

多元同位素制约研究大陆富集地幔端元 地球化学特征

周新华¹⁾, 英基丰¹⁾, 孙扬¹⁾, 储著银¹⁾, 邵济安²⁾

1) 中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室, 北京, 100029;

2) 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室, 北京, 100871

大陆岩石圈研究中涉及的主要科学问题之一是对陆下岩石圈地幔(subcontinental mantle)性质的厘定, 特别是对其地球化学特征的判定和识别, 这将直接关系到对岩石圈地壳部分地质时代众多岩浆活动和火山作用源区的认识和分析。目前主要由大洋地幔(大洋中脊玄武岩和洋岛玄武岩)研究所发展而来的地幔化学结构端元体系(chemical end-member/reservoir, Zindler and Hart 1986), 即亏损地幔, 两种富集地幔, 高 μ 地幔, 焦域地幔(FOZO或PREMA)等已成熟应用于大洋地幔系统, 但如何将其应用于具漫长复杂演化历史的大陆地幔研究, 与板块构造在大陆岩石圈中应用类似, 构成了广大地球化学家所面临的“上陆”问题。

鉴于放射成因同位素在地球科学领域的广泛应用, 利用其高灵敏度示踪特性及兼具时标特征, 在地幔源区地球化学特征示踪上已得到成功应用。近年来因分析技术进步而得以逐渐开展应用研究的非传统稳定同位素, 现已在地幔研究领域中有进展(张宏福, 2006, 周新华等, 2013)。尽管如此, 因上述认识主要是基于各种同位素二元体系分析所得, 故仅能理解为某种程度的一级近似表达。而根据目前全球地球化学数据库幔源岩类配套元素同位素数据多元分析的研究结果, 这些端元的性质, 演化趋势及成因尚存在某种的不确定性或多解性(Hofmann 2003, Zhu 2007)。据此, 上述端元又可进一步划分为两类: 即具公共端元性质、并在地质实例观测中广泛出露的(如DM和FOZO), 可称之为面型端元; 另一类则是在有限区域内呈零星状出露, 并具各自的演化趋势, 可称之为点型端元(如HIMU, EMI和EMII)。在富集地幔端元中, I-型富集

地幔端元的特征和成因, 因其出露的稀少性、特有的地球化学性状以及与大陆岩石圈地幔的密切相关性, 而成为学术界长期以来的关注点及争议所在。

I-型富集地幔是首先在大洋地幔研究中被确认的端元, 但就其源区地球化学特征而言, 更为典型却是反映在大陆地幔的EMI组成之中。迄今包含大陆地幔的数据库(如GEOROC)及众多研究实例表明, I型富集地幔在大陆地幔形成和演化中起着关键的作用(Zindler and Hart 1986, Hart et al., 1986, Menzies and Hawkesworth, 1987, Menzies, 1990, Pearson 2003, Willbold and Stracke 2010), 然而它却是现今地幔地球化学研究中的薄弱环节。由于它相当有限的地质出露及独特的地球化学特征(富集的Nd同位素, 略富集 Sr同位素和极低的放射成因²⁰⁶Pb及相对高的²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb比值), 虽历经多年研究, 有关I-型富集地幔成因解释至今仍众说纷纭。目前众多的成因模式都包含了重循环组分的参与及地幔交代作用的介入, 即其富集特征均需借助与外来组分的影响; 而且, 尚缺乏对于这一端元整体性的理论认识。

已有的国内外大陆I-型富集地幔实例则都具有古老地块及克拉通背景, 结合二者同位素特征的相似性, 多年来人们往往将I-型富集地幔与克拉通背景相联系。同时人们注意到具大陆背景的I-型富集地幔的地质载体主要是高钾-超钾的火成岩类等。探讨大陆背景富集地幔成因, 显然侧重点必须转向与大陆岩石圈相关的组分及其之下的地幔。我国东北地区新生代火山岩具有独特地域性的地球化学特征。其中特别是以北部及西北部地区的钾质-高钾质-超钾质火山岩类具有特定的地幔源区特征(Zhou and Zhu, 1989, 1992, 周新华 朱炳泉,

1992)。在一系列前期工作的基础上(如 Zhang and Zhou 1994, Zhang, Zhou and Zhang, 1998, 邵济安等, 2009, Zhou et al., 2012), 本文讨论了我国东北地区第四纪超钾质火山岩系的以多元同位素体系为主的系统地球化学特征。该岩系主要发育于黑龙江西北部沿 NNW 走向延伸至内蒙大兴安岭的大陆裂谷带。其化学组成的主量元素上, 具有高 K₂O (9%-11%), 低 SiO₂ (42%-45%) 特点; 微量元素特征上, 显示了高度富集稀土元素总量及轻稀土元素和某些大离子亲石元素(如 Rb, Ba, K, La, Pb, Nd 等), 以及 U, Th, Nb, Sr, P, Sm 的相对亏损。其放射成因同位素体系则显示了系统而全面的富集特征, 如 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70558-0.70580$; $\epsilon\text{Nd} = -5 - -12$; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.34 - 16.45$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.27-15.39$; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 36.03 -36.35$; $\epsilon\text{Hf}=-6$ 至 -10 以及较低的 Os 含量和相对变化而较高的 $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ 比值等。

上述所表征的多元同位素特征无疑严格制约了这一代表性岩系地幔源区的性质和地球化学特征。相对于 Sr, Nd, Hf 同位素组成有限程度的富集特性而言, Pb 同位素却呈现了特征性的高度富集。众所周知, Pb 同位素的富集程度的数值表现往往与 Sr, Nd, Hf 同位素相反, 即显示为低放射成因同位素

的积累。本岩系具有迄今在中国新生代玄武岩中最低的放射成因 Pb 同位素组成, 指示了其源区经历了长地质历史时期的低 U/Pb 环境。其次, 其 Pb 同位素比值提示了相当古老的模式年龄, 表明了导致这一元素比值改变的地质作用发生在太古代至元古代。而一系列解耦的微量元素与放射成因同位素关系则记录了多期次微量元素富集的隐性交代作用影响。而高度变化的 Os 同位素组成再次强调了导致 Re, Os 含量及 Os 同位素组成变化的交代作用是在对 Re, Os 及其他铂族元素开放体系环境下进行的。所有上述同位素地球化学的特征一致表明了这一超钾岩系地幔源区的地球化学具有典型的大陆 I-型富集地幔特征, 经历了古老的地质演化历史及多期次的地幔交代作用改造, 致使该体系保持长周期的地球化学富集特征, 特别对 U/Pb 体系而言, 更是如此。这一典型的富集地幔源区地球化学特征既具有全球可比性, 又具有区域的特殊性。据此可应用上述地球化学特征进一步来制约其岩类成因、地质演化构造环境及条件及源区可能的演化历史。这一成因演化及改造作用机制及细节将在后续研究中加以讨论。

本研究由国家自然科学基金 41173045 资助。