

新疆西昆仑苏巴什蛇绿岩形成时代 及其构造意义

温志刚¹, 胡成林², 王洪强¹, 李文军¹, 聂志刚¹, 王嘉伟¹, 杜尧³

(1. 陕西地矿研究院有限公司, 陕西 咸阳 712000; 2. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264003;
3. 西安科技大学, 陕西 西安 710054)

摘要:新疆西昆仑出露多条蛇绿混杂岩带, 苏巴什蛇绿混杂岩带出露于新疆于田县西昆仑玉龙喀什—阿克苏一带, 笔者通过对苏巴什蛇绿岩带南带中 2 个辉长岩样品进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 获得了较准确的年龄数据(352.7 ± 3.0) Ma 和 (261.9 ± 2.2) Ma。确定了该蛇绿岩的形成时代为早石炭世—中二叠世, 结合混杂岩带中与之共生的沉积岩和相关的边缘地质体综合分析, 基本可以确定该蛇绿岩带应是华力西期洋壳残片, 与木孜塔格峰、阿尼玛卿等地残存的蛇绿岩的形成时代一致, 其共同组成麻扎—康西瓦—木孜塔格构造带, 相当于青藏高原第四缝合带。

关键词: 锆石 U-Pb 测年; 构造意义; 苏巴什蛇绿岩; 西昆仑

中图分类号: P59; P595

文献标志码: A

文章编号: 1009-6248(2019)04-0014-14

Formation Age of Subashi Ophiolitic in West Kunlun, Xinjiang and Its Tectonic Implication

WEN Zhigang¹, HU Chenglin², WANG Hongqiang¹, LI Wenjun¹, NIE Zhigang¹,
WANG Jiawei¹, DU Yao³

(1. Shaanxi Geology and Mineral Research Institute Co., Ltd. Xianyang 712000, Shaanxi, China;
2. Shandong Provincial No. 3 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Yantai 264003, Shandong, China;
3. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Several ophiolitic melange belts are exposed in West Kunlun, Xinjiang, in which the Subashi ophiolitic melange belt is occurred in Yurungkash-Aksu area in Yutian County. 2 gabbro samples from the southern part of Subashi ophiolite have been dated by LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and obtain the age data of ($352.7 + 3$) Ma and ($261.9 + 2.2$) Ma. It is determined that this ophiolite was formed in early Carboniferous to Middle Permian. After comprehensively analyzing the sedimentary rocks and related marginal geological bodies associated with the mélangé belt, it is basically determined that the Subashi ophiolite belt should be a remnant of the valerian oceanic crust, which is consistent with the formation age of the ophiolite in Muztagh and Anemaqen. The ophiolite belts mentioned above constitute the Mazha-Kangxiwar-Muztagh tectonic belt, which is equivalent to the fourth suture zone of the Qingha-Tibetan Plateau.

Keywords: Zircon U-Pb dating; Tectonic significance; Subashi ophiolitic; West Kunlun

收稿日期: 2019-04-01; 修回日期: 2019-08-05

基金项目: 新疆地勘基金中心“新疆于田县硝尔库勒一带 1:5 万区域矿产地质调查项目”(K17-1-XJ07), “新疆西昆仑温泉—独尖山一带 1:5 万区域地质调查项目”(K15-1-LQ20), “新疆西昆仑山普鲁一带 1:5 万区域地质调查项目”(K16-1-LQ04)

作者简介: 温志刚(1984-), 男, 陕西西安人, 地质矿产高级工程师, 从事地质矿产调查工作。E-mail: wenzhigang2006@163.com

苏巴什蛇绿混杂岩带出露于新疆于田县西昆仑玉龙喀什—阿克苏一带,20世纪60~70年代,新疆地质工作者在该地发现了零星出露的超基性岩体;20世纪80年代初,西藏地质局区队首次提出这些超基性体可能代表了一个蛇绿岩带(西藏地质矿产局,1987),命名为玉龙喀什—阿克苏蛇绿岩带,并认为系青海阿尼玛卿、新疆阿奇克库湖蛇绿岩带的西延。姜春发认为它属西昆北蛇绿岩带,时代为石炭纪(邓万明,1989,1991;姜春发等,1992,2000)。中国科学院青藏高原综合科学考察队首次提出了苏巴什蛇绿岩的名称(中国科学院青藏高原综合科学考察队,2000),认为它属昆仑山最北的一条蛇绿岩带,与库地、盖孜蛇绿岩对比连接,构成青藏高原第五缝合带(潘裕生,1994),时代则划归加里东期(震旦纪至奥陶纪)。计文化,韩芳林等首次对其组成、结构、时代、演化等方面进行了较为全面的研究(计文化等,2001,2004;韩芳林等,2004),由于极端的自然条件所限,前人对苏巴什蛇绿岩投入的工作有限,本次工作首次在苏巴什蛇绿岩中的辉长岩中采集了同位素样品,对样品的锆石采用 LA-ICP-MS 法 U-Pb 同位素测年,所获得的年龄数据对探讨苏巴什的形成时代及构造演化具有重要意义。

1 区域地质概况

研究区位于新疆于田县西昆仑阿什库勒盆地—阿克苏卡子一带,大地构造位置跨昆仑造山带与昆南—羌北缝合系,北与中昆仑陆块相接,南与甜水海南羌塘陆块相邻(青藏高原综合研究项目组,2005)。该区出露地层主要有古元古界双雁山片岩(Pt_1s),为一套苏巴什蛇绿岩带中所夹持的一套高绿片岩相—角闪岩相的片岩、片麻岩及斜长角闪岩;长城系浅粒岩组(Ch^{ht})呈断块出露于阿克苏卡子南一带,岩性以浅粒岩为主,夹堇青石—二云石英片岩和石榴子石角闪斜长变粒岩等;震旦系柳什塔格群(Zl)为一套钙碱性基性火山岩;石炭系塔斯坎萨依组(C_1t)为一套浅变质的石英细砂岩夹少量绢云母板岩;石炭系龙门沟组($C_{1-2}l$)岩性以细晶灰岩为主夹少量千枚岩;二叠系再勒勒克组($P_{1-2}z$)为一套海相灰岩和陆相碎屑岩交互沉积;二叠系卡拉孔木组(P_3k)为

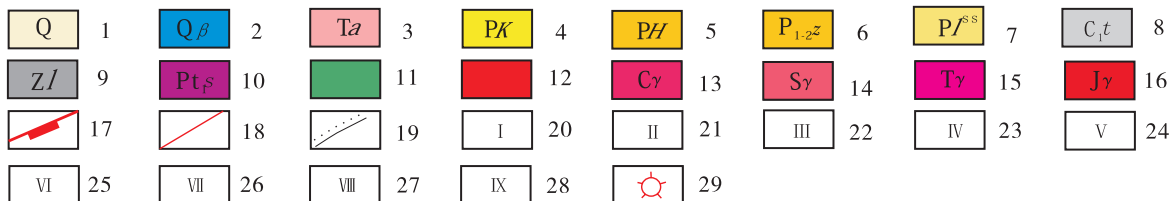
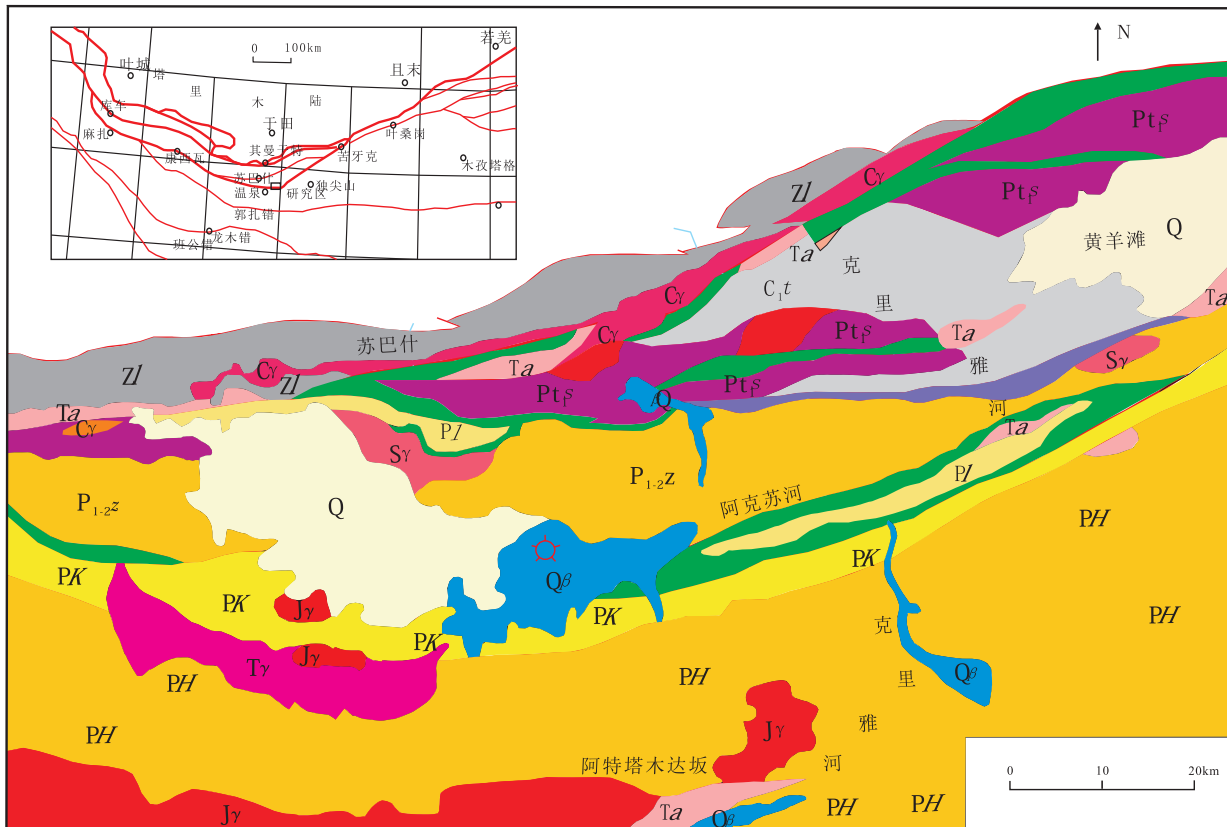
砂岩、粉砂岩为主夹少量凝灰岩、泥质灰岩等;二叠系黄羊岭岩群(PH)为一套浅变质碎屑岩夹少量火山碎屑岩;二叠系硫磺达坂砂岩(P_2^{ss})呈楔状体出露于苏巴什蛇绿混杂岩带中。三叠系阿他木帕下组(Ta)出露于阿特塔木达坂一带,为一套紫红色磨拉石建造。侵入岩有前寒武纪变质深成侵入体、早古生代侵入岩、晚古生代侵入岩和中生代侵入岩。前寒武纪和早古生代侵入岩与古生代地层及蛇绿岩多呈断层接触,晚古生代侵入岩和中生代侵入岩与前寒武纪地层、古生代地层及蛇绿岩多呈侵入接触(陕西省地质调查院,2003)(图1)。

2 蛇绿岩特征

苏巴什蛇绿混杂岩带总体上可分北、中、南3个带,带内不同岩性单元的蛇绿岩、古老变质块体、台地相沉积块体及增生楔复理石块体以韧性逆冲断层相互接触,这些块体规模较大。本次因工作范围重点对苏巴什蛇绿岩南带进行了研究,研究区苏巴什蛇绿混杂岩带倾向南,出露不连续,长约20 km,宽1~6 km,出露面积约84 km²,呈近东西至北东东向延伸,与昆仑山脉大致平行。各台地相及增生楔块体被蛇绿混杂岩所环绕,形成蛇绿构造混杂岩带(图2)。

苏巴什蛇绿混杂岩带北侧与古近系阿尔塔什组呈不整合叠覆,南侧与二叠系卡拉勒塔什群火山岩呈断层接触。在蛇绿岩带内发育大量台地相碳酸盐岩岩块或岩片,蛇绿岩组分主要由蛇纹岩、橄榄岩、辉长岩、辉绿岩、玄武岩等组成,不同岩性单元以韧性剪切带接触,它们呈岩块或岩片产出,并与外来岩块混杂在一起。蛇绿岩各岩性和相关深海沉积岩石比较齐全,但均被强烈肢解破坏,未见一个层序完整的剖面,蛇绿岩不同岩性的出露有一定的方向性和规律性,但不明显。

通过剖面(图3)可以看出,蛇绿混杂岩带中的岩块和岩片呈“网结状”特征(图4)，“网眼”多为蛇绿岩各种岩性单元的超基性岩、辉长岩、(放射虫)硅质岩、灰岩等,大的数百米,小的仅数米,“网绳”多为陆源碎屑岩及蛇绿岩组分所组成的基质,且多已糜棱岩化;带内构造变形较强,构造面倾向南,显示向北逆冲运动。



1. 第四系;2. 第四纪火山岩;3. 阿塔木帕下组;4. 卡拉勒塔什群;5. 黄羊岭群;6. 再依勒克组;7. 硫磺达坂砂岩;8. 塔斯坎萨依组;
 9. 柳什塔格群;10. 双雁山片岩;11. 苏巴什蛇绿岩带;12. 前寒武纪岩体;13. 石炭纪岩体;14. 志留纪岩体;15. 三叠纪岩体;16. 侏罗纪岩体;
 17. 板块缝合带界线;18. 一般断层;19. 角度不整合;20. 塔里木陆块;21. 铁克里克斯隆带;22. 北昆仑早古生代岩浆弧带;23. 中昆仑微陆块;24. 南昆仑晚古生代残弧带;25. 巴颜喀拉晚古生代—中生代边缘裂陷盆地;26. 甜水海—北羌塘陆块群;
 27. 喀拉昆仑—南羌塘陆块;28. 明铁盖地块;29. 第四纪火山口

图 1 新疆西昆仑苏巴什一带地质略图(据计文化等, 2018 修改)

Fig. 1 Xinjiang Subashi area geological map

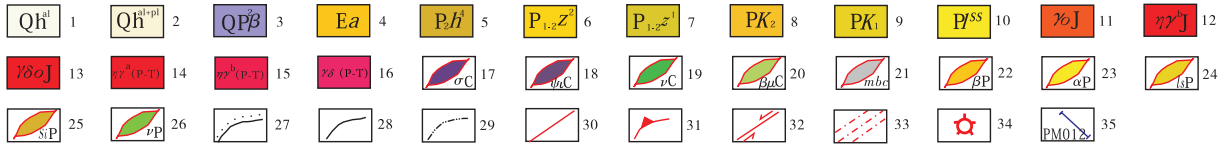
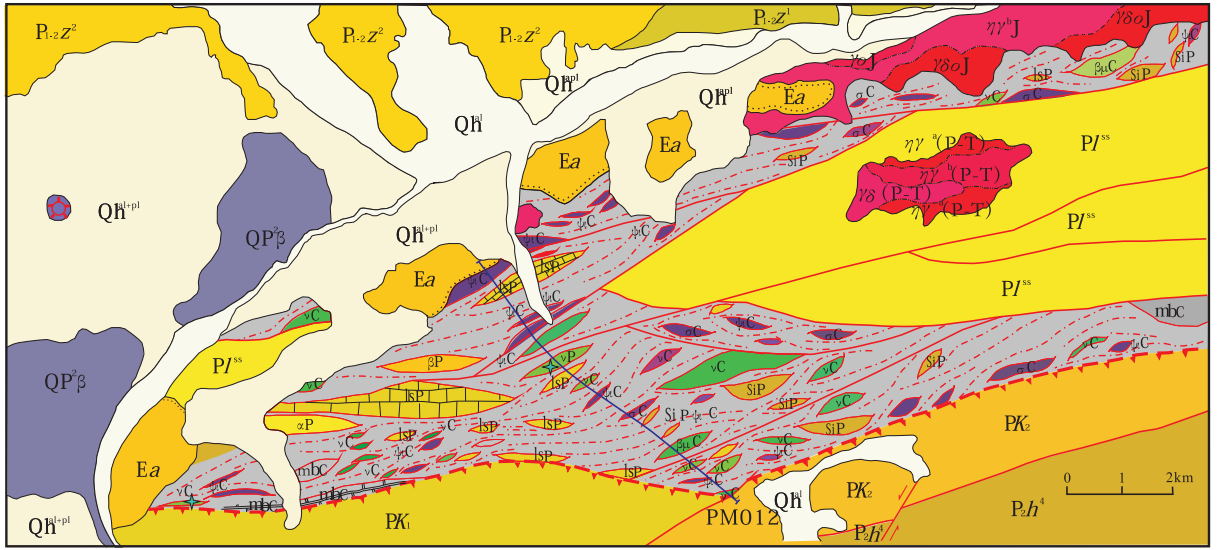
3 岩石学特征

苏巴什蛇绿混杂岩的岩石单元较齐全,超基性岩、基性堆晶杂岩、基性火山岩及其相关的硅质岩、沉积岩等都可见出露,均被强烈肢解破坏未见完整的层序。

3.1 超基性岩类

黑色强蛇纹石化橄榄岩:原岩为超基性岩,蚀变

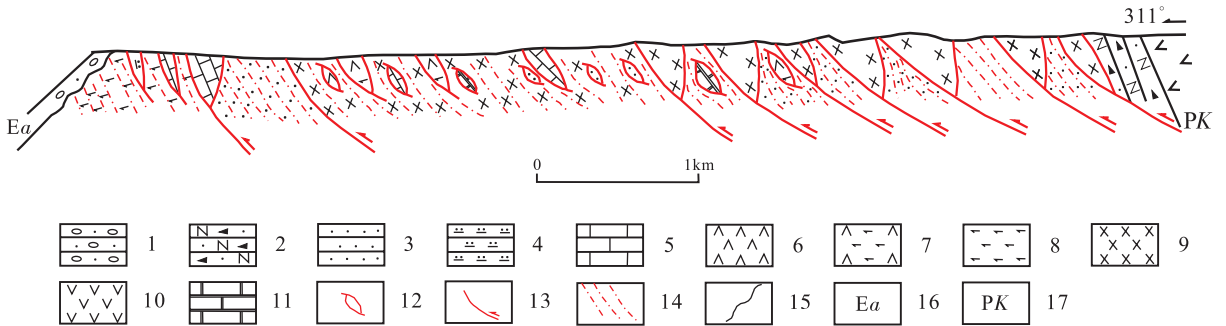
强烈,>80%的原岩组分已被蛇纹石(Srp)、磁铁矿(Mag)蚀变取代,残留少量橄榄石(Ol),具蚀变交代结构。蛇纹石呈显微纤状集合体,蚀变交代原矿物,残留原矿物轮廓,判断原矿物为橄榄石等,含量约占 77%。磁铁矿呈粒状,他形晶,<0.35~0.02 mm,呈断续细脉状分布,含量约占 3%。橄榄石呈粒状,多裂纹,粒度<1.2~0.02 mm,不均匀分布,含量约占 20%(图 5a,图 5b)。



1. 第四系河床; 2. 第四系冲洪积层; 3. 第四系火山岩; 4. 古近系阿尔塔什组; 5. 上二叠统黄羊岭组第四段; 6. 二叠系再依勒克组第二段; 7. 二叠系再依勒克组第一段; 8. 二叠系卡拉勒塔什群第二岩性组; 9. 二叠系卡拉勒塔什群第一岩性组; 10. 侏罗纪斜长花岗岩; 11. 侏罗纪中粒二长花岗岩; 12. 侏罗纪英云闪长岩; 13. 二叠纪、三叠纪中粒二长花岗岩; 14. 二叠、三叠纪细粒二长花岗岩; 15. 石炭纪橄榄岩岩片; 16. 石炭纪辉石岩岩片; 17. 石炭纪蛇纹岩岩片; 18. 石炭纪辉长岩岩片; 19. 石炭纪辉绿岩岩片; 20. 石炭纪大理岩岩片; 21. 二叠纪玄武岩岩片; 22. 二叠纪安山岩岩片; 23. 二叠纪灰岩岩片; 24. 二叠纪硅质岩岩片; 25. 二叠纪辉长岩岩片; 26. 角度不整合界线; 27. 整合或侵入界线; 28. 涌动界线; 29. 一般断层; 30. 板块俯冲带; 31. 走滑断裂; 32. 韧性剪切带; 33. 火山口; 34. 剖面位置; 35. 同位素年龄位置

图 2 西昆仑阿克苏卡子一带地质图

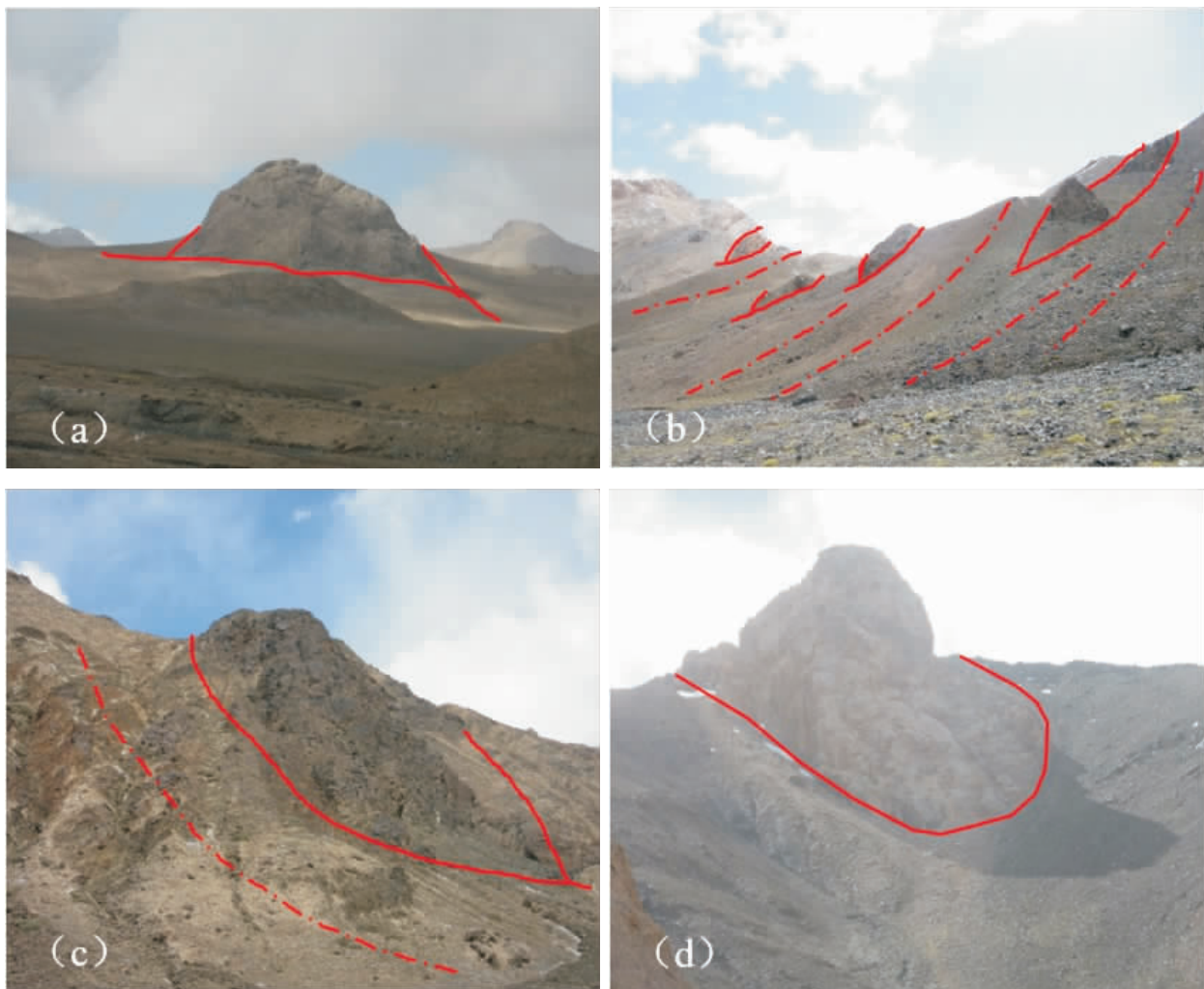
Fig. 2 Akesu check post of west Kunlun geological map



1. 砂砾岩; 2. 长石岩屑砂岩; 3. 砂岩; 4. 硅质岩; 5. 灰岩; 6. 橄榄岩; 7. 橄榄辉石岩; 8. 辉石岩; 9. 辉长岩; 10. 安山岩; 11. 大理岩; 12. 构造岩块(片); 13. 逆断层; 14. 韧性剪切带; 15. 角度不整合界线; 16. 古近系阿尔塔什组; 17. 二叠系卡拉勒塔什群

图 3 PM012 构造剖面图

Fig. 3 PM012 structural section map



a. 辉长岩岩块特征; b. 辉长岩岩块(片)特征; c. 橄榄辉长岩岩块特征; d. 灰岩岩块特征

图4 蛇绿岩野外宏观特征图

Fig. 4 The macroscopic characteristics of ophiolite

灰黑色蛇纹石化岩:原岩完全蚀变,现成分100%被蛇纹石(Srp,为主)、磁铁矿蚀变取代。蛇纹石:含量>99%,纤维状集合体,蚀变交代原矿物(估计为橄榄石),无任何原矿物组分残留,形成交代网环状结构;磁铁矿:含量<1%,呈粉末状充填在被交代矿物的边缘或裂隙中。

3.2 基性杂岩

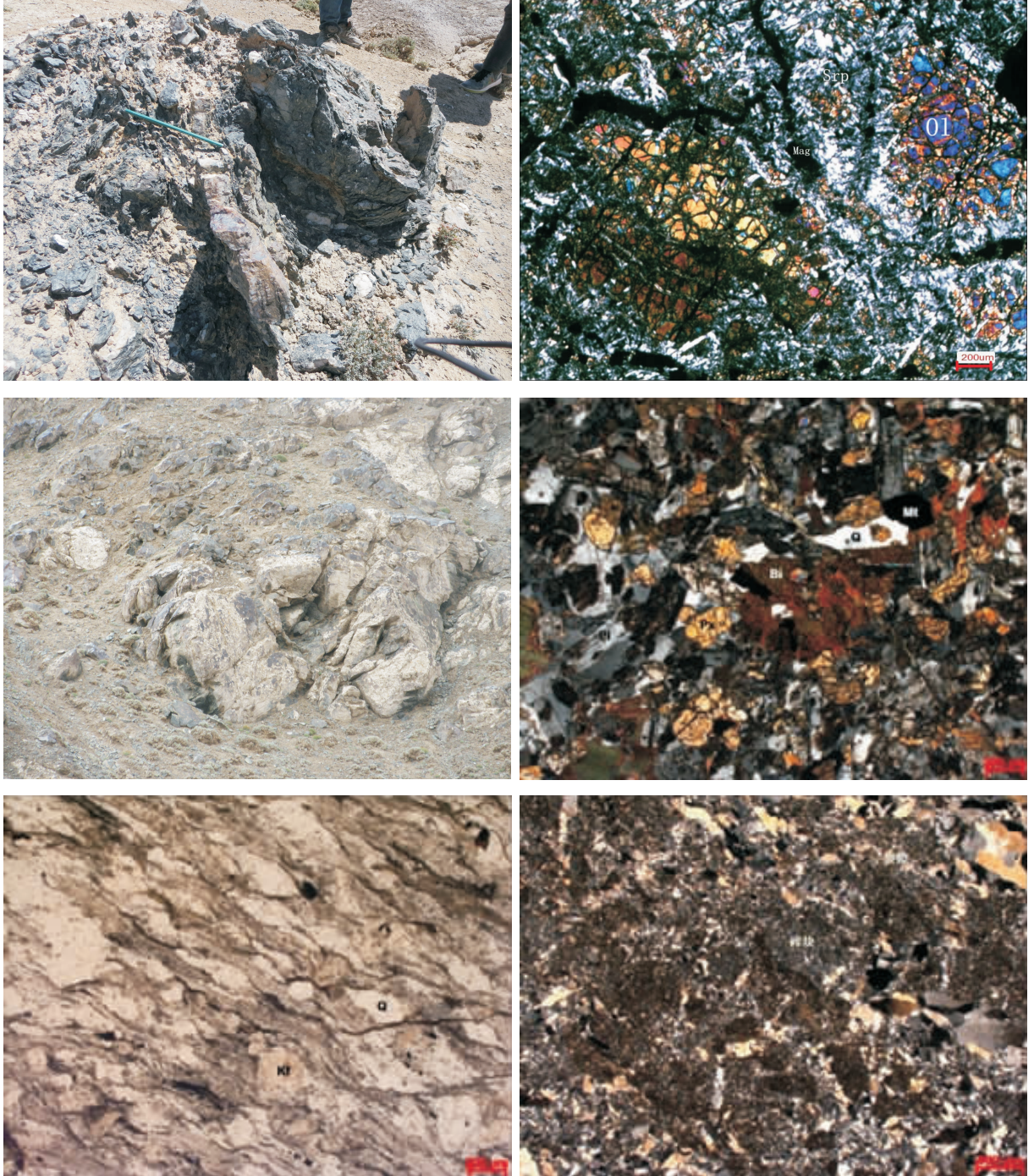
灰绿色强蚀变辉长辉绿岩:岩石成分由辉石、斜长石等组成,蚀变程度强烈,但结构基本保留。斜长石自形程度稍好,呈半自形晶,粒度<2.5~0.8 mm;辉石晶形相当或稍差,粒度<5.0~0.8 mm,在部分较大辉石(Py)颗粒中包含若干个板条状斜长石晶体,形成辉长辉绿结构。斜长石具强烈-完全程度泥

化、绢云母(Ser)化;辉石具中等-强烈程度次闪石化。含量约斜长石为45%、辉石为55%。裂隙若干条,交错分布,宽度<0.3 mm,其内充填石英(为主)、方解石等。局部偶见金属矿物,他形晶,<0.12~0.01 mm,聚集散布,微量(图5c)。

灰色细晶辉长岩:岩石由斜长石、辉石、角闪石、石英、黑云母和磁铁矿等组成,具辉长结构。斜长石(Pl):半自形板状,<1.76~0.1 mm,部分斜长石具强烈隐晶帘石化和绢云母化,含量为53%。辉石(Px):半自形柱状、粒状,<1.54~0.1 mm,与斜长石、石英等矿物紧密嵌生,含量为33%。角闪石:半自形粒状、柱状,<0.48~0.06 mm,与石英、斜长石等矿物紧密嵌生,含量

为 1%。石英(Q):他形粒状, $1.72 \sim 0.04 \text{ mm}$, 与斜长石、辉石等矿物紧密嵌生, 含量为 8%。黑云母(Bi):半自形片状, $1.9 \sim 0.1 \text{ mm}$, 与斜长

石、辉石等矿物紧密嵌生, 含量为 4%。磁铁矿(Mt):他形粒状, $0.66 \sim 0.06 \text{ mm}$, 不均匀分布, 含量为 1%(图 5d)。



a. 蛇纹石化橄榄岩露头; b. 橄榄岩镜下特征; c. 辉长岩露头; d. 辉长岩镜下特征; e. 糜棱岩镜下特征; f. 硅质岩镜下特征; Srp. 蛇纹石; Mag. 磁铁矿; Ol. 橄榄石; Px. 辉石; Pl. 斜长石; Q. 石英; Bi. 黑云母; Ser. 绢云母; Kf. 钾长石

图 5 蛇绿岩典型岩石露头及镜下特征图

Fig. 5 The Features of outcrop and mirror of Typical ophiolite rocks

3.3 火山熔岩

气孔状玄武岩:岩石由斑晶和基质组成,粒径 < 1.1 mm,具斑状结构。岩石发育气孔构造,个别被方解石所充填。斑晶含量为1%。辉石(Px):半自形柱状, $< 0.75 \sim 0.5$ mm,部分辉石具简单双晶,含量为1%;斜长石:半自形板状, $< 1.1 \sim 0.5$ mm,具轻微的碳酸盐化,斑晶斜长石上分布黑色铁质的麻点,具熔蚀麻点结构,微量。基质含量为99%,由微晶斜长石(Pl)(约占91%)、辉石(约占3%)、橄榄石(约占2%)和磁铁矿(约占3%)等组成,较自形条状斜长石微晶构成的不规则格架中充填细小的辉石、橄榄石和磁铁矿等,构成间粒结构,基质中橄榄石具轻微的伊丁石化。

3.4 相关沉积岩

深灰色长英质糜棱岩:原岩遭受强烈的糜棱化作用,现由碎斑和基质组成。碎斑含量为35%,大小在 $< 1 \sim 0.2$ mm,多呈眼球状、透镜状,两端圆化,沿长轴略具定向,孤立分布在基质中;成分由斜长石、石英(Q)和钾长石(Kf)等组成。斜长石具轻微绢云母化,石英波状消光明显,钾长石具轻微泥化现象。石英碎斑边缘见细小石英的亚颗粒和重结晶的石英集合体。基质含量为65%,由细小的长英质矿物集合体和细粒化的长石、石英组成,平行定向围绕碎斑分布,其分布方向与碎斑长轴定向方向一致,形成特征的流动构造(图5e)。

浅灰绿色碎裂硅质岩:岩石主要由 $< 0.03 \sim 0.004$ mm的微晶硅质矿物组成,局部见少量 $< 0.06 \sim 0.03$ mm的粉晶和 $< 0.25 \sim 0.06$ mm的细晶石英,不均匀分布,矿物颗粒间紧密嵌生。岩石受力破碎,具多条裂隙,岩石被破碎成大小不一的棱角状碎块,碎块间充填紧密嵌生的粒状石英。其中,碎基含量约为20%,具碎裂结构(图5f)。

4 岩石地球化学特征

本次研究在蛇绿岩中采取了10件样品,岩石化学特征显示辉长岩及玄武岩成分均较稳定, K_2O 含

量均小于1%, Al_2O_3 含量均大于10%, TiO_2 含量均小于2%(表1)。3个辉长岩及4个玄武岩微量元素蛛网图中大部分呈平坦型曲线,相对富集大离子亲石元素和高场强元素,呈略右倾曲线,10个样品均显示Nb具明显的亏损,显示出与俯冲带相关信息(图6a)。

辉长岩及玄武岩稀土总量较N-MORB型蛇绿岩偏高,轻重稀土分馏不明显,稀土总量略有亏损或略有富集,REE分布曲线多呈平坦型或LREE略富集型,具岛弧玄武岩(IAT)曲线特征(图6b)。10个样品中2个辉长岩样品显示Eu的正异常,说明残留有大量斜长石,与野外堆晶辉长岩特征一致;辉长岩及玄武岩的稀土总量差异不明显,反映其没有经历充分的分异结晶作用,野外特征主体为块状构造,缺少典型的层状辉长岩。以上稀土特点进一步说明该辉长岩与玄武岩的地球化学特征主体与E-MORB型蛇绿岩特征相似,来源于富集型地幔。

5 构造环境

研究区出露的蛇绿岩岩片呈透镜状沿构造线分布,缺少深海沉积的泥岩及放射虫硅质岩,与火山碎屑岩及陆源碎屑岩所组成的围岩皆呈断层接触,围岩未见高温蚀变作用,形成环境为近大陆边缘环境。苏巴什蛇绿混杂岩带中的长英质糜棱岩和碎裂岩发生强烈的变形和扭折,说明它们是同构造期产物,是洋壳在俯冲过程中被刮削形成的残片。

苏巴什蛇绿岩在Hf/3-Th-Ta判别图中(图7a),4个辉长岩表现E-MORB特征,1个辉长岩及2个玄武岩表现N-MORB特征;在2Nb-Zr/4-Y判别图中(图7b),辉长岩样品主要表现出火山弧玄武岩、N-MORB特征,玄武岩主要表现出板内拉斑玄武岩特征,在 $TiO_2-MnO \times 10 - P_2O_5 \times 10$ 图解中(图7c)岩石主要表现为岛弧拉斑玄武岩及MORB特征。结合岩石稀土元素配分曲线特征,说明苏巴什蛇绿混杂岩属于俯冲带型(SSZ),并形成于岛弧环境。

表1 蛇绿岩主量元素、微量元素及稀土元素含量表
Tab. 1 Major elements, trace elements and REE elements abundances of the ophiolitic

岩性	样号	辉长岩						玄武岩			
		D0101/7	D4005/1	D4005/13	D2076/7	D9003/7	D9003/8	D2307/1	D2309/1	D6016/3-1	D6016/3-2
主量元素 ($\omega\text{B}/10^{-2}$)	SiO ₂	51.91	52.31	48.62	50.60	47.20	45.89	50.72	50.14	50.51	46.59
	TiO ₂	0.79	0.46	0.83	1.16	1.83	1.76	0.68	1.38	1.51	1.51
	Al ₂ O ₃	11.94	15.03	17.07	17.03	15.26	15.26	17.23	11.83	14.81	14.48
	Fe ₂ O ₃	4.53	1.31	1.02	9.47	9.71	11.25	2.59	5.23	7.76	7.22
	FeO	7.18	6.68	7.98	5.61	7.14	7.32	4.68	5.53	4.83	7.12
	MnO	0.15	0.16	0.15	0.25	0.22	0.15	0.14	0.19	0.17	0.18
	MgO	7.93	6.89	5.31	4.85	6.11	5.23	4.66	7.88	6.93	6.43
	CaO	8.18	10.03	10.45	7.97	7.94	8.52	4.35	11.08	9.92	12.87
	Na ₂ O	3.44	2.51	2.55	2.72	3.95	4.22	5.86	2.20	3.25	3.24
	K ₂ O	0.15	0.24	0.18	0.12	0.32	0.15	0.50	0.77	0.13	0.17
P ₂ O ₅	0.09	0.02	0.02	0.22	0.33	0.26	0.16	0.21	0.20	0.19	
微量元素 ($\omega\text{B}/10^{-6}$)	Sr	200.2	213.7	231.5	431.17	296.14	386.66	349.2	421.3	233.29	297.88
	Rb	2.85	6.63	3.41	5.84	7.01	3.30	18.3	31.2	3.67	4.69
	U	0.16	0.1	0.15	1.27	0.50	0.41	1.18	1.21	0.48	0.44
	Th	0.45	0.44	0.27	2.40	0.56	0.48	2.81	1.63	0.71	0.59
	Ba	32.8	56.3	45.8	58.88	58.63	33.22	141.5	112.1	60.58	57.98
	Nb	3.42	1.15	1.51	14.36	10.29	7.30	6.06	21.0	10.87	8.30
	Ta	0.3	0.23	0.31	0.74	0.59	0.43	0.40	1.14	0.66	0.51
	Zr	165.5	27.3	30.3	40.66	92.62	65.51	96.0	97.6	275.46	260.46
	Hf	4.7	1	1.5	1.02	3.17	2.96	3.14	2.09	6.15	5.89
	Ni	63	35.8	30.7	34.39	53.22	48.26	66.3	231.6	232.97	236.25
Cr	93.4	75.3	53.7	66.70	145.45	117.34	38.1	450.1	327.69	348.47	
Li	6.76	8.91	8.19	31.51	5.54	3.70	35.7	19.0	10.13	8.31	
Pb	0.84	1.84	2.4	20.45	2.10	2.25	5.25	6.57	4.24	4.55	
稀土元素 ($\omega\text{B}/10^{-6}$)	La	5.16	1.83	2.52	19.57	14.63	9.23	10.3	15.0	6.49	6.84
	Ce	11.8	3.69	4.86	34.95	33.62	24.85	21.6	30.3	15.23	16.33
	Pr	2.13	0.58	0.85	4.28	4.78	3.74	2.66	3.70	2.14	2.33
	Nd	10.8	2.65	4.51	18.52	23.15	19.62	10.2	15.1	10.74	11.70
	Sm	3.54	0.86	1.56	3.98	6.24	5.61	2.37	3.38	2.95	3.24
	Eu	1.32	0.68	1.09	1.21	1.87	2.01	0.83	1.18	1.08	1.14
	Gd	4.5	1.08	2.04	3.49	6.34	5.64	2.45	3.99	2.97	3.24
	Tb	0.95	0.24	0.43	0.64	1.25	1.12	0.37	0.65	0.63	0.68
	Dy	6.14	1.47	2.63	3.74	8.05	7.17	2.11	3.68	4.06	5.11
	Ho	1.47	0.37	0.64	0.76	1.65	1.48	0.46	0.80	0.86	0.90
	Er	4.16	0.91	2.07	2.17	4.66	4.09	1.25	2.24	2.44	2.52
	Tm	0.7	0.17	0.3	0.36	0.76	0.67	0.19	0.32	0.41	0.43
	Yb	3.93	0.96	1.68	2.15	4.58	3.98	1.15	1.93	2.54	2.63
Lu	0.6	0.15	0.27	0.33	0.73	0.63	0.18	0.29	0.42	0.44	
Y	34.9	8.64	15.0	20.51	45.22	39.72	11.2	19.1	23.64	24.15	

注:测试单位:D0101/7、D4005/1、D4005/13、D2307/1、D2309/1 样品为核工业新疆理化分析测试中心;D2076/7、D9003/7、D9003/8、D6016/3-1、D6016/3-2 样品为宝鸡西北有色七一一总队有限公司测试中心。

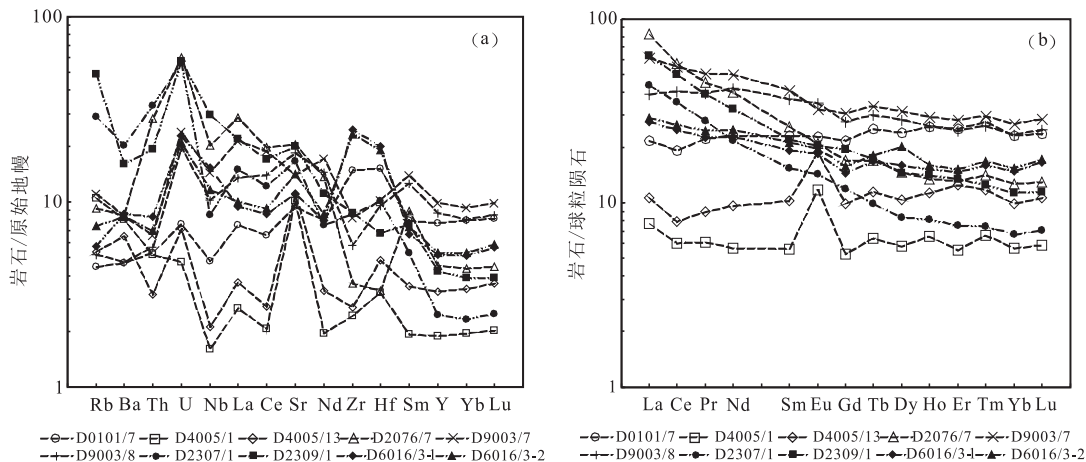
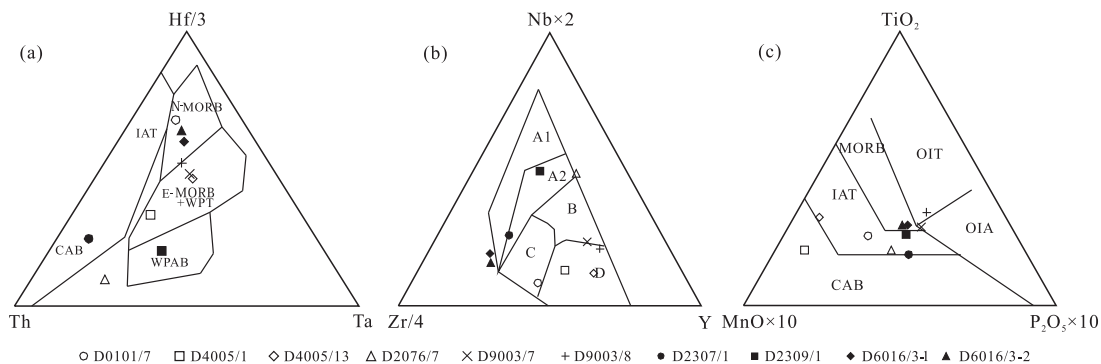


图6 (a)基性岩微量元素蛛网图及(b)稀土元素配分曲线图(SUN S S, 1989)

Fig. 6 (a)Trace element spider gram and (b)REE distribution of the ophiolitic



N-MORB. 洋脊拉斑玄武岩; E-MORB+WPT. 富集洋脊玄武岩; WPAB. 板内碱性玄武岩; A1+A2. 板内碱性玄武岩; A2+C. 板内拉斑玄武岩; B-P型 MORB; D-N型 MORB; C+D. 火山弧玄武岩; OIT. 洋岛拉斑玄武岩; OIA. 洋岛碱性玄武岩; MORB. 洋中脊玄武岩; IAT. 岛弧拉斑玄武岩; CAB. 钙碱性玄武岩

图7 (a)基性岩 Hf/3-Th-Ta(WOOD D A, 1979), (b) 2Nb-Zr/4-Y(MESCHEDA M, 1986), (c) TiO₂-MnO×10-P₂O₅×10(MULLEN E D, 1983) 构造环境判别图

Fig. 7 (a)Tectonic setting discrimination diagram Hf/3-Th-Ta, (b) 2Nb-Zr/4-Y, (c) TiO₂-MnO×10-P₂O₅×10

6 同位素测年

本次在苏巴什蛇绿岩中的辉长岩岩块中采取了2个样品进行U-Pb同位素测年,样品的粉碎、分选、制靶及阴极发光照相在南京宏创地质勘查技术服务有限公司进行,粉碎后的样品经过筛、粗淘,采用磁选和电磁选,去除磁电部分,再经酒精精淘及高频介电分离,在双目镜下挑选出形态较为完整、无裂痕、无包裹体的锆石作为测定对象,将分选出来的锆石通过双目体视镜置于载玻片上,然后选取合适的模具注入配比好的环氧树脂固定,待其凝固后用砂纸、金刚石悬浮液进行抛光处理,之后对样品进行反射光及阴极发光照相,选取品型较完整具有环带的柱

状锆石,利用LA-ICP-MS分析完成。激光测年在中国科学院大陆碰撞与高原升降重点实验室进行。激光剥蚀系统为UP193FX型193nmArF准分子系统,ICP-MS为X-Series。激光剥蚀过程中采用氦气作载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入ICP之前通过一个T型接头混合。在等离子体中心气流(Ar+He)中加入了少量氮气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精密度(HU et al., 2008)。每个时间分辨分析数据包括大约20~30s的空白信号和50s的样品信号。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及U-Th-Pb同位素比值和年龄计算采用软件ICPMSDataCal(LIU et al., 2008, 2010)完成。分析结果见表2。

表 2 辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析表
Tab. 2 U-Pb composition of zircons from gabbroic measured by LA-ICP-MS

分析点	元素含量 (10^{-6})										同位素比值										同位素年龄 (Ma)							
	Pb	²³² Th	²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	σ	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U
1	26	81	98	0.054 21	0.005 07	0.418 76	0.038 46	0.056 03	0.001 38	0.021 11	0.000 8	380	163	355	28	351	8											
2	18	38	71	0.059 02	0.007 42	0.459 19	0.056 63	0.056 43	0.001 74	0.020 76	0.001 3	568	218	384	39	354	11											
4	30	97	110	0.052 83	0.006 18	0.410 53	0.047 21	0.056 37	0.001 6	0.022 89	0.000 97	322	207	349	34	354	10											
6	155	810	495	0.051 57	0.002 82	0.399 12	0.021 59	0.056 14	0.000 99	0.021 16	0.000 44	266	92	341	16	352	6											
8	285	219	1185	0.053 69	0.001 92	0.414 87	0.014 82	0.056 04	0.000 84	0.010 76	0.000 47	358	54	352	11	351	5											
9	15	26	57	0.048 36	0.013 03	0.374 99	0.099 28	0.056 24	0.003 16	0.027 1	0.003 16	117	379	323	73	353	19											
10	101	586	329	0.055 24	0.004 42	0.430 53	0.033 78	0.056 53	0.001 28	0.019 69	0.000 54	422	135	364	24	354	8											
12	98	227	367	0.055 92	0.002 62	0.438 2	0.020 33	0.056 84	0.000 95	0.022 54	0.000 61	449	73	369	14	356	6											
13	54	273	185	0.047 45	0.004 91	0.362 24	0.036 84	0.055 37	0.001 07	0.017 59	0.000 32	72	223	314	27	347	7											
14	37	96	136	0.058 63	0.005 8	0.456 85	0.044 18	0.056 52	0.001 52	0.023 42	0.001 09	553	165	382	31	354	9											
16	57	138	211	0.051 99	0.003 63	0.403 44	0.027 75	0.056 28	0.001 14	0.023 35	0.000 84	285	120	344	20	353	7											
17	54	90	204	0.056 7	0.003 82	0.441 44	0.029 21	0.056 47	0.001 14	0.025 06	0.001 03	480	111	371	21	354	7											
19	39	84	141	0.056 63	0.014 03	0.430 68	0.104 6	0.055 16	0.002 68	0.017 15	0.001 09	477	478	364	74	346	16											
20	29	56	102	0.060 07	0.008 68	0.464 62	0.065 54	0.056 1	0.002 1	0.022 3	0.001 76	606	245	387	45	352	13											
23	46	111	168	0.051 15	0.006 86	0.4	0.052 57	0.056 72	0.001 87	0.025 28	0.001 56	248	235	342	38	356	11											
24	117	494	365	0.050 69	0.004 26	0.396 33	0.032 74	0.056 71	0.001 3	0.023 14	0.000 95	227	145	339	24	356	8											
2	59	89	310	0.052 8	0.003 54	0.301 19	0.019 91	0.041 38	0.000 82	0.018 44	0.000 85	320	114	267	16	261	5											
3	21	42	111	0.049 6	0.005 18	0.281 58	0.028 96	0.041 19	0.001 02	0.018 15	0.001 01	176	185	252	23	260	6											
4	20	27	109	0.054 98	0.006 04	0.315 7	0.034 06	0.041 66	0.001 11	0.017 2	0.001 35	411	194	279	26	263	7											
6	18	111	85	0.052 68	0.009 55	0.296 21	0.052 89	0.040 78	0.001 26	0.012 79	0.000 33	315	370	263	41	258	8											
8	61	191	321	0.050 47	0.002 37	0.290 72	0.013 57	0.041 79	0.000 69	0.015 11	0.000 43	217	77	259	11	264	4											
9	30	120	156	0.056 29	0.003 1	0.322 93	0.017 62	0.041 62	0.000 73	0.011 95	0.000 38	464	90	284	14	263	5											
10	46	207	231	0.052 21	0.002 66	0.301 23	0.015 22	0.041 86	0.000 7	0.014 75	0.000 39	295	85	267	12	264	4											
11	14	113	63	0.055 81	0.007 04	0.318 74	0.039 45	0.041 43	0.001 26	0.015 82	0.000 6	445	222	281	30	262	8											
14	14	28	71	0.046 05	0.006 6	0.255 68	0.036 03	0.040 27	0.001 06	0.013 02	0.001 42	261	231	231	29	255	7											
D4005-13	17	26	64	0.052 55	0.002 78	0.301 86	0.015 82	0.041 67	0.000 71	0.013 73	0.000 51	309	88	268	12	263	4											
18	44	141	236	0.051 32	0.002 1	0.296	0.012 12	0.041 84	0.000 65	0.012 88	0.000 38	255	65	263	9	264	4											
19	38	124	202	0.050 01	0.003 2	0.285 12	0.018 01	0.041 35	0.000 76	0.014 96	0.000 53	195	110	255	14	261	5											
21	79	576	347	0.050 22	0.003 72	0.288 96	0.021 05	0.041 74	0.000 87	0.016 29	0.000 5	205	127	258	17	264	5											
22	40	153	209	0.046 05	0.003 18	0.259 72	0.017 26	0.040 91	0.000 76	0.013 36	0.000 49	152	152	234	14	258	5											
23	45	96	249	0.050 2	0.003 39	0.286 03	0.019 03	0.041 33	0.000 81	0.015 55	0.000 71	204	116	255	15	261	5											
27	39	170	206	0.047 09	0.002 2	0.270 42	0.012 58	0.041 65	0.000 66	0.014 11	0.000 44	54	72	243	10	263	4											
28	33	59	183	0.054 64	0.002 97	0.311 73	0.016 76	0.041 38	0.000 72	0.013 09	0.000 64	398	89	276	13	261	4											
29	35	119	182	0.047 37	0.003 55	0.271 37	0.020 04	0.041 55	0.000 84	0.014 62	0.000 65	68	125	244	16	262	5											
30	67	336	345	0.052 61	0.002 04	0.299 02	0.011 58	0.041 22	0.000 63	0.014 07	0.000 43	312	60	266	9	260	4											

注:测试单位:中国科学院大陆碰撞与高原隆升重点实验室。

D0101-7 辉长岩中的锆石干净、形态以长柱状为主,粒径多在 $90\sim 150\ \mu\text{m}$ (图 8)。

D4005-13 辉长岩中的锆石以短柱状为主,

粒径多在 $60\sim 90\ \mu\text{m}$ (图 9)。阴极发光图像显示锆石岩浆韵律环带清晰,为典型的岩浆结晶锆石。

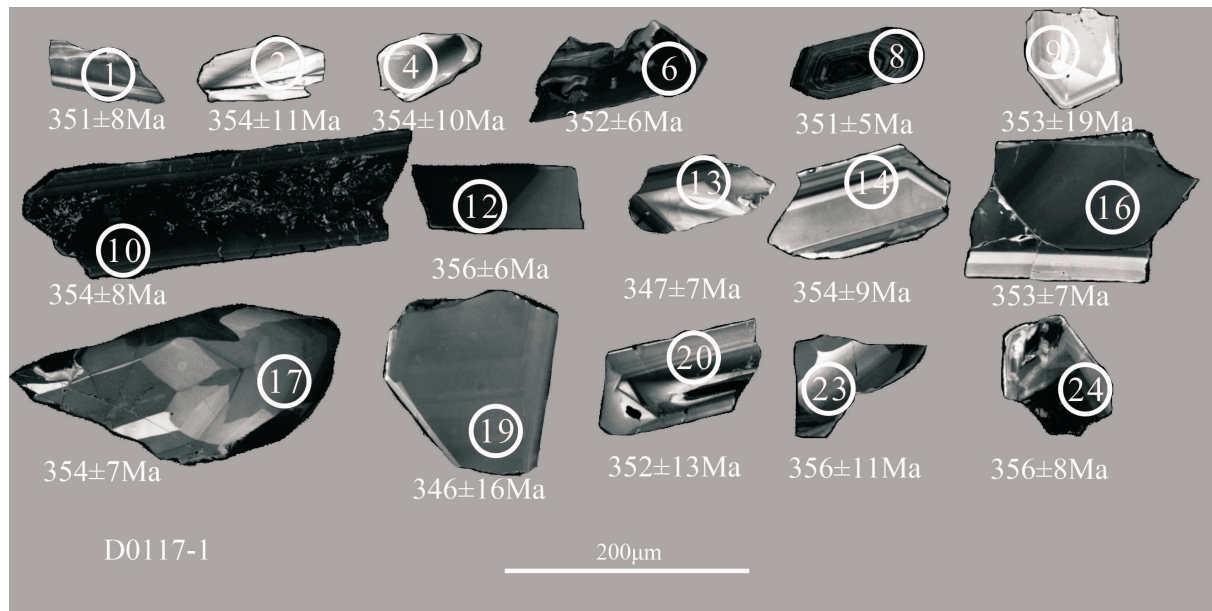


图 8 辉长岩(D0101-7)部分锆石阴极发光图像

Fig. 8 Cathodoluminescence images of zircon from the pyroxenite(D0101-7)

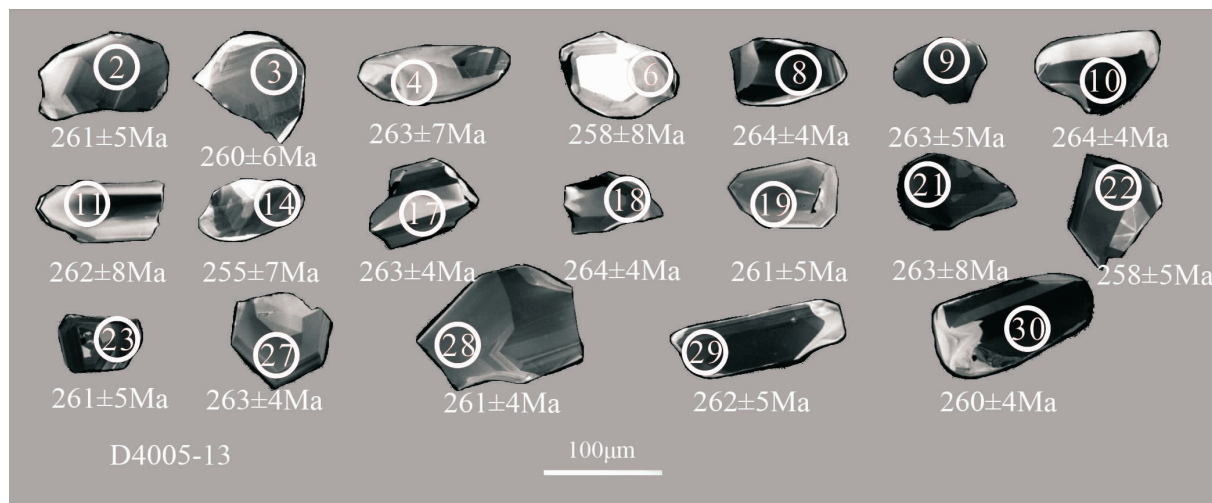


图 9 辉长岩(D4005-13)部分锆石阴极发光图像

Fig. 9 Cathodoluminescence images of zircon from the pyroxenite(D4005-13)

在 U-Pb 谐和曲线图中(图 10),D0101-7 辉长岩样品中 16 个数据分析点基本位于谐和线上一个较小的区域, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄变化于 $346\sim 356\ \text{Ma}$,加权平均值为 $(352.7\pm 3.0)\ \text{Ma}$ (结晶年龄为早石炭世)。

在 U-Pb 谐和曲线图中(图 11),D4005-13 辉长岩样品中 19 个数据分析点多位于谐和线上一个较小的区域, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄变化于 $255\sim 264\ \text{Ma}$ 之间,加权平均值为 $(261.9\pm 2.2)\ \text{Ma}$ (结晶年龄为中二叠世)。

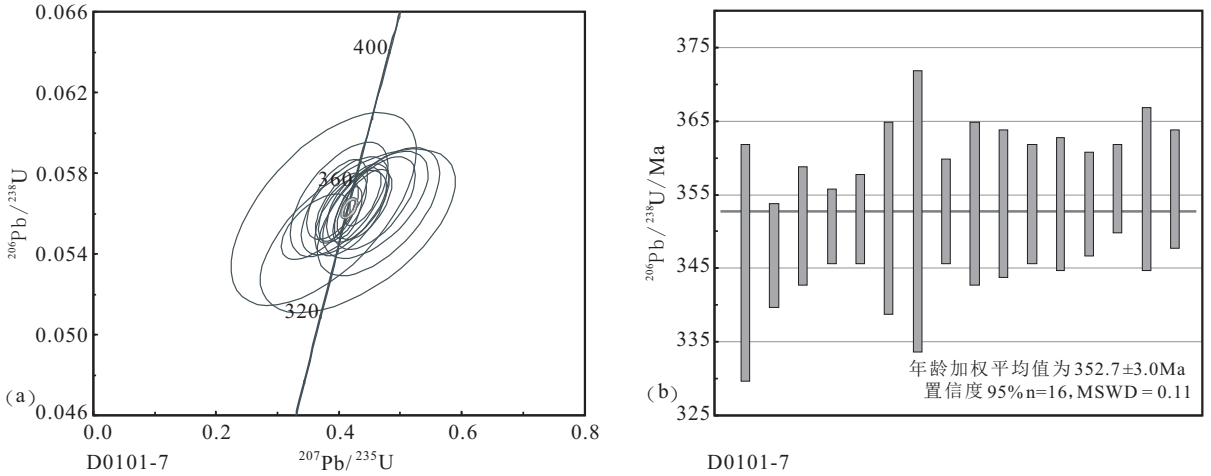


图 10 (a)辉长岩(D0101-7)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和图和(b)²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值图

Fig. 10 (a)Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram and (b)weighted mean ²⁰⁶Pb/²³⁸U age of the gabbro(D0101-7)

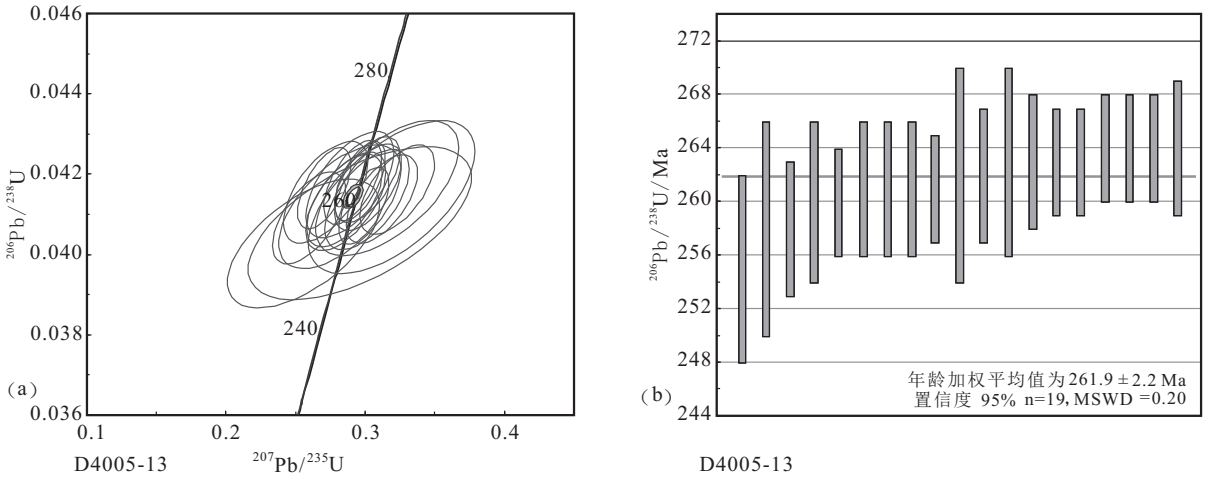


图 11 (a)辉长岩(D4005-13)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 谐和图和(b)²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄加权平均值图

Fig. 11 (a)Zircon LA-ICP-MS U-Pb concordia diagram and (b)weighted mean ²⁰⁶Pb/²³⁸U age of the gabbro(D4005-13)

7 构造意义

前人将苏巴什蛇绿岩带认为是库地蛇绿岩带的组成部分(张旗等,2001),形成时代为早古生代(肖序常等,2003,2004),同时向东连接其曼于特蛇绿混杂岩带(韩芳林等,2002),为原特提斯洋的残留(潘裕生,1990)。

蛇绿岩成因及产出构造环境应考虑与之共生的沉积岩和相关的其他边缘地质体(李荣社等,2007)。韩芳林等在苏巴什蛇绿岩北带硅质岩岩块中采收放射虫:*Albaillella asymmetrica* Ishiga et Imoto, *Albail-*

lella sp. 等,经鉴定时代为中二叠世。在苏巴什蛇绿岩中带硅质岩岩块中采收放射虫:*Albaillella* cf. *Cartalla* Oymiston, *A. deflandrei* Gouymelon 等,经鉴定时代为早石炭世。在苏巴什蛇绿岩带南带硅质岩中采收放射虫,经鉴定时代为早二叠世(陕西地调院,2002)。

此外,在苏巴什蛇绿混杂岩中带混入块体中的台地相生物灰岩、礁灰岩中见早石炭世晚期珊瑚及腕足化石。同时其边缘陆岛沉积盖层也为石炭纪一中二叠世,中二叠世晚期在陆岛上出现了岛弧型火山岩,地层沉积特征反映石炭纪为扩张机制,二叠纪转入收缩背景。说明了苏巴什蛇绿岩所代表的

洋盆在二叠纪开始发生俯冲消减,中二叠世末两侧陆块发生碰撞,洋盆消失。

本次通过对苏巴什蛇绿岩带南带中2件辉长岩样品进行LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素测年,获得了较可靠的年龄数据(352.7 ± 3) Ma和(261.9 ± 2.2) Ma。结合混杂岩带中硅质岩岩块的放射虫年龄及其所卷入的外来岩块和沉积盖层综合分析,说明了苏巴什蛇绿岩的时代为早石炭世—中二叠世,基本可以确定该蛇绿岩带应是华力西期洋壳残片。

根据苏巴什蛇绿岩地质特征,结合其形成时代综合分析,苏巴什蛇绿岩的形成时代为早石炭世—中二叠世,与木孜塔格峰、阿尼玛卿等地残存的蛇绿岩的形成时代一致(朱云海等,1999),其共同组成麻扎-康西瓦-木孜塔格构造带,相当于青藏高原第四缝合带的位置(潘裕生,1994)。

8 结论

(1)通过对苏巴什蛇绿岩中辉长岩岩块进行LA-ICP-MS锆石U-Pb同位素定年,获得可靠的年龄数据(352.7 ± 3) Ma和(261.9 ± 2.2) Ma,为早石炭世—中二叠世。

(2)结合同位素测年、苏巴什蛇绿岩内岩片组分及外围地层资料分析,苏巴什蛇绿岩同木孜塔格峰、阿尼玛卿等地残存的蛇绿岩共同组成麻扎-康西瓦-木孜塔格构造带。

致谢:野外工作期间得到了陕西地矿院有限公司张占武、赵长缨、牛广智、李海平,山东省第三地质矿产勘查院常洪华、张丕建的大力支持和帮助;野外地质工作及成文过程中得到陕西地矿院有限公司杨永成教授级高工的悉心指导,同时参加项目野外工作的还有孟德明、吴亚恒、董海军、赵小服、赵文辉、亚森·伊敏等同志,在此一并表示感谢!

参考文献(References):

邓万明. 喀喇昆仑—西昆仑地区基性—超基性岩初步考察[J]. 自然资源学报, 1989, 4(3): 204-211.

DENG Wanming. A preliminary study of BASIC-ULTRA-BASIC rocks in the Karakorum-West Kunlun region [J]. Journal of Natural Resources, 1989, 4(3): 204-211.

邓万明. 西昆仑蛇绿岩研究的新进展[A]. 见:中国西部特提斯构造演化及成矿作用[C]. 北京: 电子工业出版社, 1991.

DENG Wanming. New progress in the study of Ophiolites in West Kunlun [A]. See Tethys tectonic evolution and mineralization in Western China [C]. Beijing: Electronic Science and Technology Press, 1991.

韩芳林, 崔建堂, 计文化, 等. 西昆仑其曼于特蛇绿混杂岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 2002, 21(8-9): 573-578.

HAN Fanglin, CUI Jiantang, JI Wenhua, et al. Discovery of Qimanyute OPHIOLITIC MELANGE in West Kunlun and its geological significance [J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(8-9): 573-578.

韩芳林, 崔建堂, 计文化, 等. 于田县幅、伯力克幅地质调查新成果及主要进展[J]. 地质通报, 2004, 23(5-6): 555-559.

HAN Fanglin, CUI Jiantang, JI Wenhua, et al. New achievements and main progress of geological survey in Yutian County and Berek Sheet [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(5-6): 555-559.

计文化, 韩芳林, 王炬川, 等. 西昆仑于田南部苏巴什蛇绿混杂岩的组成、地球化学特征及地质意义[J]. 地质通报, 2004, 23(12): 1196-1201.

JI Wenhua, HAN Fanglin, WANG Juchuan, et al. Composition, geochemical characteristics and geological significance of the Subashi OPHIOLITIC MELANGE in Yutian South, West Kunlun [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(12): 1196-1201.

计文化, 蔺新望, 王巨川, 等. 西昆仑苏巴什蛇绿混杂岩带组成、特征及其地质意义[J]. 陕西地质, 2001, 19(2): 40-47.

JI Wenhua, LIN Xinwang, WANG Juchuan, et al. Composition, characteristics and geological significance of the Subashi ophiolitic melange belt in West Kunlun [J]. Geology of Shaanxi, 2001, 19(2): 40-47.

姜春发, 王宗起, 李锦轶, 等. 中央造山带开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 2000.

JIANG Chunfa, WANG Zongqi, LI Jinyi, et al. Open-close structure of Central Orogenic Belt [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000.

姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 等. 昆仑开合构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992.

JIANG Chunfa, YANG Jingsui, FENG Binggui, et al. Kunlun Kaihe Structure [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992.

李荣社, 计文化, 赵振明, 等. 昆仑早古生代造山带研究进展

- [J],地质通报,2007,26(4):373-382.
- LI Rongshe, JI Wenhua, ZHAO Zhenming, et al. Advances in the Early Paleozoic Orogenic Belt in Kunlun[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26 (4): 373-382.
- 潘裕生. 青藏高原第五缝合带的发现与论证[J]. 地球物理学报,1994,37(2):184-192.
- PAN Yusheng. Discovery and Demonstration of the Fifth Suture Zone on the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Geophysics, 1994, 37 (2): 184-192.
- 潘裕生. 西昆仑山构造特征与演化[J]. 地质科学,1990,(3): 224-232.
- PAN Yusheng. Tectonic Characteristics and Evolution of West Kunlun Mountains[J]. Geological Science, 1990, (3): 224-232.
- 青藏高原综合研究项目组. 青藏高原北部空白区基础地质调查综合研究主要新进展[J]. 西北地质,2005,38(3): 110-110.
- Project Group for Comprehensive Research on the Qinghai-Tibet Plateau. Major New Advances in Comprehensive Research of Basic Geological Survey in the Northern Blank Area of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Northwest Geology, 2005, 38(3): 110-110.
- 陕西省地质调查院,新疆 1:25 万于田幅区域地质调查报告[R]. 2003.
- 陕西省地质调查院,新疆 1:25 万伯力克幅区域地质调查报告[R]. 2003.
- 肖序常,王军,苏犁,等. 再论西昆仑库地蛇绿岩及其构造意义[J]. 地质通报,2003,22(10):745-750.
- XIAO Xuchang, WANG Jun, SU Li, et al. Further discussion on Kudi serpentine and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22 (10): 745-750.
- 肖序常,王军. 西昆仑—喀喇昆仑及其邻区岩石圈结构、演化中几个问题的探讨[J]. 地质论评,2004,50(3): 285-294.
- XIAO Xuchang, WANG Jun. Discussion on lithospheric structure and evolution in West Kunlun-Karakorum and its adjacent areas [J]. Geological Review, 2004, 50 (3): 285-294.
- 张旗,周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京:科学出版社,2001.
- ZHANG Qi, ZHOU Guoqing. Ophiolite of China[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 喀喇昆仑山—昆仑山地区地质演化[M]. 北京:科学出版社,2000.
- Qinghai-Tibet Plateau Comprehensive Scientific Investigation Team, Chinese Academy of Sciences. Geological Evolution of Karakorum-Kunlun Mountain Area [M]. Beijing: Science Press, 2000.
- 朱云海,张克信. 东昆仑造山带不同蛇绿岩带的厘定及其构造意义[J],地球科学-中国地质大学学报,1999,24(2): 134-138.
- ZHU Yunhai, ZHANG Kexin. Definition and tectonic significance of different ophiolite belts in the East Kunlun orogenic belt[J]. Journal of Geosciences of China University of Geosciences, 1999, 24 (2): 134-138.
- HU, Z. C., GAO, S., LIU, Y. S., et al. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry,2008,23:1093-1101.
- LIU, Y. S., HU, Z. C., GAO, S., et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology,2008, 257:34-43.
- LIU, Y., GAO, S., HU, Z., et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths [J]. Journal of Petrology,2010,51:537-571.
- MESCHÉDE M. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram[J]. Chemical Geology, 1986,56,207-218.
- MULLENE D. MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminate for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1983,(62):53-62.
- SUNS S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[M]. In: Saunders A D, Norry M J, eds. Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42: 313-345.
- WOOD D A. Avariably veined suboceanicuppermantle-genetic significance for mid-ocean ridge basalts from geochemical evidence[J]. Geology, 1979,7:499-503.