第 10 卷 第 4 期
2004 年 12 月

黄 金 地 质
GOLD GEOLOGY

Vol. 10 No. 4
Dec., 2004

甘肃寨上金矿床构造地球化学特征

陈勇敢，赵玉锁，张国立，马德锡，路彦明，常春郊
(武警黄金地质研究所，河北 廊坊 065000)

摘要：寨上金矿位于西秦岭中部岷—礼成矿带西部，所发现的三十余条金矿化脉体的空间分布及其产出特征严格受断裂和褶皱的双重控制，以扎麻树背斜为界分为南北 2 个成矿带，产出的已知矿脉均严格受控于 NWW 向断裂。通过对寨上金矿 50 件构造地球化学样品 16 种微量元素数据的聚类分析、因子分析，以及对样品元素的组合特征研究，北矿带含矿断裂的元素组合为 Au，Bi，Pb，Zn；南矿带的为 Au，Sb，Hg，Cu，Zn，Pb，Co，Bi，As。以已知的矿与非矿构造样品为母体，利用多元统计判别分析，建立了断裂含矿性的判别函数，并对未知的 17 个样品进行判别分析，其判别结果与野外验证一致。

关键词：金矿；构造地球化学；判别函数；甘肃
中图分类号：P618.51 **文献标识码**：A **文章编号**：1006-558X（2004）04-0061-05

寨上金矿大地构造位置处于西秦岭中带[1]，西秦岭为从扬子大陆分解出来的构造单元，它经历了加里东、华力西期及其以后的多个时期的构造运动变革和复杂的地壳演化，多期次的构造-岩浆活动为金矿成矿提供了有利的地质环境。在西秦岭的岷—礼成矿带上分布有较多的金矿（点），如漳县的曹家沟、胭脂沟，礼县的李坝、金山、崖湾等。寨上金矿位于该成矿带的西部，截至 2003 年底，矿床规模已达中型。

1 成矿地质背景

1.1 赋矿地层

矿区地层主要有泥盆纪各类砂岩、粉砂质板岩、泥灰岩，局部含碳质；二叠纪含碳、泥质粉砂质板岩和各类砂岩。局部出露老第三纪砾岩、中粗粒砂岩等。含 Au 地质体主要分布于泥盆及二叠纪地层中（图 1）。

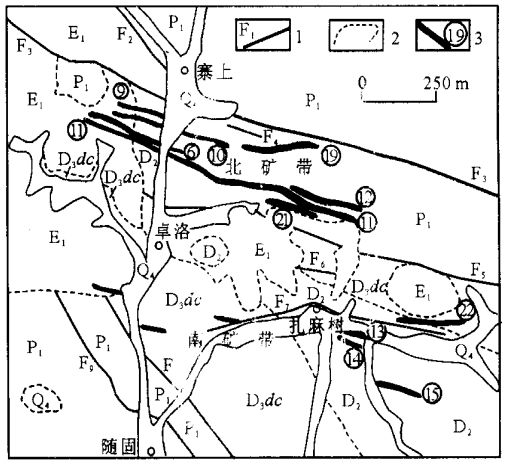


图 1 寨上金矿区综合地质略图（据武警黄金第五支队，2003）

Q_4—第四系；E_1—老第三系；P_1—下二叠统；D_3dc—上泥盆统大草滩群；D_2—中泥盆统；1—断层及编号；2—推测地层界线；3—金矿脉及其编号

1.2 控矿构造

寨上金矿控矿构造系统可分为 4 级，Ⅰ级控矿构造为岷县断裂，Ⅱ级为朱麻滩—禾

收稿日期：2004-09-27。李莉编辑。
作者简介：陈勇敢（1977-），男，江西丰城人，武警黄金地质研究所助理工程师，学士，从事黄金地质工作。

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

驮断裂，Ⅱ级为随固断裂，Ⅳ级为各矿化脉体的含矿断裂和卓洛—扎麻树背斜。

卓洛—扎麻树背斜西起酸茨坡村西，东至矿区东部岷县牛场以西，长约 30 km，宽 3～6 km，总体向 NWW 倾伏，地表上向 SEE 撒开。按照矿化脉体和褶皱的关系，矿区初步可分为南北 2 个成矿带，分别位于褶皱南北两翼，其中北翼更靠近褶皱轴部。

矿区断裂总体呈 NWW—NW 向，和区域构造方位一致，由一系列次级断裂和强变形带构成。矿区内已知矿脉或平行该组断裂分布于两侧，或即为断裂本身。另外，在矿区卓洛村西南山坡上还观察到 2 条近于平行的近 SN 向断裂，断裂带内岩石破碎强烈，有明显硅化，未见金属矿化。

2 矿床地质特征

目前，寨上金矿区南北两矿带共发现三十余条金矿化脉体，圈定规模不等的金矿体 9 条，其空间分布及产出特征严格受断裂和褶皱的双重控制。矿带及矿化脉体总体走向 280～300°，较稳定，呈板状近平行产出，N 倾，但不同的矿化脉体倾角变化较大。矿化脉体与构造带宽度基本一致，随断裂破碎带的膨缩而膨缩。各矿化脉体的 w（Au）一般在 1×10^{-6}～5×10^{-6}，个别在 10×10^{-6} 以上，w（As）一般较高，而不同矿化脉的微量元素含量差别也较大，Au 与 As，Sb，Pb，Zn 等存在相关性。

矿区矿石按氧化程度可分为氧化和原生矿石。受原岩岩性和成分影响，原生矿石分为蚀变碳质板岩型，蚀变粉砂质、泥质千枚质板岩型，强硅化角砾岩型。矿石中主要金属矿物为黄铁矿和毒砂，次为黄铜矿、黝铜矿、辉锑矿、方铅矿、闪锌矿、褐铁矿等，自然金少见。矿石主要有自形、他形粒状，固熔体分解、交代、胶状、草莓等结构，脉、浸染、团块、碎裂状构造。

矿区金矿成矿总体上经历了热液作用成矿期和表生氧化成矿期，前者可分为中细粒黄铁矿-石英阶段（Ⅰ）、微细粒黄铁矿-毒砂-石英阶段（Ⅱ）、多金属硫化物-石英阶段（Ⅲ）、石英-碳酸盐岩阶段（Ⅳ），其中Ⅱ，Ⅲ为主成矿阶段。围岩蚀变以硅化和黄铁矿化与金矿化关系密切。

3 构造地球化学特征

为研究寨上金矿的构造地球化学特征，对采集于矿区内已探明的含矿断裂及民采坑内的 50 个构造样和 13 个地层样进行系统分析，据此对其进行聚类分析、因子分析和元素组合特征的分类研究。

根据矿区实际情况，按 w（Au）将构造样分为矿化样（大于等于 100×10^{-9}，31 个）和无矿化样（小于 100×10^{-9}，19 个）2 类。在此基础上又将大于 $1\,000\times10^{-9}$ 的样品定为矿石样（23 个）。

3.1 含量特征

与区域地层相比，断裂显示出了明显的地球化学异常（表 1）。断裂带中的 Au，As，Sb，Co，Mn，Sr 明显高于矿区和区域地层；地层样品中的 Hg，Cu，Pb，Zn，Bi 介于构造无矿化样和矿化样之间；矿区 Ni，Ti，Cr，Ba，V 低于区域，显示出相对贫化的特征。构造活动使 Au 与 As，Sb，Hg，Cu，

表 1 寨上金矿矿区及区域微量元素平均含量 w（B）/ 10^{-6}

分类		样数	Au[1)]	As	Sb	Bi	Hg	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Mn	Ti	Cr	Ba	Sr	V
断裂	矿化	31	4 086.90	1 670.58	525.03	1.34	36.17	8 476.3	1 679	982	21.3	29.7	1 277	2 941	60	359	321	95
	无矿化	19	9.51	118.45	91.61	0.28	0.19	31.7	38	117	16.4	33.9	1 003	3 251	76	338	230	71
地层	矿区	13	6.84	16.41	43.89	1.17	0.40	62.6	223	59	8.1	15.5	372	1 703	38	224	200	38
	区域[2)]	479	1.62	35.2	0.75		0.04	34.0	44	132	11.5	39.0	646	3 372	82	471	113	108

1) w(Au) / 10^{-9}；2) 据刘继顺，2001；其余样品由武警黄金指挥部测试中心测试，2004。

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

Pb，Zn，Co，Mn，Sr 等成矿元素活化、迁移，并在有利的部位富集成矿。

3.2　Q型聚类分析

矿区 31 个矿化样品的 Q 型聚类分析显示（图 2），若以相关系数 $r = 0.85$ 为界，样品可分为 5 类：一类为南矿带矿化样（样号 49，50，51，53），一类为北矿带矿化样（1，8，9，10，11，44，45，58，65，67，68，69，70，71，76，77，80，81，82，83，84，86，87，88），其余 3 个样品分别独自划为一类，其结果在成矿空间上很好地对应于南北两矿带；当以 $r = 0.6$ 为界时，除 18 号样品外，其余样品均可归为一类，又显示出南北两矿带在矿床成因方面存在某些细小区别，总体上相同。

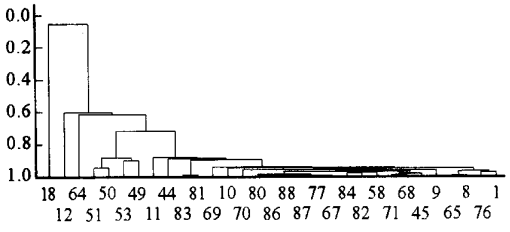


图 2　寨上金矿 31 个矿化样品 Q型聚类分析谱系图

3.3　R型聚类分析

由图 3 可以看出，断裂构造样、矿化样、矿石样的聚类分析图谱基本一致，当相关系数 $r = 0.8$ 时，As，Sb，Hg，Cu，Zn，Co，Bi，Pb 为一组，Ti，Cr 为一组，其余元素各为一组，Au 与各元素的相关性并不好。当 $r = 0.4$ 左右时，Au 才与 As，Sb，Hg，Cu，Zn，Co，Bi，Pb，Ni，Mn，Ba 等大部分元素相关，说明成矿物质来源具有多源性：既有中低温热液的 As，Sb，Bi，Hg，Cu，Pb，Zn，又有高温热液的 Co，Ni，Mn 等，以及成岩元素 Ba[2]，这与金矿成矿的多期次性相一致。

19 个无矿化样品的聚类分析表明，$r = 0.58$ 左右时，Au 与 As，Mn 相关性较好；$r = 0.5$ 左右时，Au 才与 Sb，Bi，Ba，Ti，V，Cr，Cu，Zn，Ni，Co，Pb 等相关，而 Hg，Sr 则各自为一类。

对南北矿带矿化样品的进一步聚类分析显示，虽然南矿带样品较少，但从已有的图

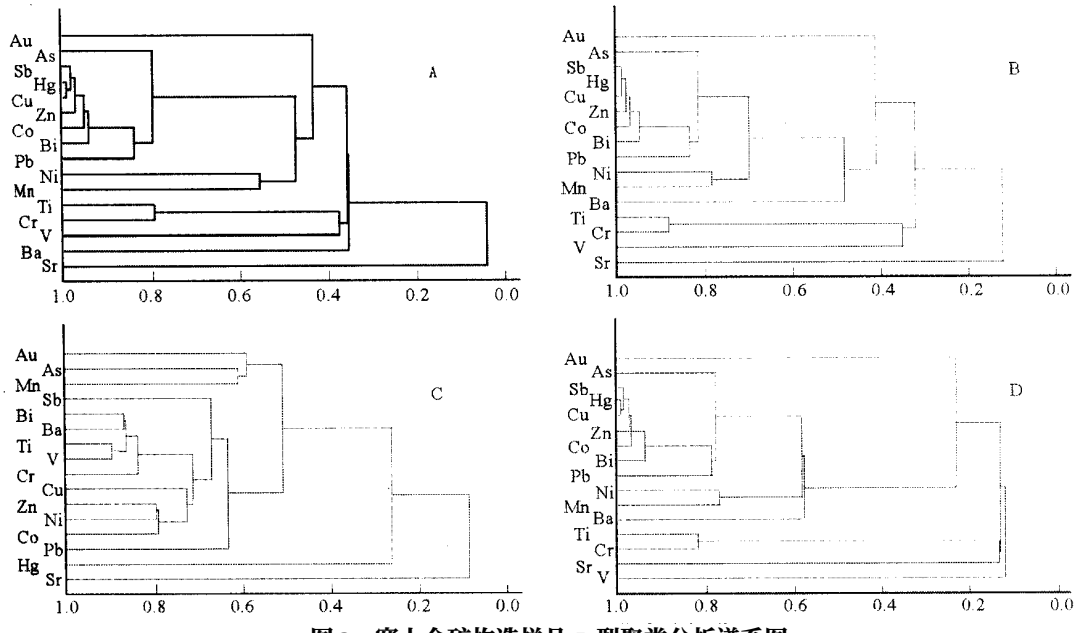


图 3　寨上金矿构造样品 R型聚类分析谱系图

A —50 个构造样；B —31 个矿化样；C —19 个无矿化样；D —23 个矿石样

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

件来看，南矿带矿化样的 Au 与 Sb，Hg，Cu，Zn，Pb 极为相关，与 Co，Bi，As 的相关系数也达到 0.94 以上；而北矿带矿化样品只有当 $r = 0.5$ 时，Au 才与 Bi，Pb，Zn 相关，并且其他元素间的相关性也不是很好。上述分析结果表明，两矿带在地球化学特征方面有所不同，与上述 Q 型聚类分析结论相一致。

3.4 因子分析

构造矿化、矿石样品的因子分析结果见表 2 和 3。由表 2 可以看出，矿石、矿化样前 4 个公因子方差累计百分比分别为 86.65 %和 83.31 %，即累计贡献率均大于 80 %，并且两者的第 1 个公因子贡献都接近 50 %。由此可见，前 4 个因子已包含了原始变量的大部分信息。

表 2 寨上金矿矿石样与矿化样元素含量特征值

样品	值	特征值	总方差/ %	累计特征值	累计总方差/ %
矿石样 (23)	1	7.610 873	47.567 95	7.610 87	47.567 95
	2	3.078 700	19.241 88	10.689 57	66.809 83
	3	1.903 275	11.895 47	12.592 85	78.705 30
	4	1.271 293	7.945 58	13.864 14	86.650 88
矿化样 (31)	1	7.421 974	46.387 34	7.421 97	46.387 34
	2	2.866 113	17.913 21	10.288 09	64.300 54
	3	1.963 226	12.270 17	12.251 31	76.570 71
	4	1.078 661	6.741 63	13.329 97	83.312 33

由表 3 可得出 Au 在矿石样与矿化样中的因子模型

$$Au_{矿石样} = 0.335\ 989\ F1 + 0.316\ 171\ F2 - 0.145\ 622\ F3 + 0.688\ 645\ F4, \quad (1)$$

$$Au_{矿化样} = 0.380\ 037\ F1 + 0.160\ 474\ F2 - 0.106\ 147\ F3 + 0.446\ 644\ F4。 \quad (2)$$

Au 的因子模型显示，$w(Au)$ 在矿化

表 3 寨上金矿矿石样与矿化样微量元素正交旋转因子解

元素	矿石样 F1	矿石样 F2	矿石样 F3	矿石样 F4	矿化样 F1	矿化样 F2	矿化样 F3	矿化样 F4
Au	0.335 989	0.316 171	-0.145 622	0.688 645	0.380 037	0.160 474	-0.106 147	0.446 644
As	0.648 498	-0.552 955	0.230 567	0.214 651	0.620 560	-0.644 216	0.173 083	0.041 904
Sb	0.983 198	-0.088 714	0.105 848	0.030 230	0.977 941	-0.129 759	0.083 710	0.036 335
Bi	0.907 277	-0.290 344	0.235 956	-0.021 886	0.882 544	-0.363 722	0.187 460	0.040 137
Hg	0.987 378	0.031 868	0.090 688	0.009 455	0.986 348	0.002 693	0.081 066	0.028 728
Cu	0.984 983	0.045 387	0.082 708	0.030 267	0.987 649	0.017 353	0.074 158	0.011 718
Pb	0.812 672	0.205 105	0.273 463	-0.042 493	0.822 279	0.117 252	0.186 311	0.151 423
Zn	0.973 682	0.076 414	0.078 758	0.110 817	0.983 629	0.040 086	0.071 928	0.069 252
Co	0.977 388	-0.039 528	-0.065 885	0.064 562	0.975 722	-0.069 513	-0.065 030	0.002 579
Ni	0.277 415	-0.862 136	0.097 529	0.097 342	0.235 071	-0.884 639	0.090 147	0.061 122
Mn	-0.030 456	-0.914 231	0.275 829	-0.080 117	-0.079 326	-0.901 883	0.297 581	0.005 208
Ti	-0.363 566	0.188 014	-0.881 536	-0.039 833	-0.278 516	0.205 020	-0.908 219	0.083 834
Cr	-0.000 542	0.049 722	-0.946 390	0.123 726	0.009 745	0.039 208	-0.958 752	0.009 719
Ba	-0.251 691	-0.833 130	-0.184 395	-0.040 515	-0.153 696	-0.723 467	-0.445 100	-0.230 096
Sr	-0.213 104	-0.071 316	-0.349 517	0.710 497	-0.074 101	0.022 616	0.056 118	-0.904 225
V	-0.135 237	0.227 428	-0.321 743	-0.660 855	-0.177 419	0.198 328	-0.353 079	0.295 980

样与矿石样中提供的因子不同，但两者也存在一定的共性，即 F4 所占比重最大，F1 次之，F2 最小，而 F3 基本与金矿成矿无关。

根据因子分析的地质统计学意义[3]，第 1 因子（F1）代表了中温热液元素（Cu，Pb，Zn）和低温热液元素（As，Sb，Bi，Hg）的组合特征。但这一期 Co 的活动性也较强，说明深部热液也在一定程度上参与了成矿。并以发育黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等金属硫化物为主要特征，推测该因子和成矿的 II 阶段一致。第 2 因子（F2）表明 Au 与高温元素（Ni，Mn）和成岩元素（Ba）关系密切。第 3 因子（F4）为 Au 与成岩元素（Sr）和代表基性、超基性岩浆热液活动的元素（V）相伴生。F1，F4 两因子所反映的

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

可能为深部流体经扩散（渗透）到地壳较浅处，并与围岩相互作用所发生的成矿作用，这与矿区矿体的产出及与围岩（地层）的关系密切吻合。另外，由于矿石样与矿化样的第 1 个公因子方差贡献均占约 50 %，所以 F1 代表了该区 As，Sb，Bi，Hg，Cu，Pb，Zn，Co 等元素的矿化，F4 反映出深部流体活动，是 Au 富集的主要原因。

4　断裂含矿性评价

判别分析是根据已知的 2 个或多个类别母体的多种特征建立起来的一个或多个判别函数，用于判断未知样品的可能归属[4]。

通过对已知无矿化样与北矿带矿化样的多元统计分析，建立矿与非矿的判别函数

$$Y_{无矿} = -4.154\ 00 - 0.000\ 07\ Au + 0.079\ 53\ Ni - 0.008\ 74\ Cu + 0.000\ 05\ As + 0.039\ 05\ Hg + 0.003\ 67\ Sr + 0.201\ 26\ Co, \quad (3)$$

$$Y_{含矿} = -5.863\ 56 + 0.000\ 44\ Au - 0.055\ 17\ Ni + 0.015\ 20\ Cu + 0.001\ 49\ As + 0.256\ 64\ Hg + 0.005\ 82\ Sr + 0.33\ 518\ Co。\quad (4)$$

当 $Y_{无矿} > Y_{含矿}$ 时，为不含矿断裂；当 $Y_{含矿} \geq Y_{无矿}$ 时，为含矿断裂[5]。通过对已知样品的判别分类，错判 5 个，准确率为 89 %（表 4）。

表 4　寨上金矿断裂含矿性的判别符合率

地质观察/ 个		判别预测/ 个		符 合 率/ %
无 矿	19	无 矿	18	18/ 19 = 94.736 84
		含 矿	1	
含 矿	26	无 矿	4	22/ 26 = 84.615 39
		含 矿	22	
总 计	45	无 矿	22	(18 + 22) / (19 + 26) = 88.888 89
		含 矿	23	

将 17 个未知构造样品的微量元素数据代入判别函数（3），（4），有 11 个样品为 $Y_{含矿} \geq Y_{无矿}$，推断为含矿构造样。这一判别结果与野外验证非常一致。

参考文献：

[1] 杨恒书，张凤岭，殷鸿福，等. 西秦岭造山带演化与成矿 [J]. 四川地质学报，1996，16 (1)：73-79.

[2] 赵伦山，张本仁. 地球化学 [M]. 北京：地质出版社，1988.

[3] 胡以铿. 地球化学中的多元统计分析 [M]. 北京：中国地质大学出版社，1991.

[4] 洪楠，侯军，李志辉. 统计与图表分析教程 [M]. 北京：清华大学出版社，2002.

[5] 刘继顺，高珍权，舒广龙. 李坝金矿田构造地球化学特征及其找矿意义 [J]. 大地构造与成矿学，2001，25 (1)：87-94.

Tectonic geochemistry of the Zhaishang gold deposit, Gansu

CHEN Yong-gan, ZHAO Yu-suo, ZHANG Guo-li, MA De-xi, LU Yan-ming, CHANG Chun-jiao

(Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: The Zhaishang gold deposit is located in the middle of west Qinling and west part of the Mn-Co-Li mineralization belt. There are more than 30 gold mineralization vein-bodies discovered and their spatial distribution and occurrence features are strictly controlled by both fault and fold. The deposit is divided into 2 mineralization belts (North and South belt) by the Zhamashu anticline, and the known ore bodies occurred in the two belts are strictly controlled by the NWW fault. By cluster and factor analysis to 16 types of microelements data for 50 tectonic geochemistry samples in the Zhaishang gold deposit, and study of the group features to the sample elements, it's found that the element group of the ore-bearing fault in North belt consist of Au, Bi, Pb, Zn; and the group in South belt consist of Au, Sb, Hg, Cu, Zn, Pb, Co, Bi, As. Taking the known ore or non-ore samples as the parent, by using multinariate statistical and discriminant analysis, the discriminant fuction of fault ore-bearing feature has been established, and the discriminant analysis to the unknown 17 samples has been taken. The result is as same as the field works and could be used as guide for gold prospecting works.

Key words: gold deposit; tectonic geochemistry; discriminant fuction; Gansu

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