

羌塘盆地中生代岩相古地理研究新进展

沈安江^{1,2,3}, 熊绍云^{1,2,3}, 胡安平^{1,2,3}, 张建勇^{1,2,3}, 许强⁴, 付小东^{1,2,3},
潘立银^{1,2,3}, 王鑫^{1,2,3}, 刘思琪^{1,2,3}, 李茜^{1,2,3}, 段军茂^{1,2,3}1 中国石油集团碳酸盐岩储层重点实验室; 2 国家能源碳酸盐岩油气重点实验室;
3 中国石油杭州地质研究院; 4 西南石油大学

摘要 由于资料的欠缺和分布的不均衡,羌塘盆地构造-岩相古地理研究程度总体不高,不能为烃源岩和储层的分布预测提供依据。基于盆地属性、沉积体系及组合-耦合关系的研究,解决了资料丰富区域沉积相解释的多解性、资料缺少区域沉积相预测缺乏沉积模式指导的问题,取得以下3方面的成果和认识:①系统梳理了可可西里—金沙江洋、班公湖—怒江洋、龙木错—双湖洋的闭合史,明确了羌塘盆地属性,指出北羌塘地块在晚三叠世—早白垩世经历了复合前陆盆地、陆内弱挤压残留海盆地、褶皱—冲断快速抬升剥蚀3个构造演化阶段,南羌塘地块在晚三叠世—早白垩世经历了被动陆缘、活动陆缘、褶皱—冲断快速抬升剥蚀3个构造演化阶段,明确了8个关键沉积时期的盆地属性。②基于盆地属性、沉积体系及组合-耦合关系,系统恢复了羌塘盆地晚三叠世—早白垩世10个关键地质时期的构造-岩相古地理背景,揭示了构造对沉积的控制作用,提高了资料缺少区域沉积相预测的准确度。③明确了烃源岩和储层发育的构造-岩相古地理背景,认为上三叠统波里拉组—巴贡组烃源岩的分布受控于前陆坳陷、被动陆缘深水陆棚等构造单元,下侏罗统曲色组烃源岩的分布受控于弧后伸展盆地、陆内弱挤压残留海盆地等构造单元,中侏罗统布曲组白云岩储层分布于台缘带。上述成果将为羌塘盆地油气资源潜力的认识和评价提供依据。

关键词 盆地属性; 岩相古地理; 沉积体系; 生储盖组合; 晚三叠世—早白垩世; 羌塘盆地

中图分类号: TE121.3 **文献标识码**: A

引用: 沈安江,熊绍云,胡安平,等. 羌塘盆地中生代岩相古地理研究新进展[J]. 海相油气地质, 2024, 29(1): 30-44.

SHEN Anjiang, XIONG Shaoyun, Hu Anping, et al. New progress in the study of Mesozoic lithofacies and paleogeography in Qiangtang Basin [J]. Marine origin petroleum geology, 2024, 29(1): 30-44.

0 前言

羌塘盆地与中东油气富集区同属特提斯构造域,是我国面积最大的中生界海相沉积盆地,勘探前景被寄予厚望。羌塘盆地经历60多年的勘探,未取得突破,岩相古地理认识程度偏低是重要的制约因素之一。

前人对羌塘盆地中生界海相层系岩相古地理的研究主要包括3个层次:①局部地区单一层系或多个层系的岩相古地理研究^[1-5]——编制了巴青地区上三叠统巴贡组、扎仁地区中侏罗统布曲组、隆鄂尼—鄂斯玛地区中侏罗统布曲组、盆地东部中生界等层系的岩相古地理图。②全盆地单一层系的

古地理研究^[6-12]——编制了上三叠统肖茶卡组,中下侏罗统雀莫错组,中侏罗统布曲组、夏里组,上侏罗统索瓦组的岩相古地理图。③以赵政璋等^[13]、丁俊等^[14]和王剑等^[10]为代表的全盆地中生界海相层系岩相古地理系统研究——编制了晚三叠世3个时期、侏罗纪4个时期、晚侏罗世末—早白垩世的岩相古地理图。上述岩相古地理研究及编图缺少对各沉积期原型盆地的恢复,无法建立合理的沉积体系发育模式,加上各编图单元资料较少且分布不均、钻井和露头顶底出露不全、全盆地地层划分与对比困难等问题,导致资料丰富区域的沉积相很难向资料缺少区域准确拓展,降低了沉积相平面展布预测的准确度,制约了生储盖的分布预测。

收稿日期: 2024-01-22; 改回日期: 2024-03-04

本文受中国石油“十四五”前瞻性基础性重大科技项目“羌塘盆地油气地质综合研究与勘探关键技术攻关”(编号:2021DJ08)和国家自然科学基金专项项目“羌塘盆地晚三叠世多种重大地质事件协同变化与烃源岩形成”(编号:42241203)资助

第一作者: 沈安江,博士,教授级高级工程师,博士生导师,长期从事海相碳酸盐岩沉积储层和油气成藏研究。通信地址:310023 浙江省杭州市西湖区西溪路920号; E-mail: shenaj_hz@petrochina.com.cn

通信作者: 熊绍云,硕士,高级工程师,长期从事沉积储层研究。通信地址:310023 浙江省杭州市西湖区西溪路920号; E-mail: xiongshy_hz@petrochina.com.cn

本文以中国石油“十四五”前瞻性基础性重大科技项目为依托,开展羌塘盆地中生界海相层系新一轮岩相古地理恢复与重建,旨在提高岩相古地理认识与编图的精度。本次研究的特点主要体现在以下3个方面:①现有资料尤其是新增资料的充分利用,包括567个露头剖面、42口井、区域地质调查报告、内部科研报告、公开发表的论文和专著,同时对重新处理的长度1 307 km的地震剖面开展地层追踪,进行精细地层划分与对比,建立盆地级等时地层格架。②以各沉积期原型盆地类型与沉积体系的耦合关系为指导思想开展岩相古地理研究和

编图,尤其是不同大地构造背景下沉积体系及组合发育模式的应用,提高了资料缺少区域的沉积相预测精度。③突出沉积体系与生储盖发育耦合关系的研究,凸显了岩相古地理研究的油气地质意义。

1 区域地层特征

羌塘盆地主体位于羌塘—昌都地块上,北界为可可西里—金沙江缝合带,南界为班公湖—怒江缝合带,中间发育龙木错—双湖缝合带^[15],由南羌塘坳陷、中央隆起及北羌塘坳陷3个二级构造单元构成^[16-20](图1),面积约为 $20 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

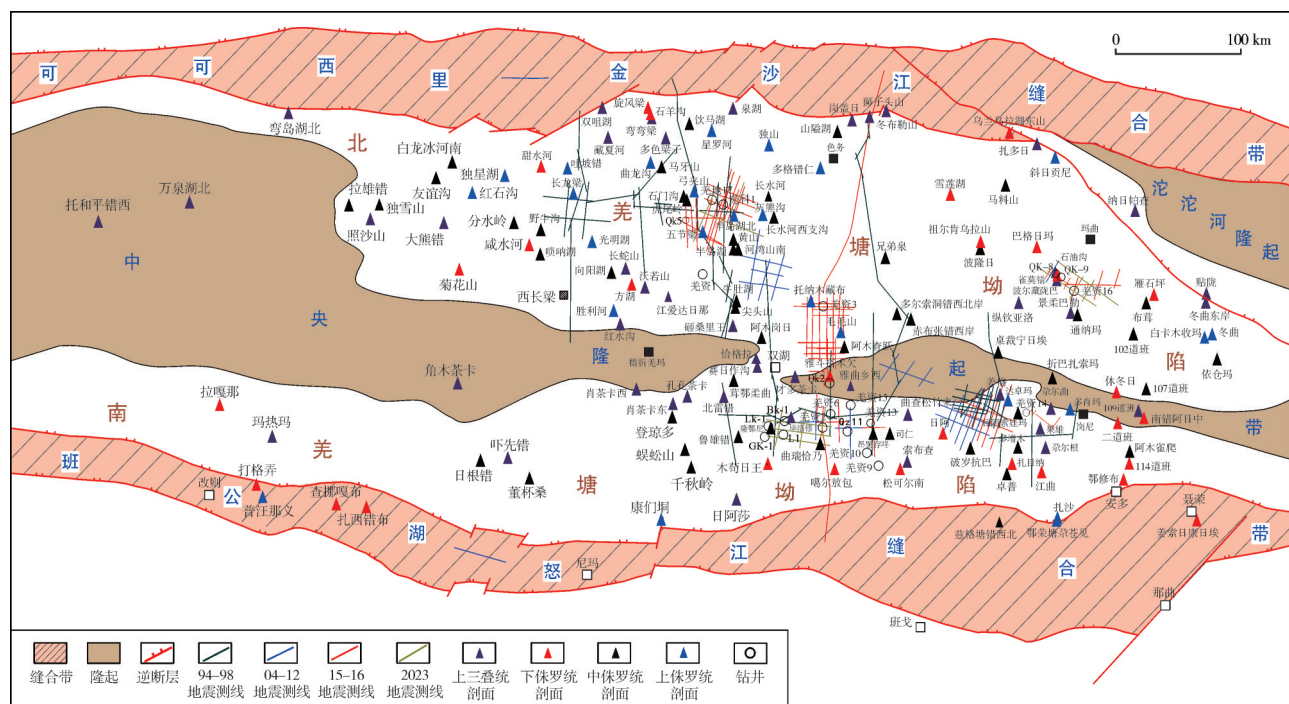


图1 羌塘盆地构造区划及资料点分布图

Fig. 1 Tectonic zone and distribution of data points of the Qiangtang Basin

南、北羌塘坳陷晚三叠世—早白垩世地层序列和特征差异明显^[21](表1),主要表现在以下4个方面:

(1)北羌塘坳陷发育中下三叠统,与下伏上二叠统呈角度不整合接触,与可可西里—金沙江洋在 T_1/P_3 之交开始关闭有关;而南羌塘坳陷缺失中下三叠统,上三叠统与下伏上二叠统呈角度不整合接触,地层缺失应该与班公湖—怒江洋在 T_3/T_2 之交开始拉张有关。

(2)北羌塘坳陷上三叠统肖茶卡组(藏夏河组)与南羌塘坳陷上三叠统日干配错组(土门格拉组)沉积特征相似,均为砂砾岩与石灰岩沉积,均具三

分性。只是南羌塘坳陷的石灰岩位于地层的中部,反映海水由南向北侵入;同时,北羌塘坳陷在肖茶卡组顶部还出现一套与巴贡组同期异相的那底岗日组沉凝灰岩、玄武岩、安山岩,与可可西里—金沙江洋、龙木错—双湖洋在 T_3 末期的彻底关闭有关。

(3)北羌塘坳陷雀莫错组与南羌塘坳陷曲色组+色哇组层位相当,均为早侏罗世(部分为中侏罗世早期)地层,沉积特征相似,主体为一套含钙质砂泥岩夹灰黑色生物碎屑灰岩和膏盐岩,但北羌塘坳陷的砂/地值明显高于南羌塘坳陷。

表1 南、北羌塘坳陷中生代海相层系地层特征与序列
Table 1 Stratigraphic characteristics and sequence of Mesozoic marine strata in the South and North Qiangtang Depression

地 层		北 羌 塘 坳 陷				南 羌 塘 坳 陷					
系	统	地层单元(组)		岩 性 特 征		地层单元(组/段)		岩 性 特 征			
白垩系	上统	阿布山组		砾岩、砂砾岩、砂岩、泥岩		阿布山组		灰黄色砾岩、砂砾岩、粗砂岩			
	下统	雪山组 (白龙冰河组)		砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩、 灰岩、泥灰岩、鲕粒灰岩		地层缺失,与索瓦组呈角度不整合接触					
侏罗系	上统	索 瓦 组		泥晶灰岩、泥灰岩、介壳灰岩 夹泥岩和石膏层		索 瓦 组		下部深灰色泥晶灰岩、泥灰岩,上部灰绿色 泥岩夹粉细砂岩			
	中统	夏 里 组		下部泥灰岩、粉砂质泥岩夹石膏, 上部含砾砂岩、砂岩、粉砂岩		夏 里 组		深灰黑色泥岩、粉砂质泥岩, 夹中细砂岩条带			
		布 曲 组		泥晶灰岩、泥灰岩、介壳(鲕粒)灰岩 夹泥岩和石膏层		布 曲 组		灰黑色泥晶灰岩、泥灰岩、泥岩 夹介壳、砂屑鲕粒灰岩			
	中下统	雀莫错组		砾岩、砂砾岩、砂岩夹灰黑色泥岩、 介壳灰岩、膏岩层		色 哇 组		灰黑色钙质页岩、粉砂质页岩 夹泥灰岩、粉细砂岩条带			
						曲 色 组		灰黑色钙质页岩、泥页岩夹粉砂质泥岩、 泥灰岩、粉砂岩			
三叠系	上统	藏夏河组	肖茶卡组	那底岗日组/ 巴贡组	灰黑色泥页岩、粉砂质泥页岩 夹粉细砂岩/凝灰岩,安山岩、 玄武岩、英安岩夹砂岩		日干配错组	土门格拉组	索布查组	上段	西部深灰色砂岩、粉砂岩、凝灰质泥岩, 东部砂砾岩夹碳质泥岩和煤线
				中段					生物碎屑灰岩、鲕粒灰岩、泥灰岩, 底部凝灰质泥岩		
				波里拉组					藻纹层灰岩、生物碎屑灰岩、泥灰岩 夹泥页岩及粉细砂岩	下段	灰色复成分砂砾岩、玄武岩、安山岩夹石灰岩
				甲丕拉组					砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉细砂岩及泥岩		
		中统	康南组		下部泥晶灰岩、泥灰岩夹泥岩, 上部泥岩和(粉)砂岩		地层缺失,与上二叠统吉普日阿组呈角度不整合接触				

(4)南、北羌塘坳陷中上侏罗统布曲组—夏里组—索瓦组沉积特征基本趋同,主体为碳酸盐岩夹砂泥岩或呈互层,但在北羌塘坳陷发育膏岩夹层,反映了中晚侏罗世沉积环境为向南开口的广海。南羌塘坳陷索瓦组海相碳酸盐岩被上白垩统阿布山组陆相碎屑岩直接覆盖,缺失下白垩统陆相碎屑岩或残留海盆碳酸盐沉积,应该与晚侏罗世—早白垩世班公湖—怒江洋的关闭有关;北羌塘坳陷索瓦组海相碳酸盐岩主体被下白垩统雪山组陆相碎屑岩覆盖,局部为泥晶灰岩、鲕粒灰岩(白龙冰河组)覆盖,反映早白垩世仍有残留海盆的存在。

2 构造-沉积背景

晚三叠世前,龙木错—双湖洋向北俯冲消减,可可西里—金沙江洋向南俯冲消减,古特提斯洋消亡^[22-23],南北羌塘拼合。北羌塘受可可西里—金沙江洋、龙木错—双湖洋双向俯冲控制,南北两侧发

育岩浆弧^[24-26],主体为复合弧背前陆盆地,南羌塘为稳定的被动陆缘^[27],自此开启了南北羌塘统一演化阶段。本文在系统梳理可可西里—金沙江洋、龙木错—双湖洋以及班公湖—怒江洋中生代演化史的基础上(图2),编制了甲丕拉组—波里拉组、巴贡组、雀莫错组(曲色组—色哇组)、布曲组、夏里组、索瓦组、雪山组沉积期盆地属性图(图3),为羌塘盆地中生代岩相古地理重建与恢复提供了支撑。

晚三叠世早期(240~220 Ma)为碰撞期,金沙江洋和龙木错—双湖洋近乎同时发生闭合,古特提斯洋消亡^[28-29],统一的羌塘盆地与昆仑—柴达木地块发生碰撞拼贴。北羌塘南北两侧岩浆岛弧转变为褶皱冲断带,控制隆坳相间的复合弧背前陆盆地系统持续发育,南羌塘北缘发育周缘前陆盆地,南侧以被动陆缘与班公湖—怒江洋相接(图2a,图3a)。此时,龙木错—双湖构造带表现为东高西低的不连续古陆,与龙木错—双湖洋的俯冲消减方向和软碰撞有关^[30-31]。

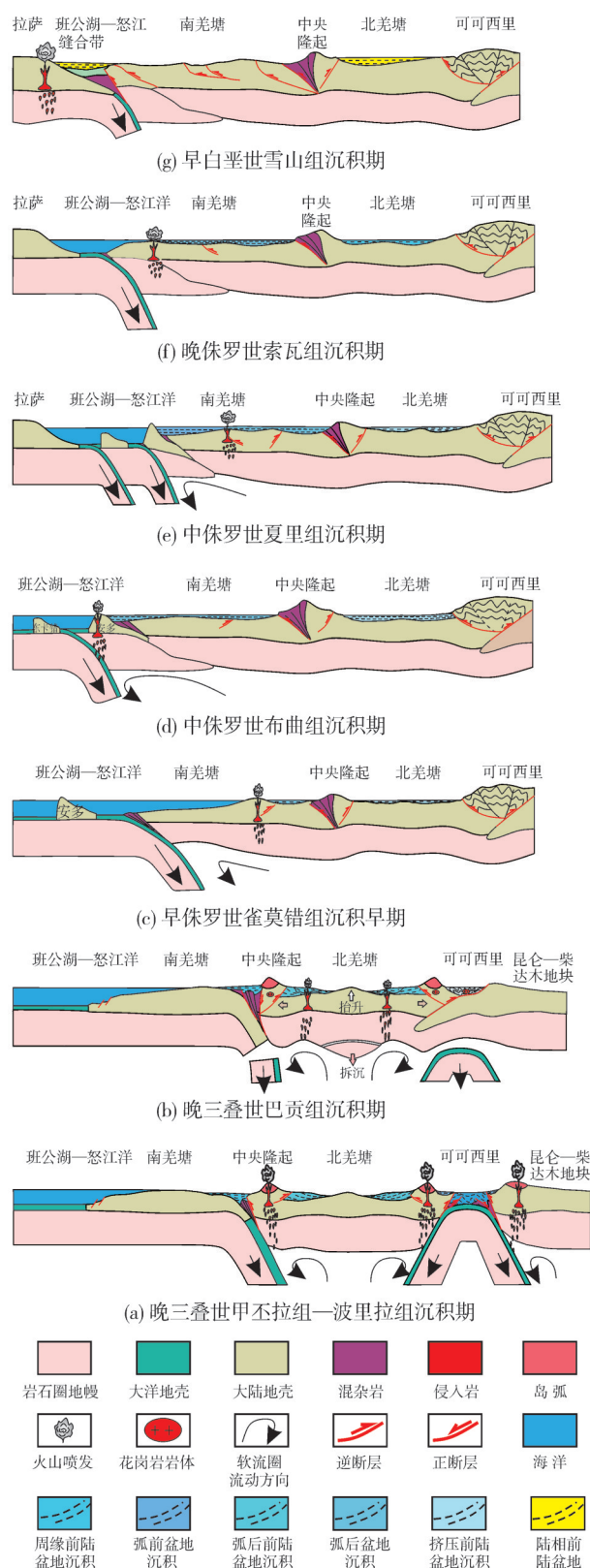


图2 羌塘盆地可可西里—金沙江洋、龙木错—双湖洋及班公湖—怒江洋开启—闭合史

Fig. 2 The opening and closing history of the Hoh Xil-Jinsha River Ocean, Longmu Co-Shuanghu Ocean and Bangong Lake-Nujiang Ocean in Qiangtang Basin

晚三叠世晚期(220~205 Ma)为后碰撞期,北羌塘深部俯冲大洋残片断离导致岩石圈拉张,南北两侧发育近东西向平行展布的那底岗日组火山岩带^[32-34]。北羌塘转变为陆内前陆盆地并伴随局部伸展;南羌塘持续发育周缘前陆盆地(图2b,图3b),向南以被动陆缘连接班公湖—怒江洋^[35]。此时,龙木错—双湖构造带持续抬升,古陆范围变大^[36]。

晚三叠世末—早侏罗世(205~190 Ma)为构造体系转换期,班公湖—怒江洋开始向北俯冲。南羌塘从被动陆缘转变为活动陆缘,自南向北发育沟—弧—盆体系^[37-38],靠近龙木错—双湖构造带南侧发育弧后伸展盆地;北羌塘北侧受可可西里造山带挤压影响,形成陆内弱挤压前陆盆地^[39](图2c,图3c)。此时,龙木错—双湖构造带持续抬升,西部演化为古陆,东部为断续古陆,晚期发生沉降,演变为水下隆起^[39]。

中侏罗世早期(190~180 Ma)安多分支洋盆消减,安多微陆块发生拼合^[35]。南羌塘岩浆岛弧向北迁移,并持续发育沟—弧—盆体系,弧后伸展盆地转变为弧前挤压盆地^[37-38],北羌塘主体为陆内弱挤压前陆盆地(图2d,图3d)。此时,龙木错—双湖构造带表现为不连续古陆^[40-41]。

中侏罗世晚期(180~160 Ma)那曲分支洋盆消减,东卡错微陆块发生拼合^[37]。南羌塘岩浆岛弧继续向北迁移,整体发生抬升,继续发育弧前挤压盆地^[41-42];北羌塘主体仍为陆内弱挤压前陆盆地(图2e,图3e)。

晚侏罗世—早白垩世初(160~140 Ma),班公湖—怒江主洋盆消减,拉萨地块和羌塘地块发生碰撞,全面隆升进入陆内隆升剥蚀阶段^[40](图2f,图3f)。北羌塘地块发育前陆褶皱冲断带和前陆盆地,南羌塘地块发育弧后前陆盆地和弧前盆地系统^[38]。

早白垩世(140~110 Ma)北拉洋俯冲消减,拉萨地块与羌塘地块完成拼合^[38],羌塘陆块发育向南的褶皱—冲断带和山间盆地,快速抬升剥蚀,抬升速率为10~20 m/Ma^[17](图2g,图3g)。

3 沉积体系与组合

沉积体系是指沉积环境和沉积作用过程有联系的三维岩相组合,岩相是沉积体系的基本建造单元,而这些成因上相关的建造单元(岩相)的组合体构成一个沉积体系。两个或两个以上有成因联系

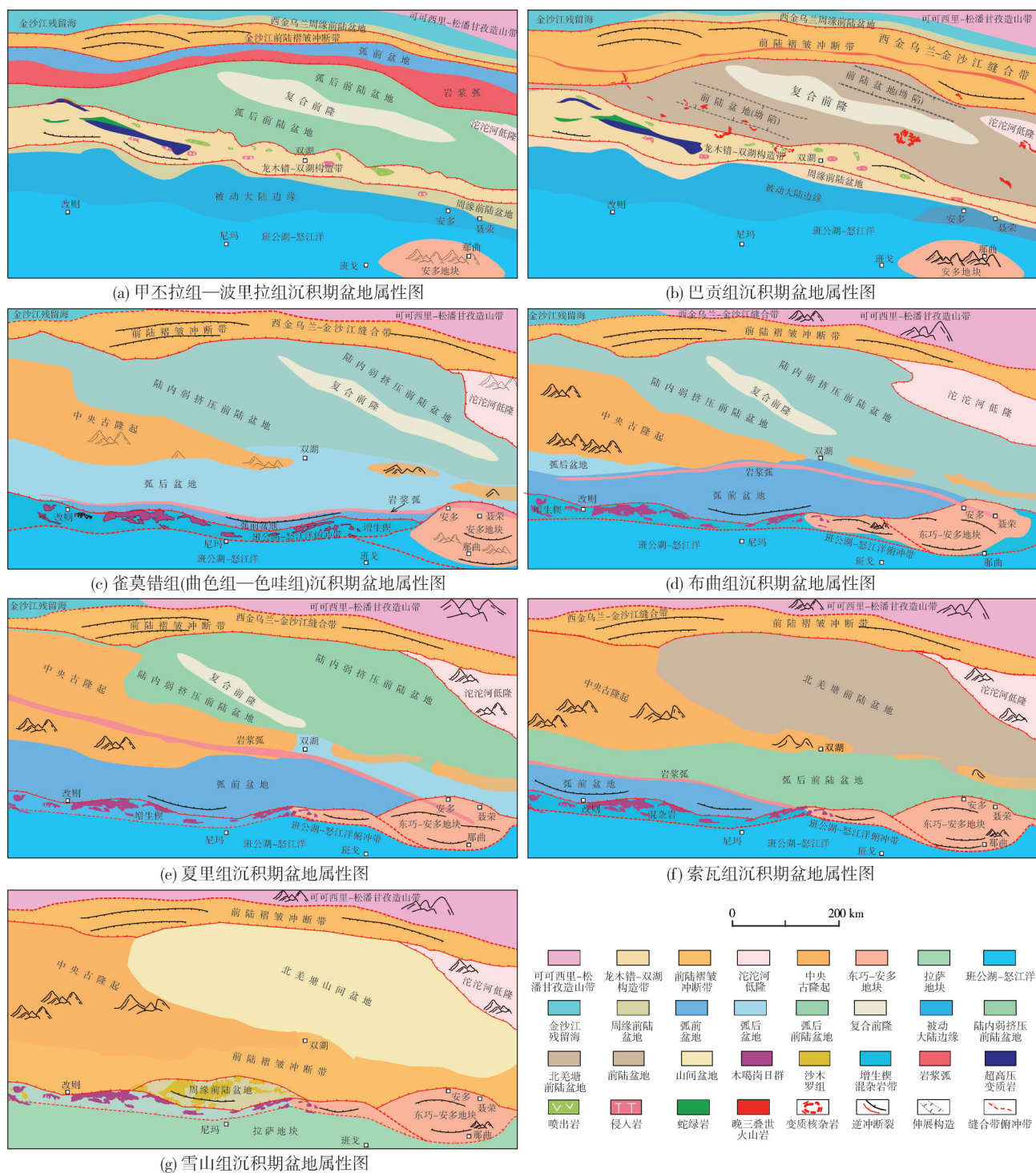


图3 羌塘盆地晚三叠世—早白垩世沉积盆地属性分布图
Fig. 3 Sedimentary basin property maps of Qiangtang Basin during Late Triassic–Early Cretaceous

沉积体系的组合就构成了沉积体系组合。沉积体系及组合作为沉积盆地的生成、发展、演化过程的产物,反映了沉积盆地的构造背景及性质的演变过程。反之,基于沉积盆地构造背景及演变过程的认识,可提高资料缺少区域沉积相预测的精度。

可可西里—金沙江洋、龙木错—双湖洋及班公湖—怒江洋的开启和闭合控制了羌塘盆地晚三叠世—早白垩世沉积盆地属性,进而控制了沉积体系类型及组合的发育和平面分布。参照朱筱敏等^[43]提出的方案,划分和识别了羌塘盆地中生界海相层

系不同构造背景下的沉积体系类型及组合(表2)。井沉积相解释的多解性提供了约束,提高了资料缺乏区域沉积体系平面分布的预测精度和合理性。

表2 羌塘盆地中生界海相层系沉积体系类型及组合
Table 2 Types and combinations of sedimentary systems in the Mesozoic marine strata of Qiangtang Basin

序号	地 层				沉积体系类型及组合
1	K ₁	雪 山 组			可可西里—金沙江缝合带演变为向南的褶皱—冲断带,进入快速抬升剥蚀阶段,龙木错—双湖构造带隆升为古陆。北羌塘演化为山间盆地,进入陆相湖泊发育阶段,发育三角洲—湖泊沉积体系;南羌塘由于班公湖—怒江洋俯冲关闭,形成周缘前陆盆地,发育扇三角洲—残留海沉积体系
2	J ₃	索 瓦 组			北羌塘为陆内弱挤压前陆盆地,发育灰质潮坪(远离古陆)+砂质潮坪沉积体系(近古陆);南羌塘为俯冲晚期沟—弧—盆(弧后挤压盆地)活动陆缘,发育镶边台地沉积体系及组合(开阔台地—台地边缘生物礁滩—斜坡—深海盆地)
3	J ₂	夏 里 组			北羌塘为陆内弱挤压前陆盆地,发育灰质潮坪(远离古陆)+砂质潮坪沉积体系(古陆周缘);南羌塘为俯冲中期沟—弧—盆(弧前挤压盆地)活动陆缘,发育海相碎屑岩沉积体系(滨岸—浅水陆棚)
4		布 曲 组			北羌塘为陆内弱挤压前陆盆地,发育灰质潮坪(远离古陆)+砂质潮坪沉积体系(古陆周缘);南羌塘为俯冲早期沟—弧—盆(弧前挤压盆地)活动陆缘,发育镶边台地沉积体系及组合(台缘礁滩—斜坡—深海盆地)
5	J ₁₋₂	雀莫错组	色哇组— 曲色组		北羌塘为陆内挤压盆地,早期受南北强烈挤压,陆源供给充足,发育冲积扇—辫状河三角洲—洼地沉积体系,晚期处于弱挤压,发育灰质潮坪(远离古陆)+砂质潮坪沉积体系(古陆周缘);南羌塘由被动陆缘转换为拉张型活动陆缘沟—弧—盆(弧后伸展盆地)体系,发育滨岸—陆棚沉积体系
6					
7	T ₃	日干配错组	肖茶卡组	土门格拉组	北羌塘仍为双弧后前陆盆地,前渊为扇三角洲—洼地沉积体系,前隆为潮坪沉积体系,晚期发育那底岗日组近东西向岩桨弧;南羌塘为被动陆缘—周缘前陆盆地系统,发育三角洲—(混积)滨岸—(混积)陆棚沉积体系
8					
9					北羌塘为双弧后前陆盆地,古陆周缘为混积潮坪沉积体系,前隆为灰质潮坪—台盆沉积体系;南羌塘为被动陆缘—周缘前陆盆地系统,沉积体系由滨岸—陆棚演化为开阔台地—台地边缘—斜坡—深海盆地
10					北羌塘为双弧后前陆盆地,前渊带发育粗碎屑扇三角洲—洼地沉积体系,复合前隆发育混积潮坪沉积体系;南羌塘为被动陆缘—周缘前陆盆地系统,靠近龙木错—双湖构造带的前渊带发育粗碎屑扇三角洲—洼地沉积体系,前隆至深海盆地发育滨岸—陆棚沉积体系

4 构造-岩相古地理重建

本文构造-岩相古地理研究及编图单元的选择主要针对羌塘盆地上三叠统一侏罗统含油气系统和侏罗系含油气系统,突出生储盖发育重点层系,同时考虑构造-沉积演化的连续性和匹配性,以此为原则编制了上三叠统一侏罗系9个层系的岩相古地理图。

4.1 研究与编图思路

本次岩相古地理研究及编图在思路和方法上具有以下3个方面的特征:

(1)充分掌握利用现有资料(尤其是新增资料)。在本轮编图过程中,收集上三叠统一侏罗系剖面567个,其中上三叠统162个,中下侏罗统107个,中侏罗统布曲组81个、夏里组97个,上侏罗统索瓦组120个;收集钻井资料42口;收集资料品质较好的地震剖面1 307 km。这些资料平面分布不均衡,资料稀

缺区域的范围广(图1b)。露头剖面出露完整性较差,而且零星分布;钻井主要分布在玛曲、毕洛错和半岛湖地区,揭示上三叠统一侏罗系的钻井仅有羌科1井、羌资16井和QK-9井,其余钻井均只揭示单一层位或单一层位的一部分;地震资料主要分布在半岛湖、托纳木、玛曲、毕洛错和鄂斯玛地区,只能满足局部礁滩体、砂砾岩、膏盐岩、火成岩等特殊地质体的识别,难以开展沉积相的横向追踪。如何提高资料缺少区域沉积相预测精度是岩相古地理恢复与重建所面临的关键技术难题。

(2)除应用层序地层划分与等时地层格架建立、剖面或钻井沉积相分析、沉积相对比剖面建立、单因素图件编制等传统岩相古地理编图方法外,以大地构造特征及演化与沉积盆地属性、沉积体系及组合的耦合关系指导岩相古地理编图,尤其是不同大地构造背景下沉积体系及组合特征和相应沉积模式的应用,增加了资料丰富区域沉积相分析的约

束条件,提高了资料缺少区域沉积相预测的精度。

(3)突出沉积体系及组合与生储盖发育的耦合关系研究,提升构造-岩相古地理图的应用价值,为油气资源评价和勘探方向选择提供重要依据。

4.2 岩相古地理特征及演化

羌塘盆地中生代沉积体系的形成受控于盆地隆坳格局,盆地隆坳位置及迁移由不同沉积时期的盆地性质决定。龙木错—双湖洋、班公湖—怒江洋及可可西里—金沙江洋的俯冲消亡控制了中生代羌塘盆地的性质,因此,3条缝合带的形成与演化控制了羌塘盆地中生代沉积体系的形成及演化。

(1)上三叠统甲丕拉组沉积期

甲丕拉组沉积期,可可西里—金沙江洋和龙木错—双湖洋同时发生闭合,北羌塘受南北对冲挤压,由早期的弧后盆地演化为双弧后前陆盆地,形成“两坳一隆”的格局:两坳分别为金沙江—可可西里前陆冲断带前的前渊带和龙木错—双湖构造带前的前渊带,一隆是指双前陆盆地的复合前隆(图3a)。“两坳一隆”的格局控制了北羌塘沉积体系的形成及演化。南羌塘由于龙木错—双湖洋俯冲关闭与北羌塘发生碰撞,形成周缘前陆盆地,龙木错—双湖洋俯冲拉拽,在前陆盆地至班公湖—怒江洋一带形成被动陆缘,造就了南羌塘“一坳一隆一坡”的构造特征(图3a)。

北羌塘弧后前陆盆地前渊带发育扇三角洲—洼地沉积体系(图4a):玛曲地区的QK-9井和关资16井钻遇甲丕拉组大套粗碎屑沉积,砾岩分选、磨圆差,砂岩结构和成分成熟度低,表现出明显的快速堆积特征;江爱达日那—红水沟一带同样存在一套粗碎屑沉积,显示为快速堆积形成;远离造山带的前隆以混积潮坪沉积为主(图4a)。南羌塘前陆盆地前渊带发育扇三角洲—洼地沉积体系(图4a),局部发育火山沉积:孔孔茶卡—肖茶卡东一带甲丕拉组以大套砾岩沉积为主,砾石分选、磨圆差,杂基主要为泥质,表现出快速堆积的特征;远离造山带的角木茶卡主要以洼地泥岩、粉砂质泥岩沉积为主;“一隆”(南羌塘前陆盆地的前隆)连接广海,波浪作用强,以发育高能的滨岸砂岩为主;“一坡”(南羌塘前隆到深海盆地的斜坡)由于处于被动陆缘,坡度相对较缓,以沉积陆棚相泥岩、粉砂质泥岩、粉砂岩等细粒沉积物为主。

(2)上三叠统波里拉组沉积期

波里拉组沉积时,金沙江洋向南俯冲,古特堤斯洋逐渐消亡,在北羌塘地块北缘的弯岛湖北—双咀湖—岗盖日一带形成一条近东西走向的岩浆岛弧带,岛弧带北侧为弧前盆地碎屑岩沉积,康特金、苟弄钦剖面为一套砂砾岩地层。岩浆岛弧带南侧为一套滨岸砂和扇三角洲沉积(图4b),云雀湖东、开心岭等剖面以细中砂岩为主,分选好。北羌塘陆块西侧主体为开阔台地泥质泥晶灰岩沉积(图4b),以万泉湖北、才玛尔错、托和平错等剖面为代表;北羌塘陆块东侧主体为潮坪—台盆泥晶灰岩夹泥质条带沉积(图4b),以江爱达日那、波尔藏陇巴等剖面为代表,沿台盆边缘发育灰泥坪及台内滩沉积,台内滩以照沙山、菊花山、红水沟等剖面为代表。

南羌塘受班公湖—怒江洋拉张的影响,形成被动陆缘沉积体系。在查木错—萨门熊—索布查—安多一带形成一个近东西向的大型台缘带,发育台缘礁滩沉积(图4b),以查木错、吓先错、肖茶卡东、角木茶卡等剖面为代表;礁滩体之间为泥质泥晶灰岩沉积,以欧阿涌木西剖面为代表;向南进入斜坡—深海盆地沉积,以那阿俄那、日阿莎等剖面为代表。

此时,中央古隆起主体表现为水下低隆并接受沉积,在北羌塘陆块西侧见有零星分布的古陆,这也是北羌塘陆块东侧发育局限台盆的原因。

(3)上三叠统巴贡组沉积期

巴贡组与那底岗日组为同期异相沉积,前者为砂泥岩沉积,后者为局部火山喷发堆积。巴贡组沉积期,金沙江洋向南继续俯冲,北羌塘北缘进入前陆碰撞造山阶段。除湾岛湖北—双咀湖—岗盖日一带为由玄武岩和安山岩构成的岛弧带外,岛弧带以北出现前陆盆地碎屑岩沉积组合,以岷岷山、明镜湖、赛日布米、苟弄钦等剖面的含火山碎屑砂砾岩沉积为代表,岛弧带以南的藏夏河、多色梁子、泉湖、冬布勒山等剖面发育粗碎屑扇三角洲沉积(图4c)。北羌塘陆块主体为前陆盆地坳陷期残留海盆地砂泥岩沉积,包括潮坪和深水洼地2类沉积相(图4c),前者以查木错、萨门熊、湾岛湖北、照沙山、菊花山等剖面为代表,后者以沃若山、江爱达日那、石油沟、雀莫错等剖面 and QK-8、QK-9等浅钻井为代表。

南羌塘盆地为周缘前陆盆地和被动陆缘组合,主体发育有障壁海岸碎屑岩沉积体系(图3c),以物玛、查尔康错那勒、座倾错北等剖面的石英砂岩沉

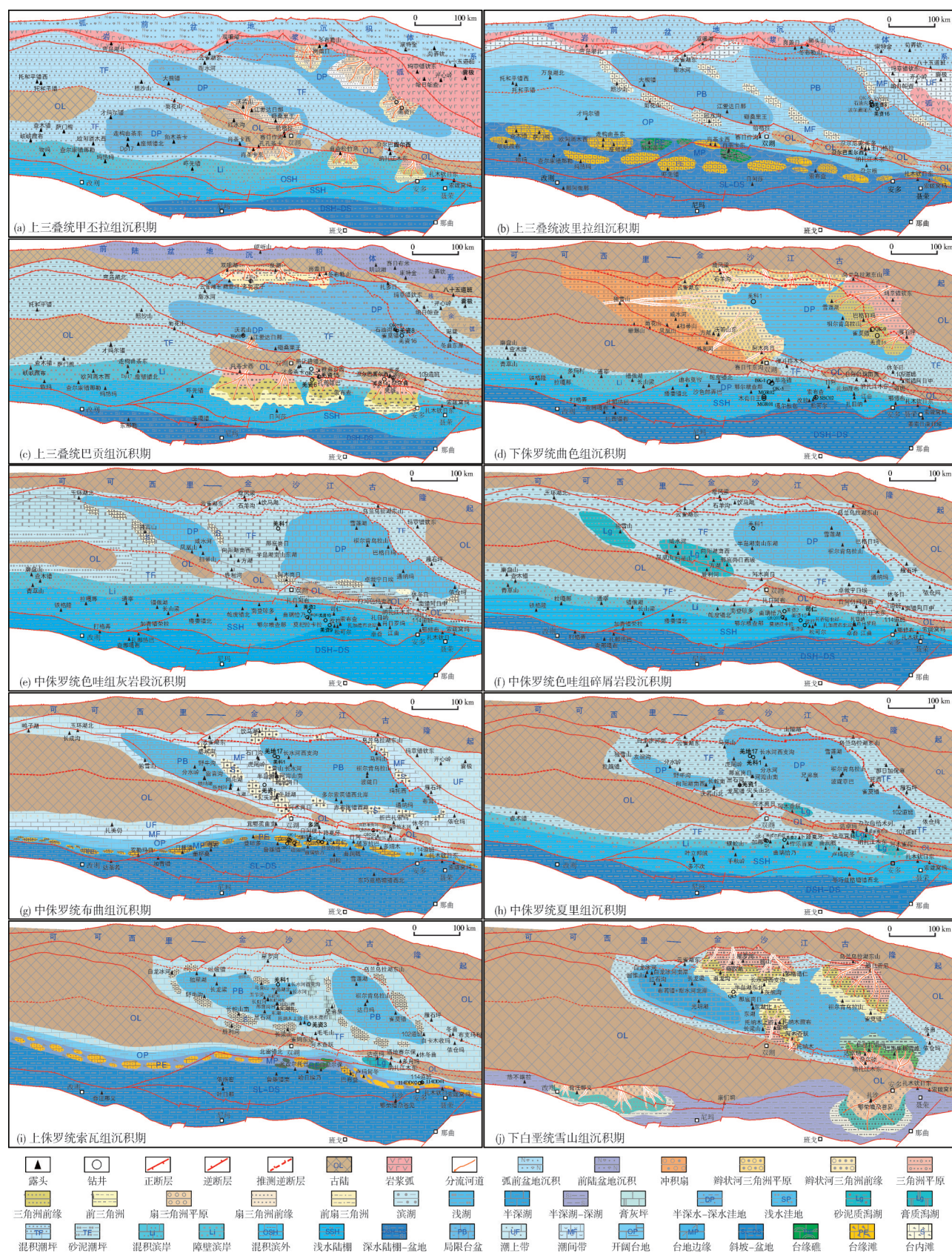


图4 羌塘盆地晚三叠世—早白垩世岩相古地理图

Fig. 4 Lithofacies-paleogeography maps of Qiangtang Basin during Late Triassic–Early Cretaceous

积为代表,分选好、成分成熟度高。向南为班公湖—怒江洋,由浅水陆棚相泥质泥晶灰岩、灰泥岩和深水陆棚—深海盆地相泥岩、硅质泥岩沉积构成,前者以玛热玛、吓先错、日阿沙、扎木钦日东、索陇窝玛等剖面为代表,后者以东那勒、巫嘎错剖面为代表。

此时,龙木错—双湖构造带受北羌塘陆块北缘碰撞造山的影响再次活化,中央古隆起主体仍表现为水下隆起,部分露出水面,向南提供物源,形成三角洲沉积体系。晚期火山喷发形成的那底岗日期火山岛弧对北羌塘巴贡组烃源岩的发育具有重要的控制作用。

(4)下侏罗统曲色组沉积期

随着可可西里—金沙江前陆造山带、中央古隆起的进一步活化和隆升,北羌塘主体演变为陆内弱挤压盆地,近古陆周缘发育冲积扇—辫状河三角洲沉积体系(图4d),前者以独雪山、咸水河、凤凰山等剖面的砂砾岩沉积为代表,后者以石羊沟、阿木岗日、方湖、沃若山东、雁石坪等剖面的砂砾岩、砂岩沉积为代表。远离古陆的三角洲前缘形成深水洼地泥岩、粉砂质泥岩和泥质粉砂岩沉积。受中央古隆起的遮挡,北羌塘残留海盆地主体处于局限—半局限沉积环境,甚至出现膏盐岩夹层,有利于形成火山岩—膏盐岩—烃源岩三位一体的有机质富集背景。

南羌塘由被动陆缘转换为拉张型活动陆缘沟—弧—盆(弧后伸展盆地)体系,发育滨岸—陆棚碎屑岩沉积体系(图4d)。中央古隆起周缘发育潮坪相粉砂质泥岩和泥质粉砂岩沉积,受打格弄—其香错—安多岛弧带的控制,岛弧北侧为弧后盆地,发育一套滨岸砂和浅水陆棚相泥岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩沉积,同样发育火山岩—膏盐岩—烃源岩三位一体的沉积组合,以铁格隆、毕洛错、扎目纳、江曲等剖面为代表;岛弧南侧为弧前盆地,发育深水陆棚—盆地相泥岩、粉砂质泥岩沉积,以扎西错布、姜索日康日埃等剖面为代表。

(5)中侏罗统色哇组沉积早期(灰岩段沉积期)

色哇组沉积早期,可可西里—金沙江古隆起向北羌塘提供陆源,形成近东西走向的砂坪(图4e),以云雀湖东、石羊沟、乌兰乌拉湖东山、雁石坪等剖面的细—中砂岩沉积为代表。远离古隆起发育膏灰坪沉积(图4e),以方湖、向阳湖西南、半岛湖南山东湖、休东日等剖面为代表;还发育浅水洼地泥质泥晶灰岩、灰质泥岩沉积,以咸水河、雪莲湖、祖尔肯乌拉山等剖面为代表,洼地周缘发育

台内砂屑滩,以独雪山、阿木岗日等剖面为代表。此时的中央古隆起呈岛链状横亘于南羌塘和北羌塘之间,起到阻碍海水进入北羌塘,并为南北羌塘提供物源的作用。

南羌塘继承拉张型活动陆缘沟—弧—盆(弧后伸展盆地)体系,发育无障壁滨岸碎屑岩沉积体系(滨外—浅海陆棚)。受打格弄—安多—扎木钦日东—索陇窝玛岛弧带的控制,岛弧北侧为弧后盆地,发育一套色哇组下段滨岸砂和浅水陆棚相泥岩、泥质粉砂岩和粉砂质泥岩沉积(图4e),前者以查木错、青草山、磨盘山剖面为代表,后者以铁格隆、长山梁、鄂尔根查那、扎目纳、鄂修布等剖面为代表。岛弧南侧为弧前盆地,发育深水陆棚—盆地相泥岩、粉砂质泥岩沉积,以查那嘎布、松可尔、扎木钦日东、索陇窝玛等剖面为代表。

(6)中侏罗统色哇组沉积晚期(碎屑岩段沉积期)

色哇组沉积晚期,北羌塘的构造—岩相古地理格局与色哇组沉积早期(灰岩段沉积期)相似,但灰质成分明显减少,除独雪山发育泥质潟湖、咸水河—方湖一带发育膏质潟湖外,整体演化为砂坪沉积(图4f),浅水洼地范围也明显缩小。南羌塘的构造—岩相古地理格局与色哇组沉积早期基本一致(图4f)。

(7)中侏罗统布曲组沉积期

布曲组沉积期,北羌塘基本继承了色哇组沉积时期的隆坳格局。由于海平面上升,由以碎屑岩沉积为主演化为以碳酸盐沉积为主。沿古隆起发育砂坪(图4g),以鸭子湖、玉环湖北、云雀湖东、乌兰乌拉湖东山、开心岭等剖面为代表;远离古陆发育灰质潮坪—台盆沉积体系,并沿台盆边缘分布大量台内滩(图4g),灰质潮坪以方湖、虎尾岭、雁石坪等剖面为代表,台盆以野牛沟、分水岭、喷呐湖、长水河、马科山、波陇日、赤布张错西岸等剖面为代表。

南羌塘转化为俯冲早期沟—弧—盆(弧前挤压盆地)活动陆缘,发育镶边台地沉积体系及组合(台缘礁滩—斜坡—深海盆地)(图4g)。台缘滩颗粒灰岩已发生白云石化,是非常有利的储集相带,以日根错、毕洛错、隆鄂尼、格鲁观那等剖面为代表。台缘滩向陆一侧为开阔台地泥晶灰岩、生物碎屑泥晶灰岩沉积,向海一侧为斜坡—盆地相泥质泥晶灰岩、灰质泥岩沉积。

此时的中央古隆起呈岛链状横亘于南羌塘和北羌塘之间,一方面造成北羌塘局限海环境的形成,同时为古陆周缘砂坪沉积提供物源。

(8) 中侏罗统夏里组沉积期

夏里组沉积期,可可西里—金沙江前陆造山带古隆及中央古隆起范围明显扩大,并向古陆周缘潮坪相粉砂质泥岩、泥质粉砂岩的沉积提供物源,以云雀湖东、独雪山、阿木岗日、雁石坪、依仓玛、107道班等剖面为代表。北羌塘在2个浅水洼地发育泥质泥晶灰岩、灰质泥岩沉积(图4h),以向阳湖西南、分水河、雪莲湖、祖尔肯乌拉山、102道班等剖面为代表。

南羌塘为俯冲中期沟—弧—盆(弧前挤压盆地)活动陆缘,发育滨岸—陆棚碎屑岩沉积体系(滨外—浅海陆棚)(图4h)。滨岸砂由细中砂岩组成,分选好、物性佳,以作乐当夏、曲瑞恰乃、卢玛甸冬、蜈蚣山等剖面为代表。浅海陆棚由砂质泥岩、泥质细砂岩沉积组成,以多不次、千秋岭等剖面为代表。

(9) 上侏罗统索瓦组沉积期

索瓦组沉积期,可可西里—金沙江前陆造山带古隆及中央古隆起范围与夏里组沉积期相近,并为古陆周缘潮坪灰质粉砂岩沉积提供物源,以星罗河、休冬曲、毛毛山等剖面为代表;局部发育膏灰坪沉积,以兄弟泉剖面为代表。北羌塘前陆盆地东西两侧各发育一个以泥质泥晶灰岩、灰质泥岩沉积为主的台盆(图4i),以长龙梁、长虹河、半岛湖、黑石河、雪莲湖、达日玛等剖面为代表;台盆周缘发育一系列的台内滩,以白龙冰河、野牛沟、长蛇山南、长梁山等剖面为代表。

南羌塘地块发育弧后前陆盆地和弧前盆地系统,发育镶边台地沉积体系及组合(台地边缘礁滩—斜坡—盆地相,图4i)。镶边台地边缘以发育台缘滩为主,有少量台缘礁,前者以巴布登、米改尔托巴、卢玛甸冬、114道班等剖面为代表,后者以北雷错北、日尔尔保等剖面为代表。台缘礁滩向陆一侧为开阔台地泥晶灰岩、生物碎屑泥晶灰岩沉积,向海一侧为斜坡—盆地相泥质泥晶灰岩、灰质泥岩沉积。

(10) 下白垩统雪山组沉积期

雪山组沉积期,班公湖—怒江洋关闭,南羌塘地块与拉萨地块拼合,形成周缘前陆盆地,发育扇三角洲—残留海沉积体系(图4j)。受拉萨地块向北挤压的影响,可可西里—金沙江古隆起及中央古隆起范围进一步扩大,北羌塘进入山间盆地演化阶段,发育三角洲—湖泊沉积体系(图4j),以冬曲、依仓玛、星罗河、曲龙沟、雀莫错等剖面为代表的三角洲沉积特征明显。远离古陆为滨浅湖相粉砂质泥岩、泥质粉砂

岩沉积,西部还出现半深湖相泥灰岩、灰泥岩沉积。

4.3 岩相古地理对生储盖的控制

可可西里—金沙江洋、龙木错—双湖洋、班公湖—怒江洋的开启与闭合史不但控制了羌塘盆地晚三叠世—早白垩世的构造—沉积演化,而且还控制了生储盖的发育与分布。

4.3.1 主力烃源岩分布

羌塘盆地发育上三叠统波里拉组、巴贡组和下侏罗统曲色组3套主力烃源岩^[44-45]。波里拉组是北羌塘的优质烃源岩,主要为一套暗色灰质泥岩和泥质灰岩,TOC平均值为2%~3%,厚100~300 m,发育东西2个生烃中心(图5a)。巴贡组是北羌塘的另一套优质烃源岩,为灰黑色泥页岩与粉砂质泥页岩组合,TOC平均值为1%~2%,厚300~400 m,同样发育东西2个生烃中心(图5b)。曲色组是羌塘盆地最好的烃源岩,厚200~600 m,下部灰黑色泥页岩(厚35~65 m)的TOC平均值达到8.34%,这套烃源岩目前主要见于南羌塘,发育毕洛错—帕度错生烃中心(图5c)。

构造—沉积背景揭示北羌塘波里拉组—巴贡组烃源岩与可可西里—金沙江洋的闭合及前陆坳陷的发育有关——前陆坳陷是有利于优质烃源岩发育的构造—沉积单元^[46],那底岗日组火山喷发带来的营养物质有利于生物繁盛和有机质富集^[45],构成前陆坳陷带火成岩—烃源岩两位一体的烃源岩发育模式;南羌塘波里拉组和巴贡组烃源岩的发育与拉张型被动陆缘的深水陆棚环境有关。结合盆地属性图和岩相古地理图,预测了波里拉组和巴贡组烃源岩在南北羌塘的分布(图5a,5b)。南羌塘曲色组烃源岩与拉张型活动陆缘沟—弧—盆(弧后伸展盆地)体系有关——弧后伸展盆地是有利于优质烃源岩发育的构造—沉积单元^[47-49],并构成膏盐岩—烃源岩—火成岩三位一体的烃源岩发育模式。预测了曲色组烃源岩在南北羌塘的分布(图5c)。

4.3.2 主要储层分布

羌塘盆地发育砂岩、碳酸盐岩及火山岩3大类储层^[50-52]。

古陆周缘是三角洲砂岩储层的有利发育区。羌资16井雀莫错组下段三角洲前缘细砂岩孔隙度为1%~12%,渗透率可达 $(0.001\sim 92)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$;巴贡组和雀莫错组下段三角洲砂岩主要分布于中央古

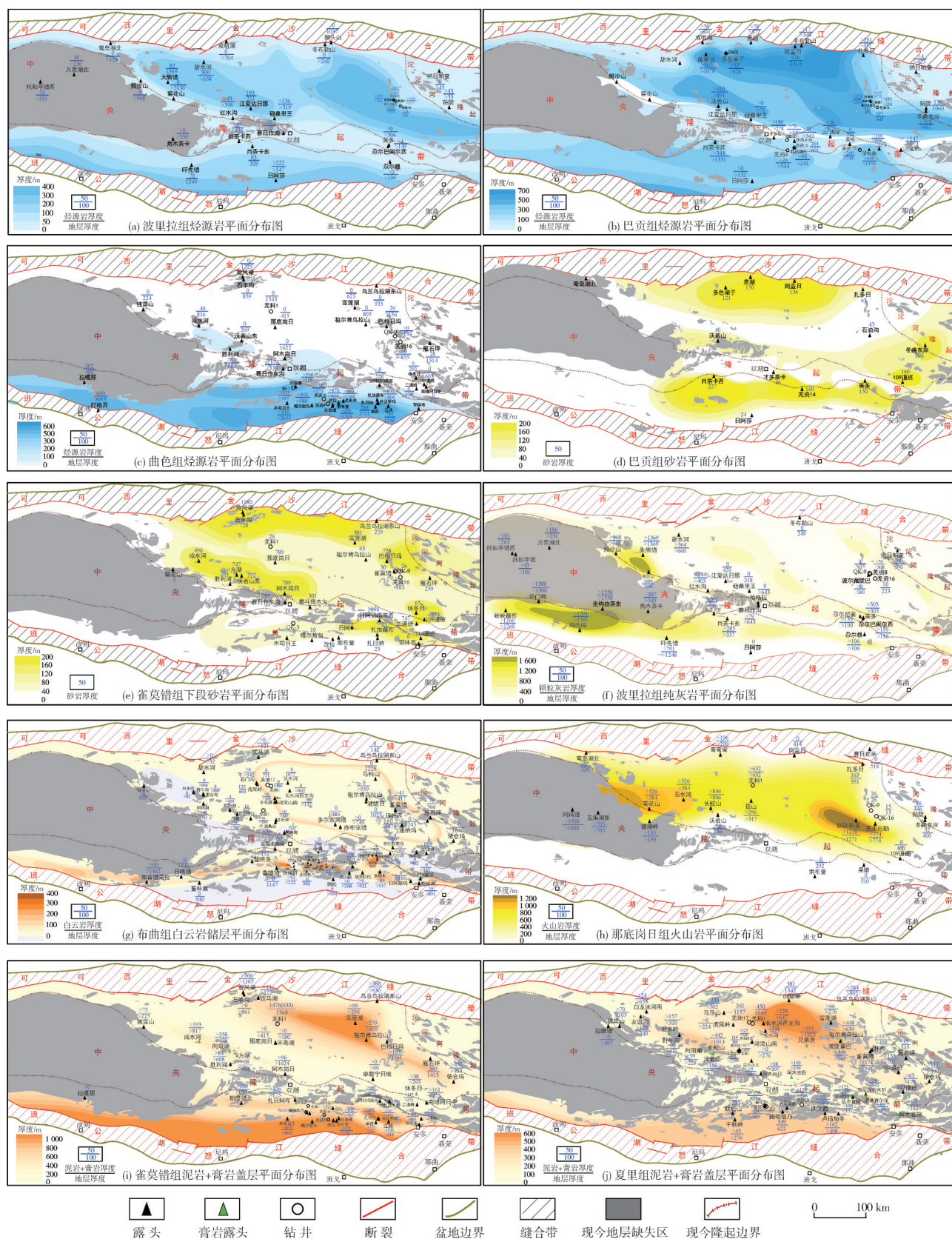


图5 羌塘盆地上三叠统一侏罗系主要生储盖分布图

Fig. 5 Distribution of the main source, reservoir and cap rocks of Upper Triassic-Jurassic in Qiangtang Basin

隆起南缘的毕洛错—鄂斯玛和可可西里—金沙江古隆起南缘的多色梁子—岗盖日(图5d,5e)。

碳酸盐岩储层主要有波里拉组岩溶灰岩和布曲组白云岩2类。波里拉组岩溶灰岩储层受控于准同生表生岩溶作用,频繁暴露的潮坪和台地边缘是岩溶灰岩储层发育的有利相带(图5f)。南羌塘早期的沟—弧—盆(弧后挤压盆地)活动陆缘控制了镶边台地沉积体系及组合,台地边缘礁滩体发生白云石化形成优质储层,台内发育规模不等的点礁也可形成白云岩储层,如达卓玛剖面近10 m厚的白云岩储层覆盖于膏盐岩之上。布曲组台缘带白云岩储层呈带状分布,厚50~100 m;台内礁滩储层沿台盆边缘呈环带状分布,厚10~20 m(图5g)。

那底岗日组火山岩发育与龙木错—双湖洋消亡碰撞有关,主要分布于北羌塘内(图5h)。羌科1井钻至那底岗日组火山岩时发生多次井漏和气测异常,测井解释孔隙度可达3%~5%,岩心上发育大量高角度裂缝,为裂缝—孔隙型储层,具备天然气储集能力。

4.3.3 区域盖层分布

羌塘盆地上三叠统一侏罗系发育雀莫错组和夏里组泥岩+膏岩2套区域盖层。北羌塘泥岩盖层主要发育于洼地内,膏岩盖层主要发育于潮坪,2套盖层均有2个厚度中心(图5h,5i);南羌塘主要为泥岩盖层,主要发育于洼地或陆棚内,2套盖层均呈带状分布(图5h,5i)。

5 结论和建议

本文基于盆地属性、沉积体系及组合耦合关系,解决了资料缺少区域沉积相展布预测缺乏沉积模式指导的问题,取得以下3点成果和地质认识:

(1)系统梳理了可可西里—金沙江洋、班公湖—怒江洋和龙木错—双湖洋的闭合史,明确了羌塘盆地属性,指出北羌塘地块晚三叠世—早白垩世经历了双弧后前陆盆地、陆内弱挤压盆地、山间盆地演化阶段,南羌塘地块晚三叠世—早白垩世经历了被动陆缘+周缘前陆盆地、弧后伸展盆地、弧前挤压盆地和山间盆地演化阶段,形成了北羌塘“两坳一隆”和南羌塘“一坳一隆一坡”的古构造格局。

(2)系统开展羌塘盆地晚三叠世—早白垩世岩相古地理研究,编制了关键地质时期岩相古地理图,揭示了各沉积期发育的沉积体系及分布,为生储盖分布预测奠定了基础。

(3)明确了生储盖发育的控制因素。烃源岩的分布受控于复合前陆盆地(前陆拗陷阶段)构造单元,前陆盆地前渊洼陷是烃源岩发育的有利相带;前陆盆地前隆是碳酸盐岩礁滩相储层发育的有利位置,碎屑岩储层受控于中央古隆起和可可西里—金沙江古隆起的形成与演化。

基于构造背景、岩相古地理、烃源岩和储层分布的地质认识,建议羌塘盆地油气勘探层系应围绕波里拉组、巴贡组和曲色组3套主力烃源岩形成的上三叠统一侏罗统和下侏罗统一中侏罗统2个成藏组合,勘探区域应聚焦构造相对稳定的北羌塘的两大前陆洼陷和南羌塘的帕度错—鄂斯玛洼陷。

参考文献

- [1] 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 Jianchen, 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.
- [2] 张玉修,张开均,李勇,等.西藏羌塘盆地东部中—上侏罗统沉积特征及沉积相划分[J].大地构造与成矿学,2007,31(1):52-62.
ZHANG Yuxiu, ZHANG Kaijun, LI Yong, et al. Characteristic and sedimentary facies of the Middle-Upper Jurassic clastic rocks in the Qiangtang Basin, Tibet[J]. Geotectonica et metallogenia, 2007, 31(1): 52-62.
- [3] 付修根,廖忠礼,刘建清,等.南羌塘盆地扎仁地区中侏罗统布曲组沉积环境特征及其对油气地质条件的控制作用[J].中国地质,2007,34(4):599-605.
FU Xiugen, LIAO Zhongli, LIU Jianqing, et al. Sedimentary environment of the Middle Jurassic Bi Qu Formation and its controls on petroleum geology in the Zaring area, southern Qiangtang Basin[J]. Geology in China, 2007, 34(4): 599-605.
- [4] 陈浩,陈明,孙伟,等.羌塘盆地隆鄂尼—鄂斯玛古油藏带中侏罗统布曲组岩相古地理研究[J].沉积与特提斯地质,2018,38(2):74-81.
CHEN Hao, CHEN Ming, SUN Wei, et al. Sedimentary facies and palaeogeography of the Middle Jurassic Buqu Formation in the Longeni-Esima ancient oil reservoirs zone, Qiangtang Basin, northern Xizang[J]. Sedimentary geology and Tethyan geology, 2018, 38(2): 74-81.
- [5] 谭富荣,杨创,尘福艳,等.羌塘盆地巴青地区上三叠统巴贡组沉积相及其对油气等资源的控制[J].中国地质,2020,47(1):57-71.
TAN Furong, YANG Chuang, CHEN Fuyan, et al. Sedimentary facies and its control over petroleum and other resources of the Upper Triassic Bagong Formation in Baqing area, southeastern Qiangtang Basin[J]. Geology in China, 2020, 47(1): 57-71.
- [6] 胡明毅,吴一慧.藏北羌塘盆地上三叠统肖茶卡组沉积相与含油性[J].石油学报,2001,22(4):31-34.
HU Mingyi, WU Yihui. Sedimentary facies and hydrocarbon

- occurrence of Upper Triassic Xiaochaka Formation in Qiangtang Basin[J]. *Acta petrolei sinica*, 2001, 22(4): 31-34.
- [7] 和钟铎, 李才, 杨德明, 等. 羌塘盆地三叠纪岩相古地理及构造控制[J]. *古地理学报*, 2002, 4(4): 9-18.
HE Zhonghua, LI Cai, YANG Deming, et al. Lithofacies palaeogeography and tectonic control of the Triassic in Qiangtang Basin[J]. *Journal of palaeogeography*, 2002, 4(4): 9-18.
- [8] 王兴涛, 翟世奎, 柳彬德, 等. 青藏高原羌塘盆地晚侏罗世索瓦期沉积特征研究[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2005, 35(1): 49-56.
WANG Xingtao, ZHAI Shikui, LIU Binde, et al. Research on depositional features of Qiangtang Basin, Qinghai-Tibet Plateau during the Suowa stage in the Late Jurassic[J]. *Periodical of Ocean University of China(nature science edition)*, 2005, 35(1): 49-56.
- [9] 李永铁, 谭富文, 王剑, 等. 西藏羌塘盆地中侏罗世布曲期及夏里期岩相古地理与油气远景[J]. *古地理学报*, 2006, 8(4): 499-508.
LI Yongtie, TAN Fuwen, WANG Jian, et al. Lithofacies palaeogeography and oil-gas prospectivity of the Buqu age and Xiali age of Middle Jurassic in Qiangtang Basin, Tibet[J]. *Journal of palaeogeography*, 2006, 8(4): 499-508.
- [10] 王剑, 付修根. 论羌塘盆地沉积演化[J]. *中国地质*, 2018, 45(2): 237-259.
WANG Jian, FU Xiugen. Sedimentary evolution of the Qiangtang Basin[J]. *Geology in China*, 2018, 45(2): 237-259.
- [11] 占王忠, 谭富文. 羌塘盆地晚三叠世岩相古地理特征与烃源岩[J]. *沉积学报*, 2020, 38(4): 876-885.
ZHAN Wangzhong, TAN Fuwen. Lithofacies palaeogeography and source rock of the Late Triassic in the Qiangtang Basin[J]. *Acta sedimentologica sinica*, 2020, 38(4): 876-885.
- [12] 高远, 付修根, 王友利, 等. 北羌塘盆地雀莫错组三段混合沉积层系发育特征及控制因素[J]. *东北石油大学学报*, 2020, 44(3): 36-45, 106.
GAO Yuan, FU Xiugen, WAN Youli, et al. Development features and controlling factors of mixed siliciclastic-carbonate sediments in the Members 3 of the Quemocuo Formation, Northern Qiangtang Basin[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2020, 44(3): 36-45, 106.
- [13] 赵政璋. 青藏高原羌塘盆地石油地质[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
ZHAO Zhengzhang. Petroleum geology of the Qiangtang Basin on the Qinghai-Tibet Plateau[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [14] 丁俊. 青藏高原油气资源战略选区调查与评价图集[M]. 北京: 地质出版社, 2009.
DING Jun. Survey and evaluation of strategic selection areas for oil and gas resources in the Qinghai-Tibet Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009.
- [15] 许志琴, 王勤, 李忠海, 等. 印度-亚洲碰撞: 从挤压到走滑的构造转换[J]. *地质学报*, 2016, 90(1): 1-23.
XU Zhiqin, WANG Qin, LI Zhonghai, et al. Indo-Asian collision: tectonic transition from compression to strike slip[J]. *Acta geologica sinica*, 2016, 90(1): 1-23.
- [16] 朱日祥, 赵盼, 赵亮. 新特提斯洋演化与动力过程[J]. *中国科学: 地球科学*, 2022, 52(1): 1-25.
ZHU Rixiang, ZHAO Pan, ZHAO Liang. Tectonic evolution and geodynamics of the Neo-Tethys ocean[J]. *Scientia sinica (terrae)*, 2022, 52(1): 1-25.
- [17] 刘若涵, 何碧竹, 郑孟林, 等. 羌塘盆地东部晚三叠世-侏罗纪构造-沉积演化[J]. *岩石学报*, 2019, 35(6): 1857-1874.
LIU Ruohan, HE Bizhu, ZHENG Menglin, et al. Tectonic-sedimentary evolution during Late Triassic-Jurassic period in the eastern part of the Qiangtang Basin, Tibet[J]. *Acta petrologica sinica*, 2019, 35(6): 1857-1874.
- [18] 赵珍, 陆露, 吴珍汉. 羌塘盆地中央隆起带的抬升演化: 构造-热年代学约束[J]. *地学前缘*, 2019, 26(2): 249-263.
ZHAO Zhen, LU Lu, WU Zhenhan. Uplifting evolution of the Central Uplift Belt, Qiangtang: constraints from tectono-thermochronology[J]. *Earth science frontiers*, 2019, 26(2): 249-263.
- [19] 南征兵, 张艳玲, 李永铁, 等. 羌塘中生代盆地演化特征[J]. *天然气地球科学*, 2013, 24(3): 534-540.
NAN Zhengbing, ZHANG Yanling, LI Yongtie, et al. Evolution characteristics of the Qiangtang Basin in the Mesozoic era[J]. *Natural gas geoscience*, 2013, 24(3): 534-540.
- [20] 王剑, 付修根, 谭富文, 等. 羌塘中生代(T_3-K_1)盆地演化新模式[J]. *沉积学报*, 2010, 28(5): 884-893.
WANG Jian, FU Xiugen, TAN Fuwen, et al. A new sedimentary model for the Qiangtang Basin[J]. *Acta sedimentologica sinica*, 2010, 28(5): 884-893.
- [21] 中国石化编纂委员会. 中国石油地质志: 卷19 西藏探区[M]. 第2版. 北京: 石油工业出版社, 2023.
Sinopec Compilation Committee. Geological records of China petroleum: volume19 exploration areas in Tibet[M]. 2nd ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2023.
- [22] LIU Yin, XIAO Wenjiao, WINDLEY B F, et al. Late Silurian to Late Triassic seamount/oceanic plateau series accretion in Jinshajiang subduction mélange, central Tibet, SW China[J]. *Geological journal*, 2019, 54(2): 961-977.
- [23] MA Yiming, WANG Qiang, WANG Jun, et al. Paleomagnetic constraints on the origin and drift history of the North Qiangtang Terrane in the Late Paleozoic[J]. *Geophysical research letters*, 2019, 46(2): 689-697.
- [24] TANG Yuan, QIN Yadong, GONG Xiaodong, et al. Discovery of eclogites in Jinsha River suture zone, Gonjo County, eastern Tibet and its restriction on Paleo-Tethyan evolution[J]. *China geology*, 2020, 3(1): 83-103.
- [25] LI Shan, CHUNG Sunlin, HOU Zengqian, et al. Early Mesozoic magmatism within the Tibetan Plateau: implications for the Paleo-Tethyan tectonic evolution and continental amalgamation[J]. *Tectonics*, 2019, 38(10): 3505-3543.
- [26] XU W, LIU F, DONG Y, et al. Cambrian to Triassic geodynamic evolution of central Qiangtang, Tibet[J]. *Earth-science reviews*, 2020, 201: 103083.
- [27] ZHAI Q, JAHN B, ZHANG R, et al. Triassic subduction of the Paleo-Tethys in northern Tibet, China: evidence from the geochemical and isotopic characteristics of eclogites and blueschists of the Qiangtang block[J]. *Journal of Asian earth sciences*, 2011, 42(6): 1367-1370.
- [28] YAN Y, ZHAO Q, ZHANG Y, et al. Direct paleomagnetic

- constraint on the closure of Paleo-Tethys and its implications for linking the Tibetan and southeast Asian blocks [J]. *Geophysical research letters*, 2019, 46(24): 14368–14376.
- [29] ZHAI Q, ZHANG R, JAHN B, et al. Triassic eclogites from central Qiangtang, northern Tibet, China: petrology, geochronology and metamorphic P-T path [J]. *Lithos*, 2011, 125(1/2): 173–189.
- [30] CHEN S, SHI R, ZOU H, et al. Late Triassic island-arc-back-arc basin development along the Bangong-Nujiang suture zone (central Tibet): geological, geochemical and chronological evidence from volcanic rocks [J]. *Lithos*, 2015, 230: 30–45.
- [31] LI L, GARZIONE C N, FAN M, et al. Jurassic sedimentation in the south-central Qiangtang terrane reveals successive terrane collisions in central Tibet [J]. *Geosphere*, 2019, 15(2): 433–449.
- [32] WANG Jian, FU Xiugen, Wei hengye, et al. Late Triassic basin inversion of the Qiangtang Basin in northern Tibet: implications for the closure of the Paleo-Tethys and expansion of the Neo-Tethys [J]. *Journal of Asian earth sciences*, 2022, 227: 105–119.
- [33] ZHAI Qingguo, JAHN B, LI Su, et al. Triassic arc magmatism in the Qiangtang area, northern Tibet: zircon U-Pb ages, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic characteristics, and tectonic implications [J]. *Journal of Asian earth sciences*, 2013, 63: 162–178.
- [34] YU Liang, YAN Maodu, DOMEIER M, et al. New paleomagnetic and chronological constraints on the Late Triassic position of the eastern Qiangtang terrane: implications for the closure of the Paleo-Jinshajiang ocean [J]. *Geophysical research letters*, 2022, 49(2): e2021GL096902.
- [35] LIU Yiming, LI Sanzhong, ZHAI Qingguo, et al. Jurassic tectonic evolution of Tibetan Plateau: a review of Bangong-Nujiang Meso-Tethys ocean [J]. *Earth-science reviews*, 2022, 227: 103973.
- [36] LIU Yiming, ZHAI Qingguo, HU Peiyuan, et al. Evolution of the Paleo-Tethys ocean: constraints from detrital zircons of the Paleozoic to Triassic clastic rocks in the Qiangtang terrane, Tibetan Plateau [J]. *Journal of Asian earth sciences*, 2022, 232: 105226.
- [37] HU Xiumian, MA Anlin, XUE Weiwei, et al. Exploring a lost ocean in the Tibetan Plateau: birth, growth, and demise of the Bangong-Nujiang ocean [J]. *Earth-science reviews*, 2022, 229: 104031.
- [38] LI S, YIN C, GUILMETTE C, et al. Birth and demise of the Bangong-Nujiang Tethyan ocean: a review from the Gerze area of central Tibet [J]. *Earth-science reviews*, 2019, 198: 102907.
- [39] DING L, YANG D, CAI F, et al. Provenance analysis of the Mesozoic Hoh-Xil-Songpan-Ganzi turbidites in northern Tibet: implications for the tectonic evolution of the eastern Paleo-Tethys ocean [J]. *Tectonics*, 2013, 32(1): 34–48.
- [40] KAPP P, DECELLES P G. Mesozoic-Cenozoic geological evolution of the Himalayan-Tibetan orogen and working tectonic hypotheses [J]. *American journal of science*, 2019, 319(3): 159–254.
- [41] LI S, DING L, GUILMETTE C, et al. The subduction-accretion history of the Bangong-Nujiang ocean: constraints from provenance and geochronology of the Mesozoic strata near Gaize, central Tibet [J]. *Tectonophysics*, 2017, 702: 42–60.
- [42] MA A, HU X, GARZANTI E, et al. Sedimentary and tectonic evolution of the southern Qiangtang Basin: implications for the Lhasa-Qiangtang collision timing [J]. *Journal of geophysical research: solid Earth*, 2017, 122(7): 4790–4813.
- [43] 朱筱敏, 鲍志东, 何幼斌, 等. 沉积岩石学 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2008: 484.
- ZHU Xiaomin, BAO Zhidong, HE Youbin, et al. *Sedimentary petrology* [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008: 484.
- [44] 王忠伟, 肖杨, 占王忠, 等. 羌塘盆地东部上三叠统巴贡组泥岩特征及油气地质意义 [J]. *东北石油大学学报*, 2022, 46(2): 1–12.
- WANG Zhongwei, XIAO Yang, ZHAN Wangzhong, et al. Geochemical characteristics of the Upper Triassic Bagong Formation mudstones in eastern Qiangtang Basin and its petroleum geological significance [J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2022, 46(2): 1–12.
- [45] 肖睿, 张帅, 祝有海, 等. 羌塘盆地侏罗系曲色组油苗有机地球化学特征及意义 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2021, 41(4): 544–553.
- XIAO Rui, ZHANG Shuai, ZHU Youhai, et al. Organic geochemistry and significance of oil seepages in the Quse Formation in the Qiangtang Basin [J]. *Sedimentary geology and Tethyan geology*, 2021, 41(4): 544–553.
- [46] 唐友军, 杨易卓, 孟宪新, 等. 火山活动对南羌塘盆地曲色组烃源岩地球化学特征影响探讨 [J]. *天然气地球科学*, 2019, 30(5): 721–728.
- TANG Youjun, YANG Yizhuo, MENG Xianxin, et al. Influence of volcanic activity on geochemical characteristics of hydrocarbon source rocks in the Quse Formation in the south Qiangtang Basin [J]. *Natural gas geoscience*, 2019, 30(5): 721–728.
- [47] 李斌, 梅文华, 李琪琪, 等. 四川盆地西北部前陆盆地构造演化对古生界海相油气成藏的影响 [J]. *天然气地球科学*, 2020, 31(7): 993–1003.
- LI Bin, MEI Wenhua, LI Qiqi, et al. Influence of tectonic evolution of foreland basin in northwestern Sichuan Basin on Paleozoic marine hydrocarbon accumulation [J]. *Natural gas geoscience*, 2020, 31(7): 993–1003.
- [48] 张光亚, 温志新, 刘小兵, 等. 全球原型盆地演化与油气分布 [J]. *石油学报*, 2020, 41(12): 1538–1554.
- ZHANG Guangya, WEN Zhixin, LIU Xiaobing, et al. Evolution of global proto-type basin and the petroleum distribution [J]. *Acta petrolei sinica*, 2020, 41(12): 1538–1554.
- [49] 周晓林. 弧后走滑拉张盆地的天然气碳同位素指示意义 [J]. *石化技术*, 2016, 23(5): 210–212, 214.
- ZHOU Xiaolin. The indicating significance of natural gas carbon isotope in a background of back-arc strike slip and extension basin [J]. *Petrochemical industry technology*, 2016, 23(5): 210–212, 214.
- [50] 程乐利, 印森林, 万友利, 等. 羌塘盆地北羌塘坳陷上三叠统巴贡组致密储层成岩作用与孔隙演化 [J]. *石油实验地质*, 2020, 42(1): 60–68.

- CHENG Leli, YIN Senlin, WAN Youli, et al. Diagenesis and pore evolution of tight sandstone reservoirs in Upper Triassic Bagong Formation, north Qiangtang Depression, Qiangtang Basin [J]. *Petroleum geology and experiment*, 2020, 42(1): 60–68.
- [51] 万友利, 王剑, 谭富文, 等. 羌塘盆地隆鄂尼—昂达尔错地区布曲组白云岩储层成因及孔隙演化特征[J]. *东北石油大学学报*, 2017, 41(3): 21–33, 72.
- WAN Youli, WANG Jian, TAN Fuwen, et al. Dolomite reservoir formation mechanism and pore evolution feature of the Buqu Formation in the Longeni–Angdaercuo area, Qiangtang Basin [J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2017, 41(3): 21–33, 72.
- [52] 万友利, 王剑, 付修根, 等. 羌塘盆地南坳陷中侏罗统布曲组白云岩储层成因流体同位素地球化学示踪[J]. *石油与天然气地质*, 2020, 41(1): 189–200.
- WAN Youli, WANG Jian, FU Xiugen, et al. Geochemical tracing of isotopic fluid of dolomite reservoir in the Middle Jurassic Buqu Formation in southern depression of Qiangtang Basin [J]. *Oil & gas geology*, 2020, 41(1): 189–200.

编辑:张润合

New progress in the study of Mesozoic lithofacies and paleogeography in Qiangtang Basin

SHEN Anjiang^{1,2,3}, XIONG Shaoyun^{1,2,3}, Hu Anping^{1,2,3}, ZHANG Jianyong^{1,2,3}, Xu Qiang⁴,
FU Xiaodong^{1,2,3}, PAN Liyin^{1,2,3}, WANG Xin^{1,2,3}, LIU Siqi^{1,2,3}, LI Xi^{1,2,3}, DUAN Junmao^{1,2,3}

1. Key Laboratory of Carbonate Reservoirs, CNPC; 2. State Energy Key Laboratory of Oil and Gas in Carbonate Strata;
3. PetroChina Hangzhou Research Institute of Geology; 4. Southwest Petroleum University

Abstract: The overall research level of the Qiangtang Basin is at its primal stages due to lack of data and uneven distribution, which makes the predictions of hydrocarbon source rocks and reservoirs imprecise. Based on the analysis of basin attributes, sedimentary systems and their combination–coupling relationships, this article solves the problems of multiple interpretations of sedimentary facies in regions with abundant data and lack of sedimentary model guidance in regions lacking data. Hence, three geological acknowledgments are acquired as follows. First, we specify two distinct consecutive stages of basin property of the north and the south subterrains in Qiangtang Basin based on the systematically summarized closing history of the Koh Xil–Jinsha River Ocean, Bangong Lake–Nujiang Ocean and Longmuco–Shuanghu Ocean. During the Late Triassic–Early Cretaceous epoch, the north Qiangtang terrain evolved from a compound foreland basin to a weak–compressional in–land residual sea basin and entered into a rapid uplift–denudation period with multiple folds and faults. The south Qiangtang terrain, meanwhile, transferred from a passive continental margin to an active continental margin, and also entered into a rapid uplift denudation period with multiple folds and faults. Basin attributes of eight key sedimentary periods are clarified. Second, we compile ten tectonic–lithofacies paleogeography maps in the Late Triassic–Early Cretaceous epoch of Qiangtang Basin and distribution maps of igneous rocks of Nadigangri Formation based on basin properties, sedimentary systems, and the coherent relationships among them. These maps reveal the controlling effect of tectonic background on sedimentary process in Qiangtang Basin and enhance the precision of sedimentary facies prediction in data–poor areas. Third, we figure out the tectonic–lithofacies paleogeography in developing periods of hydrocarbon source rocks and reservoirs explicitly. The distribution of hydrocarbon source rocks of Bolila Formation–Bagong Formation is controlled by foreland depression and deep–water shelf of the passive continental margin, and that of Quse Formation is controlled by a back–arc extensional basin and weak–compressional in–land residual sea basin. The dolomite reservoirs of the Buqu Formation are developed at the platform margin belt. With this knowledge, we compile four distribution maps of hydrocarbon source rocks and reservoirs. All these new acknowledgments will boost the oil–gas exploration process in the Qiangtang Basin.

Key words: basin attributes; lithofacies paleogeography; sedimentary system; source–reservoir–cap assemblage; Late Triassic–Early Cretaceous; Qiangtang Basin

SHEN Anjiang, First author: PhD, Professoriate Senior Engineer, Doctoral Supervisor, mainly engaged in sedimentology and reservoir geology of carbonate rock. Add: No. 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China. E-mail: shenaj_hz@petrochina.com.cn

XIONG Shaoyun, Corresponding author: MSc, Senior Engineer, mainly engaged in sedimentology and reservoir geology. Add: No. 920 Xixi Rd., Hangzhou, Zhejiang 310023, China. E-mail: xionsy_hz@petrochina.com.cn