

DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.08001

刘中戎,杨平,张国常,范志伟,韩京,谭富文,占王忠,曾胜强,卫红伟,何磊,何佳乐,2022. 北羌塘坳陷上三叠统沉积模式及对油气勘探的启示. 沉积与特提斯地质,42(3):465-480. DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.08001

LIU Z R, YANG P, ZHANG G, FAN Z W, HAN J, TAN F W, ZHAN W Z, ZENG S Q, WEI H W, HE L, HE J L, 2022. Sedimentary model and its implications for oil and gas exploration of Upper Triassic in Northern Qiangtang Depression. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 42(3):465-480. DOI:10.19826/j.cnki.1009-3850.2022.08001

北羌塘坳陷上三叠统沉积模式及对油气勘探的启示

刘中戎¹, 杨平^{2,3*}, 张国常¹, 范志伟¹, 韩京¹, 谭富文^{2,3},
占王忠^{2,3}, 曾胜强^{2,3}, 卫红伟^{2,3}, 何磊^{2,3}, 何佳乐^{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. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 3. 自然资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 四川 成都 610081)

摘要:基于北羌塘坳陷上三叠统基于剖面实测资料,开展地层层序划分对比和沉积相研究,建立沉积演化模式,揭示对羌塘盆地油气勘探的指示意义。结果表明:(1)北羌塘坳陷晚三叠世卡尼期—诺尼期可以划分为2个Ⅲ级层序,区域上沉积了4套地层,第1个Ⅲ级层序对应于甲丕拉组(LST)和波里拉组(TST,HST),第2个Ⅲ级层序对应于阿堵拉组(SMT,TST和HST)和夺盖拉组(RST);(2)北羌塘坳陷甲丕拉组沉积期主要沉积相为扇三角洲和三角洲,波里拉组沉积期可分为沿岸生物礁模式、远端变陡缓坡模式和碳酸盐岩台地模式,阿堵拉组沉积期主要以海岸、浅海陆棚相和三角洲相为主;(3)波里拉组外缓坡亚相和阿堵拉组浅海陆棚相可形成良好的灰泥岩类烃源岩,其中以阿堵拉组广覆式浅海陆棚相泥质烃源岩最重要,波里拉组油苗以海相成因和中高成熟度为主,主要来源于波里拉组外缓坡亚相泥灰岩,后期低熟油来自阿堵拉组浅海陆棚相混合型有机质。北羌塘坳陷发育多个大型富烃凹陷,上三叠统具有良好的生烃成藏条件,研究对深化羌塘油气地质认识,聚焦油气勘探目的层系具有重要地质意义。

关键词:羌塘盆地;上三叠统;层序;沉积模式;成藏模式

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Sedimentary model and its implications for oil and gas exploration of Upper Triassic in Northern Qiangtang Depression

LIU Zhongrong¹, YANG Ping^{2,3}, ZHANG Guochang¹, FAN Zhiwei¹, HAN Jing¹, TAN Fuwen^{2,3},
Zhan Wangzhong^{2,3}, Zeng shengqiang^{2,3}, Wei Hongwei^{2,3}, He Lei^{2,3}, He Jiale^{2,3}

(1. Petroleum Exploration and Development Branch, SINOPEC, Chengdu 610041, China; 2. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, China; 3. Key Laboratory of Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Natural Resources, Chengdu 610081, China)

Abstract: Based on the measured data of the Upper Triassic section in the Northern Qiangtang Depression, We have studied the stratigraphic sequence and sedimentary facies, established the sedimentary evolution model, and

收稿日期: 2022-04-05; 改回日期: 2022-08-01 责任编辑: 郭秀梅 科学编辑: 万友利 英文审校: 王高明

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

通讯作者: 杨平(1981—),男,正高级工程师,主要从事石油地质综合评价和非常规油气地质研究。E-mail: yping0@163.com

资助项目: 国家自然科学基金重大研究计划(92055314)、中国石油化工股份有限公司科技部项目《羌塘盆地油气资源前景与勘探方向》、中国石油化工股份有限公司勘探分公司项目(羌塘盆地中侏罗统布曲组白云岩储层评价研究)和中国地质调查局项目(DD20221661)

revealed the indicative significance for oil and gas exploration in the Qiangtang Basin. The results show that: (1) the Late Triassic Carnian-Norian in the North Qiangtang Depression can be divided into two third-order sequences, with four sets of strata deposited in the area. The first third-order sequence corresponds to the Jiapila Formation (LST) and the Bolila Formation (TST and HST), the second third-order sequence corresponds to The Adula Formation (SMT, TST and HST) and the Duogaila Formation (RST). (2) The main sedimentary facies of the Jiapila Stage in the North Qiangtang Depression are fan delta and delta; the depression during Bolila period shows the coastal reef model, the distal steepening and gentle slope model and carbonate platform model, respectively; the Adula Formation and Duogaila Formation are dominated by shallow sea shallow shelf facies and delta facies, respectively; (3) the outer gentle slope facies of the Bolila Formation and the shelf facies of the Adula Formation are conducive to the formation of good source rocks, among which the widely developed shelf muddy source rocks of the Adula Formation are the most important. The oil in the Bolila Formation is mainly of marine origin and medium to high maturity, and mainly comes from the outer gentle slope facies marl of the Bolila Formation. The late low-maturity oil comes from the shelf-transitional facies Mixed organic matter of the Adula Formation. The North Qiangtang Depression has developed several large hydrocarbon-rich sags, and the Upper Triassic horizon has favorable conditions for hydrocarbon generation and accumulation. The study is of great geological significance to deepen the geological understanding of oil and gas in the Qiangtang and focus on the target formations for oil and gas exploration.

Key words: Qiangtang basin; Upper Triassic series; sequence; depositional model; hydrocarbon accumulation model

0 引言

20 世纪 90 年代以来,中石油、中石化和国土资源部等对羌塘盆地相继开展油气勘探与相关工作,对羌塘盆地性质、沉积演化和石油地质条件进行了较系统地总结,形成了一系列基础地质和油气地质条件的认识,包括羌塘盆地“两坳夹一隆”的一级构造分区、侏罗系“三砂夹两灰”的地层充填序列,同时评价和优选了生-储-盖组合和油气远景区。羌塘盆地发育中生代巨厚海相地层,中生代沉积的三叠系及以上地层最厚处可达 8000m,在古生界—中生界发现的油气显示多达 230 余处(谭富文等,2002;王成善等,2004,2006;王剑等,2004a),其中南羌塘坳陷的昂达尔错古油藏证实了羌塘盆地早期油气大规模成藏(王成善等,2006),表明羌塘盆地天生烃成藏基础良好。由于南羌塘坳陷构造变形强烈导致油气保存条件破坏较强,近年来,越来越多的工作集中在北羌塘坳陷,其中在北羌塘坳陷的羌科 1 井在井深 4246.0~4253.7m 处的上三叠统那底岗日组火山碎屑岩中发现气测全烃由 0.044% 上升至 3.544% 的异常显示(付修根等,2020;王剑等,2022),预示着北羌塘坳陷腹地极可能发育上三叠统深层油气藏。羌塘盆地从古生界—中生界发育 4 套孔隙型的含油海相层系,包括中央隆起带南侧的二叠系龙格组(P_2l)含油白云岩

(宋春彦等,2014),南羌塘坳陷隆鄂尼—昂达尔错一带的中侏罗统布曲组(J_2b)古油藏(万友利等,2017,2020),与北羌塘坳陷胜利河油页岩相邻的生物灰岩、生屑灰岩等碳酸盐岩储层(吴珍汉等,2022),以及北羌塘坳陷鄂尔托陇巴剖面的上三叠统波里拉组,这些含油层系均具有近源成藏的特点。关于前 3 个含油层系,前人已做了相应研究,如古油藏布曲组地层中的油源主要来自于下侏罗统曲色组(J_1q)烃源岩(王成善等,2006),同时也有上三叠统扎那组泥质烃源岩的贡献(杨易卓等,2022)。第 4 个含油层系,本团队在鄂尔托陇巴剖面开展工作时发现,该剖面波里拉组发育的缓坡相带碳酸盐岩中,见有多层条带状含油灰岩和含油砂岩,可能对重新认识羌塘盆地沉积构造格局、基本石油地质条件及油气富集规律具有更为重要的指示意义。

在羌塘盆地侏罗系油气勘探长期打不开局面的状况下,勘探目标向三叠系或更深层拓展是必然趋势。有关羌塘盆地上三叠统沉积相和沉积模式的研究,以往沉积方面主要关注单个剖面或者局部某个地区,又或者相对笼统地把上三叠统作为一个研究对象(朱同兴等,2010;汤朝阳等,2011;宋春彦等,2013;冯兴雷等,2018;陈浩等,2018;刘若涵等,2019;朱同兴等,2020;王忠伟等,2020)。这对于认识羌塘盆地晚三叠世沉积模式、盆地腹地有利相带、高效烃源岩分布和油气成藏规律等显然

是不够的。为深化羌塘盆地上三叠统油气地质的认识,在调研了大量文献资料的基础上,在自然条件极其恶劣的北羌塘坳陷开展了上三叠统不同相区的基干剖面实测,对上三叠统沉积相、层序和沉积演化模式进行了研究,结合上三叠统波里拉组石油成因研究,为羌塘盆地上三叠统油气勘探提供参考。

1 地质概况

随着二叠纪末金沙江洋的关闭和可可西里褶冲带的形成,北羌塘坳陷进入早中三叠世前陆盆地演化阶段,龙木错-双湖缝合带和可可西里-金沙江缝合带大致限定了北羌塘坳陷早中三叠世前陆盆地的范围和物源特性(Wang et al., 2017; 王剑和付修根, 2018),早中三叠世,靠近可可西里褶冲带一侧强烈变形并挠曲沉降形成前渊带,沉积了巨厚的若拉岗日群复理石沉积(文世宣, 1979; 张以弗和郑健康, 1994; 杨子江等, 2007),若拉岗日群可以分为下中三叠统和上三叠统(杨子江等, 2007),其中上三叠统苟鲁山克错组(T_3g)相当于北羌塘坳

陷的肖茶卡组(T_3x)或者土门格拉组(T_3t)。羌塘盆地中央隆起带上三叠统肖切保组火山岩底部与中二叠统龙格组灰岩呈假整合接触,与上石炭统擦蒙组冰水杂砾岩呈假整合接触(朱同兴等, 2005),上三叠统不整合在古生界不同层系之上,以上现象表明北羌塘坳陷上三叠统是独立演化的。

在中央隆起和北羌塘坳陷的结合地区,中下三叠统主要由康鲁组(T_1k)、硬水泉组(T_2y)、康南组(T_2k)组成,形成“两砂夹一灰”的充填序列,与下伏二叠系热觉茶卡组(P_2r)等地层呈不整合接触,这些古特提斯洋演化最后阶段残留海(王剑等, 2004a; 谭富文等, 2016)的沉积地层构成了北羌塘坳陷上三叠统主要的基底。上三叠统常以一套拉张背景的基性火山岩(高春文等, 2006)或者底砾岩的出现为标志,代表北羌塘坳陷由早中三叠世的前陆盆地向晚三叠世裂陷盆地的转换,受裂谷期火山岩物源和继承性的同沉积断裂控制,依次沉积了甲丕拉组砾岩、波里拉组灰岩等地层。晚三叠世以来,在前陆盆地向裂陷盆地转换过程中(高春文等, 2006),仍然间歇性地伴随着陆块的碰撞,晚三叠世早期(卡

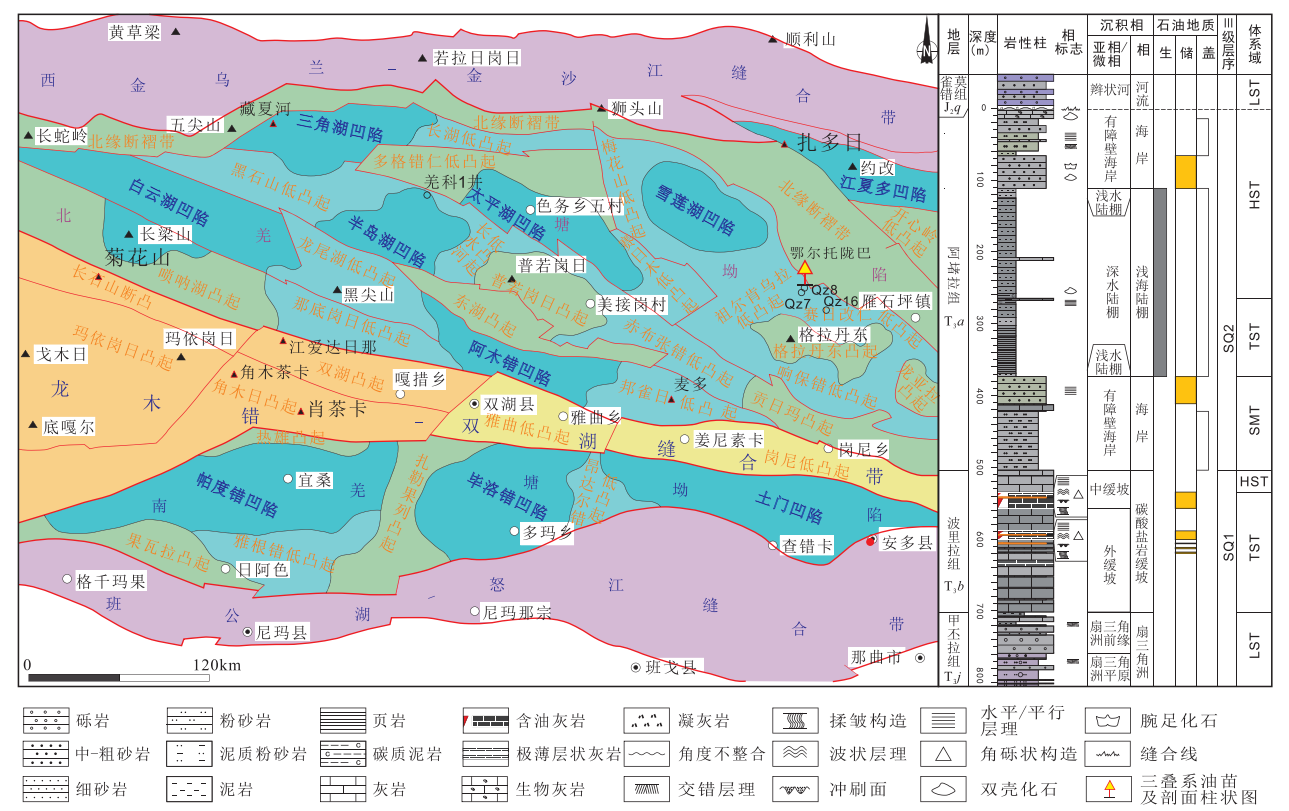


图1 羌塘盆地构造单元划分及上三叠统地层序列(据周道卿,2021,略修改)
Fig.1 Division of tectonic units and sedimentary histogram in the Qiangtang Basin (modified from Zhou et al., 2021)

尼期)裂陷盆地演化阶段表现为多组 EW 向同沉积断裂控制下的沉积演化特征,晚三叠世中期(诺利期)表现为陆块间继承性碰撞和盆地中心挠曲沉降作用,形成大套碎屑岩沉积组合(刘若涵等, 2019),晚期(瑞替期)为陆块间持续的碰撞,形成北羌塘拗陷瑞替期广泛的不整合面。晚三叠世瑞替期火山的爆发,北羌塘拗陷主要以一套火山角砾岩和碎屑岩互层的岩石组合结束了三叠纪的沉积充填,随着晚三叠世班-怒洋的打开,羌塘盆地进入侏罗纪裂陷盆地和被动陆缘盆地(王剑等, 2004b)演化阶段(图 1)。

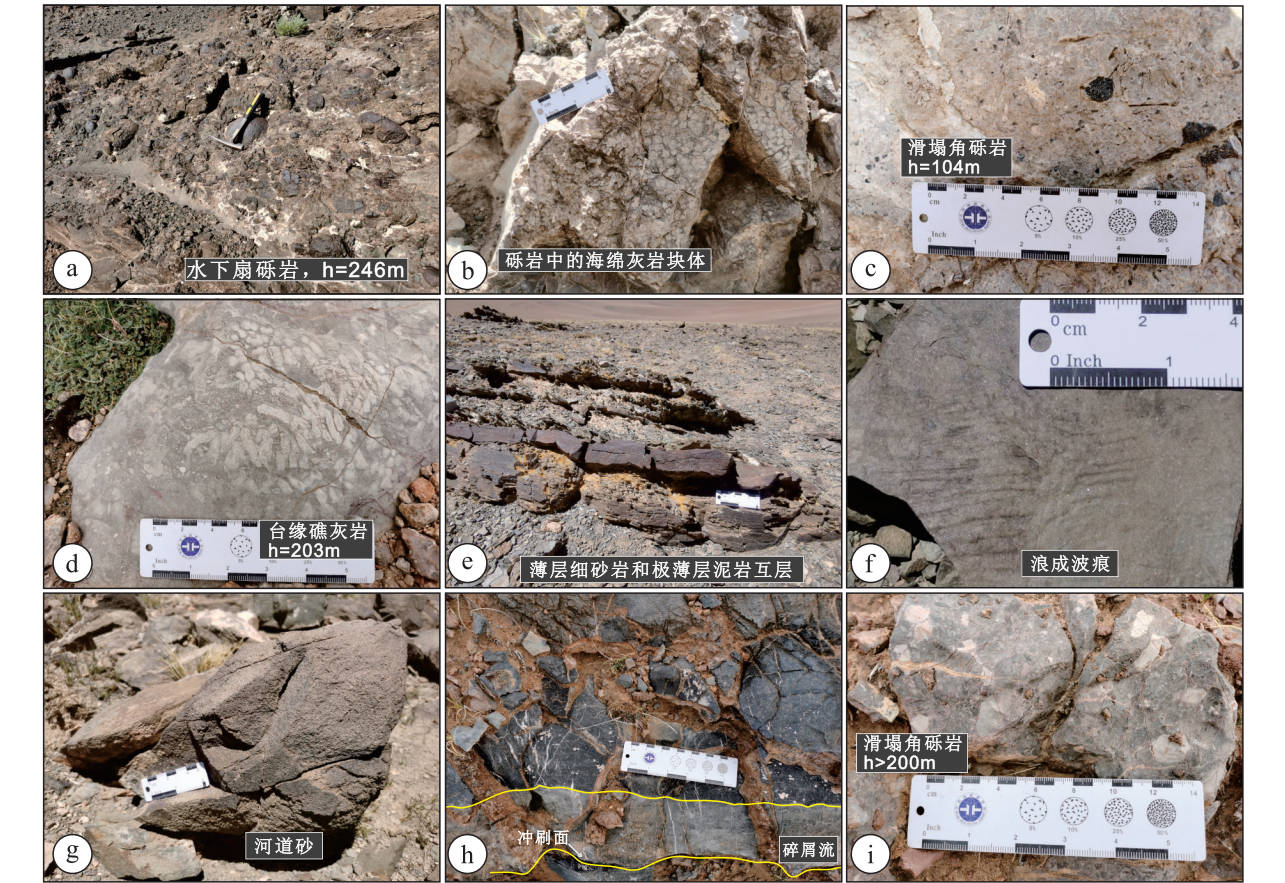
2 上三叠统基干剖面地层序列及沉积相

本文采用昌都盆地上三叠统地层划分方案,将北羌塘拗陷上三叠统地层依次划分为甲丕拉组

(T_3j)、波里拉组(T_3b)、阿堵拉组(T_3a)和夺盖拉组(T_3d)。通过野外剖面实测,对羌塘盆地不同相区基于剖面开展了地层分层、岩性描述和相标志的识别与分析,统一划分了上三叠统的相、亚和次相,碳酸盐岩和碎屑岩沉积体系中沉积相的划分方案主要参考曾允孚和夏文杰(1984)、牟传龙(2022)等命名方案。

2.1 角木茶卡剖面

角木茶卡剖面位于羌塘盆地中央隆起,原 1:25 万江爱达日那幅地质报告将上三叠统划分为肖切堡组(T_3x)、角木茶卡组(T_3j),其中肖切堡组为一套火山岩,与中二叠统龙格组灰岩呈假整合接触,角木茶卡组可划分为砾岩段和灰岩段,砾岩段相当于甲丕组,灰岩段相当于波里拉组,未见顶,在位于与角木茶卡剖面同一构造带的肖茶卡剖面,扎那组(T_3z)与波里拉组整合接触。



a. 角木茶卡剖面甲丕拉组(T_3j)砾岩;b. 角木茶卡剖面甲丕拉组砾岩夹海绵灰岩块体;c. 角木茶卡波里拉组(T_3b)滑塌角砾岩;d. 角木茶卡剖面波里拉组上部海绵礁;e. 肖茶卡剖面阿堵拉组(T_3a)薄层状细砂岩与极薄层状泥岩互层,发育平行层理、沙纹层理,可见大量云母碎片;f. 肖茶卡剖面阿堵拉组薄层状细砂岩发育浪成波痕;g. 肖茶卡剖面夺盖拉组(T_3d)发育中厚度粗一中粒岩屑砂岩,见底冲刷和槽状交错层理;h. 菊花山剖面波里拉组发育多套碎屑流;i. 菊花山剖面波里拉组发育滑塌角砾岩

图 2 角木茶卡和菊花山剖面上三叠统沉积特征

Fig. 2 Sedimentary characteristics of Upper Triassic in Jiaomuchaka and Juhuashan sections

该剖面上三叠统以甲丕拉组砾岩不整合在肖切堡组火山岩为标志,甲丕拉组从下至上由粗砾岩过渡为细砾岩,厚 244.86m,砾石以安山岩和玄武岩为主,呈次圆状,分选差,砾石含量 50% ~ 70%,基质为凝灰质、钙质和泥质,由下至上为紫红色砾岩过渡为灰绿色细砾岩,为扇三角洲相,并可分为扇三角洲平原亚相和扇三角洲前缘亚相(图 2a),上部可见灰绿色细砾岩中间夹少量深灰色泥晶灰岩块体,局部产海绵、珊瑚(图 2b)。

角木茶卡剖面的波里拉组可分三段。第一段为灰色厚层一块状角砾状灰岩,可见安山质、玄武质砾岩,同时常见六射珊瑚、海绵等造礁生物组成的礁屑岩,这些角砾不仅来自台缘造礁生物的滑塌,而且包含陆源碎屑,厚 64m,为斜坡相(图 2c);第二段为灰白色中层状海绵灰岩夹中层状角砾状灰岩,属于生物礁雏形阶段建造的圆丘礁(Willson, 1975),厚 41m;第三段为灰白色厚层一块状海绵礁灰岩夹少量角砾状灰岩(图 2d),以骨架礁为主要特征,厚 203m。野外观测表明,角木茶卡剖面从甲丕拉组砾岩演化至波里拉组生物礁,纵向上岩性和沉积相变化快,形成多个角砾状灰岩(TST) - 海绵灰岩(HST)构成的准层序的垂向叠置,斜坡带物源复杂,预示着平面上受同沉积断裂的控制,沉积相带快速变化,类似于澳大利亚现代的大堡礁等沿岸生物礁形成演化过程(Johnson 和马建华, 1988)。

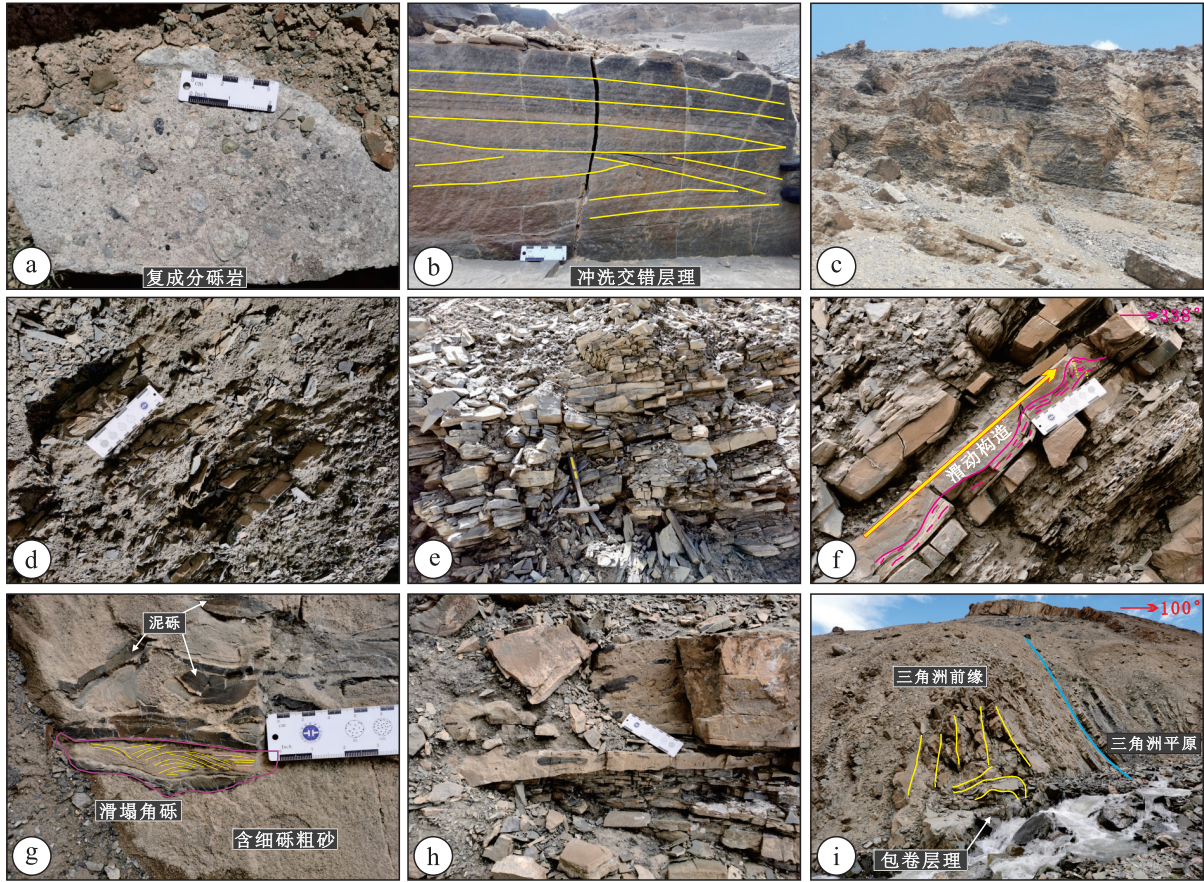
在角木茶卡剖面东南的肖茶卡剖面,波里拉组灰岩之上可见扎拉组大套碎屑岩,厚度可达 1300m,野外观察表明,扎拉组相当于阿堵拉组和夺盖拉组,在扎拉组下部为灰色薄层状细砂岩和灰绿色粉砂质泥岩互层(图 2e),在薄层状细砂岩中发育少量滑动变形构造,滑动面大致指示 $180^{\circ} \rightarrow 0^{\circ}$ 的滑动方向和古水流方向,同时在细砂岩中可见大量的沙纹层理、对称浪成波痕(图 2f)和较完整的硬壳双壳化石。同时,无论灰色薄层状细砂岩,还是灰绿色粉砂质泥岩,均含大量白云母碎片,代表水动力中等—较弱的沉积环境,该地层与波里拉组灰白色块状生物灰岩呈整合接触,预示该地区从波里拉组至扎拉组沉积水深均较浅且变化不大,反映了中央隆起带角木茶卡—肖茶卡区域,阿堵拉组主要为较浅水的海岸相,发育无障碍海岸亚相,可划分为近滨、远滨等次相(次相含义参见牟传龙, 2022)。扎拉组上部发育大套中—厚层灰色—灰绿色粗砂岩,具有正粒序、底冲刷和大型交错层理,为河流相(图 2g)。

2.2 江爱达日那剖面

该剖面上三叠统由下至上依次发育甲丕拉组、波里拉组、阿堵拉组和夺盖拉组。甲丕拉组以一套灰白色厚层一块状复成分砾岩不整合在中三叠统康南组浅灰色粉细砂岩和泥岩之上(图 3a),砾石为安山质、玄武质和石英质,上部为灰白色中—厚层状细粒石英砂岩间夹灰色粉砂岩,发育大型冲洗交错层理和平行层理(图 3b),该剖面甲丕拉组主要为扇三角洲前缘亚相—无障碍海岸亚相。

波里拉组发育灰—深灰色中薄层状瘤状灰岩(图 3c),局部含生物碎屑和少量灰黑色页岩,根据岩石组合变化由下至上可分为中缓坡亚相、内缓坡亚相。阿堵拉组大致可以分为两段,下段为灰黑色泥页岩夹少量粉砂岩和泥晶灰岩,为浅水陆棚亚相(图 3d);上段陆源碎屑增多,发育完整的前三角洲、三角洲前缘和三角洲平原亚相,前三角洲主要为灰黑色粉砂质泥岩夹少量粉细砂岩(图 3e),三角洲前缘发育水下分流河道、水下分流间湾等次相,以成熟度较低的中—粗粒岩屑砂岩为主,岩屑成分以火山岩为主,其次为变质岩岩屑,三角洲平原亚相出现在夺盖拉组二段上部,主要岩性为中—细粒岩屑砂岩与灰黑色炭质泥岩互层,间夹煤线,砂岩发育大型交错层理、平行层理,可划分为分流河道、分流间湾和沼泽等次相。阿堵拉组发育底冲刷、滑动构造(图 3f)、滑塌角砾(图 3g、图 3h)和包卷层理(图 3i),这些沉积现象主要出现在三角洲前缘亚相,滑动构造主要发生水下分流河道的中—粗砂岩中,代表沉积水底具有一定坡度的环境,根据滑动方向大致测得古水流方向为 $180^{\circ} \rightarrow 0^{\circ}$,大量滑塌角砾的出现代表沉积水底坡度的增加和沉积物过度负载后的滑塌和杂乱堆积,角砾大多来自浅水发育沙纹层理的粉砂岩,也有相对深水灰黑色泥岩等角砾,这些角砾分选磨圆差,粒径约 2 ~ 10cm,呈棱角状,角砾无定向分布不均匀,多呈悬浮状,发育角砾的岩层大多呈厚层一块状,也有薄层状分布,在这些角砾岩之上可见由中—粗砂岩组成的大型包卷层理。以上特征表明该剖面阿堵拉组在三角洲沉积演化过程中,局部具有重力流成因特征。

夺盖拉组以大套灰色—灰绿色中—厚层岩屑砂岩出现为特征,该套砂岩整合于阿堵拉组三角洲平原亚相灰黑色泥岩之上,发育大型交错层理、平行层理,基本不含泥岩,与该剖面北部的沃若山、东部的麦多和南部的肖茶卡可进行对比,为一套河流相沉积。



a. 甲丕拉组底部复成分砾岩;b. 甲丕拉组砂岩中发育冲刷交错层理和平行层理;c. 波里拉组大套薄层状瘤状灰岩;d. 阿堵拉组下部灰黑色页岩夹少量粉砂岩;e-f. 阿堵拉组灰黑色粉砂质泥岩夹薄层状细砂岩,发育滑动构造;g-h. 阿堵拉组发育厚层一块状滑塌角砾岩;i. 阿堵拉组发育大型包卷层理

图3 江爱达日那剖面上三叠统沉积特征

Fig. 3 Sedimentary characteristics of Upper Triassic in the Jiangai Darina section

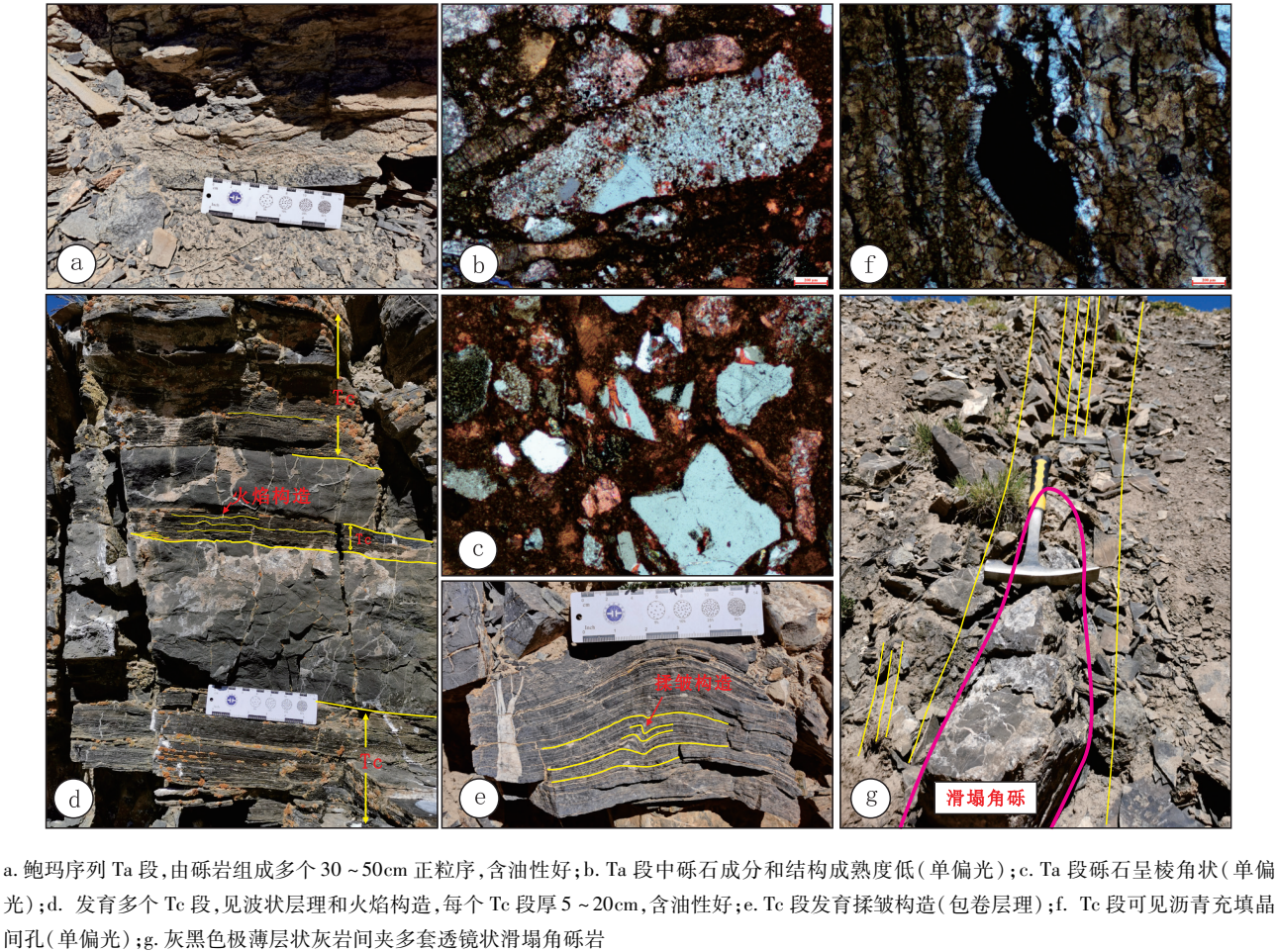
2.3 鄂尔托陇巴剖面 and Qz16 井

该剖面位于北羌塘坳陷西北雀莫错湖的东南侧,该剖面波里拉组灰岩不见底,结合 Qz16 井钻遇完整的上三叠统来看,波里拉组之下发育厚约 100m 的甲丕拉组,甲丕拉组下部发育紫色—紫红色砾岩,上部为灰色砾岩夹少量深灰色泥岩,分别构成了扇三角洲的水上部位和水下部分。

该地区波里拉组整合于甲丕拉组之上,波里拉组发育深灰色—灰黑色泥晶灰岩、灰黑色极薄层状泥灰岩。在波里拉组中部,可见少量缓坡型重力流成因的浊积岩,见不完整鲍玛序列,以 Tac 组合或单独 Tc 垂向上叠置构成的韵律式组合为基本特征。Ta 段厚度为 30~50cm (图 4a),可见底冲刷,由砾岩和含砾粗砂岩组成 (图 4b),具正粒序,砾石成分复杂、分选磨圆差 (图 4c);Tc 段为发育波状层理的灰黑色泥质灰岩 (图 4d),常见火焰构造和揉皱构造 (包卷层理) (图 4e),Tc 段一般厚 5~20cm,间夹灰

黑色夹泥晶灰岩或含泥质灰岩。Ta 和 Tc 段岩层物性相对好,普遍含油,镜下可见沥青充填孔隙 (图 4f)。在上述地层之上,可见大量灰黑色极薄层状灰岩间夹多套透镜状灰质角砾岩 (图 4g),两者比例 4:1~6:1,角砾呈棱角状,普遍具有向一侧堆积变厚的特征,为重力滑塌成因。这些现象共同指示鄂尔托陇巴剖面波里拉组中下部为较深水的外缓坡环境,不仅发育背景环境的灰色—灰黑色泥晶灰岩、泥灰岩,同时发育重力流成因的滑塌角砾岩和典型浊积岩。

波里拉组之上发育阿堵拉组(T_{3a}),在阿堵拉组产丰富的菊石 *Nodotibetites* cf. *nodosus*—*Paratibetites* cf. *wheeleri* 动物群、腹足类化石等,其中的菊石生物群反映的地质时代为诺利早—中期,可对比藏南珠穆朗玛峰、藏北唐古拉山及青海玉树等地区 (牛志军等, 2003),代表了较深水的陆棚相 (王义刚, 1988),在阿堵拉组底部为薄—中层状粉细石英砂



a. 鲍玛序列 Ta 段,由砾岩组成多个 30 ~ 50cm 正粒序,含油性良好;b. Ta 段中砾石成分和结构成熟度低(单偏光);c. Ta 段砾石呈棱角状(单偏光);d. 发育多个 Tc 段,见波状层理和火焰构造,每个 Tc 段厚 5 ~ 20cm,含油性良好;e. Tc 段发育揉皱构造(包卷层理);f. Tc 段可见沥青充填晶间孔(单偏光);g. 灰黑色极薄层状灰岩间夹多套透镜状滑塌角砾岩

图 4 鄂尔托陇巴剖面波里拉组含油灰岩沉积特征

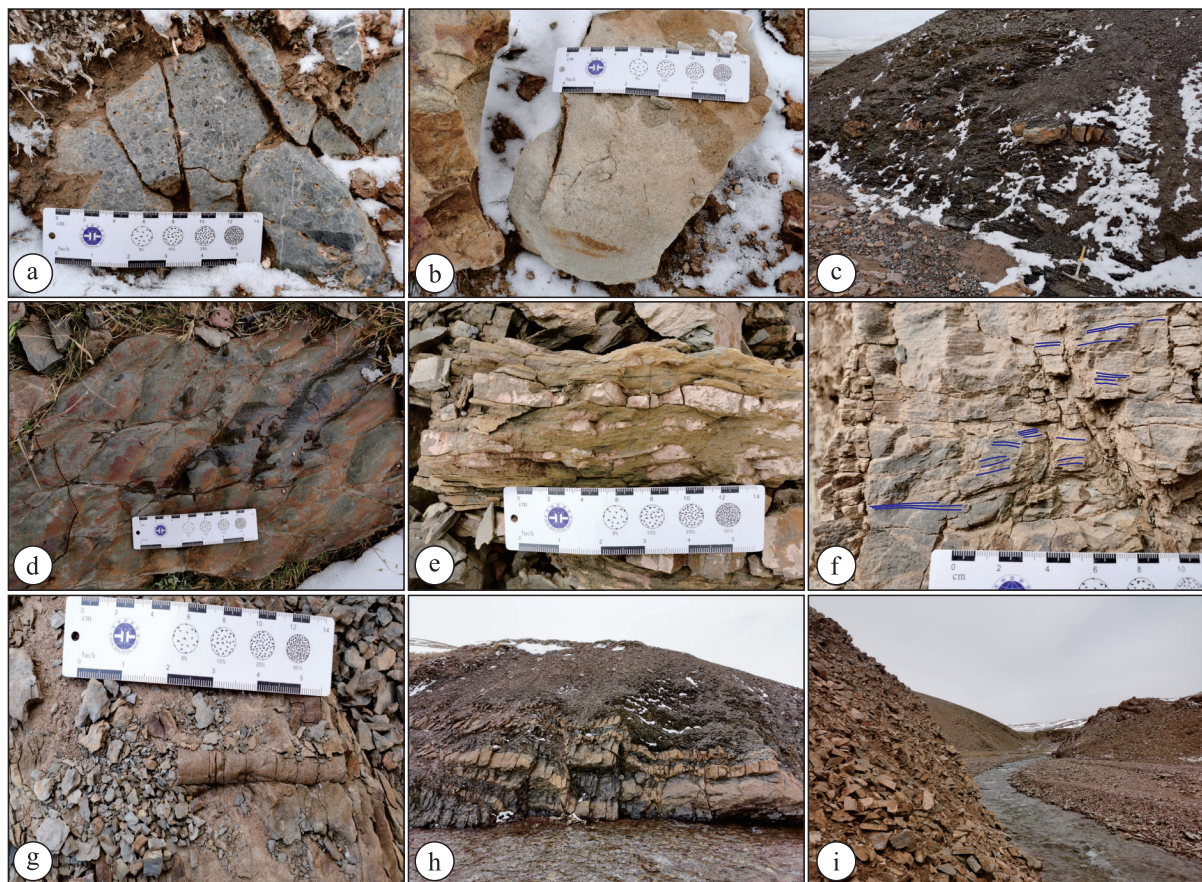
Fig. 4 Oil-bearing limestone sedimentary characteristics of Bolila Formation in Ertuo Longba section

岩,见平行层理,中下部发育大套黑色页岩,有机碳最高,可达 3.6%,该套黑色页岩由于沉积缺氧富集了多个薄壳且完整的双壳化石 *Amonotis togtongheensis* *Cardium*—(*Tulongocardium*) *xizangensis* 组合^②,形成了有利的海相烃源岩。上述反映北羌塘坳陷在晚三叠世同时伴随基底间歇性的挠曲,阿堵拉组沉积早期在接受了短暂陆源碎屑供给后,迅速地进入相对深水且安静的沉积环境。阿堵拉组上部出现薄—中层状粉细石英砂岩,夹少量灰绿色泥岩,厚 77m,砂岩中可见沙纹层理、平行层理,为有障壁海岸亚相,可细分为障壁滩、潟湖、潮坪等次相,顶部发育生物灰岩,产大量完整的双壳和腕足等硬壳化石。对比鄂尔托陇巴剖面东部的东曲剖面,阿堵拉组发育有 *Paleodictyon* 古网迹遗迹化石(占王忠等, 2019),此类古网迹遗迹化石属于 *Nereites* 迹相,被认为是深海或深水环境的重要标志(Durden et al., 2017)。鄂尔托陇巴剖面上三叠统顶部发育鄂尔托陇巴组(T₃e)火山岩,岩性为灰绿—紫红色晶屑凝

灰岩、沉凝灰岩、凝灰质泥岩夹粉砂质泥岩和泥岩,形成时代为 220 ~ 202Ma,为晚三叠世诺利期—瑞替期裂谷活动的产物(曾胜强, 2021),火山岩之上发育中下侏罗统雀莫错组大套河流相紫红色底砾岩,代表侏罗系裂陷盆地的继承性发展。

2.4 麦多剖面

在盆地东部中央隆起北侧的麦多剖面,在上三叠统碎屑岩之下发育一套晚三叠世的碳酸盐岩建造,主要为浅灰色中厚层状泥晶灰岩、生物碎屑灰岩、生物灰岩,该段灰岩出露约 100m,不见底,为一套成熟的碳酸盐岩台地建造,区域上可对比波里拉组(图 5a)。该剖面阿堵拉组整合于波里拉组之上,以一套灰白色石英砂岩出现为标志,阿堵拉组可分三段。阿堵拉组一段厚 145.3m,为一套岩性单一的石英砂岩(图 5b),以灰白色中—细粒为典型特征,石英含量 95% 以上,砂岩结构成熟度和成分成熟度高,发育平行层理,为无障壁海岸亚相。阿堵拉组二



a. 波里拉组(T_3b)上部生物灰岩,不见底;b. 阿堵拉组(T_3a)一段石英砂岩;c. 阿堵拉组(T_3a)二段灰黑色页岩夹少量薄-中层状石英砂岩;d-g. 阿堵拉组(T_3a)三段发育干涉浪成波痕、透镜状层理、沙纹层理和 *Skolithos* 迹相;h. 阿堵拉组(T_3a)三段发育三角洲平原亚相,见分流通道次相砂岩和沼泽次相灰黑色泥岩;i. 夺盖拉组(T_3d)大套辫状河流亚相砂岩,与雀莫错组(J_2q)不整合接触

图5 麦多剖面上三叠统沉积特征

Fig.5 Sedimentary characteristics of Upper Triassic in Mai Duo section

段为连续沉积的灰黑色泥页岩、灰紫色泥页岩夹极少量粉砂岩,泥页岩中发育的水平层理,反映水体明显加深,粉砂岩发育少量沙纹层理。该段为浅水陆棚亚相,局部可到深水陆棚亚相(图5e),发育较好的烃源岩,厚634.3m。

阿堵拉组三段下部主要岩性为灰白色中层状粉细粒石英砂岩、深灰色薄层状泥质粉砂岩、粉砂质泥岩和灰黑色泥岩不等厚互层。其中石英砂岩普遍为细粒结构,石英含量90%以上,可见平行层理和对称浪成波痕(图5d),泥质粉砂岩、粉砂质泥岩中含大量白云母片,常见波状层理、透镜状层理(图5e)、沙纹层理(图5f)、脉状层理和可见少许植物碎片。泥质粉砂岩中发育 *Skolithos* 迹相(图5g),以居住潜穴为重要特征,主要由较长垂直的或高角度倾斜的柱状穴、U形穴和枝形穴构成,并发育前进式螺形构造,可见 *Ophiomorpha* 和 *Diplocraterion* 的遗迹化石组合,反映环境为中等到较高的能量,为

典型的潮间带下部到潮下带。阿堵拉组三段下部为有障壁海岸亚相,主要沉积次相为障壁滩、潮坪和潟湖。阿堵拉组三段上部以发育灰色中厚层状细—中粒长石岩屑砂岩、灰黑色泥岩和煤层为特征,砂岩见平行层理和大型交错层理,具有明显的二元结构,主要为三角洲相(图5h),特别是以分流河道和沼泽次相最为典型。

夺盖拉组以大套连续的灰—灰绿色中层状中—细粒岩屑砂岩出现作为标志,发育大型交错层理(图5i),该段厚约300m,为河流相,该组之上为雀莫组(J_2q)紫红色砾岩,两者呈不整合接触。

3 层序地层划分与对比

3.1 上三叠统关键层序界面

在中央隆起带及两侧,上三叠统通常以底部的肖切堡组火山岩或甲丕拉组的砾岩出现为典型标志。相关地球化学研究显示肖切堡组火山岩具有

大陆拉斑玄武岩和板内碱性玄武岩的特征,为大陆裂谷演化阶段的产物^①,1:25 万江爱达日那幅地质报告获得角木茶卡剖面肖切堡组火山岩氩-氩法年龄值为 $206 \pm 4\text{Ma}$,在孔孔茶卡剖面玄武岩所做氩-氩法年龄值为 $223 \pm 5\text{Ma}$,在肖茶卡南玄武岩所做钾-氩法年龄值为 $206 \pm 7\text{Ma}$,上述不同地区、不同岩性、不同测龄方法得到的年龄值均为晚三叠世,与火山岩中灰岩夹层中所获化石年代一致,表明肖切堡组火山岩喷发时代应为晚三叠世。近年来,对上三叠统顶部的那底岗日进行了大量的锆石 U-Pb 定年,主要将该套火山岩的时间限定在 $221 \sim 202\text{Ma}$ (付修根等, 2007, 2010; 李学仁等, 2018; 曾胜强, 2021)。吴瑞忠等(1985)获得肖切堡组火山岩 Rb-Sr 年龄为 $206 \sim 199\text{Ma}$,用同样方法得到的那底岗日组火山岩—火山碎屑岩年龄为 $187 \sim 174\text{Ma}$ ^③,两者年龄差约 $32 \sim 22\text{Ma}$ 。肖切堡组或者“甲丕拉”火山岩年龄明显早于那底岗日组火山岩的年龄,在地层序列上位于上三叠统的底部,而那底岗日组位于上三叠统的顶部或者上部,在大地构造属性上,地球化学研究表明两者均为裂谷活动阶段的产物。如果将上三叠统划分一个完整的Ⅱ级层序,那么甲丕拉组底相当于Ⅱ级层序的底部,那底岗日组底相当于Ⅱ级层序的顶部或者上部。

3.2 层序地层划分与对比

在基干剖面地层、岩性和沉积相分析基础上,对北羌塘坳陷上三叠统进行了层序地层划分与对

比(图 6),对上三叠统划分了两个Ⅲ级层序,分别为 SQ1 和 SQ2。SQ1 包括 1 个 LST、1 个 TST 和 1 个 HST。SQ1-LST 对应于甲丕拉组,在角木茶卡等剖面(图 7a),甲丕拉组砾岩不整合于肖切堡火山岩之上,下部为紫红色扇三角洲平原亚相岩石组合(水上部位),上部为灰绿色扇三角洲前缘亚相岩石组合(水下部分),甲丕拉组砾岩主要来自下伏的肖切堡组火山岩,甲丕拉组为第一个Ⅲ级层序的低位体系域(SQ1-LST),代表晚三叠世卡尼期裂谷后裂陷活动海侵的开始;在江爱达日那剖面(图 7b),甲丕拉组属于扇三角洲前缘沉积,砾石成分及结构成熟度高于角木茶卡剖面,反映在晚三叠世卡尼期,随着盆地性质转换为裂陷盆地,中央隆起带为北羌塘坳陷提供了大量的物源;在鄂尔托陇巴地区的 Qz16 井,甲丕拉组发育扇三角洲平原和前缘相,紫红色厚层状砾岩和灰色厚层状砾岩厚 100m。

北羌塘坳陷上三叠统波里拉组灰岩稳定并大面积分布,代表该时期裂陷活动和陆源供给的减弱,在鄂尔托陇巴剖面(图 7c),以黑色极薄层状碳质泥灰岩等凝缩段可以将上下地层分别划分出海侵体系域(SQ1-TST)和高位体系域(SQ1-HST)。在江爱达日那剖面,波里拉组下部为灰黑色薄层状瘤状灰岩夹黑色碳质泥岩(SQ1-TST),上部为浅灰色厚层一块状泥晶灰岩(SQ1-HST)。在角木茶卡剖面,下部为斜坡相角砾状灰岩和礁屑岩(SQ1-TST),上部主要为生物礁灰岩(SQ1-HST)。在菊花山剖面

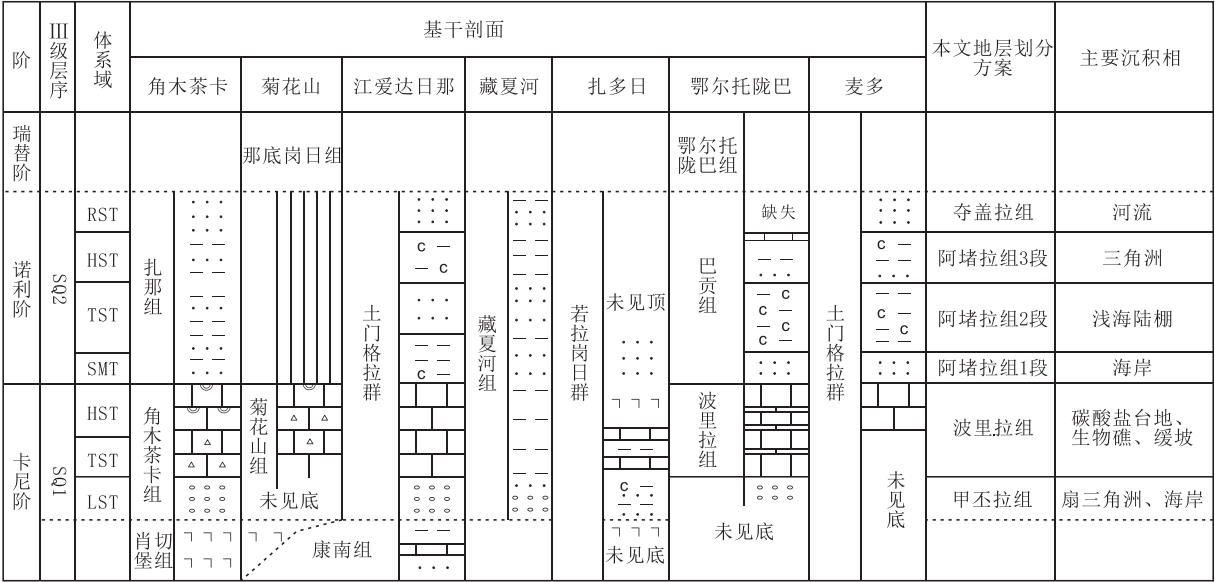


图 6 北羌塘坳陷上三叠统层序划分与对比

Fig. 6 Sequence division and correlation of Upper Triassic in northern Qiangtang Depression

发育厚达 200m 的碎屑流(图 2h)和滑塌角砾岩(图 2i),代表海侵体系域(SQ1-TST),上部为生物礁、生物丘组合(SQ1-HST),在东部的麦多剖面(图 7d),波里拉组未见底,但在顶部可见碳酸盐岩台地相,为 SQ1-HST。这些剖面岩性组合均具有下深上浅的岩性组合特征,对应于 SQ1-TST 和 SQ1-HST。

SQ2 包括 1 个 SMT、1 个 TST、1 个 HST 和 1 个 RST。在鄂尔托陇巴、麦多等剖面,阿堵拉组的底部发育一套无障碍海岸亚相石英砂岩(SQ2-SMT),预示第二个Ⅲ级层序(SQ2)的开始。向上区域广泛分布的大套浅海陆棚相灰黑色页岩(SQ2-TST),代表北羌塘坳陷边缘隆起和坳陷腹地快速挠曲沉降,大量完整薄壳双壳类化石的出现代表快速海侵缺氧环境和凝缩段(CS)的形成,随后浅海环境持续演化和三角洲的出现构成高位体系域(SQ2-HST),在江爱达日那、沃若山、肖茶卡、麦多等剖面上三叠统顶部河流相岩屑砂岩的广泛出现代表晚三叠世海相沉积的结束(SQ2-RST)。

4 北羌塘坳陷上三叠统沉积模式

4.1 甲丕拉组沉积期

该期为第一个Ⅲ级层序的低位体系域(图 8a)。在北羌塘坳陷北部的扎多日,上三叠统可见大套黑色炭质泥岩、砂岩夹安山岩的组合,为典型的三角洲平原相,以分流河道、分流间湾和沼泽等次相为主,二元结构明显,发育含砾粗岩、中粒长石砂岩,砂岩中见植物碎片或者炭屑,可见多层煤线,砂岩中发育槽状交错层理,单向斜层理指示古流向为 0°→180°,物源来自北部金沙江缝合带。鄂尔托陇巴地区 Qz16 井甲丕拉组主要为扇三角洲砾岩,物源来自盆地东部。中央隆起北侧,江爱达日那剖面甲丕拉组砾岩的成分和结构成熟度均高于角木茶卡和肖茶卡剖面。因此,甲丕拉沉积期为碎屑岩沉积体系,在盆缘发育扇三角洲相或三角洲相,在远离物源的盆地中心区域可能发育浅海陆棚、浊积扇等。

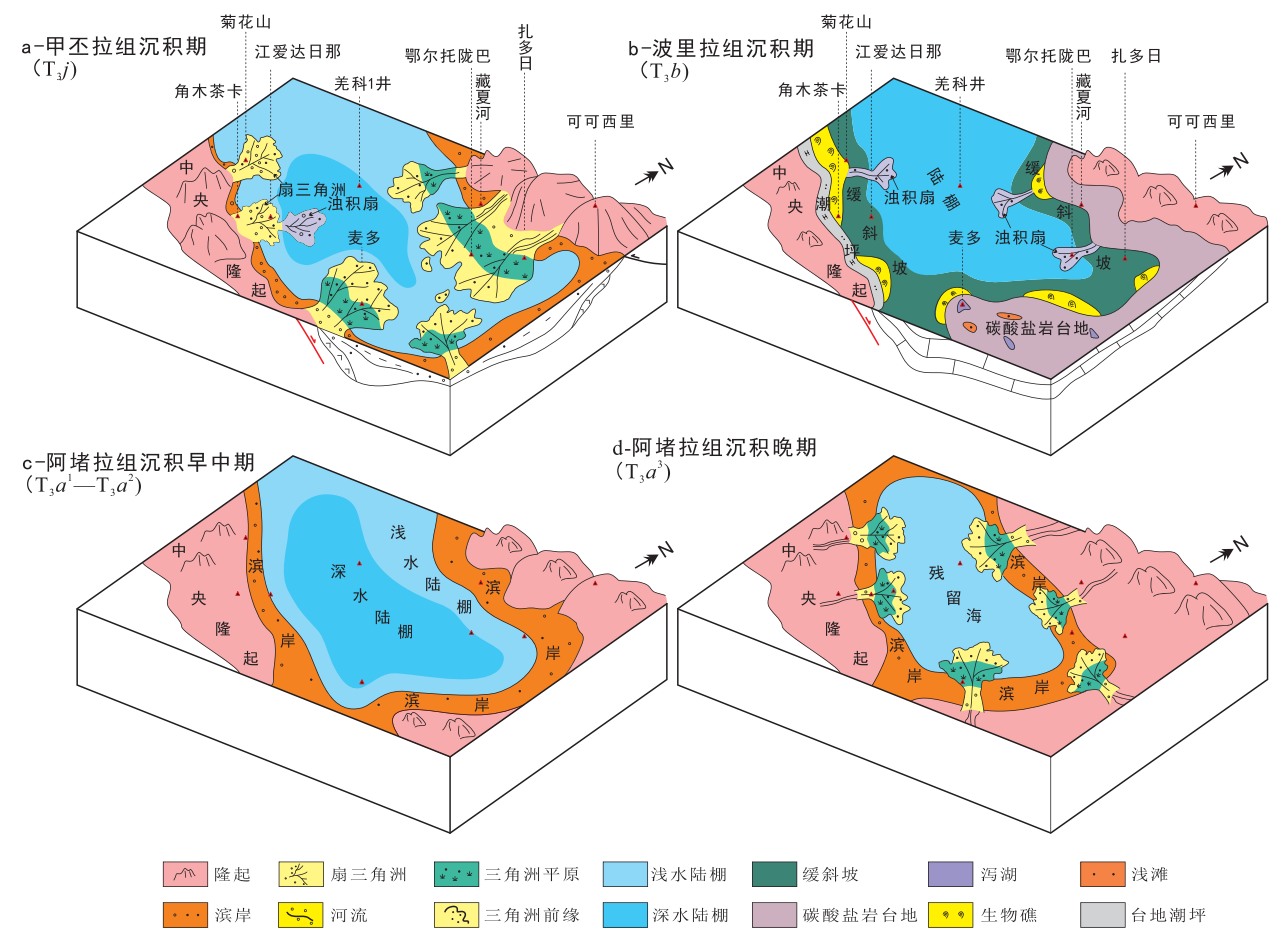


图 8 北羌塘坳陷晚三叠世主要时期沉积模式

Fig. 8 Main period sedimentary models of upper Triassic in the northern Qiangtang Depression

4.2 波里拉组沉积期

该期包括第一个Ⅲ级层序的海侵体系域(SQ1-TST)和高位体系域(SQ1-HST),对应于晚三叠世裂谷活动的间歇期,缺乏陆源碎屑供给,以稳定的碳酸盐岩沉积为主(图8b)。受晚三叠世古地形和同沉积断裂控制,不同区域波里拉组沉积模式和相带分布有较大差异。在中央隆起带北侧,该组以菊花山、角木茶卡、照沙山等剖面具有代表性,波里拉组沉积期继承了甲丕拉组沉积期同沉积断裂活动和较大坡度古地形的特征,在甲丕拉组碎屑岩垫板的基础上发展为沿岸生物礁,向深水过渡为缓斜坡环境并发育滑塌角砾岩。在北羌塘拗陷北东区域,以鄂尔托陇巴地区的波里拉组缓坡相灰岩为代表,中下部为SQ2-TST对应的外缓坡亚相深灰色泥晶灰岩、黑色极薄层状含油灰岩,发育缓坡型含油浊积岩,少见生物,可见冲刷面、波状层理、火焰状构造和揉皱构造(包卷层理),发育鲍玛序列的Tac和Tc段;上部为SQ2-HST对应的内缓坡亚相,发育灰色中层状瘤状泥晶灰岩。在东部的麦多剖面,古地形相对平缓,波里拉组为成熟的碳酸盐岩台地,局部发育生屑滩、点礁和潟湖。

4.3 阿堵拉组和夺盖拉组沉积期

该期包括第二个Ⅲ级层序的陆棚边缘体系域(SMT)、海侵体系域(SQ2-TST)、高位体系域(SQ2-HST)和水退体系域(SQ2-RST)。鄂尔托陇巴地区阿堵拉组石英砂岩上发育大套黑色页岩,在阿堵拉组丰富的菊石*Nodotibetites cf. nodosus*—*Paratibetites cf. wheeleri*动物群、腹足类化石等,其中的菊石生物群反映的地质时代为诺利早—中期,可与藏南珠穆朗玛峰、藏北唐古拉山及青海玉树等地区对比(牛志军, 2003),代表了较深水的陆棚相(王义刚, 1988),构成了第2个Ⅲ级层序的TST和HST,在阿堵拉组中部由于缺氧富集了大量薄壳且完整的双壳化石*Amonotis togtonheensis*—*Cardium*(*Tulongocardium*)*xizangensis*组合^②,发育最优质海相烃源岩(图8c)。麦多剖面阿堵拉组沉积期表现为无障壁海岸→浅海陆棚→有障壁海岸→三角洲的演化过程,夺盖拉组为河流相。江安达日那剖面阿堵拉组沉积期为深灰色泥岩、粉砂岩可见沙纹层理,间夹少量灰岩,为浅水陆棚亚相,向上陆源碎屑增多,过渡至三角洲相,分布发育前三角洲亚相、三角洲前缘亚相和三角洲平原亚相(图8d)。三角洲前缘的各种砂体中发育向北的滑动变形构造,指示晚三叠世中央隆

起持续向北羌塘拗陷提供物源,夺盖拉组沉积期为河流相砂岩。在角木茶卡—肖茶卡一带,波里拉组之上为依次发育阿堵拉组海岸相和夺盖拉组河流相。菊花山剖面波里拉组之上直接为一套那底岗日组火山岩,底部间夹滨岸相石英砂岩,发育冲交错层理,之间可能缺失了阿堵拉组到夺盖拉组等,根据大量的同位素年代学资料,不排除该剖面那底岗日组相当于阿堵拉组到夺盖拉组的可能性。上述剖面均反映了阿堵拉组和夺盖拉组由下至上发育一个完整的SMT→TST→HST→RST的组合,反映了晚三叠世第二个Ⅲ级层序由海进到海退的演化历程。

5 油气勘探启示

在中央隆起带及北缘的阿堵拉组上部,大致相当于阿堵拉组第三段(T_3a^3),发育以Ⅱ₂-Ⅲ型有机质为主的煤系和暗色泥岩,这些三角洲平原亚相的烃源岩出现在麦多、江爱达日那、沃若山等纵多剖面(吴珍汉等, 2021),平均TOC为0.5%~1.66%, R_o 为1.3%~2.5%,干酪根碳同位素与四川盆地须家河组类似并相当集中,煤系可重至-21.3‰,泥岩为-24.4‰~-26.12‰。在北羌塘拗陷的鄂尔托陇巴地区,阿堵拉组发育大套浅海陆棚相黑色泥页岩烃源岩,实测剖面显示烃源岩厚261.8m, R_o 为0.95%~1.27%,其中TOC含量达2.0%~3.6%的优质烃源岩段厚36m(王剑等, 2022),根据余飞(2018)获得该剖面页岩干酪根碳同位素分析,剖面上部干酪根碳同位素稳定在-25.8‰~-24.5‰,剖面下部页岩干酪根碳同位素稳定在-28.4‰~-26.1‰,按照碳同位素对有机类型的划分方案(梁狄刚等, 2009),剖面上部以混合型偏腐殖型为主,下部以混合型偏腐泥型为主。由于北羌塘拗陷晚三叠世主要的物源区为金沙江缝合带、中央隆起带,为一个相对闭塞的浅海环境,盆地周缘陆地大量繁盛大型高等植物,该时期浅海环境中大量混入了陆生高等植物,其形成的烃源岩有机碳同位素比开阔浅海相烃源岩略微偏重,但相较于羌塘盆地中央隆起带同时代的煤系等烃源岩,鄂尔托陇巴地区阿堵拉组底部烃源岩具有相对较轻的干酪根碳同位素,应为海相烃源岩。

在北羌塘拗陷鄂尔托陇巴剖面,上三叠统波里拉组Ta段和Tc段分别发育含油浊积砂岩和黑色极薄层状含油灰岩,油气地球化学分析表明,

氯仿沥青“*A*”总量 111 ~ 469 $\mu\text{g/g}$ (33 件), TOC 为 0.22% ~ 0.49%, 含油灰岩有机碳小于烃源岩评价的下限值, 氯仿沥青“*A*”明显大于岩石本身有机碳的含量, 且两者不具备相关关系, 因此含油灰岩本身不是烃源岩, 产于灰岩中的石油不属于“滞留烃”或“源内烃”, 属于外源生烃运移后的产物(杨智等, 2021), 实测含油岩石饱和烃含量为 19.92% ~ 59.10%, 平均为 36.2%; 芳烃含量 7.81% ~ 28.81%, 平均为 15.54%; 非烃 9.29% ~ 35.45%, 平均为 22.20%。饱和烃与芳香烃的比值可用来判识石油生油母岩类型, 比值大于 3 为腐泥型生油岩, 比值在 0.5 ~ 0.8 之间为腐殖型烃源岩, 混合型烃源岩则介于腐泥型与腐殖型之间(尚慧芸, 1990)。波里拉组含油岩石饱芳比可分两类, 一类为 2.60 ~ 4.25, 平均 3.14, 第二类为 1.0 ~ 2.46, 平均 1.88, 饱芳比显示以腐泥型为主的有机质成因, 部分为混合型有机质。烃包裹体均一温度、盐度和荧光照相由自然资源部沉积盆地与油气资源重点实验室完成, 含油浊积岩(图 9a)以低成熟度黄绿色荧光为主(图 9b), 对应的烃包裹体均一化温度和盐度分别为 53 ~ 126 $^{\circ}\text{C}$ 、12.16% ~ 21.26%(图 9c); 含油极薄层状泥质灰岩(图 9d)以高成熟度蓝白色荧光为主(图 9e), 对应的包裹体均一化温度为 56 ~ 139 $^{\circ}\text{C}$, 盐度为 20.3% ~ 22.58%(图 9f), 这些

均为典型海相成因的烃包裹体。岩石抽提物的族组分碳同位素分析显示具有明显的正碳同位素序列, 为中等热演化程度的石油, 实测 $\delta^{13}\text{C}_{\text{沥青“*A*”}}$ 为 -28.27‰ ~ -28.07‰, 根据经典的族组成碳同位素相关公式 $\delta^{13}\text{C}_{\text{干酪根}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{沥青“*A*”}} = 0 \sim 1.5\text{‰}$ (Stahl, 1980), 计算烃源岩干酪根碳同位素不超过 -26.77‰ ~ -26.57‰(另文待刊), 这种类型的碳同位素组成不同于典型煤成油的特征(苏传国等, 2005), 应来源于混合型或者偏腐泥型的烃源岩。羌塘盆地上三叠统波里拉组上覆阿堵拉组(T_3b)巨厚暗色页岩, 阿堵拉组发育的海岸相和三角洲前缘亚相大套砂体与上三叠统烃源岩可以形成良好的生-储-盖组合(程乐利等, 2020), 此外波里拉组外缓坡亚相黑色泥灰岩和黑色碳质页岩可形成良好的烃源岩, 外缓坡的坡折带可形成深水浊积岩, 这些均可以形成有利的生-储-盖组合(图 10)。

研究表明, 主生烃期距今越近, 对于晚期成藏越有利, 不同类型烃源岩主生烃期作用时间越小越有利于油气成藏(赵文智等, 2005)。处于生烃期的烃源岩有利于油气藏改造后的及时补给, 在复杂构造区的油气储层可以得到有效保存, 同样诠释了主生烃期完成时刻距今的时间晚, 晚期成藏有利于油气保存的内涵(杨平等, 2021a, 2021b, 2021c)。

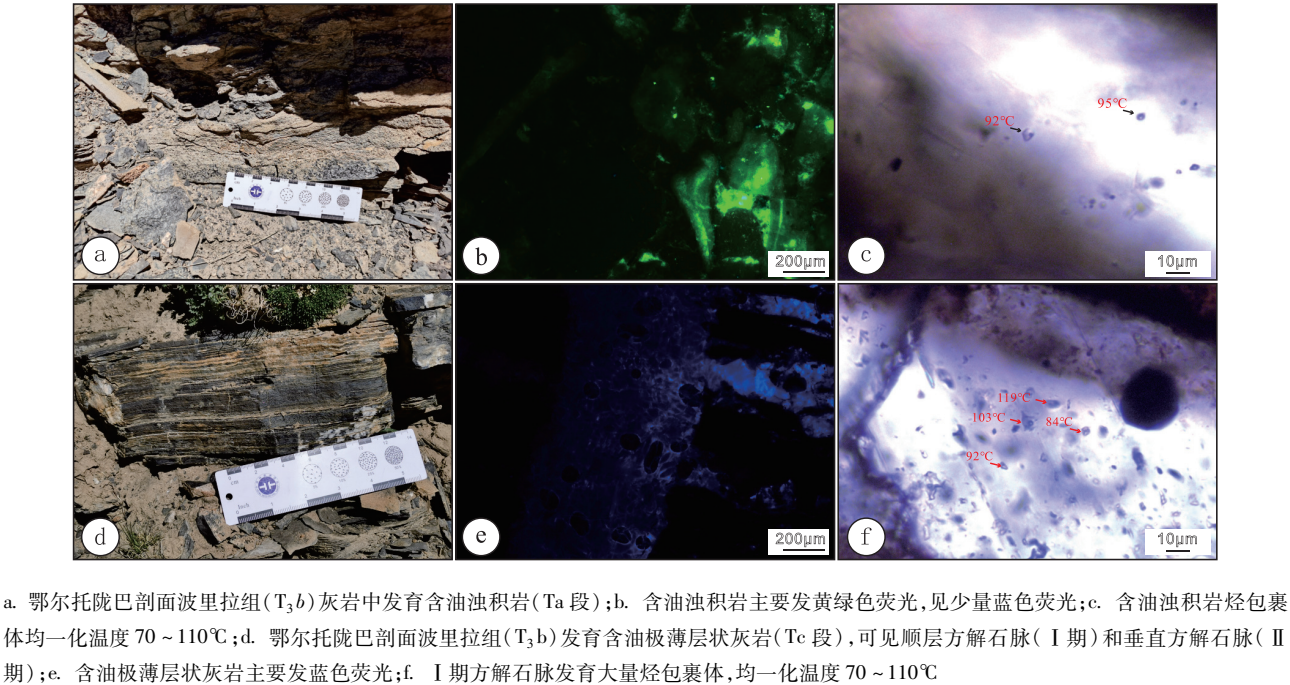


图9 上三叠统波里拉组含油灰岩荧光与包裹体特征

Fig. 9 Fluorescence and inclusion characteristics of oil-bearing limestones in the Upper Triassic Bolila Formation

从鄂尔托陇巴剖面、Qz7 井、Qz8 井相关报道来看,上三叠统波里拉组(T_3b)含灰岩油味浓、Qz7 和 Qz8 井在浅层(300 ~ 600m)全烃显示高(2% ~ 5%),同时热演化程度中等(1.0% ~ 1.3%),处于生烃窗口,这些均表明上三叠统含烃流体活动普遍,油气显示活跃。谭富文等(2016)根据原有航磁资料对羌塘盆地基底构造单元进行分析,识别出吐波错—吐错等 3 个裂陷槽、2 个隆起带,圈定出 3 个生烃凹陷。周道卿等(2021)根据最新航磁进一步划分为 31 个凸起区和 9 个凹陷区。这些凹陷不仅控制羌塘盆地三叠纪古地理格局及沉积演化,而且对烃源岩和储层的形成具有重要的意义。鄂尔托

陇巴处于北羌塘坳陷北缘断褶带和格拉丹东凸起之间,属于祖尔肯乌拉低凸起北缘,该地区以西的北羌塘坳陷腹地发育大型富烃凹陷,阿堵拉组等层系向西部水体变深,烃源岩增厚。羌科 1 井全烃由浅层向深层逐渐增大,表明北羌塘坳陷深部油气显示活跃性增强,不仅预示深部构造保存条件较好,而且表明深部烃源岩或油气藏处于生烃窗口或油气窗口。结合最新航磁资料研究认为,雪莲湖凹陷和白云湖凹陷最有可能发育上三叠统波里拉组和阿堵拉组优质烃源岩,其次为半岛湖凹陷、太平湖凹陷、阿木错凹陷和三角湖凹陷,这些大型凹陷上三叠统具有良好的生烃成藏条件。

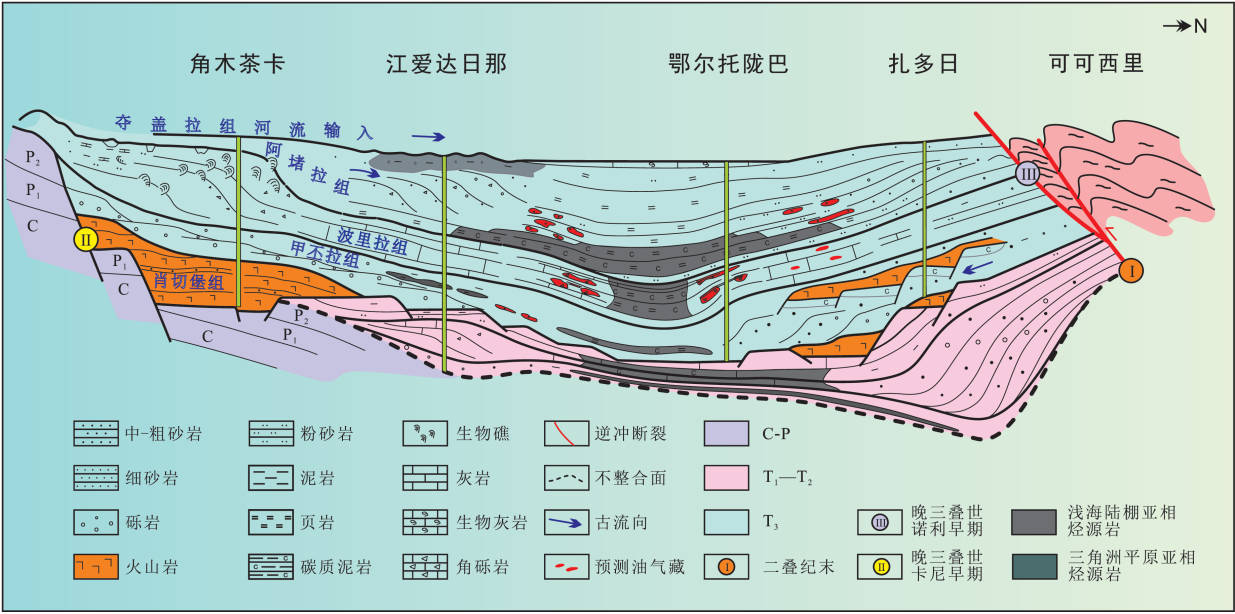


图 10 北羌塘坳陷上三叠统沉积演化和源储匹配模式

Fig. 10 Sedimentary evolution and source-reservoir matching model of Upper Triassic in northern Qiangtang Depression

6 结论与意义

(1)北羌塘坳陷晚三叠世卡尼期—诺尼期可以划分为 2 个Ⅲ级层序,区域上沉积了 4 套地层,第 1 个Ⅲ级层序对应于甲丕拉组(LST)和波里拉组(TST、HST),第 2 个Ⅲ级层序对应于阿堵拉组(SMT、TST 和 HST)和夺盖拉组(RST)。

(2)甲丕拉期主要沉积相为扇三角洲和三角洲,波里拉组沉积期可分为沿岸生物礁模式、远端变陡缓坡模式和碳酸盐岩台地模式,阿堵拉组沉积期主要以海岸、浅海陆棚相和三角洲相为主。

(3)波里拉组外缓坡亚相和阿堵拉组浅海陆棚相可形成良好的灰泥岩类烃源岩,其中以阿堵拉组

广覆式浅海陆棚亚相泥质烃源岩最重要。

(4)北羌塘坳陷上三叠统发育多套生储盖组合,波里拉组油苗以海相成因和中高成熟度为主,主要来源于波里拉组外缓坡亚相泥灰岩,后期低熟油来自阿堵拉组浅海陆棚相混合有机质,油气具有横向运移和近源成藏的特征。北羌塘坳陷具有发育大型富烃凹陷的基础,上三叠统生烃成藏条件优越,可作为羌塘盆地未来油气勘探的首选层系。

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、中国石化无锡石油地质研究所三家单位共同协作下完成的,相关单位领导和技术人员参与了大量工作,三位审稿专家提出了很多宝贵意见,在此一并感谢。

注释：

①中国地质调查局成都地质矿产研究所. 2005. 中华人民共和国区域地质调查报告（1:25 万江爱达日那幅）. 北京:中国地质调查局, 190 – 197.

②中国地质调查局宜昌地质调查中心. 2004. 中华人民共和国区域地质调查报告（1:25 万赤布张错幅）. 北京:中国地质调查局, 143 – 167.

③中国地质调查局宜昌地质调查中心. 2004. 中华人民共和国区域地质调查报告（1:25 万赤布张错幅）. 北京:中国地质调查局, 29 – 30.

参考文献(References)：

Johnson D P, 马建华, 1988. 澳大利亚中央大堡礁凡托姆岛陆原泥基底上的岸礁生长[J]. 海洋地质译丛, (2): 75 – 82.

Durden J M, Simon-Lledo E, Gooday A J, 2017. Abundance and morphology of Paleodictyon nodosum, observed at the Clarion - Clipperton Zone[J]. Marine biodiversity, 47(2): 265 – 269.

Stahl W J, 1980. Compositional changes and ¹³C/¹²C fractions during the degradation of hydrocarbons by bacteria [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 44, 1903 – 1907.

Willson J L, 1975. Carbonate facies in Geologic History[M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

WangZ W, Wang J, Fu X G, et al., 2017. Petrography and geochemistry of upper Triassic sandstones from the Tumengela Formation in the Woruo Mountain area, North Qiangtang Basin, Tibet: Implications for provenance, source area weathering, and tectonic setting [J]. Island Arc, 26 (4): DOI: 10. 1111/iar. 12191.

陈浩,孙伟,占王忠,等,2018. 北羌塘坳陷冬曲地区上三叠统巴贡组扇三角洲沉积特征[J]. 沉积与特提斯地质,38(4):97 – 103.

程乐利,印森林,万友利,等,2020. 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,42(1): 60 – 68.

冯兴雷,付修根,谭富文,等,2018. 羌塘盆地沃若山地区上三叠统土门格拉组烃源岩沉积环境分析[J]. 沉积与特提斯地质,38(2): 3 – 13.

付修根,王剑,陈文彬,等,2010. 羌塘盆地那底岗日组火山岩地层时代及构造背景[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),37(6): 605 – 615.

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.

付修根,王剑,汪正江,等,2007. 藏北羌塘盆地上三叠统那底岗日组与下伏地层沉积间断的确立及意义[J]. 地质论评,53(3): 329 – 336 + 435.

高春文,贾庆军,魏春光,2006. 羌塘盆地晚三叠世原型盆地性质探讨[J]. 地质论评,52(2): 198 – 206.

李学仁,王剑,万友利,2018. 羌塘盆地晚三叠世裂谷盆地演化——来自同裂谷期那底岗日组的证据[J]. 东北石油大学学报,42(2):

23 – 32 + 61 + 118 – 119.

梁狄刚,郭彤楼,陈建平,等,2009. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(二)——南方四套区域性海相烃源岩的地球化学特征[J]. 海相油气地质,14(1): 1 – 15.

刘若涵,何碧竹,郑孟林,等,2019. 羌塘盆地东部晚三叠世—侏罗纪构造 – 沉积演化[J]. 岩石学报,35(6): 1867 – 1874.

牟传龙,2022. 关于相的命名及其分类的建议[J/OL]. 沉积与特提斯地质: 42 (3): 331 – 339. DOI: 10. 19826/j. cnki. 1009-3850. 2022. 03001.

牛志军,徐光洪,马丽艳,2003. 长江源各拉丹冬地区上三叠统巴贡组沉积特征及菊石生物群[J]. 地层学杂志,27(2): 129 – 133 + 162.

尚慧芸,1990. 有机地球化学和荧光显微镜技术[M]. 北京:石油工业出版社: 1 – 287.

宋春彦,曹峻峰,王剑,等,2014. 羌塘盆地角木茶卡地区二叠系古油藏的发现及基本特征[J]. 新疆地质,32(1): 87 – 91.

宋春彦,王剑,付修根,等,2013. 羌塘盆地藏夏河组砂岩地球化学特征及意义[J]. 地球科学,38(3): 508 – 518.

苏传国,朱建国,孟旺才,等,2005. 吐哈盆地“煤成油”问题再认识[J]. 新疆石油地质,26(4): 453 – 458.

谭富文,王剑,王小龙,等,2002. 西藏羌塘盆地——中国油气资源战略选区的首选目标[J]. 沉积与特提斯地质,22(1): 16 – 21.

谭富文,张润合,王剑,等,2016. 羌塘晚三叠世一早白垩世裂陷盆地基底构造[J]. 成都理工大学学报(自然科学版),43(5): 513 – 521.

汤朝阳,吴健辉,王国强,等,2011. 羌塘盆地中部上三叠统“甲丕拉组”沉积演化及研究意义[J]. 大地构造与成矿学,35(3): 421 – 428.

万友利,王剑,付修根,等,2020. 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,41(1): 189 – 200.

万友利,王剑,谭富文,等,2017. 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, 41(3): 21 – 33.

王成善,李亚林,李永铁,2006. 青藏高原油气资源远景评价问题[J]. 石油学报,27(4): 1 – 7.

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(4): 139 – 143.

王剑和付修根,2018. 论羌塘盆地沉积演化[J]. 中国地质,45(2): 237 – 259.

王剑,谭富文,李亚林,等,2004a. 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: 1 – 317.

王剑,谭富文,王小龙,等,2004b. 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,22(2): 198 – 204.

王剑,王忠伟,付修根,等,2022. 青藏高原羌塘盆地首口油气科探井(QK-1)新发现[J]. 科学通报,67(3): 321 – 328.

王义刚,1988. 中国三叠纪菊石的古生态学概论[J]. 古生物学报,22(3): 346 – 367.

王忠伟,占王忠,高远,等,2020. 羌塘盆地北缘上三叠统藏夏河组沉积物源及构造背景分析[J]. 地质论评,66(5): 1199 – 1216.

文世宣,1979. 西藏北部地层新资料[J]. 地层学杂志,3(2): 150

-156.

吴瑞忠,胡承祖,王成善,等,1985. 藏北羌塘地区地层系统[A]:青藏高原地质文集(9)[C]. 北京:地质出版社:1-32.

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,2022. 北羌塘坳陷南部胜利河油浸白云岩[J/OL]. 地球学报:1-8 [2022-07-27]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3474.P.20220618.1515.002.html>

杨平,余谦,牟传龙,等,2021a. 四川盆地西南缘山地复杂构造区页岩气富集模式及勘探启示:一个页岩气新区[J]. 天然气工业,41(5):53-65.

杨平,谭富文,施美凤,等,2021b. 尼泊尔低喜马拉雅推覆带油源对比及油气成藏[J]. 地质学报,95(11):3426-3441.

杨平,陈杨,冯伟明,等,2021c. 西昌盆地白果湾组致密砂岩油气形成关键指标评价与有利区优选[J]. 沉积与特提斯地质,41(3):454-464.

杨易卓,黄志龙,赵珍,等,2022. 羌塘盆地毕洛错地区古油藏地球化学特征与油源对比[J]. 地球科学,47(5):1834-1848.

杨智,邹才能,吴松涛,等,2021. 从源控论到源储共生系统——论源岩层系油气地质理论认识及实践[J]. 地质学报,95(3):618-631.

杨子江,李学智,王海涛,等,2007. 藏北若拉岗日结合带上、下二叠统之间不整合界线的发现及其地质意义[J]. 地质通报,26(4):398-403.

余飞,2018. 北羌塘盆地东部上三叠统巴贡组烃源岩沉积地球化学特征及有机质富集机理研究[D]. 北京:中国地质科学院.

占王忠,彭清华,陈文彬,2019. 羌塘盆地冬曲地区上三叠统巴贡组古网迹的发现及古环境意义[J]. 地质通报,38(Z1):208-212.

张以苇和郑健康,1994. 青海可可西里及邻区地质概况[M]. 北京:地震出版社:1-177.

赵文智,王兆云,汪泽成,等,2005. 高效气源灶及其对形成高效气藏的作用[J]. 沉积学报,23(4):709-718.

周道卿,曹宝宝,赵睿,等,2021. 羌塘盆地高精度航空重磁调查对盆地基底性质与构造格局的启示[J]. 地质学报,95(11):3178-3191.

朱同兴,董瀚,李才,等,2005. 青藏高原北羌塘地区晚三叠世地层展布和沉积型式[J]. 沉积与特提斯地质,25(3):18-23.

朱同兴,冯心涛,王晓飞,等,2010. 青藏高原羌塘地区晚三叠世构造-古地理研究[J]. 沉积与特提斯地质,30(4):1-10.

朱同兴,冯心涛,王晓飞,等,2020. 青藏高原晚三叠世构造-古地理综述[J]. 沉积与特提斯地质,40(3):59-71.

曾胜强,2021. 北羌塘盆地晚三叠世末—早中侏罗世沉积序列与盆地转换研究[D]. 成都:成都理工大学.

曾允孚,夏文杰,1984. 沉积岩石学[M]. 北京:地质出版社:1-274.