

文章编号: 1000-0550(2007) 05-0730-07

华南地区二叠纪栖霞组燧石结核成因研究及其地质意义

刘新宇¹ 颜佳新^{1,2}

(中国地质大学地球科学学院 武汉 430074; 2. 生物地质与环境地质教育部重点实验室 武汉 430074)

摘要 燧石结核是华南地区二叠纪栖霞组的重要识别特征之一,其成因具重要的古地理、古海洋意义。通过对湖北黄石、江苏南京和广西来宾三地栖霞组燧石结核的岩石矿物学研究,确定了栖霞组燧石结核的矿物组成和成岩作用序列。研究区燧石结核主要由微石英、负延性玉髓、粗晶石英组成,并含少量白云石、方解石及生物碎屑。其中,微石英、负延性玉髓、正延性玉髓、白云石形成于早期成岩作用,方解石晶粒形成于晚期成岩作用,粗晶石英的形成则具有多期性。结合栖霞组菊花状天青石和海泡石成因研究结果,本文认为组成栖霞组燧石结核的硅质来源与当时全球硅质生物的繁盛有关。燧石结核内玉髓和白云石形成环境条件及形成时间的确定,为建立更加合理的燧石结核成因模式和白云岩化模式提供了重要资料,同时也对深入探讨本区二叠纪层状硅质岩的成因具启发意义。

关键词 栖霞组 燧石结核 玉髓 成岩作用

第一作者简介 刘新宇 男 1981 年出生 地层与古生物 E-mail: dujiaojing@126.com

中图分类号 P588.2 P575 文献标识码 A

1 前言

通过对西特提斯—西太平洋—北美西部外来地体中的硅质岩地层以及联合古大陆西北部地层的研究发现,二叠纪萨克马尔阶开始至晚二叠世,是一个生物成因硅质沉积的高峰期,被称为二叠纪硅质沉积事件(Pemian Chert Event—PCE),该事件被认为具有全球性^[1,2]。华南地区二叠纪栖霞组普遍发育有硅化的化石、燧石结核及层状的硅质岩,但前些年提出的硅质岩热液水成因模式使人认为组成栖霞组燧石结核的 SiO_2 来源于热液活动或火山活动^[3-6], 一些人则认为这些燧石结核是溶解大量硅质生物壳的富 SiO_2 海水或者硅质壳微体生物被上升流由深海带到浅海,经沉淀形成富硅的沉积物^[7,8]。因此,对于栖霞组燧石结核的硅质来源及成因模式尚有不同的意见。

根据燧石结核的形态特征及它们与层理和遗迹化石的关系,栖霞组燧石结核应当形成于早期成岩作用阶段^[9-11]。在栖霞组菊花石内,正延性玉髓在硫酸盐还原阶段的后期开始交代天青石^[12]。若燧石结核形成与之同期,则燧石结核的形成始于沉积后不久。Mu 和 Riding 对南京栖霞组硅化钙藻化石观察表明,化石的硅化相对较晚,晚于沥青质的形成^[13]。若化石的硅化与燧石结核的形成同期,则燧石结核的形成

可晚至深埋成岩阶段。显然,目前对于栖霞组燧石结核的形成时间也存在分歧。

最近 Yan 和 Carlson, Yan 等,通过研究栖霞组特有的菊花石和海泡石的成因,建立了栖霞组较为精细的成岩作用序列^[14,15],为确定栖霞组燧石结核有关矿物组分的形成时间和成因奠定了基础。本文将通过对湖北黄石、江苏南京、广西来宾三地栖霞组燧石结核岩石矿物学特征研究,确定有关矿物的生成顺序和成岩环境演变,探讨栖霞组燧石结核的成因及其地质意义。

2 地质概况

华南地区二叠纪栖霞组为一套含燧石结核的灰黑色生物碎屑岩,形成于盐度正常的浅水碳酸盐台地^[16,17]。根据岩性和生物化石组合,该组地层在扬子地区可划分为 4 段^[18,19](由下至上):臭灰岩段、下硅质岩段、含燧石灰岩段、上硅质岩段。燧石结核集中于含燧石灰岩段,厚度 60~80 m(见图 1)。黄石地区栖霞组分段不明显,燧石结核出露于该组中上部。

燧石结核形状以透镜状为主,直径多数为 5~10 cm,小者直径约 1.5 cm(图版 -A),个别燧石结核直径可超过 30 cm,形态不规则。在剖面上,大多数燧石结核以长轴方向平行层面排列,断续分布于岩层

中,并可延伸较大的距离。在垂向上,燧石结核往往集中成层。在燧石结核的上部和下部,由生物碎屑定向排列和缝溶层指示的沉积层理常发生弯曲,显示出成岩压实作用的影响。此外,笔者在来宾红水河剖面

观察到燧石结核由中部截然裂开,其周围和裂开处有微细层理绕过(图版 -B),证明燧石结核形成于压实作用之前的早期成岩作用。在南京孔山剖面,燧石结核外部常包裹有一层海泡石环边(图版 -A)。

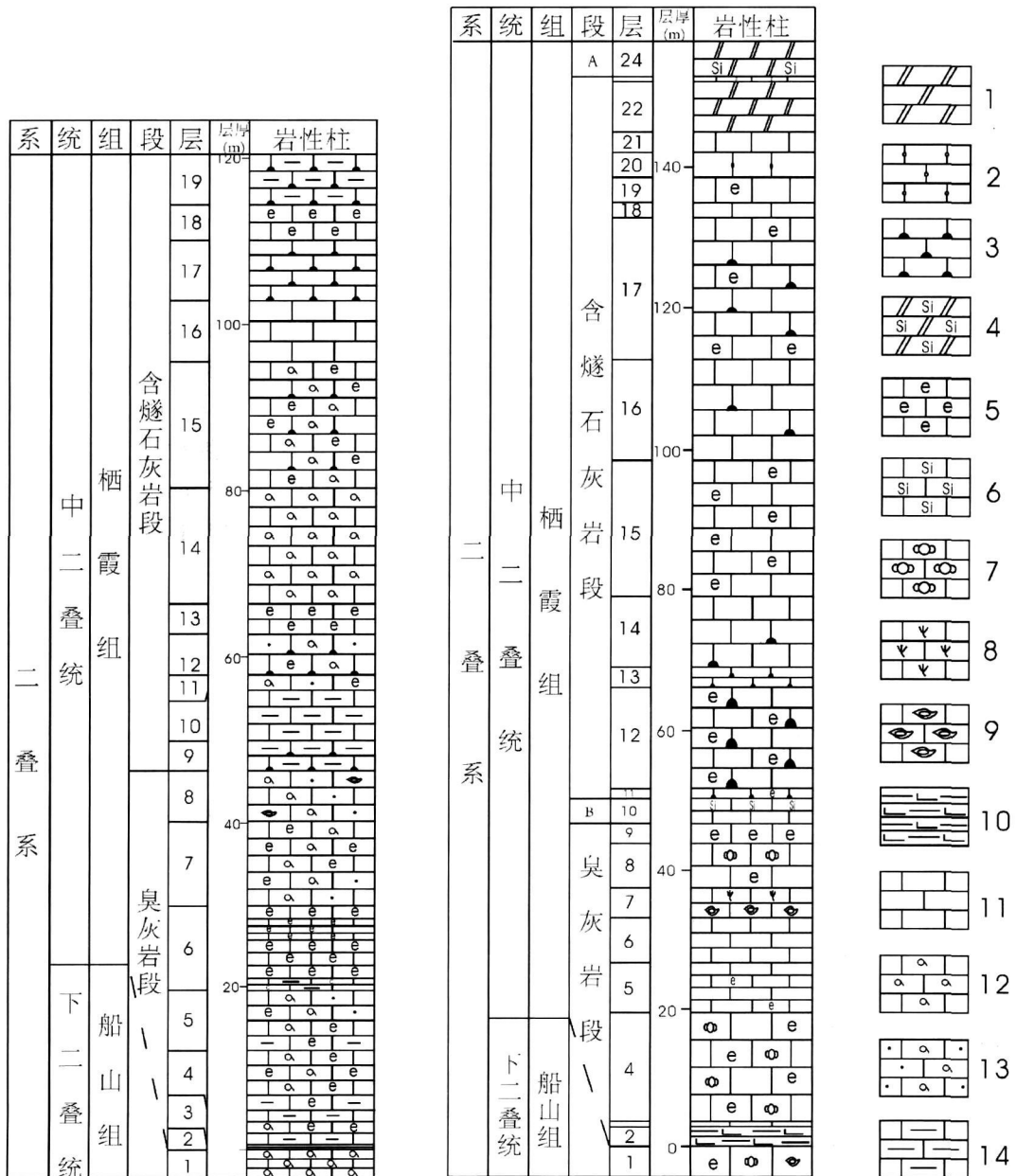


图 1 二叠系栖霞组地层剖面柱状图(左:黄石大路沟;右:南京湖山,据 [19])

- 1. 白云岩; 2 亮晶灰岩; 3 含燧石结核灰岩; 4. 硅质白云岩; 5 生物碎屑灰岩; 6. 硅质灰岩; 7. 含海百合茎灰岩;
- 8 含有孔虫灰岩; 9 含 灰岩; 10 钙质页岩; 11. 灰岩; 12 粒泥灰岩; 13. 泥粒灰岩; 14 泥质灰岩

A. 栖霞组上硅质岩段 B. 栖霞组下硅质岩段

Fig 1 The stratigraphic column of Permian Chhisia Formation in Dalugou Huangshi (left), Hushan Nanjing(right) After [19].

- 1. dolomite; 2 sparry limestone; 3 limestone with nodular cherts; 4 siliceous dolomite; 5. bioclastic limestone
- 6 siliceous limestone; 7. crinoid-bearing limestone; 8 foraminifer-bearing limestone
- 9 fusulinid-bearing limestone; 10 calcareous shale; 11 limestone; 12 wackestone; 13 packstone
- 14. A. upper siliceous horizon of Chhisia Formation; B. lower siliceous horizon of Chhisia Formation

3 燧石结核的矿物组成

在光学显微镜下,组成燧石结核的主要矿物包括硅质矿物和非硅质矿物两类,前者可占矿物总量的 90% 以上。其中硅质矿物根据其形态可划分为,等粒状石英 (equigranular types): 微石英 (microquartz)、粗晶石英 (megaquartz), 纤维状石英 (fibrous types): 负延性玉髓 (length-fast chalcedony)、正延性玉髓 (length-slow chalcedony 或 quartzine)^[20]。非硅质矿物包括白云石菱面体和方解石晶粒。

微石英在单偏光下呈浅褐色、正交镜下为暗灰色,针点状消光,粒径 5~20 μm,它们构成燧石结核的主体。从形态上看,它们的原生矿物是放射状排列的蛋白石组成的小的集合体 (sphenelite),经成岩作用而转变为微石英。观察中发现这种小的集合体直径 45~70 μm,它们往往紧密地堆积在生物体腔内部 (图版 -C)。由于这些集合体的外形没有发生变化,因此推断由蛋白石向石英的转变的是固态过程^[21]。

粗晶石英在单偏光下呈无色透明,正交镜下为明亮而纯净的灰白-灰色,粒径 20~200 μm,充填裂隙、生物体腔内部或者交代介形虫或腕足类生物碎屑。在充填裂隙或生物体腔内部时,往往呈现由边缘至中心粒径逐渐加大的特征。

负延性玉髓在单偏光下无色,正交镜下为一级灰白-淡黄色,在最大干涉色时推入石英楔呈二级蓝绿-一级绿。一般情况下负延性玉髓以集合体形式出现,按其集合体形态可分为短柱状、束状、球状。短柱状玉髓集合体,一般呈刷状排列,交代生物介壳外部边缘,呈纤状消光。束状玉髓集合体,常呈斑块状分布,充填裂隙、生物体腔内部,呈波状消光 (图版 -D)。球状玉髓集合体,常交代介形虫或腕足类生物碎屑,呈十字消光。

正延性玉髓在单偏光下无色,正交镜下为一级灰色,在最大干涉色时推入石英楔呈二级橙。正延性玉髓在本次研究的栖霞组燧石结核中仅发现一例,但在燧石结核周围的碳酸盐岩中普遍发育,交代了早期原生矿物天青石,形成了栖霞组特有的菊花石。

自形白云石菱面体,晶形保存完好 (图版 -E),但大多为假象,现主要由方解石晶粒组成。有些方解石晶粒干净明亮,有些则轮廓和内部均较模糊,明显为退白云岩化的结果。本次研究中还发现燧石结核内较小的白云石菱面体往往镶嵌在较大的菱面体边

缘,说明白云岩化的多期性。粗大明亮方解石晶粒往往与后期方解石脉有关。

此外,在光学显微镜下还可识别出丰富的生物碎屑,包括腕足、介形虫、纺锤虫类有孔虫、藻类、海绵骨针 (图版 -F) 和软体动物介壳等。它们大多已不同程度地硅化。

4 矿物形成序列

上述矿物之间的接触关系以及它们与方解石脉的交切关系,是判断它们生成顺序的重要依据。在栖霞组菊花状天青石假象中,发育粗、细两期方解石脉,它们的稳定氧、碳同位素特征表明,它们形成于晚期成岩作用阶段^[22]; 它们的 Sr 同位素特征表明,组成方解石脉的物质来源于栖霞组内部^[14]。与之类似,在大多数燧石结核中均可识别出两期方解石脉,不过在它们之间还发育一期细粒石英脉。前期方解石脉较细,宽度为 0.05~0.15 mm,由细粒方解石组成 (图版 -E); 石英脉比前期方解石脉稍宽,大约在 0.2~0.35 mm,主要由粗晶石英组成; 后期方解石脉较粗,宽度在 1.5~5.5 mm,由极粗粒明亮方解石 (粒径 > 1 mm) 组成。粗方解石脉因切割燧石内所有其他矿物,因而属最晚期成因。

Folk 等在研究燧石结核时发现,在成岩压实作用之前的早期成岩作用过程中,微石英最先形成并构成燧石结核的基底; 随后孔隙中排列纤维状玉髓,它们以稍慢于微石英的速率生成; 最后由粗晶石英填满孔隙,它们的生成速率最慢^[23]。本次研究也识别出相同的矿物形成序列。此外,在某些标本中还发现充填孔隙的粗晶石英被上述较细的方解石脉切割。据 Folk 等的研究,粗晶石英的结晶是在低浓度硅的环境下完成^[23]。因此,粗晶石英既可能是早期充填孔隙的自生矿物,也可能是成岩过程晚期由硅质矿物溶解再沉淀所形成,既粗晶石英的形成具有多期性。

值得注意的是,本次研究观察到充填孔隙、生物体腔的玉髓绝大多数为负延性。虽然由正延性玉髓充填生物体腔的情况也出现一例,但这也可能是硅质交代作用受到了体腔内部结构的影响^[24],或者由于该种生物体内物质溶解时造成局部化学环境的变化,比如硫酸根的富集,而这显然有利于正延性玉髓的形成^[23]。目前还没有明显的证据表明正、负延性玉髓在同一个孔隙或生物体腔内共存,因而无法直接判断它们形成的先后顺序。但是,研究中同时发现,被正延性玉髓交代的的天青石假晶被包裹在燧石结核当中,

说明天青石的形成应该早于燧石结核。另一方面,野外观察发现燧石结核外部常包裹有一层海泡石环边,说明燧石结核的形成应该早于海泡石,或者与海泡石的形成同时。而天青石和海泡石的形成,是在沉积物堆积以后,硫酸盐还原阶段的早期或之前,由文石和高镁方解石的成岩稳定转化所导致,天青石在硫酸盐还原阶段晚期开始被溶解,并由正延性玉髓充填和交代^[12]。据此推测,燧石结核的形成也应在硫酸盐还原阶段的早期或之前,如果充填裂隙、生物体腔或交代生物碎屑的负延性玉髓与燧石结核的形成在同一时期,那么负延性玉髓的形成应早于正延性玉髓。

早期成岩作用中形成相对较晚的是自形白云石晶体。在新生代富有机质的碳酸盐沉积中,类似白云石极为普遍,在有些沉积物中的含量可达 70%。它们形成于硫酸盐还原阶段的后期—甲烷形成阶段^[25-28]。本次研究发现燧石结核内较小的白云石菱面体往往镶嵌在较大的菱面体边缘,说明燧石结核中的白云石可能主要形成于甲烷形成阶段,但具有多期性。

Migaszewski 等在研究波兰中南部牛津阶—基末利阶碳酸盐地层中的燧石结核时,并未发现微石英的前身——蛋白石-A (opa+A) 或蛋白石-CT (opa+CT), 但镜下观察到的海绵骨针确是源于非结晶质硅 (opa+A) 的石英针状体假象, 这些非结晶质硅需要先转化为蛋白石-CT, 而后重结晶为石英^[29]。在本次镜下观察中虽然也没有发现蛋白石-A 或蛋白石-CT, 但是在大部分生物体腔或燧石基质中都存在紧密堆积的球形微石英集合体, 这些集合体的直径多数在 45~75 μm 。深海钻探计划 (DSDP) 钻孔中常观察到直径大约为 50 μm 蛋白石球粒, 它们是由直径小于 5 μm 的蛋白石单体在过饱和浓度下逐渐聚合而成的, 这些蛋白石球粒最终转化为石英^[20]。栖霞组燧石结核中球形微石英集合体的存在及其与深海钻探发现的蛋白石球粒相似的粒径值表明, 本次研究的燧石结核其硅质矿物最初可能为蛋白石, 并经过蛋白石-A 到蛋白石-CT, 再到石英的转化。

综合上面的论述, 我们建立了一个相对完整的燧石结核成岩作用序列 (图 2), 即蛋白石—蛋白石-CT—微石英—负延性玉髓—正延性玉髓—粗晶石英、白云石、粒状方解石, 在这个序列当中, 粗晶石英、白云石、粒状方解石的形成具有多期性。

5 有关燧石结核成因意义的讨论

栖霞组燧石结核成岩作用序列的确定具广泛的

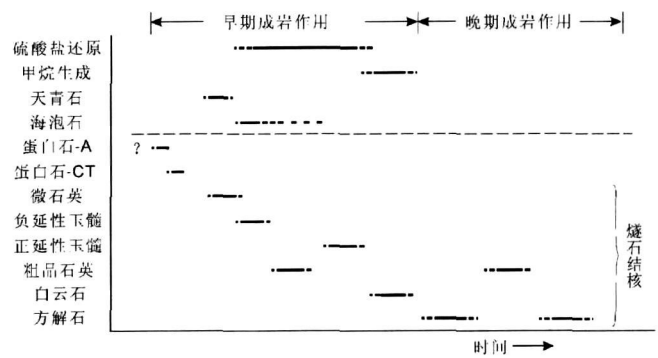


图 2 栖霞组燧石结核内各矿物的形成序列

Fig 2 Diagenetic sequence of minerals in the nodular chert of the Chihsia Formation

地质意义。首先, 形成燧石结核的硅质来源及成因模式问题。大多数研究认为形成燧石结核的硅质来源于生物壳^[20, 30, 31], 并指出生物化学作用形成的氧化硅与硅酸盐沉积物一起, 在成岩分异过程中发生溶解富集并交代碳酸盐沉积物^[10, 32, 33]。但是前几年硅质岩热液水成因模式的提出, 也使人们想到了栖霞组燧石结核的成因问题, 认为组成燧石结核的 SiO_2 来源于热液活动或火山活动^[3-6]。二叠纪萨克马尔阶开始至晚二叠世, 是一个全球生物成因硅质沉积的高峰期, 被称为二叠纪硅质沉积事件 (Permian Chert Event—PCE)^[14, 21], 同期原生沉积物中不乏硅质。栖霞组海泡石 (一种富 Si/Mg 的粘土矿物) 和天青石成因研究结果, 都有力地否定了热液活动对栖霞组成岩作用的影响^[14, 15]。本次研究在燧石结核内发现了大量保存较好的海绵骨针 (图版 -F), 支持上述非热液成因的结论, 同时也说明即使原始硅质来源于与深大断裂有关的热液水, 也得通过生物作用吸收、沉淀和成岩稳定转化。

其次, 燧石结核成因模式问题。借鉴白云岩化模式, 经典的 Knauth 海水—淡水混合燧石结核成因模式强调淡水的影响^[34], 认为溶解大量硅质生物壳的富 SiO_2 海水或者硅质壳微体生物被上升流由深海带到浅海, 经沉淀形成富硅的沉积物。该模式曾被用于解释华南二叠纪地层中大量的燧石结核和硅质层^[7, 8], 但是没有任何证据表明, 栖霞组燧石结核形成过程中受过淡水—海水混合水的影响。因为在燧石结核形成之前的菊花状天青石结核形成阶段, 都不可能明显的淡水、甚至海水的循环影响。否则文石稳定转换提供的 Sr^{2+} 将由此流失^[14]。类似地, 正延性玉髓之后的白云石也是在相对封闭的条件下形成

的。同时栖霞组内层纹状灰岩和块状灰岩组成的韵律可以解释为暖水沉积现象,也不支持低温上升流解释^[12]。虽然,栖霞组燧石结核中成岩序列的广泛代表性仍有待下一步工作,但是这些都是我们建立更加合理的燧石结核成因模式和白云岩化模式必须考虑的。

第三,燧石结核形成的时间问题。Mu和Riding对南京孔山二叠纪栖霞组碳酸盐岩中的硅化钙藻化石的研究表明,硅化生物化石的硅质矿物主要为粗晶石英,未见玉髓,且发现化石选择性硅化的原因是沥青质薄膜的隔挡作用^[13]。换言之,交代化石的硅质物质形成于成油阶段之后的晚期成岩作用阶段。上述燧石结核的成岩序列表明,栖霞组燧石结核形成于早期成岩作用中硫酸盐还原阶段的早期或之前。因此,燧石结核的形成在硅化钙藻化石作用之前。

第四,燧石结核成因研究的启发性意义。二叠纪是一个全球富硅质沉积的时期^[1,2]。华南二叠纪碳酸盐岩地层中均不同程度地发育燧石结核,如栖霞组、茅口组、吴家坪组和长兴组。燧石结核是栖霞组的重要识别特征之一,其成因具重要的古地理、古海洋意义。除上述燧石结核外,华南地区二叠纪地层中还广泛分布有层状硅质岩。长期以来,对这些硅质岩的成因和形成环境一直存在不同认识:沉积成因、成岩交代成因或者热水成因。对苏皖地区中二叠世孤峰组的最新调查发现,孤峰组硅质岩内大量发育类似白云石菱面体^[35,36]。虽然孤峰组的层状硅质岩与栖霞组燧石结核在外貌和地层特征方面不同。但是若这两种白云石成因相同,无疑对解决华南地区二叠纪有关硅质岩的成因问题具重要启发意义。

参考文献 (References)

- Murchey B L, Jones D L. A mid-Pemian chert event widespread deposition of biogenic siliceous sediments in coastal island arc and oceanic basins. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1992, 96: 161-174
- Beauchamp B, Boud A. Growth and demise of Permian biogenic chert along northwest Pangea: evidence for end-Permian collapse of the meridional circulation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2002, 184: 37-63
- Manou Adachi, Koshi Yamamoto, Ryuidi Sugisaki. Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the Northern Pacific: their geological significance as indication of ocean ridge activity. *Sedimentary Geology*, 1986, 47: 125-148
- 陈先沛, 陈多福. 广西上泥盆统乳房状燧石的热水沉积地球化学特征. *地球化学*, 1989, 1: 1-8 [Chen Xianpei, Chen Duofu. Geochemistry of Upper Devonian mammiform chert in Guangxi. *Geochemistry*, 1989, 1: 1-8]
- 徐跃通. 广东茂名地区二叠纪层状硅质岩成因地球化学特征及其沉积环境意义. *西安地质学院学报*, 1997, 19(3): 27-33 [Xu Yuetong. Geochemistry and sedimentary environment of cherts in the Permian Period in Maoming Area. *Journal of Xi'an College of Geology*, 1997, 19(3): 27-33]
- 杨海生, 周永章, 杨志军, 等. 热水沉积硅质岩地球化学特征及意义——以华南地区为例. *中山大学学报*, 2003, 42(6): 110-114 [Yang Haisheng, Zhou Yongzhang, Yang Zhijun, et al. Geochemical characteristics and significance of hydrothermal cherts: A case study of South China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2003, 42(6): 110-114]
- 吕炳全, 翟建军. 下扬子地区早二叠世海进和上升流形成的缺氧环境沉积. *科学通报*, 1989, 22: 1721-1724 [Lü Bingquan, Zhai Jianjun. Early Permian oxygen-deficient deposits of transgression and upwelling in origin in the Lower Yangtze Region. *Chinese Science Bulletin*, 1989, 22: 1721-1724]
- 王汝建. 苏皖地区二叠纪放射虫硅质岩中有孔虫的发现及沉积环境初探. *同济大学学报*, 1993, 21(4): 519-524 [Wang Rujian. Discovery of foraminifers in the Permian Radiolites in Jiangsu and Anhui provinces and their depositional environment. *Journal of Tongji University*, 1993, 21(4): 519-524]
- Jaka A D. Replacement of fossils by length-slow chalcedony and associated dolomitization. *Sedimentary Petrology*, 1974, 44(2): 421-427
- 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 [Sha Qing'an, Wu Wangshi, Fu Jiamo. Comprehensive Research on Permian in Guizhou-Guangxi Area and Its Petroleum Potential. Beijing: Science Press, 1990, 1-215]
- 毕华. 栖霞灰岩中燧石结核成因的新证据. *地层学杂志*, 1994, 18(4): 214-216 [Bi Hua. New evidence for the origin of the Chinese chert nodules. *Journal of Stratigraphy*, 1994, 18(4): 214-216]
- 颜佳新. 华南地区二叠纪栖霞组碳酸盐岩成因研究及其地质意义. *沉积学报*, 2004, 22(4): 579-587 [Yan Jiaxin. Origin of Permian Chinese Formation carbonates from South China and its geological implication. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2004, 22(4): 579-587]
- Mu Xian, Robert Riding. Silicification of Permian calcareous algae from Nanjing, China. *Geological Magazine*, 1988, 125(2): 123-139
- Yan J X, Carlson E H. Nodular celestite in the Chinese Formation (Middle Permian) of South China. *Sedimentology*, 2003, 50: 265-278
- Yan J X, Munnecke A, Steuber T, et al. Marine sepiolite in Middle Permian carbonates of South China: implications for secular variation of Phanerozoic seawater chemistry. *Journal of Sedimentary Research*, 2005, 75(3): 328-339
- 颜佳新, 赵锡文, 杜远生. 利用群落古生态分析研究黄石地区栖霞组沉积环境. *岩相古地理*, 1996, 16(4): 40-49 [Yan Jiaxin, Zhao Xiwen, Du Yuansheng. Qixian sedimentary environments in Huangshi Southeastern Hubei based on fossil community reconstruction. *Lithofacies and Palaeogeography*, 1996, 16(4): 40-49]

- 17 颜佳新, 徐四平, 李方林. 湖北巴东栖霞组缺氧沉积环境的地球化学特征. 岩相古地理, 1998, 18(6): 27-32 [Yan Jiaxin, Xu Siping, Li Fanglin. Geochemistry of aerobic depositional environment of Chhsia Formation in Badong Hubei Province. Lithofacies and Palaeogeography, 1998, 18(6): 27-32]
- 18 杨万容, 江纳言, 臧庆兰, 等. 南京栖霞山栖霞组含生物灰岩岩石学特征及环境分析. 地层学杂志, 1984, 8(1): 38-48 [Yang Wanrong, Jiang Nayan, Zang Qinglan, et al. Petrological characteristics and environment analysis of the biolithite from the Chhsia Formation of Mountain Qixia Nanjing. Journal of Stratigraphy, 1984, 8(1): 38-48]
- 19 徐自强. 论浙江北部早二叠世硅质岩层. 地层学杂志, 1995, 15(4): 315-322 [Xu Ziqiang. The Early Permian silicolites in Northern Zhejiang. Journal of Stratigraphy, 1995, 15(4): 315-322]
- 20 Hesse R. Diagenesis origin of chert diagenesis of biogenic siliceous sediments. Geoscience Canada, 1988, 15(3): 171-192
- 21 Emst W G, Carlvert S E. An experimental study of the recrystallization of porceianite and its bearing on the origin of some bedded chert. American Journal of Science, 1969, 267A: 114-133
- 22 颜佳新, 施春华, 李军虹, 等. 华南地区栖霞组菊花状天青石的交代及其地质意义. 岩石矿物学杂志, 2001, 20(1): 75-81 [Yan Jiaxin, Shi Chunhua, Li Hongjun, et al. Replacement of chrysanthen unshaped celestite in the Chhsia Formation of South China and its geological implication. Acta Petrologica et Mineralogica, 2001, 20(1): 75-81]
- 23 Folk R L, Pittman J S. Length-slow chalcedony: a new testament for vanished evaporites. Journal of Sedimentary Petrology, 1971, 41(4): 1045-1058
- 24 Siedlecka A. Length-slow chalcedony and relicts of sulphates: evidences of evaporitic environments in the Upper Carboniferous and Permian beds of Bear Island, Svalbard. Journal of Sedimentary Petrology, 1972, 42(4): 812-816
- 25 Baker P, Allen M. Occurrence of dolomite in Neogene phosphatic sediments. In: Bumett W C, Riggs S R, eds. Phosphate Deposits of the World. Neogene to Modern Phospharites. Cambridge U. K. excc: Cambridge University Press, 1989, 3: 75-86
- 26 Mazzullo S J. Organogenic dolomitization in peritidal to deep-sea sediments. Journal of Sedimentary Research, 2000, 70: 10-23
- 27 Teal C S, Mazzullo S J, Bischoff W D. Dolomitization of Holocene shallow-marine deposits mediated by sulfate reduction and methanogenesis in normal salinity seawater, northern Belize. Journal of Sedimentary Research, 2000, 70: 649-663
- 28 Swark, P K, Melin L A. The origin of dolomites in Tertiary sediments from the margin of Great Bahama Bank. Journal of Sedimentary Research, 2000, 70: 738-748
- 29 Migaszewski Z M, Galuszka A, Durakiewicz T, et al. Middle Oxfordian-Lower Kimmeridgian chert nodules in the Holy Cross Mountains, south-central Poland. Sedimentary Geology, 2006, 187: 11-28
- 30 Coniglio M. Biogenic chert in the Cow Head Group (Cambro-Ordovician), western Newfoundland. Sedimentology, 1987, 34(5): 813-823
- 31 Jordá G, Ménez-Montsant, Francesc Calvet and Maurice E Tucker. Silica diagenesis in Eocene shallow-water platform carbonates, southern Pyrenees. Sedimentology, 1999, 46: 969-984
- 32 Murray K W, Brink R B, et al. Rare earth, major, and trace elements in chert from the Franciscan Complex and Monterey Group, California: assessing REE sources to fine-grained marine sediments. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1991, 55(7): 1875-1895
- 33 周小平. 北京十三陵地区雾灵山组含微化石的燧石成因探讨. 北京地质, 1991, 2: 1-6 [Zhou Xiaoping. Origin of microfossiliferous cherts for the Middle Proterozoic Wumishan Formation of the Mingtombs, Beijing. Beijing Geology, 1991, 2: 1-6]
- 34 Knauth L P. A model for the origin of chert in limestone. Geology, 1979, 7: 274-277
- 35 朱嗣昭, Nagai H, Kametaka M, 等. 一种特殊类型硅质岩——浮石状燧石. 高校地质学报, 1999, 5(3): 345-350 [Zhu Sizhao, Nagai H, Kametaka M, et al. Nectic chert: a very peculiar type of siliceous rock. Geological Journal of China Universities, 1999, 5(3): 345-350]
- 36 Kametaka M, Takebe M, Nagai H, et al. Sedimentary environments of the Middle Permian phosphatic-chert complex from the northeastern Yangtze platform, China: the Guifeng Formation: a continental shelf radiolarian chert. Sedimentary Geology, 2005, 174: 197-222

Nodular Chert of the Permian Chhsia Formation from South China and Its Geological Implications

LU Xin-yu¹ YAN Jia-xin^{1, 2}

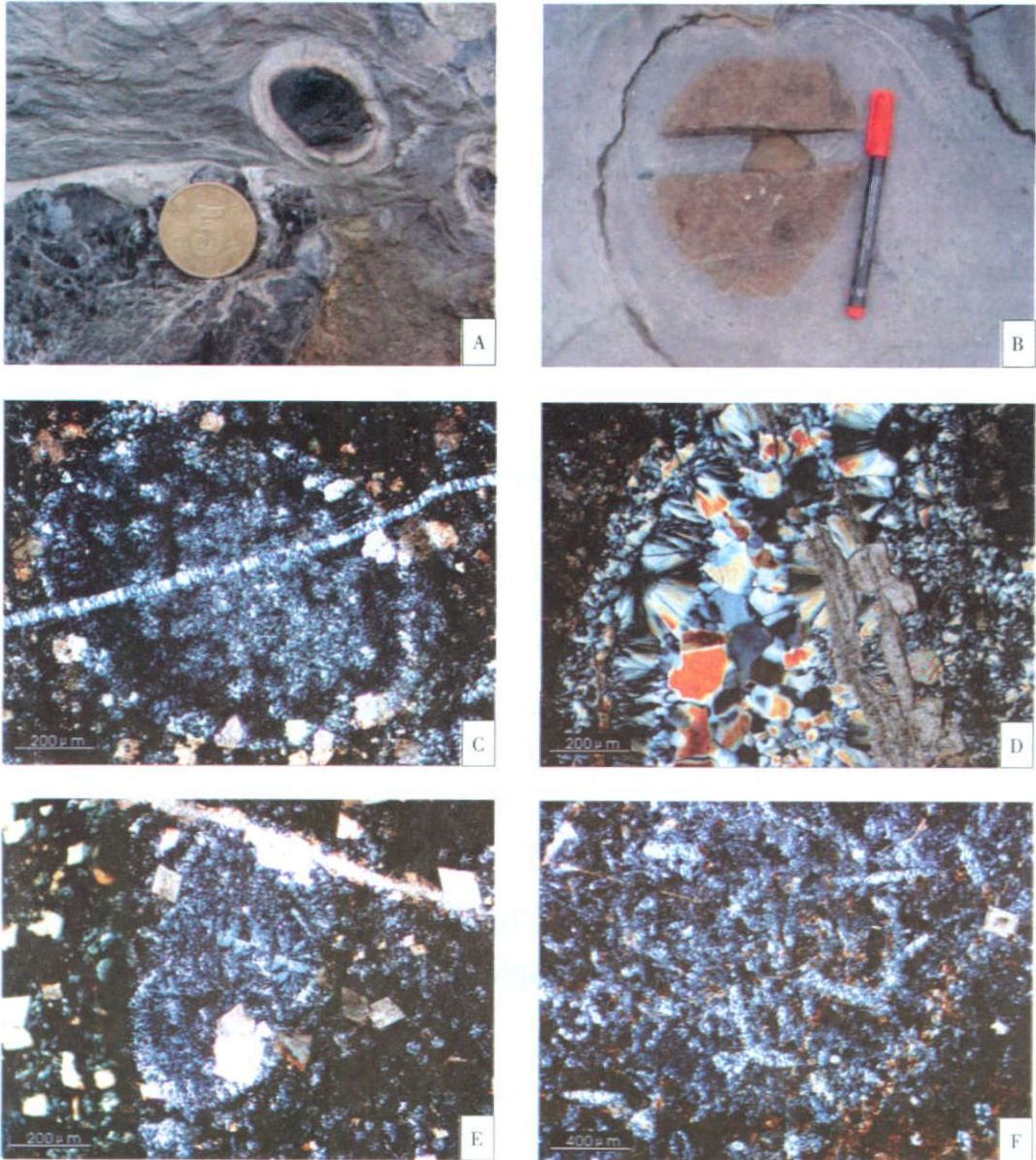
(1 Faculty of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074;

2 Key Lab of Biogeology and Environmental Geology (CUG), Ministry of Education, Wuhan 430074)

Abstract The Middle Permian Chhsia Formation of South China is featured by nodular chert, which is of implications in the reconstruction of coeval paleogeography and paleoceanography. This paper deals with mineralogical, petrographic characteristics and diagenesis of the nodular chert collected from Huangshi (Hubei), Nanjing (Jiangsu) and Laibin Guangxi. The nodular chert consists of mainly of microquartz, length-fast chalcedony and megaquartz with minor

length-slow chalcedony, euhedral dolomite rhomb and sparry calcite as well as minor skeletal fragments. The microquartz, length-fast chalcedony, length-slow chalcedony and euhedral dolomite rhomb precipitated in the early diagenesis, the sparry calcite during burial diagenesis, and megaquartz across early and later stage. The source of silica derived from the thriving of the siliceous-shell organisms, combining with evidences from the formation of nodular celestite and sepiolite in the host rock. The reliable constraints on diagenetic conditions and precipitating time relative to the diagenetic spectrum of the Chihsia carbonates for the formation of the length-fast chalcedony and dolomite would be of far-reaching implication in our understanding about their origin, and even about the origin of the bedded siliceous rocks of Permian in the investigation area.

Key words Chihsia Formation, nodular chert, chalcedony, diagenesis



图版 说明: A 燧石结核野外照片, 燧石结核大者直径 6 cm, 小者直径 1.5 cm, 注意燧石结核外部浅色海泡石圈层。南京湖山; B 燧石结核野外照片, 燧石结核由中部截然裂开, 其周围和裂开处有微细层理绕过。来宾红水河; C 燧石结核内, 由微石英构成的小集合体紧密堆积在生物体腔内, 显微照相, 正交偏光 $\times 10$ 倍物镜, 来宾; D 燧石结核内, 由微石英、负延性玉髓、粗晶石英充填孔隙, 而且被晚期石英脉切割, 显微照相, 正交偏光 $\times 10$ 倍物镜, 来宾; E 燧石结核内的微石英、白云石晶体和方解石脉, 显微照相, 正交偏光 $\times 10$ 倍物镜, 来宾; F 燧石结核内发育大量海绵骨针, 显微照相, 正交偏光 $\times 5$ 倍物镜, 黄石。