

# 青藏高原羌塘中部蓝片岩的地球化学特征及其构造意义\*

邓希光<sup>1,2</sup> 丁林<sup>1</sup> 刘小汉<sup>1</sup> An YN<sup>3</sup> Paul A KAPP<sup>3</sup> Michael A MURPHY<sup>3</sup> Craig EMANN NG<sup>3</sup>

DENG XiGuang<sup>1,2</sup>, DING Lin<sup>1</sup>, LIU XiaoHan<sup>1</sup>, An YN<sup>3</sup>, Paul A KAPP<sup>3</sup>, Michael A MURPHY<sup>3</sup> and Craig EMANN NG<sup>3</sup>

1. 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈构造演化开放研究实验室, 北京 100029

2. 中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

1. Laboratory of Lithosphere Tectonic Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

2. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

3. Department of Earth and Space Sciences, University of California, Los Angeles, CA 90095-156702, U. S. A.

2000-01-17 收稿, 2002-07-28 改回

Deng XG, Ding L, Liu XH, Yin A, Kapp PA, Murphy MA and Manning CE 2002 Geochemical characteristics of the blueschists and its tectonic significance in the central Qiangtang area, Tibet Acta Petrologica Sinica, 18(4): 517~ 525

**Abstract** Blueschists are considered as the mark of plate tectonic boundary in the Gangmar-Taoxing Co area, central Qiangtang, Tibet. Based on geochemical characteristics of major, trace and rare earth elements and the geochemical diagram, the protolith of blueschists belongs to alkali basalt that is a skin to intraplate ocean island basalts, and formed on seamount-like structures under an intraplate plume. Together with the geological features, it shows that it presents a Palaeo-Tethyan ocean in the central Qiangtang area. Therefore, the area may represent the boundary between Gondwana and Laurasia continents during the Late Paleozoic period.

**Key words** Blueschist, Geochemical characteristics, Oceanic island alkali basalt, Palaeo-Tethyan ocean, Tibet

**摘要** 青藏高原羌塘中部的冈玛日-桃形错地区蓝片岩被认为是板块构造边界的产物, 通过对其主量元素、微量元素和稀土元素的地球化学特征的综合研究, 其原岩属于洋岛型碱性玄武岩。再结合该地区的地质研究, 表明在该地区存在一个古特提斯洋, 可以作为晚古生代冈瓦纳与劳亚大陆的分界线。

**关键词** 蓝片岩; 地球化学特征; 洋岛型碱性玄武岩; 古特提斯洋; 青藏高原

中图法分类号 P588.344

## 1 引言

青藏高原作为典型的大陆-大陆碰撞地区, 特别是其持续隆升和早期的地质演化, 吸引了国内外地质学家对此进行考察研究。羌塘地区作为研究条件艰苦和程度较少的地区, 被认为是冈瓦纳与欧亚大陆板块之间的过渡区。随着研究的深入, 有些研究认为在羌塘中部的查桑-茶布存在一个晚古生代的裂谷(王成善等, 1987)。然而在羌塘中部又发现了蓝片岩, 蓝片岩分布在改则县的冈玛日、冈玛错、果干加年山、

角木日和双湖办事处纳若、恰格勒拉等地(Henning, 1915; 李才, 1987; 姚宗富, 1988; 李才等, 1995), 并结合该地区的基性-超基性岩的研究, 对其研究出现了新的认识, 认为在羌塘中部存在一条晚古生代的古特提斯缝合线, 并且向东延伸与澜沧江-昌宁-孟连相连(胡克等, 1995; 李才等, 1995), 但有不同的认识, 认为蓝片岩中没有含有典型的蓝闪石, 蛇绿岩也非真正的蛇绿岩(Deng *et al.*, 1996), 从而否认在羌塘中部存在古特提斯缝合线。作者在冈玛日-桃形错地区发现了含典型蓝闪石的蓝片岩, 对于其岩石学和矿物学的工作已进行了比较详细的研究(邓希光等, 2000), 也进行了Ar-Ar年

\* 本文为国家重点基础研究专项(G1998040800)经费资助、中科院青藏高原研究项目(KZ951-A1-204; KZ95T-06)和国家博士后基金“西藏中部冈玛日蓝片岩的地球化学及年代学研究”成果

第一作者简介: 邓希光, 男, 1969年6月生, 博士生, 构造地质学专业

龄的测定,其变质年龄为早二叠世(275~287Ma)(邓希光等,2001)。本文旨在通过蓝片岩的地球化学特征的研究,来探讨蓝片岩的原岩特征和形成构造环境,为研究古特提斯的演化提供一些线索。

## 2 地质背景

蓝片岩采集于改则县北部约200km的冈玛日-桃形错地

区(图1),该地区出露的地层有泥盆系、石炭系、二叠系等地层,这些地层均逆冲在第三系红层之上。在蓝片岩带北部的地层为泥盆系和下石炭统,泥盆系主要是由一套浅变质的砂岩、硅质岩、灰岩和生物碎屑灰岩等,下石炭统为钙质砂岩、长石石英砂岩、粉砂岩和生物碎屑砂岩等。在蓝片岩带南部的地层为上石炭统、二叠系地层,上石炭统-下二叠统地层为冰海相的含砾页岩、硅质岩、砂岩及灰岩,下二叠统为厚层状灰岩夹薄层状粉砂岩。

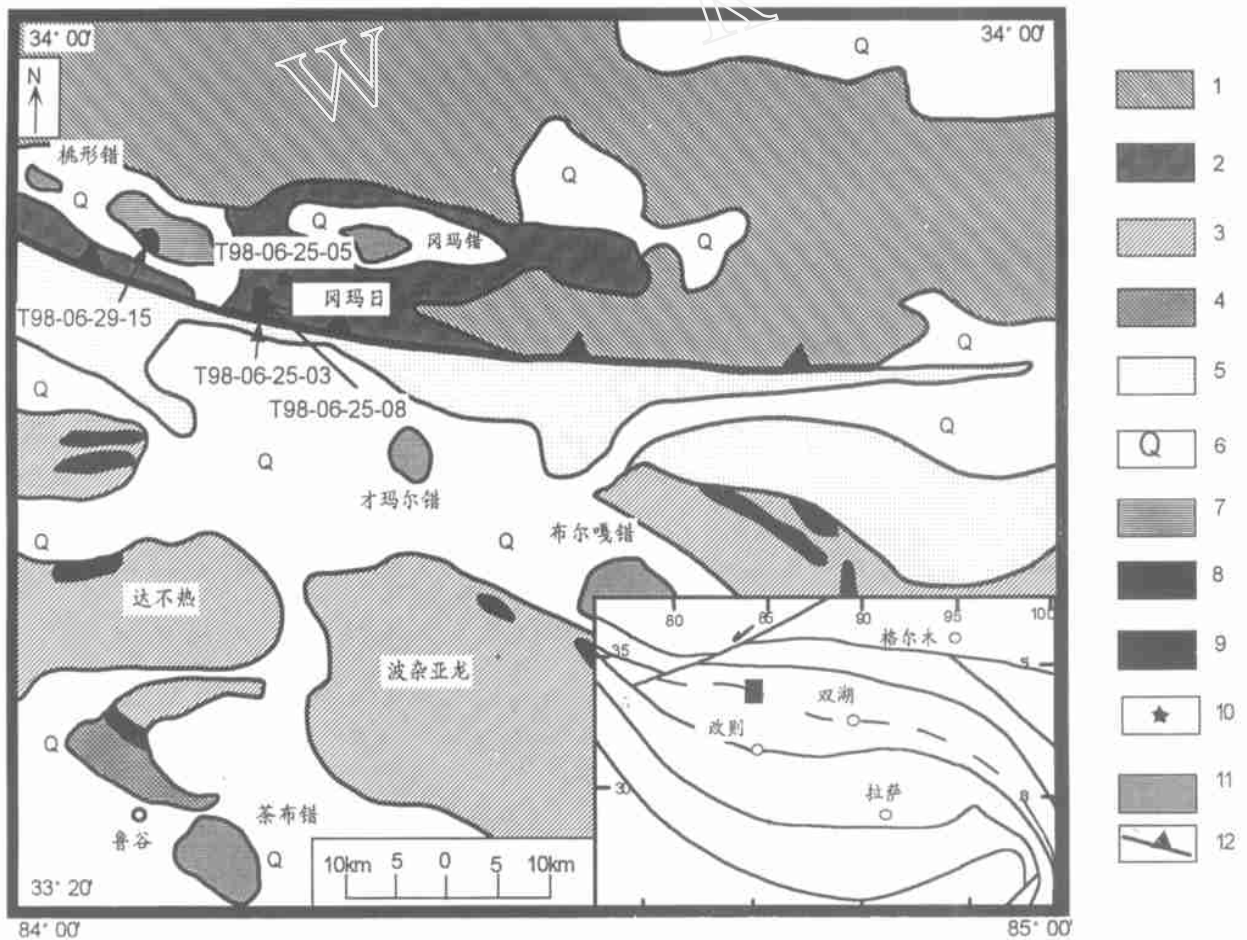


图1 青藏高原羌塘地区冈玛日-桃形错地区区域地质简图

1. 泥盆系; 2. 下石炭统; 3. 上石炭统-下二叠统; 4. 二叠系; 5. 第三系红层; 6. 第四系; 7. 绿片岩; 8. 基性-超基性岩; 9. 蓝片岩; 10. 蓝片岩采样点; 11. 湖泊; 12. 逆冲断裂

Fig. 1 Geological sketch map of Gangmari-Taoxing Co., Qiangtang Area, Tibet

蓝片岩在围岩绿片岩和砂岩中呈孤立的岩块,呈浅蓝色和黄褐色,岩石新鲜面呈蓝黑色及深灰褐色,岩石粒度较细,片理发育,有时可保留有变余辉绿结构。蓝片岩主要由蓝闪石类矿物、阳起石、钠长石、多硅白云母、绿帘石等矿物组成,此外还有黝帘石、绿泥石、石英、白云母、黑云母、钾长石、方解石(文石?)、榍石、金红石(在榍石中呈星点状)、磷灰石、钛闪石、锆石和硬柱石(?)等矿物。蓝闪石类矿物为蓝闪石、青铝闪石、铁蓝闪石(邓希光等,2000),与阳起石、多硅白云

母、钠长石和石英等共生,与阳起石交生生长,与其它高压变质带(如美国的Franciscan、日本的Sanbagawa)的蓝闪石片岩一样,蓝闪石类矿物与阳起石之间存在着成分间断。蓝闪石片岩形成的温压条件为 $400 \pm 7$  kbar(邓希光等,2000)。从岩石矿物及温压条件来看,可与世界上最著名的高压变质带的蓝片岩和中国的祁连、秦岭、大别、内蒙、天山、云南等地的蓝片岩相对比(Nakajima *et al.*, 1977; Ernst, 1979; 张兆忠等, 1986; 叶慧文, 1987)。通过对两个蓝片岩中的蓝闪石单

矿物进行了<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄测定, 得到蓝闪石变质年龄为 275 ~ 287Ma, 表明其高压变质作用发生在二叠纪早期, 这与整个区域的晚古生代特提斯洋的演化相吻合(邓希光等,

2001)。本文将对蓝片岩进行系统的地球化学特征研究, 探讨其成因和形成的构造背景。

表 1 藏北羌塘中部蓝片岩的常量元素分析表

Table 1 Major elements compositions (%) of the blueschists in the Central Qiangtang, Tibet

样品号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	烧失量	总量
T98-06-25-03	53.82	2.34	14.66	6.70	4.42	0.18	3.59	2.91	2.13	5.48	1.03	2.82	100.08
T98-06-25-05	49.06	4.28	13.41	8.38	5.89	0.22	5.56	4.10	0.41	4.24	0.36	3.83	99.74
T98-06-25-08	45.37	2.93	14.21	9.89	3.39	0.22	9.10	6.95	0.18	3.54	0.34	3.93	100.05
T98-06-29-15	51.65	3.78	8.21	8.57	2.71	0.16	6.97	9.22	1.92	3.27	0.43	2.80	99.69
平均值	49.98	3.33	12.62	8.39	4.10	0.19	6.31	5.80	1.16	4.13	0.54	3.35	99.90

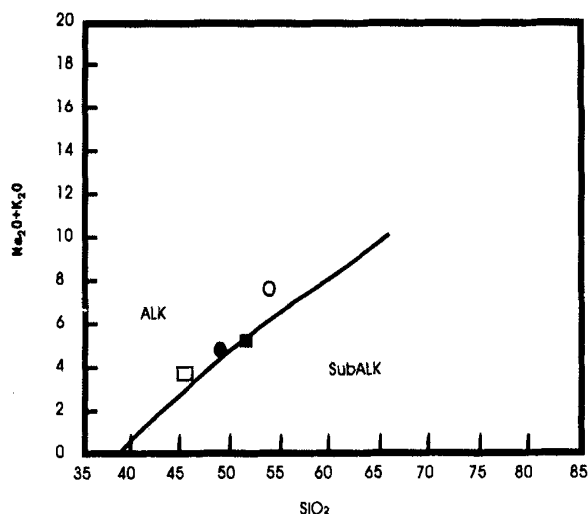


图 2 SiO<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 变异图

(据 Irvine 等, 1971); Alk-碱性玄武岩; SubAlk-亚碱性玄武岩

Fig 2 The diagram of SiO<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O

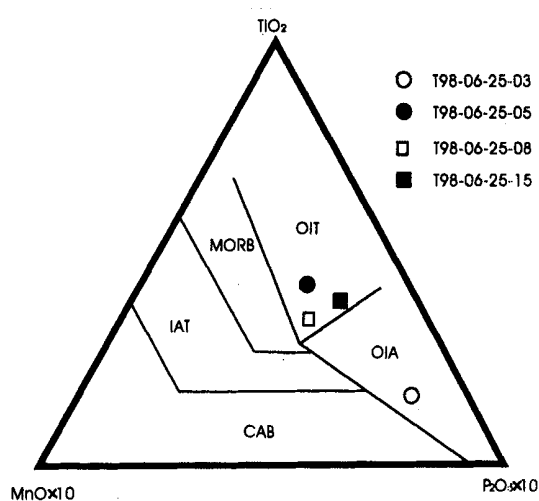


图 3 TiO<sub>2</sub>-MnO × 10- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> × 10 图解

(据 Mullen, 1983)

OIA-洋岛碱性玄武岩; OIT-洋岛拉斑玄武岩; MORB-洋中脊玄武岩; IAT-岛弧拉斑玄武岩; CAB-钙碱性玄武岩

Fig 3 The diagram of TiO<sub>2</sub>-MnO × 10- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> × 10

### 3 常量元素

蓝片岩的常量元素分析是由中国科学院地质与地球物理研究所 X 荧光光谱 (XRF) 实验室完成, 其分析结果见表 1。在所采集的四个样品中, 除一个样品的 SiO<sub>2</sub> 含量为 53.82%, 另三个样品的 SiO<sub>2</sub> 含量在 45% ~ 53% 之间, 表明其原岩为玄武岩类岩石, TiO<sub>2</sub> 含量较高, 含量超过 2%, 最高可达 4.28%, Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O 的含量为 3.72% ~ 7.61%, 平均为 5.29%, Na<sub>2</sub>O > K<sub>2</sub>O, 这显示碱性玄武岩的化学特征(这也可能是碱性流体的交代作用引起的)。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量较低, 最低仅只有 8.21%, 除一个样品外, CaO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 0.7, 表明这些样品经历过较高分离结晶作用, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 与 MgO 呈负相

关系, 表明没有明显的斜长石分离结晶。在 SiO<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O 变异图中, 蓝片岩成分落在碱性玄武岩区(图 2)。在 TiO<sub>2</sub>-MnO × 10- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> × 10 三角图解中, 大部分落在洋岛碱性玄武岩, 有一个落在洋岛拉斑玄武岩(图 3)。在 FeO - MgO - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 图中, 大部分落在大洋岛屿区, 一个落在大陆板块内部, 一个落在扩张中心岛屿(图 4)。在 FeO/MgO - TiO<sub>2</sub> 图中, 样品三个投影在板内玄武岩区, 一个超出投影区(图 6)。

### 4 微量元素

微量元素(包括稀土元素)由中国科学院地质与地球物理研究所 ICP-MS 实验室分析, 分析结果见表 2 和表 3。

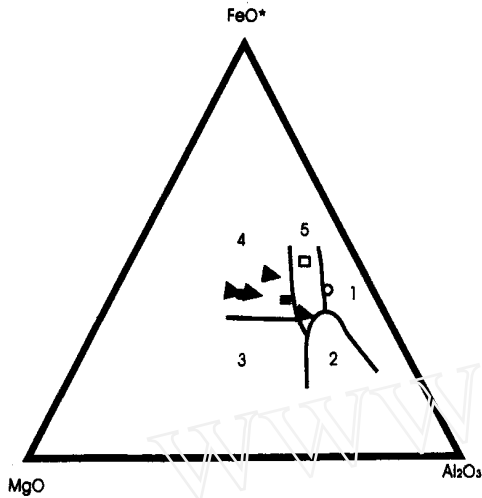


图4 FeO<sup>\*</sup>-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>图解  
(据Pearce, 1977); 1-扩张中心岛屿(冰岛); 2-造山带; 3-洋中脊及洋底; 4-大洋岛屿; 5-大陆板块内部

Fig 4 The diagram of FeO<sup>\*</sup>-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

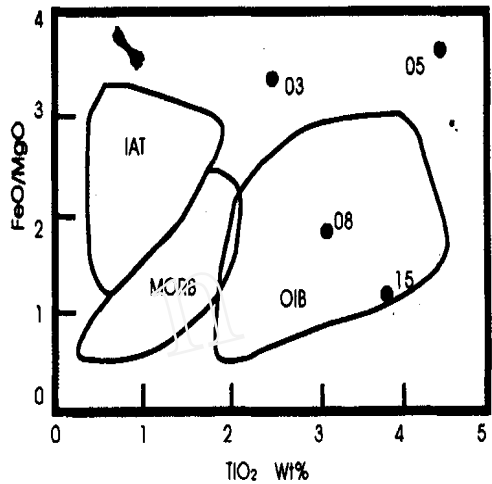


图5 FeO<sup>\*</sup>/MgO-TiO<sub>2</sub>图解  
(据Glassiey, 1974); MORB-洋中脊玄武岩, IAT-岛弧拉斑玄武岩, OIB-洋岛玄武岩

Fig 5 The diagram of FeO<sup>\*</sup>/MgO-TiO<sub>2</sub>

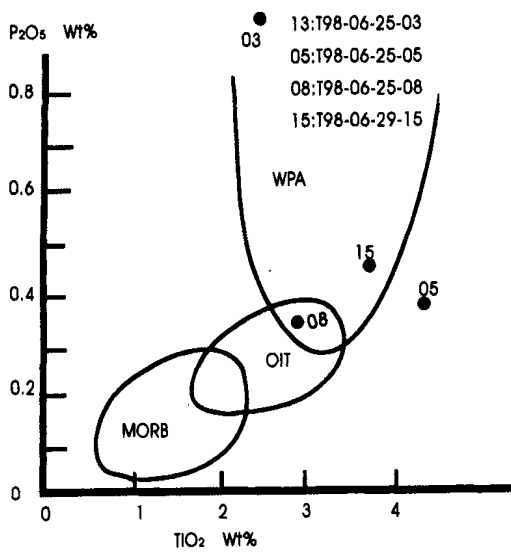


图6 TiO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>图解  
(据Bass et al., 1973); MORB-洋中脊玄武岩, OIB-岛弧拉斑玄武岩, WPA-板内碱性玄武岩

Fig 6 The diagram of TiO<sub>2</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

4.1 稀土元素

本区蓝片岩的稀土元素丰度值见表2, 由表中可以看出样品中稀土元素总量较高, 轻重稀土分异明显, 轻稀土富集, 重稀土亏损, La/Sm 和 La/Yb 的比值分别为 3.56, 3.04, 2.32, 4.57 和 24.89, 9.00, 10.37, 29.04. 在球粒陨石标准化和洋中脊标准化图解中, 蓝片岩与洋岛玄武岩(OIB)的曲线

一致, 没有或轻微的Eu负异常, 在大洋壳标准化图中, 具有Y负异常, 也说明其形成与大洋环境(图7)。

4.2 微量元素(不包括稀土元素)

蓝片岩中微量元素丰度值见表3. 将蓝片岩的微量元素洋中脊玄武岩(MORB)标准化(Pearce, 1982)后, 可以看出样品中除Y外, 其它所有元素相对于MORB均有不同程度的富集, 显示出相似的“隆起”分布型式(图8), 没有明显的Nb-Ta亏损, 表明它们形成于板内环境, 没有受到明显的地壳物质混染, 类似于大洋岛和大陆裂谷的板内碱性玄武岩. 通过与板内拉斑玄武岩和板内碱性玄武岩的对比(表4), 本区的蓝片岩更类似于板内碱性玄武岩. 同时作者计算了一部分微量元素的比值(表5), 并与进行了对比, 这些比值大部分与洋岛碱性玄武岩的微量元素比值比较接近.

5 蓝片岩的形成构造环境讨论

5.1 构造环境判别

从上面的分析可知, 本区蓝片岩的地球化学特征为具有高TiO<sub>2</sub>、低-中K<sub>2</sub>O、贫Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>和富集高场强元素(HFSE)、大离子不相容元素(LILE)和LREE. 这种地球化学特征实际上为大陆裂谷玄武岩和洋岛玄武岩所共有, 同时也兼具有E型洋中脊玄武岩向大陆板内拉斑玄武岩过渡特征. 因此, 在本区的构造环境判别上出现不同的看法: 裂谷和缝合线(王成善等, 1987; 李才等, 1995; Deng et al., 1996). 对于常量元素的一部分判别图已在前面讨论, 本区的蓝片岩的原岩应为板内碱性玄武岩系列. 同时由于判别玄武岩的图解比较多,

表 2 蓝片岩中的稀土元素分析数据表

Table 2 The rare earth element analyses of the blueschists in the central Qiangtang area, Tibet

样品号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	$\Sigma$ REE	L/H	(La/Sm) <sub>N</sub>	(La/Yb) <sub>N</sub>
03	64.95	153.87	20.40	88.35	18.23	5.19	16.05	2.26	11.68	1.98	4.60	0.49	2.61	0.31	390.97	8.78	2.24	16.78
05	22.78	53.85	7.16	31.16	7.49	2.26	8.21	1.19	7.00	1.33	3.20	0.45	2.53	0.34	148.95	5.14	1.91	6.07
08	16.08	40.85	5.52	26.07	6.94	2.22	6.86	1.06	5.55	1.07	2.69	0.34	1.55	0.23	117.03	5.05	1.46	6.99
15	41.23	89.64	11.32	46.13	9.03	2.65	8.62	1.16	5.38	0.99	2.39	0.27	1.42	0.18	220.41	9.80	2.87	19.59

注: 03 为 T98-06-25-03, 05 为 T98-06-25-05, 08 为 T98-06-25-08, 15 为 T98-06-29-15, L/H 为 LREE/HREE, N 为球粒陨石标准化

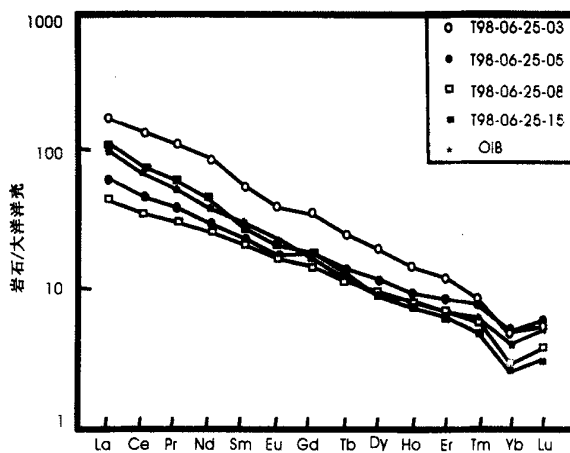
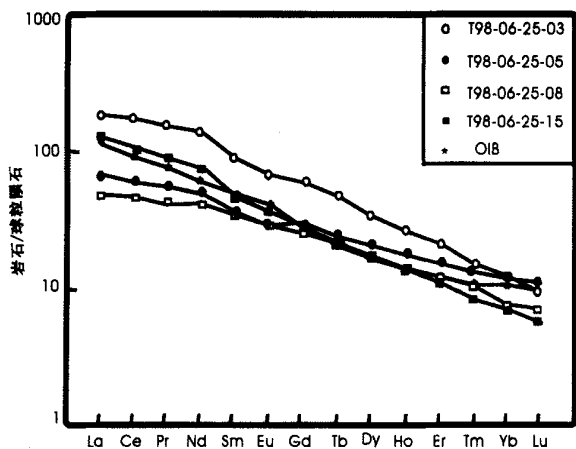


图 7 蓝片岩稀土元素配分图

(O B 的数据据 Sun 等(1989)); A-球粒陨石标准化图解; B-大洋壳标准化图解

Fig. 7 The REE distribution pattern of the blueschists

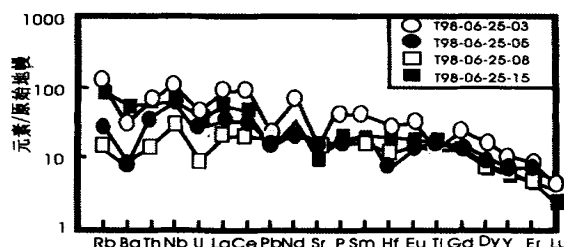
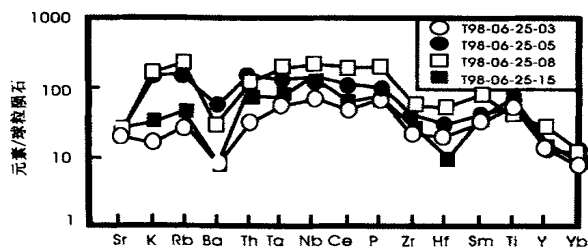


图 8 蓝片岩微量元素蛛网图 (据 Pearce, 1982)

Fig. 8 The spiderdiagram of N-MORB normalized incompatible elements (after Pearce, 1982)

图 9 元素相容图解

(据 Hofmann(1997))

Fig. 9 The diagram of element compatibility

在此主要选择一部分不活动元素与微量元素的部分图解进行构造环境判别。

首先判别其原岩形成于大陆还是大洋。根据 Hofmann (1997) 的元素相容图解, 大洋来源具有正的 Nb 异常和负的 Pb 异常, 而大陆正相反。从图 9 中可以分析本区的蓝片岩的元素相容图解正具有正的 Nb 异常和负的 Pb 异常特征, 因此可以说本区蓝片岩的原岩形成于大洋环境。同时我们再结

合 Nb × 2- Zr/4- Y 和 Ti/100- Zr- Sr/2 图解(图 10), 蓝片岩的原岩是形成于大洋底的板内碱性玄武岩。在结合李曙光 (1993) 的 Ba-Th-Nb-La 判别图(图 11), 本区的蓝片岩是大洋岛玄武岩。

所有常量元素和微量元素(包括稀土元素)的图解, 表明本区的蓝片岩的原岩是板内碱性玄武岩, 形成的构造环境为大洋板内洋岛环境, 类似于现在太平洋中的夏威夷。

表3 蓝片岩中微量元素与板内碱性玄武岩和拉斑玄武岩微量元素的对比

Table 3 The trace elements comparison between blueschists and within alkaline basalt and within tholeiite basalt

样品号	T98-06-25-03	T98-06-25-05	T98-06-25-08	T98-06-29-15	平均值	板内碱性玄武岩	板内拉斑玄武岩
Cr	2.37		274.09	1364.80			
Co	15.82		62.30	62.39			
Ni	2.42		102.93	405.16			
Cu	23.31		81.67	142.02			
Zn	629.86		730.79	646.35			
Rb	85.83	15.76	9.70	56.56			
Sr	239.99	317.97	224.74	217.25			
Y	52.56	30.79	32.49	29.15			
Zr	378.08	185.28	147.10	268.17			
Nb	78.14	47.94	23.45	48.38			
Sn	3.11	1.97	1.47	1.99			
Cs	5.69	1.74	1.42	2.02			
Ba	208.90	61.71	54.89	381.88			
Hf	9.30	2.19	3.85	6.25			
Ta	4.12	1.59	1.22	2.61			
Pb	4.78	3.56	3.73	2.58			
Th	6.06	3.33	1.34	5.44			
U	0.91	0.63	0.20	0.88			
K <sub>2</sub> O	2.13	0.41	0.18	1.92	1.16	(1.5)	(0.5)
Rb	85.83	15.76	9.70	56.56	41.96	(40)	(7.5)
Ba	208.90	61.71	54.89	381.88	176.85	(600)	(100)
TiO <sub>2</sub>	2.34	4.28	2.93	3.78	3.33	2.90	2.23
Zr	378.08	185.28	147.10	268.17	244.66	213	149
Hf	9.30	2.19	3.85	6.25	5.40	6.36	3.44
Sm	18.23	7.49	6.94	9.03	10.42	8.87	5.35
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.03	0.36	0.34	0.43	0.54	0.64	0.25
Ce	153.87	53.85	40.85	89.64	84.55	96.8	31.3
Ta	4.12	1.59	1.22	2.61	2.39	5.9	0.73
Nb	78.14	47.94	23.45	48.38	49.48	84	13
Th	6.06	3.33	1.34	5.44	4.04	4.5	0.77
Sr	239.99	317.97	224.74	217.25	249.90	842	290
Y	52.56	30.79	29.15	32.49	36.25	25	26
Yb	2.61	2.53	1.55	1.42	2.03	0.89	2.12
Hf/Sm	0.51	0.29	0.55	0.69			
Ta/Hf	0.44	0.73	0.32	0.42			
Nb/Ta	18.96	30.15	19.22	18.54			
Ta/Yb	1.58	0.63	0.79	1.84			
Sm/Nd	0.21	0.23	0.27	0.20			
Nb/La	1.20	2.10	1.46	1.17			
Nb/U	85.87	76.10	117.25	54.98			
Ta/U	4.53	2.52	6.10	2.97			
Ce/Pb	32.19	15.13	10.95	34.74			
Zr/Nb	4.84	3.86	6.27	5.54			
Ba/Nb	2.67	1.29	2.34	7.89			
La/Nb	0.83	0.48	0.69	0.85			
Th/La	0.09	0.15	0.08	0.13			
Ba/La	3.22	2.71	3.41	9.26			
Ba/Th	34.47	18.59	40.96	70.20			
Rb/Nb	1.10	0.33	0.41	1.17			
Th/Nb	0.08	0.07	0.06	0.11			
Nb/Y	1.49	1.56	0.72	1.66			
Th/Yb	2.32	1.32	0.86	3.86			
K/Nb	226	71	72	329			

注: 板内碱性玄武岩和板内拉斑玄武岩的数据据 Pearce(1982), 氧化物含量为质量百分数, 其它微量元素单位均为  $10^{-6}$ , 表中括号数据为估算值。

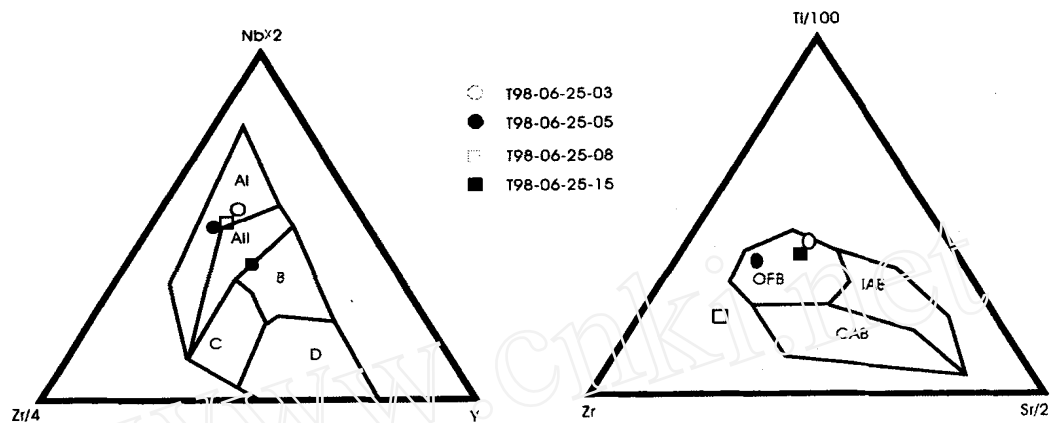


图 10 Nb x 2- Zr/4- Y 和 Ti/100- Zr- Sr/2 图解

(Nb x 2- Zr/4- Y 据 Meschede (1986); Ti/100- Zr- Sr/2 据 Pearce and Cann (1973)): A I-板内进行玄武岩; A II-板内玄武岩 (包括板内拉斑玄武岩和碱性玄武岩); B-P-洋中脊玄武岩; C-板内拉斑玄武岩和火山弧玄武岩; D-火山弧玄武岩和 N-洋中脊玄武岩; LKT-低钾玄武岩; CAB-钙碱性玄武岩; OFB-洋底玄武岩

Fig 10 The diagram of Nb x 2- Zr/4- Y and Ti/100- Zr- Sr/2

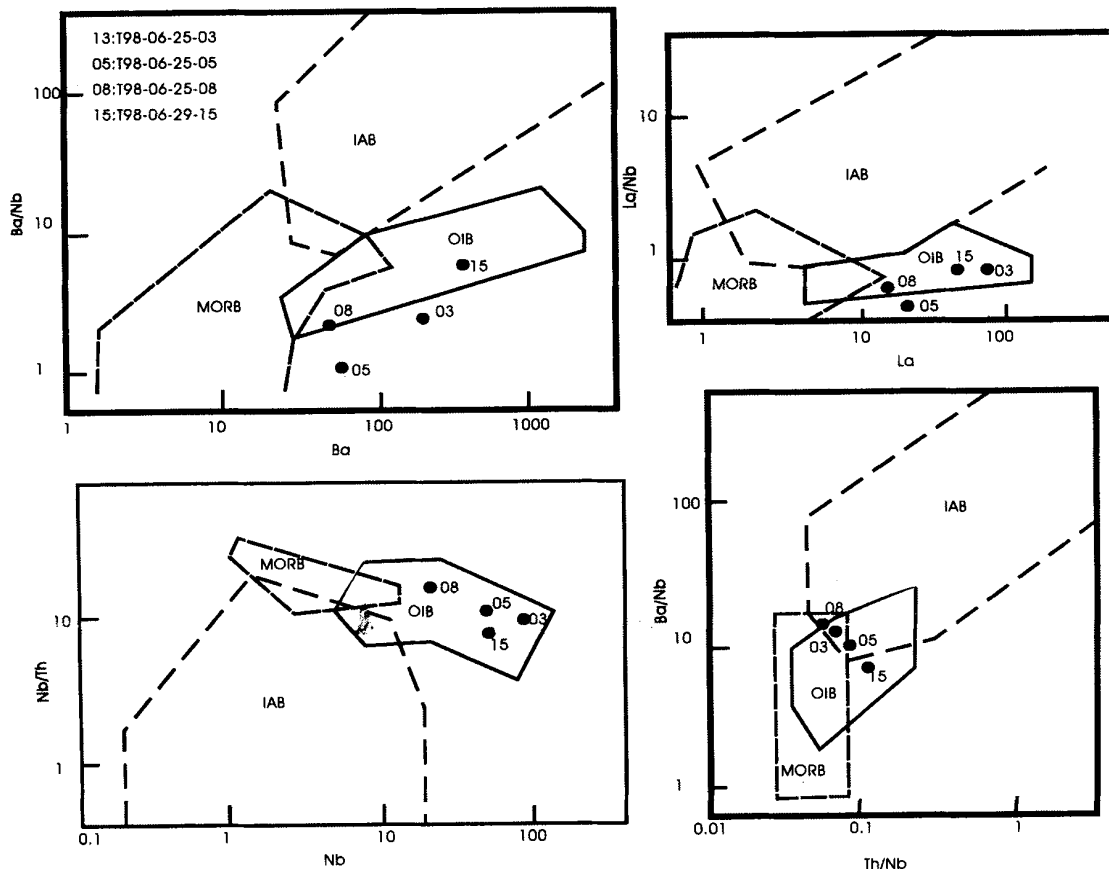


图 11 Ba/Nb- Ba, Nb/Th- Nb, La/Nb- La 和 Ba/Nb- Th/Nb 图解

(据李曙光 (1993)): MORB-洋中脊玄武岩; IAB-岛弧玄武岩; OIB-大洋岛玄武岩

Fig 11 The diagram of Ba/Nb- Ba, Nb/Th- Nb, La/Nb- La and Ba/Nb- Th/Nb

## 5.2 构造演化探讨

当火山岩的元素地球化学背景出现多解时,应考虑地层、古生物、沉积相、构造古地理等多种环境标志,以求得出综合的合理的解释。从前文分析中可以了解到本区蓝片岩的地球化学特征可以有多解,但综合这些分析图解,基本可以确定构造环境为大洋板内洋岛环境。对于其地球化学的分析结果,我们也可以从地层、古生物、岩相古地理及邻区的构造环境得到检验。

从地层来看,冈瓦纳大陆的石炭-二叠纪冰海相地层已越过了班公湖-怒江缝合线在本区已有分布(见图1),但未在羌塘北部出现,因此蓝片岩的原岩形成环境可以为大洋环境。从古生物来看,在石炭纪时,暖水型生物分布在该线的羌塘北部地区,而冷水型生物分布在羌塘南部,但到晚二叠纪时,在羌塘南北部出现暖水型和冷水型生物混生(Sun Dom gli, 1993),这说明羌塘南北部已十分接近,同时据古地磁资料,在冈瓦纳大陆和劳亚大陆之间在晚古生代存在一个5000km宽的大洋(董学斌等,1991),因此在该区存在夏威夷式的洋岛也是可能的。从已有的资料来看,在冈玛错-双湖一带,大理岩与变基性岩同时发生高压变质作用(李才等,1995),这些大理岩可能是洋岛海山上的沉积。向东延到滇西的澜沧江-昌宁-孟连一带,也有类似的情况出现(张旗,1992;钟大赉等,1998)。

热模拟证实了产生蓝片岩的适当环境只能存在于俯冲带和相关的会聚板块处,但如果俯冲作用持续进行,已形成的蓝片岩将被带至上地幔中去,所以蓝片岩的保存、抬升、剥蚀机制是相当重要的(Coleman, 1972; Thompson and Ridley, 1987; Avigad and Garfunkel, 1991; Dobretsov, 1991)。当俯冲作用停止之后,热松弛将使岩石升温,若不发生快速抬升,蓝片岩相条件将因受热而消除,因此蓝片岩相岩石的剥蚀作用相当重要。因此作者根据地质资料和蓝片岩的形成条件,提出如下的构造演化模式设想:在早期形成的洋岛向属于欧亚大陆的北羌塘(可能为岛弧)底部俯冲,俯冲到20~25km处发生高压变质作用,然后快速折返剥蚀与南羌塘一起增生到北羌塘,同时缝合线向南迁移,即到班公湖-怒江缝合线,在北羌塘由于受洋岛的俯冲而增生,并一起向被增生到欧亚大陆中,蓝片岩形成后受后期的班公湖-怒江缝合线闭合的构造热事件影响。关于洋岛增生模式已在日本、土耳其、南天山、乌拉尔(Ural)和佛朗西斯科(Franciscan)的高压变质带中应用过(Cadet *et al.*, 1987; Maruyama *et al.*, 1989; Dobretsov, 1991; Cloos, 1993; Pickett *et al.*, 1996; Isozaki, 1997; Volkova *et al.*, 1999),作者考虑到青藏高原的特殊情况,认为研究区的构造演化可能是先洋岛增生到岛弧,然而再一起增生到大陆。

## 6 结论

(1) 羌塘中部冈玛日-桃形错的蓝片岩原岩是碱性玄武岩。

(2) 蓝片岩原岩形成环境是大洋内的洋岛玄武岩。

(3) 冈玛错-双湖一带可以作为晚古生代冈瓦纳大陆和劳亚大陆古特提斯洋闭合的位置。

**致谢** 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈构造演化开放研究实验室ICPMS室进行了稀土元素及微量元素分析,中国科学院地质与地球物理研究所岩石化学分析室的曹杰进行了主量元素分析工作,笔者谨向他们表示衷心感谢。

## References

- Avigad D and Garfunkel Z. 1991. Uplift and exhumation of high-pressure metamorphic terrains; the example of the Cycladic blueschist belt (Aegean Sea). *Tectonophysics*, 188: 357- 372
- Bass M N, Moberly R, Rhodes JM *et al.* 1973. Volcanic rocks cored in the central Pacific Leg 17. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 17: 429- 503
- Cadet JP, Kobayashi K and Lallen and S *et al.* 1987. Deep scientific dives in the Japan and Kurile trenches. *Earth and Planetary Science Letters*, 83: 313- 328
- Cloos M. 1993. Lithospheric buoyancy and collisional orogenesis: subduction of oceanic plateaus, continental margins, island arcs, spreading ridges, and seamounts. *Geological Society of America Bulletin*, 105: 715- 737
- Coleman RG. 1972. Blueschist metamorphism and plate tectonics. *Proc 24th Int Geol Congr*, 2: 19- 26
- Deng Wanning, Yin Jixiang and Guo Zhongping. 1996. Basic-ultrabasic and volcanic rocks in Chagbu-Shuanghu area of North Xizang (Tibet). *Science in China (Series D)*, 39(4): 359- 368
- Deng Xiguang, Ding Lin, Liu Xiaohan *et al.* 2000. Discovery of blueschist in Gangmar-Taoxing Co area, central Qiangtang, northern Tibet. *Scientia Geologica Sinica*, 35(2): 227- 232 (in Chinese with English abstract)
- Deng Xiguang, Ding Lin, Liu Xiaohan *et al.* 2001. Petrology and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  isotopic ages of blueschists in Gangmar, central Qiangtang, Northern Tibet. *Chinese Science Bulletin*, 46(5): 423- 427
- Dobretsov NL. 1991. Blueschists and eclogites: a possible plate tectonic mechanism for their emplacement from the upper mantle. *Tectonophysics*, 186: 253- 268
- Dong Xuebin, Wang Zhongmin, Tan Chengze *et al.* 1991. New results of paleomagnetic studies of the Qinghai-Tibet Plateau. *Geological Review*, 37(2): 160- 164 (in Chinese with English abstract)
- Ernst WG. 1979. Coexisting sodic and Calcic amphibole from high-pressure metamorphic belts and the stability of barroistic amphiboles. *Mineralogical Magazine*, 43: 269- 278
- Glassiey W. 1974. Geochemistry and tectonics of Grescent volcanic rocks, Olympic Peninsula, Washington. *Geol Soc Am. Bull.*, 85: 785- 794
- Henning A. 1915. *Eur Petrographic and Geologie Von Sudwest Tibet*. In: *Southern Tibet 5 (Hedin S ed.)*, Stockholm
- Hofmann AW. 1997. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism. *Nature*, 385: 219- 229
- Hu Ke, Li Cai, Cheng Liren *et al.* 1995. Gangmar-Shuanghu blueschist belt in central Qiangtang area of Tibet and its geological significance. *Journal of Changchun College of Geology*, 25(3): 268- 274 (in Chinese with English abstract)
- Irvine TN and Baragar WRA. 1971. A guide to the chemical



- classification of the common volcanic rocks *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8: 523- 548
- Isozaki Y. 1997. Contracting two types of orogen in Pemo-Triassic Japan: accretionary versus collisional *The Island Arc*, 6: 2- 24
- Li Cai 1987. The Longmuco-Shuanghu-Lancangjiang plate suture and the north boundary of distribution of Gondwana facies Pemo-Carboniferous system in northern Xizang, China *Journal of Changchun College of Geology*, 17(2): 155- 166 (in Chinese with English abstract)
- Li Cai, Chen Liren, Hu Ke *et al*. 1995. Study on the Paleo-Tethys suture zone of Lungmu Co - Shuanghu, Tibet Beijing: Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
- Li Shuguang 1993. Ba-Nb-Th-La diagrams used to identify tectonic environments of ophiolite *Acta Petrologica Sinica*, 9(2): 146- 157 (in Chinese with English abstract)
- Maruyama S and Liu JG 1989. Possible depth limit for underplating by a seamount *Tectonophysics*, 160: 327- 337
- Meschede M. 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology*, 56: 207- 218
- Mullen ED. 1983. MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: A minor element discriminant for basaltic rocks of volcanic environments and its implications for petrogenesis *Earth and Planetary Science Letters*, 62: 53- 62
- Nakajima T, Banno S and Suzuki T. 1977. Reactions leading to the disappearance of pumpellyite in low-grade metamorphic rocks of the Sanbagawa metamorphic belt in central Shikoku, Japan. *Journal of Petrology*, 18: 263- 284
- Pearce JA. 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: Thorpe RS (ed.) *Andesites*, New York: John Wiley and Sons, 525- 548
- Pearce JA and Gale GH. 1977. Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks. In: *Volcanic Studies Group, Geol Soc London (ed.)*, *Volcanic Processes in Ore Genesis Spec Publ Geol Soc London*, 7: 14- 24
- Pearce TH and Cann JR. 1973. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses *Earth and Planetary Science Letters*, 19: 290- 300
- Piskett EA and Robertson AHF. 1996. Formation of the Late-Palaeozoic-Early-Mesozoic Karakaya Complex and related ophiolites in NW Turkey by Palaeotethyan subduction-accretion *Earth and Planetary Science Letters*, 153: 995- 1009
- Sun Dong-Li 1993. On the Permian biogeographic boundary between Gondwana and Eurasia in Tibet, China as the eastern section of the Tethys Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 100: 59- 77
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD and Norry MJ (eds) *Magmatism in the Ocean Basins Geological Society Special Publication*, No. 42: 313- 345
- Thompson AB and Ridley JR. 1987. Pressure-temperature-time (P-T-t) histories of orogenic belts *Philos Trans R. Soc London, Ser. A*, 321: 27- 45
- Volkova NI and Budanov VI 1999. Geochemical discrimination of metabasalt rocks of the Fan-Karategin transition blueschist/greenschist belt, South Tianshan, Tajikistan: seamount volcanism and accretionary tectonics *Lithos*, 47: 201- 216
- Wang Chengshan, Hu Chengzu, Wu Ruizhong *et al*. 1987. Significance of the discovery of Chasang - Chabu rift in northern Xizang (Tibet). *Journal of Chengdu College of Geology*, 14(2): 33- 45 (in Chinese with English abstract)
- Yao Zongfu 1988. Discovery of glaucophane-bearing rocks in northern Tibet *Regional Geology of China*, 2: 190 and 183 (in Chinese with English abstract)
- Ye Huiwen 1987. Metamorphism of the glaucophane-schists in China *Journal of Petrology and Mineralogy*, 6(2): 101- 113 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Q, Zhang KW and Li DZ 1992. Mafic-Ultramafic rocks in Hengduan Mountains region. Beijing: Science Press (in Chinese)
- Zhang Zhaozhong, Feng Jinjiang and Zhang Bingliang 1986. Glaucophane Schist in China and plate tectonics *Acta Petrologica Sinica*, 2(4): 31- 40 (in Chinese with English abstract)
- Zhong Dalai *et al*. 1998. Paleo-Tethys orogenic belt in Western Yunnan-Sichuan. Beijing: Science Press (in Chinese)

#### 附中文参考文献

- 邓希光, 丁林, 刘小汉等. 2000. 藏北羌塘中部冈玛日-桃形错蓝片岩的发现 *地质科学*, 35(2): 227- 232
- 邓希光, 丁林, 刘小汉等. 2001. 青藏高原羌塘冈玛日地区蓝片岩及其 40Ar/39Ar 年代学 *科学通报*, 45(11): 2322- 2326
- 董学斌, 杨惠心, 谭承泽. 1991. 青藏高原古地磁研究新结果 *地质论评*, 37(2): 160- 164
- 胡克, 李才, 程立人等. 1995. 西藏羌塘中部冈玛错-双湖蓝片岩带及其构造意义 *长春地质学院学报*, 25(3): 268- 274
- 李才, 程立人, 胡克等. 1995. 西藏龙木错-双湖古特提斯缝合线研究 *北京: 地质出版社*
- 李才. 1987. 龙木错-双湖-澜沧江板块缝合带与石炭-二叠纪冈瓦纳北界 *长春地质学院学报*, 17(2): 156- 166
- 李曙光. 1993. 蛇绿岩生成构造环境的 Ba-Th-Nb-La 判别图 *岩石学报*, 9(2): 146- 157
- 王成善, 胡朝荃, 吴瑞忠等. 1987. 西藏北部茶桑-茶布裂谷的发现及其地质意义 *成都地质学院学报*, 14(2): 33- 45
- 姚宗富. 1988. 西藏北部发现含蓝闪石类岩石 *中国区域地质*, 2: 190, 183
- 叶慧文. 1987. 中国蓝闪片岩相的变质作用 *岩石矿物学杂志*, 6(2): 101- 113
- 张旗, 张魁武, 李达周. 1992. 横断山脉镁铁-超镁铁岩 *北京: 科学出版社*
- 张兆忠, 冯锦江, 张秉良等. 1986. 中国的蓝片岩和板块构造 *岩石学报*, 2(4): 31- 40
- 钟大赉等. 1998. 滇川西部古特提斯造山带 *北京: 科学出版社*