

火山活动与金矿床

姜福芝 王玉往

(北京矿产地质研究所, 北京 100012)

摘要:火山活动不仅对铁、铜多金属矿床的形成具有重要意义,而且对金矿形成也是至关重要的。笔者多年在火山岩分布区的工作和整理大量国内外大型超大型矿床矿田地质资料,深切地认识到火山作用在金矿形成过程中的重要意义。本文将从金矿床地质成因类型划分及其规模和资源量、各类型矿床的地质条件分析来说明这一认识,并初步总结了找矿工作中应注意的问题和标志,试图来推动火山岩地区金矿找矿工作。由于陆相火山岩金矿较为直观,因此本文着墨较少,而着重说明海底火山活动与金矿形成的内在联系。

关键词:火山活动;金矿床;绿岩带;绿片岩相;兰德型金矿

中图分类号:P511.3; P618.51 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2003)01-0084-09

1 金矿床类型的划分

矿床类型的划分无论在理论研究还是在矿产勘查中都是十分重要的。由于众多学者出于不同的角度提出了各种各样的矿床分类方案,笔者认为,作为矿床地质学科来说,其分类基础应以成矿地质作用作为矿床成因分类的准则。如构造作用和大地构造环境、侵入岩浆作用、火山作用(包括陆相和海相火山作用)、沉积作用、变质作用(包括区域变质,接触变质、混合岩化作用)、表生风化作用等参与金矿床或矿源层形成的过程,这将大大有利于矿产资源的勘查和矿床成因理论的研究。

根据上述准则,以 Bache^[1]的地质分类最为接近,并稍做修改,简述如下:

第 I 大类:拉张构造中的火山沉积型矿床。其主要特点是:①金矿床都产于绿岩带中,受一定层位和岩相建造的控制;②矿床形成于造山前和造山期间拉张盆地中,即拉张洋盆阶段和会聚板块的局部扩张盆地地段;③由于造山运动和后来地质构造和热事件的叠加改造,绝大部分金矿床(或矿源层)都受到不同程度的变质作用、混合岩化、侵入岩体的接触变质以及热动力作用的改造,如低级变质改造(绿片

岩相及其以下的变质)的金的活化和迁移程度较低,基本上未脱离原始金矿层位,中-高级变质作用或混合岩化等热动力事件的改造,金的活化迁移程度较高,由于含金络合物流体在中低温阶段才发生沉淀,而远离原含矿层呈复杂的或切层的脉状产出,但总体上还赋存在绿岩带中;④成矿作用以海相火山热液作用、沉积作用(热液沉积)为主和不同程度的后期热动力事件的改造。按成矿元素组合和改造程度,又可分为 3 个亚类:

1 类 与块状硫化物伴生的金矿床或伴生金的矿床,其金含量一般 $<1 \times 10^{-6}$,但有部分块状硫化物矿床(1/10 左右)达到可采的工业品位^[2],构成独立的金矿床。虽然多数矿床品位不高,但因矿床规模巨大,而达到大型超大型金储量规模的并不罕见。

2 类 产于火山-沉积建造中层状金矿床或铁金矿床。

3 类 产于中-深变质的火山-沉积建造中不整合金矿床,属于受到后期或后来的高绿片岩相-角闪岩相以上的热、动力作用的叠加,形成的各种切层的脉状、网脉状金矿床。

第 II 大类 造山期及后造山时期(会聚板块活动及碰撞作用)的深成-火山型的金矿床。该时期因板

收稿日期:2002-10-09;改回日期:2002-11-16

基金项目:国家科技攻关项目(85-901-02-06)资助。

作者简介:姜福芝,女,1936年生,教授级高级工程师,主要从事火山岩型矿床研究工作。

块的碰撞和俯冲作用形成的侵入-火山岩浆活动和与其有关的金矿床,可划分为3个亚类:

4类 侵入岩中或接触带的金矿床,其中包括产于侵入岩体中的金银或与铜铅锌硫化物伴生的石英脉型矿床,斑岩型金和含铜、钼等金矿床以及接触带夕卡岩型金矿床。

5类 产于陆相火山岩中的金矿床,矿化受火山构造控制,呈脉状、细脉浸染状、角砾岩筒状产出,主要发育于环太平洋岛弧区,与中-新生代火山活动有关。

6类 与深成-火山岩浆活动有关的交代充填的金矿床,其中包括卡林型、微细浸染型等金矿床。矿化赋存于远离岩浆岩的碳质砂页岩、碳酸盐岩等沉积岩中,呈细粒浸染状、细网脉状或少量大脉状产出,多沿层或构造破碎带分布,常常伴生有中低温热液矿床常见的Hg、Sb、Pb、Zn、Cu、As、Ag、Se、Te等。

第Ⅲ大类 表生条件下风化和沉积作用形成的砂金矿床,可分为3类。

7类 古砾岩金矿(成因上有争议的矿床类型)。

8类 现代砂矿。

9类 红土型和铁帽型金矿

2 火山活动是金矿床形成的最佳地质条件之一

1) 从上述金矿床分类表明,火山活动对金矿床形成占有极其重要的地位。从3大类和9亚类金矿床中就有4个亚类属于火山作用条件下形成的(或形成矿源层)矿床。如第Ⅰ大类中的1、2、3类和第Ⅱ大类中的5类。前3类以海相火山活动为主,5类为陆相火山活动的产物。

2) 从金矿床、矿田的数量和储量的统计数字表明(表1)以火山活动为主要成矿作用之一形成的金矿床,其金的总储量仅次于兰德型古砂矿,占第二位。根据Bache提供的世界金矿床数和金储量规模统计结果(该数字除前苏联和中国之外的世界大部分国家,矿床的发现截止于1987年,矿床的规模在10t以上者)^[1]表明,火山沉积建造型的金矿床(Ⅰ大类)其金储量仅次于古砾(砂)岩金矿,占20.7%,其矿床个数(261个)占总数的一半以上(占58%)。如果加上陆相火山金矿床(5亚类)其储量为(6.7%),则与火山活动直接有关的金矿床储量可占总储量的27.4%,占1/4强。

表1 不同类型金矿床(储量>10t)的数量和储量统计

Table 1 Statistics of the quantities and reserves of various types of gold deposits (magnitude >10 tons)

类	型	矿床或矿田个数	金的总金属量(t)	占总储量%	
Ⅰ	1	70	2678	2.8	20.7
	2	25	5447	5.7	
	3	166	11621	12.2	
Ⅱ	4	65	5161	5.4	13.9
	5	39	6402	6.7	
	6	22	1690	1.8	
Ⅲ	7	14	54068	56.7	63.9
	8	>43	8315	7.2	
总计		444	95382		

除上述直接产于火山建造中的金矿床(1、2、3、5类型)外,对其他类型金矿床的产出地质环境分析,发现绝大部分金矿床与火山作用有空间或时间上的联系。根据世界和中国75个(不包括前苏联)地质资料较完整的、储量在50t以上的矿床或矿田资料整理结果,使我们不能不考虑它们与火山活动可能存在的内在关系。

3) 产于侵入岩体中的金矿床(4类型),包括侵入岩体中的脉状矿床和斑岩型金矿床。根据加拿大、巴布亚新几内亚、菲律宾、中国、捷克等国13个大于50t矿床的资料整理结果,其中大部分与火山活动有空间或时间上的联系。斑岩型金矿床多属同火山活动(陆相)的产物,以火山机构中(破火山口或周边火山断裂带中)的次火山斑岩作为含矿岩石。如西太平洋的巴布亚新几内亚产有多处超大型金矿床和矿田,它们产于西太平洋板块向其俯冲的新生代岛弧火山岩带中,伴随侵入-火山岩浆活动形成有波拉格(金储量约420t)和利希尔岛(金储量约500t)等巨型次火山斑岩型金矿床或矿田。中国黑龙江省团结沟大型斑岩型金矿床,含金花岗闪长斑岩体不仅是白垩纪早期陆相火山-侵入岩浆活动的产物,并赋存于以绿岩带为基底和围岩(中元古界黑龙江群)的断陷盆地边缘。因此矿床的形成不仅是同火山活动的产物,同时还受益于绿岩带(绿岩的各种岩类金平均含量在 $0.014 \times 10^{-6} \sim 0.150 \times 10^{-6}$)^[3]。菲律宾矿田(金储量约为350t)亦有类似的特点,含矿石英闪长斑岩侵入于同期(第三纪)安山岩类火山岩中,其基底为侏罗系富含基性火山岩和侵入岩类的绿片岩。

产于侵入岩体中的脉状矿床。多属含硫化物石

英脉型金矿。它们一个共同特点是含矿岩体的围岩或基底为一套富含基性火山岩类变质的绿片岩系,这种空间关系显然与适于金矿富集的火山活动(含矿源层)有密切成因联系。如加拿大一些超大型金矿中,克克兰湖金矿田(金总储量约为710t以上)和拉马魁矿床(金储量134t)的含金侵入体均侵入于变质火山岩的绿岩带中。捷克的莫克尔斯科金矿床(金储量在100t以上),含金花岗岩体侵入于元古界的铁镁质-安山质火山岩和火山沉积杂岩中,金矿化产于花岗闪长岩和火山岩中,认为成矿与岩体和火山岩有关。

4) 与岩浆活动有关的充填交代金矿床,属第6亚类,是成因上争议较大的矿床类型,一般称中低温热液型(或卡林型、微细粒)金矿等等。但一般认为最终金矿床形成应与隐伏的、远程的深成-火山岩浆活动的热事件有关。根据美国、中国、乌兹别克等国的8个储量在50t以上的大型金矿床和矿田地质资料整理结果,其主要特点是:

①它们多呈微细粒金产于硅质、钙质、碳质、凝灰质、铁质的泥砂岩、板岩、千枚岩和泥灰岩中。

②矿石呈网脉状、细脉浸染状沿层和沿层间或切层断裂带发育,矿体常常沿层分布。

③矿化常常伴有As、Hg、Ag、Sb、Pb、Zn、Cu、Tl、S等成矿元素和具有中低温热液蚀变。

④赋矿层位多为古生界—中生界的海相沉积层位。成矿时代以中生代为主。

⑤金矿床多经受隐伏的或远程的深成-火山岩浆活动的热事件作用,发生金矿的活化、近距离的迁移和富集,一般未超出原含矿岩系的范围。

⑥在区域构造上,它们多产于断陷盆地和裂谷以及陆缘断裂活动地区。美国内华达州的卡林型金矿,发育在近大陆边缘高角度正断层断裂带中,伴有古近纪、新近世深成-火山岩浆活动。中国云南、贵州和广西交界地区是微细粒金矿重要产地,集中产于有大型矿床烂泥沟、紫木囱、戈塘和中型的丫他、金牙、高龙等矿床,它们形成于中国西南裂谷环境中。伴随裂谷活动广泛发育有二叠—三叠纪玄武岩,并属浅海相的古地理环境。这对玄武岩和围岩中金活化迁移和沉积十分有利。乌兹别克斯坦穆龙套地区是世界罕见超大型金矿产出地区,其金矿总储量可达4000t。矿带位于哈萨克斯坦板块南部的克齐库姆地块的南缘,与塔里木—中朝板块西延的

卡拉库姆地块的交接部位。含矿的下古生界含凝灰质、硅质、碳质、黄铁矿的泥砂质岩(变质为绢云母绿泥片岩类)类发育在元古界绿岩的基底之上,为一古生代拗陷区(图1、表2)。

⑦金矿床普遍受到深成-火山岩浆活动的控制,首先金矿层及其基底普遍含有火山岩或火山碎屑岩类,最常见的为基性火山岩类。如陕西凤太金矿带含金层为钠长板岩和含钠长石碎屑的白云岩(凝灰质岩类和含凝灰质碳酸盐岩变质岩石)类^[5];四川东北寨金矿田,在上三叠系(塔藏群)底部就发育有基性火山岩类,沿岷江断裂分布;滇黔桂金矿带和云南哀牢山金矿带,其含金岩石或底部层都含有玄武岩、流纹岩及其凝灰岩类;穆龙套金矿带不仅含金层为绿片岩类,其元古代基底为含有大量火山岩的绿岩类(部分为角闪岩相变质火山岩类)^[6]。众多研究,特别是对南美哥伦比亚以西深海钻探计划504B钻孔大洋蚀变玄武岩中金的分布研究表明^[8]因海底火山喷发所造成的玄武岩蚀变,当达到绿片岩相时,其火山岩或围岩中2/3以上的金活化转移到热液中去,可迁移到火山凹地沉积下来,形成火山沉积型层状金矿床或矿源层。经众多学者研究,火山活动应是金矿形成主要来源之一。其次,后成的深成-火山岩浆作用的叠加所形成的热液流体,不仅使火山作用形成的矿床或矿源层中的金活化,同时还将围岩或基底的其他岩类的金活化和进入热液中去,并转移到断裂破碎带中或适于含金热液交代(富含碳酸盐矿物的岩石)、吸附(含粘土质岩类)、还原(含活性炭质的岩类)、以及渗透性良好(砂砾岩层等)的岩类或岩层,因相互作用而沉积下来,或叠加在矿源层上,或开辟新的层位,形成层状、脉状、网脉状、细脉浸染状金矿床。由于金的活化温度要求不高(相当绿片岩相变质温度)和沉淀温度较低(在200℃左右),常常远离热源体(岩浆岩类)或在矿区见不到岩浆岩类,或只见一些浅成脉岩或火山岩类,含金热液仅沿含矿岩系或矿源层的构造扩容带发生短距离的迁移和富集,沿层(或矿源层)形成一个个的透镜状、似层状矿体。矿石多呈细网脉状,金矿粒度极细,以及浅成中低温的金矿石组合等等。

综合与岩浆活动有关的金矿床(第6亚类),亦充分表明金矿的形成与火山-岩浆作用同样有着千丝万缕的联系。

5) 古砾岩金矿(7亚类),据Bache统计,其金矿

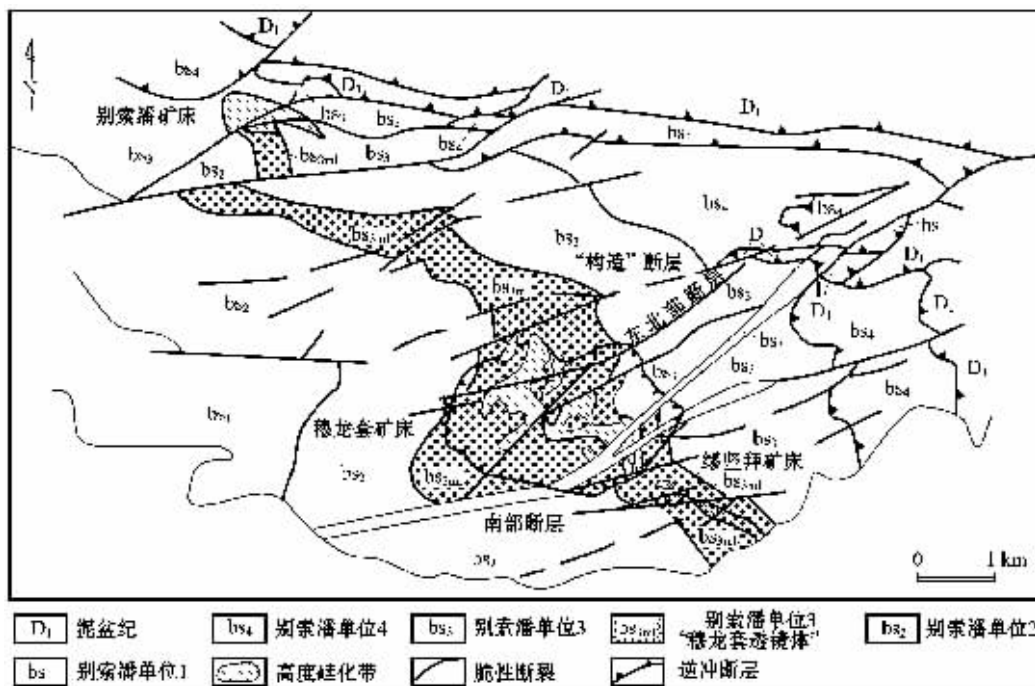


图 1 “穆龙套透镜体”的位置和穆龙套矿山附近的主要地层单位^[6]

Fig. 1 Position of the “Muruntau lentiform mass” and major stratigraphic units near the Muruntau mine^[6]

表 2 对穆龙套矿山主要地层单位的描述(关系见图 1)^[6]

Table 2 Description on major stratigraphic units of the Muruntau mine (the relationship can be seen in Fig. 1)^[6]

图上符号	厚度(m)	时代	概述
D-C	1400	泥盆纪—石炭纪	石灰岩和白云岩
ε-O	3900	寒武纪—奥陶纪	未分的别索潘岩套
分开的别索潘单位			
bs ₄	1000	寒武纪—奥陶纪	绿泥石片岩,非碳质的
bs ₃	2000	寒武纪—奥陶纪	碳质和黄铁矿质绢云母—绿泥石片岩,含有燧石和凝灰岩
bs ₂	700	寒武纪—奥陶纪	绢云母—绿泥石片岩,非碳质的
bs ₁	1200	寒武纪—奥陶纪	绢云母—绿泥石片岩,碳质的
R-V	2800	里非代—文德纪	石英岩、白云岩、绿岩和绿泥石—角闪石—钠长石片岩

总储量约占世界总储量 56.7%，其中绝大部分金矿储量都集中在南非的维特瓦特斯兰德金矿区(达 50 000t 以上,简称兰德型)。该区集中了金矿形成的得天独厚的所有优越的地质条件:

①兰德金矿区地处利于金矿形成和富含金矿床的绿岩基底之上,在盆地东侧绿岩中产有特大型巴佰顿金矿床等。

②矿床产于封闭良好的内陆海盆之中,可能由于剥蚀结果至今还没有发现与大海相通,这是剥蚀绿岩砂金和含金流体不会散失和沉积的良好场所。

③矿区含矿岩系可分为 4 个含金岩组,金矿层有十余层,分布在(自下而上)多米尼昂—维特瓦特斯兰德—文特斯多普—德兰士瓦的所有层系,但金矿层多集中在维特瓦特斯兰德岩系中(表 3)。每个岩系都发育有火山岩表明,至少有 4 次以上规模较大的基、中、酸性各种组合的火山岩浆活动,以及形成于文特斯多普和德兰士瓦时期的各种侵入岩浆岩类,上述多期次的深成—火山岩浆活动是金的来源以及围岩中金元素活化、迁移富集的主要热驱动力。值得重视的是水下火山喷发及自身绿片岩相蚀变和变质是造就巨大含金热液循环系统,活化和富集金的最佳条件。

④该盆地沉积了厚达 15 000m 的晚太古代火山—沉积岩系,并普遍受到了绿片岩相变质,该蚀变是金元素得以活化迁移到热流体中适宜的温度条件。

⑤空隙度和渗透性极好的砂砾岩层的发育,如维特瓦特斯兰德系上部单元,该层十分发育,它不仅是砂金堆积的良好场所,也是含金流体良好的渗透和储存的部位。

⑥含矿岩系中晚期的侵入岩浆活动(文特斯多普纪、布什维尔杂岩期以及卡鲁纪的侵入岩浆岩)、区域绿片岩相变质作用以及多次区域构造活动(出现至少 4 次以上的地层不整合和火山喷发活

动),是促使层状金矿或矿源层进一步富集成矿的最有利条件。

综上所述,兰德金矿区所以十分巨大,占世界金储量达一半以上并不是偶然的,它几乎集中了金矿成矿类型中所有的最佳成矿条件。

3 “深海钻探计划 504B 钻孔蚀变玄武岩中金的分布研究”的启示

上述表明火山活动应是金矿富集和形成矿床的主要成矿作用之一。这是根据直接由火山作用形成的矿床,如火山成因块状硫化物矿床(1亚类)、产于火山沉积建造中的层状和铁建造中的金矿床(2亚类)、陆相火山岩中金矿床(5类),其金总储量可达 15.2%(表 1);变质火山岩中(绿岩带)脉状或网脉状金矿床(3类),约占总储量 12.2%;以及与侵入

表 3 南非维特瓦特斯兰德盆地的概略地质柱状剖面^[9]

Table 3 Schematic geological columnar section of the Witwatersrand basin, South Africa

时代层位	系	岩性及说明
石炭—二叠系	卡鲁系	平伏的页岩、粗砂岩、砂岩等,含煤层
		不整合
	德兰士瓦系	页岩、石英岩、白云岩、燧石、砾岩、熔岩流等。底部为“黑色矿层”
		不整合
前寒武系	文特斯特多普系	主要是安山岩和玄武岩熔岩,含斑岩、霏细岩、凝灰岩、页岩、燧石层和角砾层,还有一些石英岩和砾岩。底部为文斯特多普“接触矿层”
		一些地区为整合关系;另外一些地区为不整合接触
	维特瓦特斯兰德系	上部单位:主要是石英和砾岩,还有少量页岩。产有含金的埃尔斯堡、金伯利、比尔德和主矿层群 一些地方为整合关系;另外一些地方为不整合关系 下部单位:顶部为杏仁状熔岩,接着是凝灰岩、页岩、石英岩、粗砂岩、砾岩。在该单位的中部附近还有含金的“政府矿层”和其他的含金矿层
		不整合
	多米尼昂矿层系	砾岩、石英岩、粗砂岩、长石砂岩、杏仁状安山岩、霏细岩和流纹岩。底部有含金的多米尼昂矿层
		大的不整合
	斯威士兰系(基底岩石)	角闪岩、阳起石岩和角闪石片岩、滑石片岩、蛇纹岩、片麻岩和侵入的花岗质岩石

岩有关的金矿(4、6类)和古砾岩金矿(兰德型,8类)都和火山活动或火山岩类有着密切的成因和时空关系等得出的。然而火山活动究竟对金矿床形成有多大贡献?笔者认为, Nesbitt^[8]对深海钻探计划 504B 钻孔的蚀变玄武岩中金含量研究可以得到回答。

该钻孔位于西太平洋南美哥伦比亚以西 400 km 的科斯塔里卡裂谷南侧 200 km 处。它穿过了枕状玄武岩和席状岩墙单位,以及绿片岩相蚀变带,深度达 1 350 m,形成时代为 5.9 Ma。通过自上而下顺序的岩心采样,对蚀变岩石学和金含量、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 Fe^{3+}/Fe (全铁)、 H_2O 等测试,以及成矿流体的物理化学参数等研究(图 2)。结果表明,玄武岩的蚀变可划分为 4 个带,其各带的平均含金量及其他参数见表 4。

上述图、表的数据表明,蚀变分带与金的含量密切相关。上部低温氧化带岩石中的橄榄石、玻璃和原生黄铁矿被文石、沸石和绿磷石以及铁的氢氧化物替代,造成轻度氧同位素($\delta^{18}\text{O}$)和 Fe^{3+} 的增高,温度 $< 50^\circ\text{C}$ 。低温还原带蚀变温度稍高(70~150 $^\circ\text{C}$)有黄铁矿、石英、方解石、硬石膏等矿物形成,具有一定的还原作用。从低温带中金的含量(平均为 $0.44 \times 10^{-9} \sim 0.40 \times 10^{-9}$),与新鲜玄武岩含金量相比($0.5 \times 10^{-9} \sim 0.9 \times 10^{-9}$)仅有少量丢失。

在低温蚀变带与绿片岩相带之间形成一狭窄网脉带,它是由富含黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和黄铜矿的石英绿帘石组成的网脉,此时金含量较高,平均为 0.66×10^{-9} ,最高可达 2.41×10^{-9} ,说明这是下部绿片岩相蚀变形成的含金流体在过渡带再沉积的结果。

玄武岩达到绿片岩相蚀变的温度在 350°C 左右,形成大量含水的蚀变矿物,如绿泥石、绿帘石、阳起石以及各种粘土矿物等。其含金量为 $0.05 \times 10^{-9} \sim 0.38 \times 10^{-9}$,平均含量为 0.19×10^{-9} ,不仅低于上部各蚀变岩类,更远远低于新鲜的未蚀变的玄武岩金的背景值($0.50 \times 10^{-9} \sim 0.97 \times 10^{-9}$),表明经绿片岩相变质的玄武岩有大量的金活化转移出去,进入火山期后的热液中。经原作者计算,每年从洋中脊玄武岩中迁出的金至少有 4 100 kg。如果具有良好的沉积环境(裂谷常常是形成最佳盆地的部位),可形成火山沉积型金矿床或矿源层。如美国的霍姆斯塔克巨型金矿床(金储量约 1 218 t)和加拿大赫姆洛金矿(金储

量约 590 t)^①。因此形成如此超大型规模的金矿床就不足为奇了。

笔者认为这一新生代洋脊玄武岩在蚀变过程中金的活动行为的研究,有着十分重要的理论和实际意义。它不仅为绿岩带金矿成因研究提供了证据,也为今后火山岩带金的普查找矿指出了方向。研究表明,海底(海水的参与)裂谷玄武岩浆活动有利于形成巨大规模热流循环系统、促使火山岩及围岩的绿片岩相蚀变和其中金的活化转移并富集于热流体中,以及储存(含金热流体)良好的沉积盆地和渗透性等良好的沉积岩层等,是形成绿岩带金矿的基础条件。笔者在祁连火山岩带的白银厂矿区工作过程中,整理了白银矿区 400 km² 的原生晕地球化学资料。该区晚元古代—早古生代海相火山岩普遍发生低绿片岩—绿片岩相变质和蚀变,凡是具有一定规模(约数百米厚)的火山旋回,在其火山岩顶部与沉积岩的过渡层位,即碧玉岩、碳质、硅质、钙质等凝灰质千枚岩类,都具有很高的金丰度,沿其层位具有多处达到 $0.01 \times 10^{-6} \sim 1.00 \times 10^{-6}$ 的金含量。这些矿化层可沿层延伸达数千米。可惜的是该层位仅在郝泉沟见有断裂和花岗闪长斑岩墙等热事件存在。在岩体中形成硫化物石英脉型小型金矿床。“八五”期间笔者参与了勉略宁三角区的煎茶岭金矿和李家沟金矿床的研究工作。矿床位于元古宙的变质火山岩(绿岩)地块中。其金矿体赋存的层位与火山沉积型层状矿床一样产于中基性火山岩与白云质碳酸盐岩(煎

茶岭金矿)和钙质硅质千枚岩及大理岩(李家沟金矿床)的过渡层位,即凝灰质沉积岩中。金矿化沿层稳定分布,可达数千米,呈断续的透镜体或似层状矿体沿层间构造破碎带分布。该两矿床与其他相似层位不同的是有沿层构造断裂发育和沿此断裂有超基性岩体和花岗岩脉(煎茶岭金矿)以及辉长辉绿岩墙的侵入(李家沟金矿)。所以火山作用之后的热事件和构造断裂的改造和叠加是十分重要的,多数情况下是形成金矿床的关键。综上所述海底火山裂谷活动无疑是金矿化最大规模的浓集活动,是形成超大型金矿床的物质基础。

4 与火山成矿作用有关金矿床的控矿标志

综上所述,有以下几点值得找矿工作中注意:

1) 火山作用是金矿床形成的重要成矿作用之一,特别是海相火山活动。它不仅造就了巨型金矿床,还形成有难以估量的初始金矿的矿源层,为后来叠加在此基础上各种成矿作用准备了丰富的金的物质基础。因此不仅要注重海相火山岩发育地区金矿的普查找矿,而且要注意在海相火山岩发育区各种类型金矿床的找矿(前述 1~9 类金矿类型)。

2) 火山岩特别是镁铁质—超镁铁质火山岩具有高的金丰度(平均 $4.8 \times 10^{-9} \sim 6.61 \times 10^{-9}$)^[10],无疑是后来地质作用叠加形成金矿床的最佳物源条件,故是找矿的最重要标志之一。

表 4 蚀变玄武岩各带金含量及其他参数^[8]

Table 4 Gold contents and other parameters in various zones of altered basalt

蚀变带	样品数	Au 含量 (10^{-9})		Fe ³⁺ /Fe	H ₂ O (%)	δ ¹⁸ O (‰)	温度(°C)
		变化范围	平均				
低温带	氧化带	21	检测限~12.9	0.44±0.07	<0.50	<1.50	6~10
	还原带	10	检测限~0.88	0.40±0.08	>0.40		
过渡网脉带	9	0.09~2.41	0.66±0.21	0.20~0.30	2~3	5±	200~400
绿片岩相带	16	0.05~0.38	0.19±0.03	0.15~0.27	1.40~3.50	5~7	
新鲜玄武岩*		0.5~0.97		0.15	0.50	6±	

★新鲜玄武岩数据引自胡安·德富卡洋脊和东太平洋海隆未蚀变玻璃玄武岩的金平均含量

① 陈毓川,朱奉山,等.赴美、加拿大考查报告,1987.

3) 海底或具有丰富水源沉积盆地环境的火山活动,对金矿形成十分有利。对于主要形成于热液期的金矿床来说,大量水的参与是不可缺少的。金依靠热液的收集和富集,并流向海盆沉淀成层状矿床或矿源层,或沿构造破碎带形成脉状、网脉状矿床。如黑龙江团结沟金矿产于具有中生代火山沉积岩等的断陷盆地边缘断裂带中,南非兰德金矿产于具有巨厚火山沉积岩盆地之中,穆龙套金矿赋存于两大陆块之间的海盆中,黔滇桂金矿带产于二叠—三叠纪海相火山活动的凹陷区等等。

4) 火山岩的绿片岩相以上蚀变和变质作用,是火山岩区普查找矿的重要标志之一,因为伴随绿片岩相蚀变和变质的火山热液和变质热液是收集和富集火山岩及其围岩中金的重要方式之一。这已为东太平洋深海钻探计划 504B 钻孔岩心的金矿化研究和众多金矿床的绿片岩相蚀变和变质特征所证实。笔者在 20 世纪 70 年代曾对中国峨嵋玄武岩的喷发环境和岩石学作了一些工作表明,中国西南部二叠纪—早中三叠纪玄武岩大部属于海底水下喷发的产物,并受到绿片岩相蚀变(青磐岩化),这与中国西南部地区金、锑、汞等矿床的形成有密切的成因联系。

5) 海相火山岩与正常沉积岩的过渡层位(即凝灰岩、沉凝灰岩、含凝灰质硫化物的砂岩、砾岩、碳酸盐岩、含铁硅质岩、硅质岩等)和绿片岩相以上蚀变或变质的火山岩分布区,其含碳质、碳酸盐质砂砾岩层,是有利的含金层位。

6) 后期热事件的叠加和改造对金矿床的形成是至关重要的。笔者统计了世界上(不包括前苏联)75 个金储量大于 50 t 的独立金矿床,其含矿岩石普遍受到热事件的叠加。又如 Bache 矿床分类中第 I 大类火山沉积建造中的金矿床(金占总储量的 20.7%,表 1),其中的第 3 亚类不整合金矿床的储量(约占 12.2%)就占该类储量的一半以上。层状或含铁建造中的金矿床(2 亚类),无论从矿床数或金储量比例(5.7%)都是较低的,说明海相火山活动中直接形成有经济价值的金矿床是不多的,恐怕富集金的矿源层占有相当大的比例,因此后来热事件的叠加,绿片岩相以上区域变质作用和深成—火山岩浆作用等造成矿源层中金的活化、转移和富集于构造扩容带中,形成新的高品位金矿体和矿床是不可缺少的条件。

7) 构造作用是矿床形成的基本条件之一,对于

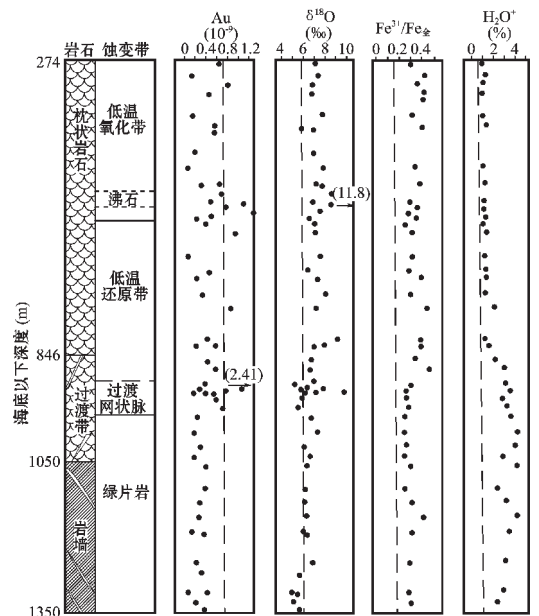


图 2 金分析值和 $\delta^{18}O$ 与岩石和热液蚀变关系^[8]
 $Fe^{3+}/Fe_{\text{总}}$ 、 H_2O 和 Au 在各分图中的
 垂线(虚线)代表近似的原始值

Fig. 2 Relationship of the analytic values of gold and $\delta^{18}O$ values with rocks and hydrothermal alteration. The vertical lines (broken lines) of $Fe^{3+}/total\ Fe$ ratio, H_2O and Au in each square indicate the approximate initial values^[8]

金矿床亦不例外。有关这方面论述的资料非常丰富,表明控矿构造的研究和构造填图在矿床研究和预测中的重要地位。这里只想说明几点认识。众所周知,大地构造控制着各种类型岩浆活动及其有关的矿床,作为与火山活动有关的金矿床则更要关注镁铁质火山岩产出的构造背景和古地理环境研究,以扩大找矿区域,寻找新的有望基地。根据镁铁质火山岩类为主的绿岩带与金矿的密切关系,可以理解西太平洋岛弧所以形成一系列巨型斑岩型—火山岩型矿床和矿田,如日本的菱刈,菲律宾的碧瑶,巴布亚新几内亚的波格拉、利希尔岛,斐济的瓦因科乌拉等,均发育在太平洋洋壳俯冲于陆块边缘或早期岛弧(以镁铁质火山岩为主)之上。与绿岩带中后期热事件叠加形成的金矿床有相似之处。因此在大陆进行古构造研究中,要注意古大地构造形成机制、岛弧的俯冲方向和位置,以寻找新的有望成矿区带。

断裂构造是控制矿床分布和定位的主要条件之一。从整理国内外 70 余个超大型矿床地质资料表明,只有引发岩浆活动的断裂对矿床形成才有意义。这样才能供给巨大热源,以形成富集金的巨大热液

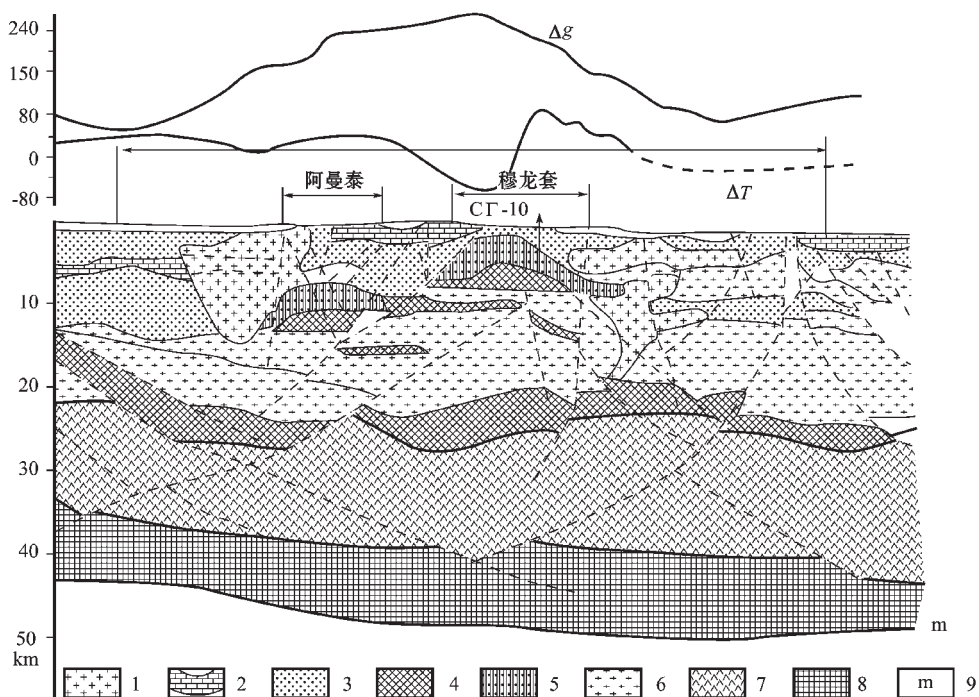


图 3 乌兹别克斯坦穆龙套—阿曼泰地区地壳地震地质剖面^[1]

1—花岗岩, C₃—P; 2—碳酸盐岩石, D₂—C₁; 3—含碳变质陆源岩石, O—S, 及其中的金矿床, C₂—C₃; 4—基性岩化区(“基性透镜体”); 5—容矿岩系热交代蚀变区; 6—花岗岩片麻岩层; 7—紫苏花岗岩—紫苏英闪岩层; 8—玄武岩层; 9—莫霍面

Fig. 3 Seismic geological section of the earth's crust in the Muruntau—Amante area, Uzbekistan^[1]

1—Granite, C₃—P; 2—Carbonate rocks, D₂—C₁; 3—Carbonaceous metamorphosed terrigenous rocks, O—S and gold deposits hosted therein, C₂—C₃; 4—Basification area (“basic lense”); 5—Hydrothermal metasomatism—alteration area of the host rock series; 6—Granite gneiss formation; 7—Charnockite—hypersthene tonalite formation; 8—Basalt formation; 9—Moho

系统。如果引发岩浆活动的断裂发育在高丰度金的绿岩带中或通过其矿源层,这对金矿床的形成则更为有利。如南非兰德金矿发育在盆地西北缘的深大断裂不仅控制着兰德盆地的沉浮,还控制着深成—火山岩浆活动,以及金矿床的分布。

深部构造的研究不仅对火山成因块状硫化物矿床圈定找矿范围有指示意义,同样对金矿亦不例外。根据克列梅茨基^[1]报道,世界级金矿区之一的穆龙套金矿区,包括约 30 处矿床和矿点,通过深地震、重力、磁法和测井等地球物理研究,发现在穆龙套和阿曼泰矿区深部都存在有相对高速度和高密度透镜体。经深钻 CT—10 孔(深 4 296 m)和 7 个卫星钻(深在 1 000~2 217 m)钻探,在其 CT—10 钻孔底部见到镁铁质岩透镜体(图 3),其周边为花岗岩基,在透镜体的下部地球物理亦有明显的变化。说明该区上地壳存在一巨大岩浆活动区,如基性透镜体的形成和基底(里菲—文德纪)海相变质基性火山岩(表 2)和

上部富含基性火山碎屑岩类(寒武—奥陶纪)的沉积岩(含矿层),表明该区自前寒武纪以来就是地幔柱上涌的活动地区,这种长期镁铁质火山岩浆活动和后来卡拉库姆和中哈萨克斯坦两大陆块碰撞期(石炭—二叠纪,270.9±7.4Ma)花岗岩的形成是金矿富集和矿床形成如此巨大规模的基本条件。因此,克列梅涅茨基等认为,根据深部镁铁质透镜体在地表的投影可以圈出矿区或矿结范围,从而可以把金矿等矿产的普查限定在一定范围之内,这对被掩盖区特别重要。这一深部构造特点在中国的白银厂和德尔尼块状硫化物矿田的深部同样存在(都具有巨大重磁高异常镁铁质透镜体存在),这对与火山活动有关矿床形成作用和矿产预测是值得重视的。

参考文献 (References):

[1] Bache J.J. 世界金矿床[M].成都:四川省地质矿产局,1988.
Bache J.J. Gold Deposit in the World [M]. Chengdu: Sichuan Geo-

- logical and Mineral Resources Bureau, 1988 (in Chinese).
- [2] 姜福芝.块状硫化物矿床伴生金银的某些特征[J].吉林地质,1991,12(增刊):10~18.
- Jiang Fuzhi. Some characteristics of gold and silver associated to massive sulfide deposit [J]. Jilin Geology. 1991, 10~18 (in Chinese).
- [3] 中国人民武装警察部队黄金指挥部.黑龙江省团结沟斑岩金矿地质[M].北京:地震出版社,1995.
- The Gold Headquarters of Chinese Police Army. Geology of Porphyry Gold Deposit of Tuanjiegou, Heilongjiang Province [M]. Beijing: Seismological Press, 1995 (in Chinese).
- [4] 苗昌德.国内外金银矿床图册[M].北京:冶金工业出版社,1993.
- Miao Changde. Atlas of Gold and Silver Deposits at Home and Abroad [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1993 (in Chinese).
- [5] 王学明,汪东波,邵世才,等.陕西八卦庙金矿钠长石的成因[J].矿床地质,2001,20(3):223~228.
- Wang Xueming, Wang Dongbo, Shao Shicai. The genesis of albite in the Baguamiao gold deposit, Shaanxi Province [J]. Mineral deposits, 2001, 20(3): 223~228 (in Chinese with English abstract).
- [6] 德鲁 L J. 乌兹别克斯坦穆龙套金矿床地质及构造演化[J]. 国外地质科技, 1997, (2): 28~38.
- Dru L J. Geology and tectonic evolution of Muruntau gold deposit in Uzbekistan [J]. Geological Science and Technology Abroad, 1997, (2): 28~38 (in Chinese).
- [7] 刘东升, 谭运金, 王建业, 等. 中国卡林型(微细浸染型)金矿[M]. 南京: 南京大学出版社, 1994.
- Liu Dongsheng, Tan Yunjin, Wang Jianye, et al. Carlin Type (Microfine Disseminated) Gold Deposits in China [M]. Nanjing: Nanjing Univ. Press, 1994 (in Chinese).
- [8] Nesbitt B E. 深海钻探计划 504B 钻孔蚀变玄武岩中金金的分布[A]. 见: 国外金矿地质研究新进展, 第二集[C]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1990. 192~203.
- Nesbitt B E. Distribution of gold in altered basalt from 504B hole of Deep Sea Drilling Project [A]. In: New Progress in The Gold Deposit Study Abroad, Volume 2 [C]. Lanzhou: Gansu Science and Technology Press, 1990 (in Chinese).
- [9] Boyle R W. 金的地球化学及金矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- Boyle R W. Geochemistry of Gold and Gold Deposits [M]. Beijing: Geol. Pub. House, 1984 (in Chinese).
- [10] 刘英俊, 曹励明, 李兆麟, 等. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 311~320.
- Liu Yingjun, Cao Liming, Li Zhaolin, et al. Element Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1984 (in Chinese).
- [11] 克列梅涅茨基 A A. 金矿系统演化的普遍性是其工业矿床区域预测的关键准则[J]. 国外地质科技, 1996, (6): 1~8.
- Klemyinetski A A. Universality of the evolution for gold deposit system is the key criterion of regional prospecting industrial deposit [J]. Geological Science and Technology Abroad, 1996, 6: 1~8 (in Chinese).

Volcanism and gold deposit

JIANG Fu-zhi, WANG Yu-wang

(Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012, China)

Abstract: Volcanism has great significance not only for the formation of Fe and Cu-polymetallic deposits, but also for gold mineralization. The authors have deeply realized the great significance of volcanism in the formation of gold deposits through many years of work in areas of volcanic rocks and arrangement and analysis of geological data of large and superlarge gold deposits at home and abroad. This paper elucidates this understanding from the genetic types of gold deposits and their sizes and reserves and analyses of geological conditions of various types of gold deposits and preliminarily summarizes the problems meriting attention and indicators in gold prospecting with an attempt to improve gold prospecting in volcanic areas. The paper focuses on the internal relation between submarine volcanism and formation of gold deposits, while gold deposits related to terrestrial volcanism are scarcely discussed because they are more directly perceived.

Key words: volcanism; gold deposit; greenstone belt; greenschist facies; Lande-type deposit