

文章编号: 1000-0550(2006) 02-0165-10

# 西藏羌塘地体三叠纪—侏罗纪海相砂岩颗粒组分及其构造意义

张玉修<sup>1, 2</sup> 张开均<sup>1, 3</sup> 夏邦栋<sup>3</sup> 谢尧武<sup>4</sup>

(1 中国科学院边缘海地质重点实验室 广州 510640; 2 中国科学院研究生院 北京 100049  
3 南京大学地球科学系 南京 210093; 4 西藏地勘局区调大队 拉萨 851400)

**摘要** 来自羌塘地体 (33° - 35°N, 85° - 93°E) 的 154 件中生界砂岩样品颗粒组分实验结果表明, 羌塘地体中部中下三叠统砂岩 ( $Q_{61 \pm 8} F_{27 \pm 13} L_{12 \pm 10}$ ,  $Q_{m59 \pm 8} F_{28 \pm 13} L_{43 \pm 9}$ ,  $Q_{P28 \pm 22} L_{m72 \pm 22} L_{sm0 \pm 0}$ ) 的物源区为复杂的再旋回造山带和陆块内部, 大部分上三叠统砂岩 ( $Q_{78 \pm 14} F_{6 \pm 5} L_{16 \pm 12}$ ,  $Q_{m77 \pm 15} F_{6 \pm 5} L_{47 \pm 12}$ ,  $Q_{P14 \pm 23} L_{m34 \pm 37} L_{sm32 \pm 33}$ )、下侏罗统砂岩 ( $Q_{83 \pm 20} F_{2 \pm 2} L_{45 \pm 22}$ ,  $Q_{m79 \pm 23} F_{2 \pm 2} L_{49 \pm 24}$ ,  $Q_{P35 \pm 19} L_{m0 \pm 0} L_{sm66 \pm 19}$ )、中侏罗统砂岩 ( $Q_{69 \pm 22} F_{6 \pm 6} L_{24 \pm 25}$ ,  $Q_{m67 \pm 22} F_{6 \pm 6} L_{56 \pm 24}$ ,  $Q_{P14 \pm 22} L_{m32 \pm 38} L_{sm34 \pm 38}$ ) 和上侏罗统砂岩 ( $Q_{80 \pm 17} F_{6 \pm 4} L_{14 \pm 17}$ ,  $Q_{m78 \pm 17} F_{6 \pm 4} L_{16 \pm 16}$ ,  $Q_{P17 \pm 23} L_{m27 \pm 35} L_{sm56 \pm 34}$ ) 的物源区以再旋回造山带为主, 然而, 南羌塘地体南缘的上三叠统以及北羌塘地体南缘的下侏罗统同时发育物源来自陆块内部的砂岩。整个中羌塘复背斜带砂岩颗粒中常含有不稳定重矿物及其它易风化铁镁矿物表明该地区有丰富的蛇绿岩残片, 这预示着双湖缝合带沿整个中羌塘复背斜带展布, 羌塘中部含蓝片岩变质杂岩体可能形成于中羌塘不规则大陆边缘的海湾处, 而不是来自金沙江缝合带。中生代砂岩的颗粒组分及岩石学证据表明, 中羌塘复背斜至少从早三叠世就因为造山隆升并遭剥蚀提供物源。上三叠统砂岩物源区为再旋回造山带, 这表明这种挤压背景下不存在沿班公湖—怒江缝合带弧后扩张的伸展机制。

**关键词** 砂岩 中生代 羌塘 青藏高原 特提斯

**第一作者简介** 张玉修 男 1974 年出生 博士生 沉积学与构造地质学

**中图分类号** P512.2 P542 **文献标识码** A

## 1 引言

平均海拔超过 5 000 m 的羌塘地体位于青藏高原中部, 其南北边界分别为班公湖—怒江缝合带和金沙江缝合带, 中西部存在长度大于 500 km, 宽度近 100 km 的含蓝片岩变质带 (图 1)。羌塘地体演化的一些关键问题还争论很大, 比如, 李才等<sup>[1]</sup>, 鲍佩声等<sup>[2]</sup> 和 Zhang<sup>[3]</sup> 认为羌塘内部的含蓝片岩变质带可能代表青藏高原中部一条重要的古特提斯缝合带 (图 1), 然而, Kapp 等<sup>[4]</sup> 和 Haines 等<sup>[5]</sup> 认为该变质带是来自金沙江缝合带并于早中生代隆起在羌塘内部形成变质核杂岩。相反, 王成善等<sup>[6-7]</sup>, 邓万明等<sup>[8]</sup> 和 Xia 等<sup>[9]</sup> 提出该地区仅仅出现过裂谷。同时, 对金沙江和班公湖—怒江两条缝合带的俯冲极性和演化模式<sup>[5, 10-12]</sup> 及物理场特征 (例如羌塘地壳中熔融是否广泛分布)<sup>[5, 13-15]</sup> 也说法不一。因此, 羌塘地体前新生代的岩石圈结构成为理解青藏高原形成

和特提斯演化的一个关键问题。

金沙江缝合带作为羌塘地体北界与松潘—甘孜地体相邻, 表现为一条规模巨大的蛇绿构造混杂岩带, 松潘—甘孜地体的主体由三叠纪复理石组成<sup>[16-17]</sup>; 羌塘地体南以班公湖—怒江缝合带与拉萨地体毗邻, 班公湖—怒江缝合带出露一套巨厚的深海相复理石沉积和基性、超基性岩系<sup>[12, 16, 17]</sup>, 一般认为拉萨地体在古生代属于冈瓦纳超级大陆<sup>[17]</sup>, 大约于三叠纪末—侏罗纪初从冈瓦纳超级大陆裂解<sup>[10, 11]</sup>。羌塘地体出露了一套巨厚中生代海相碎屑岩和碳酸盐岩的沉积序列 (图 1, 2)<sup>[16, 17]</sup>。上述沉积序列保存有关于沉积和剥蚀未经改造的连续记录, 从而避免了复杂的叠加构造解析所固有的许多困难, 并提供一个比来自变形带更连续、更精确的构造演化记录<sup>[17-20]</sup>。因为碎屑岩的碎屑成分和结构特征能直接反映物源区和沉积盆地的构造环境, 所以对羌塘地体中生界砂岩的研究可能会帮助洞察青藏高原中部构造演化。

中国科学院“百人计划”和中国科学院边缘海地质重点实验室研究基金 (M SGL04-14) 资助。  
收稿日期: 2005-03-15 收修改稿日期: 2005-09-21

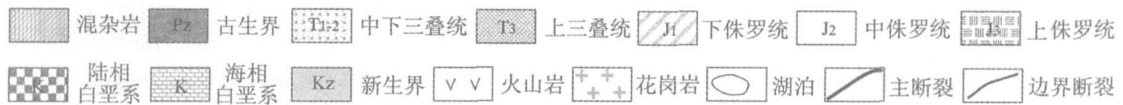
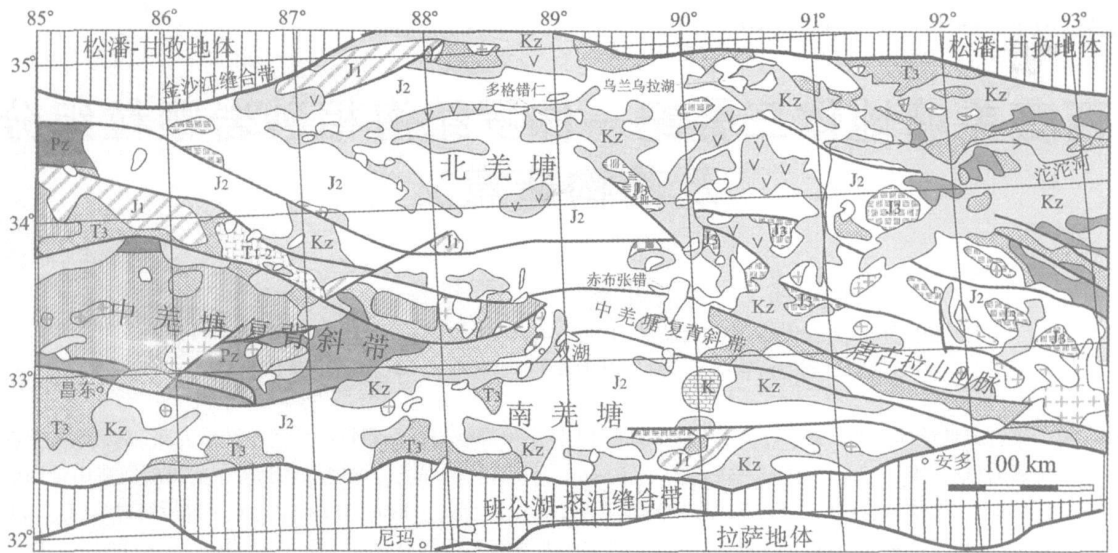


图 1 研究区地质简图

Fig 1 Simplified geologic map of the study area

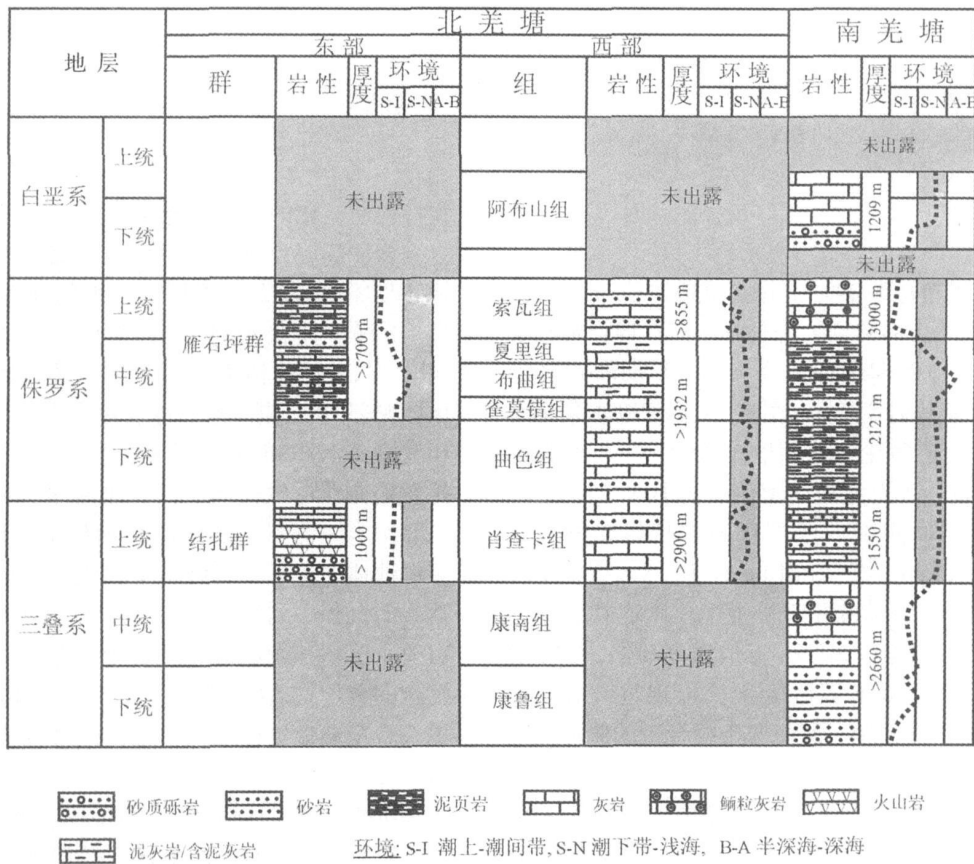


图 2 研究区中生代地层格架(纵向作图未按照比例尺)

Fig 2 Mesozoic stratigraphic framework of the study area

本文通过研究羌塘地体 ( $33^{\circ} \sim 35^{\circ}\text{N}$ ,  $85^{\circ} \sim 93^{\circ}\text{E}$ ) 中生界砂岩颗粒组分来判断砂岩的物源区和沉积的构造背景。

## 2 砂岩组分分析

### 2.1 砂岩组分分析实验方法

对来自研究区 33 条地层剖面约 200 件基本上能代表典型岩性的砂岩样品进行研究, 薄片下由记点法

(200~400 点/片) 分析了杂基含量  $< 25\%$  的 154 件样品。采样碎屑岩剖面涵盖了中生代不同地层单元和沉积相 (图 1), 并由翔实的生物地层学成果控制采样剖面。应用 Gazzidickinson 法分析中—粗砂岩以减小粒径的影响<sup>[21~24]</sup>。绝大部分砂岩颗粒分选中等, 次棱角状—次圆状磨圆为主 (图 3)。除三叠系砂岩样品外, 大部分砂岩颗粒沉积后生变化很弱, 尤其排除了遭受变质的砂岩样品。实验结果见表 1 图 4。

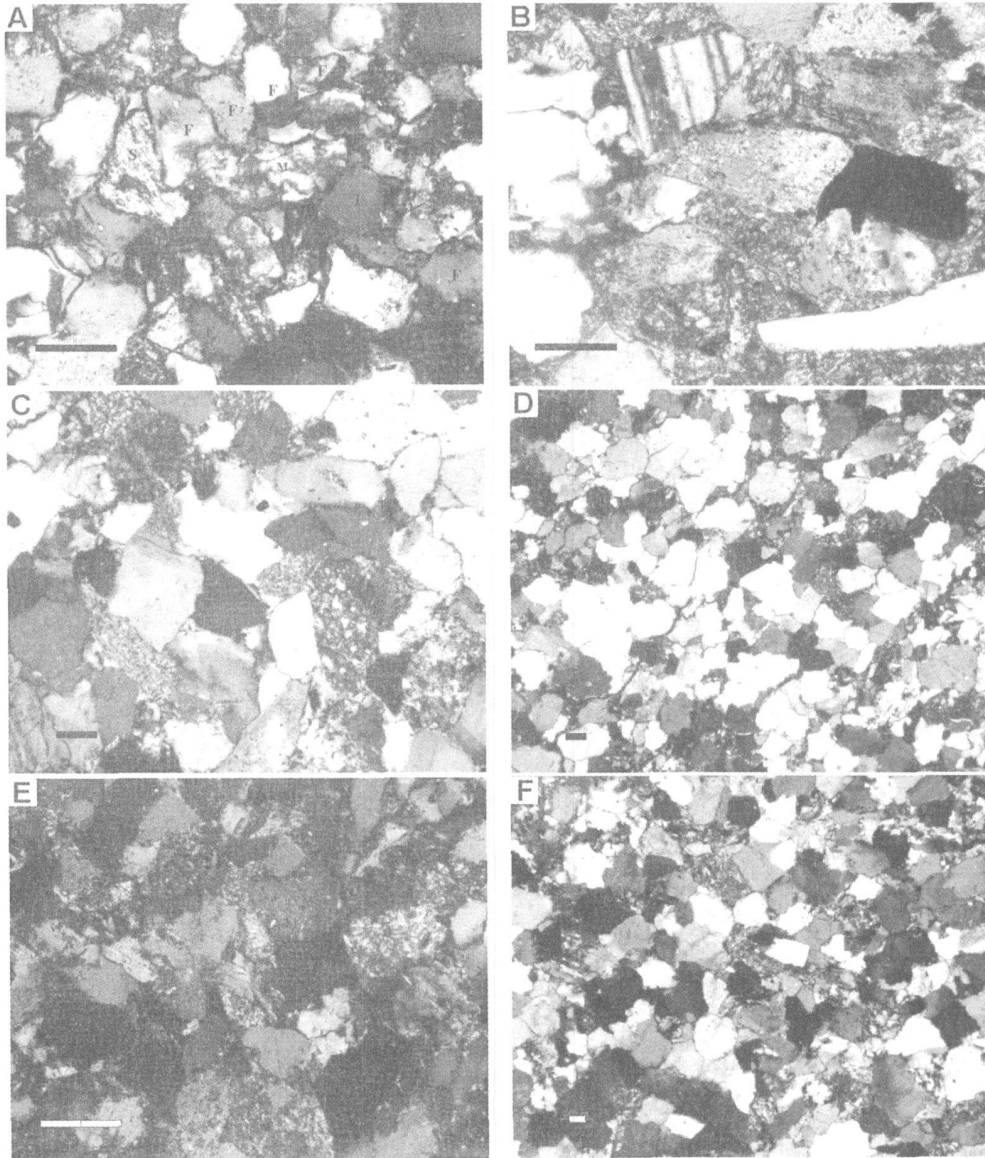


图 3 羌塘地体中生代砂岩代表性显微照片 (参照物实际长度 1 mm, 正交偏光)

- A. 棱角状为主, 分选差的下三叠统康鲁组长石砂岩 (物源区为再旋回造山带, 图 4 QTS1 剖面), F - 长石, M - 糜棱岩碎屑, S - 片岩碎屑;  
 B. 棱角状为主, 分选差的中三叠统康南组长石砂岩 (物源区为陆块, 图 4 QTS1 剖面); C. 棱角状为主, 分选差的上三叠统肖查卡组屑长石砂岩 (物源区为再旋回造山带, 图 5 QTS2 剖面); D. 次圆状为主, 分选好的下侏罗统曲色组石英砂岩 (物源区为陆块, 图 4 QTS16 剖面), 单晶石英为主, 少量燧石; E. 棱角状为主, 分选差的中侏罗统夏里组长石砂岩 (物源区为再旋回造山带, 图 6 QTS20 剖面); F. 次圆状为主, 分选好的上侏罗统索瓦组岩屑砂岩 (物源区为陆块, 图 7 QTS36 剖面)

Fig 3 Representative photomicrographs of the Mesozoic sandstones in Qiangtang (Scale bar = 1 mm and all photos with crossed polar)

表 1 研究区中生代砂岩颗粒组分 (Q: 石英, F: 长石, L: 岩屑, Qm: 单晶石英, Lt: 岩屑 + 多晶石英, Qp: 多晶石英, Lvm: (火山岩 + 变质岩) 岩屑, Lsm: (沉积岩 + 变沉积岩) 岩屑)

Table 1 A summary of the compositions of Mesozoic sandstones from the study area

剖面号	n	纬度	经度	Q (%)	F (%)	L (%)	Qm (%)	F (%)	Lt (%)	Qp (%)	Lvm (%)	Lsm (%)		
中—下三叠统														
QTS1	4	33°37'	86°51'	60.7±8.3	27.5±13.5	11.8±9.9	58.5±7.9	27.5±13.5	5.14	25±8.5	28.3±21.9	71.7±21.9	0±0	
上三叠统														
QTS3	7	32°54'	91°10'	82.7±9.1	5.0±3.6	12.3±8.5	81.5±9.3	5.0±3.6	13.5±8.9	7.4±10.7	0.6±1.5	90.0±13.4	4	
QTS4	4	34°58'	88°31'	63.5±2.6	9.7±4.3	26.8±2.9	63.5±2.6	9.7±4.3	32.6±8.2	9.0±0	70.2±8.5	29.8±8.5	5	
QTS5	6	32°18'	88°31'	76.7±16.6	6.8±6.2	16.5±12.4	76.7±16.6	6.8±6.2	16.5±12.4	8.0±20.0	47.0±34.0	45.0±25.0	0	
QTS6	4	33°29'	88°29'	88.0±16.1	3.5±5.2	8.5±15.1	88.0±16.1	3.5±5.2	8.5±15.1	1.25	0±29.0	46.0±28.0	29.0±15.0	
QTS8	2	32°35'	86°34'	93.0	0.0	7.0	92.5	0.0	7.5	50.0	19.0	31.0	0	
QTS9	2	33°03'	90°48'	75.5	8.5	16.5	73.5	8.5	18.5	7.0	0	93.0	0	
QTS10	2	34°11'	91°57'	82.7	6.5	10.8	78.5	6.5	14.5	25.5	0	74.5	0	
QTS12	2	33°30'	87°32'	48.0	16.5	35.5	48.0	16.5	35.5	0	100	0	0	
QTS13	2	34°12'	85°23'	68.5	1.5	30.0	67.0	1.5	31.5	4.8	79	16.2	0	
QTS15	2	33°05'	87°54'	90	0.9	9	85.6	0.9	13.5	28.5	0	71.5	0	
上三叠统砂岩均值				78.0±14.8	5.9±5.4	16.3±11.7	76.9±14.6	5.9±5.4	17.4±11.7	13.6±22.5	53.7±36.9	52.4±33.3	3	
下侏罗统														
QTS16	2	33°40'	87°55'	94.5	3	2.5	92.5	3	4.5	45	0	55	0	
QTS27	1	33°50'	86°06'	59	0	41	53	0	47	14	0	86	0	
下侏罗统砂岩均值				82.7±20.5	2±1.7	15.3±22.2	79.3±22.8	2±1.7	18.7±24.5	34.7±18.6	0	65.3±18.6	0	
中侏罗统														
QTS17	7	34°02'	86°45'	64.5±11.5	7.1±6.3	28.4±12.2	63.3±12.0	7.1±6.3	29.7±13.2	3.0±4.2	0.5±1.2	96.5±4.2	2	
QTS18	7	34°44'	90°55'	88.1±7.6	5.2±4.1	6.7±5.2	86.7±7.2	5.2±4.1	8.1±5.3	17.6±26.2	220.4±29.7	748.0±34.0	0	
QTS19	7	33°09'	92°35'	83.9±11.2	3.7±2.7	12.4±9.0	81.0±14.2	3.7±2.7	15.3±11.9	11.9±11.9	5.7±7.6	82.4±18.9	9	
QTS20	7	33°58'	90°35'	83.5±13.2	6.6±5.3	9.9±8.2	81.4±11.8	6.6±5.3	12.0±6.5	22.6±36.8	841.3±51.5	56.1±42.9	9	
QTS21	4	32°30'	90°49'	77.0±13.0	11.4±6.7	11.6±5.9	76.4±12.8	11.4±6.7	12.2±5.9	4.3±8.5	37.7±43.7	758.0±39.5	5	
QTS22	7	33°13'	88°44'	54.8±35.6	6.8±9.3	38.4±40.4	45.8±35.0	6.8±9.3	37.4±41.4	1.5±2.5	60.7±36.8	837.8±36.8	8	
QTS23	1	32°27'	86°45'	93	0	7	88	0	12	43	0	57	0	
QTS24	9	33°39'	88°32'	33.6±22.6	5.3±4.4	61.4±24.6	32.4±22.0	5.3±4.4	62.6±23.5	6.8±16.2	20.9±14.7	772.3±22.7	7	
QTS25	5	34°10'	86°06'	82.0±17.1	7.3±10.6	10.7±14.1	85.6±13.6	7.3±10.6	6.11	1±14.0	16.6±23.5	525.6±42.9	57.8±44.2	
QTS26	3	33°38'	88°31'	70.3±23.0	2.9±2.6	26.8±25.9	55.4±15.9	2.9±2.6	6.41	7±18.5	544.7±34.1	0±0	55.3±34.1	
QTS28	4	34°09'	86°51'	86.4±10.6	5.7±3.9	7.9±7.0	83.6±8.7	5.7±3.9	10.7±5.2	3.6±3.3	0.12	5±14.4	451.2±46.6	
QTS30	3	34°32'	86°03'	84.0±8.5	4.7±2.1	11.3±9.1	81.0±12.5	4.7±2.1	14.3±13.3	3.11	7±12.6	635.0±40.9	953.3±45.1	
QTS31	6	34°46'	87°31'	57.8±9.6	10.0±7.8	32.2±13.2	56.3±10.4	10.0±7.8	8.33	7±13.2	3.7±4.2	87.8±13.3	8.5±11.8	
QTS32	3	34°18'	85°12'	56.0±26.1	11.9±4.3	2.1±21.8	53.3±24.8	11.9±4.3	4.34	8±20.6	15.7±19.5	583.0±18.2	1.3±2.3	
中侏罗统砂岩均值				69.3±24.4	6.5±6.0	24.2±24.6	66.7±24.0	6.5±6.0	26.1±24.2	2.13	8±22.3	331.9±37.7	754.3±38.0	0
上侏罗统														
QTS18	9	34°45'	90°54'	80.0±9.1	7.4±3.0	12.6±8.0	77.6±9.3	7.4±3.0	15.0±8.5	19.7±23.5	520.6±29.7	259.7±31.8	8	
QTS19	3	33°09'	92°35'	90.0±7.0	1.0±1.0	9.0±7.5	89.7±7.0	1.0±1.0	9.3±7.6	3.7±6.3	0±0	96.3±6.3	3	
QTS20	8	33°56'	90°35'	82.9±9.6	7.2±4.2	9.9±6.3	81.8±10.0	7.2±4.2	11.0±6.4	4.13	1±12.7	736.3±44.0	050.6±38.8	
QTS34	4	34°36'	87°05'	73.8±33.3	1.1±2.0	25.1±33.9	71.9±32.7	1.1±2.0	27.0±33.1	1.19	8±13.2	217.6±21.8	862.6±31.3	
QTS36	4	33°55'	88°32'	87.8±13.0	5.2±3.7	7.0±9.6	87.5±12.8	5.2±3.7	7.3±9.3	2.5	0±50.0	0.55	2±47.0	
QTS39	3	33°01'	88°24'	62.0±31.6	5.7±6.0	32.3±29.1	60.6±29.5	5.7±6.0	33.6±27.3	3.16	7±28.9	921.6±20.6	261.6±12.6	
上侏罗统砂岩均值				80.2±17.2	5.5±4.2	14.3±16.6	78.7±17.1	5.5±4.2	15.8±16.4	4.16	8±23.3	326.8±34.7	756.4±34.5	5

2.2 中下三叠统砂岩

以粗碎屑岩为主的三叠统康鲁组和以鲕粒灰岩及白云质灰岩为主的中三叠统康南组仅出露于羌塘中部的南羌塘地体北缘(图 1, 2), 沉积于潮上带—泻湖环境<sup>[17]</sup>。仅对 QTS1 剖面的 4 件中下三叠统砂岩样品进行了分析, 砂岩样品中石英颗粒含量最

丰富, 绝对含量为 53% ~ 72% (平均值 61%), 单晶石英颗粒远比多晶石英颗粒含量高, 平均值分别为 59% 和 1%, 具有波状消光的石英颗粒显著多于具有平行消光的石英颗粒。砂岩中长石颗粒平均含量为 27%, 长石颗粒中大部分为遭受强绢云母化和弱钠长石化的斜长石。砂岩中岩屑颗粒平均含量 12%, 且

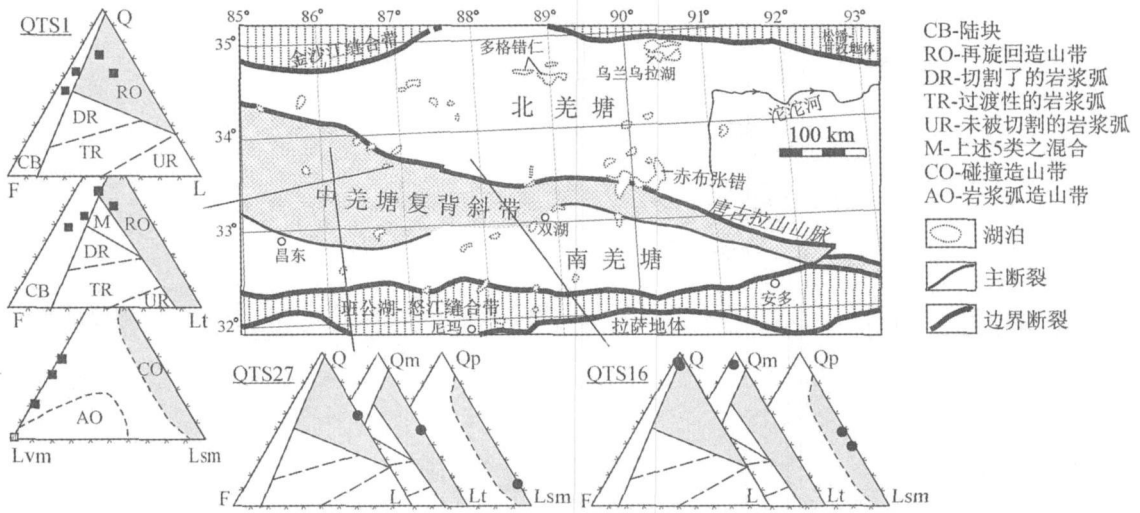


图 4 羌塘地体中下三叠统和下侏罗统砂岩颗粒组分的空间变化 (实验数据见表 1, 三角图解据 [ 22 23] )

Fig 4 Spatial distribution of the Lower-Middle Triassic and Lower Jurassic modal sandstone grain compositions in Qiangtang ( See Table 1 for data employed, Detrital modes were proposed by [ 22 23] )

大部分为变质岩岩屑 (图 4 表 1)。几乎所有的颗粒呈棱角状,分选差 (图 3A, B)。

### 2.3 上三叠统砂岩

上三叠统肖查卡组在整个羌塘地体均有出露并按沉积环境划分为三类特征鲜明的出露区 (图 1, 2), 在南羌塘南、北缘和北羌塘北缘, 上三叠统主要由薄层状灰岩、页岩和砂岩组成, 沉积于陆棚—大陆坡环境; 南羌塘中部和北羌塘大部, 上三叠统主要由灰岩、陆相紫色砾岩、砂岩组成, 部分剖面夹有含煤页岩, 反映了潮上—潮坪沉积环境; 沿班公湖—怒江缝合带在 87°E 以东, 上三叠统为一套类复理石组合<sup>[17]</sup>。对采集自 13 条剖面的 43 件砂岩样品进行了分析, 上三叠统砂岩骨架颗粒中石英颗粒所占比例最大 (78 ± 14%), 其次为岩屑颗粒 (15 ± 11%) 和长石颗粒 (7 ± 7%)。不同样品间颗粒组分变化显著, 石英颗粒含量为 47% ~ 99%, 几乎所有的砂岩样品均表现有显著的多晶石英颗粒组分, 平均含量为 13%。长石颗粒含量为 0 ~ 36%, 长石以强绢云母化斜长石为主。岩屑颗粒含量为 1% ~ 38% (图 5 表 1)。大部分砂岩样品颗粒呈棱角状, 分选差 (图 3C)。砂岩样品骨架颗粒组合空间上变化明显, 北羌塘最北缘的砂岩样品比南缘的砂岩样品石英颗粒含量低, 而岩屑颗粒含量高。

### 2.4 下侏罗统砂岩

在南羌塘南部和北羌塘西北角, 下侏罗统曲色组主要由薄层状灰岩夹页岩和火山岩等组成 (图 1, 2), 沉积于陆棚环境<sup>[17]</sup>, 由于曲色组分布较局限 (图

1), 仅对采集于羌塘中部的 QTS27 剖面和羌塘北部的 QTS16 剖面的 3 件砂岩样品进行分析。在羌塘北部, 单晶石英颗粒含量 (平均值为 93%) 占绝对优势, 岩屑颗粒含量 (2%) 和长石颗粒含量 (3%) 低 (图 4 表 1)。砂岩样品颗粒呈次圆状为主, 分选好 (图 3D)。相反地, 在羌塘中部砂岩样品中石英颗粒含量仅占 59%, 岩屑颗粒含量增至 41%。羌塘中部砂岩样品表现为显著高的多晶石英颗粒含量 (6%), 岩屑颗粒母岩以沉积岩为主 (图 4; 表 1)。

### 2.5 中侏罗统砂岩

在南羌塘南部和北羌塘西北部, 中侏罗统雀莫错组、布曲组、夏里组主要由薄层状灰岩与页岩和砂岩等呈夹层或互层 (图 1, 2), 沉积于陆棚环境; 南、北羌塘的中部, 主要为一套沉积于滨岸环境的碳酸盐岩和碎屑岩组合; 在北羌塘东部, 仅出露一套厚约 3 287 m 的中晚侏罗世磨拉石<sup>[25 26]</sup>, 由紫红色砾岩、砂岩及含煤页岩等组成, 沉积于陆地—潮上环境<sup>[17]</sup>。对羌塘北部 (8 条)、中部 (4 条) 和南部 (2 条) 共计 14 条剖面的 73 件砂岩样品进行分析, 大部分中侏罗统砂岩样品中石英颗粒含量占优, 其平均含量为 69% (±24%), 石英颗粒中以单晶石英占优势, 平均值为 67% (±24%)。长石以斜长石为主, 平均含量占骨架颗粒的 7%, 但是, 不同砂岩样品长石含量变化显著 (0 ~ 26%)。岩屑颗粒 (24 ± 25%) 母岩为沉积岩和火山岩 (图 6 表 1)。砂岩颗粒次圆状磨圆为主, 分选好 (图 3E)。

### 2.6 上侏罗统砂岩

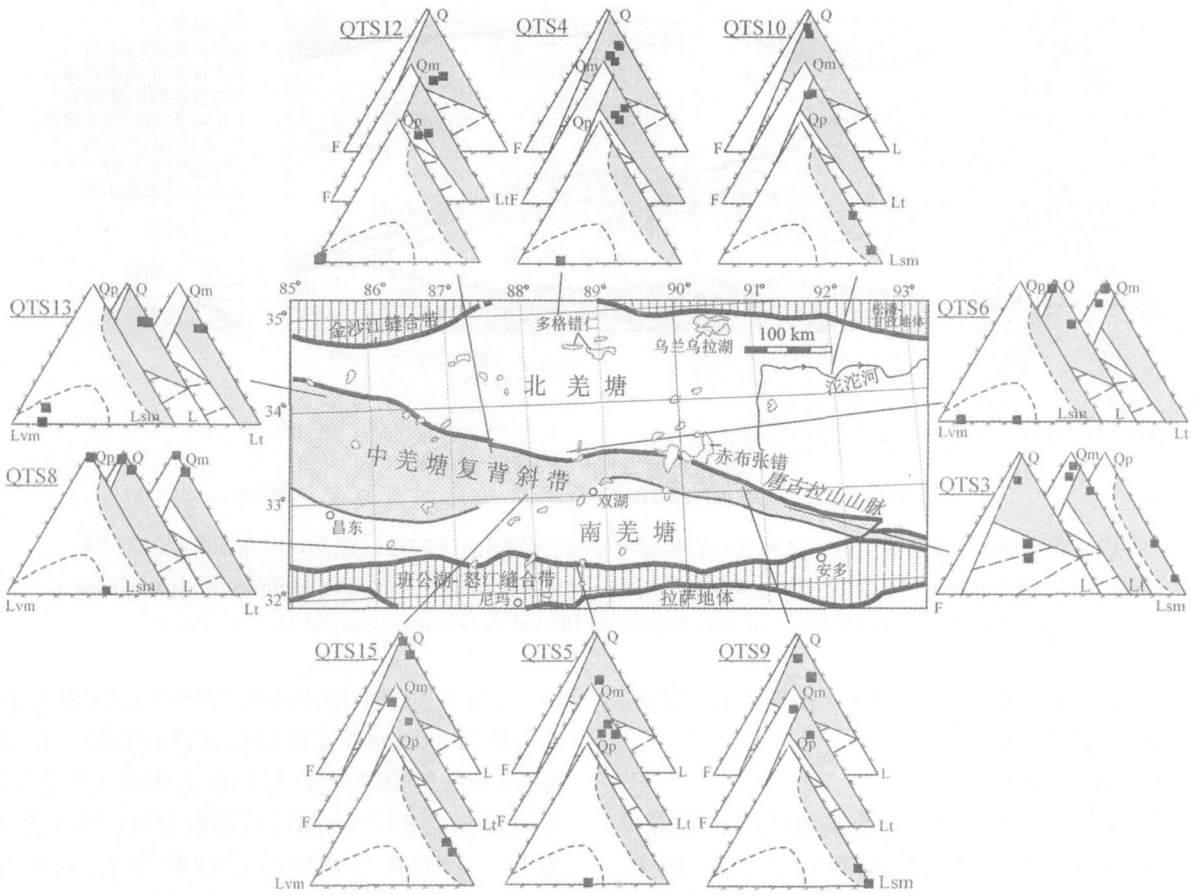


图 5 羌塘地体上三叠统砂岩颗粒组分的空间变化 (图例同图 4)

Fig 5 Spatial distribution of the Upper Triassic modal sandstone grain compositions in Qiangtang

除上述北羌塘东部外,海相上侏罗统索瓦组和雪山组在南、北羌塘均有分布,由灰岩、鲕粒灰岩及砂岩等呈夹层或互层(图 1, 2),主要沉积于潮上一海滩环境<sup>[17]</sup>。分析了采集自羌塘北部(5条)和中部(1条)共计 6 条剖面的 31 件砂岩样品。上侏罗统砂岩骨架颗粒中石英颗粒含量(80% ± 17%)最高,其次为岩屑颗粒(14% ± 17%)和长石颗粒(6% ± 4%)。不同砂岩样品间颗粒组分变化明显,石英颗粒含量为 25% ~ 99%,长石颗粒含量为 0~ 12%,岩屑颗粒含量 1% ~ 75%(图 7, 表 1)。几乎所有砂岩样品表现为显著高的多晶石英颗粒含量,平均值为 14%,长石以斜长石为主,岩屑颗粒母岩为沉积岩和火山岩(图 7, 表 1)。砂岩样品颗粒次圆状磨圆为主,分选好(图 3F)。

### 3 物源区演化

#### 3.1 三叠纪

中下三叠统砂岩颗粒中长石、片岩及板岩岩屑含

量丰富(图 4),大部分颗粒磨圆差,分选差(图 3A, B),这反映了近源搬运和快速堆积的沉积特征,因此当时在羌塘中部可能存在由长英质大陆基底组成的低缓丘陵地貌成为物源区。而且,中下三叠统砂岩颗粒表现为来自造山带和陆块复杂物源区(图 4 表 1)。由于整个羌塘仅在中部地区存在前寒武纪变质大陆基底(图 1)<sup>[7]</sup>,所以羌塘中部似乎一直是其本身的主要物源区。综上所述,羌塘中部地区很可能于早一中三叠世时期卷入造山带,其变质基底隆升并遭受剥蚀。

上三叠统砂岩样品实验结果显示羌塘中部砂岩物源来自造山带占绝对优势,而羌塘南部砂岩物源来自陆块为主(图 5 表 1)。大部分羌塘中部砂岩样品颗粒呈棱角状,分选差(图 3C),明显地,晚三叠世时期羌塘中部砂岩的物源区近,很可能来自该地区本身。

#### 3.2 侏罗纪

下侏罗统砂岩颗粒组分三角投影和结构特征表明,羌塘中部和北部早侏罗世砂岩物源分别表现为来自于造山带和陆块(图 3D, 图 4 表 1)。



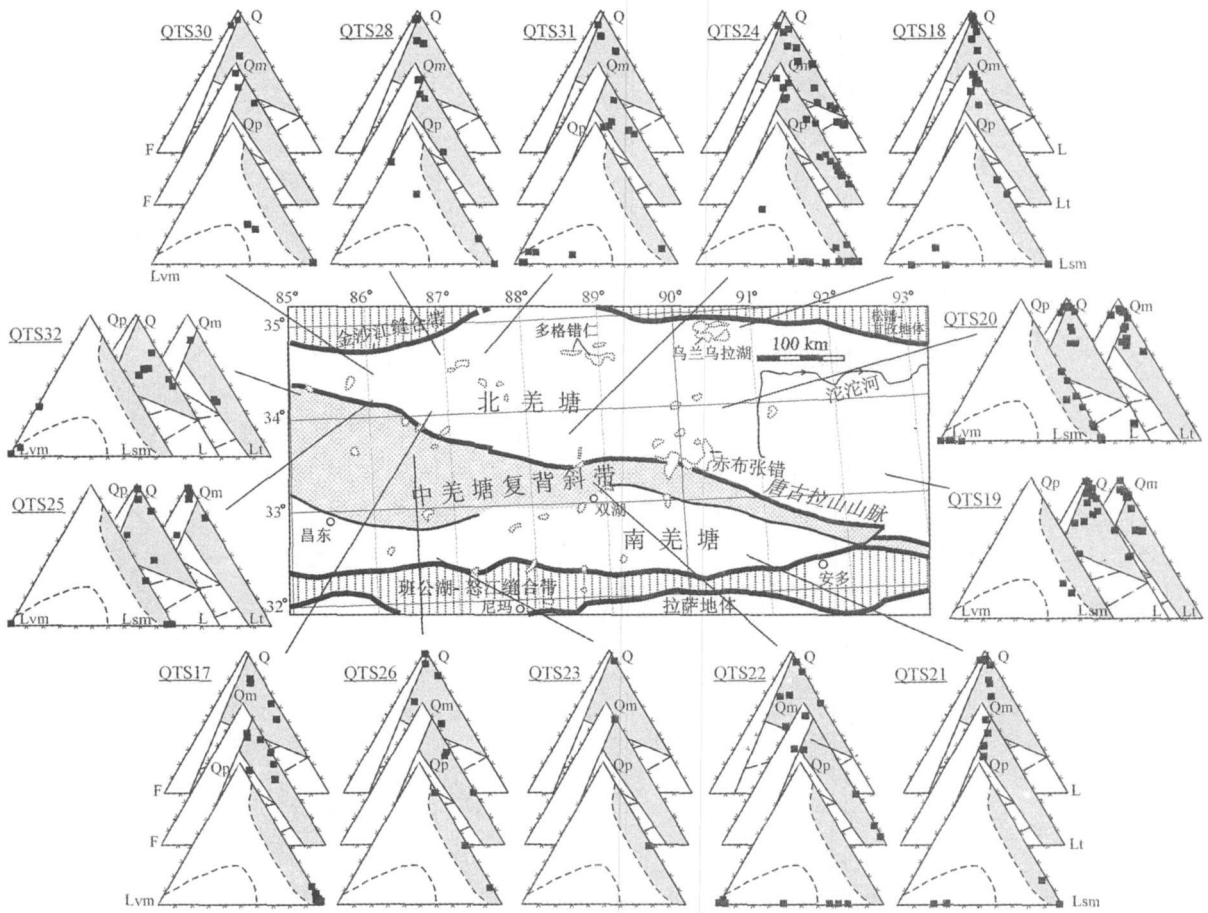


图 6 羌塘地体中侏罗统砂岩颗粒组分的空间变化 (图例同图 4)

Fig 6 Spatial distribution of the Middle Jurassic modal sandstone grain compositions in Qiangtang

中侏罗世砂岩颗粒次圆状磨圆为主, 分选好 (图 3E), 砂岩骨架颗粒类型显示砂岩物源来自再旋回造山带占绝对优势, 但是南羌塘和北羌塘的部分砂岩物源显示来自于陆块 (图 6 表 1)。

大部分上侏罗统砂岩颗粒呈次圆状, 分选好 (图 3F), 羌塘中部和北部地区砂岩物源来自再旋回造山带为主, 但约有不足 1/5 来自北羌塘的砂岩物源区为陆块 (图 7 表 1)。

### 4 对羌塘地区中生代构造演化的启示意义

#### 4.1 中羌塘复背斜与双湖缝合带

砂岩颗粒组分三角图解 (图 4, 5), 重矿物组合 (另文详细论述)<sup>[1, 17]</sup> 和岩相证据 (图 3)<sup>[16, 17]</sup> 表明, 尽管后来可能遭受剥蚀, 但是至少从早三叠世中羌塘复背斜带就开始隆升。根据中下三叠统砂岩颗粒呈棱角状为主, 分选差 (图 3A, B), 可以判断该地区肯定卷入造山带而且很可能从早三叠世以来就出现低

缓的丘陵地貌, 并至少成为该地区沉积物的物源区。无论在中羌塘西部镁铁岩、超镁铁岩和蓝片岩出露广泛的地区<sup>[1, 4, 16, 27]</sup>, 还是在其东部仅出露上三叠统的地区<sup>[16, 17]</sup>, 很可能发育丰富的蛇绿岩残片。位于推测的双湖缝合带东延部分的 QTS3 和 QTS7 剖面上三叠统砂岩中含有丰富的铬尖晶石、磷灰石和易风化的不稳定重矿物 (图 5)<sup>[1, 17]</sup>, 它们极有可能来自近物源区蛇绿岩杂岩体中的超基性岩。由于班公湖—怒江缝合带代表的中特提斯洋于早侏罗世后才开始关闭<sup>[25]</sup>, 且在南羌塘的上三叠统砂岩中没有发现镁铁矿物 (图 5), 所以上述镁铁矿物的物源区与班公湖—怒江缝合带无关; 同时, 由于在靠近中羌塘的北羌塘南缘下侏罗统砂岩中也没有发育镁铁矿物 (图 4), 所以上述镁铁矿物的物源区也与金沙江缝合带无关。综上所述, 双湖缝合带很可能沿中羌塘复背斜带东延部分存在。另外, 晚三叠世—中侏罗世时期南羌塘地体的稳定陆棚相沉积<sup>[16, 17]</sup>, 和北羌塘上三叠统与下侏罗统的砂岩颗粒组分 (图 4, 5) 及重矿物组合都表

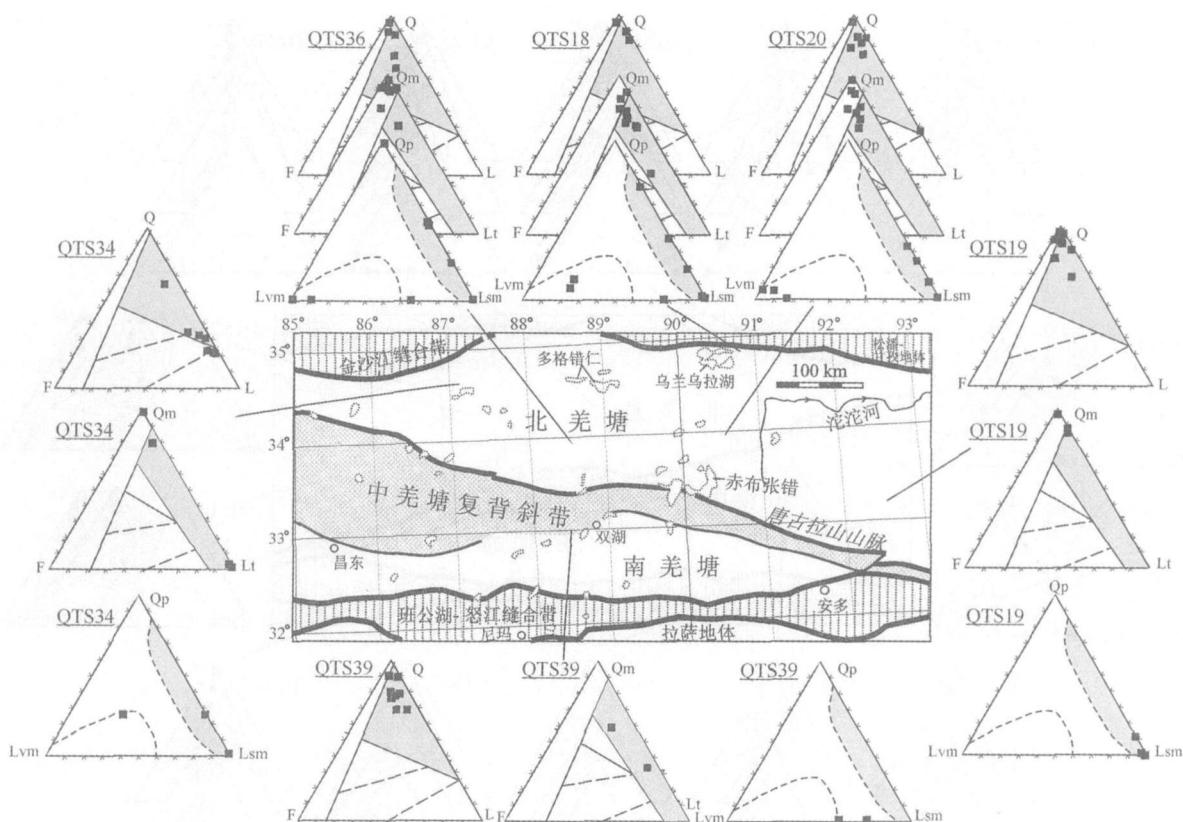


图 7 羌塘地体上侏罗统砂岩颗粒组分的空间变化 (图例同图 4)

Fig 7 Spatial distribution of the Upper Jurassic modal sandstone grain compositions in Qiangtang

明双湖缝合带至少到中侏罗世才闭合。所以, 中羌塘含蓝片岩的变质杂岩不可能如 Kapp 等<sup>[4]</sup>、Yin 和 Harrison<sup>[28]</sup>所推测的来自于上古生界和三叠系大陆边缘沉积下的穹状低角度正断层, 而应是在强烈大陆挤压背景下因区域大规模混杂岩调整在中羌塘不规则大陆边缘海湾处形成的异地岩片。

#### 4.2 金沙江古特提斯洋

现今青藏高原的金沙江缝合带代表关闭了的古特提斯海域, 一般认为, 金沙江古特提斯洋于晚三叠世未关闭<sup>[11, 29]</sup>。1985年格尔木—拉萨中英联合地质考察路线的主要结论之一是认为北羌塘地体侏罗纪沉积属于沿金沙江缝合带碰撞有关的前陆碎屑磨拉石<sup>[11, 29]</sup>。相反地, 余光明等<sup>[30]</sup>和刘训等<sup>[12]</sup>指出整个羌塘地体发育从古生代到侏罗纪的大陆边缘沉积。本文的实验结果显示晚三叠世以来北羌塘东部砂岩物源确实来自于造山带, 而且这类来自于再旋回造山带的砂岩从开始主要局限于北羌塘东部靠近金沙江缝合带, 逐渐向西及向南发育 (图 5, 6, 7)。这表明金沙江古特提斯洋的关闭呈现东早西晚穿时进行, 首先在东段于晚三叠世末北羌塘地体与亚洲板块碰撞

缝合, 在西段一直持续到侏罗纪由南羌塘地体和亚洲板块碰撞缝合。

#### 4.3 班公湖—怒江中特提斯洋

尽管一般认为中特提斯洋可能于晚三叠世开始开启<sup>[10-12, 16, 17, 28, 29, 31]</sup>, 但是对其开启原因存在争论。比较流行的说法是冈瓦纳大陆边缘陆块裂解造成走滑作用的结果<sup>[10, 11, 28, 29]</sup>。同时也有推测认为是沿雅鲁藏布江缝合带一线的新特提斯俯冲<sup>[12, 32]</sup>, 或者是沿金沙江缝合带一线的古特提斯俯冲<sup>[5, 12]</sup>引起弧后扩张的结果。本文结果不支持最后一种模式, 因为根据本文及相关研究成果<sup>[10-12, 16, 17, 28, 29, 31]</sup>, 金沙江古特提斯洋晚三叠世期间至少在其东段已经关闭。综上所述, 挤压背景下不存在沿班公湖—怒江缝合带弧后扩张的伸展机制。

#### 参考文献 (References)

1 李才, 程立人, 胡克, 等. 西藏龙木错—双湖古特提斯缝合带研究. 北京: 地质出版社, 1995. 1~131 [Li Cai, Cheng Liren, Hu Ke, et al. Study on the Pakeo-Tethys Suture Zone of Longmu Co-Shuanghu Tibet. Beijing: Geological Publishing House, 1995. 1~131]



- 2 鲍佩声, 肖序常, 王军, 等. 西藏中北部双湖地区蓝片岩带及其构造涵义. 地质学报, 1999, 73(4): 302~314 [ Bao Peisheng, Xiao Xuchang, Wang Jun, *et al*. The blueschist belt in the Shuanghu region, central-northern Tibet and its tectonic implications. *Acta Geologica Sinica*, 1999, 73(4): 302~314]
- 3 Zhang K J. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in the Qiangtang terrane reveal deep crustal structure of northern Tibet. *Commentary Geology*, 2001, 29: 90
- 4 Kapp P, Yin A, Manning C E, *et al*. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in the Qiangtang block reveal deep crustal structure of northern Tibet. *Geology*, 2000, 28: 19~22
- 5 Haines S S, Klemperer S L, Brown L, *et al*. NDEPTH III seismic data: From surface observations to deep crustal processes in Tibet. *Tectonics*, 2003, 22: 1001
- 6 王成善, 胡承祖, 张懋功, 等. 西藏北部查桑—茶布裂谷的发现及其地质意义. 成都地质学院学报, 1987, 14(2): 33~45 [ Wang Chengshan, Hu Chengzu, Zhang Maogong, *et al*. Discovery and geological significance of the Casang-Cabu rift in northern Xizang. *Bulletin of Chengdu College Geology*, 1987, 14(2): 33~46]
- 7 王成善, 伊海生. 西藏羌塘盆地地质演化与油气远景评价. 北京: 地质出版社, 2001. 1~249 [ Wang Chengshan, Yi Haisheng. *The Geological Evolution and Prospective Oil and Gas Assessment of the Qiangtang Basin in Northern Tibetan Plateau*. Beijing: Geological Publishing House, 2001. 1~249]
- 8 邓万明, 尹集祥, 芮中平. 羌塘茶布双湖地区基性超基性岩和火山岩研究. 中国科学(D辑), 1996, 26(4): 296~301 [ Deng Wanming, Yin Jixiang, Guo Zhongping. Basic-ultrabasic and volcanic rocks in Chagbu-Shuanghu area of northern Xizang (Tibet), China. *Science in China (Series D)*, 1996, 26(4): 296~301]
- 9 Xia B D, Li C, Ye H F. Blueschist-bearing metamorphic core complexes in the Qiangtang terrain reveal deep crustal structure of northern Tibet. *Commentary Geology*, 2001, 29: 663
- 10 Allegre C J, Courtillot V, Tapponnier P, *et al*. Structure and evolution of the Himalayan-Tibet orogenic belt. *Nature*, 1984, 307: 17~22
- 11 Dewey J F, Shackleton R M, Chang C, *et al*. The tectonic development of the Tibetan plateau. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1988, A 327: 379~413
- 12 刘训, 傅德荣, 姚培毅, 等. 青藏高原不同地体的地层、生物区系及沉积构造演化史. 北京: 地质出版社, 1992. 1~168 [ Liu Xun, Fu Derong, Yao Peiyi, *et al*. *Stratigraphy, Paleogeography, and Sedimentary Tectonic Development of Qinghai-Xizang Plateau*. Beijing: Geological Publishing House, 1992. 1~168]
- 13 Hacker B, Gnos E, Ratschbacher L, *et al*. Hot and dry deep crustal xenoliths from Tibet. *Science*, 2000, 287: 2463~2466
- 14 Wei W, Unsworth M, Jones A, *et al*. Detection of widespread fluids in the Tibetan crust by magnetotelluric studies. *Science*, 2001, 292: 716~718
- 15 Rapine R, Tilmann F, West M, *et al*. Crustal structure of northern and southern Tibet from surface wave dispersion analysis. *Geophysical Research Solid Earth*, 2003, 108 (B2): 2120
- 16 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区地质志. 北京: 地质出版社, 1993. 1~707 [ Xizang Bureau of Geology and Mineral Resources. *Regional Geology of Xizang Autonomous Region, China*. Beijing: Geological Publishing House, 1993. 1~707]
- 17 Zhang K J, Xia B D, Liang X W, *et al*. Mesozoic and Paleogene sedimentary facies and paleogeography of Tibet: tectonic implications. *Geological Journal*, 2002, 37: 217~246
- 18 Zhang K J, Xia B D, Wang G M, *et al*. Early Cretaceous stratigraphy, depositional environment, sandstone provenance and tectonic setting of central Tibet, western China. *Geological Society of America Bulletin*, 2004, 116: 1202~1222
- 19 Zhang K J. Secular geochemical variations of the Lower Cretaceous siliciclastic rocks from central Tibet (China) indicate a tectonic transition from continental collision to back-arc rifting. *Earth Planetary Science Letters*, 2004, 229: 73~89
- 20 Camollia R, Graham S A, Hendrick M S, *et al*. Late Paleozoic tectonic amalgamation of northwestern China: sedimentary record of the northern Tarim, northwestern Turpan, and southern Junggar basins. *Geological Society of America Bulletin*, 1995, 107: 571~594
- 21 Dickinson W R. Interpreting detrital modes of greywackes and arkose. *Sedimentary Petrology*, 1970, 40: 695~707
- 22 Dickinson W R, Suzek C A. Plate tectonics and sandstone compositions. *AAPG Bulletin*, 1979, 63: 2164~2182
- 23 Dickinson W R, Beard L S, Brakenridge G R, *et al*. Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. *Geological Society of America Bulletin*, 1983, 94: 222~235
- 24 Ingersoll R V, Bullard T F, Ford R L, *et al*. The effect of grain size on detrital modes: a test of the Gazzard-Dickinson point counting method. *Sedimentary Petrology*, 1984, 54: 103~116
- 25 Yin J, Xu J, Liu C, *et al*. The Tibetan plateau: Regional stratigraphic context and previous work. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1988, A 327: 5~52
- 26 Leeder M R, Smith A B, Yin J. Sedimentology, paleoecology, and paleoenvironmental evolution of the 1985 Lhasa to Golmud Geotraverse. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1988, A 327: 107~143
- 27 Kapp P, Yin A, Manning C E, *et al*. Tectonic evolution of the early Mesozoic blueschist-bearing metamorphic belt, central Tibet. *Tectonics*, 2003, 22(4): 1043
- 28 Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan Orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2000, 28: 211~280
- 29 Chang C F, Chen N, Coward M P, *et al*. Preliminary conclusions of the Royal Society / Academia Sinica 1985 Geotraverse of Tibet. *Nature*, 1986, 323: 501~507
- 30 余光明, 王成善. 西藏特提斯沉积地质. 北京: 地质出版社, 1990. 1~185 [ Yu Guangming, Wang Chengshan. *Sedimentary Geology of the Xizang (Tibet) Tethys*. Beijing: Geological Publishing House, 1990. 1~185]
- 31 刘增乾, 徐宪, 潘桂棠, 等. 青藏高原大地构造与形成演化. 北京: 地质出版社, 1990. 1~174 [ Liu Zengqian, Xu Xian, Pan Guiting, *et al*. *Tectonics, Geological Evolution and Genetic Mechanism of*

Qinghai-Xizang Plateau Beijing Geological Publishing House, 1990  
1~174]

32 王希斌, 鲍佩声, 邓万明, 等. 西藏蛇绿岩. 北京: 地质出版社,

1987. 1~336 [Wang X bin, Bao Peisheng, Deng Wanning *et al*

Ophiolites of Xizang Beijing Geological Publishing House, 1987. 1  
~336]

## Mesozoic Sandstone Composition in the Qiangtang Block, Tibet Implications for Tectonic Setting

ZHANG Yu-xiu<sup>1, 2</sup> ZHANG Kai-jun<sup>1, 3</sup> XIA Bang-dong<sup>3</sup> Xie Yao-wu<sup>4</sup>

(1 Key Laboratory of Marginal Sea Geology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640;

2 Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;

3 Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093;

4 Geological Survey of Xizang, Lhasa 851400)

**Abstract** One-hundred-and-fifty-four Mesozoic sandstone samples from the Qiangtang block (ca. 33°~35°N, 85°~93°E) were conducted for analysis of detrital modes in an attempt to evaluate their provenance and the type of tectonic setting in which they were deposited. The Lower-Middle Triassic sandstones (Q<sub>61±8</sub>F<sub>27±13</sub>L<sub>12±10</sub>, Q<sub>m59±8</sub>F<sub>28±13</sub>L<sub>43±9</sub>, Q<sub>p28±2</sub>L<sub>m72±22</sub>L<sub>sm0±0</sub>) in central Qiangtang are characterized by complex derivations from both recycled orogenic and continental block provenances. The most of the Upper Triassic (Q<sub>78±12</sub>F<sub>7±7</sub>L<sub>15±11</sub>, Q<sub>m77±12</sub>F<sub>7±7</sub>L<sub>46±11</sub>, Q<sub>p16±11</sub>L<sub>m30±35</sub>L<sub>sm54±33</sub>), Lower Jurassic (Q<sub>83±20</sub>F<sub>2±2</sub>L<sub>15±22</sub>, Q<sub>m79±23</sub>F<sub>2±2</sub>L<sub>49±24</sub>, Q<sub>p85±19</sub>L<sub>m0±0</sub>L<sub>sm65±19</sub>), Middle Jurassic (Q<sub>69±22</sub>F<sub>6±6</sub>L<sub>24±25</sub>, Q<sub>m67±22</sub>F<sub>6±6</sub>L<sub>36±24</sub>, Q<sub>p14±22</sub>L<sub>m32±38</sub>L<sub>sm54±38</sub>), and Upper Jurassic (Q<sub>80±17</sub>F<sub>6±4</sub>L<sub>14±17</sub>, Q<sub>m78±17</sub>F<sub>6±4</sub>L<sub>46±16</sub>, Q<sub>p17±23</sub>L<sub>m27±35</sub>L<sub>sm56±34</sub>) sandstones are dominated by recycled orogenic origin. However, the sandstones that were derived from continental block source also exist in the southern margin of southern Qiangtang and in the Lower Jurassic strata in the southern margin of northern Qiangtang. It could have contained abundant ophiolitic fragments and other readily-decomposed ferromagnesian minerals across the entire anticlinorium. These mafic minerals point to the presence of the Shuanghu suture along the entire central Qiangtang anticlinorium and the blueschist-bearing metamorphic complexes in central Qiangtang could be accommodated in a large-scale enclave in an irregular central Qiangtang continental margin. The distribution of Mesozoic recycled orogenic-derived sandstones on Qiangtang indicates a contraction background, supporting a tensile mechanism for back-arc spreading along the Bangong-Nujiang belt.

**Key words** sandstone; Mesozoic; Qiangtang; Tibetan plateau; Tethys