

·专题研究·

# 拉萨地块内部古特提斯洋早中三叠世仍在俯冲 ——来自火山岩和高压变质岩的证据

李奋其, 刘伟, 王保弟, 张士贞

(成都地质矿产研究所, 四川 成都 610082)

**摘要:**重点对拉萨地块查曲浦组火山岩地球化学特征和工布江达地区盆萨岗岩组变质基性火山岩矿物特征、时代进行了研究。查曲浦组火山岩以中基性岩为主,具有从基性向酸性演化的特征,富集大离子亲石元素 K、放射性生热元素 U 和 Th,相对亏损高场强元素 Nb、Ta 和 Ti,轻稀土元素明显富集,具有类似于俯冲带火山岩的地球化学特征。盆萨岗岩组变质基性火山岩发育石榴石、角闪石等变斑晶,前者以铁铝榴石和钙铝榴石为主,后者包括镁质普通角闪石、铁质普通角闪石、韭闪石和铁阳起石等,它们是在高压、相对低温环境下形成的。变质基性火山岩中的锆石为具有新壳和老核的复合型锆石,新壳不具振荡环带结构, Th/U 比值小于 0.1,系后期构造-热事件形成, SHRIMP 定年结果显示,新壳的 U-Pb 年龄分为 2 组, 8 个测点加权平均年龄为  $237.7 \pm 7.1$  Ma (MSWD=1.3),与早中三叠世造弧运动对应, 6 个测点加权平均年龄为  $273.4 \pm 5.5$  Ma (MSWD=0.15),与早中二叠世造弧运动对应, 4 个测点年龄值在 304~346 Ma 之间,为混合年龄,反映变质基性岩原岩时代至少为石炭纪。在以上基础上,结合前人资料,认为拉萨地块古特提斯洋在早中三叠世时期还在俯冲,于晚三叠世消亡。

**关键词:**火山岩,变斑晶,锆石, U-Pb 年龄,岛弧,俯冲

中图分类号: P588.14; P588.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2012)02-0119-14

## The continuation of the subduction of Paleo-Tethys Ocean within Lhasa block in Early-Middle Triassic: evidence from volcanic rocks and HP metamorphic rocks

LI Fen-qi, LIU Wei, WANG Bao-di and ZHANG Shi-zhen

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610082, China)

**Abstract:** The Sumdo eclogite belt is regarded as remains of the Paleo-Tethys Ocean basin in Lhasa block. This paper deals with the problem whether it still subducted in Early-Middle Triassic or not. Early-Middle Triassic Chaqupu Formation and Chasagang Formation serving as the wall rock of eclogite were selected for the study. The authors not only emphatically studied geochemical features of Early-Middle Triassic volcanic rocks lying in Chaqupu area but also investigated mineralogical characteristics and age of meta-basic volcanic rocks of Chasagang Formation in Gongbujiangda area. The Early-Middle Triassic volcanic rocks consist of basic-intermediate rocks with the evolution features from basic to acid, and show intense enrichment of K in LILE and radioactive elements Th and U, relative depletion of Nb, Ta and Ti in HFSE, and enrichment of LREE, similar to geochemical features of volcanic rocks produced in subduction zones. The meta-basic volcanic rocks of Chasagang Formation not only have hornblende metacrystal but also garnet metacrystal; the former consists of

收稿日期: 2011-08-26; 修订日期: 2011-10-20

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查项目(1212011086039)

作者简介: 李奋其(1966-),男,博士,副研究员,从事青藏高原基础地质研究, E-mail: lfenqi@cgs.cn

almandine and grossular, whereas the latter mainly consists of magnesian hornblende, ferruginous hornblende and ferruginous actinolite, both formed under high- $p$  and relatively low- $T$  conditions. All of the zircons from meta-basic volcanic rocks are metamorphic compound ones composed of old core and young shells. And the young shells have no zoned structure and were formed probably by late thermo-tectonic event. The SHRIMP technique was applied to determine U-Pb age of the metabasic volcanic rocks. The results show that the young shells can be divided into two groups by their ages, one group yielded  $237.7 \pm 7.1$  Ma (MSWD = 1.3) which is consistent with the island arc produced (IAP) in Early-Middle Triassic, the other yielded  $273.4 \pm 5.5$  Ma (MSWD = 0.15) which is consistent with the IAP of Early-Middle Permian. The mixtures of old core and young shell of 4 zircon measuring points yielded the ages from 304 to 346 Ma, suggesting that the protolith of meta-basic volcanic rocks were formed at least in Carboniferous. Based on these results in combination with the conformity between Early-Middle Triassic Chaqupu Formation and Carboniferous-Permian island-arc volcanic rocks, the unconformity between Middle Jurassic and Lower-Middle Triassic in Lhasa area as well as between Lower Jurassic and Upper Triassic in Coqin area, and the existence of Late-Triassic collisional granite in Nanmulin area, the authors have reached the conclusion that the Paleo-Tethys Ocean between the southern part and the northern part of Lhasa block, like Longmu Co-Shuanghu and Xijinwulan-Jinshajiang Paleo-Tethys Ocean, subducted in Early-Middle Triassic and disappeared in Late Triassic.

**Key words:** volcanic rocks; metacrystal; zircon U-Pb ages; island arc; subduction

长期以来,青藏高原地质工作者认为班公湖-怒江缝合带以北地区经历了古特提斯洋开合演化过程,并且早中三叠世还在俯冲,晚三叠世开始闭合,形成羌北地块的早侏罗世那底岗日组与晚三叠世日干配错组之间的造山不整合(李才等,2007a,2007b;

杨广全等,2009)。近年来,随着地质调查研究工作的逐步深入,人们发现在拉萨地块内部的松多一带存在一条古特提斯洋缝合带(杨经绥等,2007;陈松永等,2007,2008;李天福等,2007;徐向珍等,2007;李兆丽等,2008;图1)。但是,拉萨地块内部的古特

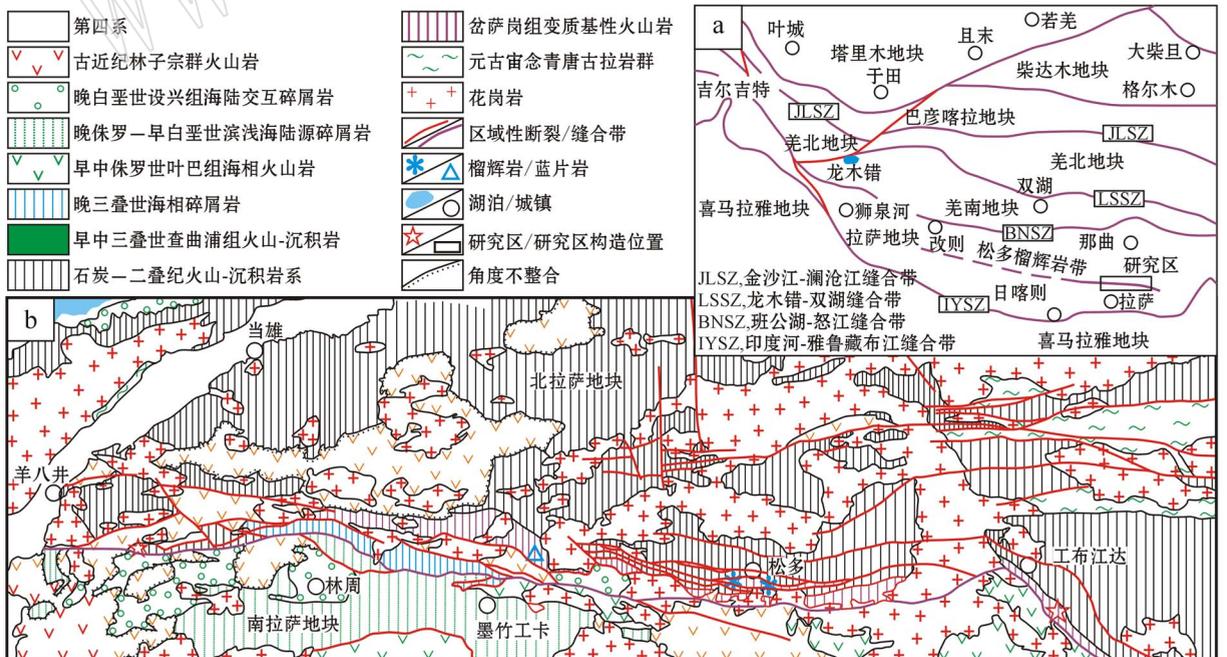


图 1 研究区构造位置图(a)和地质简图(b)

Fig. 1 Tectonic location (a) and simplified geological map (b) of the study area

提斯洋是否与龙木错-双湖、西金乌兰-金沙江古特提斯洋一样于早中三叠世仍在俯冲?它的闭合是否与地块内部印支期造山型不整合和碰撞型花岗岩相对应<sup>①</sup>(纪占胜等,2006;武桂春等,2007;张宏飞等,2007)?这些问题不仅制约着冈底斯带地质构造格架的研究,还制约着青藏高原南部古特提斯构造-古地理研究。

大洋俯冲于俯冲消减带部位以发生高压变质作用为特征,而在岛弧带多显示出较为强烈的岩浆活动。在羊八井-松多-工布江达一线,不仅广泛发育作为松多榴辉岩直接围岩的岔萨岗组变质基性火山岩,还出露早中三叠世查曲浦组火山-沉积岩系,它们很可能蕴含着古特提斯洋演化的信息,但前人未予以足够的重视。本文选择工布江达县城东南的岔萨岗组变质基性火山岩、堆龙德庆县马乡东部的查曲浦组火山岩为研究对象,基于变质岩的矿物学、年代学研究和火山岩地球化学研究,探讨古特提斯洋于早中三叠世是否还在俯冲,进而结合前人资料,探讨该古特提斯洋的消亡时限。

## 1 地质概况

研究区位于拉萨地块东部,自北而南分为隆格-工布江达弧背断隆带和南冈底斯-下察隅火山岩浆弧带,也有人将它们分别称为南、北拉萨地块(潘桂棠等,2006;Zeng *et al.*,2008;李化启等,2008)<sup>②③</sup>。北部地区以出露三叠系及其以前地层为特征,元古宙念青唐古拉岩群是该区出露的最老地层,构成拉萨地块结晶基底。岔萨岗组沿松多高压变质带呈断片状产出,主要由变质基性火山岩、变质碎屑岩组成,变质程度达高绿片岩相(杨德明等,2005),其时代尚存争议:一种观点认为它形成于前奥陶纪<sup>④</sup>,另外一种观点认为形成于石炭纪(李兆丽等,2008)。石炭-二叠系出露最广,是一套浅变质的海相火山-沉积岩系,被认为是古特提斯洋向北消减的产物(王立全等,2008)。中下三叠统仅见于南部边缘地带,具有与二叠系连续沉积的特征,为一套厚逾1200 m、富含海相动物化石的一套火山-沉积岩系<sup>⑤</sup>。野外实地调研表明,其中的碳酸盐岩普遍为

滑塌堆积,滑塌褶皱较为发育(图2a、2b),很可能代表大陆斜坡环境。南部以广泛出露侏罗系一下白垩统为重要特征,属于新特提斯大洋向北消减形成的海相火山-沉积岩系,局部地带可见其与中下三叠统呈角度不整合的接触关系<sup>⑥⑦</sup>。古近系在南、北构造单元均较发育,为一套角度不整合于古老地层之上的陆相火山岩系,属于印-亚大陆碰撞作用的产物。

在上述两个次级构造单元的交接部位,褶皱变形强度明显较南、北两侧大,发育超镁铁质岩体,断裂密度大,韧性变形、推覆活动极为强烈,被视为南、北拉萨地块的会聚碰撞部位(李化启等,2008)。在该构造部位,侏罗纪以前的地层体呈近东西向断片产出,其中断续发育超镁铁质岩瘤<sup>⑧</sup>,这些地质体相互堆叠,构成了一条东西长逾200 km的“构造混杂岩带”。该带是松多榴辉岩、旁那蓝片岩的产出部位,它们均赋存于岔萨岗组变质基性火山岩中,其原岩来源于亏损地幔,为一套典型的大洋玄武岩(杨经绥等,2006,2007;陈松永等,2007;曾令森等,2009)。

## 2 样品采集和分析方法

### 2.1 样品采集

所采8件样品均为早中三叠世查曲浦组杏仁状玄武岩、英安岩和安山岩,用于主量元素、微量元素和稀土元素地球化学分析。杏仁状玄武岩为灰、灰绿色,斑状结构,基质间隐结构,杏仁状、块状构造,斑晶成分为基性斜长石(5%),弱碳酸盐化,其次为石英(2%),基质由微斜长石(50%)微晶构成,矿物中含锆石包体,气孔充填有方解石。英安岩呈斑状结构,块状构造,斑晶以斜长石、钾长石和微斜长石为主,钾长石斑晶呈板柱状、不规则粒状,大者粒径可达1.5 mm×2.5 mm,泥化、绢云母化强烈,表面呈灰褐色斑块状,斜长石斑晶呈柱状、柱粒状(个别柱粒 $d=1\text{ mm}\times 3.5\text{ mm}$ )绢云母化强烈,发育细小的钠长石双晶,个别长柱粒晶体可达1 mm×3.5 mm,石英斑晶呈残斑状交代(图2c)。安山岩呈灰绿色,由斑晶和基质两部分组成,斑晶以中长石为主,柱状、柱粒状和不规则状(图2d),部分绢云母化,沿裂纹常碳酸盐化,基质呈玻晶交织结构,由斜长石微

① 中国地质大学(武汉). 2011. 西藏德庆地区四幅1:5万区域地质调查2011年设计.

② 云南省地质调查院. 2003. 中华人民共和国1:25万林芝幅区域地质调查报告.

③ 西藏自治区地质调查院. 2006. 中华人民共和国1:25万拉萨幅、泽当镇幅区域地质调查报告.

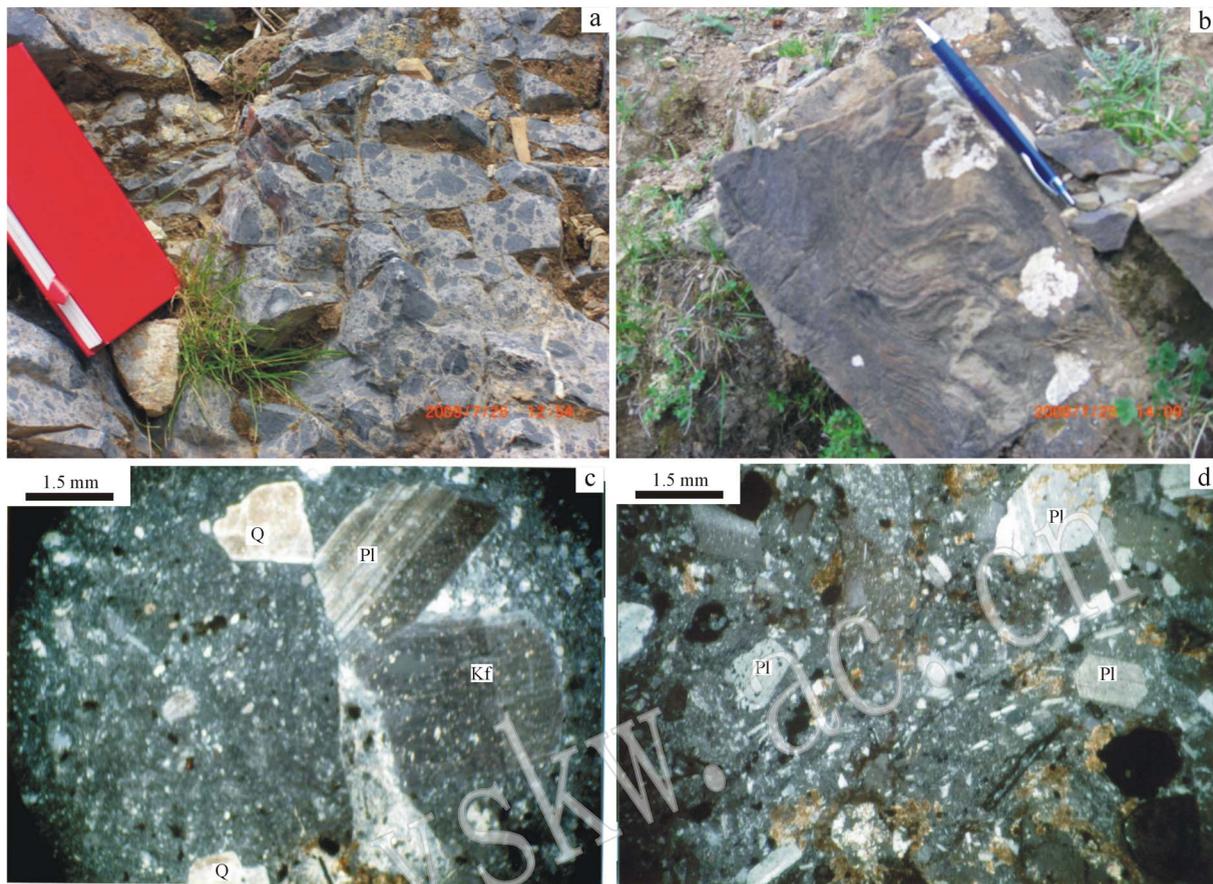


图 2 拉萨地区查曲浦组碳酸盐岩夹层露头 and 火山岩显微照片

Fig. 2 Petrographic photographs and outcrop of the carbonate rock intercalations in Chaqupu Formation of Lhasa area  
a—滑塌碳酸盐岩; b—滑塌褶皱; c,d—分别是英安岩样品的斜长石、钾长石和石英斑晶以及安山岩样品的斜长石斑晶,正交偏光,

Q—石英; Or—钾长石; Pl—斜长石

a—slump carbonate rock; b—slump folds; c,d—the former showing phenocrysts of plagioclase, K-feldspar and quartz in dacite,  
and the latter showing one of plagioclases in andesite, crossed nicols; Q—quartz; Kf—K-feldspar; pl—plagioclase

晶、石英微粒和玻璃质隐晶组成。

电子探针分析和 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年样品采集于发育于工布江达县城南东约 30 km 的岔萨岗岩组变质基性岩中(地理坐标: E93°18′55.5″, N29°48′1.5″)(图 1), 包括石榴角闪岩、角闪片岩和斜长角闪岩等。

## 2.2 分析方法

选取蚀变较弱、杏仁构造较少的早中三叠世火山岩样品, 经无污染破碎到 200 目供岩石化学分析。全岩主量元素、微量元素分析分别在国土资源部成都地质矿产研究所、核工业北京地质研究院分析测试中心完成。主量元素在 AXIOSAXAIOS-X-荧光光谱仪和 BS-124S 分析天平-1 上进行, 分析精度优于 2%; 微量元素分析在 Finnigan MAT 制造的 HR-ICP-MS(Element 1)仪器上进行, 微量元素的分析精度总体优于 10%。

电子探针分析在成都地质矿产研究所完成, 使用岛津 EPMA-1600 型号仪器, 检测环境: 湿度 58%, 温度 20℃, 严格按照 GB/T15617-2002 规范进行。

SHRIMP U-Pb 定年分析尽量选取未风化蚀变或者蚀变较弱的火山岩样品, 采用人工重砂分选, 首先通过淘洗和使用重液等物理方法分离锆石, 然后在双目镜下精选、剔除杂质。锆石样品在北京离子探针中心完成制靶、阴极发光显微照相, 锆石 U-Pb-Th 分析在中国地质科学院北京离子探针中心 SHRIMP-II 型离子探针上完成, 应用标准样 TEM (417 Ma) 进行分馏校正。锆石 SHRIMP U-Pb 年龄测定原理、样品靶制作和测定流程等参照宋彪等 (2002) 和 Compston 等 (1992) 的方法完成。有关年龄的数据处理由中国地质科学院北京离子探针中心闫全人采用 SQU ID 及 ISOPLLOT 程序完成 (Lud-

wig, 2001), 所有测点的误差均为  $2\sigma$ , 所采用的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均比值年龄具 95% 的置信度。

### 3 火山岩地球化学特征

#### 3.1 主量元素

野外实地调研和镜下观察表明, 拉萨地区早中三叠世火山岩发生了不同程度的热液蚀变作用, 使其岩石中主量元素 Na、K、Ca、Si 等活动组分在热液蚀变过程中发生了一些变化。为了真实反映火山岩的岩石类型、成因及其构造环境, 采用受蚀变作用影响较小的主量元素 ( $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{TFeO}$  等) 与惰性高场强元素 (Nb、Zr、Y 等) 为对象进行分析讨论。从表 1 可见, 拉萨地区早中三叠世火山岩  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 8.66% ~ 18.02%, 平均 15.16%;  $\text{TiO}_2$  含量 0.43% ~ 0.81%, 平均 0.60%;  $\text{TFeO}$  含量 4.38% ~ 9.65%, 平均 7.6%; 较该区北部二叠纪火山岩的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (15.22% ~ 21.22%、平均 17.31%)  $\text{TiO}_2$  (0.65% ~ 1.26%、平均 0.97%)  $\text{TFeO}$  (6.18% ~ 14.69%、平均 9.73%) 含量低;  $\text{MgO}$  含量 0.67% ~ 15.2%, 平均 5.36%, 相对较高 (1.16% ~ 7.29%, 平均 4.35%)。在岩石化学 Nb/Y - Zr/TiO<sub>2</sub> 分类图上, 主要分布于安山岩区, 其次为玄武岩和英安岩区 (图 3)。酸性岩样品  $\text{Mg}^\#$  值为 24.3, 中性岩介于 39.5 ~ 58.2 之间, 明显低于原生岩浆范围 ( $\text{Mg}^\# =$

68.0 ~ 75.0) (Wilson, 1989), 表明岩浆经历了一定程度的结晶分异作用; 基性岩  $\text{Mg}^\#$  为 62.3 ~ 79.8, 大致相当于原生岩浆范围, 表明岩浆结晶分异不明显。

#### 3.2 微量元素

从表 1 可见, 所有样品的过渡族元素 Sc、V、Cr、Co 含量具有从酸性岩向基性岩增高的趋势。早中三叠世火山岩样品含有相对较高的高场强元素 (HFSE), 其 Nb/Ta 比值 (9 ~ 16) 低于原始地幔值 (Nb/Ta = 19.9; Münker *et al.*, 2003), 而 Zr/Hf 比值除 2 件样品小于 29 外, 其余均在 39 ~ 45 之间, 略高于原始地幔值 (Zr/Hf = 36, Sun and McDonough, 1989)。样品均表现出 Nb ( $0.8 \times 10^{-6} \sim 13.7 \times 10^{-6}$ ) Ta ( $0.05 \times 10^{-6} \sim 0.929 \times 10^{-6}$ ) 和 Ti ( $2.751 \times 10^{-6} \sim 5.083 \times 10^{-6}$ ) 亏损, 大离子亲石元素 K 和放射性生热元素 U 强烈富集的特征 (图 4a)。Nb 值均在 0.23 ~ 0.86 之间, 表明岩浆上侵受到了大陆地壳的一定混染。但是, 它们之间存在一定的差异: Ba 在酸性岩中明显亏损, 而在基性岩中相对富集; Th 显示出在基性岩中相对亏损, 而在中性、酸性岩中明显富集的特征。火山岩中稀土元素含量变化在  $36.7 \times 10^{-6} \sim 251.49 \times 10^{-6}$  之间, 并具有相对富集轻稀土元素 ( $\text{La}_N/\text{Yb}_N = 2.35 \sim 6.64$ ) 重稀土元素分馏不明显的特征 ( $\text{Gd}_N/\text{Yb}_N = 0.97 \sim 1.43$ )。球粒陨石标准化曲线均总体向右倾斜 (图 4b), 大多数样品基本不具 Eu 异常, 仅 2 件样品表现出不同程度的负异常, 反映斜长石发生了一定的结晶分离作用。此外, 2 件基性岩样品表现出一定的负 Ce 异常, 有可能是俯冲带上的沉积岩在俯冲过程中发生部分熔融作用, 并且所产生的熔体参与大洋型岛弧岩浆作用, 最终导致具有 Ce 异常的基性岩浆生成 (曾令森等, 2005)。

### 4 主要变质矿物化学特征和锆石 SHRIMP 测年

#### 4.1 主要变质矿物和矿物化学特征

工布江达地区的盆萨岗组变质基性火山岩呈夹层状或透镜状产出, 岩石类型主要有绿帘透闪片岩、绿帘钠长透闪片岩、石墨黑云阳起片岩、石英角闪片岩、斜长角闪岩、斜长角闪片岩、钠长阳起片岩、绿帘阳起片岩、钠长绿帘阳起片岩、钠长黑云阳起片岩和钠长方解绿泥片岩等。常见特征变质矿物主要有石

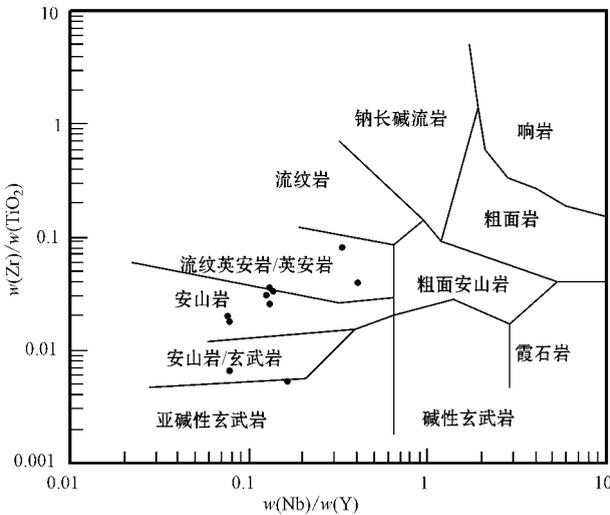


图 3 拉萨地区早中三叠世火山岩 Zr/TiO<sub>2</sub> - Nb/Y 分类图解 (据 Winchester 和 Floyd, 1977)

Fig. 3 Zr/TiO<sub>2</sub> - Nb/Y diagram of Early-Middle Triassic volcanic rocks (after Winchester and Floyd, 1977)

表 1 拉萨地区早中三叠世火山岩主量元素( $w_B/\%$ )、微量元素( $w_B/10^{-6}$ )分析结果

Table 1	Major elements( $w_B/\%$ ) and trace elements( $w_B/10^{-6}$ ) content of Early-Middle Triassic volcanic rocks in Lhasa area									
样号	CQ03-3	CQ9-1	CQ11-1	CQ6-1	CQ5-1	CQ4-1	CQ7-1	CQ8-1	S03-b3	S03-b4
SiO <sub>2</sub>	65.31	60.3	58.83	56.51	53.09	55.51	51.8	49.81	47.92	44.46
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.49	16.42	17.89	18.02	16.01	17.02	17.85	15.33	8.66	8.89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.00	4.45	5.92	5.69	6.59	5.48	6.8	5.42	1.28	2.53
FeO	2.58	2.62	0.24	1.06	3.72	3.06	2.14	4.29	6.92	7.84
CaO	2.92	0.92	6.29	2.16	2.48	2.32	2.15	7.17	16.07	17.18
MgO	0.67	2.47	2.5	2.49	4.38	2.49	5.49	7.22	15.2	10.7
K <sub>2</sub> O	2.45	0.6	1.19	0.4	0.32	0.4	0.74	1.34	0.38	0.9
Na <sub>2</sub> O	5.2	7.93	4.51	9.53	7.41	9.53	7.6	4.84	1.06	0.61
TiO <sub>2</sub>	0.81	0.51	0.72	0.47	0.62	0.47	0.75	0.82	0.44	0.43
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.35	0.23	0.24	0.37	0.24	0.25	0.27	0.12	0.12
MnO	0.09	0.15	0.06	0.1	0.18	0.1	0.16	0.17	0.11	0.11
灼失	2.07	2.3	0.83	3.01	3.83	3.06	3.82	2.82	1.61	5.79
总量	99.84	99.02	99.21	99.68	99.00	99.68	99.55	99.5	99.77	99.56
Mg <sup>#</sup>	24.3	43.9	48.5	45.8	48.8	39.5	58.2	62.3	79.8	68.9
Sc	5.28	6.86	2.98	8.66	12.1	10.53	11.9	19.6	66.7	54.7
V	38.2	137	17.3	132	239	184	217	245	303	244
Cr	15	72.4	7.61	38.9	29.6	34.9	3.96	159	1093	1015
Co	4.81	17.9	1.5	18	30.3	25	23.2	35.6	26.7	39.3
Ga	15.8	14.8	14.6	14.5	16	15.3	17.6	15.6		
Rb	86.9	17	20.3	9.5	3.02	6.5	8.1	15.2	9.98	46.5
Sr	236	307	311	506	606	554	622	319	457	410
Y	33.4	22.4	33.2	16.2	22.9	18.2	22.9	24.8	10.3	10.6
Nb	11.3	2.98	13.7	2.06	3.01	2.53	1.74	1.95	0.8	1.75
Cs	10.6	1.02	31.7	0.93	0.39	0.62	3.75	0.60		
Ba	351	140	400	183	121	154	169	325	122	63.7
La	32.4	10.7	48.9	14.1	16.2	15.3	12.4	14.3	6.2	3.6
Ce	71.5	31.9	91.1	25.4	29.7	27.4	23.5	27.3	9.7	6.8
Pr	7.38	2.74	10.1	2.94	3.84	3.35	3	3.5	1.4	1.1
Nd	30.2	12.4	38	12.6	16.1	14.5	13.7	15.9	6.7	5.4
Sm	6.15	3.13	6.91	2.68	3.59	3.12	3.42	3.67	1.8	1.6
Eu	1.3	0.90	0.73	0.81	1.02	0.89	1.19	1.24	0.6	0.6
Gd	6.03	3.16	6.04	2.63	3.59	3.23	3.5	3.98	1.8	1.7
Tb	1.02	0.61	1.04	0.471	0.67	0.54	0.67	0.77	0.3	0.3
Dy	5.97	3.68	5.78	2.77	3.92	3.26	4.15	4.44	1.9	1.9
Ho	1.17	0.76	1.15	0.58	0.80	0.62	0.82	0.94	0.4	0.4
Er	3.41	2.25	3.57	1.73	2.46	2.25	2.4	2.68	1.1	1.2
Tm	0.53	0.40	0.59	0.29	0.39	0.35	0.37	0.39	0.2	0.2
Yb	3.5	2.7	3.81	1.87	2.61	2.16	2.5	2.63	1.1	1.1
Lu	0.56	0.42	0.57	0.31	0.43	0.36	0.40	0.40	0.2	0.2
Ta	0.81	0.19	0.93	0.23	0.24	0.22	0.14	0.16	0.05	0.11
Tl	0.57	0.09	1.36	0.05	0.02	0.05	0.11	0.17		
Th	18.6	5.64	23.5	3.36	4.06	3.58	2.77	0.94	0.53	0.49
U	4.48	1.31	4.85	1.15	1.13	1.12	0.77	0.98	0.8	0.38
Zr	658	180	280	147	162	156	153	150	28.4	23.7
Hf	14.9	4.6	9.04	3.59	4.00	3.88	3.62	3.77	1.02	0.84
Ti	4855	3057	4316	2817	3716	2817	4495	4915	2637	2577
TFeO	4.38	6.62	5.57	6.18	9.65	7.99	8.26	9.17	8.07	10.12
(La/Yb) <sub>N</sub>	6.64	2.84	9.21	5.41	4.45	5.08	3.56	3.90	4.04	2.35
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	1.43	0.97	1.31	1.16	1.14	1.24	1.16	1.25	1.35	1.28

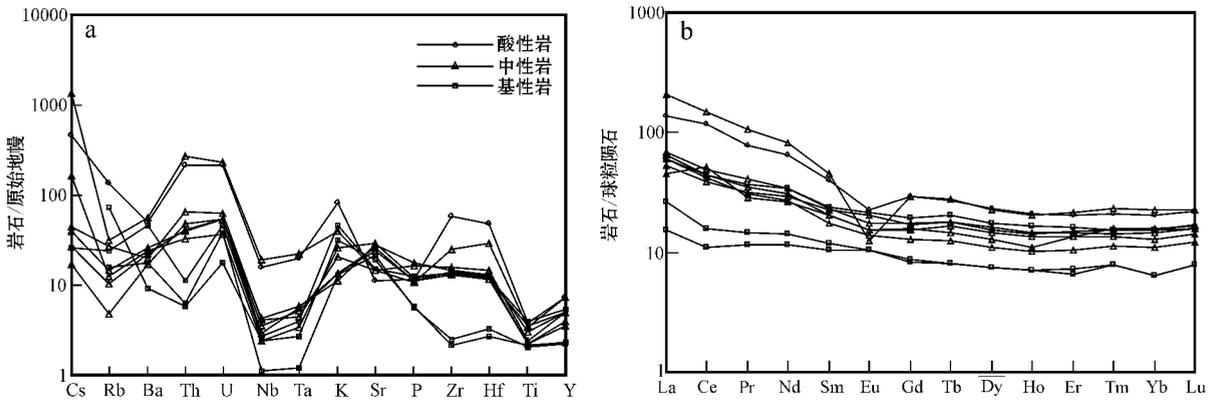


图 4 原始地幔标准化微量元素蛛网图(a)和球粒陨石标准化稀土元素配分图(b) (原始地幔和球粒陨石标准化值据 Sun & McDonough, 1989)

Fig. 4 Primitive-mantle normalized trace elements spider diagram (a) and chondrite-normalized REE patterns (b) (normalized values of primitive mantle and chondrite are both from Sun & McDonough, 1989)

榴石、角闪石、绿泥石、阳起石、白云母、黑云母和透闪石等，其中前两者为主要造岩矿物。

石榴石多与角闪石、斜长石和黑云母等矿物共生，含量一般在 40% 以上；多呈斑晶产出，常包裹石英、斜长石并构成筛状结构，此种现象门巴地区的云母片岩中也可见到，反映了多期变质（杨德明等，2005）；变斑晶大者约 6 mm × 5 mm，小的一般 2~1 mm，高突起，为均质矿物，全消光；电子探针分析结果显示，以铁铝石榴石和钙铝石榴石为主；据前人资料，从中心到边部，成分含量发生变化，CaO：6%~11%，MgO：2.5%~5%，FeO：22%~27%，MnO：0.94%~1.8%，具成分环带和冠状反应边，显示发生过叠加变质作用<sup>①</sup>。表 2 给出了石榴石变斑晶的成分，TiO<sub>2</sub> 含量为 0.054%~0.168%，FeO 为 30.5%~31.6%，MgO 为 0.54%~1.17%，CaO 为 5.2%~6.0%，可见工布江达地区变质基性火山岩中的石榴石 FeO、CaO 含量比较均匀，MnO 和 MgO 含量变化较大。石榴石端员组分含量以铁铝石榴石为主（大于 74%），钙铝石榴石次之（14.28%~17.82%），锰铝石榴石（0.18%~6.67%）镁铝石榴石（2.34%~4.90%）含量较少，而镁铝石榴石含量极低，与北部门巴地区松多岩群石榴石具有相似的特征（杨德明等 2005）。

角闪石呈淡绿-深蓝绿色，反映形成温度较低，多呈变斑晶状赋存于角闪片岩、石榴角闪片岩、绿帘

角闪岩和斜长角闪岩中，大小 7 mm × 5 mm。根据最新的角闪石分类命名方案（Leake *et al.*, 1997），工布江达地区变质基性岩中的角闪石均以钙质角闪

表 2 西藏工布江达变质基性岩石榴石电子探针分析结果  
Table 2 Electron microprobe analyses of garnet from Gongbujiangda metabasite, Tibet

样号	03-2-1	03-2-11	03-2-2	03-2-21	03-3-31	3-3-41
SiO <sub>2</sub>	38.405	38.407	38.516	38.537	37.51	37.963
TiO <sub>2</sub>	0.15	0.168	0.167	0.111	0.059	0.054
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.712	19.672	19.275	19.799	20.078	20.017
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.012	0.134	0.074	0.071	0.104	
FeO	30.588	30.974	30.917	31.569	31.455	31.708
MnO	0.074	2.751	2.56	2.303	1.084	0.834
MgO	0.65	0.549	0.992	0.689	1.149	1.163
CaO	5.599	5.372	5.261	5.475	5.945	5.887
Si	3.189 1	3.139 3	3.148 8	3.133 0	3.082 3	3.106 2
Ti	0.009 4	0.010 3	0.010 3	0.006 8	0.003 7	0.003 3
Al	1.929 2	1.895 1	1.857 2	1.897 1	1.944 5	1.930 3
Cr	0.000 8	0.008 7	0.004 8	0.004 6	0.006 8	
Fe <sup>3+</sup>			0.032 0	0.005 2		
Fe <sup>2+</sup>	2.124 2	2.117 3	2.081 9	2.141 2	2.161 7	2.169 7
Mn	0.005 2	0.190 5	0.177 3	0.158 6	0.075 5	0.057 8
Mg	0.080 5	0.066 9	0.120 9	0.083 5	0.140 8	0.141 9
Ca	0.498 2	0.470 5	0.460 8	0.476 9	0.523 4	0.516 1
Ura	0.04	0.45	0.25	0.24	0.35	
Pyr	2.78	2.34	4.26	2.92	4.81	4.90
Spe	0.18	6.67	6.24	5.54	2.58	2.00
Gro	17.17	16.02	14.28	16.16	17.54	17.82
Alm	73.38	74.15	73.28	74.86	73.86	74.94

注：表中 Si 至 Ca 的数值为阳离子数，氧化物单位为 10<sup>-2</sup>。

① 云南省地质调查院. 2003. 中华人民共和国 1:25 万林芝幅区域地质调查报告.

表 3 西藏工布江达变质基性岩角闪石的电子探针分析数据

 $w_B/\%$ 

Table 3 Electron microprobe analyses of amphibole from Gongbujiangda metabasite, Tibet

样号	01-1-1	01-1-2	01-2-1	01-2-2	01-3-1	01-3-2	02-1-2	02-2-2	02-3-1	02-3-2	03-1-2	04-1-3	05-2-2
SiO <sub>2</sub>	41.754	45.326	44.292	46.277	43.926	44.719	40.930	41.128	41.561	41.449	40.717	38.095	40.344
TiO <sub>2</sub>	0.252	0.313	0.513	0.348	0.509	0.354	0.316	0.332	0.312	0.307	0.306	0.071	0.376
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.339	10.993	12.759	10.521	12.141	11.911	13.227	14.755	14.269	14.609	14.746	22.908	14.456
FeO	20.194	19.968	19.211	19.051	19.565	18.989	23.896	22.310	21.644	22.223	20.666	11.321	21.387
MnO	0.168	0.162	0.175	0.188	0.181	0.102	0.126	0.106	0.111	0.071	0.088	0.020	0.07
MgO	5.177	6.839	6.589	8.116	7.074	7.084	4.171	4.708	4.617	4.271	5.114	0.080	4.946
CaO	10.16	10.062	10.174	10.247	10.345	9.779	9.922	9.198	10.087	9.817	9.835	20.644	9.743
Na <sub>2</sub> O	1.209	1.047	1.076	0.994	1.175	1.099	1.298	1.225	1.185	1.09	1.317	0.004	1.201
K <sub>2</sub> O	0.562	0.276	0.454	0.269	0.362	0.416	0.393	0.430	0.391	0.376	0.325	0.000	0.335
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0	0.143	0.226	0.284	0.064	0.368	0.194	0.356	0.122	0.103	0.171	0.029	0.019
Si	6.481	6.948	6.749	6.96	6.744	6.830	6.501	6.430	6.525	6.514	6.435	5.896	6.443
Al <sup>IV</sup>	1.519	1.052	1.251	1.04	1.256	1.170	1.499	1.57	1.475	1.486	1.565	2.104	1.557
Al <sup>VI</sup>	1.288	0.934	1.041	0.825	0.941	0.974	0.977	1.149	1.165	1.219	1.181	2.074	1.165
Ti	0.029	0.036	0.059	0.039	0.059	0.041	0.038	0.039	0.037	0.036	0.036	0.008	0.045
Fe <sup>3+</sup>	0.676	0.722	0.636	0.619	0.658	0.552	0.434	0.414	0.598	0.645	0.52	0.977	0.619
Fe <sup>2+</sup>	1.945	1.838	1.812	1.778	1.854	1.873	2.740	2.503	2.244	2.276	2.212	0.488	2.238
Mn	0.022	0.021	0.023	0.024	0.024	0.013	0.017	0.014	0.015	0.009	0.012	0.003	0.009
Mg	1.198	1.563	1.497	1.820	1.619	1.613	0.988	1.097	1.081	1.001	1.205	0.018	1.178
Ca	1.690	1.653	1.661	1.651	1.702	1.6	1.688	1.541	1.697	1.653	1.665	3.423	1.667
Na	0.364	0.311	0.318	0.29	0.350	0.325	0.400	0.371	0.361	0.332	0.404	0.001	0.372
K	0.111	0.054	0.088	0.052	0.071	0.081	0.08	0.086	0.078	0.075	0.066	0.0	0.068
Σ	15.324	15.132	15.134	15.097	15.277	15.073	15.361	15.214	15.274	15.247	15.3	14.993	15.361
O	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
样号	05-4-1	05-4-2	06-1-1	06-1-3	06-1-2	03-2-21	02-1-1	03-1-1	03-1-11	02-2-1	03-2-21	03-3-11	05-5-2
SiO <sub>2</sub>	40.180	40.678	50.718	49.851	49.379	41.888	41.367	39.478	39.387	41.976	40.233	40.374	40.056
TiO <sub>2</sub>	0.496	0.585	0.057	0.036	0.014	0.341	0.292	0.278	0.254	0.346	0.398	0.307	0.385
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.287	14.360	2.979	3.701	2.949	14.452	13.339	15.337	14.494	14.539	15.351	15.629	15.031
FeO	21.893	21.671	13.244	14.482	13.173	19.649	23.203	23.086	23.307	22.246	21.574	20.524	21.509
MnO	0.038	0.095	0.172	0.282	0.289	0.137	0.108	0.089	0.05	0.148	0.097	0.111	0.070
MgO	4.833	4.681	13.81	14.28	14.457	5.678	4.320	3.480	3.342	4.426	4.182	5.046	4.546
CaO	9.441	9.415	10.884	10.034	10.411	9.58	9.806	9.836	9.348	9.412	9.435	9.695	9.186
Na <sub>2</sub> O	1.360	1.388	0.187	0.130	0.180	1.318	1.304	1.424	1.311	1.421	1.319	1.357	1.515
K <sub>2</sub> O	0.357	0.357	0.059	0.052	0.039	0.345	0.528	0.363	0.518	0.456	0.668	0.565	0.349
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.059	0.012	0.025	0.113	0.063	0.403	0.588	0.089	0.408	0.108	0.205	0.058	0.017
Si	6.428	6.474	7.748	7.582	7.655	6.511	6.483	6.327	6.367	6.540	6.379	6.366	6.412
Al <sup>IV</sup>	1.572	1.526	0.252	0.418	0.345	1.489	1.517	1.673	1.633	1.460	1.621	1.634	1.588
Al <sup>VI</sup>	1.122	1.168	0.284	0.245	0.193	1.159	0.947	1.224	1.129	1.210	1.248	1.27	1.248
Ti	0.06	0.070	0.007	0.004	0.002	0.040	0.034	0.034	0.031	0.041	0.047	0.036	0.046
Fe <sup>3+</sup>	0.556	0.635	0.976	0.836	0.862	0.433	0.191	0.503	0.300	0.6	0.482	0.559	0.597
Fe <sup>2+</sup>	2.373	2.25	0.716	1.006	0.846	2.121	2.850	2.591	2.851	2.299	2.379	2.147	2.283
Mn	0.005	0.013	0.022	0.036	0.038	0.018	0.014	0.012	0.007	0.02	0.013	0.015	0.009
Mg	1.153	1.111	3.145	3.238	3.341	1.316	1.009	0.831	0.805	1.028	0.988	1.186	1.085
Ca	1.618	1.606	1.781	1.635	1.729	1.596	1.647	1.689	1.619	1.571	1.603	1.638	1.576
Na	0.422	0.428	0.055	0.038	0.054	0.397	0.396	0.443	0.411	0.429	0.405	0.415	0.47
K	0.073	0.072	0.011	0.010	0.008	0.068	0.106	0.074	0.107	0.091	0.135	0.114	0.071
Σ	15.381	15.353	14.998	15.049	15.073	15.149	15.194	15.402	15.260	15.288	15.301	15.38	15.385
O	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

注: Σ为阳离子总数, O为氧原子数, 表中 Si 至 K 的数值为阳离子数。

石为主,进一步可分为镁质普通角闪石、铁质普通角闪石、韭闪石和铁阳起石等。它经常与斜长石、绿帘石、黑云母和白云母等矿物共生,具有较好的定向排列特征,退变后被黑云母、白云母、阳起石、绿帘石等包绕,形成反应边结构;内部还包裹细小的角闪石、石英、斜长石、黑云母和单斜辉石等矿物。角闪石变斑晶  $\text{TiO}_2$  含量多在 0.25% ~ 0.4% 之间,最大为 0.585%,最小 0.071%;  $\text{FeO}$  含量在 11.3% ~ 22.3% 之间,  $\text{Na}_2\text{O}$  含量 0.187 ~ 1.51% 之间,平均 1.09% (表 3)。在 Ti-Si 图解(引自靳是琴等, 1986)中,该角闪石为变质的角闪石。在分子式中, 27 个角闪石的  $\text{Al}^{\text{IV}}$  在 0.245 ~ 1.288 之间,平均 1.059,  $\text{Al}^{\text{IV}}$  较高,在 Raase 的  $\text{Al}^{\text{VI}}$ -Si 图解中(引自靳是琴等, 1986)这些变晶角闪石为高压角闪石。

斜长石多具半自形斑状变晶结构,常有卡钠双晶,长轴大体定向,包裹有细小的角闪石和黑云母。

黑云母呈鳞片状变晶,半自形片状,  $N_g$  红褐色,  $N_p$  浅黄色,常与白云母、石榴石、长石、角闪石和石英等共生,部分交代角闪石边缘产出,自身常具绿泥石化、绢云母化。据云南省地质调查院 2003 年资料<sup>①</sup>,黑云母电子探针样品自核部向边部 Si 值增高,核部和边部分别为 2.796 8 和 3.072 2 ( $\text{FeO} + \text{MgO}$ )核部和边部分别为 37.068 和 32.402,  $\text{Al}^{\text{IV}}$  值自内而外也依次增高,分别为 0.887 1 和 1.047 2。

绿帘石呈半自形长柱状,多具筛状变晶,包裹细小的石英和角闪石。常与角闪石、石英共生,具有高的突起性和弱的多色性,与角闪石平行排列。

上述现象表明,该区经历了多期变质,主期变质具较低的温度和较高的压力条件。

#### 4.2 锆石 SHRIMP 测年结果

阴极发光图像分析是区分岩浆锆石与变质锆石的主要的手段(Vavra et al., 1996, 1999; Rubatto, 2002)。岩浆锆石一般都具有岩浆振荡环带结构,而变质成因的锆石多为扇形结构增生、面状结构增生或呈补丁状(Gebauer et al., 1985; Guan et al., 2002)。图 5 显示了变质基性火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄样品的部分代表性锆石的阴极发光(CL)图像,这些锆石外形主要呈长柱状或短柱状,自形或半自形,以柱粒状为主,大小约  $80 \mu\text{m} \times 150 \mu\text{m}$ ,个别大小约  $120 \mu\text{m} \times 160 \mu\text{m}$ 。锆石普遍多具有较为明

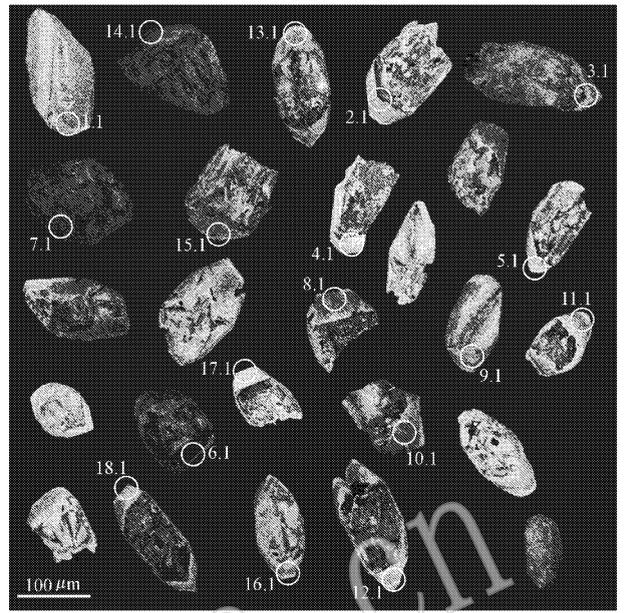


图 5 锆石的阴极发光图像和测点位置

Fig. 5 Zircon cathodoluminescence image and location of the measuring point

显的残核,外部被强发光效应的增生边包绕,显示出明显的双层结构,即弱发光效应的内部和强发光效应的边部,表明受到后期构造事件的叠加。值得指出的是,锆石增生边基本不具振荡环带,但部分残核显示出相对模糊的振荡环带,反映残留锆石为岩浆成因。表 4 给出了锆石 U-Pb 定年的数据,从中明显可以看出,大部分锆石增生边  $\text{Th}/\text{U}$  比值小于 0.1 甚至为 0,仅 7 件样品大于 0.1,暗示着可能有岩浆锆石的混合。由上可见,锆石残核可能为岩浆锆石,增生边可能与后期构造-热事件密切相关,为变质成因的锆石。

图 6 为变质基性火山岩锆石 U-Pb 年龄谐和图。图中给出了 210 ~ 239.8 Ma、269 ~ 280 Ma 和 308.5 ~ 347.9 Ma 等 3 组年龄数据。第 1 组年龄 8 个测点位于锆石增生边上,  $\text{Th}/\text{U}$  值基本小于 0.1,加权平均年龄为  $237.7 \pm 7.1 \text{ Ma}$  ( $\text{MSWD} = 1.3$ ),属于中三叠世,与松多榴辉岩  $239 \pm 3.5 \text{ Ma}$  的 Sm-Nd 等时线年龄相近(曾令森等, 2009)。第 2 组年龄 6 个测点也位于增生边上,多数测点  $\text{Th}/\text{U}$  值小于 0.1,属于变质锆石,6 个测点加权平均年龄为  $273.4 \pm 5.5 \text{ Ma}$  ( $\text{MSWD} = 0.15$ ),属于早二叠世晚期,与松多榴辉

① 云南省地质调查院, 2003. 中华人民共和国 1:25 万林芝幅区域地质调查报告.

表 4 西藏工布江达变质基性岩锆石 SHRIMP U-Pb 分析结果

Table 4 SHRIMP U-Pb analyses of zircon from Gongbujiangda metabasite, Tibet

点号	$\omega_B/10^{-6}$			Th/U			比值			err			年龄/Ma					
	$^{206}\text{Pb}_c$	$^{206}\text{Pb}^*$	U	Th	Th/U	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	corr	corr	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	$1\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$	$1\sigma$		
GS4-1-1.1	0.00	0.413	13.61	0.04	0.00	0.0432	18	0.206	18	0.0346	4.4	0.240	223.7	9.6	621	270	8 000	1 900
GS4-1-2.1	0.00	4.58	108.66	101.04	0.96	0.0454	4.0	0.302	4.5	0.0483	2.2	0.480	308.5	6.5	513	67	335.6	9.8
GS4-1-3.1	1.33	4.41	103.09	36.91	0.37	0.0453	4.3	0.305	4.7	0.0489	1.9	0.393	308.9	5.7	135	180	330	26
GS4-1-4.1	0.52	2.36	62.59	10.77	0.18	0.0413	5.8	0.247	6.2	0.0433	2.1	0.343	275.0	5.8	2	190	332	39
GS4-1-5.1	0.24	10.7	285.97	156.85	0.57	0.0384	2.8	0.2267	3.3	0.04286	1.6	0.492	274.4	4.3	209	76	316.5	8.6
GS4-1-6.1	0.21	17.1	379.14	280.25	0.76	0.04642	2.0	0.3331	2.6	0.05204	1.6	0.612	329.8	5.1	347	55	351.5	7.6
GS4-1-7.1	6.14	0.487	12.51	0.38	0.03	0.0496	19	0.292	19	0.0427	4.1	0.214	269	11	29	760		
GS4-1-8.1	2.47	0.481	15.62	0.42	0.03	0.0400	24	0.191	24	0.0346	3.7	0.156	221.4	9.1	154	850		
GS4-1-9.1	0.37	6.35	132.78	53.10	0.41	0.0474	3.2	0.360	4.2	0.0551	2.8	0.658	347.9	9.4	282	84	377	30
GS4-1-10.1	1.85	0.962	25.61	6.18	0.25	0.0415	11	0.241	12	0.0421	3.1	0.261	270.9	8.4	483	320	397	70
GS4-1-11.1	6.66	0.769	23.55	0.09	0.00	0.0651	10.0	0.335	11	0.0373	3.4	0.320	224.7	9.9	-1 690	3 400	-66 000	41 000
GS4-1-12.1	0.00	1.33	36.08	0.14	0.00	0.0377	12	0.217	13	0.0417	2.9	0.231	270.2	7.8	564	170	9 340	1 500
GS4-1-13.1	1.01	1.06	33.17	0.05	0.00	0.0426	11	0.213	11	0.0363	2.9	0.257	233.7	6.8	487	270	12 730	5 100
GS4-1-14.1	7.46	0.861	24.85	0.38	0.02	0.0691	13	0.363	13	0.0381	3.6	0.271	236	11	390	1 100		
GS4-1-15.1	6.37	1.01	24.74	0.12	0.00	0.0634	12	0.392	13	0.0448	4.7	0.362	280	15	470	1 000		
GS4-1-16.1	2.26	0.583	20.08	0.07	0.00	0.0425	15	0.192	16	0.0327	5.8	0.369	210	12	219	600		
GS4-1-17.1	0.00	2.13	65.49	6.85	0.11	0.0445	6.5	0.230	6.9	0.03751	2.1	0.305	239.8	4.9	334	120	390	30
GS4-1-18.1	4.91	1.78	52.65	0.60	0.01	0.0575	6.7	0.306	7.1	0.03856	2.2	0.309	236.3	5.3	1 007	660	-4 630	1 300

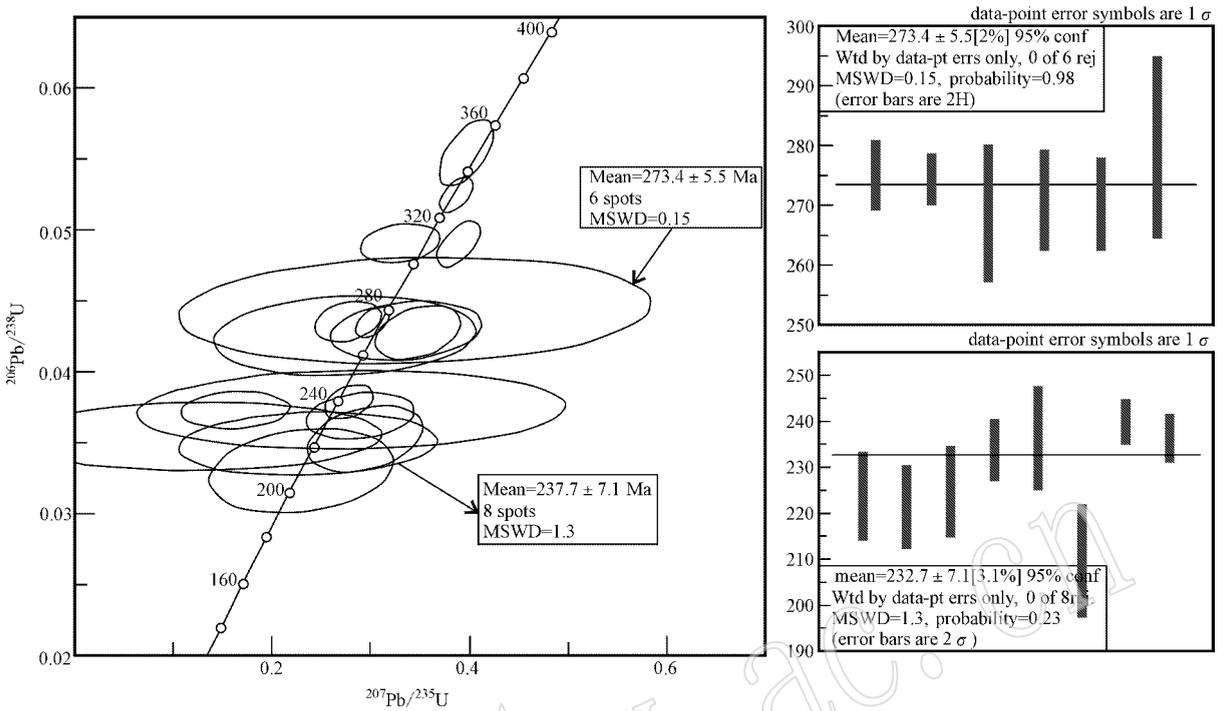


图 6 SHRIMP 锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 6 SHRIMP U-Pb dating concordia diagram of zircons

岩  $260 \pm 16$  Ma 的 LA-ICP-MS 年龄(陈松永等, 2007)  $261.7 \pm 5.3$  Ma 的 SHRIMP 年龄(徐向珍等, 2007) 相近。第 3 组年龄 3 个测点年龄值分别为 308.5、308.9 和 347.9 Ma, Th/U 值分别为 0.96、0.37 和 0.41。测点多位于继承性锆石和增生边的过渡部位, 可能代表着混合年龄, 也暗示着核部继承性锆石为岩浆成因。

### 5 讨论和结论

长期以来, 冈底斯带晚古生代岛弧被认为结束于晚二叠世。此种观点的重要依据之一是拉萨地块西部措勤地区晚二叠世敌不错组角度不整合在中二叠世下拉组之上(耿全如等, 2007; 王立全等, 2008; Zhu *et al.*, 2009)。但近年来的地质调查工作表明, 该区敌不错组实质上属于下侏罗统, 下拉组属于三叠系(纪占胜等, 2006; 武桂春等, 2007), 尤其是冈底斯带东部的早中三叠世查曲浦组火山-沉积岩系与二叠系为连续沉积, 上述特征可能暗示着古生代岛弧并未在晚二叠世结束。本文获得的资料表明, 早中三叠世火山岩具有基性→中性→酸性的演

化序列, 以中基性岩为主, 富集大离子亲石元素 K、放射性生热元素 U, 相对亏损高场强元素 Nb、Ta 和 Ti, 轻稀土元素相对富集, 这些特征类似于俯冲带火山岩的地球化学特征(McCulloch *et al.*, 1991)。在  $TiO_2 - MnO - P_2O_5$  图解中(图 7a)中, 几乎所有样品落在钙碱性玄武岩区。Hf - Th - Nb 图解(图 7b)(Wood, 1980)中, 所有火山岩样品均落在岛弧玄武岩区。研究区早中三叠世火山岩总的类似于俯冲带火山的地球化学特征, 趋同于大陆岛弧火山岩的形成环境。考虑到研究区早中三叠世火山-沉积岩系处于松多高压变质带内, 带内的榴辉岩系大洋玄武岩变质而成, 尤其是普遍具有滑塌沉积特征和滑塌褶皱, 进一步印证它可能形成于大陆边缘岛弧环境。

松多高压变质带已被认为是古特提斯洋俯冲消减部位。在工布江达以西直至羊八井一带, 它表现为一系列盆萨岗组变质基性火山岩、三叠系断片组成的近 EW 向断裂束, 其中有断续产出的超基性岩瘤, 被认为是隆格尔-工布江达弧背断隆带和南冈底斯-下察隅火山岩浆弧带的边界。但在以东地带, 该断裂向南东偏转, 褶皱、构造面理等构造型迹也由近 EW 向变成 SE 向, 北东为盆萨岗组变质基性火山

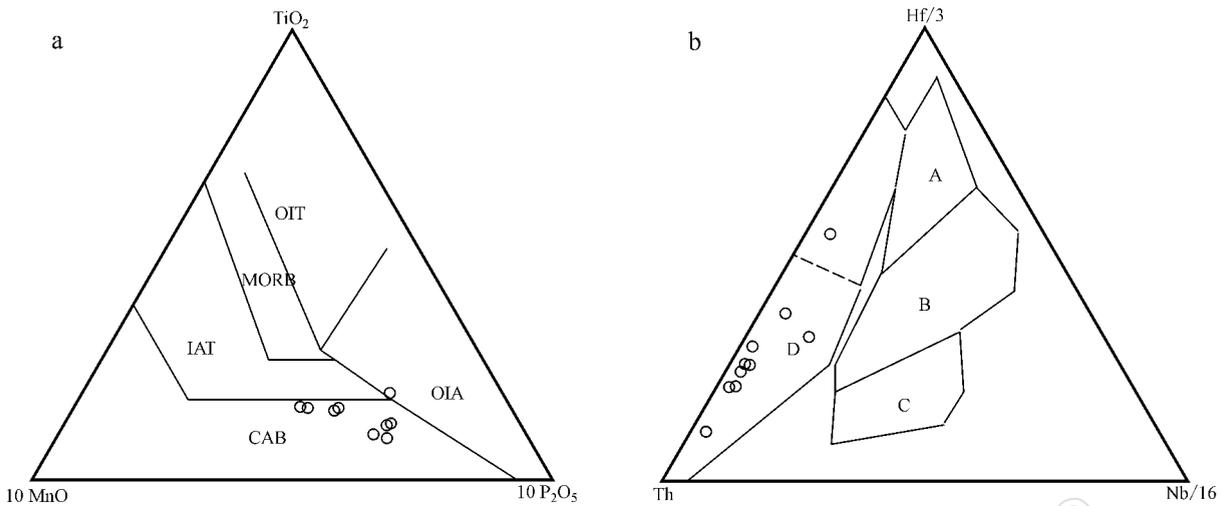


图 7 早中三叠世火山岩的  $\text{TiO}_2 - \text{MnO} - \text{P}_2\text{O}_5$  图解 (a) 和  $\text{Hf} - \text{Th} - \text{Nb}$  图解 (b)

Fig. 7 Diagrams of  $\text{TiO}_2 - \text{MnO} - \text{P}_2\text{O}_5$  (a) and  $\text{Hf} - \text{Th} - \text{Nb}$  (b) for Early-Middle Triassic volcanic rocks

岩,南西为南冈底斯侏罗纪—早白垩世岛弧火山—沉积岩系<sup>①</sup>。以上特征表明,松多高压变质带在工布江达之东可能变为南东走向。本文获得的  $237.7 \pm 7.1$  Ma、 $273.4 \pm 5.5$  Ma 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为盆萨岗组变质基性火山岩的变质年龄。该基性火山岩为松多榴辉岩、旁那蓝片岩的直接围岩,可能表明古特提斯洋的向北消减也使盆萨岗组发生了高压变质作用(陈松永等,2007;刘鸿飞等,2009)。本文获得的石榴石变斑晶、角闪石变斑晶等矿物的电子探针分析结果表明,它们经历了高压以及相对低温的变质作用,在石榴石—角闪石  $K_{\text{Mg}}^{\text{Gt-Am}}$  和  $K_{\text{Ca}}^{\text{Gt-Am}}$  与  $t$ 、 $p$  的相关图中(靳是琴等,1986),变质温度为  $500 \sim 750^\circ\text{C}$ ,压力在 1.5 GPa 以上,也反映出高压变质的特征。以上分析表明,工布江达高压变质岩与松多榴辉岩、旁那蓝片岩共同构成了一条高压变质带,是古特提斯洋俯冲消减的部位。 $304 \sim 346$  Ma 的锆石为混合成因,表明盆萨岗组变质基性火山岩原岩的形成时代至少为石炭纪, $273.4 \pm 5.5$  Ma 的年龄与徐向珍等(2007)、陈松永等(2007)的  $260 \pm 16$  Ma 的 LA-ICP-MS 年龄和  $261.7 \pm 5.3$  Ma 的 SHRIMP 年龄相近,代表早中二叠世俯冲作用,与中二叠世洛巴堆组岛弧型火山沉积岩系相对应。 $237.7 \pm 7.1$  Ma 的年龄与曾令森等(2009)松多榴辉岩的  $239 \pm 3.5$  Ma 的 Sm-Nd 等时线年龄相近,代表了早中三叠

世俯冲作用,与查曲浦组岛弧型火山—沉积岩系相对应。

综上所述看来,拉萨地块内部的古特提斯洋与龙木错—双湖、西金乌兰—金沙江古特提斯洋一样于早中三叠世还在俯冲,形成北拉萨地块石炭纪—中三叠世岛弧型火山岩系。但从拉萨地区中侏罗统与中下三叠统角度不整合、措勤地区下侏罗统与上三叠统角度不整合以及南木林一带发育晚三叠—早侏罗世碰撞型花岗岩等来看(张宏飞等,2007),拉萨地块内部的古特提斯洋很可能于晚三叠世开始闭合,开始了印支造山运动,与龙木错—双湖、金沙江古特提斯洋有相似之处。

## References

- Chen Songyong, Yang Jingsui, Luo Liqiang, *et al.* 2007. MORB-type eclogites in the Lhasa block, Tibet, China: petrochemical evidence [J]. Geological Bulletin of China, 26(10): 1 327–1 339 (in Chinese with English abstract).
- Chen Songyong, Yang Jingsui, Xu Xiangzhen, *et al.* 2008. Study of Lu-Hf geochemical tracing and LA-ICP-MS U-Pb isotopic dating of the Sumdo eclogite from the Lhasa block, Tibet [J]. Acta Petrologica Sinica, 24(7): 1 528–1 538 (in Chinese with English abstract).
- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L, *et al.* 1992. Zircon age U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale [J]. Journal of Geological

① 云南省地质调查院. 2003. 中华人民共和国 1:25 万林芝幅区域地质调查报告.

- Society, 149 : 171~184.
- Gebauer D, Lappin M A and Grunfelder M. 1985. The age and origin of some Norwegian : A U-Pb zircon and REE study [ J ]. *Chemical Geology*, 52 : 227~248.
- Geng Quanru, Wang Liquan, Pan Guitang, *et al.* 2007. Carboniferous marginal rifting in Gangdese : volcanic rocks and stratigraphic constraints, Xizang (Tibet), China [ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 81(9) : 1 259~1 276 (in Chinese with English abstract).
- Guan H, Sun M, Wilde S A, *et al.* 2002. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Fuping complex : Implications for formation and assembly of the North China craton [ J ]. *Precambrian Research*, 113 : 1~18.
- Ji Zhansheng, Yao Jianxin, Wu Guichun, *et al.* 2006. Discovery of Late Triassic Norian Epigondolella in the Xiala Formation in the Dibu Co area, Coqên County, Tibet [ J ]. *China Geological Bulletin of China*, 25(1~2) : 138~141 (in Chinese with English abstract).
- Jin Shiqin and Li Hongchao. 1986. An Introduction to Genetic Mineralogy (The last Edition) [ M ]. Changchun : Jilin University Publishing House, 211~241 (in Chinese).
- Leake B E, Woolley A R, Arps C E S, *et al.* 1997. Nomenclature of amphiboles : report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names [ J ]. *Mineralogical Magazine*, 61 : 29~321.
- Li Cai, Zhai Qingguo, Chen Wen, *et al.* 2007a. Geochronology evidence of the closure of Longmu Co-Shuanghu suture, Qinghai-Tibet plateau : Ar-Ar and zircon SHRIMP geochronology from ophiolite and rhyolite in Guoganjianian [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5) : 911~918 (in Chinese with English abstract).
- Li Cai, Zhai Qingguo, Dong Yongsheng, *et al.* 2007b. Lungmu Co-Shanghu plate suture in the Qinghai-Tibet Plateau and records of the evolution of the Paleo-Tethys Ocean in the Qiangtang area, Tibet, China [ J ]. *Geological Bulletin of China*, 26(1) : 13~21 (in Chinese with English abstract).
- Li Huaqi, Cai Zhihui, Chen Songyong, *et al.* 2008. The Indosinian orogenesis occurred in Lhasa terrain and the evidence from muscovite  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  geochronology [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(7) : 1 595~1 604 (in Chinese with English abstract).
- Li Tianfu, Yang Jingsui, Li Zhaoli, *et al.* 2007. Petrography and metamorphic evolution of the Sumdo eclogite, Qinghai-Tibetan Plateau [ J ]. *Geological Bulletin of China*, 26(10) : 1 310~1 326 (in Chinese with English abstract).
- Li Zhaoli, Yang Jingsui, Luo Liqiang, *et al.* 2008. Geochemical characteristics, Sm-Nd and Rb-Sr isotopic compositions of newly discovered Eclogite in the Lasha Terrane, Tibet and their geological significance [ J ]. *Acta Geologica Sinica*, 82(7) : 941~948 (in Chinese with English abstract).
- Liu Hongfei and Liu Yan. 2009. Garnet glaucophane blueschist from Pana : implications to Tibetan tectonic evolution [ J ]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 28(3) : 199~214 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 2001. Users Manual for Isoplot/Ex (rev. 2.49) : A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [ M ]. Berkeley Geochronology Center, Special Publication, 1~56.
- McCulloch M T and Camble J A. 1991. Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism [ J ]. *Earth and Planetary Science Letters*, 102 : 358~374.
- Münker C, Pfänder J A, Weyer S, *et al.* 2003. Evolution of planetary cores and the Earth-Moon system from Nb/Ta systematics [ J ]. *Science*, 301 : 84~87.
- Pan Guitang, Mo Xuanxue, Hou Zengqian, *et al.* 2006. Spatial-temporal framework of the Gangdese Orogenic Belt and its evolution [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3) : 521~553 (in Chinese with English abstract).
- Rubatto D. 2002. Zircon trace element geochemistry : Partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism [ J ]. *Chemical Geology*, 184 : 123~138.
- Song Biao, Zhang Yuhai, Wan Yusheng, *et al.* 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating [ J ]. *Geological Review*, 48 (Supp.) : 26~30 (in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts : implications for mantle composition and processes [ A ]. Saunders A D and Norry M J. *Magmatism in Ocean Basins* [ C ]. Geological Society Special Publication, 42 : 313~345.
- Vavra G, Gebauer D, Schmid R, *et al.* 1996. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps) : An ion microprobe (SHRIMP) study [ J ]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 122 : 337~358.
- Vavra G, Schmid R and Gebauer D. 1999. Internal morphology, habit and U-Th-Pb microanalysis of amphibolite-to-granulate facies zircons : Geochronology of the Ivrea Zone (Southern Alps) [ J ]. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 134 : 380~404.
- Wang Liquan, Zhu Dicheng, Pan Guitang, *et al.* 2008. Island arc orogenesis of Carboniferous-Permian in Gangdise belt : volcanic rocks and geochemistry constraints, Tibet, China [ J ]. *Geological Bulletin of China*, 27(9) : 1 509~1 534 (in Chinese with English abstract).
- Wilson M. 1989. *Igneous Petrogenesis : A Global Tectonic Approach* [ M ]. London : Unwin Hyman, 1~466.
- Winchester J A and Floyd. 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements [ J ]. *Chemical Geology*, 20(4) : 325~343.
- Wood D A. 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province [ J ]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 50 : 11~30.
- Wu Guichun, Yao Jianxin and Ji Zhansheng. 2007. Triassic conodont biostratigraphy in the Coqên area, western Gangdise, Tibet, China [ J ]. *Geological Bulletin of China*, 26(8) : 38~46 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xiangzhen, Yang Jingshui, Li Tianfu, *et al.* 2007. SHRIMP U-Pb ages and inclusions of zircons from the Sumdo eclogite in the Lhasa block, Tibet, China [ J ]. *Geological Bulletin of China*, 26(10) : 1 340

- ~1355 (in Chinese with English abstract).
- Yang Deming, He Zhonghua, Huang Yingcong, *et al.* 2005. Metamorphism characteristics of Songduo Group in Menba Township, Mozhuogongka County, Tibet and the discussion on its age [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 35(4): 430~435 (in Chinese with English abstract).
- Yang Guangquan and Wang Genhou. 2009. Discussion on the Indosinian movement in Qinghai-Tibet area, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 28(9): 1188~1190 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jingsui, Xu Zhiqin, Geng Quanru, *et al.* 2006. A possible new HP/UHP (?) metamorphic belt in China: discovery of eclogite in the Lasha terrane, Tibet [J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(12): 1787~1792 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jingsui, Xu Zhiqing, Li Tianfu, *et al.* 2007. Oceanic subduction-type eclogite in the Lhasa block, Tibet, China: Remains of the Paleo-Tethys ocean basin? [J]. *Geological Bulletin of China*, 26(10): 1277~1287 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Lingsen, Ducea M and Saleeby J. 2005. The formation of leucosomes with pronounced negative Ce anomalies from metasediment partial melting: Implications for the origins of Ce anomalies in oceanic island arc lavas [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 24(5): 425~430 (in Chinese with English abstract).
- Zeng Lingsen, Liu Jing, Gao Li'e, *et al.* 2009. Early Mesozoic high-pressure metamorphism within the Lhasa Block, Tibet and its implications for regional tectonics [J]. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 140~151 (in Chinese with English abstract).
- Zeng L S, Liu J and Xie K J. 2008. Early Mesozoic high pressure metamorphism in the Lhasa Block, Tibet: Implications for the growth of Cimmerian subcontinent [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72: A1074.
- Zhang Hongfei, Xu Wangchun, Guo Jianqiu, *et al.* 2007. Indosinian Orogenesis of the Gangdise Terrane: Evidences from Zircon U-Pb Dating and Petrogenesis of Granitoids [J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 32(2): 155~160 (in Chinese with English abstract).
- Zhu D C, Mo X X, Niu Y L, *et al.* 2009. Zircon U/Pb dating and in situ Hf isotopic analysis of Permian peraluminous granite in the Lhasa Terrane, southern Tibet: implications for Permian collisional orogeny and paleogeography [J]. *Tectonophysics*, 469(1~4): 48~60.
- ### 附中文参考文献
- 陈松永, 杨经绥, 罗立强, 等. 2007. 西藏拉萨地块 MORB 型榴辉岩的岩石地球化学特征 [J]. *地质通报*, 26(10): 1327~1339.
- 陈松永, 杨经绥, 徐向珍, 等. 2008. 西藏拉萨地块松多榴辉岩的锆石 Lu/Hf 同位素研究及 LA-ICP-MS 定年 [J]. *岩石学报*, 24(7): 1528~1538.
- 耿全如, 王立全, 潘桂棠, 等. 2007. 西藏冈底斯带石炭纪边缘裂陷作用: 火山岩和地层学证据 [J]. *地质学报*, 81(9): 1259~1276.
- 纪占胜, 姚建新, 武桂春, 等. 2006. 西藏措勤县敌布错地区“下拉组”中发现晚三叠世诺利期高舟形石 [J]. *地质通报*, 25(1~2): 138~141.
- 靳是琴, 李鸿超. 1986. 成因矿物学概论 (下册) [M]. 长春: 吉林大学出版社, 211~241.
- 李才, 翟庆国, 陈文, 等. 2007a. 青藏高原龙木错-双湖板块缝合带闭合的年代学证据——来自果干加年山蛇绿岩与流纹岩 Ar-Ar 和 SHRIMP 年龄制约 [J]. *岩石学报*, 23(5): 911~918.
- 李才, 翟庆国, 董永胜, 等. 2007b. 青藏高原龙木错-双湖板块缝合带与羌塘古特提斯洋演化记录 [J]. *地质通报*, 26(1): 13~21.
- 李化启, 蔡志慧, 陈松永, 等. 2008. 拉萨地体中的印支造山事件及年代学证据 [J]. *岩石学报*, 24(7): 1595~1604.
- 李天福, 杨经绥, 李兆丽, 等. 2007. 青藏高原拉萨地块松多榴辉岩的岩相学特征和变质演化过程 [J]. *地质通报*, 26(10): 1310~1326.
- 李兆丽, 杨经绥, 罗立强, 等. 2008. 西藏拉萨地体榴辉岩的地球化学特征和 Sm-Nd、Rb-Sr 同位素组成及其地质意义 [J]. *地质学报*, 82(7): 941~948.
- 刘鸿飞, 刘焯. 2009. 旁那石榴蓝闪片岩特征及其构造意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 28(3): 199~214.
- 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 2006. 冈底斯造山带的时空结构及演化 [J]. *岩石学报*, 22(3): 521~533.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论 [J]. *地质论评*, 48(增刊): 26~30.
- 王立全, 潘桂棠, 朱弟成, 等. 2008. 西藏冈底斯带石炭-二叠纪岛弧造山作用: 火山岩及地球化学证据 [J]. *地质通报*, 27(9): 1509~1534.
- 武桂春, 姚建新, 纪占胜. 2007. 西藏冈底斯西段措勤地区三叠纪牙形石生物地层特征 [J]. *地质通报*, 26(8): 38~46.
- 徐向珍, 杨经绥, 李天福, 等. 2007. 青藏高原拉萨地块松多榴辉岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及锆石中的包裹体 [J]. *地质通报*, 26(10): 1340~1355.
- 杨德明, 和钟铨, 黄映聪, 等. 2005. 西藏墨竹工卡县门巴地区松多岩群变质作用特征及时代讨论 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 35(4): 430~435.
- 杨广全, 王根厚. 2009. 初论青藏地区的“印支运动” [J]. *地质通报*, 28(9): 1188~1190.
- 杨经绥, 许志琴, 耿全如, 等. 2006. 中国境内可能存在一条新的高压-超高压 (?) 变质带——青藏高原拉萨地体中发现榴辉岩带 [J]. *地质学报*, 80(12): 1787~1792.
- 杨经绥, 许志琴, 李天福, 等. 2007. 青藏高原拉萨地块中的大洋俯冲型榴辉岩: 古特提斯洋盆的残留? [J]. *地质通报*, 26(10): 1277~1287.
- 曾令森, Ducea M, Saleeby J. 2005. 变泥质岩的深熔作用与具铈 (Ce) 负异常内的熔体的成因 [J]. *岩石矿物学杂志*, 24(5): 425~430.
- 曾令森, 刘静, 高利娥, 等. 2009. 青藏高原拉萨地块早中生代高压变质作用及大地构造意义 [J]. *地学前缘*, 16(2): 140~151.
- 张宏飞, 徐旺春, 郭建秋, 等. 2007. 冈底斯印支期造山事件: 花岗岩类锆石 U-Pb 年代学和岩石成因证据 [J]. *地球科学*, 32(2): 155~166.