地幔流体交代作用的系列成矿效应*

Effect of Series Mineralization of Mantle Fluid Metasomatism

刘显凡 刘家铎 张成江 阳正熙 吴德超 李佑国

（成都理工大学，四川 成都 610059）

Liu Xianfan, Liu Jiaduo, Zhang Chengjiang, Yang Zhengxi, Wu Dechao and Li Youguo

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuang, China)

摘 要 一般认为，地幔流体交代作用总与岩浆活动和高温作用关系密切。然而，近来研究表明，地幔流体交代作用是深部过程的重要表现形式之一，它可以远离岩浆活动而沿裂谷或深断裂上升直接交代不同岩石形成矿床，具有从高温到低温的系列成矿，而深部过程对成矿的贡献主要是通过地幔流体交代作用实现的。

关键词 深部过程 地幔流体交代作用 系列成矿

1 关于地幔流体交代成矿理论

Spera (1987)认为，碳具有易溶于铁中的特点，因而地核是碳的重要储集场所，地幔中也含有较多的碳(Trull,et al.1993)；此外，杜乐天(1990,1993，1996)认为，地核中也溶解了大量的氢，并不断释放出氢气，Bai 等(1994)通过实验认为地幔中橄榄石可能是氢的主要储集体，温度升高及氧逸度的变化是使地幔发生脱气作用的主要原因(Spera,1987)；Ito 等(1983)和 Peacock (1990)认为，地幔中的水主要是通过洋壳俯冲带入，并可同时带入 Si、Al、Na、K、Cl、P、S 等常量元素和挥发分元素(Philippot,et al.1991)。正是地幔中的水与地幔脱气汇合并溶解地幔中的碳(以 CH_4 和 CO_2 存在)形成幔源 C-H-O 流体，杜乐天称其为幔汁，强调流体中的挥发分、热和碱质，认为地幔流体的交代作用就是一种碱交代作用；孙丰月等(1995)提出，上地幔存在两个 C-H-O 流体储区：一是 66~300 km 深处的富水流体储区，与金云母橄榄岩平衡，溶解了大量的 K_2O、SiO_2、Al_2O_3 等，溶质呈过铝性特征；二是莫霍面至 53 km 之间的富 CO_2 储区，与角闪石橄榄岩平衡，溶质含量相对较少，成分以富钠为特点，显过碱性特征。近年来不少学者通过研究火山喷气、幔源岩石包体、幔源矿物流体包裹体、近代大洋中脊、大陆裂谷和深大断裂区的喷流活动等，证实了可由地幔直接产生高温硅碱质超临界深源 C-H-O 流体，它具有异常强大的萃取和运载矿质的能力(刘显凡等，1999a)。关于幔源 C-H-O 流体交代地幔而形成富集型地幔是幔源碱性岩浆活动的先导作用的认识已为多数研究者认可，这种地幔交代作用，使上地幔富集亲石元素和轻稀土元素，也可能一定程度地富集某些成矿元素，可直接表现在幔源岩浆性质上。孙丰月(1995)认为，地幔流体对大陆板内成矿作用的意义主要表现在 5 个方面：

(1) 有利于含金刚石的金伯利岩和钾镁煌斑岩形成。
(2) 溶解深部成矿元素带入地壳成矿。
(3) 改造地壳物质，使其中的成矿元素发生活化转移而成矿。
(4) 直接为某些热液矿床提供较多的硅和碱。
(5) 在地壳中产生异常高的地热梯度，加速地表水的深循环，或两者混合成矿，直至形成浅成低温

* 中国地质调查局综合研究项目（编号：200110200046）资助
第一作者简介 刘显凡，男，1957 年生，博士，教授，主要从事矿物学和矿床地球化学研究。

热液矿床。

这种地幔流体究竟是熔浆还是溶液呢？谢荣举等(1998)指出，地幔流体并非总与岩体相伴，它可以不经过岩浆环节沿裂谷或深断裂上升直接交代不同岩石，将自身携带的矿质和沿途萃取的矿质运载至适宜的容矿部位成矿。由此可见，地幔(深源)流体交代作用成矿将不可避免地造成深源与浅源矿质的叠加混染并最终导致由高温到低温的系列成矿现象。

2 系列成矿效应

一般认为，地幔流体交代作用总与岩浆活动和高温作用关系密切。然而，近来研究发现，与富碱斑岩有关的成矿作用的内在统一制约因素在于深部过程形成的地幔流体作用与深大断裂导矿和控矿的有机联系，表现为富碱岩浆和地幔流体携带的成矿物质随由岩体向接触带和围岩扩散造成的物理化学条件变化而分阶段和部位发生沉淀，即由岩体→接触带→围岩，成矿温度由高温→高中温→中低温→低温，形成的主要矿种由钼矿→铜钼矿→铅锌铁矿→金银矿；当地幔流体向围岩扩散时，也和岩浆、热液等流体一样，若遇不同矿种的矿源层或矿体（床），则必然形成相应矿种的矿化叠加而可能形成大型或超大型矿床。在赋矿部位上，当矿体位于斑岩体内（内接触带），斑岩体与地层围岩的接触带和接触带附近的地层围岩中（外接触带）时，易为人们接受为斑岩型矿床或与斑岩有关的矿床，例如祥云县马厂箐斑岩型铜钼金矿床，钼矿产于内接触带，铜矿主要产于接触带，而金矿则产于外接触带；又如新近在丽江县石鼓-黎明地区发现的斑岩型铜金多金属矿床，铜金矿主体赋存于受构造断裂控制的岩体与围岩的的接触带，然后不同程度地向内外接触带扩散，内接触带以铜矿化为主，外接触带则出现金、铅、锌、银直至锑、汞、砷等多金属矿化；在该区金丝厂附近的正长斑岩与渐新统金丝厂组砂岩、砾岩的构造破碎接触带中，发育全岩铜金矿化的呈脉状及细网脉状产出的电气石石英岩，初步认为可能是该区正长斑岩岩浆晚期富硼和挥发组分的含矿岩浆将矿液从地下深部带出形成矿体，因而有寻找隐伏斑岩矿床的可能；除此之外，还有一种即远离斑岩体的赋存于地层中的矿床，不具典型层控性，但具明显构造控矿，而成矿时代上又与富碱斑岩的成岩年龄基本一致，如哀牢山金矿带中大型和超大型的老王寨、墨江和大坪金矿，其成矿作用被认为是由与新生代幔源岩石侵入相联系的富含矿化剂的深源含矿流体统一作用，叠加浸取不同层位岩石中的矿质富集而实现的（胡瑞忠等，1998；1999；毕献武等，1996；1997）又如兰坪—思茅成矿带中产于第三系碎屑岩中的金顶超大型铅锌矿床，其成矿作用是通过壳幔混合热流体或陆相喷流作用导致深源与浅源矿质和矿化剂的叠加而实现的（叶庆同等，1992；罗君烈等，1994）。这类矿床的成矿温度均低于 200℃，具典型低温成矿特征。

从大区域上的分布规律看，这些大型和超大型矿床主要分布于不同构造单元接触的边缘或地球化学参数的急变带，它们都是贯穿地幔的深大断裂所在部位（朱炳泉等，1995）；从深部地球物理特征看，据边千韬等（2000）研究认为，面波反演软流圈顶面埋深 60~110 km，与上地幔高导层顶面埋深大体一致，并发育软流圈隆起；地震层析资料表明，扬子克拉通之下为高速区，一直延深到 200 km，同时，在高速区西南角东西两侧各有一个低速区，东侧低速区中心位置大致对应个旧超大型锡矿床、老王寨超大型金矿床和都龙超大型锡锌矿床，西侧低速区中心位置大致对应金顶超大型铅锌矿床和临沧超大型锗矿床，这两个低速区向上延到 20 km 深度，向下延深到 300 km 深度，形成一个既分离又连接的形态不规则的低速柱。由于地幔柱往往表现为地震低速带，而中新生代岩浆岩尤其是碱性岩浆岩的发育、高大地热流值和壳内低速透镜体及交代型富集地幔的发育都与地幔热柱活动有关。地幔热柱是地质学家的一种假设，而低速柱则是用地球物理方法实际探测出来的，因而低速柱就是地幔热柱的反映，它可能是由核幔作用、地幔分异作用及地幔脱气作用产生的炽热的地幔流体向上运移所造成的效应。地幔流体的主要成分可能是杜乐天（1993）所称的幔汁成分 HACONS（H 为氢、卤族元素，A 为碱金属，C 为碳，O 为氧，N 为氮，S 为硫），这与本区超大型矿床矿物流体包裹体的成分一致，并富含不相容元素、成矿物质和矿化剂，是一个炽热的、成分复杂的、多相的、高能量、低密度的超临界流体，它是巨量成矿物质、矿化剂和能

量的携带者。当它上升进入软流圈时，使其温度升高、能量增大及部分熔融程度增高而隆起、上涌、波速降低；当它继续上升进入上地幔时，同样使其增能、升温、隆起、降速、发生部分熔融；当它沿地壳薄弱带（包括深断裂）上升进入地壳时，也同样使其升温、增能、发生部分熔融，形成壳内低速透镜体，这样就形成了壳幔贯通的低速柱。

本区低速柱（地幔热柱）的发育有现实的地质背景和条件：此区是扬子、华南、印支、滇缅泰和中甸等 5 个地块汇聚之地，这 5 个地块的界线原来都是缝合带，后来转化为深断裂带，它们是：怒江断裂带、北澜沧江-孟连断裂带、金沙江-哀牢山断裂带、丽江-木里断裂带和弥勒-富源断裂带，此外，还有红河、元谋-绿汁江、小江和九甲-墨江 4 条深断裂带，共有 9 条深断裂带，它们为地幔流体的活动、富集地幔的形成和富碱岩浆的孕育提供了有利条件。与此对应，我们新近的研究发现（刘显凡等，1999b；Liu et al.,2000），云南鹤庆六合村富碱斑岩中的深源包体岩石类型存在上地幔超镁铁质岩石，并在其中发现富钠微晶玻璃体，确定其来源于上地幔流体，由此研究和发现深源包体岩石中的地幔流体交代作用特征，进而测定了地幔流体交代矿物的 K-Ar 年龄和富碱斑岩型矿床中的原生成矿硅化石英的 ESR 年龄，初步揭示了地幔交代作用、富碱岩浆、构造、成岩和成矿等之间的耦合关系，发现富碱斑岩的成岩与成矿是基本同时的。

上述特征表明，成矿作用与深部过程，富碱岩浆和共生的地幔流体存在必然的成因联系。此外，形成于低温成矿作用的大型和超大型矿床的成矿时代分布具有从老至新矿床数急剧增多的变化趋势，其中极大部分为中新生代成矿，且新生代又多于中生代成矿，这暗示深部地质作用发生和发展及不同层位可能出现的矿源层的增多是中新生代，尤其是新生代成矿的重要地球化学背景，而深部过程对成矿的贡献主要是通过地幔流体作用实现的，具有从高温到低温的系列成矿。为此，我们认为应重视由高温到低温系列成矿过程中的地幔流体交代作用，它可以远离岩浆活动而沿裂谷或深断裂上升直接交代不同岩石形成矿床。并且，以此线索和思路，有可能更好地理解和解释滇西三江地区新生代复杂多变的成矿现象。

参 考 文 献

毕献武,胡瑞忠,何明友.1996..哀牢山金矿带 ESR 年龄及其地质意义[J]. 科学通报, 41(14):130～1303.

毕献武,胡瑞忠.1997. 成矿流体的形成演化机制[J]. 地质论评, 3(4):381～387.

边千韬.2000.地球壳幔结构构造与超大型矿床形成关系初议(以云南地区为例)[J]. 见:涂光炽等著.中国超大型矿床(Ⅰ) [C]. 北京:科学出版社. 545～569.

杜乐天.1990. 当代地球科学的一项重大前沿课题——幔汁研究[J] . 地球科学进展,5(1):42～47.

杜乐天.1993. 地球的 5 个气圈与氢烃资源——兼论气体地球动力学[J]. 铀矿地质, 9(4):257～265.

杜乐天.1996. 地壳流体与地幔流体间的关系[J]. 地学前缘, (3-4):172～180.

胡瑞忠,毕献武,G.Turner,等.1999. 牢山金矿带金成矿流体 He 和 Ar 同位素地球化学[J]. 中国科学(D 辑), 29(4):289～299.

胡瑞忠,毕献武,何明友,等.1998. 牢山金矿带矿化剂对金矿的制约 J]. 中国科学(D 辑), 8(增刊):24～30.

刘显凡,战新志,高振敏,等.1999a.富碱斑岩中深源包体的地幔流体交代作用.见：中国科学院地球化学研究所编.资源环境与可持续发展 [C] . 北京:科学出版社.71～375.

刘显凡,战新志,高振敏,等.1999b.云南六合深源包体与富碱斑岩成岩成矿的关系 [J] .中国科学(D 辑), 29(5):413～420.

罗君烈,杨友华,赵准,等.1994. 滇西特提斯的演化及主要金属矿床成矿作用[M]. 北京:地质出版社. 157～214.

孙丰月,石准立.1995. 试论幔源 C-H-O 流体与大陆板内某些地质作用.[J]. 地学前缘. 2(1-2):167~173

谢荣举,彭省临.1998. 质变化及钾交代与成矿关系[J]. 大地构造与成矿学, 2(3):274～279.

叶庆同,胡云中,杨岳清,等.1992. 三江地区区域地球化学背景和金银铅锌成矿作用.M]. 北京:地质出版社. 217～246.

朱炳泉,常向阳,王慧芬.1995. 华南-扬子地球化学边界及其对超大型矿床的控制[J]. 中国科学(B 辑), 25(9):1004～1008.

Bai Q 等.1994. 橄榄石中氢的实际溶解度及其对地幔中水储存的意义[J]. 地质地球化学, 22(1):41～44.

Ito E. et al., 1983. Alteration of oceanic crust and geological cycling of Chlorine and water. [J] Geochim. Cosmochim. Acta. 47:1613～1624.

Liu Xianfan, Zhan Xinzhi, Gao Zhenmin, et al., 2000. Na-rich microlite-glass in deep xenoliths, Liuhe, Yunnan: discovery and implications [J] . Journal of Geodynamics. 29:141～147.

Peacock S M. 1990.Fluid processes in subduction zones [J] . Science.248:329～337.

Philippot p.,et al., 1991. Trace-element-rich brines in eclogite veins: implicacations for fluid composition and transport during subduction [J] . Contrib. Mineral. Petrol.,106:417～430.

Spera F J.,1987.Dynamics of translithospheric migration of metasomatic fluid and alkaline magma. [M] Mantle Metasomatism. M A Menzies.,et al. (eds.):1～20.

Trull T.,et al.,1993.C-He systematics in hotspot xenoliths: implications for mantle carbon content and carbon recycling. [J]Earth Planet Sci. Lett. 118:43～64.