

黄金科技丛书

金银矿产选集

第十七集

主编 杜希明

36
1

冶金工业部黄金情报网
国家黄金管理局长春黄金研究所

一九九二年七月

目 录

1. 几种新型找金和评价金矿床的方法	张振儒 陈梦熊 李和平 邱玉民 (1)
2. 关于金的找矿及金矿预测方法研究的几个问题	王世称 孙凤兴 李守义 (6)
3. 微细粒浸染型金矿床类型及板其型金矿床成矿机理初探	林文通 (16)
4. 我国金矿床某些成矿规律与找矿途径的探讨	程玉明 谢贵明 李启昆 (28)
5. 华北陆台区中深脉状金矿成矿流体包裹体的地球化学特征	柳少波 刘连登 (38)
6. 我国金矿床地球化学标志初议	刘秉光 (55)
7. 对我国大型超大型金、铜矿床找矿的几点浅见—从花岗岩成矿的角度	刘家远 (62)
8. 新的金矿物—辉春矿 (Au_2Pb) 的发现及其地质意义	吴尚全 杨翼 宋群 (72)
9. 前寒武纪含铁石英岩建造中金矿床的地质和地球化学特征	刘平 周平 (76)
10. 中国金矿资源特点及探采对策	孙书山 (85)
11. 确定金矿源层的几种途径	真允庆 (92)
12. 关于金矿床中黄铁矿晶胞参数的讨论	王学明 (102)
13. 红土壳中金的富集及其在金矿找矿中的意义	邱永泉 (106)
14. 对确定特高品位和处理方法的探讨	马学彬 (110)
15. 黑龙江省牡丹江地区砾岩金矿地质特征及成矿预测	戴塔根 (116)
16. 辽宁兴城夹山金铜矿床的地球化学特征	徐万臣 (122)
17. 辽宁西部金矿床	张立东 商翎 (132)
18. 辽宁五龙金矿地球化学特征与矿体预测	祁雨海 吴军 (142)
19. 辽宁柏杖子金矿床地质特征及成因探讨	康书泽 王立业 (150)
20. 河北张家口地区金矿地质特征及其成因探讨	李志良 (158)
21. 河北后沟式金矿床成矿模式及找矿方向	王有志 (162)
22. 河北彭家沟银矿床地质特征及控矿条件浅析	彭献坪 (172)

23. 山东胶东新城蚀变岩型金矿体元素分带性及
矿体剥蚀程度评价.....朱作山(176)
24. 山东胶东岩金矿床的分布规律及普查准则
.....戴立军 周永辉 汪振彬(182)
25. 山东胶东金矿成矿系列氧同位素的研究.....黄德业(187)
26. 小秦岭脆—韧性剪切带特征及浅部找矿远景
.....徐光荣 孙明 王志华 刘瑞 闻景龙(196)
27. 山西五台刘家坪金矿化带地质地球化学研究.....魏广庆(200)
28. 我国藻菌成因的金矿床——陕西某地金矿的第一轮研究
.....帅德权 刘凯(206)
29. 甘肃拉尔玛金矿床地球化学特征及找矿标志.....李亚东(223)
30. 甘肃白银地区金矿类型及找矿方向.....王长宪(236)
31. 湖南黄金洞元古界浊积岩型金矿床的地质地球、
化学特征.....刘英俊 季峻峰 孙承轅 崔卫东(242)
32. 湖南溁滨金矿控矿断裂的数学模拟研究.....朱思才(253)
33. 湖南银矿类型赋存状态及分布规律.....钟东球(256)
34. 广东河台金矿次生金的产出特征及其形成演化.....季明钧(263)
35. 广西桂东地区与金(银)矿有关的花岗岩类侵入体的地质—地球
化学特征及其找矿前景.....王正云 杨明寿 王荣皎(269)
36. 广西镇龙山及邻区金(银)矿化的构造控制特征
.....温淑英 李培喜 欧超仁(274)
37. 广西云开地区金银矿床类型及矿化富集特征.....刘腾飞(279)
38. 新疆东疆地区金矿成矿特征及找矿方向
.....杨文勇 潘富生 贾书振 王珠宝(287)
39. 新疆梅钦乌拉山金矿成矿地质特征及其找矿方向.....惠盛德(295)
40. 四川黄金坪金矿的矿物自然连生组合
及金的运移成矿机制探讨.....帅德权(301)
41. 福建芹菜洋金矿床石英找矿矿物学研究.....柳昌华 张家元(309)

几种新型找金和评价金矿床的方法

张振儒、陈梦熊、李和平

邱玉民

(中南工业大学地质系)

(沈阳黄金学院地质系)

本文利用阴极发光光谱法、地电化学找矿法、矿物填图法、热电性法等新方法为金矿床的找矿和评价提供重要信息。

一、阴极发光光谱法

阴极发光在1879年由Crooks发现, 到1986年由Sippel首先应用于地质领域, 但迄今为止, 用阴极发光技术进行石英脉型金矿床的含金性评价尚属首次。阴极发光光谱(Cathodoluminescence Spectroscopy)简称(C.l), 它是具有一定能量的电子轰击萤光物质表面所产生的发光现象, 它属于电磁波可见光波段, 波长为400~800nm。

(一) 实验条件: 把含金石英($Au > 5 g/t$) 与贫金(或不含金) 石英($Au \wedge 1 g/t$) 磨制成两面抛光的薄片, 厚度为0.05~0.07mm, 不要盖玻璃片, 用502胶(环氧树脂类) 粘结而成, 采用美国的Lumi-Noscope阴极发光仪, 装配有Nikon FX-1型照相机, 测试条件为真空(真空度 $P < 0.1 mmHg$ 柱), 电压为12.5~14KV, 电流为0.2~0.5mA。

(二) 实验结果: 含金石英与贫金石英(或不含金石英) 在阴极发光的颜色、发光强度(曝光时间) 及亮度上有明显的差别。富金石英发光颜色一般为浅黄白色, 暗黄白色, 曝光时间短(123~363秒), 发光强度较强~强, 亮度为亮或较亮, 常含激活剂(mn、Cr) 等杂质较高; 反之, 贫金或不含金石英发光颜色为暗褐色~黑色, 发光强度低(或不发光) 曝光时间长(467~871秒), 含猝灭剂杂质(Fe、Ni) 等较高(见表1), 由此, 可利用阴极发光光谱法来评价石英的含金性。

表1 脉石英的阴极发光特征及所含微量元素(ppm)表

样号	发光颜色	发光强度(曝光时间(秒))	亮度	Mn(ppm)	Cr(ppm)	(Aug/t)
湘西金矿 So704	浅黄白色	强(147秒)	亮	42.0	84.0	100
外 围 I-6-2	暗黄白色	较强(363秒)	较亮	32.746	21.318	12.073
外 围 I-13-4	暗褐色	稍强(467秒)	稍亮	29.746	10.928	0.3
外 围 N-10	不发光(黑)	弱(871秒)	暗	21.465	6.529	0.005

测试者: 中南工业大学地质系: 易诗军、顾建涛(阴极发光1990.10)

中南工业大学测试中心: 陈书香(1990年11)

二、地电化学找金法

地电化学找金法是近年来发展较快的一种新型地球化学找矿方法，国外早在七十年代中期就应用地电化学参数来寻找隐伏硫化物矿床，该方法的找矿机制是建立在原生矿体经由次生地球化学（含电化学）作用后，在矿体周围及其上覆盖层中形成水成异常（离子晕）的基础上，使用人工外加电场，促使土壤中异常离子活化，并定向迁移至电解极或接收器中浓集，从而获取找矿信息的一种物理—化学相结合的找矿方法。该方法的优点是方法简单、成本低、工效高、异常重现性好、异常明显高于次生晕法，异常中心出现在金矿体近处等，在找矿上已取得了较大的进展和明显的找矿效果。

（一）地电化学找矿的原理：根据元素自隐伏的硫化物矿体向地表迁移的地球化学分散元素机理，1976年由G.J.S.Govett等人提出了硫化物矿体周围元素电化学分散的理论模型（图1），当隐伏硫化物矿体位于潜水面以下时，矿体遭受氧化时，将产生氧化还原电位梯度，电子将通过矿体从Eh低的矿体底部流向Eh高的矿体顶部，这样围绕矿体底部形成一个正电场，矿体顶部形成一个负电场，由此矿体周围的阳离子向上迁移，阴离子向下迁移，以保持电的中性，正是由于这种电化学作用机制，使得矿化蚀变带中阴阳离子按一定规律迁移，各种阴阳离子浓度增加，电导率增高，由此，电导率能反映所有可溶离子的总浓度，故电导率异常是各种成晕物质可溶部分的最终产物，因此测得电导率及自然电位的异常，可用来找寻各种隐伏硫化物矿床和金矿床。

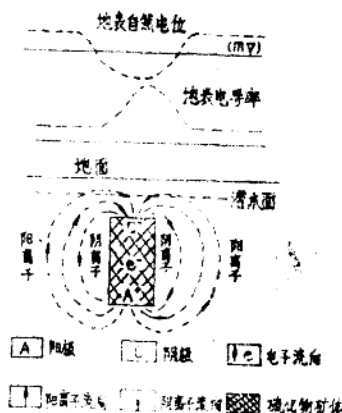


图1：硫化物矿体周围元素电化学理论模型图。

（二）实验条件：

1. 野外采集岩石（或土壤）地球化学样品，网度按比例尺要求进行，1:5万网度为500m（线距）×100~200m（点距），1:1万网度为100m（线距）×20~50m（点距）之间，前者采样密度可控制在12~14个点/km²，后者可控制在200~500个点/km²之间，样品重量一般为200克左右，加工粒度一般过100网目为宜，经实验表明，样品粒度加工愈细，溶解物质愈多，异常强度愈大。

2. 室内实验：取样1克，放入100ml的烧杯中，加入100ml的去离子水，用磁力搅拌器搅拌1分钟，静置30秒钟，用DDS—11A型电导率仪测定电导率大小值，用PXJ—1B型数字式离子计测定PH值和Eh值。

（三）实验结果

1. 地电提取法在碎屑物为主的异常区，辨别有源（近矿）和无源（异地堆积）异常，取得较好的效果，例如青海某金矿上，高浓度的多元素异常中心，位移距达40~60m，经地电提取法工作后，原异常中心的高峰值近于消失，而在金矿近处出现了

明显的异常。

2.地电提取法在验证表土覆盖条件下的物探异常,已取得明显效果。例如青海某地激电和自电异常区,曾用次生晕法查证未发现异常,用地电提取法工作后,发现了数处与矿体(化)有关的异常。

3.岩石地电化学法,在罗峰金矿床的找矿工作中取得了明显的效果,地电化学异常与原生地球化学异常完全吻合,能更好地指示金矿体位置(图2)。因地电化学异常更明显。

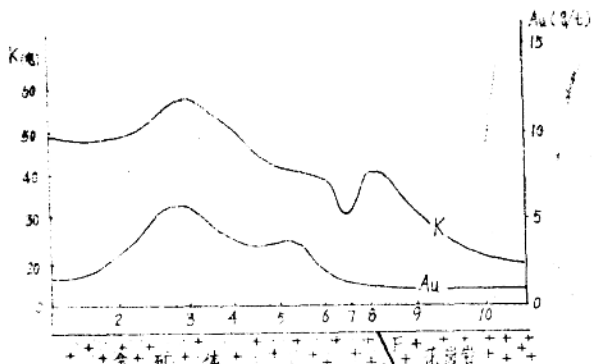


图2: 罗峰金矿床岩石地电化学剖面与原生地球化学(Au)异常剖面对比图

三、矿物填图法

金矿矿物学填图法是建立金矿田、矿床、矿体的空间—矿物学模型,其目的是查明金矿物及矿化指示矿物在空间上和时间上分布的规律性,在此基础上,为预测新矿床(或矿体)提高地质找矿及勘探工作效果的图件。

(一)金矿矿物学填图工作方法:根据苏联М.И.НОВГОРОДОВА(1986年)在中亚金矿床矿物学填图工作经验,按以下四个阶段进行:1.采集各种供详细研究矿石矿物的形态、成分、物理性质、共生组合、世代、标型特征等的样品。2.查清各种断裂构造的归宿及各种成分的矿脉(或细脉)形态、产状及时空关系。

3.进行矿石矿物的人工重砂定量的矿物学分析(数理统计分析、晶形分析、成分分析、物理性质分析等),确定最能反映矿石成分变化、形态、物理性质的信息标志以及各元素成分之间的相关关系。

4.填制能够表示成矿物质的成分、形态、物理性质在空间上变化的矿物平面图和剖面图,依此指导地质找矿及勘探工作。

(二)苏联远东金矿床矿物晶体形态填图工作成果:

大家知道,矿物晶体形态是矿物的化学成分、内部结晶构造与外界生成环境(温度、压力、浓度、PH值、Eh值等)共同制约的结果。因此,在矿物晶体外形上都蕴藏着该矿物的发生、成长和后期生存历史的重要信息,故它具有该矿物的成因标型和找矿标

型的意义。

据А.И. Гинзбург等(1981年)总结了苏联远东许多金矿床中黄铁矿晶形填图的规律如下:矿体上部的黄铁矿晶形以八面体为主,矿体中部黄铁矿的晶形以五角十二面体为主或呈五角十二面体 $\{210\}$ 和八面体 $\{111\}$ 的聚形,矿体下部,黄铁矿的晶形以立方体 $\{100\}$ 占优势(图3)。由此,根据黄铁矿晶形在矿脉中分布的规律,判断金矿脉中所属的部位及矿脉的剥蚀深度,对金矿脉的远景评价及找矿提供了信息。如图3的1号矿脉,黄铁矿的晶形以立方体为主,属下部矿体,剥蚀深度大,故向下延深远景不大,又如2号矿脉地表露头黄铁矿的晶形为八面体 $\{111\}$,应属上部矿体,故剥蚀深度较小,向下还有中部及下部矿体,故深部矿脉远景较大,结果占孔ZK₃验证,结论正确。

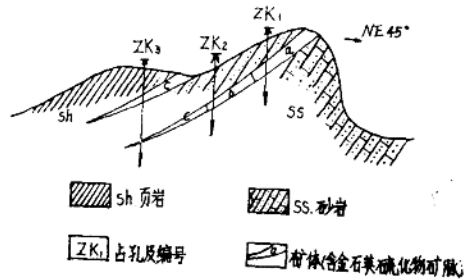


图3: 苏联远东某金矿床黄铁矿晶形矿物分布图

但依据С.К. Смирнова资料(1983年),在苏联乌兹别克斯坦金矿床中,矿体上部黄铁矿晶形以立方体 $\{100\}$ 为主,矿体中部为五角十二面体 $\{210\}$ 及 $\{100\}$ 或五角十二面体及八面体 $\{111\}$ 和 $\{100\}$ 的聚形晶体,再向下黄铁矿的五角十二面体晶体数量增加。任英忱等(1986年)在研究胶东地区金矿床时,进行了黄铁矿矿物晶形填图工作,结果表明,矿脉上部黄铁矿晶形以立方体 $\{100\}$ 为主,矿脉中部的黄铁矿以五角十二面体为主,矿脉下部以五角十二面体 $\{210\}$ 及八面体 $\{111\}$ 的聚形为主,这一结论与苏联乌兹别克斯坦金矿床相同。

关于金矿床中黄铁矿结晶形态的变化机理,据孙岱生(1987年)教授研究结果表明,(1)立方体 $\{100\}$ 常在较高温度或较低温度(即不是黄铁矿形成的最佳温度条件)、温度梯度大(快速冷却)、过饱和度低、硫亏损(即硫逸度小)的条件下形成,因此,黄铁矿的立方体 $\{100\}$ 晶形常在弱矿化带、矿化早期或矿化作用晚期出现,有时与八面体形成聚形晶体(见表2)。

(2)黄铁矿的五角十二面体 $\{210\}$ 晶形或 $\{210\} + \{100\}$ 及 $\{210\} + \{100\} + \{111\}$ 聚形晶体,是在温度适中(即黄铁矿形成最佳温度条件下)、温度梯度小(即缓慢冷却)、过饱和度大(即硫逸度大)的条件下形成,因此常出现在强矿化地段,即矿体内带,在矿化中期或中晚期阶段形成,含镍杂质较高的黄铁矿,有利于 $\{210\}$ 晶形的形成(表2)。

(3)黄铁矿八面体 $\{111\}$ 的形成条件与五角十二面体 $\{210\}$ 晶体生成条件有类似之处,可呈主要单形或次要单形出现于强矿化带或矿体内带,一般在矿化中~中晚期阶段形成,出现的频率大大低于五角十二面体,与 $\{210\}$ 不同之处是在成矿晚期与立方体 $\{100\}$ 呈聚形出现于浅部。沙特格华(Sunagawa)(1957年)曾提出黄铁矿的八面体 $\{111\}$ 晶形可在低温、弱碱、浅成、含杂质砷较高的条件下形成。

表 2

同一成矿阶段不同黄铁矿晶形与成分的关系表

样号 晶形 元素	260-1-23			260-1-24			180-4-2	
	{100}	{100}+ {210}	{210}+ {100}	{100}	{100}+ {210}	{210}	{100}+ {210}	{210}+ {111}
Ni(ppm)	19.81	25.03	157.25	0	98.70	124.72	14.97	74.57
As(ppm)	128.73	0	1282.92	358.08	789.61		423.92	586.63
黄铁矿分子式	FeS _{1.003}	FeS _{1.046}	FeS _{2.009}	FeS _{1.002}	FeS _{2.004}	FeS _{2.016}	FeS _{1.987}	FeS _{2.003}

(据孙岱生资料1987年10月)

综合上述, 矿物学填图法是评价金矿床远景和预测找矿有利地段重要方法之一, 在野外可结合地质工作编录进行, 费用低廉, 快速简便, 受到野外地质者的欢迎, 值得推广。矿物学填图法除矿物晶形填图法外, 尚有矿物成分填图、矿物结构填图、矿物物性填图、矿物谱字填图、矿物气液包裹体特征填图、矿物重砂填图等, 由于篇幅所限, 本文不一一介绍。

四、热电性法

据苏联A. Ф. Коробейников (1985年) 实验结果表明, 黄铁矿 (FeS₂) 的理论成分为 Ee = 46.55%, S = 53.45%。

①在高温条件下形成时, 含Sn、Cu、Zn、Co、Ni、Ti、Cr等元素较多, 形成亏硫 (即铁过剩) 的早期黄铁矿, 显示n型 (电子导型) 热电动势。其机理是由于杂质能级的位置较近于导带, 杂质能级与导带能级的能量差较小, 杂质能级易接受外界能量而激发离子化, 即其中的电子受激发进入导带而成为自由电子, 故黄铁矿显示n型 (电子导型) 热电动势; 热电系数 $-\alpha = -20 \sim -90 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 。

②在低温条件下形成的黄铁矿, 含低温元素 (Ba、Hg、As、Sb等) 较多, 形成亏铁 (即硫过剩), S/Fe比值大, 显示P型 (即空穴导型) 热电动势, 其机理是由于杂质能级靠近价带, 即杂质能级与导带的能量差较大, 电子在激发条件, 不能进入导带, 但价带电子易进入杂质能级, 由此价带失去部分电子, 出现多余的正电荷 (即形成空穴) 故称空穴型热电动势 (或P型), 其热电系数为 $+\alpha = 180 \sim 320 \mu\Delta/^\circ\text{C}$ 。

③中温条件下形成的黄铁矿, 一般为混合型 (p+n型) 热电动势, 其热电系数为 $\alpha = (-250 \sim -960) \sim +200 \sim +400 \mu\Delta/^\circ\text{C}$ 。由于金矿床 (或矿体) 在空间位置上常常显示垂直分带现象, 故黄铁矿的热电动势在矿体不同的部位具有不同的型号, 一般金矿床 (或矿体) 的上部黄铁矿显示P型 (空穴型) 热电动势, 中部矿床 (或矿体) 为混合型 (P+n型) 热电动势, 下部矿床 (或矿体) 为n型 (电子导型) 热电动势, 根据这一规则, 只要测定黄铁矿的热电动势型号以及所处的矿床 (或矿体) 部位, 可以评价金矿床 (或矿体) 的深部远景及矿体的剥蚀深度。据邵洁涟教授的资料, 四川某金矿体 I 号脉垂深226米以上, 测定黄铁矿的热电动势为P型 (空穴导型), 含As、Sb量较高, Cu、Co、Ni含量较低, 这些特征都显示金矿体上部的位置, 故预测226米以下金

关于金的找矿及金矿预测方法 研究的几个问题

王世称 孙凤兴 李守义

(长春地质学院)

世界采金已有几千年的历史,据统计,到目前为止,共产金10万余吨。黄金作为一种特殊的贵金属很早就用来制造货币和装饰品或作为硬通货加以储备。时至今日,黄金仍然是国际贸易结算手段和货币信用的基础。在国际上,一个国家的货币如果没有雄厚的黄金储备做后盾是没有信誉的,是不稳定的,所以世界各国均力图增加黄金储备以保持其国际贸易中的实力和地位。

70年代以来,持续30余年不变的黄金价格急剧上涨,从而使黄金支付能力剧增,找金热潮遍及全球。目前,世界各国都很重视金矿地质工作,加强金矿资源分析,千方百计强化金矿勘查。许多国家为加强金矿勘查和提高找矿效果还成立了专门的组织机构,召开了各种形式和范围的金矿工作会议,制订了一系列政策和具体措施。但是,随着地表易找、易采矿床的发现和开发,地表露头矿、富矿越来越少,至使找矿工作逐步转向寻找隐伏矿、深部盲矿体以及低品位和难辨认的矿床,找矿难度不断增加。正如朱训部长(1987)所指出的那样,我国也进入了人类第二轮找矿阶段。因此,总结过去的经验,引进新理论、新技术、新方法,合理地选择金矿预测方法,是我国金矿的找矿工作能否迅速取得重大突破的关键。本文结合我国金矿地质的实际情况,从金矿成矿地质背景,金矿化信息的综合分析,金矿化异常分类及典型矿床三个侧面,对金的找矿及金矿预测方法研究的几个问题进行初步讨论。

一、金矿成矿地质背景研究

在找矿难度不段增加的20世纪90年代,如果我们要想寻找具有一定规模和储量的金矿床,就必须研究金的成矿地质背景。如果我们要想客观地研究金的成矿地质背景,就必须正确理解与金矿有关的基础地质问题。这是因为,由于某些基础地质问题的复杂性决定

矿体的深部有可能存在金矿体中部(黄铁矿的热电动势为 $p+n$ 型(混合型)及金矿体下部矿体(黄铁矿的热电动势为 n 型。上述预测,由勘探队用 ZK_{247} 占孔所证实,故测定黄铁矿的热电系数对金矿床的远景评价及预测矿体剥蚀深度具有重要的意义。

了对其进行研究的艰巨性,因此对于同一基础地质问题,不同的专家和学者可能得出不同的认识,提出不同的观点,作出不同的结论,并往往导致旷日持久的论战,短时间内很难求得统一。这种客观存在的实际情况提醒我们,要想等到所有的基础地质问题都获得解决之后再开展金的找矿及金矿预测方法研究,显然是不现实的。

正确对待专家和学者们对同一地区在诸如地层对比、构造演化、岩浆岩成因、火山活动期次等重大基础地质问题上的不同认识,合理继承专家和学者们的正确结论,对于进一步开展金的找矿及金矿预测方法研究,是一个十分关键的问题。这是因为,基础地质问题研究的每一步深化,毫无疑问都将大大促进金的找矿及金矿预测方法研究的进程,并进而大大提高找矿及预测的实际效果。

怎样才能合理继承专家和学者们的基础地质研究成果,指导金的找矿及金矿预测方法研究呢?由于无论何种类型金矿,都有其自己的矿源(或矿源层)和赋矿的有利岩性或层位;金的克拉克值很低,金必须在长期的地质演化过程中,经过多次富集,才能形成具有一定规模和储量的金矿床;金的活化、迁移、富集必须有某种热源(可以通过岩浆作用、火山作用或构造作用提供);金的活化、迁移、富集必须有水溶液作为媒介(可以是岩浆水、火山水、天水、混合水等);金矿的最后形成必须有有利的封闭构造,使成矿物质能够被储存和保留。因此,我们要围绕上述五个方面,充分应用基础地质研究成果作为背景资料,提取比较符合客观实际的各种信息,来指导金的找矿及预测方法研究工作。在此过程中,我们时刻不能忘记,地质科学是一门百家争鸣的科学,它是在争论中发展、完善并将逐步接近客观实际的,因此提取信息 and 应用信息必须结合具体地区的成矿地质背景,这样才能目的性更明确,针对性更强。

从找矿角度研究基础地质问题,对不同学派和不同观点应当持兼听则明的态度。怎样才能作到兼听则明呢?我们认为,应当从不同类型金矿床的具体控矿因素入手,重点研究金矿各种控矿因素的有利程度,按它们对金矿的富集程度和对金矿床规模大小的控制程度进行分析。对各种控矿因素进行分析时,要强调信息的综合性和信息之间的转换规律,使信息提取时有具体的可以相互验证的客观标准,从而防止信息的不可靠性。本着这个原则,我们对金矿的控矿因素分析有以下几点初步认识:

(一) 金的赋矿岩系和岩性分析

早前寒武纪结晶基底(太古宙—早元古代)是非常重要的赋金岩系,它们具有重力场相对高的特点。按重力场的分布规律,除同已知出露基底吻合外,更重要的是可以推断隐伏基底的分布范围。各种类型金矿的空间分布同出露基底和隐伏基底的分布关系是十分密切的。根据地质、地球化学、地球物理场特征,可以将基底划分为三种类型:

1. 富铁硅质岩系跳跃场类型结晶基底

该类型出露和隐伏基底主要由基性变质火山岩组成。在出露基底范围内,地球化学上具有Ni、Cr、Co、V、Ti组合元素含量较高的趋势。随着火山岩系基性程度的增加,磁场正、负跳跃的幅度增大, Ni、Cr、Co、V、Ti组合元素含量也相应增加。具有此种特征的赋金岩系在我国较为典型的为山东蓬乔组斜长角闪岩系,辽宁清源石棚子组

斜长角闪岩系，河北小塔子沟组斜长角闪岩系。

2. 正缓场类型结晶基底

该类型出露和隐伏基底也是主要由变质火山岩组成的，但火山岩的基性程度偏低，岩性以变粒岩、片麻岩为主。具有此种特征的赋金岩系有辽宁城子组等。

3. 负场类型结晶基底

该类型出露和隐伏基底，以基性变质火山碎屑岩为主组成。在出露基底范围内，地球化学上具有富Ni、Cr、Co、V、Ti的趋势。辽宁盖县组中的绿泥片岩具有此种特征。

如果这三种类型结晶基底的磁场或重力场具有较大延深的标志，表示结晶基底中有足够的金矿矿源，这是大型和特大型金矿床存在的必要条件。

(二) 与金矿热源有关的中酸性侵入岩体

1. 控制金矿床空间分布的中酸性侵入岩体的标志。

(1) 岩体直接或间接产于赋金结晶基底的分布范围内，一般具有低重力场的特点。

(2) 岩体外围具有金元素组合的晕环，按高、中、低温有序分带，金矿分布最佳范围距岩体6—8 Km，最大距岩体20 km。

(3) 岩体内部具有金丰度值相对高的特点。

(4) 岩体时代以燕山期和海西期为主。

2. 控制金矿床空间分布的中酸性侵入岩体的类型。控制金矿床空间分布的中酸性侵入岩体按它们的地质、地球物理场特点可以划分为以下五种类型：

(1) 继承性磁场岩体 该类型岩体是以花岗斑岩为主要岩石类型，但岩性变化大，没有统一的岩石命名，没有统一的岩石化学成分。岩体和围岩之间没有明显的磁性差异，岩体继承了围岩的磁场特征。岩体和围岩之间有明显的密度差异，应用重力垂向二阶导数零值线可以推断岩体分布范围和形态。该类型岩体总体展布趋势同结晶基底的展布趋势近于平行，也可以说是顺层理趋势方向交代形成的。岩体规模越大，对金的成矿越有利。它们的总体空间分布是，环太平洋带岩体规模大，相反方向岩体规律逐渐变小。蚀变岩型金矿同这类岩体的关系极为密切。该类型岩体是大型和特大型金矿的重要热源。

(2) 环带型磁场岩体 该类型岩体为花岗岩类杂岩体。岩体本身形成环形分带，各带之间边界明显而且磁场类型不同。这类岩体空间上往往受两组导岩构造控制，一般分布于结晶基底沿走向延长方向的转弯处。岩体是多期侵入形成的。该类型岩体是大型金矿的重要热源。

(3) 负磁场型岩体 该类型岩体一般由白岗岩组成。岩体与围岩接触带及其附近往往有金、白钨矿重砂和金、钨元素的环型晕圈。金矿床一般分布于岩体的倾伏端，往往有较多的脉岩组与金矿伴生在一起。与该类型岩体有关的金矿一般为石英脉型金矿。

(4) 正缓磁场型岩体 该类型岩体一般由花岗岩组成，岩性单一，其中以小型岩体对成矿较为有利。如果地表出露范围小，而隐伏岩体大，剥蚀浅时，对成矿也有利。金

矿床一般分布于岩体倾伏端，此处往往脉岩组发育。与该类型岩体有关的金矿一般为石英脉型金矿。

(5) 强正磁场型岩体 该类型岩体一般由花岗闪长岩组成，岩性单一，以小型侵入体为主。金矿一般分布于岩体倾伏端，以石英脉型金矿为主。

(三) 赋金的火山岩

赋金火山岩系一般分布于结晶基底内部的断裂带中，或喷发超覆于结晶基底之上，火山盆地中往往有隐伏结晶基底存在。一般情况下，赋金火山岩系中的熔岩具有金丰度值较高的特点，与熔岩同源的次火山岩则为热源。赋金火山岩的岩性没有强烈的专属性，可以是基性、中性和酸性火山岩。一般应用重力资料推断隐伏基底的存在。赋金火山岩一般为低重力场，它们中间重力相对高的部位即为隐伏基底。金矿分布于基底和火山岩接触部位，即金矿往往分布于基底（或隐伏基底）周围边部的赋金火山岩系中。

(四) 赋金的构造

赋金构造往往是经历了长期演化的继承性构造，往往是基底构造的复活构造，可以是韧性剪切带，也可以是脆性剪切带。

通常，在地质先验前提下，要进行重、磁资料的构造解译。应用重、磁场资料可以推断基底构造，同时也可以研究构造的时序。基底构造一般东西向最早，以后是北东、北西和南北向构造。赋金构造往往反一般的区域构造时序，以晚东西向构造最为典型。反时序构造标志，代表构造的多期复活，对金矿床的形成极为重要。

赋金构造中一般有金的微弱异常，按照它们与金矿床的空间分布关系，可以划分为导矿构造、散矿构造和容矿构造。

散矿构造有走向分带和水平分带的特征，一般均显金的组合异常。容矿构造一般是封闭构造，位于两组构造交汇的锐角部分，或位于断裂构造的下盘。

二、金矿化信息的综合分析研究

近年来，通过区域地质、矿床（点）地质、化探和重砂扫面等工作，在全国各省区均发现了成千上万的金异常、金矿点和矿化点。对这些金异常、金矿点和矿化点的综合分析研究、筛选、是寻找金矿的关键。

通过前面对金矿控矿因素的分析可知，各种控矿地质背景均有金矿化信息的显示。如何判别区域性的矿化信息和金矿异常以及它们之间的内在联系，是非常重要的找矿方法问题。

我们认为，对金矿化信息的研究，必须要在对金矿成矿地质背景进行综合分析的基础上提取矿异常，这是在地质理论指导下认识矿异常的主要方法。具体来说，要从以下几个方面分析矿化信息：

(一) 分析赋金岩系和岩性的异常

赋金岩系和某一岩性内的金异常往往在其中断续分布，并且有相对的集中性。这种

异常的特点一般表现为单一元素异常或单一金重砂异常，金异常的展布方向与赋金岩系的分布方向一致。

（二）分析赋金岩体的异常

在赋金岩体内，一般为单一元素的金异常或单一金重砂异常。在赋金岩体外，往往形成丰度较低的金组合元素异常，并按温度高低有序分带，构成环型异常。

（三）分析金的导矿、散矿、容矿构造异常

1. 金的导矿构造异常受重、磁场特征吻合深构造控制的金异常为导矿物构造异常。这种金异常往往表现为元素组合简单的线性巨大异常，宽度较大，达2—10km，长可达近千公里。

2. 金的散矿构造异常受较深重力构造或磁力构造控制的金异常，为散矿构造异常，它是导矿构造的低序次构造异常。这种金异常往往表现为金元素组合异常，具有明显的垂向分带和水平分带。

3. 金的容矿构造异常受多组方向浅部构造交汇部位控制的金异常为容矿构造异常，它是散矿构造的低序次羽毛状构造异常。容矿构造异常往往表现为迭加分带异常，一般属于矿异常。

（四）分析矿异常

矿异常是受多种控矿因素控制的局部异常。矿异常的空间分布同赋金岩系、赋金岩体、容矿构造关系密切。为了识别矿异常，通常的研究方法是从已知矿体、矿床、矿田入手，建立地质—地球化学模型。

化探本身是一个系统工程，可以分为原生晕、次生晕、水系沉积物和重砂。化探各种方法所提供的矿异常信息是有机关联的，这是因为矿体、矿床、矿田在成矿过程中形成原生晕，在景观地球化学条件下形成次生晕、水系沉积物和重砂，只不过是同一事物的不同表现形式而已。研究主成矿期的矿物组合标志和元素组合标志，研究它们同原生晕组合异常、次生晕组合异常、水系沉积物组合异常和重砂组合异常的有机关联，是判别已知矿体、矿床、矿田的异常的基本工作方法。

在研究已知矿异常各种信息间转换规律的基础上，进行未知异常类型的划分，是发现已知矿异常和与它们有关的系列矿异常的方法。

异常的分类研究必须以矿床类型研究作为地质先验前提，在矿床类型研究的基础上进行未知异常类型的划分。

矿异常是有等级性的，可以划分为矿体异常、矿床异常和矿田异常。通常矿体异常采用原生晕，矿床异常多采用次生晕，而矿田异常主要采用重砂和水系沉积物的方法进行研究。

三、矿化异常分类及其典型矿床研究

金的矿源来自前寒武纪老基底，它们的热源来自海西或燕山期的岩浆作用、火山作

用或构造作用，各种不同规模的构造是金运移的通道或沉淀成矿的空间，不同金矿类型则与不同的成矿条件关系密切。

从金矿成矿地质背景的角度，可以将金矿初步划分为出露基底金矿和隐伏基底金矿两大类。

(一) 出露基底金矿

出露基底金矿是指空间分布同出露基底关系十分密切的各种类型金矿，金矿床直接围岩往往是前寒武纪变质岩系。出露基底金矿包括蚀变岩型金矿、绿岩型金矿、变质砾岩型金矿和石英脉型金矿等。

1. 蚀变岩型金矿

蚀变岩型金矿以我国胶东西北部的玲珑—焦家式金矿最为典型。

矿床产于属活化地台区，构造—岩浆活动强烈的华北陆台东部，空间上与郯庐深断裂毗邻。

区内断裂构造发育，以北东向为主，次为东西向和北西向。

区域上中生代岩浆活动（形成时代为164~123 Ma）十分剧烈，构成由玲珑花岗岩、郭家岭花岗岩和溱家河花岗岩组成的玲珑花岗岩杂岩体。主要岩石类型为二长花岗岩，部分为花岗闪长岩和钾长花岗岩，皆系与金矿关系密切的继承性岩体。

矿床严格受断裂控制，北北东向、北东向构造与东西向构造交汇部位控制了矿体，容矿围岩主要为中生代花岗岩杂岩，其次为胶东群（2.6 Ga）变质火山岩；矿体成群、成带产出，主要矿带位于距溱家河岩体3 km处，矿床产于脉岩集中处；矿化系列为Au—Ag(Au)—Pb(Ag)；成矿具多阶段特点，可分为黄铁矿石英阶段，块状黄铁矿阶段，细粒黄铁矿阶段，多金属硫化物阶段，含金碳酸盐阶段，其中块状黄铁矿阶段为金矿的主要形成阶段。矿石类型有两种，其一为硫化物—金—石英矿石；其二为多硫化物—金—石英矿石。前者硫化物含量在矿石中占10~20%，其中以黄铁矿为主，多金属硫化物局部集中，金主要含于硫化物中，石英中含金次要。后者中硫化物含量占矿石的50%以上，其中黄铁矿占绝大多数，局部地段多金属硫化物可超过硫化物总量一半。金主要赋存在黄铁矿和多金属硫化物中，石英中占的比例很小。矿石由石英+自然金+银金矿+碲金矿+自然银+碲银矿+黄铁矿+磁黄铁矿+方铅矿+闪锌矿+黄铜矿+（毒砂、辉钼矿、辉铋矿、白钨矿）组成；金矿物粒度以0.12~0.25 mm者居多（占43.5%），呈晶隙、裂隙、包含和熔蚀金状产出；角砾状、细脉状、晶簇状和充填状矿石构造发育；载金硫化物颗粒粗大、成分简单、垂向分带不明显，属中深相环境的产物；成矿前钾化发育，成矿期蚀变为硅化、绢云母化、黄铁矿化，晚期蚀变为碳酸盐化和绿泥石化，矿石元素组合为Au—Ag—Cu—Pb、Zn—Bi—As—Se—Te—Sr—Ba

2. 绿岩型金矿

绿岩型金矿又称绿岩带金矿，这一名称是70年代由国外引进的。所谓绿岩带，是指一套遭受变质作用普遍绿化了超镁铁质、镁铁质、长英质火山岩和部分沉积岩系，是世界重要的含金岩系。由于金矿化产于这套岩系底部的镁铁质火山岩及其相应的侵入岩中，或产于这套岩系上部的变质火山—沉积岩中，故称为绿岩带金矿或绿岩型金

矿。

研究表明,世界范围内绝大多数太古代绿岩带可按其年龄分为古老绿岩带和年轻绿岩带两大类,每类按其演化历史又可分为早期地台阶段和晚期裂谷阶段。不同时代,不同演化阶段的绿岩,在其构造型式、时间跨度、火山岩组合、沉积环境以及相应的沉积组合和成矿组合等方面均有明显不同:(1)古老的地台期绿岩矿化较差,未发育大型金矿;(2)古老的裂谷期绿岩显示较差,矿化也较差,大大劣于年轻的裂谷期绿岩;(3)年轻的地台期绿岩矿化程度高于古老的地台期绿岩,条带状含铁层容矿的金矿床广泛分布;(4)年轻的裂谷期绿岩矿化程度最高,含有多种重要的成矿组合,世界许多大型金矿多产于这种绿岩带中。如西澳地盾区十大金矿床中有六个属于此类,加拿大地盾33个最大金矿床(超过百万盎司的)中就有26个位于这种年轻的裂谷期绿岩带—阿比提比带中。

从金矿成矿地质背景的角度考虑,绿岩型金矿可以划分为三种类型:

(1) 硅质剪切带中含金石英脉、网脉型金矿

含金石英脉型金矿是太古代绿岩带中分布最广、最常见的金矿类型。这类矿床多呈脉状和网脉状,产于一个或几个近于平行的剪切带中;矿体受构造控制明显,延深较大,常超过千米,最深矿体达3000米以上;容矿岩石主要是镁铁质岩石(通常为拉斑玄武质粗玄岩、拉斑玄武岩),但也有超镁铁质或花岗岩类岩石;含矿岩系的变质程度一般为绿岩相,但也有超镁铁质或花岗岩类岩石;含矿岩系的变质程度一般为绿片岩相,但在个别地段或地区可达到角闪岩相。

矿体附近的围岩大部分遭受一定程度的蚀变,主要为绿泥石化、硅化、碳酸盐化和绢云母化,其中尤以碳酸盐化和金矿化关系最为密切。

金矿脉以含黄铁矿石英脉和含金石英—铁白云石(方解石)脉居多,少数为含金黄铁矿脉,矿脉中硫化物含量可达20%以上,除黄铁矿外尚可见到黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、黝铜矿、辉砷矿等;金多含于黄铁矿中,少数含在脉石或其它硫化物中,大多为金银系列矿物,少数为碲化物;矿石元素组合为Au—Ag—Cu—Pb—Sb—Te。国外典型矿床有加拿大的波丘潘、柯克兰—拉尔德尔湖,澳大利亚的卡尔古利(金英里),印度的科拉尔等金矿。

(2) 条带状含铁层或富铁硅质建造中的层状和层控矿床

这类金矿广泛分布于年轻的地台期绿岩中。其共同特点是与含铁层密切伴生,为富含铁的硫化物硫带,产于特定层位,矿体受构造控制明显,多集中在褶皱枢纽带内(在这些地段,条带状含铁层增厚,并发生较小褶皱和断裂,成为成矿有利地段),或呈整合透镜状产出。金矿化的富集与一定的矿物相有关,有的为氧化物—碳酸盐相含铁层(如津巴布韦的沃巴契奎金矿,西澳大利亚的50号矿山);有的为砷硫化物—硅酸盐相含铁层(如美国的霍姆斯塔克金矿);也有的为硫化物相含铁层(如巴西的莫罗维洛金矿)。

矿石的矿物组合较为复杂,载金矿物既可有硫化物,如毒砂、磁黄铁矿等,也有硅酸盐矿物,如锰铝榴石、绿泥石、蛇纹石等;含金硫化物在矿体中成细脉或浸染状,有的呈似陨石结构;金在载金矿物中多呈自然金产出;矿石元素组合为Au—Ag—Cu—As

等。

值得提出的是，我国山西袁家村铁矿总体分布趋势为近东西向，其中发育南北和北西向断裂，在横向扭曲、变形、破裂处，出现金的化探异常，并具有明显的走向分带规律。这一事实提醒我们，应当加强袁家村式铁矿变形与金矿关系的研究，搞清铁矿层内金异常产生的原因并进行查证。

(3) 变质火山—沉积岩中的层控浸染状金矿

此类矿床以加拿大1981年发现的储量达590吨以上的赫姆洛金矿为代表。

矿床产于东西向晚太古(2.8~2.9Ga)绿岩带中，绿岩带在区域上呈宽阔的大型向斜构造，其核部为火山碎屑岩和沉积岩，两翼为基性火山岩。含矿层位于变火山碎屑岩与变沉积岩接触带上，容矿岩石(中—酸性火山岩)已变成绢云母片岩。含矿岩系遭受了角闪岩相变质作用的改造。

矿体呈层状，与顶底板围岩基本整合，走向大致呈北西西向，延伸2500米，厚3~4米，最厚可达45米。整个矿体呈楔形(纵剖面)，向北西西方向侧伏，延深1500米而尚未尖灭。

矿石有四种类型：硅质矿石、绢云母质矿石、重晶石质矿石、黄铁矿质矿石；其中硅质矿石含金性最好，金含量在10~15克/吨，同时含0.1%辉钼矿；绢云母质矿石金含量约6克/吨，这种矿石常见于矿体末端；重晶石质矿石与绢云母质矿石含金性类似，重晶石含量达20~50%，其中也含0.1%的辉钼矿；黄铁矿质矿石中，与金伴生的矿物是黄铁矿和辉钼矿。

矿石矿物组合除上述重晶石、辉钼矿外，还有黄铁矿、辉锑矿、雄黄、雌黄、辰砂、毒砂等。金多以细粒浸染状自然金产在硅质矿物颗粒边缘，很难见到明金。辉钼矿往往与金伴生，因此是金的最好指示矿物。与黄铁矿伴生的金一般产在黄铁矿裂隙中和其周围。矿石中银含量比较低，平均在1.5克/吨，金银比值为2:1—20:1。矿石元素组合为Au—Ag—Mo—Hg—Sb—As—Ba。

3. 变质砾岩型金矿

变质砾岩型金矿床是世界金矿储量、产量最大的金矿类型。它以南非(阿扎尼亚)维持瓦特兰德金矿规模最大，简称兰德型金矿。兰德金矿自1886年发现以来已有百年的采金历史。截至1984年共产金36000吨，尚保有储量18040吨，约占世界总金储量的60%。目前年产量900~1000吨，约占资本主义世界产金量的75%。三十年代末开始，兰德金矿中发现并开采了铀矿，目前年产铀4000吨，故又称金—铀砾岩型矿床。

砾岩型金矿床都产于古老陆台上，形成于结晶基底上的内陆盆地中。年龄通常在2300—2500Ma前。与其伴生的岩层有石英岩、页岩、粘土岩，形成韵律性的地层组合，厚度通常达万米以上。金仅含于某些层位的砾岩或某几层砾岩中。含金的砾岩呈薄层状夹于巨厚的沉积岩层或火山沉积岩中。砾岩层厚度变化很大，厚者数米，薄者仅数十厘米，水平延展稳定，沿走向和倾向可达数十至数百公里。

含金砾岩中的砾石几乎全由石英构成，偶含燧石、石英岩、斑岩、板岩砾岩。砾岩常呈扁平状，有的呈扁平椭圆形，其长轴常呈规则排列，显示流水及迁移方向。砾岩层一般具有良好的分选性，砾石磨圆度良好，说明曾经历了长期的搬运和剥蚀。

按伴生的矿物，矿化砾岩可分两类：一类是含黄铁矿、磁黄铁矿的砾岩，另一类是含赤铁矿、钛铁矿的砾岩。砾岩型金矿中还常常伴生有一定数量的贱金属硫化物、沥青铀矿及固体磷化合物。金和其它金属都产于砾岩的胶结物中，局部呈细脉从胶结物中延伸至砾石的裂隙中，有的甚至呈金和硫化物的细脉产出。砾岩中金矿化不很均匀，高的可达数百克/吨，一般不超过10克/吨。

砾岩型金矿在世界上分布甚广，除南非兰德金矿外，加纳的塔克华、巴西的贾卡比纳和加拿大安大略的依利澳特湖、育河地区都产有规模巨大的砾岩型金矿。此外，津巴布韦、苏联、澳大利亚等国也产有这类矿床，但规模不大。

（二）隐伏基底金矿

隐伏基底金矿是指金矿床直接围岩为盖层沉积岩或火山岩的各种类型金矿，但应用重大资料往往可以推断出深部有隐伏基底存在。隐伏基底金矿包括火山岩型金矿、卡林型金矿、砂卡岩型金矿、斑岩型金矿等。

1. 火山岩型金矿

火山岩型金矿是指与喷出岩有关的脉状或网脉状金矿床。

火山岩型金矿主要形成于中、新生代，尤以新生代居多。矿床多分布于受深断裂或断陷盆地控制的火山喷出岩带内。火山岩以中性—中酸性系列为主，岩石类型有安山岩、英安岩、流纹岩，其中安山岩类最重要。

近矿围岩除普遍具青盘岩化外，广泛发育硅化、绢云母化、粘土化和冰长石化。矿体受火山岩中的裂隙构造控制。火山呈脉状、网脉状、复脉带状，甚至囊状产出，个别产于火山机构附近的矿脉呈环状或放射状。单个矿脉的规模，长达数百米，一般为数十米，宽度变化较大，延深很少超过300米。

矿脉的组合类型主要有含金石英脉，含金玉髓—石英脉及含金玉髓（石英）—方解石脉。矿石中常见的金属矿物有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿。含金矿物有自然金、银金矿、碲金矿。矿石中含银较高，常见辉银矿、深红银矿等。银的含量大多高于金，有的可超过50~200倍。金矿物一般呈镶嵌状或微脉状含于玉髓状石英、石英或硅化带中。矿石元素组合为Au—Ag—Cu—Pb、Zn—Te。矿石常呈角砾状、梳状、晶洞状及网脉状构造，表明其形成于较浅成的环境。

我们的研究表明，火山盆地与隐伏基底接触部位，沿断裂有次火山岩分布，此时如果出现金的异常，则是寻找火山岩型金矿的有利部位。

2. 卡林型金矿

这类金矿床是本世纪60年代新发现的一种金矿类型，美国内华达州的卡林金矿是其典型代表，故又称卡林型金矿床。

卡林型金矿多形成于中—新生代，多分布于不同构造单元（如优地槽和冒地槽）的交接处。矿体受高角度断层和可透性岩层控制，矿体沿染倾断层延伸，与岩石层理呈整合或平行产出，并主要呈浸染状产在含碳质的碳酸盐岩、粉屑岩、火山岩等岩石中。

近矿围岩常有硅化、高岭土化和绢云母化等蚀变，金矿化富集与硅化关系密切，金矿体多产于强硅化和黄铁矿化地段。此外，白云石化，重晶石化也与金矿化有关。