

金矿床新类型、金矿床地球化学、 金矿床成矿预测原理

上 册

杨 敏 之

冶金部天津地质研究院

1989.1.

金矿床地球化学

杨敏之

编辑：天津地质研究院编辑部

印刷：天津地质研究院印刷厂

出版日期：1989年1月

书号：天津出版局津新图出字(88)000349

印数：1—2500

字数：65000

4.152

前 言

为加强金矿床成矿理论,金矿床地球化学,金矿床类型,金矿床资源开发新进展的研究。以提高金矿床的成矿预测能力,扩大金矿床找矿领域,加速开发金矿床资源。我们收集、综合研究了国内外一九七五~一九八八年间的文献资料,并结合我们在实际工作中所取得的一些研究成果,进行综合分析,编写了《金矿床新类型、金矿床成矿理论、成矿预测的研究》,供大家在今后找矿和研究工作中参考。

当前,金矿床地质找矿,资源开发的主要的中心问题是:(1)寻找金矿床新类型,扩大找矿领域,提高成矿预测能力,找到更多的金矿床资源基地,加速金矿资源的开发。(2)提高微粒、微量,低品位、大储量地质体内金矿床资源的开发,不断提高选冶回收率,有效的利用金矿床资源。(3)加强新技术、新方法在地质找矿,成矿预测和金矿床成矿理论中的应用研究。这方面主要的是:其一,利用遥感地质,数学地质,物化探,生物化学,岩石化学,同位素地球化学在成矿区带、成矿预测中的研究。其二,利用包体物理化学,包体的流体成份,氧、硫、碳、氢、铅、铋等同位素地球化学,成岩成矿实验和稀土元素、痕量元素在金矿床成矿机理,成矿理论,成矿模式的应用研究。其三,加强多学科的综合研究,利用物理化学,胶体化学,同位素化学,晶体化学等新理论在金矿床的应用研究。

以前,我们着重花岗岩型脉状金矿床,绿岩带金矿床,火山岩中金矿床等方面的研究。八十年代以来,已在浊积岩、粘土岩、粉砂岩、硅质岩、铝土矿、角砾岩等岩石中发现了金矿床。并出现了多建造矿床,岩浆-热液改造迭加型矿床,层控-热液改造迭加型矿床。多建造,多成因,多期迭加,产在多种岩石内的金矿床。扩大了找矿思路,找矿领域,加速了金矿资源的开发。为此,我们汇编了产在二十九种岩石类型中的四十五个金矿床实例,控矿地质条件,找矿标志,成矿预测的综合性资料,作为课程讲授的中心内容,以理论联系实际,使我们在金矿找矿勘探中得到启发、借鉴和应用。本课程仅是引玉之砖,有待同志们结合我国的实际情况,找到更多的金矿床,以充实丰富本课程的内容。

该编著是杨敏之教授于1986—1987年在冶金部工程师金矿学习班上的讲课教材。经西南冶金地质勘探公司唐定远助理工程师,李沧人助理工程师整理。经西南冶金地质勘探公司陈臻朝工程师,马文玲技术员,吴军助理工程师,王正坤硕士,刘国柱等,他们在炎热的夏天不辞劳苦,日夜加班,付出了辛勤的劳动。整理的稿件由杨敏之教授定稿。

该编著包括两部份,八章。第一部份是绪论,第一章,金矿床地球化学基本原理;第二章,金在自然界的存在形式及其演化;第三章金矿床类型,控矿条件及找矿方向;第四章金矿床成矿基本规律。第二部份为主要的参考文献资料,包括第五章金矿床新类型矿床实例及成矿的主要地质特征;第六章金矿床的成矿理论及其实验研究方法;第七章金矿床分类及其主要地球化学特征;第八章金矿床成矿预测的基本原理和主要的成矿预测准则。

结 论

金矿床地球化学、金矿床成矿理论，自八十年代以来进展很快，找矿工作得到了迅猛的发展，主要表现在以下四个方面：

1. 金矿床新类型的发展：

八十年代以来，特别是近五年来，世界上先后发现了一系列金矿床的新类型，这些矿床新类型的发现和开拓，为我们金矿的找矿工作开辟了新的领域，提供了新的途径，使我们在金矿找矿领域上和矿床类型的研究上都有比较新的认识和突破。

2. 加强了金矿床地球化学、成矿理论的实验研究和新技术、新方法的研究，提高了对金的地球化学的认识：

金矿床地球化学、成矿理论的实验研究和新技术和新方法的研究，使我们对金的地球化学特征，成矿物质来源及金在自然界的赋存形式有了更深的认识。近年来由于数学地质、同位素地质学研究的迅速发展，计算机的引进，开拓了地质找矿领域的新发展，使我们的认识由单一的推论转入了信息化、数据化、图表化的定量分析的轨道，新的成矿理论的提出，促进了新技术、新方法的发展。新技术、新方法的推广应用，又进一步的推广了矿床地质研究的新发展，使我们对金元素地球化学特征有了进一步的认识，对它的活化转移、富集规律、赋存状态有了新的认识，加强了成矿地质环境、成矿机制研究工作，开拓了金矿找矿工作的新纪元。

3. 建立新的成矿理论和成矿模式，提高了对金的认识，对金的找矿提出了新的找矿领域和新思路。

广泛的开展成矿理论的研究、成矿模式的建立为我们开辟金矿找矿工作的新领域奠定了牢固的理论基础。新的成矿理论和成矿模式的建立是基于充分的利用了大量区域地质、矿床地质及实验地球化学资料，是建立在新技术、新方法的实验研究基础上的。没有新技术、新方法的实验研究和成矿理论、成矿模式的建立，要提高成矿预测能力是不可能的。因此，必须加强新的成矿理论的研究，加强成矿机制和建立成矿模式的研究工作，指导找矿，那么我们将在金矿地质找矿领域上有所发明、有所创造、有所进步、有所前进。

4. 加强了金矿床的地质找矿、成矿预测的新技术、新方法的研究。

通过理论上的研究及新技术、新方法的提出，使我们不断扩大了找矿领域和发现了新的成矿远景区。只知道理论，没有技术也是不行的。

目前应用最广泛的就是电子计算机技术，把我们地质上观察到的数据经过电子计算机处理，把它数字化、条理化、图表化、模拟化，通过这些工作来加深我们的认识，提高成矿预测能力。利用区域地球化学元素的丰度研究和矿床地质、成矿趋态、化探原生晕、分散流的研究，加强遥感地质、数学地质在整个全球领域中的研究，对我们今后在金矿床寻找中都将起到无可比拟的作用。

综上所述，当前金矿床成矿理论研究、成矿地球化学研究，具如下四个特点：

第一、提出了很多矿床新类型，加强了地质实践和找矿新领域的开拓，找到了一大批规模巨大的新矿床。

第二、更加重视了金矿床地球化学、成矿理论的实验和研究，强调新技术和新方法的研究工作，使我们对金元素地球化学有了深入的认识。

第三、重视区域背景、成矿地质条件的研究，逐步地建立了各种世界上大型的有开发远景金矿床的成矿理论和成矿模式，进一步指导找矿。

第四、信息化、数据化、条理化、模拟化、这是当今地质找矿工作上的又一飞跃，新技术、新方法的推出使我们大开眼界，扩大了找矿远景。

目 录

	页号
第一章 金的地球化学特征.....	(1-16)
一、金元素的化学性质.....	(1)
(一) 金元素在周期表上的位置.....	(1)
(二) 金的化学性质.....	(2)
二、金在宇宙物质和地球物质演化过程中的分布和分配.....	(3-8)
(一) 金在宇宙物质中的分布和分配.....	(3)
(二) 金在地球物质中的分布和分配.....	(3-8)
三、金的地球化学旋迴.....	(9-16)
(一) 岩浆作用过程中金的迁移、富集的地球化学.....	(9-13)
(二) 金在风化作用条件下的迁移、富集的地球化学特征.....	(14)
(三) 变质作用条件下金的地球化学特征.....	(15-16)
第二章 金在自然界的存在形式及其演化.....	(17-25)
一、金的存在形式.....	(17)
(一) 金以独立矿物形式出现.....	(17-19)
(二) 金呈胶体状态存在.....	(20)
(三) 金的有机化合物.....	(21)
(四) 金以晶格缺陷形式存在.....	(21)
(五) 金与其它元素组合成固溶体形式存在.....	(22)
(六) 金呈同位素形式存在.....	(22)
(七) 金的络合物.....	(22)
二、金在自然界内的存在形式是多种多样.....	(23)
三、金的存在形式的研究趋势.....	(23-25)
第三章 金矿床的新类型、控矿条件及找矿方向.....	(26-41)
第一套岩石 产于沉积岩中的金矿床	
一、产于泥质粉砂岩、细碎屑岩中的层控性金矿床.....	(26)
二、产于硅质碳酸盐岩中的金矿床.....	(27)
三、产于砂砾岩中的金矿床.....	(28)
四、产于炭质、粉砂质、白云质灰岩中的矿床.....	(28-29)
五、产于富钙的粘土岩或页岩、石英岩组合的钨—铋—金矿床.....	(30-31)

六、产于浊积岩内的金矿床	(32-33)
七、产于浊积岩的金矿床—苏联穆龙套金矿床	(34)
八、产于角砾岩中的金矿床	(35)
九、产于炭质页岩中的金矿床	(36)
十、产于大理岩中的金矿床	(36)
十一、产于铝土矿中的金矿床	(36)
十二、产于粘土岩中的金矿床	(36)
十三、深水铁锰结核内的金的含量和分布—注意在古铁锰结核和锰矿床内找	(37-38)
金第二套岩石 产于岩浆岩里的金矿床	
十四、产于超基性—基性岩中的金矿床	(39)
十五、产于碱性交代岩中的金矿床	(39)
十六、云闪岩、花岗岩中的金矿床	(40)
十七、脉岩中的金矿床	(40)
第三套岩石 火山岩中的金矿床	
十八、加拿大赫姆洛金矿床	(41)
十九、加拿大迪图尔金矿床	(41)
二十、中酸性火山岩中的金矿床	(41-45)
第四章 金矿床成矿的基本规律	(46-53)
一、金矿床的物质来源	(46-47)
二、金的活化富集	(48-49)
三、金矿床成矿机理	(50-51)
四、金的富集定位	(52-53)
第五章 金矿床新类型、矿床实例及成矿主要地质特征	(54-55)
一、产于沉积岩地层中的金矿床	(54)
(含沉积变质、火山沉积金矿床)	
(一) 产于泥质粉砂岩内的层控金矿床	
(以巴西塞拉佩拉达金矿床为例)	
(二) 产于硅质碳酸盐岩内的层控金矿床	
(伴随变质基性火山岩、以巴西莫洛维洛、阿拉西金矿为例)	
1. 莫罗维洛金矿床	
2. 阿拉西金矿床	
(三) 产于砾岩内的金矿床	
(以巴西雅科比纳金矿床为例)	
(四) 产于炭质、粉砂质、白云质碳酸盐岩内的层控金矿床 (以美国卡林金矿为例)	
1. 美国内华达州卡林金矿床的地质与同位素研究	
2. 美国内华达州波瑞阿里斯金矿床地质	
3. 内华达州杰里特谷金矿与盆地—山脉区其它浸染型金矿的对比	

(五) 产于钙质、砂质板岩内的金—锑—钨和金—锑—钨矿床(湘西××金矿床为例)	
1. 湘西××金矿床	(85)
2. 论湘西沃溪金矿、锑、钨矿床的成因	(87)
(六) 产于角砾岩内的层控金矿床	(92)
(以澳大利亚奥林皮克坝铜—铀—金矿床为例)	
(七) 与条带状含铁建造伴生产于碳酸盐千枚岩中的金矿床(美国霍姆斯塔克型金矿为例)	(103)
(八) 产于硅质碳酸盐质凝灰岩中的金矿床	(107)
1. 加拿大安大略省赫姆洛金矿区	(109)
2. 加拿大太古代地层中发现的一个新型金矿床—安大略赫姆洛金矿床	
(九) 产于变质火山碎屑岩—凝灰岩中的金矿床	(106)
(以美国麦克劳克林金矿床为例)	
美国加利福尼亚州麦克劳克林金矿床	
(十) 产于滑石碳酸盐—变玄岩内的金矿床	(114)
(以加拿大迪图尔湖金矿为例)	
加拿大迪图尔湖大型金矿床—找铜锌矿发现了大金矿	
(十一) 产于炭质的白云质碳酸盐岩内的氟镁石型金矿床	(111)
(以康定偏岩子氟镁石型金矿为例)	
一种新类型金矿—康定偏岩子氟镁石脉金矿床地质简介	
(十二) 产于火山碎屑岩建造内的金矿床	(114)
(以秦岭某金矿床为例)	
(十三) 产于粘土岩内的金矿床	(120)
新生代粘土沉积物中发现新类型金矿床的可能性	
(十四) 产于变质页岩及砂岩中的金矿床	(121)
(以苏联穆龙套金矿为例)	
1. 世界上最大的金矿山—穆龙套金矿山	
2. 穆龙套矿田(西乌兹别克斯坦)的矿床中金与其他元素的相关关系	
(十五) 产于大理岩内的金矿床	(123)
(以马山金矿床为例)	
(十六) 产于炭质页岩的金矿床(以苏联远东为例)	(128)
炭质陆源岩系中金矿田的标型特征	
(十七) 产于浊积岩中的金矿床	(133)
(以西澳和南非为例)	
二、产于岩浆岩内的金矿床	(140)
(一) 产于基性—超基性岩内的金矿床	(140)
墨江金矿床的地质特征及其成因	
(二) 产于碱性交代岩中的金矿床	(147)

(以苏联远东为例)	
(三) 产于云英闪长岩—花岗岩内的金矿床 (以扎伊尔北部脉状和层状金矿床为例)	(150)
三、产于火山岩中的金矿床	(156)
(一) 产于变质基性—中基性火山岩中的金矿床	(156)
(以加拿大安大略省提敏斯金矿为例)	
1. 加拿大安大略省西北部提敏斯地区金矿与超基性火山岩的关系	
2. 老柞山式金矿床特征及成矿模式	
(二) 产于变质基性火山岩内的金矿床	(168)
(以西澳为例)	
(三) 产于酸性火山岩内的金矿床	(177)
(以苏联远东为例)	
金—银矿床大矿囊的矿物成因和地球化学特点	
(四) 产于变质火山岩内的金矿床	(179)
1. 加拿大一个新的金成矿远景区	
2. 津巴布韦金矿床	
(五) 产于变质—火山岩、火山—沉积岩内的金矿床	(193)
(以北扎伊尔金矿床为例)	
(六) 产于火山岩、次火山岩中的金矿床 (以菲律宾、印尼为例)	(194)
(七) 产于现代火山岩内的金矿床	(199)
1. 日本菱刈大型金矿床的发现和勘探	
2. 菱刈金矿床地质特征	
(八) 产于斑岩(英安二长、安粗斑岩)内的金矿床	(203)
1. 世界斑岩金矿简介	(204)
2. 对富金斑岩铜矿的若干想法	(211)
四、富、大砂金矿床	(212)
第六章、金矿床的成矿理论及其实验研究方法	(219)
一、金矿床的地质地球化学及其成因	(219)
二、金在热液系统中的搬运和沉淀	(223)
三、金矿床中矿质交代作用的分带性	(231)
四、浅成热液金银矿床的浅成热液模式	(233)
五、后贝加尔金矿床的地质—地球物理模式	(236)
六、气液包体在金矿床成因上的应用研究	(240)
1. 应用于金矿床围岩蚀变及地化分带	(240)
2. 包裹体的气相成分—热液矿床侵蚀截面的标志	(247)
七、氧、氢同位素在金矿床热液蚀变和矿石沉淀问题上的应用	(252)

八、金在金矿床垂直地球化学分带序列中的位置	(277)
九、砂金矿的新类型	(280)
十、金、银矿化的有效评价方法	(283)
十一、金—银建造和金—锑建造矿床形式的物理—化学条件	(284)
第七章、金矿床类型分类及其主要地质—地球化学特征	(288)
一、变质深成型金矿床	(290)
二、金矿床的地球化学分类	(295)
三、金—银建造矿床的类型	(298)
四、加拿大地质调查所划分的金矿类型	(305)
五、世界大型砂金矿床的地质特征	(209)
六、含金砂矿区的分类	(209)
七、地球化学基础上的金矿床分类	(312)
八、我国主要伴生金类型及特征表	(324)
九、地球化学区和主要内生金矿建造及含金建造表	(325)
十、中国内生金矿床金成色一览表	(327)
十一、世界金矿储量表	(328-329)
十二、蒙古的含金矿建造	(323)
十三、典型卡林型金矿床矿床地质特征表	(335)
十四、我国卡林型金矿地质特征表	(336)
第八章、金矿床成矿预测的基本原理和主要的预测准则	(342)
一、金矿床预测、普查和评价的原则	(342)
二、红土和土壤中无石英块金及表生金的成因—述评和一些新见解	(345)
三、金矿床成矿的地质环境模式对金矿大比例尺预测的应用研究	(349)
四、热泉或喷气模式在勘探金矿脉中的应用	(353)
五、金—银矿床的矿物—地球化学分带	(358)
六、火山岩带内浸染状金的地质—普查找矿准则	(361)
七、标型矿物在金矿成矿预测中的应用研究	(365)
1. 黄铁矿标型特征的研究	(365)
2. 研究金矿晕的矿物学方法	(369)
八、多层屏蔽预测金矿床	(375)
金银矿化的多层屏蔽	
九、金矿田的控矿构造预测	(376)
十、金矿床的原生地球化学晕及其实际应用	(379)
十一、加强金矿深部找矿的现实依据	(383)
十二、金在地表环境中形成的分带性可作为埋藏金矿床的判别准则	(391)
十三、金矿床找矿评价中的取样和化学分析的最优方法	(393)
1. 如何选择金矿床坑探取样的最优方法	(393)

2. 对勘查中金分析精密度和准确度的一些评价.....	(396)
十四、金的地球化学—金矿普查的新见解.....	(402)
十五、金矿化的地层—岩性控制.....	(405)
十六、复盖层中结晶金粒的意义.....	(406-407)
主要参考文献.....	(408-421)

第一章 金的地球化学特征

Au元素在自然界中是以三种状态存在： Au 、 Au^{+1} 、 Au^{+3} ，所以它具有独特的物理化学特征。

一、金元素的化学性质：

(一) Au元素在周期表上的位置：

金元素位于周期表上的第六周期，第ⅠB族，左ⅤⅡB族，右邻ⅡB族元素。原子序数是97，原子量为196.97，电子层构型 $4f^{14}5d^{10}6s^1$ ，最外层电子是一个，次外层电子是10个。它的一个最稳定同位素是 Au^{197} 。熔点是 1063°C ，沸点是 2966°C 。在地壳中的丰度 0.004 ppm 。

(二) 金的化学性质：

金元素是贵金属元素，它具有亲铁元素性质，又具亲硫性。离子半径为6次配位 Au^{+1} ： 1.37 \AA 、 Au^{3+} ： 0.85 \AA 。原子半径12配位 Au^{+1} ： 1.442 \AA 。Au金属键结合： 1.34 \AA 中子数/质子数=1.5。它在高温条件下，可与Ag、Cu、Ni、Pd、Pt形成固溶体—合金。

Au元素具质量数大的特点，这就决定了它的地球化学性质。核外电子层构造决定了它不易失去电子，因此它在自然界中以Au存在，它不易形成电价离子，既不易形成 Au^{+1} ，也不易为 Au^{3+} 。它不同于K和Na两个元素，它有自身的特点。Au在周期表上的位置显示了它具有明显的亲铁性质，也是典型亲铁元素又具亲硫性质。它和贵金属元素铂、钯、铑、铱、钌、铱在地球化学性质上有它们的共性和相似性，所以在自然界里的金里都有铂、钯这两个元素。它的亲铁性还表现在它与Fe、Co、Ni在岩浆演化和地壳物质演化全过程中，Au始终和他们在一起，亲石元素只是在Au元素搬运富集过程中起作用。因为亲石元素和Au元素在地球化学上没有共性，存在很大的差别。Au元素在一定条件下，可以失去电子，呈+1价，这只是在高温酸性条件或低温碱性条件下才有可能出现，这就是说Au呈离子状态的能力是很低的，所以它在自然界一般是以自然元素存在的。

金元素在地球化学性质上具有三个主要特点：

1. 高电离势、高负电性、高氧化—还原电位：

电离势—是最外层电子脱离原子的能量；一般用电子伏特表示，能用仪器测定出来。

负电性—原子与另一个原子结合时所需的能量。

氧化—还原电位可用仪器测定出来，它也是用电子伏特作量度表示。金元素和Ag、Cu、K三元素的电离势、负电性、氧化还原电位列表如下。

从上表可看出Au元素无论是在电离势、负电性上，还是氧化—还原电位上，它都要比其它元素高，所以它很重要的一个性质就是具有高的电离势，高负电性和高的氧化—还原电位，也就是说Au元素不易失去电子，它与其它元素结合时要付出高的能量，不是形成电价离

Au、Ag、Cu、K元素对比表

元 素	电离势 (e·v)	负 电 性	氧化—还原电位 (e·v)
Au	9.22	2.3	1.68
Ag	7.57	1.9	0.799
Cu	7.72	1.9	0.522
K	4.34	0.8	

子而成为单体金。

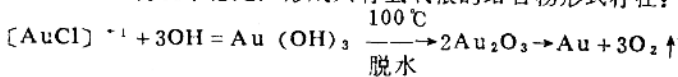
2. Au在自然界中形成单体金，在高温条件下形成固溶连续体系：

前面所列数据反映了金的地球化学演化特征，不呈离子状态，它和Ag、Ni、Pt、钼及贵金属元素可形成连续固溶体。所谓固溶体它是指元素与元素是通过金属键而结合，是在固相条件下进行的，是固相物质，是金属的互化物，也就是通常所指的合金。它们间的关系可用相图表示出来。Au和Ag固溶体系列中就出现含银的自然金、银金矿、金银矿、含金的自然银，又如Au和钼在连续固溶体系中就出现含钼的自然金、钼金矿、金钼矿、含金的自然钼。这种Au钼系列的矿物在我国长江中下游的铜官山就产有这种含钼的自然金，这些都是由于金和钼元素具有高负电性，不易丢失电子所决定的。

3. Au在有氯、OH⁻、[HS]⁻存在情况下极易形成络合物活化，搬运：

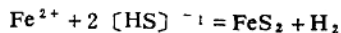
金元素在有氯存在的情况下，易形成含金络合物 [AuCl₂]⁻，这里金是一价的，这个络合物呈离子状态。在酸性条件下， $Au + 3Cl \xrightarrow{300^{\circ}C} AuCl_3$ ，AuCl₃在300℃条件下稳定，也呈离子状态。

如果含Cl⁻的溶液里有大量[OH]⁻根存在，它就转变成Au的氢氧化物，也就是说在低温条件下、温度在100℃时，这个络合物就不稳定。在碱性条件即大量[OH]⁻存在的条件下，[AuCl]⁻这个络合物就不稳定，形成具有氢氧根的络合物形式存在：



同时Au元素还具有亲硫的特性，在溶液中如有大量[HS]⁻出现时，则形成亲硫的络阴离子团，这是在低温碱性条件下才能生成，也就是说Au元素在自然界中一般是呈单体状态，即便是形成Cl⁻、OH⁻、[HS]⁻三种络阴离子团形式存在，它也是受到溶液界质的PH值和温度所控制。即该溶液若是在高温条件，酸性环境下它则呈氯的络合物，在低温碱性条件下则呈[HS]⁻及[OH]⁻的络合物，在这些络合物中Au呈正1价或+3价。

如果当溶液中有大量Fe²⁺存在时，这个络合物就很容易被破坏，如：



成为氯化铁或硫化铁，Au则开始沉淀出来，这就是为什么在低温碱性条件下金为什么往往和硫化物或者含硫盐矿物在一起的原因所在。

金元素的亲硫性还表现在容易和As、Sb、Bi、Se、Te五个元素形成化合物，成为砷化物、碲

化物或者碲化合物，从Au的性质上看它本身和硫化物关系不密切，是不亲硫的，所以自然界里没有硫金矿存在。现在发现的矿物说明，Au主要是呈碲化物矿物富含金。这种碲化物是在贫硫的条件下才能形成碲化物，也就是说碲化物的形成是在大量硫化物沉淀以后，才能形成独立的碲化物。如果溶液中有大量硫化物存在，即在溶液富硫时，这个碲呈硫的类质同象代替，而隐藏在硫的晶格里，它不能形成独立的碲化物，当它形成独立矿物时就成为碲金矿 (Au_2Te^{-2})，它是含 Au^{+3} 离子状态的碲化物，碲是负二价。

所以金在成矿溶液里表现了亲铁性质，但是它倾向亲硫，它能和As、Sb、Bi、Te、Se形成化合物，成独立矿物。周期表上Bi和Sb是变价元素，可以形成五价的，也可呈负三价，形成含硫盐的矿物，呈络阴离子状态存在，它和铅、Ag结合。所以这六种元素在化探找矿中是非常重要的，作为金的化探原生、分散晕的指示元素，也是找金矿的主要的地球化学标志。

二、金在宇宙物质和地球物质演化过程中的分布和分配特征：

(一) 金在宇宙物质中的分布和分配：

宇宙物质是什么？就是宇宙尘埃物质，它是呈玻璃小球、铁球状的物质，宇宙尘粒粒径非常细310~1000 μm ，很小很小。1986年3月莒县剖面的碳酸盐岩石、砂岩里获得24粒宇宙尘，进行金的分析含金平均为216ppb，这种宇宙尘在山东玲珑金矿也有发现。所以宇宙尘里金的含量是比较高的，这在我们国家地球化学杂志、国外宇宙化学和地球化学杂志上都报道了这个资料。

现将宇宙尘、月岩、陨石中金的含量列表如下：

样品名称	样品数	金平均含量 (PPb)
宇宙尘		216
月质岩	38	2.50
玻璃陨石	11	4.10
球粒陨石	95	0.024
圆球粒陨石	30	0.013
铁陨石	40	1.15

从表中可看出金在宇宙尘、月岩、陨石中含量变化顺序为：

宇宙尘>玻璃陨石>月质岩>球粒陨石>无球粒陨石。无球粒陨石含金最低，最高是宇宙尘。

月质岩指的是月球上的玄武岩。上面所得资料是美国“阿波罗”11、12号到月球采样标本里测定的，最高含量是2.5ppb，无球粒陨石是硅酸盐占主要成分的陨石。因此宇宙物质中从现有资料说明金主要在宇宙尘里和月质岩、玻璃陨石、铁陨石里。

(二) 金在地球物质演化过程中的分布和分配：

通过地球物理的资料证明地球物质具有层圈构造，就是说地球物质，地球本身是壳层演

化。所以金元素在地球物质演化过程中的分布和分配是有它的特征和规律的。

地球物质中金 的含量

物质名称		样品数	金含量 (PPb)	备注
地球壳层	地壳		4.0	地球平均金含量 800PPb
	上地幔		5.0	
	下地幔		5.0	
	地核		2600	
岩浆岩	玄武岩	690	3.2	
	辉长岩	580	4.8	
	纯橄岩	149	6.6	
	闪长岩	261	3.2	
	花岗岩	310	1.7	
	流纹岩	188	1.5	
	细晶岩	23	4.2	
	花岗闪长岩	380	3.0	
变质岩	板岩	135	0.34~10	平均:1.0
	角闪岩	43	0.2~40	8.5
	片岩	114	0.38~9	2.2
	片麻岩	37	0.2~22	3.9
	石英岩	2	2.4~7.3	4.9
	大理岩	50	0.25~22.4	1.5
沉积岩	砂岩、粉砂岩	105(11)	3.5(4.57)	括号内为1966年 (HoluA·D.Ams) 统计结果
	页岩	28(5)	2.5(3.45)	
	碳酸盐	20(6)	2.0(1.79)	
现代沉积物	粘土岩	14	3.1	
	软泥	1	16	
	锰结核	19	2.9	
	细碎岩	1	7.2	
	海岸阶地砂	6	410	
	近滨粘土砂	9	2.7	
	粉砂	61	9.6	
土壤			100~8000ppb	平均260ppb

表中可以看出金主要是来自地壳深部, 来自地幔、来自地核。在岩浆岩中含量顺序: 基

性、超基性>中性>酸性岩。沉积岩中含量最高的是砂岩和粉砂岩，其次是深海沉积物3.4 ppb、再其次就是页岩、碳酸盐岩。变质岩中含金最高为角闪岩，最低为大理岩，大量的金主要分散在退化变质带的绿片岩中。

过去认为金主要来自岩浆，即花岗岩树的理论。现在认为金主要来自围岩（波伊尔和西方学者），这说明花岗岩树的理论有一定局限性。最近资料报道了法国花岗岩成矿会议上花岗岩化成矿理论及花岗岩成矿理论已经形成了统一认识，认为二者是统一的，一致的，并无矛盾之处，形成了一致的意见。

我们知道，认为金是来自围岩是说基性火山岩，绿岩带里的金矿床的围岩是基性火山岩，成矿物质是来自这些岩石。这些岩石的形成是太古界面性火山喷发所形成，那时候的地壳物质是地幔物质演化的结果，主要是地幔物质。而很多金矿床的围岩都是硅质岩，这种硅质岩也是地幔和深部来的火山物质经过火山沉积作用形成，后经变质作用；认为是花岗岩成矿说主张金来自花岗岩，那么花岗岩也是从地壳深部物质演化结果，也是从地幔来的。因此花岗岩成矿和主张金是来自围岩（花岗岩化成矿）实际上是一致的，二者并不矛盾。

现代成矿试验已经证明花岗岩初熔化温度是640℃，在这个温度条件下，地壳物质就可以重熔再造形成花岗岩，超变质形成的花岗岩已经是麻粒岩相，也就是花岗岩化形成的花岗岩岩浆冷凝而成。所以太古界的地壳及绿岩带都是地幔物质，它经过花岗岩化重熔再造形成花岗岩岩浆，在这个演化过程中Au元素也随演化的进行而演化，当其演化到后期就出现金的富集，形成金矿床。

查皮尔认为没有花岗岩化花岗岩，这个理论也同意有交代的花岗岩，这个交代形成的花岗岩也是地壳物质，这就是变成花岗岩，也是来自地壳深部。

上述事实说明了金主要是来自地壳深部。Au元素也是原始地壳物质演化而来。围岩中金丰度的决定于原岩类型，在变质作用过程中金主要富集在退化变质带中。

过去一直认为Au元素是惰性元素，实际上不是这样，Au元素由于它的电子层构造决定了它独特的地球化学性质。它既有惰性的一面也有它活性的一面。在环境条件改变后它可以显示活性，它相对于Ag、Cu是惰性的，但当条件改变它也能显示出活性来。在岩浆作用环境中，Au主要是在造岩矿物中，不呈独立矿物形式存在，各造岩矿物内的金含量见下表所列：

造 岩 矿 物 含 金 量 表

矿物类型	矿物名称	样品数	金含量 (PPb)
浅色矿物	石英	213	0.2~4.0
	长石	303	0.3~4.2
暗色矿物	辉石	16	2.5~16
	角闪石	263	0.6~11.3
	黑云母	505	1.3~12.5
	白云母	9	3.8~10.9
	绿泥石	3	1.1~5.0

付矿物	磁铁矿	241	3.3~48.3
	榍石	23	2.7~17.5
	电气石	2	6.7~18

从上表我们可以看出，金在造岩矿物中主要含在暗色矿物中，其次是在付矿物中，含金最低的是浅色矿物中。

我们在很多的绿岩带里，角闪石片岩里金主要是在造岩矿物角闪石里，它最高可达11.3ppb，黑云母是12.5ppb，最低是1.3ppb。那么，造岩矿物中金是什么状态存在呢？当前用4个实验方法证明了它的存在形式：

(1) 浸取试验：

我们用30% H_2O_2 + 3% (HCl) + 10% (NaCl) + 30% (醋酸乙脂) 对造岩矿物角闪石或黑云母、白云母作系统的浸取金的试验，证明Au和Fe有一的相关关系。

(2) 利用电子探针分析：

利用电子探针结合电镜观察，可以看到在角闪石的晶格中金是均匀分布的。

(3) 利用中子活化法：

中子活化法是利用Au的同位素197进行扫描，可以观察到角闪石中的金是均匀分布的，不具独立的集中点。

(4) 浸透的试验：

把Au在高温条件下600~700℃，在有氯存在下浸透到角闪石中去，再拿出角闪石来作它的结构和电子探针扫描，也证明了金均匀的分布到角闪石里。

通过上述试验，说明了Au和Fe有明显的相关关系，就是说Au主要是在含Fe的硅酸盐矿物里，而且它在含Fe硅酸盐的造岩矿物中含量有一个序列：

辉石→角闪石→白云母→绿泥石

大多数金矿床的Au都是含在硫化物中，这些硫化物中黄铁矿是最富Au的。

各硫化物中金的丰度

矿物类型	矿物名称	样品数	金含量 (PPb)
浅色矿物	石英	213	0.2—4.0
	长石	303	0.3—4.2
暗色矿物	辉石	16	2.5—16
	角闪石	263	0.6—11.3
	黑云母	505	1.3—12.5
	白云母	9	3.8—10.9
	绿泥石	3	1.1—5.0
付矿物	磁铁矿	241	3.3—48.3
	榍石	23	2.7—17.5
	电气石	2	6.7—18

大多数金矿床中的Au都是含在硫化物中，这些硫化物中黄铁矿是最富的。对各类型481个矿床中Au的最高含量如下表：

矿物名称	样品数	金含量 (ppb)
黄铁矿	481	0.013—211
黄铜矿	153	0.07—22
磁黄铁矿	34	0.08—12.6
闪锌矿	8	1.32—23
镍黄铁矿	5	0.05—9.4

以上说明黄铁矿是Au的主要载体矿物，其次是黄铜矿和闪锌矿，磁黄铁矿和镍黄铁矿Au的含量是最低的。我们通过实验研究积累了大量资料，这些资料说明了金在黄铁矿中主要有四种存在形式：

(1) 呈裂隙金形式存在：

金往往存在于黄铁矿颗粒与颗粒的间隙里或呈包体金存在于黄铁矿后期产生的裂隙中，以单体自然金存在。

(2) 呈晶格金形式存在：

电子探针扫描和电镜观察，证明Au在黄铁矿中是均匀分布的，它是呈原子状态代替晶格中铁的位置，分布于晶格的缺陷中。

(3) 呈胶体吸附Au形式存在：

当黄铁矿呈胶状黄铁矿时，产生胶体吸附，黄铁矿越细越呈胶体吸附状态，Au越富。

(4) 在有桥梁元素的条件下Au呈固溶体形式存在：

金在有桥梁元素存在时，如有Ni、Co存在时，Au和Ni、Co互成固溶体形式存在于黄铁矿中。

黄铁矿中的Ni/Co比值可以告诉我们：黄铁矿中Ni/Co比值越低的黄铁矿Au越富。如果黄铁矿中Ni的含量过高，则这种黄铁矿就是不富含金。

不同环境黄铁矿中金的存在形式不同，其表现形式也不相同。Au在低温条件下成为胶体，在高温条件下成为Ni、Co的固溶体，在热液阶段它可以成为晶格Au，也可以成为裂隙包体Au。所以不同的环境Au的存在形式不一样。存在形式直接指示了黄铁矿的不同形式环境，不同的成矿阶段。成矿溶液的不同阶段也可作为金矿床的成因，地球化学的指示体。也就是说黄铁矿是金矿床成因的一个标型矿物，它标志着金矿床的演化过程和矿床形成的地质环境。如在砂卡岩矿床中大多数是桥梁金和晶格金、间隙金、包体金。在热液矿床大部分是晶格金、胶体金。金矿床的形成是多阶段的、成矿作用也是多种演化的。如果成矿作用很单一，成矿阶段不发育，只有一两个成矿阶段。如果这个成矿作用是多期次的，那么各个阶段就标志了成矿作用的阶段划分和成矿作用的演化过程。在这个演化过程中，黄铁矿就是一个很好的标志矿物。

黄铁矿是一种离子键结合，它具有很强的极化性。我们知道硅酸盐里的硅氧四面体就是