

文章编号: 1009 - 0258(1999)03 - 0039 - 08

# 鲁西寒武纪三级层序地层及海平面变化

张尚坤

(山东省地质科学实验研究院, 山东 济南 250013)

**摘要:** 鲁西地区寒武纪地层与华北地台一样,属稳定克拉通陆表海沉积,其三级层序明显由若干个次级层序复合而成。根据苍山、新泰、长清等地露头层序地层学的研究,可将鲁西寒武纪地层划分为 16 个三级层序,每一层序均表现为向上变浅的进积序列,底部常以沉积间断面为界,顶部见有暴露标志。通过对构成层序的三个基本要素的分析,探讨了相应的海平面变化。

**关键词:** 层序地层学; 三级层序; 海平面变化; 寒武纪; 鲁西地区

**中图分类号:** P534.41; P539.2

**文献标识码:** A

三级层序又称正层序,是层序地层学的基本单元,它反映了全球海平面的变化,可以进行大区域的追索和对比。因此,三级层序成为层序地层学主要的研究对象和内容。

对三级层序地层进行研究,不仅可以建立可对比的地层序列和格架,更重要的是它在油气勘探、沉积矿产的开发方面显示出良好的前景。为此,各大院、所都投入了强大的力量进行攻关,并取得了丰硕的科研成果。我省在这方面的研究工作刚刚开始,尚处在起步阶段。

## 1 三级层序的识别

Vail 早已对三级层序给了明确的定义:以不整合和它的相应整合面为界的成因相关的地层,常由低水位体系域(LST)、海侵体系域(TST)、凝缩段(CS)及高水位体系域(HST)构成<sup>[1]</sup>。每个层序代表着一次全球海平面升降周期内形成的沉积物,每一沉积旋回以海平面下降开始和下降结束为标志。可见,只有确定一个层序的三个基本要素,才能建立一次海平面升降周期的沉积层序。

### 1.1 沉积界面

识别和划分层序的关键是顶、底界面的确定,这是盆地分析中最重要的一环。蔡忠贤等将碳酸盐岩台地的三级层序界面划分为四类: Ⅰ型界面(SB<sub>1</sub>)海平面下降幅度大于 50m,外台地(或深缓坡)上部及其向陆方向遭受广泛长期暴露; Ⅱ型界面(SB<sub>2</sub>)海平面下降幅度介于 20~50m,内台地(或内缓坡)及其向陆方向遭受暴露; Ⅲ型界面(SB<sub>3</sub>)海平面下降幅度小于 20m,潮缘区及台地浅滩区遭受暴露; Ⅳ型界面(SB<sub>4</sub>)属沉没不整合,是海平

收稿日期: 1998 - 07 - 24; 修订日期: 1999 - 08 - 20; 编辑: 游文澄

作者简介: 张尚坤(1968 - ),男,山东平度人,工程师,主要从事区域地质调查工作。

面迅速上升造成的沉积不连续<sup>[2]</sup>。

史晓颖等认为:因华北地台大部分位于陆棚坡折带以上,地形平缓,气候干热,虽然海平面下降造成陆上暴露却不宜形成强烈的陆上侵蚀,并保留其标志,故易将Ⅱ型界面漏判<sup>[3]</sup>。鉴于上述情况,野外观察时应特别注意全面搜集层序界面的沉积标志和成岩标志。

鲁西寒武纪三级层序界面主要包括三种:SB<sub>1</sub>是朱砂洞组与前寒武纪变质变形岩体的接触界面,具明显的成壤化特征,往往形成30~50cm厚的古风化壳,岩石风化淋滤成高岭土,其底界面之上沉积了以陆源碎屑为主的砾岩。此外,张夏组与崮山组之界面也判定为SB<sub>1</sub>,该界面虽具陆上侵蚀的标志,但不如前者明显。SB<sub>2</sub>发育最为广泛,多形成石盐假晶、鸟眼、膏溶等暴露标志,在张夏组与馒头组的接触界面上还可见到铁质薄膜,褐铁矿等。SB<sub>3</sub>通常表现为冲刷槽、钙质结壳及成壤化薄层等。

### 1.2 沉积体系域

低水位体系域(LST)是海平面下降到最低和海平面开始上升期间的成因组合体<sup>[2]</sup>,包括低水位扇和低水位楔形体。低水位扇是当海平面初始下降时产生的,具有侵蚀作用,沉积物越过陆架并产生冲蚀切沟作用,形成水道。低水位楔形体是当海平面在低水位时产生的一个受限制的沉积单位,上超在斜坡上或下超在低水位扇上。

海侵体系域(TST)是海平面迅速上升期间形成的成因组合体。其内的副层序向大陆方向上超在层序界面之上,朝海盆方向下超于海进面之上。它以一个或多个退积型副层序为特征,鲁西地区各个层序中皆清晰可辨。

高水位体系域(HST)是全球海平面上升的末期、升降静止期和下降的初期形成的成因组合。层序以加积型副层序为特征。碳酸盐岩台地常见古喀斯特地形。

凝缩段(CS)在空间上跨越陆架与盆地之间,形成于全球海平面上升速率、沉降速率最大,也是水深最大和海平面的最高点,但沉积速率最低。由远洋、半远洋沉积物组成,浮游生物高度富集,自生矿物有海绿石、硫化物、磷酸盐和菱铁矿。

### 1.3 海侵面和下超面

在沉积层序中,海侵面和下超面是各沉积体系域之间形成的界面,但小范围内对其区分较为困难。海侵面代表一次海相侵蚀事件。下超面是海平面上升速率最大时形成的饥饿面,其沉积物为凝缩层。

## 2 三级层序的划分

据对苍山、新泰、长清等地数条剖面的研究,鲁西寒武系可划分为16个三级层序(图1),其中沧浪铺阶的两个层序(DS—A,DS—B)仅见于沂沭断裂带及其两侧。

(1)DS—A正层序:厚度55.3m,相当于李官组—朱砂洞组底部地层,底界为Ⅱ型界面,在不同的地区超覆于泰山岩群变质变形岩体或震旦纪地层之上(图1)。海侵体系域由一套滨海相的石英砂岩组成,具斜层理或交错层理,底部为含砾泥质砂岩;高水位体系域由泻湖相砖红色云泥岩及少量薄层泥云岩构成,岩石呈层纹状。

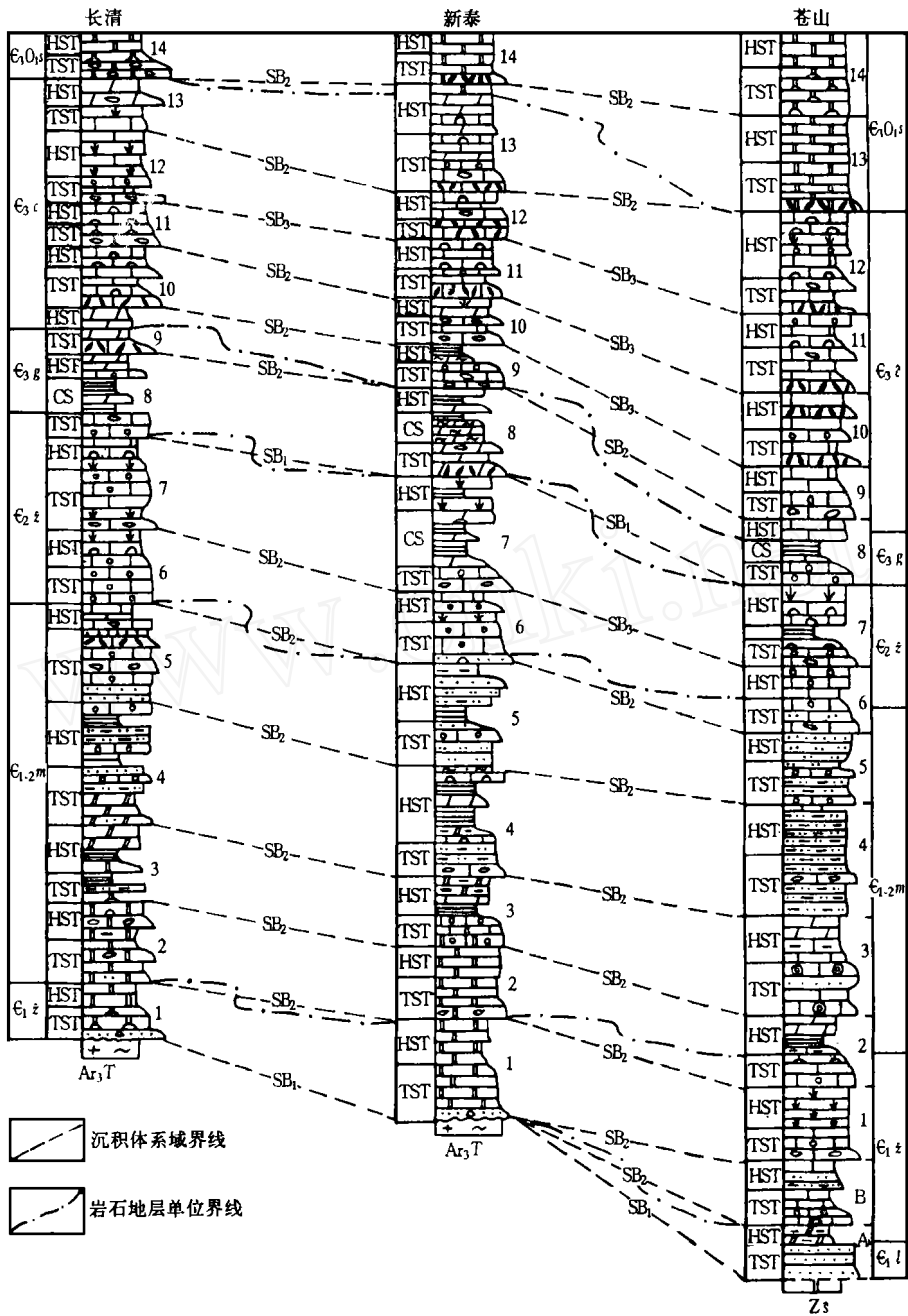


图 1 长清—新泰—苍山地层格架图

Fig. 1 Sketch showing frameworks in Changqing—Xintai—Cangshan strata

C<sub>3</sub>O<sub>1s</sub>—三山子组; C<sub>3</sub>z—炒米店组; C<sub>3</sub>g—崮山组; C<sub>2</sub>z—张夏组;

C<sub>1-2m</sub>—馒头组; C<sub>1z</sub>—朱砂洞组; C<sub>1l</sub>—季官组; Zs—土门群石旺庄组; A<sub>3</sub>T—泰山群

TST—海侵体系域; HST—高水位体系域; CS—凝缩段; SB<sub>1</sub>, SB<sub>2</sub>, SB<sub>3</sub>—三级层序界面( 、 、 型)

(2)DS—B 正层序:厚度 53m,相当于朱砂洞组下部地层,底界为 型界面,具石盐假晶印痕及干裂纹(图 1)。海侵体系域由外缓坡相的生物碎屑粉屑灰岩(之上有一中层核形石灰岩)、砂屑灰岩(是中型交错层理)组成,海侵特征明显。海侵达到最大之后,沉积了一套黄灰色链条状泥晶灰岩,为凝缩段沉积;高水位体系域由 3 个进积型副层序构成,主要为混坪相的云母砂页岩、泥质粉砂岩、泥灰岩等。

(3)DS—1 正层序:厚度 34~110m,相当于朱砂洞组中下部地层,是余粮村段沉积之后发生的又一次较大规模海侵沉积,由 4 个退积型副层序组成。该层序的底界面在新泰和长清剖面上,为典型的 型界面(图 1),朱砂洞组丁家庄段泥云岩、燧石结核粉晶白云岩直接超覆在泰山岩群变质变形岩体上。海侵体系域由泻湖相—外缓坡相泥云岩、碎屑岩、燧石结核粉晶白云岩、灰质白云岩组成;高水位体系域由泻湖相—外滨相的泥质白云岩、链条状生物碎屑灰岩、云泥岩组成。在苍山剖面上底界面为 型(图 1),局部甚至表现为 型,无明显的暴露标志,但冲刷构造明显,层序的底部为砾屑灰岩。

(4)DS—2 正层序:厚度 29~87m,相当于朱砂洞组上部—馒头组底部地层,在新泰、长清剖面上(图 1),该层序底界面为 型,具石盐假晶印痕和泥裂纹。海侵体系域由混坪相—泻湖相的薄层泥晶泥云岩、含粉砂泥云岩组成;高水位体系域由泻湖相—内缓坡相的退积型副层序组成,主要岩性为纹层状含粉砂云泥岩和中厚层细晶含砾屑砂屑灰质白云岩,顶部为叠层石灰质白云岩、薄层泥云岩。该层序产化石 *Redlichia* sp.。在苍山剖面上(图 1),底部界面缺乏暴露标志,仅有冲刷痕迹。

(5)DS—3 正层序:厚度 42~66m,相当于馒头组下部地层,产三叶虫 *Shantungaspis*,层序的底界面为 型,遭受一定的暴露,下伏层序的高水位体系域具晶洞和冲刷构造。在长清剖面上(图 1),海侵体系域由外缓坡相的紫红色页岩、粉砂质页岩和中缓坡相藻纹层状灰质白云岩组成,底部岩石含燧石结核,退积特征明显。高水位体系域由 2 个进积型副层序组成,岩性为中缓坡相的藻纹层白云岩和外缓坡相的紫红色页岩,向上变为泻湖相的粉晶白云岩;在苍山剖面上(图 1),海侵体系域由退积型副层序组成,下部由核形石灰岩变为内缓坡相的薄层灰岩,上部由滨相砂岩变为滩相核形石灰岩;凝缩段由内陆架盆地相的黄绿色页岩组成;高水位体系域由外缓坡相的泥质灰岩、泥灰岩、灰岩构成的进积型副层序组成。

(6)DS—4 正层序:厚度 36~84m,相当于馒头组中部地层,产三叶虫 *Sunaspis* 及 *Ruichengaspis*,层序底界面为 型,具石盐假晶、干裂纹等暴露标志。在长清剖面上(图 1),海侵体系域由 5 个退积型副层序组成,主要岩性为外缓坡相的泥云岩、粉砂质页岩,混坪相的暗紫色含粉砂页岩夹鲕粒灰岩、钙质砂岩透镜体等及浅滩相的鲕粒灰岩;高水位体系域由外缓坡相—海岸沙滩相的生物碎屑鲕粒灰岩、云母粉砂岩、砂岩、泥页岩组成,进积特征明显。

(7)DS—5 正层序:厚度 57~106m,相当于馒头组上部地层,层序底界面为 型,具干裂纹及冲刷构造。在长清剖面上(图 1),海侵体系域由滨海沙滩相—外缓坡相的退积型副层序组成,褐灰色中层含砾海绿石细砂岩直接覆于前层序的高水位体系域的混坪沉积之上。其间由连续的相变暴露面分隔。向上依次为铁质鲕粒灰岩、砾屑灰岩等。高水位体系域由外缓坡相—混坪相的含生物碎屑粉晶鲕粒灰岩、钙质砂页岩和礁相—内缓坡相

的藻丘灰岩、薄层灰岩组成。在苍山、新泰剖面上(图 1),海侵体系域由加积型副层序组成。底部为外缓坡相核形石灰岩、砾屑灰岩、滨相砂岩,向上变为含海绿石生屑灰岩、紫红色页岩。高水位体系域由外缓坡相的紫色粉砂质页岩与混坪相的云质胶结细砂岩构成的进积型副层序组成。该层序代表了鲁西寒武纪的一次较大规模的海退,形成了厚度很大的滨海砂岩。

(8) DS—6 正层序:厚度 58~101m,相当于馒头组顶部—张夏组下灰岩段地层,底部界面为 型,多数地方见有水垢状钙质介壳、砂质砾岩等冲刷暴露标志(图 1)。海侵体系域由滨海沙滩相的含海绿石砂页岩、外缓坡相的砂屑灰岩和浅滩相的厚层含海绿石生屑鲕粒灰岩组成,底部的砂屑鲕粒灰岩具交错层理,该岩性组合表现出明显的退积特征。在苍山剖面上(图 1),高水位体系域由 4 个退积型副层序组成,主要岩性为浅滩相灰色厚层—中薄层泥—亮晶鲕粒灰岩和内缓坡相的灰色中薄层泥晶灰岩,有的地方还发育有藻凝块灰岩。该正层序代表了华北地台又一次较大规模海侵,之后,华北地台迅速转化为稳定的碳酸盐台地。

(9) DS—7 正层序:厚度 87~118m,相当于张夏组中上部地层,产三叶虫化石 *Damasalla paronai*, *Amphoton* sp. 等。底界面主要发育有灌入构造和微冲刷构造,除此并无明显的暴露标志,尤其是在新泰、苍山剖面上(图 1)显现了相变的突变性,因此,区域上该层序的底界面应为 型。在长清剖面上(图 1),海侵体系域由浅滩相的生物碎屑鲕粒灰岩和礁相—内缓坡相的藻丘微晶灰岩组成,共包括 6 个退积型副层序。层序底部见有含铁的砂屑和砾屑鲕粒灰岩灌入到下伏层序的藻丘微晶灰岩中。高水位体系域由浅滩相—礁相的加积型副层序组成,主要岩性为浅灰色含云斑生物碎屑藻凝块灰岩、含生物碎屑小型叠层石灰岩及灰白色中厚层含生物碎屑藻凝块灰岩等。新泰和苍山剖面与长清剖面相比,有较大的不同,前者海侵体系域较小且发育有凝缩段沉积。其海侵体系域由中缓坡相的中薄层泥晶灰岩与内陆架海盆相页岩组成,退积特征明显。凝缩段由 15 个加积型副层序组成,内缓坡相薄层泥晶灰岩与内陆架盆地相绿灰色纸片状页岩构成高频旋回,反映了海水在小范围内频繁波动。高水位体系域由内缓坡相的薄层泥晶灰岩与礁相藻灰岩构成的进积型副层序组成。

(10) DS—8 正层序:相当于崮山组下部地层(图 1),厚 41~62m,产三叶虫 *Blackwelderia paronai*。层序的底界面为 型,与 DS—7 分界截然,部分地区见有较明显的陆上侵蚀标志,最大洪泛面与层序底界面一致。该层序的底部常有一层生物碎屑鲕粒灰岩,含较多的海绿石,标志着初始海进面(FFS)。该层序在 3 个剖面上均表现出类似的特征,海侵体系域由一套浅内陆架盆地相的黄绿色页岩和中薄层含生物碎屑泥晶灰岩组成。凝缩段由深陆架盆地相的黄绿色页岩夹泥质条带泥晶灰岩、疙瘩状泥纹泥晶灰岩组成。高水位体系域由内缓坡相—浅陆架盆地相的云质条带微晶灰岩夹准竹叶状砂屑、砾屑灰岩组成。

(11) DS—9 正层序:厚度 29~62m,相当于崮山组上部—炒米店组底部地层,与 *Drepanuara* 和 *Chuangia* 带基本一致。层序的底界面有冲刷构造,竹叶状灰岩具紫红色氧化圈,说明岩石经受过暴露,但仅是异地风暴岩暂时露出水面而已,并不代表大规模海退引起的陆上暴露,故该界面应为 型(图 1)。该层序的海侵体系域由外缓坡相的竹叶

状灰岩、砾屑灰岩、中层亮晶海绿石生屑灰岩、生屑鲕粒灰岩、砂屑灰岩和内缓坡相的云质条带薄板状泥晶灰岩组成,退积特征明显。其副层序大多具良好的三层结构,下部为薄板状泥灰岩,中部为紫红色风暴砾屑灰岩,上部为磨圆和分选都很好的黄褐—铁锈色枣状砾屑灰岩(具明显的氧化圈,且顶底都有较明显的波状起伏),显然是由下伏的风暴砾屑灰岩改造而成,代表次级层序的低水位期沉积。高水位体系域由浅内陆架盆地相—内缓坡相黄绿色、紫红色页岩、薄层泥晶灰岩、薄板状灰岩组成,顶部层面具虫迹构造和不规则舌形波痕。

(12)DS—10 正层序:厚度 30~44m,相当于炒米店组下部地层。层序底界面为 型,下部的竹叶状砾屑灰岩具紫红色氧化圈。海侵体系域主要由内缓坡相的泥纹泥晶灰岩和薄板状微晶灰岩组成,显示加积特征。高水位体系域由 8 个进积型副层序组成,主要岩性为内缓坡相的泥纹泥晶灰岩,礁相的叠层石灰岩和潮渠相的灰色中厚层泥—亮晶藻砂屑灰岩、鲕粒灰岩等(图 1)。

(13)DS—11 正层序:厚度 36~40m,相当于炒米店组中部地层,底部与藻礁灰岩之接触面凹凸不平,凹处往往有深灰色砂屑生屑灰岩充填,向上的生物碎屑细晶灰岩含海绿石,标志着 FFS,底界面属 型(图 1)。海侵体系域主要由外缓坡相—内缓坡相的生物碎屑灰岩、砂屑灰岩及含燧石结核亮晶竹叶状灰岩、鲕粒灰岩组成,在新泰剖面上(图 1),还见有藻丘灰岩,产三叶虫化石 *Ptychaspis* 及 *Tshinania*。高水位体系域由内缓坡相的黄灰色薄层泥纹泥晶灰岩和礁相藻丘灰岩组成,局部夹中薄层竹叶状灰岩。该层序风暴砾岩特别发育,不仅反映了沉积的水动力条件,也反映了当时的气候条件。

(14)DS—12 正层序:厚度 30~104m,相当于炒米店组中上部地层,底界面为 型,具冲刷槽。层序下部的含铁质砂屑砾屑灰岩直接超覆在前层序的高水位体系域上(图 1)。海侵体系域由外缓坡相—浅滩相的退积型副层序组成,鲕粒生物碎屑灰岩具交错层理及平缓波状层理。云斑—云质条带藻球粒泥晶灰岩夹灰色薄—中层泥晶砾屑灰岩及褐灰色微晶含生物碎屑藻团粒灰岩、微晶藻球粒灰岩等,在地形上构成七个台阶,其中微晶藻球粒灰岩含海绿石。高水位体系域由内缓坡相的云斑—泥质条带泥晶灰岩、礁相藻丘灰岩和外缓坡相的云斑状含生物碎屑微晶灰岩、生物碎屑灰岩组成,见有代表暴露标志的铁质结核、晶洞等构造。本层序产三叶虫 *Mictosaukia callisto* 及 *Quadraticephalus* sp.。

(15)DS—13 正层序:厚度 34~124m,相当于炒米店组上部—三山子组底部地层,下伏层序的高水位体系域具暴露标志,故区域上层序的底界面应为 型。在长清剖面上海侵体系域主要由潮坪相的云质条带—云斑泥晶灰岩组成,夹少量的链条状薄层灰岩。高水位体系域由内缓坡相黄灰色泥晶灰岩组成。

(16)DS—14 正层序:厚度 32~87m,相当于三山子组下部地层,底界面具冲刷构造,下部白云岩有灌入到前层序中的现象,局部竹叶状白云岩具紫色氧化圈,故应为 型界面,本层序产三叶虫 *Ohychopgse* 和牙形石。主要由潮坪相的薄层白云岩和泻湖相的中厚层白云岩组成,海侵体系域的白云岩往往含燧石结核(图 1)。

根据有关资料,将鲁西寒武系底界确定为 555Ma,顶界确定为 510Ma。16 个三级层序的平均延续时间为 2.8Ma,这个结果与史晓颖等研究华北地台所取得的结果基本一致,也符合 Wang 等所确定的三级层序时限<sup>[4]</sup>。

### 3 寒武纪海平面变化

与史晓颖等研究华北地台所取得的成果一样<sup>[3]</sup>,鲁西地区寒武系 16 个三级层序可进一步归并为凤山、崮山、张夏、徐毛、馒头、李官 6 个层序组及长清、九龙 2 个中层序。反映了 3 个不同级别的海平面变化旋回(图 2)。长清中层序从李官组至馒头组上部。鲁西寒武系缺失早寒武纪早期的沉积,大致在沧浪铺晚期,海水沿沂沭断裂带自南向北侵入,形成了一套滨海相的长石英砂岩,此时的海水较浅(图 2),且范围局限,之后随海水向陆推进,海水加深,沉积相过渡为潮坪泻湖相。但李官组沉积中期海域曾有短暂的小规模退缩,海岸线向海有所推移。馒头期早阶段沉积范围较李官组稍有扩大,海岸线向陆西移,此后,原为侵

蚀区的鲁西广大地区,才逐渐被海水淹没,形成了一套潮坪泻湖相沉积。石店段之后海水又发生退缩,形成一套混坪相为主的杂色沉积,此时海水较浅,时而有小面积的暴露,形成干裂纹。从总体特征看,长清中层序海平面相对变化不大。沉积环境由侵蚀古陆到潮下带上部—中缓坡变化,沉积基底均位于正常浪基面以上,相对水深不超过 20m,海平面变化幅度约 50m<sup>[3]</sup>。

九龙中层序包括张夏组、崮山组、炒米店组和三山子组底部地层。徐庄晚期海侵范围扩大,海盆沉积界面迅速加深,转化为清水沉积,形成了稳定的碳酸盐岩台地。张夏组中期各地的海水深度有较大差别,沂沭断裂带附近海水明显较深,沉积速度缓慢,形成了凝缩段。晚寒武世初期,海面发生过短暂下降,但沉降幅度不大,沉积界面仍位于浪基面附近。崮山期—长山期,虽然沉积界面离海岸线较远,但海水并不深,沉积受风暴影响极为明显,形成了规模较大的风暴砾岩。晚寒武世晚期,鲁西寒武纪沉积为障壁清水沉积组合,沉积环境以潮汐作用为主,海水咸化。九龙中层序的张夏正层序组沉积环境处于浅滩

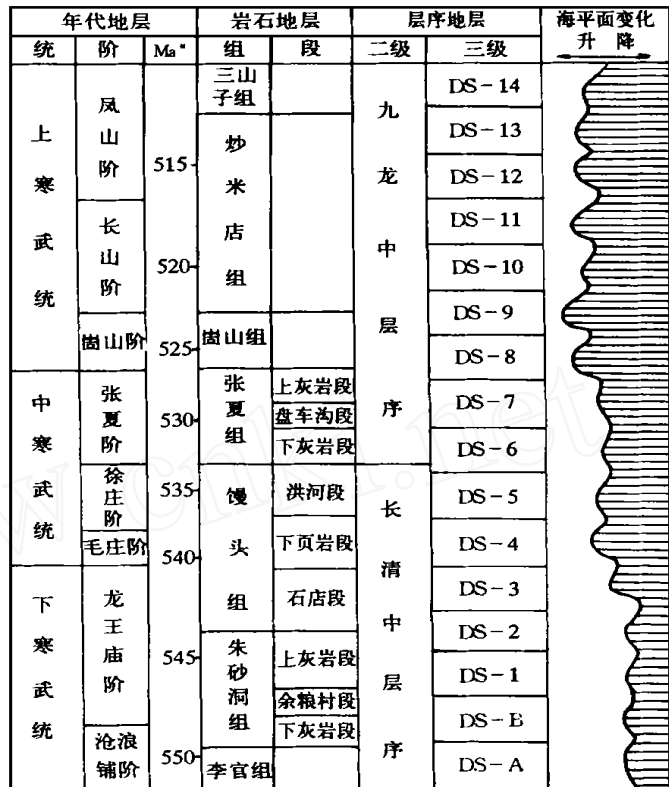


图 2 鲁西寒武纪层序地层年代格架及海平面变化

Fig. 2 Framework of Cambrian sequence strata ages and sea level variation in west of Shandong

一中缓坡到盆地上部之间,最大沉积水深位于正常浪基面附近,约 30m;崮山正层序最大沉积水深位于风暴浪基面附近或略深,约为 50m;凤山正层序组最大沉积水深位于正常浪基面以上,约 20m。故二级海平面旋回期间的海平面变化幅度约为 60m<sup>[3]</sup>。

本文承蒙牛保祥、刘书才教授级高工及刘衍霞、王敏等的悉心指导和帮助,作者深表感谢。

## 参 考 文 献

- [1] 贾振远,蔡忠贤.层序与旋回[J].地球科学,1997,22(5):449-455.  
 [2] 蔡忠贤,贾振远.碳酸盐岩台地三级层序界面的讨论[J].地球科学,1997,22(5):456-459.  
 [3] 史晓颖等.华北地台东部寒武系层序地层年代格架[J].地学前缘,1997,4(3-4):161-171.  
 [4] Wang Hongzhen, Shi Xiaoying. A Scheme of the hierarchy for sequence stratigraphy[D]. Jour China Univ Geosci, 1996,7(1):1-3.

# The Third - grade Sequences of Cambrian System and Sea - level Variation in West of Shandong

ZHANG Shang - kun

(Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences, Jinan, Shandong 250013)

**Abstract :** The same as Huabei platform, Cambrian strata in west of Shandong belong to stable crator epicontinental deposits. Its third - grade sequences are composed of many secondary sequences evidently. According to the study on the outcrop sequence stratigraphy in Cangshan, Xintai and Changqing, Cambrian strata in west of Shandong can be divided into 16 secondary sequences, and each possess the characteristics which become shallow upwards. There are a breaking boundary at the bottom, and exposure sign can be seen at the top. In addition, on the basis of analysis of three basic elements which consisted of the sequences, sea - level variations related are also discussed.

**Key words :** Sequence stratigraphy; third - grade; sea - level variation; Cambrian; west of Shandong