

岩浆热液成矿理论失败的原因

罗照华, 刘 翠, 李德东, 杨宗锋, 文思博

(中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

绝大多数内生金属矿床都与岩浆活动有关,但这种关系尚未得到清晰的阐述,因而很难在成矿预测中得到利用。这表明,流行的岩浆热液成矿理论可能存在重大缺陷。本文的目的是探讨其失败的原因。

1 岩浆热液成矿理论概述

岩浆热液成矿理论的立足点是成矿元素的亲流体(特别是高盐流体)属性,因而假设岩浆分异作用可以产生足够多的含矿流体,并从中析出成矿金属形成矿床。这种解释得到了大多数矿床学家的支持和维护。

根据流行的岩浆热液成矿理论,岩石圈-软流圈系统的圈层相互作用导致了岩浆的产生,这一过程依赖于源区岩石含挥发分矿物的分解。因此,岩浆中含有一定数量的流体。当岩浆与源区分离并上升到地壳浅部时,一方面由于熔浆中挥发分的溶解度随压力下降而减小(一次沸腾),另一方面由于岩浆结晶而使挥发分相对过饱和(二次沸腾),必然导致挥发分的出溶。在这个过程中,成矿元素趋向于进入流体相中,并在更低的温度条件下析出成矿,因而成矿作用往往发生在岩浆体固结之后,称为岩浆期后热液成矿作用。

上述地质模型具有大量的事实依据,也具有一定的理论基础。硅酸盐-H₂O体系的结晶过程分析可以再现岩浆热液成矿作用的三个阶段:岩浆阶段、气成阶段和热液阶段。这就是为什么岩浆热液成矿理论能够获得绝大多数矿床学家支持、甚至被某些学者看作是“定论”的原因。

2 岩浆热液成矿理论的缺陷

然而,这种看似无可争议的理论却存在重大的缺陷。首先,现代火山活动观测和理论分析均表明,流体的活动性远大于熔浆(Vergnolle, 1996),很难理解岩浆分异形成的流体要等到岩浆固结之后才开始活动;其次,大型-超大型矿床常常与小岩体有关,后者难以分异出足够数量的金属来形成矿床(汤中立, 2002; 黄凡等, 2009);为了解决质量平衡问题,矿床学家一般假定致矿岩体深部有一个大岩浆房(Lowenstern, 1994)。这样的假设似乎同时解决了上述两个问题,因而岩浆热液成矿理论似乎是完美无缺的。

然而,一系列矛盾的证据使我们不得不重新考虑该理论的合理性。

(1) 岩浆活动的时间尺度

现代岩石学的重要进展之一是对岩浆活动的时间尺度有了比较清楚的认识,大多数岩浆过程是地质时间尺度上的瞬时过程(事件)。研究表明,岩浆体固相线面移动的距离 x 与其冷却时间 t 服从幂律分布($x=0.28t^{1/2}$, Candela, 1991)。因此,大岩浆体的存活时间比小岩浆体长得多。这样就出现了问题:为什么在小岩体形成之前和之后不成矿?

(2) 含矿流体进入小岩体的机制

含矿流体进入小岩浆体的过程可以看作是两种液体的混合过程,其前提之一是两种液体具有相同的粘度,其二是含矿流体被压入熔浆,后一种机制更适合于岩浆热液成矿理论,如果说深部岩浆房提供了含矿流体。但是,随着岩浆结晶程度的增加,含矿流体将越来越难进入小岩体中。此外,含矿斑岩常常是微细裂隙发育的火成岩,这种裂隙更像是岩浆体内部膨胀的产物,而不是下部流体撞击的结果。因此,含矿流体进入小岩体的机制仍是一个谜,对于发育在渗透率比斑岩体高得多的变质岩区的斑岩型矿床来说尤其如此。

(3) 岩浆侵位机制

大体积岩浆的侵位往往有一个空间问题,即使按岩墙补给和自组织定位机制,其侵位空间的产生也需要借助于构造附加

力。小体积岩浆具有完全不同的定位机制，一个很小的构造空间就足以使其实现侵位。因此，很难将二者紧密地联系在一起。

(4) 岩石学记录

一个很重要的证据是出露地表的花岗质岩基常常没有分异作用的记录。如果说小岩体之下有一个大岩浆房，后者固结后应当形成规模相当的岩基或岩株。对于长英质岩石来说，花岗质岩基中没有分异作用的记录；对于镁铁质岩石来说，很少见到有岩基的产出。这表明，有关深部岩浆房供给含矿流体的解释是有疑问的。

(5) 成岩、成矿物质的来源

成矿物质来源是矿床学家关注的重要科学问题，与矿床成因和找矿预测密切相关。杜乐天先生长期强调深部流体对成矿作用的贡献（如杜乐天，2000），近年来获得了越来越多同行的支持，其中毛景文等（2005）的专著可以作为典型代表。大量的地球化学测试数据表明，成矿物质的来源可划分为地幔和地壳两个端元，大多数矿床的成矿物质具有地幔和地壳的混合特征。对于花岗质岩石来说，其液相线矿物为石英，岩浆必然来源于地壳；对于玄武质岩石来说，其液相线矿物为橄榄石和辉石，岩浆来源于地幔。因此，成岩物质和成矿物质具有不同的来源，岩浆热液成矿理论是值得怀疑的。

(6) 重力平衡问题

岩浆分异作用的一个重要理论依据是重力不平衡，岩浆体中密度较大的物质趋向于下沉，而密度较小的物质则趋向于上浮。导致岩浆分异的原因可以是晶体与残余液体的密度差，也可能是排气作用，后者可以导致亲流体元素向上聚集。

然而，许多斑岩型矿床中见有暗色微粒包体（MME），其平均密度大于寄主长英质岩浆。根据斯托克定律进行的简单模拟表明，MME的存在表明了岩浆没有发生具有实际意义的分异作用。如果同时考虑分异作用和岩浆冷却的速率，对于花岗质岩浆成矿来说，分异作用机制几乎是不可能的，无论是寄主岩浆的分异还是深部岩浆房的分异。

3 岩浆相关矿床成因的实质

爱因斯坦曾经说过：“一种理论，其前提愈简单，所涉及的事物愈多，其适应范围愈广泛，它给人们的印象就愈深刻。因此，经典热力学给我以深刻印象。它是仅有的具有普遍意义的物理理论，我确信在其基本概念所适应的范围内，它是决不会被推翻的”（转引自柴立和等，2003）。反观岩浆热液成矿理论，有众多的地质现象得不到合理的解释。於崇文（1998）的论述阐明了其根本原因：成矿系统是一种复杂动力系统，而成矿作用则是一种非平衡、非线性过程。流行的岩浆热液成矿理论将成矿作用看作是一种线性过程，这是其失败的根本原因。因此，流行的岩浆热液成矿理论不具有普遍意义，必须进行深度改造或提出一种新的成矿理论取而代之。

据此，罗照华等（2007；2009a；2009b）近年来提出了一个新的成矿模型，称为透岩浆流体成矿理论。根据这个理论，岩浆系统和流体系统是成矿系统中的两个独立子系统，它们的强相互作用导致了成矿物质的迁移和大规模沉淀。因此，成矿流体不再看作是岩浆派生的产物，而是复杂动力系统中的一个子系统之一。该理论符合复杂性科学的基本原理，具有更强的生命力。因此，透岩浆流体成矿理论能够解释传统理论可以解释的现象，也可以解释它不能解释的现象，甚至可以有效地推导出某些宏观和微观的找矿地质标志。

参 考 文 献

- 柴立和, 马德刚. 2003. 复杂系统的热力学理论[J]. 自然杂志, 25(5): 261-264.
- 杜乐天. 2000. 地球排气作用——建立整体地球科学的一条统纲[J]. 地学前缘, 7(2): 381-390.
- 黄凡, 罗照华, 卢欣祥, 高飞, 陈必河, 杨宗锋, 潘颖, 李德东. 2009. 东沟含钼斑岩由太山庙岩基派生[J]? 矿床地质, 28(5): 569-584.
- 罗照华, 莫宣学, 卢欣祥, 陈必河, 柯珊, 侯增谦, 江万. 2007. 透岩浆流体成矿作用——理论分析与野外证据[J]. 地学前缘, 14(3): 165-183.
- 罗照华, 卢欣祥, 陈必河, 李明立, 梁涛, 黄凡, 杨宗锋. 2009a. 透岩浆流体成矿作用导论[M]. 北京: 地质出版社. 1-177.
- 罗照华, 高飞. 2009b. 透岩浆流体成矿作用理论简介[J]. 自然杂志, 31(5): 254-257, 276.
- 毛景文, 李晓峰, 张荣华, 等. 2005. 深部流体成矿系统[M]. 北京: 中国大地出版社. 365.
- 汤中立. 2002. 中国的小岩体岩浆矿床[J]. 中国工程科学, 4(6): 9-12.
- 於崇文. 1998. 固体地球系统的复杂性与自组织临界性[J]. 高校地质学报, 4(4): 361-368.
- Candela PA. 1991. Physics of aqueous phase exsolution in plutonic environments[J]. American Mineralogist, 76, 1081-1091.
- Lowenstern J B. 1994. Dissolved volatile concentrations in an ore-forming magma[J]. Geology, 22: 893-896.
- Vergnolle S. 1996. Bubble size distribution in magma chambers and dynamics of basaltic eruptions[J]. Earth and Planetary Science Letters, 140: 269-279.