前　言

为了给找矿、科研第一线的广大金矿地质工作者提供找金方面的资料，以促进黄金地质找矿勘探工作的顺利进行，我们调研、编辑、出版了《金矿选编》。

《选编》汇集了目前国内外许多较高水平的金矿论文。选时结合当前金矿工作的实践，并注意到内容的普及性和实用性。对进一步研究和在我国寻找各种类型的金矿床有一定的参考价值。

《选编》分五集出版。

第一集　金矿概述　主要内容：金的命名和成因形态、金的地球化学性质和成矿作用、金的标型特征及金矿规范说明等。

第二集　砂金　主要内容：砂金矿床的成因类型、分布特征、找矿评价方法、勘查方向等。

第三集　金矿的成矿模式及找矿勘探方法　主要内容：金矿床的成矿模式及找矿方向、金矿勘查的物化探方法、地球化学方法、放射性方法以及取样方法等。

第四集　金矿床　主要内容：金矿床成因理论、金矿床类型及特征、国内外典型金矿床实例等。

第五集　金的分析测试方法　主要内容：金的各种实验室分析测试方法及野外简易测试方法。

《选编》由核工业部地质局黄金办公室和北京第三研究所科技情报室联合编审，本集经崔焕敏高级工程师审阅，由高必娥同志编辑。由于水平所限，书中出现的错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

局黄金办公室

1987.10.

所科技情报室

目　录

1．金矿勘探与矿床技术经济的几个问题……（1）
2．试谈黄金找矿的几个关系问题……（21）
3．国外金矿地质与勘探的现状和发展趋向……（30）
4．南非维特瓦特斯兰德金矿床的地质与勘探准则……（44）
5．卡林浸染型金矿床的勘探……（51）
6．太古界中黄金勘探的模式……（64）
7．关于金矿找矿矿化指示元素初步探讨……（78）
8．金矿地球化学找矿及评价指标……（94）
9．试论构造地球化学找金的几个问题……（113）
10．金矿化探普查找矿的几个问题……（127）
11．关于化探找金一些问题的讨论……（133）
12．夹皮沟三道岔金矿床原生分散晕的特征及地球化学异常模式……（143）
13．治岭头金银矿床的地球化学特征及找矿标志……（159）
14．澳大利亚新南威尔士帕克斯地区金的岩石地球化学勘查……（172）
15．论寻找原生金矿的物化探方法效果及其有关问题……（190）
16．山东招掖金矿的地质特征与地球物理方法的应用……（203）
17．航空电磁法发现菱刈金矿床……（237）
18．金银矿床交代晕的标型元素——钾、钠、锂及其预测普查意义……（250）
19．如何选择金矿床坑探取样的最优方法……（259）

金矿勘探与矿床技术经济的几个问题

程玉明

（吉林省有色地质勘探公司）

一个矿床的工业使用价值不仅取决于矿石的自然丰度，而且与采选技术条件及其内外部建设条件关系很大。因此，地质勘探不仅要研究以合理的投资在较短的时间内获得最佳的地质效果，而且应当包括矿床技术经济条件的研究，才能获得最佳的经济效益。现就金矿地质勘探与矿床技术经济评价的几个主要问题，进行初步讨论，不当之处，请批评指正。

一、对金矿组织勘探前要认真研究矿床经济条件

对金矿床的评价或勘探应包括两个方面的内容，一是矿床地质成矿条件及工业、远景储量方面的评价；再是矿床技术经济条件的评价。后者左右前者，而后者往往重视不够，结果有的造成“呆矿”，有的不能利用，有的拖长了建设周期，影响了社会经济效益。其中主要的有以下几个方面。

（一）矿床生产建设的外部条件

对金矿床评价或勘探时，要注意研究交通运输、水、电等矿山建设的外部条件。同样规模的矿山，外部建设条件不同，投资差别很大（表1），尽管都承认这个事实，也还是值得研究。从表1明显的看出，外部建设投资多者竟占基建投资总额的 43 %。

其中水为3—6%，最多8%，电为6—10%，最多为39%，而交通波动较大，由1.3—23.6%。我们勘探一个大型金矿床，勘探总额一般为300—500万元，而矿山外部建设投资仅此一项多者竟达860万元。可见：

1.对金矿床评价或勘探，首先要选择建设条件好的，对电及交通条件尤须注意。条件差的不仅投资多，而且建设周期也长。

2.对外部建设条件差的矿床，在制定勘探方案时，要适当的提高勘探程度，以减少基建投资的风险性。

3.对金矿床储量多，建设规模大的，由于基建投资多，保证勘探程度合理，十分重要。

（二）矿床开采技术条件与矿石加工技术性能的研究

有的地质工作人员对矿床开采技术条件与矿石加工技术性能的研究，重视不够，表现在对金矿床评价时，很少进行这方面的研究，即使是勘探阶段，也多放在勘探后期，才加以研究，这不大妥当。

对矿床开采技术条件的研究，不应单纯地理解为仅是矿石与围岩的物性测定，如体重、湿度、孔隙度、抗压、抗剪强度、岩矿石块度、硬度等。而最重要的是矿体顶底板的稳定程度及构造特点的研究。对矿体顶底板的稳定程度与构造特点在评价阶段就应加以研究，而且有条件进行研究。例如，对金矿床（点）进行评价时，一般以钻探为主，在钻探编录时，对矿脉顶底板的特点，能搜集到许多资料。故此，对矿脉上下盘10m范围内的采取率与矿脉的采取率提出了相同的质量要求。事实上，在执行中却放松了这一要求，很少因此而进行补量。也很少从矿床开采技术条件的角度，认真地进行研究。

金矿以脉状矿床占多数，由于矿床开采技术条件研究不够，而带来的损失，是有例可查的。如某金矿床，矿脉厚 0.5 — 1.2

表1　　矿山外部建设投资比较表

矿区名称	建设规模 吨／日	基建投资 万元	水		电		交　通		计		备注
			万元	%	万元	%	万元	%	万元	%	
河北金厂峪	500	1340.6	38.2	2.8	126.9	9.5	63.8	4.8	229.9	17	
河南文峪	500	1991.5	110	5.5	155.9	7.8	469.2	23.6	735	37	
山东招远	500	1994.2	49.4	2.5	785.3	39.4	25.4	1.3	860	43	
辽宁四道沟	250	638.9	30.4	4.8	38.1	6.0	20.7	3.2	89.2	14	
河南金洞岔	250	1128.9	91.9	8.1	111.5	9.9	153	13.6	356.4	32	

吉林省冶金设计院《技术简报》1977年

m，品位10—50g／t。因顶板岩石破碎，贫化太大，投产后，出矿不多被迫停产。另一个金矿，矿脉在闪长玢岩上下盘，因岩脉破碎，矿石严重贫化，成了采矿攻关的难题。可见，矿体与其顶底板围岩的地质构造条件与物理机械性能，对矿山开拓方法、采矿方法、机械设备的选择，劳动生产率材料消耗，采矿成本，以及矿脉的损失贫化等关系极大，地质工作者必须给予足够的重视。对矿床开采技术条件的研究，要注意以下几个方面：

1.从开采设计规模、开拓方案、采矿方法以及设计总图要求出发，则要求查清矿床分布范围、储量、矿体的规模、形态和产状、矿石类型、分布特点等。

2.研究矿床构造特点、矿石及顶底板岩石的稳定程度，即岩石、矿石在空间允许暴露面积的大小和暴露时间的长短。由于矿石和顶底板岩石的稳定性不同，产生多样的组合，因而所选择的开拓与采矿方法亦各异。

3.金矿多为地下开采，运输巷道一般距矿体5—7m，太远则石门长，太近则损失部分矿量，故对矿体底板特点的要求较严。

4.矿床水文地质条件的研究。

在金矿床（点）评价阶段，同样应从工业利用的角度，研究矿石的加工技术性能，我国常见的岩金选金方法，不外有混汞法→浮选法，浮选→氰化法，浮选→培烧→氰化法等，影响金的回收与选别的有以下几个方面：

（1）自然金的赋存状态：主要有三种：①包在硫化物中；②在不同矿物的裂隙与接触界面中；③包在石英的颗粒中。而进入尾矿流失的自然金，多系包在石英颗粒中的微粒金（＜30μm）。

（2）自然金的粒度：当金粒＞70μm时难以浮选，氰化也费时间，因而需用重选或混汞提前选别。对细粒金不论是单体或连生体，浮选、氰化都比较容易回收。

（3）自然金的形态不同，不同的选矿方法有不同的效果。

（4）金的表面穿上铁衣时（有铁锰氧化物的薄膜），不论混汞、浮选或氰化都难以回收。

（5）矿石性质：含金矿石如石英含量大于60%，氧化铝含量小于12%时，可做火法冶炼厂的熔剂，金与石英皆有经济价值。矿石中存在金属氧化物时，如自然铜、自然砷、孔雀石或为毒砂、辉锑矿的矿石，或为含碳矿石，都将无法直接采用氰化工艺，有的不得不加上焙烧过程。

（6）混汞法提金时金粒与汞接触，生成金汞齐（Au·Hg）而被吸附。采用此法要注意自然硫、辉锑矿、有机碳、石墨、滑石、蛇纹石、绢云母等矿物的存在。它们皆能在汞的表面造成污染或形成薄膜，使汞失掉吸附金的能力。

（7）矿泥的种类及含量多少同样影响矿石选矿工艺流程的制订。某些金矿选厂原设计采用全泥氰化，锌粉置换提金的常规生产工艺，建成后由于矿石属含泥量多的氧化矿，泥质很细，当磨矿至－200目时，难于沉降过滤，在浮选或氰化之后，液固分离十分困难，金的回收率很低。后又经过两年的选矿试验改为全泥氰化炭浆法提金。

二、岩金地质勘探矿床技术经济的几个主要问题的初步讨论

金矿床的特点可归纳成九个字：复杂、多变、经济价值高。就是说，形成金矿床的地质条件复杂，矿床的产状、规模、形态、品位多变，而黄金的经济价值很高。这几个特点就决定了金矿地质的找矿、评价及勘探的政策、方法应有别于其它金属矿产。

（一）关于金矿床的评价、勘探周期

对金矿床进行评价或勘探时，必须考虑时间的因素，因为货币额对时间来说有个计息问题，也有个提前投产赢利问题。从这个意义上讲，缩短金矿床评价与勘探的周期就是提高地质经济效益。某大型金矿床从评价到勘探仅用了三年，矿山根据地质勘探队的阶段性报告自行设计提前投产，投产的当年就赢利131万元，十年后共赢利3452万元。而另一个大型金矿床，1957年发现，1960年提交了报告，投资136万元。1965—1970年再次勘探，投资218万元。根据设计部门的要求1973—1974年进行补勘，投资313万元。该矿到1980年投产时地质勘探费总额的静态计算是667万元。因为货币额有计息问题，按贴现率公式计算（贴现率国际上通常为8%）：

$$\text{未来值} = \text{现值}\ (1 + \text{贴现率})^{\text{年数}}$$

到投产时所用的地质勘探费总额实际上已达1601.23万元。

二者比较起来，由于勘探周期的长短不同，不论是自身的经济效益，还是整体的经济效益，差别都是很大的。

（二）关于储量级别与比例

对地质勘探程度的要求其核心是对储量级别与比例的要求。要求过高不仅增大了勘探投资，而且也拖长了勘探与建设周期，要求过低也会造成经济损失。

1.金矿床的C级储量可作为矿山建设设计的主要依据

由于金矿床的成矿特点，对C级储量能否作为基建投资的主要依据，有不同意见。

由已生产的十二个金矿床开采量与勘探C级储量比较（表2），其相对误差矿石量波动于3—43%之间、金属量波动于14—39%之间，而且皆为负值。由这些实际数据，我们可以得出以下几点认识：

（1）国家规定C级储量误差应$<\pm 45\%$，说明上述金矿床选用的勘探网与矿床的研究程度符合要求。

(2) 国家规定生产与勘探之间B级储量误差<±30%，单就相对误差观之，10个矿床有8个符合要求，占80%，进一步说明，探提交的C级储量精度与质量很高，可以用作矿山建设设计的依据。

(3) 从矿石量、金属量、品位三者的相对误差波动的范围观之，矿石量与品位波动范围较大，说明金矿体的形态规模与品位变化较大。尽管三个变量皆在变，反映在金属量上波动范围相对较小这一事实观之，它们之间是有规律可循的。

(4) 从列举的事实观之，开采量皆低于勘探储量，所以表现为负值，很可能由于在采矿过程中由于顶底柱、残留矿柱等不可避免的损失率加上其他原因造成的。据长沙矿山研究院统计金矿采矿损失率一般为10—30%，如果在开采量中加上损失量，可进一步说明C级储量误差范围将更加缩小。

由上述观之C级储量完全可以作为矿山建设设计的主要依据，这样将会缩短勘探周期，提高经济效益。

2.关于D级储量

关于D级储量的作用有明确规定，此处仅作某个侧面的强调。某含金石英脉矿床，以100×100m的钻孔间距进行评价，用钻孔圈定了一个完整的D级矿块，金金属量4.8t（图1左）。据此铺开了井田基建工程，共投资四百多万元。其结果大矿块变成了零散的小矿体，金金属量只剩下281kg，使生产十分被动。

另一个金矿床用100×100m的孔距交了D级金金属量13t，据此进行了基建投资639万元，投产后储量大量减少，由于供矿不足，长期达不到设计生产能力。由大量的生产实践取得的经验教训可以认为：

(1)金矿床的D级储量不能单独作为基建投资的依据，它只能是地质勘探的依据；

(2)即使是在老矿山建设新坑口，单一的D级储量，也只能作为

表2　　金矿床开采量与C、D级储量相对误差比较表

矿床名称	开采量与C级比相对误差 %			开采量与D级比相对误差 %			备注
	矿石量	金属量	品位	矿石量	金属量	品位	
山东焦家	-4.39	-24.70					系生产勘探探明量
山东新城	-20.12	-30.61					〃
山东九曲	-42.7	-38.8	+6.9	-90.2	-90.2	+3.4	
吉林三道岔	-30.56	-28.46	+3.01				
吉林二道沟	-35.58	-17.98	+27.27				
吉林二道甸子	-17.97	-23.6		-66.37	-50.98		已闭矿坑报告
吉林四道岔				-96	-94	+31.95	
辽宁四道沟				-74.81	-80.6	-23.19	
河北金厂峪	-18.9	-16.6	+2.8				
河南金洞岔	-9.8	-14.2	-4.9				系基建探明量
河南文峪	-27	-18.6					
广西古袍	+2.8	+23	+26.3				

河南、广西资料引自吉林冶金设计院，焦家、新城资料取自朱芳帆

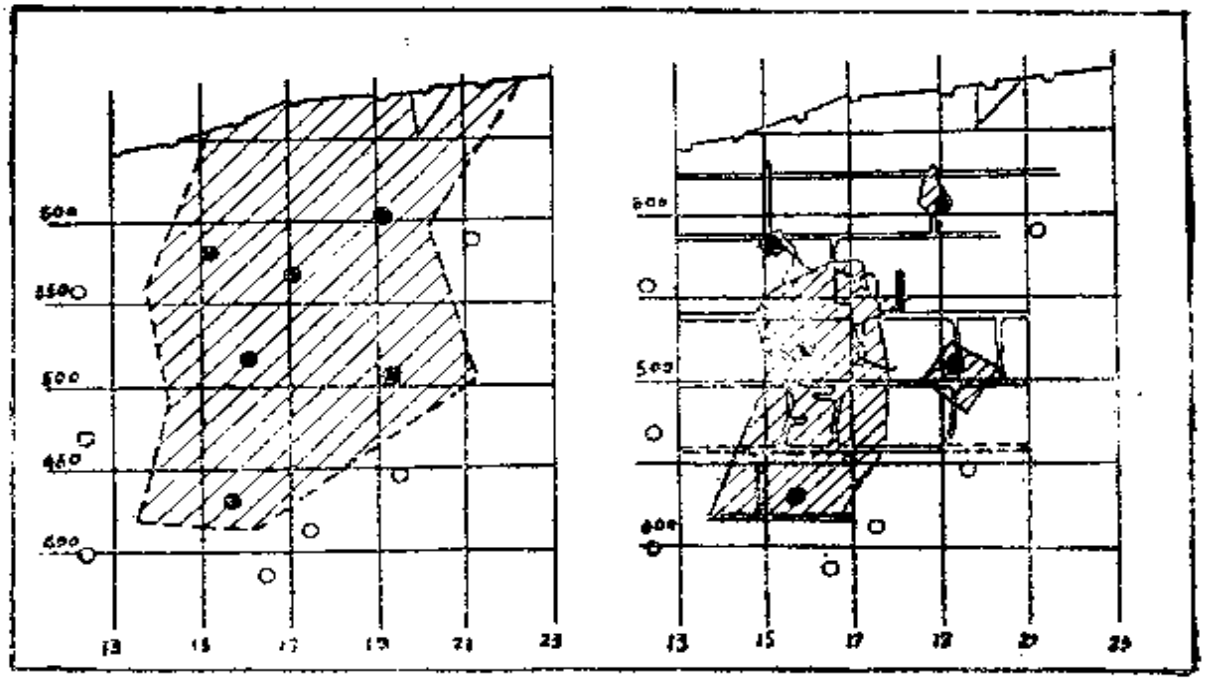


图 1

探矿的依据，而不应作为基建依据的。

3.关于C+D级的储量问题

1965年金矿地质勘探暂行规定中规定 C_1+C_2 级(相当于C+D级)储量为工业储量。它很容易使人误解 C_2 级储量也是工业储量，上述根据D级储量进行基建的两个实例，很能说明问题。这种提法不够准确。但根据金矿床的特点，“C+D”级储量又是很值得研究的问题。某省金矿床就是根据C+D级储量基建的，有的投产达17年，有的已达21年，它们的开采结果证实提供的C+D级储量满足了基建与生产的需要。但这里的D级是有条件的，其条件为：

(1) 凡属同一个开拓系统有工程控制的D级储量。

(2) C级储量矿块有限外推的或配合C级矿块有一定工程控制的D级储量。

(3) C级矿块内因工程质量降级的D级储量。

(4) 主矿体上下盘可以一起开拓利用的D级储量。

(5) 虽用较密的工程控制，但因矿体形态、规模、产状、

品位变化大达不到C级储量要求的D级储量。

这里强调的是：C＋D级不笼统的称作工业储量，C＋D级的D级储量是有条件的，在一定条件下，C＋D级可作为基建设计的依据。

4.关于储量比例的要求

关于储量比例的要求，不仅涉及勘探周期、勘探投资，而且与矿山建设密切相关，是研究地质勘探经济效益中的重要问题。在已有规定中对C级储量比例的要求，是大型的多探，小型的少探，简单的多探，复杂的少探。从经济观点出发不一定合适。单一的储量比例要求，忽视了建设条件、建设规模、投资利率、矿山建设周期与利润等因素的影响，显然是不合适的。如果在勘探范围内远景很大，D级储量很多，如要求C级占50%，同样的50%会因D级储量越大C级储量则越多。矿山建成投产后势必有不少的C级储量短时间内利用不着，从投资效益观之积压资金。因此，对C级储量比例的要求，最好是限定在开拓系统内的储量比例。故而安排勘探方案时，不要死抠规模，要请工业部门、设计部门、储委等有关单位进行勘探程度的可行性研究，以期用合理的投资获得理想的经济效果。

由国内已建成投产多年的金矿区观之，基建时所依据的C级储量比例差别很大，从百分之九十几到百分之十几皆有（表3）。通过各矿区的生产实践对勘探提交C级储量的比例要求，提出以下意见：

（1）在详细研究矿床地质矿化特点的基础上，通过勘探部门、设计部门、储委、工业部门等四方协商，将规范上要求的C级储量比例的“定值”改成“变值”。新区一次探明的C级储量，不是根据比例而定，而是根据矿床主矿体的研究程度、稳定程度及设计生产建设规模而定。在一般情况下能满足设计生产规模的3—5年是合适的。这种提法考虑了三个因素：一是考虑矿床构造

表3　　各金矿床勘探网度与储量级别比较表

矿床名称	C级		D级	储量比例%			备注
	坑探	钻探	钻探	B级	C级	D级	
	段高×穿脉（m）	走向×倾斜（m）	走向×倾斜（m）				
吉林三道岔	50×50		100×100		12.3	87.7	
吉林二道沟	40×50—25		100×100		60.9	39.1	
吉林海沟	80×20—40		160×80		39	61	1971年报告
吉林小西南岔	80—100×60—80	120×60—80	240×240	1.26	50.2	58.5	储量比例为
吉林二道刨子	40—60×25—50		100×100				补勘值
吉林板庙子	30×25—50		100×50—100				
辽宁五龙	40×25	50×50	100×100				
辽宁四道沟			100×100			100	
黑龙江团结沟		50×50	160×120		82	18	
河北金厂峪	40×20—80	80×40—90	250×200		18	82	
河北峪耳崖	40×40	100×60—100	240×120				
山东焦家	80×60	120×100	120×60				
山东九曲	80×80	60×60	240×120—240				
河南文峪	68×100		240×120—240		52	48	
河南金洞岔	67×100				94	6	

与矿体规模、形态、产状、品位等的具体条件而定，以加快勘探周期；再是C级储量随设计生产规模而变，设计规模大，则应多交C级储量使近期生产规模不致发生重大变化；三是可以确保开拓储量，以便早日达到设计生产能力，早日获得经济效益。如吉林三道岔大型金矿床，在主矿体上部以50m段高，50m穿脉间距打了两层坑道，经研究确认矿体规模、产状、形态都比较稳定，品位较高，经勘探队与矿山设计等部门共同研究，根据已探获的12.3%C级储量及深部100×100m钻探间距控制的D级储量进行了生产建设，提前取得了很好的经济效益。这个矿床已经生产近20年，证实这条路是正确的。

（2）建立开拓系统范围内的储量级别比例要求，而不应是整个矿床的。为了追求储量比例的补勘工作，一定要慎重，要考虑多方的因素与全局的经济效益。某金矿床提交的地质报告C级储量已达39%，后又进行补勘，使C级储量达到了65%。从储量值看矿石量增加了28万吨，相对误差为11.57%，金属量相对误差仅为8.71%。

（3）对C级储量比例的要求，不应简单的取决于勘探类型或矿床规模，还应当考虑矿山建设条件的难易，基建设计规模与基建投资的大小。对建设条件难、投资大的项目应适当增加C级储量的比例，反之则应降低。

（4）对新建矿区与老区建设新井田要区别对待。

（三）关于金矿勘探手段的组合

研究金矿地质勘探经济效益要从国家建设的全局出发，所投入的勘探工程尽可能的为以后的生产建设所利用。组织勘探时要充分研究金矿床的变化特点，既要取得充分可靠的地质资料，又要取得全面的经济效益，因而要认真研究勘探手段的组合。

1.对金矿床勘探时浅部应以坑探为主，便于基建初期开拓利用。如吉林三道岔大型金矿床掌握了一定的地质资料后，勘探的

探矿坑道与基建坑道相结合，很快的形成了生产能力。

2.组织坑探时，如矿体厚大，可打脉外坑道，在应开穿脉的地方，用金刚石钻机打扇形钻及水平钻，并配合以部分的穿脉验证。这样，坑内的坑钻结合的勘探方法，不仅能降低勘探成本，加快勘探速度，而且能更深入的掌握矿体的空间变化规律。

3.以钻探为主对金矿床进行评价或勘探时，要进行坑探验证。因为：一是金矿床变化大，钻孔见矿率低，不能全面真实的反映客观实际情况。二道沟金矿床是个中型金矿床，仅有三个孔见矿。矿体下部的两个无矿孔，坑道验证结果离其不远就是工业矿体。八家子中型矿床用钻探所获储量皆在深部，坑道下去，在含矿系统上部却发现了富含方铅矿的含金石英脉。四道岔金矿床钻孔控制的矿体，坑探结果，不仅矿体有变化，而且矿体上盘岩脉破碎，二次贫化太大严重影响生产利用。再是钻孔探获的矿脉品位与厚度误差较大，一般是钻孔的矿脉品位低于坑道，而厚度又高于坑道（表4）。从表4看钻孔品位低于坑道者占73%，钻孔矿脉厚度大于坑道者占80%。去掉7448及78159两孔外，从品位与厚度乘积观之，13个钻孔中有8个孔低于坑道，占62%。八个孔的平均相对误差为33.75%。产生误差的原因有工程质量问题，也有矿体形态、产状等方面的变化因素。

根据金矿床的地质成矿特点及评价与勘探的不同要求，将槽探、钻探与坑探有机的组合起来，改变钻探包打天下的局面，不仅能提高地质效果，从建设的全局出发，也是经济可行的。

三、金矿地质勘探经济效益比较

（一）砂金与岩金比较

砂金与岩金比较，不论是找矿评价还是开采利用，砂金都具有投资少，周期短，见效快的特点。因此，加强砂金的找矿评价

表4　　钻孔与坑道样品品位与水平厚度比较表

矿床	钻孔号	金平均品位 g/t			水平厚度 m			品位与厚度乘积		
		坑道	钻孔	相对%	坑道	钻孔	相对%	坑　道	钻　孔	相对%
三道岔	949	19.09	19.10	-0.05	5.42	4.50	+17	103.47	85.95	+17
	934	15.98	9.98	+38	6.92	7.90	-14	110.58	78.84	+29
	901	25.29	18.80	+26	2.55	1.80	+29	64.49	33.84	+48
	903	14.90	13.90	+6.7	2.45	3.10	-26	36.51	43.09	-18
四道岔	7552	34.86	8.76	+75	0.35	0.95	-171	12.20	8.32	+32
	7459	38.05	6.63	+83	0.29	2.33	-703	17.59	15.48	+12
	7535	53.39	9.02	+83	0.27	1.24	-359	15.48	11.19	+28
	7456	49.89	21.70	+56	0.23	0.83	-261	11.47	18.61	-57
	7448	45.05	93.30	-107	0.30	1.30	-333	13.50	121.59	-801

续表

矿床	钻孔号	金平均品位 g/t			水平厚度m			品位与厚度乘积		
		坑道	钻孔	相对%	坑道	钻孔	相对%	坑 道	钻 孔	相对%
板庙子	7880	41.22	40.15	+2.6	0.85	1.63	-92	35.04	65.44	-87
	78159	19.36	39.92	-101	0.55	1.04	-60	12.91	41.52	-222
海沟	2K1	5.59	3.83	+31	0.55	3.30	-19	14.25	11.60	+19
	2K1	6.14	6.54	-7	2.77	2.88	-4	17.01	18.84	-11
	2K10	24.59	24.16	+2	1.50	2.19	-46	36.89	82.91	-43
	2K11	6.46	3.36	+48	2.15	0.62	+71	13.89	2.08	+85

对迅速增加经济效益有重要意义。

工业指标比较：

工业指标	岩金	砂金
边界品位	1.5—2.5g／t	0.06—0.08g/m³（混合砂
最低工业品位	3—5g／t	0.15—0.2g／m³
最小可采	0.8—1.5m（厚度）	≥30—≥40m（宽度）
无矿剔除	2—4m（厚度）	≥30—≥40m（宽度）

二者的工业指标对比相差悬殊，可见开采砂金的投资与成本是很低的。

建设投资比较：

建50L采金船约50—80万元，100L船约100—120万元，150L船160—250万元，250L船500—550万元。建设一个250t/日的岩金矿山为630—1100万元，建设500t/日的矿山则为1500—4000万元。二者的建设投资与基建周期相差都是很大的。

生产技术经济指标比较：

近几年来几个岩金矿山处理矿石的成本：采矿直接成本每吨18.34—23.16元，选矿每吨9.77—16.55元，企业管理费每吨11.35—26.94元，各矿山的合计值为43.67—55.94元。由费用组成看生产成本低者每吨29元，高者39.71元，企业管理费低者每吨11.35元，高者达26.94元。如果每吨矿石的成本高达55.94元，再加上贫化率、回收率等因素，矿区平均品位大于7g/t，才能盈利。而砂金生产成本每立方米矿砂为0.85—1.75元。砂金生产的金单位成本为160—250元。按当时银行收购牌价每两500元计算，岩金生产的金收购牌价为62—70％，而砂金仅为32—50％，可见砂金的生产利润远远大于岩金（表5）。

（二）金矿地质工作两种不同投资办法的比较

对地质找矿工作来说，失去地质效果其经济效益也无从谈起。然而，怎样投资才能把钱花在点子上取得最佳的地质效果，

表5　　各采金船技术经济指标表

项目 ＼ 船的规模（l）	50	100	250	250
产金 两／年	100—1000	1000—2100	1000—4000	3000—9000
采掘量 万吨／年	30—50	50—60	60—120	270—375
矿砂成本 元／m^3		0.85	1.2—1.4	0.7—1.1
金单位成本 元／两		160—250	200—240	200—230

长春黄金设计院《采船调查总结》

是大有文章的。因此，合理地使用地质事业费就成为取得地质效果与经济效益的重要方面。

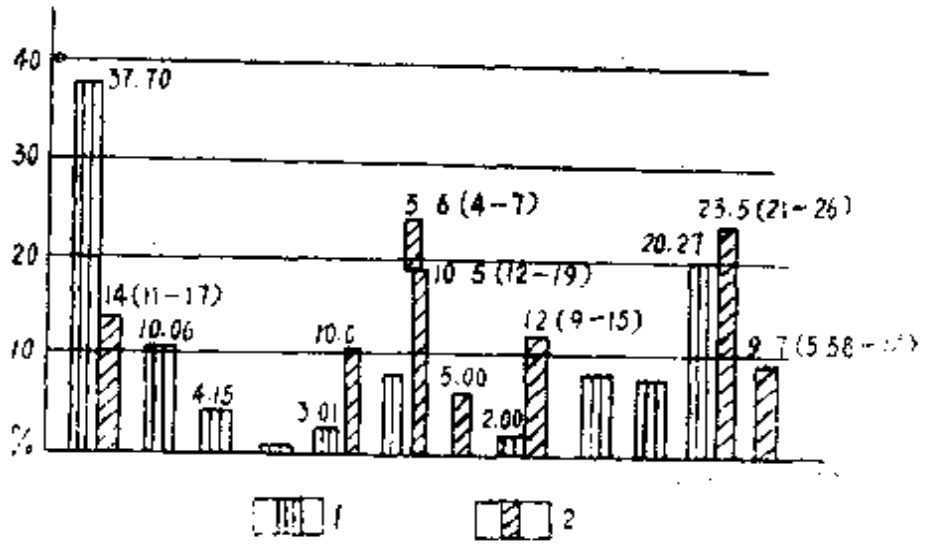


图2　地质勘探费使用情况比较

1—我省某大型金矿区地质勘探费（20年平均值）；

2—西澳矿业公司地质勘探费（20年平均值）

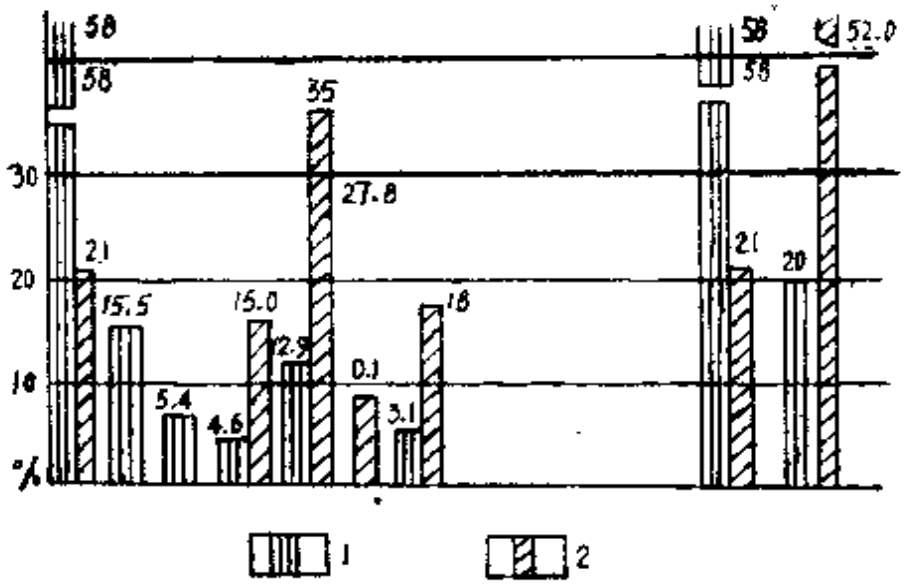


图3　地质勘探直接投资的百分组成比较

1—我省某大型金矿区地质勘探费（20年的平均值）；

2—西澳矿业公司地质勘探费（20年的平均值）

国内具代表型的某大型金矿的地质事业费使用情况与澳大利亚西澳矿业公司作个比较，可发现它们有很大差别。某金矿区二十年来在矿区及外围作了大量的地质找矿与勘探工作，发现了十几处金矿床，平均每万元可收获金金属量26.46kg，相当国家银行收购牌价的3.78%，其经济效益是比较理想的。西澳矿业公司在相同的二十年里也发现了不少大型金矿与镍矿，地质找矿效果也很突出。用它们二十年的累计百分构成比较，投资的办法有很大差别。哪种办法科学合理，值得分析研究（图2、3）。

1.直接用在地质工作上的投资二者一轻一重。随着时间的进展，找到露头矿的机会越来越少，要想提高地质找矿效果，必须加强地质工作，靠加强基础地质工作去找矿，靠加强地质成矿规律去找矿，靠新理论、新技术、新方法、多信息、多渠道去找矿。这都得要有投资上的保证。我们直接用在地质上的投资只有8%，而西澳矿业公司在这方面上占投资总额的18.5%。在整个地质物化探、加工、化验、制图等方面我们总计为 13.01%，而西澳确

占47%，西澳的地质工作投资几乎占了一半。

2.在找矿手段上二者的投资一大一小。找矿的实践证明物化探是找金的有效手段，有的否认物探找金的效果，认为物探在金矿找矿上无用武之地，这种认识是片面的。实践证明，在森林、表土等大面积覆盖地区或在已知成矿条件下寻找盲矿，皆是有效的找矿方法，加大这方面的投资会取得理想的效果。西澳公司仅物探一项就占6—10%，而我们物化探加在一起只占3.01%。二者比较起来，我们显然太少。1000m的钻探投资每米成本按 100元计算，可以完成近三万个化探样品的分析，可得到四十多万个化探分析数据，如果做五万分之一的化探分散流，可完成6000—10000km^2，二者所得的信到量是无法比拟的。

3.在探矿工程量上的投资，二者一多一少。地质工作的重点是找矿，在“找”矿的基础上才能探矿。在找矿上下大本钱，才能增大探矿的可靠性减少探矿的盲目性，才能提高地质效果与经济效益。在相同的20年里，一个把钱花在探矿上，钻坑探占了47.76%，另一个只用了14%。把大量的钱用在钻探上，势必削弱地质物化探及科研方面的投资。结果，地质、物化探、加工、化验等方面长期装备不起来，处于落后状态，实际上降低了地质物化探对探矿的指导作用，这种投资的使用办法，很值得深思。

总之，目前不论是矿床技术经济的研究，还是地质经济效益的研究，都还十分薄弱。在矿床评价阶段或勘探阶段都应加强这方面的工作，其研究内容可考虑以下几个方面：

（1）要研究确定矿床（点）评价、勘探的周期。要有时间概念，要注意货币额对时间因素的换算。地质工作者要随时注意国际市场与国内市场对有关资源的需求程度及技术政策，不要在“地下”积压建设资金。

（2）从社会效益出发研究勘探手段的合理组合与勘探程度。分析研究单位级别储量的地质勘探费，单位工程所获的储量

值。地质勘探费分配使用情况及其经济效益的评述。

（3）矿区、矿块最低工业品位的确定方案，矿床储量及可建矿山的生产能力，服务年限。

（4）矿床开采技术条件与方法，可能形成的损失率及贫化率。矿石加工技术条件的研究程度及结果，矿石的实收率。

（5）每吨矿石的采矿、选矿与冶炼的单位成本。产品的单位成本，以实物和货币形式表示的商品年生产量。基建投资、开采利润和利润率，返本年限及投资效果等。

参考文献略

选自《金银矿产选集》第四集（1985）

试谈黄金找矿的几个关系问题

孙书山

（黄金指挥部地质处）

黄金是一种稀有贵重金属，长期以来，被人们用作装饰和货币。由于黄金特有的物理、化学性质，近些年已成为国防和现代工业技术发展必不可少的重要材料。

建国三十多年，特别是1976年以来，我国黄金地质工作有了较大的进展。但是由于各方面的原因，黄金地质工作未能受到应有的重视，致使黄金储量的增长不够多，在一定程度上影响了黄金生产更快地发展。我国目前保有的黄金储量已有87%被生产所利用或已被纳入国家建设规划。如黄金生产进一步发展，则可供安排建设的储量已不多，处于“等米下锅”的状态。

为了适应四化的需要，更快、更多、更好地找出黄金资源，提高地质经济效果，在黄金找矿工作中，应处理好几个关系问题。现根据个人的体会，提出一些粗浅的看法供讨论，以期有助于黄金找矿工作的进展。

一、山金矿与砂金矿的关系

砂金矿是从古代直至十九世纪采金的主要来源。进入二十世纪以来，除苏联的砂金产量在总产量中仍占半数以上外，其它各主要产金国家的砂金产量已逐渐降为很次要的地位，如美国1969年的砂金产量仅占总产量的1%。这些国家的找矿重点，早已转向山金矿。

建国以来，我国的黄金地质工作，除黑龙江、吉林、陕西等少数省份提交了砂金工业储量外，主要力量是从事山金的找矿工作。因此，到1980年底，砂金的保存储量仅占金总储量的11%，砂金产量占总产量的10%。根据我国的具体条件，如果处理好山金与砂金的找矿关系，这种比例将会有所改变。黄金找矿工作重视山金矿是必要的，特别是从长远来考虑，总要转向以山金为主的。但是，由于四化急需，不仅要找出大量的山金矿，特别是在华中区和南方诸省更需要找出大量砂金矿。砂金的勘探和建设周期短、投资少、见效快。在近期内突出和加强砂金的找矿勘探工作，不仅能迅速增加储量，而且更重要的是有其现实的经济意义。

近两年来，黄金地质专业队伍，开始重视找砂金，除黑龙江、内蒙，继续扩大矿区远景并已找到新的矿床外，在嘉陵江和汨罗江流域也找到了几处大、中型砂金矿床。在河南、江西、云南等省也发现了砂金矿的有利地区，为在我国南方寻找砂金矿提供了很好的经验。

为了扩大找砂金矿工作，探讨一下过去在这方面成绩不够显著的原因是必要的。从指导思想上看，过去对金矿不够重视是比较普遍的。对砂金来讲，初步考虑有如下几方面的因素：

1.对砂金的远景估计不足。认为我国采金历史悠久，过去主要是采砂金，现在已采的差不多了。但是，忽略了古人采矿技术落后，对水量较大的河谷、河床砂矿基本上未进行勘探和开采。就是已采过的少量河谷砂矿，即所谓“过采区”，经过重新评价、勘探之后，不少矿区仍具有工业价值。这种情况，已由黑龙江的黄金地质工作所证实。根据我国地质条件和砂金矿的工作程度来分析，砂金矿不是远景不大，而是潜在储量很可观，找矿工作大有可为。

2.对砂金矿床产出浅、易探、易采、易选、投资少、见效快

的重要经济意义认识不够。一般地说，对砂金矿的这些优点大家都知道，但是在处理问题时，往往就不是积极地进行工作。例如对找矿不够熟悉，工作条件比较艰苦和勘探手段尚未掌握等等。为了说明探砂金矿的优越性，现将基建工程兵某部在川北某砂金矿的实践简单介绍一下。这个矿是一个接近大型的砂金矿。在四川冶金地质勘探公司606 队普查工作的基础上，从找矿勘探到报告审批完毕，只用了两年时间。探获1t金储量仅用砂钻602m，投资25万元。可见地质工作速度之快，经济效果之好，是一般山金矿无法相比的，即使条件比这里差一些，找矿、勘探成本可能高一些，但其他地质经济效果也不会比山金矿差。如果从事黄金找矿的队伍都能真正认识到这一点，把地质经济效果放在首位，我国的砂金储量，将会在短期内有一个大幅度的增长。

3.砂金矿的工业指标不够合理。有的指标未按开采方法制定，一般说来工业指标均偏高。因此，一些具有工业价值的矿床被否定了。如江西某砂矿，可用采金船生产，但工业指标未考虑采用混合砂而是按含金层制定的，标准较高，结果使这个中型砂金矿被否定了，未加利用。另一方面，随着工业技术的发展和金价的提高，目前工业指标也比过去有所降低。如用采金船开采砂金矿，一般要求混合砂的边界品位为0.05—0.07g/t，矿区最低工业品位大于0.15—0.17g/t。据此情况，对过去已评价而被否定或基本否定了的砂金矿应重新进行评价，从中发现一批具有工业价值的砂金矿是完全可能的。

4.勘探手段问题，砂金矿的找矿勘探多采用砂钻和浅井。对埋藏较深、水量较大的砂金矿，用浅井达不到目的，必须采用砂钻，而砂钻又未完全过关。因此，尽管认为砂金有远景，也迟迟不能开展工作，如云南金沙江就是典型的例子。近几年，由于地质和设备制造部门的努力，砂钻问题已开始得到解决，汽车钻、SH—30、黄金一号、龙江一号、65—2型、65—3型等砂钻，基本上

可以满足一般砂金找矿勘探工作的需要。最近又出现了SZC—325型大口径砂钻，可用以验证一般砂钻的质量，或在水大地区代替浅井采取生产技术试验样品。

5.占用农田问题。这在黑龙江、内蒙等地广人稀的偏僻地区问题不大，而在内地，特别是南方，确实是个很大的问题。在一定程度上影响了砂金矿找矿工作的进展。在一些地区搞砂金矿对农业会有些影响，但时间是短暂的。如果有矿不探出来，不采出来，长期埋在地下，对国家是一个重大损失。因此，凡是砂金成矿有利地区，都应该设法进行地质工作。至于开采，只要照顾到地方和农民的利益，采取复田措施，问题是不难解决的。

根据上述情况，对今后砂金的找矿方向，提出如下建议：

（1）我国黄金资源分布广泛，各省、市、自治区都有含金地质体存在，江河水系也比较发育，只要物质来源丰富，贮矿条件具备，均可形成砂金矿床。因此，建议从事黄金找矿部门，对所在地区的砂金成矿条件进行一次全面的综合研究，做出成矿预测，分类排队，有计划、有步骤地开展砂金找矿工作。

（2）对已知砂金有远景的黑龙江、吉林、内蒙、四川、湖南、陕西、新疆和山金储量较大而砂金远景不明的山东、江西、河南、安徽、湖北、河北、青海、甘肃等省、自治区，应加强砂金的找矿工作。我们过去多运用砂金指导找山金，同样也可以用山金指导找砂金。

（3）在砂金矿找矿类型上，近期应以冲积砂矿（河谷、河床、一级阶地）为主。适当开展湖滨、海滨以及其他类型砂金矿的找矿工作。

二、金矿与伴生金矿的关系

在金矿找矿工作中，首先着眼于独立金矿床或以金为主的多

金属矿床是正确的。截至1980年底，这种金矿床保有的储量占金总储量的43%，今后还应继续注意这方面的找矿。

但由于金具有亲硫、亲铁元素的地球化学特点，常与很多金属以及硫铁矿在一起形成伴生金矿床。对这类矿床过去做了一定的工作，获得伴生金储量也不少，占金总储量的46%，为矿产综合利用创造了有利条件。但是由于伴生金矿床，一般含金品位较低，只能作为副产品顺便回收，往往不为人们所重视，因而地质工作程度较低，全部是D级储量，不便于生产利用。

国内外的经验都证明，伴生金在黄金生产中占有重要地位。如巴布亚·新几内亚的布干维尔岛潘古纳斑岩铜矿床，保有矿石储量约9亿吨，含金品位0.5g/t左右。建有日处理10万吨的选矿厂。金的年产量高达18—20t。菲律宾、美国、苏联等国的伴生金储量和产量也都占有重要位置。我国目前伴生金的产量占金总产量的21%，与保有储量相比，所占比重还不够大。如果江西某斑岩铜矿的选厂规模也扩建到日处理10万吨，尽管金品位较低（0.195g/t），金的年产量也可达到× 吨。因此，进一步加强伴生金的地质工作程度是十分必要的。下述几点，值得今后注意：

1.对已提交地质报告并已查明有伴生金或可能有伴生金存在的铜、铅、锌、钼、锑、镍以及硫铁矿等矿床，应进行系统的调查研究。必要时应投入适当的补充勘探工作，以提高地质工作程度，落实储量，便于生产利用。如青海的锡铁山铅锌矿，伴生金储量较大，品位较高，回收情况也较好，但地质工作程度较低，在生产利用时还得补做地质工作。另外，有的矿床过去未做金的查定工作，也有的对低品位金的分析质量未过关，通过进一步的工作，可能发现新的伴生金矿床。

2.过去在找硫铁矿和铜、铅、锌等多金属矿床时，往往对可能存在的金查定不够，有的甚至未进行查定，以致有些金矿床未

能及时发现。例如陕西二台子这个中型金矿床，就是根据一个小铜矿的线索找到的。又如安徽金口岭矿床经过详细工作后，虽然铜矿规模很小，但它蕴藏有金储量某吨，品位高达3g/t，是一个伴生金矿床。因此，对有些可能有伴生金的矿床，虽已进行评价勘探工作，因品位低或规模小而被否定或忽视的矿床，应重新进行研究和评价，从中可能发现伴生金甚至独立金矿床。

3.在金的成矿预测中，要注意时常与金伴生或共生的矿床。辽宁华铜是一个有多年开采历史的矽卡岩型铜矿。近年来，注意了金的查定，不仅在含铜磁铁矽卡岩中找到了伴生的金矿体，而且在铜矿化微弱的矽卡岩中找到了独立的金矿体。

三、中小型矿床与大型矿床的关系

我国黄金资源丰富，遍布全国各地，已探明的脉金矿床多为中小型，占脉金矿床总数的88%，对黄金生产的发展起了一定作用。而且有的中小型矿床，随着工作程度的加深和认识的提高，也可能变成大矿。因此，今后对中小型矿床还应进一步开展找矿工作。但是必须指出，对那些矿床类型极复杂、耗费工程量大、勘探周期长的中小型矿床，不宜做更多的地质工作。一般做到评价程度即可交生产部门进行边探边采，较为合适。

我国目前已探明的大型山金矿床，虽只占山金矿床总数的12%，但其储量却占69%。这种大型矿床勘探比较容易，地质经济效果较好，而且对黄金生产起着决定性的作用。国外主要产金国家的经验已经证明了这一点。由于大型金矿的储量大，产量也高，如南非年产量在10t以上的金矿就有20多处，最大的瓦尔里夫金矿1978年产金67.438t。苏联的穆龙套金矿年产金80t。而我国目前最大的金矿，年产量还不到某吨。要想使黄金生产高速度地发展，必须找到一批大型以至特大型金矿。其找矿方向，应考

虑以下几个方面：

1.对国外已知的大型金矿类型，如兰德型、霍姆斯塔克型、卡林型、穆龙套型等矿床的成矿规律要进一步掌握，结合我国地质条件进行研究，指出我国可能赋存这些矿床类型的地区。

2.认真总结我国已经探明的斑岩型、蚀变岩型、密集石英脉型等大型金矿的地质特征和标志，为进一步寻找这些类型矿床指出方向。

3.探索可能发现的新类型。通过近几年的工作，在云南某地探明了一个大型金矿。这个金矿与国内外已知的类型不同。矿体主要赋存在超基性岩与古生界地层相接触的石英岩中。在国内是否还可以找到其它类型，需要深入地进行研究和探索。

对上述三个方面，要全面地进行综合研究，在全国金矿成矿区、带预测的基础上，落实具体地区、具体地点，组织力量攻关，再找到一批大型矿床是完全可以期待的。

四、富矿与贫矿的关系

找金矿和找其他矿床一样，一般多是注重富矿，今后我们还要继续找富金矿。但是从金矿发展趋势来看，由富到贫是一个不以人们意志为转移的客观规律，特别是由于金价的提高，选冶技术的进步，把找贫矿纳入议事日程已经到时候了。

国外已有不少这方面的经验，值得我们重视。如西澳大利亚的会姆溪金矿，含金品位仅1.87g/t，日产1000t矿石，用堆浸法、炭浆法生产还可盈利。有些国家早已开展从老矿山的废石堆或尾矿池中回收低品位金的工作。

我们现在已开始重视这方面的工作。除查定和回收伴生金外，在扩大贫矿资源方面也已获得初步效果。现在结合这些问题，提出一些扩大贫矿资源的看法。

1.对已进行勘探并已提交报告的金矿床，特别是在已圈定的矿体边部有贫矿或矿化的矿床，要根据当前的技术经济条件，制定工业指标，重新进行矿体圈定、评价，以扩大金矿储量。黑龙江某金矿将边界品位由原来的2g/t，降为1g/t，重新计算储量后，储量比以前增加了58%。河北金厂峪等矿区也有类似的经验。

2.对过去因金品位偏低而被否定的金矿点，应重新进行评价。按现行的工业指标或实际情况，有可能变成工业矿床。如云南某金矿，过去曾以含金石英岩为对象进行评价勘探，由于品位低，而被否定。近两年来，因考虑到可以进行露天开采，选冶性能尚好，经过进一步评价勘探，已证明为一大型金矿床。

3.对老的金矿山的废石堆和可能含金的尾矿池，要进行调查研究。必要时可投入适当的工程进行评价勘探。以期“变废为宝”，扩大金矿资源。我国过去采金均采富矿，就是解放以后，一般也将含金3—5g/t的矿石划为表外矿不加利用。较长时间以来，对伴生金的查定和回收都作的很不够，能回收多少算多少，而未能采取一切可能采取的措施，最大限度地加以回收利用。必不可免地使有些金残留在尾矿中。另外，硫铁矿与金的关系密切，冶炼后的炉渣含有一定量的金。因此，在这些方面投入适当的工作，尚可获得一定的金矿资源。

4.我国是多温泉的国家，已知有温泉数千处，在云南元江一带已发现有的温泉含金。开展地热含金的研究，在我国还是一个新的课题。尽管近期意义不大，但从长远考虑，还是找金的一个方向。

五、新区和老区的关系

为了扩大金矿资源，开展新区找矿是完全必要的，今后还应

适当开辟新区。但是对老矿山及其外围的找矿工作也必须加强。这样不仅有利于提高地质效果，而且还有其重要的经济意义。

金矿床与其它金属矿床一样，多是成群成带分布的。应用金的成矿理论和已知矿床类比方法，研究区域地质和成矿规律，预测新的矿区、矿床，是多年来行之有效的找矿方法。按照这种就矿找矿的经验，发现新的金矿床的事实，在国内外均有不少实例。澳大利亚西部矿业公司在伊尔岗地块绿岩带中增加的金矿储量，几乎全部是在老矿山或已知金矿床（点）之间获得的。我国吉林夹皮沟金矿是个开采多年的老矿山，解放初期仅有立山线、下细台等少数生产坑口，三十多年来，由于不断进行找矿勘探工作，先后发现了三道岔、四道岔、八家子、二道沟、板庙子等金矿床，获得了××吨金储量。山东三山岛、焦家、新城三大金矿的发现，也充分说明了这一点。

另一方面，在老矿山发现新矿体，或在周围发现新矿床，对储量不足的矿山，可作为接替坑口，延长矿山寿命。即使矿山后备储量充足，也可供扩建或新建之需。即使新建，因有老矿山的基础，也比在新区建设可节省大量基建投资，经济效果是有显著区别的。

我国现有大小生产金矿山×××处，金矿床、矿点数千处，为开展金矿找矿工作提供了丰富的地质资料和找矿线索。继续围绕这些矿床、矿点进行找矿，一定会收到较好的效果，为黄金事业的发展将作出新的贡献。

〔本文参考了黄金地质内部资料，初稿完成后，余忠、徐恩寿、王智、陈乃勋等同志进行了审阅，在此一并表示谢意。〕

选自《黄金地质参考资料》第一期（1982）

国外金矿地质与勘探的现状和发展趋向

朱奉三

（冶金部长春黄金研究所）

内容提要 本文主要根据作者1980—1986年对北美、南美、西澳、西非和西欧部分产金国家金矿地质和生产方面的考察，结合我国黄金事业发展的需要，扼要地论述了金矿地质理论研究与勘探工作进展的现状，分析了发展趋向，并提出一些新的认识。围绕60年代以来，特别是近六、七年中发现的大型金矿在成矿认识与勘探中的成就，重点剖析了卡林型金矿 环太平洋带浅成低温热液型金矿、赫姆洛金矿等实例。同时，对断裂控矿新模型与砂金的表生再生富集作用等科研新成果作了简要的介绍。

本文从国外几个典型金矿实例的剖析入手，说明近年来国外金矿地质与勘探工作的重大进展和发展趋向，藉以促进我国黄金事业的发展。

冒险的探索，迎来了重大的突破

美国卡林型金矿的发现和发展，促进和推动了金矿成矿机理的研究，和找矿勘探工作的深入。

1.找矿模式的建立和大胆的设想 60年代初期，美国地质调查所（USGS）的青年地质学家罗勃兹（Roberts）等，在研究内华达州自1939年以来新的区域地质填图资料的基础上，重新认识与分析了里恩（Lynn）等构造窗的区域地质背景与成矿地质条件。他们发现，这些构造窗有几个重要的特点：有大量采挖

金（包括砂金）、汞、锑和重晶石等旧矿址的遗迹或矿点；区域性微量金背景值普遍偏高；在微量金和伴生的砷、汞、锑（以后又增加了铊）异常值高的地区有金矿化出现的迹象；金矿化发育的地段往往是含炭质较高的不纯碳酸盐岩和粉砂岩类，并常有低级断裂发育的地段；附近有晚于沉积围岩的火成活动等。罗勃兹等当时以这种新认识，大胆地提出了设想，并说服了纽蒙特(New Mount) 矿业公司的经理福尔顿(Foulton) 。由于采取了他的建议，大胆地试用了化探手段，在不到两年的时间内就探明了第一个卡林型金矿，即具有1100t金矿石量、平均品位为9.95g/t的世界级特大型卡林金矿。

卡林金矿金的粒度细微，多属不可见金（微米级），矿石为浸染状，呈面型分布，不同于常见的含金石英脉；围岩蚀变主要为与常见沉积围岩岩性相似的难以区别的硅化和高岭土化等。所以这类金矿化长期未被发现。而在这种新的地质认识的指导下，着重采用化探手段成功地找到本类金矿，成为金矿勘探史上的重大突破。当时，该公司认为是一次值得冒险的赌博(Gambling)。

由于本类矿床的大部分是近地表的，宜于采用现代机械化露采，低品位的氧化矿石又可采用堆浸法（Heap Leaching）回收，极大地扩大了矿石储量，经济效益很高，从而引起了各国的注目。

2.重大的发现扩大了找矿范围；卡林型金矿又有了显著的进展 70年代，在已发现的本类矿床中，确定其含矿围岩的时代可从早寒武世到晚白垩世；围岩岩性不限于已知的碳酸盐岩与粉砂岩类，还包括硅质岩（如碧玉岩、燧石岩）和凝灰岩类；认识到主要是岩性控矿；多孔、裂隙发育的薄层状岩石皆有含矿的可能性。预测含矿围岩还可以包括某些变质岩和火山岩、次火山岩等更广泛的岩石类型和时代范围很广的岩层，极大地扩大了找矿的视野。

瑞迪克（Radike）等著名学者，在稳定同位素（C、H、O、S）的研究中，进一步得出了成矿热液主要来自天水，成矿物质主要来自围岩的结论后，证实了热液的主体是非岩浆源的，从而合理解释了矿区附近的火成活动主要起热力和动力的能源作用（地热梯度较高区的地热也可作为热源）；因而矿化可以在远离岩体或在无火成活动的地区出现。他们提出的本类矿床的成矿模式为：

（1）高角度断裂为天水下渗与热液上升的主要通道；

（2）天水下降受热后形成地下热（卤）水，溶滤（活化）了围岩中的微量金等成矿物质，迁移到热水溶液中；

（3）在热源的驱动下形成热液循环的热力学系统；

（4）在多次减压沸腾的情况下，逐步于孔隙发育的围岩和有利的低级断裂构造地段沉淀富集成矿。

本类金矿的矿源层，在内华达州主要是奥陶—泥盆纪的优地槽、冒地槽沉积建造，含金性仅略高于克拉克值，一般在8—12 ppb，从而修改了（含金）矿源层（岩）的概念。即应含相对丰度较高的金，但并不赋有绝对值的涵义，重要的是矿源层（岩）中金的赋存状态和矿源岩（层）本身的岩性特征，可以使金较易于被循环流动水所溶滤并转移到溶液中去。这样的含金层（岩）才可作为“矿源层（岩）”。

70年代第二个重要进展是，在选矿技术上开始利用含有机炭的原生金矿石。以前，由于常规的氰化法不能处理这类矿石而呆滞。1971年后，卡林金矿研制了加压预氧处理的新技术，使原先大量呆滞的矿石成为可选的，从而成倍地扩大了可利用的矿石资源。在化探指示元素的类别和找矿指标上因地而异，逐步积累了丰富的准确数据，从而建立了化探找矿模型。同时，将找矿信息与参数数字化、图谱化，编制成系统的程序贮存于电脑中。

3.动态工业指标获得更大的效益 1979年，卡林邻区发现的

金坑金矿（Gold Quarry），矿石储量为1.44亿吨，平均品位仅1.519 g/t。80年代初期，在总结该矿各项矿床地质特征与矿床勘探工作的基础上，补充和修改了部分参数，如含矿围岩增添了硅质页岩、碧玉质岩石；将边界品位等技术经济指标也作了相应修改，丰富和完善了卡林型金矿的成矿模式和找矿勘探模型。难怪卡林金矿公司的地质学家在介绍中颇为自豪地声称："现在，寻找卡林型金矿，已不象以前那样是需要承担很大风险的赌博，而成为具有相当把握的以模型（指成矿及找矿）为指导，有目的、有对象和有步骤的找矿了"。

80年代卡林型金矿的另一个进展，是修改了不少技术经济指标。主要是由于选冶技术的提高和采矿方法的改进，特别是可大规模使用机械化的露采，用移动式选厂进行粗选，极大地提高了生产效率，因此，即使在近几年（指1984—1986年）金价不高（浮动在320—380美元/盎司）的情况下，仍可大幅度地降低入选矿石的品位。例如金坑金矿的1.44亿吨矿石中，其中"富矿"约有5100万吨，平均品位只有2.387g/t，余者平均品位仅1.054 g/t。在圈定矿体时，采用浮动的综合指标，例如在金价约为350美元/盎司时，氧化矿石（较原生矿石易选）的边界品位（大体相当于Cut off grade）估计在0.7—0.8g/t（此数字是技术经济秘密，这里系笔者估算的）；若金价上涨到400美元/盎司以上，品位可再下降约0.1g/t；如金价继续上涨，品位仍可略降。现阶段总的经济技术条件下的"极限"，大约在0.4g/t以上。美国、西欧及南非等国采用经济技术浮动指标来确定边界品位的作法，很值得参考。随着这种超贫矿石的利用，美国等技术先进的国家，采用了大型堆浸（Dump Leaching）法。"Dump"一词在采选中的原意是"废石"，这里指的是不能直接送入选厂的超贫矿石。大型堆浸法原先用于处理斑岩铜矿中的贫矿，在美国，首次移植到金矿。由于其规模很大，周期特长，有别于一般

的堆浸法，故意译为“大型堆浸”。如金坑的一个“堆”，长约1.5km，宽500m，厚50m，分五层，每层厚10m，堆浸周期为3—5年。虽然周期长，但基本上不需要破碎加工，其回收率可达70%左右，因而经济效益还是颇为引人注目的。

开拓新类型，新矿带的崛起

70年代中后期，环太平洋带浅成低温热液型金矿床发现，在成矿理论与找矿认识上又取得了重大发展。

本类矿床在过去指的浅成岩浆热液型金矿，帕克（Park）等，在此观点的基础上又提出了远温热液矿床的术语（tele—thermal），藉以解释一些远离火成岩的低温—超低温热液型金矿床。它包括部分汞矿、锑矿和60年代发现的卡林金矿。然而，随着卡林型金矿的深入研究，否定了热液系岩浆源的推断后，有人认为用浅成低温热液（epithermal）金矿这一术语作为其成因类型的名称更为相宜。这里的“浅成”系指成矿部位从近地表到地下浅处，“热液”只是代表某种非确定成因或来源的热水溶液，既可以是直接源自同时代本地区活动岩浆热液或火山热液，而更多的是指非岩浆源的如天水、地下水甚至可包括变质成因的热液和同一地区与围岩（指火成岩）无关的另一火成活动的热液。

70年代中，在智利安第斯山脉中北部的科奎博（Coquimbo）和美国加州北部，分别找到了埃·印第奥（El In dio）和麦克劳林（Mclaughlin）两个现称之为浅成低温热液型的特大型金矿。这两个金矿在基本特征和成因机理上有许多重要特色，引起了地质界的广泛重视。

1.聚宝盆“DSO” 埃·印第奥金矿的证实矿石量为500万吨，金平均品位9.3g/t，约合46.5t金，推断储量为证实储量

的两倍，同时还富含银。矿石平均含银105.4g/t，含铜5%。该矿产于以安山岩和英安岩质火山岩（包括凝灰质岩及次火山岩）为主的围岩中。围岩时代较新，基本上属于白垩纪—第三纪，而成矿作用则主要与更新的花岗闪长质浅成小侵入体（8—12Ma）有关，矿体明显地受区内反曲线环状构造（Cymoid Loop）控制，矿化类型主要分含金石英脉及含金块状硫化物（石英）脉两大类。下列几个特点是很有意义的：

（1）在块状硫化物脉的氧化淋滤带（距地表最深可达80—120m），发现了金和银的次生富集带，平均金品位上升到15g/t，局部大于200g/t；银品位上升幅度更大，平均超过500g/t，而铜的含量则因大量淋滤损失而急剧下降，一般小于0.5%。在富硫化物的金矿床中发现有金和银的次生富集带。这是认识和实践中的重大进展。

（2）在含金石英脉矿化类型的部分地段，出现了特富矿体，自1979年5月至1984年9月，这种富矿石已采出约10万吨，其平均品位为：金240g/t，银86g/t，铜2.11%；1984年10月，保有的富矿石储量还有53300t，其平均品位金为182.9g/t，银133g/t。这部分矿石由于品位特富而毋须选矿，可以直接冶炼，因而称之为“DSO”（Direct shipping ore）直译为“可直接运送（至冶炼厂）的矿石”。在DSO地段有一条特富矿体称“3500号矿脉”，因其平均品位高达3500g/t而得名。在该矿脉的个别块段，曾采到24000g/t的富矿块。开采这类DSO的经济效益特高，为此研究这种特高品位形成的机制，为什么能在环太平洋带出现这类矿床，引起了金矿地质界的浓厚兴趣。包裹体测温表明，3500号矿脉的成矿温度为225℃±，成矿深度为地下水位以下200—800m，均产于与火山机构有关的反曲线环形断裂之中。

（3）热液和成矿物质经研究系多源的，热液既源自（浅成）岩浆热液，又有火山/次火山热液，还有天水的参与，热液中有

大量H_2S：成矿物质有源自岩浆的，也可来自围岩。

（4）成矿作用主要是含矿热液在地下处于“过压”条件下，在上升过程中，特别是在经过断裂系统时突然减压而使热液流体沸腾，沸腾作用多次间歇出现，主要发生反曲线环形断裂系统中而使成矿物质逐渐富集沉淀。在反曲线构造的凸凹转折部有可能形成DSO类的富矿体。

2.发展新类型金矿的重要启示 麦克劳林金矿的发现，是现代成矿理论成功指导找矿实践的又一重要实例。该矿位于旧金山北东112km处，产于平行海岸山脉走向的区域性逆断层的断裂带中及其周围，上下盘皆为强蚀变的侏罗纪—白垩纪碎屑沉积岩及火山岩类。该断裂带控制了两期皆晚于围岩且与成矿有关的中—基性火成活动。早期的火山喷发与侵入活动所派生的热液，使断裂带两侧的沉积围岩蚀变而硬化。持续的区域性应力作用使硬化围岩发生各种断裂，增加了围岩的渗透性，并形成了网脉状及细脉浸染状矿体。在现在的地表上，保留了层状玉髓质的泉华沉淀。两期火山活动皆与金矿化有关。本矿床的主要特点是：

（1）出现金矿化的范围较广，现已为勘探工程控制的平面延长达1500m，矿化深度大于360m；

（2）矿石储量大，现在证实矿石储量2000万吨，而品位较低，平均为4.71g/t，折合金属量为93.7t；

（3）产出部位浅，大部可露采；

（4）金矿物颗粒细微，伴生矿物多系低温热液矿物组合，主要为银、锑及汞矿物。本矿床是霍姆斯塔克矿业公司的总地质师唐纳德（R.Donald）等发现的。他们首先研究了加州海岸山脉一带的区域地质资料，在麦克劳林一带是新时代相对富金的同熔（Syhtectic）岩浆活动区，地表有热泉活动产物和已知的汞、锑、银矿化。化探扫面可圈出微量金的正异常区，具备了浅成低温热液型金矿的成矿地质条件，基于这样的认识，他们下决

心在前人否定了的地区（某些地质学家曾否定本区有金矿化或至少是大规模金矿化的成矿条件），开展了找矿勘探而取得成功。

埃·印第奥、麦克劳林及鹿儿岛（日本）等在70年代中后期发现的特大型浅成低温热液型金矿床的成功实例，使金矿地质界对环太平洋带（包括东部和西部以及内带与外带）的构造—岩浆活动带的金、银、铜等成矿条件给予了极大的重视。

金色的希望又重新升起

1981年，在加拿大苏必利湖附近的前寒武纪地盾区，在国家公路切过交通便利的地方，发现了总储量为7500万吨、平均品位为7.86g/t（590t金）的特大型赫姆洛金矿。这一举足不前的老矿点的重新崛起，是近十几年来金矿勘探史中的又一重要突破。西方有的地质学家认为，发现赫姆洛金矿的重要意义，怎么评价也不过份。他们高兴地说，金色的希望从赫姆洛又升起来了。

1.新认识带来了新的突破

（1）过去在前寒武纪地盾区花岗岩—绿岩带地区寻找金矿，重点是在富镁质的火山岩分布区，尽管在其他岩性如长英质火山岩建造中也曾发现过金矿，如西澳东金田省绿岩带产于中酸性凝灰岩类中的会姆溪（Whim Creek）和米卡沙拉（Meekatharxa）等金矿，其规模皆较小，还没有引起人们足够的重视。然而，主要产于绿岩带变质长英质火山岩建造中的赫姆洛金矿，以及在加拿大地盾区片麻状变质沉积岩区也发现金矿的事实，改变了过去的认识。即绿岩带中的容矿岩石，几乎可包括绿岩带出现的各种已知岩石类型，不论是富或贫镁铁质的火山岩或侵入岩，以及沉积岩，都曾发现过金矿化，不存在容矿岩石的专属性。而已知有利的容矿围岩是镁铁质及长英质火山岩与侵入岩，沉积岩中的磁铁硅质建造(即BIF)。

在某个金矿床内，容矿围岩常以某种特定岩石类型为主，但在不同矿床之间，容矿岩石常有很大差别，甚至在同一矿田内，容矿岩石也可有较大差别。

(2)在区域性范围内，金矿床集中区常沿着穿越上壳岩地层的“线型”带分布。这些带，常有不同的术语名称，如“断裂带”、“生长断层”或“变相带”等。这些带常成为以火山岩为主和以沉积岩为主的地层之间的界线，而且可能是位移的结果。上壳岩的分布通常平行于这些带的走向。金矿化多沿这些线性带断续不均匀分布。

(3) 常见的与金矿化有关的蚀变作用是硅化、绢云母化、镁铁碳酸盐化和硫化物矿化等，其种类与蚀变强度因矿而异。

(4) 金矿化主要产于弱、低至中级（角闪岩相）变质岩相地带，尤其是受应力比较高而又是能量释放的地带，如断裂带的动力变质—退化变质带等。

(5) 一般情况下，在低级变质相矿物共生组合的岩石中，矿化类型以含金石英脉型为主；在较高级别的变质相矿物组合区，则以层状或似层状的浸染状硫化物型金矿化为主。

(6) 金银比值变化大，总的来讲比多数内生岩金矿床高，常从大于1 到5左右。

2.各种成矿理论在比较中扩大了找矿思路

围绕赫姆洛金矿的成因，提出了许多理论。主要有同生及后生两种观点：

(1) 在同生观点中有两种认识：其一，认为系科迪勒拉型矿床中典型的浅成低温热液—深成中温热液矿床，银及贱金属随深度而增加。其二，认为该矿为一太古代花岗质侵入体形成的热液系统，受局部区域应力的控制。

(2) 后生观点中有三种理论：其一，认为系变质的古砂金；其二，是海底喷气成因的矿床；其三，认为主矿体是陆地火山热

泉系统沉淀的，其成矿作用与卡林型金矿类似。

3.寻找盲矿体的有效方法

加拿大前寒武纪地盾区的大部分地表，被大面积厚薄不等的冰碛物、粘土、砂土或其他风化产物所覆盖，基岩出露很差。又由于在金矿化区的金属硫化物（包括硫盐类）及磁性（包括电磁性）矿物的总量往往远低于其他金属矿种。因此在区域找矿中，用常规的航空物探仪器很难发现金矿化。然而，利用邻区已知的地质背景作逻辑推论，以地质方法可先推测出潜在金矿化的可能地区，再以地面物探及化探方法扫面，筛选出找矿勘探的靶区。

改进后的化探、物探手段和技术，对发现赫姆洛金矿发挥了重要作用。在化探中，自70年代后，应用电热（石墨炉）AA检测微量金，特别是超痕量金的分析方法在精度上有了很大提高，可达1ppb，比60年代的原子吸收(AA)的分析精度提高了10—20倍。1980年，DC等离子体和中子活化分析的精度分别可达1ppb及<1ppb，而且分析效率也相应提高。这样就可以用化探方法探测与金矿化有关的低异常晕。

土壤层中的腐植土是重新分析金的对象。因为在某地区占主导地位的树木的种类不同，其富集金的程度和影响当地金背景值的程度也不一样，因此研究不同类型腐植土的含金性，来探测金异常区是很有效的方法。例如，常见的云杉属植物，特别是第三年的嫩枝，对富集金特别有效。冰川冰碛物中，常有不同程度的含金性，冰川作用还对金粒形态和大小有一定规律性的影响，有经验的冰川学家，可通过鉴定冰碛物的类型，估计出搬运的距离和方向，并确定金矿化可能的远景区。

在物探方面，利用磁性填图来圈定岩性单元很有效。具有传导层的地区，先进的电磁测量能揭示出构造断裂、地层走向和褶皱。这两种技术方法，近年来在地面及航测中已被广泛利用。在加拿大地盾区的绿岩带分布区，普遍用磁力仪因普特(IHPUT)

系统或其他电磁系统进行了航空测量，还采用了γ射线摄谱仪。以前，这些物探技术仅用于贱金属块状硫化物等矿床以及Ni、U矿床等。80年代，已用于圈定金矿远景区。在覆盖很深地区，往往将航空磁测和遥感技术结合起来寻找金的成矿环境，另一趋向是更多地应用了激发极化法（IP）技术，特别是随着元件小型化和计算机记录处理数据技术的迅速提高，IP技术在轻便和经济效益上有了显著提高。

构造动态驱动成矿机制研究的深入

对绝大多数岩金矿床而言，构造控矿，尤其是断裂构造控矿，是最主要的因素之一。传统的观念认为，断裂构造在控矿中主要是提供各种流体（包括成矿溶液）运移的通道和成矿物质沉淀富集的空间。应当指出，这只是部分的作用，是很不全面的，基本上属于“静态”观点的范畴。70年代以来，形成了若干新的边缘科学，诸如构造地球化学、构造动力成矿学，以及近代构造岩石学等。使人们开始用“动态”或“运动学”的观点来研究和解释构造运动的全过程，以及元素、特别是成矿元素的活化、迁移、沉淀、富集与构造应力发展演化的关系。新的构造控矿观点认为，在构造活动中出现的应力，能使受力围岩的内应变能发生变化；当应力不断加大时，可使岩石（矿物）内部的组成粒子被激发而活化；在宏观上，当岩石中积聚的弹性应变能一旦超过弹性极限时，岩石即以某种形式的破坏来释放能量，使机械能转换为热能、化学能……。能量释放后，被激发的粒子可回到基态，出现不同形式的物质迁移。总的趋向是，从高能位（动能、位能、热能、化学能等）至低能位地带；导致元素的重新组配与调整，包括成矿物质在构造活动中的活化、转移与富集（或分散），即构造动态驱动成矿的主要机制。例如应用于西澳太古代

绿岩带的变质热液型金矿，它解释了在区域性构造活动—变质作用区，金矿化总的趋向为：从“D”型即动力型（Dynamic）变质区的低中级角闪岩相/高级角闪岩地带，向“S”型，即静力型（Static）变质区绿片岩相/绿纤石—葡萄石相带迁移富集的原理，同时，也解释了在中高级区域变质地区的含金建造分布区中，金矿化一般发生在动力变质退化变质带内，即高应力区内能量释放的低能位断裂构造中的原因。著名地质学家涂光炽教授曾指出：“构造（活动）是完成某些地球化学作用的驱动力，某些地球化学作用要借助于构造条件来完成”。这一论述，高度概括了当代构造地球化学的基本认识，对于研究金矿的构造控矿是非常必要的。

另一方面，有关断裂构造岩演化模型的新理论，极大地冲击了传统的构造岩概念。1977年，施布松（R.H.Sibson）将断裂形成作用分为脆性和塑性变形两种主要形式，提出了断裂结构的双层模式，将剪切断裂带的研究引向新的途径。1980年，瑞姆赛（J.G.Ramsay）主要按剪切带的变形方式与几何形态，分为四类：第一类为地壳浅部形成的脆性剪切带；第二类是次浅部形成的韧性—脆性剪切带；第三类是较深部形成的脆性—韧性剪切带；第四类是发生在地壳深部的韧性剪切带。现在国内外已将金矿成矿作用和定位机理以及矿化类型的研究和剪切带构造活动的类型，紧密地结合起来了。例如在同一金矿田或矿床内，甚至在规模较大的矿体中，含金石英脉类型多产于上述一、二两类剪切带中，而破碎带含金蚀变岩类型多与二、三两类剪切带有关。因此，在不同成因类型的金矿中，在不同的断裂构造带内，或同一构造带的不同部位，皆有可能分别出现不同的矿化类型。新的理论认识，对矿区内外的找矿，尤其在已生产矿山的深部预测，有很大的实践意义。

砂金成矿理论在修正

长期以来，普遍认为砂金是水系上游原生金矿床被机械作用破坏再重新富集的产物。因而发现砂金后，溯源寻找原生金矿，就成为理论上的必然结论。砂金过采区也就失去了重新评价的意义。很显然，这样的认识是片面的，在实践中是有害的。其实国内外已有多处过采区的重新评价，说明了砂金储量或品位可在人们生命的历史中重新扩大与提高。在冲积砂金的中下游，常见复杂形态的砂金颗粒：一般砂金颗粒远大于原生金颗粒以及“狗头金”仅见于砂金等大量事实，证实了金在表生条件下也可以在水体中迁移和再生富集。80年代国内外有的学者还发表过金在表生（包括地下水）条件下迁移和沉淀的研究实验成果。例如苏联的巴拉诺娃（Баранова Н.Н., 1981）发表了在25°C、1个大气压下于Au—Cl—S—Na—H_2O系统中，不同形式金的稳定性图解。当Eh变小或溶液的酸碱度发生变化，不同形式的金络合物将被还原形成金的沉淀。

金在表生条件下以不同形式的络合物、胶体、悬浮质点及机械碎屑等多种形式迁移和沉淀的过程，反映了金在表生地球化学循环中的行为，它不仅具有重要的理论意义，而且还与砂金的找矿勘探有密切联系：

（1）机械风化、搬运与沉积作用无疑是砂金形成的重要方式与主要途径之一，但真正具有工业意义的巨大砂金矿床（包括沉积变质型的砾岩型金矿）的形成，绝非单纯的机械外力作用所能概括。在表生条件下，金可以呈含金络合物以及胶体溶液迁移概念的建立，不仅丰富、完善了砂金成矿理论，同时还可正确解释一些硫化物型原生金矿床在氧化淋滤带形成次生富集带的原理；说明不仅在碎屑岩中，而且粘土岩和化学岩的同生沉积也可以含

金，以及在表生改造作用中富集金的机理，补充了砂金矿床具有层控特征的原因。

（2）砂金既可在表生条件下再生富集，因而必须重视砂金过采区的重新评价，并且在出现砂金的地区，不能简单地用传统的观念和方法寻找原生金矿。在砂金的找矿中，现在常用地球化学找矿方法，特别是用水化学找矿，利用水系的金异常作用为寻找砂金（也包括原生金）的直接标志，还有用不同的手段（如巯基棉）在水样中富集金，可提高超痕量金的检测下限。

总之，近十余年来，特别是近五、六年来，国外在金矿地质与勘探方面，取得了很大成就，虽然国内在现代金矿理论研究和利用新技术方法进行找矿勘探起步较晚，基础较差，但在同期内也有了大幅度的提高。为了尽快地发展黄金事业，赶上国际水平，必须进一步加强黄金地质研究工作。在找矿勘探中真正起到理论指导实践的作用。

选自《地质与勘探》第一期（1987）

南非维特瓦特斯兰德金矿床的地质与勘探准则

一、历史与生产情况

自1886年以来，该区已经发现了6个较大的金矿田和几个比较小的矿区。到目前为止，已生产了三万吨黄金，矿石品位在7—20g/t之间，平均10g/t。这个数字占有史以来金总产量的1/3

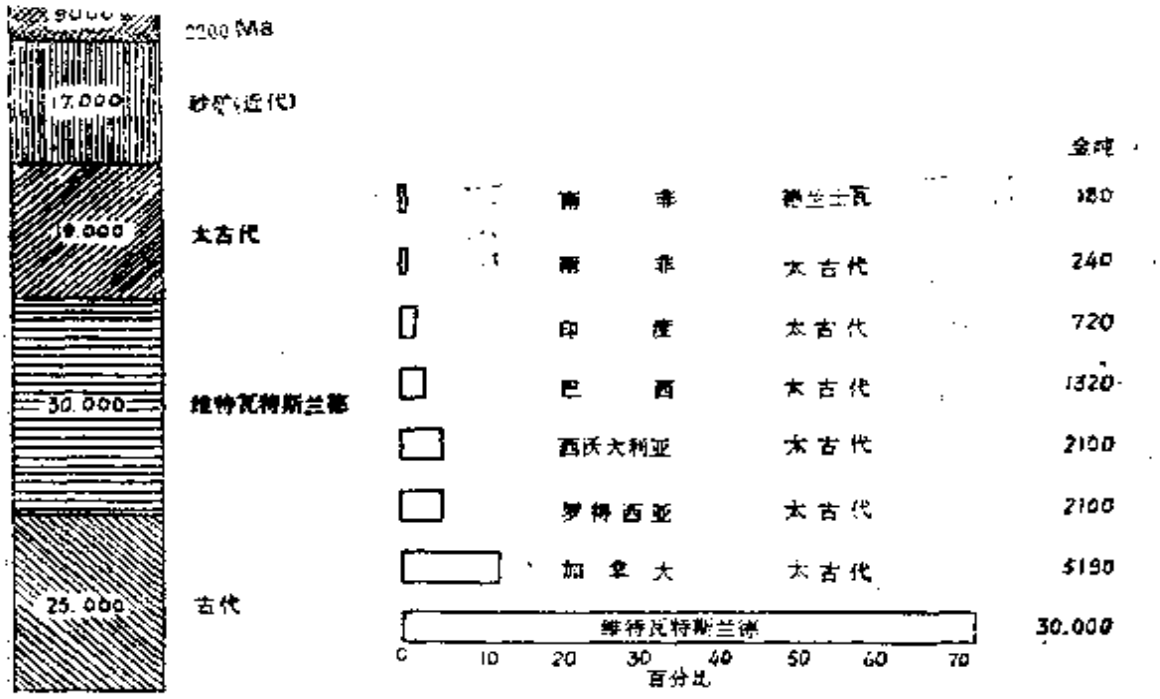


图1 世界黄金的来源，维特瓦特斯兰德的优势

（图1），约占前寒武系中金总产量的70%，开采最大深度已达到地面以下3600m，在某些地段的个别层位中，沿走向已连续采了70km，沿倾斜采了8km。从开始生产以来，总共先后约有150个矿山进行过生产。南非目前仍然是世界上主要产金国。毫无疑问，它过去是、现在还是世界上最重要的黄金来源地。即使找到一个只有这个规模1/20的一个矿床，也是一个很大的成就。

现已知在加拿大、巴西和澳大利亚，都有类似的地质环境。虽然加拿大的金矿床也产铀，但是，到目前为止，还没有一个国家能生产出象南非如此大量的黄金。南非的金矿床也是重要的铀矿产地，到目前已生产了约8万吨U_3O_8，平均品位280ppm。随着采矿越来越深，并且向外进一步扩展到了冲积扇，铀的品位也在提高，这些矿床将成为铀矿产地。

二、地质与矿化作用

从27.5亿年到25亿年前，维特瓦特斯兰德盆地充填了将近14000m厚的沉积物和火山岩。该盆地是一个闭合盆地，其大小至少有7万km^2。盆地的北边和西边受活动断层系的控制，东南边不太活动（图2、3、4）。在盆地的任何地方，组成维特瓦特斯兰德地层的各个段，出露都不完整。由于沉积超覆或侵蚀作用，有时缺失一个群，有的只缺失一个群的一部分，有时缺好几个群。在13900m厚的地层柱中，有5100m砂质岩石、1690m富含粘土的沉积物和6110m火山产物。砂岩与页岩的比是1.9，火山岩与沉积岩的比是0.8。细粒沉积物在总的百分比中占的比例低，这表明沉积作用是在高能环境下产生的。

盆地的底面形状影响着沉积作用。金矿田位于太古代花岗质穹窟之间的下陷部分，呈现出河积扇或者扇形三角洲的形状。盆地边缘沉积物来源区多次隆起，使得靠近那里的沉积物重复沉积，造成金和铀的工业富集发育。每个河积扇都沉积在小河流和内陆海之间的交汇处。目前所发现的河积扇之间隔，在50km至150km之间。扇的长度可达40km，宽20—90km，由许多网状河流组成。两个最大的河床或网状河分别为1000m宽、35m深和750m宽、85m深，在矿山坑道内，沿倾斜向下延深8km。一般的河流为1.5m深、150m宽。河积扇中较粗的沉积物靠近盆地的

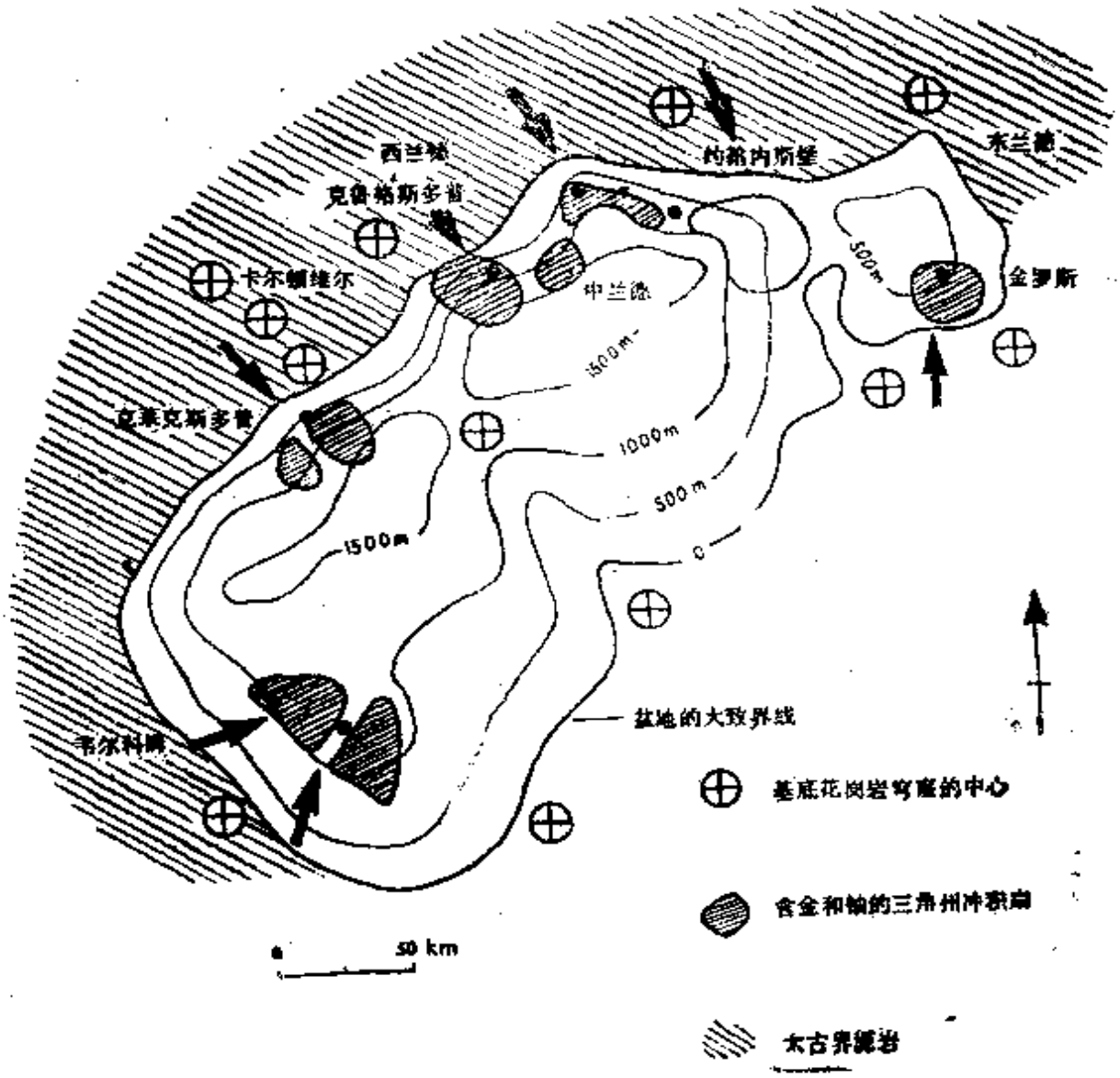


图2 维特瓦特斯兰德盆地示意图

表示盆地深度、主要入口点、扇形三角洲及基底花岗岩穹窿的中心

边缘，并且是网状河的特点。网状河之间是发育很好的砾石沙滩和细砂石。砾石由岩石纯净、分选很好的粗屑岩石为主组成。卵石平均大小为22mm，有滚圆的脉石英、少量石英岩、次圆形燧石、石英斑岩、变质岩和硅化页岩碎块。砂质部分主要是石英，也有一些碎屑岩，与上述卵石成分相同，还有少量长石和镁铁矿

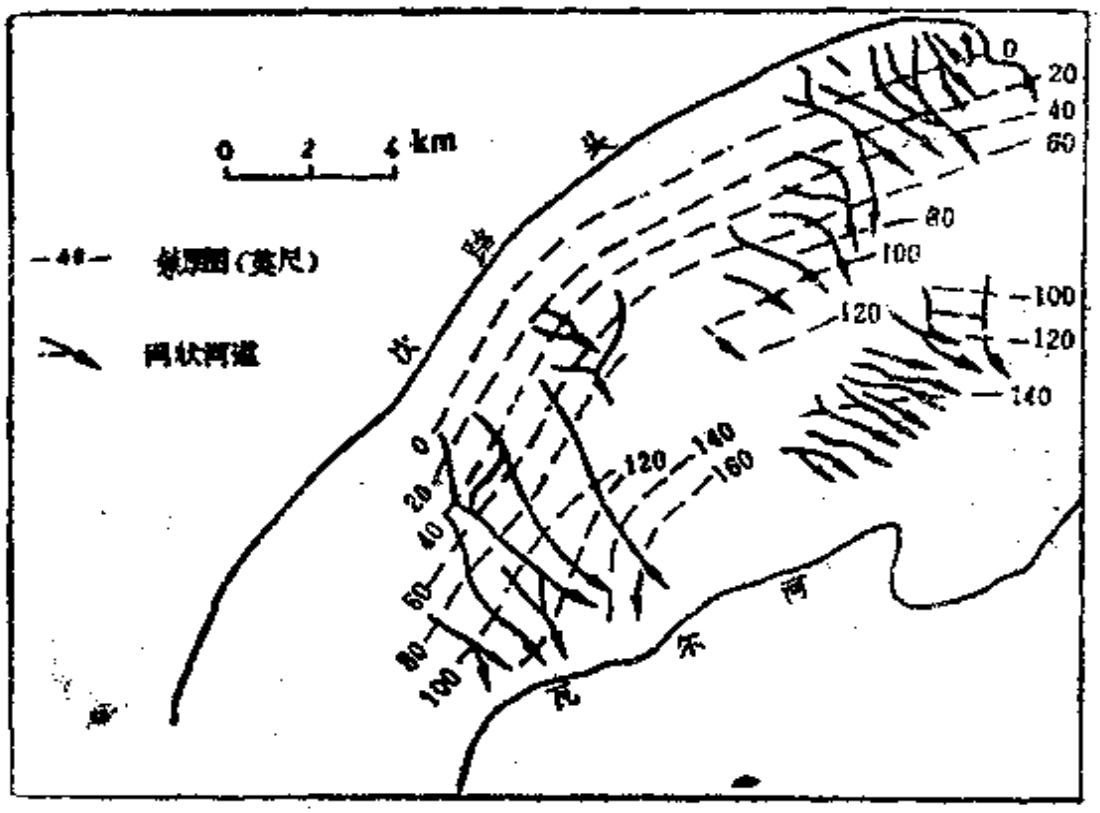


图3　克莱克斯多普金矿区

表示横截顶底盘等厚线图和叠复的瓦尔矿脉的网状河道

物。再往外，在离盆地边缘的河积扇中，砾岩较少，其砾石大小平均为 6 mm，而砂质沉积物较多，铀的含量通常要增高很多。

每个河积扇都是多沉积旋回组成，开始阶段较粗，向上变细，有时细到粉砂和粘土级。每个扇的外围都由发育程度低的岩石包围着，这些岩石限定了砂矿层的上下接触面。

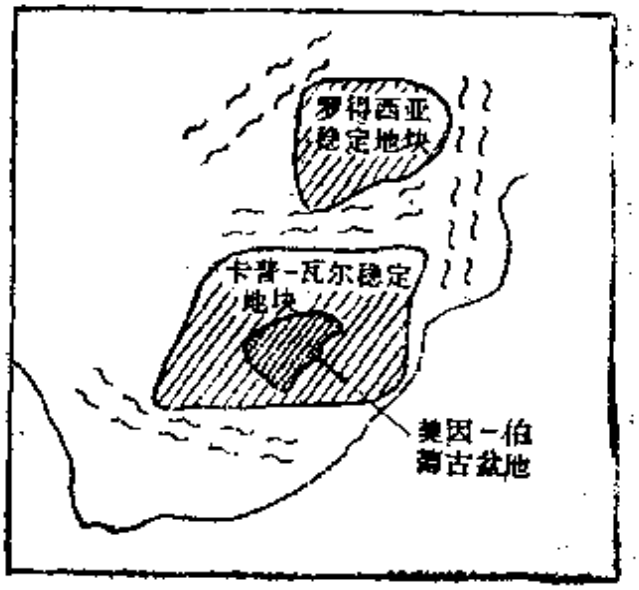


图4　主要平面图

三、金的详细分布情况

大部分金都富集在每个沉积旋回的底部或者靠近底部。金主要产在五个部位，而且分布非常不规则：

（1）产在砾石的胶结物里。

（2）在小侵蚀沟里与黄铁矿砂伴生。

（3）产在不同沉积旋回之间砂层中小的不整合面上。

（4）产在泥层上小的不整合面上。

（5）产在几毫米到6cm厚的炭质层中不整合面上，在这代表藻类化石层的炭质层里，金的品位可高达5000—6000ppm。

许多含金层在底部接触面上显著富集，富集程度不一，如图5所示。这个假定的底部富集可能代表着一个旋回末期的风蚀作用，而不是重力富集。大部分金呈自然金，仅有少量赋存在硫化物里。铀以沥青铀矿和碳铀钍矿产出。金粒大小介于0.5—0.005mm之间，平均为0.03mm，比典型的近代砂金矿床颗粒小得多。随着开采深度的加深并向外扩展到河积扇中，藻层金变得越来越重要。但是靠近盆地边缘地段，金品位还是有变高的趋势。现在藻层（或者炭层）提供了金产量的40%左右，到2000年，可能提高到80%。赋存在砾石里的金和铀占很大比例，而该砾石在整个沉积层总厚度中只占8%。仅有一小部分砾石（约2%）在经济上有开采价值，而可采砾岩的总厚度在地层柱中还不到0.2%。

四、勘　　探

1.勘探准则与勘探方法

（1）选择中粒到粗粒、冲刷强烈的砂层，其中槽交错层要比面交错层突出。

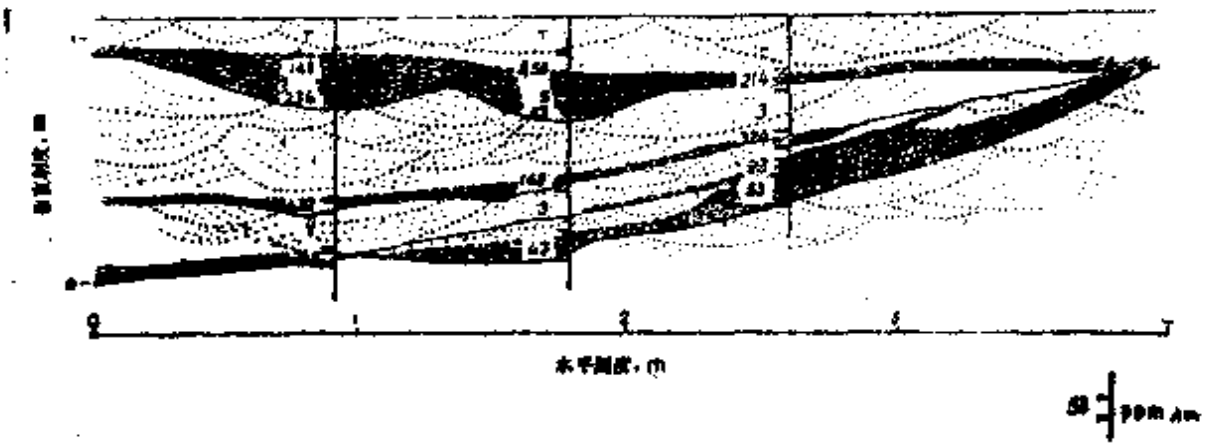


图5　金的分布实例

靠近盆地边缘的砂矿河道，表示金重叠冲刷地面、残留卵石和互层的槽交错层石英粗屑岩中的分布情况。注意，较好的金富集在砾石层中，而不一定在底部。

(2) 在局部不整合面上，寻找具有结核状黄铁矿和沥青铀矿的发育成熟的沉积物。砂矿层可能有0.1—4m厚。

(3) 检查并测量古水流的方向。

(4) 靠近盆地边缘地段，粗粒砾岩比较普遍，而且层理大致是水平的。对由卵石为主组成的砾岩和有卵石遗迹标志的冲刷面，要有选择地进行采样。

(5) 在盆地边缘地段，小卵石砾岩或散布在砂岩中的单个卵石层，可能是砂矿底板的标志。黄铁矿结核可能很少，而且颗粒很细。对冲刷面和炭质层，应该有选择的采样。

(6) 要进行大面积详细填图，以确定砂矿的分布，填图比例尺一般最小为1:25000，以确定要勘探的岩石的分布情况。在某些地区，可能需要更详细的填图。

(7) 填图时，应带手提式闪烁仪，这可能有助于快速圈定预期的层位。

(8) 应当进行详细的刻槽采样。样槽长度根据岩石类型确定。采样应特别注意不整合面，如果有炭质层也应注意。根据填

图结果，详细追索的采样线间距，可考虑采用150m，开始时可间隔1—10km。

(9) 在南非，只在部分地区应用过物探方法。磁法曾在维特瓦特斯兰德盆地下部用于追索具磁性的页岩层。在韦尔科姆地区，不含矿的熔岩局部盖在要勘探的岩石之上，其厚度是用重力法确定的。因此，一般说来，物探在这里用处不大。

2.以前的钻探与评价工作

在南非的一个大问题，就是没有一个明确的规程可以遵循。因为金的分布很不规则，在上侧向品位很少延续到1米以上。在目前的经济条件下，在必须打昂贵的竖井的地方，如果没有30个以上的地段钻过含金层时，就无法做出开采的妥当决定。例如，在西兰德，在30×8km的范围内，打了400个钻孔，才做出开采的决定。然而，在另外一个地区，只需要打150个钻孔就够了。还有一种情况，只在十五处穿过了含金层，但这个矿山未能开采。

最重要的是，每一段岩心都要由沉积学家做出记录。这可提供最重要的资料。所有岩心都应劈成两半，以1m间距进行分析。每一个沉积间断，即小的不整合面或冲刷面，都要在间断的每一侧（包括间断在内）采一个样，分别进行分析。所有岩心都要进行火法分析。岩心回收率要高于95%。如果岩心有损耗，则对钻探泥样应进行系统地采样，分析金。金刚石钻孔打完后，应用伽玛（γ）仪测井，以便进行对比。

五、结束语

勘探这一类矿床是不容易的。花钱可能很多，但是，统计资料表明，得的报酬也可能是很好的。

隋忠敬译　李静仁校

选自《国外黄金矿床译文集》（1985）

卡林漫染型金矿床的勘探

A.S.拉德特克 F.W.迪肯森

美国内华达州卡林金矿床于60年代发现之后，又在区域内相继找到了好几个类似的金矿床(图1)。

一、卡林型金矿床的一般地质特征

1.主岩　岩性控制似乎是卡林型矿化富集的决定因素。角砾岩化、薄层状粉砂质、白云质灰岩或灰质页岩是有利的含矿岩系。

2.侵入岩　金几乎总是与酸性至中性火成岩体有着空间上的关系，而且还可能有成因关系。

3.断层　这类矿床大部分都伴随着一系列高角度断层。这些断层被认为是重要矿化场地的准备因素和含矿溶液的通道。对区域性构造的重要性还不清楚，但在有些地区可能是重要的。

4.金　呈次微米至微米大小的颗粒。在氧化矿石内，呈自然金状态，而在未氧化的矿石内，有的包在黄铁矿颗粒的外面，与黄铁矿呈固溶体，有的与碳质物质结合在一起。还有几种情况，它的赋存形式尚不清楚。

5.痕量元素　金的矿化作用几乎总是与砷、锑、汞的强异常（可能包括钨、碲、硒）有相关关系。

6.硫化物　最常见的有黄铁矿、雄黄、雌黄、辉锑矿和辰砂，还有少量铜、铅、锌和钼的硫化物。后面这些贱金属与金、砷、锑、汞、钨、碲、硒等元素没有明显的统计关系和地质关

系。

7.金与银的比值　在这些矿床中金与银的比率很典型，介于10—30之间，甚至更高，成为单一的金矿。

8.重晶石　重晶石在这些矿床中相当普遍，尤其是在卡林。但也不是到处都有重晶石，而且与金的矿化阶段无关系。

9.颗粒大小　除了辉锑矿、雌黄和雄黄外，所有热液矿物的粒度都很细。

10.硅化—白云石化　该类型的成矿主岩，几乎都有硅化和白云石化的蚀变现象。

11.石英脉　相对来说石英脉很稀少，在出现石英脉的地方与含金高的地段并无空间关系。

12.钾化　热液的粘土蚀变作用（泥化）是典型的钾质蚀变。时常有大面积受到强烈高岭石化和绢云母化的地区。

13.“丰富的碳质”几乎所有研究过的矿床中都包含有深色岩地段，其中具有非常丰富的有机碳质和碳氢化合物。关于它们的成因目前了解得还很差，有人认为它们是受了热液活化的结果。它们与金的高品位带可能有空间的相关关系，有的也可能没有关系。

14.活性碳　在低温下沉淀的，并且不含吸附的碳氢化合物和稳定的碳氢化合物的多孔状非晶质碳，被认为是活性碳，它在热水溶液中捕获金的过程中，可能曾起过重要作用。

15.品位和规模　典型浸染型金矿床的矿石储量都小于1400万吨，而工业生产能够达到300万吨就是好的。金的平均矿石品位一般都小于15ppm，甚至还可以低到2—3ppm。

16.矿化条件　矿石沉淀可能发生在以低温、低压参数为特征的温泉环境，以及在大约最高可达225℃和30巴的浅成热液条件之间。含矿溶液大概接近于中性到弱碱性，金以硫化物的络合物形式迁移。成矿组份虽然有一些来源于岩浆，但大部分可能是

从下伏岩系中淋滤出来（根据未发表的美国地质调查所的同位素数据和容积计算）。认为含硅、铝、钾、钡、铁、砷、锑、汞、钨、碲、硒、金和还原形式硫的含矿溶液，是沿着与火山有关的构造作用所产生的高角度裂隙，上升到近地表环境，把矿石物质沉淀在碳酸盐和岩石内具有渗透性的层位中，矿石的沉淀是在降温、降压条件下与围岩发生交换反应，而且是在矿液沸腾时上升

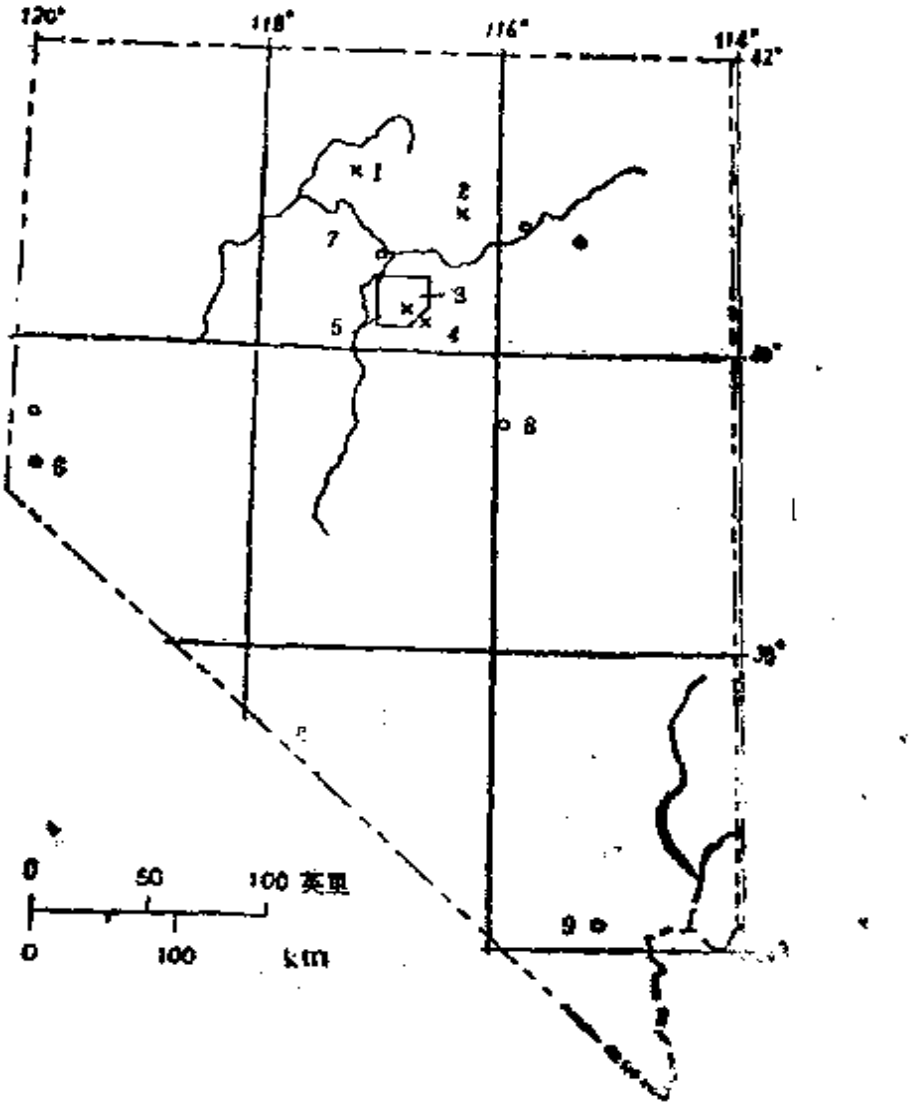


图1　卡林型浸染状金矿床——金地、科特兹、格特切尔金矿床
1—格特切尔；2—卡林；3—金地；4—科特兹；5—图4范围；6—卡林城；7—亨博尔特河；8—尤里卡；9—拉斯维加斯

到地表形成温泉条件下发生的。在沸腾期间产生的H_2O-H_2S蒸气转换成富H_2SO_4的水，随后它又在沸腾的水－气界面以上，从地层中淋滤出白云石和方解石。晚期的重晶石脉、方解石脉和稀散而细小的石英脉是在这个阶段形成的。最后，含氧大气水破坏了硫化物矿物和炭质，把金释放到氧化带中。

二、卡林型金矿床实例（图1）

1.美国科特兹（图2）

生产 在1960－1975年间开采，目前未生产。

规模 最初矿石储量为320t，平均品位9.6ppm金。

主岩 为志留系罗伯茨山组和泥盆系文班组的灰黑色含炭粉砂质灰岩，常含有自生的黄铁矿、微量石英、钾长石和白云母等矿物。

侵入岩 有几个被认为是石英斑岩的渐新统流纹岩脉，一个白垩纪受了蚀变的正长岩小岩颈和一个侏罗纪黑云母石英二长大岩株（米耳峡谷）。

构造 晚泥盆世或早密西西比世（早石炭世）的罗伯茨山逆断层，位于现有矿坑之上500－750m，它在矿区内还产生了同向逆断层，在这些断层之间伴随有挤压现象。上新世的断块型新月断层在矿山西北部把矿体切掉，科特兹正断层把科特兹构造窗分成两半，西侧下落1000－1300m。

蚀变 热液蚀变作用产生了泥化、硅化、脱钙化、白云石化和炭质重新活化。黄铁矿的表生蚀变作用产生了氧化铁。

痕量元素 砷、锑、汞、钨和分布不规则的银。

金 在氧化矿石中呈浸染状自然金，颗粒大小为次微米至数微米。在未氧化矿石中还不清楚，推测与黄铁矿共生。

2.金地（图3）

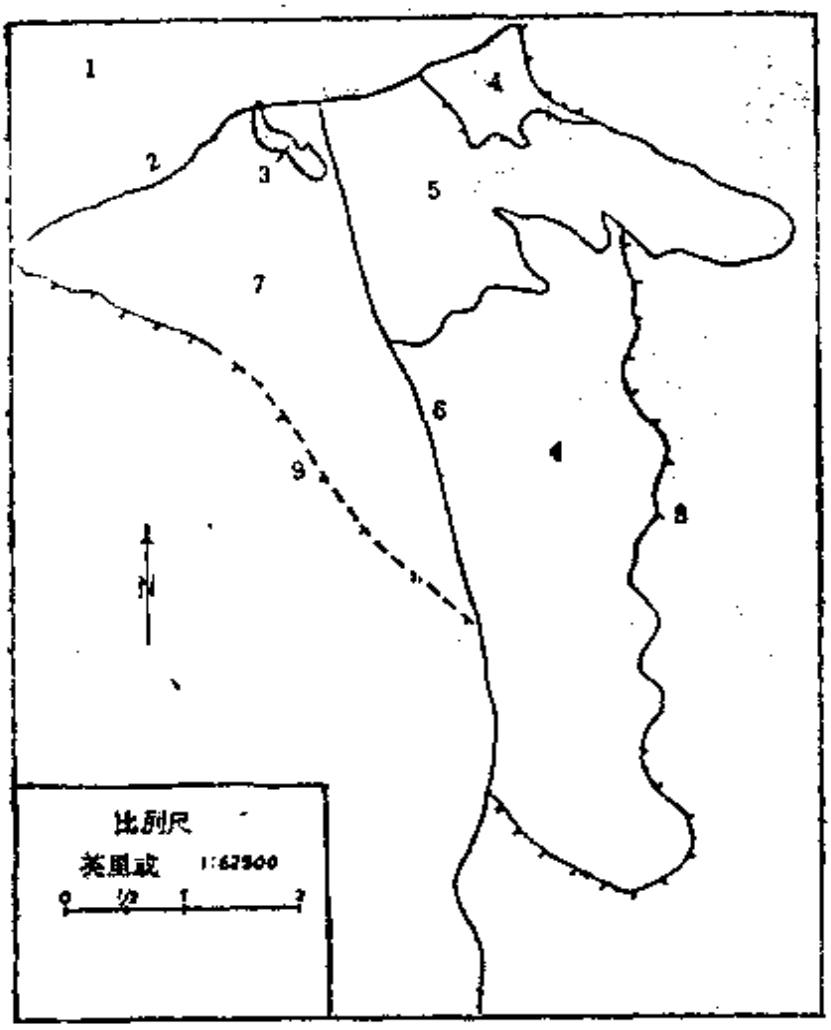


图2　内华达州科特兹地区地质图

1—新月谷；2—新月断层；3—科特兹矿；4—沉积岩；5—米尔·坎贡恩岩株；6—科特兹断层；7—沉积岩和砾岩；8—罗伯茨逆断层

生产　每年生产725万吨含3.5ppm金的矿石，运至科特兹厂。

规模　不清楚。

主岩　罗伯茨山逆断层上盘的角砾化沉积岩和变质沉积岩。

侵入岩　有一个年龄为99Ma的花岗岩位于矿床之下，还有几个可能与花岗岩有关的石英斑岩岩脉出露于矿区内。

痕量元素　在受了矿化的断层带和碳酸盐岩内有砷、硼、钨、汞；在弱矿化岩石内有锑、砷、铍、镉、铅、锌、银；在角页岩、

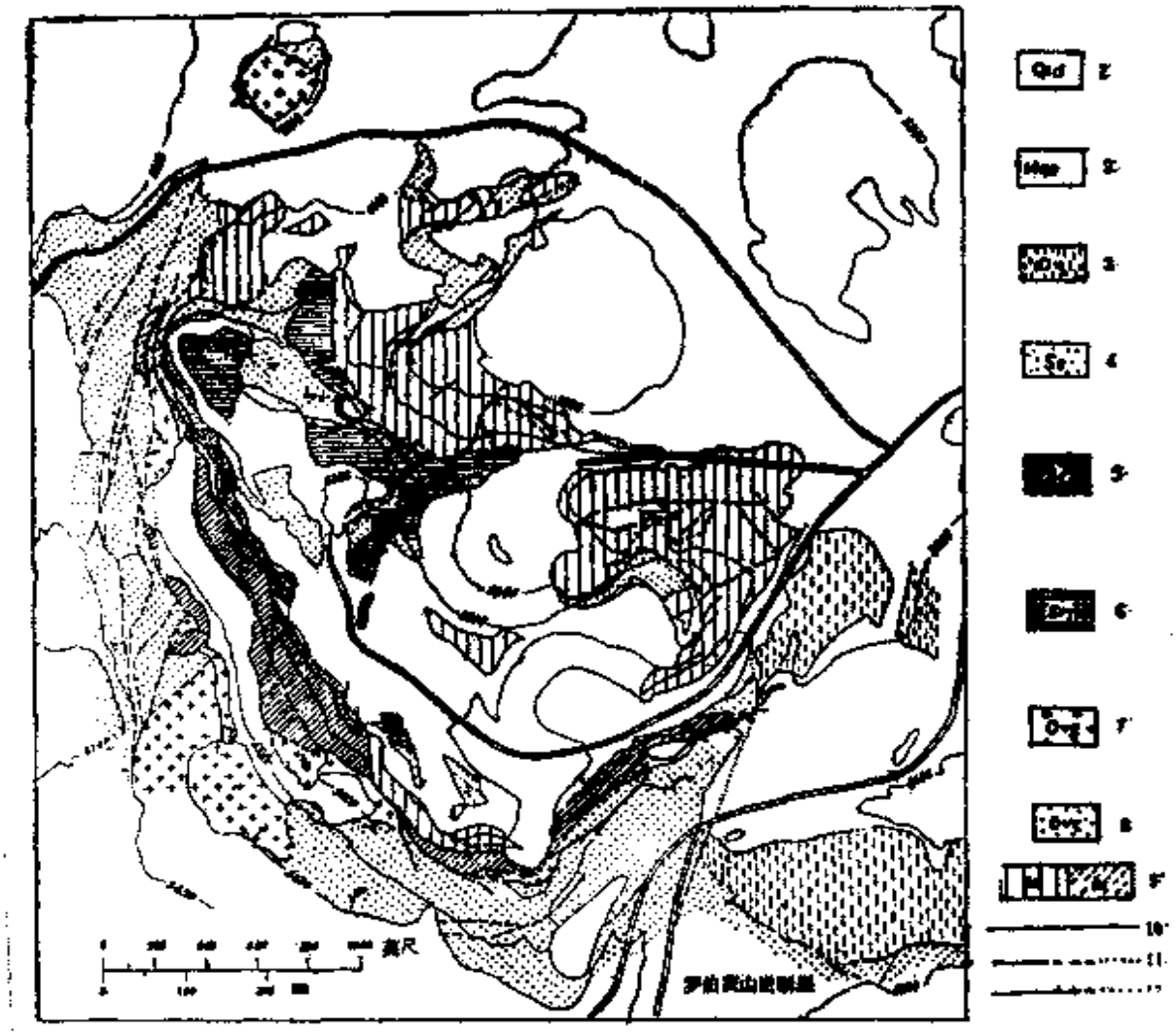


图3　　金地金矿区地质图

1—第四系山麓堆积和冲积层；2—白垩系绢云母化石英斑岩；3—泥盆系文伯灰岩（富炭的灰岩）；4—志留系埃尔德砂岩（薄层状砂岩和燧石）；5—志留系罗伯茨山建造（薄层状含笔石、富炭的灰岩）；6—志留系罗伯茨山建造（薄层状粉砂质灰岩）；7—奥陶系高岭土化绿岩；8—奥陶系部分高岭土化、燧石泥板岩和石英岩；9—奥陶和泥盆系混合岩；IC—文伯灰岩（夹有奥陶纪燧石和泥板岩；ht—角页岩和接触岩（可能是IC的变质部分）；10—接触带；11—断层（估计部分为断线，隐伏部分为点线）；12—逆断层（齿状为上盘，估计部分为断线，隐伏部分为点线）

接触岩和变绿岩内见有铜、砷、铋、镉、锰、锌。在矿区内，金与砷、硼和汞具有最密切的关系。

金 在氧化矿石内，浸染状自然金的颗粒大小为次微米至微米。

3.格特切尔（图4）

生产 从1938—1967年，由平均含9.29ppm金的矿石中回收了13.59t金。

储量 未发表。

主岩 大部分矿化作用产生在寒武纪普雷勃尔组内，含有炭质页岩的薄层（2—4cm）砂质灰岩夹层，伴生有矽卡岩矿床。

侵入岩 见有90Ma的奥斯戈尔德花岗闪长岩岩株。

构造 由一系列高角度断层和与之平行的维勒奇断层组的格特切尔断层系，是主要矿化富集构造。与这些断层邻近的等斜褶皱为矿石沉积造成了较厚的、渗透性较好的有利地带。

蚀变 最重要的是排出碳酸盐而沉淀下石英、纯的炭质、绢云母和粘土。常见有白铁矿、方解石、重晶石、萤石和磁铁矿。

痕量元素 砷、锑、汞有相当的富集，而轻微的铜、铅、锌、钼、钴、铬、镍、钒异常，则被认为是在矿层内再活化的结果。

金 微米至次微米大小的金粒和炭质相伴生，有的产在硫化物颗粒内，有的赋存在石英和粘土中或在其间形成长可达1mm的扁豆状颗粒。

4.卡林矿床

生产 每天生产平均含金9.6ppm的矿石1650t左右。

规模 最低矿石储量1000万吨，金平均品位9.6ppm。

主岩 迄今为止，大部分矿石都采自志留系和早泥盆系罗伯茨山组的上部265m。在薄层状、粉砂质、白云质、炭质灰岩的

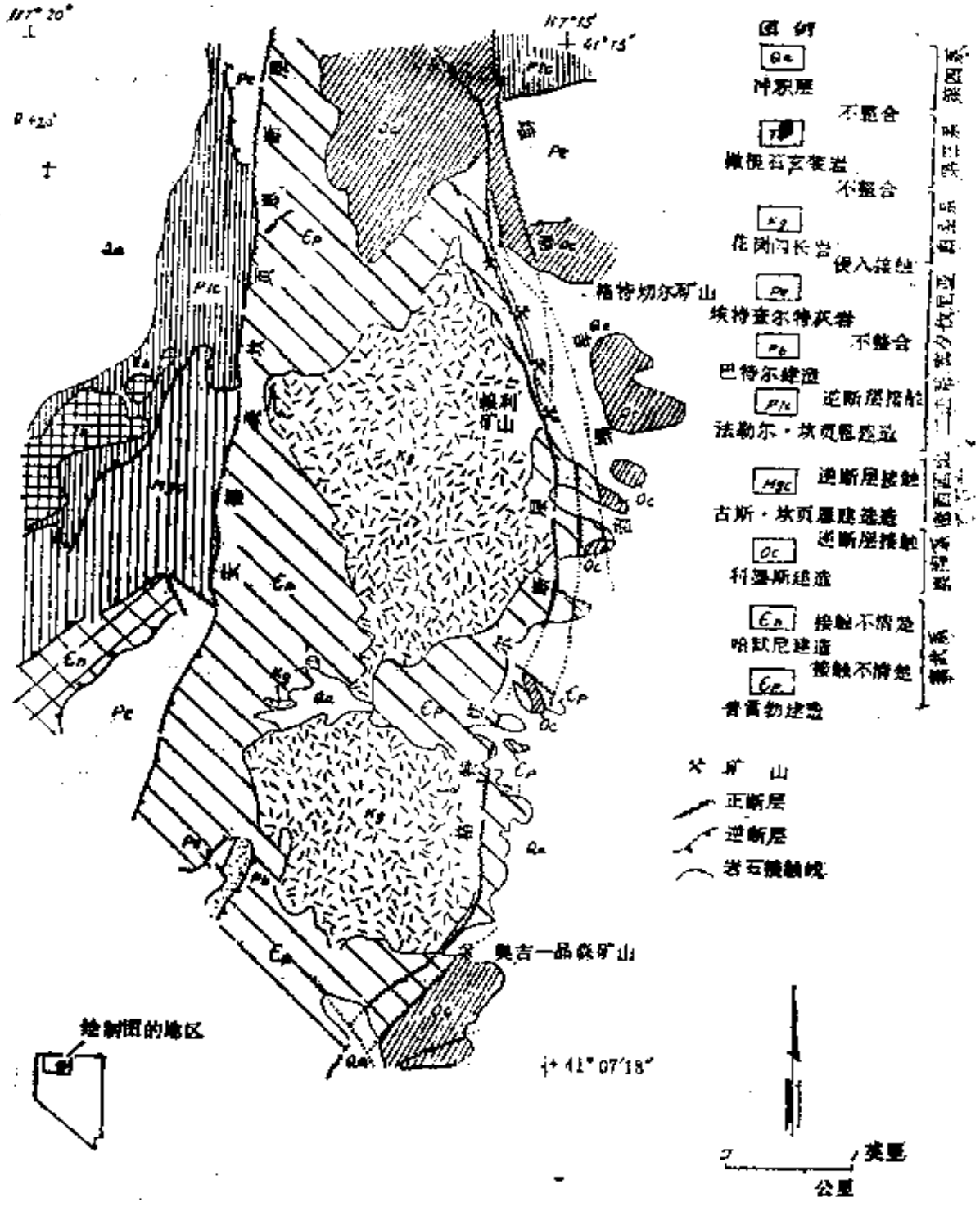


图4　内华达州格特切尔地区地质图

上覆泥盆系波波维奇组粉砂质岩层内和断层上盘维尼尼组的页岩层内含有少量矿石。

侵入岩 陡倾斜花岗闪长岩岩脉沿矿坑内北西断层系产出，在矿区北面5km左右有一个石英闪长岩侵入体。

构造 本矿位于一个向北西倾伏的大背斜脊部附近，罗伯茨山逆断层的林恩构造窗中。高角度断层和砾岩带可能是矿石沉淀的通道和控矿构造，它们以早期东西向断层组、较晚的北至北西向组和其后的北东向组断层为代表。

蚀变 最主要的有去白云石化、绢云母化、高岭石化、硅化、钙化和炭质的重新分配（“炭质充斥”）。

痕量元素 把金作为变量，痕量元素异常可分成三组：汞－砷－锑高的相关组；碲－硒－钨－硼低的相关组；铜－铅－锌－钼－钡负相关组。

金 未氧化矿石：①沿非晶质炭粒边缘呈分散颗粒；②在其它类型中有机化合物呈分布相当均匀的颗粒；③与砷、锑、汞一起包在黄铁矿外面；④呈稀少的次微米大小的自然金颗粒产出。氧化矿石：自然金呈次微米至微米大小的颗粒。

三、卡林型矿床的成因模式

卡林型矿床被认为是构造作用、火山作用和受岩浆源加热的大气水联合作用的产物。在内华达州，矿床可能形成于中新世或更新世的时代，与地壳的拉伸、扩张、块状断裂、火山作用和地热活动的高热流等有关的一些作用相应而形成。现在还没有明显的理由说明，为什么类似的作用不能在世界其它地方，在不同地质年代里产生同类矿床。

认为与成矿作用有关的第一件事，就是伴随有角砾岩化的高

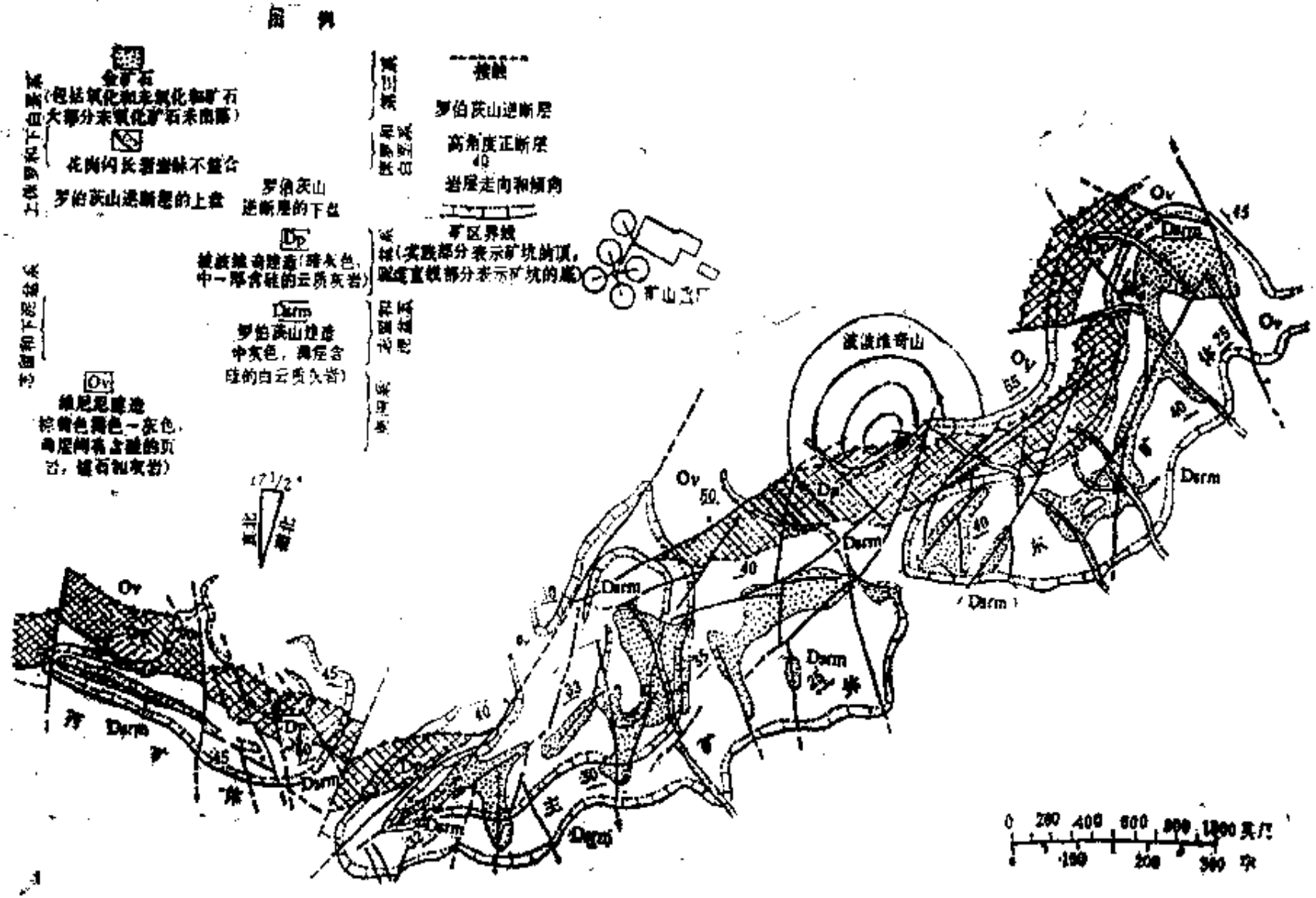


图5　内华达州卡林金矿床地质图

角度正断层。这种构造作用可能是由初期的火成活动引起的，不仅在构造上准备好了围岩，而且也将它们带入到潜在的、有利的地层位置。成矿前岩脉通常沿着高角度断层产出。此类型矿化最有利的位置是在薄层粉砂质白云质灰岩或灰质页岩内。早期热液蚀变通常从这些层位内溶解出方解石和少量白云石，同时沿着断层通道和角砾岩带沉淀下硅质、高岭石、黄铁矿和少量绢云母。越来越多的同位素证据表明，这一阶段和下一阶段的热水溶液，在成因上大部分或全部是大气水，由于在最后一幕中进行的火成活动的影响，使之受热、浸染和迁移。

经最初的蚀变作用之后，跟着而来的是主要矿化阶段，引进金并伴随有典型的砷、锑、汞组合，也可能还包括有硒、碲或钨。金往往与相伴随的痕量元素可能与汞一起形成有机络合物。许多这类金矿床中常见的似碧玉岩可能就是在这个阶段沿着矿化地区的边缘形成，有一些地方，在主要元素组合导入之后，通常有一个砷、锑、汞硫化物的矿化阶段，之后有一个一般说来不太重要的贱金属硫化物组合，也可能略有超覆。

含矿溶液看来是最近于中性到弱碱性的溶液，它把矿质沉淀在深度不大的温泉的发源地，其温度约为200°C，压力25巴左右。新西兰怀里基地区记载的金沉淀和伴随的蚀变作用，可能是这种现象的现代实例。

当热水溶液接近地表时就开始沸腾，于是产生一种对流的温泉环境。沸腾起到排除H_2O-H_2S蒸气的作用，产出了富含H_2SO_2的溶液，它又下降从沉积岩中淋滤出碳酸盐，再把它们重新沉淀为晚期的细脉。这些淋滤溶液中的硫酸盐也和钡结合形成重晶石脉。

最后，表生蚀变作用破坏了硫化物和炭质，从而释放出许多金并把它重新分配。

四、卡林型金矿床的勘探

寻找卡林型金矿床最有效的勘探方法，是在地质上选定有远景的地区，应用痕量元素地球化学法。与该类矿化作用伴生的高度挥发性的痕量元素组合，有助于鉴别隐伏矿床的“晕”。隐伏矿床最有价值的指示元素是砷、锑、硒、碲、汞、钨和金。

1.地区的选择

根据上述卡林型金矿的成因模式，初期勘探最有利地区的地质环境是尽可能具备有以下特征：

(1)在接近地表处，具有倾斜平缓、薄层粉砂质、白云质、炭质灰岩或灰质页岩；

(2)有中性到酸性岩浆活动的证据，无论是侵入的、火山的、喷泉或者单纯地出现有热液蚀变；

(3)高角度断裂作用；

(4)区域范围内见有其它热液矿化产地；

(5)见有方解石、白云石或重晶石脉；

(6)碧玉建造的硅化地区；

(7)区域规模的构造。

区域地球化学 为了圈定靶区加强勘探而进行的初期地球化学测量，区域河流沉淀物的地球化学和原生晕地球化学是两种最好的方法。虽然后一种方法常常受到露头的限制等缺点，但还是应该优先考虑的方法。由于痕量元素的挥发性，常有较大的蚀变晕与这些矿床伴生。在水系沉积物的调查中，岩石地球化学取样的优点是：由于取样的均匀性比较好，很容易确定局部克拉克值；分析结果可给予地质解释；影响分析的非地质污染的危险少得多。金的颗粒很细，在正常情况下这就排除了任何有重要砂金伴随的可能，而且这些矿床规模比较小，这就使它们在河成矿中只占一

小部分。但是，通过区域性水系沉积物调查，还是发现了卡林型的矿化。还有一个优点是取样可以不用有技术的人去做。

总之，究竟哪一种地球化学取样的方法最有用，这取决于该区的地形、侵蚀程度、水域型式、可通行程度、污染的可能来源、露头多少以及可以使用的人员等等。

2.靶区的评价

通过上述方法一旦发现了异常，首先应由地质人员进行检查，以确定异常的来源。下面是一个假想的例子，说明在河系沉积物调查中发现了异常带后，应怎样进一步进行研究。

譬如说，在一个具备有利主岩，并伴生有断层和少量泥化和硅化作用的地区内，通过水系调查，已测定出一个0.5k m 长的砷、锑、硒异常。第一步先进行地质填图，并对所有可利用的各种岩性的露头进行岩性地球化学取样，分析金、砷、锑、汞、钨、硒和碲等元素。若露头稀少，可用土壤取样代替，如果见有象雄黄和雌黄等明显的矿化现象，则可进行槽探。把这类工作的结果与可能存在的矿体大小、环境问题等结合起来考虑，就可以决定下一步是否打钻。如果钻探有希望，则可促使人们进行正常的矿山开发工作。

胡品美译　李静仁校

选自《国外黄金矿床译文集》（1985）

太古界中黄金勘探的模式

W.O.卡维楠

在过去66年中，波丘潘曾经是一个主要的产金矿区。这个地区曾有二十多个矿山生产，现在只剩下4个矿山在生产。所有这些矿山都是在1909年到1935年期间发现并开发。在过去40年里，没有发现新的大矿床。结果，在矿业界总的印象是这个地区已经勘探得很清楚，而且矿几乎完了。但是，应该看到，过去所有关于矿床成因的地质研究，都是应用后成模式进行的。对这个地区岩石的整个演化过程及其与矿床的关系，没有做过新的研究。根据过去的后成模式，这个地区大概没有什么东西可供将来进行勘探了。但是，矿床成因的同生模式提供了一些重要的勘探参数。

一、需要较好的模式

由于大部分现代物探技术和许多化探技术，不能探测覆盖层底下或岩层深处的金矿。所以，要发现新矿床，特别是覆盖地区，唯一的方法似乎就是发展和扩大地质勘探参数或准则，为此，必须研究描述已知矿床成因和演化的较好模式。在提敏斯及其它地方，一些集中论述长英质侵入体（珍珠湖斑岩）或断层系（如波丘潘—德斯特断层）的简单后成模式，在说明矿床的几个重要特征和许多矿床成因方面，存在着严重的问题。

唯一同后成观点不同的派克（1975年）提出的一个模式。他

认为，提敏斯的金矿与蚀变的超镁铁质岩流有密切关系，可能就是由这些岩流衍生出来的。

在提敏斯地区，金矿化的关键是关于富含碳酸盐岩石的成因问题，这类岩石与所有的金矿床的关系密切。在过去的后成模式中，把这些岩石解释为围岩蚀变产物。虽然在本区的许多报告中，都不同程度地详细描述过这些岩石，但现有的区域地质图中，没有任何一张表示出富含碳酸盐的岩石在什么地方，及与这个地区的主要岩石类型和构造又是什么关系。

因此，作者于1976年着手进行研究，以确定富含碳酸盐岩石的空间分布及其与金矿床的关系，并确定这些岩石是否象后成模式所暗示的那样确实是横切岩层，或与围岩整合。其主要研究成果如下：

在提敏斯地区（图1），出现有两个大的和一个小的富含碳酸盐的岩石单元，主要由铁白云石和（或）菱镁矿、石英、绿泥石和绢云母构成，厚度由20m到200m以上。

两个大单元是两个不同的层控单元，沿走向可追索达15km以上，两者易于区别。除都姆矿山南边的一个地方外，所有出露的接触线都与围岩整合。

本区所有石英—长石斑岩都沿着或靠近一个富含碳酸盐的单元产出，并与它们密切伴生。

本区所有生产过金的矿床，都产在富含碳酸盐岩石或斑岩中，或者在与这些岩体接近的地方。

根据这些成果和提敏斯地区金矿地质的下列描述和插图证明，在长英质火山作用和喷发活动中，金首先富集在这些古老的岩石里。也就是这些活动产生出富含碳酸盐的岩石，在后来与基诺兰（Kenoran）造山运动伴随而来的变质作用和变形作用中，金又进一步富集到网状石英—碳酸盐脉里。

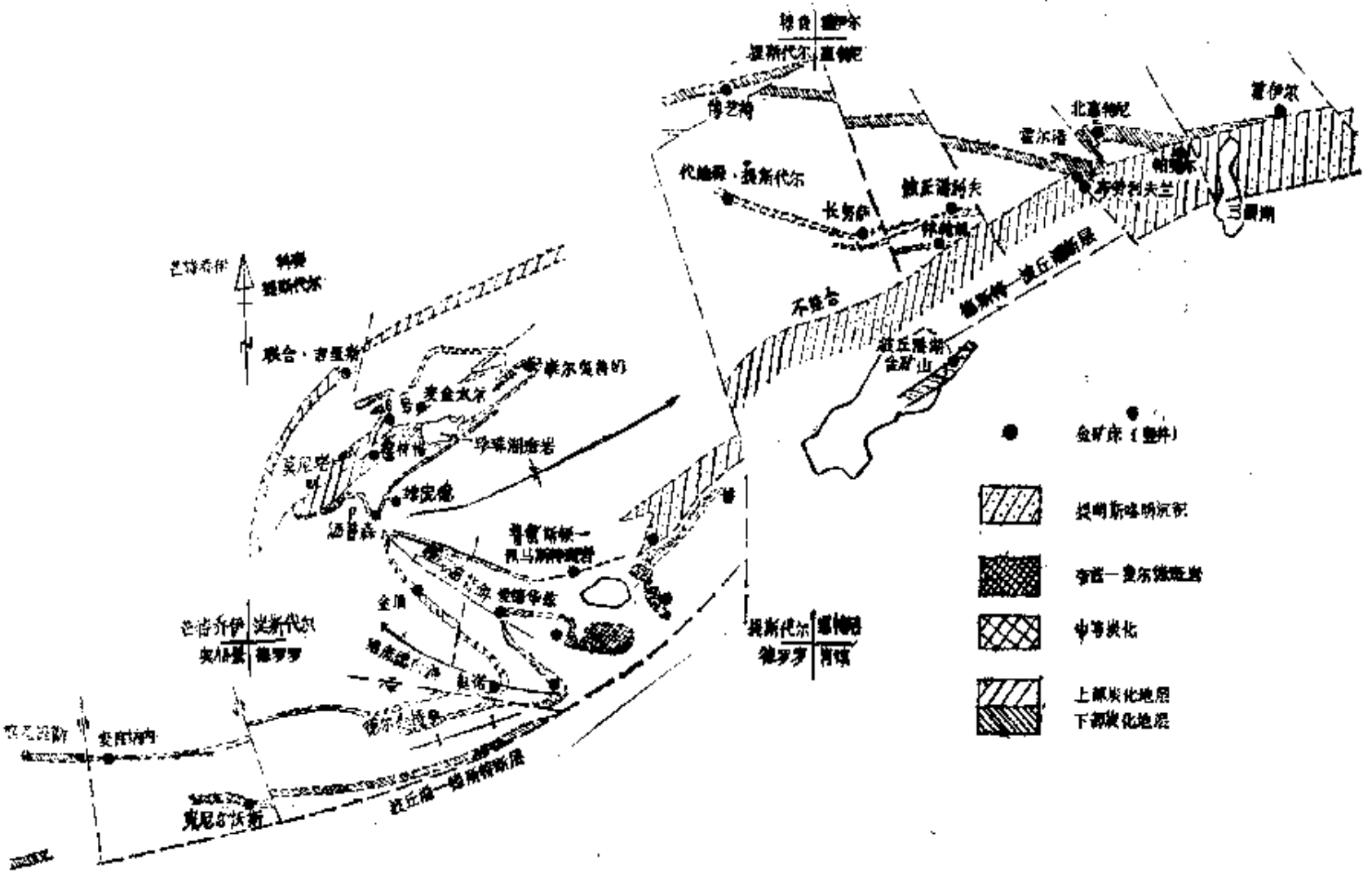


图1　提敏斯地区富含碳酸盐岩石、斑岩和金矿床的分布

二、地质概况

提敏斯位于太古界阿比提比绿岩带的西北部。这一带的变火山岩分为两个群：下部德罗罗群和上部提斯代尔群（图2）。在早期，只是根据岩性差别来区分。而实际上，这两个群是被东西走向的波丘潘—德斯特断层构造所分隔。近年来，派克(1975年)根据超镁铁质岩流分布的证据，证实了其年代关系。每个群代表一个火山周期，由一系列底部超镁铁质和含镁高的玄武岩向上渐变为长英质变火山岩构成。这两个群的主要区别是，德罗罗群上部有大量氧化物相、硫化物相和硫酸盐相含铁建造，而提斯代尔群则缺乏含铁建造。虽然从德罗罗群含铁建造中已报道有许多矿化现象和远景区，但是没有发现较大的金矿富集。

波丘潘群的变沉积岩（主要是浊积岩）从前叫做“基瓦廷沉积层”，它整合覆盖在提斯代尔群变火山岩之上。局部有一层比较年轻的浊积岩层，很久以来被称为提米斯卡明层，以明显的角度不整合覆盖在比较老的变沉积岩和变火山岩之上(图2和3)。

本区最明显的构造是向东倾伏的波丘潘向斜和波丘潘—德斯特断层（图3）。岩石的几何形状已利用主要标志层如V8和V10B岩流圈定出来。近来，又用超镁铁质岩流进行了圈定（派克，1977年）。虽然有许多文章肤浅地论述过这个地区的构造，但都没有详细地分析岩石的构造演化。在野外看到的最明显的穿透性面型构造和线型构造，可以同波丘潘向斜相联系。靠近这一褶皱突出部位的大部分矿带和斑岩岩体都变了形，并向褶皱方向倾伏。其它构造如霍林格—康尼奥鲁姆地区的椭圆形干扰构造和较老的线理和叶理，表现出一个前波丘潘向斜阶段的等斜褶皱和一个较晚期的开阔式横向褶皱（例如维庞德背斜）。

褶皱的各主要阶段由各种脉的形状反映出来，脉的形状从直

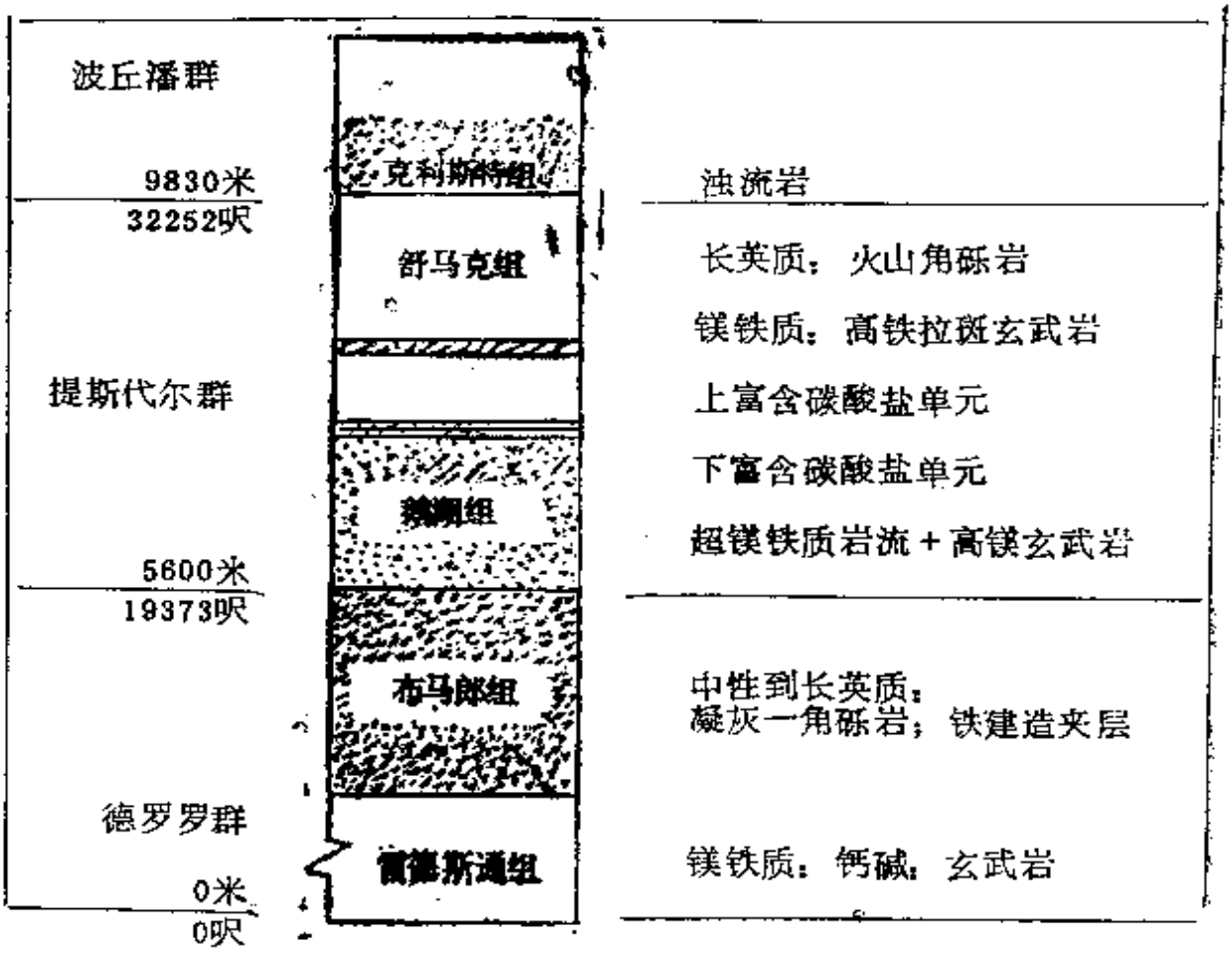


图2　提敏斯地区提斯代尔和惠特尼的地层柱状图

的未变形的到紧密褶皱的或完全被强烈变形破坏了的都有。已描述过的脉组的主要类型有：界限清楚而膨缩不定的连续脉 和S—形雁列脉等。这些矿脉的形状表明，在整个变形期间，矿脉的形成是有周期性的。

金呈自然金或硫化物，主要是黄铁矿，出现在主要由石英和铁白云石及不等量电气石组成的脉系里。有些矿山（例如奥诺、舒马克矿山）已划分出含金的富黄铁矿带。其它重要的副矿物有铬云母、白钨矿、毒砂、钠长石、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿及金银碲化物。在矿石中金银比约为5：1。

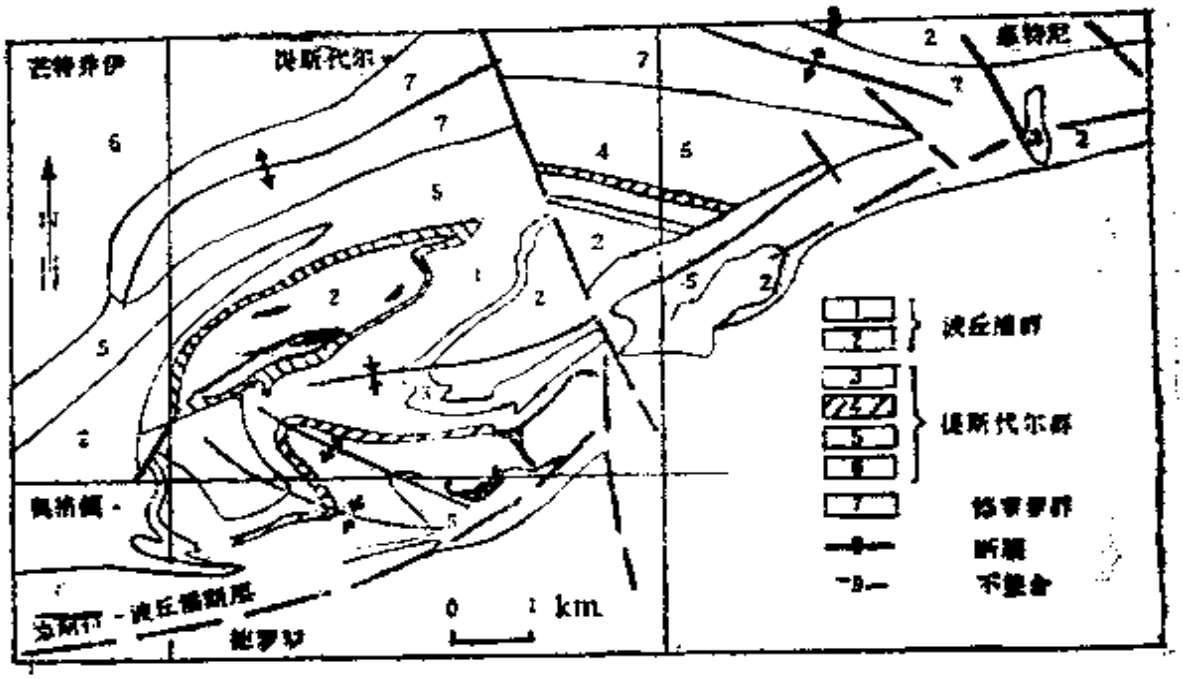


图3 波丘潘地区综合地质图

1，2—波丘潘群；3，4，5，6—提斯代尔群；7—德罗罗群；8—断层；9—不整合

三、富含碳酸盐的岩石

下部碳酸盐（图1）在两个主要单元中是比较厚的一个（平均厚70m），主要由碳酸盐化的超镁铁质岩流、凝灰岩和一些可能是沉积成因的成层块状碳酸盐岩组成。下部单元的特征是以菱镁矿为主（70—90%），含有少量滑石、绢云母、绿泥石、石英、铬云母（铬白云母）和黄铁矿。在完全碳酸盐化了的岩流里，可以见到象多缝合线和Spinifex等残留结构。有些地方，在碳酸盐化的超镁铁质凝灰岩里，出现有火山弹和火成碎块。从地层上看，下部单元出现在靠近鹅湖组（图2）的上部。在下部单元或者靠近下部单元的矿床有德圣提斯、克尼尔沃斯（内波布）、德尔奈特、奥诺、巴法罗—安克来特、爱德华兹、都

姆、霍林格（？）、舒马克（麦金太尔）、博芒特、霍尔诺、布劳兰·利夫、北惠特尼、波丘潘湖、帕莫尔和霍伊尔。

上部富含碳酸盐的单元，平均约30m厚。在层位上，出现在下部单元（图2）之上约670m处。在提斯代尔区，上部单元与维庞德亚群的“99岩流”密切相伴生产出，而向东到了惠特尼区内，这个单元则出现在“99岩流”之下几百米处，这表明有一些区域性海侵。上部单元的特征是铁白云石很丰富（40—80%），而没有铬云母。除铁白云石外，其它矿物有绿泥石、残余斜长石、绢云母、石英及黄铁矿。下部单元通常呈块状，中粒到粗粒结构。而上部单元与此不同，它的颗粒很细，一般叶理很发育。不连续的块状铁白云石透镜体与富含硅酸盐的透镜体呈互层，是一种常见的现象。残余的构造和结构表明，上部单元的绝大部分不是碳酸盐化的凝灰岩，就是沉积的碳酸盐岩和凝灰岩的混合体。向西，在奥格登区麦肯纳内矿床附近，上部单元开始向旁侧变成石墨质千枚岩。在提斯代尔区北部代维森·提斯代尔矿区附近，上部单元的许多地段是碳酸盐化的块状和枕状玄武岩。赋存在上部单元或者靠上部单元的矿床有麦肯纳内、金顶、佩马斯特（？）、都姆、莫尼塔、霍林格、舒马克（麦金太尔）、维庞德（？）、汤普森（？）、康尼奥鲁姆、联合·吉里斯、代维森提斯代尔、卡努萨和波丘潘·利夫。

四、染色技术

因为铁镁碳酸盐风化后呈褐色，而未碳酸盐化的镁铁质火山岩，风化后则呈绿黑色至黑色。所以，铁镁碳酸盐在风化面上很容易识别，因而也容易与未碳酸盐化的镁铁质火山岩相区别。但是，在地下或岩心中，富含碳酸盐单元，特别是上部单元很容易被漏掉。提敏斯的许多矿山就曾把富含碳酸盐单元当作英安岩、

安山岩、褪色的火山岩等填在图上。在野外可用简易的染色技术确定有没有铁白云石和菱镁矿。

不规则的石英长石斑岩，经常与下部碳酸盐单元紧密伴生。在图1中只表示了比较大的岩体如珍珠湖斑岩和佩马斯特斑岩等。但是，仔细观察，在下部单元中时常可以发现有许多一两米到几十米的薄斑岩透镜体。一般说来，斑岩由石英、钠斜长石、绢云母和少量黄铁矿组成。结构从块状到斑状，通常在多数岩石里都时常见有眼球状石英粒。局部可以发现喷出的长英质火山岩碎块，特别是在较小的岩体里常见。斑岩中含有不等量的铁白云石和方解石，尤其是接触带附近更常见，在舒马克矿山发现有一种与金－钼－铜矿化有关的蚀变组合。

五、三组矿床

总的来说，提敏斯地区的金矿床可以分为三组：

（1）与碳酸盐单元和大斑岩体伴生的矿床；

（2）赋存于含有小斑岩体的碳酸盐单元的主要褶皱构造中的矿床；

（3）沿主要碳酸盐单元附近的局部不整合面产出的矿床。

第一组矿床代表的两个主要地区，集中在珍珠湖斑岩和普雷斯顿－佩马斯特斑岩周围。莫尼塔、霍林格、舒马克和康尼奥鲁姆等矿床位于向东倾斜的珍珠湖斑岩的边部及其附近，也产在上部碳酸盐单元的加厚地段。构造上的复杂性使地层解释发生困难。但是，下部舒马克组（图2）的较老岩石似乎出露在邻近地区背斜型穹窿的核部。一个含铬云母的碳酸盐岩（绿色碳酸盐岩）露头和下部单元的露头一样出露在霍林格矿区大的老窿附近。可以想象在霍林格和舒马克深部与下部单元伴生的矿石也都已被采光。

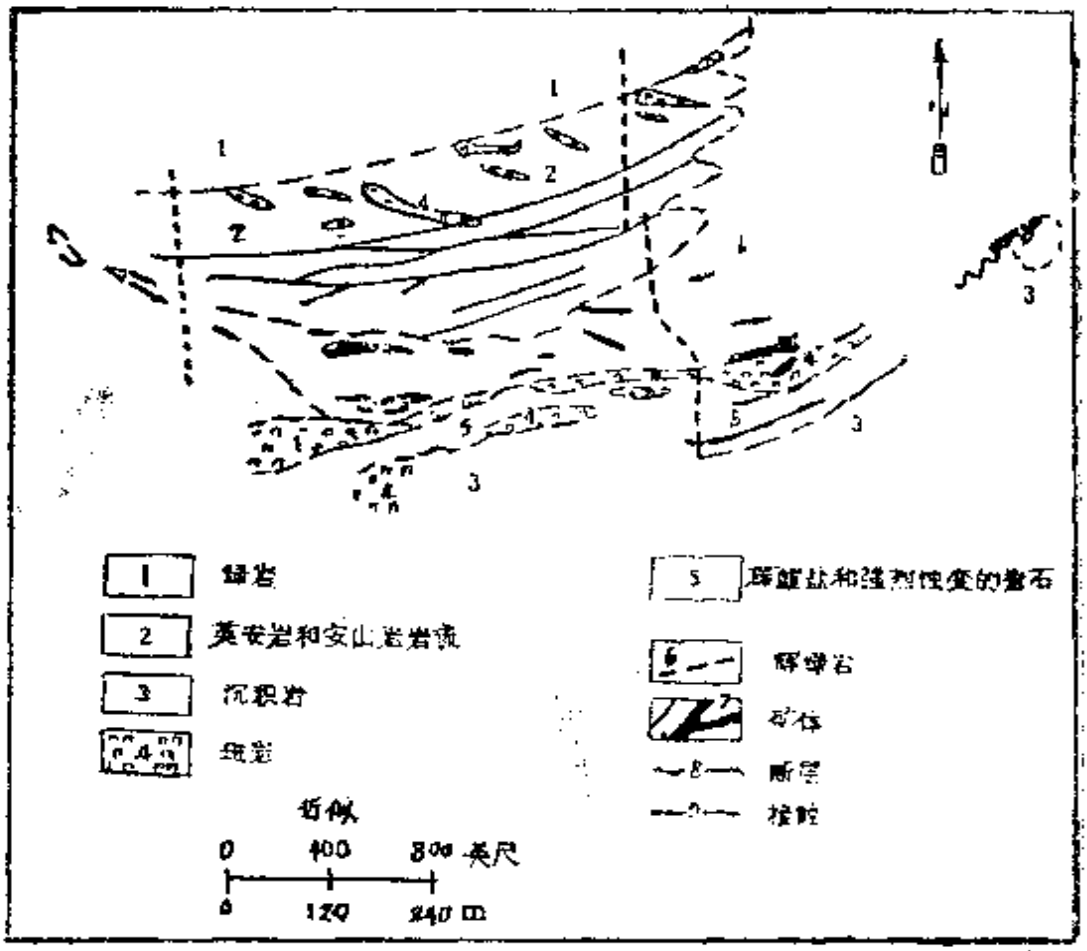


图4　都姆矿山的综合地质平面图

1—绿岩（粉）；2—英安岩和安山岩岩流；3—沉积岩；4—斑岩；5—碳酸盐和强烈蚀变岩石；6—辉绿岩；7—矿体；8—断层；9—接触线

在普雷斯顿—佩马斯特斑岩附近的主要矿山有都姆、佩马斯特和普雷斯顿。对都姆（图4）下部单元的碳酸盐岩已有资料详细说明。从地层层位上看，出现在都姆和佩马斯特“99岩流”中或其附近的石英—铁白云石，很可能与上部单元相当。

位于碳酸盐单元中褶皱的或弯曲处突出部位及与小斑岩体伴生的第二组矿床以下列矿山为代表：即德圣提斯、克尼尔沃斯、内波布、德尔奈特、奥诺、巴法罗—安克来特、爱德华兹及北惠特尼等矿山。其中有许多矿床的碳酸盐单元，都进行了仔细的填图(例如奥诺、德尔奈特)。但是，在许多地方，这一单元被当作

英安岩、安山岩或褪色的围岩。脉系的构造与其所在位置之间的相互关系在巴法罗－安克来特和奥诺得到很好的说明。在这里，矿带的倾伏方向与维庞德向斜是一致的。

第三组矿床以都姆、布劳兰·利夫、休帕姆、霍尔诺、帕莫尔和霍伊尔等矿山为代表。这些矿床的矿化主要位于沉积岩中、较老的变火山岩和变沉积岩（基瓦廷组）与较年轻的碎岩和浊流岩（提米斯卡明组）之间的局部角度不整合面中。这些矿床的显著特点是每一个矿床都位于酸酸盐单元被不整合面切割的地方（图1）。这可见于霍尔诺和西帕莫尔矿区（图5和6）。在这一地区，变火山岩和碳酸盐单元及其角度不整合面都倒转了，并以不同角度向北倾斜。中等倾斜的碳酸盐单元和陡倾斜的不整合面

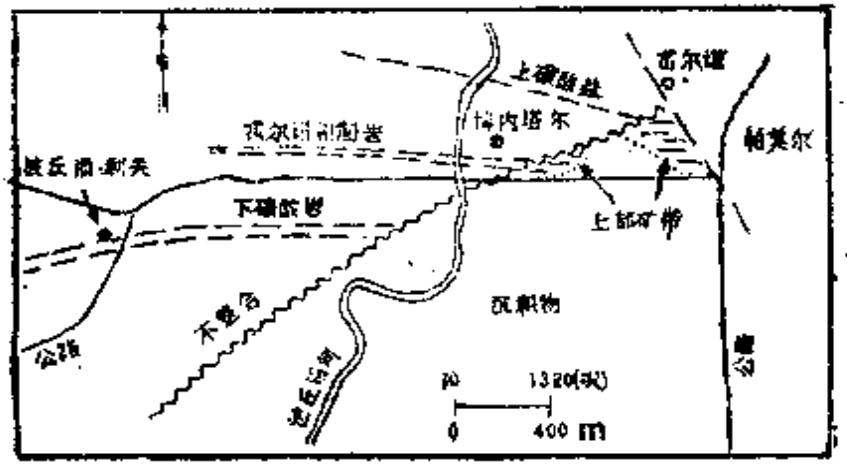


图5 霍尔诺矿山附近的地表地质

之间的交线向北东倾斜，显然与沉积岩中含金脉系的倾伏方向完全一致。这就说明了霍尔诺上部的矿带倾入附近的帕莫尔矿区的原因和在上部单元见到下部矿的原因（图6），这类控矿因素的其它例子在帕莫尔也是明显的。

下面这一现象是很有意思的，除在都姆矿床不整合面下存在着斑岩透镜体外，在第三组其它矿床中或其附近，都没有发现任何类型的斑岩。唯一例外的就是在霍尔诺被称为霍尔诺粗面岩（图5）的碳酸盐化长英质岩石，作者在惠特尼区部分地段断续

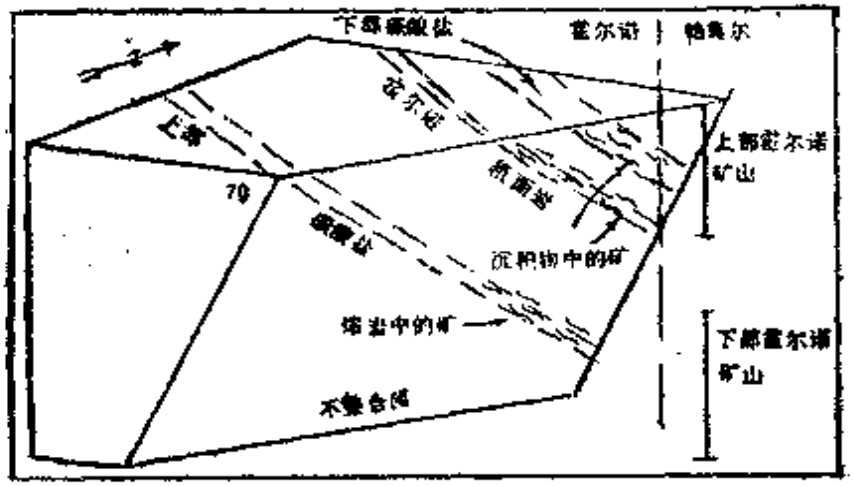


图6 霍尔诺矿山含金单元投影到不整合面上的立体图

地看到了这种岩石。

六、模　　式

要说明提敏斯地区金矿床的成因模式，必须考虑到下列事实：

虽然石英脉系在该区所有变火山岩－变沉积岩中都常见。但是，含金矿脉仅产于富含碳酸盐单元内，而且大部分是靠近富含碳酸盐单元或较大斑岩体的地方，如图1所示。

富含碳酸盐的岩石，形成明显的层控单元。唯一例外的就是在都姆南边普雷斯顿－佩马斯特斑岩体的西部接触带上发现横切的碳酸盐岩。作者认为，普雷斯顿－佩马斯特斑岩有一部分是侵入的，而且位于火山口中，而横切碳酸盐岩的则被认为是与火山口有关。

本区所有石英－长石斑岩都赋存于不大的地层间隔之内，这个间隔在许多地段，同下部碳酸盐单元一致。普雷斯顿－佩马斯特斑岩可能是一个例外，它的一部分可能与上部单元相伴产出。

所有岩石，包括碳酸盐单元和斑岩在内，都经历过至少三个变形阶段的穿插性变形。变了形的含金脉系的变化表明其与区域变形和变质作用有着密切的年代关系。

在上提斯代尔群(图2)的克利斯特组中和比较年轻的(提米斯卡明)沉积物的砾岩中，发现有绿色碳酸盐碎块。

富集在矿床和主岩里的金属，通常是那些对镁铁质－超镁铁质岩石显示有亲合力的金属(如镍、铬)和那些通常富集在长英质岩里的金属，如铋、钨、钼、碲、铅和锑。也出现有其它金属如铜、锌、金和钼。

在舒马克矿山6号竖井区，在蚀变的镁铁质火山岩中，常见有含金硫化物基质的角砾岩，蚀变现象和角砾岩广泛分布。在地层上，珍珠湖斑岩之下的岩石中，有横切（岩层）的不规则构造，可能代表火山口。

七、矿床的形成

根据这些事实和各个矿床的许多详细报告，可以设想出导致矿床形成的下述活动顺序。长英岩的喷出和浅成侵入作用，以及大量喷气升华活动，在海底沿着岩石和水的界面造成各种岩石的碳酸盐化，特别是在主火山口附近，例如珍珠湖和佩马斯特－普雷斯顿地区（图7）。此外，在远离火山口的地方，沉积了碳酸盐。就在这个时候，金和许多其它元素开始富集在这些岩石里。珍珠湖斑岩里的低品位浸染状钼－金－铜矿床，也是在这一阶段形成的。

随后，火山岩堆积的区域性绿片岩（相）变质作用和先前富集在碳酸盐单元中的金和其它微量元素活化起来，富集到膨胀裂隙中，在各个变形阶段（图8），以矿脉形式沉积。褶皱的突出部位、斑岩的接触带和局部不整合面，是含金矿脉形成的特别

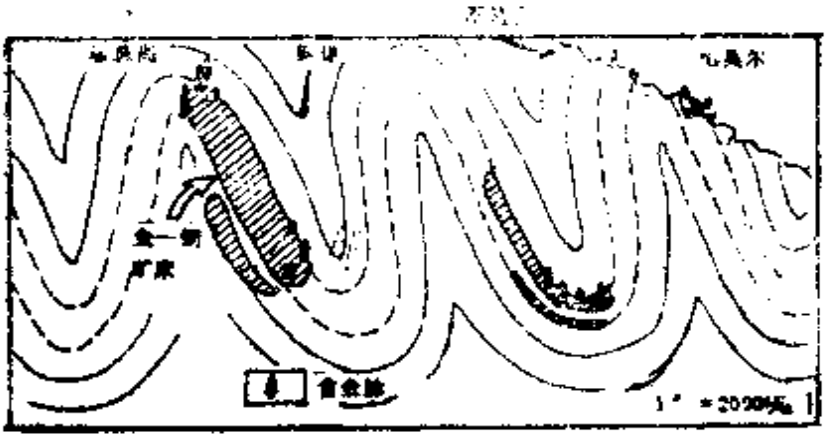


图7　通过火山和喷气活动形成的长英质穹窿和洋底碳酸盐化

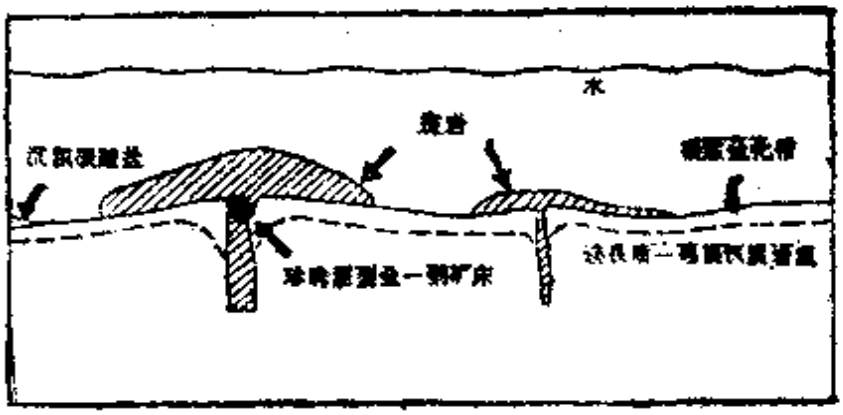


图8　区域变质作用和变形作用，使金在构造有利地段富集到石英－碳酸盐脉里

有利地点。

上述同生模式对勘探新矿床和开发品位低，储量大的矿床的可能性，都有好几种含义。岩石受了强烈碳酸盐化的地层单元，特别是在主火山口地区，对金的矿化作用具有最大的潜力。火山口地区，以石英－长石斑岩块体或下伏岩层中的蚀变角砾岩为标志。鉴别富含碳酸盐岩石；特别是岩心，最好用染色法。对铁白云石的染色，可用铁氰化钾在稀盐酸（2%）中做。菱镁矿用钛黄在稀氢氧化钠（5%）溶液中做。应注意，虽然变质的碳酸盐－方解石在该区所有火山岩里都有，但在碳酸盐单元里却找

不到。

在这些单元中及其附近，强烈褶皱或变形的地段，或伴随有石英－长石斑岩的地段，最有利于高品位的脉型矿化。

在变形不强的地区，含硫化物的地带，对寻找品位低、矿量大的矿床具有一定潜力。

目前，除大量钻探外，对覆盖层下有利的富含碳酸盐地层的潜力，还没有一种评价方法，而且这种方法也受到限制。安大略地质调查所和麦克马斯特大学进行的岩石地球化学研究，可以圈出简单的地球化学参数，有助于这种评价。

译自《Canadian Mining Journal》1978年9期

隋忠敬译　　李静仁校

选自《国外黄金矿床译文集》（1985）

关于金矿找矿矿化指示元素初步探讨

林 文 通

（合肥工业大学地质系）

一、前言

我国随着“四化”建设对金矿需要量的增加，对金矿的找矿与勘探日益重视。而且在扩大金矿储量以及提高黄金产量方面也是我国“七五”，甚至“八五”建设规划中的一项重要任务。为了加快我国金矿的找矿步伐，必须提高金矿找矿的效果。近年来，由于科学技术的发达，一些高灵敏度的分析方法的出现和应用，使以找矿矿物学法寻找金矿床的效果日益显著，且被普遍应用。找矿矿物学法寻找金矿床的主要理论基础是应用与金矿化有关的元素作为矿化指示元素进行找矿矿物学找矿的。本文就是对金矿化指示元素作一次初步的探讨。由于水平有限，文中错误之处在所难免，请金矿专家和学者批评指正。

二、不同成因类型的金矿床具有其特征性的指示元素组合

作为金矿化的指示元素：除Au外，还有Si (SiO_2，石英）、S (FeS_2，黄铁矿）、As、Te、Se、S、Bi、Hg、Ag、Cu、Pb、Zn、Cd、Fe、Co、Ni、Cr、Mn、Sn、

Mo、W、Pt族元素、U、Th、Ba、Sr、Ca、Mg、K、Na、Cl等。这些指示元素不是在所有成因类型金矿床中都能出现的，而是在不同成因类型金矿床中各有其特征性的矿化指示元素。这是因为在不同成因类型的金矿床中，含金矿石的化学成分、成矿特征、元素的组合、矿石建造和风化特点等均不相同有关系。这里提出十一种矿化指示元素组合作为与其对应成因类型的金矿床的找矿矿化指示元素。

(1) Au、Cr、Ni、Fe、Cu、Pt族元素或Au、Cu、Zn、Pt族元素的组合是岩浆型金矿床的矿化指示元素。例如甘肃金川金矿和青海德道尔金矿等。

(2) Au、Si（石英）、S（黄铁矿）或Au、Si的组合是绿岩型金矿床的矿化指示元素。因为S是金的搬运剂和沉淀剂，同时石英和黄铁矿是绿岩型金矿的主要载体矿物。例如，胶东玲珑、焦家、新城、三山岛金矿床主要产于少硫化物的含金石英脉体中，而河南小秦岭金矿床有60%金赋存于黄铁矿中。

(3) Au、Co、Ni、Fe、V的组合是黑色页岩型金矿床的矿化指示元素。因为黑色页岩是含炭质的岩石，炭质页岩在形成时，不但吸附金也吸附Co、Ni、V、Fe等元素。例如、河南银洞坡，吉林二道甸子、湖南沃溪金矿。

(4) Au、U、Th、Pt族元素的组合是元古代金、铀砾岩型金矿床的矿化指示元素，它们与金一样均来自太古代绿岩带。例如，南非维特瓦特斯兰德金铀砾岩矿床。

(5) Au、Fe的组合是含铁石英岩型金矿床的矿化指示元素。它们是元古代铁—金建造的金矿床。例如黑龙江东风山金矿。

(6) Au、S（黄铁矿）、Pb、Zn、Cu的组合是优地槽发育早期海底火山喷发的细碧—角斑岩及其凝灰岩有关的火山沉积—变质热液改造金矿床的矿化指示元素。例如，甘肃白银厂金

矿。

(7) Au、Cu、Pb、Zn、Cd的组合是岩浆热液型，沉积—岩浆热液改造型、接触交代型和斑岩型金矿床的矿化指示元素。例如；河北峪耳崖、安徽铜陵、湖南水口山和江西德兴等金矿。

(8) Au、As、Hg、Sb、Ba、Ag、Tl的组合是沉积—渗流热卤水改造型（即卡林型）金矿床的矿化指示元素。例如陕西二台子、双王、李家沟、湖南石峡、贵州苗龙、板其、三都、丫他、湖北通山等金矿。

(9) Au、Ca（方解石）的组合是方解石—金建造矿床，它是沉积碳酸盐岩—地下热水改造型金矿床的矿化指示元素。例如，广西叫曼金矿。

(10) Au、Sb、As、Hg的组合是沉积碎屑岩—地下热水改造型金矿化指示元素。它们可以分为锑—金建造和砷—锑—汞—金建造两种金矿床。例如，广西三林地区马雄、长发、坡岩，云南金厂，黔西南等金矿。另外，这一组合也可能是火山岩及火山碎屑岩—地下热水迭加金矿的特征，例如，河南嵩县祁雨沟，内蒙奈林沟等金矿。

(11) S、Se、Te、As、Ag、Cu、Zn、Pb、Sb、Bi、Hg、W、Mo、Sn、Fe、K（冰长石）等的组合是近地表火山—次火山热液金矿床的矿化指示元素。特别是Se、Te主要与火山活动有关，而且，Se主要是第三纪火山热液金矿床的矿化指示元素。例如台湾金瓜石、安徽东溪、江西贵溪冷水坑，吉林汪清刺猬沟等金矿。

必须指出，近年来有人还提出过，在水系沉积物地球化学测量中直接指示元素的找矿问题。例如，R·W·包依尔指出，除Au外，Ag、Cu、Zn、Tl、Pb、As、Sb、Bi、Ni、Co、Mo和W等可作为水系沉积物地球化学测量中的指示元素。其中最有

效的是As、Sb和Ag。如果原生金矿床含有Ba、U、Ni、Co、Cd、Hg、B、稀土元素、Se、Te和F时，这些元素也可作为水系沉积物地球化学测量的指示元素。在富锰和铁的水系沉积物中，Li、Cu、Ag、Sr、Ba、稀土元素、Zn、Cd、Hg、B、Tl、Cl、Pb、As、Sb、Te、Mo、W、F、Co和Ni等元素可作为金矿的指示元素，其中Ag、Zn、Hg、As和Sb指示效果最好。在水系沉积物中的重砂地球化学测量找金时，金本身是最佳的指示元素。此外，Ag、Sb、U、Pb、Zn、Bi、Se、Te作为指示元素也有一定的效果。

三、金矿床某些矿化指示元素找矿矿物学的讨论

这里对金矿床的十一种类型的矿化指示元素进行找矿矿物学的讨论：

（1）Au是金矿床找矿的最好的矿化指示元素，同时Au又是找矿的探途元素

首先，金是金矿床找矿的最好指示元素。这与金的化学性质的惰性有关，尽管金的丰度值很低，它是丰度值最小的元素之一，但金可以与各种矿床相伴生，例如，金可产于深成高温热液、中温热液到浅成低温热液矿床中，产于接触交代型，斑岩型及各种改造型金矿床中，还可以产于砂矿中。尽管金在特征条件下，可以因氧化而被溶解，但金的化学性质比其它任何金属元素都稳定，而且，金的延展性最强，比重大，因此，使金在风化、侵蚀、迁移过程中都能保存下来；同时，金具有永久性明亮的金属光泽、金黄的颜色，所以用肉眼可以看见小到几个微米的金粒。所有这些特点，就使金本身成为金矿床找矿的最好指示元素，它在寻找脉金和砂金时都是正确的。

其次，金又是找矿的探途元素，其原因仍然与金的稳定性和金能与许多金属元素相伴生有关。金的探途作用特别是在寻找盲矿体时更为重要。在某矿种中，虽然只含有微量的金，但在地表总是能连续地找到金的存在，而矿床的主要矿种却不能连续测到。例如，美国怀俄明州、温德河山脉的钼矿化有微量金，这些微量金在水系下游总是能连续地检测出来，而在相同的地方无论是细粒水系沉积物样品中还是水样中，却不能连续检测到钼的存在。这就是金作为钼的探途作用，另一实例Fisher(1973)在怀俄明州阿布萨罗卡山脉利用重砂中的金来找斑岩铜矿也有一定的价值。他指出，“矿脉露头地段大概可以通过分析水系沉积物重砂样品中的金来确定。他还推测水系沉积物中少量金大概来源于浸染状硫化物周围一系列矿脉中的含金性。

再次，自然金的成分指标有助于金矿床成因类型的判别。自然金的成分指标为：Au%、Ag%、Cu%、Au/Ag、Au/Cu及特征痕量元素等。

Au、Ag、Cu常能形成固熔体，所以自然金常是由Ag和Cu组成的自然元素矿物。另外自然金中还有特征痕量元素，如As、Bi、Cd、Cr、Mo、Ni、Pb、Zn、Pt、Sb、Sn、Te、Se、W等，它们以晶格杂质、矿物包体或粒间包层存在。

在不同成因类型的矿床中，自然金成分指标也不同。例如深成高温热液型矿床中自然金有最高的金和铜的百分值（Au%，Cu%）和高的Au/Ag比值，低的Au/Cu比值；而浅成低温热液型矿床中自然金中有最高Ag%值和高的Au/Cu比值及低的Au/Ag比值。现以美国某些岩浆热液型金矿床中自然金的成分指标为例（表1），说明自然金成分指标与金矿床成因类型之间的关系。

从表1中四种成因类型金矿床的自然金成分指标可以明确地看出自然金成分指标与金矿床的成因类型之间的关系。

表1　　美国某些金矿床中自然金成分指标

金矿床成因类型	样品数	分析次数	Au%	Ag%	Cu%	Au/Ag	Au/Cu	特征痕量元素（以含量为序）
深成高温热液型（怀俄明州迪亚那矿）	1	6	92.5	7.4	0.05	12.5	1850	As、Bi、Ni、Pb
深成高中温热液型（科罗拉多州小琼内矿）	1	5	89.6	10.3	0.025	8.7	3600	Bi、Pb
深成中低温热液型（爱德华州锡弗姆矿）	5	27	77.6	22.3	0.016	3.5	4700	Pb、Bi、Sb
浅成低温热液型（科罗拉多州夏斯岭矿）	3	10	66.6	33.3	0.0017	2.0	4000	Pb、Sb

(2) As是寻找金矿的一种重要的矿化指示元素

砷的存在对金品位的提高起了一定的作用，即砷的存在可促进金的富集，所以可以利用砷作为找金矿的矿化指示元素。例如，砷的独立矿物：毒砂和砷黝铜矿中常含金。黄铁矿中含砷可增加含金量。砷在黄铁矿、白铁矿中的存在是以砷呈类质同像置换硫（$As^{3-}\rightarrow S^{2-}$）进入晶格中（即$Fe(S、As)_2$）。黄铁矿含砷为1.25%（Fe4.55%，S53.45%），其含量不多。但是这1.25%的砷就能起着提高金品位的作用。一般说，立方体晶形，颜色发白的黄铁矿常含砷，很白的白铁矿也含砷。毒砂（FeAsS）中硫与砷比例为1：1．毒砂是早期高温矿物，与早期黄铁矿共生，它们常为金的载体矿物。而As通常在许多矿床中与Au伴生。因此，砷作为矿化指示元素对找金矿起了很大的作用。

另外，还可以用含砷的植物来找金矿，如木贼植物中含有很高的砷，干枯的木贼含As达738ppm（参看后面的叙述）。

(3) Te、Se作为矿化指示元素找金矿

由于碲、硒的亲硫性，在含金的硫化矿床中或作为自然金的载体矿物的硫化物中，碲、硒常作为硫的伴随物而存在。即碲、硒呈类质同像置换硫而存在。同时，在一定的条件下，金与碲、硒的亲合能比金与硫亲合能更强些，例如，在火山一次火山热液金矿床中，金可形成碲化物，有时有少数的硒化物的独立矿物出现。因此，碲、硒可以作为寻找金矿的矿化指示元素，下面分别对金与碲、硒的亲合能有关的成矿特点加以讨论。

1）金与碲的相对亲合能 与碲的相对亲合能有关的金属次序为：Au>Ag>>Cu，这说明金与碲的亲合能大于银与碲的亲合能。更远大于铜与碲的亲合能。所以，碲在碲化物成矿作用中是分离这些金属的因素，阻碍了与这些金属的碲化物的共生。这是由于金与碲常形成可溶性碲化物被运移，而且，它比金与硫形成的可溶性硫化物络合物更稳定，所以碲有助于溶液中保持金。同

时，由于铜银少形成碲化物，因此，随着铜、铁硫化物沉淀的提高，使溶液中$H_2Te:H_2S$的比值相应增高，造成硫化矿床的分带性。即由于金的运移机会相对增加，并与银一起能较长久地保持在溶液中，它们甚至可以转移到成矿作用最后阶段沉淀；或运移到分带的最远的金属圈沉淀。同时这也是在这类矿床中金、银常密切共生的原因。由此可知，金在黄铁矿床或多金属矿床的分带性能出现双重情况：金与碲化物共生（温度较高—中温）；金的碲化物与硫化物、碲化物共生(低温)。在热水溶液中含碲时，出现的分带类型中，金属沉淀的典型次序大致可用下列方式表示：F、Au、As—Fe；Au、Cu、Bi—Fe、Zn、Pb、Cd—Ba；Au、Ag、Te、Fe、Mn。在这一次序中可知，铁硫化物和砷化物与金的共生出现在内带；Cu、Bi—Fe、Zn、Pb、Cd、碲化物与金的共生出现在中带；而铁和锰的氧化物和碳酸盐(MnO_2、$MnCO_3$、Fe_2O_3、$FeCO_3$)、碲化物与金的共生出现在外带。同时可以看出，这一分带性与共生组合的变化，出现氧相对于硫化物的硫的作用有规律地增大了和介质中有碲的存在。这类成矿过程的地球化学特点，是出现各种金属碲化物。必须指出，在热水溶液中有较高碲的浓度，主要是火山成因的。

2)金与硒的相对亲合能 在远成热液中，当硫富集时，由于汞、锑对硫有强烈的亲合能，必须造成在矿化过程中汞、锑的硫化物在早期就沉淀，并在矿晕背部聚集，形成汞、锑硫化物的共生组合。当远成热液中同时含有硒和碲，特别是硒的含量增加时，将出现不同的矿物共生组合，因为与硒的相对亲合能的金属次序为：Ag>Au>Hg>Sb。这说明银与硒的亲合能大于金与硒的亲合能，两者也大于汞、锑与硒的亲合能。这个次序也表明在矿晕外带（铅、锌带以后）的远成热液矿床内，随着溶液中$H_2Se:H_2Te$比值的增加，将会出现以汞、锑硫化物所固有的典型共生组合，被汞、锑的硫化物，金的碲化物和银的硒化物（即汞、锑、

银一金）的共生组合所取代。必须指出，含硒通常是时代较新（第三纪）的火山热液银－金矿床的特征。

总之，从找矿矿物学分析，金属的碲化物，硒化物以及与这些元素形成的复合化合物，一般都属于硫化物矿化作用的最晚期的产物，即远成低温热液成因的。Au只与Te化合，难与硒化合；而Ag与Te、Se均能化合，这是由于Te^{2-}不受S^{2-}的控制，只受Au、Ag等沉淀剂的控制。而Se^{2-}受S^{2-}的控制，只有在硫低氧高时，Se才可形成独立矿物，反之则进入硫化物中。金、银的碲化物或硒化物与火山活动常有成因联系。因此，碲、硒可以作为火山热液成因的金一银或银一金矿床的找矿矿化指示元素，尤其是特别注意铁帽中的Se、Te含量，以作为找矿指示。

（4）K、Na作为矿化指示元素找金矿

K、Na之所以能作为找矿的矿化指示元素是由于金的各种络离子主要与钾或钠形成可溶性络合物被运移，当金在热液中被还原沉淀时，钾和钠就与金矿脉的围岩产生交代作用，引起围岩产生绢云母化、钾长石化或冰长石化和钠长石化等围岩蚀变。因为，这种围岩蚀变的出现是寻找金矿的重要线索之一。所以，钾和钠可以作为找金矿的矿化指示元素。但钠长石化是深成高、中温热液成因的金矿床重要标志，表现为钠长石与金共生组合；而钾长石化是近地表浅成低温热液成因金矿床的重要标志，表现为冰长石与金共生组合为特征。

（5）Ca、Mg作为矿化指示元素找金矿

当酸性含有可溶性的$Na〔Au^{+}Cl_2〕$、$Na〔Au^{+}F_2〕$、$Na〔Au^{3+}F_4〕$或$Na〔Au^{3+}Cl_4〕^{-}$等的水热溶液，在转移到钙、镁的碳酸盐岩石，如石灰岩、白云岩地区时、由于它们的pH值＞7.4，即在pH值为7—8的环境中有一定数量的Ca^{2+}、Mg^{2+}、K^{+}、Na^{+}离子的存在，它们起着中和酸性溶液作用，造成

沉淀的中性环境(金的pH值为5.5)使金沉淀下来富集形成矿床。例如，前述的四川康定地区的氟镁石－金建造金矿床可能就是可溶性氟化物络合物水热溶液转入白云岩地区，产生酸碱中和使金沉淀，同时生成氟镁石。另外，当碱性的含有可溶性$Na〔Au^{+}S_2〕$、$Na_3〔Au^{3+}S_3〕^{3-}$、$Na〔Au^{3+}O_2〕^{-}$、$Na_3〔Au^{+}O_3〕^{3-}$、$Na〔Au^{+}(OH)_2〕^{-}$或$Na_2〔HAu^{3+}O_3〕^{2-}$等的水热溶液转入石灰岩或白云岩等地区由于碱土金属Ca^{2+}、Mg^{2+}离子的碱性度比碱金属K^{+}、Na^{+}离子低得多，前者为弱碱质，后者为强碱质，因而使溶液碱度降低，当溶液近于中性或弱碱性时，金就沉淀下来，这也是自然金与方解石共生的原因。前述的广西叫曼的方解石－金建造金矿床，可能就是这一成因。根据上述可知Ca、Mg（即方解石、氟镁石）可作为矿化指示元素找金矿。

(6) Fe、Mn作为矿化指示元素找金矿

金是亲铁元素，所以金常与含铁矿物密切共生，而锰是铁族元素，与铁共生。而且锰在某些地区的第三纪金矿床中特别丰富，又是次生晕和分散流中的含量异常，可能是第三纪和时代更老金矿的找矿信息。因此，铁、锰可以作为找金矿的矿化指示元素。在不同的成矿条件下，可以形成不同的含铁矿物。例如，岩浆热液早期为碱性的，出现金与黄铁矿（偏碱性）的共生；晚期为酸性的，出现金与白铁矿（偏酸性）的共生。后者也常是岩浆热液加入天水而造成的结果。它们是一种找矿标志。另外由于黄铁矿或白铁矿在天水的表生作用下被氧化成含金褐铁矿，也是另一种重要的找矿标志。我国古代就已利用它来找金矿。如在公元725年唐代陈藏器在《本草拾遗》中就谈到："掘地深丈余，至纷子石，石皆一头焦黑（注：即褐铁矿）、石下有金，…… 大者如指，小者犹麻豆，色如桑黄，咬时极软，即是真金"。到公元1115年宋代寇仲熙在《本草衍义》中也指出："颗块金，即穴山或至

百十尺，见伴金石，其石褐色，一头如火烧黑之状（注：即褐铁矿），此定见金也，其金色深赤黄”。在含金硫化矿床氧化带金的富集除被褐铁矿胶体吸附之外，还可通过下列的反应：

$$Fe^{2+} + Au^{+} \rightarrow Au^{0} + Fe^{3+}$$

$$Mn^{2+} + 2Au^{+} \rightarrow 2Au^{0} + Mn^{4+}$$

而沉淀出金来。这些特征就是Ca、Mg可作为找金矿的矿化指示元素的原因。

(7) Si (SiO_2、石英)，石英脉常可作为找金矿的直接标志

各种热液型金矿床常与石英共生，形成含金石英脉，即所谓脉金或山金。所以发现石英脉就应注意分析是否含金。为了说明金与石英的成因联系，这里介绍一下西澳大利亚大学地质系CSIRO实验室提出的一个图解如图1，它是1980年由 D.Groues 给冶金部黄金地质代表团介绍的，由王义文传达，陈光远略加修改的。图1是Au—SiO_2的温度与酸碱度（t—pH）关系图解。这个图解是不成熟的，但是，它可以提供一些含金石英脉体成矿的机理的线索，供我们参考。图1中纵坐标为温度的变化，温度越高，金的溶解度越大，温度降低金就沉淀。横坐标的两端是酸度与碱度增高的方向，中间是近中性，为金的沉淀区间。A代表石英沉淀区，B 代表金的沉淀区，这两个沉淀区不重迭，它是由于金在酸性和碱性溶液中均溶解，在中性弱碱性溶液中沉淀；而SiO_2在碱性溶液中溶解，在酸性溶液中沉淀。这就造成图1中 Au 的沉淀区间偏右边（I_1）；而SiO_2沉淀区间偏左边（I_2）。同时，在两区之间出现一个交叉区间（$I_1 + I_2$），在这个区间内Au沉淀，SiO_2也沉淀。但在A区间内石英沉淀。转入B区间内石英并不溶解。样种分析可作为石英脉中含金的机理。即早期石英脉（酸性条件）为无色透明石英，不含金或在裂隙含少量金；晚期石英脉（中性—弱碱性条件）为兰灰色—灰黑色（含硫化物）透明不好

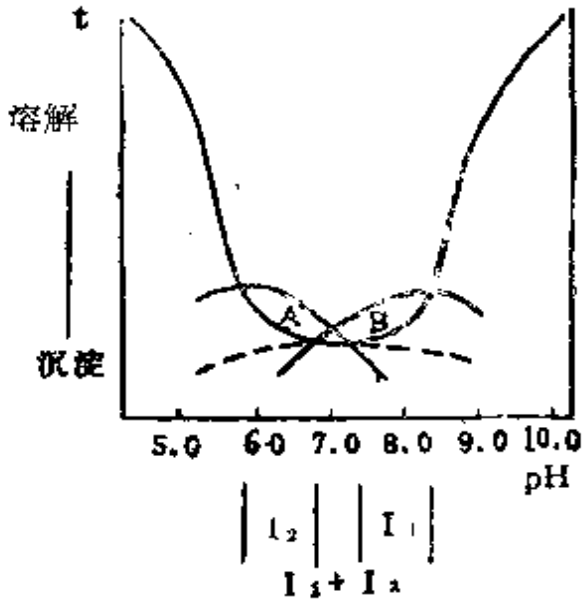


图1 $Au—SiO_2$的t—pH关系图解（据D·Groues）

A—石英、玉髓沉淀区；B—金沉淀区；I_1—内生金沉淀区；I_2—表生金沉淀区；I_1+I_2—石英和金混合沉淀区

的石英，富含金。另外，方解石、白云石的pH值为7.5—8.5，这一数值正好位于图1的交叉区间到大部分B区间之内，也说明了热液方解石含金的机理。

图1还可用来解释金矿床的成因类型：即I_1区间为内生金沉淀区(岩浆热液型或变质热液型；I_2区间为表生金沉淀区(地下热水成因和天水使含金硫化物氧化造成金在褐铁矿中富集），I_1+I_2区间是天水与岩浆热液的混合型（渗流热卤水形成卡林型金矿属于这一成因）。

(8) S（FeS_2、黄铁矿），硫常是金的溶解剂、搬运剂和沉淀剂及其作为矿化指示元素找金矿

硫常是金的溶解剂、搬运剂和沉淀剂，因为金常形成可溶性的硫化物络合物，溶解于溶液中，并被搬运，在适当地区金产生沉淀时，硫也形成黄铁矿而沉淀。因为，黄铁矿是金矿床中最为常见的金属矿物，常为金的载体矿物。同时，由于黄铁矿可以形成于

各个金矿阶段，因此，它也是地球化学的主要指示矿物，是金的主要吸附矿物和载体矿物。富含金的黄铁矿常为五角十二面体形态，有时其表面有“被膜”，晶体内部具带状结构（可能是晶体生长在不同的物理化学条件下所形成的）。含金黄铁矿的晶胞参数较大，矿物的混入物较多，（常沿生长层和微裂隙分布）。黄铁矿中混入物数量与其晶格缺陷有关，黄铁矿晶格缺陷愈大，含Au、Ag、As、Sb、Te、Se愈富；而晶格缺陷愈小，含Pb、Zn、Cu愈多。而沉积成因的黄铁矿中混入物几乎没有。如果金矿床为近地表成因的则常出现含金白铁矿（为偏酸性条件）。其它金属硫化物，如毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黝铜矿等也都是金的载体矿物。因此，S作为找金矿化元素不应忽视。

（9）重金属元素：Ag、Cu、Zn、Pb、As、Sb、Bi、Hg、W、Mo、Sn等作为矿化指示元素找金矿

Ag、Cu、Zn、Pb、As、Sb、Bi、Hg、W、Mo、Sn等重金属元素为金矿床的伴生元素。这是因为金的原子序数高(79)，原子量大(197.2)也是一种重金属元素，所以，金常与上述重金属元素密切共生。其原因是由于这些重金属元素与硫、硒、铋、砷、锑、铋诸阴离子的亲合能强，而金与这些阴离子的亲合能也强有关。当这些重金属元素的含量升高时，那么硒、碲、砷、锑、铋的含量也增加，而硒、碲、砷、锑、碲的增加对金的富集有利。因此，这些重金属元素含量升高时，金的含量也升高。而且，从上述关系反证来说，上述重金属含量升高的原因，在很少情况下与硫－金的组合向硫、硒、碲、砷、锑、铋－金的组合过渡有关。因此，重金属元素可以作为找金矿的矿化指示元素。必须指出，金与重金属元素组合，即成分复杂的金矿床主要产于时代较新的中－新生代火山热液金矿床中，所以寻找火山热液金矿床时应特别注意矿化重金属元素找矿的指示作用。

(10) F、Cl等挥发组份为矿化指示元素找金矿

F、Cl等挥发组份由于它们的电负性高、电子亲合能大，化学性质活泼、易与金离子(Au^{+}，Au^{3+})形成可溶性卤化物络合物，促进金的溶解、运移和富集。这些络合物产生沉淀，析出金时，F、Cl等挥发组份也与其它元素化合形成某些卤化物矿物。由于氟化物和氯化物的地球化学稳定场的不同，因此，作为矿化指示元素找金矿的特征也不同。一般说F在所有元素中电负性最高、电子亲合能最大，故F的亲石性极强，常能加入矿物晶格形成较稳定的矿物，如氟镁石(MgF_2)；而Cl的电负性和电子亲合能仅次于F、O，但由于表现出亲水性，氯化物在水中的溶解度极高，所以，象石盐(NaCl)在自然界条件很难保存下来。因此，在利用F、Cl等挥发组份作为矿化指示元素找金矿时，应分别对待。对氟来说，注意寻找F—Au建造，即寻找主要由可溶性氟化物络合物形成的金矿床，着重寻找氟镁石—金矿型。如我国四川康定地区新发现一种金矿类型—氟镁石金矿，这种金矿具有品位高，成色好，颗粒大，易选冶等特点(中国地质报，1986，4，4)。而对氯来说，则主要进行含金矿物的包体成分的研究。由可溶性氯化物络合物形成的金矿，其含金矿的包体的溶液成分NaCl占很大比例，有时有NaCl子晶。另外，在F、Cl等挥发组份作为矿化指示元素找金矿时还要注意到深成金矿床比浅成金矿床更富含F、Cl，这可能是浅成近地表金矿床，挥发组份易于逃逸所致。

(11) 应用植物找金矿和动物找金矿

在50年代就知道玉米中含金量高、金银花中可以含金，木贼炭中含金量为61g／t，最高可达160g／t。铁线连含金600g/t，薄荷炭含金300g／t。木贼中含有很高的砷，干枯的木贼含砷高达738ppm，而砷通常在许多矿床中与金共生。故可应用植物找金矿。R·R·布鲁克斯等，1981年对采自金矿区的木

贼，具有砷的高度富集，干样高达733μg／g，其次是锑，故木贼可视为砷的植物聚集体。而金与砷又经常是地球化学共生。因此，通过木贼中砷的分析可作为植物找矿间接标志，指示可能含金区的一种有用手段。

在应用动物找金矿方面，有人用白蚁冢来找金。例如，津巴布韦找金矿集中在4000个古老金坑上，因为这些古老的采坑地表几乎没有金矿化显示。可以认为古人可能采白蚁冢样来找金矿。白蚁掘穴可下至潜水面(通常可向下达10m)，并将深处的土壤和碎石带至地表。在津巴布韦的西络贝拉（Silobela）地区进行了试验工作，在三个局部地区的蚁冢的金异常值准确地圈定出三个现代金矿床（West，1970）的有利地段。

四、结　语

金矿的矿化指示元素找矿矿物学的研究，主要是在金矿床原生晕或次生晕中进行的、在远景地段和具体矿田或矿床范围内对浅部的矿体及深部盲矿体进行评价时进行的。矿化指示在原生晕或次生晕中分布规律的研究，具有如下一定的理论意义和实际意义。

（1）决定原生晕中元素活动性序列：

例如，加拿大地球化学家R·W·包依尔（Boyle）提出金矿原生晕中指示元素具有下列活动性序列：

脉石元素：Bi>B>K>Na>Ca=Mn>Mg>Co>Fe=Ni>Al；

气体化合物：CO_2=S=Se>As>Sb>Te；

贱金属：Hg>Zn>Cd>Cu>Pb>Mo=Bi>Sn=W

贵金属：Ag>Au>Pt。

（2）研究金矿床的原生晕的轴向和横向分带序列：

例如，苏联K·Л·阿塔别克扬茨应用格里戈良的研究方法，通过统计分析总结出金矿原生晕的一般性轴向(垂直)和横向（水平）分带序列：

轴向分带序列（自下而上）：

Co—Mo，Sn，Au^1—W—Bi—Sb，Au^2，Ag—As；

横向分带序列（从矿体向两侧围岩）

Ag，Sb，Co，Mo，Bi，W—Au，As。

分带序列中逗号分开的元素为相对富集水平接近的元素。

（3）有助于研究成矿过程中化学元素的性状及相互关系，以指导找矿：

1）根据Au、Ag、Sb、Hg等主要指示元素的分布规律寻找深部盲矿体；

2）估计矿带截面水平；

3）确定矿液流动方向；

4）确定矿体位置；

5）有助金矿床成因类型的判别。

因此，在进行金矿的找矿与勘探时，对金矿床矿化指示元素的找矿矿物学研究具有一定的实际意义和理论意义。参考文献略

选自《金银矿产选集》第六集（1986）

金矿地球化学找矿及评价指标

朱 太 天

（吉林省冶金地质勘探公司研究所）

随着社会对金矿需求量的增加，人们对金矿勘查日益重视。近年来，随着高灵敏的分析方法的出现，勘查地球化学寻找金矿的找矿效果日益明显，金矿地球化学勘查也日益受到重视。1982年，国际勘查地球化学学会专门召开了以贵金属为主的化探学术讨论会。1984年10月，中国地质学会勘查地球化学委员会召开了找金学术讨论会。

重砂中明金的发现已经导致了世界上大量金矿区带的发现。近年来，由于快速、灵敏的金的分析方法的出现，使得我们有可能有效地利用“不可见金”（用分析方法识别的金）来寻找尚未发现的金矿床。

关于用岩石地球化学测量方法找金的研究，很早就有人进行过（1937年），现在岩石、土壤、水系地球化学测量及水化学、气体测量方法均已用于金矿的勘查。

由于不同地区地质情况各异，金矿床的矿床类型及成矿条件又很复杂，因此不可能提出公式化的、全球通用的金矿地球化学找矿指标及评价指标。

本文将介绍近几年发表的文献和论文中提到的国内外金矿地球化学找矿指标及评价指标，仅供从事金矿勘查地球化学工作的同事们参考。

金矿地球化学找矿指标主要包括不同阶段、不同方法所采用

的指示元素、元素组合及元素比值等。

金矿地球化学找矿指标选择的正确与否直接影响找矿效果。好比照像时感光材料和药品，曝光条件选择恰到好处才能获得栩栩如生的照片一样，只有金矿地球化学找矿指标选择的合理，才能获得丰富的地球化学找矿信息。

一、水系沉积物地球化学测量中的金矿地球化学找矿指标

近年来，已用金作为水系沉积物地球化学测量中的直接指示元素。

R．W．博依尔指出，除Au外，Ag、Cu、Zn、Tl、Pb、As、Sb、Bi、Ni、Co、Mo和W可作为水系沉积物地球化学测量中的指示元素，其中最有效的As、Sb和Ag。如果原生金矿床中含有Ba、U、Ni、Co、Cd、Hg、B、稀土元素、Se、Te和F时，这些元素也可作为水系沉积物地球化学测量的指示元素。

富锰和铁的水系沉积物中Li、Cu、Ag、Sr、Ba、Ra、稀土元素、Zn、Cd、Hg、B、Tl、U、Pb、As、Sb、Te、Mo、W、F、Co和Ni等元素可作金矿的指示元素，其中Ag、Zn、Hg、As和Sb指示效果最好。

水系沉积物中的重砂地球化学测量找金效果一直是被公认的。重砂样品可以分析全部重矿物，也可以分析磁性或非磁性部分或某种矿物，或一定比重范围内的矿物。在这种情况下金是最佳指示元素。此外，Ag、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Bi、Se、Te也有一定效果。

我国近年来水系沉积物地球化学测量找金效果是十分明显的。

熊耳山北麓地区就是用水系沉积物地球化学测量取得了该区寻找金矿床的一次突破性成果。

从1956年开始，先后有八、九个单位在该区开展过不同目的地质调查，仅发现了一些矿点和矿化点，是属于“只见星星，不见月亮”的地质推断的多金属成矿带。1977—1979年，通过两年多时间在1470km²范围开展1：5万水系沉积物地球化学测量，圈定了52个综合异常，经验证找出一个大型斑岩钼矿床、一个以钼为主，伴生铅、稀土等多组份的矿床及一个大型构造蚀变岩型金矿床。这一成果，充分显示了勘查地球化学方法在地质找矿工作中的重大作用。

表1　　我国几个金矿区水系地球化学测量指示元素

地　点	指　示　元　素	文献作者
熊耳山北麓	Au、Ag为主，其次为Pb、Zn、As、Mn	龚启厚、王秉仁
浙江某金银矿	Au、Ag、Pb、Zn、Cu	周俊法
陕西潼峪	Au、Ag、Pb、Mo、Ba	雷东平
吉林金城洞	Au、Ag、Pb、Zn、Cu、Mo	郭文秀
小秦岭金矿带	Au、Ag、Pb、Zn、Mo、Ba、Mn	孙继东等
吉林夹皮沟	Au、Ag、Cu、Pb、Ni、Co、As、Sb	李忠林、王永和、胡守学

从表1可以看出，我国金矿床水系沉积物地球化学测量中Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、Mn、Ni、Co、As、Sb已被证明是有效的指示元素。其中，Au、Ag为直接的成矿元素，Cu、Pb、Zn、Mo、As、Sb、Ni、Co等为伴生的硫化物成矿元素，Ba、Mn为与热事件有关的伴生元素。

二、土壤地球化学测量中的金矿地球化学找矿指标

土壤地球化学测量中的金矿地球化学指示元素和采样层位随地区和矿床而不同。

50年代和60年代，国内外金矿土壤地球化学测量中用Cu、Pb、Zn作指示元素取得了良好的找矿效果。对含毒砂、锑化物和方铅矿等矿物的金矿床用As、Sb、Pb作指示元素也能取得良好的找矿效果。砷在土壤中位移小，衬度大。

随着分析手段的改进，金矿土壤地球化学测量中应用的指示元素不断增加，因此，异常评价水平也跟着提高。

近几年来，世界各地许多金矿土壤地球化学测量的实践证明，金和银是最佳指示元素，这具有普遍意义。

R．W．博依尔指出除了Au、Ag之外，其次为As、Sb、Pb、Cu、Zn、Ni、Co、Bi、Mo、W、Hg、Cd、铂族金属、Te、Sn、Tl、Ba、Sr、U、V、Cr、Sc、稀土元素和B。

我国金矿土壤地球化学测量也取得了良好的找矿效果，总结出一些地区和矿区的指示元素。

湖南某地金矿土壤地球化学测量中用As、Au、Cr、Ni、Pb、Zn作指示元素。黔西南某金矿土壤地球化学测量中用Au、As、Sb、Hg作指示元素。浙江某金矿土壤地球化学测量中用Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mn作指示元素。

吉林夹皮沟地区金矿土壤地球化学测量中二十多年来用Cu、Pb作指示元素取得了良好的找矿效果，整个成矿带上的Cu、Pb异常成群、成带分布（见图1、据李忠林等）。近年来，作者经过一些已知矿床上的试验，总结出不同剥蚀深度矿体上方土壤中的指示元素。

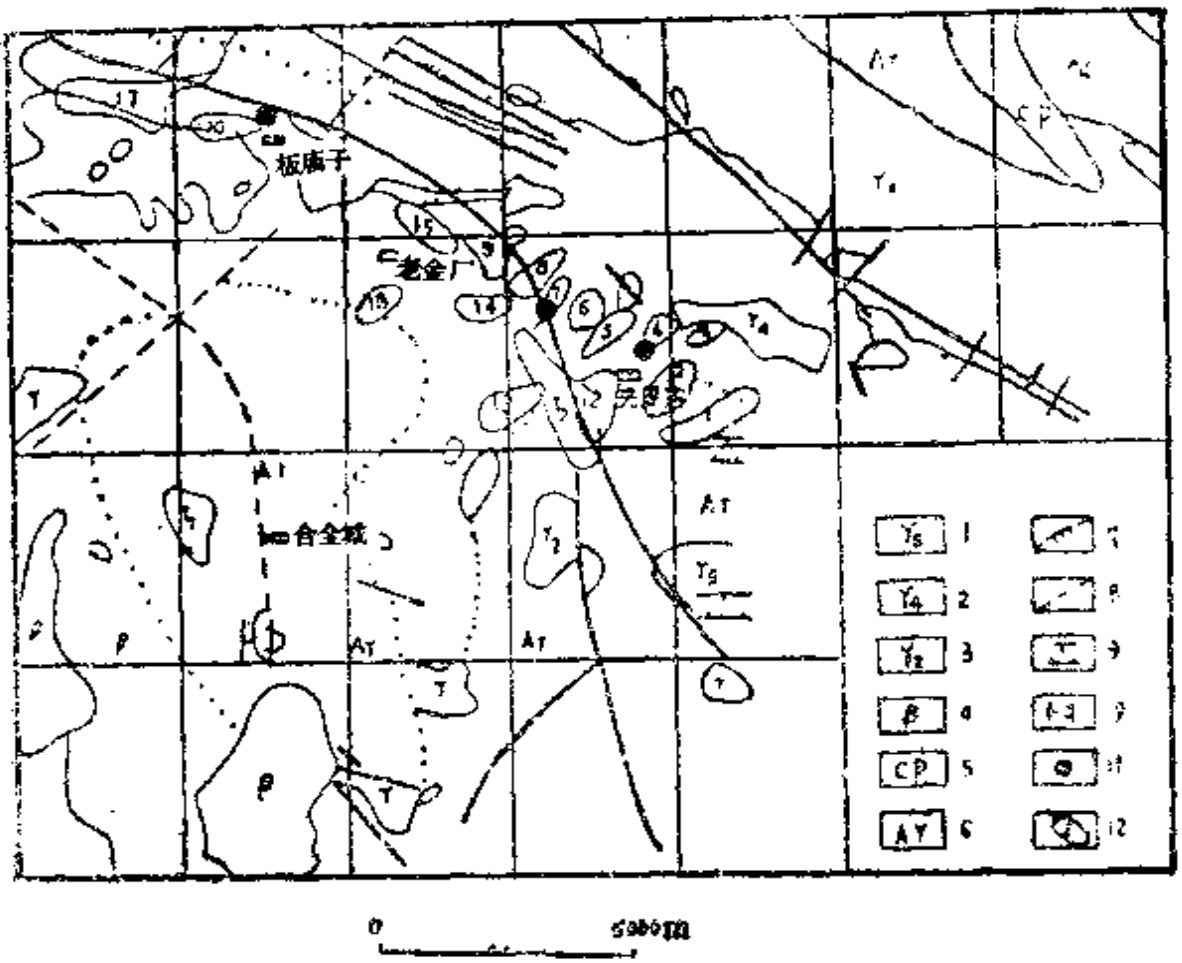


图1 夹皮沟成矿带Cu、Pb土壤地球化学异常分布图

1—中生代花岗岩；2—上古生代花岗岩；3—前寒武纪花岗岩；4—玄武岩；5—石炭—二迭系；6—太古界鞍山群；7—压性、压扭性断裂；8—推测断裂；9—纬向构造；10—经向构造；11—金矿床；12—土壤中的Cu、Pb异常及其编号

1．已部分剥蚀掉的金矿体上方土壤中的地球化学异常特征及指示元素

当含金石英脉已部分剥蚀掉以后被土壤覆盖起来的矿体上方土壤中能形成Au、Ag、Cu、Mn、Ba、Sr、Mo等元素的异常，其元素组合相当于矿体中、下部的元素组合（图2）。

2．尚未剥蚀或刚刚出露地表的矿体上方土壤中的地球化学异常特征及指示元素。

当含金石英脉刚刚出露地表或接近地表尚未剥蚀而被土壤覆盖时，其上方土壤中形成Au、Ag、Ba、Cu、Pb、Mo、Mn、As、I、F、Hg等元素的异常，其中Au、Ag的异常强度和范围最大。形成异常的元素组合以矿体上部的元素组合为主，如Ag、Pb、Ba等（图3）。

3．盲矿体上方土壤中的地球化学异常特征及指示元素

当含金石英脉埋深几十米而且含矿断裂系统已出露地表被土壤覆盖时，在其上方的土壤中形成Au、Ag、Cu、Pb、Ba、F、As、Hg、I等元素的异常。其中Au、Ag、Cu、Pb等成矿元素只有较弱的低缓异常，而Ba、F、As、Hg、I等远程指示元素则形成明显的异常。可见Au、Ag、Cu、Pb等成矿元素的低缓异常上迭加的Ba、F、As、Hg、I等远程指示元素的异常为寻找盲矿体的找矿指标。

山东玲珑金矿土壤地球化学测量中用Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、As、Bi、Ba作指示元素，其中Au、Ag、As为最佳指示元素，Ag、As、Pb组合异常指示金矿脉。

三、岩石地球化学测量中的金矿地球化学找矿指标

岩石地球化学测量包括区域性基岩地球化学测量和矿体原生分散晕的研究。

金矿带是相对局部背景划出来的。不同金矿带Au及其伴生元素的分布很不规则，金的含量变化范围很大。近几年，国内通过区域性含金性的研究提供矿床成因及成矿机理方面的重要资料。金矿带的晕中Au与许多元素相关，而且每个矿带各具特点，最常见的是Au与Cu、Pb、Zn、Ag、Co、Ni、Ba和As相关。

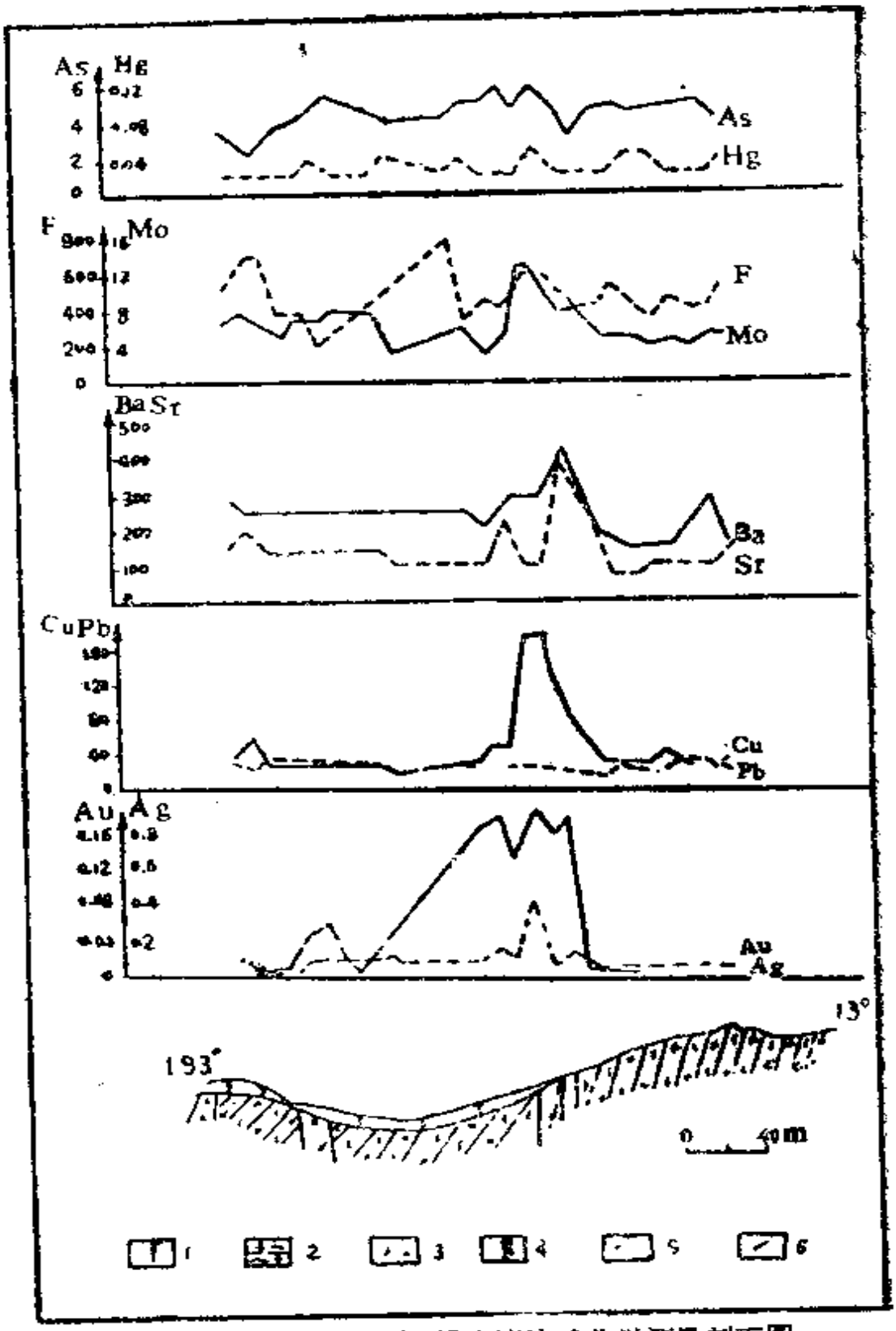


图2　板庙子金矿床2线土壤地球化学测量剖面图

1—表土；2—混合片麻岩；3—闪长岩；4—矿体；

5—辉绿岩；6—含金石英脉（单位均为ppm）

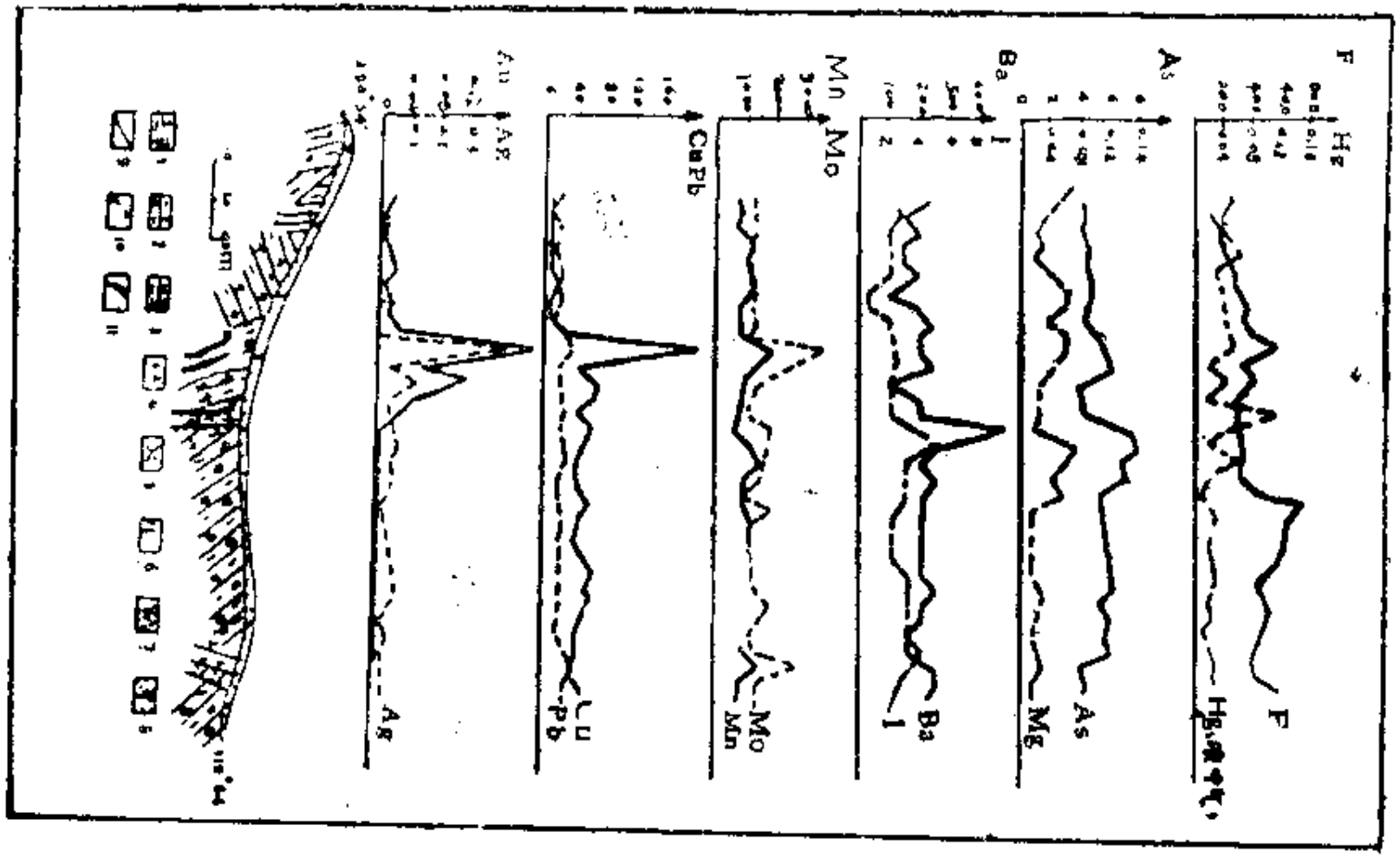


图3　三道岔金矿床0线土壤地球化学测量剖面图

1—混合片麻岩；2—斜长片麻岩；3—条带状片麻岩；4—闪长岩；5—正长斑岩；6—蚀变片理化带；7—破碎带；8—表土；9—含金石英脉；10—含矿断裂；11—矿体　　(单位均为ppm)

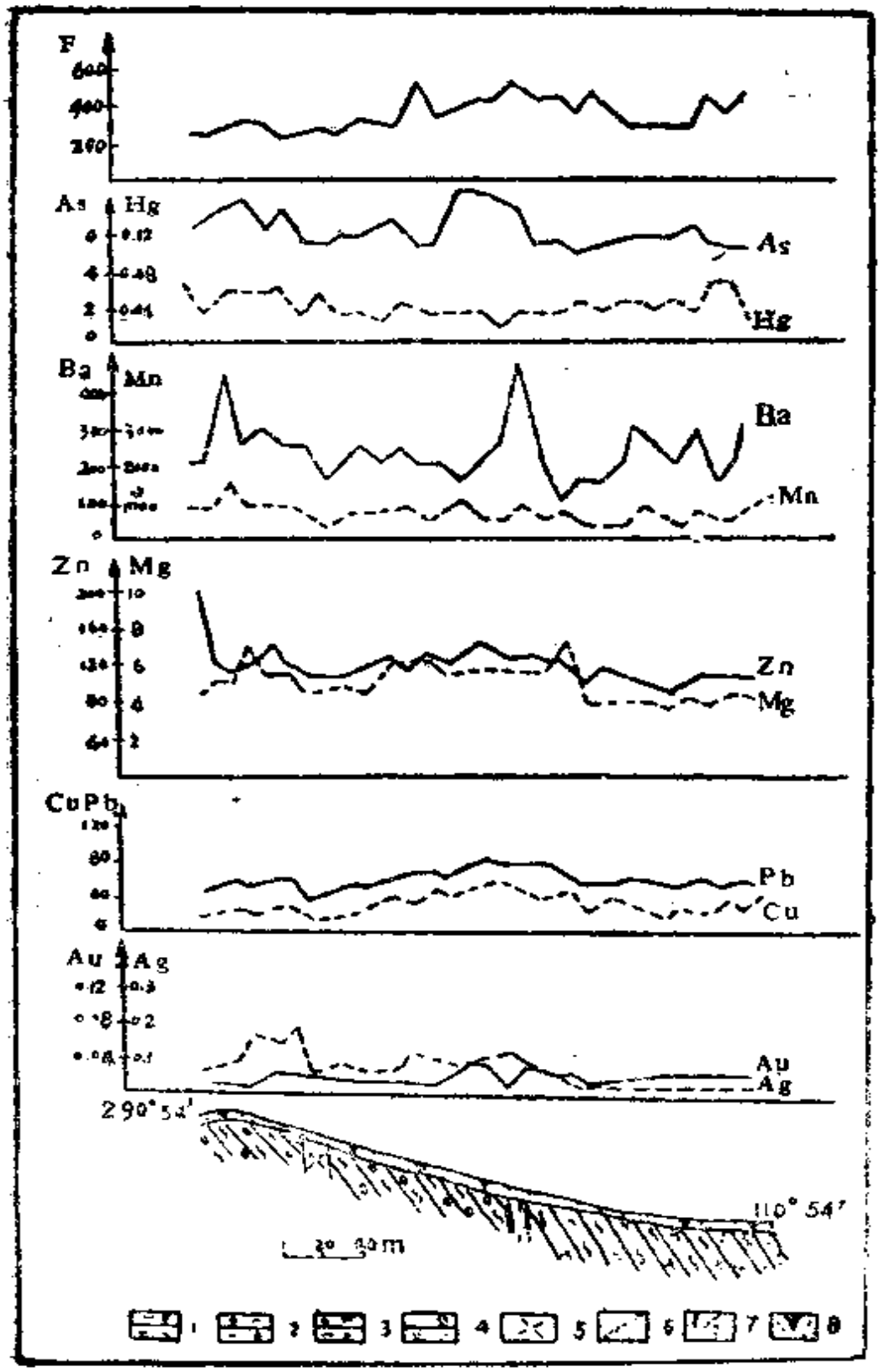


图4　三道岔金矿床12线土壤地球化学测量剖面图

1—条带状片麻岩；2—斜长片麻岩；3—混合片麻岩；4—斜长角闪岩；5—正长斑岩；6—含金石英脉；7—破碎带；8—表土　（单位均为ppm）

R．W．博依尔指出矿体原生晕研究中用SiO_2、K、Na、CO_2、S和H_2O等大量组分和Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Mo、Hg、Ba、Mn、Cr、Ni、Co、Se、Te、W、Rb、Cs、B、U、Tl等微量元素。其中Cu、Ag、Zn、Hg、B、As、Sb、Bi和Te有特殊意义。在深层金矿中，几乎普遍存在As、Sb和Te。岩石地球化学测量中普遍应用的指示元素有Au、Ag、As、Sb、Hg、Cu、Pb、Zn、B、Ba、W。

我国不同地区岩石地球化学测量中所采用的指示元素见表2。

从表2可以看出，我国普遍用Au、Ag作为主要指示元素进行金矿岩石地球化学测量，其次具有普遍意义的是Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Ni、Co、Mo等与金伴生的硫化物成矿元素。从表2还可以看出，我国一些研究人员，已用V、Ti、Ba、Sr、Mn等与成岩、成矿有关或与区域地质特征有关的常量元素、这对异常形成机理的研究和异常模式的建立都有重要意义。

四、水化学金矿地球化学找矿指标

天然水(淡水)中金的含量很低，为0.0001—0.0073ppb。产金区的水中金含量也很低，为0.001--1.0ppb。目前还没有用金作指示元素进行大面积水化学测量的成果。但是可以预料，一旦有简便、高灵敏的金的分析技术，用金作指示元素的水化学找矿，必将大面积展开，也会取得良好的找矿效果。

目前国内外测定天然水中金含量的方法有：共沉淀、载体、树脂捕集和溶液萃取，然后进行比色分析，原子吸收分析或中子活化分析。这些方法速度慢、成本高，不易推广。可望近期会有某种新方法用于金矿水化学地球化学测量中。

目前文献中提供的金矿水化学地球化学测量中用作指示元素的有Au、Ag、Cu、Zn、As、Sb、Ni、Co、U、Hg。

表2　　我国金矿岩石地球化学测量指示元素

地　点	指示元素	文献作者
鄂东北	Pb、(Zn)、Ag、Cu、(Mo)、F、Hg、As	成从友
北京地区	Pb、Ag、Bi、Cu、As	杨文泉
甘肃老金厂	Ag、As、pb、Zn	韦云程
山东某地	Au、Ag、Cu、S、W、Mn、Pb、Zn、Bi、Ba其中W为最有效	邱德同等
山东某地	Au、As、Ag、Se、Te、Sb、Hg、Ba、Bi、Mn、Cu、Pb、Zn	刘汉忠等
吉林夹皮沟	Au、Ag、Cu、Pb、Ba、Mn、F、Hg、Mo、Ni、Co、V、Ti	朱太天等
宁芜盆地	Au、Ag、Cu、Bi、As、Sb、Mn	地矿部第一综合物探大队103队综合组
广东某地	Cu、Bi、Hg、Pb、Zn、As	陈湛华
河南某银矿	Ag、As、Pb、Zn、Cd为主，其次Cu、Mn、Ni、Mo、Co、Sb、Bi、F、Ba、Sr	万　欣
鄂东南	Au、Cu、Pb、Zn、Ag、W、Mo、Mn、Co、Ni、Sr、Ba、V、Ti、Cr	周亚特
浙江某金银矿	Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Sn、Mo、V、Ti、Ni	刘英俊等

戈勒娃（1970）发现，苏联后贝加尔东部巴列依地区，水中最好的金矿床指示元素为Au、Ag、As、Zn、Pb和Sb。其次为Bi、Cu和SO_4^{2-}。

五、气体金矿地球化学找矿指标

金矿床周围确实存在气晕，而且可以分成是动态的和静态的气晕。

R.W.博依尔将矿床周围形成的气晕划分为四个成因类型：

1．由放射性作用和矿物组分的氧化，或者在某些地方由矿物组分的现代变质作用而产生的动态气晕。当金矿床含有放射性元素U、Th、K时，产生的气体是He、Rn、Ar；当发生氧化作用和变质作用时，产生的气体是SO_2、H_2S、其它含硫气体、CO_2和各种挥发性有机和无机金属化合物。

2．沿断裂和其它构造迁移上来的气体。如H_2S、CO_2、N_2、CH_4和惰性气体。

3．形成动态气体晕并与现代矿化作用有关的气体，包括H_2S、CO_2、H_2、B、As、Sb、F和Cl的各种挥发性化合物。

4．形成静态气晕并与岩石过去的成岩、成矿作用和变质作用有关的气体。这些气体被封闭在脉体和围岩矿物的包裹体中，颗粒的边界空隙中，以及小断裂、裂隙和岩脉及围岩的其它空隙中。这类气体包括H_2S、CO_2、N_2、CH_4、He、惰性气体等。

气体地球化学测量中使用的采样物质包括岩石、土壤、冰碛物、地表和地下水及空气（大气）。

金不生成在自然界浓度很容易测定出来的无机挥发性化合物，但它会形成许多有机化合物，包括烷基化合物、有机砷化物和螯合物，其中有些具有高的挥发性。

凡是铀和钍与金伴生的地方，总会有氦和氡气产生。在某些含金矿床中，F、Cl可作为指示气体。

腓特烈逊等（1971）介绍过一种采用近地表大气作采样介质，测定其F、Cl、Br、H_2S、SO_2、AsH_3和Hg含量，配合航空和车载质谱仪——计算机技术进行的区域勘查。

博依尔（1961）曾在加拿大地盾的含金矿床上测得沿容矿构造上升的低浓度CH_4、CO_2和H_2S。

看效果，气体测量在圈定金矿床的含矿构造上有一定的效果。我国目前许多单位都在开展壤中汞气测量及热释汞测量，对金矿床构造的研究取得了良好的地质效果，甚至能圈定100多米以下的隐伏构造。但是光靠汞气测量无法判断构造的含矿性。采用金及其伴生元素的挥发性化合物做地球化学测量，也许能圈定金矿床。

六、金矿地球化学评价指标

找到异常之后紧接着要评价异常。异常评价要回答异常的含矿性及剥蚀深度即异常与矿体或矿床的空间关系。

区分矿异常和非矿异常大都采用经过试验选择的地区性元素组合或元素比值等指标。

1．经过试验、对比，确定含矿异常的元素组合。

元素组合反映不同矿化类型及地球化学环境，因此，在不同地区和矿床经过试验和对比可以确定含矿异常的元素组合。

南京大学刘英俊等在浙江某地金银矿总结出Ag、Cu、Pb、Zn、Sn、Mo等元素的综合异常为金银矿化的标志。

南京大学邱德同等在山东某金矿床总结出根据W异常的存在与否区别不同矿化类型的准则；单一的Cu矿化、Pb、Zn矿化而无W异常，不是反映Au矿化；Ag的强异常伴随Bi、W的异常则反

映Au的矿化。

山东勘探公司二勘丛培华等在山东某地总结出Ag、As、Pb等元素组合指示金矿脉。

作者在吉林夹皮沟地区总结出水系沉积物地球化学异常中Au、Ag、Cu、Pb等元素的综合异常指示金矿床，土壤和岩石中Au、Ag及Cu、Pb、Zn、Ni、Co、Mn、As、Mo、Sb、Ba、Sr、V（负）、Ti（负）、F、I、Hg等元素中某几个元素的综合异常指示矿体。

2．通过一次元素比值区分矿异常和非矿异常。

浙江省地矿局第七地质队周俊法在浙江某地金银矿总结出用Ag／Pb比值区分矿异常和非矿异常的准则：

矿体引起的异常　Ag／Pb＞1；

矿化、蚀变带异常　Ag／Pb＜1—0.1；

无矿异常　Ag／Pb＜0.001。

评价了异常的含矿性，还要弄清异常的剥蚀深度和与矿体的空间位置。

元素的垂直分带及水平分带及一些元素比值可以提供评价剥蚀深度及异常空间位置的指标。

苏联总结了不同类型金矿床原生晕组分的分带序列(表3)

表3 中垂直分带序列为自上而下的顺序，水平分带为从围岩到矿体的顺序。As^1、As^2表示As有两个位置，即可出现于前缘晕，也可为尾晕。括弧内的元素表示没有精确确定在分带序列中的位置。

综合不同地区、不同矿床的分带序列，苏联提出总的垂直分带序列和总的水平分带序列。

总的垂直（轴向）分带序列如下(自上而下的顺序)：

As—Ag，Au^2，Sb—Bi—W—Au^1，Sn，Mo—Co。

总的水平(横向)分带序列如下(从围岩到矿体的顺序)：

表3　　不同类型金矿床原生晕组分的分带序列

矿床(成因、形态、工业)类型	垂直分带	水平分带
石英脉型金矿床	Sb, As, Ag, Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, Au, Co, Be	Au, As, Bi, Ag, Pb, Sb, Cu, Be, Mo, Co, Zn
低温热液微细浸染型金矿床	As, Sb, Hg, Au, W	Au, As, W
霍姆斯塔克型金矿床	F, B, As, Sb, Ag, Pb, Zn, Au, Cu, Bi, Ni, Co	
细脉浸染状硫化物型金矿床(火山沉积岩中变质成因)	B, As, Ag, Sb, Pb, W, Au, Sn, V, Co, Ni	As, Au, W
脉型和网脉型金矿床(金—钠长石—石英建造)	(Ag², Pb, , Zn, Cu), As, Bi, (Au, Ag¹, Co, Mo, W)	
金银矿床	Sb, As, Ag, Pb, Zn, Au, Cu, Mo, Sn, Bi, Be, W, Co	
金锑矿床	Ba, Li, Hg, As², Sn, Ag, Pb, Zn, Sb, W, Au, Cu, Ni, Co, Ga, Mo, Be, As¹	

续表

矿床(成因、形态、工业)类型	垂直分带	水平分带
锑金矿床	Ba, Hg, As, Sn, Ag, Zn, Li, Sb, Pb, Au, W, Ni, Co, Cu, Ga, Ge, Mo, Be	
含金斑岩型铜矿床	Ba, As, Sb, (Ag, Pb, Zn), Au, Bi, (Cu, Mo), (Sn, W, Be)	Au, Cu, Mo, Ag, As, Sb
伴生金的硫化物铜镍矿床	Ba, Ag, Pb,, Au, Cu, Ni, Co	
铜金矿床	Sb, As, Ag, Cu, Co, Au	Au, Cu, Mo, Ag, As, Sb
高温热液金矿床	(Sb, As[1], Ag, Pb,), Zn, Cu, Mo, Bi, (Co, Ni, As[2], Au, W, Be)	
中温热液金矿床	(Sb, Ag), Pb, Zn, Au, Cu, (Mo, Sn), Bi, (Be, W, Co)	
低温热液金矿床	Hg, Ba, (Sb, As), Ag, Au, Pb, (Zn, Cu), Mo, (Sn, Bi, W)	

Au，As—W，Bi，Mo，Sb，Ag。

（分带序列中逗号分开的元素为相对富集水平接近的元素）。

由于不同地区、不同矿床的元素组合不同，加上不同地区、不同矿床的元素背景及异常下限的差别，因此上述分带序列不能盲目套用，各地不同矿床应建立该区、该矿床的分带序列，便于具体指导找矿勘探。

从多数矿床的分带序列中，也可以总结出一些规律，如Hg，F，B，Ba，As，Sb等元素位于垂直（轴向）分带序列的前部，也就是说，这些元素在矿体顶部富集；Ag，Pb在矿体上部富集；Cu，Au，Ni，Co等元素在矿体中部富集；W，Mo等元素往往在矿体下部富集。

表4列出我国一些金矿床的垂直（轴向）分带序列和水平（横向）分带序列。

从表4可以看出，我国某些金矿床的分带序列与国外金矿床可以类比。只有山东焦家金矿床与吉林夹皮沟金矿床的垂直分带序列中前缘元素排列在后面。山东焦家金矿床As、Sb、Ba的高含量出现在矿体下部，尤其是Sb在矿体下部出现内带浓度。经检查该异常组合为同一矿带内下部矿体的前缘走向异常迭加在前一成矿带的尾部异常上。

吉林夹皮沟金矿垂直分带序列中As、Hg排在后面显然是异常现象，推测深部可能另有一个盲矿体，这就给该矿床的深部预测提供了依据。

我国某些金矿床用某些元素比值确定剥蚀深度。

浙江省地矿局第七地质队周俊法在浙江某金矿床总结出Au/Mo比值的垂向变化，以便确定剥蚀深度：

矿体头部　Au/Mo＞0.1—1；

矿体中部　Au/Mo＞1—10

矿体尾部　Au/Mo＜0.1。

表4　　我国某些金矿床原生晕组分的分带序列

矿　床	垂　直　分　带	水平分带
浙江某金银矿床	Ag, Au, Pb, Zn, Cu, Mo, Sn	
山东某金矿床	Mn(Au、W、Wn), (Ag、Bi, Pb,. Cu), S	
内蒙金矿床	Cu, Ag, Au, As, Mo	
河南某金矿床	As, (Sb), Pb, Ag, Cu, Ni, Co, Mn, Zn, Cd, Mo	Ag, Zn, As, Pb, Cd, Cu, Ni, Mn, Mo, Co
鄂东南某金矿床	Au, Ag, Pb, Zn, Cu, W, Mo, Mn, Ni, Co	Au, Ag, Cu, Mo
山东玲珑金矿床	Sb, Hg, As, Ag, Fe(Mo), Pb, Cu, Se, Au, Zn, Mn	
山东焦家金矿床	Cu, Zn, Ag, Se, Au, Pb, Te, As, Sb, Ba	
吉林夹皮沟金矿床	F, Pb, Cu, Ag, Au, Co, Mo, Ni, Mn, As, Hg	

作者在吉林夹皮沟金矿总结出Ag/Au比值的垂向变化规律，也可用来确定矿体的剥蚀深度：

矿体上部　Ag/Au>1；

矿体中部　Ag/Au在1左右波动；

在矿体下部　Ag/Au<1。

在一些矿床还提出元素组合的垂直变化。如河南某银矿中（据万欣）指出元素组合的垂直变化：

前缘元素：As、（Sb）、Pb、Ag；

中部元素：Cu、Ni、Co、Mn；

尾部元素：Zn、Cd、Mo

作者在吉林夹皮沟金矿总结出三道岔金矿床元素组合的垂直变化如下：

F、I、Hg、As、Sb等元素为远程指示元素，作为矿体顶部的特征元素；

Pb、Ag为矿体上部的特征元素；

Cu、Ni、Co、Mn及V（负）为矿体中部的特征元素；

Mo为矿体下部的特征元素。

为了使元素组合分类具有确切的统计依据，作者在三道岔金矿床系统地进行了点群分析和因子分析，对元素进行相似分类及成因分类，其结果证明上述划分是正确的。

总之，金在自然界分布的不均匀性导致了金矿勘查的复杂性。随着现代高灵敏度的分析技术的发展，近几年，国内外普遍用金作为直接指示元素开展金矿地球化学勘查，并取得了良好的找矿效果。我国近几年用勘查地球化学方法陆续找出几个大型金矿，大型金银矿及大型银矿。由于今后找矿难度越来越大，因此勘查地球化学家不能满足于获得异常，还应用新理论、新方法、新技术确切地评价异常，指导找矿、勘探。这需要我们提高识别潜在信息的能力，强化一些异常以便寻找隐伏矿体和盲矿体。

参考文献略

选自《金银矿产选集》第四集（1985）

试论构造地球化学找金的几个问题

徐光荣

（长春冶金地质专科学校）

在现代地质找矿工作中，勘查地球化学作为一种现代找矿手段，由于方法先进，工作周期短，投资省，不需要许多价格昂贵的仪器和装备，找矿效果显著，在国际和国内发展都十分迅速。例如，我国自1979—1984的六年中，以化探为主配合必要的工程验证已查明工业矿床和矿点125 处，其中找金的效果最为突出，在全国十几个省和自治区共发现35处金矿产地，其中有工业矿床16个，包括大型金矿7处，中型金矿7处，小型金矿2处。在国外效果也很显著，例如苏联，在近十年内用化探方法找到了150 多个工业矿床。联合国在1960—1980的二十年内，在世界各地主要应用化探方法发现的矿产总值达200亿美元，而投资不到3亿美元。随着勘查地球化学的迅速发展，逐渐出现了一门地球化学与构造地质学结合而产生的边缘学科—构造地球化学。它主要研究在地质构造运动过程中在构造应力的作用下，元素迁移、变化和分散与富集的地球化学行为。地质工作和找矿工作的实践证明地壳运动和地质构造活动必然伴随有相应的地球化学活动，各种地质构造单元是进行地球化学运动的通道和场所，也是各种成矿元素迁移的通道和分散、聚集的场所。对各种构造地球化学模式和标志的研究，有助于对复盖区不同构造单元的判别和区分，有助于对隐伏构造的探索，进而为探寻隐伏矿床提供线索和根据，构造地球化学在一定意义上说来是勘查地球化学的一门分支学科。总的

说来，它还处在逐步形成和发展的初期阶段，就整个构造地球化学而言，涉及的范围很广，本文着重讨论断裂构造地球化学在寻找内生金矿方面的某些基本理论和工作方法问题。

一、金的构造控矿模式

金矿床与其它金属矿床比较起来，前者显然具有成矿作用的多样性、多期性和多成因性。总的说来，在历史上和现代，分布最广泛，生产量比较多的矿床类型要数内生热液金矿床。据〈矿业杂志〉（Mining Magazine）1979年的统计资料，世界各国年产15万吨以上金矿石的矿山共计135个，其中绝大多数是内生热液金矿床。据《美国矿产资源》（1973年版）报道，仅含金石英脉型金矿床一个类型1969年的产金量占世界总产金量的20—25%。因此，在强调“兰德型”金矿、砂金矿以及积极探寻金矿新类型的同时，重视内生热液金矿的普查找矿和科学研究，仍不失为有效的务实之举，不属于因循守旧的保守行为。特别是内生热液金矿床在空间分布上的广泛性，对发展我国的黄金事业是大有可为的。对于内生热液金矿床从工业类型方面来看，大体可分为石英脉型、破碎带蚀变岩型和细脉浸染型。一般说来，内生热液金矿床具有对太古宙基性火山岩的专属性，对中酸性侵入岩体的专属性和对深断裂的专属性，尽管一段时间以来，在学术界相当一部分人强调金矿的层控性，但从国内外金矿床的普查找矿实践和大量著名内生金矿床的基本地质特征来看，金具有对构造的专属性，可以说是最直接的控矿地质前提，从构造控矿的角度看来，内生金矿普遍受四个层次的构造单元的控制；即深断裂（Abyssal Faults）、主干断裂带、长断裂、扩容段构造。

这四个不同层次的构造单元对内生热液金矿的控制作用主要表现在下述特点上：

（一）深断裂

这是金的主要成矿地质前提，它表现为金矿对硅铝层壳型深断裂的专属性，内生金矿研究的大量事实表明金矿床的找矿作用具有深源性。金矿床的原始成矿物质主要来源于上地幔或地壳深部的硅铝层。在矿床类型的划分上，据此可以分为：

（1）幔源型伴生金矿床，常见的有与基性或超基性杂岩体有关的岩浆铜镍矿床中的伴生金矿床，著名的例子有，南非布什维尔德铜镍矿床中的伴生金矿床，我国金川铜镍矿床中的伴生金矿床；

（2）壳源型金矿床，主要是在含金丰度较高的太古宙绿岩带或老变质基性火山岩的基础上演化形成的，它普遍受硅铝层壳型深断裂的控制，E.A.拉德凯维奇把它概括为金对深断裂的专属性。受深断裂控制是国外和国内许多著名金矿基地的共同特征，例如，Г.П.沃拉诺维奇指出蒙古—鄂霍茨克深断裂控制了它南北两侧的金矿带，包括它北侧的斯塔诺夫金矿带和该深断裂南侧的主金矿带，其中有外贝加尔金矿带，阿穆尔金矿带和东锡霍特阿林金矿带。我国山东招掖地区的胶东金矿基地受沂沐深断裂控制，黑龙江省的佳木斯—牡丹江金矿成矿带受敦（化）密（山）深断裂的控制，据邵永恕等人的资料，该深断裂南侧以发育再生岩浆热液型金矿为主，金矿与后期继承性的沿NNE向分布的燕山期花岗岩类侵入体关系密切，敦密深断裂的北侧以发育混合岩化热液型金矿和变质热液型金矿为主，在麻山群变质岩分布区组成佳木斯—牡丹江金矿成矿带的主体，该成矿带已知有183个金矿产地。吉林省的主要金矿产地受横贯全省的辉发河深断裂所控制，产在该深断裂南侧的有辉南石棚沟金矿，全国闻名的桦甸夹皮沟金矿基地、安图海沟金矿、和龙金城洞金矿等，产在辉发河深断裂北侧的以二道甸子金矿为代表。地跨内蒙、辽北的赤峰—开源深断裂控制了红花沟、撰山子等一系列金矿床和金矿

点。综上所述，通常大型、特大型内生热液金矿床往往受深断裂控制，普遍产在深断裂附近的主干断裂带内，组成寻找金矿的有效靶区—含金脉群带。

一般说来，控制金矿的深断裂类型主要为硅铝层壳型深断裂。这种深断裂沿走向延长数十公里、数百公里，甚至上千公里，它决定其分布地区的地壳演化进程和地质历史，影响其分布的区域地质特征。对金矿来说，它往往控制与金矿床关系密切的中酸性侵入体的空间分布，影响含金主干断裂带的规模和空间位置，也影响含金长断裂的规模、数量和分布，对扩容段构造的出现及其某些基本特征也有一定的影响。

总之，深断裂是寻找内生热液金矿床的第一个层次的构造控矿条件，也是首要的找矿地质前提。它控制金矿省或金矿成矿带。

（二）主干断裂带（含金脉群带）

普遍位于深断裂的一侧或两侧，一般与深断裂的走向是斜交或直交关系。某些情况下与深断裂呈大体平行关系，总的说来，一条主干断裂带是若干个复杂的断裂带的集合，通常它由一条中位断裂带和若干条大体与之平行的侧位断裂带组成，整个主干断裂带的纵向长度累计达十数公里至数十公里，在横向上，中位断裂带大体居中间位置，它的延长和规模远远大于其相邻的侧位断裂带，侧位断裂带一般分裂中位断裂带的两侧，整个主干断裂带的横向宽度一般为数百米至数千米。主干断裂带是内生金矿的主要的导矿和容矿构造，组成主干断裂带的断层和断裂普遍被不同规模期次的岩墙、蚀变带、石英脉、指示元素晕等所充填、占据或包络，其中往往赋存若干金和有关指示元素的原生晕、次生晕、以及金矿点、金矿体和金矿床，从而组成含金脉群带。大型和特大型内生热液金矿均系产生在规模巨大的含金脉群带中，这是一条极为重要的构造控矿规律，也是一条行之有效的找矿标志。例如，河南小秦岭金矿基地的老鸦岔脑含金脉群带，长达50km，胶东金矿

基地的焦家含金脉带群长12km，宽50—200m，吉林夹皮沟含金群带长达50km，宽5km。上述实例说明大型和特大型金矿床都是产在规模巨大的含金脉群带内，它是普查和评价金矿的主攻方向和战略目标。

（三）含金长断裂

根据内生热液金矿普查找矿和科研工作的实践，所谓含金长断裂一般是指在含金脉群带内沿走向延伸大于2000m或1000m以上的断裂构造，这是构成大型、特大型内生热液金矿的主要容矿构造，含金长断裂一般为断层或复合断裂所组成，宽数米至数十米，据苏联E.M.涅克拉索夫（1980）的资料，世界上的一些著名的大型或特大型金矿床在形态和规模上的一个突出特点是矿体的延深很大，普遍大于1000m。例如，印度科拉尔金矿延深达3500m，金的储量为700t。加拿大波丘潘金矿，矿体延深1220m，金储量达1550t。澳大利亚卡尔古利金矿延深达1200m金储量1050t。作者的工作表明大型、特大型金矿体不仅延深大，而且，在地表必然延长大，整个含金裂隙或断裂沿走向至少延长大于1000m，通常应当大于2000m，例如，山东玲珑金矿的52号脉，长2100m，宽5—30m，目前已控制延深600m，预计延深可能达1800m，平均品位18.64g/t，为一特大型矿体，玲珑金矿的175号脉，长2000m以上，含金最高品位48.60g/t，为一大型矿体，河南小秦岭金矿含金脉群带中规模巨大的含金长断裂沿走向延长大于4000m者有二条，2000—4000m之间的含金大断裂有五条，它们占已探明储量的80%，是组成该金矿基地的主体，其中文峪矿区的505号脉，长4200m，已控制延深900m以上，厚度10m左右，最高品位达284.8g/t，平均品位16.31g/t，为一特大型矿体。综上所述，含金长断裂构造是赋存大型、特大型金矿体的主要容矿构造，大量野外观察表明长断裂构造的形成历史比较复杂，普遍具有长期多次活动的特点，属于结构面力

学性质经历过多次转变的复合裂隙。沿含金长断裂构造的延长方向，在地貌上普遍存在明显的标志，多呈由差异风化形成的负地形，沿断裂线上，风化残积物往往被高价铁离子染成红紫色，在某些地段可以见到铁帽、硅质细脉带、网脉带、或断续相连的石英脉，呈线状延伸的热液蚀变晕，金的线型原生晕、有关指示元素的线型异常或组合异常。

在金矿普查评价工作中，沿含金脉群带下功夫优选长度大于2000m，至少长度大于1000m的含金长断裂构造，应当成为内生热液金矿普查评价工作中的一项基本原则，只有这样才有可能目标明确地在较短时间内找到和评价出大型或特大型金矿体。

（四）扩容段构造

普查评价金矿的实践证明，金矿化在空间分布上往往极其不均匀，在同一条大断裂构造中并不是整个长断裂内处处都赋存工业金矿石，恰恰相反，仅仅在某些局部地段赋存有金的工业矿体，例如，小秦岭金矿文峪矿区的王牌矿脉505号含金大断裂，地表出露总长度4200m，矿体累计总长度3170m，占整个长断裂总长度的77.9%，单个矿体最长者为360m，占总长度的8.6%，最小矿体长度不到100m，仅占总长度的2.4%。总之，在含金长断裂中金的局部矿化现象，极其普遍。这种在含金长断裂中金的局部富集地段就是金的扩容段构造。从成矿作用机理的角度看来，这样的容矿段就是金长断裂构造中的减压扩容段。在内生热液金的形成过程中，只有在压力骤然降低，容矿空间骤然增大的地段才有可能使金相对富集成矿，从而成为金矿体或金的富矿段。含金长断裂内的容矿段往往延深大于延长，因而，金矿体和金的富矿段通常多呈柱状。

在含金长断裂构造中找寻容矿段，分析和找到合适的减压扩容段构造，是应用构造控矿理论卓有成效地提高找矿效果的关键性环节。

根据现有资料的初步综合，在含金长断裂构造中容矿段的主要构造类型大体如下：

（1）张裂隙，尤其是张压或张扭复合裂隙以张性为主的地段。在露头上表现为脉幅骤然变宽，石英脉或蚀变带发育角砾状构造。

（2）含金长断裂的走向急剧变化，脉幅在拐弯处由窄变宽，由收缩更迭为膨胀的地段。

（3）含金长断裂构造倾角出现急剧变化，例如由陡变缓的地段，或倾向出现反向的地段。

（4）含金长断裂出现封闭环境的地段，通常断裂构造内部为化学性质活泼、物理性质酥脆或孔隙度很高的岩石，例如硅化灰岩，两侧围岩为渗透性很低的致密岩石或不透水层，例如角岩或页岩，二者组成使含矿溶液滞留聚集而不易逸散的封闭构造。

（5）含金长断裂与次级分支断裂交汇部位。

（6）含金长断裂内出现发育多种热液蚀变、多阶段金属矿物组合迭加的强片理化或劈理化地段。

（7）中酸性或基性岩墙发育，含金长断裂与岩墙（主要是中酸性岩墙）重合，或含金长断裂被局限在若干条大型岩墙之间，长断裂本身多次破碎、被蚀变岩或含金属硫化物硅质岩充填、胶结的地段。

综上所述，内生热液金矿普遍受上述四个层次构造因素的控制，它们在一个地区组成一个层次分明的金的控矿构造系统。因此，在找寻和评价内生热液金矿的工作中，对于控矿构造的研究，应当遵循下述四个步骤：

1）收集区域地质资料，在工作区寻找和鉴别硅铝层壳型深断裂，查明深断裂的空间分布情况，这是找寻内生热液金矿的首要的地质前提。

2）收集矿点和金矿化情报点资料，在深断裂带附近找寻和

确认含金脉群带，其长度应在10km以上，对含金脉群带应进一步区分中位断裂带和侧位断裂带，优先研究和评价中位断裂带。

3）在含金脉群带内着重优选含金长断裂构造，含金长断裂的总长度应大于2000m，至少要大于1000m。

4）在含金长断裂内找寻减压扩容段构造，在长断裂靠近中部的地段，找寻构造活动多次复活，岩石破碎程度高，发育破劈理或片理、节理、发育石英脉或蚀变岩，在石英脉或蚀变岩中发育角砾状构造，有较多的金属硫化物富集，或有含金铁帽堆积，上述这样的地段是找到容矿段可能性比较高的地段。

二、金的构造地球化学基本特征

上述四个级别的构造单元是工作区构造岩浆活动和内生含金热液迁移的通道和聚集的场所。按现代构造观点来看，一个大型断裂系统不但长度很大，而且延深也很大，它们在垂直剖面上往往存在断裂构造的分带性，粗略地说来，一个基本上未受严重风化剥蚀破坏的大型断裂系统在垂直剖面上从地表至地下，通常在地表和浅部为脆性断裂带，发育的构造岩主要为张性角砾岩，从成矿机理的角度看来，属减压扩容段构造，中深部和深部为挤压断裂带和韧性断裂带，发育排列密集的破劈理或流劈理，构造岩类型主要为糜棱岩带，通常主要起矿液通道的作用，也是矿液在深部的重要容矿构造。

含金热液在断裂构造内由下往上运移，当迁到减压扩容段时，往往使矿液由迁移转化为滞留，由于含矿溶液具有很大的渗透能力，在其迁移或滞留过程中往往与断裂的两壁尤其是与扩容段的两壁发生化学反应，即进行渗滤交代作用或扩散交代作用，使被矿液渗透的围岩转化成为交代岩，通常称之为热液蚀变岩或蚀变围岩，金和有关的指示元素往往在蚀变围岩中形成含量显著高

于其原岩丰度的原生晕，或形成使围岩中的金和有关指示元素的含量大大低于其原有丰度的负晕，在发育残坡积层的复盖区，则因表生作用而在与矿体顶部对应的地面形成次生晕。

在水平方向上，沿含金长断裂的扩容段，或对应盲矿体的地面，往往发育范围比金矿体大若干倍的热液蚀变晕，它们多沿扩容段的走向呈壳形线状分布。最常见的蚀变类型主要为黄铁绢英岩化、绢英岩化，其次为硅化、玉髓化或似碧玉岩化、青盘岩化和绿泥石化等，在蚀变岩分布的地段往往发育金和有关指示元素的原生晕，有关指示元素往往沿垂直矿体走向或蚀变岩走向的方向出现分带性，即通常所说的指示元素的水平分带性。

在垂直方向上，金的原生晕通常呈比金矿体大若干倍的外壳包裹金矿体，金的有关指示元素，由于它们各自地球化学特性和地球化学行为的不同，加上在垂直方向上随深度的不同而出现的温度、压力的不同，以及溶液pH值、Eh值的不同，往往使包围金矿体的有关指示元素出现垂直分带。由于金的成矿作用的多样性、多期性和多成因性，加之，成矿环境和围岩物理性质和化学成分的不同，使金的指示元素的种类、元素组合和指示元素的分带性等都不存在一个普遍适用的统一的模式，相反，它们往往带有地方性。尽管如此，综合有关资料可以看出，金的指示元素及其分带性存在某些大同小异的基本趋势，可供在新区开展普查内生热液金矿时作参考。

一般说来，最常见的金的指示元素有：Au、Ag、As、Sb、Hg、Te、Se、Cu、Pb、Zn、Be、Bi、W、Sn、Mo以及S、F、Cl等。

综合有关资料，金的有关指示元素的垂直分带理想模式大体如下：

1.远程指示元素 位于隐伏矿体的上方，矿体隐伏地下可达300m以上。一般常见的指示元素主要为As、Sb、Hg，其次为

Fe、Ba、Mn、F、Cl等，R.W.博伊尔（Boyle，1979）认为用原生晕找金的最佳指示元素是Au、Ag、As、Sb、Hg。一旦发现Sb的丰度＞0.7ppm，Te＞0.05ppm，就意味着有Au(Ag)矿化存在的征兆。在加拿大耶洛奈夫金矿，As和Sb的异常位于隐伏矿体上方的剪切带中，矿体隐伏在其下面数百英尺处。澳大利亚的诺斯曼，盲矿体位于As、Sb异常下面达700m深。N.T.萨马尔策夫（1983）认为Sb、Ba、Ag、Hg是比较可靠的预示隐伏金矿体的指示元素，B.B.波利卡尔波奇金认为As、Sb、Hg、Cu是比较可靠的找金的远程指示元素，如果，原生晕中仅有As、Hg、Sb的高浓度，而无Au和Ag的高浓度，说明晕位于最佳金矿化带的上方。当接近最佳矿化带时，晕中Cu浓度明显下降，一旦Au、Ag的高含量出现时，则说明已接近最佳矿化带了，同时Au/Ag比值上升，等于1或远远大于1。

2.近矿指示元素 一般情况下，在金矿体中可出现Cu、Pb、Zn、Be等的原生晕异常或工业堆积。Au／Ag比值在剖面中出现最大值，比值远远大于1。

3.矿下指示元素 主要为Mo、Be、W、Sn的异常，它显示矿体很可能已被剥蚀到下部或根部了。

考虑到上述指示元素的理想分带模式仅有一般的指示意义，在每一个具体的矿区都可能有某些局部变化，因此，当在一个新的工作区普查评价内生热液金矿时，需要通过系统的试验工作，参考上述理想分带模式，尽快地拟定出工作区的具体的分带模式，以有效的指导工作区金矿预测、普查和评价工作。

三、应用构造地球化学找金矿的一般步骤和工作方法

在普查和评价内生热液金矿的工作中，根据上述构造控矿模式和在含金长断裂内包裹容矿段的Au及其指示元素的理想分带模式，可以考虑采用或参考下述一般工作步骤和工作方法。

1.查明成矿地质条件 收集工作区内有关金矿方面的地质资料，尤其是区域地质资料，根据收集到的必要的资料，从地质学、地球化学、地球物理学和遥感地质学等几个方面分析、鉴别工作区内有无深断裂存在和通过。在查明确实有控制金矿的区域性深断裂存在的基础上，进一步查明深断裂的空间分布情况和延展趋势。

在查明有深断裂存在的基础上，进一步考察和分析与金有关的岩浆岩体及岩浆活动，考察工作区的含金地层条件，是否有具有Au的高背景值的太古宙老地层，要充分重视金对太古宙基性火山岩的专属性和金对中酸性侵入体的专属性，调查了解与金矿关系比较密切的中酸性或某些基性脉岩的分布和发育情况，进而调查了解形成金矿的构造条件，包括含金脉群带的资料，某些含金长断裂的资料和线索。总之，一定要查明工作区的成矿地质条件，我们只能在成矿地质条件基本具备或成矿地质条件比较优越的地方开展金的普查评价工作，才有可能在工作中取得比较好的找矿效果，反之，不调查研究工作区的成矿地质条件，或对工作区成矿地质条件研究不够，成矿地质条件基本不清楚，不应盲目进点开展对金的大规模的找矿评价工作。多年来普查找矿工作中对同一个地方几上几下，几进几出的大量经验教训已充分证明，未弄清成矿地质条件就盲目进点，工作效果不佳，或工作进展缓慢，甚至造成大量不应有的损失浪费。

2.进行成矿预测，发现和优选含金脉群带 对经过系统的调查研究工作已查明具备金的成矿地质条件的地区，要编制矿点分布图、矿产分布图或成矿规律预测图，着重分析含金脉群带的空间延展趋势，含金脉群带的规模，脉群带与深断裂的关系，如果有数条脉群带存在，则要分析脉群带之间的组合特征和相互关系，进而优选出最佳的含金脉群带作为重点工作对象；一般说来，一个独立的含金脉群带的总长度应当在10km以上，而不能太短，不应是孤立、零星、长度不大，脉幅不宽的单个的矿化点或微弱的蚀变带，因为在这样的地方，一般说来不大可能赋存具有很大工业远景的金矿床。最佳脉群带多产在中位断裂带内。

3.在优选出的含金脉群带内寻找含金长断裂 在编制砂矿点分布图或成矿规律图的基础上，将整个含金脉群带内的矿化点、石英脉、蚀变带、蚀变岩墙等进行登记、排队、填入比例尺比较大的含金脉群带地质图区内，分中位断裂带和侧位断裂带，着重在中位断裂带内寻找和发现长度大于2000m或1000m的含金长断裂，进而优选规模最大、矿化蚀变最强、与含金岩体和含金地层以及岩墙群关系最密切的长断裂，以之作为优先评价的对象。

4.对优选出来的大断裂进行找矿评价工作着重在含金长断裂内寻找和发现容矿段 沿含金长断裂走向进行追索，着重寻找和发现减压扩容构造，寻找和追索具有一定长度和宽度的晚世代石英脉，富含金属硫化物或黄铁矿的矿化露头，线型铁帽，矿化蚀变带露头，在掩盖地段布置山地工程揭露和追索矿化露头和蚀变带。为了寻找隐伏金矿体，在具有减压扩容构造特征的地段垂直其走向测制地质地球化学剖面。剖面间距可视情况选用500m、200m或100m，剖面条数一般3—5条为宜，在工作初期至少要测制一条主干剖面，穿越整个矿化蚀变带，延展到无矿化蚀变的围岩内数十米或数百米，借以考察和发现金矿化、金矿体、金的异常以及有关指示元素的异常。同时准确了解Au和有关指示元

素，尤其是有关远程指示元素在不同岩性的围岩中的丰度和背景值，准确地分析和判断在工作区内有无矿源岩或矿源层，鉴于在以往科研和普查找矿中曾出现过的由于取样不当，误将蚀变岩当作原生基岩的教训，在测制地质地球化学剖面时，剖面线一定要穿过矿化蚀变带，并在穿过矿化蚀变带的顶底面后，一定要在未蚀变围岩中延伸数十米或上百米。以防止因工作失误而错误地判断矿源层，计算出不符合工作区实际情况的丰度值、背景值和异常下限值。

在测制主干地质地球化学剖面和与之平行的系列地质地球化学剖面时，对于原生晕或次生晕样品的采样间距应当是不等距的。通常在矿体或矿化蚀变带内部按等间距采样，具体间距视情况可定为1m或0.5m。若矿化蚀变带宽度很大，例如宽度为10m以上时，可考虑采用2m或5m间距，除在矿体或矿化蚀变带内按一定间距进行等距离采样外，必须在接触带上采样，然后从矿体或矿化蚀变带的两侧接触界线由内往外参考下列间距依次采样：

0.25m，0.5m，1.0m，1.5m，2.0m，2.5m，3.0m，5.0m，10m，再往外以10m间距采至离接触线100m—200m处。这样作的好处主要是便于了解在矿体或蚀变带与其围岩的接触带上有无Au的负异常存在，便于考察Au及其有关指示元素在剖面上异常曲线的具体形态特征，考察它们在不同岩石和地层中的丰度和背景值。

5.样品加工 样品加工过程中，一定不能过筛，防止因自然金的巨大韧性在过筛中造成人为的贫化，导致某些高含量样品的降低和分析的差错。

6.测试方法和灵敏度的选择 为了有效地应用“以金找金”的方法，关键的一环是Au的检出限必须达到0.1ppb级，这一要求在国内已不存在什么困难，对于其它有关指示元素的检出限一般应达ppm级，其中对于Sb、Hg、Te、Ag应达ppb级，尽

量不用或少用半定量发射光谱，因为，这种方法虽是价格便宜，生产效率高，由于检出限太粗，难以满足地球化学找矿的技术要求。

为了节省分析费用，加快工作节奏，对于指示元素的选择，在经过充分试验研究的基础上，宜少而精，比如，仅选择Au、Ag、As、Sb甚至仅选择Au或Sb一个元素作为远程指示元素以指示寻找隐伏金矿体。

7.资料的整理 参考和应用指示元素的理想分带模式，编制地质地球化学剖面图和相应的平一剖面图，圈定异常曲线和异常等值线图。通过系统的试验工作建立区分矿致异常和非矿异常的标志和方法，优选根据比较充分、规模比较大、施工条件比较方便的可能的矿致异常进行工程验证。

选自《金银矿产选集》第五集（1986）

金矿化探普查找矿的几个问题

高令奇

（山东冶金地质勘探公司物探队）

一、金矿化探普查找矿的选区

应用化探方法普查寻找金矿，首先应该正确的选择靶区。正确确定普查找矿选区，是决定普查找矿效果好坏的关键。

在金矿普查找矿的选区上，首先要注意以下地区：

1.地幔物质上侵物较多的分布区。例如绿岩带，中—基性火山岩分布地区。

2.地壳较薄的古老岩系分布区，例如古老的槽背斜，台凸地区。

3.深大断裂发育区。

因为这些地区，地幔物质容易上侵。通过地幔物质上侵，能够带来较多的金的物质成分。

4.其他具有金高背景的岩系分布区。

以上这些地区都具有金的高背景特征。对于金矿的形成具备较丰富的物质来源。对于金的成矿具有比较有利的地质条件。

二、金矿化探普查找矿方法的选择

1.小比例尺金矿成矿区（带）的普查 这个阶段的普查工作的目的是，通过普查能够圈定出金的成矿远景区（带）为目的。

这个阶段所采用的化探方法，多数以1:5万—1:2.5万的分散流（水系底沉积物测量）为主要普查方法。少数以1:2.5—2万的次生晕为主要普查方法（按正规网度进行土壤测量）。

2.中、大比例尺的化探详查 这个阶段的工作目的主要是：通过中、大比例尺的详查，确定单个异常的具体位置，根据详查圈定的单个异常经现场踏勘检查和对异常的初步分析、研究，进行异常分类，把所有被发现的异常分成主要的异常和次要的异常，剔除粘污引起的假异常。提出重点评价异常的意见。这个阶段所采用的化探方法主要是正规网度的化探次生晕土壤测量，原生晕岩石地球化学测量，气体地球化学测量和卤素地球化学测量等方法。并要适当的配合物探方法（例如激发极化法，电阻率剖面法等）。

3.异常的详细评价 其目的是通过异常详细评价，区分异常性质（矿异常和非矿异常），确定矿异常及矿化异常的工业价值，可能的矿化体赋存空间位置等。

这个阶段的工作方法，主要是通过异常的若干精测剖面测量（地表及工程原生晕，次生晕，地表揭露，刻槽取样等手段），利用评价标志，进行异常评价。

三、发现异常的指示元素

对化探普查寻找金矿来说，最直接最重要的指示元素就是Au元素。这叫做以Au找金。虽然目前在Au的分析测试方面，还存在许多问题，比如Au的分析方法灵敏度比较低，准确度不高，重现性不好，样品加工问题等等，但还要坚持对所有样品都要分析金元素。

其次就是伴生指示元素：主要伴生指示元素有Ag、As、Bi、Te等，次要伴生指示元素有：Cu、Pb、Zn、Mo、Hg、Sb、

Ba、Mn、Ni、Cr、Co、V、Ti、W等。

对于次要指示元素的选择要按照各种不同类型的金矿实际实验资料有根据去选用，不一定对上述所伴生指示元素都进行分析。但是对直接指示元素和主要伴生指示元素都必须进行分析。

根据当前分析测试水平，对上述指示元素要采用不同的分析方法。

对Au元素，目前一是用高灵敏的化学定量或化学半定量方法，二是用原子吸收法进行分析。化探小比例尺的普查阶段要求分析方法的灵敏度要达到0.002ppm。中、大比例尺的详查阶段，分析方法的灵敏度也不应低于0.01ppm。

对As、Sb、Hg、Bi要采用原子萤光分析方法进行分析。

其他指示元素可采用直读光谱法或一般发射光谱法进行分析。也可采用化学比色法测定。

四、金矿化探异常模型的研究

1.化探异常模型的基本概念 所谓化探异常模型是对研究对象地球化学诸特征的典型概括。就是通过对已知矿体（矿床、矿田）的解剖，总结提出本矿区或本类型矿体（矿床、矿田）所具有的化探异常特征。它包括特征的元素组合，水平、垂直分带特征。发育特征及阐明异常与地质成矿的时间、空间、成因诸方面定性和定量关系。从而指出寻找这种类型矿体（矿床、矿田）有效的异常评价指标。随着工作程度的深入，了解指示元素的主要载体，以及它们与矿体的关系，明确它们的指示意义。例如，与矿体有直接关系的指标，反应成矿作用和蚀变作用的指标，反应含矿体和含矿构造的指标等。

2.研究化探异常模型的方法 首先是通过垂直于已知矿体主

要含矿构造走向或矿体走向作出化探异常剖面图，目的是了解矿体原生异常的发育特征及垂向分带特征。然后利用这些资料来总结出矿体（矿床）周围异常发育的特征模型。同时，对于地表的次生晕异常，要通过已知矿体上方土壤各层位的取样分析，作出疏松层次生异常发育形态图，了解次生异常和原生异常之间贫化富集的情况。

在区域化探普查阶段，要通过对已知矿点、矿化点各种地质体样品的分析扫视，以及矿点、矿化点地表次生剖面样品的分析来确定各种矿化类型的找矿指示元素。然后利用这些资料，进行对异常源矿化类型分类提供依据。通过已知矿点，特征指示元素的了解和背景变化情况，结合区域地球化学场的特征，对普查发现的化探异常实际意义作出初步判断。通过已知含矿构造异常特征的了解，对构造的含矿性作出评价。通过区内各种地层、岩浆岩主要金属元素丰度的了解，作出对矿源层的预测。

在同一个矿区或地区，根据若干个同类型条件下，矿体的地球化学异常模型，加以规律性总结归纳，就可以提出这种类型矿床系列的地球化学异常模型。

研究矿床的地球化学异常模型的主要目的就是为了寻求各类矿床的规律性的评价标志，利用这些评价标志对本区未知化探异常进行比较客观的评价。

3.金矿化探原生异常的组分分带

（1）苏联某些金矿原生晕元素轴向分带序列：

第一种（从矿体头部至矿体尾部）：（Sb、As、Ag、Pb）—Zn—Au—Mo—Cu—Bi—（Co、Ni—As、W、Be）。

第二种（从矿体头部至矿体尾部）：Sb—As—Ag—Pb—Zn—Au—Cu—Mo—Sn—Bi—Be—W—Co。

第三种：（从矿体头部至矿体尾部）：Ba—Sb—As—Ag—Pb（Zn、Cu）—Au—Mo（Sn、Bi、W）。

(2) 苏联某些石英脉型金矿原生晕元素组份的横向分带序列为：（从矿体到围岩）Zn—Co—Mo—Be—Cu—Sb—Pb—Ag—Bi—As—Au主要成矿元素是出现在横向分带的外带。

从目前国内外化探原生晕找矿方法来看，不论是在找矿效果方面，还是在原生晕的成晕机理研究方面，都取得了较明显的效果。就热液金矿床原生晕的各种特征来说，其中最有理论和实际意义的应为原生晕的组份及浓度等分带结构。因此，从理论方面来讲，所有关于原生晕形成机理的学说，都必须是，能完满的阐明原生晕的分带规律。从实际方面来看，所有应用原生晕来定性及定量判断矿体埋深、矿体侵蚀面深度，矿体成因类型等有关找矿评价方法，无一不是以原生晕的分带规律做为基础，所以研究原生晕的组份分带，是化探异常模型研究的重要内容。

五、金矿化探异常的评价

异常评价的程序与方法：

1.成矿区(带)化探普查所发现异常的评价 对这一阶段化探所发现异常的评价，首先要进行现场踏勘，在踏勘过程中要作些异常精测剖面，了解异常组分的组合特征，（要特别注意Au异常的特征）通过踏勘了解异常所产出的地质条件（地层、构造、岩浆岩、蚀变、矿化等）。

在踏勘的基础上，通过对异常的对比研究，分析之后，进行异常分类。

根据金矿区域化探异常模型研究所得出的评价标志，对发现的异常进行评价。分出有望异常，并对有望异常提出进一步处理的意见。

2.对详查得出的化探异常的评价 在异常精测剖面(原生晕和次生晕及其他物化探方法精测剖面结果)，根据异常产出的具体地

质条件，利用金矿床化探异常模型研究所得出的评价指标，来确定异常性质。

然后根据金矿床化探异常模型研究所确定的矿体（或矿化体）剥蚀程度指标，对异常所反应的矿体（或矿化体）剥蚀程度进行评价。

最后提出异常揭露验证报告书，交上一级审批后，由上级交有关勘探队进行验证。

选自《黄金地质参考资料》第六期（1984）

关于化探找金一些问题的讨论

贺潜飞

（中国人民解放军〇〇五三五部队）

化探是地质找矿的一种重要手段，应用于找金也行之有效。由于金的成矿有它自身的特殊性，因此，化探找金除有化探找矿的普遍性之外，还有它特殊性的一面。笔者根据一些资料的分析和实践工作的经验，综合以下几个问题进行理论探讨。

一、依金找金和多元素组合异常

近年来化探界已把“依金找金”作为一条原则提出，这是有道理的。笔者在进行金的成矿机理探讨时，曾根据“金的溶蚀沉淀”假说的结论和推论，总结出金在成矿过程中有五个方面没有专属性。其中之一就是化探指示元素*。金在这些方面没有专属性，是由它在成矿过程中的后生性和再生性所决定的。可以举出许多实际例子说明金矿床的主要指示元素是各不相同的。但它特殊的地球化学行为使之形成有效的异常而向人们提供信息。譬如河南冶金地质五队在对秦岭金矿所作的分散流工作中体会到：用“Au直接作指示元素效果更明显。本区主要金矿异常中自身异常范围往往大于伴生元素异常。用Au作指示元素，更便于区分

* 其余四个方面为：成矿时代、探矿岩石、伴生矿物和蚀变围岩的类型。

金矿异常和其它矿类型异常”。

据研究，Au是狭谱指示元素，它除指示本身的成矿外，不作任何矿种(矿床)的指示元素。据Beyc和Григрен所排的化探指示元素轴向分带序列和原生晕的横向分带两个表，可以清楚看出二点。一是Au是其自身矿床的主要指示元素；二是Au不作其它任何矿床的指示元素。

以上讨论了“依金找金”原则的一些理论和实践的依据。但金矿化探又有其普遍性的一面，即金矿床和其它矿床一样，都有多元素的组合异常出现。目前已知，尚不存在没有多元素组合异常的金矿床。可以这样说，没有一个有工业意义的金矿床能逃脱多元素组合异常的范围。对于寻找金矿床来说，利用这种多元素组合异常可以大大缩小靶区。反过来，有多元素组合异常的地方不一定有金矿床。组合异常是否指示金矿的存在，还要看Au元素自身异常的强度和范围。这就是多元素组合异常和依金找金这两条原则的辩证关系。

根据多元素组合异常来寻找和评价金矿床有其理论上的依据。我们已知Au元素有亲硫性的一面。而组合异常中的诸元素，大多数能直接生成硫化物硫酸盐。由于它们共同的亲硫性，使Au晕能存在于多元素组合晕之中绝非偶然。目前也已知，金的沉淀过程和其它元素有很大的不同。由于金有再生性，它在不同的构造成矿期能多次活化、运移和沉淀。而金的每一次活化—沉淀过程，都是它自身变价的过程。也就是说，它必须升价活化形成络合物，然后降价沉淀，生成自然金。它的每一次活化—沉淀过程都是强烈的电子交换过程，都得要引起与之伴生的其它一些元素发生价态的变化。根据“金的溶蚀沉淀”假说认为，Au主要亲变价元素，而S元素在变价元素中有五个方面优于其它元素。这些是：

(1) S元素是地壳中丰度较大的元素之一，它参与组成的矿

物在自然界大量存在，为Au元素的活化、运移和沉淀创造了有利的条件。

（2）S元素是一个多变价元素，能从$S^{2-}\longrightarrow S_2^{2-}\longrightarrow S^0\longrightarrow S^{4+}\longrightarrow S^{6+}$，它比其它任何元素每次变化时得到或失去电子的能力大得多。

（3）它每次变化的标准氧化一还原电位（E^0）比大多数其它元素都低，对Au的沉淀尤其有利。

（4）硫化矿物大多是难溶的电解质，它们在水溶液中能建立电离平衡。而Au的所有络合物在溶液中的稳定常数（K）值常具有极大值，故金在同一成矿期往往是最后生成的，这就是金的后生性。而金的后生特性往往是靠破坏硫化矿物的电离平衡而实现的。

（5）以S元素为配位体的络合物在自然界大量存在，其形式也是多种多样，有利于金形成各种形式的含金络合物进行迁移。

二、高背景和高反差

在承认了“依金找金”这一原则以后，具体研究和评价金的各类异常时，笔者认为“高背景加高反差也是原则问题之一”。

“高背景”就是承认金的富集成矿，首先要有一个好的含金母体。这个母体的含义应该包括含金的矿源层和含金的深源岩浆。目前认为这个母体含量的背景值，如果大于克拉克值的10倍以上，再加上其它有利的地质条件（如火成活动和控矿构造），Au利用本身再生性和后生性的特点，就有富集成矿的可能。含金母体本身是一个金库，它的体积越大，其中金含量越多，成大矿的可能性就愈大。据计算，如果在10×10×1km的范围内有高于克拉克值10倍的金背景，其中的金量可近万吨，即使其中千分之

一富集成矿也具有一定规模了。

“高反差”就是指在这个高背景的含金母体内，金的含量应该是极不均匀的。最高的峰值和最低的下限之间的倍差愈大，金富集成矿的可能性也愈大。

北京大学刘本立同志在文章中提到……已知国内的许多有远景的金矿区都存在着高背景的岩系和岩层。高背景地段和低背景地段可相差1—3个数量级。……找金矿的经验一再表明，金的高背景和低背景相差较大的地区，即金的含量极不均匀的分布区，可作为找金矿的有利地球化学标志。说明单有金的高背景区仍不足以形成工业矿体。只有高背景和高反差同时出现，才能形成可观的工业矿体。

笔者根据“金的溶蚀沉淀”假说的结论和推论而引伸的金和有关元素的构造化学分异的概念认为，在高背景的含金母体内，

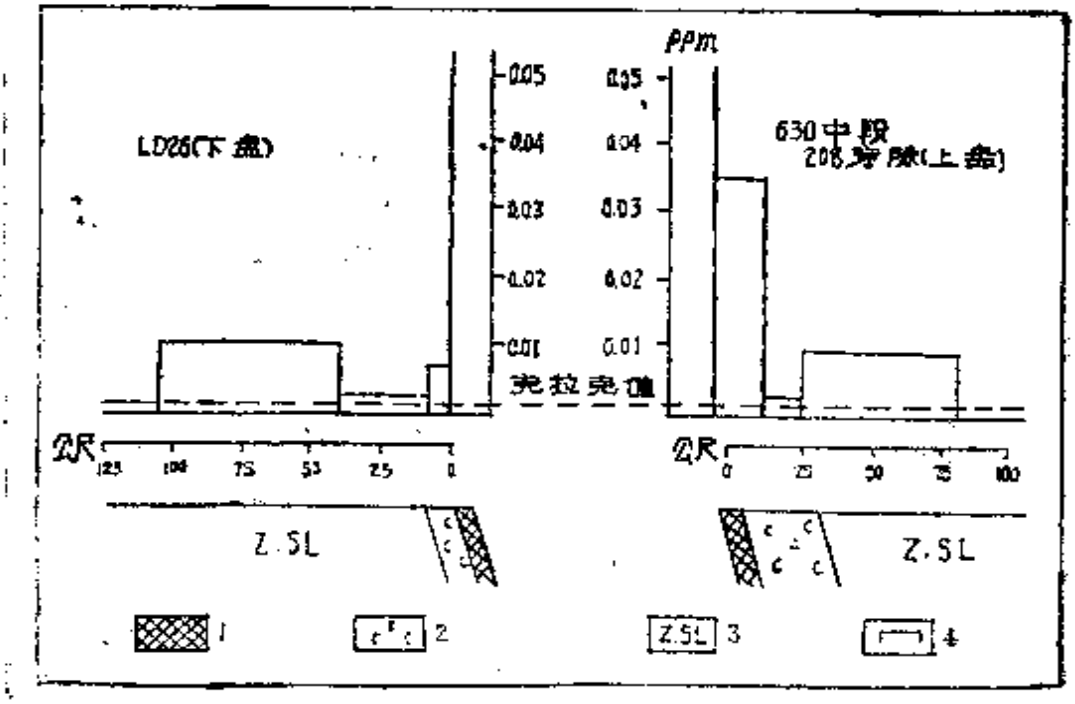


图1 龙山金锑矿微量金地质剖面图

1—含矿破碎带；2—蚀变带；3—震旦系含砾砂质板岩；

4—平均品位方框

构造运动以及火成活动提供的能量，使体系内产生大小裂隙，从而破坏了体系内的静应力平衡，因此产生了金和有关元素的化学势差（$\Delta\mu i$）。以它作动力，Au元素和伴Au活动的其它元素之间进行无数次的电子交换，于是不断重复“活化——运移——沉淀”这一定向扩散的过程，根据金的再生特性，Au元素便不断地贫化或浓集，最后向有利于$\Delta\mu_{Au}$消失的部位（即裂隙被补填）富集成矿。金矿体近旁Au元素负异常的生成便是裂隙向围岩进行化学“榨取”的例证。

图1是湖南新邵龙山金锑矿两条微量金的地质剖面。可以清楚地看出，靠近矿脉时有Au的负异常出现，有时甚至接近克拉克值。

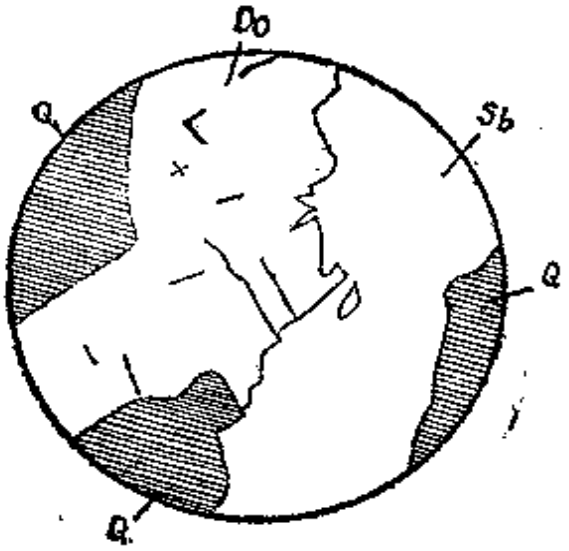


图2

由于构造运动具有多期性和继承性的特点，继承裂隙的产生，使体系内各元素重新获得化学势差（$\Delta\mu i$），位于裂隙近周的处于亚稳态的Au便重新活化首先进入成矿裂隙而迭加富集。

图2为龙山金锑矿脉中一个视域（照片）的素描，石英

（Q）中发生交叉的张裂隙，并先期充填有白云石（Do），继承的张性裂隙沿白云石的脉壁发生，后期的含金辉锑矿脉（Sb）随之贯入填充（该样Au品位19.7g/t）。由于辉锑矿具有明显的后期特征，据此可以认为，Sb、Au物质是“就地取材”的。当继承裂隙发生，使体系的状态又发生变化时，巨大的负化学势使矿脉近的这些处于亚稳态的Au首先进入成矿裂隙，在原有的基础上迭加成矿。于是在矿脉的近周发生负异常，然而它是动态的，随着时间的推移和构造运动的发生而出现在不同的部位。它标志着矿液运移的方向是定向地、波浪式地向$\Delta\mu_{Au}$降低的方向扩散。

三、化学分散晕和机械分散晕

对于化探次生晕来说，主要是研究元素的化学分散晕，即了解土壤中Au元素的含量。通过研究发现，土壤中的金有两种赋存状态。

（1）机械分散晕：由于金的常态矿物呈自然元素产出，而且具有惰性大的特点，因此矿体中可见的自然金，经剥蚀、机械破碎后仍为自然元素残存于土壤中，只是粒度变小，属物理风化部分。

（2）化学分散晕：由于Au元素还有被溶解的一面，在特殊情况下，离子Au可以生成各种络合物在水溶液中长距离搬运。当这些含金的络合物在被土壤中的腐殖质、粘土质或褐铁矿胶团吸附时，它们又是以化学分散晕的形式出现。对这个问题进行实验研究，不仅有实践方面的意义，而且有理论上的意义。

因为金和其它硫化矿物有不同的物理性质，其它矿物的颗粒一般都具有脆性，在加工过程中，经粗一中破碎后，颗粒由大变小，最终能被粉碎过筛。金则不然，它具有强的延展性，一般的

加工方法（如对滚、盘磨）只能使其变扁变薄，更不容易通过筛孔，故筛上的粗粒中见明金较多。但又不能选用粗粒作为生产粒度，因为这些可见金（或显微可见金）在母样中的分布是极不均匀的，取少量样进行光谱分析没有代表性。

图3是在湘东进行粒度试验的情况。

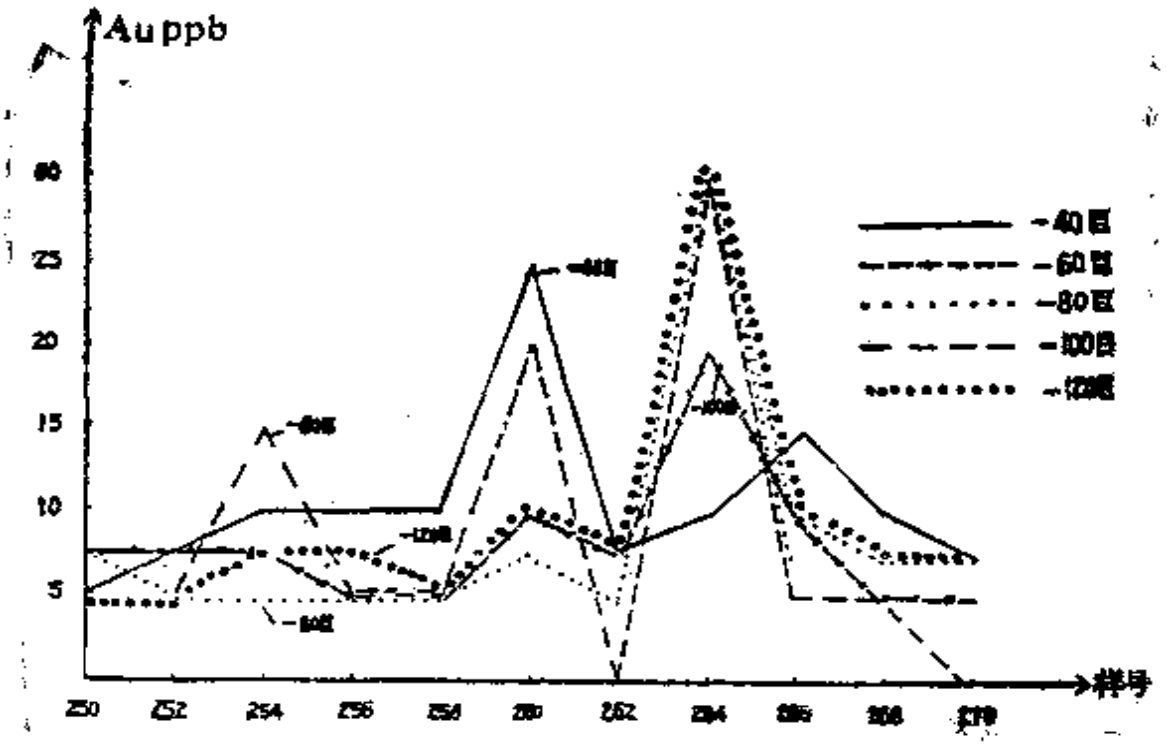


图3　湘东横岑金矿点0线剖面某段金的粒度试验

（1）在矿体上方，金的各种粒度无明显的区别，即无论粒度的粗细，含金量曲线基本上同步升降。

（2）有的地段粗粒的含金量反而比细粒的更佳。

（3）+40目以上的作筛上物处理，可以回收明金。

解决的办法最好是将要进行Au元素分析的土样，进行一次性棒磨至-200目，即送化验室进行化学光谱金分析，可以大大提高分析的灵敏度和样品的代表性。浙江省物探队这样处理的效果很好。他们发现镜下能见到一粒可见金的样品，化学光谱金的品位可达500—1000ppb。

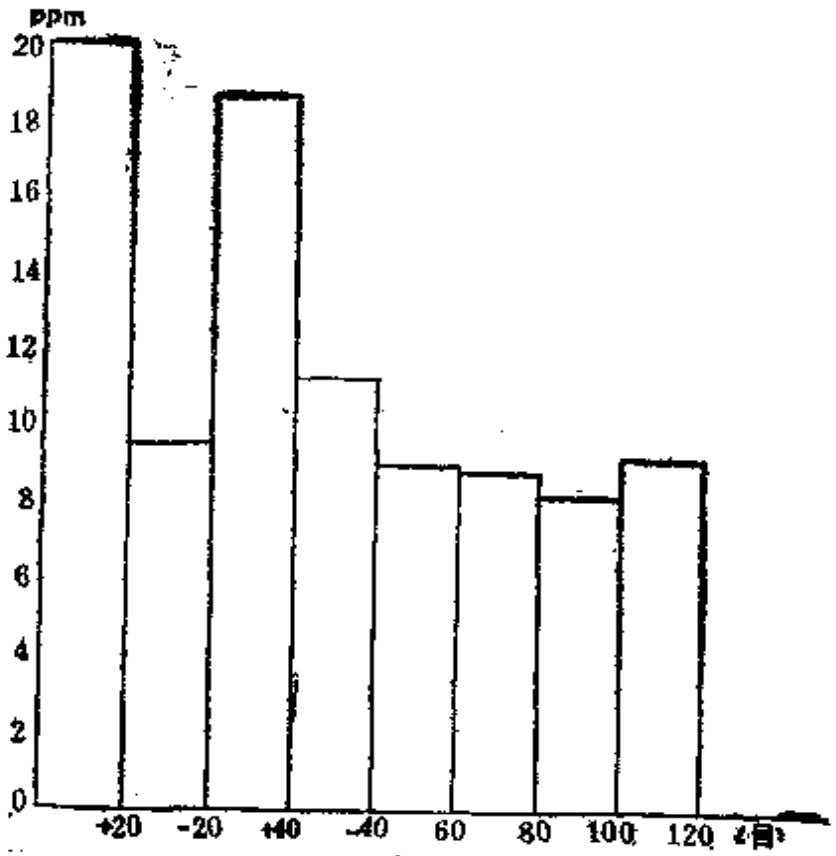


图4　土样金的粒度分级

这样做效果虽好但成本较高、速度较慢，大面积生产不会有好的经济效益。因此笔者建议要认真处理好多元素组合异常和依金找金二者之间的关系。用常规化探方法扫面，发现多元素组合异常以后再在异常范围内作化学光谱金分析，这样就缩小了靶区、减少了试金样品，目的性也就更强了。

四、富金的层位

一般把土壤分成A、B、C三层，Au元素常浓集于哪层各家说法不一。我们在湖南新邵龙山金锑矿区进行了层位试验，并在A层之上还加了Ao层，即收集地表茅草、树叶等植物的茎、叶部分。据（表1）95个样品的统计结果表明在土壤中Au

表1

层　　位	Au (r/g)
Ao	0.00901
A	0.00525
B	0.00513
C	0.00450

元素的含量是随着深度的增加而递减的。该区属中高山地貌，植被发育，雨量充沛。土壤的构成以残积物为主，少量坡积物。对于植被复盖厚、残坡积层发育的地区，A层尤其是Ao层浓集金可能具有普遍意义，在我国已有所认识，国外可能认识得更早一些。据贵州物探队汪修经介绍，国外普查金矿的化探方法中，“其中以腐殖质采样为基础的地表测量被证明有效。”而且承认“金在上复带的有机质中常发生明显的富集。”另据胡品美同志译自《Canadian mining Journal）的文章中谈到：“作者对加拿大带门斯、柯克兰湖和诺兰达地区25个矿区进行研究，简要地说明一些有价值的结果：“指出各种指示元素，尤其是金在复盖于Au—Ag矿床之上的植物中富集，就土壤地球化学而言，有价值的富集，主要见于上复的有机物之内。”

如果工作区植被不发育、表土薄或者半裸露，另有一些地区，即使表土厚、植被也发育，但表土结构不是以残坡积物为主，而是洪、冲积物、或为海滨、风积物等为主、都不见得会服从上述规律。

A层富集金的机制是什么？笔者认为当然离不开表生植物这一环节。前面已经谈及，Au有惰性的一面，也有活性的一面。笔者在《金的后生特性和再生成矿机理探讨》一文中指明，Au的活化过程可以看作是它的沉淀过程的逆过程。促使Au元素进

行活化的因素很多，但根本原因可能只有两条：化学势的变化和变价元素的存在。所以Au元素活化时，同样需要高价态的变价元素具体接纳和丢掉的电子，才能以离子态进入络合物而迁移。考虑到植物的主要成分是碳，碳元素本身也是一个多变价元素。因为有机物中的碳多呈低价态或自由碳，可以随着Au的氧化、还原而自身还原、氧化。另一方面，Au元素对于氧化一还原的环境，有着特殊的敏感。凡属上述环境，只要Au有较高的丰度，总能找到它富集的痕迹。

植物的叶是进行光合作用的地方，而光合作用的实质就是强烈的氧化－还原作用。以碳元素为例，植物在生长过程中，需要大量的碳素来组成碳水化合物以维持本身的旺盛生长。因此，它吸收CO_2和放出O_2的过程本身就是氧化－还原的过程。在这个反应中，碳元素的CO_2的正四价（C^{4+}）变为有机质（如CH_4）的负四价（C^{4-}）的形式，它本身是吸收了电子，降低了电价。氧元素从二氧化碳中的负二价（O^{2-}）变为自由氧（O°），丢失了电子，提高了电价。为了使这一氧化－还原反应天常日久地持续下去，太阳为其提供了充足的能源，这就是光合作用的实质。在植物叶部这样反应剧烈、电子交换频繁的氧化－还原场所，恰是Au参与活动最有利的环境。植物的根系从很深的土壤及基岩裂隙中吸收含Au络合物，顺着水份的运输渠道来到叶部参加光合作用，参入到强烈的氧化－还原反应中去、通过无数次的电子交换，Au自身也沉淀富集。

由此可见，Au浓集于地表A层并不完全是简单的吸附机制，可能存在着上述内在的原因。

选自《黄金地质参考资料》第六期（1984）

夹皮沟三道岔金矿床原生分散晕的特征及地球化学异常模式

朱太天

（吉林省冶金地质勘探公司研究所）

三道岔金矿为一大型金矿床。该矿床受夹皮沟北西向弧形断裂带的控制，赋存于太古界鞍山群三道沟组下段条带状片麻岩（该队定为注入片麻岩）及斜长角闪岩带中（图1）。大都是盲矿体，矿体赋存于蚀变破碎带中，为变质热液型含金石英脉。矿床已采到425m中段。由于勘探深度只有400—500m，425m中段以下无勘探资料，加上290m中段往下矿石品位下降，因此，深部预测是矿山亟待解决的问题。

从总结三道岔矿床原生分散晕的特征入手，通过因子分析和点群分析弄清一些元素的分布分配特征，进而用地球化学方法对该矿床深部进行了预测，又对该矿床南部的55—1号异常进行了评价。在该矿床地表及深部都找到了矿体侧列式分布的规律，为下一步找矿勘探提供了依据。

一、三道岔金矿床原生分散晕的特征

系统地进行了岩石地球化学测量，对每个样品进行了ppb级的Au、Ag的测定，Cu、Pb、Zn、Ni、Co、Mn、V、Ti、Ba、Sr、W、Sn、Bi、Mo等26个元素的光谱分析（半定量）以及F、I、As、Sb、Hg等元素的化学分析（定量）。

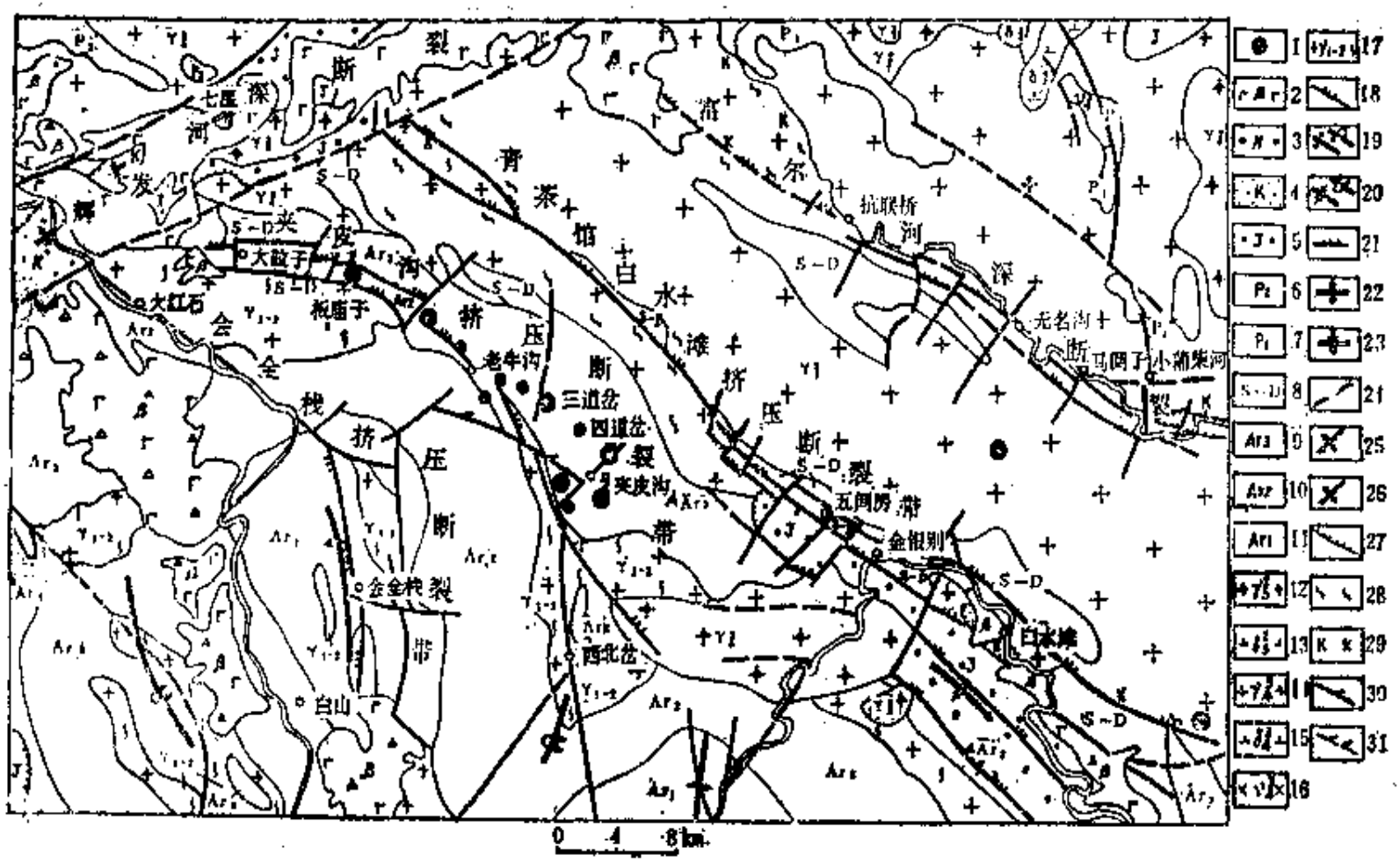


图1　夹皮沟地区金矿分布略图

1—金矿床；2—玄武岩；3—第三系；4—白垩系；5—侏罗系；6—二迭系上统；7—二迭系下统；8—志留泥盆系；9—太古界鞍山群三道沟组；10—鞍山群杨家店组；11—鞍山群四道砬子河组；12—燕山期花岗岩；13—燕山期闪长岩；14—海西期花岗岩；15—海西期闪长岩；16—海西期基性岩类；17—前震旦纪混合花岗岩；18、21、24—冲断层；19、22、25—背斜轴；20、23、26—向斜轴；27—地层不整合；28—挤压片麻理、片理化带；29—钾质交代；30—扭性断裂；31—张性断裂

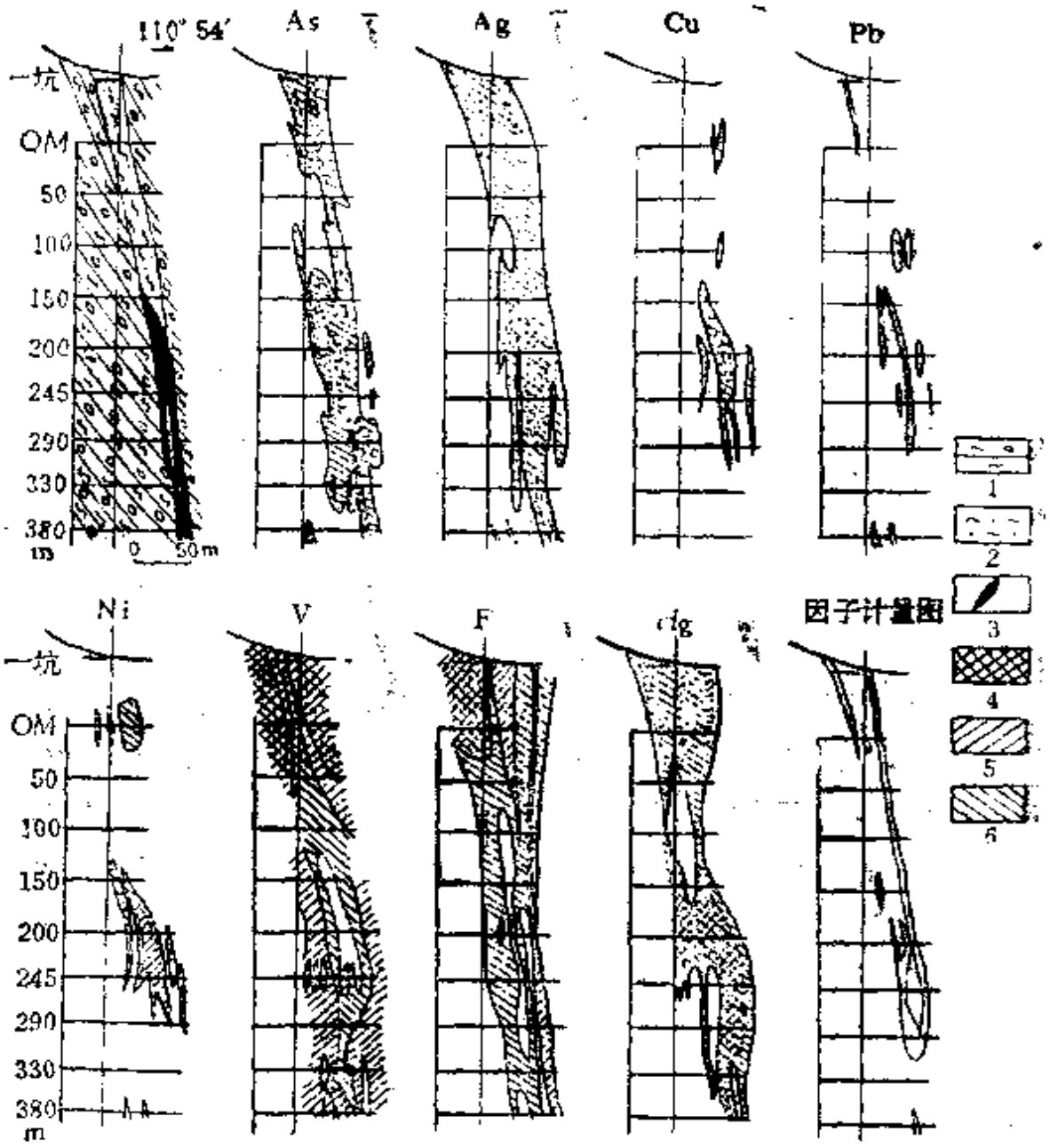


图2　三道岔2线几个元素的原生分散晕

1—条带状片麻岩；2—蚀变破碎带；3—含金石英脉；
Au：4—>0.1；5—0.05—0.1；6—0.025—0.05；
Ag：4—>0.3；5—0.2—0.3；6—0.1—0.2；
Cu：4—>400；5—200—400；6—100—200；
Pb：4—>200；5—100—200；6—30—100；
Ni：4—>200；5—100—200；6—60—100；
V：4—>200；5—100—200；6—50—100；
F：4—>300；5—200—300；6—100—200；
Hg：4—>0.3；5—0.2—0.3；6—0.1—0.2。
（单位均为ppm）

从图2中可见，矿体为一陡倾斜的含金石英脉，赋存于蚀变破碎带中。有些是细脉状矿体。金的原生分散晕形态与矿体相似，范围比矿体大。在矿体上部及下部金的原生分散晕比整个蚀变带还宽3倍。在矿体中部金的原生分散晕也比矿体宽2倍。

Ag的原生分散晕大体与蚀变破碎带的形状相类似，在矿体上部及顶部更加发育，比蚀变破碎带宽4倍；在矿体中部也比蚀变破碎带宽将近3倍；在矿体下部银晕趋于尖灭。银的原生分散晕的内带（>0.3ppm）的形状与矿体相似。

Cu的原生分散晕的大小及形状仅在主矿体（1、2、3号脉）部位即100m中段至290m中段才与矿体相似。在矿体上部Cu的原生分散晕很不发育。

铅的原生分散晕断续地出现在矿体顶部及中、上部，形状呈线状，其范围远远小于矿体。值得注意的是380m中段又出现了Pb的两个异常，预示着380m中段以下出现矿体的可能性。

镍的原生分散晕仅在矿体中下部发育，其形状与矿体类似，大小比矿体宽2倍。380m中段也出现了两个Ni的异常点，说明该处有黄铁矿化。

钒的原生分散晕在矿体所在部位为一个低于背景值的低值带，这个带的形态、大小与矿体相仿，甚至在一些小矿体周围也出现钒的低值带。

氟的原生分散晕的形状大体上与蚀变破碎带类似。它的矿体顶部十分发育，比蚀变破碎带宽七倍多，在主矿体部位却出现F的低值带。可见，F为典型的远程指示元素，在构造带上其显示效应极强。

汞的原生晕的形状很特殊，呈为上下两个透镜体。100m中段以上的透镜体可能已剥蚀掉一半。众所周知，汞由于其特有的物理性质，一般在成矿过程中沿破碎带扩散到顶部聚集，因此Hg在矿体及构造带上部有良好的显示效应。100m中段以上的

Hg晕是主矿体所引起的，而100m中段以下的Hg晕则可能是380m中段以下的隐伏矿体所引起的。

根据单矿物分析资料，初步弄清了一些元素的主要载体，这为上述元素原生分散晕的形成机理的研究提供了依据。Au大都呈自然金的状态赋存于黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、毒砂等硫化物及石英脉中。Ag主要赋存于方铅矿中，此外黄铁矿及黄铜矿中也有Ag。Pb主要与方铅矿有关；Cu主要与黄铜矿及黄铁矿有关；Ni主要与黄铁矿有关；V与磁铁矿及角闪石等有关，因此在含金石英脉中V呈低值；F与云母有关；Hg与辰砂有关等等。F与Hg在构造带虽见不到其独立矿物，但其含量却较高。

2线剖面的因子计量图是第一因子F_1（Au、Ag、Cu、Pb）的因子计量正值图（图3）。它确切地反映了矿体在断面上的展布，大小矿体均有良好的显示。由图可见大体反映了三个矿体：0m中段以上的4、6号脉；150m中段至290m中段的1、2、3号脉及380m中段出现的新异常。380m中段的因子计量新异常也是预测深部矿体的又一个依据。

从以上分析不难看出，在三道岔金矿周围一些元素有规律地分布：F与Hg在矿体顶部聚集，可作为远程指示元素；Ag和Pb在矿体上部聚集；Cu、Ni及V的低值带在矿体中部；Au及因子计量异常则围绕着矿体分布，但是在矿体中部及上部比下部更发育。这些规律为该地区的地球化学评价以及深部预测提供了依据。

图3为三道岔4、6号脉的原生分散晕。这两条矿脉是位于2线一坑与0m中段之间的细脉状含金石英脉。从图3可见，小矿体的原生分散晕也表示明显的轴向分带，大部分元素的空间分布规律与前述1、2、3号脉(大矿体)的分布类似，甚至规律性更加清楚。

对比图2与图3可见，Au、Ag、Cu、Pb、V、Hg、F等元素原生晕的轴向分带规律在大、小矿体上是一致的。

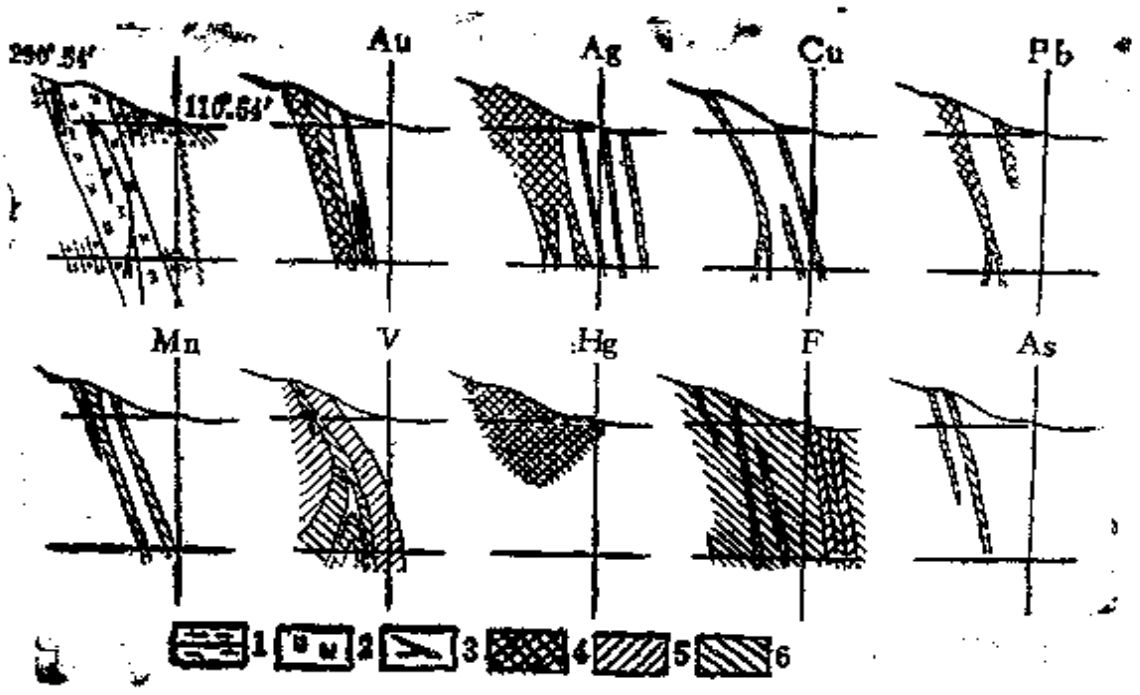


图3　三道岔金矿床4、6号脉原生分散晕

1—斜长角闪片麻岩；2—蚀变带；3—含金石英脉；Au：4—>0.1 5—0.05—0.1；6—0.25—0.05；Ag：4—>0.3；5—0.2—0.3；6—0.1—0.2；Cu：4—>400；5—200—400；6—100—200；Pb：4—>200；5—100—200；6—30—100；Mn：4—>1200，5—900—1200；6—600—900；V：4—>200；5—100—200，6—50—100；Hg：4—>0.3；5—0.2—0.3；6—0.1—0.2；F：4—>300；5—200—300；6—100—200；As：4—>10；5—6—9；6—3—6

图4为三道岔245m中段Au、Ag、Cu、Pb、Ni、V、Hg等元素的原生分散晕。它反映1、2、3号脉矿体中部原生分散晕的横向发育特征。由图4可见，Au晕比矿体约宽3倍，其形状、大小与蚀变破碎带基本吻合。

Ag的原生晕大体上与蚀变破碎带类似，其大小比矿体大而比蚀变破碎带略小，值得注意的是Ag的原生分散晕在同一平面上的发育程度不尽相同：南侧比北侧发育。同一个元素的原生分散晕在同一水平面上的这种差异是由于矿体的侧伏造成的。三道岔金矿床中1、2、3号脉是往南侧伏的。因此，同一水平面上的

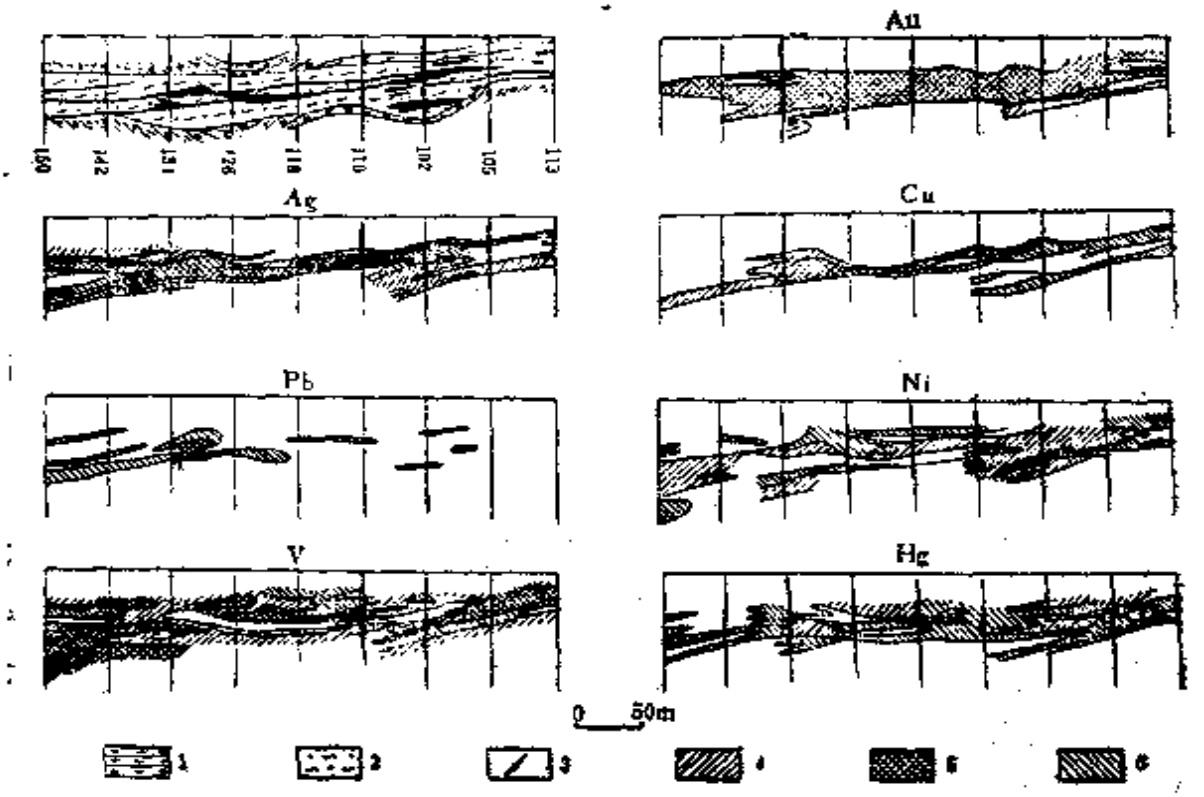


图4　三道岔245m中段7个元素的原生分散晕

1—条带状片麻岩；2—蚀变破碎带；3—含金石英脉；Au，4—>0.1；5—0.05—0.1，6—0.025—0.05；Ag，4—>0.3，5—0.2—0.3；6—0.1—0.2；Cu，4—400；5—200—400；6—100—200；Pb，4—>200；5—100—200；6—30—100；Ni，4—>200，5—100—200；6—60—100；V，4—>200；5—100—200；6—50—100；Hg，4—>0.3；5—0.2—0.3；6—0.1—0.2

南、北两侧晕的差异反映矿脉的不同高差。对Ag晕而言，北侧晕所反映的矿体比南侧要深些。

Cu的原生分散晕其大小、形状与矿体相似不过比矿体略宽。Cu的原生分散晕在平面上发育程度差别不大。相对而言，北侧比南侧发育，这说明245m中段已到矿体的中下部。

Pb的原生分散晕其形状、大小与矿体类似。不过Pb晕是断续分布的，其平面上的展布也与Ag晕类似，南侧明显地比北侧发

育。这也说明矿体往南侧伏。

Ni的原生分散晕形状、大小与蚀变破碎带类似，晕在平面上的展布北侧比南侧发育。从前述元素轴向分布规律中已知Ni在矿体中下部发育，因此Ni晕在平面上的展布正好与Pb、Ag等在矿体上部富集的元素原生分散晕相反。Ni晕是在矿体中下部发育，而245m中段是处于矿体中下部，因此在该中段Ni晕北侧比南侧发育，这也说明矿体是往南侧伏的。

Hg的原生分散晕的形态大小是比较特殊的。大体上看Hg晕比蚀变破碎带还宽，平面上的展布北侧比南侧发育。这说明Hg晕的中心在245m中段以下。因为Hg与F、Ag、Pb等元素一样是在矿体上部富集的。245m中段的Hg晕预示着下部有隐伏矿体存在的可能。

从以上分析我们不难看出三道岔金矿床中元素的分布有着明显的垂向分带性。

二、三道岔金矿床元素分带性的定量研究

为了定量地研究三道岔矿床的元素垂直分带，我们对0线各中段的数据按中段进行了点群分析及因子分析。此外，还通过分带指数的计算建立了该矿床的元素垂向分带序列。

为了确定元素之间亲疏关系在空间的变化规律，我们在0线按不同中段进行了R型点群分析。图5为三道岔2线各中段的R型点群分析所获得的元素谱系图。按0.4的相似水平划分之后，我们可以得出如下成矿元素组合（元素排列顺序按相关系数大小）；

由表1可见，点群分析结果得出元素组合的轴向分带特征如下：

矿体上部的元素组合为Pb、Ag、Au、Cu、I，其中Au、

表1　　三道岔0线主要成矿元素组合及最亲元素对

位　置	与矿体的相对位置	主要成矿元素组合	最亲元素对	相关系数
一　坑	4、6号脉上部	Pb、Ag、Mo、Cu、Au、I	Ag、Pb	0.8567
0m中段110穿	4、6号脉下部	Pb、W、Au、Ag	Pb、W；Au、Ag	0.5883　0.5826
0m中段102穿	1、2、3号脉顶部	Pb、Ag、Au、Cu	Pb、Ag	0.9335
100m中段110穿	1、2、3号脉中上部	Au、Cu、Ag、Pb、I	Au、Cu	0.9635
150m中段110穿	1、2、3号脉中上部	Ag、Cu、Mn、Ni、Au、Co	Ag、Cu	0.9717
200m中段110穿	1、2、3号脉中部	Ag、Cu、Ni、Au、W、Mo、Mn	Ag、Cu	0.8697
245m中段110穿	1、2、3号脉中部	Au、Cu、Mo、Mn、Ag、Zn、Ni、Co	Mo、Mn；Ni、Co	0.7377　0.7764
290m中段110穿	1、2、3号脉下部	Ag、Cu	Ag、Cu	0.6818
330m中段110穿	1、2、3号脉下部	Au、Mo、Ag、CuNi、Co	Au、Mo	0.7214

g、Pb、I为矿体上部的特征元素(F、Hg未参加点群分析)；

矿体中部的元素组合为Au、Cu、Ag、Mn、Ni、Co、Mo、W、V，其中以Au、Cu、Mn、Ni及V的底值为矿体中部的特征元素。

矿体下部的元素组合为Au、Ag、Cu、Ni、Co、Mo，其中Au、Mo为矿体下部的特征元素。

为了对三道岔矿床不同地段的元素进行成因分类，我们按不同中段进行了R型因子分析。根据一坑至330m中段的九个中段方差极大因子分析结果，各中段代表性因子的元素组合如下：

一坑：F_1 (Au、Ag、Cu、Pb、Mo)；

0m中段110穿：F_2 (Au、Ag、Pb)，F_4 (|Ag| 、|Cu|)；

0 m中段102穿：F_1(Ag、Pb)，F_6(Au、Cu)；

100m中段110穿：F_1(Au、Ag、Cu)，F_6(Ag、Pb、I)；

150m中段110穿：F_1(Ag、Cu)，F_5(|Au|)；

200m中段110穿：F_1 (Ag、Cu、Ni)，F_5 (|Au| 、|Co|)；

245m中段110穿：F_4 (Au、Cu)；

290m中段110穿：F_4 (Au)；

330m中段110穿：F_1 (Au、Mo) F_5 (|Au| ，|Ag| ，|Cu|)

由此结果可获得元素组合轴向分带特征如下：

矿体上部特征元素组合为Pb、Ag、Au、I；

矿体中部的特征元素组合为Au、Ag、Cu、Ni、Co；

矿体下部的特征元素组合为Au、Mo。

这与前述点群分析的结论是基本一致的。

我们通过计算分带指数，建立了三道岔矿床的如下轴向元素分带序列：

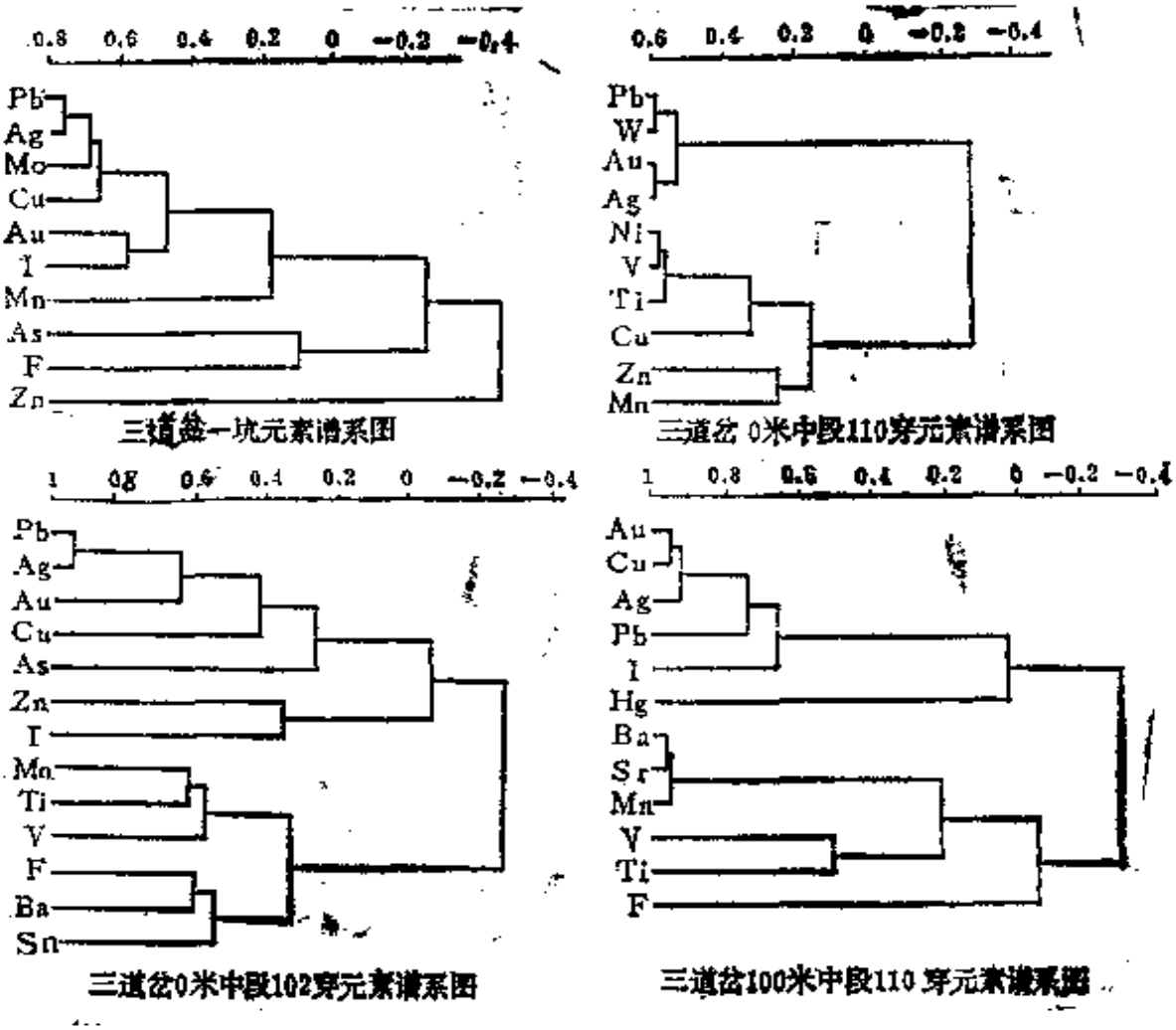
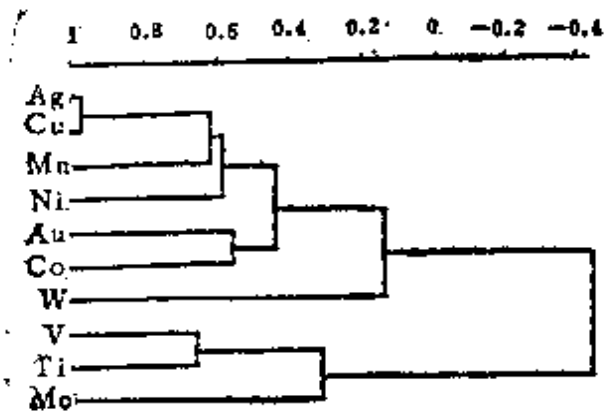


图5—1　三道岔2线各中段元素谱系图

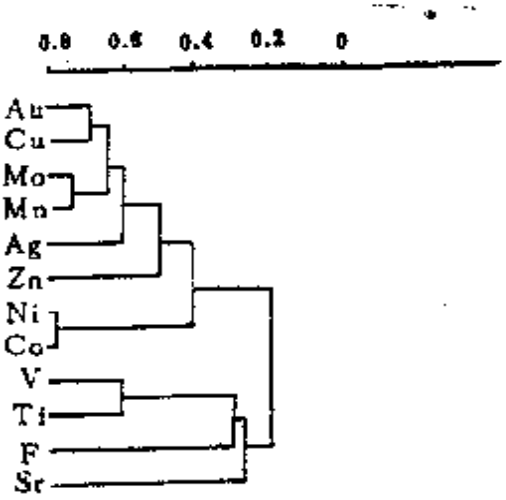
F—Pb—Cu—Ag—Au—Co—Mo—Ni—Mn—As—Hg

Hg和Cu在这个分带序列中的位置是反常的。Hg在分带序列中一般位于前头，而在三道岔金矿床的分带序列则位于最后。Cu一般应在Ag之后，由于380m中段Cu过低而引起这个反常现象。这些反常现象说明380m中段以下很可能存在隐伏矿体。

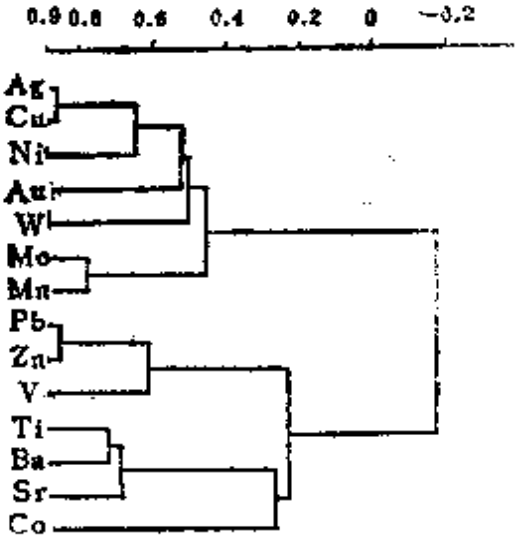
除Hg和Cu外，轴向分带序列中元素的轴向分带性与前述点群分析和因子分析的结论基本一致。



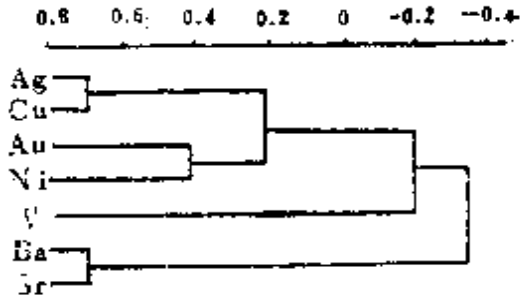
三道岔150米中段110穿元素谱系图



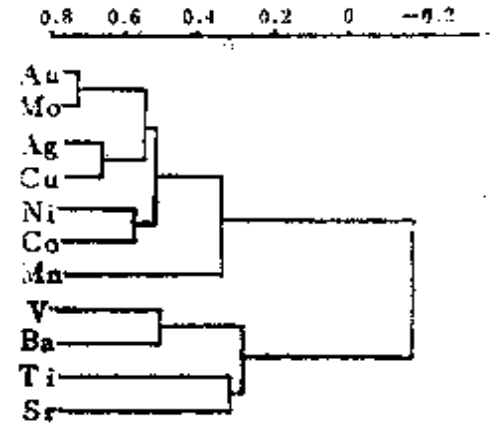
三道岔245米中段110穿元素谱系图



三道岔290米中段110穿元素谱系图



三道岔290米中段110穿元素谱系图



三道岔330米中段110穿元素谱系图

图5—2　三道岔2线各中段元素谱系图

三、三道岔金矿床的地球化学异常模式及深部预测

根据上述原生分散晕中元素的空间展布及其轴向分带特征，我们设想了三道岔金矿床的地球化学异常模式及找矿预测（图6）。由图可见，紧紧围绕着矿体的是Cu、Ni、Mn及V的低值带，矿体上部为Hg及Pb的异常，矿体下部为Mo异常，而Au、Ag、F自上而下均有其异常。不过，F及Ag的异常在矿体上部更加发育，而Au的异常则在矿体中部和上部发育。

三道岔金矿床地球化学找矿模式图基本上是根据2线原生分散晕特征及其因子计量趋势分析结果绘制的。该图不仅反映F、Hg、Cu、Ni、Mn、V、Pb、Ag、Au等元素的原生分散晕，

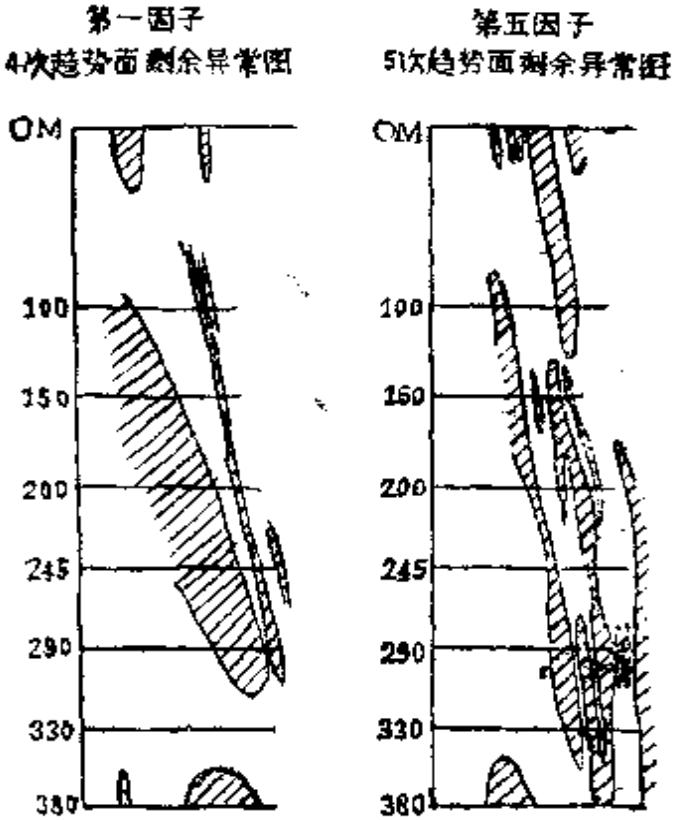


图6　三道岔金矿床地球化学异常模式及找矿预测图

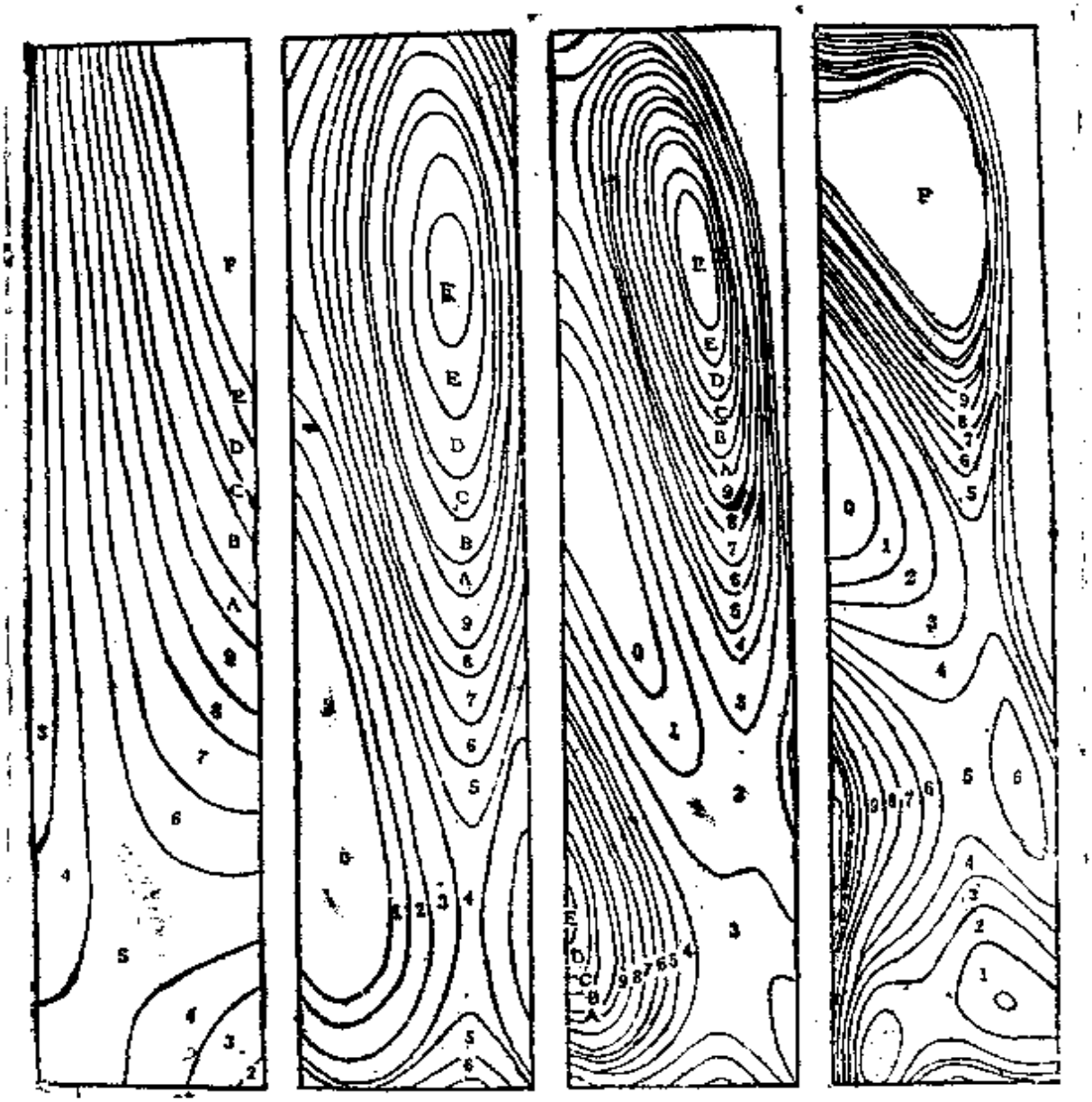


图7　三道岔2线F_1（Au、Ag、Cu、Pb）的因子计量趋势面(2－5次)

而且根据Hg晕的两个透镜体及剩余异常的分布预测了深部的隐伏矿体及其可能埋深。

深部预测的依据主要是成矿因子F_1(Au、Ag、Cu、Pb)的趋势图中（图7）往下趋于尖灭，可是在剩余异常图中却在380m中段又出了新的异常（图9）。而F_5（Hg）的趋势面（图8）中1、2、3号脉（主矿体）的部位及380m中段Hg有增加的趋势，

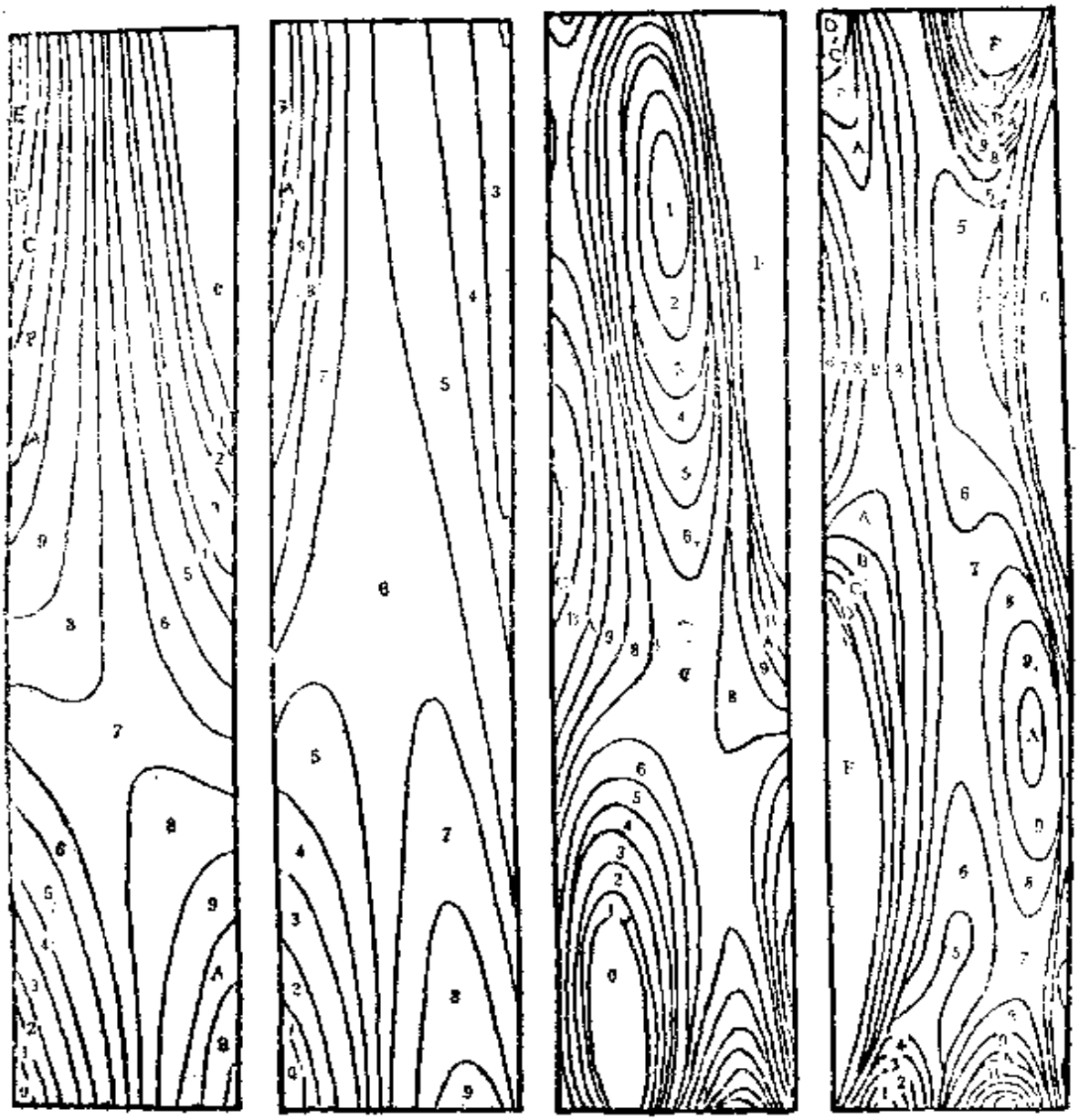


图8　三道岔2线F_5（Hg）的因子计量趋势面（2—5次）

其剩余异常图（图9）中这一点显得更加明显。这些都表明深部存在隐伏矿体的可能性很大。

除了该矿床深部预测外，我们用三道岔金矿床地球化学成矿模式总结出来的评价指标，对该矿床南部的55—1号异常进行了评价。该异常曾在1974及1975年打了两个钻孔，由于钻孔方位不对，未达到验证目的。该异常为Cu、Pb综合异常。为了重新评价该异常，进行了少量土壤地球化学测量及岩石地球化学测量，

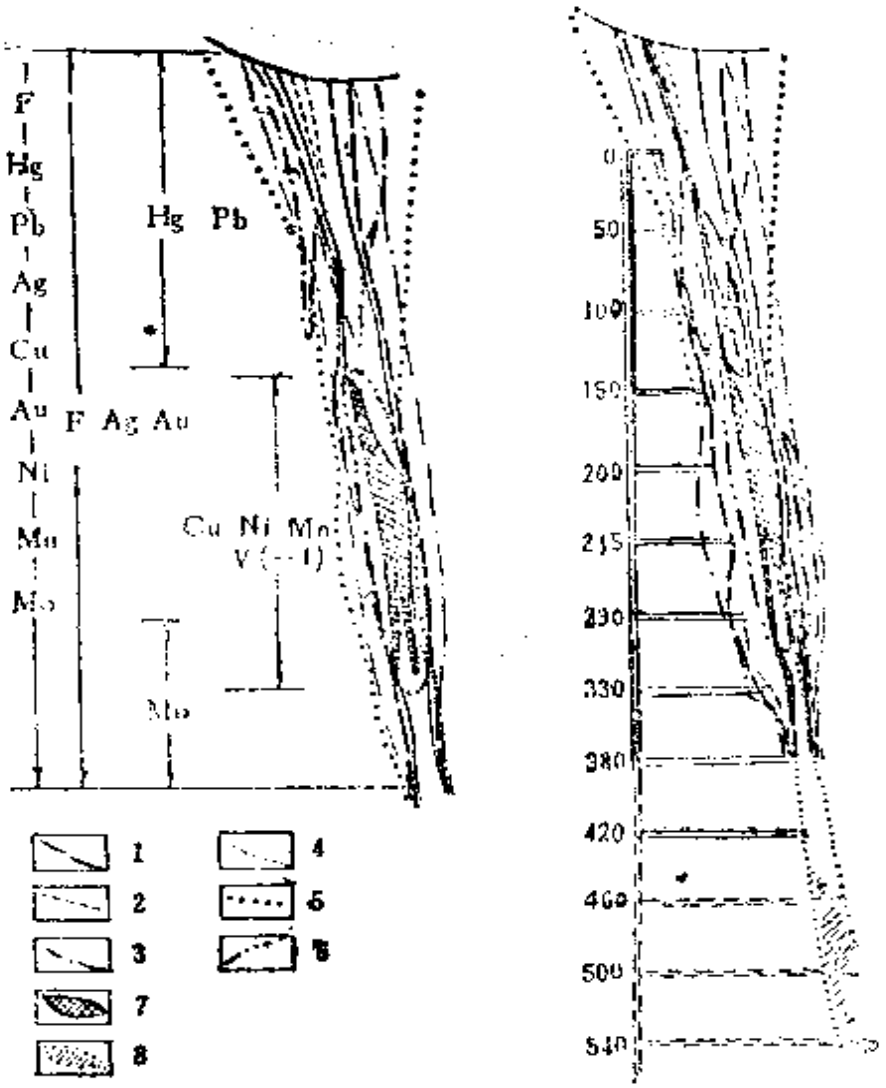


图9　三道沟2线F_1（Au、Ag、Cu　Pb）及F_2（Hg）的因子计量剩余异常图

1—Au；2—Pb；3—Hg；4—Ag；5—F；6—Cu、Ni、Mn；7—含金石英脉；8—预测含金石英脉

用上述评价指标进行了评价，认为该异常中Ag、Pb、Au、Ba、Cu的含量都比较高，当属于矿体上部异常。根据以上分析重新设计了钻孔，为下一步找矿勘探提供了依据。

选自《物探与化探》第六期（1984）

治岭头金银矿床的地球化学特征及找矿标志

周俊法

（浙江丽水地质大队）

治岭头金银矿床是在查证1965年1／10万区域化探（水系沉积物和重砂测量）Au、Ag、Cu、Pb、Zn等元素综合异常的过程中找到的。它的发现打开了本区寻找金银矿床的前景，进而确定了诸暨—龙泉Ⅱ级金银成矿带。

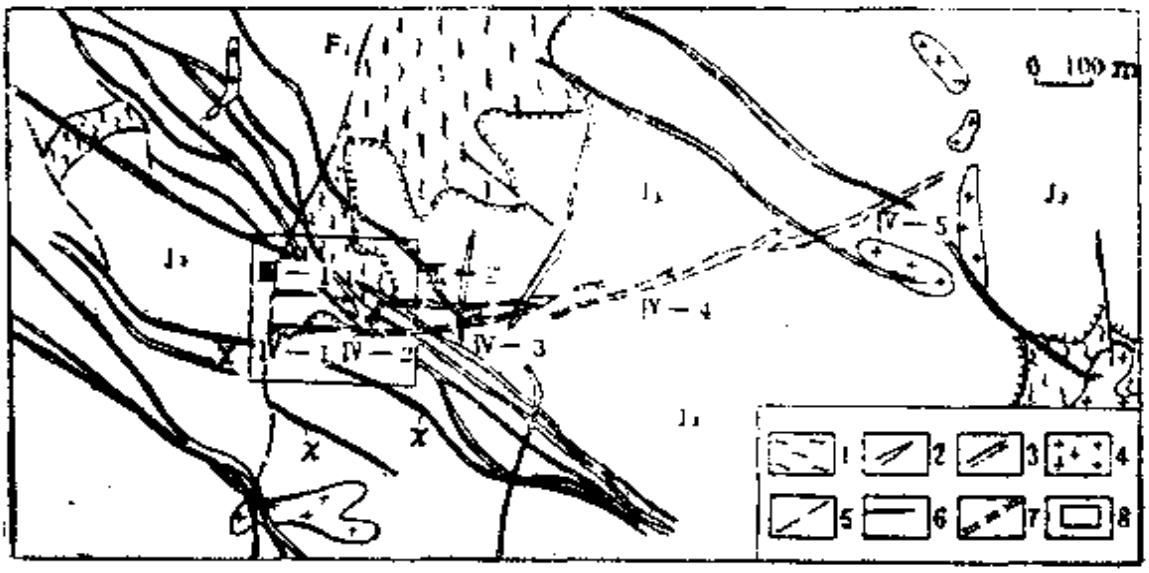


图1　矿区地质略图

J_3：一晚侏罗世火山岩；1—变质岩；2—霏细斑岩岩脉；3—基性岩脉；4—花岗斑岩；5—断层；6—金银矿露头；7—矿体地表投影；8—地表采样范围

地质概况

矿区有两个构造层：下部为前泥盆纪陈蔡群变质岩，以副片麻岩为主；上部为晚侏罗世壳源型中酸性—酸性陆相火山岩建造。燕山中晚期钾质花岗岩呈小岩株产出，以霏细斑岩岩脉为主的脉岩成群分布。黑云母斜长片麻岩与含石榴石黑云母斜长片麻岩是金银矿床的主要围岩。矿带严格受近东西向—北东向张扭性断裂控制。矿带长约2000m，包括7个矿体，长140—400余米不等，由贫硫化物石英脉、网脉及脉旁黄铁绢英岩组成。整个矿带仅西端出露不足百米，向东沿走向侧伏，是个半隐伏矿床（图1）。

矿石矿物以黄铁矿为主，另有少量方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、金银矿系列、碲金矿、碲银矿、辉银矿等；脉石矿物以石英为主，次为绢云母、蔷薇辉石、含锰碳酸盐、绿泥石、绿帘石、长石、石墨。

近矿围岩蚀变有浅色和深色两种。早期以浅色蚀变为主、主要是硅化、黄铁绢英岩化、蔷薇辉石化、含锰碳酸盐化；深色蚀变以绿帘石化为主、叠加于浅色蚀变之上。

矿床成因尚有争议，持变质热液说或变质热液叠加火山热液成矿说者居多。

岩(矿)石中微量元素分布分配特征

1. 元素分布特征 矿区主要岩石与矿石中微量元素平均含量见表1。由表可知：变质岩中的Au，Ti，Ni，Co含量高于火山岩，而Cu，Pb，Zn，Mn则相反。火山岩的Pb，Zn，Mn高于克拉克值，其他元素低于或接近克拉克值。霏细斑岩中

表1　　主要岩（矿）石中元素含量平均值（ppm）

元素	变质岩	火山岩	霏细斑岩岩脉	金银矿石	克拉克值(泰勒)
Au	0.0124	0.0042①	0.0042①	13.33②	0.0040
Ag	①<0.3	<0.3	1.2	275.33②	0.07
Cu	21	30	65	683②	55
Pb	35	52	436	2088②	12.5
Zn	75	160	1329	4172②	70
Mn	484	1510		5150	950
Sn	<5	<5	16.1	12.3	2.0
Mo	<5	<5	11	18.4	1.5
Ni	34	5.5	10.7	16.4	75
Co	8.7	5.9	4.7	10.5	25
Ti	4224	700	1822	1488	5700

①化学光谱法测定；②化学定量分析；其余为光谱半定量分析。

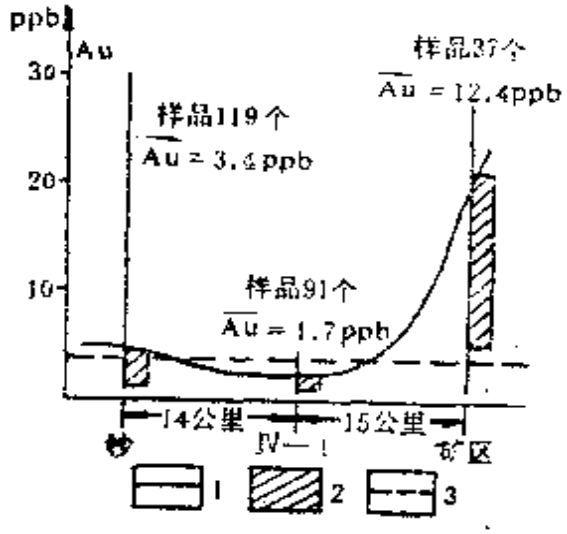


图2　变质岩中金的变化趋势

1—变化区间；2—金含量常见值范围；

3—片麻岩类金的丰度（3.9ppb）

大多数元素含量较高。矿石中Ti，Ni含量低，矿上出现相对

负异常，其余元素比赋矿围岩高1—10³倍。

矿区无矿地段钻孔中的变质岩及远离矿区的同时代变质岩化学光谱法测定金的分布如图2所示。远离矿区的变质岩地段金含量为5—30ppb，可能是初始富集金（银）的矿源层。由沙剖面（金的含量接近片麻岩类金的含量）经Ⅳ—1剖面金的贫化区，到矿区，金的含量迅速增加（平均12.4ppb），表明金在区域变质作用过程中发生了活化、转移和重新富集。

2．元素组合特征及其地质意义 表1中所列元素分两类：—

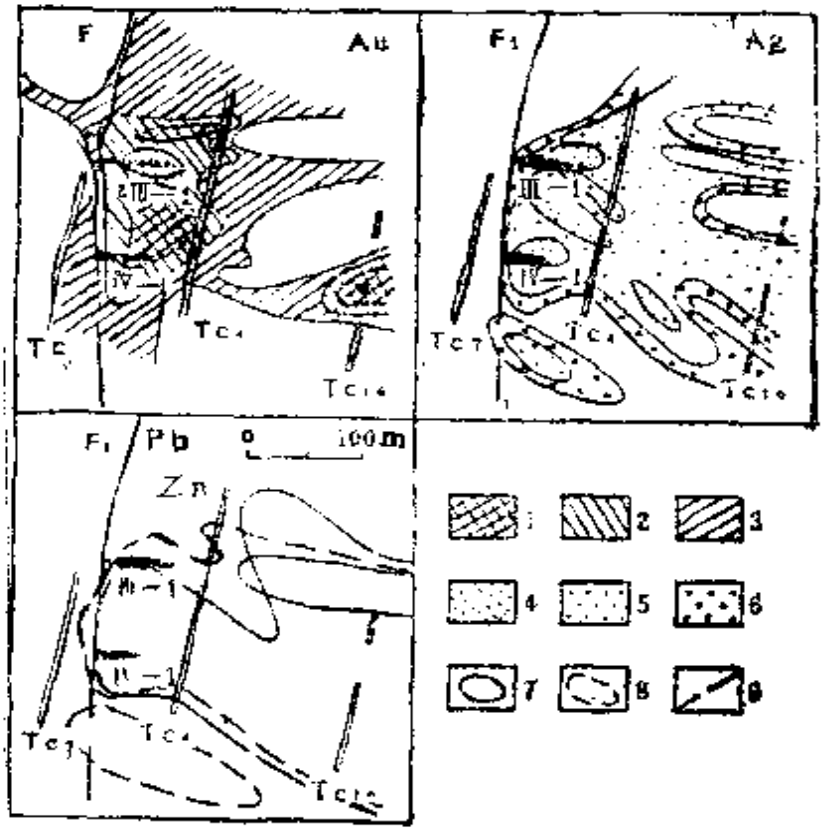


图3 矿带头部地表原生异常

1—Au>240ppb，2—Au为120—240ppb；
3—Au>60—120ppb；4—Ag>10ppm；
5—Ag3—10ppm；6—Ag1—3ppm；
7—Cu>40ppm；8—Pb>100ppm；
9—断层

表2　　线金属量和纵向水平梯度

F_1 断裂	西侧	东侧			
工程号	Tc_-	Tc_1	Tc_4	Tc_8	Tc_{12}
工程间距(m)		50	50	50	50	50
Au 线金属量	1.84	46.95	20.45	10.60	4.1
Au 水平梯度		-0.178	0.104	0.034	0.030	
Ag 线金属量	0	2791.0	661.5	976.5	1829.5
Ag 水平梯度		-11.16	8.52	-1.26	-3.40	

单位：线金属量ppm米；水平梯度：ppm/米。

类是Ti，Ni，Co，高值带反映变质岩；另一类是成矿成晕元素，其中Au、Ag是找矿的直接指示元素，形成矿物有金银互化物、碲化物、辉银矿等，赋存于硫化物晶体中，或呈胶体微粒赋存于长英质矿物中：Cu，Pb，Zn，Mn为近矿指示元素，前三者呈硫化物，Mn由早到晚则呈蔷薇辉石—硫锰矿—含锰碳酸盐；Mo，Sn为矿体尾部指示元素，Mo呈细鳞片状辉钼矿，Sn可能以细粒分散状独立矿物或类质同象形式存在。

原生晕异常特征

1．矿带头部（地表）原生异常特征　矿区以盲矿为主，出露矿体约占矿带长的5%，查明其异常特征对指导盲矿找矿是十分重要的。矿带头部原生异常如图3所示，Au最高值为530ppb，Ag异常最高值为112ppm，Au，Ag异常浓度分带清晰，Au＞240ppb，Ag＞10ppm的套合异常包围了出露的Ⅰ、Ⅳ号矿带及蚀变体。Au的线金属量及纵向水平梯度自出露矿带的探槽 Tc_1

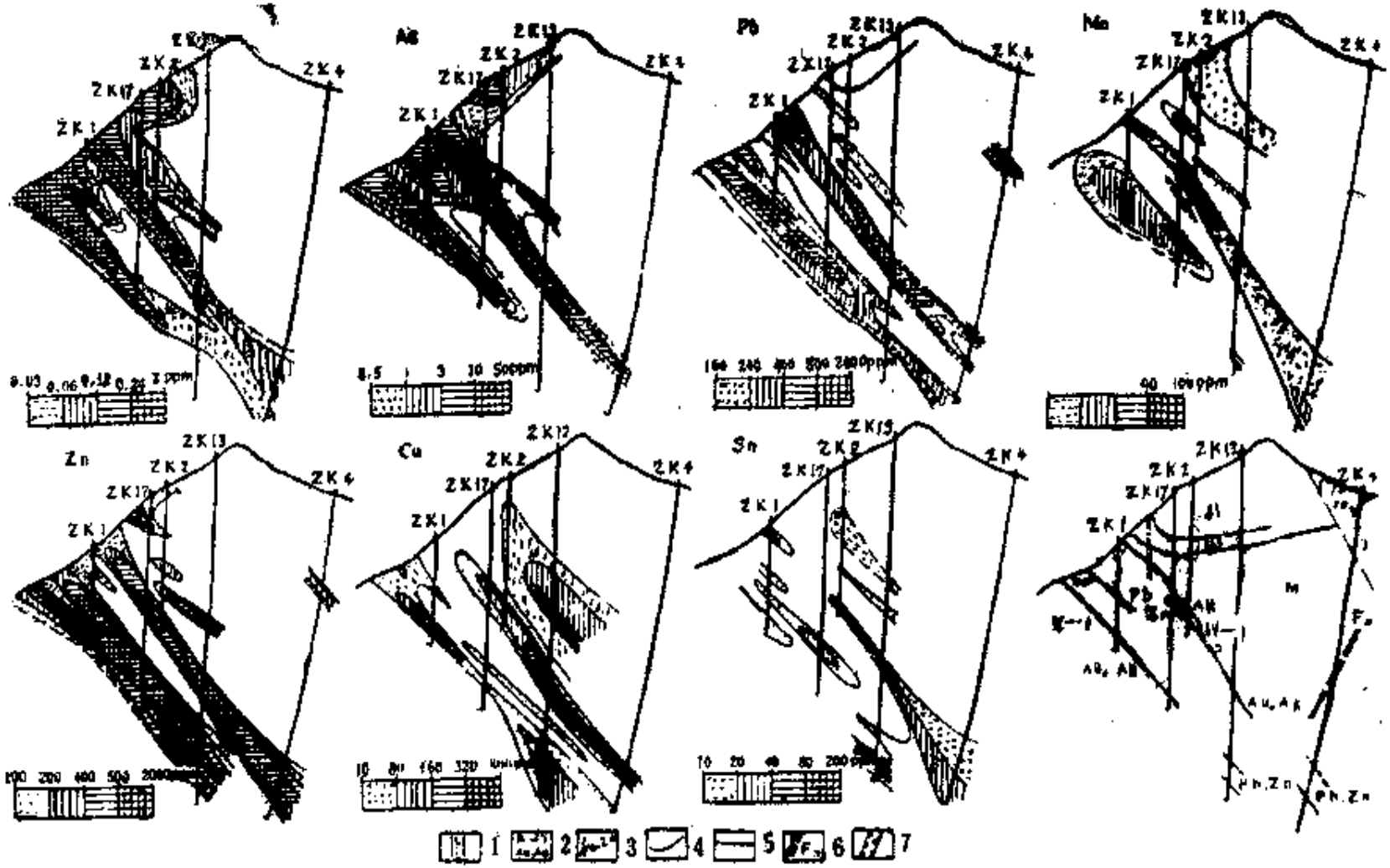


图 4　Ⅰ线地球化学剖面

J_3^{1-1}—凝灰砂泥岩；J_3^{1-2}—凝灰岩；熔凝灰岩；M—前泥盆系变质岩；γπ—花岗斑岩；αμ—安山玢岩岩脉；1—细粒斑岩；2—金银矿体与编号；3—铅锌矿体；4—地质界线；5—不整合界线；6—断层及编号；7—老洞

向东渐减，反映矿带自Tc_4起变为隐伏盲矿。Ag异常向东有渐增趋势（表2）。同一Au，Ag异常展布于变质岩和火山岩上，据此可追索火山岩覆盖下的盲矿。除Au，Ag异常外，还有Cu，Pb，Zn，Mn异常相伴。各元素异常都分布于F_1断层以东，反映了F_1是成矿的地球化学障。

2．钻孔剖面异常特征 在剖面上，元素具垂直分带特征，Au和Ag居上，Pb，Zn和Cu居中，Mo和Sn偏于尾部；Au和Ag异常浓度与宽度自上而下渐减，Au≥100ppb、Ag＞10ppm的异常在矿体尖灭后20—30m消失，Pb，Zn的中高浓度带在矿体尖灭后可继续延伸百米以上，Mo异常的浓度和宽度自下而上渐增，在矿体尾部有较大延伸。

在剖面上，矿体呈左行斜列出现，当矿体间距小于20—30m时，Au，Ag高浓度带包围剖面上的所有矿体，否则各自分开，而Pb，Zn高浓度带则包罗了斜列的所有矿体，愈近矿带东部，Mo，Sn浓度愈高。矿带(矿体)顶板各元素异常较底板发育，这与矿带顶板比底板蚀变强度和宽度大相对应。据钻孔控制，在隐伏矿体上方50—70m处，金银异常仍清晰，金可达50—100ppb。

3．异常元素的相关性 Ⅳ号矿带51个见矿工程组合样化学定量分析6个元素的相关系数列于表3。在$r_{0.05}=0.3080$水平上，将元素分为两群：Cu—Pb—Zn与Au—Ag—ΔS。前者反映了成矿作用的早期阶段，仅有少量包体金银产出。后者为金银主成矿阶段组合，金银呈连续的互化物出现。金与其他元素及相应矿物的相关性按下列顺序递增：Pb (PbS) →Zn (ZnS) →Cu ($CuFeS_2$) →ΔS (FeS_2)。这一序列与单矿物中的分配率是一致的。金在黄铁矿中分配率为32%，闪锌矿中为1.23%，方铅矿中为0.74%。Au—ΔS密切相关，Ag—ΔS不相关，与热液成矿作用中金与硫的相对亲合力大于银与硫的相对亲合力，金比银更富集于黄铁矿中的地球化学行为一致。

表3　　偏　相　关　系　数

	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	AS*
Au	1.000					
Ag	0.7956	1.0000				
Cu	0.1428	0.1978	1.0000			
Pb	0.1137	0.1473	0.7795	1.0000		
Zn	0.1275	0.0784	0.4760	0.6769	1.0000	
AS	0.4395	0.0432	0.1661	0.1826	0.2595	1.0000

* 分析S减去组成PbS, ZnS, $CuFeS_2$后剩余视为组成FeS_2。

以元素相关性为基础的R型因子分析结果表明，矿区原生异常中有四个成矿主因子，f_1(Zn—Cd—Pb—In—Sn)与铅锌矿化有关；f_2(Ag—Au)是金银矿主因子；f_3(Cu—Mo)反映了上述成矿作用的早中阶段沉淀作用；f_4(－Sn)则为成矿作用初期产物。因子得分图解将金银矿带四周变质岩中的铅锌矿脉与火山岩中铅锌矿脉划分为两个独立的地质事件，而金银矿与其四周变质岩中铅锌矿脉则是同一地质事件的产物(图5)。

金银矿原生异常的f_2为正得分异常，f_1为负得分。在矿体中下部f_3出现正异常，矿体尾部出现f_4负极值。而火山岩中的铅锌矿脉f_1为正得分异常，f_2则以负值为主，f_3、f_4均为正异常。多元素组合异常的因子得分异常组合类型是判别异常找金银还是铅锌的重要标志。

4．元素对比值　成矿成晕元素含量的研究和赋存金银工业矿体的矿带钻孔剖面原生异常对比表明：Au／Ag＞0.02的等值线可以圈定工业矿体，从矿体边界至矿体中心，Au／Ag比值渐增，最高可达0.5，Ag／Pb，Ag／Mo，和(Au＋Ag)／

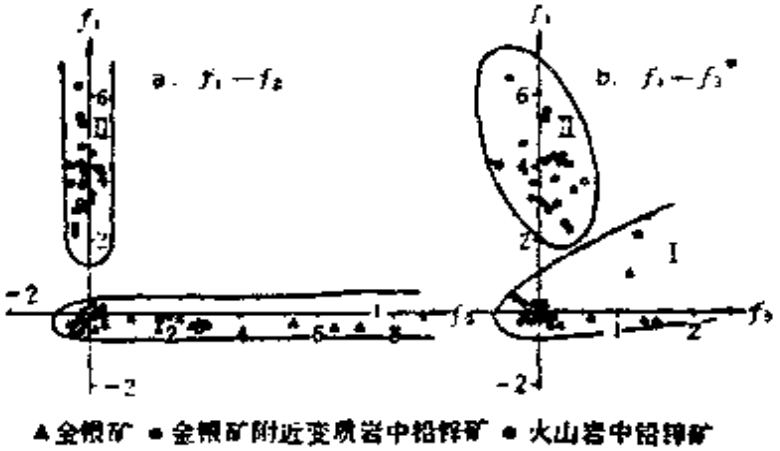


图5　1线、24线矿体因子图解

I—变质岩中金银矿及铅锌矿脉；Ⅱ—火山岩中铅锌矿

(Sn + Mo) 其值均＞0.1，在矿体部位出现＞1的高值带，分散矿化或被剥蚀到尾部的矿带不具此特征：区内金银矿床、黄铁矿床、铅锌矿点矿石及异常中Ag／Pb的研究表明，金银矿引起的近矿异常出现Ag／Pb＞0.1—1连续高值带，其他矿引起的异常无此特征。

矿区中副变质岩的Co／Ni平均值为0.29，火山岩中Co／Ni平均值为1.09，燕山期火山热液形成的黄铁矿中Co／Ni平均值为2.363 ($\delta = 0.781$)，含金石英脉中黄铁矿的Co／Ni平均值为0.644 ($\delta = 0.201$)，金银矿原生异常的Co／Ni值是0.296—0.714。由此可见，矿区含金石英脉与典型的岩浆热液矿床 (Co/Ni＞1) 有区别，可能为变质热液型。

5. 金银矿体原生异常分带模式　根据原生异常的元素组合、规模、形态特征、浓度中心相对位置和分带指数等，确定了金银矿体原生异常的分带模式（图6）。图中A剥蚀水平代表了以盲矿为主的侧伏矿带头部出露部位，即成矿作用的前缘，其由内向外的水平分带序列是：Cu→Mn→Pb→Zn→Ag→Au，无Sn、Mo。金银矿体原生异常组分由下而上的垂直分带是：Sn → Mo

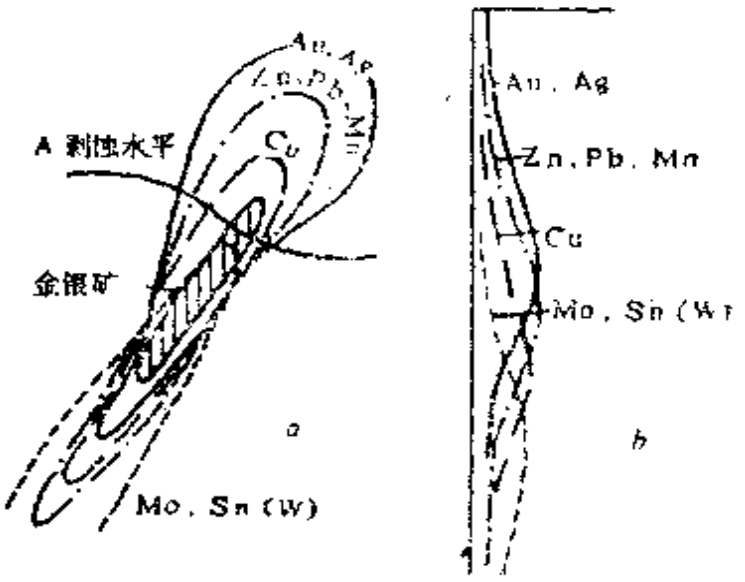


图6 原生异常组分分带模式

a—轴向及水平分带；b—垂直分带

→Zn→Pb (Mn) →Au→Ag。这一序列与金属正电性的增加、氯化物络合物稳定[①]是一致的。用计算分带性指数方法研究了因子垂直分带，其结果由下而上为：$f_4 \rightarrow f_3 \rightarrow f_1 \rightarrow f_2$。元素的因子的垂直分带与矿体中矿物共生组合空间变化对比表明，因子垂直分带能更好地反映矿体中矿物共生组合的变化。

原生异常形成机制的探讨

本矿床为复成因矿床，其形成与区域变质作用和火山作用有关。测温资料表明成矿温度240—360°C，为中高温变质热液矿床。

一般地说，地球化学上的共性和变异的连续性是成因上有联系的重要证据之一，区内变质岩属绿片岩相，原岩为砂泥质沉积

① 吉林省冶金地质勘探公司研究所编，金矿参考资料汇编 第四集，1978，124—141页。

表4　　石英包裹体成分表

样品名称	SiO_2 ppm	Ca^{2+} ppm	Mg^{2+} ppm	K^+ ppm	Na^+ ppm	Fe^{3+} ppm	Cl^- ppm	F^- ppm	HCO_3^- ppm	SO_4^{2-} ppm	CH_4 ml/100g	CO_2 ml/100g	CO ml/100g
变质岩石英	0.72	1.24	1.88	1.84	0.82	0.05	0.87	0.15	6.70	10.00	2.30	50.80	4.10
石英脉石英	0.72	1.02	1.47	0.75	0.62	0.42	4.15	0.10	15.29	6.98	2.42	23.38	3.14

据省金矿专题组1983年资料。

岩夹火山岩，局部混合岩化较强。大部分岩性段含金1—2ppb，少数岩性段含金5—30ppb，矿区达14.2ppb，变化规律如图2。据此认为，雪峰运动之后，区内接受了准地槽型砂泥质海相沉积岩夹火山岩，形成了含金量高于克拉克值的初始富金银等成矿元素的矿源岩层。在区域变质过程中，矿源岩层中的成矿元素与岩石内因水产生活化转移，形成变质热液。矿区含金石英脉包裹体以液相为主（气液比20—30%），子矿物以NaCl为主。包裹体成份测定结果（表4）表明。变质热液盐度高、富含矿化剂，呈弱酸性，这就增强了它攫取运移途中金属的活力，导致大部分岩段金降至1—2ppb，形成金的贫化区。而使成矿物质浓度不断增高。

围岩蚀变及组分研究表明，金银在成矿溶液中以复杂络合物形式迁移，早期以氯化物络离子（$[AuCl_4]^-$，$[AgCl_2]^-$）形式为主，晚期演化为多硫化物络离子，如$[AuS_2]^-$，$[AgS]^-$。当成矿溶液运移至断裂构造带和有利的岩性地段，由于物化条件的改变，络离子解体，以充填交待方式成矿成晕。在矿液自下而上运移过程中，由于渗滤和扩散作用，成矿成晕元素按其负电性增加和络合物稳定的方向 Sn→Mo→Cu→Zn→Pb→Au→Ag 顺序发生沉淀，形成了元素的垂向分带和水平分带。矿石中铅同位素年龄为253—270Ma。

燕山期强烈火山活动形成的火山岩喷发物不整合于变质岩之上，次火山岩相脉岩群鱼贯矿区。正常火山岩类金的含量如表1，硅化、黄铁矿化、绿泥石化后金的平均值增至43.7ppb（17—140ppb），这表明燕山晚期火山活动也携带了较多的金银等成矿元素。在区内火山岩中形成了富银铅锌矿脉，在石英脉型金银矿中不仅叠加了富金银的硫化物团块和脉体，而且形成了碲金矿、碲银矿、辉银矿等矿物组合，某些脉岩附近矿体增厚变富迹象明显。同时，形成了金银等原生异常的“穿层”“跨时”分布。

找矿地球化学标志

1．陈蔡群变质岩块具金的正常分布和异常分布的双重分布地段，特别是金增高与亏损匹配的地区，是这类矿床产出部位。

2．金银矿引起的异常具有Au＞100ppb，Ag＞10ppm；且伴有Cu，Pb，Zn，Mn，Mo及Sn异常；Ag／Pb＞0.1的特征。

3．指示元素具有明显的浓度分带，形成带状或面型偏心异常，指示元素在垂向上，上部为Au、Ag，中部为Cu、Pb、Zn、Mn，下部为Sn、Mo。

4．Co／Ni＜1、Ag／Pb＞0.1的硅化、细粒黄铁矿化蚀变带是直接找矿标志。细粒黄铁矿含Au 22.8—365.5ppb，Ag 180—2536ppm，As 58—2800ppm。

本文使用了矿区工作者和省地科所金矿组的测试资料。徐外生等工程师审阅了初稿，提出了宝贵修改意见，工作中得到矿区杨富田等工程师帮助。图件由燕美华同志清绘、一并致谢。限于水平，不当之处请指正。

参 考 文 献 略

选自《地质与勘探》 第一期 （1985）

澳大利亚新南威尔士帕克斯地区金的岩石地球化学勘查

G.J.S.Govett　V.J.Dobos　S.Smith

摘要　新南威尔士帕克斯附近的伦敦—维克托利亚脉型金矿床发现于1863年，在很少或停止勘查活动75年后，于1980年成了现代勘查工作的对象。该矿床产于古生代凝灰质、安山质岩石之内。土壤地球化学是用来确定钻探靶区的主要方法，目前该矿床处于为可能的开发而进行的预先评价阶段。

在追寻伦敦—维克托利亚矿床的延伸部分和区内其他类似矿床的工作中，岩石地球化学被作为一种有助于岩心解释的手段在进行研究。

在岩石地球化学研究的早期阶段业已搞清，于构造的上盘围岩中在距脉状金矿床30—70m的范围内存在有小型贱金属矿床。大量元素（Ca、Mg、Na、K、Fe）和微量元素（Cu、Pb、Zn、Mn）分布特征的解释，由于Au矿化和贱金属矿化反应的迭加和合并而搞得含混不清。通过测定溶解于溴的Sb、As、Bi和Te以及常规的大量和微量元素，可以区分与金有关的地球化学晕和由小的贱金属矿化产生的地球化学晕。

研究结果证实了岩石地球化学在金矿勘探中的作用，它在引起人们对地质特征的注意方面是有用的，以及通常与金伴生的溴可溶微量元素是可用的。

引　言

据鲍伊尔（Boyle，1979）的见解，后生金矿床总是伴生有Ca、Ag、Zn、As、Se、Sb和Te。晚于前寒武纪的矿床中，

Pb为少量或较富的组分，Hg为微量或少量组分，Ba为少量组分；晚于古生代的所有矿床中都富含Tl；在元古代、古生代和中生代的矿床中Bi增加，而在第三纪矿床中Bi通常较低。怀特（1981）把“溪船泉”（Steamboat Springs，美国内华达州）和“宽地”（Broodlands，新西兰）现代地热系统中的Au、Sb、As、Hg、Tl和Bi定为上层活性元素（mobile upper level elements）；他指出，在该系统中，Ag，Se，Te和Bi出现在中等到较低深度，而Cu、Pb和Zn出现在最深部。鲍伊尔还指出，火山岩中的脉状矿床常常有随着深度增加而表现出的分带：Au—Ag，Pb—Zn，Cu。

金的勘查地球化学方法通常要以指示元素为依据，从最早期的勘查地球化学开始的，As一直是所使用的传统指示元素之一。现已查明，美国的卡林、科特兹、戈尔德阿克列斯、博茨特拉波和杰特开尔金矿床伴生有As、Sb、W和Hg。犹他州德托依特矿区的裂隙型Cu、Au和Ag矿床具有分带的Pb、Hg、Cu、Au、Bi、As、Mo和Sn基岩异常，延伸达5km。洛夫林和麦克卡锡认为，这些异常部分地与浅隐伏的深成岩体有关。虽然Te通常与Au矿化伴生，但它并不是只与金矿化有关，此外，看来它的活动性特别强，易于重新活化。例如，华特森等指出，在爱达荷州科达伦Pb—Zn—Ag矿区780km²的范围内，外缘环绕着Te的低值异常；区内成矿后石英二长岩岩株周围有Te的强异常（直径8km），据认为，它是由与侵入作用伴随的活化作用造成的。华特森等还证实，在科罗拉多州蒙特祖马矿区Ag-Pb-Zn矿脉周围，在克利浦克立克裂隙型Au-Ag脉状矿床周围，以及在克拉特克立克Cu-Au-Pb-Ag-Zn脉状矿床，都有延伸6—10km的Te异常。

继一年前在福伯斯发现冲积金矿化之后，于1863年在新南威尔士中西部巴基斯—福伯斯地区发现了蚀变古生代火山岩内的脉

状金矿化（图1）。金总产量25.2t的一半以上是从埋藏的古砂矿（“深砂矿”）中得到的：大多数矿脉产品是由含金大于31g/t的矿石生产的。由于高品位的储量开采殆尽和某些采矿问题，自1900年以来只进行了有限的开采。

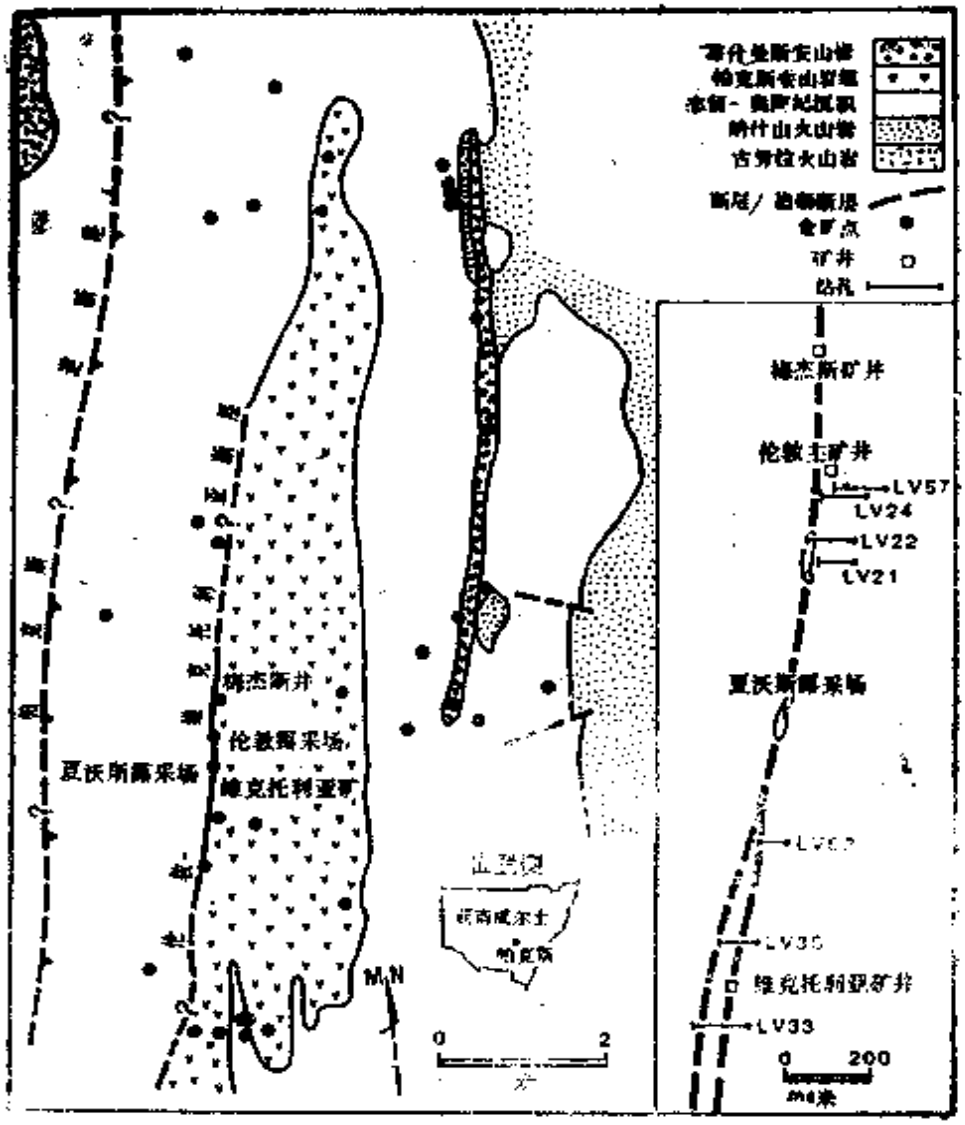


图1　新南威尔士帕克斯地区地质图和取样钻孔位置图

皮科－沃森德1978年在距帕克斯北西8km的古努拉（Coonumbla）地区，发现了一个与福伯斯复背斜带内的斑岩侵入体有关的斑岩Cu－Au矿床(见下文的地质部分)。该矿床的估计规

模是依据评价时所用的不同矿化带组合计算出来的。据澳大利亚矿山登记册(1983)报告，矿石储量大于250Mt，平均品位Cu为0.72%，Au为0.28g/t。

帕克斯－福伯斯戈尔德费尔德的伦敦－维克托利亚老矿区的近代勘查工作开始于1980年。这项工作是该地区金矿资源区域和详细评价计划的一部分。该地为耕作区(谷类和牧草)，地形特征是绵延起伏的低丘和平原，覆盖着中等厚度（1—5m，视盖层之下的局部地形而定）的土壤盖层。区内露头很少，调查地质靶区时所使用的主要勘查方法一直是土壤地球化学。沿伦敦－维克托利亚脉系走向在长3.3km的范围内取了近5000个土壤样，用与金矿化伴生的Pb和Hg确定钻探靶区。许多靶区仍在调查之中，不过沿走向长度约2km的范围内，在50个不同的横断面上打完了87个钻孔，总进尺8000多米。伦敦－维克托利亚远景区目前正处于为可能的露天开采作准备的超前勘探阶段。潜在的露采矿石储量估计为737000t(金品位3.3g/t，边界品位1.0g/t)或395000t(金品位5.0g/t，边界品位2.0g/t)。

1981，本文作者之一（V.J.多博斯）为撰写新南威尔士大学理学士论文，对从伦敦—维克托利亚矿化带挑选的岩心作了岩石地球化学研究，样品经热硝酸部分煮解后，分析Cu、Pb、Zn、Na、K、Ca、Mg、Ag和As。这项工作的目的是确定可否发现基岩中与Au矿化有关的地球化学分散模式，以及这些模式在金矿勘查中是否有用。其结果十分令人鼓舞的证明，进行本文所报道的更广泛的研究是有道理的。研究的重点放在某些浅成热液金矿的特征元素As，Sb，Bi和Te上。

地质和矿化作用

帕克斯矿区位于下古生代拉奇兰褶皱带的一个亚构造单元

——南北走向的福伯斯复背斜带之内，它是奥陶纪火山岛弧系的一部分。福伯斯复背斜由早奥陶世的海相深水细粒沉积岩组成，被中奥陶世至志留纪的侵入岩和喷出安山岩所贯入和超覆。在这个地区填绘出了四个火山岩单位——纳什山，古努拉，帕克斯和布什曼安山岩。所有这些岩石单位均已变成绿色片岩相，并受到局部剪切作用、断裂作用和热液蚀变作用的影响。因为该区内露头相当少，这四个单位之间的确切关系尚不清楚（的确，它们可能同属一个单位）。

下志留统沉积岩出露于该区西部，它们相对说来未受构造作用和变质作用的影响。推测的奥陶系岩石单位沿着北北西向延伸的帕克斯逆断层推覆到这套岩石之上（图1）。

在帕克斯地区，脉状金矿化广泛分布，但主要与帕克斯安山岩和布什曼安山岩有关。帕克斯安山岩（吉尔菲兰和加曼称之为帕克斯安山岩套）——它是伦敦—维克托利亚远景区和其他远景区的母岩——由安山岩和粗面状凝灰岩、结晶凝灰岩、斑状熔岩流、角砾岩、燧石的互层，或许还有安山岩侵入体组成。这套地层强烈褶皱，片理和劈理十分发育，其主要走向变化于N20°W和N15°E之间，倾向变化于80°W和80°E之间。蚀变作用十分普遍，局部有绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化、钾长石化、碳酸盐化和硅化作用带。绢云母化作用一般向南增强，分布更广。区内也有网脉状和细脉状热液石英产出。

帕克斯安山岩套的西部边缘与变质沉积岩大部分以断层接触，这就是伦敦－维克托利亚断层，其走向在5°—15°E之间，倾向55°—75°E，已确定的延伸长度超过9km。金矿化产于绢云母蚀变带中，其宽度达100m，沿伦敦－维克托利亚断裂附近的压碎发育。该带中有不规则的粗粒结晶石英、钾长石、钠长石和方解石透镜体和细脉。在绢云母蚀变的主带上，氧化作用延伸到25m深，从该带向东，延伸深度较浅。金矿化带成一系列重叠的

透镜体产出，厚达10m，水平和垂向延伸达100m。蚀变带的倾角比伦敦－维克多利亚断层更陡，因此在深部被断层切断。然而，因为蚀变带的走向并不完全平行于断层，另外一些透镜状矿体可以在深部横穿断层带产出。这些关系见图2中穿过伦敦露采场的理想剖面。由于没有搜集到任何相反的令人信服的证据，所以假定该层序是正常的，即构造顶板岩石也就是地层层序中上部的岩石（见下文“讨论”）。

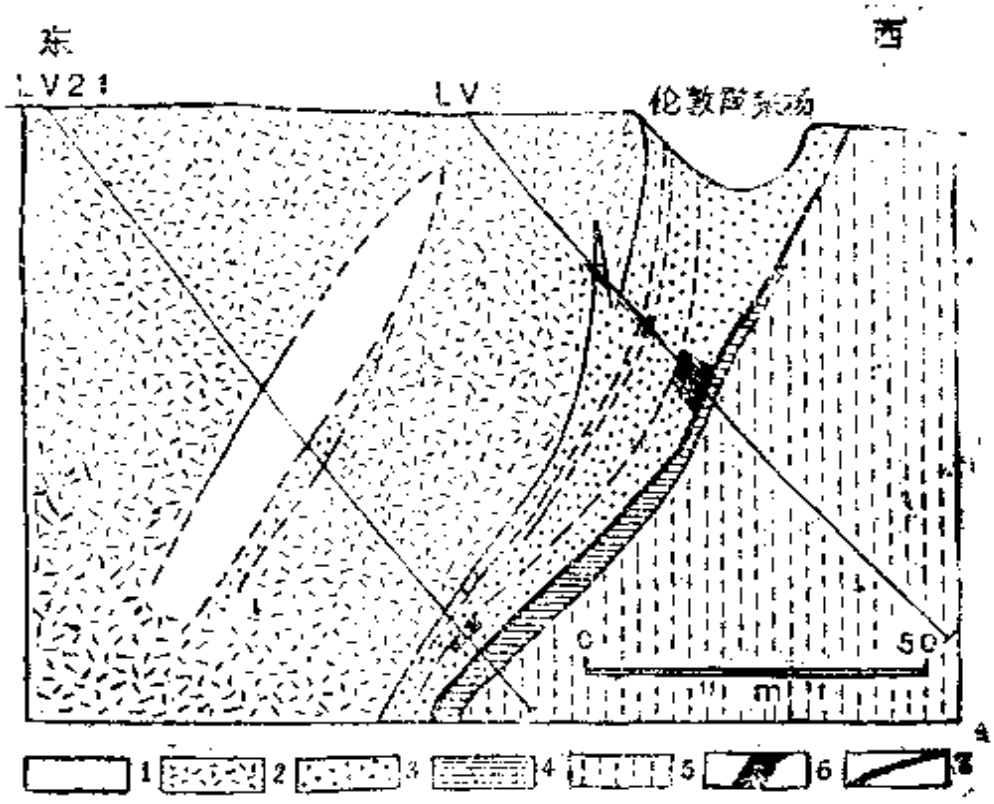


图2　横穿伦敦露采场的地质断面示意图
（据J.F.Gilfillan，联合Pty.有限公司资料）
1—安山凝灰岩；2—含次生长石和（或）方解石的安山凝灰岩；3—绢云母化安山凝灰岩；4—微晶灰岩；5—炭质凝灰质粉砂岩；6—金矿化；7—伦敦－维克托利亚断层

大多数金矿化产于强绢云母化蚀变带内，而最好的矿化产在

不规则的次生石英－长石－方解石脉附近。金呈微细浸染状，以自然金形式与石英或碳酸盐脉共同产出，以及在黄铁矿中成小的包裹产出，并且倾向于围绕着自形黄铁矿颗粒的边缘和沿其裂隙形成。通过扫描电子显微镜鉴定，闪锌矿、黄铜矿、方铅矿和磷灰石（？）呈包裹体产于黄铁矿中。

取样和分析方法

在7个钻孔中（其中5个与Dobos 1981年取样孔重复）取了样（图1）。所有钻孔都是从东边打的，从顶板打入矿化。这些钻孔是：

—LV57和LV24，打到伦敦矿山主矿井之下；

—LV21，打到伦敦露天采矿场之下；

—LV22，打到伦敦露采场北端之下，矿相当贫；

—LV52，打进了夏沃斯露天开采场和维克托利亚矿山之间宽阔的低品位矿化带；

—LV35，打在维克托利亚矿山之北100m；

—LV33，似乎打进了维克托利亚矿以南较小的矿化。

在10m厚的主矿脉带内2m间距，在距矿化带10—30m处以5m间距，在距主矿脉30m以外以10m间距，采取了岩心碎块样（总重约1500g）。样品用鄂式碎样机破碎到5mm左右，用琼斯格条分离器筛分两次，然后用锥形器分法分出50g样品，在Tema研磨器中研磨至小于150μm（100目）。

全部煮解后，用Varian AA775型原子吸收分光光度计测定Cu、Pb、Zn、Fe、Mn、Na、K、Ca和Mg。煮解方法是：将0.25g样品加到由25mL40%HF和10mL2:1的HNO_3与$HClO_4$混合液组成的浸提液中，加热一夜至95℃。然后把样品蒸干，加10mL5%的HCl加热30分钟，稀释到50ml，对所有元素分析精

密度（据重复分析确定）在95%置信水平下优于±10%。除某些样品中的Pb外，所有元素都在其检出限之上，Pb的检出限为2ppm。

As，Sb，Te和Bi是用原子吸收分光光度计在氢化物蒸气状态下测定的（As和Te用无电极放电灯测定）。可产生氢化物的样品溶液用下述方法制备，取1.0g样品加到0.5mL40%的四氯化碳溴溶液中，在90℃加热1小时，发烟蒸干。冷却后加5ml液HCl，将样品加热15分钟，冷却，稀释到25ml，用离心机分离。检出限为：As：1ppb；Sb：2ppb；Bi：2ppb；Te：5ppb，据重复测定确定的精密度，对所有元素来说均优于±5%。

结果的解释

1.贱金属和大量元素与金矿化的关系

根据土壤中Pb和Hg与基岩中金矿化有明显的空间伴生关系，成功地确定了钻探靶区。在岩心中，Pb和金矿的关系是不固定的（图3—5）。显然存在着明显的贱金属分带：南部的维克托利亚（Pb达1600ppm）与北面的伦敦（Pb达70ppm）相比，Pb要高得多。此外，较大的Pb峰值在南部位于剖面的顶部，与金矿化没有明显而固定的空间关系；而在北部，较小部Pb峰值则靠近剖面的底部，与金矿化有不太固定却十分密切的空间关系。Cu含量增高的方向与Pb相反，即从南向北增高。自LV52号钻孔（图5）向北（图3，4），铜的峰值依次稍高于铅的峰值。在LV35号和LV33号钻孔（图5）中，由于主要铅异常的顶部切断，所以不能确定这一关系是否真是如此。

Pb的背景水平小于2ppm左右。详细研究可见，在LV57号钻孔中金矿化带之上的顶板岩石和LV24号钻孔中主要金矿化带之下的底板岩石中，有明显的Pb常异；在LV24钻孔中，较小的

金矿化带（约20m处）之下的底板岩石中也有一低值异常。在其余的钻孔中，Pb与Au矿化的伴生关系一般在顶板，但与金没有很明显的直接关系。Cu的背景水平可能在10—20ppm之间，Cu异常通常位于地层层序的上部；仅有的Cu和Au间的相关关系，表现为在某些钻孔中，如LV33、LV22和LV24号钻孔中，铜的局部低值不稳定地产在金矿化的周围。Zn的分布（未图示）与Pb的分布十分一致。Zn的背景值约为30ppm，在LV35号和33号钻孔的上部，大于1000ppm的峰值与非常高的Pb值相对应。

贱金属富集层的存在对于其他元素的解释是很重要的，在某些钻孔中，沿剖面向下，即向着主矿脉，一般表现为钠增加（LV57，LV21，LV52，LV35号钻孔）和Mg含量减少（所有钻孔）。表面的解释可以把这种现象和金矿化联系起来，但是更详细的考查证明，Mg和Na的分布可能与贱金属的分布有关。一般来讲，Mg和Cu呈同步变化（LV35号钻孔的情况除外，该孔整个剖面Mg的含量例外的低），而Na与Pb呈反向变化，Na和Mg的含量都向北增加。

K的含量普遍与Mg相反，在LV33和LV35钻孔的上端K含量最大，在此，Pb含量也最高；和Pb含量一样，K的含量向南也是增大，一般与强绢云母化蚀变区有关。在金矿化周围，K成局部异常。用亚硝酸钴钠染色法鉴定钻孔岩心中的钾长石变色带，没有发现钾对它有固定的响应。

铁含量大部分变化于4—6%之间（未图示），在北部，其分布模式类似于Mg和Cu，而向南这一关系变弱。不存在可能与金或贱金属分布有关的模式。Ca的分布（未图示）一般与Mg一致，北高（4—8%）南低（约2%）。在某些钻孔中（LV22和LV24）大于10%的值出现在伦敦—维克托利亚断层的周围。不存在

· 为避免混乱，在该节中假定钻孔剖面的顶部为地层顶部——原注。

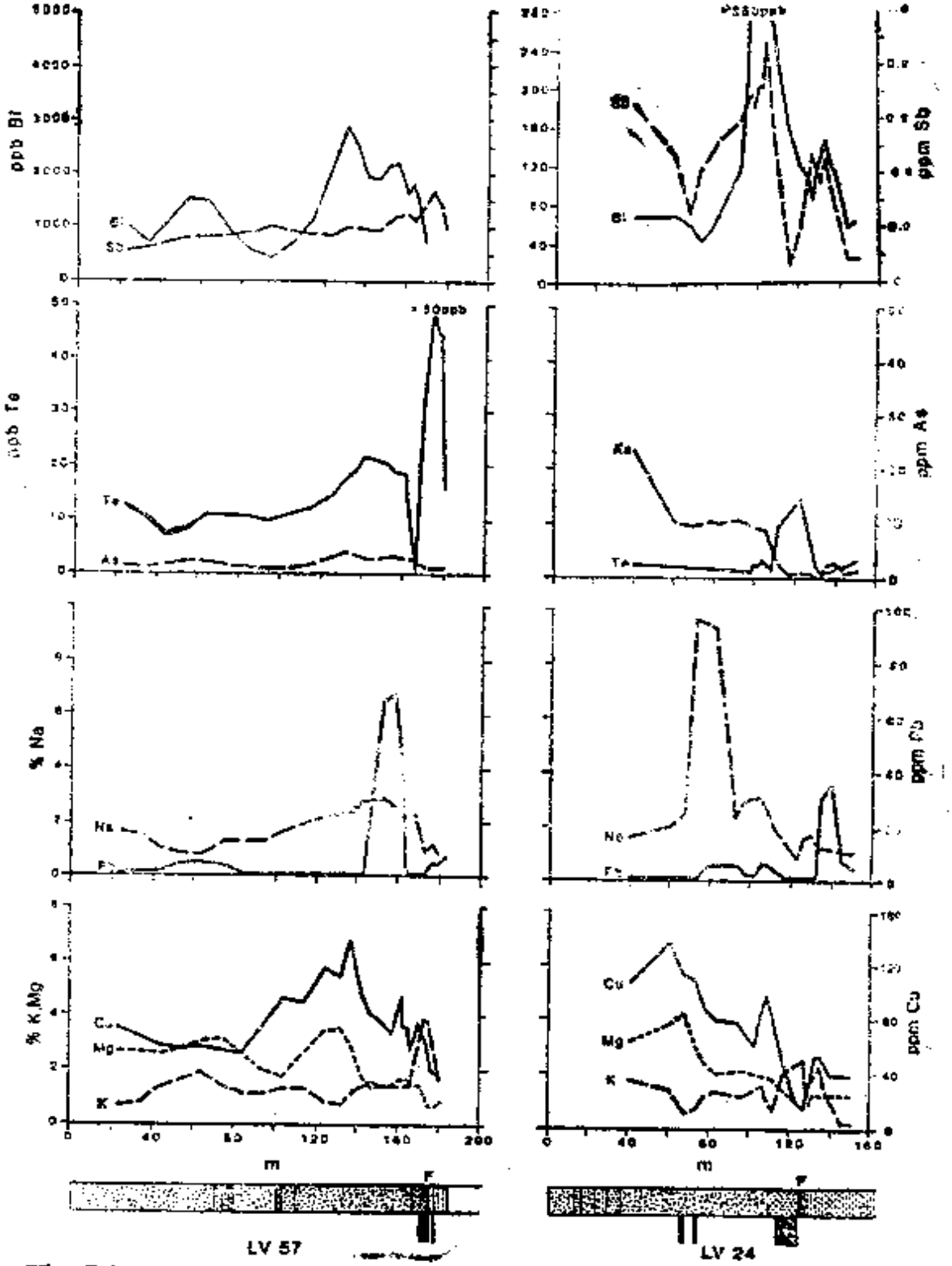


图3 LV57和LV24号钻孔岩心中K、Mg、Cu、Na、Pb、Te、As、Bi和Sb分布的三点滑动平均值。地质情况据J.F.Gilfillan提供的资料简化。金含量≥0.1g/t的金矿化带用竖黑线表示

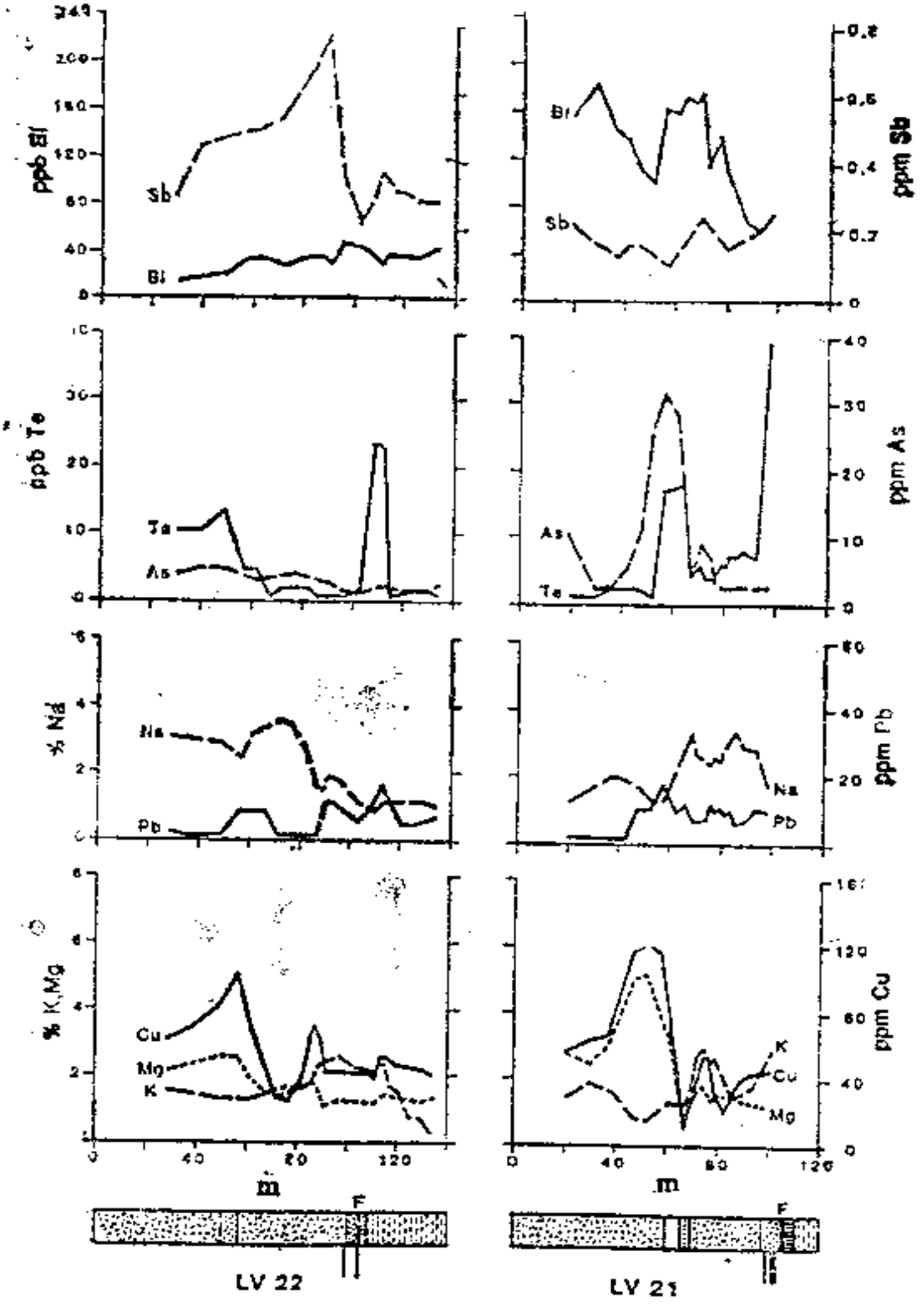


图4 LV22和LV21号钻孔岩心中K、Mg、Cu、Na、Pb、Te、As、Bi和Sb分布的三点滑动平均值。地质情况据J.F.Gilfillan提供资料简化。金含量≥0.1g/t的金矿化带以竖黑线表示

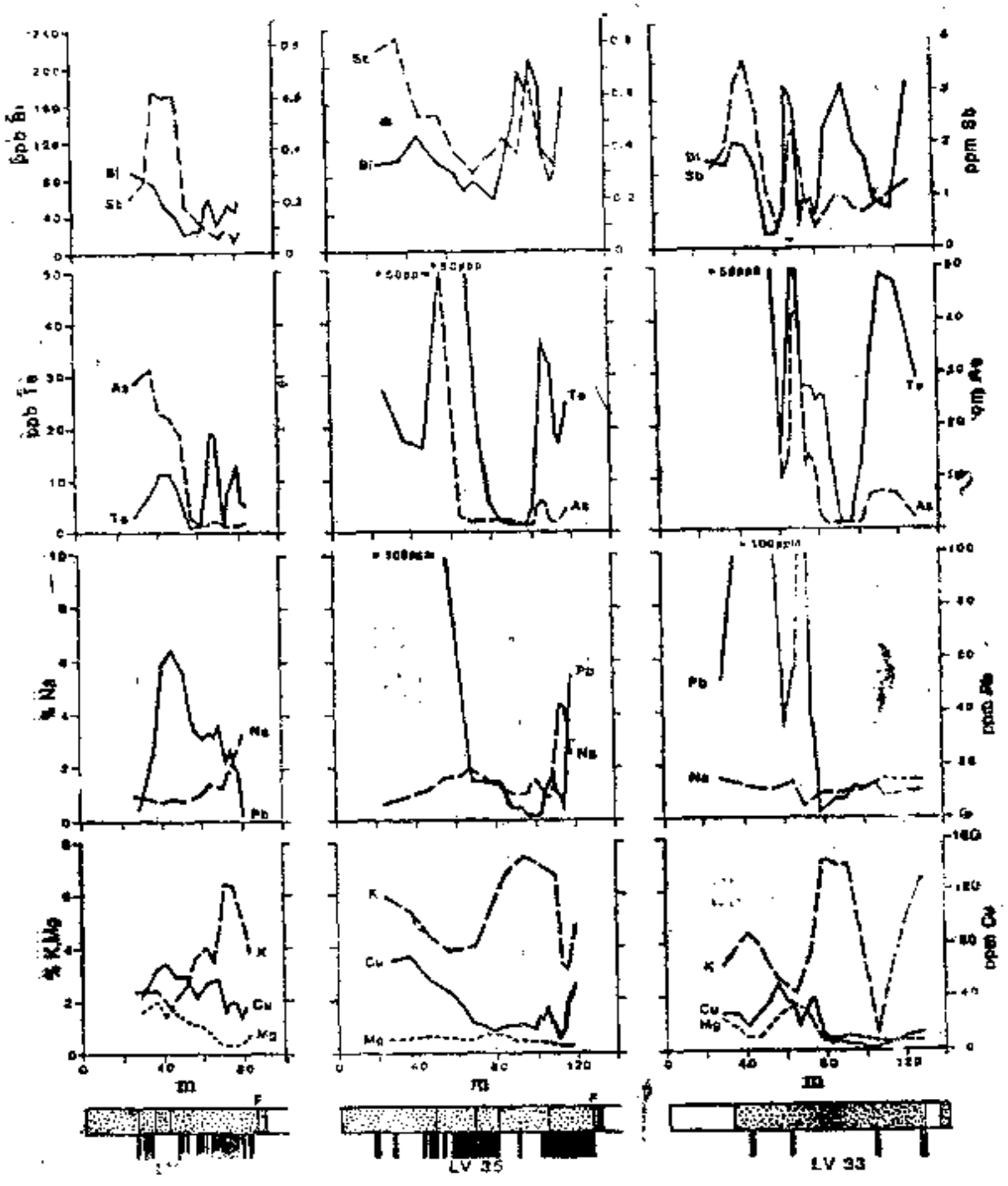


图5 LV52，LV35和LV33号钻孔岩心中K、Mg、Cu、Na、Pb、Te、As、Bi和Sb分布的三点滑动平均值，地质情况据Gilfillan提供的资料简化。金含量≥0.1g/t金矿化带以竖黑线表示

能和金矿化相联系的模式。

北部Mn的分布（未图示）通常没有什么特征，浓度为 1000 ppm左右。在LV52号钻孔中，有一个与Pb异常 相对 应的高达2250ppm的宽阔峰值；在LV35号钻孔中，Mn的含量由下部 的500ppm增加到顶部与大的Pb异常相对应 的 1500—2000ppm；在LV33号钻孔中，由下部的500ppm增大到顶部与大的Pb异 常相关的约3500ppm。

这些关系被解释为在这个地区Pb 可能有两种截然不同的矿化类型的指示标志。从LV21号钻孔向北，一些较小的 Pb 异常似乎在空间上与金矿化有关。从LV52号钻孔向南，一些较大的Pb值似乎是分隔的，与金矿化无关。与Pb伴生的低钠、高 钾 和高锰的组合，显示了块状硫化物矿化的典型特征。

因此，钠的地球化学响应可能是由于贫化（由于Pb—Zn矿化）和某些情况下（例如在LV57和LV54号钻孔中）因产 有 与金矿化伴生的钠长岩而造成的富集的综合效应。Mg分布模式 的变化明显与Cu的分布有关。由于Cu产在与Pb（和Zn）有关的顶板围岩中，贱金属富集的层位——如根据Cu确定的层位一样——从北向南一般出现在离断层带越来越远的地方，使解释变得复杂化了。例如，北部的Pb异常也可能是推测的分离的贱 金 属层的一部分，它的强度向南增加，进而变得离开主金矿脉，也就是说，在北部，Pb和Au矿化甚至在空间关系上都是一致的。下文将要更充分加以讨论的另一种解释是，贱金属和金的分布是统一但却是分带的矿化作用的一部分。

贱金属和大量元素的元素总含量的分布模式，与杜伯斯以部分煮解为基础所发现的结果没有什么区别。

2.As、Te、Bi和Au矿化的关系

As，Te，Bi和Sb的分布似乎与贱金属和金矿化都有关系。这四个微量元素分布的主要特征总结如下，它们在钻孔中的分布

示于图3—5。

砷：As的背景水平为1—2ppm，从北向南As与Pb的含量同时增加。当As、Pb、Cu等元素在剖面上部形成异常时，As通常跟在Pb的后边（大异常30到>250ppm），而跟在Cu后的情况较少。当向剖面的最底部异常的Cu和Pb值与Au矿化相伴出现时，As只有很小的异常（最多5ppm）。因此，在Au矿化带周围As通常很低，除非Au与大的Pb和Cu异常相伴出现。

碲：Te的背景水平可能小于2ppb，在所有金矿化周围都有清晰的Te异常。最大异常值（达1750ppb）与LV33号钻孔顶部与和贱金属相伴的Au一起出现。在LV21号钻孔中有一个约18ppb的Te异常与Cu异常伴生，在LV22号钻孔顶部，一个类似的Te异常与Cu异常相伴出现。LV35号钻孔顶部很高的Te含量，与金矿化的关系可能比与Pb的强异常的关系更密切。

锑：Sb背景值变化于0.1—0.2ppm之间，该元素的分布模式很复杂。在北部的LV57号钻孔中（图3）的底部，Sb含量从孔顶部的约0.1ppm缓慢增加到孔底部金矿化之上的0.3ppm。在LV24号钻孔（图3）的底部，Sb大致继Cu之后出现，其峰值达0.9ppm，位于120m深处附近品位为6.8g／t的金矿化的侧面；在该钻孔的上部，Sb与较小的金矿带有类似的关系，但在这里与Cu的分布模式不一致。在LV22号钻孔中（图4），分布模式总的说来是类似的。在LV22号钻孔中（图5），Sb异常的峰值约为0.6ppm，与Pb异常相对应。在品位为0.5g／t金的主要矿带上（约60—78m处），Sb值小于0.1ppm。在LV35号钻孔中（图5），在有Pb异常的地方也有Sb高异常，但Sb异常并不紧随Pb异常出现，这表现为在55—80m左右（2.9g／t）和100—120m左右（0.8g／t）两个主金带上出现明显的低槽。在LV33钻孔中（图5），Sb值一般比其他孔中高5倍，Sb一般伴随Pb出现，但具有较小的金矿化相伴的相对低值。

铋：Bi的背景值变化于20—30ppm之间。在Bi和贱金属之间似乎没有什么固定的关系。Bi与金矿化之间唯一的稳定关系是存在着强的侧向异常（顶板异常一般比底板异常强，与金矿化带伴生的Bi含量值相对低）。据此得出结论：Bi值大于约ppb左右时是金矿化的指示。一个重要的关系是，不管绝对值如何，Bi浓度都与Sb浓度沿剖面向下增大有关，只LV21号钻孔例外。

讨论和结论

伦敦—维克多利亚矿区的元素组合是浅成热液金矿床的典型元素组合。在钻孔中存在着Cu、Pb—Zn和Au这样一个大致的分带顺序。这种类型的金矿床以向下的反顺序分带为特征，因此，地球化学证据表明，构造上的顶板就地层而论是底板。较早的工作表明，帕克斯安山岩套处于一向斜的核部，因此钻探剖面从孔底的孔口越来越新。这与地球化学解释是相矛盾的。最近正在进行的工作表明，如果确实有一个褶皱，它应是一个背斜——这就支持了地球化学的证据。重要之处在于地球化学资料已经致力于地质问题了。由于缺少露头，没有层理，以及岩石倾斜基本垂直，要从地质上搞清问题是很困难的。

由于一般为细粒岩石并且蚀变作用遍及全区，使得准确地区分岩石类型极为困难。地质学家对岩心所作的重新编录和目前正在新南威尔士大学进行的岩石学和岩石化学研究，对鉴别岩石会有所裨益，可能有助于搞清构造和地层关系问题，一旦得到这些资料，某些地球化学变异问题也可以得到更好的解释（例如到目前尚未辨认清楚的岩性变异问题）。

上述对金矿化地球化学响应的解释尚有许多疑难问题：

1.缺少距矿化较远处的岩心资料，金矿化带（在许多情况下即使是很小的金矿化）普遍具复合性，致使不可能对背景值作出

可靠的估计。由于取样地区相对有限，无法确定多大程度的地球化学响应是由特定的金矿脉引起的，在多大程度上这些响应又是该地区的金矿化作用有关或与侵入作用相伴的再迁移有关的较大区域异常的一部分。

2.该研究中缺少第三维的资料，即特定钻孔交会点之上或之下的矿化作用对元素分散模式影响的资料。

在所研究的金矿脉带走向长度1.3km范围内，已观测到一些明显的区域变化：

（1）绢云母化向南变得更强更广；

（2）Pb和K含量向南增高；

（3）Cu、Mg、Ca和Na含量向南减少；

（4）Cu异常的位置向南离开伦敦—维克托利亚断层带越来越远。

这些关系标志着区域规模的地球化学变化，这对勘查工作可能是有用的；然而由于没有比本研究中可能采集的样品距矿化带更远的样品分析结果，这些关系都无法确定。普遍存在的Na与Pb（和Zn）的相反关系，以及K和Pb、Mg和Cu之间的一致关系表明，贱金属可能是与后成金矿化无关的同生层状火山—沉积型成矿作用的指示标志。贱金属与金的组合，以及As、Sb、Te和Bi等元素的存在，则指示着单一的后生成矿作用，这也是同样可能的。

搞清贱金属的成因不仅仅具有学术上的意义。如果贱金属在成因上与金矿化有关，那么在伦敦—维克托利亚地区的勘查中成功地用Pb作为土壤中探途元素的方法就可以大胆地在该地区其他地方推广；反之，如果这种组合是伦敦—维克托利亚两个成因无关矿化类型巧合的邻近，显然在别处以Pb作为探途元素找金就不合适了。

在伦敦—维克托利亚金远景区进行地球化学研究的目的，是

试图确认将有助于在该区进一步作金矿勘查的地球化学响应。虽然这一目的已经达到，但研究表明，这种地球化学响应比开始所想像的要复杂得多，并且已经查明了一些较大的问题，在能够提出最后的勘查方法之前必须予以解决。

结论是，在贱金属（特别是Pb）与主要含金带之间存在着相当微弱的空间伴生关系，这种关系由于一个较强的贱金属矿化带产于剖面中较高的部位，不一定与金矿化有关，而变得复杂化了。As的强异常与贱金属的上部带有关，但它似乎与剖面较下部的贱金属常没有任何有意义的伴随关系。在金矿化带内，As一般很低。Bi似乎与贱金属无关，但对金矿化带有较强的顶板响应和较小的底板响应，而在矿化带上Bi值却相当低。在剖面下部，金矿化周围Sb的响应与Bi有些相似，但在南部剖面的上部，显示出Sb与Pb有一般的相关关系。Te的含量在金矿化带中一般较高，在某些孔中，表现出与贱金属可能有部分相关关系。

As、Sb、Te和Bi与Au矿化的关系以及向主矿脉带方向Bi相对于Sb增加的关系说明，可以用(Te×Bi)／(As×Sb)比值来确定矿化和消除贱金属矿化的可能影响，特别是在剖面的上部。在所有钻孔中，该比值的总模式是相似的；向孔底该比值不规律地增大，并在金矿化带上出现峰值（图6），这在LV24、LV52、LV35和LV33号钻孔中表现得最为明显。这几个孔中，比值向下增加了几个数量级，在金矿化带上有很强的峰值。在LV57号钻孔中这一趋势不甚明显，但所有的比值都是高异常。在LV21号钻孔的孔口附近有一峰值，但与金矿化不对应，可能是由钻孔上方或下方的矿化造成的。在矿化很差的LV22号钻孔中，向孔底方向于小的金矿化附近有一个相当窄的异常。

由于金矿脉的复合性，所以Bi与(Te×Bi)／(As×Sb)异常的规模是不定的，看来在有价值的金矿化带周围，它们有可

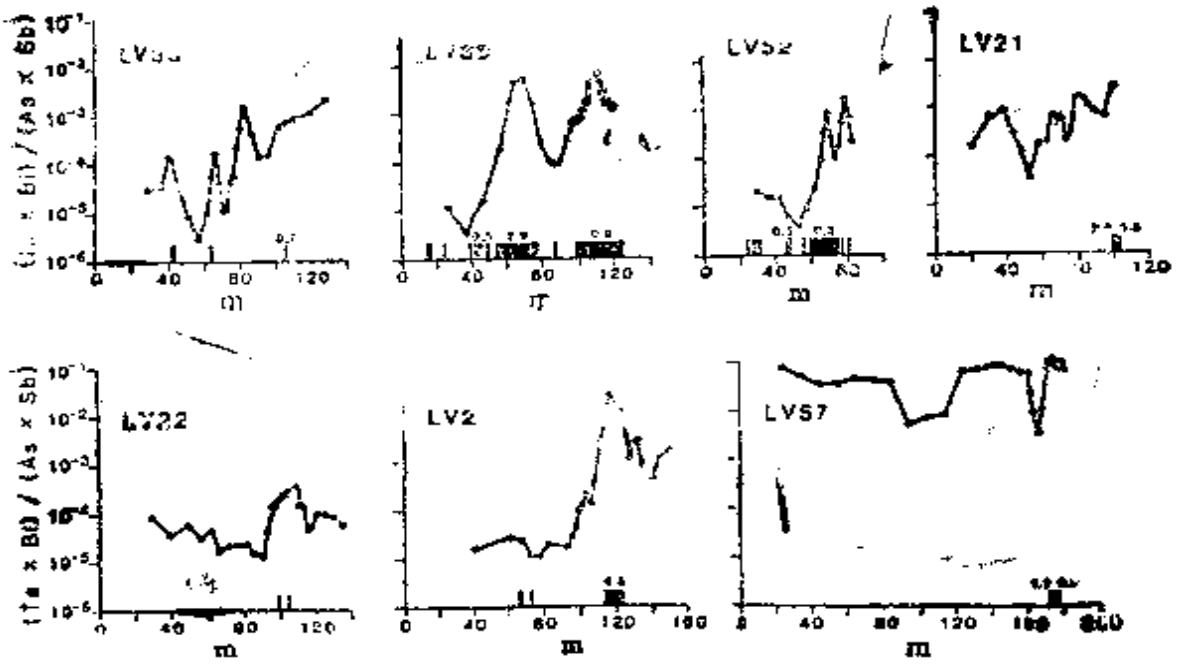


图6 LV57，LV24，LV22，LV21，LV52，LV35号钻孔岩心中（Te×Bi）/（As×Sb）比值的三点滑动平均图。金含量≥0.1g/t的金矿化带以竖黑线标出，对品位≥0.5g／t的金矿化标出了它们的品级

能超过100m。

本研究结果证实：伦敦—维克托利亚型后生金矿化具有明显的Te和Bi原生地球化学异常。同时，另外的工作也证实，其他元素（特别是Pb、Sb和As）也有明显的异常。可以得出结论：通过分析岩石和岩心中的Te和Bi，可以大大有助于类似伦敦—维克托利亚矿床的金矿化的勘查。

赵雄勇译自Journal of Geochemical Exploration

21（1984）175－191 吴传璧校

选自《化探资料选编》第七集（1985）

论寻找原生金矿的物化探方法效果及其有关问题

潘勇飞

（中国人民解放军基建工程兵黄金指挥部黄金地质研究所）

过去对于黄金的找矿工作经验不多。尤其对于从没搞过黄金或多金属矿的地质部门，对金矿的物化探方法还不够清楚。因此，有的认为“物探方法对找金矿效果不好，只有化探才好……”其实，这种认识是片面的，应根据具体的地质、地球物理条件作具体分析，不能一概而论。

首先应明确物探方法的地质作用决不仅限于直接找矿。当然，用物探方法直接找到金矿床或金矿体是最理想的。但是，间接找矿的作用也是不可忽视的。例如，应用物探方法查明地质构造、圈定地质侵入体的分布及范围、配合地质填图、发现和圈定矿化带等间接找矿作用也是很重要的。

寻找原生金矿，可根据矿床类型、围岩性质、蚀变特点、矿物的共生组合等条件来判断某些物化探方法的有效性。实践证明，利用物探方法能够成功地圈定含金矿化带和硅化带，确定控矿断裂，然后用综合物、化探手段直接找到含金矿体。对找金矿而言，前一步利用物探方法是间接找矿，而后一步配合化探方法，就可达到直接找矿的目的。所以物探方法在找金矿中，不仅不可忽视，而且可说是找原生金矿不可缺少的重要手段。如与化探很好地配合，定能取得良好的找矿效果。

兹就寻找原生金矿如何运用物化探方法，以及相互的配合程

序和综合异常的特征论述如下：

一、采用物化探方法找金的地质依据及物化探方法的选择

对变质热液金矿、混合岩化热液金矿、再生岩浆热液金矿、沉积—变质金矿等各类原生金矿，尽管矿床类型不同，但就成矿作用而言，都是内生含矿热液作用的结果。这些金矿热液的活动是受断裂构造、层间裂隙、围岩片理化带、碎裂岩带或层位控制的。一般在围岩内都有不同程度的蚀变，黄铁矿是最普通、最主要的电子导电的蚀变矿物，时常分布在矿体及外围的矿化带中。金矿的共生矿物组合除银金矿外，主要是硫化矿物，一般有黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉锑矿、辉钴矿、辉银矿、硫砷银矿、硫锑银矿等，这些都是典型的电子导电矿物。

金是亲硫、亲铁的元素，常与硫化矿物与铁的氧化矿物共生在一起。共生的方式有三种：一种是呈包裹体，包裹体在硫化矿物尤其是黄铁矿或毒砂中，即所谓“包体金”。另一种是呈微细细脉穿插在黄铁矿等硫化物的裂纹中，即所谓“裂隙金”，再一种是分布于黄铁矿等其他硫化物或石英晶体之间，形成所谓“晶隙金”，无论何种共生形式，只要找到了上述矿物的矿化带或矿体时，金也就在其中了。这是利用物化探方法寻找原生金矿的地质基础。所以，可普遍地应用激发极化法，自然电场法、磁法等综合物探方法在成矿地质条件指示的范围内进行中、小比例尺面积性普查（一般用1:10000至1:25000比例尺）。通过激电、自电及磁法（有磁黄铁矿或磁铁矿共生时）异常或综合异常，发现和圈定硫化矿物的矿化带。

应指出，在找金中磁法容易被忽视，认为它对直接找金作用

不大。其实，它是一个“广效”的物探方法，无论地磁或航磁资料都能提供多方面的“地质信息。”一般在普查阶段也应综合使用此法。在有磁黄铁矿和磁铁矿共生时磁法可直接发现矿化带或圈定矿体。尤其利用地磁或航磁的低（负）磁异常带，可圈出含金的断裂带和硅化蚀变带，这已被吉林夹皮沟、黑龙江嘉荫平顶山和胶东招平黄弧断裂带等地质效果所证实。

有些钍金矿含有放射性矿物，如变质砾岩型金矿床（兰德式）就伴生有沥青铀矿、沥青铀钍矿、磷钇矿等放射性矿物。其它类型金矿床在不同成矿期的矿物组合中也会含有放射性元素，配合使用放射性测量方法也会取得较好的找矿效果。在含金破碎、断裂带上也有异常反应，所以放射性测量，在普查找矿中也应综合使用。

化探方法寻找金矿是行之有效的直接找矿手段。在不同阶段分别采用分散流、次生晕或原生晕等方法。次生晕运用范围比较广，效果也较好，一般多用在普查找矿阶段，对于分散流，一般用在较大面积的小比例尺水系沉积物测量中，由于非规则测网，对于数据处理一般采用滑动平均法进行趋势面分析，最后提出多元素的趋势异常图和剩余异常图。

原生晕方法，虽然“信息直观”效果比较好，但从地质效果和经济效果两方面考虑往往受采样条件的限制。一般露岩占60%以上时才采用此法开展面积性工作。否则很难开展面积性工作。因此，它更适于评价和勘探阶段，因为这时已从远景区中找到了“靶区”。在“靶区”内，一般都用槽、井、坑，钻探工程，应在各工程内采集原生晕样品，开展原生晕工作，一般金的原生晕异常，基本上反映了金的矿化体和金矿体的存在。

无论采用何种方法，探途（指示）元素的选择是很重要的。根据各种金矿床的矿物共生组合及其特征元素的地球化学特点，主要探途元素应有Ag、As、Bi、Pb、Zn、Cu、Sb、Te、

Se、Mo，Hg、W、Co等。至于具体利用那些探途元素，应根据具体矿床类型确定之，一般超不出上述探途元素的范围 。 譬如，在胶东的招平黄弧断裂带上曾用过Au、Ag、Cu 、 Pb 、Ni、Mo、Hg、As，在湖南某金矿应用了Au、Ag、As、Sb W都取得了较好的效果。

对金矿的化探工作，关键在于对金的分析灵敏度。如果分析灵敏度能达到ppb级即10^{-9}，就要直接分析金，勾绘出金的次生晕或原生晕的等值线图，这就直接指出了金矿体和金矿化体的存在。目前国内许多单位利用化学光谱、比色分析和原子吸收光谱对金的测定都能达到上述精度。否则，必然导致没异常或显示点异常的情况。这时可利用与金有密切相关关系的其它探途元素来找金。

此外，还应查定铊（Tl)或碲(Te)，因为金的铊化物(Tl_2S、$TlHgAsS_3$、Tl_3AsS_3、$TlSbS_2$）和碲化物（HgTe、AuTe、Ag_3AuTe_2、（Au·Ag）Te_2、Au_2Te_3）分别是卡林型金矿和戈登迈尔金矿的特征矿物，它们的探途元素分别是Au、As、Hg、Sb、Tl和Te，结合地质条件分析，有利于发现和寻找新类型。

汞气测量是化探的一个新方法，它对表现和圈定含金断裂构造破碎带是有明显效果的，是找金的重要间接找矿手段之一，应综合运用。

二、物化探工作的配合顺序

各种物化探方法的综合使用，有个先后顺序问题。因为不同的顺序所得的地质效果和经济效果是截然不同的。根据不同地质和地球物理条件，目前从生产实践中可归纳出下列几套工作顺序。

一套是：在有利的成矿地质条件所指示的围范内，首先开展中比例尺（1:10000或1:25000）的、同网度的（100×10—20 m或250×25—50m）激电、电阻率、自电、磁法、放射性、次生晕的综合物化探面积普查找矿工作。通过综合异常发现和圈定矿化带，再在此矿化带范围内开展大比例尺（1:2000或1:5000）的某些有效方法的详查或直接利用1:10000的综合异常资料进行地表地质评价和异常验证工作。该套工作方法实质上是同时查定了“矿化性”和“含金性”问题。

二套是：在有利的成矿地质条件指示的范围内，首先开展中比例尺（1:10000或1:25000）的同网度的（100×10—20m或250×25—50m）激电、电阻率、自电、磁法、放射性等综合物探方法的面积性普查找矿工作。在有综合物探异常或只有激电、自电异常的范围内（即矿化带范围内）进行次生晕测量，以进行直接找矿评价。这一套工作方法实质上是先查定“矿化性”。在此基础上再用化探方法查定“含金性”。

三套是：在有利的成矿地质条件指示的范围内，首先开展中比例尺（1:20000或1:25000）的次生晕普查，在有次生晕异常的范围内，再进行较大比例尺（1:2000—1:5000）的激电、自电、磁法、放射性等综合物探测量。这样可以进一步查明矿化带和区分由地面“污染”等原因造成假化探异常。譬如：00536部队在湖南益阳南郊地区就是先搞次生晕。在取得异常之后又做激发极化法等物探方法，取得了较好的效果，这一套工作方法实质上是先查定“含金性”，再查定“矿化性”，从而了解了含金性的空间分布。

四套是：在成矿地质条件不清，无法或无把握事先布置普查测区的情况下，可先开展分散流工作，利用分散流异常再结合地质资料，追索到原生矿可能赋存的范围。在此范围内，可应用上述某一套物化探工作程序进行面积性的综合物化探普查工作。

这一套工作方法也能同时发现“含金性”和“矿化性”，只工是作研究程度较低，需进一步做大比例尺的物化探工作。

五套是：在控矿的断裂构造带上，先做电阻率的联合电剖面法和磁法，通过低电阻交点和磁异常(可正、可负、可高、可低)确定断裂带具体位置并追索断裂带的走向延长。在此基础上，再进行激发极化法、自然电场法测量，再搞化探工作。这一套工作方法实质上是先查定金矿赋存的地质环境，然后再查定“矿化性”和“含金性”。

面积性物化探工作一般超不出上述五套工作程序。但开展面积性的物化探工作，正确的地质选区是取得物化探效果的先决条件。根据金矿的成矿机制，金矿远景区的选择，首先必须有矿源层的存在。譬如，前震旦系的辽河群、鞍山群、胶东群、太华群、板溪群……，并在矿源层内有断裂破碎带的存在，尤其有多次构造活动和构造的复合部位的存在；还要有形成断裂构造以后的花岗岩类的侵入或区域变质作用；以及在选区内及周围有已知金矿床或金矿点（包括砂金的）的分布。

为了对取得的物化探异常进行准确的解释、推断，增强物化探异常解释的地质基础，必须在异常范围内进行相应的地表地质工作。经验证明，在异常范围内按物探测网填绘相同比例尺的地质图（利用物探网定点、采用剖面走向追索和露头圈定相结合的方法填图），既可提高解释推断的地质效果，又可节省测量工作量。这种工作方法称为“地质、物探、测量三合一成图法”。单纯地质填图，往往达不到预期的地质效果。

三、原生金矿的物化探异常性质及典型异常形式

在寻找金矿的综合物化探工作中，由于具体的地质和物性条

件的差异，虽然可得出多种物化探异常形式，但通过若干异常实例的研究、归纳，可概括出以下几种主要异常模式：

1.含金的致密硫化物矿体上有中梯装置的激发极化率η_s高异常和中梯装置的电阻率ρ_s低相对应，并有自然电场△V负异常、正磁异常(或负、低磁异常)和有Au或与Au有相关性的某元素的化探异常(图1)。这是一个典型的综合异常。反映地质体是一个有磁黄铁矿或磁铁矿的含金致密硫化物矿体。但须指出自然电场△V负异常的出现与否，往往受潜水面高、低等水文地质条件的制约。

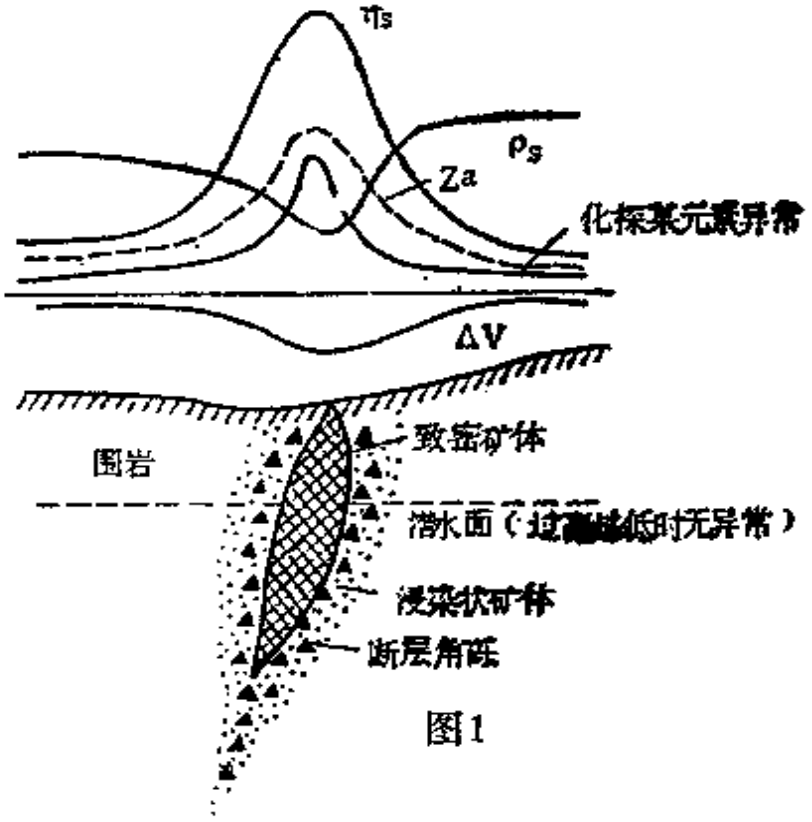


图1

2.浸染状含金硫化物矿体，可以有η_s高、正磁异常Za(或负、低磁异常)，有Au、Ag、As等元素的化探异常和自然电场△V负异常。由于硫化矿物的浸染状分布和硅化作用，其中ρ_s值大于或等于围岩的ρ_s。(图2)

3.浸染状含金硫化物矿化体不含磁黄铁矿或磁铁矿时，则没

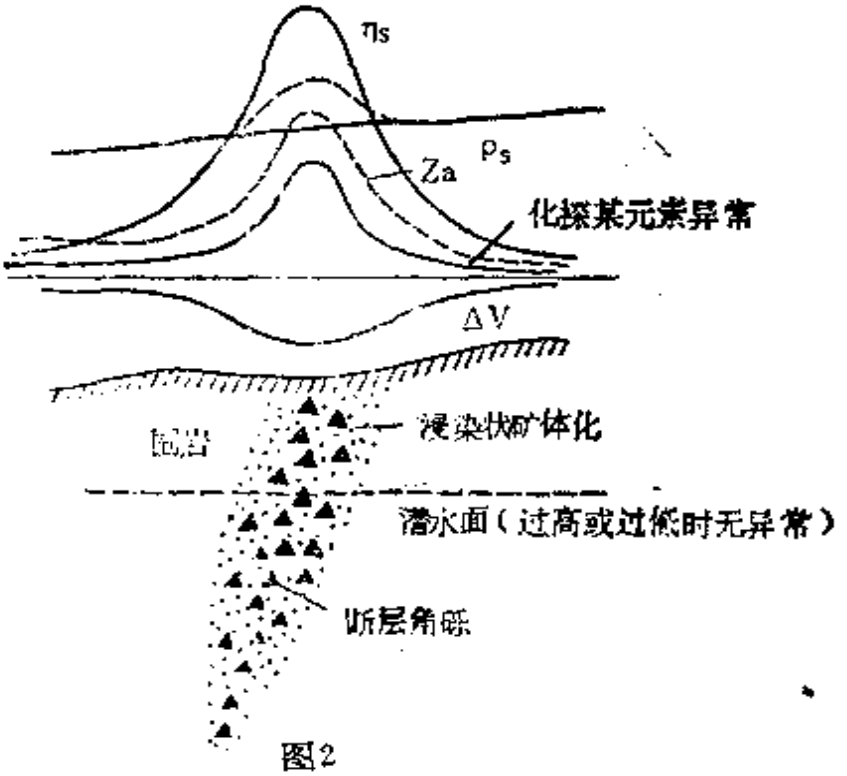


图2

有正磁异常。或因硅化作用不单有高ρs，反而有低负磁异常（图3）。

4.当有ηs异常、有自然电场△V异常，磁异常可有可无（看有无磁黄铁矿或磁铁矿），而没有化探异常时，则认为该异常组合是非矿的纯黄铁矿化引起的（图4）。

5.有激电ηs高异常和自电△V负异常，电阻率ρs较低，且无化探异常，则认为该异常组合是石墨、石墨化或炭质板岩所引起的非矿异常（图5）。

对于这种异常，如果没有做化探还是难以否定的。由于金的络合物容易从热液中被有机碳吸附，形成各种金的有机化合物，经过氧化后形成微粒金。所以石墨、石墨化及炭质板岩内的激电、自电异常，从找金的角度也不可忽视，应进行采样分析。

6.只有磁异常Za，而没有激电ηs、自电△V负异常及化探异常，可能是无矿的火山岩或基性岩脉引起的（图6）。

通过以上分析，可见要确定是否为金矿异常，其关键在于：第一，有无化探异常，尤其是Au及与金有密切相关关系的元素

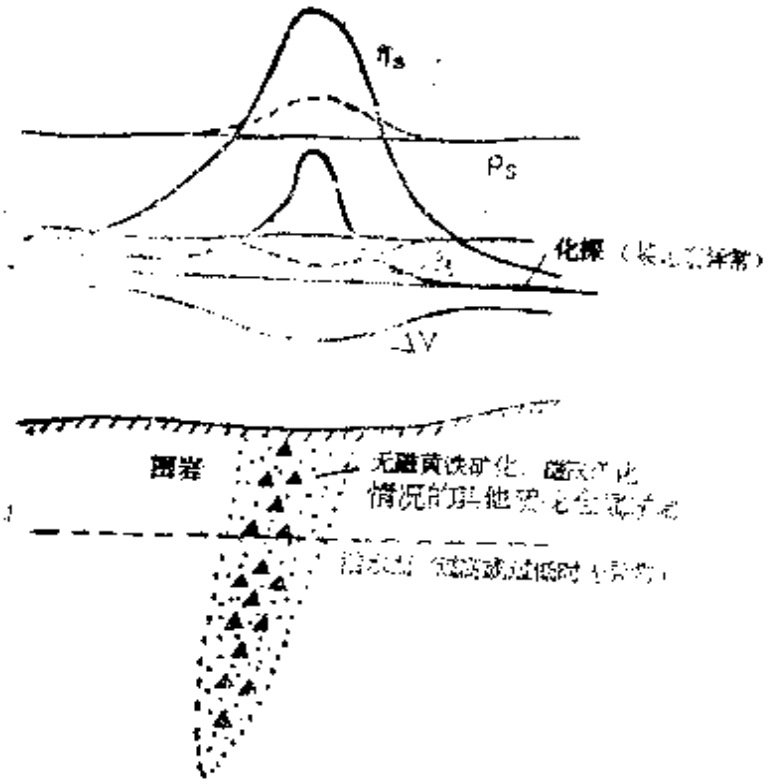

η_s
ρ_s
化探（
ΔV
围岩
无磁黄铁矿化、磁铁矿化
情况的其他

图3

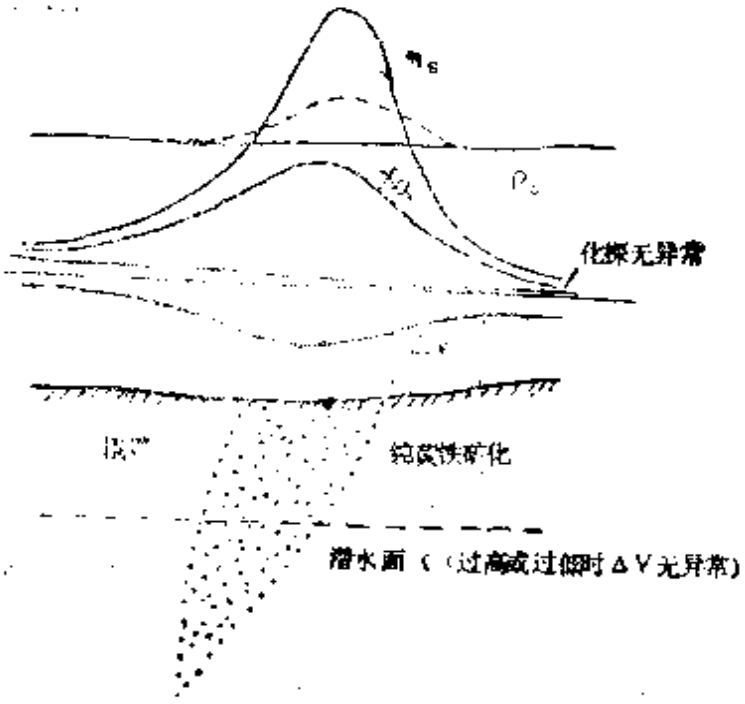

η_s
ρ_s
化探无异常
ΔV
围岩
磁黄铁矿化
潜水面（（过高或过低时ΔV无异常）

图 4

组合异常；其次，是有无激电异常和自电异常，尤其是激电异常，这两种异常都可确定其“矿化性”。只利用电阻率一种参数找金矿是不行的。因为它只能反映有无高阻的硅化带、石英脉或低阻断裂破碎带等，这只能查定金矿贮存的“地质环境”。至于其中有无电子导电的硫化金属矿物存在，即查定“矿化性”，还得利用激电和自电异常来判断。

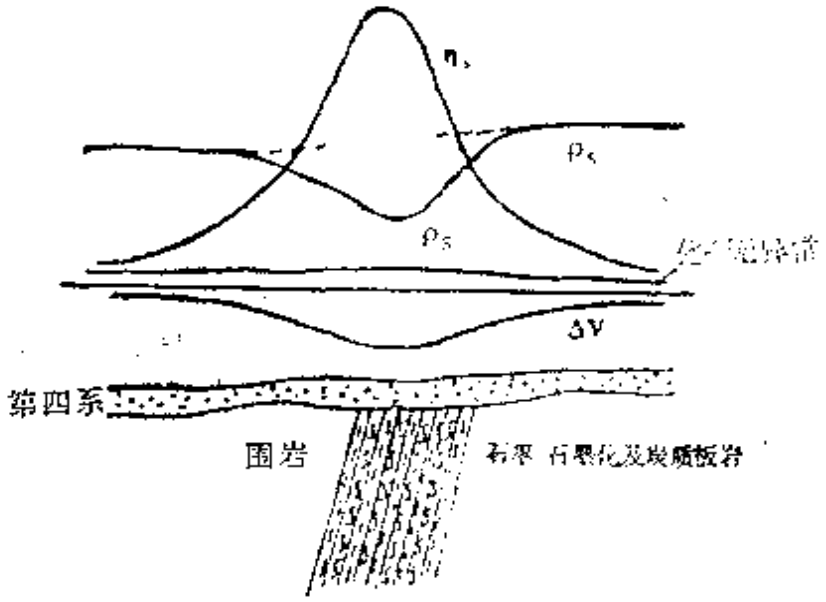


图5

四、关于找金矿物化探方法运用的连续性和完整性问题

发现一些单位在金矿物化探工作中，各种方法的运用不连续、不完整。有的只搞个电阻率法，有的只搞个激电，有的只搞个某种化探方法。没有充分研究某种方法能解决什么样的问题，为了达到找金的目的，应该如何综合运用这些方法。其实物化探方法归纳起来能解决三个地质、找矿问题：

1.查定硅化带、断裂、挤压破碎带等，这些正是金矿赋存的

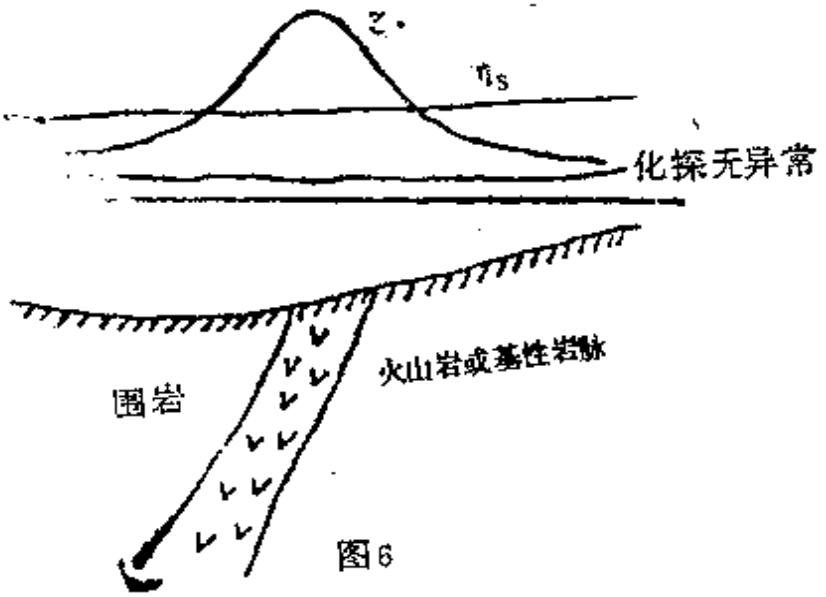


图6

地质环境。该地质环境可用电阻率(中梯、联剖装置)方法去解决(图7)一般有高电阻率或低电阻率异常。找到地质环境了,里面有没有矿化(黄铁矿化及其它硫化多金属矿化等)还不清楚,还应进一步投入相应的方法手段进行研究。

2.查定矿化性。如果在硅化带或断裂、挤压破碎带内还有黄铁矿等硫化多金属矿化,那就更进一步了。该问题可用激电、自电、磁法等方法解决。一般应有高极化率异常、自电负异常(异常出现与否还受水文地质条件限制)、磁异常(有时有磁铁矿或磁黄铁矿化)。但要注意此时有石墨及石墨化因素的干扰,工作中注意区分清除。

3.查定含金性。含金性问题目前只用物探方法解决不了,必须要用化探方法。如果还有金及与金有相关关系的某元素异常,含金性问题基本上就可确定了。

所以物化探方法找金实质上是经过以上三个阶段(步骤)。工作(方法)只做到解决查定"地质环境"或"矿化性"(有时是石墨化)阶段,那只能是半途而废,达不到最终的找金的目的。

为了强调地质效果的不同阶段性,分成三步进行了"分解"

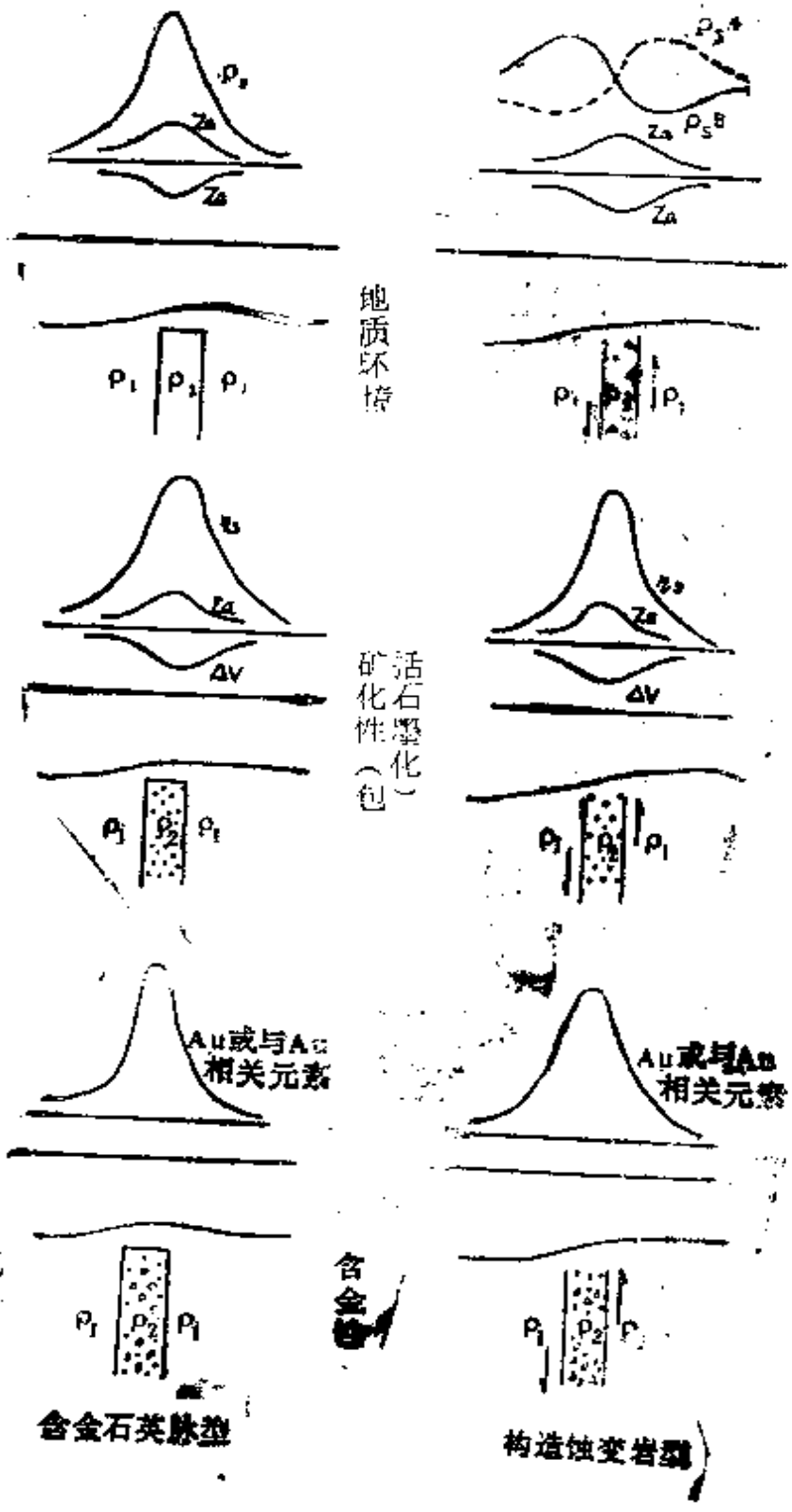


图7

分析和讨论。实际上只要综合搞电阻率、激电、自电、化探和磁法等综合物化探方法，一次就可达到找金的目的了。

五、几点体会

1.物化探方法寻找金矿是行之有效的方法。尤其应运用激电、电阻率、自电、磁法、放射性和化探等综合物、化探方法，不能单打一。

2.在远景成矿区内，开展面积性同等网度的综合物、化探普查工作，比例尺以1:10000—1:25000为宜。普查后在有异常或有望地段做1:2000—1:5000比例尺的详查工作或通过异常中心做综合剖面。

3.在面积性普查阶段，激电和电阻率最好用中梯装置。该装置对目前已知的各种类型金矿都可取得效果，而且工作效率也高。但有时偶极装置反映的异常强度较大。

4.找金矿的物化探工作，原则上与找有色金属的物化探工作方法相同。其区别仅在于物探方法不是直接找金，而是借助于金与其他金属硫化物共生或有空间上的联系或通过解决与成矿、控矿有关的地质问题间接地找金矿；而化探方法则是直接找金矿。

5.找金矿的化探工作应尽量直接分析金，即“就金找金”。否则，即使获得了很多其它指示元素的组合异常，对直接找金矿。也是无济于事的。

6.目前对金矿床上的物化探异常应从定性解释入手，即应从方法的有效性着手，从地质效果方面多进行总结，这是今后能否打开大力开展金矿物化探普查工作局面的首要条件。

选自《黄金地质参考资料》第六期（1984）

山东招掖金矿的地质特征与地球物理方法的应用

李宝印

（山东冶金地质勘探公司物探队）

一、前言

山东招掖金矿是我国著名的金矿成矿带之一。该区金矿资源丰富，成矿地质条件好，是普查找矿的重要远景区。

自1978年以来，我省冶金地质系统在招掖地区开展了大量的物化探普查找矿工作，获得了极为丰富的成果资料，取得了很好的地质效果。

这些物化探成果为该区今后的普查找矿工作提供了重要依据。

本文着重总结一下近年来物探方法在招掖地区普查找矿中的作用及其地质效果，由于工作尚在进行中，资料收集也不全，所提到的一些看法是否准确还有待今后工作证实和补充。

二、金矿地质特征概述

山东招掖金矿带位于沂沭断裂带的东侧，胶北隆起的西端和栖霞复背斜的北翼，受东西向阜山背斜控制。金矿床受新华夏系北东向压扭性断裂与东西向构造复合的控制。金矿带内地层主要为上太古界至下元古界胶东群，其下部蓬夼组是金矿带的主要地层，

分布于玲珑花岗岩体的周边地区；中部民山组零星分布于矿带的北部边缘；上部富阳组分布在招远以东。区内胶东群地层走向为东西—北西西向，阜山背斜轴走向与地层走向一致。金矿控矿构造除上述新华夏系与纬向构造的复合之外，主要金矿床受北东向压扭性主干断裂的控制。金矿体一般赋存于断裂的下盘及断裂由陡变缓的地段。在两组断裂交叉、复合及纬向构造体系的压扭性断裂被新华夏系断裂利用、改造形成先压后扭或先扭后压的复合构造，更有利于金矿的富集。本区与金矿床形成密切相关的岩浆岩主要有玲珑黑云母花岗岩及郭家岭似斑状花岗闪长岩与石英二长岩。玲珑花岗岩呈大岩基产出，岩体沿北东向展布，总面积约3000km²，该岩体为一混合花岗岩体。郭家岭岩体呈近东西向带状分布，总面积约500km²。

本区金矿有两种类型即石英脉型和蚀变岩型。石英脉型金矿主要分布在玲珑矿田及望儿山金矿的浅部，含金石英脉走向一般为北东30°—80°，倾向北西，倾角50°—90°，形态较为复杂，主要呈透镜状及脉状产出。石英脉型金矿又分为含金黄铁矿石英脉型及含金多金属石英脉型。矿石中金属矿物主要为银金矿、黄铁矿，其次为自然金、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、毒砂、斑铜矿等。非金属矿物为石英、绢云母、长石、方解石、绿泥石等。金在矿石中的含量一般为3—20g／t，最高可达620g／t。银在矿石中的含量低者不足1g／t。最高者可达507g／t。矿石以晶粒状、压碎结构为主，其次有填隙、充填交代、乳蚀、包含、交代残余及碎斑结构等。矿石构造以致密块状和浸染状为主，其次有脉状、网脉状、角砾状、蜂窝状构造等。金的赋存状态有晶隙、裂隙及包体三种。晶隙金：嵌布在各种矿物的晶隙中，特别是黄铁矿晶隙中最多；裂隙金：沿各种矿物的破碎裂隙中充填分布，尤其在粗大而破碎的黄铁矿裂隙中赋存最多；包体金：金矿物被包裹于黄铁矿、黄铜矿、石英等晶体中。围岩蚀变主要为硅

化、钾化、绢云母化、黄铁矿化，其次为碳酸盐化、高岭土化及绿泥石化。前三者表现强烈与矿化关系密切。成矿作用可分为四个阶段：①少量金—石英—粗晶黄铁矿阶段；②石英—黄铁矿阶段；③金—石英—多金属硫化物阶段；④石英—黄铁矿—碳酸盐阶段。

蚀变岩型金矿是本区的主要金矿类型。该类金矿受北东向压扭性主干断裂及其次级断裂控制。前者脉幅较宽，延深大于延长，品位变化较稳定，中等倾斜；后者脉幅较窄，品位较富，陡倾斜。该类金矿有明显侧伏规律，矿脉向南东倾斜者则向北东侧伏，向北西倾斜者则向南西侧伏，侧伏角35°—45°。蚀变分带一般中心为强硅化带，向两侧则依次为绢英岩化带、钾化带，呈渐变过渡关系，但不同矿床有所差别。金矿体一般赋存于靠近断裂面的下盘，受强硅化黄铁绢英岩及黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩控制。金矿化主要与硅化作用及绢云母化作用有关，其次与钾化、碳酸盐化、绿泥石化、高岭土化等有关。成矿作用亦可分为四个阶段：①金—石英—菱铁矿—黄铁矿阶段；②石英—黄铁矿阶段；③金—石英—多金属硫化物阶段；④石英—方解石阶段。其中金—石英—多金属硫化物阶段为金的主要成矿阶段。矿石中金属矿物主要有银金矿、自然金、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、斜方辉铅铋矿、磁黄铁矿等；非金属矿物有菱铁矿，石英、绢云母、方解石、钾长石、斜长石等。金的含量以黄铁矿硅质碎裂岩及网脉状绢英岩化花岗质碎裂岩含量最高，绢英岩化碎裂状花岗岩次之。矿石结构繁多，以晶粒结构为主，其次有碎裂结构，填隙结构，乳蚀状结构，包含结构等。矿石构造以脉状、网脉状、细脉浸染状为主，其次为角砾状、斑点状、细脉状等。银金矿均呈单矿物存在，根据金与其他矿物之间的依存关系，可划分为包体金、晶隙金、裂隙金三种。银金矿主要与金属硫化物密切伴生，尤以黄铜矿及早期黄铁矿的裂纹中含金高。晚期黄铁矿及脉石

英含金较低。根据矿物组合的不同矿石可划分为：①石英－黄铁矿－银金矿组合；②石英－多金属硫化物－银金矿组合；③黄铁矿－石英组合；④石英－方解石组合。以第二种组合含金最高。

根据矿石结构、构造及矿物组合特点，矿石自然类型可划分为浸染状黄铁绢英岩型，细脉浸染状黄铁绢英岩质碎裂岩型，网

本区岩矿石的物性特征表

岩（矿）石名称	磁化率 (10^{-6}CGSM)	剩磁 (10^{6}CGSM)	电阻率 (Ω－M)	极化率 (%)	备注
玲珑黑云母花岗岩	200－400	31	350－550	3.0－7.0	
玲珑多炭质片麻状黑云母花岗岩	800				
郭家岭岩体	250			5.23	
蚀变花岗岩	134		400－1900	4－5.37	
碎裂蚀变花岗岩	30				
碎裂花岗岩			350－804	3.0－5.29	
绢云母花岗岩			900	8.5	
斜长角闪岩	130		319－742	3.54－8.0	
片麻岩	480－500		319～400		
煌斑岩	860				
蚀变岩脉	36		1600－1730	6.0－10.0	
黄铁矿化石英脉	30		3700－5445		
金矿石	10－30		300－1109	13.5－22.1	

脉状黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩型，网脉状绢英岩化碎裂状花岗岩型。本区石英脉型金矿与蚀变岩型金矿在成因上是属于相同地质条件下的产物，只是赋存于不同深度的金矿而已。两者在垂向、

水平上均呈过渡渐变关系。浅部为含金石英大脉；中部渐变为含金石英细脉，含金蚀变岩；深部则变为含金蚀变岩。在同一矿床的水平分带上，中间为含金石英脉或硅质碎裂岩，向两侧则依次渐变为含金蚀变岩及含金蚀变花岗岩。此外本区脉岩比较发育，统计规律表明，当煌斑岩脉，辉绿岩脉等基性岩脉穿插相间于含金石英脉及含金蚀变岩中时，有利于金矿的富集。

三、地球物理方法的应用

（一）磁法

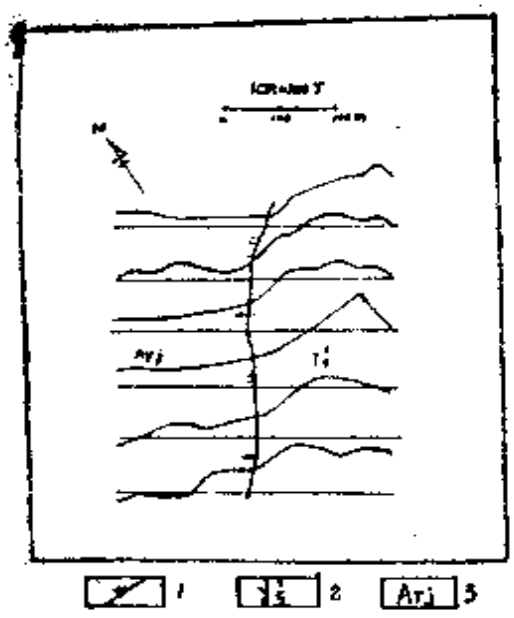
磁法在本区普查找矿中的作用主要是间接查明与金矿赋存有关的断裂带、破碎带和蚀变带。实践表明磁法在解决这类地质问题时效果是很好的。根据本区的情况在利用地面磁测资料圈定断裂带、破碎带和蚀变带时主要是依据下述地球物理场特征。

1.两种磁场的过渡带或磁场梯度带是构造存在的标志之一。

图1是焦家断裂破碎带磁测结果的一部分。断裂的北西侧为胶东群地层，由于该处变质岩磁性不强，磁场特征表现得很平稳。而断裂的南东侧则磁场普遍高起，这一侧为玲珑花岗岩。由于在黄弧和望儿山两断裂间的花岗岩体磁性较强（$K=800\times10^{-6}CGSM$），因而产生普遍高起的磁异常，断裂破碎带（黄弧断裂）则从磁场过渡带或梯度带中通过。这是断裂带赋存在两种不同岩石介质之间的情况。图2是在同一介质中（玲珑花岗岩中）的情况，断裂带通过的位置也出现类似的磁场过渡带或磁场梯度带特征。

2.磁场高值带沿走向突然消失，代之以低值或负值磁场区，在磁场截断处是构造存在的标志之一。

图3是本区某地的ΔZ平面图，从图3可见，几条高值磁场带在某一地带突然消失，磁场由高值突然变成负值，磁场截断处存



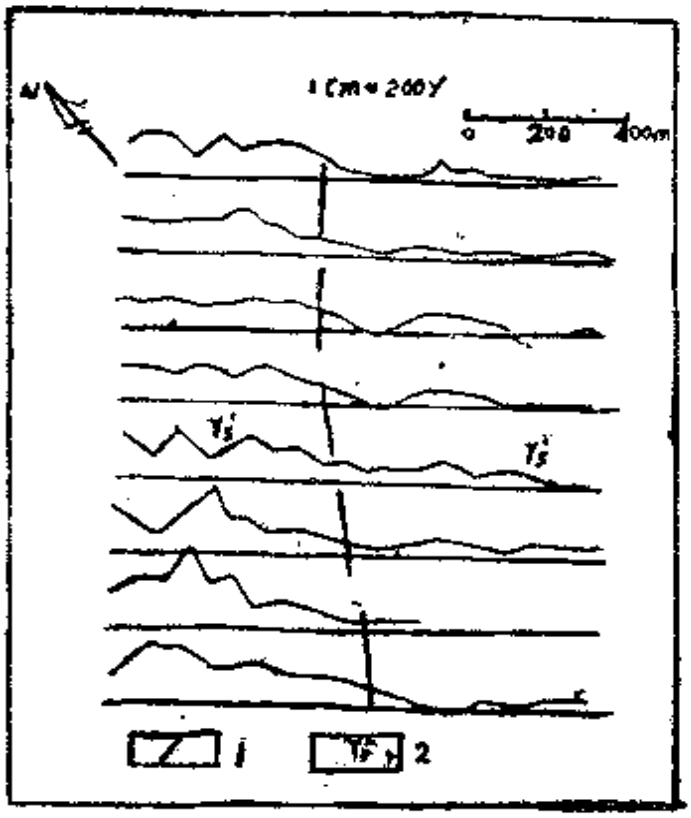


图1　断裂带磁法平面剖面图

1—断裂带；2—玲珑花岗岩；
3—胶东群断层

图2　断裂带磁法平剖面图

1—断裂带；
2—玲珑花岗岩

在一条压扭性断裂，走向北东。

3.在普遍高起的磁场中突然出现脉冲型低值或负值线型磁场带，这是构造存在的标志之一。

图4是望儿山174线综合剖面图。从该图可以明显看出，在磁场普遍高起中的低值或负值脉冲磁场带的特征，该处推测为一断裂构造，ZK19—1孔验证结果见到了断裂破碎带。该区磁场普遍高起是由有磁性的（$K=800\times10^{-6}$CGSM）玲珑花岗岩所引起的，当岩体出现断裂破碎及蚀变时，岩体的磁性将迅速减小，岩

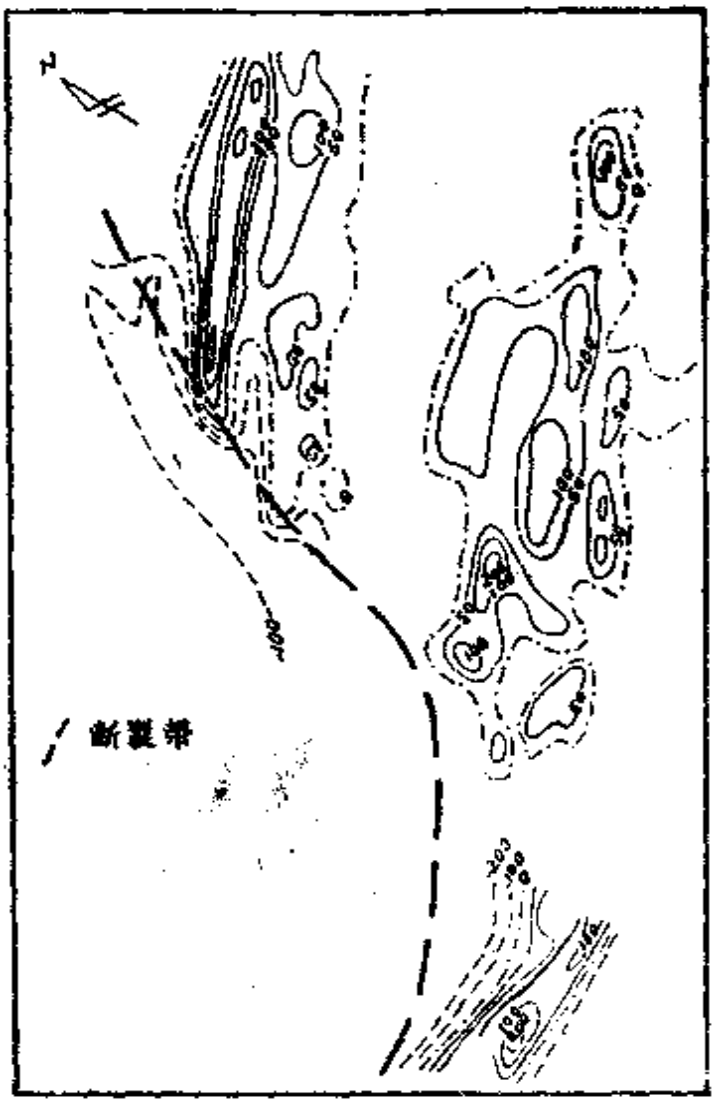


图3　断裂带磁法平面图

石磁性测定结果表明磁化率K ≈ 30×10^{-6}CGSM，又由于第四系锰层不厚等，这些特点决定了在构造处磁场将出现低值或负值脉冲型线磁场带。

4.在强度不大的平稳磁场中出现低缓的低值或负值磁场带，这是构造存在的标志之一。

图5是灵山拉格庄Ⅰ线地质物探综合剖面图。从该图可见在

黄铁绢英岩化蚀变带中出现了明显的低缓低值或负值磁异常。该处岩体磁性不强，岩体破碎蚀变后磁性减小，因而出现低缓低值磁场带。

5.在平稳的磁场中出现高值的线型正磁场带，这是构造存在的标志之一。

图6是玲珑矿田某地质物探综合剖面图。从该图可见在闪长岩脉处出现明显的高值正异常。这是断裂存在的标志之一。一般说来，招掖地区有许多基性岩脉存在，这些岩脉沿断裂构造侵入，由于其磁性较强，因而形成条带状的或线型的正磁异常带。查明这些线型磁场带，不仅可以圈定断裂构造，而且由于圈定了岩脉带的分布，有利于研究金矿床的赋存规律。

6.磁铁绢英岩化花岗岩引起的高值正磁场带，亦是研究本区断裂破碎带及蚀变带的标志之一。

从图6可以看出，磁铁绢英岩化花岗岩可以产生明显的磁法正异常，根据磁异常不仅可以圈定断裂带，而且可以提供某些找矿标志。

从以上各点可以看出，根据磁测成果研究断裂破碎带、蚀变带等地质问题时，其磁异常特征是各式各样的，这里讨论的几种情况仅仅是目前本区所见到的。

在本区已做的八百多平方公里的磁法普、详查工作中圈出与断裂带、破碎带、蚀变带及岩脉带等信息有关的构造特征线近百条。已有若干条得到证实。这就为本区的普查找矿工作提供了构造依据。当然用磁法解决这类地质问题是有条件的，不是所有的断裂带、破碎带、蚀变带都可以被圈定出来，例如有的岩脉和围岩之间的磁性差异不大或断裂破碎带的破碎蚀变强度不大造成的磁性降低不明显等因素，都可能圈定不出来。另外实践表明，野外磁测的精度高，观测点距较密，是用磁法研究这类地质问题的必要条件之一。

（二）电法

电法在本区的普查找矿中是起主要作用的物探方法。在普查找矿的各个阶段，电法的作用都是十分明显的。当然对不同的方法变种，电法要找的目标物是不一样的，但就本区所投入的几种电法来说其地质效果都是很显著的。现分别讨论如下：

1.电阻率联合剖面法

本区投入了若干联合剖面法工作，其主要目的是查明与矿体赋存有关的断裂带及破碎带。实践表明当采用联合剖面法资料解决这类地质问题时，可根据下述几种地球物理标志：

（1）ρ_S^A 与ρ_S^B曲线具有明显的低阻正交点或正交点带，这是构造存在的一般标志之一。

本区断裂构造极为发育。一般说来根据本区的地质与地球物理特征分析，断裂构造带大部分应表现为低阻特征，只要极距选择合适，联剖曲线可以获得正交点。图7是西由地区F_1断裂的联剖曲线。从该曲线可以看出，联剖线的歧离带明显，交点清晰，反映F_1断裂是一条低阻良导体。根据正交点带圈定的F_1断裂见图12。为了证实电法推断结果的可靠性，设计了ZK118孔，该孔于153.1m至200.7m见到断裂破碎带及断层泥，斜厚47.6m，验证结果与推断结果是一致的。

（2）ρ_S^A与ρ_S^B曲线也具有低阻正交点，但由于电性不均匀性影响或平行断裂构造的影响，使交点产生位移，曲线分离程度比第一种情况差，这种交点带仍然是构造存在的标志之一。

图4是望儿山174线的联剖曲线。从该曲线可知，联剖低阻正交点明显，只是正交点的位置向构造的左侧有所偏移，这是由于该区有多组平行低阻断裂影响的结果，在对联剖曲线做推断解释时，其原始曲线需要进行适当处理。作者根据联剖曲线计算了岐离带变化率曲线，结果也表示在图4上，从λ曲线可以看出，平行低阻断裂的影响已明显减少，λ曲线正峰值向右侧移动，和磁异

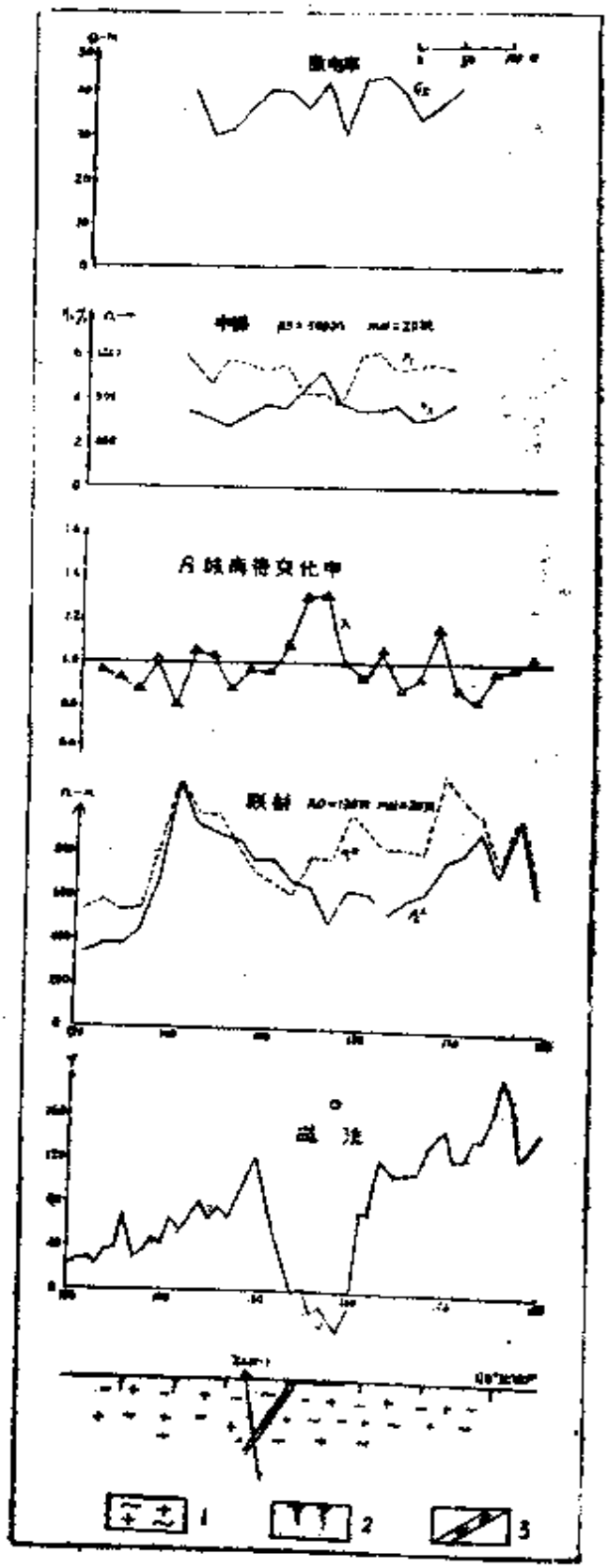


图4　望几山174线综合剖面图

1—花岗岩；2—表土；3—破碎带

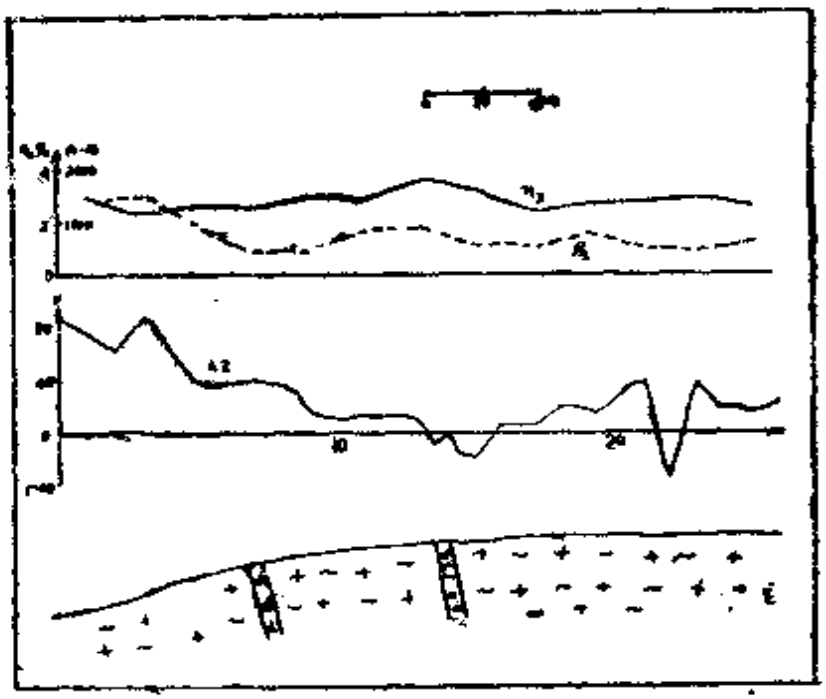


图5　灵山拉格庄Ⅰ线地质物探综合剖面图

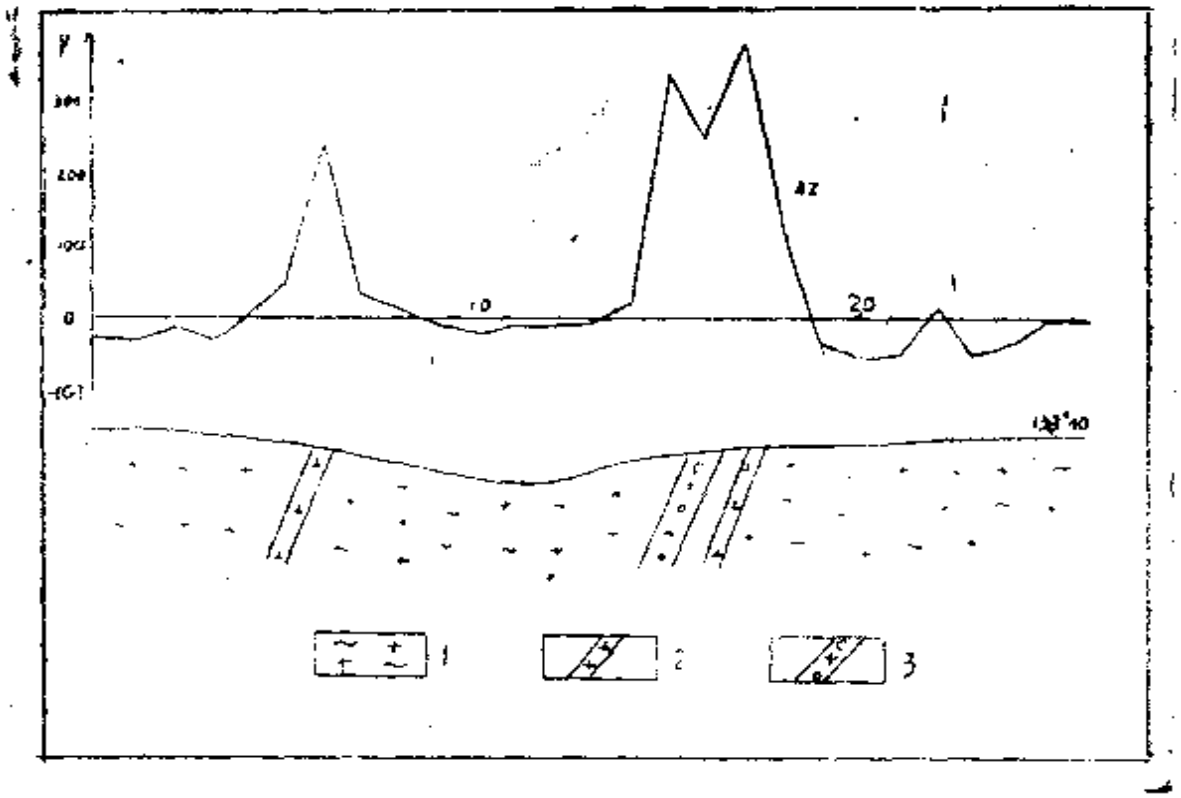


图6　玲珑金矿田地质物探综合剖面图

1—花岗岩；2—闪长岩脉；3—磁铁绢英岩化花岗岩

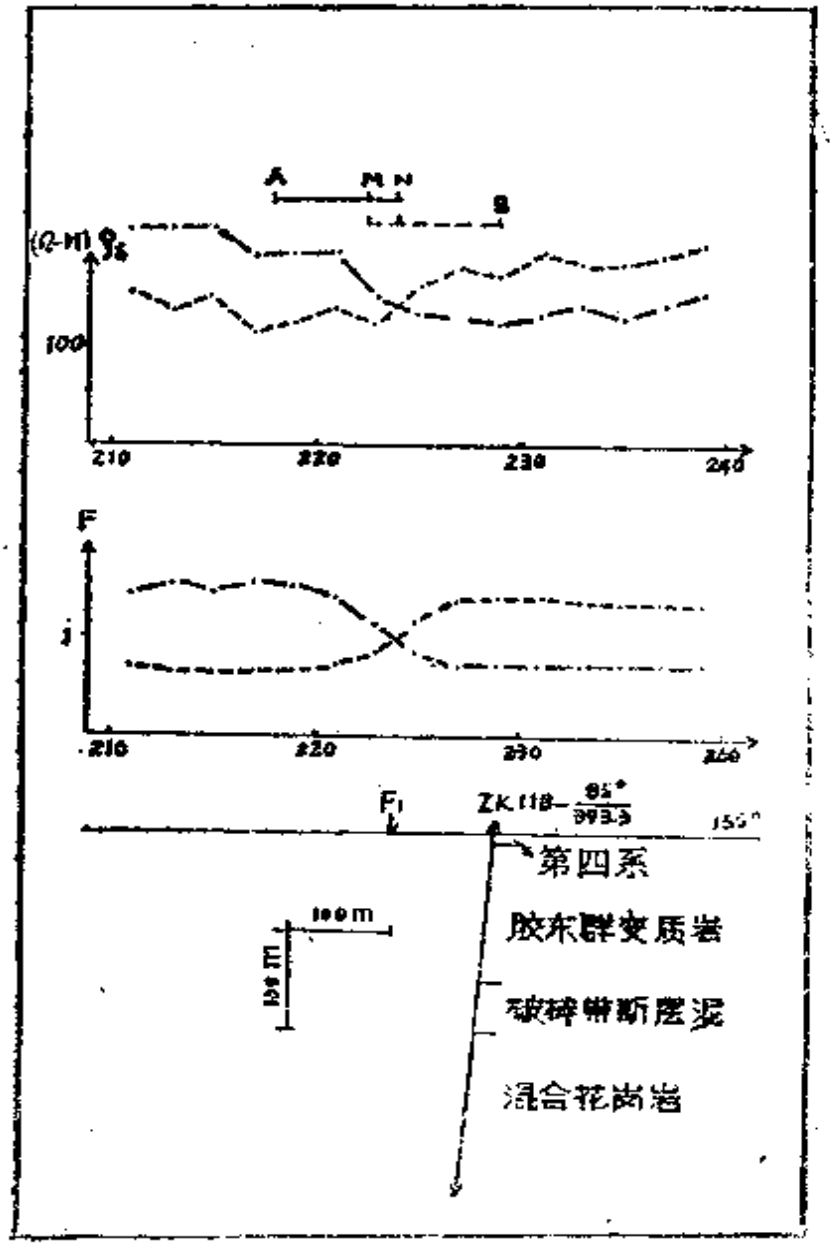


图7 F_1断裂联剖曲线图

常的低值脉冲磁场相吻合。根据Δ曲线的极值位置所确定的断裂破碎带位置是与实际情况一致的，为了便于对比。图8引用了模型实验的结果①。模型是两组平行的低阻层（倾角63°），其电阻率ρ_1、ρ_2与围岩电阻率ρ_0的关系是：

①引自葛为中同志的研究成果。

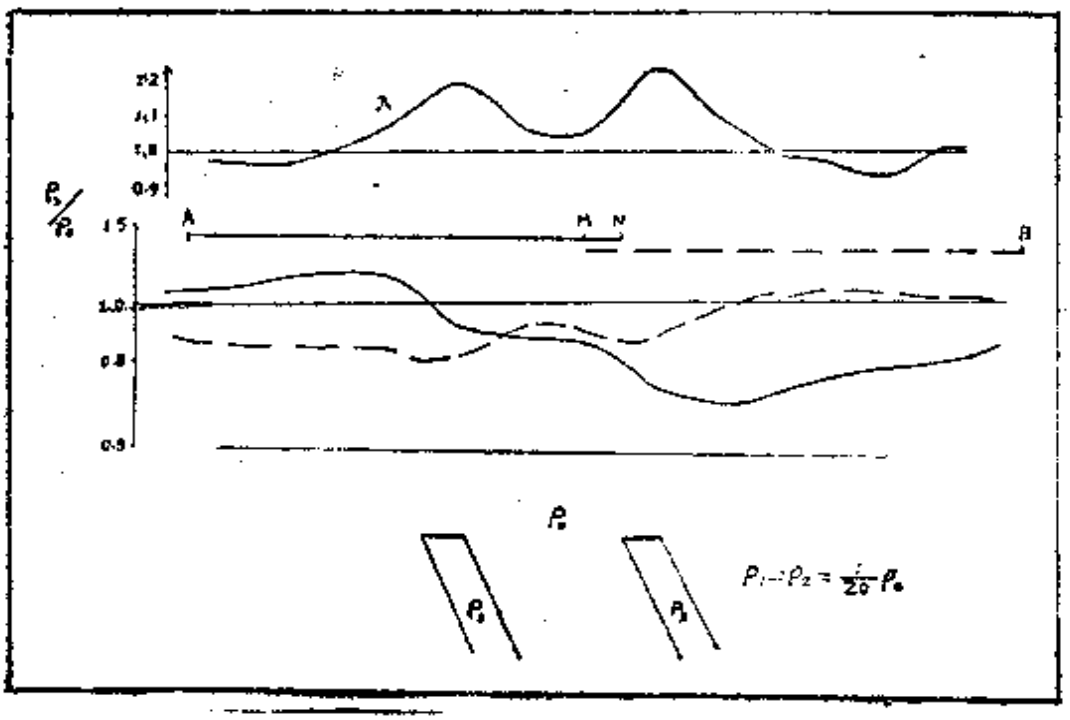


图8　两平行低阻层联剖异常及λ异常

$\rho_1=\rho_2=\frac{1}{20}\rho_s$ 当两个低阻层间距离小于2AO时，其ρ_s异常、岐离带异常就会有一部分互相影响，两者越靠近，异常混迭现象越明显，在视电阻率曲线上，正交点出现在两者之间，然而，从λ曲线上，两者的岐离带变化率异常相互影响则大为减小，在每个低阻层上都出现对应的λ突起异常。λ曲线的计算公式是：

$\lambda=\frac{\rho^A_{Si}}{\rho^B_{Si}}\Big/\frac{\rho^A_{Si+1}}{\rho_{Si+1}}$ 由此式看出，λ曲线实际上是一种梯度曲线，而梯度曲线将有助于平行导体的异常分离。

(3) ρ^A_s 与ρ^B_s曲线一边异常普遍高起，岐离带明显，一边异常值不高而曲线平稳，ρ_s曲线分离不明显，在两种场的过渡带处是构造存在的标志之一。

图9是西由F_{15}断裂的联剖曲线。该曲线具有上述异常特点，断裂两侧均为胶东群地层，由于F_{15}断裂的存在，左侧下降，右侧上升产生较大落差，左侧上部由于沉积了新的较厚的低阻第四系

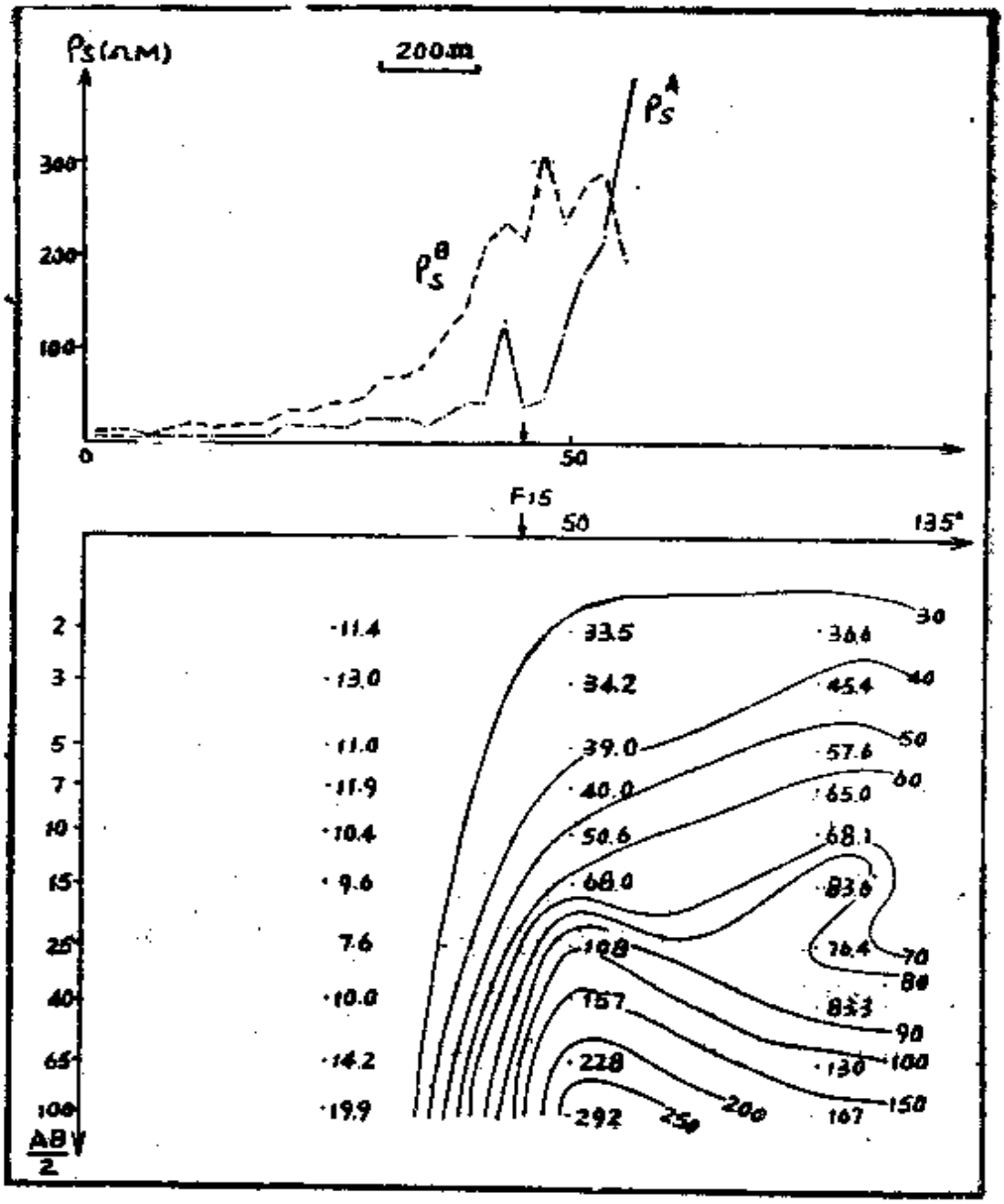


图9　F_{15}断裂联剖曲线与测深等断面图

地层，这就使断裂两侧的导电性有了明显差异，从而产生上述特征异常。从图9下部的ρ_s垂向电测深等断面图可以看得更清楚，左侧低阻和右侧高阻的电性介面非常清晰，这是构造存在的特征标志之一。

图10是断裂破碎带存在于两种不同岩性介质上的联剖曲线特征。左侧为胶东群地层，右侧为玲珑花岗岩，左侧老地层上有较厚的第四系低阻盖层，从而ρ_s曲线平稳而异常值不高，右侧玲珑花岗岩大部出露地表，第四系盖层不厚，ρ_s曲线变化大，异常高起。当然两种岩石介质的电性差异是异常产生差异的主要原因，在断裂破碎带处，ρ_s^A与ρ_s^B曲线一般不出现正交点，有时也有不清晰的交点存在，推断时主要是根据曲线特征而不是交点。

（4）当断裂破碎带硅化、绢英岩化等蚀变作用增强时，则断裂破碎带的电性也将随之发生变化，一般说来蚀变增强时高阻特征将增加，但是这种变化只是局部的，只要极距选择的合适，联剖仍将出现正交点。图11由于绢英岩化作用和硅化作用的结果，断裂蚀变带的高阻特征很明显，这从中梯ρ_s曲线看得很清楚。此时，ρ_s联剖曲线仍有正交点出现。这种现象在金牛山金矿工作时就碰到过，该区联剖极距AO = 120m，MN = 40m，观测结果在石英脉附近出现明显的正交点带，这种正交点带几乎和万米石英脉的分布长度一致，有人曾认为联剖正交点带主要反映了富黄铁矿化的分布情况，我们认为正交点带主要反映了断裂带，这是因为：

1）黄铁矿富集段不是均匀分布在整个石英脉上的，而是断续分布的。在万米大脉中不含黄铁矿只含少量星点状黄铁矿的占大多数，而富集黄铁矿只在有限地段出现，但正交点带连续分布，这显然是与实际情况不相符合的。

2）从电阻率测井结果看断裂带低阻特征明显，断裂带内多有泥质充填。所以虽有石英脉的影响，断裂带的低阻特征仍被显示出来。我们认为本区的这种情况和金牛山矿区有些类似。

招掖地区在若干地段曾做过电阻率联剖工作，均取得了较好的效果。如西由地区曾圈出28条断裂破碎带，有三条已被工程所验证。在黄狐断裂的一些地段上已做过的工作也证明效果是很好

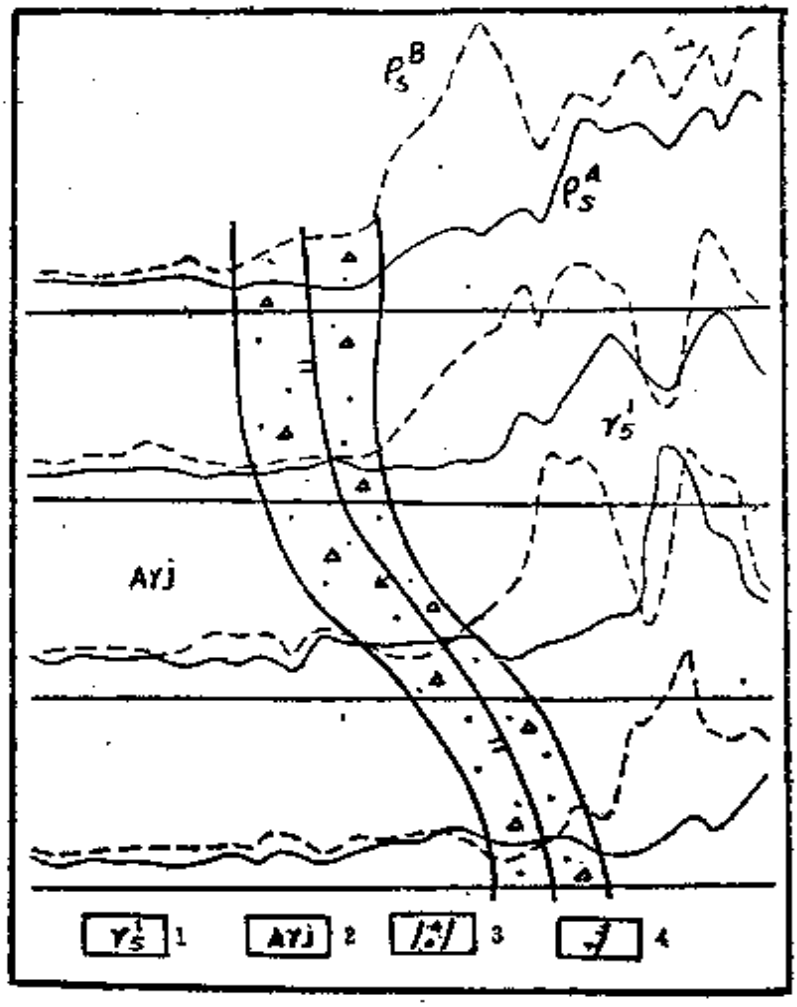


图10　断裂破碎带联剖曲线（1：2.5万　1cm = 500ΩM）

1—玲珑花岗岩；2—胶东群地层；3—破碎带；4—断裂带

的。当然有些构造由于其电性特征和围岩相差不大，或者由于极距选择不当，或者对各类电性不均匀性、平行构造和地形等干扰估计不足，解释时又未做任何处理，从而使联剖结果显示的不够理想的情况也是有的。故对其成果进行解释时要对具体情况作具体分析。

2.电阻率四极法

本区四极法做的不多，仅在西由地区依联剖结果绘制了四极法结果。现就该区四极法的作用与地质效果简述如下（图12）：

（1）可以圈定隐伏岩体

图中$I_{高}$的高阻异常带，反映了池家岩体的分布情况，虚线为已出露的池家岩体，而异常显示岩体向西仍有较大延展，除池家岩体外在其北东方向的另一岩体也反映相当清楚。

（2）可以研究胶东群基底隆起构造。

图中$II_{高}$的高阻带为单山隆起带，ρ_s显示为一清晰的高阻异常带并与隆起构造相吻合。$I_{高}$的高阻带推测的一隐伏隆起带，该处高阻异常也很明显，从图9的电测深曲线断面图可以看出这一隆起带的大体情况。

（3）可以圈定断裂破碎带

断裂破碎带ρ_s异常特征有以下几点：

1)具线状或条带状分布的低阻异常带。如$I_{低}$的低阻带反映了F_1断裂，$II_{低}$的低阻带反映了F_5断裂，$II_{低}$的低阻带反映了F_3断裂。

2)ρ_s异常梯度带。具有ρ_s梯度带特征的断裂有F_{15}、F_4等，其中F_{16}异常梯度带特征最明显。

3.电阻率中间梯度法

本区中间梯度法做的较多，效果也很好，它的作用主要是查明石英大脉，石英细脉带及硅化与绢英岩化带。中间梯度法在普查找矿中的作用比联合剖面法、四极法更进一步。异常的特征如下：

（1）石英脉上ρ_s中梯曲线一般表现为明显的高阻异常带。图13、14为望儿山矿区的例子，该区断裂带中有黄铁矿化石英脉，黄铁矿化硅化岩，黄铁绢英岩，硅化花岗质碎裂岩，绢英岩化花岗岩，黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩等。在石英脉及蚀变岩上，ρ_s中梯曲线呈极明显的高阻异常反映，显示了清晰的高阻异常带。虽然在石英脉及蚀变岩中有金属硫化物存在，但是，由于

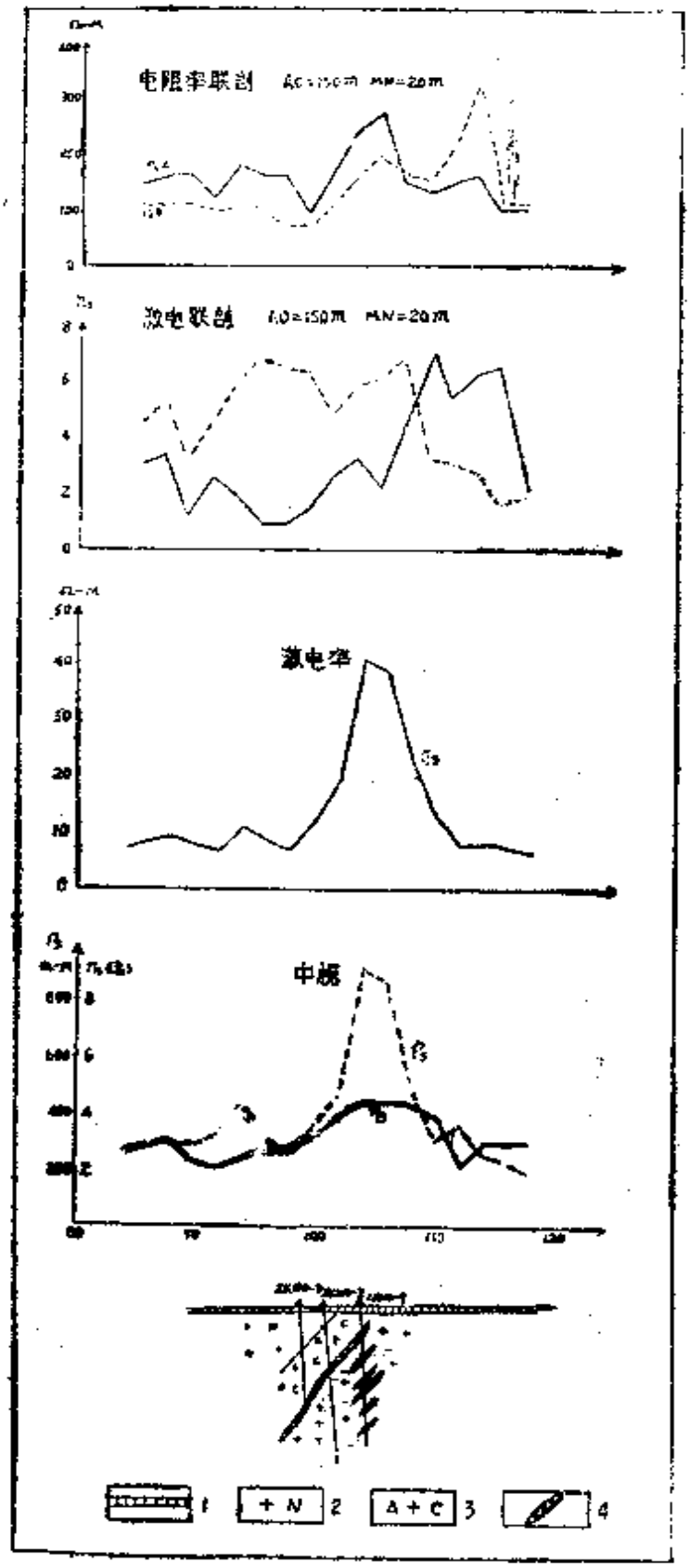


图11　焦家Ⅰ号电法综合剖面图

1—表土；2—斜长角闪岩；3—硅化绢云母化花岗岩；4—矿脉

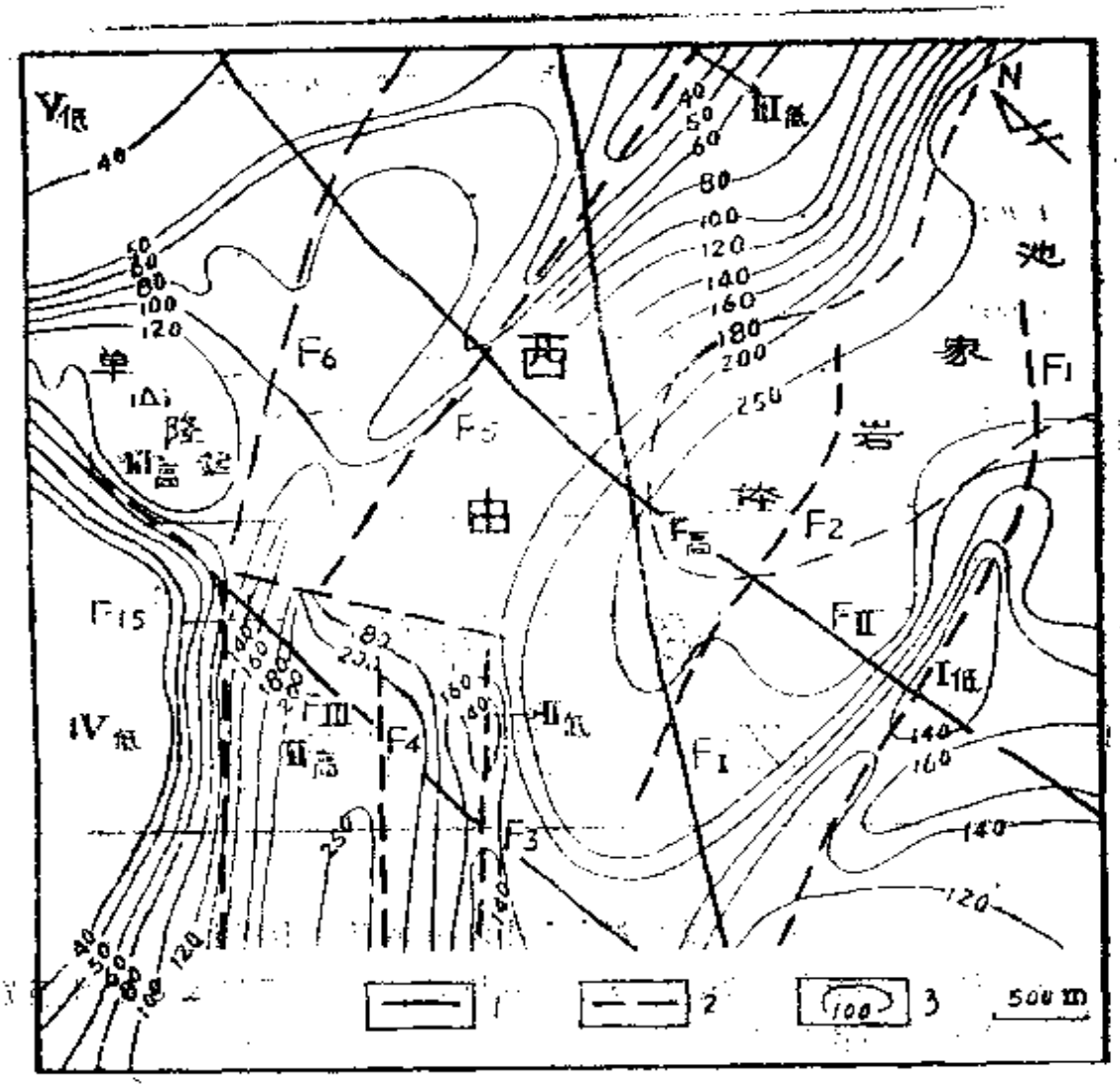


图12　西由四极法等ρs平面图

1—卫片推断（F1）；2—电法推断（F1）；3—ρs等值线（ΩM）

硫化物分布在高阻的石英脉等胶结介质中而显示不出硫化物的电性特征，实验材料表明，对含金属颗粒的胶结介质的情况，只有当金属颗粒的含量很高时，才能影响到胶结介质的电阻率。否则，其电阻率将接近胶结介质的电阻率。望儿山矿区属于后一种情况，故其高阻特征十分明显。

(2) 硅化与绢英岩化带上ρs中梯曲线一般也表现为高阻异常带，其异常大小除去其他原因外，与蚀变带的蚀变程度有一定

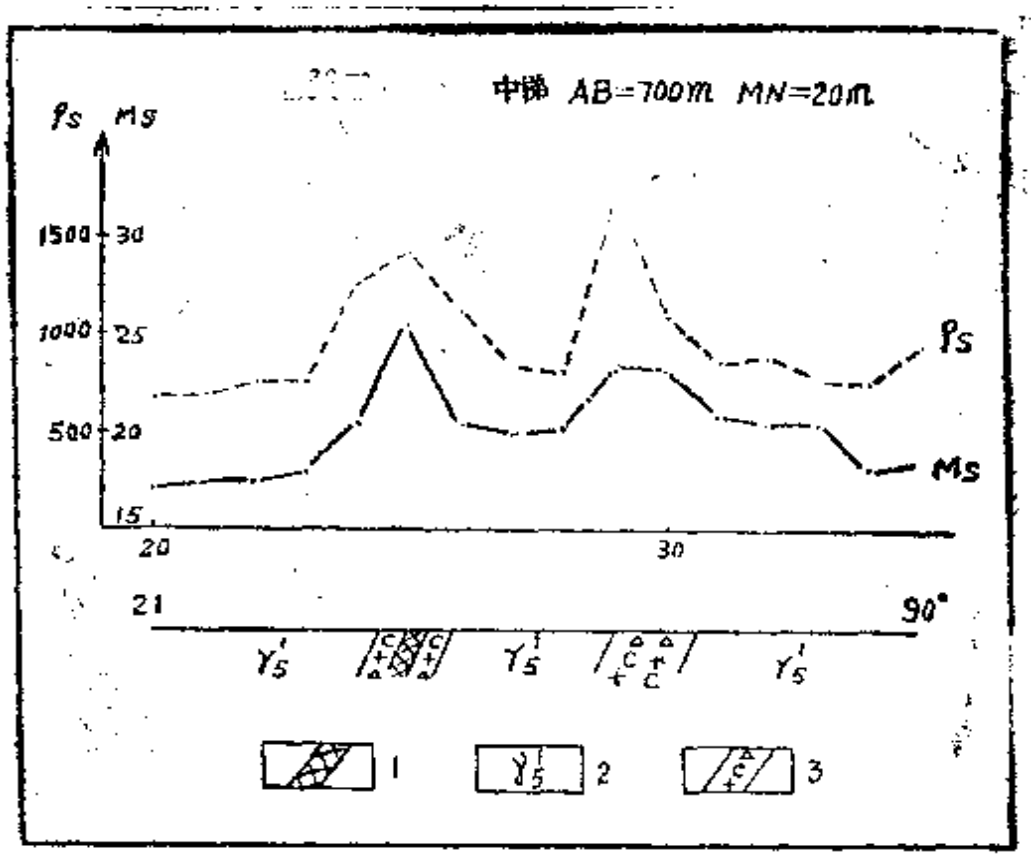


图13 某金矿激电中梯与电阻率中梯曲线

1—金矿体（Au品位>3g/t）；2—花岗岩；3—石英脉及黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩等

关系。

图11、15、16、17为几个蚀变型金矿床ρ_s中梯曲线，可以看出ρ_s曲线在蚀变带上均出现明显的高阻异常，只是异常强度及特征有区别而已。从这几张图显示出它们的某些共同特征：地形平坦，矿体及蚀变带的产状、埋深和水文地质条件类似，异常大小的区别显然是与蚀变岩的蚀变程度相联系的电阻率的大小有关。

（3）有些硅化与绢英岩化带上ρ_s中梯曲线表现为次级高阻带特征，这也是它的一个特点。

图15、16就是这样。蚀变带上出现强度相对较小的ρ_s次级高阻异常，而主极值则在其右侧出现。

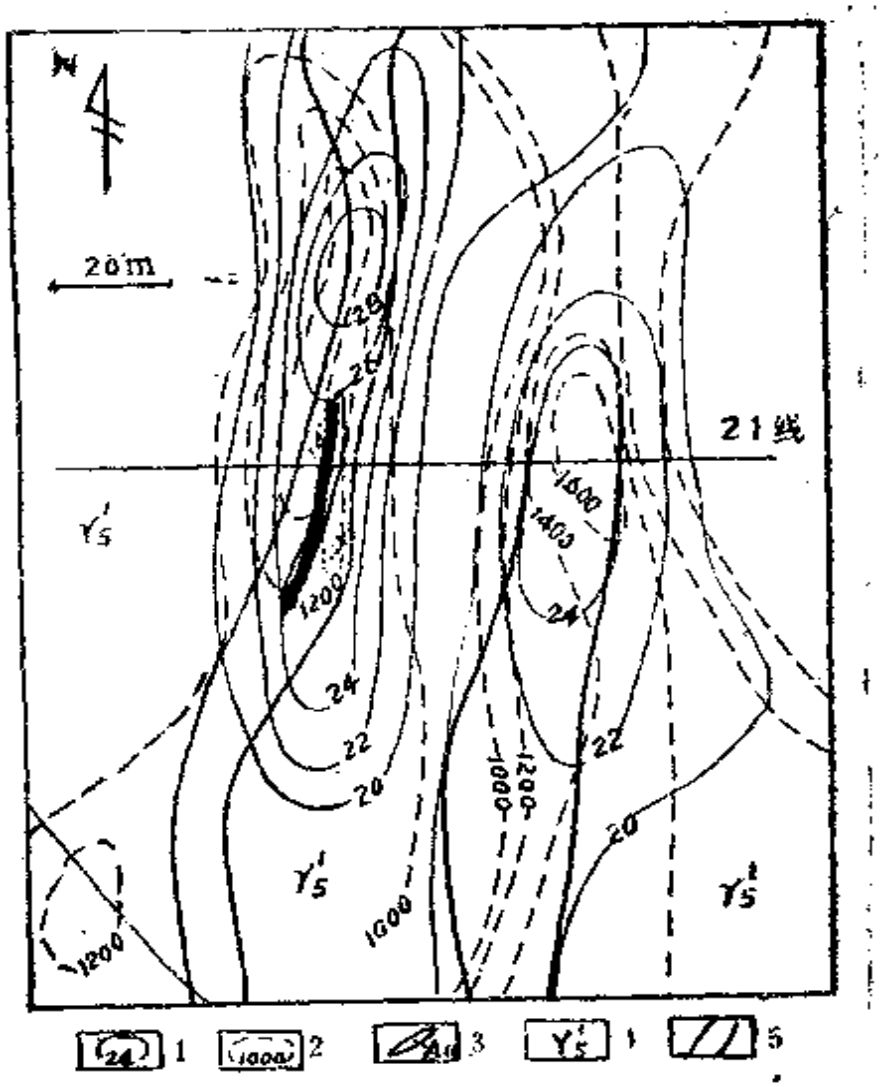


图14　某金矿激电与电阻率异常平面图

1—Ms等值线；2—ρs等值线；3—金矿体（Au品位＞3g／t）；4—花岗岩；5—石英脉及黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩

（4）在利用中梯资料时应注意到地形起伏所产生的高阻异常。此外玲珑花岗岩是一个混合岩，其岩性电阻率是不均匀的，要注意这种不均匀性产生的局部高阻异常，还要注意本区复土厚度变化对视电阻率曲线的明显影响。

4.激发极化法

激发极化法是本区普查找矿的主要方法。它的作用是圈定与

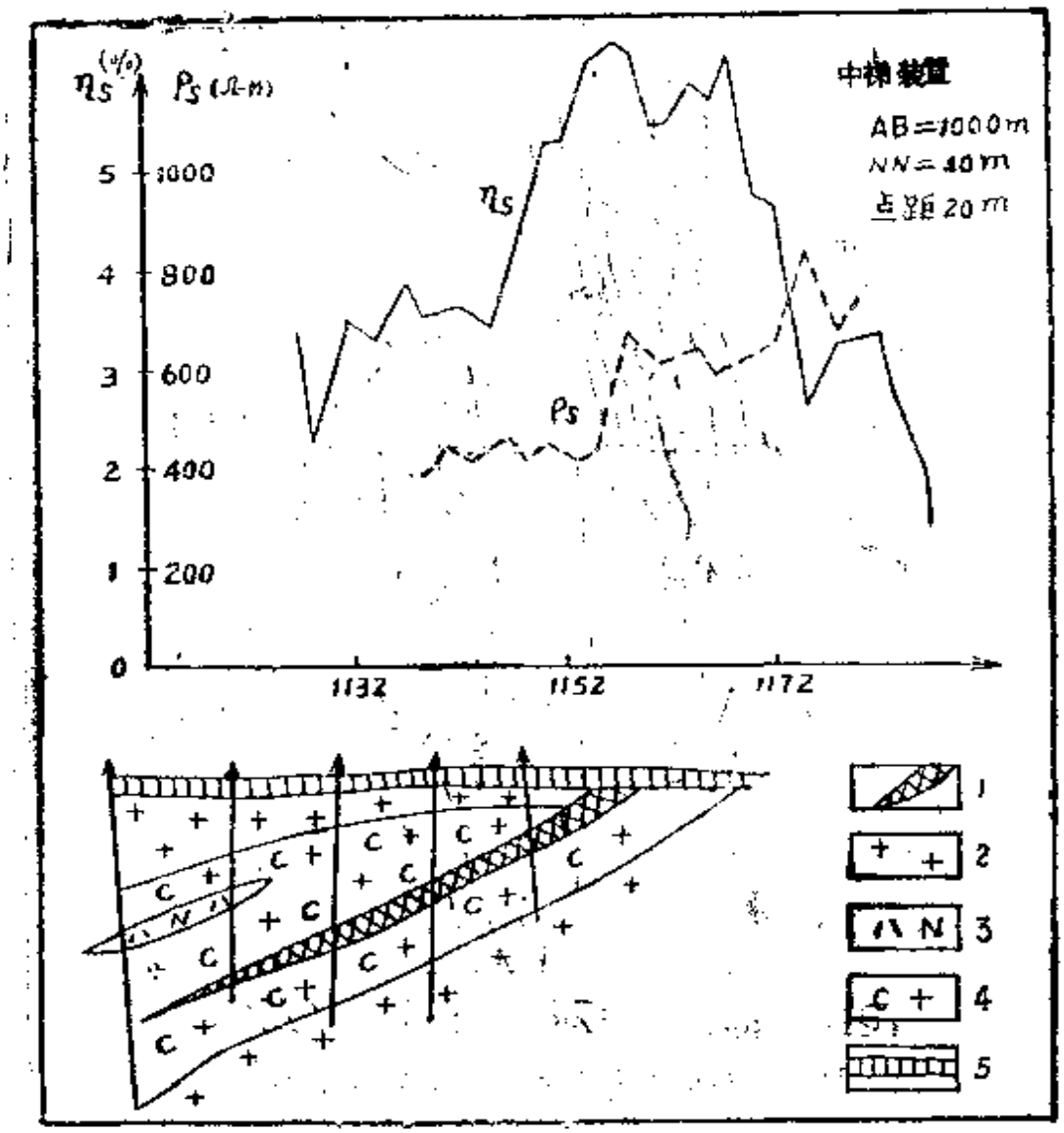


图15　新城金矿990线综合剖面图（1:10000）

1—金矿；2—花岗岩；3—斜长角闪岩；4—蚀变带；5—表土

金矿赋存直接有关的金属硫化物富集带。一般说来金矿与硫化物呈正相关关系。因此查明硫化物富集带是寻找金矿的重要一步。当然有硫化物富集带存在不一定都有金矿，但是有金矿的地段一定是硫化物的富集地段，故硫化物富集带是寻找金矿的重要标志。本区投入了许多激电工作，发现了大量的激电异常，这为普

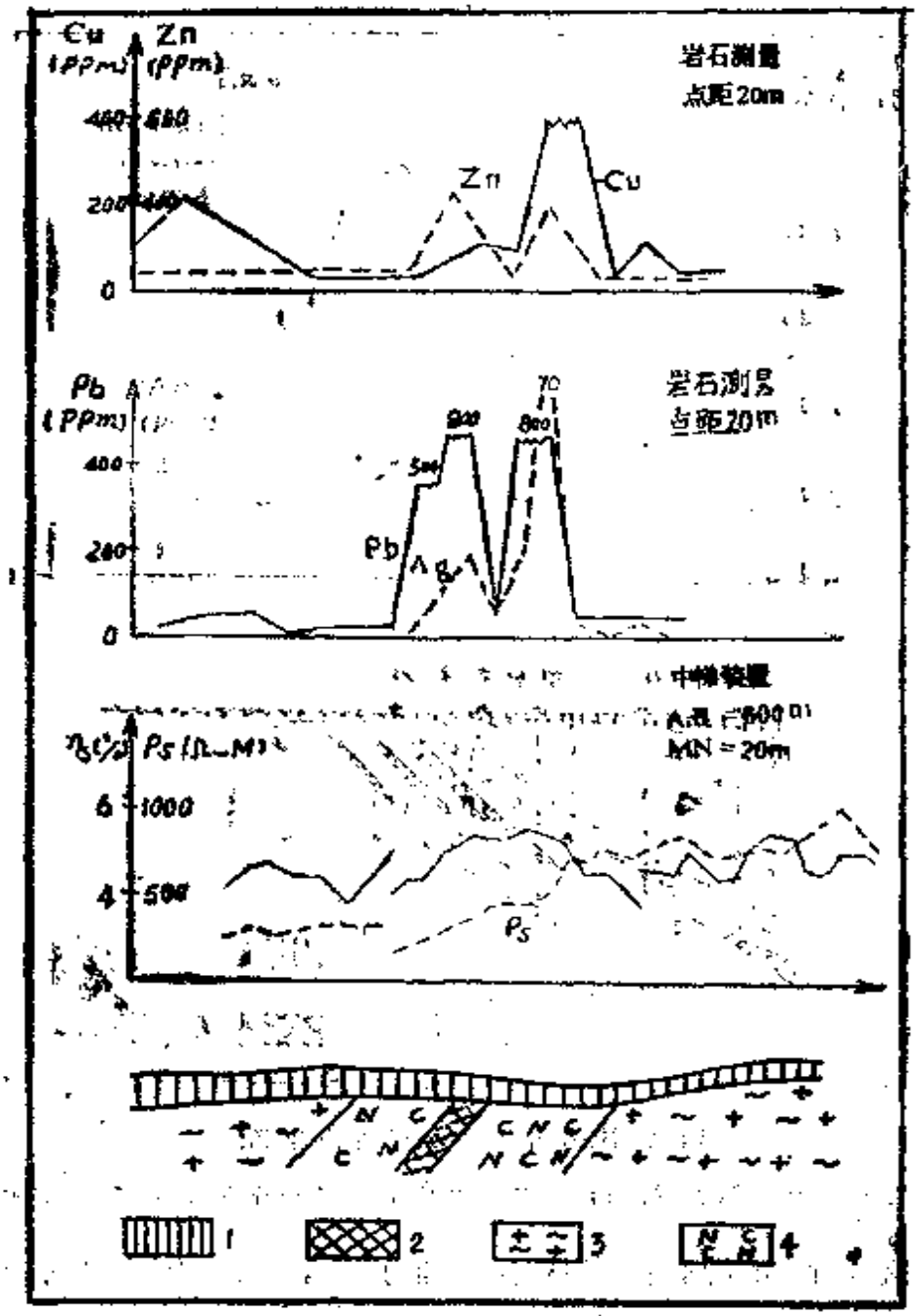


图16 ［号异常829线综合剖面图（1：10000）

1—表土；2—含金硫化物矿体；3—花岗岩；4—蚀变带

查找矿工作提供了重要线索。但是也有许多异常是非矿因素引起的。因此在评价激电异常时要注意以下几点：

(3) 电阻率中梯成果资料对评价激电异常有重要意义。

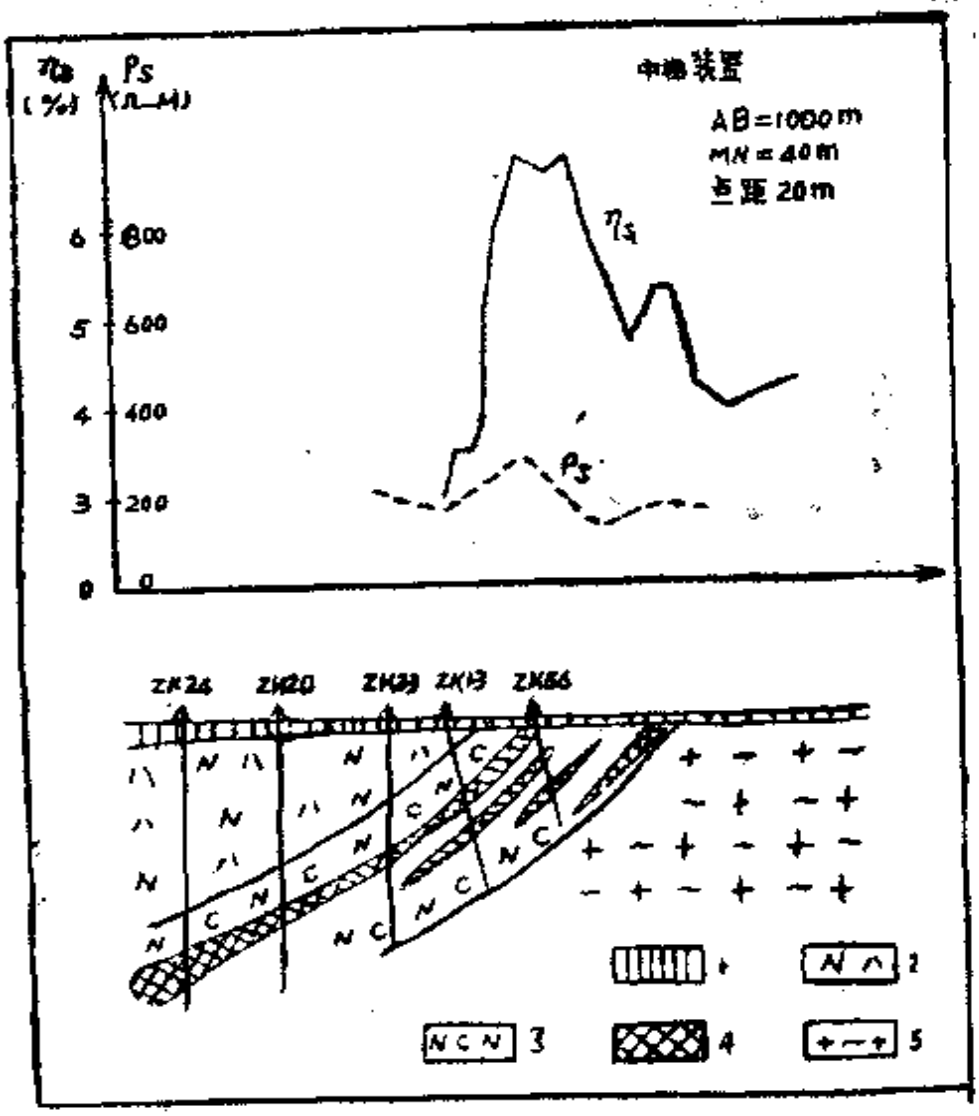


图17 焦家金矿104线综合剖面图

1—表土；2—斜长角闪岩；3—蚀变带；4—金矿体；5—玲珑花岗岩

本区金矿床无论石英脉型或蚀变岩型，在含矿带上将出现高阻的石英脉或者高阻的高硅化带及绢英岩化带。这一地质—地球物理特征决定了电阻率中梯法在矿带上将出现高阻电阻率异常带。因此电阻率中梯法资料对激电异常的评价有重要意义。而高阻高极化率异常型是本区矿脉异常的基本特征（图11、13、14、15、16、17）。当然高阻高极化率异常型不一定都是金矿的反映，还要看化探异常反映的情况而定。有的构造带出现硅化、黄

铁绢英岩化或硅化、绢英岩化、黄铁矿化的地段，金的含量不理想或没有金含量者也常见，此时这种地段也出现高阻高极化率异常，此情况在工作中应注意。

(2) 激电率是评价激电异常的重要组合标志，实践表明它的作用表现在以下几方面：

1) 可以增强和提高矿脉异常的信息。

以激电率$G_s=\eta_s\cdot K\frac{\Delta V_2}{I}=\eta_s\cdot\rho_s$一式可见，对高阻高极化率型异常，$G_s$异常将明显大于$\eta_s$异常。故可提高和增强矿脉异常的信息。图11是作者计算的G_s异常，可以看出矿脉上的G_s异常比η_s异常明显得多了，从而使矿异常的特征更加突出，有助于对矿异常的区分和评价。

2) 可以提高发现矿脉异常的机会。

有的矿脉金属硫化物的分布是不均匀的，在这种情况下矿脉上η_s异常是断续的，而ρ_s异常有的地段较强，有的地段因硫化物的作用，使得ρ_s值有所降低，故矿脉ρ_s异常也是不完整的。如果这时只根据η_s异常推断，可能对矿脉的特征做出不正确的推断。而根据G_s资料则可以在整个矿脉上得到连续的、清晰的异常，从而可对矿脉特征做出正确评价。

3) 可以压低某些干扰异常。

例如对某些非矿激电异常，激电率可以起到明显的压低干扰的作用。从图4可以看得很清楚：该激电异常值为5.3%，异常特征清晰，但这是一个非矿的黄铁矿化引起的异常，计算了激电率后，G_s异常基本消失。这就压低了干扰异常而提高了有用异常的分辨能力。

(3) 化探异常是评价激电异常的重要依据。

化探是本区金矿普查中的主要方法。已做的大量化探工作表明，其地质效果是十分显著的。本文只是从评价激电异常的角度

简单讨论一下化探方面的问题。

一般讲在该区评价激电异常采用原生晕方法比次生晕方法效果显著。大量的资料对比表明，矿体引起的激电异常上一般都有不同特征的化探异常。

根据本区部分的原生晕分带特征，矿体异常又可分四个种类

1) Ag、Au型异常。这是本区矿异常的基本类型。这类异常又可分为四个种类：

①Ag、Au--I型异常。这类异常的特点是：Au异常很低，Ag异常有的高、有的低，没有Bi异常（或有弱异常），有Cu的弱异常，Pb、Zn异常很高，认为这是矿体前缘晕的反映（图18、19）

②Ag、Au—I型异常。这类异常的特点是：Au、Ag异常都很高，Bi异常较高，Cu有弱异常，Pb、Zn异常很高。认为这是上部矿体晕的反映（图20）

③Ag、Au--II型异常。这类异常的特点是：Au异常很高，Ag异常较高，Bi异常很高，Cu有弱异常，Pb、Zn异常很低。这是中部矿体晕的反映（图21）。

④Ag、Au—II型异常。这类异常的特点是：Au异常很高，Ag异常较低，Bi异常没有或较低，Cu有弱异常。Pb、Zn异常没有或甚低。认为这是下部矿体晕的反映（图22）。

2) Pb、Zn型异常。这类异常的特点是：Au无异常，Ag有较高异常。Bi没有异常（或有弱异常），Cu有弱异常，Pb、Zn异常很高。认为这是矿体前缘晕的反映。本区这种异常很多，不能因无金的反映，异常就被否定，应注意深部找矿。

以上是本区Au矿异常化探主要特征元素的异常组合特点，是否准确有待证实。

在评价激电异常时不仅要注意激电异常和化探异常的关系，而且要注意和非矿化探异常的关系。图16是某金矿化探异常与激

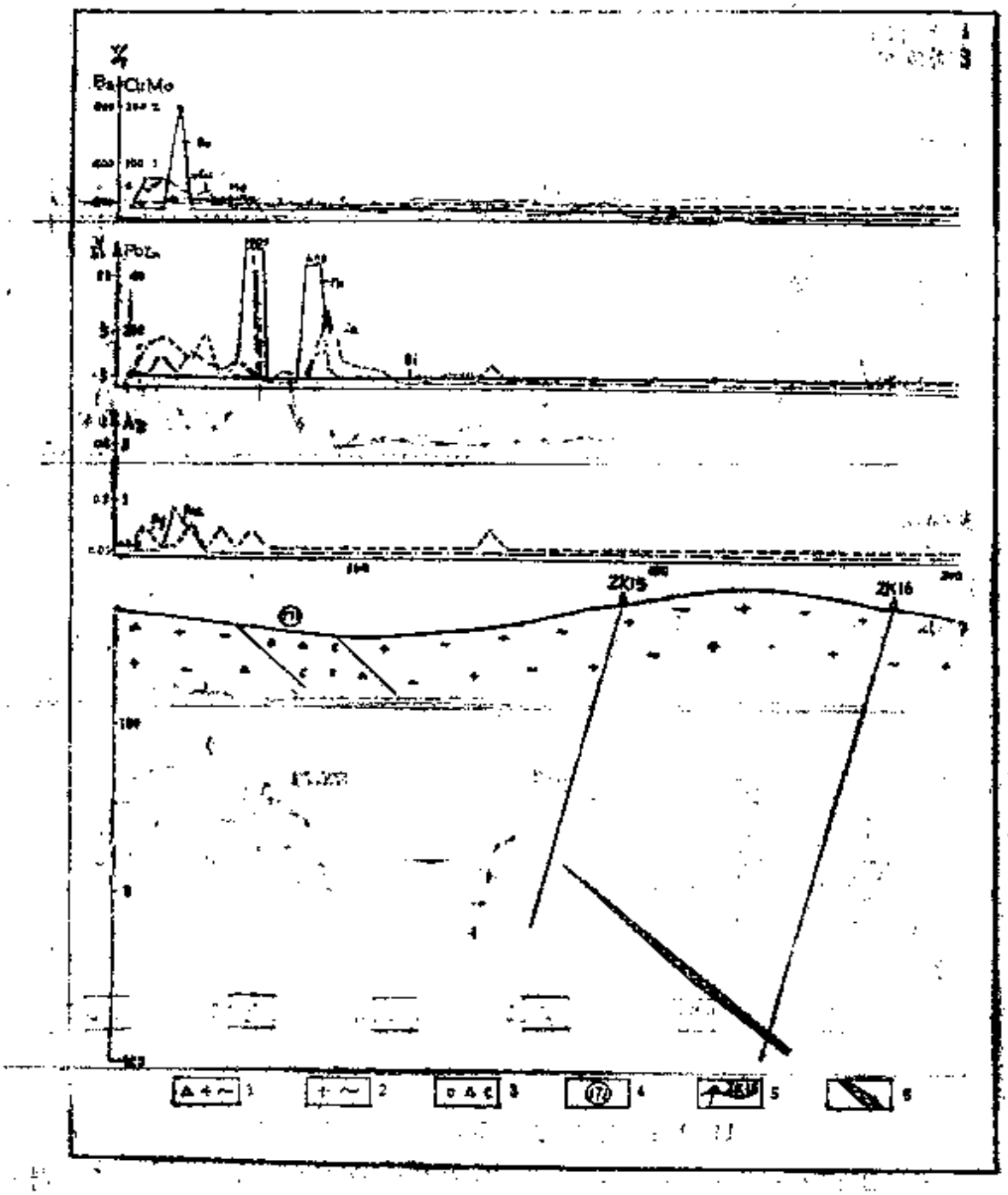


图18 9线地质化探原生晕综合剖面图

1—碎裂混合花岗岩；2—混合花岗岩；3—绢英岩化碎裂岩；
4—金矿脉号；5—钻孔号；6—金矿体

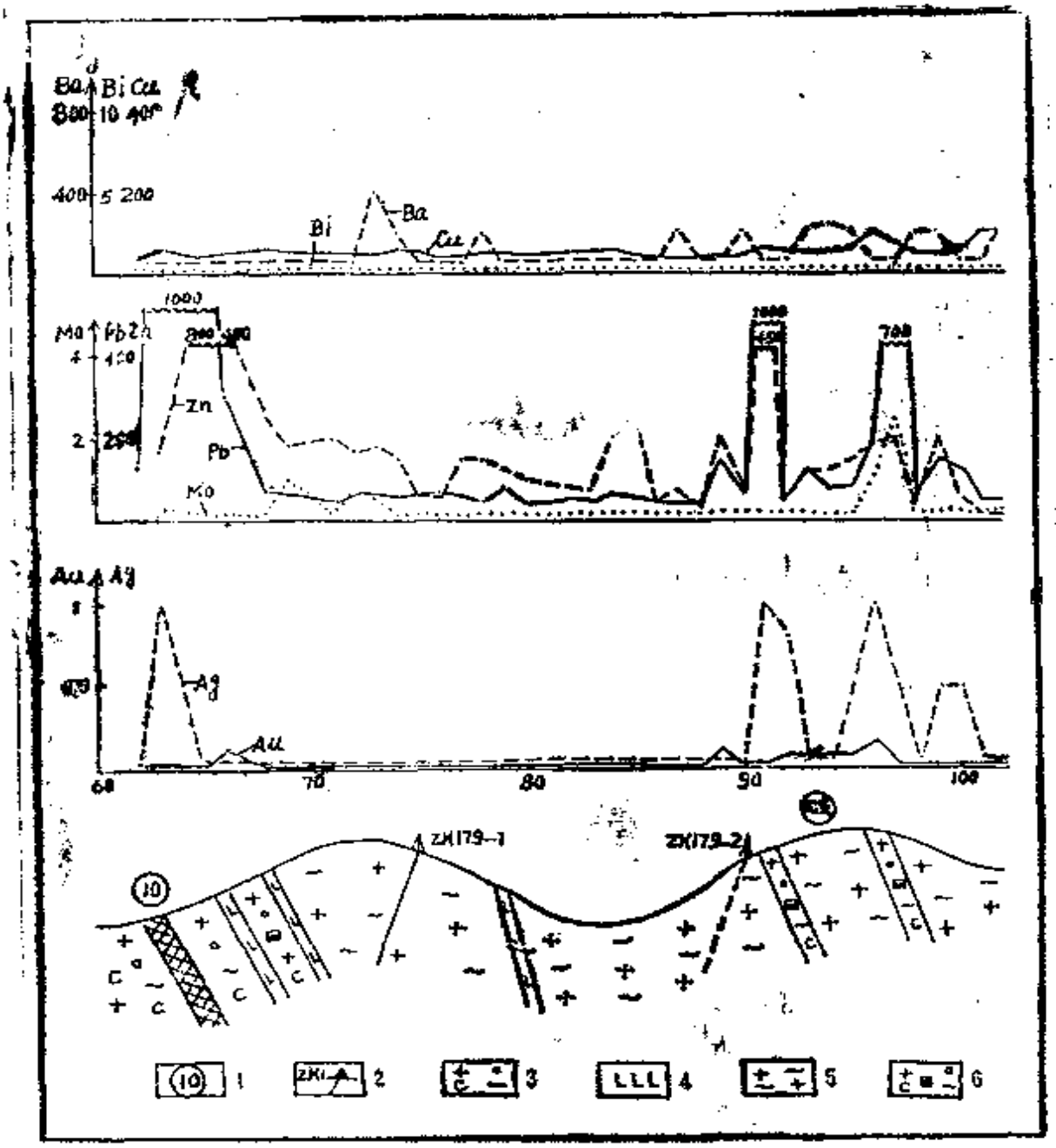


图19 16线地质化探原生晕综合剖面图

1—金矿脉号；2—钻孔号；3—绢英岩化混合花岗岩； 4—煌斑岩脉；5—混合花岗岩；6—黄铁绢英岩化混合花岗岩

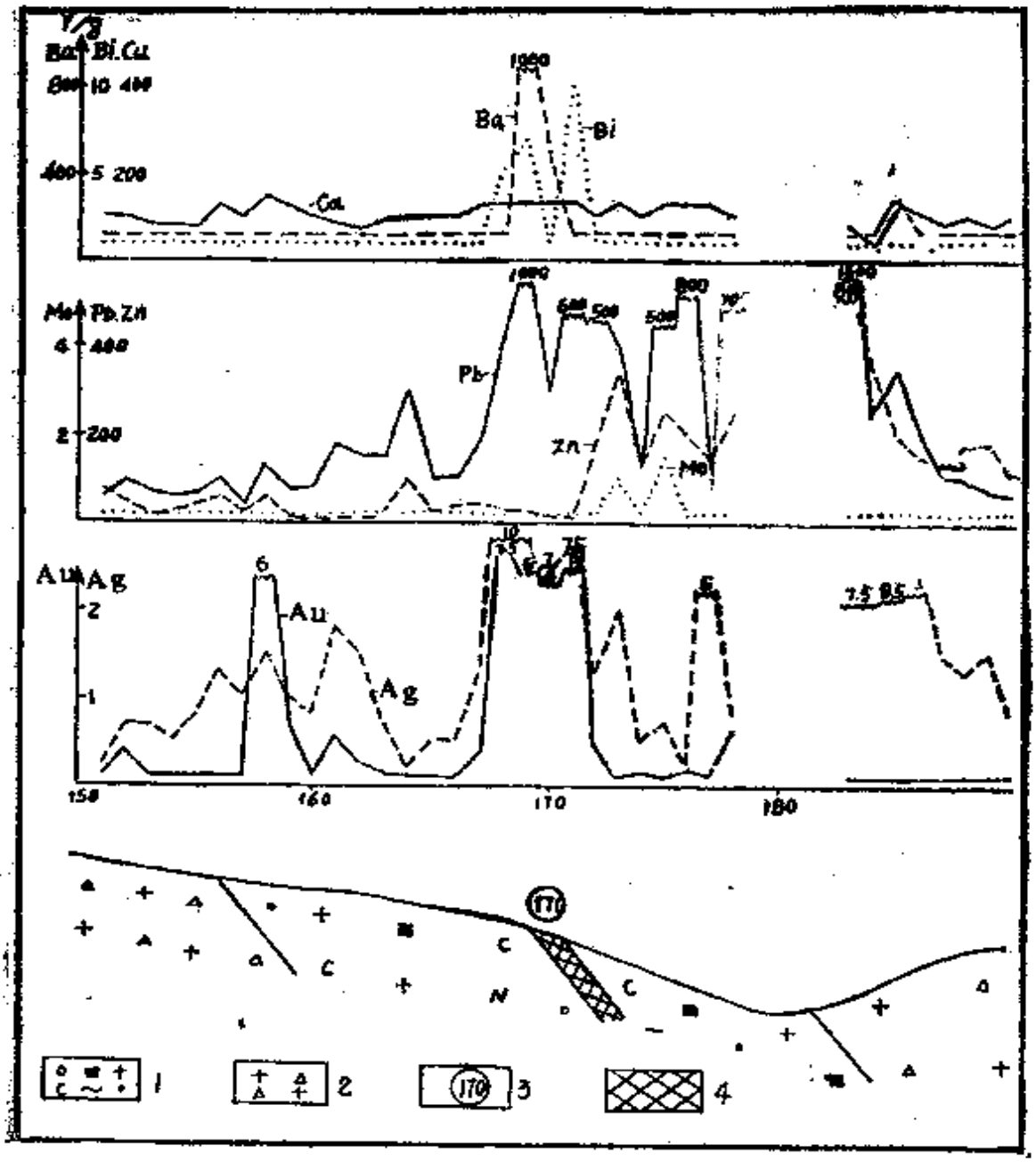


图20 38线地质化探原生晕综合剖面图

1—黄铁绢英岩化混合花岗岩；2—碎裂混合花岗岩；

3—金矿脉号；4—金矿体

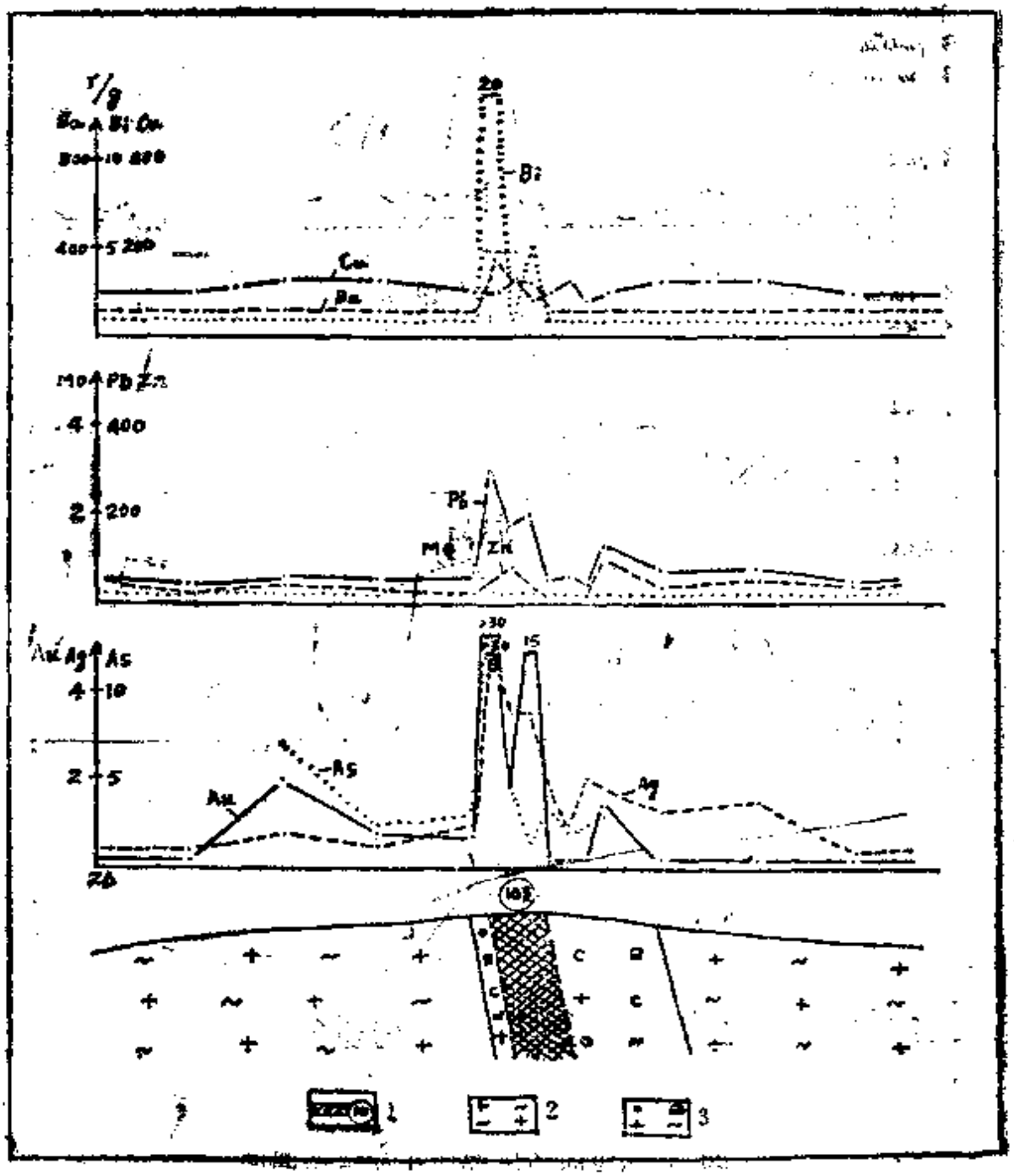


图21 5线地质化探原生晕综合剖面图

1—推断金矿体及矿脉号；2—混合花岗岩；3—黄铁矿化绢英岩化混合花岗岩

电异常的综合对比资料。

（4）要结合地质情况，综合物化探资料，仔细分析激电异常的特点。

本区中梯激电异常大致有以下几种类型：

第一类是异常具有明显脉状或线型走向特征，异常极大值一般为5—10%，而以5—8%最常见，正常场一般3—4%，常见者3.5%。在激电异常上一般有中梯高阻ρs异常带与之综合，同时出现化探Ag、Au型或Pb、Zn型多元素异常。ηs异常一般分布在玲珑花岗岩或郭家岭岩体内部的断裂破碎带内，或者分布在胶东群地层与玲珑花岗岩接触带所存在的断裂破碎带内。异常所在部位的断裂破碎带常见到以硅化、绢英岩化、黄铁矿化等为主的蚀变现象，或者见到石英脉及金属矿化，采样分析有金的含量或没有金的含量者，一般此类激电异常是由金矿脉或者金蚀变带所引起的。图11、13、14、15、16、17为黄狮断裂及望儿山断裂上几个金矿床上激电异常的特征。

第二类异常的特征和第一类异常相似的，也分布在断裂带或破碎带内，但没有中梯ρs高阻异常的显示，不出现或者出现非Ag、Au型或Pb、Zn型化探异常，断裂带内有时见到黄铁矿化或红化、高岭土化。这类异常一般是非矿的。是由分布在断裂带或破碎带内的黄铁矿化所引起的。图4是这类异常的一个例子，ηs异常最大值5.3%，从磁法、电阻率联剖资料与λ曲线可知，该处存在一断裂破碎带。电阻率中梯结果在ηs异常处出现一低阻异常，据此可以认为断裂破碎带内没有石英脉或明显的硅化及绢英岩化等蚀变现象，故其成矿条件不利。化探无明显异常。故推断ηs异常为断裂带内的黄铁矿化所引起。打钻结果见破碎带及黄铁矿化、红化与高岭土化。

第三类异常走向具脉状特征，但异常强度较大，一般最大值达到10—20%，中梯ρs高阻异常明显或不明显，化探异常不明

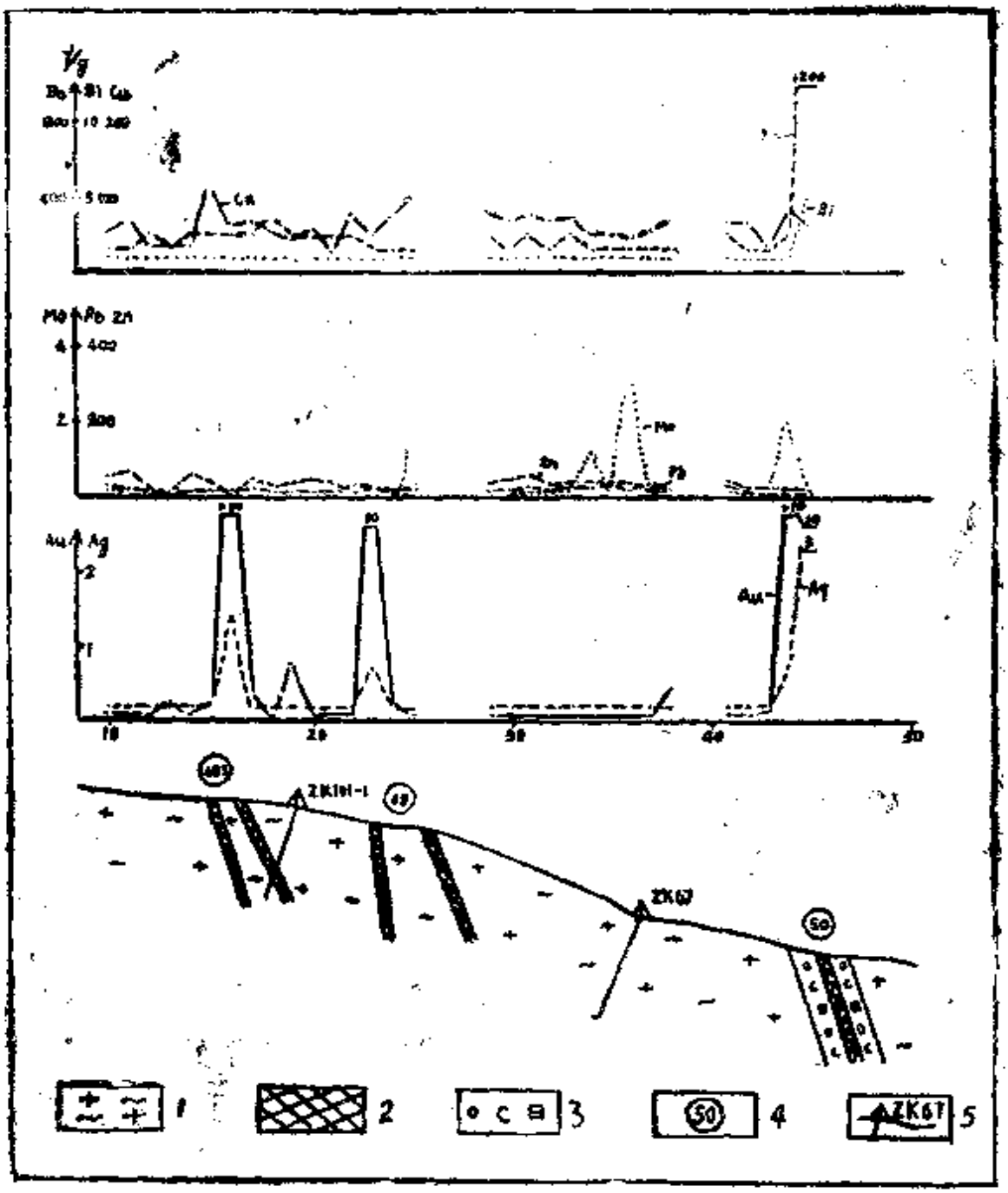


图22 48线地质化探原生晕综合剖面图

1—混合花岗岩；2—金矿体；3—黄铁绢英岩；4—金矿脉号；5—钻孔及编号

显，异常分布在玲珑岩体内。这类异常一般属富黄铁矿化引起的。由于本区多期成矿活动都有黄铁矿出现，而金矿主要富集于金—石英—多金属硫化物阶段，其它阶段的黄铁矿（有时这种黄铁矿很富但无金或金含量甚微）将产生激电非矿异常。

第四类异常形态为透镜状，最大异常值达20%，无化探异常，电阻率中梯异常不明显。地表无构造存在，也未见黄铁矿化，但见到一很纯质的产状很缓的黑云母片岩层，厚1.5m左右，该云母层分布于异常极大值处。经研究认为该异常是含铁磁性矿物的黑云母片岩层所引起的，在朱家咀地区见到此异常。

第五类异常是由少数的黄铁矿化的脉岩所引起的。异常出现在有黄铁矿化的地段，不是在整个的脉岩中，异常强度最大值为5—6%。电阻率中梯高阻异常明显或不明显，有时出现少量单元素低含量化探异常或异常不明显。

第六类异常是在胶东群地层中出现的。该类异常一般位于蓬奈组地层中，最大异常强度5—6%，异常较缓，在η_s异常及其附近见有变化较零乱的Ni、Ag、Cu等异常。这类异常一般为意义不大的分散金属矿化所引起的。

本区除激电中梯外，还做过激电联剖，一般在中梯异常上大都出现联剖反交点。图11为某金矿脉上激电联剖的异常特征。

（三）重力法

本区曾在深部等地区投入过大比例尺重力工作，该法对有一定规模的破碎带或断裂带有反映。一般岩石断裂破碎及蚀变后其密度有所降低。另外已有资料表明，根据小比例尺重力资料，对金矿成矿带或矿田的预测方面可能起一定作用②。

四、结束语

根据本区金矿的地质特征，地球物理方法在普查找矿中得到

②见陈继宇同志的文章。

了广泛的应用，地质效果是显著的。归纳起来物探方法在本区金矿普查中的作用和效果主要有以下几点：

1.采用电阻率联合剖面法、四极法和磁法可以圈定与金矿赋存有关的断裂带、破碎带或断裂破碎蚀变带。

2.根据电阻率中间梯度法可以圈定石英脉及硅化和绢英岩化带，提供金矿赋存的脉体和与金矿赋存有重要关系的蚀变岩。

3.根据激发极化法可以圈定金属硫化物富集带，从而为普查含金石英脉型及蚀变岩型金矿提供重要的找矿标志。当采用综合物化探成果资料及地质资料评价激电异常时，有可能提供金矿脉或含金蚀变带赋存的直接线索。

4.由于含金石英脉型及蚀变岩型金矿具有高电阻率和高极化率的特性，如果利用激电率Q。资料对激电成果进行处理，将能更明显地突出与金矿有关的有望激电异常，而压低某些非矿干扰异常。

5.为了减少本区电性不均匀性的影响及平行低阻构造的干扰，根据岐离带变化率资料整理电阻率联剖曲线，将有助于提高电阻率联剖法对断裂破碎带圈定的准确性。

最后，为了更充分发挥物探在本区金矿普查中的作用，今后应当大量的开展综合地球物理调查工作，在这种调查中应与地质的、地球化学的方法密切配合，从而有可能提供更多的有关金矿赋存的直接标志、间接标志和预测标志。

选自《黄金地质参考资料》第六期（1984）

航空电磁法发现菱刈金矿床

伊思 M·约翰逊等

摘要 1978年，在日本九州半岛一选定测区进行直升机〔载〕的地球物理测量。使用的仪器是一动源式电磁仪及磁力仪。视电阻率图由电磁数据绘制。根据测区内已知金矿电阻率特征确定出地面进一步工作的靶区。1980年底，通过对其中一靶区的钻探，发现了一金矿床，1985年夏将全面投产。该矿金储量至少有120t，是日本有史以来最大的金矿。该矿产于以前未料到的赋存贵金属矿床的地质环境中。这一典型事例说明在其他相似的地质环境中使用航空电磁法是一个最佳勘探方案。

一、前 言

菱刈地区位于日本九州半岛鹿儿岛县鹿儿岛市北约45km处（图1）。该区及其附近有许多从十九世纪末就开始进行了不同程度工作的金矿床。就采金而言，由于储量采尽而最近关闭的奥库斯（Ohkuchi）即大口（Oguchi）矿（图2）是其中最大的矿床。该矿床投产于1986年，矿石平均品位13.6g/t，共采金22.2t。

为发现新矿床，日本金属采矿协会（MMAJ）在1975—1977年间首先对该区进行了区域地质填图，随后进行航空电磁测量。航测由先得利（Scintrex）公司承担，并在1979年初向金属采矿协会提交成果报告。

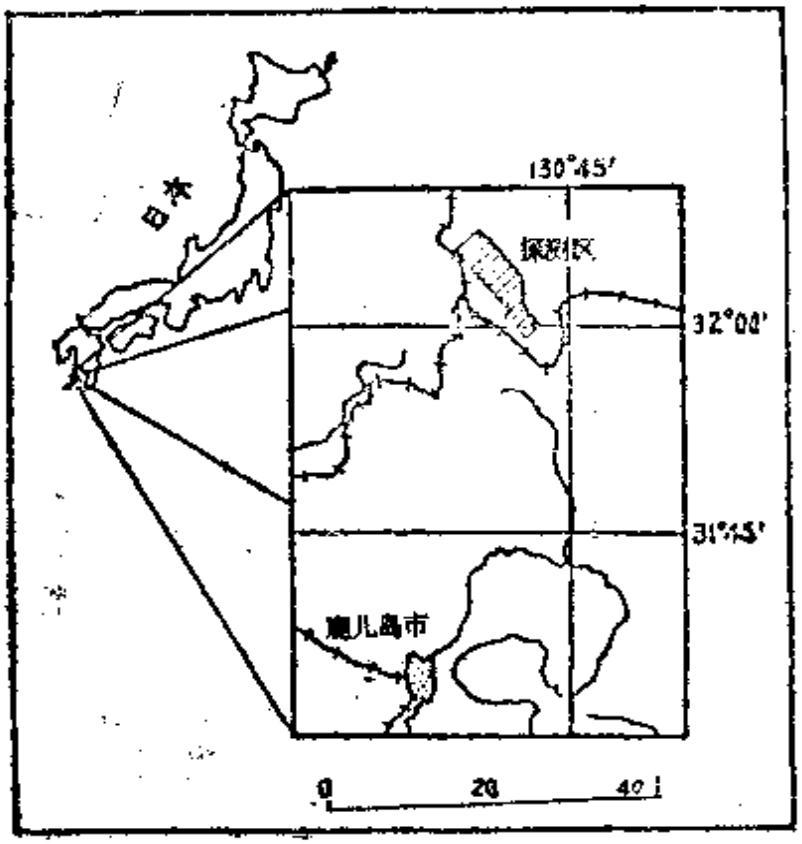


图1 直升机〔载〕电磁测量区略图

航空电磁测量结果有一部份是用视电阻率表示的。一些低阻带被认为需要进一步工作。一个最有远景的低阻带由地面电阻率法证实，并于1980年布了三个金刚石普查钻。该带位于住友(Sumitomo)金属矿山有限公司采矿租地的菱刈(Hishikari)区内。租地还包括另一个在本世纪20年代就有过开采活动的地区。

日本金属采矿协会所打的三个钻孔均见高品位金矿脉，致使钻探取得很大效果。钻探发现，在5.45m厚度内金品位竟达220g/t。1981年末，住友金属矿山有限公司又进行了总进尺6870m的18个钻孔的钻探工程。所见金的矿化程度与原先打的三个钻孔情况趋于一致。该矿金储量至少有120t。矿山开发已着手进行，预计1985年夏将全面投产。

这个发现实例提供了一个典型的勘探方法，这一方法将通过

一系列越来越集中的校准测量而趋于完善。航空电磁法勘探对确定矿体位置特别有效。其测量技术、数据分析、报告及说明正在讨论研究中。

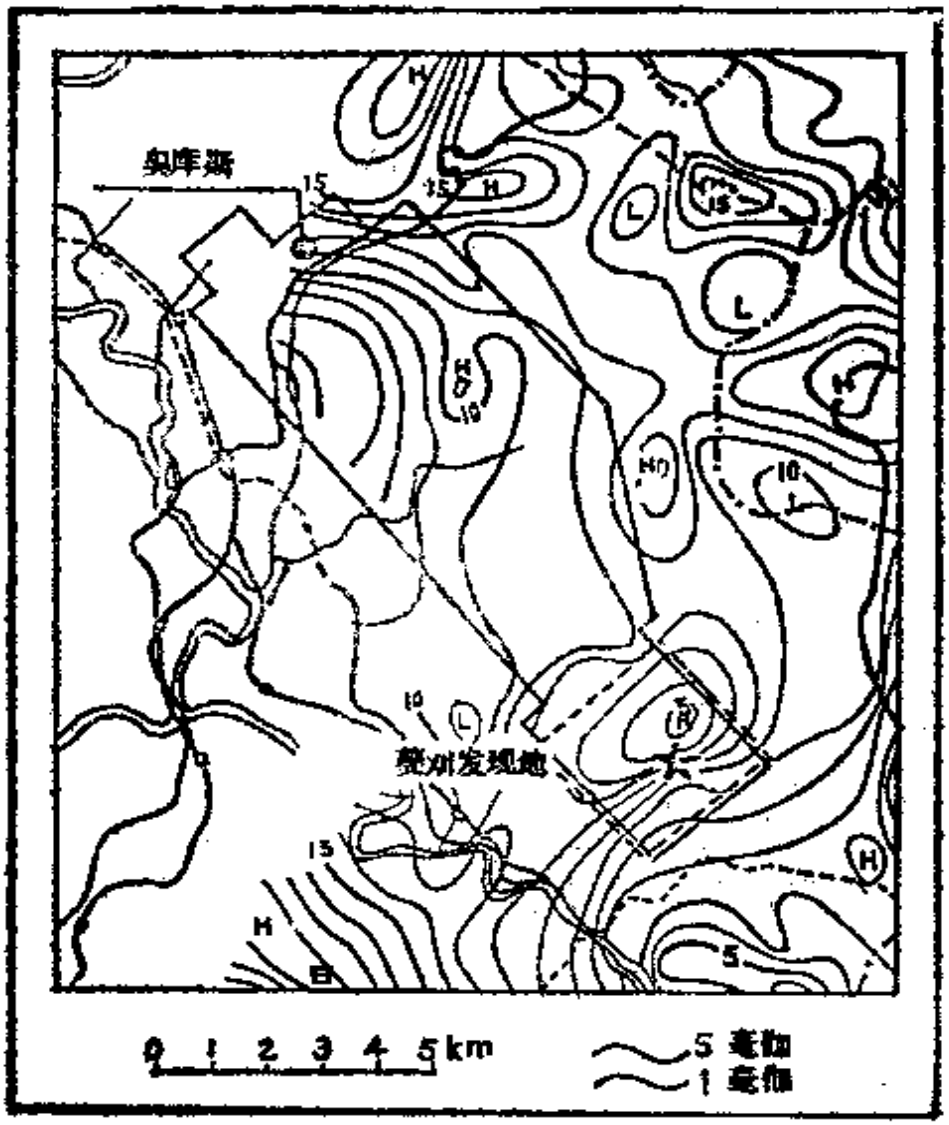


图2　航空电磁法测区布置图及区域重力布伽异常图（虚线所圈区域见图4、5、6）

二、地质概况

九州半岛上这次被发现的地区属硫球弧（Ryuku），即为

陆上中新世火山作用带的一部分。该地区既是一区域构造带（辰马，1970）又是一成矿省（中村，1970）。硫球岛弧不同于由海底火山作用所形成的比较常见的绿凝灰岩带。其内拥有著名“黑矿型”多金属及贵金属矿床。

许多金矿产于鹿儿岛西南的硫球岛弧内，金常见于低温热液石英脉中，菱刈和奥库斯是该区最典型的贵金属矿床。

菱刈金矿赋存于包含亚曼诺（Yamano）流纹岩和霍库萨楚（Hokusatsu）安山岩在内的较厚的中新世火山岩层的下面。该火山岩不整合地覆盖在中生代希曼托（Shimanto）组沉积基底岩石的上面。希曼托组主要由黑色页岩及砂岩组成。

希曼托组在该区并未出露地表。在奥库斯矿，金主要产于接近火山岩柱基底的霍库萨楚安山岩内的浅成低温热液石英脉中。高品位矿石称为“东次金”（“Toji—Kin”）。通常见于带状层序中，该层序主要包含铁镁质绿泥石、含黄铁矿及赤铁矿的石英晶簇、含带状硫化物及银金矿的细颗粒石英脉以及主要由绿泥—皂石氧化层组成的绿粘土。

该区地形起伏较大，山陡林密。海拔标高在100—300m。山谷狭窄，居民密集，温泉遍布各处。矿脉与热泉间的密切关系，早在奥库斯矿开采期间就已被广泛注意。

三、测量方法及区域选择

在奥库斯矿山的希毛希奥（Shimoushio）矿床上进行过许多地面物探方法的测量工作。威纳装置的视电阻率数据（偶极距a分别为50，100，200m）可以明显地看出地球物理场的特征。其测量结果与希毛希奥矿床的标准地质剖面见图3。由图见远离矿床上方，视电阻率大于100ΩM，在埋深约50m的矿床上方，视电阻率小于20ΩM。

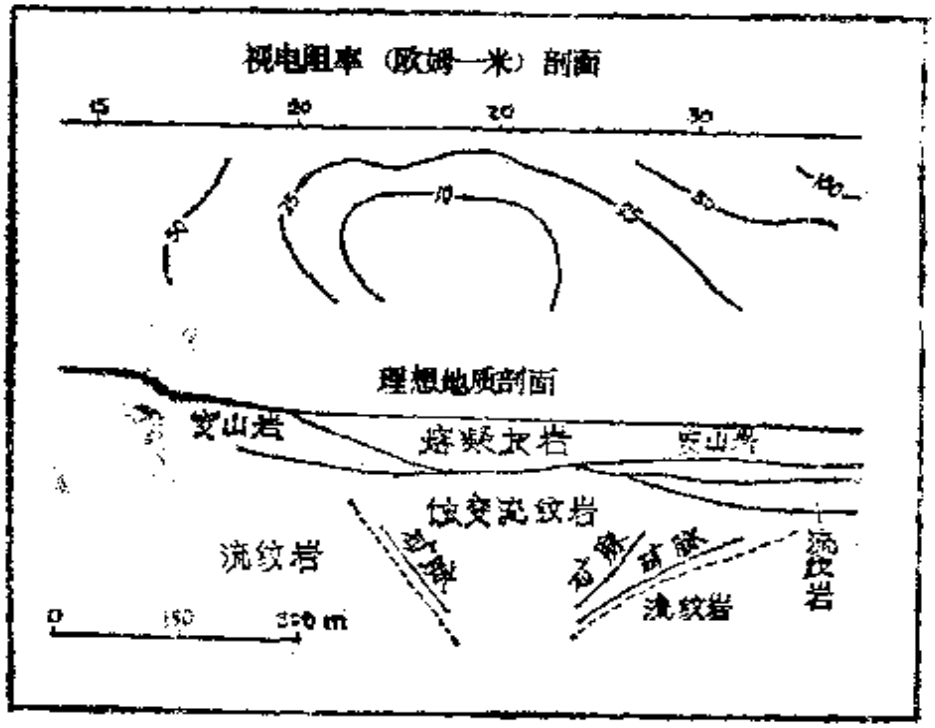


图3　奥库斯矿山希毛希奥矿床地质、视电阻率拟剖面图

矿床上的相对低阻是由围岩热液蚀变作用，特别是霍库萨楚组安山岩或变安山岩蚀变作用所引起的。

研究结果表明，在该区一定范围和深度的区域视电阻率资料可以反映希毛希奥金矿。航空电磁法完全可以解决这类地质问题。于是，日本采矿协会决定选用航空电磁法测量。测量面积近60km²（包括奥库斯矿山及其毗邻的希毛希奥矿）。测区选择在有利的构造位置，在热泉和金矿床的分布范围内。测区范围、奥库斯矿山、新发现的菱刈矿山及其区域布格重力异常情况见图2。

四、航空电磁测量

日本金属采矿协会委托先得利公司进行航空电磁法测量。该公司已于1979年底采用先得利公司HEM—802系统进行了首次

测量。

HEM—802系统及发、收线圈被安装在直升机下30m的吊舱中。发、收线圈垂直同轴相距8.5m。在接收线圈中接收总场百万分之一（ppm）的频率为735Hz及3220Hz的二次场的同相及正交分量。磁力仪亦安装在吊舱中。

探测器离地高度保持在40m。测线方向近北西—南东。线距250m。用1:25000的感光嵌镶幕日视领航。航迹用拍照在16mm电影胶卷上的景物进行恢复。用模拟和数字记录总磁场数据、离地高度、电源监控及电磁四道数据。总测线长度为250测线公里。其中包括两条重复观测的地磁/电阻率测线。

在1979年上半年，将测量数据处理成图并向日本金属采矿协会提交了一份报告。其中包括磁异常等值线图、电磁异常图、一套剖面图及视电阻率等值线图。所有成图比例尺为1:25000，视电阻率图分别由735Hz与3220Hz的数据求得。

在任何情况下，原始数据均在地面效应以外地区进行调平。附加的高低频滤波器用来消除高低频噪音。电磁根据的“调节”是数据处理过程中编制电阻率图既困难又费时的一项工作。原始数据因高低频干扰而紊乱多变。仪器漂移往往引起波长与震幅的颤动，致使“信号波段”频受严历冲击。因此，在信号与噪音分离时，须对所用系统进行客观评价。

经校正的同相及正交分量被用来推测均匀大地模型的电阻率及探测器与异常源的间距。由推测的探测器与异常源的间距减去探测器离地高度即得模型的埋深。由此求得的视电阻率用等值线的形式表示。用两条重复观测的视电阻率剖面检查调平结果。

五、解释与地面检查

测区两幅电阻率图（分别由735Hz与3220Hz数据求得的）在

特征上相似。在两种情况下，视电阻率等值线与地形等高线之间存在着一种极为密切的关系。海拔较高的茂林山区（走向与航向垂直），其视电阻率往往较高（一般为200—1000ΩM），山谷则相应较低（一般小于150ΩM）。通常，由3220Hz数据编汇的电阻率图比由735Hz数据编汇的电阻率图具有较高的精度。由高频数据绘制的等值线一般较为平滑，它与航向的突然改变关系不大。一般情况下，高频产生的响应振幅比较大。然而，不论怎样解释，都不可能避免误差。因此，在解释响应振幅较小的电阻率图时应特别谨慎。

在奥库斯矿山的希毛希奥矿床上，735Hz与3220Hz两个频率都显示明显的低电阻率。在两种情况下，矿体上方视电阻率均小于30ΩM，远离矿体视电阻率大于100ΩM。这些结果与地面电法测得结果完全对应（图3）。

由低频数据绘制的电阻率等值线与希毛希奥矿床的外轮廓线极为相似。由3220Hz数据绘制的等值线仅表示一大面积的低阻带，在矿床上方并无明显的特征。对这种效应可以这样解释，较低频其穿透深度较大，由此求得的电阻率则反映较深部的情况。从另一方面看，高频视电阻率图则反映表层电阻率，且极易受表层电阻率及其厚度变化的影响。

希毛希奥矿床上的测量结果证实了该方法的可行性，并总结出用于预测远景区的电阻率特征。于是在测区东南部距奥库斯矿山12km处确定出一类似地区。该地区视电阻率见图4（735Hz数据）和图5（3220Hz数据）。磁场等值线图见图6。

在图4中央右侧由50ΩM等值线所圈定的低阻带被认为是很好的响应，其特征见高、低频数据绘制的视电阻率图。低频特征更明显。异常位于一小山的北翼，接近北部是一横穿测区东西向的山谷，其低电阻率范围大于其长度。在图5中，勘探目标的低电阻率等值线与谷底那部分相重叠。

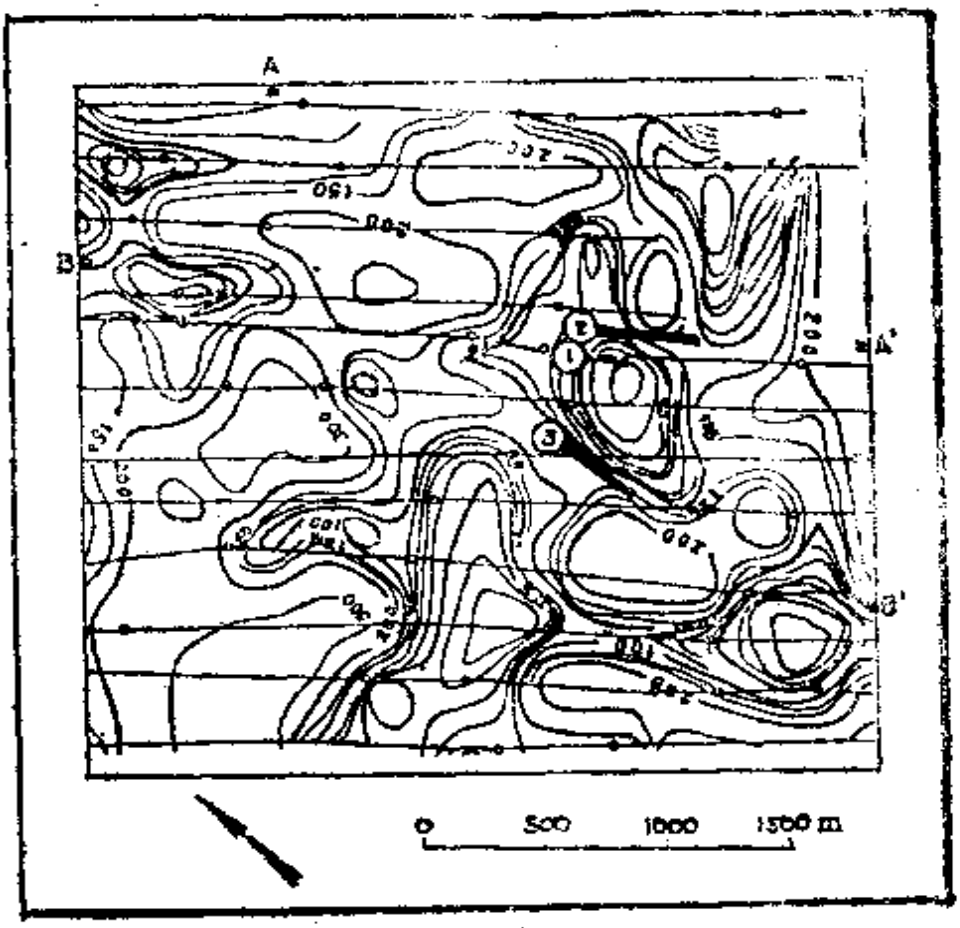


图4 735Hz数据的视电阻率等值线图（为图2虚线画的地区）（单位ΩM）

人工选择的电磁异常图比电阻率等值线图更常见，一般地都另做视电阻率图。这两种表示法都有各自的优点。但是视电阻率图可以更精确的表示电阻率的空间变化特征。在这里，为寻找重要的勘探类型矿床，视电阻率是一个比直立半平面模型的导电率还有意义的参数。

施伦贝格（Schlumberger）测深是沿图4中的点A、A′，和B、B′连线进行的。由此求得的视电阻率与航空测量的视电阻率进行比较，相差并不大。但这种比较也并不精确，其原因在于地面测得结果反映深度相对比空中大。然而，航空电磁法测量的效果仍得到了充分的证实，随后便使用钻探手段验证引起低阻带的原因。

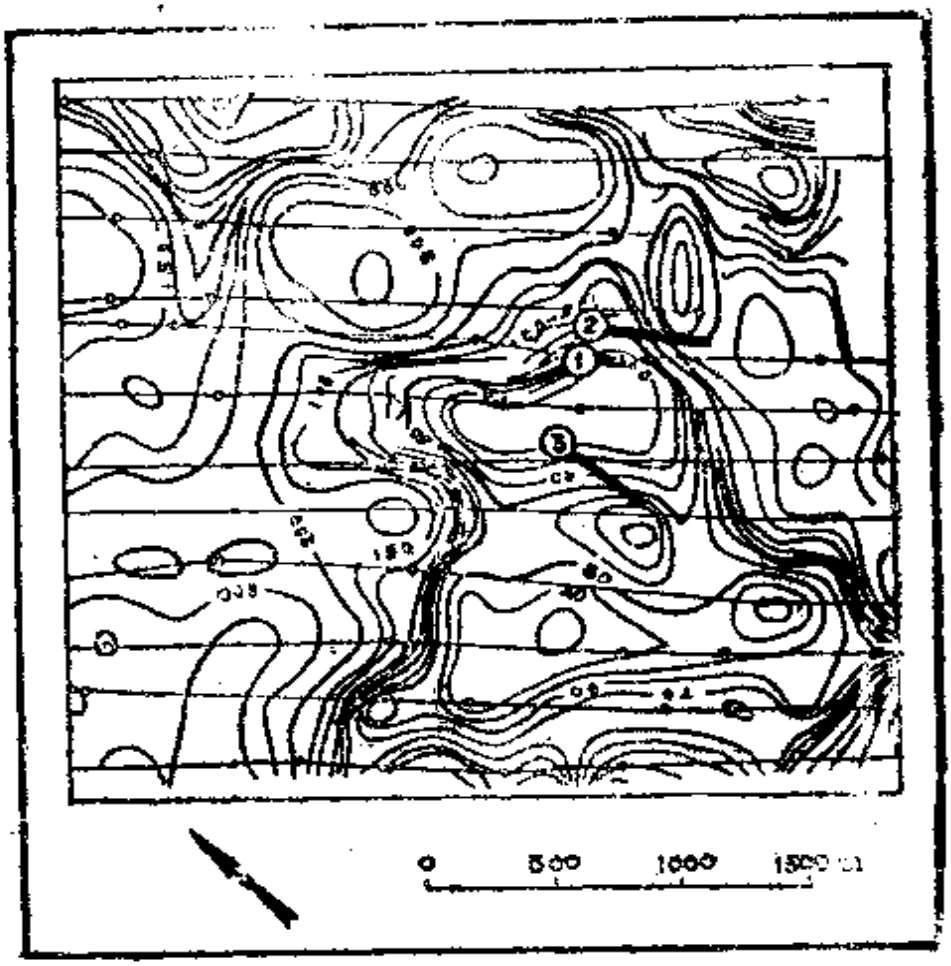


图5 3220Hz数据的视电阻率等值线图（为图2虚线画的地区）单位ΩM

值得一提的是，该带恰好处在本世纪20年代曾找过金的两个小平硐中间地段。40年代在该处又重新打了一条40m长的坑道。但工程很快被抛弃，致使发现新的矿体的希望成为泡影。所有权几经转让最后落到住友金属矿山有限公司。

六、钻探结果

1980年，日本金属采矿协会在该处低阻带上打了三个钻孔。第一钻孔DD—1，倾角40°。在地表以下110m处打到该低阻带

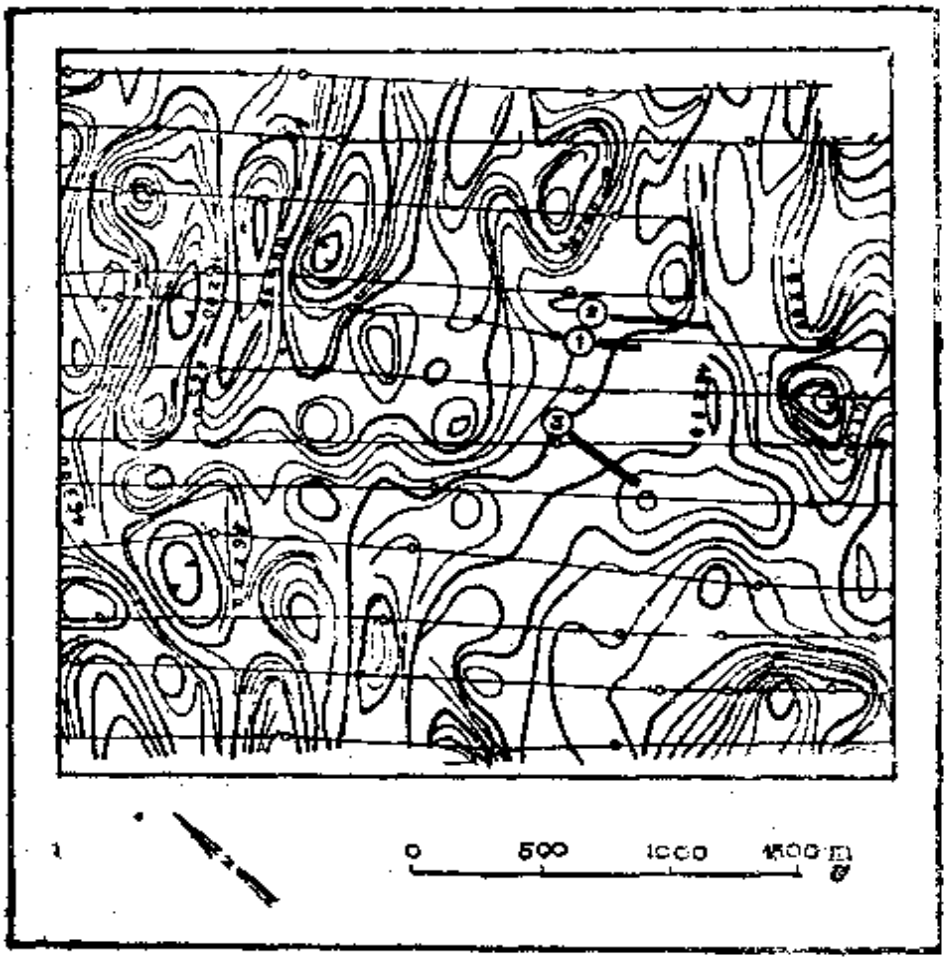


图6　航磁等值线图（为图2虚线画的地区，单位γ）

的中心部位。三个钻孔的平面图见图4、5、6。

DD—1钻孔穿过霍库萨楚安山岩内若干条低品位、窄细矿脉（图7）。这些矿脉比较薄，估计是早期勘探的目标。钻孔在深275m处钻入希曼托组沉积岩，这一结果出乎预料。人们一般认为希曼托组应处于更深的部位。在291.7m处有一厚2.5m的石英脉，其金品位竟达270g/t。矿脉呈乳白色，条带状，外观与奥库斯矿山的“东次金”矿石相似。DD—1终孔深310m。

钻孔DD—2和DD—3分别位于DD—1的东西两侧，分别以20°及40°倾角钻进并见矿。DD—3穿过若干条矿脉，均赋存于沉积岩层内。其中有一条矿脉厚5.45m，金品位220g／t，银品位

57g/t。

三个钻孔均见矿是令人鼓舞的。然而，希曼托组沉积岩接近地表，并在其内还赋存有含金矿脉却是意想不到的。

1981年，住友金属采矿公司实施了一项总进尺6870m，18个钻孔的钻探计划。在18个钻孔中均见到与日本金属采矿协会以前

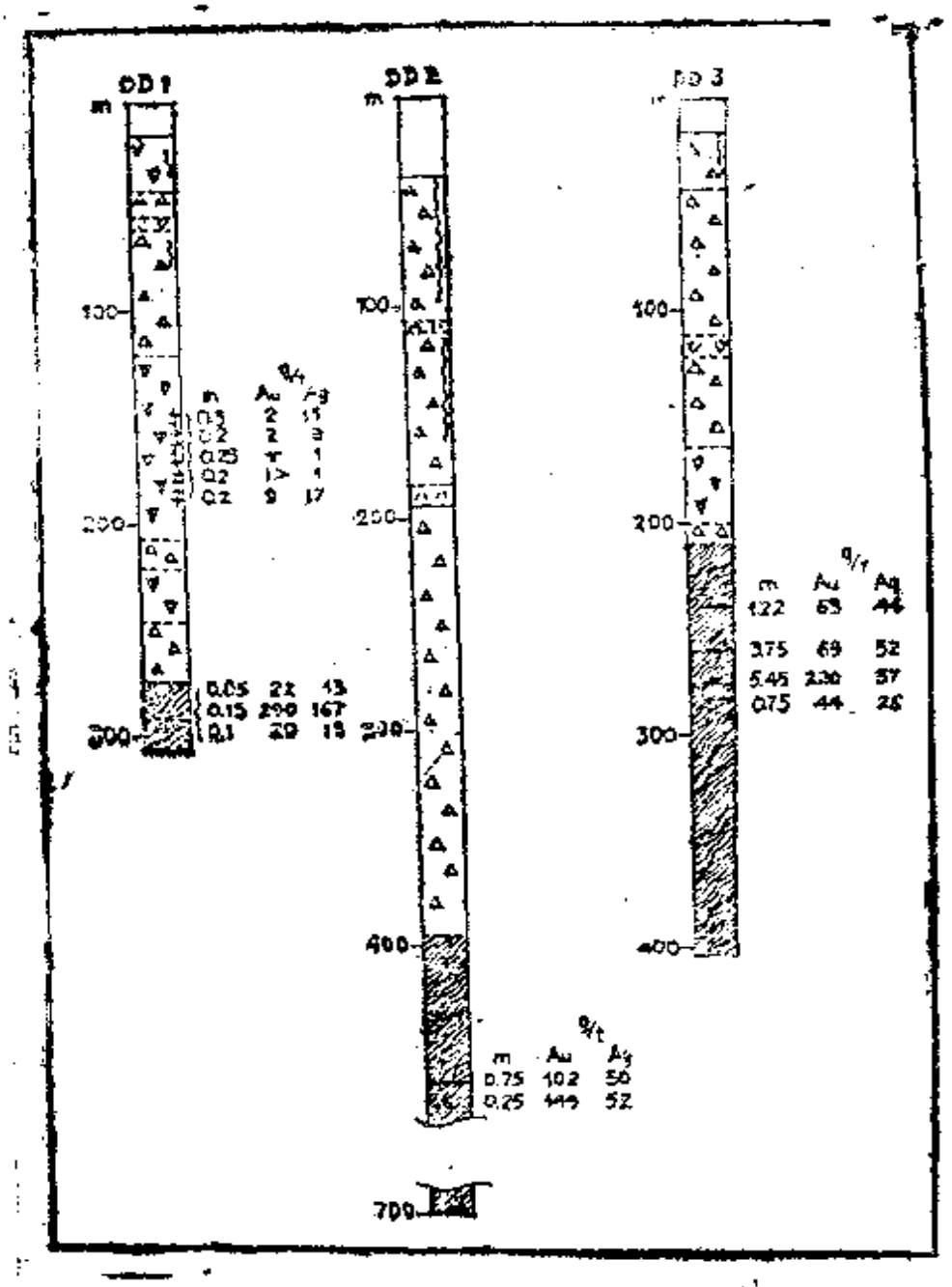


图7 金刚石钻孔DD—1、DD—2、DD—3岩芯柱状图

打的三个钻孔同样富的金矿化（1984年矿山杂志）。根据钻探结果，估算该矿金储量超过120t。由于该矿双向开采，因此，尚须更多的钻探。该矿命名为菱刈金矿，是日本有史以来最大的金矿。

七、矿山开采

两条各长2km的用于无轨开采及运输的斜井，正由住友金属采矿公司施工。预计1985年可投产。年产量约为5t，矿石平均品位80g/t。由于矿体埋深浅，矿石品位高，生产成本估计不会太高。

八、物探数据研究

物探数据被钻探验证，部份结果描述如下：

1.电磁数据 粘土蚀变带位于地表以下10m深的霍库萨楚组安山岩内(图7)。这些蚀变带被认为是引起航空电磁测量低电阻率的原因。蚀变作用与金矿的形成可能是同期的，均是矿液渗滤作用的产物。希曼托组较老的沉积岩内的裂隙为金的沉淀提供了一个良好的场所。早期仅开采了近地表的蚀变带中较小的金矿脉。

2.地磁数据 航磁等值线在铁镁质岩层内变化较大(图6)。高地形上的年轻火山岩具有较高的磁化率，山谷中较老的火山岩其磁化率较低。矿区位于相对低的磁场变化区。

3.重力数据 在矿区表现为区域重力高（图2)。希曼托组埋藏较浅，且这些沉积岩在矿区隆起便能很好解释这一现象。物性研究表明，这些沉积岩较上伏的火山岩有较高的密度，数字模拟又进一步证实，接近矿区的隆起可以引起重力高。

九、结　　论

通过对航空电阻率资料的研究应用，以及受古老和长期抛弃的金矿山已知地质条件的启发而拟定的初步勘探计划，从而发现了这一特大金矿床。希曼托组较老的沉积岩内赋存金矿及这些沉积岩埋藏较浅使在本区进行勘探成为可能。这一发现为在本地区进一步勘探提供了一很好的勘探实例。

李向东译自《CIM》1985，Vol78，№876

常西临、潘鼎飞校

选自《黄金地质科技》第一期（1986）

金银矿床交代晕的标型元素
——钾、钠、锂及其预测普查意义

近年来广泛采用航空和地面伽玛能谱法寻找金矿床，方法中除铀（镭）和钍以外，钾具有决定性意义。火山岩型低温金－银矿床上运用该法的效果较佳。已查明，此类矿床的金属矿中，金－银矿化在空间上与石英－冰长石、石英－冰长石－水云母和石英－水云母成分的钾交代密切相关。因而，与其它放射性元素异常同时存在的钾异常可作为金－银矿化的找矿标志。

文献资料描述了金－银矿床中放射性元素和碱金属的性状，如苏联东北部矿床中，在与金矿化共生的冰长石化带中，钾含量急剧增长（相对正常岩石中的2－3%，K_2O达6－8%），而钍却被带出。在中亚金－银矿床的冰长石化、绢云母化和水云母化带中也发现了钾和钍之间有类似的关系。在与冰长石化、绢云母化和水云母化有关的近矿交代岩中，钾明显富集（K_2O为6.6—7.5%）而钠明显贫化（达0.4—0.5%）。与此同时，石英－高岭土和石英－明矾石－高岭土交代岩（通常处于交代剖面柱状图中较高的矿上部分）伴随有钾的带出和钍的聚集。上述钾与钍成反相关的规律，可作为寻找近地表金－银矿床的主要标志。

此外，近年来的研究表明，这个规律并不总是存在，放射性元素和碱金属之间的关系及它们的性状表现，似乎更为复杂，有时甚至是矛盾的。例如，苏联东北部火山岩带的一个金矿床，在其与冰长石化有关的钾晕中钾与钍之间却没有任何的相关性。可以区分出钾含量不高于3—4%（与正常岩石中类似）的区域性矿前冰长石化和矿带中钾明显带入（达7—9%）、钠明显带出的局部

冰长石化，而石英脉本身形成时，则伴随着钾含量的减少。不论在交代岩或是在原岩中，钍含量都同样是低的。

在中亚的某些矿床，根据伽玛能谱资料发现了产于石英－绢云母和石英－冰长石中的钾异常，钾含量达5－7%（比原岩高2—3倍），钍、铀的含量都低（背景值）。金矿化有时与铀、钍和钾的复合负异常局部吻合，Au－U、Au－Th、Au－K之间呈反相关，而Au与K／Th及(U＋Th)／K之间为正相关。

根据Г. А. Ерема、В. П. Воробьев等人的伽玛能谱测量资料，在西伯利亚东部的金矿床中，放射性元素在分布上没有明显的规律性。仅在矿田范围内，在钍和铀含量的低背景上，圈出了不明显的弱钾异常。

以哈萨克斯坦金－银矿床为例，根据伽玛能谱测量结果说明了青盘岩化安山岩和英安岩中矿脉附近放射性元素（铀和钍）及碱金属(钾和钠)的性状。在青盘岩化建造的各种类型近矿交代岩中，上述元素的性状各不相同：

1)产于含冰长石的氯化物—碳酸盐青盘岩中的冰长石－石英脉，或产于碳酸盐－水云母及石英－水云母交代体中的石英及冰长石－石英脉，具有宽广的钾晕，而钠、铀及钍的含量则低；

2)局限在石英－叶蜡石和石英－高岭石岩石中的含金纯石英交代岩，其中铀和钍的含量比背景相对增高，而钾（10—50倍）和钠（50—100倍）急剧降低；

3）所有放射性元素（钾、铀、钍）和钠的偏低含量，都出现在石英－高岭土、石英－高岭土－叶蜡石和水云母－石英岩内的低含金石英交代岩、硅化带和石英脉中。应指出，伴随含金带的钾异常，同时具有异常低的钠含量（低10—100倍）。

碱金属元素所具有的明显的行为（以及钾钠比值）特点，可用于区分矿化和非矿化钾异常。

Л·Н·Бельчанская和И·И·Гетманский在苏联东

北部的一个金－银矿床矿脉附近的蚀变岩石中发现了同样的关系（钾富集和钠带出）。我们在同一地区金－银矿床到和金－碲型矿床的近矿蚀变岩（在矿化断面水平上）中，所得到的钾和钠含量的资料，显示了相似的结果（图1）。

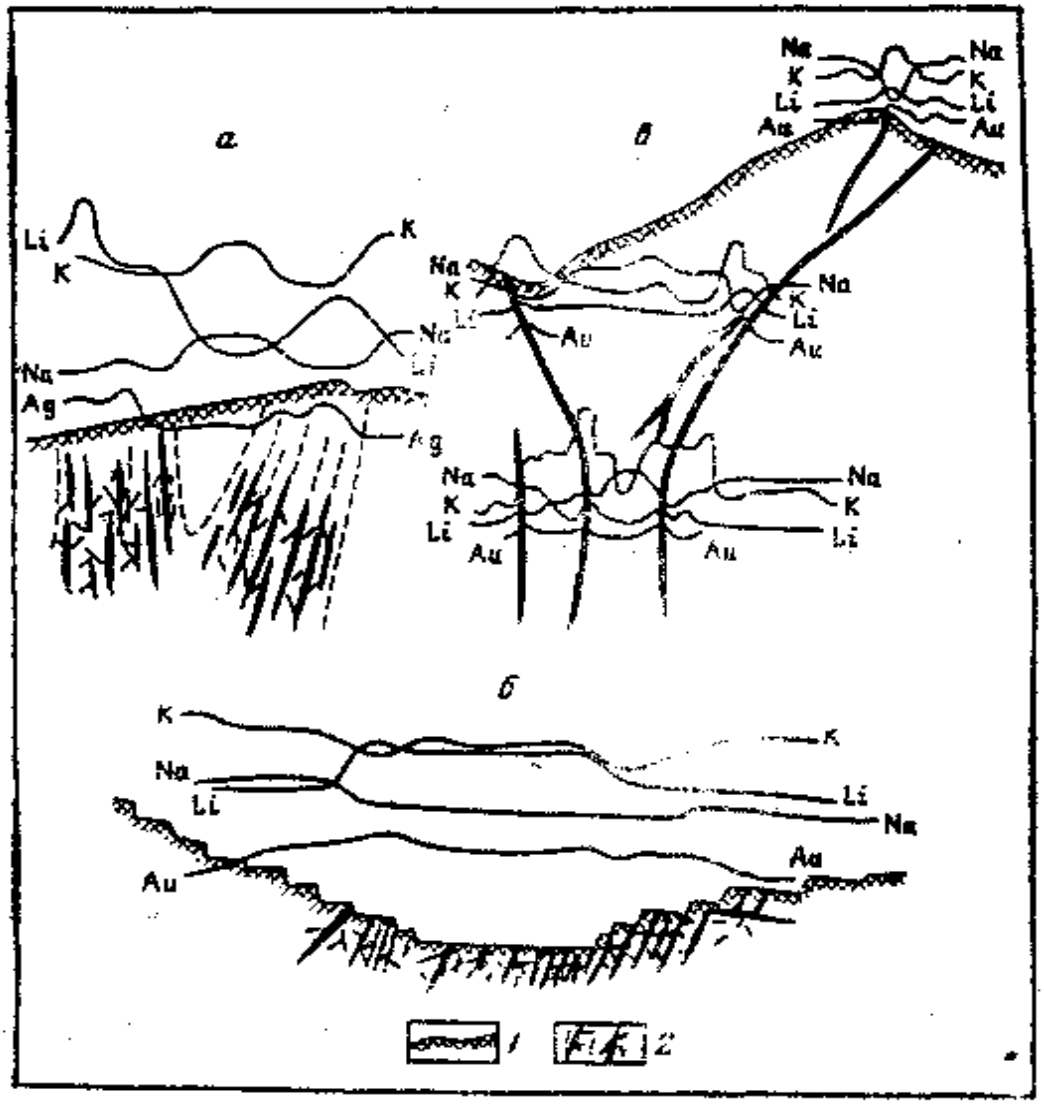


图1　不同侵蚀基准面的金－银矿床中碱金属和金（银）含量分布特征

а—矿上部分；б—矿顶部分；в—矿体部分；1—地表；2—石英矿脉和矿化带

Н·В·Петровская在西伯利亚东部一个含金矿床的研究

表明，越靠近绢云母化和冰长石化带中的含矿脉，钾含量越高，而钠含量越低。我们曾在该矿床的地表和深部的矿上和矿顶蚀变晕的硅化和高岭土化岩石中取样，分析结果表明晕内铀、钠为低含量。无矿或矿上晕的低含金的石英交代岩中，钾含量为0.05—1.5 %，钠为0.02—0.003%。在剖面上部顶层的硅化和高岭土化岩石中，钾含量有些增高（达0.4—1.9%），而钠在该层上为0.2%或更少；向下大约50—60m，钾含量增加到 2—2.5%，而钠降到n×0.1－n×0.01%。由此可见，在钠保持低含量时，钾含量有随深度增长的趋势。

在本文作者研究的银矿化显示范围内，大约在其矿上断面的强硅化岩石（石英交代体）中的一个地段上，发现钾自晕的中心部分被带出（K_2O1.5—2.5%），而钠被带出得更多（Na_2O从1—1.5%到0.01—0.02%）（图1）。在未蚀变的岩石中，它们的含量为：K_2O 5.8%，Na_2O 2.5—4%。在同一矿化点的另一地段（其剖面相当于矿顶部分）的石英—水云母交代体中发现了钾异常（K_2O 5—7%，Na_2O 0.1—0.5%）。

对近地表的金－银矿化来说，其它碱金属元素中锂具代表性。В·Д·Пампура公布了西伯利亚东部金矿床交代体中锂和其它碱金属性状的第一批资料。锂和铯含量的增高晕在空间上明显地反映了近脉粘土化带。高岭土是锂的主要载体（Li_2O达0.07%），锂的最高含量产于高岭土化带中。石英－水云母交代体中锂含量相当低，相当于水云母中的含量（0.01—0.02%）。相反，铯在水云母化带中则富集（0.001— 0.008%）（表1）。

较晚些的著作中指出，在所研究的矿床中，锂不仅浓集在高岭土中，还在迪开石间蒙脱石中发现了混染层状的含锂矿物。在热液蚀变岩石和含金－石英脉中，有混染层状锂绿泥石－蒙脱石，Li_2O含量达1.27%。它一般出现在与其它泥质矿物－水云母高岭土、有时还有绿泥石的混合物中。在另外一个金矿床的热

表1　高岭土化带矿物中元素的平均含量

交代体	矿物	%		g/t				K/Na	K/F	Li/Cs	Cl/F
		K	Na	Cs	Li	F	Cl				
石英－高岭土－多水高岭土（剖面的上部）	高岭土 多水高岭土	2.92	0.10	44	500	1400	2350	19.6	12.6	412	0.95
石英－水云母（剖面的下部）	水云母	5.53	0.22	90	200	1350	7500	24.1	27.0	70.5	3.67

液蚀变酸性喷发岩中发现了混染层状泥质矿物——锂迪开石间蒙脱石（$Li_2O=0.90\%$）。

作者在苏联东北部和西伯利亚东部一系列金－银矿床的近矿蚀变岩中测定了锂的含量。分析这些数据表明，对矿化出露地表的矿床来说，锂含量通常不超过$n\times0.001\%$，偶而为（1－5）×0.01%。未出露地表矿床的矿上晕中，锂浓度相当高(图1)。如在作者研究之银矿的一个地段，在矿上断面上部的蚀变岩石中，发现有明显的锂晕。在研究粘土和云母矿物的微粒组分时，用X－射线分析和其它方法确定有锂绿泥石，并推测有锂绿泥石一蒙脱石类型的混染层状矿物。这些矿物在热液蚀变岩中，沿裂隙呈薄膜状伴随硫化物和石英细脉产出或与白云母、高岭石和其它泥质矿物形成混合物。

表2　热液蚀变岩石中泥质物和矿物中碱金属元素含量（%）

样品特征	Li	Rb	Cs	Na	K
微粒白云母（水白云母）	0.0050	0.067	0.0034	0.06	5.96
同上	0.0068	0.064	0.0061	0.06	5.28
〃	0.0072	0.039	0.0038	0.06	5.08
〃	0.0090	0.051	0.0040	0.08	4.35
〃	0.0098	0.065	0.0040	0.05	5.52
〃	0.0039	0.130	0.0048	0.07	8.40
锂绿泥石	0.18	0.0073	0.0042	—	0.71
〃	0.058	—	0.0017	0.02	0.16
泥质物（混合物）	0.0060	0.0022	0.0013	0.08	0.28
与其它矿物之混合物中的微粒白云母	0.017	0.043	0.0078	0.03	5.25
泥质云母组分（采自破碎带）	0.014	0.029	0.023	0.04	0.71

强粘土化岩石	0.0076	0.023	0.0014	0.91	3.47
多水高岭土（？）	0.0022	0.0016	0.0032	—	0.04
钙铝氟石	0.00075	0.0009	—	—	0.13

·在БГГЭ 物理-化学方法实验室中火焰光度法完成的分析。

表2 中列出了该矿床近矿蚀变岩石的泥质组分中碱金属元素含量的资料。从中可以看出锂绿泥石中的锂含量最高（0.058—0.18%）。在白云母中锂具低含量（水云母 0.0039—0.0098%），而钙铝氟石和多水高岭土（二者看上去是表生成因）中锂和其它碱金属的含量最低（0.002—0.0007%）。其余组分属各种泥质矿物的混合物。因此，在研究的矿床中，晕中锂含量的增高，首先与蚀变岩中存在锂绿泥石有关，也可能与锂绿泥石－蒙脱石的混染层状矿物有关。

金矿床热液蚀变岩中铷和铯含量和性状的资料不多。在粘土化带中发现强碱（含铷和铯）的积累，并且铯主要聚集在剖面下部的水云母交代体内（表1）。

结　论

1.研究了金－银矿床交代体垂向剖面中钾、钠、锂的分布，对比了晕中三元素含量与侵蚀断面水平之间的关系，确认了碱金属钾、钠、锂是金－银矿床交代晕的标型元素。矿上晕的上部（次生石英岩、石英和石英－高岭土交代岩）的特点是钾、钠的含量低和锂的浓集。矿化区范围内广泛发育钾交代作用（冰长石化、绢云母化和水云母化），在这里，钾浓集，钠带出，而锂含量低一个数量级。

2.碱金属元素的绝对含量及其比值可作为确定侵蚀断面水平和预测矿化深度的标志。对露出地表的矿床来说，矿化断面的特点是钾的浓度高（达 5—6% 或更高）和锂的含量相对低

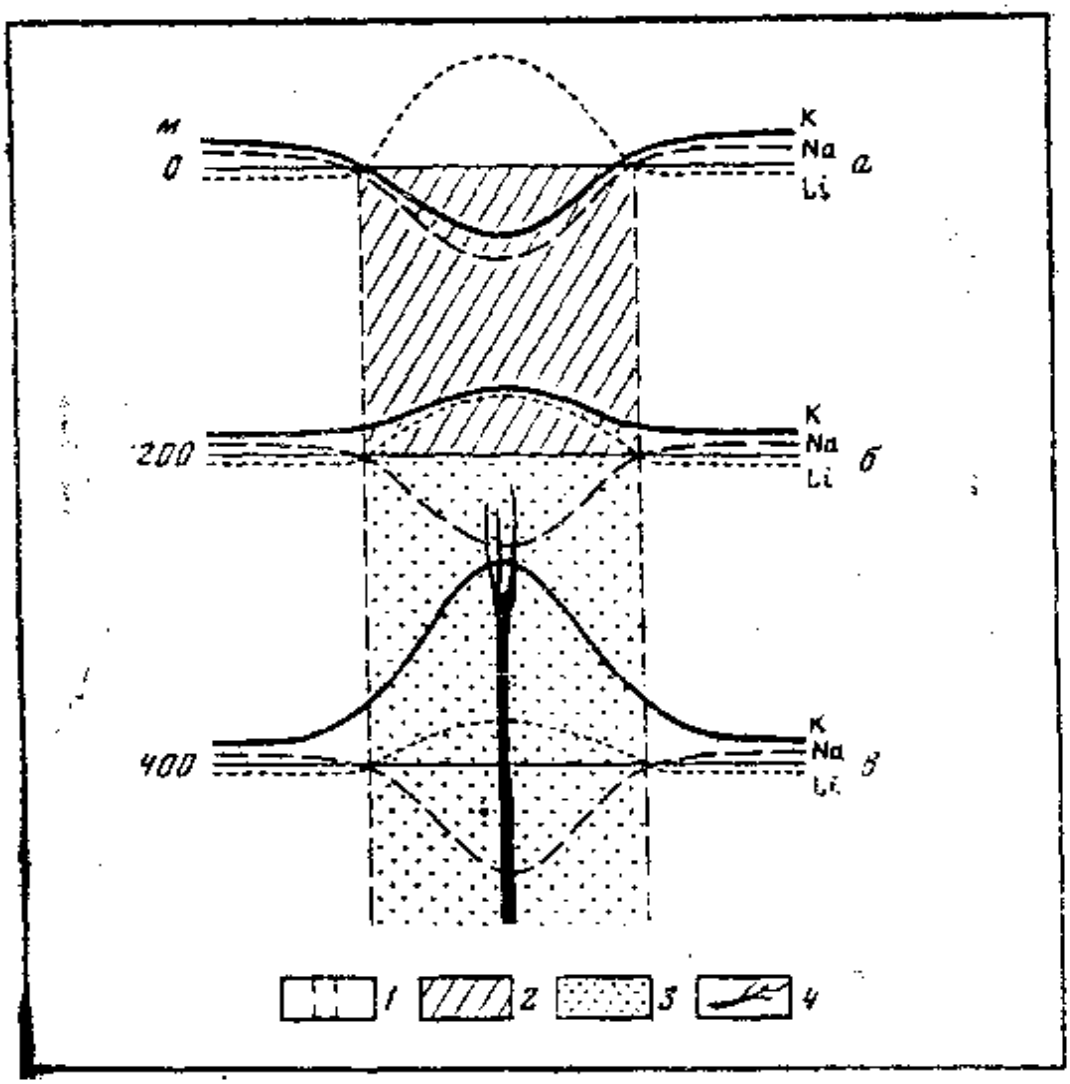


图2 金—银矿床近矿交代体分带和碱金属性状与侵蚀断面水平关系的综合示意图

（а—矿上部分；б—矿体上部）B—矿体）

1—热液蚀变岩轮廓；2—硅化和高岭土化岩石（次生石英岩的矿上带；3—含矿粘土化岩石带（水云母化、绢云母化、冰长石化等）；4—矿脉

（n×0.001%，很少达(1—5) ×0.01%。对未出露地表的矿床来说，矿上晕的特点是钾的最低含量（一般<1—3%）及锂的最高含量，钠形成负异常（明显带出，达n×0.1－n×0.01%）。

3.上述资料可补充和扩大现有航空及地面伽玛能谱寻找金－

银建造矿床的原则（图2）：

（1）根据明显的钾的正异常仅能确定出露于地表（矿化侵蚀断面）的矿床；

（2）必须确定局部性钾的负异常—这是未露出地表（矿上侵蚀断面）矿床的特征；

（3）仅仅部分出露于地表（矿顶侵蚀断面）的矿床，一般无明显的钾异常，在航空伽玛能谱测量时可能被漏掉。

在用地面地球化学测量对航空伽玛能谱发现的钾异常进行分类时，除其它元素外，钠和锂也能够起重要作用，它们二者可指示成矿远景地段。在矿化范围内，钠表现为明显的负异常，锂则为正异常。

参考文献　略

孟瑞曼　李育敏译自《Геохимические Методы при Поисках Скрытого Оруденения》

陈晓秦校

如何选择金矿床坑探取样的最优方法

Ю. А. 巴库林等

提高金矿床地质取样的效率和可靠性具有头等重要的意义，因为现在投入勘探和开采的矿床有许多是贫矿床和地质界线不清楚的矿床。取样原始资料的可靠性对确定金属平均品位和矿体大小的准确性以及对有用组份储量计算的确实性，都有决定性的影响。为了提高地质取样的可靠性，必须选择样品采集和制备的最优方法，为此就要在每一个取样对象上布置试验工作和检验工作。在检验工作中常常采取大断面大重量的全巷、剥层或刻槽取样。

我们在许多矿体成因和形态、物质成分和矿物成分、矿石结构、构造和物理－力学性质、有用组份分布情况以及其他地质特点彼此均不相同的矿床上，收集了一些有关坑探工程普通取样、试验取样和检验取样的实际材料（表1）。

根据对这些矿床的实际材料进行的分析，提出以下意见。在所有的矿床上，可以利用人工刻槽法（刻槽的断面为10×3cm或10×5cm）作为普通取样方法，检验样品常常可用全巷样品（10—13个样品），以及与大断面剥层样品和刻槽样品配套的全巷样品。检验取样的工作量和工作方法与矿体地质特点和矿化性质没有什么依从关系。检验样品样本的平均品位估计误差有很大变化（3.9—43.9%）。这个数值小于10%的情况，可用检验工作量不足来解释。每个检验样品的品位，在三个矿床上是用一个部分样品确定的，而在另外四个矿床上是用4、6、16和20个部分样品确定的。部分样品只用来提高检验样品本身品位的估计准确性，而

无助于降低检验样品整个样本平均的估计误差。因此，在九种情况下，普通样品样本的均值估计误差小于检验样品样本的均值估计误差（在一个检验样品取样区间采取几个普通样品的情况）下。相互比较的样本中见到的均值偏差（按“学生”准则）的系统特征只能在均值相对差大于误差值的情况下查明。为了在相对差为10—15%的情况下确定平均品位偏差的性质（是偶然误差还是系统误差），相互比较的样本的容量应保证平均品位的估计误差不超过10%。在所有的矿床上，检验工作要在矿床勘探的最后阶段进行，这能证实用所选用的方法的依据，但这就不能采用更合理的（最优的）普通取样方法。

在金矿床上，为了使平均品位的估计准确性达到5—7%，样本容量必须为100—1000个样品。为了达到这样的准确性，需要增加检验样品（一般是全巷样品）的数量和用4—8个或16个部分样品（具体数量视矿化变化程度而定）确定其中有用组份的品位，并用部分样品来估计检验样品样本的平均品位。这会大大增加检验工作的数量、成本和工期。我们提出了一种检验和选取普通取样最优参数的新方法。这种方法正在几个矿床上进行验证，以采取普通和检验样品过程机械化为基础。

在拟定进行检验工作的坑探工程地段，要仔细清扫坑道壁，标出用ИП－6401型取样器取样的地段，然后分别采取3—10个（视矿化变化程度而定）相邻刻缝取样（断面为3×5cm）。每个刻缝样品要分别制备和分析。先将每个样品材料磨碎到－1.0mm，然后将它分成两半。一半经制备后作分析用，另一半和这一段坑道的其他刻缝样品的同样材料合并，组成检验样品。将合并样品仔细混匀，分成4、8或16个部分样品，然后作为独立样品进行分析。

刻缝部分样品也可用其他方法进行合并，即不用样品材料而用其分析结果进行合并。在这两种情况下，我们得到了相同的数

表1

矿床形态类型	矿床编号	金的存在形式和金粒大小	取样方法					样本的统计特征				
			检验取样方法（Ⅰ）			普通取样方法（Ⅱ）		平均品位估计值（假定单位）		平均品位估计误差（%）		平均品位估计的相对差（%）
			方法	样品数	一个检验样品的部分样品数	方法	样品数	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	
脉型矿体	1	游离金，可达2mm，分散金，在硫化物中	全巷法	13	20	刻槽法，10×5cm	26	24.5	22.9	43.9	29.9	-6.5
			剥层法，50×5cm	72			72	41.1	36.7	18.3	20.0	-10.7
	2	游离金，0.1—2.0mm	剥层法，50×5cm	24	4	刻槽法，20×5cm	93	11.4	11.7	40.6	24.6	+2.6
						刻槽法，20×3cm	93	11.4	11.7	40.6	18.0	+2.6
	3	游离金，0.008—0.1mm	全巷法	10	16	剥层法，40×5cm	38	32.2	33.2	23.7	12.1	+3.0
			剥层法，50×5cm	42	4	刻槽法，10×5cm	76	32.2	27.5	23.7	9.3	-14.7
						刻缝法，3×5cm	190	32.2	32.1	23.7	6.4	-0.4
						刻槽法	42	12.0	10.7	12.7	13.8	-10.8
						刻缝法，3×5cm	118	12.0	9.8	12.7	8.5	-18.5

续表

矿床形态类型	矿床编号	金的存在形式和金粒大小	取样方法						样本的统计特征				
			检验取样方法（Ⅰ）			普通取样方法（Ⅱ）			平均品位估计值（假定单位）		平均品位估计误差（%）		平均品位估计的相对差（%）
			方法	样品数	一个检验样品的部分样品数	方法	样品数		Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	
脉带和矿化带	4	游离金，可达0.2mm	合并刻缝样品，9×5cm	132	1	刻槽法，10×3cm	132		2.5	1.7	39.6	25.8	-32.8
						刻缝法，3×5cm	396		2.5	2.6	39.6	21.6	+1.5
	5	游离金，0.001—3mm	机械化刻槽法，20×5cm	57	1	刻槽法，10×5cm	57		3.4	2.7	12.5	16.7	-20.6
						刻缝法，3×5cm	57		3.4	3.4	12.5	13.2	0.0
	6	游离金，小于0.1mm 分散金，在黄铁矿中	全巷法	477	4+2，包括初步重选	刻槽法，10×5cm	477		2.7	2.5	3.9	4.7	-8.1
						岩心取样	477		2.7	2.5	3.9	6.7	-8.1
	7	分散金，在黄铁矿和毒砂中。 游离金，粉尘状，金的碲化物	全巷法	54	1	刻槽法，10×5cm	54		5.0	5.1	8.7	7.4	+3.0
			刻槽法，30×15cm	72	1	刻槽法，10×5cm	72		5.6	5.9	6.1	6.4	+5.4
						刻槽法，5×3cm	72		5.6	5.9	6.1	7.6	+5.4

据，4号矿床的132个抽样结果的对比数据证明了这点（表2）。

表2

指　标	金		银	
	合并样品	平均品位	合并样品	平均品位
平均品位（假定单位）	2.53	2.57	526.7	513.6
平均品位估计误差（%）	39.6	43.5	17.4	17.8
变化系数	455	500	200	199
平均品位估计的相对差（%）	1.5		2.5	
费希尔准则	1.24		1.06	
"学生"准则	0.02		0.02	

用这种方法检验的效果比用全巷样品检验的效果好，这已得到在3号矿床取得的数据的证实。在这个矿床上，在采取了10个全巷样品的地段采取了20个刻缝样品（刻缝断面3×5cm）在每个壁上各采取了10个相邻刻缝样品（总横断面30×5cm）。

每个全巷样品的重量为4—6t。将样品破碎至－50mm，仔细混匀，缩分至800kg，分成四个样品，每个200kg。然后将样品磨碎到－3mm，四分后再缩分成每个重7.5—8.0kg的样品。然后将样品用辊式破碎机磨碎至－1—2mm，缩分成1—1.5kg，再研磨至－0.07mm，分成两半，一半送实验，一半作为副样。对每个部分样品要用两个称样进行试金分析，每个称样的重量是50g。这就是说，全巷样品的品位是根据16个部分样品测定的。

每个刻缝样品（重3.5—4kg）要磨细到－1－2mm，样品

制备和分析方法与检验样品的部分样品相同。对取样结果的比较表明，每个全巷样品品位的估计值都很准确：单个样品品位的估计误差0.8—3.7%，标准差1.0—4.4个单位。变差系数3.1—14.9%。在每一个单个取样段内根据刻缝样品估计品位就不太准确，平均品位估计误差高得多（3.3--30.5%），标准差大得多（3.92—29.4个单位），变化系数也大得多（15—136%）。平均品位估计的准确性有这样大的差别，原因是在第一种情况下部分样品取自大重量全巷样品的经过磨碎和仔细混匀的材料，而在第二种情况下部分样品是在全巷样品取样段内个别采取的样品，因此表明在取样段内品位是有变化的。

将两种取样方法的样本比较后，大体确定二者的数字特征相等：平均品位估计误差为5.8%和6.6%，平均品位估计的相对差为3.86%，变化系数实际上等于70%和68.5%；费希尔和“学生”准则值证明所比较的两个样本的特征值的偏差不大。要指出的只是刻缝部分样品样本的标准差和变化系数分别增加到28.7个单位和38.4%，这进一步说明在取样段内所观察到的矿化变化确实存在。

用我们推荐的这些方法采取和加工一个检验样品所花费的劳动要比在全巷取样过程中花费的少得多，工人花费的劳动少7/8，工程技术人员少3/4 。这就大大缩短了检验工作的时间，降低了检验工作的成本。

为了弄清楚用这种检验方法能否确定检验样品和普通样品的最优参数，即取样段内刻缝部分样品的数量和普通样品的合理断面和重量，我们进行了分析计算。计算是以3号和8号矿床为例进行的，8号矿床矿体是些狭长的强烈片理化岩石带，含厚度和长度不同的石英脉和细脉系。金主要是游离的，从细分散的到粗粒的，只见于石英脉和细脉中。金在矿体中分布极不均匀，品位变化系数为200—400%。普通取样是用断面为10×5cm的刻槽进行

的。此外，在19个取样段中还采取了断面为3×5cm的相邻刻缝样品，每个取样段各取6 个样品。样品是分别制备和分析的。在组成不同横断面样品的样本时，只合并了相邻刻缝样品（分析结果）。就是说，8号矿床的样本由六种横断面（90、75、60、45、30和15cm²，相应地，每个断面各1、2、3、4、5和6个平行样本）的样品组成。

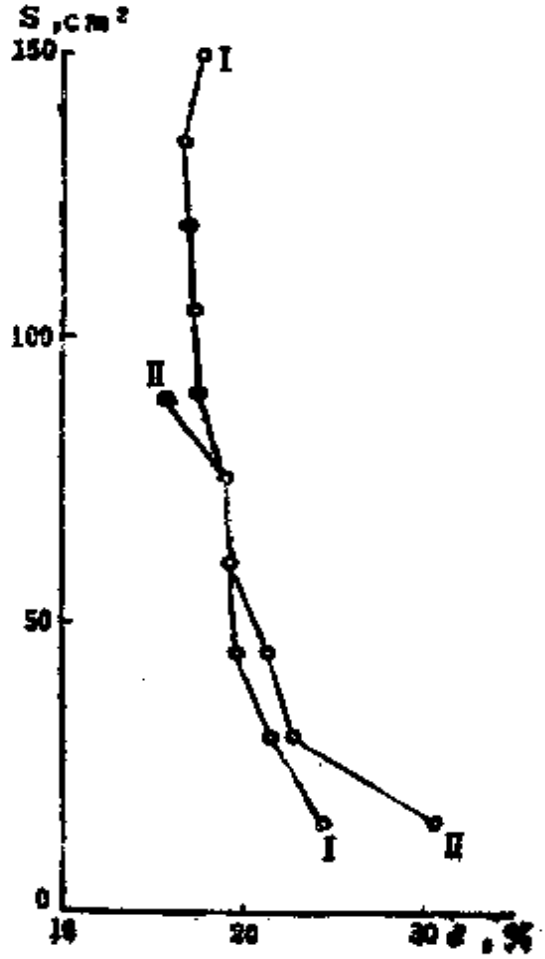
表3

假定的取样横断面（cm²）	平行样本数	样本的极限统计特征			
		平均品位估计值（假定单位）	平均品位估计的标准差（假定单位）	平均品位估计误差（%）	平均品位估计的相对差（%）
		3 号 矿 床			
150	1	32.4	23.41	10.04	
135	2	31.9；32.6	22.64；23.05	16.74；16.68	−1.54—+0.62
120	3	31.6—33.2	22.26—22.97	16.32—16.84	−2.47—+2.47
105	4	30.2—34.2	21.6—23.99	16.96—16.87	−6.79—+5.56
90	5	29.2—35.8	20.97—25.44	16.03—17.03	−9.88—+10.49
75	6	28.6—36.2	20.69—27.27	15.98—18.40	−11.73—+11.73
60	7	27.4—37.3	20.73—29.64	16.10—18.79	−15.43—+15.12
45	8	26.1—37.6	20.35—29.69	16.56—19.87	−19.44—+16.05
30	9	25.5—38.8	19.34—29.17	17.67—21.67	−21.3—+19.75
15	10	24.9—41.0	18.47—35.08	17.49—24.62	−23.15—+26.54
		8 号 矿 床			
90	1	4.94	3.54	16.44	
75	2	4.97；5.05	4.03；3.51	18.60；16.94	+0.61；+7.23
60	3	4.75—5.07	3.84—4.07	13.37—19.66	−3.85—+2.63
45	4	4.92—5.06	3.78—4.72	17.13—21.87	−0.40—+2.43
30	5	4.68—5.24	4.16—4.69	19.30—22.98	−5.26—+6.07
15	6	4.27—5.48	3.54—6.16	19.01—30.86	−13.56—+10.93

3号矿床是浅成热液金－银矿床，属脉型，矿石和围岩裂隙度高，给取样工作造成很大麻烦。矿脉是石英、石英－冰长石和碳酸盐－石英质的，组成长而宽的脉系。矿石构造不一。金和银的分布不均匀，品位变化系数可达100%。金是游离的，粒细。普通取样是用断面为10×3cm刻槽进行的，每段长1m。和8号矿床一样，3号矿床的样本由10种刻缝样品组成，每种样品的横断面面积为15—150cm²（表3）。

已得到的全部试验资料都用标准数理统计方法进行了处理。已发现的偏差性质用“学生”准则进行了检验。样本的某些指标如表3所示。表3中表示的只是断面大小相等的平行样本特征的极限值（最小值和最大值）。在两个矿床上作为标准（检验）样品的都是断面最大的样本，即由每个取样段的所有刻缝样品组成的样本。尽管在个别样本中平均品位估计的相对差很大（可达20—60%），但根据“学生”准则检验未发现估计平均品位的系统误差。在74次中只有4次在（8号矿床的）单个刻缝样品样本中发现离差较大（显著性水平为5%）。即使在这些样本中也未发现平均品位估计的系统误差。这说明在3号矿床上可以用横断面为3×5cm的单个刻缝样品作为普通样品。在8号矿床上似乎不宜采用这种断面的样品，因为并不是所有的样本都具有离差相等的条件。在这种情况下，比较可靠的样品断面应是6×5cm，因为所有的这种断面的检验样品的样本都保持平均品位离差和估计值相等的条件。

选择检验样品最优断面的基本指标是确定相互比较的样本中平均品位的误差值。从表3和附图曲线Ⅰ可以看出，3号矿床横断面为150、135、120、105和90cm²的检验样品的样本，确定平均品位的极限误差大体相等，再缩小横断面（缩小到75cm²或更小）误差就会逐渐增大。因此，90cm²是检验取样的最优断面。在8号矿床上（图），未能使误差稳定下来。为此必须增加该取



平均品位确定误差δ与样品横断面面积S的关系

Ⅰ—3号矿床；Ⅱ—8号矿床

样段中刻缝部分样品的数量。

采用我们所推荐的检验和选择样品最优参数的方法：

（1）可以使检验样品的取样过程机械化，从而大大减小劳动强度，缩短工作期限，降低工作成本；

（2）可以在短期内以最小的代价采取检验样品，而且其数量足以在允许误差范围内估计平均品位；

（3）可以在取样时利用ИП－6401型金刚石刻缝取样器，从而能保证对取样深度和宽度进行严格控制，也能保证取样的质量和可靠性。

（4）可以用对比不同横断面样品的样本特征的方法选择普通和检验样品的最优断面和重量。

为了提高估计检验样品样本平均品位的准确性，应当用2、4、8或16个部分样品估计每个样品的品位，并根据这些部分样品来确定检验样品样本的容量。检验工作的最低工作量应保证平均品位估计误差不大于10%。

林强译自《Разведка и охрана недр》，1985，№3

选自《国外地质科技》第一期（1986）