

# 斑岩铜矿床研究中存在的问题与复杂性科学

高合明

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

**关键词** 斑岩铜矿床、蚀变、矿化、裂隙-脉系统、成因模式、复杂性科学

斑岩铜矿床占铜产量的60%以上,它既与斑岩体的形成与演化相关,又与热液蚀变作用有关。矿床中存在大量的裂隙和脉体(裂隙-脉系统),岩体的形成与演化、热液蚀变矿化作用以及裂隙-脉系统形成的研究,有助于解决矿床成因理论中的一些关键问题,因而具有十分重要的地质学意义。斑岩铜矿床70至80年代研究取得了许多重大成果<sup>[1-3]</sup>,这些成果在某些方面代表着目前矿床成因理论的研究水平。虽然如此,斑岩铜矿床的研究目前还存在一些问题。这些问题在一定程度上影响着斑岩铜矿床、甚至整个矿床成因理论的进一步发展。随着耗散结构论、协同论、混沌学、分形几何等等复杂性科学理论的发展,给矿床成因问题的解决带来了希望,本文就是应用这些新理论来探索斑岩铜矿床研究中存在的某些问题。

## 1 斑岩铜矿床的主要研究成果

目前已在矿床蚀变分带性、矿化分带特征、裂隙-脉系统的产状和分布特征及矿床成因模式等方面取得了重要成果。

1.1 蚀变分带特征 Lowell等发现斑岩铜矿床的蚀变具有明显分带性<sup>[4]</sup>并提出了“二长岩”蚀变分带模式,即以斑岩体为中心向外依次出现钾化带、似千枚岩化带、泥化带和青磐岩化带的分带现象。此后,各国地质学家认识到斑岩铜矿床普遍存在蚀变分带现象<sup>[3-8]</sup>,且分带特征各不相同,于是提出了很多分带模式。

斑岩铜矿床蚀变带的研究成果表现在成因上主要与斑岩的形成与演化相关。

1.2 矿化分带特征 与蚀变分带相似,斑岩铜矿床矿化也存在分带性。一般钾化带中辉钼矿化较强,钾化带与似千枚岩化带的接触部位以及千枚岩化带中铜的硫化物矿化强烈,似千枚岩化带外侧以及泥化带中主要出现黄铁矿化,青磐岩化带中常发生金、银和黄铁矿化或铅、锌硫化物矿化。

矿化分带性和其它研究表明,矿化作用及其分带与蚀变作用和斑岩体的形成、演化有成因关系。

1.3 裂隙-脉系统特征 斑岩铜矿床中裂隙和脉体十分丰富,并含有大量的蚀变矿物和矿石矿物,且其分布和产状均具有一定规律<sup>[8,9,10]</sup>。裂隙和脉体在斑岩体顶部最多,在强蚀变带中较多,在弱蚀变带中较少,裂隙-脉系统发育程度整体上以斑岩体为中心呈对称分布;裂隙-脉系统的走向总体上围绕斑岩体呈同心环状和放射状分布。上述特征和脉体形成时间、同位素组成的研究结果说明裂隙-脉系统的形成与斑岩体的侵位、演化及蚀变矿化作用具有成因联系。

1.4 矿床成因模式 目前斑岩铜矿床成因模式主要是根据成矿物质来源、蚀变矿物及其共生组合的热力学研究以及斑岩体系热液环流的计算机模拟建立的。具有代表性的有以下三种:(1)正岩浆成因模式:认为成矿物质和产生蚀变与矿化的流体来源于斑岩岩浆,并在温度场的控制下会依次形成钾化带、似千枚岩化带、泥化带和青磐岩化带,且在前二者之间的特定温度场中发生矿化作用,形成矿体。(2)对流成因模式:认为成矿物质并非来于斑岩岩浆,而是来于围岩。地下水与围岩的水-岩反应形成青磐岩化带、泥化带、似千枚岩化带和钾化带,同时不断萃取物质,在后两个带之

间这种特定的物理化学条件下发生矿化作用。(3)混合成因模式:该观点认为成矿物质主要来源于岩浆,部分来源于围岩。岩浆热液产生钾化带,而围岩中水—岩反应形成青磐岩化带和泥化带,两种流体的混合产生了似千枚岩化带,同时出现成矿物质的沉淀而发生成矿作用。

## 2 斑岩铜矿床研究中存在的主要问题

(1)斑岩铜矿床虽然具有蚀变分带性,但其分带特征非常复杂,甚至各种条件相似的斑岩铜矿床出现不同的分带特征。对于这一问题目前还没有圆满的解释。

(2)斑岩铜矿床的矿化存在分带性,而其矿化类型、矿化强度、矿化分带特征也十分复杂,即便各种条件相近的斑岩铜矿床,其矿化的类型、强度或分带特征也均有不同,甚至有些斑岩体中成矿元素含量很高却不能形成矿体,这个问题目前也未解决。

(3)斑岩铜矿床中的蚀变作用、矿化作用、裂隙-脉系统的形成、斑岩体的形成及演化四者之间存在成因关系,但这种相互联系、相互制约的成因关系(耦合作用)至今尚未作深入研究。

(4)斑岩铜矿床中蚀变作用、矿化作用、裂隙-脉系统的形成、斑岩体的形成与演化构成斑岩铜矿床蚀变矿化分带及裂隙-脉系统形成的核心,它们之间的耦合作用在时间上和空间上的演化对蚀变分带、矿化类型、强度、矿化分带特征,以及裂隙-脉系统的分布均具有重要决定作用,但已有的斑岩铜矿床成因模式都没有充分考虑这一点。

上述问题可进一步归纳为,目前人们还未能把斑岩铜矿床作为一个完整的动力系统,并充分研究蚀变作用、矿化作用、裂隙-脉系统形成、斑岩体形成和演化之间的耦合作用及其演化的动力学行为,以进而由此分析斑岩铜矿床中蚀变矿化类型、强度、分带的复杂性以及建立矿床成因模式。

## 3 复杂性科学的基本思想

人们愈来愈认识到复杂自然界中大量存在规律性(即有序结构),同时又普遍不存在规律性(即无序或混沌)<sup>[11-14]</sup>。这种有序与无序构成复杂性中既对立又统一的两个方面。耗散结构论和协同论主要研究开放动力系统中各子系统之间的相互作用及演化导致有序结构形成的动力学机制,混沌学和分形几何则是研究无序形成的动力学过程,它们都是研究动力系统复杂性行为的重要理论。

动力系统的演化可以产生十分复杂的现象。很多动力系统的理论研究结果表明:动力系统演化本身受动力学方程所控制,因此其演化总体上表现出一定的确定性,但由于动力系统对扰动的极敏感性,在具体的演化过程中又表现出很大的随机性(即非确定性)。当开放的动力系统达到非平衡定态时,经多次失稳分叉,体系可以进入周期性振荡状态,从而形成时间上和空间上的有序结构;也可以进入混沌状态,产生无序而出现系统演化的不可预测性。因此在动力系统演化的整个过程中存在着确定性与随机性、有序与混沌过程,且它们在一定条件下可以发生转化,于是便形成可预测性与不可预测性对立与统一的复杂现象。

斑岩铜矿床中地质过程及其形成的地质现象是复杂的,而复杂性科学正是研究这种动力学过程中复杂行为的理论,因此,对认识斑岩铜矿床的复杂现象及其形成机制具有重要的指导意义。

## 4 斑岩体系成岩成矿作用的复杂性

根据复杂性科学理论,先确定斑岩铜矿床中蚀变作用、矿化作用、裂隙-脉系统的形成、斑岩体形成与演化之间的耦合作用,然后再分析其演化过程的复杂性。

4.1 斑岩体系中蚀变、矿化、裂隙-脉系统形成、斑岩体演化之间的耦合作用 斑岩铜矿床可视为一个宏大的动力学体系,其中蚀变作用、矿化作用、裂隙-脉系统的形成、斑岩体的演化可作为该系统的子体系,它们之间存在着相互联系与相互制约的耦合作用,这种耦合作用可进一步表现为斑岩体系中应力分布与裂隙-脉系统的形成、物质的分布与运移、蚀变与矿化作用这三者之间的耦合作用,并可以根据岩体力学、弹塑性力学、流体力学、断裂力学、化学反应动力学等等自然科学理

论具体确定这种耦合作用(图 1)。

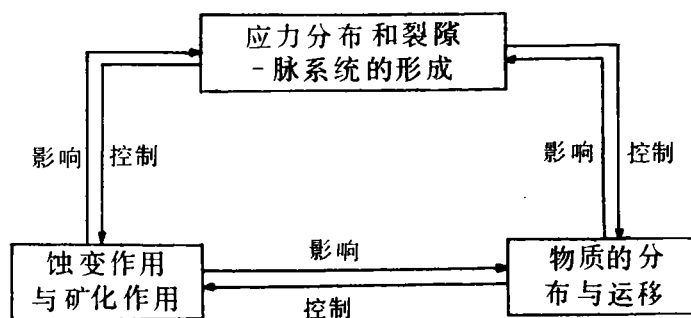


图 1 斑岩体系中应力分布与裂隙-脉系统的形成、物质运移与分布、蚀变作用与矿化作用间的耦合关系

斑岩体系中应力分布与裂隙-脉系统的形成、物质的分布与运移、蚀变作用与矿化作用之间的耦合关系。

斑岩体系中应力分布和裂隙-脉系统的形成,既控制着物质的分布与运移,又改变着成岩成矿物理化学环境而影响蚀变与矿化作用,物质的分布与运移直接控制着蚀变与矿化作用的发生与发展,对应力分布和裂隙-脉系统的形成也有重要影响;蚀变与矿化作用改变了岩石的物理与化学性质;从而也对应力演化、裂隙-脉系统和形成,以及物质的分布与运移有一定的影响。因此,应力分布和裂隙-脉系统的形成、物质的分布与运移、蚀变和矿化作用之间存在特定的相互控制、相互影响的耦合作用,即互反馈机制。正是这种机制及其演化,产生了斑岩铜矿床中的各种复杂现象。

**4.2 斑岩体系成岩成矿作用的复杂性** 斑岩体系的成岩成矿过程是一个非平衡不可逆过程,并一直存在体系与外界的能量和物质交换,且整个演化过程中应力分布与裂隙-脉系统的形成、物质的分布与运移、蚀变与矿化作用这三者之间存在较好的合作性(即耦合作用)。因此,斑岩体系的成岩成矿过程是一个典型的复杂动力系统的演化过程,它的演化也必将产生复杂的动力学行为及现象。

(1)蚀变分带的复杂性:根据复杂性科学关于动力系统演化总体上具有确定性,但在演化过程中又具有多重分叉随机性的理论,斑岩铜矿床中的蚀变作用总体向蚀变分带方向发展,但在蚀变作用过程中的多重分叉使得具体的蚀变作用可以进入不同的有序态,而产生不同的分带特征。因此,正是这种蚀变作用总体上的确定性与演化过程中分叉的随机性导致斑岩铜矿床中蚀变分带的多样性。

(2)矿化作用的不可预测性:矿化作用实质上是无矿的非平衡定态失稳分叉成矿有序态的转化过程<sup>[15]</sup>。复杂性科学理论表明,非平衡定态的失稳分叉主要受随机性理论控制,它的失稳可以进入有序态,即向成矿作用方向演化,也可以进入无序态,即不生成成矿作用。因此,斑岩铜矿床是否出现矿化作用具有不可预测性。

(3)矿化类型及其分带的复杂性:当无矿的非平衡定态向成矿的有序态演化时,斑岩体系便发生成矿作用。但由于成矿过程中存在多重有序态,在整个成矿作用过程中,经随机性的多次分叉,成矿作用可以进入不同的有序态,从而产生不同的矿化类型和复杂的矿化分带特征。

(4)在斑岩铜矿床中,蚀变带、矿体、裂隙和脉体在分布上往往具有特定的空间关系,但它们作

为统一的整体,在不同的矿床中表现出不同的分布特征。斑岩铜矿床作为一个完整的动力系统,应力的分布与裂隙-脉系统的形成、物质的分布与运移、蚀变与矿化作用三者之间的耦合作用决定着蚀变带、矿体、裂隙和脉体之间具有特定的空间分布关系,但由于这种耦合作用在具体的演化过程中又存在随机性的多重分叉,从而导致具有特定空间关系的蚀变带、矿体、裂隙和脉体作为一个整体在不同的矿床中出现不同的分布特征。

总之,斑岩铜矿床中各种地质过程之间的耦合作用及其演化是产生蚀变分带、矿化类型与矿化分带及空间分布复杂性的重要原因。

## 5 结束语

前人主要从斑岩体与围岩性质、蚀变与矿化分带特征、蚀变矿物及其共生组合的实验研究、成矿物质来源、成岩成矿物理化学条件,以及斑岩体系中热驱动热液环流的研究,说明斑岩铜矿床的复杂性和成矿作用,而本文则把斑岩铜矿床看作一个完整的成矿作用动力学系统,根据体系中的合作性及其演化来具体分析成岩成矿作用的复杂行为及其产生的复杂现象。实际上两者构成研究斑岩铜矿床的两个方面,只有从这两个方面加以综合研究,才能更充分揭示斑岩铜矿床的复杂性及其形成机制。

在目前的地学研究中,常常注重从地质特征来说明地质现象的复杂性及其形成机制,很少从地质系统及其演化过程中本身来分析形成机制。地质作用过程是一个复杂的动力学过程,应用复杂性科学可以从这种过程中更深刻地认识各种地质现象及其形成机制,因此,复杂性科学将给地球科学的研究带来新的活力。

## 主要参考文献

- 1 芮宗瑶等. 中国斑岩铜(钼)矿床. 北京:地质出版社,1984.
- 2 高合明. 斑岩铜矿床研究综述. 地球科学进展,1994(排印中).
- 3 A. И. 克里夫佐夫, И. Ф. 米加切夫, В. С. 波波夫[苏]. 世界斑岩铜矿床. 王肇芬等译, 北京:地质出版社,1986, 265.
- 4 Lowell J D and gilbert J. M. Lateral and vertical alteration mineralization zoning in porphyry ore deposits. Econ Geol, 1970, 65: 373~408.
- 5 Holister V F. Geology of the porphyry copper deposits of the Western Hemisphere. New York: Soc Mining Engineers AIME, 1978, 219.
- 6 Sillitoe R. H. The tops and bottoms of porphyry copper deposits. Econ Geol, 1973, 68: 799~815.
- 7 Titley S. R. and Beane R. E. Porphyry copper deposits. Econ Geol 75th Anni, 1981, 799~815.
- 8 Titley S R ed. Advances in geology of the porphyry copper deposits of southwestern North America. Tucson: Univ Arizona Press, 1982.
- 9 朱训等. 德兴斑岩铜矿. 北京:地质出版社,1983.
- 10 高合明. 德兴斑岩铜矿床蚀变、矿化、脉体和裂隙的成因统一性研究. 见:1992年中国科学院地球化学研究所矿床开放实验室年报. 北京:地震出版社,1993.
- 11 Prigogine, I Stergers. 从混沌到有序——人与自然的新对话(中译本). 曾庆宏等译, 上海:上海译文出版社, 1987.
- 12 吴大进等. 协同学原理和应用. 武汉:华中理工大学出版社,1990.
- 13 卢侃等编译. 混沌动力学. 上海:上海远东出版社,1990.
- 14 K J Falconer. 分形几何——数学基础及应用(中译本). 沈阳:东北工学院出版社,1991.
- 15 於崇文等. 云南个旧锡-多金属成矿区内生成矿作用的动力学体系. 武汉:中国地质大学出版社,1988.