

很发育,并常形成矿化体(如景阳岭岩体、撒拉河岩体、川刺沟中岩体等)。

**2.3.3 蚀变岩与金矿化的关系** 在一般情况下,热液蚀变愈强、规模愈大,金含量就愈高、矿化愈好。多期多阶段热液蚀变叠加的地段金含量一般较富,并可形成矿体。如岩浆期热力变质及岩浆期后气液交代蚀变两种变质作用所形成的蚀变带规模小,蚀变弱,岩石金含量虽有增高,但不能形成矿体、矿化体。而在有断裂构造热液作用叠加的岩体与围岩接触蚀变带,蚀变带规模大,岩石蚀变强烈,蚀变类型复杂,是矿体、矿化体的主要赋存部位(景阳岭、大沙龙、玉石沟小岩体、撒拉河岩体、川刺沟中岩体等)。热液蚀变类型在内蚀变带金矿(化)体中以硅化、碳酸盐化(尤其是铁白云石化)、毒砂及黄铁矿化为主。金矿(化)体由石英碳酸盐岩、滑石菱镁岩组成。但没有形成独立的硅化带,这与云南金厂金矿是不同的。在外蚀变带或围岩断裂构造挤压带,金矿化蚀变则以绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化为主。

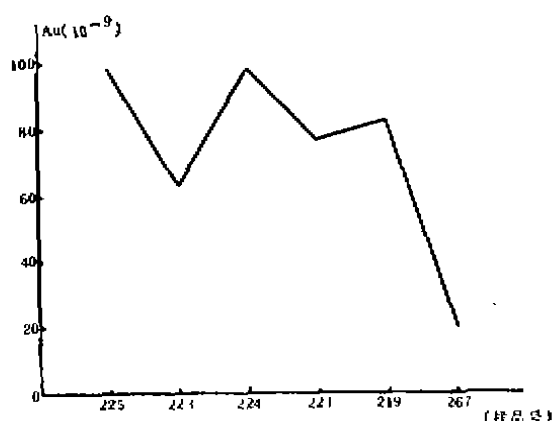


图 13 祁连川刺沟南岩体接触带岩石金含量变化曲线  
Fig. 13 Variable curve of gold content of rocks from contact of South ultrabasic body in Chuancigou of Qilian

225—斜辉橄辉岩; 223—蛇纹岩; 224—石英菱镁岩; 221—滑石菱镁岩; 219—绿泥石片岩; 267—碳质板岩

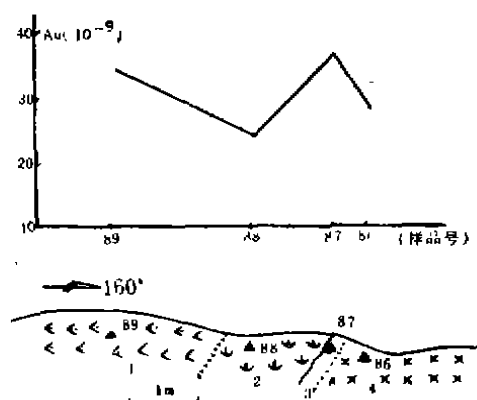


图 14 祁连沙塘沟超基性岩体与辉长岩侵入接触关系及接触带岩石金含量变化曲线  
Fig. 14 Contact relationship between ultrabasic and gabbro bodies and variable curve of gold content in contact zone from Shatangou of Qilian  
1—斜辉橄辉岩; 2—蛇纹岩; 3—蛇纹绿泥岩; 4—绿泥石化辉长岩

### 3 金的地球化学特征及元素相关分析

#### 3.1 金的地球化学特征

**3.1.1 金的区域背景丰度值确定及其意义** 金的区域背景含量高低,不仅决定着区内能否形成有价值的工业矿床,而且是划分远景区的可靠依据。为了对区域背景含量有所了解,笔者从区内各种岩石中采集了662个样品进行分析统计(表5、图15)。

表 5 北祁连中段地区金元素含量统计

Tab. 5 Statistical calculation of gold contents in rocks from middle part of North Qilian Mountains

区间 $1g10^{-9}$	组中值 $x$	频数 $f$	$fx$	$(x-\bar{x})$	频率 $f\%$	累积 $f\%$	$f(x-\bar{x})^2$
-0.600—-0.300	-0.45	21	-9.45	-1.729	3.172	3.172	
-0.300—0.00	-0.15	41	-6.150	-1.429	6.193	9.365	
0.00—0.300	0.15	40	6.00	-1.129	6.042	15.407	
0.300—0.600	0.45	36	16.20	-0.829	5.438	20.845	
0.600—0.900	0.75	56	42.00	-0.529	8.459	29.304	
0.900—1.200	1.05	61	64.05	-0.229	9.215	38.519	
1.200—1.500	1.35	120	162.00	0.071	18.127	56.646	
1.500—1.800	1.65	112	184.80	0.371	16.918	73.564	
1.800—2.100	1.95	91	177.45	0.671	13.746	87.310	
2.100—2.400	2.25	58	130.50	0.971	8.761	96.071	
2.400—2.700	2.55	13	33.15	1.271	1.964	98.035	
2.700—3.000	2.85	5	14.25	1.571	0.755	98.790	
3.000—5.000	4	8	32.00	2.271	1.209	99.999	
$\Sigma$			946.80		99.999		445.347

$$X = \frac{\Sigma fx}{\Sigma f} = \frac{846.80}{662} = 1.27915$$

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma f(x-\bar{x})^2}{\Sigma f}} = \sqrt{\frac{445.347}{662}} = 0.82020$$

异常下限  $T = \bar{X} + S = 1.27915 + 0.82020 = 2.09935$  换算成真值  $Mo = 125.71 \times 10^{-9}$

按表 5 的数值计算,金元素异常下限为  $125.7 \times 10^{-9}$ ,这与 662 个微金分析样品的算术平均值  $121.53 \times 10^{-9}$  相近。考虑到区内岩体均遭受强烈蚀变,岩石金含量普遍较高,以  $121.53 \times 10^{-9}$  为异常下限比较切合实际。故区内金元素背景值的确定是以  $121.53 \times 10^{-9}$  作为异常下限。然后对小于异常值的 577 个样品重新进行统计。结果表明:区内金元素平均背景含量为  $29.51 \times 10^{-9}$ ,与金元素在地壳中克拉克值  $4 \times 10^{-9}$  相比,富集系数  $CR = 7.4$  ( $\approx 8$ )。高出克拉克值七倍。同时,标准因数 (30.94) 和变异系数 (104.64) 反映金分布具有非均匀性,表明在背景值分布较高的情况下,金仍具有局部富集的趋势。

金元素呈对数正态分布 (图 15)。这种特征表明,其富集主要表现为受较少因素控制,并使其金含量会出现成倍增长或减少,且金主要赋存于个别矿物之中,或呈单矿物形式存在,而区内金矿化主要位于有断裂构造热液作用叠加的接触蚀变带,故笔者认为矿化体的形成主要与构造热液蚀变的突出影响关系密切。而且除了独立金之外,多数金赋存于黄铁矿与毒砂之中。

**3.1.2 金在不同时代岩体、围岩中的丰度及其意义** 区内基性、超基性岩体主要有两期,分别侵入于寒武纪、奥陶纪地层之中。在统计的 577 个样品中,有岩体样品 287 个,围岩样品 290 个。表 6 为区内不同时代超基性岩体、围岩地层中金的平均背景值。

由表 6 可看出,区内岩体金平均背景值为  $33.84 \times 10^{-9}$ ,围岩金平均背景值为  $25.22 \times$

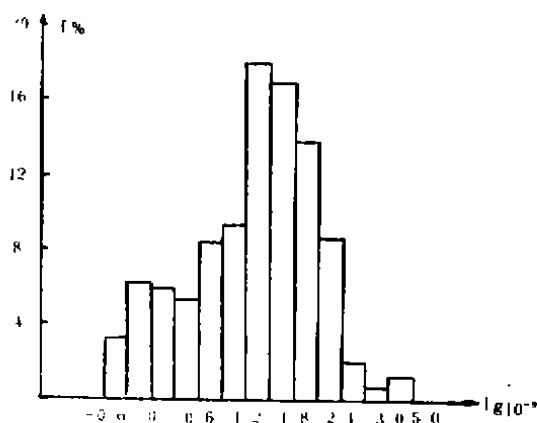


图 15 北祁连中段地区金元素含量频率直方图

Fig. 15 Frequency histogram plot showing gold content in middle part of North Qilian, Qinghai

$10^{-9}$ , 岩体背景含量大于围岩, 与我国云南墨江金厂超基性蚀变岩型金矿金元素分布特征相一致。(金厂超基性岩体金含量为  $35 \times 10^{-9}$ 、围岩金含量为  $15-20 \times 10^{-9}$ )。

加里东期两期超基性岩体金的平均背景含量分别为  $33.03 \times 10^{-9}$  及  $33.27 \times 10^{-9}$ , 二者非常接近, 且与区内岩体金平均背景含量  $33.84 \times 10^{-9}$  近于一致, 表明金元素在岩体中的分布与岩体侵入时代无关。

区内寒武系金平均背景含量为  $24.62 \times 10^{-9}$ , 奥陶系金平均背景值为  $25.52 \times 10^{-9}$ , 二者与区域围岩平均背

表 6 北祁连中段地区不同时代超基性岩体、围岩中金含量统计 ( $\times 10^{-9}$ )Tab. 6 Gold contents of ultrabasic bodies and their surrounding rocks at various times from middle part of North Qilian Mountains ( $\times 10^{-9}$ )

岩石类型	岩 体			围 岩		
时 代	加里东早期	加里东中期	全 区	寒武纪	奥陶纪	全 区
金平均含量	33.03	33.27	33.84	24.62	25.52	25.22
样品数量	88	170	287	83	207	290

景含量  $25.22 \times 10^{-9}$  相近, 表明金元素分布与围岩时代无关。

**3.1.3 金在不同构造带的丰度及其差异性** 从北而南, 金元素在三个亚带的平均值逐渐增高(表 7), 异常样品的数目也随之增大。北亚带分析样品 43 个, 平均值为  $10.77 \times 10^{-9}$ , 无异常样品分布; 中亚带分析样品 202 个, 除 24 个异常样品外, 平均值为  $28.20 \times 10^{-9}$ , 南亚带分析样品 416 个, 除 61 个异常样品外, 平均值为  $32.46 \times 10^{-9}$ 。显然异常样品的分布与金元素的背景含量有密切的内在联系。

不同构造带的超基性岩体、围岩中, 金元素的分布亦有差异。北亚带岩体金平均含量为  $24.18 \times 10^{-9}$ , 围岩金平均含量为  $3.59 \times 10^{-9}$ ; 中亚带岩体金平均含量为  $33.04 \times 10^{-9}$ , 围岩金平均含量为  $24.62 \times 10^{-9}$ , 南亚带岩体金平均含量为  $34.15 \times 10^{-9}$ , 围岩金平均含量为  $28.95 \times 10^{-9}$ 。三个亚带均表现出自北而南岩体中金元素平均含量逐渐递增, 围岩金平均含量随之增加的变化规律, 从而揭示了金元素分布与超基性岩体之间的内在相关性。

**3.1.4 金在不同岩体岩相中的丰度变化及其原因** 区内各岩体及其不同岩相(或岩石类型)

表 7 北祁连中段不同亚带超基性岩体、围岩中金含量 ( $\times 10^{-9}$ )Tab. 7 Gold contents of ultrabasic bodies and their surrounding rocks in various rock-zones from middle part of North Qilian Mountains ( $\times 10^{-9}$ )

岩石类型	北 亚 带		中 亚 带		南 亚 带	
	平均值	样数(个)	平均值	样数(个)	平均值	样数(个)
超基性岩体	24.18	15	33.04	88	34.15	155
围 岩	3.59	28	24.622	83	28.95	179
全 岩 带	10.77	43	28.20	178	32.64	355
异常样数	0		24		61	

中金元素的背景值见表 8, 从中可以看出:

**3.1.4.1 超基性岩体中金元素的分布** 区内八个岩体群 62 个超基性岩体中, 金元素的分布是不均匀的。与区域岩体背景值  $33.84 \times 10^{-9}$  相比, 8 个岩体群中, 撒拉克坦—拉铜—三岔、大沙龙—边麻沟、面碱沟—草大坂、南泉—热水大坂及三岔什—扎麻什东沟—小东索等 5 个岩体群金元素相对富集, 其平均值分别为  $57.61 \times 10^{-9}$ 、 $56.56 \times 10^{-9}$ 、 $40.61 \times 10^{-9}$ 、 $39.51 \times 10^{-9}$  和  $40.48 \times 10^{-9}$ ; 童子坝、百经寺—景阳岭和天朋河—超英峰等三个岩体群金元素相对贫化, 其平均值分别为  $4.72 \times 10^{-9}$ 、 $10.38 \times 10^{-9}$  和  $19.65 \times 10^{-9}$ 。呈现出西部岩体背景值高、东部岩体背景值低的分布规律。

62 个超基性岩体中, 除六个岩体未统计背景值外 (岩体中样品均为异常样), 其余岩体背景值最高为  $115 \times 10^{-9}$ , 最低为  $4.68 \times 10^{-9}$ 。与区域岩体背景值  $33.84 \times 10^{-9}$  相比较, 44 个岩体金相对富集, 18 个岩体金相对贫化。这些岩体中, 有金矿化 (或异常) 显示的岩体共 20 个。大多数为金相对富集的岩体 (如川刺沟中岩体、黑刺沟 611 号岩体、龙孔 583、602、603 号岩体、清水沟 437、438 号岩体等), 但在背景含量极贫的岩体中, 金仍有矿化和异常显示 (如下柳沟、天朋河 26 号岩体、撒拉河岩体等)。显然, 金异常的形成除与岩体背景含量有关外, 与其他因素 (构造因素) 的影响也有一定的联系。

**3.1.4.2 不同岩相中金的分布** 在岩体不同岩相 (或不同岩石类型) 中, 金元素的分布亦是不均匀的。两相或多相岩体, 不论是高背景含量的岩体, 还是低背景含量的岩体, 自岩体中心相至边缘相, 金含量呈由高—低—高的 “V” 字形变化。即在正常岩体内部由纯橄岩—辉石岩, 金元素含量逐渐降低, 至超基性蚀变岩 (蛇纹岩、石英菱镁岩、滑石菱镁岩), 金元素含量又突然增高 (如川刺沟中岩体、南岩体、黑刺沟 619 号岩体、百经寺岩体、龙孔岩体等)。而单一岩相的岩体, 自正常岩体至超基性蚀变岩, 金含量则表现为逐渐增高 (如撒拉河岩体、骆驼河 797 号岩体等)。这与两相或多相岩体蚀变带金元素分布特征一致。

**3.1.4.3 金矿化分布的规律性** 就矿化岩体而言, 有矿化显示的岩体集中分布于高背景含量的 4 个岩体群中, 而且大多数为金相对富集的岩体。就矿化岩石而言, 除少数为正常超基性岩外, 大多数则为超基性蚀变岩—蛇纹岩和石英菱镁岩。显然, 矿化与岩体的后期热液蚀变关系密切。

**3.1.5 金在各种岩石中的丰度变化初析** 表 9 为金元素在区内各种岩石中的背景丰度

由表可见,各种蚀变围岩中,金普遍有所富集(与地壳克拉克值相比),最高为  $48.40 \times 10^{-9}$ ,最低为  $13.40 \times 10^{-9}$ ,背景平均值为  $25.22 \times 10^{-9}$ ,高出克拉克值 6.3 倍。在各类岩石中,金的平均背景值按下顺序递减:碳酸盐脉—绿片岩—炭质板(页)岩—蛇纹石化大理岩—中基性脉岩—石英岩—砾岩—石英脉—砂(板)岩—片岩类—火山熔岩—碎裂岩—花岗岩及酸性脉岩—火山碎屑岩—硅质岩—灰岩。其中前 8 种蚀变围岩中金的平均含量均高于区域丰度值( $29.51 \times 10^{-9}$ ),后 8 种蚀变围岩中金的平均含量低于区域背景平均值。结合蚀变围岩中 42 个异常样品较集中地分布于火山碎屑岩、砂(板)岩、片岩这些低含量的岩石及石英脉中。因此,笔者认为碳酸盐化、绿泥石化、蛇纹石化、硅化和炭质吸附是导致蚀变围岩中金含量升高的主要原因。而异常的形成则与热液活动过程中金质的迁移和富集密切相关。

表 9 区内各种岩石中金含量( $\times 10^{-9}$ )Tab. 9 Gold contents of various rocks in this area( $\times 10^{-9}$ )

目项	$\bar{X}$	S	CR	n	N	项目	$\bar{X}$	S	CR	n	N
碳酸盐脉	48.40	50.10	12.10	5	1	灰岩	13.40	15.85	3.35	29	
绿片岩	47.14	24.65	11.79	14	2	全区围岩	25.22	30.74	6.31	290	42
炭质板(页)岩	44.49	45.48	11.12	10	1	纯橄岩	55.67	12.53	13.92	6	1
蛇纹石化大理岩	41.03	43.96	10.26	4		辉橄岩	49.24	25.91	12.31	30	2
中基性岩脉	40.96	33.18	10.24	9	1	橄辉岩	37.67	28.53	9.42	12	5
石英岩	38.33	16.20	9.58	3	2	辉石岩	58.25	53.37	14.56	2	
砾岩	37.42	40.78	9.36	12	1	超基性砾岩	35.37	12.08	8.84	10	2
石英脉	30.43	38.86	7.61	24	7	铬铁矿矿石	29.50	2.12	7.38	2	1
砂(板)岩	29.23	29.56	7.31	45	7	蛇纹岩	47.00	22.63	11.75	2	
片岩类	24.67	27.82	6.17	28	4	石英菱镁岩	40.54	28.53	10.14	65	13
火山熔岩	21.61	33.86	5.40	21	3	滑石菱镁岩	22.23	29.81	5.56	120	11
碎裂岩	19.99	22.43	5.00	11		辉长岩	41.16	28.63	10.29	9	1
花岗岩及酸性脉岩	16.38	27.93	3.85	11		全区岩体	40.23	36.28	10.06	29	7
火山碎屑岩	14.42	23.77	3.61	41	10		33.84	30.64	8.46	287	43
硅质岩	13.74	21.94	3.44	23	3						

采用克拉克值  $Au 4 \times 10^{-9}$ ,  $\bar{X}$  为平均值; S 为标准误差; CR 为富集系数; n 为样品数; N 为异常样品数

在超基性岩、基性岩及其蚀变岩石(蛇纹岩、石英菱镁岩、滑石菱镁岩)中,金的背景含量高于蚀变围岩,其平均值为  $33.84 \times 10^{-9}$ ,与克拉克值  $4 \times 10^{-9}$  相比,富集系数  $CR = 8.5$ ,高出克拉克值 8 倍。在各类岩石中,除石英菱镁岩金丰度低于区域丰度值( $29.51 \times 10^{-9}$ )外,其余均高于区域丰度值。而且金的丰度基本随岩石基性程度的减弱而依次降低,但在超基性蚀变岩石——蛇纹岩和滑石菱镁岩中相对富集,在石英菱镁岩、蛇纹岩和超基性砾岩中发生局部矿化。这一分布特征揭示了热液蚀变过程中金元素在超基性岩热液蚀变序列中的分布规律。即自纯橄岩→辉石岩→超基性蚀变岩,金元素含量呈“V”形变化规律。区内基性、超基性岩中有 43 个异常样品,除 7 个样品分布于辉长岩构造热液蚀变破碎带外,其余大部分无例外地集中分布于蛇纹石化橄榄岩、蛇纹岩、石英菱镁岩中。由此可见,金质的迁移、富集与蛇纹石化及其后发生的硅化、碳酸盐化有着密切的成因联系。

综上所述,区内金元素分布具有以下特点:

- ①研究区区域背景丰度值为 $29.51 \times 10^{-9}$ ,是地壳克拉克值( $4 \times 10^{-9}$ )的7倍。
- ②金元素在岩体及寒武纪、奥陶纪地层中的丰度与岩体、地层形成时代无关,而与它们所处的空间位置密切相关。具体来说,南北向表现为南高北低,东西向表现为西高东低。
- ③基性、超基性岩金丰度值为 $33.84 \times 10^{-9}$ ,各种蚀变围岩丰度值为 $25.22 \times 10^{-9}$ ,岩体金丰度大于围岩。
- ④岩体中金高含量点的分布与含金岩体的热液蚀变程度有关。

### 3.2 砂金(铂)矿概述及金化探异常特征

**3.2.1 砂金(铂)矿点金铂重砂异常的空间分布规律** 据J-47-IX、J-47-XⅥ、J-47-XⅦ和J-47-XXⅢ幅1/20万区测资料,砂金(铂)矿点及金(铂)重砂异常集中分布于祁连县以西的黑河流域及洪水坝河上游流域,尤以两河分水岭(洪水坝梁)两侧最为发育,而祁连县城以东的祁连河流域,仅天朋河有砂金分布●。这与金元素在区域上呈西高东低的背景分布特征相吻合。

研究区砂金(铂)矿点及其重砂异常共23处,集中成群分布,构成四个蕴藏区。即洪水坝河上游洪水坝梁一带砂金(铂)蕴藏区●、玉石沟—川刺沟—大水沟一带砂金(铂)蕴藏区●、牙马图—丁班台一带砂金(铂)蕴藏区及面碱沟—扎麻什一带砂金(铂)蕴藏区●。它们的蚀源区均为基性、超基性岩的集中分布区,其中分布着较大规模的基性、超基性岩体(如龙孔、宗宾大坂、川刺沟、大查黑河辉长岩、清水沟等岩体)。二者相距一般5—10千米。有意义的是位于托勒山主脊的川刺沟超基性岩体、龙孔超基性岩体南、北两侧均是砂金(铂)蕴藏区及其重砂异常分布区。由此可见,砂金(铂)矿点及其重砂异常与基性、超基性岩表现为形影相随的密切关系。

**3.2.2 水系沉积物测量金异常特征** 研究区西部J-47-IX图幅区因缺乏水系沉积物测量资料,故这部分工作仅限于东部J-47-XⅥ、XⅦ两个图幅及J-47-XXⅢ的一部分。

根据1/20万(异常下限为 $3 \times 10^{-9}$ )及1/5万(异常下限为 $1 \times 10^{-9}$ )水系沉积物测量结果●,研究区共圈出金异常30余个,总异常面积近800 km<sup>2</sup>,单个异常面积从1 km<sup>2</sup>左右至近100 km<sup>2</sup>。大于50 km<sup>2</sup>的金异常有六个,具浓集中心的金异常有22个。各时代地层内,甚至第三、第四系均有异常出现。但集中分布于寒武系、奥陶系分布范围内。这与本区金元素在寒武系、奥陶系表生地球化学背景值相对较高及基性、超基性岩集中分布于寒武系、奥陶系之中相吻合。

在区域上,金异常呈北西西向展布,受深大断裂及基底断裂控制明显(据青海地球物理勘察队资料),与基性、超基性岩的空间展布关系密切。区内所圈的金异常中,与基性、超

- 青海省地质局第一区域地质测量队,J-47-XXⅢ(刚察大寺)幅矿产图,1976
- 甘肃省地质局第二区域地质测量队,J-47-IX(祁连山)幅矿产图,1977
- 青海地质局区域地质测量队,J-47-XⅣ(野牛台)幅地质矿产图,1968
- 青海地质局区域地质测量队,J-47-XⅦ(祁连)幅地质矿产图,1968
- 石宝顺等,青海省北祁连地区综合信息找矿研究与靶区优选课题报告(送审稿),1988

基性岩分布有密切关系的异常共有12个,异常总面积约 360 km<sup>2</sup>。最大异常面积 58.4 km<sup>2</sup>,最小异常面积 3.6 km<sup>2</sup>。异常多分布于较大岩体的分枝膨大部位(如川刺沟中岩体 Au-28 号异常、玉石沟岩体 Au-27 号异常等)或岩体的尖灭倾伏端(川刺沟南岩体 Au-29 号异常等)或小岩体集中分布区(如面碱沟—石圈沟 Au-18 号异常、桦木沟 Au-12 号异常、柏树台—宝瓶河岩体群 Au-13<sub>1</sub> 号异常等)。这些部位岩体蚀变最强烈、有已知矿点、矿化点和原生异常分布(表10),它们的重叠揭示了异常的形成与岩体有着必然的联系。

金异常元素组合复杂,按其组合特点,可分为五个类型,即铜锌型、铜铅型、铜型、铅锌型和单一金型。各类型元素组合特征见表11。

从以上五种类型中可以看出,金异常均伴 As、Sb 异常,说明水系沉积物测量中,As、Sb 二元素是金的特征组合元素。川刺沟中岩体土壤测量结果表明,在断裂破碎带和超基性岩与围岩的接触破碎蚀变带、Au、As、Sb 三元素有同一浓集中心(图16)。这就指出了 As、Sb 元素不但可作为找金的有效指示元素,更重要的是指示了这种局部富集是岩浆期后热液活动的产物。因此,在该区基性、超基性岩体及岩体边部破碎带寻找热液改造型金矿是可能的。

表 10 水系沉积物测量金异常特征

Tab. 10 Features of gold anomalies in river sediments

异常号	元素组合	平均值 ( $\times 10^{-9}$ )	面积(km <sup>2</sup> )	分布位置	矿点、矿化点、异常点
Au-12	Au, As, Sb, Ag, Cu, Zn	7.17	58.4	桦木沟	
Au-13 <sub>1</sub>	Au, As, Sb, Cu	4.90	25.2	柏树台子—宝瓶河	柏树台子铜矿化点
Au-14	Au, As, Cu, Zn	5.80	54.4	Au-12异常南侧	桦木沟铜铅锌矿点
Au-18	Au, As, Sb, Bi, Pb, Sn, W	3.70	6.0	居里沟—石圈沟	
Au-19	Au, As, Pb	4.20	26.8	清水沟岩体西端	拴羊沟金矿点
Au-21	Cu, Pb, Zn, Bi, As, Au, Sb, Ag, Hg	9.10	58.4	清水沟岩体东端	郭米寺、弯阳河、下沟、下柳沟 中型多金属矿床,大柳沟西山梁 多金属矿点,白柳沟铜矿点,铁 钒沟黄铁矿矿点
Au-23 <sub>2</sub>	Au	4.53	3.6	百经寺岩体周围	百经寺金异常点
Au-26	Au, As, Sb, Ag, Cu, Pb, Zn	6.80	14.4	玉石沟超基性岩体周围	玉石沟铜矿化点、金矿化点
Au-27 <sub>1</sub>	Au, As, Sb	6.30	15.2	玉石沟辉长岩体北接触带	煤洞沟铜矿化点
Au-28 <sub>1</sub>	Au, As, Sb, Ag, Cu, Zn, Bi, Sn	7.28	41.2	川刺沟中岩体分枝交汇部位	红土沟铜矿化点、川刺沟铜、 金、汞矿化点
Au-29 <sub>2</sub>	Au, As, Ag, Sb, Hg, Cu, Pb, Bi, Sn	4.60	24.4	川刺沟岩体东端—撒拉河	撒拉河金矿点
Au-31	Au, As, Sb, Ag, Pb, Zn	4.20	20.0	油葫芦大山辉长岩体接触带	
Au-43	Au, Sn	1.53	70	黑沟河—天朋河	天朋河铜金矿点,铁帽沟铜金 矿点、无名沟金矿点
Au-42	Au, As	1.48	28	骆驼河—黑泉河	骆驼河金矿床,黑泉河铜金矿点

据青海省地矿局物探队1988年资料编制

### 3.3 元素相关分析

为了解基性、超基性岩蚀变带与金矿化有关的元素组合特征,笔者选用了区内 28 个岩体及其蚀变围岩中 135 个样品,对 Au、Ag、As、Sb、Bi、Cu、Co、Ni、Cr、Zn 10 种

表 11 水系沉积物测量金异常元素组合  
类型特征

Tab. 11 Elements association types of  
gold anomalies in river sediments

异常类型	主要共生元素	伴生元素
铜 锌 型	Cu, Zn	Ag, Sb, As, Hg (Bi, Mo)
铜 铅 锌 型	Cu, Pb, Zn	Ag, Sb, As
铜 型	Cu	(As), (Sb), (Co)
铅 锌 型	Pb, Zn	As, (Sb)
单一金型		As, Sb, (Ag, Hg)

据青海省地矿局物探队1988年资料编制

元素(其中有34个样品未分析Zn、Sb、Bi)进行相关分析和R型聚类分析(表12)。其特征如下。

3.3.1 不同地区与金矿化有关的元素组合特征  
研究区西部的龙孔—黑刺沟一带,与金矿化有关的指示元素以Cu、Bi、Ag、Au、As五元素组合为特征;而川刺沟及其以东地区则以Au、As、Sb元素组合为特征(与区内水系沉积物测量金异常元素组合特征吻合)。

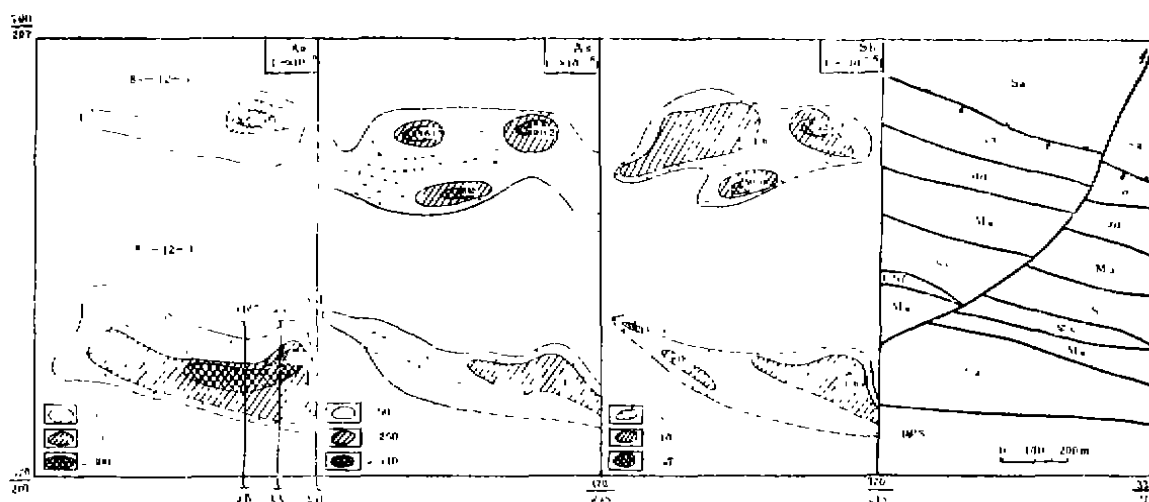


图 16 青海省祁连县川刺沟 8<sub>2</sub>-12-<sup>4</sup>/<sub>5</sub>号异常剖析图

(据青海省地矿局物探队, 1989)

Fig. 16 Analytic maps of 8-12-<sup>4</sup>/<sub>5</sub> anomalies from  
Chuancigou of Qilian, Qinghai

CS1—碳质板岩; Sa—蚀变带; Sa—变安山岩夹变砂岩;

Ma—变安山岩; aβ—变安山岩—玄武岩; φs—蛇纹岩; XIV'—XIV—剖面位置及编号

3.3.2 岩体蛇纹石化强弱与金矿化元素组合特征 在蛇纹石化强烈的岩体与围岩接触蚀变带,与金矿化有关的指示元素以Au、As、Sb组合为特征。如天朋河26号岩体、撒拉河岩体和川刺沟中岩体等。矿化岩石主要为石英菱镁岩、石英碳酸盐岩,蚀变带宽,地表矿化以黄铁矿、毒砂和黝铜矿为主。而在蚀变相对较弱的岩体与围岩接触带,与金矿化有关的指示元素以Cu、Ag、Au、(Bi、As)组合为特征。如川刺沟南岩体、龙孔岩体、龙孔583号岩体、龙孔602号岩体和黑刺沟611号岩体等。矿化岩石为蛇纹石化超基性岩及蛇纹岩。岩石碳酸盐化不发育,地表矿化以黄铁矿和黄铜矿为主。



表 12 与金矿化有关的元素组合及金与其他元素相关系数

Tab. 12 Association of elements relative to gold mineralization and related coefficients between gold and other elements

岩体名称	样数	Au								相似水平	与金共生、伴生的元素组合*
		Zn	Cu	Co	Ni	Cr	Bi	Sb	Ag	As	
天湖河26号	6		0.9985	-0.1560	-0.3787	-0.4553			0.9997	0.9995	Cu, Ag, Au, As
撒拉河	15		0.0704	-0.1611	-0.2510	-0.3508			0.0506	0.6074	Au, As
川刺沟中	12	0.0723	0.1048	-0.0871	-0.1121	-0.1973	0.3043	0.2933	0.2126	0.8515	Au, As, Sb
川刺沟底南	20	-0.0984	0.4219	-0.1272	-0.1504	-0.1418	-0.0161	0.0680	0.1553	-0.0329	Au, Cu, Ag
龙孔583号	5	0.6442	0.7895	0.6313	0.3497	0.5368	0.8203	0.7434	0.8374	0.9258	Cu, Ag, As, Au, Bi, Sb
龙孔	11	0.1399	0.2734	-0.3929	-0.5205	-0.4983	-0.2365	-0.3267	0.2995	0.1084	Cu, Ag, Au, Zn
黑刺沟	5	0.0186	0.9746	-0.6964	-0.3569	-0.4144	0.9732	0.2000	0.9468	0.5021	Cu, Bi, Ag, As, Au
石圈沟一面碱沟	8	-0.5583	-0.1738	0.1057	0.1718	0.1181	-0.2741	-0.1529	-0.3306	0.4566	Au, As, Co, Ni, Cr
下柳沟	10	-0.0754	-0.1084	-0.3187	-0.1435	-0.1371	0.0072	0.5007	0.9502	0.1822	Cu, Ag, Au, As, Zn, Bi, Sb
天湖河一路驼河	6	0.2661	-0.0245	0.7230	0.2835	-0.3325	0.1730	-0.1680	0.9941	-0.0015	Au, Ag, Co, Zn, Cu
全区矿化岩石	52	-0.0654	0.2377	0.1314	0.0480	-0.3280	0.2559	-0.1418	0.0274	0.0457	Cu, Bi, Au
岩体中非矿化岩石	52	0.5177	0.2024	0.2143	0.0945	0.0774	0.3300	0.1616	0.3409	-0.2385	Cu, Bi, Zn, Ag, Au
围岩中非矿化岩石	31	0.4499	-0.1480	0.0268	-0.1187	-0.1400	0.4648	0.3589	-0.1651	0.3022	Bi, Sb, Zn, Au, As
全区	135	0.0768	0.2455	-0.0231	-0.0828	-0.0428	0.2558	-0.0167	0.0896	0.1352	Cu, Bi, Au, Ag, As

\* 系采用逐步形成谱系图法分组

**3.3.3 岩体及蚀变围岩中金**的指示元素组合特征差异明显 在非矿化的基性、超基性岩石中,金的指示元素为 Au、Ag、Cu、Bi、Zn 五元素组合,在非矿化蚀变围岩中,金的指示元素为 Au、As、Sb、Bi、Zn 五元素组合。与区内矿化岩石中金 Au、Cu、Bi 三元素组合相比,岩体中的元素组合与矿化岩石中的元素组合较接近,表明岩体与矿化(或成矿)更为密切。

### 3.4 微量元素特征

为了进一步了解 Au 与微量元素之间相关关系,确定本区金矿化的指示元素,圈定矿化地段,笔者对区内超基性岩的岩石地球化学行为进行了统计分析,并与世界超基性岩进行对比(表 13)。

由表可见:

a. Cu、Bi、Ag 三元素在超基性岩中的平均值分别为  $1\,246.21 \times 10^{-6}$ 、 $0.449 \times 10^{-6}$  和  $0.172 \times 10^{-6}$ 。与世界同类岩石丰度值(Cu  $20 \times 10^{-6}$ 、Bi  $0.001 \times 10^{-6}$ 、Ag  $0.05 \times 10^{-6}$ )相比,其富集系数分别为 63.3、449 和 3.44。在超基性砾岩、蛇纹岩和石英菱镁岩中富集更为突出,高出区内超基性岩背景值 1—2 个数量级,变异系数大,多数大于 100。在这几类岩石中,它们的分布规律与金元素分布规律相似。即在超基性砾岩中取得最大值,再依次为蛇纹岩、石英菱镁岩。Cu、Bi、Ag、Au 四元素在上述三类岩石中共生的特征对指导找矿是非常有意义的。它不仅揭示了超基性岩中与金矿化有关的指示元素是 Cu、Ag、Au、Bi,同时亦表明矿化地段主要是构造破碎带及蛇纹石化、碳酸盐化发育的蚀变带。

b. As、Sb 元素在超基性岩中的平均值分别为  $142.57 \times 10^{-6}$  和  $2.55 \times 10^{-6}$ ,与世界超基性岩丰度值( $1 \times 10^{-6}$  和  $0.1 \times 10^{-6}$ )相比,富集系数分别为 142.57 和 25.5,高出同类岩石 1—2 个数量级,它们在石英菱镁岩、蛇纹岩和超基性岩中的平均含量一般高出其他类型岩石数倍。尤其在石英菱镁岩中,其平均值高出背景值 2—3 倍。尽管它们在超基性砾岩、蛇纹岩和石英菱镁岩中的分配顺序与金元素分配顺序相反,但与其他类型岩石相比,Au、As、Sb 三元素的含量在这三类岩石中均明显地增高了。因此,As、Sb 仍不失为超基性岩中金的指示元素。尤其是在以石英菱镁岩、石英碳酸盐岩为主的岩体蚀变带。

c. Zn 元素在超基性岩中的平均值为  $72.90 \times 10^{-6}$ ,富集系数为 2.54,Zn 元素除在铬铁矿石中较高外,在其他岩石中的平均值相差不多。

d. Co、Ni、Cr 三元素在超基性岩中的平均值分别为  $94.17 \times 10^{-6}$ 、 $1\,300.44 \times 10^{-6}$  和  $1\,515.97 \times 10^{-6}$ (除铬铁矿石),与世界超基性岩丰度值( $200 \times 10^{-6}$ 、 $2\,000 \times 10^{-6}$  和  $2\,000 \times 10^{-6}$ )相比,富集系数分别为 0.47、0.65 和 0.76。均明显低于同类岩石的丰度值。在区内主要岩石类型纯橄岩、斜辉辉橄岩和斜辉橄橄岩中,除 Co 元素在纯橄岩中富集外,Cr、Ni 基本反映超基性岩石的丰度值。但在它们的蚀变岩石蛇纹岩、石英菱镁岩中,Co、Ni、Cr 三元素含量显著降低,而且随岩石蚀变程度(尤其是碳酸盐化)的加强而依次降低。这种变化规律与金元素在超基性岩及其蚀变岩石中的变化规律正好相反(图 17),因此,从找矿的角度来看,Au 元素与 Co、Ni、Cr 在强蚀变岩石中呈反消长的分布特征是非常有意义的。

表 13 超基性岩地球化学特征值 ( $\times 10^{-6}$ )  
Tab. 13 Geochemical eigenvalues of ultrabasic rocks ( $\times 10^{-6}$ )

元素	参数	纯碱岩	辉碱岩	橄辉岩	橄辉岩	辉石岩	超基性岩	铬铁矿	蛇纹石	石英菱铁矿	滑石菱铁矿	全 区	矿化岩石	世界超基性岩
Zn	$\bar{X}$	60.33	53.20	69.20	96.00	52.50	70.00	280.00	83.05	75.73	20.00	72.90	60.55	30.00
	$C_v$	80.56	8.13	31.17		82.16	16.16		96.07	94.71				
	n	3	6	5	1	2	2	1	19	10	1	48	22	
Cu	$\bar{X}$	21.87	13.57	31.72	700.00	189.00	23759.6	9.00	1583.68	198.11	15.00	1240.21	2217.12	20.00
	$C_v$	42.88	48.63	108.90		33.87	141.31		383.93	338.91				
	n	3	6	6	1	2	2	1	23	29	1	73	27	
Co	$\bar{X}$	447.00	110.50	99.50	113.00	30.50	69.50	88.00	100.97	54.82	27.00	84.17	71.78	200.00
	$C_v$	126.13	12.22	17.76		44.05	57.99		46.51	60.59				
	n	3	6	6	1	2	2	1	23	29	1	73	27	
Ni	$\bar{X}$	2014.67	2363.87	1778.17	2735.00	113.50	1212.50	1085.00	1610.22	684.94	204.00	1300.44	1029.87	2000.00
	$C_v$	22.49	7.31	50.38		45.48	118.08		49.89	103.99				
	n	3	6	6	1	2	2	1	23	29	1	73	27	
Cr	$\bar{X}$	2079.87	1994.33	2149.83	2776.00	314.50	1952.50	19.59%	1678.74	1098.48	314.00	1515.97	1026.00	2000.00
	$C_v$	14.01	40.75	25.97		118.04	113.10		59.33	95.09				
	n	3	6	6	1	2	2	1	23	29	1	72	27	
Bi	$\bar{X}$	0.333	0.240	0.100	0.300	0.100	3.850	0.100	0.421	0.270	0.300	0.449	0.577	0.001
	$C_v$	121.24	88.40	0.00		0.00	137.75		154.65	97.29				
	n	3	5	5	1	2	2	1	19	10	1	48	22	
Sb	$\bar{X}$	0.50	2.280	0.68	1.300	1.360	2.00	0.300	2.495	4.720	8.400	2.552	1.827	0.10
	$C_v$	34.64	102.93	50.30		99.62	70.71		193.79	135.77				
	n	3	5	5	1	2	2	1	19	10	1	48	22	
Ag	$\bar{X}$	0.080	0.075	0.077	0.080	0.080	0.340	0.080	0.265	0.187	0.080	0.172	0.324	0.05
	$C_v$	0.00	16.33	10.85		0.000	108.15		240.14	262.80				
	n	3	6	6	1	2	2	1	23	29	1	73	27	
Au	$\bar{X}$	120.33	94.85	82.17	98.00	81.50	445.60	63.00	225.29	114.29	185.00	163.42	346.44	6.00
	$C_v$	79.24	103.09	79.79		75.48	131.58		153.77	134.48				
	n	3	6	6	1	2	2	1	23	29	1	73	27	
As	$\bar{X}$	1.767	8.767	27.01	5.40	1.85	12.85	0.800	13.10	383.21	5.500	159.46	349.04	1.00
	$C_v$	85.61	89.37	204.82		49.89	97.82		234.98	317.03				
	n	3	6	6	1	2	2	1	23	29	1	73	27	

● 据维诺格拉多夫(Виноградов)。X为平均值,  $C_v$ 为变异系数, n为样品数, 多数微量元素由陕西省地矿局第六地质队实验室分析, 部分由西安地矿所七室及陕西省地矿局综合岩矿测试中心分析, 其余由西北有色冶金公司地研所实验室分析

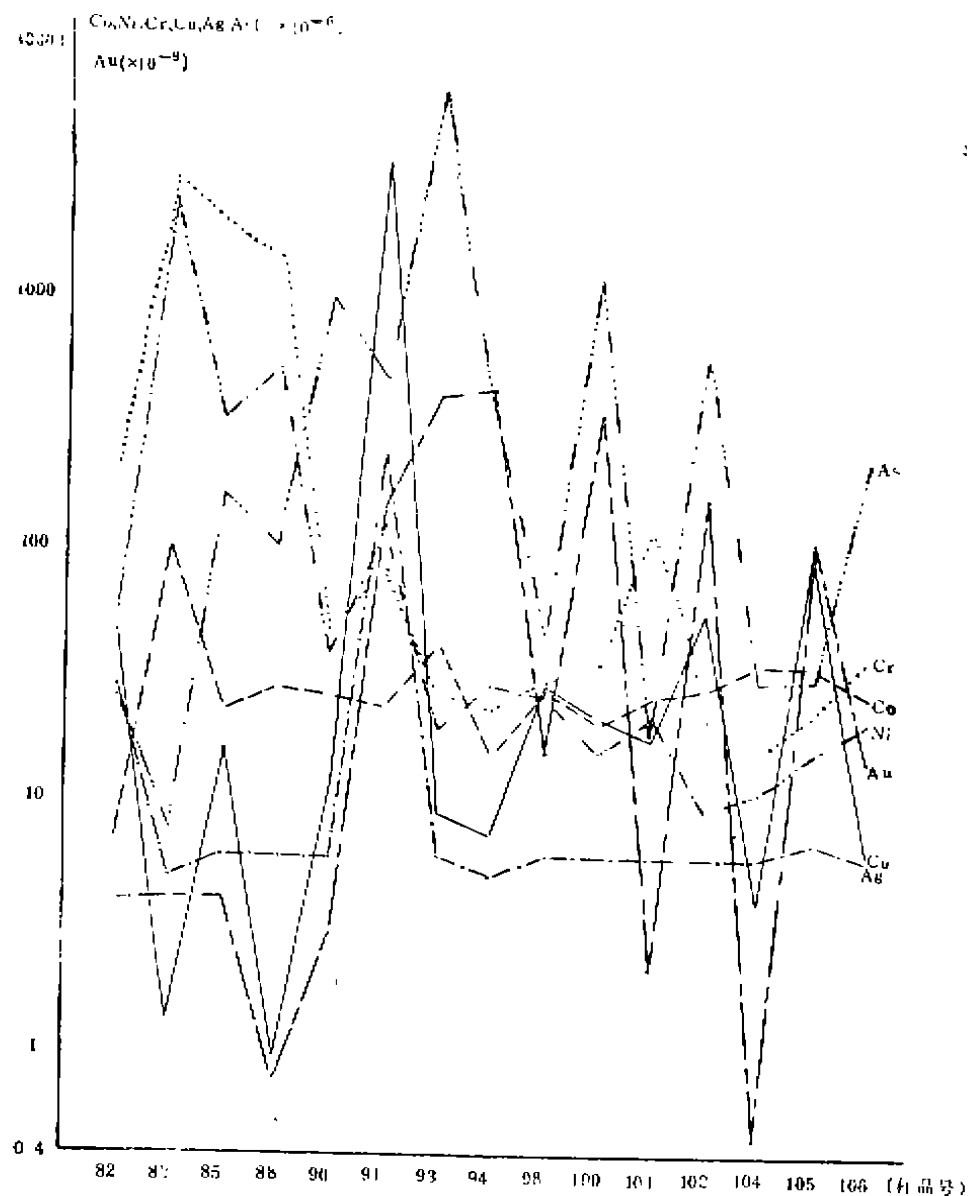


图 7 祁连撒拉河超基性岩体接触带微量元素含量变化曲线

Fig. 17 Variable curves of trace-elements of rocks from contact of ultrabasic body from Sala river, Qinghai

82—碳质片岩; 83—斜辉辉橄岩; 85—106—石英碳酸盐岩

从以上各元素在超基性岩各类岩石中的分布特征可以看出, Zn、Cu、Bi、Sb、Ag、As、Au 七元素相对富集, 均增加了 1—2 个数量级 (除 Zn 外)。在矿化岩石中, 除了成矿元素金含量有显著增高外, Cu、Ag、As、Bi 等伴生元素含量都有明显的增加。因此, Cu、Ag、As、Bi、Sb、Au 可作为本区与超基性岩有关的金矿化的主要指示元素。