

杨莉, 马伯永, 李尚林, 等. 西藏羌塘盆地东部中侏罗统混合沉积层序地层学研究[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 1037–1045.

Yang Li, Ma Boyong, Li Shanglin, et al. An analysis of mixed silicic clastic and carbonate sedimentary sequence in the Middle Jurassic strata in the eastern part of the Qiangtang basin, Tibet[J]. *Geology in China*, 2015, 42(4): 1037–1045(in Chinese with English abstract).

## 西藏羌塘盆地东部中侏罗统混合沉积层序地层学研究

杨 莉<sup>1</sup> 马伯永<sup>2</sup> 李尚林<sup>3</sup> 王根厚<sup>4</sup>

(1. 中国地质图书馆, 北京 100083; 2. 中国地质调查局, 北京 100047; 3. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 4. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

**摘要:** 西藏羌塘盆地东部中侏罗统广泛发育陆源碎屑与碳酸盐的混合沉积。综合前人研究成果, 结合区域地质资料和室内样品分析, 本文对陆源碎屑岩、碳酸盐岩、混积岩及混积层系, 混合层序地层进行了详细研究。研究结果表明, 混合沉积在微观上表现为陆源碎屑与碳酸盐沉积物组分的混积岩, 宏观上则表现为陆源碎屑岩、碳酸盐岩、混积岩相互叠加的混积层系, 发育滨岸、碳酸盐岩缓坡、潮坪–潟湖、三角洲等沉积体系。运用层序地层学原理将中侏罗统划分为 SQ1–SQ4 四个三级层序, 提高了研究区层序地层划分精度; 探讨了混合沉积与层序地层的对应关系。总体上看, 以陆源碎屑沉积为主的沉积背景下, 混合沉积主要发育在海侵体系域的早期和高位体系域的晚期。以碳酸盐沉积为主的沉积背景下, 混合沉积主要发育在海侵体系域的早期和高位体系域的晚期。

**关键词:** 侏罗系; 混合沉积; 体系域; 层序地层格架; 羌塘盆地

中图分类号: P534.52 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2015)04–1037–09

## An analysis of mixed silicic clastic and carbonate sedimentary sequence in the Middle Jurassic strata in the eastern part of the Qiangtang basin, Tibet

YANG Li<sup>1</sup>, MA Bo-yong<sup>2</sup>, LI Shang-lin<sup>3</sup>, WANG Gen-hou<sup>4</sup>

(1. *China Geological Library, Beijing 100083, China*; 2. *China Geological Survey, Beijing 100037, China*; 3. *Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China*; 4. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China*)

**Abstract:** Mixed silicic clastic and carbonate sedimentary sequence is developed extensively in the east basin of Qiangtang. On the basis of previous researches, the authors studied carbonate and silicic clastic mixed rock, mixed layer system and mixed sequence by means of the analysis of regional geological materials and samples. The results show that the study area is characterized by interactive sediments of silicic clastic rock and carbonate rock at the microscopic level. And in the macro-performance of the mixed sequence which composed of silicic clastic rock, carbonate rock and mixed rock. Mixed sedimentation mainly occurred in the sedimentary system of shore, carbonate slump and tidal flat–lagoon and delta. The middle Jurassic can be divided into four sequences of SQ1–SQ4. The authors investigated the relationship between mixed sedimentation and sequences and found that, on the whole, under the circumstance of dominated silicic clastic rocks, mixed sedimentation mainly occurred at the early stage of TST

收稿日期: 2014–07–01; 改回日期: 2015–04–03

基金项目: 国家自然科学基金项目(40172014)及青藏高原 1:25 万仓来拉幅区域调查项目(I46C004003)资助。

作者简介: 杨莉, 女, 1960 年生, 副研究馆员, 主要从事地质情报学研究; E-mail: 810677632@qq.com。



和夏里组的中、上部,碳酸盐岩则分布于布曲组。

砾岩主要出现于雀莫错组的底部,多为灰褐色。砾石大小不一,呈棱角状,分选差。成分复杂,充填物为细砾石和砂泥质,具杂基支撑结构,砾石成分有变质石英岩、硅质岩、燧石、花岗岩等,混积后常被钙质胶结,垂向上多与含砾砂岩、粗砂岩共生,代表中侏罗世海侵初期滨岸沉积产物。

砂岩类型主要为石英砂岩、长石石英砂岩、岩屑石英砂岩、岩屑砂岩等。岩石碎屑颗粒有矿物碎屑、岩石碎屑、少量的火山喷发岩屑、晶屑,以及盆地内形成的内碎屑、鲕粒等,颗粒组分含量介于85%~93%,平均含量约84.6%。填隙物包括杂基和胶结物,含量一般介于8%~33%,平均含量约16.5%。胶结物以硅质、铁质和钙质为主,钙质最多,含量5%~15%,以雀莫错组含量高(平均18.5%),布曲组平均含量为10.5%,夏里组最低(平均9.5%)。从粒度特征、碎屑成分上判断,总体上呈现多物源、分选差的沉积特点。砂岩颗粒组分三角投影主要落在造山带物源区,少数落在克拉通陆块物源区。

粉砂岩一般为灰色、紫灰色,主要发育在雀莫错组的下部、中上部,布曲组的中上部,发育水平层理,中一薄层状,碎屑成分以石英为主,含量50%~65%,次为长石,及少量绿泥石,有时含少量生物碎屑和泥晶灰岩碎屑,泥质基质30%~35%,重矿物含量较砂岩多,可达2%~3%,碎屑呈次棱角状~次圆状,分选程度中等~好,填隙物为粘土以及钙质、铁质等。

泥(页)岩一般为灰色、浅灰、灰黑色等,矿物成分为泥质,含量在75%~86%,方解石、白云石含量为10%~15%,少量黄铁矿、泥质砾石及生物介壳。部分泥(页)岩因含灰质成分不同可进一步分为钙质泥岩、含灰泥岩或含粉砂质泥岩、粉砂质泥岩。泥岩在各组中都广泛发育,常与灰色、灰绿色、紫红色粉砂岩、泥质粉砂岩、泥晶灰岩等构成互层。泥(页)岩可生成于各种沉积环境中,主要为较深静水环境的产物,如浪基面下滨海、潟湖、碳酸盐颗粒滩间等环境。

碳酸盐岩一般以灰色、深灰色为主,颗粒类型以生物碎屑为主,有双壳类、腕足类、腹足类、海百合茎碎片、海胆棘刺,少量藻类、介形虫类、有孔虫类、团块颗粒等。其他类别数量较少或由于强烈的泥晶化作用而难以识别。根据Dunham(1962)的结

构-成因分类,碳酸盐岩可划分为块状灰泥灰岩、含放射状骨针质颗粒灰岩、球粒泥亮晶泥粒灰岩、含核形石及团块泥粒灰岩、生物碎屑粒泥灰岩等10种微相类型,沉积环境主要为碳酸盐缓坡<sup>[6]</sup>。

### 3 混合沉积特征

羌塘盆地东部中侏罗统混合沉积包括多种形式,可以有陆源碎屑和碳酸盐两种组分互相混杂形成混积岩,也可表现为陆源碎屑岩、碳酸盐岩、混积岩相互叠加的混积层系。

#### 3.1 混积岩

目前为止,关于混积岩的分类和命名还未统一,主要有四单元<sup>[9]</sup>、三单元(陆源碎屑、碳酸盐、粘土)<sup>[9]</sup>和二单元(陆源碎屑、碳酸盐)<sup>[12]</sup>分类法之争。本文采用两单元分类方案。根据碎屑颗粒类型及相对含量,可以划分出含生物碎屑砂质灰岩、砂质灰岩、灰质砂岩、含灰质砂岩、(含)外碎屑颗粒灰泥灰岩、纹层状粉砂质泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩、粉砂质泥晶灰岩、钙质页岩、钙质泥岩、渣状钙结岩等不同混积岩类型。

#### 3.2 混合沉积层系

研究区中侏罗统混积层序非常发育,在岩性组合上表现为互层混合沉积、夹层混合沉积、互层并夹层混合沉积三种组合形式。依据混合沉积的定义、成因、成分、结构、沉积构造及接触关系等因素,将其划分为14种混积层系(图2),各种混合沉积常常相互叠加,频繁交替,形成类型复杂的混合沉积复合体。

#### 3.3 混合沉积作用

综合前人研究成果<sup>[3-4,5,8-9]</sup>,在详细分析研究区混合沉积特征的基础上,将混合沉积作用分为事件突变混合、蚀源混合、原地混合、相源渐变混合、岩溶穿插沉积混合五类。其中混合层系1、2、3、5、6、7、8、9、10、11、12为相源渐变混合,由沉积物沿不同相之间的扩散边界混合生成;混积层序14为间断混合,受风暴作用影响而形成;混积层系4、13为原地混合,由碳酸盐物质在陆源碎屑沉积物原地生长而形成;砂质灰岩、灰质(细)砂岩、含灰质砂岩等则属于蚀源混合,由隆起的碳酸盐物源区经侵蚀搬运造成碳酸盐与陆源碎屑混合形成。岩溶穿插沉积混合是由已经形成的碳酸盐岩经岩溶作用形成,主要成分为渣状钙结岩,是短暂出露地表遭受弱卡斯特

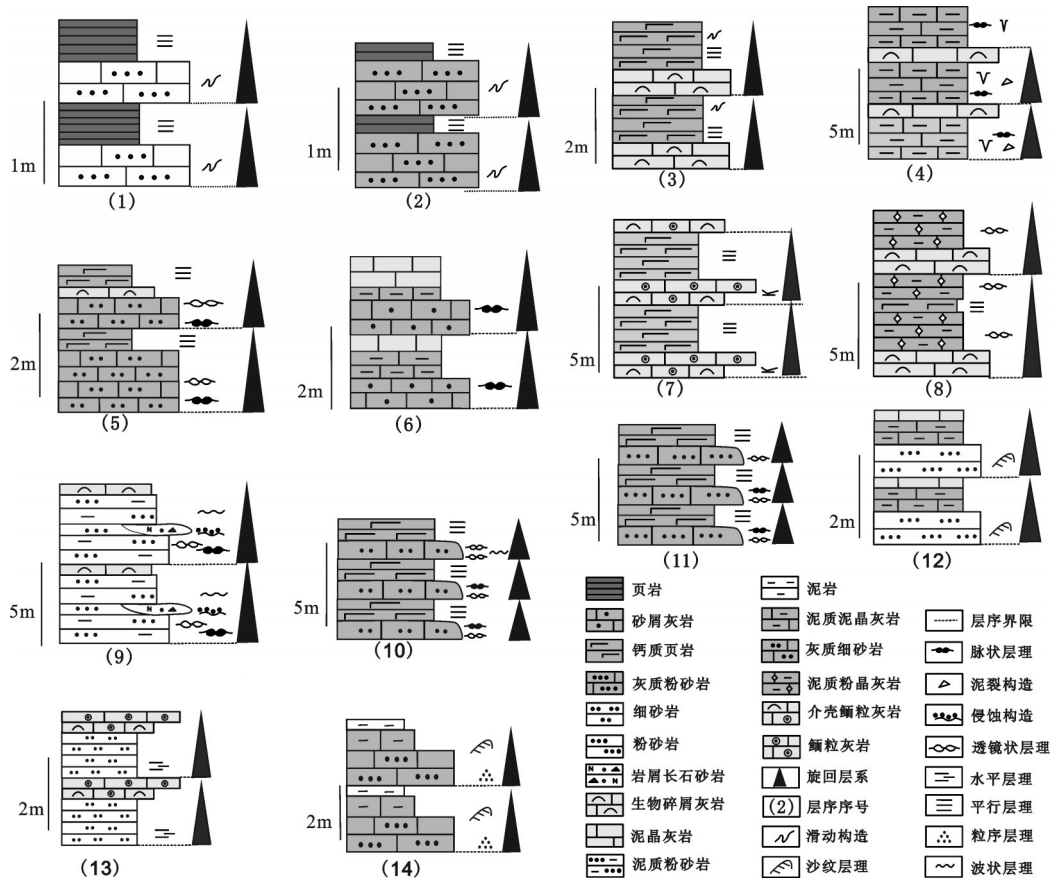


图2 羌塘盆地东部中侏罗统查吾拉剖面混合沉积层系类型  
 Fig.2 Types of mixing sedimentary sequences of Middle Jurassic in the eastern Qiangtang basin

化淋滤作用的结果。研究区相源渐变混合、蚀源沉积混合比较发育,其次为原地混合与事件突变混合,岩溶穿插沉积混合仅见个别层位。

### 4 混合沉积体系

研究区主要发育滨岸、碳酸盐缓坡、潮坪-潟湖、三角洲及陆棚沉积体系(图3)。

#### 4.1 滨岸沉积体系

主要发育在研究区查吾拉剖面雀莫错组和夏里组的下部,总体呈近东西向展布。岩性以砂质、粉砂质沉积为主,平行层理和低角度冲洗层理非常发育。陆源碎屑岩以灰白色中-细粒石英砂岩、粉砂岩为主,沉积物分选及磨圆度较好。混积岩为灰质粉砂岩、钙质泥岩,产腕足、双壳化石,生物碎片较多。前滨平行层理和低角度冲洗层理非常发育,混积特征不明显;临滨及滨外以泥质沉积为主,混积层系以1、2为主,形成明显的韵律层或旋回性层序。

#### 4.2 碳酸盐缓坡沉积体系

主要见于布曲组。岩性以碳酸盐沉积物为主,常见风暴作用形成的灰泥质内碎屑角砾岩,生屑颗粒组分往往遭受到较强的泥晶化作用。其中内缓坡以泥质灰岩、泥晶灰岩及泥质粉砂岩等为主;浅缓坡在纵向剖面上表现为颗粒质碳酸盐岩与泥质灰岩、泥质粉砂岩、粉砂质泥岩等细粒陆源碎屑岩呈互层或夹层形式出现。自内缓坡-深缓坡呈现“向上岩层变薄,陆源碎屑含量逐渐减少,灰质含量逐渐增加”的趋势。

#### 4.3 潮坪-潟湖沉积体系

主要见于雀莫错组、布曲组的上部,沿中央隆起带两侧分布。岩性以陆源碎屑与碳酸盐岩内碎屑混积为主,钙质胶结,接近碳酸盐砂屑滩相,发育沙纹层理、生物扰动构造、条带状层理、波状层理、脉状层理;潟湖沉积体系由含灰粉砂质泥岩、粉砂质泥岩、含生物碎屑灰泥灰岩、泥质粉砂岩、含石英

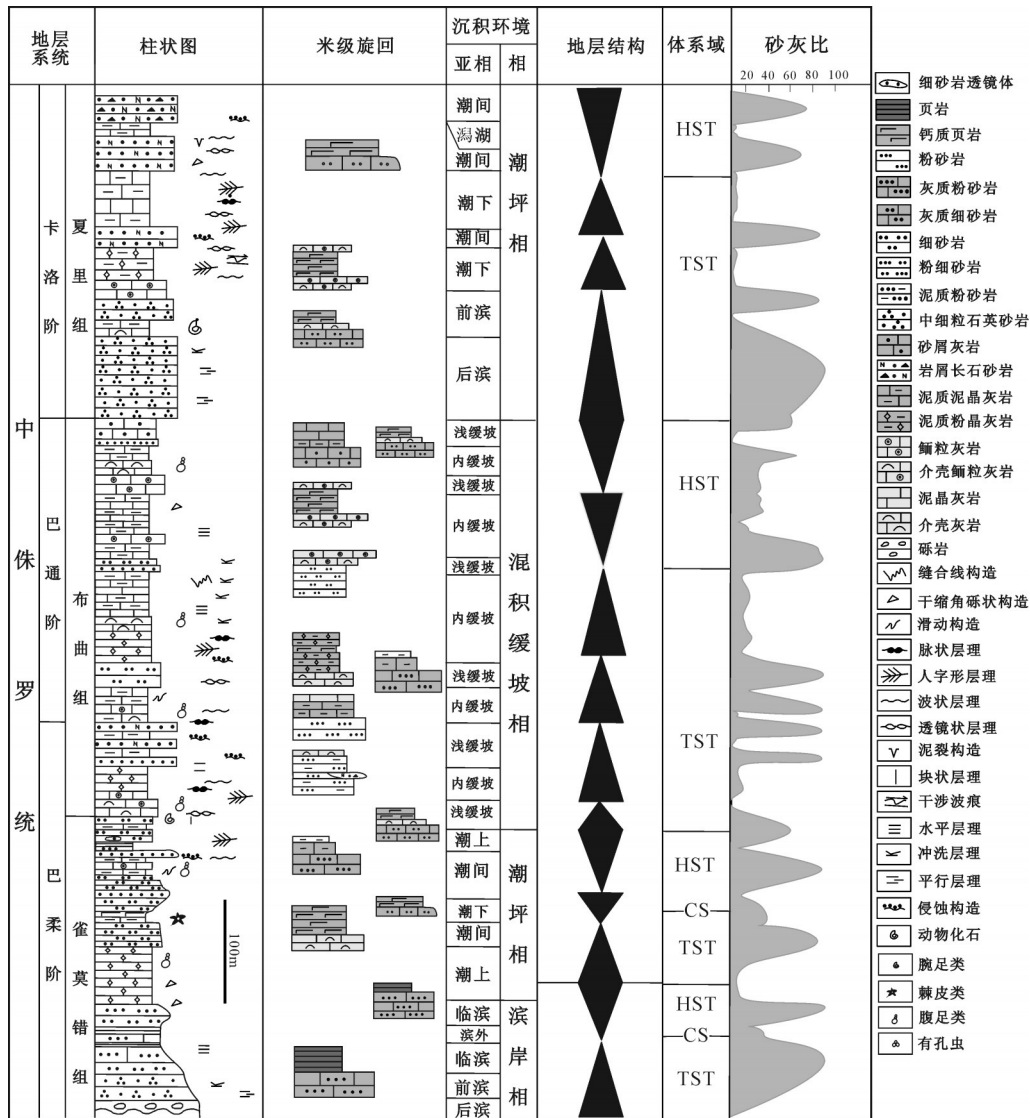


图3 羌塘盆地东部中侏罗统层序地层与沉积相(查吾拉剖面)

Fig.3 Analysis of sequence stratigraphy and sedimentary facies of the middle Jurassic in the eastern part of the Qiangtang basin (Chawula section)

颗粒生物碎屑灰泥灰岩组成,局部夹潮道含生屑粒屑灰岩和中细粒钙质岩屑砂岩、粉砂岩和粒屑灰岩,砂岩中发育小型沙纹层理和平行层理。

#### 4.4 三角洲沉积体系

研究区主要包括曲流河三角洲和扇三角洲两种沉积相类型。曲流河三角洲发育灰色厚层中砾岩、灰色中厚层含砾长石石英砂岩、中厚层-中薄层粉细砂岩、灰绿色中薄粉砂岩、灰色薄层状灰质粉砂岩及灰褐色薄层状泥质灰岩,其中2~3种岩相单元有序组合构成陆源碎屑型、陆源碎屑-碳酸盐混积型的米级旋回;扇三角洲可进一步细分为扇三

角洲平原、扇三角洲前缘、前扇三角洲亚相,仅在前扇三角洲亚相可见弱的混合沉积现象。

而陆棚沉积体系仅见于石坪剖面夏里组的上部,岩性以泥灰质沉积为主,砂质组分以细砂、粉砂级颗粒为主。

### 5 混合沉积层序地层

前人对羌塘盆地中生代地层开展过的一定的研究和划分<sup>[15-17]</sup>,但未对层序地层中的混合沉积作用及控制因素进行深入研究。本文结合以往工作基础,通过地质路线调查和层序地层界面的追索,

将研究区中侏罗统划分为4个三级层序(图4)。

### 5.1 层序地层划分

(1)层序SQ1。形成于中侏罗世巴柔期早期,由雀莫错组的下部组成,发育低位体系域(LST)、海侵体系域(TST)、凝缩段(CS)和高水位体系域(HST)为I型层序。层序底界为一不整合界面,与下伏前奥陶系西西岩组基底变质岩系呈角度不整合接触。不整合面之上的LST仅发育于雁石坪次级凹陷的边缘,由多个辫状水道沉积的中粗粒石英砂岩、岩屑砂岩叠置而成,砾石成分较复杂,成熟度低,成层性不很明显;TST见于雀莫错组最底部,雁石坪、伊

仓玛、查吾拉等地。雁石坪一带与下侏罗统那底岗日组整合接触,由紫红色中—厚层状砾岩、含砾粗砂岩、岩屑长石砂岩夹少量粉砂质泥岩组成;查吾拉一带表现为与下伏前奥陶系基底变质岩系呈角度不整合接触,岩性为灰色底砾岩、灰白色中粒石英砂岩,沉积层序向上重复变薄,沉积物向上粒度逐渐变细,构成海平面上升,沉积中心向陆迁移的退积型地层序列,为一套后滨—前滨相沉积。依仓玛剖面未见LST发育。CS仅见于查吾拉一带雀莫错组中上部,由一套黑色页岩与钙质泥岩互层,及黑色页岩夹灰黄色钙质粉砂岩岩组成,垂向上表现

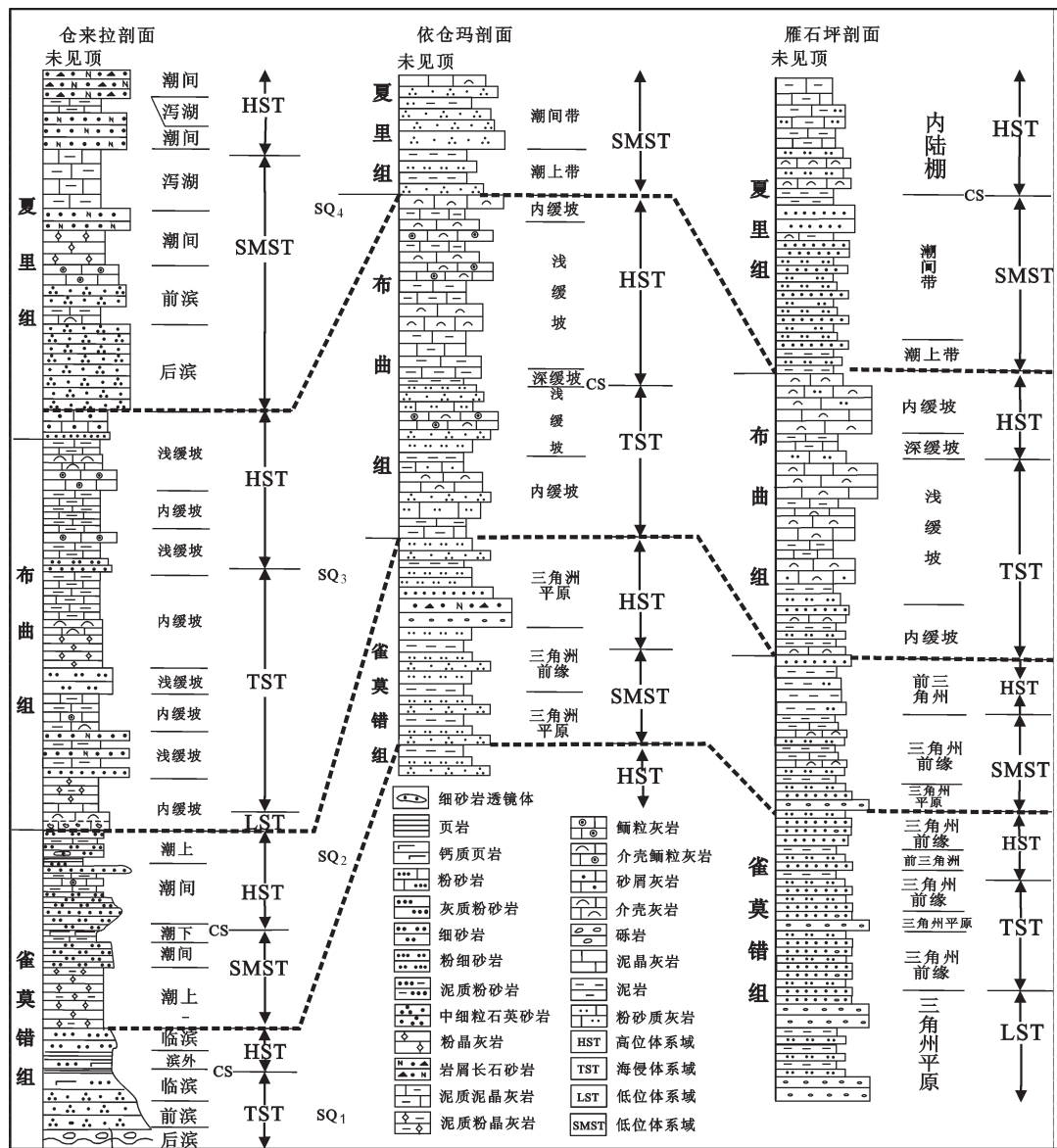


图4 羌塘盆地东部中侏罗世层序地层划分

Fig.4 The division of sequence stratigraphy of Middle Jurassic in the eastern Qiangtang basin

为加积型地层结构,为滨外陆棚相沉积。HST位于雀莫错组上部,查吾拉一带由一套杂色细砂岩、粉砂岩、页岩,夹粉细砂岩、泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩和角砾状灰岩不等厚互层组成,表现出弱加积-进积型准层序,为滨外-后滨相沉积;雁石坪、依仓玛一带则由一套向上变粗的灰色、灰绿色细粒石英砂岩、泥岩组成,发育小型砂纹层理、水平层理,为三角洲前缘相沉积组合。

(2)层序SQ2。形成于中侏罗世巴柔期中晚期,由雀莫错组中上部组成,为II型层序。层序底界为由陆源碎屑为主的混合沉积过渡到以碳酸盐为主的混积沉积的转换界面,顶界为残碳酸盐岩侵蚀滞留沉积,主要成分为渣状钙结岩、钙质泥岩等,代表一个明显的沉积间断面。陆架边缘体系域(SMST)在查吾拉一带为一套潮上-潮间亚相沉积,岩性由灰色、深灰色中薄层细粒岩屑石英砂岩、粉砂岩与泥岩构成,局部夹有含生物泥质灰岩。依仓玛一带表现为一套三角洲平原-前缘相沉积,由多个水下分流河道沉积的细粒岩屑长石砂岩、长石砂岩、粉砂岩组成,砂岩发育中小型板状交错层理、平行层理,沉积韵律频繁;雁石坪一带由一套三角洲前缘-平原相沉积构成,岩性为紫红色薄层状粉砂岩与灰紫色、灰绿色薄、中层状细砂岩互层,地层垂向叠覆具退积-加积型地层结构;CS为一套灰色、灰黑色平行层理钙质泥页岩组成;HST在仓来拉一带表现为一套潮间-潮下亚相沉积,依仓玛和雁石坪地区则发育一套扇三角洲前缘-前三角洲相陆源碎屑岩沉积。地层垂向上表现为一个向上变浅的加积-进积型结构。

(3)层序SQ3。形成于中侏罗世巴通期,由布曲组构成,为I型层序。LST仅见于查吾拉剖面布曲组最底部,发育渣状钙结岩,是岩石出露地表遭受弱卡斯特化淋滤作用的结果。TST由布曲组下部地层组成,仓来拉一带岩性为一套灰色介壳灰岩、泥质泥晶灰岩、泥晶灰岩、黑色钙质页岩夹杂色粉细砂岩透镜体组成,代表海水逐渐加深的退积型准层序组沉积。而位于依仓玛一带的布曲组则沉积了一套细砂岩-粉砂岩与碳酸盐岩互层或夹层的混合沉积;依仓玛地区TST主要由灰黑色、灰色中层状泥晶灰岩、生物碎屑灰岩组成,垂向表现为退积-加积型地层结构;CS由黑色钙质页岩与暗灰色灰质

细砂岩不等厚互层组成,局部夹暗灰色薄层介壳灰岩;HST在布曲组中上部发育。雁石坪一带HST由灰黑色中薄层状会泥灰岩、中厚层块状鲕粒灰岩、生物碎屑粒泥-泥粒灰岩、泥质灰岩组成,含有丰富的双壳类、腕足类、棘皮类生物化石,地层垂向叠覆具加积-进积型地层结构;而依仓玛一带则沉积一套以灰泥灰岩、生物碎屑粒泥-泥粒灰岩、灰质粉砂岩、粉砂质灰岩互层或夹层的层序。

(4)层序SQ4。形成于中侏罗世卡洛夫期早期,由夏里组下一中部构成,主要为一套滨浅海沉积体系,未见明显侵蚀界面,为II型层序。SMST位于夏里组下部,仓来拉一带由一套滨岸、潮坪、潟湖相沉积组成,底部为一明显的初始海泛面,岩性为灰黄色中-薄层状细砂岩、灰黄色薄层泥岩形成的韵律层,随着海平面的上升,可见碳酸盐岩超覆在砂岩、泥岩之上,垂向上呈现加积-退积型地层结构;雁石坪、依仓玛一带海侵体系域由一套潮坪相沉积组成,岩性为中细粒石英砂岩、粉砂岩、泥岩的互层构成,随着海平面上升,零星出现泥质灰岩夹层。CS由灰黄色纹层状泥岩、钙质页岩组成,水平层理发育,见有大小不等的虫孔。HST位于夏里组中上部,仓来拉一带由灰色、灰黑色潟湖相钙质泥岩及潮间带中-细粒长石砂岩、长石岩屑砂岩等组成;雁石坪凹陷表现为一套浅海陆棚相沉积,由生屑粒泥灰岩、粉砂岩、粉砂质灰岩、泥质泥晶灰岩构成的一套韵律性沉积构成,显示出加积-弱进积准层序组特点,为海平面动荡并逐步下降阶段的高位期沉积。

## 5.2 混合沉积与层序地层对应关系

Vail(1987)所提出的碳酸盐-陆源碎屑混合沉积作用模式认为,在两个明显不同的沉积体系之间存在着交互作用,碳酸盐堆积于旋回的海侵和高位期间,而陆源碎屑倾向于在低位期间形成<sup>[18]</sup>。混合沉积兼有生储盖的特点,特殊的油气勘探前景及沉积学的理论研究价值,近年来已引起一些学者的注意,特别是在层序地层研究领域已积累了一些探讨性成果<sup>[8, 18-22]</sup>。本文研究探讨了以碳酸盐沉积为主和以陆源碎屑沉积为主的两大类沉积背景下的混合沉积与层序地层的对应关系。

(1)以碳酸盐岩沉积为背景的混合沉积。此类混合沉积发育在布曲组,主要沉积环境为碳酸盐岩缓坡,由TST、CS和HST组成,LST不发育。TST早

期,海平面相对快速上升,盆地可容空间逐渐增大,碳酸盐的大量产生受到抑制,混合沉积作用相对较强,局部可出现较高频率的间断混合沉积和组分内混合沉积。如雁石坪剖面布曲组 TST 早期沉积可见粉砂质灰岩、泥质砂屑灰岩、中—薄层泥质泥晶灰岩,以及产于泥质背景上的浅滩生物碎屑粒泥—泥粒灰岩,表现出较强的间断混合,较弱的原地混合。TST 发育晚期至 HST 早期,海平面继续上升,碳酸盐的沉积速率及陆源碎屑注入量均大为减少,盆地处于饥饿状态,混合沉积现象不明显,以沉积薄层韵律灰泥为主。HST 晚期,水体开始变浅且循环良好,可容空间开始减小,有利于碳酸盐沉积物生成,陆源碎屑物质亦得到充分供应,混合沉积发育,主要发育粗粒碳酸盐与陆源碎屑渐变式交互混合沉积和组分内混合沉积。如随着海平面逐渐下降,混合程度不断增加,由(含)鲕粒颗粒灰岩、生物碎屑泥粒—粒泥灰岩、灰泥灰岩逐步过渡到砂屑灰岩、粉细砂岩、泥质泥晶灰岩,并形成碳酸盐与陆源碎屑渐变式交互混合沉积。因此在以碳酸盐沉积为主的沉积背景下,混合沉积主要发育于 TST 早期及 HST 晚期,其中 HST 晚期最为发育。

(2)以陆源碎屑沉积背景混合沉积。LST 沉积早期,海平面迅速下降,陆源侵蚀作用迅速增强,大量的陆源碎屑供给抑制了碳酸盐生成,混合沉积不发育;LST 晚期,相对海平面缓慢上升,可容空间有所增长,陆源碎屑供给开始受到抑制但依然比较充分,碳酸盐不发育,混合沉积作用仅出现在局部受陆源碎屑影响弱的较深水地区,混积岩以砂质灰岩、灰质(细)砂岩、含灰质砂岩等组分内沉积为主要类型,混积层系不发育。TST 主要发育临滨、三角洲前缘、潮间及潮下等沉积亚相类型。TST 早期海平面开始快速上升,使得陆源碎屑沉积速率逐步高于可容空间的沉积速率,可容空间明显增长,总体显示了间断混合及相混合的特点,岩性主要以粉砂质灰岩、钙质页岩等细粒沉积物为主。TST 晚期,陆源碎屑沉积速率逐步与可容空间的沉积速率接近,陆源碎屑供给进一步受到抑制,仅在局部地区出现少量粉砂—泥级组分内混合沉积和薄层韵律灰泥为主的交互混合沉积。HST 沉积早期,相对海平面由快速上升逐步转为缓慢上升的状态,但可容空间仍旧缓慢增长,陆源碎屑的沉积速率较海侵晚期仍有

所增长,盆地处于饥饿状态,几乎没有混合沉积作用发生,仅在局部深水地区可以出现浊积砂屑灰岩等组分内混合沉积。HST 沉积晚期,海平面出现缓慢下降,可出现一定数量的细粒碳酸盐与陆源碎屑形成的组分内混合沉积。总体上看,以陆源碎屑沉积为主的沉积背景下,混合沉积主要发育在 TST 的早期和 HST 的晚期。

## 6 主要结论

(1)羌塘盆地东部中侏罗统广泛发育了陆源碎屑岩与碳酸盐岩的混合沉积,微观上表现为陆源碎屑与碳酸盐沉积物组分的混积岩,宏观上则表现为陆源碎屑岩—碳酸盐岩—混积岩相互叠加的混积层系,可识别出 14 种混合沉积层序。根据岩石组分、沉积组构、生物组合特征、沉积物充填与发育过程及其控制因素,可划分出滨岸、碳酸盐缓坡、潮坪—潟湖、三角洲及陆棚等沉积体系。

(2)运用层序地层学原理将中侏罗统划分为 SQ1~SQ4 四个三级层序,提高了羌塘盆地东部层序划分精度;探讨了混合沉积与层序地层的对应关系。总体上看,以陆源碎屑沉积为主的沉积背景下,混合沉积主要发育在 TST 的早期和 HST 的晚期。以碳酸盐沉积为主的沉积背景下,混合沉积主要发育在 TST 的早期和 HST 的晚期,其中 HST 晚期最为发育。

**致谢:**审稿专家和责任编辑李亚萍老师提出了宝贵修改意见,在此表示感谢!

### 参考文献(References):

- [1] 张锦泉,叶红专.论碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积[J].成都地质学院学报,1989,16(2):87-92.  
Zhang Jinquan, Ye Hongzhan. Study on carbonate and siliciclastic mixed sediments [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1989, 16 (2): 87-92(in Chinese with English abstract).
- [2] 杨朝青,沙庆安.云南曲靖中泥盆统曲靖组的沉积环境:一种陆源碎屑与海相碳酸盐的混合沉积[J].沉积学报,1990,8(2):59-66  
Yang Chaoqing, Sha Qing'an. Sedimentary environment of the Middle Devonian Qujiang Formation, a kind of mixing sedimentation of terrigenous clastics and carbonate [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1990, 8 (2): 59-66(in Chinese with English abstract).
- [3] 沙庆安.混合沉积和混积岩的讨论[J].古地学报,2001,3(3):63-66.  
Sha Qing'an. Discussion on mixing deposit and Hunji rock [J].



- Journal of Palaeogeography, 2001, 3 (3): 63–66(in Chinese with English abstract).
- [4] 张锦泉, 叶红专. 论碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积[J]. 成都地质学院学报, 1989, 16 (2): 87–92.  
Zhang Jinquan, Ye Hongzhan. Study on carbonate and siliciclastic mixed sediments [J]. Journal of Chengdu College of Geology, 1989, 16(2): 87–92(in Chinese with English abstract).
- [5] Mount J F, Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments[J]. Geology, 1984 12(7):432–435
- [6] Myrow P M, canding E. Mixed siliciclastic–carbonate deposition in an arcuate Cambrian oxygen– stratified basin, chapel island Formation, Southeastern Newfoundland[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1992, 62: 455–473.
- [7] 江茂生, 沙庆安. 碳酸盐与陆源碎屑岩混合沉积体系研究进展[J]. 地球科学进展, 1995, 10 (6): 551–554.  
Jiang Maosheng, Sha Qing'an. Research advances in the mixed siliciclastic–carbonate sedimentary systems [J]. Advances in Earth Sciences, 1995, 10 (6): 551–554(in Chinese with English abstract).
- [8] 李祥辉, 曾允孚. 扬子西缘泥盆纪碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积层序和层序混合沉积模式[J]. 沉积学报, 1999, 17 (3): 339–344.  
Li Xianghui, Zeng Yunfu. Sequence stratigraphy and patterns of mixed carbonate and siliciclastic sediments in the shelf Lower – Middle Devonian in the western margin of the Yangtze Craton [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17 (3): 339–344(in Chinese with English abstract).
- [9] 张雄华. 混积岩的分类和成因[J]. 地质科技情报, 2000, 19 (4): 31–34.  
Zhang Xionghua. Classification, origin of mixed sedimentite [J]. Geological Science and Technology Information, 2000, 19(4): 31–34(in Chinese with English abstract).
- [10] 董桂玉, 陈洪德, 何幼斌, 等. 陆源碎屑与碳酸盐混合沉积的几点思考[J]. 地球科学进展, 2007, 22(9): 931–939.  
Dong Guiyu, Chen Hongde, He Youbin, et al. Some problems on the study of the mixed siliciclastic carbonate sediments [J]. Advances in Earth Research, 2007, 22(9): 931–939(in Chinese with English abstract).
- [11] 曾胜强, 王剑, 冯兴雷, 等. 北羌塘盆地沃若山地区中–下侏罗统雀莫错组一段沉积环境分析[J]. 中国地质, 2014, 41(1): 162–172.  
Zeng Shengqiang, Wang Jian, Feng Xinglei, et al. A sedimentary environment analysis of the first member of the Quemo Co Formation in Woruo Mountain area of the North Qiangtang Basin[J]. Geology in China, 2014, 41(1): 162–172(in Chinese with English abstract).
- [12] 董朔朋, 祝彦贺. 澳大利亚波拿巴盆地北部中新统硅质碎屑与碳酸盐混合沉积特征及控制因素[J]. 海洋地质前沿, 2011, 27 (8): 41–47.  
Dong Shuopeng, Zhu Yanhe. Characteristics and governing factors of Miocene mixed siliciclastic and Carbonate sediments in Northern Bonaparte Basin, Australia[J]. Marine Geology Frontiers, 2011, 27(8): 41–47(in Chinese with English abstract).
- [13] 曹桐生, 田景春, 朱迎堂, 等. 内蒙古阿尔山地区下寒武统苏中组混合沉积特征及形成环境研究[J]. 沉积学报, 2011, 29(1): 55–63.  
Cao Tongsheng, Tian Jingchun, Zhu Yingtang, et al. Characteristics and environment of mixing sediments of Lower Cambrian Suzhong Formation in Aershan area, Inner Mongolia[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2011, 29 (1): 55–63 (in Chinese with English abstract).
- [14] 贾建称, 吴新国, 王根厚, 等. 羌塘盆地东部中生代沉积特征与构造演化[J]. 中国地质, 2006, 33(5): 999–1004.  
Jia Jiancheng, Wu Xinguo, Wang Genhou, et al. Mesozoic sedimentary characteristics and tectonic evolution in the eastern part of the Qiangtang basin [J]. Geology in China, 2006, 33(5): 999–1004(in Chinese with English abstract).
- [15] 张玉修, 李勇, 张开均, 等. 西藏羌塘盆地依仓玛地区中上侏罗统碳酸盐岩特征及其环境意义[J]. 中国地质, 2006, 33(2): 393–400.  
Zhang Yuxiu, Li Yong, Zhang Kaijun, et al. Characteristics of Mid – Upper Jurassic carbonate rocks in the Yichangma area, Qiangtang Basin, Tibet: Implications for the sedimentary environment [J]. Geology in China, 2006, 33(2): 393–400 (in Chinese with English abstract).
- [16] 马伯永, 王根厚, 王训练, 等. 羌塘盆地东缘中侏罗统布曲组碳酸盐岩微相与沉积环境研究[J]. 地质通报, 2009, 28(5): 609–617.  
Ma Boyong, Wang Genhou, Wang Xunlian, et al. Carbonate microfacies and sedimentary environment of the Middle Jurassic Buqu Formation in the Gongri area, eastern part of the Qiangtangbasin Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(5): 609–617(in Chinese with English abstract).
- [17] 张尚锋, 张昌民, 胡明毅, 等. 西藏羌塘盆地侏罗系基准面变化及沉积充填响应[J]. 中国科学(D辑), 2008, (2): 131–138.  
Zhang Shangfeng, Zhang Changmin, Hu Mingyi, et al. Datum plane variation and sedimentary filling corresponding [J]. Science in China(Series D), 2008, (2): 131–138(in Chinese).
- [18] Vail P R. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1. Seismic stratigraphy interpretation procedure[C]/Bally A W(ed.). Atlas of Seismic Stratigraphy, Vol . 1. AAPG Studies in Geology, 1987, 27: 1–10.
- [19] Davies H R. Shelf sandstones in the Mowry Shale: evidence for deposition during Cretaceous sea level falls[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1989, 59: 548–560.
- [20] Khetani A B, Read J F. Sequence development of a mixed carbonate– siliciclastic high– relief ramp, Mississippian, Kentucky, U.S.A[J]. Journal of Sedimentary Research, 2002, 72 (5): 657–672.
- [21] Campbell A E. Shelf– geometry response to changes in relative sea level on a mixed carbonate– siliciclastic shelf in the Guyana Basin[J]. Sedimentary Geology, 2005, 175: 259–275.
- [22] Miller R P, Hiller P L. Depositional framework and controls on mixed carbonate– siliciclastic gravity flows: Pennsylvanian– Permian shelf to basin transect, south– western Great Basin[J]. USA. Sedimentology, 1994, 41: 1–20.