

Sedimentary characteristics and reservoir properties of the Shahejie Formation braided river delta in Raoyang Sag

ZHANG Da-zhi^{1,2}, JI You-liang³, HAN Chun-yuan⁴, CHU Li-lan⁵, NI Chao²

(1. Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Petrochina, Beijing 100083, China; 2. Hangzhou Institute of Petroleum Geology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; 3. China University of Petroleum, Beijing 102249, China; 4. Huabei Oilfield Company, Petrochina, Renqiu 062552, Hebei, China; 5. Exploration and Development Research Institute of Daqing Oilfield, Daqing 163712, Heilongjiang, China)

Abstract: The Shahejie Formation in Raoyang Sag mainly comprises a set of terrigenous clastics such as conglomerate, conglomeratic sandstone, sandstone, siltstone and mudstone. A study of sedimentary characteristics led to the recognition of typical braided river delta deposition, whose characteristics are distinct and significantly different from other types of deltas resulting from river tractive current sedimentation which are generally controlled by torrential flood and seem to be seasonal sediments. The most notable feature of the braided river delta deposition in this area is the existence of a three-layer structure, which is composed from bottom to top of pre-braided river delta subfacies, braided river delta front subfacies and braided river delta plain subfacies, showing an obvious progradational sequence. There are several main microfacies, such as braided distributary channel, flood plain, subaqueous distributary channel, subaqueous inter-distributary channel, mouth bar and sheet bar. According to lithologic characteristics, sedimentary structure, grain size and sedimentary sequence of the braided river delta, a sedimentary model for the braided river delta was established. From lithologic characteristics of deposition, it is thought that the thickly-bedded conglomerate and conglomeratic sandstone developed in the braided river delta are widely distributed and constitute favorable oil and gas reservoirs. The sand bodies of the subaqueous distributary channel and mouth bar make up the most beneficial reservoirs and can form useful lithologic reservoirs. These places deserve much attention in future exploration.

Key words: Raoyang Sag; Shahejie Formation; braided river delta; sedimentary model; reservoir properties

About the first author: ZHANG Da-zhi, male, born in 1981, doctor candidate, engages in research on sedimentology and stratigraphy; E-mail: zhangdazhi-123@163.com.

南羌塘盆地羌资-2 井中侏罗统色哇组 和布曲组沉积特征

段志明¹ 钟成全² 朱华平¹ 程 江¹ 李忠雄¹ 汪正江¹

(1. 国土资源部成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082; 2. 四川蜀西地质工程勘测院, 四川 成都 611730)

摘要:通过对南羌塘盆地羌资-2 井石油地质浅钻的岩心录井和样品测试分析表明: 中侏罗世阿林期—巴通期, 南羌塘盆地处于被动大陆边缘演化阶段, 沉积了一套向上变粗变浅的三角洲相进积序列的色哇组, 粒度分析概率累计曲线主要以跳跃和悬浮次总体为主, 粒度 C-M 图反映了辫状河三角洲沉积特点, 孢粉分析揭示了热带—亚热带干热气候特征; 中侏罗世巴通期, 盆地过渡为相对稳定的坳陷盆地发展阶段, 沉积了以富含鲕粒、砂砾屑和生屑等颗粒灰岩为特征的碳酸盐台地浅滩化沉积序列的布曲组。从中侏罗世阿林期至巴通期, 整个南羌塘盆地经历了一次完整的海侵—海退沉积旋回, 从下至上依次出现前三角洲亚相→三角洲前缘亚相→台前缓坡亚相→开阔台地亚相→局限台地亚相的沉积序列。

关键词:南羌塘盆地; 羌资-2 井; 中侏罗统; 沉积特征; 粒度分析

中图分类号: P534.52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2009)02-0355-11

羌塘盆地位于青藏高原中北部, 地理坐标介于东经 83°~95°, 北纬 32°~35°之间, 南北宽 300 km, 东西长 640 km, 面积约 18.5×10⁴ km², 平均海拔高度 4500 m, 是中国第二大海相含油气盆地。羌塘盆地大地构造隶属油气产量高、储量丰富的特提斯构造域东段^[1], 在沉积特征、构造活动、盆地演化以及含油性等方面独具特色, 与特提斯构造域西段的波斯湾盆地, 具有类似的沉积构造演化特征和石油地质条件^[2-6], 近年来成为中国油气勘探的首选目标之一。然而, 由于盆地地处高原腹地, 交通困难, 加之高寒缺氧、淡水奇缺, 致使对羌塘盆地的油气勘探和石油地质研究程度普遍较低。因此, 查明盆地沉积充填序列和动力学过程, 成为羌塘盆地油气资源潜力分析和油气远景的关键。笔者以南羌塘盆地羌资-2 井石油地质浅钻为依据, 通过岩心录井和样品测试分析, 对中侏罗统色哇组和布曲组的沉积特征进行了较为详细的研究, 这将为正确认识侏罗纪时期羌塘油气盆地的性质增添一方基石。

1 区域地质背景

羌塘盆地位于可可西里—金沙江缝合带与班公错—怒江缝合带之间(图 1), 是在羌塘地体之上发育的与缝合带相关的被动大陆边缘盆地^[9], 具有一隆两坳的构造格局, 北部为北羌塘坳陷(盆地)、中部为中央隆起, 南部为南羌塘坳陷(盆地)。北侧的可可西里—金沙江缝合带是晚古生代金沙江洋盆闭合的产物, 洋盆打开于石炭纪以前, 闭合的时间为晚二叠世末期^[9]。南侧的班公错—怒江洋盆在晚三叠世—早侏罗世开始打开, 中侏罗世快速扩张, 晚侏罗世—早白垩世闭合, 洋盆闭合后随即发生了陆内汇聚以及向北的“A 型”俯冲作用^[9]。羌塘盆地中部为中央隆起带, 主要由奥陶系、泥盆系和古生界构成, 具有明显的航磁正异常, 它的崛起时间可能在晚三叠世^[3-4], 侏罗纪时期对南、北羌塘的沉积环境起着明显的控制作用^[7]。

南羌塘坳陷界于中央隆起带和班公错—怒江缝

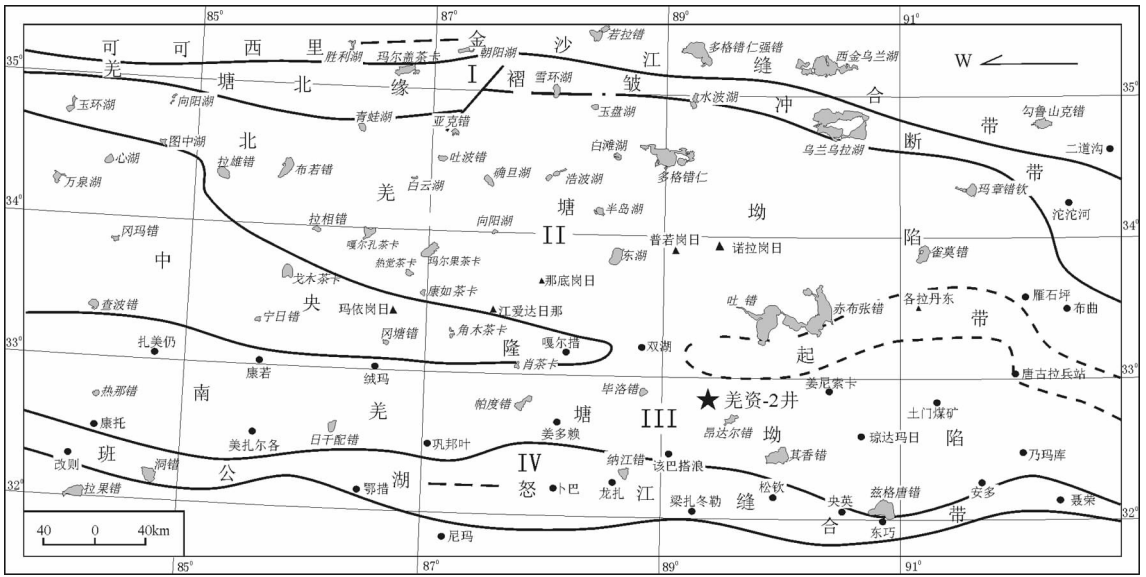


图1 羌塘盆地构造单元划分及地层分区图

I—若拉岗日地层分区; II—北羌塘地层分区; III—南羌塘地层分区; IV—改则—东巧地层分区; ★—羌资-2井井位

Fig.1 Structural unit division and stratigraphic regionalization of Qiangtang basin

I—Roulagangri stratigraphic regionalization; II—northern Qiangtang stratigraphic regionalization; III—southern Qiangtang stratigraphic regionalization; IV—Gaizhe—Dongqiao stratigraphic regionalization; ★—location of Qiangzi Well-2

合带之间,靠近中央隆起带广泛出露二叠系,向南主要出露上三叠统和侏罗系。上三叠统平行不整合于二叠系之上,其间缺失早—中三叠世沉积;而侏罗系则整合于上三叠统灰岩之上,最大沉积厚度达 3700 m^①。

2 地层划分

根据西藏自治区岩石地层^①和青藏高原地层^②划分方案,南羌塘坳陷中—上侏罗统自下而上可划分中侏罗统色哇组(J_{2s})、布曲组(J_{2b})、夏里组(J_{2x})和上侏罗统索瓦组(J_{2s})。

羌资-2井井位: X=32°47.142', Y=89°14.652', H=5085 m; 井深 812.00 m。钻遇地层为中侏罗统布曲组和色哇组(图 2),二者在垂向上呈渐变过渡接触关系。

2.1 中侏罗统色哇组(J_{2s})

色哇组由文世宣等^③创名于色哇的莎巧木山北坡及加玉马头一带,为一套深灰、灰绿色泥岩、页岩夹砂岩、泥灰岩构成的韵律组合,产丰富的菊石和双壳化石,地质时代为中侏罗世巴柔期(Bajocian)。吉林省地质调查院^④将研究区内发育的色哇组重新定义为中侏罗统色哇组(J_{2s})+莎巧木组(J_{2q}),产丰富的

的菊石、腕足和双壳类化石,并建立了 *Dosetensia*—*Sonninia* 菊石化石带、*Rhynchonelloidea*—*Rhynchonelloidea* 腕足化石组合带、*Trigonia*—*Lopha* 双壳化石组合带和 *Anisocardia*—*Camptonectes* 双壳化石组合带。笔者沿用色哇组原定义,岩性为紫红、深灰色泥岩、粉砂质泥岩与薄—厚层状白云质粉—中粒砂岩、岩屑石英细砂岩、细—粗粒岩屑砂岩组成向上变粗的基本层序(未见底),产并不丰富的孢粉化石: *Baltisphaeridium* (刺球藻属), *Biretisporites* (粗缝孢属), *Cerebropollenites findlaterensis* (芬德拉脑形粉), *Cerebropollenites* (脑形粉属), *Chasmatosporites hians* (开口宽沟粉), *Classopollis* (内环粉属), *Classopollis anunlatus* (环圈内环粉), *Classopollis classoides* (克拉梭内环粉), *Classopollis diplocyclus* (双环圈内环粉), *Classopollis grandis* (巨大内环粉), *Classopollis granulatus* (粒纹内环粉), *Cycadopites* (苏铁粉属), *Densoisporites* (层环孢属), *Klukisporites* (克鲁克蕨孢属), *Microreticulatisporites* (细网孢属), *Monosulcites* (单沟粉属), *Neoraistrickia* (新叉瘤孢属), *Psophosphaera minor* (小皱球粉), *Psophosphaera* (皱球粉属), *Schizosporis* (对裂孢属), *Stereisporites cf. granulatus* (粒面坚实孢),

①吉林省地质调查院. 1:25万昂达而错幅区域地质调查报告,2006.

地系	层统		深度 (m)	分 层 层	分 层 厚 度	岩性剖面	沉积 构造	岩 性 描 述	沉 积 相			海平面相 对变化 降 升				
	系	统							组	微相	亚相		相			
侏 罗 系	上	布	48.80	26	42.95			26. 浅紫灰、灰色薄—中厚层状泥晶灰岩、含骨屑泥晶灰岩、含内碎屑泥晶灰岩、微-细晶灰岩组成向上浅滩化的基本层序	滩	局	限	碳				
			100.63	25	51.83			25. 紫灰、灰色薄—厚层状泥晶灰岩、含泥晶灰岩、泥晶骨屑砂屑灰岩、团粒灰岩组成向上浅滩化的基本层序								
			125.13	24	24.50			24. 浅灰、深灰色夹紫红色薄—厚层状泥晶灰岩、含泥晶灰岩、含骨屑泥晶灰岩、含泥微-细晶灰岩、含颗粒泥晶灰岩								
			161.38	23	36.25			23. 浅灰、深灰色中—厚层状泥晶灰岩、含骨屑砂屑泥晶灰岩与含骨屑砂屑泥-微晶白云岩、灰质白云岩、团粒白云岩								
			182.78	22	21.40			22. 紫灰、灰、深灰色薄—中层状泥晶灰岩、泥晶骨屑砂屑灰岩、含白云质团粒灰岩								
			208.58	21	25.80			21. 浅紫灰、灰色薄—中层状泥晶灰岩、含骨屑泥晶灰岩、泥晶骨屑砂屑灰岩								
			232.08	20	23.50			20. 浅紫灰、深灰色薄—厚层状泥晶灰岩、含骨屑砂屑泥晶灰岩、微-泥晶团粒灰岩								
			263.10	19	31.02			19. 灰、灰黑色薄—厚层状泥晶灰岩、含骨屑泥晶灰岩、微晶砂屑灰岩夹灰质白云岩								
			278.31	18	15.21			18. 灰、深灰色薄—中厚层状亮晶鲕粒灰岩、亮晶含云质鲕粒灰岩					鲕粒滩	开 阔 台 地	盐	
			379.90	17	101.59			17. 紫灰、深灰色夹紫红色薄—厚层状泥晶灰岩、微晶含云质粉屑砂屑灰岩、亮晶含云质鲕粒灰岩、亮晶鲕粒灰岩与粉-微晶白云岩、微晶砂屑白云岩、残余砂屑骨屑微-中晶白云岩、亮晶鲕粒白云岩组成不等厚韵律互层，灰云比率约为6:4					滩 滩间			
			409.05	16	29.15			16. 灰、深灰色夹紫红色薄—厚层状岩屑石英细砂岩、含白云质岩屑石英细砂岩、含砾含砂粗粉砂岩、白云质粗粉砂岩、含砂质泥岩					滨海			台
			428.72	15	19.67			15. 紫灰、灰色薄—中层状泥-微晶骨屑砂屑灰岩、含鲕粒砂屑灰岩、亮晶鲕粒灰岩					台			
	449.72	14	21.00			14. 浅紫灰、灰色薄—厚层状含骨屑泥晶灰岩、亮晶鲕粒灰岩										
	464.02	13	14.30			13. 紫灰、深灰色中—厚层状泥晶灰岩、微-泥晶粉屑灰岩										
	508.30	12	44.28			12. 灰、深灰色夹紫红色中—厚层状白云质粒屑灰岩、含白云质亮晶鲕粒灰岩、亮晶鲕粒灰岩	前 地									
	511.80	11	3.50			11. 紫灰、灰色中—厚层状含粒屑含灰白云岩										
	562.80	10	51.00			10. 紫灰、灰色中—厚层状含粒屑泥-微晶灰岩、含云粒屑灰岩、亮晶鲕粒白云质灰岩、亮晶鲕粒灰岩		缓 坡								
	572.20	9	9.40			9. 紫红、紫灰色薄—中层状亮晶粒屑灰岩、亮晶鲕粒灰岩、含粒屑含灰白云岩										
	583.90	8	11.70			8. 紫灰、深灰色薄—中层状含粒屑云质灰岩、亮晶鲕粒灰岩										
	587.80	7	3.90			7. 深灰、灰黑色含粉砂钙质泥岩、含粉砂质泥岩										
	611.70	6	23.90			6. 紫红、深灰色薄—中层状含生屑屑泥晶灰岩、亮晶 鲕粒灰岩，下部夹岩屑石英砂岩、含砂含灰白云岩										
	689.40	5	77.70			5. 紫红、灰绿、深灰色泥岩、粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、粘土质粉砂岩与薄—中厚层状白云质粉-中粒砂岩、钙质中-细粒砂岩、白云质粗-粒岩屑砂岩、岩屑石英砂岩组成向上变粗的沉积韵律			分 流 河 道 分 流 间 湾	三 角 洲 前 缘						
	760.90	4	71.50			4. 紫红、深灰色薄—厚层状粉-中粒砂岩、白云质粉-中粒砂岩、岩屑石英细砂岩夹粉砂质泥岩			河 口 砂 坝							
	770.20	3	9.30			3. 紫红、灰绿色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩			分 流 间 湾 远 砂 坝							
777.25	2	7.05			2. 紫红、深灰色薄—中层状粉-中粒不等粒砂岩、细-中粒岩屑石英砂岩夹粉砂质泥岩											
812.00	1	34.75			1. 紫红、灰绿色粉砂质泥岩与薄—中厚层状含砾粉砂岩、粉-细砂岩组成向上变粗的基本层序，下部夹含铁灰云岩	前 三 角 洲										

图 2 羌资-2 井色哇组和布曲组岩石组合特征及沉积体系划分
1—平行层理;2—斜层理;3—水平层理

Fig.2 Lithologic association characteristics and depositional system division of Sewa and Buqu Formation in Qiangzi Well-2
1-parallel bedding; 2- inclined bedding; 3-horizontal bedding

Undulatisporites(波缝孢属?), *Savitrinia*(角环藻属?), 具热带-亚热带干热气候特征。地质时代为中侏罗世阿林期(Aalenian)-巴柔期(Bajocian)。

2.2 中侏罗统布曲组(J₂b)

布曲组由白生海等^[9]创名于青海省青藏公路雁石坪,原义为灰黑色巨厚层状生物碎屑灰岩、灰色厚层状结晶灰岩夹生物碎屑灰岩及深灰色厚层状白云质泥晶灰岩、角砾状灰岩,底部以灰黑色巨厚层状生物碎屑灰岩与下伏色哇组呈整合接触。吉林省地调院^①在布曲组剖面中采集到大量的腕足类、双壳类、菊石等化石,并建立了 *Burmirthynchia-Holcothyris* 腕足化石组合带。笔者沿用布曲组原定义,指整合分布于色哇组之上的一套碳酸盐台地相沉积,岩性为紫红、灰、深灰色中-厚层状泥晶灰岩、含泥泥晶灰岩、含生屑砂屑泥晶灰岩、粒屑灰岩、团粒灰岩、白云质灰岩、亮晶鲕粒灰岩夹泥-粉晶白云岩、微晶砂屑白云岩、团粒白云岩、残余砂屑骨屑微-中晶白云岩、亮晶含云鲕粒白云岩组成向上浅滩化的沉积序列,中下部夹深灰、紫红色含砾含砂白云质粗粉砂岩、岩屑石英细砂岩。地质时代为中侏罗世巴通期(Bathonian)。

3 沉积体系与沉积相

依据羌资-2井钻孔岩心及岩石组合特征,并根据 Fisher 和 MCGOWN (1976) 所定义的沉积体系为“在沉积环境和沉积作用过程方面具有成因联系的三维岩相组合体”,将钻遇地层划分为三角洲相沉积体系和碳酸盐台地相沉积体系。

3.1 三角洲相沉积体系

三角洲沉积体系发育于羌资-2井井深 611.70~812.00 m 的中侏罗统色哇组中,主要包括前三三角洲相、三角洲前缘亚相,具下细上粗的沉积相序(图 2)。

3.1.1 三角洲前缘亚相

三角洲前缘亚相隶属三角洲沉积的主体部分,是三角洲分流河道进入海域的水下沉积部分,由水下分流河道、河口砂坝、远砂坝和水下分流间湾等微相组成。

水下分流河道:是三角洲平原分流河道的水下延伸部分,岩性主要由含砾不等粒砂岩、粗砂岩、中

砂岩和岩屑砂岩等组成,分选差-中等,磨圆差,具平行层理、斜层理;相序上与前缘河口砂坝、远砂坝等微相密切共生,粒度分布以跳跃总体发育为特征。

河口砂坝:是三角洲前缘亚相最典型的微相,由于海水的抑制作用,使河流入海时的流速骤减,导致河流携带的大量载荷快速堆积;岩性以中-细砂岩为主,分选差-中等,磨圆度差,具平行层理、斜层理;剖面结构具下细上粗的逆粒序为特征。

远砂坝:是河流携带的细粒沉积物在三角洲前缘河口砂坝与浅海的过渡地带所形成的坝状沉积体,它位于三角洲前缘的最前端,岩性主要为中细粒不等粒砂岩、岩屑石英砂岩,其分选和磨圆均差,具平行层理。

水下分流间湾:是水下分流河道与海水相连接的低洼地区,岩性上为一套泥岩和粉砂质泥岩,发育微细水平层理。

3.1.2 前三三角洲亚相

位于三角洲前缘与浅海过渡带,总体上与浅海沉积很难区分;岩性主要为粉砂质泥岩、泥岩,有时含炭屑,发育水平层理;在相序上与席状砂或远砂坝密切共生。

3.1.3 粒度分析

不同的沉积环境由于搬运介质及水动力条件的差异,往往造成不同的粒度分布特征。现将色哇组粒度特征参数列于表 1,由表可以看出,色哇组粒度特征存在分选差-中等 ($1.226 < \sigma < 2.316$; $1.517 < S_o < 3.586$)、正偏-极正偏、中值粒径偏细 ($37.34 \mu m < Md < 148.67 \mu m$) 的特征,沉积物粒度跨度不大,并主要集中于粉砂-细砂部分,反映研究区处于三角洲前缘亚相和前三三角洲亚相的沉积特点。

3.1.3.1 概率累计曲线

概率累计曲线是 Visher^[11-12]通过研究现代和古代不同沉积环境的沉积物的搬运方式和粒度分布关系提出的,一般碎屑沉积物有悬浮、跳跃和滚动 3 种基本的搬运方式,基于不同的搬运方式的 3 种组分分别对应概率曲线图上的 3 个次总体。

研究区色哇组的概率累计曲线主要以跳跃和悬浮次总体为主(图 3), ϕ 值主要集中于 1~7,具斜率较缓的特点,从色哇组下部到上部,粒度呈现由细变

①吉林省地质调查院. 1:25 万昂达而错幅区域地质调查报告,2006.

表 1 羌资-2 井色哇组粒度分析参数特征

Table 1 Parameter characteristics of grain size measurement for Sewa Formation in Qiangzi Well-2

序号	样品 编号	岩石名称	粒 度 分 析 参 数 特 征					粒度分析判别函数特征	
			中值粒径 (M_d)/ μm	标准偏差 (σ)	偏 度 (S_k)	峰 度 (K_G)	分选系数 (S_o)	$Y_{\text{海滩与浅海}}$	$Y_{\text{浅滩与河流}}$
1	LD267-1	含粉砂不等粒砂岩	127.47	1.375	0.571	1.107	1.827	157.0500	-19.2673
2	LD269-1	粉砂砂岩	46.81	2.316	0.274	0.799	3.586	372.9332	-48.2785
3	LD270-1	含粉砂细砂岩	120.99	1.373	0.547	1.652	1.548	166.2377	-19.0773
4	LD271-1	粉砂质不等粒砂岩	77.67	1.657	0.534	1.076	2.070	211.2097	-26.5921
5	LD281-1	粉砂质不等粒砂岩	110.29	1.534	0.509	1.076	2.004	185.4773	-23.0222
6	LD282-1	粉砂质不等粒砂岩	82.19	1.609	0.590	1.172	1.917	203.7698	-25.4869
7	LD284-1	含粉砂细砂岩	107.37	1.409	0.609	1.294	1.720	167.1035	-20.2791
8	LD289-1	粉砂质不等粒砂岩	50.01	2.136	0.615	0.842	3.096	327.2968	-42.9239
9	LD290-1	粉砂质不等粒砂岩	62.20	2.019	0.614	0.969	2.577	297.8761	-38.6507
10	LD293-1	含粉砂不等粒砂岩	117.36	1.437	0.493	1.218	1.808	168.9894	-20.4104
11	LD294-1	粉砂质不等粒砂岩	96.80	1.609	0.486	1.098	1.990	200.7461	-24.9775
12	LD296-1	砂质粉砂岩	47.42	1.956	0.058	0.771	3.006	267.4581	-33.7500
13	LD301-1	砂质粉砂岩	38.90	1.880	0.312	0.940	2.513	255.8946	-32.4331
14	LD302-1	含粉砂质细砂岩	145.41	1.481	0.499	1.175	1.854	177.1779	-21.5587
15	LD311-1	含粉砂质细砂岩	72.43	1.852	0.560	1.703	1.678	268.1625	-32.6850
16	LD312-1	粉砂质不等粒砂岩	50.44	1.761	0.403	1.025	2.207	230.8255	-29.0754
17	LD314-1	粉砂质不等粒砂岩	47.60	1.526	0.563	1.247	1.769	187.0295	-23.0815
18	LD315-1	粉砂质不等粒砂岩	57.35	1.557	0.495	1.136	1.923	190.1768	-23.5886
19	LD317-1	砂质粉砂岩	37.34	2.120	0.321	0.987	2.695	319.9836	-40.8853
20	LD318-1	粉砂质不等粒砂岩	81.12	1.690	0.525	0.961	2.216	216.2304	-27.5203
21	LD318-2	粉砂质不等粒砂岩	57.75	1.843	0.388	0.888	2.466	247.5521	-31.5954
22	LD321-1	粉砂质不等粒砂岩	57.64	1.605	0.425	0.905	2.238	194.6125	-24.5867
23	LD322-1	粉砂质细砂岩	56.86	1.806	0.528	1.242	1.970	247.7521	-31.0809
24	LD322-2	含粉砂质细砂岩	61.64	1.962	0.591	1.395	1.891	290.4232	-36.5299
25	LD326-1	粉砂质不等粒砂岩	106.91	1.418	0.551	1.050	1.925	163.2029	-20.2301
26	LD327-1	粉砂质不等粒砂岩	92.87	1.628	0.527	0.977	2.145	203.2292	-25.7238
27	LD327-2	粉砂质不等粒砂岩	96.27	1.857	0.551	1.013	2.279	256.8233	-32.8299
28	LD333-1	含粉砂质细砂岩	148.67	1.226	0.580	1.382	1.555	137.1680	-15.8970
29	LD335-1	砂质粉砂岩	38.88	1.928	0.272	0.927	2.583	266.9400	-33.8393
30	LD337-1	粉砂质不等粒砂岩	89.58	1.362	0.369	1.091	1.838	150.1652	-17.9786
31	LD337-2	含粉砂质细砂岩	80.91	1.408	0.548	1.542	1.593	169.9888	-19.9515
32	LD337-3	含粉砂质细砂岩	111.79	1.273	0.567	1.629	1.517	148.6436	-16.8608
33	LD344-1	含粉砂质细砂岩	106.16	1.063	0.464	1.315	1.502	108.6459	-12.0761

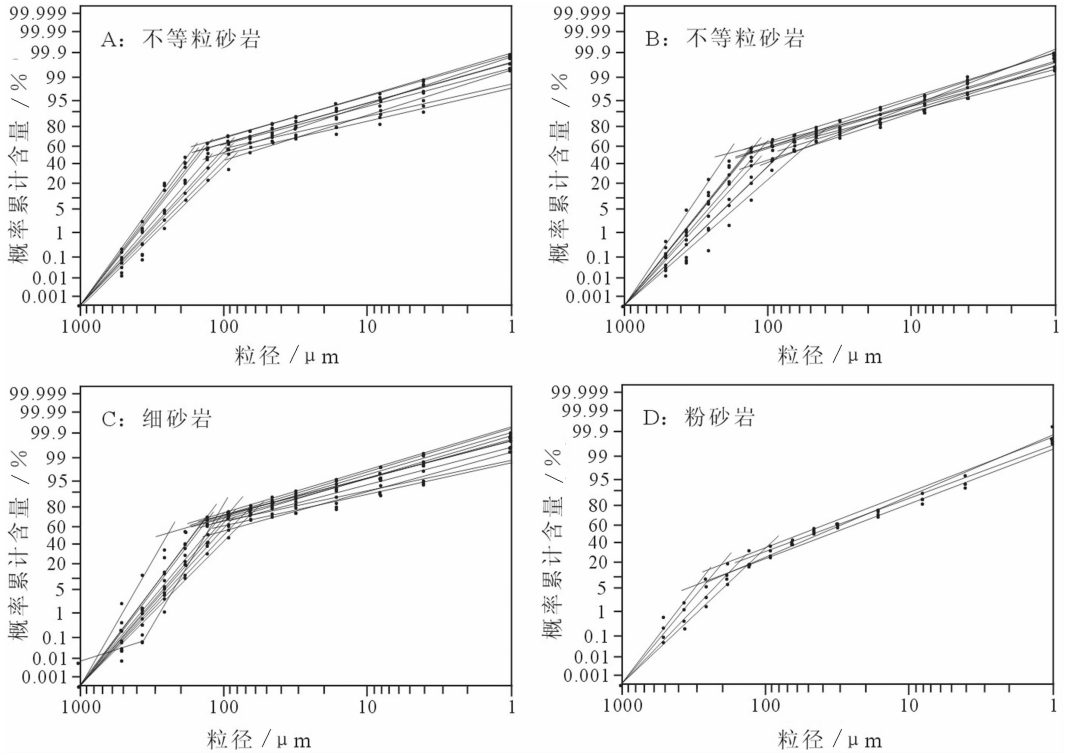


图3 羌资-2井色哇组粒度分析概率累计曲线图
 Fig.3 Cumulative curve diagram of arithmetic probability for grain size analysis in Sewa Formation of Qiangzi Well-2

粗的趋势,反映了由下往上水动力条件的逐渐增强,沉积环境由前三角洲亚相逐步向三角洲前缘亚相过渡的特点。

3.1.3.2 判别函数

根据 Sahu^[13]关于以粒度参数,应用线性多元判别分析,区分海滩与浅海、浅海与河流(三角洲)环境的两个判别函数,对色哇组碎屑岩进行了判别函数计算。这两个判别函数为:

$$(1) Y_{\text{海滩与浅海}} = 15.6534 M_d + 65.7091 \sigma_1^2 + 18.1071 S_K + 18.5043 K_G$$

$$(2) Y_{\text{浅滩与河流}} = 0.2825 M_d - 8.7604 \sigma_1^2 - 4.8932 S_K + 0.0482 K_G$$

对于判别函数 $Y_{\text{海滩与浅海}}$ 而言, $Y_{\text{海滩与浅海}} < 65.3650$ 为海滩, $Y_{\text{海滩与浅海}} > 65.3650$ 为浅海环境。而对于判别函数 $Y_{\text{浅滩与河流}}$ 而言, $Y_{\text{浅滩与河流}} > -7.4190$ 为浅滩, $Y_{\text{浅滩与河流}} < -7.4190$ 为河流或三角洲沉积。

计算结果表明(表1),色哇组碎屑岩的 $Y_{\text{海滩与浅海}}$ 值均大于 108.6459,代表动荡的浅海沉积环境;而 $Y_{\text{浅滩与河流}}$ 值均小于 -12.0761,为河流或三角洲沉积

环境。

3.1.3.3 粒度参数离散图

不同成因的砂岩具有不同的结构参数特征,通过粒度分析离散图可以直观地表示粒度分布的离散趋势,并进行砂岩沉积环境的对比。

将色哇组砂岩粒度数据投入 Friedman^[14-15]建立的标准偏差-偏度模式图中(图4)。图解表明,色哇组砂岩样品大都落入河砂分布区,具河流成因的显著特点。

3.1.3.4 C-M 图解

C-M 图解是 Passaga^[16]在研究密西西比河沉积物特征之后,提出的一种综合性成因图解(C是概率累积曲线1%处对应的 ϕ 值, M 是中值或平均粒径),并认为这两个值最能反映沉积物的沉积环境。对色哇组砂岩 C-M 图解分析表明(图5),其粒序主要分布于 QR 段和 RS 段,这与概率累计曲线完全吻合,其悬浮的沉积物按粒度大小和密度梯度成层分布,不是均匀的,在流动中由下而上粒度逐渐变细,密度逐渐变低。

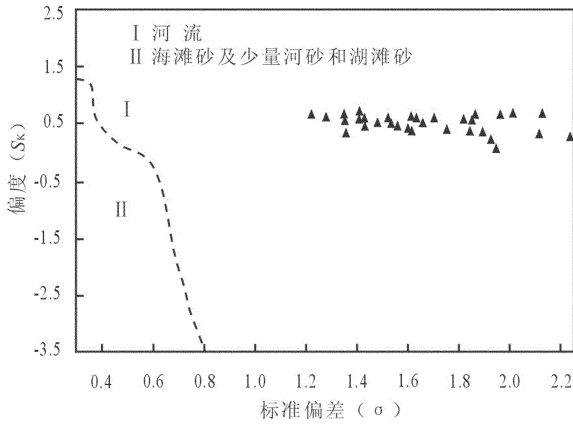


图 4 色哇组砂岩粒度参数模式图
(据 Friedman^[14-15], 1961, 1967)

Fig.4 Diagram of grain size parameters of sandstone in Sewa Formation (after Friedman, 1961, 1967)

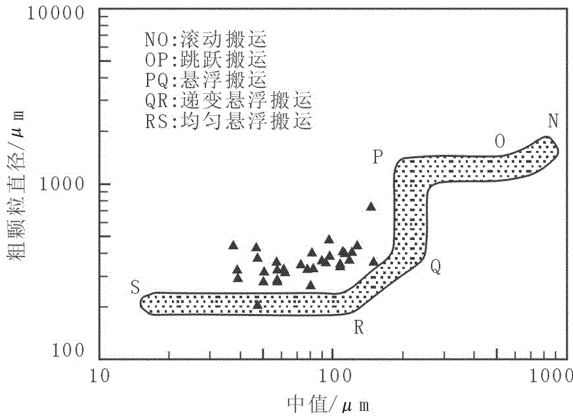


图 5 色哇组砂岩 C-M 图解
(据 Passega^[16], 1957)

Fig.5 C-M diagram of sandstone in Sewa Formation (after Passega, 1957)

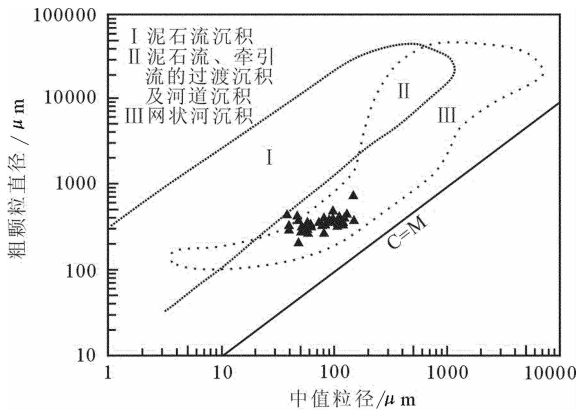


图 6 色哇组砂岩 C-M 图解
(据 Bull^[17], 1962)

Fig.6 C-M diagram of sandstone in Sewa Formation (after Bull, 1962)

Bull^[17]进一步深化了对 C-M 图解,并通过对几个冲积扇的研究,发现了牵引流、泥石流及二者之间的过渡类型。笔者将研究区色哇组砂岩粒度参数的 C-M 值投入其模式图中(图 6),样品均落入网状河(辫状河)沉积区域。

综上所述,笔者认为南羌塘坳陷色哇组沉积是伴随侏罗纪海盆的逐渐扩张,中央隆起露出水面,并提供物源形成的辫状河三角洲相沉积。

3.2 碳酸盐台地相沉积体系

布曲组广泛发育有各种颗粒灰岩、泥-微晶灰岩、白云质灰岩和白云岩等,根据 Wilson^[18]碳酸盐综合沉积模式,可进一步划分为台前缓坡亚相、开阔台地台亚相、局限台地亚相和陆地边缘滨海碎屑岩亚相(图 2)。

3.2.1 台前缓坡亚相

主要发育于井深 409.05~611.70 m,岩性为紫灰、深灰色薄-厚层状泥晶灰岩、含生屑粒屑泥晶灰岩、泥-微晶粉屑灰岩、泥-微晶骨屑砂屑灰岩、含粒屑云质灰岩、含云粒屑灰岩、白云质粒屑灰岩、含鲕粒砂屑灰岩、亮晶粒屑灰岩、含白云质亮晶鲕粒灰岩、亮晶鲕粒灰岩夹含粒屑含灰白云岩组成向上浅滩化的基本层序(图 2)。其中泥晶灰岩主要由泥晶方解石(92%~98%)组成,兼有少量泥质、生屑和陆源碎屑石英等,形成于水体平静的低能环境;泥-微晶灰岩主要由泥-微晶方解石(96%~97%)组成,兼有少量粉屑、骨屑、砂屑、泥质和陆源碎屑石英等,形成于水体较为平静的低能环境;亮晶粒屑灰岩主要由粒屑(60%~80%)组成,胶结物为具一、二世代特征的亮晶方解石和白云石(20%~40%);粒屑组分包括内碎屑(10%~70%)、生屑(10%~35%)和鲕粒(0%~10%),其分选差,形状不规则,大小悬殊,分布不均匀,鲕粒多为无圈层的低能鲕,形成于水体动力条件相对动荡的较高能环境;砂屑灰岩主要由砂屑(40%~82%)和粉屑(5%~33%)组成,并兼有少量的砾屑、鲕粒、骨屑等,基质为以泥-微晶方解石(5%~28%)为主,次为重结晶的方解石、白云石和铁泥质等,其颗粒大小悬殊,分布欠均匀,形成于水体动力条件相对动荡的较高能环境;亮晶鲕粒灰岩主要由 0.18~2.00mm 鲕粒(65%~88%)组成,并兼有少量内碎屑、砂屑和生屑等,胶结物为具一世代特征的泥-微晶方解石(10%~15%)和具二世代特征的亮晶方解石及白云石(14%~24%),鲕粒包括放射鲕、薄皮鲕、

生物核心鲕和复鲕等, 鲕粒大小不一 (0.20~2.00 mm), 但分布较均匀, 形成于水体动荡的较高能—高能环境。

上述特征总体反映了由碳酸盐台前缓坡低能环境向碳酸盐台前缓坡高能环境的浅滩化特征。

3.2.2 开阔台地亚相

布曲组碳酸盐开阔台地亚相具多样性的沉积特征, 根据水动力条件, 可进一步划分台地边缘浅滩和滩—滩间微相。

3.2.2.1 台地边缘浅滩(鲕粒滩)微相

主要发育于井深 263.10~278.31 m, 岩性为灰、深灰色薄—中厚层状亮晶鲕粒灰岩、亮晶含云质鲕粒灰岩。结构组分中鲕粒含量 65%~88%, 生屑含量 1%~7%, 亮晶方解石和亮晶白云石胶结物含量 12%~26%。鲕粒以放射鲕和薄皮鲕为主, 次为复鲕和生物核心鲕, 粒径 0.20~2.00 mm, 呈圆状、扁圆状和放射状产出; 胶结物为具一、二世代特征的亮晶方解石和亮晶白云石, 先后为弱的纤状栉壳和晶粒结构。形成于碳酸盐台地边缘水体动荡的高能环境。

3.2.2.2 台地边缘浅滩—滩间微相

主要发育于井深 278.31~379.90 m, 岩性为紫灰、深灰色夹紫红色薄—厚层状泥晶灰岩、微晶含云粉屑砂屑灰岩、亮晶含云鲕粒灰岩、亮晶鲕粒灰岩与粉—微晶白云岩、微晶砂屑白云岩、残余砂屑骨屑微—中晶白云岩、亮晶含灰鲕粒白云岩、亮晶鲕粒白云岩组成向上浅滩化的基本层序(图 2)。其中泥晶灰岩主要由泥晶方解石(90%~98%)组成, 兼有少量泥质、生屑和陆源碎屑石英, 形成于水体平静的低能环境; 砂屑灰岩主要由砂屑(50%~82%)和粉屑(5%~15%)组成, 并兼有少量的砾屑、鲕粒、生屑(包括介形虫、瓣鳃、腹足、海百合茎和有孔虫等)等, 基质为以泥—微晶方解石(5%~36%)为主, 次为重结晶的方解石、白云石和铁泥质等, 其颗粒大小不一, 分布欠均匀, 形成于水体动力条件相对动荡的较高能环境; 亮晶鲕粒灰岩主要由 0.16~2.00 mm 鲕粒 (65%~88%)组成, 并兼有少量内碎屑、砂屑和生屑等, 胶结物为具一世代特征的泥—微晶方解石(10%~15%)和具二世代特征的亮晶方解石及白云石 (14%~24%), 鲕粒包括放射鲕、薄皮鲕、生物核心鲕和复鲕等, 鲕粒大小不一(0.16~2.00 mm), 但分布较均匀, 形成于水体动荡的较高能—高能环境; 粉—微晶白云岩主要由泥—粉晶白云石(86%~98%)组成, 并兼有少量的

粉屑、砂屑、骨屑和泥质等, 岩石发生了强烈的白云石化作用, 形成于水体平静的低能环境; 砂屑白云岩主要由砂屑(55%~89%)组成, 并兼有少量的砾屑、粉屑和生屑, 基质以泥—粉晶白云石(10%~40%)为主, 其颗粒大小不一, 呈圆状—次棱角状, 由于强烈的白云岩化作用, 致使大部分砂屑轮廓不清, 被自形—半自形的粉晶白云石取代, 而呈残余状产出, 形成于水体动力条件相对动荡的较高能环境; 亮晶鲕粒白云岩主要由 0.19~0.40 mm 的鲕粒(65%~85%)组成, 并兼有少量的砂屑、生屑等, 基质为粉晶白云石(5%~15%), 其颗粒大小不一、分布欠均匀, 由于强烈的白云石化作用, 致使原结构基本消失而成残余状, 形成于水体动荡的较高能—高能环境。

上述特征总体反映了由碳酸盐台地边缘滩间低能环境向碳酸盐台地边缘浅滩高能环境的浅滩化特征。由于水体变浅, 水动力较强, 加上风浪、风暴的筛选作用, 造成了各种颗粒灰岩的相对集中, 并在纵向上形成泥—微晶灰岩与颗粒灰岩的多次交替, 同时也反映了相对海平面的多次振荡作用。

3.2.3 局限台地亚相

布曲组碳酸盐局限台地亚相主要发育于井深为 5.85~263.10 m, 岩性为紫灰、灰、深灰色薄—厚层状泥晶灰岩、含泥泥晶灰岩、含生屑泥晶灰岩、含骨屑砂屑泥晶灰岩、泥—微晶团粒灰岩、微—中晶灰岩夹泥—微晶白云岩、灰质白云岩、团粒白云岩组成向上浅滩化的基本层序(图 2)。其中泥晶灰岩主要由泥晶方解石(90%~98%)组成, 兼有少量泥质、生屑和陆源碎屑石英, 形成于水体平静的低能环境; 团粒灰岩主要由 0.02~0.10 mm 的泥晶方解石团粒 (78%~94%)组成, 并兼有少量的生屑、泥质和陆源碎屑, 基质为泥—微晶方解石(4%~20%), 形成于水动力条件较弱的低能环境; 泥—微晶白云岩主要由泥—微晶白云石(86%~96%)组成, 并兼有少量的粉屑、砂屑、骨屑和泥质等, 岩石发生了强烈的白云石化作用, 形成于水体平静的低能环境; 团粒白云岩主要由 0.03~0.08 mm 的团粒(94%~95%)组成, 并兼有少量的生屑, 基质为泥—微晶白云石(4%~5%), 其团粒(呈圆状、成分为泥晶白云石)大小和分布较为均匀, 岩石发生了强烈的白云石化作用, 形成于水体动力条件较弱的低能环境。

上述特征总体反映了由碳酸盐局限台地滩间低能环境向滩间较高能环境的浅滩化特征。由于水体

逐渐变浅,水动力相对增强,并伴有一定程度的风浪作用,形成局部的生屑砂屑堆积,并在纵向上形成泥晶灰岩与生屑、砂屑灰岩的多次交替,同时也反映了相对海平面的多次低频振荡。

3.2.4 陆地边缘滨海碎屑岩亚相

布曲组陆地边缘滨海碎屑岩亚相发育于井深379.90~409.05 m,岩性为灰、深灰色夹紫红色薄—厚层状岩屑石英砂岩、钙云质砂岩、白云质粗粉砂岩、含砂含钙质泥岩组成向上变细的基本层序(图2)。砂岩成分成熟度和结构成熟度差—中等,层内见平行层理和斜层理,以上特征反映出沉积时处于水动力条件体相对较弱的滨海环境,但常受到风暴、潮汐的作用和影响。

4 岩相古地理特征

区域地质研究表明^①,南羌塘盆地在晚三叠世早期处于活动边缘盆地演化阶段,沉积了一套三角洲相碎屑岩夹煤层的土门格拉组,向东相变为日干配组台缘浅滩相碳酸盐岩沉积和肖茶卡组深水盆地相硅质岩、泥岩沉积。晚三叠世末—早侏罗世,伴随班公错—怒江洋盆的初始扩张,南羌塘盆地在拉伸减薄作用下继续下沉,海水由南而北浸漫,进入被动大陆边缘演化阶段,从而形成羌塘盆地内部真正意义上“一隆两坳”的构造格局;靠近班公错—怒江缝合缝合带沉积了一套三角洲相碎屑岩夹灰岩的的曲色组。

阿林期—巴柔期,南羌塘盆地在拉张作用下快速下沉,陆源剥蚀区缩小,盆地范围明显扩大,使盆地内沉积物带有明显的海相色彩,沉积了一套三角洲相碎屑岩进积序列的色哇组。

巴通期,南羌塘盆地在经历了前期的快速沉积充填作用以后,盆地地形大为变缓;伴随班公错—怒江洋盆的进一步扩张,盆地整体下沉,过渡为相对稳定的坳陷盆地发展阶段,并产生了区内侏罗纪最大的海侵事件,前期大部分物源区被海水淹没,陆源碎屑供应急剧减少,沉积了以富含鲕粒、砂砾屑和生屑等颗粒灰岩为特征的大套碳酸盐台地相的布曲组,盆地充填模式主要表现为台前缓坡(局部夹陆地边缘滨海碎屑岩亚相)→开阔台地→局限台地演化的向上浅滩化沉积序列。

从中侏罗世阿林期至巴通期,整个南羌塘盆地经历了一次完整的海侵—海退沉积旋回。中侏罗世夏里组为三角洲相碎屑岩沉积;晚侏罗世索瓦组为开阔台地相的碳酸盐岩沉积,随后海水变浅,且逐渐退出;晚侏罗世晚期,南羌塘盆地隆升成为剥蚀区。

5 结论与认识

(1)中侏罗世阿林期—巴柔期,南羌塘盆地处于被动大陆边缘演化阶段,沉积了一套向上变粗变浅的三角洲相碎屑岩进积序列的色哇组。粒度分析概率累计曲线主要以跳跃和悬浮次总体为主,具斜率较缓的特点,从色哇组下部到上部,粒度呈现由细变粗的趋势,反映了由下往上水动力条件的逐渐增强,沉积环境由前三三角洲亚相逐步向三角洲前缘亚相过渡的特点;C-M图反映了辫状河三角洲沉积特点,粒度主要由QR段和RS段组成,这种粒度特征反映主要以递变悬浮搬运和均匀悬浮搬运方式为主,这与概率累计曲线完全吻合。孢粉分析揭示了热带—亚热带干热气候特征。

(2)中侏罗世巴通期,盆地过渡为相对稳定的坳陷盆地发展阶段,沉积了以富含鲕粒、砂砾屑和生屑等颗粒灰岩为特征的碳酸盐台地浅滩化沉积序列的布曲组。

(3)从中侏罗世阿林期至巴通期,整个南羌塘盆地经历了一次完整的海侵—海退沉积旋回,从下至上依次出现前三三角洲亚相→三角洲前缘亚相→台前缓坡亚相→开阔台地亚相→局限台地亚相的沉积序列。

参考文献(References):

- [1] 黄汲清,陈炳蔚. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京:地质出版社,1987:36-47.
Huang Jiqing, Chen Bingwei. The Evolution of Tethys in China and Adjacent Regions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987:36-47 (in Chinese with English abstract).
- [2] Wang Chengshan, Chang E Z, Zhang Shaonan. Potential oil and gas bearing basins on the Qinghai-Tibet Plateau of China [J]. International Geological Review, 1997, 39(10): 876-890.
- [3] 王成善,伊海生,李勇,等. 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,2001:184-215.
Wang Chengshan, Yi Haisheng, Li Yong, et al. Geological Evolution and Oil-gas Prospect Evaluation of Qiang-tang Basin in Tibet [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001:184-215 (in

① 成都地质矿产研究所. 青藏高原石油地质走廊大剖面综合调查报告, 2005.

- Chinese with English abstract).
- [4] 和钟铎, 李才, 杨的明, 等. 西藏羌塘盆地的构造沉积特征及演化[J]. 长春科技大学学报, 2000, 30(4):347-352.
He Zhonghua, Li Cai, Yang Deming, et al. The tectonic-sedimentary feature and evolution of Qiangtang basin in Northern Tibet[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 2000, 30(4): 347-352 (in Chinese with English abstract).
- [5] 王剑, 谭富文, 李亚林, 等. 青藏高原重点沉积盆地油气资源潜力分析[M]. 北京: 地质出版社, 2004:1-88.
Wang Jian, Tan Fuwen, Li Yalin, et al. The Potential of the Oil and Gas Resources in Major Sedimentary Basins on the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004:1-88 (in Chinese with English abstract).
- [6] 罗金海, 李继亮, 车自成. 中亚及中国西部侏罗纪沉积盆地的构造特征[J]. 地质科学, 2000, 35(4):404-413.
Luo Jinhai, Li Jiliang, Che Zicheng. Structural features of the Jurassic basins in Western China and Middle Asia [J]. Scientia Geologic Sinica, 2000, 35 (4):404-413 (in Chinese with English abstract).
- [7] 李勇, 王成善, 伊海生, 等. 青藏高原中侏罗世——早白垩世羌塘复合型前陆盆地充填模式[J]. 沉积学报, 2001, 19(1):20-27.
Li Yong, Wang Chengshan, Yi Haisheng, et al. Filling models in the Qiangtang composite foreland basin in Qinghai-xizang plateau, China [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19 (1):20-27 (in Chinese with English abstract).
- [8] 王剑, 谭富文, 王小龙, 等. 藏北羌塘盆地早侏罗世-中侏罗世早期沉积构造特征[J]. 沉积学报, 2004, 22 (2):982-208.
Wang Jian, Tan Fuwen, Wang Xiaolong, et al. The sedimentary and tectonic characteristics of Qiangtang basin in the early Jurassic in northern Xizang (Tibet)[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2004, 22 (2): 982-208 (in Chinese with English abstract).
- [9] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区岩石地层[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1997, 195-197.
Bureau of Geology and Mineral Resources of Xizang Region. Stratigraphy of Xizang Autonomous Region [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1997, 195-197 (in Chinese with English abstract).
- [10] 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原地层[M]. 北京: 科学出版社, 2001:125-128.
Zhao Zhengzhang, Li Yongtie, Ye Hefei, et al. Sedimentary Strata in Qinghai-Xizang Plateau, China [M]. Beijing: Science Press, 2001:125-128 (in Chinese with English abstract).
- [11] Visher G S. Fluvial processes as interpreted from ancient and recent fluvial deposits[C]//Middleton, C V(ed.). Primary Sedimentary and Their Hydrodynamic Interpretation, Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists Spec. Publ., 1965, 12:116-132.
- [12] Visher G S. Grain size distributions and depositional processes [J]. J. Sedim. Petro., 1969, 39:1074-1106.
- [13] Sahu B k. Depositional mechanisms from the size analysis of clastic sediments[J]. J. Sedim. Petro., 1964, 34:73-83.
- [14] Friedman G M. Distinction between dune beach and river sands from their textural characteristics [J]. J. Sedim. Petro., 1961, 31: 514-529.
- [15] Friedman G M. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands[J]. J. Sedim. Petro., 1967, 37:327-354.
- [16] Passega R. Texture as characteristic of clastic deposition [J]. Bull. AAPG., 1957, 41:1952-1984.
- [17] Bull W B. Relation of textural (C-M) patterns to depositional environment of alluvial-fan deposits[J]. J. Sedim. Petro., 1962, 32: 211-216.
- [18] Wilson J L. Carbonate Facies in Geological History[M]. New York, Springer Verlag, 1975:471.

Sedimentary characteristics of Middle Jurassic Sewa and Buqu Formations from Qiangzi Well-2, southern Qiangtang basin, Tibet

DUAN Zhi-ming¹, ZHONG Cheng-quan², ZHU Hua-ping¹,
CHENG Jiang¹, LI Zhong-xiong¹, WANG Zheng-jiang¹

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, Sichuan, China;

2. West Sichuan Institute of Engineering Geology and Reconnaissance, Chengdu 611730, Sichuan, China)

Abstract: Based on core logging and sample analysis of Qiangzi Well-2 petroleum shallow drilling hole in southern Qiangtang basin, the authors hold that the southern Qiangtang basin was in the evolution stage of passive margins in Middle Jurassic Bajocian and Aalenian period, and formed an upward coarsening and shoaling delta facies prograding sequence of Sewa Formation. On the cumulative curve in the grain size arithmetic probability graph, characteristics of saltation mass and suspension are obvious. The C-M diagram of grain sizes is characterized by typical braided river delta deposition. Pollen analysis also indicates a dry and hot climate of tropical and subtropical zones. In Middle Jurassic Bajocian period, the basin developed a comparatively stable stage of depression basin and formed carbonate platform shoaling sedimentary sequence of Buqu Formation, comprising mainly abundant oolitic, rudaceous and bioclastic limestone. The entire southern Qiangtang basin developed a regular transgressive-regressive cyclic succession from Aalenian period to Bajocian period in Middle Jurassic, forming in upward succession delta subfacies, delta frontal subfacies, platform-frontal slope subfacies, open platform subfacies and limited platform subfacies.

Key words: southern Qiangtang basin; Qiangzi Well-2; Middle Jurassic; sedimentary characteristics; grain size analysis

About the first author: DUAN Zhi-ming, male, born in 1963, doctor and senior engineer, mainly engages in research on regional geology and Quaternary geology; E-mail: duanzm2003@163.com.