

青海玉树地区扎喜科岩体形成时代、地球化学特征及构造意义研究

李洁^{1,2)}, 陈文^{1)*}, 雍拥¹⁾, 陈岳龙²⁾, 孙敬博¹⁾, 张彦¹⁾,
刘新宇¹⁾, 杨莉¹⁾

1) 中国地质科学院地质研究所, 大陆构造与动力学国家重点实验室, 同位素热年代学实验室, 北京 100037;

2) 中国地质大学(北京), 北京 100083

摘要: 青海玉树地区的扎喜科石英闪长岩体出露于西金乌兰-金沙江缝合带西段。地球化学特征表明, 岩石的轻稀土富集, $(La/Yb)_N$ 为 2.56~4.37, Eu 负异常, 富集大离子亲石元素, 亏损高场强元素, K^* 在 4.18~4.89 范围内, Rb_N/Yb_N 比值范围在 9.77~12.09 间, 这些特点均显示了岛弧岩浆岩的特征; 运用 Maniar 主量元素判别法判定其为 IAG 型花岗岩(造山型花岗岩类), 形成于板块俯冲阶段, 在 Pearce 的构造判别图上也得到了很好的验证。通过对其进行角闪石 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 测年得到 (222.3 ± 1.7) Ma 的年龄数据, 代表其侵位时代, 是印支期岩浆活动的产物。结合岩体的岩石学、岩石地球化学特征以及年代学研究结果可以初步确定, 至晚三叠世, 即约 222 Ma, 西金乌兰-金沙江缝合带在沿扎喜科岩体处仍处于岛弧环境, 板块俯冲作用仍在继续。这一结果对古特提斯末期的演化历史给予了岩石学和年代学的限制。

关键词: 玉树地区; 西金乌兰-金沙江缝合带; 扎喜科岩体; 构造环境; $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄

中图分类号: P588.122; P597; P595 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2012.05.08

Emplacement Age, Geochemical Characteristics and Tectonic Significance of Zhaxike Quartz Diorite in Yushu Area, Qinghai Province

LI Jie^{1,2)}, CHEN Wen^{1)*}, YONG Yong¹⁾, CHEN Yue-long²⁾, SUN Jing-bo¹⁾, ZHANG Yan¹⁾,
LIU Xin-yu¹⁾, YANG Li¹⁾

1) National Key Laboratory of Continental Structure and Dynamics, Laboratory of Isotope Thermochronology, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) China University of Geosciences, Beijing 100083

Abstract: Zhaxike quartz diorite is located in Yushu area of Qinghai province, and is exposed along the western Jinshajiang suture zone. Petrologic and geochemical studies suggest that the samples have the characteristics of negative Eu anomalies ($\delta Eu=0.6-0.76$) and LREE enrichment ($(La/Yb)_N=2.56-4.37$). All rock samples are enriched in large ion lithophile elements (LILE) and depleted in high field strength elements (HFSE), K^* values range from 4.18 to 4.89, and Rb_N/Yb_N ratios range from 9.77 to 12.09. These data show that Zhaxike quartz diorite is magmatic rocks of island arc. The authors used both major elements and trace elements to determine its tectonic setting. The tectonic discrimination diagrams show that Zhaxike quartz diorite is island arc granitoids (IAG)

本文由国土资源部公益性行业科研专项经费课题(编号: 201011027-1B)和地质矿产调查评价项目(编号: 1212011120294)联合资助。

收稿日期: 2012-06-20; 改回日期: 2012-08-08。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 李洁, 女, 1987年生。硕士研究生。地球化学专业。电话: 010-68997051。E-mail: huaer3312@sina.com。

*通讯作者: 陈文, 男, 1962年生。研究员, 博士生导师。主要从事同位素地质年代学研究。通讯地址: 100037, 北京市西城区百万庄大街 26 号。E-mail: chenwenf@vip.sina.com。

related to plate subduction. The $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ plateau age of hornblende shows that the intrusion of Zhaxike quartz diorite took place at about (222 ± 1.7) Ma in Indosinian period. Based on the study of petrology, geochemistry and chronology, the authors preliminarily hold that Xijinwulan-Jinshajiang suture zone remained in the island arc setting in the late Triassic period, and the subduction of the plate still continued. The results of the study provide the petrologic and chronologic constraints for the last evolution of the Paleo-Tethys.

Key words: Yushu area; Xijinwulan-Jinshajiang suture zone; Zhaxike quartz diorite; tectonic setting; $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age

金沙江洋是古特提斯洋的重要组成部分, 黄汲清(1984)和黄汲清等(1987)提出金沙江缝合带是二叠纪末形成的华力西缝合带, 为冈瓦纳大陆的北界。在 2003 年 1:25 万玉树县幅区域地质调查中, 发现玉树地区三叠纪地层呈角度不整合覆盖于石炭纪—二叠纪地层之上, 从而为确定西金乌兰-金沙江洋的封闭时代提供了确切的地层学依据, 进一步证明了西金乌兰-金沙江带是华力西造山带, 其作为一条重要的大地构造分界线被地质学界所注目。海域消失的可靠标志是蛇绿岩套, 因为它代表着沿地壳消减带保存下来的大洋沉积组合(杨遵仪等, 1989)。在该区内潘裕生等(1984)首度发现了通天河蛇绿岩带, 至 2005 年, 朱迎堂等人进行野外工作将通天河蛇绿混杂岩带进行解体, 填绘出歇武、隆宝两条蛇绿混杂岩带。隆宝蛇绿岩的各种特征都表现了与西金乌兰蛇绿岩的相似性, 即隆宝蛇绿岩为西金乌兰蛇绿岩带的东延部分, 也是整个金沙江蛇绿岩带最北端的露头, 因此它可能代表已消亡的古特提斯洋西南分支的残迹(朱迎堂等, 2006)。

由于青海玉树地区位于青藏高原东部“三江”北段, 区内高寒缺氧、河流纵横、交通不便、气候恶劣等自然因素的制约, 导致该区的地质研究程度不深(赵仁夫等, 2004; 牛志军等, 2006; 朱迎堂等, 2006)。长期以来, 对该地区的地质研究主要集中在碰撞作用与沉积响应(李勇等, 2002, 2003; 汤朝阳等, 2006), 构造演化与成矿演化(李德威, 2008; 张洪瑞等, 2009; 陈建平等, 2010)等方面, 对于该区内大量出露的中-酸性侵入岩, 鲜有人进行研究。这些侵入岩是板块运动的产物, 因此对其进行成因和时代研究将有助于限定板块的运动过程。本文选择位于玉树地区隆宝蛇绿混杂岩带中的扎喜科石英闪长岩体作为研究对象, 通过野外地质研究、岩体产状研究、岩矿综合鉴定、岩石地球化学研究和同位素年代学研究等, 确定了该岩体的形成时代及成因, 对沿西金乌兰-金沙江缝合带西段发生的板块运动过程提供了岩石学约束。

1 区域地质背景及岩体产状

西南“三江”特提斯构造域是中国大陆地质复杂演化的典型缩影, 是全球特提斯构造在中国的重要发育区。它经历了晚古生代-中生代特提斯构造演化和新生代大陆碰撞造山的叠加转换(王立全等, 1999; 潘桂棠等, 2001, 2009)。西金乌兰-金沙江缝合带西起西金乌兰、经沱沱河、当江—多彩、结隆至玉树、直门达, 此为该带的中-西段、呈近北西-南东向; 在玉树、直门达以东转为近南北向, 向南经巴塘、德钦等地, 与哀牢山缝合带相接, 向南东延出国境, 此为该带的南段, 整条缝合带延伸达 3000 km 以上。

研究区位于青海省南部的玉树藏族自治州境内(图 1), 在大地构造上属于东特提斯构造域的北部, 是西金乌兰-金沙江缝合带的西段, 位于隆宝蛇绿混杂岩带内(朱迎堂, 2005)。扎喜科岩体位于青海玉树州的正西方向, 出露于扎喜科以北扎拉那-曼此泳一带(如图 2), 东西长约 20.6 km, 南北最宽约 2.4 km, 出露面积约 29.94 km²。岩体沿浪西科复向斜南西翼顺层侵入石炭-二叠系(c-p)变砂岩、石英片岩、大理岩及火山岩中。其南北西侧与石炭-二叠系呈侵入或断层接触, 北西端与第三系砂砾岩呈不整合接触。

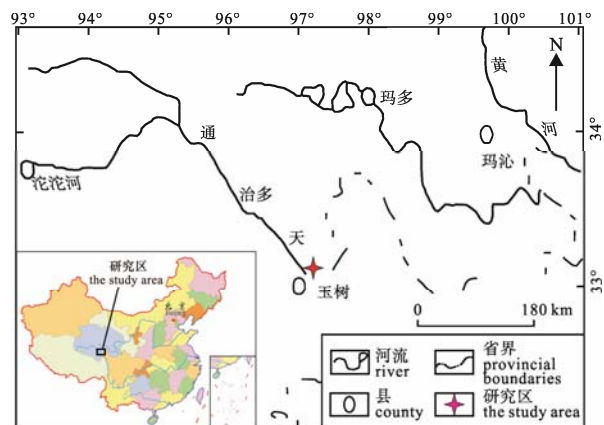


图 1 研究区域的地理位置图
Fig. 1 Location of the study area

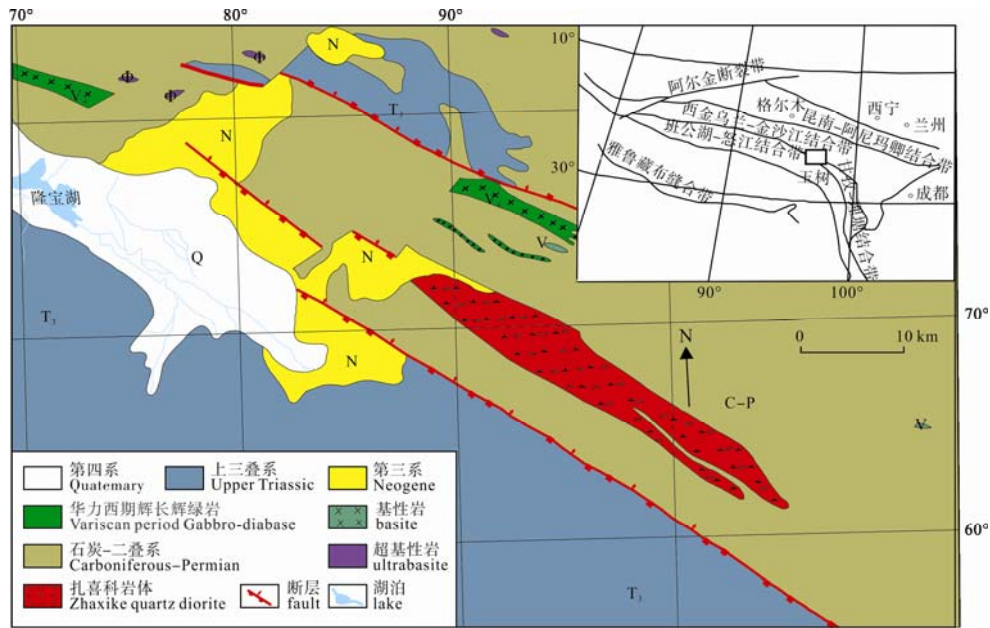


图 2 青海玉树扎喜科岩体地质略图(据青海省地质局, 1983, 修改)

Fig. 2 Geological sketch map of Zhaxike area in Yushu, Qinghai (after Qinghai Geological Survey, 1983)

与围岩接触界线清楚, 内外接触带蚀变强烈, 外接触带发生混合岩化、片岩化及大理岩化, 内接触带普遍发生混合岩化。岩体中围岩捕掳体多, 个体一般长径 3~5 cm, 最大者宽 10 m, 长数十米, 也发生混合岩化, 捕掳体倾向 30°左右, 倾角 80°左右。

岩体呈似层状产出, 南北两侧接触面均向北东倾斜, 倾向 0°~60°, 倾角 60°~75°, 岩体中节理倾向 15°~60°, 倾角 60°~75°, 与岩体接触面产状大体一致。围岩倾向 0°~60°, 倾角 53°~75°, 也与接触面产状基本一致, 岩体为顺层侵入。岩体走向为北西-南东向, 与区域构造线方向一致; 岩体产在扎喜科断裂带中, 且与扎喜科断裂走向一致, 表明岩体严格受断裂构造控制。

2 岩石学特征

扎喜科岩体岩性为石英闪长岩, 主要矿物为斜长石、角闪石、石英以及黑云母, 次要矿物为绢云母及粘土类矿物, 含少量的不透明矿物。其中, 斜长石呈自形结构, 可见明显的双晶, 主要为卡式双晶和聚片双晶。颗粒单偏光下糙面明显, 大部分发生了蚀变, 可见蚀变残余斜长石晶体, 主要蚀变为绢云母及部分粘土类矿物。颗粒粒度较大, 一般 ≥1 mm(见图 3); 角闪石呈自形-半自形结构, 多色性显著(见图 3)。在单偏光下, 角闪石有褐色、绿色两种。其中呈褐色的多以自形结构居多, 绿色的多以半自形结构居多, 并伴有一定程度的蚀变, 含量约

占 20%左右; 石英呈它形颗粒镶嵌结构, 含量约占 15%左右; 黑云母呈片状、条状, 具有明显的多色性强, 最长可达 1 mm。含量约占 8%左右。绢云母呈鳞片状, 主要为蚀变产物, 含量不到 5%。矿物特征鉴定详见常丽华等(2006)。

3 岩石化学特征

对 4 个岩石样品进行了 12 项主量元素分析。数据分析结果见表 1。运用 Geokit(路远发, 2004)将 4 组数据进行 TAS 投图, 数据均落在闪长岩区内。对岩石进行钙碱性投图, 4 组数据均落在钙碱性系列(图 4, 5)。

4 地球化学特征

4.1 微量元素特征

微量元素分析结果见表 2。运用原始地幔(Wood et al, 1979)进行微量元素标准化, 结果见图 6。总体来说富集大离子亲石元素 Rb、K、Sr、La、Sm, 亏损高场强元素 Ta、Nb、Zr、Ti、P、Y(其中 Ti、P 为明显亏损)。K* 在 4.18~4.89 范围内, 显示了岩石具有岛弧火山岩的特点, 与消减作用有联系(李昌年, 1992); Rb_N/Yb_N 比值范围在 9.77~12.09 间, 显示出分离结晶程度强的残余熔体的特点。这些特点显示了岛弧火山岩的特征(李伍平等, 1999)。

此外, U、Pb 表现为明显富集, U 和 Pb 的含量有着同步增长的关系(刘英俊等, 1984), 而 Pb 主要存在于岩石含钾矿物, 如钾长石、云母中。

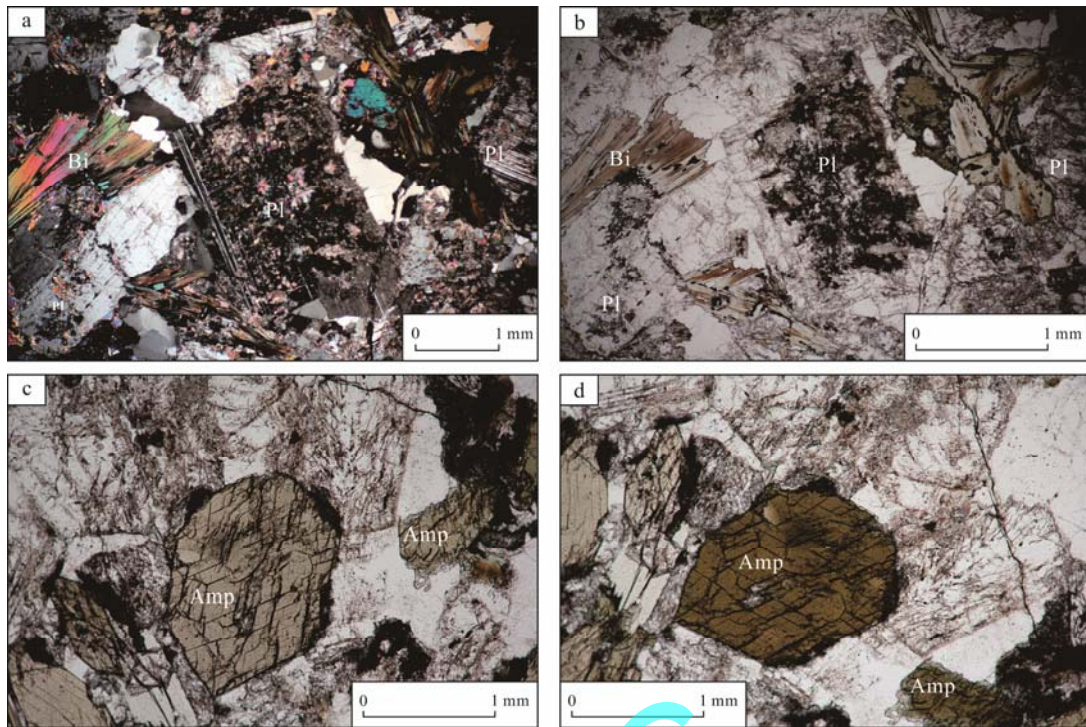


图3 扎喜科石英闪长岩镜下照片

Fig. 3 Microscopic photographs of Zhaxike quartz diorite

a-长石蚀变残晶(正交偏光); b-长石蚀变残晶(单偏光); c, d-自形程度较好的角闪石, 具有多色性(单偏光);

Bi-黑云母; Pl-斜长石; Amp-角闪石

a-feldspar alteration malcrystal (+); b-feldspar alteration malcrystal(-); c, d-hornblende, pleochroism(-);

Bi-Biotite; Pl-Plagioclase; Amp-Hornblende

表1 扎喜科石英闪长岩主量元素分析数据(%)
Table 1 Major element analyses of Zhaxike quartz diorite(%)

样品原号	S1174	S1175	S1176	S1177
样品岩性	石英闪长岩	石英闪长岩	石英闪长岩	石英闪长岩
SiO ₂	60.39	62.52	60.84	60.82
Al ₂ O ₃	15.75	15.95	16.50	16.42
Fe ₂ O ₃	1.00	0.72	0.90	0.71
FeO	5.17	4.44	4.62	4.87
CaO	6.53	6.05	6.59	6.48
MgO	4.04	3.26	3.58	3.66
K ₂ O	1.64	1.79	1.59	1.75
Na ₂ O	2.54	2.55	2.69	2.59
TiO ₂	0.57	0.52	0.50	0.53
MnO	0.13	0.10	0.12	0.12
P ₂ O ₅	0.10	0.09	0.09	0.09
LOI	1.49	0.99	1.04	1.16
Total	99.35	98.98	99.06	99.2

注: 主量数据用 X 荧光光谱仪(PW4400)分析, 分析单位为中国地质科学院国家地质实验测试中心。

4.2 稀土元素特征

稀土元素分析结果见表 2。稀土总量 Σ REE为 62.13~70.92, 轻重稀土比值 LREE/HREE 为 3.43~4.79, 轻重稀土分馏; $(La/Yb)_N$ 为 2.56~4.37,

轻稀土富集; δEu 为 0.6~0.76, 表现 Eu 的负异常; 稀土配分曲线为右倾型(图 7)。总体来说, 轻稀土分馏明显, 重稀土趋势较平缓, 分馏不显著; 曲线表现出明显的负 Eu 异常, 表明岩浆 REE 演化

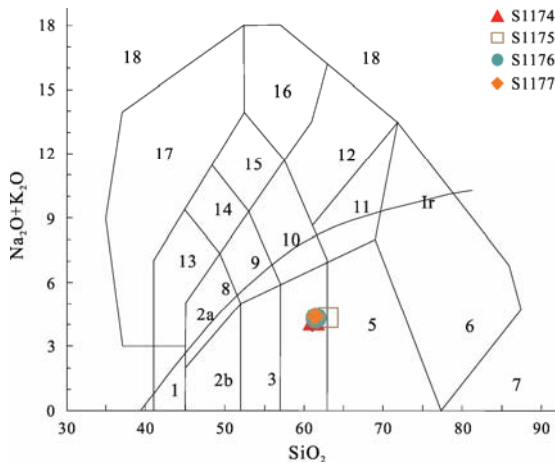


图 4 扎喜科岩体全碱硅分类图解

Fig. 4 Whole rock SiO_2 versus $(\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O})$ classification diagram of Zhaxike quartz diorite

- 1-橄辉长岩; 2a-碱性辉长岩; 2b-亚碱性辉长岩; 3-辉长闪长岩;
- 4-闪长岩; 5-花岗闪长岩; 6-花岗岩; 7-石英岩; 8-二长辉长岩;
- 9-二长闪长岩; 10-二长岩; 11-石英二长岩; 12-正长岩; 13-副长石辉长岩;
- 14-副长石二长闪长岩; 15-副长石二长正长岩; 16-副长石正长岩;
- 17-副长深成岩; 18-霓方钠岩/磷霞岩/粗白榴岩
- 1-olivine gabbro; 2a-alkali gabbro; 2b-subalkali gabbro;
- 3-gabbro-diorite; 4-diorite; 5-granodiorite; 6-granite; 7-quartzolite;
- 8-monzogabbro; 9-monzodiorite; 10-quartz monzonite; 11-quartz monzonite;
- 12-syenite; 13-feldspathoid gabbro; 14- feldspathoid monzodiorite;
- 15- feldspathoid monzosyenite; 16- feldspathoid syenite; 17- feldspathoid plutonite; 18-tawite/urtite/leucitite

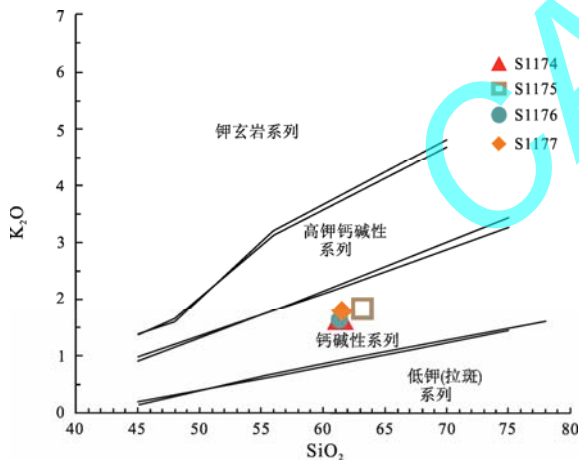


图 5 扎喜科岩体 SiO_2 - K_2O 岩浆系类判别图

Fig. 5 Whole rocks SiO_2 versus K_2O discrimination diagram of Zhaxike quartz diorite

与含钙矿物斜长石的分离结晶有关 (Rollison, 2000)。

5 岩石形成构造环境判别

对花岗岩类进行构造环境判别, 目前比较常用的是 Pearce(1984)提出的微量元素判别图解(李献华等, 2002; 朱弟成等, 2006; 张招崇等, 2009)以及 Maniar 等(1989)提出的主量元素判别图解(陈文,

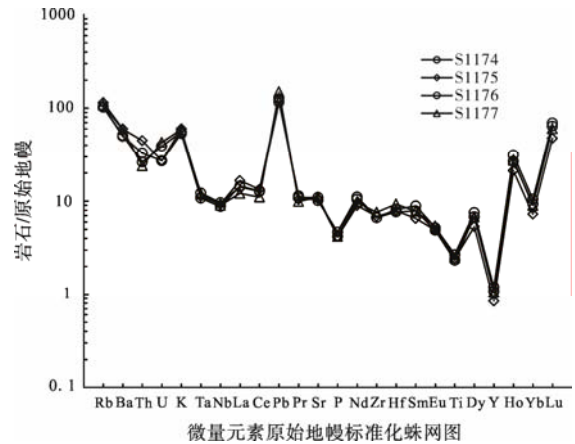


图 6 扎喜科石英闪长岩微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 6 Primitive mantle-normalized trace elements diagrams of Zhaxike quartz diorite

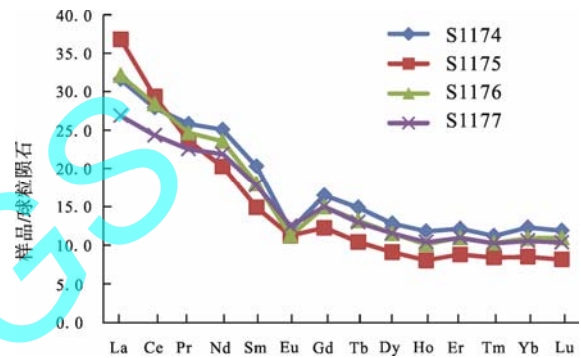


图 7 石英闪长岩球粒陨石标准化配分曲线 (图中球粒陨石值采用 Boynton(1984)球粒陨石值)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns of quartz diorite (chondrite values after Boynton, 1984)

1997, 2005; 孙桂英等, 1995; 肖庆辉等, 2002; 何登发等, 2011; 戚学祥等, 2011; 钟康惠等, 2006; 杨高学等, 2008; 代文军等, 2006)。赵振华(1997)指出由于各种构造环境判别图中环境常常有重叠, 不是唯一的, 因此应综合运用多个图解以获得统一的构造环境解释。本次对扎喜科石英闪长岩综合采用了主量元素和微量元素图解法进行构造环境判别。

5.1 主量元素

Maniar 等(1989)提出了利用花岗岩类岩石、主元素化学和矿物学特征将花岗岩类形成的构造环境划分为造山花岗岩类和非造山花岗岩类两类。造山花岗岩类又分为以下四种: ①岛弧花岗岩类(IAG); ②大陆弧花岗岩类(CAG); ③大陆碰撞花岗岩类(CCG); ④后造山花岗岩类(POG)。非造山花岗岩类又可分为以下三种: ①与裂谷有关的花岗岩类(RRG); ②大陆的造陆抬升花岗岩类(CEUG); ③大洋斜长花岗岩类(OP)。本次我们利用主元素化学特征

表 2 扎喜科石英闪长岩微量元素分析结果($\mu\text{g/g}$)
Table 2 Trace element analyses of Zhaxike quartz diorite ($\mu\text{g/g}$)

样品编号	S1174	S1175	S1176	S1177
样品岩性	石英闪长岩	石英闪长岩	石英闪长岩	石英闪长岩
Y	24.8	17.5	22.3	21.8
La	9.78	11.4	9.94	8.31
Ce	22.5	23.7	22.9	19.6
Pr	3.14	2.87	3	2.74
Nd	15	12.1	14.1	13.1
Sm	3.94	2.89	3.49	3.45
Eu	0.87	0.82	0.82	0.91
Gd	4.24	3.15	3.85	3.86
Tb	0.7	0.49	0.62	0.61
Dy	4.09	2.9	3.68	3.68
Ho	0.84	0.57	0.72	0.74
Er	2.53	1.83	2.29	2.28
Tm	0.36	0.27	0.33	0.33
Yb	2.55	1.76	2.26	2.19
Lu	0.38	0.26	0.35	0.33
(La/Yb) _N	2.59	4.37	2.97	2.56
δEu	0.60	0.76	0.63	0.70
δCe	0.98	1.00	1.01	0.99
LREE	55.23	53.78	54.25	48.11
HREE	15.69	11.23	14.10	14.02
LREE/HREE	3.52	4.79	3.85	3.43
REE	70.92	65.01	68.35	62.13
Rb	65.1	72.8	66	69.2
Ba	357	416	349	411
Sr	213	223	231	233
Zr	74.3	76.8	74.3	85
Nb	6.85	6.58	6.23	6.44
Th	2.23	3.8	2.79	2.04
U	0.82	0.57	0.57	0.9
Pb	8.26	8.89	8.93	10.6
Ga	16.2	15.9	16.8	16.9
Zn	65.1	58	62.4	61.1
Cu	13.8	13.9	12.1	18.3
V	174	134	157	157
Cr	48.3	37.4	41	39.8
Ta	0.5	0.46	0.44	0.49
Hf	2.51	2.43	2.37	2.87
Cs	3.77	6.03	5.09	5.69
Sc	29.8	20.8	26.8	27.9

注: 微量数据用等离子质谱(X-series)分析, 分析单位为中国地质科学院国家地质实验测试中心。

对扎喜科石英闪长岩的构造环境进行判别, 判别过程如下:

首先, 利用 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 的二元图(图 5), 将OP和其余的花岗岩类区分开来。因为 K_2O 是一种非常活泼的组分, 根据OP花岗岩类 K_2O 值非常低, 可以把它和其他花岗岩类区分开。扎喜科石英闪长岩属于钙

碱性系列, 具有与OP不相符的特点, 故可以排除扎喜科岩体属于OP的可能性。

其次, 考虑到扎喜科石英闪长岩的 SiO_2 含量小于 70%, 作构造判别时选择 $\omega(\text{TFeO})/[\omega(\text{TFeO})+\omega(\text{MgO})]-\omega(\text{SiO}_2)$ 、 $\omega(\text{TFeO})-\omega(\text{MgO})$ 和 $\omega(\text{TFeO})+\omega(\text{MgO})-\omega(\text{CaO})$ 三组图解, 三组投图均落入

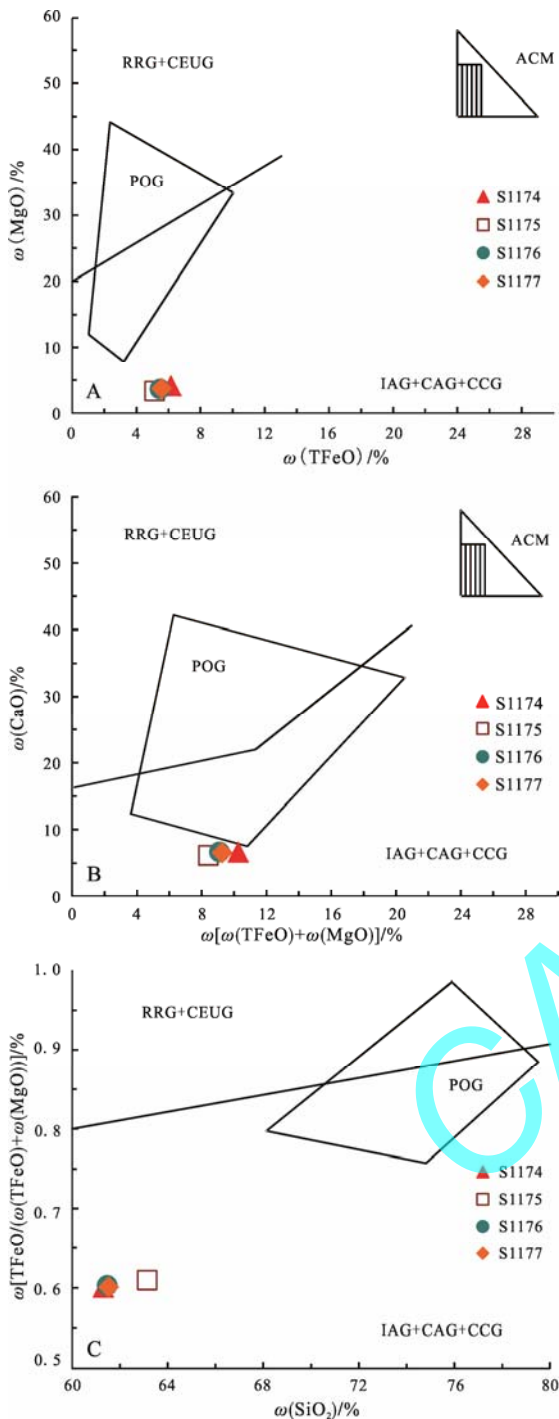


图 8 扎喜科石英闪长岩构造环境判别图

Fig. 8 Tectonic setting discrimination diagram of Zhaxike quartz diorite

IAG+CAG+CCG 区域内(图 8)。

第三, 根据 $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+k_2O)(A/CNK)$ (铝饱和指数) 的比值区分 CCG 和 IAG+CAG。将 IAG、CAG 和 CCG 的化学特征与扎喜科化学特征信息对比如下表 4 所示。由于扎喜科岩体的四组数据的铝饱和指数分别为: 1.05、1.10、1.09 和 1.09, 无法区分 CCG 和 IAG+CAG, 但从扎喜科岩体全碱硅分类图解

(图 4) 中可知, 扎喜科岩体为石英闪长岩, 根据 CCG、IAG 和 CAG 的矿物组合可以得到扎喜科岩体与 IAG+CAG 具有更好的相似性。

正如表 3 中所示, 扎喜科石英闪长岩在 $\omega(Na_2O)/\omega(K_2O)$ 和 $\omega(MgO)/\omega(MnO)$ 表现出与 CAG 型的相似性, 在氧化硅的变化和 $\omega(MgO)/\omega(TFeO)$ 上表现出与 IAG 的相似性, 均与 CCG 型有较大的差别。

根据以上资料进行综合分析, 判定扎喜科岩体为 IAG 型花岗岩, 理由为: 1) 扎喜科岩体位于扎喜科断裂带中, 与扎喜科断裂一致, 即与缝合带走向一致, 显示了俯冲成因产状特点; 2) 微量元素显示岩体富集大离子亲石元素, 亏损高场强元素, K^* 在 4.18~4.89 范围内, 显示了岩石具有岛弧火山岩的特点, Rb_N/Yb_N 比值范围在 9.77~12.09 间, 这些特点显示了岛弧火山岩的特征; 3) 与扎喜科岩体位于同一构造系的结隆岩体和哈秀岩体, 前人研究表明两者均为岛弧型花岗岩; 4) 该带的蛇绿岩混杂带中各岩性单元间均为逆断层接触(李德威, 2008), 扎喜科岩体与蛇绿岩带为断层接触关系。结合西金乌兰-金沙江缝合带西段板块俯冲的地质背景, 最终将扎喜科岩体判定为 IAG 岛弧型花岗岩。

5.2 微量元素

Pearce et al(1984)提出了运用微量元素 Nb-Y、Ta-Yb、Rb-(Y+Nb)和 Rb-(Y+Ta)来判别花岗岩形成的构造环境。其构造环境划分为: WPG(板内花岗岩)、ORG(洋脊花岗岩)、VAG(火山弧花岗岩)和 syn-COLG(同碰撞花岗岩)。运用该方法对扎喜科石英闪长岩进行投图, 在 Pearce 的 Nb-Y 图解上样品均落到了 VAG+syn-COLG 区内(图 9)。但由于对于花岗岩类, 由于其形成过程中常常经历强烈的分离结晶(结晶分异)作用, 因此在花岗岩类的判别图解中, 加入了对分离结晶作用非常敏感的强不相容元素 Rb(赵振华, 1997)。在 Pearce 的 Rb-Y+Nb 图解上样品均落到了 VAG 内, 显示了样品具有火山弧花岗岩的特征。

Pearce 图解结果与 Maniar 图解结果基本一致, 进一步证明了扎喜科石英闪长岩具有岛弧的特征, 为岛弧花岗岩类, 代表一个大洋板块在另一个大洋板块之下的俯冲作用所形成的岩浆弧岩石。

6 同位素年代学研究

为了确定扎喜科石英闪长岩的侵位年龄, 选纯的角闪石(纯度>99%)用超声波清洗。清洗后的样品被封进石英瓶中送核反应堆中接受中子照射。照射

表 3 不同构造环境花岗岩类的地球化学特点(据肖庆辉等, 2002)

Table 3 Geochemical characteristics of granitoids in different tectonic settings (after XIAO Qing-hui et al., 2002)

构造环境 岩石类型	造山的			扎喜科石英闪长岩
	IAG	CAG	CCG	
岩石化学特征				
氧化硅的变化	60~68 单峰式	62~76 单峰式	70~76 单峰式	61.3~63.15
碱钙指数	钙性到钙碱性	钙碱性	钙碱性到碱钙性	钙碱性
A/CNK	<1.05			>1.15
$\omega(\text{Na}_2\text{O})/\omega(\text{CaO})$	~1.0	~<4.0	~2.0~10.0	0.39~0.42
$\omega(\text{Na}_2\text{O})/\omega(\text{K}_2\text{O})$	~0.4~0.3	~0.4~2.0	~0.4~1.5	1.42~1.69
$\omega(\text{MgO})/\omega(\text{TFeO})$	0.3~0.85	0.10~0.50	0.05~0.6	0.64~0.66
$\omega(\text{MgO})/\omega(\text{MnO})$	12.0~28.0	2.0~38.0	2.0~45.0	29.83~32.6
$\omega(\text{Al}_2\text{O}_3)/[\omega(\text{Na}_2\text{O})+\omega(\text{K}_2\text{O})]$	>1.5	>1.1	>1.1	3.68~3.86

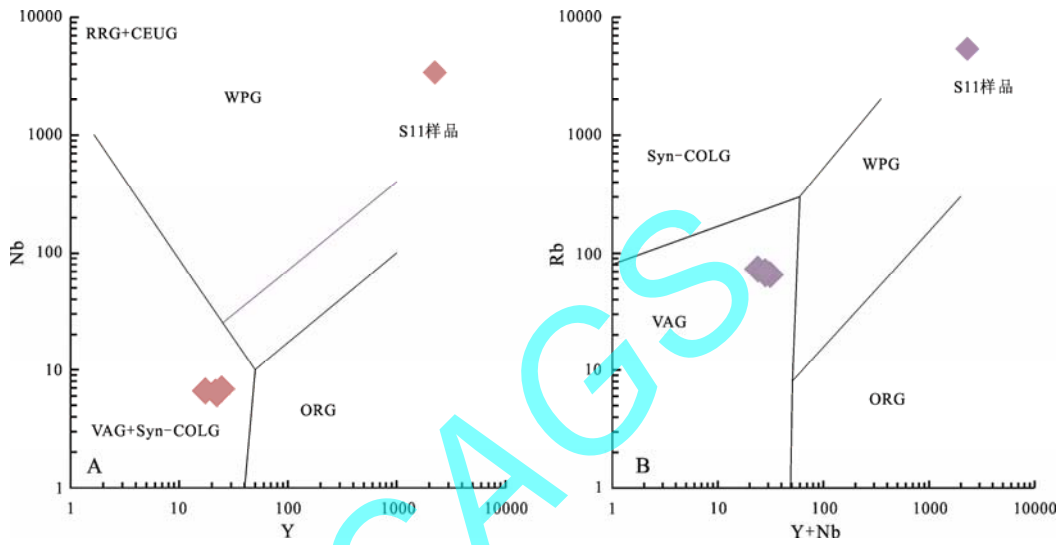


图 9 Yb-Nb 和(Yb+Nb)-Rb 构造判别图

Fig. 9 Discrimination diagrams of Yb-Nb and(Yb+Nb)-Rb

WPG-板内花岗岩; VAG-火山弧花岗岩; ORG-洋中脊花岗岩; Syn-COLG-同造山花岗岩

WPG-intraplate granites; VAG-volcanic arc granites; ORG-ocean ridge granites; Syn-COLG-syn-collisional granite

表 4 扎喜科石英闪长岩中角闪石⁴⁰Ar/³⁹Ar阶段升温加热分析数据

Table 4 ⁴⁰Ar/³⁹Ar stepwise heating dating results for hornblende from Zhaxike quartz diorite

T (°C)	(⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁷ Ar/ ³⁹ Ar) _m	(³⁸ Ar/ ³⁹ Ar) _m	F	³⁹ Ar (×10 ⁻¹⁴ mol)	³⁹ Ar (Cum.) (%)	Age (Ma)	±1σ (Ma)
500	17.5038	0.010	2.0518	0.0806	14.7156	123.51	4.80	288	18
600	21.6721	0.0400	3.0136	0.1135	10.0763	19.08	5.54	202.2	8.9
700	18.3932	0.0198	2.8630	0.0829	12.7693	30.47	6.72	253	35
800	22.6761	0.0385	5.6625	0.0624	11.7603	19.31	7.47	234	32
900	26.7408	0.0535	5.2033	0.0770	11.3401	16.43	8.11	226	23
1000	31.9065	0.0731	4.9018	0.0621	10.6808	31.06	9.32	214	21
1100	15.5577	0.0226	9.6717	0.0335	9.6322	84.12	12.59	193.7	6.3
1160	14.2745	0.0116	15.4057	0.0429	12.0922	170.16	19.20	240.0	4.7
1200	12.5828	0.0095	14.7454	0.0396	10.9579	372.39	33.67	218.8	3.6
1250	12.0796	0.0066	13.1702	0.0398	11.1766	868.65	67.42	222.9	2.5
1350	12.2838	0.0073	13.8221	0.0409	11.2140	482.69	86.17	223.6	2.8
1400	12.7189	0.0072	12.9071	0.0414	11.6115	355.99	100.00	231.1	2.8

注: 表中下标m代表样品中测定的同位素比值; Total age =227.1Ma ; F=⁴⁰Ar/³⁹Ar; 样号: J04118; W= 223.00 mg; J=0.011769.

工作是在中国原子能科学研究所的“游泳池堆”中进行的, 使用 H4 孔道, 中子流密度约为 $2.60 \times 10^{13} \text{ n cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 。照射总时间为 1440 分钟, 积分中子通量为 $2.25 \times 10^{18} \text{ n cm}^{-2}$; 同期接受中子照射的还有用做监控样的标准样: ZBH-25 黑云母标样, 其标准年龄为 $132.7 \pm 1.2 \text{ Ma}$, K 含量为 7.6%。

样品的阶段升温加热使用石墨炉, 每阶段加热 30 分钟, 净化 30 分钟。质谱分析是在多接收稀有气体质谱仪 Helix MC 上进行的, 每个峰值均采集 20 组数据。所有的数据在回归到时间零点值后再进行质量歧视校正、大气氩校正、空白校正和干扰元素同位素校正。中子照射过程中所产生的干扰同位素校正系数通过分析照射过的 K_2SO_4 和 CaF_2 来获得, 其值为: $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.0002389$, $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 0.004782$, $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar}_0)_{\text{Ca}} = 0.000806$ 。 ^{37}Ar 经过放射性衰变校正; ^{40}K 衰变常数 $\lambda = 5.543 \times 10^{-10} \text{ 年}^{-1}$; 用 ISOPLLOT 程序计算坪年龄及正、反等时线 (Ludwig, 2001)。坪年龄误差以 2σ 给出。详细实验流程见有关文章 (陈文等, 2006, 2011; 张彦等, 2006)。本次样品 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年结果见表 4。

500~1400°C 共 12 个温度阶段组成了一个受扰动的年龄谱, 总气体 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄为 227.1 Ma。其中 800~1400°C 高温阶段组成一个年龄坪, 坪年龄为 $222.3 \pm 1.7 \text{ Ma}$, 对应的 ^{39}Ar 释放量为 67% (图 10)。相应的 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 的反等时线年龄为 225 Ma, 与坪年龄在误差范围内一致; $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 初始比值为 289 Ma (2δ) (图 10), 误差范围内与尼尔值 ($295.5 \pm 5 \text{ Ma}$) 一致 (Nier, 1950; Lee et al, 2006), 说明岩浆冷却矿物生成时没有捕获过剩 Ar, 以上表明该结果是可信的, $222.3 \pm 1.7 \text{ Ma}$ 的坪年龄数据可以解释为角闪石形成后冷却至 550°C 的年龄, 近似认为是

岩体侵位年龄。

7 讨论和初步结论

古特提斯的生成至消亡是晚古生代-早中生代全球大地构造演化过程中非常重要的内容, 多年来是地质学界研究热点之一。我国的西南“三江”地区是全球特提斯构造在中国的重要发育区。同时, 由于它在经历了晚古生代-中生代特提斯构造演化之后, 在新生代又因为印-亚板块碰撞的远程效应影响而叠加了新生代大陆碰撞造山作用, 因而地质现象复杂, 是中国大陆地质复杂演化的典型缩影。由于后期强烈造山事件的改造作用影响, 导致提取早期古特提斯阶段地质演化信息具有相当难度。

在我国境内的古特提斯构造演化过程中, 金沙江洋占据了重要位置。这不仅仅因为金沙江洋位于古特提斯北部, 同时, 由于洋盆开启方向是由南往北(西)方向递进打开 (陈文等, 2011), 其消亡时间也晚于古特提斯的其他地区, 其中洋盆西段是最后消亡的, 因而代表了古特提斯洋的最后演化阶段。可见, 对金沙江洋晚期俯冲及闭合的时限研究, 直接牵涉到对古特提斯晚期演化和生存时限的认识。

西金乌兰-金沙江缝合带 (或简称为金沙江缝合带) 是金沙江洋俯冲消减和闭合留下的遗迹, 是研究金沙江洋演化过程的理想场所。西金乌兰-金沙江缝合带西起西金乌兰, 经风火山、沱沱河、扎河、当江—多彩、结隆至玉树的直门达, 此为该带的西(北)段, 呈近北西-南东向; 在玉树的直门达以东转为近南北向, 向南经巴塘、德钦等地, 与哀牢山缝合带相接, 向南东延出国境, 此为该带的南段, 整条缝合带延伸在 3000 km 以上。对于金沙江缝合带南段的闭合时代已经有比较一致的认识, 即在晚三叠时期

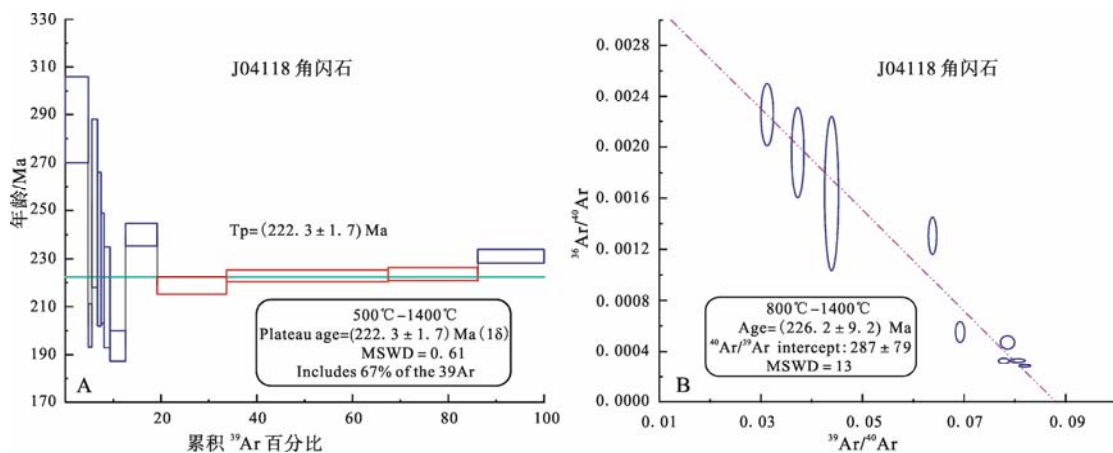


图 10 角闪石的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 阶段升温年龄谱 (A) 及 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ - $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 反等时线图 (B)
 Fig. 10 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum (A) and inverse isochron diagram (B) of hornblende from Zhaxike quartz diorite

完成闭合(钟大赉, 1998; 闫全人等, 2006; 刘俊来等, 2011; 莫宣学等, 2006; 范蔚茗等, 2009; 潘桂棠等, 2001)。但对于西(北)段的闭合时代长期以来存在争议, 主要有两种观点: (1)晚二叠世闭合(潘桂棠, 1994; 潘桂棠等, 1997; 张以弗等, 1997; 任纪舜等, 2004; 陈健等, 2007); (2)晚三叠世闭合: 许志琴等(2006)虽然没有明确指出金沙江缝合带的闭合时代, 但明确指出金沙江蛇绿岩带形成于 C-P, 于早三叠世向南和南西俯冲于羌塘地体之下, 形成玉树火山岛弧带。显然, 缝合带的闭合是在早三叠世之后。陈文等(2005)的研究证明俯冲作用持续到了晚三叠世。王根厚等(2007)认为该段早二叠世扩张, 闭合期为晚二叠世至中三叠世, 陆-陆碰撞为晚三叠世。

海域消失的可靠标志是蛇绿岩套, 因为它代表着沿地壳消减带保存下来的大洋沉积组合(杨遵仪等, 1989)。在金沙江缝合带西段的玉树一带, 潘裕生等(1983)首度发现了通天河蛇绿岩带, 朱迎堂等人进行野外工作将通天河蛇绿混杂岩带进行解体, 填绘出歇武、隆宝两条蛇绿混杂岩带。其中, 隆宝蛇绿岩的各种特征都表现了与西金乌兰蛇绿岩的相似性, 即隆宝蛇绿岩为西金乌兰蛇绿岩带的东延部分, 也是整个金沙江蛇绿岩带最北端的露头, 因此它可能代表了已消亡的古特提斯洋西南分支的遗迹(朱迎堂等, 2006)。

扎喜科岩体位于隆宝湖蛇绿岩带内, 它的形成能够反映和限定板块的运动过程。对扎喜科石英闪长岩进行 Maniar 以及 Pearce 的构造环境判别投图, 证明其具有岛弧花岗岩的特点, 为 IAG 型岛弧花岗岩类, 是大洋板块俯冲作用的产物。对扎喜科石英闪长岩的角闪石进行 Ar-Ar 测年分析, 得到了岩体侵位年龄为 222.3 ± 1.7 Ma。从扎喜科岩体的岩石成因和形成时代可以看出, 至晚印支期(222 Ma 左右), 该岩体所在位置仍处于岛弧环境, 西金乌兰-金沙江缝合带还未闭合, 大洋板块的俯冲作用还在继续进行。

总结本次研究结果, 可以得到以下初步结论:

(1)扎喜科石英闪长岩为 IAG 岛弧型花岗岩, 形成于板块俯冲阶段。

(2)扎喜科石英闪长岩是印支晚期岩浆活动的产物, 侵位年龄在 222.3 ± 1.7 Ma 左右。

(3)至 222 Ma 左右, 即晚三叠世, 西金乌兰-金沙江缝合带西段尚未闭合, 扎喜科岩体所在地区仍处于岛弧环境, 板块俯冲作用还在继续, 古特提斯洋尚未消亡。

致谢: 青海省地质调查院张雪亭、王毅志、刘生军、祁生胜、王永文等专家在野外工作期间给予大力帮助, 中国地质调查局西安地调中心朱迎堂、李建星、孙南一等专家在野外工作期间给予帮助并提供了第一手参考资料, Ar-Ar 测年实验得到了张思红实验师的帮助, 元素含量分析得到了国家地质实验测试中心的支持, 参与野外工作的还有中国地质大学(北京)的张雄、梁裕扬, 青海当地司机达哇才人、公旦等人, 在此向以上个人和单位表示衷心的感谢!

参考文献:

- 常丽华, 陈曼云, 金巍, 李世超, 于介江. 2006. 透明矿物薄片鉴定手册[M]. 北京: 地质出版社.
- 陈建平, 丛源, 董庆吉. 2010. “三江”北段二叠-三叠系沉积建造特征及铅锌矿的初步富集[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 37(4): 470-474.
- 陈健, 李建放, 安勇胜, 任晋祁, 史连昌. 2007. 风火山地区西金乌兰湖-金沙江蛇绿构造混杂带的物质组成及发展演化特征[J]. 西北地质, 40(3): 36-43.
- 陈文, ARNAUD N. 1997. 巴颜喀拉地体 POG 型花岗岩同位素年代学研究[J]. 地球学报, 18(3): 261-266.
- 陈文, 万渝生, 李华芹, 张宗清, 戴樵谟, 施泽恩, 孙敬博. 2011. 同位素地质年龄测定技术及应用[J]. 地质学报, 85(11): 1918-1947.
- 陈文, 张彦, 陈克龙, 张雪亭, 王清利, 金贵善. 2005. 青海玉树哈秀岩体成因及 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学研究[J]. 岩石矿物学杂志, 24(5): 393-396.
- 陈文, 张彦, 张岳桥, 金贵善, 王清利. 2006. 青藏高原东南缘晚新生代幕式抬升作用的 Ar-Ar 热年代学证据[J]. 岩石学报, 22(4): 867-872.
- 代文军, 史文全, 朱光儒, 刘强. 2006. 西天山西段乌什布拉克岩体特征及其形成意义[J]. 甘肃地质, 15(1): 29-35.
- 范蔚茗, 彭头平, 王岳军. 2009. 滇西古特提斯俯冲-碰撞过程的岩浆作用记录[J]. 地学前缘, 16(6): 291-302.
- 何登发, 袁航, 李涤, 雷刚林, 樊春, 常秋生, 叶茂林. 2011. 吐格爾明背斜核部花岗岩的年代学、地球化学与构造环境及其对塔里木地块北缘古生代伸展聚敛旋回的揭示[J]. 岩石学报, 27(1): 133-146.
- 黄汲清, 陈炳蔚. 1987. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京: 地质出版社.
- 黄汲清. 1984. 中国大地构造特征的新研究[J]. 地球学报, (2): 5-18.
- 李昌年. 1992. 火成岩微量元素岩石学[M]. 北京: 中国地质大学出版社.
- 李德威. 2008. 青藏高原及邻区三阶段构造演化与成矿演化[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 33(6): 723-742.
- 李伍平, 路凤香. 1999. 钙碱性火山岩构造背景的研究进展[J].

- 地质科技情报, 18(2): 15-18.
- 李献华, 李正祥, 周汉文, 刘颖, 梁细荣, 李武显. 2002. 川西南关刀山岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Nd 同位素地球化学—岩石成因与构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 32(增刊): 60-68.
- 李勇, 王成善, 伊海生. 2002. 中生代羌塘前陆盆地充填序列及演化过程[J]. 地层学杂志, 26(1): 62-79.
- 李勇, 王成善, 伊海生. 2003. 西藏金沙江缝合带西段晚三叠世碰撞作用与沉积响应[J]. 沉积学报, 21(2): 191-197.
- 刘俊来, 唐渊, 宋志杰, TRAN M D, 翟云峰, 吴文彬, 陈文. 2011. 滇西哀牢山构造带: 结构与演化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 41(5): 1285-1303.
- 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 王鹤年, 储同庆, 张景荣. 1984. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社.
- 路远发. 2004. GeoKit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J]. 地球化学, 33(5): 459-464.
- 莫宣学, 潘桂棠. 2006. 从特提斯到青藏高原形成: 构造-岩浆事件的约束[J]. 地学前缘, 13(6): 43-51.
- 牛志军, 段其发, 王建雄, 白云山, 曾波夫, 涂兵, 卜建军. 2006. 青海南部治多—杂多—二叠系尔笛考组[J]. 地层学杂志, 30(2): 109-115.
- 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 颜迎基, 许效松, 徐强, 江新胜, 吴应林, 罗建宁, 朱同兴, 彭勇民. 1997. 东特提斯地质构造形成演化[M]. 北京: 地质出版社.
- 潘桂棠, 王立全, 李兴振, 王洁民, 徐强. 2001. 青藏高原区域构造格局及其多岛弧盆系的空间配置[J]. 沉积与特提斯地质, 21(3): 1-26.
- 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 邓晋福, 冯益民, 张克信, 张智勇, 王方国, 邢光福, 郝国杰, 冯艳芳. 2009. 中国大地构造单元划分[J]. 中国地质, 36(1): 1-28.
- 潘桂棠. 1994. 全球洋-陆转换中的特提斯演化[J]. 特提斯地质, 18: 23-40.
- 潘裕生. 1984. 青海省通天河发现蛇绿岩套[J]. 地震地质, 6(2): 46.
- 戚学祥, 朱路华, 胡兆初, 李志群. 2011. 青藏高原东南缘腾冲早白垩世岩浆岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年和 Lu-Hf 同位素组成及其构造意义[J]. 岩石学报, 27(11): 3409-3421.
- 青海省地质局. 1983. 1: 20 万区域地质调查报告, 上拉秀幅[R]. 青海: 青海省地质局.
- 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[J]. 地质通报, 23(1): 1-11.
- 孙桂英, 张德全, 徐洪林. 1995. 格尔木-额济纳旗地质断面走廊域花岗岩类的岩石化学特征与构造环境的判别[J]. 地球物理学报, 38(增刊 II): 146-158.
- 汤朝阳, 姚华舟, 牛志军, 段其发, 赵小明, 王建雄. 2006. 羌塘北部拗陷东段晚三叠世地层沉积特征对比[J]. 地质与资源, 15(2): 81-88.
- 王根厚, 梁定益, 张维杰, 贾建称, 周志广, 万永平, 于海亮. 2007. 藏东北构造古地理特征及冈瓦纳北界的时空转换[J]. 地质通报, 26(8): 921-928.
- 王立全, 潘桂棠, 李定谋, 徐强, 林仕良. 1999. 金沙江弧-盆系时空结构及地史演化[J]. 地质学报, 73(3): 206-218.
- 肖庆辉, 邓晋福, 马大栓, 洪大卫, 莫宣学, 李志昌, 王雄武, 马昌前, 吴福元, 罗照华, 王涛. 2002. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社.
- 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 张建新, 曾令森, 姜枚. 2006. 青藏高原与大陆动力学—地体拼合、碰撞造山及高原隆升的深部驱动力[J]. 中国地质, 33(2): 221-238.
- 闫全人, 王宗起, 刘树文, 石玉若, 李秋根, 闫臻, 王涛, 王建国, 张德会, 张宏远. 2006. 青藏高原东缘构造演化的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学框架[J]. 地质学报, 80(9): 1285-1294.
- 杨高学, 李永军, 郭文杰, 毕明波, 栾新东, 李注苍, 李宏, 佟黎明. 2008. 西天山阿吾拉勒阔尔库岩基解体的岩石化学证据[J]. 地球科学与环境学报, 30(2): 125-129.
- 杨遵仪, 程裕淇, 王鸿祯. 1989. 中国地质学[M]. 北京: 中国地质大学出版社.
- 张洪瑞, 侯增谦, 宋玉财, 李政, 杨志明, 王召林, 王晓虎, 王淑贤. 2009. 斑岩铜矿床在东特提斯成矿域中的时空分布特征[J]. 地质学报, 83(12): 1818-1837.
- 张彦, 陈文, 陈克龙, 刘新宇. 2006. 成岩混层(I/S)Ar-Ar 年龄谱型及³⁹Ar核反冲丢失机理研究—以浙江长兴地区P-T界线粘土岩为例[J]. 地质论评, 52(4): 556-561.
- 张以菲, 庞存廉, 李长利. 1997. 可可西里-巴颜喀拉三叠纪沉积盆地的形成和演化[M]. 西宁: 青海人民出版社.
- 张招崇, 董书云, 黄河, 马乐天, 张东阳, 张舒, 薛春纪. 2009. 西南天山二叠纪中酸性侵入岩的地质学和地球化学: 岩石成因和构造背景[J]. 地质通报, 28(12): 1827-1839.
- 赵仁夫, 朱迎堂, 周庆华, 王满仓, 李建新, 孙南一. 2004. 青海玉树地区三叠纪地层之下角度不整合面的发现及意义[J]. 地质通报, 23(5-6): 616-619.
- 赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理[M]. 北京: 科学出版社.
- 钟大赉. 1998. 滇川西部古特提斯造山带[M]. 北京: 科学出版社.
- 钟康惠, 唐菊兴, 刘肇昌, 寇林林, 董树义, 李志军, 周慧文. 2006. 青藏东缘昌都—思茅构造带中生代陆内裂谷作用[J]. 地质学报, 80(9): 1298-1311.
- 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 王立全, 廖忠礼, 赵志丹, 董国臣, 周长勇. 2006. 冈底斯中北部晚侏罗世—早白垩世地球动力学环境: 火山岩约束[J]. 岩石学报, 22(3): 534-546.
- 朱迎堂, 李建新, 伊海生, 贾全香, 赵仁夫, 孙南一, 张汉文, 周庆华. 2006. 青藏高原东部玉树隆宝蛇绿混杂岩中早二叠世放射虫的发现及其地质意义[J]. 成都理工大学学报(自然科

学版), 33(5): 485-490.

朱迎堂. 2005. 玉树县幅 1: 25 万区域地质调查项目取得原创性新成果[J]. 西北地质, 38(3): 40.

References:

- BOYNTON W V. 1984. Cosmochemistry of the earth elements: Meteorite studies.//Henderson P(Ed.). Rare Earth Element Geochemistry[C]. Amsterdam: Elsevier: 63-114.
- CHANG Li-hua, CHEN Man-yun, JIN Wei, LI Shi-chao, YU Jie-jiang. 2006. Transparent mineral thin sections Identification Manual[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- CHEN Jian, LI Jian-fang, AN Yong-sheng, RENG Jin-qi, SHI Lian-chang. 2007. Xijinwulan Lake-Jinsha River Ophiolite Melange Zone and Its Evolution in the Fenghuo Mountain Area[J]. Northwestern Geology, 40(3): 36-43(in Chinese with English abstract).
- CHEN Jian-ping, CONG Yuan, DONG Qing-ji. 2010. Characteristics of sedimentary formations and the preliminary enrichment model of Pb-Zn deposits in the north part of Sanjiang, China[J]. Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition), 37(4): 470-474(in Chinese with English abstract).
- CHEN Wen, AMAUD N. 1997. Sm Nd Ages and Origins of Metamorphic Rocks for the H 9 Formation in the Bayan Obo Ore District, and Relationship with the Ore Forming Event[J]. Acta Geoscientica Sinica, 18(3): 261-266(in Chinese with English abstract).
- CHEN Wen, WAN Yu-sheng, LI Hua-qin, ZHANG Zong-qin, DAI Tong-mo, SHI Ze-en, SUN Jing-bo. 2011. Isotope Geochronology: Technique and Application[J]. Acta Geologica Sinica, 85(11): 1918-1947(in Chinese with English abstract).
- CHEN Wen, ZHANG Yan, CHEN Ke-long, ZHANG Xue-ting, WANG Qing-li, JIN Gui-shan. 2005. Tectonic discrimination and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Haxiu quartz diorite in Yushu, Qinghai Province[J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 24(5): 393-396(in Chinese with English abstract).
- CHEN Wen, ZHANG Yan, ZHANG Yue-qiao, JIN Gui-shan, WANG Qing-li. 2006. Late Cenozoic episodic uplifting in southeastern part of the Tibetan plateau-evidence from Ar-Ar thermochronology[J]. Acta Petrologica Sinica, 22(4): 867-872(in Chinese with English abstract).
- DAI Wen-jun, SHI Wen-quan, ZHU Guang-ru, LIU Qiang. 2006. The Features of Wushibulake Rock Mass and Its Significance in the West Section of Western Tianshan[J]. Gansu Geology, 15(1): 29-35(in Chinese with English abstract).
- FAN Wei-ming, PENG Tou-ping, WANG Yue-jun. 2009. Triassic magmatism in the southern Lancangjiang zone, southwestern China and its constraints on the tectonic evolution of Paleo-Tethys[J]. Earth Science Frontiers, 16(6): 291-302(in Chinese with English abstract).
- Geological Bureau of Qinghai Province. 1983. 1: 200000 regional geological survey report, Shang La-xiu County Sheet[R]. Qinghai: Geological Bureau of Qinghai Province(in Chinese).
- HE Deng-fa, YUAN Hang, LI Dong, LEI Ggang-lin, FAN Chun, CHANG Qiu-sheng, YE Mao-lin. 2011. Chronology, geochemistry and tectonic setting of granites at the core of Tugerming anticline, Tarim Basin: Indications of Paleozoic extensional and compressional cycle at the northern margin of Tarim continental block[J]. Acta Petrologica Sinica, 27(1): 133-146(in Chinese with English abstract).
- HOU Zeng-qian, SONG Yu-cai, YANG Tian-nan, YANG Zhu-sen. 2011. Introduction[J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 30(3): 351-354(in Chinese).
- HUANG Ji-qing, CHEN Bing-wei. 1987. The Evolution of the Tethys in China and Adjacent Region[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- HUANG Ji-qing. 1984. New researches on the tectonic characteristics of China[J]. Acta Geoscientica Sinica, (2): 5-18(in Chinese).
- LEE J Y, MARTI K, SEVERINGHAUS J P, KAWAMURA K, YOO H S, LEE J B, KIM J S. 2006. A redetermination of the isotopic abundances of atmospheric Ar[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 70(17): 4507-4512.
- LI Chang-nian. 1992. Igneous trace elements petrology[M]. Beijing: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- LI De-wei. 2008. Three-Stage Tectonic Evolution and Metallogenic Evolution in the Qinghai-Tibet Plateau and Its Adjacent Area[J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 33(6): 723-742(in Chinese with English abstract).
- LI Wu-ping, LU Feng-xiang. 1999. New Progress of the study of geologic setting for CALC-ALKLINE volcanic rocks[J]. Geological Science and Technology Information, 18(2): 15-18(in Chinese with English abstract).
- LI Xiang-hua, LI Zheng-xiang, ZHOU Han-wen, LIU Yin, LIANG Xi-rong, LI Wu-xian. 2002. SHRIMP zircon U-Pb age, elements and Nd isotope geochemistry-rock causes, and its tectonic significance of the Guandaoshan terrace in Southwest Sichuan[J]. Science in China(Series D), 32(Suppl): 60-68(in Chinese).
- LI Yong, WANG Cheng-shan, YI Hai-sheng. 2002. Filled sequence

- and evolution of the Mesozoic Qiangtang composite foreland basin in the Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Stratigraphy*, 26(1): 62-79(in Chinese with English abstract).
- LI Yong, WANG Cheng-shan, YI Hai-sheng. 2003. The Late Triassic Collision and Sedimentary Responses at Western Segment of JinShaJiang Suture, Tibet[J]. *Acta Sedimentologica sinica*, 21(2): 191-197(in Chinese with English abstract).
- LIU Jun-lai, TANG Yuan, SONG Zhi-jie, TRAN M D, ZHAI Yun-feng, WU Wen-bin, CHEN Wen. 2011. The ailaoshan Belt in western Yunnan: Tectonic framework and tectonic evolution[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 41(5): 1285-1303(in Chinese with English abstract).
- LIU Ying-jun, CAO Li-ming, LI Zhao-lin, WANG He-nian, CHU Tong-qing, ZHANG Jing-rong. 1984. *Element geochemistry*[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- LU Yuan-fa. 2004. GeoKit-A geochemical toolkit for Microsoft Excel[J]. *Geochimica*, 33(5): 459-464(in Chinese with English abstract).
- LUDWIG K R. 2001. Isoplot/Ex, rev.2.49: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[J]. Berkeley Geochronological Center, Special Publication, (1a): 55.
- MANIAR P D, PICCOLI P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 101(5): 635-643.
- MO Xuan-xue, PAN Gui-tang. 2006. From the Tethys to the formation of the Qinghai-Tibet Plateau: constrained by tectono-magmatic events[J]. *Earth Science Frontiers*, 13(6): 43-51(in Chinese with English abstract).
- NIER A O. 1950. A redetermination of the relative abundances of the isotopes of carbon, nitrogen, oxygen, argon, and potassium[J]. *Physical Review*, 77(6): 789-793.
- NIU Zhi-jun, DUAN Qi-fa, WANG Jian-xiong, BAI Yun-shan, ZENG Bo-fu, TU Bin, BU Jian-jun. 2006. ON the Gadikao Formation in Zhidoi and Zadoi Areas, Southern Qinghai[J]. *Journal of Stratigraphy*, 30(2): 109-115(in Chinese with English abstract).
- PAN Gui-tan, CHEN Zhi-liang, LI Xin-zhen, YAN Yin-ji, XU Xiao-song, XU Qiang, JIANG Xin-sheng, WU Ying-lin, LUO Jian-ning, ZHU Tong-xing, PENG Yong-min. 1997. *Geological-Tectonic Evolution in the Eastern Tethys*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese with English abstract).
- PAN Gui-tang, WANG Li-quan, LI Xing-zhen, WANG Jie-min, XU Qiang. 2001. The tectonic framework and spatial allocation of the archipelagic arc basin systems on the Qinghai-Xizang Plateau[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 21(3): 1-26 (in Chinese with English abstract).
- PAN Gui-tang, XIAO Qin-hui, LU Song-nian, DENG Jin-fu, FENG Yi-min, ZHANG Ke-xin, ZHANG Zhi-yong, WANG Fan-guo, XING Guan-fu, HAO Guo-jie, FENG Yan-fang. 2009. Subdivision of tectonic units in China[J]. *Geology in China*, 36(1): 1-28(in Chinese with English abstract).
- PAN Gui-tang. 1994. An evolution of Tethys in global ocean-continent transformation[J]. *Tethyan Geology*, 18: 23-40(in Chinese with English abstract).
- PAN Yu-sheng. 1984. Ophiolite Suite was Discovered in Tontian River Qinghai Province[J]. *Seismology and Geology*, 6(2): 46(in Chinese with English abstract).
- PEARCE J A, HARRIS N B W, TINDLE A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. *Journal of Petrology*, 25(4): 956-983.
- QI Xue-xiang, ZHU Lu-hua, HU Zhao-chu, LI Zhi-qun. 2011. Zircon SHRIMP U-Pb dating and Lu-Hf isotopic composition for Early Cretaceous plutonic rocks in Tengechong block, southeastern Tibet, and its tectonic implications[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(11): 3409-3421(in Chinese with English abstract).
- REN Ji-shun, XIAO Li-wei. 2004. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai-Tibet Plateau by 1: 250000 geological mapping[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(1): 1-11(in Chinese with English abstract).
- ROLLISON H R. 2000. *Petrogeochemistry*[M]. YANG Xue-ming, YANG Xiao-yong, CHEN Shuang-xi, translated. Hefei: China Science and Technology University Press(in Chinese).
- SUN Gui-ying, ZHANG De-quan, XU Hong-lin. 1995. Chemical characteristics and tectonic environments of granitoids in the corridor from Golmud to Ejinqi[J]. *Acta Geophysica Sinica*, 38(Suppl II): 146-158(in Chinese with English abstract).
- TANG Zhao-yang, YAO Hua-zhou, NIU Zhi-jun, DUAN Qi-fa, ZHAO Xiao-ming, WANG Jian-xiong. 2006. Sedimentary Features and stratigraphical correlation of late Triassic strata in the East of Northern Qiangtang Basin Depression[J]. *Geology and Resources*, 15(2): 81-88(in Chinese with English abstract).
- WANG Gen-hou, LIANG Ding-yi, ZHANG Wei-jie, JIA Jian-chen, ZHOU Zhi-guang, WAN Yong-pin, YU Hai-liang. 2007. Tectono-paleogeographic characteristics in northeastern Tibet, China and spatial-temporal transition of the northern boundary of Gondwana[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(8): 921-928(in Chinese with English abstract).
- WANG Li-quan, PAN Gui-tang, XU Qiang, LIN Shi-liang. 1999.

- The Spatio-temporal Framework and Geological Evolution of the Jinshajiang Arc-Basin Systems[J]. *Acta Geologica Sinica*, 3(3): 206-218(in Chinese with English abstract).
- WOOD D A, JORON J L, TREUIL M. 1979. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 45(2): 326-336.
- XIAO Qing-hui, DENG Jin-fu, MA Da-shuan, HONG Da-wei, MO Xuan-xue, LI Zhi-chang, WANG Xiong-wu, MA Chang-qian, WU Fu-yuan, LUO Zhao-hua, WANG Tao. 2002. Granite research thinking and methods[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- XU Zhi-qin, YANG Jing-sui, LI Hai-bing, ZHANG Jian-xin, ZENG Ling-sen, JIANG Mei. 2006. The Qinghai-Tibet plateau and continental dynamics: A review on terrain tectonics, collisional orogenesis, and processes and mechanisms for the rise of the plateau[J]. *Geology in China*, 33(2): 221-238(in Chinese with English abstract).
- YAN Quan-ren, WANG Zong-qi, LIU Shu-wen, SHI Yu-ruo, LI Qiu-geng, YAN Zhen, WANG Tao, WANG Jian-guo, ZHANG De-hui, ZHANG Hong-yun. 2006. Eastern Margin of the Tibetan Plateau: A Window to Probe the Complex Geological History from the Proterozoic to the Cenozoic Revealed by SHRIMP Analyses[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(9): 1285-1294(in Chinese with English abstract).
- YANG Gao-xue, LI Yong-jun, GUO Wen-jie, BI Ming-bo, LUAN Xin-dong, LI Zhu-cang, LI Hong, TONG Li-ming. 2008. Petrochemical Evidence and Its Significance of Disintegration of Kuoerku Granite Batholith in Awulale, Western Tianshan[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 30(2): 125-129(in Chinese with English abstract).
- YANG Zun-yi, CHENG Yu-qi, WANG Hong-zhen. 1989. China Geology[M]. Beijing: China University of Geosciences Press(in Chinese).
- ZHANG Hong-rui, HOU Zeng-qian, SONG Yu-cai, LI Zheng, YANG Zhi-ming, WANG Zhao-lin, WANG Xiao-hu, WANG Shu-xian. 2009. The Temporal and Spatial Distribution of Porphyry Copper Deposits in the Eastern Tethyan Metallogenic Domain: A Review[J]. *Acta Geologica Sinica*, 83(12): 1818-1837(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Yan, CHEN Wen, CHEN Ke-long, LIU Xin-yu. 2006. Study on the Ar-Ar age spectrum of diagenetic I/S and the mechanism of ^{39}Ar recoil loss-Examples from the clay minerals of P-T boundary in Changxing, Zhejiang Province[J]. *Geological Review*, 52(4): 556-561(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Zhao-cong, DONG Shu-yun, HUANG He, MA Le-tian, ZHANG Dong-yang, ZHANG Shu, XUE Chun-ji. 2009. Geology and geochemistry of the Permian intermediate-acid intrusions in the southwestern Tianshan, Xinjiang, China: implications for petrogenesis and tectonics[J]. *Geological Bulletin of China*, 28(12): 1827-1839(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Ren-fu, ZHU Ying-tang, ZHOU Qing-hua, WANG Man-cang, LI Jian-xin, SUN Nan-yi. 2004. Discovery of angular unconformity below Triassic strata in the Yushu area, Qinghai[J]. *Geological Bulletin of China*, 23(5-6): 616-619(in Chinese with English abstract).
- ZHAO Zhen-hua. 1997. The principles of trace element geochemistry[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- ZHONG Da-lai. 1998. Paleo-Tethys Orogen of Western Yunnan and Sichuan Provinces[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- ZHONG Kang-hui, TANG Ju-xing, LIU Zhao-chang, KOU Lin-lin, DONG Shu-yi, LI Zhi-jun, ZHOU Hui-wen. 2006. Mesozoic—Cenozoic Intracontinental Rifting of Changdu-Simao Tectonic Zone in East Margin of Qinghai—Tibet, WS China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(9): 1298-1311(in Chinese with English abstract).
- ZHU Di-cheng, PAN Gui-tang, MO Xuan-xue, WANG Li-quan, LIAO Zhong-li, ZHAO Zhi-dan, DONG Guo-chen, ZHOU Chang-yong. 2006. Late Jurassic-Early Cretaceous geodynamic setting in middle-northern Gangdese: New insights from volcanic rocks[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(3): 534-546(in Chinese with English abstract).
- ZHU Ying-tang, LI Jian-xing, YI Hai-sheng, JIA Quan-xiang, ZHAO Ren-fu, SUN Nan-yi, ZHANG Han-wen, ZHOU Qing-hua. 2006. Early Permian radiolarians from the Longbao ophiolitic mélange in Yushu Area, Qinghai-Tibet Plateau, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition)*, 33(5): 485-490(in Chinese with English abstract).
- ZHU Ying-tang. 2005. 1: 250000 regional geological survey project to obtain original new achievements of Yushu County Sheet[J]. *Northwestern Geology*, 38(3): 40(in Chinese).