

辽西凌源地区雾迷山组沉积特征与层序地层

罗顺社 张建坤 陈小军 旷红伟

(油气资源与勘探技术教育部重点实验室(长江大学), 长江大学地球科学学院, 湖北 荆州 434023)

摘要:依据野外露头等资料,对辽西凌源地区雾迷山组地层进行了详细的沉积相分析,按陆表海潮汐作用将雾迷山组沉积环境分为潮上、潮间和潮下 3 个相带,建立了雾迷山组的沉积模式。在沉积相研究的基础上,结合层序界面特征,对雾迷山组层序进行了探讨,划分出 4 个二级层序和 22 个三级层序,系统地阐述了每个层序的岩石、构造及体系域等特征。层序界面主要以浅水环境(特别是含暴露标志)的沉积物及沉积构造作为识别标志,其中 SQ1 为 I 型层序,II 型层序则较为发育, SQ2-SQ22 都为 II 型层序。研究区雾迷山期处于浅水陆表海沉积环境,沉积体系域以海进体系域和高水位体系域为主,普遍缺少低水位体系域或陆棚边缘体系域,同时,也不具备形成凝缩层的环境,以最大海泛面沉积物与深海中的凝缩层相对应。

关 键 词:沉积相;层序地层;体系域;凝缩层;雾迷山组;辽西凌源

中图分类号: P539.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-3657(2010)02-0394-10

1 研究背景

燕山地区蓟县系雾迷山组地层,前人进行过大量卓有成效的研究,如赵澄林等^[1-3]、周书欣等^[4]、赵震等^[5-7]在沉积学方面的研究,高林志等^[8]、梅冥相等^[7,9]在层序地层学方面的初步研究,曹瑞骥^[10]、邢裕盛等^[10]、杜汝霖^[11]、朱士兴等^[12]在生物地层学方面的研究,对辽西凌源沉积相和层序地层特征分析都具有重要的参考价值。

尽管前人对燕山地区中、新元古界碳酸盐岩层序地层进行了大量的研究,但前寒武纪地层分辨率较低而产生的复杂性是目前对雾迷山组地层研究的难题。本文在野外露头资料的基础上,总结和参考前人的研究方法、成果^[13-15],对区内雾迷山组剖面相和层序地层特征进行分析,为建立研究区层序地层格架、进一步对地层精细划分,并为地层剖面与今后地震剖面之间的层序地层追踪对比提供依据。

研究区位于辽宁凌源大河北魏杖子村,大地构造位置上处于冀北拗陷(图 1)。所研究的剖面雾迷

山组出露层序连续、层段界限清晰,组厚达 2947.15 m,可按岩性、叠层石、沉积旋回等,划分为 8 个岩性段,共 411 层,是研究雾迷山组碳酸盐岩地层的理想剖面之一。

2 沉积相分析

辽西雾迷山组地层,系燕山沉降带东端巨厚海相沉积的一部分。当时沉降带的西、北和东南三面分别被五台古陆、内蒙古陆和山海关古陆环绕,属陆表海沉积环境^[3]。从剖面上看雾迷山组岩性、岩相没有明显的变化,原生白云岩发育^[16],陆源物质贫乏,藻叠层丰富,粒屑云岩类型多样,具有明显的韵律性和旋回性,还有明显的浅水动荡及干旱蒸发沉积标志,说明当时研究区有着广阔的潮汐波浪带。因此,本文采用潮汐作用模式,将雾迷山组碳酸盐沉积环境分为潮上、潮间、潮下的沉积相带,并结合叠层石形态和其他标志特征,建立辽西凌源雾迷山组沉积模式(图 2)。现将各段地层特征及沉积环境阐述如下:

第一段:厚 334.09 m,底部为灰色、深灰色厚层

收稿日期:2009-06-16;改回日期:2009-09-05

基金项目:国家自然科学基金项目(40772078)和中石化股份有限公司海相前瞻性项目(YPH08025)资助。

作者简介:罗顺社,男,1961 年生,博士,教授,硕士生导师,主要从事沉积学教学及科研工作;E-mail:kaiming214@126.com。

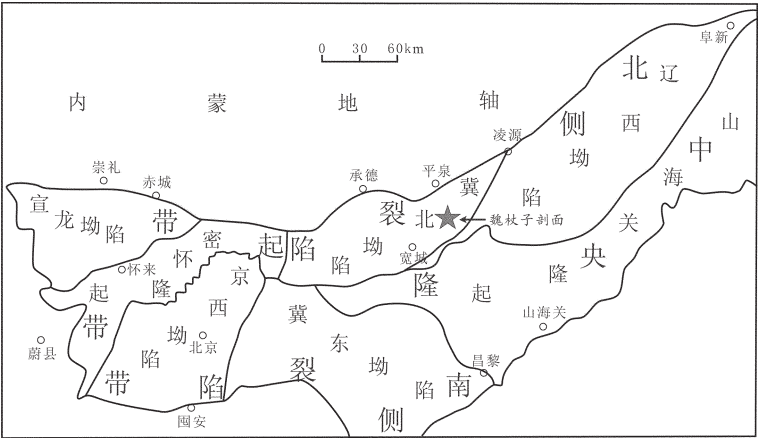


图 1 燕山地区中元古界实测剖面位置示意图(据王铁冠,1980,有改动)

Fig.1 Location of Mesoproterozoic measured section in Yanshan area(modified after Wang Tieguan,1980)

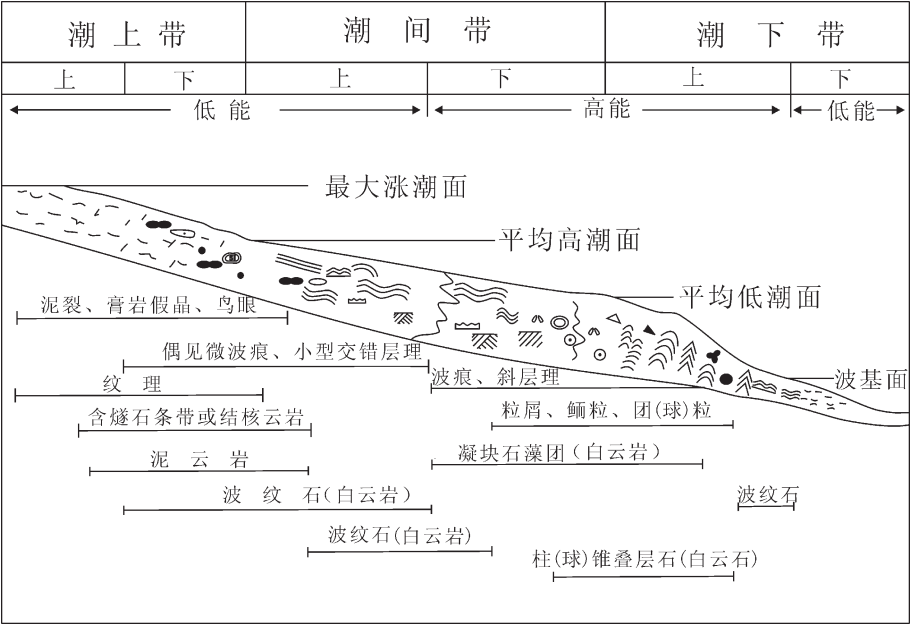


图 2 雾迷山组沉积相模式图(据周书欣,1979,有改动)

Fig.2 Sedimentary facies model of Wumishan Formation(modified after Zhou Shuxin,1979)

泥晶云岩,偶夹燧石团块,中下部为深灰色中厚层含砂粉晶云岩、纹层状泥晶白云岩,灰色厚、中厚层含黑色燧石细条带泥晶白云岩,泥晶白云岩、部分岩溶角砾;上部深灰色厚、中厚层含断续燧石条带泥晶云岩。叠层石的形态从下向上,由层纹状到缓波纹状再到半球状。反映潮上带下部—潮间带上部—潮间带下部的沉积环境,水体的能力由弱到强,为水进沉积序列。

第二段:厚 452.65 m,主要为灰色、深灰色厚

层、巨厚层含连续燧石条带、条纹泥、粉晶云岩,燧石呈团块状、夹少量深灰色厚层、中厚层含透镜状燧石粉晶白云岩,偶见含泥、泥质白云岩,中部含缓波状叠层石。叠层石的主要形态由下向上依次为微波状—穹隆状—锥柱状,部分层位有核形石产出。反映潮上带—潮间带—潮下带的沉积环境,水体的能量由弱到强,为水进沉积序列。

第三段:厚 462.48 m,灰、灰黑色厚、巨厚层泥晶白云岩及纹层状白云岩,燧石以浅灰至黑灰色断

续条带,长条纹状为主,中上部偶见核形石,含较多波状叠层石,见柱状、锥状叠层石。叠层石的主要形态由下往上为波状—锥柱状。反映了潮间带上部—潮间带下部—潮下带的沉积环境,水体能量由弱到强,为水进沉积序列。

第四段:厚 93.63 m,下部为灰、深灰色厚层、巨厚层粉晶白云岩,中厚层含燧石条带白云岩,所含燧石为黑色及少量黄灰白色断续条带透镜体,中上部多见波状叠层石粉晶云岩,顶部见有锥状叠层石。叠层石的形态自下而上为缓波状—穹隆状—缓波状—锥柱状,反映了潮间带上部—潮间带下部—潮间带上部—潮下带的沉积环境,可见自下而上的 A-B-A-B,C-D-C-D 的韵律层,水体能量由强到弱再到强,为水退—水进型沉积序列。

第五段:厚 482.98 m,为深灰色巨厚层—中厚层泥至粉晶白云岩,夹大量灰、深灰色纹层状粉晶白云岩,本段普遍含连续硅质条带,见大量缓波状叠层石。叠层石的形态自下而上依次为缓波状—层纹状,反映了潮间带—潮上带下部的沉积环境,可见到 C-D-E 的韵律层,水体能量由强到弱,为水退型沉积序列。

第六段:厚 260.18 m,浅灰、深灰色厚层含燧石条带泥晶白云岩,燧石以白色为主,次为灰白色,多呈密集的平整而均一的细层带状,少量呈断续条带

状,叠层石的形态以层纹状占主导地位,形态无较大变化,反映了稳定的潮上带下部沉积,水体能量保持在一个相对较弱的水平上。

第七段:厚 313.56 m,底部为灰、深灰色厚层、巨厚层泥—粉晶云质灰岩,下部为大套侵入岩,中部为深灰色中厚层云质灰岩与灰岩互层,见波状叠层石,上部为灰色中厚层泥晶灰岩,见大量柱状叠层石,顶部含少量岩溶角砾。叠层石形态为波状—柱状—波状,个体向上变小。反映了潮下带—潮间带—潮上带的沉积环境,水体能量较弱,继续为水退型沉积序列。

第八段:厚 547.58 m,主要为灰色厚层、巨厚层泥—粉晶白云岩,见少量波状叠层石,燧石条带多呈断续状分布,中部偶见泥质云岩。叠层石较少,形态为波状到层状,水体能量依旧较弱,反映了潮间带—潮上带下部沉积环境,以潮间沉积为主,水退韵律发育,海退占优势。

总之,整个雾迷山组的特点是由底部陆源碎屑物质较发育的环境,很快进入了以沉积各类叠层石白云岩类为主的碳酸盐近岸台地环境。微相类型,主要波动于潮间(上)及潮间(下)环境,其次也出现有潮下(上)和潮上环境。雾迷山组 2947.15 m 的地层几乎都是由潮上相→潮间相→潮下相→潮间相→潮上相的韵律构成(图 3),所划分的 8 个岩性段,每一段实

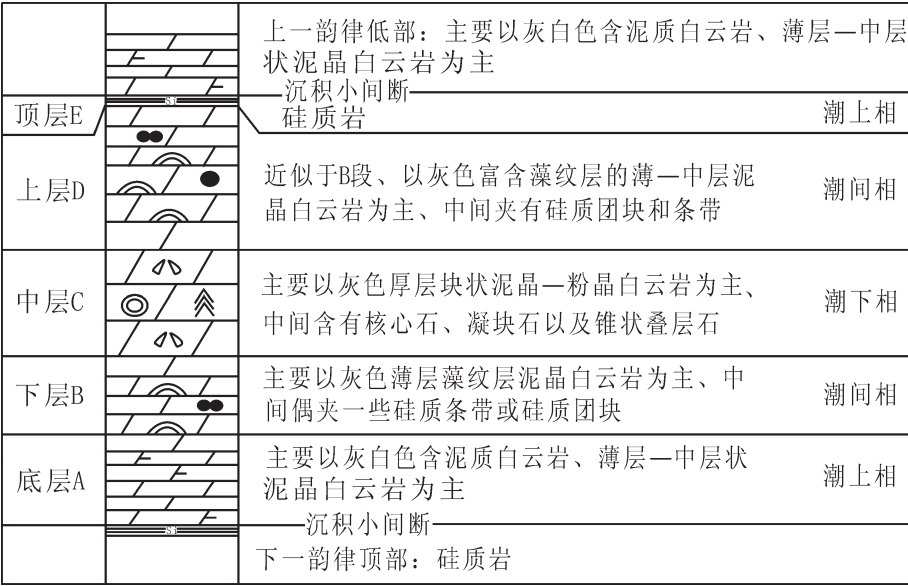


图 3 雾迷山组沉积韵律模式图(据黄学光,2006,有改动)
Fig.3 Deposition rhythm pattern of Wumishan Formation(modified after Huang Xueguang,2006)

实际上都是一个不同类型的沉积旋回。整个雾迷山组可归并为 4 个沉积旋回,每两段为一个旋回。前两个旋回都是以水进型韵律为主,伴有连续型韵律;后两个旋回则以水退型韵律为主,伴有水进型韵律,最后快速露出水面而告终。

3 沉积相纵向演化

雾迷山期继杨庄晚期,开始了一次新的大规模海侵,形成了巨厚的贫陆源物质的清水沉积碳酸盐岩及硅质岩。其中雾一段少含陆源砂,贫屑,属于海侵初期以潮间带、潮上带为主的沉积。雾二段沉积时期,海水逐渐加深,直至晚期出现锥状叠层石,已进入了以潮间—潮下带为主的环境。雾三段—六段,富含高能环境沉积物——凝块石,锥状、柱状、丛状、杯状叠层石,代表海侵全盛时期以潮间—潮下带为主的连续稳定沉积。雾七段灰岩的中下部发育水平层理,上部发育柱状、包心菜状叠层石,以低能的潮间—潮下沉积环境为主。晚期海水略加深,泥质消失期,藻叠层繁殖。雾八段以潮间带沉积为主,水退韵律发育,海退占优势。

4 层序地层分析

4.1 层序划分的依据

笔者在划分雾迷山组层序地层的过程中,主要依据以下几方面的资料:

1)年代地层学,年代地层学是对一个古沉积环境的地层或划分出的层序进行层序年龄检测,为地层划分和层序划分提供界面同位素突变的依据。雾迷山组的形成时限,王松山等^[17]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 ± 20) Ma,顶界为 (1207 ± 10) Ma。最近两年用 SHRIMP 法对下马岭组锆石年龄测定表明,若下马岭组新的测年数据 $((1368\pm 12)$ Ma)成立^[18],将彻底打破以往对中新元古界地层层序的认识。乔秀夫等^[19]把新的蓟县系(将高于庄组划入)年限定为 1600~1400 Ma,雾迷山组的期望年龄为 1550 Ma? 以及雾迷山组界线形成年龄,还有待深入研究和探讨。梅冥相等(1999)^[20]、孟祥化等(2004)^[21]对雾迷山组层序研究,得出的雾迷山组形成时限为 100 Ma 左右是可靠的。本文在最终雾迷山组界线形成年龄确定前,延用王松山等^[17]测定的时限。

2)岩石地层学,不同的岩石类型或岩相组合,反

映了不同沉积层序类型,而沉积层序的变化是海平面升降变化的产物。

3)生物地层学,在本研究区的地层,地质年代久远,无古生物化石,生物迹相主要有一些隐藻类化石和叠层石及其他非骨骼碳酸盐岩(如凝块石、核形石等),被称为微生物岩^[22]。

4.2 层序界面识别

研究区在雾迷山期未曾沦为斜坡和深海盆地^[23],沉积体系域普遍缺少低水位体系域而以海进体系域和高水位体系域为主,层序边界与初始海泛面重合。同时,不具备形成凝缩层的环境,以最大海泛面沉积物与深海中的凝缩层相对应。因此,依据碳酸盐岩环潮坪旋回层序叠加特点,该地区中代表浅水环境(特别是含暴露标志)的沉积物及沉积构造可以作为层序界面的识别标志,而代表较深水环境的沉积物及沉积构造则可以是最大海泛期产物而作为最大海泛面的标志,所以对该地区以上两类界面标志的识别对地层层序的划分具有重要意义。下面是野外观察到的这几类标志,可作为本次划分层序界面的主要依据。

①在潮上带干化现象较普遍,其中以干裂构造最为常见(图 4)。

②硅质结壳层是雾迷山组碳酸盐岩中常见的暴露标志。

③波痕,一般代表水体比较浅的环境。

④鸟眼构造,一般是潮上带标志,代表水体很浅,甚至暴露。

⑤古岩溶面和岩溶角砾岩(图 5),碳酸盐岩经暴露而形成的古岩溶面和充填的岩溶角砾岩是很好的暴露标志。雾迷山组从底到顶发育多层岩溶角砾层,为层序界面的识别提供重要依据。

⑥侵蚀冲刷面(图 5)。

⑦较深水环境产物——最大海泛期标志,潮下凝块石白云岩,以厚层至块状出现,主要沉积颗粒为凝块石(图 6)和核形石,是潮下高能动荡环境的产物。锥状叠层石的出现(图 6),代表着潮下带上部较深的水体环境。臼齿构造(MT)的出现。

4.3 层序地层划分及详细描述

结合野外露头资料,在各种层序界面识别的基础上,依据剖面雾迷山组岩性、沉积相、沉积旋回分析和构造演化,在雾迷山组共识别出 4 个二级层序和 22 个三级层序。区域上看雾迷山期沉积上超不同



图 4 第八段 354 层干裂构造(左)和第二段 98 层顶部硅质层(右)
Fig.4 354-layer structural cracks of the 8th section (left) and silicalite at the top of the 2nd section of 98-layer (right)

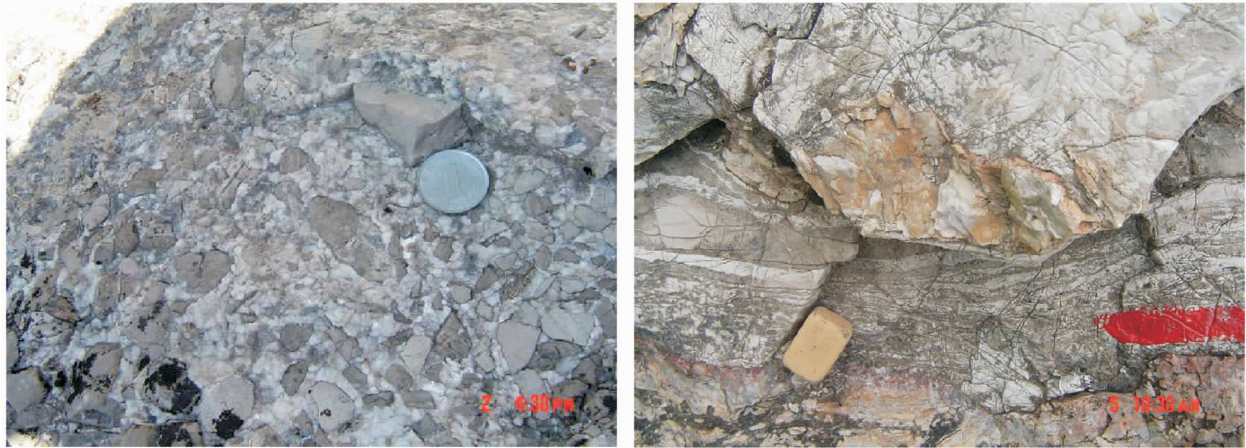


图 5 第一段 8 层的岩溶角砾岩(左)和 48 层顶部冲刷面(右)
Fig. 5 8-layer karst breccia (left) and erosion surface at the top of 48-layer (right)



图 6 第五段 246 层 C 段凝块石(左)和第三段 160 层锥状叠层石(右)
Fig.6 C-section thrombolite of the 5th section of 246 -layer (left) and 160-layer conical stromatolites in the 3rd section (right)

时代的地层之上^[16],Sq1 的底界为 I 型层序界面,其余 21 个三级层序界面为暴露标志和地层转换面,为 II 型层序界面。

杨庄组沉积以前发生过滦县抬升,而后在雾迷山期又发生过 4 次抬升,与此同时相应形成 4 次断陷和海泛^[21],相对应于雾迷山组的 4 个沉积旋回,为 4 个二级层序。沉积层序是由海平面相对变化产生的^[24-27],不同级别的层序与其相应的海平面旋回相对应^[28],因此根据沉积相的纵向演化和沉积旋回,结合层序的划分,可综合出海平面变化曲线。本文划分 22 个三级层序,据梅冥相等^[20]对蓟县雾迷山组复合海平面旋回研究,所得雾迷山组的形成时限为 95 Ma 左右,计算出研究区雾迷山组每个三级层序形成的年限平均为 4.3 Ma 左右,符合王鸿祯等^[29]所指出的三级层序平均最佳时限“2~5 Ma”,进一步证明了划分的合理性。现将三级层序特征详细描述如下:

Sq1-Sq4:每个层序的海进体系域(TST)底部主要由中薄层含砂、含泥白云岩组成,随着海平面的升高,砂、泥含量降低,主要以含硅质的白云岩或泥晶白云岩组成,构成退积的准层序组。下部两个层序的最大海泛期产物主要为中厚层泥晶白云岩垂向叠加形成,含少量的层纹状叠层石,上部两个层序的最大海泛期产物为含缓波状、小锥状、半球状的厚层叠层石白云岩。高位体系域(HST)由中厚层泥晶白云岩,部分层位含有少量的叠层石过渡到中层含硅质条带或团块的白云岩,顶部以含泥的白云岩或硅质含量较高的硅质白云岩或硅质层为主,构成了逐渐变浅的进积准层序组。

Sq5-Sq8:每个层序的 TST 由中厚层泥晶白云岩过渡为厚层的泥粉晶白云岩或含缓波状、穹状叠层石的白云岩,构成退积准层序组,海平面逐渐上升。最大海泛期产物有两种岩性,一种为厚层深灰色含大型缓波状、半球状、小锥状叠层石的白云岩,另一种为厚层含核形石的白云岩。HST 由中层泥晶白云岩逐渐演变为含层纹状叠层石的白云岩再过渡为含硅质条带或结核的泥晶白云岩,顶部以出现硅质层结束,顶部层序除出现硅质层外,还观察到岩溶角砾岩,海平面是逐渐降低的。

Sq9-Sq11:层序的 TST 以中层泥晶白云岩和含硅质条带的泥晶白云岩构成退积准层序组,随着海平面的升高,除上述两种岩性外,逐渐发育含叠层石的泥晶白云岩,叠层石数量逐渐增大,形态从穹状到

锥状。最大海泛期产物上下两个层序均以厚层的粉晶白云岩垂向叠加组成,中部层序为厚层状粉晶叠层石白云岩,叠层石呈锥状、穹隆状,锥高 15~20 cm,宽 10~15 cm(图 6)。HST 主要由中层泥晶白云岩向上过渡为含硅质条带的泥晶白云岩,中部层序除此之外还出现纹层发育的叠层石白云岩,顶部以岩溶角砾或硅质层结束,构成进积准层序组,海平面下降。

Sq12:TST 为灰色中层泥晶白云岩夹少量硅质条带、厚层含缓波状、穹状和少量锥状叠层石的白云岩、硅质发育的白云岩构成退积准层序组。最大海泛期的产物为巨厚层块状缓波状、锥状叠层石白云岩,叠层石主要呈波状,部分锥状,锥高 8 cm,宽 2~4 cm。HST 由灰色中层夹少量硅质条带的泥晶白云岩、灰色厚层泥晶白云岩、中层灰色含硅质条带的泥晶白云岩、硅质层构成进积准层序组,海平面下降。

Sq13-Sq15:TST 大体相似,由中层藻纹层发育的含硅质条带的泥晶白云岩夹厚层含叠层石的白云岩,藻纹层呈波状—微波状,向上叠层石逐渐不发育,为厚层粉晶白云岩,构成退积准层序组,最大海泛期 3 个层序分别为厚层含波状、穹状叠层石的泥晶白云岩、块状细晶白云岩、厚层状亮晶凝块石白云岩。HST 为含硅质团块或条带的粉晶白云岩、厚层含缓波状叠层石的泥晶白云岩、中层藻纹层泥晶白云岩、硅质岩,构成进积准层序组。

Sq16-Sq17:海进体系域(TST)由浅灰色中层状泥晶白云岩→灰色薄层状藻纹层泥晶白云岩夹硅质条带或硅质团块,藻纹层呈水平状,构成退积准层序组,海平面升高。最大海泛期产物为凝块石白云岩。高位体系域(HST)为中层状泥晶白云岩、灰色薄层状藻纹层泥晶白云岩偶夹硅质条带或硅质团块,藻纹层呈水平状,灰色中层状藻纹层泥晶白云岩,硅质岩,组成进积准层序组,海平面比较低的沉积环境。

Sq18-Sq19:Sq18 的 TST 由灰色块状泥晶白云岩,含硅质团块、深灰色厚层块状粉晶白云岩逐渐过渡为灰色薄层泥质白云岩、灰色薄层白云质灰岩、深灰色中层泥晶灰岩,构成退积准层序组,海平面上升。最大海泛期产物深灰色薄层泥晶灰岩与页岩互层组成的巨厚沉积。HST 由灰色泥晶灰岩、黄色泥质灰岩、灰色薄层灰质白云岩,顶部出现岩溶角砾,形成进积准层序组。Sq19 的 TST 由 331-357 层组成,主要为灰色中薄层泥晶白云岩和灰色纹层状叠层石白

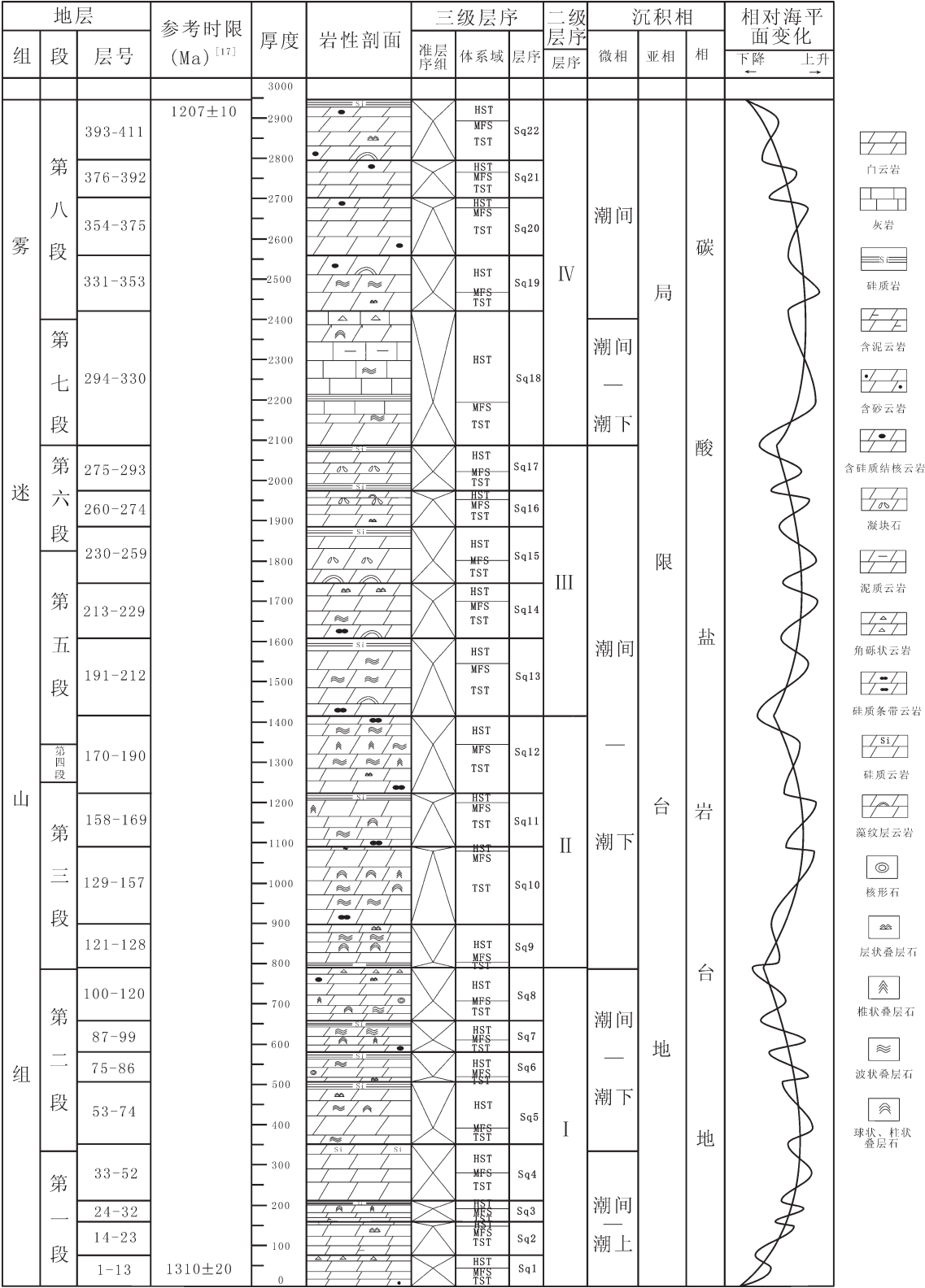


图 7 雾迷山组层序地层划分

Fig.7 The division of sequence stratigraphy of Wumishan Formation

云岩交替出现。最大海泛期为灰色纹层发育的含大缓波状叠层石的泥粉晶云岩。HST 由灰色含缓波状叠层石的泥晶云岩、灰色纹层状泥晶云岩、深灰色硅质层互层交替出现,构成进积准层序组,海平面下降。

Sq20–Sq22: TST 由灰色中层泥晶白云岩、含硅质条带的泥晶白云岩、纹层发育的深灰色泥晶云岩、灰色中厚层泥晶云岩构成退积准层序组,最大海泛期的产物为厚层的泥晶白云岩垂向叠加形成。HST 由中层含硅质条带的泥晶白云岩和硅质层互层出现,构成进积准层序组,海平面下降。

5 结 论

(1) 辽西凌源雾迷山组为一套环潮坪碳酸盐岩沉积,微相类型主要波动于潮间(上)及潮间(下)环境,其次也出现有潮下(上)和潮上环境,整个雾迷山组可归并为 4 个沉积旋回,每两段为一个旋回,前两个旋回都是以水进型韵律为主,伴有连续型韵律;后两个旋回则以水退型韵律为主,伴有水进型韵律,最后快速露出水面而告终。沉积相的纵向演化较敏感地反映了相对海平面的升降过程。

(2) 研究区雾迷山组层序地层系统由 4 个二级层序,22 个三级层序组成,二级层序分别为 Sq1–Sq8, Sq9–Sq12, Sq13–Sq17, Sq18–Sq22;层序界面基本是由浅水的沉积物及沉积构造和暴露标志的地层,因此除了与下伏杨庄组地层接触层序为 I 型层序外,其他都为 II 型层序。

(3) 研究区雾迷山期地层处于陆架以上的沉积环境,沉积体系域普遍缺少低水位体系域而以海进体系域和高水位体系域为主,同时,也不具备形成凝缩层的环境,以最大海泛面沉积物与深海中的凝缩层相对应。

参考文献(References):

- [1] 赵澄林, 许元恺, 白光勇, 等. 太行山中北段高于庄–雾迷山组的沉积特征及其相分析[J]. 华东石油学院学报, 1977, (3): 118–138.
Zhao Chenglin, Xu Yuankai, Bai Guangyong, et al. Gaoyuzhuang–Wumishan formation sediment characteristics and sedimentary facies analysis in the northern section of Taihang Mountains [J]. Journal of East China Petroleum Institute, 1977, (3): 118–138(in Chinese with English abstract).
- [2] 赵澄林, 王中文, 迟元苓, 等. 燕山西段震旦界地层岩石学特征及沉积相[J]. 华东石油学院学报, 1979, (1): 1–32.
Zhao Chenglin, Wang Zhongwen, Chi Yuanling, et al. Petrological characteristics and sedimentary facies of Sinian stratigraphic sub-sector

- in the western part of the Yanshan[J]. Journal of East China Petroleum Institute, 1979, (1): 1–32(in Chinese with English abstract).
- [3] 周书欣. 辽西高于庄组和雾迷山组沉积特征及其相分析 [J]. 大庆石油学院学报, 1979, 1(2): 13–26.
Zhou Shuxin. Gaoyuzhuang and Wumishan formations sediment characteristics and sedimentary facies analysis in western Liaoning province[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 1979, 1(2): 13–26 (in Chinese with English abstract).
- [4] 赵震. 蓟县震旦界雾迷山组碳酸盐岩沉积 [C]//天津地质矿产研究所所刊. 北京: 地质出版社, 1982, (1): 111–122.
Zhao Zhen. On sedimentary carbonatite of the Sinian subera in Jixian County [C]//Journal of Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources. Beijing: Geological Publishing House, 1982, (1): 111–122(in Chinese with English abstract).
- [5] 赵震. 一个陆表海的湖坪沉积模式[J]. 沉积学报, 1988, 6(2): 68–76.
Zhao Zhen. A sedimentary modal of the tidal flat of epicontinental sea[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1988, 6(2): 68–76 (in Chinese with English abstract).
- [6] 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, 15(1): 64–74.
Gao Linzhi, Zhang Yuxu, Wang Chengshu, et al. Meso –and neoproterozoic sequence stratigraphy in Jixian[J]. Regional Geology of China, 1996, 15(1): 64–74(in Chinese with English abstract).
- [7] 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.
Mei Mingxiang, Li Zhizhong, Bai Zhida, et al. Preliminary study on the middle and upper Proterozoic cyclic sequences in Xinlong County, Hebei [J]. Journal of Stratigraphy, 1998, 22(2): 102–108(in Chinese with English abstract).
- [8] 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.
Mei Mingxiang, Bai Zhida, Xu Debin, et al. Cyclic –sequences and stratigraphic framework of tuanshanzi formation of middle Pro –terozoic, Xinlong, Hebei [J]. Journal of Guilin University of Technology, 1998, 18(1): 35–40(in Chinese with English abstract).
- [9] 曹瑞骥, 赵文杰. 华北区前寒武纪叠层石组合序列 [J]. 古生物学报, 1981, 20(6): 508–517.
Cao Ruiji, Zhao Wenjie. Sequence of Precambrian stromatolite assemblages in north China[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 1981, 20 (6): 508–517(in Chinese with English abstract).
- [10] 邢裕盛. 中国的前寒武系[M]. 北京: 地质出版社, 1989: 69–101.
Xing Yusheng. The Upper Precambrian in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 69–101 (in Chinese with English abstract).
- [11] 杜汝霖. 前寒武纪古生物学与地史学 [M]. 北京: 地质出版社, 1992: 68–138.
Du Rulin. Precambrian Paleontology and Earth History [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 68–138 (in Chinese with English abstract).
- [12] 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, 1994:175-208.
- Zhu Shixing, Xing Yusheng, Zhang Pengyuan, et al. Biostratigraphic Sequence of the Middle-upper Proterozoic on North China Platform [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1994:175-208(in Chinese with English abstract).
- [13] 郭建林, 贾爱林, 何东博, 等. 滦平上侏罗统—下白垩统扇三角洲露头层序地层学研究[J]. 中国地质, 2007, 34(4):628-635.
- Guo Jianlin, Jia Ailin, He Dongbo, et al. Sequence stratigraphy of Upper Jurassic-Lower Cretaceous fan-delta outcrops in Luanping [J]. Geology in China, 2007, 34 (4): 628-635 (in Chinese with English abstract).
- [14] 梅冥相, 张海, 孟晓庆, 等. 上扬子区下寒武统的层序地层划分和层序地层格架的建立[J]. 中国地质, 2006, 33(6):1292-1304.
- Mei Mingxiang, Zhang Hai, Meng Xiaoqing, et al. Sequence stratigraphic division and framework of the Lower Cambrian in the Upper Yangtze region[J]. Geology in China, 2006, 33(6):1292-1304(in Chinese with English abstract).
- [15] 党桦, 赵虹, 李文厚, 等. 鄂尔多斯盆地陕北地区上三叠统延长组不同级次层序界面的识别[J]. 中国地质, 2007, 34(3):414-421.
- Dang Ben, Zhao Hong, Li Wenhong, et al. Identification of sequence boundaries of different orders in the Upper Triassic Yanchang Formation in northern Shaanxi, Ordos basin[J]. Geology in China, 2007, 34(3):414-421(in Chinese with English abstract).
- [16] 赵澄林, 李儒峰, 周劲松. 华北中新元古界油气地质与沉积学[M]. 北京:地质出版社, 1997.
- Zhao Chenglin, Li Rufeng, Zhou Jinsong. Sedimentology and Petroleum Geology of the Meso- and Neo-proterozoic in North China[M]. Beijing:Geological Publishing House, 1997:143-178(in Chinese with English abstract).
- [17] 王松山, 桑海清, 裴冀, 等. 蓟县剖面杨庄组、雾迷山组形成年龄的研究[J]. 地质科学, 1995, 30(2):166-172.
- Wang Songshan, Sang Haiqing, Qiu Ji, et al. The forming ages of Yangzhuang and Wumishan formations in Jixian section northern China [J]. Chinese Journal of Geology, 1995, 30 (2):166-172(in Chinese with English abstract).
- [18] 高林志, 张传恒, 史晓颖, 等. 华北青白口系下马岭组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年[J]. 地质通报, 2007, 26(3):249-255.
- Gao Linzhi, Zhang Chuanheng, Shi Xiaoying, et al. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed in the Xiamaling Formation of the Qingbaikouan System in North China[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(3):249-255(in Chinese with English abstract).
- [19] 乔秀夫, 高林志, 张传恒. 中朝板块中、新元古界年代地层柱与构造环境新思考[J]. 地质通报, 2007, 26(5):503-509(in Chinese with English abstract).
- Qiao Xiufu, Gao Linzhi, Zhang Chuanheng. New idea of the Meso- and Neoproterozoic chronostratigraphic chart and tectonic environment in Sino-Korean Plate [J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(5):503-509(in Chinese with English abstract).
- [20] 梅冥相, 杜本明, 周洪瑞, 等. 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 [J]. 岩相古地理, 1999, 19(5):12-22.
- Mei Mingxiang, Du Benming, Zhou Hongrui, et al. A preliminary study of the cyclic sequences of composite sea level changes in the Meso-proterozoic Wumishan Formation in Jixian, Tianjin [J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1999, 19 (5):12-22(in Chinese with English abstract).
- [21] 孟祥化, 葛铭. 中朝板块层序·事件·演化——天文周期的沉积响应和意义[M]. 北京:科学出版社, 2004.
- Meng Xianghua, Ge Ming. Sequences, Events and Evolution of the Sino-Korean Plate——Study on Astronomic Cyclic Responses in Sedimentation and Their Significance [M]. Beijing:Science Press, 2004(in Chinese with English abstract).
- [22] 梁玉左, 朱士兴, 高振家, 等. 叠层石研究的新进展——微生物岩[J]. 中国区域地质, 1995, (1):57-65.
- Liang Yuzuo, Zhu Shixing, Gao Zhenjia, et al. New progress in the study of stromatolites——microbialite[J]. Regional Geology of China, 1995, 14(1):57-65(in Chinese with English abstract).
- [23] 黄学光, 朱士兴, 贺玉贞. 蓟县中、新元古界剖面层序地层学研究的几个基本问题[J]. 前寒武纪研究进展, 2001, 24(4):201-219.
- Huang Xueguang, Zhu Shixing, He Yuzhen. Some basic problems in research on sequence stratigraph of the Meso- and Neoproterozoic strata in Jixian area [J]. Progress In Precambrian Research, 2001, 24(4):201-219(in Chinese with English abstract).
- [24] Van Wagoner J C, Mitchum H M, Campion K M, et al. Siliciclastic sequence stratigraphy in well-logs, cores and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies [J]. AAPG Methods and Exploration Series, 1990, 7:1-54.
- [25] Sarg J F. Carbonate sequence stratigraphy [C]//Wilgus C K, et al. (eds.). Sea-level changes:an integrated approach.SEPM Spec. Pub., 1988, 42:155-181.
- [26] Wilson J L. Carbonate Facies in Geological History [M]. Berlin: Springer-Verlag, 1975:1-284.
- [27] Vail P R, Audemard A, Bowman S A, et al. Stratigraphic signature of the tectonism, eustasy and sedimentation. A Review[C]//Einsele G, Ricken W, Seilacher A (eds.). Cycles and Events in Stratigraphy. Berlin, New York:Springer-Verlag, 1991, 617-659.
- [28] 史晓颖, 雷振宇, 阴家润. 珠穆朗玛峰北坡下侏罗统层序地层及沉积相研究[J]. 地质学报, 1996, 70(1):73-83.
- Shi Xiaoying, Lei Zhenyu, Yin Jiayun. Lower Jurassic sequence stratigraphy and sedimentary facies on north slope of the mount Qomolangma [J]. Acta Geologica Sinica, 1996, 70 (1):73-83(in Chinese with English abstract).
- [29] 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.
- Wang Hongzhen, Shi Xiaoying. Hierarchy of depositional sequences and eustatic cycles:a discussion on the mechanism of sedimentary cycles [J]. Geoscience, 1998, 12 (1):1-16 (in Chinese with English abstract).

Sedimentary characteristics and sequence stratigraphy of Wumishan Formation in Lingyuan area, western Liaoning Province

LUO Shun-she, ZHANG Jian-kun, CHEN Xiao-jun, KUANG Hong-wei

(Key Laboratory of Exploration Technologies for Oil and Gas Resources of Ministry of Education, Yangtze University;
College of Geoscience, Yangtze University, Jingzhou 434023, Hubei, China)

Abstract: Based on outcrop information, the authors made a detailed analysis of stratigraphic sedimentary facies of the Wumishan Formation in Lingyuan area of western Liaoning Province. Depositional environment of Wumishan Formation was divided into supratidal, intertidal and subtidal zones in accordance with the regularity of epicontinental sea tides, and the Wumishan deposition model was established. On the basis of sedimentary facies, combined with sequence characteristics of the interface, the Wumishan sequence was studied, four second-order sequences and twenty-two third-order sequences were recognized, and rock, structure and characteristics of systems tract of each sequence were described systematically. Sequence boundaries were mainly indicated by sediments and sedimentary structures, especially by exposed symptoms, of the shallow water environment. SQ1 is sequence type I, II-type sequence is more well developed, and SQ2-SQ22 is sequence type II. Wumishan deposition in this area belongs to a shallow continental sea sedimentary environment, so that the depositional systems tracts belong mainly to transgressive systems tract and highstand systems tract, commonly with the lack of lowstand systems tract or shelf marginal systems tract. It does not have the environment for the formation of condense section either, which makes the maximum flooding surface and deep-sea condense section correspondingly.

Key words: sedimentary facies; sequence stratigraphy; systems tract; condense section; Wumishan Formation; Lingyuan of western Liaoning Province

About the first author: LUO Shun-she, male, born in 1961, doctor and professor, mainly engages in the study and teaching of sedimentology; E-mail: kaiming214@126.com.