

# 北京西山及邻区下古生界白云石化 与层序地层\*

彭 阳 章雨旭

(中国地质科学院地质研究所 北京)

**摘 要** 近十年来,笔者在对北京西山及邻区下古生界进行层序地层学研究的过程中,对白云石化及其与沉积环境的关系和层序地层意义进行了探讨,获得了如下新认识:①根据泥质条带灰岩、泥晶灰岩和颗粒灰岩中白云石化发生的规律,证实粘土矿物(泥质混入物)的存在对白云石化有重要的催化作用;②北京西山寒武统昌平组下部“疙瘩状”灰岩的形成与白云石化有关;③寒武纪和奥陶纪广泛发育的“生物扰动灰岩”已受到强烈的白云石化改造;④中寒武统徐庄组和张夏组中“砾屑状”颗粒灰岩的砾状构造和断续条带状构造并非原生沉积构造,有些“砾屑”是准同生白云石化的结果。

根据白云石的形成条件,笔者认为:①在奥陶系马家沟组的厚层藻纹层灰岩—生物扰动灰岩—白云质灰岩—白云岩旋回中,白云岩是这类副层序的顶面;②三山子白云岩(上部)是寒武纪末期高水位体系域晚期的产物,而人们将其与三山子白云岩对比置于北京—涞源—浑源一带的微晶丘为低水位体系域的沉积,即寒武纪末期的海水仅退出了三山子白云岩分布区,而没有退出微晶丘分布区。

**关键词** 白云石化 寒武系 奥陶系 北京西山及邻区

白云石化及白云岩问题是地质界长期以来不断研究但一直未能圆满解决的问题。关于白云岩的成因,国内外许多地质学家提出了蒸发泵、渗透回流等准同生期、同生期白云石化或成岩后生白云石化的成因模式,这在以往已有很多讨论<sup>[1-6]</sup>。

白云石化广泛存在于碳酸盐岩地层中,即使在很纯的灰岩中也能发现其踪迹,其成因类型复杂多样,因此,区分原生结构构造与白云石化形成的成岩结构构造、研究白云石化与沉积环境的关系对正确恢复古沉积环境和古地理的意义重大。

## 1 与白云石化有关的化学问题

理想的白云石是  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子为 1:1 的有序结构<sup>[1]</sup>,而在较低温度下合成或天然产出的白云石是有序性较差的“原白云石”。很长时间人们一直认为在近代沉积物中不存在白云石,但随着 X 射线衍射技术的应用,在许多地区的沉积物中发现了白云石,只是由于这些白云石颗粒非常细小,因而用染色方法不能发现它们。

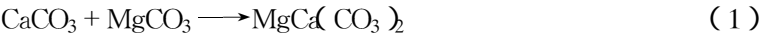
白云石形成的条件是较为苛刻的,因为镁离子易于水化而不易进入晶格,故只有在高盐度、高温、高镁离子浓度等条件下,白云石才可沉淀,因而当海水蒸发时,实际上晶出的是文

\* 国家科学技术部“九五”攀登计划专项(95-专-04)

第一作者 彭阳,女,1964 年生,副研究员,从事沉积学、碳酸盐岩岩石学、层序地层学研究,邮编:100037

石和高镁方解石<sup>[2]</sup>。据王亚烈等试验研究<sup>[4]</sup> 随着  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  值提高、 $HCO_3^-$  浓度增大 ,盐度增高 , $Mg^{2+}$  进入矿物格架的数量增加 , $Ca^{2+}$  减少。方解石主要形成于  $Mg^{2+}/Ca^{2+} < 1$  的试验溶液中 ,镁方解石主要形成于  $Mg^{2+}/Ca^{2+}$  为 1~5 的试验溶液中。当  $Mg^{2+}/Ca^{2+} > 5$  时 ,形成的矿物较多 , $HCO_3^-$  浓度起主要作用 ,白云石大致形成于  $0.15 \sim 0.75 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  范围 ,小于 0.15 时主要形成文石。

仅从热力学数据(表 1)看 ,方解石和文石被交代成为白云石是自由能降低过程 ,可以自发进行 ,即 :



在(1)式中 ,吉布斯自由能变化为  $\Delta G_{298.15K} = -2.94$  , $\Delta G_{400K} = -2.78$  , $\Delta V = -0.61$  ;在(2)式中  $\Delta G_{298.15K} = -2.41$  , $\Delta G_{400K} = -8.28$  , $\Delta V = -9.6$ 。

表 1 与形成白云石有关的热力学数据表

Table 1 Thermodynamic data relate with forming dolomite

矿物或离子	$\Delta G_{f,298.15K}$ /kJ/mol	$\Delta G_{f,400K}$ /kJ/mol	摩尔体积 /cm <sup>3</sup> /mol
方解石	-1129.00	-1102.35	36.93
菱镁矿	-1029.72	-1001.23	28.02
白云石	-2161.78	-2106.36	64.34
Ca <sup>2+</sup>	-553.52	-557.22	
Mg <sup>2+</sup>	-454.89	451.53	

表明仅就自由能变化看 ,应当形成白云石 ,而当压力增加时 ,有利于形成白云石。因而白云石化是十分普遍的。

粘土矿物在白云石的形成过程中可起催化剂作用 ,它既可提供部分镁离子 ,又能作为影响离子迁移的薄膜<sup>[2]</sup>。北京西山寒武系张夏组鲕粒灰岩中的泥质条带、崮山 - 长山 - 凤山

组中的泥质条带、竹叶状灰岩中的泥质填隙物及冶里、亮甲山灰岩中的页岩夹层等 ,都发生了白云石化 ,白云石化的范围受泥质组分的控制。该类白云石为成岩期埋藏白云石化作用形成。

Magaritz 等以碳氧同位素研究上二叠统 Zechstein 灰岩中的白云石具有高的<sup>13</sup>C 值 ,表明白云石化是由海水蒸发和雨水加入而导致 ,地层和相分析表明白云石化出现在每一个亚旋回的顶部 ,与陆上暴露有关<sup>[3]</sup> ,如阴极发光证实昌平组顶部白云石为淡水混入而成<sup>①</sup> ,该类白云石为准同生期混合白云石化作用而成。

2 下古生界几种岩石的白云石化分析

2.1 灰岩中泥质条带的白云石化

王成述<sup>[7]</sup>和章雨旭等<sup>[8]</sup>曾系统研究北京西山鲕粒灰岩和竹叶状灰岩的地质特征和成因 ,但对其中的白云石化问题均未作研究。在徐庄组、张夏组鲕粒灰岩的野外露头上经常可以见到褐黄色泥质条带 ,崮山 - 长山 - 凤山组的泥质条带灰岩中也见有大量的泥质条带 ,而在显微镜下则表现为自形粒状的白云石晶体与铁质细末及残余粘土矿物组成的条带 ,竹叶状灰岩中的泥质胶结物也为自形的具铁质镶边的白云石中粒晶体。这是由于在埋藏后的压实过程中 ,粘土矿物转化时易析出  $Mg^{2+}$  ,故在有泥质成分的灰岩中 ,如泥质条带灰岩中 ,易

① 宋志敏, 阴极发光与层序地层, 见 乔秀夫等著. 华北地块中东部新元古代和早古生代成因地层, 地质出版社(待刊)

万方数据

发生埋藏白云石化作用,白云石沿泥质条带而分布。

## 2.2 泥晶灰岩的白云石化

寒武系的泥晶灰岩中常见 2 种白云石化:①零星而均匀的白云石化:准同生期泥晶灰岩中的孔隙水非常有限,因此能量也有限,只能形成漂浮状干净自形的白云石细晶;②沿缝合线或裂隙发生的白云石化:成岩后期泥晶灰岩受压实作用或构造改造形成各种缝隙,当有粘土矿物及富镁裂隙水参与时即沿缝隙发生埋藏白云石化作用。值得一提的是,由这些薄层泥晶灰岩破碎而成的竹叶状砾屑在它们的胶结物发生白云石化的时候常常不发生白云石化,这可能是因为砾屑固结程度较高,而胶结物的固结程度较低所致。

## 2.3 颗粒灰岩的白云石化

鲕粒灰岩的白云石化发生在准同生期,完全白云石化时形成单晶鲕或多晶鲕,弱白云石化时可在原生同心鲕中见到零星的白云石细粒,一些砾屑状鲕粒灰岩为白云石化的结果。竹叶状灰岩的白云石化仅发生在填隙物中,为成岩期白云石化,与粘土矿物的催化作用有关。

## 2.4 北京西山昌平组疙瘩状灰岩和奥陶系生物扰动灰岩的白云石化

北京西山丁家滩剖面昌平组中下部有厚约 20 m 的“豹皮状灰岩”,亦称“疙瘩状灰岩”,即在灰色生物扰动细砂屑灰岩中,有一些棕灰色、浅灰色和深灰色的团块,成因一直有争议。在奥陶系大量发育“生物扰动灰岩(或虫迹灰岩)”,其成因与生物扰动有关。

经详细的野外及室内研究后认为:疙瘩状灰岩的原岩为生物扰动砂屑灰岩,后叠加准同生期和成岩后生期两期白云石化,形成疙瘩状或豹皮状构造。浅灰色不规则团块为灰泥质砂屑,次棱角状—次圆状,分选中等;棕灰色条带、团块为自形、半自形粒状白云石条带或不规则团块;深灰色团块为富有机质灰泥,生物扰动使其呈不均匀状。

疙瘩状灰岩在垂向上可见到若干个岩性旋回,每一个旋回由 A、B、C 3 个单元组成(也可仅有 B、C 2 个单元)(图版 I-A、B)。

A 单元:白云石质砂屑生屑灰岩,原岩可能为具强烈生物扰动砂屑灰岩,砂屑为残余状,不见虫孔,白云石化较强,白云石常聚积成块状分布。

B 单元:条带状白云石质砂屑灰岩,原岩为具生物扰动砂屑灰岩,虫孔多为亮晶方解石充填,图版 I-A、B 中的棕色条带在风化面上为凸出的不规则状,疙瘩状因此而得名。镜下棕色条带由细晶白云石组成,晶间有灰泥及少量砂屑交代残余,顺层白云石条带前部边缘与原砂屑灰岩关系截然突变(图版 I-C),为交代接触关系。这些白云石条带都沿顺层微裂隙分布,因此,白云石化发生在成岩后生期,沿微裂隙展布,故在野外远观条带状灰岩均有隐约层理。原岩虫孔基本没有白云石化,条带状构造与原岩结构构造无关,而与顺层微裂隙有关。

C 单元:疙瘩状灰岩中的颗粒组分有 4 种:①白云石不规则团块;②暗色富有机质不规则团块(似藻凝团?);③砂屑灰岩不规则团块;④亮晶方解石填充的虫孔。原岩为砂屑灰岩,含富有机质灰泥,具生物扰动构造,虫孔由亮晶方解石填充,周围常有暗色球粒,可能为粪球粒(图版 I-D)。

由于生物扰动而使砂屑及灰泥组成的原层理被破坏成碎屑状(图版 I-E),第一次准同生期白云石化仅交代部分灰泥填充的虫孔(图版 II-A),这与虫孔内原始物质富含粘土

矿物和有机质有关。第二次成岩后生期白云石化沿微裂隙交代全岩,两次白云石化形成的白云石均为不规则团块状,砂屑因受扰动而分布杂乱,并受后期白云石交代而成不规则团块状,暗色富有机质灰泥基本未白云石化,但受成岩后生期富镁溶液沿微裂隙运移,交代原岩,由于本身能量限制及原岩的不均一性,白云石呈断续条带状和疙瘩状。

由此可见,原始砂屑粒泥灰岩受生物扰动改造而成不均匀状,尔后受准同生期白云石化影响,再叠加成岩后生期白云石化作用,白云石成凝团状、断续条带分布,形成疙瘩状构造。准同生期白云石化受原始构造影响,白云石化与生物活动形成的虫孔有关,成岩后生期白云石化则与原始结构基本没有关系,与顺层微裂隙有关,两次白云石化可叠加。

奥陶系中发育的“生物扰动灰岩(或虫迹灰岩)”,其深灰色“虫孔”部分由细晶白云石组成,晶间可见残余灰泥,浅灰色部分一般为砂屑灰岩。必须指出,现在看到的“虫迹”与真正的生物钻孔并不全等,它是白云石化对虫孔外形的继承,在这一继承过程中发生偏差——扩大或缩小是不可避免的。镜下研究可以发现,“虫迹”并没有显著的外壁,而仅是白云石交代方解石的一个前锋面。

此外,准同生白云石化往往与虫孔有关(图版 II - C),而成岩后生白云石化与微裂隙有关(图版 II - D)。

昌平组疙瘩状灰岩与奥陶系虫迹灰岩的成因和原理是相同的。前已述及,粘土矿物对白云石的形成有催化剂的作用。而有机质造成的酸性环境导致  $\text{HO}^-$  浓度降低,  $\text{Mg}^{2+}$  水合作用减弱,也有利于白云石的形成。正是生物扰动或钻孔为岩石提供了粘土矿物和有机质。

当然,白云石化的强度还与成岩的温度和压力有关。

## 2.5 砾屑状鲕粒灰岩的白云石化

张夏组巨厚层的“砾屑状”鲕粒灰岩的砾状构造(图版 II - E、F、G)断续条带状构造(图版 II - G)并不全是原生沉积构造,部分砾屑是一种同生或准同生期成岩白云石化的结果。

在野外见到的“砾屑”为深色原生鲕与浅土黄色次生白云石化鲕粒,二者均为不规则团块状,但在镜下深色鲕粒为原生放射同心状鲕粒,浅土黄色鲕粒为白云石化次生鲕粒,次生白云石化鲕粒为2种:①单晶白云石鲕粒(图版 II - E);②多晶白云石鲕粒(图版 II - F),在原生鲕粒中集中分布,但与原生鲕粒没有边界(图版 II - E、F),即白云石化鲕粒并没有砾屑特征,因此“砾屑”并非原始沉积构造,而是白云石化的结果。“砾屑”状鲕粒灰岩的白云石化发生在同生或准同生期,因为这些白云石化鲕粒的胶结物并没有白云石化,  $\text{Mg}^{2+}$  的物质来源应为原始环境中的孔隙水及原始沉积的文石及高镁方解石向方解石的转变。

总之,在碳酸盐岩地层中的这些与白云石有关的构造要慎重对待,它们与原生构造可能有关(如与生物扰动有关),也可能毫无关系。但是可以研究为什么形成白云石化,这可能与沉积环境的地球化学性质有关。

## 3 白云石化研究在层序地层学中的应用

### 3.1 馒头-毛庄组白云岩的环境意义

北京西山寒武系馒头-毛庄组有一套紫红色白云岩,镜下尚可见石膏<sup>[9]</sup>,而另一些地区则为紫红色页岩(曲阳、唐山、涞源)结合其上覆地层为与鲕滩有关的鲕粒灰岩,可以推断

北京西山的这套白云岩是形成于强烈蒸发的、高  $Mg^{2+}$ 、高盐度的泻湖环境。因而,其分布较为局限。

### 3.2 下马家沟组及上马家沟组副层序顶底界的确定

北京西山下马家沟组上部 and 上马家沟组的旋回中包含有白云岩或白云质灰岩、虫迹灰岩、厚层藻纹层灰岩等,均具浅水特征,哪一个副层序的顶,一时难以确定。直到在上马家沟组顶部白云岩中见到龟裂纹才确认白云岩为副层序的顶<sup>[10,11]</sup>。这也与 Magaritz 等的研究结论相符<sup>[3]</sup>。Mordeckai 等以碳氧同位素研究上二叠统 Zechstein 灰岩中的白云石具有高的  $^{13}C$  值,表明白云石化是由海水蒸发和雨水加入导致而成,地层和相分析表明,白云石化出现在每一个亚旋回的顶部,与陆上暴露有关<sup>[3]</sup>。

### 3.3 三山子白云岩的层序地层学意义

三山子白云岩广布于华北地台的东南部,它是原来不同的岩石地层组经白云石化而成,且在苏北—皖北一带较厚,河北曲阳一带较薄,而在北京—涞源—浑源一带没有三山子白云岩出现,而是一套纯度很高的生物丘灰岩。在唐山则既无白云岩,也无生物丘。在曲阳可见白云岩中保留有平行层理和斜层理,表明原岩为高能环境沉积。在北京西山,生物丘(相当于三山子白云岩上部)之下可见明显的退积序列沉积<sup>[12,13]</sup>。可以想象,一套岩石全部白云石化形成白云岩在持续海侵的条件下是不可能的,因为,随着上覆沉积物的沉积,原岩必将与海水失去联系,不可能有充分的镁质供给,不可能完全白云石化。而只有在海退的条件下,原岩暴露海滩,由于蒸发和潮汐作用,海水可以不断供给,才可能有完全的白云石化。因而,如此大规模的白云石化白云岩的出现必定标志着持续的大规模海退,即三山子白云岩上部层段是寒武纪末高水位体系域晚期的产物。而北京西山—河北涞源—山西浑源一带的微晶丘则可能是奥陶纪第一个层序的低水位期沉积,即在生物丘分布区海水并未退出。

## 4 结 论

白云石化问题是一个十分复杂的问题。在沉积学研究中,白云岩本身是一种指相岩石,如北京西山馒头组白云岩和三山子白云岩。而在另一个方面,由于后期白云石化作用,有些沉积结构构造会遭受破坏,甚至面目全非,如生物扰动灰岩中的“虫迹”;有时则会形成与原生沉积结构构造相似的成岩结构构造,如鲕粒灰岩中的假砾屑,疙瘩状灰岩中的不规则白云石团块。因此,在碳酸盐岩沉积学及层序地层学研究中应十分注意白云石化问题。

## 参 考 文 献

- 1 罗宾·巴瑟斯特. 碳酸盐沉积物及其成岩作用. 中国科学院地质研究所《碳酸盐沉积物及其成岩作用》翻译组译. 北京: 科学出版社, 1977, 180.
- 2 奇林格 G V. 主编. 碳酸盐岩. 冯增昭等译. 北京: 石油化学工业出版社, 1978, 177~231.
- 3 Mordeckai Magaritz, Tadeusz Marek Peryt. Mixed evaporative and meteoric water dolomitization: isotope study of the Zechstein Limestone (Upper Permian) Southwestern Poland. Sed. Geol. 1994, 9(3~4): 257~272.
- 4 Whittle G L, Abdulrahman S Alshrhan. Dolomitization and chertification of the Earlu Eocene Rus Formation in Abu Dhabi, United Arab Emirates. Sed. Geol. 1994, 92: 273~285.
- 5 王亚烈, 海汶田, 李钟鸣, 臧广才, 贺玉贞. 沉积白云石形成条件的试验研究. 地球学报, 1996, 17(增刊): 112~119.

- 6 梅冥相等. 碳酸盐岩岩石学导论. 北京: 地质出版社, 1996.
- 7 王成述, 范开强, 尹占国. 北京西山中寒武统张夏组鲕粒特征及其环境意义. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1990, (22): 39~55.
- 8 章雨旭, 万渝生. 北京西山竹叶状灰岩的成因. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1990 (22): 56~64.
- 9 范开强, 尹占国, 王成述. 北京西山寒武统馒头组角砾岩成因. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1990 (22): 23~38.
- 10 章雨旭, 彭阳, 高林志. 北京西山寒武—奥陶系主要副层序类型及成因探讨. 地质论评, 1997, 43(2): 148~154.
- 11 Wang Chengshu, Zheng Yuxu, Gao Linzhi, Ji Qiang, Peng Yang, Wang Zongqi, Yao Jianxin, Tian Shugang. Sequence stratigraphy of Cambro-Ordovician carbonates in the Western Hills, Beijing, Field Trip Guide for 30th International Geological Congress-T202. In: Deng Naigong et al. ed. 30th International Geological Congress Field Trip Guide. Beijing: Geological Publishing House T202, 1~11.
- 12 季 强, 章雨旭. 从层序地层学研究试论华北地区寒武系与奥陶系分界. 地质论评, 1997, 43(3): 241~248.
- 13 彭 阳, 季 强, 章雨旭, 乔秀夫. 北京西山及邻区寒武系顶部微晶丘特征及层序地层学意义. 地质论评, 1998, 44(1): 35~43.

## Lower Paleozoic Dolomitization in Western Hills of Beijing and Its Adjacent Areas and Its Relationship with Sequence Stratigraphy

Peng Yang   Zhang Yuxu  
( Institute of Geology, CAGS, Beijing )

**Abstract** During the study of the Lower Paleozoic sequence stratigraphy in Western Hills of Beijing and its adjacent areas in the last decade, the authors studied dolomitization, its relation to sedimentary environments and sequence stratigraphy. Four new considerations are obtained as follows: ① According to the dolomitization in mud-stripe limestone, micrite limestone and grainstone, the existence of clay mineral (muds) was an important accelerant in dolomitization. ② The formation of the "abnormal debris-like limestone" in the lower part of Changping Formation in Western Hills of Beijing is related to dolomitization. ③ Trace fossils in bioturbated limestone have been heavily reformed by dolomitization. ④ Rudaceous structure and discontinuous ribbon structures in rudaceous oolite limestone are not necessarily primary structures and some of the "gravels" are products of penecontemporaneous dolomitization.

According to the formation condition of dolomite, the authors have reached the following conclusions: ① In the cycle of thick-bedded algae lamellar limestone-bioturbated limestone-dolomitic limestone-dolomite in Majiagou Formation, dolomite constitutes the top of this kind of parasequence. ② The upper part of Sanshanzi dolomite was formed during late HST at the end of Cambrian, and its correlated stratum, the micrite mound located along Beijing-Laiyuan-Hunyuan, is the sediment of LST. This suggests that when regression took place at the end of Cambrian, the areas where micrite mound is now located were sea areas, whereas the areas where Sanshanzi dolomite is now located were not sea areas. These viewpoints are valuable in studying sediment environments and sequence stratigraphy.

**Key words** dolomitization   Cambrian   Ordovician   Western Hills   Beijing and Its adjacent areas

