

对金亲铁性的剖析

马民涛

(沈阳黄金学院地质系)

根据金在自然界中的多种存在形式,从元素的地球化学亲和力入手,结合元素的内部微观性质(电子构型、电负性、电离势等)剖析了金的亲铁性。从金在自然界中演化历史行为的宏观统计结果,进一步证明了金是所有金属元素中亲铁性最强的元素之一。

关键词: 金的亲铁性; 存在形式; 分布特征

亲铁性及其地质意义

自然界中金的存在形式是多种多样的。每种形式都表征其相对静止的一种地球化学行为,即金在其演化历史的特定时空、内在固有微观因素综合矛盾运动的结果。

通过大量的矿物鉴定、选矿和其他的野外及室内工作可知,金主要是呈自然金形式存在;也可呈类质同象、多种吸附、胶体及络合物形式等存在于自然界中。

研究自然界元素的结合规律,主要是通过研究元素在固态地质体(岩石、矿石、矿物)中的存在形式。而存在形式又反映了元素的地球化学亲合性。

地球化学亲合性是指阳离子在自然体系中有选择性地与某种阴离子化合的倾向性。元素的亲氧(石)、亲硫(铜)和亲铁性主要由元素内在固有的各种微观性质(电价、半径、电负性、电离势等)决定;这些微观性质的综合矛盾运动结果又集中反映了化学键的性质。

在研究体系中可与氧形成高度离子键的金属阳离子显示亲氧性,亲氧元素主要分散在各类岩石中。在研究体系中可与硫形成高度共价键的金属元素显示亲硫性,亲硫元素主要趋于在各种硫化物相中形成某种金属矿床。在研究体系中不易丢失自身电子而趋向

以金属键结合的元素显示亲铁性,亲铁性较强的元素往往形成组份较纯的自然金属元素和金属互化物。

金虽然属微量元素,但在绝大多数的局部体系中都可以形成独立矿物。金在自然演化的历史过程中,多数情况下是以自然金和金属互化物(银金矿)形式产出,表现出亲铁性。在另一些条件下金又可形成碲化物(碲金矿)及其类似化合物,说明金具有一定的亲硫性。但几乎没见到金的氧化物,因此说金具有厌(惰)氧性。下面从金元素内部性质和金的外在地球化学行为等不同角度对金的亲铁性加以剖析。

金亲铁性的内在因素

金在元素周期表中位于第六周期,与铜和银同处于第Ⅰ副族中。这一特殊的位置决定其具有强烈的亲铁性。

1. 金的电子构型

金位于第六周期,与位于第四周期的铜,第五周期的银同处于第Ⅰ副族,有人称它们为铜族元素,其外电子构型分别为: $\text{Cu}3d^{10}4s^1$; $\text{Ag}4d^{10}5s^1$; $\text{Au}5d^{10}6s^1$ 。都具有d亚层电子全充满(接近)18个电子的构型。在化学性质上属于惰性金属型构型;表现出在一定程度上不易与阴离子结合,而易于形成自然金属和金属互化物的倾向。所以

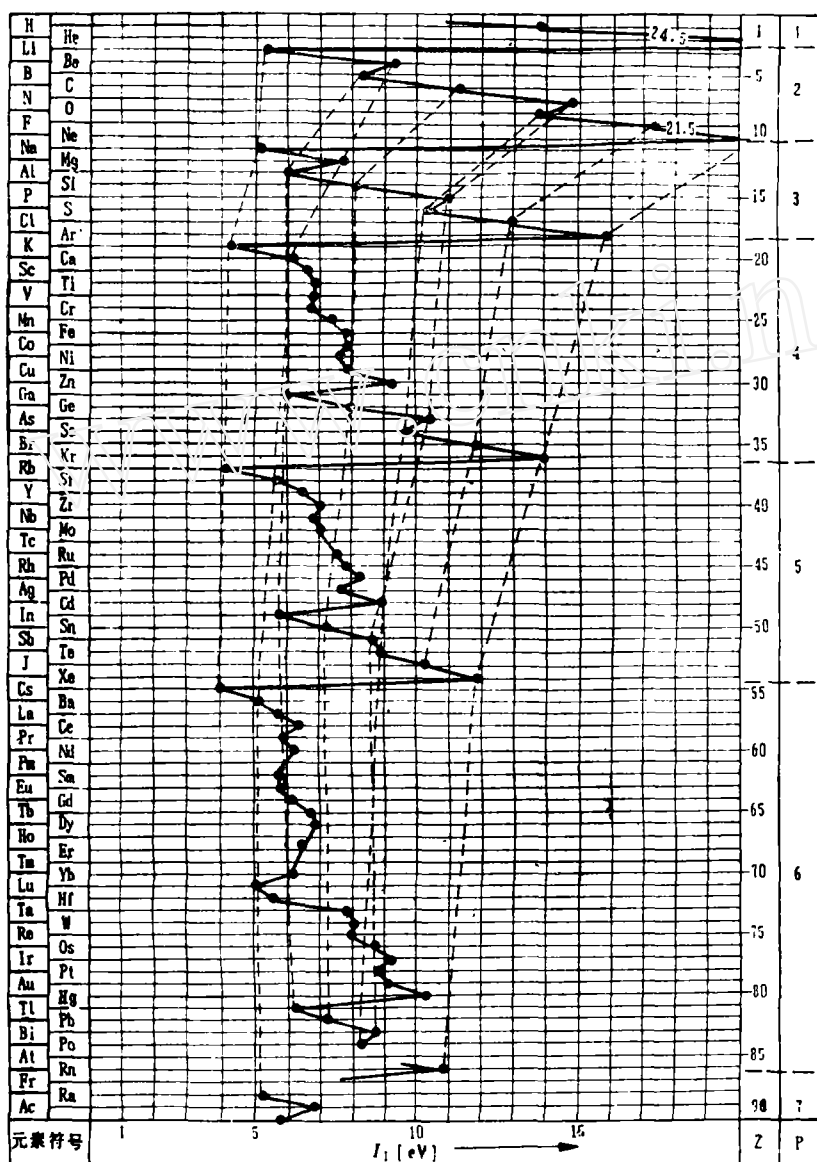


图 1 元素的电离势(I_1)与原子序 Z 的函数关系

(引自L.H.阿伦斯和S.R.泰勒(1961)及波林(1964))

在自然界中常见到自然铜、自然银、自然金。

2. 金的电离势 (I)

电离势是为度量元素电子与其原子核结合紧密程度的标准。电离势越大,则电子结合的越牢固。在周期表的同一周期中,随族数的增加(从左至右),电离势逐步增大,

从而使元素形成阳离子的倾向减弱。这在前三个周期中表现的特别明显(图1)。电离势在同一族中的变化有所不同,碱金属和碱土金属其电离势随周期的增加而减小,其他族元素则相反。如第I主族元素的电离势为Li5.3、Na5.1、K4.3、Rb4.1、Cs3.9eV;第I副族元素的电离势为Cu7.7、Ag5.5、

Au9.2eV。由此可见，同样是最外层具一个电子的第 I 主族比第 I 副族元素的电离势要低的多。表明碱金属易失去外层电子，且随周期的增大其电子越易失去；显示了越来越易形成金属离子和易与氧结合的特征，表现出亲氧性。铜、银、金平均电离势比第 I 主族元素要高，显示出元素不易丢失外层电子形成离子的趋势，在自然界常以自然金属元素和金属互化物出现，如自然铜、自然银、自然金。而金的电离势 (9.2) 比铜 (7.7) 和银 (7.5) 明显偏高，表明金比铜和银有

更强的亲铁性。

3. 金的电负性

元素的电负性是代表其原子在分子中争夺电子的能力。电负性越大，越易得到电子。在周期表中，同一周期内的元素电负性值随原子序数的增加而增加，在同一主族内电负性由上至下逐步减弱，而在同一副族中元素的电负性变化不大(图 2)。这就使得在周期表中围绕第 I 副族周围的一些元素的电负性值 (如Co1.7、Ni1.8、Zn1.5、Rh2.1、Pd2.0、Cd1.5、Ir2.1、Pt2.1、Hg1.8) 近

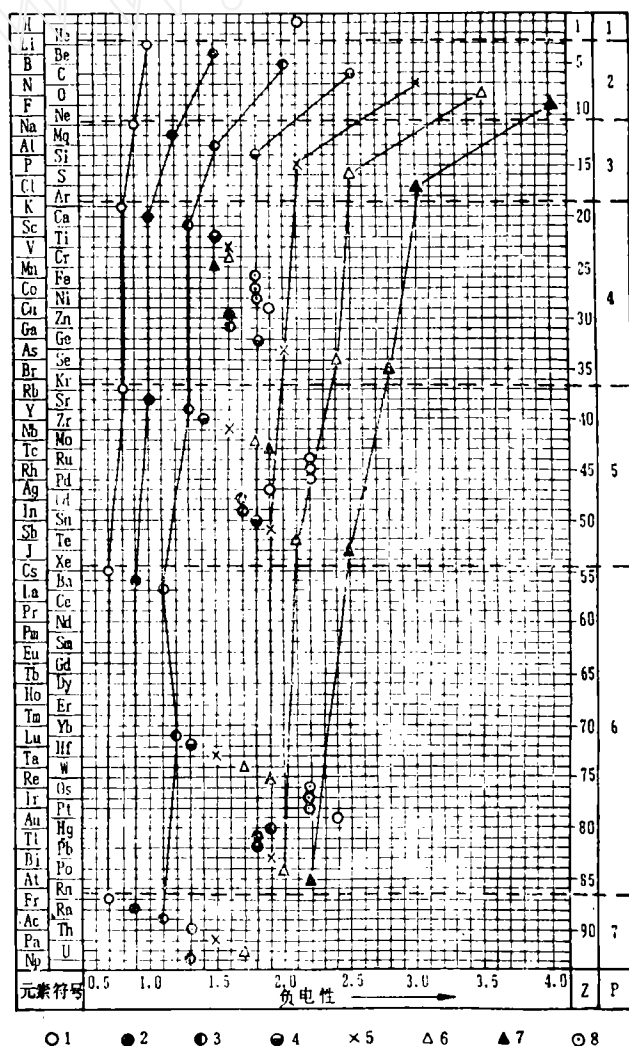


图 2 电负性与原子序数 Z 的函数关系(数值引自波林, 1964)

(据 H.J. 勒斯勒、H. 朗格著, 地球化学表, 1985)

1—第 I 族, 2—第 II 族, 3—第 III 族, 4—第 IV 族, 5—第 V 族, 6—第 VI 族, 7—第 VII 族, 8—第 VIII 族, 主族元素是相互连接的

于全部元素电负性值的中值。在化学反应中表现出其自身电子不易被剥夺；同时也无能力夺得外来电子而保持电中性，显示出这些元素的亲铁性特征，易于形成自然金属元素和金属互化物。在第Ⅰ副族中金（2.3）比铜（1.8）和银（1.8）的电负性都高，表明金比铜和银的亲铁性更强，更易以自然金属元素或金属互化物的形式出现于自然界。

总之，金的电子构型、电离势、电负性等化学性质决定了其在自然界的地球化学反应过程中表现出不易失去电子，也不易夺得外来电子而易保持电中性，以及易形成自身的金属元素和金属互化物等特性。值得强调的是金在亲铁性的元素中（如Cu、Ag、Fe、Co、Ni、Pt等）是亲铁性最强的元素。

金的地球化学行为

1. 金在矿物中的赋存形式

大量的野外、井下、选矿和室内矿物研究工作表明：金在自然界中的最主要固相赋存形式是自然金，其次是银金矿的各种变种，少量的金与铜、铂族元素、汞、钨、铋、钼等（与金的半径、电价、电负性相近的元素）以金属键形成金属互化物；表现出其强烈的亲铁性。金也可以少量地与碲、硒、硫等元素化合成碲化物（如碲金矿）及类似化合物，这也显示出一定的亲硫性。

金在载体矿物（黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、辉铜矿、毒砂及各种氧化物、含氧盐和表生矿物）中绝大部分是呈自然金、银金矿等以机械混入物（包裹体金、裂隙金、晶隙金、吸附金等）形式存在。金的这种存在形式在石英脉及蚀变岩型金矿中占有较大的比重，如我国胶东半岛的“焦家式”金矿床中，92.52%的银金矿赋存于黄铁矿中。其中包裹体金占5.5%，晶隙金占63.5%，裂隙金占23.52%。从一定意义上讲，正是金的这种强烈的亲铁性，才使金能形成各种有经济意义的工业矿床。

2. 金的分布量统计

（1）在代表太阳系原始物质的各种陨石中金的分布特点是：铁陨石的含金量（1ppm级：铁质陨石1.15ppm、石质铁陨石1.63ppm）>球粒陨石（0.1ppm级：顽火辉石球粒陨石0.34ppm、碳质球粒陨石0.17ppm）>非球粒陨石（0.01ppm级：富钙无球粒陨石0.0145ppm）（据魏德波尔主编《美国地球化学手册》，1974简化）。可见，金主要是赋存在铁陨石中，表明在太阳系原始物质的演化过程中一开始金就显示出了亲铁性。

（2）金在地球各构造单元中的分布特点是：地核的含金量（2600ppm）>>地幔（5ppb）>地壳（3.5ppb）（据黎彤，1976）。显示了金更强烈地集中于地核的铁镍相中。表明金在地球自身演化过程中的亲铁性。

（3）金在地壳各构造单元中的分布特点是：褶皱区的含金量（3.8ppb）>地盾区（3.4ppb）；深洋区的含金量（4.0ppb）>浅洋区（2.9ppb）。（据黎彤，1965）。反映了活动区比稳定区、深源区比浅源区金有富集的趋势。显示了虽然地壳中的金含量已极其微量，但其演化过程中，金还是表现出了亲铁性。

（4）金在火成岩中的分布（见表）特点是：在深成岩、浅成岩和火山岩中，都显示出从酸性到基性、超基性岩金含量有增加的趋势。特别是在铜镍硫化物的岩相中更富集金。代表了金在地壳局部岩浆演化过程中的亲铁性。

（5）金在矿物中的分配特点是：不但铁镁矿物中金的含量>硅酸盐矿物中金的含量；而且在硅酸盐矿物本身也表现出从岛状→链状→层状→架状的矿物中金的含量有减少的趋势。也显示出了金的亲铁性。

从金在各种地质体中的分布情况反映了在原始的太阳系物质中金的含量就很低，且

（下转第51页）

指数 $W > Cu > Sn > Ag > As > Zn > Pb > F > Hg$; 地表原生晕异常以 Sn、As 为主, 异常中心有 Pb、Zn、F、Hg、W、Cu、Ag 弱异常出现; 矿床受一定剥蚀时, 原生异常以 W、Cu、Ag、Sn 为主, 伴有 As、Cr、Pb、Zn、F、Hg 异常; 原生晕中相关密切的元素为 W—Cu、W—Sn、Pb—Zn、W—Zn、Cu—Zn; 异常周边出现 Ni、V 低值带; 异常位于前震旦系板溪群上部一套浅变质岩系中, 伴有隐伏花岗岩体, 断裂构造发育。具有上述一些特征时预示可能有“徐

山式矿床”存在。

利用上述异常特征和评价标志, 曾对矿区北东向的熊家仿和北庄两个异常进行了预测, 认为是徐山钨矿床前缘细脉带所致, 钻探工程 (1202、1601 孔) 得到证实, 从而终止了往矿区北东端的深部勘探计划。

野外工作期间曾得到本局三队徐山地质研究组喻方屏、陈欣国工程师及徐山矿部生产组同志的大力支持, 并参考了有关资料。文中图、表由本队王素芬、吴梅清绘, 在此一并表示感谢。

Geochemical Anomaly Features of the Xushan Tungsten Deposit, Jiangxi

Wan Dali

Geological and geochemical anomaly features of the Xushan W-deposit are described in this paper with the focal points standing at geochemical anomaly zoning and distribution pattern. From the study some geochemical prognostic marks for the deposit were summarized.

(上接第46页)

各种火成岩类型岩石的金含量 (ppb) 表

岩石类型	金的丰度 ^①	岩石类型	金的丰度 ^②
超基性岩	9.4	超基性岩	11.4
玄武岩	6.5	基性岩	20.0
花岗闪长岩	4.0	中性岩	8.7
花岗岩	3.5	酸性岩	10.6
流纹岩	5.4	碱性岩	3.4

①据施切巴考夫; ②据博伊尔。

分布极不均匀。这种分布的特点贯穿了金在其全部自然历史的各个时空阶段。其分布极不均匀性是由于金本身具有强烈的亲铁性所造成的。总之, 无论从金元素本身内部微观

性质, 还是从由内外因素综合影响而使金在自然界的产出状态, 以及其在各类性质地质体的分布特征都说明了金具有强烈的亲铁性。

参 考 文 献

- [1] 赵伦山等,《地球化学》,地质出版社,1987年。
- [2] 博伊尔 R. W. (马万钧等译),《金的地球化学及金矿床》,地质出版社,1984年。
- [3] 栾世伟等,《金矿床地质及找矿方法》,四川科学技术出版社,1987年。
- [4] 勒斯勒, H. J. 等 (卢焕章译),《地球化学表》,科学出版社,1985年。
- [5] 张成喜等,《金矿床地质学》,东北工学院出版社,1989年。

An Analysis on the Siderophile Behaviour of Gold

Ma Mingtao

In the light of various modes of occurrence of gold in nature, the geochemical affinity of the element, and the internal microscopic properties (electronic configuration, electronegativity, electroionization potential, etc.), the siderophile behaviour of gold is discussed. A macro-statistical study of the historical evolution of gold in nature gives a further evidence that among all the metallic elements gold is one of those with strongest siderophile property.