

皖北灵璧磬云石的岩石学和地球化学研究

马艳平¹ 贺振宇² 陈 松¹

(1. 宿州学院地球科学与工程学院, 安徽 宿州 234000; 2. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

摘要: 磬云石是产于灵璧地区震旦系张渠组地层中的一种微晶灰岩, 以其色黑致密且敲击能发出青铜质的声音, 而成为观赏名石和制作敲打乐器。磬云石主要矿物组成为微晶方解石, 晶体自形程度较好, 粒度均小于 $10\ \mu\text{m}$, 紧密镶嵌排列, 富含有机质。在元素地球化学特征上, 磬云石含有高的 CaO 含量, 低的 MgO、SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃ 含量, 低的稀土元素含量, 富集 Sr、Cu、Mn、Ba 等元素。通过与该套震旦系地层中产生的其他微晶灰岩对比研究表明, 磬云石的矿物组成单一, 颗粒大小均匀, 颗粒排列紧密, 颗粒间孔洞小且少, 含有较高的有机质含量等特征, 是其敲击能发出青铜质声音的主要原因。磬云石的形成与震旦纪时全球高的 CO₂ 浓度以及该区多发的地质事件有关, 是震旦纪海水过饱和 CaCO₃ 的沉积环境与该区复杂的地质事件联合作用的结果。

关键词: 灵璧; 磬云石; 震旦纪; 微晶灰岩; 成因

中图分类号: P588.24⁵ **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2011)03-0657-07

灵璧石主要产于安徽省宿州市灵璧县渔沟镇及其周边地区, 是一种以石灰岩为主, 经岩溶作用形成的, 岩岫奇巧, 可供观赏与把玩的观赏石, 名列中国四大观赏石之首。灵璧石是珍贵的地质遗迹资源, 具有高度的美学、科学和旅游价值。其发育于新元古代震旦系的各个层位, 主要分布在北东向宽缓背斜的两翼和倾没端。磬云石是灵璧石的传统和重要类型之一, 其特点是扣击能发出悦耳的青铜质的声音。磬云石的开发利用具有悠久的历史, 无论是作为观赏石, 还是制作敲打乐器, 以及工艺雕刻、文房四宝等工艺品, 均广受世人珍爱。例如远在 3000 年前的殷商时期, 就取磬云石做乐器“磬”; 1970 年中国第一颗人造地球卫星遨游太空时, 向全世界播放的《东方红》乐曲, 也是用磬云石制作的编钟演奏的。

近年来, 围绕灵璧石的地质条件、岩石学特征、成因等问题一直备受关注^[1-2]。但是, 专门针对磬云石的研究工作仍较薄弱, 尤其对于其能够发声的成因机制尚未见报道。本文拟对磬云石进行系统的野外地质、岩石学及地球化学特征研究, 同时对该区产出

的其他具有类似岩石学特征而不能发声的岩石进行对比研究, 以期进一步揭示磬云石独特的岩石特征、成因机制和规律。

1 地质概况和样品采集

灵璧县渔沟镇位于安徽的东北部, 地貌上为淮北平原的低山丘陵区。大地构造位置位于华北板块东南缘, 东侧距郟庐断裂带约 80 km, 南距大别造山带约 300 km^[3,4]。地壳基底为新太古代—古元古代结晶岩系^[5]。该区出露的地层主要为震旦系, 是一套薄—中厚层、厚层状的碳酸盐岩, 自下而上依次为贾园组、赵圩组、倪园组、九顶山组、张渠组、魏集组、史家组和望山组(图 1)。主要岩石类型有白云质灰岩、灰质白云岩、白云岩、钙质页岩、砂质灰岩、泥灰岩、叠层石灰岩、微晶灰岩等。区内断裂构造不发育, 褶皱构造主要为形成于印支—燕山期早期的渔沟背斜^[6], 轴长 12 km, 核部地层为张渠组, 翼部由魏集组组成, 轴面略向东倾斜。

灵璧石在上述地层中均有产出, 但以倪园组、九

收稿日期: 2010-11-23; 改回日期: 2011-02-16

基金项目: 宿州学院硕士科研启动基金项目(2009YSS05); 安徽省教育厅自然科学基金项目(KJ2007B347ZC)资助。

作者简介: 马艳平, 女, 1973 年生, 讲师, 硕士, 从事构造地质学科研与教学工作; E-mail: ahhzy@163.com。

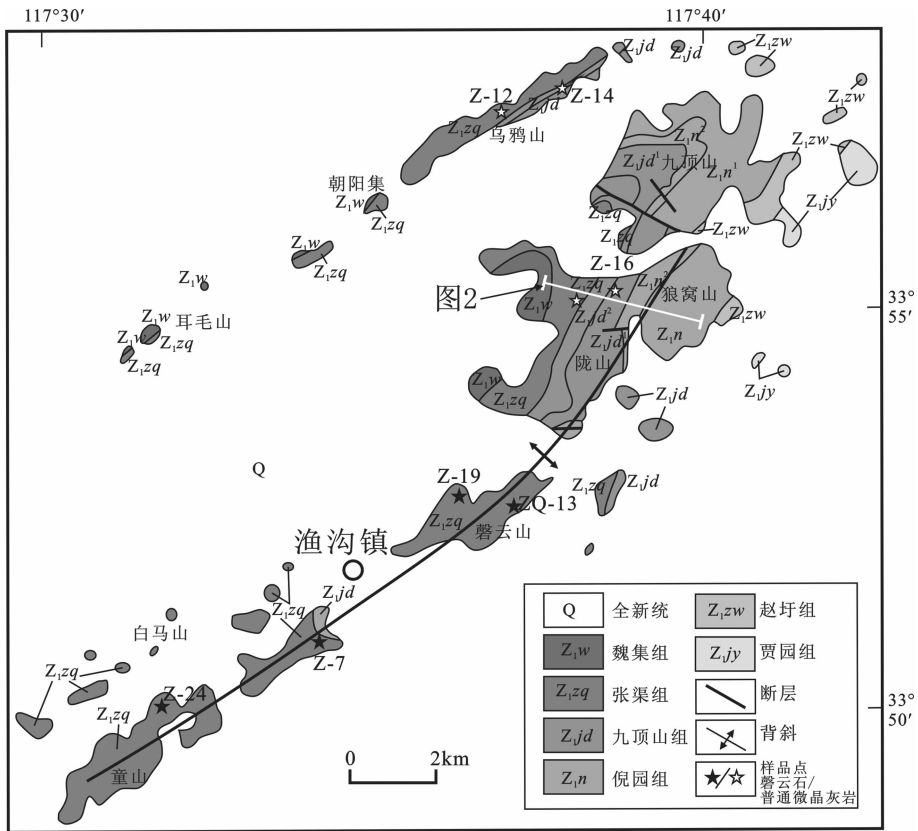


图 1 灵璧县渔沟地区地质简图(据灵璧幅 1:20 万地质图修改)

Fig.1 Simplified geological map of Yugou area, Lingbi County (modified after 1:200000 Geological Maps of Lingbi Sheet)

顶山组、张渠组和魏集组为主。根据岩石类型和外观特征的不同可分为磬云石、纹石(表面纹理发育)、图案石(白齿构造石灰岩)、腕螺石(叠层石灰岩)等几类^[1]。磬云石仅产于张渠组下部,层位稳定(图 2),岩性为薄层状黑色微晶灰岩。笔者研究的磬云石样品均采自于该层位,采样地点见图 1 和表 1。在张渠组其他层位,以及九顶山组、望山组中也有薄层状微晶灰岩产出,但敲击不能发出磬云石的声音。笔者在不同地点采集了 8 块样品进行对比研究(图 1,表 1)。其中 4 块样品为磬云石,采自张渠组特定层位;另外 4 块样品为普通微晶灰岩,分别采自张渠组其他层位和九顶山组中。

2 分析方法

全岩主量元素在南京大学现代分析中心用 ARL9800XP+型 XRF 测定,分析精度好于 2%。烧失量为 980℃下灼烧确定的样品中挥发分含量。微量元

素在南京大学成矿作用国家重点实验室 Finnigan Element II ICP-MS 上测定,分析精度好于 10%,且绝大多数好于 5%。扫描电镜观察和照相在南京大学成矿作用国家重点实验室 JSM-6490 型扫描电镜上完成。

3 岩相学特征

磬云石的岩石类型为黑色微晶灰岩,黑色,贝壳状断口,微晶结构,均一块状构造。主要组分为微晶方解石,含量在 95% 以上,粒度约 0.01 mm,半自形,密集镶嵌状排列;偶见黄铁矿颗粒,呈星点状分布,粒度普遍小于方解石的粒径;富含有机质,呈暗色纹层状分布,可能为藻迹,长 0.2~0.4 mm,断续分布,并大致沿平行层面方向定向排列(图 3-a)。在扫描电镜下观察,可见方解石晶体自形程度较好,粒度均小于 10 μm,紧密镶嵌排列,少量微小沉积孔洞零星分布,除方解石外未见其他矿物(图 3-b)。

作为对比的普通薄层状微晶灰岩,具均一块状

①安徽省地质局.灵璧幅 1:20 万地质报告,1977.

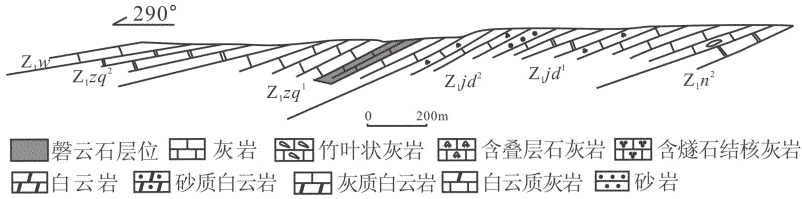


图 2 陇山九顶山组张渠组地层剖面图(地层代号同图 1)

Fig.2 Geological section of Jiudingshan and Zhangqu Formation along Longshan (stratigraphic symbols as for Fig. 1)

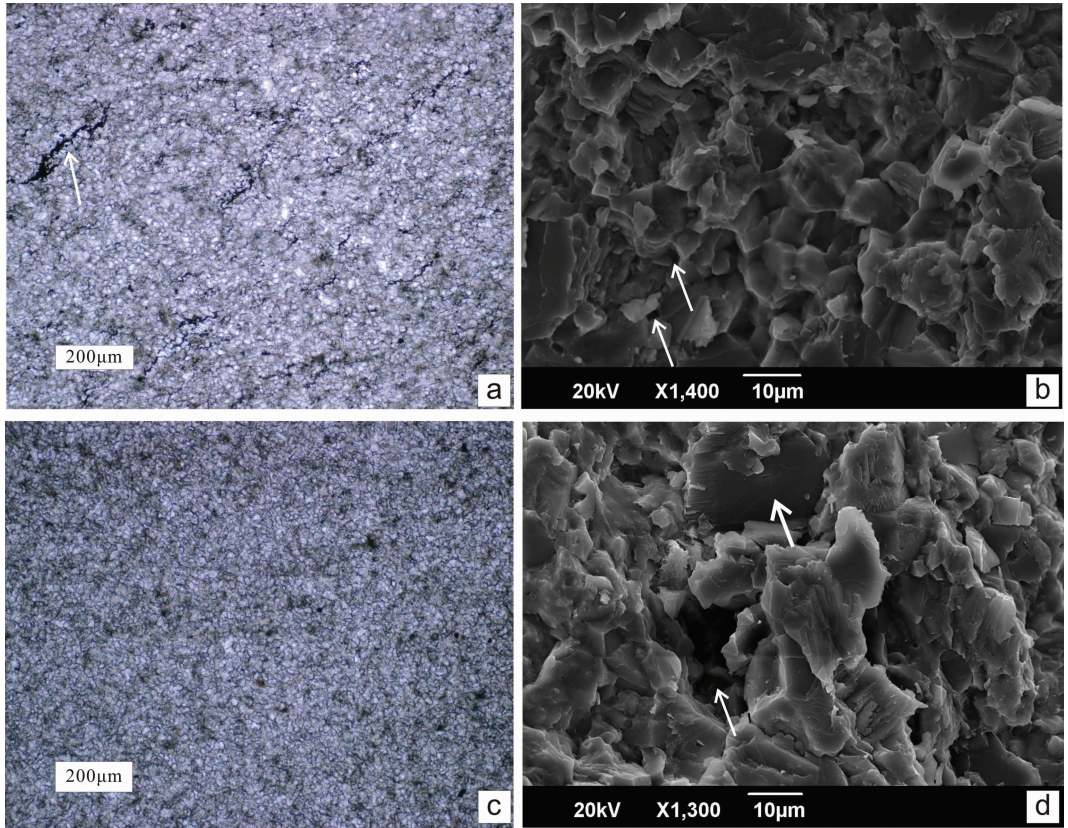


图 3 磬云石和普通微晶灰岩显微照片及扫描电镜照片

a—磬云石(ZQ-13)的显微照片(单偏光),箭头显示富含有机质的暗色纹层; b—磬云石(ZQ-13)的扫描电镜照片,含少量微小沉积孔洞(箭头所指); c—普通微晶灰岩(Z-12)的显微照片(单偏光); d—普通微晶灰岩(Z-12)的扫描电镜照片,沉积孔洞较大(细箭头),部分沉积孔洞被胶结物充填(粗箭头)

Fig.3 Photomicrograph and scanning electron microscope image of Qingyun stone and common micrite
a—Photomicrograph of Qingyun stone (ZQ-13) (plainlight), the arrowhead denotes dark laminae rich in organic matter;
b—Scanning electron microscope image of Qingyun stone, containing a few small sedimentary pores (denoted by the arrowhead);
c—Photomicrograph of common microcrystalline limestone (plainlight); d—Scanning electron microscope image of common microcrystalline limestone, containing a few bigger sedimentary pores (denoted by the thin arrowhead), with some sedimentary pores filled with cements (denoted by the thick arrowhead)

构造,微晶结构,但颜色稍浅于磬云石,为深灰黑色。显微镜下观察,它们的主要组分也为较纯净的方解石晶粒,粒度 0.01~0.02 mm,半自形-自形,呈密集镶嵌状排列。含少量有机质,明显低于磬云石的有机

质含量,且呈颗粒状分布,无磬云石中呈暗色纹层状分布的特征(图 3-c)。在扫描电镜下观察,可见方解石晶粒大小不一,自形程度明显差于磬云石,且有较多晶间沉积孔洞,部分沉积孔洞被方解石胶结物充

填(图 3-d)。晶粒间可见絮片状粘土矿物。

4 主量和微量元素特征

磬云石和普通微晶灰岩样品的主量和微量元素

分析结果(表 1)显示,磬云石具有高的 CaO 含量(54.28%~55.75%),低的 MgO 含量(0.32%~0.85%), SiO_2 、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 等含量较低,均小于 1%。作为对比的普通微晶灰岩具有和磬云石基本一

表 1 磬云石和普通微晶灰岩的主量元素(10^{-2})和微量元素(10^{-6})分析结果
Table 1 Major (wt%) and trace (ppm) element composition of the representative Qingyun stones and common microcrystalline limestone

样品号	ZQ-13	Z-7	Z-19	Z-24	Z-12	Z-14	Z-15	Z-16
名称	磬云石				普通微晶灰岩			
地层	张渠组	张渠组	张渠组	张渠组	张渠组	九顶山组	张渠组	九顶山组
SiO_2	0.91	0.34	0.01	0.61	0.78	0.01	0.89	0.5
TiO_2	0.08	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
Al_2O_3	0.44	0.2	0.05	0.34	0.26	0.1	0.31	0.23
Fe_2O_3	0.46	0.3	0.35	0.5	0.42	0.32	0.46	0.31
MnO	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0
MgO	0.6	0.35	0.32	0.85	0.29	2.46	0.41	2.05
CaO	54.28	55.74	55.75	54.82	54.96	53.58	54.97	53.34
Na_2O	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04
K_2O	0.12	0.08	0.03	0.15	0.07	0.07	0.15	0.08
P_2O_5	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05	0.02
烧失量	42.86	43.14	43.48	42.62	42.86	43.61	42.75	43.36
总量	99.83	100.29	100.14	100.03	99.79	100.27	100.1	99.99
Sc	0.64	0.49	0.38	0.86	0.34	0.28	0.77	0.32
Co	0.74	0.48	0.57	0.83	0.59	0.75	0.79	0.51
Cs	0.37	0.2	0.12	0.3	0.27	0.39	0.14	0.21
Mn	47.3	21.7	38.4	34	31.7	49.2	74	25.1
Cu	104	138	135	145	301	92	141	75
Zn	16.8	28.5	19	19.9	45.6	15.7	20.4	14.2
Rb	5.39	2.55	1.11	3.95	2.31	2.4	3.65	2.75
Sr	2892	2960	1504	714	2480	193	522	263
Y	2.3	6.98	2.96	5.67	2.48	1.32	4.13	4.37
Zr	6.96	3.11	1.11	3.34	2.41	1.27	2.74	1.96
Ba	36.5	30.7	9.25	15.8	24.3	7.14	22.75	6.45
Hf	0.14	0.08	0.03	0.09	0.067	0.044	0.08	0.073
Ta	0.02	0.01	0.014	0.019	0.013	0.015	0.02	0.011
Pb	7.5	8.65	11.5	11.2	23.5	6.98	9.62	5.42
Th	0.45	0.36	0.27	0.49	0.24	0.17	0.34	0.24
U	0.53	0.63	2.42	0.77	2.49	0.33	0.63	0.27
La	1.75	3.35	1.89	3.63	2.08	0.94	2.85	1.88
Ce	3.17	3.66	3.34	5.25	3.01	1.78	5.53	3.06
Pr	0.38	0.6	0.43	0.79	0.41	0.21	0.63	0.4
Nd	1.5	2.63	1.71	3.27	1.72	0.83	2.54	1.82
Sm	0.28	0.53	0.33	0.65	0.3	0.16	0.47	0.39
Eu	0.056	0.12	0.065	0.13	0.065	0.032	0.11	0.083
Gd	0.29	0.68	0.36	0.69	0.32	0.18	0.5	0.45
Tb	0.037	0.09	0.045	0.088	0.04	0.023	0.07	0.061
Dy	0.26	0.65	0.31	0.62	0.28	0.16	0.5	0.43
Ho	0.061	0.16	0.076	0.15	0.068	0.034	0.12	0.096
Er	0.18	0.45	0.21	0.41	0.18	0.101	0.35	0.27
Tm	0.025	0.06	0.027	0.058	0.023	0.014	0.05	0.036
Yb	0.14	0.31	0.15	0.34	0.13	0.077	0.28	0.19
Lu	0.023	0.05	0.024	0.05	0.019	0.013	0.04	0.03
ΣREE	8.15	13.34	8.97	16.13	8.65	4.55	14.04	9.20

致的主量元素含量变化范围(图 4), 即高的 CaO 含量, 低的 SiO₂、Fe₂O₃、Al₂O₃、K₂O、Na₂O 等氧化物含量, 但 2 个九顶山组微晶灰岩样品具有偏高的 MgO 含量, 为 2.05%~2.46%。

磬云石具有低的稀土元素含量, $\sum REE$ 为 $8.15 \times 10^{-6} \sim 16.13 \times 10^{-6}$, 稀土元素配分曲线较平缓, 具有明显的 Ce 亏损(图 5)。微量元素显著富集 Sr、Cu、Mn、Ba 等元素, Sr 含量为 $714 \times 10^{-6} \sim 2960 \times 10^{-6}$ 。

作为对比的普通微晶灰岩具有类似磬云石的稀土元素和微量元素组成, 在北美页岩标准化图解上呈现类似的配分曲线形式(图 5)。但除张渠组的微晶灰岩样品外, 其他微晶灰岩的 Sr 含量明显低于磬云石。

5 讨论和结论

通过上述对比研究可以看出, 磬云石在主量元素、微量元素等地球化学特征上与普通微晶灰岩没

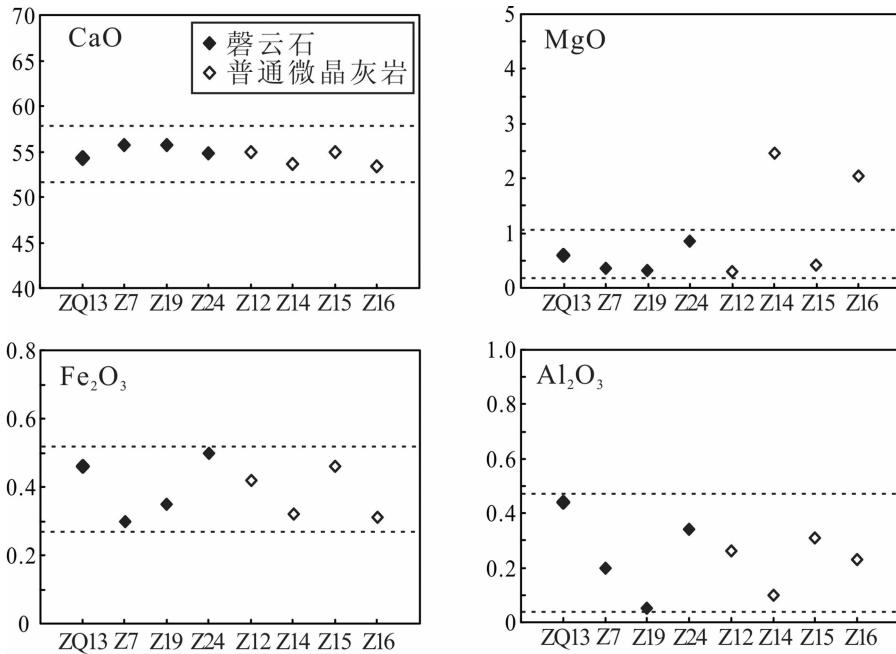


图 4 磬云石和普通微晶灰岩的主量元素特征

Fig.4 Major element composition plots of the Qingyun stone and common microcrystalline limestone

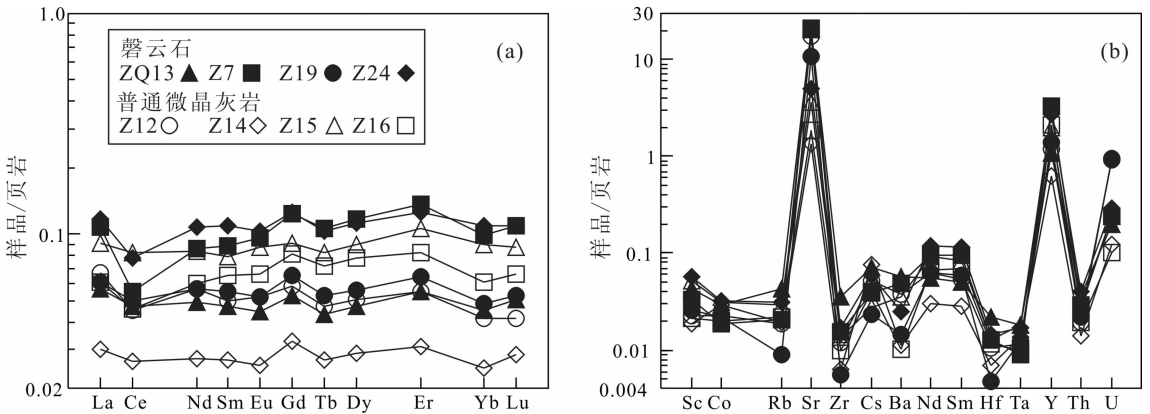


图 5 稀土元素配分图解(a)与微量元素蛛网图(b)(北美页岩标准值引自文献[7])

Fig.5 (a) North American shale-normalized REE patterns; (b) North American shale-normalized trace element diagrams. The North American shale composites are from reference[7]

有显著区别。但是,磬云石具有独特的特点:(1)矿物组成单一,颗粒大小均匀;(2)颗粒排列紧密,颗粒间孔洞少而且小;(3)含有较高的有机质含量,且呈微小的质点,或薄膜状分布。因此,可以认为磬云石敲击能发出青铜质的声音,正是与这些独特的结构特征有关。该套地层中的其他微晶灰岩虽然也是微晶结构,但是颗粒大小不一,且含有粘土矿物颗粒和较多的孔洞,影响了声波的震动和传递,因而不能发出青铜质的声音。

前人研究表明,该区震旦系为陆表浅海沉积,沉积相以碳酸盐台地相为主,沉积时限在 850~650 Ma^[8-9],处在 Sturtian 全球冰期之前^[10]。Sturtian 全球冰期出现在 720~700 Ma, Hoffman et al. 称为雪球地球^[11],在 Sturtian 全球冰期前后古海水的地球化学成分发生了重大变化^[12]。在此之前,全球处于缺氧状态,具有很高的 CO₂ 浓度,海水中溶解了高浓度的 CaCO₃,为方解石的快速沉淀和成岩提供了重要的条件,形成均匀等粒的微晶灰岩,同时缺氧的还原环境有利于有机碳的保存及埋藏。但是,该区震旦纪在正常的低能浅海沉积中,间有阵发性高能沉积,各组地层均出现了一些异常的高能成因沉积岩和沉积构造,包括同生角砾岩、放射状板状砾屑、层间褶曲、包卷层理、丘状层理、粒序层理、强烈冲刷侵蚀构造等,呈夹层状产出,被认为是与受古庐断裂带影响的风暴作用或地震作用有关^[8,13-14]。并且,受地震事件的影响,海平面发生多次升降变化,形成了多个沉积旋回,一般以开阔台地相中厚层灰岩开始,到局限台地相白云岩或灰质白云岩结束,地震活动往往出现在海平面上升时期^[8]。这些复杂的地质条件可以解释磬云石在该区震旦系地层中仅产于局限层位的问题。即,海水中高浓度的 CaCO₃,有利于方解石的快速沉淀和富有机质微晶灰岩的形成,但在震旦纪地质事件多发的环境中,只有很短暂的沉积时期不受地质事件的扰动,而形成磬云石所在的矿物单一,颗粒均匀且排列紧密的微晶灰岩层。

综上所述,磬云石之所以能发出青铜质的声音,主要与其矿物组成单一,结构均匀致密,富含有机质有关。磬云石的形成是震旦纪海水过饱和 CaCO₃ 的沉积环境与该区复杂的地质事件联合作用的结果。

参考文献 (References):

- [1] 郑学信,刘永,周栗. 灵璧石的研究[J]. 安徽地质, 1996, 6(1):58-62.
- [2] 谷丰,孙凤贤. 灵璧石形成的地质环境及其主要地质特征研究[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2008, 31(4):376-380.
Gu Feng, Sun Fengxian. Study on the geological setting for formation of the Linbi stone and its major geological features [J]. Journal of Anhui Normal University (Natural Science), 2008, 31(4): 376-380 (in Chinese with English abstract).
- [3] 葛肖虹,马文璞,刘俊来,等. 对中国大陆构造格架的讨论 [J]. 中国地质, 2009, 36(5):949-965.
Ge Xiaohong, Ma Wenpu, Liu Junlai, et al. A discussion on the tectonic framework of Chinese mainland [J]. Geology in China, 2009, 36(5):949-965(in Chinese with English abstract).
- [4] 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等. 中国大地构造单元划分 [J]. 中国地质, 2009, 36(1):1-28.
Pan Guitang, Xiao Qinghui, Lu Songnian, et al. Subdivision of tectonic units in China [J]. Geology in China, 2009, 36(1):1-28(in Chinese with English abstract).
- [5] 沈其韩. 太古宙地层研究中应注意的几个问题 [J]. 中国地质, 2002, 29(2):113-116.
Shen Qihan. Some important aspects in the study of Archean stratigraphy [J]. Geology in China, 2002, 29 (2):113-116 (in Chinese with English abstract).
- [6] 王桂梁,姜波,曹代勇,等. 徐州—宿州弧形双冲—叠瓦扇逆冲断层系统[J]. 地质学报, 1998, 72(3):228-236.
Wang Guiliang, Jiang Bo, Cao Daiyong, et al. On the Xuzhou - Suzhou arcuate duplex - imbricate fan thrust system [J]. Acta Geologica Sinica, 1998, 72 (3):228-236 (in Chinese with English abstract).
- [7] Gromet L P, Dymek R F, Haskin L A, et al. The "North American Shale Composite": its compilation, major and trace element characteristics [J]. Geochim. Cosmochim. Acta, 1984, 48:2469-2482.
- [8] 潘国强,刘家润,孔庆友,等. 徐宿地区震旦纪地质事件及其成因讨论[J]. 高校地质学报, 2000, 6(4):566-575.
Pan Guoqiang, Liu Jiarun, Kong Qingyou, et al. Study on Sinian geologic events in Xuzhou - Suzhou area and discussion on their origin [J]. Geological Journal of China Universities, 2000, 6(4): 566-575 (in Chinese with English abstract).
- [9] 贾志海,洪天求,郑文武,等. 皖北新元古代望山组震积岩的基本特征及其形成环境分析[J]. 地层学杂志, 2003, 27(2):146-158.
Jia Zhihai, Hong Tianqiu, Zheng Wenwu, et al. The characters and environments of the seismites of the Neoproterozoic Wangshan formation in North Anhui [J]. Journal of Stratigraphy, 2003, 27(2): 146-158 (in Chinese with English abstract).
- [10] 刘为付,孟祥化,葛铭,等. 徐州—淮南地区新元古代白齿碳酸盐岩成因探讨[J]. 地质论评, 2004, 50(5):454-463.
Liu Weifu, Meng Xianghua, Ge Ming, et al. Origin of the Neoproterozoic molar-tooth carbonates in the Xuzhou - Huainan

- Area [J]. Geological Review, 2004, 50 (5):454-463 (in Chinese with English abstract).
- [11] Hoffman P F, Kaufman A J, Halverson G P, et al. A Neoproterozoic snowball earth [J]. Science, 1998, 281 (5381): 1342-1346.
- [12] Kaufman A J, Knoll A H, Narbonne G M. Isotopes, ice ages, and terminal Proterozoic earth history [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1997, 94(13):6600-6605.
- [13] 乔秀夫, 高林志. 华北中新元古代及早古生代地震灾变事件及与 Rodinia 的关系[J]. 科学通报, 1999, 44(16):1753-1757.
Qiao Xiufu, Gao Linzhi. Mesoproterozoic, Neoproterozoic and early Paleozoic earthquake events in North China and its relationship with supercontinental Rodinia Chinese [J]. Science Bulletin, 1999, 44 (16):1753-1757(in Chinese).
- [14] 洪天求, 贾志海, 郑文武, 等. 宿州地区震旦系望山组主要沉积类型及其形成环境分析 [J]. 吉林大学学报 (地球科学版), 2004, 34(1):5-11.
Hong Tianqiu, Jia Zhihai, Zheng Wenwu, et al. The analysis of the depositional Wangshan Formation of Sinian types and the environments of the Suzhou area, Anhui Province [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2004, 34 (1):5-11 (in Chinese with English abstract).

Petrography and geochemistry of Lingbi Qingyun stone in northern Anhui Province

MA Yan-ping¹, HE Zhen-yu², CHEN Song¹

(1. Department of Geography and Environmental Science, Suzhou College, Suzhou 234000, Anhui, China;

2. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

Abstract: Qingyun stone of Lingbi County is a type of microcrystalline limestone lying in Sinian Zhangqu Formation, characterized by black color, dense texture and bronze-like sound. It can be used as an ornament or musical instrument. The rock is dominated by euhedral microcrystalline calcite, up to 10 μm in size, with abundant organic matter. It has high CaO and low MgO, SiO₂, Fe₂O₃, Al₂O₃, shows low REE concentrations, and is enriched in Sr, Cu, Mn and Ba. Based on a comparison of the petrographic and geochemical features between the Qingyun stone and the common microcrystalline limestone in the study area, the authors hold that the characteristics of the bronze-like sound produced by the Qingyun stone can be attributed to its single mineral assemblage, uniform grain size, dense texture, very small pore size and high organic matter abundance. The Qingyun stone was genetically associated with the global high CO₂ concentrations and regional extraordinary geological events in Sinian period, being the combined result of the CaCO₃ oversaturated sedimentary environments and the complex geological events.

Key words: Lingbi County; Qingyun stone; Sinian; microcrystalline limestone; generation

About the first author: MA Yan-ping, female, born in 1973, lecturer and master, mainly engages in the teaching and study of tectonic geology; E-mail: ahhzy@163.com.