

文章编号:1004-7824(1999)05-0012-11

天津蓟县中元古界雾迷山组复合海平面变化 旋回层序的初步研究

梅冥相, 杜本明, 周洪瑞, 罗志清

(中国地质大学 地质矿产系, 北京 100083)

摘要:天津蓟县中元古界雾迷山组为一套厚 3000 余米的碳酸盐岩地层, 叠层石生物层和凝块石生物丘特别发育。它们与潮坪相泥晶白云岩和泥质白云岩构成具对称相序结构的环潮坪型碳酸盐米级旋回层序。米级旋回层序之顶覆以厚度不等的潟湖相白云质泥页岩。常常 3~5 个米级旋回层序呈有序叠加构成五级准层序组, 少数米级旋回层序还可识别出 5 个七级韵律层而呈现出 1:5 的叠加关系。因此, 七级韵律层、米级旋回层和五级准层序组分别与岁差旋回、短偏心率旋回、长偏心率旋回间存在有成因联系。根据米级旋回层序在长周期层序中的有序垂直叠加形式, 在雾迷山组中可识别出 26 个三级层序, 进一步归为 6 个二级层序。

关键词:旋回层序; 复合海平面变化; 雾迷山组; 中元古界; 蓟县剖面

中图分类号:P539.2 **文献标识码:**A

天津蓟县中元古界雾迷山组为一套以碳酸盐岩为主夹少量泥页岩的地层, 厚 3300 余米, 叠层石生物层和凝块石生物特别发育, 更为特殊的是旋回性沉积记录非常发育, 是研究不同级别旋回层序及其有序叠加形式极为理想的地区之一。前人对天津蓟县雾迷山组剖面已进行了卓有成效的研究, 如赵震^[1,2]、孟祥化等^[3]和黄学光等^[4]建立了雾迷山组沉积韵律的基本相序结构, 并进行了全面的统计工作(统计出 430 多个沉积韵律)。宋天锐^[5]、朱士兴等^[6]和高林志等^[7]也作了相关研究。

1 迷雾山组中的米级旋回层序

雾迷山组主要由以下岩相单元构成:(a)潮下高能叠层石生物层;(b)潮下高能凝块石生物丘;(c)潮间坪硅化藻席白云岩;(d)潮间坪含陆源石英砂泥晶白云岩;(e)潮上坪泥质含砂白云岩;(f)潟湖相水平纹层状白云质泥页岩;(g)褐黄色白云质泥页岩构成的古土壤层。这些岩相单元常有序叠加成“环潮坪型碳酸盐米级旋回层序”^[8~10]。它们与前人所描述的米级旋回层序不同之处是:①雾迷山组中的米级旋回层序以近似对称的相序结构而引人注目(图 1);②以叠层石生物层(相 a)、凝块石生物丘(相 b)和硅化藻席白云岩(相 c)构成“礁

收稿日期:1999-03-30

基金项目:国家自然科学基金资助项目(49802012);“九五”攀登专项(SSER)研究成果之一

作者简介:梅冥相(1965—),男,汉族,副教授,从事沉积学与地层学的教育和科研工作

核”；③“礁底”为潮坪相泥晶白云岩(相 d)和泥质白云岩(相 e)；④“礁顶”为潮间坪泥晶白云岩(相 d)及潮上坪泥质白云岩(相 e)；⑤礁顶之上发育潟湖相白云质泥页岩(相 f)，潟湖相白云质泥页岩中见海泡石等粘土矿物；⑥白云质泥页岩之顶常见一层厚数厘米至 20cm 不等的褐黄色白云质泥页岩构成的古土壤层，古土壤层为“瞬时暴露间断面”，与之暴露事件相关的淡水成岩作用在米级旋回层序上部发育的“硅结壳”、潟湖相白云质泥页岩中的 SiO₂ 溶解薄膜和淡水方解石构成的钙结壳、潮上坪泥质白云岩中的喀斯特角砾等，从而形成一个特殊的成岩相序(图 1)。随着沉积环境的由深变浅，米级旋回层序的相序组构及类型形成有规律的变化，从而构成图 2 所示的米级旋回层序的环境变化谱系。其变化特征是：①随着沉积环境的由深变浅，叠层石生物层及凝块石生物丘由发育变为不发育；②米级旋回层序的相序组构由对称变为不对称的正粒序组构。具对称相序组构的米级旋回层序的发育，表明了雾迷山组中具有与不同级别海平面变化旋回响应最好的旋回性沉积作用特点。

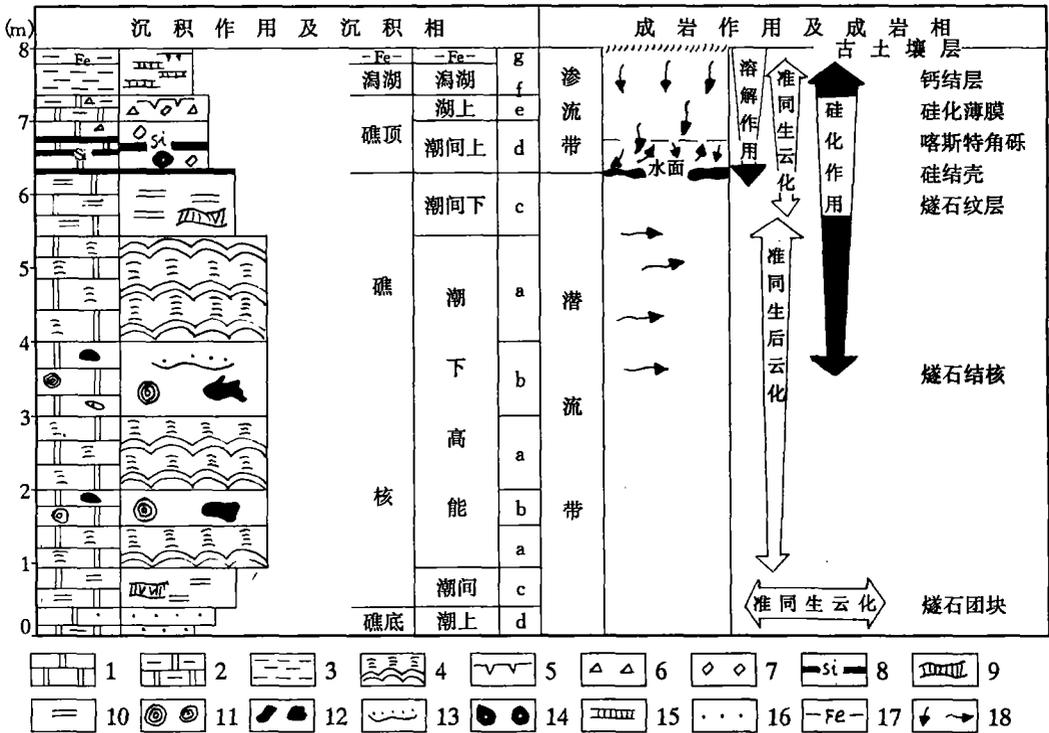


图 1 雾迷山组中典型米级旋回层序的相序组构特征

- 1. 白云岩; 2. 泥质白云岩; 3. 白云质泥页岩; 4. 叠层石; 5. 泥裂; 6. 喀斯特角砾; 7. 石盐假晶; 8. 硅结壳;
- 9. 板刺状角砾; 10. 藻席; 11. 核形石; 12. 凝块石; 13. 冲刷面; 14. 渗流豆; 15. 钙结层; 16. 陆源砂;
- 17. 含铁粘土; 18. 成岩流体运动方向

Fig. 1 Facies sequence and fabric of the representative meter-scale cyclic sequences developed in the Wumishan Formation

- 1 = dolostone; 2 = muddy dolostone; 3 = dolomitic mudstone and shale; 4 = stromatolite; 5 = mud crack;
- 6 = karst breccia; 7 = halite pseudocrystal; 8 = silcrete; 9 = flaggy breccia; 10 = algal mat; 11 = oncolite;
- 12 = clotted stone; 13 = ravinement surface; 14 = vadose pisolite; 15 = caliche; 16 = terrigenous sand; 17 = ferriferous clay; 18 = direction of diagenetic flows

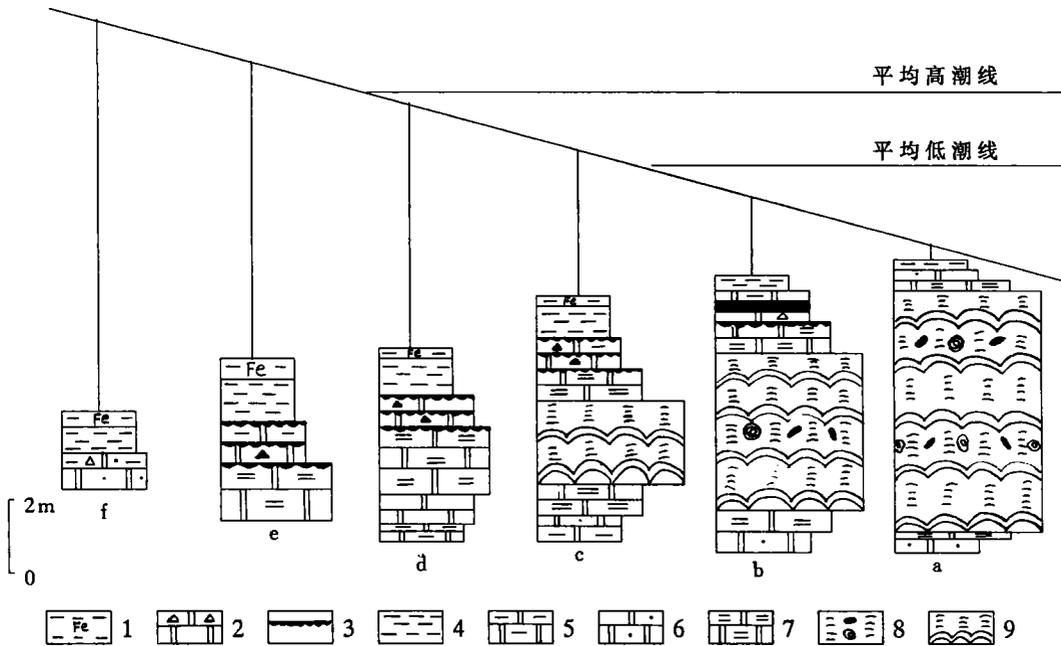


图2 雾迷山组米级旋回层序的环境变化谱系

- 1. 古土壤层; 2. 含喀斯特角砾的泥晶白云岩; 3. 硅结壳; 4. 白云质泥页岩; 5. 含砂泥质白云岩; 6. 含砂泥晶白云岩;
- 7. 硅化藻席白云岩; 8. 凝块石生物丘; 9. 叠层石生物层。a至f代表不同类型米级旋回层序

Fig. 2 Hierarchical diagrams showing the variations in the sedimentary environments of the meter-scale cyclic sequences developed in the Wumishan Formation

- 1 = fossil soil; 2 = dolomiticrite with karst breccias; 3 = silcrete; 4 = dolomitic mudstone and shale;
- 5 = sand-bearing muddy dolostone; 6 = sand-bearing dolomiticrite; 7 = silicified algal dolostone;
- 8 = clotted bioherm; 9 = stromatolite biostrome. a to f represent distinctive meter-scale cyclic sequences

2 雾迷山组旋回性沉积记录中的米兰柯维奇旋回机制

与米兰柯维奇旋回具有成因关联的旋回性沉积记录,是近几年来地层学及沉积学研究的热点。Anderson 和 Goodwin^[11](1985)提出了地层堆积作用的间断——加积旋回机制理论。Osleger 等^[12]对北美寒武纪地层中的米级旋回层序的 1:4 叠加序列进行了系统研究,认为它是长偏心率旋回(40 万年)与短偏心率旋回(10 万年)相互叠加的产物。诸如此类的成果不胜枚举。Fischer 和 Bottjer^[13]与 Schwarzacher^[14]对旋回性沉积记录的米兰柯维奇机制均已进行了全面的阐述。梅冥相等^[15,16]对华北寒武系张夏组及元古界团山子组中的米级旋回层序进行研究时,也发现了 1:4 的叠加序列,反映了地层记录的米兰柯维奇机制。图 2 所示的雾迷山组中不同类型的米级旋回层序常 3~5 个有序叠加成一组(多数是 4 个构成一组),构成类似层序地层学所定义的“准层序组”。这种非常普遍的 1:4 的叠加序列表明了它们是与长偏心率旋回(40 万年)与短偏心率旋回(10 万年)相关联的高频率海平面变化旋回共同作用的产物(图 3)。也就是说,单个米级旋回层序属梅冥相^[9,10]所定义的六级准层序,通常以 4 个米级旋回层序构成五级准层序组,前者的形成周期为 10 万年,后者为 40 万

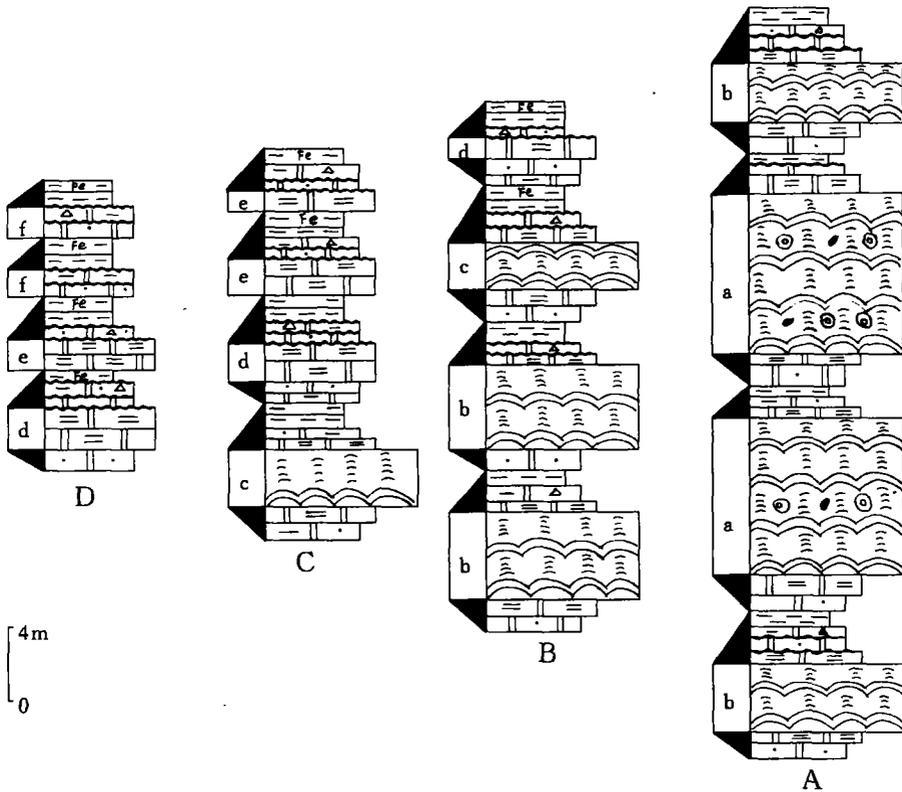


图3 米级旋回层序的1:4叠加形式

A至D代表沉积环境由深变浅,图例同图2

这种1:4的叠加形式显示单个米级旋回层序与短偏心率旋回(10万年)有成因关联的六级准层序。4个米级旋回层序构成一个与长偏心率旋回(40万年)有成因关联的五级准层序组

Fig. 3 1:4 stacking patterns of the meter-scale cyclic sequences

A to D show the shallowing of sedimentary environments. See Fig. 2 for the explanation of symbols.

This kind of stacking patterns indicates that an individual meter-scale cyclic sequence should be a sixth-order parasequence which has a genetic affiliation with short eccentricity cycles (0.1 Ma). One fifth-order parasequence set may be composed of four meter-scale cyclic sequences, which has a genetic affiliation with long eccentricity cycles (0.4 Ma)

年左右。更为典型的是,在极少量的米级旋回层序中,还可发现一个米级旋回层序包含有5个更小级别的沉积韵律层(图4),代表一种1:5的叠加形式,表明单个米级旋回层序与周期为10万年的短偏心率旋回存在成因关联,而其所包含的5个七级韵律层则与周期为2万年的岁差旋回相关。因此,雾迷山组中具对称相序组构的环潮坪型碳酸盐米级旋回层序,以及其有序叠加序列所反映出的1:4及1:5的叠加形式,反映在前寒武纪地层中也可识别出3个层次的旋回层序,即七级韵律层、六级准层序及五级准层序组。它们分别与岁差旋回、短偏心率旋回、长偏心率旋回存在成因联系。尽管笔者对前寒武纪沉积记录中的轨道旋回参数周期是否与现代一致,难以作出准确结论,但它们之间的相互叠置关系与显生宙完全一致。

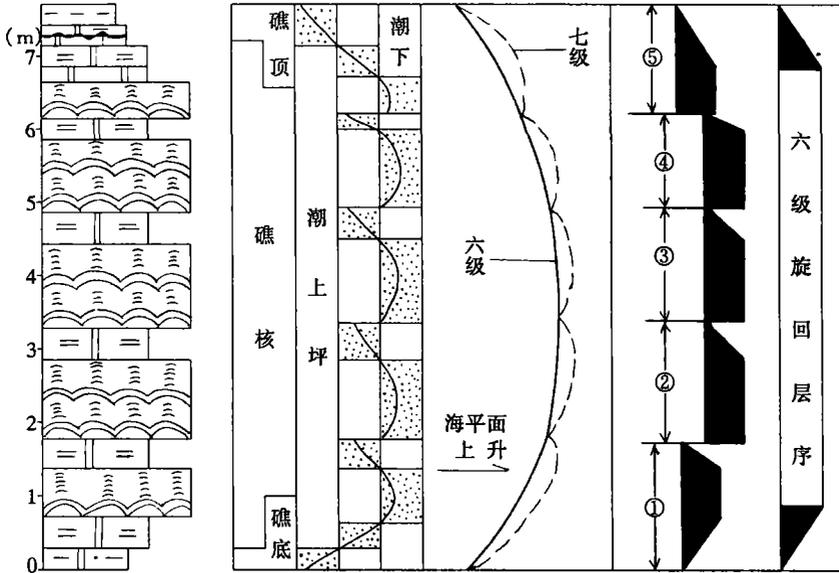


图4 包含5个韵律层的米级旋回层序(反映了1:5的叠加形式)

岩性符号同图2。这种1:5的叠加形式表明一个六级准层序含有5个七级韵律层,前者与短偏心率旋回有关,后者与岁差旋回(2万年)存在成因联系

Fig. 4 One meter-scale cyclic sequence including five rhythmites representing 1:5 stacking patterns. Lithologic symbols are the same as in Fig. 2. This kind of stacking patterns shows that one sixth-order parasequence tends to comprise five seventh-order rhythmites. The former is related to short eccentricity cycles, whereas the latter has a genetic link with precession of equinox cycles (0.02 Ma)

3 米级旋回层序在长周期层序中的叠加形式——三级层序的划分与识别

雾迷山组中的米级旋回层序特别发育,并在长周期层序中,特别是三级层序,常构成有规律的垂直叠加形式(图5),其表现为:①在海平面相对上升阶段形成的海侵体系域(TST)单元中,米级旋回层序(六级准层序)以及五级准层序组形成典型的退积序列,构成米级旋回层序的叠层石生物层和凝块石生物丘向上变厚,潟湖相白云质泥页岩和古土壤层向上变薄乃至尖灭;②对应于最大海侵期的沉积物不是形成“凝缩段”,而是厚层块状叠层石生物丘和凝块石生物层特别发育,相对应的潟湖相白云质泥页岩最薄,这是以潮汐动力为主要沉积营力在浅水背景下的沉积响应;③在层序顶部,即海平面下降期的晚期高水位体系域(LHST)中主要发育非对称相序组构(图2中的e、f型米级旋回层序),叠层石生物层和凝块石生物丘不发育。在由潮坪泥晶白云岩和泥质白云岩与潟湖相白云质泥页岩组成的米级旋回层序中,常见钙结壳、硅结壳及较厚的古土壤层。白云岩层面上发育泥裂,喀斯特角砾也常见,反映暴露节拍趋于更明显的特点。因此,从早期高水位体系域(EHST)到晚期高水位体系域(LHST)构成进积型五级准层序组,且三级层序的界面不但是地层结构转换面,而且还是“暴露间断面”(类似于SB₂型层序界面),三级层序本身也构成一个近似对称的相序组构。

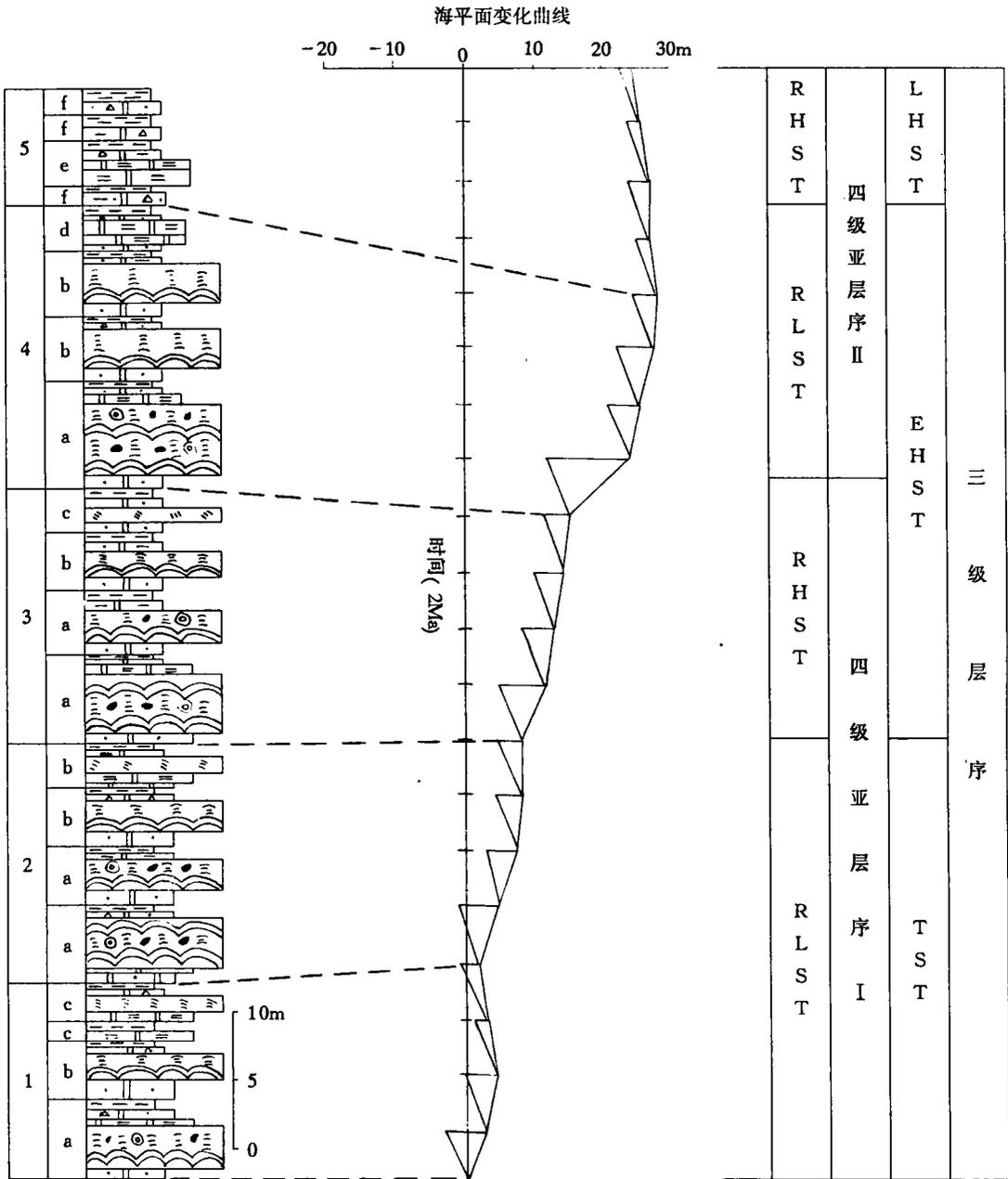


图5 雾迷山组中第12个三级层序的相序组构

1~5 分别代表5个五级准层序组;岩性符号同图2,费希尔图解可模拟出三级海平面变化曲线

Fig.5 Facies sequence and fabric of the twelfth third-order sequence in the Wumishan Formation

1 to 5 represent five fifth-order parasequence sets. Lithologic symbols are the same as in Fig. 5.

The third-order sea-level curve may be modelled according to Fischer's diagram

从米级旋回层序在长周期三级层序中的有序叠加形式(图5)表明研究露头层序地层的岩相及相序是一项很重要的基础工作,对不同级别旋回层序的划分及其有序叠加形式的研

究是工作的重点。地层记录中充满着隶属于不同级别沉积层序的间断面,判断这些间断面的级别归属是一个至关重要的问题。图 5 所示的雾迷山组中的第 12 个三级层序还可进一步划分出两个四级亚层序,但在露头研究中,四级亚层序不管是从厚度上还是从相序组构上均难与三级层序相区分,它只能根据以下特征来识别:①四级亚层序的顶部基本上不发育图 2 所示的 e 型和 f 型米级旋回层序,表明其界面的暴露时间相应较短,而且不能进行有效的空间追索和对比;②在费希尔图解上,四级亚层序的海平面下降不明显,尽管存在相应的上升翼和下降翼,四级亚层序由相对高水位体系域(RHST)和相对低水位体系域(RLST)两个单元组成。有关雾迷山组中各三级层序费希尔图解的结果,笔者将另著文发表。

从反映地层基本结构的米级旋回层序(六级准层序)及其所包含的七级韵律层,多为 4 个米级旋回层构成一组的五级准层序,本身就可构成一个复杂而有序的复合海平面变化旋回层序。根据米级旋回层序在长周期四级亚层序及三级层序中的有序垂直叠加形式,即可在雾迷山组中识别出 26 个三级层序(图 6)。

4 雾迷山组复合海平面变化旋回层的特征与其它地层单位的关系

蓟县雾迷山组剖面所识别出的 26 个三级层序可归为 6 个二级层序。三级层序在二级层序中构成有规律的垂直叠加形式,即在二级海平面上升阶段,三级层序的海侵体系域单元(TST)较厚,而晚期高水位体系域(LHST)较薄,在二级海平面下降阶段正好相反。前人把雾迷山组分为罗奕亚组、磨盘峪亚组、二十里铺亚组和闪坡岭亚组。根据二级层序所反映的旋回性记录,梅冥相等^[17]曾把蓟县北部,即河北兴隆一带的雾迷山组划分为 6 个地层段,作为 1:5 万区域地质调查的正式填图单位。蓟县剖面所识别的 26 个三级层序以及由此进一步归纳成的 6 个二级层序,与河北兴隆地层大致可以对比,它们之间的关系如图 6 所示。前人划分的亚组常把叠加在二级海平面下降期的三级层序中的 LHST 单元中发育的潟湖相白云质泥页岩以及潮上坪含砂泥质白云岩的地层作为标志层,将此置每一亚组之底,这是本文在地层段的划分界线与前人亚组的划分界线不一致的原因所在,同时也说明前人在进行亚组的划分时所考虑的“沉积旋回”与现今源于旋回地层学及层序地层学的“旋回层序”的概念相比,是不能完全苟同的,但都是客观事实的反映,由于出发点不同,所以划分结果不同,但都是正确的。

雾迷山组中叠层石特别发育,属延展纪叠层石组合或 *Couophyton-Pseudogymnosolen* 组合^[6,18]。该叠层石组合又可分为磨盘峪叠层石亚组合和闪坡岭叠层石亚组合(图 6)。前者分布在雾迷山组下部层位(包括杨庄组及高于庄组顶部),以假裸枝叠层石为代表的微小型叠层石大量发育并伴有部分锥叠层石为特征;后者分布在雾迷山组上部层位,以巨大类型的 *Conophyton* 和 *Jacutophyton* 群的分子大量发育为特征。而这两个亚组合的分界线正好与二级层序 IV 和 V 的分界线相一致,即作为三级层序 15 与三级层序 16 之 LHST 的紫红色潟湖相白云质泥页岩和潮上坪泥质白云岩发育的地层之顶。而且,雾迷山组中部的这两层紫红色层正好代表了明显的二级和三级海平面下降事件,由此分析,蓟县剖面的雾迷山组又可进一步归为两个超二级层序(前述 6 个二级层序则为亚二级层序)。两个超二级层序之间的分界面与两个叠层石亚组合的分界面大致相当。更为有趣的是,朱士兴等^[6,18]所描述的不同级别的“叠层石旋回”与本文所划分的不同级别的“旋回层序”存在某种相关性和一致性,这意味着无机界与有机界之间存在密切联系,而这方面还有许多现象需要更进一步的研究。

雾迷山组的形成时限,王松山等^[19]应用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{38}\text{Ar}$ 等时技术,得出其底界为 $1310 \pm 20\text{Ma}$,顶界为 $1207 \pm 10\text{Ma}$ 。应用地层记录中的米兰柯维奇旋回性质,根据笔者在雾迷山组中识别出的950个左右的六级准层序(米级旋回层序),假定每个六级准层序的形成时限为10万年(与短偏心率旋回有关),从而得出雾迷山组的形成时限应为950Ma左右,这与同位素年代技术所测定的年龄值非常吻合。从另一方面表明了米级旋回层序不但是地层结构的基本单元,同时又具有年代地层意义。

笔者对雾迷山组中露头发育特别好的 $\text{SQ}_8 \sim \text{SQ}_{26}$ 三级层序进行了详细研究,获得了每一个三级层序所包含的米级旋回层序个数和推断出的可能形成时限(表1)。在这套厚3000余米的碳酸盐地层中,基本上不存在大的区域不整合面,三级层序的形成时限最小为1.2Ma,最大为4.3Ma,多数为2.0~4.0Ma。这一结果说明,在不存在区域不整合面的情况下,前寒武纪的三级层序的形成时限与显生宙是一致的,即其最佳时限为王鸿祯等^[20]所指出的“2~5Ma”。在地层年代数据不太精确,而且对那些区域不整合面所代表的间断还难以正确确定的情况下,得出“前寒武纪层序的形成时限比显生宙要长”的结论看来是不确切的。

表1 雾迷山组中三级层序代号所包含的米级旋回层序个数及可能形成时限
Table 1 The number and time duration of the meter-scale cyclic sequences in the third-order sequences (SQ_8 to SQ_{26}) of the Wumishan Formation

三级层序代号	SQ_8	SQ_9	SQ_{10}	SQ_{11}	SQ_{12}	SQ_{13}	SQ_{14}	SQ_{15}	SQ_{16}	SQ_{17}	SQ_{18}	SQ_{19}	SQ_{20}	SQ_{21}	SQ_{22}	SQ_{23}	SQ_{24}	SQ_{25}	SQ_{26}
米级旋回层序数	22	12	29	42	20	23	34	37	43	40	42	33	25	42	40	36	28	39	41
时限(Ma)	2.2	1.2	2.9	4.2	2.0	2.3	3.4	3.7	4.3	4.0	4.2	3.3	2.5	4.2	4.0	3.6	2.8	3.9	4.1

5 结语

蓟县元古界雾迷山组中发育的具对称相序组构的环潮坪型碳酸盐米级旋回层序,表明其旋回性沉积记录对海平面变化的响应相当完整,这是比较少见的现象。Fischer^[21]在欧洲建立的三叠系“Lofer 旋回”,具向上变深的旋回模式,对其进一步研究的结果表明,它实际上只是一种BC韵律^[22]。而“雾迷山旋回层”可能代表了一种理想的碳酸盐旋回模式,其大量而系统的工作正在进行之中。雾迷山组中已划分出的七级韵律层和六级准层序(米级旋回层序)以及由它们有序叠加而成的五级准层序组,均代表了冰川型高频率海平面变化旋回。根据米级旋回层序的有序垂直叠加形式所识别的26个三级层序,可进一步归为6个二级亚层序组和两个超二级层序,则属长周期构造型海平面变化旋回的产物。不同级别旋回层序及其相互之间的有规律叠加形式,构成了雾迷山组复杂而有序的复合海平面变化旋回层。

参考文献:

- [1] 赵震. 一个陆表海的潮坪沉积模式[J]. 沉积学报, 1988, 6(2): 68—76.
- [2] 赵震. 核形石锥形——弥散粒——以天津蓟县雾迷山组为例[J]. 沉积学报, 1992, 10(2): 19—27.
- [3] 孟祥化, 梁桂香, 胡振国. 燕辽地区蓟县系隐藻叠层石碳酸盐岩沉积环境及沉积模式[J]. 长春地质学院学报, 1982

(4):13—32.

- [4] 黄学光,贺玉贞,王亚烈等. 华北海泡石矿——产状、成因和用途[M]. 北京:地质出版社,1996.
- [5] 宋天锐,赵震,王长尧等. 华北元古宙沉积岩[M]. 北京:北京科学技术出版社,1991.
- [6] 朱士兴,邢裕盛,张鹏远等. 华北地台中上元古界生物地层序列[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [7] 高林志,章雨旭,王成述等. 天津蓟县中新元古代层序地层初探[J]. 中国区域地质,1996(1):64—74.
- [8] 梅冥相. 碳酸盐级旋回层序的成因类型及识别标志[J]. 岩相古地理,1993,13(6):34—45.
- [9] 梅冥相. 碳酸盐旋回与层序[M]. 贵阳:贵州科学技术出版社,1995.
- [10] 梅冥相,马永生,周丕康等. 碳酸盐沉积学导论[M]. 北京:地震出版社,1997.
- [11] GOODWIN P W and ANDERSON E J. Punctuated aggradational cycles: a general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation[J]. Journal of Geology, 1985, 93:515—553.
- [12] OSLEGER D A and READ J F. Relation of eustasy of stacking patterns of meter-scale carbonate cycles, Late Cambrian, U. S. A. [J]. Sedimentary Geology, 1991, 61:1225—1252.
- [13] FISCHER A G and BOTTIJER D J. Orbital forcing and sedimentary sequences[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1991, 61(7):1063—1069.
- [14] SCHWARZACHER W. Cyclostratigraphy and the Milankovitch Theory[M]. Amsterdam: Elsevier, 1993.
- [15] 梅冥相,梅仕龙. 华北中寒武统张夏组复合海平面变化旋回层序[J]. 沉积学报,1997,15(4):5—10.
- [16] 梅冥相,白志达,徐德斌等. 河北兴隆团山子组旋回层序特征及地层格架[J]. 桂林工学院学报,1998,18(1):35—40.
- [17] 梅冥相,李志忠,白志达等. 河北兴隆中上元古界旋回层序初步研究[J]. 地层学杂志,1998,22(2):102—108.
- [18] 朱士兴等. 中国的叠层石[M]. 天津:天津大学出版社,1993.
- [19] 王松山,桑海清,裘翼等. 蓟县剖面杨庄组和雾迷山组形成年龄的研究[J]. 地质科学,1995,30(2):166—172.
- [20] 王鸿祯,史晓颖. 沉积层序及海平面旋回的分类级别[J]. 现代地质,1998,12(1):1—16.
- [21] FISCHER A G. The Lofer cyclothems of the Alpine Triassic[J]. Kansas Geological Survey Bulletin, 1964, 169:107—149.
- [22] ENOS P L and ELIAS S E. Lofer cyclothems revisited (Late Triassic, northern Alps, Austria)[J]. Facies, 1998. 38: 207—228.

A preliminary study of the cyclic sequences of composite sea-level changes in the Mesoproterozoic Wumishan Formation in Jixian, Tianjin

MEI Ming-xiang, DU Ben-ming, ZHOU Hong-rui, LUO Zhi-qing
(*Department of Geology and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

Abstract: The Mesoproterozoic Wumishan Formation in Jixian, Tianjin represents a succession of 300-m thick carbonate strata, in which stromatolite biostromes and clotted bioherms are best developed. These biostromes and bioherms, together with tidal-flat dolomicrite and muddy dolostone, form circum-tidal flat meter-scale carbonate cyclic sequences with symmetrical facies sequences and fabrics. These cyclic sequences are overlain by the lagoon dolomitic mudstones and shales. Generally speaking, three to five orderly stacked meter-scale cyclic sequences may form one fifth-order parasequence set. Occasionally, five seventh-order rhythmites are also recognized in some of the meter-scale cyclic sequences. Therefore, the seventh-order rhythmites, meter-scale cyclic sequences and fifth-order parasequence sets are correlative in origin with precession of equinox cycles, short eccentricity cycles and long eccentricity cycles, respectively. Viewed from the ordered stacking patterns of the meter-scale cyclic sequences in the long-period sequences, twenty-six third-order sequences may be identified in the Wumishan Formation. These third-order sequences may also be incorporated into six second-order sequences.

Key words: cyclic sequence; composite sea-level change; Wumishan Formation; Mesoproterozoic; Jixian section