

文章编号: 1000-0550(2008) 01-0070-07

蓟县地区雾迷山组硅质岩成因研究¹

任国选 孟祥化 葛 铭 王德海 郭 峰

(中国地质大学 沉积盆地研究所 北京 100083)

摘 要 中晚元古代华北地台处于燕辽拗拉谷的张裂期,有利于形成风暴流。蓟县雾迷山组广泛发育风暴沉积,在硅质条带白云岩中发育硅质砾屑具奇特的菊花状构造,这种构造形成于成岩作用后期,在尚未完全固结成坚硬的岩石时期,遭遇风暴破坏,将原有水平层理打碎,继而被风暴流搅起,风暴流的涡动使得岩石碎片直立,或者呈发散状,后经成岩作用保留了这种构造形态,与上下岩层形成典型的风暴沉积序列。通过野外与镜下观察并结合有机地球化学分析得出,蓟县地区雾迷山组硅质条带白云岩发育典型的风暴沉积序列和挤压滑塌序列,风暴硅质岩具丘状形态,内部菊花状构造为近源风暴产物,其中硅质岩来源于海底热水活动。沉积环境推测为碳酸盐台地前缘斜坡。

关键词 硅质岩 风暴序列 雾迷山组

第一作者简介 任国选 男 1980 年出生 在读博士 矿产普查与勘探 E-mail hihos@126.com

中图分类号 P512.2 **文献标识码** A

1 地质概况

中一晚元古代,华北地台进入了拗拉谷发展阶段。初期,在早元古代末基底隆起背景下发生强烈的伸展裂陷,产生北东及北西或近东西向张性断裂系统,断裂的差异升降作用十分明显,区内形成了四个北东向带状展布的拗拉谷,燕辽拗拉谷就是其中之一,燕辽拗拉谷位于内蒙古古陆南侧,是华北地区强烈拗陷地带^[1],图 1 所示拗陷中心在天津蓟县一带,沉积厚达 10 000 m,地层发育完全,是北方中上元古界地层划分和对比的标准剖面。

蓟县中元古界雾迷山组剖面位于蓟县罗庄子—闪坡岭村一带(图 2),地层出露齐全,厚度 3 300 余米,主要岩性为白云岩,包括泥晶云岩、藻叠层云岩、鲕粒云岩、内碎屑云岩等。白云岩中硅质多呈薄层或团块状。

对硅质条带的成因说法不一,主要有:无机成因说^[2]、有机成因说^[3]和机械成因说^[4]。作者在研究天津蓟县地区雾迷山组碳酸盐岩时,发现夹于白云岩之间的硅岩条带在某些层位具菊花状的宏观构造特征,在 20 世纪 70 年代,当时被学者^[5]解释为潮间上部因扭曲或滑动而形成的一种沉积现象,在正常浅海碳酸盐岩沉积夹层中出现风暴硅质岩,从其结构成因解释与北京西山风暴成因^[6]类似,但从其硅质来源

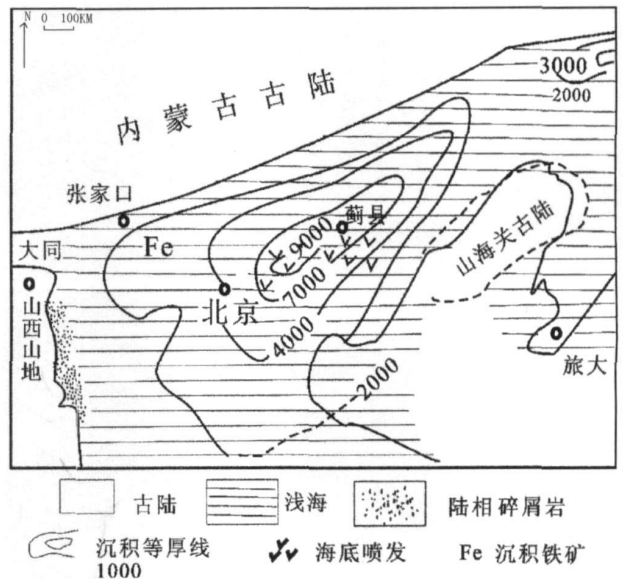


图 1 燕辽拗拉谷雾迷山统古地理
(据宋春青等, 1996 有修改)

Fig 1 Paleogeography of Yanliao Paleogen in Wumishan series (after Song Chunqing et al 1996)

方面,对于雾迷山组硅质岩而言,总计厚度逾 700 余米,显然硅质岩由风暴作用从外源(陆源)携带而来不太现实,也不可能有这么长时间和如此频繁的风暴。现在看来,仅靠机械成因来解释为硅质来源未免

¹ 国际地质对比计划 ECP447 项目(编号: SC/GEO/546/447)、科技部国家重点基础研究项目(001CB7 11002)、国家自然科学基金(批准号: 40172043 40572073)和中国地质调查局项目(编号: 200313000055)资助。
收稿日期: 2007-03-12 收修改稿日期: 2007-05-15

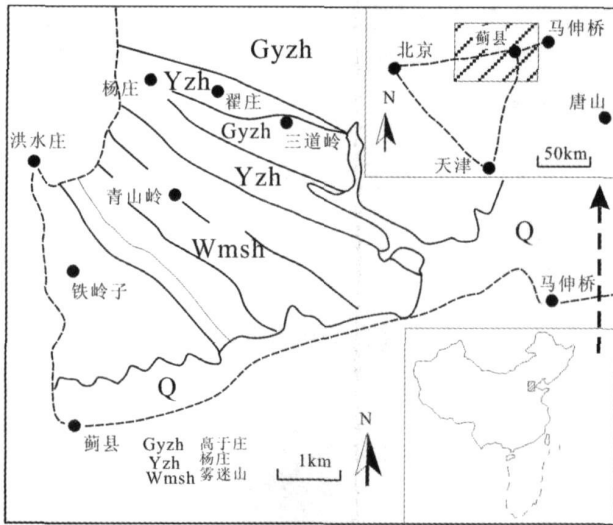


图 2 研究区位置及地质略图

Fig 2 Location and geological sketch map of the study area

太绝对, 前人研究^[7]认为, 本区在雾迷山期沉降速度快, 为中、晚元古代最大的海侵期的沉积, 是利于特大风暴形成的最佳时期, 但风暴可能只是引起花状构造和滑动断裂, 换言之, 也只能形成硅质岩层理的变形, 并不能完全解释硅质岩的真正来源, 本文从雾迷山组硅质岩可能是与生物(叠层石)或者海底热液活动以及与风暴作用的关系入手, 探究雾迷山组硅质岩成因及沉积序列, 是本文研究的重点。

2 岩石学特征

2.1 岩性特征

雾迷山组以滨—浅海相叠层石白云岩为主, 含粗砾白云岩、硅质岩薄层、黑色泥晶云岩和含硅质条带白云岩, 硅质条带灰黑色, 主要成分为燧石, 部分硅质碎屑呈菊花状、放射状至杂乱状排列, 部分呈板条状, 无磨圆, 板条状燧石碎屑之间由硅质胶结, 少量白云质胶结。

元古代时期海洋中的蓝绿藻类可能是当时最主要的生命形式之一, 它对叠层石的形成起着重要作用, 也包括一些细菌的作用, 藻叠层的明暗层理构造是生物化学作用周期性交替沉积的结果, 主要受季节变化所控制。蓝绿藻在各种沉积环境中广泛分布, 且适应各种水介质条件, 其生存的必要条件是光合作用, 因此藻叠层主要发育在浪基面以上的透光带。由于不同环境水动力条件的差异, 在滨浅海的不同部位所形成的叠层石具有不同的形态, 由潮上低能带至潮下高能带, 依次出现层纹状藻白云岩—波纹和密波纹藻白云岩—大波纹藻白云岩—柱状叠层石白云岩—藻鲕及藻团白云岩—锥状、柱状叠层石白云岩。潮下泻湖或闭塞潮下低能带, 由于水体停滞, 能量显著降低, 阳光仍较充足, 形成发育的密纹层—密波纹状及小柱状藻叠层云岩(图 3), 潮下低能带藻叠层云岩位

叠层石类型	沉积环境	描述
	潮上泥坪	层纹状藻白云岩 密波纹藻白云岩
	潮上低能带	风暴花状构造和挤压滑动构造 灰白色硅质薄层
	潮间坪	大波纹藻白云岩加硅质薄层 黑色硅质薄层 柱状叠层石白云岩
	潮下高能带	锥状、柱状叠层石白云岩 密纹层密波纹状及小柱状藻叠层云岩
	潮下低能带	锥状、柱状叠层石白云岩 黑灰色硅质薄层

图 3 蓟县雾迷山组叠层石沉积序列

Fig 3 Depositional sequence of stromatolite in Wumishan Formation in Jixian

于雾迷山组第一段。潮间泻湖藻叠层云岩则为含沥青质密纹或小柱状藻叠层云岩,具隐晶、斑点、小凝块、纤维状等各种显微结构,形成于潮间低能带。在蓟县雾迷山组中硅质叠层石藻白云岩可占 80%,其中的暗色层富含泥及有机质(碳质、沥青质)(表 1)。

雾迷山组样品沉积有机质为腐泥型,其碳同位素 $\delta^{13}C_{PDB}$ ‰ 值为 $-30\text{‰} \sim -27.5\text{‰}$,自下向上呈偏轻趋势,归因于沉积时底部水体缺氧及细菌改造作用,加之浮游生物繁盛,有机碳含量^[8]较高(平均为 0.29%),硅质岩伴随火山喷发物质提供了生物生长有利的营养物质。

表 1 蓟县雾迷山组碳同位素分析数据

Table 1 Data of organic carbon isotope compositions for Wumishan Formation Jixian

样品编号	岩性	层段	$\delta^{13}C_{PDB}$ /‰
雾迷山-1	黑灰色硅质叠层石	雾迷山第 1 段顶部	-29.8
雾迷山-2	灰色条纹状硅质条带	雾迷山 2 段底部	-29.6
雾迷山-3	黑灰色硅质叠层石	雾迷山 2 段下部	-29.1
雾迷山-4	黑灰色块状硅质条带	雾迷山 2 段下部	-29.3
雾迷山-5	灰黑色硅质纹层	雾迷山 2 段下部	-29
雾迷山-6	灰黑块状硅质条带	雾迷山 3 段中部	-28.3
雾迷山-7	硅质锥状叠层石	雾迷山 4 段七部(下)	-29.5
雾迷山-8	硅质锥状叠层石	雾迷山 4 段上部(上)	-29.3

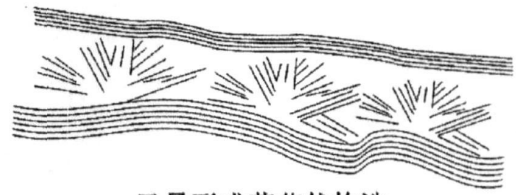
2.2 沉积构造

(1) 原生构造:泥质白云岩含同沉积硅质水平纹层,以及大型波状层理以及小型交错层理(图版 iv-2)。白云岩内常发育叠层石(图版 iv-4),镜下观察叠层石明暗相间纹层(图版 1-5)。

(2) 风暴成因构造:

a 菊花状或放射状构造(图版 iv-1),菊花状或放射状构造首先是一种层理构造,沉积岩层的原始产状多是趋于水平的,后来的构造运动可以使其倾斜、直立、弯曲甚至发生破裂,形成褶皱、节理、断层、劈理等构造形态,菊花状或放射状只是对其形态更加形象化的一种描述,它是指成岩作用后期,岩石尚未完全固结成坚硬的岩石时期,遭遇风暴破坏,将原有水平层理打碎,风暴流的涡动使得岩石碎片或者直立,或者呈发散状,后经成岩作用保留了这种构造形态。在成分结构方面,明显是一种原地搬运快速沉积,几乎没有分选和磨圆,硅质岩碎屑棱角分明。由于雾迷山组硅质岩为板条状硅质砾屑,剖面上呈放射状排列所致,平面上呈波状弯曲,立体观察形似菊花而得名,花朵呈直立式、平卧式和杂乱式,花瓣长 3~10 cm 不

等,宽 2 mm,单个花朵最大直径达 7 cm(图 4),为风暴流的涡动或风暴浪就地掀起和就地堆积或短距离搬运和快速堆积的结果;



风暴形成菊花状构造



杂乱堆叠的同生波纹藻席纹层构造

图 4 风暴硅质岩菊花状构造形态

Fig 4 Storm siliceous rock structure morphology as daisy

b 底模构造,为具波浪和涡流双重性质的风暴流对海底沉积物进行冲刷、淘蚀和改造的结果(图版 iv-3)。模体堆积物为砾屑白云岩;

c 冲刷构造,为最常见的沉积构造,是风暴期次的标志,它的凸凹程度反映风暴作用的大小及基底岩性特征,其上常发育泥砾;

d 丘状构造:为风暴硅质岩三维空间观察时的宏观构造(图版 iv-2)。其剖面上呈透透镜体,丘状体高度 10~50 cm,丘状构造的形成与风暴浪有关,其规模与波浪强度和波长的大小有关。

滑动挤压成因构造^[9]:

由于雾迷山期沉积时,燕辽拗拉谷西侧沿辽宁北票—紫荆关一线受同生断层控制,并同时与近东西向的宣化—承德一线分布的同沉积断层所控制的裂隙谷交汇,沉积中心在蓟县一带,在斜坡地带滑动挤压构造特别发育。

3 硅质岩成因推断和沉积环境

(1) 硅质岩成因

岩性:为白云岩和灰质白云岩中夹薄层硅质岩、燧石条带和燧石结核等,薄层厚约 2~6 cm,燧石结核多分布于同一层面上,由于数量不够,不能连成层,又称类薄层或结核层,它与薄层硅质岩和燧石条带等表明上升流阵发性^[10]的特征。

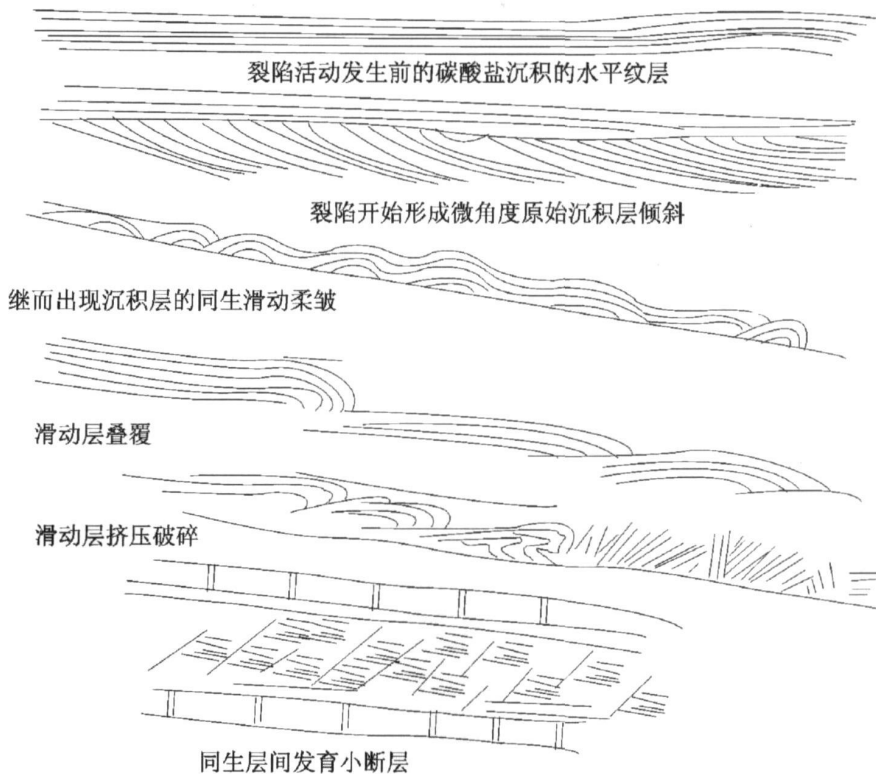


图 5 蓟县纪雾迷山期拗拉海槽盆地内断裂斜坡带上形成的碳酸盐沉积滑动挤压构造
(据孟祥化、葛铭 2004 改绘)

Fig. 5 Development orders of carbonate sliding structures of a lacogen in Jixian period
(Modified from Meng XH and Ge M, 2004)

产状: 硅质岩层与上下岩层均呈整合接触, 但是两种岩石性质差别较大, 由于硅质岩的沉积厚度小, 但横向延伸远, 可以推断该硅质岩可能是与泥晶白云岩同沉积产物;

成分: 硅质岩的成分主要为燧石, 下伏地层岩石成分为泥晶白云岩和藻叠层石白云岩, 特征不同, 可以推测, 硅质岩和下伏岩层非同一沉积机理形成的, 海水在这两个时期的成分不同;

硅质来源: 现代浅海上升流区海水中的溶解 Si 高达 $50 \mu\text{g}$ 原子/L (非上升流区仅 $14 \mu\text{g}$ 原子/L), 大洋上升流区为 100 (大西洋) $\sim 175 \mu\text{g}$ 原子/L (太平洋)^[11], 可见上升流区富 SiO_2 。 SiO_2 的沉淀条件是浓度 $> 120 \times 10^{-6}$, $\text{pH} < 7$ 的酸性环境, 海水为弱碱性, 不利于 SiO_2 的沉淀, 但当大量菌藻类繁殖、死亡和有机质分解时, 放出有机酸、 CO_2 等, 造成局部酸性水环境, 有利于 SiO_2 沉淀^[12], 因而菌藻等生物发育有利于 SiO_2 沉积。显微镜下, 硅质薄层和燧石条带由微晶石英和纤维玉髓组成明暗纹层 (图版 iv-6), 暗纹层含藻类化石 (图版 iv-8), 有机质丰富 (表 1), 如下马岭组中暗

纹层有机质含量 (TOC) 大于 0.5% , SiO_2 平均为 $75.12\% \sim 82.65\%$ ^[13], 亮纹层有机质含量 (TOC) 一般低于 0.5% , SiO_2 含量亦低, 有机质含量 (TOC) 与 SiO_2 的这种消长关系, 表明隐藻叠层石与硅质交代所致。

硅质岩的分布与富硅热水活动环境有关^[14], 硅在热水溶液中的溶解度与温度及盐度有关, 因此有火山活动的高温热水中 SiO_2 的溶解度很大, 火山热液可以提供丰富的可溶 SiO_2 及可溶铁质, 喷流到地表形成燧石岩或铁碧玉岩等。首先在野外可见硅质纹层, 在镜下可见黑色颗粒状萤石 (图版 iv-7), 可推断硅质来源与火山活动有关; 其次雾迷山组硅质 $\delta^{30}\text{Si}$ 变化范围很小, 在 $0.1\% \sim -0.5\%$ 之间; 其 $\delta^{30}\text{Si}$ 值分布范围 (表 2 据 Clayton) 相当于热水来源硅质的变化范围^[16]。因此, 认为雾迷山组硅质岩是热水成因。

表 2 不同来源的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值 ($\%$)

Table 2 $\delta^{30}\text{Si}$ values of different silicon ($\%$)

硅质来源	正常地下水自生石英	热水溶解硅	热水成因石英
$\delta^{30}\text{Si}$ 值	1.1~1.4	0.0~0.4	-1.5~0.8

(2) 沉积环境

雾迷山组硅质岩产状多为条带状, 具有大型波状和丘状层理, 局部还具有菊花状和放射状, 由于风暴

浪击面可波及, 可推测硅质岩沉积环境比较浅。风暴沉积为原地机械破碎, 近距离搬运快速沉积产物, 因此其沉积环境推测为碳酸盐台地前缘斜坡(图6)。

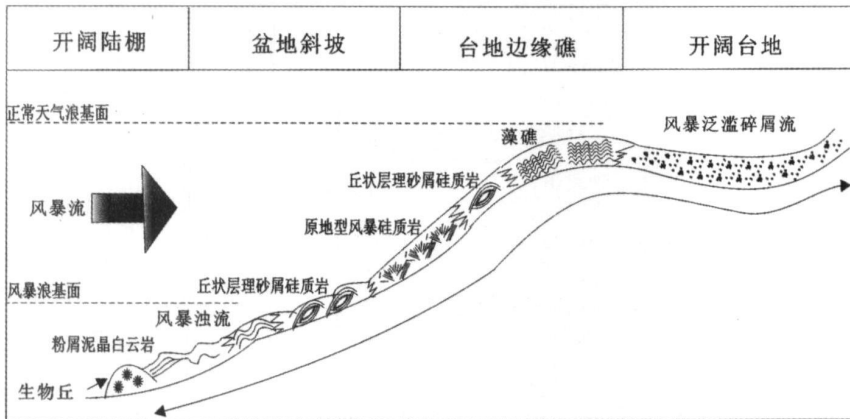


图6 风暴硅质岩沉积模式(据孟祥化等, 2004有修改)

Fig. 6 The depositional model of the storm siliceous rock (After Meng X H et al. 2004)

4 结论

(1) 天津蓟县地区雾迷山组硅质岩发育典型的风暴沉积序列和挤压滑塌序列, 风暴硅岩具丘状形态, 内部具菊花状层理构造, 是成岩作用后期, 岩石尚未完全固结成坚硬的岩石时期, 遭遇风暴破坏, 将原有水平层理打碎, 风暴流的涡动使得岩石碎片或者直立, 或者呈发散状, 后经成岩作用保留了这种构造形态。在成分结构方面, 明显是一种原地搬运快速沉积, 几乎没有分选和磨圆, 硅质岩碎屑棱角分明。

(2) 硅质叠层石白云岩的成因, 生物作用伴随上升流携带大量养料, 使得硅质叠层石大量繁殖, 富形成富含有机质的硅质叠层石白云岩。

(3) 雾迷山组硅质岩来源为热水溶解硅, 雾迷山组硅质 $\delta^{30}\text{Si}$ 变化范围很小, 在 $0.1\% \sim -0.5\%$ 之间; 其 $\delta^{30}\text{Si}$ 值分布范围相当于热水来源硅质的变化范围, 认为雾迷山组硅质岩是热水成因。

参考文献 (References)

- 1 宋春青. 地质学基础 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1996 [Sun Qingchun. Foundation of geology [M]. Beijing: Higher Education Press, 1996]
- 2 Matthew R. Greentree. Late Mesoproterozoic to earliest Neoproterozoic basin record of the Sibao orogenesis in western South China and relationship to the assembly of Rodinia [J]. Precambrian Research, 2006, 151: 79-100
- 3 周立君. 快速扩张的东太平洋海隆侧翼年轻深海丘陵的热液释放现象 [J]. 编译自 Geology, 2005, 33(2): 153-156. 海洋地质动态.

2005, 21(4): 14-1 [Zhou Lijun. Manifestations of hydrothermal discharge from young abyssal hills on the fast-spreading east Pacific Rise. Marine Geology Letters, 2005, 21(4): 14-1]

- 4 黄永建, 王成善, 汪云亮. 古海洋生产力指标研究进展 [J]. 地学前缘, 2005, 12(2): 163-170 [Huang Yongjian, Wang Chengshan, Wang Yongliang. Progress in the study of proxies of paleocean productivity [J]. Earth Science Frontiers, 2005, 12(2): 163-170]
- 5 赵澄林. 华北中、新元古界油气地质与沉积学 [J]. 石油大学学报, 1997, 3: 118-138 [Zhao Chenglin. Study on gas oil geology and sedimentology in North China of Middle-upper Proterozoic [J]. Journal of China University of Petroleum, 1997, 3: 118-138]
- 6 谢庆宾, 朱筱敏. 北京西山地区雾迷山组风暴硅岩沉积序列 [J]. 沉积学报, 1997, (3): 37-40 [Xie Qingbin, Zhu Xiaomin. Depositional sequence of storm siliceous rock in Wumishan Formation, West Mountain, Beijing, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1997, (3): 37-40]
- 7 倪丙荣, 主编. 地史学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1988: 59-71 [Ni Bingrong. Geohistory [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1988: 59-71]
- 8 王杰, 陈践发. 华北中上元古界烃源岩沉积环境及生烃潜力研究 [J]. 天然气地球科学, 2001, 12(3): 27-35 [Wang Jie, Chen Jianfa. Study on the environment and potential of source rocks in North China Platform of Middle-upper Proterozoic [J]. Natural Gas Geosciences, 2001, 12(3): 27-35]
- 9 孟祥化, 葛铭. 中朝板块层序、事件和演化 [M]. 科学出版社, 2004 [Meng Xianhua, Ge Ming. Cyclic sequences, events and evolution of the Sino-Korean Plate [M]. Science Press, 2004]
- 10 吕炳全, 胡望水, 王红昱, 等. 华北地块中—上元古界上升流沉积相及其与油气的关系 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2005, 25: 83-88 [Lu Bingquan, Hu Wangshui, Wang Hongyan, et al. Neoproterozoic Mesoproterozoic upwelling facies and its relationship with hydro-

- carbon in North China[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2005, 25: 83-88]
- 11 吕炳全, 瞿建忠. 下扬子地区早二叠世海进和上升流形成的缺氧环境的沉积 [J]. *科学通报*, 1989, 34 (22): 1721-1724 [L Bingquan, Qu Jianzhong. Sedimentation of anoxic environments under transgression and upwelling process in early Permian in Lower Yangtze area[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1989, 34(22): 1721-1724]
- 12 徐伟民. 苏浙皖地区二叠系硅质来源及其与油气关系的探讨 [J]. *石油实验地质*, 1990, 12(1): 44-48 [Xu Weimin. On the origins of the Permian siliceous rocks in Jiangsu-Zhejiang-Anhui Provinces and their relation with the generation of oil and gas[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1990, 12(1): 44-48]
- 13 孙省利, 陈践发, 刘文汇. 海底热水活动与海相富有机质层形成的关系 [J]. *地质论评*, 2003, 49 (6): 588-595 [Sun Xingli, Chen Jianfa, Liu Wenhui. Hydrothermal venting on the seafloor and formation of organic-rich sediments[J]. *Geological Review*, 2003, 49(6): 588-595]
- 14 肖荣阁, 张汉城, 陈卉泉, 等. 热水沉积岩及矿物岩石标志 [J]. *地学前缘*, 2001, 8 (4): 379-385 [Xiao Rongge, Zhang Hancheng, Chen Huiquan *et al.* Hydrothermal sedimentary rock and indicators of minerals and rocks[J]. *Earth Science Frontiers*, 2001, 8(4): 379-385]
- 15 Clayton R N. High temperature isotope effects in the early solar system [C] // Valley, *et al.* Eds. *Reviews in Mineralogy*. Houston: Pergamon Press, 1986, 16: 129-139
- 16 裴悱楠. 油气储层评价技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997 [Qi Feinan. *Evaluation method in hydrocarbon reservoir*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997]

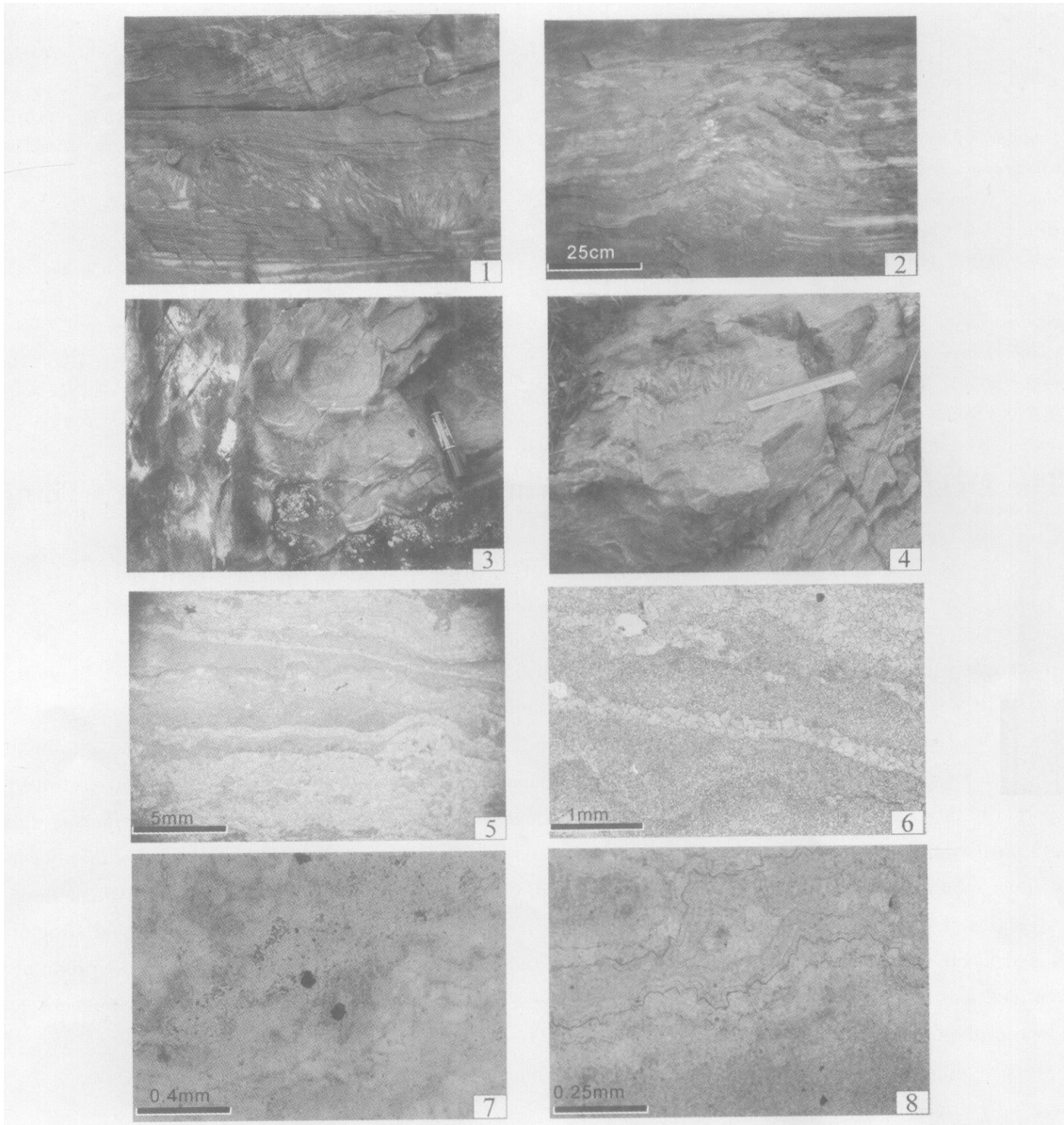
The Origin of Siliceous Rock in Wumishan Formation, Jixian, Tianjin

REN Guo-xuan MENG Xiang-hua GE Ming WANG De-hai GUO Feng

(Institute of Sedimentary Basin, China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract Since the Korea plate was in tensile period of Yangtze lacogen in the Mesoproterozoic, which likely to trigger big storm. It was well developed the stromatolite and coagulum stone bioherm, and which mainly consists of dolomite interbedded with siliceous rock. Research shows that there developed storm siliceous rock in this area. Storm siliceous rock with surface of scour siliceous gravel arranged as daisy, which was formed in storm surge, and destroyed in the late period of the diagenetic stage before they got consolidated or compacted, which resulted the siliceous fragments straight on the under layers, and formed typical storm deposit. Stromatolitic dolomite interbedded with siliceous strip was normal weather deposit. The paper concluded through the micro photo and field work that the typical storm depositional series of siliceous rock in Wumishan formation, Jixian. The scour-like structure and bunoid structure were developed in the storm siliceous rock, which were the fast and proximal sedimentary deposit. And the origin of the siliceous rock mostly could be seemed as the thermal water activities offering the SO_2 . Deposit environment could be the slope of the carbonate platform.

Key words siliceous rock, storm deposit sequence, Wumishan formation



图版 iv 说明: 雾迷山组硅岩沉积序列 1. 菊花状或放射状构造, 呈放射状排列所致, 平面上呈波浪状弯曲, 立体观察形似菊花而得名, 花朵呈直立式、平卧式和杂乱式, 花瓣长 3~10 cm 不等, 宽 2 mm, 单个花朵最大直径达 7 cm; 2. 风暴硅质岩丘状层理, 剖面上呈透镜体, 丘状体高度 10~50 cm; 3. 底模构造, 具波浪和涡流双重性质的风暴流对海底沉积物进行冲刷、淘蚀和改造的结果, 模体堆积物为砾屑白云岩, 蓟县系雾迷山组; 4. 硅质叠层石白云岩, 呈大型半圆状, 蓟县系雾迷山组; 5. 叠层石明暗相间纹层, 显微镜下照片, 单偏光, 4×10 , 蓟县系雾迷山组; 6. 硅质薄层和燧石条带由微晶石英和纤维玉髓组成明暗纹层, 显微镜下照片, 单偏光, 10×10 , 蓟县系雾迷山组; 7. 燧石呈非常细粒的微晶质集合体, 黑色颗粒状萤石, 显微镜下照片, 单偏光, 20×10 , 蓟县系雾迷山组; 8. 硅质条带中镶嵌状的石英, 石英自生加大边, 有纤维状波状消光, 显微镜下照片, 单偏光, 40×10 , 蓟县系雾迷山组。