西藏东巧北尕苍见岛弧的厘定及地质意义

许荣科[1] 郑有业[2,3] 赵平甲[4] 陕 亮[2] 张雨莲[2]
曹 亮[3] 齐建宏[5] 张刚阳[1] 代芳华[1]

(1.中国地质大学研究生院,湖北 武汉 430074;2.中国地质大学资源学院,湖北 武汉 430074;
3.中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,湖北 武汉 430074;
4.陕西省地质调查院,陕西 咸阳 712000;5.甘肃省第三地质勘查院,甘肃 兰州 730000)

提要:在班公错—怒江小洋盆内晚侏罗世存在向南的俯冲已被许多学者所证实,近期在班—怒带中部的东巧蛇绿岩带北侧发现一套晚侏罗世火山岩——尕苍见(组)火山岩,该套火山岩以内部变形微弱而明显有别于东巧蛇绿岩带,其地球化学特点反映具有岛弧性质,并具有初期为拉斑玄武质–钙碱性岩浆喷发,尔后以钙碱性火山活动为主,至晚期岛弧演化成熟,发生岛弧橄榄安粗质火山喷发活动,并伴有富Nb岛弧玄武岩产出。证明在班怒小洋盆内晚期也曾存在向北的俯冲作用。这一发现对完整重溯班—怒带构造演化和构建青藏高原大地构造格局具有重要意义。

关 键 词:班怒小洋盆;消亡;尕苍见岛弧;晚侏罗世;向北俯冲;双向俯冲;西藏

中图分类号:P542 **文献标志码**:A **文章编号**:1000−3657(2007)05−0768−10

1 引 言

青藏高原的形成与特提斯洋的演化密切相关,其造山过程是一个“非原地”诸多地体会聚、拼合以及复合碰撞造山的过程[1–2]。然而最重要的造山过程发生在中新生代,以特提斯洋的闭合、印度洋板块和欧亚板块碰撞及喜马拉雅山的隆起为代表,并控制了新生代以来的中国西部乃至其以北的广大地区的构造活动、地貌等[3–11]。作为特提斯洋中雅鲁藏布江结合带的孪生带——班公湖—怒江带[12]的构造演化是解读印度洋板块和欧亚板块碰撞过程的重要一环。自20世纪70年代以来,许多学者对班公错—怒江结合带进行了研究,取得了丰硕成果,但在一些关键问题上至今仍存在重大分歧,班怒小洋盆的消亡模式就是其中之一:大部分学者[13–16]持洋壳俯冲–板块汇聚而消亡的观点,即东太平洋安第斯模式,但在俯冲极性上,存在向南、向北两种不同观点。其中多数学者[17–18]根据冈底斯板片北侧晚侏罗世深成岩带的存在(罗建宁等[19]称为班戈岩浆岩带),认为班怒小洋盆晚侏罗世向南俯冲[17–24];以常承法等[25–28]为代表的一些学者则认为向北俯冲,但缺乏有力证据。赵文津等[29]根据深部地球物理资料推测早期(100~60 Ma)班公湖—怒江洋向南俯冲;怒江洋闭合后,拉萨地块与羌塘地块相碰撞发生陆内俯冲,拉萨地块的下地壳则反而向羌塘地块下俯冲(40~20 Ma)。

1:25万兹格塘错幅区调成果显示:在班公湖—怒江板块接合带内的东巧蛇绿岩北侧和南羌塘盆地之间发育一套弧火山岩,笔者拟通过对该弧火山岩地质及地球化学特征的研究,探讨班公湖—怒江接合带中段东巧地区在晚侏罗世的俯冲极性。

2 地质特征

尕苍见组火山岩位于班—怒带中段的东巧地区(图1),据该区地质特征,由南向北可分为东巧蛇绿混杂岩带、尕苍见组火山岩、齐日埃加查蛇绿混杂岩和南羌塘盆地几个部分(图2)。

2.1 东巧蛇绿混杂岩带

东巧蛇绿混杂岩带发育于尕苍见组火山岩的南侧,由东巧蛇绿岩和构造混杂岩两部分组成,它们构成海沟消减部位的俯冲杂岩带,与北侧的尕苍见组弱变形火山岩之间以右行走滑的韧性剪切带相隔,晚期叠加逆冲推覆性质的脆性断层。

收稿日期:2007−01−15;改回日期:2007−06−10

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200210200001、200213000009)、国家基础研究计划973项目(2002CB412610)、国家自然科学基金项目(40542008, 40672012)和国家重大基础研究前期研究专项项目(2005CCA05600)资助。

作者简介:许荣科,男,1968年生,博士生,高级工程师,主要从事基础地质及矿产勘察工作;E−mail:xurongke1968@126.com。

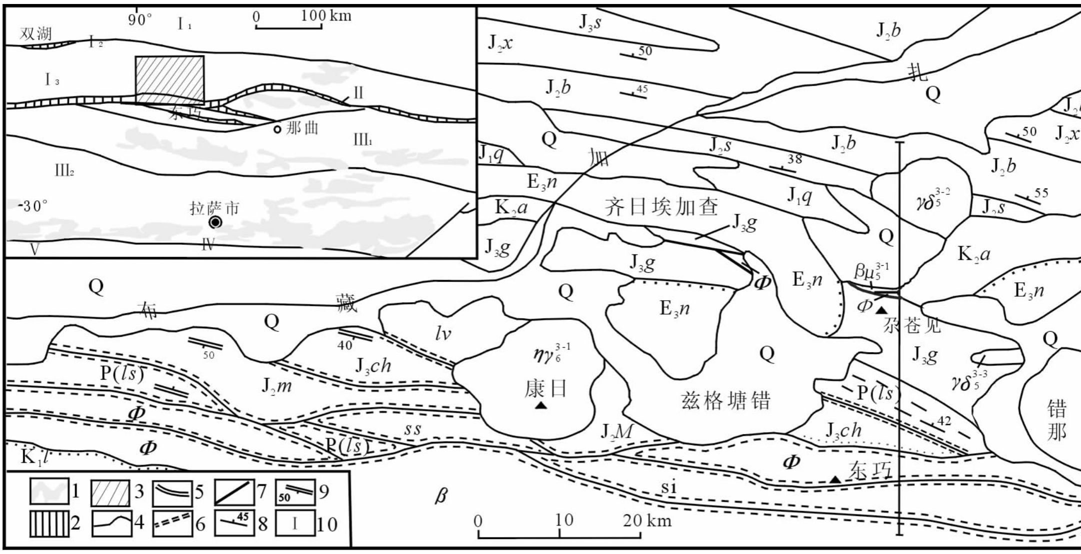

图 1　东巧地区地质简图(据兹格塘错幅 1:25 万区调资料)

Q—第四系;E_3n—牛堡组;K_2a—阿布山组;K_1l—郎山组;J_3ch—交玛岩组;J_3g—尕苍见组;J_3s—索瓦组;J_2x—夏里组;J_2b—布曲组;J_2s—色哇组;J_2m—木嘎岗日群;J_1q—雀莫错组;*lv*—变质火山岩(岩块);*ss*—变砂岩(岩块);*si*—硅质岩(岩块);β—枕状玄武岩(岩块);$\beta\mu$—辉长-辉绿岩(岩块);Φ-变质橄榄岩;P(*ls*)—二叠纪(灰岩岩块);$\gamma\delta_5^{3-3}$—洗夏日举岩花岗闪长岩体;$\gamma\delta_5^{3-2}$-多勒江普花岗闪长岩体;$\eta\gamma_6^3$—康日中细粒二长花岗岩体;I—羌塘地体(I_1-北羌塘盆地,I_2—双湖结合带,I_3-南羌塘盆地);Ⅱ-班公湖-怒江结合带;Ⅲ—拉萨地体($Ⅲ_1$-班戈中生代深成岩,$Ⅲ_2$—冈底斯中新生代深成岩);Ⅳ-雅鲁藏布江缝合带;Ⅴ-印度陆块;1—深成岩;2—蛇绿岩;3—研究区位置;4—地层界线;5—不整合界线;6—韧性剪切带;7—脆性断层;8—层理产状;9—板理产状;10—剖面位置;A-构造位置图(据文献[22],并略作修改);B—地质图

Fig.1　Simplified geological map of the Dongqiao area (after 1:250,000 regional geological survey of the Zigê Tangco Sheet)

Q-Quaternary;E_3n-Niubao Formation;K_2a-Abushan Formation;K_1l-Langshan Formation;J_3ch-Jiaomayan Formation-complex;J_3g-Gacangjian Formation;J_3s-Suowa Formation;J_2x-Xiali Formation;J_2b-Bi Qu Formation;J_2s-Sêwa Formation;J_2m-Muggar Kangri Group;J_1q-Qoina Co Formation;*lv*-metavolcanic rocks (block);*ss*-metasandstone;*si*-siliceous rocks (block);β-pillow basalt (block);$\beta\mu$-gabbro-dolerite (block);Φ-metaperidotite;P(*ls*)-Permian (limestone block);$\gamma\delta_5^{3-3}$-Xixia Ri´gyü granodiorite;$\gamma\delta_5^{3-2}$-Duolejiangpu granodiorite;$\eta\gamma_6^3$-Kangrai medium- and fine-grained monzogranite;Qiangtang terrane: I_1-North Qiangtang basin;I_2-Shuanghu suture zone;I_3-South Qiangtang basin;Ⅱ-Bangong Co-Nujiang suture zone;Ⅲ-Lhasa terrane;$Ⅲ_1$-Mesozoic Bangkok plutonic rocks;$Ⅲ_2$-Mesozoic-Cenozoic Gangdise plutonic rocks;Ⅳ-Yarlung Zangbo suture zone;Ⅴ-Indian continental block. 1-Plutonic rocks;2-Ophiolite;3-Location of the study area;4-Boundary of strata;5-Unconformity;6-Ductile shear zone;7-Brittle fault;8-Attitude of bedding;9-Attitude of slaty cleavages;10-Section location. A-Structural location (modified from reference [22]);B-Geological map

东巧蛇绿岩位于蛇绿混杂岩带偏南侧,代表班—怒带蛇绿岩的主体,组成蛇绿岩的岩石组合有变质橄榄岩、堆晶岩、枕状玄武岩、紫红色放射虫硅质岩等,未发现席状辉绿岩墙群,在水邦屋里玄武岩中有晚期辉绿岩小岩体穿入。组成蛇绿岩的各岩块之间以韧性剪切带相分割,后期叠加脆性断裂,故该蛇绿岩属于构造肢解的蛇绿混杂岩。其形成时代主要根据在紫红色硅质岩中采到的放射虫 *Sethocyrtis* sp.等,定为侏罗纪[30]。

构造混杂岩主要位于东巧蛇绿岩带的北侧,由基质和混杂于其中的岩块组成。

基质:由交码岩组的深灰色-黑色泥岩、泥灰岩夹黑色薄层硅质岩组成,为一套典型的海沟沉积岩系。

岩块:由木嘎岗日岩群、变砂岩岩块、二叠纪灰岩岩块、变质火山岩岩块等组成,其中在二叠纪灰岩岩块中采获 *Gyroporelle* sp.,*Aratathyris* sp.,*Neospirifer* sp.,*Eomargimifera* sp.等化石。各构造混杂岩块之间、基质与岩块之间的边界多为韧性剪切带或脆性断层。作为混杂岩中一个岩块(或超岩片)的木嘎岗日岩群本身就是一套由黑色板岩、千枚岩夹各类大小不等的沉积混杂岩岩块组成的沉积混杂岩系,故兹格塘错构造混杂岩具有沉积混杂和构造混杂的双重特征,它们无疑构成了海沟消减的增生棱柱体(复理石增生楔)。

2.2 尕苍见组火山岩

尕苍见组系本次工作从班怒带中新厘定的地层单位,产于班怒带北缘,出露宽度大于 20 km,近东西向延伸大于 80 km,总厚度大于 3347.93 m,主要由火山岩和近顶部的滨浅海相碎屑沉积组成,其中火山岩厚度为 2002.5 m(图 3),可划分为 3 个火山喷发旋回和 8 个火山喷发韵律。岩石类型有玄武质、安山质和英安质岩石(安山质岩石是主体),其中火山碎屑

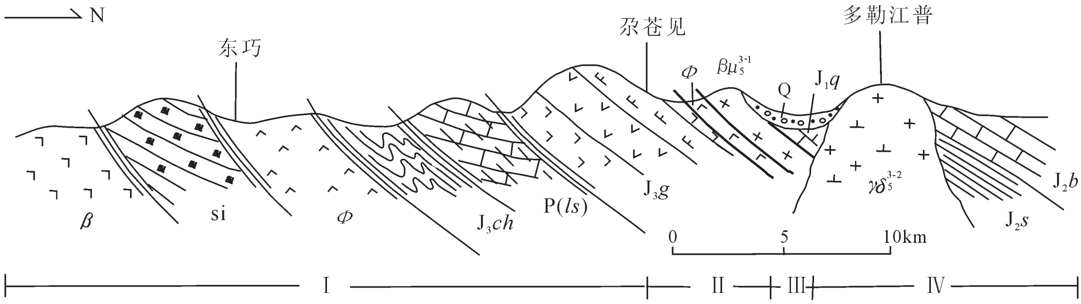

图 2 东巧—南羌塘构造剖面图

Ⅰ—东巧蛇绿混杂岩；Ⅱ—尕苍见组火山岩(岩块)；Ⅲ—齐日埃加查蛇绿岩；Ⅳ—南羌塘盆地；其余图例同图 1

Fig.2 Structural section from Dongqiao to the South Qiangtang basin

Q–Quaternary；J_3ch–Jiaomayan；J_3g–Gacangjian Formation；J_2x–Xiali Formation；J_2b–Bi Qu Formation；J_2s–Sêwa Formation；J_1q–Qoina Co Formation；si–siliceous rocks；β–pillow basalt；βμ–gabbro–dolerite；Φ–metaperidotite；P(ls)–Permian (limestone)；$\gamma\delta_5^{3-2}$–Duolejiangpu granodiorite；Ⅰ–Dongqiao ophiolitic mélange；Ⅱ–Gacangiian volcanic rocks (masses)；Ⅲ–Qiriaijiacha ophiolite mélange；Ⅳ–southern Qiangtang basin

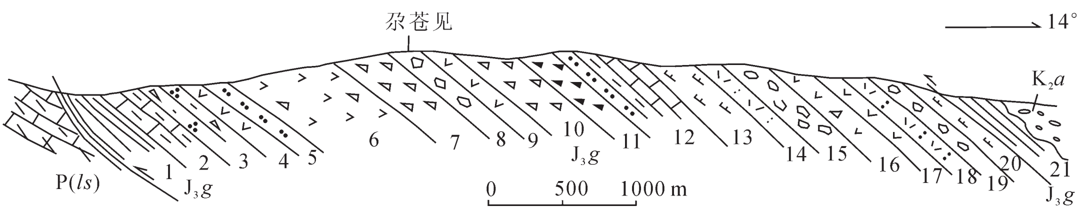

图 3 尕苍见火山岩实测剖面图

K_2a—阿布山组；J_3g—尕苍见火山岩；P(ls)—二叠纪灰岩岩块；1—浅灰色泥岩；2—浅灰色中层状泥质灰岩；3—深灰色薄层状岩屑石英粉砂岩；4—浅灰绿色块状玄武岩；5—灰–深灰色薄层状粉砂岩；6—绿灰色块状含火山角砾玄武岩；7—灰绿色块状玄武质火山角砾岩；8—浅灰绿色块状安山质火山集块岩；9—浅灰绿色块状安山岩；10—深灰绿色块状玄武–安山质火山角砾岩；11—复成分沉积角砾岩楔；12—深灰色薄–极薄层状粉砂岩、钙质泥岩及微晶灰岩；13—深灰色块状英安岩；14—浅灰绿色含火山角砾安山质凝灰岩；15—浅灰绿色安山质火山集块岩；16—浅灰绿色厚层状含火山角砾安山岩；17—浅灰绿色厚层状含火山角砾安山岩；18—浅灰绿色安山质凝灰岩夹厚层状英安岩；19—浅灰色厚层状英安岩；20—浅灰绿色厚层状英安岩；21—深灰色泥岩夹浊积岩及灰岩透镜体；

Fig.3 Section of the Gacangjian volcanic rocks

K_2a–Abushan Formation；J_3g–Gacangjian volcanic rocks；P(ls)–Permian limestone masses；1–Light gray mudstone；2–Light gray medium–bedded argillaceous limestone；3–Dark gray thin–bedded lithic quartz siltstone；4–Light grayish green massive basalt；5–Gray to dark–gray thin–bedded siltstone；6–Green massive basalt with volcanic clasts；7–Grayish green massive basaltic breccia；8–Light grayish green massive andesitic agglomerate；9–Light grayish green massive andesite；10–Dark grayish green massive basaltic–andesitic breccia；11–Polymictic sedimentary breccia wedge；12–Dark gray thin– and very thin–bedded siltstone, calcilutite and micrite；13–Dark gray massive dacite；14–Light grayish green andesitic tuff with volcanic clasts；15–Light grayish green andesitic agglomerate；16–Light grayish green thick–bedded dacite with volcanic clasts；17–Light grayish green thick–bedded andesite with volcanic clasts；18–Light grayish green andesitic tuff with thick–bedded dacite；19–Light gray thick–bedded dacite；20–Light grayish green thick–bedded dacite；21–Dark gray mudstone with turbidite and limestone lenses；

岩约占 50%以上。火山岩岩性自早而晚、由南向北，一般具有由基性–中性–酸性的演化规律，上述火山沉积特点反映形成于岛弧或活动大陆边缘钙碱性火山系列的演化规律，但在齐日埃加查附近的酸性火山碎屑岩之上，还发育一套玄武岩、安粗岩–粗面岩组合，与下部的酸性火山碎屑岩和北侧的齐日埃加查蛇绿混杂岩均呈断层接触。

尕苍见组构造变形较弱，仅呈一向北—北东倾斜的简单单斜，地层倾角 30~70°，从而明显有别于东巧蛇绿混杂岩内

具有中深层次的强烈变形。该套地层与东巧蛇绿混杂岩带内的糜棱岩化灰岩岩块为逆冲断层接触,晚白垩世阿布山组角度不整合于其上,117~111 Ma 的康日中细粒二长花岗岩体侵入尕苍见组(采用锆石 U−Pb 法测得,样品的粉碎、选样及测试由宜昌地质矿产研究所同位素室完成❶)。

2.3 齐日埃加查蛇绿混杂岩

齐日埃加查蛇绿混杂岩沿齐日埃加查、鄂如一带断续分布(图 1),主要由浊积岩、变质超基性岩、辉长辉绿席状岩墙等构成,在齐日埃加查一带它将尕苍见组分为南北两部分。但在尕苍见一带位于尕苍见组火山岩北侧,紧邻羌塘盆地。

2.4 南羌塘盆地

南羌塘盆地(图 1)中侏罗世为一南深北浅的楔形陆缘盆地,沉积相由南侧的复理石−浊积−北侧的滨浅海相❶[6]。晚侏罗世沉积较为局限,沉积相为碳酸盐碎屑滩。

3 地球化学特征

3.1 尕苍见组底部火山岩

尕苍见组火山岩的主量、微量及稀土元素分析数据见表 1 。根据样品多含有较高的 H_2O,故采用不活泼的次要元素和微量元素来判别岩石类型,在判别图[31](图 4)上底部火山岩的 3 个样品位于玄武岩区,1 个位于安山玄武岩区。尕苍见组底部火山岩的 Nb/Y 值在 0.16~0.30,一般认为 Nb/Y 值大于 0.7 的属亚碱性火山岩[32],故尕苍见组底部的玄武岩及安山玄武岩属于亚碱性火山岩。Pearce,et al[33]认为 Ti/100−Zr−Y×3 图解(图 5)可以最为有效地将板内玄武岩和其他玄武岩分开,判别尕苍见组底部的玄武岩不属于板内玄武岩(图 5),而位于岛弧火山岩和 MORB 的重合区。Sun et al[34]认为:Ba、Th、La、Nb 是非常不相容元素,其分配系数相近,它们的比值,尤其 Ba、Th、La 与 Nb 的比值(Nb 分配系数居中)在部分熔融和分离结晶过程中保持不变,可有效地指示源区特征。岛弧玄武岩和洋脊玄武岩的区别标志为 Nb/Th 比值小于 10.9[35],尕苍见组底部玄武岩的 Nb/Th 在 0.70~1.67,显然属于岛弧玄武岩。岛弧钙碱性系列岩石以 Hf/Th<3[36]、Th/Yb≥0.3、Ti/Zr<85、La/Ta≤50[37]区别于岛弧拉斑质岩石,尕苍见组底部玄武岩 Hf/Th 比值为 0.08~0.22、Th/Yb 值为 2.13~3.96,Ti/Zr 为 56.86~124.78,平均值 87.80,La/Ta 值除一个特高值 89 外,一般在 3.64~7.36,平均值 22.30,故它应属于岛弧钙碱性玄武岩,但 Ti/Zr 比值也反映部分样品具有一些岛弧拉斑玄武岩的特点。玄武岩微量元素洋脊玄武岩标准

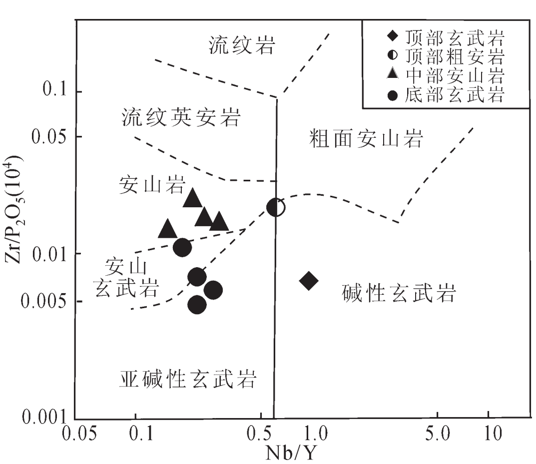

图 4 Zr/P_2O_5−Nb/Y 岩石类型判别

Fig.4 Zr/P_2O_5−Nb/Y discrimination diagram of rock types

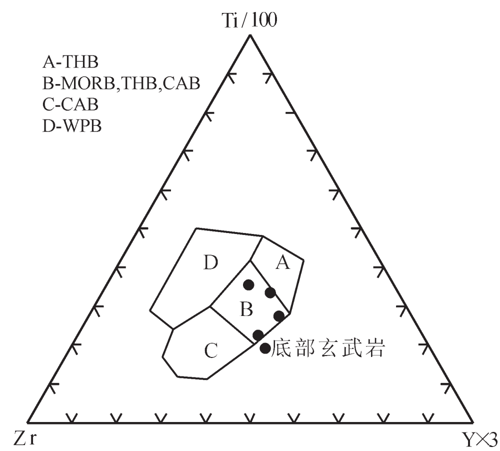

图 5 玄武岩 Ti−Zr−Y 图解

THB—岛弧拉斑玄武岩;MORB—洋脊玄武岩;CAB—钙碱性玄武岩;WPB—板内玄武岩

Fig.5 Ti−Zr−Y diagram of basalt

THB−arc tholeiite;MORB− oceanic ridge basalt;CAB−calc−alkali basalt;WPB−within−plate basalt

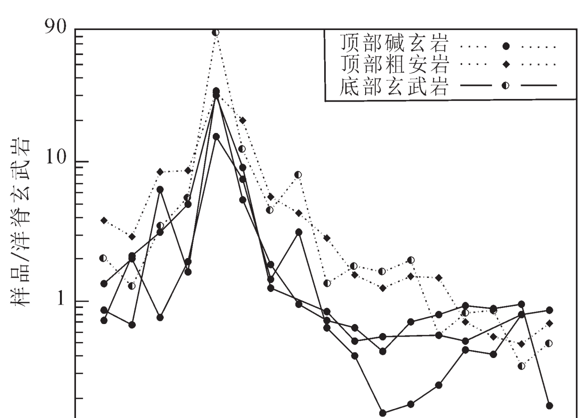

图 6 玄武岩不相容元素的洋脊玄武岩标准化图解

Fig.6 MORB−normalized incompatible element patterns for basalt

❶西藏地质调查院. 兹格塘错幅 1:25 万区调报告,2003.

表 1 尕苍见组—齐日埃加查火山岩主量和微量元素分析

Table 1 Major, trace and REE analyses of the Gacangjian–Qiriajacha volcanic rocks

化学成分	底部火山岩				中部火山岩				顶部火山岩	
	1889/1	1892/4	1889/3	1889/5	1890/8	1890/6	1890/9	1890/10	43/3	43/4
$SiO_2/10^{-6}$	49.06	48.56	49.78	49.76	63.06	57.48	57.04	62.86	58.86	47.84
Al_2O_3	15.15	14.82	13.48	14.12	14.58	14.5	15.33	15.42	16.50	14.85
Fe_2O_3	8.99	3.45	3.62	1.71	2.26	3.36	2.86	3.11	1.15	2.14
FeO	5.50	6.77	7.29	4.45	3.48	4.02	4.13	1.19	5.59	9.63
MgO	4.51	7.46	7.16	4.57	2.49	6.36	3.88	2.72	3.38	4.84
CaO	7.65	8.94	11.64	12.26	5.24	6.73	7.79	4.24	1.84	5.62
Na_2O	3.01	3.00	1.45	2.04	2.65	1.44	2，81	4.06	6.94	3.28
K_2O	0.10	0.32	0.082	0.64	1.59	0.64	0.12	1.94	0.19	0.43
TiO_2	1.20	0.85	0.47	0.53	0.55	0.39	0.76	0.46	0.84	2.19
P_2O_5	0.086	0.10	0.09	0.22	0.13	0.06	0.11	0.15	0.16	0.34
MnO	0.18	0.10	0.065	0.16	0.12	0.17	0.083	0.06	0.085	0.16
CO_2	0.76	2.49	0.69	5.19	0.35	0.70	2.64	1.88	1.76	4.22
H_2O^+	3.73	2.48	3.50	3.65	3.05	3.87	3.81	1.53	2.63	4.46
H_2O^-	0.29	0.20	0.33	0.34	0.29	0.72	0.74	0.60	0.18	0.32
sum	100.22	99.54	99.65	99.64	99.84	100.44	99.293	100.22	100.10	100.32
$Ba/10^{-6}$	32.5	100	22.4	27.6	541	77.2	50.5	376	112	172
Ta	0.95	1.63	0.10	1.60	1.03	0.63	0.37	1.14	2.17	3.60
Th	6.50	6.00	5.00	5.00	3.95	7.00	6.10	6.50	17.00	6.30
Sc	37.4	32.0	12.3	29.2	19	32.3	12.9	20.8	13.7	19.7
Y	27.4	15.4	18.4	16.4	18.8	13.9	21.4	21.3	24.6	21.3
Hf	1.05	1.32	0.42	0.34	2.73	1.3	2.53	3.08	3.87	2.98
Ti	7194	5096	2827	3206	3297	2338	3033	3382	5036	13129
Rb	12.7	6.2	2.6	5.5	10.2	7.6	0.6	7.6	6.7	17.0
Sr	104	87.5	68.7	84.3	208	305	141	102	250	449
Nb	6.4	4.3	3.5	3.7	4.7	4.2	3.4	4.7	15.7	19.7
Zr	57.7	45.9	49.6	37.6	93.6	60.2	108	101	162	140
Cr	43.8	214	10.6	67.5	335	135	42.7	35.2	124	171
Ni	35.8	63.4	7.4	37.4	9.3	42.0	5.0	10.2	55.5	75.6
La	3.46	10.4	8.9	8.2	10.6	11.1	11.5	22.8	41.8	23.3
Ce	9.35	15.6	15.7	24.6	15.6	15.7	15.7	43.3	80.4	42.4
Pr	1.1	1.99	1.37	3.63	1.99	1.37	1.37	5.1	9.05	6.00
Nd	5.55	9.3	8.8	13.5	9.3	8.8	8.8	22.8	37.1	25.0
Sm	2.31	1.76	1.69	0.47	1.76	1.69	1.69	3.69	6.44	4.93
Eu	0.92	0.75	0.66	0.80	0.75	0.66	0.66	1.22	1.51	1.79
Gd	3.89	5.46	7.3	28.8	5.46	7.30	7.30	6.49	5.65	16.3
Tb	0.84	0.44	0.47	0.61	0.44	0.47	0.47	0.73	1.30	1.34
Dy	4.55	3.15	3.26	2.36	3.15	3.26	3.26	3.52	5.62	4.99
Ho	0.24	0.28	0.15	0.21	0.28	0.15	0.15	0.31	0.55	0.88
Er	3.14	2.25	2.36	1.29	2.25	2.36	2.36	2.08	3.47	2.50
Tm	0.39	0.13	0	0.14	0.13	0	0	0.16	0.23	0.51
Yb	2.95	2.02	1.90	1.26	2.02	1.90	1.90	2.05	2.92	1.86
Lu	0.51	0.38	0.34	0.24	0.38	0.34	0.34	0.39	0.48	0.32

注：主量元素由国土资源部沈阳地质矿产研究所综合岩矿测试中心分析，除 H_2O 采用重量法、CO_2 采用非水滴定法分析外，其余氧化物都由 X−萤光光谱 α−系数法测定，分析精度(相对误差)除 H_2O 外为 1%。微量和稀土元素在国土资源部“壳幔体系组成、物质交换及动力学试验室”完成，采用 ICP−MS 法测定，经国际标准(AGV−安山岩标样)和国家标准(GSR−3 玄武岩)监控，误差小于 5%~10%。

化图解(图 6)[38]显示，尕苍见组底部玄武岩具有大离子元素富集和 Ce、P、Zr、Hf、Sm、Ta、Y、Yb、Cr 等元素亏损的特征，曲线形态介于岛弧拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩之间，而与智利典型岛弧钙碱性玄武岩较为相似。Zr/Y 比值可以确定地壳成熟度，大洋弧的 Zr/Y 比值小于 3[38]，尕苍见组底部玄武岩的 Zr/Y 比值在 2.11~2.98，故可认为这一时期的岛弧属于大洋弧，指示尕苍见组底部的玄武岩形成于不成熟的岛弧，代表了岛弧发展的初始阶段。

3.1.2 尕苍见组中部火山岩

尕苍见组中部火山岩构成尕苍见组火山岩的主体,根据其岩石化学成分(表 1)投点落在安山岩区(图 4),Nb/Y 比值为 0.19~0.38,指示属于亚碱性火山岩类,在判别图[39,40]上属于低铁钙碱性火山岩类(图 7)。一般认为造山带安山岩的 La/Nb 比值范围为 2~5,其中 Nb>2 的应属于中钾-高钾的安山岩范围[41]。尕苍见组安山岩的 La/Nb 比值在 2.26~4.85,Nb 在 3.4~4.7,属于造山的中钾—高钾的安山岩;据 Sc/Ni-La/Yb 图解[42](图 8)判别,位于演化的大洋弧和大陆边缘弧的重叠部位,即同时具有二者的一些特点,反映了随着俯冲引起的火山作用和横向缩短导致的垂向增厚等的联合,弧壳已由初期的不成熟弧转化为具有似陆壳结构的成熟弧。

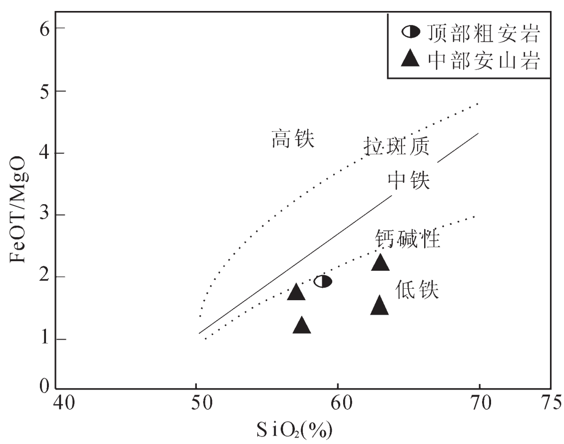

图 7　FeOT/MgO-SiO_2 图解

Fig.7　Diagram of FeOT/MgO-SiO_2

3.1.3 尕苍见组顶部火山岩

尕苍见组顶部火山岩的岩石化学成分(表 1)投影,一个样品位于碱性玄武岩区,另一个投入粗安岩与碱性玄武岩分界线上(图 4),综合其 SiO_2 含量,应属于粗安岩类。根据其 Nb/Y 比值(0.64)小于 0.7,应属于亚碱性岩类,属于低铁钙碱性岩类(图 7)。微量元素 MORB 标准化蜘蛛图解(图 6)显示,粗安岩的曲线与尕苍见组底部岛弧玄武岩的曲线相似,但大离子元素的富集更为显著。另外一个特点是微量元素配分呈明显的三隆起形式,表现为在 Sr、K、Rb、Ba、Th、Ta 和 Ce 及 Zr、Hf、Sm 处存在 3 个明显峰突,在 Nb、P、Ti 处均存在凹槽。Nb 负异常的存在被认为与陆壳物质的混染有关,因此具有上述特点的岩石不可能为板内碱性火山岩,而是与来自俯冲带消减沉积物的亏损 HFSE 的流体交代的地幔楔部分熔融有关,该安山岩属于岛弧橄榄安粗岩系。

尕苍见组最顶部的碱性玄武岩微量元素曲线总体形态与粗安岩的基本相似,可能指示二者的形成环境接近,均形成于岛弧环境。但该玄武岩也具有一些与粗安岩等典型岛弧火山岩不同的特点,如不具 Nb、P、Ti 的亏损,相反它具有高的 Nb 含量 19.7 μg/g、富 TiO_2 2.19%、富 P_2O_5 0.34%、$(La/Nb)_{PN}$(PN-原始地幔标准化[43])为 1.20,Na_2O 远大于 K_2O,Na_2O/K_2O=7.62 的特点,基本符合的富 Nb 岛弧玄武岩的定义[44],而其重稀土元素含量(Yb=1.86 μg/g)、过渡元素含量(Cr=171μg/g ,Ni=75.6 μg/g) 也在新生代富 Nb 岛弧玄武岩的重稀土 Yb 为 1.32~1.88 μg/g 和过渡元素含量如 Cr 为 135~250 μg/g ,Ni 为 70~190 μg/g 范围内[44-47],说明该玄武岩具有富 Nb 岛弧玄武岩的特征。这种富 Nb 的岛弧玄武岩一般被解释为由俯冲板片熔融形成的钠质熔体交代的地幔楔部分熔融形成[44],尕苍见一带富 Nb 岛弧玄武岩具有富 Sr 449 μg/g、低的 Yb 和 Y(21.3 μg/g)、Sr/Y>20 的微量元素特征,明显与埃达克岩高 Sr 低重稀土元素的微量元素特征Sr

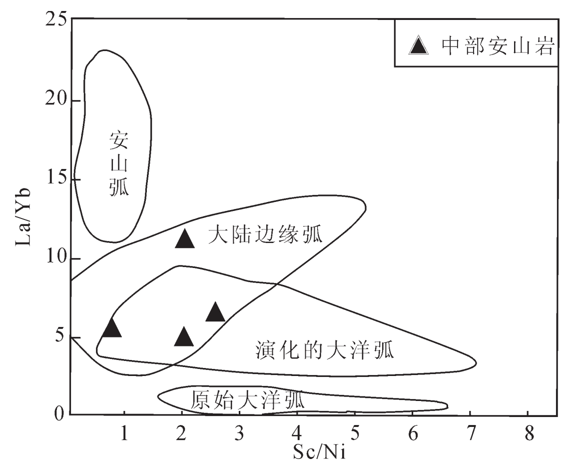

图 8　安山岩 La/Yb-Sc/Ni 图解

Fig.8　La/Yb-Sc/Ni diagram of andesite

大多数>400 μg/g,Y≤18 μg/g,Yb≤1.9 μg/g,Sr/Y>20-40)相接近,暗示它的源区-地幔楔在部分熔融过程中曾与俯冲板片形成的钠质熔体发生过物质交换,从而导致富铌岛弧玄武岩具有高 Sr 低重稀土元素的特征。根据富钠质的埃达克质岩形成的条件,其源区深度不小于 70 km[48]。玄武岩富 Nb 的特征说明熔体上升过程中可能未受到陆壳混染,故其形成可能标志着弧壳的拉裂,与它处于分割弧壳的深大断裂处相一致。而附近的齐日埃加查不完整的蛇绿岩组合则可能与进一步的拉裂有关。

4　岛弧活动的时间

根据区域地质调查工作的岩相分析和区域资料显示[23,49-50],班公湖—怒江带所代表的小洋盆最大扩张时期为中侏罗世晚期,这一时间也代表了班怒小洋盆由伸展机制转向闭合机制,即俯冲作用的开始;笔者测得尕苍见火山岩中安山岩 K-Ar 同位素年龄为 141 Ma,东巧蛇绿混杂岩带俯冲杂岩水帮屋里玄武岩中 K-Ar 同位素年龄为 145 Ma(两个样品的碎样及测试均由宜昌地质矿产研究所同位素室完成)。尕苍见组

顶部生物碎屑灰岩中产珊瑚 *Calamophyllopsis* sp., *Opisthophyllum ves iculare*, *Fungiastraca* cf. *multicincta*, *Mantilivaltia* sp., *Chaetetes* sp., *Theosmilia vurguni tibetensis*, *Astraraea* sp., *chaetetes* sp., *Isastrea* sp., 双壳 *Barbatia tenutexta*, 海胆 *Hemicidaris* sp., 上述化石面貌反映时代为晚侏罗世—早白垩世初期,考虑到在该层之下尚有一定厚度的碎屑岩和区域上这一地带早白垩世东巧组为一套残海沉积,东巧组角度不整合覆于强烈变形的东巧蛇绿混杂岩之上[49-50],由此确定尕苍见岛弧火山岩发育的时间上限为晚侏罗世末。

5 地质意义

(1)地质和地球化学特征显示:班公湖—怒江带北侧尕苍见一带存在俯冲形成的一套岛弧火山岩, 该套弧火山岩由南向北、由早期至晚期、从以岛弧拉斑玄武岩系列的玄武岩–钙碱性系列安山岩为主(岛弧主体岩石)→岛弧橄榄安粗岩的演化特点,反映了随着俯冲引起的火山作用和垂向缩短,弧壳由初期的不成熟弧(洋内弧)向晚期具有似陆壳结构的成熟弧演进的过程;而岛弧橄榄安粗岩的出现,代表着古岛弧体系晚期已演变为成熟弧,富 Nb 岛弧玄武岩的出现,佐证了这一点,并反映出弧壳出现拉裂,标志着弧间或弧后盆地的发端。上述事实既证实了班公湖—怒江带所代表的小洋盆曾存在向北俯冲,也反映了随着时间的推移,弧壳在逐渐增厚。

也有学者认为,尕苍见岛弧有可能是齐日埃加查蛇绿岩向北俯冲所形成。考虑到齐日埃加查蛇绿岩规模很小长不足 20 km,远小于尕苍见岛弧 80 km 的长度、组分不全,指示它代表的盆地规模较小,很可能是发育在弧壳上的弧后盆地或裂谷盆地,扩张脊的能量有限,不大可能促使新形成的过渡壳发生向南或向北的俯冲,即尕苍见岛弧不可能是齐日埃加查蛇绿岩代表的小盆地过渡壳向南俯冲形成的,齐日埃加查蛇绿岩代表的小盆地的消亡应类似于文献[51]描述的无俯冲的地体拼贴方式。

(2)前人已证实班公湖—怒江小洋盆内晚侏罗世存在向南的俯冲[17-24,52],最近,曹圣华等[53]又提出向南俯冲形成的多岛弧盆系统。笔者工作发现在洋盆阶段,班公湖—怒江带也存在向北的俯冲,由此可以确认班—怒带在消减过程中发生过双向俯冲。然而除本图幅外,仅获知在班公湖—怒江带西侧的日土幅 1:25 万区调中发现了类似的岛弧❶, 但目前可知的这种向北俯冲形成的岛弧的规模还是不能与班戈岩浆弧相比,很可能向南的俯冲是主要的,这与一般认为班—怒带在洋盆阶段的主要俯冲极向向南相一致[21,52]。

(3)向北俯冲的时间根据测得的尕苍见火山弧玄武岩 K–Ar 同位素年龄(141 Ma)和化石等,应为晚侏罗世。与邱瑞照[54]对班公湖—怒江西段舍马拉沟蛇绿岩中层状辉长岩的 K–Ar 同位素测定结果(140±4.07)Ma,(152.30±3.60) Ma 一致,这一年龄被邱瑞照等[54]认为与班—怒带所代表的洋壳向南的俯冲有关,它可能反映了向南和向北的俯冲是基本同时的。

致谢:在成文过程中,承蒙钟大赉院士、马昌前教授等审阅全文,并提出了许多宝贵的修改意见和建议;文章的完成也得益于与潘桂棠研究员的口头交流,在此表示衷心的谢意。

参考文献:

[1] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 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, 2006, 33(2):221–238.
Xu Zhiqin,Yang Jingsui, Li Haibing, et al. 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, 2006, 33(2):221–238(in Chinese with English abstract).

[2] 杨经绥, 王希斌, 史仁灯, 等. 青藏高原北部东昆仑南缘德尔尼蛇绿岩:一个被肢解了的古特提斯洋壳[J]. 中国地质, 2004, 31(3):225–239.
Yang Jingsui, Wang Xibin, Shi Rendeng, et al. The Dur´ngoi ophiolite in East Kunlun, northern Qinghai–Tibet Plateau: a fragment of paleo–Tethyan oceanic crust [J]. Geology in China, 2004, 31(3):225–239(in Chinese with English abstract).

[3] 贾建称, 温长顺, 王根厚, 等. 冈底斯地区林子宗群火山岩岩石地球化学特征及地球动力学意义[J]. 中国地质, 2005, 32(3):396–404.
Jia Jiancheng, Wen Changshun, Wang Genhou, et al. Geochemical characteristics and geodynamic significance of the Linzizong Group volcanic rocks in the Gangdise area[J]. Geology in China, 2005, 32(3):396–404(in Chinese with English abstract).

[4] 葛肖虹, 刘永江, 任收麦. 青藏高原隆升动力学与阿尔金断裂[J]. 中国地质, 2002, 29(4):346–350.
Ge Xiaohong, Liu Yongjiang, Ren Shoumai. Uplift dynamics of the Qinghai–Tibet Plateau and Altun fault [J]. Geology in China, 2002, 29(4):346–350(in Chinese with English abstract).

[5] 李勇, 侯中健, 司光影, 等. 青藏高原东缘新生代构造层序与构造事件[J]. 中国地质, 2002, 29(1):30–36.
Li Yong, Hou Zhongjian, Si Guangying, et al. Cenozoic tectonic sequence and tectonic events at the eastern margin of the Qinghai–Tibet plateau[J]. Geology in China, 2002, 29(1):30–36(in Chinese with English abstract).

[6] 和钟铧, 杨德明, 李才, 等. 藏北羌塘盆地褶皱形变研究 [J]. 中国地质, 2003, 30(4):357–360.
He Zhonghua, Yang Deming, Li Cai, et al. Folds in the Qiangtang basin,northern Tibet[J]. Geology in China, 2003, 30(4):357–360(in Chinese with English abstract).

[7] 白文吉, 杨经绥, 方青松, 等. 西藏蛇绿岩中不寻常的地幔矿物群[J].中国地质, 2003, 30(2):144–150.
Bai Wenji,Yang Jingsui, Fang Qingsong, et al. An unusual mantle mineral group in ophiolites of Tibet[J]. Geology in China, 2003, 30(2):144–150(in Chinese with English abstract).

❶2005 年, 在成都项目评审会上, 与 1:25 万日土幅区调项目负责人谢国刚口头交流.

[8] 王永, 李德贵, 肖序常, 等. 西昆仑山前晚新生代构造活动与青藏高原西北缘的隆升[J]. 中国地质, 2006, 33(1):41−47.
Wang Yong, Lee Tehquei, Xiao Xuchang, et al. Late Cenozoic tectonic movement in the front of the West Kunlun Mountains and uplift of the northwestern margin of the Qinghai−Tibetan Plateau[J]. Geology in China, 2006, 33 (1):41−47 (in Chinese with English abstract).

[9] 崔军文, 张晓卫, 唐哲民. 青藏高原的构造分区及其边界的变形构造特征[J]. 中国地质, 2006, 33(2):256−267.
Cui Junwen, Zhang Xiaowei, Tang Zhemi. Tectonic divisions of the Qinghai −Tibet Plateau and structural characteristics of deformation on their boundaries[J]. Geology in China, 2006, 33(2):256−267(in Chinese with English abstract).

[10] 徐纪人, 赵志新. 青藏高原及其周围地区区域应力场与构造运动特征[J]. 中国地质, 2006, 33(2):275−285.
Xu Jiren, Zhao Zhixin. Characteristics of the regional stress field and tectonic movement on the Qinghai−Tibet Plateau and in its surrounding areas [J]. Geology in China, 2006, 33 (2):275−285(in Chinese with English abstract).

[11] 郭进京, 韩文峰, 梁收运. 青藏高原东北缘岷县−武都地区构造地貌演化与高原隆升[J]. 中国地质, 2006, 33(2):383−392.
Guo Jinjing, Han Wenfeng, Liang Shouyun, et al. Tectono−morphological evolution of the Minxin −Wudu area on the northeastern margin of the Qinghai −Tibet Plateau and plateau uplift[J]. Geology in China, 2006, 33(2):383−392(in Chinese with English abstract).

[12] 任纪舜, 肖黎薇. 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, 2004, 23(1):1−11.
Ren Jishun, Xiao Liwei. Lifting the mysterious veil of the tectonics of the Qinghai−Tibet Plateau by 1:250000 geological mapping [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(1):1−11(in Chinese with English abstract).

[13] 潘桂棠, 郑海翔, 徐耀荣, 等. 初论班公湖−怒江结合带[C]//青藏高原地质文集 12. 北京:地质出版社, 1983:229−242.
Pan Guitang, Zheng Haixiang, Xu Yaorong, et al. A preliminary study on Bangongco −Nujiang suture [C]//Contribution to the Geology of the Qinghai −Xizang (Tibet) Plateau12. Beijing: Geological Publishing House, 1983:229−242(in Chinese).

[14] 夏代祥. 班公湖−怒江、雅鲁藏布江缝合带中段演化历程剖析[C]//青藏高原地质文集 9). 北京:地质出版社, 1986:123−138.
Xia Daixiang. An analysis on the evolution of the Bangongho−Nujiang suture and the Yalungzangbo suture middle segment)[C]//Contribution to the Geology of the Qinghai −Xizang (Tibet) Plateau9.Beijing:Geological Publishing House,1986:123 −138 (in Chinese).

[15] 廖国兴. 西藏班公湖−怒江板块缝合带东段地质特征 [C]//青藏高原地质文集 12). 北京:地质出版社, 1983:75−86.
Liao Guoxing. The Geogical characteristics of the Eastern Bangong−Nujiang Suture Zone Tibet) [C]//Contribution to the Geology of the Qinghai−Xizang(Tibet Plateau). Beijing:Geological Publishing House,1983:75−86(in Chinese).

[16] 刘增乾, 徐宪, 潘桂棠, 等. 青藏高原大地构造与形成演化[M]. 北京:地质出版社, 1990:1−174.
Liu Zengqian, Xu Xian, Pan Guitang, et al. Formation and Evolution of Tibetan Tectonics [M]. BeiJing:Geological Publishing House,1990:1−174(in Chinese with English abstra).

[17] Xu RH, Schaer U, Allère Cj. Magmatism and metamorphism in the Lha sa block, Tibet:a geochronological study [J]. J. Geol, 1985,93:41−57.

[18] 季绍新, 余根峰, 邢文臣. 试论青藏高原岩浆活动史及其与板块构造的关系[J]. 火山地质与矿产, 2001, 22(1):31−40.
Ji Shaoxin, Yu Genfeng, Xing Wenchen. Relation between magmatic evolutionary process and plate tectonics in Qinghai−Tibet plateau [J]. Volcanology & Mineral Resources, 2001, 22(1):31−40(in Chinese with English abstract).

[19] 罗建宁, 彭勇民, 潘桂棠. 东特提斯板块会聚边缘与岛弧造山作用[J]. 岩相古地理, 1996, 16(3):1−15.
Luo Jianning, Peng Yongmin, Pan Guitang. Plate convergent margins and island −arc orogenesis in eastern Tethys [J]. Sedimentary Facies and Palaeography, 1996, 16 (3):1 −15 (in Chinese with English abstract).

[20] Coulon C, Maluski H, Bollinger C, Wang S. Mesozoic and Cenozonic volcanic rocks from central and southern Tibet: $^{39}Ar/^{40}Ar$ dating, Petrological characteristics and geodynamical significance[J]. Earth Planet. Sci. Lett. 1986, 79:281−302.

[21] 潘桂棠, 陈智梁, 李兴振, 等. 东特提斯构造形成演化[M]. 北京:地质出版社,1997:1−191.
Pan Guitang, Chen Zhiliang, Li Xingzhen, et al. Formation and Evolution of the Eastern Tethyan Tectonics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997:1−191(in Chinese with English abstract).

[22] 潘桂裳, 丁俊, 姚东生, 等. 1:1500000 青藏高原及邻区地质图说明书[M]. 成都:成都地图出版社, 2004:35−52.
Pan G T, Din J , Yao D S, et al. 1:1500000 Map Description of Tibet and Adjacent Zone [M]. Chendu:Chendu Maps Publication Press, 2004:35−52 (in Chinese).

[23] 罗建宁, 王小龙, 李永铁, 等. 青藏特提斯沉积地质演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, (1):7−15.
Luo Jianning, Wang Xiaolong, Li Yongtie. Sedimentary geological evolution of the Qinghai−Xizang Tethys [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2002, (1):7−15 (in Chinese with English abstrat).

[24] 尹安. 喜马拉雅−青藏高原造山带地质演化[J].地球学报, 2001, 22(3):193−197.
Yin A. Geological evolution of Himalayan−Tibetan Orogenic Belt [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(3):193−197.

[25] 黄汲清, 陈国铭, 陈炳蔚. 特提斯−喜马拉雅构造域初步分析[J]. 地质学报, 1984, (1):1−17.
Huang Jiqing, Chen Guoming, Chert Bingwei. Preliminary analysis of the Tethy −Himalayan tectonic domain [J]. Acta Geologica Sinica,1984, (1):1−17(in Chinese with English abstrat).

[26] 常承法, 郑锡澜. 中国西藏南部珠穆朗玛峰地区构造特征[J]. 地质科学, 1973, (1):1−12.
Chang Cheng Fa, Zheng Shi Lang. 1973. Tectonic features of the Mount JomoLungma regionin southern Tibet, China [J]. Scientia Geologica Sinica, 1973, (1):1−12(in Chinese with English abstrat).

[27] Allre C J and 34 others. Structure and evolution of the Himalayan−Tibet orogenic belt[J]. Nature, 1984, 307:17−22.

[28] 王冠民, 钟津华. 班公湖—怒江构造带西段三叠纪—侏罗纪构造−沉积演化[J]. 地质论评 2002, 48(3):297−303.
Wang Guanmin, Zhong Jianhua. Tectonic−sedimentary evolution of the west segment of the Bangong Co 一 Nujiang structural belt in the Triassic and Jurassic [J]. Geological Review, 2002, 48(3): 297−303(in Chinese with English abstract).

[29] 赵文津, 赵逊, 史大年, 等. 喜马拉雅和青藏高原深剖面 INDEPTH 研究进展[J]. 地质通报, 2002, 21(11):691−700.
Zhao Wenjing, Zhao Xun, Shi Danian, et al. Progress in the study of deep (INDEPTH) profiles in the Himalayas and Qinghai−Tibet Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(11):691−700(in Chinese with English abstract).

[30] 王乃文. 青藏印度大陆及其与华夏大陆的拼合中法喜马拉雅考察成果[M]. 北京:地质出版社, 1984:1−118.
Wang Naiwen. Converging between Tibet−Indian Contient and the Pan −Cathaysian Continentinvestigation Fruit in Himalaya between China and France [M]. BeiJing:Geological Publishing House,1984:1−118(in Chinese with English abstract).

[31] Winchester J A, Flod P A. Geochemical magma type discrimination:application to altered and metamorphosed basic igmeous rocks[J]. Earth Planet.Sci.Lett, 1976, 28:459−469.

[32] Winchester J A, Floyd P A. geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements[J]. Geol, 1977, 20:325−343.

[33] Pearce J A, Cann J R. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elementanalysis [J]. Earth Planet Sci. Lett, 1973, 19:290−300.

[34] Sun S−S, McDonough W F. Chemlcal and isotopics systematics of oceanic basalts, implication for mantle composition and processes,in "Magmatism in the Oceanic Basin"edited by Saunders A D. Norry M J.Geol.Soc.Special Publ, 1989, 42:313−345.

[35] 李曙光. 蛇绿岩生成构造环境的 Ba−Th−Nb−La 判别图[J]. 岩石学报, 1993, 92:146−157.
Li Shuguang. Ba−Nb−Th−La diagrams used to identify tectonic environments of ophiolite [J]. Acta Petrologica Sinica, 1993, 92: 146−157(in Chinese with English abstrat).

[36] Wood D A. The application of a Th−Hf−Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltsic lavas of the British Tertiary volcanic province[J]. Earth Planet.Sci.Lett, 1980, 42:77−97.

[37] Condie K C. Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean−proterozoic boundary:identification and significance [J]. Lithos, 1989, 23:1−18.

[38] Pearce J A. Role of the sub−continental lithophere in magma genesis at active continental margins[C]//Hawkesworth C J, Norry M J (eds.). Continental Basalts and Mantle Xenoliths. Nantwich Shiva,1983:230−249.

[39] Richard J A. Use and abuse of the terms calcalkine and calcalkalic [J]. Journal of Petrology, 2003, 44:929−935.

[40] 马昌前, 明厚利, 杨坤光. 大别山北麓的奥陶纪岩浆弧: 侵入岩年代学和地球化学证据[J]. 岩石学报, 2004, 20(3):393−402.
MA Changqian, Ming Houli. An Ordovician magmatic arc at the northern foot of Dabie mountains:Evidence from geochronology and geochemistry of intrusive rocks [J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(3):393−402(in Chinese with English abstract).

[41] Gill J B. Origenic andisites and plate tectonics [J]. Berlin:Springer, 1981:100−345.

[42] Baily J C. Geochmical criteria for a refined tectonic discrimination of ogogenic andesites[J]. Chem. Geol, 1981, 32:139−154.

[43] Taylor S R, Mclennan S M. The continental crust:its composition and evilution[J]. Oxford Blankwell, 1985.50−240.

[44] Defant M J, Jackson T E, Drummond M S, et al. The geo−chemistry of young volcanism throughout western Panama and southeastern Costa Rica:an overview [J]. J Geol Soc London, 1992,149:569−579.

[45] Sajona F G, Maury R C, Bellon H, et al. Initiation of subduction and the generation of slab melts in western and eastern Mindanao, Philippines[J]. Geology, 1993, 21:1007−1010.

[46] Sajona F G, Maury R G. Bellon H, et al. High Field strengthe element enrichment of Pliocene−Pleistocene island arc basalts, Zamboanga Peninsula, Western Mindanao[Philippines][J]. Journal of Petrology, 1996, 37:693−726.

[47] Guillon−Robles A, Cajmus T, Bellon H, et al. Late Miocene adakite and Nb−enriched basalts from Vizcaino Peninsula,Mexico: Indicators of East Pacific Rise subduction below southern Baja California[J]. Geology, 2001, 29:531−534.

[48] Defant M J, Drummond M S. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted 1ithosphere [J]. Nature, 1990, 347:662−665.

[49] 郑有业, 许荣科, 何建社, 等. 兹格塘错幅地质调查新成果及主要进展[J]. 地质通报, 2004, 235−6:538−542.
Zhen Youye, Xu Rongke, He Jianshe, et al. New results and major progress in regional geological survey of the Zigê Tangco Sheet [J].Geological Bulletin of China, 2002, 21 (7):370−376(in Chinese with English abstract).

[50] 陈国荣, 陈玉禄, 张宽忠, 等. 班戈县幅地质调查新成果及主要进展[J]. 地质通报, 2004, 235−6:520−524.
Chen Guorong, Chen Yulu, Zhang Kuanzhong, et al. New results and major progress in regional geological survey of the Baingoin County Sheet [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(7):370−376(in Chinese with English abstract).

[51] 郑有业, 许荣科, 何来信, 等. 西藏狮泉河蛇绿混杂岩带−−一个新的多岛弧盆系统的厘定及意义 [J]. 沉积与特提斯地质, 2004,

24(1):13−20.
Zheng Youye, Xu Rongke, He Laixin, et al. The Shiquan River ophiolitic mélange zone in Xizang:The delineation and significance of a new archipelagic are−basin system [J]. Sedimentary Geology and Tethy Geology, 2004, 24 (1):13−20 (in Chinese with English abstract).
[52] 李廷栋. 青藏高原地质科学研究的新进展 [J]. 地质通报, 2002, 21(7):370−376.
Li Tingdong. New progress in the geoscience study of the Qinghai−Tibet Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21 (7):370−376(in Chinese with English abstract).
[53]曹圣华, 罗小川, 唐峰林,等. 班公湖–怒江结合带南侧弧–盆系时空结构与演化特征[J]. 中国地质, 2004, 311:51−56.
Cao Shenghua, Luo Xiaochuan, Tang Fenglin, et al. Time−space structure and evolution of the arc−basin system on the southern side of the Bangong Co−Nujiang junction zone [J]. Geology in China, 2004, 311:51−56(in Chinese with English abstract).
[54] 邱瑞照, 周肃, 邓晋福, 等. 西藏班公湖–怒江西段舍马拉沟蛇绿岩中辉长岩年龄测定—兼论班公湖–怒江蛇绿岩带形成时代[J]. 中国地质, 2004, 31(1):262−268.
Qiu Ruizhao, Zhou Su, Deng Jinfu, et al. Dating of gabbro in the Shemalagou ophiolite in the western segment of the Bangong Co−Nujiang ophiolite belt, Tibet−with a discussion of the age of the Bangong Co−Nujiang ophiolite belt [J]. Geology in China, 2004, 31(1):51−56(in Chinese with English abstract).

Definition and geological significance of the Gacangjian volcanic arc north of Dongqiao, Tibet

XU Rong−ke[1], ZHENG You−ye[2,3], ZHAO Ping−jia[4], SHAN Liang[2], ZHANG Yu−lian[2], CAO Liang[3], QI Jian−hong[5], ZHANG Gang−yang[1], DAI Fang−hua[1]

(1. *Graduate School, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *Hubei, China*;
2. *School of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *Hubei, China*;
3. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resource, China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *Hubei, China*;
4. *Shaanxi Institute of Geological Survey, Xianyang* 712000, *Shaanxi, China*;
5. *Third Geological and Mineral Exploration Institute of Gansu Province, Lanzhou* 730050, *Gansu, China*)

Abstract:Many researchers have confirmed that there occurred southward subduction of the small Bangong Co−Nujiang ocean basin in the Late Jurassic. Recently a sequence of Late Jurassic island−arc volcanic rocks has been found at the northern side of the Dongqiao ophiolite zone in the central part of the Bangong Co−Nujiang belt. This sequence of volcanic rocks, named the Gacangjian volcanic rocks, is distinguished from the Dongqiao ophiolite zone by its weak deformation in its inner part and its geochemical characteristics indicates that it formed in an island arc environment. The evolution of the volcanic rocks was characterized by eruption of tholeiitic−calc−alkaline magma through predominance of calc−alkaline volcanism to eruption of arc shoshonitic magma accompanied by Nb−rich arc basalt at the late stage, suggesting a mature arc. All of these demonstrate that northward subduction had taken place within the Bangong Co−Nujiang ocean basin by the Late Jurassic. This discovery has great significance for the reconstruction of the complete tectonic evolution of the Bangong Co−Nujiang belt and establishment of the tectonic framework of the Qinghai−Tibet Plateau.

Key words:Consumption;Bangong Co−Nujiang ocean basin;Gacangjian island arc;Late Jurassic northward subduction;bidirectional subduction;Tibet

About the first author:XU Rong−ke, male, born in 1968, doctor candidate, senior geologiest, mainly engages in studies of fundamental geology and metallogeny and mineral exploration;E−mail:zhyouye@163.com.