中国东南部地幔深处的洋壳再循环：来自浙江新生代玄武岩的证据

李艳青[1)]，马昌前[1,2)]*

1） 中国地质大学地球科学学院，武汉， 430074；

2）中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室，武汉， 430074

中国东南沿海地区在新生代时期广泛发育玄武质岩浆活动，这些大陆玄武岩普遍具有类似洋岛玄武岩（OIB）的微量元素分配型式，Sr-Nd-Pb同位素具有EMⅡ型富集地幔的特征。来自中新生代玄武岩中橄榄岩包体的资料显示：与华北克拉通岩石圈相似，华南古老的、巨厚的岩石圈在晚中生代也发生过减薄作用，被新生的、更热的且相对富集的软流圈地幔物质上涌所取代。这些富集的软流圈物质的成分及来源也成为探讨其寄主岩浆（玄武质岩浆）成因的热点话题，不少学者对中国东南沿海新生代玄武岩的源区进行了多种假设，然而都未能达成统一的认识。随着地球物理学科地震层析成像技术的发展，地球深部的三维立体模型根据地震波速被较为完善地建立了起来，这对我们了解这些深部富集物质的来源有了一定的参考价值。最近的高分辨率地震层析图像显示，中国东部在 410-660km 的地幔过渡带之间自东向西广泛存在着一个地震高速带，这暗示着有大量的太平俯冲板片物质滞留在地幔过渡带深度，可能对中国东南沿海新生代玄武岩的形成有着重要的触发意义。

我们选择浙江新昌（北纬 29° 35’）新生代玄武岩作为研究对象，对其进行了岩相学和地球化学的分析研究。新昌玄武岩以橄榄玄武岩为主，斑晶矿物主要为橄榄石，其次为辉石、斜长石。所采样品 TAS 图解显示，除个别为拉斑玄武岩外，其余均为碱性玄武岩，碱性玄武岩 MgO 含量>8 %, $Mg^{\#}$平均值 0.62，高 Fe/Mn 值。不相容元素具板内玄武岩特征，原始地幔标准化蛛网图上 Ba、Sr 呈正异常，且具有 OIB 特征：富集 LREE，La/Yb (8.8-25.4，平均 15.9),富集 Nb,Ta，亏损 Rb，U，Th，Pb，Ce/Pb, Nb/U 显示出相似且不大的变化，La/Nb<0.8，Ba/Nb，LREE 和 LILE 富集而 HFSE 没有强烈亏损。MgO 与 Ni，CaO，Al_2O_3, K_2O，Na_2O 不具有明显的相关性，且无明显 Eu 异常，说明橄榄石、辉石、长石分离结晶作用较弱，暗示着岩浆有着较快的上升速度。研究区玄武岩较高的 Fe/Mn 比值（平均值 80），与 LOI 不具有明显的相关性，说明风化作用没有对研究区 Fe/Mn 比值造成直接影响；Fe/Mn 比值与不相容元素如 Lu，Yb 等具有负相关性，说明其与部分熔融有关，排除了分离结晶作用及风化作用的影响，高 Fe/Mn 比值的玄武岩可能暗示由如下几种源岩部分熔融而来：先期经过熔体或流体交代具富集特征的橄榄岩残留物小比例熔融，含水的橄榄岩高比例部分熔融及<70%的石榴辉石岩或榴辉岩部分熔融或三者的混合。结合 Zn/Fe 比值及典型微量元素指标证实，研究区玄武岩最可能为石榴辉石岩或榴辉岩部分熔融的产物，而这些富含辉石的源岩可能为俯冲洋壳物质对上覆橄榄岩地幔发生交代作用而形成。

近年来，Re-Os 同位素体系成为研究地球深部岩石的常用手段之一，它最大的特点是地幔熔融会导致母子体元素间的巨大分馏。由于 Re 的衰变，经过长时间的积累，在子体 Os 同位素组成上会出现比较明显的差别。因此 Os 同位素常用来示踪岩浆源区是否有再循环壳源物质的加入。研究区玄武岩全岩 Re-Os 数据显示，$^{187}Os/^{188}Os$ 最大 0.88，最小 0.15，Os 模式年龄（T_{MA}）最大为 1848Ma，暗示其源岩为古老地幔和新生地幔组分的混合。来自橄榄岩包体的 Re-Os 数据也证明浙江东部存在元古宙古老地幔和年轻地幔两种组分，这种结构型式被解释为古老的岩石圈不断被新生的软流圈地幔侵蚀置换为 plum-pudding 结构（Liu et al.,2012;

Email: yqlicug@sina.cn

Kung-suan Ho et al.,2003）。研究表明，洋壳中放射成因的 ^{187}Os 由 ^{187}Re 衰变而来，而这个过程仅需要几千万年的时间便可使 $^{187}Os/^{188}Os$ 比值比俯冲带之上的地幔高出几个数量级。但是，样品中具 $^{187}Os/^{188}Os$ 最高值的样品中并不具有最高的 $^{187}Re/^{188}Os$,这说明玄武岩源区可能直接受到富含放射性成因 ^{187}Os 的流体的交代，而深海沉积物为富含 ^{187}Os 的端元。因此，研究区高 $^{187}Os/^{188}Os$ 比值暗示了俯冲洋壳组分的参与，而所有洋岛玄武岩的 Os 同位素比值变化大而且很高且研究证明 Os 可以广泛进入富含氧化物和富 Cl 的板片熔/体中，说明橄榄岩和壳源组分是在地幔源区发生混合的。由于后期含 Re 流体的加入扰动或蚀变风化，使 Re 活化丢失，破坏了 Re-Os 同位素体系，致使研究区 $^{187}Os/^{188}Os$ 与 $^{187}Re/^{188}Os$、Al_2O_3、Yb 不具有明显的相关性，不能获得有效的等时线年龄。

地震层析资料显示：中国东部自东向西（西界到东经 119°附近）广泛存在的地震波高速带证实地幔过渡带中确有水含量较低、冷而稳定的滞留物质存在，可能是古老的太平洋板片俯冲物质（Huang and Zhao,2006）。太平洋板片物质通过俯冲作用进入软流圈直至滞留到地幔过渡带的深度，在地幔中发生脱熔/流体作用，然后通过一系列物理-化学的综合过程使岩石圈流变厚度变薄，这与中国东部岩石圈新生代具有较高的地温梯度相吻合。在化学成分上，通过交代置换作用后的新生代岩石圈地幔，具有一系列富集的地球化学特征。Os 同位素年龄特征表现为，古老的和年轻的物质共存。古老洋壳将储存在橄榄石及辉石中的水释放出来，这些含水流体/熔体可以将物质运至上覆地幔，改变地幔岩石原本的属性，随着中新生代以来太平洋板块继续向西俯冲和随后的俯冲后撤引起的陆内伸展背景，形成中国东南沿海新生代一系列的玄武质岩浆活动。