云石组成间互纹层环沟壁对称向心生长发育

图版I-2上部为一顺层方向溶沟,非叠层石生态系兰细菌与纤维状白云石间互纹层已将溶沟大部分充填,残余溶沟被粒状亮晶白云石充填满

#### 3.3.2 较大岩溶溶洞中与纤维状亮晶白云石环溶洞壁交替向心生长发育

这种由炭化非叠层石生态系兰细菌和白色纤维状亮晶白云石交替向心生长发育现象在不太大的溶洞中仅数期(次),形成“花边状”充填构造(图版I-6)。在大的( $> 5 \text{ cm}$ )溶洞中可达数十期,更大的溶洞中可达上百期。在大溶洞中不同部位及各期纤维状亮晶白云石淀出的速度和强度不一致,相应的兰细菌层的厚度亦不太一致,于是主要由黑色兰细菌层反映出穹洼相间的充填构造,俗称“葡萄花边状”构造。由于纤维状亮晶白云石淀出的速度较快,兰细菌单体亦小,仅在高倍显微镜下才能分辨出一些球形的单体,但其集合体可看出向溶洞中心方向的生长生态。

#### 3.3.3 较小岩溶洞中成僧帽状成排向上生长发育

在  $1 \text{ cm}$  左右的小岩溶溶洞中,常见非叠层石生态系兰细菌成单体  $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$  或更大的僧帽状并发育成不规则的纹层状向上生长,其间被一或二个世代的粒状亮晶白云石充填(见图版II-2)。这类小溶洞见于微晶白云岩,含泥质微晶白云岩中。形成这种兰细菌的生态的原因可能是这样的:首先,这类白云岩中表生期岩溶作用相对较弱,细小溶洞仅成孤立分散的浑圆状,有的成大小不等的雨滴状,小溶洞的围岩是致密的孔隙性差的白云岩,小溶洞形成后处于相对封闭,大气淡水循环性差的环境,在这种相对稳定的环境中兰细菌有足够的空间和时间发育成向上生长的僧帽状。从图版II-2看出,在僧帽状兰细菌之间仅有一个世代的粒状亮晶白云石充填,没有快速淀出的纤维状白云石,佐证了小溶洞内处于孔隙水的循环相对缓慢且白云石质溶剂含量较低的相对稳定的环境。图版II-2中僧帽状兰细菌群体与粒状亮晶白云石间组成不规则的纹层

状分布,表明含白云石质的孔隙水间歇性地进入小溶孔内并对兰细菌的发育起短期的抑制作用

#### 3.3.4 岩溶溶洞中与渗流粉砂共生发育

在有渗流粉砂半充填的溶洞中总能见到渗流粉砂充填之前或之后和两期渗流粉砂充填的间歇期有非叠层石生态系兰细菌发育,而且往往与渗流粉砂、亮晶白云石共同形成对溶洞复杂的充填过程。图版III-7为一顺层理方向的溶洞,环溶洞壁有生长良好的丛状兰细菌发育,随后在兰细菌层内缘有一圈微粒状白云石沉淀,接着溶洞的下部被暗色的渗流粉砂充填(渗流粉砂成黑灰色,是否有炭化的兰细菌沉淀其中?)。渗流粉砂沉淀后的上部残余溶洞中又有数期(圈)纤维状白云石与兰细菌的间互纹层充填。随着纤维状白云石和兰细菌间互纹层的沉积后,残余溶洞体积已经大为缩小,地下流体只能很缓慢的进入其中,在这样的环境中,发育起僧帽状兰细菌,并最终被粒状亮晶白云石充填满。从上看出,在一个溶洞中,从早期到晚期,由于环境的改变,非叠层石生态系兰细菌单体的大小、群体的形态以及生态都发生相应的改变。

#### 3.3.5 岩溶溶洞或溶沟中组成渗流鲕粒和渗流豆粒包壳层发育

在灯影组中渗流鲕粒和渗流豆粒相对少见。在近垂直的岩溶溶沟中非叠层石生态系兰细菌和纤维状白云石交替发育组成包壳构造(见图版I-7)。两者包壳纹层的厚度常相互消长,这与间歇性流经溶沟、溶洞中渗流水的流速,特别是所含白云石溶质量的多少有关,当渗流水的流速减慢,所含的白云石溶质量较少时有利于兰细菌的发育,所形成的包壳纹层较厚,高倍显微镜下单体的个体亦较大。从图版I-7看出,渗流鲕粒沉积后的粒状亮晶白云石胶结物的残余孔隙中似有兰细菌发育其中。

在渗流豆粒中非叠层石生态系兰细菌的包壳构造常不规则状。此外亦见到早期溶洞充填的含非叠层石生态系兰细菌的各种次生白云石再度崩落的塌积角砾白云岩,其角砾间孔隙中又有含兰细菌的渗流豆粒和渗流鲕粒充填。

#### 3.4 沿构造裂隙扩溶的溶缝、溶沟中与纤维状亮晶白云石组成间互纹层环缝、沟壁间心生长发育

这是灯影组中极为常见的非叠层石生态系兰细菌的发育生态。图版III-8岩心中首先发育了近正交的两个方向的共轭裂隙,一组裂隙发育好,并经扩溶形成溶沟,另一方向裂隙发育较差,仅局部扩溶成溶沟,其余部分仅成微裂隙。甚至仅能隐约见及。从图版III-8看出,在扩溶溶沟中被黑色的炭化非叠层石生态系兰细菌纹层与白色的纤维状白云石纹层环扩溶沟壁交替向

心发育,残余的溶沟中又有粒状亮晶白云石充填。有的溶沟中在粒状白云石未完全充填的残剩小溶洞和溶沟中又有沥青充填。对粒状白云石中液体包裹体测温平均  $150^{\circ}\text{C}$ , 有机包裹体  $165^{\circ}\text{C}$  左右<sup>[2]</sup>。表明粒状白云石是埋藏环境的产物,结合粒状白云石充填后又有沥青充填,说明粒状白云石是油气运移高峰期之前淀出的,这种兰细菌及拌生的纤维状、粒状白云石的充填构造在有的井中十分发育,如资 4 井的取芯井段中,有近 9m 岩心均为与岩心成 450 左右相交,密集成排的,“单层”厚 2~4 cm 不等的上述黑白相间纹层状向心充填构造形成的次生白云岩。相反,在有的未经扩溶或仅弱扩溶的裂缝中全被兰细菌“充填”或近于充填满。此外在资 2 井中 10 m 左右的断层角砾岩的角砾间和扩溶孔、洞中亦见这类兰细菌的发育。

以上非叠层石生态系兰细菌的生境和生态表明,这类兰细菌即可以发育于沉积期,早成岩期,也可发育于表生成岩期,甚至在埋藏成岩期。其发育时间可以从灯影期,灯影期后到中寒武世以前的表生期,也可以出现在以后的构造作用活跃期。由于兰细菌均已炭化,表面和内部结构即使在扫描电镜下亦无法见及,只能根据兰细菌的发育环境和显微镜下单体和群体的发育特征进行生境和生态的分类叙述

炭化的非叠层石生态系兰细菌在西南地区其它时代的地层中亦常可见及,如广西、贵州地区的上古生界及三叠系地层中<sup>[3]</sup>。

#### 4 非叠层石生态系兰细菌白云岩是灯影组中重要的烃源岩之一

吴庆余等<sup>[6]</sup>将现代丝状兰藻(兰细菌) *Oscillatoria tennis* 浸入  $\text{SiO}_2$  溶胶中,加电解质和调节 pH 值后,  $\text{SiO}_2$  溶胶转化为凝胶,在高温高压下进一步转变,成埋藏于蛋白石中硅质矿物中的蓝藻化石。切片后镜下观察发现,人工硅化兰细菌化石与前寒武纪燧石层中的兰细菌化石可进行对比。人工硅化兰细菌类化石未经高温高压处理的样品呈灰绿色,其生态保存良好,衣鞘或细胞壁形态清晰可见,在  $250^{\circ}\text{C}$ ,  $1.013 \times 10^7$  Pa 条件下模拟的样品中,藻类生物呈黄褐色,细胞内色素结构解体。在  $35^{\circ}\text{C}$ ,  $3.04 \times 10^7$  Pa 条件下模拟的样品中,兰细菌呈明显的黑褐色,细胞壁不太清楚,细胞内部中空并完全被蛋白石充填。以上说明,温度较低时细胞结构可以保存,细胞壁部分可见降解的棕褐色有机质聚集弥散,从而证明古代沉积岩中由兰细菌类生

物输入的有机质大部分来源于兰细菌生物的衣鞘、细胞壁和细胞膜的降解,细胞的色素物质也可降解为一部分可溶与不可溶的有机质

通过分析得知有机质的族组分有烷烃、芳烃、非烃三种组分,其中烷烃、芳烃含量随温度增加而增加,以  $250^{\circ}\text{C}$  条件下两者的含量最高,表明为生油高峰期。温度升高至  $350^{\circ}\text{C}$ ,  $3.04 \times 10^7$  Pa 时,部分已经生成的烷烃大多进一步降解或破坏或转化成更小分子的气态烷烃而排出。

根据上述实验研究推论,四川上震旦统灯影组富含非叠层石生态系兰细菌白云岩中的兰细菌可能是有机质的主要来源,是灯影组重要的烃源岩之一。

致谢:参加前期研究工作的有黄继祥,王兴志,郭莉。比利时鲁汶大学终身教授、前台湾大学地质系系主任钱宪和教授曾参与讨论,图版中个别照片也由钱教授拍摄,在此表示衷心的感谢。

#### 参考文献 (References)

- 1 Krumbein W E 编,杨承运,张昀,刘瑞洵等译.微生物地球化学,古微生物生态系 [M]. 北京:地质出版社,1995. 174~ 189 [Krumbein W E ed, Translated by Yang Chengyun, Zhang Yun, Liu Ruixun, et al. Microbial geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985. 174~ 189]
- 2 侯方浩,方少仙,王兴志等.四川震旦系灯影组天然气藏储渗体的再认识 [J]. 石油学报,1999, 20(6): 16~ 21 [Hou Fanghao, Fang Shaoxian, Wang Xingzhi, et al. Further understandings of the gas-reservoir rocks of Sinian Dengying Formation in Sichuan, China [J]. Acta Petroleum Sinica, 1999, 20(6): 16~ 21]
- 3 戴永定.微生物岩研究的发展与展望 [J]. 地球科学进展,1996, 11(2): 208~ 215 [Dai Yongding. Development and perspective of research for microlites [J]. Advances in Earth Sciences, 1996, 11(2): 208~ 215]
- 4 戴永定.生物矿物学 [M]. 北京:石油工业出版社,1996. 303~ 331 [Dai Yongding. Biomineralogy [M]. Beijing: Petroleum Press, 1996. 303~ 331]
- 5 范嘉松,吴亚生.贵州关岭中三叠统坡段组沉积特征及其形成环境 [J]. 古地理学报,2002, 4(1): 67~ 74 [Fan Jiasong, Wu Yasheng. Sedimentary characteristics and environments of the Poduan Formation of Middle Triassic in Guanling of Guizhong [J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4(1): 67~ 74]
- 6 吴庆余,盛国英,傅家谟.现代蓝藻人工硅化化石和有机质降解研究 [J]. 微古生物学报,1991, 8(2): 197~ 206 [Wu Qingyu, Sheng Guoying, Fu Jiamou. Artificially silicified microfossils and organic matter of living Blue-green algae [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 1991, 8(2): 197~ 206]

# Non-stromatolite Ecologic System Cyanobacteria Dolostone in Dengying Formation of Upper-Sinian

FANG Shao-xian HOU Fang-hao DONG Zhao-xiong

(Southwest Petroleum Institute, Nanchong, Sichuan 637001)

**Abstract** Dengying formations 2 and 3 members of upper-Sinian is one of major nature gas reservoir in Sichuan basin. In light colour dolostone abound with carbonification blackly non-stromatolite ecologic system cyanobacteria dolostone. It's developed not also in depositional and cementational stage, but also in hypergene diagenetic stage. At the depositional stage, it occurs in laminae or surrounded the grain growth in all sides. The single bed thickness of these cyanobacteria dolostones from 1 mm to over 10 cm. And total thickness occupy about 10 percent in 2 and 3 members of Dengying formation. Sometimes it shows up in continual small blackly points developed in whitely stromatolite ecologic system cyanobacteria dolostones, such as stromatolites, oncolite and others. At the hypergene diagenetic stage, the blackly non-stromatolite ecologic system cyanobacteria mainly occurred in many generations finely laminae interbedded with white coloured fiber texture dolostone laminae filling the karstic cavity and channel, even in enlarged dissolved crack. The major shapes of non-stromatolite ecologic system cyanobacteria are sphere, ellipsoid and cuboid, occasionally are mushroom, monkhat and others. The colours presented sharp are string bead, grass cluster, crotch and like the volcanic eruption, etc. All of these shapes show palaeology of upward growth or toward the centre of karstic cavity and channel.

Degradation in test of modern cyanobacteria evidenced that non-stromatolite ecologic system cyanobacteria dolostones is one of hydrocarbon source rock in Dengying formation.

**Key words** Upper-Sinian, Dengying formation, cyanobacteria dolostone, hydrocarbon source

## 图版说明

### 图版 I

1 浅色微晶白云岩中非叠层石生态系球形兰细菌群体成念珠状并列向上并分裂生长,断面如草丛状。照片下部的纹层状兰细菌层厚仅 0.1 mm,由于受到上覆白云岩层沉积的影响,兰细菌单体直径小,密度大,向上生长生态发育差。照片中兰细菌层厚 0.5 mm,其下部因多期的白云石沉积而互相成微纹层状,上部无白云石沉淀的干扰发育成草丛状,最后因上覆白云石快速沉淀而被抑制。资 1 井 灯三段

2 下部非叠层石生态系兰细菌包绕颗粒形成长轴顺层理方向的“团粒”,并可互相断续的连接,“团粒”间被亮晶白云石充填,俗称“雪花状”白云岩。上部顺层方向溶沟由白色纤维状白云石和黑色兰细菌纹层交替沿溶沟壁对称向心充填,溶沟中心部位被粒状亮晶白云石充填。威 117 井 灯三段

3 非叠层石生态系兰细菌包绕颗粒向四周放射状生长,以向上方向发育较好,最终形成狼牙棒状群体。群体中心部位兰细菌为单体较小的球形,密度较大,向外个体增大,渐成椭球形,数量也渐渐减少。最外缘由于一代胶结物的开始沉淀,兰细菌为逃逸胶结物的“埋藏”,有的已发育成杆状。一代纤维状胶结物沉淀出后,在其外缘上方又有少许兰细菌发育,随二代颗粒胶结物沉淀,兰细菌的发育被抑制。资 1 井 灯三段 3345.17~3345.20 m × 40

4 由两类生态系交替生长形成的核形石。浅色叠层石生态系兰细菌席纹层包壳形成的间歇期。暗色非叠层石生态系球形兰细菌不均匀的发育其上,如此交替发育,形成罕见的核形石。资 1 井 灯三段 4011.09~4011.12 m × 40

5 砾、砂屑为细粉晶白云岩,早期碎屑颗粒外缘有一层非叠层石生态系兰细菌包覆,随后孔隙中被一代复三方偏三角体亮晶白云石半充填。一代胶结物的外缘又有兰细菌发育,照片中一代胶结物充填后的残余孔隙几乎被兰细菌占据。注意,在粉晶砾、砂屑白云岩的晶间,胶结物的晶间,特别是照片中二期梳状生长的复三方偏三角体胶结物的贴合面间也有兰细菌发育。左下角残余孔隙中被二代粒状亮晶白云石充填,粒状白云石晶间有少量沥青充填。资 3 井 灯二段 3888.20~3888.23 m × 25

6 岩溶溶洞被若干代的非叠层石生态系兰细菌和白色纤维状亮晶白云石环洞壁交替充填,中心残余溶洞被粒状白云石充填,粒状亮晶白云石晶间有少量沥青充填。资 2 井 灯段 × 2

7 垂直的岩溶小溶沟中渗流鲕由非叠层石生态系兰细菌与白色纤维状白云石交替发育组成包壳构造。鲕间一代纤维—叶片状胶结物层间的贴合面内及残余孔隙内又有兰细菌发育、充填。资 1 井 灯三段 3991.18~3991.20 m × 25

8 球形非叠层石生态系兰细菌的扫描电镜照片。资 1 井 灯三段 4002.93 m

## 图版II

1 杆形非叠层石生态系兰细菌的扫描电镜照片。资 5 井 灯二段 3 999.50 m

2 长径 0.8 cm 成漏滴状小溶洞中非叠层石生态系兰细菌成僧帽状向上生长,群体组成不规则的纹层,残余孔隙中仅一个世代微粒状亮晶白云石充填。资 1 井 3 992.58 m × 25

3 球形非叠层石生态系兰细菌的念珠状群体向上生长生态,左边发育成柏树枝状。兰细菌群体间由亮晶白云石充填。资 3 井 灯三段 3 860.00~ 3 860.03 m × 40; 4 发育两种非叠层石生态系兰细菌。一种为黑色球形兰细菌,其群体向上分裂发育成树叉状。另一种色较浅,形态成不规则的椭圆状,边缘炭化强,并有一炭化核心,其群体向上发育不太明显。兰细菌间由两个世代亮晶白云石胶结。资 2 井 灯三段 3 699.90 ~ 3 699.93 m × 40

5 右下方为浅色叠层石生态系兰细菌的层纹石,其上发育一向上生长的核形石,在层纹石和核形石的席状纹层间均有少量星散其中的黑色非叠层石生态系兰细菌。核形石沉积后由于水介质条件的改变,无白云石质沉淀,为非叠层石生态系兰细菌的发育创造了有利环境,后者在核形石和纹层石之上快速的成火焰状(火山喷发状)生长。随后,由于白云石质的沉淀被抑制。注意兰细菌之上的白云石沉积物成纹层状披盖构造。资 1 井 灯三段 4 026.41~ 4 026.43 m × 40

6 细粉晶屑白云岩,不同粒径的白云石晶屑构成不良的纹层理构造。粒径较粗的纹层内粉晶屑的原始粒间孔隙较大、较多,非叠层石生态系兰细菌亦相对发育。反之较细粒径的纹层内兰细菌发育较差。资 2 井 灯二段 3 688.37~ 3 688.39 m × 25

7 碎屑颗粒为粉晶白云岩,其外缘均有非叠层石生态系兰细菌包覆,兰细菌群体成念珠状向粒间孔隙生长,并将邻近的颗粒互相粘接,残余粒间孔隙被亮晶白云石充填。此外,碎屑颗粒粉晶白云石的晶间孔中也有兰细菌发育其中。资 6 井 灯三段 3 673.04~ 3 673.06 m × 60

8 微粒晶白云岩砂屑外围有密集的非叠层石生态系兰细菌层包覆,由于兰细菌密度大,互相共生,因而单体细小,在照片右上角可以看出兰细菌层最外缘密度减小,单体增大,群体向孔隙中心向心生长。残余粒间孔隙由亮晶白云石充填。注意,兰细菌层包覆层发育过程中也粘结了一些细粉砂和粘土级的碎屑白云石。资 1 井 灯三段 4 017.53~ 4 017.55 m × 75

## 图版III

1 非叠层石生态系兰细菌对粉屑、粉晶屑包覆生长并互相缠结成团粒状。由于兰细菌的包覆、缠结,在二维薄片许多团粒成漂浮状,团粒间被二个世代亮晶白云石充填。资 2 井 灯二段 3 753.80~ 3 753.82 m × 25

2 非叠层石生态系兰细菌层包覆和局部缠结砂、砾屑。右下方的砾屑为亮晶砂、粉屑白云岩,其内的砂、粉屑有的曾被兰细菌包覆或再破碎的产物。砂、砾屑间残余孔隙被纤维状和继后的粒状二个世代亮晶白云石充填。资 1 井 灯三段 4 017.57~ 4 017.59 m × 25

3 砂屑最早被非叠层石生态系兰细菌层包覆,兰细菌层的最外缘因开始有一世代纤维状亮晶白云石的沉淀,兰细菌对纤维状白云石共生,形成两者梳状的边界层,最终因纤维状亮晶白云石的快速沉淀,兰细菌的发育被抑制。残余粒间孔隙中被二世代粒状亮晶白云石充填。资 5 井 灯三段 × 40

4 在短暂的白云石沉积的二期微冲刷面上非叠层石生态系兰细菌群体成火焰状生长,越向上发育越好,成膨出状,有的成蘑菇状。由于亮晶白云石的沉淀,兰细菌的发育被抑制。资 1 井 灯三段 × 25

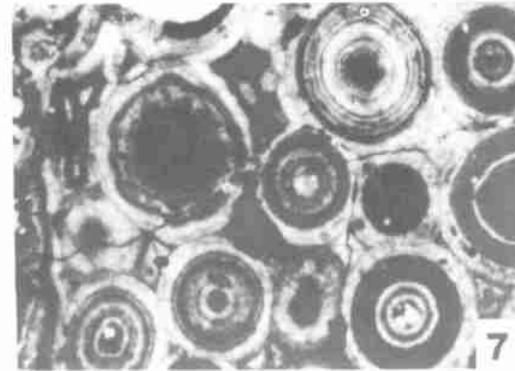
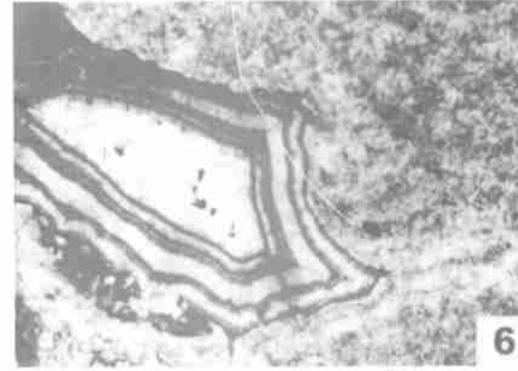
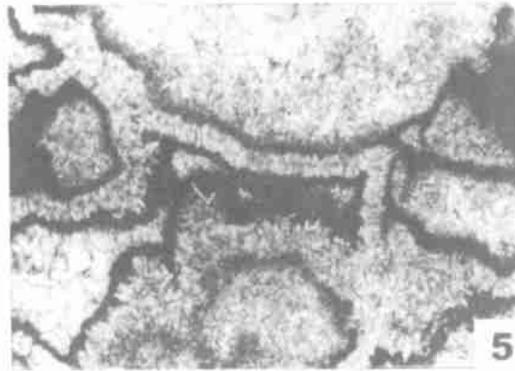
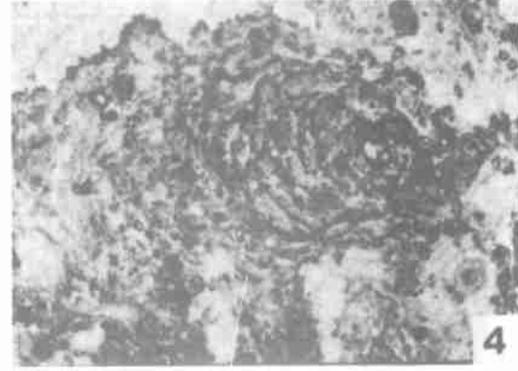
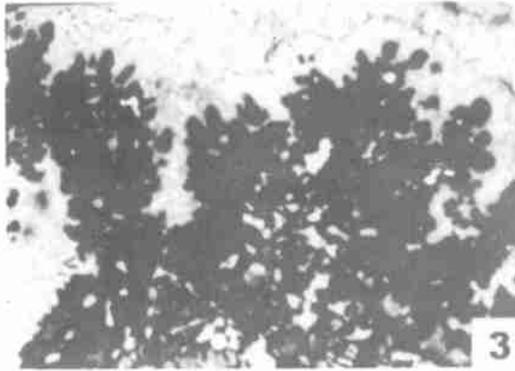
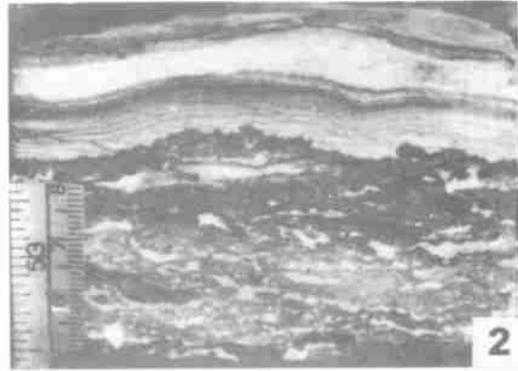
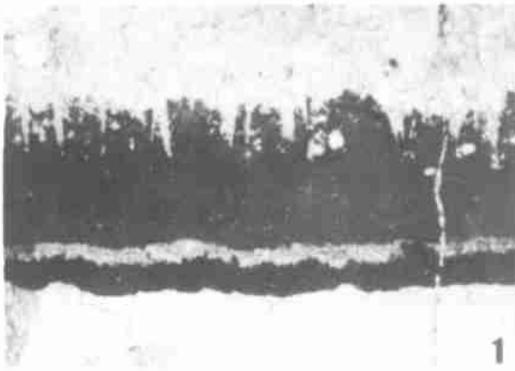
5 砂屑白云岩,原砂屑均已溶解成铸(溶)模孔隙,非叠层石生态系兰细菌沿砂屑铸型边缘向外和向内同时发育,形成似泥晶套状。砂屑铸模孔内和残余粒间孔隙中均有结构一致的,即同期的粒状亮晶白云石充填。亮晶白云石晶间孔中又有沥青充填。资 4 井 灯二段 × 100

6 砂屑白云岩的粒间孔隙中非叠层石生态系兰细菌的三期发育过程。首先在颗粒外缘发育了兰细菌群体的包覆层,接着兰细菌层粘结了一圈断续的粉晶屑白云石层,在粉晶屑白云石层向孔隙方向内缘和晶屑间又发育了一圈厚度较小的兰细菌层。随后淀出了第一期纤维状亮晶白云石。照片中下部较大孔隙中看出,第一期纤维状白云石沉淀较慢,故沿孔隙壁等厚环带状发育。第一期纤维状白云石淀出后,出现孔隙水活跃的间歇期,兰细菌又一次在其内发育,形成厚度最大的兰细菌层。最后,残余孔隙中被第二期纤维状白云石和第三期粒状亮晶白云石充填。资 3 井 灯二段 × 25

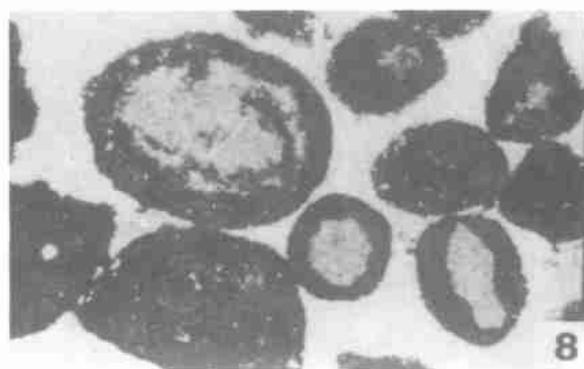
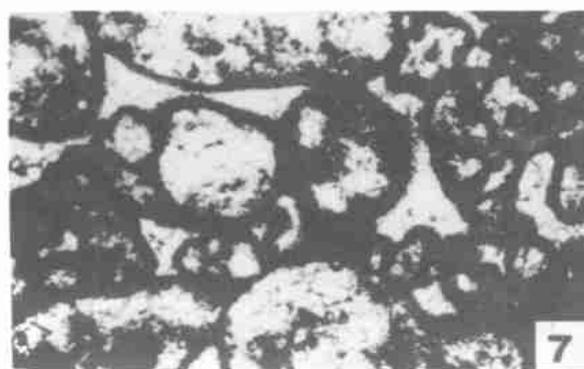
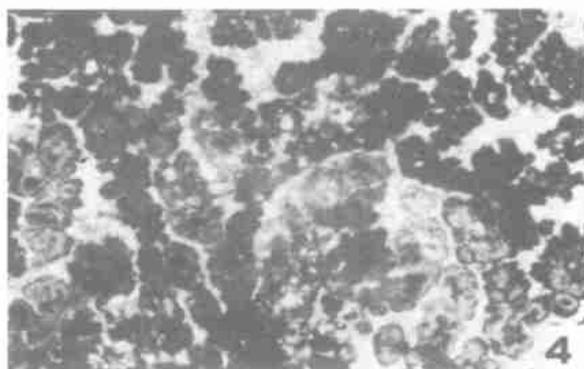
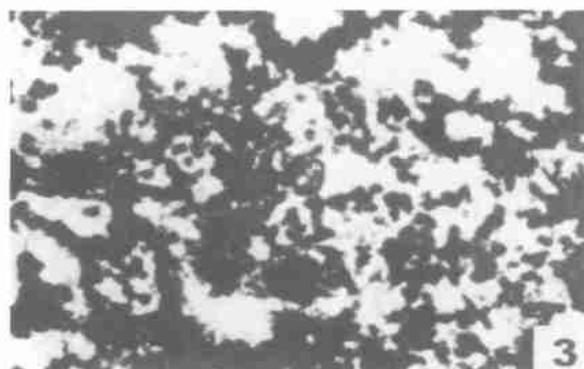
7 中部为一顺层方向的岩溶小溶洞,环溶洞壁首先有一圈非叠层石生态系兰细菌发育,兰细菌层内缘沉淀了一细纹层状亮晶白云石,紧接着溶洞下部被暗色的渗流粉砂充填。随着渗流粉砂将溶洞大部分充填后,流经溶洞的地下径流孔隙水减少,流速降低,环残余溶洞壁有二期纤维状白云石和兰细菌层交替衬壁充填。这样就更减少了进入残余溶洞中孔隙水的流量和流速。兰细菌有足够的空间和时间发育成较大的僧帽状和丛状体。最终残余溶洞被粒状亮晶白云石充填。资 1 井 灯三段 3 995.27~ 3 995.29 m × 10

8 岩心中发育了两组互相近正交的共轭剪裂缝,一组发育较好,并扩溶成小溶洞,另一组发育较差,仅局部扩溶成小溶沟,其余的仅成微裂隙。小溶沟中被若干期非叠层石生态系兰细菌和纤维状亮晶白云石交替环溶沟壁充填,局部残余溶沟中心部位有粒状亮晶白云石充填。照片中未经扩溶的微裂隙中有黑色充填物,也可能为兰细菌发育其中。威 117 井 灯三段 3 007.62~ 3 007.75 m

图版 I



## 图版 II



图版 III

