文章编号:1004-4116(2005)01-0027-0006 ①

甘肃崖湾金矿微量元素特征及矿床剥蚀程度研究

姜启明,李 岳
(甘肃省核地质 219 大队,甘肃 天水 741025)

摘 要:崖湾金矿床定位于礼县—白云—山阳深大断裂西端的分支断裂罗坝—礼县断裂中段,是李坝大型金矿床的外围矿床之一。通过对矿区水系沉积物、岩石微量元素特征的总结,结合地质因素,指出矿床的主要微量元素为 As、Bi、Sb、Ag、Hg。与 Au 矿关系密切的伴生元素依次为 Sb、As、Ag、Hg、Bi。矿床微量元素具有垂直分带性,从上至下的序列为:Ag—Mo—Hg—Pb—Bi—Sb—Au—As—Zn—Cu。对矿体标高和微量元素垂直分带性的研究后认为矿床总体剥蚀程度为上部,矿床向西、向东发展潜力巨大。

关键词:金矿;微量元素;剥蚀程度;甘肃
中图分类号:P618.2 **文献标识码**:A

1 地质概况

矿区位于华北古陆板块,扬子古陆板块和滇青藏古海洋板块的碰撞缝合线地带[1],秦岭褶皱系之西秦岭印支褶皱带的 NE 段,礼县—白云—山阳深大断裂西端的分支断裂罗坝—礼县断裂中段,天水—武都隐伏基底深大断裂(NNE 向)与近 EW 向断裂的交汇复合部位[2]。矿区西、南有教场坝、闾井、柏家庄、中川、碌础坝 5 大花岗岩体。矿床距中川岩体距离最近(约 4km)。围绕中川岩体的北、东、南外接触带分别有李坝(大型)、赵沟(中型)、崖湾(小型)、金山(大型)、马泉(中型)岩金矿床和田家河小型砂金矿床。崖湾金矿 NW 距李坝大型金矿约 7km,是其外围矿床之一。

如图 1 所示,矿床恰位于中泥盆统舒家坝组(D_2s)与中石炭统(C_2)地层的接触线上。主要岩性为千枚状板岩、斑点状板岩、含炭板岩、粉砂质板岩、硅板岩等。

金矿体主要受控于近 EW 向的断裂构造。现已圈定 3 条主要金矿体,其规模相对较大(厚度 3~5m,长度 200m 左右),但以低品位矿石为主。

矿石主要金属矿物为:褐铁矿(赤铁矿)、黄铁矿和含砷黄铁矿、毒砂、黄铜矿、辉锑矿、方铅矿、闪锌矿,少量辰砂和辉铋矿。主要非金属矿物为石英、绢云母、碳酸盐矿物和粘土矿物。

2 微量元素特征

崖湾金矿微量元素测试单位为西安综合岩矿测试中心(1989 年)。刻槽取样 Au、Ag 含量由甘肃省核地质 219 大队实验室测试。

2.1 水系沉积物元素特征

为了解矿床附近元素背景值,对矿床周围约 60km^2 范围内的水系沉积物样品(41 个)进行了 18 种元素测量,其结果见表 1。

由表 1 可见,除 Au、As、Sb 三种元素变异系数较大外,其余大部分元素在水系沉积中分布较均匀。Au 的背景值与克拉克值(指黎彤 1976,下同)相当。而 Bi、As、B、Sb、Be、W、Pb 等元素是克拉克值的 2 倍以上,呈明显富集状态。反映了这些元素的区域高背景值。

为了进一步研究亲硫元素之间的相互关系,对表 1 中前 9 种元素进行了相关性分析,其结果见表 2。

与 Au 相关的元素(相关系数在临界值以上)为 Bi、Sb、As。与 Ag 相关的元素较多(Cu、Pb、As、Sb、

① 收稿日期:2004-10-25

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

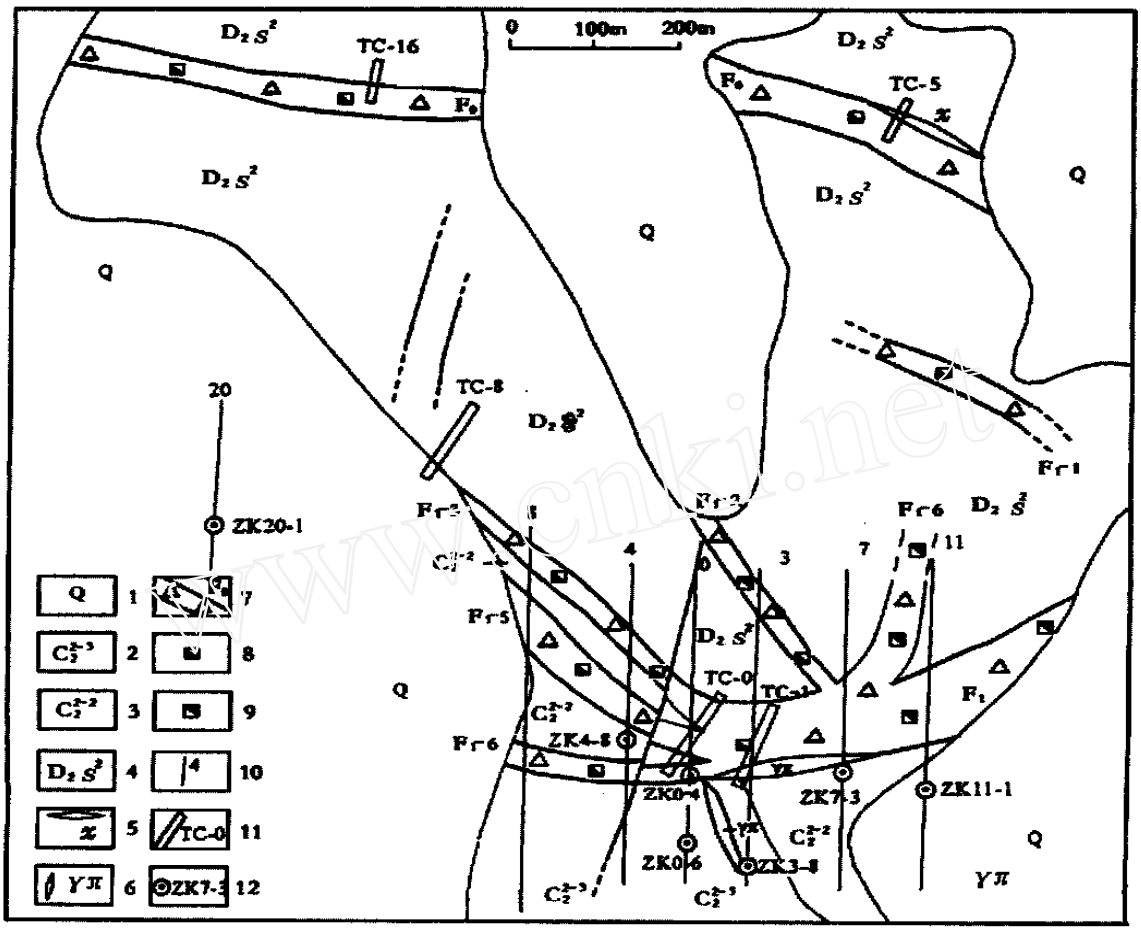


图1 崖湾金矿床地质图(据严志强修编,1991)

Fig. 1 The Geological map of Yawan gold deposit

1—第四系残坡积物及黄土;2—中石炭统第二岩性段第三层含炭石英砂岩、炭质板岩夹少量硅质板岩;
3—中石炭统第二岩性段第二层含炭硅板岩、粉砂质板岩及少量薄层灰岩;
4—中泥盆统舒家坝组第二岩性段粉砂质斑点板岩、千枚状板岩、变质砂岩夹含砾板岩;5—煌斑岩脉;6—花岗斑岩脉;
7—断裂及编号;8—褐铁矿化;9—赤铁矿化;10—勘探线及编号;11—探槽及编号;12—钻孔及编号

表1 崖湾矿床附近水系沉积物元素背景值($\times 10^{-6}$)

Table 1 Element background value of stream sediment nearby Yawan gold deposit

元 素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Hg
均 值	0.004 1	0.114	25	29	84	38	2.5	0.31	0.036
变异系数	0.51	0.32	0.24	0.23	0.38	0.53	0.48	0.26	0.39
浓集克拉克值	1.03	1.43	0.40	2.42	0.89	17.3	4.2	65	0.40
黎彤克拉克值(1976)[3]	0.004	0.08	63	12	94	2.2	0.6	0.004	0.089
元 素	Mo	Be	B	W	Cr	Co	Ni	Mn	Sn
均 值	1.1	4.4	99	2.8	153	17	38	570	3.7
变异系数	0.27	0.21	0.41	0.50	0.28	0.29	0.26	0.40	0.23
浓集克拉克值	0.85	3.39	7.62	2.54	1.39	0.68	0.43	0.44	2.18
黎彤克拉克值(1976)[3]	1.3	1.3	13	1.1	110	25	89	1 300	1.7

资料来源:刘西禾,张劲松等。甘肃省礼县罗坝至梁坪地区金矿普查地质报告,1989年。下同

Hg)。对亲硫元素进行R型聚类分析(图略)可见,元素中Au、Ag、As、Sb、Bi五种元素间均有显著的相关性,其余大部分元素间相关性较弱(复相关系数在临界值以下),反映了测区伴生元素的基本特征。故Au、Ag、As、Sb、Bi这五种元素可成为该地区水系沉积物测量找金的指示元素。

2.2 岩石元素特征

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

对崖湾矿床 TC - 1、PD - 1 - 2、ZK0 - 4 三个工程已知矿化部位的断裂构造岩石进行了 53 个样品的多元素含量测试,其结果见表 3。

由表 3 可见,微量元素在岩石中的含量很不均匀。围岩中 Pb、Ag、Cu、Hg 含量变化范围大,变异系数大,Bi、As、Sb、Pb、Ag 平均含量亦很高。矿化岩石中 Ag、Pb、Hg、As、Mo 含量变化范围大,变异系数亦很大;Bi、As、Sb、Pb、Hg 含量进一步提高。矿石中 Au、Ag 含量相对较均匀,其它元素含量不稳定,尤以 Sb、Hg、Bi 为甚;除 Au 外,以 As、Bi、Sb、Ag、Hg 的浓集克拉克值为高,可见这 5 个元素是 Au 的主要伴生元素。

值得注意的是在刻槽取样中大部分 Ag 含量是 Au 含量的 2～3 倍(不论有无金矿化,Ag 含量大部分在 1～3 $\times10^{-6}$)。矿床最高 Au 含量 11.05 $\times10^{-6}$,最高 Ag 含量 136.8 $\times10^{-6}$。可见矿床的 Ag 能达到综合利用的程度。

2.3　元素的组合特征

2.3.1　矿石元素与 Au 的相关性

为了研究 Au 与其它元素间的亲疏关系和元素之间的内在联系,对矿石元素进行了相关分析和 R 型聚别分析,其结果见表 4 和图 2。

由表 4 可见,Au 仅与 Sb 有显著的相关性,与 Ag 的相关系数达不到临界值。Ag 亦与 Sb 相关,与 Mo 相关系数较大,但达不到临界值。Cu 与 Zn 呈显著的相关关系,与 As、Bi 相关性弱(相关系数接近临界值),与 Hg 呈反相关关系。Pb 与其它元素都不相关。Zn 与 Hg 呈反相关关系。As 与 Bi、Cu 有弱的相关关系,与 Hg 亦呈反相关关系。

表 2　水系沉积物亲硫元素相关系数矩阵($n = 41$, $\gamma_{0.05} = 0.308$)

Table 2　The correlation coefficient matrix of sulfophile element of stream sediment

元　素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Hg
Au	1								
Ag	0.045	1							
Cu	- 0.186	0.520	1						
Pb	- 0.234	0.357	0.404	1					
Zn	- 0.258	- 0.118	0.045	0.461	1				
As	0.365	0.520	0.278	0.286	- 0.208	1			
Sb	0.562	0.483	0.142	0.167	- 0.377	0.568	1		
Bi	0.763	0.131	- 0.091	- 0.098	- 0.329	0.367	0.552	1	
Hg	0.046	0.543	0.677	0.050	- 0.178	0.393	0.161	0.025	1

表 3　崖湾金矿岩石微量元素含量($\times10^{-6}$)表

Table 3　The microelement content of rock in Yawan gold deposit

	岩石	样数(个)	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Hg	Bi	Mo
围岩	变化范围	21	0.02～0.35	0.08～7.5	17～162	7～183	2～172	50～2 800	18～118	0.07～1.09	0.18～1.05	0.13～3.5
	均　值		0.14	1.58	72	35	103	697	38	0.39	0.51	1.42
	变异系数		0.64	1.27	0.98	1.36	0.83	0.91	0.60	0.89	0.41	0.63
矿化岩石	变化范围	9	0.5～0.98	0.6～25.09	23～120	8～194	22～120	120～1 680	25～60	0.04～1.56	0.27～0.61	0.2～5.92
	均　值		0.72	4.61	69.8	59	82	793	37	0.44	0.53	2.4
	变异系数		0.26	1.69	0.66	1.16	0.43	0.80	0.33	1.25	0.27	0.80
矿石	变化范围	23	1～4.85	1.68～10.83	3～3.09	10～136	12～204	413～4 588	29～269	0.03～14.74	0.3～7.81	0.12～6.33
	均　值		2.43	4.96	79	51	108	2 009	78	2.62	1.36	2.2
	变异系数		0.45	0.48	0.82	0.76	0.60	0.57	1.10	1.61	1.21	0.85
	浓集克拉克值		607.5	62	1.14	4.25	1.15	913	130	29.4	340	1.69
岩石平均	均　值	53	1.23	3.56	74.7	46	101.6	1283	55.3	1.37	0.88	1.92
	变异系数		0.49	1.00	0.86	1.07	0.66	0.74	0.77	1.26	0.73	0.75

注:围岩 Au 含量 < 0.49 $\times10^{-6}$,矿化岩石 Au 含量 0.50～0.99 $\times10^{-6}$,矿石 Au 含量 ≥1.00 $\times10^{-6}$。

由图 2 可见,除 Pb 为独立元素外,其余元素可分为两个大组,即 Au 组合(Au、Sb、Hg、Mo、Ag)和 As 组合(Cu、Zn、As、Bi),两大组间呈互不相关关系(复相关系数 0.074)。Au 组合内部可分为 2 个小组,即 Au - Sb 组和 Ag - Hg - Mo 组。As 组合内部亦可细分为 Cu - Zn 组和 As - Bi 组。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表4 崖湾矿床矿石伴生元素相关系数矩阵($n=23$, $\gamma_{0.05}=0.413$)

Table 4 The correlation coefficient matrix of accompanying element of ore in Yawan gold deposit

元 素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Hg	Bi	Mo
Au	1									
Ag	0.0383	1								
Cu	-0.239	-0.377	1							
Pb	0.069	-0.016	0.100	1						
Zn	-0.155	-0.197	0.516	0.230	1					
As	0.039	-0.371	0.376	-0.292	0.118	1				
Sb	0.556	0.423	-0.102	-0.075	-0.091	-0.168	1			
Hg	-0.046	0.167	-0.465	0.005	-0.555	-0.523	-0.024	1		
Bi	-0.074	-0.196	0.326	0.267	0.198	0.391	-0.146	-0.288	1	
Mo	-0.070	0.391	-0.233	-0.021	-0.235	-0.538	0.229	0.446	-0.346	1

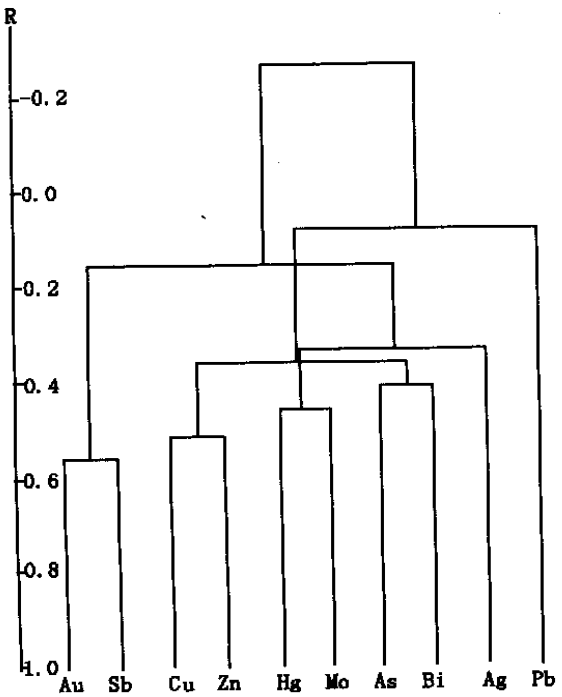


图2 崖湾金矿矿石微量元素R型聚类分析谱系图

Fig. 2 The lineage diagram for R-type cluster analysis of microelement of ore in Yawan gold deposit

造成伴生元素间单相关系数很弱(甚至不相关)的主要原因是矿石中Sb、Hg、Bi、Mo、Cu、Pb等大部分元素含量极不均匀,相关系数计算中受特高点的影响较大(这种随机性造成高低含量间相互抵消),使矿石相关系数被压制,为了消除这些偶然性造成的影响,必须结合岩矿鉴定报告等资料进行综合分析。

据岩矿签定报告和野外观察,金矿化较好的地段往往伴有强烈的金属硫化物(主要是黄铁矿、毒砂、黄铜矿、辉锑矿、少量辰砂和辉铋矿)蚀变和退色蚀变。黄铁矿和黄铜矿主要呈细(网)脉状,少量呈浸染状;毒砂和辉锑矿主要呈浸染状。金属硫化物主要分布于退色蚀变强烈区段和石英脉旁侧及内部。硫化物矿物晶体越细小,结晶程度越低,则金矿化越好。1989年对崖湾金矿2种矿物(五角十二面体细粒黄铁矿和铁白云石)进行含金性鉴定(北京第三研究所测试),证明五角十二面体细粒黄铁矿是崖湾金矿主要载金矿物之一(此种黄铁矿含1%左右的As),铁白云石仅含微量金,其余矿物未作鉴定。据笔者研究,马泉金矿Au与As关系非常密切,并且毒砂是金的主要载金矿物之一,崖湾金矿与马泉金矿成矿环境相同,地质特征亦很相似。崖湾金矿最主要的金属矿物为黄铁矿和毒砂。因此,推断崖湾金矿矿石中的As主要来自毒砂和含砷黄铁矿,由于毒砂和砷黄铁矿含量很不均匀,造成Au矿化亦不均匀,Au与As相关关系亦不明显。矿石中的Sb可能来自辉锑矿,Hg来自辰砂,Bi来自辉铋矿。

前已述及,矿床水系沉积物、岩石中的元素总是与As、Sb、Bi(第VA族元素)、Ag、Hg有关,特别是从围岩—矿化岩石—矿石随Au含量的提高,As、Sb、Hg、Bi、Ag平均含量亦进一步提高,所以认为这几种元素与Au矿化关系密切。

表5 用于垂直分带的元素位置

Table 5 The location of element which is used for vertical zoning

序	工程号	标高(m)	矿体号	断裂号	平均Au含量($\times10^{-6}$)	样品数(个)
1	TC-1	1 660	1	F_1	0.71	2
2	PD-1-2	1 590	1	F_1	2.09	6
3	ZK0-4	1 537	1	F_1	1.75	1
4	ZK0-4	1 528	1	F_1	2.97	3
5	ZK0-4	1 498	1	F_1	2.25	3
6	ZK0-4	1 489	1	F_1	0.87	3

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

综上所述,与 Au 矿化关系密切的元素依次为 Sb、As、Ag、Hg、Bi。

2.3.2　元素的垂直分带性

为了研究微量元素在矿体上的空间分布特征,对元素进行了挑选(表 5)。

TC - 1 矿化体氧化程度很低(槽探较深),其余元素均为深部工程内取得,研究用元素位于 F_1 含矿断裂带内 1 号矿体上。这 6 组数据是元素在空间上的自然分布,并非标高造成。

根据前苏联学者 C·B·格里戈良提出的分带指数方法,对矿床中 6 个不同标高的元素进行了垂直分带,其结果见表 6。

表 6　崖湾金矿石元素垂直分带结果

Table 6　The result of element vertical zoning of ore in Yawan gold deposit

特　征	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Hg	Bi	Mo
含量 ($\times10^{-6}$)	0.71	14.6	26.3	113	61.1	1 156	44.5	0.59	0.54	3.21
	2.09	4.44	104.4	74.9	171.9	2 394	40.5	0.54	2.76	0.89
	1.75	2.31	80	45.5	80	2 660	77.6	0.11	1.35	0.99
	2.97	5.38	70.5	21.3	91.7	3 377	69.0	0.11	1.69	0.88
	2.25	1.85	71.7	13.7	94.7	1 793	30.3	0.24	0.75	0.75
	0.87	2.24	18.7	21.5	136.8	1 560	36.7	0.22	0.71	0.36
变异系数	0.49	0.94	0.60	0.80	0.38	0.38	0.38	0.70	0.64	0.86
标准化值	- 1.23	1.95	- 1.18	1.67	- 1.10	- 1.23	- 0.28	1.36	- 0.91	1.99
	0.37	- 0.14	0.27	0.68	1.62	0.29	- 0.49	1.13	1.74	- 0.28
	- 0.03	- 0.58	- 0.19	- 0.07	- 0.64	0.62	1.46	- 0.91	0.06	- 0.19
	1.39	0.05	- 0.36	- 0.70	- 0.35	1.50	1.01	- 0.91	0.47	- 0.29
	0.55	- 0.68	- 0.34	- 0.89	- 0.28	- 0.45	- 1.02	- 0.29	- 0.66	- 0.42
	- 1.05	0.60	1.80	- 0.69	0.75	- 0.74	- 0.69	- 0.39	- 0.70	- 0.80
分带指数	0.031	0.219	0.023	0.180	0.044	0.041	0.069	0.151	0.032	0.210
	0.091	0.067	0.089	0.119	0.125	0.086	0.063	0.138	0.164	0.058
	0.109	0.050	0.098	0.104	0.083	0.136	0.172	0.040	0.115	0.093
	0.166	0.103	0.077	0.043	0.085	0.154	0.136	0.036	0.128	0.073
	0.123	0.035	0.077	0.027	0.087	0.081	0.059	0.078	0.056	0.062
	0.063	0.056	0.267	0.057	0.165	0.093	0.095	0.094	0.070	0.039

由表 6 可见,在地表槽探(TC - 1)中,Ag、Pb、Hg、Mo 均处于强相对富集状态,而 Au、Cu、As、Bi 等处于强相对亏损状态。地表以下 70m 处的坑探工程(PD - 1 - 2)中,Zn、Hg、Bi 处于强相对富集状态,其余元素富集、亏损均不明显。ZK0 - 4 见到的 1 号矿体中部 Au、As、Sb 均处于强相对富集状态。1 号矿体下段 Cu 处于强相对富集状态,Au 处于强相对亏损状态。Au 的富集位于 1 528m 标高左右。

根据各元素的分带指数和变异系数,详细的分带结果为(从上至下):Ag—Mo—Hg—Pb—Bi—Sb—Au—As—Zn—Cu。则主要的前缘元素为 Ag 和 Mo,次要的前缘元素为 Hg 和 Pb。末尾元素为 Zn 和 Cu。可见前缘元素较多,而后尾元素较少。

从分带结果看,与 Au 相关的主要元素 As、Sb、Bi 等均紧密围绕在 Au 的周围,此分带结果与前述元素的相关性是吻合的。

根据栾世伟等人的研究,Ag、Hg 成为前缘元素在热液金矿床中是常见现象,而 Mo 成为前缘元素则并不多见。

3　矿床剥蚀程度

3.1　矿床标高

矿床北部、西部大部分地段为黄土覆盖。在 ZK20 - 1 孔 NW 约 700m 处山梁附近见黄土之下为古河床砾石,砾石排布方向为 SW 向,与现代河流水流方向(SE)差别较大,可见矿床经历了强烈的抬升运动。此处标高约 1 830m,砾石之下是泥盆系老地层,且多处出现金矿体露头(F_0 断裂西延部分,图 1),Au 含量 1.08～4.47 $\times10^{-6}$,为矿床附近最高 Au 矿体露头。

根据目前深部揭露情况看,地表矿体露头较少,大部分矿体标高位于 1 400～1 600m 之间(更深层尚未揭露)。结合前述 Au 的富集标高(1 528m),则矿体上半部分约为 300m。按上下对等的原则,矿床垂幅约 600m。

3.2　剥蚀程度

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

在0号勘探线附近两沟交汇处(图1),地表矿体露头最好(标高约为1 590m),Hg、Ag等前缘元素较发育,矿体尚处于中上部,其剥蚀程度虽然最大(已被剥蚀掉约240m,占矿体垂幅的40 %),但深部仍有盲矿体存在,此预测已为深部揭露所证实(即2号矿体,盲矿体)。

在4～8线间和3～11线间,矿体露头较少(仅零星的薄而小矿脉),其标高约为1 700m左右,矿体被剥蚀约130m,占矿床垂幅的22 %,剥蚀程度中等。

在8线西和11线东,矿床内无矿体露头,其标高约为1 800m,矿体当被剥蚀掉30m左右,占矿体垂幅的5 %,剥蚀程度最小。

矿床深部揭露工作主要布设于4～7线间,现有矿体揭露还很不充分(揭露工作仅1年半就突然下马),很多矿体在走向和倾向上亦未封闭。由于矿床东、西部揭露程度低,矿体剥蚀程度小,故矿床向东、向西发展潜力巨大。

4 结论和建议

(1)矿石主要伴生元素为As、Bi、Sb、Ag、Hg,其中Ag可达综合利用的程度。

(2)与Au矿关系密切的元素依次为Sb、As、Ag、Hg、Bi。

(3)元素的垂直分带为(从上至下)Ag—Mo—Hg—Pb—Bi—Sb—Au—As—Zn—Cu。

(4)矿床的剥蚀程度总体为上部,矿床向东向西发展潜力巨大。

(5)建议对矿床进行深入细致的深部揭露工作,扩大现有规模。

参 考 文 献

[1] 孙明. 甘肃省礼县马泉金矿地质特征及成因探讨[J]. 甘肃地质学报,2000,9(2):28～36.

[2] 姜启明. 甘肃马泉金矿伴生元素特征及剥蚀程度研究[J]. 黄金地质,2001,6(2):23～28.

[3] 阮天健,朱有光. 地球化学找矿[M]. 北京:地质出版社,1985:274～276.

[4] 姜启明. 甘肃崖湾金矿地质特征及前景分析[J]. 黄金地质,2004,9(3):32～38.

[5] 栾世伟. 金矿床地质及找矿方法[M]. 成都:四川科学技术出版社,1987:428～432.

THE STUDY TO MICROELEMENT CHARACTERISTICS AND DEPOSIT DENUDATION IN YAWAN GOLD DEPOSIT IN GANSU PROVINCE

JIANG Qi-ming, LI Yue

(No. 219 Team of Gansu Nuclear Geology, Tianshui 741025, China)

Abstract: Yawan gold deposit is in the middle section of Luoba - Lixian fault which is a west branch of Lixian - Baiyun - Shanyang great faults, it is one of peripheral deposits around Liba big scale gold deposit. By the summarization of the stream sediment and rock microelement characteristics of deposit area, it is pointed out that the main microelements of the deposit are As, Bi, Sb, Ag, Hg, the accompanying elements which are close relation to gold deposit are Sb, As, Ag, Hg, Bi. The microelements of deposit are vertical zoning which sequence is Ag - Mo - Hg - Pb - Bi - Sb - Au - As - Zn - Cu from top to deep. By studying location of ore body and microelement vertical zonality, it is deemed that overall denudation degree of deposit is in upper, and potential to extend to west and east is high.

Key words: Gold deposit; Microelement; Denudation degree; Gansu Province

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net