

文章编号: 1009-3850(2001)02-0091-09

内蒙古固阳渣尔泰山群层序地层 与复合海平面变化

胡建中¹, 潘永胜²

(1. 中国地质大学 地球科学与资源学院, 北京 10083; 2. 山西省 214 地质队, 山西 运城 044100)

摘要: 通过内蒙古固阳渣尔泰山群的岩性、岩相和相序研究, 对其进行了层序分析和层序划分, 识别出一级、二级、三级层序界面, 包括海侵沟蚀面和暴露-淹没复合型层序界面。共划分出 1 个超层序, 3 个大层序和 8 个层序。总结出渣尔泰山群的不同古地理背景如碎屑滨岸、台缘碳酸盐岩与碎屑岩混积、碳酸盐台地、台前斜坡和陆棚盆地层序发育模式以及内部构成特征, 并探讨了复合海平面变化以及对层序发育和演化的控制作用。

关键词: 层序界面; 海侵沟蚀面; 暴露-淹没复合型界面; 复合海平面变化; 渣尔泰山群

中图分类号: TE121.3

文献标识码: A

Sequence stratigraphy and composite sea-level changes in the Zha'ertaishan Group, Guyang, Inner Mongol

HU Jian-zhong¹, PAN Yong-sheng²

(1. Faculty of Earth Science and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. No. 214 Geological Party, Yuncheng 044100, Shanxi, China)

Abstract: Stratigraphic sequences and sequence boundaries are divided for the Zha'ertaishan Group, Guyang, Inner Mongol on the basis of lithological, sedimentary facies and facies sequence approaches. The sequence boundaries consist of the first-, second- and third-order sequence boundaries, including transgressive ravinement surfaces and composite exposure-drowning bounding surfaces. With different scales of se-

收稿日期: 2001-02-19

quence boundaries as bounding surfaces, the following sequences have been recognized for the Group: one supersequence, three megasequences and eight sequences. The models for the sequence development and architecture are presented for the different paleogeographic settings of the Zha'ertaishan Group, i. e. siliciclastic shoreline, mixed platform-margin carbonate rocks and siliciclastic rocks, carbonate platform, foreslope and shelf-basin sequences. In addition, the composite sea-level changes and their controls on the sequence development and evolution are also treated in this paper.

Key words: sequence boundary; transgressive ravinement surface; composite exposure-drowning bounding surface; composite sea-level change; Zha'ertaishan Group

渣尔泰山群为一套遭受低绿片岩相区域变质作用的沉积岩系,是华北地台北缘重要的含矿地层,迄今已发现和探明了多个大型金属矿床。研究其层序界面类型及性质、层序特征、层序演化与复合海平面变化,对于建立区域等时地层格架、指导找寻和勘探矿产资源具有重要意义。

1 地质背景

渣尔泰山群是华北台地北缘中元古代裂陷槽沉积,主要为碎屑岩-碳酸盐岩建造,分布于乌拉山以北,大地构造位置属华北地台北缘被动大陆边缘,次级构造单元为狼山-渣尔泰山近东西向褶皱系,研究区位于该褶皱系最东端复式向斜的仰起端。区内渣尔泰山群自下而上可分为书记沟组、增隆昌组和阿古鲁沟组,由于受后期构造运动的改造,渣尔泰山群最上部的刘鸿沟组^[1]在研究区剥蚀殆尽。书记沟组主要为碎屑岩沉积,下段主要为河流相砾岩、含砾石砂岩、粗粒长石石英砂岩,发育大型板状、槽状交错层理;上段主要为滨海相石英细砂岩、长石石英细砂岩夹粉砂岩,具羽状、波状和小型交错纹理。增隆昌组为碎屑岩和碳酸盐岩沉积;可分为两个岩性段,一段为细碎屑岩沉积,主要发育浅海陆棚相的粉砂岩、粉砂质泥岩,发育水平纹理;二段主要由碳酸盐岩组成,岩性为泥晶白云岩、粉晶白云岩、条带状白云岩、藻纹层白云岩和白云质角砾岩等。阿古鲁沟组的下段为细碎屑岩沉积,岩性为粉砂质板岩、碳质板岩;中部为碳酸盐岩,主要岩性为碳质泥晶灰岩、条带状灰岩和藻纹层灰岩等;上段则由碎屑岩组成,岩性为灰黑色薄层碳质板岩和粉砂质板岩。

2 层序界面

受西伯利亚与华北两大板块俯冲、碰撞作用的影响,渣尔泰山群在晋宁期—海西期遭受了一定程度的构造变形与变质作用,地层间接触关系由于变形、变质作用的叠加而复杂化。故长期以来认为是连续沉积整合接触。乔秀夫(1991)^[2],谭琳等(1991)^[3]通过层序地层和岩相古地理分析,在渣尔泰山群内识别出两个重要的不整合面,即阿古鲁沟组与增隆昌组不整合和刘鸿沟组与阿古鲁沟组不整合,并分别命名为增隆昌运动和沙尔肖热运动,据此将渣尔泰山群分为3个沉积层序。但渣尔泰山群同位素时限为2000~1600Ma(王楫等,1990),

即渣尔泰山群经历了约 400Ma 的形成演化过程,显然以上 3 个沉积层序相当于 Vail 等(1977, 1988, 1991)和 Mitchum 等(1991)的三级旋回层序。通过岩性、岩相及相序的综合研究和界面的精细识别,在上述 3 个沉积层序内部还可进一步识别出三级海进-海退旋回和层序界面。即渣尔泰山群主要发育两个一级层序界面,两个二级层序界面和 5 个三级层序界面。其中三级层序界面由暴露-淹没复合型和海侵沟蚀面两种类型的层序界面组成。

2.1 一级层序界面

渣尔泰山群的一级层序界面是指其底、顶界面。底界面是中元古代裂陷槽盖层沉积与太古宙变质结晶基底的分界面,顶界面在研究区表现为中生代沉积盆地与中元古代裂陷槽的分界面。这两个大的不整合面均为角度不整合,其间所限定的地层记录了渣尔泰山裂谷系的形成、发展和萎缩消亡的发展过程,不整合间断时间长,延伸规模广,因而可进行跨区域对比。

2.2 二级层序界面

渣尔泰山群在其演化过程中,经历了 2 次整体的构造抬升运动,即增隆昌组末期的增隆昌运动和阿古鲁沟组的末期的沙尔肖热运动,分别形成了具区域规模的,间断时间比较长,并可进行区域对比的两个平行不整合界面。

2.3 三级层序界面

相对来说,三级层序界面不仅在级别、规模、间断时间均要小于前两者界面,而且在界面形成机制上,主要受海平面的相对升降变化控制,构造运动在此表现并不明显。因此,三级层序界面仅在裂谷内具有对比意义,其主要表现型式为岩性、岩相、相序、地层结构和准层序组堆叠型式的转换界面。它包括暴露-淹没复合界面和海侵沟蚀面两种类型:

暴露-淹没复合型层序界面 淹没间断面由 Schaltege(1981)和 Goldammer(1990)提出,是指台地碳酸盐岩沉积时的瞬间加深而形成的沉积间断事件。其特征是凝缩段直接覆盖在层序界面之上,不必包含任何暴露证据,暴露-淹没复合界面的基本特征是既具有海平面下降所形成的下伏地层顶面的陆上暴露,如碳酸盐台地的风化壳、古喀斯特化等,也重叠了上覆地层由于海平面突然加深而形成的加深间断面(图 1C, D)。渣尔泰山群阿古鲁沟组三段和二段之间界面就是具有该性质的层序界面。阿古鲁沟二段碳酸盐岩顶部普遍发育有一层黄钾铁矾型铁锰帽,郎殿有(1988)对固阳黑土坡一带的铁帽进行了微量元素分析,结果表明,铁帽下部的 Mn 值较高, Zn 最高达 1100×10^{-6} , Cu 达 199.3×10^{-6} , 分别是克拉克值的 13, 3.5 和 2.4 倍,并认为该铁帽是由于原生硫化物多金属矿经地表长期风化淋滤而成。由于该界面经历了后期变质变形作用的改造,致使残留的暴露标志并不太明显,因此,长期以来被视为连续沉积,整合接触。但层序地层分析表明,该界面上、下地层存在明显的相序间断,如界面之下的阿古鲁沟组二段主要为湖坪相藻纹层灰岩,局部发育微喀斯特地貌,而界面之上的阿古鲁沟组三段则为陆棚盆地相的深水富含有机质的泥岩,两者接触处缺失了多个相带,穿过界面水体突然加深,因此,该界面是一个暴露加深淹没的复合界面。

海侵沟蚀面 渣尔泰山群沉积时的古地理特征为总体位于被动大陆边缘盆地的陆棚区,根据层序地层学原理,在此处的层序界面与海侵沟蚀面重叠,即层序界面以海侵沟蚀面来表征。海侵沟蚀面形成于相对海平面的上升时期,在海侵作用过程中,由于滨面上升,滨

岸带向陆迁移, 波浪、潮汐和风暴对早先沉积地层进行侵蚀、削切, 形成海侵沟蚀面。其特征是该面发育于滨海相地层间, 并对下伏沉积物具侵蚀作用, 穿过该界面上覆地层底部为海侵滞留砾岩沉积, 沉积物水体具有明显加深的趋势, 是地层堆叠形式、地层结构和沉积相序的转换界面(图 1A, B)。

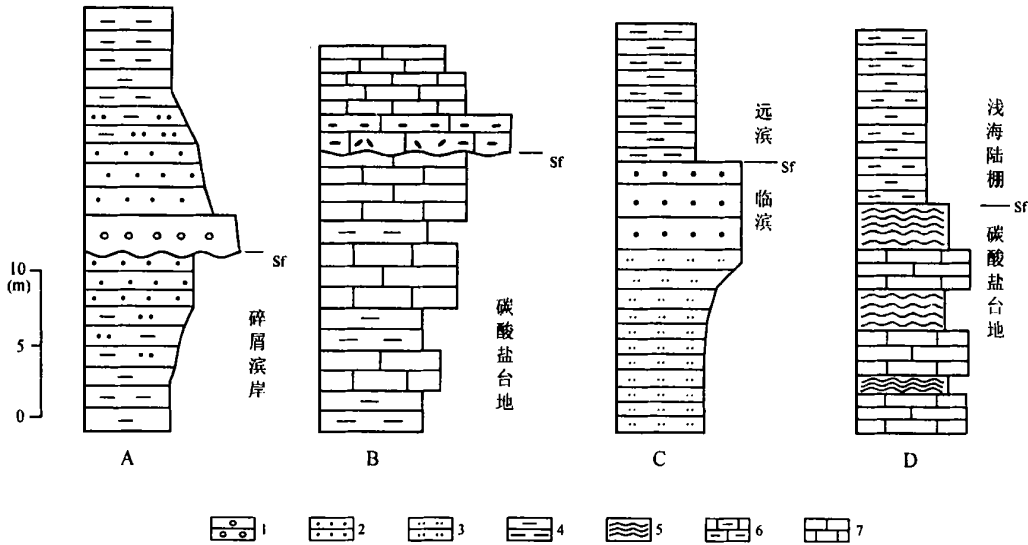


图 1 渣尔泰山群层序界面类型

A, B. 海侵沟蚀面; C, D. 暴露-淹没复合界面。1. 砾岩; 2. 砂岩; 3. 粉砂岩; 4. 泥岩; 5. 藻纹层灰岩; 6. 砾屑灰岩; 7. 结晶灰岩

Fig. 1 Types of the sequence boundaries in the Zhaertaishan Group

A and B represent the transgressive ravinement surface; C and D represent the composite exposure-drowning bounding surface. 1= conglomerate; 2= sandstone; 3= siltstone; 4= mudstone; 5= algal laminated limestone; 6= calcirudite; 7= crystalline limestone

3 层序类型

渣尔泰山群总的构造背景位于华北北缘的被动大陆边缘, 其巨厚沉积物是在被动边缘的滨岸带—台地—陆棚范围内沉积的。根据层序界面的类型的沉积时古地形的特点, 将本区划分为 I 型、碎屑滨岸、碎屑岩与碳酸盐岩混合带、碳酸盐岩台地、台前斜坡和坡底以及陆棚盆地 5 种层序类型(图 2)：

3.1 I 型层序

该层序为渣尔泰山群最下部的第一个层序(SQ₁), 相当于书记沟组一段和书记沟组二段的下部地层, 层序底界面为本区盖层和变质结晶基底的分界面, 即区域性角度不整合面。在该界面之上由于河流回春作用发育下切谷, 因此, 属 I 型层序(图 2A)。层序由低水位体系域的下切谷(LST)、海侵体系域(TST)和高水位体系域(HST)三部分组成。LST 主要为下切谷沉积, 谷内充填了河流相的大型板状、槽状交错层理粗砂岩与水平层理细砂岩组成向上

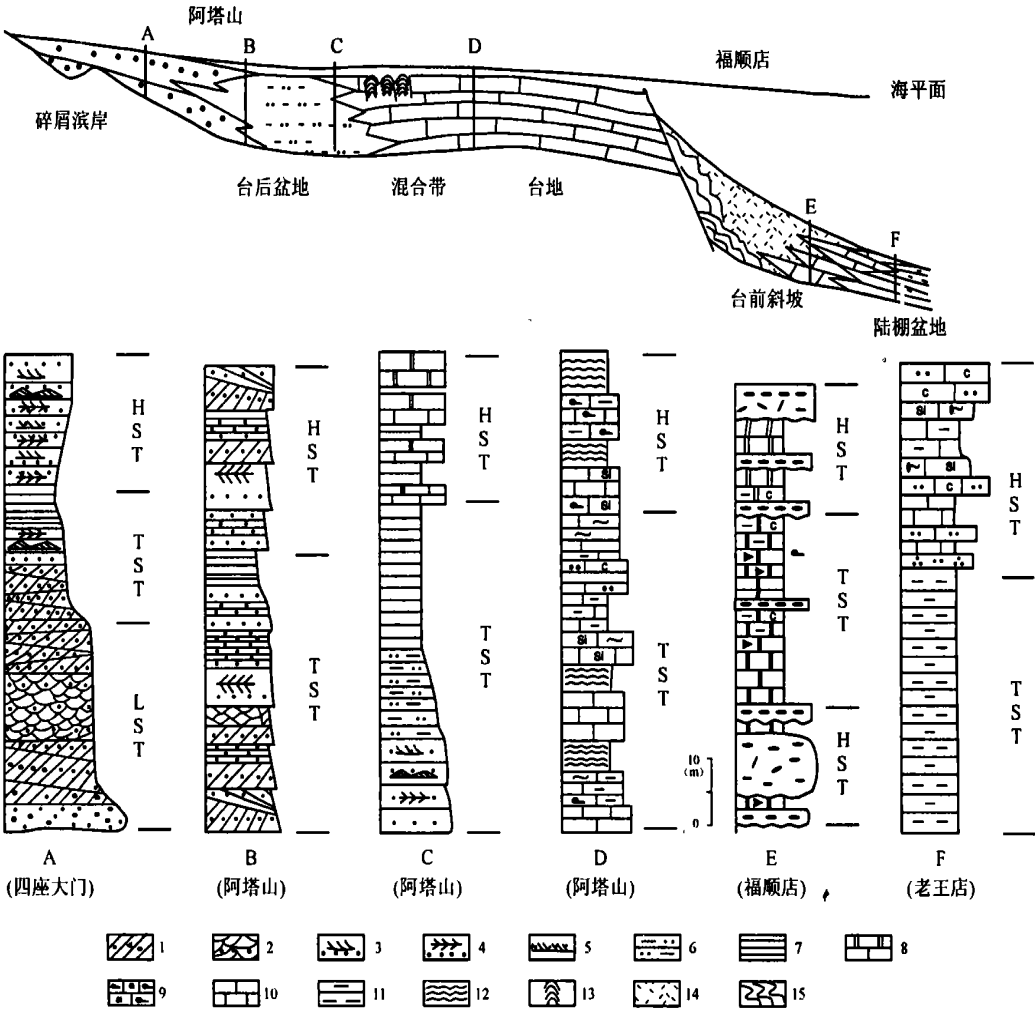


图 2 渣尔泰山群不同沉积背景的层序发育类型

1. 板状交错层理层含砾粗砂岩; 2. 槽状交错层理粗砂岩; 3. 沙纹层理细砂岩; 4. 羽状层理细砂岩; 5. 波状层理细砂岩; 6. 泥质粉砂岩; 7. 页岩; 8. 白云质灰岩; 9. 条带状硅质灰岩; 10. 灰岩; 11. 泥岩; 12. 藻纹层灰岩; 13. 叠层石; 14. 角砾岩; 15. 滑塌体

Fig. 2 Sequence types in different depositional settings of the Zha'ertaishan Group

1= gravelly coarse-grained sandstones with tabular cross-bedding; 2= coarse-grained sandstones with trough cross-bedding; 3= fine-grained sandstones with ripple bedding; 4= fine-grained sandstones with herringbone cross-bedding; 5= fine-grained sandstones with wavy cross-bedding; 6= muddy siltstone; 7= shale; 8= dolomitic limestone; 9= banded siliceous limestone; 10= limestone; 11= mudstone; 12= algal laminated limestone; 13= stromatolite; 14= breccia; 15= olistostrome

变细变薄的沉积旋回,多个旋回在剖面上反复叠置构成河道复合体沉积。TST 主要为碎屑滨岸沉积,由前滨相的小型板状、槽状交错层中细粒砂岩,临滨相羽状交错层细砂岩,过渡相波状层理细粗粉砂岩及远滨相水平层理粉砂岩组成向上变细变薄的退积式准层序组。HST 由灰色中粒石英砂岩和细砂岩组成,具小型切线型交错层理和小型透镜状层理,沉积环境有由远滨演化为前滨相,发育进积式准层序组。

3.2 碎屑滨岸层序

碎屑滨岸层序主要发育于书记沟组一段(SQ_2 , SQ_3),形成于被动大陆边缘盆地的海岸环境,在这种古地理背景上,相对海平面的升降变化是以滨线的向海或向陆的迁移来体现的,海侵面在此与层序界面重叠,即层序界面以海侵面来表征。层序内仅发育海侵体系域和高水位体系域(图 2B)。TST 由临滨相具交错层理细砂岩和远滨相具水平纹理粉砂岩或灰岩组成退积式层序组,HST 则由远滨相的粉砂岩过渡到临滨相的细砂岩,总体构成进积式准层序组。

3.3 碎屑岩与碳酸盐岩混合型层序

碎屑岩与碳酸盐岩混合层序于增隆昌组一段发育(SQ_4),形成于碳酸盐台地边缘靠近大陆一侧的碎屑岩与碳酸盐岩的混合带。层序底界面为海侵侵蚀面,层序内部发育海侵体系域和高水位体系域(图 2C)。TST 主要为碎屑岩沉积,自下而上由临滨相细砂岩演变为浅海陆棚相泥岩,密集段相当于陆棚相暗色泥岩,组成退积式准层序组。HST 为碎屑岩与碳酸盐混合沉积。剖面上 TST 由 3 个碎屑岩与碳酸盐岩准层序组成,但其总趋势是碎屑岩向上变薄减少,碳酸盐岩向上变厚增多,总体构成向上变浅的加积-进积式准层序组。

3.4 碳酸盐岩台地层序

渣尔泰山群在增隆昌组二段和阿古鲁沟组二段沉积期间,演变为碳酸盐台地。台地上碳酸盐的生产速率要明显高于海平面的升降速率,因此,常发育向上变浅的米级旋回。本区碳酸盐台地发育环潮坪型和浅海潮下型两种类型的米级旋回,前一旋回的下部单元为潮下中厚层结晶灰岩,上部单元为潮间相的藻纹层灰岩;后一旋回的下部单元为厚层粉晶灰岩,上部单元为中薄层白云质灰岩。上述米级旋回在纵向上的有序叠置,总体反映出增隆昌台地和阿古鲁沟台地演化各自经历了完整的海平面的升降变化,形成了 SQ_5 和 SQ_7 两个碳酸盐层序。碳酸盐层序由海侵体系域和高水位体系域两部分组成(图 2D)。TST 主要由环潮坪型碳酸盐米级旋回向浅海潮下型碳酸盐米级旋回演化,构成加积-退积式准层序组。HST 由浅海潮下型米级旋回向环潮坪型米级旋回演化。组成加积-退积式准层序组。

3.5 台地斜坡和坡底层序

在增隆昌组二段沉积期,于碳酸盐台地北缘福顺店一带发育斜坡和坡底相沉积物,主要为重力滑动、浊流和风暴重力流成因的碳酸盐角砾岩与较深水富含有机质陆棚相的泥晶灰岩互层。角砾成分主要为白云岩,与周围围岩成分迥异,为异源角砾,表明其来自南部的碳酸盐台地。从角砾岩在层序中的产出部位来看,角砾岩的成因类型与海平面变化具有一定的响应关系(图 2E):在海平面快速上升时期(TST),斜坡及坡底迅速淹没形成水下间断面后,缓慢沉积了较深水相的泥晶灰岩,碳酸盐台地产出的部分碳酸盐岩在风暴重力流的作用下,经斜坡带入坡底,形成远源浊积岩。在海平面上升速率减慢或开始下降时(HST),台地

碳酸盐岩生产过剩,大量碳酸盐岩在地震、重力等因素诱导下,沿斜坡滑动,在斜坡及坡底的不同部位形成滑移、滑塌和碎屑流角砾岩。

3.6 陆棚盆地相层序

渣尔泰山群在阿古鲁沟组沉积期间,由于盆缘断裂的幕式活动,盆地基底快速沉降,海平面迅速上升,使本区演化成水体较深的陆棚盆地。在这种古地理背景上,发育的层序主要由 TST 和 HST 两个体系域构成,其中 TST 上超于前期层序之上,主要岩性为灰黑色薄层富含有机质粉砂质泥岩、泥岩,具水平纹理,层面发育大量黄铁矿晶体,表明其形成于氧化-还原界面之下的较深水环境,且沉积速率缓慢。该层向广海延伸,应大体可与典型密集段层进行对比。HST 演化成较深水相的碳酸盐台地,主要由块状层富含有机质的泥晶灰岩和纹层状灰岩组成向上变浅的准层序组成,多个准层序的叠置总体构成进积式准层序组(图 2F)。纹层状灰岩常具原生滑动构造,表明沉积时地形有一定的起伏。

4 层序演化与复合海平面变化

渣尔泰山群从底部的书记沟组经增隆昌组、阿古鲁沟组,一直到顶部的刘鸿湾组(区内未出露),其沉积物经历了由河流→滨海→浅海→滨海→三角洲(区内未出露)的环境演化,整体构成一完整的海进-海退旋回,这显然属于一级海平面变化旋回,对应的层序地层为超层序。在一级旋回背景上,根据渣尔泰山群内部发育的增隆昌运动和沙尔肖热运动所形成的构造不整合面,可将其划分为 3 个大层序。但区内只发育大层序 I 和大层序 II,而大层序 III(刘鸿湾组)未出露。大层序 I 内发育 4 条海侵沟蚀面,大层序 II 内发育一条暴露-淹没间断面,据此可将渣尔泰山群划分为 7 个层序。由该 7 个层序组构成 2 个大层序,每一层序都形成于长周期海平面升降旋回的特定阶段并与其叠加产生增速与减速效应,形成复合海平面变化(图 3),从而对层序的类型、层序内部的构成特征和层序时空的演化具有明显的控制作用。

4.1 大层序 I (MS_I)

大层序 I 由书记沟组和增隆昌组构成。区域资料表明,书记沟组角度不整合于乌拉山岩群之上。考虑到书记沟组底部为河流沉积,因此,该不整合面属 I 型层序界面。层序顶界和阿古鲁沟组间为平行不整合界面。根据大层序内岩相的有序叠加形式,可将其划分为 5 个层序。其中, SQ₁ 层序大体对应于书记沟组一段和二段的下部沉积,它形成于二级海平面的下降和初始上升期,沉积基准面的迅速下降,使盆地太古代变质结晶基底遭受侵蚀,河流下切形成深切谷。河流一方面通过下切作用使河道向盆地延伸并切入下伏地层,与海平面的相对下降相对应,另一方面河流在下切过程中自身也接受沉积。因此,形成了书记沟组一段河流相砂砾岩层(LST)。其后随着海平面的上升,本区演化成碎屑滨岸沉积环境,沉积相由前滨相→临滨→过渡相→临滨相演化,构成一完整的三级海平面升降旋回; SQ₂~SQ₃ 层序对应于二级海平面的上升期沉积,海平面的迅速上升,使本区处于碎屑滨岸沉积环境,形成了书记沟组二段中上部地层,沉积相由前滨相的小型板状、槽状交错层理中细粒砂岩、临滨相砂岩,组成两个完整的三级海平面升降旋回; SQ₄ 层序大体对应于二级海平面变化旋回的上升速率最大时期,当三级海平面上升叠加在二级海平面上升之上时,海平面加速上

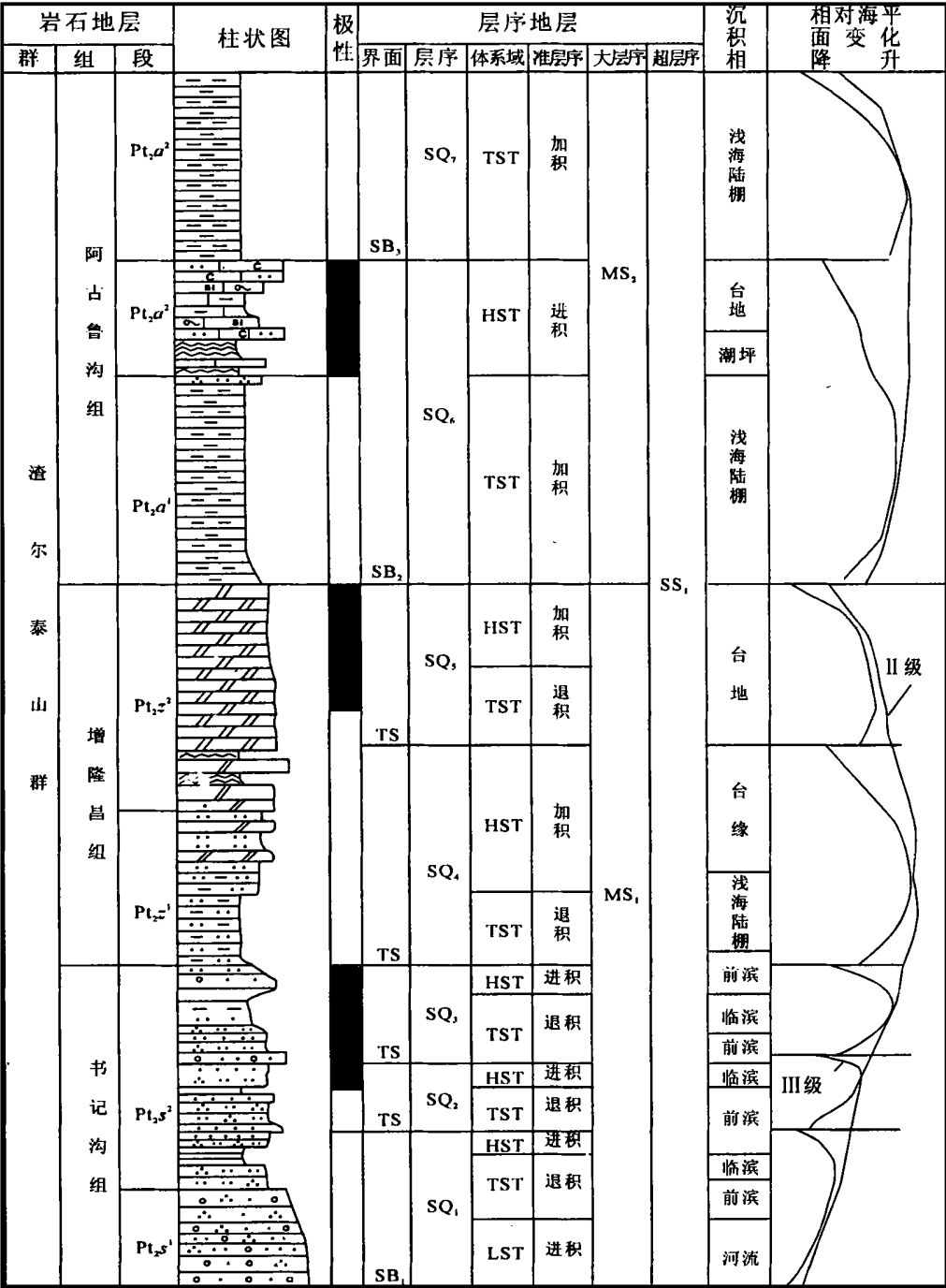


图 3 固阳渣尔泰山群的层序划分

Fig. 3 Sequence division of the Zha'ertaishan Group in Guyang

升,形成了增隆昌组二段下部的灰黑色含碳质粉砂岩、泥岩,具有密集段沉积特征,当三级海平面下降叠加于长周期海平面上升之上时,海平面减速上升,形成了增隆昌组二段上部的碎屑岩与碳酸盐岩混合沉积; SQ_5 层序对应于二级海平面最大静止期沉积,此时形成增隆昌组二段碳酸盐台地。台地南部阿塔山一带由白云岩、砂质白云岩与藻纹层白云岩组成向上变薄变浅的米级旋回,台地北部福顺店一带为碳酸盐台地前缘的斜坡-坡底相沉积,在泥晶、粉晶薄层灰岩中夹大套重力流和异地风暴成因的再沉积角砾岩。二级海平面升降的末期,由于“增隆昌运动”,海水退出,全区遭受侵蚀,形成铁质红土型风化壳,发育古喀斯特溶蚀地貌。

4.2 大层序 II (MS_2)

大层序 II 由阿古鲁沟组的两个层序($SQ_6 \sim SQ_7$)组成。大层序底界面为增隆昌运动所形成的不整合面(SB_3),顶界面为沙尔肖热运动所形成的分隔刘鸿沟组与阿古鲁沟组的构造界面(SB_3)。两界面的共性是其上直接被最大海泛期的灰黑色碳质泥岩所覆盖,因此,既表现出陆上侵蚀性质,又具有淹没不整合特征。其中, SQ_6 层序(阿古鲁沟组一、二段)位于大层序的下部,在长周期海平面总体上升的背景上,三级海平面的上升使海平面加速上升,使本区处于欠补偿的陆棚盆地环境,沉积主要发生在氧化-还原界面之下的较深水环境,因此,海侵体系域(TST)主要由水平纹理并富含有机质的粉砂质泥岩、泥岩组成,其沉积物具有沉积速率低、韵律性变化不明显和以垂向加积作用为主的特点,应大体相当于密集段的沉积。三级海平面上升静止期,即高水位体系域(HST)沉积时,本区演化成碳酸盐岩台地(阿古鲁沟组二段),沉积物主要由泥晶灰岩、泥质条带状灰岩和藻纹层灰岩组成,上述灰岩构成潮坪型向上变浅变薄的米级旋回层序,发育加积-进积准层序组; SQ_7 层序(阿古鲁沟组三段)位于大层序的上部,形成于二级海平面的上升速率最大时期,此期由于盆缘断裂的幕式活动,盆地基底沉降加剧,海平面迅速上升,使全区再次被海水淹没,演化成陆棚环境,沉积了阿古鲁沟三段的黑色薄层富含有机质泥岩、粉砂质泥岩,具水平纹理,具有密集段的沉积特征。之后,本区地壳再次抬升(沙尔肖热运动),海平面迅速下降,沉积终止并经受暴露、剥蚀作用,形成二级层序界面。

5 结论

(1) 渣尔泰山群的三级层序界面分为暴露-淹没复合型和海侵沟蚀型两种类型层序界面,根据不整合性质、规模、级别和间断时间长短,可将渣尔泰山群划分出 1 个一级旋回层序,两个二级旋回层序和 7 个层序。

(2) 根据层序界面性质和沉积时古地理背景的差异,渣尔泰山群可划分出 I 型、碎屑滨岸、碳酸盐岩与碎屑岩混合、碳酸盐台地、台前斜坡与坡底以及陆棚盆地 5 种层序类型。I 型层序发育 LST、TST 和 HST 三种类型体系域,其中 LST 主要是以下切谷来体现;碎屑滨岸、碳酸盐岩与碎屑岩混合层序、碳酸盐台地以及斜坡与坡底层序只发育 TST 和 HST 两个体系域,层序界面与海侵面重叠;陆棚盆地层序的最大海泛面与层序界面重叠,因此,密集段直接覆盖在层序界面上。

(3) 三级层序叠加在长周期海平面变化背景上,可以对整个海平面的变化产生加速与减

速的效应,从而产生复合海平面变化。当三级层序形成于二级海平面的缓慢上升期时,发育碎屑滨岸层序,层序界面与海侵沟蚀面重叠;当层序形成于二级海平面上升速率最大时期时,则发育陆棚盆地相层序模式,此时层序内以密集段沉积为主,层序界面以暴露-加深间断面为特征;当层序形成于二级海平面最大静止及开始下降时,则形成碳酸盐岩与碎屑岩混积层序、碳酸盐岩台地以及斜坡和坡底层序;当层序形成于二级海平面迅速下降时期时,则形成I型层序,在层序界面上发育下切谷。

参考文献:

- [1] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1996. 121—127.
- [2] 乔秀夫, 等. 内蒙古渣尔泰山群层序地层学及构造环境[J]. 地质学报, 1991, 65(1): 1—14.
- [3] 谭琳, 朱绅玉, 周盛德, 等. 内蒙古渣尔泰山群岩相古地理[M]. 北京: 地质出版社, 1991. 38—67.