

微区分析在地质研究中的应用*

——以金银互化物的研究为例

杨明明

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京 100037)

主题词 微区分析 金银系列矿物 矿床成因类型 找矿信息

提要 微区分析是现代分析技术在地质研究应用中的一个重要领域,通过电子探针对于矿物的微区分析,提供了矿床成因理论研究的新依据。本文以金银互化物的研究为例,讨论了在不同成因类型矿床中,金-银构成一个连续的类质同象系列,且变化是有规律可循,其微量元素的含量与该矿床成矿地质环境和相应的地球化学场有关,从而为找矿提供了新的地质信息,拓宽了寻找同类伴生元素矿床或发现新类型矿床的途径。

1 概述

微区分析是通过电子探针、扫描电镜、质子探针、离子探针等现代仪器在固体样品的微小区域内直接进行成分测定的一种分析技术和分析方法。微小区域可以是矿物的一部分,也可以是微细矿物的颗粒(几个平方微米)。能测定含量低至 10×10^{-6} — 10×10^{-9} 的杂质元素,是研究矿物中的超轻元素(如H、Li、Be、B、C、N、O、F)、稀散元素的赋存状态和矿物微量元素的地球化学等方面直接的和高质量的测试手段。

当代微区分析仪器的功能包括微区成分分析、微区结构、微区形态和兼作其它物理性质的研究等方面,它们共同的特点是微粒、微量、快速、简便和实行三维方向的研究^[1],并且样品不被破坏,可以保存或为他用。这些功能和特点较适合矿床学中物质成分和元素赋存状态的研究以及矿物微区痕量元素的成分、结构和其它物理化学性质等综合研究,这对提高矿物原料利用率和地质找矿有显著作用。同时,对有关矿床的形成条件和矿床成因理论研究有重要意义。

随着电子探针和扫描电镜分析技术的发展和普及,它在矿床成因研究中已得到广泛应用。在金银矿物分析鉴定方面,特别是金银互化物的测定,充分发挥了它的优势,既能快速、简便地取得鉴定数据,又能对金银矿、银金矿、自然金、自然银等矿物进行准确定名,而显微镜则难以做到这点。

矿物学是地质学中最基础的学科,对矿物研究的详尽程度促进了地质学中大多数基础学科的发展和深化;矿物的化学成分及元素的赋存状态研究,不仅是岩石、矿物、矿床和地球化学研究中的关键问题,也是人类对矿物原料的认识和利用的问题,它将直接影响矿产勘查和矿产资源的综合评价及综合利用(回收)的广度和深度。

* 本文于1997年8月26日收到,9月10日改回。

2 矿床成因类型与自然金、银金矿的关系

现选用各成因类型矿床中自然金和银金矿的电子探针分析结果(表1、表2)进行讨论。

2.1 自然金

按表1的电子探针分析结果绘制了不同类型矿床自然金中Au-Ag含量图解(图1)。由图1可见,花岗绿岩型和韧性剪切带型(I区4-14号样品)金含量在92%-96%之间,银含量在2%-8%之间,也就是说金的成色较高;其次是陆相火山岩型和海相火山岩型(II区15-20号样品);再者是破碎蚀变岩型(III区21-22号样品)。除此之外,有几类孤立的矿床如热液型(23号样品)和接触交代型(24号样品)自然金的成色较低;而钠长角砾岩型(1号样品)、成岩-变质热液型(2号样品)和碱性岩型(3号样品)的成色又特高。从总体关系看,矿床成因类型由钠长角砾岩型→成岩-变质热液型→碱性岩型、花岗绿岩型和韧性剪切带型→火山岩型(陆相、海相和火山角砾岩)→破碎蚀变岩型→热液型和接触交代型呈连续过渡状态,自然金中金含量(或成色)则由高到低。

表1 各成因类型矿床中自然金的电子探针分析结果(%)

Table 1 Electron microprobe analyses of native gold in main genetic types of deposits (%)

序号	矿床名称	成因类型	样品个数	Au	Ag	资料来源
1	陕西太白双王金矿床	钠长角砾岩型	3	98.09	0.92	文献 [2]
2	湖南沅陵沃溪金矿床	成岩-变质热液型	7	97.47	2.53	文献 [2]
3	河北崇礼东坪金矿床	碱性岩型	7	96.59	3.47	文献 [2]
4	山西五台狐狸山金矿床	花岗绿岩型	5	96.58	3.14	文献 [5]
5	陕西潼关金矿床	花岗绿岩型	4	96.06	2.22	文献 [2]
6	山东招远玲珑金矿床	花岗绿岩型	7	95.07	4.93	文献 [2]
7	河南小秦岭金矿床	花岗绿岩型	8	94.81	4.08	文献 [2]
8	河北迁西金厂峪金矿床	花岗绿岩型	5	94.99	5.07	文献 [2]
9	海南东方抱板金矿床	韧性剪切带型	2	95.46	4.09	文献 [2]
10	广东高要河台金矿床	韧性剪切带型	12	94.42	5.38	文献 [2]
11	辽宁阜新排山楼金矿床	韧性剪切带型	15	92.94	7.05	文献 [4]
12	海南昌江土外山金矿床	韧性剪切带型	4	92.81	6.55	文献 [2]
13	云南墨江金厂金矿床	韧性剪切带型	1	92.60	7.53	文献 [2]
14	河北宣化小营盘金矿床	韧性剪切带型	3	92.55	7.45	文献 [2]
15	新疆托里齐依求金矿床	海相火山岩型	7	90.63	5.25	文献 [2]
16	江西德兴银山铅锌铜矿床	火山岩型	1	90.24	9.07	文献 [5]
17	黑龙江嘉荫团结沟金矿床	火山岩型	11	87.85	11.40	文献 [2]
18	河南嵩县祁雨沟金矿床	火山(角砾)岩型	6	87.24	11.23	文献 [2]
19	浙江遂昌冶岭头金矿床	陆相火山岩型	4	85.79	11.53	文献 [6]
20	新疆哈巴河阿舍勒铜矿床	海相火山岩型	4	91.65	6.83	①
21	河北宽城峪耳崖金矿床	破碎蚀变岩型	10	85.01	14.99	文献 [2]
22	山东招远灵山沟金矿床	破碎蚀变岩型	2	84.65	14.73	文献 [2]
23	安徽铜陵马山金矿床	热液型	8	82.56	15.82	文献 [2]
24	湖北大冶铁矿床	接触交代型	7	80.58	13.64	文献 [7]

① 周良仁等. 新疆哈巴河县阿舍勒铜矿成矿地质条件研究. 西安地质矿产研究所, 1993.

众所周知,自然金中Au、Ag含量并非定值,其值的变化是连续的,属完全连续的类质同象系列^[2]。表1综合了不同成因类型矿床的自然金中金、银连续变化的情况。由图1可知,

I 区 (包括花岗绿岩型和韧性剪切带型、成岩-变质热液型、碱性岩型和钠长角砾岩型) 是这个连续系列的一个端员, 其自然金的成色较高; III 区 (破碎蚀变岩型和热液型、接触交代型) 是这个系列的另一个端员, 其自然金的成色较低; II 区 (海相和陆相火山岩型) 属这一连续系列的两个端员之间的过渡区, 其自然金的成色中等。I 区的矿床成因类型显然是在漫长的地质历史演化过程中经过多种地质事件、多期次的成矿作用、多阶段矿化的叠加而形成的, 自然金成色要高一点, 加之金在地质作用“催产”下, 其自身与其它元素具较高的亲和力, 显示了自然金的高成色特点; III 区与 I 区相比具有相反的特征, 这一端员基本上与岩浆作用有关, 它缺少漫长地质历史演化过程中各类地质事件对自然金形成的影响, 仅一次地质事件

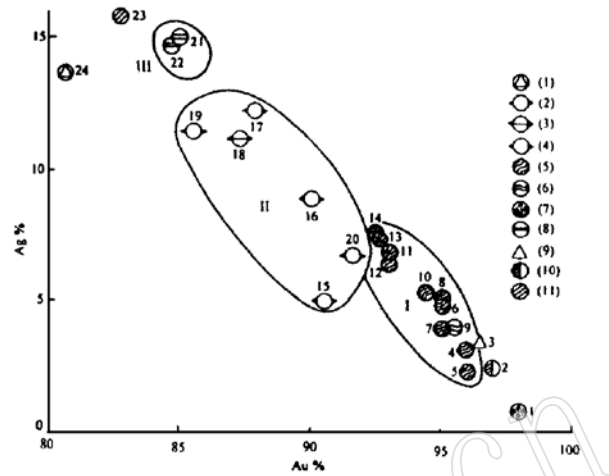


图 1 不同成因类型矿床中自然金的 Au-Ag 含量图解

Fig.1 Au-Ag content of native gold in various genetic types of deposits

- 1—接触交代型; 2—陆相火山岩型; 3—火山角砾岩型;
4—海相火山岩型; 5—花岗绿岩型; 6—韧性剪切带型;
7—钠长角砾岩型; 8—破碎蚀变岩型; 9—碱性岩型;
10—成岩-变质热液型; 11—热液型

表 2 各成因类型金矿床中银金矿的电子探针分析结果 (%)

Table 2 Electron microprobe analyses of electrum in main genetic types of deposits (%)

序号	矿床名称	成因类型	样品个数	Au	Ag	资料来源
1	湖北大冶铁矿床	接触交代型	2	78.01	20.13	文献 [2]
2	河北迁西金厂峪金矿床	花岗绿岩型	5	75.94	24.02	文献 [2]
3	山东招远玲珑金矿床	花岗绿岩型	14	72.60	24.91	文献 [8]
4	吉林桦甸夹皮沟金矿床	花岗绿岩型	5	72.35	26.31	文献 [2]
5	陕西潼关金矿床	花岗绿岩型	4	72.13	27.71	文献 [2]
6	甘肃金昌金川铜镍矿床	岩浆熔离型	1	70.13	29.87	文献 [2]
7	新疆哈巴河阿舍勒铜矿床	海相火山岩型	2	73.36	25.67	①
8	青海格尔木锡铁山铅锌矿床	海相火山岩型	22	73.31	24.13	②
9	江西德兴银山铅锌铜矿床	陆相火山岩型	1	71.40	23.65	文献 [2]
10	浙江遂昌冶岭头金矿床	陆相火山岩型	5	57.15	42.70	文献 [6]
11	甘肃白银厂小铁山铜铅锌矿床	海相火山岩型	7	55.65	36.31	③
12	山东招远新城金矿床	破碎蚀变岩型	1	65.60	34.40	文献 [2]
13	山东招远灵山沟金矿床	破碎蚀变岩型	1	63.84	36.16	文献 [2]
14	山东招远新城金矿床	破碎蚀变岩型	3	64.47	31.02	文献 [9]
15	山东招远河西金矿床	破碎蚀变岩型	3	74.99	24.01	文献 [2]
16	山东招远三山岛金矿床	破碎蚀变岩型	3	74.30	25.78	文献 [8]
17	山东招远焦家金矿床	破碎蚀变岩型	2	74.25	21.20	文献 [2]

① 周良仁等. 新疆哈巴河县阿舍勒铜矿成矿地质条件研究. 西安地质矿产研究所, 1993.

② 冯仁章等. 青海省锡铁山铅锌矿床地质特征及成矿规律研究. 青海第五地质队, 1988.

③ 郭介人等. 甘肃白银厂地区黄铁矿型铜、多金属矿床形成条件、成矿模式及找矿预测. 西安地质矿产研究所, 1991.

或一次岩浆旋回)形成自然金,其中的杂质元素不但不能被排除,也达不到最高金成色的相以及不易丢失过量的 Ag。较高成色自然金属天然固溶体亚稳相,一般含 Ag 在 21% 左右,自然金中 Ag 若超过此值时,很可能属化合态的 Ag,低成色相含有这类 Ag,在金-银系列中处于富银一端,图 1 中Ⅲ区就属于这个端员。

2.2 银金矿

不同成因类型矿床中产出的银金矿(Au 含量小于 80%、大于 50% 时属银金矿)也属金、银连续变化系列,按表 2 电子探针分析结果绘制了不同类型矿床银金矿中 Au-Ag 含量图解(图 2)。由图 2 可见,Ⅰ区(15-17 号样品)为破碎蚀变岩型;Ⅱ区(3-5 号样品)属花岗绿岩型;Ⅲ区(7-9 号样品)为火山岩型;Ⅳ区(12-14 号样品)仍属破碎蚀变岩型;Ⅴ区(10-11 号样品)为火山岩型。

从各成因类型的总体轮廓看,图 2 与图 1 是相似的,即银含量较高时,金含量就较低。这一连续变化系列中,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ区组成一团,这是由于破碎蚀变岩型、花岗绿岩型、岩浆熔离型和海、陆相火山岩型等几类矿床具有形成自然金的相似成矿条件,银的含量较低,Ⅰ区和Ⅳ区同属破碎蚀变岩型,似乎这类矿床中银金矿经历有不同成矿阶段的两种不同成矿物理化学条件,而处在连续变化系列的不同位置上,Ⅴ区为富银端员,这是火山岩型金银矿床共有的特点,处在金-银系列富银一端的这一区域,金和银只是有限的混溶形成低成色的相,且含有过量的处于化合状态的 Ag,形成银金矿的矿物相。

2.3 微量元素

自然金的电子探针分析结果中还可见到其它一些元素,普遍存在的微量元素有 Cu、Fe、Al、Ca、Mg、K、Na;许多样品出现有 Si、Cr;个别样品中有 Mn、Ti、As、Sb 等;还可出现 Pt、Rh、Pd、Os、Co、Mo、Sn、S、Bi、Hg 等元素。元素的种类及其含量依矿床的矿种和成因类型而异。这些元素含量甚微,但在某些矿物的某些成因类型矿床中,某些元素的含量甚高(见参考文献 [2]),如大冶铁矿床的自然金中 Fe 含量达 5.19%,Cu 含量达 7.32% (最高达 7.91%),金川铜镍矿床的自然金中 Pt 高达 17.6%,偏岩子金矿床的自然金中 Cr 达 3.74%,双王金矿床的自然金中 Bi 达 2.2%。这类高含量元素形成了自然金的矿物变种,如:铁质自然金、铁铜质自然金、铜质自然金、铈质自然金、铈铜质自然金、铂质自然金、铬质自然金、铜金矿、铂铜金矿等等。说明在不同矿种、不同成因类型矿床中 Au-Fe、Au-Cu、Au-Pt、Au-Rh、Au-Cr 等元素组存在广泛的混溶。它一般被视为天然合金,有的学者视其为金属互化物。它们是在特定的成因类型矿床中,特定的成矿地质环境下形成的。在金川岩浆型铜镍矿床中,赋存有铂铜金矿,金昌金矿床有铂质自然金和铈铜质自然金,而大

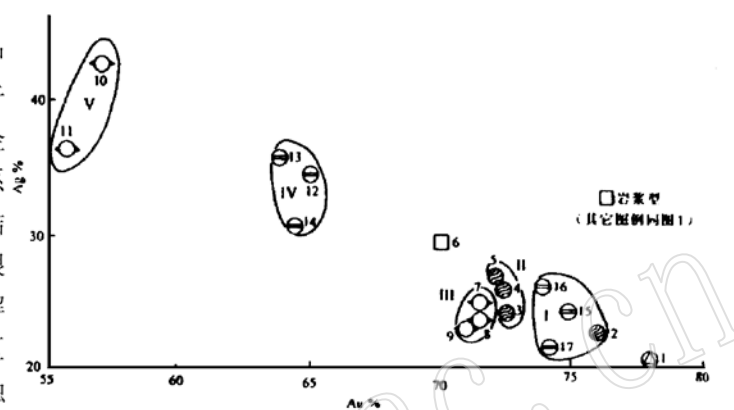


图 2 不同类型矿床银金矿中 Au-Ag 含量图解

Fig. 2 Au-Ag content of electron in various genetic types of deposits

冶铁矿床则赋存有铁质自然金和铜质自然金。这些元素与金的混溶指示了不同成矿环境中成矿物质的地球化学背景,指示了一些元素可能有富集的环境、可以作为找矿标志,例如冶岭头金矿床中铜含量高达4.02%,可能指示了铜的地球化学场较高,而在矿区及其外围指示了找铜信息;沃溪金矿汞高达0.38%^[2],可能指示了该区属汞的高背景场,而有可能在矿床上伴生有汞和有找到独立汞矿床的可能性。总之,自然金中高含量的微量元素可能是新的找矿信息的标志之一。

3 结 论

微区分析是地质学研究中不可缺少的一项新技术,随着探索领域的拓宽和范围的扩大,以电子探针为主要测试手段的微区分析结果将为各地质分支学科研究特别是矿床成因研究提供一些新的信息。本文列举不同成因类型矿床中的自然金和银金矿电子探针分析结果说明:

1、微区分析是现代分析技术发展及其在地质研究应用中的一个新领域,它是用于研究矿床物质成分和元素赋存状态的一种分析技术和分析方法,为深化矿床成因理论研究提供了新的依据。

2、在不同成因类型矿床中,自然金中的金常被银替代,形成天然合金或固溶体,自然金和自然银构成了金-银类质同象系列,根据列举的不同成因类型矿床中赋存的自然金的电子探针分析结果,证实它们是一个连续的类质同象系列。

3、在不同成因类型矿床中,金-银类质同象系列的变化有一定的规律可循,自然金随成色由高到低,其相应矿床成因类型的变化次序是钠长角砾岩型→成岩-变质热液型→碱性岩型、花岗绿岩型、韧性剪切带型→火山岩(陆相、海相和火山角砾岩)型→破碎蚀变岩型→热液型和接触交代型。而银金矿与矿床成因类型的关系也有相似之处,仅矿床成因类型次序有所差异。

4、自然金和银金矿中含有一些微量元素,不同成因类型矿床中微量元素的种类和含量的高低与该矿床的成矿地质环境和相应的地球化学场有关,其中所含的某些特高元素,除形成自然金的矿物变种组成广泛的混溶外,还提供了新的找矿信息,拓宽了寻找同类金矿床的伴生元素或发现新类型矿床的途径。

参 考 文 献

- 1 周剑雄. 矿物微区分析概论. 北京: 科学出版社, 1980.
- 2 蔡长金等. 中国金矿物志. 北京: 冶金工业出版社, 1994.
- 3 王安建等. 五台山太古庙地质与金矿床. 长春: 吉林科技出版社, 1996.
- 4 王安建等. 脉状金矿地质与成因. 长春: 吉林科技出版社, 1996.
- 5 中国有色金属总公司江西地勘局和江西银山铜铅锌金银矿床编写组. 江西银山铜铅锌金银矿床. 北京: 地质出版社, 1996.
- 6 罗正宽等. 浙江遂昌-龙泉地区金银矿床和黄铁矿标型特征. 矿物岩石, 1985, 5(5).
- 7 刘鸾玲, 丁俊华. 大冶铁铜矿床中伴生金的性状. 地质与勘探, 1987, 23(7).
- 8 杜心君等. “焦家式”金矿床金矿物的标型特征及成因意义. 黄金, 1989, (41).
- 9 杨敏之, 吕古贤. 胶东绿岩带金矿地质地球化学. 北京: 地质出版社, 1996.

The Application of Microbeam Analysis to Geological Study —Exemplified by the Study of Au-Ag Intergrowth Compounds

Yang Mingming

(Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words: microbeam analysis; Au-Ag intergrowth compounds; type of deposit; ore-hunting information

Abstract

Microbeam analysis is a new technology applied in geology. Through microbeam analysis of minerals by means of electron microprobe, the author obtained new evidence on the origin of ores, which deepens the genetic theory on mineral deposits.

Taking Au - Ag intergrowth compounds as an example, this paper has reached the following conclusions. In the Au - Ag compounds of different types of gold deposits, as sequentially replaces Au, making up a continuous isomorphous series. The content of Au and Ag in native gold forms a regular pattern. The development of native gold and that of electrum have something to do with different types of gold deposits respectively. Abundances of trace elements in Au - Ag minerals are controlled by geological settings and geochemical fields.

The above study provides new geological information and a new method for the study and exploration of gold deposits.