

西藏西部札达县东北部帮果日—波库 蛇绿岩带的发现及其地质意义

王行军^{1,2} 王根厚¹ 李广栋³ 吴连亨³
李金和³ 高 雄³ 张双增³ 专少鹏³ 班长勇³

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国人民武装警察部队黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000;
3. 河北省区域地质矿产调查研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要: 帮果日—波库蛇绿岩带位于雅鲁藏布江缝合带的最西段, 由帮果日蛇绿岩和波库混杂岩构成, 呈北西展布, 长 128 km, 宽 5~10 km。帮果日蛇绿岩由方辉橄榄岩和二辉橄榄岩构成, 岩石由橄榄石($Fo=85.2\sim 88.0$, 平均 86.6)、顽火辉石($Mg^{\#}=89.3\sim 94.3$, 平均 91.2)、透辉石($Mg^{\#}=92.0\sim 94.9$, 平均 93.1)构成, 以高铝($Al_2O_3=0.96\%\sim 2.10\%$)、高钛($Ti=173\sim 261\mu g/g$)为特征, 微量元素含量与 MOR 地幔岩的接近, 亏损 REE, ΣREE 仅为球粒陨石的 33%~71%, 估算其为原始地幔经过 6%~12% 部分熔融的产物。波库混杂岩基质由板岩、粉砂质板岩构成, 岩块有橄榄岩、辉长岩、硅质岩、砂岩、灰岩等。通过对帮果日蛇绿岩同位素测年结果、波库混杂岩之中硅质岩岩块放射虫化石的研究, 确定帮果日—波库蛇绿岩带形成于晚白垩世, 是新特提斯洋俯冲消减的产物; 帮果日蛇绿岩代表了新特提斯洋洋壳的残留, 属典型的 MOR 型蛇绿岩。

关键词: 蛇绿岩; MOR; 混杂岩; 新特提斯洋; 帮果日; 波库

中图分类号: P588.125 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)06-1749-13

雅鲁藏布江缝合带是中国境内一条巨型蛇绿岩带, 大致呈北西西向的“S”形, 沿雅鲁藏布江展布。它西起印度河上游, 过扎达, 向东经普兰、仲巴、达吉岭、日喀则、泽当、朗县, 至雅鲁藏布江大拐弯处向南进入缅甸, 在中国境内长约 1500 km。该缝合带在达吉岭分为南北两支^[1]; 北亚带为公珠错—达机翁蛇绿岩带^[2-4], 又称达机翁—萨嘎蛇绿岩带^[5]; 南亚带为达巴—休古嘎布蛇绿岩带^[2-5]或普兰—象泉河蛇绿岩带^[6]; 两者之间夹有阿依拉—仲巴微陆块^[5]。雅鲁藏布江缝合带西段蛇绿岩发育较为齐全, 研究程度较高, 前人对雅鲁藏布江缝合带南、北亚带蛇绿岩的岩石学、岩石化学、地球化学以及形成的构造环境、形成

时代进行了研究^[2-17], 结果表明, 雅鲁藏布江缝合带北亚带——达机翁—萨嘎蛇绿岩带形成于岛弧构造环境, 属 SSZ 型蛇绿岩^[4,7,8]; 雅鲁藏布江缝合带南亚带——达巴—休古嘎布蛇绿岩带形成于洋中脊构造环境^[5,9,11,12]、岛弧构造环境^[10,13]以及洋中脊和岛弧构造环境^[14], 其形成于 MORB 构造环境, 后又经历了 SSZ 构造环境的改造; 南亚带蛇绿岩形成于早白垩世 ((130±3)Ma、(122.3±2.4)Ma、(120.2±2.3)Ma)^[11,14,17]。

笔者参加了西藏 1:25 万日新幅、札达县幅、姜叶马幅区调项目, 该测区位于雅鲁藏布江缝合带国内部分的最西段, 该段是雅鲁藏布江缝合带南北两亚带发育最为齐全的一段。在区域地质调查过程中,

收稿日期: 2013-03-09; 改回日期: 2013-10-31

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(200213000010)资助。

作者简介: 王行军, 男, 1970 年生, 博士, 高级工程师, 主要从事区域地质矿产调查研究工作, 主要研究方向构造地质学、沉积学;
E-mail: wxj1861@163.com。

通讯作者: 王根厚, 男, 1963 年生, 教授, 博士生导师, 主要从事构造地质学的教学、科研工作; E-mail: wgh@cugb.edu.cn。

在雅鲁藏布江缝合带南北两个亚带中间新发现一条构造混杂岩带——帮果日—波库蛇绿岩带，其将阿依拉—仲巴微陆块西北缘分割出一个更小的陆块—波库微陆块。帮果日—波库蛇绿岩带地幔橄榄岩的特征与雅鲁藏布江缝合带南亚带——达巴—休古嘎布蛇绿岩带的地幔橄榄岩相似，而明显有别于为北亚带——达机翁—萨嘎蛇绿岩带；与南亚带蛇绿岩同属于 MOR 型蛇绿岩，但二者之间明显存在有阿依拉—仲巴微陆块，所以有必要将其单独划分出来。本文对帮果日—波库蛇绿岩带的物质组成、结构、形成时代等进行了详细的报道。

1 区域地质概况

研究区位于西藏自治区西南部，横跨雅鲁藏布江缝合带，以其南北两个分支——达机翁—萨嘎蛇绿岩带和达巴—休古嘎布蛇绿岩带以及新发现的帮果日—波库蛇绿岩带，将研究区分为喜马拉雅构造带、雅鲁藏布江缝合带、冈底斯构造带(图 1)。冈底斯构造带由晚白垩世花岗岩、始新世花岗岩和古近纪火山—沉积地层构成；雅鲁藏布江缝合带由公珠错—达机翁蛇绿岩带、波库微陆块、帮果日—波库蛇绿岩带、阿依拉—仲巴微陆块、达巴—休古嘎布蛇绿岩带和达巴—休古嘎布微陆块构成；喜马拉雅构造带主要由晚古生代浅海碎屑岩、碳酸盐岩和中生代浅海相碎屑岩、碳酸盐岩、页岩沉积建造组成，产丰富化石。

达机翁—萨嘎蛇绿岩带由达机翁蛇绿岩、你扎混杂岩构成，波库微陆块由三叠纪深海浊积相陆源碎屑岩、古近纪陆相碎屑岩和中生代侵入岩构成，帮果日—波库蛇绿岩带由帮果日蛇绿岩和波库混杂岩构成，阿依拉—仲巴微陆块由晚古生代—中生代浅海相碎屑岩、碳酸盐岩组成，达巴—休古嘎布蛇绿岩带由西兰塔蛇绿岩、岗子拉硅质岩和桑麦蛇绿混杂岩构成(图 1)。

2 帮果日—波库蛇绿岩带地质概况

帮果日—波库蛇绿岩带主要出露于阿尔木贡、节不落、波库、清木壤一带，北西端在军切与达机翁—萨嘎蛇绿岩带会合后一同延出区外，东南端在节不落附近与达机翁—萨嘎蛇绿岩带会合后延伸至门士附近被香孜组和第四纪松散堆积物覆盖，出露总长度约 128 km，宽 5~10 km。依据岩石组合的不同，帮果日—波库蛇绿岩带可进一步划分为帮果日

蛇绿岩和波库混杂岩。

2.1 帮果日蛇绿岩($K_2b\phi$)

帮果日蛇绿岩出露于邦果日、拉加山等地，呈北西西向豆荚状展布，出露宽度约 3 km，延伸达 15 km，出露面积约 55 km²，地貌上多为高山，东段与达机翁—萨嘎蛇绿岩带的你扎混杂岩会合后，延伸不远即倾没于第四纪松散堆积物之下，与相邻的穷果群、沙赛组、波库混杂岩、你扎混杂岩均为断层接触(图 1~2)。

2.1.1 帮果日蛇绿岩的岩石学特征

帮果日蛇绿岩由二辉橄榄岩、方辉橄榄岩和纯橄榄岩构成，相当于蛇绿岩套的下部超镁铁质杂岩。岩石混杂程度相对较弱，但均有不同程度的蛇纹石化，局部地段为蛇纹岩。

二辉橄榄岩：岩石新鲜面呈灰黑色—绿黑色，风化面呈褐黄色—褐红色，(残余)半自形粒状结构、似交织结构，块状构造、似条痕状构造。岩石由橄榄石、单斜辉石、斜方辉石构成。橄榄石呈绿色，呈半自形粒状，粒度 0.3~4 mm，含量 60%~85%；橄榄石大部分已蛇纹石化，局部可见残留、假像，蛇纹石呈叶鳞片状集合体，交叉状排列，构成似交织结构。单斜辉石呈自形—半自形柱状，标本上呈灰白色，薄片无色，粒度 0.3~4 mm，含量 10%~20%；多色性不明显；两组完全解理，夹角为 87°，二轴晶，正延性；具斜消光，消光角小于 40°；多被滑石、透闪石交代，主要呈假像产出，铁质呈席列状分布。斜方辉石呈自形—半自形柱状，标本呈灰绿色、绿黑色，薄片无色，粒度 0.5~4 mm，含量 10%~20%；多色性不明显；两组完全解理，夹角为 88°，二轴晶，正延性；具平行消光；局部可见熔离页片的平行双晶，晶体多被蛇纹石、滑石、透闪石交代，主要呈假像产出(图 3-a, 3-b)。副矿物有磷灰石等。岩石具蛇纹石化、滑石化、透闪石化等。

方辉橄榄岩：岩石新鲜面呈灰黑色—绿黑色，风化面呈绿黑色，(残余)半自形粒状结构、似交织结构，块状构造。岩石由橄榄石、斜方辉石构成。橄榄石呈绿色，半自形粒状，粒度 0.5~4 mm，含量 70%~85%；橄榄石大部分已蛇纹石化，局部可见残留、假像，蛇纹石呈叶鳞片状集合体，交叉状排列，构成似交织结构。斜方辉石呈自形—半自形柱状，无色，粒度 0.5~4 mm，含量 15%~30%；多色性不明显；具平行消光；局部可见熔离页片的平行双晶，晶体多被蛇

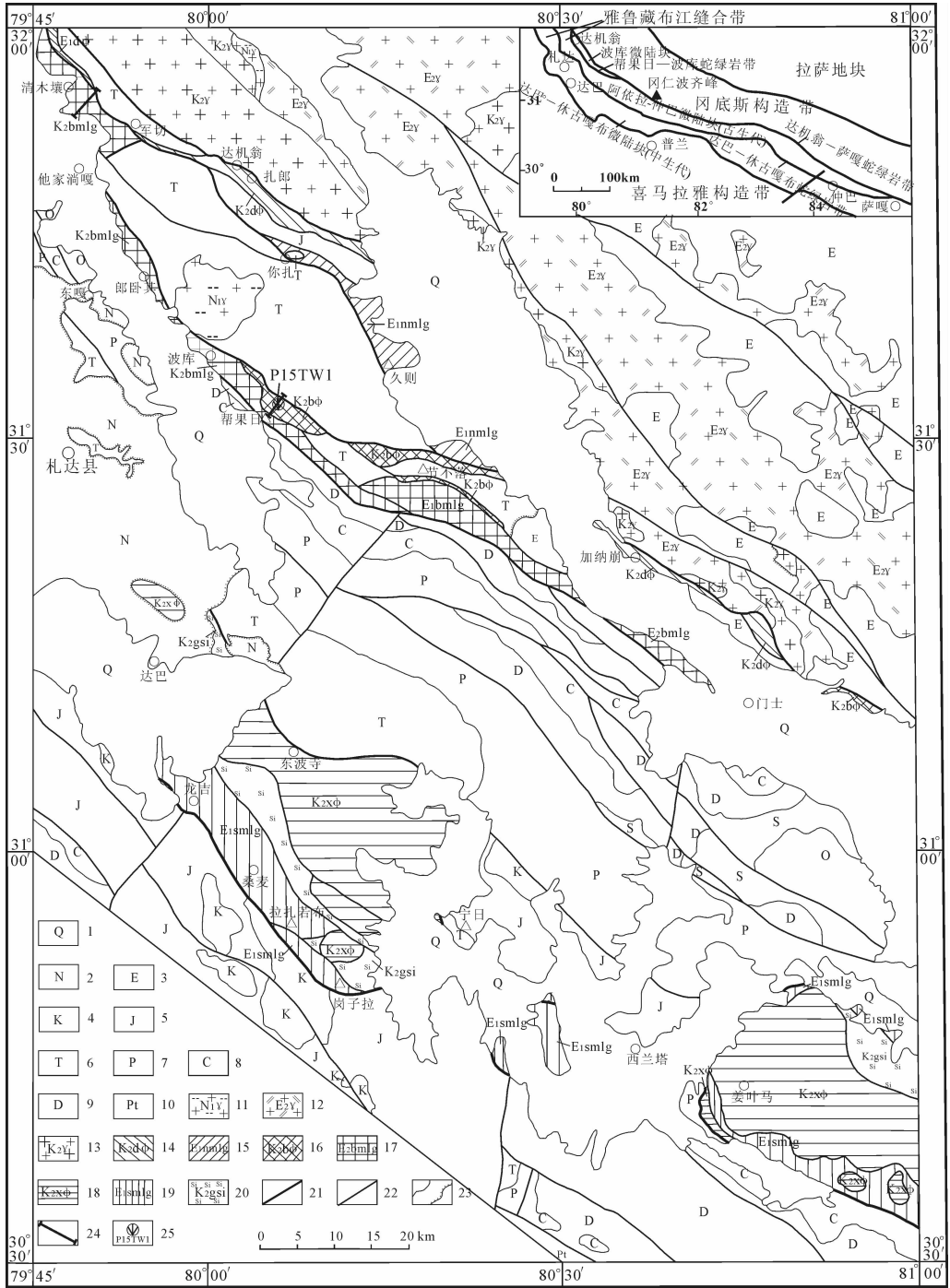


图 1 西藏札达县一带地质略图 (构造分区图据文献[5],略有修改)

- 1—第四系;2—新近系;3—古近系;4—白垩系;5—侏罗系;6—三叠系;7—二叠系;8—石炭系;9—泥盆系;10—元古界;11—中新世花岗岩;12—始新世花岗岩;13—晚白垩世花岗岩;14—达机翁蛇绿岩;15—你扎混杂岩;16—帮果日蛇绿岩;17—波库混杂岩;18—西兰塔蛇绿岩;19—桑麦混杂岩;20—岗子拉硅质岩;21—构造分区断裂;22—一般断裂;23—地质界线、角度不整合界线;24—实测剖面位置;25—同位素测年样品取样位置及样品编号

Fig.1 Geological sketch map of Zanda County, Tibet (geotectonic subregion map modified after reference [5])

- 1- Quaternary; 2-Neogene; 3-Paleogene; 4-Cretaceous; 5-Jurassic; 6-Triassic; 7-Permian; 8-Carboniferous; 9-Devonian; 10-Proterozoic; 11-Miocene granite; 12-Eocene granite; 13-Upper Cretaceous granite; 14-Dajiweng ophiolite; 15-Nija melange; 16-Banguaori ophiolite; 17-Boku melange; 18-Xianlanta ophiolite; 19-Sangmai melange; 20-Gangzila siliceous rock; 21-Geotectonic subregion fault; 22-General fault; 23-Geological boundary and angular unconformity; 24-Measured section position; 25-Position and serial number of isotope dating sample

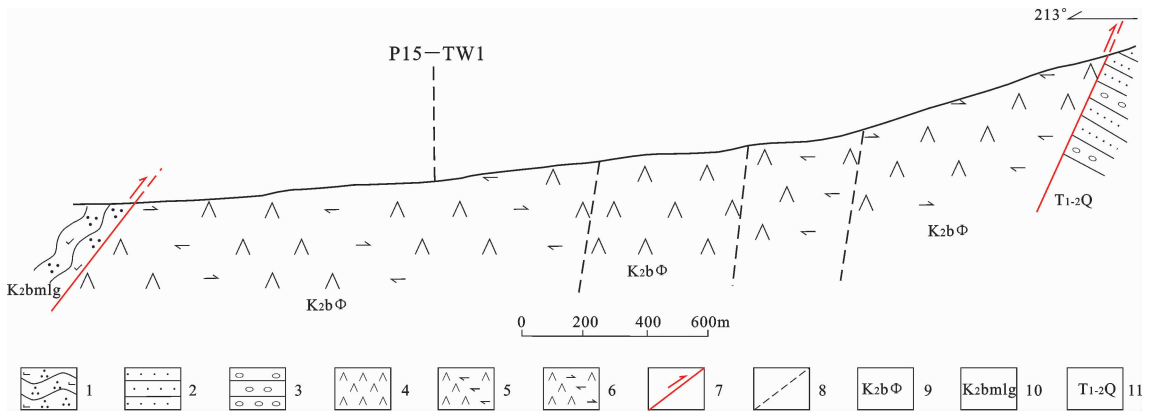


图2 西藏札达县帮果日北帮果日蛇绿岩实测剖面图

1—变质钙质石英砂岩;2—砂岩;3—砾岩;4—纯橄榄岩;5—方辉橄榄岩;6—二辉橄榄岩;7—断层;8—过渡界线;
9—帮果日蛇绿岩;10—波库混杂岩;11—穷果群

Fig.2 Measured section of Banggouri ophiolite in northern Banggouri, Zanda County, Tibet

1- Metamorphic calcareous quartz sandstone; 2-Sandstone; 3-Conglomerate; 4-Dunite; 5-Harzburgite; 6-Lherzolite;
7-Fault; 8-Transition boundary; 9-Banggouri ophiolite; 10-Boku melange; 11-Qongguo Group

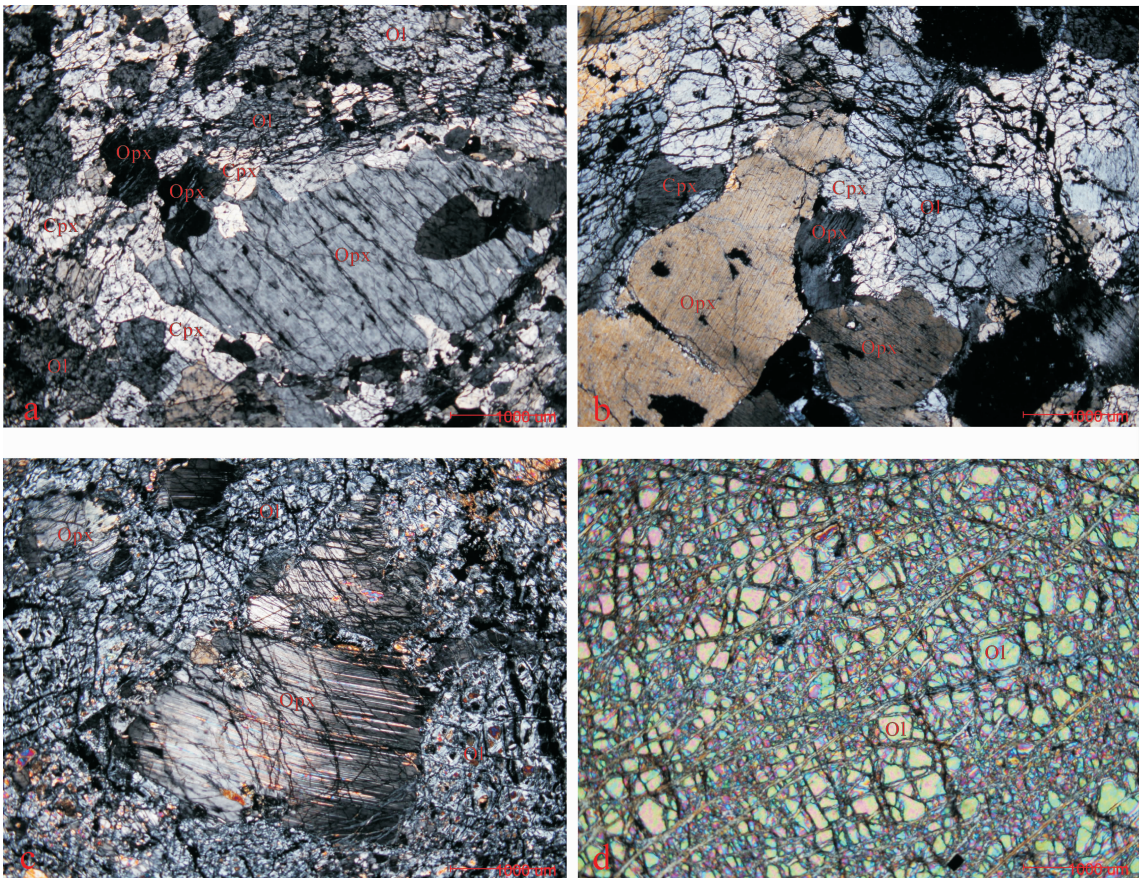


图3 帮果日蛇绿岩地幔橄榄岩显微镜下照片

a—二辉橄榄岩(b106);b—二辉橄榄岩(b106);c—方辉橄榄岩(b631);d—纯橄榄岩(b523);Ol—橄榄石;
Opx—斜方辉石;Cpx—单斜辉石

Fig. 3 Photomicrographs of mantle peridotite of the Baoguori ophiolite in northeastern Zanda County, west Tibet
a- Lherzolite (b136);b-Lherzolite (b106);c-Harzburgite (b631);d-Dunite (b523);Ol-Olivine;
Opx-Othopyroxene; Cpx-Clinopyroxene

纹石、滑石、透闪石交代,主要呈假像产出(图3-c)。副矿物有磷灰石等。岩石具蛇纹石化、滑石化、透闪石。

纯橄榄岩:岩石新鲜面呈暗绿色,具似交织结构、半自形粒状结构,平行条纹状构造、块状构造。岩石主要由橄榄石组成,单斜辉石较少。橄榄石呈绿色,几乎全部被蛇纹石交代,局部可见具残留,粒度0.3~6 mm,含量95%;局部蛇纹石呈交叉状、条痕状分布,构成了岩石的主要结构构造。单斜辉石呈自形—半自形柱状,标本上呈灰白色,薄片呈无色,粒度0.5~6 mm,含量5%左右;具斜消光,多被蛇纹石、滑石、透闪石交代,主要呈假像产出。磁铁矿呈条痕状分布,与蛇纹石构成条痕状构造(图3-d)。副矿物有磷灰石等。岩石具蛇纹石化、滑石化、透闪石化等。

2.1.2 帮果日蛇绿岩的矿物学特征

本次研究对帮果日蛇绿岩中二辉橄榄岩的主要造岩矿物橄榄石、斜方辉石和单斜辉石进行了电子探针分析,尖晶石未分析。电子探针由中国地质大学(北京)电子探针实验室完成,仪器采用日本岛津公司生产的EPMA-1600型电子探针仪。电子探针测试条件:加速电压为15 kV,束流 1×10^{-8} A,束斑直径为 $1 \mu\text{m}$ 。采用ZAF法校正。其分析结果见表1。

橄榄石的 F_o 为85.2、88.0,属贵橄榄石; SiO_2 含量为39.46%、40.15%, MgO 含量为44.90%、47.43%, TFeO 含量为10.57%、13.63%,而 TiO_2 、 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 的含量则低于或接近于检出限,类似于深海橄榄岩^[5,18]。斜方辉石氧化物含量变化较大, SiO_2 含量为45.49%~54.58%, CaO 含量为0.05%~7.36%, MgO 含量为31.45%~42.8%, Al_2O_3 含量为1.26%~4.52%; $\text{Mg}^\#$ 值为89.3~94.3,与深海橄榄岩^[5,18]和弧前橄榄岩^[5,19-20]特征相似。单斜辉石氧化物含量变化较小, SiO_2 、 CaO 、 MgO 、 Al_2O_3 、 Cr_2O_3 含量分别为51.27%~52.72%、23.58%~25.64%、15.43%~17.34%、0.66%~3.91%、0.20%~0.97, $\text{Mg}^\#$ 值为92.0~94.9,同样类似于深海橄榄岩和弧前橄榄岩。

Ca-Mg-Fe+Mn图解中,斜方辉石样品多数落在顽火辉石区,P15b13-1样品点落在区外;单斜辉石样品点多数落在透辉石区,P15b13-1落在区外(图4)。出现样品落在区外的原因可能有:①受后期变质作用改造,有部分物质的加入,如Ca等;②斜方辉石与单斜辉石形成了熔离页片的平行双晶,探针可能打在了双晶之上。

利用Mercier的斜方辉石、单斜辉石温压计计算得出的矿物结晶温度为704℃、1128℃,压力值为11.7 kbar、23.5 kbar^[22];利用Boyd的单斜辉石温度计计算的结果为873℃、906℃^[23]。

辉石的含铝量是岩石形成深度和特定的地幔岩源区的指示剂^[24]。Geen和Ringwood的实验研究表明,在近固相线的地幔状态下结晶成三个无水矿物组合,而且代表了不同深度的地幔岩模型,这三个矿物共生组合为:橄榄岩(Ol)+斜方辉石(Opx)+单斜辉石(Cpx)+尖晶石(Sp),形成压力为0~10 kbar;Ol+含(Al-Opx)+含(Al-Cpx)±少量Sp,形成压力为10~27 kbar;Ol+Opx+Cpx+Ga(石榴石),形成压力为>27 kbar^[25]。

帮果日蛇绿岩的矿物共生组合属于Geen和Ringwood划分的第二种矿物共生组合,与辉石压力计计算的结果较为吻合,表明其形成于深60~90 km的上地幔,与王希斌等(1987)对雅鲁藏布江蛇绿岩带橄榄岩形成压力的研究结果较为一致^[26]。

2.1.3 帮果日蛇绿岩的地球化学特征

岩石地球化学分析由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心实验室测试完成。主量元素采用碱熔法将样品制备,使用X射线荧光光谱仪(XRF-1500)完成分析测试,分析精度高于5%。微量元素和稀土元素的分析采用酸溶法将样品制备好后,使用等离子体质谱仪(ICP-MS)Element II测试完成,分析精度总体优于10%,测试方法详见高剑峰等(2003)^[27]。

2.1.3.1 主量元素特征

帮果日蛇绿岩的岩石蚀变强烈,样品分析结果烧失量和含水量过高,最高可达20%以上,表2中的岩石化学分析结果是去掉烧失量和含水量后重新分配以后的结果。样品控制了主要岩石类型——方辉橄榄岩和二辉橄榄岩。

主量元素分析结果显示 SiO_2 含量低,为42.99%~45.10%,属超基性岩; TiO_2 含量较高,为0.01%~0.05%; Al_2O_3 含量较高,为0.96%~2.10%,属高铝型超基性岩; MgO 含量较高,为39.08%~44.40%; CaO 、 FeO 、 Fe_2O_3 的含量变化较大,分别为0.22%~5.25%、3.05%~7.11%、1.38%~6.49%; $\text{Mg}^\#$ 值为89.25~91.27,平均为90.19。其岩石化学特征与MORB型橄榄岩的特征较为一致,表现出高铝、高钛的特征^[28];与McDonough和Sun给出的原始地幔岩相比较,研究区辉橄榄岩以富集 SiO_2 、 TFe 、 MgO 、 K_2O ,亏损 Al_2O_3 、

表 1 藏西札达县西北部帮果日蛇绿岩二辉橄榄岩中橄榄石、斜方辉石、单斜辉石
电子探针分析结果(%)和计算的离子数

Table 1 Electron microprobe analyses and ion numbers of olivine, orthopyroxene and clinopyroxene for the
Bangguori ophiolite in northeastern Zanda County, West Tibet

分析项目	橄榄石		斜方辉石			单斜辉石		
	P15b13	b136	P15b13-1	P15b13-2	b136	P15b13-1	P15b13-2	b136
SiO ₂	39.46	40.15	45.49	50.23	54.58	51.36	52.72	51.27
Al ₂ O ₃	0.22	0.00	3.14	1.26	4.52	2.58	0.66	3.91
TiO ₂	0.00	0.05	0.00	0.00	0.13	0.20	0.05	0.15
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	9.87	7.31	1.80	2.43	1.82	2.79
FeO	13.63	10.57	0.00	0.00	5.12	0.00	0.00	0.00
CaO	0.08	0.04	7.36	0.05	1.11	25.64	25.30	23.58
MgO	44.90	47.43	34.53	42.80	31.45	15.43	17.34	16.08
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.07	0.00
Na ₂ O	0.00	0.00	0.18	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.32	0.13	0.21	0.06	0.17	0.02	0.00	0.11
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.07
Cr ₂ O ₃	0.00	0.01	0.26	0.00	0.77	0.90	0.20	0.97
NiO	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	98.61	98.76	101.04	101.83	99.65	98.56	98.21	98.93
Fo	85.2	88.0						
Mg [#]			89.9	94.3	89.3	92.3	94.9	92.0
Si	0.999	1.001	1.572	1.668	1.895	1.898	1.938	1.884
Al	0.007	0.000	0.128	0.049	0.185	0.112	0.029	0.169
Ti	0.000	0.001	0.000	0.000	0.003	0.006	0.001	0.004
Fe ²⁺	0.289	0.220	0.000	0.000	0.149	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.199	0.129	0.047	0.067	0.051	0.077
Ca	0.002	0.001	0.273	0.002	0.041	1.015	0.997	0.928
Mg	1.695	1.763	1.779	2.119	1.628	0.850	0.951	0.881
K	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.003	0.000
Na	0.000	0.000	0.012	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.007	0.003	0.006	0.002	0.005	0.001	0.000	0.003
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.007	0.000	0.021	0.026	0.006	0.028
Ni	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al ^{IV}			0.128	0.049	0.105	0.102	0.029	0.116
Al ^{VI}			0	0	0.080	0.010	0	0.053

注: 辉石 $Mg^{\#}=100 \times Mg / (Mg + TFe)$ (离子数); 辉石 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 按电价差法计算, FeO 和 Fe_2O_3 含量分配亦按电价差法计算; 辉石 Al^{IV} 、 Al^{VI} 按端员分子配比法计算; 橄榄石 $Fo=100 \times MgO / (MgO + TFeO)$ (分子数), $TFeO=FeO + 0.8998 \times Fe_2O_3$ 。

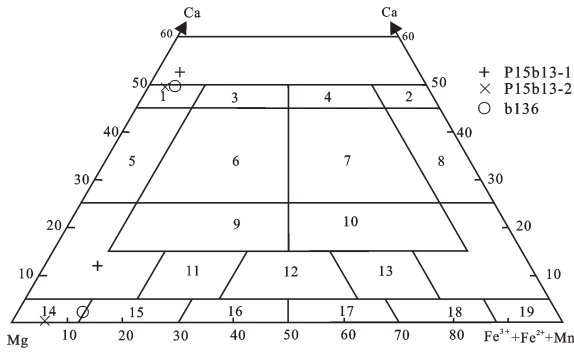


图 4 帮果日蛇绿岩二辉橄榄岩辉石化学分类图解 (据 Plodervaart 和 Hess, 1951^[14])

- 1—透辉石; 2—钙铁辉石; 3—次透辉石; 4—铁次透辉石;
- 5—顽透辉石; 6—普通辉石; 7—铁普通辉石; 8—铁钙铁辉石;
- 9—次钙铁普通辉石; 9—次钙普通辉石; 10—次钙铁普通辉石;
- 11—镁易变辉石; 12—过渡易变辉石; 13—铁易变辉石;
- 14—顽火辉石; 15—古铜辉石; 16—紫苏辉石;
- 17—铁紫苏辉石; 18—尤莱辉石; 19—斜方铁辉石

Fig.4 Diagram of chemical classification of pyroxene from lherzolites of Bangguori ophiolite (after Plodervaart and Hess, 1951^[14])

- 1—Diopside; 2—Hedenbergite; 3—Sahlite; 4—Ferrosalite;
- 5—Endiopside; 6—Augite; 7—Ferroaugite; 8—Ferrohedenbergite;
- 9—Subcalcic augite; 10—Subcacic ferroaugite; 11—Magnesian pigeonite; 12—Intermediate pigeonite; 13—Ferriiferous pigeonite;
- 14—Enstatite; 15—Bronzite; 16—Hypersthene;
- 17—Ferrohypersthene; 18—Eulite; 19—Orthorhombic ferroite

Na₂O 为特征^[29]。

2.1.3.2 微量元素特征

帮果日蛇绿岩中的方辉橄榄岩和二辉橄榄岩的微量元素(表 2)含量低,与 Sun 和 McDonough 所给出的原始地幔(PM)、洋中脊(MORB)、洋岛(OIB)元素含量相比,多数元素含量与洋中脊元素含量相当,如 Rb、Nb、Ta、U、Th、Ba、K 等;部分元素含量与原始地幔较为一致,如 P、Sr、Zr、Hf 等^[30]。

2.1.3.3 稀土元素特征

依据稀土元素特征的不同,帮果日蛇绿岩中橄榄岩可分为两组,轻稀土富集型和轻稀土亏损型两种类型(图 5);其中 1 号样品,属轻稀土富集型;其余 4 件样品属轻稀土亏损型。1 号样品(蛇纹石化方辉橄榄岩)稀土总量($\sum REE$)较高,为 12.96×10^{-6} ,为球粒陨石的 3.93 倍;轻稀土总量($\sum LREE$)为 11.93×10^{-6} ,为球粒陨石的 5.65 倍;重稀土总量($\sum HREE$)为 1.06×10^{-6} ,为球粒陨石的 90%^[31]; $\delta Eu = 0.69$,具有中等负钕异常; $(La/Yb)_N = 12.55$, $(La/Sm)_N = 8.42$, $(Gd/Yb)_N = 1.71$,属王希斌等总结的 LREE 富集型^[32]

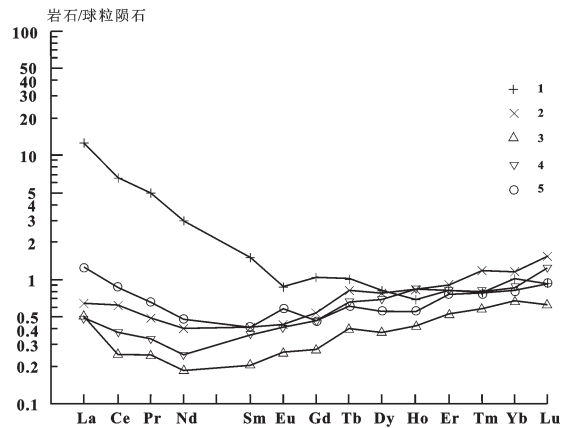


图 5 帮果日蛇绿岩稀土元素配分模式曲线图 (球粒陨石值据 Boynton, 1984^[31];序号同表 2)

Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns of peridotites of Bangguori Ophiolite in Zanda County, Tibet (chondrite REE values after Boynton, 1984^[31];sequence number as for Table 2)

和 Melcher 等总结的 3.1 型 REE 配分模式^[33]。2~4 号样品(强蚀变二辉橄榄岩、方辉橄榄岩)稀土总量低,为 $1.09 \times 10^{-6} \sim 2.33 \times 10^{-6}$,为球粒陨石的 33%~71%; $\sum LREE = 0.56 \times 10^{-6} \sim 1.11 \times 10^{-6}$,为球粒陨石的 27%~53%; $\sum HREE = 0.53 \times 10^{-6} \sim 1.01 \times 10^{-6}$,为球粒陨石的 45%~86%^[31]; $\delta Eu = 0.93 \sim 1.36$,具有弱钕负异常—中等正钕异常; $(La/Yb)_N = 0.56 \sim 1.56$ (且多 < 1), $(La/Sm)_N = 1.33 \sim 3.07$ (> 1), $(Gd/Yb)_N = 0.40 \sim 0.57$ (< 1),属王希斌等总结的 LREE 亏损型^[32]和 Melcher 等总结的 2.3a 型 REE 配分模式^[33]。

2.2 波库混杂岩(K₂blg)

波库混杂岩分布于清木壤、波库、阿尔木贡一线,呈北西向狭长带状展布,长约 120 km,宽 1~3.5 km,出露面积约 160 km²,北端在军切与扎朗混杂岩会合后一同延出区外,南端在门士附近被第四纪堆积物覆盖,整体出露比较连续,沿北部边界发育一条韧性变形带,宽度数百米,延伸约 60 km。南西侧与阿依拉—仲巴微陆块以断裂为界,北东侧与穷果群、扎朗混杂岩以及帮果日蛇绿岩亦为断层接触。

波库混杂岩属泥砂质混杂岩亚类,基质岩性为浅灰色—深灰色板岩、粉砂质板岩,岩石变形强(图 6-a),揉皱发育,混杂强烈,其中除含有大量砂岩岩块外(图 6-b),还有许多橄榄岩、辉橄岩、灰岩、辉长岩、硅质岩等外来岩块(图 7)。岩块大小一般为数十厘米到数米,大者可达数千米,多呈圆形或椭圆形产出,岩块在基质之中发生了明显的旋转,岩块内部产状与基质产状

表 2 藏西札达县西北部帮果日蛇绿岩主量元素(%)、微量及稀土元素(10^{-6})分析结果
 Table 2 Major element(%), trace element and rare earth element(10^{-6}) content for the Bangguori ophiolite in northeastern Zanda County, west Tibet

样品序号	1	2	3	4	5
分析项目	YQ101	YQ103	P15YQ1	P15YQ2	P15YQ3
	蛇纹石化方辉橄榄岩	强蚀变二辉橄榄岩	强蚀变方辉橄榄岩	强蚀变二辉橄榄岩	强蚀变二辉橄榄岩
SiO ₂	45.10	44.70	42.99	45.15	44.51
Al ₂ O ₃	1.51	2.10	1.41	1.39	0.96
TiO ₂	0.03	0.01	0.04	0.05	0.04
Fe ₂ O ₃	4.97	1.38	6.49	5.31	3.71
FeO	3.10	7.11	3.68	3.05	4.19
CaO	0.22	5.25	0.65	5.05	3.11
MgO	44.40	39.08	44.33	39.71	43.12
K ₂ O	0.09	0.03	0.02	0.02	0.02
Na ₂ O	0.32	0.16	0.16	0.05	0.15
MnO	0.22	0.16	0.21	0.20	0.17
P ₂ O ₅	0.04	0.03	0.01	0.01	0.01
Mg [#]	91.27	89.30	89.25	90.04	91.08
La	3.89	0.20	0.16	0.15	0.39
Ce	5.3	0.5	0.2	0.3	0.7
Pr	0.6	0.06	0.03	0.04	0.08
Nd	1.79	0.24	0.11	0.15	0.29
Sm	0.29	0.08	0.04	0.07	0.08
Eu	0.064	0.032	0.019	0.03	0.043
Gd	0.27	0.14	0.07	0.12	0.12
Tb	0.048	0.039	0.019	0.031	0.029
Dy	0.26	0.25	0.12	0.22	0.18
Ho	0.05	0.06	0.03	0.06	0.04
Er	0.17	0.19	0.11	0.17	0.16
Tm	0.025	0.038	0.019	0.026	0.025
Yb	0.21	0.24	0.14	0.18	0.17
Lu	0.03	0.05	0.02	0.04	0.03
Y	1.3	1.6	0.9	1.1	1.1
ΣREE	12.96	2.12	1.09	1.59	2.33
ΣLREE	11.93	1.11	0.56	0.74	1.58
ΣHERR	1.06	1.01	0.53	0.85	0.75
ΣLREE/ΣHERR	11.23	1.10	1.06	0.87	2.10
δEu	0.69	0.93	1.08	1.00	1.36
(La/Yb) _N	12.55	0.57	0.78	0.56	1.56
(La/Sm) _N	8.42	1.59	2.48	1.33	3.07
(Gd/Yb) _N	1.71	0.47	0.40	0.53	0.57
P	21.0	11.0	23.0	13.0	5.0
Rb	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Sr	10.0	32.0	10.0	64.0	32.0
Sc	14.1	19.5	11.8	16.1	14.6
Ta	0.30	0.62	0.52	0.28	0.36
Nb	1.70	2.70	3.80	1.30	2.40
U	0.08	0.11	0.25	0.05	0.18
Th	0.59	0.98	0.50	0.20	0.27
Ti	173.0	261.0	171.0	136.0	145.0
V	30.0	52.0	36.0	44.0	32.0
Zr	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Hf	0.46	0.46	0.44	0.41	0.30
Cr	2149	1452	1426	1488	1587
Co	72.8	66.4	82.1	66.6	71.9
Ni	1817	1718	1775	1582	1598
Cs	0.70	0.63	0.51	0.51	0.48
Ba	21.0	16.0	25.0	86.0	69.0
K	482	158	75	83	42

注: Mg[#]=100*MgO/(MgO+TFoe)(离子数); TFoe=FeO+0.8998*Fe₂O₃; 主量元素含量是剔除烧失量和H₂O⁺、H₂O重新 100%计算后的结果。

斜交,甚至呈大角度截切;在岩块边部,基质破碎、细粒化等构造作用现象明显,基质沿岩块的边界环绕分布,显示出剪切变形的特征(图 6-c)。

3 讨论

3.1 帮果日蛇绿岩的成因

前人研究表明,俯冲过程中岩石的重稀土(HREE)不受影响,所以可以较好地反映地幔橄榄岩的部分熔融程度^[33-35]。从图 8 中可知帮果日蛇绿岩之中的方辉橄榄岩和二辉橄榄岩的熔融程度低,与原始地幔的成分相当,属地幔岩范畴。根据 Melcheret al.^[33]原始地幔岩的分离熔融模式估算,方辉橄榄岩和二辉橄榄岩的熔融程度为 6%~12%,并且熔融程度多小于 10% (图 8)。

帮果日蛇绿岩之中的辉橄岩表现出高铝、高钛的特征,与 MORB 型橄榄岩的特征较为一致^[28];微

量元素含量低,多数元素含量与洋中脊元素含量相当^[30];稀土总量多数低于球粒陨石,无明显铕异常,稀土配分曲线多为 LREE 亏损型,与洋中脊橄榄岩的较为一致^[28];矿物学特征同样也表现出深海橄榄岩^[5,18]和弧前橄榄岩的特征^[5,19-20]。

二辉橄榄岩和方辉橄榄岩原始地幔标准化稀土配分曲线(图 9),除 1 号样品(方辉橄榄岩)为向右倾斜以外,其余 4 个样品均为向左缓倾的近水平状,并且绝大多数元素的含量低于原始地幔值,为亏损型地幔岩。Yb 为亲石元素之中不相容性较小的一种元素,其在部分熔融形成的熔体和分离结晶形成的残余熔体中不会因岩浆作用程度的变化而发生很大的改变^[36]。本区橄榄岩的 Yb* 值为 0.14~2.48,除 1 号样品外其余 4 件样品的 Yb* 值均大于 1,说明 1 号样品可能有少量外来物质的加入,其余各样品外来物质加入不明显^[36]。

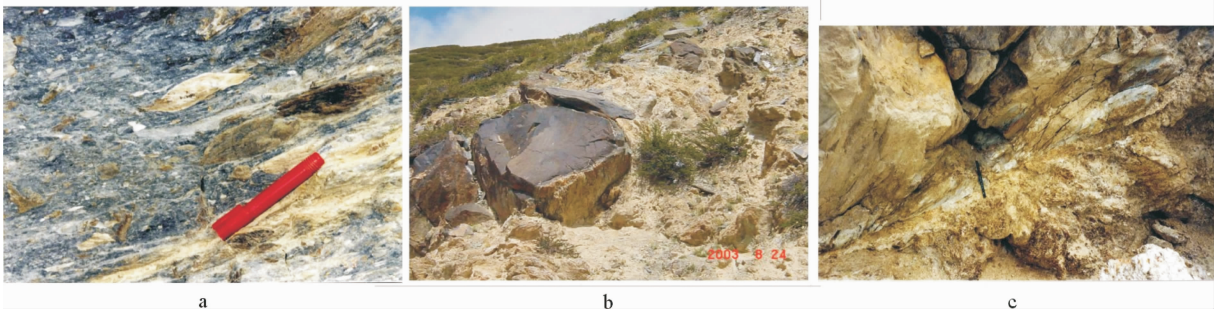


图 6 波库混杂岩野外照片
a—塑性变形砾石(他家淌嘎东);b—砂岩岩块(朗卧其);c—砂岩岩块与基质接触关系(朗卧其)

Fig.6 Field photographs of the Boku melange in Zanda County, Tibet

a- Plastic deformed pebble (eastern Tajiatangga); b-Sandstone rock mass (Langwoqi); c-Contact relationship between groundmass and rock mass of sandstone (Langwoqi)

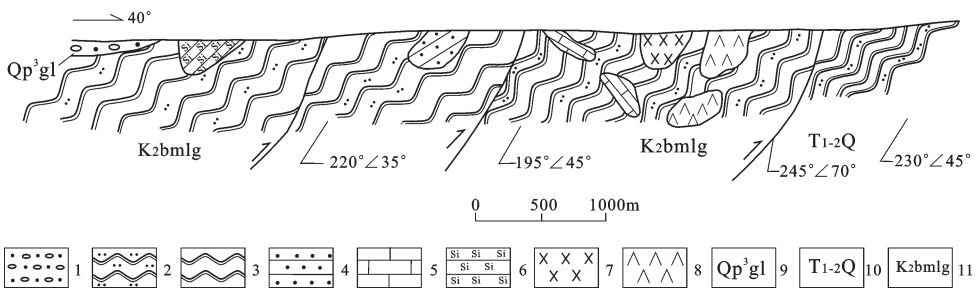


图 7 西藏札达县清木壤波库混杂岩实测剖面图

1—冰碛砂砾石;2—粉砂质板岩;3—板岩;4—砂岩;5—灰岩;6—硅质岩;7—辉长岩;8—橄橄榄岩;9—晚更新世冰碛物;10—早中三叠世穷果群;11—波库混杂岩

Fig.7 Measured section of Boku mélange in Qingmurang, Zanda County, Tibet

1- Glacial sand and pebble; 2-Silty slate; 3-Slate; 4-Sandstone; 5-Limestone; 6-Siliceous rock; 7-Gabbro; 8-Peridotite; 9-Upper Pleistocene moraines; 10-Lower-Middel Triassic Qongguo Group; 11-Boku mélange

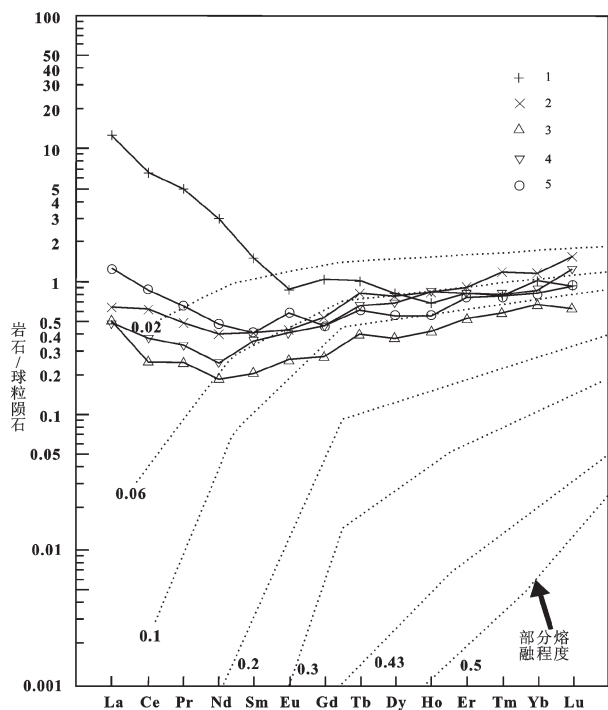


图8 帮果日蛇绿岩熔融程度判别图解
(据 Melcher et al., 2002^[33]; 球粒陨石值据 Boynton, 1984^[31]; 序号同表2)

Fig.8 Discrimination patterns of melting degree for the peridotites of Banggouri ophiolite in Zanda County, Tibet (after Melcher et al., 2002^[33]) (chondrite REE values after Boynton, 1984^[31]; sequence number as for Table 2)

在 Cr-TiO₂ 图解中, 多数样品投入了 MORB 区, 1 号样品落入 MORB 和 SSZ 的重叠区域, 2 号样品由于 Cr 含量较过低而落入了区外(图 10)。这也说明帮果日蛇绿岩主要属于洋中脊型蛇绿岩。

综上所述, 帮果日蛇绿岩的岩石学、矿物学、地球化学等特征表明, 其形成于洋中脊环境, 属亏损型地幔岩。

3.2 帮果日—波库蛇绿岩带的形成时代

本次研究工作, 在帮果日蛇绿岩之中采集了同位素年龄测试样, 样品编号为 P15TW1, 岩性为二辉橄榄岩, 样品位置: N 31°32'15", E 79°59'53"。样品由天津地质矿产研究所实验室对其进行 K-Ar 法全岩测年, 结果为 (88.95±20.64)Ma, 属晚白垩世中期。

本次工作在波库混杂岩硅质岩岩块之中采集了放射虫硅质岩样品, 经中国科学院地质与地球物理所李红生研究员鉴定, 其中主要有 *Pseudodictyomitra carpatica* (Loznyiak)、*Thanarla* aff. *Conica* (Aliev)、*Archaeospongoprimum klingi* Pessagno、*Holocry-ptonanium*

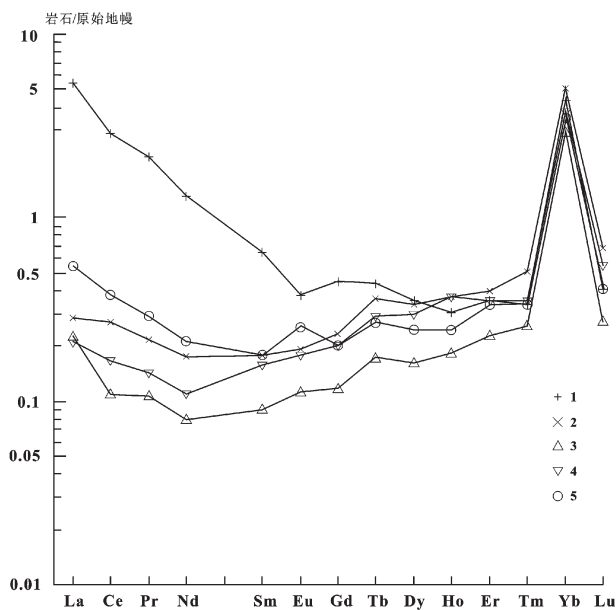


图9 帮果日蛇绿岩原始地幔标准化稀土元素配分模式曲线图

(原始地幔值据 Sun et al., 1989^[30]; 序号同表2)

Fig.9 Primitive mantle normalized REE patterns for peridotites of Banggouri ophiolite in Zanda County, Tibet primitive mantle REE values after Sun et al., 1989^[30]; sequence number as for Table 2)

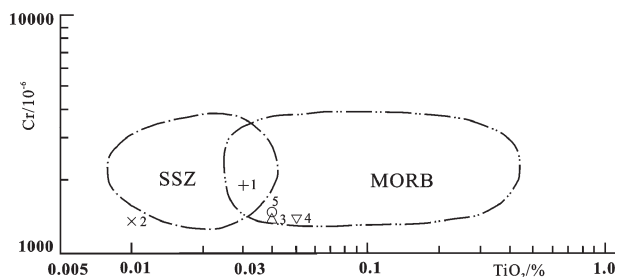


图10 帮果日蛇绿岩 Cr-TiO₂ 图解
(据 Pearce et al., 1984^[37]; 序号同表2)

Fig.10 Diagram of Cr (ppm) versus TiO₂ (wt%) for peridotites of Banggouri ophiolite in Zanda County, Tibet (after Pearce et al., 1984^[37]; sequence number as for Table 2)

sp.、*Archaeospongoprimum* sp.、*Praeconocaryomma?* sp.、*Acastea* sp.等放射虫, 时代为早白垩世。

帮果日—波库蛇绿岩带被达机翁—萨嘎蛇绿岩带所截断, 达机翁—萨嘎蛇绿岩带的你扎混杂岩之中混有大量灰岩岩块, 其中含有大量的有孔虫类、腹足及腕足、瓣鳃等化石, 经鉴定时代为古新世。

综上所述,波库蛇绿岩带的形成时代可能为晚白垩世。

4 地质意义

帮果日—波库蛇绿岩带地处雅鲁藏布江缝合带的最西段,位于达机翁—萨嘎蛇绿岩带与达巴—休古嘎布蛇绿岩带之间,三条蛇绿岩带之间夹有波库微陆块和阿依拉—仲巴微陆块。帮果日蛇绿岩由方辉橄榄岩、二辉橄榄岩构成,具有较为典型的 MOR 岩石学、矿物学以及地球化学特征;波库混杂岩由板岩、粉砂质板岩以及砂岩、灰岩、橄榄岩、辉长岩、硅质岩等的岩块构成。帮果日—波库蛇绿岩带的发现,具有以下意义:

(1) 帮果日—波库蛇绿岩带位于波库微陆块和阿依拉—仲巴微陆块之间,它的发现有助于两个微陆块形成发展史的研究,因此对于研究雅鲁藏布江缝合带西段的构造演化具有重要的意义。

(2) 帮果日蛇绿岩属于 MOR 型蛇绿岩,其发现以及成因的研究对雅鲁藏布江缝合带蛇绿岩成因的研究有一定的借鉴意义。

(3) 帮果日—波库蛇绿岩带的发现,将有助于雅鲁藏布江缝合带俯冲模式及俯冲极性的研究。

(4) 帮果日—波库蛇绿岩带的发现对于寻找岩浆熔离型铜镍硫化物、磁铁矿矿床具有一定参考价值。

致谢: 本文是区调项目的集体成果。河北省区域地质矿产调查研究所的姚宝刚、白君武、梁国庆、张宽、张宏宝、汪立军等参加了野外工作,常量元素、微量元素、稀土元素分析由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心实验室测试完成,同位素测年样品由天津地质矿产研究所实验室测试完成,放射虫由中国科学院地质与地球物理所李红生研究员鉴定,在此表示衷心感谢!

参考文献(References):

[1] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993: 613-625.

Bureau of Geology and Mineral Resource of Tibet Autonomous Region. Regional Geology of Tibet Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993: 613-625 (in Chinese with English abstract).

[2] 夏斌. 喜马拉雅及邻区蛇绿岩和地体构造图说明书(1:2500000)[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1993: 1-41.

Xia Bin. Instruction for Ophiolite and Tectonostratigraphic Terrane

Map of Himalaya and Adjacent Areas (1:2500000)[M]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1993: 1-41 (in Chinese with English abstract).

[3] 夏斌, 郭令智, 施央申. 西藏西南部蛇绿岩及其地体构造[M]. 广州: 中山大学出版社, 1998: 1-83.

Xia Bin, Guo Lingzhi, Shi Yangsheng. The Ophiolites and Tectonostratigraphic Terranes in Southwest Xizang (Tibet) [M]. Guangzhou: Zhongshan University Press, 1998: 1-83 (in Chinese with English abstract).

[4] 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 1-92. Zhang Qi, Zhou Guoqing. Ophiolites of China[M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-92(in Chinese with English abstract).

[5] 徐德明, 黄圭成, 雷义均. 西藏西南部拉昂错地幔橄榄岩的地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2008, 27(1): 1-13. Xu Deming, Huang Guicheng, Lei Yijun. Geochemistry and tectonic significance of mantle peridotites from Laangcuo ophiolite massif, southwest Tibet[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2008, 27(1): 1-13 (in Chinese with English abstract).

[6] 郭铁鹰, 梁定益, 张智智, 等. 西藏阿里地质[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991, 201-260.

Guo Tiejing, Liang Dingyi, Zhang Yizhi, et al. Geology of Ngari, Tibet (Xizang)[M]. Wuhan: China University of Geological Press, 1991: 201-260 (in Chinese with English abstract).

[7] 夏斌, 何明友. 西藏加纳朋蛇绿岩岩石地球化学及成因意义[J]. 矿物学报, 1995, 15(2): 236-241.

Xia Bin, He Mingyou. Petrogeochemistry and genetic significance of the Jianapeng ophiolite, Tibet[J]. Acta mineralogica sinica, 1995: 15 (2): 236-241 (in Chinese with English abstract).

[8] 夏斌, 郑榕, 洪裕荣, 等. 西藏达机翁蛇绿岩的岩石地球化学特征及其构造环境[J]. 地质地球化学, 1997, 1: 46-52.

Xia Bin, Zheng Rong, Hong Yurong, et al. The lithochemical characteristics and origin of Dajiweng ophiolite in Xizang (Tibet) [J]. Geology-Geochemistry, 1997, 1: 46-52 (in Chinese with English abstract).

[9] 黄圭成, 莫宣学, 徐德明, 等. 西藏西南部达巴—休古嘎布蛇绿岩带的形成与演化[J]. 华南地质与矿产, 2006, 3: 1-9.

Huang Guicheng, Mo Xuanxue, Xu Deming, et al. Origination and evolution of Daba-Xiugugabu ophiolite belt in the southwestern Tibet[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2006, 3: 1-9 (in Chinese with English abstract).

[10] 徐德明, 黄圭成, 雷义均. 西藏西南部休古嘎布蛇绿岩的成因: 岩石学和地球化学证据[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(4): 490-501.

Xu Deming, Huang Guicheng, Lei Yijun. Origin of the Xiugugabu ophiolite massif, SW Tibet: evidence from petrology and geochemistry[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(4): 490-501 (in Chinese with English abstract).

[11] 刘钊, 李源, 熊发挥. 西藏西部普兰蛇绿岩中的 MOR 型辉长岩: 岩石学和年代学[J]. 岩石学报, 2011, 27(11): 3269-3279.

Liu Zhao, Li Yuan, Xiong Fahui, et al. Petrology and

- geochronology of MOR gabbro in the Purang ophiolite of western Tibet, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(11): 3269–3279 (in Chinese with English abstract).
- [12] 杨经绥, 徐向珍, 李源, 等. 西藏雅鲁藏布江缝合带的普兰地幔橄辉岩中发现金刚石: 蛇绿岩型金刚石分类的提出[J]. *岩石学报*, 2011, 27(11): 3171–3178.
Yang Jingsui, Xu Xiangzhen, Li Yuan, et al. Diamonds recovered from peridotite of the Purang ophiolite in the Yarlung–Zangbo suture of Tibet: A proposal for a new type of diamond occurrence [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(11): 3171–3178 (in Chinese with English abstract).
- [13] 徐德明, 黄圭成, 雷义均. 西藏西南部休古嘎布蛇绿岩的 Sm–Nd 年龄及 Nd–Sr–Pb 同位素特征[J]. *中国地质*, 2008, 35(3): 429–435.
Xu Deming, Huang Guicheng, Lei Yijun. Sm–Nd ages and Nd–Sr–Pb isotope signatures of the Xiugugabu ophiolite, southwestern Tibet[J]. *Geology in China*, 2008, 35(3): 429–435 (in Chinese with English abstract).
- [14] 李源, 杨经绥, 刘钊, 等. 西藏雅鲁藏布江缝合带西段巴尔地幔橄辉岩成因及构造意义[J]. *岩石学报*, 2011, 27(11): 3239–3254.
Li Yuan, Yang Jingsui, Liu Zhao, et al. The origins of Baer ophiolitic peridotite and its implication in the Yarlung–Zangbo suture zone, southern Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(11): 3239–3254 (in Chinese with English abstract).
- [15] 徐向珍, 杨经绥, 郭国林, 等. 雅鲁藏布江缝合带西段普兰蛇绿岩中地幔橄辉岩的岩石学研究[J]. *岩石学报*, 2011, 27(11): 3179–3196.
Xu Xiangzhen, Yang Jingsui, Guo Guolin, et al. Lithological research on the Purang mantle peridotite in western Yarlung–Zangbo suture zone in Tibet[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(11): 3179–3196 (in Chinese with English abstract).
- [16] 韦振权, 夏斌, 张玉泉, 等. 西藏休古嘎布蛇绿岩中辉绿岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. *大地构造与成矿学*, 2006, 30(1): 93–97.
Wu Zhenquan, Xia Bin, Zhang Yuquan, et al. SHRIMP zircon dating of diabase in the Xiugugabu ophiolite in Tibet and its geological implications [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2006, 30(1): 93–97 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李建峰, 夏斌, 刘立文, 等. 西藏普兰地区拉昂错蛇绿岩中辉绿岩的锆石 SHRIMP U–Pb 年龄及其地质意义[J]. *地质通报*, 2008, 27(10): 1739–1743.
Li Jianfeng, Xia Bin, Liu Liwen, et al. SHRIMP U–Pb zircon dating of diabase in the La'nga Co ophiolite, Burang, Tibet, China, and its geological significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(10): 1739–1743 (in Chinese with English abstract).
- [18] Dick H J B, Bullen T. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1984, 86(1): 54–76.
- [19] Parkinson I J. and Pearce J A. Peridotites from the Izu–Bonin–Mariana forearc (ODP Leg 125): Evidence for mantle melting and melt–mantle interaction in a supra–subduction zone setting [J]. *Journal of Petrology*, 1998, 39(9): 1577–1618
- [20] Pearce J A, Barker P F, Edwards S J, et al. Geochemistry and tectonic significance of peridotites from the South Sandwich arc–basin system, South Atlantic [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2000, 139(1): 36–53.
- [21] Poldervaart A, Hess H H. Pyroxenes in the crystallization of basaltic magma [J]. *Journal of Geology*, 1951, 59(5): 472–489.
- [22] Mercier J C. Single–pyroxene geothermometry and geobarometry [J]. *American Mineralogist*, 1976, 61(7/8): 603–615.
- [23] Boyd F R. A pyroxene geotherm [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1973, 37(12): 2533–2538.
- [24] Dick H J B. Partial melting in the Josephine Peridotite: I, The effect on mineral composition and its consequence for geobarometry and geothermometry [J]. *American Journal of Science*, 1977, 277(7): 801–832.
- [25] Green T H, Green D H, Ringwood A E. The origin of high–alumina basalts and their relationships to quartz tholeiites and alkali basalts [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1967, 2(1): 41–51.
- [26] 王希斌, 鲍佩声, 邓万明, 等. 西藏蛇绿岩 [M]. 北京: 地质出版社, 1987: 1–132 .
Wang Xibin, Bao Peisheng, Deng Wanming, et al. Xizang (Tibet) Ophiolite [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 1–132 (in Chinese with English abstract).
- [27] 高剑峰, 陆建军, 赖鸣远, 等. 岩石样品中微量元素的高分辨率等离子质谱分析 [J]. *南京大学学报(自然科学)*, 2003, 39(6): 844–850.
Gao Jiangfeng, Lu Jianjun, Lai Mingyuan et al. Analysis of trace elements in rock samples using HR–ICPMS [J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 2003, 39(6): 844–850 (in Chinese with English abstract).
- [28] 史仁灯, 杨经绥, 许志琴, 等. 西藏班公湖存在 MOR 型和 SSZ 型蛇绿岩——来自两种不同地幔橄辉岩的证据 [J]. *岩石矿物学杂志*, 2005, 24(5): 397–408.
Shi Rendeng, Yang Jingsui, Xu Zhiqin, et al. Recognition of MOR– and SSZ–ophiolites in the Bangong Lake ophiolite melange, western Tibet: Evidence from two kinds of mantle peridotites [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2005: 24(5): 397–408 (in Chinese with English abstract).
- [29] McDonough W F, Sun S S. The composition of the earth (in Chemical Evolution of the Mantle) [J]. *Chemical Geology*, 1995, 120(3/4): 223–253.
- [30] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes (in Magmatism in the ocean basins) [J]. *Geological Society Special Publications*, 1989, 42(1): 313–345.
- [31] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth element: meteorite studies [J]. *Rare Earth Element Geochemistry*, 1984: 66–114.
- [32] 王希斌, 鲍佩声, 戎合. 中国蛇绿岩中变质橄辉岩的稀土元素地球化学 [J]. *岩石学报*, 1996, 11(增刊): 24–41.

- Wang Xibin, Bao Peisheng, Rong He. Rare earth elements geochemistry of the mantle peridotite in the ophiolite suites of China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1996, 11(Supp.): 24–41 (in Chinese).
- [33] Melcher F, Meisel T, Puhl J, et al. Petrogenesis and geotectonic setting of ultramafic rocks in the Eastern Alps: Constrains from geochemistry [J]. *Lithos*, 2002, 65: 69–112.
- [34] Preece J A, Parkinson I J. Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis [C] // *Magmatic Processes and Plate Tectonics*. Geological Society, London, Special Publications, 1993, 76: 373–403.
- [35] Ozawa K, Shimizu N. Open-system melting in the upper mantle: Constraints from the Hayachine –Miya MORB Ophiolite, northeastern Japan [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100 (B11): 22, 315–335.
- [36] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992: 74–125.
- Li Changnian. Petrology of Trace Element of Igneous Rock [M]. Wuhan: China University of Geological Press, 1992: 74–125 (in Chinese with English abstract).
- [37] Pearce J A, Lippard S J, Roberts S. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites [J]. *Geological Society*, 1984, 16(1): 74–94.

The discovery of Bangguori–Boku ophiolite belt in northeastern Zanda County of west Tibet and its geological significance

WANG Xing-jun^{1,2}, WANG Geng-hou¹, LI Guang-dong³, WU Lian-he³, LI Jin-he³, GAO Xiong³, ZHANG Shuang-zeng³, ZHUAN Shao-peng³, BAN Chang-yong³

(1. School of Geosciences and Resource, China University of Geology, Beijing 10083, China; 2. Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China; 3. Hebei Institute of Regional Geological and Mineral Resource Survey, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: Located at the westernmost end of Yarlung Zangbo suture zone, the Bangguori–Boku ophiolite belt is composed of NW-striking Bangguori ophiolite and Boku melange 128 km in length and 5–10 km in width. Bangguori ophiolite consists of harzburgite and lherzolite comprising olivine ($Fo=85.2\sim 88.0$, 86.6 on average), enstatite ($Mg^{\#}=89.3\sim 94.3$, 91.2 on average), and diopside ($Mg^{\#}=89.3\sim 94.3$, 93.1 on average), characterized by high Al_2O_3 (0.96%~2.10%) and Ti (173~261 $\mu g/g$), close to the trace element content of MOR mantle rock, and depletion of REE with ΣREE being 0.33~0.71 times that of chondrite. Moreover, major and trace element characteristics indicate that Bangguori ophiolites are restites resulting from 6%~12% partial melting of the primitive mantle. Boku melange consists of groundmass of slate and silty slate, and rock mass of peridotite, gabbro, siliceous rock, sandstone and limestone. Studies show that Baoguori–Boku ophiolite belt was formed during Late Cretaceous, as evidenced by isotope dating of Bangguori ophiolite and radiolarians fossils from the silicolite rock mass of Boku melange. The results obtained by the authors demonstrate that Bangguori–Boku ophiolite belt resulted from Neotethys ocean subduction, and Bangguori ophiolite represents the residuum of Neotethys ocean lithosphere and belongs to the typical MOR-type ophiolite.

Key words: ophiolite; MOR; melange; Neotethys ocean; Bangguori; Boku

About the first author: WANG Xing-jun, male, born in 1970, senior engineer, doctor, engages in regional geological and mineral resource survey and the study of tectonics and sedimentology; E-mail: wxj1861@163.com.

About the corresponding author: WANG Geng-hou, male, born in 1963, professor, supervisor of doctor candidates, engages in teaching and study of tectonics; E-mail: wgh@cugb.edu.cn.