

doi: 10.12029/gc20180203

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

Wang Jian, Fu Xiugen. 2018. Sedimentary evolution of the Qiangtang Basin[J]. Geology in China, 45(2): 237-259(in Chinese with English abstract).

论羌塘盆地沉积演化

王 剑 付修根

(中国地质调查局成都地质调查中心; 国土资源部沉积盆地与油气资源重点实验室, 四川 成都 610081)

摘要:羌塘盆地位于可可西里—金沙江缝合带与班公湖—怒江缝合带之间, 其沉积演化对于正确认识古、中特提斯洋盆构造演化具有重要意义。本文通过沉积序列、岩相古地理、沉积盆地分析, 结合年代地层学等最新研究成果, 建立了羌塘中生代盆地(T_3-K_1)的沉积演化模式, 讨论了羌塘盆地演化与古特提斯洋盆关闭、中特提斯洋盆形成的关系。羌塘中生代盆地(T_3-K_1)是由冲洪积相沉积超覆开始的, 总体上为一个向上变深的海侵序列, 表现为冲洪积相、河湖相逐渐演化为滨海相及浅海相, 可划分出 3 种典型的沉积超覆类型及 5 个主要阶段的沉积演化序列。羌塘中生代盆地整体为一个由前陆盆地演化为裂谷盆地、被动大陆边缘盆地、最终转化为活动大陆边缘盆地并萎缩消亡的叠合盆地。羌塘早—中三叠世前陆盆地的关闭, 与古特提斯洋盆的关闭有关, 羌塘中生代盆地(T_3-K_1)的演化受中特提斯洋的快速开启及关闭的制约。

关键词:特提斯洋; 羌塘盆地; 沉积演化; 岩相古地理

中图分类号: P618.130.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2018)02-0237-23

Sedimentary evolution of the Qiangtang Basin

WANG Jian, FU Xiugen

(Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; Key Laboratory for Sedimentary Basin and Oil and Gas Resources, Ministry of Land and Resources, Chengdu 610081, Sichuan, China)

Abstract: The Qiangtang Basin is located between the Hoh Xil– Jinsha River suture zone and the Bangong–Nujiang suture zone. Its sedimentary evolution is of great significance for understanding the tectonic evolution of the Paleo–Tethys and Meso–Tethys Oceans. In this study, the authors established the sedimentary evolution mode of the Mesozoic basin (T_3-K_1) based on the sedimentary sequences, lithofacies paleogeography, analysis of sedimentary basin, and the latest research results of chronostratigraphy, and then discussed the relationship between the evolution of the Qiangtang Basin and the closure of the Paleo–Tethys Ocean as well as the opening of the Meso–Tethys Ocean. The Mesozoic (T_3-K_1) Qiangtang Basin was affected by the diluvial–alluvial facies sedimentary overlap. The sedimentary sequence has undergone an evolution from diluvial–alluvial facies, lacustrine to coastal and shallow–seas facies, which shows a deepening upward transgressive sequence. It can be divided into three

收稿日期: 2018-02-28; **改回日期:** 2018-03-26

基金项目: 国家自然科学基金项目“扬子东南缘中新元古代沉积超覆界面性质及盆地转换过程研究”(41672112)与中国地质调查局地质调查项目“羌塘盆地金星湖—隆鄂尼地区油气资源战略调查”(DD20160159)联合资助。

作者简介: 王 剑, 男, 1962 生, 研究员, 从事沉积地质与石油地质工作; E-mail: w1962jian@163.com。

typical sedimentary overlap types and five major stages of sedimentary evolution sequence. The Mesozoic Qiangtang Basin is a superimposed basin that evolved from foreland basin into rift basin, then into passive continental marginal basin, and finally into an active continental marginal basin through shrinking and vanishing. The closure of the Early–Middle Triassic foreland basin for the Qiangtang Basin was related to the closure of the Paleo–Tethys Ocean basin. The evolution of Mesozoic (T_3 – K_1) Qiangtang Basin was restricted by the rapid opening and closing of the Meso–Tethys Tethys Ocean basin.

Key words: Tethys Ocean; Qiangtang Basin; sedimentary evolution; lithofacies paleogeography

About the first author: WANG Jian, male, born in 1962, senior researcher, engages in the study of sedimentary geology and petroleum geology; E-mail: w1962jian@163.com.

Fund Support: Supported by National Natural Science Foundation of China “Research on the Middle–late Proterozoic Overlapped Interface Properties and Basin Conversion Process on the Southeast Margin of Yangzi” (No.41672112); Programs from China Geological Survey “Oil and Gas Strategic Survey in the Jinxinghu– Longeni Area of the Qiangtang Basin” (No. DD20160159).

1 引 言

羌塘盆地位于可可西里—金沙江缝合带与班公湖—怒江缝合带之间。长期以来,由于对羌塘盆地南北两侧这两个缝合带所代表的盆地性质、打开时间、洋盆规模、闭合方式等一直存在不同的认识(Wang et al., 2000; 李才等, 2007; Wang et al., 2008; Pan et al., 2012; Metcalfe, 2013; Song et al., 2015; Li et al., 2017),因而导致了对羌塘中生代盆地构造演化以及盆地性质也存在较大的分歧。主要的学术观点包括冒地槽(黄汲清和陈炳蔚, 1987)、弧前—弧后盆地(周详, 1984; Metcalfe, 2013)、前陆盆地(李勇等, 2001; 王成善等, 2001)、复合盆地(高春文等, 2006)和被动陆缘裂陷盆地(王剑等, 2009)等不同的看法。

近年来,羌塘盆地中央隆起带地区变质岩带的发现,引起了地学界同行的广泛兴趣(Kapp et al., 2000; Zhang, 2001; 李才等, 2006; Pullen et al., 2008)。榴辉岩、蛇绿岩混杂带也在这个地区被报道(Zhai et al., 2001)。基于这些资料,一些学者对古特提斯洋盆的位置和关闭时间提出了截然不同的认识(李才等, 2006; Metcalfe, 1988, 1996, 2013; Şengör et al., 1988; Zhai et al., 2011; Zhang et al., 2016)。这些新的资料和观点,对于正确认识羌塘盆地构造演化、盆地性质等具有十分重要的借鉴意义。

上述已有的研究中,更多地是通过火山岩(Zhai et al., 2011)、变质岩(李才等, 2006; Zhang et al., 2016)等研究成果对羌塘中生代盆地性质开展

讨论。限于羌塘盆地自然条件与工作难度,很少有人深入盆地腹地开展中生代沉积记录研究(王剑等, 2009)。事实上,羌塘盆地中生代沉积记录,不仅记录了盆地本身沉积演化过程,同时也记录了古特提斯洋盆关闭、中特提斯洋盆快速扩张和关闭的演化过程。

本文在野外地质调查及大量沉积学剖面研究的基础上,通过综合分析沉积序列、岩相古地理、火山岩年代地层学等最新资料,对羌塘中生代(T_3 — K_1)沉积演化及原型盆地性质等开展了详细研究,并探讨了其演化过程与古特提斯洋盆关闭、中特提斯洋盆快速扩张与消亡的相互关系。

2 区域地质背景

2.1 区域构造

羌塘盆地位于特提斯构造域东段,东经 $85^\circ \sim 95^\circ$,北纬 $32^\circ \sim 35^\circ$,南北宽约300 km,东西长约640 km,面积约20万 km^2 (王剑等, 2009)。盆地位于冈底斯—念青唐古拉板块与可可西里—巴颜喀拉板块之间,南北分别以班公湖—怒江缝合带和可可西里—金沙江缝合带为界(图1)。最近几年有不少学者认为,位于羌塘盆地中央隆起带的龙木错—双湖带是青藏高原3条主要的晚三叠世板块缝合带之一(李才等, 2006; Metcalfe, 2013; Zhang et al., 2016; Fan et al., 2017a)。

通过重、磁、电及二维反射地震等地球物理资料,结合不整合面及沉积—构造演化旋回特征,基本证实羌塘古生代至中生代盆地是一个具稳定前寒武系结晶基底的叠合型盆地。在结晶基底之上的

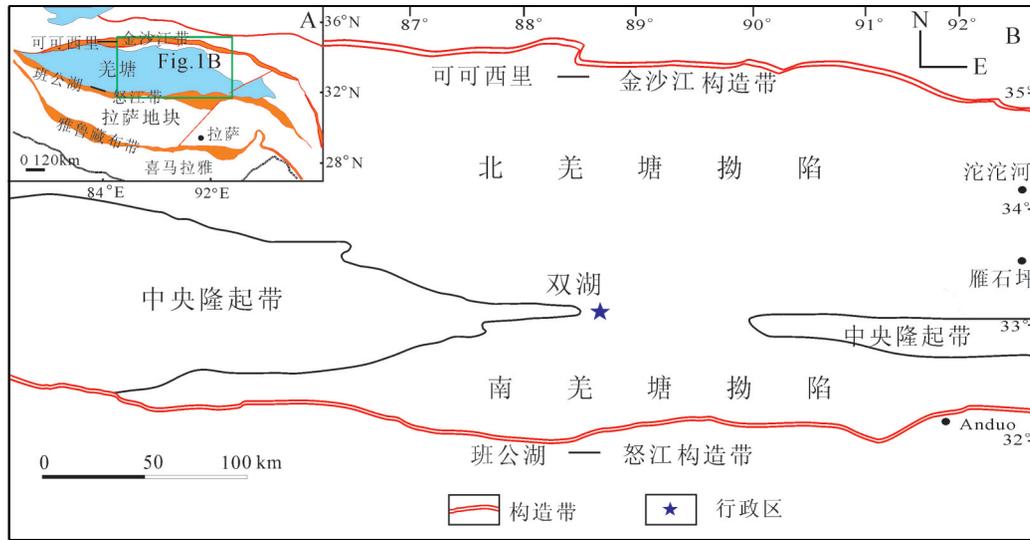


图1 羌塘盆地区域构造背景图
Fig.1 Tectonic map of the Qiangtang Basin

沉积盖层中,有4个主要的构造层(图1):①古生代构造层;②晚三叠世卡尼期—早中三叠世构造层;③早白垩世—侏罗纪—晚三叠世诺利期构造层;④新生代—晚白垩世构造层(图2)(王剑等, 2010)。

晚三叠世卡尼期之前,即那底岗日组沉积之前,羌塘中生代盆地主体为一个受可可西里—金沙江洋盆关闭后北侧造山带控制的一个前陆盆地(王成善等, 2001),而晚三叠世卡尼期之后,羌塘中生代沉积盆地的演化则可能受班公湖—怒江洋盆扩张与消亡的构造活动制约(Fan et al., 2017b)。盆地北界为可可西里—金沙江构造带,南界为班公湖—怒江构造带。盆地内构造较为复杂,总体上具有两坳一隆的构造格局,即北羌塘拗陷、南羌塘拗陷和中央隆起带(图1)。

2.2 区域地层

羌塘盆地出露地层主要为三叠系、侏罗系及白垩系,盆地边缘及中央隆起带出露了部分古生代地层。三叠系、侏罗系及白垩系海相地层自下而上依次为:康鲁组(T_1k)、硬水泉组(T_1y)、康南组(T_2k)、肖茶卡组(T_2x)、那底岗日组(T_3nd)、雀莫错组(J_1-2q)、曲色组(J_1q)、色瓦组(J_2s)、布曲组(J_2b)、夏里组(J_2x)、索瓦组(J_3s)和白龙冰河组(J_3-K_1b),其中,侏罗系、白垩系具有“三砂夹两灰”的岩石组合特点,即雀莫错组、夏里组和雪山组碎屑岩夹布曲组、索瓦组灰岩。

羌塘中生代盆地沉积地层划分对比见表1。

3 沉积演化序列

羌塘中生代盆地(T_3-K_1)早期沉积作用经历了一个由陆相向海相沉积超覆的演化过程,超覆作用是从冲洪积相底砾岩开始的。总体上为一个向上变深的海侵序列,表现为冲洪积相、河湖相逐渐演化为滨海相及浅海相,形成了羌塘中生代盆地(T_3-K_1)3种典型的沉积超覆类型(图3)与5个主要阶段的沉积演化序列(图4~图7)。

3.1 沉积超覆类型

类型 I:典型剖面位于南羌塘盆地北缘及中央隆起带,以南羌塘北缘的肖切堡、孔孔茶卡剖面最具代表性。

该类型沉积超覆的主要特征是:上三叠统那底岗日组角度不整合沉积超覆在古生代褶皱地层之上(图8a)。

角度不整合面之上通常发育有古风化壳(王剑等, 2009;Fu et al., 2010),不整合面之下为二叠系及石炭系褶皱地层。局部地区,那底岗日组底部发育有冲洪积相底砾岩,在缺失底砾岩的地区,表现为那底岗日组火山岩或沉火山碎屑岩直接沉积超覆在不整合面之上。

值得指出的是,羌塘盆地大部分地区缺失了那底岗日组沉积,这种情况下,雀莫错组底砾岩直接超覆于不整合面之上。

构造层	地层组合	不整合界面		重、磁、电及 岩性产状界面	地震 界面 /s	埋深与 残留厚度 /km	盆地性质
		南羌塘	北羌塘				
I	新生界 上白垩统	Q-R-K ₂	Q-R-K ₂	冲洪积层	T ₃ (0~0.5)	0~1	陆相山间 断陷盆地
	下白垩统 侏罗系 那底岗日组	J ₃ J ₂ J ₁ T ₃	K ₁ J ₃ J ₂ J ₁ T ₃ nd/T ₃ t	岩性、产状 膏盐层及 海相油页岩 磁性界面 低阻层		0~1	
III	肖茶卡组 中下三叠统	T _{3x}	T _{3x} T ₂ T ₁	古风化壳	T ₆	4~6	前陆盆地
	古生界	P ₂ P ₁ C D S-O	P ₃ P ₂ P ₁ C D S-O	岩性、产状 低阻层			
IV	前寒武纪 基底	AnC	AnC	弱磁性-密度界面 高阻基底	T ₈ (4~6)	10~15	变质岩 结晶基底

图2 羌塘盆地地球物理特征与沉积-构造地层划分(据王剑等,2010)

Fig.2 Geophysical survey and sedimentary-tectonic successions division of the Qiangtang Basin, Qinghai-Xizang Plateau(after Wang Jian et al., 2010)

类型 II :典型剖面位于北羌塘地区,以北羌塘菊花山-胜利河一带为代表。

该类型沉积超覆的主要特征是:上三叠统那底岗日组低角度不整合(或平行不整合)沉积超覆在晚三叠世肖茶卡组地层(T_{3x})之上(图8b)。

与类型 I 相似,角度不整合面之上通常发育有古风化壳(王剑等, 2009;Fu et al., 2010)。不同的是,不整合面之下为上三叠统肖茶卡组碳酸盐岩地层,那底岗日组底砾岩或火山岩及沉火山碎屑岩地层沉积超覆其上,呈低角度不整合或平行不整合接触,不整合面之上局部地区也发育了冲洪积相底砾岩(图8d)。

类型 III :典型剖面位于羌塘盆地东北部地区,以雀莫错-格拉丹冬一带为代表。

该类型沉积超覆的主要特征是:上三叠统那底岗日组与下伏地层呈整合接触(图8c),表现为连续沉积。

与类型 I 及类型 II 不同,类型 III 中一上三叠统与

侏罗系之间基本上为连续沉积,表现为上三叠统巴贡组残留盆地相沉积与巴贡组(T_{3bg})(那底岗日组对应地层)河湖相沉火山碎屑岩为整合接触(图3)。

3.2 沉积充填序列

3.2.1 盆地开启期沉积序列

这一沉积序列相当于那底岗日组(T_{3n})沉积组合。

由前面的讨论可知,区域上,那底岗日组火山-火山碎屑岩及沉火山碎屑岩大多沉积超覆于二叠系、石炭系之上,部分地区超覆于肖茶卡组地层之上(沉积序列类型 I 及类型 II,图4)。从下至上,这一沉积序列由“底砾岩-双模式火山岩-沉火山碎屑岩”构成。

底砾岩仅仅发育在局部地区,如孔孔茶卡剖面、肖切堡剖面、菊花山剖面及胜利河剖面,缺失底砾岩的地区,那底岗日组火山岩直接超覆于不整合面之上。冲洪积相底砾岩砾石成分复杂,以英安质凝灰岩为主,同时也包含了下伏基底成分的砾石。

表1 羌塘盆地中生代地层划分与对比(据王剑等, 2009修改)

Table 1 Mesozoic stratigraphic division and correlation of the Qiangtang Basin(modified from Wang Jian et al., 2009)

地层系统		北羌塘分区	南羌塘分区
中生代	白垩系	K ₂ -E	
		K ₁	白龙冰河组 雪山组 扎窝茸组
		J ₃	索瓦组
	侏罗系	J ₂	夏里组 布曲组
		J ₁	雀莫错组
	界	三叠系	T ₃
T ₂			康南组
T ₁			硬水泉组 康鲁组
			二叠系鲁谷组/ 石炭系冈玛错组
古生界	二叠系/ 石炭系		二叠系鲁谷组

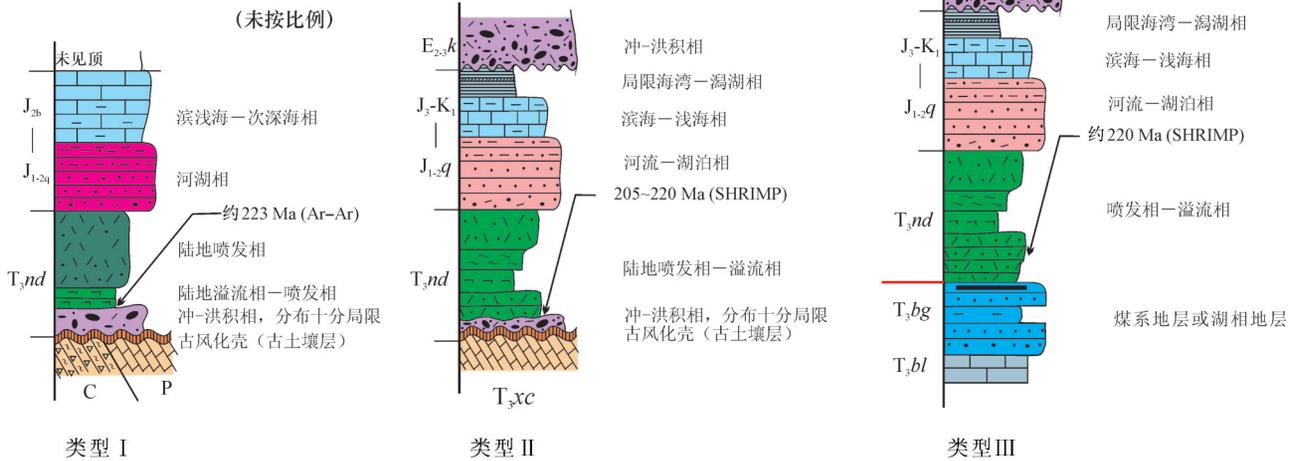


图3 羌塘中生代盆地(T₃—K₁)典型的沉积超覆类型

沉积序列类型 I: 那底岗日组角度不整合超覆于石炭、二叠系地层之上; 沉积序列类型 II: 那底岗日组地层角度不整合超覆于晚三叠世肖茶卡组地层之上; 沉积序列类型 III: 那底岗日组与下伏地层(巴贡组 T₃bg, 波利拉组 T₃bl)为整合或平行不整合接触

Fig.3 Typical vertical section model of the sedimentary overlap in the Qiangtang Basin

Sedimentary sequence type I: Nadigangri Formation angular unconformably overlapping on the Carboniferous and Permian strata; Type II: Nadigangri Formation angular unconformably overlapping on the Upper Triassic Xiaochaka Formation; Type III: Nadigangri Formation and its underlying formation (Bagong (T₃bg) or Bolila (T₃bl) Formation) being conformably or parallelly unconformable

砾石砾径大小一般为 5~10 cm, 大者达 20~30 cm, 以圆状一次圆状为主, 少数为次棱角状。由此可见, 羌塘中生代盆地(T₃—K₁)的开启, 是以那底岗日

组陆相火山岩—沉火山碎屑岩沉积超覆于古风化壳不整合面之上为标志的(图4, 沉积序列类型 I 及类型 II)。只有在北羌塘中部残留的前陆盆地中, 沉



图4 羌塘中生代盆地开启—演化初期沉积剖面相序(羌参1井、弯弯梁剖面)

Fig.4 Sedimentary sequence during opening and early evolution stage in the Qiangtang Basin(Qiangcan1 well, Wanwanliang section)

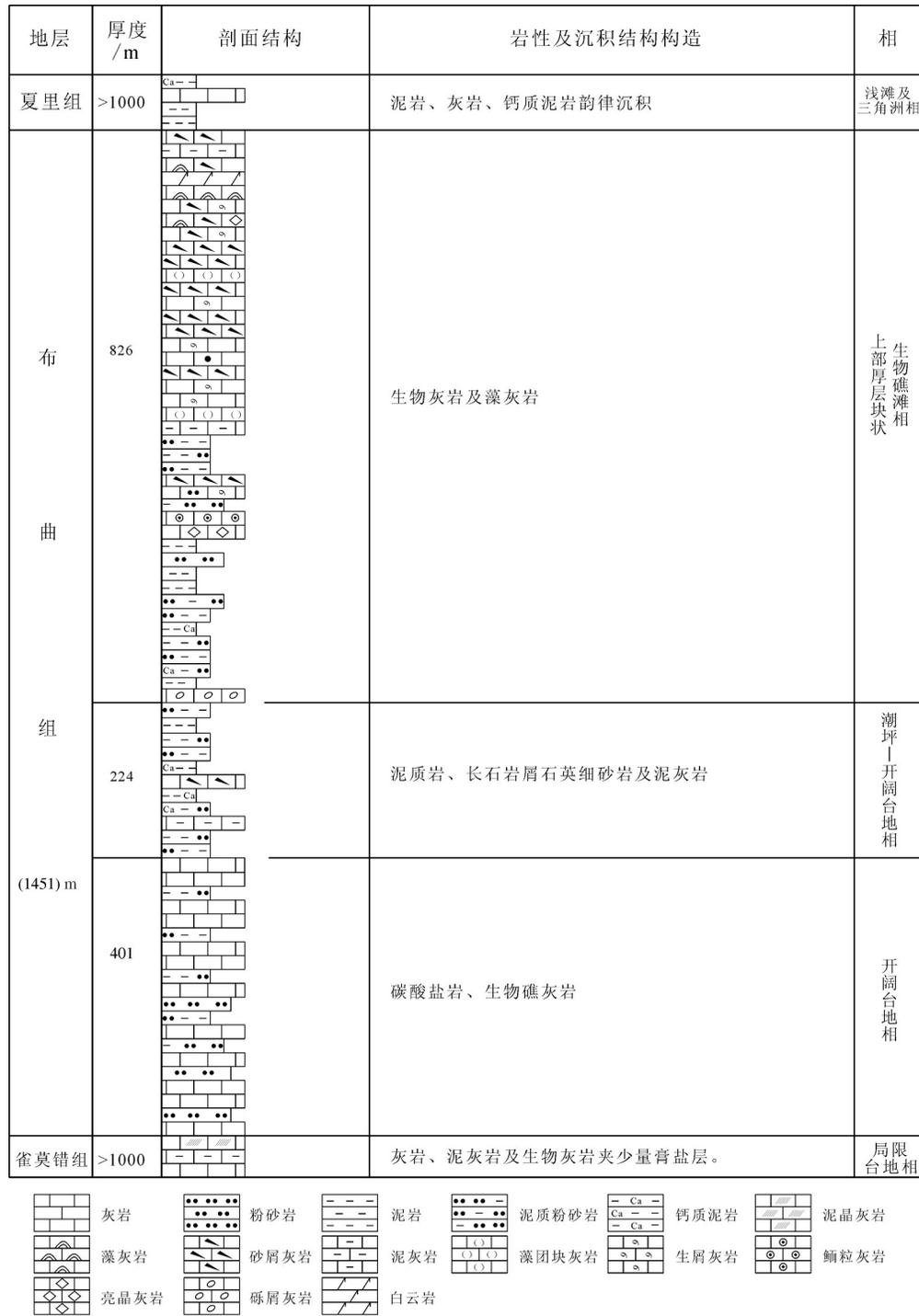


图5 羌塘中生代盆地稳定期沉积剖面相序(羌参1井)

Fig.5 Sedimentary sequence during stable evolution stage in the Qiangtang Basin(Qiangcan 1 well)

积作用基本上才是连续的,表现为整合或平行不整合接触。

那底岗日组火山岩及沉火山碎屑岩沉积序列以陆相沉积(堆积)作用为特征,可识别出溢流相、喷发相及沉火山岩相3个序列(王剑等, 2004,

2009)。溢流相及喷发相火山岩通常由拉斑玄武岩及少量流纹岩组成。岩石地球化学分析表明,溢流相玄武岩与流纹岩通常构成双模式火山岩组合,代表了羌塘盆地开启时期具拉张构造背景(Fu et al., 2010)。目前,已有大量同位素年龄数据证实,那底

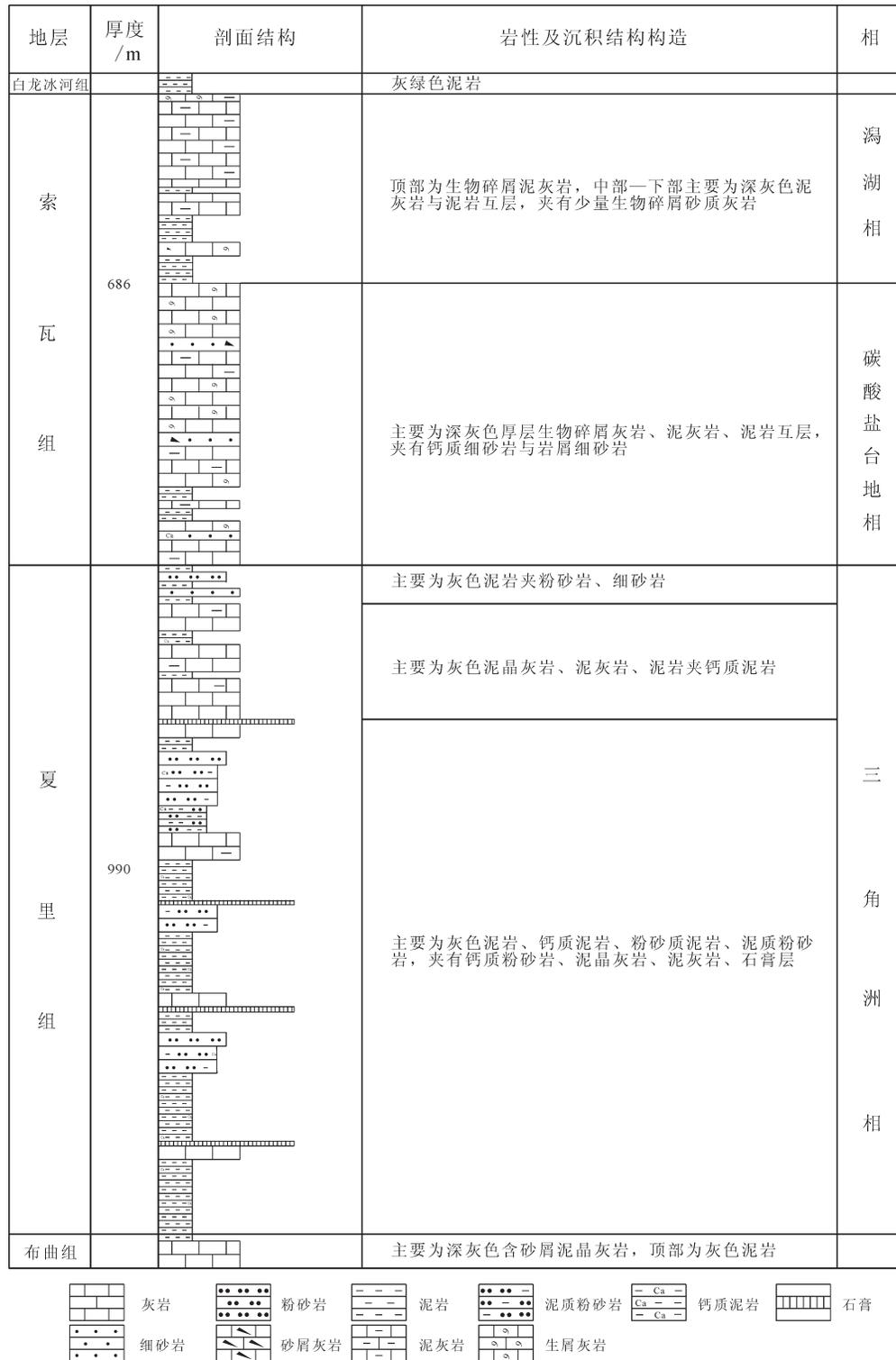


图6 羌塘中生代盆地转换期沉积剖面相序(长水河剖面、羌参1井)

Fig.6 Sedimentary sequence during basin inversion in the Qiangtang Basin(Changshuihe section, Qiangcan 1 well)

岗日组双模式火山岩及其同时代的望湖岭组、鄂尔陇巴组等火山岩的喷发年龄在210~220 Ma,为晚三叠世卡尼期—诺利期(Wang et al., 2008; Fu et al.,

2010; Zhai et al., 2013)。喷发相火山碎屑岩以凝灰岩、火山角砾岩及少量集块岩为主。根据砾石大小、含量变化可识别出多个正粒序旋回,每个旋回

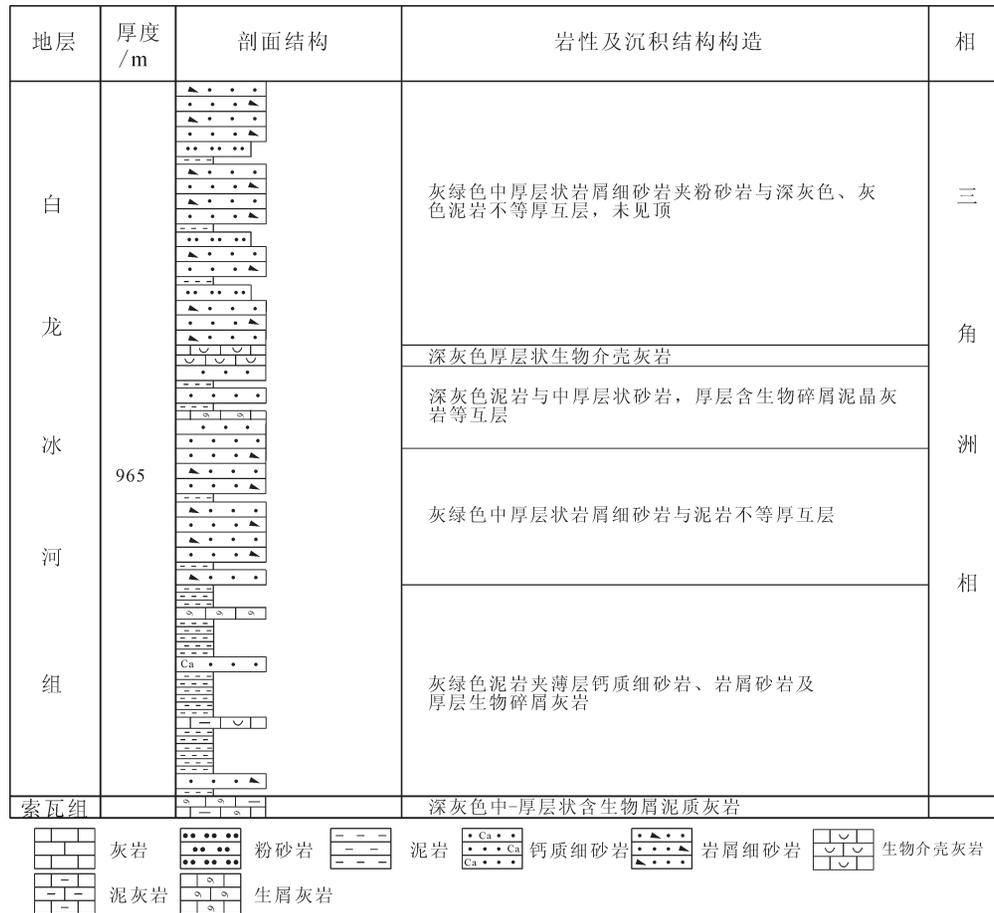


图7 羌塘中生代盆地萎缩、消亡期沉积剖面相序(长水河剖面)

Fig.7 Sedimentary sequence during shrinking and consuming stage in the Qiangtang Basin(Changshuihe section)

的底部砾石密集且砾径较大,顶部砾石含量少、砾径小,单个旋回厚1.2~3.5 m。

区域上,那底岗日组及其同时代的望湖岭组、鄂尔陇巴组等火山岩呈近东西向带状分布,厚度变化较大,且大部分地区缺失,在羌塘盆地中西部地区,该套火山岩厚度为120~852 m,在羌塘盆地东部地区,火山岩厚度可达1274 m。

3.2.2 盆地初期沉积序列

这一沉积序列相当于雀莫错组(J_{1-2q})、曲色组(J_{1q})及色哇组(J_{2s})沉积组合。

曲色、色哇组与雀莫错组基本上为可对比沉积序列,不同的是,曲色、色哇组主要发育于南羌塘,而雀莫错组则主要发育于北羌塘。这里以雀莫错组沉积序列为代表综合概述如下。

雀莫错组沉积序列类型 I 及类型 II 其沉积作用从冲洪积相开始,逐渐向陆缘近海湖泊相、三角洲相、潮坪泻湖相及滨浅海相演化(图4),岩相上整

体以陆源碎屑岩、碳酸盐岩夹膏盐为主,沉积厚可达2000余米。以双湖阿木岗剖面、嘎错乡孔孔茶卡剖面及弯弯剖面为代例,自下而上,通常由3个沉积层序组成:①冲洪积相杂色底砾岩及陆缘近海湖相碎屑岩;②潮坪泻湖相膏盐层;③局限台地相碳酸盐岩夹膏盐层。

(1)冲洪积相及河湖相沉积序列:底部为杂色底砾岩,色调以紫红色、灰绿及灰白色为主,部分火山岩砾石呈灰及灰黑色。底砾岩砾岩成分复杂,以脉石英及燧石为主,其次为含砾变质石英砂岩、石英片岩、火山岩、硅质岩、砂岩、灰岩等。砾石磨圆度中等,呈次棱角一次圆状,砾径一般为0.2~1.2 cm,局部为3~10 cm砾径,见正粒序层理。河湖相紫红色碎屑岩以薄—中层状粉砂岩、长石岩屑砂岩、岩屑砂岩及长石岩屑石英砂岩互层为特征,上部见少量泥岩。河流相碎屑岩以河床亚相砂砾岩为主,河漫滩相不发育,因此少见二元结构。陆缘

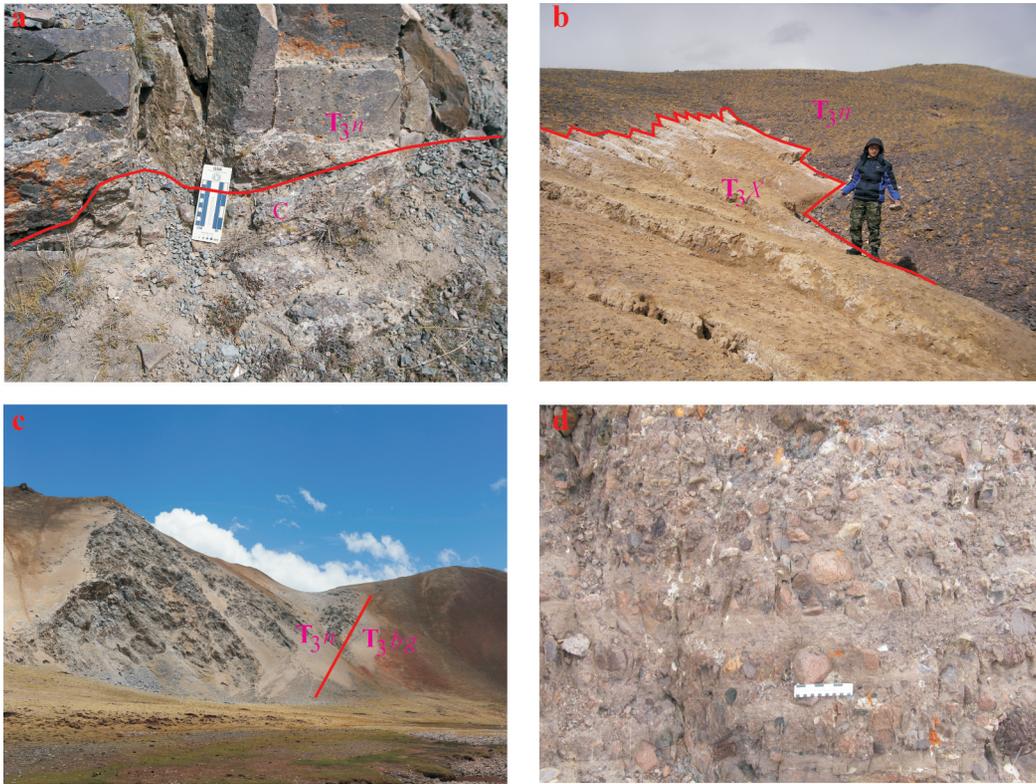


图8 羌塘中生代盆地(T_3 — K_1)典型的沉积超覆类型野外照片(描述见正文)

Fig.8 Field photos of typical vertical section model for the sedimentary overlap in the Qiangtang Basin

近海湖相碎屑岩主要为紫红色与灰绿色薄—中层状粉砂岩与泥岩不等厚互层,夹多层泥灰岩、生物灰岩,局部夹少量石膏层,出现淡水双壳、半咸水双壳和咸水双壳类生物混生组合。河湖相碎屑岩中沉积构造较发育,主要有平行层理、板状及槽状交错层理、正粒序构造、冲刷构造、水平层理及沙纹层理等发育。

(2)潮坪潟湖相沉积序列:以纯石膏蒸发岩沉积为主,夹极少量泥质岩及碳酸盐岩,厚度巨大。在北羌塘玛曲地区“羌地16井”潮坪潟湖相膏盐层厚达383 m,北羌塘半岛湖地区“羌参1井”证实膏盐层厚达360余米,雀莫错组中部潮坪潟湖相膏盐层是羌塘盆地良好的区域性油气封盖层。

(3)局限台地相沉积序列:以碳酸盐岩夹少量石膏层为特征,从下向上,其泥质含量逐渐减少。下部以灰—灰黑色泥质粉砂岩、粉砂岩及泥岩为主,中部以粉砂岩、细砂岩及砂岩夹少量石膏层为特征,上部为中厚层灰岩、泥灰岩及生物灰岩夹少量石膏层。剖面序列上,构成了一个向上变浅的加积—进积层序。

雀莫错组沉积序列类型Ⅲ以各拉丹东雀莫错剖面、“羌参1井”及“羌地17井”为代表。其特征是,上覆雀莫错组(J_{1-2q})三角洲平原相、潮坪潟湖相杂色碎屑岩与下伏鄂尔陇巴组(T_{3e} ,与那底岗日组同期)残留盆地相沉火山碎屑岩基本上连续沉积(沉积序列类型Ⅲ,图4)。其沉积演化序列经历了一个由三角洲平原相及三角洲前缘相演化为潮坪潟湖相的过程,其岩相下部以碎屑岩为主,中上部以巨厚的膏盐层为主。北羌塘盆地中部半岛湖地区正在实施的“羌参1井”等均已证实,自下而上,其沉积过程经历了从前三角洲相,逐渐演化为潮坪潟湖相及滨浅海相。雀莫错组下部前三角洲相以碳酸盐岩夹石膏层沉积为主,中上部潮坪潟湖相及滨浅海相以碳酸盐岩夹巨厚石膏层沉积为主。生物化石组合以咸水双壳类生物为主,兼有半咸水双壳和咸水双壳类混生组合。

曲色(J_{1q})和色哇组(J_{2s})沉积序列主要发育于南羌塘,两者通常为相变过渡关系,不容易明确区分开来。与北羌塘盆地不同,由于南羌塘盆地受班怒洋打开的直接影响,其中生代盆地海侵作用迅速

而强烈。整体上,曲色组、色哇组沉积序列以滨海相迅速过渡为浅海陆棚及局限海湾相为特征,从下至上,通常由滨浅海相相对较粗的长石岩屑石英砂岩逐渐过渡为内陆棚相粉砂岩及泥页岩组合。在南羌塘毕洛错一带,曲色组、色哇组上部为一套潮坪相泥灰岩夹膏盐、局限海湾相油页岩沉积组合,而在索布查、曲色、曲瑞恰乃、康托等地,为外陆棚相页岩夹少量粉砂岩沉积序列组合。沉积构造不发育,通常以反映相对较深水的水平层理、页理、低密度粒序层理等沉积结构与构造为主,草莓状黄铁矿结核发育。

3.2.3 盆地稳定期沉积序列

这一沉积序列相当于布曲组(J_3b)沉积组合。

布曲组沉积序列是在高水位沉积作用条件下,以加积作用为特征,形成了一套以局限台地相—开阔台地相—生物礁及生物礁滩相碳酸盐岩为主的岩相组合。北羌塘中部半岛湖地区“羌参1井”及长水河剖面研究表明,从下至上,布曲组由“灰岩—碎屑岩—灰岩”3个旋回构成(图5):①开阔台地相碳酸盐岩、生物礁灰岩;②潮坪—开阔台地相泥质岩、长石岩屑石英细砂岩及泥灰岩;③上部厚层块状生物礁滩相生物灰岩及藻灰岩。布曲组常含有较丰富的生物化石,包括双壳类和菊石类,部分保存完好,偶见直径达15 cm的菊石化石。

最近完成的“羌地17井”及“羌参1井”证实,夏里组第一个进积旋回下部的泥页岩夹膏盐层是良好的区域性封盖层,在其下的布曲组顶部厚层块状生物礁滩相灰岩及藻灰岩中,均发现了较好的油气显示。

3.2.4 盆地转换期沉积序列

这一沉积序列相当于夏里组(J_3x)、索瓦组(J_3s)沉积组合。

从下至上,夏里组及索瓦组由“碎屑岩—碳酸盐岩”沉积层序构成了一个完整的进积—加积旋回(图6)。

下部夏里组沉积序列由2个非常类似的进积旋回组成:从前三角洲进积演化为三角洲平原,形成了一套以三角洲相为主的陆源碎屑岩夹膏盐沉积组合。前三角洲亚相陆源碎屑岩以泥岩、泥质粉砂岩及粉砂岩为主,局部夹少量灰岩、泥灰岩及膏盐层,三角洲平原亚相沉积序列包括分支河道砂砾岩、潮坪或潟湖相粉砂岩及泥岩。

上部索瓦组沉积序列由稳定加积—进积型碳酸

盐夹陆源碎屑岩沉积为主,并以频繁出现粉砂岩夹层区别于布曲组。该沉积序列经历了由碳酸盐台地向潮坪、潟湖相的转变的演化过程,其底部为一明显的沟蚀面,多数地方表现为相对较深水的台地相碳酸盐岩沉积超覆在相对较浅水的滨岸相砂泥岩之上,向上为变浅的进积型碳酸盐岩夹砂岩及泥质粉砂岩沉积岩组合,含有十分丰富的腕足类生物化石。

3.2.5 盆地萎缩、消亡期沉积序列

这一沉积序列相当于白龙冰河组($J_3—K_1b$)及其同期异相的雪山组、扎窝茸组等沉积组合。

该沉积序列形成于侏罗纪末期至白垩世早期。作为羌塘海相盆地萎缩、消亡期的产物,该沉积序列发育不全,或被后期高原隆升剥蚀殆尽。

作为羌塘盆地萎缩、消亡的标志,该沉积序列的底界面为I型层序界面(图7)。在近源区,其底界面为典型的陆蚀面,界面之上为河流相—三角洲前缘相砂岩、砾岩超覆在潟湖相、潮坪相粉砂岩、泥岩、页岩或泥灰岩之上;在近盆区,如白龙冰河、曲瑞恰乃等地,砂屑灰岩或粉砂岩向下超覆在夏里组微晶灰岩之上。

4 岩相古地理

4.1 晚三叠世诺利期—瑞替期

该时期那底岗日组古地理面貌见图9,古地理单元包括:剥蚀区、河流、湖泊、滨岸、陆棚等。

剥蚀区:该时期,北羌塘地区仅在中部地区发育河流—湖泊沉积,周缘大部地区仍为隆起剥蚀区。此外,在坳陷内部航磁所显示的半岛湖—沱沱河凸起之上的半岛湖北、半咸河西等地,见中侏罗统雀莫错组不整合在肖茶卡组或二叠系之上,其间缺失那底岗日组,说明它同样是该时期的剥蚀区。

火山碎屑—河流—湖泊沉积区:分布于羌北地区,地表出露范围有限。沉积物以陆相喷发的火山熔岩、火山碎屑岩为主,其次为水下喷发的火山碎屑岩,夹紫红色、杂色河流、湖泊相砾岩、砂岩、泥岩。地表出露的沉积物明显呈近东、西向条带分布,分别位于北部的湾湾梁、东部的雀莫错和南部的菊花山—那底岗日—玛威山一带,并具有快速沉积特点,据此推测当时存在3个较大的裂隙槽沉积。

滨岸沉积区:沿中央隆起南缘发育,沉积物相当于日干配错组上部沉积,以滨岸沉积为主,夹河

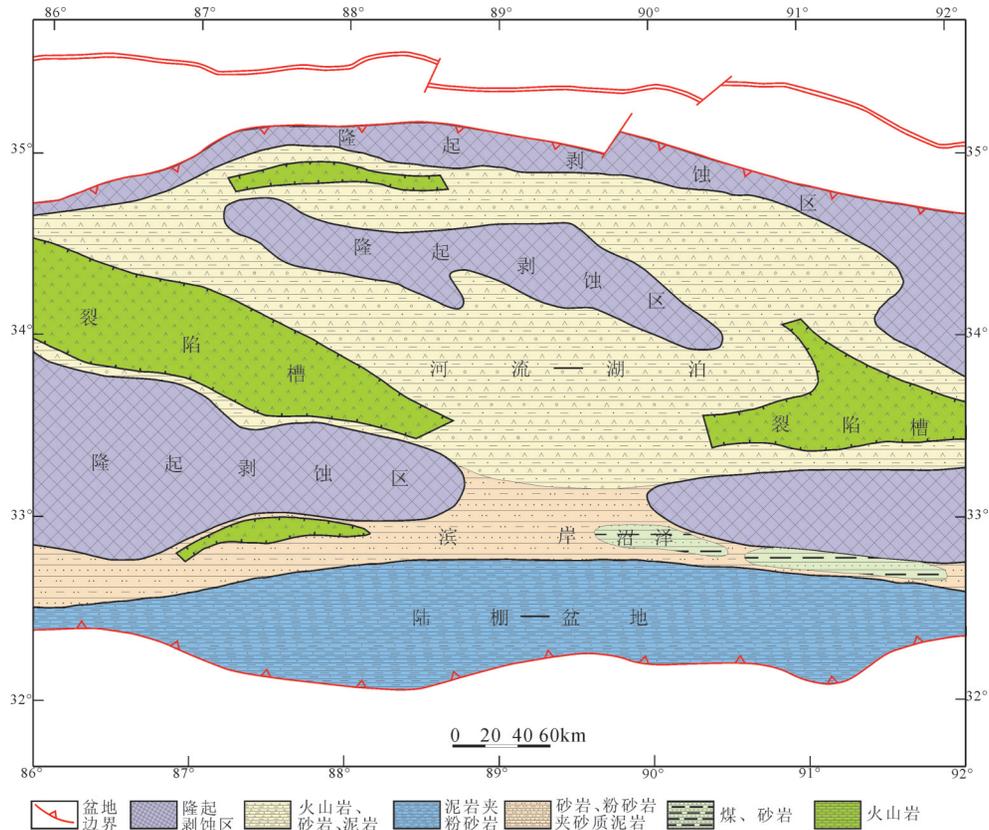


图9 羌塘盆地晚三叠世诺利—瑞替期岩相古地理图

Fig.9 Late Triassic Norian – Rhaetian sedimentary facies and Palaeogeography map in the Qiangtang Basin

流、三角洲沉积,局部地区有含煤沼泽相。

浅海陆棚沉积区:分布于羌南地区,以泥、页岩沉积为主,向南过渡为中特提斯洋盆。

4.2 早侏罗世—中侏罗世巴柔期

该时期雀莫错组或色哇组上段的古地理单元见图10,主要包括:剥蚀区、河流—三角洲—湖泊、滨岸和陆棚。

陆源剥蚀区:古流向统计显示,盆内具有来自南、北两侧的双向物源特征,说明陆源区与前期相近,主要位于盆地北侧的可可西里造山带和中央隆起带。随着盆地的下沉和面积的大幅扩展,古陆范围大大缩小,中央隆起东段大部分地区被夷平接受沉积,但大部分以河流—三角洲平原沉积为主,向东至沱沱河以东地区仍处于隆起剥蚀区。

河流—陆源近海湖泊沉积区:位于羌北地区,北浅南深,湖盆中心靠近中央隆起带北侧石水河、那底岗日、雀莫错一带。滨湖地区水体较浅,为湖泊三角洲相沉积;湖泊周缘近源广大地区发育河流和小型湖泊。那底岗日一带则处于过渡区,沉积速率

和沉降速率均小,主要为一套细碎屑岩夹海相灰岩和膏盐沉积,陆源物质供给差,沉积水体较为清澈,盐度大,反映其紧邻海水向北漫漫通道。

滨岸、陆棚沉积区:滨岸带沿中央隆起带南侧分布,沉积物主要为成熟度较高的石英砂岩或长石砂岩,河流相不发育。向南过渡为沿东西向广泛出露的曲色组、色哇组深灰色陆棚相粉砂岩、泥岩、泥灰岩为主的沉积。

4.3 中侏罗世巴通期

该时期布曲组古地理格局见图11,古地理单元包括:陆地、局限台地(潮坪、潟湖)、开阔台地(台盆、浅滩/斑礁)、台缘礁/浅滩、台缘斜坡、盆地。

陆源剥蚀区:该时期以内源沉积为主,陆源剥蚀区的范围已大大减小,中央隆起带仅局部露出水面成为剥蚀区。根据地层中砂、泥岩/总岩厚度比值等值线推断,陆源剥蚀区位于现今盆地北侧可可西里地区。

局限台地:位于盆地的东北缘玉盘湖、乌兰乌拉湖、沱沱河一带,内部发育潟湖和潮坪沉积,以泥

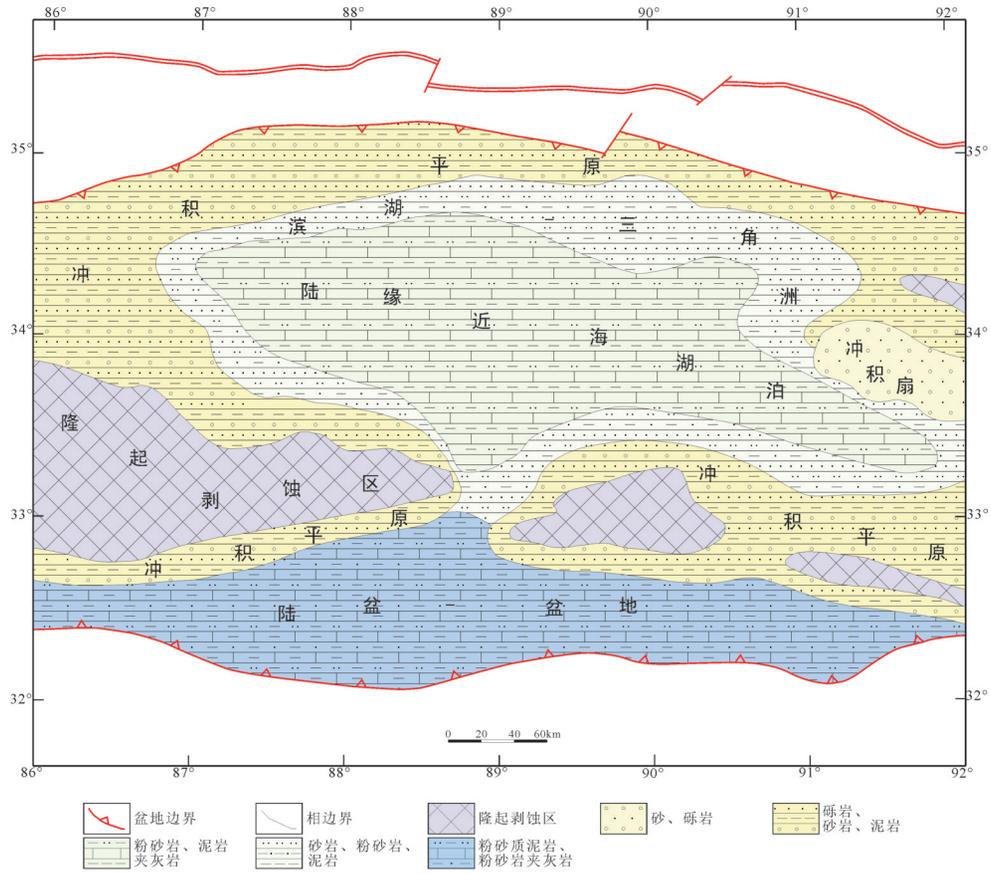


图10 羌塘盆地早—中侏罗世巴柔期岩相古地理图

Fig.10 Early Jurassic–Middle Jurassic Bajocian sedimentary facies and palaeogeographic map in the Qiangtang Basin

晶灰岩为主,夹钙质泥岩和少量砂岩、粉砂岩,局部有膏盐沉积。

开阔台地:位于羌塘盆地北部广大地区,分布范围极广,大致沿吐波错、半岛湖、吐错、雁石坪一带,呈北东向带状展布。

台缘浅滩带:位于羌塘盆地中部,大致沿现今划分的中央隆起带呈东西向分布,但南北宽度更大,范围更广。沉积物主要为亮晶胶结的生物碎屑灰岩、鲕粒灰岩、核形石灰岩等。

台缘岸礁:沿中央隆起带南侧断续分布,如扎美仍、日干配错、隆鄂尼、昂达尔错等地,主要为珊瑚礁和藻礁。

台缘斜坡—盆地:位于盆地南部,沉积薄层—中层状泥晶灰岩、泥灰岩、条带状灰岩夹钙质泥岩、页岩等,局部见砂屑灰岩透镜体,其中见滑动构造。向南过渡为深盆—远洋环境。

4.4 中侏罗世卡洛期

该时期夏里组岩相古地理见图12,古地理单元

构成包括:陆源剥蚀区、河流—三角洲、滨岸、潮坪—泻湖、浅海陆棚和洋盆。

陆源剥蚀区:分布于盆地北侧、北东侧,以及中央隆起带西段冈玛错、玛依岗日、肖切堡一带。

河流—三角洲:主要位于盆地的北缘、以及中部隆起区的北侧,共计识别出5个河流—三角洲沉积区,分别位于尖头山、拉雄错、金泉湖、浩波湖和长湖等地(图12)。沉积物以中、细粒砂岩为主,普遍见少量的砾岩夹层。

泻湖—潮坪:泻湖区位于沉降中心拉雄错、吐波错、半岛湖、各拉丹东一带。主要沉积灰色泥岩、页岩等细碎岩,发育水平层理,局部可见膏盐晶洞。沉积物中常夹较多的内源沉积,如泥灰岩、生屑灰岩等。

滨岸:在北羌塘地区,分布于北羌塘坳陷的周缘等地。沉积物以紫红色陆源碎屑为主(大于地层总岩的85%),分布范围宽阔,反映地形较平坦。在南羌塘地区,沿中央隆起带的南缘呈东西向分布,

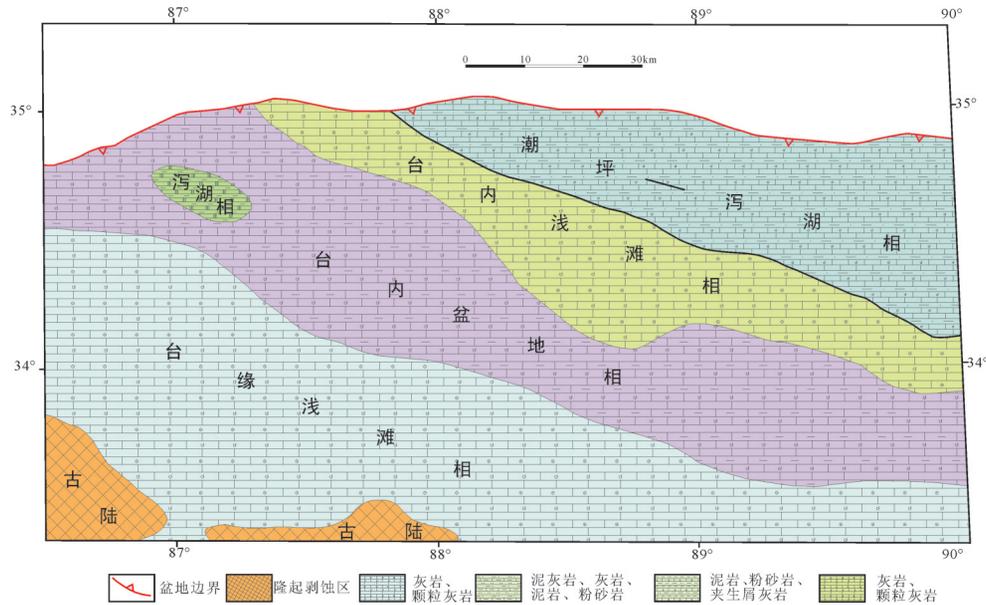


图 11 羌塘盆地中侏罗世巴通期岩相古地理图

Fig.11 Middle Jurassic Bathonian sedimentary facies and palaeogeographic map in the Qiangtang Basin

滨岸沉积物以灰色及灰绿色中层状细粒石英砂岩和钙质石英砂岩为主。

陆棚:位于南羌塘坳陷的中部地区,可进一步分为内陆棚和外陆棚亚相。内陆棚为灰色薄层状泥岩夹粉砂岩和少量细粒石英砂岩组合,发育水平层理、砂纹层理;外陆棚为灰色、浅灰色薄层状细粒石英砂岩与粉砂岩、粉砂质泥岩不等厚互层,见平行层理、砂纹层理和楔形交错层理。

4.5 晚侏罗世牛津期—基末里期

该期索瓦组下段古地理格局与巴通期大致相近(图 13)。古地理单元包括:陆地、局限台地(潮坪、泻湖)、开阔台地(台盆、浅滩/斑礁)、台缘礁/浅滩、台缘斜坡—陆棚。

陆源剥蚀区:该期盆地东部发生了明显的抬升,形成了盆地内范围较大的剥蚀期。此外,在中央隆起带西段局部地区也存在陆源剥蚀区。

局限台地:盆地东北部广大地区均发育局限台地相沉积物,主要发育潮坪和泻湖亚相。研究显示,二者在剖面上交替出现,纵向上没有明显的优势相,说明该期地形较缓,泻湖可能具有棋盘状分布的面貌。

开阔台地:位于盆地的中西部,沿布若岗日、黑尖山、尖头山一带呈北西—南东向带状展布,北西部较宽,向南东方向在双湖—尖头山一带尖灭。总体上,

范围较巴通期小,主要分布范围也向西南方向迁移。

台缘浅滩:大致沿中央隆起带分布,向东尖灭。岩性主要为亮晶灰岩或微晶灰岩,生物碎屑灰岩、鲕粒灰岩、核形石灰岩等,地层多成厚层块状,生物碎屑破碎,具明显的高能环境沉积特征。

台缘岸礁:分布于台源浅滩的南缘,地表见于磨盘山、扎美仍和北雷错等地,以珊瑚礁为主。单个礁体规模大,最大厚度可达 200 m,延伸数千米。

台缘斜坡—陆棚:位于盆地南部,斜坡相发育较差,主要为生物屑灰岩、砂屑灰岩夹粉砂岩,局部见角砾状灰岩。陆棚相较发育,发育一套灰色—深灰色薄—中层状泥晶灰岩、泥灰岩、夹泥岩、页岩,富含菊石化石。

4.6 晚侏罗世提塘期—早白垩世贝里阿斯期

该时期沉积了索瓦组上段、白龙冰河组、雪山组和扎窝茸组等地层,它们属侏罗世纪至早白垩世初期的同期异相沉积物(谭富文等, 2004)。岩相古地理图 14。古地理单元有:陆源剥蚀区、河流—三角洲、海湾(潮坪—泻湖)和浅海—陆棚。

陆源剥蚀区:位于盆地北缘的可可西里造山带、盆地东缘以及盆地中部近东西展布的中央隆起带。

河流—三角洲:沿隆起区外缘分布,沉积了雪山组。近源区发育河流相沉积;近海区发育三角洲相,沉积特征相当于星罗河剖面雪山组下部和雀莫

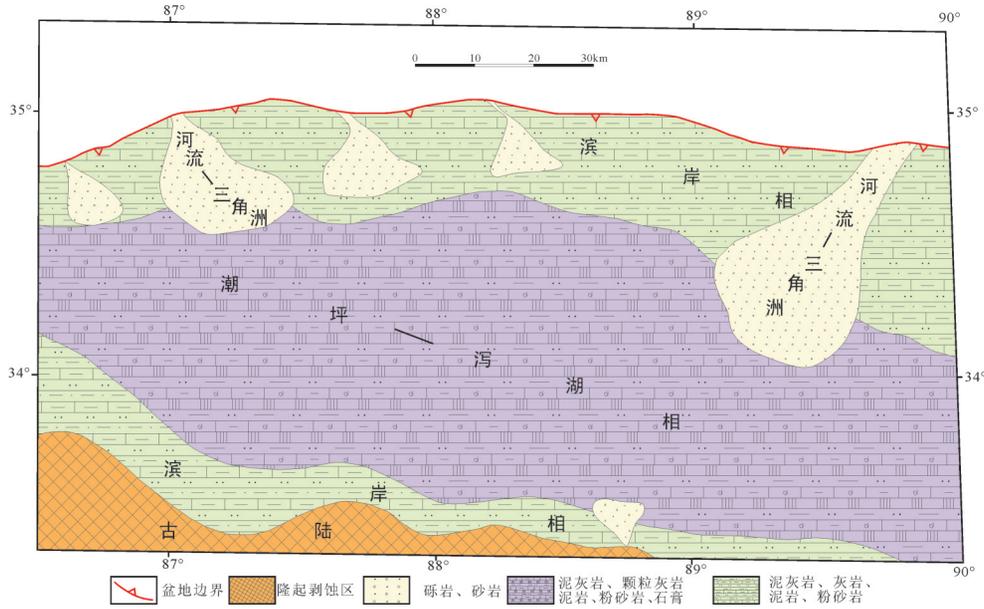


图12 羌塘盆地中侏罗世卡洛期岩相古地理图

Fig.12 Middle Jurassic Callovian sedimentary facies and palaeogeographic map in the Qiangtang Basin

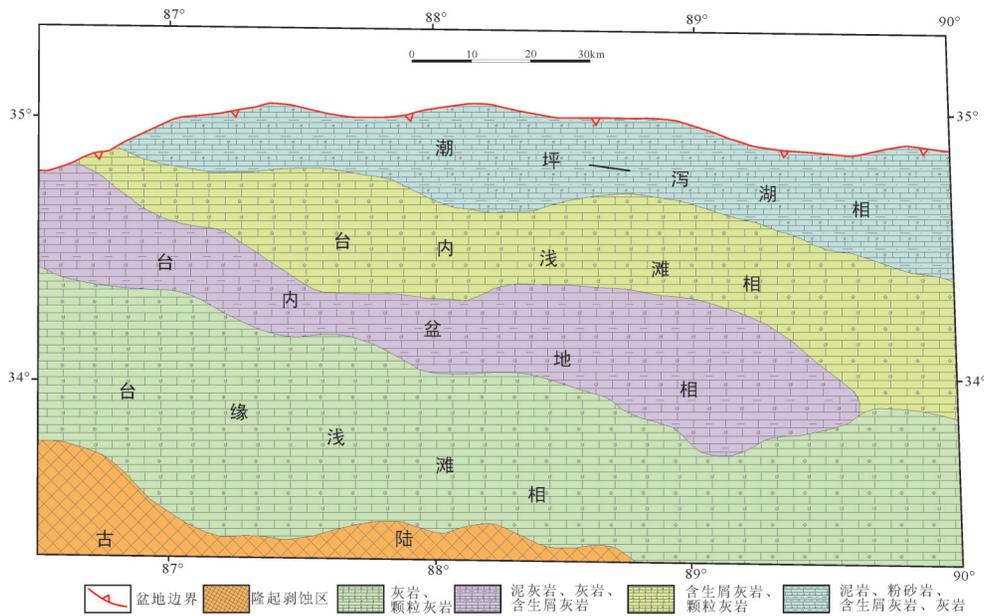


图13 羌塘盆地晚侏罗世牛津期—基末里期岩相古地理图

Fig.13 Late Jurassic Oxfordian–Kimmeridgian sedimentary facies and palaeogeographic map in the Qiangtang Basin

错剖面扎窝茸组。总体上,该相区表现出十分明显的海退沉积。随着盆地的萎缩,河流相向盆内进积,叠覆在前期三角洲之上。

海湾(潮坪—泻湖):呈狭长状位于盆地中部,沉积了索瓦组上段。范围的圈定一是根据半岛湖北、祖尔肯乌拉山、温泉、依仓玛、巴斯康根一带,沉积物灰岩、钙质泥岩夹粉砂岩,具泻湖相、潮坪相沉

积构造特征。

陆棚—海湾:位于盆地的西北部,现今的分布呈狭长状,沉积地层为白龙冰河组,主要为一套灰色—深灰色薄层状泥灰岩夹页岩组合。

5 盆地演化模式及其构造意义

羌塘中生代沉积盆地演化大体可分为6个阶

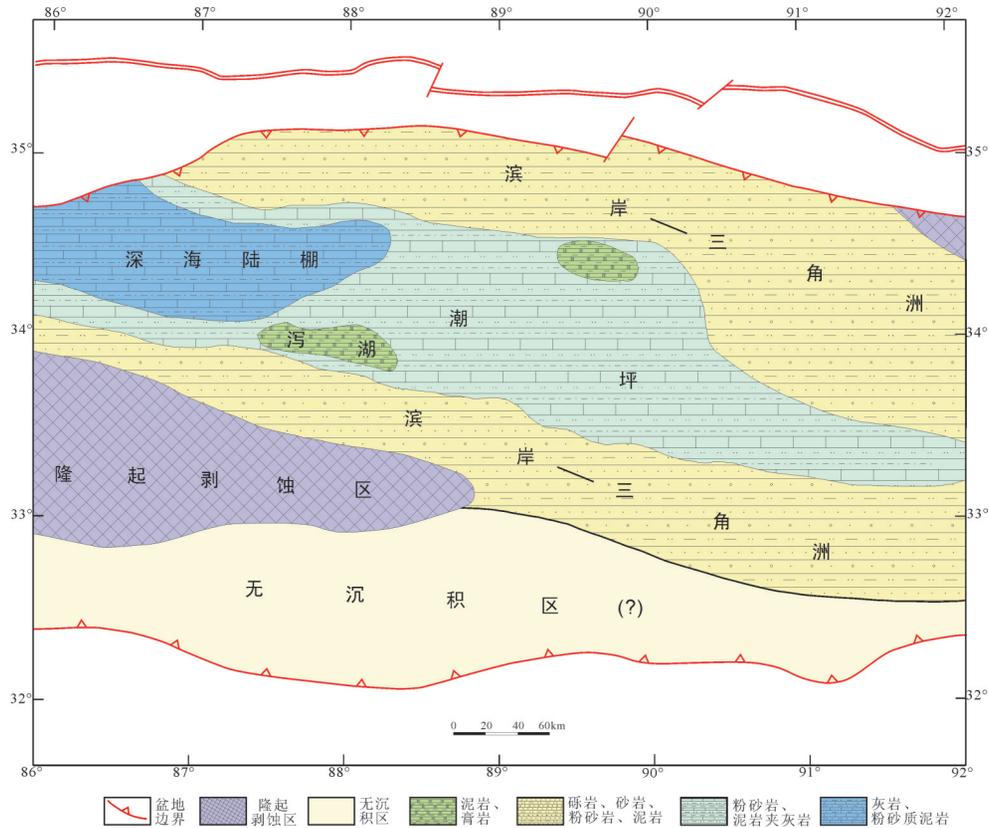


图 14 羌塘盆地晚侏罗世提塘期—早白垩世贝里阿斯期岩相古地理图

Fig.14 Late Jurassic Tithonian—Early Cretaceous Aptian sedimentary facies and palaeogeography map in the Qiangtang Basin

段:前陆盆地演化阶段、初始裂谷演化阶段、被动陆缘裂陷阶段、被动陆缘拗陷阶段、被动大陆向活动大陆转化阶段、盆地萎缩消亡阶段(图 15)。

实际上,羌塘盆地是一个从前陆盆地演化为裂陷盆地及被动大陆边缘盆地、最后再次转化为前陆盆地并关闭消亡的叠合型盆地,这一叠合型盆地模式,主要是建立在沉积演化序列研究、岩相古地理分析、沉积大地构造分析及火山岩年代学研究等基础之上的。

5.1 前陆盆地演化阶段

该阶段大致发生在早三叠世初—晚三叠世诺利期,相当于康鲁组至肖茶卡组沉积期(图 15A,表 1)。据现有资料推测,在这个时期,现今中央隆起带以南可能处于大陆剥蚀区,因此,盆地的范围仅限于北羌塘地区。盆地的形成是羌塘地块向北俯冲以及可可西里造山带的崛起并向南逆冲共同作用的产物。但是,目前尚无确切资料限定该盆地的形成时间,推测其可能在早三叠世已经开始发育。主要依据有二:一是,金沙江洋盆在二叠纪末期已

经关闭,向造山带转换;二是,在可可西里造山带前缘发育巨厚的暗色深水相复理石沉积(若拉岗日群下部)据推测属中、下三叠统,而在盆地南缘的热觉茶卡一带,下三叠统以角度不整合向南超覆于中央隆起带北缘,主要为一套滨浅海相中—粗粒碎屑沉积物,其上为中三叠统浅海碳酸盐岩沉积。可见,早、中三叠世,北羌塘盆地已具备了前陆盆地的基本特征,即造山带前缘快速挠曲、下沉、接受早期复理石沉积;盆地呈南浅北深的箕状;沉降中心向前陆隆起方向迁移等。

晚三叠世卡尼期,盆地的沉降中心进一步向南迁移,前源带位于藏夏河、明镜湖一带,形成深水复理石沉积;那底岗日、沃若山、土门格拉一带为隆后区,发育含煤碎屑沉积;而在盆地中部广大地区为前陆隆起带,广泛发育碳酸盐岩缓坡。古流向和物源分析显示,盆地具有双向物源(王剑等, 2009)。晚三叠世诺利期,为该前陆盆地的萎缩阶段,盆地内广泛发育三角洲相碎屑含煤沉积。诺利晚期,羌塘地区的构造性质全面发生了反转,羌坳北地区全

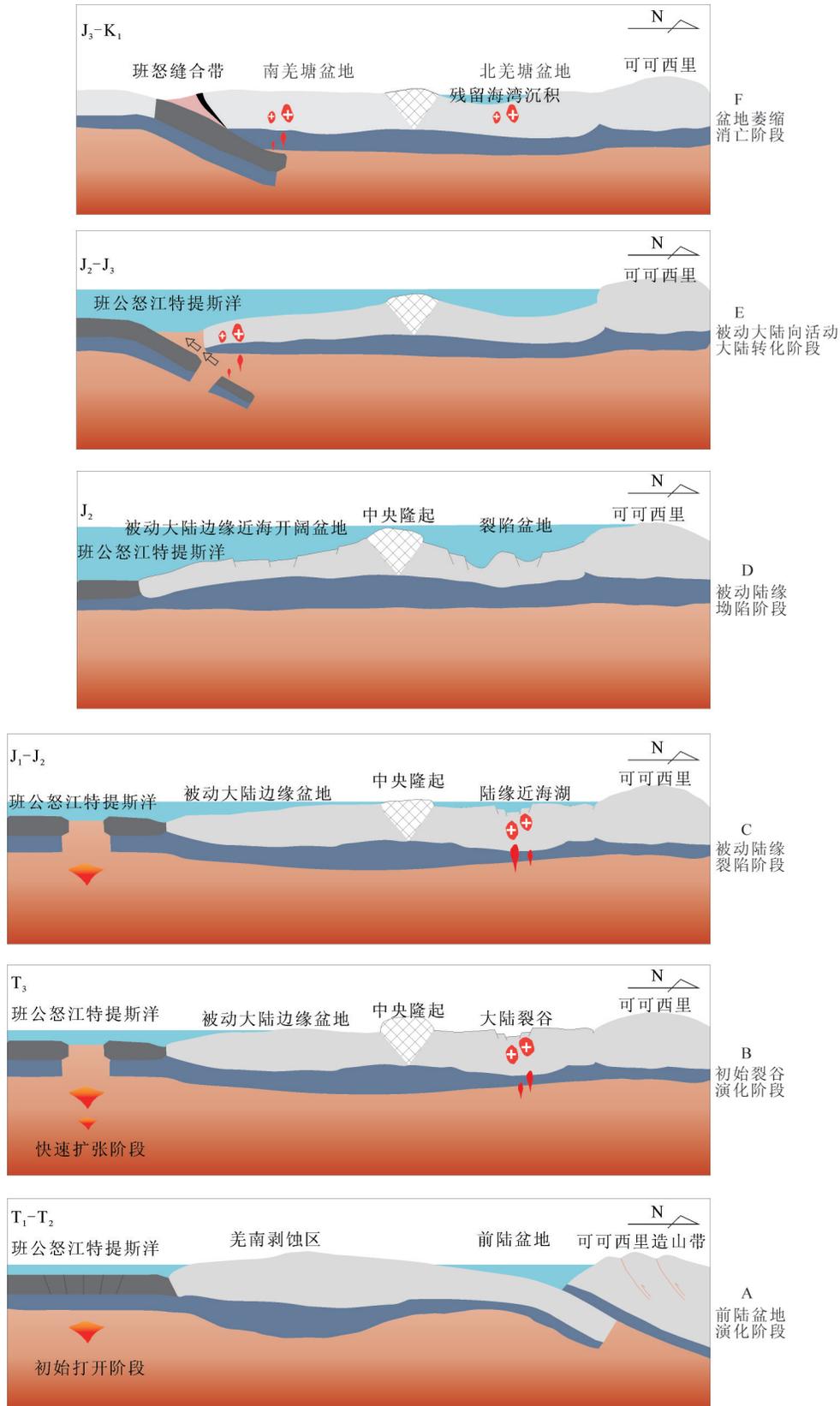


图 15 羌塘盆地中生代演化模式图

Fig. 15 Schematic model showing the Mesozoic evolution of the Qiangtang Basin

面隆升成为剥蚀区,从而结束了前陆盆地演化阶段。整个羌北地区缺失瑞替期—早侏罗世普林斯巴期沉积。与此同时,羌南地区发生了强烈的引张和裂谷作用。

5.2 初始裂谷演化阶段

该阶段发生在晚三叠世晚期,相当于那底岗日组沉积期(图15B,表1)。岩浆热柱首先使羌塘盆地南侧的班公湖—怒江一带地壳破裂,产生裂谷作用,并迅速扩张成为洋盆。在色林错、滋格塘错等地保留有裂谷早期沉积,即基性火山岩、紫红色粗碎屑岩、膏岩等,在申扎县巫嘎附近也发现有基性火山岩—紫红色粗碎屑岩—泥灰岩、膏岩组合,时代为晚三叠世(周详,1984)。在羌南肖茶卡、北雷错一带伴生有小型裂谷(陷)盆地,初期发育火山喷发—喷溢相角砾状中基性火山岩。在羌北胜利河、菊花山至东部各拉丹冬一带,发育长达300 km的双峰式火山岩带。早侏罗世,羌南地区发育稳定的浅海陆棚相沉积,且在南侧形成了现今保存于班公湖—怒江缝合带中的远洋沉积,说明班公湖—怒江洋盆已经打开,南羌塘已发展成被动大陆边缘盆地。可可西里造山作用处于相对静止状态,羌北地区为大陆边缘隆起区,向南提供物源。

5.3 被动陆缘裂陷阶段

该阶段裂陷发生在早侏罗世至中侏罗世巴柔期,相当于雀莫错组沉积期(图15C,表1)。裂陷作用发生在羌塘盆地北部,使前期的大陆剥蚀区下陷成为沉积盆地,从而真正意义上形成了羌塘盆地内部“两坳—隆”的格局。

南坳陷为被动大陆边缘近海开阔盆地,发育滨岸—浅海相砂岩、粉砂岩和页岩,沉积厚度600~1200 m。雀莫错组整合于三叠系之上,呈北浅南深的单斜式盆地,单向物源来自于中央隆起带(王剑等,2009;冯兴雷等,2016)。

北坳陷为裂陷盆地,以狭窄的通道经中央隆起与南侧的外海相通,形成较封闭的陆缘近海湖泊环境。其内部呈地堑—地垒结构,下部发育厚0~640 m的冲洪积相砾岩,不整合于前侏罗系之上;上部发育红色碎屑岩夹少量灰岩和石膏,厚400~1800 m。坳陷内部发育3个呈北西向展布的裂陷槽,分别位于湾湾梁、雀莫错和菊花山—那底岗日—玛威山一带,始终是该阶段的沉积和沉降中心。北坳陷

沉积物具有多物源特点,主要来自可可西里造山带和中央隆起带,其次为坳陷内部相对隆起区,如乌兰乌拉山、半咸河、沃若山等地(王剑等,2009)。在裂陷区,具有沉降速度快,沉积速率高,沉积厚度巨大的特点,最大沉积厚度达2400 m以上。

5.4 被动陆缘坳陷阶段

该阶段为中侏罗世巴通期,相当于布曲组沉积期(图15D,表1)。该时期整个羌塘地区发生了相对稳定的均匀沉降作用,盆地内发生了大规模海侵。海水淹没了中央隆起,将南北坳陷连接成一个统一的被动大陆边缘坳陷盆地,整体上呈北浅南深的单斜结构,以碳酸盐台地沉积为主,总沉积厚度500~1200 m。需要强调的是,这一阶段也是班公湖—怒江洋盆扩张至最大的时期,影响了盆地内同期的海侵过程,表明了班公湖—怒江洋盆的扩张对羌塘盆地演化的控制作用。

5.5 被动大陆向活动大陆转化阶段

中侏罗世卡洛期,相当于夏里组至索瓦组沉积期(图15E,表1)。该时期区内发生了一次快速的海平面下降,盆地内主要表现为陆源碎屑沉积物急剧增加。晚侏罗世牛津期—基末里期,羌塘盆地发生了第二次海侵,沉积了侏罗系索瓦组下段。区内发生了又一次海平面的快速上升,剥蚀区被海水淹没,陆源碎屑迅速减少,全盆地转为碳酸盐岩沉积,形成北东部较高,向西南部倾斜的古地理面貌。沉积环境自北东向西南方向依次发育潮坪、潟湖、碳酸盐台地和陆棚,底部发育一明显的初始海泛面,多数地方表现为碳酸盐岩超覆在砂岩、泥岩之上。

位于羌塘盆地南部的中特提斯洋盆该时期则发生了洋内俯冲,在班公湖—怒江缝合带的蛇绿岩中,发现了167 Ma的玻安岩(高镁安山岩)(Shi et al., 2004; Shi, 2007)。玻安岩是洋内俯冲的产物,代表成熟的洋岛岩石(Hickey and Frey, 1982; Kerrich et al., 1998)。因此,从这种意义来说,玻安岩的出现也暗示了沿南羌塘边缘与俯冲有关的弧前裂谷较好地发展(图14E)。中特提斯洋盆的再次扩张导致了羌塘盆地晚侏罗世的第二次大规模海侵。但羌塘盆地性质也由被动大陆边缘盆地向活动大陆边缘盆地转换(图15E)。

5.6 盆地萎缩消亡阶段

羌塘中生代盆地萎缩消亡与中特提斯洋盆的

最后关闭有关。盆地萎缩阶段发生在晚侏罗世提塘期—早白垩世贝里阿斯期,相当于白龙冰河组沉积期(图15F,表1)。提塘期,羌塘盆地南部迅速抬升,羌南地区和盆地的北东部分迅速隆升成陆地,海域萎缩至北羌塘拗陷的中西部。海水逐步向西北部退缩,形成一个向北西开口的海湾—潟湖环境,其内部沉积灰岩、泥岩和粉砂岩,沉积厚度600~1600 m,向东南部的边缘地区发育河流—三角洲相紫红色碎屑沉积。笔者最新研究显示,大约在中白垩世(101 Ma),羌塘盆地仍然存在残留海湾的沉积(Fu et al., 2008)。之后,海水完全退出羌塘地区,结束中生代海相盆地的演化历史。

羌塘盆地的萎缩关闭,与中特提斯洋盆的关闭时间是一致的,研究显示,羌塘盆地内发育155~147 Ma的花岗岩,这些花岗岩具有明显的俯冲碰撞性质,是中特提斯洋盆俯冲关闭的标志(Pullen et al., 2011)。事实上,许多学者也提出,中特提斯洋盆的关闭时间为晚侏罗世(Girardeau et al., 1984; Pearce and Deng, 1988; Zhou et al., 1997)。然而,最新的研究也显示,中特提斯洋盆的最后关闭时间延续到了晚白垩世(Zhang et al., 2012)。Liu et al. (2014)对班公湖—怒江缝合带的热那错蛇绿岩的年龄研究显示,中特提斯洋盆的最后关闭时间为中白垩世,大约为103 Ma,这一结果与羌塘盆地海水的最后退出时间一致。

6 讨论

6.1 中—晚三叠世火山作用

中—晚三叠世时期,羌塘盆地发生了大规模的火山作用。但是,长期以来,由于其喷发年龄及其构造背景认识不清,导致了对盆地演化不同认识。过去通常把整个中晚三叠世视为一个简单的演化阶段,认为羌塘侏罗系盆地是在这个基础之上发育起来的复合盆地(高春文等, 2006)。

事实上,羌塘中—晚三叠世盆地性质非常复杂并发生了质的转变。这一时期的火山岩总体上可以分为两类。

一类是以碰撞性质为代表的火山岩,该类火山岩可能与古特提斯洋盆的最后关闭有关,其特征显示为:(1)具有俯冲碰撞的构造背景;(2)在盆地内分布局限,主要见于中央隆起带及盆地北部边界;

(3)该套火山岩的喷发时间相对较老,大多在236~250 Ma,这一年龄与古特提斯洋盆的最后关闭时间较为一致(Chen et al., 2016; Fan et al., 2017a)。该套火山岩也广泛见于藏东地区,它是古特提斯洋盆关闭的重要记录(Hu et al., 2014)。最新研究表明,该套火山岩的喷发以及古特提斯洋盆的最后关闭,导致了羌塘盆地的大规模隆升和剥蚀,形成了南羌塘及中央隆起带广泛分布的古风化壳而缺失了上三叠统部分沉积(王剑等, 2007; Fu et al., 2010),晚三叠世前陆盆地演化阶段,在盆地边缘及中央隆起带两侧滨岸沼泽地区,则形成了广泛分布的含煤系地层(Wang et al., 2017b)。

另一类则是伸展型火山岩,以晚三叠世那底岗日组火山岩为代表,该类火山岩可能与早期中特提斯洋的打开有关。其特征为:(1)是具伸展构造背景的双模式火山岩;(2)主要分布于中央隆起带两侧及北羌塘拗陷,呈东西向带状展布,横向延伸大于300 km;(3)该套火山岩的喷发时间相对前一套火山岩较年轻,一般在220~205 Ma。

近年来,笔者对羌塘盆地那底岗日组火山岩开展了大量的研究,特别是对羌塘中部以及东部地区的玄武岩,开展了岩石地球化学与构造环境判别,研究结果表明,这套双模式火山岩的形成可能与早期班怒洋打开初期的裂谷作用有关(Wang et al., 2008; Pullen et al., 2011; Fu et al., 2010; Peng et al., 2015; Fan et al., 2017b)。同时,火山岩的喷发年龄205~220 Ma代表了羌塘中生代盆地的开启时间,其主要依据是,羌塘中生代盆地(T_3-K_1)从此时开启了大规模的沉积超覆作用,早—中侏罗世雀莫错组陆源碎屑岩广泛超覆在晚古生代褶皱基底或那底岗日组火山岩之上,或与前陆前陆盆地晚期沉积地层呈平行不整合、整合接触,形成了羌塘中生代盆地(T_3-K_1)开启的3种典型沉积序列(图3)。

不可否认的是,目前仍有不少学者认为该套火山岩形成于岛弧环境(Zhai et al., 2013),然而,他们对构造背景的判断是以酸性火山岩样品分析结果为依据的,因此其可信度值得商榷。

6.2 古特提斯洋的关闭

一般认为,位于羌塘盆地北部边界的可可西里—金沙江缝合带,代表了曾经消失的古特提斯洋(Yin and Harrison, 2000; Kapp et al., 2003)。近年

来,在羌塘盆地中部的中央隆起带地区发现了规模巨大的(长>500 km,宽100 km)含蓝片岩变质带(Kapp et al., 2000; Zhang, 2001; 李才等, 2006; Pullen et al., 2008),榴辉岩、蛇绿岩混杂带也相继在这个地区被发现(Zhai et al., 2011)。因此,一些学者提出了古特提斯洋盆应该位于羌塘盆地中部的中央隆起带(李才等, 2006; Metcalfe, 1988, 1996, 2013; Şengör et al., 1988; Zhai et al., 2011; Zhang et al., 2016),并分离了南北羌塘陆块。Metcalfe (2013)甚至提出,古特提斯洋的主洋盆位于中央隆起带,而羌塘北部的可可西里—金沙江缝合带为古特提斯洋的分支洋盆。

然而,最近的研究显示,中央隆起带即使作为古特提斯洋的洋盆,其规模也并不大(Fan et al. 2017a),并不可能作为古特提斯洋的主洋盆。

古特提斯洋无论位于羌塘盆地北部还是中部,对盆地的演化都具有重要意义。古特提斯洋盆的关闭,直接导致了羌塘盆地大规模的海退。那么,古特提斯洋什么时候关闭?基于龙木措—双湖变质带及其周缘的沉积地层特征、不整合面分析、高压变质岩带年龄分析、火山岩分析,一般认为古特提斯洋盆的发展是从早二叠世至晚三叠世,其最后关闭时间为晚三叠世(Li et al., 2007; Song et al., 2015)。一些学者基于北羌塘朗巧、左贡地区早—晚二叠世火山岩分析,认为古特提斯洋洋壳的俯冲时间为早—晚二叠世,洋盆的最后关闭时间为早三叠世或中三叠世早期(Yang et al., 2011; Peng et al., 2015)。Fan et al. (2017a)依据残留岛弧特征,提出古特提斯洋盆的最后关闭时间为晚三叠世早期。

近年来,笔者等也对古特提斯洋盆的关闭做了一些工作,物源区初步分析表明,下二叠统一—中三叠统具有相似的物源区,但并不是来自中央隆起带。然而,上三叠统砂岩的物源区则明显来自于中央隆起带(Wang et al., 2017a)。笔者等认为,古特提斯洋盆的关闭时间应该在中三叠世晚期,古特提斯洋盆的关闭,导致了中央隆起带的隆升和羌塘晚三叠世物源区的差异。

6.3 中特提斯洋的开启

通常认为,位于羌塘盆地南部边界的班公湖—怒江缝合带,代表了曾经消失的中特提斯洋,其开启和关闭直接制约了羌塘中生代盆地的演化。中

特提斯洋的开启时间存在较大的争议, Metcalfe (2013)提出,在羌塘微陆块向北漂移(早二叠世晚期)的过程中,中特提斯洋盆就已开启,到晚三叠世,中特提斯洋盆的向北俯冲消减,导致了班公湖—怒江缝合带的逐渐形成。Pan et al. (2012)和Zhu et al. (2013)认为,中特提斯洋盆的开启时间为石炭—二叠纪,尽管在开启时间上与Metcalfe (2013)存在一定的差异,但他们均认为,晚三叠世时期,中特提斯洋向北俯冲消减。

然而,更多的研究似乎并不支持上述模式,大量的研究显示,中特提斯洋壳的向北俯冲并没有发生在晚三叠世,总体而言,晚三叠世时期,羌塘南部的中特提斯洋盆处于伸展扩张的构造背景(Kapp et al., 2005; Pullen et al., 2011; Li et al., 2014; Fan et al., 2015)。

班公湖—怒江缝合带中广泛分布一套中生代地层,这些地层记录了中特提斯洋盆扩张—俯冲—关闭的关键信息。最近, Li et al. (2017)对班公湖—怒江缝合带中木嘎岗日群、莎木罗组地层开展了详细的锆石U—Pb和Hf同位素分析,明确了木嘎岗日群的沉积时间为晚三叠世—早侏罗世。他们的研究指出,晚三叠世时期,木嘎岗日群沉积于深海平原,靠近南羌塘的被动大陆边缘,该时期中特提斯洋的向北俯冲并没有发生。

晚三叠世的残留洋岛最近也被报道(Fan et al., 2017b)。事实上,这些晚三叠世残留洋岛,之前早已证实为沉积暴露的古风化壳,它们广泛发育于南北羌塘盆地的边缘带及中央隆起带两侧(王剑等, 2007; Fu et al., 2010)。Fan et al. (2017b)对古洋岛的研究揭示,中特提斯洋盆的开启时间可能是晚二叠世,至晚三叠世洋盆处于快速扩张阶段。近年来,笔者对中特提斯洋盆的开启也进行了研究,重点从沉积记录做了大量工作,研究显示,班公湖—怒江缝合带北部的南羌塘地区缺乏早—中三叠世沉积,晚三叠世残留洋岛广泛发育于南羌塘盆地,与此同时,在晚三叠世时期,在北羌塘坳陷南缘发育横向延伸大于300 km的火山岩带。这些资料显示,晚三叠世时期,中特提斯洋盆发生了快速扩张,在这一背景影响下,羌塘盆地局部地区发生伸展扩张,形成裂谷(如北羌塘南缘、北羌塘的弯弯梁地区),海水快速浸入羌塘盆地。中

7 结 论

1)羌塘中生代沉积盆地是一个由前陆盆地演化为裂谷盆地、被动大陆边缘盆地、最终转化为活动大陆边缘盆地并萎缩消亡的叠合盆地。早—中三叠世为前陆盆地,晚三叠世—中侏罗世巴通期(布曲组沉积期)为裂谷、被动大陆边缘盆地,中侏罗世卡洛期(夏里组沉积期)至早白垩世转化为活动大陆边缘盆地并萎缩消亡。

2)羌塘中生代(T_3-K_1)沉积盆地沉积演化冲洪积相沉积超覆开始的,总体上为一个向上变深的海侵序列,表现为冲洪积相、河湖相逐渐演化为滨海相及浅海相。沉积超覆可划分出3种类型:类型I为上三叠统那底岗日组角度不整合沉积超覆在古生代褶皱地层之上;类型II为上三叠统那底岗日组低角度不整合(或平行不整合)沉积超覆在晚三叠世肖茶卡地层之上;类型III为上三叠统那底岗日组与下伏地层呈整合接触,表现为连续沉积。沉积盆地可识别出5个主要的沉积序列:(1)盆地开启期陆相火山岩及冲洪积相沉积序列;(2)盆地初期冲洪积相及河湖相沉积序列;(3)盆地稳定期碳酸盐岩沉积序列;(4)盆地转换期碎屑岩—碳酸盐岩沉积序列;(5)盆地萎缩、消亡期碎屑岩沉积序列。岩相古地理演化经历了6个主要的阶段:(1)陆相火山岩堆积及冲洪积阶段;(2)陆缘近海河湖沉积阶段;(3)开阔碳酸盐台地沉积阶段;(4)潮坪、潟湖及三角洲沉积阶段;(5)碳酸盐台地沉积阶段;(6)局限海湾及三角洲沉积阶段。

3)羌塘盆地演化与古特提斯洋盆关闭、中特提斯洋盆形成密切相关,羌塘早—中三叠世前陆盆地的关闭,可能受古特提斯洋盆关闭制约,羌塘中生代盆地(T_3-K_1)的演化与中特提斯洋的快速开启及关闭有关。

致谢:成都地质调查中心谭富文、陈明、杜佰伟等参与了本项研究工作;本文撰写过程中,图表编绘得到了沈利军、李夔洲的帮助,在此一并致以衷心感谢!

References

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.

- Fan J J, Li C, Wang M, Liu Y M, Xie C M. 2017b. Remnants of a Late Triassic ocean island in the Gufeng area, northern Tibet: Implications for the opening and early evolution of the Bangong–Nujiang Tethyan Ocean [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 135: 35–50.
- Fan J J, Li C, Xie C M, Liu Y M, Xu J X, Chen J W. 2017a. 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.
- Fan J J, Li C, Xie C M, Wang M, Chen J W. 2015. The evolution of the Bangong–Nujiang Neo–Tethys ocean: Evidence from zircon U–Pb and Lu–Hf isotopic analyses of Early Cretaceous oceanic islands and ophiolites [J]. *Tectonophysics*, 655: 27–41.
- Feng Xinglei, Fu Xiugen, Tan Fuwen, Song Chunyan, Chen Wenbin. 2016. Geochemical characteristics and tectonic significance of Early Jurassic Qumo Co Formation in Wuruoshan area, north Qiangtang basin [J]. *Geology in China*, 43(4): 1227–1237 (in Chinese with English abstract).
- Fu X G, Wang J, Qu W J, Duan T Z, Du A D, Wang Z J. 2008. Re–Os (ICP–MS) dating of marine oil shale in the Qiangtang Basin, northern Tibet, China [J]. *Oil Shale*, 25: 47–55.
- Fu X G, Wang J, Tan F W, 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.
- Gao Chunwen, Jia Qingjun, Wei Chunguang. 2006. Study on the nature of Late Triassic prototype basin of Qiangtang Basin [J]. *Geological Review*, 52: 198–206 (in Chinese with English abstract).
- Girardeau J, Marcoux J, Allegre C J, Bassoulet J P, Tang Y K, Xiao X C, Zao Y G, Wang X B. 1984. Tectonic environment and geodynamic significance of the Neo–Cimmerian Donqiao Ophiolite, Bangong–Nujiang suture zone, Tibet [J]. *Nature*, 307: 27–31.
- Hickey R L, Frey F A. 1982. Geochemical characteristics of boninite series volcanics: Implication for their source [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 46: 2099–2115.
- Hu P Y, Li C, Li J, Wang M, Xie C M, Wu Y W. 2014. Zircon U–Pb–Hf isotopes and whole–rock geochemistry of gneissic granites from the Jitang complex in Leiwuqi area, eastern Tibet, China: Record of the closure of the Paleo–Tethys Ocean [J]. *Tectonophysics*, 623: 83–99.
- Huang Jiqing, Chen Bingwei. 1987. Evolution of the Tethys Sea in China and Its Adjacent Regions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 55–56 (in Chinese).
- Kapp P, Yin A, Harrison T M, Ding L. 2005. Cretaceous–Tertiary shortening, basin development, and volcanism in central Tibet [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2005, 117: 865–878.
- Kapp P, Yin A, Manning C E, Harrison T M, Spurlin M, Ding L, Deng

- X, 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, doi: 10.1029/2002TC001383.
- Kerrick R, Wyman D, Fan J. 1998. Boninite series: Low Ti tholeiite associations from the 2.7 Ga Abitibi greenstone belt [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 164:303–316.
- Li Cai, Cheng Liren, Yu Jiejiang, Zhang Baofu, Zhai Qingguo, Huang Xiaopeng, Chen Shouming, Xu Feng, Zhang Yichun. 2006. Regional Geological Report (1:250,000) for Mayigangri, P.R.C. 12–66 (in Chinese).
- Li Cai, Zhai Qingguo, Chen Wen, Dong Yongsheng, Yu Jiejiang. 2007. Geochronology evidence of the closure of Longmu Co–Shuanghu suture, Qinghai–Tibet plateau: Ar–Ar and zircon SHRIMP geochronology from ophiolite and rhyolite in Guogangjianian [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 911–918 (in Chinese with English abstract).
- Li J X, Qin K Z, Li G M, Richards J P, Zhao J X, Cao M J. 2014. Geochronology, geochemistry, and zircon Hf isotopic compositions of Mesozoic intermediate–felsic intrusions in central Tibet: petrogenetic and tectonic implications [J]. *Lithos*, 198–199: 77–91.
- Li S, Ding L, Guimette C, Fu J J, Xu Q, Yue Y H, HenriquePinto R. 2017. The subduction–accretion history of the Bangong–Nujiang Ocean: Constraints from provenance and geochronology of the Mesozoic strata near Gaize, central Tibet [J]. *Tectonophysics*, 702: 42–60.
- Li Yong, Wang Chengshan, Yi Haisheng, Shi He, Lin Jinhui, Zhu Lidong, Li Xianghui. 2001. Fill models of in the Qiangtang composite foreland basin in Qinghai–Xizang Plateau, China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 19 (1): 20–27 (in Chinese with English abstract).
- Liu W L, Xia B, Zhong Y, Cai J X, Li J F, Liu H F, Cai Z R, Sun Z L. 2014. Age and composition of the Rebang Co and Julu ophiolites, central Tibet: Implications for the evolution of the Bangong Meso–Tethys [J]. *International Geology Review*, 56: 430–447.
- Metcalfe 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.
- Metcalfe I. 1996. Gondwanaland dispersion, Asian accretion, and evolution of eastern Tethys [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 43: 605–623.
- Metcalfe I. 2013. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 66: 1–33.
- Pan G T, Wang L Q, Li R S, Yuan S H, Ji W H, Zhang W P, Wang B D. 2012. Tectonic evolution of the Qinghai–Tibet Plateau [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 53: 3–14.
- Pearce J A, Deng W. 1990. The ophiolites of the Tibet geotraverse, Lhasa to Golmud (1985) and Lhasa to Kathmandu (1986) [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society, A*, 327: 215–238.
- Peng T P, Zhao G C, Fan W M, Peng B X, Mao Y S. 2015. Late Triassic granitic magmatism in the Eastern Qiangtang, Eastern Tibetan Plateau: geochronology, petrogenesis and implications for the tectonic evolution of the Paleo–Tethys [J]. *Gondwana Research*, 28: 1494–1508.
- Pullen A, Kapp P, Gehrels G E, Ding L, Zhang Q H. 2011. Metamorphic rocks in central Tibet: lateral variations and implications for crustal structure [J]. *Geological Society of America Bulletin*, 123: 585–600.
- Pullen A, Kapp P, Gehrels G E, Vervoort J D, Ding L. 2008. Triassic continental subduction in central Tibet and Mediterranean–style closure of the Paleo–Tethys Ocean [J]. *Geology*, 36: 351–354.
- Şengör A M C, Altiner D, Cin A, Ustaömer T, Hsü K J. 1988. Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of Gondwana Land, in *Gondwana and Tethys* [J]. Geological Society London Special Publications, 37: 119–181.
- Shi R D. 2007. SHRIMP dating of the Bangong Lake SSZ–type ophiolite: Constraints on the closure time of ocean in the Bangong Lake–Nujiang River, northwestern Tibet [J]. *Chinese Science Bulletin*, 52(7): 936–941.
- Shi R D, Yang J S, Xu Z Q, Qi X–X. 2004. Discovery of the boninite series volcanic rocks in the Bangong Lake ophiolite melange, western Tibet, and its tectonic implications [J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(12): 1272–1278.
- Song P P, Ding L, Li Z Y, Lippert P C, Yang T S, Zhao X X, Fu J J, Yue Y H. 2015. Late Triassic paleolatitude of the Qiangtang block: Implications for the closure of the Paleo–Tethys Ocean [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 424: 69–83.
- Tan Fuwen, Wang Jian, Li Yongtie, Du Baiwei, Zhu Zhongfa. 2004. Late Jurassic–Early Cretaceous strata and their sedimentary characteristics in the Qiangtang Basin, northern Tibet [J]. *Geology in China*, 31(4): 400–405 (in Chinese with English abstract).
- Wang Chengshan, Yi Haisheng, Li Yong. 2001. Geological Evolution and Oil and Gas Resources in the Qiangtang Basin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 184–251 (in Chinese).
- Wang Jian, Ding Jun, Wang Chengshan, Tan Fuwen. 2009. Survey and Evaluation on Tibet Oil and Gas Resources [M]. Beijing: Geological Publishing House, 210–214 (in Chinese).
- Wang Jian, Fu Xiugen, Chen Wenxi, Wang Zhengjiang. 2007. The Late Triassic paleo–weathering crust in the Qiangtang basin, northern Tibet: geology, geochemistry and significance [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 25(4): 487–494 (in Chinese with English abstract).
- Wang J, Fu X G, Chen W X, Wang Z J, Tan F W, Chen M, Zhuo J

- W.2008. Chronology and geochemistry of the volcanic rocks in Woruo Mountain region, Northern Qiangtang depression: Implications to the Late Triassic volcanic-sedimentary events [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 51: 194-205.
- Wang Jian, Fu Xiugen, Tan Fuwen, Chen Ming, He Jianglin. 2010 A new sedimentary model for the Qiangtang Basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 28(5): 884-893 (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, 34-88 (in Chinese).
- Wang X F, Metcalfe I, Jian P, Longqing H, Wang C. 2000. The Jinshajiang-Ailaoshan suture zone, China: tectonostratigraphy, age and evolution [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 18: 675-690.
- Wang Z W, Wang J, Fu X G, Feng X L, Wang D, Song C Y, Chen W B, Zeng S Q. 2017a. 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.
- Wang Z W, Wang J, Fu X G, Zhan W Z, Yu F, Feng X L, Song C Y, Chen W B, Zeng S Q. 2017b. Organic material accumulation of Carnian mudstones in the North Qiangtang Depression, eastern Tethys: Controlled by the paleoclimate, paleoenvironment, and provenance [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 88:440-457.
- Yang T N, Zhang H R, Liu Y X, Wang Z L, Song Y C, Yang Z S, Tian S H, Xie H Q, Hou K J. 2011. Permo-Triassic arc magmatism in central Tibet: evidence from zircon U-Pb geochronology, Hf isotopes, rare earth elements, and bulk geochemistry [J]. *Chemical Geology*, 284, 270-282.
- Yin A, Harrison T M. 2000. Geologic Evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen [J]. *Annual Reviews of Earth and Planetary Science*, 28: 211-280.
- Zhai Q G, Jahn B M, Su L, Wang J, Mo X X, Lee H Y, Wang K L, Tang S H. 2013. 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*, 63: 162-178.
- 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.
- Zhang K J. 2001. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in the Qiangtang block reveal deep crustal structure of northern Tibet: Comment and reply [J]. *Geology*, 29: 90.
- Zhang K J, Zhang Y X, Tang X C, Xia B. 2012. Late Mesozoic tectonic evolution and growth of the Tibetan plateau prior to the Indo-Asian collision [J]. *Earth-Science Reviews*, 114:236-249.
- Zhang X Z, Dong Y S, Wang Q, Dan W, Zhang C F, Deng M R, Xu W, Xia X P, Zeng J P, Liang H. 2016. Carboniferous and Permian evolutionary records for the Paleo-Tethys Ocean constrained by newly discovered Xiangtaohu ophiolites from central Qiangtang, central Tibet [J]. *Tectonics*, 35: doi:10.1002/2016TC004170.
- Zhou M F, Malpas J, Robinson P T, Reynolds P H. 1997. The dynamothermal aureole of the Donqiao ophiolite (northern Tibet) [J]. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 34(1):59-65.
- Zhou Xiang. 1984. Tibet Plate Structure-construction and Specification [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, Dilek Y, Hou Z Q, Mo X X. 2013. The origin and pre-Cenozoic evolution of the Tibetan Plateau [J]. *Gondwana Research*, 23, 1429-1454.

附中文参考文献

- 冯兴雷, 付修根, 谭富文, 宋春彦, 陈文彬. 2016. 北羌塘盆地沃若山地区早侏罗世雀莫错组砂岩地球化学特征与物源判别意义[J]. *中国地质*, 43(4): 1227-1237.
- 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: 198-206.
- 黄汲清, 陈炳蔚. 1987. 中国及邻区特提斯海的演化 [M]. 北京: 地质出版社, 55-56.
- 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(1:250000)—玛依岗日幅 [R]. 12-66.
- 李才, 翟庆国, 陈文, 董永胜, 于介江. 2007. 青藏高原原木错-双湖板块缝合带闭合的年代学证据——来自果干加年上蛇绿岩与流纹岩 Ar-Ar 和 SHRIMP 年龄制约 [J]. *岩石学报*, 23(5): 911-918.
- 李勇, 王成善, 伊海生, 石和, 林金辉, 朱利东, 李祥辉. 2001. 青藏高原中侏罗世-早白垩世羌塘复合型前陆盆地充填模式 [J]. *沉积学报*, 19 (1): 20-27.
- 谭富文, 王剑, 李永铁, 杜佰伟, 朱忠发. 2004. 羌塘盆地侏罗纪末-早白垩世沉积特征与地层问题 [J]. *中国地质*, 31(4): 400-405.
- 王成善, 伊海生, 李勇. 2001. 羌塘盆地地质演化与油气远景评价 [M]. 北京: 地质出版社, 184-251.
- 王剑, 丁俊, 王成善, 谭富文. 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, 210-214.
- 王剑, 付修根, 陈文西, 汪正江. 2007. 藏北羌塘盆地晚三叠世古风化壳地质地球化学特征及其意义 [J]. *沉积学报*, 25(4): 487-494.
- 王剑, 付修根, 谭富文, 陈明, 何江林. 2010. 羌塘中生代(T₃-K₁)盆地演化新模式 [J]. *沉积学报*, 28(5): 884-893.
- 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, 83-88.
- 周详. 1984. 西藏板块构造-建造图及说明书 [M]. 北京: 地质出版社, 1-20.