

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

华北燕山中—新元古代震积岩系列及其地震节律

段吉业 刘鹏举 万传彪

吉林大学, 长春, 130026

内容提要 在燕山北缘河北平泉地区中、上元古界中, 鉴别出一系列震积岩。主要类型有脆性型、塑性型、液化型及复合型四种。提出了啸积岩与风暴岩的鉴别标志, 指出鲍马序列模式的真正拥有者是啸积岩与风暴岩, 而非典型的半深海浊积岩。根据其在纵向上出现的类型和频率, 划分出10个地震活跃期, 其地震节律为60~80Ma, 这一地震节律反映了燕山裂陷槽裂陷的历程, 裂陷高峰期在高于庄至雾迷山期。

关键词 燕山 中、新元古代 震积岩

在地层中, 具有古地震事件记录的岩层被称作震积岩。但自20世纪80年代后期才相继有震积岩方面的报道, 其中我国地质学家对地层中的震积岩进行了一些卓有成效的研究, 涉及不同时代、不同构造环境及不同岩性中的震积岩, 取得了丰硕的成果, (梁定益等, 1994; 乔秀夫等, 1994, 1996, 1997, 1999a, 1999b, 2001; 郭盛哲等, 1999; 刘鹏举, 2001)。

笔者在河北省平泉地区进行科研及教学工作中, 于中、新元古代地层中发现了保存完好的震积岩, 其层位、类型之多, 保存之好, 实属罕见。

1 震积岩的类型

本文所记述的震积岩(seismite)大多见于薄层灰岩、白云质灰岩及硅质岩中。按其受地震波作用方式与受震时沉积层所处的状态分为两类。按受作用的方式, 可分为: 地震波直接破坏(a)、地震引发的海啸引发形成的重力流(b)、前两者复合作用(c)三种类型。按受震沉积的固化程度, 分为: 脆性型(a)、塑性型(b)、液化型(c)、复合型(d)4种类型。

(1) 脆性型震积岩(I): 此类震积岩出现在已固化或基本固化的沉积层中, 震发晚于沉积层形成时期。典型者层间有小错断(图版 I-13); 层内震起充填(图版 II-11); 倒碗状构造(图版 I-5~7), 特征是顺一层面排列的倒碗状构造间有陡立的泄水缝, 缝内灰质脉体并非为灰泥液化充填, 而是后期沿缝壁沉淀而成的, 脉内有清晰中缝(图版 I-7~8)。硅质薄层密集震起或叠层石叠层变形、震落(图版 I-9; 图版 II-8)。薄层灰岩震碎成砖墙状, 层间有液化

碎屑充填, 并有泄水脉(图版 I-1~2)。脆性震积岩具风暴、重力滑塌等事件不可能出现的震裂、错断等独特的构造。

(2) 塑性型震积岩(II): 因受震沉积层处于塑性状态, 受震形成的褶曲、错断及泄水脉因蠕变呈不规则的曲曲折折形(图版 I-10~12)。值得注意的是图版 I-12 不仅表现出典型塑性型震积岩, 而且在近乎卧褶曲下翼, 有一极薄黑色灰泥层出现清晰倒碗形及陡立纤细泄水脉, 其顺沿至上翼后因泄水干扰而变形, 但仍可看出这类构造的踪迹。此微观现象确凿无疑地表明沉积层间倒碗状构造在泄水过程形成的机理。

(3) 液化型震积岩(III): 此类震积岩是地震海啸引发、富含砾屑至砂屑及灰泥的高密度重力流不同阶段沉积的产物, 其底部具侵蚀面, 厚度大小不等, 但常具鲍马序列(图版 II-1~6; 图版 I-14); 有的为透镜状单一砾屑薄层(图版 I-4), 在高于庄组中出现频率较高。

(4) 复合型震积岩(IV): 此类型指具上述震积岩的复合特征, 如下部薄层震起, 上部为含砾屑液化沉积(图版 I-3; 图版 II-7~8、10); 有的下部为原地震起的放射状薄长砾屑, 在上部的砾屑间有弧形灰泥沉积薄层(图版 II-9); 有的下部层理塑性变形, 上部含砾屑液化沉积(图版 II-11)。

2 震积岩与风暴岩的鉴别

2.1 震积岩的特征

震积岩因其形成于原地、搬运至异地的不同, 其

特征有显著的不同。

(1) 原地震积岩:包括脆性、塑性两种,基本上受震后原地形成。主要特征是:A. 层间微型阶梯状错断;B. 原地震裂震起并具充填构造;C. 倒碗形及陡立泄水脉构造;D. 塑性褶曲及变形;E. 层间砖墙式裂隙充填构造;F. 底部为原地震起形成的陡立斜列砾屑并具有充填构造(图版Ⅱ-7)。上述特征在风暴岩中不存在,而为震积岩所特有。

(2) 异地震积岩:它是地震海啸引发的重力流异地沉积的产物,即上述的液化型震积岩。它与风暴岩颇为相似,难以鉴别,但对不同环境的准确判别有

重要意义。

2.2 啸积岩

并非所有的地震都能引发海啸,啸积岩只有在地震波能的强度足以在一定范围内引发海啸重力流时才能出现。平泉地区中元古代杨庄组中下部,发育一系列的啸积岩,其层数、类型之多,特征之鲜明实为罕见。经过分析、排列,可完整地揭示出海啸重力流各阶段沉积的特征,为其同风暴岩鉴别提供实物依据。

表1中选取6个实例分三组分析其特征(排序按其沉积阶段)。

表1 啸积岩特征由浅至深的变化简表

Table 1 Variety of tsunami rock from shallow to deep water

分组	实例 (图版图号)	主要特征	水深	厚度 (mm)	鲍马序列 组 构	鲍马序列层段间比例		
						A/A-E	E/A-E	B-D/A
I	图版Ⅱ-1	A段板状砾屑钙质砂岩,B-D段浅色灰岩	浅	430	ABCD	0.83	0.00	0.20
	图版Ⅱ-2	A段下部含砾,上部钙质砂岩,B-D段浅色灰岩		900	ABCD	0.78	0.00	0.29
II	图版Ⅱ-3	A段砂粒下多上少,E段极薄	中	175	ABCD	0.67	0.03	0.50
	图版Ⅰ-14	A段下含砾屑,上为砂,E段均为黑色		43	ABCDE	0.33	0.33	0.50
III	图版Ⅱ-4	A段为钙质砂岩,E段厚,鲍马序列完整	深	30	ABCDE	0.40	0.33	0.33
	图版Ⅱ-5	A段砂层薄,B-D段厚,E段发育,鲍马序列完整		24	ABCDE	0.20	0.25	0.60

I组(图版Ⅱ-1~2):单层厚度分别为430mm,900mm,A段巨厚,钙质砂岩可分为含砾屑、不含砾屑两层。序列以缺E段为特征。异相成分多,横跨滨浅海砂岩—浅色灰岩—暗色灰岩,表明为远源、近源沉积强混合,为高密度重力流早期阶段的产物。

II组(图版Ⅱ-3;图版Ⅰ-14)与上组相比,单层显著变薄(180~40mm),有的序列缺E层段。A层段不含或含少量砾屑的钙质砂岩,砾屑岩性有三种之多;底部侵蚀面凹凸不平,其下部为具水平纹理的黑色灰岩,表明形成于浅海深水中。

III组(图版Ⅱ-4~5)单层厚仅为24~30mm,A层段为钙质砂岩,具完整的鲍马序列,E段很发育,按其背景沉积分析,水深在200m以下。为深水海啸浊积岩。

表1清楚地反映上述三组啸积岩随水深加大而出现的有序的特征是:①单层厚度变薄(90~2cm);②A层段所占比例迅速下降(A/A-E从0.83逐渐降至0.2),富含有机质的E层段与A层段成反比,逐渐加厚;B-D与A之比也迅速变大。图版Ⅱ-4中平行层理段(B)、变形层理段(C)清晰可见,而E层段极厚,表明在沉积时重力流不仅携带大量砂质,而且还携带有大量黑色灰泥,显示出海啸重力流在深水中具有极大的搬运力和搬运距离。

综上所述,啸积岩与风暴岩相比区别在于:

(1)海水由浅至深,啸积岩厚度由厚变薄,但鲍马序列完整,这在风暴岩中极其少见。

(2)啸积岩中不同沉积相的碎屑混合程度高,如表1中所列三组,单层厚度从90~2cm,始终有砂质层,这在风暴岩中是难见到的。

(3)啸积岩多与其它震积岩伴生,而其上下无风暴沉积;多突现于正常背景沉积之中。

(4)啸积岩分布范围广,并可出现在深水中。

2.3 浅析鲍马序列

众所周知,完整的鲍马序列组构有5个层段:①正递变层段,②平行层理段,③变形层理段,④水平层理段,⑤块状层理段。它起初是作为深水浊积岩的沉积模式提出来的,后来风暴岩、风暴浊积岩也引而用之。对这种认知既无人异议,也无人深究何以都可用。现在看来,啸积岩更适用。应该注意的是,前人每当提到这一模式时,都无不明确指出“完整层序的鲍马序列很少见”。按说所谓的模式就应适合多者而少有变化,或大同小异。当初鲍马序列的建立,可能原本就是根据啸积岩的层序而提出的。为此,有必要重新审视鲍马序列,何以适用重力流又适用于重力流末端的紊流-浊流沉积的。经对比、分析认为,风暴岩、啸积岩虽为不同事件引发的高密度重力流沉积,都同是鲍马序列的主人。深水浊积岩、风暴浊积岩以至海啸浊积岩,各为不同成因的重力流卸载

后转为浊流阶段的产物,就定义而言,就不应再含砾屑、粗砂屑沉积。事实上,我们所见到的浊积岩都是二元结构,即下部浅色粒序层,上部为很薄的暗色泥层。据此断定,浊积岩类不是完整鲍马序列的真正拥有者。

啸积岩与风暴岩特征相似,均有鲍马序列是因为都是重力流沉积;但因各自重力流性质不同,两者表现出明显区别。从表 1 可以看出,啸积岩出现完整鲍马序列的几率比之风暴岩更大。因为飓风在洋面形成,从水面掀起巨浪下传波及海底,掏蚀、搅动沉积物,受水深限制很大,且重力流能量、规模向深处流动中衰减很快。而地震-海啸事件是地震波由下而上对海底全域震动,在特定范围内沉积层震起震碎,它所引发的重力流也因地震波直接、广布而起作用,其能量、搬运力巨大,顺坡而下中途仍在增加所携带的震积物,因而,它所携带的物质质量大、成分复杂、搬运距离也远,可达深水。如图版 II-6 这类啸积岩,砂层中有三种砾屑,底部冲蚀的是深水纹层状浊积灰岩,其成分组成包含浅海砂相至深水浊积相。风暴重力流是无法与之相比。上述的风暴岩与啸积岩的区别与鉴别依据即源于此。现在已发现原归入风暴岩中有一定数量是啸积岩,纠正这种误判,必然对环境、水深以及与此相关的分析,均具有重要意义。

3 地震活跃期及其节律

燕山裂陷槽中、新元古代在裂陷-沉降过程中,边界断裂活动引发地震形成多种震积岩。确切记录的震积岩,从串岭沟组至龙山组均有发现。串岭沟组中发育的震积岩前人已有报导(乔秀夫等,1999a)。本文则主要提供了团山子组至雾迷山组震积岩的实证。同时,在铁岭组中也观察到多层震积岩,反映铁岭组沉积时也是一个强地震活跃期。下马岭组也见有少量脆性型震积岩。此外,虽然承德—平泉一带龙山组被剥蚀后残余厚度很薄,但仍可见脆性型震积岩;而在宽城龙须门、凌源老庄户及秦皇岛石门寨一带,龙山组中也见有脆性型震积岩。

根据震积岩出现的层位,将中、新元古代划分为 10 个地震活跃期(图 1),其中第 4、5、6 和 8 期最为强烈,其次为第 3 和第 7 期,其余各期表现较弱。最强烈的地震活跃期与燕山裂陷槽两个强烈的裂陷时期——高于庄期、铁岭期相对应,在这两个时期,除震积岩外,还发育多种深水沉积^①。

需要指出的是,目前对地震活跃期地震强度的判别,主要依据震积岩出现的频率(层数及密集度)

及震积岩特征的比较来确认地震活动的相对强度。在同一地区相似的地质背景中,根据震积岩裂度及啸积岩结构特征,能准确地对比震积岩间强度的相对大小。如图版 II-2、5 两层啸积岩,图版 I-5、6 倒碗型震积岩及图版 I-2、1 砖墙型震积岩,显然前者强度均大得多。而在同地不同地质背景中震积岩强度的对比则比较困难,如浅海背景沉积的啸积岩(图版 II-6)与深水背景沉积震裂缝充填型震积岩(图版 I-4)间进行震强对比比较困难,但两者都是强震的产物。总体上看,根据震积岩出现的频率、震积岩的特征分析,还是可有效地鉴别出各地震活跃期地震活动的相对强弱。

群	组	地质时代	地震活跃期	地震强度		
青白口群	景儿峪组	800Ma	10	弱		
	龙山组					
	下马岭组	1000Ma	9	弱		
铁岭组	8				强	
蓟县群		洪水庄组	1400Ma	7		中
	雾迷山组	6			强	
	杨庄组					
长城群	高于庄组	1800Ma	4	强		
	大红峪组				3	中
	团山子组		2	弱		
	串岭沟组				1	弱
	常州沟组					

图 1 燕山中、新元古代地震节律

Fig. 1 Seismic rhythm of Mesoproterozoic and Neoproterozoic in Yanshan area

对于中、新元古代的地震节律,因各组时限均无准确的时限数据,因此只能据已知的公认的大断代数据来估算,其活跃期平均时限间隔为 60~80Ma。这一数据虽然不够准确,但毕竟首次反映出沉降带地震节律的基本历程,从而揭示了裂陷槽边界断裂活动、裂陷-沉降的过程,为裂陷槽的构造演化提供了一个动态发展历程。至少可以说,燕山裂陷槽是中国同类盆地中,是演化脉络揭示得最清楚的一个。同时,依据河北平泉一带裂陷幅度大、深水沉积多,叠

① 段吉业,刘鹏举. 华北燕山裂陷槽中、新元古代的深水沉积. 吉林大学学报地球科学版(近期出版).

层石种类和层数少、沉积厚度相对较薄、与蓟县剖面相比各时期深水沉积均较发育等特征,可以判别,燕山裂陷槽的裂陷-沉降中心是在承德—平泉—朝阳一线,而非在蓟县一带。

参考文献

- 郭盛哲,张立东,张长捷,鲍庆忠,彭艳东. 1999. 辽宁太子河流域晚元古宙青白口系震积岩的发现及其意义. 中国区域地质, 18(1): 106~109.
- 梁定益,聂泽同,宋志敏. 1994. 再论震积岩及震积不整合——以川西、滇西地区为例. 地球科学, 19(6): 845~850.
- 刘鹏举. 2001. 河北平泉中元古代高于庄组震积岩及地震节律. 现代地质, 15(3): 266~268.
- 乔秀夫,宋天锐,高林志,彭阳,李海兵,高劭,宋彪,张巧大. 1994. 碳酸岩震动液化地震序列. 地质学报, 68(1): 16~34.
- 乔秀夫,宋天锐,李海兵,等. 1996. 辽东半岛南部震旦系—下寒武统成因地层. 北京: 科学出版社.
- 乔秀夫,李海兵,高林志. 1997. 华北地台震旦纪—早古生代地震节律. 地学前缘, 4(3~4): 155~160.
- 乔秀夫,高林志. 1999a. 华北中新元古代及早古生代地震灾变事件及与 Rodinia 的关系. 科学通报, 44(16): 1753~1757.
- 乔秀夫,高林志,彭阳. 2001. 古庐带新元古界——灾变·层序·生物. 北京: 地质出版社.

References

- Guo Shengzhe, Zhang Lidong, Zhang Changjie, Bao Qingzhong, Peng Yandong. 1999. Seismites of the Late Proterozoic Qingbaikou System in the Taizi River Valley of Liaoning. Regional Geology of China, 18(1): 106~109 (in Chinese with English abstract).
- Liang Dingyi, Nie Zetong, Song Zhimin. 1994. A re-study on seismite and seismo-unconformity: Taking western Sichuan and western Yunnan as an example. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 19(6): 845~850 (in Chinese with English abstract).
- Liu Pengju. 2001. Seismites and its Rhythm in the Gaoyuzhuang Formation of Mesoproterozoic in Pingquan County, Hebei Province. Geoscience, 15(3): 266~268 (in Chinese with English abstract).
- Qiao Xiufu, Song Tianrui, Gao Linzhi, Peng Yang, Li Haibing, Gao Mai, Song Biao, Zhang Qiaoda. 1994. Seismic sequence in carbonate rocks by vibrational liquefaction. Acta Geologica Sinica, 68(1): 16~34 (in Chinese with English abstract).
- Qiao Xiufu, Song Tianrui, Li Haibing, Gao Linzhi. 1996. Genetic stratigraphy of the Sinian and Lower Cambrian strata in South Liaoning Province—Guidebook of the National Scenic Area of Jinshitan Beach. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Qiao Xiufu, Li Haibing, Gao Linzhi. 1997. Sinian—Early Paleozoic seismic rhythms on the North China Platform. Earth Science Frontiers, 4(3~4): 155~160 (in Chinese with English abstract).
- Qiao Xiufu, Gao Linzhi. 1999a. Earthquake events in Neoproterozoic and Early Paleozoic and its relationship with supercontinental Rodinia in North China. Chinese Science Bulletin, 44(16): 1753~1757 (in Chinese).
- Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Gao Mai. 1999b. Event stratigraphy, biostratigraphy and sequence stratigraphy of Neoproterozoic in North

China. Journal of China University of Geosciences, 10(2): 93~101.

Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Peng Yang. 2001. Neoproterozoic in Paleoproterozoic Tanlu fault zone—Catastrophe·Sequences·Biostratigraphy. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

图版说明

图版 I

1. 薄层灰岩层间被震裂成砖墙状构造,并有液化泥灰质充填裂隙,标本照片,×0.8,河北平泉,小哈巴气村,高于庄组四段。
2. 灰岩被震裂成砖墙状构造,具有裂隙充填及泄水脉,标本照片,×0.9,河北平泉,小哈巴气村,高于庄组三段。
3. 薄层灰岩下部原地震起,层内碎屑有液化物充填并具泄水构造,上部碎屑多成杂乱堆积,标本照片,×0.9,产地层位同上。
4. 液化砾屑灰岩薄层,底部具波状侵蚀面并有水平微型震裂缝,上部岩层平整,野外照片,×0.1,河北平泉,小哈巴气村,高于庄组四段。
5. 中薄层灰岩中的倒碗状构造,泄水脉陡立弯曲,野外照片,×0.1,河北平泉,小哈巴气村,高于庄组二段。
6. 中薄层灰岩中的倒碗状构造,泄水脉陡立,野外照片,×0.1,河北平泉,小哈巴气村,高于庄组一段。
7. 底部倒碗形构造之间陡立的泄水脉,脉体内有中缝,标本照片,×0.6,河北平泉,小哈巴气村,高于庄组一段。
8. 泥晶灰岩中的泄水脉有中缝,根部伸入团藻屑薄层灰岩中,标本切片,×2,河北平泉,小哈巴气村,高于庄组一段。
9. 波状叠层石中地震形成的微裂缝、错动及砾屑,上部叠层石仍连续,标本切片,×2,河北平泉,西水泉村,雾迷山组下部。
10. 叠层石中震裂的层间、穿层裂隙与微错动,标本切片,×2,河北平泉,小哈巴气村,高于庄组二段。
11. 薄层浊积灰岩的塑性(半固化)褶曲及震裂、错动,标本切片,×2,河北平泉,小哈巴气村,高于庄组一段。
12. 地震引发的塑性滑动褶曲,下翼薄层有微型碗状构造及陡立的泄水脉;上翼倒碗状构造已变形,但泄水脉仍陡立,标本切片,×2,河北平泉,王杖子村,团山子组中部。
13. 薄层浊积灰岩层间阶梯状微断层,标本切片,×2,河北平泉,小南沟村,雾迷山组中部
14. 海啸成因的含灰岩砾屑砂质浊积灰岩,粒序明显,上部 D、E 层段均为黑色泥质灰岩,标本切片,×2,河北平泉,小南沟村,杨庄组下部。

图版 II

1. 含灰岩砾屑的灰质浊积上砂岩,野外照片,×0.13,河北平泉,小南沟村,杨庄组下部。
2. 含灰岩砾屑的钙质浊积砂岩,海啸事件沉积,由下而上为:砾屑层段—砂岩层段—灰岩层段,野外照片,×0.08,河北平泉,小南沟村,杨庄组下部。
3. 中薄层、薄层灰岩中钙质浊积砂岩夹层,鲍马序列缺 E 段,野外照片,×0.1,河北平泉,小南沟村,杨庄组下部。
4. 钙质浊积砂岩,产于薄层灰岩中,鲍马序列完整 E 层段(暗色灰岩)厚,标本照片,×0.8,河北平泉,小南沟村,杨庄组下部。
5. 含砂质浊积灰岩,鲍马序列完整,底部冲蚀面显著,标本切片,×2,河北平泉,小南沟村,杨庄组下部。
6. 含三种灰岩砾屑的浊积砂岩,底部冲蚀了深水纹层灰岩,标本切片,×2,河北平泉,小哈巴气村,杨庄组下部。
7. 暗色薄层灰岩被震碎成砾屑,其间为砂质充填,上部灰岩砾屑陡立于含砂灰岩中,标本切片,×2,河北平泉,小南沟村,杨庄组下部。
8. 硅质条带中硅质条带被震碎成片状砾屑,砾屑叠瓦状分布,标本

- 切片,×3,河北平泉,西水泉村,雾迷山组下部。
9. 纹层状灰岩被震碎,形成长条状砾屑,砾屑放射状分布,上部砾屑间有碟状层理,标本切片,×2,河北平泉,小哈巴气村,高于庄组一段。
10. 灰岩砾屑脆性、塑性两种变形,岩石发育有泄水脉,标本切片,×2,河北平泉,小哈巴气村,高于庄组二段。
11. 薄层灰岩层间震起,期间被含砾屑的液化物充填,下部有塑性变形,标本切片,×2,河北平泉,小哈巴气村,高于庄组二段。

Mesoproterozoic and Neoproterozoic Seismites and Its Rhythm in the Yanshan Area, North China Platform

DUAN Jiye, LIU Pengju, WAN Chuanbiao

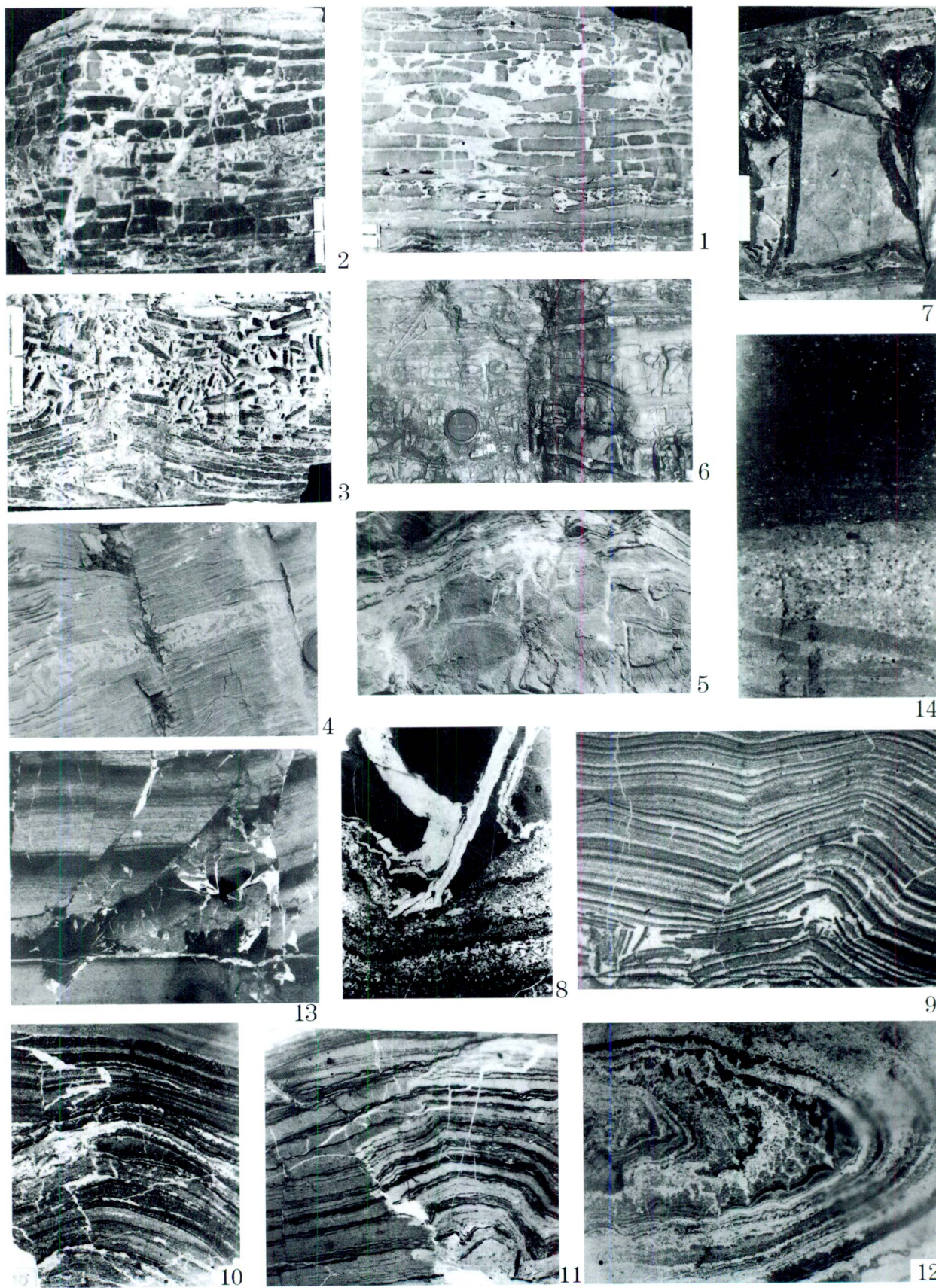
Jilin University, Changchun, 130026

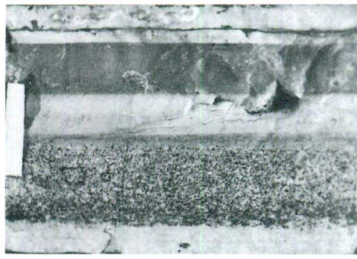
Abstract

A lot of seismites were found in the Mesoproterozoic and Neoproterozoic in Pingquan, Hebei. Four main types of seismitic rocks, friability, plastic, liquefacient and multiplex, were recognized. Discriminating marks between tsunamigenic rocks and tempestite were put forward. The Bouma sequence, which may be established in tsunamigenic rocks and tempestite, is not of bathyal turbidite. According to the horizon and frequency of seismites, ten seismitic active periods can be divided. The cycle rhythm of each period was 60~80 Ma, which reflects the regularity of faulting in the northern margin of the Yanshan aulacogen.

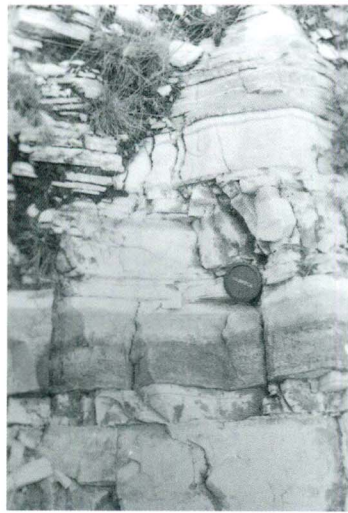
Key words: Yanshan; Mesoproterozoic; Neoproterozoic; seismites

~~~~~

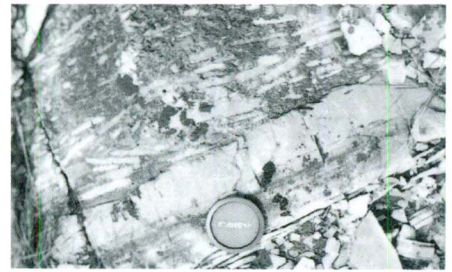




4



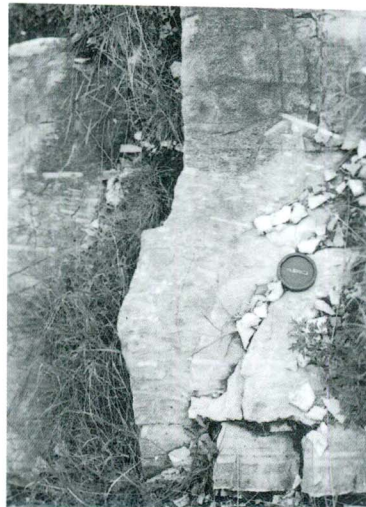
3



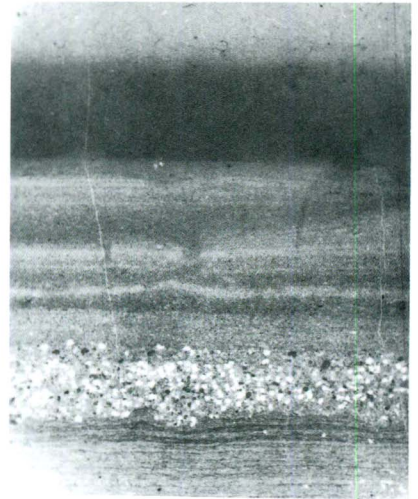
1



10



2



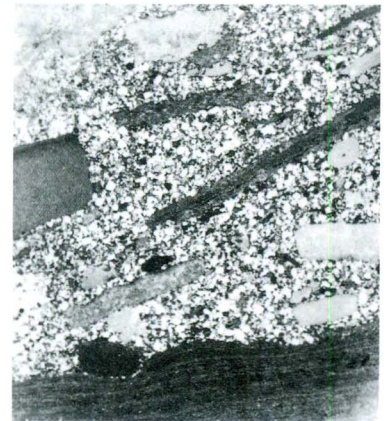
5



11



8



6



7



9