

阿尔泰山南缘中泥盆世苦橄岩中单斜辉石的 成分特征及其地质意义

蔡劲宏^{1,2} 杜杨松¹ 李顺庭¹

(1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室 北京 100083; 2. 桂林矿产地质研究院, 广西 桂林 541004)

摘要: 岛弧苦橄岩非常稀少,但在阿尔泰山南缘却分布有世界上罕见的中泥盆世厚大苦橄岩层。本文对该地区苦橄岩及其共生的玄武岩中单斜辉石的矿物化学成分进行了电子探针分析,结果表明,苦橄岩中的单斜辉石全部为透辉石,玄武岩中的单斜辉石种属有普通辉石和透辉石两类,但玄武岩中的单斜辉石成分呈连续演化关系。根据单斜辉石-熔体平衡原理计算了苦橄岩中单斜辉石斑晶形成的温度和压力,其变化范围主要集中在1350~1387℃和16.6~21.3 kPa,相应的深度为55~70 km,大致代表了苦橄岩岩浆房的深度。与此不同的是,玄武岩中单斜辉石斑晶结晶的深度较苦橄岩浅,为37~41 km,暗示玄武岩浆是在相对低压条件下分离结晶后形成的演化岩浆。基于单斜辉石的成分和演化,确定了该地区火山岩属亚碱性系列,其构造背景为岛弧环境。

关键词: 单斜辉石;矿物化学;苦橄岩;中泥盆世;阿尔泰山

中图分类号: P578.954 P588.14⁺6

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2007)02-0141-06

Mineral chemistry and geological significance of clinopyroxenes from Middle Devonian picrite on the southern margin of the Altay Mountain

CAI Jin-hong^{1,2}, DU Yang-song¹ and LI Shun-ting¹

(1. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2. Guilin Research Institute of Geology for Mineral Resources, Guilin 541004, China)

Abstract: Picrite in island arcs has been rarely reported. However, several thick layers of picrite, which were rarely found in the world, were recognized in the Middle Devonian strata on the southern margin of the Altay Mountain. This paper presents new data of electronic microprobe analyses on clinopyroxenes from the layers of picrite and associated basalt in this area. It is shown that the clinopyroxenes from the picrite are exclusively diopside, whereas those from the basalt are diopside and augite, suggesting a continuous variation in composition. The crystallization temperature, pressure and depth of clinopyroxene phenocrysts from the picrite and basalt were calculated on the basis of the clinopyroxene-melt equilibrium principle. The temperature of mineral crystallization in depth, which represents the condition of picritic magma chamber, is estimated to be in the range of 1350~1387℃, and the corresponding pressure and depth are 16.6~21.3 kPa and 55~70 km, respectively. In contrast, the depth of mineral crystallization in the shallow part, which represents the condition of basaltic magma chamber, is in the range of 37~41 km, indicating that the basaltic magma might have been an evolved magma formed by fractionation crystallization of primary magma under lower pressure. Moreover, the mineral chemistry of the clinopyroxenes shows that the volcanic rocks in this area belong to subalkaline series and were probably formed in an island arc setting.

Key words: clinopyroxene; mineral chemistry; picrite; Middle Devonian; Altay

收稿日期: 2006-11-01; 修订日期: 2006-12-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40572047); 国家305项目(2001BA609A-07-02); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-0728)

作者简介: 蔡劲宏(1965-),女,博士研究生,矿产普查与勘探专业,E-mail:jinhongc@tom.com。

新疆北部阿尔泰山南缘是中亚造山带的重要组成部分。最近,在阿尔泰山南缘中泥盆世北塔山组地层中发现了希勒克特哈腊苏斑岩铜矿,它可能是我国继东天山之后又一条潜在的斑岩铜矿带(杨文平等 2005),因而该地层的构造背景、岩浆演化及其与成矿的关系等方面引起了地学界的广泛关注(张招崇等 2006)。已有学者对该火山岩进行了地球化学研究(张招崇等 2005),但还未进行过矿物学的研究。

众所周知,单斜辉石是一种常见的造岩矿物,尤其是在基性岩浆岩中,其化学成分记录了岩浆演化及其物理化学条件等多方面的信息。但已有的单斜辉石研究主要集中在玄武岩、镁铁-超镁铁质岩体、蛇绿岩以及深部包体中(李达周等,1984;孙传敏,1994;朱云海等,1997;白志民,2000;谭清泉等,2002;魏启荣等,2003),而对苦橄岩中的单斜辉石涉及较少(Zhang *et al.*, 2006),尤其是岛弧中苦橄岩的单斜辉石还未见报道。本文试图通过对阿尔泰山南缘中泥盆世苦橄岩中单斜辉石化学成分的研究及其与玄武岩中单斜辉石的对比,分析岩浆系列与演化,估算岩浆作用的物理化学条件,探讨火山活动的构造背景。

1 地质背景和岩相学特征

研究区位于额尔齐斯-玛因鄂博断裂南侧,该断裂以南为准噶尔造山带,以北为阿尔泰山造山带。区内出露地层主要为下泥盆统托让格库都克组(D_{1t})中-基性火山岩和火山碎屑岩及沉积岩、中泥盆统北塔山组(D_{2b})中-基性火山岩及相应的火山碎屑岩夹少量沉积岩(局部出露少量苦橄岩)、中泥盆统蕴都喀拉组(D_{2y})中-基性火山岩及其碎屑岩与沉积岩互层、下石炭统姜巴斯套组(C_{1j})一套细碎屑沉积岩,另外,区内还分布有第三纪和第四纪地层。研究样品采自中泥盆统北塔山组的苦橄岩与玄武岩(图1)。

苦橄岩深绿色、黑绿色,斑状结构,斑晶含量约20%~30%,主要成分为橄榄石、辉石。橄榄石斑晶已蛇纹石化、绿泥石化或蚀变为绿帘石-阳起石-绿泥石集合体等,仅保留橄榄石的外形。辉石全部为单斜辉石,未见斜方辉石,单斜辉石斑晶呈短柱状,晶体大小不一,可见八边形断面,大多晶形完整,蚀变较弱,部分颗粒内的裂隙面两侧轻微绿泥石化。基质主要由微晶单斜辉石组成,部分为隐晶质。副矿物主要为磁铁矿并有少量金属硫化物。

玄武岩暗灰色,斑状结构,斑晶主要为斜长石、辉石,含量25%~30%,基质以微晶斜长石为主。

2 分析方法

单斜辉石的电子探针成分分析在中国科学院地质与地球物理研究所电子探针室利用法国CAM ECA-SX51型电子探针分析仪进行,加速电压15 kV,电子束流20 nA,电子束径1~2 μ m,标样均为由法国CAM ECA公司提供的国际标样,分析误差一般小于1%。单斜辉石电子探针分析结果列于表1。

3 单斜辉石的化学成分特征

按Morimoto等(1988)提出的辉石分类命名方案,本文研究的单斜辉石均属Ca-Mg-Fe辉石组,种属有普通辉石和透辉石两类(图2),其中苦橄岩中的单斜辉石端员组分范围为 W_o 46.61~49.23, En 45.75~50.11, Fs 1.25~7.20,其种属全部为透辉石,玄武岩中的单斜辉石为 W_o 44.21~47.39, En 45.04~45.66, Fs 7.57~10.13,其种属既有透辉石又有普通辉石,这一点和峨眉山苦橄岩以及共生的玄武岩中的单斜辉石成分相似。苦橄岩中单斜辉石 Al_2O_3 、 TiO_2 和 Na_2O 的质量分数变化范围分别为1.47%~4.08%, 0.13%~0.51%和0.00%~0.26%,而玄武岩中单斜辉石的相应值分别为2.44%~3.13%、0.41%~0.51%和0.31%~0.36%,基本上相似,均总体上表现为低Ti、Al、Na的特征,显示出岩浆为拉斑玄武岩系列的特征。这与中国东部大陆碱性玄武岩中单斜辉石高Ti和高Na特征有明显区别。然而与苦橄岩中的单斜辉石相比,玄武岩中的单斜辉石具有相对高的 TiO_2 ,表明玄武岩具有略向富碱方向演化的趋势。

4 讨论

4.1 单斜辉石成分演化与岩石系列

已有实验结果表明,单斜辉石中Si与Al反映了其母岩浆的性质,如Kushiro(1960)与Le Bas(1962)研究表明,火成岩中Si与Al有互不相容的作用, Si、Al可以作为确定母岩浆类型的标型元素。在单斜辉石的 SiO_2 - Al_2O_3 图解(图3)中,绝大多数单斜辉石位于亚碱性岩区,表明其母岩浆属于亚碱性系列。

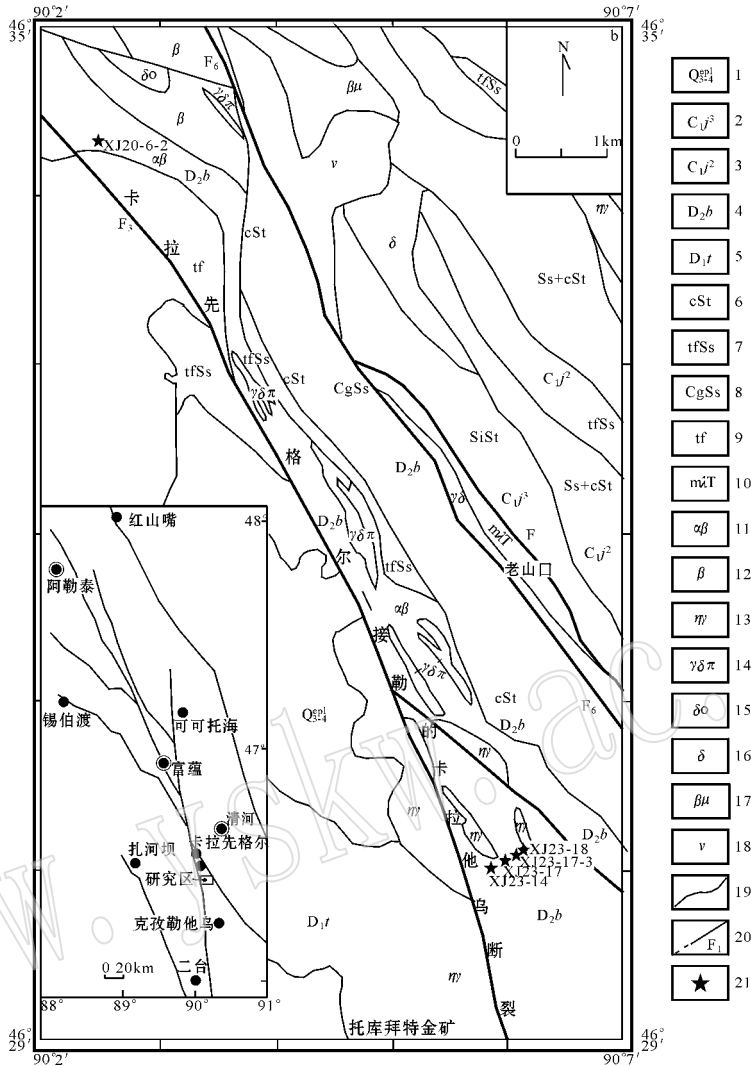


图 1 阿尔泰山南缘区域地质简图 [据新疆地质四队 (2004) 修订]

Fig. 1 Sketch geological map of the southern margin of Altay(modified from No. 4 Geological Party, Xinjiang Bureau of Geology and Mineral Resources, 2004)

- 1—坡积-洪积层 2—下石炭统姜巴斯套组第 3 段 3—下石炭统姜巴斯套组第 2 段 4—中泥盆统北塔山组 5—下泥盆统托让格库都克组 ;
- 6—含炭质粉砂岩 ;7—凝灰质砂岩 8—含砾粗砂岩 9—凝灰岩 ;10—变酸性凝灰岩 ;11—安山玄武岩 ;12—玄武岩 ;13—二长花岗岩 ;14—花岗岩闪长斑岩 ;15—片麻状花岗闪长岩 ;16—闪长岩 ;17—辉绿玢岩 ;18—辉长岩 ;19—地质界线 ;20—断层及编号 ;21—采样点
- 1—slope-diluvium ;2—3rd Member of Lower Carboniferous Jiangbasitao Formation ;3—2nd Member of Lower Carboniferous Jiangbasitao Formation ;4—Middle Devonian Beitashan Formation ;5—Lower Devonian Tuorangekuduku Formation ;6—carbon-bearing siltstone ;7—tuffaceous sandstone ;8—conglomeratic sandstone ;9—tuff ;10—meta-acid tuff ;11—andesite-basalt ;12—basalt ;13—adamellite ;14—granodiorite porphyry ;15—gneissic granodiorite ;16—diorite ;17—diabase ;18—gabbro ;19—geological boundary ;20—fault and its serial number ;21—sampling site

邱家骧等(1996)根据浙闽等地单斜辉石矿物化学资料,结合国外学者的研究成果发现:不同系列的单斜辉石中 W_o 、 En 、 Fs 投点的演化趋势不一致:在碱性系列岩石中,单斜辉石的 W_o (硅灰石端员)含量高,向贫 En (顽辉石端员)富 W_o 方向演化;在亚碱性系列中, W_o 含量低,向贫 W_o 富 Fs (铁辉石端

员)方向演化。因此本区苦橄岩和玄武岩中的单斜辉石成分由富钙向贫钙演化,也说明了其母岩浆为亚碱性系列,而非碱性系列。

4.2 单斜辉石-熔体平衡温度和压力

Putirka 等(2003)提出的有关镁铁质火山熔岩中辉石的地质温压计公式如下: $p = -88.3 + 2.82 \times$

① 新疆地质四队. 2004. 新疆清河县哈腊苏铜矿带 1:5 万区域地质图.

表 1 单斜辉石成分电子探针分析结果 ($w_B/\%$)及晶体化学系数 (n_B)和端员组分 ($x_B/\%$)

Table 1 Electron microprobe analyses of clinopyroxenes and crystal chemical coefficients and end-member components

| 岩石 样号 点号 | 苦橄岩 | | | | | | | | | | 玄武岩 | | |
|--------------------------------|---------|-------|-----------|-------|----------|-------|--------|---------|-------|--------|---------|-------|-------|
| | XJ23-17 | | XJ23-17-3 | | XJ20-6-2 | | | XJ23-14 | | | XJ23-18 | | |
| | 1 | 2 | 32 | 17 | 18 | 19 | 21 | 22 | 33 | 36 | 14 | 15 | 16 |
| SiO ₂ | 51.69 | 50.38 | 51.19 | 51.19 | 49.93 | 51.57 | 52.38 | 50.73 | 50.25 | 50.99 | 50.65 | 50.73 | 49.43 |
| TiO ₂ | 0.27 | 0.32 | 0.29 | 0.13 | 0.28 | 0.16 | 0.19 | 0.21 | 0.51 | 0.31 | 0.51 | 0.41 | 0.50 |
| Al ₂ O ₃ | 2.26 | 3.21 | 3.00 | 1.47 | 3.12 | 1.61 | 1.76 | 3.19 | 4.08 | 3.24 | 2.47 | 2.44 | 3.13 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.86 | 0.55 | 0.91 | 0.66 | 0.74 | 0.74 | 0.69 | 0.81 | 0.42 | 0.26 | 0.03 | 0.01 | 0.00 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.96 | 4.01 | 2.81 | 4.26 | 4.31 | 3.73 | 2.38 | 2.46 | 2.87 | 3.33 | 3.76 | 4.01 | 5.18 |
| MgO | 16.72 | 15.87 | 16.18 | 16.85 | 15.89 | 17.16 | 16.64 | 15.93 | 15.30 | 15.44 | 15.19 | 15.04 | 14.67 |
| CaO | 22.27 | 22.34 | 22.71 | 23.30 | 22.39 | 22.99 | 22.47 | 22.28 | 21.88 | 22.74 | 20.47 | 21.17 | 21.47 |
| MnO | 0.17 | 0.23 | 0.15 | 0.11 | 0.17 | 0.12 | 0.25 | 0.23 | 0.15 | 0.13 | 0.31 | 0.28 | 0.22 |
| FeO | 2.29 | 2.30 | 2.44 | 0.65 | 1.64 | 0.88 | 3.07 | 3.56 | 4.14 | 3.37 | 5.70 | 5.32 | 4.17 |
| NiO | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.05 | 0.02 | 0.01 |
| Na ₂ O | 0.26 | 0.23 | 0.20 | 0.13 | 0.23 | 0.15 | 0.22 | 0.00 | 0.20 | 0.24 | 0.36 | 0.31 | 0.32 |
| K ₂ O | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| Total | 99.78 | 99.44 | 99.89 | 98.80 | 98.73 | 99.16 | 100.05 | 99.45 | 99.81 | 100.06 | 99.50 | 99.76 | 99.11 |

以 6 个氧原子为基础计算的阳离子系数

| | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Si | 1.900 | 1.866 | 1.882 | 1.900 | 1.861 | 1.904 | 1.922 | 1.879 | 1.858 | 1.880 | 1.891 | 1.890 | 1.855 |
| Ti | 0.008 | 0.009 | 0.008 | 0.004 | 0.008 | 0.004 | 0.005 | 0.006 | 0.014 | 0.009 | 0.014 | 0.012 | 0.014 |
| Al | 0.098 | 0.140 | 0.130 | 0.064 | 0.137 | 0.070 | 0.076 | 0.139 | 0.178 | 0.141 | 0.109 | 0.107 | 0.139 |
| Cr | 0.025 | 0.016 | 0.027 | 0.019 | 0.022 | 0.022 | 0.020 | 0.024 | 0.012 | 0.008 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| Fe ³⁺ | 0.082 | 0.112 | 0.078 | 0.119 | 0.121 | 0.104 | 0.066 | 0.069 | 0.080 | 0.092 | 0.106 | 0.112 | 0.146 |
| Mg | 0.916 | 0.876 | 0.887 | 0.932 | 0.883 | 0.944 | 0.910 | 0.880 | 0.843 | 0.848 | 0.846 | 0.835 | 0.820 |
| Ca | 0.877 | 0.886 | 0.895 | 0.927 | 0.894 | 0.909 | 0.883 | 0.884 | 0.867 | 0.898 | 0.819 | 0.845 | 0.863 |
| Mn | 0.005 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.005 | 0.004 | 0.008 | 0.007 | 0.005 | 0.004 | 0.010 | 0.009 | 0.007 |
| Fe ²⁺ | 0.071 | 0.071 | 0.075 | 0.020 | 0.051 | 0.027 | 0.094 | 0.110 | 0.128 | 0.104 | 0.178 | 0.166 | 0.131 |
| Ni | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.001 | 0.000 |
| Na | 0.018 | 0.016 | 0.014 | 0.010 | 0.017 | 0.011 | 0.016 | 0.000 | 0.015 | 0.017 | 0.026 | 0.022 | 0.024 |
| K | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 |
| Total | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Wo | 46.93 | 48.15 | 48.06 | 49.23 | 48.78 | 48.26 | 46.61 | 47.01 | 47.04 | 48.42 | 44.21 | 45.55 | 47.39 |
| En | 49.01 | 47.59 | 47.65 | 49.52 | 48.14 | 50.11 | 48.02 | 46.75 | 45.76 | 45.75 | 45.66 | 45.03 | 45.04 |
| Fs | 4.06 | 4.26 | 4.29 | 1.25 | 3.09 | 1.64 | 5.37 | 6.24 | 7.20 | 5.83 | 10.13 | 9.42 | 7.57 |
| F | 7.65 | 8.21 | 8.26 | 2.46 | 6.01 | 3.16 | 10.06 | 11.78 | 13.60 | 11.31 | 18.16 | 17.29 | 14.39 |

Wo—硅灰石; En—顽火辉石; Fs—斜铁辉石; F=Fe²⁺+Mn²⁺(Fe²⁺+Mn²⁺+Mg²⁺)

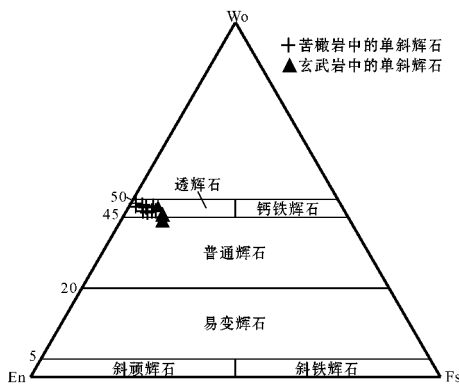


图 2 单斜辉石的分类命名(据 Morimoto 等, 1988)

Fig. 2 Wo-En-Fs classification diagram of clinopyroxenes (after Morimoto *et al.*, 1988)

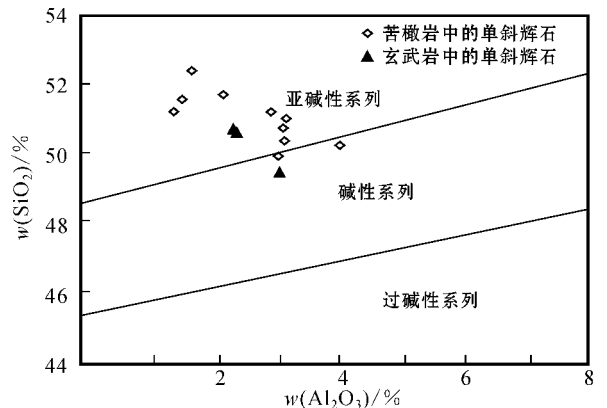


图 3 单斜辉石的 SiO₂-Al₂O₃ 图(据邱家骥等, 1996)

Fig. 3 SiO₂-Al₂O₃ diagram of clinopyroxenes (after Qiu Jiaying *et al.*, 1996)

$$10^{-3} T \ln [Jd^{cpx} / Na^{liq} Al^{liq} (Si^{liq})^2] + 2.19 \times 10^{-2} T - 25.1 \ln (Ca^{liq} Si^{liq}) + 7.03 (Mg^{liq}) + 12.4 \ln (Ca^{liq}) ,$$

$$10^4 / T = 4.60 - 4.37 \times 10^{-1} \ln (Jd^{cpx} Ca^{liq} Fm^{liq} / DiHd^{cpx} Na^{liq} Al^{liq}) - 6.54 \times 10^{-1} \ln (Mg^{liq}) - 3.26 \times 10^{-1} \ln (Na^{liq}) - 6.32 \times 10^{-3} [p - 0.92 \ln (Si^{liq})] +$$

$2.74 \times 10^{-1} \ln (Jd^{cpx})$, 其中 $Mg^{liq} = MgO^{liq} / (MgO^{liq} + FeO^{liq})$, $Fm^{liq} = FeO^{liq} + MgO^{liq}$, p 为压力, 单位为 kPa, T 为平衡温度, 单位为 K。由上式求得的本区单斜辉石-熔体平衡温度、压力见表 2、表 3。由表 3 可以看出, 苦橄岩中的单斜辉石斑晶形成温度变化

表 2 单斜辉石-熔体平衡温度、压力计算式中各变量值

Table 2 Variables in the model of equilibrium temperatures and pressures between clinopyroxenes

| 样品号 | 点号 | 岩石 | Jd ^{cpx} | DiHd ^{cpx} | Na ^{liq} | Al ^{liq} | Ca ^{liq} | Si ^{liq} | MgO ^{liq} | FeO ^{liq} | Mg ^{liq} | Fm ^{liq} |
|-----------|----|-----|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| XJ23-14 | 21 | 苦橄岩 | 0.006 | 0.832 | 0.029 | 0.101 | 0.097 | 0.457 | 0.224 | 0.078 | 0.741 | 0.302 |
| XJ23-14 | 33 | 苦橄岩 | 0.015 | 0.777 | 0.029 | 0.101 | 0.097 | 0.457 | 0.224 | 0.078 | 0.741 | 0.302 |
| XJ23-17 | 1 | 苦橄岩 | 0.008 | 0.812 | 0.021 | 0.089 | 0.085 | 0.466 | 0.242 | 0.078 | 0.756 | 0.320 |
| XJ23-14 | 36 | 苦橄岩 | 0.017 | 0.833 | 0.029 | 0.101 | 0.097 | 0.457 | 0.224 | 0.078 | 0.741 | 0.302 |
| XJ23-17-3 | 32 | 苦橄岩 | 0.014 | 0.814 | 0.021 | 0.089 | 0.085 | 0.466 | 0.242 | 0.078 | 0.756 | 0.320 |
| XJ23-17 | 2 | 苦橄岩 | 0.017 | 0.814 | 0.021 | 0.089 | 0.085 | 0.466 | 0.242 | 0.078 | 0.756 | 0.320 |
| XJ20-6-2 | 18 | 苦橄岩 | 0.014 | 0.818 | 0.008 | 0.096 | 0.089 | 0.458 | 0.237 | 0.087 | 0.732 | 0.324 |
| XJ23-18 | 15 | 玄武岩 | 0.012 | 0.803 | 0.037 | 0.180 | 0.037 | 0.504 | 0.074 | 0.078 | 0.488 | 0.151 |
| XJ23-18 | 16 | 玄武岩 | 0.013 | 0.808 | 0.037 | 0.180 | 0.037 | 0.504 | 0.074 | 0.078 | 0.488 | 0.151 |
| XJ23-18 | 14 | 玄武岩 | 0.014 | 0.776 | 0.037 | 0.180 | 0.037 | 0.504 | 0.074 | 0.078 | 0.488 | 0.151 |

表 3 单斜辉石-熔体平衡温度、压力

Table 3 Equilibrium temperatures and pressures between clinopyroxenes

| 样品号 | 点号 | 岩石名称 | 温度/℃ | 压力/kPa | 深度/km |
|-----------|----|------|------|--------|-------|
| XJ23-14 | 21 | 苦橄岩 | 1304 | 11.4 | 38 |
| XJ23-14 | 33 | 苦橄岩 | 1350 | 16.6 | 55 |
| XJ23-17 | 1 | 苦橄岩 | 1355 | 17 | 56 |
| XJ23-14 | 36 | 苦橄岩 | 1355 | 17.3 | 57 |
| XJ23-17-3 | 32 | 苦橄岩 | 1379 | 20.4 | 67 |
| XJ23-17 | 2 | 苦橄岩 | 1387 | 21.3 | 70 |
| XJ20-6-2 | 18 | 苦橄岩 | 1401 | 24.9 | 82 |
| XJ23-18 | 15 | 玄武岩 | 1077 | 11.3 | 37 |
| XJ23-18 | 16 | 玄武岩 | 1079 | 11.7 | 39 |
| XJ23-18 | 14 | 玄武岩 | 1086 | 12.3 | 41 |

注: 1kPa ≈ 3.3 km。

范围(除 1 个最低点 1304℃ 和 1 个最高点 1401℃ 外)主要集中在 1350~1387℃, 压力变化范围主要集中在 16.6~21.3 kPa 相应的深度从 55~70 km, 暗示着苦橄岩岩浆房的深度大约在 55~70 km 之间。玄武岩中单斜辉石斑晶结晶的深度较苦橄岩中的单斜辉石斑晶浅, 为 37~41 km 暗示着玄武岩是相对低压条件下分离结晶后形成的演化岩浆, 这与其地球化学成分的演化趋势一致(张招崇等, 2005)。

4.3 单斜辉石与构造环境

Nisbet 和 Pearce (1977) 在研究了不同构造环境火山岩中单斜辉石的成分特点后提出, 由单斜辉石的 TiO₂、MnO、Na₂O 含量或 F₁、F₂ 参数可以判断源

岩生成的构造环境, 并在大量数据多元统计基础上划分了构造环境的判别图。由图 4 可见, 本区单斜辉石的成分投点, 全部落在岛弧玄武岩范围, 与岩石化学和微量元素所指示的结论(张招崇等, 2005)是吻合的。该区构造环境应为岛弧环境。

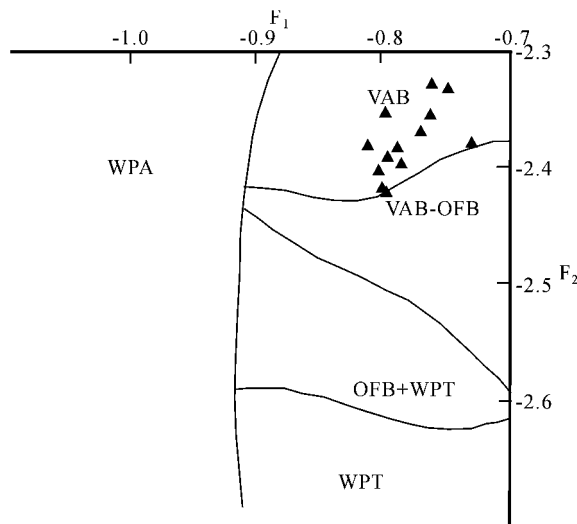


图 4 单斜辉石 F₁ - F₂ 图解(据 Nisbet 和 Pearce, 1977)

Fig. 4 F₁ versus F₂ diagram of clinopyroxene (from Nisbet and Pearce, 1977)

WPT—板内拉斑玄武岩; WPA—板内碱性玄武岩; VAB—岛弧玄武岩; OFB—洋底玄武岩

WPT—intraplate tholeiitic basalt; WPA—intraplate alkali basalt; VAB—volcanic arc basalt; OFB—ocean floor basalt

5 结论

阿尔泰造山带南缘中泥盆世苦橄岩和玄武岩中的单斜辉石在成分上略有区别,苦橄岩中为透辉石,玄武岩中为透辉石和普通辉石两种类型;其母岩浆属亚碱性系列;由单斜辉石-熔体平衡温压计计算苦橄岩中的单斜辉石斑晶形成温度变化范围主要集中在 $1350\sim 1387^{\circ}\text{C}$,压力变化范围主要集中在 $16.6\sim 21.3\text{ kPa}$,相应的深度从 $55\sim 70\text{ km}$,暗示着苦橄岩岩浆房的深度大约在 $55\sim 70\text{ km}$ 之间。而玄武岩中单斜辉石斑晶结晶的深度较苦橄岩要浅,为 $37\sim 41\text{ km}$,暗示着玄武岩是相对低压条件下分离结晶后形成的演化岩浆。此外,无论是苦橄岩还是玄武岩,其单斜辉石的矿物化学均指示了母岩浆形成的构造背景非板块为岛弧环境。

致谢 野外工作过程中得到了新疆地矿局第四地质大队的大力帮助,论文成文后承蒙张招崇教授审阅,并提出宝贵的修改意见,在此一并表示衷心的感谢!

References

- Bai Zhimin. 2000. Mineral chemistry and genetic significance of clinopyroxenes from the Mesozoic volcanic rocks in Western Hills of Beijing [J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 19(2):174~184 (in Chinese with English abstract).
- Kushiro I. 1960. Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks [J]. *American Journal of Science* (258) 548~554.
- Le Bas M.J. 1962. The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage [J]. *American Journal of Science* 260 267~288.
- Li Dazhou, Wang Fengge, Zhang Qi, et al. 1984. Chemical Characteristics of Clinopyroxenes of Volcanic Rocks from the Ophiolite at Bainang, Tibet [J]. *Scientia Geologica Sinica* (2):149~164 (in Chinese with English abstract).
- Morimoto N. 1988. Nomenclature of pyroxenes [J]. *Mineralogical Magazine* 52:535~550.
- Nisbet E.G. and Pearce J.A. 1977. Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1977 63(2):149~160.
- Putirka K.D., Mikaelian H., Ryerson F., et al. 2003. New clinopyroxene-liquid thermobarometer for mafic, evolved, and volatile-bearing lava compositions, with applications to lavas from Tibet and Snake River Plain, Idaho [J]. *American Mineralogist*, 88:1542~1554.
- Qiu Jiaying and Liao Qun'an. 1996. Petrogenesis and Cpx Mineral Chemistry of Cenozoic Basalts from Zhejiang and Fujian of Eastern China [J]. *Volcanology & Mineral Resources* (1~2):16~25. (in Chinese with English abstract).
- Sun Chuanmin. 1994. Genetic Mineralogy of Pyroxenes from the Yanbian Proterozoic Ophiolites (Sichuan, China) and its Geotectonic Im-

plication [J]. *Journal of Mineral and Petrology*, 14(3):1~15 (in Chinese with English abstract).

- Tan Qingquan and Chen Xiaoming. 2002. Clinopyroxene in the Basalt from Okinawa Trough and its Petrological Significance [J]. *Geological Journal of China Universities*, 8(4):416~422 (in Chinese with English abstract).
- Wei Qirong, Wang Jianghai and Xie Guanghong. 2003. The Chemical Composition Characteristics of clinopyroxenes from Spinel-Lherzolite Xenoliths in Maguan area, Eastern Tibet and its Significance [J]. *Earth Science Frontiers*, 10(3):87~92 (in Chinese with English abstract).
- Yang Wenping, Zhou Gang, Zhang Zhaochong, et al. 2005. Discovery of the Xileketehalsu porphyry copper deposit on the southern margin of the Altay copper metallogenic belt [J]. *Geology in China*, 32(1):107~114 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhaochong, Mahoney J., Mao Jingwen, et al. 2006. Geochemistry of picritic and associated basalt flows of the western Emeishan flood basalt province, China [J]. *Journal of Petrology* 47(10):1997~2019.
- Zhang Zhaochong, Yan Shenghao, Chen Bailin, et al. 2005. Middle Devonian Chen Bailin, et al. Picrites of South Margin of Altay Orogenic Belt and Implications for Tectonic Setting and Petrogenesis [J]. *Earth Science*, 30(3):289~297 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhaochong, Yan Shenghao, Chen Bailin, et al. 2006. Middle Devonian. Sr, Nd and O Isotope Geochemistry of the Mafic-Ultramafic Complexes in the South Margin of Altay Orogenic Belt and Discussion on Their Sources [J]. *Geological Review*, 52(1):38~42 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Yunhai, Chen Nensong, Wang Guochan, et al. 1997. The Chemical Compositional Characteristics and Petrological Significance of Clinopyroxenes and Amphiboles in Ophiolite in the Center of Eastern Kunlun Orogenic Belt [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 22(4):364~368 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 白志民. 2000. 北京西山中生代火山岩中单斜辉石矿物化学及成因意义 [J]. *岩石矿物学杂志*, 19(2):174~184.
- 李达周, 王凤阁, 张旗, 等. 1984. 西藏白朗地区蛇绿岩火山岩中单斜辉石的化学特征 [J]. *地质科学* (2):149~164.
- Morimoto N., Fabries J., Ferguson A.K., et al. 1988. 辉石命名法 [J]. *矿物学报*, 8(4):289~305.
- 邱家骧, 廖群安. 1996. 浙闽新生代玄武岩的岩石成因学与 Cpx 矿物化学 [J]. *火山地质与矿产* (1~2):16~25.
- 孙传敏. 1994. 四川盐边元古代蛇绿岩中辉石的成因矿物学及其大地构造意义 [J]. *矿物岩石*, 14(3):1~15.
- 杨文平, 周刚, 张招崇, 等. 2005. 阿尔泰铜矿带南缘希勒克特哈腊苏斑岩铜矿的发现及其意义 [J]. *中国地质*, 32(1):107~114.
- 谭清泉, 陈小明. 2002. 冲绳海槽玄武岩中单斜辉石的特征及其意义 [J]. *高校地质学报*, 8(4):416~422.
- 魏启荣, 王江海, 解广轰. 2003. 青藏东缘马关尖晶石二辉橄岩包体中单斜辉石的成分特征及其意义 [J]. *地学前缘*, 10(3):87~92.
- 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 等. 2005. 阿尔泰造山带南缘中泥盆世苦橄岩及其大地构造和岩石学意义 [J]. *地球科学*, 30(3):289~297.
- 张招崇, 闫升好, 陈柏林, 等. 2006. 阿尔泰造山带南缘镁铁质-超镁铁质杂岩体的 Sr, Nd, O 同位素地球化学及其源区特征探讨 [J]. *地质论评*, 52(1):38~42.
- 朱云海, 陈能松, 王国灿, 等. 1997. 东昆仑蛇绿岩中单斜辉石、角闪石矿物成分特征及其岩石学意义 [J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 22(4):364~368.