

胶东金牛山金矿区深部地球化学特征及成矿预测

申 萍, 沈远超, 李光明, 李厚民, 刘铁兵, 曾庆栋

(中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

[摘 要]对胶东金牛山金矿区金矿深部地球化学原生晕研究, 结果表明金牛山金矿区金牛山矿段地球化学轴向分带具有反向分带特点, 亦有正向分带的存在, 原生晕复杂, 为原生叠加晕, 有不同原生晕共存和反向分带现象存在。据此推测 50 勘探线西主脉和中主脉分别在 -50 m 和 +15 m 以下有较大延伸, 而 54 勘探线东副脉在 0 m 以下可能有盲矿体存在。

[关键词]原生晕 轴向分带 成矿预测 金矿床 金牛山

[中图分类号]P618.51 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2003)04-0021-05

金牛山金矿区位于胶东牟平水道镇东 2 km 处, 与邓格庄金矿毗邻, 是胶东牟—乳成矿带北部矿带的一部分。前人对该成矿带进行大量研究(沈远超等, 1998, 2001; 赵伦山等, 1993; 孙丰月等, 1995; 杨敏之等, 1996; 杨忠芳等, 1998^[1-8]), 但对金牛山金矿研究甚少。1964~1966 年山东冶金地质三队对金牛山金矿区进行工作, 提交了普查报告。后来金牛山金矿和山东东方冶炼厂对金牛山金矿区进行边探边采, 探矿工作取得进展。目前, 有的矿体正在开采, 有的已采空, 矿山存在深部资源不清、矿源紧缺等问题。2001 年我们对该金矿进行成矿条件和成矿规律研究, 开展了深部地球化学预测工作。本次工作对金牛山金矿区金牛山矿段、婆婆顶矿段矿体深部地球化学资料作了大量图表及分析, 限于篇幅, 本文仅介绍金牛山矿段深部地球化学研究成果。

1 矿床地质特征

金牛山金矿为石英脉型金矿, 分布于昆嵛山花岗岩与荆山群变质岩内接触带附近。矿区东西宽约 1.5 km, 南北长约 5.1 km, 面积约 8 km²。金矿体赋存于金牛山断裂带中, 该断裂带宽数米至数十米, 长 24 km, 区内地表 5 km 范围内均有出露, 断裂带由数条平行、分支复合的断裂构成, 走向 NNE5°~15°, 倾向 SEE, 局部反倾, 倾角 60°~85°。断裂带平面上膨大收缩、波状弯曲, 剖面上陡倾、缓倾相间分布, 矿体在平面上产于膨大部位, 剖面上产于由陡变缓部位,

在断裂的分支复合部位亦有工业矿体产出, 矿体与断裂带分布一致, 呈雁行式排列, 本次研究表明, 该断裂带既是导矿构造又是容矿构造。容矿围岩为昆嵛山中粗粒二长花岗岩, 在矿体附近, 普遍受到构造应力作用, 片理化等挤压现象明显, 局部岩石破碎, 形成碎裂岩化花岗岩、花岗质碎裂岩、角砾岩等, 为金矿形成提供了有利条件。

金牛山金矿区分为小肖家(L₁)、金牛山(L₂)、婆婆顶(L₃)、腊子巷(L₄)和张家碛(L₅) 5 个矿段(图 1), 已探明金矿体 40 余条, 矿体目前控制的标高分别为 -100 m、0 m、45 m、-120 m、-40 m, 其中以 0 m 标高以上为主; 5 个矿段呈等间距分布, 矿化中心间距 1000 m, 平面上无矿间隔 160~200 m, 剖面上矿体有分段富集的特点, 无矿间隔约 80~100 m, 矿体形态主要为脉状、透镜状, 矿体较小, 延长 30~300 m, 延伸 20~100 m, 厚度一般为 1~1.5 m, 产状与断裂带产状一致, 走向 5°~15°, 倾向 SEE, 局部反倾; 矿体也有侧伏规律, 表现为 NNE 侧伏, 侧伏角为 40°~60°; 矿区内已探明矿体一般不是单一产出, 而是呈几组平行脉出现于断裂密集区。围岩蚀变发育, 水平上有明显的分带性, 从矿体向两侧依次为黄铁矿化、硅化、绢英岩化和钾化。成矿阶段为黄铁矿化—石英阶段、石英—黄铁矿阶段、石英—多金属硫化物阶段和石英—碳酸盐阶段, 其中第二、三成矿阶段为主要成矿阶段, 金矿体即在此阶段形成, 并伴有磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和少量的黄铜矿, 其

[收稿日期]2002-08-14; **[修订日期]**2003-01-22; **[责任编辑]**曲丽莉。

[基金项目]中国科学院创新工程项目(编号:KZCX3-SW-137)和国家科技攻关项目(编号:2001BA609A-07)资助。

[第一作者简介]申 萍(1964 年-), 女, 1994 年毕业于西北大学, 获硕士学位, 博士研究生, 主要从事岩石学及金矿成矿预测研究工作。

它阶段均有黄铁矿化。

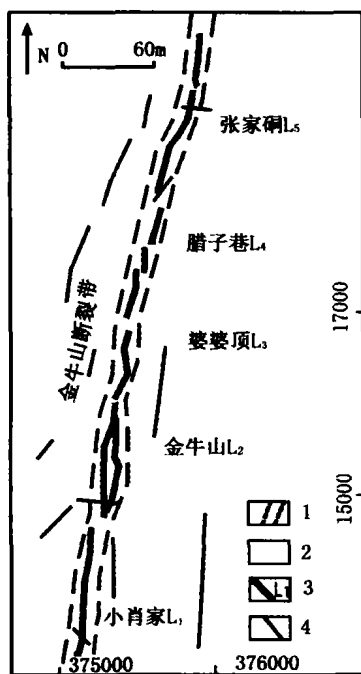


图1 金牛山金矿区地质简图

1—断裂带及石英脉;2—花岗岩;
3—矿脉及编号;4—断裂

2 样品采集及测试

为了对金牛山金矿体深部(0 m 以下)进行预测,我们采用深部地球化学方法,研究原生晕中指示元素组合特征及分带规律,为深部预测提供依据。关于热液矿床原生晕组分分带,C B 格里戈良(1975)^[9]提出成因机理不同的分带:轴向分带、纵向分带和横向分带,另外还有垂直分带和水平分带;后者只是在矿体不同产状情况下,分别与前者三种分带的某一个接近或重合;本文采用前者的分带来进行研究。由于本区金矿体受陡倾斜金牛山断裂带控制,因此原生晕的轴向分带和纵向分带明显,研究表明,轴向分带和纵向分带实质上是反映矿液渗透运移过程中元素的沉淀分带,除了在分带的明显程度上有所差别外,没有根本差别,因此本文重点研究原生晕轴向分带。

金牛山金矿区 +75 m 以上地段矿体已被采空,无法采集样品,故选择 +45 m 及其以下中段沿穿脉坑道采样。采样范围从围岩、蚀变围岩到矿体,样品长度按实际分层连续拣块采集,单样长度一般约 1 m,单个样品原始重为 250 g ~ 500 g。金牛山矿段西侧主矿脉在 50 勘探线附近同一垂向位置 -50 m 中段坑内钻、+15 m 中段、+45 m 中段和地表采样,

金牛山矿段东侧副矿脉于 54 勘探线附近 +15 m 中段穿脉、+45 m 中段穿脉和地表采样。全区共采集化探样品 163 件。

地球化学样品分析 2002 年由国土资源部地球物理地球化学研究所测试中心承担。分析的主要指示元素为 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Co、Mo、As、Sb、Bi、Hg 等,分析方法 Au、Ag 为无火焰原子吸收光谱法,检出限分别为 0.2×10^{-9} 、 20×10^{-9} , Co、Cu、Mo、Pb、Zn、Bi 的分析方法为等离子体质谱法,检出限分别为 1.0×10^{-6} 、 0.2×10^{-6} 、 3.0×10^{-6} 、 0.05×10^{-6} ,而 As、Sb、Hg 分析方法为原子荧光光谱法,检出限分别为 1.0×10^{-6} 、 0.1×10^{-6} 、 2.0×10^{-9} 。

3 数据处理及分析

3.1 地球化学轴向分带特征

为研究金矿床原生晕轴向分带性,本文采用 C B 格里戈良的分带指数法来进行数据处理。第一,计算出各中段各指示元素的线金属量;第二,将各元素的线金属量值标准化(表 1、2、3),目的是将各元素的线金属量化为同一度量水平,使含量很少的元素,在参加计算时与高含量的元素起到同等的效果;第三,分别计算分带指数,即将各中段各元素的标准线金属量值分别除以该中段的累加标准线金属量值(表 1、2、3);第四,根据元素分带指数确定各指示元素在分带序列上的相应位置,分带指数最大值即为所在中段代表性元素,由浅到深将所研究元素顺序排列。

据表 1、2、3 排出上述各剖面中矿脉轴向分带序列,金牛山矿段北部 50 ~ 54 勘探线西主脉、中主脉和东副脉轴向分带序列分别为:

Ag(地表)—Au、Sb、Bi(+45 中段)—Co、As、Mo(+15 中段)—Cu、Pb、Zn、Hg(-50 中段);

Cu、Pb、Zn、Hg、Bi(地表)—Au、As(+45 中段)—Ag、Co、Mo、Sb(+15 中段);

Cu、Pb、As(地表)—Au、Mo、Zn、Bi(+45 中段)—Ag、Co、Sb、Hg(+15 中段)。

可见,每个中段有两个以上分带指数最大值的元素,为了更细致地确定每个元素在分带系列中位置,用变异性指数(变化度 G)及变异性指数的梯度(ΔG)进一步确定元素的先后顺序,即根据分带指数在垂直方向上的变化度来度量同一位置上富集元素沿一定方向的富集程度,排出分带序列。所谓分带指数的变化度(G)是指某元素分带指数的最大值与该元素在各中段的分带指数之比的矢量总和;当

两个以上元素的分带指数最大值同时位于剖面的最上中段(或最下中段)及中部中段时,分别用变化度和变化度梯度确定它们的相对位置。

表1 金牛山矿段北部50勘探线西主脉标准化线金属量与分带指数

中段	标准化线金属量				分带指数			
	地表	+45m	+15m	-50m 钻孔	地表	+45m	+15m	-50m 钻孔
Au	1951.88	5030.44	1877.93	298.092	0.070 221 48	0.175 961 8	0.167 954 3	0.062 682 8
Ag	18096.2	13792.1	4190.2	1028.05	0.651 034 9	0.482 439 5	0.374 754 1	0.216 178 4
Co	1687.64	2242.94	953.6	102.936	0.060 715 1	0.078 456 71	0.085 286 01	0.021 645 39
Cu	875.08	619.74	178.49	153.905	0.031 482 17	0.021 678 14	0.015 963 4	0.032 363 15
Mo	757.4	996.9	1684.7	249.67	0.027 248 48	0.034 870 97	0.150 672 6	0.052 500 62
Pb	1137.92	1588.23	449.08	391.748	0.040 938 19	0.055 555 34	0.040 163 84	0.082 376 79
Zn	1516.68	1334	453.27	527.685	0.054 564 59	0.046 662 53	0.040 538 58	0.110 961 6
As	286.689 6	1039.938	586.349	74.050 96	0.010 314 04	0.036 376 41	0.052 440 61	0.015 571 44
Sb	244.16	487.34	167.59	70.323	0.008 783 982	0.017 046 86	0.014 988 55	0.014 787 52
Hg	599.998 6	615.819	320.987 6	319	0.021 585 75	0.021 540 98	0.028 707 79	0.369 145 2
Bi	642.4	840.8	1755.493	103.61	0.023 111 2	0.029 410 68	0.028 530 03	0.021 787 12

表2 金牛山矿段北部50勘探线中主脉线金属量标准化值和分带指数

中段	标准化线金属量			分带指数		
	地表	+45	+15 中段	地表	+45	+15 中段
Au	2104.31	2543.325	321.916	0.066 644 08	0.172 938 7	0.048 992 92
Ag	11282.9	5608.25	2982.2	0.357 332 6	0.381 344 7	0.453 865 9
Co	1789.79	907.135	561.72	0.056 683 14	0.061 682 55	0.085 489 09
Cu	3831.96	431.175	246.64	0.121 359 2	0.029 318 65	0.037 536 55
Mo	881	888.6	714	0.027 901 51	0.060 422 22	0.108 664 8
Pb	4642.54	1120.93	435.44	0.147 030 5	0.076 219 99	0.066 270 33
Zn	2841.66	1190.365	504.84	0.089 996 15	0.080 941 36	0.076 832 43
As	724.564 4	568.401 2	102.682 2	0.022 947 15	0.038 649 63	0.015 627 37
Sb	439.02	440.395	273.66	0.013 903 88	0.029 945 58	0.041 648 76
Hg	2814.403	625.086 9	286.364 4	0.089 132 92	0.042 504 1	0.043 582 27
Bi	223.2	382.85	141.2	0.070 688 05	0.026 032 69	0.021 489 46

表3 金牛山矿段北部54勘探线副脉线金属量标准化值和分带指数

中段	标准化线金属量			分带指数		
	地表	+45	+15 中段	地表	+45	+15 中段
Au	1842.3	621.39	315.92	0.109 399 5	0.128 974	0.045 327 61
Ag	1972	939.9	2101.1	0.117 101 3	0.195 083 1	0.301 461 9
Co	172.3	203.63	349.6	0.010 231 52	0.042 264 89	0.050 159 96
Cu	1000.25	179.09	292.1	0.059 396 85	0.037 163 13	0.041 909 96
Mo	431	262.7	276	0.025 593 64	0.054 525 3	0.039 599 97
Pb	3599.4	524.6	789	0.213 739 6	0.108 884 6	0.112 343 4
Zn	552	851.24	999.8	0.0327 788 7	0.176 681 1	0.143 449 4
As	6110.5	687	900.1	0.362 853 7	0.142 591 9	0.129 149
Sb	416.25	134.64	289.5	0.024 717 76	0.027 945 51	0.041 536 92
Hg	477.623	198.297	382.453	0.028 362 21	0.041 157 99	0.054 873 64
Bi	266.5	215.5	280.1	0.015 825 3	0.044 728 6	0.040 188 23

金牛山矿段北部50~54勘探线西主脉、中主脉和东副脉轴向分带序列分别为:

Ag—Au—Bi—Sb—Co—As—Mo—Cu—Pb—
Zn—Hg
Cu—Bi—Pb—Hg—Zn—Au—As—Ag—Co—
Sb—Mo
As—Pb—Cu—Au—Mo—Bi—Zn—Sb—Hg—
Ag—Co

可见,每个序列都有某些元素呈现反序的特点,使异常模式复杂,反映矿体多阶段形成特点,但仍有规律可循,总体上,西主脉轴向分带序列向下出现Hg等前晕元素,不同程度的显示了反向分带特征。而中主脉和东副脉的轴向分带序列向下出现了Co、Mo等尾晕元素,表现出正向分带特点。

研究表明(李惠,1998,1999)^[10~11],许多大型、超大型金矿床成矿(晕)具有多期多阶段叠加成矿

(晕)特点,但每一次成矿(单阶段)形成矿体(晕)都有自己的前、尾晕,属正常分带。不同成矿阶段形成矿体(晕)在空间上的叠加,会使分带序列计算受到一定的影响,出现反向分带,即特征的前晕指示元素等出现在矿体的下部。反向分带地球化学元素序列可为深部盲矿的预测提供重要依据。

3.2 深部地球化学原生晕轴向分带特征

图2为金牛山矿段50勘探线西主脉地球化学异常剖面图。从图2中可清楚看出,金牛山矿段50勘探线西主脉成矿元素金、银在+15中段以上较富集,但向下仍有延深,中温元素Cu、Pb、Zn主要在+15中段以上富集,而低温元素As、Sb、Hg向下仍

较富集,说明矿体向下仍有一定延深。从本次研究的金牛山矿段50勘探线中主脉和54勘探线东副脉地球化学异常剖面图知悉,50勘探线中主脉的Au、Ag主要在上部富集,Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、Co同样在上部富集,而Mo、Bi元素上下较连续,意味着该矿体已处于根部,是否向下仍有延伸有待进一步研究。54勘探线东副脉的轴向分带总体上表现为分段富集特点,Au、Ag成矿元素连续性较好,Cu、Pb、Zn在上部和下部富集,Zn趋向于向下富集,As、Hg、Sb表现为分段富集,而Sb更有向下富集之趋势,Co向下富集,Mo在上部富集,Bi为分段富集,因此,向下可能有另外矿体的产出。

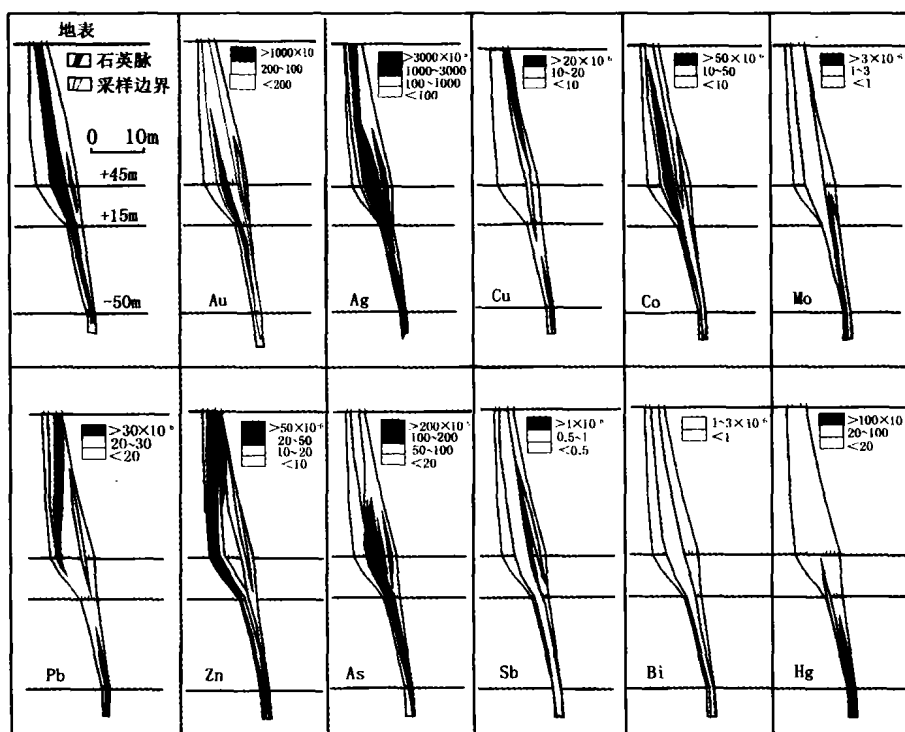


图2 金牛山金矿区金牛山矿段50勘探线西主脉地球化学异常剖面图

3.3 原生晕特点及对深部矿体预测的意义

矿床地质研究知悉,矿体形成经历4个成矿阶段,其中第二、三成矿阶段为金矿主要形成阶段;地球化学轴向分带研究得出各指示元素的轴向分带序列,亦反映了成矿的多阶段性。每个成矿阶段代表一次矿液的流动及沉淀,形成一个原生晕,本区至少有两个主成矿阶段,因此矿体最终所形成的原生晕至少应是两个原生晕的叠加,即原生叠加晕。在本区深部地球化学研究的基础上,结合矿体地质特征,得出金牛山矿段不同剖面原生晕的叠加模型(图3)。

金牛山矿段原生晕复杂,具有如下特点:①单阶段成矿的前晕指示元素为Hg、Sb、As,尾晕指示元素

为Bi、Mo、Co,中晕指示元素(近矿元素)为Au、Ag、Cu、Pb、Zn,当有Cu、Pb、Zn强异常出现,则反映了有第三成矿阶段的叠加;②矿体在侧伏方向上有尖灭再现的特点,矿体都有自己的前晕和尾晕,且上部矿体的尾晕与侧伏方向的下部矿体的前晕共存,如50勘探线西主脉;也有前晕中晕共存之现象,如50勘探线中主脉,亦见较正常的原生晕存在,即出现前晕、中晕和尾晕,如54勘探线东副脉;③有反分带现象,即前晕元素出现在分带序列的下部,如50勘探线西主脉。

上部矿体的尾晕与下部矿体的前晕共存,上下矿体之间有间隔,但间隔不大,结合矿体的地质产

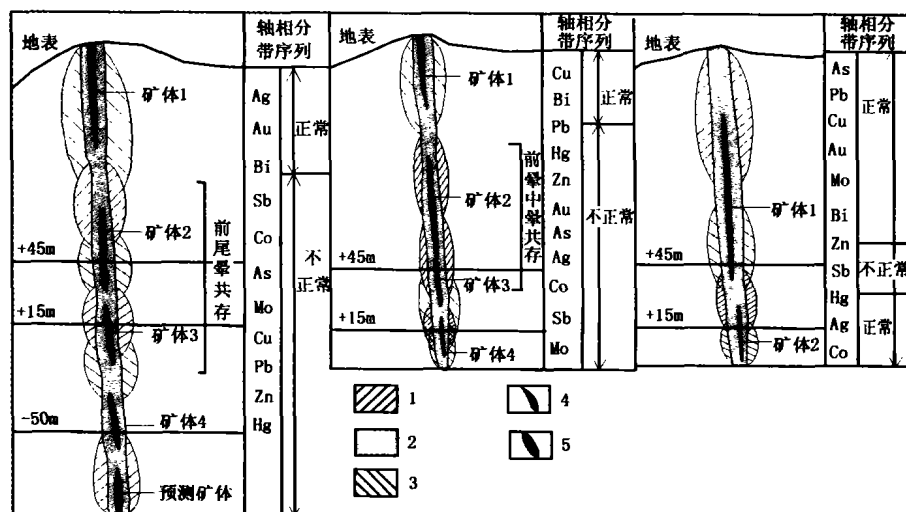


图3 金牛山矿段50~54勘探线西主脉(左)、中主脉(中)、东副脉(右)原生晕叠加图

1—前晕;2—中晕;3—尾晕;4—预测矿体;5—矿体

状,推断矿体延伸约为30~50m,无矿间隔为20~30m;矿体的前晕与中晕共存,表明矿体虽为一个矿体,实则为上下两个矿体首尾相连或叠加,即两者间不存在无矿间隔;正常的几个前晕中晕和尾晕的出现,表明为几个矿体,无矿间隔大。因此本区矿体具有分段集中、尖灭再现的特点。西主脉向下出现前晕,根据反分带准则,在-50m处是一矿体,该矿体向下有较大延伸;而中主脉向下为一前晕尾晕,根据共存准则,即前晕尾晕共存,该处为矿体,则表明下部叠加矿体刚露头,矿体向下延伸还很大;东副脉虽为正常序列,但剥蚀深度浅,推测深部可能有盲矿体存在。

总之,在上述地球化学轴向分带序列、地球化学原生晕轴向分带特点及原生晕叠加特点研究基础上,我们预测金牛山矿段50勘探线西主脉在约-50m以下中主脉在+15m以下有较大延伸,54勘探线东副脉在0m以下可能有盲矿体存在。验证工作目前正在进行中。

[参考文献]

[1] 沈远超,刘铁兵,曾庆栋,等.中国金矿床成矿预测的理论与方法[M].北京:科学出版社,2001,104~128.

- [2] 沈远超,曾庆栋,刘铁兵,等.隐伏金矿定位预测[J].地质与勘探,2001,37(1):1~6.
- [3] 沈远超,张连昌,刘铁兵,等.论层间滑动断层及其控矿作用——以山东胶莱盆地北缘金成矿带为例[J].地质与勘探,2001,37(1):11~14.
- [4] 沈远超,曾庆栋,刘铁兵,等.山东省金矿类型及找矿方向探讨[J].黄金科学技术,1998,6(3):1~5.
- [5] 赵伦山,徐景奎,吴悦斌,等.试论胶东区域地壳演化与金成矿作用的关系[J].现代地质,7(增刊):16~24.
- [6] 孙丰月,石准立,冯本智.1995.胶东金矿地质及幔源C-H-O流体分异成岩成矿[M].长春:吉林人民出版社,1~170.
- [7] 杨敏之,吕古贤.胶东绿岩带金矿地质地球化学[M].北京:地质出版社,1996,141~151.
- [8] 杨忠芳,徐景奎,赵伦山,等.胶东区域地壳演化与金成矿作用地球化学[M].北京:地质出版社,1998,1~25.
- [9] 黄薰德编.地球化学找矿[M].北京:地质出版社,1992,30~62.
- [10] 李惠,张文华,常凤池,等.大型、超大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型[M].北京:冶金工业出版社,1998,8~65.
- [11] 李惠,张文华,刘宝林,等.中国主要类型金矿床的原生晕分带序列研究及其应用准则[J].地质与勘探,1999,35(1):1~13.

STUDY ON DEEP GEOCHEMISTRY AND PREDICTION OF JINNIUSHAN GOLD DEPOSIT IN JIAODONG

SHEN Ping, SHEN Yuan - chao, LI Guang - ming, LI Hou - min, LIU Tie - bing, ZENG Qing - dong
(Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract: Studies on deep geochemistry primary halo of Jinniushan gold deposit in Jiaodong showed that the primary halo of the west main ore vein at 50 line has characteristics of reversed axial zoning sequence, and that the middle main ore vein at 50 line and the east second ore vein at 74 line have characteristics of axial zoning. Therefore, It is considered that underlying part of the west and middle main ore vein at 50 line are deep in -50m and +15m, the east second ore vein at 54 line are possibly superposed by a blind ore - body in deep position.

Key words: primary halo, axial zoning, prediction, gold deposit, Jinjiushan