

川西南上震旦统灯影组沉积期的 暴露标志及其意义

刘怀仁 刘明星 胡登新 付强

(四川省地质矿产局 207 地质队)

对川西南乃至整个扬子区上震旦统灯影组的研究已有约 70 年的历史。以往的研究成果大致可归结为：(1) 根据地层的岩石及生物特征将灯影组划分为：一段（下贫藻段）、二段（富藻层和上贫藻层）、三段、顶段（麦地坪段），其中一、二、三段的年代为晚震旦世，顶段为早寒武世；(2) 从沉积学研究的角度出发，认为灯影组为潮坪环境的碳酸盐台地沉积；(3) 通过生物地层学的研究，确定了大量的藻类、微古植物、小壳生物门类及其属种，以及与生物生存活动有关的生物遗迹化石。以往的研究成果无疑对我们分析、认识灯影组的沉积历史极有帮助，但还未能解决我们对一些问题的疑虑，对某些认识、结论也似有必要进行再商讨之处。这些问题包括：灯影组二段内的葡萄体是原生构造还是次生构造？是生物结构，比如美丽前管孔藻、针刺藻等，还是一种岩石结构？灯影组厚逾千米、沉积时限接近一亿年的碳酸盐台地沉积难道就稳定的处于一个潮坪（潮上、潮间、潮下）环境？它既不过深而至陆棚，又不过浅达于暴露？如果说它可能有暴露、沉积间断，那它在那里？它的标志又是什么？已确定的大量生物门类、属种是否都那么准确可靠，没有一点值得重新思考之处？等等。最近我们对甘洛凉红、汉源桂贤的灯影组剖面进行了研究，搜集了较多的实际材料，似乎对我们上述疑虑的解决很有帮助，现提供出来，供地质界的同仁探讨。

一、灯影组内的古暴露标志

(一) 渗流豆石 (vadose pisolite)

在灯影组第二段，即所谓富藻段内，我们发现了多层渗流豆石。这些渗流豆石过去大多定为核形石，并以此作为生物生存和沉积环境分析（潮下带）的判据。根据我们的研究，其特点可归纳如下：(1) 在宏观上渗流豆石具有群集、紧密堆积、大小悬殊、无任何分选，具有成层性和韵律性的特点（图 1、2）；(2) 渗流豆石的外形不规则，具有层数不等的圈层包壳，包壳厚度不均且多互相切割，重力作用特征明显。豆粒多呈长形，有的因核心较圆而呈浑圆状，但包壳的一侧（下侧）总是较厚（照片 1）；(3) 在微观上渗流豆石的核心多是泥晶白云岩或球粒、砂屑白云岩的颗粒，有时由几颗细小的核心颗粒紧紧相邻，经多个圈层的包裹形成大的渗流豆粒（照片 2）；(4) 渗流豆石层的顶面始终是一个比较截然的界面，或者说是一个暴露面或间断面。有时可见到界面下的豆粒上半部分不具备渗流包壳，

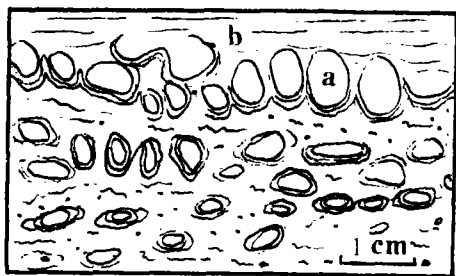


图1 渗流豆石顶部的陆上暴露特征

a-渗流豆石; b-泥晶白云岩

Fig. 1 Subaerial exposure indicators found on the top of the vadose pisolite horizons in the Dengying Formation

a=vadose pisolites; b=micritic dolostones

表明这里恰是渗流溶蚀与沉淀作用的分界面(图1)。从渗流豆石层顶面往下,渗流包壳的发育程度逐渐变弱,逐步过渡为渣状层(见下文),显现一种明显的渗流分带现象(图3);(5)在渗流豆石层内普遍可见到沿层分布的白云石团块,这些团块为白云石化淡水方解石。它是原在孔隙或空洞中沉淀的淡水方解石在埋藏后由混合水白云石所交代而成。这种交代现象在镜下清晰可见。白云石化淡水方解石的出现反映其形成阶段大气降水的影响,或者说是处于一种陆上暴露的环境。

根据野外及室内镜下的观察研究,渗流豆石的形成可分为如下阶段:

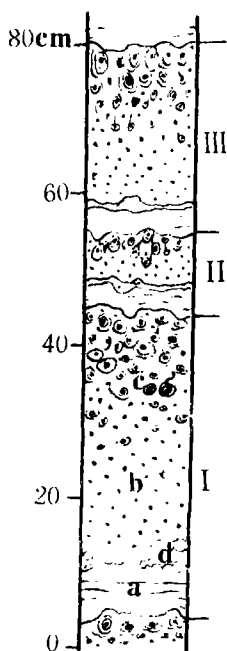


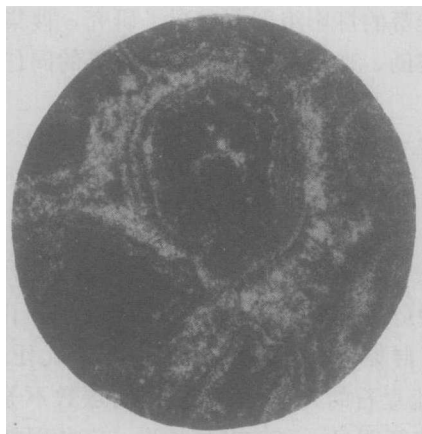
图2 灯影组二段内基本层序

a-泥晶白云岩; b-渣状层; c-渗流豆石; d-葡萄状白云岩; I-基本层序编号

Fig. 2 Generalized sequence through the second member of the Dengying Formation

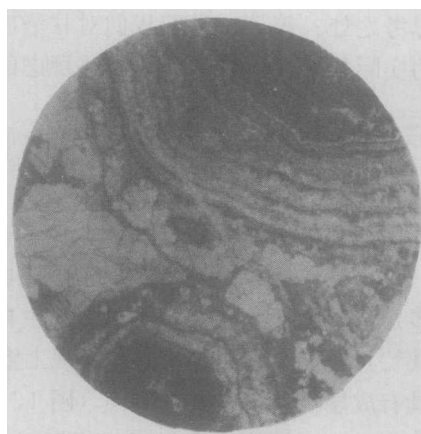
a=micritic dolostone; b=ruiniform horizon; c=vadose pisolites; d=botryoidal dolostone

I=sequence number



照片1 示渗流豆石的不规则外形, 圈层包壳厚度不均且相互切割, $\times 35$

Photograph 1 Photomicrograph of the vadose pisolites showing irregular forms with variable thickness and crossed coatings. $\times 35$



照片2 示几颗细小核心经多层包裹形成的大渗流豆粒, $\times 35$

Photograph 2 Photomicrograph of larger vadose pisolites showing multilayer coatings of several smaller nuclei. $\times 35$

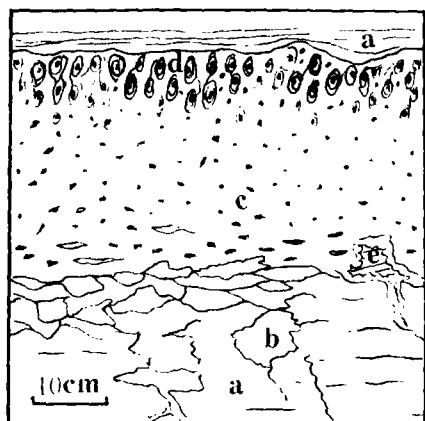


图3 灯影组内的渗流分带

a-泥晶白云岩带; b-渗流假角砾岩带; c-渣状层带;
d-渗流豆石带; e-葡萄状白云岩

Fig. 3 Vadose zoning in the Dengying Formation

a=micritic dolostone zone; b=vadose pseudobreccia zone;

c=ruiniform horizon; d=vadose pisolite zone;

e=botryoidal dolostone

1. 渗流豆石核心沉积物形成阶段

渗流豆石的核心多系泥晶白云岩, 极少内碎屑, 也无流水沉积构造, 一般可见水平藻纹层, 这些表明它是一种低能环境(潮上带)的沉积。

2. 成土碎解阶段

原始沉积的泥晶白云岩因暴露、蒸发、干缩, 而成为成土碎块(渣状层)。

3. 渗流包壳形成阶段

由于潮水的溅泼或大气降水的渗流, 导致碎裂岩块、颗粒的溶蚀与沉淀, 形成岩块、颗粒的渗流包壳。由于渗流作用, 一些渗流砂也被渗流包壳包裹起来, 有时在渗流豆石层内还能见到泥晶白云岩的残体(图4)。

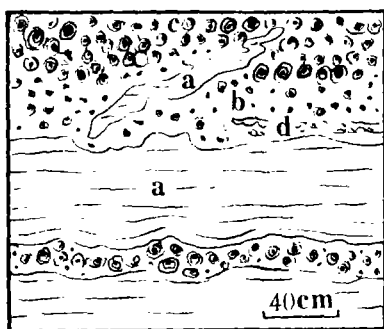


图4 渗流豆石层和渣状层内的泥晶白云岩残体

a-泥晶白云岩; b-渣状层; c-渗流豆石; d-葡萄状白云岩

Fig. 4 Remnant micritic dolostone in the vadose pisolite and ruiniform horizons

a=micritic dolostone; b=ruiniform horizons; c=vadose pisolites;

d=botryoidal dolostone

4. 大气淡水胶结作用阶段

渗流豆石形成时期或形成以后, 由于大气降水的浸泡, 富钙的孔隙水发生沉淀作用, 形成等厚的方解石栉壳边胶结。

渗流豆石的出现反映其形成时处于陆上暴露的环境。旋回性或多层渗流豆石的出现反映其周期性或多次的暴露过程。

(二) 渣状层 (ruiniform horizon)

灯影组第二段中部及上部出现多层次厚度较大的渣状层。所谓渣状层是指弱固结或半固结的碳酸盐沉积物, 由于陆上暴露、干缩、碎解或成土, 原始层理已被破坏的一种无层理或层理不清、具碎屑结构的一种岩石; 由于渣状层所形成的特殊地质作用过程, 其间的碎屑或角砾必然是形态各异、大小悬殊、无分选、无方向排列, 不具备任何水力搬运、磨

蚀的迹象；由于它在形成阶段所处的陆上暴露环境，它必然受大气降水、渗流、淡水浸泡等的影响。这些大气降水在粒（砾）间的溶蚀-沉淀作用，必然形成栉壳状的、具世代结构的孔隙水亮晶方解石胶结结构，以及在大的空隙中沉淀、充填形成的斑块状淡水方解石。因此作为渣状层它必然是由两部分组成：经过干缩、破碎的原始沉积物以及角砾、碎屑之间的亮晶方解石胶结结构。它在外观上是无层理，具砾屑结构。渣状层与渗流豆石之间的差别在于：（1）二者是不同发展阶段的产物。渗流豆石形成所经历的时间更长，它是渣状层的进一步发展。因此，有渣状层不一定有渗流豆石，而有渗流豆石一般均伴有渣状层。如果二者共存，渗流豆石始终处于基本层序的顶部；（2）形成时期的水文地质条件差异。如果在陆上暴露阶段，大气降水丰富，渗流带发育，渗流作用强烈，则渗流豆石发育。相反，如果大气降水不丰，渗流作用不强烈，或破碎的角砾、碎屑主要处于潜流带，渗流作用缓慢，主要为大气水浸泡，则主要形成渣状层。在灯影组内部具备上述特点的岩石确实大量存在（图 3、5、6）。过去所称的花边状、雪花状、斑点状白云岩，某些砾屑白云岩，实际上就是这种暴露、干缩、破碎成因的渣状层。渣状层在剖面上呈明显的韵律形式出现（图 2），它与渗流豆石具有明显的分带现象，虽然此间无截然的界面（图 3）。渣状层是一种陆上暴露的标志，它的韵律式出现反映其陆上暴露过程的反复出现。



图 5 灯影组内泥晶白云岩 (a)、渣状层 (b)、白云石化淡水方解石 (c)、葡萄状白云岩 (d)

Fig. 5 The spatial relations among micritic dolostone (a), ru-niform horizon (b), dolomitized freshwater calcite (c) and botryoidal dolostone (d) in the Dengying Formation

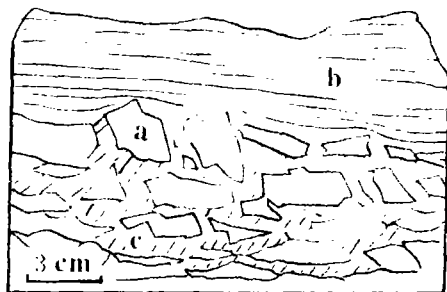


图 6 泥晶白云岩的干缩角砾

a-干缩角砾；b-泥晶白云岩；
c-亮晶白云石胶结物（白云石化）

Fig. 6 Desiccation breccias of micritic dolostone in the Dengying Formation
a=desiccation breccia; b=micritic dolostone;
c=spar dolomite cement (dolomitized)

（三）帐篷构造 (tepee structure)

帐篷构造是碳酸盐沉积陆上暴露带的一种干缩构造。弱固结或半固结的碳酸盐沉积，由于陆上暴露、蒸发、干缩而使原始的碳酸盐沉积层发生弯曲，向上、下方向突起。特别在藻席发育时，藻席对碳酸盐沉积起粘结作用，使成层的碳酸盐沉积形成较大弧度的隆起，形成一种象帐篷一样外貌的变形构造——帐篷构造。在“帐篷”的中部可由较强的干缩而发生破碎，形成碎裂的砾块、碎块。有时由于强烈破碎而形成渣状层。在这种突起的帐篷构造的表面，又可以在潮坪环境中形成新的受基面起伏控制的藻席构造（图 7）。

灯影组内的帐篷构造过去尚无报道。就我们的研究，在灯影组二段中部及上部，这种帐篷构造是大量存在的（图 8），它是陆上暴露带的标志。过去的文献报道，尚把这种构造

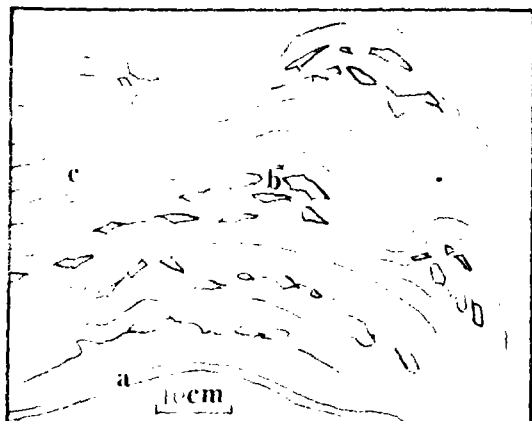


图7 灯影组内的帐篷构造、干缩角砾与藻席纹层
a-帐篷构造; b-干缩裂块; c-藻席纹层

Fig. 7 Tepee structures, desiccation breccia and algal laminae in the Dengying Formation

a=tepee structure; b=desiccation breccia; c=algal laminae

称为卷发状构造、变形层理、波状或丘状叠层石等,因而对其形成机制与环境意义作出了完全不同的解释。帐篷构造的确认无疑对我们认识、分析晚震旦世灯影组沉积时期的沉积环境有重要意义。

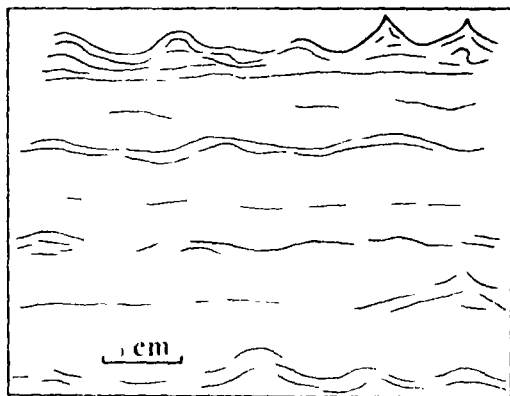
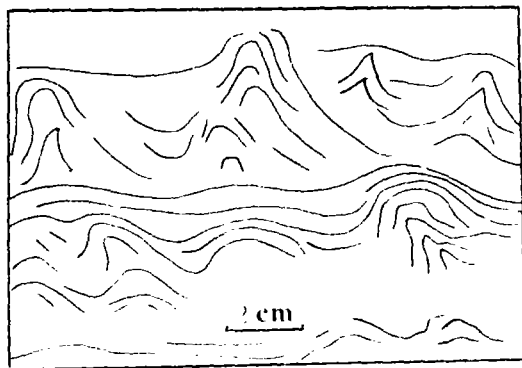


图8 灯影组内的帐篷构造

Fig. 8 Tepee structures in the Dengying Formation

帐篷构造、渣状层、渗流豆石等陆上暴露标志的形成演化阶段如图9所示。

(四) 古喀斯特沉积 (paleokarst sediments)

碳酸盐沉积的陆上暴露必然产生喀斯特作用及与之相伴的一套沉积物。过去由于我们对碳酸盐沉积时期可能存在的陆上暴露认识不足,因此即使它们与喀斯特沉积十分相似、一致,也不可能想像在一套巨厚的碳酸盐沉积内部可能存在古喀斯特现象。经研究认为,灯影组内过去所描述的葡萄体或葡萄状构造白云岩,以及我们新近发现的洞穴充填沉积是一种典型的古喀斯特现象,在此试作如下简要的分析:

(1) 葡萄状碳酸盐沉积多呈脉状形态随机的穿切层理,是一种明显的后沉积构造。但不管它如何穿切层理,它的出现总具有“层位”特点,即在一个有限的地质区段内出现。

(2) 葡萄体总与渗流豆石、渣状层在空间上紧密相伴,实际上一些渗流豆石层的包壳就是所谓的“葡萄”,这反映二者在成因上的联系,或者说都是陆上暴露过程的产物。

(3) 呈脉状延伸的葡萄体,其碳酸盐沉积物呈对称的环带出现,具栉壳结构,这一方

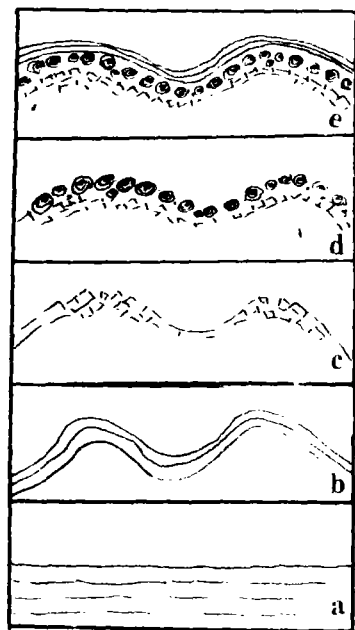


图9 陆上暴露构造形成阶段示意图

a-原始沉积阶段；b-帐篷构造形成阶段；c-液状层形成阶段；
d-渗流豆石形成阶段；e-上复藻纹层泥晶白云岩形成阶段

Fig. 9 Schematic diagram showing formation stages of the
subaerial exposure structures

a=primary depositional stage; b=formation stage of tepee structure; c=formation stage of ruiniform horizons; d=formation stage of vadose pisolites; e=formation stage of micritic dolostone in the overlying algal laminae

面反映出它的空隙充填性质；另一方面也反映出它的多期沉淀性质，是一种后生沉积产物。

(4) 与葡萄体相伴的还有喀斯特洞穴充填沉积。我们在汉源桂贤灯影组第二段内即发现喀斯特洞穴充填沉积（图10）。就该处所见，洞穴充填沉积物长2m，高40cm。洞穴充填沉积物全为洞穴顶板的泥晶白云岩角砾。角砾大小悬殊，大者10cm，小者3—5mm，呈尖棱角状，杂乱堆积。角砾多被次生包壳环绕，角砾间为白云石晶体及葡萄状白云石脉体充填。根据角砾成份的单一性及全为顶板岩层的垮塌堆积，角砾具渗流包壳及角砾间有白云石葡萄体充填，角砾岩体与破裂构造没有联系，系呈不规则形态等特征判断，这是一种典型的喀斯特洞穴充填沉积。它的出现进一步证明灯影组内古喀斯特作用的存在。

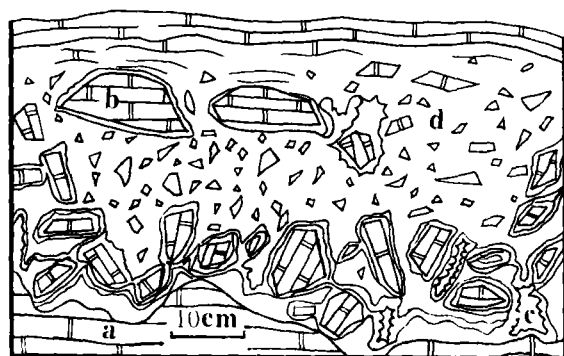


图10 喀斯特洞穴充填沉积

a-泥晶白云岩；b-泥晶白云岩角砾；c-葡萄状构造白云岩；d-白云石胶结物

Fig. 10 Palaeokarst cavity-filled sediments
in the second member of the Dengying
Formation

a=micritic dolostone; b=micritic dolostone breccia;
c=botryoidal dolostone; d=dolomite cement

根据葡萄体及喀斯特洞穴充填沉积物的特征，我们认为，这里的喀斯特作用是弱固结或半固结的碳酸盐沉积在处于陆上暴露、大气水的渗流过程中，溶液的渗流溶蚀形成不规则的空隙，它或为洞穴，或为缝隙，更或为粒（砾）间孔隙。随着充填空隙的水溶液中钙

离子浓度因方解石的沉淀以及其后产生的新的溶解的周期性变化,从而形成具环带与世代结构的葡萄状碳酸盐沉物。过去曾有学者认为某些葡萄体是藻类化石,比如针刺管藻等,看来是不能成立的。

二、各种暴露标志的空间叠置关系及在地层内的变化规律

灯影组内的各种暴露标志有比较固定的空间叠置关系,或者说它呈一种基本层序的形式出现(图2)。一个完整的基本层序由三部分组成:下部,浅灰色具纹层构造的泥晶白云岩。这种泥晶白云岩在不同的基本层序内厚度有较大变化,但它都显现为一种渗流层的“母岩”,甚至作为一种残余体夹于渗流豆石层或渣状层内(图4),从其具泥晶结构、藻席纹层构造可判定为是潮上带的沉积;中部,渣状层;上部,渗流豆石层。渗流豆石层的顶部界面总有起伏和显示沉积上的间断。在此基本层序内均有葡萄体出现,或作为脉体或作为渗流豆石包壳的单个葡萄体。三个部分或三个带间一般无截然的界线,但渣状层与泥晶白云岩之间,界线稍较明显。这一基本层序反映了碳酸盐沉积向上变浅、最后达于暴露和发生沉积间断这一过程。即它最初为潮上带的沉积环境,然后因相对海平面下降从而处于陆上暴露环境,经蒸发干缩形成渣状层,最后由于大气水渗流作用,形成渗流豆石层。这个基本层序的各部组成在纵向上有明显的变化规律,即它的出现始于灯影组二段之始,但最初在每一基本层序内渗流豆石层的绝对厚度及所占厚度比例都比较小,向上逐渐增大,到二段中部达于极值。从二段中部开始,每一基本层序内渗流豆石层的厚度和占厚度比例又逐渐减小。二段上部,渗流豆石层消失,渣状层成为每一基本层序的顶。最后到二段的顶部,渣状层也渐消失,基本层序的顶部为藻纹层白云岩,下部则出现内碎屑白云岩。从每一基本层序内各部组成结构型式在纵向上的变化,反映出从二段开始,海水逐渐地或周期性地变浅和出现陆上暴露,每一次暴露的延续时间在逐渐增长,这种陆上暴露的间断时间在二段中部达于极值。从二段中部开始,相对海平面逐渐上升,周期性的陆上暴露和沉积间断时间也在逐渐缩短,最后到陆上暴露过程的消失,出现由内碎屑白云岩—藻纹层白云岩这种基本层序所反映的潮间—潮上沉积环境。

三、认识与启示

1. 灯影组内大量的或多层位的渗流豆石层、渣状层、帐篷构造、古喀斯特沉积等多种陆上标志的确认,对我们认识、分析该时期的沉积环境至关重要。它告诉我们在灯影组沉积时期,扬子区这个碳酸盐台地不是简单的潮坪环境,它还有较长的、不只一次的处于陆上暴露的过程,在地层内还有不少的、重要的地层缺失或沉积间断。这些陆上暴露标志的发现,将改写灯影组的沉积历史。

2. 古暴露标志的确认,使我们对于为什么在一大套碳酸盐岩地层内部会出现喀斯特现象找到问题的答案。长期以来众说纷纭的葡萄体或葡萄状构造白云岩的成因问题也由此得出了合理的结论,即这是古喀斯特沉积。

3. 我们不可否认灯影组内有藻类存在,甚至可能有部分核形石存在,但与葡萄体有关的不是藻类化石,而是一种次生的岩石结构。原来一些学者确定的与生物活动有关的一些结

构如核形石、凝块石、变形石、花纹石等也不是生物结构,同样是一种次生的岩石结构。

4. 按层序地层学沉积体系域的理论进行分析,灯影组二段下部与上部应属不同的沉积体系域,即分别属高水位体系域和海侵体系域,二者应该有不同的沉积叠覆形式。在这里由相对海平面下降转变为相对海平面上升,即由高水位体系域转变为海侵体系域的界面,应当是一个层序界面,在此界面上应当有海岸上超现象。事实上,在此二段下部与上部的这个分界面上,看到了地层产状的轻微变异或不协调,看到了界面之下喀斯特作用的强烈发育,因此我们认为这里是一层序界面。

与理想的层序模式相比,这里似乎缺少低水位体系域的沉积。我们认为这种差异是由于本区所处的大地构造位置所决定的。我们知道,不论Ⅰ型或Ⅱ型层序边界,低水位体系域沉积即陆棚边缘楔、斜坡扇、盆底扇等,都是位于沉积-滨线坡折以外,即在大陆斜坡或盆地内。而在沉积-滨线坡以内的广阔陆棚地区,在低水位时期是处于陆上暴露状态,是侵蚀、是沉积间断,因此在这个构造部位一般没有低水位体系域沉积。要说有,那可能是陆棚上局部的下切谷的充填沉积。众所周知,本区处于康滇古陆东缘,在此古陆边缘地带在相对海平面低水位时期缺少低水位体系域沉积似乎是顺理成章的。在广阔的湘、黔地区,在灯影组二段内普遍有滑积、塌积角砾岩出现,这应是此一时期的低水位体系域沉积,即斜坡扇或盆底扇的沉积。而在本区灯影组二段内局部出现的角砾岩,似有可能为暴露陆棚上的下切谷地充填沉积。

由于本区在灯影组第二段沉积时期处于极浅水至暴露的环境,海平面的任何微小波动都会在沉积物特征上留下历史的记录。因此,海平面频繁的,周期性的波动将产生沉积基面的周期性暴露,从而产生沉积层内具这种周期性暴露特征的基本层序。

5. 当对整个川西南上震旦统进行层序分析时,我们认为观音崖组与灯影组一段及二段下部为一层序。其中观音崖组为海侵体系域,灯影组一段及二段下部为高水位体系域,观音崖组顶部的深灰—黑灰色碳质薄层灰岩、白云质灰岩代表饥饿段的沉积。灯影组二段上部及三段、麦地坪段为一层序。其中灯影组二段上部为海侵体系域,三段及麦地坪为高水位体系域,三段底部的水云母粘土岩与薄层状泥质白云岩代表饥饿段的沉积。因此整个上震旦统可划分为两个层序。

与其它时代、其它地区的饥饿沉积相比,本区的饥饿段沉积似乎并不那么典型。我们认为对一个大致等时的饥饿期的沉积来讲,在不同的构造部位,即从滨岸至陆棚、斜坡、盆地,其沉积物特征和沉积物组成是有较大差异的。因此在湘黔斜坡、盆地地区以陡山沱组的黑色页岩、黑色硅质页岩为代表的比较典型的饥饿段沉积,在康滇古陆边缘地区就变为以观音崖组为代表的黑灰色含碳质薄层灰岩、白云质灰岩了。二者都为同时的饥饿段沉积,但沉积物的组成、特征是不一样的。

6. 长期以来灯影组沉积期是否有康滇古陆存在一直众说纷纭。灯影组内古暴露标志的发现似乎给我们这样的启示:灯影组沉积期的部分阶段,康滇地区曾处于陆地状态,或者说有短时期的“古陆”存在,一个贯穿晚震旦世始末的灯影海的说法看来是不能成立的。

在研究过程中,一些关键性的岩石薄片曾蒙曾允孚教授审定;王焕国、曾全、漆星明三同志曾一道参与野外工作;野外工作期间唐荣华同志给予我们的工作极大的支持。在此一并表示深切的感谢!

主要参考文献

成都地质学院四川西南部震旦系研究专辑, 1984, 成都地质学院学报增刊 1。

成都地质学院震旦系专题组, 1979, 四川西部苏雄峨眉一带震旦纪地层, 国际交流地质学术论文集 (2), 地质出版社。

地质矿产部成都地质矿产研究所, 1987, 上扬子区晚震旦世沉积岩沉积相及矿产, 重庆出版社。

Christopher G., Kendall St. C. and Lerche I., 1988, The rise and fall of eustasy. Sea-level changes—An integrated approach, SEPM special publication No. 42.

Hardenbol J., Loutit T. S., Mitchum R. M., Sarg J. F., Posamentier H. W., Vail P. R. and Van Wagoner J. C., 1988. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions, Sea-level changes—An integrated approach, SEPM special publication No. 42.

Sarg J. F., 1988 Carbonate sequence stratigraphy. Sea-level changes—An integrated approach, SEPM special publication No. 42.

Hardenbol J., Loutit T. S. and Vail P. R., 1988, Condensed sections, The key to age determination and correlation of continental margin sequences. Sea-level changes—An integrated approach, SEPM special publication No. 42.

编 后 按 语

我们向读者推荐这篇论文。它引用层序地层学的观点和理论, 对上震旦统灯影组进行了重新认识。据此, 该地史时期的古地理或古沉积环境景观, 将一改以往的认识, 而赋存于灯影组中的矿产的成矿机理也将重新考虑和认识。由此可见, 只要科学地引用国外先进学科, 就可以提高我们的研究水平, 并可研究区的具体地质条件, 提出或发展具有中国特色的新学科、新观点、新理论。

THE EXPOSURE INDICATORS FORMED DURING THE DEPOSITION OF THE UPPER SINIAN DENGying FORMATION IN SOUTHWESTERN SICHUAN AND THEIR SIGNIFICANCE

Liu Huai ren Liu Mingxing Hu Dengxin Fu Qiang

(No. 207 Geological Party, Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources)

Abstract

This paper deals with large amount of the subaerial exposure indicators recognized in the Upper Sinian Dengying Formation in southwestern Sichuan, including vadose pisolites, ruiniform houizons, tepee structures and palaeokarst sediments. The dolostones comprising these subaerial exposure indicators in the Dengying Formation have long been considered as oncolitic dolostone, snowflake dolostone, comb-crust algal dolostone and husklike algal dolostone. They are also interpreted as having formed in the tidal flat environments and as being of biological origin under the influence of sea water. The discovery of the subaerial exposure indicators leads us to the following new explanations.

(1) There must be some important depositional omissions in the Dengying Formation and subaerial exposure environments during the Sinian.

(2) The botryoidal dolostones may be interpreted to be of palaeokarst origin.

(3) Some so-called algal fossils or algae-related fossils such as oncolite, clotted stone and deformed stone are now recognized as a kind of secondary rock structures.

(4) According to the theory of sequence stratigraphy, two sequences and associated depositional systems tracts can be distinguished for the Upper Sinian strata: the one is from the Guanyinya Formation to the lower part of the second member of the Dengying Formation, the other is from the top of the former sequence to the top of the Maidiping Formation.