

黄金科技丛书

金银矿产选集

第七集

冶金工业部黄金情报网
中国有色金属工业总公司 吉林矿产地质研究所
冶金工业部长春黄金研究所

一九八七年七月

目 录

1. 内生金矿床的金矿化与火山活动及岩浆作用之间的关系·····	林文通	(1)
2. 金的成色研究·····	张振儒 杨思学	(9)
3. 金矿源岩研究与判定·····	王安建	(15)
4. 热液型金矿床最实用的找矿标志		
—黄铁矿标型特征简介·····	崔艳合	(25)
5. 穆龙套型金矿床及在我国的找矿远景·····	吴尚全	(27)
6. 金矿找矿矿物学的初步探讨·····	徐光荣	(31)
7. 砂金的命名系统综述·····	帅德权	(41)
8. 砂金矿成因新探·····	王义文	(46)
9. 关于砂金矿床成因分类的探讨·····	张成喜	(57)
10. 关于砂金矿床的储量分析和矿山地质经济工作的研究·····	池德镇	(72)
11. 东北地区砂金矿床地质·····	李成范	(81)
12. 砂金性状鉴定·····	李铁公	(98)
13. 对金矿工业指标的商榷·····	杜劲光	(110)
14. 岩金品位几何平均值公式·····	任炳龙	(114)
15. 略谈金矿品位变化与经济发展的关系·····	郭贤才	(119)
16. 测汞找金的理论基础·····	朱太天	(126)
17. 东北北部金矿的大地构造类型·····	唐春发	(133)
18. 华北地台前寒武系中金矿与西澳绿岩带金矿的异同·····	宋瑞光	(143)
19. 炭质岩石中金矿成矿特征及炭在金矿成矿过程中作用·····	张甲忠	(148)
20. 日本菱刈金矿地质考察·····	张福霖 金成洙 卿启云	(153)
21. 山东胶东群含金建造的地球化学特征·····	王鹤年 丁抗 汪耀	(159)
22. 山东河东金矿黄铁矿标型特征的研究及其意义·····	王存昌	(162)
23. 山东招远西北部金矿成矿规律·····	陆红	(166)
24. 山东招远西北部花岗岩类岩石成因初探·····	赵信	(172)
25. 安徽铜官山矿区金矿床围岩蚀变和成矿机理研究·····	林文通 杨学明	(179)
26. 安徽沙溪斑岩铜矿床中伴生金的赋存状态研究·····	季汝清 周文雅 张仕兰	(203)
27. 浙江火山岩区金矿带中黄铁矿的成矿标型特征和找矿标型特征·····	邵洁涟 梅建明	(210)

28. 湖北大别山地区陈林沟金矿床主要地质特征
及成矿机理初探.....刘腾飞 (228)
29. 广东河台金矿形成机制的实验研究.....王鹤年 戴爱华 (234)
30. 广东银矿产出特征和矿床类型
.....姚德贤 邓 璟 杜金龄 彭振华 (242)
31. 广西大瑶山隆起带寒武系地层中热液金矿床特征和成因
.....张恒兴 (256)
32. 四川平武茶铺子地区含金铁质碳酸盐岩体地质特征.....刘昭惠 (263)
33. 青海拉脊山地区金矿控矿因素及找矿前景分析.....田耀亭 (268)
34. 水地球化学方法寻找金矿的有效性.....И.С.罗蒙诺索夫等 (279)
35. 石英的标型特征—形成条件和含矿性的标志.....B. B. 查尔也夫等 (285)
36. 浅成热液贵金属矿床成矿模式.....V. F. 霍利斯特 (291)
37. 金—石英建造金矿床中石英的标型特征.....И. H. 涅捷什洛娃 (297)
38. 北朴利奥霍提亚火山岩区金—银矿床矿石及交代岩黄铁矿中的金
.....P. Г. 克腊夫措娃等 (300)
39. 埃及东部沙漠爱尔希德金矿.....A. M. 爱尔宝思勒等 (305)
40. 根据液态包裹体资料推断加拿大西北部地区银矿床生成期间的
热液环境.....A. 钱凯迪等 (310)
41. 苏联中塔吉克斯坦镁砂卡岩建造中金—硫化物矿床的矿物学
地球化学和形成环境.....H. A. 博洛希纳 (317)

内生金矿床的金矿化与火山活动及岩浆作用之间的关系

林文通

(合肥工业大学)

一 前 言

从内生金矿床的金矿化与火山活动及岩浆作用之间的关系来探讨内生金矿的成矿特征和分布规律,具有一定的重要性,同时,对于查找和预测新的含金区域无疑也是很重要的。

金的成矿特征具有规律的周期性的发展,其周期性主要表现在内生金矿与外生金矿的生成具有周期性的重复。这种周期性重复主要受地球历史演化过程中,由于地壳运动产生的火山活动和岩浆作用的制约,使金的成矿作用表现出在地球历史演化过程中存在有周期性重复的轮回性。成矿作用的轮回性的划分,按舍耳的意见:从内生成矿到外生成矿的全过程作为一个轮回。舍耳(1974)分析了世界大量金矿床分布的特点,分出两个大的历史轮回的结论。第一轮回,太古代—中生代,分两个成矿期:①太古代—下元古代为古老内生金矿床;②上元古代、古生代、中生代主要为外生金矿床;第二轮回、中生代—现代,也分两个成矿期:①中生代主要为内生金矿床,②第三纪末—现代为外生金矿堆积,主要形成砂金矿床。上述这种历史轮回与火山活动和岩浆作用有着直接的联系。下面就从内生金矿床的金矿化与火山活动及岩浆作用之间的关系进行初步的探讨,并请专家学者指正。

二、内生金矿床的金矿化与火山活动的关系

内生金矿床的金矿化与火山活动的关系是很密切的,这是由于金与铁、镍等元素一样,在地球形成的初期,产生元素分异演化时,均向地球深部聚集。除主要集中于地核外,还富集于地幔。据黎彤计算的金含量“地核:地幔:地壳=2600PPb: 5.5ppb: 3.5ppb”。这就是说,地球在四十五亿年分异演化过程中金有99.66%集中到地核,地幔占地球的金总含量的0.21%,而地壳只占地球的金总含量的0.13%,即其丰度值为0.005克/吨。因此,金要在地壳中富集成矿就必须要有地幔中的金参与成矿作用。而地幔中的金主要是靠火山活动被带到地壳中来的。一般说,金矿化的产生与地壳运动的构造变动和成矿岩浆演化的特点有关。地壳中与火山活动有关的金矿化主要集中在两个矿化期:太古代—下元古代和中生代。这两个矿化期的火山活动和金矿的成矿特征均不

相同。

1. 太古代—元古代的火成活动：

在太古代和下元古代，即前寒武纪时，在原始地槽内，在地槽沉积发育的早期，由于地壳厚度薄、古老的火山活动频繁，从地幔上侵和喷发的超基性—基性火山岩把富集在地幔的金被带出，呈分散地分布于太古代—元古代沉积岩系内的超基性—基性火山岩中，这些岩石经过变质作用变成绿岩带而含金，或经过风化作用而分散于太古代—元古代沉积岩中，这就成为分布于前寒武纪地层中金的矿源层。这些矿源层在后来的各种成因的热液的迭加改造而富集成金矿床。这也就是世界约70%的金矿产量和储量集中产于前寒武纪变质岩系内的原因。这些金矿床的成矿物质的来源主要与来自上地幔的局部熔融的超基性—基性火山岩的火山活动有关，而且在矿石建造上以金—石英（少硫化物）建造为其主要特点。

2. 新生代的火山活动：

在寒武纪以后，随着地壳的钢化，火山活动减弱，而一些火山活动的产生，则主要是构造—岩浆活动的产物，而且火山活动主要集中在新生代。前寒武纪和寒武纪以后火山活动特点不同的原因，主要与深大断裂产生的深度有关。发生在晚元古代以前的深大断裂常是穿透性断裂（断入上地幔），而寒武纪以后的古生代—新生代的常是下地壳的断裂，只有少数为穿透性断裂。这可以从世界时代较新的许多内生金矿床直接分布在构造—岩浆活动有关的火山活动发育地区或靠近这些地区，在成因上和空间上关系都很密切得到说明。例如，从环太平洋带的金—银建造的火山一次火山金矿床和矿化来看，金矿化就是直接在环太平洋带正在活动的或不久前才停息的火山活动地区产出。这种金矿床的形成主要是由穿透性构造有关的玄武岩类及各种不同的下地壳变质基底重熔形成的安山岩—英安岩—流纹岩系列火山活动和火山—深成岩组合的地区，时代为新生代的金矿床。这种火山活动可以直接形成近地表型金—银矿床，其分布很广，可以形成小型、中型、少数为大型的金矿床。主要产于中酸性火山岩、火山碎屑岩的构造断裂带、破碎带和火山机构中，以中酸性的浅成和超浅成小侵入体的顶部或接触带附近。例如，环太平洋带新生代边缘带（加拿大、美国西部、墨西哥、玻利维亚、秘鲁、巴西、日本、印度尼西亚、巴布亚新几内亚、新西兰和我国的台湾），地中海—喜马拉雅带的欧洲阿尔卑斯火山褶皱带（罗马尼亚所属的喀尔巴阡山矿区）和蒙古—鄂毕次克带（苏联的巴列伊、卡扎科夫、达拉金等），以及一些构造—岩浆活动地区均有金矿床产出。特别是浅成低温热液金—银矿床，含金和金的碲化物为特征的金矿床常沿张裂隙面充填。几乎所有的这类金矿都产于新生代的白垩纪及更主要的是第三纪强烈蚀变的火山岩中。矿床含银很丰富，形成金银矿床和含金的银矿床。矿物有自然金、辉银矿、银金矿、金和银的碲化物和各种硫化物。围岩有青盘岩化（面型蚀变）和与矿化有关的硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、高岭土化、冰长石化和钠长石化，其中冰长石和钠长石化较接近矿脉。金矿类型按苏联学者M·M·康斯坦丁诺夫等（M·M·康斯坦丁诺夫1981）的矿床地球化学分类的资料，可分为金—碲型，金：银=10:1~1:1，金型，金：银=1:1~1:20，和金银型，金：银等于或小于1:20。这种金矿类型的形成与造山作用在时间上的推移有密切关系。例如，在环太平洋带的东部，由于造山作用在时间上由西向

东推移, 出现金、银矿化的不断更新(白垩纪→早第三纪→上新世), 从陆缘带向外带和内带岛弧系统相应地产生以银为主的矿化变为金和金—碲矿化所代替。而西部造山作用由东向西的向大陆方向推移, 以及大陆基性程度增高, 则金、银矿化发生了金—银型、金型和金—碲型矿床递变和更新。而且, 环太平洋带发育不对称; 在环太平洋带西部的亚洲部分金矿化为白垩纪—早第三纪; 而在环太平洋带东部的美洲部分则以早第三纪为主(晚始新世—早中新世)。这是因为在亚洲部分活化期为白垩纪—早第三纪, 形成最主要的大陆边缘火山带时, 在美洲部分还是持续继承性的地槽发育期, 到早第三纪才出现活化期。在金矿品位上, 呈现出比绿岩带型有关的石英脉型金矿床品位更为富集。但品位变化大, 如北美科迪勒拉金矿田, 大部分含金为15~30克/吨, 而最高可达500~600克/吨。这种属于近地表的, 在空间上和成因上与玄武岩类及安山岩—英安岩—流纹岩系列火山活动有关的火山一次火山金矿床, 除了广泛分布于中生代时期外, 在有些地区在古生代就已出现, 例如, 在晚石炭纪和晚二叠纪的强烈蚀变的火山岩中产出。根据M·M·康斯坦丁诺夫等(1981)的资料, 对环太平洋褶皱带和地中海褶皱带的中—新生代与火山一次火山岩有关的金—银矿床可以划分为五个矿化期: 晚石炭纪; 晚二叠纪; 白垩纪—早第三纪(白垩纪—早始新世), 以环太平洋带西部的亚洲的构造—岩浆活化期的火山一次火山岩金矿床; 早第三纪—晚第三纪(晚始新世—中新世), 金矿化主要存在于环太平洋带东部的美洲及地中海带的成矿省(如喀尔巴阡山地区); 和晚第三纪(上新世, 部分有更新世的)、矿化在两个褶皱带都有, 在环太平洋带有阿库潘(菲律宾)、塔武阿(斐济群岛)、克里普尔—克里克(美国)等火山岛弧和缝合带的上新世的金或金—碲矿化以及一些产于大陆边缘火山带的美国西部一些州的金矿床, 如西耳佛皮克金矿床, 和在我国还有更新世的金—银矿床, 如台湾的金瓜石金矿床。在地中海带有特兰斯瓦尼亚(罗马尼亚)的金—银矿化。中—新生代的金矿床的矿石建造多为金、银—黄铁矿型; 金、银—硫化物多金属型为主。而且, 金矿床最为特征的是矿石中出现了钨、钼、锡、铋、铅、锑、汞等矿物, 在金矿类型上比太古代金矿更复杂化和多样性, 其原因可能与火山活动的岩浆演化有关。虽然两种火山活动的岩浆来源比较接近, 前者来源于上地幔的局部熔融, 后者来源于下地壳变质基底(含有较多的地幔延伸的物质)的局部重熔, 但从与地壳物质的同化作用(岩浆消化外来物质的现象称为同化作用)来看, 两者都有很大的差别, 即同化作用在中新生代火山活动比太古代的火山活动表现得更强烈。因之, 使随着地质历史演化过程中岩浆含金性的成分更复杂, 出现了金的建造变得复杂性和多样性。这种现象, 与随着地质历史演化过程中成矿带的矿种变得复杂化和多样性相一致。有人统计过, 在太古代的矿种只有11种, 到中生代达到75种, 可能也就是由于这个原因。有些研究者把中新生代的火山带划分为海洋类型、大陆类型和过渡类型三种类型。有的研究者应用金: 银比值作为中生代火山一次火山金矿床的矿化地球化学分类的标志。按这种划分的矿化地球化学类型, 可以确定金矿床大地构造位置、矿床赋存条件, 矿化前火山岩组合和矿石成份之间的相互关系。例如, M·M·康斯坦丁诺夫等(1931)按Au: Ag比值划分的主要的矿化地球化学类型及其与地壳类型、火山带、火山建造、矿田构造特征和伴生元素之间的相互关系列于表1中。

金—银矿床的地球化学类型

表 1

地球化学类型 特征	金—碲类型 (Au:Ag-10:1~1:1)	金 类 型 (Au:Ag-1:1~1:20)	金—银类型 (Au:Ag≤1:20)
地壳类型	海洋类型或过渡类型	过渡类型或大陆类型	大陆类型
火山带	岛弧和裂谷带的火山带	内陆的和内陆边缘的火山带	内陆边缘的火山带
火山建造	粗面玄武岩、 安山玄武岩 火山建造	安山岩、安山—英安岩 火山建造	安山—流纹岩、流纹 岩火山建造
矿田构造特征	产在中央类型的火山机 构、矿化高度集中在不 大的面积上(5—15平 方公里), 矿化为大矿 囊类型	产在结构复杂的火山构 造洼地中, 火山的和断 裂的控矿构造相结合, 矿化分散在大片面积上 (30~50平方公里)	产在由于大幅度正断 层而复杂化的火山— 穹窿隆起处, 矿田的 面积相当大(70—100 公里)
伴生元素	Hg、Bi、Sb、As	Cu、Mo、(As、Sb、 Sn、W)	

(据·M·M·康斯坦丁诺夫等1981)

三、内生金矿床的金矿化与岩浆作用的关系

内生金矿床的金矿化与岩浆作用也存在密切的联系, 这可以从金矿床在空间上常与岩浆岩密切伴生得到说明。这种现象无论在国内和国外都有许多报道。例如, 根据H·B·彼德罗夫斯卡娅统计的资料, 苏联约有70%的金矿床内发育有岩浆岩。我国许多著名的金矿床, 例如胶东半岛的玲珑、焦家、新城、河南的小秦岭, 黑龙江的团沟、吉林的夹皮沟、河北的张家口, 浙江的冶岭头, 广东的高要河台等金矿床也都有岩浆岩产出。这种现象说明岩浆作用与金矿化之间存在着密切的联系。下面从岩浆的结晶分异作用引起金的分异和岩浆作用对金富集成矿的重要性等问题, 来分析岩浆作用与金的矿化之间的关系。

1. 岩浆的结晶分异作用引起金的分异。

根据许多资料都认为岩浆岩中金的丰度值都很低(1.5~6.6PPb), 其中超基性岩最高, 中酸性岩最低。这里举出国内、外两位研究者的资料: 刘英俊(1982)对广西大宁中酸性岩作了研究, 发现从早期的黑云母闪长岩到晚期的花岗细晶岩金含量从

9.0PPb, 下降为1.3PPb。R·W·Boyle等(1979)研究了各种岩浆岩和火山岩的含金的丰度, 如表2。

岩浆岩和火山岩的含金丰度

表2

产 状	岩 浆 岩	样品数	金丰度
侵入岩	花岗岩	310	1.7
	花岗闪长岩	380	3.0
	闪长岩—石英闪长岩	261	3.2
	闪长岩—辉长岩	580	4.8
	纯橄榄岩	149	6.6
火山岩	流纹岩	108	1.5
	安山岩—粗面岩—玄武岩	690	3.6

按R·W·博依尔等(1979)

从表2可知, 随着岩浆的结晶分异, 即从超基性岩到酸性岩, 其金的含量存在递减的趋势。虽然金在岩浆结晶分异作用时有不易活动的性状, 但从上述的资料都说明了金在岩浆结晶分异作用时存在有分异的现象。即岩浆结晶分异的早期的超基性和基性岩金的丰度高(金的富集与富含铁镁矿物有关)晚期的中酸性岩金的丰度低, 其结果使金在残浆中的丰度下降。

但是, 也有部分资料表明, 在不同的物理化学环境下结晶的岩浆, 会出现酸性岩中金的丰度反而高于基性岩甚至超基性岩的情况。例如, N·L·谢琳(1980)研究了堪察加山脉中部浅成中酸性岩后指出, 金在浅成中酸性岩浆结晶过程中的行为有两重性: 一方面金在早期结晶的铁镁矿物中富集; 另一面在晚期的残浆中还保留有原始岩浆的金浓度。亦即金可以在岩浆末期阶段晶出的钾长石中富集, 后者也是金在岩浆中另一种分异的方式。有人认为长石中含金占岩浆含金总量的50%, 所以, 长石是携金矿物。

根据上述的金在超基性基性岩中富集和在酸性岩中富集的两种情况, 很可能可以得出金在岩浆中的分异作用存在两种方式: (1) 金在早期结晶的铁镁矿物中富集, 例如, A·T·希特鲁诺夫(1980)研究花岗岩中各种造岩矿物中富集的含金量(PPb)按石英(0.39)→长石(0.64)→角闪石(0.67)→黑云母(1.15)→副矿物(榍石3.25、磁铁矿4.00、钛铁矿4.73)→辉石(5.997)的方向增大。又如, 刘英俊(1982)研究了广西大宁花岗岩主要造岩矿物的含金量为钾长石(2.6ppb)、斜长石(2.6PPb)→石英(3.7PPb)→角闪石(4.4ppb)→黑云母(6.1ppb)的方向增大。由此可知, 岩浆岩中金主要赋存于角闪石、辉石、黑云母和磁铁矿中, 其原因可能由于金的亲铁性强有关。(2) 金在残浆中富集, 即金可以在残浆中保留有较高的金浓度, 其原因可能由于在残浆中常有较高的碱质(Na^+ 、 K^+)和挥发组份(F 、 Cl 、 OH 、 SO_2 、 CO_2 等),

它们可以与金形成各种可溶性络合物。因此，它们是金的溶解剂、搬运剂和富集剂，这就导致了在残浆中有较高的浓度。

2. 岩浆作用对金富集成矿的重要性：

上述的由于超基性—基性火山岩变质形成的含金绿岩带只能被视为金的矿源层，或由于岩浆结晶分异作用对金有一定的富集作用。但是，所有这些过程都没有达到金的工业富集。而与岩浆作用有关的内生金矿床，要达到工业富集，一般都认为有两种富集作用：①与超基性—基性岩浆中硫化物熔体和硅酸盐熔体的熔离作用有关；②与在酸性岩浆中富集的碱质和挥发组份的流体相的溶解作用有关。

在超基性—基性岩浆熔体中“熔离的硫化物相”对金有富集的作用，早已被人们所认识，例如，在岩浆型的铜镍硫化物矿床中常富含金，而且能形成金矿床的工业富集要求。这是由于在熔离硫化物相中常富集有铁族元素，如Fe、Co、Ni、V、Cr和铂族元素，如Pt、Ir、Or、Rh、Ru、Pd等，这些元素的富集能促进金的富集作用，这就使岩浆型铜镍硫矿床中金常与铁族元素和铂族元素密切伴生。例如，青海的德道尔的铜—钴—金建造和甘肃的金川的铜—镍—铂—金建造的金矿床。但是，绝大多数的金矿床并不是岩浆型矿床，也不是超基性—基性岩有关的热液矿床，而且超基性—基性火山岩中的分散金往往也只起着矿源层的作用。

世界各地的许多著名的大型、特大型的内生金矿床多是直接或间接地与中酸性岩有密切关系。这种中酸性岩常是下地壳变质基底局部重熔或交代改造的产物，部分可能是同熔岩浆的产物。而且金矿床的形成与中酸性岩浆中富集的碱质和挥发组份的流体相的溶解作用有关。但是，其成矿物质的来源可能是多种多样的。

现以产于古老变质岩系中有关的金矿床来分析，由于矿化热液所形成的矿物主体是石英(>90%)，故可知其原始热液应是一种高温中偏碱性溶液，这可以用实验来证实，实验表明SiO₂的溶解度很小，在SiO₂—H₂O体中在一定的条件下SiO₂的溶解度可随温度、压力增大而增高，但是其幅度仍很小。例如，当压力超过一千巴时，SiO₂的溶解度随温、压而增高，如500℃、5千巴时，只有0.5%，故溶解度仍是很小(H·D·荷兰及S·D·；穆里乌宁，1979；J·V·纳瑟尔及H·C·海尔格逊1978)。根据B·C·巴利茨基及E·N·祖勃科娃的资料，“石英的溶解度随溶液碱度而增加”。但只有“在极碱性溶液中它才大量地溶解”(П·Ф·伊万丁，1979)。这就说明了碱性溶液对金矿床形成的重要性。

同时，有人实验研究表明，在750~850℃的条件下，在流体相与岩浆共存的体系中，金富集于流体相中，其富集系数约为50左右。而且，当实验的温度升高和氯浓度增大时，更有利于流体相中金的浓度增大。而且，当岩浆中富含氯时，在较高的温度下，岩浆中的水就达到饱和并分离出富氯的流体相。有人实验结果还表明，岩浆中氯的富集对硅酸盐矿物的结晶作用影响不大，而重要的作用能使金富集到早期形成的溶体相中。这种含金流体相的形成是富含碱质和挥发组份的各种成因的金矿床的成矿作用最本质的因素。

对于中碱性岩浆岩直接形成的金矿床中金的富集情况，也得到同样的结论。例如，根据A·Ф·克罗列尼科夫(1980)的研究，同一地区或同一岩浆源不同期次的侵入相

中副矿物的含金量基本上与不同的岩相无关。但个别花岗岩侵入体晚期分异体（如煌斑岩、伟晶岩）和交代岩中的副矿物含金量较高，而且在自交代变质的侵入岩的副矿物中的平均含金量也较高，这均说明金主要聚集于中酸性岩浆的流体相中。中酸性岩浆中金的富集成矿主要是花岗岩类岩石对金矿床的形成起着重要的作用。一般说，碱性花岗岩作为金的搬运者，它提高了金的含量；而酸性花岗岩作为溶液形成环境特别有利。在多阶段分异的花岗岩类岩石中，金矿与碱性花岗岩共生占优势。岩浆期后热液可能是碱性的，因为富钠的原始岩浆是分异作用的先决条件，这与在岩浆分异作用阶段，钠起着支配作用。在分异作用结束时，不易溶组分中高含量的碱性物质能形成剩余碱性溶液。这种溶液常是富含钠残浆质的。例如，形成伟晶岩和细晶岩的岩浆就是富钠的残浆。因此，可以认为与花岗岩类岩石有关的岩浆期后热液对金的富集成矿作用，也仍然是富钠强碱性热液起主要作用。

以上说明了岩浆作用与金矿形成的密切关系，而且即使是在先前与大陆火山活动有关的火山地区，形成金—银建造矿床时，与隐伏在深部和很少受到侵蚀的侵入体的深成岩浆作用也起着重要的作用。

与中酸性岩浆流体相有关的金矿床的成矿作用，一般可以分为两种类型：

（1）与太古代绿岩带变质岩系的混合岩化、花岗岩化形成的中酸性岩浆岩有关的金矿床的成矿作用。它是由混合岩化、花岗岩化产生的热液富集了绿岩带（矿源层，在我国则主要为中深变质相带中的残留金）内的分散金而成矿的。例如，胶东半岛的各金矿床是由胶东群变质岩系的混合岩化、花岗岩化的玲珑混合花岗岩和郭家岭花岗岩闪长岩产生的流体相的成矿作用而形成的。

（2）与下地壳变质基底局部重熔或与板块构造下插产生的洋壳板块局部重熔并混熔硅铝层物质而形成的中酸性岩浆有关的金矿床的成矿作用。这种成因的中酸性岩浆可能与其本身含有较高的金丰度有关（与来自富含超基性—基性火山岩的变质基底或海底玄武岩层成因的岩浆有关）。同时，有较高的碱质和挥发组份，尤其是有较多的氯，使得在岩浆结晶分异过程中，金进入流体相产生成矿作用而形成的金矿床。例如，河北的峪耳崖、蒲塘毛堂金矿床，为少硫化物—石英—金建造的矿床。

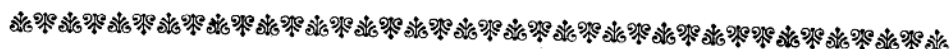
时代较新的（中新生代）含金花岗岩类岩石多是属于钙碱性—碱性系列，通常钙碱性或碱性花岗岩常作为金的搬运者，提高了金的含量。这类岩石的地球化学特征，表现为富碱质、富铁质元素和富挥发组份为特征。H·B·斯米尔诺夫研究了上谢列姆日地区各种岩浆岩的化学组成，发现岩石中的Au与挥发组份Cl、 P_2O_5 、 CO_2 及Au与Fe族元素（Fe、CO、Ni、Cr）和Cu均呈正相关关系；而与 SiO_2 、 K_2O 呈负相关关系而且矿化区的岩石都以含碱质元素高、气体和水丰富为特点，在挥发组份中以Cl>F，Cl往往比F大2倍。这种情况一方面反映了金与碱质和挥发组份的密切关系，另一方面金与铁族元素的相关性，也反映了金与上地幔来源的延伸入下地壳的变质基底局部重熔岩浆来源的信息。

含金的中酸性岩类的成因可能是多样的，目前大多数研究者主张用板块构造的观点来解释。根据产出部位的不同，常把含金中酸性岩类分为两种成因类型：①位于板块边缘或靠近板块边缘的内带火山岩带的侵入岩，这种侵入岩是洋壳板块下插在不同深度下形

成的,其特点表现为金与岩石中地幔组元素(Ni、V、Co、Mg、Fe)呈正相关关系反映了这些与金矿化有关的岩浆都含有地幔的物质成分。②位于大陆板块内部的火山岩及侵入岩,其特点是金与地幔组元素的相关性消失,而金与亲石元素(K、Na、Ca、Al)之间的相关性增强,而且出现了金与银、锡、钨、钼、铋、锑、铅等元素呈正相关关系。反映了它以地壳组元素为主,属下地壳局部重熔的产物。由此可以看出,岩石在成因上的差异不仅影响到岩石中微量元素的地球化学特性,同时也影响了金的活动性和亲合力。例如,有人认为钠质中酸性岩浆岩与单一的金矿化有关,而钾质中酸性岩浆岩多出现金—银矿化。其实,它们也是与上述两种中酸性岩浆成因有联系的金矿化特征的反映。

四、小 结

在地球历史演化过程中,金的成矿作用存在的周期性重复,主要表现为内生金矿和外生金矿的成矿作用是交错产出的。而内生金矿随着时间的推移,含金性的演化、表现出在形成条件上、金矿石建造上和金矿类型上均更趋于复杂化和多样性。这种复杂化和多样性则主要与火山活动和岩浆作用的有规律的演化有关。例如,在太古代和中新生化成矿期,金矿化主要与演化的基性岩浆有成因联系;在古生代和中生代成矿期,金矿化起主导作用的是形成混合岩化、花岗岩化过程中金在地壳中的再分配有关,在元古代和现代成矿期,由于火山活动和岩浆作用相对不发育,金矿化的特点,基本上是在外生条件下金的富集而形成的元古代的砾岩型金矿床和现代的砂金矿床。



上接40页

工作比较迫切,一是如何降低某些测试手段的收费价格,由于微量金分析,人工重砂分加析等收费比较高,一项元素含量的测试,某种和某些单矿物的分离、动辄耗资上千元上工作周期长,效率不够高,限制了研究工作的规模、延缓了研究工作的进度、其次、是积极寻找和探索简便、有效、价廉的新的测手段和方法,近年来在引进红外光谱、热光等方法方面出现了一些积极的研究成果,但是,还需继续进行系统的理论探讨和某些方法和技术的改进、也很需要寻找和引进更新的别的测量手段和方法,借以扩大金矿发找矿物学研究的视域、推动其研究水平的提高。

金的成色研究

张振儒

杨思学

(中南工业大学地质系)

一、金的成色概念

关于金的成色概念,目前有两种意见,一种是Fisher(1945年)的定义,在金矿物中所测出金的总量与金加银的总量之比,再乘以1000,用千分数来表示,其公式为:

$$\text{金的成色} = \frac{\text{Au}}{\text{Au} + \text{Ag}} \times 1000.$$

另一种是R.W.Boyle(1979年)的定义,其公式为:

$$\text{金的成色} = \frac{\text{Au}}{\text{Au} + \text{Ag} + \text{Cu} + \text{Fe} + \text{Pt} + \dots} \times 1000$$

上述两个定义,前者为大多数学者所公认,因为在金的矿物中,银是最常见的大量元素,而其他杂质元素(Fe、Cu、Pt……等)较少见,且含量较低。

二、影响金成色的因素。

1.金的成色与金矿床的形成温度有关,一般金矿床形成温度高,金矿物的成色高;反之,金矿床形成温度低,则金矿物的成色就低。例如美国的一些金矿床,其成色与矿床形成温度有明显的正比关系(表1)。

美国的一些金矿床中金成色的变化与成矿温度的关系表(1)

金矿床类型及成矿温度	样品数	分析次数	金的成色
1.怀俄明州狄安娜矿山(高温型)	1	6	926
2.蒙大拿州(高温热型交代型)	3	16	977
3.科罗拉多州Jonny矿(中偏高温型)	1	5	891
4.科罗拉多州Dixie矿(中温型)	1	18	808
5.科罗拉多州Peak矿(低温型)	3	10	756
6.内华达环山区(低温型)	5	15	786

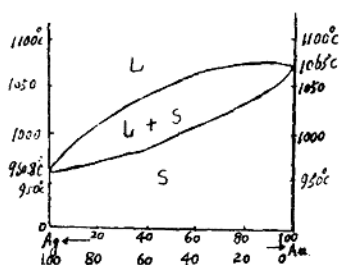


图1：Au—Ag二元相图
L—液相
S—固相
(据唐有祺资料)

阶段，金矿物的成色低（800）。

金的成色为什么与金矿床的形成温度有关呢？因为，金、银固溶体的结晶温度是随着温度的变化而改变的，金的结晶温度较高（1063℃），而银的结晶温度较低（960.8℃）当温度高时，金先结晶故成色高；低温时，有利于银的结晶故成色低（图1）。

2. 金的成色与金的成矿阶段有关：早期矿化（形成温度高，成矿阶段早），金矿物的成色高；晚期矿化（形成温度低，成矿阶段晚），金矿物成色低。例如吉林延边地区金矿床，不同成矿阶段有不同的成色（见表2）；澳大利亚的格林——威尔斯金矿床，早期成矿阶段，金矿物成色高（900），晚期成矿

吉林省延边地区金矿床金的成色与成矿阶段关系表（2）

金的成矿阶段	金的成色	Ag的含量(%)
脉状 MoS_2 —— CaWO_4 ——Au——石英阶段	930	3.5
细脉状浸染状 Fe_{1-x}S —— FeS_2 —— CuFeS_2 ——Au——石英阶段	860	9.5
脉状 FeS_2 —— Fe_{1-x}S —— $\text{Fe}[\text{As}_2\text{S}_3]$ ——Bi—— CuFeS_2 ——Au——石英阶段	840	12.5

3. 金的成色与矿床形成深度有关，形成深度大，金的成色高，反之，形成深度浅，金的成色低；例如苏联远东地区的91个内生金矿床统计资料表明，其中51个深成金矿床，其金的成色较高（886.7），而41个浅成金矿床，其金的成色较低（647.3），另外，据世界18个金矿床资料统计结果，其中10个深成金矿床，金的平均成色为846.3，8个浅成金矿床，金的平均成色为641.2，我国山东省招掖金矿床，上部“玲珑式”石英脉型金矿床，金的成色为761，下部“焦家式”蚀变岩型金矿床，金的成色为814。因为同一期成矿过程中，其深部矿床形成温度高，浅部矿床形成温度低，其机理如前图1所示。

4. 金的成色与形成时代有关，形成时代愈老，金的成色愈高，形成时代愈新，金的成色愈低。例如世界各国不同时代的金矿床与成色的关系（表3）。因为成矿时代愈老，经后期变质作用的次数就愈多，受变质作用愈强烈，金矿物的成色就高，因银的化学性较金活泼，其扩散速度较金快2.5倍（B.T.莫依辛科），不可避免地在变质过程中会使金矿物中银的杂质排除，使金矿物的重结晶作用与自净化作用明显，由此金相对富集，

故成色提高。

世界各国不同时代的金矿床与成色的关系表 (3)

时 代	金的成色	矿 床 类 型
前寒武纪	985.4~987.2	湖南桃源沃溪金、锑、钨矿床。
	880~950	南非兰德型金矿床。
	850~950	苏联远东阿尔卑斯金矿床。
中生代	750~950	鄂东矽卡岩型Fe—Cu矿床中的伴生金。
	700~900	苏联远东高温热液型金矿床。
	700~900	苏联南远东中温热液型金矿床。
中~新生代	680~760	苏联南远东低温热液型金矿床。
第三纪	650~750	我国近地表火山岩中的金、银矿床。

5. 金的成色与热变质作用程度有关, 随着热变质程度的加强而金矿物的成色和粒度有增高的趋势。例如苏联上谢列姆日金矿床, 属交代石英岩透镜体, 被20M厚的菲细斑岩岩墙所穿插, 金的热变质作用明显, 成色相应提高, 金的粒度亦有增大的趋势, 如接触带(1), 常见含银自然金矿物的单晶, 成色高达887, 不含Hg、Sb、As等挥发性杂质, 在距岩墙50M处(2), 成色降低为858, 在距岩墙120M处(3), 热变质作用更弱, 成色降低为835(视图2)。同样在苏联阿穆尔流域一个金矿床含金硫化物石英脉被20M宽的闪长岩岩株切穿, 在近岩株脉的边部1M处, 金矿物的成色为800~804而距岩株210M处时, 金矿物的成色降为680~710, 显然金的成色与接触晕的高温作用有关, 使金矿物中的银杂质元素挥发, 金矿物亦有明显的重结晶作用, 排除了部分银杂质, 故成色增高。苏联学者B. Γ. 莫依辛科进行一个实验, 将原来金的成色为715的含金矿物, 加热到700℃时, 保温24小时, 金矿物的成色升高为817。由此, 根据金的成色, 可探索金矿石受变质的程度。

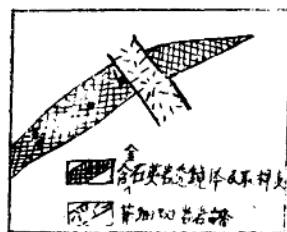


图2: 上谢列姆日金矿床热变质作用与成色关系图。

6. 金的成色与热水溶液中碱总量中的钠离子的浓度 ($\frac{Na}{Na+K} \times 100\%$) 成正比。例如我国黑龙江团结沟斑岩型金矿床, 碱度为87, 金的成色较高为937, 苏联哈尔卡滨阿穆尔金矿床碱度为85, 金的成色为900, 别列佐夫金矿床, 碱度为81, 金的成色较低, 为820, 木洪哥威伸诺金矿床, 碱度为84, 故金的成色介于上述二者之间为850(图3)

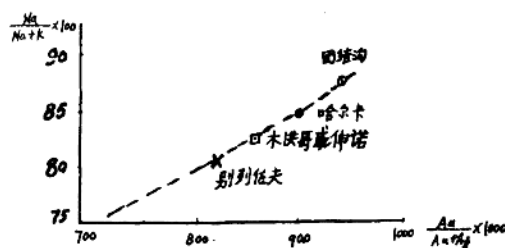


图 3：热水溶液中碱的总重中钠离子的浓度与金成色的关系图。

为什么碱度高，金矿物的成色就高呢？这与金的搬运形式有关，因为金常呈碱性络合物 ($\text{Na}[\text{AuS}]^{-1}$ 、 $\text{Na}[\text{AuS}_2]^{-1}$ 、 $\text{Na}_3[\text{AuS}_3]^{-3}$) 搬运，热液中碱度高，有利于溶解更多的金，因此当形成金矿物沉淀时，有利于金的富集，故金的成色较高。

7. 当温度相同（或近似）的条件下，金的成色与 PH 值及 Eh 值有关，当 PH 值介于 7~5 间变化，Eh 值介于 -0.34~-0.62 间变化，则 PH 值愈小及 Eh 值愈大，金的成色愈高（见表 4 及 5）；因为金在碱性溶液中迁移，在酸性溶液中沉淀，当由碱性溶液变成酸性溶液，PH 值为 5.5 时，最有利于金的沉淀；当金由氧化环境变为还原环境最有利于金的沉淀，故 Eh 值介于 -0.34~-0.62 有利于金的沉淀，因为金的氧化还原电位较高（1.68），对还原环境极为敏感，银的氧化还原电位较低（0.7996），因此，当金的溶液由氧化条件开始转变为还原条件时，金首先被还原沉淀，银还呈离子状态存在于溶液中，因此，形成的金矿物成色较高。

黑龙江下游一些金矿床金的成色与 PH 值关系表（4）

溶液中 PH 值	金的成色
7.3	805
7.2	815
6.5	845
5.7	940
5.5	950

黑龙江下游一些金矿床金的 Eh 值与成色关系表（5）

Eh 值	金的成色
-0.34	930~940
-0.35	870
-0.36	860
-0.37	840

8. 金的成色与风化作用有关, 金矿床氧化带的上部, 成色有明显的提高。例如苏联的玛依卡因金矿床, 原生黄铁矿型金矿, 其成色为956, 而表生褐铁矿、黄钾铁矾上的薄膜状金矿物, 其成色为956~980, 金的成色显著提高。机理是原生金矿物经表生风化作用后, 部分银经地表水(或地下水)淋失, 故金的成色高。同样砂金的成色比原生金的成色高, 当砂金搬运的距离离原生矿愈远时, 其粒度愈小, 成色亦愈高。例如南非“兰德式”砾岩型金矿床, 原生金的成色为915, 当搬运距离不到5公里处, 砂金的成色略有提高(921), 搬运到25公里处, 砂金的成色增高到962, 搬运距离为80公里处, 砂金的成色高达966, 搬运到100公里以上, 金矿物粒度最细, 砂金成色最高, 为988; 由此, 根据砂金的成色, 可以大致推测砂矿离原生矿的距离, 由此为找寻原生金矿床提供信息。砂金成色的增高, 由于风化作用搬运过程中, 地表水对银的溶解作用, 造成部分银的淋失所致, 即金银固溶体出溶的结果, 使金矿物的成色相对提高。

三、研究金的成色意义

1. 研究金的成色可用来寻找金矿床: 因为金的成色高, 其 Au/Ag 比值就大, 反之金的成色低, Au/Ag 比值小。例如 Kitaev (1970年) 在苏联后贝加尔东部巴列依金矿田中, 利用 Au/Ag 比值找到了金矿脉(图4)。

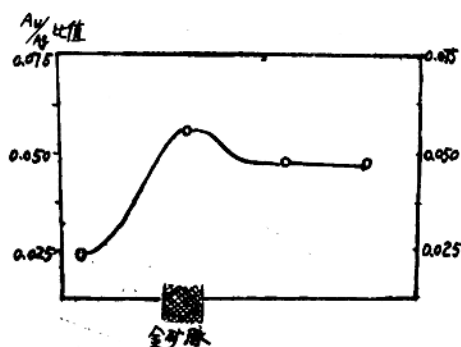


图4: 苏联后贝加尔东部巴列依金矿田中 Au/Ag 比值综合图
(垂直含金石英脉及其原生蚀变晕走向剖面)。

2. 根据金成色的高低, 用来寻找矿化中心。因为成色低 Ag/Au 比值大, 反之成色高 Ag/Au 比值小。例如安徽铜陵新桥含金铜硫铁矿中, Ag/Au 比值随深度增加而降低(即成色升高), 但到-350米处, Ag/Au 比值向深部又有增加的趋势(即成色降低), 这显然与金矿化联系相一致(图5), 故矿化中心位置应在-350米处, 向上或向深部金的矿化都减弱。

3. 根据金的成色高低, 用来推测金矿床的热液来源。例如我国狮子洞金铜矿床中, 金的成色有规律的变化, 东区金的成色高, 大于900, 以自然金及含银自然金矿物为主, 西区金的成色低(500~850), 以银金矿及金银矿为主, 并且, 在西区深部(-40M

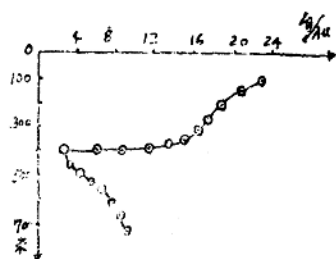


图5：安徽新桥含金铜硫铁矿中 Ag/Au 比值随深度变化曲线图。

以下)金的成色高于浅部,由此,可推测矿液来源于东区,而且西区深部成矿温度高于浅部,由此,这一判断与其它综合地质资料结果相一致。

4.利用金的成色来判断金矿体的剥蚀深度,更准确评价矿床远景。因为金的成色和矿床形成深度有关,一般顺向分带情况下,金的成色低,矿床形成深度浅,成色高,矿床形成深度大。例如苏联一个深成金矿床,矿化深度达地面下1457米,在浅部金的成色为800,含银13.1%,矿石中看不到毒砂矿物,中部,金的成色增高为878.7,含银量降低为10.1%,矿石中看到细粒毒砂,占2%左右,深部金的成色最高为918.4,含银量最低为7.83%,常见粗粒毒砂矿物,占25%,由此根据金的成色高低和矿物共生组合情况,可提供金矿体的剥蚀深度信息,为矿床评价作出正确依据。

5.根据砂金的成色和金矿物颗粒大小等,可推断距原生金矿床的距离,因为搬运距离愈远,金的成色愈高,粒度愈细,孔隙少,表面光滑等;反之,搬运距离较近,则金矿物的成色低,颗粒较粗、孔隙度、粗糙度和锯齿状外貌都显著的增加,由此为寻找原生金矿床提供依据。

综合上述,研究金的成色,不仅有理论意义,而且为找矿、推测矿化中心、矿液来源、矿体剥蚀深度、矿床成因、矿石变质程度等提供信息。

上接113页

中央在矿产资源方面的政策是“放开、搞活、管好”,在黄金生产上这一方针尤为重要,因此我们应积极的寻找各类中、小型金矿以供地方开采,同时也必须努力研究各类金矿的成矿规律,寻找各类大型矿床,为黄金的建设和生产准备新基地。本文的目的在于通过对我国一些金矿的生产实践和效益情况的分析,不同类型金矿降低工业指标后矿床品位和储量变化的分析,同时考虑我国劳力丰富,黄金属硬通货等特点,提出金矿工业指标应当降低,特别是一些大型的蚀变岩型、火山岩(斑岩)型、浸染型或其它新类型的金矿,可以按照边界品位 >1 克/吨,工业品位 <3 克/吨的指导思想进行工作。当然,情况是复杂的,影响矿床经济效益的因素是多方面的,在实际工作中应灵活掌握