



塔里木西北缘新生代火山岩中幔源橄榄岩捕虏体地球化学特征及指示意义

卞霄¹, 郑兆伟², 卞争艳³, 王浩宇⁴, 蔡娜^{1*}, 李鑫¹, 刘兰海¹

(1.山东省地质科学研究所, 自然资源部金矿成矿过程与资源利用重点实验室, 山东省金属矿产成矿地质过程与资源利用重点实验室, 山东 济南 250013; 2.山东省煤田地质局物探测量队, 山东 济南 250104; 3.桂林理工大学地球科学学院, 广西 桂林 541006; 4.山东科技大学, 山东 青岛 266590)

摘要:新生代玄武岩/煌斑岩携带的幔源橄榄岩捕虏体为揭示塔里木克拉通西北缘岩石圈地幔演化提供了关键窗口。本文综述了该区盆地内部至西南天山造山带连续出露的地幔橄榄岩捕虏体的岩石学特征、矿物化学组成、属性年龄及多阶段交代过程。研究表明,塔里木西北缘岩石圈地幔具有适度难熔至饱满属性,表现为非典型太古宙克拉通型地幔特征,其形成演化受控于新元古代俯冲、晚古生代地幔柱活动及新生代欧亚碰撞的叠加改造。综合原位矿物主微量元素、全岩地球化学、铂族元素配分及 Re-Os 同位素体系揭示,环克拉通地幔的增生-再熔-交代过程是其对地幔柱和汇聚事件累积效应的综合响应。

关键词:新生代火山岩; 橄榄岩捕虏体; 地球化学特征; 塔里木西北缘

中图分类号: P595

文献标识码: A

doi: 10.12128/j.issn.1672-6979.2025.10.001

0 引言

地球化学研究表明,太古宙克拉通型岩石圈地幔与元古代—显生宙活动带下方的岩石圈地幔存在显著地球物理及地球化学差异。太古宙克拉通岩石圈地幔以高度难熔组分、低地热梯度和巨厚结构为特征,这种刚性构造单元为上覆大陆地壳提供了长期稳定性^[1-2]。与之形成对比的是,环克拉通构造域(如克拉通边缘及增生带)发育的元古代—显生宙岩石圈地幔,其普遍表现出较高地热梯度、较薄厚度及饱满型地球化学特征,被普遍认为是岩石圈薄弱带^[3]。这种属性使其成为构造-岩浆活动的优先通道,更易受克拉通核部或相邻造山带构造热事件扰动^[4],以致该构造环境下的岩石圈地幔经历了更为丰富的演化过程,进而更频繁地推动深部圈层和地表系统之间的物质交换,影响地球宜居环境^[5]。关于环克拉通岩石圈地幔的成因机制仍存在学术争

议:部分学者提出其为元古代新增生岩石圈^[6-7],而另一些研究则强调其本质是太古宙克拉通岩石圈经元古代构造热事件改造的产物^[1]。

塔里木克拉通作为中国西部最大的前寒武纪陆块,其岩石圈地幔研究长期受限于地表覆盖层(塔克拉玛干沙漠)的广泛发育,导致幔源橄榄岩包体获取难度显著增加,相关研究程度明显滞后于中国东部的华北克拉通和华南地块。值得关注的是,塔里木西北缘作为中亚造山系与塔里木克拉通的过渡区域,其岩石圈地幔记录了新元古代以来多期次板块汇聚事件和地幔柱活动^[8-14]。

研究发现,从塔里木盆地西北缘至毗邻西南天山造山带,连续在多处出露有新生代玄武岩或煌斑岩,主要位于西克尔(盆地内部)、皮羌(过渡区)、托云(造山带边缘)地区,且这些新生代火山岩中均含有幔源橄榄岩捕虏体,为揭示环克拉通岩石圈地幔的形成演化提供了关键研究载体。本文通过综述3个区域的橄榄岩捕虏体的矿物组合特征、地球化学

收稿日期: 2025-02-26; 修订日期: 2025-06-23; 编辑: 武昕普

基金项目: 本文受山东省青年面上专项基金项目资助,项目编号: ZR2025QC420

作者简介: 卞霄(1995—),女,山东滨州人,工程师,主要从事岩石学、地幔地球化学研究工作; E-mail: bianxxiao@qq.com

* 通信作者: 蔡娜(1984—),女,山东德州人,高级工程师,主要从事矿产普查与勘探、资源评价工作; E-mail: 549827331@qq.com

属性、形成—改造时代及多期次地幔交代作用特征，系统总结了研究区岩石圈地幔的成因意义，为进一步认识环克拉岩石圈地幔演化规律及地球深部作用过程提供依据。

1 地质背景

塔里木克拉通与华北克拉通、华南板块共同构成中国大陆大地构造的基本架构^[15-17](图 1),其为

典型双层结构,包括下层前寒武纪变质基底和上层显生宙沉积盖层^[16]。但变质基底出露范围十分有限,仅在克拉通西北缘的阿克苏—乌什地区,东北缘的库鲁克塔格—库尔勒地区,西南缘的铁克里克地区和东南缘的敦煌—阿尔金地区发现。而塔里木周缘古元古代显著的岩浆作用和变质作用被认为是对该时期哥伦比亚超大陆聚合事件的响应^[18-20]。

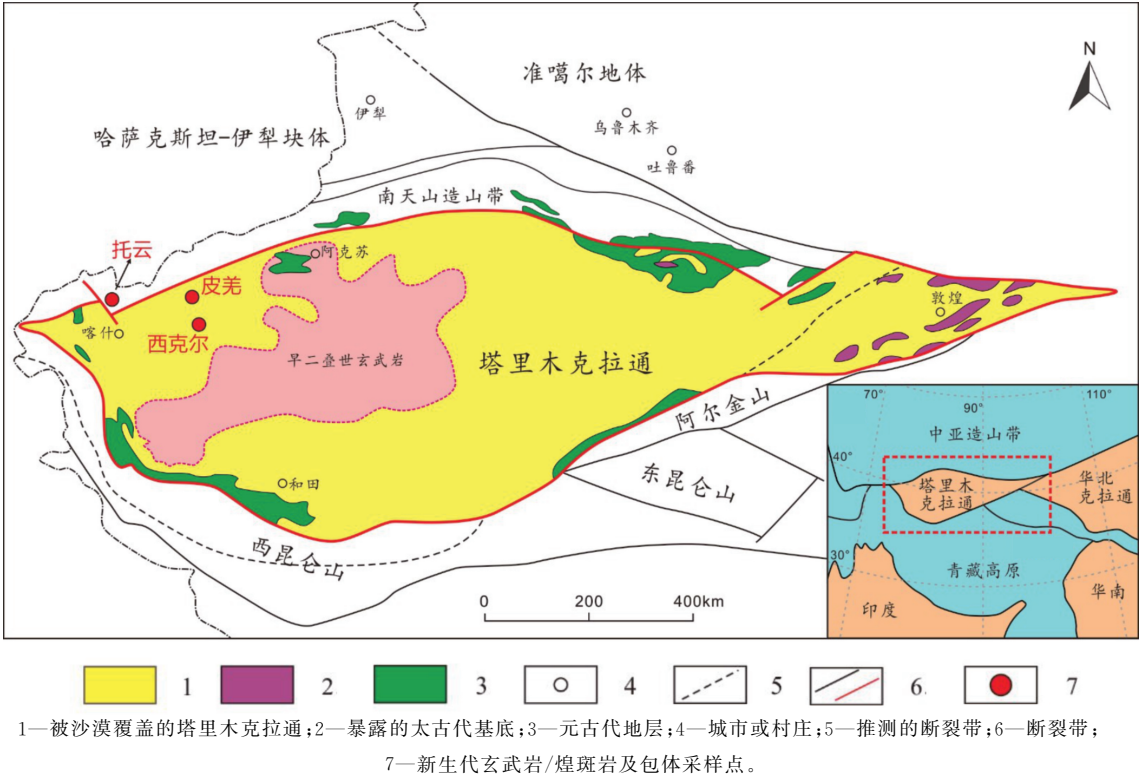


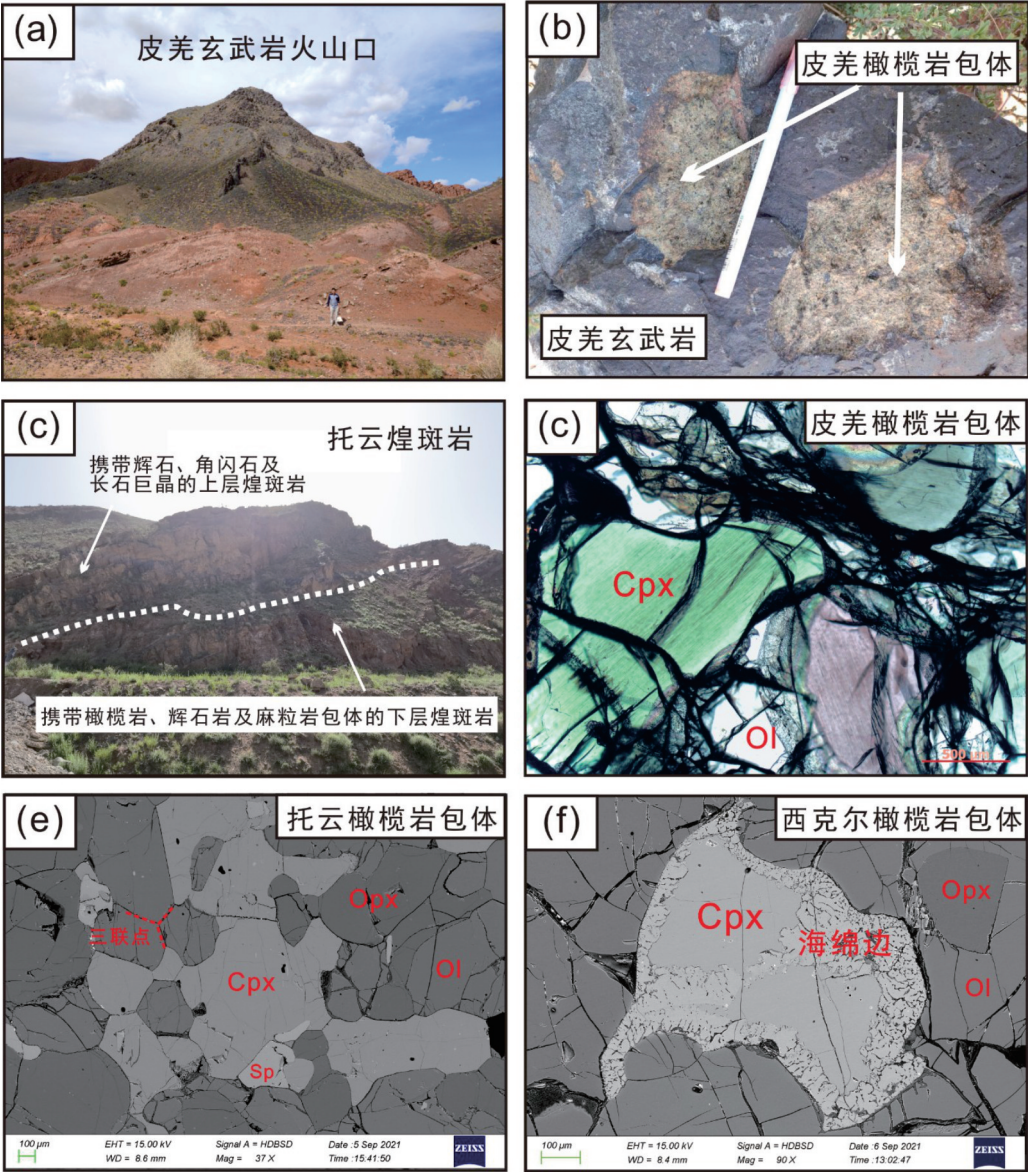
图 1 塔里木克拉通地质简图

这些前寒武纪变质基底均被中元古代至新元古代早期的碎屑岩和沉积碳酸盐不整合覆盖。古地磁资料和超大陆重建结果表明,塔里木克拉通在新元古代位于罗迪尼亚超大陆西北缘,长期经历与泛罗迪尼亚洋相关的俯冲事件^[21-23]。新元古代塔里木发生大规模构造热事件,形成了广泛的岩浆活动。古生代,塔里木克拉通参与了天山造山带的演化。近期研究认为,西南天山的增生发生在古生代至新元古代早期,且与环罗迪尼亚增生系统相关,提出了塔里木和西伯利亚对称增生的模式。在晚古生代,塔里木西北部大量火山岩所构成的岩浆建造被认为大火成岩省,由大量的火山序列和相关的侵入体组成^[24]。三叠纪到新生代之前,塔里木克拉通及其周

围演化为稳定的陆内环境,岩浆作用和构造事件有限^[25]。受印度—欧亚大陆碰撞作用的远程影响,新生代塔里木西北部发育了以塔拉斯—费尔干纳走滑断裂、皮羌走滑断裂和阿尔金走滑断裂为代表的多条走滑断裂体系,新生代玄武质岩浆活动空间上位于裂谷带或大型走滑断裂带附近,且携带丰富的地幔及地壳包体^[26-28]。

2 橄榄岩捕虏体矿物组成特征

塔里木克拉通西北缘新生代玄武岩与煌斑岩携带的幔源包体以尖晶石相二辉橄榄岩为主,其中仅皮羌剖面首次报道存在异剥橄榄岩^[29-34](图 2)。



Ol—橄榄石；Opx—斜方辉石；Cpx—单斜辉石；Sp—尖晶石。

图 2 塔里木西北缘玄武岩/煌斑岩及其橄榄岩包体典型野外与镜下照片

研究显示,皮羌二辉橄榄岩包体以残碎斑状为主,具有显著高的橄榄石(56%~79%)和斜方辉石含量(15%~37%),以及低的单斜辉石含量(5%~15%),在超基性岩三角分类图中趋近于方辉橄榄岩区域,具有相对难熔的矿物组合(表 1)。

这些橄榄岩普遍发育间隙相与包裹相基本金属硫化物(BMS),其矿物组合以镍黄铁矿(Pn)–磁黄铁矿(Po)–黄铜矿(Cep)三元体系为主,同样品中硫化物丰度差异很大。同时,在超镁铁质岩石分类图中,皮羌异剥橄榄岩趋近于难熔地幔与硅不饱和熔体反应的矿物演化路径。

相比之下,托云和西克尔二辉橄榄岩具有较低的橄榄石含量(39%~78%)和较高的辉石含量(单斜辉石:5%~34%;斜方辉石:10%~36%),具有相对饱满的矿物组合,不含硫化物(表 1)。其中,托云部分组别橄榄岩的矿物组合十分趋近于橄榄辉石岩,这除了本身更富含饱满矿物组分的原因之外,也可能叠加了后期的熔岩反应,因为实验岩石学表明硅饱和熔体可以消耗橄榄石形成辉石(图 3)。

显微构造分析揭示:矿物裂隙与晶界断裂发育明显;寄主岩接触带单斜辉石与斜方辉石边部普遍发育反应边结构;捕虏体内部单斜辉石海绵边构造

表 1 塔里木西北缘橄榄岩矿物组成特征

采样点	样品	岩石类型	显微结构	矿物含量/%			
				Ol	Opx	Cpx	Sp
西克尔	21XK-2	尖晶石 二辉橄榄岩	原生粒状	54	19	21	6
西克尔	21XK-4	尖晶石 二辉橄榄岩	原生粒状	56	21	19	4
西克尔	21XK-5	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	60	20	13	7
西克尔	21XK-6	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	65	16	17	2
西克尔	21XK-7	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	59	17	20	4
西克尔	21XK-8	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	57	19	15	9
西克尔	21XK-9	尖晶石 二辉橄榄岩	原生粒状	57	16	22	5
西克尔	11XKK-1	尖晶石 二辉橄榄岩	中等粒状	65	22	12	1
西克尔	11XKK-7	尖晶石 二辉橄榄岩	中等粒状	63	24	11	2
西克尔	XKK-1W	尖晶石 二辉橄榄岩	中等粒状	66	22	11	1
西克尔	XKK-2W	尖晶石 二辉橄榄岩	中等粒状	63	25	12	0.5
西克尔	11XKK-2	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	77	17	5	1
西克尔	11XKK-4	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	70	17	10	2
西克尔	11XKK-6	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	75	15	9	1
西克尔	11XKK-8	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	78	13	8	1
西克尔	11XKK-3	尖晶石 二辉橄榄岩	原生细粒	60	22	16	2
西克尔	11XKK-5	尖晶石 二辉橄榄岩	原生细粒	64	21	14	1
皮羌	19pq-1	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	68	24	6	2
皮羌	19pq-2	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	63	23	12	2
皮羌	19pq-3	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	65	27	5	3
皮羌	19pq-4	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	75	20	4	1
皮羌	19pq-5	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	79	13	6	2
皮羌	19pq-6	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	61	26	11	2
皮羌	19pq-7	尖晶石 二辉橄榄岩	原生粒状	74	15	10	1
皮羌	19pq-8	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	68	25	5	2
皮羌	19pq-9	尖晶石 异剥橄榄岩	残碎斑状	76	1	23	1
皮羌	19pq-10	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	59	35	5	1
皮羌	19pq-11	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	58	32	6	4
皮羌	19pq-12	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	73	15	9	3
皮羌	19pq-15	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	68	17	15	1
皮羌	19pq-17	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	56	37	6	1

表 1 塔里木西北缘橄榄岩矿物组成特征(续表)

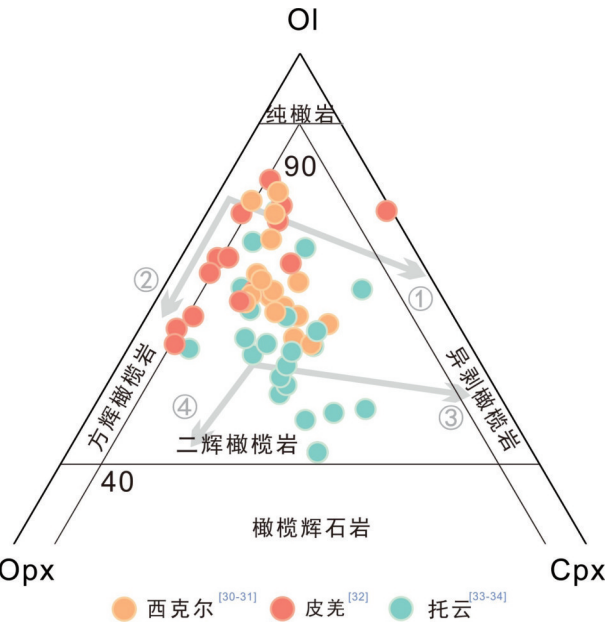
采样点	样品	岩石类型	显微结构	矿物含量/%			
				Ol	Opx	Cpx	Sp
托云	19TY-1	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	55	28.5	16.5	
托云	19TY-4	尖晶石 二辉橄榄岩	原生粒状	39	26	30	5
托云	19TY-5	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	47	18	34	1
托云	19TY-6	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	65	25	10	
托云	19TY-7	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	56	20	23	1
托云	21TY-1	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	70.5	20	8	1.5
托云	21TY-2	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	64	10	25	1
托云	21TY-4	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	45	26	27	2
托云	21TY-7	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	56	36	8	
托云	21TY-8	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	70	14	15	1
托云	21TY-9	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	46	22	30	2
托云	21TY-13	尖晶石 二辉橄榄岩	残碎斑状	75	15	8.5	1.5
托云	T1c	尖晶石 二辉橄榄岩	原生细粒	52	26	21.5	0.5
托云	T1e	尖晶石 二辉橄榄岩	原生细粒	55.5	26	21.5	0.5
托云	T4p1	尖晶石 二辉橄榄岩	原生细粒	60	21	18	1
托云	T2	二辉橄榄岩	原生细粒	54	24.5	21.5	
托云	T14d	二辉橄榄岩	原生细粒	57	25.5	17.5	
托云	T39bq2	二辉橄榄岩	原生细粒	51	26	23	
托云	T3bq2	尖晶石 二辉橄榄岩	原生细粒	56.5	27.5	14	1.5
托云	T24b	二辉橄榄岩	原生细粒	59.5	24	12	
托云	T24a	二辉橄榄岩	中等粒状	50.5	16	19.5	
托云	T4p2	尖晶石 二辉橄榄岩	原生细粒	61	23.5	11.5	2
托云	T30	二辉橄榄岩	原生细粒	50	27.4	22.5	

注：Ol—橄榄石；Opx—斜方辉石；Cpx—单斜辉石；Sp—尖晶石。

广泛发育。总体来看,塔里木西北缘地幔橄榄岩包体均呈现强烈的机械性改造和剪切变形,各种矿物的不平衡结构发育,表明塔里木西北缘橄榄岩包体在被寄主岩携带至地表前不久及携带过程中经历多期次熔/流体改造。

3 塔里木西北缘岩石圈地幔属性

地幔橄榄岩捕虏体的矿物地球化学参数(橄榄石和辉石的Mg[#]值、尖晶石Cr[#]值)与部分熔融程

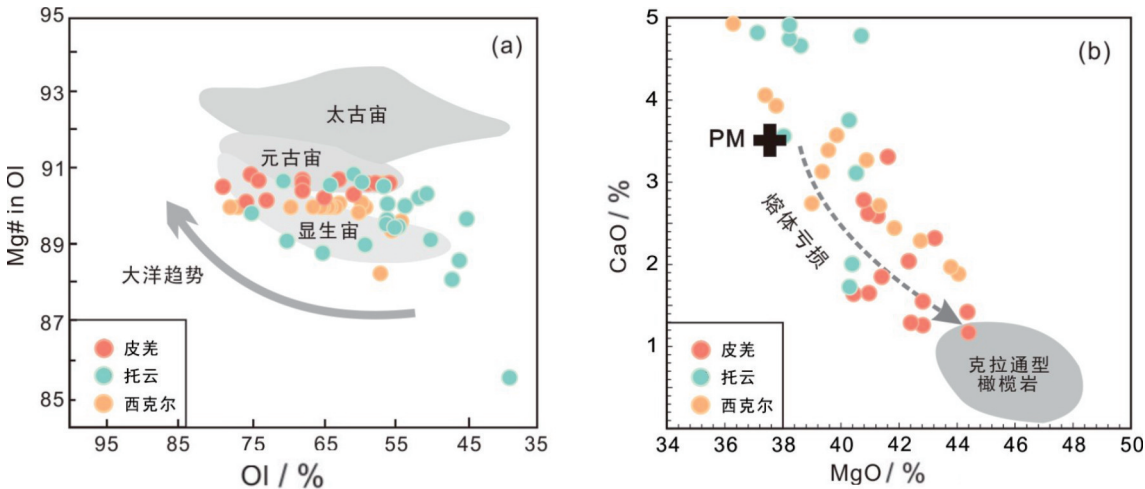


①—难熔地幔橄榄岩与硅不饱和熔体反应的矿物组合演化路径；②—难熔地幔橄榄岩与硅饱和熔体反应的矿物组合演化路径；③—饱满地幔橄榄岩与硅不饱和熔体反应的矿物组合演化路径；④—饱满地幔橄榄岩与硅饱和熔体反应的矿物组合演化路径；Ol—橄榄石；Opx—斜方辉石；Cpx—单斜辉石。

图 3 塔里木西北缘橄榄岩捕虏体三角分类图
(据文献[35]修改)

度呈显著正相关关系^[36-38]。这一地球化学响应机制表现为：随着熔融程度增加，橄榄石和辉石中 Fe、Ca、Al 及碱金属等不相容元素发生亏损，而 Mg、Cr、Ni 等相容元素则呈现显著富集特征。此类元素分异行为已被广泛证实为定量表征橄榄岩部分熔融过程的关键指标，并为判别岩石圈地幔的难熔性与饱满性提供重要依据^[36-40]。

塔里木西北缘橄榄岩捕虏体整体具有较高的辉石含量和较低的橄榄石含量，橄榄石 $Mg^\#$ 值普遍低于 92，尖晶石 $Cr^\#$ 值小于 30(图 4a)。结合矿物比例及主量元素组成(图 4b)，全岩 MgO 含量 $<45\%$ ， $Al_2O_3 > 1\%$ ， $CaO > 1\%$ ，表明该区岩石圈地幔形成于元古宙—显生宙低度部分熔融环境，具有适度难熔至饱满型属性，明显区别于太古宙克拉通型难熔地幔。单斜辉石微量元素分析进一步佐证此结论。根据 Norman^[44] 的计算方法，塔里木西北缘橄榄岩包体经历了 $<20\%$ 批式熔融和 $<10\%$ 分离熔融，对应了橄榄岩饱满的属性(图 5，塔里木西北缘橄榄岩捕虏体数据来源与图 2 一致)。区域对比研究表明：皮羌地区橄榄岩包体显示适度难熔特征，表现为橄榄石核部 $Mg^\#$ 值(90.1~90.9)、 MnO 含量低，斜方辉石 TiO_2 含量高，尖晶石 $Cr^\#$ (13.0~18.2) 与



a—塔里木西北缘橄榄岩捕虏体橄榄石含量与橄榄石 $Mg^\#$ 协变图解(太古代橄榄岩、元古代橄榄岩和显生宙橄榄岩数据来自文献[36]，大洋橄榄岩趋势引自文献[41])；b—塔里木西北缘橄榄岩捕虏体全岩 MgO 、 CaO 协变图解(原始地幔引自文献[42]，克拉通区域及熔融趋势引自文献[43]，塔里木西北缘橄榄岩捕虏体引自文献[30-34])；Ol—橄榄石；PM—原始地幔。

图 4 塔里木西北缘橄榄岩捕虏体属性

TiO_2 (0.01%~0.07%) 较低，全岩高 MgO (40.44%~44.36%) 及低 CaO 和 Al_2O_3 含量。而托云和西克尔橄榄岩中橄榄石 $Mg^\#$ 明显更低， MnO 含量明

显偏高，斜方辉石和单斜辉石 $Mg^\#$ 同样明显偏低；全岩 MgO 含量也相对皮羌橄榄岩更低， CaO 和 Al_2O_3 含量更高；整体更富集易熔组分，反映更显著

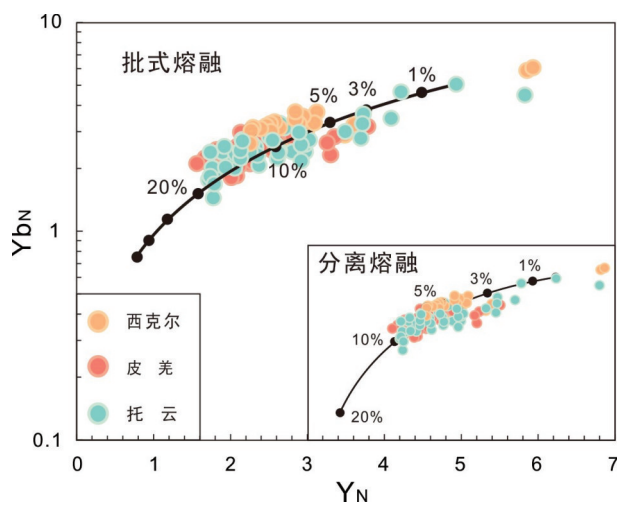
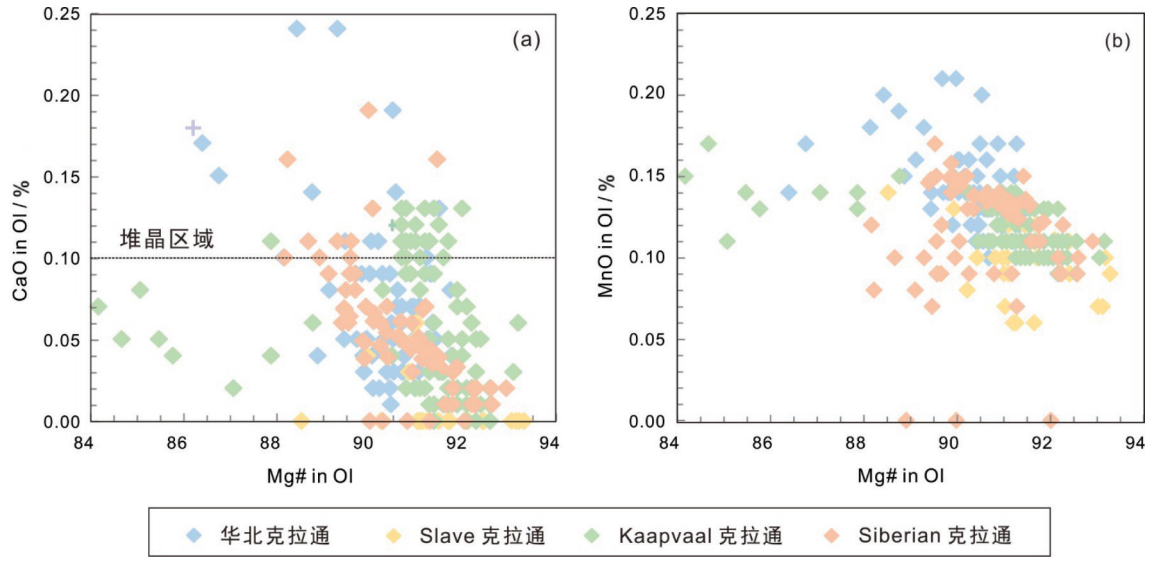


图 5 塔里木西北缘橄榄岩中单斜辉石 Yb 与 Y 含量对熔融程度的限定

的饱满型地幔属性^[44-47]。全球克拉通环带岩石圈地幔普遍以饱满型为主,但常保留少量高难熔残留体(橄榄石 $Mg^\# > 92$)(图 6),例如华北克拉通东部^[45-46]、环 Salve 克拉通^[47-49]、Kaapvaal 克拉通^[7,50]、Siberia 克拉通^[51-55] 克拉通等,塔里木西北缘的独特性在于完全缺乏高 $Mg^\#$ 值(> 92)橄榄岩,指示其岩石圈可能经历多期次熔体-流体交代改造事件,导致原始难熔组分的显著消减。这一差异为探讨克拉通边缘地幔演化机制提供了关键约束。

4 塔里木西北缘岩石圈地幔年龄

Re-Os 同位素体系是现今地幔橄榄岩研究中最普遍的地质年代计^[56],为了将 Re-Os 同位素系



a—全球典型克拉通边缘地幔橄榄岩包体中橄榄石 $Mg^\#$ 与 CaO 含量协变图解;b—全球典型克拉通边缘地幔橄榄岩包体中橄榄石 $Mg^\#$ 与 MnO 含量协变图解。

图 6 全球典型克拉通边缘地幔橄榄岩包体中橄榄石主量元素组成

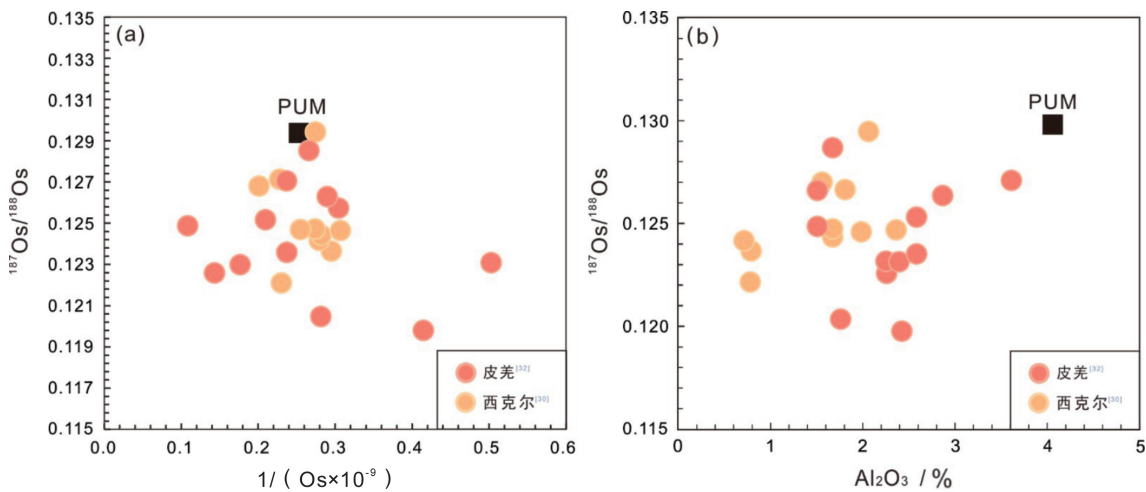
统应用于地幔样品,建立了 2 种类型的模式年龄^[56-57]: T_{MA} 为地幔模式年龄,即从球粒陨石地幔中熔融分离出来的时间; T_{RD} 为 Re 亏损模式年龄。选取参数 $\lambda^{187}Re = 1.666 \times 10^{-11}/a$, $(^{187}Re/^{188}Os)_{ECR} = 0.421$, $(^{187}Os/^{188}Os)_{CI,0} = 0.1281$, 计算塔里木西北缘橄榄岩的 T_{RD} 与 T_{MA} 模式年龄^[58]。

塔里木西北缘橄榄岩捕虏体显示显著的全岩 Os 同位素组成分异,其 $^{187}Os/^{188}Os$ 比值分布于 0.119 8~1.287 3^[30,32] (图 7)。结合 PGE 配分模式与主量元素、微量元素地球化学特征,该分异特征可归因于以下过程的叠加效应:富集高放射性成因 Os

同位素质物质的熔/流体交代作用;残留 Re 衰变对 ^{187}Os 的持续贡献。在此复杂地球化学背景下,高 Re 含量样品的 Os 模式年龄(如 T_{MA} 、 T_{RD})可能因后期扰动而难以准确限定岩石圈地幔初始熔融的“稳定”时间^[59-61]。相比之下,低 $^{187}Os/^{188}Os$ 比值且 Re 强烈亏损的样品可提供更可靠的 T_{RD} (Re 亏损年龄)模式年龄,其计算结果是地幔熔体抽取事件的最小年龄约束^[44]。皮羌地区橄榄岩的两个典型样品呈现显著的 Re 亏损特征,对应低 $^{187}Os/^{188}Os$ 比值(0.119 8~0.124 3)及相对接近的 T_{MA} (874 Ma 与 1.3 Ga)和 T_{RD} (703 Ma 与 1.1 Ga)年龄^[18]。尽管

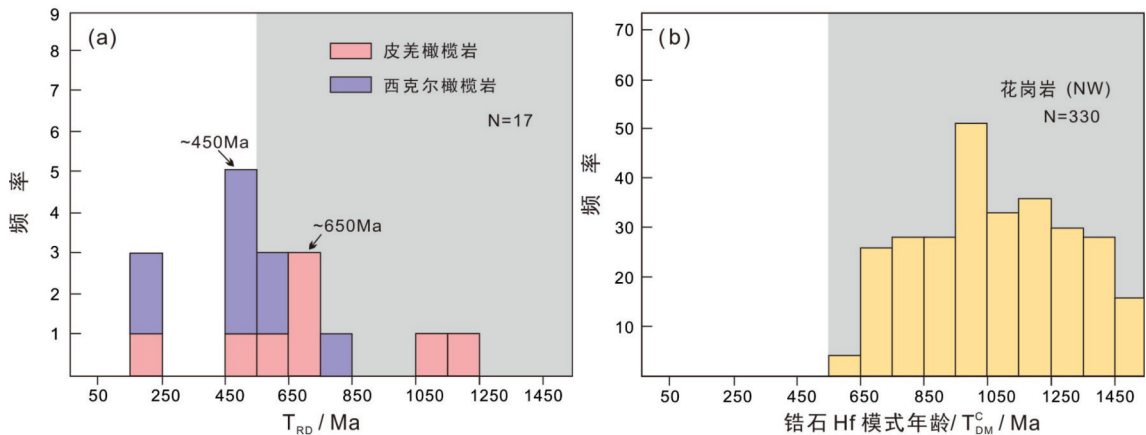
皮羌橄榄岩捕虏体 T_{RD} 年龄直方图显示主峰位于 ~ 650 Ma(图 8a),略高于最小年龄估值,但仍整体限定新元古代的地幔熔融事件。西克尔橄榄岩捕虏体 T_{RD} 模式年龄分布于 822 $\sim$ 176 Ma 之间^[30],其最

低年龄估计也可以追溯到新元古代(~ 822 Ma),但主要年龄峰值为 ~ 450 Ma(图 8b),指示晚古生代地幔改造叠加。综合上述证据,塔里木西北部岩石圈地幔被认为形成于新元古代至晚古生代。



a— $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 与 $1/(Os \times 10^{-9})$ 协变图解;b— $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 与 Al_2O_3 含量协变图解;PUM—原始上地幔(见文献[62])。

图 7 塔里木西北缘橄榄岩包体全岩协变图解



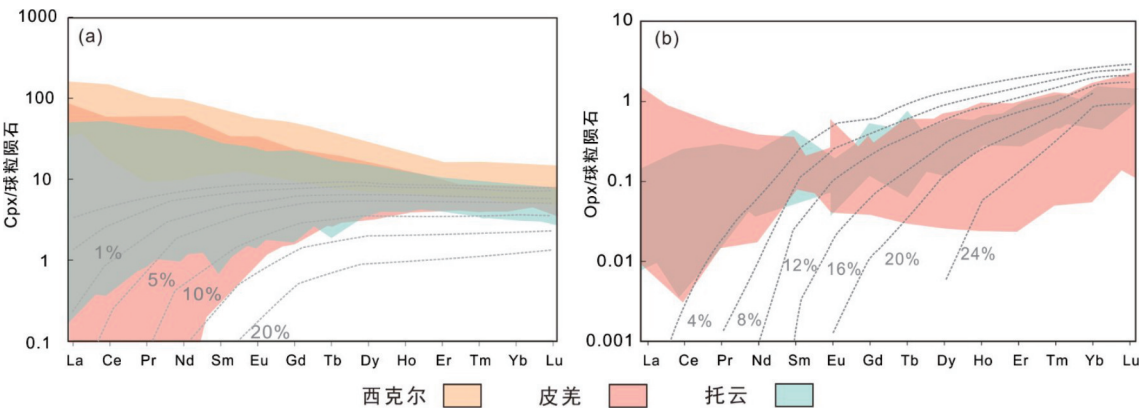
a— T_{RD} 模式年龄;b—花岗岩锆石 Hf 模式。

图 8 塔里木西北缘橄榄岩包体年龄直方图

5 塔里木西北缘橄榄岩捕虏体多阶段交代作用

岩石圈地幔捕虏体的全球研究表明,交代作用是亏损岩石圈地幔再富集的主要方式,是克拉通岩石圈地幔根失稳再造的先决条件,并可能诱发克拉通破坏^[1,69-71]。参与地幔交代作用的交代介质包括但不限于硅酸盐熔体^[72]、碳酸盐熔体^[73-74]和 CO_2-H_2O 富集的流体^[75-76] 3 种类型。不同类型的熔/流体似乎在某种环境下可以互溶,而又在另一种环境下不混溶。塔里木西北缘橄榄岩捕虏体中的单斜

辉石显示出多样化的不相容元素及稀土元素(REE)配分模式。这些特征无法单纯用部分熔融过程解释,而是指示了多期次交代作用改造。具体而言,托云和皮羌橄榄岩单斜辉石具有相似的重稀土(HREE)含量和亏损至富集的轻稀土(LREE)组成,而西克尔橄榄岩单斜辉石则呈现相对升高的 HREE 含量^[46-48](图 9)。同步获得的 Sr 同位素组成数据显示广泛变化范围(0.702 5 $\sim$ 0.709 0),进一步佐证了多阶段多类型熔流体交代作用的存在^[30-32](图 10)。



a—塔里木西北缘橄榄岩包体中单斜辉石稀土元素配分模式图;b—塔里木西北缘橄榄岩包体中斜方辉石稀土元素配分模式图。

图 9 塔里木西北缘橄榄岩包体中辉石稀土元素配分范围
(标准化值引自文献[77])

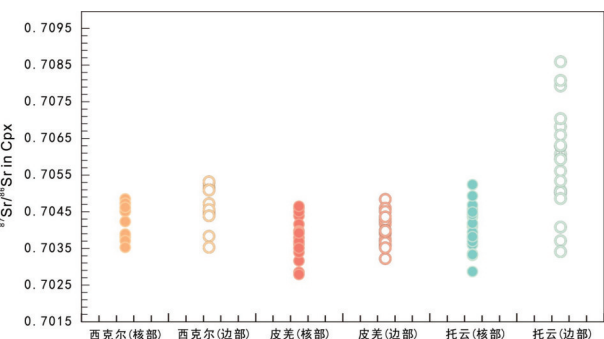


图 10 塔里木西北缘橄榄岩包体单斜辉石 Sr 同位素组成
(数据来自文献[31-33])

单斜辉石不同形态的 REE 配分代表了不同交代介质在交代作用过程中的瞬时状态或者和渗透熔体或流体的不同交代效应。相同的初始交代介质可以在与交代单斜辉石不同距离上产生一系列不同的微量元素特征,且交代作用的程度随着岩石和熔体之间距离的增加而减小,这被称之为层析柱效应^[78-79],即高度不相容性元素相对于中等不相容性元素和相容性元素在层析柱前端更富集^[80]。与此同时,实验岩石学证据表明,与硅酸盐体系相比,黏度和密度较低的碳酸盐熔体具有较低的 Ti 和 HFSE 分配系数且 REE 分馏程度更高,更容易在地幔中渗透和向上迁移^[73,75-76,81-83]。因此,经历碳酸盐交代的单斜辉石通常呈现低的 Ti/Eu 比值, HFSE 负异常极高的 (La/Yb)_N、(Zr/Hf)_N 等比值的典型特征^[73,84]。

前人依据塔里木西北缘橄榄岩包体的矿物微量

元素特征识别出该区域岩石圈经历了多阶段多类型的交代作用过程。西克尔橄榄岩经历了与俯冲相关循环沉积碳酸盐来源的交代作用、深部软流圈来源的碳酸盐熔体交代、含碳酸质成分的蚀变洋壳部分熔融产生的富 CO₂ 的硅酸盐熔体交代、与二叠纪地幔柱相关的苦橄质熔体交代及富水硅酸盐熔体交代^[30-31];皮羌橄榄岩经历了蚀变洋壳(在深部地幔中融化)和低程度熔融软流圈的混合熔体的交代和晚期小体积富挥发分熔/流体的交代^[32];托云橄榄岩经历了来自于俯冲早期的熔融再循环沉积碳酸盐熔体交代、俯冲洋壳部分熔融形成的高硅熔体交代、含水碳酸盐岩和钾熔体的交代作用^[33-34]。值得注意的是,该区域橄榄岩普遍经历了与洋壳俯冲相关的碳酸盐/含碳酸盐硅酸盐熔体交代,暗示俯冲事件对西北塔里木岩石圈地幔产生了广泛影响。晚期交代作用主要表现为小体积富挥发分硅酸盐熔体/流体改造。需要指出的是,单一捕虏体呈现的不同交代特征不一定反映多期独立事件,可能源于单一交代介质在演化过程中的成分分异^[78,85]。研究表明,硅酸盐熔体在“反应性多孔流动”过程中会发生分馏,最终形成富含挥发分和高度不相容元素的残余熔体/流体^[79,85-86]。这类演化熔体可导致单斜辉石出现高场强元素(HFSE)亏损、Sr 正异常及勺型 REE 配分等特征。此外,流体密度差异使得富挥发分流体可上涌至更浅部地幔^[87]。因此,塔里木西北缘晚期交代作用更可能受演化硅酸盐熔体而非原生熔体控制,这种持续演化的熔流体对区域岩石圈地

慢改造具有累积效应^[88-90]。

此外,塔里木西北缘大多数橄榄岩中矿物存在不平衡结构且多于寄主火山岩存在交代成因联系。对此,BIAN X 等^[32-33]认为,新生代印度和欧亚大陆碰撞的远程效应导致塔里木西北缘岩石圈的变形和破裂,地幔橄榄岩因此发生强烈的机械变形,在相同远程效应的影响下,塔里木西北缘地幔减压熔融上涌形成寄主玄武岩/煌斑岩。寄主岩喷发过程中,橄榄岩包体自身经历的强烈机械性改造是其与寄主岩浆或之前岩浆脉冲有效相互作用的必要前提条件,同时,新生代断裂也为浅层壳源性熔体改造橄榄岩包体提供了熔体通道。

6 塔里木西北缘橄榄岩捕虏体的成因意义

塔里木西北缘皮羌及托云橄榄岩中橄榄石具有较高的 $Mg^\#$,尖晶石具有较低的 TiO_2 含量的高部分熔融组橄榄岩,被认为形成主要受控于部分熔融^[31-34],最古老的 T_{RD} 模式年龄给出了研究区岩石圈地幔形成年龄的最小估计为新元古代 (1.1 Ga)^[18],ZHENG J P 等^[34]和 BIAN X 等^[32-33]均指出,这些橄榄岩的形成是汇聚事件引发地幔增生的结果。而托云部分二辉橄榄岩具有高的辉石含量和与 MORB 范围重叠的单斜辉石 Sr 同位素组成范围 (0.703 41~0.704 10),被认为形成于新元古代俯冲洋壳熔融产生的高 Si 熔体与增生橄榄岩反应的过程,即高熔岩比的交代作用^[19]。对于西克尔橄榄岩,CHEN M M 等^[30]将其形成归因于地幔柱来源的苦橄质熔体与早期生成橄榄岩的熔岩反应过程,该观点主要依据辉石岩和橄榄岩捕虏体的 Re-Os 等时线年龄 (290 ± 11) Ma;而 BIAN X 等^[32]则指出,西克尔橄榄岩 (~450 Ma) 呈现比皮羌橄榄岩 (~650 Ma) 年轻的 T_{RD} 峰值年龄,但全岩 Al_2O_3 含量更低,指示了熔体抽取的叠加,认为西克尔橄榄岩是早二叠塔里木地幔柱边缘低通量的地幔柱熔体加热并熔化了上覆岩石圈地幔后混合熔体再熔所致。此外,对于塔里木西北缘橄榄岩强烈的机械性改造及与寄主火山岩显著的交代反应,BIAN X 等^[32-33]认为,在岩石圈浅层地幔中,硅不饱和熔体的交代作用与断裂/裂谷导致的变形改造也存在正相关作用,这一过程的结果可能导致岩石圈地幔的失稳从而加速岩石圈地幔被破坏的过程。

综合来看,塔里木西北缘岩石圈地幔的形成演

化与新元古代俯冲、晚古生代地幔柱及新生代欧亚碰撞引发的岩浆活动密切相关,环克拉通地幔的增生、再熔和交代改造过程是其对地幔柱和汇聚事件累积效应的综合响应。

7 结论

塔里木西北缘地幔橄榄岩包体均呈现强烈的机械性改造和剪切变形,其橄榄石 $Mg^\#$ 均大于 90,整体呈现出适度难熔至饱满的地幔属性;其单斜辉石微量元素呈现不相容元素亏损至富集的多样配分模式,指示多期次多阶段的地幔交代作用。世界范围内环克拉通岩石圈地幔富集的地球化学特征一般被认为是由洋壳俯冲和软流圈上涌引起的熔体/流体渗透引起的,亏损的地球化学特征则是由于岩石圈伸展/地幔柱作用中加热或减压引起的熔融造成的;而塔里木西北缘橄榄岩捕虏体广域的 Sr 同位素组成与 Os 同位素模式年龄指示其受洋陆俯冲、陆陆碰撞和地幔柱相互作用叠加改造。

参考文献:

- [1] GRIFFIN W L, O'REILLY S Y, AFONSO J C, et al. The composition and evolution of lithospheric mantle: a re-evaluation and its tectonic implications[J]. *Journal of Petrology*, 2009 (50): 1185-1204.
- [2] PEARSON D G, WITTIG N. The formation and evolution of cratonic mantle lithosphere: evidence from mantle xenoliths. In: Holland, H. D., Turekian, K. K. (Eds.), *Treatise on Geochemistry*, 2nd ed. Elsevier, Oxford, 2014: 255-292.
- [3] O'REILLY S Y, GRIFFIN W L, DJOMANI Y H, et al. Are lithospheres forever? Tracking changes in subcontinental lithospheric mantle through time[J]. *GSA today*, 2001, 11(4): 4-10.
- [4] HAWKESWORTH C J, CAWOOD P A, DHUIME B, et al. Earth's continental lithosphere through time[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2017(45): 169-198.
- [5] LEE C T A, YIN Q Z, RUDNICK R L, et al. Preservation of ancient and fertile lithospheric mantle beneath the southwestern United States[J]. *Nature*, 2001(411): 69-73.
- [6] PEARSON D G, IRVINE G J, IONOV D A, et al. Re-Os isotope systematics and platinum group element fractionation during mantle melt extraction: a study of massif and xenolith peridotite suites[J]. *Chemical Geology*, 2004(208): 29-59.
- [7] JANNEY P E, SHIREY S B, CARLSON R W, et al. Age, Composition and Thermal Characteristics of South African Off-Craton Mantle Lithosphere: Evidence for a Multi-Stage His-

- tory[J]. *Journal of Petrology*, 2010(51): 1849 – 1890.
- [8] CHENG Z G, MARTIAL M E, ZHANG Z C, et al. Heterogeneous mush – dominated plumbing system and mantle sources of alkaline lamprophyres in Tuoyun Basin, SW Central Asian Orogenic Belt[J]. *GSA Bulletin* (Geological Society of America Bulletin), 2024, 136(5/6): 19.
- [9] GE R F, ZHU W B, WILDE S A, et al. Neoproterozoic to Paleozoic long – lived accretionary orogeny in the northern Tarim Craton[J]. *Tectonics*, 2014(33): 302 – 329.
- [10] GE R F, ZHU W B, ZHENG B H, et al. Early Pan – African magmatism in the Tarim Craton: Insights from zircon U – Pb – Lu – Hf isotope and geochemistry of granitoids in the Korla area, NW China[J]. *Precambrian Research*, 2012(212): 117 – 118.
- [11] XU Y G, WEI X, LUO Z Y, et al. The Early Permian Tarim Large Igneous Province: Main characteristics and a plume incubation model[J]. *Lithos*, 2014(204): 20 – 35.
- [12] YANG S F, CHEN H L, LI Z L, et al. Early Permian Tarim large igneous province in northwest China[J]. *Science China: Earth Sciences*, 2013(56): 2015 – 2026.
- [13] 李德东, 罗照华, 黄金香, 等. 皮羌盆地新生代基性岩浆活动的年代学及其地质意义[J]. *地学前缘*, 2009(16): 270 – 281.
- [14] 吕勇军, 罗照华, 任忠宝, 等. 西南天山托云盆地新生代玄武岩中巨晶的研究[J]. *中国科学 D 辑地球科学*, 2006(36): 154 – 166.
- [15] GE R F, ZHU W B, WILDE S A, et al. Remnants of Eoarchean continental crust derived from a subducted proto – arc[J]. *Science Advance*, 2018, 4(2): 3159.
- [16] LU S N, LI H K, ZHANG C L, et al. Geological and geochronological evidence for the Precambrian evolution of the Tarim Craton and surrounding continental fragments[J]. *Precambrian Research*, 2008(160): 94 – 107.
- [17] XU B, JIAN P, ZHENG H F, et al. U – Pb zircon geochronology and geochemistry of Neoproterozoic volcanic rocks in the Tarim Block of northwest China: Implications for the breakup of Rodinia supercontinent and Neoproterozoic glaciations[J]. *Precambrian Research*, 2005(136): 107 – 123.
- [18] 舒良树, 朱文斌, 王博, 等. 新疆古块体的形成与演化[J]. *中国地质*, 2013, 40(1): 43 – 60.
- [19] LEI R, WU C, CHI G, et al. Petrogenesis of the Paleoproterozoic Xishankou pluton, northern Tarim block, northwest China: implications for assembly of the supercontinent Columbia[J]. *International Geology Review*, 2012, 54(15): 1829 – 1842.
- [20] ZHANG Z C, KANG J L, KUSKY T, et al. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of Neoproterozoic basalts from Sugetbrak, northwest Tarim block, China: Implications for the onset of Rodinia supercontinent breakup[J]. *Precambrian Research*, 2012(220): 158 – 176.
- [21] LI Z X, BOGDANOVA S V, COLLINS A S, et al. Assembly, configuration, and break – up history of Rodinia: A synthesis[J]. *Precambrian Research*, 2008(160): 179 – 210.
- [22] LI Z X, EVANS D A, HALVERSON G. Neoproterozoic glaciations in a revised global paleogeography from the breakup of Rodinia to the assembly of Gondwanaland[J]. *Sedimentary Geology*, 2013(294): 219 – 232.
- [23] LI Z X, ZHANG L, POWELL C M. Positions of the East Asian cratons in the Neoproterozoic supercontinent Rodinia, Australia[J]. *Journal of Earth Science*, 1996(43): 593 – 604.
- [24] XU X, ZUZA A V, YIN A, et al. Permian plume – strengthened Tarim lithosphere controls the Cenozoic deformation pattern of the Himalayan – Tibetan orogeny[J]. *Geology*, 2020(49): 96 – 100.
- [25] PATRIAT P, ACHACHE J. India – Eurasia collision chronology has implications for crustal shortening and driving mechanism of plates[J]. *Nature*, 1984(311): 615 – 621.
- [26] 郭召杰, 韩宝福, 张元元, 等. 中亚造山带中新生代壳幔相互作用特征与过程 – 新疆北部幔源岩浆岩系对比研究[J]. *岩石学报*, 2010, 26(2): 431 – 439.
- [27] 季建清, 韩宝福, 朱美妃, 等. 西天山托云盆地及周边中生代岩浆活动的岩石学、地球化学与年代学研究[J]. *岩石学报*, 2006(22): 1324 – 1340.
- [28] 罗照华, 白志达, 赵志丹, 等. 塔里木盆地南北缘新生代火山岩成因及其地质意义[J]. *地学前缘*, 2003(10): 179 – 189.
- [29] 陈咏咏, 田伟, 潘文庆. 新疆西克尔碧玄岩中的地幔橄榄岩包体[J]. *岩石学报*, 2008, 24(4): 681 – 688.
- [30] CHEN M M, TIAN W, SUZUKI K, et al. Peridotite and pyroxenite xenoliths from Tarim, NW China: Evidences for melt depletion and mantle refertilization in the mantle source region of the Tarim flood basalt[J]. *Lithos*, 2014(204): 97 – 111.
- [31] 卞霄, 苏玉平, 郑建平, 等. 西克尔橄榄岩包体揭示塔里木西北缘岩石圈地幔经历多期交代改造[J]. *岩石学报*, 2023, 39(1): 135 – 147.
- [32] BIAN X, SU Y P, ZHENG J P, et al. Circum – cratonic mantle archives the cumulative effects of plume and convergence events[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2023(360): 81 – 105.
- [33] BIAN X, SU Y P, ZHENG J P, et al. Multistage melt/fluid modification of lithospheric mantle beneath the circum – cratonic orogenic belt: Evidence from the Tuoyun peridotite xenoliths[J]. *Geological Society of America Bulletin*, 2024, 137(1/2): 220 – 240.
- [34] ZHENG J P, GRIFFIN W L, O'REILLY S Y, et al. The lithospheric mantle beneath the southwestern Tianshan area, northwest China[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2006(151): 457 – 479.
- [35] LIN A B, AULBACH S, ZHENG J P, et al. Petrogenesis, sampling depth, thermal and redox evolution of spinel peridotite xenoliths from Jiaohu, NE China: Insights from trace elements in all rock – forming silicate minerals. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2023. doi: 10.1029/2023JB026777
- [36] GRIFFIN W L, O'REILLY S Y, RYAN C G. The composition

- and origin of sub - continental lithospheric mantle. In: Boyd FR, Fei YW, Bertka CM and Mysen BO (eds.). Mantle Petrology: Field Observations and High - Pressure Experimentation: A Tribute to Francis R. (Joe) Boyd. Houston [M]. The Geochemical Society, 1999; 13 - 45.
- [37] HERZBERG C. Geodynamic information in peridotite petrology[J]. Journal of Petrology, 2004(45): 2507 - 2530.
- [38] JORDAN T H. The continental tectosphere[J]. Reviews of Geophysics, 1975, 13(3): 1 - 12.
- [39] POLLACK H N. Cratonization and thermal evolution of the mantle[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1986, 80(1): 175 - 182.
- [40] RUDNICK R L, FOUNTAIN D M. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective[J]. Reviews of Geophysics, 1995, 33(3): 267 - 309.
- [41] BOYD F R, GURNEY J J. Diamonds and the African Lithosphere[J]. Science, 1986(232): 472 - 477.
- [42] MCDONOUGH W F, SUN S S. The composition of the Earth [J]. Chemical Geology, 1995(120): 223 - 253.
- [43] PEARSON D G, WITTIG N. Formation of Archaean continental lithosphere and its diamonds: The root of the problem. Journal of the Geological Society, 2008(165): 895 - 914.
- [44] NORMAN M D. Melting and metasomatism in the continental lithosphere: laser ablation ICPMS analysis of minerals in spinel lherzolites from eastern Australia [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1998(130): 240 - 255.
- [45] ZHANG H T, ZHANG H F, ZOU D Y. Comprehensive refertilization of the Archean - Paleoproterozoic lithospheric mantle beneath the northwestern North China Craton: Evidence from in situ Sr isotopes of the Siziwangqi peridotites [J]. Lithos, 2021, (380): 105822.
- [46] ZOU D Y, ZHANG H F, HU Z C, et al. Complex metasomatism of lithospheric mantle by asthenosphere - derived melts: Evidence from peridotite xenoliths in Weichang at the northern margin of the North China Craton[J]. Lithos, 2016(264): 210 - 223.
- [47] KOPYLOVA M G, RUSSELL J K, COOKENBOO H. Petrology of Peridotite and Pyroxenite Xenoliths from the Jericho Kimberlite: Implications for the Thermal State of the Mantle beneath the Slave Craton, Northern Canada[J]. Journal of Petrology, 1999(40): 79 - 104.
- [48] KOPYLOVA M G, TSO E, MA F, et al. The Metasomatized Mantle beneath the North Atlantic Craton: Insights from Peridotite Xenoliths of the Chidliak Kimberlite Province (NE Canada) [J]. Journal of Petrology, 2019(60): 1991 - 2024.
- [49] MCCAMMON C, KOPYLOVA M G. A redox profile of the Slave mantle and oxygen fugacity control in the cratonic mantle [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2004 (148): 55 - 68.
- [50] VILJOEN F, DOBBE R, SMIT B. Geochemical processes in peridotite xenoliths from the premier diamond mine, South Africa: evidence for the depletion and refertilization of sub-cratonic lithosphere[J]. Lithos, 2009(112): 1133 - 1142.
- [51] GONCHAROV A G, IONOV D A. Redox state of deep off - craton lithospheric mantle: new data from garnet and spinel peridotites from Vitim, southern Siberia [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2012(164): 731 - 745.
- [52] GORNOVA M A, BELYAEV V A, BELOZEROVA O Y. Textures and geochemistry of the saramta peridotites (Siberian craton): melting and refertilization during early evolution of the continental lithospheric mantle [J]. Journal of Asian Earth Science, 2013(62): 4 - 17.
- [53] IONOV D A, PRIKHODKO V S, BODINIER J L, et al. Lithospheric mantle beneath the south - eastern Siberian craton: petrology of peridotite xenoliths in basalts from the Tokinsky stanovik [J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2005a(149): 647 - 665.
- [54] IONOV D A, CARLSON R W, DOUCET L S, et al. The age and history of the lithospheric mantle of the Siberian craton: Re - Os and PGE study of peridotite xenoliths from the Obnazhennaya kimberlite [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2015(428): 108 - 119.
- [55] SUN J, LIU C Z, KOSTROVISKY S I, et al. Composition of the lithospheric mantle in the northern part of Siberian craton: constraints from peridotites in the Obnazhennaya kimberlite [J]. Lithos, 2017(294): 383 - 396.
- [56] WALKER R J, CARLSON R W, SHIREY S B, et al. Os, Sr, Nd, and Pb isotope systematics of southern African peridotite xenoliths: Implications for the chemical evolution of subcontinental mantle [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989 (53): 1583 - 1595.
- [57] RUDNICK R L, WALKER R J. Interpreting ages from Re - Os isotopes in peridotites [J]. Lithos, 2009, 112: 1083 - 1095.
- [58] WALKER R J, HORAN M F, MORGAN W J, et al. Comparative ^{187}Re - ^{187}Os systematics of chondrites: implications regarding early solar system processes [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2002(66): 4187 - 4201.
- [59] SCOTT J M, LIU J, PEARSON D G, et al. Continent stabilisation by lateral accretion of subduction zone - processed depleted mantle residues: insights from Zealandia [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2019(507): 175 - 186.
- [60] BRANDON A D, SNOW J E, WALKER R J, et al. Pt - 190 - Os - 186 and Re - 187 - Os - 187 systematics of abyssal peridotites [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2000(177): 319 - 335.
- [61] LIU C Z, SNOW J E, HELLEBRAND E, et al. Ancient, highly heterogeneous mantle beneath Gakkel ridge, Arctic Ocean [J]. Nature, 2008(452): 311 - 316.
- [62] BECKER H, HORAN M F, WALKER R J, et al. Highly siderophile element composition of the Earth's primitive upper

- mantle; constraints from new data on peridotite massifs and xenoliths[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006(70): 4528 - 4550.
- [63] MA Y, ZHANG Z C, HUANG H, et al. Petrogenesis of the Bashisuogong bimodal igneous complex in southwest Tianshan Mountains, China; Implications for the Tarim Large Igneous Province[J]. *Lithos*, 2016(264): 509 - 523.
- [64] QIN Q, HUANG H, WANG T, et al. Relationship of the Tarim Craton to the Central Asian Orogenic Belt; insights from Devonian intrusions in the northern margin of Tarim Craton, China[J]. *International Geology Review*, 2016, 58 (16): 2007 - 2028.
- [65] SU Y P, ZHENG J P, LIANG L L, et al. Derivation of A1 - type granites by partial melting of newly underplated rocks related with the Tarim mantle plume[J]. *Geological Magazine*, 2019(156): 409 - 429.
- [66] WU G H, XIAO Y, BONIN B, et al. Ca. 850 Ma magmatic events in the Tarim Craton; Age, geochemistry and implications for assembly of Rodinia supercontinent. *Precambrian Research*[J], 2018(305): 489 - 503.
- [67] WEI X, XU Y G, HE B, et al. Zircon U - Pb age and Hf - O isotope insights into genesis of Permian Tarim felsic rocks, NW China; Implications for crustal melting in response to a mantle plume[J]. *Gondwana Research*, 2019(76): 290 - 302.
- [68] ZOU S Y, LI Z L, SONG B, et al. Zircon U - Pb dating, geochemistry and Sr - Nd - Pb - Hf isotopes of the Wajilitag alkali mafic dikes, and associated diorite and syenitic rocks; Implications for magmatic evolution of the Tarim large igneous province[J]. *Lithos*, 2004, 49(15): 1642 - 1648.
- [69] 张宏福. 橄榄岩 - 熔体相互作用: 克拉通型岩石圈地幔能够被破坏之关键[J]. *科学通报*, 2009(54): 2008 - 2026.
- [70] TANG Y J, ZHANG H F, YING J F, et al. Widespread reformation of cratonic and circum - cratonic lithospheric mantle [J]. *Earth - Science Review*, 2013(118): 45 - 68.
- [71] LIU J G, PEARSON D G, WANG L H, et al. Plume - driven recrystallization of deep continental lithospheric mantle[J]. *Nature*, 2021(592): 732 - 736.
- [72] ZANGANA N A, DOWNES H, THIRLWALL M F, et al. Geochemical variation in peridotite xenoliths and their constituent clinopyroxenes from Ray Pic (French Massif Central): implications for the composition of the shallow lithospheric mantle[J]. *Chemical Geology*, 1999(153): 11 - 35.
- [73] RUDNICK R L, MCDONOUGH W F, CHAPPELL B W. Carbonatite metasomatism in the northern Tanzanian mantle: petrographic and geochemical characteristics[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1993(114): 463 - 475.
- [74] IONOV D A, DUPUY C, O'REILLY S Y, et al. Carbonated peridotite xenoliths from Spitsbergen; implications for trace element signature of mantle carbonate metasomatism [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1993(119): 283 - 297.
- [75] GORRING M, KAY S M. Carbonatite metasomatized peridotite xenoliths from southern Patagonia; implications for lithospheric processes and Neogene plateau magmatism[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2000(140): 55 - 72.
- [76] XU Y G, MENZIES M A, THIRLWALL M F, et al. "Reactive" harzburgites from Huinan, NE China; products of the lithosphere - asthenosphere interaction during lithospheric thinning[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003 (67): 487 - 505.
- [77] SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes[J]. *Geological Society Special Publication*, 1989(42): 313 - 345.
- [78] NAVON O, STOLPER E. Geochemical Consequences of Melt Percolation - the Upper Mantle as a Chromatographic Column [J]. *Journal of Geology*, 1987, 95(3): 285 - 307.
- [79] IONOV D A, BODINIER J L, MUKASA S B, et al. Mechanisms and sources of mantle metasomatism; Major and trace element compositions of peridotite xenoliths from Spitsbergen in the context of numerical modelling[J]. *Journal of Petrology*, 2002, 43(12): 2219 - 2259.
- [80] XU X S, O'REILLY S Y, GRIFFIN W L, et al. Enrichment of upper mantle peridotite; petrological, trace element and isotopic evidence in xenoliths from SE China[J]. *Chemical Geology*, 2003, 198(3): 163 - 188.
- [81] LEV O, SHEINTUCH M, PISEMEN L M, et al. Mantle metasomatism by ephemeral carbonatite melts[J]. *Nature*, 1998 (336): 459 - 462.
- [82] YAXLEY G M, GREEN D H, KAMENETSKY V. Carbonatite metasomatism in the southeastern Australian lithosphere[J]. *Journal of Petrology*, 1998(39): 1917 - 1930.
- [83] HAMMOUDA T, LAPORTE D. Ultrafast mantle impregnation by carbonatite melts[J]. *Geology*, 2000(28): 283 - 285.
- [84] COLTORTI M, BONADIMAN C, HINTON R W, et al. Carbonatite metasomatism of the oceanic upper mantle; Evidence from clinopyroxenes and glasses in ultramafic xenoliths of grande comore, Indian Ocean[J]. *Journal of Petrology*, 1999, 40(1): 133 - 165.
- [85] BEDINI R M, BODINIER J L, DAUTRIA J M, et al. Evolution of LILE - enriched small melt fractions in the lithospheric mantle; a case study from the East African Rift[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997(153): 67 - 83.
- [86] IONOV D A, CHAZOT G, CHAUVEL C, et al. Trace element distribution in peridotite xenoliths from Tok, SE Siberian craton; a record of pervasive, multi - stage metasomatism in shallow refractory mantle[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2006(70): 1231 - 1260.
- [87] GRIFFIN W L, O'REILLY S Y, ABE N, et al. The origin and evolution of Archean lithospheric mantle[J]. *Precambrian Research*, 2003, 127(1): 19 - 41.
- [88] LIU J G, PEARSON D G, WANG L H, et al. Plume - driven

recratonization of deep continental lithospheric mantle[J].Nature,2021(592):732 – 736.

[89] OREILLY S Y,ZHANG M,GRIFFIN W L,et al.Ultradeep continental roots and their oceanic remnants: A solution to the geochemical “mantle reservoir” problem[J].Lithos,2009 (112):1043 – 1054.

[90] ZHENG J P,SUN M,ZHOU M F,et al.Trace elemental and PGE geochemical constraints of Mesozoic and Cenozoic peridotitic xenoliths on lithospheric evolution of the North China Craton[J].Geochimica et Cosmochimica Acta,2005(69):3401 – 3418.

Geochemical Characteristics and Indicative Significance of
Mantle Derived Peridotite Xenoliths in the Cenozoic
Volcanic Rocks of the Northwest Margin of Tarim Craton

BIAN Xiao¹, ZHENG Zhaowei², BIAN Zhengyan³, WANG Haoyu⁴, CAI Na¹, LI Xin¹, LIU Lanhai¹
(1.Shandong Institute of Geological Sciences, Key Laboratory of Gold Mineralization Processes and Resources Utilization,Ministry of Land and Resources,Shangdong Provincial Key Laboratory of Metallogenic Geological Process and Resource Utilization,Shandong Ji’nan 250013, China; 2.Geophysical Survey Brigade of Shandong Coalfield Geological Bureau, Shandong Ji’nan 250104, China; 3. Earth Sciences College of Guilin University of Technology, Guangxi Guilin 541006, China; 4.Shandong University of Science and Technology, Shandong Qingdao 266590, China)

Abstract:The mantle derived peridotite xenoliths carried by the Cenozoic basalt/porphyry provide a key window for revealing the evolution of lithospheric mantle in the northwest margin of the Tarim Craton. In this paper, petrological characteristics, mineral chemical composition, attribute ages and multi – stage metasomatism processes of mantle peridotite xenoliths continuously exposed from within the basin to the southwestern Tianshan orogenic belt have been reviewed. It is showed that lithospheric mantle in the northwest margin of Tarim craton has moderate refractory to full – bodied properties, and show atypical Archean cratonic mantle characteristics. Its formation and evolution are controlled by the superposition and transformation of Neoproterozoic subduction, late Paleozoic mantle plume activity, and Cenozoic Eurasian collision. The comprehensive analysis of in – situ mineral main and trace elements, whole rock geochemistry, platinum group element distribution, and Re – Os isotope system reveals that the accretionary – remelting – metasomatism process of the cratonic mantle is a comprehensive response to the cumulative effects of mantle plumes and convergence events.

Key words:Cenozoic volcanic rocks; peridotite xenoliths; geochemical characteristics; northwest margin of Tarim craton