

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.01.005

西昆仑于田南部阿羌蛇绿构造混杂岩地质特征及意义

曹福根,冯红刚

(新疆地矿局第一区域地质调查大队,新疆 乌鲁木齐 830013)

摘要:近年的区调工作在西昆仑于田南部阿羌一带新填绘出一套具有蛇绿岩特征的变质橄榄岩、蛇纹岩、变辉长岩、辉绿岩和玄武岩等岩石组合。其中,变质橄榄岩、蛇纹岩具有低 SiO_2 、高 MgO 、低稀土特征;辉长岩、辉绿岩和玄武岩绝大多数样品岩石化学具有低 $\text{K}_2\text{O}<1\%$ 、 TiO_2 含量为 1.5% 等特征;稀土元素及微量元素特征与 N-MORB 及 E-MORB 相似。综合分析认为,该蛇绿岩产于较大规模的洋盆中,属于地幔柱型(P型)蛇绿岩;辉长岩、玄武岩中 2 件锆石 U-Pb SHRIMP 定年样品加权平均年龄为 $(545.5\pm 9.1)\text{Ma}$ 和 $(440.0\pm 4.8)\text{Ma}$,结合其他证据,证实其形成时代为寒武—奥陶纪,与西邻区其曼于特蛇绿构造混杂岩同为昆中和昆北微地块早古生代洋—陆转换事件的地质记录,对研究西昆仑构造演化具有重要意义。

关键词:蛇绿构造混杂岩;寒武—奥陶纪;地幔柱型(P型);阿羌

中图分类号:P588.12⁺5;P588.14⁺5 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-6248(2022)01-0064-14

Geological and Tectonic Significance of Aqiang Ophiolitic Tectonic Melange in Southern Yutian, West Kunlun

CAO Fugen, FENG Honggang

(No. 1 Regional Geological Survey Team, Bureau of Geology and Mineral Resources, Urumqi 830013, Xinjiang, China)

Abstract: In recent years, a set of metamorphic peridotite, serpentinite, metagabbro, diabase, basalt and other rock assemblages with ophiolite characteristics have been newly mapped in Aqiang of Southern Yutian, West Kunlun. Among them, the metamorphic peridotite and serpentinite have the characteristics of low SiO_2 , high MgO and low REE. Most samples of gabbro, diabase and basalt are characterized by low $\text{K}_2\text{O}<1\%$ and $\text{TiO}_2\approx 1.5\%$. The characteristics of rare earth elements and trace elements are similar to those of N-MORB and E-MORB. Comprehensive analysis shows that the ophiolite occurs in a large-scale ocean basin and belongs to mantle plume (P) origin. The average weighted ages of the dating samples are $(545.5\pm 9.1)\text{Ma}$ and $(440.0\pm 4.8)\text{Ma}$, which confirm that the formation age is in Cambrian-Ordovician. The Qimanyute ophiolite melange in the adjacent western area is also the geological records of the Early Paleozoic

收稿日期:2021-02-13;修回日期:2021-07-31;网络发表日期:2021-12-06;责任编辑:李辉

基金项目:中国地质调查局项目“新疆西昆仑 1:5 万 J44E021018、J44E022017、J44E022018、J44E023017、J44E023018 五幅区域地质调查”(1212011220634)。

作者简介:曹福根(1975-),男,四川省荣县人,高级地质矿产工程师,从事地质矿产调查及矿产评价。E-mail:925537452@qq.com。

ocean-continent transition events in the central and northern Kunlun block. The study is of great significance to the tectonic evolution of the west Kunlun.

Keywords: ophiolitic tectonic melange; Cambrian-Ordovician; mantle plume (P) origin; Aqiang

研究区位于新疆于田县南部阿羌乡山区,属于西昆仑造山带东段,为构造运动最强烈地区之一,切割强烈,交通不便,研究程度较低。20世纪70年代1:100万区调将出露于该区的火山岩及中深变质岩地层笼统为寒武—奥陶系;21世纪初开展的1:25万区域地质调查^①将其划为中下二叠统阿羌火山岩(P_{1-2a})及古元古代米兰岩群($Pt_1 M.$)、长城系卡羌群($ChK.$)。笔者近年在该区主持完成了1:5万区域地质调查^②,对原1:25万区调所划中下二叠统阿羌火山岩(P_{1-2a})进行了详细调查,新填绘出一套具有蛇绿岩特征的变质橄榄岩、蛇纹岩、变辉长岩、辉绿岩和玄武岩等超镁铁质—镁铁质岩石组合,故将其命名为阿羌蛇绿构造混杂岩。该发现对研究西昆仑造山带早古生代地质构造演化具有重要意义。

1 区域地质背景

西昆仑造山带位于青藏高原西北缘和中央造山带的最西段,是古亚洲构造域华夏古陆链南侧陆缘系统重要组成部分(李荣社等,2011,2020),其东以库牙克断裂与东昆仑造山带相隔,南与康西瓦—苏巴什—鲸鱼湖缝合带和特提斯构造域之巴彦喀拉—松藩构造带相邻。新疆于田县南部山区柳什塔格峰一带属于西昆仑造山带东段,由昆北、昆中微地块、昆南增生杂岩带以及其曼于特、阿羌蛇绿构造混杂岩等组成(图1)。昆北、昆中微地块主要出露新太古代—古元古界结晶基底及长城系、蓟县系中深变质岩,以及早古生代火山岩、侵入岩及少量元古代变质侵入岩。阿羌蛇绿构造混杂岩为该区昆北和昆中微地块之间的缝合带,分布于柳什塔格峰北坡,长大于80 km,宽3~7 km,向西可以与其曼于特蛇绿构造混杂岩相连(韩芳林等,2002),向东经土木牙代牙东

支沟与上其汗构造岩带^③相连。该蛇绿构造混杂岩带在阿羌南—塔木其一带沟谷中出露较好,蛇绿岩各岩石单元较齐全,且保存较完整,总体无序,局部有序(图1)。

2 蛇绿构造混杂岩基本地质特征

蛇绿构造混杂岩由大洋岩块(蛇绿岩套)、外来岩块,以及少量基质组成。岩块多为透镜状,蝌蚪状,岩块与基质构成网结状构造,岩块为网眼,基质为网绳。蛇绿构造混杂岩其北以断层与新太古代—古元古界库浪拉古岩群片麻岩、混合岩等相接触,其南与库浪拉古岩群片麻岩、混合岩等、奥陶纪石英二长闪长岩、早志留世辉长岩等断层相接触(图1)。

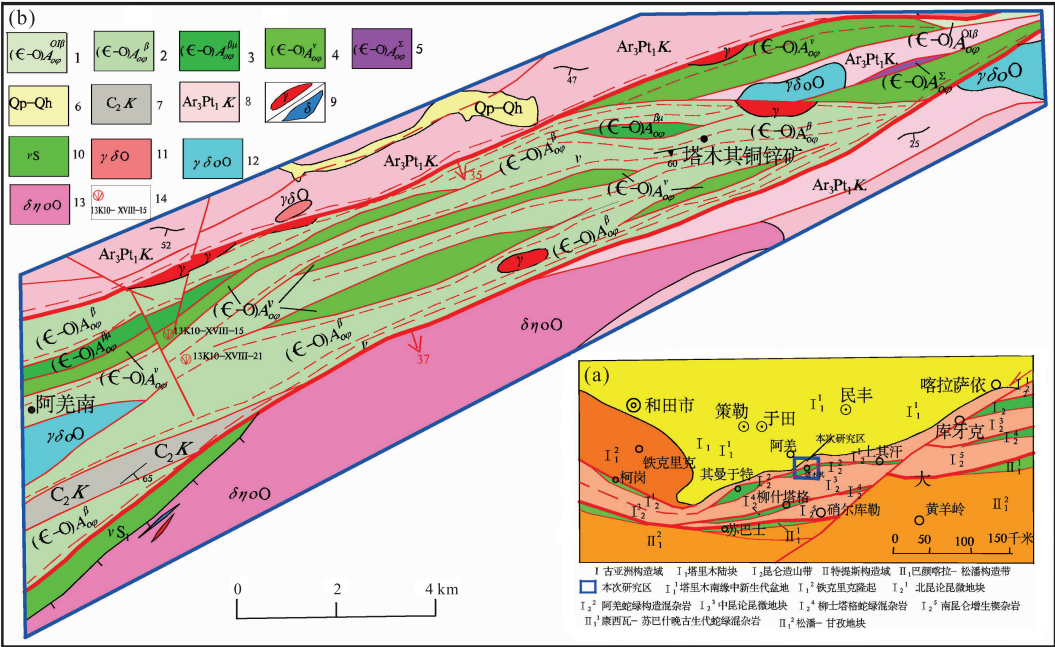
大洋岩块由5部分组成:①变质橄榄岩及变质堆晶超镁铁质岩单元:原岩为橄榄岩、辉橄岩、含橄榄辉石角闪石岩组成,现多变质为蛇纹石岩、绿灰色含滑石镁铁角闪片岩,其出露较少,仅在土木牙代牙东支沟及其盖布拉克上游有少量出露。②镁铁质辉长杂岩单元:多为变质块状辉长岩及堆晶辉长岩。③席状辉绿岩墙单元:主要出露辉绿岩脉。④喷出岩单元(镁铁质火山杂岩单元):主要由大洋拉斑枕状玄武岩、玄武岩组成,部分变质为绿帘角闪岩片岩、斜长角闪岩等。其中,超基性岩单元出露较少,辉长杂岩、席状岩墙及火山杂岩单元出露广泛,各岩块可以组成较为完整的蛇绿岩套。⑤蛇绿岩上覆岩系:主要由洋岛玄武岩及硅质岩及细凝灰岩组成,少量出露。

蛇绿构造混杂岩中外来岩块指成因和构造环境与蛇绿岩无关的洋壳俯冲就位或后期构造变动中卷入蛇绿岩带的外来物质。本区外来岩块主要有新太

① 韩芳林,崔建堂,计文化,等. 于田县幅(J44C004003)1:25万区域地质调查成果报告. 陕西地质调院,2003.

② 曹福根,冯红刚,于洋,等. 新疆西昆仑1:5万 J44E021018、J44E022017、J44E022018、J44E023017、J44E023018 五幅区域地质调查报告. 新疆第一区域地质调查大队,2015.

③ 校培喜,高晓峰,康磊,等. 西昆仑—阿尔金关键地区区域地质调查. 西安地质研究所,2015.



1. 蛇绿构造混杂岩洋岛玄武岩;2. 蛇绿构造混杂岩洋中脊玄武岩等大洋火山岩;3. 蛇绿构造混杂岩辉绿岩(岩墙);4. 蛇绿构造混杂岩辉长岩等镁铁质岩;5. 蛇绿构造混杂岩变质橄辉岩等超镁铁质岩;6. 更新统一全新统冲洪积;7. 晚石炭世库尔良群;8. 新太古—古元古代库浪拉古岩群;9. 花岗岩/闪长岩脉;10. 志留纪辉长岩;11. 奥陶纪花岗闪长岩;12. 奥陶纪英云闪长岩;13. 奥陶纪石英二长闪长岩;14. 同位素样品采样位置及编号

图 1 (a)研究区大地构造位置及(b)地质略图

Fig. 1 (a) Geotectonic position and (b) geological sketch of the study area

古代—古元古代库浪那古岩群黑云斜长片麻岩、变粒岩等变质岩。

蛇绿构造混杂岩基质主要是由各类岩块改造而成的细粒物质,主要为糜棱岩、千糜岩、构造片岩及糜棱岩化岩石等构造岩;基质岩石在阿羌南分布较少,在塔木其一带分布增多;基质(糜棱)面理总体南倾,倾角 50°~60°;在塔木其一带可以见到拉伸线理构造、旋转碎斑构造、石香肠构造、S-C 组构等韧性变形构造形迹。

在阿羌南还分布有后期海侵沉积岩石——晚石炭世库尔良群,主要为含生物碎屑泥晶灰岩、含陆屑泥晶灰岩、石英砂岩等,现与构造蛇绿混杂岩各岩块呈断层接触。

该蛇绿构造混杂岩是西昆仑金(铁)及铜(锌)矿的重要赋矿层位。前人在该带已经发现苦阿金(铁)矿、塔木其铜(锌)矿等。近年新发现土木牙代牙铜锌矿点及皮西盖玉石矿点等,具有寻找与蛇绿岩有关的金铜(铁、锌)矿的巨大潜力。

3 蛇绿构造混杂岩各单元岩石学特征

该蛇绿构造混杂岩主要由超镁铁质岩单元(变质橄辉岩或辉橄岩)、镁铁质辉长杂岩、席状岩墙单元(蚀变或变质辉长岩、辉绿岩)、镁铁质火山杂岩(玄武岩、枕状玄武岩)及上覆火山岩(变洋岛玄武岩及硅质岩等)单元组成,其主要岩石单元岩石学特征如下。

3.1 超镁铁质岩

其原岩多变质橄辉岩、辉橄岩、辉石岩等。与其伴生的有辉长质杂岩、基性火山杂岩。岩石多已变质,现见到的超镁铁质岩石种类较多,主要有蛇纹石岩、角闪岩、含滑石镁铁闪片岩、黑绿色中粒含橄橄榄辉石角闪石岩等,夹少量辉长岩;局部显示一定层序,并呈互层产出,具较为典型的层状堆晶超镁铁质岩特征,与其他伴生岩石单元为构造接触。

(1)墨绿色蛇纹石岩(D1136/1,推测原岩为斜方橄辉岩或纯橄辉岩,):显微鳞片变晶结构,块状构造;岩石由蛇纹石组成,含少量碳酸盐、磁铁矿。蛇纹石(95%):显微鳞片状,片径 0.03~0.2 mm,淡

黄绿色, 杂乱分布; 碳酸盐(3%): 微粒状, 粒径 $0.03\sim0.1\text{ mm}$, 不均匀分布; 微量磁铁矿(2%): 粒状、尘点状, 粒径 $0.05\sim0.2\text{ mm}$, 分布不均匀。

(2) 灰绿色含滑石镁铁闪片岩(DHVI-1, 推测原岩为辉橄岩或辉石岩): 柱状变晶结构, 片状构造; 岩石经变质作用, 主要由变质矿物阳起石、长石、石英、变质矿物镁铁闪石、滑石组成。镁铁闪石(88%): 长柱状, 粒径 $0.05\sim0.4\text{ mm}$, 多色性较弱, 浅黄-黄绿色, 轻度隐晶帘石蚀变, 局部可见辉石晶形, 闪石式解理完全, 沿长轴平行定向连续分布, 形成片状构造; 滑石(10%): 片状或细小鳞片状集合体, 粒径 $0.02\sim0.2\text{ mm}$, 相对聚集成条带状; 磁铁矿(微量): 粒状, 零星分布, 粒径 $0.01\sim0.06\text{ mm}$; 岩石中磁铁矿还发育数条宽度为 $0.08\sim0.5\text{ mm}$ 条带; 绿帘石: 细脉, 推测其原岩可能为辉橄岩或辉石岩。

3.2 镁铁质辉长杂岩(蚀变或变质块状辉长岩或堆晶辉长岩)

原岩主要为块状辉长岩、层状堆晶辉长岩, 常夹有辉石岩、辉绿岩, 岩石现多变质为(绿帘)阳起石岩或(阳起石、绿泥石)绿帘石(片)岩、绿帘绿泥石岩等, 达到绿片岩相, 只有少数保留原有结构。

(1) 浅灰绿色碎裂岩化强蚀变辉长岩(XVIII-15): 岩石具半自形中细粒粒状结构, 块状构造, 局部间堆晶层状构造。岩石由斜长石(70%)和暗色矿物(30%)组成, 含少量的副矿物。斜长石: 呈半自形板状, 粒度 $0.2\text{ mm}\times0.1\text{ mm}\sim0.4\text{ mm}\times0.3\text{ mm}$, 可见聚片双晶, 普遍中度绿泥石化、隐晶帘石化、高岭土化; 暗色矿物: 均阳起石化、绿泥石化, 仅残留辉石柱状形态, 粒径 $0.1\sim0.5\text{ mm}$; 另有微量磷灰石: 柱状、粒状, 粒径 $0.03\sim0.2\text{ mm}$; 磁铁矿: 粒状, 粒径 $0.03\sim0.1\text{ mm}$ 。岩石中不规则状微裂隙发育, 沿裂隙分布被碾碎的岩粉和充填绿帘石、绿泥石。

(2) 深灰绿色阳起石片岩(D1136, 原岩为辉长岩): 柱状变晶结构, 片状构造, 局部见堆晶构造。岩石经变质作用, 由变质矿物阳起石、长石、石英组成。阳起石(80%): 柱状, 粒径 $0.1\sim4.0\text{ mm}$, 淡绿色, 局部可见辉石晶形, 具闪石式解理, 平行定向排列, 形成片状构造; 长石(20%): 为斜长石, 双晶不发育, 轻度绢云母化; 石英(微量), 波状消光, 长轴平行定向排列; 另有少量磁铁矿: 粒状, 粒径 $0.05\sim0.3\text{ mm}$; 磷

灰石(微量): 柱状、粒状, 粒径 $0.03\sim0.1\text{ mm}$ 。岩石中有少量不规则状微裂隙, 内充填绿泥石、碳酸盐、石英, 宽约 $0.1\sim3.5\text{ mm}$ 。

3.3 席状岩墙单元(蚀变或变质辉绿岩)

该单元岩石呈脉状及细脉状产于辉长岩及玄武岩中, 已经蚀变或变质, 其岩石学特征如下。

(1) 灰绿色强蚀变辉绿岩(XX-32): 具辉绿结构(嵌晶含长结构), 块状构造。岩石由基性斜长石(65%)和暗色矿物(35%)组成, 蚀变较强。基性斜长石: 呈半自形板条状, 粒度一般在 $0.15\text{ mm}\times0.3\text{ mm}\sim0.2\text{ mm}\times0.6\text{ mm}$, 具强绢云母化、黝帘石化等, 双晶不清, 杂乱排列, 其间充填蚀变暗色矿物, 具辉绿结构; 暗色矿物(65%): 呈他形柱状, 粒径一般在 $0.1\sim1\text{ mm}$, 普遍被阳起石交代, 原矿物主要为辉石, 在较大晶体中包有斜长石小晶体, 显示嵌晶含长结构, 具辉绿岩特征; 磁铁矿(微量): 呈他形粒状, 粒径一般为 $0.02\sim0.35\text{ mm}$ 。

(2) 灰色绿帘阳起石蚀变岩(XVIII-3, 推测原岩辉绿岩): 粒柱状变晶结构(变辉绿结构), 岩石经强蚀变作用后, 均蚀变重结晶成纤柱状阳起石(70%)、微粒状绿帘石(20%)、黝帘石(10%)集合体。阳起石淡绿色, 粒径 $1.2\sim0.2\text{ mm}$, 具闪石式解理, 杂乱分布; 绿帘石、黝帘石, 淡黄绿色, 绿帘石干涉色不均匀, 黝帘石具异常干涉色; 另有磁铁矿(少量): 粒状, 粒径 $0.05\sim0.1\text{ mm}$ 。岩石中有少量宽约 $0.1\sim1.8\text{ mm}$ 规则状微裂隙, 内充填绿帘石。

3.4 镁铁质火山杂岩(变玄武岩、枕状玄武岩)

岩石主要为变质玄武岩及少量枕状玄武岩, 现多变质为(绿帘)阳起石片岩或(阳起石、绿泥石)绿帘石(片)岩、绿帘绿泥石岩、斜长角闪片岩等, 达到绿片岩相, 只有少数保留原有结构。例如, 变枕状玄武岩。

(1) 灰绿色变枕状玄武岩(XXIX-13): 岩石具变余斑状结构, 基质具残余微晶结构, 块状构造岩, 局部可见枕状构造(图2、图3)。岩石经变质作用后, 大部分变质重结晶成纤柱状阳起石集合体(90%)。阳起石淡绿色, 粒径 $<0.6\text{ mm}$, 具闪石式解理; 仅见少部分半自形细板条状斜长石或形态残留(10%), 粒径 $0.6\sim0.1\text{ mm}$, 少数粒径 $0.8\sim1.2\text{ mm}$, 为残余斑晶, 中度绢云母化、隐晶帘石化, 杂乱分布, 部分呈放射状集合体形成球状结构; 另有少量磁铁矿: 粒状, 粒径 $0.03\sim0.1\text{ mm}$; 岩石中有

少量宽约 0.05~0.4 mm 不规则状微裂隙,内充填隐晶帘石。



阿羌南桥头东

图 2 蚀变玄武岩中枕状构造 1 图

Fig. 2 Pillow structure in altered basalt 1



阿羌南桥头东

图 3 蚀变玄武岩中枕状构造 2 图

Fig. 3 Pillow structure in altered basalt 2

(2)灰绿色变质玄武岩(XVIII-21):岩石具变余交织结构,岩石经变质作用后,由大部分变质重结晶呈隐晶状长英质、纤柱状阳起石集合体组成。阳起石:柱状,粒径 $<1.4\sim 0.03$ mm,淡绿色,具闪石式解理,杂乱分布;有少量半自形细板条状斜长石或假象,粒径 $0.1\sim 0.5$ mm,可见聚片双晶,中度隐晶帘石化,杂乱分布,少数可见放射状集合体;残余斜长石:20%;变质矿物:80%;其他矿物少量,主要为磁铁矿,粒状,粒径 $0.03\sim 0.1$ mm;岩石中有少量

不规则状微裂隙,沿裂隙分布被碾碎的岩粉和充填葡萄石。

3.5 上覆火山岩(变洋岛玄武岩及硅质岩等)

该单元主要由洋岛玄武岩及少量硅质岩等组成,岩石强蚀变或变质,现所见岩石多为变质深灰色蚀变斜长角闪岩、深灰色绿帘阳起岩及石英岩组成。

(1)深灰色蚀变斜长角闪岩(IX-33,推测原岩为玄武岩):岩石具粒柱状变晶结构,定向构造。岩石经变质作用后,由变质蚀变矿物长石、石英、角闪石组成。长石(35%):他形粒状,粒径 $0.2\sim 0.8$ mm,长石为斜长石,强绢白云母化、隐晶帘石化,双晶消失;石英(少量):强波状消光,长轴平行定向排列;角闪石(65%):柱状,粒径 $0.8\sim 0.1$ mm,黄-绿色,多色性显著,具闪石式解理,长轴大致平行定向排列;磁铁矿(少量):粒状,粒径 $0.03\sim 0.1$ mm;楣石(微量):粒状,粒径 $0.03\sim 0.3$ mm;磷灰石(微量):粒状、柱状,粒径 $0.03\sim 0.1$ mm。

(2)灰绿色黄铁矿化石英岩(XX-12,原岩推测为酸性沉凝灰岩或硅质岩):岩石具粒状变晶结构,块状构造,岩石由石英和金属矿物组成。石英(85%):呈他形粒状变晶,粒径一般在 $0.1\sim 0.6$ mm,彼此紧密镶嵌,均匀分布;金属矿物(15%):主要为黄铁矿,局部少许褐铁矿化,一般呈自形-半自形粒状,粒径 $0.02\sim 1$ mm,均匀分布。

综合以上各单元岩石学特征,显示其遭受了洋底热流变质及造山变质作用,岩石普遍达到绿片岩相变质,局部达角闪岩相变质,与世界典型蛇绿岩岩石学特征相似。

4 蛇绿构造混杂岩地球化学特征

笔者在该蛇绿构造混杂岩的超镁铁质岩单元(变质橄榄岩或辉橄岩)、镁铁质辉长杂岩、席状岩墙单元(蚀变或变质辉长岩、辉绿岩)及上覆火山岩等5类单元采集样品12件。将样品粉碎至200目后分选50g作为测试送至国土资源部武汉矿产资源监督中心完成。其中,常量元素采用硼酸锂熔片—XRF分析法,在X射线荧光光谱仪(XFR)完成;微量元素采用四酸溶矿—ICP—MS分析法,在质谱仪ThermeolentalX7完成;稀土元素采用氧化钠熔融—ICP—MS分析法,在ThermeolentalX7完成。分析成果见表1。

表 1 阿羌蛇绿混杂岩各岩石单元岩石化学(%)和微量(稀土)元素(10^{-6})分析结果表
Tab. 1 Major elemetents, trace(%) and REE elemetents composition(10^{-6}) of the A-Qiang ophiolitic melange

岩石单元	超镁铁质岩		镁铁质辉长杂岩及席状辉绿岩墙				镁铁质火山熔岩(枕状玄武岩、玄武岩)及上覆火山岩(洋岛玄武岩)					
样号	XXVI-14	D1136/1	XVIII-15	XXIII-20	D5374	D5377	XXIX-9	XX-29	XVIII-21	XX-21	XVI-15	IX-33
岩石名称	墨绿色蛇纹岩		深灰色蚀变辉长岩		灰绿色蚀变辉绿岩		阳起石化、绿帘石化强蚀变玄武岩、枕状玄武岩及绿帘阳起玄武岩					
SiO ₂	42.33	42.27	51.39	47.69	48.68	51.34	49.19	49.22	48.88	49.58	48.16	47.84
TiO ₂	0.03	0.05	1.50	1.70	1.16	1.52	1.31	1.28	1.67	1.57	1.69	1.96
Al ₂ O ₃	1.67	1.35	14.19	13.82	14.76	14.25	13.77	14.25	14.22	15.35	12.94	14.88
Fe ₂ O ₃	0.03	6.57	3.20	4.39	3.54	3.58	3.74	3.54	4.64	3.68	5.88	2.93
FeO	0.64	2.78	6.92	8.35	7.70	8.34	8.39	8.00	8.10	8.18	8.90	8.50
MnO	0.04	0.16	0.19	0.21	0.20	0.18	0.20	0.23	0.21	0.20	0.31	0.21
MgO	42.03	35.00	6.53	5.79	7.52	7.00	7.71	7.52	6.65	6.16	6.35	5.63
CaO	0.55	0.20	10.78	10.94	10.72	9.08	9.60	10.46	10.21	11.04	9.83	11.87
Na ₂ O	0.30	0.14	3.92	3.52	2.72	3.62	3.63	2.86	3.64	2.63	0.74	2.89
K ₂ O	0.07	0.06	0.44	0.48	0.57	0.20	0.16	0.47	0.32	0.52	2.01	0.82
P ₂ O ₅	0.04	0.02	0.15	0.14	0.10	0.14	0.10	0.10	0.15	0.19	0.16	0.25
化合水	0.01	0.01	—	—	—	—	—	—	—	—	0.99	0.79
烧失量	12.67	11.20	1.26	3.30	2.25	0.84	2.65	2.52	1.20	1.34	1.89	1.17
总量	100.40	99.81	100.47	100.33	99.92	100.09	100.45	100.45	99.89	100.44	99.85	99.74
Mg [#]	99.3	89.4	58.3	49.7	59.1	55.9	57.9	58.5	53.2	52.9	48.4	51.4
Sr	10.12	12.12	255.00	145.00	124.00	179.00	117.00	122.00	177.00	165.00	177.15	349.85
K	581.00	498.00	3 653.00	3 985.00	4 732.00	1 660.00	1 328.00	3 902.00	2 656.00	4 317.00	16 686.00	6 807.00
Rb	13.68	4.70	11.64	18.07	20.42	6.69	5.62	18.90	8.99	16.54	86.40	15.30
Ba	8.25	28.30	59.67	94.16	116.00	92.98	21.69	124.00	431.00	55.54	231.50	190.60
Th	0.56	1.56	0.84	0.50	0.52	0.68	0.63	0.56	0.72	0.95	1.40	2.12
Ta	1.00	0.47	1.02	0.33	0.88	1.19	0.39	0.24	0.55	0.54	0.65	1.70
Nb	4.81	3.07	9.92	5.73	6.22	6.07	3.99	3.64	6.45	9.21	9.01	21.37
Zr	7.80	8.30	104.00	106.00	55.28	88.98	72.55	69.52	107.00	131.00	90.20	133.50
Hf	0.15	0.33	4.97	4.79	2.14	4.00	3.19	3.35	5.66	6.36	4.22	7.81
U	2.20	1.80	0.77	0.31	0.28	0.29	0.49	0.54	0.31	0.58	0.51	0.75
Ti	198.00	300.00	8 991.00	10 190.00	6 953.00	9 111.00	7 852.00	7 672.00	10 010.00	9 411.00	10 130.00	11 748.00
P	153.00	87.30	655.00	611.00	436.00	611.00	436.00	436.00	655.00	829.00	698.00	1 091.00
La	1.30	7.39	7.70	7.90	2.90	5.40	3.00	3.70	5.50	9.70	13.17	26.97
Ce	2.40	13.70	18.10	17.80	8.10	13.80	8.70	9.80	14.90	21.80	28.47	58.06
Pr	0.40	1.68	2.80	2.80	1.40	2.20	1.60	1.80	2.60	3.30	4.04	8.26
Nd	1.30	5.76	13.40	14.20	8.00	11.60	8.80	9.20	13.50	15.90	17.40	33.46
Sm	0.43	1.14	3.80	4.50	2.60	3.60	3.00	3.10	4.30	4.60	4.66	7.71

续表 1

岩石单元	超镁铁质岩		镁铁质辉长杂岩及席状辉绿岩墙				镁铁质火山熔岩(枕状玄武岩、玄武岩)及上覆火山岩(洋岛玄武岩)					
样号	XXVI-14	D1136/1	XVIII-15	XXIII-20	D5374	D5377	XXIX-9	XX-29	XVIII-21	XX-21	XVI-15	IX-33
岩石名称	墨绿色蛇纹岩		深灰色蚀变辉长岩		灰绿色蚀变辉绿岩		阳起石化、绿帘石化强蚀变玄武岩、枕状玄武岩及绿帘阳起玄武岩					
Eu	0.04	0.09	1.40	1.60	1.00	1.40	1.20	1.20	1.70	1.60	1.52	2.16
Gd	0.40	0.98	3.90	4.90	3.10	4.30	3.50	3.40	4.80	4.80	5.43	7.76
Tb	0.10	0.14	0.77	1.00	0.64	0.82	0.75	0.74	1.00	0.98	0.92	1.23
Dy	0.66	0.82	4.90	6.90	4.30	5.40	5.10	5.00	6.60	6.30	6.19	7.52
Ho	0.13	0.17	0.97	1.40	0.93	1.20	1.00	0.99	1.30	1.30	1.21	1.45
Er	0.44	0.54	2.70	4.10	2.60	3.40	3.00	2.90	3.90	3.70	3.55	4.00
Tm	0.09	0.08	0.40	0.63	0.41	0.54	0.45	0.45	0.58	0.56	0.51	0.57
Yb	0.62	0.53	2.60	3.90	2.50	3.20	3.00	2.80	3.80	3.60	3.22	3.62
Lu	0.12	0.08	0.37	0.59	0.36	0.46	0.43	0.42	0.57	0.51	0.53	0.56
Y	4.70	5.33	24.70	36.90	23.80	30.50	27.10	26.80	35.40	32.70	31.62	37.46
ΣREE	13.13	38.42	88.51	109.12	62.64	87.82	70.63	72.3	100.45	111.35	122.41	200.79
LR/HRGd - Lu	2.29	8.92	2.84	2.08	1.62	1.97	1.53	1.72	1.88	2.62	3.22	5.12
LR/HRGd - Y	0.81	3.43	1.14	0.81	0.62	0.76	0.59	0.66	0.73	1.04	1.3	2.13
δEu	0.29	0.26	1.11	1.05	1.09	1.1	1.14	1.14	1.15	1.04	0.93	0.85
(La/Yb) _N	1.38	9.23	1.95	1.33	0.76	1.11	0.66	0.87	0.95	1.77	2.7	4.91
(La/Sm) _N	1.84	3.94	1.23	1.07	0.68	0.91	0.61	0.73	0.78	1.28	1.72	2.13

注:样品测试单位:武汉综合岩矿测试中心,测试仪器方法:常量元素:X射线荧光光谱仪(XFR);稀土、微量元素:电感耦和等离子体质谱仪(X7)、等离子体发射光谱仪(ICAP6300) $Mg^\# = Mg/(Mg + Fe)$ (原子数)。

4.1 超镁铁质岩单元

该单元岩石分布较少,仅采 2 件样品,分析成果见表 1,岩石灼矢量较大,说明其蚀变较强烈。主量元素显示低 SiO₂、Al₂O₃、CaO、K₂O,高 MgO(35%~42.03%)特征, Mg[#] 为 89.4~99.3,与典型蛇绿岩中二辉橄榄岩、橄榄岩相当。样品在 Al₂O₃-CaO-MgO 图解中位于变质橄榄岩区,结合岩石的高 Mg[#] 特征,说明其岩浆地幔成因。

岩石稀土总量(ΣREE)低,为 13.13×10⁻⁶~38.42×10⁻⁶,高于球粒陨石稀土含量(Leedy, 1979, ΣREE=5.95),轻重稀土比值 LR/HRGd-Y=0.81~3.43, (La/Sm)_N=1.84~3.94,说明轻稀土略富集, δEu=0.26~0.29,即 Eu 较亏损。球粒陨石(Leedy, 1979)标准化稀土配分型式显示“V”型(图 4),与阿尔卑斯型变质橄榄岩相似,故其为蛇绿

岩超镁铁质岩单元。

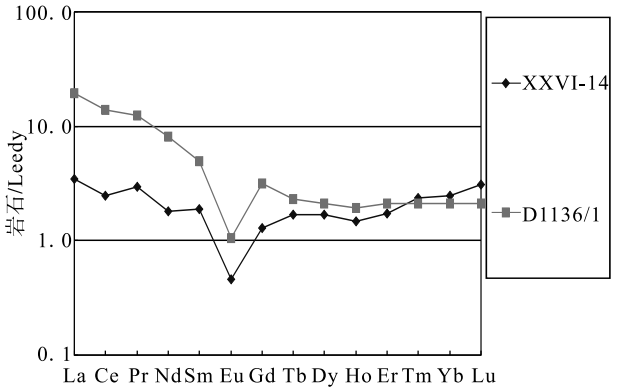


图 4 超镁铁质岩稀土元素配分型式图(标准化数据:球粒陨石 Leedy, 1973;李昌年, 1992)

Fig. 4 REE distribution patterns of ultramafic rocks

岩石微量元素丰度值经原始地幔标准化后作比值蛛网图(图 5),显示 Th、U、La 呈峰状,相对较富集,其他元素 Sr、Hf、Ti 等元素略亏损,但是 Nb、Ta 不亏损,与地幔橄榄岩蛛网图曲线特征相似。这些特征均显示其为蛇绿岩超镁铁质岩特征,其 Th、U、La 相对富集,可能是后期强烈蚀变所致。

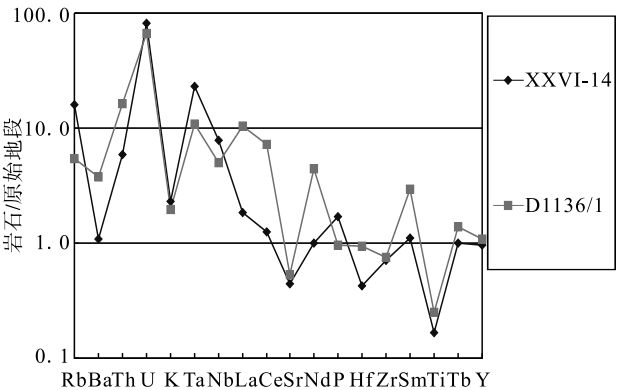


图 5 超镁铁质岩微量元素蛛网图(标准化数据:原始地幔 Wood,1979;李昌年,1992)

Fig. 5 Cobweb diagram of trace elements in ultramafic rocks

4.2 镁铁质辉长杂岩及席状辉绿岩墙单元

该类岩石采集 4 件样品,分析成果见表 1,岩性为变质辉长岩、辉绿岩,二者具较低的 SiO₂ (47.69%~51.39%)、K₂O(0.2%~0.57%)、TiO₂ (1.16%~1.70%);具较高的 MgO (5.79%~7.52%)、CaO(9.08%~10.94%),Mg[#] 为 49.7~59.1,与大洋拉斑玄武岩相当。样品在 Al₂O₃-CaO-MgO 图解中位于大洋拉斑玄武岩区。

岩石稀土总量较低,ΣREE 为 62.64×10⁻⁶~109.12×10⁻⁶,高于超镁铁质岩,与大洋玄武岩相当。轻重稀土比值 LR/HRGd-Y=0.62~1.14,(La/Sm)_N=0.68~1.23。3 个样品轻稀土略亏损,一个样品(XVIII-15)略富集,δEu=1.05~1.11,即 Eu 不亏损。镁铁质辉长岩、辉绿岩稀土元素丰度值经球粒陨石(Leedy,1979)标准化后作稀土配分型式图(图 6),显示平坦型,且多数轻稀土略亏损,与典型层状堆晶辉长岩特征相似,与洋中脊玄武岩(MORB)也相似,因此属于蛇绿岩-层状堆晶镁铁质岩。

岩石微量元素丰度值经原始地幔标准化后作比

值蛛网图(图 7),图型较平坦,与大洋拉斑玄武岩相似。经 N-MORB 标准化后作微量元素比值蛛网图(图 8),显示 Rb、Ba、Rb、Ba、Th 元素略富集,图型总体与过渡型(富集型)洋脊玄武岩(E-MORB)相似。

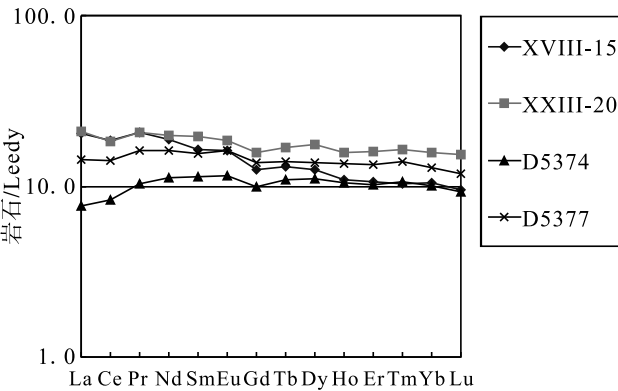


图 6 镁铁质辉长杂岩及辉绿岩稀土元素配分型式图(标准化数据:球粒陨石 Leedy,1973;李昌年,1992)

Fig. 6 REE distribution patterns of mafic gabbro complex and diabase

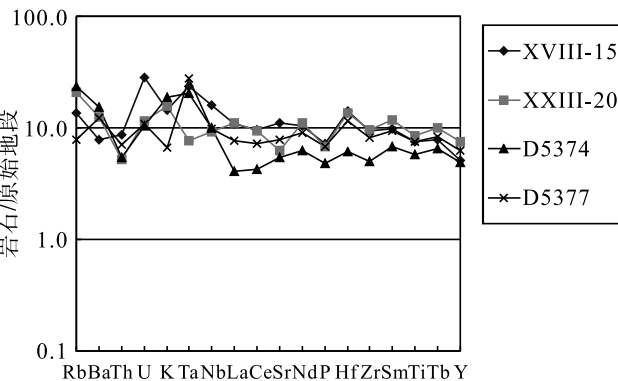


图 7 镁铁质辉长杂岩及辉绿岩微量元素蛛网图(标准化数据:原始地幔 Wood,1979;李昌年,1992)

Fig. 7 Cobweb diagram of trace element in mafic gabbro complex and diabase

以上可以看出,研究区镁铁质辉长杂岩及席状辉绿岩墙岩石特征基本相似,说明二者同源。同时可以看出该区部分镁铁质辉长杂岩及辉绿岩轻稀土和 Rb、Ba、Th 等元素略富集,说明岩石可能受到了地幔柱化学流体的影响,也说明该区洋中脊位置靠近地幔柱(张进等,2012)。

4.3 镁铁质火岩熔岩及上覆火山岩单元

该类岩石共有 6 件样品,岩性均为变质玄武岩

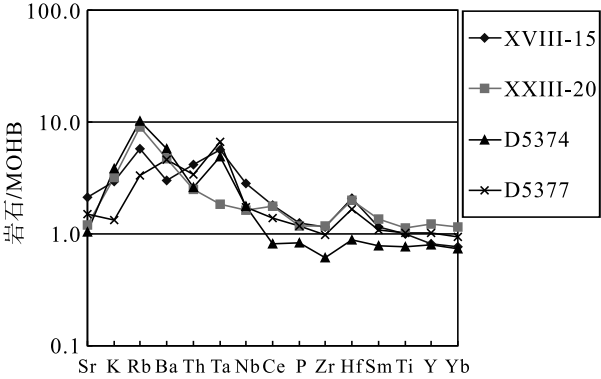


图 8 镁铁质辉长杂岩及辉绿岩微量元素蛛网(标准化数据: MORB, Pearce, 1983; 李昌年, 1992)

Fig. 8 Cobweb diagram of trace element cobweb in mafic gabbro complex and diabase

或蚀变玄武岩,分析结果见表 1。 SiO_2 为 48.16%~49.58%,除 XVI-15 样品 K_2O 为 2.01%外,其余为 0.16%~0.82% ($<1\%$), TiO_2 为 1.16%~1.9%,多数 $<1.5\%$, Al_2O_3 为 12.94%~15.35%。因此,大多数样品与大洋拉斑玄武岩相当。样品在 Al_2O_3 -CaO-MgO 图解中位于洋脊玄武岩(MRA)区或周围。

岩石稀土总量(ΣREE)为 $70.63 \times 10^{-6} \sim 200.79 \times 10^{-6}$,除 IX-33 样品较高外,其余较低。轻重稀土比值 $\text{LR}/\text{HRGd}-\text{Y}=0.79 \sim 2.13$, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}=0.61 \sim 2.13$,轻稀土略亏损到略富集, $\delta\text{Eu}=0.85 \sim 1.15$,即 Eu 略亏损到略正。岩石稀土元素丰度值经球粒陨石(Leedy, 1979)标准化后作稀土配分型式图(图 9),从略左倾到略右倾,图型显示 XVIII-21、XX-29、XXIX-9 三个样品轻稀土略亏损,与标准洋中脊玄武岩(N-MORB)相似;XX-21、XVI-15 两个轻稀土略富集,与异常洋中脊玄武岩(E或P-MORB)相似;IX-33 号样品轻稀土较富集,与洋岛拉斑玄武岩稀土配分型式图相似。洋岛玄武岩的出现说明当时存在相当大规模的洋盆。

岩石微量元素丰度值经原始地幔(Wood, 1979)标准化后作比值蛛网图(图 10),其蛛网图型式较为复杂,用 Holm(1985)提出的拉斑玄武岩判别方法进行判别,除 IX-33 号外,其余样品图形较平坦,总体与洋中脊拉斑玄武岩(N-MORB)基本一致,只是 XVI-15 号 Rb、K 有些偏高,可能受到壳源物质混染,IX-33 号 Ba、Nb、La、Ce 等元素较高,其与洋

岛玄武岩特征一致。

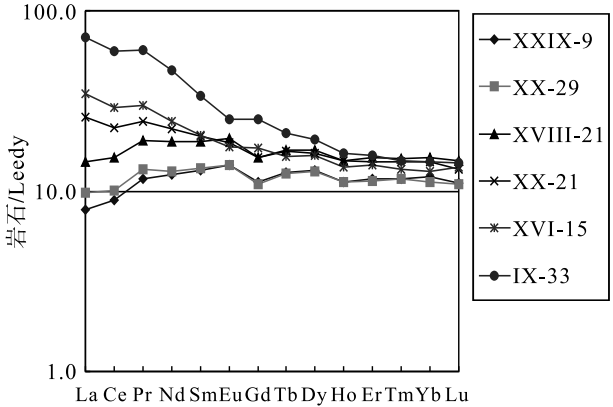


图 9 镁铁质火山岩及上覆火山岩稀土元素配分型式图(标准化数据:球粒陨石 Leedy, 1973; 李昌年, 1992)

Fig. 9 REE distribution patterns of mafic volcanic rocks and overlying volcanic rocks

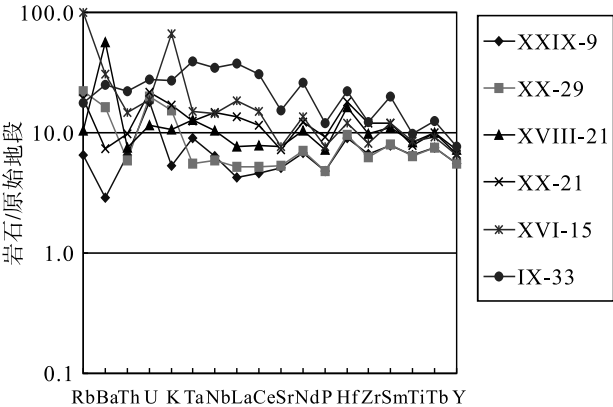


图 10 镁铁质火山岩及上覆火山岩微量元素蛛网图(标准化数据:原始地幔 Wood, 1979; 李昌年, 1992)

Fig. 10 Cobweb diagram of trace element in mafic lava and overlying volcanic rocks

将各类岩石样品微量元素经标准洋中脊玄武岩标准化后作微量元素比值蛛网图(图 11)。XXIX-9 号样品为洋脊拉斑玄武岩(N-MORB);XVIII-21、XX-29、XX-21、XVI-15 四件样品与过渡洋脊拉斑玄武岩(P-MORB)相似;IX-33 号样品 Rb、Ba、Th、Nb、Ta 元素微富集,与洋岛(拉斑)玄武岩特征一致;而 XVI-15 号样品 K、Rb、Ba 偏高,其可能受到壳源物质混染,但是 Nb、Ta 不亏损,因此其可能为大洋形成早期的产物。

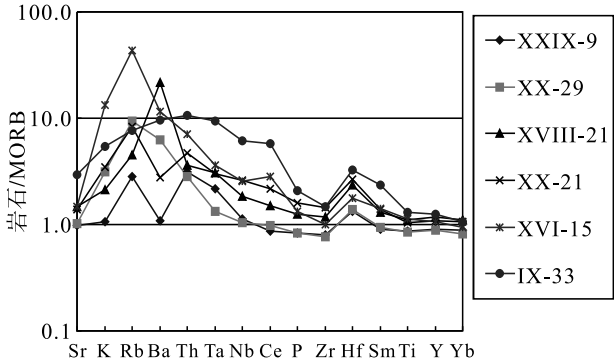


图 11 镁铁质火山岩及上覆火山岩微量元素蛛网图(标准化数据: MORB, Pearce, 1983; 李昌年, 1992)

Fig. 11 Cobweb diagram of trace element in mafic volcanic rocks and overlying volcanic rocks

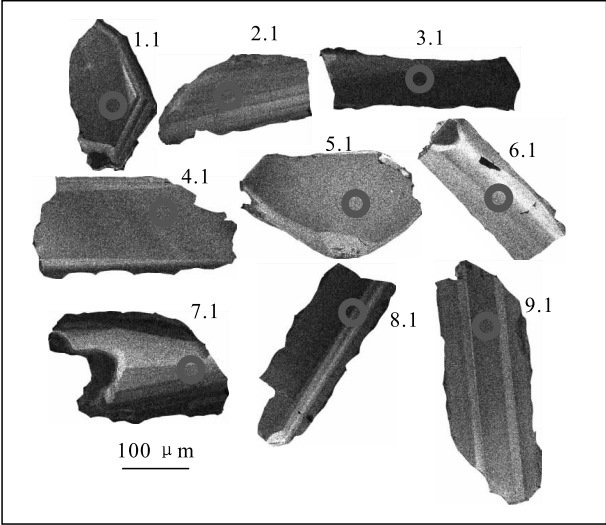


图 13 玄武岩(13K10—XVIII—21)锆石阴极发光图

Fig. 13 CL images of zircons from basalt (13K10—XVIII—21)

5 蛇绿构造混杂岩时代讨论

5.1 蛇绿岩中玄武岩、辉长岩锆石 U - Pb 年龄

5.1.1 分析方法

在阿羌南至塔木其一带出露较好的新鲜辉长岩、玄武岩中各采集 1 件同位素样品(样品号 13K10—XVIII—15 和 3K10—XVIII—21(岩石学特征见前文)), 挑选锆石进行单颗锆石 U - Pb SHRIMP 定年。样品重约 15 kg, 破碎至 60~120 目, 用水套筛在双目镜下挑选出较新鲜的、内部无裂隙的锆石制靶后, 用阴极发光和反射光对锆石进行照相(图 12、图 13)。锆石阴极发光显微照相和 SHRIMP 锆石 U - Pb 同位素分析在北京离子探针中心的 SHRIMP II 仪器上进行的, 分析结果采用 SQUID 和 ISOPLOT 程序进行数据处理。

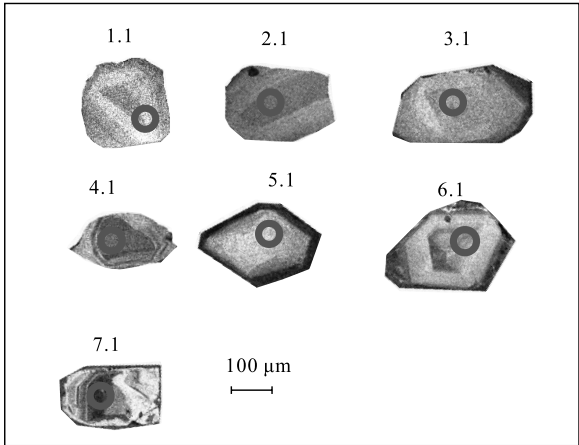


图 12 辉长岩(13K10—XVIII—15)锆石阴极发光图

Fig. 12 CL images of zircons from gabbro(13K10—XVIII—15)

5.1.2 锆石特征及定年结果

用于测年的玄武岩中锆石粒度较小, 结晶较好(部分残缺为机械破碎), 为长柱状, 发育较宽的生长环纹; 辉长岩中锆石特征与玄武岩基本相似, 不过个别锆石出现振荡纹, 二者锆石均符合基性岩浆岩锆石特征(李灵慧等, 2016); 本次锆石 SHRIMP U - Pb 分析结果见表 2、表 3。可以看出锆石 $w(^{232}\text{Th})/w(^{238}\text{U})$ 值的变化范围较大(0.17~1.21), 高于变质成因锆石(<0.1), 与岩浆锆石成因一致(>0.1), 符合岩浆锆石的特点(吴保元等, 2004,), 为典型的岩浆锆石。2 个样品测试成果投点较为集中, 均位于谐和线附近。其中, 辉长岩测点 7 个点, 除去年龄数据较大的 5.1 点和年龄数据较小的 7.1 点, 其余 5 个点年龄数据加权平均年龄为 $(545.5 \pm 9.1)\text{Ma}$ (图 14), 时代为震旦纪晚期—寒武纪初期, 结合其他因素, 其生成年龄最大可能是寒武纪初期; 玄武岩测点 9 个, 除去年龄数据较大的 6.1, 7.1 两个点, 其余 7 个点年龄数据加权平均年龄为 $(440.0 \pm 4.8)\text{Ma}$ (图 15), 时代为奥陶纪末。初步分析认为这 2 组年龄值均为锆石结晶年龄, 可以代表岩石生成年龄。从辉长岩与玄武岩现在的产出位置, 说明二者是同一大洋产物, 二者年龄差异较大, 说明二者是大洋演化过程中不同时间阶段的产物, 其中取样的辉长岩可能为大洋早期产物, 玄武岩为大洋晚期产物。因此, 大洋演化过程时间为寒武纪—奥陶纪, 即蛇绿

表 2 辉长岩(13K10-XVIII-15)锆石 SHRIMP U-Th-Pb 分析结果表
Tab. 2 SHRIMP U-Th-Pb analytical results of zircons from gabbro(13K10-XVIII-15)

测点号	²⁰⁶ Pb (%)	U (10 ⁻⁶)	Th (10 ⁻⁶)	²³² Th / ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄(Ma)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄(Ma)	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th 年龄(Ma)	²⁰⁷ Pb* / ²⁰⁶ Pb*	(±%)	²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U	(±%)	²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U	(±%)
XVIII-15-1.1	0.17	974	1 137	1.21	74.6 ± 1.9	578 ± 21	517.7 ± 3.4	0.059 31	0.98	0.728 5	1.0	0.089 09	0.35
XVIII-15-2.1	0.34	905	570	0.65	68.9 ± 2.0	537 ± 34	507.3 ± 6.2	0.058 20	1.5	0.709	1.6	0.088 34	0.37
XVIII-15-3.1	1.24	247	137	0.57	19.4 ± 3.7	510 ± 130	542 ± 20	0.057 5	5.7	0.714	5.8	0.090 08	0.70
XVIII-15-4.1	0.19	58	45	0.80	4.44 ± 7.5	508 ± 110	577 ± 21	0.057 4	5.2	0.708	5.4	0.089 4	1.4
XVIII-15-5.1	0.36	208	114	0.57	17.0 ± 4.2	468 ± 70	566 ± 15	0.056 4	3.1	0.738	3.2	0.094 86	0.75
XVIII-15-6.1	0.32	841	306	0.38	62.8 ± 2.1	513 ± 38	520 ± 10	0.057 57	1.7	0.688	1.8	0.086 66	0.41
XVIII-15-7.1	0.37	230	127	0.57	16.3 ± 3.7	561 ± 67	519 ± 14	0.058 8	3.1	0.666	3.2	0.082 10	0.76

注:测试单位为中国地质科学院离子探针中心,2014;分析指导:杨之青;分析人:李艳;Pb*为放射性成因铅。

表 3 玄武岩(13K10-XVIII-21)锆石 SHRIMP U-Th-Pb 分析结果表
Tab. 3 SHRIMP U-Th-Pb analytical results of zircons from basalt(13K10-XVIII-21)

测点号	²⁰⁶ Pb (%)	U (10 ⁻⁶)	Th (10 ⁻⁶)	²³² Th / ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄(Ma)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄(Ma)	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th 年龄(Ma)	²⁰⁷ Pb* / ²⁰⁶ Pb*	(±%)	²⁰⁷ Pb* / ²³⁵ U	(±%)	²⁰⁶ Pb* / ²³⁸ U	(±%)
XVIII-21-1.1	0.23	174	110	0.65	10.7 ± 4.0	464 ± 110	442 ± 17	0.056 3	4.9	0.553	5.0	0.071 27	0.92
XVIII-21-2.1	0.32	197	206	1.08	12.0 ± 3.5	413 ± 78	428 ± 10	0.055 0	3.5	0.536	3.6	0.070 68	0.82
XVIII-21-3.1	0.54	141	80	0.59	8.76 ± 4.2	367 ± 110	421 ± 16	0.053 9	4.7	0.535	4.8	0.071 92	0.98
XVIII-21-4.1	0.22	310	150	0.50	18.3 ± 2.3	438 ± 43	416.1 ± 6.0	0.055 6	1.9	0.533	2.0	0.069 51	0.55
XVIII-21-5.1	1.30	148	97	0.68	9.74 ± 4.7	177 ± 200	406 ± 23	0.049 6	8.4	0.517	8.4	0.075 63	1.0
XVIII-21-6.1	0.24	750	120	0.17	49.3 ± 2.0	356 ± 43	429 ± 20	0.053 6	1.9	0.564	2.0	0.076 29	0.45
XVIII-21-7.1	1.98	2 008	257	0.13	125 ± 1.5	544 ± 100	391 ± 56	0.058 4	4.6	0.573	4.6	0.071 17	0.35
XVIII-21-8.1	0.34	290	247	0.88	17.4 ± 3.0	554 ± 68	408.9 ± 7.5	0.058 6	3.1	0.562	3.2	0.069 46	0.71
XVIII-21-9.1	0.52	156	105	0.69	9.48 ± 4.2	404 ± 120	429 ± 16	0.054 8	5.5	0.532	5.6	0.070 39	1.0

注:测试单位为中国地质科学院离子探针中心,2014;分析指导:杨之青;分析人:李艳;Pb*为放射性成因铅。

岩形成于寒武—奥陶纪。

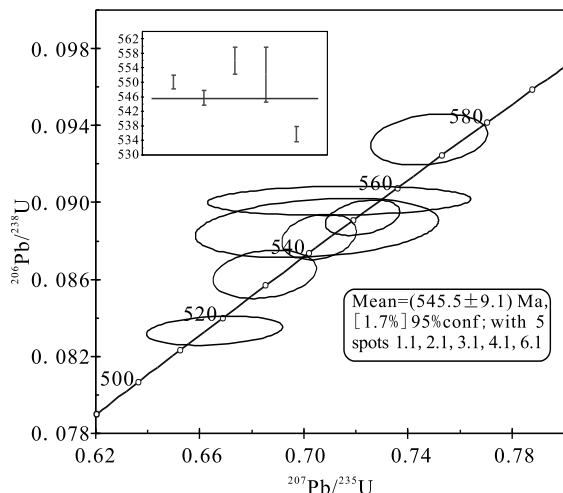


图 14 辉长岩(13K10—XVIII—15)锆石 U—Pb 和谐图

Fig. 14 U—Pb zircon concordia diagrams of zircon from gabbro(13K10—XVIII—15)

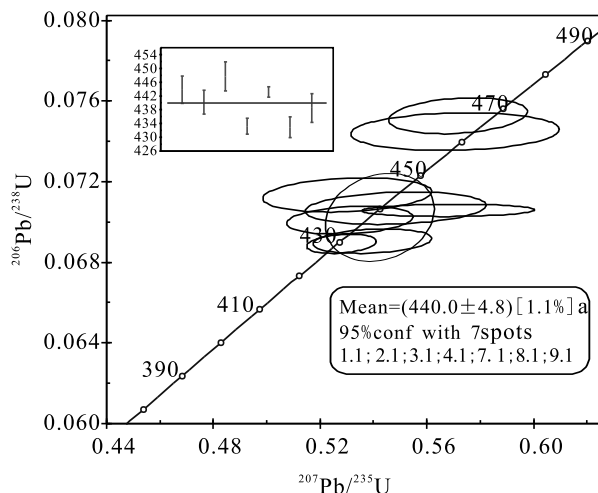


图 15 玄武岩(13K10—XVIII—21)锆石 U—Pb 和谐图

Fig. 15 U—Pb zircon concordia diagrams of zircon from basalt(13K10—XVIII—21)

5.2 其他相关岩石年龄

(1)前人(王炬川等,2003)和近年 1:5 万区调^①在该蛇绿岩南侧石英二长花岗岩、花岗闪长岩中获得锆石 U—Pb 年龄为(455.9±7.4)~(480±5.4)Ma,其构造环境为陆缘岛弧型。认为其是阿羌有限洋的洋壳向南俯冲昆中微地块边缘产生,间接

证明阿羌蛇绿岩形成时代为寒武—奥陶纪。

(2)近年 1:5 万区调^①在该区获得造山期后松弛环境辉绿岩时代为(432.2±2.1)Ma,时代为中志留世,说明俯冲造山运动结束时间在中志留世前。

综合以上年龄信息,认为阿羌有限洋盆在寒武纪初期开始裂解形成,在寒武晚期开始俯冲,在奥陶纪末闭合,就位时代为奥陶纪末期。综合考虑,认为阿羌蛇绿岩形成时代为寒武—奥陶纪较为合理。

6 结论及意义

(1)阿羌蛇绿构造混杂岩具有较完整的蛇绿岩层序:变质橄榄岩、辉橄岩、变质辉长岩、变质层状堆晶辉长岩、变辉绿岩墙、变质火山岩熔岩;并发现了具枕状结构的变质玄武岩和洋岛玄武岩,说明该蛇绿岩代表的洋盆具有一定规模。

(2)通过对岩石化学(主量元素)、地球化学特征的研究,表明各岩块具有洋壳特征,其中超镁铁质岩具低 SiO₂、TiO₂、Na₂O、K₂O,高 MgO,低稀土等特征;稀土配分图位于蛇绿岩组合的其他组分岩石之下,呈“V”字形;微量元素蛛网图与亏损地幔岩特征相似。因此,其为阿尔卑斯型超镁铁质岩。镁铁质辉长岩、辉绿岩、玄武岩等岩石绝大多数样品具低 K₂O(<1%)、TiO₂≈1.5%等特征;稀土、微量元素特征与正常洋中脊玄武岩(N—MORB)及异常洋中脊玄武岩(E—MORB)类型相似,个别样品具洋岛玄武岩特征。综合分析,认为该蛇绿岩形成环境为具有较大规模的有限洋盆。

(3)该蛇绿岩其部分辉长岩、辉绿岩、玄武岩等样品轻稀土元素轻微富集,微量元素中不相容元素 Rb、Ba、Th 等微弱富集,属于富集型洋中脊玄武岩(E—MORB),个别样品显示其具洋岛玄武岩特征,说明大洋扩张脊靠近地幔柱,即阿羌寒武—奥陶纪蛇绿岩为地幔柱型(P)蛇绿岩(张进等,2012)

(4)采自变质辉长岩、玄武岩的 2 件 SHRIMP 锆石 U—Pb 高精度定年同位素样品加权平均年龄为(545.5±9.1)Ma 和(440.0±4.8)Ma,充分证实阿羌蛇绿岩形成时代为寒武—奥陶纪。最后构造定

① 曹福根,冯红刚,于洋,等.新疆西昆仑 1:5 万 J44E021018、J44E022017、J44E022018、J44E023017、J44E023018 五幅区域地质调查报告.新疆第一区域地质调查大队,2015.

位时代为晚奥陶世末,与加里东构造事件时限相吻合,其与西邻区其曼于特蛇绿混杂岩形成时间基本一致,二者可能同为昆中和昆北微地块之间早古生代洋-陆转换事件的地质记录。这对研究西昆仑构造演化具有重要意义。

致谢:本文锆石样品制备和分析得到北京离子探针中心杨之青研究员指导,由新疆第一区调队李艳、宋倩倩完成。感谢审稿专家提出的有益建议。

参考文献(References):

- 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):574-577.
- HAN Fanglin, CUI Jiantang, JI Wenhua, et al. Discovery of the Qimanyute ophiolite in the West Kunlun and its geological significance[J]. Geological Bulletin China, 2002, 21(8-9):574-577.
- 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 and geochemistry of the Subashi ophiolitic melange in the West Kunlun and its geological significance[J]. Geological Bulletin China, 2004, 23(12):1196-1201.
- 王炬川,韩芳林,崔建堂. 新疆于田普鲁一带早古生代花岗岩岩石地球化学特征及构造意义[J]. 地质通报,2003,22(3):170-181.
- WANG Juchuan, HAN Fanglin, CUI Jiantang, et al. Geochemical Characteristics of Early Paleozoic granites in the Pulu area, Yutian, Xinjiang and its tectonic significance[J]. Geological Bulletin China, 2003, 22(3):170-181.
- 李博秦,姚建新,王炬川,等. 西昆仑柳什塔格峰西侧火山岩的特征、时代及地质意义[J]. 岩石学报,2007,23(11):2801-2810.
- LI Boqin, YAO Jianxin, WANG Juchuan, et al. Composition, age and geological significance of the Liushitage volcanics in West Kunlun mountains[J]. Acta Petrologica Sinica, 2007, 23(11):2801-2810.
- 李荣社,计文化,杨永成,等. 昆仑山及邻区地质[M]. 北京:地质出版社,2008.
- LI Rongshe, JI Wenhua, YANG Yongcheng, et al. Geology of Kunlun Orogenic Belt and Neighbouring[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2008.
- 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. Progress in the study of the Early Paleozoic Kunlun orogenic belt[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(4):373-382.
- 李荣社,计文化,何世平,等. 中国西部古亚洲与特提斯两大构造域划分问题讨论[J]. 新疆地质,2011,29(3):247-251.
- LI Rongshe, JI Wenhua, HE Shiping, et al. The two tectonic domain division discussion between The ancient Asian and Tethys in western China[J]. Xinjiang Geology, 2011, 29(3):247-251.
- 计文化,李荣社,陈奋宁,等. 中国西北地区南华纪—古生代构造重建及关键问题讨论[J]. 地质力学学报,2020,26(5):634-655.
- JI Wenhua, LI Rongshe, CHEN Fenning, et al. Tectonic reconstruction of northwest China in the Nanhua-Paleozoic and discussions on key issues[J]. Journal of Geomechanics, 2020, 26(5):634-655.
- 王亚伟,廖小莹,刘良,等. 西昆仑他是库尔干苦子干碱性杂岩体的成因及其构造意义[J]. 西北地质,2013,46(4):1-24.
- WANG Yawei, LIAO Xiaoying, LIU Liang, et al. Petrogenesis and Tectonic Implications of the Cenozoic Alkaline Complex in Kuzigan, Taxkorgan, West Kunlun[J]. Northwestern Geology, 2013, 46(4):1-24.
- 马中平,孙吉明,唐卓,等. 阿尔金山南缘长沙沟—清水泉一带镁铁—超镁质杂岩体 Cu—Ni—PGE 含矿性讨论[J]. 西北地质,2010,43(4):18-24.
- MA Zhongping, SUN Jiming, TANG Zhuo, et al. 2010. Discussions on the Magmatic Cu-Ni-PGE Sulfides Mineralization Potential of the Changshagou—Qingshuiquan Layered Mafic-Ultramafic Intrusions, Aitayn Tagh[J]. Northwestern Geology, 2010, 43(4):18-24.
- 曹福根,董富荣. 阿尔金北缘沟口泉古元古代蛇绿混杂岩(绿岩)地质特征及意义[J]. 西北地质,2014,47(4):48-60.
- CAO Fugen, DONG Furong. Geology and Tectonic Significance of the Paleoproterozoic Ophiolitic Melange in Goukouquan, Northern Margin of Altun [J]. North-

- western Geology, 2014, 47(4):48-60.
- 冯江鹏,曹福根,宋倩倩. 西昆仑柳什塔格南二长花岗岩 SHRIMP 定年、地球化学特征及其地质意义[J]. 西北地质, 2014, 47(4):163-169.
- FENG Jiangpeng, CAO Fugen, SONG Qianqian. SHRIMP U-Pb Ages and Geological Implications of the Admellite Pluton at South Liushitage [J]. Northwestern Geology, 2014, 47(4):163-169.
- 王永和,校培喜,潘长利,等. 阿尔金群的解体与阿尔金杂岩特征[J]. 西北地质, 2002, 35(4):21-29.
- WANG Yonghe, XIAO Peixi, PAN Changli, et al. The First Disintegration of Altgn Tagh rock group and characteristics of Altgn Tagh complexes[J]. Northwestern Geology, 2002, 35(4): 21-29.
- 张进,邓晋福,肖庆辉,等. 蛇绿岩研究最新进展[J]. 地质通报, 2012, 31(1):1-12.
- ZHANG Jin, DENG Jinfu, XIAO Qinghui, et al. New advances in the study of ophiolites [J]. Geological Bulletin China, 2012, 31(1):1-12.
- 董连慧,朱志新,王克卓,等. 新疆蛇绿岩带的分布、特征及研究新进展[J]. 岩石学报, 2010, 26(10):2894-2904.
- DONG Lianhui, ZHU Zhixin, WANG Kezhao, et al. Spatial distribution, geological features and the research progress of the main ophiolite Zone in Xinjiang NW China [J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(10):2894-2904.
- 陆松年,于海峰,李怀坤,等. “中央造山带”早古生代缝合带及构造分区概述 [J]. 地质通报, 2006, 25(12):1368-1380.
- LU Songnian, YU Haifeng, LI Huaikun, et al. Early Paleozoic suture zones and tectonic divisions in the “Central China Orogen”[J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25(12):1368-1380.
- 李丽,董福辰,杨永强,等. 昆中蛇绿岩岩石学和地球化学 [J]. 新疆地质, 2012, 30(1):19-25.
- LI Li, DONG Fuchen, YANG Yongqiang et al. The Petrology and Geochemistry of ophiolites from Central Kunlun [J]. Xinjiang Geology, 2012, 30(1):19-25.
- 吴保元,郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 49(16):1590-1603.
- WU Baoyuan, ZHENG Yongfei. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(16):1590-1603.
- 李灵慧,周奇明,赵志丹,等. 不同类型岩浆岩中锆石环带特征研究 [J]. 矿产与地质, 2016, 30(2):289-293.
- LI Linghui, ZHOU Qiming, ZHAO Zhidan, et al. Characteristics of zircon in different types of magmatic rocks[J]. Mineral Resources and Geology, 2016, 30(2):289-293.
- 简平,程裕淇,刘敦一. 变质锆石成因的岩相学研究-高级变质岩 U-Pb 年龄解释的基本依据 [J]. 地学前缘, 2001, 8(3):183-191.
- JIAN Ping, CHENG Yuqi, LIU Dunyi, et al. Petrographical study of Metamorphic Zircon: Basic roles in interpretation of U-Pb age of high grade Metamorphic rocks[J]. Earth Science Frontiers, 2001, 8(3):183-191.
- 邱家骧,林景仟. 岩石化学[M]. 北京:地质出版社, 1991.
- QIU Jiaxiang, LIN Jingqian. Petrochemistry[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese), 1991.
- 李昌年. 火山岩微量元素岩石学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1992.
- LI Changnian. Trace Element Petrology of Igneous [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese), 1992.
- Hugh R. Rollison 著, 杨学明, 杨晓勇, 陈双喜译. 岩石地球化学[M]. 合肥:中国科学技术出版社, 2000.