

华南地区栖霞组菊花状天青石的交代 及其地质意义*

颜佳新 施春华 李军虹

(中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074)

E H Carlson

(Department of Geology, Kent State University, Kent OH 44242-0001, U S A)

主题词 栖霞组 天青石 矿物交代

提 要 本文在收集大量菊花石标本的基础上,通过岩石薄片镜下鉴定及 X 射线衍射分析,识别了华南地区栖霞组菊花石假象内矿物的成因类型,建立了矿物交代序列,并通过对菊花石假象内各种矿物成分的电子探针分析和对交代方解石、脉方解石及其围岩的氧、碳同位素分析,探讨了菊花石交代过程中的成岩环境变化,合理地解释了菊花石内正延性玉髓和栖霞组内海泡石的成因。

华南地区栖霞组内菊花石是一种珍贵的石雕工艺品原料,在湖南浏阳地区的开采历史可能已有二百多年了^[1~2]。近二十多年的地质研究查明菊花石的原生矿物为天青石^[3~8],并已在华南地区栖霞组内发现了 20 多处菊花石露头点,其中绝大多数为天青石假象。虽然近年已有不少研究涉及菊花石假象内矿物学的研究^[2,7,9],但对菊花石假象内矿物的交代顺序和交代环境的演化仍知之甚少。对该假象内矿物成因类型及其形成顺序的研究,不仅对确定其原生矿物及其形成时间,而且对了解华南地区栖霞组成岩作用演化及其它成岩矿物的形成具有重要意义。华南地区栖霞组主要由生物碎屑灰岩组成,缺乏颗粒岩,给该组成岩作用的恢复造成了极大的困难。菊花石原生矿物形成于早期成岩作用过程中,并在随后的成岩作用过程中遭受改造,忠实地记录了该组岩石成岩环境的演变,是研究该组成岩作用的极好对象。另外,发育如此复杂又保存如此完好的矿物假象集合体在沉积岩中并不多见,对其交代序列的研究不仅可以为假象的原生矿物恢复提供一个良好的范例,而且也可以为在相似成因碳酸盐岩中寻找类似矿物假象提供有益的线索。而菊花石假象内正延性玉髓成因问题以及菊花石围岩中海泡石的成因与菊花石成因的关系问题等,将有助于对菊花状天青石后期交代的了解。

本文通过对湖南浏阳,湖北巴东和黄石,江西萍乡、上高和永丰,安徽石台,贵州清镇,广西来宾和重庆临水等地菊花石假象的岩石矿物学、地球化学研究,旨在确定有关矿物的生成顺序,分析相应的成岩环境变化,合理地解释正延性玉髓和海泡石及天青石在该组中的共生组合关系,并探索其地质意义。

* 本文由国家自然科学基金项目(批准号 49602030, 49972038)资助。

第一作者简介 颜佳新,男,1962 年生,博士,副教授,主要从事沉积学研究。

收稿日期 2000-05-15

1 地质概况

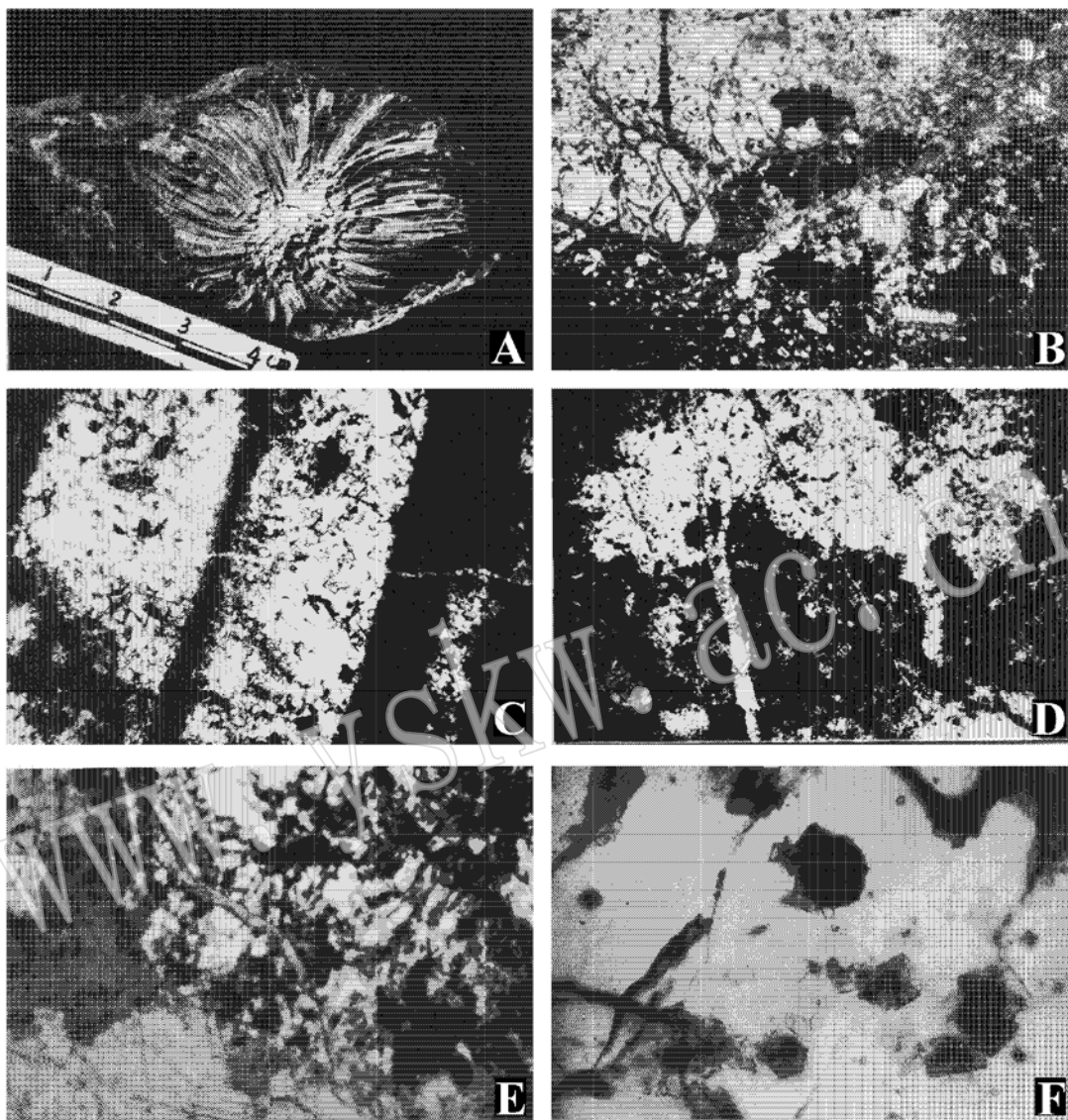
华南地区早二叠世栖霞组为一套含燧石结核的灰黑色生物碎屑灰岩,形成于盐度正常的浅水碳酸盐台地。已报道和发现的菊花石露头点包括:湖南省浏阳、泸溪和石门,江西省萍乡的桐木、慈化和上高、永丰,湖北省恩施的宣恩、巴东、蒲蘄、黄石,安徽省石台,重庆市临水,陕西宁强,贵州省中北部和广西来宾等 20 多处。露头一般含菊花石一至数层,在来宾地区栖霞组中,含菊花石的地层达 30 多层。含菊花石层主要集中于该组中部,厚度数十厘米至数米不等。菊花石球体直径多数为 5~10 cm(照片 A),个别大者直径可超过 50 cm。此前主要由天青石组成的菊花石报道见于浏阳和宁强(照片 A)^[1~2],此次研究发现黄石地区也有部分菊花石主要由天青石组成。通过对浏阳和黄石两地天青石样品的岩石薄片鉴定和 X 射线分析,这些天青石均系原生矿物。其它地区的菊花石中,微米级大小的天青石呈包体形式存在于后期交代矿物中,只能在电子显微镜下才能观察到,已不是构成菊花石的主要矿物,因而可以称为天青石假象(或菊花石假象)。

2 显微镜下特征

通过对 11 个产地的菊花石假象的岩石薄片显微镜观察,结合 X 射线分析,确定菊花石假象内主要矿物有:细粒暗色方解石、细粒明亮方解石、玉髓、粗大明亮方解石、白云石、自形方解石晶粒和脉方解石。由于其主要成分为方解石,因而如何确定各种方解石生成顺序则显得尤为重要。在此,交代序列的确定主要依据它们与方解石脉和玉髓脉的交切关系。在大多数菊花石假象中,均可识别出两期方解石脉:早期方解石脉较细,宽度仅为 0.1 mm 左右,由细粒方解石组成;后期方解石脉较粗,宽度 1~5 mm,由极粗粒方解石(粒径 1~3 mm)组成(照片 C、D)。粗方解石脉因切割假象内所有其它矿物,因而属最晚期成因(照片 E)。粗方解石脉发育时,明显在有些菊花石假象内产生溶解孔隙。孔隙内充填物为粗粒明亮方解石,发育典型的世代构造^[10]。

干净明亮方解石是假象内的主要矿物组分,在薄片内它们可以分为大小不等的两组,各自成片(相邻)分布,细者粒径数十微米,大者粒径数百微米(照片 C)。粗粒方解石往往与粗方解石脉相连,即与粗方解石脉同期(照片 E)。细粒方解石区明显被粗方解石脉所切割,可能与细方解石脉同期或稍晚,因为有些被细方解石脉切割,而另一些则显示出与细方解石逐渐过渡的特点。

细粒暗色方解石亦为成片分布。在显微镜下,由于视域较暗,粒径较小,晶体颗粒轮廓模糊(照片 D),估计粒径约数十微米。它们被玉髓脉和两期方解石脉切割,明显为最早期交代产物。显微镜下所见玉髓均为正延性玉髓(照片 E)。纤维状玉髓晶体放射状排列组成的球状集合体直径 0.1~0.7 mm。由于受方解石脉的切割及与之有关的方解石的交代,玉髓球状集合体多不完整,甚至呈孤立片状或飘带状分布于粗粒方解石区域内。两期方解石脉均明显切割玉髓。在玉髓脉以及玉髓球状集合体中,常常可以见到晶形完好的自形方解石晶体,粒径一般在 0.3 mm 左右(照片 F),部分小的晶体粒径仅 0.045 mm。偶尔可以见到自形方解石晶粒被粗方解石脉切割。细粒暗色方解石、玉髓及自形方解石晶粒和粗方解石



照片 A—菊花石(由天青石组成)标本照相,浏阳;照片 B—天青石充填于蛭化石内,显微照相,正交偏光 $\times 10$,浏阳;照片 C—菊花石假象显微照相,细粒和粗粒明亮方解石及方解石细脉,偏光 $\times 10$,来宾;照片 D—菊花石假象显微照相,暗色细粒方解石(灰黑色)、玉髓(视域中下部白色)和方解石脉(粗细两种),偏光 $\times 10$,来宾;照片 E—菊花石假象显微照相,粗粒方解石脉切割玉髓,正交偏光 $\times 10$ 来宾;照片 F—玉髓内自形方解石晶体,偏光 $\times 10$,来宾

脉亦见于主要由天青石组成的菊花石结核中,前两者直接交代天青石。另外,菊花石假象样品的 X 射线衍射分析表明,假象内含少量白云石。手标本在紫外线灯照射下基本不发荧光。

3 稳定氧、碳同位素分析

为确定菊花石中方解石交代物、方解石脉的形成时间和形成环境,选取了来宾、浏阳、永

丰、黄石和巴东菊花石样品 15 件, 分别对其中的假象内方解石、方解石脉及其围岩进行了氧、碳同位素分析, 同时还对巴东和黄石地区含菊花石层段 24 件围岩样品进行了氧、碳同位素分析(图 1)。从图 1 可以看出, 虽然围岩、菊花石假象和方解石脉的氧、碳同位素值投点区域稍有重叠, 但是三者各自特征仍极为清楚。菊花石假象内方解石呈现明显碳同位素负值和氧同位素中等负值, 显示了其早期成岩作用的特征。而脉方解石氧同位素特征为高负值, 显示了其晚期成岩作用成因特征。值得指出的是, 菊花石假象内方解石与脉方解石氧、碳同位素值投点区域的部分重叠, 有可能与取样有关, 至少是部分与此有关。因为取样时采用的是手工钻的方式, 难以精确区分菊花石假象内各期次方解石和脉方解石。脉方解石样品均采自粗方解石脉, 但是相对于采样而言, 粗脉仍然较窄, 因而个别氧同位素低负值数据有可能是混有少量围岩的结果。即便如此, 上述氧、碳同位素分析结果与显微镜下观察结果仍显示了惊人的一致性。

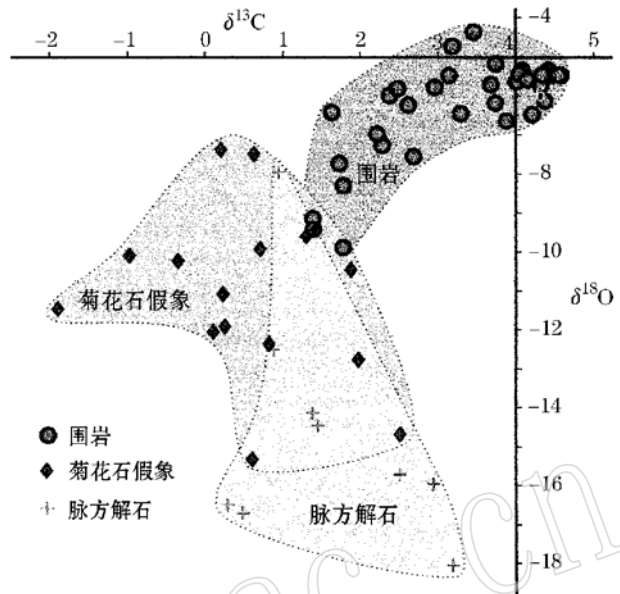


图 1 菊花石假象、围岩和脉方解石的氧、碳同位素特征
Fig. 1 C, O isotopic characteristics of chrysanthemum-shaped celestite, wall rock and vein calcite

4 电子探针分析和电镜扫描

电子探针成分分析主要针对显微镜下鉴定的矿物类型。分析结果(表 1)表明, 各种类型方解石的成分差别主要表现在 MgO 含量上, 其余成分差别不大或者规律不明显。根据方解石中的 MgO 含量, 结合显微镜下观察特征, 可以将菊花石假象内方解石分为早、晚两期: 早期为细粒暗色方解石、细方解石脉中的方解石和细粒干净明亮方解石, 其中 MgO 含量较高(平均值 > 0.5%), 不少测点的 MgO 含量达 2%~10%; 晚期形成的粗粒干净明亮方解石、玉髓内的自形方解石晶体以及粗方解石脉中的 MgO 含量明显较低。在扫描电镜下(用锶和硫进行成分扫描), 极小的天青石(粒径数微米)主要出现于早期形成的方解石和玉髓中。在晚期形成的方解石中见到的锶矿物主要为菱锶矿。类似情形亦见于来宾、永丰和宣恩菊花石样品中^[2,9]。

根据方解石生长的热力学实验分析, Mucci 和 Morse^[11]认为, 在 Mg^{2+}/Ca^{2+} 比值 1~20 的范围内, 新生方解石中的镁含量与溶液中 Mg^{2+}/Ca^{2+} 比值无关, 但其中的 $MgCO_3$ 含量与 $SrCO_3$ 含量线性相关。由于上述早期形成的方解石中发育的是天青石包体而非菱锶矿, Sr、Mg 含量无相关性, 因此分析结果中较高的 MgO 含量应与该类方解石中 $SrCO_3$ 含量无关。根据上述 X 射线衍射分析结果, 考虑到部分测点的 MgO 含量达 2%~10% 甚至更高的

特点, 有理由相信较高的 MgO 含量与细小白云石晶体发育有关。

表 1 华南栖霞组菊花石假象内各种交代矿物的化学成分

$w_B/10^{-2}$

Table 1 Chemical composition of replacement calcites, chalcedony, vein calcites determined by electron microprobe analysis

矿物	SiO ₂	SrO	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	BaO
细粒暗色方解石(12)	0.09	0.18	0.01	0.03	0.01	1.10	55.50	0.05	0.02	0.01
细粒明亮方解石(7)	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.50	55.59	0.02	0.01	0.01
粗粒明亮方解石(18)	0.01	0.15	0.00	0.03	0.03	0.26	54.71	0.04	0.01	0.02
细方解石脉(5)	0.00	0.67	0.01	0.07	0.03	0.71	54.34	0.09	0.03	0.03
粗方解石脉(7)	0.00	0.00	0.00	0.13	0.01	0.22	54.53	0.07	0.00	0.04
玉髓内方解石(9)	2.08	0.00	0.02	0.02	0.01	0.34	55.18	0.08	0.04	0.01
天青石内方解石(4)	0.01	0.00	0.06	0.02	0.01	0.64	54.49	0.06	0.01	0.00
玉髓(10)	97.06	0.35	0.06	0.01	0.01	0.00	0.04	0.04	0.03	0.01

注: 分析由中国地质大学测试中心杨勇完成, 分析电压 15kV, 电流 2×10^{-8} A; 表中数据均为平均值, 圆括号内数字为探针分析点数; 测试样品选自来宾、黄石、浏阳和巴东地区的菊花石。

5 矿物交代序列及地质意义探讨

结合显微镜下观察特点, 菊花石假象内的矿物交代顺序为: 天青石 → 细粒暗色方解石 → 正延性玉髓 → 细粒明亮方解石 → 自形方解石晶体(玉髓内) → 粗大明亮方解石, 其中细粒和粗粒明亮方解石分别对应细方解石脉和粗方解石脉。但是不排除玉髓也可以是最早期交代物的可能性, 因为在主要由原生天青石组成的菊花石中, 常常可以观察到玉髓直接交代天青石, 而且暗色细粒方解石并非发育于所有样品中。根据镜下观察结果, 细粒明亮方解石形成于早期细方解石脉发育期间, 它们可能是通过早期形成的暗色细粒方解石的溶解一再沉淀或重结晶形成, 也有可能是直接交代天青石而成。显微镜下特征和氧、碳同位素以及电子探针分析结果一致表明, 粗方解石脉属晚期成因, 相应地菊花石假象内粗粒明亮方解石也为最晚期交代矿物。玉髓内自形方解石晶粒形成时间比其略早, 但晚于细粒明亮方解石。

值得指出的是正延性玉髓在本区菊花石假象内的出现。正延性玉髓(Length_slow chalcedony or quartzine)^[12] 在沉积岩中极为罕见, 它的形成可能与富含硫酸根离子的流体有关^[13], 因为它们常常以交代物形式出现于石膏、硬石膏结核中^[14~22]。此外它们亦常常分布于干旱气候条件下形成的硅结壳中^[23], 因此正延性玉髓或正延性玉髓与天青石的矿物组合曾一度被认为是判断高蒸发沉积环境的可靠标志^[13, 15, 24], 甚至有学者认为上述气候条件或高蒸发沉积环境可能是产生栖霞组正延性玉髓的主要因素^[25]。可是众多沉积学和古生物学证据表明, 华南栖霞组碳酸盐沉积形成于盐度正常的浅水碳酸盐台地, 不存在高盐度的沉积条件, 也不可能形成高盐度的成岩环境条件, 因此有必要对正延性玉髓的形成条件做一简略探讨。

在北美达拉华盆地二叠纪碳酸盐浊积岩中, 正延性玉髓往往只交代由高镁方解石矿物组成的生物介壳, 并与白云石晶体同时形成^[26]。类似现象也见于其它时期碳酸盐沉积中^[27]。干旱气候条件下的碱性沉积环境中亦不乏 Mg²⁺ 的存在, 因而 Folk 认为高镁离子浓度在正延性玉髓的形成中也发挥了重要作用^[28]。在非蒸发成因的北太平洋白垩纪一始新

世深海沉积物中,发育有正延性玉髓与重晶石及白云石晶体组成的矿物共生组合,集中体现了富含硫酸根和镁离子的流体环境与正延性玉髓形成之间的密切关系^[29]。因而不能仅根据正延性玉髓的出现断定沉积环境的蒸发条件。在栖霞组菊花石假象内,虽然矿物组合有些不同,但其中正延性玉髓形成环境与上述实例存在惊人的相似之处。流体中高硫酸根离子浓度可以通过天青石的溶解达到,流体中较高的镁离子浓度可由早期形成的方解石中普遍存在细小白云石晶体所证实。

综合上述电子探针分析结果和正延性玉髓成因分析,很明显应该将菊花石内矿物交代过程分为早晚两期:早期包括细粒暗色方解石、正延性玉髓、细粒明亮方解石和方解石细脉的形成过程,指示高 Mg^{2+}/Ca^{2+} 比值和富硅质的流体环境;晚期包括玉髓内自形方解石晶粒、粗粒明亮方解石和粗方解石脉的形成,成岩环境中 Mg^{2+}/Ca^{2+} 比值相对较低。天青石在早期交代矿物中的出现和菱锶矿在晚期交代矿物中的出现清楚地表明,在天青石的交代过程中,成岩流体化学成分发生了由硫酸根型向碳酸根型的转变。

另一值得讨论的是栖霞组内菊花石与海泡石的共生组合关系。这一共生关系在浏阳地区表现极为明显,以致菊花石被视为海泡石的找矿标志^[1,3,5]。与正延性玉髓一样,沉积岩中的海泡石也常常产出于半干旱的碱性沉积环境中^[30]。所以,也有学者将海泡石视为另一个支持栖霞组内天青石形成于干旱环境的证据。同时有学者认为,菊花石假象内正延性玉髓所需的硅质来自于晚期成岩作用过程中海泡石向滑石的转化。此外,形成海泡石的硅质和镁质来源也一直是困扰该组海泡石成因研究的难题^[31,32]。

根据海泡石交代生物介壳的特点^[32],海泡石应为早期成岩作用产物,而非直接沉淀形成,其形成时间应晚于菊花石假象原生矿物——天青石的沉淀,因为从未见天青石交代生物介壳,而只观察到天青石充填于生物碎屑孔隙中(照片B),说明天青石沉淀时,大多数生物碎屑内部孔隙仍未被成岩胶结物阻塞,而海泡石形成时,生物碎屑内部和生物碎屑之间的空隙已完全被胶结物填满。根据上述菊花石假象交代序列的确定和对其成岩环境的推断,海泡石形成所需的富硅质和镁质的流体环境正是天青石遭受早期交代改造的成岩环境,即海泡石的形成与天青石的早期交代是同期的。

沉积学证据表明,广泛分布于栖霞组的燧石结核形成于早期成岩作用过程中,其硅质来源于硅质生物碎屑的溶解^[7]。从燧石结核包裹菊花石的特征判断,燧石结核的形成也晚于菊花状天青石的形成,很可能与正延性玉髓的形成同期。根据上述分析,燧石结核、菊花石内正延性玉髓和海泡石的形成均应是同期的,其硅质来源也是同源的。

因此,形成正延性玉髓所需的硅质不可能来自于海泡石向滑石的转化(此矿物转化应发生于晚期深埋成岩作用过程中)。菊花石假象内正延性玉髓的形成和菊花石围岩中海泡石的形成均与早期成岩作用过程中富含 Mg^{2+} 的流体有关,而与“高盐度”的成岩环境和热液活动无关。类似实例也见于美国佛罗里达中新世海湾相沉积物中^[33],不过该地出现的是坡缕石而不是海泡石。根据对菊花石成因研究,成岩早期孔隙流体中富 Mg^{2+} 环境的产生与碳酸盐矿物稳定转化有关,如高镁方解石向低镁方解石的转化,对此将另文专述。

6 结 论

本文通过对广泛收集的华南地区栖霞组菊花石假象的岩石薄片镜下鉴定、X射线衍射

分析、氧、碳同位素分析和电子探针分析, 确定了菊花石假象内矿物的交代序列, 恢复了菊花状天青石在交代作用过程中的成岩环境变化。天青石的交代始自早期成岩作用阶段, 早期交代矿物细粒暗色方解石、正延性玉髓和细粒明亮方解石形成于富硫酸根和富镁的成岩环境, 围岩中燧石结核和海泡石的形成与此同期。假象内正延性玉髓和围岩中海泡石的形成与高盐度沉积、成岩环境无关, 其硅质来源与广泛分布于华南地区栖霞组内的燧石结核相同。晚期交代矿物包括粗大明亮方解石和分布于正延性玉髓内的自形方解石晶粒, 它们形成于 Mg^{2+}/Ca^{2+} 比值相对较低的碳酸盐型流体环境。该交代序列及相关成岩环境的确定不仅对研究栖霞组内菊花状天青石的成因、栖霞组的成岩作用, 而且对深入理解正延性玉髓和海泡石的成因均具有重要意义。

致谢: 本文电子探针分析由中国地质大学(武汉)测试中心杨勇完成, 氧、碳同位素分析由方念乔、黄俊华和胡超涌完成, 重庆临水菊花石样品由童金南提供。在此致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 刘德镒. 浏阳式菊花石的特征及其地质意义. 岩相古地理, 1988, 8(3~4): 40~49.
- 2 张刚生, 李家珍. 中国菊花石的矿物组成特征. 矿产与地质, 1998, 12(5): 294~301.
- 3 郑瑞凡. 浏阳菊花石矿物学特征及成因研究. 湖南地质, 1985, 4(4): 21~25.
- 4 方鄯森, 方金满, 袁旭音. 湖南浏阳永和碳酸盐岩中的天青石. 沉积学报, 1988, 16(3): 11~17.
- 5 Fang Yesen, Yuan Xuyin. Discovery of the chrysanthemum-shaped celestite in the Permian carbonates of Pingxiang-Leping Depression of Jiangxi Province. Chinese Science Bulletin, 1991, 36(14): 1199~1201.
- 6 方鄯森, 袁旭音. 赣西湘东菊花状天青石的特征及其成因. 岩石矿物学杂志, 1993, 12(4): 341~347.
- 7 沙庆安, 吴望始, 傅家谟. 黔桂地区二叠系综合研究——兼论含油气性. 北京: 科学出版社, 1990, 1~215.
- 8 颜佳新, 伍明, 李方林, 等. 湖北省巴东栖霞组沉积成岩作用地球化学特征研究. 沉积学报, 1998, 16(4): 78~84.
- 9 李军虹, 赵珊珊, 颜佳新. 广西来宾菊花石的矿物学研究. 地质科技情报, 1999, 18(4): 55~58.
- 10 颜佳新. 论华南栖霞组中的菊花石. 岩相古地理, 1992, 12(1): 47~51.
- 11 Mucci A, Morse J W. The incorporation of Mg^{2+} and Sr^{2+} into calcite overgrowths: influences of growth rate and solution composition. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1983, 47: 217~233.
- 12 Florke O W, Graetsch H, Martin B, et al. Nomenclature of micro- and non-crystalline silica minerals, based on structure and microstructure. Neues Jahrb Mineral Abh, 1991, 163: 19~42.
- 13 Folk R L, Pittman J S. Length-slow chalcedony: a new testament for vanished evaporites. J. Sed. Petrology, 1971, 41(4): 1045~1058.
- 14 Siedlecka A. Length-slow chalcedony and relicts of sulphates—evidences of evaporitic environments in the Upper Carboniferous and Permian beds of Bear Island, Svalbard. J. Sed. Petrology, 1972, 42(4): 812~816.
- 15 West I. Vanished evaporites—significance of strontium minerals. J. Sed. Petrology, 1973, 43(1): 278~279.
- 16 Chowns T M, Elkins J E. The origin of quartz geodes and cauliflower cherts through the silicification of anhydrite nodules. J. Sed. Petrology, 1974, 44(3): 885~903.
- 17 Tucker M. Quartz replaced anhydrite nodules (“Bristol Diamonds”) from the Triassic of the Bristol District. Geol. Mag., 1976, 113(6): 569~574.
- 18 Milliken K L. The silicified evaporites syndrome—two aspects of silicification history of former evaporite nodules from southern Kentucky and northern Tennessee. J. Sed. Petrology, 1979, 49(1): 245~256.

- 19 Shukla V, Friedman G M. An unusual occurrence of surficial anhydrite in a moist temperate zone: example from the Lockport Formation (Middle Silurian) of New York. *Sed. Geol.*, 1981, 29: 125~ 131.
- 20 Elorza J and Rodriguez_Lazaro J. Late Cretaceous Quartz geodes after anhydrite from Burgos, Spain. *Geol. Mag.*, 1984, 121(2): 107~ 113.
- 21 Maliva R G. Quartz Geodes: Early diagenetic silicified anhydrite nodules related to dolomitization. *J. Sed. Petrology*, 1987, 57(6): 1054~ 1059.
- 22 秦震. 重庆地区天青石型锶矿床成矿特征. *成都理工学院学报*, 1998, 25(2): 224~ 232.
- 23 Ross G M, Chiarenzelli J R. Paleoclimatic significance of widespread Proterozoic silcretes in the Bear and Churchill Provinces of the northwestern Canadian Shield. *J. Sed. Petrology*, 1985, 55(2): 196~ 204.
- 24 Hattori I. Length_slow chalcedony in sedimentary rocks of the Mesozoic allochthonous terrane in central Japan and its use for tectonic synthesis. In: Hein J R, Obradovic J, eds. *Siliceous deposits of the Tethys and Pacific regions*. Springer, Berlin, 1989, 201~ 215.
- 25 朱嗣昭, 方郢森, 袁旭音. 赣西湘东地区下二叠统沉积中水玉髓的研究. 见: 王英华, 鲍志东, 朱筱敏编. *沉积学及岩相古地理学新进展*. 北京: 石油工业出版社, 1995, 53~ 55.
- 26 Jacka A D. Replacement of fossils by length_slow chalcedony and associated dolomitization. *J. Sed. Petrology*, 1974, 44(2): 421~ 427.
- 27 Hatfield C B. Discussion: replacement of fossils by length_slow chalcedony and associated dolomitization. *J. Sed. Petrology*, 1975, 45: 951~ 952.
- 28 Folk R L. Third_party reply to Hatfield: Discussion of Jacka A D, 1974, Fossils by length_slow chalcedony and associated dolomitization. *J. Sed. Petrology*. 1975. 45: 952.
- 29 Keene J B. Chalcedonic quartz and occurrence of quartzine (length_slow chalcedony) in pelagic sediments. *Sedimentology*, 1983, 30: 449~ 454.
- 30 Callen R A. Clays of the palygorskite-sepiolite group: depositional environment, age and distribution. In: Singer A and Galet E, eds. *Palygorskite-Sepiolite*. Elsevier Scientific Publishing Company, 1984, 1~ 37.
- 31 章人俊, 邱翠微, 彭长琪, 等. 湖南醴陵地区镁质粘土的特征及成因讨论. *中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊*, 1985(9): 1~ 13.
- 32 杨振强, 许俊文. 萍乐坳陷海泡石的形成及后期变化. *中国地质科学院宜昌地质矿产研究所所刊*, 1986(12): 31~ 51.
- 33 Strom R N, Upchurch S B, Rosenzweig A. Paragenesis of "box_work Geodes", Tampa Bay, Florida. *Sed. Geol.*, 1981, 30: 275~ 289.

Replacement of Chrysanthemum-Shaped Celestite in the Chihsia Formation of South China and Its Geological Implications

Yan Jiabin, Shi Chunhua, Li Junhong
(China University of Geosciences, Wuhan 430074)

E H Carlson

(Department of Geology, Kent State University, Kent OH 44242-0001, U S A)

Key words: Chihsia Formation; celestite; replacement

Abstract

Chrysanthemum-shaped celestite is a diagenetic nodule widely distributed in the Permian Chihsia Formation of South China. As precipitated in the very early diagenesis and replaced by subsequent diagenesis, most of the celestite nodules are pseudomorphs dominantly composed of calcite, chalcedony and minor dolomite. This paper deals with the establishment of a replacement succession in the pseudomorph and the evolution of related diagenetic environments. The replacement initiated in very early diagenesis by fine cloudy calcite, followed by length-slow chalcedony and fine granular calcite. The last two components originated respectively from an episode of chalcedony veining and a calcite veining. Celestite was also noted replaced directly by chalcedony. These replacements took place in fluids rich in silica and Mg^{2+} , revealed by microprobe analyses on the replacement calcite and the occurrence of length-slow chalcedony. Chert nodules and sepiolite in the host rock were contemporary. Late replacements include euhedral calcite crystals in the chalcedony and coarse granular calcite that stemmed from an episode of calcite veining, resulting from diagenetic fluids with relative low Mg^{2+} / Ca^{2+} ratio.