



有关煌斑岩与金矿化新成因模式的讨论

翟建平 胡 凯 陆建军

(南京大学地球科学系, 南京)

提 要: 对产在不同地区、具不同岩性、且与不同金属矿化有关的煌斑岩金含量分析表明, 煌斑岩原始的金含量一般都不高; Rock 等人提出的高金含量是煌斑岩的固有特征及有关煌斑岩与金矿化新成因模式的立论依据尚欠充分。

主题词: 煌斑岩 金含量 金矿成因

1 概 述

花岗岩地区成岩序列晚期, 煌斑岩、辉绿岩和闪长岩等暗色岩脉发育是一个较常见的现象。这类岩脉(尤其是煌斑岩)往往与铀、金、钨、铁等多金属矿产有一定的伴生关系。McNeil 和 Kerrich (1986)^[9]、Rock 和 Grove (1988)^[10,11]、Rock 等 (1991)^[12] 分析了澳大利亚、加拿大、意大利、北美以及中国等一些地方的金矿化与煌斑岩的成因联系, 发现煌斑岩与金矿化的分布在时空上较一致, 在有些地区煌斑岩密集产出地段往往金矿化发育也较好。他们认为高金含量是煌斑岩的固有特征, 一般要比火成岩的高1~2数量级(甚至达2~3个数量级), 并推测地核可能是地球最富含金的部分; 地幔柱通过交代作用从地核中吸取金形成富金的地幔带, 这种地幔带的部分熔融又产生了富含金的煌斑岩, 而且煌斑岩含丰富的 H₂O、CO₂、F、K、Ba、Rb、S 及有关元素, 因而也可能具有超常的运移金的能力, 即煌斑岩可从深源吸取金, 并且有效地向上运移进入地壳释放金而成矿。据此, Rock 等 (1988)^[11] 还提出了一个有关煌斑岩与金矿化新的成因模式: 高温、富金、富挥发分的煌斑岩浆上升到地壳中后, 或者与地壳物质相互作用形成花岗岩-斑岩岩浆型金矿(模式 A); 或者引发并加剧一个变质热液循环体系, 同时可能向变质热液提供金以及 CO₂ 和 S, 从而促使变质热液金矿床的形成(模式 B)。Rock 等并认为, 通过这种新模式可将世界上一些特大型、大型金矿田两种矛盾的成因模式, 即岩浆和变质成因模式加以统一。

国内也有不少学者根据煌斑岩中的 Au 含量高^[1,2], 甚至在有些煌斑岩中发现了自然金^[3], 许多金矿脉产于煌斑岩内部、边部、尖灭处或产于与煌斑岩交叉的破碎带中, 煌斑岩还与石英脉型金矿的 S、Pb 同位素组成较相近等^[4], 持与 Rock 等外国学者相类似的观点。

*国家自然科学基金资助项目, 王学成也参加了部分工作

翟建平, 男, 39岁, 博士, 副教授, 从事矿物、岩石、矿床地球化学等方面的研究。邮政编码: 210093

1995-3-27收稿, 1995-9-20修改回

分析 Rock 等人的立论依据,其中非常关键的一点就是认为煌斑岩的原始金含量较高,他们的新模式特别强调了煌斑岩岩浆活动在金成矿过程中所起矿源的重要作用。但笔者近期的工作表明,许多地区煌斑岩的金含量均不高,而且这可能是较普遍的现象,本文拟展开这方面的讨论。

2 煌斑岩的原始金含量

对产自产金(胶东地区)、产铀(华南诸广和贵东、安徽大龙山)及非矿化(江苏宁镇)等地区的煌斑岩样品,在野外系统观察的基础上进行了详细的显微镜岩石学工作,挑选那些尽量新鲜的样品经水反复冲洗,并注意严格控制每道样品加工程序以防交叉污染,在南京大学地球科学系的国家级重点实验室,采用原子吸收光谱法对样品进行了金含量分析,分析检出限大于 10^{-11} 。分析结果表明(表1),煌斑岩的金含量与一般火成岩相比并不高,而且不同产地和不同岩性的煌斑岩的金含量也没有显著差别,皆在 2.5×10^{-9} 左右波动。若这些新鲜的煌斑岩的金含量能代表其原始值,那么,煌斑岩的原始金含量远没有 Rock 等人所认为的那么高($n \times 10^{-6}$ 数量级)。因此,煌斑岩不大可能是一种具有普遍意义的形成金矿化的重要物质来源。

表1 胶东、华南和宁镇等地区煌斑岩的 Au 含量 (10^{-9})

Table 1. Gold content of lamprophyres in Jiaodong (eastern Shandong), South China and Ningzhen area

采样地点	岩 性	样品数	金含量 (平均值)	采样地点	岩 性	样品数	金含量 (平均值)
胶东 玲珑	闪斜煌岩	7	2.65	华南 贵东	闪斜煌岩	3	3.01
	云斜煌岩	4	2.62		拉辉煌岩	1	2.23
	黑云闪斜煌岩	5	2.45		斜长煌岩	2	2.00
胶东 焦家	闪斜煌岩	3	2.52	华南 诸广	闪斜煌岩	2	2.41
	云斜煌岩	2	2.48		云斜煌岩	5	2.62
	橄榄拉辉煌岩	3	1.72		煌斑岩	3	1.98
胶东 栖霞	闪斜煌岩	4	2.18	皖大 龙山	闪斜煌岩	2	2.34
	拉辉煌岩	2	2.60		拉辉煌岩	3	2.51
	煌斑岩	1	2.53		云斜煌岩	1	2.20
胶东 乳山	闪斜煌岩	3	2.71	宁镇 岩体	闪斜煌岩	4	2.34
	云斜煌岩	2	2.60		云斜煌岩	2	2.67
	拉辉煌岩	2	2.48		煌斑岩	2	2.71

注:胶东为产金区,华南和皖大龙山为产铀区,宁镇岩体为非矿化区

Rock 等(1991)认为高金含量可能是任何一种煌斑岩的固有特征,为了解释所遇到的某些煌斑岩的低金含量,故假设煌斑岩在侵位过程中与地壳的强烈反应丢失了一部分或全部从较深处带来的金^[12],但这种假设与我们观察到的许多地质事实不相符合。其一,许多研究者都认为^[5],金具有较强的亲铁性,无论在基性或酸性岩浆分异作用中,金始终呈现一定的惰性,

单矿物分析表明,从铁镁硅酸盐矿物→铝硅酸盐矿物→硅酸盐矿物系列中金含量呈下降趋势,即金没有表现出明显在岩浆残余熔体中聚集的趋势。因此,很难想象具有高 Fe/Mg 比值的煌斑岩在侵位、结晶演化过程中能较容易地释放出金,而使其本身的金含量呈数量级的下降。其二,即使随着温、压下降岩浆将发生分馏作用,部分金与挥发分有可能进入岩浆分馏的流体相中,早期形成的铁镁矿物由于体系的物理化学条件改变而不稳定,也可与流体相发生一系列的反应(自交代作用)并释放部分金进入流体相^[6]。但据此可以推测没有发生流体相分离和自交代作用的煌斑岩金含量应该较高(体系中的金没有发生丢失);发生流体分离、自交代(蚀变)作用强烈的煌斑岩金含量应该较低(体系中的金发生了丢失)。但实际中所遇到的情况恰恰与此相反,在金矿区,一般总是新鲜的、未遭受蚀变的煌斑岩金含量比较低,而蚀变的煌斑岩金含量普遍较高。其三,煌斑岩按其化学成分和矿物组合,可分为钙碱性、碱性和超基性三大类,其中,以钙碱性煌斑岩的金含量相对较高,与金矿化的关系亦最为密切,而钙碱性煌斑岩受到地壳物质的混染也最为强烈。这些也从反面间接证实,煌斑岩的原始金含量可能并不高,部分煌斑岩遭受了后来蚀变或与地壳物质发生混染过程中金的叠加后才使其含量大为增加。

就目前发表的一些文献来看,我国很多金矿区产出的中基性岩脉包括煌斑岩金含量较高,如山东招掖地区,基性岩脉含金达 311.8×10^{-9} ,玲珑西山金矿区中的煌斑岩金含量达 $100 \times 10^{-9} \sim 200 \times 10^{-9}$,广西桃花闪长岩类岩墙金含量甚至可高达 800×10^{-9} ^[1],大部分文献并未说明所采用的金含量分析方法及样品的新鲜程度,因此数据精度就无法比较。据笔者对胶东金矿的研究,在时空上和含金石英脉密切共生的煌斑岩其金含量确实很高,有的煌斑岩本身就构成矿而被开采,但这些煌斑岩严格来讲,并不能简称其为煌斑岩,因为都遭受了强烈蚀变和后期金矿化叠加或与富金围岩(如胶东群或玲珑花岗岩)发生了相互作用。而且几乎无一例外,稍微远离矿区,未受矿化影响的新鲜煌斑岩的金含量就降至背景值。

有必要强调的是,要直接确定煌斑岩或其它任何一种岩石的原始金含量,保证样品的新鲜程度是非常重要的。仅根据目前用一般办法所测得的蚀变煌斑岩的金含量,那怕蚀变程度非常轻微,就推测这些煌斑岩与金矿化之间的关系,应该说是没有多大意义的。采自金矿区的煌斑岩往往都或多或少地受到了金矿化的影响,这些煌斑岩的金含量通常都很难代表其原始值。

3 异常地幔与煌斑岩高金含量

Rock 等(1991)另外一个立论依据就是煌斑岩来自异常地幔,因此具有高金含量^[12]。还有一些研究者认为,地壳中的金矿质可能直接来自幔源的基性-超基性岩浆建造,对于产地不同的同一种基性-超基性岩石或暗色岩脉包括煌斑岩,当它们的金含量不同(有时可相差数10倍)时,往往解释为地幔金分布的不均性所致^[6]。

现代地球科学多学科的综合研究证实,地幔确实是不均一的。但这种不均一性对煌斑岩的含金性有什么影响和影响的程度,还难以下定论。煌斑岩在异常地幔部分熔融形成过程中,是否能获得如 Rock 等人指出的那么高的金含量,现在也不得而知。因为金的地球化学性质表明,在还原条件下,金表现出较明显的亲铁和亲硫性,而且金的亲铁性远大于亲硫性,即金要倾向于在部分熔融的残留体中富集^[5]。目前所观察到的地质现象,也不支持异常地幔对其所形成煌斑岩的金含量有显著影响:其一,对华南、胶东和下扬子等地区所进行的 Sm-Nd 同位

素等一系列研究表明^①,该三个地区的下伏地幔性质有较大的差异,但三个地区所产煌斑岩的金含量差别却不大;其二,异常地幔一般应该有较大的范围,至少要数倍乃至数十倍于一个金矿区的范围,但通常金矿区煌斑岩的金含量较高,稍微远离金矿区煌斑岩的金含量就不高了,这用异常地幔也不太好解释;其三,若假设煌斑岩能继承异常地幔的特性而具有较高的金含量,那么必然涉及到煌斑岩在继承高金含量的同时,还要发生金与其它一些地球化学性质十分相似的铂族和银等元素的分离作用,不然煌斑岩中与金密切伴生的一些元素的丰度值要达到令人难以置信的地步,而实际工作中并未遇到这种情况,当然也许可以推测在地幔中发生了交代作用而使金单元素富集,但这种推测的依据目前还没有能使人十分信服。其四,通常都认为地幔金的丰度值要大于地壳的,约 5×10^{-9} 左右^[7],假设异常地幔比正常地幔的金含量高一个数量级,也只有 50×10^{-9} 左右,这与 Rock 等人认为的煌斑岩高金含量仍然相差甚远,而且至少还要富集二个数量级才能达到金的最低矿化要求($3 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$)。

正因为金是地球化学丰度低(10^{-9} 数量级)、高度分散的元素之一,金矿的生成需要高度有效的淋滤和萃取作用使之能充分富集,所以大量流体同围岩进行反应使金活化转移、预富集,即多时代、多种地质作用的叠加、改造是产生金矿化的重要条件,对绝大多数金矿床而言,很难想象仅凭单一的地质作用就能形成。

4 煌斑岩与金矿伴生的原因初探

当然,煌斑岩与金(包括铀、钨、铁)矿化经常密切伴生,如王联魁等(1995)^[8]发现几乎所有金矿区均有中基性岩墙(包括煌斑岩)产出,这些现象所包含的意义是不可忽视的,煌斑岩与金矿化之间必定存在某些成因联系。本篇短文不可能对这个较复杂的问题展开详细讨论,仅就笔者的一些初步认识试述如下。

4.1 煌斑岩与金矿伴生的构造原因

现有的研究工作表明,形成煌斑岩的初始成岩物质通常来源较深,煌斑岩类实质上代表了极深处的岩浆活动,而且这些岩浆活动只能在某些特定的构造背景下才会发生并侵入到地壳较浅部位,如超壳深大断裂或巨大的韧性剪切带等,而这些特定的构造背景往往也是形成金矿化的有利构造条件。

Wyman 和 Kerrich (1988)通过对加拿大苏必利尔省太古代煌斑岩类的分布、与主要构造的时空关系、岩相及地球化学特征的研究,也发现煌斑岩类明显地沿主要构造带产出,分布在绿岩带中,金矿化往往与其伴生;认为金矿化和煌斑岩的成因均与会聚板块的边缘构造有关,两者都是在拉伸条件下沿深达地幔的构造侵位的产物,但彼此来自不同的源区^[13]。此外,由于煌斑岩结构致密、性较脆,受力超过抗压强度时,很易破碎产生各种裂隙,这将为成矿溶液的活动及成矿物质的沉淀提供有利的空间。

4.2 煌斑岩的界面效应

煌斑岩与围岩(如花岗岩)的物理性质和化学性质截然不同,将导致在两者接触处产生强烈的“界面效应”(地球化学屏障)。新鲜煌斑岩的 Fe^{2+} 、 S^{2-} 等低价元素含量高,而且煌斑岩的许多造岩矿物中的原生包裹体含有一些强还原性气体,如 H_2S 、 CH_4 和 CO 等等,这使得

① 翟建平, 1995, 下扬子区和南岭区上地幔的差异及对金属矿化的制约

煌斑岩的还原能力较强。如对胶东金矿区岩石的氧化还原电位测定结果表明^[4], 未蚀变煌斑岩 Eh 值平均为32 mV (7个样品), 玲珑花岗岩为19 mV (5个样品), 郭家岭花岗岩为24 mV (4个样品)。由于煌斑岩与花岗岩还原能力的差异, 当含金热液运移至这种界面时, 能引起 Au 的还原沉淀。因此, 发育在煌斑岩两侧的金矿化品位往往明显变富, 呈现了煌斑岩脉的控矿作用。

矿化的煌斑岩与未蚀变的煌斑岩相比, FeO 含量明显降低, 但两者的全铁总量没有明显变化, 说明在矿化过程中可能主要是由 $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ 引起了 Au 的还原沉淀, 即 $\text{Au}^+ + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Au}^0 + \text{Fe}^{3+}$ 。在栖霞金矿区中, 也有较多的煌斑岩出露, 但该金矿的围岩主要为胶东群的斜长角闪岩、黑云斜长片麻岩及黑云斜长变粒岩, 这些岩石的 Fe^{2+} 含量也较高, 其氧化还原能力以及岩石化学成分和物理性质与煌斑岩的均较相似, 因此煌斑岩富集金的现象并不明显。

4.3 煌斑岩富含挥发分

硅酸盐熔体内水的溶解是水分子与氧离子形成羟基的一种反应, 这种反应通过水的离解 ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$) 及质子与熔体中的氧离子结合 ($\text{H}^+ + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{OH}^-$) 的方式而实现。在除含有硅氧四面体外还含有其它阳离子基团的熔体内, 水分子以下列方式进入熔体: $\text{Si}-\text{O}-\text{Me} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Si}-\text{OH} + \text{M}-\text{OH}$, 由于熔体中 $\text{O}-\text{Me}$ 键的结合强度比硅氧键的小得多, 基性熔体中的金属阳离子基团又较多, 因此基性熔体中水的溶解度要比酸性熔体的高, 这意味着煌斑岩侵位时可携带相当数量的水和挥发分。大量的分析资料也证实, 煌斑岩所含的挥发分种类如 H_2O 、 CO_2 、 S^{2-} 、 F^- 、 Cl^- 和数量均要比一般火成岩的高, 钙碱性煌斑岩中 $\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ 的平均含量通常超过5%, 故常在煌斑岩中可见到长石斑晶受到抑制而出现大量含水矿物和碳酸盐, 而且许多岩脉晚期自交代作用较发育。煌斑岩所携带的 H_2O 、 CO_2 等挥发分对金的活化转移具有重要的意义。

4.4 煌斑岩的热机作用

对胶东乳山金矿的详细研究表明^①, 金矿床的成矿物质主要来自源岩为胶东群的昆崙山花岗岩, 成矿热液中的水主要为大气降水, 成矿热源主要由煌斑岩的侵位提供。该区自白垩纪以来, 由以大规模花岗岩岩浆活动为特征的挤压、剪切环境逐步变成以红盆地标志的拉张环境, 构造活动使得已固结呈刚性的混合花岗岩产生许多较大的破裂构造, 大气降水广泛渗入, 下渗最大深度可达12km。煌斑岩在拉张环境下侵位, 同时提供了足够的热能, 促使大气降水长时间的深循环并与流经的岩石相互作用, 从中萃取大量的 Au 等成矿物质在适宜场所富集成矿。煌斑岩的这种热机作用, 在胶东金成矿区可能具有较普遍的意义。

5 结 语

总的看来, 煌斑岩原始金含量一般都不高, 不同大地构造背景 (南岭区、下扬子区和胶东区) 或不同金属成矿区 (产铀、产金和非矿化区) 产出的煌斑岩, 其金含量也没有显著差别, 皆在 2.5×10^{-9} 左右波动, 而且新鲜煌斑岩的金含量与其化学成分无明显关系。煌斑岩的金含量并不能反映其金成矿专属性, 事实上有些地球化学性质差异较大的元素如 Au、U, 它们的矿化却往往都有煌斑岩伴生, 也暗示了这一点。少数煌斑岩的金含量比较高, 这并不是其固

① 翟建平, 1995, 中国科学 (待刊)

有特征, 各种强烈蚀变或与地壳物质发生混染等后期地质作用是导致煌斑岩金含量增高的主要原因。不同产地或产出部位煌斑岩金含量的差异, 主要是由于煌斑岩侵位环境不同所致, 而与所谓的异常地幔无直接或明显的关系。Rock 等人提出的煌斑岩与金矿化成因新模式的立论依据尚感不足, 而且可能已人为地夸大了煌斑岩在金矿化中所起的作用。

煌斑岩脉群通常代表着中基性或碱性岩浆从深部源区沿着较大构造贯入; 煌斑岩的化学成分和物理性质一般都与围岩的差别较大, 构成强烈的“界面效应”; 煌斑岩携带种类和数量均有较多的挥发分, 如 H_2O 、 CO_2 、 S^{2-} 、 F^- 、 Cl^- 等是重要的矿化剂; 煌斑岩脉群侵位结晶过程中释放出的过热、结晶潜热和冷却热, 为成矿流体的深循环和水/岩作用提供了必须的能量; 所有这些均是导致金矿化包括 U、Fe、W 等矿产经常与煌斑岩密切共生的主要原因。由于煌斑岩并不是金矿化的主要物源者, 因此大量煌斑岩出露而没有金矿化, 或者有金矿化没有煌斑岩出露, 这些都是现实中常遇之事, 即金矿化与煌斑岩的对应伴生关系并非必然。

参 考 文 献

1. 刘连登, 姚风良, 孔庆存等. 岩脉在热液矿床成因研究中的意义——以胶东西北部金矿床为例. 长春地质学院学报, 1984, (4): 13~26
2. 姚风良, 刘连登, 孔庆存等. 胶东西北部脉状金矿. 长春: 吉林科学技术出版社, 1990
3. 檀国平. 煌斑岩可用来找金. 地质与勘探, 1990, (2): 24~25
4. 季海章, 赵懿英, 卢冰等. 胶东地区煌斑岩与金矿关系初探. 地质与勘探, 1992, (2): 15~18
5. 刘英俊, 曹励明, 李兆麟等. 元素地球化学. 北京: 科学出版社, 1984
6. 栾世伟, 陈尚迪, 曹殿春等. 金矿床地质及找矿方法. 成都: 四川科学技术出版社, 1987
7. 黎彤. 化学元素的地球丰度. 地球化学, 1976, (3): 167~174
8. 王联魁, 张绍立, 黄智龙. 华南金矿二元成矿模式. 矿床地质, 1995, 14 (1): 1~11
9. McNeil A M, Kerrich R. Archean lamprophyre dikes and gold mineralization, Matheson, Ontario: the conjunction of LIL-enriched magmas, deep crustal structures and Au concentration. Can. J. Earth Sci., 1986, 23: 324~343
10. Rock N M S, Groves D I. Do lamprophyres carry gold as well as diamonds?. Nature, 1988, 332 (6161): 253~255
11. Rock N M S, Groves D I. Can lamprophyres resolve the genetic controversy over mesothermal gold deposits?. Geology, 1988, 16 (6): 538~541
12. Rock N M S, Bowes D R, Wright A E. Lamprophyres, Glasgow and London: Blackie and Son Ltd., 1991
13. Wyman D A, Kerrich R. Alkaline magmatism, major structures and gold deposits: implications for greenstone belt gold metallogeny. Econ. Geol., 1988, 83 (2): 454~461

A DISCUSSION ON THE NEW GENETIC MODEL FOR LAMPROPHYRES AND GOLD MINERALIZATION

Zhai Jianping, Hu Kai and Lu Jianjun

(Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Key words: lamprophyres, gold content, genesis of gold deposit

Abstract

Gold content was determined for lamprophyre sills which occur in the auriferous granites in Jiaodong area, uraniferous granites in South China, and barren granites in Ningzhen area of Jiangsu Province by atomic absorption spectrometry whose detection limit is higher than 10^{-11} . The analyses show that the gold contents of lamprophyres is not higher than that of common igneous rocks and there exist no obvious differences among various types of lamprophyres in different areas, with the average gold abundance varying around 2.5×10^{-9} which is at least one order of magnitude lower than the value presented by Rock et al. Therefore, it seems quite impossible for lamprophyres to play a ubiquitous role in providing materials for gold mineralization, and thus the new genetic model for lamprophyres and gold mineralization advanced by Rock et al. cannot hold water. The relatively high gold content of some lamprophyres seems attributed mainly to the superimposition of late metamorphism and is not the intrinsic character of these rocks. It has no direct relationship with the anomalous mantle either. Factors such as tectonic conditions required for emplacement of lamprophyres, interface effect between lamprophyres and wall rocks, rich volatiles in lamprophyres and "heating engine function" of lamprophyre emplacement account for common coexistence between lamprophyres and gold mineralization; nevertheless, lamprophyres are not necessarily associated with gold mineralization.