

湘西北地区震旦系斜坡相区层序地层划分与对比

王传尚, 李旭兵, 白云山, 刘 安

WANG Chuan-shang, LI Xu-bing, BAI Yun-shan, LIU An

中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430223

Wuhan Center of Geological Survey, CGS, Wuhan 430223, Hubei, China

摘要:以湖南张家界田坪和大坪震旦系剖面为主要研究对象,开展了湘西北地区斜坡相区震旦系层序地层的划分和对比研究。根据斜坡相区三级层序的发育特点,将陡山沱组划分为 5 个三级层序(ZSQ1~5),灯影组划分为 4 个三级层序(ZSQ6~9)。其中,陡山沱组下部的 4 个三级层序(ZSQ1~4)构成震旦系下部的二级层序,陡山沱组顶部的三级层序 ZSQ5 和灯影组的 4 个三级层序(ZSQ6~9)构成震旦系上部的二级层序。斜坡相区与台地相区震旦系层序地层的划分基本一致,可实现相互对比;斜坡相区与盆地相区震旦系只能实现二级层序的对比。

关键词:斜坡相区;震旦系;层序地层;湘西北

中图分类号:P534.31; P539.2

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2011)10-1538-09

Wang C S, Li X B, Bai Y S, Liu A. The classification and correlation of Sinian sequence stratigraphy on the slope zone in northwestern Hunan Province. *Geological Bulletin of China*, 2011,30 (10):1538-1546

Abstract: Based on a study of the Tianping and Daping sections in Zhangjiajie City, Hunan Province, the authors carried out the classification and correlation of Sinian sequence stratigraphy on the slope facies in the western Hunan Province. Doushantuo Formation is divided into five 3rd grade sequences (ZSQ1-5), and Dengying Formation is divided into four 3rd grade sequences (ZSQ6-9). The lower four 3rd grade sequences (ZSQ1-4) constitute the lower 2nd grade sequence of Sinian, whereas the top 3rd grade sequence ZSQ5 and the four 3rd grade sequences of Dengying Formation (ZSQ6-9) constitute the upper 2nd grade sequence of Sinian. The Sinian sequence stratigraphic classification frameworks between the platform and the slope facies are consistent approximately, hence the correlation could be carried out directly. However, the sequence stratigraphic correlation between the basin and the slope facies can only be carried out in the 2nd grade sequence.

Key words: slope facies; Sinian; sequence stratigraphy; northwestern Hunan

湘西北地区震旦系发育台地相区、斜坡相区和盆地相区沉积序列,不同相区的沉积特征相去甚远,造成不同相区地层对比存在极大困难。关于震旦系层序地层的划分,目前也存在较大的分歧,有 6 个^[1]、8 个^[2]、14 个^[3-4]等多种不同意见。因此,从层序地层学出发,如何开展震旦系层序地层的划分与对比仍然是尚未解决的问题。

鉴于湘西北地区震旦系灯影组是油气的有利储

集层,也是重要的勘探目的层,因此,该地区震旦系的划分对比问题,不仅是基础地质研究的重要内容,也是油气资源勘探急需解决的问题。本文以斜坡相区的典型剖面——张家界田坪和大坪震旦系剖面为研究重点,进行层序地层划分,并结合典型的盆地相区剖面——安化大福震旦系剖面 and 位于二者之间的古丈罗依溪震旦系剖面的资料,探讨湘西北地区不同相区震旦系层序地层的对比(图 1、图 2)。

收稿日期:2011-03-19;修订日期:2011-05-05

资助项目:中国地质调查局项目《雪峰山西侧黔江走廊剖面油气地质调查及地层研究》(编号:1212010782005)和《黔江及邻区油气地质地球物理调查及地层对比研究》(编号:1212011120968)

作者简介:王传尚(1969-),男,博士,研究员,从事震旦纪和早古生代地层学研究。E-mail:wangchuanshang@yahoo.com.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

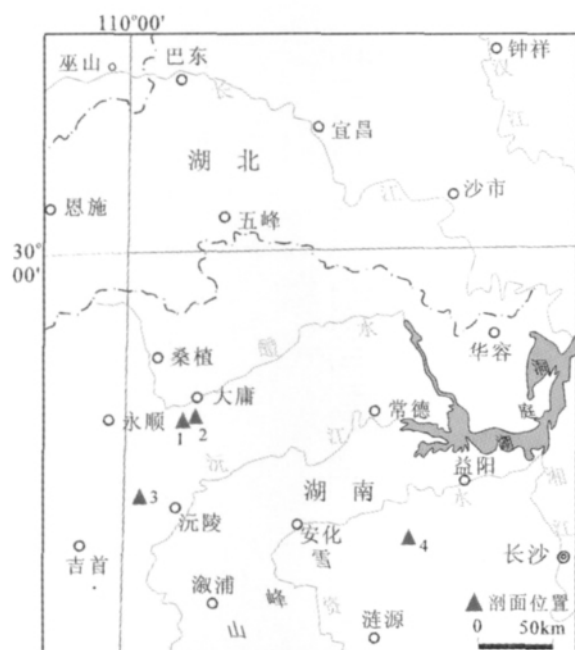


图 1 剖面位置

Fig. 1 Location of Sinian profiles

1—田坪剖面;2—大坪剖面;3—罗依溪剖面;4—大福剖面

1 斜坡区震旦系三级层序的划分及其发育特点

1.1 斜坡区震旦系三级层序的划分

斜坡相区震旦系以张家界大坪、田坪剖面为代表。其中,田坪剖面地层发育齐全,沉积序列清楚,后期构造破坏改造微弱,是开展沉积学和层序地层学研究难得的剖面。与之相距不远(直线距离约 6km)的大坪剖面,后期构造改造对灯影组的影响十分显著,发育了一系列北东向的褶皱构造,并有构造重复现象(由逆断层形成),因此该剖面只有下部的陡山沱组可以作为层序地层划分和对比的研究对象。从目前掌握的资料看,大坪剖面和田坪剖面震旦系陡山沱组沉积特征类似,沉积序列大致相同,相互间可以直接对比。兹以田坪剖面为例,将本区的震旦系三级层序地层划分和各层序特征简述如下。

(1) ZSQ1

该层序(震旦系的第一个三级层序,其余三级层序命名自下而上依次为 ZSQ2~ZSQ9)由陡山沱组 1 段和 2 段近底部的沉积构成一个海侵/海退旋回,发育低水位体系域(LST)、海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST)。

陡山沱组底部构成 ZSQ1 的 LST 沉积,底界面具有明显的侵蚀作用痕迹,为型层序界面(SB1)。LST 沉积底部为厚 10cm 左右的含角砾细晶白云岩,角砾有外来的泥质板岩砾石,大小为 2cm×5cm,其上为厚 1.1m 的角砾状细晶白云岩,帐篷构造十分发育,硅结壳发育(图版 -1)。该层序具有明显的暴露标志,外来泥质板岩砾石的存在表明,在低水位期间由于河流的回春作用有陆源物质被带入。

TST 沉积始于该段中部,沉积厚度约 3.7m,以灰白色中层状细晶白云岩发育为特征。白云岩厚度自下而上变薄,逐渐变为灰白色薄层泥晶白云岩夹灰黑色纹层状泥晶白云岩条带,泥晶白云岩中夹有纹层状含砂屑泥晶白云岩,水平纹层发育。TST 沉积为一套明显的海侵退积沉积序列,水平纹层的发育表明其水动力条件十分微弱,其沉积环境应为潮下低能环境。

随着海侵的进一步加强,陡山沱组二段底部发育了黑色含炭质页岩夹灰黑色薄层状硅质粉晶白云岩。白云岩的厚度自下而上逐渐变小,底部厚 8~10cm,往上变为 2~3cm,硅质白云岩中见有细晶黄铁矿。该层位的黑色页岩沉积应为本三级层序最大海泛期的沉积,本段的沉积厚度为 4.6m。

本三级层序的 HST 不甚发育,厚度不足 2m,为灰白色厚层状粉晶白云岩夹燧石条带,燧石条带厚 2~3cm。

(2) ZSQ2

该层序位于陡山沱组二段内部,是一个不完整的三级层序,仅发育海侵体系域的沉积,厚约 11.6m。其下部沉积特征为灰白色泥晶白云岩与白云质泥岩形成灰、白相间的韵律,水平纹层十分发育,白云质泥岩中富集黄铁矿结核,风化后见铁质浸染。中部为厚层状泥质白云岩,上部为黑色中层状含炭泥质白云岩夹黑色炭质页岩。自下而上显示为一个缓慢海侵的退积型沉积序列。

(3) ZSQ3

本层序总厚 18.3m,发育 LST 低位域的沉积,底部以一套灰黑色角砾状粉晶白云质灰岩与下伏条带状白云质灰岩分界,底面凹凸不平,具冲刷侵蚀的特征。该角砾状灰岩为碎屑流的沉积(图版 -2),可能该碎屑流对下部 ZSQ2 中本不甚发育的高位域的侵蚀作用,致使 ZSQ2 缺失高位域沉积。

TST 以发育灰黑色中层—薄层状炭质砂屑灰

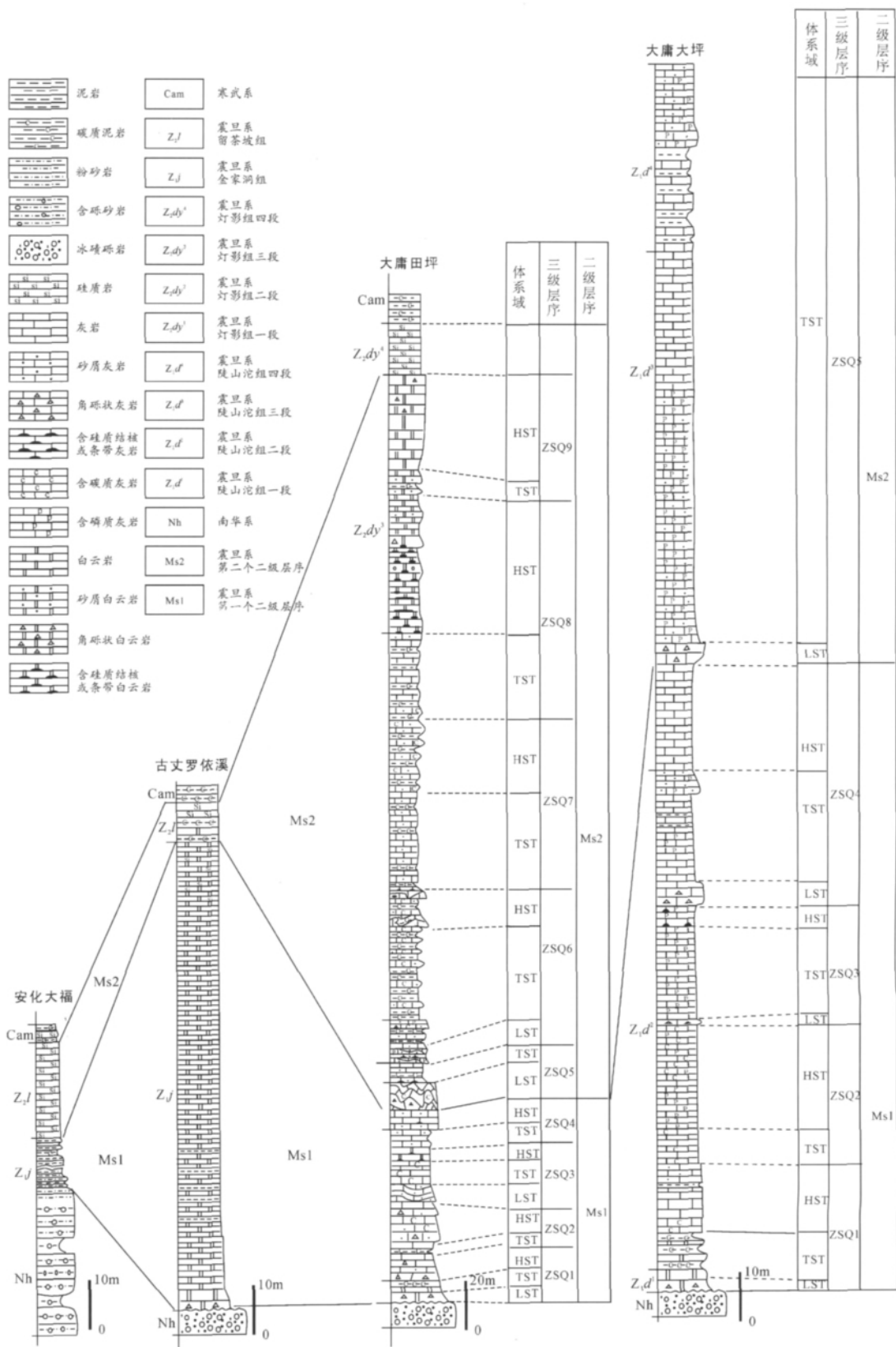


图 2 不同相区震旦系层序地层划分与对比

Fig. 2 Sinian sequence stratigraphic classification and correlation across different facies

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

岩与泥晶灰岩互层的黑白相间的韵律层为特征,水平纹层十分发育,局部薄层泥晶灰岩呈竹叶状、脉状。灰岩中炭质含量高,层面所夹炭质页岩污手,顶部为厚 55cm 的黑色含炭质泥岩。

本层序的 TST 发育 2 个向上变细、变薄的海侵退积序列,下部沉积序列具有远源浊流沉积的特点,上部序列中亦有浊流沉积的特点(图版 -3、4),从黑色中厚层状含角砾砂屑灰岩逐渐演变为黑色炭质泥灰岩夹透镜状或薄层状含炭质泥晶灰岩。其中黑色泥炭质灰岩中常见丰富的豆状泥晶灰岩结核,该结核中富含微晶黄铁矿。同时,该段的个别透镜状灰岩体中尚含有同生角砾,具有异地搬运的特点。

从本段总体的沉积演化特征来看,有从下部沉积序列的盆地边缘相向上部的下斜坡演化的特点,因此可以将上部的沉积序列归于本层序的高位体系域(HST)。只是该 HST 沉积序列的特征并非常见的加积至进积的序列,而是以弱退积的沉积序列为特征。

(4)ZSQ4

本层序跨越陡山沱组二段上部—三段底部的地层,厚度 29.9m。发育 LST、TST 和 HST。

LST 的厚度为 6.8m,为黑色厚层—块状含炭质砂屑灰岩,含大量的燧石结核,发育大型滑塌构造(包卷层理)(图版 -5)。其底部为透镜状砂屑灰岩夹泥炭质灰岩及燧石结核,底面不平整。

TST 下部为黑色中层状含炭质泥灰岩,中上部为薄层状夹中层状含炭质泥灰岩,自下而上单层厚度由下部的 20~30cm 逐渐减薄至上部的 5~10cm。顶部发育多个由厚减薄的退积序列,厚度约 9.8m。

HST 的沉积序列和前一个三级层序的 HST 的沉积特征类似,发育以弱退积为主的一套岩石组合,可分为上下 2 段。其中下段为灰色厚层状粉晶白云岩,含丰富的燧石结核,发育水平纹层,风化面呈灰白色,刀砍纹发育。自下而上单层厚度变薄,钙质含量增加,炭质含量也有所增加,逐渐变为含炭质灰质白云岩。上段为黑色薄层砂屑灰岩与薄层泥晶灰岩互层,形成黑灰相间的韵律条带,水平纹层十分发育,局部夹 1~2cm 厚的燧石条带,中上部夹 3~4 层中层状泥晶灰岩。

从总体沉积特征看,本层序的 LST 为上斜坡的沉积,TST 为盆地边缘相的沉积,而 HST 为盆地边缘—下斜坡相的沉积。

(5)ZSQ5

本层序为一个不完整的三级层序,仅发育 LST 和 TST 的沉积序列,厚度为 26.1m。

LST 为滑塌构造十分发育的层位,总体上表现为块状砂屑灰岩与泥晶灰岩沉积,实质上为黑色含炭质(局部炭质含量较高)薄层砂屑灰岩与薄层泥晶灰岩互层,并夹有燧石条带或燧石结核,再经滑动形成大型的包卷层理(图版 -6),并伴有少量的同生角砾。为上斜坡相沉积。

TST 相当于陡山沱组四段,厚度为 6.7m。总体上可分为 6~7 个自下而上、由厚变薄的副层序,构成向上退积的沉积序列(图 3)。副层序组大致分为 3 段,A 段:中层—薄层泥晶或砂屑灰岩;B 段:薄层泥晶灰岩,纹层十分发育;C 段:薄层泥晶灰岩夹炭质页岩。最底部的泥晶灰岩中含磷质,中上部泥晶灰岩中见分散状微晶黄铁矿。每一个副层序相当于一个浊流沉积的旋回,沉积相为下斜坡—盆地边缘相。

(6)ZSQ6

本层序为灯影组最下部的一个三级层序,以斜坡浊积扇十分发育为特点。本层序自下而上可划分为 LST、TST、CS(凝缩段)、HST,是一个完整的三级层序。

LST 发育浊积扇,总厚度 19.4m。以黑色中厚层状含磷质砂屑灰岩为主,夹厚层状、薄层状含磷质砂屑灰岩及少量黑色薄层炭质页岩,含燧石结核或条带,并见有少量同生角砾(图版 -1),砂屑灰岩底部常见冲刷侵蚀构造。本段为上斜坡的沉积序列,常见不完整的浊流沉积序列(图版 -2、3)。

浊流沉积序列 1:A 段为发育包卷层理及同生角砾的中厚层状含磷质砂屑灰岩;B 段为黑色薄层含磷质砂屑灰岩,平行纹层十分发育;C 段为黑色厚

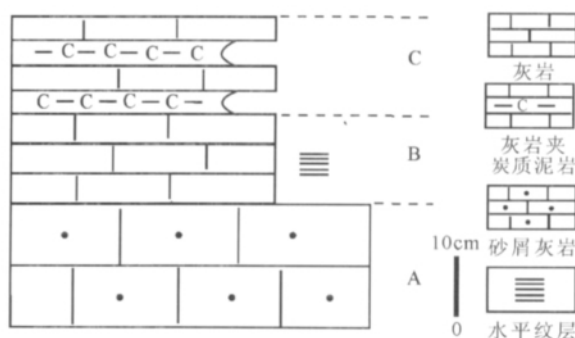
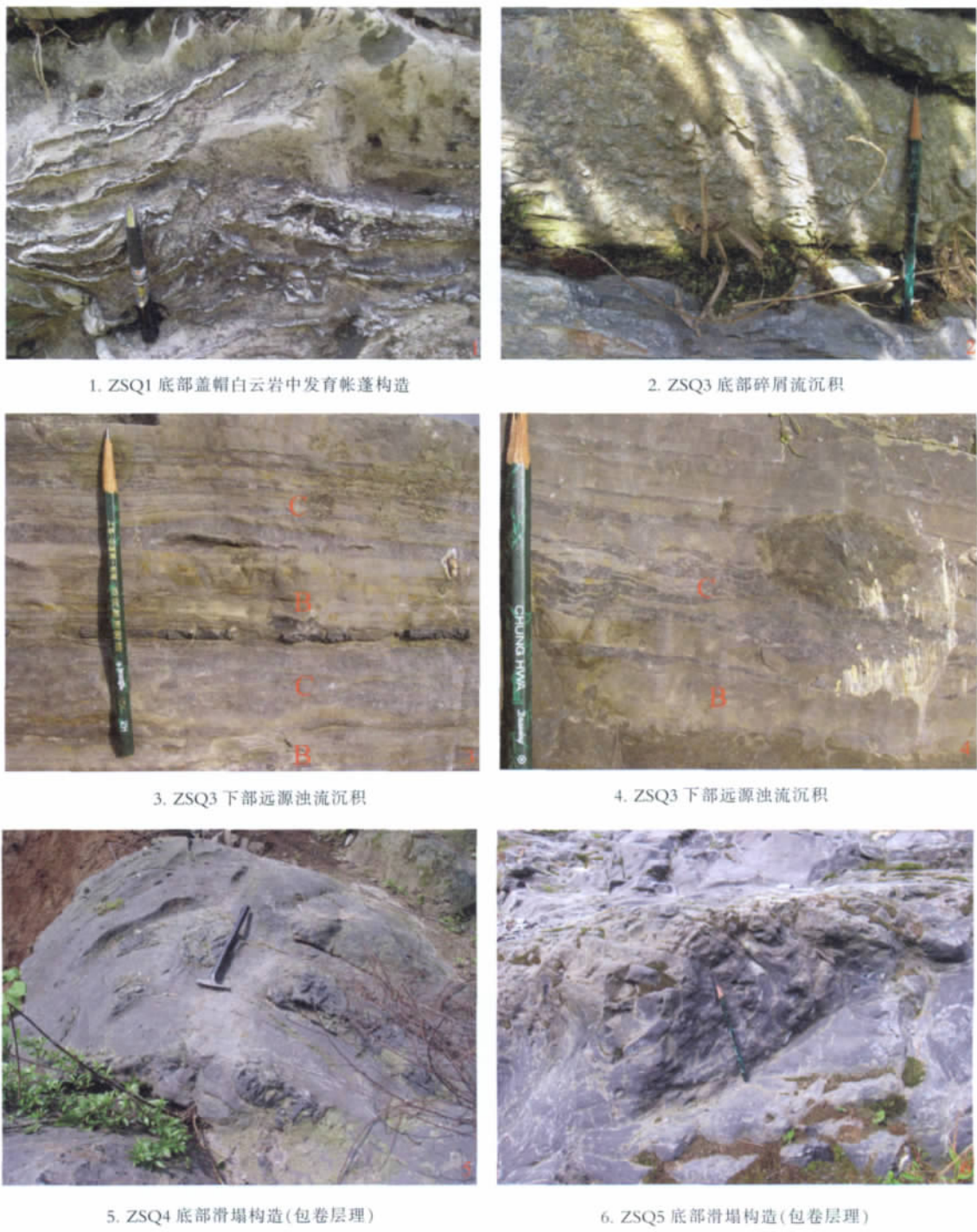


图 3 陡山沱组四段副层序组沉积特征

Fig. 3 Parasequence pattern of 4th Member of Doushantuo Formation

图版 I Plate I



层含磷质砂屑灰岩,粗、细砂屑交互出现,风化面上有灰、黑相间的韵律层。上述沉积序列中的 A 段相当于典型鲍马序列中的 C 段,B 和 C 段相当于上平行层段 D 段。

浊流沉积序列 2:A 段为滑塌构造发育的薄层

砂屑灰岩;B 段为黑色薄层砂屑灰岩夹黑色炭质泥岩。A 段和 B 段分别对应于典型鲍马序列中的 C 段和 D—E 段。

浊流沉积序列 3:A 段为中—薄层含炭质砂屑灰岩,其中见有黄铁矿微晶分散保存;B 段为黑色炭

图版 II Plate II



1. ZSQ6 浊积扇中发育滑塌角砾岩



2. ZSQ6 浊积扇中发育包卷层理
(泥晶灰岩呈不连续透镜状)



3. ZSQ6 浊积扇中发育包卷层理



4. ZSQ7 的 TST 下部砾屑灰岩段中泥晶灰岩的形态



5. ZSQ8 高位域粉砂岩沉积(硅化)



6. ZSQ9 海侵域中的黑色炭质页岩

质页岩夹薄层砂屑灰岩,为远源浊流沉积序列,一般见于下斜坡。A 段和 B 段分别对应于典型鲍马序列中的 C 段和 D—E 段。

TST 发育下斜坡远源浊流沉积,厚度达 27.5m。其沉积序列与 LST 中的浊流沉积序列 3 类似,为黑

色薄层炭质泥岩夹黑色薄层含炭质砂屑泥晶灰岩,灰岩中可见分散状的微晶黄铁矿,平行纹层十分发育,局部可见包卷层理。向上渐变为泥晶灰岩夹黑色薄层炭质泥岩。为一较为典型的海侵退积序列。

CS 发育黑色薄层状含炭质泥质灰岩,夹有极薄

层黑色炭质页岩。其下部含泥质砂屑灰岩中含少量泥晶灰岩结核,并见零星的沥青质。顶部灰岩单层厚度进一步变薄,厚仅 2~3cm,层间夹黑色炭质页岩。该凝缩段(CS)为盆地边缘相—盆地相的沉积序列,厚度 10.3m。

HST 的沉积由 2 部分组成,下部为灰黑色中层状含炭质砂屑灰岩,发育包卷层理,其间夹有少量黑色炭质页岩;上部为黑色、灰黑色薄层—极薄层含炭质砂屑灰岩、泥晶灰岩夹黑色薄层炭质页岩,灰岩中见星点状分布的微晶黄铁矿,厚度约 11m。该体系域为弱进积—加积为主的沉积序列,其沉积相环境仍处于下斜坡。

(7)ZSQ7

本层序为灯影组二段下部的三级层序,发育 TST 和 HST,前者沉积厚度相对较大,约 37.5m,后者仅 16.8m。

TST 至少发育 2 个向上粒度变细的退积型沉积序列,下部为一个完整的向上变细的沉积序列。该沉积层序为 A:下部的砾屑灰岩段,由黑色厚层含砾屑灰岩夹黑色砂屑(泥晶)灰岩组成,泥晶灰岩形态不规则,呈撕裂状(图版 4);B:由厚约 20cm 具水平层理的灰岩段组成,该水平纹层由砾屑灰岩(风化后灰黑色)和砂屑灰岩(风化后灰白色)形成黑白相间的条带;C:黑色厚层状泥质灰岩,含丰富的燧石结核;D:泥晶灰岩。

本层序可能还发育凝缩段的沉积,为灰黑色薄层砂屑灰岩夹薄层泥晶灰岩,层间尚夹黑色极薄层炭质页岩,单层厚度 10~20cm。因地层出露状况较差,该段多被掩盖,故暂将其置于海侵体系域(TST)。

HST 为以一套加积—弱进积作用为主的沉积序列,主要为黑色薄层含炭质砂屑灰岩夹黑色极薄层炭质页岩,灰岩单层厚度一般 2~3cm,局部变形较强,可能是层间滑动所致。其中下部炭质含量较高,顶部为厚约 2m 的薄层砂屑灰岩。

(8)ZSQ8

本层序包含了灯影组二段上部和三段下部的沉积,前者为 TST,后者为 HST。与 ZSQ7 不同,本层序的 TST 厚度约 49m, HST 厚度约 55.38m, HST 的沉积厚度显著增大,并超出了 TST 的沉积厚度。

TST 以潮下低能的沉积为主,自下而上发育了一套以海侵退积为主的沉积序列。总体上灰岩的单层厚度逐渐减薄,而黑色炭质页岩夹层的数量和单

层厚度逐渐增大。TST 沉积中下部以黑色炭质泥岩与黑色薄层含炭质砂屑、泥晶灰岩呈互层状产出,灰岩中可见微晶黄铁矿和 2mm 粒径的黄铁矿分布,局部富集成团。上部以黑色薄层状泥晶灰岩为主,夹黑色炭质页岩,灰岩中水平纹层发育,可见星点状分布的微晶黄铁矿。顶部为灰黑色薄层含炭质砂屑泥灰岩夹黑色炭质页岩,灰岩单层厚度仅为 1~2cm。

HST 以一套潮坪相、鲕粒滩相的沉积序列为特征,其中潮坪相的沉积序列主要由多个向上厚度逐渐减薄、粒度逐渐变细的沉积序列构成,同时,每个向上变细、变薄的沉积序列中,上部的硅质条带或结核的含量均明显增多。总体上,本段反应了向上水动力条件逐渐减弱的潮间带上部低能带—潮上带的沉积,局部夹有潮下低能带水平纹层发育的泥晶白云岩。其中所夹的厚约 80cm 的硅化鲕粒白云岩为高能滩相的沉积(图版 5)。除此之外,本段尚夹有少量含角砾砂屑的白云岩,见有底冲刷现象,为潮下高能带的沉积。

(9)ZSQ9

本层序为灯影组三段上部的一个三级层序,也是震旦系最上部的一个三级层序。灯影组四段在本区为一套中层状夹薄层状硅质岩沉积,其时代应为寒武纪,故此处不再赘述。

本层序的海侵体系域与凝缩段的沉积厚度较小,厚仅 10.9m,而高位域则厚达 37.7m,后者的厚度接近前者的 3.5 倍。

TST 沉积序列表现在沉积特征上,是由 3 个向上变细、变薄的退积型副层序组叠置而成的。其沉积环境总体上以水平纹层发育的潮下低能环境为主,星点状黄铁矿的发育则指示为还原环境。

副层序组 1: 黑色炭质白云岩之上为浅灰色中层状泥晶白云岩,自下而上,白云岩单层厚度逐渐减薄,水平纹层发育。其底部为厚 25cm 的黑色炭质砂屑白云岩,水平纹层极为发育,其中含星点状黄铁矿。顶部厚 30cm 左右的黑色炭质页岩为本副层序组的饥饿沉积(图版 6)。

副层序组 2: 下部为中厚层状灰黑色砂屑白云岩与浅灰色泥晶白云岩互层,形成黑白相间的条带,水平纹层发育,局部见小型楔状层理。局部见少量角砾,砂屑白云岩底常见底面冲刷现象。泥晶白云岩中可见由砂屑白云岩形成的透镜状层理。中上部单层减薄至约 3cm。

副层序组 3: 下部为中层状灰黑色砂屑白云岩与浅黄色泥晶白云岩互层, 形成黑白相间的条带, 上部为薄层状泥晶白云岩, 见星点状微晶黄铁矿。顶部为厚达 90cm 的黑色炭质页岩。

HST 为深灰色厚层—块状粉晶白云岩夹块状角砾状白云岩。底部为 70cm 厚的深灰色厚层粉晶白云岩, 层面见有叠层石。其上见有塑性流动现象, 泥晶白云岩脉呈树枝状、火焰状等不规则形态穿插于粉晶白云岩中, 并含有少量角砾。上部为浅灰—灰白色块状含角砾粉晶白云岩, 白云岩角砾分布不均匀, 角砾之间为亮晶方解石胶结。近顶部尚夹少许薄层含泥质粉晶白云岩。其沉积环境主体为局限台地相, 而且可能因为发育碳酸盐缓坡而发育了塑流构造。

1.2 斜坡相区三级层序的发育特点

斜坡相区三级层序的发育特点和其它相区有明显的差异。鉴于盆地相区难以进行三级层序的划分, 因此本文所总结的斜坡相区三级层序的发育特点是与台地相区相对比而得出的。

(1) 斜坡相区发育低水位体系域, 以低水位扇或远源浊流沉积为特点, 而在台地相区, 低水位体系域多不发育, 以海侵体系域作为一个三级层序的开始。

(2) 斜坡相区高水位体系域沉积厚度相对较薄, 个别三级层序甚至无高位体系域的沉积, 田坪剖面部分三级层序(ZSQ3、ZSQ4)的高位域还具有弱退积的沉积特征。这显然和台地相区高位域的沉积以加积—进积的沉积序列为特征有显著的差异。

(3) 本剖面的沉积序列显示了从陡山沱期初期海平面大幅上升后逐渐下降的过程, 因此三级层序在纵向上的变化也十分显著, 如高位域从不发育到十分发育, 低位域从十分发育到不发育。这种纵向的变化与其横向变化的特征是相匹配的。

(4) 鉴于不同时期海平面变化的不同特点, 三级层序的发育特征也各不相同, 除个别三级层序发育完整的沉积序列(LST、TST、CS、HST)外, 多数三级层序并不完整。

2 震旦系二级层序的划分与对比

关于震旦系二级层序的划分, 前人的研究较为笼统, 基本上是将陡山沱组和灯影组分别作为一个二级层序对待^[2]。但从其沉积序列看, 在斜坡相区和台地相区, 陡山沱组一段、二段和三段(ZSQ1~ZSQ4)构成了震旦系下部一个海平面升降的二级旋回沉积。

其中, 陡山沱组一段、二段为持续的海侵沉积序列, 三段则为该二级旋回的高位域沉积; 而陡山沱组四段和灯影组一段、二段则代表了震旦系上部二级旋回的海侵体系域, 灯影组三段的厚层白云岩沉积为该旋回的高位域沉积(ZSQ5~ZSQ9)。

在盆地相区, 与三级层序对应的三级海平面升降变化对沉积序列的影响十分微弱, 甚至二级海平面的升降变化在深水相中也存在局部识别困难的问题, 如在安化大福一带, 金家洞组仅见海侵退积的沉积序列。考虑到沉积相的横向变化, 本文仍将该区金家洞组作为一个二级层序对待。有关盆地相、斜坡相二级层序的划分和相互间的对比关系见图 2。

湖南古丈罗溪溪剖面震旦系金家洞组底部为灰白色中层状泥晶—粉晶白云岩, 最底部泥晶白云岩中含角砾, 角砾直径一般为 0.3~0.5cm, 棱角状, 无分选, 与盖帽白云岩可大致对比, 但其厚度明显变小, 且未见帐篷构造。中上部为灰白色中—薄层泥晶白云岩夹含泥质粉晶白云岩, 泥晶白云岩与含泥质粉晶白云岩形成不等厚的韵律条带, 粉晶白云岩中含丰富的微晶黄铁矿, 水平纹层十分发育, 上部偶见楔状交错层理。顶部为灰、浅灰色中层—薄层硅质粉晶白云岩夹少量硅质砂屑白云岩, 因后期成岩作用的影响, 局部岩石较为破碎, 发育孔洞和裂隙。总体上看, 该组为底域缺氧的弱水动力环境, 上部出现楔状交错层理是水动力加强的表现, 顶部的沉积物粒度变粗也应与水体变浅、水动力条件加强有关。因此, 该剖面的金家洞组也构成了一个独立的海平面升降旋回, 与二级层序相对应。该剖面留茶坡组下部为黑色、灰黑色纹层十分发育的含炭质泥质页岩夹透镜状或莲藕状硅质粉晶白云岩, 白云岩透镜体最大厚度可达 1.4m, 局部可见白云岩中发育水平纹层。剖面上部由黑色薄层状硅质岩夹中层状硅质岩、极薄层状硅质岩、黑色炭质页岩组成向上变薄的沉积序列, 为一个向上退积的海侵序列。由于震旦系/寒武系界线附近受断层的影响, 该二级层序上部的海退进积序列和层序顶界难以识别。

湖南安化大福震旦系金家洞组下部为灰白色薄层粉砂岩, 水平纹层发育, 其中含灰褐色透镜状含铁质结核, 结核顺层分布, 长一般 0.3~0.5cm, 宽 0.1cm 左右; 中部为灰白色、浅灰色厚层状粉砂岩、泥岩, 粉砂岩与泥岩互层形成灰白相间的韵律条带; 上部为薄层状炭泥质硅质岩夹石墨化煤(石煤层)。总体上

显示为海侵退积的沉积序列。其上的留茶坡组为黑色厚层—块状硅质岩,风化后常呈薄层状,单层厚度 3~8cm 不等,质纯坚硬,地貌上形成陡坎。其底界与金家洞组之间形成岩性转换面,该岩性转换面与海侵面重合,代表了一次快速的海侵,这次海侵一直持续至震旦系/寒武系之交出现炭质页岩的夹层为止,为一个深水盆地相的二级海平面升降旋回。

3 讨论与结论

湘西北地区震旦系跨越台地相区、斜坡相区、盆地相区等不同的沉积相区,其沉积序列在不同的相区有不同的特征,三级层序的划分存在较多的争议。

在台地相区,王自强等^[3]研究峡东地区震旦系三级层序的划分时,将陡山沱组划分为 6 个三级层序,第一个三级层序(DS1)为盖帽白云岩段,认为该段是一个三级层序的高位域沉积,缺失低位域和海侵域的沉积。本文根据其沉积序列的特征,将其作为斜坡相区 ZSQ1 的低位域沉积对待。根据这一情况,本文和王自强等^[3]所划分的三级层序可完全予以对比。梅冥相^[5]将上扬子区震旦系陡山沱组划归一个三级层序。但根据 Yin 等^[6]的研究,震旦系灯影组与陡山沱组界线年龄约在 550Ma 左右,而陡山沱组底界年龄约为 630Ma,其时间跨度为 80Ma,不但远远超出了三级层序的时限,也超出了普通二级层序的时限。因此这种划分显然是欠妥的。

关于灯影组层序地层的划分,王自强等^[3]划分了 8 个三级层序,其中最顶部的三级层序相当于天柱山段沉积,本文认为该段已经是寒武系的沉积序列,故不予讨论。但王自强等^[3]所划分的震旦系三级层序仍远远多于本文,这可能和海平面变化在台地相区更加敏感有关。周雁等^[2]在中扬子地区所划分的震旦系灯影组 4 个三级层序,应和本文的 4 个三级层序大致相当,但二者之间的精确对比关系还有待进一步研究。梅冥相^[5]在研究上扬子区震旦系层序地层的划分时,将震旦系灯影组划分为 4 个三级层序(ZS2~ZS5),与本文灯影组的 4 个三级层序也应是大致可以对比的。

在盆地相区,陡山沱组和灯影组分别对应于金家洞组和留茶坡组。但后者在岩性、岩相等沉积特征方面与台地相区、斜坡相区存在巨大差异,同时在深水相区三级海平面变化对沉积序列的影响十分微弱,造成三级层序难以识别,三级层序的对比更加难

以实现。

关于二级层序的划分与对比,尽管在台地相区,陡山沱组的页岩与灯影组的白云岩形成了一个总体向上变浅的沉积序列。在陡山沱组沉积初期,伴随海平面大幅上升所沉积的一套黑色页岩具有淹没不整合层序的特点,但在斜坡相区和盆地相区,并没有形成一个整体向上变浅的沉积序列。从前文的古丈罗依溪剖面 and 安化大福剖面的沉积序列看,与陡山沱组大致对应的金家洞组和与灯影组大致对应的留茶坡组分别形成了一个海侵/海退序列。鉴于在同一个沉积盆地内,台地—斜坡—盆地的沉积序列均直接受控于二级海平面变化,因此在台地相区划分出 2 个二级层序是合理的。从沉积序列看,台地相区和斜坡相区的陡山沱组下部 4 个三级层序(ZSQ1~ZSQ4)构成一个海平面升降的二级旋回,因此本文将陡山沱组下部 4 个三级层序(ZSQ1~ZSQ4)划分为 1 个二级层序,陡山沱组最上部的三级层序(ZSQ5)为震旦系上部二级层序最下部的 1 个三级层序,换言之,震旦系上部的二级层序包含了 ZSQ5~ZSQ9 等 5 个三级层序。

总之,斜坡相区震旦系层序地层的划分与台地相区可以基本统一,二者在三级层序上可实现直接对比,斜坡相区和盆地相区的震旦系沉积序列可实现二级层序的对比。

致谢:陈孝红研究员、熊成云研究员与笔者共同考察了张家界田坪、大坪剖面,并与笔者进行了有益的讨论,匿名审稿人对本文提出了宝贵的修改意见,使笔者受益匪浅,在此一并表示衷心的感谢。

参考文献

- [1]王鸿祯,史晓颖,王训练,等.中国层序地层研究[M].广州:广东科技出版社,2000:39-98.
- [2]周雁,陈洪德,王成善,等.中扬子区上震旦统层序地层研究[J].成都理工大学学报(自然科学版),2004,31(1):53-58.
- [3]王自强,高林志,尹崇玉.峡东地区震旦系层序剖面的界定与层序划分[J].地质论评,2001,47(5):449-458.
- [4]尹崇玉,柳永清,高林志,等.震旦(伊迪卡拉)纪早期磷酸盐化生物群——瓮安生物群特征及其环境演化[M].北京:地质出版社,2007:1-132.
- [5]梅冥相,聂瑞贞,张海,等.上扬子区震旦系层序地层划分[J].现代地质,2006,20(1):49-60.
- [6]Yin Chongyu, Tang Feng, Liu Yongqng, et al. New U-Pb zircon ages from the Ediacaran (Sinian) System in the Yangtze Gorges: constraint on the age of Miaohu Biota and Marinoan[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(5): 393-400.