



移动阅读

刘中戎, 陈孔全, 范志伟, 等, 2025. 羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组地层沉积特征[J]. 沉积与特提斯地质, 45(1): 1-13. doi: 10.19826/j.cnki.1009-3850.2024.04003

LIU Z R, CHEN K Q, FAN Z W, et al., 2025. Lithofacies paleogeographic characteristics of the Middle Jurassic Buqu Formation in the northwest Qiangtang Basin[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 45(1): 1-13. doi: 10.19826/j.cnki.1009-3850.2024.04003

羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组地层沉积特征

刘中戎¹, 陈孔全^{2*}, 范志伟¹, 韩京¹, 吴浩¹, 何志勇¹, 张斗中^{2,3},
庞一桢^{2,3}, 马帅^{2,3}

(1. 中国石油化工股份有限公司勘探分公司, 四川 成都 610041; 2. 长江大学非常规油气湖北省协同创新中心, 湖北 武汉 430100; 3. 长江大学地球科学学院, 湖北 武汉 430100)

摘要: 中侏罗统布曲组是羌塘盆地油气勘探的重要层位, 在野外地质调查期间, 发现羌塘盆地西北部发育了一套优质白云岩储层。由于前期区内勘探工作较少, 地层沉积特征分析仍是实现羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组油气勘探突破的重要因素。本文基于野外剖面岩性观察和岩石薄片鉴定, 总结出了区内发育的七种典型岩相组合类型, 继而分析区内布曲组发育的沉积相类型及其展布特征。结果表明: (1) 羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组从南往北依次发育开阔台地亚相、台地边缘亚相、斜坡亚相、浅水陆棚亚相四种沉积亚相, 可进一步细分为七种次相。(2) 基于中侏罗统布曲组沉积相平面展布特征, 明确其为典型镶边碳酸盐岩台地沉积模式, 并建立了“开阔台地—台地边缘—斜坡—陆棚”的沉积模式。(3) 结合区内三叠系至侏罗系地层垂向叠置关系, 可进一步明确区内阿堵拉组(T_3a)、布曲组(J_2b)和索瓦组(J_3s)暗色泥岩作为烃源岩与布曲组白云岩、生物礁灰岩储层, 以及布曲组上部泥晶灰岩、夏里组泥岩和膏岩盖层之间形成良好的配置关系, 为羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组的油气突破提供理论支撑。

关键词: 羌塘盆地西北部; 布曲组; 白云岩; 岩相组合; 沉积模式

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

Lithofacies paleogeographic characteristics of the Middle Jurassic Buqu Formation in the northwest Qiangtang Basin

LIU Zhongrong¹, CHEN Kongquan^{2*}, FAN Zhiwei¹, HAN Jing¹, WU Hao¹, HE Zhiyong¹, ZHANG Douzhong^{2,3}, PANG Yizhen^{2,3}, MA Shuai^{2,3}

(1. Petroleum Exploration and Development Branch, SINOPEC, Chengdu 610041, China; 2. Cooperative Innovation Center of Unconventional Oil and Gas, Yangtze University, Wuhan 430100, China; 3. School of Geosciences, Yangtze University, Wuhan 430100, China)

Abstract: The Buqu Formation of the Middle Jurassic is an important horizon for oil and gas exploration in the Qiangtang Basin.

收稿日期: 2023-10-25; 改回日期: 2024-01-05; 责任编辑: 周小琳; 科学编辑: 杨平

作者简介: 刘中戎(1972—), 男, 高级工程师, 从事油气勘探与地质综合评价。E-mail: ktnflzr@163.com

通信作者: 陈孔全(1961—), 男, 教授, 博士研究生导师, 主要研究方向为沉积学及储层地质学。E-mail: 30760410@qq.com

资助项目: 中国石油化工股份有限公司科技部项目“羌塘盆地油气资源潜力分析与勘探关键技术”课题2“羌塘盆地油气成藏条件研究与目标评价”(P22197); 中国石油化工股份有限公司勘探分公司项目“羌塘盆地中生界沉积储层特征与区带优选”

During the field geological survey, a set of high-quality dolomite reservoirs was discovered in the northwest Qiangtang Basin. Due to the lack of exploration work in the early stages, the analysis of sedimentary facies characteristics remains an important factor for achieving breakthroughs in oil and gas exploration in the Middle Jurassic Buqu Formation of the northwest Qiangtang Basin. Based on field section lithology observations and rock thin section identification, seven typical types of lithofacies assemblage developed in the area are summarized, and the sedimentary facies types and distribution characteristics in the Buqu Formation are analyzed. The results show that: (1) From south to north, the Middle Jurassic Buqu Formation develops four types of sedimentary subfacies, namely the open platform subfacies, the platform margin subfacies, the slope subfacies, and the shallow water shelf subfacies, which can be further subdivided into seven types of suborder facies. (2) Based on the planar distribution of sedimentary facies of the Buqu Formation in the Middle Jurassic, the sedimentary model is defined as a typical rimmed carbonate platform with a sedimentary model from "open platform" to "platform margin", "slope", and "shelf". (3) Combined with the vertical superposition relationship between the Triassic and Jurassic strata in the area, it can be further determined that the combination of source-reservoir-seal form with the dark mudstone of the Adula Formation (T_3a), the Buqu Formation (J_2b), and the Suowa Formation (J_3s) as source rocks, the dolomite and bioreef limestone of the Buqu Formation as reservoirs, along with the micritic limestone of the upper Buqu Formation and the mudstone and gypsum of the Xiali Formation as seals. It provides theoretical support for breakthroughs in oil and gas exploration in the Middle Jurassic Buqu Formation of the northwest Qiangtang Basin.

Key words: northwest Qiangtang Basin; Buqu Formation; dolomite; lithofacies assemblage; sedimentary model

0 引言

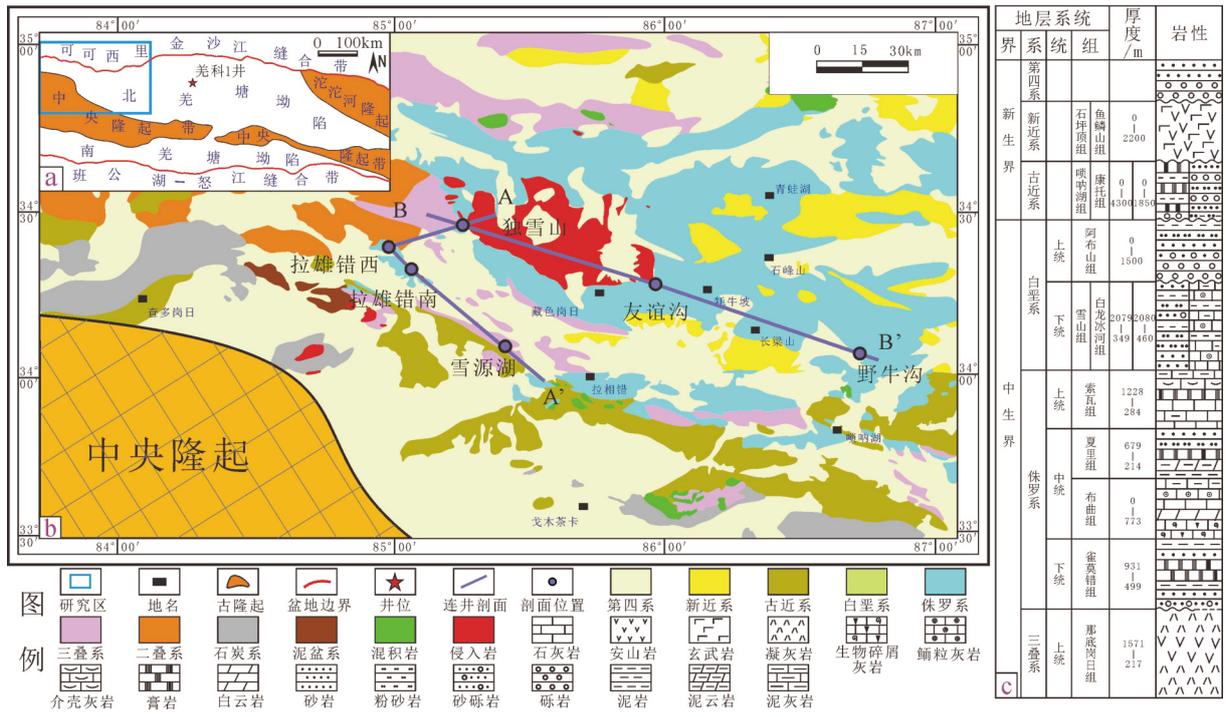
羌塘盆地是我国最大的中生代海相含油气盆地,也是西藏地区含油气远景最好,而勘探程度最低的盆地之一(Zhao et al., 2000; 王剑等, 2009; 付修根等, 2015; 吴珍汉等, 2020)。前期对羌塘盆地中侏罗统布曲组的研究多集中于羌塘盆地南部,并在南羌塘坳陷的隆鄂尼—昂达尔错古油藏带上发现了厚度为 100 m, 出露面积为 2000 km² 的含油白云岩储层,白云岩储层平均孔隙度约为 14.7%, 渗透率达到了 $22.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (王成善等, 2004; 伍新和等, 2005; 万友利等, 2018; 王东等, 2018)。中国地质调查局成都地质调查中心在北羌塘坳陷中北部部署的羌科 1 井钻遇显示,在中侏罗统布曲组、下侏罗统雀莫错组和上三叠统那底岗日组三套地层中均出现了油气显示(付修根等, 2020; 高远, 2020),揭示了北羌塘坳陷中侏罗统布曲组存在油气藏的发育。此次野外地质调查中,首次在盆地南部隆鄂尼至昂达尔错以外地区,于地表发现了羌塘盆地重要油气储层—白云岩储层。前人研究表明(林存国, 2022),北羌塘坳陷中部—西部区域相较于南羌塘坳陷的隆鄂尼—昂达尔错地区保存条件更好,所以在新一轮油气勘探过程中,研究区内布曲组白云岩分布区将会是一个重要目标区。因此开展羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组地层沉积特征分析是实现该区油气藏突破的关键要素。但前期对研究区

的勘探工作较为薄弱,缺乏野外露头、钻井等相关资料,导致了区内中侏罗统布曲组的沉积相类型及其展布特征不明,白云岩储层的优势发育相带也有待进一步研究。

本文基于羌塘盆地野外地质调查和室内研究工作,开展中侏罗统布曲组沉积特征研究。首先通过野外实测剖面沉积特征的研究,编制地层沉积对比图,建立沉积模式,明确各沉积相在区内的展布特征并绘制中侏罗统布曲组平面沉积相图。结合区内地层垂向叠置关系,初步落实了布曲组生储盖组合的配置关系,这对羌塘盆地西北部布曲组的勘探开发具有重要的现实意义。

1 区域地质概况

羌塘盆地位于青藏高原中北部,构造上位于特提斯构造域东段,面积约 $18.5 \times 10^4 \text{ km}^2$ (王剑等, 2009; 曾胜强等, 2012, 2021)。盆地北部以金沙江缝合带为界与可可西里—松潘甘孜地体相接,南部以班公湖—怒江缝合带为界与拉萨地体相接(刘中戎等, 2017; 赵珍等, 2019)。盆地中部发育的中央隆起带是一个大规模的向东倾伏的背斜,主要是由晚古生代海相碳酸盐岩与变质岩组成(薛伟伟等, 2020; 傅焱埔等, 2020)。前人依据地层的岩相组合关系、平面岩性展布关系等,以盆地中部中央隆起带为界限,将盆地由南向北分为:南羌塘坳陷、中央隆起、北羌塘坳陷(图 1; 潘桂棠等, 2013; 王剑等,



a. 羌塘盆地构造分区简图; b. 羌塘盆地西部地质图; c. 地层综合柱状图

图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geologic sketch map of the study area

2018; 白培荣等, 2022)。研究区位于北羌塘坳陷西部, 地层区划上属于查多岗日—江爱达日那分区, 地表以侏罗系出露为主。前人研究表明, 早侏罗世, 即雀莫错组(J_{1q})沉积时期, 北羌塘坳陷发生裂陷, 形成较为封闭的陆缘近海碎屑岩沉积(苏新等, 2015); 中侏罗世早期, 即布曲组(J_{2b})沉积时期, 北羌塘盆地发生了第一次海侵, 海水淹没了中央隆起带, 形成碳酸盐岩沉积(王剑等, 2018); 中侏罗世晚期, 即夏里组(J_{2x})沉积时期, 北羌塘盆地发生大规模海退, 以碎屑岩沉积为主; 晚侏罗世早期, 即索瓦组(J_{3s})沉积时期, 北羌塘盆地发生了第二次海侵, 再次形成碳酸盐岩沉积(Ma et al., 2017; Wang et al., 2019); 晚侏罗世晚期, 即雪山组(J_{3x})沉积时期, 北羌塘盆地再次发生海退, 地层以碎屑岩沉积为主(白培荣等, 2019; 吴珍汉等, 2023)。北羌塘盆地内侏罗系地层整体表现为“三砂夹两灰”的沉积特征(陈程等, 2023)。羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组主要发育海相沉积, 地层岩性为灰岩、生物灰岩、生物碎屑灰岩和白云岩。

2 岩石类型及组合特征

羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组地层岩性以

中厚层泥晶灰岩、生物灰岩、生物碎屑灰岩为主, 局部可见白云岩、瘤状灰岩和泥岩等, 生物类型以 Bathonian 期双壳、腕足和菊石为主(白培荣等, 2022)。与上覆夏里组、下伏雀莫错组均呈整合接触。

2.1 岩石类型

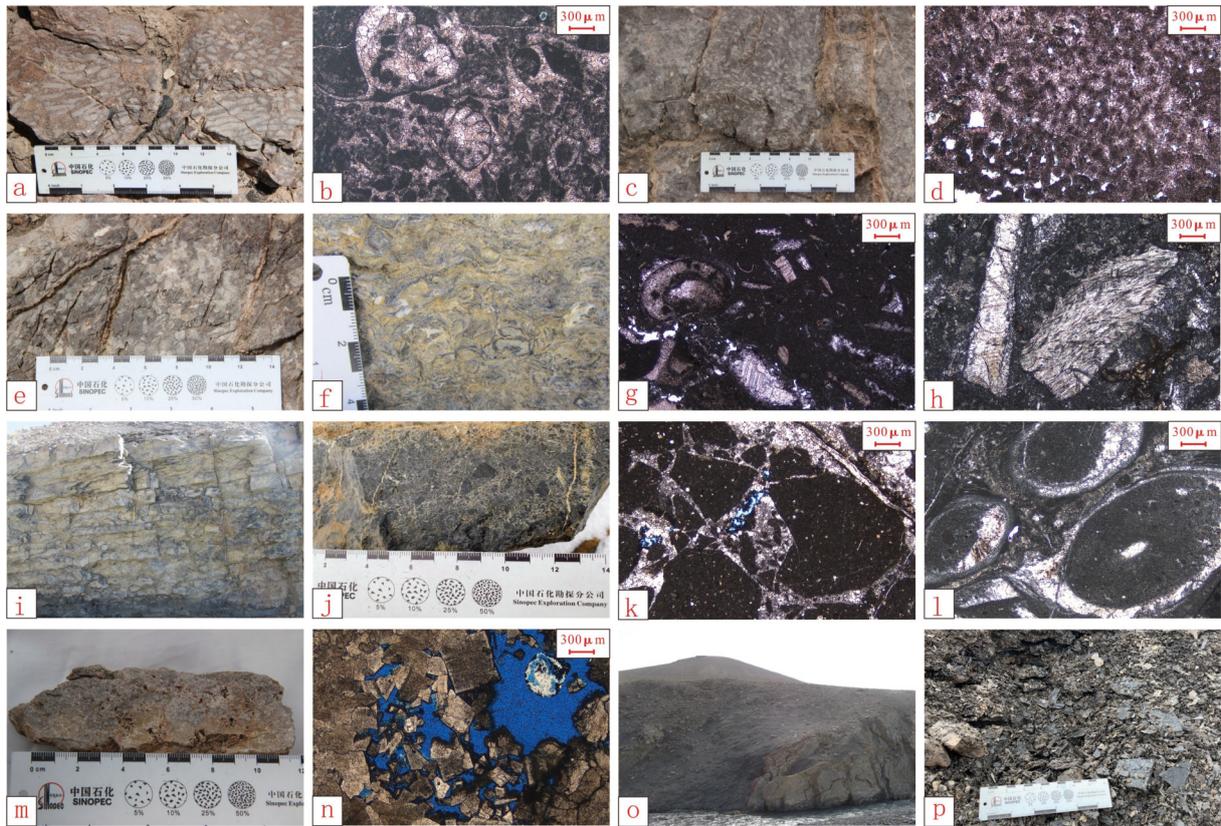
不同岩石类型和特征能一定程度上反映沉积环境的差异。在中侏罗统早期海进的背景下, 羌塘盆地西北部发育镶嵌陆架型台地沉积环境, 不同地区发育的岩性差异性较大, 基于对野外实测剖面的观测和统计, 研究区内共发育了石灰岩类、白云岩类和泥岩类三大类共 10 种岩石类型。

1. 石灰岩

(1) 生物灰岩

在多个野外实测剖面中可见生物灰岩的发育, 主要包括生物礁灰岩、介壳灰岩、生物碎屑灰岩三类, 生物类型以海绵、珊瑚、双壳类、腕足类等为主。

生物礁灰岩: 生物灰岩中生物含量在 60%~80%, 生物类型以海绵、珊瑚为主, 局部可见苔藓虫, 生物个体完整, 可见生物格架, 生物化石间被泥晶灰岩充填, 主要发育海绵礁灰岩与珊瑚礁灰岩



a、b. 珊瑚礁灰岩，拉雄错西；c、d. 海绵礁灰岩，拉雄错西；e. 生物灰岩，拉雄错南；f. 介壳灰岩，块状构造，独雪山；g、h. 含生物碎屑灰岩（双壳类、苔藓虫），雪源湖；i. 瘤状灰岩，独雪山；j、k、l. 角砾灰岩，友谊沟；m、n. 中晶白云岩，拉雄错西；o、p. 灰黑色泥岩，独雪山

图2 羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组岩石类型

Fig. 2 Rock types of the Middle Jurassic Buqu Formation in the northwest Qiangtang Basin

(图2a-d)。

生物灰岩:生物灰岩中生物含量在50%~70%，生物类型以海绵、珊瑚为主，生物形态完整，但未能形成生物格架，生物化石间被泥晶灰岩充填(图2e)。

介壳灰岩:生物灰岩中生物含量在65%~80%，生物类型以双壳类、腕足类为主，生物形态较为完整，生物化石间被泥晶灰岩充填(图2f)。

生物碎屑灰岩:生物灰岩中可见生物碎屑，多为双壳类、腕足类的壳体碎片，局部可见少量完整壳体，生物碎屑含量大于50%，部分含量小于50%，为含生物碎屑灰岩，生物碎屑间被泥晶灰岩充填(图2g-h)。

(2) 瘤状灰岩

以泥晶方解石为主，野外观测中可见灰岩表面出现不规则的瘤状凸起(图2i)。

(3) 角砾灰岩

以泥晶方解石为主，可见灰岩中含有大量灰岩角砾。灰岩角砾直径在0.5 cm~4.5 cm不等，呈杂乱分布，次棱角状(图2j-k)。矿物成分主要为方解石，含量为99%，黏土矿物含量为1%；结构组分中，角砾含量为80%，颗粒间充填物为方解石，含量为13%，生物碎屑含量为7%。可见珊瑚等造礁生物的化石，腔内充填泥晶方解石，构成示底构造(图2l)。

(4) 泥晶灰岩

以泥晶方解石为主，含量在85%以上，偶尔可见生物碎屑，主要为双壳类、腕足类的壳体碎片，含量在15%以下。

(5) 泥灰岩

为碳酸盐矿物和黏土矿物的混合物，其中碳酸盐矿物含量在30%~70%。

2. 白云岩

白云岩是羌塘盆地布曲组重要的岩石类型，也

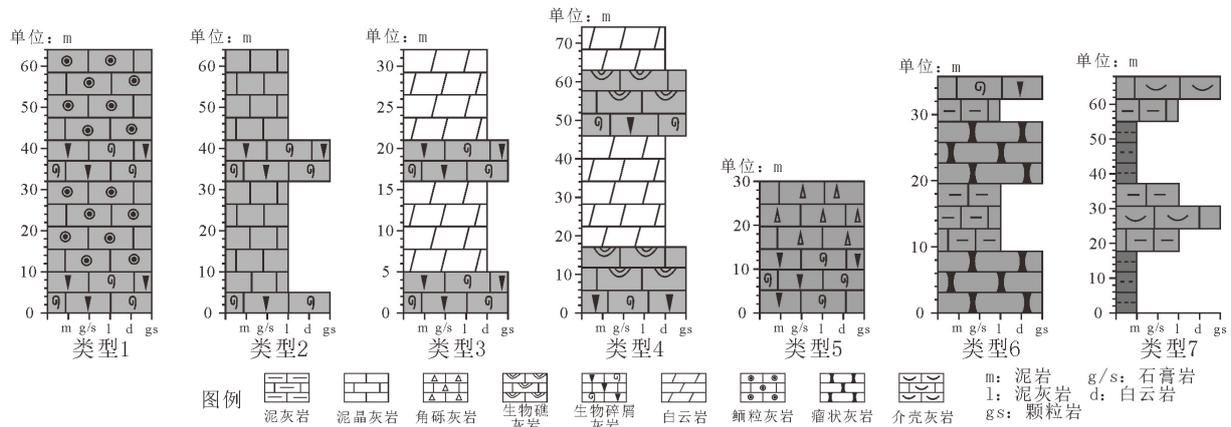


图3 羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组岩相组合类型模式图

Fig. 3 Lithofacies association models of the Middle Jurassic Buqu Formation, northwest Qiangtang Basin

是其主要储层。野外观测的白云岩类型主要为细晶白云岩、中晶白云岩，镜下晶形颇佳(图 2m-n)。

3.泥岩

野外观测灰黑色泥岩，其轻微污手且有轻微油气味(图 2o-p)。

2.2 岩相组合类型

对野外剖面上观测到的岩石组合类型进行统计，共发育 7 种岩相组合类型，分析其形成环境，进一步为沉积相划分提供依据(图 3)。

类型 1: 鲕粒灰岩与生物碎屑灰岩组合。可见灰色中层状鲕粒灰岩与灰色中层状生物碎屑灰岩互层，厚度比例约为 2 : 1，总体厚度为 23 m。该岩相组合反映海水深度极浅，频繁暴露遭受淋溶作用改造。主要分布于雪源湖、野牛沟等剖面区域。

类型 2: 泥晶灰岩与生物碎屑灰岩组合。可见灰色中厚层泥晶灰岩夹灰色中层状生物碎屑灰岩的岩相组合发育，泥晶灰岩与生物碎屑灰岩的层厚比例约为 7 : 1，最大厚度可达 200 m 左右。主要分布于雪源湖、野牛沟等剖面区域。

类型 3: 生物碎屑灰岩与白云岩组合。灰色中层状生物碎屑灰岩与灰白色厚层白云岩互层发育，整体厚度比例约为 1 : 2，白云岩最大厚度可达 45 m。该岩相组合指示了礁后滩沉积环境。主要发育于拉雄错南、拉雄错西等剖面区域。

类型 4: 生物碎屑灰岩、生物礁灰岩与白云岩组合。下部发育灰色中层状生物碎屑灰岩；中部发育灰色中厚层状生物礁灰岩；上部发育灰白色厚层白云岩。底部的生物碎屑灰岩地层厚度最小，其次为生物礁灰岩，顶部白云岩厚度最大，白云岩最大厚度为 68 m。礁灰岩中的生物抗浪骨架结构反映

了水体动荡状态。主要发育于拉雄错西剖面(图 2a-c)。

类型 5: 角砾灰岩与生物碎屑灰岩组合。下部发育深灰色中层状生物碎屑灰岩，上部发育深灰色中层状角砾灰岩，地层厚度比例约为 1 : 1。该岩相组合反映了具有一定坡度的古地貌背景。主要发育于友谊沟剖面。

类型 6: 瘤状灰岩、泥灰岩与生物碎屑灰岩组合。下部发育深灰色薄层状瘤状灰岩；中部发育深灰色薄层状泥灰岩，上部发育深灰色中层状生物碎屑灰岩。该岩相组合在剖面中多次出现，向上瘤状灰岩厚度逐渐增大，反映了沉积物受到重力流改造作用逐渐增强。主要发育于独雪山剖面。

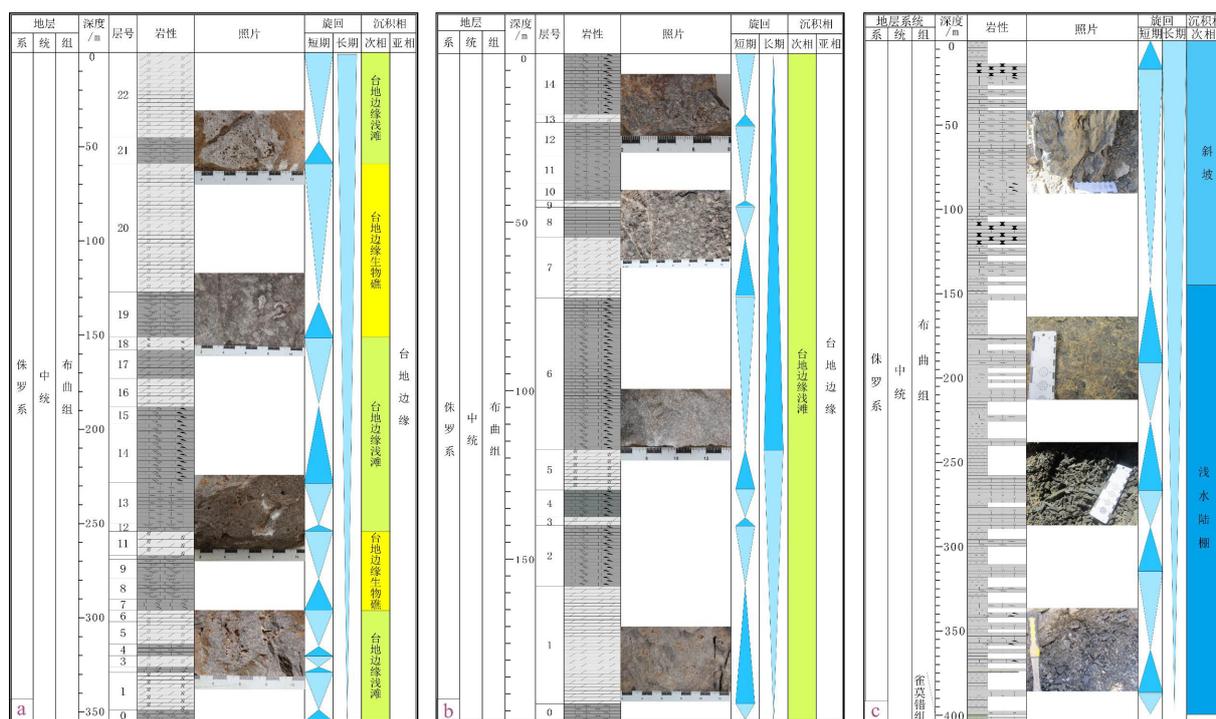
类型 7: 介壳灰岩、钙质泥岩和泥岩组合。下部发育灰黑色薄层状泥岩；中部发育灰黑色薄层状钙质泥岩；上部发育灰黑色薄层状介壳灰岩。该岩相组合在剖面中多次出现，向上泥岩厚度逐渐减小，介壳灰岩厚度逐渐增加。灰黑色泥岩与介壳灰岩中的块状构造，均反映了海水较深的环境(图 2f)。主要发育于独雪山剖面。

3 沉积相模式及岩相古地理展布

3.1 剖面沉积相分析

基于对沉积相特征的分析，结合薄片等资料，对区内重点剖面进行沉积相划分。本文以拉雄错西剖面、拉雄错南剖面、独雪山剖面为例对区内布曲组垂向沉积相发育特征进行阐述。

拉雄错西剖面实测产状为 $243^{\circ} \angle 58^{\circ}$ ，在剖面的 285° 方向 3.3 km 左右出现夏里组地层出露，由于该区域的地层覆盖严重，导致无法对拉雄错西剖



a. 拉雄错西剖面; b. 拉雄错南剖面; c. 独雪山剖面

图4 野外剖面沉积相柱状图(剖面位置见图1)

Fig. 4 Stratigraphic columns depicting sedimentary facies of field sections (see Fig. 1 for section locations)

面区域的布曲组进行完整测量。但观察段在野外地质图上无断裂带区域,结合野外地质图中标注的夏里组产状($300^{\circ}\angle 50^{\circ}$),经计算后得知,拉雄错西剖面顶端距离布曲组顶部约为900 m,综合判断后,将该剖面归于布曲组下段。拉雄错西剖面位于研究区中部,整体发育了深灰色生屑灰岩、生物灰岩、生物礁灰岩和灰白色白云岩,厚度为355 m,指示水体环境较为动荡(图4a)。剖面下段发育岩相组合类型3(59 m),主要为生屑灰岩与白云岩互层,生物化石主要以珊瑚、苔藓虫等造礁生物碎片,为台地边缘浅滩次相。剖面中下段发育岩性组合类型4(42 m),该段底部主要为生物碎屑灰岩,生物碎屑为海绵、珊瑚、苔藓虫等造礁生物化石碎片,中部为珊瑚礁灰岩,生物个体完整,可见生物格架(图2a-b),顶部为白云岩,形成了一套完整的“礁基—礁核—礁盖”生物礁旋回,为台地边缘生物礁次相沉积。剖面中段发育该剖面的第二套岩相组合类型3(103 m),为生屑灰岩与白云岩互层,生物化石主要为海绵等造礁生物碎片,为台地边缘浅滩次相。剖面中上段则发育了该剖面的第二套岩相组合类型4(92 m),同样形成了一套完整的生物礁旋回,底部为生物碎屑灰岩,中部为海绵礁灰

岩,上部为白云岩,为台地边缘生物礁次相沉积(图2c-d)。剖面上段则发育了第三套岩相组合类型3(59 m),底部为生物碎屑灰岩,顶部为白云岩,为台地边缘浅滩次相。

拉雄错南剖面位于拉雄错西剖面的 160° 方向,距离约为2 km,综合分析后,将该剖面地层归于布曲组下段。整体发育了深灰色生物碎屑灰岩与灰白色白云岩的不等厚互层,厚度为198 m,指示了水体环境由深变浅,再变深的过程(图4b)。剖面主要发育3套岩相组合类型3,底部发育生物碎屑灰岩与生物灰岩,生物类型为海绵、珊瑚等造礁生物,生物灰岩中,生物个体保存较为完整,生物含量在50%~70%,未见形成生物格架,顶部发育白云岩。反映了礁后的沉积环境,为台地边缘浅滩次相。

独雪山剖面位于研究区北部,剖面见底,底部与雀莫错组灰绿色钙质泥岩整合接触(图4c)。下部为灰黑色泥页岩、灰黑色钙质泥岩、深灰色介壳灰岩的韵律互层,上部发育了深灰色瘤状灰岩、泥晶灰岩、深灰色生物碎屑灰岩的韵律互层,指示了水体逐渐变浅的过程,整体厚度为411 m。剖面下段主要发育了岩相组合类型7,该段出现了多套底

部为泥岩、中部为钙质泥岩、上部为介壳灰岩的沉积序列。介壳灰岩中,生物类型以双壳类、腕足类生物为主,含量在 50%~70%,大小不一,排列杂乱无序,呈块状构造特征(图 2f),在独雪山剖面底部发育的介壳灰岩厚度较薄,约为 0.45 m,向上厚度逐渐增大,最大厚度可达 3.2 m,反映了浅海陆棚环境,为浅水陆棚次相。剖面上段主要发育了岩相组合类型 6,该段出现了多套底部为灰质泥岩、顶部为瘤状灰岩的沉积旋回,反映了滑塌重力流改造作用,为下斜坡次相。

3.2 地层沉积对比分析

为进一步解析羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组沉积特征,本文通过选取独雪山、拉雄错西、拉雄错南、雪源湖等多条实测剖面,在单剖面沉积相解析基础之上,建立地层沉积对比剖面,明确区内中侏罗统布曲组沉积相平面展布特征。南北向地层沉积对比剖面(A-A')表现为由南往北,中侏罗统布曲组沉积亚相依次为开阔台地亚相—台地边缘亚相—斜坡亚相—浅海陆棚亚相,表明中侏罗世布曲组沉积时期,雪源湖剖面区域水体较浅,向北水体逐渐加深,在拉雄错周缘形成了台地边缘生物礁,随着水体环境的进一步加深,在独雪山区域形成浅海陆棚沉积环境,整体表现为水体环境由浅至深的变化(图 5)。东西向地层沉积对比剖面(B-B')表现为从东往西沉积相依次为开阔台地亚相—斜坡

亚相—浅海陆棚亚相,同样表现为水体环境由浅至深的变化(图 6)。综上所述,布曲组在研究区内平面上表现为南部水浅,北部水深的古地貌格局。

3.3 古地理分析

1. 沉积相类型及特征

羌塘盆地中侏罗统布曲组主要发育碳酸盐岩沉积,根据地层岩性、古生物类型和垂向岩相组合类型,可将羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组划分为浅水陆棚亚相、斜坡亚相、台地边缘亚相、开阔台地亚相四个沉积亚相,各沉积相根据岩相组合特征可进一步划分为多个次相(表 1)。

开阔台地位于台地边缘向陆的区域,位于正常浪基面以下,水体盐度正常略偏高,水体循环中等,可进一步划分为台内滩次相和开阔海次相。台内滩次相常见生物碎屑灰岩、介壳灰岩、砂屑灰岩、鲕粒灰岩,主要发育岩相组合类型 1。开阔海次相常见泥晶灰岩、微晶灰岩夹生屑灰岩,主要发育岩相组合类型 2。

碳酸盐岩台地边缘位于正常浪基面之上,为高能水体环境,水循环良好,海水盐度正常,可进一步划分为台地边缘生物礁次相和台地边缘浅滩次相。台地边缘浅滩次相位于台地边缘礁滩次相向陆、开阔台地向海的中间区域,常受到波浪、潮汐作用的影响,常见生屑灰岩、生物灰岩、白云岩的发育,发育岩相组合类型 3。台地边缘礁滩次相,发育于

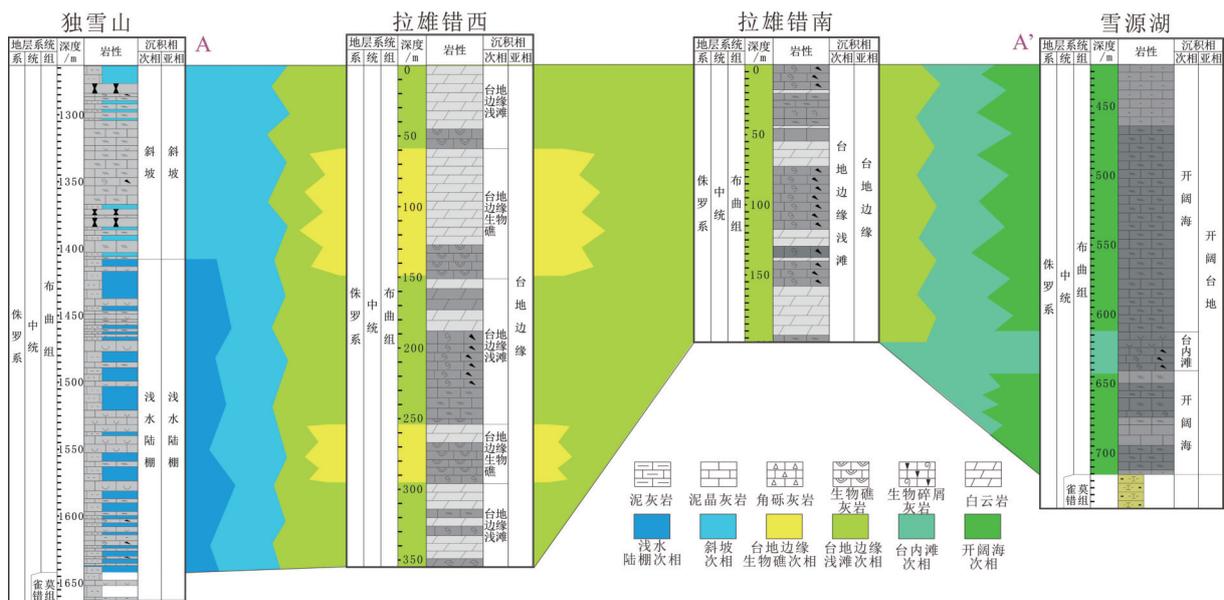


图 5 羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组 A-A' 地层沉积对比图 (剖面位置见图 1)

Fig. 5 Sedimentary correlation map of the Middle Jurassic Buqu Formation from A to A', northwest Qiangtang Basin (see Fig. 1 for section locations)

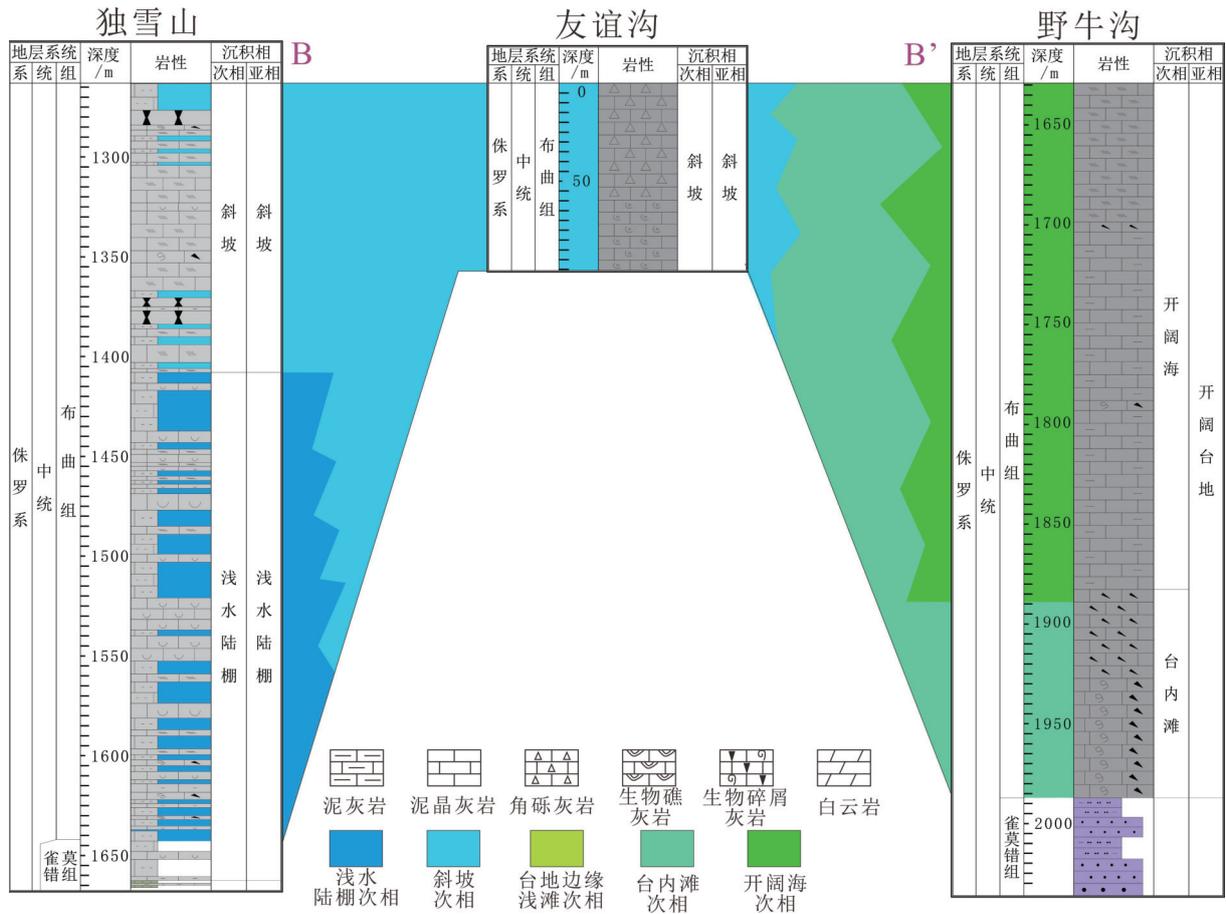


图 6 羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组 B-B' 地层沉积对比图 (剖面位置见图 1)

Fig. 6 Sedimentary correlation map of the Middle Jurassic Buqu Formation from B to B', northwest Qiangtang Basin (see Fig. 1 for section locations)

表 1 羌塘盆地中侏罗统布曲组沉积相类型划分表 (参考牟传龙, 2022)

Table 1 Classification of sedimentary facies of the Middle Jurassic Buqu Formation in the Qiangtang Basin (modified after Mou et al., 2022)

相	亚相	次相	主要岩相组合
碳酸盐岩台地相	开阔台地	台内滩	1
		开阔海	2
	台地边缘	台地边缘浅滩	3
		台地边缘生物礁	4
碳酸盐岩斜坡		斜坡	5、6
浅海陆棚		浅水陆棚	7

台地边缘地区的生物礁相带, 常见生屑灰岩、生物灰岩、生物礁灰岩和白云岩, 主要发育岩相组合类型 4。

台地斜坡位于碳酸盐岩台地与陆棚的中间区域, 水体深度在平均低潮面与平均浪基面之间。台地斜坡坡度较大, 多见滑塌作用。顶部与碳酸盐岩台地相接, 常见角砾灰岩、生物碎屑灰岩等, 主要

发育岩相组合类型 5; 底部与陆棚相接, 常见瘤状灰岩, 灰质泥岩等, 主要发育岩相组合类型 6。

浅海陆棚位于平均浪基面之下, 大陆斜坡之上的中间区域, 波浪作用小, 可进一步划分为浅水陆棚亚相和深水陆棚亚相。浅水陆棚亚相位置上与台地斜坡相接, 常见介壳灰岩(呈块状构造)、灰质泥岩、泥岩等, 主要发育岩相组合类型 7。深水陆

棚亚相位置上与大陆斜坡相接,水体更深,主要发育泥岩、页岩。

根据野外多条实测剖面的分析以及前人的资料成果,认为羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组由南往北依次发育开阔台地亚相、台地边缘亚相、斜坡亚相、浅水陆棚亚相,为典型镶边型碳酸盐岩台地沉积特征(图7)。

2. 沉积相平面分布特征

中侏罗布曲组沉积期,盆地内发生了大规模海侵,海水没过了中央隆起,将南北拗陷连接成一个统一的被动大陆边缘拗陷盆地(王剑等,2018)。表明中央隆起带区域在布曲组沉积期经历了沉积作用,后期地层受到抬升、剥蚀作用的影响,导致现今中央隆起带区域无布曲组沉积物,因此将中央隆起区域划为剥蚀区(图8)。

开阔台地亚相:主要发育于研究区南部区域,位于拉雄错以南区域,包括查多岗日、雪源湖、拉相错、野牛滩、长梁山一带,分布区域较广。主要发育深灰色泥晶灰岩、灰色介壳灰岩、灰色生物碎屑灰岩、灰色含生物碎屑灰岩。生物类型以腕足、双壳类生物为主,局部可见保存完整的个体。

台地边缘亚相:主要发育于拉雄错、牦牛坡和石峰山一带,整体呈北西—南东向条带状分布,岩相组合主要为灰白色白云岩、灰色生物礁灰岩、灰

色生物灰岩、灰色生物碎屑灰岩。生物化石类型以珊瑚、海绵、苔藓虫等造礁生物为主,生物含量较高,个体完整,局部可见生物格架,表现为高能水体环境。台地边缘亚相发育的白云岩和生物礁灰岩孔隙发育,可作为很好的储层,因此该相带是羌塘盆地西北部布曲组优势储层发育相带。

斜坡亚相:通过独雪山剖面(浅水陆棚亚相)和拉雄错西剖面(台地边缘礁滩次相),明确了中间区域发育斜坡相沉积,结合区内东部友谊沟剖面(斜坡亚相)的位置,进一步明确了区内斜坡相的分布区域。斜坡相整体呈北西—南东向条带状分布,主要发育深灰色角砾灰岩、深灰色生物碎屑灰岩、深灰色瘤状灰岩,生物化石类型以腕足、双壳类等生物为主。

浅水陆棚亚相:主要发育于研究区北部区域,分布于鲤鱼山、独雪山、藏色岗日和青蛙湖一带。发育的岩相组合主要为灰黑色泥岩、深灰色钙质泥岩与深灰色介壳灰岩,生物化石类型以腕足、双壳类生物为主,个体完整,可见块状构造。

4 油气地质意义

研究区东部羌科1井布曲组发育烃源岩5套,岩心为深灰色钙质泥岩、深灰色生屑泥晶灰岩等,累计厚度为128 m, TOC 值介于 0.51%~2.99%

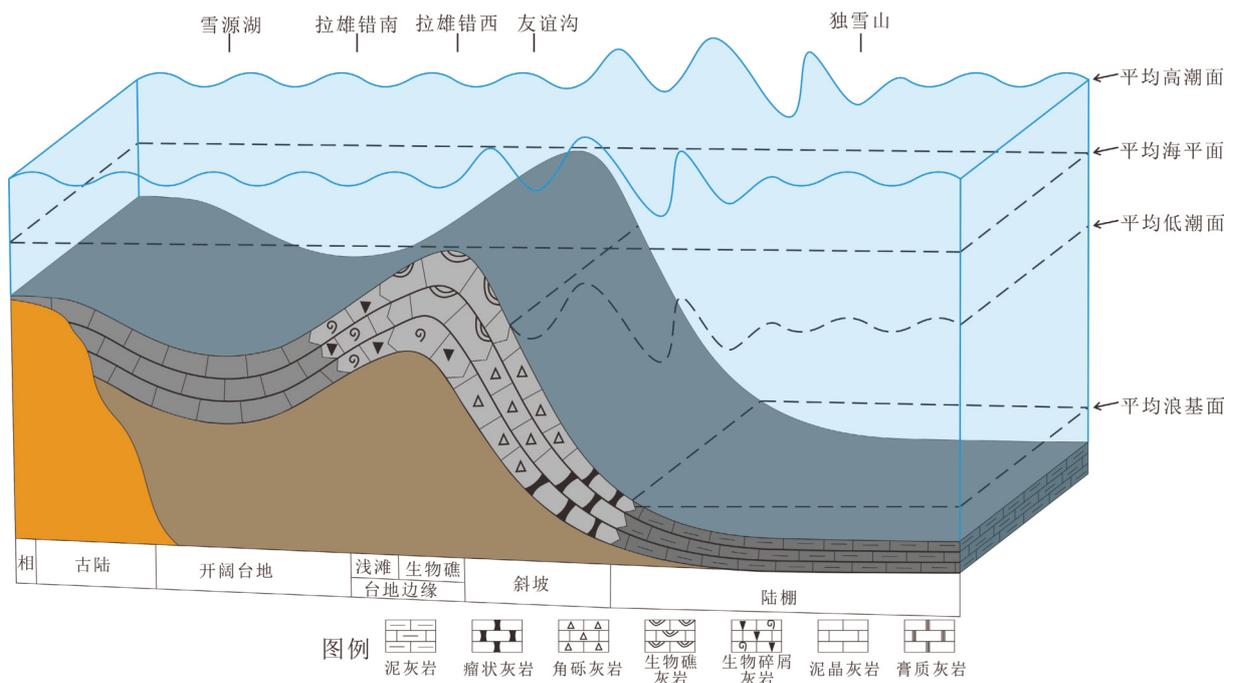


图7 羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组沉积模式图

Fig. 7 Sedimentary model of the Middle Jurassic Buqu Formation in the northwest Qiangtang Basin

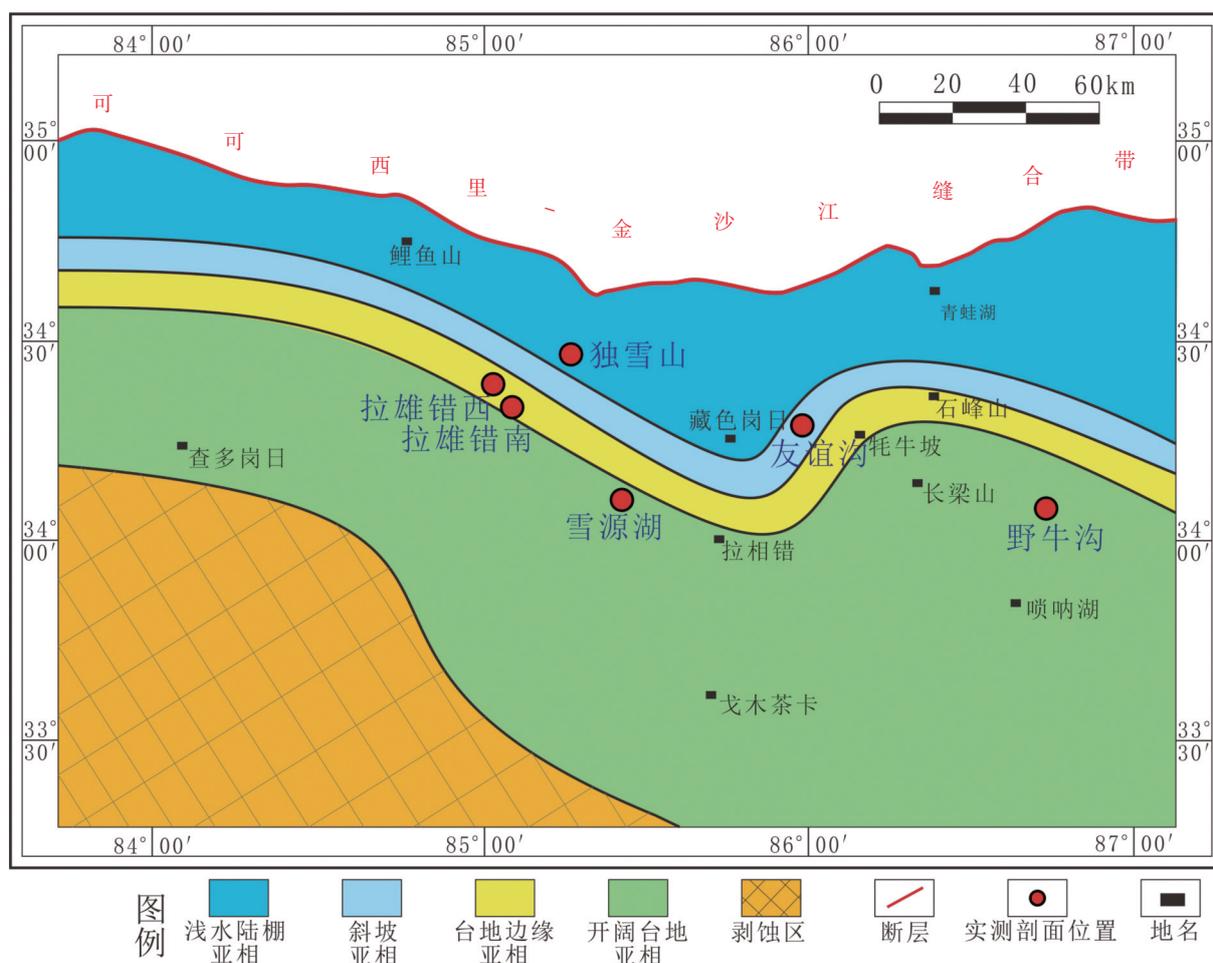
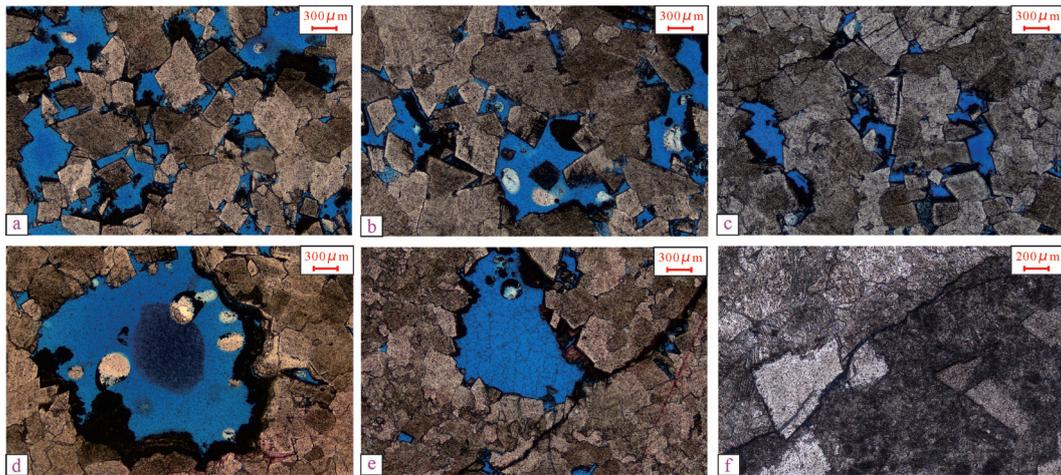


图8 羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组平面沉积相展布图

Fig. 8 Planar distribution of sedimentary facies of the Middle Jurassic Buqu Formation in the northwest Qiangtang Basin

(付修根等, 2020)。而研究区北部独雪山剖面发育浅水陆棚亚相灰黑色泥岩, 野外观察时存在轻微污手、可闻见油气味等现象(图 20-p), 剖面发育的灰黑色泥岩与深灰色钙质泥岩的累计厚度可达 278.58 m, TOC 值介于 0.86%~1.08%, 表明研究区内浅海陆棚相发育的灰黑色泥岩具有成为较好烃源岩的潜力。区内中部台地边缘相发育的白云岩厚度大, 拉雄错西剖面白云岩累计厚度可达 200 m, 拉雄错南剖面白云岩累计厚度可达 130 m。镜下观察结果表明, 区内白云岩类型为细晶白云岩和中晶白云岩, 晶形明显, 晶面污浊(图 9a)。储集空间类型主要为晶间孔、晶间溶孔和构造裂缝, 其中晶间孔占比为 56.1%, 晶间溶孔为 40.3%, 构造裂缝为 3.6%, 且在网状及枝状裂缝(宽度为 0.01 mm~0.1 mm)可见沥青全或半充填(图 9b-f)。白云岩样品物性测试结果显示(样品数量: 36 个), 白云岩孔隙度在 7.3%~22% 之间, 平均值为 12.36%; 渗透率

介于 $0.613 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 24.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值为 $3.21 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为中孔中渗储层, 可划分为 II 级储层(划分标准参考李启来等, 2014)。该相带发育的生物礁灰岩, 生物腔体多被方解石等矿物充填, 物性测试结果显示(样品数量: 13 个), 孔隙度在 0.65%~8.5% 之间, 平均孔隙度为 3.73%; 渗透率介于 $0.011 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2 \sim 2.61 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 平均值为 $0.59 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$, 为低孔低渗储层, 可划分为 III 级储层。生物礁灰岩整体发育厚度较薄, 累计厚度在 18 m, 该套地层亦可作为储层。因此区内北部陆棚相发育的暗色泥岩烃源岩, 可向南部台地边缘相发育的白云岩、生物礁灰岩储层进行侧向排烃, 形成了一套“自生自储”“棚生缘储”的成藏模式。前期研究表明, 北羌塘坳陷布曲组下伏地层中上三叠统阿堵拉组暗色泥岩 TOC 含量在 0.62%~5.67% 之间, 平均值为 1.46%, R_o 在 0.9%~1.44% 之间, 平均值为 1.15%, 有机质类型为 II₂、III 型; 上覆地层上



a、b、c. 晶间孔; d、e. 晶间溶孔; f. 构造裂缝

图9 羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组白云岩储集空间类型

Fig. 9 Space types of dolomite reservoirs in the Middle Jurassic Buqu Formation in the northwest Qiangtang Basin

侏罗统索瓦组暗色泥岩 TOC 含量介于 0.4%~25.68%(TOC>1% 的含量较少, 整体表现为中等生油岩, 只有少部分为好生油岩), R_o 介于 0.95%~1.38%, 有机质类型为 II₁、II₂ 型(付顺, 2012; 刘中戎等, 2022)。其均可作为烃源岩, 与布曲组形成“下生上储”和“上生下储”的成藏模式。

中侏罗世中期, 即布曲组沉积后期, 区内出现大规模的海退, 继而在中侏罗世晚期夏里组发育泥岩、膏盐岩等沉积(陈明等, 2020)。因此中侏罗统布曲组上段在区内大规模发育泥晶灰岩, 并与上覆地层夏里组发育泥岩、膏盐岩等形成了盖层, 与区内中侏罗统布曲组形成了一套生储盖组合。基于薄片镜下观察发现沥青充填的现象, 再结合羌塘盆地北部羌科 1 井在钻遇中侏罗统布曲组、中下侏罗统雀莫错组和上三叠统那底岗日组三套地层中均出现了明显的油气显示(付修根等, 2020), 揭示了羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组极大可能取得油气藏的发现, 实现羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组的油气突破。

5 结论

(1) 野外实测剖面岩性手标本和岩石薄片镜下鉴定特征, 揭示了羌塘盆地西北部中侏罗统布曲组共发育石灰岩、白云岩、泥岩等三大类共计十种岩石类型, 并在研究区内发育了七种典型的岩相组合类型。

(2) 研究区中侏罗统布曲组可划分出开阔台地亚相、台地边缘亚相、斜坡亚相、浅水陆棚亚相等

四种沉积亚相, 进一步细分为开阔海、台内滩、台地边缘浅滩、台地边缘生物礁、斜坡、浅水陆棚等六种次相, 为典型镶边碳酸盐岩台地沉积模式。

(3) 区内陆棚相发育的暗色泥岩烃源岩, 与碳酸盐岩台地边缘相发育的白云岩储层、生物礁灰岩储层, 可形成一套“自生自储”“棚生缘储”的成藏模式。亦可与布曲组下伏地层中上三叠统阿堵拉组暗色泥岩, 上覆地层侏罗统索瓦组暗色泥岩, 形成“下生上储”和“上生下储”的成藏模式。布曲组上部发育的泥晶灰岩与上覆地层夏里组泥岩、膏盐岩等形成的盖层, 可在研究区内形成较好的“生储盖”配置关系。

致谢: 该项工作是在中国石化勘探分公司、中国地质调查局成都地质调查中心(西南地质科技创新中心)、中国石化无锡石油地质研究所、长江大学、成都理工大学五家单位共同协助下完成的, 相关单位领导和技术人员参与了大量工作, 两位审稿专家提出了很多宝贵意见, 在此一并致以衷心感谢。

References

- Bai P R, Xiong X G, Jiang K Y, et al., 2019. Palynoid fossil association and age of the upper member of the Sowa Formation in Shenggen area, North Qiangtang Basin [J]. *Journal of Micropalaeontology*, 36: 190 - 198 (in Chinese with English abstract).
- Bai P R, Xiong X G, Jiang K Y, et al., 2022. Paleontological

- characteristics and sedimentary environment of the Jurassic Buqu Formation in Northern Qiangtang Basin [J]. *Acta Palaeontologica Sinica*, 61 (1) : 65 – 87 (in Chinese with English abstract) .
- Chen C, Wu Z H, Zhao W Y, et al., 2024. Formation environment and organic matter enrichment mechanism of high-quality source rocks in the Buqu Formation in the Shenglihe area, northern Qiangtang basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 98 (2) : 530 – 543. (in Chinese with English abstract) .
- Chen M, Sun W, Chen H, et al., 2020. Sedimentary characteristics and oil-gas geological significance of the Middle Jurassic Buqu Formation in the Ersma area, Southern Qiangtang Basin, Tibet [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 40 (3) : 96 – 101 (in Chinese with English abstract) .
- Fu H P, Hu X M, Liang W D, et al., 2020. Heavy mineral assemblages of Jurassic-Paleogene sandstones in southern Tibet: Implications for provenance interpretations of magmatic arc and continental block[J]. *Geological Journal of Universities*, 26 (5) : 530 – 539 (in Chinese with English abstract) .
- Fu X G, Wang J, Tan F W, et al., 2015. Recent progress in oil and gas geological exploration in the Qiangtang Basin, northern Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 35 (1) : 16 – 24 (in Chinese with English abstract) .
- Fu X G, Wang J, Song C Y, et al., 2020. Petroleum geological achievements and exploration significance of the first oil and gas scientific drilling well in the Qiangtang Basin [J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 40 (1) : 15 – 25 (in Chinese with English abstract) .
- Fu S, 2012. Analysis of Mesozoic hydrocarbon source rocks in the Tuonamuzangbu area, Qiangtang Basin, Tibet[J]. *Geology and Exploration*, 48 (3) : 645 – 653 (in Chinese with English abstract) .
- Gao Y, 2020. Sequence stratigraphic frameworks in different scales of Lower-Middle Jurassic in the northern Qiangtang depression and their significances: A case study of the Quemoco Formation in the QK-1 well [D]. China University of Geosciences (Beijing) : 36 – 45 (in Chinese with English abstract) .
- Li Q L, Yi H S, Liang D Y, et al., 2014. Study on reservoir characteristics of the carbonate rocks in the Middle Jurassic Buqu Formation in Longeni-Angdaercuo area, Qiangtang Basin [J]. *Science Technology and Engineering*, 14 (31) : 183 – 188 (in Chinese with English abstract) .
- Lin C G, 2022. Comprehensive geophysical interpretation of the structure of Qiangtang Basin and optimization of favorable oil and gas zones [D]. Beijing: China University of Mining and Technology (in Chinese with English abstract).
- Liu Z R, Zhang J W, 2017. Late Mesozoic tectonic events and hydrocarbon accumulation in the Qiangtang Basin, northern Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 37 (2) : 23 – 29 (in Chinese with English abstract) .
- Liu Z R, Yang P, Zhang G C, et al., 2022. Sedimentary model and its implications for oil and gas exploration of Upper Triassic in Northern Qiangtang Depression[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 42 (3) : 465 – 480 (in Chinese with English abstract) .
- Ma A, Hu X, Garzanti E, et al., 2017. Sedimentary and tectonic evolution of the southern Qiangtang basin: Implications for the Lhasa-Qiangtang collision timing[J]. *Journal of Geophysical Research*, 122: 4790 – 4813 .
- Mou C L, 2022. Suggested naming and classification of the word facies[J]. *Sedimentary and Tethyan Geology*, 42 (3) : 331 – 339 (in Chinese with English abstract) .
- Pan G T, Wang L Q, Zhang N M, et al., 2013. Geotectonic map and specification of the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent areas [M]. Beijing: Geological Publishing House: 92 – 101.
- Su X, Yin J R, Zhu Y H, et al., 2015. Late Early Jurassic Posidonia shale facies in Qiangtang Basin and its chronostratigraphic significance [J]. *Geological Bulletin of China* 34 (9) : 1617 – 1628 (in Chinese with English abstract) .
- Wang C S, Yi H S, 2001. Geological evolution and petroleum prospect evaluation of Qiangtang Basin, Tibet [M]. Beijing: Geological Publishing House: 184 – 215.
- Wang C S, Yi H S, Liu C Y, et al., 2004. Discovery of paleo-oil-reservoir in Qiangtang basin in Tibet and its geological significance[J]. *Oil & Gas Geology*, 25 (2) : 139 – 143 (in Chinese with English abstract) .
- Wang D, Wan Y L, FU X G, et al., 2018. Diagenetic fabrics and genetic significance of the dolostones from the Angdaercuo area in the Qiangtang Basin[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 38 (2) : 36 – 44 (in Chinese with English abstract) .
- Wang J, Ding J, Wang C S, et al., 2009. Investigation and evaluation of oil and gas resource strategic constituency in Qinghai-Tibet Plateau [M]. Beijing: Geological Publishing House: 196 – 206.
- Wang J, Fu X G, 2018. Sedimentary evolution of the Qiangtang Basin[J]. *Geology in China*, 45: 237 – 259 (in Chinese with English abstract) .
- Wan Y L, Wang J, Fu X G, et al., 2018. Trace element geochemical signatures and significance of the Buqu Formation dolostones in southern Qiangtang depression[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 38 (2) : 23 – 35. (in Chinese with English abstract) .
- Wu X H, Wang C S, Yi H S, et al., 2005. Fossil reservoir of hydrocarbon rock in Qiangtang Basin of Tibet and exploration perspective of oil and gas[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 26 (1) : 13 – 17 (in Chinese with English abstract) .
- Wu Z H, Ji C J, Zhao Z, et al., 2020. Buried depth evolution and hydrocarbon generation history of the Jurassic System in central Qiangtang Basin [J]. *Acta Geologica Sinica*, 94 (10) : 2823 – 2833 (in Chinese with English abstract) .
- Wu Z H, Zhao Z, Ji C J, et al., 2021. Geological time of marine source rocks in the Woruoshan Mountain and its adjacent areas, northern Qiangtang depression [J]. *Acta Geologica Sinica*, 95 (2) : 352 – 361. (in Chinese) .
- Wu Z H, Ji C J, Zhao Z, et al., 2023. Oil-soaked dolomite in upper reach of the Shenglihe River, Northern Qiangtang [J]. *Journal of Earth Sciences*, 44 (3) : 411-418 (in Chinese with English abstract) .

- Wang Z W, Wang J, Fu X G, et al., 2019. Sedimentary successions and onset of the Mesozoic Qiangtang rift basin (northern Tibet), Southwest China: Insights on the Paleo- and Meso-Tethys evolution [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 102: 657 – 679.
- Xue W W, Ma A L, Hu X M, 2020. The redefinition of the Jurassic—Cretaceous lithostratigraphic framework in the Qiangtang Basin, Xizang Plateau[J]. *Geological Review*, 66 (5): 1114 – 1129 (in Chinese with English abstract).
- Zeng S Q, Wang J, Chen M, et al., 2012. Geological age, paleoclimate and petroleum geological characteristics of the upper part of the Suowa Formation in the North Qiangtang Basin [J]. *Geoscience*, 26 (1): 10 – 21 (in Chinese with English abstract).
- Zeng S Q, Chen W B, Feng X L, 2021. Chemical characteristics of fountains in Rejuechaka-Zangxiahe area of the Qiangtang Basin and their geological implications[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 41 (4): 536 – 543 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z, Lu L, Wu Z H, 2019. Uplifting evolution of the Central Uplift Belt, Qiangtang: constraints from tectono-thermochronology [J]. *Earth Science Frontiers*, 26 (2): 249 – 263 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z Z, Li Y T, 2000. Conditions of Petroleum Geology of the Qiangtang Basin of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Acta Geologica Sinica*, 74 (3): 661 – 665.
- ### 附中文参考文献
- 白培荣, 熊兴国, 蒋开源, 等, 2019. 北羌塘盆地中部筮根地区索瓦组上段的孢粉型化石组合及时代[J]. *微体古生物学报*, 36: 190 – 198.
- 白培荣, 熊兴国, 蒋开源, 等, 2022. 北羌塘盆地中南部侏罗纪布曲组古生物特征与沉积环境[J]. *古生物学报*, 61 (1): 65 – 87.
- 陈程, 吴珍汉, 赵为永, 等, 2024. 北羌塘胜利河地区布曲组优质烃源岩形成环境与有机质富集机制[J]. *地质学报*, 98 (2): 530 – 543.
- 陈明, 孙伟, 陈浩, 等, 2020. 西藏南羌塘鄂斯玛地区中侏罗统布曲组沉积特征及油气地质意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 40 (3): 96 – 101.
- 傅焯埔, 胡修棉, 梁文栋, 等, 2020. 西藏南部侏罗纪—古近纪砂岩重矿物分析: 探讨岩浆弧与大陆地块物源差异性[J]. *高校地质学报*, 26 (5): 530 – 539.
- 付修根, 王剑, 谭富文, 等, 2015. 藏北羌塘盆地油气地质勘探新进展[J]. *沉积与特提斯地质*, 35 (1): 16 – 24.
- 付修根, 王剑, 宋春彦, 等, 2020. 羌塘盆地第一口油气科学钻探井油气地质成果及勘探意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 40 (1): 15 – 25.
- 付顺, 2012. 西藏羌塘盆地托纳木藏布中生界烃源岩分析[J]. *地质与勘探*, 48 (3): 645 – 653.
- 高远, 2020. 北羌塘坳陷中—下侏罗统多级别层序格架及意义——以羌科1井雀莫错组为例[D]. 中国地质大学(北京): 36 – 45.
- 李启来, 伊海生, 梁定勇, 等, 2014. 羌塘盆地隆鄂尼—昂达尔错地区中侏罗统布曲组碳酸盐岩储层特征研究[J]. *科学技术与工程*, 14 (31): 183 – 188.
- 林存国, 2022. 羌塘盆地结构综合地球物理解释与油气有利区带优选[D]. 北京: 中国矿业大学.
- 刘中戎, 张佳伟, 2017. 西藏羌塘盆地中生代晚期构造事件与氧气的关系[J]. *沉积与特提斯地质*, 37 (2): 23 – 29.
- 刘中戎, 杨平, 张国常, 等, 2022. 北羌塘坳陷上三叠统沉积模式及对油气勘探的启示[J]. *沉积与特提斯地质*, 42 (3): 465 – 480.
- 牟传龙, 2022. 关于相的命名及其分类的建议[J]. *沉积与特提斯地质*, 42 (3): 331 – 339.
- 潘桂棠, 王立全, 张万年, 等, 2013. 青藏高原及邻区大地构造图及说明书[M]. 北京: 地质出版社: 92 – 101.
- 苏新, 阴家润, 祝有海, 等, 2015. 青藏高原羌塘盆地早侏罗世晚期海螂蛤页岩及其年代地层学意义[J]. *地质通报*, 34 (9): 1617 – 1628.
- 王成善, 伊海生, 2001. 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: 184 – 215.
- 王成善, 伊海生, 刘池洋, 等, 2004. 西藏羌塘盆地古油藏发现及其意义[J]. *石油与天然气地质*, 25 (2): 139 – 143.
- 王东, 万友利, 付修根, 等, 2018. 羌塘盆地昂达尔错地区白云岩成岩结构特征及其成因意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 38 (2): 36 – 44.
- 王剑, 丁俊, 王成善, 等, 2009. 青藏高原油气资源战略选区调查与评价[M]. 北京: 地质出版社: 196 – 206.
- 王剑, 付修根, 2018. 论羌塘盆地沉积演化[J]. *中国地质*, 45: 237 – 259.
- 万友利, 王剑, 付修根, 等, 2018. 羌塘盆地南坳陷古油藏带中侏罗统布曲组白云岩元素地球化学特征及意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 38 (2): 23 – 35.
- 伍新和, 王成善, 伊海生, 等, 2005. 西藏羌塘盆地烃源岩古油藏带及其油气勘探远景[J]. *石油学报*, 26 (1): 13 – 17.
- 吴珍汉, 季长军, 赵珍, 等, 2020. 羌塘盆地中部侏罗系埋藏史和生烃史[J]. *地质学报*, 94 (10): 2823 – 2833.
- 吴珍汉, 赵珍, 季长军, 等, 2021. 北羌塘凹陷沃若山及邻区海相烃源岩形成时代[J]. *地质学报*, 95 (2): 352 – 361.
- 吴珍汉, 季长军, 赵珍, 等, 2023. 北羌塘坳陷南部胜利河油浸白云岩[J]. *地球学报*, 44 (3): 411 – 418.
- 薛伟伟, 马安林, 胡修棉, 2020. 羌塘盆地侏罗系—白垩系岩石地层格架厘定[J]. *地质论评*, 66 (5): 1114 – 1129.
- 曾胜强, 王剑, 陈明, 等, 2012. 北羌塘盆地索瓦组上段的时代、古气候及石油地质特征[J]. *现代地质*, 26 (1): 10 – 21.
- 曾胜强, 陈文彬, 冯兴雷, 2021. 羌塘盆地热觉茶卡—藏夏河地区泉水水化学特征及其地质意义[J]. *沉积与特提斯地质*, 41 (4): 536 – 543.
- 赵珍, 陆露, 吴珍汉, 2019. 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*, 26 (2): 249 – 263.