

云贵地区二叠系瘤石灰岩的成因

金振奎* 冯增昭

(石油大学, 北京 100083)

关键词 二叠系 瘤石灰岩 压溶成岩作用

摘要 云南东北部及贵州北部的二叠系中广泛发育了瘤石灰岩(亦称眼球石灰岩)。瘤石灰岩由颜色较浅、较纯净的石灰岩瘤和颜色较深、泥质含量较高、微缝合线发育密集的包层组成。组成瘤和包层的石灰岩类型一致,为生屑石灰岩、生屑质灰泥石灰岩、含生屑灰泥石灰岩或灰泥石灰岩。本次研究认为,瘤石灰岩是压溶成岩作用的产物,不是某种沉积环境的标志。

压溶在碳酸盐岩中是一种常见而且十分重要的成岩作用,并且以多种形式表现出来。有些压溶现象(如锯齿状缝合线)是很明显的,但有些却不易识别,常常被误认为是沉积现象,从而导致对环境解释的错误。本文所讨论的瘤石灰岩的成因,就是这样一个例子。

瘤石灰岩在扬子地台上的二叠系中分布广泛。关于瘤石灰岩的成因有多种解释,如较深水海底周期性底流作用成因^[1]、沉积成岩作用成因^[2]、压溶成因^[3]等,大都认为瘤石灰岩的形成与原来的沉积环境有密切关系,是一种深水或较深水环境的标志^[2,4,5]。

笔者在完成“云贵地区二叠纪岩相古地理”研究的过程中,对瘤石灰岩做了专题研究,发现瘤石灰岩是压溶的产物,不能代表某种沉积环境。

1 瘤石灰岩的特征

云贵地区二叠系的瘤石灰岩由颜色较浅(浅灰色、灰色、深灰色)、较纯净的“瘤”和瘤之间颜色较深(灰黑色)、含泥质并显示“纹理”的“包层”组成(照片1, 2)。在风化面上,瘤和包层之间的差异十分明显。因瘤的形状常常类似眼球,故本区的瘤石灰岩又叫“眼球石灰岩”,而包层则相应地叫“眼皮”^[2,5]。

瘤石灰岩中,瘤的含量一般为40%—80%,有的则达90%以上,而瘤通常顺层排列(照片1—4)。瘤的大小一般为3×5—20×40cm,大都呈透镜状,但也有一些呈不太规则的疙瘩状。瘤的成分多种多样,为生屑石灰岩(生屑含量>50%)、生屑质灰泥石灰岩(生屑含量为25%—50%)、含生屑灰泥石灰岩(生屑含量为10%—25%)或灰泥石灰岩(生屑含量<10%)。生屑为红藻(裸松藻、翁格达藻等)、绿藻(蠕孔藻、假蠕孔藻、米齐藻、始角藻等)、筴、非筴有孔虫、腕足类、介形虫、棘屑等,以前四种为主。生屑杂乱排列,分选差,基本为原地堆积。瘤中的泥质等不溶残余物质含量一般为0.5%—3%(表1)。瘤中常见与层面垂直、斜交或平行的张性裂缝(照片5)。裂缝一般不切入包层,仅局限于瘤中,并被方解

* 现在地址:中国地质科学院地质力学研究所 100081。
本文于1993年2月收到,1993年6月改回。

表 1 云贵地区二叠系瘤石灰岩中瘤与包层的特征比较

Table 1 Comparison between nodules and wrappings from Permian nodular limestones in Yunnan-Guizhou region

特 征	瘤	包 层
岩石类型	生屑石灰岩、生屑质灰泥石灰岩、含生屑灰泥石灰岩或灰泥石灰岩	同 左
颜 色	浅灰色、灰色、深灰色	灰黑色
不溶残余物质含量 ⁽¹⁾	0.3%—5.4%，平均2.4%	4.8%—17.4%，平均7.6%
化学成分 ⁽²⁾	Ca: 33.75%—36.09%，平均34.75% Mg: 0.55%—1.46%，平均1.02% Al: <0.05%—0.27%，平均0.13% Fe: <0.05%—0.13%，平均0.08% Mn: 12.0—38.0ppm，平均22.4ppm Ti: 45.6—154.3ppm，平均85.6ppm Sr: 238.7—1358.0ppm，平均806.7ppm Zn: 7.4—15.4ppm，平均2.4ppm B: 1.0—94.0ppm，平均44.3ppm	Ca: 20.72%—27.68%，平均24.17% Mg: 0.63%—5.96%，平均3.87% Al: 0.09%—2.17%，平均0.72% Fe: <0.05%—0.88%，平均0.31% Mn: 13.1—45.4ppm，平均28.4ppm Ti: 68.6—926.8ppm，平均370.3ppm Sr: 336.3—2279.0ppm，平均1103.4ppm Zn: 12.4—20.9ppm，平均18.2ppm B: 5.0—113.0ppm，平均71.0ppm
同位素 ⁽³⁾ (PDB)	$\delta^{13}\text{C}$: +2.39‰—+3.62‰，平均+3.02‰ $\delta^{18}\text{O}$: -8.44‰—-4.37‰，平均-6.20‰	$\delta^{13}\text{C}$: +2.61‰—+4.24‰，平均+3.09‰ $\delta^{18}\text{O}$: -10.23‰—-4.64‰，平均-7.00‰
其 它	刚性，缝合线少见，裂缝较多	塑性相对较强，缝合线丰富，裂缝较少

(1) 据贵州石油指挥部分析资料，瘤和包层各12块标本。

(2) 瘤和包层各4块标本，由国家地质实验中心测试。

(3) 瘤和包层各4块标本，由中科院地质研究所同位素室测试。

石充填。

包层的成分亦为石灰岩，其中发育密集的微缝合线和锯齿状缝合线（照片3—8）。微缝合线与锯齿状缝合线不同，其剖面形态呈微细的、较平滑的线状。由于微缝合线通常发育密集，用肉眼在露头上难以分辨，但在显微镜下（特别是在电镜下）却比较明显（照片7，8）。由于不溶残余物质沿其聚集，微缝合线在镜下呈黑色（照片7，8）。微缝合线的密集发育使包层风化后显示“纹理”构造（照片1，2，5）。组成包层的石灰岩的类型也是多样的，从生屑石灰岩到灰泥石灰岩均有，通常与相应的瘤的成分一致。生屑的类型也是红藻、绿藻、鲃、非鲃有孔虫、介形虫、腕足类等（照片7，8）。由于包层中微缝合线发育，一些结构脆弱的生屑（主要是钙藻类）被切割成粉砂级甚至更细的颗粒而不易识别，而那些结实的生屑，即介形虫和腕足类的壳以及腔内充填亮晶方解石胶结物的有孔虫，则多形成包层中的粗颗粒（照片7，8）。有些生屑（主要是介形虫等）明显被压碎（照片8），而这在瘤中是少见的。包层中的不溶残余物质含量一般为5%—15%（表1），比相应的瘤中的高。不溶残余物质主要是粘土矿物及有机质。电镜下发现，粘土矿物主要是叶片状的伊利石。包层的碳氧同位素组成等与瘤也有差别（表1）。

瘤石灰岩在横向上不稳定。有的剖面上，瘤石灰岩的含量达70%以上；而有的剖面上，瘤石灰岩的含量不到10%。单层瘤石灰岩的厚度可由几十厘米到几十米，一般为几米至十几米。

2 瘤石灰岩的成因

关于瘤石灰岩的成因，目前有好几种观点：（1）高盐度环境中，在沉积不久的粘土质灰泥沉积物表层附近的孔隙内，海水中的 CaCO_3 局部沉淀胶结而形成较硬的瘤，而瘤间的基质则较松软，这样经后期压实后就会形成瘤石灰岩^[6]。但本区的瘤石灰岩大都含瓣、非瓣有孔虫、腕足类等正常海化石，表明不是在高盐度环境中形成的。（2）在粘土质 CaCO_3 沉积物沉积不久，其中的文石发生溶解而以方解石的形式又局部沉淀胶结，形成较硬的瘤，并经后期压实而形成瘤石灰岩^[7]。本区的瘤石灰岩中的确含有许多具晶粒结构、其原始矿物成分可能是文石的藻类，但这些化石的内部结构保存完好，而且组成其壁的方解石晶粒大小均匀并呈等轴状，未表现出由边缘向中心晶粒增大的趋势，因此文石向方解石的转化是在原地进行的，文石溶解后产生的 CaCO_3 在别处富集沉淀而形成瘤是不太可能的。（3）深水盆地中，海底底流和洋流的作用使沉积中断，于沉积物—水界面附近发生不均匀的早期成岩胶结作用而形成瘤石灰岩^[4]；或由周期性海底底流溶解作用而形成瘤石灰岩^[1]。但本区的瘤石灰岩大都含丰富的钙藻，据现代碳酸盐沉积环境研究，藻类由于需要阳光进行光合作用，通常在水深十几米以内的环境中大量繁殖。因此本区的瘤石灰岩是在浅水碳酸盐台地上，而不是在深水盆地中形成的，海底底流溶解作用发生的可能性不大。在水深几百米内发生大规模溶解作用也是难以想象的^[7]。（4）富泥质与富钙质的薄韵律层在差异压实及生物作用下，原生水向上运移带走了 CaCO_3 而使泥质及生屑相对富集；上覆层中的 CaCO_3 过饱和而围绕某些核心沉淀而形成眼球状结核^[2]。但本区的瘤石灰岩中的瘤并没有沉淀的迹象（如同心圈层等），而且一些瘤石灰岩横向上逐渐变为较纯的中层状石灰岩，并没有富泥质石灰岩与这些石灰岩互层。（5）生物扰动成因^[8]，但本区的瘤石灰岩中瘤的大小通常由 $3 \times 5\text{cm}$ 到 $20 \times 40\text{cm}$ 甚至更大，很难想象生物扰动会产生这种构造，在现代沉积环境中也未见类似的生物扰动构造。而且，本区的瘤石灰岩中遗迹化石少见。大量掘泥生物大规模活动而不留下遗迹是不大可能的。（6）在上覆沉积物的压力下，富钙层发生横向拉伸、拉断成因^[9]。但本区的石灰岩瘤不具拉断的断口，其内也未见因塑性变形而形成的生屑定向排列结构，这种成因不太可能。（7）压溶成岩作用成因^[3]。

关于本区二叠系中的瘤石灰岩，笔者认为后期成岩作用阶段，经压溶成岩作用形成的。

在本区瘤石灰岩的包层中，发育了密集的微缝合线及一些锯齿状缝合线，并且沿这些缝合线粘土、有机质等黑色不溶残余物质富集，而瘤中缝合线少见，这说明在包层中发生了相当重要的压溶。而瘤则是原来呈层状的石灰岩被锯齿状缝合线及微缝合线切割而形成的（照片3，4），其中未发生明显压溶。在包层中常见一些微小的石灰岩团块（微型瘤），微缝合线绕其而行（照片7）。显然这些微小的团块是包层原岩的残余。许多情况下，包层的原岩同瘤一致。

瘤石灰岩的形成过程，就是瘤和包层的形成过程。在野外，可以观察到处于不同发育阶段的瘤石灰岩。瘤石灰岩发育的初期阶段，是在石灰岩层内出现断断续续的缝合线，而且以锯齿状缝合线为主，局部为厚仅几毫米的微缝合线束（照片6）。这时瘤还未被包层分割包

围,实际上还未形成。在瘤石灰岩发育的中期阶段,包层相互连接,将石灰岩分割成一个个瘤,但包层仍然大都表现为锯齿状缝合线,局部变为厚几毫米至1厘米左右的微缝合线束(照片3,4)。到了瘤石灰岩发育的后期阶段,锯齿状缝合线形式的包层全部转化为微缝合线束形式的包层,而且包层厚度大,由几厘米到十几厘米甚至更厚(照片1,2)。由此可见,自瘤石灰岩发育的初期到后期,包层由断续变为连续,由锯齿状缝合线的形式逐渐转化为微缝合线束的形式;瘤的含量由高到低,而包层的含量由低到高。这些变化均反映了压溶程度由低变高。

至于在压溶过程中锯齿状缝合线向束状微缝合线转化的原因,可能与压溶过程中局部应力场转化有关。锯齿状缝合线是岩石只受到垂直缝合线延伸方向的压应力的作用而形成的,在压溶过程中,缝合线两侧的岩石没有发生平行其延伸方向的相对错动,而微缝合线则是在压剪性应力的作用下形成的,在压溶的过程中,缝合线两侧的岩石常发生平行缝合线方向微小的相对错动,因此微缝合线较平滑。局部的压剪性应力场可由瘤之间的相对错动或瘤局部发生塑性变形而产生。

在瘤石灰岩中,常见与层面垂直或斜交的缝合线以及与层面平行的张裂缝(照片5),这表明在瘤石灰岩的形成过程中,除了有上覆地层负载产生的垂向压应力外,也存在平行层面向上的构造挤压应力。也就是说,瘤石灰岩可能是在褶皱运动过程中形成的。如果的确是如此,那么本区二叠系的瘤石灰岩可能是在燕山运动期间形成的。实际上,许多瘤石灰岩中大致呈菱形的瘤,最初可能是由“X”形节理缝切割而成的菱形石灰岩块,随后缝合线沿节理缝发育而形成的。节理缝可成为地下水流动的通道,及时将溶解的 CaCO_3 带走,因而有利于压溶的进行。缝合线的发育并不是杂乱无章的,许多缝合线可能不是沿节理缝发生,就是沿岩层中压剪应力集中带发生。

瘤石灰岩的形成与其原岩的岩石类型没有明显的联系,从生屑石灰岩到灰泥石灰岩形成的瘤石灰岩均存在。因此瘤石灰岩不是深水环境的标志^[2,4,5]或其它某种环境的特有产物。在本区,含有大量钙藻、筴、非筴有孔虫等化石的瘤石灰岩的原岩是在浅水开阔碳酸盐台地沉积的,而化石稀少的瘤石灰岩的原岩是在较深水碳酸盐台地沉积的。

3 瘤石灰岩的重要意义

在瘤石灰岩中,不仅缝合线发育,而且与层面垂直、斜交以及平行的张性裂缝也常见。缝合线和各种裂缝既可成为油气运移的通道,又可成为油气的储集空间。在与本区相邻的四川盆地中,下二叠统的瘤石灰岩就是重要的产气岩石类型之一。因此,瘤石灰岩是一种有利的储集岩。

在本文撰写过程中,何幼斌博士提供了部分化学分析数据,沙庆安研究员和王英华教授曾对本文提出过宝贵意见,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 高计元. 中国南方泥盆系瘤状灰岩的成因. 沉积学报, 1988, 6 (6): 77—86.
- 2 张继庆等. 四川盆地早二叠世碳酸盐沉积相及风暴沉积作用. 重庆出版社, 1986. 14.

- 3 Wanless H R. Limestone response to stress, pressure solution and dolomitization. *Jour. Sed. Petrology*, 1979, 49 (2): 437—462.
- 4 金若谷. 一种深水沉积标志——“瘤状结核”及其成因. *沉积学报*, 1989, 7 (2): 51—61.
- 5 冯增昭等. 中下扬子地区二叠纪岩相古地理. 北京: 地质出版社, 1991. 29.
- 6 Muller J, Fabricius F. Magnesian-calcite nodules in the Ionian deep sea; an actualistic model for the formation of some nodular limestones. *Int. Assoc. Sedimentologists spec. Pub.* 1974, 1: 235—247.
- 7 Jenkyns H C. Origin of red nodular limestones (Ammonitico Rosso, Knollenkalke) in the Mediterranean Jurassic; a diagenetic model. *Int. Assoc. Sedimentologists Spec. Pub.* 1974, 1: 249—271.
- 8 Wilson J L. Carbonate facies in geological history. New York: Springer-Verlag, 1975. 265.
- 9 McCrossan R G. Sedimentary “boundinage” structures in the upper Devonian Ireton formation of Alberta. *Jour. Sed. Petrology*, 1958, 28 (1): 316—320.

The Origin of the Permian Nodular Limestones in Yunnan-Guizhou Region

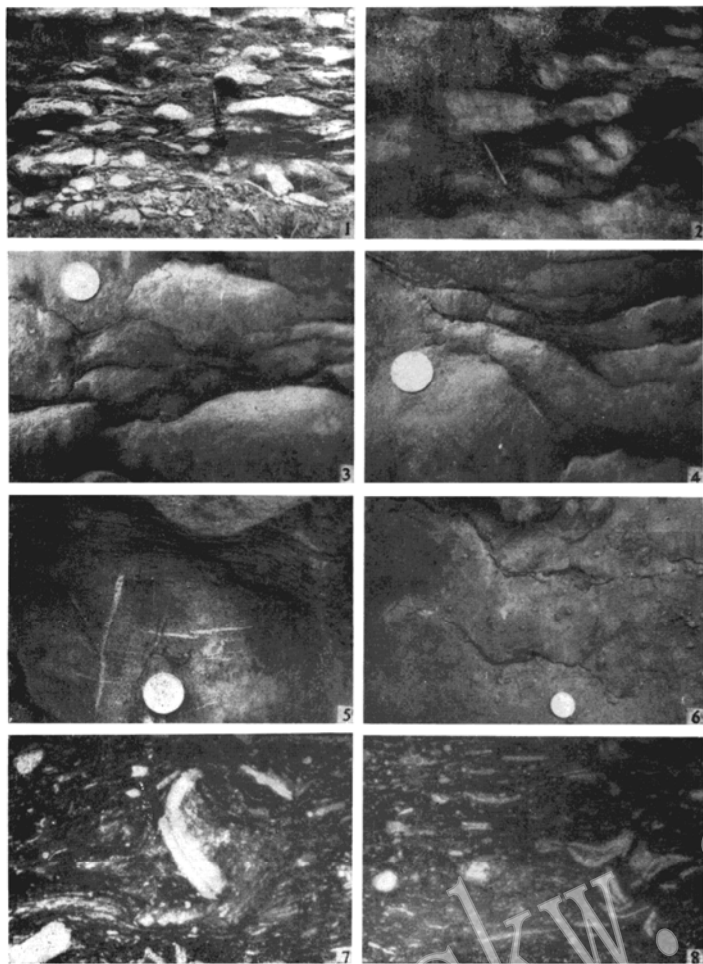
Jin Zhenkui Feng Zengzhao

(Petroleum University, Beijing 100083)

Key words: Permian; nodular limestones; pressure-solution diagenesis

Abstract

Nodular limestones are widespread in Permian of Yunnan-Guizhou region and consist of light-colored (light grey, grey or dark grey) pure limestone nodules and dark-colored (greyish black) mud-containing limestone “wrappings” showing laminations which are actually swarms of microstylotites (also called pressuresolution seams). Nodules and wrappings are commonly composed of the same type of limestones which might be biograin limestones, biograiny lime-mud limestones, biograin-bearing lime-mud limestones or lime-mud limestones. The above studies have led the authors to believe that nodular limestones, instead of being products in a certain kind of sedimentary environment, were formed as a result of pressure-solution diagenesis.



1. 瘤石灰岩，瘤呈浅色透镜状分布于暗色包层中；2. 瘤石灰岩，特征与1相似，但瘤含量高；3. 瘤石灰岩，包层发育不好；4. 瘤石灰岩中锯齿状缝线向上转化为密集束状缝线；5. 石灰岩瘤（浅色）中与层面平行及垂直的张裂隙，其内充填有方解石；6. 石灰岩中断续的缝线，以锯齿状为主，局部转为束状；7. 瘤石灰岩包层（显微照片），微缝线发育，沿其聚集了暗色粘土和有机质，单偏光， $\times 45$ ；8. 瘤石灰岩包层（显微照片），微缝线发育，单偏光， $\times 45$ 其中1、5、7、8为贵州下二叠统茅口组，余者为贵州下二叠统栖霞组，比例尺为钢笔和贰分硬币