

# 西藏札达县夏浦沟的放射虫硅质岩和岛弧火山岩:新特提斯洋内俯冲体系的记录?

许荣科<sup>1</sup>, 郑有业<sup>1,2\*</sup>, 冯庆来<sup>2</sup>, 陕亮<sup>3</sup>, 魏俊浩<sup>1</sup>, 张翔<sup>4</sup>, 张刚阳<sup>1</sup>, 马国桃<sup>5</sup>, 庞迎春<sup>1</sup>

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430074

3. 中国地调局发展研究中心, 北京 100037

4. 甘肃地勘局第二地质勘查院, 甘肃兰州 730045

5. 成都地质矿产研究所, 四川成都 610082

**摘要:** 在西藏阿里地区夏浦沟野外调查发现放射虫硅质岩、熔岩组合。放射虫硅质岩 SiO<sub>2</sub> 含量在 89.47%~92.94% 之间, Si/Al 在 43~67 之间, Al/(Al+Fe+Mn) 比值在 0.68~0.74 之间, MnO/TiO<sub>2</sub> 平均比值为 0.60, Ce/Ce\* 平均值为 0.89, La<sub>N</sub>/Ce<sub>N</sub> 平均值 1.09 指示它位于洋盆和大陆边缘过渡的环境, 总体更接近大陆边缘环境。伴生的火山熔岩以安山质为主, 具低 TiO<sub>2</sub> (0.75%~0.98%)、轻稀土弱富集和源自板片流体的易溶元素如 Ba、U、Pb 相对轻稀土富集, 亏损高场强元素(HFSE) Nb、Ta、Ti 等, 指示形成于岛弧环境, 很可能是中生代新特提斯洋洋内俯冲系统的组分。放射虫动物群主要包括 *Alievium cf. regulare*、*Alievium cf. fatuum*、*Archaeospongoprimum cf. patricki*、*Archaeodictyimitra mitra* Dumitrica 等早白垩世分子, 其提供了岛弧活动时间上限的约束。

**关键词:** 白垩纪; 放射虫; 硅质岩; 岩石学; 岛弧; 夏浦沟; 雅鲁藏布江缝合带。

中图分类号: P539.5; P588.2

文章编号: 1000-2383(2009)06-0884-11

收稿日期: 2009-06-16

## Radiolarian Chert and Island-Arc Volcanic Rocks in Xiapugou Tibet: Records of Neo-Tethys Intra-Oceanic Subduction System?

XU Rong-ke<sup>1</sup>, ZHENG You-ye<sup>1,2\*</sup>, FENG Qing-lai<sup>2</sup>, SHAN Liang<sup>3</sup>, WEI Jun-hao<sup>1</sup>, ZHANG Xiang<sup>4</sup>, ZHANG Gang-yang<sup>1</sup>, MA Guo-tao<sup>5</sup>, PANG Ying-chun<sup>1</sup>

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China

4. Second Geological and Mineral Exploration Institute of Gansu Province, Lanzhou 730045, China

5. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, China

**Abstract** The stratigraphic units composed of radiolarian chert and lava were found in Xiapugou in western of Yarlung Zangbo Suture Zone during the 1/250 000 field geology survey. The radiolarian cherts are characterized by SiO<sub>2</sub> ranging from 89.47 to 92.94%, Si/Al ratio ranging from 43 to 67, Al/(Al+Fe+Mn) ratio from 0.68 to 0.74. The average MnO/TiO<sub>2</sub>, Ce/Ce\* and La<sub>N</sub>/Ce<sub>N</sub> ratio is 0.60, 0.89 and 1.09, which indicates the radiolarian chert was formed in transitional environment between continental margin basin and the oceanic basin, and had much more close relationship with the former one. The lava mainly belongs to andesite and is characterized by (1) low TiO<sub>2</sub> varying from 0.75 to 0.98%; (2) gentle enrichment in LREE; (3) fluid-soluble elements such as Ba, U and Pb are extremely enriched compared with LREE; (4) depleted in high-field strength elements (HFSE) such as Nb, Ta, Ti. All these characters imply that the stratigraphic units are consistent with a juvenile intra-oceanic arc, which maybe represents the remains of

基金项目: 国家科技支撑计划(No. 2006BAB01A04); 国家重点基础研究发展计划(No. 2002CB412610); 教育部重大项目(No. 308018); 中国地调局国土资源大调查项目(Nos. 200210200001, 1212010531504).

作者简介: 许荣科(1968-), 男, 在读博士生, 高级工程师, 主要从事基础地质及矿床学研究。\*通讯作者: 郑有业, E-mail: zhyouye@163.com

New-Tethys intra-oceanic subduction system. The early Cretaceous fauna of radiolarian fossils from the chert including *Alievium cf. regulare*, *Alievium cf. fatuum*, *Archaeospongoprimum cf. patricki*, *Archaeodictyimitra mitra* Dumitrica et al. have been identified yielding a upper time restrain of this juvenile intra-oceanic arc.

**Key words:** Cretaceous; radiolarian; chert; lithology; island arc; Xiapugou; Yarlung Zangbo Suture Zone.

雅鲁藏布江缝合带(雅江带)标志着印度板块与亚欧板块碰撞后消亡的特提斯洋残余(肖序常等, 1983; 潘桂棠等, 1997). 有许多学者通过硅质岩放射虫时代(郭铁鹰等, 1991; 吴浩若, 2000; Wang *et al.*, 2002; 丁林, 2003; 张振利等, 2004; 朱杰等, 2005)和测年数据(周肃等, 2001; 莫宣学等, 2004; 郑来林等, 2004; 莫宣学和潘桂棠, 2006), 大致确定雅江带自三叠纪开始拉开(郭铁鹰等, 1991; 任纪舜和肖黎薇, 2004; 莫宣学和潘桂棠, 2006), 40~45 Ma 完全闭合(Yin and Harrison, 2000; Flower *et al.*, 2001; Ding *et al.*, 2005). 对印度板块—亚欧板块碰撞的构造模式, Searle *et al.* (1987)认为是特提斯洋壳沿着拉萨地体南缘发生安第斯型俯冲消亡, 并最终导致印—亚碰撞和青藏高原的隆升, 之后这一观点曾被广泛接受(Durr, 1996). 然而, 在雅鲁藏布江缝合带向西延伸的 Kohistan 和 Ladakh 地区, 很早已经厘定出一套洋内岛弧(Kohistan-Dras 弧和 Spong 弧), 代表特提斯洋内部俯冲的产物(Tahirikheli, 1979; Tahirikheli *et al.*, 1979; Searle *et al.*, 1999; Pedersen *et al.*, 2001; Dhuime *et al.*, 2007), 该弧与亚欧板块碰撞的时间被认为早于晚白垩世末(Petterson and Windley, 1985; Searle *et al.*, 1999; Yutaka *et al.*, 2007). 因此 Searle *et al.* (1999)认为, 西藏与西喜马拉雅之间的重要差别在于, 没有证据表明西藏从前有洋内岛弧的存在.

Aitchison *et al.* (2000)在对雅鲁藏布江缝合带泽当段进行了详细的野外考察后, 认为该区在中生代时存在一个新特提斯洋内俯冲系统, 并厘定泽当地体代表洋内岛弧. 韦栋梁等(2007)在雅鲁藏布江缝合带泽当地体中识别出俯冲洋壳成因的埃达克岩, 从地球化学方面证实了洋内岛弧(泽当岛弧)的存在. 对于泽当岛弧活动的时间, 根据覆于岛弧安山岩之上的硅质岩的放射虫化石是早白垩世的(Aitchison *et al.*, 2000)和弧火山岩及侵入弧火山岩的侵入体年龄在 161~152 Ma 之间(McDermid *et al.*, 2002), 确定与岛弧相关的洋内俯冲事件至少在晚侏罗世就已开始, 并持续至早白垩世(McDermid *et al.*, 2002). Dubois *et al.* (2005)和王成善等(2005)对雅江带泽当—日喀则之间蛇绿岩基性岩、

超基性岩及超基性岩所含尖晶石的再次研究表明: 蛇绿岩内的镁铁质岩(玄武岩和辉长岩、辉绿岩)和超镁铁质岩可分为两种类型, 分别代表洋内弧和弧后盆地, 从而表明洋内俯冲系统在雅江带中段普遍发育. 但在雅江带西段目前仍未发现洋内岛弧, 对雅江带与印度缝合带的对比仍存在一定困难. 雅江带西段札达县老武起拉一带存在一套达机翁蛇绿岩(郭铁鹰等, 1991), 夏斌和何明友(1995)、夏斌等(1997, 2003)和 Xia *et al.* (2008)等认为是中生代时新特提斯洋岛格局中某种岛弧环境下初始边缘盆地或洋岛的产物. 在 1:25 万区调中, 笔者等在达机翁蛇绿岩西延的夏浦沟—天巴拉一带发现一套火山岩系, 其上覆有硅质岩系. 本文试图通过对夏浦沟—天巴拉一带的这套火山岩系中熔岩的地质地球化学、熔岩顶部硅质岩的地球化学及生物学研究, 为重建新特提斯洋西段中生代构造格架提供重要信息.

## 1 地质背景

雅鲁藏布江缝合带自仲巴向西分为南、北两支, 其中北支为雅江带的主带, 挟持于北侧的拉萨地块和南侧的札达微地块之间(Pan *et al.*, 2004). 自冈底斯山南坡巴噶至阿依拉山的老武起拉一带的蛇绿岩系雅鲁藏布江蛇绿岩带(即雅鲁藏布江缝合带北支)的西延部分(郭铁鹰等, 1991), 而自老武起拉向西的中国境内以前没有关于蛇绿岩的实测证据. 在 1:25 万狮泉河幅、斯诺乌山幅区调中, 笔者确认两幅图内分割拉萨地块和南侧札达微陆块的达机翁—彭错林—朗县断裂( $F_2$ )由一个宽数千米的脆—韧性变形带构成(图 1, 图 2), 走向 NW, 倾角较陡( $75^\circ$ ). 北界断裂( $F_{2-2}$ )为韧性逆断层(许荣科等, 2006); 在该断裂北侧的拉萨地体南缘天巴拉沟等地片麻岩附近见到了榴闪岩等高压变质岩系, 榴闪岩中的石榴石发育冠状体等构造, 石榴石组分中镁铝榴石含量在 20.14%~20.12%(许荣科等, 2005), 与柴达木盆地北缘榴辉岩中石榴石(镁铝榴石)含量 12%~30%(杨经绥等, 1998)相当. 可能暗示( $F_{2-2}$ )代表了雅江带俯冲下去的位置, 即板块缝合线的主构造位置. 其南界断层( $F_{2-1}$ )现由脆性正断层构成(图 1,

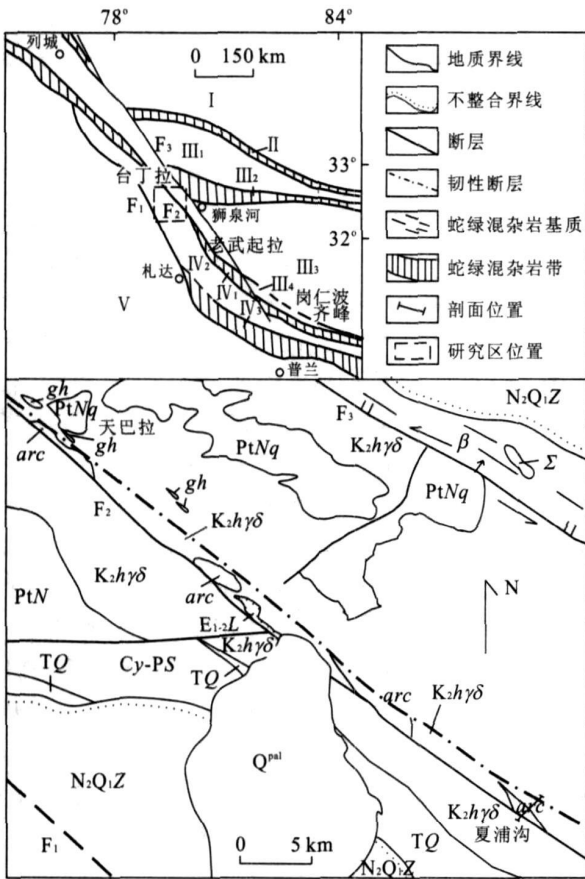


图 1 西藏阿里夏浦沟一带地质草图

Fig. 1 Geological sketch map of Xiapugou area in Ngri, Tibet.  $Q_{pal}$ . 第四系冲洪积;  $N_2Q_1Z$ . 札达群;  $E_{1-2L}$ . 柳区群;  $TQ$ . 穷果群;  $Cy-PS$ . 亚里组—色龙群;  $PtN$ . 元古界聂拉木岩群;  $PtNq$ . 元古界念青唐古拉岩群;  $K_2h\gamma\delta$ . 古新世巨斑状花岗闪长岩;  $arc$ . 中酸性火山熔岩及碎屑岩;  $\Sigma$ . 变质超基性岩;  $\beta$ . 玄武岩;  $gh$ . 榴闪岩; I. 羌塘地块; II. 班公湖—怒江缝合带; III<sub>1</sub>. 拉萨地块 (III<sub>1</sub>. 班戈岩浆岩带; III<sub>2</sub>. 狮泉河缝合带; III<sub>3</sub>. 冈底斯火山岩浆弧; III<sub>4</sub>. 冈底斯南缘弧前沉积带); IV. 印度河—雅鲁藏布江缝合带 (IV<sub>1</sub>. 北支蛇绿岩; IV<sub>2</sub>. 札达微陆块; IV<sub>3</sub>. 南支蛇绿岩); V. 印度陆块;  $F_1$ . 札达—拉孜—邛多江断裂;  $F_2$ . 达机翁—彭错林—朗县断裂;  $F_3$ . 噶尔藏布右型走滑断裂 (地质草图资料据实测, 印控区据遥感解译; 构造位置据 Pan *et al.* (2004)、许荣科等 (2005) 并简化和修正)

图 2), 叠加在早期的脆—韧性断层之上, 由北向南, 断裂  $F_2$  内岩石变形减弱. 在  $F_2$  断裂的北界韧性断层 ( $F_{2-2}$ ) 和南界脆性断裂 ( $F_{2-1}$ ) 之间的夏浦沟、天巴拉等地发育一套玄武安山岩、玄武安山质角砾岩、安山质角砾凝灰岩、英安质火山凝灰岩等及上覆的紫红色硅质岩、灰白色硅质岩等的岩石组合 (图 2). 该套岩石组合遭受了花岗岩侵入破坏, 断续成带状展布, 并经台丁拉一带向北西延伸. 这套火山岩—硅质岩组合变质变形较弱, 几乎完全保留了原岩的结构, 如在灰白色硅质岩及火山岩中虽有劈理置换层

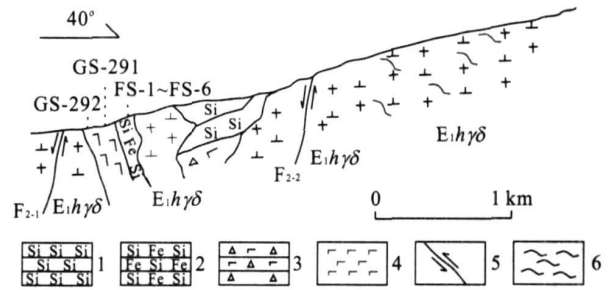


图 2 西藏曲松夏浦沟剖面

Fig. 2 The section of Xiapugou in Qusong, Tibet  
1. 灰白色硅质岩; 2. 紫红色放射虫硅质岩; 3. 安山质火山角砾岩; 4. 玄武安山岩; 5. 断层或韧性剪切带; 6. 片麻理;  $E_{1h\gamma\delta}$  古新世巨斑状花岗闪长岩;  $F_{2-1}$ 、 $F_{2-2}$ . 达机翁—彭错林—朗县断裂

理现象, 但层理仍很清晰, 构造解析显示曾发育 II 型褶皱, 基本属于中构造层次的产物. 该套火山岩—硅质岩组合与岩体的接触变质作用也较弱, 并多限于边部. 野外曾认为可能系达机翁蛇绿岩西延的部分, 命名为“夏浦沟蛇绿混杂岩” (许荣科等, 2005), 但夏浦沟—天巴拉一带这套火山岩系以玄武安山岩和安山凝灰岩等为主, 缺乏玄武岩及辉长岩等基性岩, 缺乏规模较大的超基性岩等, 并位于板块缝合线穿过的位置, 指示它可能是混杂岩内的一套弧火山岩地体, 应称之为“夏浦沟岛弧火山岩”. 这套岛弧火山岩与更南侧代表札达陆块的三叠系穷果群类复理石沉积之间的接触关系也已被花岗岩破坏. 在  $F_2$  断裂内天巴拉沟—夏浦沟中间地带见到了古近系柳区群砾岩沉积不整合于下伏的花岗闪长岩之上, 该套砾岩主要由蛇纹岩的砾石组成, 并含花岗闪长岩、灰岩等砾石.

## 2 样品及分析方法

本文研究的放射虫硅质岩样品共 6 件, 均来自一个层位. 这些样品具有分布不均匀的石英细脉, 笔者将这些硅质岩粉碎成渣状, 在显微镜下挑选无石英脉或石英脉稀少的岩石碎块作为测试样品. 对于石英脉不发育的紫红色放射虫硅质岩部分, 显微薄片显示: 硅质岩中微粒石英及硅质物含量 94% ~ 97%, 水云母及粘土矿物 2% ~ 4%.

玄武安山岩: 淡紫色, 铁质含量 1% ~ 3%, 具变余斑状结构, 斑晶含量 30% ~ 40%, 斑晶由斜长石和普通角闪石组成, 并含有少量普通辉石; 斜长石斑晶呈板柱状, 多具高岭石化、绢云母化、钠黝帘石化等, 普通角闪石和普通辉石都已被绿泥石替代, 仅呈

普通角闪石和辉石矿物假象, 基质为玻基交织结构, 基质含量 60%~70%, 由微晶质石英、绿帘石、阳起石等组成。

硅质岩和玄武安山岩样品的主量元素测试由武汉综合岩矿测试中心承担。除 H<sub>2</sub>O 采用重量法、CO<sub>2</sub> 采用非水滴定法分析外, 其余氧化物都由 X-荧光光谱 α-系数法测定, 除 H<sub>2</sub>O 外分析精度(相对误差)为 1%。微量元素和稀土元素在中国科学院地质和地球物理研究所完成, 采用 ICP-MS 法测定, 经国际标准 (AGV-安山岩标样和 G-2 花岗岩标样) 和国家标准 (GSR-1、GSR-2、GSR-3) 监控, 误差小于 5%。

### 3 放射虫动物群特征

灰白色的硅质岩中不含放射虫化石, 但在整合

于玄武安山岩之上的紫红色硅质岩中采获丰富的放射虫化石(图 3), 含量 30%, 保存一般, 但一些重要种属保存非常清晰。放射虫化石计有: *Alievium* cf. *regulare* (Wu and Li)、*Alievium* cf. *fatuum* Dumitrica、*Pseudodictyomitra* spp.、*Praeconosphaera* sp.、*Archaeospongoprimum* cf. *patricki* Jud、*Archaeocenosphaera* sp.、*Halesium* sp.、*Paronaella* sp.、*Rikivatella?* sp.、*Archaeodictyimitra mitra* Dumitrica、*Gen. et sp. indeter.*。该组合多数种的地质时代为早白垩世, 如 *Alievium* cf. *regulare*、*Alievium* cf. *fatuum*、*Archaeospongoprimum* cf. *patricki*、*Archaeodictyimitra mitra* Dumitrica (化石鉴定由中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室冯庆来完成), 由此确定硅质岩形成的地质时代为早白垩世。

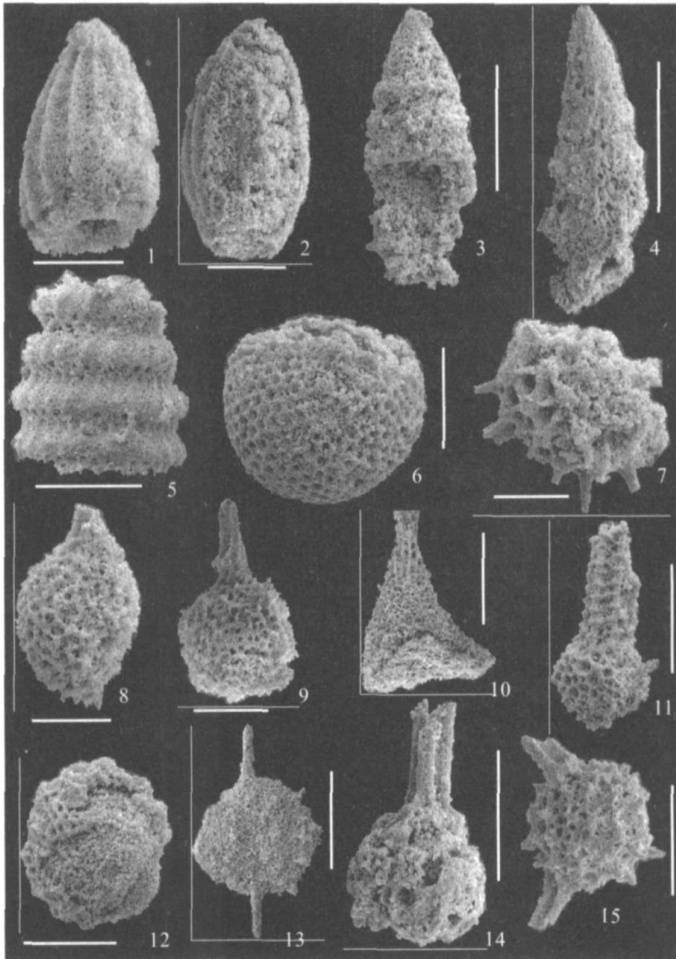


图 3 雅鲁藏布江缝合带早白垩世放射虫化石(采自札达县夏浦沟, 图中标尺 50 μm)

Fig. 3 Early Cretaceous radiolarian fossils in the Yarlung Zangbo Suture Zone

1, 2. *Archaeodictyimitra mitra* Dumitrica; 3, 4, 5. *Pseudodictyomitra* sp.; 6. *Archaeocenosphaera* sp.; 7. *Alievium* cf. *regulare* (Wu and Li); 8, 9. *Archaeospongoprimum* cf. *patricki* Jud.; 10. *Paronaella* sp.; 11. *Halesium* sp.; 12. *Praeconosphaera* sp.; 13. *Rikivatella?* sp.; 14. *Gen. et sp. indeter.*

## 4 硅质岩地球化学特征及沉积环境

采自夏浦沟的 6 个硅质岩样品的主量及微量元素地球化学分析数据见表 1, 其  $\text{SiO}_2$  含量在 89.47%~94.02% 之间(表 1), 其中样品 FS-2 的

$\text{SiO}_2$  含量为 94.02%, 偏高. 经样品核对, 确认其石英脉穿插较多, 故其  $\text{SiO}_2$  含量及与之相关的参数均不应参与判别. 其余 5 个样品的  $\text{SiO}_2$  值在 89.47%~92.94% 之间, 平均值为 91.90%, 基本属于纯硅质岩( $\text{SiO}_2$  含量为 91.0%~99.8%)的范畴

表 1 硅质岩及安山岩的主量元素(%), 微量元素( $10^{-6}$ )组成Table 1 Major element (%), trace elements ( $10^{-6}$ ) composition of selected siliceous and andesitic samples

分析点号	硅质岩					玄武安山岩		
	FS-1	FS-2	FS-3	FS-4	FS-5	FS-6	GS-291	GS-292
$\text{SiO}_2$	92.15	94.02	92.82	89.47	92.94	89.97	56.60	58.38
$\text{TiO}_2$	0.16	0.09	0.20	0.26	0.15	0.21	0.76	0.98
$\text{Al}_2\text{O}_3$	2.91	1.79	2.55	3.56	2.38	2.27	14.59	15.17
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.20	0.35	1.12	1.22	1.02	1.03	1.85	3.08
FeO	0.42	0.52	0.42	0.98	0.47	0.35	5.01	4.76
MnO	0.10	0.05	0.08	0.30	0.06	0.08	0.13	0.13
MgO	0.70	0.53	0.47	1.29	0.56	0.50	3.09	2.87
CaO	0.20	0.68	0.35	0.29	0.43	2.20	7.42	4.39
$\text{Na}_2\text{O}$	0.41	0.32	0.47	0.91	0.39	0.46	3.44	3.98
$\text{K}_2\text{O}$	0.57	0.30	0.51	0.23	0.52	0.51	0.67	1.80
$\text{P}_2\text{O}_5$	0.08	0.03	0.03	0.11	0.05	0.03	0.19	0.53
$\text{H}_2\text{O}^+$	0.93	0.73	0.80	1.20	0.82	0.76	3.77	3.04
$\text{CO}_2$	0.04	0.48	0.06	0.06	0.09	1.49	2.27	1.12
总量	99.87	99.89	99.88	99.88	99.88	99.86	99.79	100.23
Cr	27.70	15.10	22.30	27.50	22.30	23.80	25.30	25.84
Zr	36.10	20.60	36.10	46.70	31.20	39.70	111.73	119.24
Hf	1.70	0.40	0.80	1.20	0.80	1.10	3.38	3.75
Ba	101.00	50.86	63.75	56.74	61.17	125.50	178.87	403.07
Nb							4.276	4.518
V	12.33	14.59	22.10	19.89	32.75	24.52	143.88	185.38
Sr	41.77	31.24	35.88	42.36	31.86	83.03	187.78	229.31
Sc	4.00	1.98	4.01	5.63	3.86	5.11	20.90	24.44
Co	11.22	3.86	8.74	19.62	6.47	7.82	15.66	18.82
Ni	31.91	12.24	16.54	26.53	14.86	16.04	65.60	12.58
Ga	3.42	1.91	2.56	2.84	2.54	4.00	16.86	15.90
U	0.80	0.16	0.40	1.27	0.32	1.62	0.84	1.03
Ta	0.21	0.10	0.29	0.37	0.20	0.47	0.28	0.31
Pb	10.83	4.40	8.11	7.15	5.94	7.99	9.11	13.41
Y	13.11	3.06	4.60	13.28	4.58	7.08	23.48	27.27
Th	2.13	0.79	1.84	2.23	1.48	9.52	3.06	3.90
La	12.01	3.57	7.74	11.48	7.57	8.68	12.28	11.50
Ce	21.18	6.48	14.63	27.61	15.12	18.12	26.01	24.39
Pr	3.32	1.04	1.90	3.20	2.16	2.34	3.66	3.53
Nd	11.62	3.15	6.72	11.11	6.70	7.81	15.67	16.18
Sm	2.34	0.64	1.25	2.42	1.26	1.50	4.06	3.99
Eu	0.52	0.14	0.30	0.53	0.28	0.35	1.19	1.24
Gd	2.12	0.55	1.05	2.22	1.08	1.29	4.56	4.84
Tb	0.32	0.09	0.17	0.35	0.17	0.20	0.69	0.79
Dy	2.03	0.52	0.92	2.17	0.94	1.12	4.23	4.91
Ho	0.39	0.11	0.18	0.44	0.19	0.22	0.91	1.06
Er	1.10	0.32	0.47	1.23	0.50	0.53	2.66	3.12
Tm	0.17	0.05	0.07	0.19	0.07	0.08	0.39	0.47
Yb	1.05	0.31	0.43	1.12	0.49	0.47	2.51	2.98
Lu	0.15	0.05	0.06	0.17	0.07	0.07	0.38	0.46
REE	58.32	17.02	35.89	64.24	36.6	42.78	79.20	79.46
Al/(Al+Fe+Mn)	0.72	0.74	0.70	0.68	0.70	0.70		
Ce/Ce*	0.79	0.79	0.89	1.07	0.88	0.94		
MnO/TiO <sub>2</sub>	0.60	0.56	0.40	1.16	0.40	0.40		
La <sub>N</sub> /Ce <sub>N</sub>	1.22	1.19	1.14	0.90	1.08	1.03		
Si/Al	53.87	89.25	61.89	42.73	66.37	67.48		

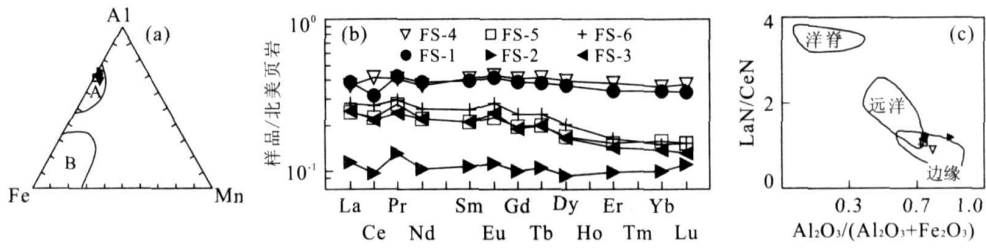


图 4 硅质岩成因及形成环境判别

Fig. 4 The distinguish about chert genesis and environment

a. Al-Fe-Mn 图解, A. 生物成因硅质岩区; B. 热液成因硅质岩区; b. 稀土配分图解; c.  $La_N/Ce_N - Al_2O_3/(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$  图解; a 原图据 Adachi *et al.* (1986) and Yamamoto (1987), c 原图和北美页岩数据据 Gromet *et al.* (1984)

(Murray *et al.*, 1992; Feng *et al.*, 2002); 这 5 个样品的 Si/Al 在 43 ~ 67 之间, 略低于纯硅质岩 80 ~ 1400 的范畴 (Murray *et al.*, 1992), 指示其含有较高比例的泥质沉积物. 表 1 中研究区所有硅质岩样品的  $Al/(Al+Fe+Mn)$  比值在 0.68 ~ 0.74 之间, 远大于纯热液成因的硅质岩的值 0.10, 而与纯生物成因硅质岩的值 0.60 (Adachi *et al.*, 1986; Yamamoto, 1987) 相近. 在 Al-Fe-Mn 三角图解 (图 4a) 上, 研究区样品投点均落在 Adachi *et al.* (1986) 和 Yamamoto (1987) 确定的生物成因硅质岩区或附近, 均说明本文分析的硅质岩属于生物成因, 沉积过程无热液活动参与.

夏浦沟硅质岩的  $Al/(Al+Fe+Mn)$  比值明显高于 Adachi *et al.* (1986) 和 Yamamoto (1987) 确定的洋中脊硅质岩 ( $< 0.4$ ), 而与大洋盆地硅质岩 (0.4 ~ 0.6) 和大陆边缘硅质岩 (0.4 ~ 0.7) 的重叠区相当. 夏浦沟硅质岩 6 个样品中除 FS-4 的  $MnO/TiO_2$  比值为 1.16 外, 其余均在 0.4 ~ 0.6 之间, 平均值为 0.60, 接近于 Murray *et al.* (1990) 的大陆边缘硅质岩 ( $< 0.5$ ) 和开阔大洋硅质岩 (0.5 ~ 3.5). 研究区放射虫硅质岩稀土元素用北美页岩标准化的 REE 分布形式, 见图 4b (页岩标准据 Gromet *et al.*, 1984). 结果表明, 本区硅质岩的  $Ce/Ce^*$  值在 0.79 ~ 1.07 间, 平均值为 0.89, 具有无—弱负铈异常,  $La_N/Ce_N$  值约为 0.90 ~ 1.22 (平均值为 1.09), 介于 Murray *et al.* (1992, 1984) 的大洋盆地硅质岩 ( $Ce/Ce^* = 0.6 \pm 0.13$ ,  $La_N/Ce_N = 1.0 \sim 2.5$ ) 和大陆边缘硅质岩 ( $Ce/Ce^* = 1.09 \pm 0.25$ ,  $La_N/Ce_N = 0.5 \sim 1.5$ ) 的值之间. 在图 4c 中研究区的绝大多数点投在远洋与大陆边缘的过渡区, 一部分位于大陆边缘区, 与产于大陆边缘或大陆边缘—大洋盆地过渡区的北祁连山—南一带 (杜远生, 2006)、泰国北部难河 (杨文强等, 2009) 及滇西南牡音河组

的硅质岩 (张振芳等, 2001) 投点区间基本一致, 均指示了它位于洋盆和大陆边缘过渡区的位置, 总体更接近于大陆边缘环境.

### 5 熔岩地球化学特征及成因

低温变质研究已证实, 大离子亲石元素 (LILE, 如 Na, K, Rb, Cs) 和 U 在有水的氧化环境中可发生二次富集 (Hart and Staudigel, 1989; Bach *et al.*, 2001), 而 Th, Ba, Sr, Pb 在此蚀变过程中几乎没有变化, 稀土 (REE) 和高场强元素 (HFSE, 如 Nb, Zr, Ti, Th 等) 在此过程中变化较弱 (Pearce and Cann, 1973; Bailey, 1981; Munker *et al.*, 2004), 故本文主要利用 Th, Ba, Sr, Pb, HFSE 和 REE 的特征来讨论熔岩形成环境.

夏浦沟放射虫硅质岩下部熔岩的主量、稀土及微量元素特征见表 1, 熔岩的  $SiO_2$  为 56.60% ~ 58.38%,  $K_2O + Na_2O$  为 4.11% ~ 5.78%,  $Zr/TiO_2/10\ 000$  为 0.0147 ~ 0.0122, 在  $SiO_2 - Zr/TiO_2$  判别图解 (图 5) 上判别属于安山岩区; Nb/Y

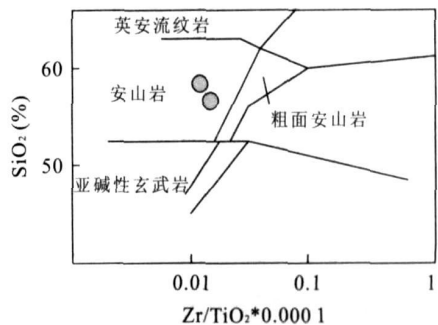


图 5  $SiO_2 - Zr/TiO_2 * 0.0001$  图解

Fig. 5  $SiO_2$  Versus  $Zr/TiO_2 * 0.0001$  classification diagram for volcanic rocks

原图据 Winchester and Floyd (1977)

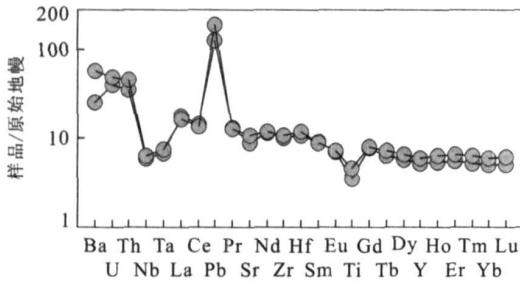


图 6 稀土及微量元素原始地幔标准化曲线

Fig. 6 REE and trace element pattern, normalized to primary mantle values

原始地幔据 McDonough and Sun(1995)

值在 0.17~0.18, 远小于 0.7, 属于亚碱性岩类 (Winchester and Floyd, 1977).

熔岩低的 Ce/Pb 值(1.8~2.9), 远小于 Taylor and McLennan(1985)确定的壳相(10); Zr/Nb 值为 26.1~26.4, 远高于 Saunders *et al.* (1988)确定的 OIB 的值(3.2~11.3)和大陆地壳的值(16), 而与 Saunders *et al.* (1988)和 Weaver(1991)确定的 MORB 的值(30)相接近, 均反映熔岩不大可能源自下地壳或 OIB, 而可能由地幔部分熔融产生. 该区火山熔岩的 TiO<sub>2</sub> 为 0.76%~0.98%, 远低于 Pearce *et al.* (1984)确定的典型 MORB 的值(1.5%), 而与 Pearce *et al.* (1984)确定的岛弧区安山岩的值(0.58%~0.85%)相近; Th/Nb 比值(0.7~0.9), 远大于 Hofmann(1988)确定的亏损地幔形成的玄武岩的值(0.05), Th/Ta 值在 11.0~12.5 之间, 远大于 Elthon(1991)确定的 MORB 的值(一般远小于 1), 而与 Hofmann(1988)确定的岛弧环境形成的熔岩(Th/Ta 值>3)相当. 图 6 指示: 轻稀土弱富集和源自板片流体的易溶元素, 如 Ba、U、Pb 相对轻稀土富集, 而高场强元素 Nb、Ta、Ti 显示了显著的负异常, Zr 显示了弱的负异常, 这些特点与文献(Kay, 1984; Münker *et al.*, 2004; Helo *et al.*, 2006)所描述的俯冲板片交代过的地幔源区相对应. 综上所述, 可以确定它形成于岛弧环境.

## 6 地质意义

夏浦沟火山岩的岩石组合及地球化学研究表明它形成于岛弧环境, 放射虫硅质岩的研究指示它形成于洋盆和大陆边缘过渡区的位置, 总体更接近于大陆边缘, 因此, 这一岛弧可能是形成于大陆边缘附近的洋内弧, 深水硅质岩的产出还反映这一岛弧处

于水下环境.

夏浦沟岛弧位于板块缝合线位置, 尽管夏浦沟这一位置未发现典型蛇绿岩, 但在该位置东南约数公里的老武起拉一带存在蛇绿岩, 在夏浦沟一天巴拉一带的古近系柳区群中见到了蛇纹岩剥蚀后堆积的产物, 并在天巴拉沟拉萨地块南缘紧邻雅江缝合带的位置存在高压变质岩, 因此, 该套岛弧的存在证实雅江带西段存在新特提斯洋内俯冲系统. 与泽当一带相对比, 被夏斌和何明友(1995), 夏斌等(1997)及 Xia *et al.* (2008)认为系岛弧环境下形成的初始边缘盆地或洋岛产物的达机翁蛇绿岩, 很可能代表了夏浦沟岛弧的弧前盆地. 在夏浦沟一天巴拉一线未见到典型的蛇绿岩块体—达机翁蛇绿岩西延的部分, 很可能与部分地段第四系覆盖有关, 但更为可能的是大部分洋壳在中生代末—新生代之交新特提斯洋闭合过程中俯冲到深部, 而发育在洋壳之上的弧壳部分被阻挡刮削而拼贴在缝合线附近, 并遭受了之后同碰撞花岗岩的侵入改造.

熔岩地球化学环境判别的结果与放射虫硅质岩地球化学特征判别的结果相一致, 其时代反映了岛弧火山活动的上限, 硅质岩所含放射虫动物群主要为早白垩世的分子, 指示洋内弧火山活动的时间上限为早白垩世. 与泽当岛弧火山岩顶部的硅质岩放射虫化石时代(Aitchison *et al.*, 2000)一致, 指示两个岛弧火山活动终止的上限一致. 未能对夏浦沟岛弧火山岩进行测年, 根据它与泽当岛弧活动终止时限相近, 推测与泽当岛弧火山岩活动的时限侏罗纪末—早白垩世(McDermid *et al.*, 2002)接近, 并都形成于中生代新特提斯洋洋内俯冲系统中.

## 7 结论

夏浦沟岛弧火山岩中产出的硅质岩与下伏的玄武安山岩呈整合接触, 硅质岩的 SiO<sub>2</sub> 含量在 89.47%~92.94%之间, Si/Al 在 43~67 之间, Al/(Al+Fe+Mn)比值在 0.68~0.74 之间, MnO/TiO<sub>2</sub> 平均比值为 0.60, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)平均值为 0.73, Ce/Ce\* 平均值在 0.89, La<sub>N</sub>/Ce<sub>N</sub> 平均值 1.09, 指示硅质岩位于洋盆向大陆边缘过渡的环境; 火山岩组分以安山岩为主, 并有少量酸性火山岩出露, 玄武安山岩属拉斑质玄武岩系列, 低的 TiO<sub>2</sub> 含量(0.75%~0.98%)、轻稀土弱富集和源自板片流体的易溶元素, 如 Ba、U、Pb 相对轻稀土富集, 亏

损高场强元素(HFSE)Nb、Ta、Ti 等也反映了熔岩形成于岛弧区, 熔岩地球化学环境判别的结果与硅质岩地球化学特征判别的结果相一致, 硅质岩所含放射虫动物群主要包括 *Alievium cf. regulare*、*Alievium cf. fatuum*、*Archaeospongoprunum cf. patricki*、*Archaeodictyimitra mitra* Dumitrica. 等早白垩世的分子, 指示洋内弧火山活动的时间上限为早白垩世, 为中生代雅江带西段可能曾存在新特提斯洋内俯冲系统提供了重要的基础地质资料。

致谢: 感谢审稿专家们提出的宝贵意见, 作者据此进行了修改, 增补了相关文献。

## References

- Adachi, M., Yamamoto, K., Sugisaki, R., 1986. Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the Northern Pacific, their geological significance as indication of ocean ridge activity. *Sedimentary Geology*, 47(1-2): 125-148.
- Aitchison, J. C., Badengzhu, Davis, A. M., et al., 2000. Remnants of a Cretaceous intra-oceanic subduction system within the Yarlung-Zangbo suture (southern Tibet). *Earth and Planetary Science Letters*, 183(1-2), 231-244.
- Bach, W., Alt, J. C., Niu, Y., et al., 2001. The geochemical consequences of late-stage low-grade alteration of lower ocean crust at the SW Indian Ridge; Results from ODP Hole 735B (Leg 176). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(19): 3267-3287.
- Bailey, J. C., 1981. Geochemical criteria for a refined tectonic discrimination of orogenic andesites. *Chemical Geology*, 32(1-2): 139-154.
- Dhuime, B., Bosch, D., Bodinier, J. L., et al., 2007. Multi-stage evolution of the Jijal ultramafic-mafic complex (Kohistan, N Pakistan): Implications for building the roots of island arcs. *Earth and Planetary Science Letters*, 261(1-2): 179-200.
- Ding, L., 2003. Paleocene deep-water sediments and the radiolarian faunas; Implications for evolution of Yarlung-zangbo foreland basin, southern Xizang. *Science in China (Series D)*, 46(1): 84-96.
- Ding, L., Kapp, P., Wan, X. Q., 2005. Paleocene-Eocene record of ophiolite obduction and initial India-Asia collision, southcentral Tibet. *Tectonics*, 24(3): 1-18.
- Du, Y. S., Zhu, J., Gu, S. J., 2006. Sedimentary geochemistry and tectonic significance of ordoevian cherts in Sunan, north Qilian Mountains. *Earth Science—Journal of China University of Geoscience*, 31(1): 101-109 (in Chinese with English abstract).
- Dubois, C., Hébert, R., Côté, V. D., et al., 2005. The Yarlung Zangbo suture zone ophiolitic mélange (southern Tibet): New insights from geochemistry of ultramafic rocks. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25(6): 937-960.
- Durr, S. B., 1996. Provenance of Xigaze fore-arc basin clastic rocks—(Cretaceous, South Tibet). *Geological Society of America Bulletin*, 108: 669-684.
- Elthon, D., 1991. Geochemical evidence for formation of the bay of islands ophiolite above a subduction zone. *Nature*, 354(6349): 140-143.
- Feng, Q. L., Shen, S. Y., Liu, B. P., et al., 2002. Permian radiolarians chert and basalt from the Daxinshan Formation in the Lancangjiang belt of southwestern Yunnan, China. *Science in China (Series D)*, 45(1): 65-71.
- Flower, M. F. J., Russo, R. M., Tamaki, K., et al., 2001. Mantle contamination and the Izu-Bonin-Mariana (IBM) “high-tide mark”: Evidence for mantle extrusion caused by Tethyan closure. *Tectonophysics*, 333(1-2): 9-34.
- Gromet, L. P., Dymek, R. F., Haskin, L. A., et al., 1984. The “North American shale composite”: Its compilation, major and trace element characteristics. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48(12): 2469-2482.
- Guo, T. Y., Liang, D. Y., Zhang, Y. Z., et al., 1991. Geology in Ali area, Tibet. China University of Geosciences Press, Wuhan, 205-212, 263 (in Chinese).
- Hart, S. R., Staudigel, H., 1989. Isotopic characterization and identification of recycled components. In: Hart, S. R., Gülen, L., eds., Crust-mantle recycling in subduction zones. Claver, Dordrecht, 15-28.
- Helo, C., Hegner, E., Kröner, A., et al., 2006. Geochemical signature of Paleozoic accretionary complexes of the Central Asian orogenic belt in South Mongolia; Constraints on arc environments and crustal growth. *Chemical Geology*, 227(3-4): 236-257.
- Hofmann, A. W., 1988. Chemical differentiation of the earth: The relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 90(3): 297-314.
- Kay, R. W., 1984. Elemental abundances relevant to the identification of magma sources. *Transactions and Proceedings of the Botanical Society of Edinburgh*, 310(1514): 535-547.
- McDermid, I. R. C., Aitchison, J. C., Davis, A. M., et al., 2002. The Zedong terrane; A Late Jurassic intra-oceanic magmatic arc within the Yarlung-Tsangpo suture zone,



- southeastern Tibet. *Chemical Geology*, 187 (3–4): 267–277.
- Mo, X. X., Pan, G. T., 2006. From the Tethys to the formation of the Qinghai-Tibet plateau; Constrained by tectono-magmatic events. *Earth Science Frontiers*, 13 (6): 43–51 (in Chinese with English abstract).
- Mo, X. X., Zhao, Z. D., Deng, J. F., et al., 2004. Interior probe significance of Mesozoic – Cenozoic lava in Qingzang plateau: Some new results and ideas. In: Chen, Y. T., ed., The new advances of the continental earthquake and interior physics of earth in China. Seismological Press, Beijing 449–461 (in Chinese).
- Murray, R. W., Buchholtzen Brink, M. R., Gerlach, D. C., et al., 1992. Rare earth, major, and trace element composition of Monterey and DSDP chert and associated host sediment; Assessing the influence of chemical fraction during diagenesis. *Geochim. Cosmochim. Acta* 56 (7): 2657–2671.
- Murray, R. W., Buchholtzen Brink, M. R., Jones, D. L., et al., 1990. Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale. *Geology*, 18: 268–271.
- Münker, C., Wörner, G., Yogodzinski, G., et al., 2004. Behaviour of high field strength elements in subduction zones; Constraints from Kamchatka-Aleutian arc lavas. *Earth and Planetary Science Letters*, 224(3–4): 275–293.
- Pan, G. T., Chen, Z. L., Li, X. Z., et al., 1997. Geotectonic setting, formation and evolution of eastern Tethys. Geological Publishing House, Beijing, 172–184 (in Chinese).
- Pan, G. T., Din, J., Yao, D. S., et al., 2004. 1 : 1 500 000 map description of Tibet and adjacent zone. Chendu maps Publication Press, Chendu, 40–70.
- Pearce, J. A., Cann, J. R., 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth and Planetary Science Letters*, 19(2): 290–300.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W., Tindle, A. G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25 (4): 956–983.
- Pedersen, R. B., Searle, M. P., Corfield, R. L., 2001. U-Pb zircon ages from the Spontang ophiolite, Ladakh Himalaya. *Journal of the Geological Society*, 158: 513–520.
- Petterson, M. G., Windley, B. F., 1985. Rb-Sr dating of the Kohistan arc batholith in the trans-Himalaya of North Pakistan and tectonic implications. *Earth and Planetary Science Letters*, 74(1): 45–57.
- Ren, J. S., Xiao, L. W., 2004. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai-Tibet plateau by 1 : 250 000 geological mapping. *Geological Bulletin of China*, 23 (1): 1–11 (in Chinese with English abstract).
- Saunders, A. D., Norry, M. J., Tarney, J., 1988. Origin of MORB and chemically-depleted mantle reservoirs; Trace element constraints. In: Oceanic and continental lithosphere; similarities and differences. *Journal of Petrology*, (Spec Lithos Iss): 415–445.
- Searle, M. P., Asif Khan, M., Fraser, J. E., et al., 1999. The tectonic evolution of the Kohistan-Karakoram collision belt along the Karakoram Highway transect, north Pakistan. *Tectonics* 18(6): 929–949.
- Searle, M. P., Windley, B. F., Coward, M. P., et al., 1987. The closing of Tethys and the tectonics of the Himalaya. *Geological Society of America Bulletin*, 98: 678–701.
- Tahirkehi, R. A. K., 1979. Geology of Kohistan, Karakoram Himalaya, northern Pakistan. *Geology Bulletin, University of Peshawar*, 11(1): 1–30.
- Tahirkehi, R. A. K., Mattauer, M., Proust, F., et al., 1979. The India-Eurasia suture zone in northern Pakistan; synthesis and interpretation of recent data at plate scale. In: Farah, A., Dajong, K. A., eds., Geodynamics of Pakistan. Geological Survey of Pakistan, Quetta, 125–130.
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985. The continental crust; Its composition and evolution. Blackwell Sci. Publ., Oxford, 50–240.
- Wang, C. S., Li, Y. L., Liu, Z. F., et al., 2005. Yarlung-Zangbo ophiolites revisited; From geological survey to mineral records. *Acta Geologica Sinica*, 79 (3): 323–330 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. J., Ying, Q., Marsuoka, A., et al., 2002. Triassic radiolarians from the Yarlung Zangbo suture zone in the Jiniu area, Zetang County, southern Tibet. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 19(3): 215–227.
- Weaver, B. L., 1991. The origin of ocean island basalt end-member compositions; Trace element and isotopic constraints. *Earth and Planetary Science Letters*, 104(2–4), 381–397.
- Wei, D. L., Xia, B., Zhou, G. Q., et al., 2007. Geochemistry and Sr-Nd isotope characteristics of tonalites in Zedang-Tibet; New evidence for intra-Tethyan subduction. *Science in China (Series D)*, 50(6): 836–846.
- Winchester, J. A., Floyd, P. A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation

- products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20(4): 325—343.
- Wu, H. R., 2000. New data of the Late Jurassic nassellarian (radiolaria) from the Xialu chert in southern Tibet. *Geoscience* 14(3): 301—306 (in Chinese with English abstract).
- Xia, B., Chen, G. W., Wang, R., et al., 2008. Seamount volcanism associated with the Xigaze ophiolite, southern Tibet. *Journal of Asia Earth Sciences*, 32(5—6): 396—405.
- Xia, B., He, M. Y., 1995. Petrogeochemistry and genetic significance of the Jianapeng ophiolites, Tibet. *Acta Mineralogica Sinica*, 15(2): 236—241 (in Chinese with English abstract).
- Xia, B., Wang, R., Chen, G. W., 2003. Lithochemical characteristics and origin for basaltic lava from Renbu ophiolite from Xizang (Tibet), China. *Geological Journal of China Universities*, 9(4): 638—647 (in Chinese with English abstract).
- Xia, B., Zheng, R., Hong, Y. R., et al., 1997. The lithochemical characteristics and origin of Dajiweng ophiolite in Xizang (Tibet). *Geology-Geochemistry*, (1): 46—52 (in Chinese with English abstract).
- Xiao, X. C., Wan, Z. Y., Li, G. C., et al., 1983. On the tectonic evolution of the Yarlung zangbo (Tsangpo) suture zone and its adjacent areas. *Acta Geologica Sinica*, 2: 205—212 (in Chinese with English abstract).
- Xu, R. K., Ma, G. T., Zheng, Y. Y., et al., 2006. Geochemical and chronological characteristics of the Ayila complex, Rutog, Tibet, China, and its tectonic significance. *Geological Bulletin of China*, 25(12): 1428—1436 (in Chinese with English abstract).
- Xu, R. K., Zheng, Y. Y., Dang, Y. Y., et al., 2005. Preliminary study on two new ophiolite belts in Qusong of Zhada County, western Tibet. *Geological Science and Technology Information*, 24(4): 21—24 (in Chinese with English abstract).
- Yamamoto, K., 1987. Geochemical characteristics and depositional environments of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto terranes. *Sedimentary Geology*, 52(1—2): 65—108.
- Yang, J. S., Xu, Z. Q., Li, H. B., et al., 1998. Discovery of eclogite on the north margin of the Qaidam basin, western China. *Chinese Science Bulletin*, 43(14): 1544—1549 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. Q., Feng, Q. L., Sheng, S. Y., et al., 2009. Permian radiolarians, chert and basalt from the Nan suture zone, northern Thailand. *Earth Science—Journal of China University of Geoscience*, 34(5): 743—751 (in Chinese with English abstract).
- Yin, A., Harrison, T. M., 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen. *Annual Review of Earth Planetary Science Letters*, 28: 211—280.
- Yutaka, T., Masumi, U. M., Yuhei, T., et al., 2007. Geochemical modelling of the Chilas complex in the Kohistan terrane, northern Pakistan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29(2—3): 336—349.
- Zhang, Z. F., Feng, Q. L., Fang, N. Q., et al., 2001. Geochemical characteristics and sedimentary environment of Triassic silicious rocks from Muyinhe formation, Changning—Menglian belt, Southwest Yunnan. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 26(5): 449—455 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, Z. L., Tian, L. F., Fan, Y. G., et al., 2004. New results and major progress in geological survey of the Saga County, Sangsang District and Gyirong County sheets. *Geological Bulletin of China*, 23(5—6): 427—432 (in Chinese with English abstract).
- Zheng, L. L., Liao, G. Y., Geng, Q. R., et al., 2004. New results and major progress in regional geological survey of the Mêdog County Sheet. *Geological Bulletin of China*, 23(5—6): 458—462 (in Chinese with English abstract).
- Zhou, S., Mo, X. X., Mahoney, J. J., et al., 2001. Timing by Sm-Nd in gabbro-diabase and the Pb-Nd isotope character of the Luobosha ophiolite, Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 46(16): 1387—1390 (in Chinese with English abstract).
- Zhu, J., Du, Y. S., Liu, Z. X., et al., 2006. Mesozoic radiolarian from the middle sector of the Yarlung zangbo suture zone, Tibet and its tectonic implications. *Science in China (Series D)*, 49(4): 348—357.

## 附中文参考文献

- 丁林, 2003. 西藏雅鲁藏布江缝合带古新世深水沉积和放射虫动物群的发现及对前陆盆地演化的制约. *中国科学(D辑)*, 33(1): 47—58.
- 杜远生, 朱杰, 顾松竹, 2006. 北祁连山南一带奥陶纪硅质岩沉积地球化学特征及其多岛洋构造意义. *地球科学—中国地质大学学报*, 31(1): 101—109.
- 郭铁鹰, 梁定益, 张宜智, 等, 1991. 西藏阿里地质. 武汉: 中国地质大学出版社, 205—212, 263.
- 莫宣学, 潘桂棠, 2006. 从提特斯到青藏高原形成: 构造—岩浆事件的约束. *地学前缘*, 13(6): 43—51.
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等, 2004. 青藏高原中新世代火成岩的深部探针意义: 若干新成果与新认识. 见: 陈运泰主

- 编. 中国大陆地震学与地球内部物理学研究进展. 北京: 地震出版社, 449—461.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等, 1997. 东特提斯地质构造形成演化. 北京: 地质出版社, 172—184.
- 任纪舜, 肖黎薇, 2004. 1:25万地质填图进一步揭开了青藏高原大地构造的神秘面纱. 地质通报, 23(1): 1—11.
- 王成善, 李亚林, 刘志飞, 等, 2005. 雅鲁藏布江蛇绿岩再研究: 从地质调查到矿物记录. 地质学报, 79(3): 323—330.
- 韦栋梁, 夏斌, 周国庆, 等, 2007. 西藏泽当英云闪长岩的地球化学和 Sr-Nd 同位素特征: 特提斯洋内俯冲的新证据. 中国科学(D辑), 37(4): 442—450.
- 吴浩若, 2000. 西藏南部下鲁硅岩晚侏罗世罩笼虫(放射虫)新材料. 现代地质, 14(3): 301—306.
- 夏斌, 何明友, 1995. 西藏加纳朋蛇绿岩岩石地球化学及成因意义. 矿物学报, 15(2): 236—241.
- 夏斌, 王冉, 陈根文, 2003. 西藏仁布蛇绿岩壳层熔岩的岩石地球化学及成因. 高校地质学报, 9(4): 638—647.
- 夏斌, 郑榕, 洪裕荣, 等, 1997. 西藏达机翁蛇绿岩的岩石地球化学特征及其构造环境. 地质地球化学, (1): 46—52.
- 肖序常, 万子益, 李光岑, 等, 1983. 雅鲁藏布江缝合带及其邻区构造演化. 地质学报, 2: 205—212.
- 许荣科, 马国桃, 郑有业, 等, 2006. 西藏日土南部阿依拉杂岩体的地球化学、年代学特征及其构造意义. 地质通报, 25(12): 1428—1436.
- 许荣科, 郑有业, 党引业, 等, 2005. 西藏札达曲松一带两条蛇绿岩带的初步研究. 地质科技情报, 24(4): 21—24.
- 杨经绥, 许志琴, 李海兵, 等, 1998. 我国西部柴北缘地区发现榴辉岩. 科学通报, 43(14): 1544—1549.
- 杨文强, 冯庆来, 沈上越, 等, 2009. 泰国北部难河构造带二叠纪放射虫硅质岩和玄武岩. 地球科学——中国地质大学学报, 34(5): 743—751.
- 张振芳, 冯庆来, 方念乔, 等, 2001. 滇西南昌宁—孟连带三叠纪牡音河组硅质岩地球化学特征及沉积环境. 地球科学——中国地质大学学报, 26(5): 449—455.
- 张振利, 田立富, 范永贵, 等, 2004. 萨嘎县幅、桑桑区幅、吉隆县幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5—6): 427—432.
- 郑来林, 廖光宇, 耿全如, 等, 2004. 墨脱县幅地质调查新成果及主要进展. 地质通报, 23(5—6): 458—462.
- 周肃, 莫宣学, Mahoney, J. J., 等, 2001. 西藏罗布莎蛇绿岩中辉长辉绿岩 Sm-Nd 定年及 Pb, Nd 同位素特征. 科学通报, 46(16): 1387—1390.
- 朱杰, 杜远生, 刘早学, 等, 2005. 西藏雅鲁藏布江缝合带中段中生代放射虫硅质岩成因及其大地构造意义. 中国科学(D辑), 35(12): 1131—1139.