

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

张玉修^{1,2} 李 勇³ 张开均^{1,4} 李亚林³

(1. 中国科学院边缘海地质重点实验室, 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 中国地质大学地球科学与资源学院青藏高原地质研究中心, 北京 100083;
4. 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093)

摘要:在野外详细测量剖面基础上,对碳酸盐岩宏观特征、矿物和碎屑组分、结构、碳氧稳定同位素、生物古生态等特征进行系统研究。研究显示碳酸盐岩主要为泥晶灰岩、颗粒泥晶灰岩和泥晶颗粒灰岩等岩类, $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 值呈现低→高→低→高→低(雀莫错组→布曲组→夏里组→索瓦组→雪山组)的规律性变化。雀莫错组和雪山组以河控三角洲相沉积为主,布曲组为碳酸盐缓坡相沉积为主,夏里组主要为潮坪—三角洲相沉积,索瓦组主要为潮坪—泻湖相沉积,中晚侏罗世羌塘盆地古水深在下降的总趋势中呈现浅→深→浅→深→浅的升降旋回,盆地沉积中心由东向西迁移,区域构造演化和全球海平面变化共同控制了沉积面貌。

关键词:西藏;羌塘盆地;沉积环境;碳酸盐岩

中图分类号: P588.24⁺⁵ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2006)02-0393-08

羌塘盆地位于青藏高原中部,其南北分别为班公湖—怒江缝合带和金沙江缝合带,面积约 $2 \times 10^5 \text{ km}^2$,盆地内出露出一套巨厚侏罗系为主的中生代海相碎屑岩和碳酸盐岩沉积地层^[1-4],下侏罗统除盆地东部外其余地区均出露,中上侏罗统雀莫错组、布曲组、夏里组、索瓦组和雪山组在盆地内分布广泛(图 1)^[5-7]。羌塘盆地东部的依仓玛地区主体属于中生代羌塘盆地,主要出露上三叠统结扎群和中上侏罗统雁石坪群,其东北部为开心岭隆起,零星出露上古生界,其上被新生界不整合覆盖(图 1)^[4-6]。

研究区中上侏罗统沉积旋回性特征明显,垂向上具有“3 砂夹 2 灰”的特征,厚度 >4 400 m,“3 砂”(雀莫错组、夏里组和雪山组)中紫红色、灰绿色碎屑岩夹碳酸盐岩为主,产淡水—半咸水介形虫、轮藻等微体化石;“2 灰”(布曲组和索瓦组)中碎屑岩含量较高,与碳酸盐岩呈互层或夹层,双壳类、腕足类等化石丰富^[4-6]。由于碎屑岩的颗粒成分和结构特征等能反映盆地的构造环境,碳酸盐岩沉积特征对沉积环境极其敏感,笔者在野外详细测量 1:2 000 依仓玛中上侏罗统剖面,重点对剖面碳酸盐岩宏观特征(颜色和构造)、物质组分和结构,及碳氧稳

定同位素等进行系统研究,探讨沉积环境,这对于探索青藏高原当时的古地理环境和特提斯东段的演化有启示意义。

1 碳酸盐岩岩石学特征

研究区中上侏罗统为一套碎屑岩和碳酸盐岩的混合沉积夹少量膏盐及含泥煤层(线),雀莫错组、夏里组和雪山组以紫红色等氧化色为主,索瓦组和布曲组主要为灰黑色及灰绿色等还原色,另见浅灰色及浅绿色等弱氧化还原色。碳酸盐岩主要为薄—中层状(5~50 cm),沉积构造类型多,发育丰富。

根据野外地质特征和在室内显微镜下对 50 余件样品薄片进行观察,按照结构和成因类型,碳酸盐岩可分为泥晶灰岩、颗粒泥晶灰岩、泥晶颗粒灰岩等^[8]。

泥(微)晶颗粒灰岩、颗粒泥(微)晶灰岩及含颗粒泥(微)晶灰岩主要分布于布曲组和索瓦组,以灰—灰黑色中—薄层状为主。矿物成分以方解石为主(46%~96%),含陆源石英(0%~40%)(局部含云母)、泥质(0%~40%)、铁质矿物(0%~5%),少量铁白云石、天青石、硅化石英等。颗粒以生屑为主,最高可达 76%,生屑以双壳类占绝对优势(图 2-1)。其次为粉屑、砂屑,

收稿日期:2005-12-09;改回日期:2006-02-24

基金项目:中国科学院边缘海地质重点实验室开放研究基金(MSGL04-14)、中国科学院“百人计划”和中国地质调查局地质大调查项目(146C003002)联合资助。

作者简介:张玉修,男,1974 年生,博士生,构造地质学专业;E-mail: yxzhang@gig.ac.cn。

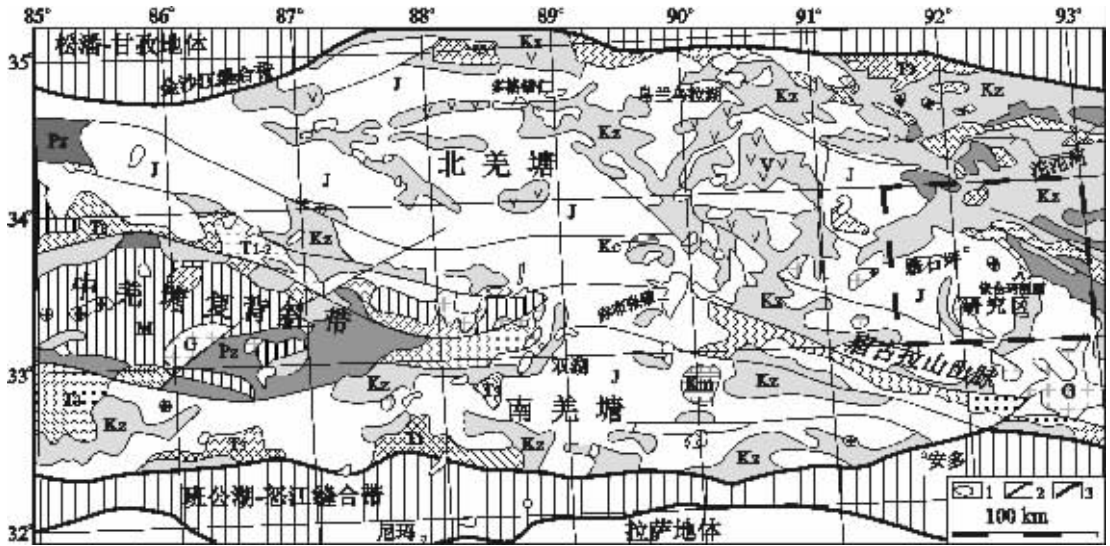


图1 研究区位置及羌塘盆地地质简图

Pz—古生界;T₁₋₂—中下三叠统;T₃—上三叠统;Kz—新生界;J—侏罗系;Km—海相白垩系;Kc—陆相白垩系;M—混杂岩;
G—花岗岩;V—火山岩;1—湖泊;2—主断裂;3—边界断裂

Fig.1 Geological sketch map of the Qiangtang basin, showing the location of the study area

Pz—Paleozoic;T₁₋₂—Lower-Mid Triassic;T₃—Upper Triassic;Kz—Cenozoic;J—Jurassic;Km—Marine Cretaceous;Kc—Continental Cretaceous;
M—Mélange;G—Granite;V—Volcanic rocks;1—Lake; 2—Main fault;3—Boundary fault

少量藻屑、砾屑及鲕粒、团块和核形石,部分层位陆源石英含量高。灰岩颗粒类型大多较单一,局部层位类型多,如剖面112层布曲组颗粒类型有团块、生屑、砂屑及粉砂石英等(图2-2)。颗粒间主要为泥晶方解石充填,少量粉晶,局部有极少量亮晶方解石胶结物、陆源泥质杂基或铁白云石,基底式或接触-孔隙式及半基底式胶结类型(图2-1、2-2)。

亮晶颗粒灰岩分布于布曲组,呈深灰色中层状。颗粒为鲕粒、生屑,少量砂屑、砾屑,颗粒含量54%~81%,按颗粒类型分为亮晶鲕粒灰岩、亮晶生屑灰岩等。鲕粒以正常鲕粒为主,鲕核主要为生屑;生屑主要为腕足类、双壳类等,部分被泥晶套包裹;砾屑、砂屑含量不均,高者可达7%左右,多为圆-椭圆形,成分为泥晶方解石。颗粒间亮晶方解石胶结物含量14%~44%,常具有二个世代现象,少见泥晶、粉晶方解石,接触-孔隙式胶结类型(图2-3)。

泥(微)晶灰岩主要分布于布曲组和索瓦组,灰-灰黑色中层状为主,岩层延伸稳定。含少量的颗粒,常发育含粉砂质泥晶灰岩、泥晶灰岩夹粉砂质纹层并有生物潜穴和生物扰动构造等(图2-4)。

泥灰岩在雀莫错组、布曲组、索瓦组和雪山组中常见,并与泥岩和含灰泥岩呈过渡类型。多呈浅灰-深灰色、灰白色条带状-薄层状。由陆源碎屑和内碎屑混合构成的“混积岩”在雀莫错组、夏里组和雪山组中发育,如剖面121层夏里组粉-细晶生屑砂砾屑泥灰岩(图2-5),剖面182层雪山组微晶含

生屑砂屑粉砂质灰岩(图2-6)等。

2 碳酸盐岩碳氧同位素组成特征

碳酸盐岩稳定同位素在研究古海洋环境等许多方面取得了丰富的成果^[9-14],本次完成中上侏罗统5个组22件灰岩样品的同位素测定(表1,图3)。

野外采集未经蚀变、无后期方解石脉充填的微晶灰岩、泥晶灰岩、含生屑灰岩和泥灰岩等,室内经薄片鉴定精选。样品碎样至200目以上,称重不少于10g,测样用H₂O₂浸泡超过72h除去有机成分,干燥后选毫克级置于MAT-252气体同位素质谱仪真空系统,通入纯磷酸液体反应,冷却后分离出纯净的CO₂气体。CO₂气体通过质谱仪电子加速器时电离出C和O分子,完成碳氧同位素组成测试。 $\delta^{13}\text{C}$ 值仪器测试标准误差不大于 0.04×10^{-3} , $\delta^{18}\text{O}$ 值误差不大于 0.07×10^{-3} ,分析数据统一为PDB标准,检测依据为SY/T6039-94。测试由中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院地质实验室完成。

2.1 碳同位素组成特征

海相碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值不随地质年代单向演化^[10,15],而主要受沉积环境控制^[16]。沉积介质盐度增高^[9-10,17]、生物繁盛时代、有利于快速埋藏的还原条件和相对远岸带等环境因素导致 $\delta^{13}\text{C}$ 值升高;而大气降水和陆源淡水的注入、氧化条件、生物贫乏时代以及近岸带等因素导致 $\delta^{13}\text{C}$ 值降低。

研究区中上侏罗统 $\delta^{13}\text{C}$ 值大多为 $-2.87 \times 10^{-3} \sim 3.13 \times 10^{-3}$,

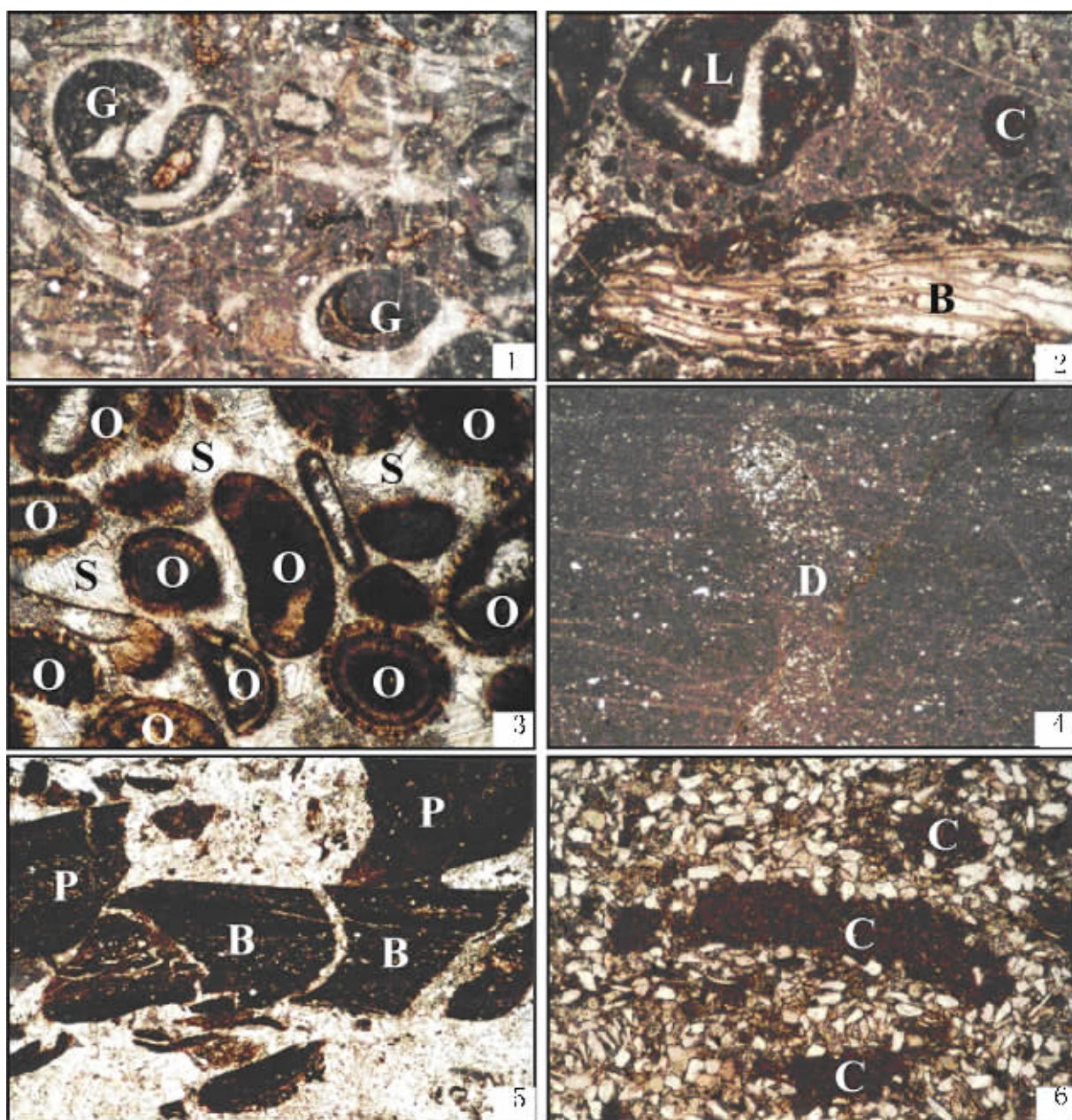


图 2 羌塘盆地依仓玛地区碳酸盐岩典型显微特征(照片 1, 2, 4, 5 长边为 2.25 mm; 照片 3, 6 长边为 0.88 mm; 均为单偏光)

1—布曲组微晶介壳灰岩; G—腹足类; 2—布曲组泥晶颗粒灰岩; B—苔藓虫类; L—团块; C—砂屑; 3—布曲组亮晶鲕粒灰岩;
O—鲕粒; S—亮晶胶结物(小者一代, 大者二代); 4—索瓦组泥晶灰岩夹粉砂质纹层; D—生物潜孔;
5—夏里组混积岩; B—角砾; P—泥质砾屑; 6—雪山组混积岩; C—砂屑

Fig.2 Representative photomicrographs of carbonates of the study area (the length of the long edges of Photos 1, 2, 4 and 5 is 2.25 mm; the length of the long edges of Photos 3 and 6 is 0.88 mm; plane polarized light)

1—Microcrystalline coquina of the Buqu Formation; G—gastropods; 2—Packstone of the Buqu Formation; B—bryozoans; L—lump; C—sand-sized grain;
3—Oospirite in the Buqu Formation; O—oolite; S—sparry cement (small ones are of first generation and large ones are of second generation);
4—Micritic limestone with silty laminae in the Suowa Formation; D—dwelling burrow; 5—Diamictite of the Xiali Formation; B—angular fragment;
P—gravel-sized grain; 6—Diamictite of the Xueshan Formation; C— sand-sized grain

表 1 羌塘盆地依仓玛地区中上侏罗统碳酸盐岩
碳氧稳定同位素组成特征

Table 1 Characteristics of carbon and oxygen isotopic compositions of Mid-Upper Jurassic carbonate rocks in the Yichangma area, Qiangtang basin (northern Tibet)

地 层	样 号	层 号	岩 性	$\delta^{13}\text{C}(\text{PDB})/10^{-3}$	$\delta^{18}\text{O}(\text{PDB})/10^{-3}$	测 值 均 值	测 值 均 值
雪 山 组	21	212	泥灰岩	-1.39	-9.33		
	20	198	灰质细砾岩	-9.42	-8.04	-4.87	-8.37
	19	181	泥晶灰岩	-8.55	-8.95		
	18	171	含生屑灰岩	-0.10	-7.16		
索 瓦 组	17	168	泥晶灰岩	2.54	-5.22		
	16	166	泥晶灰岩	1.96	-6.98		
	15	159	泥晶灰岩	2.11	-9.11	2.32	-7.05
	14	157	泥晶灰岩	3.13	-7.46		
夏 里 组	13	151	泥晶灰岩	1.84	-6.50		
	12	146	含生屑灰岩	-2.78	-9.37		
	11	130	泥晶灰岩	0.89	-6.63	-1.25	-8.67
	10	122	含生屑灰岩	-1.86	-10.01		
布 曲 组	9	120	含生屑灰岩	2.52	-4.02		
	8	115	微晶灰岩	2.49	-3.79		
	7	104	微晶灰岩	1.33	-6.24		
	6	96	泥晶灰岩	1.79	-7.06	4.07	-7.92
	5	69	泥晶灰岩	1.16	-10.28		
	22	61	泥晶灰岩	1.41	-10.24		
	4	48	含生屑灰岩	1.24	-9.70		
雀 莫 错 组	3	36	含生屑灰岩	0.86	-12.05		
	2	12	泥晶灰岩	-2.42	-13.54	-2.65	-13.17
	1	10	泥灰岩	-2.87	-12.79		

平均值 -0.19×10^{-3} 。中侏罗统 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-2.87 \times 10^{-3} \sim 2.52 \times 10^{-3}$, 平均值 0.29×10^{-3} 。雀莫错组中 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-2.42 \times 10^{-3} \sim -2.87 \times 10^{-3}$, 平均值 -2.65×10^{-3} , 碳同位素组成变化幅度不大。布曲组中 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $0.86 \times 10^{-3} \sim 2.52 \times 10^{-3}$, 平均值 1.60×10^{-3} , 各样品 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏离平均值的幅度较小, 由底部到顶部 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈微波动性升高。夏里组中 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-2.78 \times 10^{-3} \sim 0.89 \times 10^{-3}$, 平均值 -1.25×10^{-3} , 各样品 $\delta^{13}\text{C}$ 值偏离平均值的幅度较大, 底部到顶部 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈低 \rightarrow 高 \rightarrow 低的变化。上侏罗统 $\delta^{13}\text{C}$ 值 $-9.42 \times 10^{-3} \sim 3.13 \times 10^{-3}$, $\delta^{13}\text{C}$ 值一般为 $-1.39 \times 10^{-3} \sim 3.13 \times 10^{-3}$, 平均值 -0.88×10^{-3} 。索瓦组中 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $1.84 \times 10^{-3} \sim 3.13 \times 10^{-3}$, 平均值 2.32×10^{-3} , 底部到顶部 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈低 \rightarrow 高 \rightarrow 低 \rightarrow 高的变化。雪山组中 $\delta^{13}\text{C}$ 值分布于 $-9.42 \times 10^{-3} \sim -0.10 \times 10^{-3}$, 平均值 -4.87×10^{-3} , 底部到顶部 $\delta^{13}\text{C}$ 值呈高 \rightarrow 低 \rightarrow 高的变化(表 1, 图 3)。

2.2 氧同位素组成特征

海相碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值具有随地质年代变老而明显降低的“同位素年代效应”^[10], 沉积环境也对 $\delta^{18}\text{O}$ 值有重要控制作用, 所以经历过相似或相同成岩过程的碳酸盐岩, 其 $\delta^{18}\text{O}$ 值的系统性、规律性变化, 可以为沉积环境的恢复提供有益的依据。如沉积水介质盐度增高、蒸发作用加强、海平面下降和温度降低等均使 $\delta^{18}\text{O}$ 值增高, 且温度远大于盐度对 $\delta^{18}\text{O}$ 值的影响^[9,12]。

研究区中上侏罗统 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-13.54 \times 10^{-3} \sim -3.79 \times 10^{-3}$, 平均值 -2.05×10^{-3} 。中侏罗统 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-13.54 \times 10^{-3} \sim -3.79 \times 10^{-3}$, 平均值 -2.29×10^{-3} 。雀莫错组中 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-13.54 \times 10^{-3} \sim -12.79 \times 10^{-3}$, 平均值 -13.17×10^{-3} , 氧同位素组成变化幅度不大。布曲组中 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-12.05 \times 10^{-3} \sim -3.79 \times 10^{-3}$, 平均值 -7.92×10^{-3} , 底部到顶部 $\delta^{18}\text{O}$ 值呈高 \rightarrow 低 \rightarrow 高 \rightarrow 低的变化, 明显高于上下相邻地层。夏里组中 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-10.01 \times 10^{-3} \sim -6.63 \times 10^{-3}$, 平均值 -8.67×10^{-3} , 底部到顶部 $\delta^{18}\text{O}$ 值呈低 \rightarrow 高 \rightarrow 低的变化。上侏罗统 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-9.33 \times 10^{-3} \sim -5.22 \times 10^{-3}$, 平均值 -1.71×10^{-3} , $\delta^{18}\text{O}$ 值有明显的变化。索瓦组中 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-9.11 \times 10^{-3} \sim -5.22 \times 10^{-3}$, 平均值 -7.05×10^{-3} , 底部到顶部 $\delta^{18}\text{O}$ 值呈高 \rightarrow 低 \rightarrow 高的变化。雪山组中 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $-9.33 \times 10^{-3} \sim -7.16 \times 10^{-3}$, 平均值 -8.37×10^{-3} , 底部到顶部 $\delta^{18}\text{O}$ 值呈高 \rightarrow 低 \rightarrow 高 \rightarrow 低的变化(表 1, 图 3)。

3 生物古生态特征

研究区雀莫错组主要发育非海相双壳类, 灰岩夹层产少量海相双壳, 保存完整, 壳薄多光滑, 纹饰细弱但清晰, 大小混杂。布曲组双壳类属种分异度中等, 局部富集呈介壳层, 主要营固着生长, 生长在浪基面上下, 个体较大, 壳壁较厚, 壳饰发育、较粗壮, 不同程度地受损; 腕足类保存较好, 壳壁较厚, 纹饰清晰, 个体较小, 但种属较少, 局部呈介壳层产出, 为原地埋藏, 有的层段双壳类、腕足类构成生屑灰岩层或介壳灰岩层, 为生屑或介壳滩相沉积。局部发育造礁生物(珊瑚、苔藓虫、层孔虫、海绵等), 也有附礁生物(腕足类、双壳类、海百合、海胆等), 但不是礁灰岩也无礁骨架(剖面 97 层)。夏里组植物化石和煤线(层)发育。索瓦组双壳类保存较好, 壳较薄纹饰较弱, 个体大小差异不大, 属种单调。雪山组少量双壳类保存良好, 多平卧层面, 壳薄纹饰清晰细弱, 个体大小相近, 也有幼、成年个体共存, 属种单调。

4 沉积环境分析

4.1 沉积环境的沉积特征响应

野外剖面 5 个组颜色自下而上表现为浅(灰绿色、紫红色) \rightarrow 深(灰黑色) \rightarrow 杂(紫红色、灰绿色) \rightarrow 深(灰黑色) \rightarrow 浅(紫红色、灰色); 沉积构造类型丰富。碳酸盐岩的典型岩类及其特征反映了不同的沉积环境, 如亮晶颗粒灰岩沉积于高能环境; 泥(微)晶灰岩是滩间海和低能海的主要产物, 代表较低能沉积环境; 泥灰岩是缓坡相等较深水低能环境的产物; “混积岩”反映近源、快速堆积环境等。所以, 宏观特征表现为颜色、构造和岩性等的规律性变化。

雀莫错组、布曲组、夏里组和索瓦组碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值与海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值($-5 \times 10^{-3} \sim +5 \times 10^{-3}$)^[13]和全球同期海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 值吻合^[10], 具有较正常的稳定特征(表 1, 图 3); 雪山组有两个低值与海相碳酸盐岩的 $\delta^{13}\text{C}$ 和全球同期海相碳酸盐岩中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值显示明显负偏移, 表现出地区性不

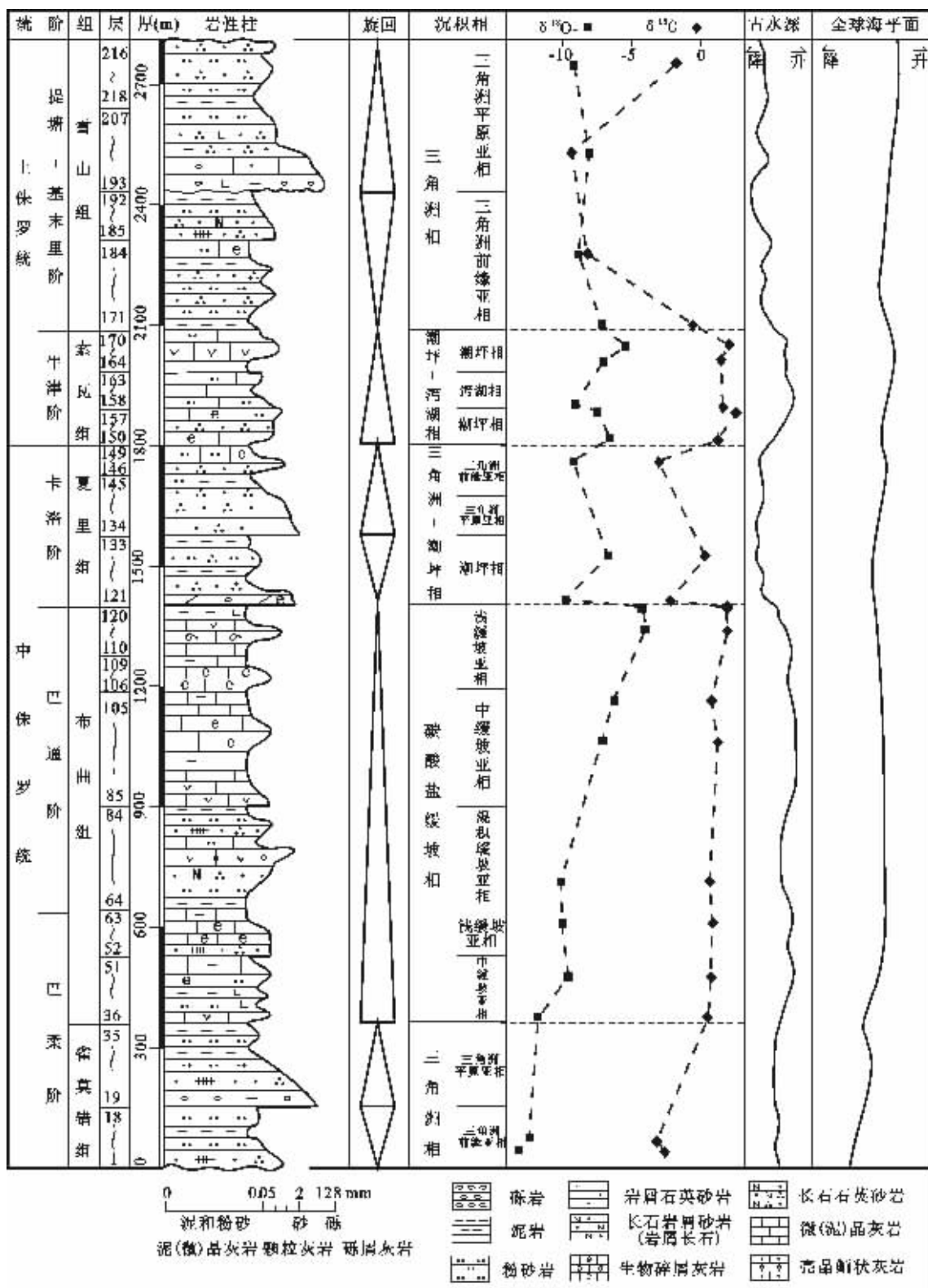


图 3 研究区中上侏罗统综合柱状图(全球海平面变化曲线据参考文献[26])

Fig.3 Integrated column of the Mid-Upper Jurassic of the study area (the globe sea level change curve modified from reference [26])

稳定特征。中上侏罗统各组的 $\delta^{18}\text{O}$ 值与海相碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值的分布范围和全球同期海相碳酸盐岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值相当^[8],但表现为测值变化较大的不稳定特征。 $\delta^{13}\text{C}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}$ 值呈现低→高→低→高→低(雀莫错组→布曲组→夏里组→索瓦组→雪山组)的规律性变化,各组内部同位素组成也发生了波动性变化(表 1,图 3),表明沉积环境发生变化;布曲期、索瓦期由于海平面上升,古陆消沉并被海水淹没,沉积水体盐度恢复正常或较高导致碳酸盐岩 $\delta^{13}\text{C}$ 值增大, $\delta^{18}\text{O}$ 值由于温度降低和水体盐度升高并趋于稳定而升高。雀莫错期、夏里期和雪山期则由于海平面下降,大气淡水、地表径流大量注入,引起碳酸盐岩夹层 $\delta^{13}\text{C}$ 值负偏移,大气降水和陆源淡水的注入等导致 $\delta^{18}\text{O}$ 值变低。

中上侏罗统各组生物古生态组合各具特色,反映复杂多变的沉积面貌,如布曲组海相化石含量丰富,反映生物繁盛并得以快速埋藏储存,与 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化对应,部分层位造礁生物和附礁生物均丰富,但礁灰岩不发育,反映碳酸盐岩缓坡相沉积;夏里组含有陆生植物化石,表明存在浅水滨岸的沉积环境;索瓦组生物面貌反映盐度不正常,主体环境为半咸水;雪山组多为淡水双壳类,底部混生个别淡-半咸水类型,反映基底软、水体较浅且安静的环境。

上述沉积特征作为沉积环境的响应,反映了古水深、水动力、沉积介质盐度及氧化-还原条件等环境因素的旋回性变化(图 3)。

4.2 沉积相划分

根据中上侏罗统各组沉积特征综合分析,划分出碳酸盐岩缓坡相、三角洲相、潮坪相和泻湖相,并尽可能划分出亚相甚至微相。

4.2.1 碳酸盐岩缓坡相

(1)浅缓坡亚相分布于布曲组上部和底部,为深灰色中层状泥晶灰岩、泥页岩、泥灰岩、泥晶颗粒灰岩夹中-厚层状生屑(泥晶)灰岩、鲕粒泥晶灰岩及中-薄层状粉砂岩等。泥页岩一般含钙质及少量粒状黄铁矿,产海相双壳类及腕足类化石,发育水平层理、透镜状层理和生物遗迹。

(2)中缓坡亚相分布于布曲组中部,为深灰色中层状泥晶生屑(颗粒)灰岩、亮晶颗粒灰岩夹细砂质泥岩、泥灰岩及钙质泥岩等。

(3)深缓坡亚相分布于布曲组顶部,为泥晶石英质灰岩、泥晶颗粒灰岩、颗粒泥晶灰岩及粉砂质泥岩等组成。

(4)布曲组中下部发育(含)生屑灰岩、颗粒灰岩、泥晶灰岩和细砂岩、粉砂岩成略等厚互层,为混积缓坡亚相沉积。

4.2.2 潮坪-泻湖相

夏里组中下部为泥页岩、泥(晶)灰岩、泥质生物灰岩、粉砂岩夹泥晶石英质灰岩、泥晶颗粒灰岩、颗粒泥晶灰岩等组成,粉砂岩中发育丰富的砂纹层理,透镜状层理和脉状层理,为潮坪相沉积。索瓦组为含灰泥页岩夹泥灰岩及生物灰岩、泥晶颗粒灰岩等,泥质普遍含钙质,发育波状层理、透镜状层

理、干涉波痕、沙纹层理等构造,发育数层石膏,发育广盐性-半咸水双壳类、介形虫、轮藻等,为泻湖-潮坪相沉积。

4.2.3 三角洲相

(1)三角洲平原亚相进一步分出 4 个微相。分流间湾微相分布于雀莫错组、夏里组和雪山组,为暗紫色与灰绿色泥岩夹粉砂岩、泥质细砂岩及含泥生屑灰岩等;粉砂岩和含泥生屑灰岩薄层状或透镜状产出,泥岩中含有微量黄铁矿;产海相双壳类、腕足类及淡-微咸水双壳类、硅化木等。泛滥平原微相见于雀莫错组和雪山组,为含灰泥岩、砂质泥岩夹粉砂岩及细砂岩,颜色深浅混杂,发育水平层理、楔状交错层理等,见碳质条带;产淡水双壳类、轮藻类、淡水-微咸水介形虫等。支间沼泽微相分布于雀莫错组和雪山组,为钙质细-粉砂质泥岩夹粉砂岩,颜色相对较深,夹煤层(线);泥岩含微量黄铁矿,有泥质层纹构造等。天然堤微相分布于雪山组,由灰绿色中-薄层状粉砂岩组成,局部见粉砂质细砂岩,发育低角度交错层理、波状层理及楔状交错层理等。

(2)三角洲前缘亚相分出 2 个微相。远砂坝微相主要发育于夏里组,由泥质粉砂岩、粉砂质细砂岩及泥岩组成,颜色较浅,以薄层状产出,发育平行层理、交错层理及波痕,仅产淡-微咸水介形虫、轮藻等。河口砂坝微相分布于雀莫错组、夏里组和雪山组,为细粒岩屑砂岩、粉砂质细粒岩屑砂岩、粉砂岩及含粉砂页岩等;雀莫错组为暗紫色中-厚层状,剖面上发育低角度交错层理→楔状交错层理→平行层理→板状交错层理;夏里组和雪山组以浅灰色为主,发育波状层理、楔状交错层理、粒序层理等,产淡-微咸水介形虫、轮藻,淡水双壳类和硅化木等。

(3)前三三角洲亚相发育较局限,岩性较单一,由灰色、深灰色泥岩、页岩夹泥灰岩及生屑泥晶灰岩组成,泥岩含钙质及微量且分布均匀的粒状黄铁矿。

5 结 论

金沙江古特提斯洋东段于晚三叠世末关闭^[1,19-21],金沙江古特提斯洋西段侏罗纪南羌塘地体和亚洲板块碰撞缝合^[1,21],控制了羌塘盆地基本构造格局;至少到中侏罗世才闭合的双湖缝合带^[1,21],以及可能于晚三叠世开启^[1,3,19,20,22-25]、早侏罗世后开始关闭^[25]的班公湖—怒江中特提斯洋控制了中生代羌塘盆地的构造-沉积演化。

(1)羌塘盆地东部中上侏罗统雀莫错组和雪山组以河控三角洲沉积为主,布曲组碳酸盐岩缓坡沉积为主,夏里组主要为潮坪-三角洲相沉积,索瓦组主要为潮坪-泻湖相沉积(图 3)。盆地古水深在下降的总趋势中呈现浅→深→浅→深→浅的升降旋回,而全球同期海平面变化表现为类似升降旋回的上升总趋势(图 3)^[26],反映区域构造演化和全球同期海平面变化共同控制羌塘盆地的沉积面貌。

(2)羌塘盆地东部中侏罗统各组 $\delta^{13}\text{C}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值均低于各组在西部的相应值(图 3)^[27]。雀莫错组在盆地东部出露最

大厚度,盆地东部布曲组发育的碎屑岩夹层向盆地中西部逐渐降低,夏里组和索瓦组为较浅水沉积,雪山组底部夹有一至多层砾岩沉积,各组混积岩发育^[43]。上述沉积特征表明中晚侏罗世盆地东部水体越来越浅,羌塘盆地沉积中心从中侏罗世到晚侏罗世由东向西迁移,海水可能自东向西退缩,与羌塘盆地内侏罗纪末—早白垩世剖面对比^[20]和古生物资料一致^[29]。

致谢:王谋、白宪洲、周家云、段志明、金玮、黎兵、王金元等一起参加西藏野外工作,张长俊、刘肇昌、康沛泉、魏沐潮等一起参加室内研究工作,中国石油西南油气田分公司勘探开发研究院地质实验室张中华帮助完成碳氧稳定同位素测试,在此一并感谢。

参考文献 (References):

- [1] Zhang Kaijun, Xia Bangdong, Liang Xiwen. Mesozoic-Paleogene Sedimentary facies and paleogeography of Tibet, western China: Tectonic implications [J]. *Geological Journal*, 2002, 37:217~246.
- [2] Zhang Kaijun. Cretaceous palaeogeography of Tibet and adjacent areas: Tectonic implications [J]. *Cretaceous Research*, 2000, 21:23~33.
- [3] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区地质志[M]. 北京:地质出版社, 1993. 1~707.
Xizang Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional Geology of Xizang Autonomous Region, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 1~707 (in Chinese with English abstract).
- [4] 张玉修, 李勇, 李亚林, 等. 西藏羌塘盆地东部侏罗系生油条件与油气显示[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 2004, 27(6):635~639.
Zhang Yuxiu, Li Yong, Li Yalin, et al. The generating conditions and characteristics of oil and gas shows in the Jurassic in eastern Qiangtang Basin, Tibet [J]. *Journal of Hefei University of Industry (Science and technology edition)*, 2004, 27(6):635~639 (in Chinese with English abstract).
- [5] 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原地层[M]. 北京:科学出版社, 2001. 125~139.
Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Ye Hefei, et al. The Stratigraphic Succession of Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Science Press, 2001. 125~139 (in Chinese with English Abstract).
- [6] 青海省地质矿产局. 青海省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1997. 273~287.
Qinghai Bureau of Geology and Mineral Resources. Lithostratigraphies of Qinghai Province [M]. Wuhan: Chinese University of Geoscience Press, 1997. 273~287 (in Chinese with English abstract).
- [7] 王成善, 伊海生. 西藏羌塘盆地地质演化与油气远景评价[M]. 北京:地质出版社, 2001. 1~249.
Wang Chengshan, Yi Haisheng. The Geological Evolution and Prospective Oil and Gas Assessment of the Qiangtang Basin in Northern Tibetan plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001. 1~249 (in Chinese with English abstract).
- [8] 曾允孚, 夏文杰. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社, 1986. 169.
Zeng Yunfu, Xia Wenjie. *Sedimentary Petrology* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986. 169 (in Chinese).
- [9] Clayton R N, Degens E T. Use of carbon isotope analyses of carbonates for differentiating fresh-water and marine sediments [J]. *American Association of Petroleum Geologists*, 1959, 4:889~897.
- [10] Keith M L, Weber J N. Carbon and oxygen isotopic composition of selected limestone and fossils [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1964, 28(1):787~1 816.
- [11] Hudson J D. Stable isotopes and limestone lithification [J]. *Journal of Geology Society of London*, 1977, 133:637.
- [12] Shackleton N J, Kennett J P. Paleotemperature history of the Cenozoic and the initiation of Antarctic glaciation: Oxygen and carbon isotope analysis in DSDP sites 277, 279 and 281 [A]. In: Kennett Reports of the DSDP 29 [C]. Washington D C: Government Printing Office, 1975. 743~755.
- [13] Schopf T J M. Palaeo-oceanography [M]. Harvard: Harvard University Press, 1980. 341.
- [14] Veizer J, Fritz P, Jones B. Oxygen and carbon isotopic records of Paleozoic ocean [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1985, 50: 1679~1696.
- [15] 陈锦石, 陈文正. 碳同位素地质学概论[M]. 北京:地质出版社, 1975. 109~115.
Chen Jinshi, Chen Wenzheng. *An Introduction to Carbonate Isotopic Geology* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1975. 109~115 (in Chinese).
- [16] Magarite M, Stemmeik L. Carbon isotope variations in the Upper Carboniferous-Permian Mallek Mountain Group, Eastern North Greenland [J]. *Geology Society of Denmark*, 1989, 37:205~211.
- [17] 张秀连. 碳酸盐岩中氧碳同位素与古盐度古水温的关系[J]. *沉积学报*. 1985, 13(3):17~30.
Zhang Xiulian. Relationship between carbon and oxygen stable isotopes in carbonate rocks and paleosalinity and paleotemperature of seawater [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1985, 13(3):17~23 (in Chinese with English abstract).
- [18] Veizer J, Hoefs J. The nature of ¹⁸O/¹⁶O and ¹³C/¹²C secular trends in sedimentary carbonate rocks [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1976, 11:1387~1395.
- [19] Dewey, J F, Shackleton, R M, Chang, C F, et al. The Tectonic Development of the Tibetan Plateau [M]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1988. 327:379~413.
- [20] Chang C F, Chen N, Coward M P, et al. Preliminary conclusions of the Royal Society/Academia Sinica 1985 Geotraverse of Tibet [J]. *Nature*, 1986, 323:501~507.
- [21] 张玉修, 张开均, 夏邦栋, 等. 西藏羌塘地体中生代砂岩颗粒组分及其构造意义[J]. *沉积学报*, 2006, 24(2):25~34.
Zhang Yuxiu, Zhang Kaijun, Xia Bangdong, et al. Mesozoic sandstone composition in the Qiangtang block, Tibet: implications for tectonic setting [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(2):25~34 (in Chinese with English abstract).
- [22] Allegre C J, Courtillot V, Tapponnier P, et al. Structure and evolution of the Himalaya-Tibet orogenic belt [J]. *Nature*, 1984, 307:

- 17~22.
- [23] 刘训, 傅德荣, 姚培毅, 等. 青藏高原不同地体的地层、生物区系及沉积构造演化史[M]. 北京:地质出版社, 1992. 1~168.
Liu Xun, Fu Derong, Yao Peiyi, et al. Stratigraphy, Paleogeography, and Sedimentary-Tectonic Development of Qinghai-Xizang plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992. 1~168 (in Chinese with English abstract).
- [24] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen [J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000, 28: 211~280.
- [25] 刘增乾, 徐宪, 潘桂棠, 等. 青藏高原大地构造与形成演化[M]. 北京:地质出版社, 1990. 1~174.
Liu Zengqian, Xu Xian, Pan Guitang, et al. Tectonics, Geological Evolution and Genetic Mechanism of Qinghai-Xizang Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990. 1~174 (in Chinese with English abstract).
- [26] Haq B U, Hardenbol J, Vail P R. Chronology of fluctuating sea level since the Triassic [J]. Science, 1987, 235: 1156~1167.
- [27] 谢渊, 罗建宁, 张峭楠, 等. 羌塘盆地那底冈日地区中侏罗世碳酸盐岩碳、氧、锶同位素与古海洋沉积环境[J]. 矿物岩石, 2000, 20(1): 80~86.
Xie Yuan, Luo Jianning, Zhang Shaonan, et al. Paleo-oceanic sedimentary environment during the middle Jurassic in Nadigangri area, Qiangtang basin [J]. Journal of Mineral and Petrology, 2000, 20(1): 80~86 (in Chinese with English abstract).
- [28] 谭富文, 王剑, 李永铁, 等. 羌塘盆地侏罗纪末—早白垩世沉积特征与地层问题[J]. 中国地质, 2004, 31(4): 401~405.
Tan Fuwen, Wang Jian, Li Yongtie, et al. Late Jurassic-Early Cretaceous strata and their sedimentary characteristics in the Qiangtang basin, northern Tibet [J]. Geology in China, 2004, 31(4): 401~405 (in Chinese with English abstract).
- [29] 伊海生, 林金辉, 赵兵, 等. 藏北羌塘地区地层新资料[J]. 地质论评, 2003, 49(1): 59~65.
Yi Haisheng, Lin Jinhui, Zhao Bing, et al. New stratum information in Qiangtang area, North Xizang (Tibet) [J]. Geological Review, 2003, 49(1): 59~65 (in Chinese with English abstract).

Characteristics of Mid-Upper Jurassic carbonate rocks in the Yichangma area, Qiangtang Basin, Tibet: Implications for the sedimentary environment

ZHANG Yu-xiu^{1,2}, LI Yong³, ZHANG Kai-jun^{1,4}, LI Ya-lin³

(1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Chinese Academy of Science, Guangzhou 510640, Guangdong, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Research Center of Tibetan Plateau Geology, School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

4. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China)

Abstract: The macroscopic characteristics, mineral and clastic compositions, textures, carbon and oxygen stable isotopes and paleontological and paleoecological characteristics of Mid-Upper Jurassic carbonates in the Qiangtang basin, northern Tibet, have been studied systematically based on detailed field section surveys. Study shows that the carbonate rocks mainly include micrite, grainstone and packstone. The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values show two cyclic variations from low→high→low→high→low from the Quemo Co Formation→the Buqu Formation→Xiali Formation→Suowa Formation→Xueshan Formation. The Quemo Co and Xueshan formations are dominated by fluvial-dominated deltaic deposits, the Buqu Formation by carbonate ramp deposits, the Xiali Formation by tidal flat-deltaic deposits and the Suowa Formation by tidal flat-lagoonal deposits. The water table in the Mid-Late Jurassic Qiangtang basin showed the rising and falling cycles from shallow→deep→shallow→deep→shallow in the general trend of water table lowering. Meanwhile, the depocenter of the basin migrated from east to west and the Jurassic sedimentary environment of the Qiangtang basin is controlled by the combined regional tectonic evolution and global sea level change.

Key words: Tibet; Qiangtang basin; sedimentary environment; carbonate rock

About the first author: ZHANG Yu-xiu, male, born in 1974 Ph.D candidate in structure geology; E-mail: yxzhang@gig.ac.cn.