



六盘山地区下白垩统六盘山群乃家河组核形石形成的环境意义

钟福平^{1,2}, 钟建华^{1,3}, 由伟丰⁴, 边强⁵, 轩吉善⁶, 艾合买提江·阿不都热和曼³,
张磊³, 嵯元杰³, 王安东³, 王金华³, 孟玮³

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 中国石油大学地球资源与信息学院, 山东 东营 257061; 4. 中国石油化工有限公司石油勘探开发研究院, 北京 100083; 5. 中国人民解放军空军 95338 部队 1 大队, 湖南 衡阳 421200; 6. 化工部郑州地质工程勘察院, 河南 郑州 450011)

摘要: 六盘山寺口子水库下白垩统六盘山群乃家河组中发育了核形石, 通过对其外部核心及纹层特征, 以及核形石地球化学组分的研究, 认为研究区核形石主要产于水动力较强的动荡水环境中, 对捕捉和粘附碳酸钙质点作用相当明显, 藻类自身的钙化和原地微生物引发的沉淀作用也可能是核形石的成因。经分析得到核形石的 Sr/Ba 值为 4.87, CaO 的含量达到了 48.18%, 总体上, 研究区核形石在盐度高、温度较高、气候炎热、蒸发量大的干旱环境条件下形成。这些环境与研究区在该时期受燕山运动的影响, 地壳整体抬升, 湖盆发生萎缩的构造背景是相符的。

关键词: 核形石; 六盘山地区; 下白垩统; 乃家河组

中图分类号: P588.24⁺8

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)02-0206-07

The formation environment and genesis of the oncolite in Lower Cretaceous Liupanshan Group of Liupan Mountain area

ZHONG Fu-ping^{1,2}, ZHONG Jian-hua^{1,3}, YOU Wei-feng⁴, BIAN Qiang⁵, XUAN Ji-shan⁶, Ahmatjan ABDURAHMAN³, ZHANG Lei³, ZHUO Yuan-jie³, WANG An-dong³, WANG Jin-hua³ and MENG Wei³

(1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Institute of Earth Resources and Information, University of Petroleum, Dongying 257061, China; 4. Research Institute of Exploration and Development, SINOPEC, Beijing 100083, China; 5. No. 1 Geological Party, Troops 95338, Air Force of the Chinese People's Liberation Army, Hengyang 421200, China; 6. Zhengzhou Geological Engineering Investigation Institute of MIC, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: Oncolite is a kind of algae pack tablets composed of two parts, the core and cladding. It was the mucus secretion during the growth of algae in the process of capturing bonded debris materials and calcium carbonate particles and was formed through the core accretion as concentric patterned grains. On October 24, 2008, the authors found oncolites in Lower Cretaceous Najiahe Formation of Liupanshan Group in a tunnel of Sikouzi Reservoir in the Liupan Mountain. The Lower Cretaceous strata in the study area are mainly composed of a set of purple, grayish green and gray mudstone, gray marl and light yellow muddy siltstone, with thin layered plaster between the marl. Oncolites occur in the upper part of Najiahe Formation. A study of their external core and lamination characteristics suggests that they were formed mainly in a turbulent and high-energy water-environment. Geochemical compositions of the oncolites show that the debris was derived from land-based oxides such as

收稿日期: 2009-09-16; 修订日期: 2009-11-17

基金项目: 中国西北地区构造-岩相古地理研究与编图资助项目(07370502000130); 碳酸盐岩缝洞型油藏高效开发研究资助项目(2006CB202406)

作者简介: 钟福平(1978-), 男, 博士研究生, 构造地质学专业, E-mail: zhongfp-2022@163.com

SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, and FeO, whose values are all relatively low, with SiO₂ being 8.20%, Al₂O₃ being 2.77%, and (Fe₂O₃ + FeO) being 3.00%. The content of these oxides in the lake depends on the amount of terrestrial detritus that entered the lake. In addition, the inflow of terrigenous detritus and vegetation cover are also related to the extent of weathering. The lower the degree of weathering or the better the covering, the lower the debris substance content. Therefore, the oncolites with relatively low SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, and FeO values indicate that during the same period the climate was relatively dry and the weathering was not strong. As only a small amount of clastic materials flowed into the lake and the lake water was relatively clean, a suitable water environment for the growth of algae and concolites were formed, and this also implies the close relationship between the influx of terrigenous clastic rocks and the growth of concolites. CaO content of concolites reaches 48.18%, indicating an obvious effects of the capturing and adhesion of calcium carbonate particles. Calcified algae itself and in situ precipitation of micro-organisms might also have been the causes for the formation of these concolites. The Sr/Ba value is 4.87, and the CaO content reaches 48.18%, suggesting that in the study area concolites were formed in a high salinity, high temperature, hot and strong evaporation arid environment. In Early Cretaceous, the region was affected by the Yanshanian movement, resulting in crustal uplift and lake atrophy. A study of the formation environment of these oncolites in Liupanshan area shows that their formation environment was consistent with the tectonic setting at that time.

Key words: oncolite; Liupan Mountain area; Lower cretaceous; Naijiahe Formation

核形石是一种藻包粒,由核心和包壳两部分组成,它是分泌粘液的藻类在生长过程中捕获、粘结碎屑物质和碳酸钙质点,围绕核心加积而形成的同心纹层结构颗粒(李熙哲等,2000;刘万洙等,2008)。核形石最早被定名为叠层石 SS 型,之后又有藻鲕粒、藻豆、藻灰结核、藻球、藻饼等,1980 年以后开始有了固定的术语——核形石(杨玉芳等,2009)。Dahanayake(1977) Arenas 等(2007)对核形石泥灰岩垂向沉积序列和其环境指示意义进行了较为深入的研究,贺自爱(1982)、刘效曾(1983)、曾允孚等(1983)、黄志诚等(1987)从核形石的形态、内部结构、形成时的水动力条件等方面对核形石的成因进行了探讨。笔者首次在六盘山地区寺口子水库剖面下白垩统六盘山群乃家河组发现了核形石,对其外部特征及地球化学特征进行了研究,并对该区核形石的成因及沉积环境进行了探讨。

1 六盘山群乃家河组核形石沉积背景

研究区位于固原市西北部的寺口子水库旁(图 1),侏罗纪末期的燕山运动使该地区抬升遭受短暂的剥蚀,至早白垩纪地壳开始断陷下沉,接受了一套六盘山群断陷内陆湖泊沉积。从岩性组合、沉积特征及总体向上变细的垂向沉积序列看,六盘山群是盆地持续下沉、湖水不断加深、沉积物供给较为充足

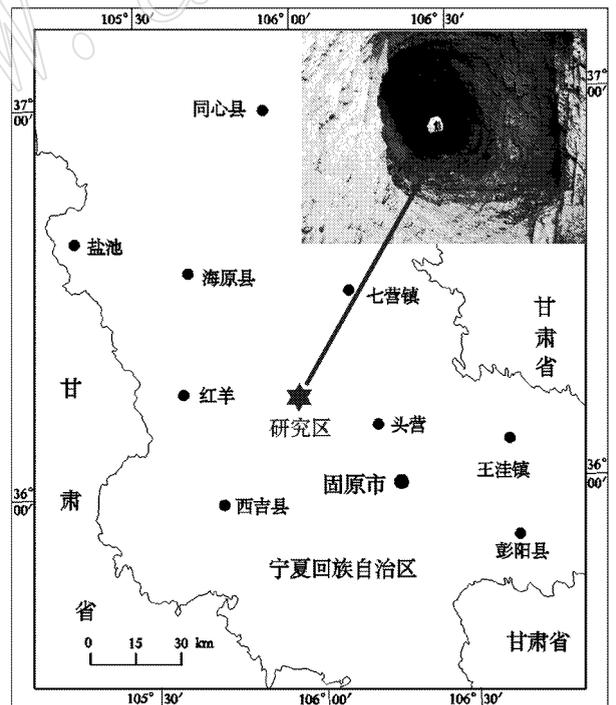


图 1 核形石产于六盘山地区的地理位置图

Fig. 1 Geographic location of oncolites in Liupan Mountain area

的条件下形成的,它的形成和演化受构造、物源和气候的控制。早白垩世六盘山盆地发育演化大致经历了 4 个时期:初期(三桥组)发育了冲积扇沉积;早期(和尚铺-乃家河组)发育了滨浅湖相沉积;中期(马东

山组)湖泊发育到鼎盛时期,此时湖水最深,湖面最广,发育半深湖相沉积,晚期(乃家河组)为湖泊消亡期,由马东山组的半深湖相向滨浅湖相沉积转化,最终湖泊消亡(屈红军等 2003, 金学强等 2006)。

研究区下白垩统六盘山群乃家河组主要发育了一套岩性为紫红色、灰绿色、灰色泥岩,灰色泥灰岩,淡黄色泥质粉砂岩,泥灰岩之间夹有薄层石膏。核形石产于乃家河组的上部(图 2)。

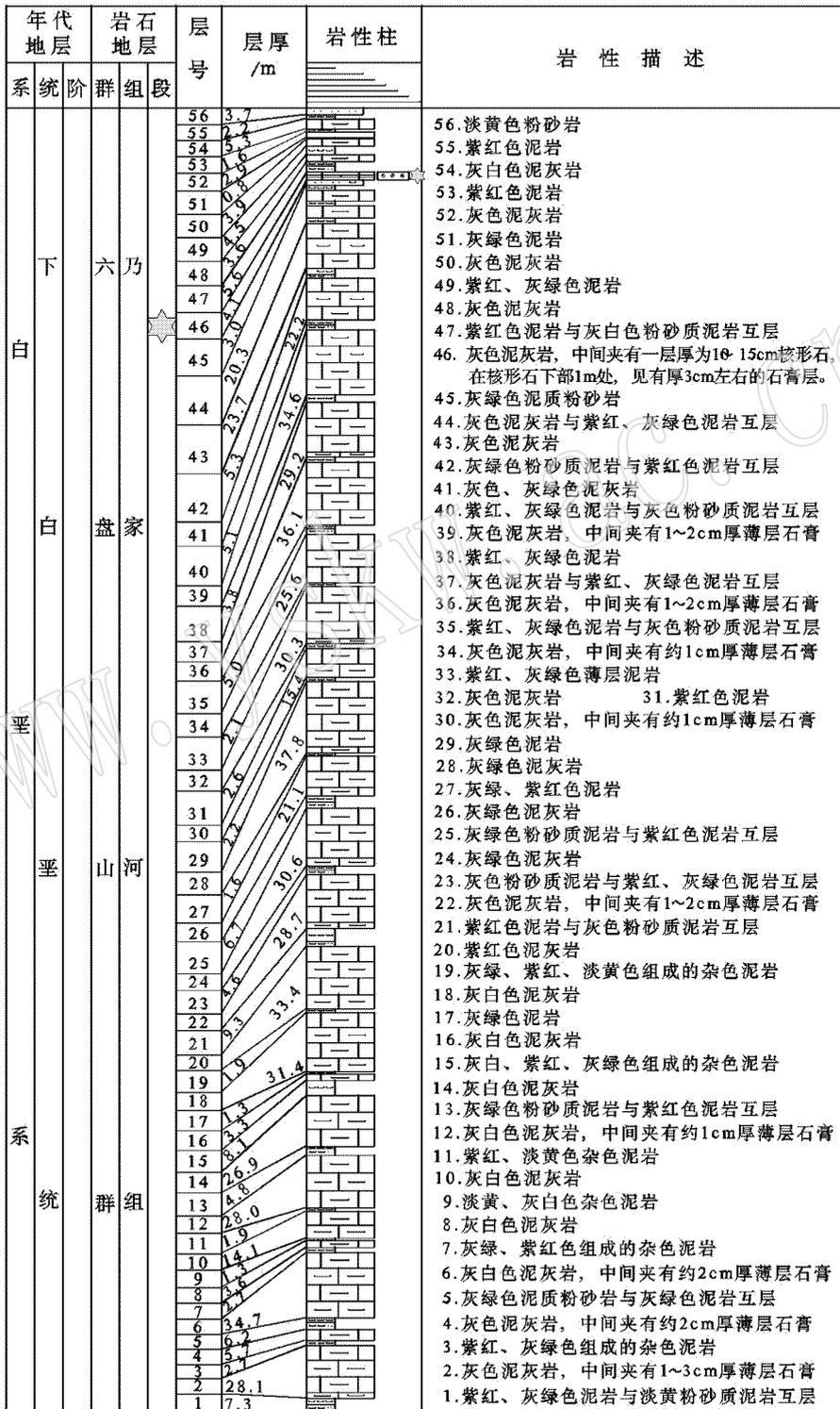


图 2 乃家河组核形石产出的层位位置

Fig. 2 Stratigraphic horizon of oncolites in Naijiahe Formation

2 核形石外部形态特征

核形石由核心和纹层两个基本单元组成。核心结构是核形石形成的基础,纹层围绕核心呈层状分布。核心物质的形状影响着核形石形成初始阶段的纹层形状及外部形态,随着纹层厚度增大,核心的影响逐渐减弱。

笔者于 2008 年 10 月在六盘山地区寺口子水库下游的泄水隧道中(图 1 右上角图)发现核形石,它们沿着地层产状成层发育,厚度 10~15 cm(在隧道

中测量,隧道底部宽度约为 1.6 m)。由于隧道中空气较为潮湿,核形石表面呈褐色,呈瘤状凸起(图 3)。由于隧道开挖施工过程中对核形石的破坏,有些可见到核形石的核,有些可见到核形石的内部纹层。总体上,核形石的直径相差比较大,为 0.5~4 cm。核形石钙质含量很高,滴下盐酸,剧烈起泡。

取出的核形石岩样为带 2 个核心(用红色圈标注)的核形石(图 4a),核呈圆状或近圆状,由于表面水分蒸发,呈黄褐色。核形石内部纹层构造,黄褐色,可见到同核的纹层成层规律性很好,但不同核的纹层之间呈一角度相交(图 4b)。

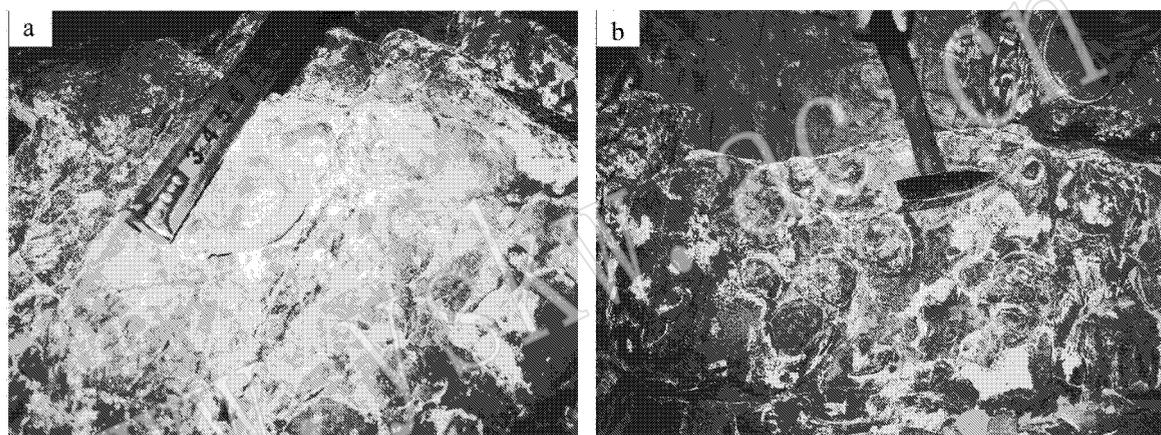


图 3 隧道中发现的核形石

Fig. 3 Oncolites in the tunnel

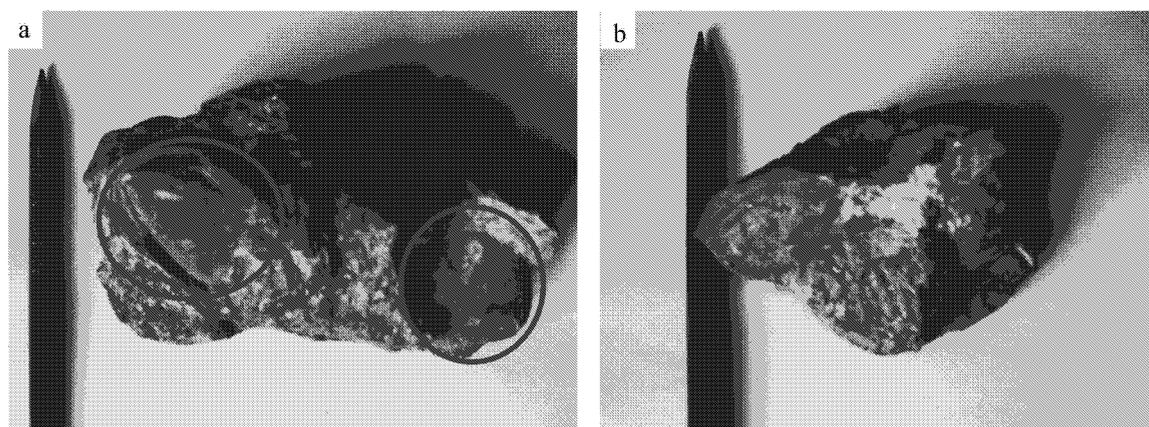


图 4 核形石岩样

Fig. 4 Oncolite samples

3 核形石与泥灰岩地球化学特征对比

Sr/Ba 值随盐度的提高有明显增大的趋势,并被认为是判断核形石形成时期湖水古盐度的重要指标(闵隆瑞等 2002; 张新建等 2004; 温志峰等 2005)。Sr/Ba 值在大陆淡水沉积物中小于 1,在海相沉积物中大于 1,比值越大,水体越咸。在中石化合肥所实验室采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)分析仪对核形石样品及其上下层泥灰岩岩样进行了微量元素测试分析,结果发现核形石的 Sr/Ba 值高于 1,为 4.87,为咸水环境。而泥灰岩的 Sr/Ba 值大于 1,为 1.55,也为咸水环境。数据显示说明核形石形成时水的盐度要高于泥灰岩形成时水的盐度(表 1)。

来源于陆源碎屑的氧化物,如 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 FeO 等的含量反映了同期流入湖盆的陆源碎屑物

的数量(夏正楷等 1993, 1998)。这些指标在本区核形石中均出现较低值,其中 SiO_2 为 8.20%、 Al_2O_3 为 2.77%、($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$)为 3.00%。而泥灰岩中的 SiO_2 为 34.89%、 Al_2O_3 为 10.89%、($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$)为 4.02%(表 1)。这些氧化物的含量取决于流入湖泊的陆源碎屑量的多少,而陆源碎屑流入量又与植被覆盖程度和风化程度有关,风化程度越低、植被覆盖越好,径流中的碎屑物质含量越低(温志峰等 2005)。因此,核形石中较低的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 和 FeO 值表明同期气候较为干旱或风化作用并不强烈。由于流入湖泊的陆源碎屑物质较少,湖水洁净程度较高,从而形成了适于藻类生物繁衍和核形石生长的水体环境,这也反映出陆源碎屑的流入与核形石的生长关系密切。相比核形石而言,泥灰岩上述氧化物的含量相对要高许多,反映了同时期流入湖泊的陆源碎屑量相对较多而且风化程度相对较高。

表 1 乃家河组中核形石与泥灰岩地球化学特征

Table 1 Geochemical features of oncolites and algal reef in Naijiahe Formation

岩石类型	SiO_2	Al_2O_3	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$	CaO	Sr/Ba	CaO/MgO
	$\omega_B/\%$					
核形石	8.20	2.77	3.00	48.18	4.87	16.70
泥灰岩	34.89	10.89	4.02	14.44	1.55	2.96

核形石中的 CaO 含量为 48.18%, CaO/MgO 为 16.70; 泥灰岩中的 CaO 含量为 14.44%, CaO/MgO 为 2.96(表 1)。主要氧化物 CaO 和 MgO 是湖泊地球化学过程中的产物, CaO/MgO 值具有与 CaO 相同的气候意义,较高的比值指示炎热和干燥的气候条件,可作为判断气候环境的指标(夏正楷等 1993, 1998)。湖泊中的 CaO 的沉淀速率主要受到陆源碳酸盐的流入和湖水蒸发率的影响。根据上述对氧化物的分析可以肯定,核形石形成过程中陆源碎屑的影响较小,因此本区 CaO 含量主要与湖水蒸发率和气候有密切关系,炎热和干燥的气候条件有利于湖水的蒸发和 CaO 的沉淀。核形石中较高的 CaO 含量和 CaO/MgO 值表明在生长期温度较高、气候炎热、蒸发量大而且较为干旱。在核形石的上覆地层有厚 1~3 cm 的石膏层(图 5),这也说明当时的环境较干旱,水分蒸发比较大。

4 核形石成因及形成环境探讨

核形石的类型与沉积环境有着密切的关系。在

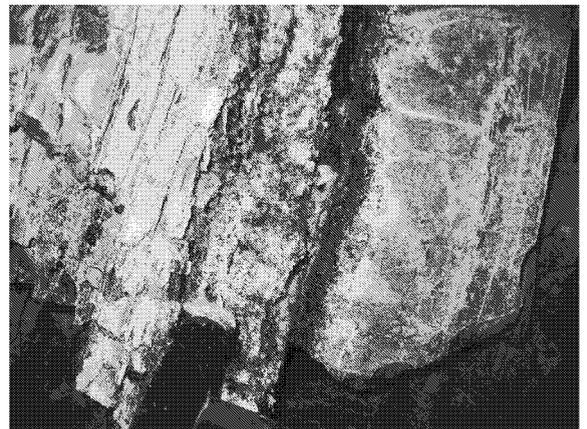


图 5 隧道中泥灰岩中间夹石膏层

Fig. 5 Gypsum intercalations in marls of the tunnel

高能动荡水环境中,由于核形石各个方向的外层表面与底层经常接触,故而形成的核形石以圆状或近圆状、多环状为主,统称为环状核形石。当核形石形成的环境较稳定时,在其形成过程中通常在一段时间内只有一个方向的外表面与底层接触,故而形成的核形石形状不规则(刘万洙等 2008)。研究区发

现的核形石为圆状或近圆状的多环状形态,说明核形石在水动力较强的动荡环境中形成。核形石的同核纹层有规律的分层,但不同核之间呈角度生长,说明核形石在形成过程中受到外来水动力较强的冲击、翻滚,各个外表面与底部经常接触,就形成了这种纹层相交的特征。

核形石地球化学元素含量中的 Sr/Ba 值为 4.87, 高于 1, 说明六盘山核形石生长在盐度较高的水体环境中。

根据核形石地球化学氧化物 CaO 的含量(表 1)可以推测,核形石形成期间,对外来碎屑物的捕捉和粘附的物质成分主要是含钙质,从而导致核形石的 CaO 的含量达到了 48.18%, 而其他地球化学氧化物(SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、FeO 等)含量低,表明核形石生长期间这些物质成分含量少,对它们的捕捉和粘附作用不明显,这也同时反映了当时的气候非常干燥,而且蒸发量大。只有在这些气候条件下,才可能有含钙质很高的外来碎屑物质。研究区受燕山运动的影响,下白垩统晚期处于地壳抬升,湖泊发生萎缩的构造背景(陈启林等 2005),这与核形石形成时的环境是相符的。此外,分泌粘液的藻类在这种干旱环境下,其自身的钙化和原地微生物引发的沉淀作用也可能为核形石 CaO 的高含量做出了“贡献”。

5 结论

六盘山寺口子水库下白垩统六盘山群乃家河组中发育的核形石,形成于水动力较强的动荡水环境中,外来沉积物主要是一些钙质含量很高的碎屑物质,对它们进行捕捉和粘附是核形石形成的主要原因,同时,藻类自身的钙化和原地微生物引发的沉淀作用也可能有所贡献。核形石生长期间的环境具有盐度高、温度较高、气候炎热、蒸发量大且干旱的特征,这与研究区当时处于地壳抬升,湖盆处于萎缩的大地构造背景是相符的。

致谢 成文过程中杨玉芳博士提供了许多有益建议,在此表示感谢!

References

Arenas C, Cabrera L and Ramos E. 2007. Sedimentology of tufa facies and continental microbialites from the Palaeogene of Mallorca Island

(Spain) [J]. *Sedimentary Geology*, 197: 1~27.

Chen Qilin, Zhou Hongrui and Li Xiangbo. 2005. Characteristics of early Cretaceous prototype basin and its control on source rock in Mongolia-Gansu-Qinghai area [J]. *Advances in Earth Science*, 20(6): 656~663 (in Chinese with English abstract).

Dahandyake K. 1977. Classification of oncoids from the upper Jurassic carbonates of the French Jura [J]. *Sediment. Geol.*, 18(4): 337~354.

He Ziai. 1982. The classification and genesis of the oncoids [J]. *Oil and Gas Geology*, 3(1): 41~48 (in Chinese with English abstract).

Huang Zhicheng and Zhu Sizhao. 1987. The genesis and the effect of the iron accumulation of the iron-nonskeletal oncoids in the limestone of Ordovician in Anhui Province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 5(2): 29~38 (in Chinese with English abstract).

Jin Xueqiang and Cao Weihua. 2006. Study on Cretaceous stratum system in Liupanshan region in Ningxia and its environment changes [J]. *Ningxia Engineering Technology*, 5(1): 1~3 (in Chinese with English abstract).

Li Xizhe, Guan Shourui, Xie Qingbin, et al. 1999. The oncoids genesis in the Middle Member of the Guanzhuang formation of Eocene in Pingyi basin [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(2): 261~268 (in Chinese with English abstract).

Liu Wanzhu, Wang Pujun, Gao Youfeng, et al. 2008. Discovery of oncoidites in the Qingshankou formation of Cretaceous, Songliao basin and its environmental significance [J]. *Acta Geological Sinica*, 82(5): 594~600 (in Chinese with English abstract).

Liu Xiaozeng. 1983. The characteristics and paleoenvironment indication of the cryptalga carbonate rocks of the Middle Triassic in the northwest of Sichuan Province [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1(3): 79~87 (in Chinese with English abstract).

Min Longrui, Chi Zhenqing, Zhu Guanxiang, et al. 2002. Analysis of the palaeoenvironment of Quaternary stromatolites at Dongmulian, Yangyuan County of Hebei Province [J]. *Acta Geological Sinica*, 76(4): 446~453 (in Chinese with English abstract).

Qu Hongjun, Li Wenhui, He Xipeng, et al. 2003. Discussion on sequence stratigraphy and petroleum system of the Lower Cretaceous in Liupanshan basin [J]. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 33(1): 70~74 (in Chinese with English abstract).

Wen Zhifeng, Zhong Jianhua, Wang Guanmin, et al. 2005. Miocene stromatolites associated with Lacustrine algal reefs: Qaidam basin, China [J]. *Acta Geological Sinica*, 79(4): 444~453 (in Chinese with English abstract).

Xia Zhengkai and Han Junqing. 1998. Ecological environment of lacustrine stromatolites in the Hutouliang, Nihewan Basin [J]. *Quaternary Science*, 4: 344~350 (in Chinese with English abstract).

Xia Zhengkai, Zhang Yun, Yang Dejun, et al. 1993. Discovery of stromatolites in Bihewan bed and its Palaeoenvironmental significance [J]. *Science in China (Series B)*, 23(8): 874~879 (in Chinese with English abstract).

Yang Yufang, Zhong Jianhua, Chen Zhipeng, et al. 2009. The charac-

- teristics of oncolites in the Qingshankou formation of Cretaceous, Songliao basin and its environmental significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(4): 558~569 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Yunfu, Zhang Jinquan and Lin Wenqiu. 1983. The types and paleoenvironment indication of the oncoids in Rongxian formation of the Upper Devonian in Guangxi Province[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1(1): 42~49 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xinjian, Fan Yingfeng, Zhang Jianjun, *et al.* 2004. Microelement and geologic significance of Yangchang formation in Fuian area, Ordos basin[J]. *Xinjiang Petroleum Geology*, 25(5): 483~485 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈启林, 周洪瑞, 李相博. 2005. 蒙甘青地区早白垩世原型盆地特征及其对烃源岩分布的控制[J]. *地球科学进展*, 20(6): 656~663.
- 贺自爱. 1982. 藻灰结核分类及其成因[J]. *石油与天然气地质*, 3(1): 41~48.
- 黄志诚, 朱嗣昭. 1987. 安徽奥陶系石灰岩中含铁非骨架核形石的成因及其聚铁作用[J]. *沉积学报*, 5(2): 29~38.
- 金学强, 曹炜华. 2006. 宁夏六盘山地区白垩纪地层环境演化研究[J]. *宁夏工程技术*, 5(1): 1~3.
- 李熙哲, 管守锐, 谢庆宾, 等. 2000. 平邑盆地下第三系官中段核形石成因分析[J]. *岩石学报*, 16(2): 261~268.
- 刘万洙, 王璞君, 高有峰, 等. 2008. 松辽盆地白垩系青山口组核形石的发现及其环境意义[J]. *地质学报*, 82(5): 594~600.
- 刘效曾. 1983. 川西北中三叠统隐藻类碳酸盐岩特征及其环境意义[J]. *沉积学报*, 1(3): 79~87.
- 闵隆瑞, 迟振脚, 朱关祥, 等. 2002. 河北阳原目连第四纪叠层石古环境分析[J]. *地质学报*, 76(4): 446~453.
- 屈红军, 李文厚, 何希鹏, 等. 2003. 六盘山盆地地下白垩统沉积层序与含油气系统[J]. *西北大学学报(自然科学版)*, 33(1): 70~74.
- 温志峰, 钟建华, 王冠民, 等. 2005. 柴达木盆地古近纪—新近纪湖相叠层石与藻礁的沉积组合特征及意义[J]. *地质学报*, 79(4): 444~453.
- 夏正楷, 韩军清. 1998. 泥河湾盆地虎头梁湖相叠层石的生态环境分析[J]. *第四纪研究*, 4: 344~350.
- 夏正楷, 张 昀, 杨德军, 等. 1993. 泥河湾层中叠层石的发现及其古环境意义[J]. *中国科学(B)*, 23(8): 874~879.
- 杨玉芳, 钟建华, 陈志鹏, 等. 2009. 松辽盆地早白垩世青山口组核形石的特征及其环境意义[J]. *地质学报*, 83(4): 558~569.
- 曾允孚, 张锦泉, 林文球. 1983. 广西泗顶泥盆系上统融县组中核形石的类型及其环境意义[J]. *沉积学报*, 1(1): 42~49.
- 张新建, 范迎风, 张剑君, 等. 2004. 富县探区延长组微量元素特征及地质意义[J]. *新疆石油地质*, 25(5): 483~485.