

732986

石英脉和蚀变岩型金矿床

地球化学异常模式

李 惠 编 著

21

科学出版社

石英脉和蚀变岩型金矿床 地球化学异常模式

李 惠 编 著

科 学 出 版 社

1991

内 容 简 介

本书论述了典型石英脉型、蚀变岩型金矿床的成矿地质地球化学背景和矿床地球化学分带特征,建立了典型金矿床的热晕模式和地球化学异常分带模式。作者总结出了我国石英脉型、蚀变岩型金矿床地球化学异常分带的理想模式,得出了地球化学找金的最佳指示元素组合、异常评价方法,提出了寻找盲矿和判别金矿蚀蚀程度的一系列标志、定量预测指标及数学模型。

本书内容丰富,具有重要的理论意义和实用价值,可供从事金矿地质找矿和科研人员、化探和物探工作者及大专院校有关专业的师生参考。

石英脉和蚀变岩型金矿床 地球化学异常模式

李 恩 编 著

责任编辑 衣晓云

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1991年4月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1991年4月第一次印刷 印张: 5

印数: 0001—1350 字数: 104 000

ISBN 7-03-002257-2/P·456

定价: 5.00 元

序

地球化学探矿已成为地质工作中找金矿的重要手段,是一种经济、快速、有效的方法。通过地球化学探矿已发现了大量的金矿床,成绩十分突出,效果也非常明显。它在找金矿方面的作用,已被广大地质工作者所肯定。

80年代以来,随着找金事业的发展,地表露头矿越来越少,盲矿已逐渐成为主要寻找对象,地球化学探矿也就显得格外重要。

在目前的找金热潮中,我国每年都要对几十万平方公里的区域进行各类化探找金工作,发现的异常数以千计,对这些异常都需要进行准确的评价和判别,以便更有效地指导盲矿的找矿勘探工作。为解决这些问题,研究和建立金矿床的成矿模式和地球化学异常模式已引起了地球化学家们的重视。研究典型金矿床的地球化学分带规律,建立典型金矿床的地球化学异常模式是解决地球化学找盲矿的关键。

近几年来,冶金工业部地球物理勘查院物化探研究所对山东、河北、广西、内蒙古等地一些典型金矿床的地球化学异常模式进行了深入研究和总结,取得了可喜的成果,并在此基础上,广泛收集了国内同类研究的成果,编写了本书。

本书介绍了7个典型金矿床的地质地球化学背景,金矿床的地球化学分带规律和地球化学异常模式的特点;研究了各典型金矿床的共性和特性;建立了我国石英脉型、蚀变岩型金矿床地球化学异常分带的理想模式;提出了一套找盲矿和判别金矿剥蚀程度的地球化学标志和数学模型,对地球化学找金具有重要的理论意义和实用价值。

本书介绍的典型金矿床地球化学异常模式所体现的研究思路、方法和技术,对进一步系统研究和建立我国主要类型金矿床的地球化学异常模式具有重要参考价值。

我们应该感谢本书的作者以及许多为本书的编写、出版提供资料和付出辛勤劳动的同志,他们提供了一本很有价值的参考书。我们希望,本书的出版将对我国找金事业的发展起到进一步的推动作用。

国家黄金管理局

周传新

1989年11月1日

前 言

国内外金矿勘查的实践表明,化探找金是一种经济、快速、有效的方法和手段。80年代以来,随着痕量金高灵敏度分析方法的突破,我国应用区域化探普查找金工作的能力、方法、技术均已达到了国际先进水平,发现了大量的金矿床,取得了很好的经济效益。但随着找金事业的发展,地表露头矿越来越少,盲矿已逐渐成为主要找矿对象,因此,必须研究寻找盲矿的地球化学方法和标志。为解决这些问题,近年来,我国的勘查地球化学家们研究和建立了一批典型金矿床的地球化学异常模式,总结出了一系列寻找盲矿的地球化学方法和判别金矿床剥蚀程度的标志,应用这些模式在矿区深部或其外围寻找盲矿取得很好的找矿效果。

金矿床的地球化学异常模式,实际是一种地球化学找矿模式,它是对典型金矿床地球化学异常特征的高度概括。研究的方法是从已知到未知。对典型金矿床的研究是从成矿成晕作用入手,研究与成矿有关的地层、岩浆岩和构造的地球化学特征;研究在成矿成晕过程中成矿元素、伴生元素、矿化剂元素及控矿元素在时间上的演化和在空间上的分布分配特征;研究矿床的地球化学异常特征,即异常发育特点、展布方向、元素组合、水平和垂直分带;重点是研究金矿床的地球化学垂直分带规律,最后建立起地球化学异常模式。在模式图上力求反映出地球化学异常与矿体在时间上、成因上和空间上的关系。图中的关键部分是异常的垂直(或轴向)分带,即矿床(体)的前缘晕、头部晕、中部晕、下部晕和尾晕的元素组合及地球化学参数的特点,这是找盲矿和预测矿体剥蚀程度的重要地球化学标志。

石英脉型、蚀变岩型金矿床的成因复杂,有混合岩化热液、变质热液、重熔岩浆热液和动力变质热液等等。成因不同的金矿,其物质来源、成矿溶液的成分、性质和成矿环境不同,在成矿成晕过程中形成的原生地球化学异常分带也有所不同,所建立的典型金矿床地球化学异常模式也有一定差异。尽管如此,但由于成矿最后都具有热液充填的特点,所以,这些金矿床地球化学异常分带又表现了很多共性或相似性,据此总结出了我国石英脉型、蚀变岩型金矿床地球化学异常分带的理想模式,得出了一系列找盲矿和判断金矿体剥蚀程度的地球化学预测标志、定量预测指标和数学模型。应当指出,所建立的典型金矿床地球化学异常模式和预测指标及地球化学数学模型,用于典型矿床深部、外围或同一成矿带上找同类金矿最为有效。本书所述的典型金矿床地球化学异常模式对在工作程度较低的新区找金矿,也具有一定参考价值。

本书是在近年来冶金工业部地球物理勘查院物化探研究所与有关单位协作,向全国金矿地质工作领导小组提交的“石英脉型、蚀变岩型金矿深部含矿性评价的地球化学方法”研究成果的基础上,广泛收集了国内同类型金矿床地球化学研究成果,经综合研究后写成的。研究项目由李惠负责,典型金矿床地球化学异常模式研究专题由李惠、李富国负责,参加专题工作的有李惠、李富国、马久菊、郑涛、任密礼、刘振昌、刘汉忠、方敏、张景波、李艳,参加部分工作的有张国义、郭宏、张俊玲等。参加典型金矿床研究的协作单位有冶金工业部山东地质勘查局第三地质队杨士望、贾宝林、程福保、陈东、时述章等;中国人民武

装警察部队黄金第十一支队郑豪、何玉增,参加野外工作的有牛志高、李俊生;中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所王真光、娄元生、何双梅参加了包裹体地球化学研究;北京科技大学徐九华参加了包裹体测温研究。本书由李惠编写,郑涛、刘振吕参加了编写工作。在编写过程中得到了王继伦和欧阳宗圻两位高级工程师(教授)的关怀和指导,受到了国家黄金管理局的重视和支持。在此一并表示感谢。

目 录

序

前言

一、典型金矿床的地质地球化学背景·····	1
(一) 典型金矿床的地质特征简述·····	1
(二) 地球化学背景·····	3
(三) 含金与不含金石英脉、破碎带的地球化学特征·····	7
二、典型金矿床的某些地球化学特征·····	8
(一) 不同金矿床的元素组合特征·····	8
(二) 指示元素在矿物中的分配·····	10
(三) 石英脉型金矿床包裹体地球化学特征·····	12
三、金矿床的地球化学垂直分带特点·····	16
(一) 金矿床指示元素的垂直分带序列·····	16
(二) 典型金矿床含金脉体中微量元素及其相关关系的垂直变化规律·····	17
(三) 矿物中某些元素的垂直变化规律·····	27
(四) 石英脉型金矿床不同标高石英包裹体中 \bar{D}_{CO_2} 、 $\bar{D}_{\text{H}_2\text{O}}/D_{\text{CO}_2}$ 的垂直变化规律·····	29
四、金矿床的地球化学异常分带模式·····	30
(一) 典型金矿床的矿脉旁扩散晕模式、热晕特征及蒸发晕特征·····	30
(二) 典型金矿床原生晕特征及地球化学异常模式·····	33
(三) 石英脉型、蚀变岩型金矿床地球化学异常分带理想模式·····	54
五、地球化学找矿标志·····	57
(一) 指示元素及其指示意义·····	57
(二) 不同找矿阶段的最佳指示元素组合·····	58
(三) 石英脉型、蚀变岩型金矿岩石地球化学预测系列框图·····	60
(四) 金矿床地球化学异常分带模式及分带序列在异常评价中的应用·····	60
(五) 地球化学定量预测指标及数学模型·····	60
六、地球化学预测及找矿效果·····	68
参考文献·····	70

一、典型金矿床的地质地球化学背景

(一) 典型金矿床的地质特征简述

石英脉型、破碎带蚀变岩型金矿是以金矿床(体)的产状、形态特点而言的,其成因类型、成矿特点各有所不同(表1)。

1. 典型石英脉型、破碎带蚀变岩型金矿床的成因特点

河北金厂峪金矿床由六条含金复脉带组成,受SN—NNE向挤压剪切应变带控制,挤压剪切应变带和复脉带由一系列动力变质岩——糜棱岩系组成,其成因属于古老剪切带动力变质侧分泌作用复脉带型金矿床,或称为动力变质热液金矿¹⁾。广西龙水金矿以破碎带硫化物型金矿为主,次为少硫化物石英脉型等,成因兼有变质热液和岩浆热液金矿特点,属中温、中深成金矿。内蒙古赛乌素金矿为典型石英脉型,成因兼有变质热液和重熔岩浆热液特点。山东牟乳金矿带金矿床为典型石英脉型,成因与玲珑、焦家金矿一样,为混合岩化热液型。上述金矿床形成的共性都是热液型金矿。

2. 典型金矿与构造的关系

所述典型金矿床都严格受构造控制。含金石英脉或蚀变破碎带的展布与构造方向一致,呈带状分布,如牟乳金矿受六条NNE向构造控制,赛乌素金矿受NNW向构造控制,金厂峪金矿受SN—NNE向构造控制等。

3. 与典型金矿床有关的地层、岩浆岩的特征

初看,金矿的形成受围岩的控制不明显,各时代地层中都可出现金矿,从基性到酸性的岩浆岩中都有金矿产出。但具体到某一成矿区(带),金矿的围岩控制还是很明显的,即金矿床赋存在一定地层层位内,或与某岩浆岩有关。

山东牟乳金矿带和招掖金矿带一样,金矿的主要围岩是混合花岗岩,少部分金矿产于胶东群老地层中。胶东群变质岩系为中—高级变质程度的变质混合杂岩建造,以角闪岩相地层为主,底部出现角闪二辉麻粒岩亚相。混合花岗岩是胶东群的岩层受混合岩化花岗岩交代及部分选择性重熔的产物。

内蒙古赛乌素金矿,矿区出露地层为元古代白云鄂博群尖山岩组,为一套浅变质的碎屑岩-泥质岩-碳酸盐岩组合。主要岩性为变质石英砂岩、变长石石英砂岩、变质石英砂岩夹板岩等。区域内岩浆活动强烈,主要侵入岩有花岗岩、花岗闪长岩等,但矿区内出露的只是一些岩脉,有长英质岩脉、石英闪长岩脉和辉细斑岩脉等。

河北金厂峪金矿分布于太古界八道河群王厂组绿岩带中,由一套斜长角闪岩、斜长角

1) 高德玉,1985,河北金厂峪金矿床地质特征及成矿机理。

表1 某些典型石英脉型、破碎带蚀变岩型金矿床的地质特征简表

矿床名称	规模	形态类型	控矿构造	围岩				蚀变特点		金属矿物组合		脉石矿物		成因类型	矿源层
				地层		岩浆岩		主	次	主	次	主	次		
				时代	岩性	时代	岩性								
内蒙古赛乌素	中型	石英脉型	近东西、北东、北西向构造	博群尖山岩组 早元古代白云鄂	长石石英砂岩、变 变长石砂岩、变		长英质脉岩、 蚀变闪长岩、	硅化、绢云母化、褐铁矿 化(地表)、黄铁矿化	盐化、绿泥石化 赤铁矿化、碳酸	银金矿、褐铁矿、 黄铁矿、自然金、	方铅矿、闪锌矿、 黄铜矿、毒砂、	石英	方解石、 长石、绢云母、	变质热液、 重熔岩浆热液、	岩组变质砂岩 白云鄂博群尖山
河北金厂峪	大型	石英脉型 石英角闪岩带	北北东向、北东、北西向构造 南北褶皱带、切带	河群上厂组 太古代八道	斜长角闪片麻岩、 斜长角闪岩、			硅化、黄铁矿化、 绢云母化、	石化、碳酸盐化 绿泥石化、钠长	辉钼矿、砷金矿、 黄铁矿、自然金、	方铅矿、闪锌矿、 黄铜矿、辉钼矿、	石英、绢云母、 钠长石、	碳酸盐	动力变质热液	斜长角闪岩 八道河群王厂组
广西龙水	中型	型含金石英脉 破碎带硫化物	北北东向构造	寒武纪水口群	砂岩、碳质页岩 浅变质砂岩、粉	加里东晚期	斑状花岗岩闪长岩	硅化、黄铁矿化、 绢云母化、	绿泥石化、碳酸盐化	黄铁矿、显微金	方铅矿、闪锌矿、 黄铜矿、	石英、绢云母	绿泥石、碳酸盐	岩及热液 变质热液和	砂页岩 水口群碳质
山东金青岗、邓格庄	大型	石英脉型	北北东向断裂	晚太古代胶东群	斜长角闪岩		崑崙山混合花岗岩	硅化、黄铁矿化、 绢云母化、	绿泥石化、碳酸盐化	金微矿等 黄铁矿、自然金、	方铅矿、闪锌矿、 黄铜矿、	石英	绢云母、碳酸盐	混合岩化热液	胶东群
山东玲珑	大型	石英脉型	北北东、北东、 向断裂	晚太古代胶东群	斜长角闪片麻岩		混合花岗岩	硅化、黄铁矿化、 绢云母化、	绿泥石化、碳酸盐化	银金矿 黄铁矿、自然金、	方铅矿、闪锌矿、 黄铜矿、	石英	绿泥石、长石、 绢云母、碳酸盐、	混合岩化热液	胶东群
山东焦家	大型	蚀变岩型	北北东、北东向断裂	晚太古代胶东群	斜长角闪片麻岩		混合花岗岩	云母化、黄铁矿化、 钾长石化、硅化、绢	碳酸盐化、绿泥石化	金微矿系列 黄铁矿、自然金、	方铅矿、闪锌矿、 黄铜矿、	石英、绢云母	长石、绢云母、碳酸盐	混合岩化热液	胶东群

闪片麻岩、变粒岩等组成,绿岩是该矿形成的物质基础。

广西龙水金矿产于大宁花岗闪长岩体与寒武系接触带的外带。围岩主要为寒武纪水口群清溪亚群,为一套含碳质碎屑岩建造,为浅变质砂岩、粉砂岩、碳质砂页岩等。大宁岩体主体为斑状花岗闪长岩,局部出现石英闪长岩和二长花岗岩,为多次侵入的复式岩体。

4. 金矿床的蚀变与其成因和围岩的关系

金矿床的成因和围岩不同,表现出的蚀变也有一定差异,但也具有很多的共性,如硅化、绢云母化、黄铁矿化(黄铁绢英岩化)、绿泥石化、碳酸盐化在各金矿都较发育。有些蚀变则只在某些矿床比较发育,如钾长石化、钠长石化在金厂峪比较发育,焦家金矿红长石化是一种特征蚀变。

5. 典型金矿床的矿物组合特征

金矿床中矿物种类较多,常见的金属矿物以黄铁矿为主,次为方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿、毒砂,仅在部分矿区出现的有斑铜矿、辉铜矿、辉钼矿、菱铁矿、褐铁矿等。金银主要呈 Au-Ag 系列矿物,如自然金、银金矿、金银矿、自然银等。非金属矿物主要是石英、绢云母、绿泥石等,个别矿床有斜长石、钠长石、碳酸盐等。不同矿床矿物组合有所不同,如山东牟乳、玲珑、焦家金矿富含黄铁矿,内蒙古赛乌素金矿在氧化带以褐铁矿为主,深部硫化物较多,自然金常见。

(二) 地球化学背景

金矿的成矿地质背景是有利的岩石、岩浆活动和构造运动,既要有矿源层,又要有热源和导矿、容矿空间。研究成矿区(带)内与成矿有关的地层、岩浆岩和构造中微量元素的分布分配特点,不仅可指出区域中金矿的矿源层和控矿构造,确定找矿方向,而且可为确定地球化学异常下限提供依据。

1. 成矿区内有关地层、岩浆岩中微量元素的含量特征

在某一金矿区内,金矿可能与岩浆岩有关,也可能与某些地层有关,或与二者都有关系。若岩浆岩中 Au 含量较高,分布不均匀,岩浆岩演化过程中, Au 有在晚期富集的趋势,并且金矿的分布受岩体控制,则表明 Au 的成矿与岩浆岩有成因关系。若成矿区内某些地层 Au 的丰度较高,则可能是 Au 的矿源层,但有的矿区 Au 的丰度并不高(低于或近于其克拉克值)的岩层也可能是 Au 的矿源层,关键在于其中 Au 的存在形式, Au 是否容易活化及活化 Au 所占的比例。一般岩石中与硫化物有关的 Au 或有机质吸附的 Au 容易活化。若根据岩石中 Au 及其伴生元素含量特征确定矿源层,则要考虑下面几个因素:①岩石中 Au 的丰度较高或近于其克拉克值,且分布不均匀(方差大、变化系数大),反映了岩石中 Au 在变质过程中的活化现象;②伴有较高的 Ag、Cu、Pb、Zn 等亲硫元素, Au 具有一定亲硫性,岩石中亲硫元素丰度高,可能与硫化物有关的 Au 多,易活化 Au 占的比例大;③区(带)内金矿床的元素组合与岩石中元素组合具有一致性,反映了金矿与矿源层的亲缘性和继承关系。当矿源层受变质作用、混合岩化作用、火山作用

或热液作用时,促使矿源层中 Au 及其伴生元素活化转移,在原地或邻近地区的有利构造中,在适当的物理化学环境条件下富集成矿。

研究表明,在所述典型金矿区内都发现了 Au 及 Ag、Cu、Pb 等伴生元素含量较高的地层或岩浆岩(表 2),且这些元素的分布也是很不均匀的。

表 2 某些典型金矿床与成矿有关的地层、岩浆岩中微量元素的背景含量 (ppm)

矿区	样数	Au	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Mo	Ti	Mn	Bi	
赛乌素	17	0.0098	0.107	12.41	1.015	21.20	28.87	120.50	10.14	2773	444.0	0.5	元古代白云鄂博群尖山组变长石砂岩
龙水	99	0.0125	0.140	24.49	1.210	32.40	35.90	115.10	5.40	3289	197.20	5	寒武纪水口群砂岩、砂页岩
	54	0.0136	0.510	11.12	0.934	23.60	92.00	63.80	3.10	2466	669.00	2.5	斑状花岗闪长岩(大宁岩体)
金厂峪	6	0.020	0.200	1.500	0.810	51.00	34.00	102.0	2.00	2695	917.00		太古代八道河群王厂组斜长角闪岩
牟乳	11	0.0033	0.070	0.877	0.500	21.60	17.30	48.60	3.83	1178	268.00	0.5	昆嵛山混合花岗岩
	7	0.0032	0.120	1.860	0.690	29.90	27.70	55.30	9.02	4141	402.00	0.5	晚太古代一早元古代胶东群斜长角闪岩
招掖	40	0.005	0.133	2.000		9.500	8.950	48.70	1.00	547	158.00		玲珑混合花岗岩
	28		0.218	1.314	0.544	38.10	26.50	77.80	1.464	3339	815.00		晚太古代一早元古代胶东群斜长角闪岩
地壳克拉克值(黎彤, 1984)		0.0035	0.08	2.200	0.600	63.00	12.00	94.00	1.300	6400	1300	0.0043	
酸性岩浆岩(维诺格拉多夫, 1962)		0.0045	0.05	1.500	0.260	20.00	20.00	60.00	1.000	2300	600	0.01	

龙水金矿区的寒武纪水口群碳质砂页岩中, Au 的丰度为 12.5 ppb, 比 Au 的克拉克值高 2.6 倍, Ag、As、Sb、Pb、Zn、Mo 也有较高的丰度, 其浓度克拉克值依次是 1.8、11、2、3、1.2、4, 而在岩体内的地层残留体中, Au(7ppb)、Zn(66.6ppm)、Pb(29.7ppm) 明显降低, 反映了地层残留体中这些元素的活化特点, 据此推测寒武纪地层是 Au 的矿源层。区内大宁岩体是重熔早期深成闪长岩形成的复式岩体, 从早到晚演化过程中依次形成了闪长岩、斑状花岗岩、黑云母花岗岩、细晶岩, 其 Au 的平均含量依次是 9 ppb、3.7 ppb、1.7 ppb 和 1.3 ppb, Au 含量逐渐降低, 说明在重熔成岩演化过程中, Au 趋于富集于晚期成矿溶液中, 岩浆作用也提供了部分物质, 所以龙水金矿的物质来源至少有两个(傅成铭, 1985)。

在山东招掖金矿带, 胶东群中 Au 及其伴生元素的丰度均高于其克拉克值的 $n-10 \times 10$ 倍。在胶东群经混合岩化或部分重熔后形成的混合花岗岩中, 上述元素含量都有不同程度的降低, 即都低于胶东群的含量, 反映了胶东群岩石在混合岩化过程中, Au 及其伴生元素被活化, 进入晚期成矿溶液。胶东群各组岩石中 Au 的含量也有较大差别, 招掖金矿带胶东群的化山组 Au 为 15.1 ppb, 民山组为 43.4 ppb, 富阳组为 45 ppb, 其余组

含 Au 低¹⁾, 故有人认为这三组是 Au 的矿源层。牟乳金矿带目前所见胶东群中 Au 含量较低, 只有 3.23 ppb, 近于其克拉克值, 但其方差较大, 又由于含 Ag、Pb、Mo、Sb 也很高, Au 可能与硫化物更密切、易活化, 所以也可以成为 Au 的矿源层, 当然, 也可能区内含 Au 较高的胶东群已被混合岩化或重熔形成了区内广泛分布的崑崙山混合花岗岩。

金厂峪金矿区的地层为太古代八道河群王厂组, 岩性以斜长角闪岩为主。斜长角闪岩含 Au 丰度为 20 ppb, 是其克拉克值的 5.7 倍, Ag、Pb、Sb、Zn、Mo 等元素含量也都高于其克拉克值, 且高于基性岩平均含量。

赛乌素金矿区早元古代白云鄂博群尖山岩组中 Bi、Mo、As、Ba、Au、Pb 的丰度都比其克拉克值高, 其中 Au 在矿区内尖山岩组中的含量 (9.8 ppb) 比矿区外围尖山岩组中的 (17.6 ppb) 低, 并且矿区内 Au 的分布不均匀, 方差 (0.1638) 大于矿区外围 (0.0355), 这些事实可能反映了矿区内尖山岩组中 Au 被活化而转入成矿热液, 为尖山岩组作为 Au 的矿源层提供了依据。

据上述事实可以得出, 区域中有与金矿成矿有关的地层(矿源层)或岩浆岩体, 是评价该区金矿成矿远景的重要标志。

2. 与成矿有关的构造的某些地球化学特征

构造控矿是普遍的规律, 几乎没有例外(涂光炽, 1988)。构造运动不仅仅形成导矿和容矿空间, 而且在运动时能产生能量, 致使某些元素活化转移。不同地区不同时代形成的构造对矿床的控制作用是不同的, 成矿前和成矿过程中形成的构造有控矿作用, 成矿后的构造一般对矿床起破坏作用。金矿受构造控制, 但并非所有的构造都能成矿。构造地球化学在某种程度上可指示构造中是否有含 Au 成矿热液活动及是否有利于成矿。在山东牟乳金矿带, 我们研究了金矿带内六条主干断裂构造的某些地球化学特点及其与成矿的关系, 结果表明, 六条主干断裂构造的元素组合有所不同(以各元素浓度克拉克值大于 2 为标准):

I 号断裂带: Au、Ag、As、Mo、Pb、Bi;

II 号断裂带: Au、Ag、As、Mo、Bi、Pb;

III 号断裂带: Au、Ag、As、Mo、Pb、Bi、Sb;

IV 号断裂带: Au、Ag、As、Mo、Pb、Bi;

V 号断裂带: Au、Ag、Mo、Bi;

VI 号断裂带: Au、Ag、Mo、Bi、Pb。

其中 I、II、IV 号断裂带的元素组合相同, III 号断裂带的元素组合中元素较多, V、VI 号断裂带中元素较少。应当注意的是在 I—IV 号断裂带中, 挥发性元素 (As、Sb) 及亲硫元素 (Ag、Cu) 异常强度高, 而 V、VI 号断裂带中的 As、Sb 低, Bi 高。据此可以推测 I—IV 号比 V—VI 号断裂带更有利于成矿。目前所发现的大矿都在 II、III、IV 号断裂带内, I 号带内尚未发现成型矿床, 在找矿中还应引起重视。

在金厂峪矿区我们也研究了断裂中微量元素含量特征, 当断裂旁有金矿时, 断层物质中 Au、Ag、Mo、Pb、Bi、As 含量一般较高。而其旁 (十几米内) 无工业矿体时, Au、

1) 杨上望, 1984, 山东胶东半岛西北部招掖金矿带成矿地质规律及找矿方向。

表3 某些典型矿区含金与不含金石英脉元素含量 (ppm) 及其比值表

矿区	石英脉	Au	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Mo	Ti	Mn	Ag/Au	Au/Mo	Ag/Mo	Pb/Zn	$\frac{Au \cdot Ag \cdot As \cdot Sb \cdot 10^4}{Cu \cdot Pb \cdot Zn}$
赛乌素	含金石英脉	0.367	0.896	705.6	6.22	50	271.1	129.9	8.4	191.1	192.3	2.44	0.044	0.107	2.09	8.20
	不含金石英脉	0.021	0.528	35.0	0.8	21.6	162.3	200.3	20.47	51.8	754.9	25.1	0.00103	0.026	0.81	0.0044
龙水	含金石英脉	0.372	3.84	220.5	2.29	84.9	190.0	88.9	13.6	582	98	10.3	0.0274	0.282	2.14	5.03
	不含金石英脉	0.012	0.291	11.1	0.64	17.9	16.2	50.0	17.8	345	161	24.3	0.0007	0.016	0.324	0.017
	含金破碎带	0.122	1.62	91.5	3.58	87.3	487.5	115.8	15.1	2214	233	13.3	0.0081	0.107	4.2	0.131
	不含金破碎带	0.016	0.23	29.2	1.18	30.8	34.9	115.8	6.7	3376	284.6	14.4	0.0024	0.034	0.3	0.010
牟乳	含金石英脉	0.3435	1.556	37.22	1.15	59.4	61.7	52.5	9.2	288.9	209.0	4.53	0.037	0.169	1.2	1.19
	不含金石英脉	0.02	0.157	5.26	0.52	26.3	57.6	51.0	5.03	146.0	157.0	7.85	0.004	0.031	1.13	0.0011

Mo、Bi 含量一般较低。这些特征可作为评价构造含矿性的标志。

应用构造地球化学找矿,即评价构造的含矿性或寻找构造中的赋矿地段,是一种快速有效的找矿方法和手段。主要工作方法是沿断裂构造带采样或垂直构造走向布短剖面采样。在广西龙水,通过构造地球化学研究,发现了两个有成矿远景的构造带。在牟乳金矿带,运用构造地球化学方法,沿构造采充填物、石英脉或破碎带样品,进行深部成矿预测,取得了好的效果。

(三) 含金与不含金石英脉、破碎带的地球化学特征

石英脉、破碎带深部含矿性评价的第一个问题是区分石英脉、破碎带是否含 Au。所谓含 Au,是指石英脉、破碎带中 Au 含量较高,一般高于 0.04 ppm,既包括含 Au 矿体的石英脉、破碎带,也包括 Au 分散矿化达不到目前工业品位要求的石英脉、破碎带。不含金石英脉、破碎带含 Au 低,一般 Au 含量接近围岩中 Au 的背景值或低于异常下限。有些地区含金与不含金石英脉、破碎带在宏观上难以区分,而微观上的微量元素含量及其相关关系则有明显差别。表 3 列出了牟乳、赛乌素和龙水金矿区含金与不含金石英脉、破碎带中微量元素含量,其总的优点是:

(1) 含金与不含金石英脉、破碎带中 Au、Ag、As、Sb、Mo 含量一般都高于其克拉克值。

(2) 含金石英脉、破碎带中 Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb 含量比相应矿区不含金石英脉高 $n-n \times 10$ 倍,如赛乌素矿区含金与不含金石英脉相比,前者比后者 Au 含量高 16 倍,As 高 19 倍,Sb 高 7 倍;牟乳金矿带含金石英脉中的 Au 为不含金石英脉的 17 倍,Ag 为 9.9 倍,As 为 7 倍,Cu、Sb 为 2 倍。

(3) 含金石英脉中 Au/Mo 、 Ag/Mo 、 Pb/Zn 、 $Au \cdot Ag \cdot As \cdot Sb \cdot 10^3 / Cu \cdot Pb \cdot Zn$ 都分别高于相应矿区内不含金石英脉;而 Ag/Au 相反,含金石英脉低于相应矿区内不含金石英脉。不同矿区的共性是含金石英脉中 $Au/Mo > 0.004$, $Ag/Mo > 0.1$, $Pb/Zn > 1$, $Au \cdot Ag \cdot As \cdot Sb \cdot 10^3 / Cu \cdot Pb \cdot Zn > 0.1$,不含金石英脉上述元素比值则相反。

(4) 含金石英脉中元素分布不均匀,方差大,变化系数也大。如牟乳金矿带计算结果表明,含金石英脉中 Au、As、Pb、Cu 的变化系数大于 2, Bi、Zn 的变化系数大于 1。而不含金石英脉中这些元素的分布比较均匀,变化系数均小于 1。

二、典型金矿床的某些地球化学特征

(一) 不同金矿床的元素组合特征

金矿床在矿物学上表现的矿物共生组合,在地球化学上则表现为成矿元素及伴生元素的共生组合。研究不同金矿床中的元素组合,对于了解各矿床的成矿溶液成分、成矿环境及在找矿中确定金矿类型和选择指示元素具有重要意义。表4列出了不同金矿床矿体及其主要围岩中微量元素的含量特征。表5列出了六个典型矿床各元素浓度克拉克值。由表可看出,Au、Ag、As、Sb、Pb、Mo、Bi在各矿床中的含量均高于围岩(地层和岩体);Cu、Zn的含量除在金厂峪金矿床低于地层外,其余金矿床都高于相应矿区的地层或岩体;Mn除在招掖、牟乳金矿床高于围岩外,其余矿区都低于围岩;Ti在所有矿区矿床中含量都低于围岩。在各矿床矿体中元素衬度(矿体中元素含量/围岩中元素含量)大于1,即能形成异常前提下,以各元素浓度克拉克值大于1为标准,则各矿床的元素组合是:

赛乌素金矿床: Au、Ag、As、Sb、Pb、Zn、Mo、Bi;

龙水金矿床: Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Mo、Bi;

金厂峪金矿床: Au、Ag、As、Sb、Pb、Mo、(Bi);

牟乳金矿床: Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Mo、Bi;

玲珑金矿床: Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb、(Mo)、Bi;

焦家金矿床: Au、Ag、As、Sb、Pb、Zn、(Mo)、Bi。

各矿床标型元素组合,即各矿床特有的元素组合,可作为区分各典型金矿床的标志。以 $Au > 1000$ (浓度克拉克值,下同), $Ag > 40$ 、 $As > 20$ 、 $Sb > 5$ 、 $Pb > 20$ 、 $Cu > 2$ 、 $Zn > 2$ 、 $Mo > 5$ 、 $Bi > 3000$ 或异常中各元素达中带为标准,则各矿床标型元素组合是:

赛乌素金矿床: Au、Ag、As、Sb、Pb、Zn、Mo;

龙水金矿床: Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Bi;

金厂峪金矿床: Au、Ag、Mo、Bi;

牟乳金矿床: Au、Ag、As、Cu、Zn、Mo;

玲珑金矿床: Au、Ag、(Mo);

焦家金矿床: Au、Ag、Pb、(Mo)、Bi。

六个典型矿床相比,其中赛乌素金矿床中含 As、Sb 最高,Ag 较低;龙水金矿床含 Ag、Pb、Zn 最高,As、Sb 次于赛乌素金矿床;金厂峪金矿床含 Mo、Bi 最高,而 Cu、Zn、As、Sb 低;牟乳金矿床含 Cu、Ag、As、Mo 最高,Bi 低;玲珑金矿床除含 Au 高外,Ag、Sb、Pb、Zn 均最低;焦家金矿床含 Au 最高,Bi、Ag 其次,As、Sb、Cu 低。山东的玲珑和焦家及牟乳金矿床中元素组合也有较大差异,牟乳金矿床 As、Sb、Cu、Zn 含量高于玲珑和焦家金矿床,而含 Bi 的情况则相反(表5)。

表 4 某些金矿床矿体中微量元素含量 (ppm) 及其均值

矿区	矿石地层	样数	Au	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Mo	Bi	Ti	Mn
鹿 寨	矿石 地层 矿石/地层	17	5.36	2.932	1752	12.65	55.4	735	203.5	10.8	1.16	236	221
			0.0098	0.107	12.41	1.015	21.2	28.87	120.5	10.14	0.5	2773	444
			547	27.4	141	12.5	2.61	25.4	1.69	1.06	2.32	0.085	0.498
龙 水	矿石 地层	42	6.672	22.65	607	7.10	456.1	964	281.7	5.58	21.4	738	184.2
		99	0.0125	0.14	24.49	1.21	32.4	35.9	115.1	5.4	5	3289	197.2
	岩体 矿石/地层 矿石/岩体	54	0.0136	0.51	11.12	0.934	23.6	92.0	63.8	3.1	2.5	2466	669
			534	162	24.8	5.87	14.1	26.8	2.45	1.03	4.28	0.224	0.934
			490	44.4	54.6	7.60	19.3	10.5	4.42	1.8	8.56	0.299	0.275
金 厂 峪	矿石 地层	52	6.656	9.18	6.8	1.8	49.8	174	78.5	403	111	1069	716
		6	0.020	0.2	1.5	0.81	51	34	102	2		2695	917
	矿石/地层		333	45.9	4.53	2.22	0.976	5.12	0.769	202		0.397	0.781
牟 乳	矿石 岩体	121	9.137	12.1	229	1.83	1310	166	212	25.6	2.03	196	858
		11	0.0033	0.07	0.877	0.50	21.6	17.3	48.6	3.83	0.5	1178	268
	地层 矿石/岩体	7	0.0032	0.12	1.86	0.69	29.9	27.7	55.3	9.02	0.5	4141	402
			2769	173	261	3.66	60.6	9.60	4.36	6.68	4.06	0.166	3.20
	矿石/地层		2855	101	123	2.65	43.8	5.99	3.83	2.84	4.06	0.047	2.13
玲 珑	矿石 矿石/岩体		10.67	3.46	38.11	0.85	123.2	64.7	78.6		11.2		234
			2134	26.0	19.0		13.0	7.23	1.61				1.48
集 泉	矿石 矿石/岩体		75.1	12.1	17.3	1.38	18.8	582	138		29.0		498
			15020	91.0	8.65		1.98	65.0	2.83				3.15
	岩体		0.0050	0.133	2.00		9.5	8.95	48.7	1.0		547	158
	地壳富拉瓦值 (黎彤, 1984)		0.0035	0.08	2.2	0.6	63	12	94	1.3	0.0043	6400	1300

表5 某些金矿床矿体中微量元素浓度克拉克值对比表

矿床	Au	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Mo	Bi	标型元素组合
赛乌素	1531	36.6	796	21.1	0.88	61.2	2.16	8.31	270	Au, Ag, As, Sb, Pb, Zn, Mo
龙水	1906	283	276	11.8	7.24	80.3	3.00	4.29	4977	Au, Ag, As, Sb, Cu, Pb, Zn, Bi
金厂峪	1902	115	3.09	3	0.79	14.5	0.84	310	25813	Au, Ag, Mo, Bi
牟乳	2610	151	104	3.0	20.8	13.8	2.26	19.7	472	Au, Ag, As, Cu, Zn, Mo
玲珑	3048	43.3	17.3	1.4	1.96	5.40	0.84		2604	Au, Ag (Mo)
焦家	21457	151	7.86	2.3	0.30	48.5	1.46		6744	Au, Ag, Pb (Mo), Bi

(二) 指示元素在矿物中的分配

图1是根据赛乌素、金厂峪、龙水和牟乳金矿床中各指示元素在主要矿物中含量的高低及各种矿物在矿床中含量的比例综合概括得出的。由图1可以看出:

Au: 独立矿物有自然金、金银矿、银金矿、碲金矿等。主要呈包体金、裂隙金和晶间

元素 矿物	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	Mo	Co	Ni	V	Ti	Mn	Hg	Cd
黄铁矿	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
黄铜矿		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
辉铜矿						⊕										
方铅矿	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
闪锌矿		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕
毒砂	⊕		⊕													
磁黄铁矿		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
白铁矿		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
褐铁矿	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
石英	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
方解石		⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕		⊕
自然金	⊕															
自然银		⊕														
银金矿	⊕	⊕														
辉钼矿								⊕								

独立 矿物	●	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	Mo	Co	Ni	V	Ti	Mn	Hg	Cd
含高	⊕	>1	>10	>1000	>100	>50	>500	>1000	>1000	>50	>100	>50	>50	>100	>1000	>1	>50
中	⊕	1-0.1	10-1	1000-100	100-10	50-10	500-50	1000-100	1000-100	50-10	100-10	50-10	50-20	100-10	1000-100	1-0.01	50-20
低	⊕	<0.1	<1	<100	<10	<10	<50	<100	<100	<10	<10	<10	<20	<10	<100	<0.01	<20

⊕ 载体矿物

□ 无资料

1. 赛乌素金矿地表矿石

2. 牟乳金矿

图1 某些典型金矿床指示元素在矿物中的分配图(单位: ppm)

金存在于黄铁矿、黄铜矿、方铅矿等硫化物中。据广西有色金属实验研究所对龙水金矿的研究表明,晶间金和裂隙金占 80.4%,包体金占 19.6%,其中硫化物中包体金占 17.24%,石英包体金占 2.36%¹⁾。据中国人民武装警察部队黄金第十一支队对赛乌素金矿的研究表明,金-褐铁矿石脉矿石中, Au 以自然金存在者占 29%,在褐铁矿中 Au 占 71.1%, Au 的载体矿物是褐铁矿;金-硫化物石英脉矿石中,自然金占 42.1%,褐铁矿中的 Au 占 20.91%,黄铁矿中的 Au 占 29.61%,毒砂中的 Au 占 7.38%。

统计资料表明,在各种硫化物中, Au 含量一般为 10^2-10^4 ppb, 有的可达 $n \times 10^4$ ppb。在多数硫化物和砷化物中, Au 趋于富集在 Cu、Ag、Sb 的硫化物、砷化物及黄铁矿和毒砂中。在某些金矿床中,方铅矿和闪锌矿富金,金主要呈自然金形式存在,博伊尔(1979)认为,在质纯的方铅矿中, Au 可代替晶格中的 Pb, 而以 Te 置换 S 来补偿电价,方铅矿中还可有碲化金显微包体。在一些铜、银和锑的化合物与硫-砷化物中,如黄铜矿、辉铜矿中, Au 可能置换晶格中的 Cu, 在银的硫化物中(辉银矿) Au 可占据晶格中 Ag 的位置。在黄铁矿和毒砂中普遍含金,而且多数矿床中黄铁矿是金的载体矿物。据目前的研究结果表明, Au 在黄铁矿和毒砂中的赋存状态,除少部分是可见的自然金和显微状自然金之外,大部分为不可见 Au。对不可见 Au 的赋存状态,有下面几种认识,其一是认为 Au 在黄铁矿和毒砂中以化合物形式出现;其二是 Au 以极微细粒状(次显微状 $<0.1 \mu m$) 或以胶体状存在。博伊尔(1979)认为 Au 可占据黄铁矿和毒砂的晶格,呈阳离子以类质同象替换 Fe, 也可以阴离子形式替换 As, 而且从理论上找出了一些依据,认为在黄铁矿的八面体晶格中,每个铁原子与八面体六个顶角的硫原子以共价键相联结,八面体铁的共价键半径为 1.23 \AA , 在 $AuSb_2$ (与黄铁矿构造相同) 中 Au 的八面体共价键半径为 1.40 \AA , 砷的共价键半径为 1.39 \AA , 铁、砷与金的八面体共价键半径相近,这可能是 Au 能在黄铁矿和毒砂中代替 Fe 和 As 的主要原因,但这种现象只有在高温条件下才能实现(博伊尔, 1979)。

Au 在造岩矿物中的含量通常都很低,其中在长石和石英中 Au 含量一般只有 $0.n-n$ ppb, 在黑云母、角闪石、辉石和绿泥石中含是稍高,但也只有 $n \times 10$ ppb。

Ag: 独立矿物有自然银、银金矿、金银矿,此外 Ag 在方铅矿、黄铜矿中含量可达 $n \times 100$ ppm, 在黄铁矿、闪锌矿和磁黄铁矿中达 $n \times 10$ ppm, 褐铁矿和白铁矿含 Ag n ppm, 石英和方解石含 Ag 很低。据各种矿物在矿体中所占的比例,赛乌素金矿区氧化矿中 Ag 的载体矿物主要是褐铁矿,其它矿床可能是黄铁矿。

As: 一些矿区出现 As 的独立矿物毒砂,经探针分析毒砂含 As 为 39.24%。在黄铁矿中 As 含量可高达 $n \times 1000$ ppm, 方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、褐铁矿及白铁矿含 As 为 $n \times 100$ ppm。总的来看,黄铁矿是 As 的富集和载体矿物。

Sb: 富集矿物是方铅矿(含 Sb $100-1000$ ppm), 其次是褐铁矿和白铁矿(含 Sb 为 $n \times 100$ ppm), 黄铁矿中 Sb 含量为 $n \times 10-n \times 100$ ppm, 其余矿物含 Sb 较低。Sb 的载体矿物在赛乌素金矿区是褐铁矿,其余矿区是黄铁矿。

Bi: 富集矿物是磁黄铁矿和方铅矿,在黄铁矿、褐铁矿、白铁矿中 Bi 含量只有 $10-50$ ppm, Bi 的载体矿物是黄铁矿或褐铁矿(赛乌素金矿区)。

1) 骆靖中等, 1985, 广西龙水金矿床成因矿物学研究。

2010.1.15 下午
三点。

Cu、Pb、Zn: 独立矿物分别是黄铜矿(辉铜矿)、方铅矿和闪锌矿。方铅矿、闪锌矿、黄铁矿(含 Cu 500— $n \times 1000$ ppm)也是 Cu 的富集矿物。黄铜矿、方铅矿和褐铁矿是 Zn 的富集矿物。黄铜矿、闪锌矿、褐铁矿、白铁矿、磁黄铁矿是 Pb 的富集矿物,其载体矿物在牟乳、龙水、金厂峪矿带可能是其独立矿物,在赛乌素金矿区都是褐铁矿。

Mo: 在个别矿区出现辉钼矿,但含量很少。Mo 的富集和载体矿物是黄铁矿和褐铁矿(赛乌素金矿区)。

Co、Ni: 富集矿物是黄铁矿、磁黄铁矿。在矿床氧化带,褐铁矿含有较高的 Co、Ni。方铅矿、闪锌矿、黄铜矿也含有 $n \times 10$ ppm 的 Co、Ni。

V: 在各种金属硫化物和氧化物中都含有 $n \times 10$ ppm 的 V。总体看, V 的携带矿物是黄铁矿。

Ti、Mn: 在磁黄铁矿、白铁矿、褐铁矿及方解石中 Ti 含量均大于 100 ppm,黄铁矿中含 Ti 只有 $n \times 10$ ppm; Mn 在磁黄铁矿和方解石中含量大于 1000 ppm,在黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿中含 Ti 量在 100—1000 ppm 之间。

Hg: 主要存在于黄铁矿、黄铜矿、方铅矿和闪锌矿等硫化矿物中,其含量在 0.01—1 ppm 之间。

Cd: 主要存在于闪锌矿中,其次是方铅矿中,在磁黄铁矿和黄铁矿中也含有 $n \times 10$ ppm 的 Cd。在矿床氧化带 Cd 主要存在于褐铁矿中。

(三) 石英脉型金矿床包裹体地球化学特征

包裹体是保留下来的成矿溶液样品。研究金矿床包裹体特征——包裹体形态、大小、类型、含量、均一温度及成分,不仅是为了了解成矿的物化条件和成矿溶液的成分、性质,以解释成矿成晕机理,更重要的是从找矿角度出发,试图发现包裹体的某些特征,以作为评价石英脉含矿性的标志。

1. 包裹体的形态、含量、大小、类型特征

赛乌素和牟乳金矿床是两个不同成因的典型石英脉型金矿床,其包裹体特征有一定差异,但也有很多共性。赛乌素含金矿石英中包裹体形态以浑圆状为主,次有长圆状、管状和不规则状;牟乳金矿石英中包裹体则以长圆状为主。两个矿床的包裹体类型都是以气液包裹体为主,赛乌素还见有纯液相包裹体存在,两个矿床中都未见有含子矿物的包裹体。在气液包裹体中,液相充填度多大于 80%,气相小于 20%。包裹体小于 $3\mu\text{m}$ 者占 80% 以上。在牟乳金矿带的金青顶和邓格庄金矿体上部和前缘,石英中包裹体大于 $5\mu\text{m}$ 者明显多于矿体下部(表 6)。

2. 含金石英脉石英包裹体均一温度

(1) 不同金矿床的均一温度不同。统计表明,赛乌素金矿床石英包裹体的均一温度分布有两个区间: 140—180℃和 200—280℃。后者为主成矿期温度。最低温度为 110℃,最高温度为 305℃。不同矿脉的均一温度平均值有所不同,32 号脉为 252℃,28 号脉为 256℃,26 号脉为 229℃,49 号脉为 201℃,203 号脉为 273℃。

表6 牟平-乳山金矿带主要金矿床石英包裹体特征及均一温度

采样位置	样品号	包裹体类型	包裹体大小及丰度 (个数/0.25mm ²)			均一温度(°C)		气相占%	分布特征
			1-2.5 μm	2.5-5 μm	5-8 μm	范围	平均值		
邓格庄矿区 地表38线	C-17	L+V	38	9	3	131-239	183	5-10	多定向分布,大的零星分布,小的成群分布,气液比大于10%
	C-18	L+V	5	2		203-235	219	5±	多定向分布,包裹体少,可见包裹体中纯气液相当
	C-15	L+V	8	3		163-198	180	2	绝大部分因快矿污染,一个卡脖子包裹体,多定向分布,线性分布,个别零星分布,尚有小包裹体群
	C-13	L+V	5	2		140-172	156	2	多定向,少量散线性分布,包裹体小,少,有少量纯液体包裹体
邓格庄矿区 三中段30线	C-11	L+V	12	1-2		190-230	209	5	包裹体丰富,比C-18、13、36多2-3倍,纯液体包裹体较多
	C-12	L+V	18	4		125-185	159	3	多定向分布,少数零星分布,小的较多,纯液体包裹体较多
邓格庄矿区 四中段30线	C-16	L+V	30-5			221-258	245	3	零星分布,小包型体比C-13、18多,纯液体包裹体多
	C-14	L+V	80	6		153-283	201	8	成层杂乱分布,有少量小包型体定向分布
金岭顶矿区 ZK13-6 钻孔	C-8	L+V	10	3	1	260-275	264.4	5	多定向分布,大的零星分布
	C-9	L+V	15	1		105-263	151	9	多定向分布,部分呈线性分布及杂乱分布,有少量纯液体包裹体
三甲坑道	C-20	L+V	160	20	8	208-361	237	37	参差不齐,杂乱分布,少数线性分布,少数气液比为15%,个别>30%,甚至>10%
	C-19	L+V	25	8	2	113-343	236	14	成群参差不齐,几个大的零星分布,个别气液比>10%
金牛山地表	C-10	L+V	20			203-275	243	6	小包型体成层分布,部分定向分布,有少量纯液体包裹体
	C-2	L+V	150	15	5	196-324	259	5	多定向分布,线性分布,包裹体较多,少数成群参差不齐分布
金岭顶 2-3线	C-3	L+V	160	24	8	173-304	215	18	定向分布为主,线性分布包裹体多
	C-4	L+V	70	9	2	163-308	219	14	定向、线性分布,少数参差分布,包裹体比上述少
变电所	C-6	L+V	30	10-15	6-8	165-378	230	28	星散及线性分布,纯液体的包裹体最多
	C-5	L+V	50	8	1	181-327	262	8	待测

注:均一温度未作压力校正(滕淑琴测定)

牟乳金矿带内金矿床的均一温度在 100—360℃ 间,也集中于两个区间: 180—220℃ 和 280—300℃。不同矿床形成温度也有较大差异: 三甲金矿床均一温度平均值为 287℃, 金青顶金矿床为 264℃, 金牛山金矿为 236℃, 邓格庄金矿为 190—245℃。在金青顶金矿床还可以划出四个温度区间: 100—160℃、160—240℃、240—280℃、280—340℃,说明该金矿床至少有四期石英脉。

上述研究结果表明,混合岩化热液金矿(牟乳)形成温度高于变质热液金矿(赛乌素)。

(2) 含金石英脉赋矿部位均一温度大于无矿地段均一温度,如赛乌素含金石英脉赋矿部位均一温度集中在 200—280℃ 之间,不含矿地段温度在 140—180℃ 和 200—240℃ 两个区间。赛乌素不同石英脉的含金程度与其均一温度显示了正相关关系,随石英脉的均一温度增高,金矿化程度有增高的趋势(表 7)。在牟乳金矿带此规律不明显。

表 7 赛乌素含金石英脉形成温度与金矿化程度关系表

矿脉号	均一温度 (TH) °C									均一温度对数 (lgTH)			平均品位 (g/t)
	赋矿部位温度 (TH ₁)			矿化部位温度 (TH ₂)			总体温度 (TH _总)			TH ₁	TH ₂	TH _总	
	范围	均值	样数	范围	均值	样数	范围	均值	样数				
32 号脉	229—275	252	2	173—250	221	3	173—275	233	5	2.40	2.34	2.37	10.66
28 号脉	204—299	256	3	110—229	180	4	110—299	213	7	2.41	2.26	2.33	6.00
26 号脉	216—250	229	3	150—235	205	4	150—250	215	7	2.36	2.31	2.32	7.26
49 号脉	165—219	201	3	178±	178	1	165—219	195	4	2.30	2.25	2.29	5.99
203 号脉	216—305	273	3				216—305	273	3	2.44		2.44	17.47

(3) 含金石英脉形成温度具有明显垂直变化规律,如赛乌素金矿,从含金石英脉中部(地表露头)到下部尖灭处(矿化逐渐变贫),均一温度从 210℃→<180℃;玲珑 108 脉从上部(地表) 420 m、380 m 到中部,温度从 290℃→310℃逐渐升高,而再往下温度的变化尚需进一步研究。

3. 石英包裹体成分特征

应用红外光谱测定石英包裹体中 H₂O、CO₂ 的平均相对光密度 (\bar{D}_{H_2O} 、 \bar{D}_{CO_2}), 结果是:

(1) 不同矿区 \bar{D}_{H_2O} 、 \bar{D}_{CO_2} 不同。赛乌素金矿包裹体 \bar{D}_{H_2O} 平均值 $\bar{D}_{H_2O} = 3.51$, $\bar{D}_{CO_2} = 0.79$, 牟乳金矿带 $\bar{D}_{H_2O} = 4.59$, $\bar{D}_{CO_2} = 1.4$, 反映了不同成因金矿中成矿溶液成分的差异。混合岩化热液(牟乳)金矿比变质热液金矿含 H₂O 和 CO₂ 高。

(2) 含金与不含金石英脉包裹体中 \bar{D}_{H_2O} 、 \bar{D}_{CO_2} 及 CH₄、CH₄/CO₂ 有明显区别。如赛乌素金矿区六条含金石英脉包裹体中 \bar{D}_{H_2O} 分别是: 203 号脉为 3.91, 32 号脉为 3.51, 26 号脉为 3.65, 28 号脉为 3.33, 49 号脉为 3.16, 多数都大于不含金石英脉 ($\bar{D}_{H_2O} = 3.17$)。 \bar{D}_{CO_2} 的差别不太明显, 在五条含金石英脉中有三条 (26 脉, \bar{D}_{CO_2} 为 1.01, 28 脉为 1.24; 49 脉为 1.07) 高于不含金石英脉 (\bar{D}_{CO_2} 为 0.97)。

赛乌素含金石英脉包裹体中气相成分 CH₄ 含量最高为 3.82 ppm, 一般为 1—2 ppm, CH₄/CO₂ 最高为 0.35, 一般为 0.08—0.1, 两个不含金石英脉样品中 CH₄ 为 0.65 ppm 和 0.37 ppm, CH₄/CO₂ 为 0.0067 和 0.0048, 二者有明显区别。

(3) 含金石英脉包裹体中 \bar{D}_{H_2O} 、 \bar{D}_{CO_2} 与金矿平均品位及均一温度的关系：在赛乌素金矿含金石英脉均一温度与 \bar{D}_{H_2O} 正相关，与 \bar{D}_{CO_2} 负相关。石英脉含金品位与 \bar{D}_{H_2O} 正相关，与 \bar{D}_{CO_2} 负相关。说明该矿床成矿溶液中金的含量与 H_2O 的关系比与 CO_2 的关系密切(图 2)。

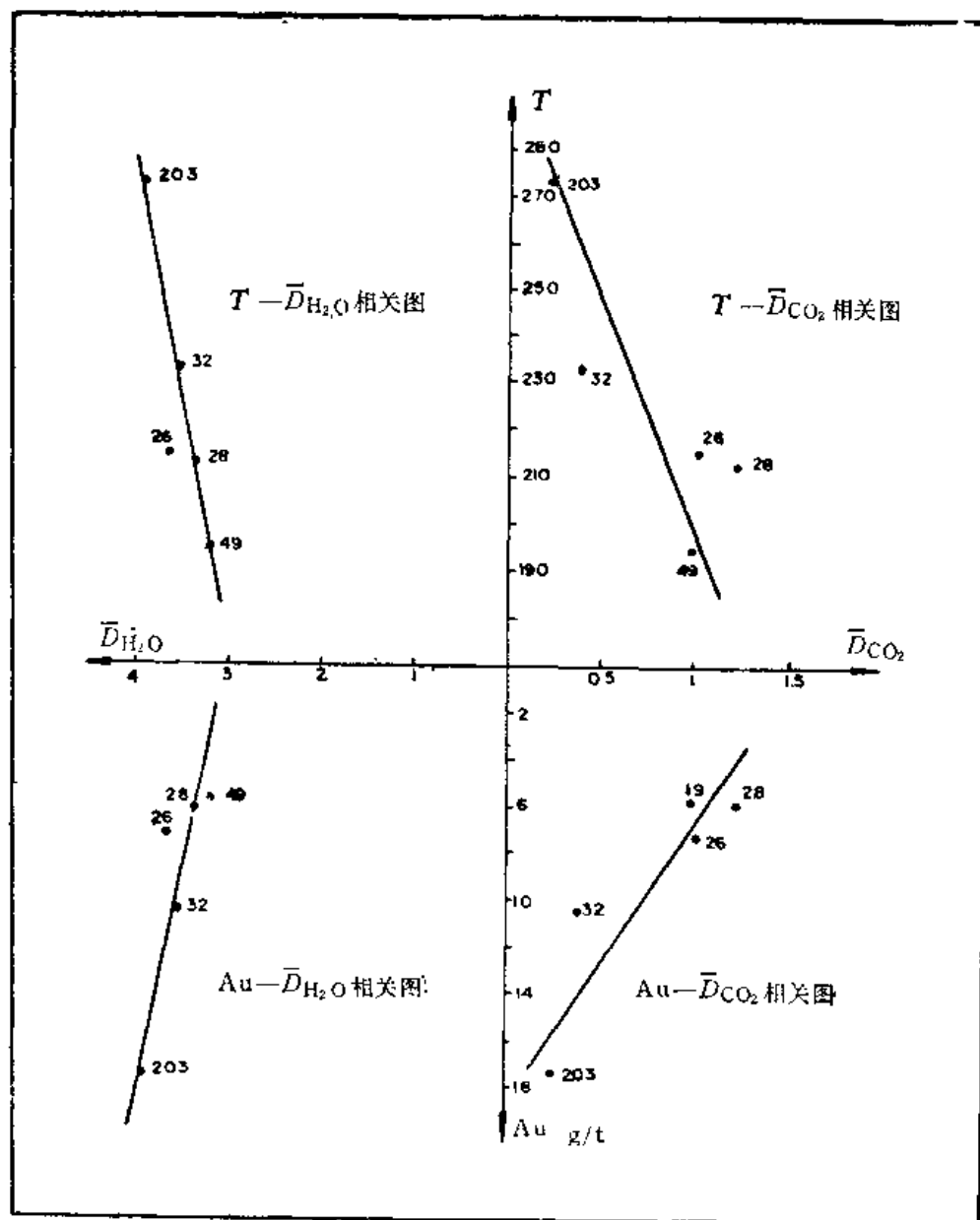


图 2 赛乌素金矿床含金石英脉包裹体地球化学参数相关图
 $T(^{\circ}C)$: 均一温度; \bar{D}_{H_2O} : 包裹体中 H_2O 的相对光密度平均值; \bar{D}_{CO_2} : 包裹体中 CO_2 的相对光密度平均值; 203、32、28、49、26 为含金石英脉编号

在牟乳金矿带各矿床的规模大小与 \bar{D}_{H_2O} 和 \bar{D}_{CO_2} 都呈正相关关系，说明牟乳金矿床 Au 成矿溶液中富含 H_2O 和 CO_2 。

(4) 含金石英脉矿体与矿化部位 \bar{D}_{H_2O} 、 \bar{D}_{CO_2} 的区别：统计表明，赛乌素金矿三条含金石英脉的矿体部位， $\bar{D}_{H_2O} > 3$ 者占 86%，不够工业品位的矿化部位， $\bar{D}_{H_2O} < 3$ 者占 70%。

三、金矿床的地球化学垂直分带特点

含金成矿溶液在沿断裂构造带上升充填、渗滤、扩散过程中,随着物化环境和成矿溶液性质的不断变化,由于各元素的迁移形式和沉淀条件的差异,导致了金及其伴生元素在时间上沉淀有先后,在空间分布上有分带性,这种分带不仅表现在矿体中元素组合及其相关关系上,而且表现在某些矿物的杂质成分及包裹体成分上。研究和发现金矿床的地球化学分带规律,尤其是垂直分带规律,对预测石英脉或破碎带深部的含矿性及金矿体的剥蚀程度具有重要意义。通过对四个典型金矿床的研究表明,金矿床有明显的地球化学分带性。不同矿床由于成因和成矿环境的不同,分带性有一定差异,但也有一定共性。不同金矿床地球化学垂直分带的特征是确定在该矿区内及外围找盲矿和预测矿床剥蚀程度指标的重要依据,而共性则是确定一般找矿预测的依据。

(一) 金矿床指示元素的垂直分带序列

金矿床指示元素分带包括轴向(矿体直立或陡倾斜时与垂向一致)、纵向和横向分带。其中以轴向(垂向)分带序列对找矿预测最有实用意义。轴向(垂向)分带序列能清楚地表达金矿床指示元素上下垂直分带关系,其在找矿中的作用可以归结为两条:其一是大致反映金矿床的前缘晕、矿体中部晕和尾晕的元素组合,可直接用于找矿预测;其二是为计算分带性指数提供依据,可避免在计算分带性指数(累乘比)时对元素选择的盲目性,采用上部元素比下部元素可更快地找到垂直变化明显的分带性指数,为近似定量预测指标的确定提供依据。

目前,计算分带序列主要有两种方法,即 C. B. 格里戈良的方法(格氏法)和叶·米·克维亚特科夫斯基的方法(克氏法),本专题全部采用克氏法计算(叶·米·克维亚特科夫斯基,1977)。

表 8 列出了某些典型石英脉型、破碎带蚀变岩型金矿床的原生晕或矿体中指示元素的浓度梯度垂直分带序列,从表中可以看出,不同类型金矿床的分带序列中,某些元素的上下位置有一定变化,有的变化还较大,如牟乳、招掖、赛乌素、金厂峪等典型金矿床都有一定差异,但也有较大的共性,即 Hg、As、Sb、(Ag、F、B、Pb、Zn)在上部的概率很大,而 Mo、Bi、Mn、Co、Ni、Sn 等总是在下部。通过对典型矿床分带序列的统计,结合各典型矿床指示元素异常分布特点,总结出了我国石英脉型、破碎带蚀变岩型金矿床的指示元素分带序列:从上至下是 Hg—Sb、F (B、I)—As、Pb—Zn、Ag—Au、Cu—Mo、Bi、Mn、Co、Ni(Sn)。

总结我国典型金矿床指示元素分带序列的研究成果表明,热液型金矿床的元素均为正常分带,即挥发性强、化学性质活泼的元素如 Hg、As、Sb 等总是处于金矿床垂直分带序列的上部,至今还未发现有逆向分带的实例,有些矿床如对焦家、夹皮沟金矿床的某些剖面的计算结果,As、Hg 或 Sb 出现在下部,但经仔细研究,认为是下部矿体前缘晕叠

表 8 某些石英脉型、破碎带蚀变岩型金矿的元素垂直分带序列

矿床类型	矿床	垂直分带(从上至下)	资料来源
混合岩化热液	石英脉	金青顶	李惠 郑涛 马久菊 刘振昌
		Sb—Pb—Zn—(Hg)—Cu—As—Mo—Au—Ag—Bi	
		Hg(Pb)—Sb—Zn—Cu—As—Mo—Ag—Bi—Au①	
		邓格庄	
	石英脉	Zn—Hg—Pb—Ag—As—Sb—Bi—Mo—Cu—Au	李富国 刘汉忠
		Pb—Ti—Zn—Ag—Mn—Cu—Au—As—Mo—Sb—Bi①	
		玲珑	
		Sb, Hg, As, Ag, Te, (Mo)—Pb, Cu, Se, Au—Zn, Mn	
变质热液	石英脉	焦家	李惠 任密礼 李富国 马久菊
		Cu, Zn, Ag, Se—Au—Pb—Te—As, Sb, Ba②	
		赛乌素	
		Sb—Hg—Bi—Ag—As—Pb—Ba—Sr—Au—Co—Mo—Ni—Cl—F—Cu—Ti—V—Zn—Cr—Mn—Cd①	
动力变质热液	破碎带	龙水	朱太天
		(Hg)Pb—As—Ti, Cl—Sb—Mo—Cu, Ag, V—Ni—Co—Au, Cd—Ba, Mn, Be, Bi—Zn①	
		金厂峪	
		(Hg)Zn—Sb—Ti—As—Mn—Pb—Bi—Cu—Ag—Mo—Au	
变质热液	石英脉	文度沟	王定国
		(Hg, As)—Sb—F—Pb—Ag—Cu—Au—Co—Mo—Ni—Mn	
		小秦岭 灵湖	
		As, Sb, Hg, Ba—Ag, Pb, Bi, Au, W, Sn, Cu, Mo—Co, Ni	

注: ①矿体(或脉)浓度梯度分带,其余为原生晕分带

②相邻剖而矿体前缘呈叠加在该矿体下部,故分带反常

加在上部矿体尾晕上面的结果,推测其深部或侧部有盲矿,后经工程验证找到了盲矿。

(二) 典型金矿床含金脉体中微量元素及其相关关系的垂直变化规律

通过对典型金矿床的研究表明,金矿床中的微量元素含量、分带性指数(累乘比)、元素间相关关系都有明显的垂直变化规律。

1. 山东牟乳金矿带金矿床

在该区选择了金青顶和邓格庄两个典型矿床进行了研究(表9)。

金青顶金矿体延深 600 m, 从头(上)部→中部→下部, Au、Ag、Bi 有升高的趋势, 与标高(H)呈负相关 ($R_{H-Au} = -0.82$, $R_{H-Ag} = -0.85$, $R_{H-Bi} = -0.76$), 而 Sb、Pb 从上至下有降低的趋势, 与标高正相关 ($R_{H-Sb} = 0.76$, $R_{H-Pb} = 0.80$)。Zn 在矿体中上部富集, Mo 在矿体中下部富集(图 3)。

邓格庄金矿体延深 450 m, 由于工程限制只研究了矿体上部 200 m 垂深的变化规律。从矿体前缘含金石英脉到矿体中部 Ag、Sb、Mo、Bi 有增高的趋势, Au、As、Zn 富集于矿体中上部, Pb 富集于矿体头部 (图 4)。

表9 牟平-乳山金矿带某些含金石英脉中微量元素含量及比值垂直变化规律(元素含量单位 ppm)

矿体	矿体 相对 位置	标高 (m)	$\frac{Ag}{Au}$	$\frac{Sb}{Bi}$	$\frac{Pb \cdot Zn}{Au \cdot Ag}$	$\frac{Pb \cdot Zn}{Mo \cdot Bi}$	$\frac{Bi \cdot Mo}{Sb}$	$\frac{Pb \cdot Zn \cdot Sb}{Au \cdot Ag \cdot As}$	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	Mo
金 青 顶	上	150	6.75	2.93	15567	20518	3.8	225	1.14	7.7	122	1.76	0.60	813	723	189	11.1
		50	2.81	1.34	3087	14939	25.7	13.2	8.36	23.5	370	1.58	1.18	4728	540	1123	34.4
		-50	2.52	1.13	684	1078	16.0	5.92	2.81	7.1	91.3	0.79	0.70	680	59.1	231	18.1
	中	-150	1.82	0.64	148	624	72.6	0.583	16.82	30.7	430	1.69	2.64	4705	322	238	46.5
		-250	2.77	0.49	3.85	47.1	91.8	0.025	17.34	48.0	112	0.74	1.5	1704	65.6	48.8	45.3
		-350	0.70	0.06	4.2	33.5	685	0.010	62.37	43.9	219	0.5	7.86	244	82.1	140	43.6
邓 格 庄	前缘	130	27.1	4.31	7398	768	1.04	965	0.166	4.5	52.9	6.9	1.6	47.2	78.5	70.4	4.5
		55	1.13	5.79	2660	514	6.07	74.6	3.06	3.45	321	9.0	1.56	366	195	144	35.0
		15	0.59	1.65	443	127	26.5	4.83	11.69	6.85	961	10.5	6.35	1273	142	250	43.9
	头	-25	0.104	3.70	1350	178	16.8	14.1	16.85	1.76	1285	13.4	3.62	635	14.3	280	62.1
		-65	1.82	6.41	232	88.9	9.0	5.80	5.65	10.26	671	16.8	2.62	659	112	120	57.7

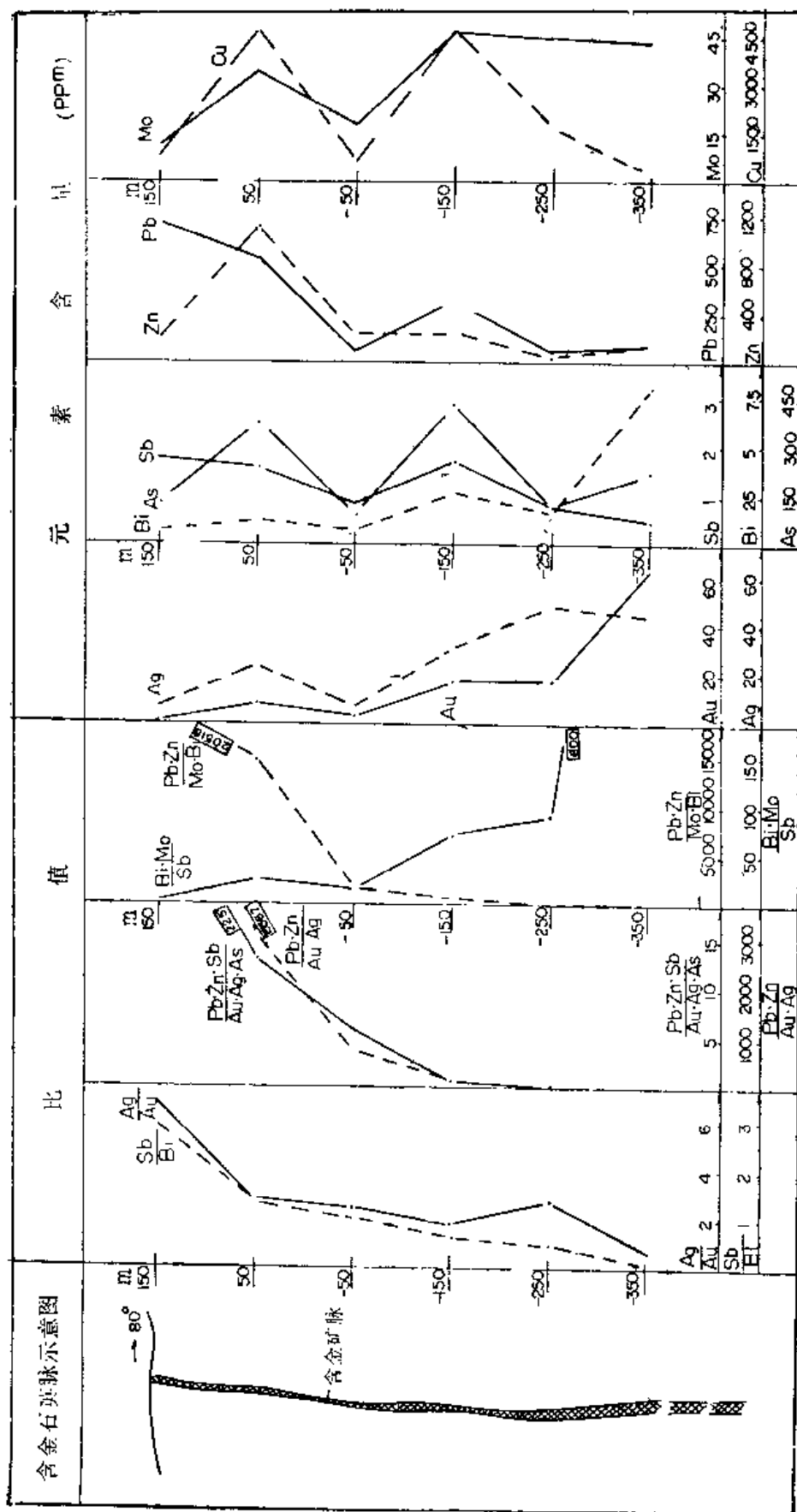


图 3 金青顶含金石英脉中微量元素及其比值垂变化规律图

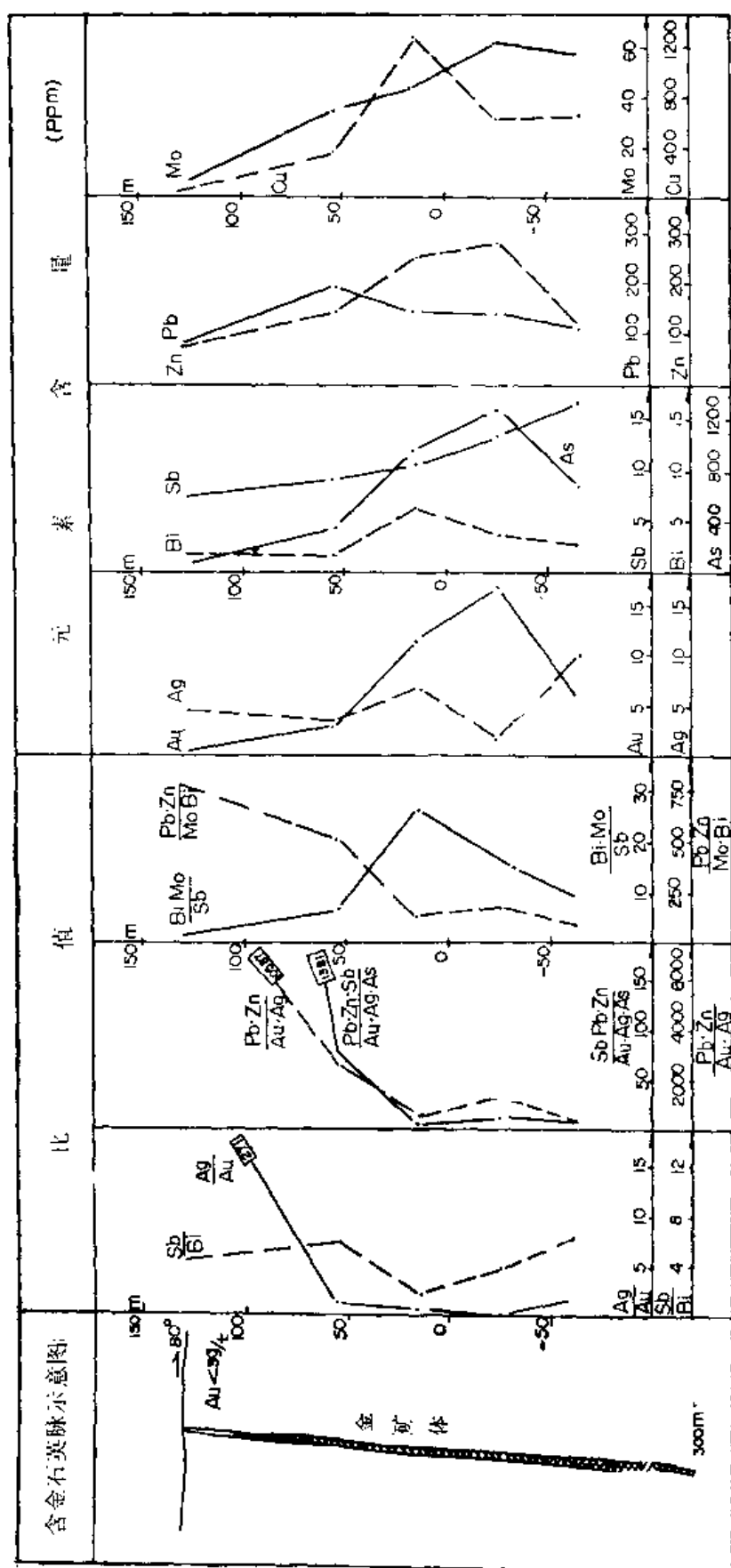


图 4 邓格庄含金石英脉中微量元素及其比值垂直变化规律图

二个金矿床的共性(从上至下)是 Ag、Mo、Bi 有增高的趋势, Zn、Pb 富集于矿体的中上部;分带性指数中 Ag/Au 、 $(Pb \cdot Zn)/(Au \cdot Ag)$ 、 $(Pb \cdot Zn)/(Mo \cdot Bi)$ 、 $(Pb \cdot Zn \cdot Sb)/(Au \cdot Ag \cdot As)$ 从上至下都是逐渐降低。根据邓格庄矿体上半部只相当于金青顶中上部的特点可得出: 在矿体上部 $Sb/Bi > 1$, 下部相反; 头部 $(Pb \cdot Zn)/(Au \cdot Ag) > 2000$ 、 $(Pb \cdot Zn)/(Mo \cdot Bi) > 1000$ 、 $(Pb \cdot Zn \cdot Sb)/(Au \cdot Ag \cdot As) > 20$ 、 $(Bi \cdot Mo)/Sb < 30$, 下部 $(Pb \cdot Zn)/(Au \cdot Ag) < 100$ 、 $(Pb \cdot Zn)/(Mo \cdot Bi) < 100$ 、 $(Bi \cdot Mo)/Sb > 80$ 、 $(Pb \cdot Zn \cdot Sb)/(Au \cdot Ag \cdot As) < 0.5$ 。

金青顶矿体头部和上部 Au-Ag、Au-As、Au-Mo 正相关, 下部相关程度低或不相关; Au-Sb 在头部和上部相关, 中下部不相关; Au-Pb、Au-Zn 在矿体下部相关, 中上部不相关(表 10)。

表 10 金青顶主金矿体不同标高元素相关系数垂直变化规律

标高(m)	Au-Ag	Au-As	Au-Sb	Au-Bi	Au-Pb	Au-Zn	Au-Mo	Au-Mn
地表	0.683	0.953	0.874	0.979	-0.040	0.076	0.89	0.890
50	0.916	0.824	0.444	0.540	0.143	-0.059	0.556	0.524
-50	0.912	0.671	-0.123	0.781	-0.129	-0.095	0.169	0.518
-150	0.300	0.708	0.040	-0.147	-0.332	-0.057	0.494	-0.388
-300	0.660	0.677	0.034	0.770	0.824	0.917	0.201	0.618

2. 赛乌素金矿床

研究了 26 号和 32 号两个典型含金矿脉体, 其共性是从矿体头部→中部→下部 Ag、Hg、As、Sb、Bi、Pb、Mo 都有逐渐降低的趋势。分带性指数 $(As \cdot Sb)/(Cr \cdot Cd \cdot Pb \cdot As \cdot Sb)/(Mn \cdot Cr \cdot Co)$ 及元素的累加比 $(Pb + Mo)/(Cd + V)$ 、 $(As + Au + Sb)/(Cd + Cr + V)$ 也都逐渐降低(图 5、表 11)。矿体中 Ag-Mo、Au-Ti、Au-Mn 在上部正相关, 下部不相关。而 Zn-Cd、Sb-Cd 相反, 在矿体上部不相关, 下部正相关(表 12)。

3. 龙水金矿床

重点研究了 1 号和 17 号两条含金破碎带硫化物型矿脉中元素的垂直变化规律(表 13), 其中 1 号脉延深 300 m, 赋存标高为 100—400 m; 17 号脉延深 210 m, 赋存标高 180—390 m。从图 6 中可以看出, 两条脉的共性是: Mn、Ni、Co、V、Ag 从上至下有逐渐升高的趋势, Pb 相反。分带性指数中 Pb/Zn 、 $(As \cdot Sb)/(Co \cdot Ni)$ 、 $(As \cdot Sb)/(100 \cdot Au \cdot Ag)$ 、 $(Pb \cdot Sb \cdot Ti)/(Zn \cdot Mn \cdot Co)$ 、 $(As \cdot Sb \cdot Pb \cdot Ti)/(Zn \cdot Mn \cdot Co \cdot Ni)$ 从上至下都有降低的趋势。

相关系数: 17 号脉 Au-Sb、Au-Pb 在矿体上部相关程度低, 向下相关程度高; Au-As、Au-Zn、Au-Co 在矿体上部相关, 向下部相关程度降低或不相关(表 14)。

4. 金厂峪金矿床

表 15 列出了金厂峪的含金石英脉、复脉带和石英脉加复脉带各不同标高微量元素含量及其比值的数据, 可以看出, 含金石英脉、复脉带或者说含金石英脉加复脉带的共性是

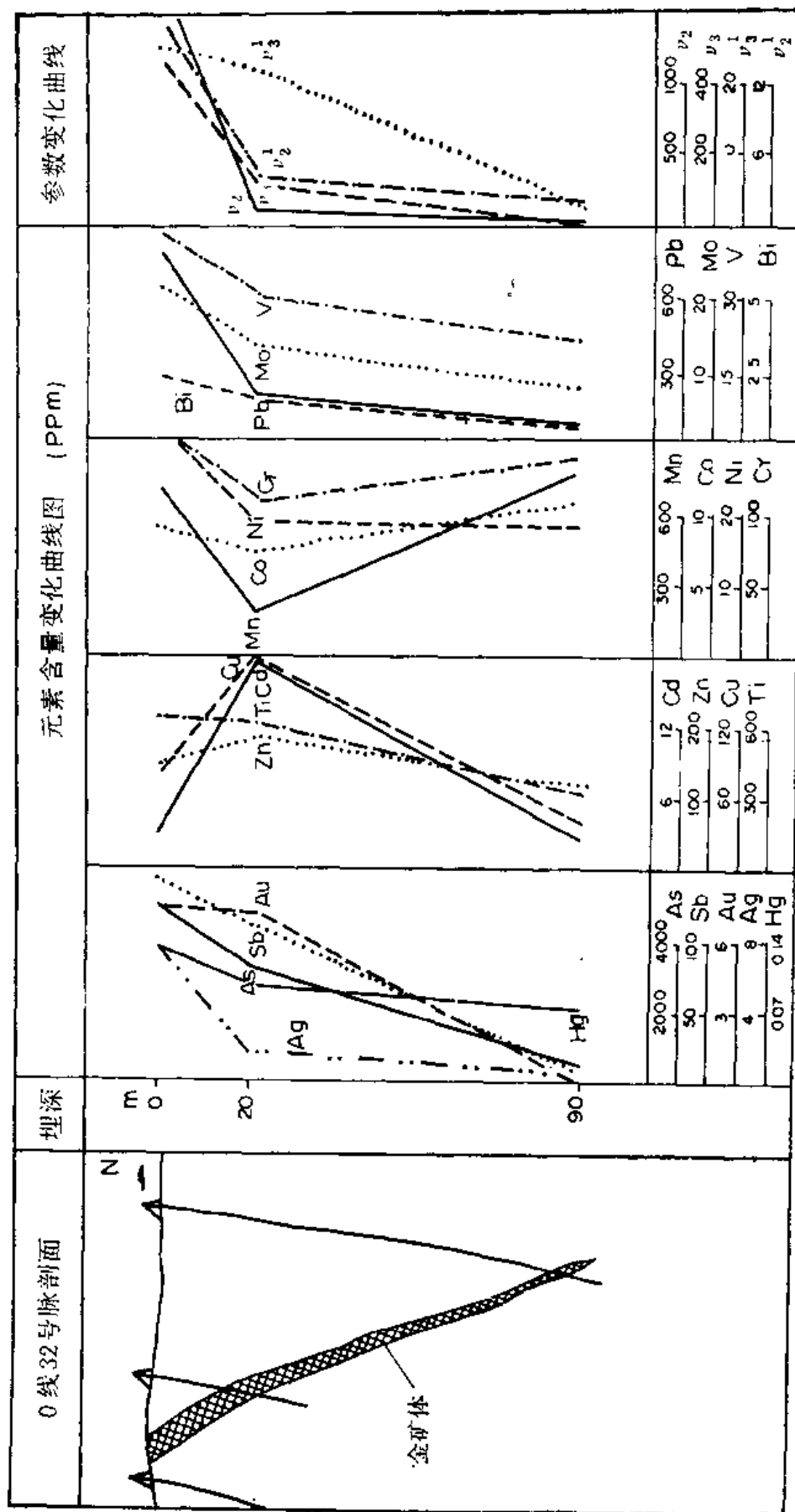


表 11 赛乌素不同含金矿脉不同标高微量元素及比值的垂直变化规律(元素含量 ppm)

矿体号	相对埋深 (m)	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	Mo	$\frac{Sb}{Bi}$	$\frac{Pb \cdot Zn}{Au \cdot Ag}$	$\frac{As \cdot Sb}{Cr \cdot Cd}$	$\frac{Pb+Mo}{Cd+V}$	$\frac{Pb \cdot As \cdot Sb}{Mn \cdot Cr \cdot Co}$	$\frac{Au+As+Sb}{Cd+Cr+V}$
16 线 26 号矿脉	20	3.58	7.5	4305	9.9	4.73	64	736	509	16.3	2.09	13952	1721.1	16	460.617	26.2
	50	1.09	1.22	5000	1.6	0.59	16.5	262	116	5.2	2.71	22854	101.6	4.7	124.217	20.9
	120	1.17	1.14	735	0.8	0.5	74	154	591	7.3	1.6	68237	9.771	2.018	0.112	2.87
0 线 32 号矿脉	地表	9.32	7.5	5000	136	2.26	77.2	817	137	20.30	60.1	1601	516.60	60.184	220.80	94.912
	20	20.2	1.71	4750	287	1.4	118	341	222	17.3	205	2192	4.792	11.22	64.54	34.427
	90	0.06	0.52	1060	18.1	0.5	59.4	37.8	165	7.4	36.2	199904	0.164	3.88	0.491	4.532

表 12 赛乌素金矿体不同标高元素相关系数垂直变化规律

部 位	Au-Pb	Ag-Mo	Au-Ti	Au-Mn	Zn-Cd	Sb-Cd	Au-Hg	Au-F	Cd-Bi
矿上	-0.327	0.741	0.686	0.605	-0.208	-0.377	-0.006	0.75	-0.5
矿中	0.079	0.096	-0.479	-0.328	0.459	0.185	0.434	-0.49	0.14
矿下	0.399	-0.035	-0.198	-0.041	0.861	0.88	0.813	-0.28	0.93

表13 龙永不同含金矿脉不同标高微量元素及比值垂直变化规律

脉号	标高 (m)	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cd	Zn	Cu	Ti	Mn	Co	Ni	Pb	V	I	II	III	IV	V	VI
17 号 脉	390	0.164	1.41	150	1.70	5	2.5	93.2	117.6	1164	106.9	7.70	18.9	831.6	41.2	8.92	1.75	11.03	21.45	170.24	8.65
	360	0.205	6.73	174.0	3.06	12.0	2.9	113.4	205.8	1719	245.1	18.20	20.2	605.9	87.6	5.34	1.45	3.86	6.30	54.27	6.4
	330	0.385	2.30	94.4	2.71	9.4	3.7	1158	1374	1948	216.6	27.8	37.9	335.4	78.1	2.90	0.243	2.89	2.54	6.33	1.18
	280	0.536	7.09	161.7	1.90	24.7	2.5	121.1	194.9	1858	478.6	37.4	43.0	305.2	132.1	2.52	0.19	0.81	0.50	1.87	0.86
1 号 脉	390	0.637	2.95	200.5	4.13	17.57	2.5	72.87	116.68	1659.6	90.28	8.13	10.35	409.8	75.5	5.624	9.84	4.41	52.52	1017	26.12
	360	1.337	5.01	228.8	3.20	10.45	3.35	109.76	122.86	1525.5	164.95	20.1	15.05	355.0	69.0	2.323	2.42	1.09	3.42	52.00	5.24
	330	0.916	4.23	162.8	2.73	10.79	5.47	63.91	95.63	1346.7	162.75	15.78	22.47	148.32	65.68	2.321	1.25	1.14	3.32	24.07	1.69
	305	1.654	3.46	170.98	4.02	15.69	4.00	118.24	243.15	1713.0	423.03	44.07	45.25	412.64	125.00	3.490	0.34	1.20	1.29	4.87	2.61
	280	0.710	6.87	125.86	2.61	19.66	2.50	102.52	157.66	1955.8	497.32	28.76	29.13	271.47	131.08	2.648	0.39	0.67	0.95	4.08	0.84
	250	0.790	5.75	230.3	3.25	15.08	4.27	134.89	145.74	1621.4	398	39.6	43.65	336.59	116.84	2.495	0.43	1.65	0.83	4.40	3.71

注: I— $\frac{Pb}{Zn}$; II— $\frac{As \cdot Sb}{Co \cdot Ni}$; III— $\frac{As \cdot Sb}{100 \cdot Au \cdot Ag}$; IV— $\frac{Pb \cdot Sb \cdot Ti}{Zn \cdot Mn \cdot Co}$; V— $\frac{As \cdot Sb \cdot Pb \cdot Ti}{Zn \cdot Mn \cdot Co \cdot Ni}$; VI— $\frac{Pb \cdot As \cdot Sb}{Mn \cdot Cr \cdot Cd}$

表中各元素含量都为几何平均值,单位为 ppm

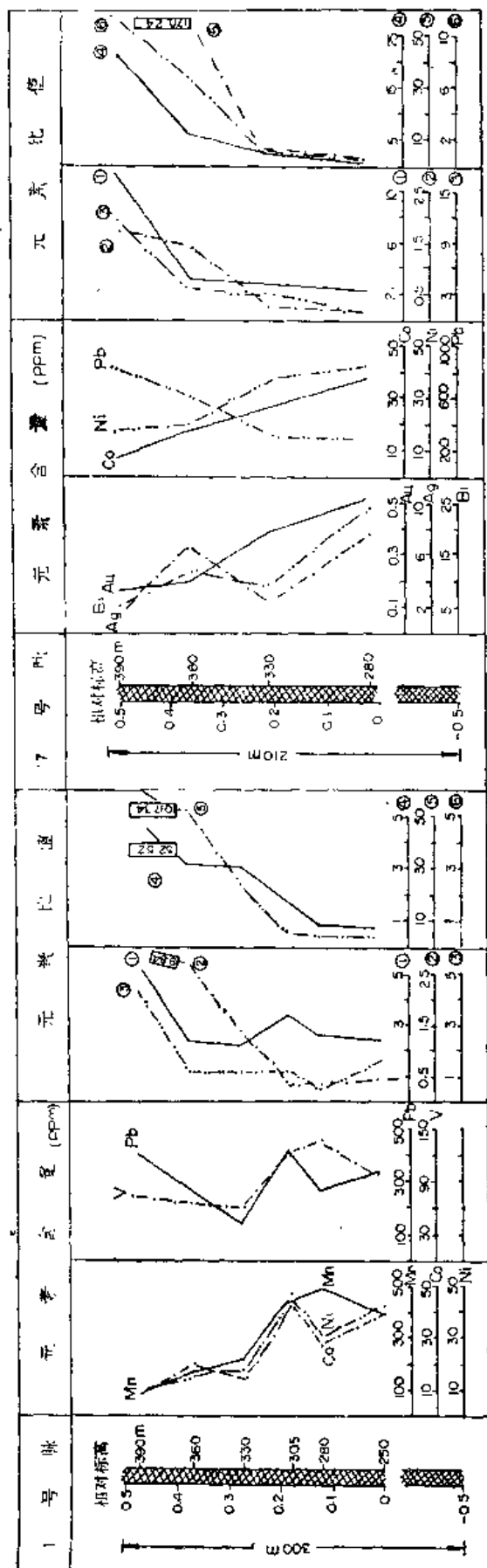


图6 龙水金矿不同矿脉中微量元素及其比值垂直变化图
① Pb/Zn ; ② $(As \cdot Sb)/(Co \cdot Ni)$; ③ $(As \cdot Sb)/(Au \cdot Ag \cdot 100)$; ④ $(Pb \cdot Sb \cdot Ti)/(Zn \cdot Mn \cdot Co)$; ⑤ $(As \cdot Sb \cdot Pb \cdot Ti)/(Zn \cdot Mn \cdot Co \cdot Ni)$; ⑥ $(Pb \cdot As \cdot Sb)/(Mn \cdot Co \cdot Cd)$

(从上至下): Cu、Pb、Zn、Mo 有降低趋势,其浓度上部明显高于下部,中上部的 $(Mo \cdot Bi)/Sb$ 明显高于下部。

相关系数, Au-As、Au-Sb、Au-Cu、Au-Ba 上部为负相关,中部相关程度低,下部正相关。Au-Pb 中上部相关,下部不相关。Au-Ag、Au-Bi 相关程度下部高于上部(表16)。

对比典型金矿床中各地球化学参数垂直变化规律表明:

(1) 同一成矿带同一成矿类型金矿具有很多共性,如山东牟乳金矿带的金青顶、邓格庄两个典型金矿床同属混合岩化热液石英脉型金矿,矿体中具有垂直变化规律的地球化学参数有很多是一致的。又如广西龙水金矿区成因相同的三条金矿脉中 Mn、V、Ni、Co 及 Pb/Zn、 $(As \cdot Sb)/(Co \cdot Ni)$ 、 $(As \cdot Sb)/(100 \cdot Au \cdot Ag)$ 等,从上至下都明显降低。

(2) 同一成因类型在不同矿带的典型金矿床也有一些共性,但其数值相差较大,如牟乳金矿带和招掖金矿带同属混合岩化热液金矿,两个矿带典型金矿床中 Pb/Zn 从上至下有降低的趋势。又如赛马素和龙水都具有岩浆热液和变质热液成矿特点, Au-Pb 相关关系在两个矿区矿体中的共性是矿体下部相关程度高。

(3) 不同成因类型金矿床所具有的垂直变化规律的地球化学参数中,特殊性多于共性,且共性参数值相差很大,如在夹皮沟、牟乳、赛马素三个不同成因类型的金矿床中,从矿体上部至下部 Ag/Au 都逐渐

表 14 龙水金矿 17 号矿脉不同标高元素相关系数垂直变化规律

脉 号	标高(m)	Au-As	Au-Sb	Au-Ag	Au-Pb	Au-Zn	Au-V	Au-Hg	Au-Co	Au-Bi
17 号脉	360	0.96	0.05	0.91	0.46	0.74	-0.91	-0.30	0.96	0.99
	330	0.25	0.82	0.98	0.82	-0.05	-0.51	-0.19	-0.23	0.98
	280	0.63	0.87	0.84	0.96	0.11	-0.62	0.07	0.13	0.92

表 15 金厂峪不同含金矿脉不同标高微量元素及比值的垂直变化规律(元素含量 ppm)

矿区	类型	标高(m)	Au	Ag	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	Mo	Ag/Au	Sh/Bi	Mo·Bi/Sb
金厂峪	石英脉	183	2.81	0.81	2.74	0.76	23	35	112	89	43	0.288	0.933	2 512
		143	1.37	1.28	2.43	0.81	41	10	63	9	112	0.93	0.020	5 669
		103	0.35	1.30	3.79	1.19	31	29	63	41	30	3.71	0.038	260.5
	复脉	183	0.40	0.34	2.57	0.54	10	44	56	121	11	0.35	0.054	203.7
		143	0.15	0.17	2.79	0.62	10	26	58	109	8.9	1.13	0.062	143.5
		103	0.41	0.27	1.46	0.55	13	28	36	67	5.1	0.66	0.042	120.5
	石英脉+复脉	183	0.873	0.49	2.63	0.61	14	40	74	107	25	0.56	0.0436	574
		143	0.700	0.68	2.53	0.74	26	14	62	19	51	0.97	0.0285	1792
		103	0.370	0.70	2.61	0.88	22	29	51	49	7	1.89	0.04	175

表 16 金厂峪 II-5 金矿体不同标高元素相关系数垂直变化规律

标高(m)	Au-As	Au-Sb	Au-Cu	Au-Pb	Au-Ba	Au-Bi	Au-Mo	Au-Ag
183 中段	-0.02	-0.20	-0.07	0.67	-0.05	0.65	0.47	0.65
143 中段	0.23	0.36	-0.18	0.73	0.17	0.77	0.18	0.61
103 中段	0.80	0.91	0.58	0.08	0.57	0.96	0.37	0.93

降低,但夹皮沟金矿的 Ag/Au 值为 $>1- <1$, 赛乌素金矿为 $>2- <1$, 牟乳金矿带为 $>6- <1$ 。金青顶、赛乌素、龙水金矿中 $Au-Pb$ 相关关系在矿体上部相关程度低,矿体下部高。

(三) 矿物中某些元素的垂直变化规律

石英、黄铁矿是石英脉型和蚀变岩型金矿床最普遍的矿物,在所研究的典型金矿床中黄铁矿含量比黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等硫化物高 $n \times 10$ 至 $n \times 1000$ 倍。前已述及,黄铁矿不仅是 Au 的载体矿物,在一些矿区它也是 As 、 Ag 、 Sb 、 Bi 、 Mo 、 Co 、 Ni 、 V 、 Cu 、 (Pb, Zn) 的载体矿物。在成矿过程中,随着物化环境的变化,石英、黄铁矿中微量元素含量也有所变化,探索单矿物中微量元素的垂直变化规律,对于评价含金石英脉剥蚀程度具有重要意义。

1. 黄铁矿中微量元素垂直变化规律

在牟乳金矿带邓格庄金矿和广西龙水金矿对黄铁矿进行了研究, 黄铁矿样品采自同一矿脉、同一成矿期、不同标高的矿体中。

(1) 邓格庄金矿不同标高的黄铁矿中 As、Bi 在上部偏高, 下部低。Mo、Co 下部稍高于上部。As/Mo、Pb/Ag、Pb/Sb、(Pb·Cu)/(As·Sb) 从上至下降低, Co/Ni、Mo/Bi、(As·Sb·100)/(Mo·Bi·Pb) 从上至下升高(表 17)。

表 17 牟平县邓格庄金矿床 30 线剖面不同标高黄铁矿中微量元素及比值垂直变化规律

标高 (m)	元 素 含 量 (ppm)										比 值							
	As	Bi	Sb	Ag	Zn	Cu	Co	Ni	Pb	Mo	Ag Sb	Pb Ag	Co Ni	Mo Bi	As Mo	Pb Sb	Pb·Cu As·Sb	100·As·Sb Mo·Bi·Pb
55	1288	9.1	14.1	17.6	2164	480	30	18	1071	48.9	1.25	61	1.7	5	26	76	28	3.8
25	844	8.6	26	30.6	1324	482	22	13	1139	53.3	1.17	37	1.7	6	16	44	25	4.2
-65	760	5.6	11.6	9.6	2160	410	51	16	323	53.5	0.83	34	3.2	10	14	28	15	9.1

(2) 龙水金矿不同标高黄铁矿中 Au、Cd、Zn、Be、Co、Ni、V 及 Zn/Cd 从上至下升高, 而 Bi、As/Mo 从上至下降低, As 及 Co/Ni 在中上部较高(表 18)。

表 18 龙水 1 号脉 1 线不同标高黄铁矿中微量元素及比值垂直变化规律 (元素含量 ppm)

标高 (米)	Au	As	Sb	Cd	Zn	Be	Cu	Ti	Mn	Co	Ni	Pb	Mo	Bi	Co Ni	Zn Cd	As Mo
360	8.307	2447	6.18	13.9	393.5	2.5	1500	21.9	212.0	104.0	34.9	1256	36.3	223.6	2.98	28.3	67.41
330	10.621	2236	13.77	21.45	734.8	2.5	1500	42.6	306.3	306.3	51.0	1500	37.6	84.9	6.01	34.3	59.47
280	8.022	2449	6.23	21.65	763.9	5.95	386.7	36.9	346.4	339.8	107.5	644.8	42.9	32.4	3.16	35.3	57.09
250	34	2000	7.00	24.3	1500	6.7	1500	29	305	420	114	1500	39.7	80	3.68	61.7	50.4

二个矿床的共性是: Co、Mo 在下部高, As、Bi 在上部偏高, As/Mo 从上至下都降低。

2. 石英单矿物中微量元素垂直变化规律

所研究的赛乌素、龙水矿床的石英样品分别采自各矿床同一条脉、不同标高、同一期石英脉。

在赛乌素金矿不同标高的石英单矿物中, Cu、Ti、Pb、Mo、Sb、As 富集于矿脉中上部, 向上向下都降低, Zn、Ni 上部高, 下部低, Cu/Ag、Pb/Zn 从上至下呈降低的趋势。

龙水金矿不同标高石英单矿物中 Cu、Ti、Mo 及 Pb/Zn、Cu/Ag、As/Sb 从矿体上部至下部降低, Sb 的含量在矿体中部的石英中偏高。

两个矿床的共性是: Sb 偏于在矿体中部的石英中富集, Cu/Ag、Pb/Zn 在矿体中上部的石英中高, 下部低(表 19)。

表 19 某些金矿床不同标高石英中某些元素含量变化特征 (含量 ppm)

矿区	脉号	标高	Au	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Ti	Ni	Mo	Cu/Ag	Pb/Zn	As, Pb
赛乌素	0 线 32 号脉	1563		0.05	3.90	0.90	<10	11	30	63	12	<1	100	0.37	0.35
		1504		0.06	14.6	1.40	11	15	31	83	<10	5.9	183	0.48	0.97
		1456		0.06	6.2	1.40	<10	<10	18	55	<10	<1	83.3	0.28	1.24
		1353		0.06	3	0.90	<10	<10	19	58	<10	<1	83.3	0.26	0.60
龙水	1 线 1 号脉	360	0.015	6	224	0.80	176	93	31	72	<10	2.1	29.3	3.00	2.41
		280	0.028	1.20	7.7	1.60	18	31	15	28	<10	1.0	15.0	2.07	0.25
		250	0.007	4.50	22.8	0.90	2.8	94	48	42	<10	1.7	0.62	1.96	0.24

(四) 石英脉型金矿床不同标高石英包裹体

中 \bar{D}_{CO_2} 、 $\bar{D}_{\text{H}_2\text{O}}/\bar{D}_{\text{CO}_2}$ 的垂直变化规律

通过对山东牟乳金矿带内金青顶和邓格庄两个典型金矿床不同标高同一成矿期石英包裹体中 H_2O 、 CO_2 的平均光密度的研究表明,从矿体上部至下部,石英包裹体中 \bar{D}_{CO_2} 有降低的趋势, $\bar{D}_{\text{H}_2\text{O}}/\bar{D}_{\text{CO}_2}$ 有逐渐增高的趋势,其中金青顶金矿床由地表到矿体中部再到下部,石英包裹体中 \bar{D}_{CO_2} 由 4.76 降为 2.8,再降为 0.82, $\bar{D}_{\text{H}_2\text{O}}/\bar{D}_{\text{CO}_2}$ 由 1.53 上升为 3.55,再上升为 4.35; 邓格庄金矿床从地表向深部到一中段、二中段、三中段、四中段,石英包裹体中 \bar{D}_{CO_2} 依次是 0.77、1.05、0.77、0.55、0.36, $\bar{D}_{\text{H}_2\text{O}}/\bar{D}_{\text{CO}_2}$ 依次是 5.32、3.45、5.23、9.47、9.08。总体看,矿体上部石英包裹体中 \bar{D}_{CO_2} 高,下部低,而 $\bar{D}_{\text{H}_2\text{O}}/\bar{D}_{\text{CO}_2}$ 相反,矿体上部石英包裹体中低、下部高。这些变化规律为应用红外光谱测定石英包裹体中 H_2O 和 CO_2 相对光密度预测金矿剥蚀程度提供了依据。

四、金矿床的地球化学异常分带模式

研究金矿床的地球化学异常特征，建立金矿床的地球化学异常分带模式是解决金矿化探异常评价，特别是找盲矿的重要途径之一。

（一）典型金矿床的矿脉旁扩散晕模式、热晕特征及蒸发晕特征

1. 扩散晕模式

脉状金矿在成矿过程中，含矿溶液不仅沿构造裂隙带上升充填、渗滤，而且由于含矿热液与断裂两侧围岩中孔隙溶液中的元素浓度差，致使元素向低浓度方向扩散，从而在含金石英脉旁形成扩散晕。在扩散晕形成过程中，成矿溶液与围岩还发生交代作用，使围岩中某些元素活化转移，宏观上表现了围岩蚀变，微观上表现了元素的带入带出，形成正负异常。

图7是内蒙古赛乌素含金石英脉两侧扩散晕模式，其特点是：

（1）脉旁扩散晕范围很窄，当脉宽0.5—1 m时，扩散晕宽一般1—3 m，反映了含金石英脉的形成是以充填为主，扩散为辅。但由于石英脉两侧微裂隙往往都很发育，所以石英脉金矿的原生晕宽度仍然可达十几米。

（2）根据脉旁各元素形成晕的特点，可将元素分为两大类：第一类是成矿溶液带来

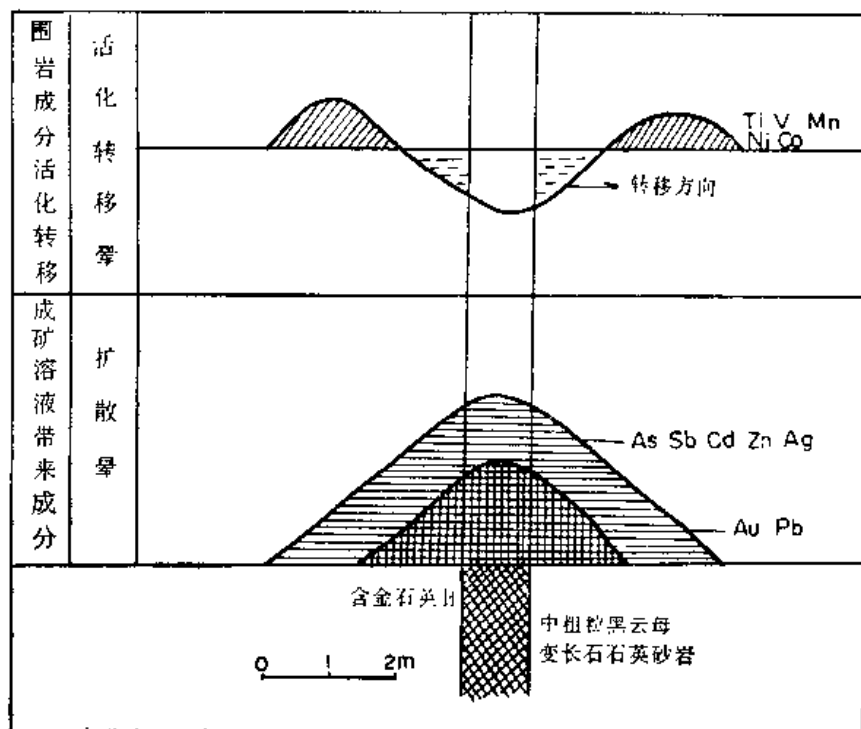


图7 赛乌素含金矿石英脉旁扩散晕模式图

的元素,如 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、Cd、As、Sb、Hg 等,其含量从含金脉体向两侧围岩逐渐降低;第二类是从围岩成分中活化转移出来的元素,如 Ti、V、Ni、Mn 等,这些元素的含量是围岩高于脉体,在近脉蚀变交代中活化带出形成负异常,在离脉体 1—3 m 距离内沉淀形成正异常。Ti、V、Ni、Mn 等在围岩(中粗粒黑云母变长石石英砂岩)中主要与 Fe、Mg 呈类质同象存在于黑云母、绿泥石等矿物中,当围岩发生硅化、绢云母化时,黑云母和绿泥石被绢云母交代,随着 Fe、Mg 的带出,与其呈类质同象的 Ti、Mn、Ni、V 等也活化转入溶液向外迁移,在近脉形成负异常,在离脉稍远处形成带入正异常。

图 8 是龙水金矿区破碎带硫化物型金矿脉两侧原生晕的发育特点。由于破碎带是一个带,所以,矿脉两侧原生晕不只是扩散晕,而是渗滤和扩散作用形成的综合晕。该图是根据多条矿脉两侧原生晕的特点综合得出的模式。模式中 As 的异常宽度最大,可达 6—10 m。其次是 Sb、Zn、Cu、Ag、Au、Bi、Cd 异常宽度较窄。而 Ti、V、Cr 在矿脉中含量低于围岩,近脉形成负异常,远脉也有正异常出现,与赛乌素有一定相似之处。

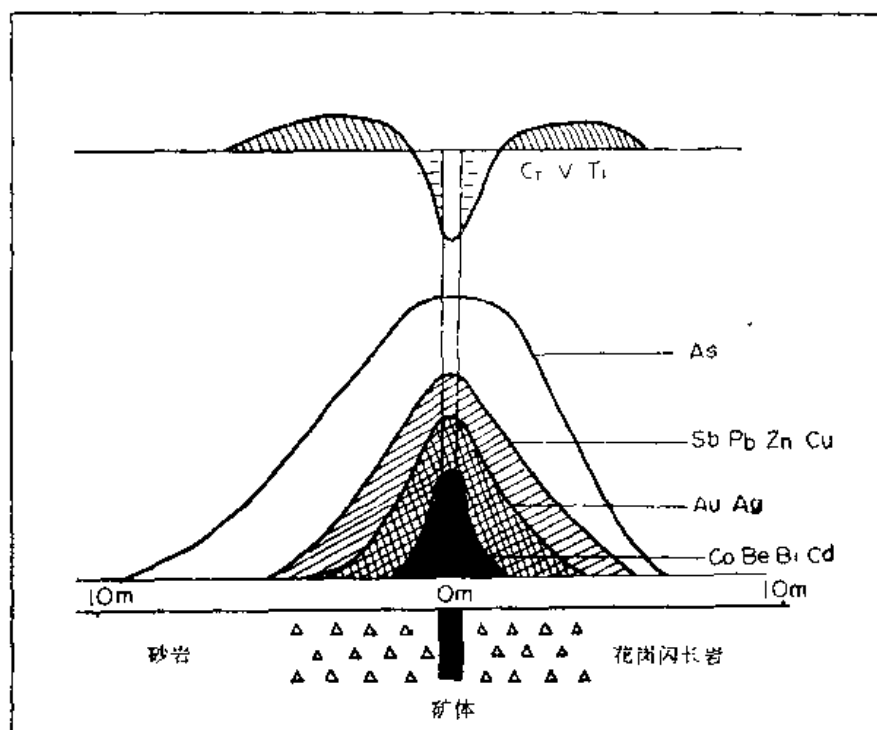


图 8 龙水破碎带硫化物型金矿脉两侧原生晕

2. 热晕特点

通过对赛乌素金矿区四条典型含金石英脉三度空间石英均一温度的研究得出:

(1) 含金石英脉赋矿部位形成温度高于矿化(金不够工业品位)部位,一般赋矿部位均一温度 $>210^{\circ}\text{C}$,而矿化部位较低($<180^{\circ}\text{C}$)。

(2) 含金石英脉体在走向上,由脉中部向两端尖灭处,温度逐渐降低($<180^{\circ}\text{C}$),矿化也随之减弱。

(3) 在垂向上,由于该区石英脉已处于中等剥蚀,一般石英脉向深部延伸只有 150--250 m,矿体一般也都出露地表,向深部矿化减弱。由地表富矿部位向深部石英脉尖灭部位石英均一温度逐渐降低($<180^{\circ}\text{C}$)。

(4) 含金石英脉体内横向温度变化大,由脉中心至边缘,温度从 $>210^{\circ}\text{C}$ 到 $<180^{\circ}\text{C}$ 。

根据上述规律得出了赛乌素石英脉型金矿的热晕模式(图9)。该模式对指导该区找矿有一定意义,指出了温度增高的方向是金富集的方向,富矿部位处于热晕中心带。

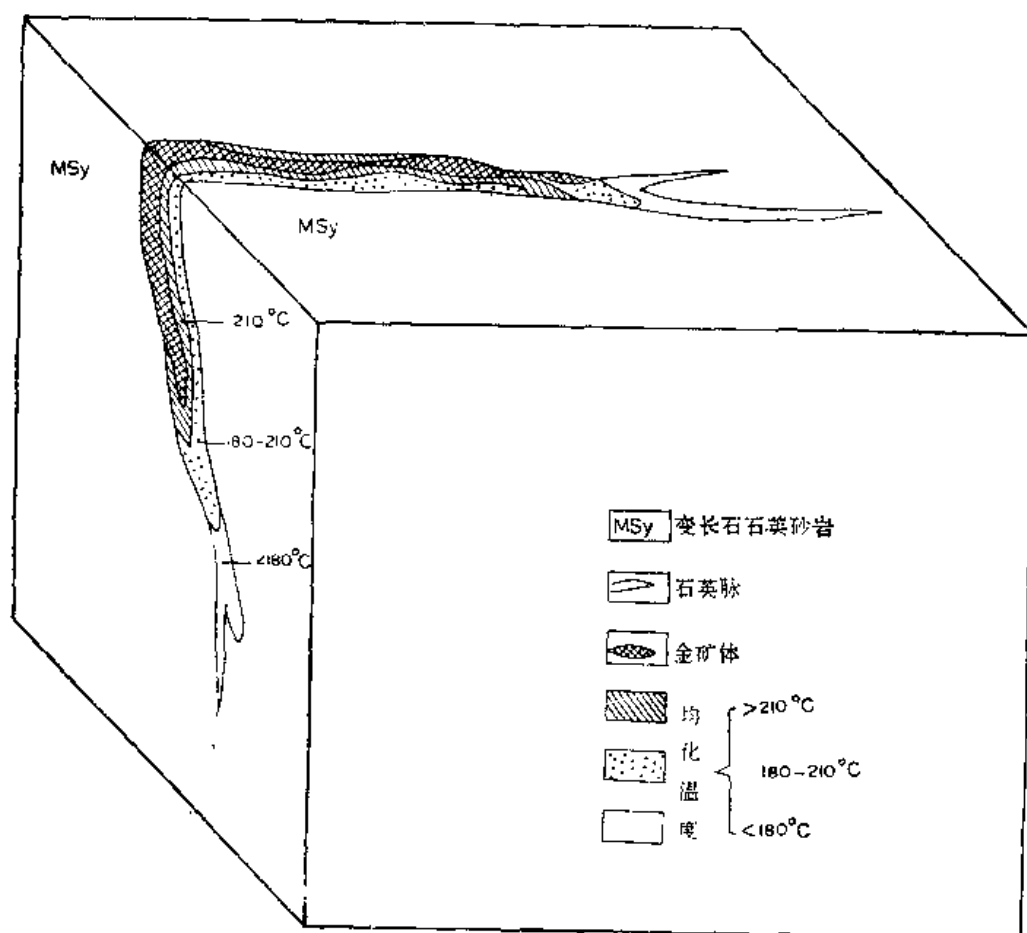


图9 赛乌素含金石英脉形成温度综合示意图

赛乌素含金石英脉的热晕表明,热晕以石英脉中富矿部位为中心,向上,向下,向两侧,沿脉体走向,向两端尖灭处,温度都是逐渐降低。这种规律在赣南脉状钨矿床也有明显表现,含钨石英脉带从上部贫矿带→中部富矿带→下部贫矿带→根部无矿石英脉,温度由低→高→低,富矿部位温度最高¹⁾。

这种热晕形成机理有两种解释:其一,认为在成矿过程中,构造裂隙张开,形成低压区,当与矿液库连通时,矿液迅速进入构造空间,在相对封闭或半封闭条件下,随热量的散失,逐渐从上下两端向中间冷却,形成了现在的含金石英脉。其二,认为赛乌素金矿形成压力很大,当矿液运移到容矿断裂的引张地段,压力突然降低,使温度升高,并引起其他条件(如溶液的浓度、pH、Eh等)改变,导致了工业矿体的形成,而在矿脉尖灭部位流体压力大,表现为温度低,不利于形成工业矿体。尽管两种解释都不会令人满意,但客观事实是存在的,矿床内温度升高方向不一定都反映热源方向。

3. 金矿的蒸发晕特点

在金矿形成过程中,含金热液沿裂隙构造充填、渗滤和向围岩扩散交代,随着物化条

1) 李惠,1984,赣南脉状钨矿床地球化学特征。

件的变化,各种矿石矿物、脉石矿物和围岩中蚀变矿物逐渐形成,同时也在矿物中形成了大量原生和次生包裹体,这些包裹体随远离成矿裂隙中心逐渐减少,即形成了蒸发晕。

图 10 中长剖面是穿过龙水破碎带硫化物型和石英脉型金矿带的蒸发晕,该图是采用全岩爆裂累积脉冲数作成的,蒸发晕清楚地反映了龙水金矿区(带)的宽度,背景的累积脉冲数为 200,异常下限为 300,矿带上异常在 4 000—3 075 间跳动,充分反映了构造控矿的特点。右边花岗岩背景脉冲数在 4 000—7 000 间变化,但很平稳,与矿带有明显区别。

1 线剖面是穿过 1 号、17 号和 19 号矿脉不同标高的蒸发晕曲线图,其特点是:① 蒸发晕呈条带状,严格受断裂带和矿脉控制,以脉体或断裂带为中心向两侧围岩逐渐降低;② 蒸发晕的宽度较窄,一般只有十几米;③ 蒸发晕在矿脉上盘比下盘发育,矿脉中部比上部和下部强度高、范围大,上部又比下部强度高;④ 蒸发晕形态与 Au、Ag、Pb 的原生晕相似。

(二) 典型金矿床原生晕特征及地球化学异常模式

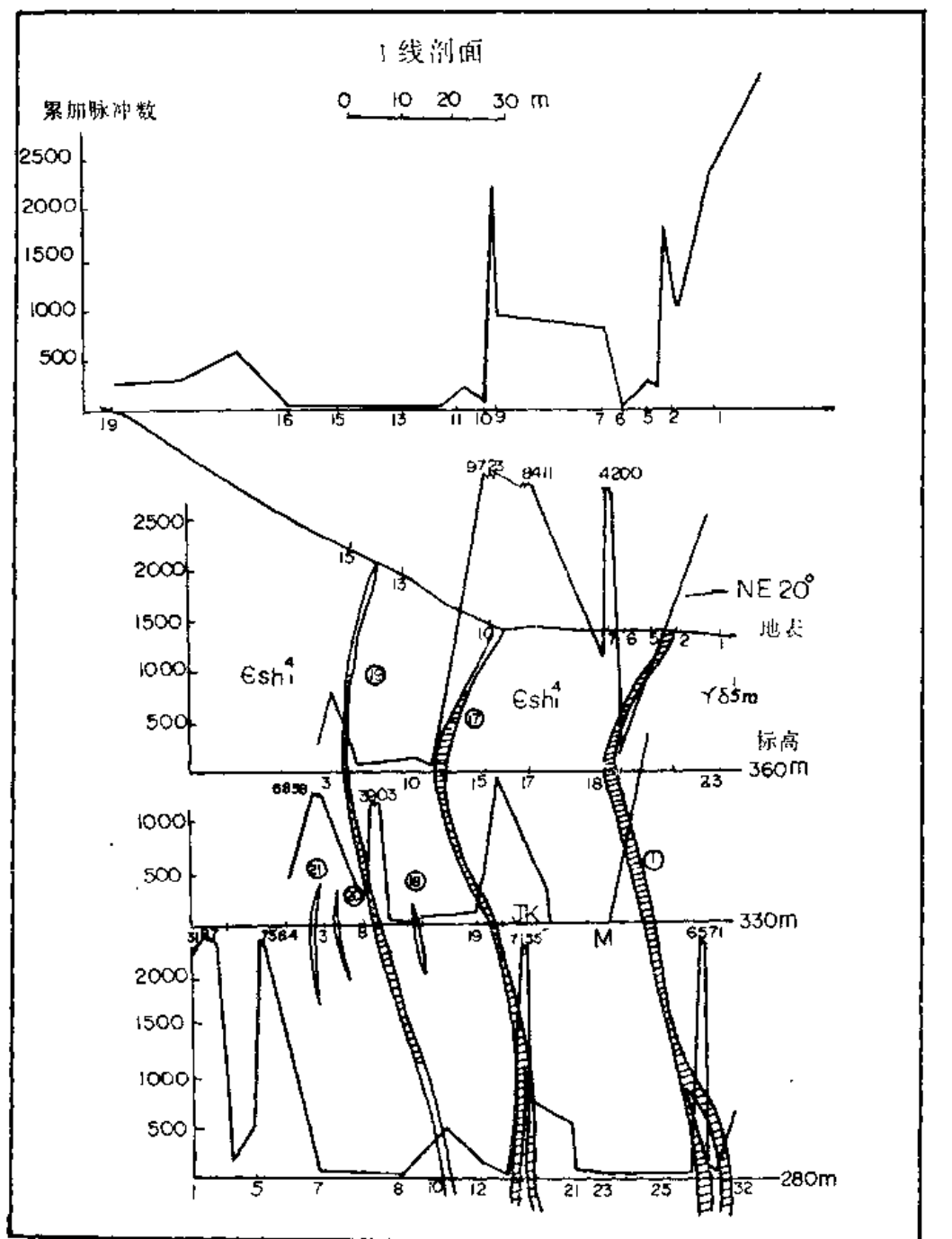
石英脉型、蚀变岩型金矿床,虽然其物质来源、成矿溶液的成分和性质及成矿环境不同,但都属于热液金矿。研究表明,热液型金矿床的原生晕极为发育,尤其是前缘晕可达 $n \times 100$ m,而且原生晕表现了明显分带性。异常分带包括浓度分带和组分分带。浓度分带一般分为外、中、内三个级次异常带,分带标准是以各典型矿床所在区指示元素背景值加 1.5—2 倍均方差做为异常下限或外带异常下限,以异常下限的 2 或 4 倍、8 倍或 16 倍作为异常中带或内带。组分分带也是以浓度分带为基础的,即异常不同部位有不同浓度带的元素组合。根据各典型金矿床的地球化学异常分带特点,分别建立了典型金矿床地球化学异常模式。下面介绍七个典型金矿床的地球化学异常模式。

1. 山东牟平-乳山金矿带石英脉型金矿床地球化学异常模式

牟乳金矿带是胶东的一个重要金矿产地,已发现有大、中型金矿多处,是一个很有找矿前景的成矿带。区(带)内分布有数百条含金石英脉,最大者长达 5 000 m,宽 1—5 m,一般长为 1 000—2 000 m,宽 0.5—2 m。石英脉的产出严格受区内六条北东向主干断裂构造带控制,石英脉主要分布于昆嵛山混合花岗岩中,只有少部分含金石英脉分布于胶东群老地层中。矿床为混合岩化热液型金矿。围岩蚀变以硅化、绢云母化、黄铁矿化为主,其次有绿泥石化、碳酸盐化等。金属矿物主要是黄铁矿,其次有方铅矿、闪锌矿、黄铜矿及少量毒砂,有些矿脉中出现较多的重晶石和菱铁矿。明金极少见,金主要以裂隙金、晶间金和包体金存在于黄铁矿等硫化物中。

在该成矿带重点研究了金青顶、邓格庄、三甲、金牛山(各矿的规模和剥蚀程度不同)四个典型金矿床的原生地球化学异常特征。表 20 列出了各指示元素异常浓度分带的标准。

图 11 是邓格庄金矿床地表岩石地球化学异常平面图,该矿为盲矿,地表石英脉的宽度一般只有 30—50 cm。石英呈黄褐色,新鲜面呈乳白—灰白色。黄铁矿少见,只见有一些黄铁矿流失孔。Au 平均含量为 0.455 ppm。该石英脉向深部 50—100 m 则为金矿体,脉宽达 1—2 m,石英脉中出现大量黄铁矿,并见有少量黄铜矿。地表异常中元素组合



Esh³ 水口群清溪亚群第四段第三小段不等粒长石石英砂岩夹页岩

Esh² 水口群清溪亚群第四段第二小段深灰色泥质粉砂岩夹碳质页岩

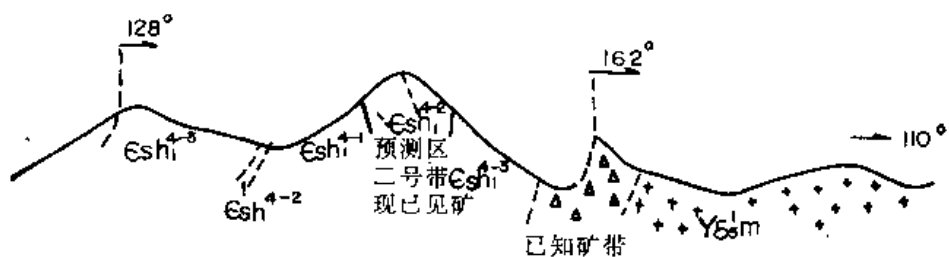
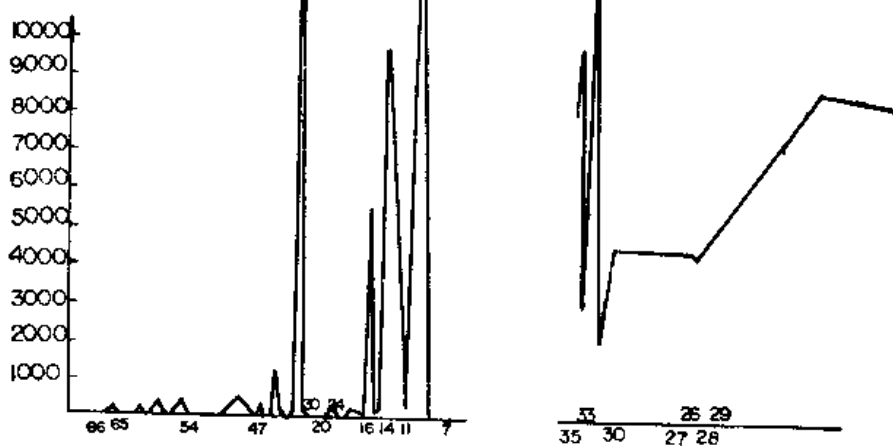
Esh⁴ 灰黑色含碳不等粒长石石英砂岩夹千枚状奥岩

图 10 龙水

长剖面

0 100 200 300 m

累加脉冲数



Esh⁴ 水口群清溪亚群第四段不等粒砂岩夹含碳质页岩

rbgn 印支期斑状黑云母花岗闪长岩

① 矿脉及其编号 **▲▲▲** 压碎岩

金矿发育图

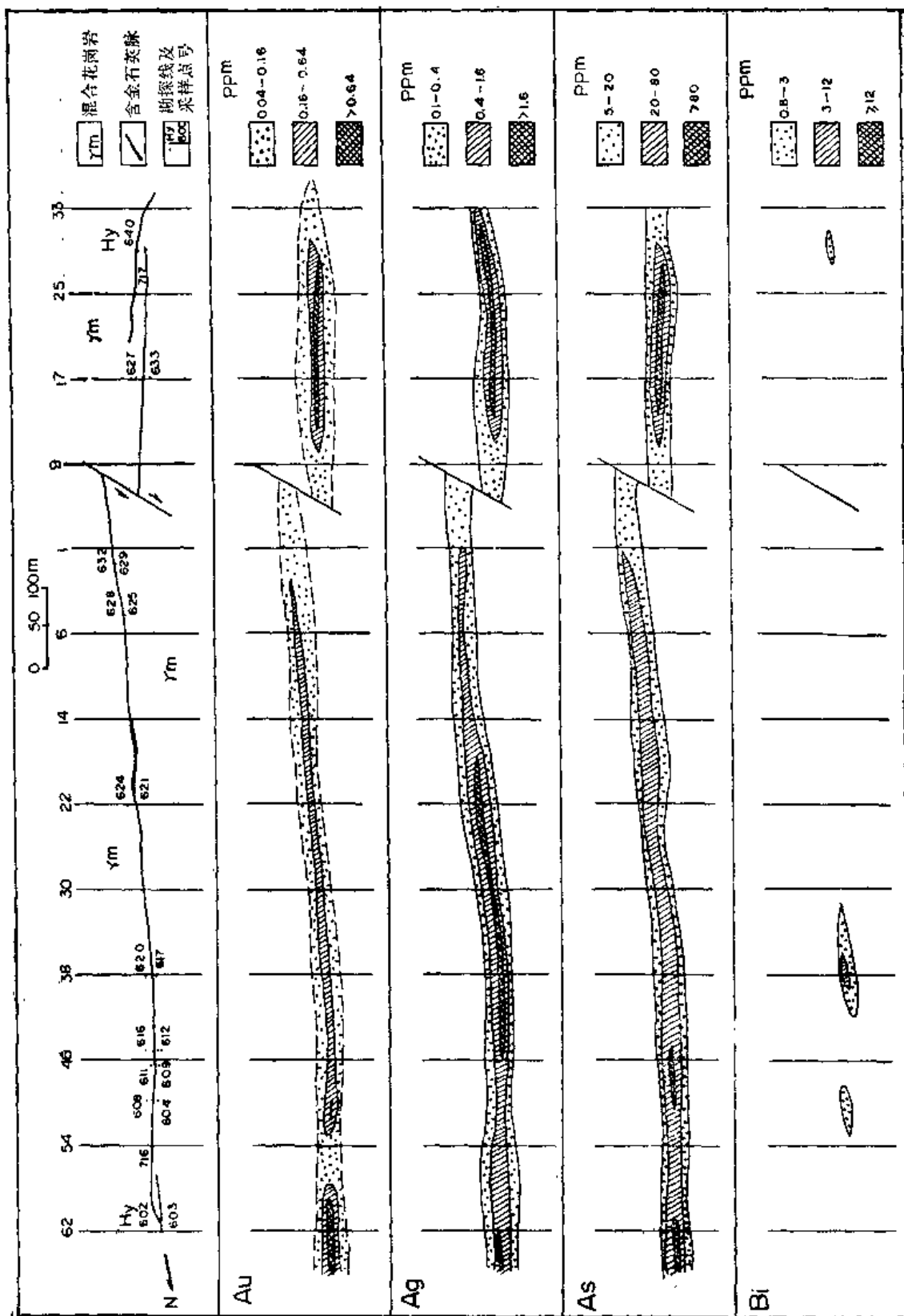


图 11-1 邓格庄金矿床 2 号脉地表岩石地球化学异常平面图

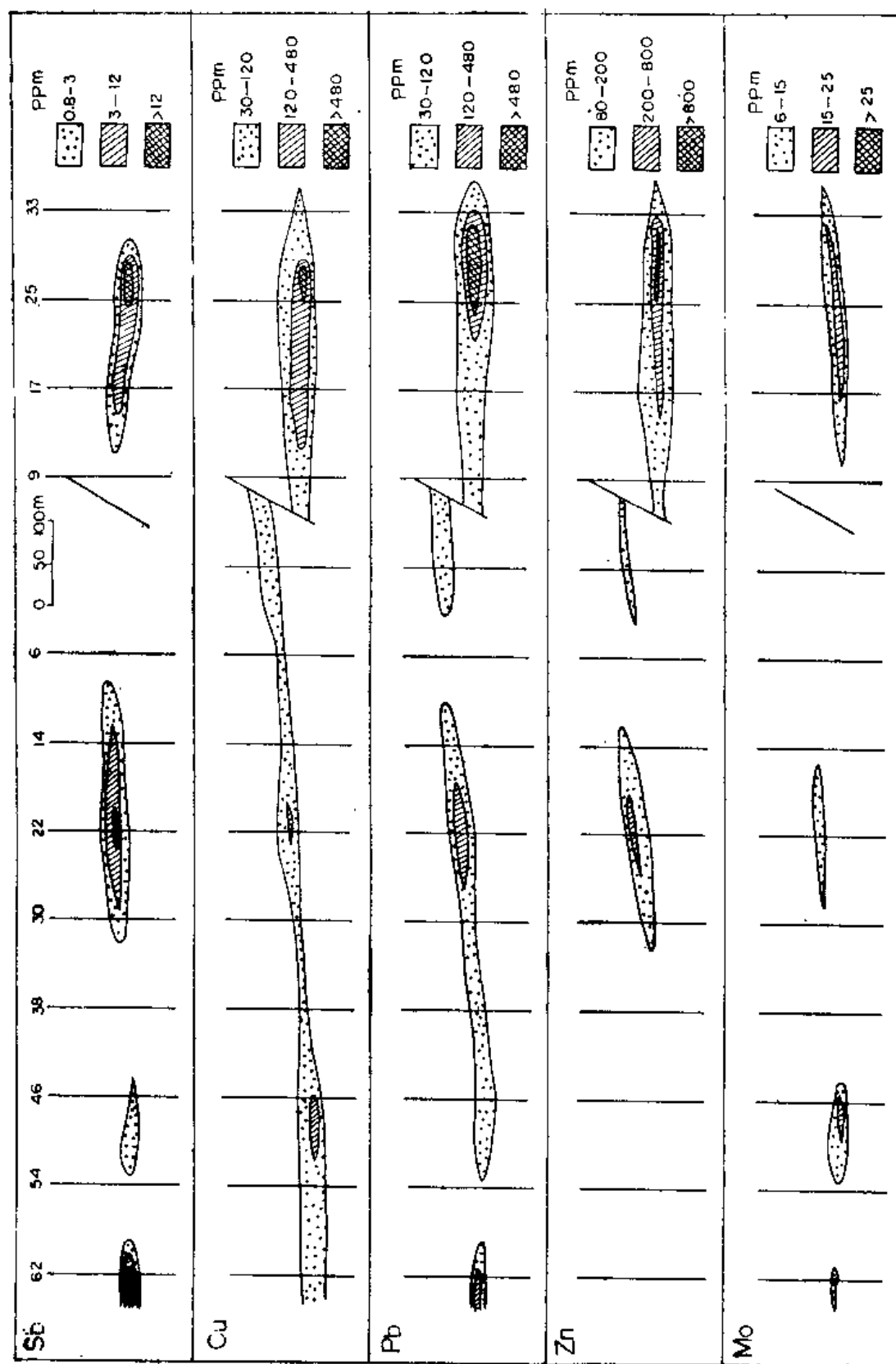


图 11-2 邓格庄金矿床 2 号脉地表岩石地球化学异常平面图

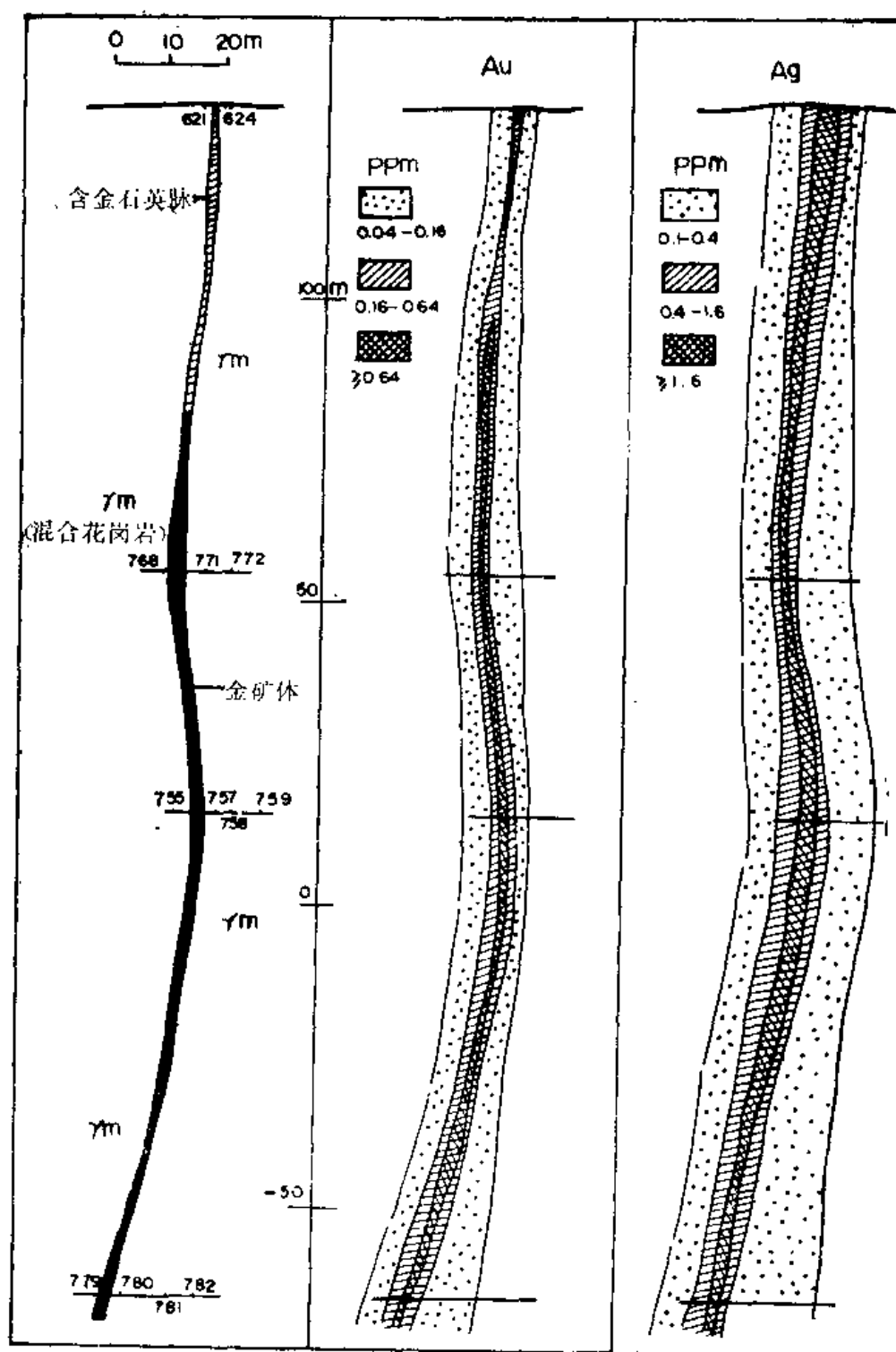
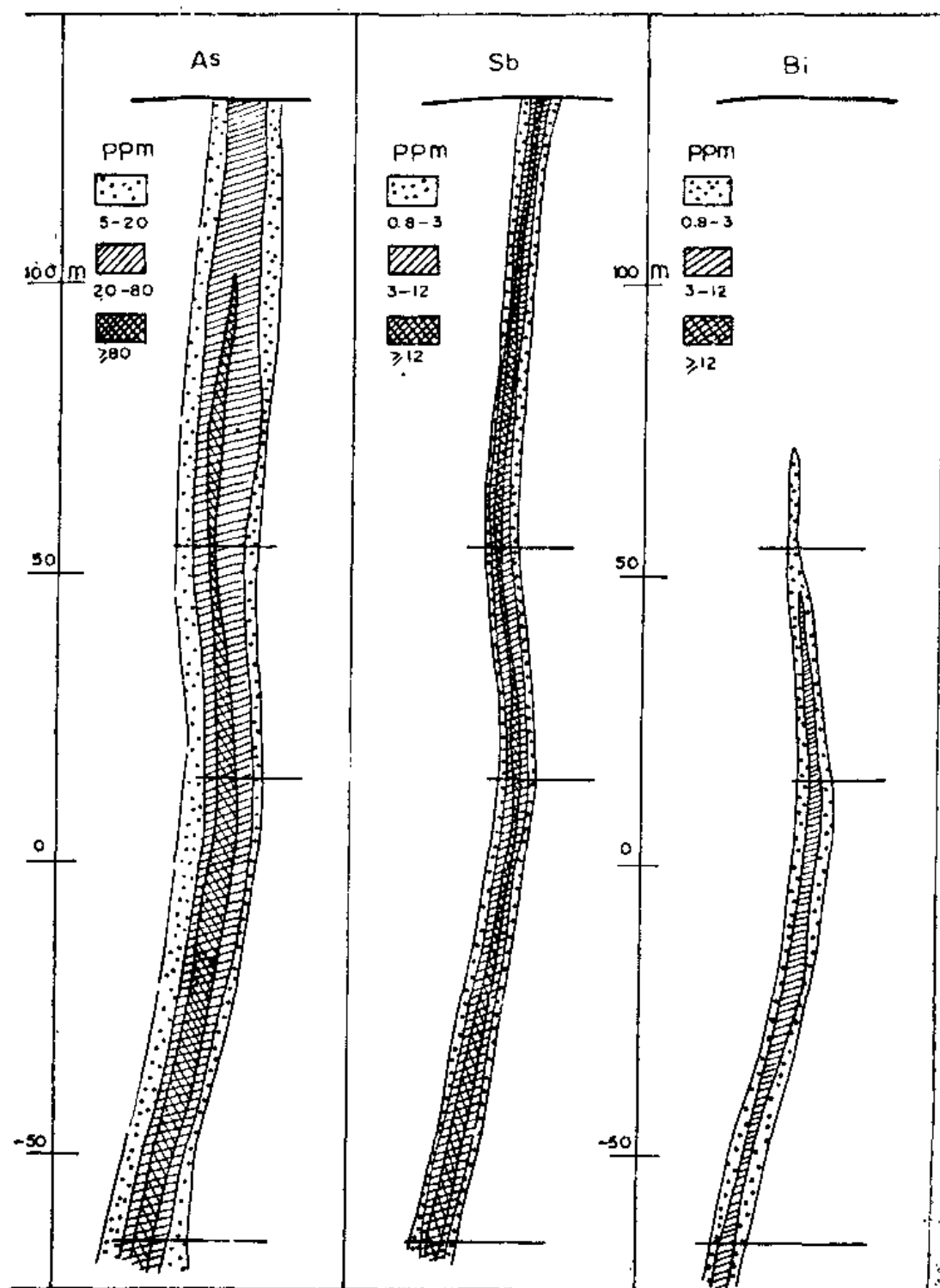


图 12-1 邓格庄金矿床 2 号矿



脉 22 线地球化学异常剖面图

表 20 牟乳金矿带岩石地球化学异常分带及含金石英脉指示元素分带标准 (ppm)

分带类型	分带		Au	Ag	Hg	As	Sb	Bi	Cu	Pb	Zn	Mo	Mn
异常分带	外带	>	0.04	0.1	0.04	5	0.8	0.8	30	30	80	6	500
	中带	>	0.16	0.4	0.1	20	3	3	120	120	200	15	1 000
	内带	>	0.64	1.6		80	12	12	480	480	800	25	2 000
石英脉体内元素浓度分带	低	>	0.04	0.2	0.04	10	0.8	0.8	30	80	80	6	200
	中	>	0.16	1.0	0.1	20	3	3	120	200	200	15	500
	高	>	0.64	4		80	12	12	480	480	800	25	1 000

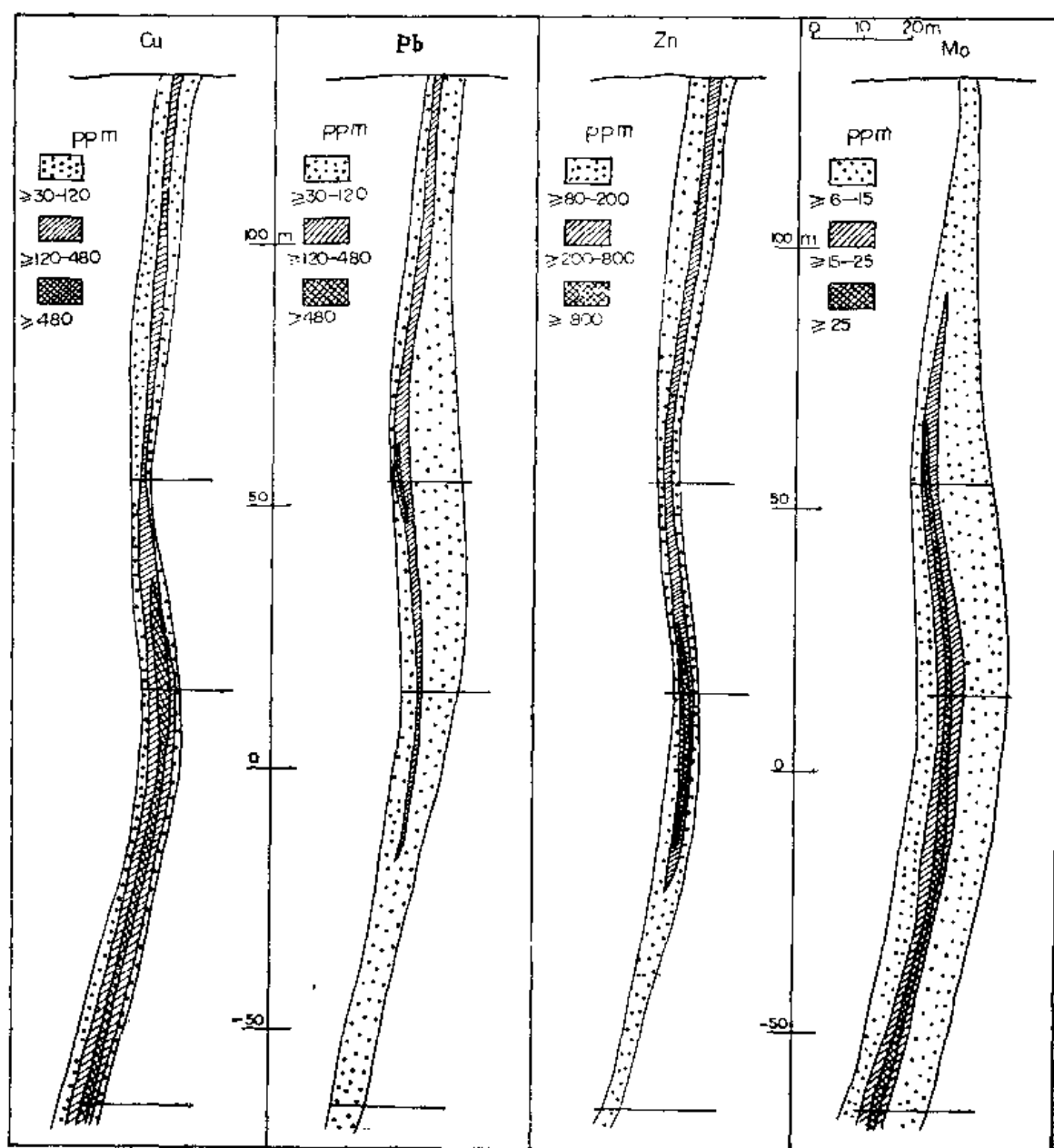


图 12-2 邓格庄金矿 2 号矿脉 22 线地球化学异常剖面图

为 Au、Ag、Cu、As、Sb、Pb、Zn、Hg、Mo、Bi，其中 Au、Ag、As 异常强度高、范围大，其次是 Cu、Sb、Pb、Zn 异常，Sb 异常明显比 Bi 异常强度高、范围大。从剖面上看(图 12)，Au、Ag、As、Sb、Bi、Cu、Pb、Zn、Mo 等在矿体上下盘均很发育，一般为矿脉宽度的 3—10 倍。异常显示了明显的分带性，Pb、Zn 高强度异常出现在矿体前缘和头部，向下有降低的趋势，Bi、Mo 异常向下有明显增高的趋势。

图 13 是金青顶大型石英脉型金矿床地球化学异常垂直纵投影图。该矿延深(600 m)大于延长(300 m)，矿石中主要金属矿物是黄铁矿，其次是黄铜矿、方铅矿和闪锌矿。金主要以晶间金、裂隙金和包体金存在于硫化物中。异常中的元素组合是 Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Mo、Bi、Hg 等，异常分带极为明显，Hg、Sb 异常分布于矿体前缘和头部，Pb、Zn 异常分布于矿体上部，Sb/Bi、(Pb·Zn)/(Mo·Bi) 的高比值区也出现在矿体

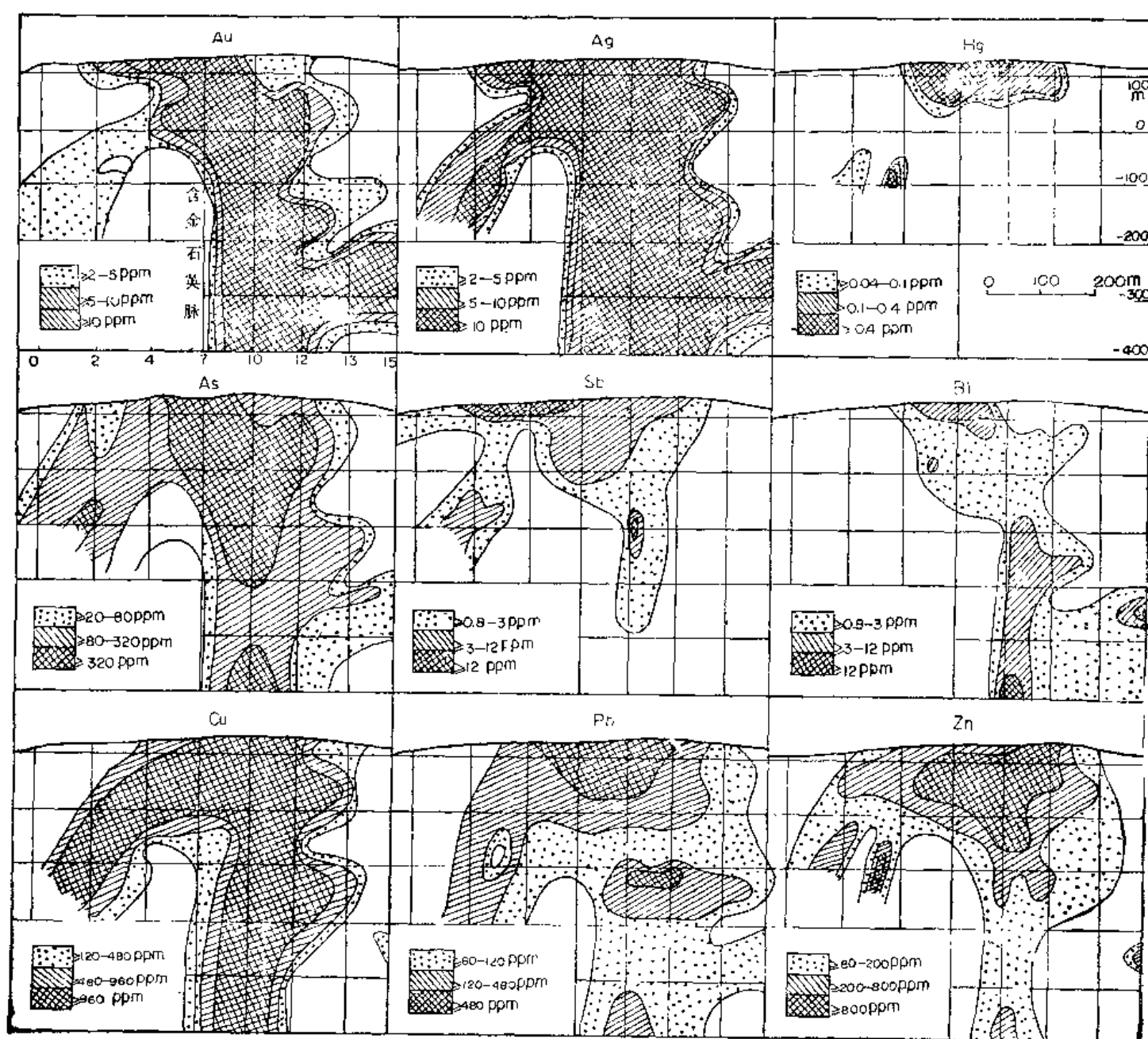


图 13 金青顶金矿床地球化学异常垂直纵投影图

上部。而 Bi 的强异常偏于矿体下部。

金牛山含金石英脉为深剥蚀矿床的典型实例，其地表异常最大特点是 Bi 异常大于 Sb 异常。

综合上述几个典型石英脉型金矿床异常分带的特点，得出了牟乳金矿带石英脉型金矿床的地球化学异常分带模式(图 14)，其特点是：

(1) 异常中元素组合是：Au、Ag、As、Sb、Bi、Cu、Pb、Zn、Mo、Hg。

(2) 异常严格受构造控制，呈条带状，其展布方向与含金石英脉一致。异常范围一般为矿脉的 2—10 倍。

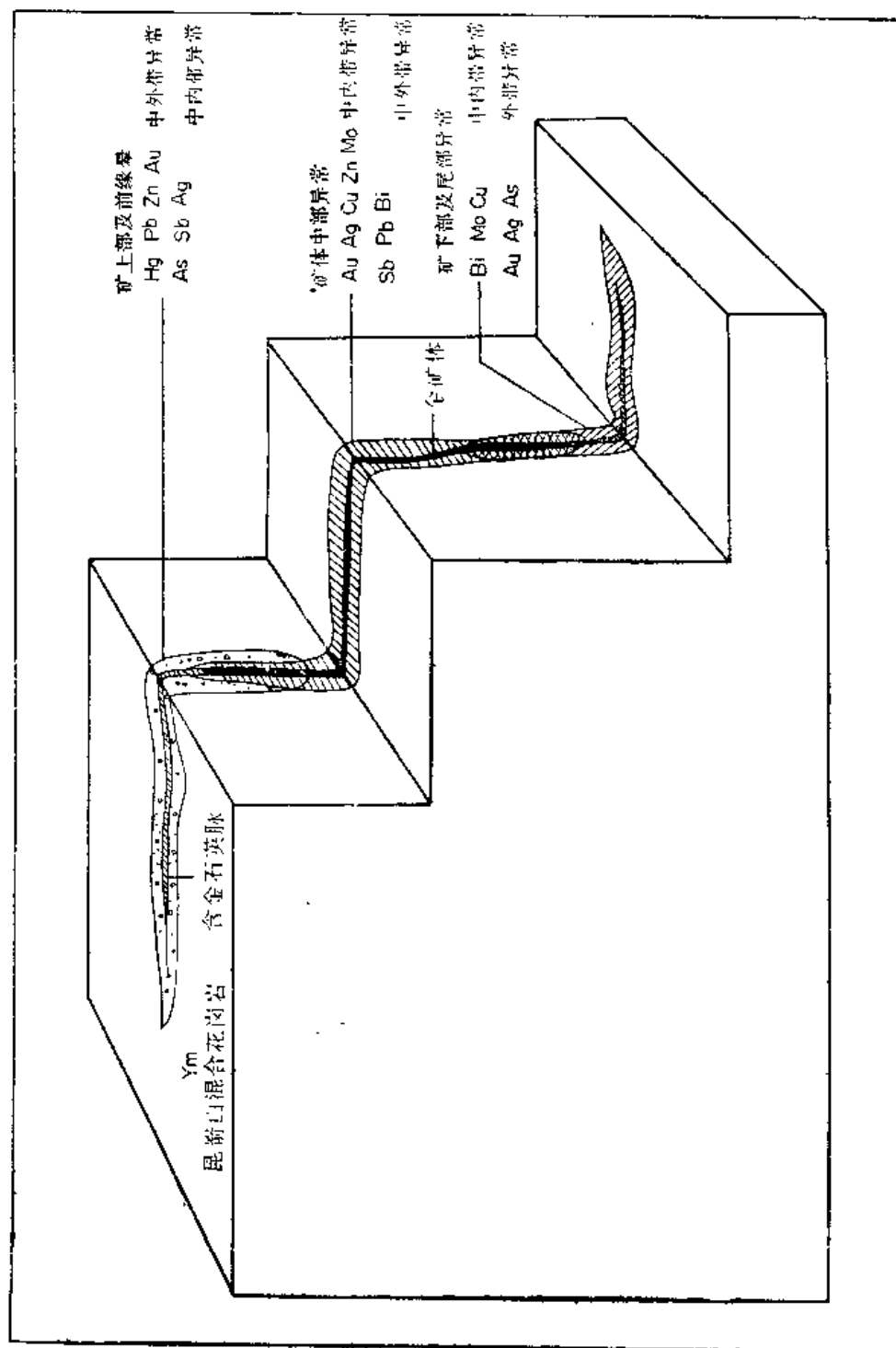


图 14 牟乳金矿带石英脉型金矿床地球化学异常模式

(3) 异常的垂直分带特点: 矿体前缘晕及上部晕是 Hg、Pb、Zn、Au 中外带异常, As、Sb、Ag 为中内带异常; 矿体中部晕为 Au、Ag、Cu、Zn、Mo As 中内带及 Sb、Pb、Bi 中外带异常组合; 矿体下部及尾晕为 Bi、Mo、Cu 中内带和 Au、Ag、As 外带异常组合。

2. 山东招掖金矿带金矿床地球化学异常模式

招掖金矿带是我国最重要的金矿带之一, 其成因为混合岩化热液型, 包括焦家式破碎带蚀变岩型金矿和玲珑式典型石英脉型金矿。金矿主要赋存于混合花岗岩内, 部分金矿产于胶东群中。石英脉型和蚀变岩型金矿在垂向空间上的分布特点是前者在后者之上。

招掖金矿床的主要围岩蚀变是硅化、绢云母化、黄铁矿化, 其次是绿泥石化和碳酸盐化。焦家金矿的钾化非常典型。主要金属矿物有黄铁矿, 其次有方铅矿、闪锌矿、黄铜矿及少量辉钼矿, 毒砂和菱铁矿。金矿物主要有自然金、银金矿、碲金矿等, 但明金极少见。金主要呈包体金、晶间金和裂隙金存在于黄铁矿等硫化物中。

招掖金矿带无论是石英脉型、还是蚀变岩型金矿, 其原生晕都很发育, 尤其是前缘晕可达 $n \times 100$ m, 一般破碎带蚀变岩型金矿脉的上下盘晕比石英脉型金矿上下盘晕更发育。原生晕中元素组合有 Au、Ag、As、Sb、Mo、Cu、Pb、Zn、Se、Te、Ba、Mn 等。原生晕总体分带特征是: As、Sb、Hg、Ba(Ag) 强异常组合出现在矿体前缘或头部, Au、Ag、Cu、Pb、(Zn)、Se、Te 异常组合是近矿标志, Mn、Zn 强异常往往出现在矿体下部¹⁾。

3. 内蒙古赛乌素石英脉型金矿床地球化学异常模式

赛乌素金矿产于元古代白云鄂博群尖山岩组的变长石石英砂岩和变长石砂岩中。金矿体主要赋存在石英脉体中, 少部分赋存在石英脉体旁侧围岩内。含金石英脉严格受东西向断裂控制。区域内岩浆活动强烈, 岩浆岩分布广泛, 但矿区内只见一些脉岩, 如闪长岩、长英质脉岩等。区内石英脉成群或带分布, 石英脉长一般几十至几百米, 大于 300m 者有 9 条, 石英脉宽度一般为 1—3 m。矿床的成因兼有重熔岩浆热液和变质热液的特点。

矿石中金属矿物主要是黄铁矿, 地表大都氧化为褐铁矿。其次见有方铅矿、毒砂、黄钾铁矾, 含有少量铁闪锌矿、白铁矿和铜蓝等。金主要为自然金和银金矿, 矿石中自然金较常见。脉石矿物主要是石英, 其次有绢云母、绿泥石和方解石等。围岩蚀变主要是硅化、黄铁矿化(地表为褐铁矿)、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化等。

在研究了该区地球化学背景的基础上, 确定了地球化学异常外、中、内带异常的标准值(表 21)。

赛乌素金矿床的地球化学异常极为发育, 并且具有明显分带性, 其总的特征是:

- (1) 异常中元素组合是 Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、V。
- (2) 在三度空间上, 异常形态和展布方向与含金石英脉完全一致, 异常范围为矿体的 3—10 倍。
- (3) As、Pb、Ag、Au、Sb、Cd 等元素都出现了中内带异常, 其异常在矿体中上部发育。Cu、Zn 异常范围较小, 其内带异常只在赋矿部位出现, 中带异常较窄, 外带异常发育。V 异常出现在含金石英脉体两侧的围岩中。Co、Ni、Mo 只出现了一些分布零星的

1) 据刘汉忠、李富国, 1986, 山东招掖地区金矿带原生地球化学模式及化探找矿评述。

表 21 赛乌素金矿区背景值及异常下限值表 (ppm)

元素	As	Sb	Au	Cd	Zn	Cu	Ti	Mn	Co	Ag	Bi	Pb	Mo	V	Hg
背景值	12.4	1.015	0.0098	2.5	120.5	21.2	2773	444	13	0.1068	0.5	29	10	34	0.02
异常下限 (外带)	100	2	0.02	5	300	70	7400	900	40	0.1	10	60	10	80	0.1
中带	200	4	0.1	10	600	140	15000	1800	80	0.2	20	120	20	160	0.2
内带	400	8	0.5	20	1000	280	30000	3600	160	0.4	40	240	40	320	0.4

弱异常(图 15、16)。

综合该金矿床的三条矿脉平面地球化学异常和四个剖面地球化学异常特点,得出了赛乌素石英脉型金矿床地球化学异常模式(图 17),异常的分带特点是:①矿体前缘晕: As、Sb、Au、Ag、Hg 中外带异常组合,其异常在矿体前缘和矿体上部规模相对大、强度高;②近矿晕: As、Au、Cu、Ag、Pb 内带或中带异常。V 异常出现在矿脉两侧;③矿体下部及尾晕: Au、Ag、As、Zn 外带异常, Ni、Co、Mo、Cd 在尾部出现零星异常。

4. 河北金厂峪金矿床地球化学异常模式

金厂峪金矿主要为复脉带型金矿,其次有石英大脉型金矿。赋存围岩为太古代八道河群王厂组斜长角闪岩、斜长角闪片麻岩和变粒岩。主要蚀变为硅化、绢云母化和黄铁矿化。金属矿物主要是黄铁矿,次有黄铜矿、辉钼矿、方铅矿等。金的矿物主要有自然金、银金矿,其粒度极小,明金极少见到。

表 22 列出了各指示元素异常浓度分带标准值。图 18 是金厂峪金矿不同标高的地球化学异常平面图。金厂峪金矿床地球化学异常总体特征是, Au 以矿体为中心向外浓度逐渐降低, Ag、Mo、Pb 异常与 Au 异常正相关。Hg、As、Sb 异常在矿体上方和前缘发育,矿体下部其异常范围小、强度低。Ti、V、Ni 等在矿体上为低值负异常,在矿体两侧往往形成断续分布的正异常。

表 22 金厂峪微量元素异常浓度分带表 (ppm)

异常分带	Au	Ag	As	Sb	Hg	Cu	Pb	Zn	Mo	Ti	Mn	Co	V
外带	0.03	0.25	3.5	1	0.04	150	40	130	2.5	4000	1000	45	200
中带	0.12	1	14	4	0.16	600	160	520	10	16000	4000	180	800
内带	>0.48	>4	>56	>16	>0.64	>2400	>640	>2080	>40	>64000	>16000	>720	

图 19 是根据金厂峪复脉带型金矿床的地球化学异常平面图、剖面图的特点总结出的地球化学异常模式,特点是:①前缘晕: Hg、As、Sb 中外带异常, Au、Ag、Pb、Mo 外带异常及 Ti、Ni、V 弱异常;②矿体头部晕: Au、Ag、Pb、Mo 中内带异常和 Hg、As、Sb 中带异常组合,矿带中 Ti、V、Ni 低值,两侧往往出现弱异常;③矿体中部晕: Au、Ag、

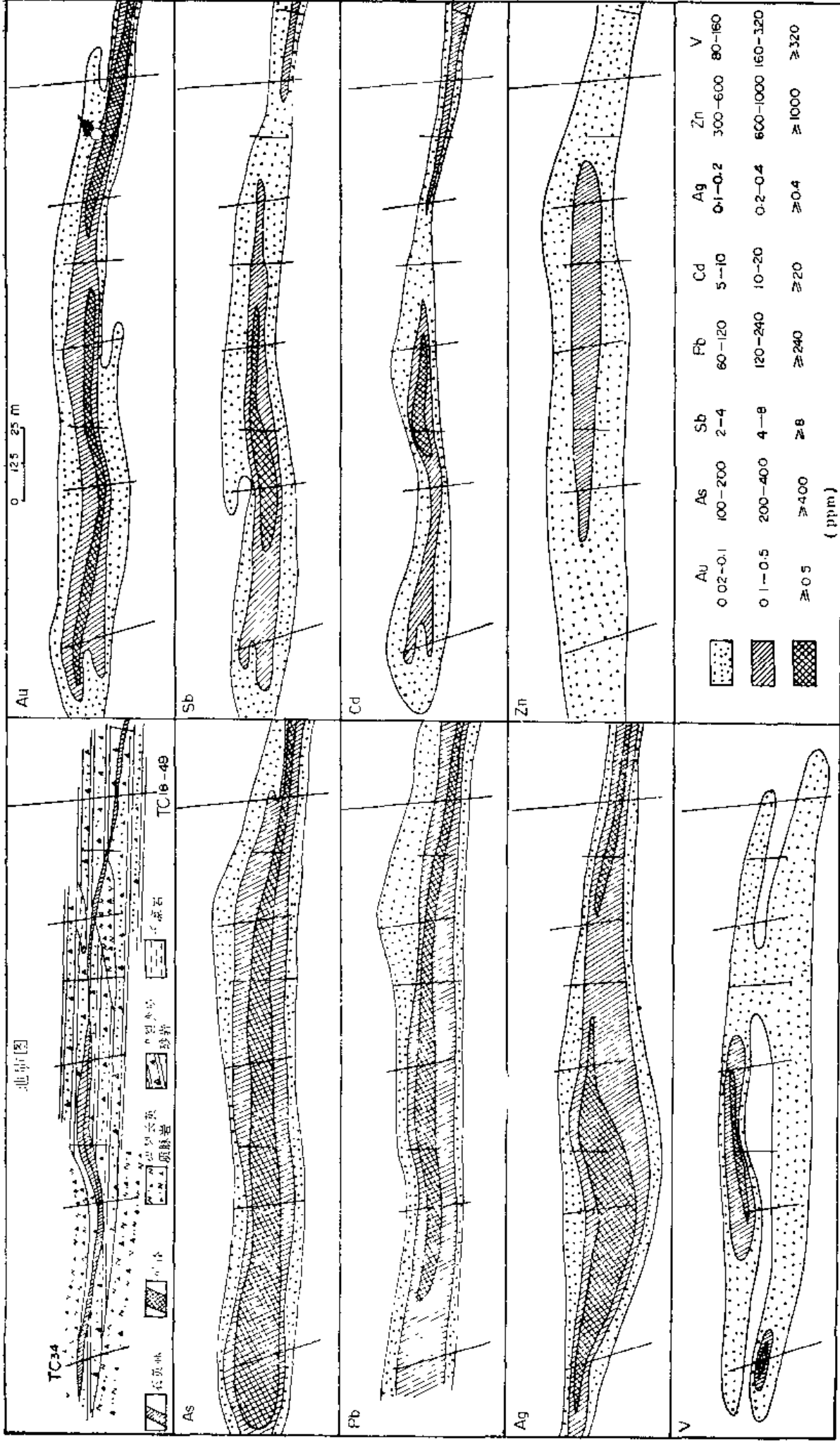


图 15 赛乌素金矿 49 号脉西段地表岩石地球化学异常平面图

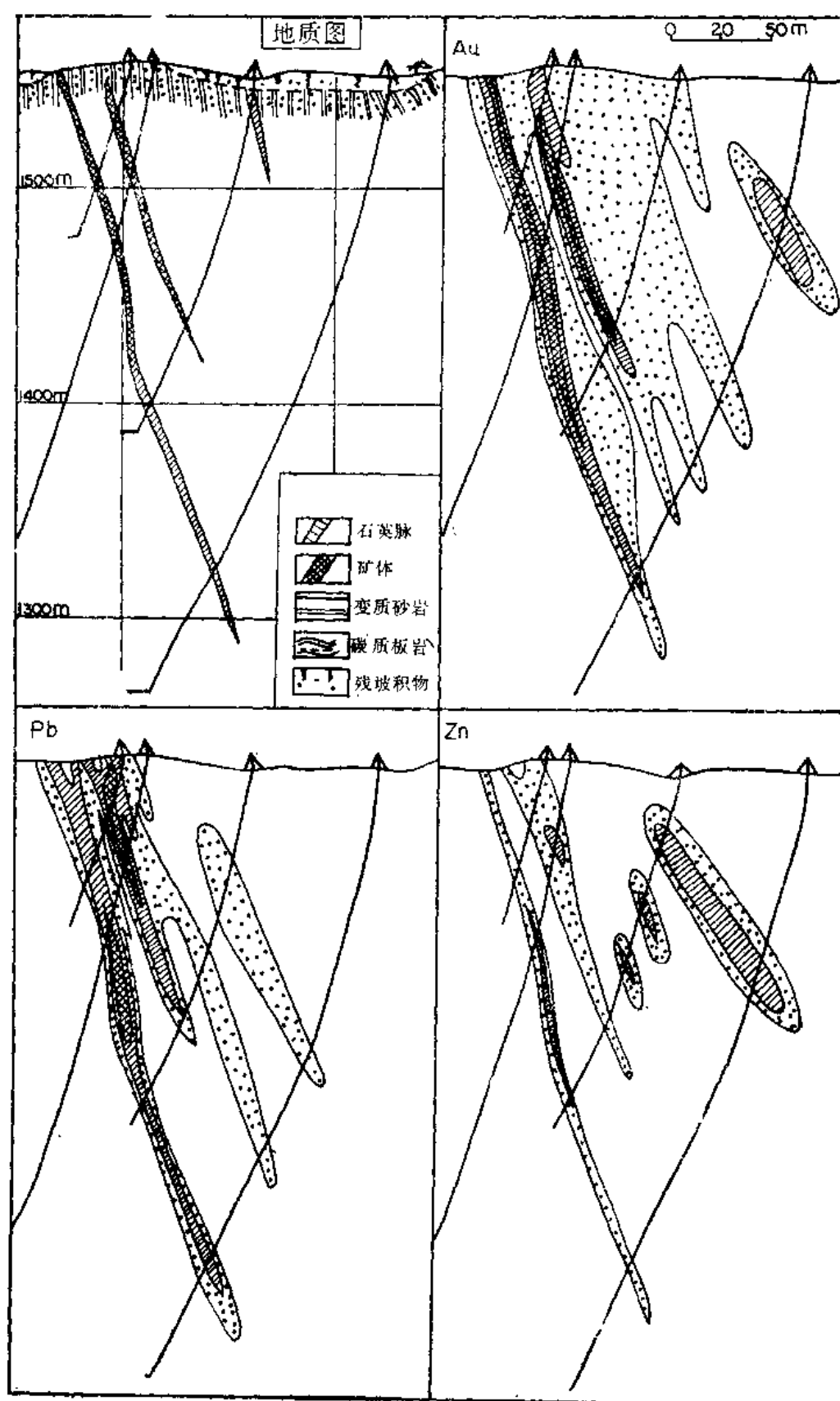
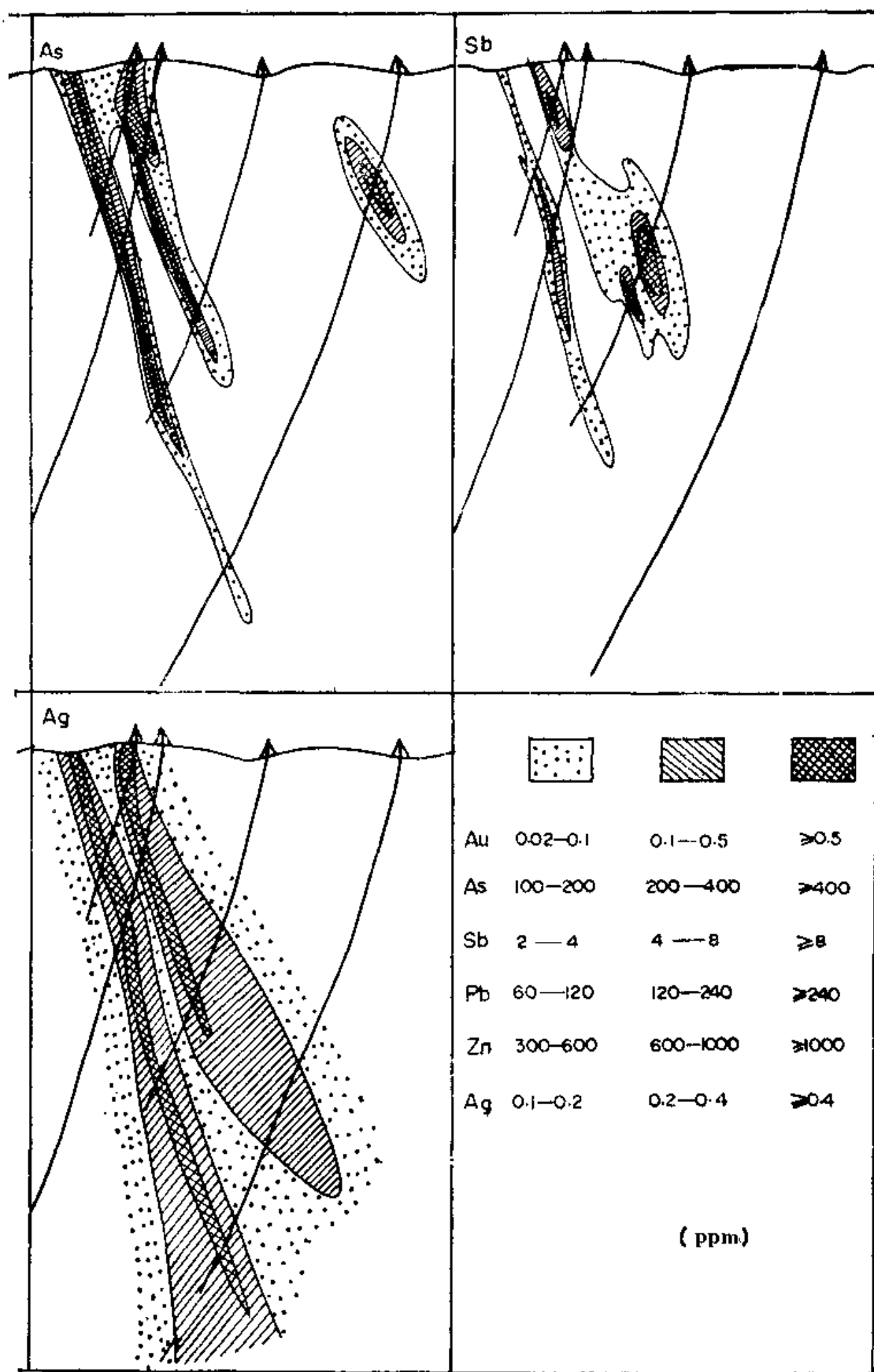


图 16 赛乌素金矿 26 号



脉 16 线地球化学剖面图

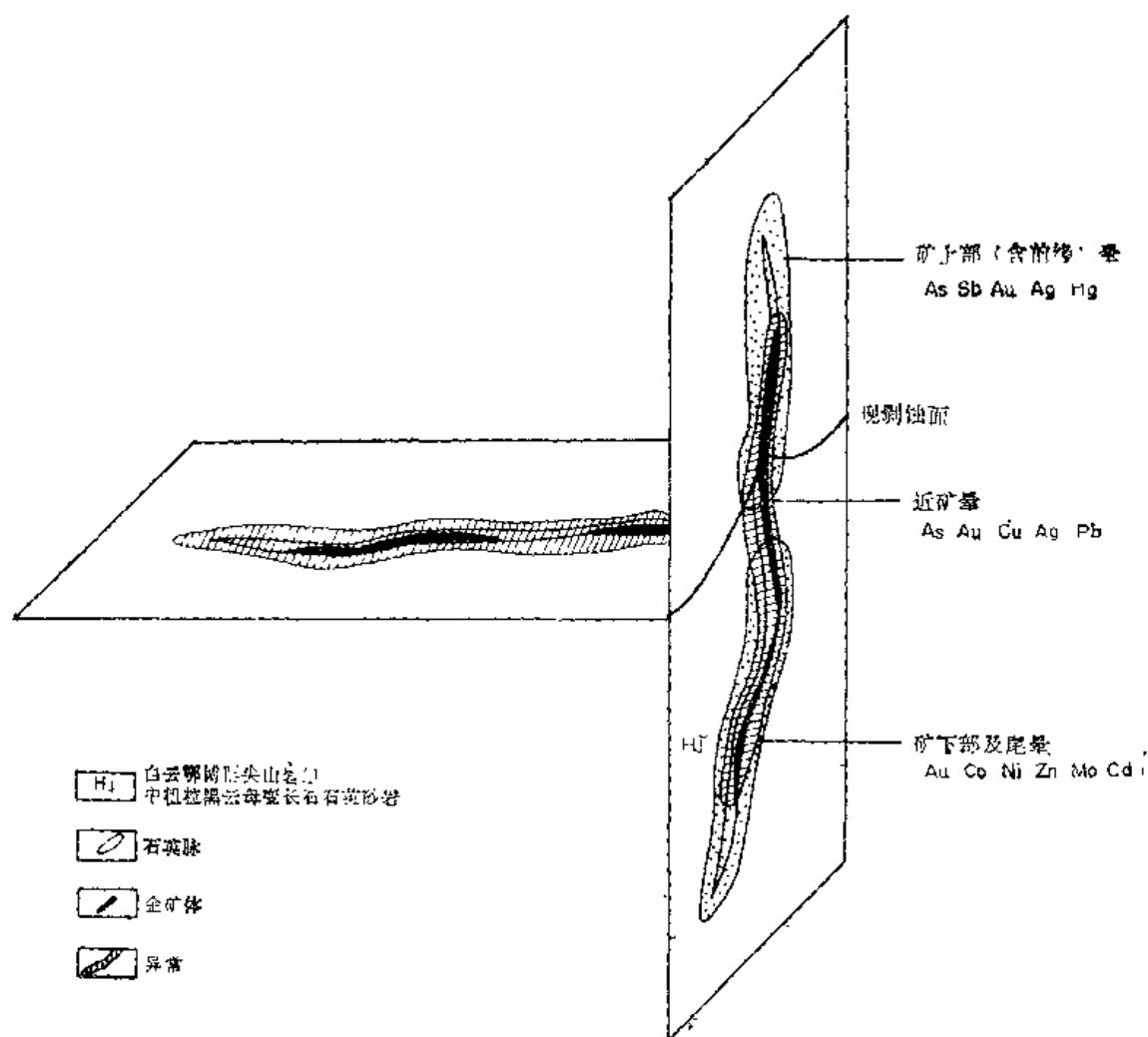


图 17 赛乌素石英脉型金矿床地球化学异常模式

Pb、Mo 内带异常，As、Sb 外带异常，Ti、Ni、V 在矿脉两侧出现弱异常；④尾晕：Au、Ag、As、Mo 外带异常，Ti、Ni、V 负异常。

5. 广西龙水金矿床地球化学异常模式

(1) 矿床基本特征：广西龙水金矿有四种矿化类型，以破碎带硫化物型金矿为主，其次是石英脉型。矿体主要赋存于寒武纪碳质砂页岩内及与大宁斑状花岗闪长岩接触带内，明显受接触构造和断裂破碎带控制。金属矿物以黄铁矿为主，其次有方铅矿、黄铜矿、斑铜矿、毒砂和少量闪锌矿。金主要呈自然金、银金矿。脉石矿物以石英为主，其次是绢云母，少量方解石和重晶石。围岩蚀变为硅化、绿泥石化、绢云母化和黄铁矿化。

(2) 地球化学异常特征：龙水金矿的地球化学异常特点是，异常展布严格受构造带控制，异常宽度比破碎带宽 $n-n \times 10$ 倍。异常中元素组合为 Au、Ag、As、Sb、Mo、Cu、Pb、Zn、Mn、Co 等，其中 Au、Ag 异常是以矿体为中心的浓度分带，从矿体往外浓度逐渐降低。As、Sb 在矿体头部及前缘显示了高强度异常，尾晕中无异常或仅有 As 的弱异常。Pb 异常在矿体中上部比下部发育，Zn 异常在矿体上部出现零星异常，矿体下部无异常。Mo、Mn、Co 异常在矿体中下部比上部发育(图 20)。

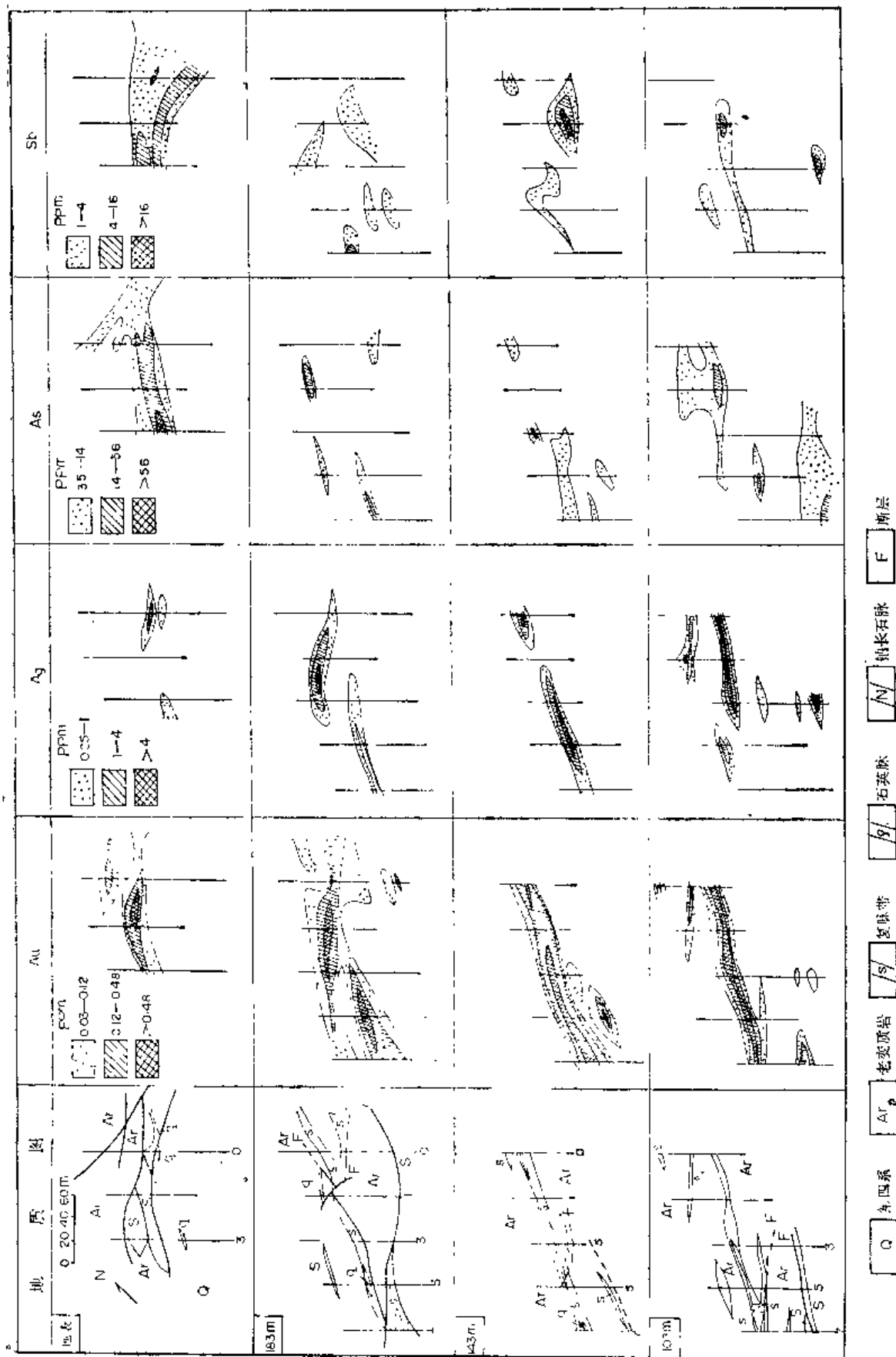


图 18-1 金厂峪金矿床 II 脉带 0-7 线不同标高各元素平面异常对比图

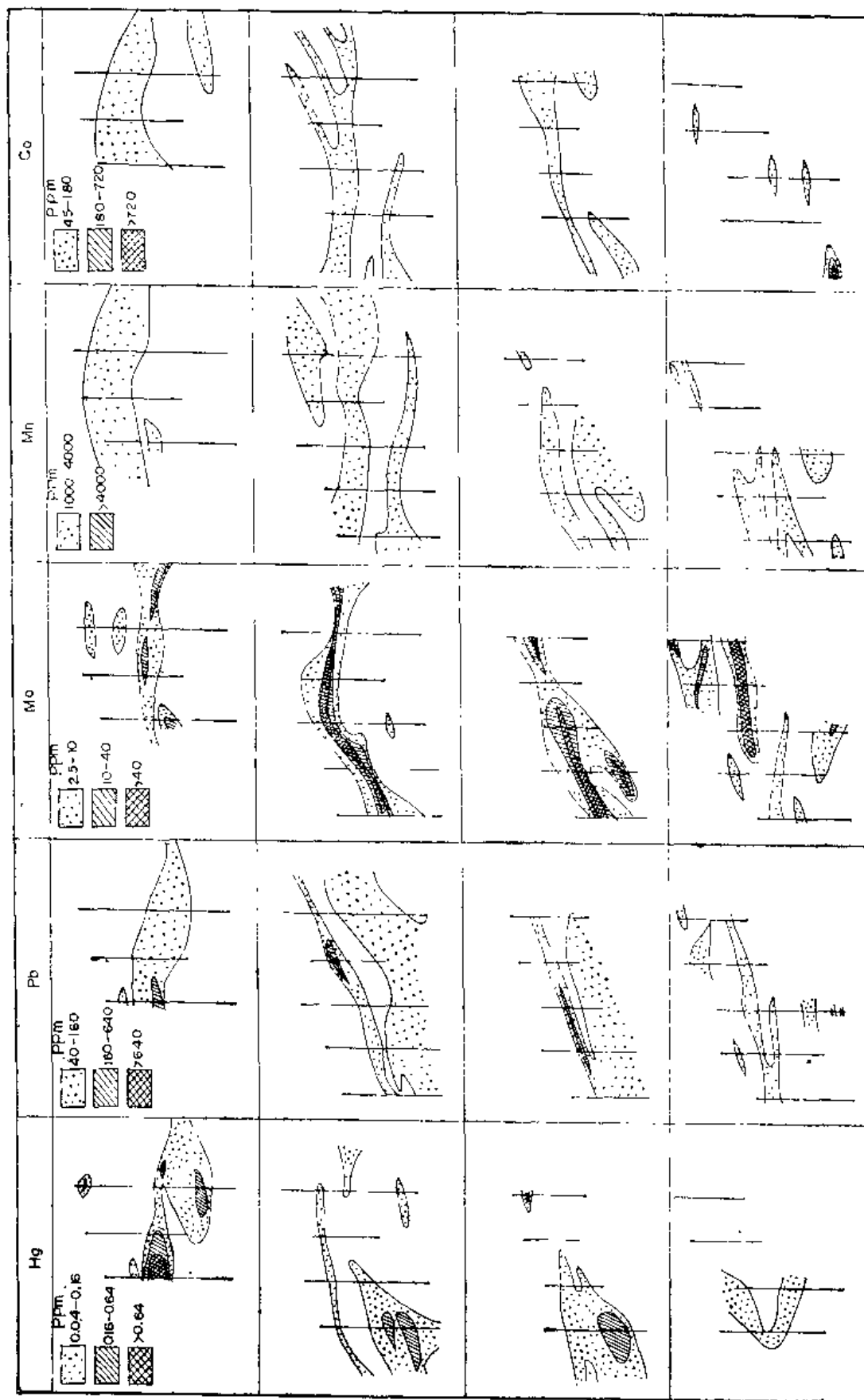


图 18-2 金厂峪金矿床 0-7 脉带不同标高各元素平面异常对比图

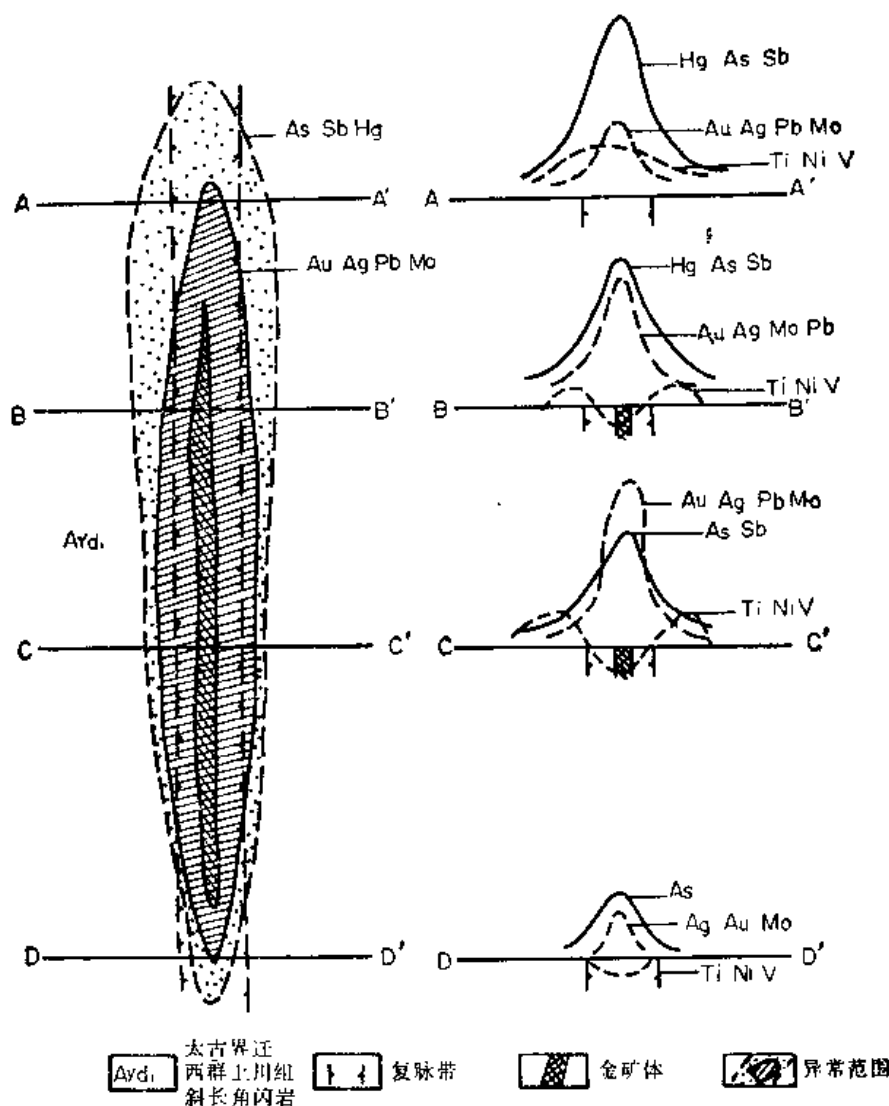


图 19 金厂峪金矿床地球化学异常模式

注: Ard₁ 应为八道河群王厂组

(3) 龙水金矿床的地球化学异常分带模式: 模式(图 21)中清楚地反映了矿床的异常分带特点: ①前缘晕: As、Sb、Hg 中内带异常, Au、Ag、Mo 外带异常, Pb 中带异常; ②矿体中部异常: Au、Ag、Pb 内带异常, As、Sb、Mo 中外带异常, Mn、Co、Ni 外带异常, Ti、V 有时出现负异常; ③尾晕: Au、Ag、Mo、As 外带异常, Mn、Co、Ni 出现外带异常。

6. 夹皮沟金矿床地球化学异常分带模式简介

夹皮沟金矿为一大型石英脉型金矿, 含金石英脉的分布严格受北西向挤压断裂带及其次级构造控制。近矿围岩主要是太古代鞍山群的角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩, 其次是“注入”片麻岩。围岩蚀变以硅化、绿泥石化、黄铁矿化和绢云母化为主。金属矿物以黄铁矿为主, 其次有黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、银铅铋矿、辉铋矿、磁黄铁矿等, 含有少量白钨矿、磁铁矿、菱锰矿等。金的矿物有自然金、银金矿等, 主要呈显微金存在于硫化物及石英颗粒之间的微裂隙中。

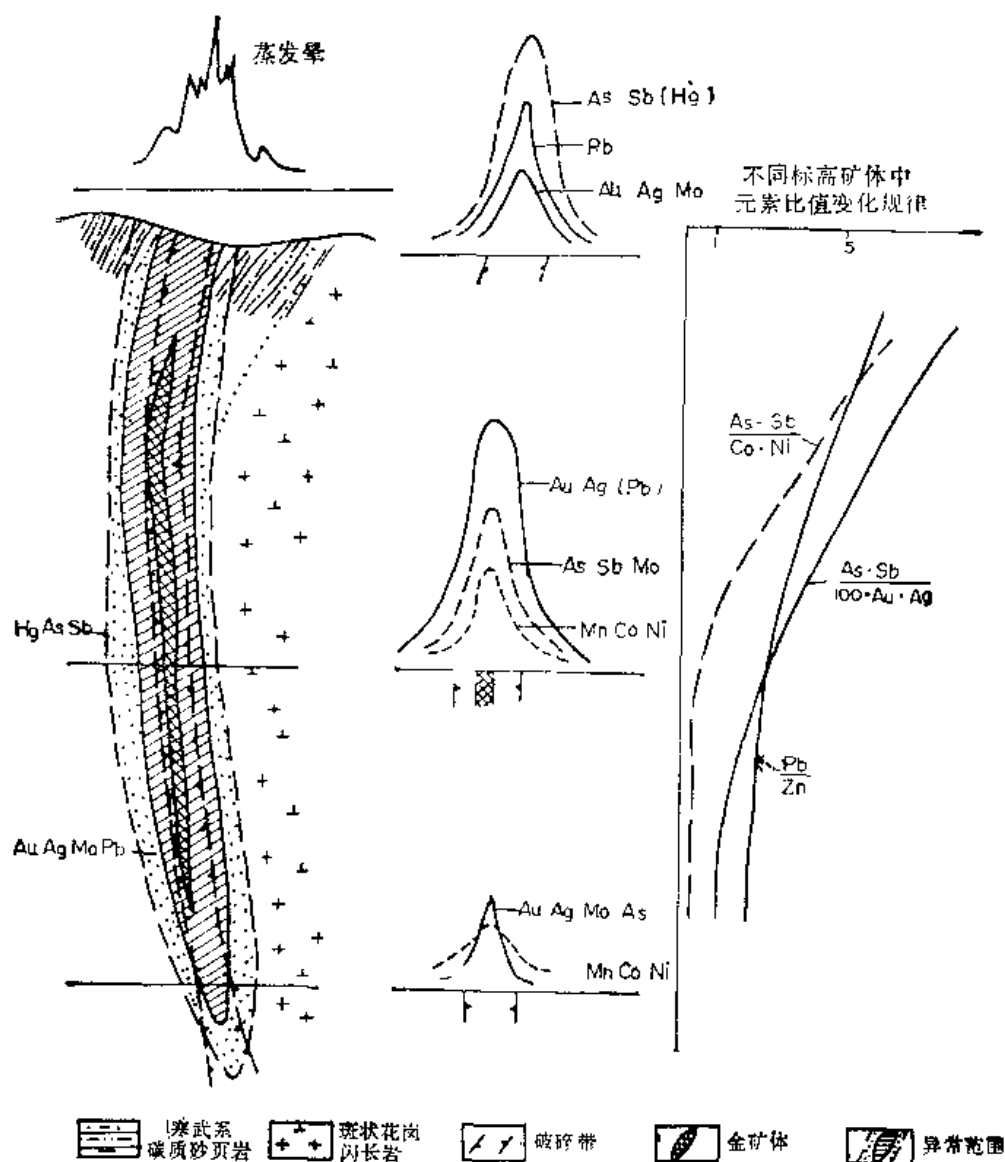


图 21 龙水破碎带硫化物型金矿床地球化学异常模式

朱太天等近年来详细研究了夹皮沟金矿床的地球化学特征，建立了地球化学异常模式¹⁾，用模式在矿床深部找矿预测取得了很好的找矿效果。

夹皮沟金矿床原生地球化学异常分带特点是：

(1) 夹皮沟金矿床能形成原生异常的元素有 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Ni、Co、Mn、As、Mo、Ba、Sr、V、Ti、F、I、Hg 等。

(2) 指示元素的理想垂直分带序列从上至下是：(Hg, As)—Sb—F—Pb—Ag—Cu—Au—Co—Mo—Ni—Mn。

(3) 异常中特征元素组合分带：①矿体顶部及前缘异常：F、I、Hg、As；②矿体上部异常：Ag、Pb， $Ag/Au > 1$ ；③矿体中部异常：Cu、Co、Ni、Mn 及 V(低值)， Ag/Au 近于 1；④矿体下部异常：Mo， $Ag/Au < 1$ 。

1) 朱太天, 1987, 吉林夹皮沟地区金矿床地球化学异常模式。

7. 河南小秦岭灵湖金矿床地球化学异常模式简介

灵湖金矿处于小秦岭金矿田北矿带, 严格受构造控制。区内地层为太古代太华群变质岩系, 矿区内以条带-条纹混合岩为主, 黑云斜长片麻岩及斜长角闪岩呈层状、透镜状分布其中。金矿体呈似层状或透镜状, 由石英脉和蚀变岩两种类型组成, 前者分布于矿体上部, 后者分布于矿体下部, 矿体前缘发育有早期无矿石英脉。围岩蚀变主要有硅化、黄铁矿化、钾长石化、绢云母化、绿泥石化和碳酸盐化, 其中硅化、黄铁矿化与金矿化关系密切。

灵湖金矿床原生地球化学异常分带总特征是(据王定国等, 1985):

(1) 具有指示意义的元素: Au 为直接指示元素, As、Sb、Hg、Ba 为矿体前缘指示元素, Ag、Pb、W、Sn、Bi、Cu、Mo 为近矿指示元素, Co、Ni 为矿体尾部指示元素。

(2) 指示元素的轴向分带序列(从上至下): As、Sb、Hg、Ba—Ag、Pb、Bi、Au、W、Sn、Cu、Mo—Co、Ni。

(3) 原生晕垂直分带: ①矿体前缘晕特征指示元素组合: As、Sb、Hg、Ba、Ag, $(As \cdot 10)/Ni > 2$, $(Ag \cdot Ba)/(Co \cdot Ni) > 1$; ②近矿晕: Au、Ag、Cu、Mo、W、Sn、Bi 强异常组合; ③尾晕特征指示元素组合: Co、Ni 异常发育, $(Ag \cdot Ba)/(Co \cdot Ni) < 0.0n$, $(As \cdot 10)/Ni < 0.5$ 。

(三) 石英脉型、蚀变岩型金矿床地球化学异常分带理想模式

综合我国山东牟乳金矿带石英脉型金矿、招掖金矿带石英脉型和蚀变岩型金矿; 河北金厂峪复脉带型金矿; 广西龙水破碎带硫化物型金矿; 内蒙古赛乌素石英脉型金矿; 吉林夹皮沟石英脉型金矿和河南小秦岭等典型金矿床的地球化学异常的共性和特性, 得出了我国石英脉型、蚀变岩型金矿床地球化学异常的总特征及异常分带理想模式。

1. 石英脉型、蚀变岩型金矿床地球化学异常综合特征

(1) 金矿床(体)及其原生晕严格受构造控制。金矿床的原生晕很发育, 尤其是前缘沿构造破碎带向上可达 $n \times 10—n \times 100 m$, 为应用化探找盲矿提供了依据。

(2) 金矿体周围能形成原生分散晕的元素有 Au、Ag、As、Sb、Bi、Hg、Mo、W、Sn、Cu、Pb、Zn、Cd、Ba、B、Tl、Sr、Ti、V、Cr、Mn、Co、Ni、F、Cl、I、Se、Te 等, 但以 Au、Ag、As、Sb、Bi、Hg、Cu、Pb、Zn、Mo、Mn 为多数金矿床所共有, 其他元素并不是在每个金矿床都能形成异常。

(3) 金矿床的原生晕具有明显分带性。Hg、As、Sb 的强异常总是出现在矿体的前缘, 在一些金矿床前缘晕出现的指示元素还有 F、I、B、Ag、Ba、Pb、Zn 等。而 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、(Mo)、Se、Te 的异常往往是以矿体为中心向外强度逐渐降低。在矿体下部及尾晕经常出现的元素有 Mo、Mn、Bi、Co、Ni、(Sn) 等。某些金矿床脉旁蚀变交代作用过程中活化转移的元素有 Ti、V、Mn 等, 在近脉处带出形成负异常, 在远脉处带入形成正异常。

2. 石英脉型、蚀变岩型金矿床原生地球化学异常分带理想模式

该模式(图 22)清楚地反映了金矿床原生晕发育特点及其分带性。矿床不同部位水

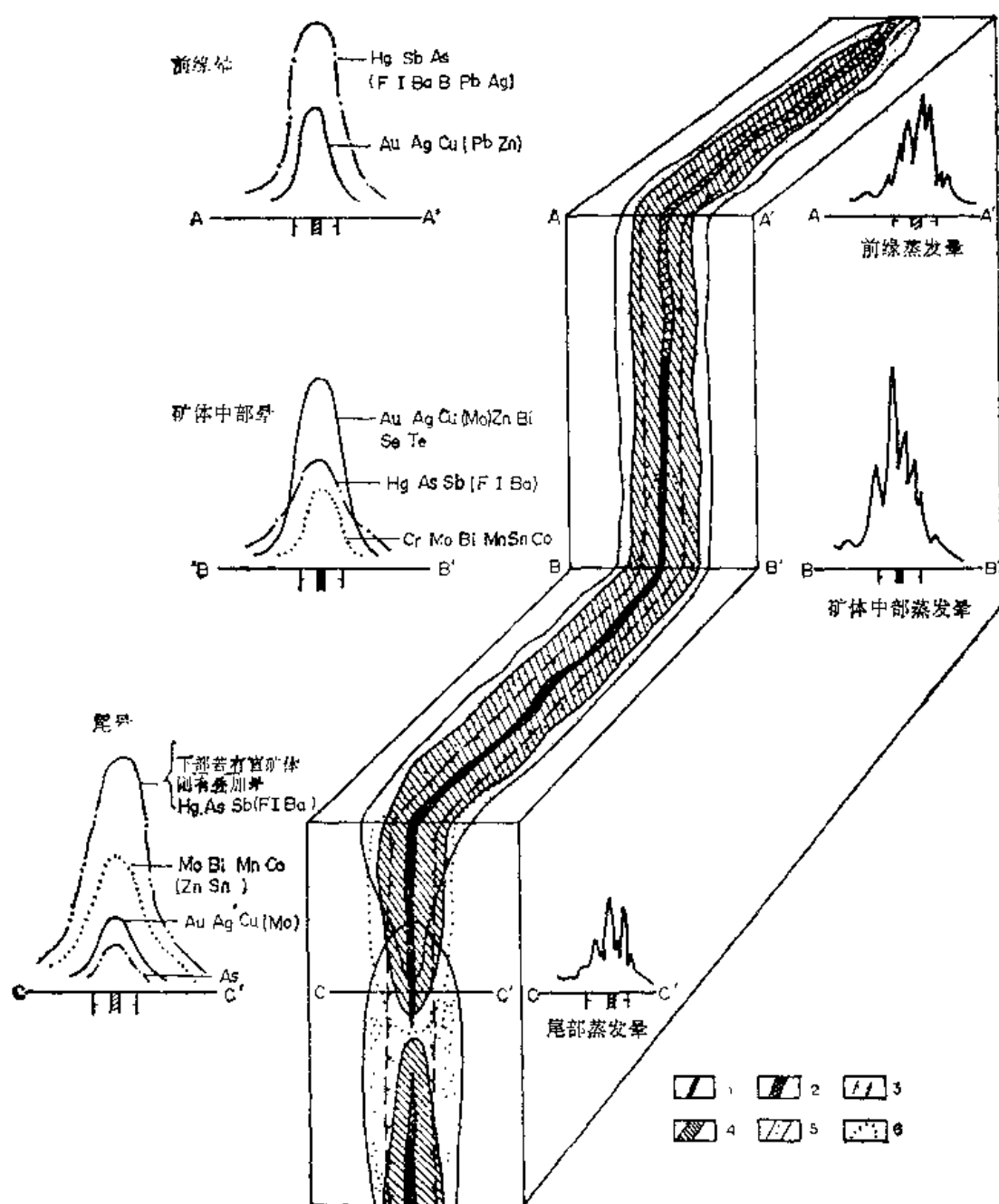


图 22 石英脉型、破碎带蚀变岩型金矿床原生地球化学异常分带理想模式图

1. 金矿体; 2. 含金石英脉; 3. 蚀变破碎带或复脉带; 4. Au、Ag、Pb、Cu(Mo)、Zn 异常范围;
5. Hg、As、Sb(Pb、Ag、F、I、B、Ba) 异常范围; 6. Mo、Bi、Mn、Co、Ni(Sn、Zn、W) 异常范围

平切面的不同指示元素异常组合是预测富矿和评价矿床剥蚀程度的地球化学标志。

(1) 前缘晕元素组合: Hg、As、Sb(F、I、B、Ba、Ag、Pb) 中外带异常, Au、Cu(Ag、Pb、Zn) 外带异常(各指示元素的浓度分带, 即外、中、内带标准各矿区不同, 见表 20—22)。

(2) 矿体中部晕元素组合: Au、Ag、Cu(Mo)、Zn、Bi 中内带异常, As、Sb(F、Ba) 外带异常。有些矿床出现 Mn、Co、Ni、Cr、Sr 外带异常。

(3) 尾晕元素组合: Mo、Bi、Mn、Co(Sn) 中外带异常, Au、Ag、Cu 外带异常,

As 也往往出现弱异常。

若尾晕元素组合中出现了 Hg、Sb、As 等前缘晕强异常叠加，则指示深部还有盲矿存在。

模式图右侧表示了金矿床不同标高水平截面的蒸发晕特点，一般矿体中部蒸发晕范围大、强度高，而矿体前缘蒸发晕又比尾部蒸发晕范围大、强度高。

五、地球化学找矿标志

(一) 指示元素及其指示意义

综合我国招掖、牟乳、金厂峪、龙水、赛乌素、夹皮沟、小秦岭等典型石英脉型、蚀变岩型金矿床的元素共生组合、地球化学异常发育特点及其分带性,得出了寻找相似类型金矿的指示元素,即 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Cd、As、Sb、Bi、Hg、W、Mo、Sn、F、Cl、I、Br、Mn、Co、Ni、Ti、V、Ba、S、Te、Se、K、Na、B 等,这些元素对找金都有不同程度的指示作用。不同金矿区的指示元素组合有所不同,某些指示元素的指示意义也有一定区别。

Au: Au 是成矿元素,是找金最直接最重要的指示元素。随着痕量金分析方法的突破,分析速度和灵敏度大大提高,打开了依金找金的新局面,推动了化探找金事业的发展。Au 的独立矿物主要是自然金、银金矿、金银矿,但多数矿床中金主要呈裂隙金、晶间金或包体金存在于黄铁矿等硫化物中,肉眼很难见到自然金粒。在金矿体周围,Au 的原生晕也很发育,在前缘晕也可达几百米。地层和岩浆岩中 Au 的丰度是确定 Au 来源的重要依据。Au 与其伴生元素的组合、比值和相关关系对区别石英脉、破碎带深部的含金性及预测金矿剥蚀程度都是极重要的标志。

Ag: Ag 是金矿的重要伴生元素,在一些金矿床中 Au-Ag 正相关。Au、Ag 比值是确定金成色的依据。金矿体周围,Ag 异常一般都较发育,Ag 是找 Au 最重要的指示元素。Ag 强异常的出现也是找 Au-Ag 矿的直接指示。

Cu、Pb、Zn: Cu、Pb、Zn 也是很多金矿床的重要伴生元素,而且在金矿床中往往出现铜、铅、锌的独立矿物,如黄铜矿、(斑铜矿)、方铅矿和闪锌矿等。金矿体周围 Cu、Pb、Zn 的原生晕极为发育。Cu 与 Au 在一些金矿床中呈同消长关系。Pb、Zn 在不同金矿区有所差别,在牟乳金矿带、招掖金矿带和龙水金矿,Pb 异常在矿体头部或前缘发育,是找盲矿的重要指示元素,而在金厂峪和赛乌素金矿床,Pb 则是近矿的指示元素。Zn 在牟乳金矿偏于前缘晕发育。Pb/Zn 值在一些矿区是区分石英脉深部含金性和判别金矿剥蚀程度的重要标志之一。

Hg: Hg 是很多金属矿床的伴生元素,很多金矿也都含有较高的 Hg (一般含量范围为 0.0 n—0. n ppm)。金矿体周围 Hg 异常非常发育。由于 Hg 具强挥发性,Hg 异常通常在矿体上盘和前缘最发育,在矿体前缘沿断裂带 Hg 异常可达 $n \times 100 \text{ m}$,所以 Hg 是找盲矿或评价构造断裂带深部含矿性的重要指示元素。应当指出,金矿前缘晕一般都有 Hg 异常,但 Hg 异常的出现并不都意味着深部有金矿,在异常评价时,必须注意结合区域成矿特点和异常中元素组合特点。若在 Hg 异常中出现 Au、Ag 弱异常及 As、Sb 异常,则有把握推测深部有金矿存在。

As、Sb、Bi: As、Sb、Bi 也是金矿床的重要伴生元素。在一些金矿中可出现 As 的独立矿物毒砂,在 Au 的分析技术没有突破前,应用 As 作找金的指示元素,取得了显著的找矿效果。As 在金矿周围的原生晕极为发育,强度高、范围大,一般前缘晕比尾晕更发

育,也有些金矿床的尾晕中 As 异常也较发育,如金厂峪金矿等。Sb 异常一般在金矿体头部和前缘发育,是找盲矿的重要指示元素。Bi 异常则往往在近矿或矿体尾部发育,Bi 异常的出现指示近矿或矿体剥蚀程度较深,如山东牟乳金矿带邓格庄金矿盲矿前缘晕中 Sb 异常较强,Bi 只有点异常,而相邻的金牛山金矿剥蚀较深,Bi 异常明显比 Sb 异常强度高、范围大,Sb/Bi 在该成矿带是预测金矿剥蚀程度的重要标志之一。

Mo、W: 在很多金矿床中有 Mo 异常,而 W 异常只在少数矿床中出现。在金矿体周围,Mo 异常的特点是在矿体中下部比上部发育。一些金矿区 Mo 在金矿体中的含量从矿体上部到下部有增高的趋势。Mo 是近矿和矿体下部的重要指示元素。W 在金矿床指示元素轴向分带序列中位于下部,但在山东某金矿床中,矿体中 W 含量上部比下部稍高。

Cl、S、F、I: 在热液中 Cl 和 S 是金的重要携带剂。在一定的物化条件下,成矿溶液中 Au 主要呈氯络合物及硫络合物形式迁移。若成矿溶液呈酸性,Au 则以氯络合物 ($[AuCl_2]^-$ 、 $[AuCl_4]^-$) 形式迁移;当溶液的温度降低,热液由酸性变为弱碱性,则络合物破坏,Au 沉淀成矿。若成矿溶液呈中性,Au 则以 $[AuS]^-$ 、 $[AuS_2]^-$ 等形式迁移,当溶液向弱酸性演化,络合物破坏 Au 沉淀成矿。具体到某一金矿的形成,对 Au 的迁移形式和富集条件必须进行具体分析。金的络合物破坏后,S、Cl 在矿体周围形成异常。S 主要存在于硫化物中。F、I 在一些金矿中含量较高,在一些金矿床能形成很好的异常。F、I 是金矿前缘晕的重要指示元素。F 在蚀变岩中主要与 $[OH]^-$ 呈类质同象存在于绢云母中。

Mn、Co、Ni: 不同金矿床中 Mn、Co、Ni 含量不同,有不少金矿床矿体中 Mn、Co、Ni 含量低于围岩含量,有些矿区 Mn、Co、Ni 在矿体的中上部低,而在下部可形成异常,如广西龙水,河北金厂峪就是如此。Co、Ni 主要存在于黄铁矿中,不同金矿类型的黄铁矿中 Co、Ni 含量有所区别,Co/Ni 值有一定范围。总体看 Mn、Co、Ni 是矿体下部或尾晕的指示元素。

Ti、V: 在矿体中 Ti、V 明显低于围岩。对脉旁扩散晕研究表明,在脉旁围岩蚀变过程中,Ti、V 活化向外转移,近脉形成带出(负)异常,外围形成带内(正)异常。

Ba: 在一些金矿床中 Ba 形成较好的异常,而且是前缘晕的重要元素之一。

K、Na: 围岩的碱质交代对金及其伴生元素的活化转移有重要的作用,在 Au 迁移过程中,络合物的外界碱金属离子就是 K^+ 、 Na^+ ,所以 K、Na 对金的迁移、富集有一定控制作用,在找金中有指示作用。

(二) 不同找矿阶段的最佳指示元素组合

选择最佳指示元素是以经济、效率、效果为出发点,力求以较少的投入取得较大的效益为目的。虽然作为化探找 Au 的指示元素很多,各指示元素都有不同程度的指示作用,但有些指示元素的指示作用相同或指示作用不大,并非必要的指示元素。因此,在上述众多的指示元素中有必要优选出少而精的最佳指示元素组合。

由于不同找矿阶段要求达到的目的不同,所以其最佳指示元素组合也有所不同。

1. 化探普查找金阶段的最佳指示元素组合

应用分散流、次生晕及岩石地球化学普查找金时,其目的主要是发现与 Au 有关的异

常,圈定金矿带。目前,国内外找金时应用的指示元素数目各不相同,一般为5—10个,有的多达20余个,但区域化探找金的大量实际资料表明,起主要作用的指示元素是Au、Ag、As、Cu、Pb、Zn。根据各指示元素的异常特点及其指示意义,初步优选出两组最佳指示元素组合:①Au、Ag、As;②Au、Ag、Cu、Pb、Zn。其中Au用化学光谱或微珠方法分析,As用原子荧光分析或比色分析,Cu、Pb、Zn、Ag用光谱半定量分析或直读光谱定量分析。统计我国区域化探资料表明,选用这两套最佳指示元素组合之一,普查找金一般不会漏掉与金矿有关的异常。

2. 化探详查和异常评价阶段的最佳指示元素组合

该阶段除对化探普查阶段圈出的金矿异常带或远景区进一步做面积性工作外,最重要的是异常评价或对追踪异常源时在地表发现的石英脉及破碎带深部含(金)矿性预测。有些地区,如山东牟乳金矿带有很多金矿点及民采点需进一步预测其深部规模是否会变大或延深较大。目前正开采的矿山,探明的矿体已采完,要探明坑道下部是否还有盲矿体,选择最佳指示元素组合的原则是:①Au必须选入;②具有特殊指示意义的元素,如对金矿类型、前缘晕、尾晕、矿体剥蚀程度的判别有贡献及指示意义的元素;③与金完全正相关的元素不一定都选入,因为已经分析了Au,再选入与Au完全正相关的元素显然有些多余,如某元素虽与Au正相关,但其异常范围大于Au还是可以选入。按此原则根据上述所总结的金矿床地球化学异常模式及金矿床某些地球化学垂直变化规律,初步优选出了该阶段的最佳指示元素组合: Au、Ag、As、Hg、Sb、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo。其中Au用化学光谱或原子吸收方法分析,As、Sb、Bi、Hg用原子荧光分析,Ag用原子吸收或光谱半定量分析,Cu、Pb、Zn、Mo用光谱半定量或直读光谱分析。这些元素在每个具体矿区,根据其异常强度和指示意义,还可减少。

(三) 石英脉型、蚀变岩型金矿岩石地球化学预测系列框图(见图23)

应当指出,上述金矿化探评价预测系列,每一步都要以地质地球化学为基础。当对区域化探异常评价时,一定要了解区域金矿的成矿背景,即是否存在矿源层和进一步富集的条件(混合岩化,变质作用的强弱),是否有矿液活动和容矿空间(构造是否发育),以及区内金矿化强度、蚀变特点等。在金矿带内评价异常时,除要了解上述情况外,还要进一步了解典型金矿成矿模式和地质特征。在实行地质、化探、物探多种方法手段综合找矿中,各种方法必须要有独立的见解、预测标志或指标。在评价异常时各自拿出自己的依据,而决不能以地质成矿条件有利、物探有异常、化探也有异常而简单地定为有远景的异常。有异常,深部不一定有矿,一定要判别其异常性质,即用地球化学异常模式的定性标志或预测框图中定量预测指标进行判别,根据判别结果提出切实预测意见。

(四) 金矿床地球化学异常分带模式及分带序列 在异常评价中的应用

金矿床地球化学异常分带模式中前缘晕、矿体不同标高的晕及尾晕的特征元素组合,

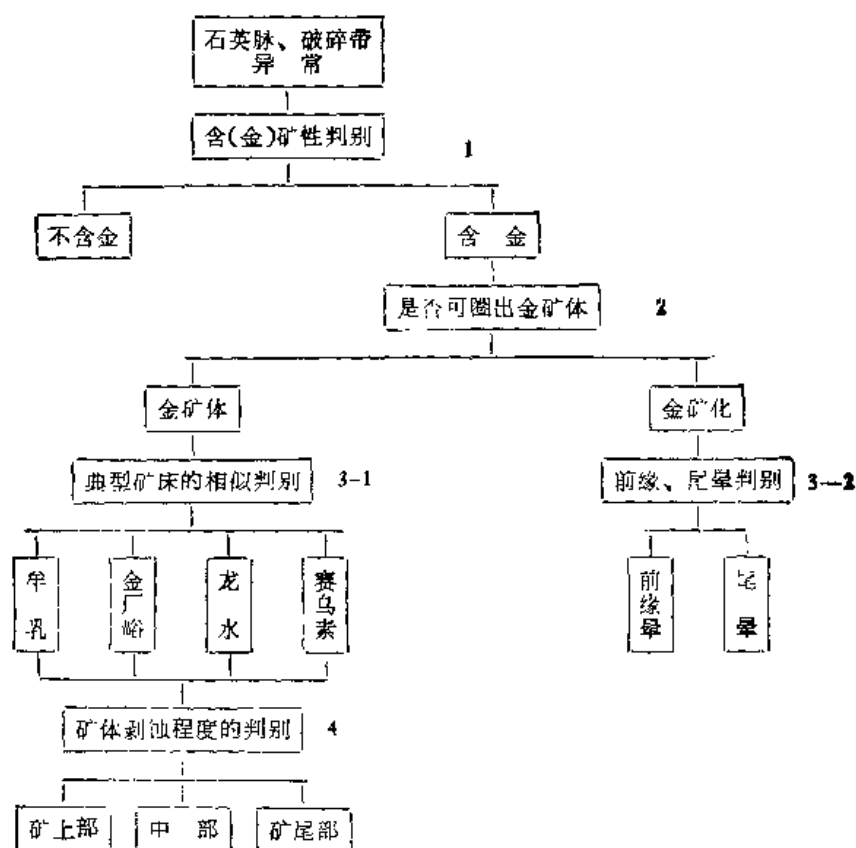


图 23 石英脉型、蚀变岩型金矿岩石地球化学预测系列框图

分带序列中上、中、下元素组合是异常评价、寻找盲矿和判别矿体剥蚀程度的重要标志。

典型金矿地球化学异常模式及分带序列在其所在矿区及成矿带的应用结果都取得了较好的找矿效果,如龙水、招掖、牟乳、夹皮沟等典型金矿模式的应用都有很多找矿实例。

理想的综合模式集中了多个典型金矿床模式的共性,具有普遍指导意义。在金矿普查区,若没有已知金矿床或虽有已知金矿床但还没有建立具有本区特点的典型金矿地球化学模式,理想模式是重要的参考标志。

(五) 地球化学定量预测指标及数学模型

地球化学异常模式或分带序列只是定性地表达了金矿床的分带规律和找矿预测标志。为进一步提高化探的预测效果,研究和建立了定量或近似定量预测盲矿和矿体剥蚀程度的判别指标和数学模型。

找矿实践表明,在某区建立的典型金矿床地球化学近似定量预测指标和数学模型用于该成矿区(带)找矿预测具有重要实用价值。从目前国内外研究水平来看,建立定性的通用金矿地球化学异常模式及找矿标志是可行的,而建立通用的定量预测指标或数学模型是困难的,尽管不同金矿床的地球化学特征及地球化学参数垂直变化规律有一定共性,但由于金矿成矿的复杂性,若想得到一个统一指标(具体数值)是困难的,如多数金矿床中 Ag/Au 具有从上向下逐渐降低的垂直变化规律,但每个矿床从头部到底部的具体比值相差太大,得不出矿体剥蚀程度的统一指标,如夹皮沟矿体不同剥蚀程度的指标中, $Ag/Au > 1$ 为上部, $Ag/Au = 1$ 为中部, $Ag/Au < 1$ 为下部;赛乌素金矿区 $Ag/Au > 2$ 为上

部,1—2 为中部, <1 为尾部;牟乳金矿带 $Ag/Au > 5$ 为上部, 1—5 为中部, <1 为下部。

按照预测系列框图、下面列出了典型金矿床的每一步近似定量预测指标和数学模型。若某区没有典型金矿,则先判别其与已知典型金矿的相似性,确定参照模型。

1. 含金与不含金石英脉、蚀变破碎带的判别指标

(1) 典型矿区含金与不含金石英脉、蚀变破碎带的判别指标: 根据典型金矿区内已知含金、不含金石英脉或蚀变破碎带的地球化学区别,总结出了各典型金矿区用于判别石英脉或蚀变破碎带是否含金的地球化学指标(表 23、24、25)。这些判别指标在各相应矿区中应用结果表明,判别的准确性都较高。

表 23 牟乳金矿带含金与不含金石英脉的判别指标

	元 素 (ppm)					$\frac{Pb}{Zn}$	$\frac{Au \cdot Ag \cdot As \cdot Sb}{Cu \cdot Pb \cdot Zn} \times 10^4$
	Au	Ag	As	Sb	Cu		
含金石英脉	>0.2	>1	>20	>0.8	>120	>1.5	>1
含金矿化石英脉	0.04—0.2	0.2—1	6—20	0.6—0.8	30—120	1—1.5	0.1—1
不含金石英脉	<0.04	<0.2	<6	<0.6	<30	<1	<0.1

表 24 赛乌素矿区含金与不含金石英脉的判别指标

	元素 (ppm)				$\frac{As}{Pb}$	$\frac{Pb}{Zn}$	$\frac{Au \cdot Ag \cdot As \cdot Sb}{Cu \cdot Pb \cdot Zn} \times 10^4$	包裹体特征		
	Au	Ag	As	Sb				均一温度	CH_4 (ppm)	CH_4/CO_2
含金石英脉	>0.035	>0.6	>200	>2	>2	>2	>5	>220℃	>0.7	>0.05
不含金石英脉	<0.02	<0.6	<100	<2	<1	<1	<0.1	<200℃	<0.7	<0.01

表 25 龙水金矿区含金与不含金石英脉、蚀变破碎带的判别指标

	元 素 (ppm)				$\frac{Pb}{Zn}$	$\frac{Au \cdot Ag \cdot As \cdot Sb}{Cu \cdot Pb \cdot Zn} \times 10^4$
	Au	Ag	As	Sb		
含金矿	>0.05	>1	>60	>2	>2	>0.1
含金矿化	0.05—0.03	1—0.3	60—30	2—1.5	2—1	0.1—0.05
不含金	<0.03	<0.3	<30	<1.5	<1	<0.05

(2) 含金与不含金石英脉、蚀变破碎带的通用判别指标: 在对比各典型金矿区含金与不含金石英脉、蚀变破碎带的地球化学共性和特性的基础上,得出了判别石英脉、蚀变破碎带含金与不含金的通用指标(表 26),这些判别指标对化探普查区找金可作为重要参考标志。

(3) 典型金矿区的三角图解法预测石英脉的含矿性: 以金矿的重要指示元素 Cu、Ag、As 和 As、Sb、Bi 等三个元素为一组,分别作为角顶作三角图。将工作区内已知含金矿和待评价石英脉相应元素数据都落入三角图内,然后根据已知含金矿石英脉分布特点圈出成矿区,待评价点如落入成矿区内则预示为成矿有望石英脉(图 24)。

表 26 含金与不含金石英脉的一般判别指标

	元 素 (ppm)			$\frac{Pb}{Zn}$	$\frac{Au \cdot Ag \cdot As \cdot Sb}{Cu \cdot Pb \cdot Zn} \times 10^4$
	Au	Ag	Sb		
含金	>0.05	>0.8	>1	>1.2	>1
含金矿化	0.05—0.03	0.8—0.3	1—0.6		1—0.05
不含金	<0.03	<0.3	<0.6	<1.2	<0.05

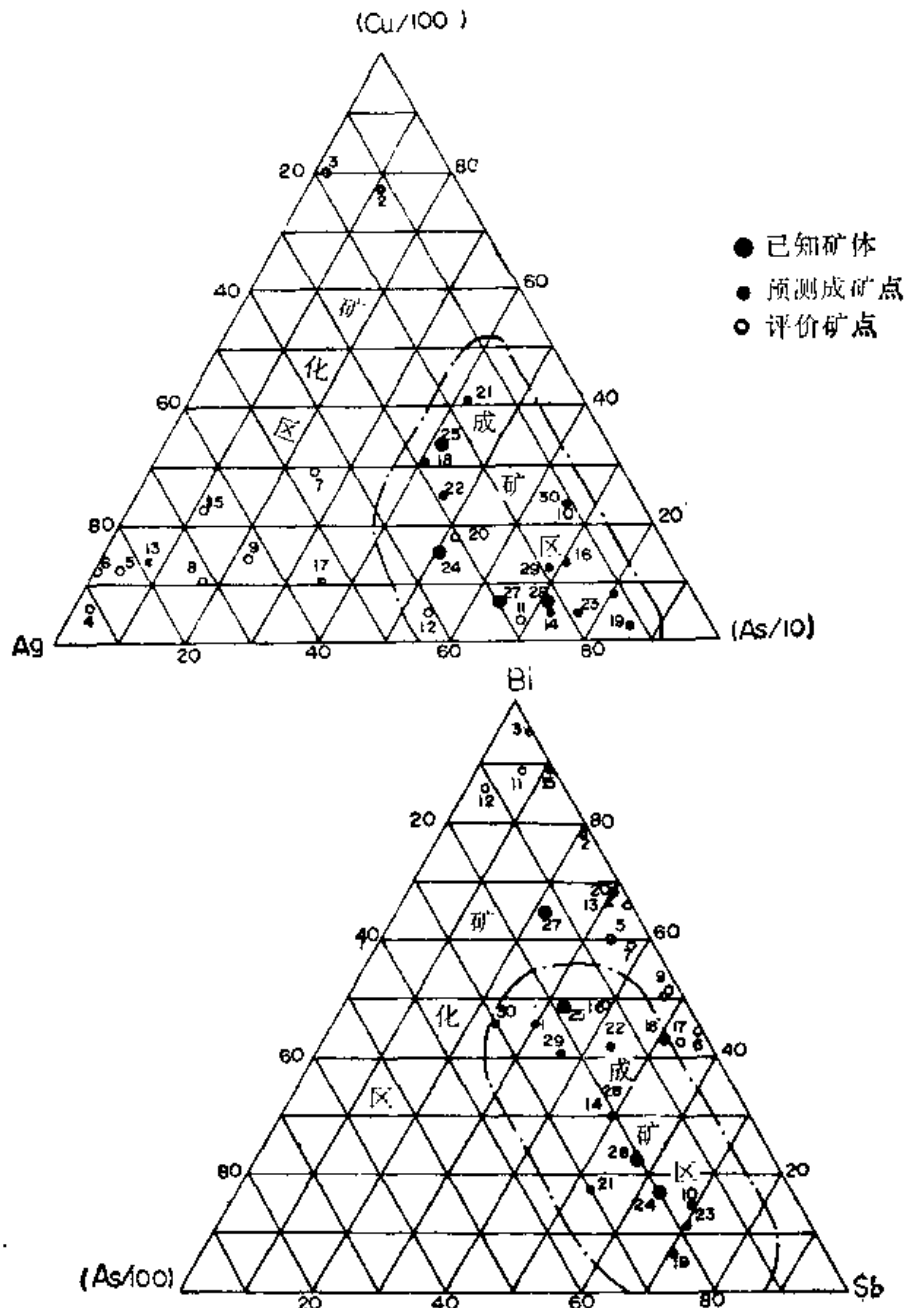


图 24 牟乳金矿带石英脉含矿性的三角图解预测图

2 含金石英脉、破碎带露头是否达到工业矿体的判别

该步主要根据含金石英脉或破碎带露头中 Au 含量是否达到工业指标 ($\geq 3g/t$) 为

标准。若石英脉、破碎带地表露头能圈出一定规模的金矿体,则转入矿床剥蚀程度预测;若圈不出金矿体则进入前缘晕、尾晕的判别。前缘晕、尾晕的判别主要根据地球化学异常模式进行判别,不再详述。

3. 与典型金矿床相似性的类比

若对某一金矿床(点)的剥蚀程度进行判别,首先要选择与其相似的典型金矿床,然后用典型金矿床的判别指标进行预测。

(1) 地质标志:若待评价矿点所在成矿区(带)没有典型矿床,则要与其他地区已知典型金矿床的成矿环境(地层、构造、岩浆岩等)、蚀变特点、矿物组合、矿化类型等进行比较,确定其相似性。

(2) 地球化学标志:主要根据矿床的标型元素组合的相似性进行判别。按照确定矿床标型元素组合的标准(见不同金矿床的元素组合特征一节)确定待评价矿点的标型元素组合,然后与典型金矿床的标型元素组合对比,找出与其相似的典型矿床。

某些已知典型金矿床的标型元素组合是:①赛乌素金矿床: Au、Ag、As、Sb、Pb、Zn、Mo;②龙水金矿床: Au、Ag、As、Sb、Cu、Pb、Zn、Bi;③金厂峪金矿床: Au、Ag、Mo、Bi;④牟乳金矿床: Au、Ag、As、Cu、Zn、Mo;⑤玲珑金矿床: Au、Ag、(Mo);⑥焦家金矿床: Au、Ag、Pb、Bi、(Mo)。

此外,应用相似判别分析、多类判别分析、点群分析等多元统计方法,均可有效地判别待评价矿点与典型金矿的相似性。

4. 典型金矿床剥蚀程度的预测指标

根据前述典型金矿床地球化学参数的垂直变化规律,分别总结出了四个典型金矿床剥蚀程度的最优判别指标(表 27、28、29、30)。各典型金矿床的判别指标,在相应矿区深部或外围找矿预测或在地质地球化学特点相似的金矿区应用,都可取得好的效果。

表 27 山东牟乳金矿带含金矿石英脉剥蚀程度的判别指标

矿体剥蚀程度	$\frac{Sb}{Bi}$	$\frac{Bi \cdot Mo}{Sb}$	$\frac{Pb \cdot Zn}{Mo \cdot Bi}$	$\frac{Pb \cdot Zn}{Au \cdot Ag}$	$\frac{Pb \cdot Zn \cdot Sb}{Au \cdot Ag \cdot As}$	$\frac{Ag}{Au}$	相关关系	
							Au-Sb	Au-Zn
上部	>2	<30	>500	>1 000	>30	>5	相关	不相关
中部	0.5—2	30—80	100—500	100<1 000	1—30	1—5	不相关	不相关
下部	<0.5	>80	<100	<100	<1	<1	不相关	相关

表 28 赛乌素含金矿石英脉剥蚀程度的判别指标

矿体剥蚀程度	$\frac{As \cdot Sb}{Cd \cdot Cr}$	$\frac{Pb \cdot As \cdot Sb}{Mn \cdot Cr \cdot Co}$	相关关系	
			$\frac{Au-Hg}{Sb-Cd}$	Ag-Mo
上部	>500	>200	负不相关	相关
中部	10—500	1—200	不相关	不相关
下部	<10	<1	相关	负不相关

表 29 龙水破碎带硫化物型金矿剥蚀程度的判别指标

矿体	$\frac{Pb}{Zn}$	$\frac{As \cdot Sb}{100 \cdot Au \cdot Ag}$	$\frac{Pb \cdot Sb \cdot Ti}{Zn \cdot Mo \cdot Co}$	$\frac{As \cdot Sb}{Co \cdot Ni}$
上部	>5	>4	>15	>1.5
中部	3—5	1—4	1—15	1—1.5
下部	<3	<1	<1	<1

表 30 金厂峪复脉带型金矿剥蚀程度的预测指标

矿体	Zn (ppm)	$\frac{Mo \cdot Bi}{Sb}$	$\frac{Sb}{Bi}$	相关关系	
				Au-Mo	Au-Pb
上部	>115	>180	>0.05	相关	相关
中部	80—115	130—180	>0.05	不相关	相关
下部	<80	<130	<0.05	不相关	不相关

5. 某些典型金矿床剥蚀程度预测的数学模型

(1) 牟乳金矿带典型金矿床剥蚀程度预测的分带性指数回归模型：选择了金青顶和邓格庄两个典型矿床进行了研究，以矿床不同标高的分带性指数(或累乘比值)作为自变量(v_n)，以矿体相对标高(H_i)作为因变量，求出回归方程 $Y_H = a + bv_n$ 中的常数项 a 和回归系数 b ，即得到了预测金矿剥蚀程度的回归方程(表 31)。从已知矿床的回归剥蚀程度预测结果来看，效果是很好的。图 25 是根据回归方程划出的回归预测图解，应用时采用计算法和图解法都可以。计算法是将待预测矿体露头的元素累乘比(取对数)代入表中各个回归方程，计算出相应剥蚀程度的标高，若相对标高等于 0.5 为矿体头部；相对标高等于 0 为矿体中部；相对标高等于 -0.5 为矿体尾部。矿体剥蚀程度的预测，通常是应用表中列出的多个方程进行计算，根据各方程计算结果进行综合预测。图解法预测是将待评价矿体露头相应元素含量累乘比取对数后直接点在图中相应回归直线上，从左侧矿体标高上查出其对应点即得到矿体相对剥蚀程度，用这种方法在牟乳金矿带预测取得了较好的效果。

(2) 采用多元回归方程预测赛乌素金矿床剥蚀程度：以矿体上部、中部、下部、尾部的相对标高作为因变量，以不同标高指示元素含量为自变量，建立了最优预测金矿剥蚀程度的回归方程。

$$Y_H = 0.6 - 0.005Cd - 0.003Mn + 0.05Ni - 0.356Bi \\ + 0.352Ag + 0.002Sr$$

当计算结果 $Y_H = 2$ 时为矿上部， $Y_H = 0$ 时为矿中部， $Y_H = -2$ 时为矿下部或尾端。

6. 应用矿物中某些杂质元素的变化规律预测金矿的剥蚀程度

(1) 在龙水金矿区应用黄铁矿中微量元素判别矿床剥蚀程度的指标：根据龙水金矿床不同标高黄铁矿中微量元素的垂直变化规律，初步得出了应用黄铁矿中微量元素及其比值判别该区金矿剥蚀程度的指标(表 32)。

表 31 某些矿床含金矿石英脉分带性指数方程计算结果

矿区	矿体 延深 (m)	相对 标高 (H)	标高 (m) Z	$\nu_a = \frac{Ag}{Au}$	同代 相对标高	$\nu_a = \frac{Sb}{Bi}$	同代 相对标高	$\nu_a = \frac{Pb \cdot Zn}{Au \cdot Ag}$	同代 相对标高	$\nu_a = \frac{Pb \cdot Zn}{Mo \cdot Bi}$	同代 相对标高	$\nu_a = \frac{Pb \cdot Zn \cdot Sb}{Au \cdot Ag \cdot As}$	同代 相对标高
金 青 顶	L = 700	0.428	150	0.829	0.397	0.467	0.348	4.192	0.402	4.312	0.377	2.352	0.433
		0.286	50	0.449	0.127	0.127	0.202	3.490	0.278	4.174	0.347	1.120	0.238
		0.143	-50	0.401	0.093	0.053	0.171	2.836	0.163	3.033	0.096	0.773	0.183
		0	-150	0.260	-0.007	-0.194	0.065	2.170	0.046	2.795	0.044	-0.234	0.024
		-0.143	-250	0.442	0.123	-0.310	0.015	0.585	-0.233	1.673	-0.203	-1.602	-0.192
		-0.286	-350	-0.155	-0.302	-1.222	-0.375	0.623	-0.226	1.525	-0.235	-2.00	-0.255
	相关系数		R	0.849		0.925		0.979		0.977		0.989	
			a	-0.192		0.148		-0.336		-0.570		0.061	
			b	0.710		0.428		0.176		0.220		0.158	
邓 格 庄	L = 500	0.56	130					4.025	0.531	2.885	0.518	3.14	0.600
		0.41	55					3.426	0.406	2.712	0.459	1.876	0.392
		0.33	15					2.645	0.245	2.104	0.249	0.684	0.233
		0.25	-25					3.131	0.345	2.253	0.300	1.149	0.295
		0.17	-65					2.365	0.187	1.949	0.195	0.765	0.244
			R					0.898		0.920		0.900	
	相关系数		a					-0.300		-0.477		0.142	
			b					0.206		0.345		0.133	

注: $Y_H = a + b\nu_a$; R = 相对标高 H 与 ν_a 的相关系数; ν_a = 分带性指数已取对数 ($\lg \nu_a$); $H_i = \frac{Z_i - Z_0}{L}$; Z_0 为矿体中间标高值。如金青顶 $L = 700m$, $Z_0 = -150m$ 标高, 当 $i = 1$ 则 $H_1 = \frac{150 - (-150)}{700} = 0.428$ 。

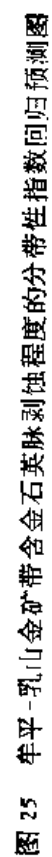


表 32 应用黄铁矿中微量元素判别龙水金矿床剥蚀程度的指标

位 置	Zn/Cd	As/Mo	Be (ppm)	Co + Ni (ppm)
矿上部	<30	>60	<3	<200
矿中部	30—60	50—60	3—6	200—500
矿下部	>60	<50	>6	>500

(2) 在牟乳金矿带邓格庄矿区应用黄铁矿中微量元素判别矿体剥蚀程度的指标：根据邓格庄金矿从上部至中下部黄铁矿中微量元素的垂直变化规律得出：矿体的黄铁矿中 $Ag/Sb > 1$ 、 $Pb/Sb > 50$ 、 $Co/Ni < 2$ 、 $(Pb \cdot Cu)/(As \cdot Sb) > 20$ ，指示矿体为头部，向下延深很大；若黄铁矿中 $Ag/Sb < 1$ 、 $Pb/Sb < 30$ 、 $Co/Ni > 2$ 、 $(Pb \cdot Cu)/(As \cdot Sb) < 20$ ，则指示矿体为中、下部。

(3) 在赛乌素金矿区应用石英中杂质成分判别含金石英脉体剥蚀程度的指标：根据赛乌素含金矿石英脉不同标高石英脉中微量元素的垂直变化规律，得出了矿体上部石英中 $Pb > 10\text{ppm}$ 、 $Zn > 25\text{ppm}$ 、 $Cu/Ag > 100$ 、 $Pb/Zn > 0.3$ ；矿体中下部石英中 $Pb < 10\text{ppm}$ 、 $Zn < 25\text{ppm}$ 、 $Cu/Ag < 100$ 、 $Pb/Zn < 0.3$ 。

7. 应用石英包裹体中 H_2O 和 CO_2 的相对光密度判别金矿剥蚀程度的标志

通过对金青顶金矿床石英包裹体的研究，得出金矿体上部石英包裹体中 $\bar{D}_{CO_2} > 4$ 、 $\bar{D}_{H_2O}/\bar{D}_{CO_2} < 2$ ；矿体中部 \bar{D}_{CO_2} 为 1—4、 $\bar{D}_{H_2O}/\bar{D}_{CO_2}$ 为 2—4；矿体下部 $\bar{D}_{CO_2} < 1$ 、 $\bar{D}_{H_2O}/\bar{D}_{CO_2} > 4$ 。

六、地球化学预测及找矿效果

应用典型金矿床的地球化学异常模式和预测指标,分别在龙水、金厂峪、牟乳金矿带及赛乌素等矿区或其外围对一些蚀变破碎带、石英脉或金矿化点的深部含矿性进行了预测,共计提出了二十多个有成矿远景的异常,并编写了地球化学预测卡片和地球化学异常验证书,提交给了有关领导部门和地质队。到目前为止,已有部分异常经钻探验证深部见矿,取得了好的找矿效果。在其余异常中,还有不少异常具有很大找矿前景,有待验证。

附: 金矿地球化学异常模式(型)研究内容(供参考)

一、金矿田(包括若干矿床)的地球化学异常模式

(一) 成矿区(带)内金矿的成矿区域地质背景: 地层、构造、岩浆岩、控矿因素、区带内矿床成因类型、地貌特征。

(二) 金矿田地球化学成矿背景

1. 地层背景: 有系统的地层剖面、地层演化与成矿关系(矿源层)。
2. 岩浆岩演化及其与成矿关系(常量和微量元素)。
3. 构造地球化学特征。
4. 金矿田内各种矿床类型的标型元素组合。

(三) 金矿田的地球化学异常模式

1. 异常中元素组合、规模及其分带特征(主要是水平分带),要有包括矿田在内的区域性面积(或几条剖面)的地球化学测量资料,以分散流为主(有次生晕或原生晕面积性资料更好)。

2. 金矿田的地球化学异常模式。

(四) 地球化学找矿标志

1. 指示元素及其指示意义。
2. 地球化学找矿标志。

(五) 找矿实例及预测意见

二、金矿床地球化学异常模式(矿床包括若干金矿体)

(一) 矿区地质成矿背景地层、构造、岩浆岩、控矿因素、矿床成因、矿床分带特点。

(二) 金矿床地球化学成矿背景

1. 与成矿有关的地层中某些元素含量与成矿关系(矿源层)。
2. 与成矿有关岩浆岩中某些元素含量与成矿关系。
3. 与成矿有关构造地球化学特征。
4. 各种矿石类型的标型元素组合。
5. 指示元素在成矿—蚀变成晕作用过程中的地球化学演化规律: 根据金矿床成矿阶段(采集不同成矿阶段、不同蚀变带的样品)及单矿物分析资料综合分析研究:

(1) 不同成矿阶段指示元素的沉淀顺序及形成的矿物组合图表;

(2) 蚀变过程中元素的带入带出活化转移图表。

6. 指示元素的富集矿物和载体矿物图表(根据矿床中各种矿物含量,以及单矿物分析数据高度概括得出)。

(三) 金矿床地球化学异常模式

1. 金矿床异常分带特征: 要有包括矿床的面积或剖面岩石地球化学资料, 包括水平(纵向、横向)、轴向分带, 各种分带参数。

2. 金矿床地球化学异常分带模式。

(四) 地球化学找矿标志

1. 指示元素及其指示意义。

2. 地球化学找矿标志。

(五) 找矿实例及预测意见

参 考 文 献

- 傅成铭, 1985, 龙水金矿矿床成因初步探讨, 地质与勘探, 第9期, 15—18页。
- 涂光炽, 1988, 一些金矿地质问题的讨论, 地质找矿论丛, 第三卷, 第一期, 1—8页。
- 王定国、胡子亭、吴启明, 1985, 河南小秦岭灵湖金矿床地球化学异常及评价标志研究, 勘查地球物理勘查地球化学文集, 第二集, 201—217页, 地质出版社。
- 叶·米·克维亚特科夫斯基, 1977, 岩石化学找矿法, 85—100页, 张容国等译, 1981, 地质出版社。
- 博伊尔, 1979, 金的地球化学及金矿床, 41—59页, 马万钧等译, 1984, 地质出版社。