

文章编号 10258-7106 (2008) 01-0064-07

胶西北上庄金矿床原生晕轴(垂)向分带特征 及深部矿体预测的勘查地球化学标志^{*}

孙华山^{1,2}, 孙 林², 曹新志¹, 王 超¹, 谭 俊¹, 刘福江¹, 杨开春²

(1 中国地质大学, 湖北 武汉 430074 ; 2 山东招金集团, 山东 招远 265400)

摘 要 文章应用格里格良原生晕分带指数方法, 系统研究了上庄金矿单个矿体、矿区等不同取样系统的原生晕轴(垂)向分带特征。结果表明, 上庄金矿床原生晕轴(垂)向分带序列及原生晕叠加模式在矿区范围内比较相似, 因此, 可利用典型矿体原生晕轴(垂)向分带规律来指导矿床内深部矿体的预测。适用于该矿区 - 750 m 以上的原生晕轴(垂)向分带序列为 B(Hg + W + Bi)(As + Mn + Co) Zn(Au + Ag) Pb-Mo。典型矿体原生晕叠加模式显示, 沿垂直方向矿体间断部位原生晕出现头、尾晕同位叠加以及头、尾、近矿晕同位叠加 2 种情况, 并均呈现出地球化学参数的剧烈波动。其中, 前者是下部有盲矿体存在的反映, 而后者则有可能既是深部有盲矿体存在, 也是 2 个矿化带或大矿体间有小矿体存在的反映。依此认识对深部矿体开展了预测, 部分靶区已获得成功验证。

关键词 地球化学, 原生晕分带, 深部预测标志, 上庄金矿, 胶西北

中图分类号 : P618.51

文献标识码 : A

Axial/vertical zoning characteristics of primary halos and geochemical exploration indicators for deep ore body prognosis in Shangzhuang gold deposit, northwest Jiaodong peninsula, Shandong Province

SUN HuaShan^{1,2}, SUN Lin², CAO XinZhi¹, WANG Chao¹, TAN Jun¹,
LIU FuJiang¹ and YANG KaiChun²

(1 China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2 Shandong Zhaoyuan Group Co. Ltd.,
Zhaoyuan 265400, Shandong, China)

Abstract

The detection of ore bodies in the deep or outer parts of the resource-crisis mine is an urgent task in geological work of China. However, the adoption of most effective methods for exploration breakthrough remains an unsolved problem in ore-search practice. The authors utilized the primary halo zoning index method proposed first by Beus et al. (1977) to make a systematic study of characteristics of axial/vertical primary halo zoning in single ore body and mining area. It is revealed that the primary halo sequence, i. e., the order of element enrichment from the upper part to the lower part in the axial/vertical direction of the ore body, is stable within the mine area, and so does the primary halo superimposed model. Therefore, the utilization of the primary halo zoning sequence of a typical ore body to guide the deep metallogenic prognosis of other ore bodies in the mining area

^{*} 本文得到山东招金集团博士后研究课题、第三十九批中国博士后科学研究基金、山东省博士后择优资助基金及中国地质大学地质过程与矿产评价国家重点实验室开放基金的联合资助

第一作者简介 孙华山, 男, 1969 年生, 矿产普查与勘探专业博士后, 主要从事矿产勘查与评价方面的教学和科研工作。E-mail : sunhsh@cug.edu.cn

收稿日期 2007-01-05 ; 改回日期 2007-08-30。许德焕编辑。

seems to be an effective means. The primary halo zoning sequence suitable for the mining area above -750 m level is $\text{B}-(\text{Hg} + \text{W} + \text{Bi})-(\text{As} + \text{Mn} + \text{Co})-\text{Zn}-(\text{Au} + \text{Ag})-\text{Pb}-\text{Mo}$. In addition, the primary halo superimposed model from a typical ore body shows that there appear two circumstances between two ore bodies, one is the in-place superimposition of the trail halos and the front halos, and the other is the in-place superimposition of the front, trail and near-ore halos. The former might indicate the existence of other ore bodies underneath, whereas the latter might indicate the existence of not only blind ore bodies below the known ore body but also small ore bodies between two large ore bodies. Some metallogenic prognostic targets delineated on the basis of such consideration were successfully verified.

Key words: geochemistry, primary halo zoning, metallogenic prognosis of deep ore body, Shangzhuang gold deposit, northwest Jiaodong peninsula

上庄金矿床是胶西北金矿集中区的一个中型矿床,截至到 2003 年底,累计探明 C+D 级储量 18 t 余,目前已开采约 15 t,其保有储量尚可服务年限不足 1.5 年(该矿山内部资料)。本次工作之前,针对已知矿体深部找矿曾先后开展过可控源音频大地电磁测深(CSAMT)和综合地质研究与找矿工作(王郁等 2003),但找矿效果均不理想。2004 年,该矿山在 $-350\sim-850\text{ m}$ 区间内投入了大量钻探工程,在已知的 II、VIII 号矿体的深部发现有深部矿体存在,但在已知的 III、IX 号矿体深部,找矿效果并不理想。因此,笔者选择化探原生晕方法对深部矿体开展成矿预测工作,以期对矿山进一步增加储量提供帮助。

1 矿床地质特征概述

上庄矿区位于胶东招远与莱州交界地区的焦家—新城金矿田、焦家断裂带的分支断裂——上庄—望儿山断裂的北段(图 1)。在上庄一带,该断裂的北段复合叠加在郭家岭花岗闪长岩与玲珑黑云母花岗岩的接触带上,其南段则切过玲珑花岗岩。矿区构造研究表明,矿区断裂至少经历了早期的韧性剪切变形、中期(成矿前)的左旋压扭性剪切变形、中晚期(矿化期)的右旋张扭性剪切变形及晚期(成矿后)的左旋压扭性变形,形成了宽达几十米至百余米的韧性叠加的构造岩带,为成矿流体提供了良好的通道和沉淀场所。

在上庄矿区 $+40\sim-250\text{ m}$ 标高内,自 SW 至 NE 依次产出 III、VIII、X、IX、II 号矿体(图 2)。诸矿体在空间上大致呈近等间距分布,主要位于断层主裂面的上、下盘附近,其产状与主裂面基本一致,倾角一般为 30° 左右。矿体形态简单,多呈脉状、透镜状,有的局部膨大而呈囊状,一般长数十米,厚度为

0.5 m 至逾 10 m ,沿倾向延伸 $250\sim300\text{ m}$,延伸远大于延长。矿体向 SW 侧伏,侧伏角 $60\sim70^\circ$ 。2004 年以来,先后在 VIII、II 号矿体深部 $-400\sim-700\text{ m}$ 标高内发现了 2 个新矿体,分别为 XI 号及 XII 号矿体。现将 $+40\sim-250\text{ m}$ 标高内的矿体群(包括 III、VIII、X、IX、II 号矿体)称为第 1 矿化富集带,将 $-400\sim-700\text{ m}$ 标高内的矿体群(包括 XI、XII 号矿体)称作第 2 矿化富集带,两带间相隔 $150\sim200\text{ m}$ (图 2)。

矿石类型及矿物组合 上庄矿区内的矿石类型可分为浸染状黄铁绢英岩型、细脉浸染状黄铁绢英岩质碎裂岩型、网脉状黄铁绢英岩化碎裂花岗岩型,工业类型为低硫银金矿石。矿石的矿物成分较为简单,金属矿物主要为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿,非金属矿物主要为石英、绢云母、长石、碳酸盐矿物。金矿物主要为银金矿,呈显微—次显微粒状,主要以裂隙金形式赋存在黄铁矿和石英内。

矿石结构 矿石结构以碎裂结构、填隙结构为主,次为包含结构和交代结构;矿石构造以脉状、细脉状、浸染状为主,还发育有交错脉状、网脉状、角砾状构造。

矿化阶段 根据矿脉的相互穿插关系以及矿物形成的先后次序,将成矿阶段划分为:Ⅰ—黄铁矿—石英阶段;Ⅱ—石英—黄铁矿阶段;Ⅲ—石英—多金属硫化物阶段;Ⅳ—黄铁矿—碳酸盐矿物阶段。其中,Ⅱ和Ⅲ阶段是金矿的主要成矿阶段。

围岩蚀变 主要蚀变类型为黄铁绢英岩化、硅化、绢云母化、钾化和碳酸盐化。其中,前 2 类蚀变与金矿化空间关系最为密切;最有利的赋矿围岩为黄铁绢英岩化花岗质碎裂岩。不同的蚀变类型在空间上往往叠加出现,分带现象不明显,通常,蚀变叠加越强烈,矿化也越好。

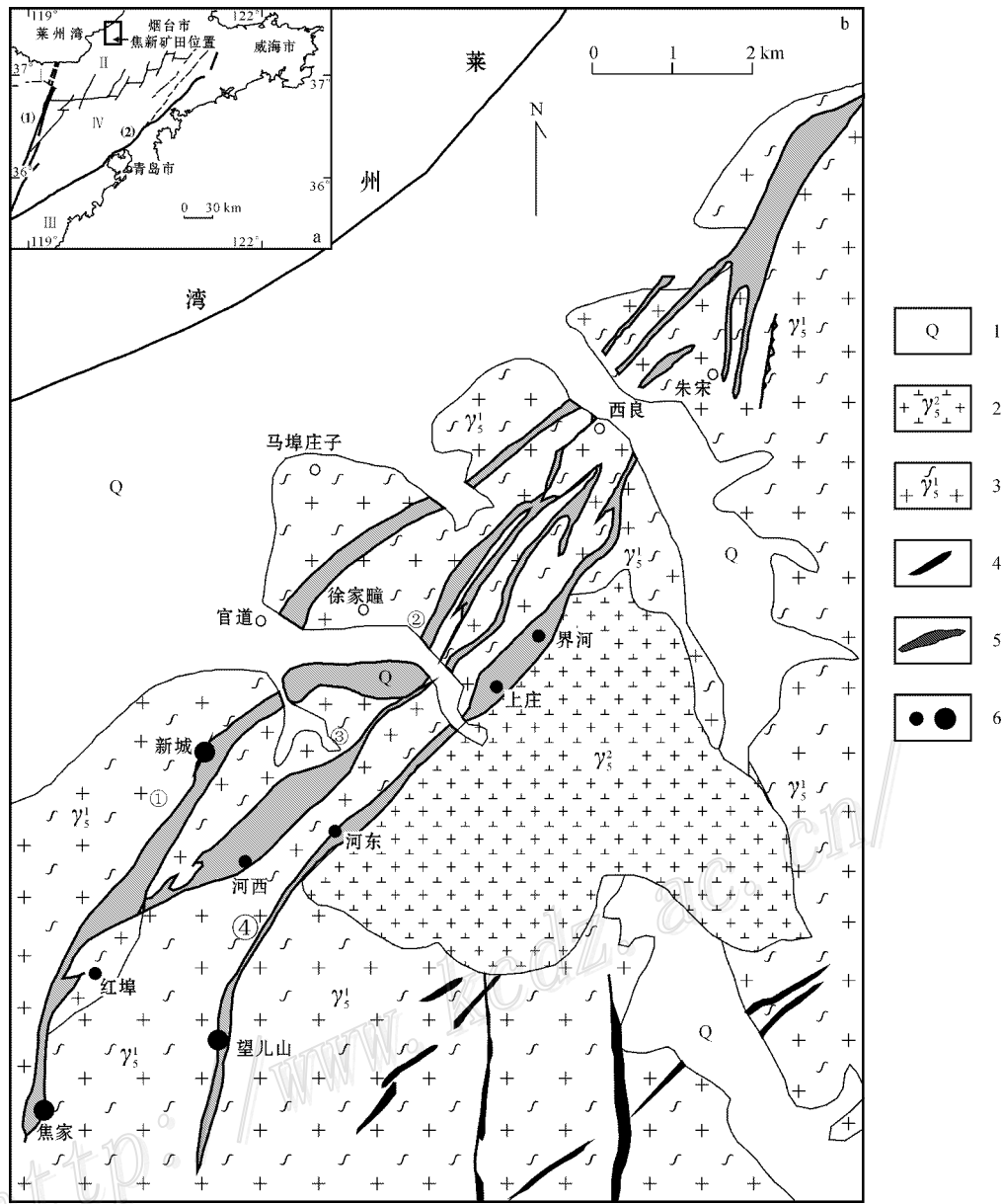


图 1 焦新金矿田地地质略图^①(大地构造位置图据刘玉强等,1999 修编)

a. 焦新矿田大地构造位置示意图: I—鲁西地块; II—胶北隆起; III—胶南隆起; IV—胶莱盆地 (1)—郯庐断裂带 (2)—五荣断裂带;
b. 焦新矿田地地质略图: 1—第四系 2—郭家岭花岗岩 3—玲珑片麻状花岗岩 4—中基性脉岩 5—断裂破碎蚀变岩带;
6—大、中型金矿床 ①—焦家断裂带 ②—东庄子断裂带 ③—侯家断裂带 ④—望儿山断裂带

Fig. 1 Simplified geological map of Jiaoxin gold ore field (Tectonic location map modified from Liu et al, 1999)
a. Tectonic location of Jiaoxin ore field: I—Luxi block; II—Jiaobei uplift; III—Jiaonan uplift; IV—Jiaolai basin; (1)—Tanlu fault belt; (2)—Wurong fault belt; b. Geological sketch map of Jiaoxin ore field: 1—Quaternary; 2—Guojialing granodiorite; 3—Linglong gneissose granite; 4—Intermediate-basic vein rock; 5—Faulted-fractured altered rock belt; 6—Large-middle size gold deposit; ①—Jiaojia fault belt; ②—Dongzhuangzi fault belt; ③—Houjia fault belt; ④—Wang'er Mountain fault belt

2 原生晕轴(垂)向分带

2.1 取样原则及样品系统

由于原生晕一般在矿体及围岩中具有良好的分

带性,并且近矿晕与远矿晕在元素组合上具有显著的差异。因此,为便于对比分析,本次采样统一取矿体轴线附近距矿体底板 1 m 左右的近矿晕样品,采用连续刻槽取样,样长 1 m,样距 15 m。按此原则,在Ⅷ号矿体6、9、10、11、12、13、14中段采集样品28

① 朱向泰. 2002. 招远市上庄金矿徐家疃矿段金成矿远景评价. 科研报告(内部资料).

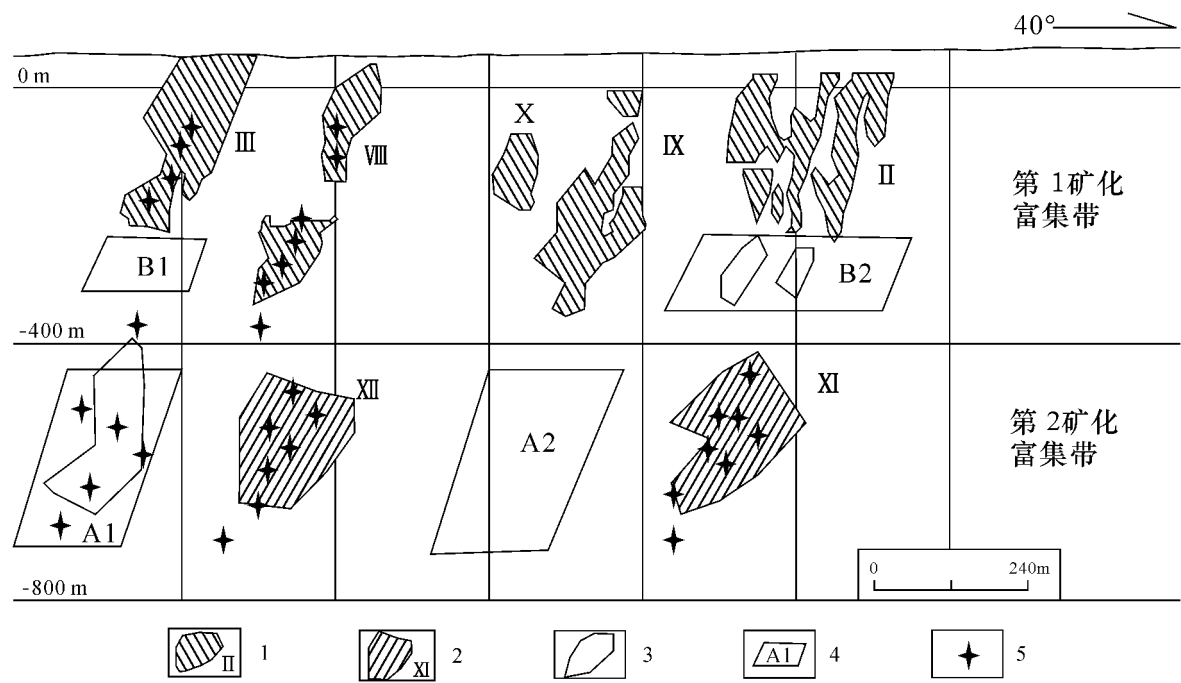


图 2 上庄金矿床矿体纵投影分布图

1—已开采的矿体及编号；2—2004 年探明的矿体及编号；3—本次工作探明的矿体；4—预测靶区及编号；5—采样位置

Fig. 2 Lognitudinal project map of ore bodies in Shangzhuang gold deposit

1—Mined ore body and its serial number ; 2—Ore body discovered in 2004 and its serial number ; 3—Ore body discovered in this study ; 4—Prognostic area and its serial number ; 5—Sampling location

个,在Ⅲ号矿体 9、10、11 中段采集样品 12 个。为研究深部矿体原生晕的变化特征,本次工作对揭露Ⅲ、Ⅷ和Ⅱ号矿体深部的钻孔岩芯副样进行了采样。为便于对比,尽可能选择位于矿体轴向附近的钻孔。所有见矿钻孔采样位置一般距矿体底板 1 m 左右,未见矿钻孔采样位置一般布置在附近见矿钻孔矿体底板连线的延伸线上,共采集样品 74 个(图 2)。

根据采样位置的分布情况,构建如下样品系统:

(1) Ⅷ号矿体轴(垂)向样品系统:由Ⅷ号矿体第 1 矿化富集带中段样品与其深部第 2 矿化富集带轴(垂)向钻孔样品构成,用于研究Ⅷ号矿体原生晕轴(垂)向分带特征。

(2) Ⅲ号矿体轴(垂)向样品系统:由Ⅲ号矿体第 1 矿化富集带中段样品与其深部第 2 矿化富集带钻孔样品构成,用于研究Ⅲ号矿体原生晕轴(垂)向分带特征。

(3) 矿区垂向样品系统:将Ⅲ、Ⅷ号矿体第 1 矿化富集带中段样品合成上部矿体样品系统,将所有深部第 2 矿化富集带钻孔样品(Ⅲ号矿体深部+Ⅷ号深部矿体+Ⅱ号深部矿体)合成深部矿体样品系统,将上部矿体样品系统与深部矿体样品系统合成

为矿区样品系统,用于研究矿区原生晕垂向分带特征。

样品分析由冶金工业部保定物化探研究所测试中心承担。分析的主要指示元素为 B、As、Hg、Sb、Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mn、W、Co、Mo。分析 As、Hg、Sb、W 的方法为原子荧光分析法,对其余元素采用原子吸收分析法。

2.2 原生晕轴(垂)向分带序列

按照格里格良提出的原生晕分带指数方法(Beus et al., 1977),分别计算出上述不同样品系统的原生晕分带指数,并按元素分带指数的最大值确定出元素在分带序列中的位置(表 1)(因篇幅所限,本文未列出分带指数)。

由表 1 可见,不同样品系统所得出的原生晕分带结果尽管个别元素在分带序列上有变化,但由元素组合构成的总体序列基本一致,表现为:

(1) 第 1 矿化富集带(-350 m 以上) 矿体相对富集典型高温热液元素组合(或称尾部晕指示元素组合)W-Bi-Co-Mo 并叠加有典型低温热液元素组合(或称头部晕指示元素组合)Hg-As,此外,高温热液挥发性组分 B 在第 1 矿化富集带的矿体上部均较富集。

表 1 上庄金矿原生晕轴(垂)向分带序列

Table 1 Primary halo axial/vertical zoning sequence in Shangzhuang gold deposit

样品系统	原生晕轴(垂)向分带序列	代表深度
Ⅲ号矿体	B(Hg + W + Bi)(As + Mn + Co)(Zn + Pb + Ag)-Au-Mo	- 110m ~ - 730m
Ⅷ号矿体	B(Hg + Au + W + Bi)(As - Zn + Co)-Mn-Mo-(Pb + Ag)	- 110m ~ - 730m
矿区	B(Hg + W + Bi)(As + Mn + Co)-Zn(Au + Ag)-Pb-Mo	- 110m ~ - 730m

(2)第2矿化富集带(-400 m 以下) 矿体相对富集典型中低温热液元素组合(或称近矿晕指示元素组合)Pb-Zn-Au-Ag,典型高温热液元素组合(或称尾部晕指示元素组合)W-Bi-Co在下部矿体相对贫化。

(3)单个矿体(Ⅲ、Ⅷ号矿体)轴(垂)向样品系统原生晕分带序列与矿区轴(垂)向样品系统原生晕垂直分带序列相比:第1矿化富集带(-350 m 以上)内2个原生晕在元素组合顺序及分带序列上完全一致,均为B(Hg + W + Bi)(As + Mn + Co);第2矿化富集带(-400 m 以下)内2个原生晕在元素组合顺序及分带序列上略有差异,Ⅲ号矿体原生晕垂向分带序列为(Zn + Pb + Ag)-Au-Mo,矿区原生晕垂向分带序列为 Zn(Au + Ag)-Pb-Mo, Au、Pb 元素在垂向序列中位置互换。但两者总体表现为中低温热液元素组合或近矿晕指示元素组合的特征,除 Mo 外,典型尾部晕指示元素的叠加不明显。

(4)Ⅲ号矿体轴向样品系统原生晕分带序列与Ⅷ号矿体轴向样品系统原生晕分带序列相比:虽然 Au 在两个序列中位置不同,但其在两个矿化富集带内部相对富集的部位没有变化(Ⅷ号矿体 Au 在第1矿化富集带-320 m 水平最富集,在第2矿化富集带-580 m、-640 m 水平次富集;Ⅲ号矿体 Au 在第2矿化富集

带-610 m、-640 m 水平最富集,在第1矿化富集带-290 m、-320 m 水平次富集),由此说明,该矿床内单个矿体的原生晕轴向分带的差异不大。

3 典型矿体原生晕轴(垂)向叠加模式

本次工作中以Ⅷ号矿体采样最系统,以下就以该矿体为例构建典型矿体原生晕叠加模式,同时利用部分指示元素构建地球化学参数,揭示部分深层次成矿信息。

图3为Ⅷ号矿体原生晕叠加模式,由图可见,对应于Ⅷ号矿体两处间断部位(-200 m 附近和-350 ~ -400 m 附近),头部晕指示元素和尾部晕指示元素叠加出现高峰。其中,-200 m 附近头尾晕叠加程度相对较小,而-350 ~ -400 m 附近头尾晕叠加程度非常明显。-200 m 附近出现头尾晕小规模叠加后,沿其轴向向下间隔30余m,出现一个延伸约100 m 的矿体;-350 ~ -400 m 附近头尾晕强烈叠加后,沿其侧下方出现一个延伸约300 m 的矿体。由此可见,该矿床,在矿体间断部位普遍形成头尾晕的叠加,并且头尾晕叠加的规模与其下隐伏矿体的规模呈正相关。

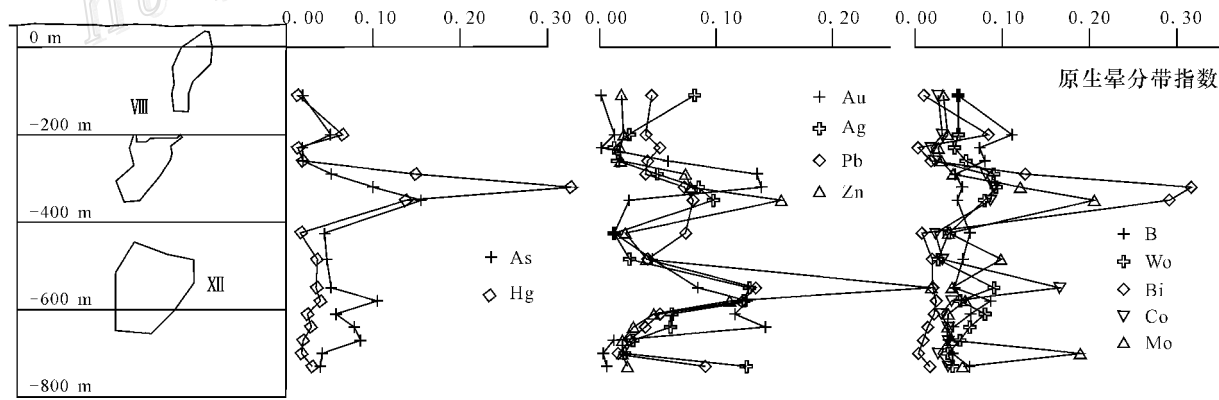


图 3 上庄金矿床典型矿体原生晕叠加模式

Fig. 3 Superimposed primary halo model of typical ore body in Shangzhuang gold deposit

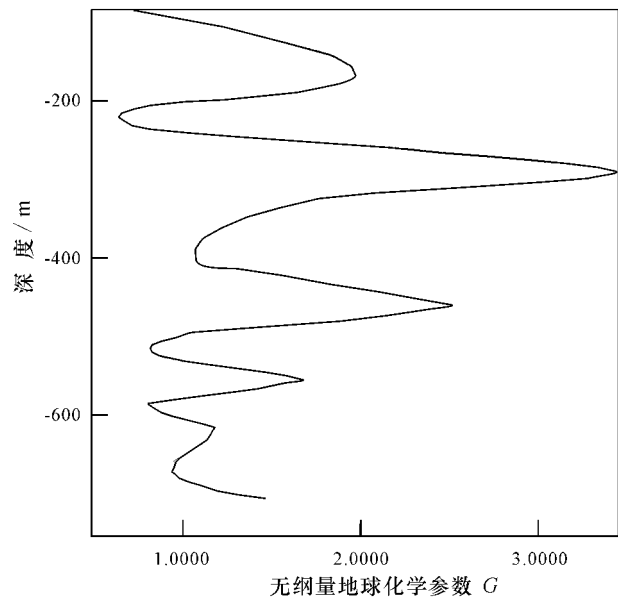


图 4 上庄金矿床Ⅷ号矿体垂向地球化学参数变化曲线
(G 的含义见正文)

Fig. 4 Fluctuation curve of geochemical parameters in vertical direction of No. 8 ore body in Shangzhuang gold deposit
(For meaning of geochemical parameter G see the text)

图 4 是Ⅷ号矿体轴（垂）向地球化学参数变化曲线。地球化学参数 G 为：

$$G = \frac{As + Hg}{W + Bi + Mo}$$

在此，G 表示矿上晕元素相对于矿下晕元素的发育程度，G 值越大，反映出矿体头部晕特征越明显，深部矿体存在的可能性越大；反之，则反映出矿体尾部晕特征发育，深部存在矿体的可能性越小。

由图 4 可见，对应于 -200 m 附近和 -350 m 附近两处矿体间断部位，G 值对应两处波峰位置，其中，-350 m 附近的 G 值波峰明显高于 -200 m 附近的波峰，因此，-400 m 以下尖灭侧现的矿体规模也比 -200 m 以下尖灭再现的矿体规模大（图 3）。此外，值得指出的是，Ⅷ号矿体的地球化学参数变化曲线总体上呈强烈振荡波动状，波峰与波谷相间排列，结合该矿床成矿具有多期多阶段的特点，说明其地球化学参数 G 的强烈振荡波动恰恰是成矿多期多阶段的一种反映，是多期多阶段反复叠加的结果。该矿床原生晕轴（垂）向地球化学参数的叠加结构与李惠等（1999）总结的金矿床轴（垂）向地球化学参数叠加结构的理想模型中的 F 类型相近，说明每一次 G 值升高都指示矿体向下有延伸，因此，矿体总体而言向下延伸较大。

4 深部矿体预测的原生晕指示

通过上述原生晕轴（垂）向分带特征的研究，笔者认为，上庄金矿原生晕分带具有较明显的规律性，并可运用于深部矿体的成矿预测。

（1）上庄金矿床原生晕轴（垂）向分带序列相对稳定，表现为：① 矿区原生晕分带与矿体原生晕分带的差异不大；② 不同矿体的原生晕轴（垂）向分带的差异亦不明显。因此，通过对典型矿体原生晕分带特征的剖析，已总结出适用于该矿区 -750 m 以上的原生晕轴（垂）向分带序列为 B（Hg + W + Bi）-（As + Mn + Co）-Zn（Au + Ag）-Pb-Mo，并将其作为深部矿体预测的标志。

（2）该矿床原生晕分带呈现叠加晕特征，单一的头部落→近矿晕→尾部晕组合已不存在，表现为：① 在原生晕轴（垂）向序列中，第 1 矿化富集带以头部落和尾部晕叠加为特征，第 2 矿化富集带以头部落和近矿晕叠加为特点，说明矿体向下还应具有相当长的延伸；② 在典型矿体原生晕叠加模式中，矿体间断部位普遍出现头部落和尾部晕的叠加；③ 地球化学参数变化曲线呈强烈振荡形式，多处出现头部落的叠加，反映了成矿作用的多期多阶段特点。

（3）该矿床原生晕叠加模式可进一步分为 2 种情况：① 头部落和尾部晕同位叠加，并且叠加的程度相对较弱；② 头部落、近矿晕和尾部晕同位叠加，并且叠加的程度相对较强。前一种情况对应于两个矿体间的间隔相对较小，如Ⅷ号矿体 -200 m 附近的情况，其下有隐伏矿体存在，但矿体规模相对较小；后一种情况对应于两个矿体间的间隔相对较大，如Ⅷ号矿体 -350 ~ -400 m 附近的情况，不仅下部存在较大的矿体，而且大矿体之间可能还有小矿体存在。由于小矿体规模小，不利于热液原生晕分带的形成，故此出现头部落、近矿晕和尾部晕同位叠加。因而，不应忽视这一现象的存在，应加强两个矿化富集带间的勘查工作。

应用上述原生晕分带规律及深部矿体预测标志，圈定出深部矿体预测靶区（如图 2 所示）。迄今，经工程验证，分别在Ⅲ号矿体深部 -400 ~ -700 m 空间范围、第 1 矿化富集带Ⅱ号矿体底部 -240 m 中段，发现了工业矿体。

5 结 论

本文系统研究了上庄矿区单个矿体及矿区原生晕轴(垂)向分带的变化特征,结果显示,矿区原生晕轴(垂)向分带稳定,可应用单个矿体的原生晕轴(垂)向分带规律来指导矿区深部矿体的预测,并取得良好效果。同时,本文详细剖析了Ⅷ号矿体的原生晕叠加模式,指出了头尾晕叠加在该矿床矿体间隔部位广泛发育,以及头尾晕叠加可作为深部矿体成矿预测的重要依据。此外,值得强调的是,笔者首次提出了头部晕、近矿晕和尾部晕同位叠加,有可能既是深部有盲矿体存在,也是两个矿化带或大矿体间有小矿体存在的反映,因此,在今后的找矿工作中,应引起高度重视。依据上述认识,开展了深部矿体预测,部分靶区已成功得到工程验证。同时,笔者及前人成功的深部矿体找矿实践均表明,化探原生晕方法不失为一种金矿床深部找矿的有效手段。

致 谢 在野外工作及室内数据处理与解释过程中,始终得到中国地质大学地学院蒋敬业教授的悉心指导,中国地质大学资源学院魏俊浩教授也为本项工作的顺利实施提出了很多合理化建议,在此作者深表谢忱!

References

- Beus A A and Grigorian S V. 1977. Geochemical exploration methods for mineral deposits[M]. Wilmette, Illinois: Applied Publishing Ltd. 1~287.
- Li H, Zhang W H, Liu B L, Wang J C and Guo R D. 1999. The study on axial zonality sequence of primary halo and some criteria for the application of this sequence for major types of gold deposits in China[J]. *Geology and Prospecting*, 35(1): 32~35 (in Chinese with English abstract).
- Liu Y Q, Yang D L, Huang T L, Li J and Shi H. 1999. Geological characteristics and ore-prospecting targets in gold deposits of Jiaolai basin, Shandong province[J]. *Mineral Deposits*, 18(3): 195~207 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y, Chen J S, Luo W Q, Li J D, Yang K C and Zuo H W. 2003. Ore controlling structural characteristics and the structural simulation in Shangzhuang gold mine[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 18(1): 51~54 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 李 惠, 张文华, 刘宝林, 王敬臣, 郭瑞栋. 1999. 中国主要类型金矿床的原生晕轴向分带序列研究及其应用准则[J]. *地质与勘探*, 35(1): 32~35.
- 刘玉强, 杨东来, 黄太岭, 李 军, 史 辉. 1999. 山东胶莱盆地金矿床地质特征及找矿方向[J]. *矿床地质*, 18(3): 195~207.
- 王 郁, 陈建设, 罗文强, 李军典, 杨开春, 左宏伟. 2003. 蚕庄金矿上庄矿区控矿构造特征及构造模拟[J]. *地质找矿论丛*, 18(1): 51~54.