

中国南方泥盆系瘤状灰岩的成因

高计元

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

内容提要 本文从碳、氧同位素、化学成分、矿物组成及岩石的结构、构造等特点出发, 探讨了广东凡口和广西大厂两类不同类型的瘤状灰岩的成因。广西大厂地区的瘤状灰岩是在较深的水体中沉积, 并在周期性的海底底流的溶解作用下形成的。而凡口地区的瘤状灰岩则可能是在比较浅的水体中快速堆积, 在重力作用的挤压流动以及成岩作用期间的溶解作用下形成的。

主题词 泥盆系 碳、氧同位素 瘤状灰岩

作者简介 高计元 男 44岁 特聘副研究员 沉积地球化学

在中国南方诸省的中、上泥盆统中广泛分布着一套瘤状灰岩, 这是一类较特殊的碳酸盐岩类型, 其层位比较稳定, 也有一定的厚度。有些地区将其作为标志层使用。这套灰岩是多金属矿床的重要含矿层位之一, 如广东凡口的铅锌矿矿床; 广西大厂的锡铅锌多金属矿矿床等就赋存在该层位中。目前对瘤状灰岩成因的认识还有较大的争论, 争论的焦点为“瘤体”是原生的, 还是后生的, 该灰岩是在浅水中形成的, 还是在深水中形成的? 陈光沛^[1]、赖应钺、周怀玲(1979)、及广西冶金地质215队都提出了各自的看法。

笔者通过对大厂和凡口的瘤状灰岩中瘤体和基质的 $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, X射线衍射分析及 CaCO_3 含量的研究, 并结合瘤状灰岩岩石学方面的工作来探讨这两个地区的瘤状灰岩的成因。

一般地质概况

我国南方的泥盆系是多金属矿床的重要含矿层位, 所含的矿床类型齐全、数量多, 有较好的地质工作基础。我国南方在泥盆纪的初期发生了广泛的海侵, 海水自西南向东北方向侵进, 随着时间的推移海侵的范围逐渐扩大, 造成泥盆系地层自西南向东北的超覆²⁾、^[2]。

早泥盆世海侵的初期, 大厂地区沉积了一套以陆源碎屑为主的碎屑岩和细碎屑岩。到中上泥盆世, 海侵范围逐渐扩大, 海水逐渐加深, 此时沉积的是一套远海和半远海相

1) 2) 赖应钺, 1985, 广东地质科技, 2期, 9—19页

的细碎屑岩、泥灰岩、硅岩和少量的碳酸盐岩。据前人研究,该区在中、上泥盆世时为一个局部的拗陷盆地,同沉积的构造活动比较强烈,沉积的差异性比较明显,沉积厚度一般为2,000m,有些地方可达6,000m。整个泥盆系由碎屑岩沉积开始,到碳酸盐沉积,最后以硅岩和泥质灰岩沉积结束,构成一个不完整的沉积旋回(表1)。

凡口位于广东的北部,泥盆纪早期海水尚未到达此地,仍为古陆。至中泥盆世海水始达此地,中泥盆世早期该地为一套滨海相及浅海相的陆源碎屑岩沉积。到中泥盆世的晚期至晚泥盆世早期,该区为陆表浅海环境,沉积了一套以白云质灰岩和瘤状灰岩为主的沉积。晚泥盆世开始出现缓慢的海退,晚泥盆世晚期及早石炭世则发生了全面的海退,海域范围大大缩小,此时在凡口地区形成了一套海陆交互的陆源碎屑岩沉积。该区泥盆系的沉积厚度小,厚度变化大,岩石组合相对比较简单。整个泥盆系构成一个完整的沉积旋回,以滨海碎屑岩沉积开始,逐步过渡到浅海碳酸盐,最后以滨海碎屑岩沉积结束(表1)。

表1 广东凡口和广西大厂地区泥盆系地层简表

Table 1 Devonian, Stratigraphic section in Fankou and Dachang areas

统	广 西 大 厂		广 东 凡 口	
	组	岩 性	组	岩 性
D ₃	同车江	上部泥灰岩为主夹薄层泥页岩,中部泥页岩为主,夹薄层泥灰岩下部泥灰岩为主夹薄层钙质页岩。	帽子峰(D _{3m})	黄绿色砂质页岩夹粉砂岩,局部夹薄层微晶灰岩
	榴江	大扁豆状灰岩,小扁豆状灰岩,细条带状硅质岩夹灰岩,宽条带状灰岩,泥灰岩,灰黑色硅质页岩,薄层状硅质岩。	天子岭(D _{3t})	上部云斑状灰岩 中部瘤状灰岩 下部为白云质灰岩和瘤状灰岩
D ₂	马家坳	上部灰岩,页岩夹硅质岩下部灰岩夹泥灰岩,上部深灰色条带状结晶灰岩,下部生物礁灰岩。	东岗岭(D _{2ol})	白云质灰岩和瘤状灰岩,粉砂岩,粉砂质灰岩。中间为条纹瘤状灰岩,条纹云斑状灰岩
D ₁	车河	上部灰黑色泥灰岩夹泥页岩及少量砂岩 下部泥灰岩增多。	桂头(D _{2g})	底部为砾岩,向上过渡为中细粒砂岩及页岩

岩石学性质

笔者在凡口和大厂所采集的瘤状灰岩全部都是未矿化的岩石样品,也未曾发生过明显的蚀变作用。在显微镜下对这些岩石的薄片研究可知,广东凡口的瘤状灰岩和大厂的

扁豆状灰岩都是由瘤体和基质两部分组成，瘤体呈不规则的透镜状、瘤状和扁豆状，一般为1到几厘米。瘤体主要由方解石组成，不含或含有少量的石英碎屑。基质绕瘤体分布，成条带状，条纹状；条带的宽窄不一，宽者达几厘米，窄的仅有几毫米。基质的成分除方解石外，还有较多的粘土矿物、石英碎屑、有机质及自生石英颗粒等。

通过肉眼观察及显微镜研究，这两个地区的瘤状灰岩在瘤体和基质的矿物组成及结构构造上都有比较明显的区别，现归纳如下。

凡口瘤状灰岩的岩石学特点

1. 凡口的瘤状灰岩无论是瘤体还是基质都含较多的石英碎屑，瘤体中石英碎屑的含量一般为5%；基质部分一般为10—25%，最高可达45%。石英碎屑多经磨蚀，一般为次棱角状到次圆状，粒经约为0.02—0.1mm，表明瘤状灰岩在沉积时距岸近，有较多的陆源物质供应。

2. 瘤状灰岩的瘤体多为泥晶生物碎屑灰岩的块体，块体中含有较多的腹足类、腕足类、珊瑚、钙球等生物碎屑。灰岩块体外形不规整，不显内部结构，可见塑性变形现象及溶蚀痕迹，但磨蚀现象少见。可见这种块体非外来灰岩砾石，可能是近岸浅水沉积的生物碎屑灰岩原地改造而成。

3. 基质部分所含的方解石晶粒较粗，为粉砂级，自形程度也较高。部分样品的基质中含有较多的白云石；瘤体部分的方解石则多为微晶，不含白云石。

4. 基质与瘤体相比，基质部分所含的生物碎屑较少，而含石英碎屑，泥质及碳质较多（表2）。

5. 岩石的结构构造情况比较复杂，以搅动、滑动、包卷层理较为常见。基质常见有流动构造，火焰状构造及裂隙充填状构造等，岩石的缝合线构造也很普遍。这些构造的形成可能是泥质物质和块体的快速沉积，由于上覆沉积物的重力，使处于半流动状态的泥质物质在重力挤压作用下向压力较低的方向流动造成的。

6. 该区大多数样品中瘤体和基质的组成成分差别不大，只是结构上稍有不同而已。有些瘤体的边缘有溶蚀、胶结边。如表2所示，瘤体与基质多是由方解石、石英碎屑、粘土矿物所组成，比外在基质中还可见到一些白云石和黄铁矿。瘤体和基质中CaCO₃的含量差别不大，相差最大者也只有41%。

广西大厂地区扁豆状灰岩的特点

大厂地区的扁豆状灰岩与凡口有较明显的差别，这些差别如下：

1. 大厂地区扁豆灰岩中的瘤体和基质几乎都不含或很少含有石英碎屑，但部分样品中可见有少量的自生石英颗粒。表明它在沉积时很少接受陆源物质。

2. 瘤体部分一般是由纯净的细晶方解石组成，其含量多在90%以上；细晶方解石呈紧密镶嵌结构，具较强的重结晶现象，晶粒较基质中的方解石大；生物碎屑含量少，瘤体的形态也较规整。基质中的方解石多为泥晶和粉晶，含较多的粘土和碳质。在矿物组

表2 瘤状灰岩的稳定同位素、X射线衍射、CaCO₃含量分析结果
Table 2 Isotopic value, X-ray diffraction, CaCO₃ content
of the nodular limestone in Fankou and Dachang areas.

样品号	产地	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ (PDB)	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ (PDB)	CaCO ₃ (%)	矿物成分	
D15	基质 瘤体	大厂	-0.40	-16.29	16.09	伊利石, 方解石, 石英
			+0.08	-7.87	92.67	方解石, 石英
D25	基质 瘤体	大厂	-0.09	-7.51	48.08	方解石, 伊利石, 高岭石, 石英
			+0.95	-6.45	95.75	方解石, 石英
D38	基质 瘤体	大厂	-1.49	-13.91	31.22	方解石, 伊利石及其它粘土矿物
			-0.14	-7.43	91.83	方解石
D39	基质 瘤体	大厂	-1.62	-10.15	38.83	方解石, 伊利石等粘土矿物
			-0.41	-13.06	92.08	方解石
C ₂	基质 瘤体	大厂	—	—	—	—
			-1.00	-14.55	—	方解石
GE-116	基质 瘤体	凡口	-2.73	-9.90	—	—
			-2.77	-11.83	—	—
GE-147	基质 瘤体	凡口	-6.57	-11.73	—	方解石, 石英, 伊利石等粘土矿物
			-6.59	-12.58	—	方解石, 石英
GE-148	基质 瘤体	凡口	-4.46	-9.23	45.83	方解石, 石英, 白云母, 伊利石, 黄铁矿
			-7.51	-14.94	85.92	方解石, 石英, 伊利石
GE-152	基质 瘤体	凡口	-2.56	-11.68	78.25	方解石, 石英, 白云母, 伊利石
			-2.30	-11.23	86.33	方解石, 石英, 少量粘土矿物
GE-157	基质 瘤体	凡口	-2.99	-10.19	42.58	石英, 方解石, 伊利石, 黄铁矿, 白云母
			-2.98	-11.77	83.75	方解石, 石英, 少量伊利石
GE-163	基质 瘤体	凡口	-2.66	-11.57	55.67	方解石, 石英, 伊利石, 黄铁矿
			-2.21	-10.42	79.92	方解石, 石英
GE-170	基质 瘤体	凡口	—	—	61.42	方解石, 石英, 白云母, 黄铁矿, 伊利石
			—	—	71.25	方解石, 石英, 少量粘土矿物

注: “—”未测, CaCO₃的含量是由库伦滴定方法测定的。

成及粘土矿物的含量上瘤体与基质的差别比较明显。

3. 瘤体与基质之间的界线比较清楚、平直, 成分与结构的差别亦较大。一些瘤体的边缘常可见到溶蚀边和生长边, 表明瘤体在沉积后曾经受过溶解及沿边缘的生长过程。

4. 瘤体和基质部分都不含白云石。

5. 基质中含有一些自形的自生石英。该区泥盆系的深水、半深水盆地相中, 硅岩是

主要的岩石类型之一〔1〕, 在这种较深水沉积盆地底部的孔隙水中含有较多的溶解态 SiO_2 , 在成岩作用期间溶解在孔隙水中的 SiO_2 结晶沉淀形成自形的石英颗粒。说明成岩作用是在较深的含有较多 SiO_2 的水体中进行的。

瘤状灰岩的矿物学和化学性质

这两个地区的瘤状灰岩的瘤体和基质的X射线衍射分析及 CaCO_3 含量的库伦滴定分析结果列于表 2。

X衍射分析结果与薄片的显微镜观察基本相同。在大厂的瘤状灰岩中, 瘤体的矿物几乎全部由方解石组成, 不含或仅含极少量的石英碎屑(表 2)。瘤体中 CaCO_3 的含量全部都在 91% 以上, 最高者为 95.78%, 最低为 91.83%, 平均为 93.08%。

与瘤体相比, 该区瘤状灰岩中基质的矿物组成较复杂, 除方解石外还有较多的粘土矿物(伊利石, 高岭石、蒙脱石、云母等)和少量的石英。碳酸钙的含量与瘤体差别较大, 一般在 40% 以下, 最低仅有 16%。

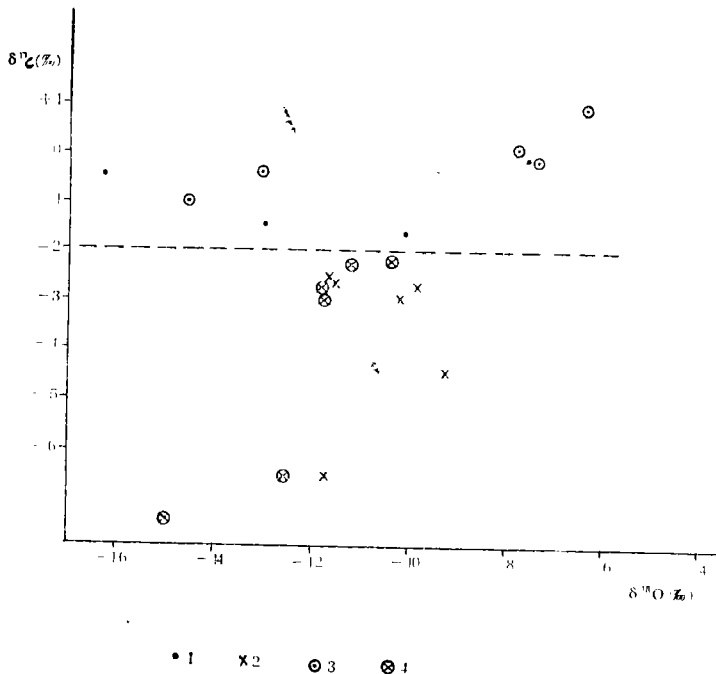
凡口瘤状灰岩中的瘤体在矿物成分上要比大厂复杂, 除方解石外, 石英大量存在, 在X-衍射图上表现出较强的峰值, 此外还有些粘土矿物存在。瘤体的 CaCO_3 含量相对较低, 笔者分析的样品中最低为 71.25%, 最高为 86.33%, 平均为 81.34%, 比大厂的瘤体平均低 12% 左右。基质部分的矿物成分也较大厂复杂, 除主要矿物方解石和石英外还有一定数量的云母及伊利石、高岭石、绿泥石和少量的黄铁矿。黄铁矿不是原生沉积的, 形成于成岩作用期间。基质中 CaCO_3 含量变化较大, 低者为 42.58%, 最高达 78.25%, 但是在同一个样品中瘤体和基质的 CaCO_3 的含量则差别不大, 最大相差仅为 8.08%。凡口地区瘤状灰岩中瘤体和基质在矿物成分和 CaCO_3 含量上的特点表明, 瘤体和基质在沉积时都接受了较多的陆源物质的供应。

将这两个地区中的瘤状灰岩进行对比发现, 大厂瘤状灰岩的瘤体在矿物成分上要比凡口纯净得多, CaCO_3 的含量要高; 而基质中 CaCO_3 的含量大厂要比凡口少, 大厂的基质在矿物成分上也要简单些。虽然两地区的基质中都含有较多的粘土矿物, 但它们的结构和构造有许多明显的差别。凡口瘤状灰岩的基质中含有较多的白云石, 不含自生石英; 而在大厂, 基质不含白云石, 却含一些自生石英。这清楚地表明它们经历了不同的沉积作用和成岩作用。

稳定同位素研究

有机质是影响测定结果的主要因素, 样品在分析之前首先应用 10% 的次氯酸浸泡 48 小时将其中的有机质去掉, 然后用蒸馏水洗净干燥后按正常的方法在真空中与 100% 的磷酸在 25°C 时反应生成 CO_2 〔7〕, 在质谱仪上测量碳和氧的同位素组成。样品的测量是在瑞士联邦理工大学地质研究所的 VG-Micromass-903 型质谱仪上完成的。测量结果的精度为 0.02%。碳、氧同位素值的测定结果列于表 2 和图 1。

从表 2 和图 1 中可以看出, 凡口和大厂两地区的瘤状灰岩中瘤体和基质其 $\delta^{18}\text{O}$ 值的



1、基质，广西样品 2、瘤体，广西样品 3、基质，广东凡口样品 4、瘤体，广东凡口样品。

图4、大厂和凡口瘤状灰岩的碳、氧同位素

Fig. 1 Isotopic relation of nodular limestone in Dachang and Fankou areas.

变化范围都较宽，瘤体和基质间没有明显差别，大厂瘤状灰岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值的分布范围是从 -6.45 到 -16.29% ；凡口从 -9.23 到 -14.94% 。

自寒武纪到现代的海水中 $\delta^{18}\text{O}$ 值未发生过较大的变化，接近0值(PDB)[3]。在与海水达同位素平衡时沉淀出来的碳酸盐其 $\delta^{18}\text{O}$ 值应为一确定的值。但是碳酸盐在沉积之后长期受到各种地质作用的影响，包括成岩作用，重结晶作用，与地下水的同位素交换作用及热分馏作用等地质作用。 $\delta^{18}\text{O}$ 值对这些地质作用反映非常灵敏，尤其是成岩作用及成岩后上升地表长期与大气降水接触，碳酸盐与大气降水长期不断地进行同位素交换，从而降低了原沉积时的 $\delta^{18}\text{O}$ 值。此外各种其它地质作用也会较强烈地改变碳酸盐中 $\delta^{18}\text{O}$ 的值。仅用 $\delta^{18}\text{O}$ 值不能较好地反映碳酸盐岩，特别是时代较老的碳酸盐岩的形成环境[5]。

从寒武纪到第三纪海相成因的碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值也是比较衡定的，接近0(PDB)值[9]。Keith和Weber(1964)从所分析的321个海相碳酸盐岩样品中得出 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值为 $0.56 \pm 1.55\%$ [6]。碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值主要是受沉积时沉积环境以及沉积后的成岩作用的影响。岩石形成后的同位素交换作用，主要是通过颗粒间的孔隙水和地下水进行的。在一般情况下，孔隙水和地下水中溶解的 HCO_3 量较低。碳酸盐与地下水及孔隙水间发生的同位素交换反应主要是通过溶解在地下水中的 HCO_3 进行的。因其含量低，故这种交换反应进行得很缓慢或不能发生，不致于较大规模地影响碳酸盐岩沉积成岩时

形成的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。利用碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值可以反映岩石沉积及成岩时的环境。

文中, 作者试图将 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 结合起来考虑。两地区瘤状灰岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值绘于图 2。可以看到, 大厂瘤状灰岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值都在 -2 和 $+1\%$ 之间, 多数在 0 值附近。而凡口瘤状灰岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值则在 -7.51 到 -2.21% 之间, 范围比大厂要宽, 并且全部都小于 -2% 。

海水中碳的同位素分馏作用与生物活动密切相关。Mekenzie (1982) 在研究瑞士 Greifen湖时发现, 在七月下旬至八月份湖水中生物大量繁殖生长期间, 表层水中无机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 值有 4.5% 的正异常^[3]。一般说来, 在海进期间生物活动比较繁盛, 海水中沉淀出来的碳酸盐相对富含 ^{13}C 。与此相反, 在海退期间, 沉积在狭长的大陆陆棚区内的富含 ^{12}C 的有机质, 因缺乏快速的埋藏条件, 有机质在氧化环境中分解后又回到海水中, 使海水相对地富集 ^{12}C 。在海退开始时碳同位素有一个特征的短暂的低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值^[10]。

从岩石序列分析, 大厂的瘤状灰岩正好处在一个海进—海退旋回的海进时期。该地泥盆系为一套很厚的黑色页岩, 它是生物沉积作用的结果。生物在其生命活动中大量吸收海水中的 ^{12}C 构成自己身体的一部分, 死亡后沉积于海底, 轻的 ^{12}C 就这样不断地被生物从海水中提取出来并以有机质的形式保存于海底沉积物中, 使得海水中相对富集了 ^{13}C 。晚泥盆世时, 大厂处于沉积盆地的中央地带, 距陆远, 海水深, 陆源物供应量少, 富含 ^{12}C 的大气降水(包括河水、湖水和地下水)不能直接流入该区, 海水中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值始终保持较高且较稳定的水平。在这种环境中沉积的碳酸盐就具有较高的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。沉积后的成岩作用也是在较深的海底进行的, 成岩过程中很少受到陆源淡水的影响, 未与富含 ^{12}C 的陆源淡水发生同位素交换反应, 从而保持了原沉积时 $\delta^{13}\text{C}$ 值较高的同位素组成。

与大厂相反, 凡口在中、晚泥盆世时处于海进—海退旋回的海退时期^[1], 海水中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值较低。在中、晚泥盆世凡口位于陆棚上的泻湖区, 海水浅, 距岸近, 沉积盆地接受了较多的含 ^{12}C 的陆源物质及大气降水(大气降水 $\delta^{13}\text{C}$ 的平均值为 -7.1% ^[8])。它们与海水混合, 以及来自陆源物质的分解使较多的 ^{12}C 进入海水, 从而降低了原海水的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。这种环境中形成的碳酸盐具有较低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。

由于晚泥盆世凡口处于全面的海退时期, 沉积后的成岩作用是在浅海开始, 由本区部分瘤状灰岩中含有较多的白云石分析, 其成岩作用可能是在潮间或潮上带进行的。该环境是大气降水积极活动的地方, 在成岩过程中, 沉积的碳酸盐与大气降水发生广泛的同位素交换, 同时有机质的分解也为成岩作用提供了丰富的 ^{12}C , 进一步降低了碳酸盐的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。这就是凡口瘤状灰岩具有较低的 $\delta^{13}\text{C}$ 值的原因。

由表 1 可以看出, 大厂瘤状灰岩中瘤体和基质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值具有一个明显的变化趋势, 即每一个标本中基质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值要比瘤体低, 差值从 0.57 到 1.35% , 平均差值为 1.04% 。氧同位素值也有类似的变化趋势。Hsu (1974) 提出周期性的海底底流是形成瘤状灰岩瘤体及瘤状层理的主要因素, 这种底流是自表面沉降到海底的较冷的新鲜水体。它含有较多的 ^{12}C , 这种水体迅速溶解已沉积到海底的碳酸盐形成瘤状灰岩的基质。在溶解作用发生的过程中, 含 ^{12}C 多的循环水体与已沉积的碳酸盐发生同位素交换, 形成了含 ^{12}C 较多的基质。大厂地区瘤状灰岩中基质 $\delta^{13}\text{C}$ 值较瘤体低的原因可能就是这种溶解作用

的结果,在底流作用减弱或消失期间,溶解作用已不存在或相当微弱,碳酸盐较快地沉积形成瘤体。此时海底没有含 ^{12}C 多的新鲜水体存在,沉积下来的碳酸盐瘤体不能与之发生同位素交换反应,保持了它原来沉积时的同位素组成。从表1可以看到,大厂瘤状灰岩的瘤体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值在0值附近,这一结果与Keith和Weber的测定结果基本吻合。

凡口的瘤状灰岩基本上不存在上述变化趋势,多数样品中瘤体和基质具有相似的 $\delta^{13}\text{C}$ 值,有的样品表现为基质高,瘤体低;而另外一些样品则正好相反(表2)。凡口地区位于一个泻湖区,海水浅,淡水来后很快与海水混合,未产生周期性的循环底流,沉积物未受到底流的影响,表现在同位素组成上,就是基质和瘤体无明显差异。基质和瘤体的同位素组成是沉积及成岩作用的产物。表明基质和瘤体是在基本相同的同位素值水体中形成的,并分别与形成时的水体达到同位素平衡。

瘤状灰岩的成因

中国南方在泥盆纪时发生了自西南向东北方向的海侵。海侵自泥盆纪早期开始,一直继续到晚泥盆世,晚泥盆世后期开始出现了缓慢的海退。位于中国西南部的大厂在整个中、上泥盆世始终处于距岸较远,海水较深的拗陷区,在泥盆纪沉积了一套厚达2000多米的碎屑岩、细碎屑岩、硅质岩和碳酸盐岩建造。早泥盆世处于海侵的初期,海水较浅,沉积了那高岑组的灰色粉砂岩夹细砂岩及黑色砂质泥岩。中泥盆世海侵进一步扩大,海水变深,沉积一套灰岩、页岩夹硅质岩建造,在海盆的局部隆起部位形成生物礁灰岩。到上泥盆世初期海盆继续快速沉降,沉积了条带状灰岩和瘤状灰岩。在沉积作用发生时若没有海底底流作用发生,那么碳酸盐物质较快地沉积并固结形成碳酸盐层,在挤压作用下形成瘤体。瘤体在沉积过程中,由于没有底流的溶解作用,沉积物和海水之间的碳、氧处于稳定的同位素平衡状态,故而保持原沉积时的同位素组成。如果此时有底流存在,相对于正常的海水而言,这种底流较冷, CaCO_3 的含量较低,并含有较多的 ^{12}C ,底流不断地溶解原沉积在海底的碳酸盐,剩下较多的不易溶解的粘土矿物及其它物质形成基质。故基质中 CaCO_3 的含量要比瘤体低。在溶解作用发生过程中,底流水与基质物质中的碳酸盐不断地发生同位素交换,消耗掉基质中的部分 ^{13}C ,同时从底流水中得到一些 ^{12}C ,从而降低了基质的 $\delta^{13}\text{C}$ 值。当然,成岩期的溶解作用也可能是形成瘤状灰岩的一个原因。该地的成岩作用是在较深的海底进行的,参与成岩作用的水主要是周围的海水,成岩作用期间碳酸盐始终与海水接触并与之达到同位素平衡,所以其 $\delta^{13}\text{C}$ 值与海水的 $\delta^{13}\text{C}$ 值保持一致,在成岩作用过程中未发生改变。底流的溶解作用是造成瘤体与基质同位素值不同的主要原因。

与大厂相反,凡口地区在整个中上泥盆世构成一个比较完整的沉积旋回〔2〕,由滨海碎屑岩沉积开始,逐步过渡到碳酸盐岩,最后又以滨海碎屑岩沉积结束。始终处于浅海相的沉积环境中。该区的生物碎屑灰岩及瘤状灰岩中的生物碎屑(腹足,瓣腮,珊瑚,海百合等)都是近岸浅海的生物,它们有时与鲕状灰岩和云斑状灰岩共生,反映了它们是在较浅的海水中沉积的。由于沉积速率快,碳酸盐沉积物迅速堆积,在重力的作用下半固结的灰岩块体被挤压成瘤状体;而细粒的泥晶基质被挤压向着压力较低的方向及裂

隙中流动形成常见的火焰状、流动状构造。瘤体和基质是在相同的环境中形成的，故其同位素值基本相同。该地区的瘤状灰岩在其沉积过程中及沉积以后的成岩过程中，是在距岸较近的浅海条件下，或是在潮上带的成岩条件下进行的，受大陆来源的富含 ^{12}C 的大气降水的影响较强。凡口瘤状灰岩 $\delta^{13}\text{C}$ 为较大的负值可能就是陆源淡水影响的结果，陆源有机质的分解作用也为碳酸盐提供了 ^{12}C 。

本文所测的全部样品都是在瑞士联邦理工大学地质研究所完成的，感谢他们为我完成样品的测量提供了全部仪器。

收稿日期 1986年7月21日

参 考 文 献

- [1] 陈先沛等, 1983, 粤北中上泥盆统菱铁多金属矿床的沉积条件, 菱铁矿矿床学术会议论文集, 107—121页, 科学出版社。
- [2] 高计元, 1983, 菱铁矿矿床学术会议论文集, 136—148页, 科学出版社。
- [3] Gunter Faure, 1977, Principles of isotopic geology, John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Hsu, K. J., 1979, Origin of nodular limestone, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
- [5] Hudson, J.D., 1975, Carbon isotopes and limestone cement, *Geology*, p.19—22
- [6] Keith, M. L. and Weber, J. N., 1964, Isotopic composition and environment classification of selected limestones and fossils, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 28, p. 1787—1816.
- [7] McCrea, J. M., 1950, On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale, *Jour. Chem. Physics*, Vol. 18, p. 849—857.
- [8] McKenzie, J. A., 1982, Carbon-13 cycle in lake Greifen; A model for restricted ocean basins, Nature and origin of Cretaceous carbon-rich facies (S. O. Shlanger and M. B. Cita, eds.) Academic Press, 1982
- [9] Pettijohn, F. J., 1975, *Sedimentary rocks*, Third edit.
- [10] Wootroff and Savin., 1985, *Geology*, Vol. 13, p. 119—122.

ORIGIN OF NODULAR LIMESTONE IN DEVONIAN SYSTEM IN SOUTH CHINA

Gao Jiyuan

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica)

Abstract

In South China, the nodular limestone which is a special carbonate type was distributed in Devonian System. The petrological research, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$, X-ray

diffraction, CaCO_3 and organic carbon contents are done and the origin of the nodular limestone is detailedly studied.

In Dachang area of Guangxi Province, the nodules of the nodular limestone which is more pure show the lens, nodule and pod. The nodule without or with a few quartz fragments is mainly composed of calcite ($\text{CaCO}_3 > 90\%$). The matrix of the nodular limestone, however, is more complex, which contains some clay minerals, a few quartz fragments and black organic materials as well as a few autogenetic quartz grains. The $\delta^{13}\text{C}$ values of the nodules and matrixes are more than -2% , however, the $\delta^{13}\text{C}$ values of the nodules of same samples is higher than the values of the matrix, in which the average difference between them is about 1% , and differences are about coincident. CaCO_3 content of the nodules is higher than that of the matrixes and the difference is more obvious.

In Fankou, the nodular limestone contains more bioclasts, than in Dachang. the nodule and the matrix contain more quartz fragments. The matrix contains more quartz fragments than the nodule, but does not contain autogenetic quartz grains. The nodules being composed of block of the bioclastic limestone do not show internal structure, but show flame and flow structures, disturbance, slip and roll-up beddings. The composition has no more difference between the matrix and the nodule which are mainly composed of calcite, quartz clast and clay minerals, as well as a few dolomite and pyrite. The $\delta^{13}\text{C}$ values of the matrix and the nodule are lower than -2% , and the difference of the $\delta^{13}\text{C}$ values between the matrix and the nodule is no marked in same sample. Sometimes the value of matrix is higher, sometimes the value of the nodule is higher than that of the matrix.

These characters and developmental history of Devonian System in South China indicate that, Dachang area lay on the depression with deep water and far distance from shore, and with or without a few addition of terrigenous materials. The nodule was formed without submarine flow. The submarine flow formed in certain period soluted carbonate which deposited in precedent stage and remained more insoluble clay minerals, so that the matrix was formed. the isotopic exchange between submarine flow and the carbonate decreases the $\delta^{13}\text{C}$ value of the matrix.

During the sedimentation of the nodular limestone in the Middle and Upper Devonian System in Fankou, this area belongs to a lagoon environment with shallow water and offshore. Bioclastic limestone and micrite beds formed by alternational sedimentation formed the nodular limestone under the pressure, in which the soft micrite sediments removed upward and formed the flame and flow structures. Semisolid mass of the bioclastic limestone formed the nodule under the pressure. The $\delta^{13}\text{C}$ values between the nodule and the matrix do not show any distinctively difference, because they belong to the same sedimentary environment.