文章编号:1009-3850(2015)02-0088-09

西昆仑库地蛇绿岩的成因及构造意义

杨 军¹,蔡柯柯²,赵志强¹,王世伟¹,甘海涛¹

(1. 四川省地质矿产勘查开发局区域地质调查队,四川 双流 610213; 2. 重庆市地质矿产勘 查开发局 607 地质队,重庆 400056)

摘要:库地蛇绿岩位于康西瓦大型走滑断裂带的北侧,主要由裂解的变质橄榄岩,堆晶岩和块状枕状玄武岩组成,其 上覆岩石为杂色火山碎屑岩和具浊流沉积的碎屑岩系。前人对库地蛇绿岩已作过较系统的报道^[1]。震旦纪 – 早奥 陶纪为本区蛇绿岩的洋盆发育时代,其侵位可能代表了晚元古代到早古生代的重要板块运动的记录。本文通过变 质橄榄岩的矿物学、熔岩的地球化学等研究,表明库地蛇绿岩经历了洋中脊(MOR)到俯冲带(SSZ)的构造环境转变 过程,致使地幔橄榄岩达到~30%的部分熔融程度。

关 键 词: 铬尖晶石;洋中脊;俯冲带;库地蛇绿岩 中图分类号: P588.12⁺⁵ 文献标识码: A

引言

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,属古亚洲构造域、秦祁昆构造域和 特提斯构造域的结合部位^[24]。大地构造位置特殊 ^[54],陆内消减、走滑作用强烈,一直以来被认为是 研究喀喇昆仑西昆仑地质演化的重要地区。但该 区的自然条件恶劣,野外地质调研工作困难,地质 调查研究程度非常低,目前仍是我国造山带中研究 程度较低的地区之一。显生宙以来大致经历的原 特提斯洋和古特提斯洋两个演化阶段是西昆仑造 山带主要特征^[5,7],也因此保存了两条重要的蛇绿 岩带即库地-其曼于特蛇绿构造混杂岩带和康西瓦-苏巴什蛇绿构造混杂岩带。其中蛇绿岩带的分布、 形成时代、形成环境等一系列问题还存在很大分 歧,需要进一步研究。这包括库地蛇绿岩构造环境 的认识就存在大洋中脊^[841]和弧后盆地^[1246]两种不 同认识,这些不同观点的原因可能是该区蛇绿岩组 成单元出露不全且遭到后期的强烈破坏。铬铁矿 是蛇绿岩的专属矿产,在铬铁矿及其围岩地幔橄榄 岩中都存在矿物铬尖晶石,其矿物学特征和元素组 成可以反映成岩成矿环境^[17]以及矿物结晶时所处 地幔的状态^[18],如地幔的物质组成、赋存环境、物理 化学状态以及地幔熔融程度。这些信息对探讨成 矿物质来源、成矿作用过程、深部地幔状态和构造 环境及其演化均具有重要的科学意义。因此,通过 对铬尖晶石形成环境的研究,有助于提高人们对其 所在的蛇绿岩产出构造环境的认识,能更好地探讨 西昆仑库地蛇绿岩的地质意义。

笔者通过对前人资料的深入归纳与总结,对库 地蛇绿岩中矿物学与玄武岩的地球化学进行对比 研究。计算岩体的部分熔融程度及形成过程中的 氧逸度,结合玄武岩的稀土元素特征,进而探讨其 相应的构造环境。在此基础上提出了库地地幔橄

收稿日期: 2014-04-22; 改回日期: 2014-12-12

作者简介:杨军(1958-) ,男 高级工程师 ,主要从事地质矿产调查工作

通讯作者: 赵志强(1984-),男,工程师。E-mail:350195123@qq.com

资助项目:新疆西昆仑地区 1:5 万 I44E005003、I44E005004、I44E006003、I44E006004、I44E007003 等5 幅区调(项目编号: 1212011220646)、新疆和田县化石山一带铅锌矿预查(项目编号:K13-3-XJ10)资助

榄岩可能是由洋中脊到俯冲带演化过程的结果。

1 地质背景

库地蛇绿岩出露于叶城南新藏公路 135~ 156km 地段内,位于康西瓦大型走滑断裂带的北侧, 桑珠大坂-公格尔山古断裂带的北缘,北邻阿卡子达 坂(图1),是西昆仑造山带十分重要的岩石-构造单 元。最早可追索到汪玉珍 1983 年^[12]提出的出露在 新藏公路 134~160km 之间的一些超镁铁质岩和基 性火山岩以及复理石建造。库地超镁铁岩包括库 地北变质橄榄岩和库地南堆晶橄榄岩两类。库地 北变质橄榄岩,位于库地村的北侧,岩体长5.2km, 宽4.4km,其西界有海西期花岗岩的侵入,其余边界 均被断层所包围,岩体东南侧围岩可能是太古代片 麻岩(图2)。变质橄榄岩主要由方辉橄榄岩和少量 纯橄榄岩组成,可见伟晶辉石岩脉、伟晶辉长岩脉 和中粗粒辉长岩脉等贯入,是喀喇昆仑-西昆仑地区 库地蛇绿岩套中的上地幔残体,是一个推覆的构造 岩片^[1]。库地村南有3条贯穿在太古代片麻岩中 的超基性岩脉,脉长100m~1.5km,宽10~20m,主 要由纯橄榄岩和少量方辉橄榄岩组成,具有明显的 堆晶结构,为超镁铁质堆晶岩^[19]。



图1 新疆昆仑山构造地质简图^[20]

Fig. 1 Schematic map showing tectonic setting and geology of western Kunlun Mountains , Xinjiang (after Hao Jie et al. , 2003)

2 岩相学特征

库地蛇绿岩主要包括超镁铁质岩和基性火山 岩以及复理石建造等^[12],但常被构造肢解,呈不完 整连续特征,主要出露于库地北布孜万达坂一带, 在库地南也有零星分布。库地北蛇绿岩中超基性 岩体位于库地桥西的布孜万达坂和托排士达坂之 间,以大型构造透镜体的形式出露在片麻岩系中, 长8.8km,宽5.2km,面积约44km^{2[19]}。蛇绿混杂 岩体倾向北西,混杂岩体西部被早古生代辉绿岩侵 入,北侧边界与西合休岩组以断层接触。东南侧围 岩为长城系赛图拉岩群黑云石英片岩,南西侧为早 古生代中期石英二长闪长岩^[19]。

库地蛇绿岩从布孜万沟至托排士达坂出露的

岩性有:底部为变质橄榄岩,岩石类型主要为纯橄 岩、方辉橄榄岩、斜辉橄榄岩、辉橄岩和蛇纹岩等, 以纯橄岩和方辉橄榄岩最为常见;中部为方辉橄 岩、辉石岩、辉长岩互层状产出的镁铁质堆晶岩,及 少量的钠长花岗岩;上部为结晶粗大的辉长岩及钠 长花岗岩呈互层状,组成堆晶岩的上部层位;顶部 为绿帘阳起片岩夹石英岩、黝帘透闪岩,与堆晶成 因的基性杂岩为断层接触。总体上以中上部层序 组合为主,其它地段尚有部分辉绿岩、辉绿玢岩、石 英辉长岩,伴生的沉积岩有硅质岩和火山碎屑 岩等^[22]。

库地蛇绿岩体分异较好,自下向上岩相分带可 大致依次划分为纯橄岩相一纯橄岩+方辉橄岩 相一辉石岩+辉长岩相一阳起石片岩相。岩体内局



图 2 库地地区地质简图^[21]

ChBs. 长城系巴什考贡群; JxTx. 蓟县系塔昔达板群; Qn. 青白口系; D₃. 上泥盆统; C₂. 中石炭统; P₁. 下二叠统; Q. 第四系; Σ2、β. 库地蛇 绿岩组合(镁铁-超镁铁岩、基性熔岩); η_{03} . 早古生代石英二长岩; γδ4. 古生代花岗闪长岩

Fig. 2 Simplified geological map of the Kuda area (after Li Yong' an et al. , 1994)

部可见辉长伟晶岩脉。铬铁矿主要分布于纯橄岩 相+辉橄岩相中。富铬铁矿体呈豆荚状,构造有块 状、浸染状、条带状和似层状,结构主要为细粒粒 状。矿石矿物为铬尖晶石,呈褐红色半透明,半自 形粒状,粒径0.1~2.0mm,多数为0.5~1.0mm,形 成镶嵌集合体。集合体间被纤闪石集合体充填,形 态不规则,空隙大小0.1~2mm,多数为0.5~1. 3mm。脉石矿物主要有橄榄石和纤闪石,橄榄石呈 等轴粒状,局部碎裂,沿裂隙有蛇纹石化蚀变,粒径 1~2mm,多数为1.5mm。纤闪石中可见0.003~0. 02mm 粒状镍黄铁矿,矿石中半定向裂纹纤闪石被 菱镁矿细脉斜切,宽0.02mm。

3 矿物化学特征

本文共统计分析了库地地幔橄榄岩和铬铁矿 中橄榄石、斜方辉石、单斜辉石和铬尖晶石的化学 成分 表1列出了代表性样品的矿物电子探针分析 结果。一般认为橄榄石的 Fo 值越大,说明其形成深 度越大、熔融程度越高^[23]。库地岩体中橄榄石 Fo 值约为91。从图 3a 可知库地地幔橄榄岩中的橄榄 石主要为深海地幔橄榄岩的特征,指示其残留了早 期深海橄榄石的矿物化学组分特征。斜方辉石和 单斜辉石在岩相之间无论在产出,还是在含量上差 别都不明显。而在单斜辉石和斜方辉石的矿物化 学图解上,可知库地地幔橄榄岩中两辉石可能形成 于弧前地幔橄榄岩的位置(图3b、c)因此库地地幔 橄榄岩的矿物化学表明存在部分熔融和地幔交代 作用,呈现既有深海地幔橄榄岩和弧前地幔橄榄岩 的特征(图3)。

铬尖晶石的化学组成可以作为其寄主岩石— 地幔橄榄岩的成因指示标志。这是因为尖晶石的 形成受地幔橄榄岩熔融程度、形成压力的控制。因 此利用尖晶石的 Cr#和橄榄石的 Mg#的关系可以推 测其寄主岩石的部分熔融程度、形成压力及构造环 境^[24]。库地地幔橄榄岩中铬尖晶石的 Cr# > 60,表 明其形成于俯冲型地幔橄榄岩特征^[18]。

根据橄榄石与铬尖晶石之间的 Mg、Fe 平衡,以 及斜方辉石-单斜辉石的固液相平衡,采用不同温度 计对库地地幔橄榄岩和铬铁矿进行估算^[25-28]。温 度的计算是假定压力在1.5GPa 的条件下形成,对 于同一个样品采用不同的温度计,结果相差不超过 250℃。计算结果在1370~1390℃之间,与前人计 算地幔橄榄岩的形成温度1365~1369℃^[19]接近。 此外,铬尖晶石-斜方辉石的形成温度为906~ 920℃^[29] 表明斜方辉石经历了更高程度的部分熔 融 指示库地地幔橄榄岩部分熔融/岩石-熔体反应 的温度变化范围较大,在906~1390℃之间。

依据橄榄石与斜方辉石的反应平衡,以及与铬 尖晶石之间的化学组分关系:

 $6Fe_2SiO_4 + O_2 = 3Fe_2Si_2O_6 + 2Fe_3O_4$

采用如下公式计算出库地各岩相的氧逸度 $(\Delta \log(fO_2)^{FMQ})$

 $\begin{aligned} \Delta \log \left(f O_2 \right)^{\text{FMQ}} &= 0.27 + 2505 / T - 400 P / T - 6 \log \\ \left(X_{\text{Fe}}^{\text{olv}} - 3200 \left(1 - X_{\text{Fe}}^{\text{olv}} \right)^2 / T + 2 \log \left(X_{\text{Fe}^{2+}}^{\text{sp}} \right) + 4 \log \\ \left(X_{\text{Fe}^{3+}}^{\text{sp}} \right) + 2630 \left(X_{\text{Al}}^{\text{sp}} \right)^2 / T. \end{aligned}$

*T*为估算的温度,*P*形成时的压力假定在 1.5GPa条件下。 $X_{Fe^{3+}}^{sp} = Fe^{3+}/\Sigma Fe(铬尖晶石中),$ $X_{A1}^{sp} = Al/\Sigma R^{3+}$ (铬尖晶石中), $X_{Fe}^{olv} = Fe^{2+}/(Fe^{2+} + Mg)^{[26]}$ 。因此,利用矿物产出明显,并且具相互平衡的矿物对,例如橄榄石-铬尖晶石,橄榄石-斜方辉 石对库地地幔橄榄岩形成过程氧逸度进行估算,计 算结果为 $\Delta log(fO_2)^{FMQ} = 0.5 \sim 0.8$ 。从结果可知库 地地幔橄榄岩的 $\Delta log(fO_2)^{FMQ}$ 大于洋中脊型方辉橄 榄岩的值,位于俯冲带型方辉橄榄岩和洋中脊型纯 橄岩之间,指示薄壳状纯橄岩可能与浸染状铬铁矿

矿物	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Opx	Ol	Ol	Ol	Срх	Срх	Срх	Sp	Sp
样品号	1-6	1-7	1-43	1-44	6—5	6—6	1-19	4—4	4—5	1-35	1-36	1-40	1-20	1-21
SiO_2	57.91	57.76	57.16	57.67	56.86	56.07	40.78	40.96	40.8	54.3	53.81	54.26	0.02	0.05
TiO ₂	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0.03	0.07	0.06	0.02	0.15	0.08
Al ₂ O ₃	1.09	1.17	1.16	1.14	1.64	1.68	0	0	0	1.69	1.69	1.79	19.23	20.03
Cr ₂ O ₃	0.33	0.39	0.35	0.35	0.52	0.58	0.05	0	0.01	0.91	0.97	0.88	44.9	44.23
$\mathrm{Fe}_2\mathrm{O}_3$	0	0.04	1.04	0.54	0.3	0.97	0	0	0	0.24	0.3	0.38	4.6	5
FeO	5.55	5.87	4.84	5.49	5.78	4.91	8.71	8.14	8.28	2.1	2.1	1.77	21.07	19.91
NiO	0.11	0.1	0.08	0.09	0.04	0.04	0.35	0.33	0.32	0.04	0.07	0.09	0.02	0.08
MnO	0.14	0.07	0.1	0.18	0.13	0.13	0.2	0.09	0.22	0.09	0.09	0.07	0.33	0.38
MgO	34.93	34.94	35.23	35.07	34.4	34	50.97	49.91	49.91	18.44	18.85	17.31	8.7	9.53
CaO	0.66	0.56	0.45	0.44	0.55	0.99	0.04	0.06	0.01	22.2	21.21	23.93	0	0
Na ₂ O	0.01	0.01	0	0	0.01	0.02	0.01	0.01	0	0.31	0.3	0.32	0.01	0
K_2O	0	0	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0
总量	100.74	100.95	100.45	101.01	100.23	99.39	101.11	99.5	99.58	100.39	99.45	100.82	99.13	99.29
Si	1.9768	1.9703	1.9574	1.9663	1.956	1.9457	0.9864	1.0019	0.9985	1.9569	1.9548	1.9547	0.0057	0.0134
Ti	0.0002	0.0009	0.0011	0	0	0	0	0	0.0005	0.0019	0.0016	0.0006	0.0301	0.0145
Al	0.0438	0.0469	0.0467	0.0459	0.0666	0.0685	0	0	0	0.072	0.0722	0.0761	5.8623	6.0462
Cr	0.0088	0.0104	0.0094	0.0096	0.0141	0.0159	0.0009	0.0001	0.0002	0.0258	0.0279	0.0252	9.182	8.955
Fe^{3} +	0	0.0011	0.0269	0.0138	0.0077	0.0253	0	0	0	0.0065	0.0081	0.0102	0.9137	0.9639
Fe ^{2 +}	0.1584	0.1674	0.1387	0.1565	0.1664	0.1426	0.1761	0.1665	0.1694	0.0633	0.0637	0.0534	4.5572	4.2629
Ni	0.003	0.0027	0.0021	0.0025	0.001	0.0012	0.0068	0.0065	0.0063	0.0013	0.002	0.0027	0.0043	0.0159
Mn	0.0041	0.002	0.003	0.0052	0.0038	0.004	0.004	0.0018	0.0045	0.0028	0.0028	0.002	0.0719	0.0816
Mg	1.777	1.7766	1.7981	1.782	1.7637	1.7584	1.8377	1.8196	1.821	0.9905	1.0206	0.9296	3.3526	3.636
Ca	0.0242	0.0205	0.0166	0.0162	0.0203	0.037	0.001	0.0014	0.0002	0.8573	0.8254	0.9236	0	0
Na	0.0005	0.001	0	0	0.0004	0.0012	0.0004	0.0005	0	0.0219	0.208	0.0027	0.0068	0
К	0	0	0	0.0019	0	0	0	0	0	0	0	0.0022	0.0041	0
Wo	1.2	1.1	0.9	0.8	1	1.9				44.8	43.2	48.4		
En	90.5	90.3	91.9	90.9	90.3	90.5				51.7	53.3	48.7		
Fs	8.3	8.6	7.2	8.3	8.7	7.6				3.5	3.5	2.9		
Fo							91.1	91.6	91.3				57.6	53.9
Fe#													61	59.4

表1 库地地幔橄榄岩中代表性矿物化学组成(wt%)

Table 1 Chemical compositions in the representative minerals from the Kuda mantle peridotites (wt%)

注:数据统计来源于沈步明等,1996

形成于相似的氧逸度环境,进一步佐证库地地幔橄 榄岩经历了岩石-熔体过程。对比于洋中脊和俯冲 带构造背景,地幔橄榄岩包括方辉橄榄岩、纯橄岩, 铬尖晶石的 Cr#与 Δlog(fO₂)^{FMQ}呈现明显不同的构 造区间^[33-34]。从图4可知,库地地幔橄榄岩形成于 不同的氧逸度环境,这与上述矿物学中橄榄石、斜 方辉石和单斜辉石的化学成分指示一致。

4 地球化学特征

蛇绿岩形成构造环境的厘定对恢复一个地区 在地质历史上的板块构造格局起到关键性作用。 有人提出只有少数蛇绿岩是大洋中脊扩张的产物, 多数蛇绿岩代表的是板块俯冲消减带上的岛弧和 弧后 盆 地、大 陆 边 缘 海 等 小 洋 盆。Pearce 和 Cann^[34-35] 最先提出根据化学成分来限定岩浆起源 的大地构造背景,并建立了构造-岩浆判别图解。研 究表明,Hf、Ti、Zr、Y、Nb 和 Sr 等元素是判别不同大 地构造环境玄武岩的最有效的判别因子^[34-35]。本 文收集了库地蛇绿岩层序中上层玄武岩的数据来 源^[14-15]。图 5 为库地蛇绿岩的玄武岩构造环境判 别图解,在 Ti/100-Zr-Y × 3 图解(图 5a)上,玄武岩 落入洋中脊玄武岩区;在 Hf/3-Th-Ta 图解上,库地 玄武岩投在 N-MORB 玄武岩区;Zr/Y-Zr 图解上,以 及 Th/Yb-Ta/Yb 图解中,玄武岩都位于 N-MORB 玄









图4 库地地幔橄榄岩的氧逸度图解^[33]

SSZ hz. 俯冲带型方辉橄榄岩; MOR hz. 洋中脊型方辉橄榄岩; MOR du. 洋中脊型纯橄岩; SSZ du. 俯冲带型纯橄岩; IAT lava/du. 岛弧拉 斑玄武岩/纯橄岩; BON lava/du. 玻安质玄武岩/纯橄岩

Fig. 4 Oxygen fugacity vs. Cr# of the different lithologies of the Kuda mantle peridotites (after Dare et al. , 2009)

武岩区。结合早期报道过的玄武岩的稀土元素和 微量元素配分模式^[10,14],并从上述不活泼元素的判 别图解上看,玄武岩属于洋中脊环境。在地幔橄榄 岩、辉石岩和辉长岩中含水矿物角闪石、绿帘石等 的出现,暗示其受到后期流体的改造^[36-37],而这种 流体形成于板块俯冲带上,库地铬铁矿中角闪石的 发现佐证了这一特征^[29]。不同于其它蛇绿岩体弧 后盆地和多岛弧的观点^[38-39],在我国典型的雅鲁藏 布江缝合带东段罗布莎蛇绿岩同样是在大洋中脊 形成后,经历了一个俯冲带环境的演化过程^[40-43], 本文所讨论的库地蛇绿岩可能也属这种类型。

5 讨论及结论

5.1 地幔橄榄岩的演化过程 部分熔融可使地幔亏损,并达到矿物相消失的



图 5 库地蛇绿岩中玄武岩、辉长岩和辉石岩构造环境判别图解(据 a. Pearce and Cann ,1973; b. Wood ,1980; c. Pearce et al., 1979; d. Pearce ,1984)

CAB. 钙碱性玄武岩;LKT. 岛弧低钾拉斑玄武岩;IAT. 岛孤拉斑玄武岩;MORB. 洋中脊玄武岩;N-MORB. 正常洋中脊玄武岩;E-MORB. 富集型 洋中脊玄武岩;WPT. 板内拉斑玄武岩;WPAB. 板内碱性玄武岩;IAB. 岛孤玄武岩;SH. 橄榄粗安岩;WPB. 板内玄武岩;TH. 拉斑玄武岩;TR. 过 渡型;AB. 碱性玄武岩

Fig. 5 Discrimination diagrams for the tectonic interpretation of basalts , gabbro and pyroxenite from the Kuda ophiolite in western Kunlun Mountains

熔融点。实验数据表明,富集的二辉橄榄岩部分熔 融程度达到20%情况下转变成残余的方辉橄榄岩, 而在50%~60%的条件下形成纯橄岩^[47,49]。在无水 条件下,单斜辉石易转变成流体。当岩石中只有 5%~7%的单斜辉石时流体有所减少,而方辉橄榄 岩转变成流体的比例有所增加^[49]。所以,地幔橄榄 岩中单斜辉石的比例越低,指示此岩石发生部分熔 融的程度越高^[18,49]。 矿物化学特征结果表明,库地地幔橄榄岩位于 深海地幔橄榄岩区,并具有比原始地幔更低的 CaO、 Al₂O₃和 FeO^T含量,是由于地幔橄榄岩发生部分熔 融过程中这些相容元素被抽走从而残留的结果。 库地地幔橄榄岩的矿物学特征,与其对应的是蛇绿 岩上部玄武岩地球化学特征,指示库地地幔橄榄岩 经历了洋中脊至俯冲带环境的改造过程(图5),地幔 橄榄岩中角闪石的发现也证明了这一过程^[29]。



图 6 (a) 库地地幔橄榄岩中铬尖晶石的 Cr#-单斜辉石的 $Al_2O_3(wt\%)$ 图; (b) 库地地幔橄榄岩中橄榄石的 Fo 值-铬尖晶石的 Cr#的成分图(Pearce et al. 2000)

Fig. 6 a. Variation diagram of $Al_2 O_3$ (wt%) in clinopyroxene vs. Cr# in coexisting spinel from the Kuda mantle peridotites; b. Variation diagram of Cr# in spinel vs. Fo contents in coexisting olivine from the Kuda mantle peridotites (after Pearce et al. , 2000)

从图 6 可知,库地地幔橄榄岩多位于岛弧橄榄岩的 位置,部分熔融程度较高,达到了~30%,显示可能 在俯冲带的位置发生了岩石/熔体的反应,而指示 部分熔融程度增加,铬尖晶石的铬值增加。库地岩 体中纯橄岩的铬尖晶石 Cr#、单斜辉石 Al₂O₃含量及 橄榄石的 Fo 值,也同样显示库地地幔橄榄岩部分熔 融程度达~30%,呈现俯冲型地幔橄榄岩的特征。

5.2 构造意义

对于蛇绿岩的形成环境,有人提出只有少数蛇 绿岩是大洋中脊扩张的产物,多数蛇绿岩代表的是 板块俯冲消减带上的岛弧和弧后盆地、大陆边缘海 等小洋盆^[45]。基于此问题,笔者认为,在对辉石岩、 辉长岩进行锆石 U-Pb 年龄解释之前,有必要先查 明其岩石化学类型,弄清楚形成构造环境。侵位于 地幔橄榄岩中的辉长(绿)岩显然与典型蛇绿岩剖 面中位于堆晶岩之上的席状岩墙群不同。一般认 为,此类基性分凝体为地幔岩的同源熔出物^[50],是 以岩脉(墙)的形式被抽出而固结的产物^[51]。通过 上述分析,可推断库地蛇绿岩的辉石岩、辉长岩应 属同源产出,辉长岩的主量元素及稀土元素都呈典 型的特征^[14]。并且获得石英辉长岩锆石 SHRIMP 年龄 510±4Ma^[16]、伟晶辉长岩 SHRIMP 年龄 525± 2.9Ma 和玄武岩 428±19Ma^[6]。在 2Nb-Zr/4-Y 环 境判别图解和 Th/Yb-Ta/Yb 构造图解上样品都在 洋中脊玄武岩的区域(图5)。此外,Rb-Sr 全岩的年 龄为 359~297 ± 45Ma,Sm/Nd 模式年龄为 698~ 976Ma^[11],K-Ar 全岩年龄为 817 ± 29Ma^[21],全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 824 ± 23Ma^[52]。由此进一步 证明西昆仑库地蛇绿岩中辉长辉绿岩与正常洋中 脊玄武岩具有亲缘性,形成于洋中脊环境。玄武岩 也具同样的特征,但微量元素的特征显示可能也与 后期流体的交代作用富集有关^[7]。库地地幔橄榄 岩的矿物学和氧逸度特征表明岩体先期形成于洋 中脊环境,后期经历了俯冲带环境的改造,形成了 俯冲型地幔橄榄岩的矿物学特征。这可对比于雅 鲁藏布江缝合带蛇绿岩,同样是在大洋中脊形成 后 经历了一个俯冲带环境的演化过程^[53-54]。

综上所述,西昆仑库地蛇绿岩体构造背景相似 于雅鲁藏布江缝合带蛇绿岩。库地地幔橄榄岩中 矿物组合、矿物化学成份及玄武岩地球化学结果, 显示岩体经历了~30%的强部分熔融作用,并且经 历了两个阶段,即为早期的洋中脊构造背景,以及 后期就位过程中的俯冲带环境的改造,是多阶段不 同构造背景演化的结果。

参考文献:

- [1] 邓万明. 喀喇昆仑-西昆仑地区蛇绿岩的地质特征及其大地构 造意义[J]. 岩石学报 1995, 11 (增刊):98-111.
- [2] 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造一中国及 邻区大地构造图简要说明[M]. 北京: 地质出版社, 1999.
- [3] 姜耀辉,芮行健,贺菊瑞,等.西昆仑山加里东期花岗岩类构造
 的类型及其大地构造意义[J].岩石学报,1999,15(1):105
 -115.
- [4] 姜春发,王宗起,李锦铁.中央造山带开合构造[M].北京:地 质出版社 2000.
- [5] 姜耀辉, 芮行健, 郭坤一, 等. 西昆仑造山带花岗岩研究新进展[J]. 火山地质与矿产 2000 21(1):61-62.
- [6] 张传林,于海锋,沈家林,等.西昆仑库地伟晶辉长岩和玄武岩 锆石 SHRIMP 年龄:库地蛇绿岩的解体[J].地质论评,2004, 50(6):639-643.
- [7] 袁超 孙敏 周辉,等. 西昆仑阿卡阿孜山岩体的年代、源区和 构造意义[J]. 新疆地质 2003 21(1):37-45.
- [8] 潘裕生. 青藏高原叶城一狮泉河路线地质特征及区域构造演 化[J]. 地质学报,1994,68(4):295-307.
- [9] 丁道桂. 西昆仑造山带与盆地[M]. 北京:地质出版社,1996.
- [10] 杨树锋 陈汉林 ,董传万 ,等. 西昆仑山库地蛇绿岩的特征及 其构造意义[J]. 地质科学 ,1999 ,34(3):281 - 288.
- [11] 邓万明.喀喇昆仑-昆仑山地质演化[M].北京:科学出版 社 2000.
- [12] 汪玉珍. 西昆仑山依莎克群的时代及其构造意义[J]. 新疆地 质,1983,1(1):1-8.
- [13] 王元龙 李向东 毕华 ,等. 西昆仑库地蛇绿岩的地质特征及 其形成环境[J]. 长春地质学院学报 ,1997 27(3):304 - 309.
- [14] 王志洪 李继亮 侯泉林 ,等. 西昆仑库地蛇绿岩地质 ,地球化 学及其成因研究[J]. 地质科学 2000 35(2):151-160.
- [15] 袁超 孙敏 李继亮 等. 西昆仑库地蛇绿岩的构造背景: 来自 玻安岩系岩石的新证据[J]. 地球化学 2002 31(1):43-48.
- [16] 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.
- [17] 张浩勇,巴登珠,郭铁鹰.西藏自治区曲松县罗布莎铬铁矿床 研究[M].拉萨:西藏人民出版社,1996.1-105.
- [18] DICK H J B, BULLEN T. Chromium 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] 乔耿彪 /伍跃中,尹传明,等.西昆仑库地蛇绿岩铬铁矿中铬 尖晶石化学特征及其地质意义[J].西北地质 2012 45(4): 346-356.
- [20] 郝杰 刘小汉 桑海清. 新疆东昆仑阿牙克岩体地球化学与⁴⁰ Ar
 /³⁹ Ar 年代学研究及其大地构造意义[J]. 岩石学报 2003 ,19
 (3):517 522.
- [21] 李永安 李向东 等.中国新疆喀喇昆仑羌塘地块及康西瓦构 造带构造演化[M].乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1994.
- [22] 李荣社 徐学义, 计文化. 对中国西部造山带地质研究若干问题的思考[J]. 地质通报 2008 27(12):2020-2025.
- [23] DICK H J B ,NATLAND J H. Late-stage melt evolution and transport in the shallow mantle beneath the East Pacific Rise [J]. Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific

Results ,1996 ,147:103 - 134.

- [24] PEARCE J A , BARKER P F , EDWARDS S J , PARKINSON I J ,LEAT P T. 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.
- [25] BREY G P , KOEHLER T. Geothermobarometry in four-phase lherzolites II. New thermobarometers and practical assessment of existing thermobarometers [J]. Journal of Petrology , 1990 ,31 (6):1353-1378.
- [26] BALLHAUS C ,BERRY R F , GREEN D H. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen barometer: implications for the oxidation state of the upper mantle [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology , 1991 , 107 (1):27 - 40.
- [27] O NEILL H STC, WALL V J. The olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer, the nickel precipitation curve, and the oxygen fugacity of the Earth 's upper mantle [J]. Journal of Petrology, 1987 28 (6):1169-1191.
- [28] WAN Z ,COOGAN L A ,CANIL D. Experimental calibration of aluminum partitioning between olivine and spinel as a geothermometer [J]. American Mineralogist , 2008 93 (7):1142 - 1147.
- [29] 沈步明,周云生,邓万明,等.新疆库地变质橄榄岩中地幔成 因的透闪石[J].科学通报,1996,41(3):239-241.
- [30] OZAWA K. Melting and melt segregation in the mantle wedge above a subduction zone: evidence from the chromite-bearing peridotites of the Miyamori Ophiolite Complex ,northeastern Japan [J]. Journal of Petrology ,1994 ,35(3):647-678.
- [31] PAGE P ,BEDARD J H ,SCHROETTER J M ,TREMBLAY A. Mantle petrology and mineralogy of the Thetford mines ophiolite complex [J]. Lithos 2008 ,100 (1):255 - 292.
- [32] 周美付,白文吉.对豆荚状铬铁矿床成因的认识[J].矿床地 质,1994,13(3):242-249.
- [33] DARE S A S ,PEARCE J A ,MCDONALD I ,STYLES M T. Tectonic discrimination of peridotites using fO_2 -Cr# and Ga-Ti-Fe^{III} systematics in chrome-spinel [J]. Chemical Geology ,2009 , 261 (3 - 4) :199 - 216.
- [34] PEARCE J A , CANN J R. Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti Zr and Y[J]. Earth Planet Science Letters , 1971 ,12(3):339-349.
- [35] PEARCE J A, CANN J R. Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses [J]. Earth Planetary Science Letters, 1973, 19 (2):290 – 300.
- [36] IONOV D A ,GRIFFIN L W ,O' REILLY S Y. Volatile-bearing minerals and lithophile trace elements in the upper mantle [J]. Chemical Geology, 1997, 141 (3-4):153-184.
- [37] COLTORTI M ,BECCALUVA L ,BONADIMAN C ,FACCINI B , NTAFLOS T , SIENA F. Amphibole genesis via metasomatic reaction with clinopyroxene in mantle xenoliths from Victoria Land ,Antartica [J]. Lithos ,2004 75(1-2):115-139.
- [38] 李光明,冯孝良. 西藏冈底斯构造带中段多岛弧-盆系及其演 化[J]. 沉积与特提斯地质,2000,20(4):38-46.

- [39] 马润则, 陶晓风, 刘登忠, 石和, 胡新伟. 西藏措勤盆地北缘麦 堆构造混杂岩带及变质超基性岩[J]. 沉积与特提斯地质, 2006,26(3):1-7.
- [40] 耿全如、潘桂棠、刘宇平,郑来林.雅鲁藏布大峡谷地区蛇绿 混杂岩带初步研究[J]. 沉积与特提斯地质, 2000, 20(1):28 -43.
- [41] 周肃,莫宣学,MAHONEY JJ,张双全,郭铁鹰,赵志丹.西藏 罗布莎蛇绿岩中辉长辉绿岩 Sm-Nd 定年及 Pb, Nd 同位素特 征[J]. 科学通报 2001 46(6):387-1390.
- [42] 徐向珍. 藏南康金拉豆荚状铬铁矿和地幔橄榄岩成因研究 [D]. 中国地质科学院博士论文 2009.1-165
- [43] LIUCZ, WUFY, WIDESA, YULJ, LIJL. Anorthitic plagioclase and pargasitic amphibole in mantle peridotites from the Yungbwa ophiolite (southwestern Tibetan Plateau) formed by hydrous melt metasomatism [J]. Lithos ,2010 ,114 (3-4):413 -422.
- [44] WOOD D A. Inactivation of extracellular laccase during fruiting of Agaricus bisporus [J]. Journal of General Microbiology ,1980 , 117(2):339-345.
- [45] PEARCE J A LIPPARD S J , ROBERTS S. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites [A]. Kokelaar B P and Howells M F. Marginal Basin Geology [C]. Geological Society of London Special Publication, London: Blackwell Scientific Publications ,1984 ,16(1):77-94.
- [46] PEARCE J A ,NORRY M J. Petrogenetic implications of Ti Zr ,Y and Nb variations in volcanic rocks [J]. Contributions to

Mineralogy and Petrology ,1979 69(1):33-47.

- [47] JAQUES A L , GREEN D H. Anhydrous melting of peridotite at 0 - 15kb pressure and the genesis of tholeiitic basalts [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology ,1980 ,73 (3): 287 -310.
- [48] BONATTI E, MICHAEL PJ. Mantle peridotites from continental rifts to ocean basins to subduction zones [J]. Earth and Planetary Science Letters ,1989 91 (3-4):297 - 311.
- [49] KOSTOPOULOS D K. Melting of shallow upper mantle: a new perspective [J]. Journal of Petrology 1991 32(4):671-699.
- [50] 鲍佩声,王希斌,彭根永,陈方远.中国铬铁矿床[M].北京: 科学出版社 ,1999.98-142.
- [51] NICOLAS A , PRINZHOFER A. Cumulative or residual origin for the transition zone in ophiolites: structural evidence [J]. Journal of Petrology ,1983 24(2):188-206.
- [52] 方爱民. 新疆西昆仑库地混杂带中的弧前复理石沉积及其大 地构造制约[D].北京:中国科学院地质研究所,1998.15 -20.
- [53] YANG J S , DOBRZHINETSKAYA L , BAI W J. Diamond- and coesite-bearing chromitites from the Luobusa ophiolite, Tibet [J]. Geology 2007 35(10):875-878.
- [54] YAMAMOTO S ,KOMIYA T ,HIROSE K ,MARUYAMA S. Coesite and clinopyroxene exsolution lamellae in chromites: Insitu ultrahigh-pressure evidence from podiform chromitites in the Luobusa ophiolite southern Tibet [J]. Lithos 2009,109(3-4): 314 - 322.

Genesis and tectonic significance of the Kuda ophiolites in western Kunlun Mountains, Xinjiang

YANG Jun¹, CAI Ke-ke², ZHAO Zhi-qiang¹, WANG Shi-wei¹, GAN Hai-tao¹

(1. Regional Geological Surveying Party, Sichuan Bereau of Geology and Mineral Resources, Shuangliu 610213, Sichuan, China; 2. No. 607 Geological Prospecting Party, Chongqing Bereau of Geology and Mineral Resources, Chongging 400056, China)

Abstract: The Kuda ophiolites hosted on the northern side of the Kangxiwar strike-slip fault in western Kunlun Mountains, Xinjiang are made up of dismembered metamorphic peridotites, cumulate rocks and massive pillow basalts , and overlain by the variegated pyroclastic rocks and clastic rocks with turbidites. The Sinian to Early Ordovician is interpreted as the major periods for the formation of the oceanic basin for the Kuda ophiolites, and the emplacement of the ophiolites may represent the important records for the plate motion in the study area during the Late Proterozoic to the Early Palaeozoic. The chemical characteristics show that the Kuda peridotites occur in the abyssal mantle peridotite fields, and have lower CaO, Al_2O_3 and FeO^T contents than those in the primitive mantle. The mineralogical characteristics of the peridotites and geochemical signatures of the basalts indicate that the Kuda ophiolites have seen about 30% of partial melting of the peridotites , and recorded the tectonic transition from the mid-oceanic ridge to the subduction zone, similar to those of the Yarlung Zangbo suture zone.