

合金, 石英脉, 矿物地球化学
金矿床

40-45 小秦岭含金石英脉矿物地球化学研究

p618-510-4

方维萱

(西北有色金属地质勘查局物化探总队·西安·710068)

小秦岭含金石英脉的矿物地球化学研究有助于深化和认识成矿元素在成矿成晕过程中的演化与富集规律, 该研究方法在查明化探异常源性质、化探异常评价与预测、多建造晕等方面研究中有一定的应用价值。

关键词 含金石英脉 矿物地球化学 化探异常检查、评价、预测

小秦岭含金矿带是我国重要的黄金生产基地之一。含金石英脉型金矿是该区的主要类型金矿。矿石的矿物成分复杂, 含金石英脉的原生地球化学异常也很复杂, 常发育多建造晕。栾世伟、罗镇宽等人^[1,2]对小秦岭金矿带东部含金石英脉的矿石矿物进行了较系统的研究, 但对西部含金石英脉的矿石矿物系统研究不够。

矿物地球化学研究是成矿成晕模式研究的基本方法之一, 其研究成果有助于深化对成矿成晕的认识, 指导地球化学异常的评价与预测。如小秦岭地区金矿中F异常在含金石英脉中呈“V”字形, 而在近矿围岩中形成明显的正异常($F > 4000 \times 10^{-6}$), 其异常源由近矿围岩中绢云母化而引起。有些含金石英脉中局部 $F > 10000 \times 10^{-6}$, 系由含金石英脉中浅色萤石化所引起, 而萤石化是燕山期叠加改造成矿作用的特征。矿物标型特征也是地球化学异常评价的指标, 并有助于对成矿作用的认识。

1 含金石英脉的矿物系列

1.1 贵金属矿物

自然元素类金银系列及含金矿物: 自然金、含银自然金、银金矿、金银矿、自然银、含金自然银、自然铋。

金银碲化物类及金铋铅系列: 碲金矿、碲金银矿、金碲矿、针碲金矿、碲银矿、碲铅矿、碲铋矿、碲镍矿、碲铅铋矿、硫碲铋矿、铜碲铋矿、黑铋金矿、辉铅铋矿。

1.2 贱金属矿物

硫化物系列: 黄铁矿、白铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉钼矿、辉铜矿、斑铜矿、黝铜矿、辉铋矿。笔者新查明了硫盐类矿物有: 含银锌黝铜矿、银黝铜矿、硫铜银矿、硫铋银矿。

氧化物系列: 黑钨矿、白钨矿、镜铁矿、磁铁矿、金红石、赤铁矿。

此外, 表生矿物有褐铁矿、针铁矿、铜蓝、蓝铜矿、孔雀石、白铅矿、铅矾、钼铅矿、钼华。脉石矿物有石英、方解石、铁白云石、重晶石、萤石、绢云母、绿泥石、斜长石、钾长石。

2 主要矿物标型特征

2.1 自然金的标型特征

在化学成分上以Au为主, 含有不等量Ag及少量Cu、Fe、S、Co、Se、Te。自然金以粒状为主, 集合体呈不规则状、角砾状、脉状、枝状。随着含金石英脉中矿物组合不同, 金的成色发生变化。自然金—黄铁矿—石英组合中, 金成色高, 一般在900以上; 自然金

本文1994年7月修回, 张自芳编辑。

—硫化物—石英组合中,金成色相对较低,一般在700~900之间。在金矿石中Ag品位在50g/t以上时,自然金与自然银共生,金成色降低,形成含银自然金、银金矿、金银

矿,见表1。从成矿早期到晚期,自然金的成色降低,Ag含量增加,说明含银自然金、银金矿形成于相对低温条件。

表1 不同矿区自然金成色特征

金矿脉	地质产状	Au(%)	Ag(%)	成色(‰)	样品数	资料来源
王排沟 Q2142	早期黄铁矿中	98.63	3.05	966.63	2	西北有色 地勘局 712总队
	中期黄铁矿中	90.71	9.05	907.00	4	
	多金属硫化物中	86.62	13.29	866.20	2	
刘家沟 Q2143	黄铁矿中	90.90	9.23	907.78	2	712总队
	多金属硫化物中	74.41	25.52	744.62	1	
鸾鹿	含金石英脉中自然金	91.16	6.68	931.76	3	西安地院
岳王庙	中期碎裂状黄铁矿	85.05	11.34	877.26	1	本文
	晚期硅化蚀变体	75.06	25.90	740.60	1	
大银洞沟	蚀变岩型银矿早期黄铁矿中	91.46	7.48	923.09	1	

2.2 黄铁矿的标型特征

似脉状、细脉状、细粒黄铁矿中Au富集程度高,粗粒黄铁矿的含金性差(见表2)。

表2 黄铁矿结晶粒度与金含量的关系

结晶粒度	矿区(脉)	Au(10^{-4})	平均值
粗粒 黄铁矿	杨寨峪 ^[3]	1.18~20.00	7.62(n=4)
	Q505	4.38	4.38(n=1)
中粗粒 黄铁矿	杨寨峪 ^[3]	25.00~64.31	47.25(n=3)
	Q502	31.25	31.25(n=1)
中细粒 黄铁矿	杨寨峪 ^[3]	154.16~337.50	245.83(n=2)
	Q502	43.08~79.02	66.13(n=2)
	Q539	19.80~133.65	71.32(n=3)
细粒 黄铁矿	杨寨峪 ^[3]	500.00~931.70	715.85(n=2)
似脉状 黄铁矿	Q539	393.91	393.91(n=1)
细脉状 黄铁矿	Q539	39.26~193.25	

钼热液成矿期伴有多金属矿硫化物的

形成,该期黄铁矿中高Cu、Pb、Zn、Co、Mo,但Au不发生富集(Au0~0.50g/t)。自然金—多金属硫化物—石英阶段形成的黄铁矿高Cu、Pb、Au、Ag,贫Co、Mo、Co、Mo地球化学异常不反映金富集部位,常指示金矿剥蚀程度接近尾部或金矿非成矿部位(见表3)。

黄铁矿中Co/Ni比值大于3.0时,Au不发生富集,Co/Ni比值在1.0±时,Au富集程度较高(见表4)。

2.3 方铅矿的标型特征

早期形成的自形晶、粗晶粒状、团块状方铅矿含金性差,Au<2.0g/t。形成较晚的细脉状、中细粒、它形一半自形方铅矿的含金性好(见表5)。中粗粒、晶面弯曲变形方铅矿含Ag549g/t,中细粒自形晶方铅矿中含Ag270g/t,细粒它形晶方铅矿含Ag167g/t。随着方铅矿粒度增加,Ag愈富集于方铅矿中。银主要以自然银、硫铜银矿、银黝铜矿等矿物包含于方铅矿中,或者沿其解理和裂理分布。晶粒愈大,其解理和裂理

愈发育,晶面常发生弯曲、挠曲,为 Ag 富集提供了赋存的空间。致密块状、细粒它形方铅矿呈脉状产于石英脉边部,断口呈参差状,发育多组劈理,反映后期受强烈应力作用。方铅矿围绕钾长石、石英碎斑形成了“δ”碎斑系,由于方铅矿是可塑性极强的矿

物,在垂直应力方向上发生细粒化,形成致密块状、细粒它形晶方铅矿。而在斜交主应力方向上形成了拔丝状方铅矿的面理效应。细粒它形晶方铅矿由于受强应力作用而缩小了 Ag 富集的赋存空间,Ag 含量的明显降低。

表 3 黄铁矿中 Cu、Pb、Zn、Mo、Au(10⁻⁶)

矿 区	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	样品数	资料来源
含金石英脉 (Q505)	4.38	6.63	<100	8600	60		1	西北有色地勘局 712 总队
	5.59	92.99	<100	71100	160		1	
	6.63	28.88	<100	6500	270		1	
	17.51	12.08	800	22840	50		1	
含金石英脉 (Q2142) 共生伴生钼	8.25	12.0	300	400	200	<1.0	1	
	0.25	7.0	3000	400	1500	50	1	
	0.50	12.0	1500	3400	1000	160	1	
	44.15	24.5	2000	300	300	<1.0	1	
含金石英脉(Q502)	57.41	48.38			8.25	4		
金堆城钼矿伴生 Cu、Au	0.00	4.33	392	100	220	326	8	
黄龙铺钼矿	0.012	9.0	15	2049	285	345	5	
二道沟钼矿	0.14	5.2	33	1518	380	203	3	

表 4 黄铁矿中 Co/Ni 比值与金含量的关系

矿区	Au(10 ⁻⁶)	Co(10 ⁻⁶)	Ni(10 ⁻⁶)	Co/Ni
Q2142	0.25	300	40	7.5
	0.50	300	30	10
	8.25	60	20	3
	44.15	60	60	1
Q502	31.25	6	6	1
	79.02	20	15	1.3
	76.28	10	6	1.6

方铅矿中含 Cu、Bi 高时,含金性好,Bi 含量愈高,Au 含量愈高。其地质地球化学原因可能是辉铋矿及含铋矿物是金矿化最强时形成,说明成矿溶液中 Bi 含量很高,有足够的 Bi³⁺ 以类质同象形式替代 Pb²⁺,

Cu²⁺ 进入方铅矿晶格中使电价得到补偿, Bi³⁺ + Cu²⁺ → 2Pb²⁺, 造成了方铅矿中 Cu、Bi 含量高,Bi 地球化学异常指示了金富集成矿部位。

3 标型矿物组合与元素组合关系

小秦岭金矿带西部含金石英脉成矿具有多期多阶段的特点,与东部含金石英脉有一定差别。西部含金石英脉中常有金银铅、金钼、金铅、金银共(伴)生矿体,金矿体附近有独立钼矿体、银矿体。钼矿体位于含钼蚀变混合花岗岩、石英脉中,银矿体位于蚀变辉绿岩、蚀变混合花岗岩中。含金石英脉中普遍伴生有 Ag、Mo、Pb、Cu、Te、Bi 等多种有益组份,根据各类矿化的野外地质产状、镜下的矿物形成顺序及各类矿石中微量元

素含量特征,笔者划分了4个成矿期、6个成矿阶段,各成矿期的标型矿物组合和元素组合关系如下:

表5 方铅矿结晶粒度、形态与金、银含量关系

粒度、结晶形态	矿脉	Au(10^{-6})	Ag(10^{-6})	样品数	资料来源
早期、粗粒、团块状、自形晶	Q505	0.18	160.95	2	西北有色地勘局712队
	Q504	1.38	119.10	1	
早期粗粒、自形晶(晶面弯曲)	Q424	0.40	549.0	1	本文
晚期细粒、它形晶	Q504	23.5	255.0	1	西北有色地勘局712队
	Q504	46.8	234.0	1	
	Q424	1.24	167.0	1	本文
晚期、中细粒、脉状	Q505	5.78	171.08	1	西北有色地勘局712队
	Q424	0.77	261.50	2	本文

表6 方铅矿中Cu、Bi、Au含量(10^{-6})

矿区	Au	Ag	Cu	Bi
Q2142	8.0	47.0	600	1000
	23.65	147.0	600	>1000
	16.25	297.0	300	>1000
Q502	3.88	343.5		150

3.1 金矿热液成矿期

(1)黄铁矿—石英阶段:标型矿物组合是黄铁矿—自然金,自然金成色高,多在950以上,黄铁矿呈自形晶粒状。标型元素组合Au—Co(Fe),金只发生了初步富集成矿。

(2)自然金—石英—黄铁矿阶段:标型矿物组合是自然金—黄铁矿—黄铜矿,形成自然金—黄铁矿—石英脉型金矿石,如Q401、Q505等。黄铁矿呈细粒状、团块状。标型元素组合是Au—Cu—Ag—Co—Ni,是金主要成矿阶段之一,发生了较大规模的金富集成矿,含金石英脉多定位于缓倾斜的层间破碎带中。

(3)自然金—石英—多金属硫化物阶段:标型矿物共生组合复杂,黄铁矿—黄铜矿—方铅矿—辉铋矿—闪锌矿;自然金—银金矿—碲金矿及含碲矿物。形成自然金—多金属硫化物—石英脉型矿石,如Q2142、

Q539等。标型元素组合为Au—Ag—Cu—Pb—Zn—Bi—Te,是金主要成矿阶段之一,发生了金大规模富集成矿,含金石英脉多定位于陡倾斜断裂破碎带中。

3.2 银多金属热液成矿期

(4)自然银—铁锰碳酸盐—石英—多金属硫化物阶段:标型矿物组合是方铅矿—(铁)闪锌矿—黄铜矿(黝铜矿)—硫酸盐类矿物(银黝铜矿、硫铜银矿、硫铋银矿);自然银—银金矿;铁锰碳酸盐(铁白云石、菱铁矿、方解石)—重晶石。银发生了较大规模的富集成矿,金多为叠加改造富集,沿陡倾斜断裂带向地表迁移的含矿热液叠加在含金石英脉之上,形成局部金银铅铋、金银铅共生矿体,或在导矿构造(如回马坪—朱家沟壳型剪切带)派生次级断裂系统形成了蚀变岩型银矿。标型元素组合为Ag—Pb—Zn—Hg—Mn—Ba—Sb—Cu。

3.3 钼热液成矿期

(5)多金属硫化物—钨钼矿—白钨矿—黑钨矿阶段:标型矿物组合是辉钼矿—白钨矿(黑钨矿)—萤石—重晶石,有少量黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、方解石。钼发生成矿作用,沿陡倾斜构造迁移的含矿热液叠加于含金石英脉上形成金钼、金银铅钼共生

矿体,如 Q2142、Q539、Q8003;或在石英脉中及含金石英脉旁的蚀变混合花岗岩中形成独立钼矿体。

3.4 表生成矿期

(6)褐铁矿阶段,形成一些表生矿物。

4 矿物地球化学研究的应用

4.1 查明异常源性

岳王庙地区是寻找金银的远景区,在1991年以前始终没有较大突破,经改进 Au 分析技术后(采用化学光谱法)重新进行沟系次生晕加密,发现了 91-6、7、8、9 号异常,元素组合以 Au、Ag、Pb、Hg 为主,在进

行重点异常检查评价时,对其开展了矿物地球化学研究,经光片鉴定和电子探针分析,发现了银金矿、银黝铜矿、硫铜银矿、硫锑银矿、自然银,查明了引起金银异常的贵金属矿物和银的独立矿物。由于地表民采活动使用汞冶炼金,造成一定范围的人工污染,但早期完成的 1/5 万比例尺分散流普查成果中, Hg 异常明显。为了查明岳王庙地区的 Hg 异常是与金银矿化有关,还是人工污染,经电子探针查明了硫铜银矿中含 $Hg 1900 \times 10^{-6}$,方铅矿中含 $Hg 8600 \times 10^{-6}$,说明 Hg 异常由金银铅的工业矿化所引起(见表 7)。

表 7 岳王庙地区金银异常源中矿物电子探针分析结果(%)

元素 矿物	Au	Ag	Cu	Fe	S	Pb	Zn	Hg	Bi	Sb	总和
银金矿	75.06	25.90	0.05	0.05							101.34
银金矿	86.05	11.34	0.07	0.63							98.09
硫铜银矿	0.18	51.82	30.56		15.37			0.19		0.93	99.05
锌黝铜矿	0.00	0.23	38.27		24.86		9.03			27.73	100.49
含银锌黝铜矿		4.99	36.04	0.11	23.39		8.14			27.97	100.62
方铅矿		0.00	0.06		12.76	86.49		0.86	0.00	0.19	100.35
银金矿	78.45	18.11	0.03	2.81	0.25						99.99
银金矿	76.53	22.20	0.01	0.29	0.11						100.00

大银洞沟地区有一低缓 Ag 异常,经过多次检查没有发现异常源,借鉴相邻地段首次发现蚀变岩型银矿的经验,在异常检查中采用了传统检查方法与矿物地球化学相结合,发现了闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、自然银、自然金、铁白云石、褐锰矿等,经验证终于发现了蚀变岩型银矿点,查明了 Ag 的异常源。

4.2 进行化探异常评价、预测

岳王庙地区经矿物地球化学研究后查明了 Hg、Au、Ag 和 pb 异常源,从地质特征、矿化特征、化探异常特征综合分析认为: Au、Ag、Pb、Hg 综合异常是有很大的找矿前景,属微出露盲矿体(床)所引起的异常。

方铅矿的近似化学成分是: Pb86.19

(Cu0.06, Sb0.19, Hg0.85)S12.71,方铅矿中高 Hg^{-} 、 Sb^{3+} 以类质同象形式替代 $2Pb^{2+}$, $Hg^{+} + Sb^{3+} \rightarrow 2Pb^{2+}$, Hg^{+} 、 Sb^{3+} 同时替代 $2Pb^{2+}$ 以补偿电价平衡,而方铅矿高 Hg、Sb 的特征反映了金银铅矿体剥蚀程度浅,深部有较大的找矿远景。

4.3 多建造晕的特征

在小秦岭西部含金石英脉进行原生地球化学异常模式研究中,含金石英脉的原生地球化学异常十分复杂,规律不易总结,如 W、Bi、Mo 异常, W、Mo 异常可出现在前缘晕中,也可出现在尾部晕中,如 Q539 脉。W、Bi、Mo 异常相吻合,如 Q539、Q2142、Q505、Q401,但有些脉体中有 Bi,无 W、Mo 异常, Q2243 具有该特点。有些 Mo 异常与

金矿化无关,由独立钼矿体所引起。通过矿物地球化学研究,总结了不同成矿期,不同成矿阶段的标型矿物组合与元素组合之间的关系,总结了多建造晕的特征,也就很清楚地认识了含金石英脉的原生地球化学异常特征。受钼矿热液成矿期的叠加改造作用强烈时,由于钼是主成矿元素,它位于横向分带的最外侧,即 $Au \rightarrow Ag \rightarrow Pb \rightarrow Mo$,并使 W(白钨矿)、Mo 异常位于垂直分带序列的前缘和尾部,尾部中 W 以黑钨矿、白钨矿两种形式存在。W、Mo 异常位于前缘晕中所形成的反向分带序列是由多建造晕所形成。从标型矿物组合和元素组合关系研究解剖了多建造晕的特征,从而加深了异常评价,从标型元素组合可以预测异常的矿化类型。

通过不同成矿期、不同成矿阶段标型矿物组合和标型元素组合的划分和研究,揭示了元素在成矿演化过程中的富集规律,为开展模式找矿提供理论基础。如对于银富集成矿的认识是从对 Q2243、Q2142、Q539 等含金石英脉研究基础上获得,这种认识应用于外围化探 Ag 异常检查评价中,新发现了一系列银矿找矿线索,模式找矿思想在银矿(化)点的发现中起了指导作用。如含金石英脉上发育 F、Mo 异常,但 F、Mo 异常不指示金矿,F 具有亲石性,Au 具有亲铜性,亲铜元素(Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Bi)(F)富集于含金石英脉中,而亲石(F)元素按其地球化学行为一般迁移到近矿围岩中,F 进入绢云母中形成 F 异常,所以 F 在含金石英脉中形成“V”字形的低值区($F < 500 \times 10^{-6}$),近矿

围岩(具有较强绢云母化)含 $F > 4000 \times 10^{-6}$ 。F 在含金石英脉中大于 10000×10^{-6} 是由浅色萤石化所形成,这种 F 异常指示了与钼有关的成矿成晕作用,是金矿受钼热液成矿期发生叠加改造作用的标志。高 Ag、Hg、Pb、Zn 的含金石英脉反映了有银多金属热液成矿成晕作用对含金石英脉发生了叠加改造成矿,形成金银铅综合矿体。金银铅钼铋共生矿体(如王排沟一带)指示了多因复杂成矿成晕作用,多次成矿作用在同一空间发生多次叠加改造成矿和递进成矿,这些部位具有较大工业意义和前景。

5 结语

矿物地球化学研究是以矿物学、地球化学与勘查地球化学相结合的综合研究方法,是成矿成晕模式研究的基本方法之一,其研究成果有助于深化对成矿成晕过程的认识。矿物地球化学研究在查明化探异常源、化探异常评价与预测、多建造晕的研究方面具有一定的作用。这是笔者在近年来对矿区化探向纵深方向发展的一个探索和尝试,由于笔者水平有限,文中谬误之处敬请指正。

笔者在工作过程中得到了西北有色地质勘查局 712 队帮助与支持,并提供了部分资料,特此致谢。

参考文献

- 1 栾世伟等. 矿物岩石, 1985, 5(2).
- 2 罗镇宽等. 地质与勘探, 1992, 28.
- 3 方耀庵等. 成都地质学院学报, 1985, (2).

STUDY ON MINERAL GEOCHEMISTRY FOR THE AURIFEROUS QUARTZ VEINS IN XIAOQINLIN

Fang Weixuan

Xiaoqinlin gold belt is one of the most important gold bases in China. Auriferous quartz veins are predominant in the region. The study on mineral geochemistry for gold-bearing quartz veins in the region is one of approaches of ore-forming and halo-forming model for gold deposits. It's helpful to understand ore-forming and halo-forming process well, and detect the sources of geochemical anomalies, and evaluate geochemical anomalies.

Key Words: auriferous quartz veins; mineral geochemistry; examination, evaluation and prediction of geochemical anomalies