

# 赛乌素金矿床的某些地球化学特征 及地球化学找矿标志

李惠 任密礼 郑豪 何玉增

(冶金部物探公司物化探研究所) (武警黄金第十一支队)

论述了赛乌素石英脉型金矿床的某些地球化学特征、含金与不含金石英脉的区别及含金石英脉赋矿部位的地球化学特征。重点是论述含金石英脉的地球化学垂直变化规律和异常分带特点。总结出石英脉的含矿(金)预测标志。

**关键词:** 金矿床; 地球化学特征; 地球化学预测标志

## 与成矿有关的地质地球 化学背景

(一) 地层中微量元素含量特征 区内出露元古界白云鄂博群尖山岩组, 岩性以中细一中粗粒黑云母变长石石英砂岩、变长石石英砂岩、结晶灰岩、炭质板岩、糜棱岩为主。矿区内含金石英脉的主要围岩是尖山岩组第二、三段。第二岩段以变长石砂岩、变长石石英砂岩为主; 第三岩段下部以炭质板岩为主, 夹变质砂岩, 上部以结晶灰岩为主, 夹黑色板岩。

1. 不同岩性岩石中微量元素特征 中细一中粗粒黑云母变长石石英砂岩中富含Zn、Co、Ni、F、Ba、Sr; 炭质板岩中富含Cu、Ti、Cr、V、Cl; 结晶灰岩中Mn、Pb、Mo含量高; 糜棱岩中Ag、As富集; Sb在各种岩石中的含量相近, 变长石石英砂岩中稍高; Au在各种岩石中的含量均高于其克拉克值, 其中变长石石英砂岩中Au含量最高达0.013ppm, 为克拉克值的3.7倍。对1513件变质砂岩样品的统计表明, Au含

量在0.01~0.5ppm的占66%, Au>0.5ppm者占15%, 说明尖山岩组变质砂岩可能是Au的重要矿源层。

2. 矿区内、外尖山岩组岩石中微量元素含量特征 矿区内尖山岩组中浓度克拉克值大于2的元素有: Au0.0098、Pb28.9、Ba1365、As12.4、Bi0.5、Mo10.14、Cd2.5ppm, 含量大于克拉克值的元素还有Sb1.02、Zn120.5、Ag0.107ppm; Cu、Ti、Mn、Co、Ni、Cr、V浓度克拉克值小于1。与矿区外围尖山岩组相比, 矿区内尖山岩组明显偏高的元素有As、Zn、Ti、Mn、Co、Pb、Mo、V、Ba、Bi、Ag。矿区内尖山岩组中的Au(0.0098ppm) 低于矿区外围尖山岩组中的Au含量(0.017ppm)。但前者均方差较大, 说明在后期的地质作用过程中Au进一步活化转移, 进入后期成矿溶液。

(二) 岩浆岩中微量元素含量特征 区域岩浆活动强烈, 但矿区内仅出露几种脉岩, 主要有蚀变闪长岩、霏细斑岩、长英质岩等脉岩, 矿区外围有花岗岩和花岗闪长岩出

露。

蚀变闪长岩脉早于石英脉，长英质岩脉与石英脉交替出现，但未见穿插现象。石英脉中Zn、Ti、Co、Ni、Cr、Au(0.005ppm)含量偏高；长英质脉岩中As、Sb、Pb、Mo、Cd、Au(0.0054ppm)均高于其克拉克值，但As、Sb、Au、Mo低于矿区尖山岩组的平均含量。

### 金矿床的某些地球化学特征

(一) 含金与不含金石英脉的微量元素含量特征 含金石英脉是指有金矿化(但不一定达到目前的工业品位)的石英脉，采样点选在脉内达不到工业品位要求的部位；不含金石英脉的样品采自矿区外围的石英脉(石英矿)中。两种石英脉中部分微量元素含量

及其浓度克拉克值列于表1。由表1可以看出，含金石英脉中的Au、As、Sb、Pb、Cu、Ag明显高于不含金石英脉，其中含金量前者为后者的17倍，As为后者的20倍，Sb为7.75倍，Ag为1.7倍，Cu为2.3倍。两种石英脉的元素对比值也有较大差异，含金石英脉中As/Pb为2.6，Pb·Co/Mo为1614，Au·100/Mo为4.37；不含金石英脉As/Pb为0.22，Pb·Co/Mo为172，Au·100/Mo为0.1。

(二) 含金石英脉赋矿部位与无矿地段在地球化学上的差异 含金石英脉中能圈出Au达到目前工业品位要求矿体的局部地段，称为赋矿部位。圈不出工业矿体的地段为不含矿地段。

赋矿部位与无矿地段除Au的含量具明

含金与不含金石英脉微量元素含量 (ppm)

表 1

石英脉类	参 数	As	Sb	Au	Cd	Zn	Cu	Ti	Mn	Co	Ni	Cr	Pb	Mo	V	Ag
含 金	含量平均值	705.6	6.22	0.367	7.51	129.9	50	191.1	192.3	7.1	15.7	68.6	271.1	8.4	20.7	0.896
	浓度克拉克值	320.7	10.4	104.9	50.1	1.4	0.8	0.03	0.15	0.28	0.18	0.62	22.6	6.5	0.15	11.2
不含金	含量平均值	35.04	0.8	0.021	6.32	200.3	21.63	51.83	754.9	10.6	32.62	15	162.34	20.47	30	0.528
	浓度克拉克值	15.93	1.33	6	42.1	2.13	0.34	0.008	0.58	0.42	0.37	0.136	13.53	15.7	0.21	6.6

显差异外，伴生元素的含量也有明显不同(数据略)。赋矿部As、Sb、Cu、Pb、Zn、Cd、Ag、Mo、Mn等均明显高于无矿地段，其中As、Au、Pb、Ag等比无矿地段高出一个数量级，赋矿部位Ni、Cr、Ba较低。以元素浓度克拉克值大于35为元素组合的标准，赋矿部位的元素组合为Au—As—Cd—Pb—Ag，无矿地段的元素组合为As—Au—Cd。赋矿部位Au·1000/Pb为5.9~8.6，As/Au为228~586，而无矿地段Au·1000/Pb<2，As/Au为1326~5365。

(三) 不同矿石类型的元素组合 矿石中金属矿物以黄铁矿、褐铁矿和赤铁矿为主，其次有方铅矿、磁黄铁矿、毒砂、白铁矿，含少量铁闪锌矿、铜蓝等；金主要呈自

然金和银金矿存在。脉石矿物主要是石英，其次是绢云母、绿泥石及少量长石。根据矿石矿物组合和量比关系，可将其分为三种类型：金—褐铁矿石石英脉型属地表氧化矿石；金—硫化物石英脉型，矿化围岩型，分布于石英脉两侧，不能单独构成矿体。

不同矿石类型元素组合及某些元素对比值有所不同：金—褐铁矿型的元素组合为As—Sb—Au—Cd—Pb—Mo—Ag，As/Cd<100，Sb/Cr>1，Ti/Co<10；金—硫化物型和矿化围岩型的元素组合为As—Sb—Au—Cu—Pb—Ag，As/Cd>100，Sb/Cr<1，Ti/Co>10。金—褐铁矿石石英脉型矿石中除Au、Ti、Cr、Ag外，其余元素含量都高于另外两种矿石的含量，可能与这些

元素的表生富集有关。

### 矿区石英包裹体的特征

研究石英包裹体的形态特征、形成温度及包裹体中某些成分特征，可为评价石英脉的含矿性提供有用信息。

(一) 金矿流体包裹体特征 研究表明，大部分石英光片、薄片中都能见到大量包裹体，原生包裹体以浑圆状为主，次为长筒状、管状或不规则状。包裹体类型简单，以气液包裹体为主，纯液态包裹体较少。在气液包裹体中液相充填度多大于80%，包裹体一般小于 $3\mu$ 。

(二) 石英包裹体的均一化温度 统计资料表明，石英包裹体的均一化温度分布在两个区间—— $140\sim 180^\circ\text{C}$ 和 $200\sim 280^\circ\text{C}$ ，最低温度为 $110^\circ\text{C}$ ，最高温度为 $305^\circ\text{C}$ 。不同石英脉均一化温度平均值有所不同，且与其含金的平均品位显示正相关关系，即随含金石英脉形成温度的增高，金矿化程度（品位）有增大的趋势；含金石英脉赋矿部位均一化温度高于无矿地段，前者集中在 $200\sim 280^\circ\text{C}$ ，后者集中在 $140\sim 180^\circ\text{C}$ 和 $200\sim 240^\circ\text{C}$ 两个区间；含金石英脉中从富矿部位向深部贫矿部位，均一化温度从 $>210^\circ\text{C}\rightarrow <180^\circ\text{C}$ ，表明成矿温具有明显的垂向变化规律。

(三) 石英包裹体中 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 相对光密度特征 用红外光谱测定了石英包裹体中 $\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CO}_2$ 的相对光密度 $D_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 $D_{\text{CO}_2}$ ，二者的平均值在含金石英脉和不含矿石英脉中有一定差异。

1. 含金石英脉的 $D_{\text{H}_2\text{O}}$ 平均值比不含金石英脉高，含金石英脉的 $\overline{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 在 $3.16\sim 3.91$ （203、32、29、28、49号脉的 $\overline{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 分别为 $3.91$ 、 $3.51$ 、 $3.65$ 、 $3.33$ 、 $3.16$ ）之间，多数高于不含金石英脉（ $\overline{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 为 $3.17$ ）； $\overline{D}_{\text{CO}_2}$ 二者差异不明显。

2. 含金石英脉包裹体的平均均一化温度与 $\overline{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 呈正相关，与 $\overline{D}_{\text{CO}_2}$ 呈反相关；含

金石英脉金的平均品位与 $\overline{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 呈正相关，与 $D_{\text{CO}_2}$ 呈反相关（图1）。说明成矿溶液中金含量与 $\text{H}_2\text{O}$ 关系更密切。

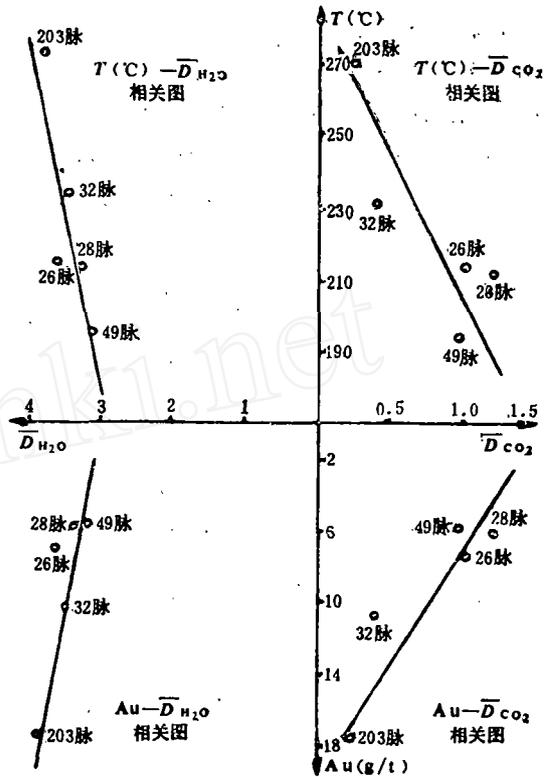


图1 含金石英脉包裹体地球化学参数相关图

### 金矿床的地球化学异常模式

(一) 地球化学垂直变化规律 研究含金石英脉中成矿及伴生元素的垂直变化规律，对预测深部含矿性及剥蚀程度有重要意义。

1. 微量元素垂直变化规律 32号脉0线和26号脉16线不同标高微量元素含量特征表明，Au、As、Pb、Sb、Bi、Ag、Hg由矿体上部（头部）至下部（尾部）其含量呈由高变低的趋势（图2）。

2. 微量元素间相关系数的垂向变化规律 通过对矿体上部、中部和下部各元素相

关系数对比表明, Sb—Cd、Cd—Zn、Cd—Bi、Ag—Au四对元素的相关系数在矿体上部为负值(负不相关), 在矿体中部为较小的正值(不相关), 而在矿体下部为明显的正相关; Mo—Ag、Hg—Bi、Sb—Sr、Cd—Ba、Au—Ti、Au—F等则在矿体上部相关, 在中部和下部不相关(表2)。Au—Sb和Au—Mo两对元素在矿体中部为正相关, 在矿体头部和尾部不相关。

用C.B.格里戈良法和E.M.克维雅特科夫斯基方法计算了不同含金石英脉中指示元素的浓度分带序列, 结果表明, 有少数元素在分带序列中的位置有变化, 但就总体而言是一致的。综合两种方法的计算结果, 得出了本区含金石英脉体中微量元素的分带序列: 由上到下为 Sb—Hg—Bi—Ag—As—Pb—Ba—Sr—Au—Co—Mo—Ni—Cu—Ti—V—Zn—Cr—Mn—Cd。

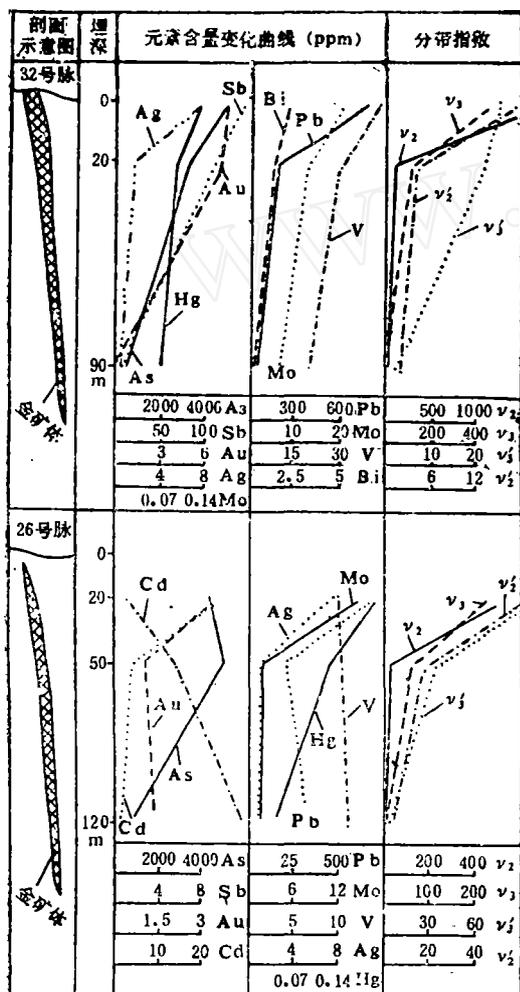


图2 含金石英脉中某些地球化学参数垂向变化

( $v_2$ 、 $v'_2$ 、 $v_3$ 、 $v'_3$ 含义见表3)

3. 指示元素的轴向浓度分带序列 应

4. 分带性指数及某些元素累加比值的垂直变化规律 根据指示元素的分带序列计算了二阶 ( $v_2 = As \cdot Sb / Cr \cdot Cd$ )、三阶 ( $v_3 = Pb \cdot As \cdot Sb / Mn \cdot Cr \cdot Co$ ) 分带性指数, 以及  $(Pb + Mo) / (Cd + V)$ ;  $(As + Au + Sb) / (Cd + Cr + V)$  累加比(图2、表3)。由图2可以看出,  $v_2$ 、 $v_3$ 和 $v'_2$ 、 $v'_3$ 从矿体上部至下部明显降低。

(二) 含金石英脉旁扩散晕模式 石英脉型金矿床在成矿过程中, 含矿溶液不仅沿构造裂隙带上升充填, 而且向构造两侧围岩中扩散形成脉旁扩散晕。在扩散晕形成过程中, 成矿溶液与围岩还发生交代作用, 致使脉旁围岩中某些元素活化转移, 在宏观上表现为围岩蚀变, 在微观上表现为元素的带入带出。通过对含金石英脉两侧围岩中各元素扩散晕的研究得出扩散晕模式(图3)。其特征是:

1. 含金石英脉旁扩散晕范围很窄, 一般扩散距离为1~3m, 说明金矿床在形成时以充填为主, 扩散为辅。但由于本区石英脉两侧往往发育有不同程度的裂隙带, 致使某些元素在含金石英脉周围形成规模较大的异常。

2. 成矿溶液带来的属于正常扩散的元素有Au、As、Cd、Sb、Pb。这些元素含量从矿体向远离矿脉逐渐降低, 其中As、Sb、Cd的扩散范围及强度比Au、Pb大。

3. Mo、V在矿体中相对较低, 其异常峰值在脉旁两侧围岩中, 称为扩散外峰

矿体不同部位元素对相关系数变化特征表

表 2

位置	样品数	信度临界值 5%	Sb—Cd	Cd—Zn	Cd—Bi	Mo—Ag	Hg—Bi	Sb—Sr	Cd—Ba
矿体上部	11	0.602	-0.3768	-0.2083	-0.5044	0.7411	0.8939	0.8354	0.7415
矿体中部	10	0.632	0.1845	0.4593	0.1372	0.0956	-0.0814	-0.4167	-0.2240
矿体下部	7	0.754	0.8796	0.8611	0.9377	-0.0348	-0.2116	-0.2814	-0.0936
位置	样品数	信度临界值 5%	Au—Ti	Au—Mn	Au—Ni	Au—Cr	Au—Pb	Au—Hg	Au—F
矿体上部	11	0.602	0.6856	0.6049	0.5767	0.4326	-0.3274	-0.0060	0.7483
矿体中部	10	0.632	-0.479	-0.3284	-0.1459	-0.0756	0.0790	0.4343	-0.4869
矿体下部	7	0.754	-0.1978	-0.0406	0.0406	-0.5462	0.3990	0.8131	-0.2825

不同矿脉不同标高分带指数值变化表

表 3

	标高 (m)	$v_2 = \frac{As \cdot Sb}{Cr \cdot Cd}$	$v'_2 = \frac{(Pb + Mo)}{(Cd + V)}$	$v_3 = \frac{Pb \cdot As \cdot Sb}{Mn \cdot Cr \cdot Co}$	$v'_3 = \frac{(As + Au + Sb)}{(Cd + Cr + V)}$
0线32脉1矿体	地表	1721.1	16	460.617	26.2
0线32脉1矿体	20	101.6	4.7	124.217	20.9
0线32脉1矿体	90	9.771	2.018	0.112	2.87
16线26脉1矿体	20	516.6	60.184	220.8	94.912
16线26脉1矿体	50	4.792	11.22	64.54	34.427
16脉26脉1矿体	120	0.164	3.88	0.491	4.532

晕。

(三) 地球化学异常模式

1. 地球化学异常特征 本区石英脉型金矿床中Au、Ag、As、Sb、Pb等元素的原生晕异常极为发育，在三度空间上异常形态和展布方向与脉体完全一致，其范围比石英脉大3~10倍，地表异常呈条带状，剖面异常呈楔形或透镜状；As、Pb、Ag、Au等元素的异常均以矿脉为中心，出现内、中、外三个异常带，中、内带异常带一般反映赋矿部位，矿体上部及上盘晕发育，矿体下部（尾部）和下盘晕发育较差；Cu、Zn异常不太发育，中、内带仅在矿体上出现，外带异常范围也较窄。

2. 石英脉型金矿床的地球化学异常模式 根据含金石英脉中元素分带序列、元素组合及其地球化学异常特征，归纳出该区石英脉型金矿床的地球化学异常分带模式（图4）。Au、As、Sb、Pb、Cu、Ag等元素异常紧包矿体，形态与脉体一致，规模比矿脉大；前缘晕为Au、As、Sb、Ag、Hg的中、外带组合，尾晕为Au、Ag、As、

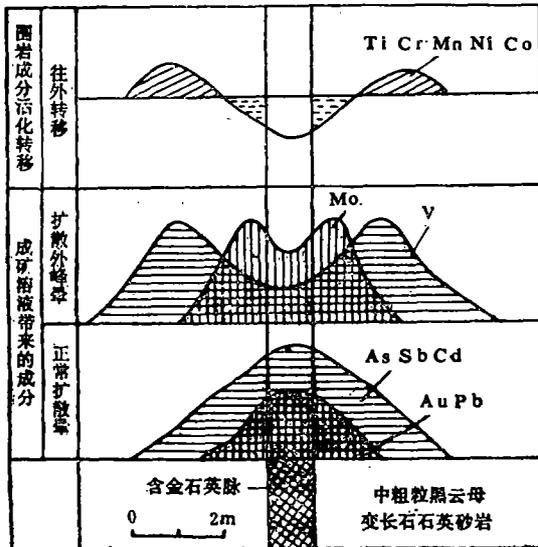


图 3 含金石英脉脉旁扩散晕模式

4. Ti、Cr、Mn、Ni、Co在矿体中含  
量低，在近脉围岩中低于围岩的背景含量，  
显示负异常，而在远离脉体的围岩中则出现  
正异常，可能是元素发生活化转移形成的。

Zn外带。组合异常在矿体上部和前缘比矿体下部强度高、规模大。

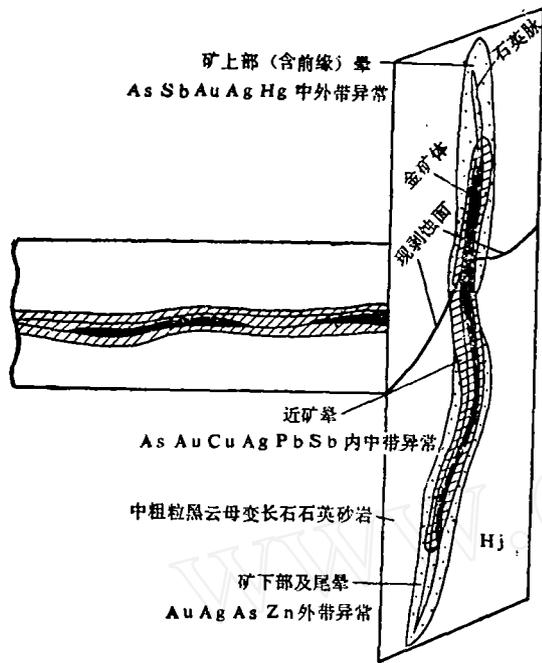


图4 赛乌素石英脉型金矿床地球化学异常模式

### 石英脉含矿性的地球化学预测标志

#### (一) 指示元素及指示意义

1. Au是找金矿最直接最重要的指示元素，其独立矿物是自然金、银金矿，载体矿物是黄铁矿（氧化带是褐铁矿），其内带异常指示赋矿部位。

2. As、Sb、Ag、Pb、Hg是本区金矿的重要的伴生元素，从矿体上部→下部其含量逐渐降低，原生晕在矿体上部和前缘比尾部发育，是评价石英脉深部含矿性和矿体剥蚀程度的重要指示元素，其中Sb在分带序列中总是处在最上部，Hg也仅出现在矿体上部及前缘，是预测盲矿最重要的指示元素。

3. Cd、Cr、Co虽不能形成有指示意义的异常，但Cd在分带序列中总是处于最下部，以及Cr、Co与某些元素的比值对判

断矿体剥蚀程度具有重要意义。

#### (二) 评价石英脉含金性的地球化学指标

1. 含金与不含金石英脉的判别标志  
浓度克拉克值  $Au > 10$ 、 $As > 90$ 、 $Sb > 3$ ， $Ag > 10$ 、 $As/Pb > 2$ 是含金石英脉；浓集克拉克值  $Au < 7$ 、 $As < 50$ 、 $Sb < 3$ 、 $Ag < 10$ ， $As/Pb < 1$ 是不含金石英脉的标志。

2. 含金石英脉赋矿部位的标志  
 $Au > 0.5$ 、 $As > 1200$ 、 $Sb > 8$ 、 $Ag > 1ppm$ ， $As/Au < 1000$ 是赋矿部位的标志。

#### (三) 含金石英脉剥蚀程度的预测标志

1. 用异常元素组合、分带性指标及某些元素的相关系数可判断矿体的剥蚀程度（表4）。

判别矿体剥蚀程度的综合性指标 表4

	异常中 元素组合	分带指数		相关系数	
		$\frac{As \cdot Sb}{Cd \cdot Cr}$	$\frac{As \cdot Sb \cdot Pb}{Mn \cdot Cr \cdot Co}$	$\frac{Zn - Cd}{Sb - Cd}$	$\frac{Ag - Mo}{Mo}$
前缘晕	Au, As, Ag, Sb, Hg中外带	>500	>200	负不相关	相关
矿体	上部	>500	>200	负不相关	相关
	中部	10~500	1~200	不相关	不相关
下部	Au, As, Cu, Ag, Pb, Sb中内带	<10	<1	相关	负不相关
尾晕	Au, Ag, As, Zn, 外带异常				

2. 预测含金石英脉剥蚀程度的回归方程，是以含金石英脉矿体从上→下的相对标高 $Y_H$ 为因变量，以不同标高的指示元素为自变量建立的：

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

当 $Y_H \approx 2$ 时为矿体上部； $Y_H \approx 0$ 为矿体中部； $Y_H \approx -2$ 为矿体尾部。

根据上述指标对区内14条待评价石英脉进行了预测，提出了5条有成矿远景。

(下转第60页)

心采取率、岩石等级图中。

(3) 图形符号的处理 在岩心柱状图中, 图的处理要求比例准确和图例规范化。此程序ZB-6(已删)中编入了常用的20种岩石符号。该程序编有专用语句, 能根据孔深和比例尺计算出需绘图例的次数。然后, 能在20个岩石符号中打印出需要的岩石图形。

3. 汉字处理 为了在编制钻探生产管理的报表和钻孔档案中需输入汉字作为表头或成果的说明, 采用汉字笔划坐标法, 通过LINE语句输入。它具有占程序步少、使用

方便、适应性强等优点。操作时, 只需把一个汉字的自定义数据信息存贮于DATA语句中, 便能快速开始工作。汉字编码完全由用户自行定义, 免去查背汉字编码的麻烦。通过子程序能方便地在成果的输出中得到汉字。汉字子程序框图见图5。

这套PC-1500微机汉字钻探生产管理软件, 共有9个程序, 录于两盒磁带中。先后在地矿部、有色、煤田等勘探队使用, 受到用户好评, 都认为这套软件有小巧、清晰、实用、操作方便等优点。

## A Chinese Character Software Package for Drilling Management and Technical Archives Storage

Ma Xiangheng

A Chinese character software package used for drilling production management and technical archives has been developed. This program is adapted to the computer PC-1500 without getting additional equipment and modifying the hardware. This software package includes nine programs and is able to print graphs and tables for drilling records (for a period of ten days or one month), drilling log, drilling efficiency and drilling footage.

(上接第50页)

先后参加本专题工作的还有张国义、郭宏、李俊生、牛志高、佟玉清、张景波; 测温是与北京钢铁学院徐九华, 石英包裹体

H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>相对光密度测定是与有色总公司北京矿产地质研究所娄元生、何双梅协作完成的。

## Some Geochemical Features and Exploration

### Guides of the Saiwusu Gold Deposit

Li Hui Ren Mili Zheng Hao He Yuzeng

This paper deals with some geochemical features of the Saiwusu gold deposit of the quartz vein type, the difference of gold quartz veins and barren ones, and geochemical features of the gold quartz veins at the occurrence position of the ores. Focal point of the discussion is put on the vertical variation regularity of the geochemical features of the gold quartz veins and the zoning of anomaly. In addition the gold ore yield prognostic indicator of the quartz veins is also summarized.