

doi: 10.12029/gc20230307001

付修根, 陈明浩, 王剑, 韦恒叶, 曾胜强, 王忠伟, 沈利军, 周刚. 2025. 羌塘盆地晚三叠世古地理反转及其对烃源岩的控制作用[J]. 中国地质, 52(4): 1485–1499.

Fu Xiugen, Chen Minghao, Wang Jian, Wei Hengye, Zeng Shengqiang, Wang Zhongwei, Shen Lijun, Zhou Gang. 2025. Late Triassic paleogeographic inversion and its control on source rocks in the Qiangtang Basin[J]. Geology in China, 52(4): 1485–1499(in Chinese with English abstract).

羌塘盆地晚三叠世古地理反转及其对烃源岩的控制作用

付修根¹, 陈明浩¹, 王剑¹, 韦恒叶¹, 曾胜强², 王忠伟¹, 沈利军¹, 周刚³

(1. 西南石油大学油气藏地质及开发国家重点实验室, 西南石油大学地球科学与技术学院, 西南石油大学羌塘盆地研究院, 四川 成都 610050; 2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 3. 中国石油西南油气田公司, 四川 成都 610051)

摘要:【研究目的】本文揭示羌塘盆地晚三叠世—早侏罗世差异构造演化及其对烃源岩发育特征、空间展布的控制作用。【研究方法】通过沉积相分析以及岩相古地理恢复方法讨论了羌塘盆地晚三叠世构造转换的沉积记录; 通过油气地球化学研究, 揭示羌塘盆地晚三叠世—早侏罗世烃源岩的分布规律。【研究结果】晚三叠世, 羌塘盆地发生了明显的沉积转换, 表现为中三叠世—晚三叠世的海退序列转换为早侏罗世的海侵序列。与此同时, 该时期羌塘盆地也发生了重要的古地理反转, 表现为北羌塘由中三叠世的海相沉积逐渐转化为晚三叠世的陆相沉积, 而南羌塘则由中三叠世的陆相沉积转化为晚三叠世的海相沉积。【结论】羌塘盆地晚三叠世的沉积转换和古地理反转控制了烃源岩的分布, 晚三叠烃源岩主要受前陆盆地控制, 发育于北羌塘的深水区, 盆地周缘则发育含煤系烃源岩。早侏罗世烃源岩主要受被动大陆边缘盆地控制, 发育于南羌塘的深水区, 在南羌塘北部的潟湖环境发育含油页岩烃源岩。

关键词: 烃源岩; 沉积转换; 古地理反转; 石油地质调查工程; 羌塘盆地; 西藏

创 新 点: (1) 系统地阐述了羌塘盆地晚三叠世的沉积转换与古地理反转; (2) 研究了羌塘盆地晚三叠世的沉积转换与古地理反转对盆地两套烃源岩的控制作用。

中图分类号: P618.13 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2025)04-1485-15

Late Triassic paleogeographic inversion and its control on source rocks in the Qiangtang Basin

FU Xiugen¹, CHEN Minghao¹, WANG Jian¹, WEI Hengye¹, ZENG Shengqiang²,
WANG Zhongwei¹, SHEN Lijun¹, ZHOU Gang³

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Southwest Petroleum University, School of Geoscience and Technology, Southwest Petroleum University, and Qiangtang Institute of Sedimentary Basin, Southwest Petroleum University

收稿日期: 2023-03-07; 改回日期: 2023-05-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(42241203、91955204)、四川省青年科技创新研究团队项目(2021JDTD0020)和中国石油—西南石油大学创新联合体项目(2020CX0101)联合资助。

作者简介: 付修根, 男, 1976 年生, 研究员, 从事沉积地质及石油地质工作; E-mail: fuxiugen@126.com。

通信作者: 王剑, 男, 1962 年生, 研究员, 从事沉积地质与石油地质工作; E-mail: w1962jian@163.com。

Chengdu 610050, Sichuan, China; 2. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 3. PetroChina Southwest Oil & Gas Field Company, Chengdu 610050, Sichuan, China)

Abstract: This paper is the result of petroleum geological survey engineering.

[Objective] This study elucidates the differential tectonic evolution of the Qiangtang Basin during the Late Triassic to Early Jurassic and its controlling effects on the development characteristics and spatial distribution of source rocks. **[Methods]** This study discusses the sedimentary record of the Late Triassic tectonic transition in the Qiangtang Basin through sedimentary facies analysis and lithofacies palaeogeography reconstruction. Petroleum geochemical studies were also employed to reveal the distribution patterns of Late Triassic to Early Jurassic source rocks in the Qiangtang Basin. **[Results]** Middle Triassic sequence exhibit shallowing-upward trends, reflecting marine regression linked to regional uplift. In contrast, Early Jurassic sequences display deepening-upward patterns driven by tectonic subsidence and transgression. We further identify a Late Triassic paleogeographic inversion event. In the northern Qiangtang Depression, marine depositional environments of the Middle Triassic transitioned into terrestrial settings during the Late Triassic. Conversely, the southern Qiangtang Depression shifted from Middle Triassic terrestrial domains to Late Triassic marine units. **[Conclusions]** Our study suggests that the distribution of source rocks in the Qiangtang Basin was primarily controlled by the sedimentary change and paleogeographic inversion during the Late Triassic. Late Triassic units, likely associated with foreland basin development, formed in deep-water setting settings of the northern depression alongside coal-bearing units encircling basin margins. Meanwhile, Early Jurassic source rocks, tied to passive continental margin processes, accumulated in deep-water zones of the southern depression, including oil shale units concentrated in lagoon environments along the northern flank of the Southern Qiangtang Depression.

Key words: source rock; sedimentary change; paleogeographic inversion; petroleum geological survey engineering; Qiangtang Basin; Xizang

Highlights: (1) Sedimentary change and paleogeographic inversion of the Late Triassic in the Qiangtang Basin were systematically described. (2) Control of sedimentary change and paleogeographic inversion on the two sets of source rocks in the Qiangtang Basin was studied.

About the first author: FU Xiugen, male, born in 1976, researcher, engaged in research of sedimentary geology and petroleum geology; E-mail: fuxiugen@126.com.

About the corresponding author: WANG Jian, male, born in 1962, researcher, engaged in research of sedimentary geology and petroleum geology; E-mail: w1962jian@163.com.

Fund support: Supported by the National Natural Science Foundation of China (No.42241203, No.91955204), Sichuan Province Youth Science and Technology Innovation Research Team Project (No.2021JDTD0020), and Innovation Consortium Project of China National Petroleum Corporation–Southwest Petroleum University (No.2020CX0101).

1 引言

烃源岩是油气藏形成的物质基础,作为有效烃源岩,其要有一定的分布范围。羌塘盆地的主力烃源岩受到广泛的关注,这是因为该盆地是目前中国大陆上唯一尚未取得油气突破的大型海相含油气盆地。烃源岩的范围、规模等是决定羌塘盆地能否形成大规模油气田的重要条件。前期的研究表明,羌塘中生代盆地演化过程中发育了多套富有机质细粒岩(王剑等, 2004, 2009; Fu et al., 2013, 2016b, 2020; 曾胜强等, 2013; 陈文彬等, 2017; Cao et al.,

2018; 宋春彦等, 2018),较为重要的包括上三叠统泥页岩、下侏罗统页岩和下白垩统页岩(Fu et al., 2016b; Cao et al., 2018)。这些富有机质细粒岩中,下白垩统页岩尽管具有高的有机碳含量(Fu et al., 2020),但由于该套地层大多出露地表,对盆地油气勘探意义不大。因此,对羌塘盆地油气勘探具有重要意义的烃源岩可能为下侏罗统和上三叠统泥页岩。对这两套烃源岩,前期仅开展了初步的生烃潜力评价工作(王剑等, 2004, 2009),并对沉积环境进行了一定的研究(王剑等, 2009; Fu et al., 2016a, b),然而,对这两套烃源岩的空间展布和控制因素至今

尚不清楚。

有关羌塘盆地构造演化研究的最新成果表明, 受古特提斯洋关闭和中特提斯洋快速扩张的影响, 羌塘盆地晚三叠世发生了重要的构造转换, 表现为晚三叠世的快速隆升和早侏罗世的快速沉降(Wang et al., 2022)。在盆地内, 中三叠世发育一套具有碰撞性质的岛弧相关的火山岩(Chen et al., 2016; Fan et al., 2017; 王剑和付修根, 2018; Wang et al., 2022), 而晚三叠世则发育一套具有伸展背景的裂谷型火山岩(Fu et al., 2010; Wang et al., 2022)。值得注意的是, 羌塘盆地晚三叠世和早侏罗世烃源岩在盆地内的分布规律是完全不同的, 可能受到差异的构造演化控制。本文从沉积演化的角度分析了羌塘盆地晚三叠世的沉积和古地理转化, 探讨这些变化对盆地主要烃源岩空间展布的控制作用。

2 地质背景

羌塘盆地位于青藏高原的中部, 南北宽约 300 km, 东西长约 640 km, 面积约 22 万 km²(王剑等, 2009)。盆地北部受可可西里—金沙江缝合带控制, 南部受班公湖—怒江缝合带控制, 盆地中部为中央隆起带(图 1)(王剑等, 2004; Fu et al., 2010)。一般认为, 羌塘盆地的北部边界, 即可可西里—金沙江缝合带代表了消失的古特提斯洋(Dewey et al., 1988; Kapp et al., 2003)。然而, 随着羌塘中央隆起带含蓝片岩变质带、蛇绿岩混杂带的

发现(Kapp et al., 2000; 李才等, 2006; Zhai et al., 2011), 一些学者提出了古特提斯洋位于中央隆起带的认识(李才, 1987; Metcalfe, 1988, 1996; Zhai et al., 2011; Xu et al., 2020)。

晚三叠世—早侏罗世是羌塘盆地演化的关键时期, 该时期也沉积了羌塘盆地最重要的烃源岩。在早期的研究中, 常常把晚三叠世的盆地演化作为一个整体(高春文等, 2006), 随着研究的深入, 人们逐渐认识到, 羌塘盆地晚三叠世发生了重要的构造转换事件, 盆地构造背景由挤压转化为伸展(付修根等, 2010; Fu et al., 2010; Liu et al., 2016; Wu et al., 2016; Li et al., 2018; Xu et al., 2020; Wang et al., 2022)。中三叠世—晚三叠世早期, 羌塘盆地的海相沉积序列主要见于北羌塘坳陷(次级盆地), 发育中三叠统康南组、晚三叠统藏夏河组、土门格拉组地层(图 2), 该时期南羌塘以陆相沉积为主, 发育土门格拉组含煤地层。晚三叠世诺利—瑞替期, 北羌塘坳陷大多隆升成陆, 发育那底岗日组火山—火山碎屑沉积; 而南羌塘地区以海相沉积为主, 发育肖茶卡组碳酸盐岩沉积, 上部以索布查组碳酸盐岩为主(图 2)。早侏罗世, 羌塘盆地发生了大规模海侵, 南羌塘从碳酸盐岩沉积为主, 逐渐转换为曲色组的深水泥岩、粉砂岩沉积为主; 而北羌塘则以雀莫错组陆相沉积为主, 在北羌塘的中部地区(例如半岛湖地区), 以陆缘近海湖沉积为主, 沉积了一套紫红色、灰绿色粉砂质、粉砂质泥岩(图 2)。中侏罗世,

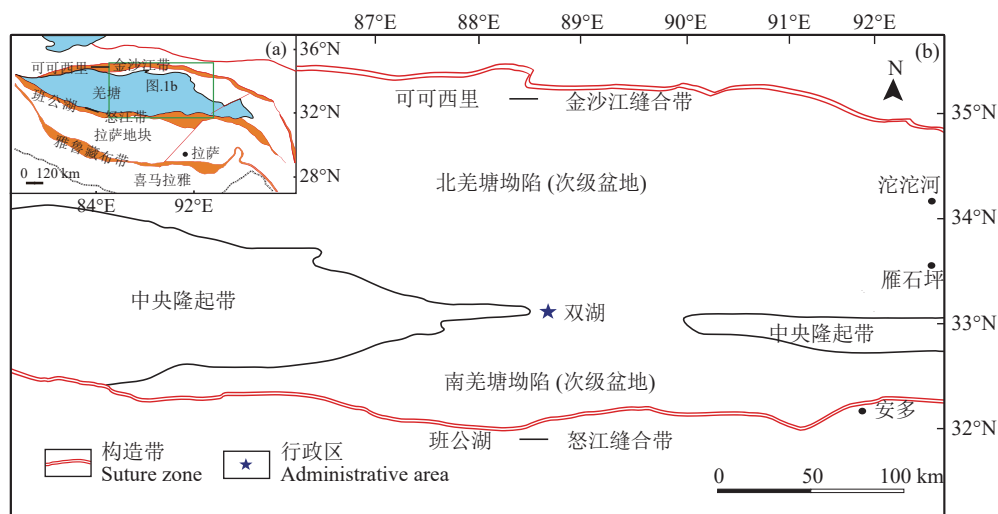


图 1 羌塘盆地地区构造格架图(据王剑和付修根, 2018 修改)

Fig.1 Tectonic map of the Qiangtang Basin (modified from Wang Jian and Fu Xiugen, 2018)

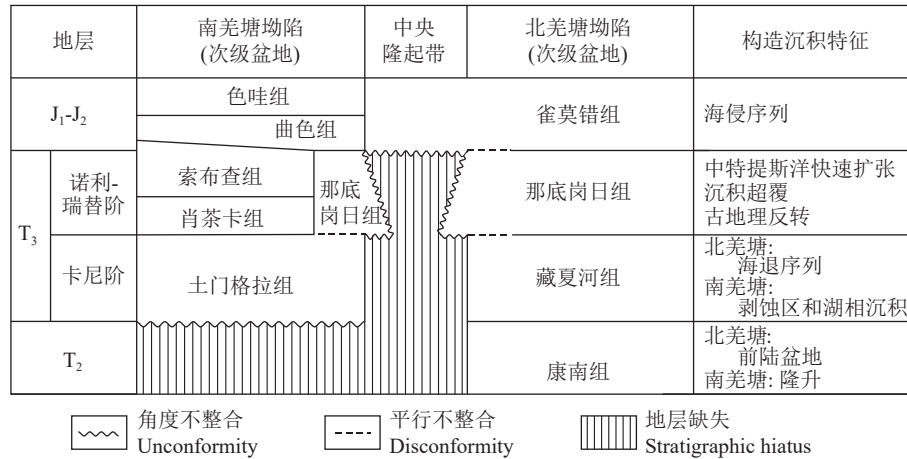


图2 羌塘盆地中三叠统—中侏罗统地层(据 Wang et al., 2022 修改)
Fig.2 Stratigraphic framework of the Qiangtang Basin during the Middle Triassic-Middle Jurassic
(modified from Wang et al., 2022)

羌塘盆地海水漫过中央隆起带,使得南北羌塘成为一个整体。

3 羌塘中生代盆地主要烃源岩特征

本文主要介绍对盆地油气勘探具有重要意义的上三叠统泥页岩和下侏罗统页岩。

3.1 上三叠统烃源岩

羌塘盆地上三叠统主要见于盆地北部的藏夏河组、东部的巴贡组、盆地周缘及中央隆起带的土门格拉组。藏夏河组分布在羌塘盆地北部藏夏河—多色梁子—丽江湖一带,近东西向展布,出露面积较小,剖面多未见顶底,岩性为灰、深灰色薄至中厚层状细砾岩、含砾砂岩、细粒岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩、石英砂岩、粉砂岩、粉砂质泥岩页岩和泥页岩组成多种互层状韵律式沉积(图3a),为一套三角洲相沉积,是前陆盆地前缘沉积产物。土门格拉组主要分布于中央隆起两侧及盆地周缘,出露于沃若山(图3b)、扎那陇巴(图3c)、土门等地区,岩性为一套深灰色、灰黑色薄层状泥页岩,含煤泥岩夹砂岩,向上砂岩含量逐渐增加,为一套三角洲平原相沉积。巴贡组分布于盆地东部的雀莫错地区,岩性以深灰色至灰黑色块状钙质泥岩、含钙质泥页岩为主,夹浅灰色钙质粉砂岩,反映了前三角洲与三角洲前缘的沉积环境。

藏夏河组泥岩烃源岩的有机碳含量介于0.42%~2.43%,藏夏河剖面8件样品,有机碳平均含量为0.70%,岩石热解生烃潜力(S1+S2)为0.04~

0.20 mg/g;多色梁子剖面(图4)4件样品的有机碳平均含量为1.84%,岩石热解生烃潜力(S1+S2)为0.38~0.76 mg/g(表1)。土门格拉组泥岩烃源岩各剖面有机碳含量差别较大,在北羌塘南部的沃若山(图4),有机碳含量为0.64%~3.29%,9件样品的有机碳平均含量为1.61%,岩石热解生烃潜力(S1+S2)为0.023 mg/g(表1);而在中央隆起带的肖茶卡地区(图4),有机碳含量为0.78%~0.83%,岩石热解生烃潜力(S1+S2)为0.0027~0.04 mg/g(表1);在南羌塘北部的扎那陇巴(图4),有机碳含量为0.40%~1.57%,8件样品的有机碳平均含量为0.84%,岩石热解生烃潜力(S1+S2)为0.02~0.82 mg/g(表1)。巴贡组地表样品主要采集于雀莫错地区(图4),有机碳含量为0.53%~1.66%,11件样品的有机碳平均含量为1.03,与地表样品相对比,钻井样品的有机碳含量略高,特别是在钻井样品中采集到优质烃源岩(羌资-7井与雀莫错剖面为同一剖面,雀莫错为地表剖面样品)。

羌塘盆地上三叠统各组烃源岩的有机质类型主要以Ⅱ~Ⅲ型干酪根为主,但各组烃源岩的有机质类型仍然存在一定的差异。藏夏河组以深水沉积为特征,有机质类型以Ⅱ₁更为常见,如多色梁子剖面。土门格拉组主要沉积于三角洲平原环境,含煤线,因此,有机质类型以Ⅱ₂~Ⅲ型干酪根为主,如沃若山剖面、羌资-6井、羌资-13井等。巴贡组主要以前三角洲沉积为主,有机质类型以Ⅱ₂型干酪根为主,如羌资-16井、雀莫错剖面等。

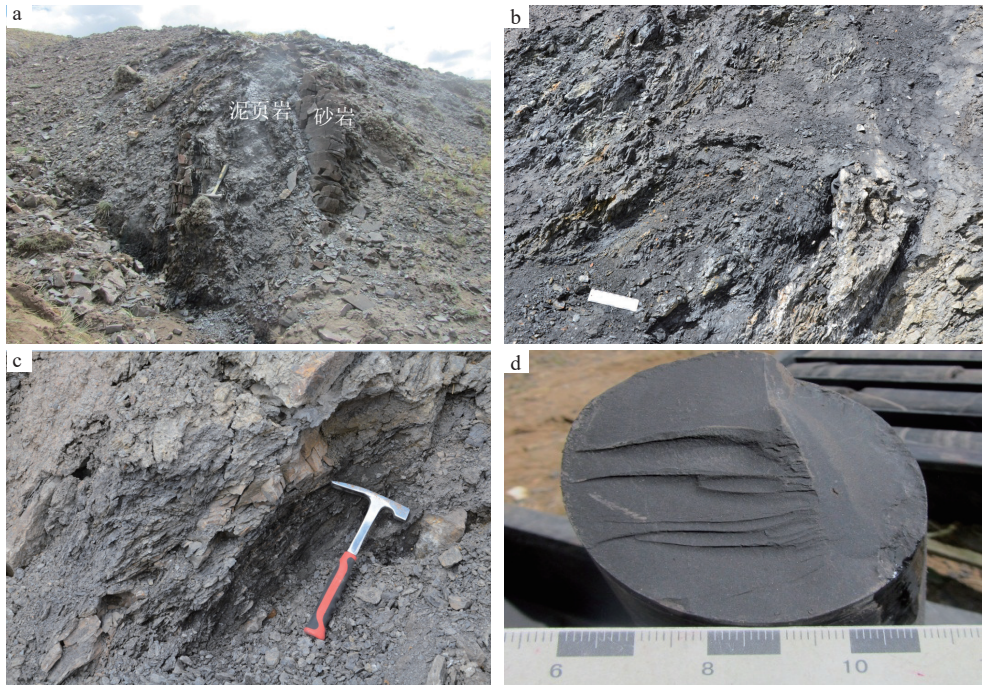


图 3 羌塘盆地上三叠统烃源岩野外露头及岩心特征

a—羌塘盆地北部多色梁子剖面: 藏夏河组泥页岩夹砂岩野外照片; b—北羌塘南部沃若山剖面: 土门格拉组含煤系泥岩野外照片; c—南羌塘北部扎那弄巴剖面: 土门格拉组含煤系页岩照片; d—羌塘东部美资-7 井: 巴贡组泥岩照片

Fig.3 Field outcrop and core characteristics of the Upper Triassic source rocks in the Qiangtang Basin

a—Duose Liangzi section in northern Qiangtang Basin: Field characteristics of mudstone with sandstone of the Zangxianhe Formation; b—Woruoshan section in southern North Qiangtang Basin: Field characteristics of coal-bearing mudstone of the Tumen Gale Formation; c—Zana Longba section in northern South Qiangtang Basin: coal-bearing shale of the Tumen Gale Formation; d—Well QZ-7 in the eastern Qiangtang Basin: mudstone of the Bagong Formation

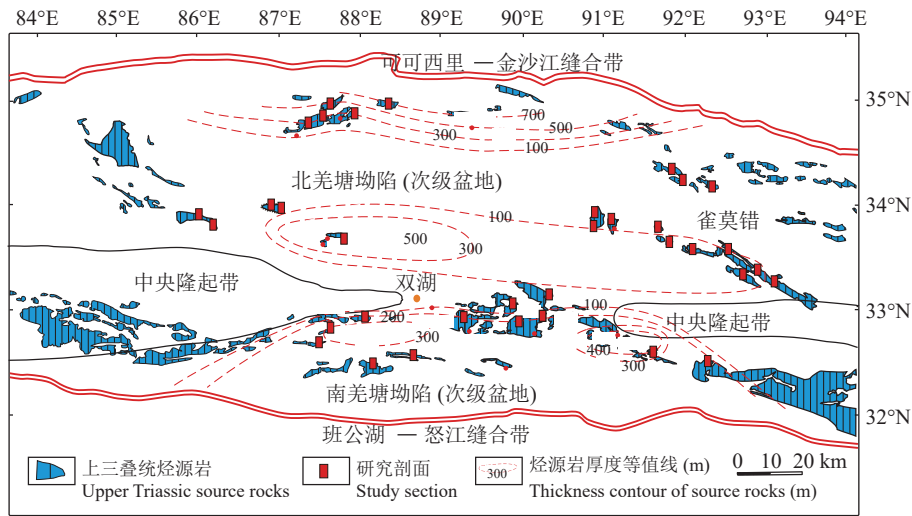


图 4 羌塘盆地上三叠统烃源岩分布

Fig.4 Distribution of the Upper Triassic source rocks in the Qiangtang Basin

羌塘盆地上三叠统烃源岩有机质总体处于成熟—高成熟演化阶段。在北羌塘北部的多色梁子剖面, 藏夏河组泥岩镜质体反射率(R_o)介于 1.29%~1.51%; 北羌塘南部的沃若山剖面, 土门格拉组泥岩镜质体反射率为 1.40%~1.79%, 而南羌塘北部扎那弄巴剖面, 土门格拉组泥岩镜质体反射率为 1.08%~

表 1 羌塘盆地上三叠统烃源岩数据统计

Table 1 Statistics of the Upper Triassic source rocks in the Qiangtang Basin								
上三叠统烃源岩	剖面	岩性	厚度/m	TOC/%	S ₁ +S ₂ /(mg/g)	氯仿沥青“A”/%	有机质类型	Ro/%
藏夏河组	藏夏河	泥页岩	>304.92	0.42~1.85	0.04~0.20	0.0091~0.0023	Ⅱ ₂ ~Ⅲ	2.95~3.27
				0.70(8)	0.088(8)	0.0152(5)		3.1(7)
	多色梁子	泥岩	>116.14	1.52~2.43	0.38~0.76	0.0106~0.0109	Ⅱ ₁	1.29~1.51
土门格拉组	沃若山	泥岩	562.69	0.64~3.29	0~0.06	0.0006~0.0015	Ⅱ ₂ ~Ⅲ	1.40~1.79
				1.61(9)	0.023(9)	0.0009(9)		1.60(9)
	扎那陇巴	泥岩	>227	0.40~1.57	0.02~0.82	0.0043~0.0117	Ⅲ	1.08~1.52
				0.84(8)	0.26(8)	0.0066 (6)		1.38(8)
	明镜湖	泥岩	645.8	0.64~1.0	0.04~0.21		Ⅱ ₁ ~Ⅱ ₂	2.60~3.56
				0.81(23)	0.11(23)			2.98(12)
	肖茶卡	泥岩	280.68	0.78~0.83	0.027~0.04	0.0005(1)	Ⅱ ₂	1.24~1.70
				0.80(4)	0.031(4)			1.55(3)
	羌资-6井	泥岩	318	0.33~3.33	0.003~0.01	0.45~2.80	Ⅱ ₂ ~Ⅲ	1.38
				0.94(11)	0.005(11)	0.89 (11)		
巴贡组	羌资-13井	泥岩	128.6	0.21~2.04			Ⅱ ₂ ~Ⅲ	2.20~2.49
				0.78(14)				2.24(4)
	羌资-15井	泥岩	84	0.56~0.85			Ⅱ ₂ ~Ⅲ	2.01~2.24
				0.68(17)				2.15(5)
	羌资-7井	泥岩	241.18	0.38~3.56			Ⅱ ₂ ~Ⅲ	1.46~1.90
				1.06(22)				1.62(14)
	羌资-8井	泥岩	166.44	0.32~3.37			Ⅱ ₂ ~Ⅲ	
				1.10(27)				
雀莫错	羌资-16井	泥岩	162	0.40~1.09			Ⅱ ₂	2.44~2.77
				0.68(16)				2.62(8)
	雀莫错	泥岩	594	0.53~1.66			Ⅱ ₂	1.30~1.46
				1.03(11)				1.40(11)

注：表中分式含义：分子为最小值~最大值；分母为平均值（样品数）。

1.52%；在羌塘东部的雀莫错剖面，巴贡组泥岩镜质体反射率为 1.30%~1.46%。因此，上三叠统各剖面烃源岩热演化程度基本一致，总体处于成熟—高成熟阶段。但需要注意的是，在一些剖面也发现了异常高的镜质体反射率，如藏夏河剖面、明镜湖剖面等，这些剖面异常高的镜质体反射率可能与断裂或热液有关，在多个钻井中也发现了类似的特征。

3.2 下侏罗统烃源岩

羌塘盆地下侏罗统烃源岩主要见于南羌塘地区，岩性组合为一套陆棚—斜坡相深色细碎屑岩系，主要由深灰色、灰黑色薄层状泥岩、页岩、粉砂岩夹灰岩，以南羌塘坳陷东南部的色哇松可儿地区出露较好(图 5a)，向西噶尔敖包(图 6)、木苟日王(图 6)及帕度错地区断续出露，延至改则县康托一

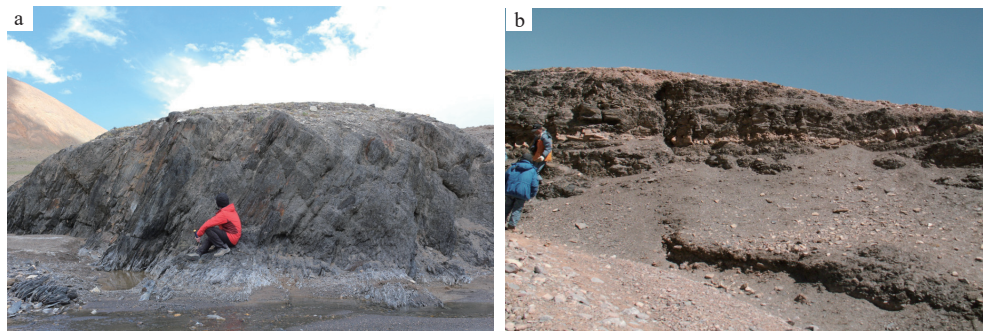


图 5 羌塘盆地下侏罗统烃源岩野外露头特征

a—南羌塘南部松可尔剖面：曲色组页岩夹粉砂岩野外照片；b—南羌塘北部毕洛错剖面：曲色组油页岩夹灰岩野外照片
Fig.5 Characteristics of field outcrops of the Lower Jurassic source rocks in the Qiangtang Basin
a—Songker section in southern South Qiangtang Basin: Field Characteristics of the Quse Formation shale with siltstone; b—Bilong Co section in northern South Qiangatng Basin: Field Characteristics of the Quse Formation oil shale with limestone

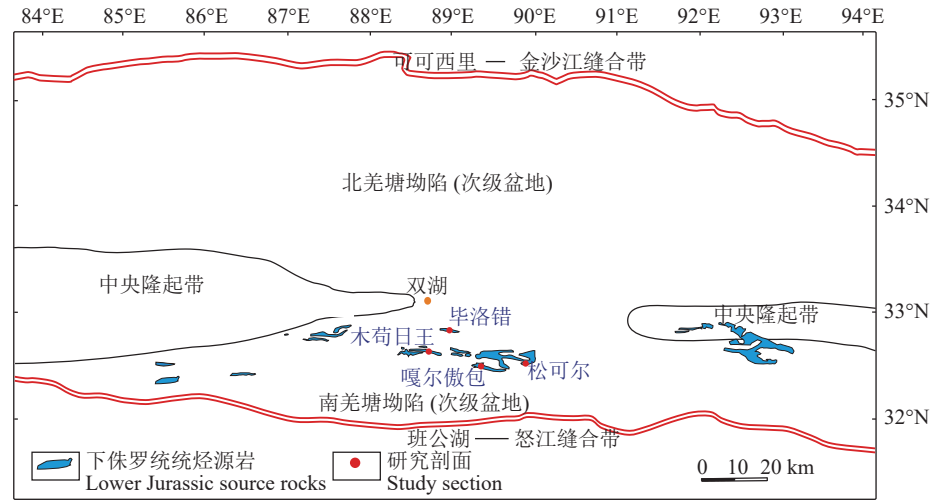


图 6 羌塘盆地地下侏罗统烃源岩分布及主要研究剖面位置
Fig.6 Distribution of the Lower Jurassic source rocks in the Qiangtang Basin and the location of main study sections

带尖灭(王剑等, 2004)。曲色组含油页岩地层主要分布于南羌塘北部的毕洛错地区, 在毕洛错剖面, 烃源岩主要由钙质页岩、油页岩(图 5b)、泥岩、及泥灰岩组成。在毕洛错一带, 曲色组还夹有玄武岩, 下与索布查组、上与色哇组呈整合接触。

羌塘盆地曲色组烃源岩的有机碳含量变化较大, 其中毕洛错剖面泥页(含油页岩)岩有机碳含量为 0.52%~21.49%, 64 件样品的有机碳平均含量为 4.10%, 岩石热解生烃潜力 (S₁+S₂) 为 1.79~91.45 mg/g(表 2)。然而, 曲色组烃源岩在南羌塘的其他地区表现为低的有机碳含量, 在木苟日王剖面, 曲色组黑色页岩有机碳含量为 0.40%~0.88%, 10 件样品的有机碳平均含量为 0.59%, 岩石热解生烃潜力 (S₁+S₂) 为 0.04~0.14 mg/g(表 2); 在嘎尔傲包剖面, 曲色组黑色页岩有机碳含量为 0.50%~0.57%, 6 件样品的有机碳平均含量为 0.54%, 岩石热解生烃潜力 (S₁+S₂) 为 0.06~0.20 mg/g(表 2); 在松可尔剖面,

曲色组黑色页岩有机碳含量为 0.41%~0.66%, 24 件样品的有机碳平均含量为 0.47%, 岩石热解生烃潜力 (S₁+S₂) 为 0.02~0.07 mg/g(表 2)。因此, 羌塘盆地地下侏罗统优质烃源岩主要见于毕洛错剖面, 而南羌塘次级盆地的其他剖面尽管具有厚度较大的烃源岩, 但以差烃源岩为主。

羌塘盆地地下侏罗统烃源岩的有机质类型主要以 II 型干酪根为主。在毕洛错剖面, 有机质类型为 II₁~II₂, 以 II₁ 型干酪根为主。在松可尔、木苟日王及嘎尔傲包剖面, 存在 I、II₁、II₂、III 有机质。但是, 总体以 II₂ 型为主, 其次为 II₁ 型, 少量 I 型和 III 型。

羌塘盆地地下侏罗统烃源岩有机质总体处于成熟—高成熟演化阶段。在南羌塘北部的毕洛错剖面, 烃源岩镜质体反射率为 0.4%~1.3%, 总体显示成熟有机质特征。在松可尔和嘎尔傲包剖面, 页岩镜质体反射率约为 1.70%, 处于高成熟演化阶段; 而在

表 2 羌塘盆地地下侏罗曲色组烃源岩数据统计 Table 2 Statistics of source rocks of the Lower Jurassic Quse Formation in the Qiangtang Basin							
剖面	岩性	厚度/m	TOC/%	S ₁ +S ₂ /(mg/g)	氯仿沥青“A”/%	有机质类型	R _o /%
毕洛错	油页岩、泥岩	172	0.52~21.49	1.79~91.45	0.0608~1.8707	II ₁ ~II ₂	0.40~1.30
			4.10(64)	29.93(8)	0.6614(8)		
木苟日王	页岩	549	0.40~0.88	0.04~0.14		II ₁ ~II ₂	2.0
			0.59(10)	0.08(10)			
嘎尔傲包	泥岩	34.38	0.50~0.57	0.06~0.20	0.0037~0.0052	II ₂	1.70
			0.54 (6)	0.13(6)	0.0044(6)		
松可尔	泥(页)岩	625.28	0.41~0.66	0.02~0.07	0.0059~0.0116	II ₂	1.78~2.15
			0.47(24)	0.04(15)	0.0014(15)		

注: 表中分式含义见表1。

木苟日王剖面, 页岩镜质体反射率为 2.0%。注意到松可尔地区存在温泉, 嘎尔傲包和木苟日王地区发育大量的脉状方解石, 因此, 这些剖面实测干酪根镜质体反射率可能受到了后期热液的影响。

4 羌塘盆地中三叠世—早侏罗世沉积演化序列

羌塘盆地中三叠统—下侏罗统包括中三叠统的康南组、上三叠统的土门格拉组(及其对应的藏夏河组、巴贡组)、上三叠统那底岗日组、下侏罗统曲色组和中—下侏罗统雀莫错组。岩石组合包括碳酸盐岩、泥岩、页岩、油页岩、砂岩、火山岩等, 按照沉积演化与沉积环境的不同, 可进一步划分为 6 个沉积演化序列。

4.1 中三叠世浅水陆棚沉积

羌塘盆地中三叠统的出露非常局限, 仅见于北羌塘南部的江爱达日那地区, 该地层下部为灰色、灰绿色粉砂质泥岩夹泥质粉砂岩及泥灰岩透镜体,

向上过渡为细砂岩。粉砂岩中发育小型砂纹层理, 粉砂质泥岩—泥质粉砂岩—中层状钙质细砂岩组成向上变粗的逆粒序韵律。灰岩中见有丰富的菊石化石, 包括 *Hollandites voiti* Oppel, *H. hidimba* Diener, *H. truncus* Oppel, *H. vyasa* Diener, *H. visvakarma* Diener, *H. sp.*, *Paraceratites cf. binodosus* Hauer, *Cuccoceras taramellii* Mojs(朱同兴等, 2006)。康南组被解释为相对深水的浅海陆棚相沉积(图 7)。

4.2 晚三叠世三角洲前缘沉积

康南组向上, 逐渐过渡为细粒岩屑长石砂岩为主的沉积, 包括康南组顶部和土门格拉组底部, 反映了水动力条件较强的三角洲前缘沉积(图 7)。在沃若山剖面, 土门格拉组下部则发育三角洲前缘水下分流间湾沉积序列, 表现为钙质泥岩夹粉砂岩、细砂岩的岩性组合(图 8a)。泥岩中水平层理发育, 局部含生物碎屑; 细砂岩具有较好的分选性, 磨圆中等, 成熟度一般; 粉砂岩中见有少量的生物介壳碎屑。剖面向上, 发育三角洲前缘水下分流水道沉

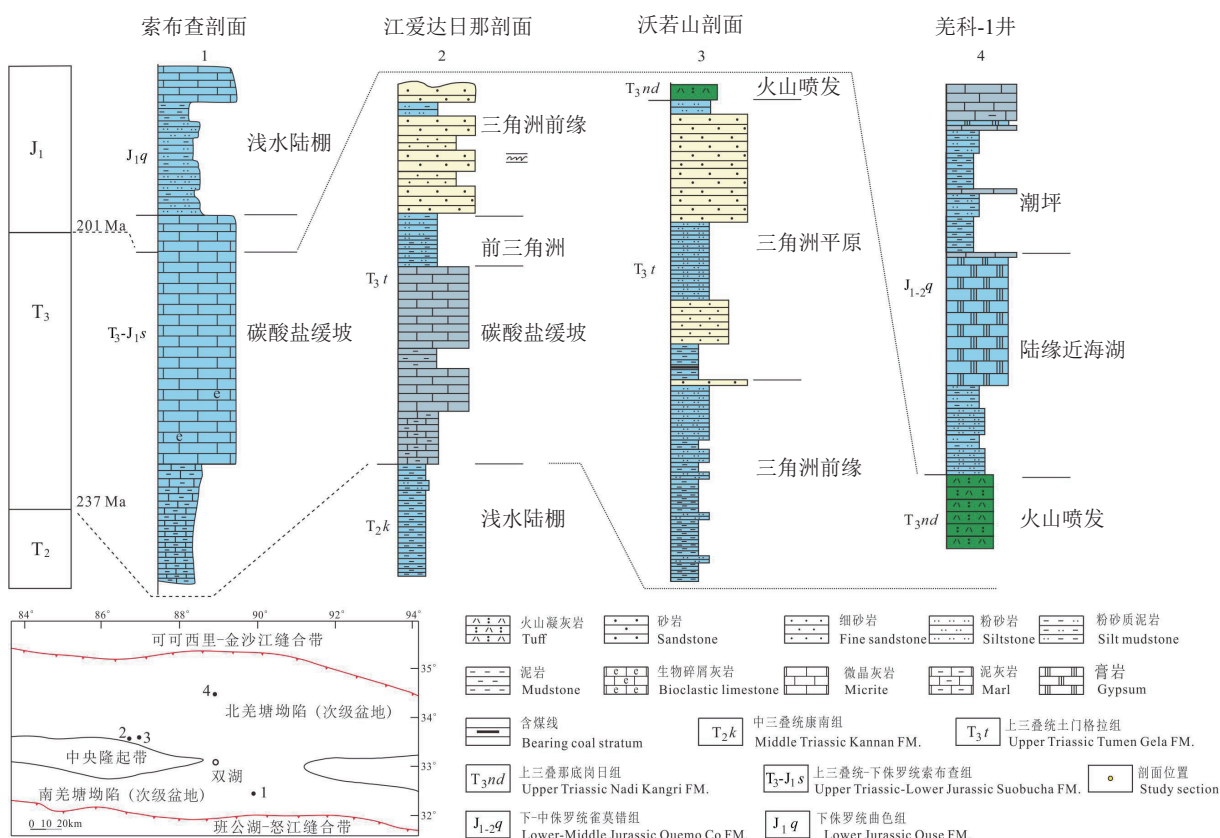


图 7 羌塘盆地中三叠世—早侏罗世沉积演化序列及区域对比

Fig.7 Sedimentary evolution sequence and regional correlation of the Middle Triassic–Early Jurassic in the Qiangtang Basin

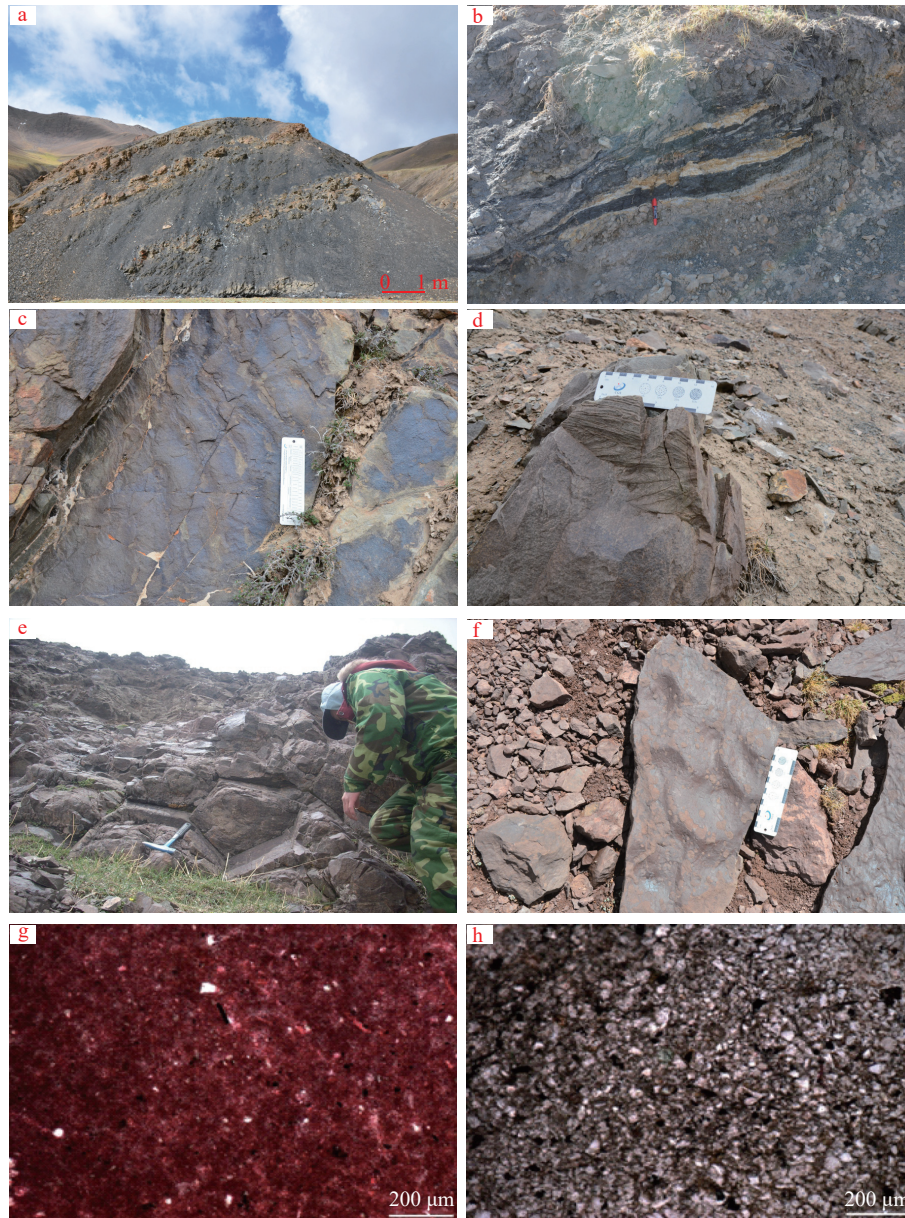


图 8 羌塘盆地晚三叠世—早侏罗世岩石组合与沉积构造

a—土门格拉组下部钙质泥岩夹细砂岩组合; b—土门格拉组中的煤线; c—土门格拉组上部砂岩中的波痕; d—土门格拉组上部砂岩中的小型交错层理; e—那底岗日组下部枕状玄武岩; f—雀莫错砂岩中的流水波痕; g—雀莫错组中的砂屑泥晶灰岩显微照片; h—雀莫错组的泥质粉砂岩显微照片

Fig.8 The Late Triassic–Early Jurassic rock assemblage and sedimentary structure in the Qiangtang Basin

a–Calcareous mudstone and fine sandstone in the lower part of the Tumen Gela Formation; b–Coal in the Tumen Gela Formation; c–Ripple mark in the sandstone of the upper Tumen Gela Formation; d–Small cross bedding in the sandstone of the upper Tumen Gela Formation; e–Pillow basalt in the lower Nadi Kangri Formation; f–Current ripple in the sandstone of the Quemo Co Formation; g–Microscopic photos of sandy micrite limestone from the Quemo Co Formation; h–Microscopic photos of muddy siltstone from the Quemo Co Formation

积, 岩性为一套粉砂岩夹细砂岩组合, 细砂岩具有分选性和磨圆度较好的特征, 成熟度较高, 发育小型交错层理。

4.3 晚三叠世三角洲平原沉积

土门格拉组中上部发育泥岩、粉砂岩、细砂

岩、砂岩夹煤线。剖面中部以泥岩夹粉砂条带为主, 泥岩中水平层理发育, 粉砂岩中见砂纹层理, 含双壳类化石: *Amonotis* cf. *rothpletzi yushensis* Sha et Chen, *Halobia* sp. (朱同兴等, 2006), 为三角洲平原分流间湾沉积产物。剖面向上逐渐变为薄层状粉

砂质泥岩与钙质粉砂岩韵律产出,局部夹煤线(图 8b),显示三角洲平原沼泽沉积特征。在土门格拉组上部,以粉砂岩、细砂岩、岩屑石英砂岩为主,砂岩分选和磨圆一般,成熟度不高,砂岩中发育波痕(图 8c)、小型交错层理(图 8d),显示高能沉积特征,为三角洲平原分支河道砂体沉积(图 7)。

4.4 晚三叠火山喷发沉积

羌塘盆地晚三叠世发育了大规模的火山喷发及火山沉积序列,对应于那底岗日组,岩性以玄武岩、流纹岩、英安岩、火山角砾岩及凝灰岩为主,火山喷发早期以火山喷发相的火山角砾岩、火山凝灰岩为特征,在羌塘盆地西部的菊花山、东部的鄂尔陇巴、北部的弯弯梁等剖面均发育火山角砾岩;火山凝灰岩则发育于北羌塘南部的沃若山、羌科-1 井等剖面(图 7)。火山喷溢相以玄武岩、流纹岩为特征,在羌塘盆地北部的弯弯梁剖面,下部发育枕状玄武岩(图 8e),上部发育流纹岩,构成了典型的双模式火山岩组合。

4.5 早侏罗世陆缘近海湖沉积

雀莫错组地层与上三叠统地层在盆地的周缘的大多地区为角度不整合接触,在北羌塘中部的半岛湖地区,羌科-1 井揭示二者间为整合接触。在羌科-1 井剖面,雀莫错组一段发育三角洲相沉积,岩性主要为棕红色粉砂质泥岩、浅红棕色含泥粉砂岩、紫红色砾岩、紫红色细—粉粒砂岩夹灰白色细粒岩屑石英砂岩、紫红色粉砂岩;二段发育泻湖亚相沉积,岩性以白色石膏岩为主,偶夹灰色灰岩、白云质灰岩,总体上显示陆缘近海湖的特征(图 7)。该时期海水从南羌塘海侵,侵漫过中央隆起带,因此,在北羌塘的周缘地区,表现为冲洪积相沉积特征,砂岩中发育典型的流水波痕(图 8f)等沉积构造。

4.6 早侏罗世潮坪沉积

雀莫错组三段为潮坪亚相沉积(图 7),岩性为灰色、黄灰色灰岩与灰色泥岩及泥质粉砂岩不等厚互层。灰岩以亮晶砂屑灰岩、泥晶灰岩为主,亮晶砂屑灰岩具亮晶砂屑结构,砂屑 65%,为藻砂屑,亮晶方解石胶结,见石膏;泥晶灰岩具泥晶结构,砂屑 <5%,为陆源碎屑石英粉砂,分布不均匀,泥晶 65%~95%,为方解石,见斑点状分布的黄铁矿(图 8g)。粉砂岩分选好,颗粒呈次棱角—次圆状(图 8h),成分主要为石英。总体上,雀莫错组三段

显示相对低能的沉积环境。

尽管南羌塘的沉积体系与北羌塘存在一定的差异,但沉积演化特征是基本一致的,表现为晚三叠世的海退和早侏罗世的海侵特征。中三叠统在南羌塘尚未见到典型的露头,推测该时期南羌塘可能大多暴露地表,至晚三叠世,南羌塘地区广泛发育碳酸盐岩台地沉积,对应于索布查组,晚三叠世的那底岗日组火山岩序列在南羌塘地区分布局限,典型的剖面见于中央隆起带南缘的肖茶卡剖面,另外,在毕洛错地区也有少量出露。早侏罗世,南羌塘地区普遍发生了海侵,沉积了曲色组陆棚相页岩。

5 讨论

5.1 羌塘晚三叠世的沉积转换

晚三叠世,羌塘盆地发生了重要的沉积转换。中三叠世总体上记录了相对深水的沉积序列,在北羌塘的江爱达日那地区,中三叠世的康南组沉积了浅海陆棚的细碎屑岩组合(图 7),该套地层向上,逐渐变为土门格拉组的碳酸盐缓坡—三角洲沉积。土门格拉组下部总体上表现为钙质泥岩夹粉砂岩、细砂岩的沉积特征,为三角洲前缘沉积环境,至土门格拉组中上部,见煤系沉积,并发育大套砂岩,为三角洲平原沉积环境(图 7)。因此,中三叠世—晚三叠世,羌塘盆地的沉积演化表现为明显的海退沉积序列。

早侏罗世,北羌塘的大多数地区为陆相沉积,沉积了雀莫错组下部的冲洪积相的砾岩、砂岩等岩石组合,在北羌塘中部地区,则以湖相沉积为主,该地区雀莫错组下部以紫红色—灰绿色粉砂岩为主,向上逐渐过渡为膏岩沉积(图 7)。雀莫错组中上部则以灰色泥岩、泥质粉砂岩及泥灰岩为主,为潮坪环境(图 7)沉积的产物。因此,早侏罗世,北羌塘总体表现为海侵沉积序列。在南羌塘,尽管早侏罗世的沉积岩石组合与北羌塘存在显著的差异,但沉积演化序列是相同的。早侏罗世早期,南羌塘以索布查组的碳酸盐缓坡沉积为特征,该套地层向上逐渐转变为色哇组的浅海陆棚沉积(图 7)。因此,早侏罗世,南羌塘总体上也表现为海侵的沉积演化序列。

从上述沉积演化序列的分析来看,羌塘盆地在晚三叠世发生了明显的沉积转换,表现为中三叠世—

晚三叠世的海退序列转换为早侏罗世的海侵序列。该时期的海退可能与古特提斯洋的关闭有关。古特提斯洋的主洋盆位于羌塘盆地北部的可可西里—金沙江缝合带(Dewey et al., 1988; Kapp et al., 2003)还是位于羌塘盆地中部的龙木错—双湖缝合带(李才, 1987; Metcalfe, 1988, 1996; Zhai et al., 2011; Xu et al., 2020)存在一定的争议。然而, 古特提斯洋的最后关闭时间为中三叠世晚期或晚三叠世早期(王剑和付修根, 2018; Fu et al., 2022)。古特提斯洋的关闭不仅导致了羌塘盆地中三叠世—晚三叠世的海退序列, 而且导致了晚三叠世北羌塘大部分地区隆升成陆。晚三叠世, 在羌塘盆地的广泛地区发现了古风化壳(Fu et al., 2010)。古风化壳产于北羌塘的周缘、中央隆起带及南羌塘的北部地区, 见于晚三叠世肖茶卡组的顶部, 或者二叠系(石炭系)的顶部, 其上被那底岗日组或雀莫错组地层

沉积超覆。羌塘盆地晚三叠世古风化壳的发现表明, 受古特提斯洋最后关闭的影响, 盆地晚三叠世发生了明显的构造隆升, 海水逐渐退出羌塘盆地。古风化壳之上的具有伸展背景的那底岗日组火山岩(Fu et al., 2010; Wang et al., 2022)则代表了新一轮盆地演化的开启。

5.2 羌塘晚三叠世的古地理反转

羌塘盆地晚三叠世发生了重要的古地理反转。中三叠世, 羌塘盆地的海相沉积主要见于北羌塘坳陷, 受古特提斯洋关闭的影响, 该时期北羌塘表现为前陆盆地沉积的特征。深水沉积位于北羌塘的北部, 向南逐渐过渡为陆棚相沉积、潮坪—潟湖相沉积, 靠近中央隆起带附近, 主要为河流—三角洲沉积, 值得注意的是, 该时期南羌塘地区大部分为隆起剥蚀区, 在南羌塘的部分地区发育湖泊—沼泽沉积(图 9a)。

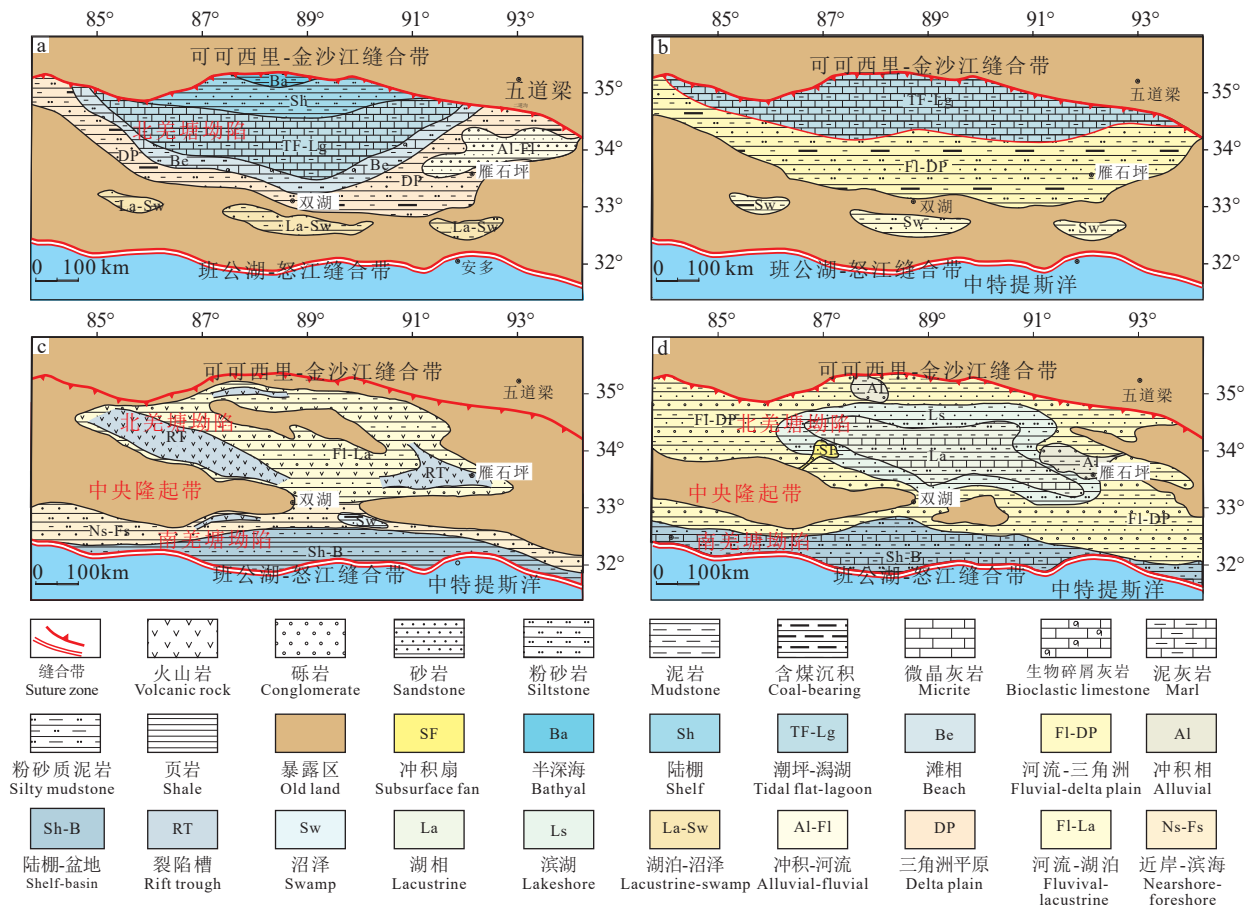


图 9 羌塘盆地中三叠世—早侏罗世古地理演化(Wang et al., 2022 修改)

a—中三叠世羌塘盆地古地理图, b—晚三叠世卡尼—诺利期古地理图, c—晚三叠世瑞替期古地理图, d—早侏罗世古地理图

Fig.9 Paleogeographic evolution during the Middle Triassic–Early Jurassic in the Qiangtang Basin (after Wang et al., 2022)

a—Qiangtang Basin, Middle Triassic; b—Carnian–Nolian, Late Triassic; c—Rhaetian, Late Triassic; d— Early Jurassic

晚三叠世卡尼—诺利期,羌塘盆地发育了广泛的含煤系沉积,主要见于盆地周缘及中央隆起带地区。该时期北羌塘仍然是海相沉积为主,深水区位于北羌塘的北部,但水体明显变浅,发育潮坪—潟湖沉积,在北羌塘的南部,发育河流—三角洲沉积,南羌塘、中央隆起带地区则广泛发育沼泽沉积(图 9b)。

晚三叠世瑞替期,羌塘盆地古地理环境发生了显著的变化,该时期北羌塘大部分地区隆升成陆,发育古风化壳和陆相火山岩为主,部分地区为湖相沉积(图 9c)。而南羌塘大部分地区则为海相沉积(图 9c),发育碳酸盐缓坡和浅水陆棚沉积。

早侏罗世,受班公湖—怒江洋盆快速扩张的影响,南羌塘坳陷发生海侵,并逐渐侵漫过中央隆起带进入北羌塘地区。因此,该时期南羌塘的南部以盆地—陆棚相沉积为主,南羌塘的北部则发育水体相对较浅的河流—三角洲沉积(图 9d)。该时期北羌塘则以陆缘近海湖沉积为主,受到海侵的影响,湖泊面积明显大于晚三叠世,该时期的湖泊中心位于半岛湖一带,沉积粉砂岩、泥岩和膏岩。由半岛湖向周围,水体变浅,沉积滨湖、河流—三角洲沉积(图 9d)。

因此,从古地理的演化特征分析,中三叠世—晚三叠世的海相沉积主要位于北羌塘地区。该时期的深水区位于北羌塘北部及坳陷地区,浅水区位于北羌塘南部。至晚三叠世,北羌塘大部分地区隆升成陆,北羌塘以陆相沉积为主。而南羌塘的古地理演化与北羌塘完全相反,在中三叠世,南羌塘大部分地区为陆相沉积,至晚三叠世,南羌塘则广泛发育海相沉积,海侵作用从南羌塘的南部开始,至早侏罗世,海水逐渐侵漫过中央隆起带,北羌塘逐渐开始新一轮的海相沉积。显然,由于受微陆快拼合以及南部海侵的影响,羌塘盆地晚三叠世发生了明显的古地理反转现象,表现为:北羌塘由海相沉积逐渐转化为陆相沉积,而南羌塘则由陆相沉积转化为海相沉积。

5.3 古地理反转对盆地烃源岩勘探的启示

羌塘盆地发现油气显示 250 余处,其中规模性古油藏带 1 处、规模性泥火山群 2 处。在南羌塘的隆鄂尼—昂达尔错地区,发现了目前为止最大规模的古油藏带,该古油藏带横向延伸大于 150 km,出

露宽度 20~30 km,对钻井资料的统计表明,含油白云岩累计厚度 2~66 m,含油率最大 10.4%,平均值 3.58%。在羌塘盆地的中央隆起带,发现了盆地迄今为止最大规模的泥火山群(李才等, 2006),该泥火山群位于盆地中央隆起带西部的戈木错地区,发现盾状、盆状等泥火山 117 个,横向延伸大于 30 km,泥火山群形成时间为 10 ka 左右,可能与天然气的泄漏有关(冯兴雷等, 2015)。在北羌塘南部的喷呐湖地区,发现了现代泥火山群(Fu et al., 2013),该泥火山群延伸大于 10 km,发现正在喷发(喷溢)的气体,气体成分以甲烷为主,碳同位素介于-47.2‰~45.0‰,显示热解成因的油成气(颜泽等, 2018)。这些大规模油气显示的发现表明,羌塘盆地具有大规模油气的形成、运移和聚集过程,盆地也具有形成大规模油气藏的物质基础,即烃源岩条件,然而,迄今为止,对盆地烃源岩的分布规律和控制因素尚不完全清楚。

羌塘盆地三叠纪的沉积演化特征控制了该时期烃源岩的分布。晚三叠世,随着古特提斯洋的最后关闭,在北羌塘次级盆地的北部以及坳陷区形成深水沉积,例如在北羌塘的藏夏河—多色梁子地区,发育砂泥质深水复理石沉积,岩石组合为灰、深灰色薄至中厚层状细砾岩、含砾砂岩、细粒岩屑长石砂岩、长石岩屑砂岩,石英砂岩、粉砂岩、粉砂质泥(页)岩和泥(页)岩组成多种互层状韵律式沉积地层;砂岩常具粒序层理等浊流沉积构造。该套地层的下段,沉积灰黑色薄层状泥页岩、粉砂质泥岩,厚度约 120 m,有机质含量为 0.42%~2.43%(表 1,藏夏河和多色梁子剖面)。与此同时,在盆地周缘及中央隆起带,形成了一套三角洲平原相的含煤系沉积,例如北羌塘次级盆地南部的沃若山剖面,中央隆起带的才多茶卡剖面,南羌塘次级盆地北部的扎那拢巴剖面。这些地区的烃源岩以含煤系泥(页)岩为主,有机质类型为 III 型干酪根,泥岩有机质含量可达 3.33%(表 1)。在北羌塘次级盆地北部藏夏河和南部的沃若山—中央隆起带地区形成 2 个烃源岩分布中心(王剑等, 2009)。

中特提斯洋的快速扩张导致了在北羌塘的弯弯梁、菊花山—那底岗日等地区形成了多个裂隙中心,与此同时,早侏罗世海平面的上升导致了在南羌塘首先发生海侵,并跨过中央隆起带进入北羌塘

次级盆地。该时期的北羌塘大部分地区表现为由陆相冲洪积沉积快速向海相沉积转换,而南羌塘的沉积序列表现为稳定的被动大陆边缘的沉积特征,沉积了曲色组深灰色、灰黑色泥(页)岩为主夹少量石灰岩、粉砂质页岩和透镜状细砂岩,发育钙质结核,发育水平层理。然而,对这套地层地表剖面的研究表明,其有机质含量较低,TOC 含量一般为 0.4% 左右,具有较差的生烃能力(王剑等, 2009)。该时期优质烃源岩主要见于毕洛错地区,具有潟湖沉积的特征,毕洛错剖面泥(页)岩有机碳含量 0.52%~21.49%, 平均值 4.10%; 残余生烃潜量 1.79~91.45 mg/g, 平均值 29.93 mg/g(表 2), 有机质类型以 II 型干酪根为主。

上述分析表明,古特提斯洋的关闭导致了前陆盆地沉积序列主要发育在北羌塘次级盆地,而南羌塘的大部分地区表现为隆起剥蚀区,因此,晚三叠世的烃源岩应该主要分布在北羌塘的深水地区,如北部的前渊深水区,北羌塘的深拗陷区,有机质类型以 II 型干酪根为主,煤系烃源岩(III 型干酪根)则主要分布于盆地周缘、中央隆起带等地区。中特提斯洋的快速扩张导致在北羌塘多个地区形成裂陷中心,在一些深裂陷地区,不排除发育早侏罗世烃源岩的可能,但总体而言,北羌塘的早侏罗世烃源岩并不发育,该时期的海侵由南向北,深水陆棚沉积见于南羌塘的南部,尽管该地区目前尚未发现优质烃源岩,但发育沉积厚度巨大的中等—差烃源岩,有机质类型以 II 型干酪根为主,仍然是盆地早侏罗世的有利烃源岩。在南羌塘的一些局限环境,可能形成优质烃源岩,如毕洛错的潟湖环境,但这些潟湖相沉积如何展布,需要更多的研究。

6 结论

(1)羌塘盆地晚三叠世—早侏罗世发育两套重要的烃源岩,发育于北羌塘北部的上三叠统藏夏河组烃源岩以泥页岩为主,有机碳含量介于 0.42%~2.43%,盆地东部的上三叠统巴贡组烃源岩以钙质泥岩为主,有机碳含量介于 0.38%~3.56%,该时期含煤系烃源岩主要见于盆地周缘及中央隆起带。早侏罗世烃源岩有机碳含量普遍较低,以差烃源岩为主,优质烃源岩主要发育于南羌塘北部的毕洛错地区(TOC 为 0.52%~21.49%),为潟湖沉积产物。

(2)羌塘盆地晚三叠世发生了明显的沉积转换。中三叠世—晚三叠世,羌塘盆地的沉积演化表现为明显的海退沉积序列,由康南组的浅海陆棚沉积逐渐变为土门格拉组的碳酸盐缓坡—三角洲沉积;而早侏罗世则表现为明显的海侵序列,北羌塘由雀莫错组下部的湖相沉积逐渐变为中上部的潮坪沉积,南羌塘由布查组的碳酸盐缓坡沉积逐渐变为曲色组的浅海陆棚沉积。

(3)羌塘盆地晚三叠世发生了重要的古地理反转。受古特提斯洋关闭的影响,北羌塘由中三叠世的海相沉积,逐渐隆升为晚三叠世的陆相沉积,而南羌塘则受中特提斯洋快速扩张的影响,由中三叠世的陆相沉积逐渐过渡为晚三叠世的海相沉积。羌塘盆地的海侵首先从南羌塘开始,羌塘侏罗系盆地的形成除了受到中特提斯洋快速扩张的影响外,更重要的是受到海平面上升的影响。

(4)羌塘盆地晚三叠世—早侏罗世烃源岩的分布特征和区域展布受到该时期沉积转换和古地理反转的影响。晚三叠世,随着古特提斯洋的最后关闭,在北羌塘次级盆地的北部以及拗陷区形成深水沉积,发育藏夏河组和巴贡组烃源岩,盆地周缘及中央隆起带,形成了一套三角洲平原相的含煤烃源岩。早侏罗世,中特提斯洋的快速扩张和海侵,导致该时期的海水从南羌塘向北羌塘侵漫,南羌塘的深水区形成中等—差烃源岩,在一些局限环境,可能形成优质烃源岩。

致谢: 中国地质调查局成都地质调查中心宋春彦、王东等参与了本研究的前期工作,在此一并致以衷心感谢!

References

- Cao J, Yang R F, Yin W, Hu G, Bian L Z, Fu X G. 2018. Mechanism of organic matter accumulation in residual bay environments: The Early Cretaceous Qiangtang Basin, Tibet[J]. *Energy & Fuels*, 32: 1024–1037.
- Chen S S, Shi R D, Yi G D, Zou H B. 2016. Middle Triassic volcanic rocks in the Northern Qiangtang (Central Tibet): Geochronology, petrogenesis, and tectonic implications[J]. *Tectonophysics*, 666: 90–102.
- Chen Wenbin, Fu Xiugen, Tan Fuwen, Zeng Shengqiang, Feng Xinglei. 2017. Organic geochemistry of Carboniferous-Permian source rocks in Qiangtang Basin, Tibet[J]. *Geology in China*, 44(3): 499–510 (in Chinese with English abstract).

- Dewey J F, Shackleton R M, Chang C F, Sun Yi Y. 1988. The tectonic evolution of the Tibetan Plateau[J]. *Hilosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, 327: 379–413.
- Fan J J, Li C, Xie C M, Liu Y M, Xu J X, Chen J W. 2017. Remnants of Late Permian–Middle Triassic ocean islands in northern Tibet: Implications for the late-stage evolution of the Paleo-Tethys Ocean[J]. *Gondwana Research*, 44: 7–21.
- Feng Xinglei, Fu Xiugen, Tan Fuwen, Chen Wenbin, Yan Ze. 2015. Sedimentary and geochemical characteristics of the mud volcanoes in the Gemucuo Lake area, Qiangtang Basin, northern Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 35(1): 50–56 (in Chinese with English Abstract).
- Fu Xiugen, Wang Jian, Chen Wenbin, Feng Xinglei. 2010. Age and tectonic implications of the Late Triassic NadiKangri volcanic rocks in the Qiangtang basin, northern Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Tecnology (Science & Technology Edition)*, 37(6): 605–615 (in Chinese with English abstract).
- Fu X G, Wang J, Feng X L, Wang D, Chen W B, Song C Y, Zeng S Q. 2016a. Early Jurassic carbon-isotope excursion in the Qiangtang Basin (Tibet), the eastern Tethys: Implications for the Toarcian Oceanic anoxic event[J]. *Chemical Geology*, 442: 62–72.
- Fu X G, Wang J, Tan F W, Chen M, Li Z X, Zeng Y H, Feng X L. 2016b. New insights about petroleum geology and exploration of Qiangtang Basin, northern Tibet, China: A model for low-degree exploration[J]. *Marine and Petroleum Geology* 77: 323–340.
- Fu X G, Wang J, Tan F W, Chen M, Chen W B. 2010. The Late Triassic rift-related volcanic rocks from eastern Qiangtang, northern Tibet (China): Age and tectonic implications[J]. *Gondwana Research*, 17: 135–144.
- Fu X G, Wang J, Tan F W, Feng X L, Wang D, He J L. 2013. Gas hydrate formation and accumulation potential in the Qiangtang Basin, northern Tibet, China[J]. *Energy Conversion and Management*, 73: 186–194.
- Fu X G, Wang J, Wei H Y, Feng X L, Zeng S Q, Zeng Y H, Nie Y. 2022. Detrital zircons of the Devonian-Permian sandstones in the Qiangtang terrane, Tibet: Implication for Qiangtang rifting from Gondwana and uplift history of the Central Uplift[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 239: 105392.
- Fu X G, Wang J, Wen H G, Wang Z W, Zeng S Q, Song C Y, Wang D, Nie Y. 2020. Carbon-isotope record and paleoceanographic changes prior to the OAE 1a in the Eastern Tethys: Implication for the accumulation of organic-rich sediments[J]. *Marine and Petroleum Geology*, 113: 104049.
- Gao Chunwen, Jia Qingjun, Wei Chunguang. 2006. Study on the Nature of Late Triassic prototype basin of Qiangtang Basin[J]. *Geological Review*, 52(2): 198–206 (in Chinese with English abstract).
- Kapp P, Yin A, Manning C E, Murphy M, Harrison T M, Spurlin M, Ding L, Deng X G, Wu C M. 2000. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in the Qiangtang block reveal deep crustal structure of northern Tibet[J]. *Geology*, 28: 19–22.
- Kapp P, Yin A, Manning C E, Harrison T M, Taylor M H, Ding L. 2003. Tectonic evolution of the early Mesozoic blueschist-bearing Qiangtang metamorphic belt, central Tibet[J]. *Tectonics*, 22: 1043.
- Li Cai. 1987. The Longmucuo-Shuanghu-Lancangjiang plate suture and the north boudary of distribution of Gondwana facies Permo-Carboniferous system in northern Xizang, China[J]. *Journal of Changchun College of Geology*, 17(2): 155–166 (in Chinese with English abstract).
- Li Cai, Cheng Liren, Yu Jiejiang, Zhang Baofu, Zhai Qingguo, Huang Xiaopeng, Chen Shouming, Xu Feng, Zhang, Yichun. 2010. Regional Geological Report (1: 250, 000) for Mayu Gangri [M]. Beijing: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Li X R, Wang J, Cheng L L, Fu X G, Wang Y K. 2018. New Insights into the Late Triassic Nadigangri Formation of Northern Qiangtang, Tibet, China: Constraints from U-Pb ages and Hf isotopes of detrital and magmatic zircons[J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 92(4): 1451–1467.
- Liu H, Wang B D, Ma L, Gao R, Chen L, Li X B, Wang L Q. 2016. Late Triassic syn-exhumation magmatism in central Qiangtang, Tibet: Evidence from the Sangehu adakitic rocks[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 132: 9–24.
- Metcalf I. 1988. Origin and assembly of Southeast Asian continental terranes, in Gondwana and Tethys, edited by M. G. Audley-Charles and A. Hallam [J]. Geological Society, London, Special Publication, 37: 101–118.
- Metcalf I. 1996. Gondwanaland dispersion, Asian accretion, and evolution of eastern Tethys[J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 43: 605–623.
- Song Chunyan, Wang Jian, Fu Xiugen, Chen Wenbin, Xie Shangke, He Li. 2018. Geochemical characteristics and significance of the upper Triassic hydrocarbon source rocks of the Bagong formation in the eastern Qiangtang basin[J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 42(5): 104–114 (in Chinese with English abstract).
- Wang J, Fu X G, Wei H Y, Shen L J, Wang Z, Li K Z. 2022. 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*, 227: 105119.
- Wang Jian, Ding Jun, Wang Chengshan, Tan Fuwen, Chen Ming, Hu Ping, Li Yalin, Gao Rui, Fang Hui, Zhu Lidong, Li Qiusheng, Zhang Minghua, Du Baiwei, Fu Xiugen, Li Zhongxiong, Wan Fang. 2009. Survey and Evaluation on Tibet Oil and Gas Resources [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Wang Jian, Fu Xiugen. 2018. Sedimentary evolution of the Qiangtang Basin[J]. *Geology in China*, 45(2): 237–259 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jian, Tan Fuwen, Li Yalin, Li Yongtie, Chen Ming, Wang Chengshan, Guo Zujun, Wang Xiaolong, Du Baiwei, Zhu Zhongfa. 2004. The Potential of the Oil and Gas Resources in Major

- Sedimentary Basins on the Qinghai-Xizang Plateau[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Wu H, Li C, Chen J W, Xie C M. 2016. Late Triassic tectonic framework and evolution of Central Qiangtang, Tibet, SW China[J]. *Lithosphere*, 8: 141–149.
- Xu W, Liu F L, Dong Y S. 2020. Cambrian to Triassic geodynamic evolution of central Qiangtang, Tibet[J]. *Earth-Science Reviews*, 201: 103083.
- Yan Ze, Feng Xinglei, Hou Mingcai, Fu Xiugen, Chen Wenbin, Tan Zhiyuan. 2018. First discovery of modern mud volcanoes in Qiangtang Basin and its petroleum geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 37(6): 1150–1156 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Shengqiang, Wang Jian, Fu Xiugen, Feng Xinglei, Sun Wei. 2013. Hydrocarbon generation potential and sedimentary environment for the source rocks along the Changshe Mountain oil shale section in North Qiangtang Basin[J]. *Geology in China*, 40(6): 1861–1871 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Q G, Jahn B M, Zhang R Y, Wang J, Su L. 2011. 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*, 42: 1356–1370.
- Zhu Tongxing, Zhang Qiyue, Dong Han, Wang Yujing, Yu Yuanxin, Feng Xintao. 2006. Discovery of the Late Devonian and Late Permian radiolarian cherts in tectonic melanges in the Cedo Caka area, Shuanghu, northern Tibet, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 25(12): 1413–1418 (in Chinese with English abstract).
- 冯兴雷, 付修根, 谭富文, 陈文彬, 颜泽. 2015. 羌塘盆地戈木错地区泥火山群沉积及浅表地球化学特征[J]. *沉积与特提斯地质*, 35(1): 50–56.
- 付修根, 王剑, 陈文彬, 冯兴雷. 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.
- 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.
- 李才. 1987. 龙木错—双湖—兰场景板块缝合带与石炭二叠纪冈瓦纳北界[J]. *长春地质学院学报*, 17(2): 155–166.
- 李才, 程立人, 于介江, 张宝福, 翟庆国, 黄小鹏, 陈寿铭, 徐锋, 张以春. 2006. 中华人民共和国区域地质调查报告 (1: 250, 000)—玛依岗日幅 [M]. 北京: 中国地质大学出版社.
- 宋春彦, 王剑, 付修根, 陈文彬, 谢尚克, 何利. 2018. 羌塘盆地东部上三叠统巴贡组烃源岩特征及意义[J]. *东北石油大学学报*, 42(5): 104–114.
- 王剑, 丁俊, 王成善, 谭富文, 陈明, 胡平, 李亚林, 高锐, 方慧, 朱利东, 李秋生, 张明华, 杜佰伟, 付修根, 李忠雄, 万方. 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.
- 王剑, 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, 李永铁, 陈明, 王成善, 郭祖军, 王小龙, 杜佰伟, 朱忠发. 2004. 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.
- 颜泽, 冯兴雷, 侯明才, 付修根, 陈文彬, 谭志远. 2018. 羌塘盆地现代泥火山的发现及其油气地质意义[J]. *地质通报*, 37(6): 1150–1156.
- 曾胜强, 王剑, 付修根, 冯兴雷, 孙伟. 2013. 北羌塘盆地长蛇山油页岩剖面烃源岩生烃潜力及沉积环境[J]. *中国地质*, 40(6): 1861–1871.
- 朱同兴, 张启跃, 董瀚, 王玉净, 于远山, 冯心涛. 2006. 藏北双湖地区才多茶卡一带构造混杂岩中发现晚泥盆世和晚二叠世放射虫硅质岩[J]. *地质通报*, 25(12): 1413–1418.

附中文参考文献

- 陈文彬, 付修根, 谭富文, 曾胜强, 冯兴雷. 2017. 羌塘盆地石炭—二叠系烃源岩地球化学特征讨论[J]. *中国地质*, 44(3): 499–510.