

732986

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

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剥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 惠 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、刘振昌参加了编写工作。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 $\bar{D}_{\text{CO}_2}$ 、 $\bar{D}_{\text{H}_2\text{O}}/\bar{D}_{\text{CO}_2}$ 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、石英闪长岩脉和霏细斑岩脉等。

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、	早元古代白云鄂博群尖山岩组	长石石英砂岩、变长石砂岩、变		长英质脉岩、蚀变闪长岩、	硅化(地表)、黄铁矿化、绢云母化、褐铁矿化	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、	石英	长石、方解石、绢云母、	重熔岩浆热液、变质热液、	岩组变质砂岩、白云鄂博群尖山
河北金厂峪	大型	石英脉型、石英脉带	北北东向压扭构造、南北推皱剪切带	河群上三厂组、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	辉银矿、砷金矿、黄铁矿、自然金、	方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉钼矿、	石英、钠长石、	绢云母、	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、	绿泥石碳酸盐化	黄铁矿、显微金	闪锌矿、方铅矿、	石英、绢云母	绿泥石、碳酸盐	变质热液和岩浆热液	砂页岩、水口群碳质
山东金青顶、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、	绿泥石碳酸盐化	金、银、铜等、黄铁矿、自然金、	黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、	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、	绿泥石碳酸盐化	黄铁矿、自然金、	黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、	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	金银铜系列、黄铁矿、自然金、	黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、	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部都发现了 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 $n-1 \times 10$ 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。

金厂峪金矿区的地质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	$\frac{Au \cdot Ag \cdot As \cdot Sb \cdot 10^4}{Cu \cdot Pb \cdot Zn}$
寒乌拉	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
	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
龙水	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
	含金脉碎带	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
	不含金脉碎带	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 、 $Au \cdot Ag \cdot As \cdot Sb \cdot 10^4 / Cu \cdot Pb \cdot Zn$ 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 $Au/Mo > 0.004$, $Ag/Mo > 0.1$, $Pb/Zn > 1$, $Au \cdot Ag \cdot As \cdot Sb \cdot 10^4 / Cu \cdot Pb \cdot Zn > 0.1$, 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) 及其衬值

矿区	矿石地层	样数	Au	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn	Mo	Bi	Ti	Mn
赛乌素	矿石	17	5.36	2.932	1752	12.65	55.4	735	203.5	10.8	1.16	236	221
	地层 矿石/地层		0.0098 547	0.107 27.4	12.41 141	1.015 12.5	21.2 2.61	28.87 25.4	120.5 1.69	10.14 1.06	0.5 2.32	2773 0.085	444 0.498
龙水	矿石	42	6.672	22.65	607	7.10	456.1	964	281.7	5.58	21.4	738	184.2
	地层	99	0.0125	0.14	24.49	1.21	32.4	35.9	115.1	5.4	5	3289	197.2
	岩体	54	0.0136	0.51	11.12	0.934	23.6	92.0	63.8	3.1	2.5	2466	669
	矿石/地层 矿石/岩体		534 490	162 44.4	24.8 54.6	5.87 7.60	14.1 19.3	26.8 10.5	2.45 4.42	1.03 1.8	4.28 8.56	0.224 0.299	0.934 0.275
金厂峪	矿石	52	6.656	9.18	6.8	1.8	49.8	174	78.5	403	111	1069	716
	地层 矿石/地层	6	0.020 333	0.2 45.9	1.5 4.53	0.81 2.22	51 0.976	34 5.12	102 0.769	2		2695 0.397	917 0.781
牟乳	矿石	121	9.137	12.1	229	1.83	1310	166	212	25.6	2.03	196	858
	岩体	11	0.0033	0.07	0.877	0.50	21.6	17.3	48.6	3.83	0.5	1178	268
	地层	7	0.0032	0.12	1.86	0.69	29.9	27.7	55.3	9.02	0.5	4141	402
	矿石/岩体 矿石/地层		2769 2855	173 101	261 123	3.66 2.65	60.6 43.8	9.60 5.99	4.36 3.83	6.68 2.84	4.06 4.06	0.166 0.047	3.20 2.13
玲珑	矿石		10.67	3.46	38.11	0.85	123.2	64.7	78.6		11.2		234
	矿石/岩体		2134	26.0	19.0		13.0	7.23	1.61				1.48
焦家	矿石		75.1	12.1	17.3	1.38	18.8	582	138		29.0		498
	矿石/岩体		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
	地壳克拉壳值 (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

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
含量高	⊕	>1	>10	>1000	>100	>50	>500	>1000	>1000	>50	>100	>50	>50	>100	>1000	>1	>50
量中	⊕	1-10	10-1	100-1000	100-10	50-10	500-50	1000-100	1000-100	50-10	100-10	50-10	50-20	100-10	100-1000	1-100	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)