

陕西省凤县铅硐山大型铅锌矿床原生异常分带及分带指数

黄转莹^{1,2}, 路润安²

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放研究实验室, 贵阳 550002;

2. 西北有色地质勘查局物化探总队, 西安 710068)

[摘要] 经对陕西省凤县铅硐山矿床原生异常的分带性及分带指数进行研究, 认为铅硐山矿床原生异常具有明显的分带性, 垂向序列(从上到下)为: SHg - Zn - THg - As₁ - Cd - (Cu - Ga, Ge) - Pb - Ag - As₂ - Au。分带指数具有明显变化规律, 分带指数可用于深部及外围成矿预测。

[关键词] 原生异常 分带序列 分带指数 成矿预测 铅硐山

[中图分类号] P618.42; P618.43 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2003)03-0039-06

一般热液矿床具有明显的原生异常分带性, 热液矿床原生异常分带性及分带指数是前苏联学者 C B 格里戈良等人提出并进行研究的一种地球化学预测方法^[1], 我国学者先后对原生异常分带性及分带指数进行了深入研究, 并提出了一些改进和新方法^[2-8]。在地质成矿模式和成晕地球化学模式研究的基础上, 欧阳宗圻等^[9]提出了建立成矿—成晕地球化学模式的新思路, 分别从成矿系列、矿床(矿田)、矿体和原生成晕结构的次生循环模式等 4 个层次进行了系统研究。方维萱^[10-11]运用该思路对陕西凤县多金属矿床及小秦岭金矿进行了研究, 在成矿成晕模式基础上提出并建立了地质地球化学预测系统、异常优选排队与评价的新方法, 取得了显著的效果, 研究和建立地质地球化学预测系统是勘查地球化学发展的重要方向。与具有明显的原生晕垂向分带的典型热液矿床不同(如云南个旧锡多金属矿床^[12]), 前人^[13]认为热水沉积—改造型层控矿床的原生异常不具有分带性, 但原生异常分带性是成矿分带规律的地球化学反映, 从热水沉积成因的多金属矿床具有成矿分带、后期构造改造和热液叠加成矿等因素看, 可能部分热水沉积—改造型层控矿床应具有分带性。铅硐山大型铅锌矿床属典型的热热水沉积—改造型层控矿床^[14-15], 本文以铅硐山大型铅锌矿床为例, 研究和探讨热水沉积—改造型层控铅锌矿床的原生异常分带性及其分带指数变化规

律。本研究对铅硐山钻孔、坑道和探槽等不同中段进行系统采样分析^[16]。

1 地质特征

秦岭造山带凤太泥盆纪一级拉分盆地中已发现一批大型—超大型金—多金属矿床, 铅硐山大型铅锌矿床位于该盆地西部凤县二级沉积盆地中的双石铺—铅硐山三级热水沉积成矿盆地中^[18-19]。含矿层位为中泥盆统古道岭组 and 上泥盆统星红铺组之间发育的热水沉积岩(相)^[14-15, 19-21], 该矿床受背斜构造控制明显, 矿体主要赋存于铅硐山背斜北翼(I号矿化带)、南翼(II号矿化带)和倾伏端, 沿古道岭组和星红铺组接触部位发育控制矿体分布的层间断裂, 矿体受NW向断裂破坏。I号矿体产于铅硐山背斜北翼及分枝小背斜轴部, 走向近东西向, 倾角 55°~79°, 长 1067 m, 厚 0.12~24.2 m, 平均 8.74 m, 延深 454 m; II-1号矿体倾向南西, 倾角 72~80°, 长 477 m, 厚 0.21~33.76 m, 平均厚度为 12.16 m, 延深 475 m; 矿体呈似层状和透镜状, 与围岩整合接触^[15]。原生矿物有闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、毒砂、黝铜矿、菱铁矿。氧化矿物有褐铁矿、赤铁矿、铅矾、白铅矿、菱铁矿、孔雀石、异极矿。脉石矿物有铁白云石、方解石、石英。围岩蚀变主要为铁白云石化、碳酸盐化和硅化。

2 原生异常特征

[收稿日期] 2002-10-15; **[修订日期]** 2003-02-10; **[责任编辑]** 曲丽莉。

[基金项目] 国家重大基础研究规划项目(编号:2001CB409805)资助。

[作者简介] 黄转莹(1961年-), 女, 1983年毕业于秦皇岛冶金地质职工大学, 工程师, 现主要从事勘查地球化学工作。

2.1 指示元素

通过模糊聚类分析,将元素划分为三大类:①Ti、V、Cr、Ni;②Pb、As、Sb、Zn、Ba、Co;③Zn、Cd、Mn、Cu、Sr、Ni。第①类与成矿无关,主要反映地层特征,第②和③类反映成矿元素组合。从表1可以看出初始因子载荷为:F1:Pb、Zn、Cu、As、Sb、Cd、Mn(Sr);F2:Cu、Ti、Cr、V、(Sr);F3:As、Cu。F1反映早期热水沉积的成矿元素组合;F2代表碎屑岩的成分反映,地层因子的元素组合,说明在成矿过程中部分Cu由地层提供物质来源;F3:在后期改造热液过程中常形成毒砂—石英—黝铜矿—铁白云石—黄铜矿,所以该因子可能代表后期热液改造因子。结合矿石中元素含量特征,选择该矿床的找矿指示元素为:Cu、Pb、Zn、Ag、Hg、As、Sb、Cd、Mn、Ba、Sr、F、Ga、Ge;特征找矿指示元素为:Cu、Pb、Zn、Ag、Hg、As、Sb、Cd;间接指示元素为:Mn、Ba、Sr、F等。

表1 初始因子载荷表

变量	F1	F2	F3	F4
Pb	0.889	0.042	0.135	-0.384
Zn	0.741	0.138	-0.035	-0.554
Cu	0.417	0.575	0.543	0.251
Sr	-0.566	-0.566	-0.242	-0.169
As	0.493	-0.022	0.678	0.339
Sb	0.787	0.146	-0.207	-0.161
Cd	0.724	0.218	-0.355	0.381
Mn	0.894	0.105	0.282	0.137
Ti	-0.457	0.830	0.197	-0.096
Cr	-0.297	0.889	-0.028	-0.046
V	-0.532	0.780	0.167	-0.119
累计百分率	41%	67%	78%	86%

2.2 异常空间形态特征(图1)

1)Pb、Zn、As、Hg异常在剖面上基本是一同心状围绕矿体分布。Zn、Hg异常在矿体上方顺层延伸,在矿体上部—中部形成浓集中心,向矿体下部Zn、Hg异常逐渐减弱,其异常的宽度比矿体大1~2倍,围绕矿体形成较为宽阔的Hg原生分散异常。而Pb、Ag异常在矿体上方较弱,向矿体下部规模和强度增加,并形成Pb、Ag的浓集中心,围绕矿体形成范围较大的Ag原生分散异常。Zn、Hg与Pb、Ag的浓集中心在空间上不吻合。

As异常在剖面上形态比较复杂,但总体上范围比矿体要大的多,形成范围较广的As原生分散异常。矿体上方,上部As异常较弱,但在铁方解石化强烈部位,岩石破碎,As异常峰值高,一般在 $50 \times 10^{-6} \sim 100 \times 10^{-6}$,这种异常与Pb、Zn矿化有关。矿

体的下部及侧部,下部形成了As的最大浓集中心,有时以As为主,沿断裂分布,这则反映了毒砂—黄铁矿化变强。在PD₂坑东端,PD₁坑CM₅均可见到大量的毒砂—黄铁矿化,As和Pb—Zn的浓集中心在空间上不一致。

Cd、Cu异常仅限于矿化带中,其分布范围与矿化带的分布范围一致。Cd的浓集中心一般出现在矿体上部,与Zn、Hg基本一致,Cu的浓集中心则出现在矿体的下部—中部。

Ba、Sr和F在矿体及毗邻地段形成一低值区(或称为负异常),Ba、Sr、F均小于 100×10^{-6} 。在近矿围岩中形成明显的高值区,千枚岩中的高值区比灰岩的范围大,峰值高;局部地段Sr为 1000×10^{-6} ,Ba为 12800×10^{-6} ,F为 2000×10^{-6} 。远离矿体(远矿围岩)而进入背景含量。

Mn异常主要反映矿体赋存部位的含矿岩相,基本限定于含矿岩相范围之内,其变化不大。铁白云石化强烈地段,Mn异常增强。

2)在平面上,异常分布、元素组合、强度及规模受褶皱、断层、含矿岩相控制,并因矿体的出露情况而发生变化。异常受褶皱构造控制明显,主要分布于背斜两翼及倾伏端,与矿化带的分布范围基本一致。异常受含矿岩相带的控制,主要沿星红铺组与古道岭组的过渡部位分布。在星红铺地层中,异常较为发育,其宽度可达65~50m,局部可达100~200m,主要与星红铺组的矿化体有关。原生异常的走向与地层中走向断层、褶皱的轴向一致,异常沿其分布,并受后期的断裂破坏,造成异常在平面上不连续。在断裂破碎带中,发育较强的As、F异常。在平面上,沿矿体的纵向方向,元素出现规律性的变化,矿体中部以Zn、Pb、Ag、Hg为主,伴有较强的Cu、Ga、Ge、Cd异常,向两端Cu异常减弱,以Pb、Zn、Ag、Hg为主;再向外则以As为主,伴有Pb、Zn、Hg、Ag的弱异常,毒砂—黄铁矿化的分布有关的异常,如PD₂坑中的东端,PD₁坑CM₅穿脉中毒砂—黄铁矿化强烈。

3)盲矿体上方出现As、Hg、Zn、F异常,并有反映含矿岩相的Mn、Ag弱异常。矿体埋深100~300m时,地表异常中Zn为 $150 \times 10^{-6} \sim 800 \times 10^{-6}$,THg(全汞) $> 0.1 \times 10^{-6}$,SHg(吸附汞) $> 15 \times 10^{-9}$,F $> 1000 \times 10^{-6}$ 。矿体埋深50~100m时,除Zn、Hg、As、F异常外,出现Pb、Ag异常;Zn为 $150 \times 10^{-6} \sim 1000 \times 10^{-6}$,SHg为 $20 \times 10^{-9} \sim 100 \times 10^{-9}$,Ag为 $0.1 \times 10^{-6} \sim 0.3 \times 10^{-6}$,Pb为 $100 \times 10^{-6} \sim$

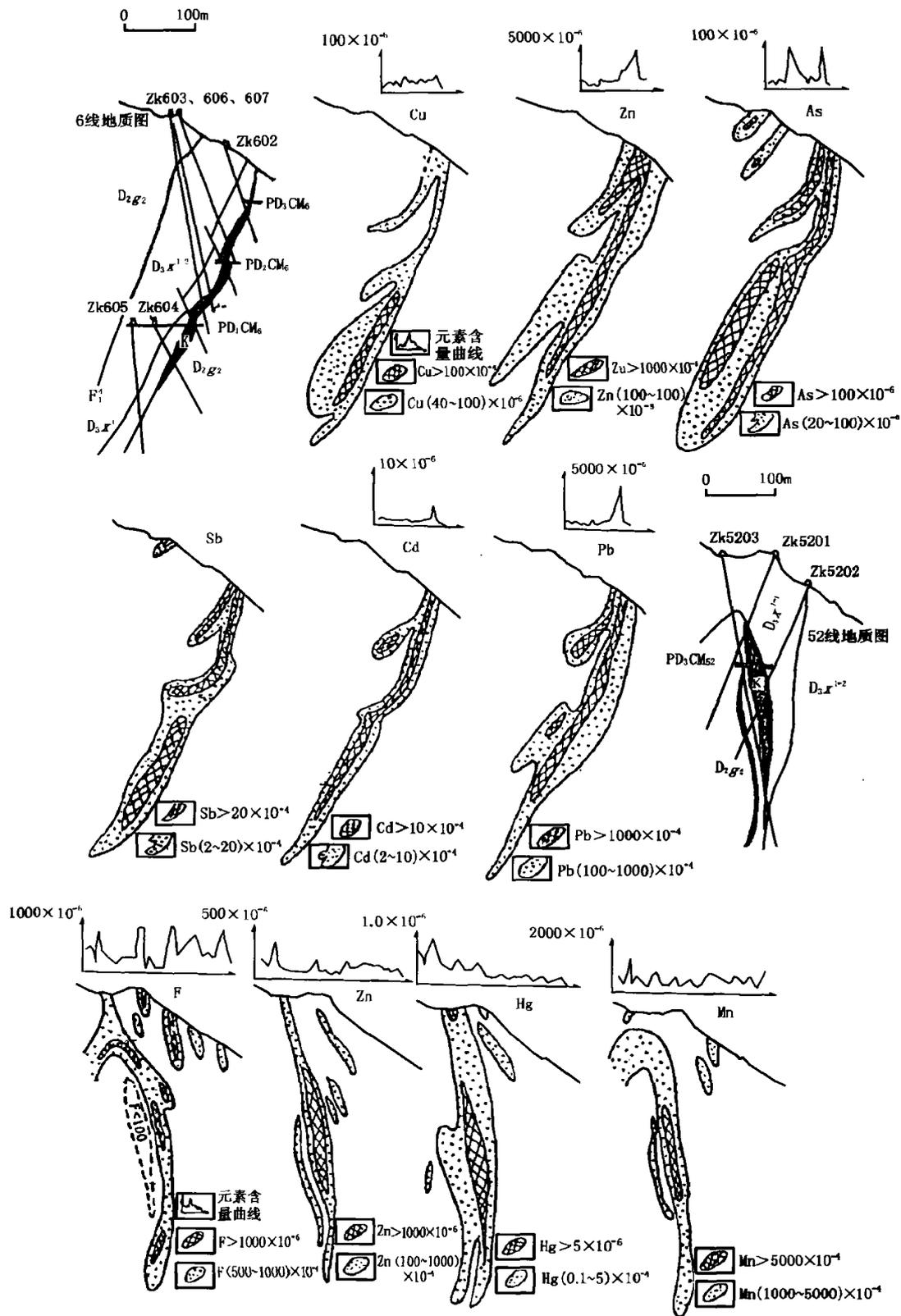


图1 铅硐山铅锌矿床6线、52线原生晕异常剖面图

D_3x^{1-2} —上泥盆统星红铺组绢云母钙质千枚岩; D_3x^1 —上泥盆统星红铺组铁白云质千枚岩、碳质千枚岩; D_2g_2 —中泥盆统古道岭组生物灰岩、含碳生物灰岩、中厚层结晶灰岩;Zk603—采样钻孔位置及编号; F_2^1 —断层及编号;

K—铅锌工业矿体; PD_3CM_6 —采样坑道、穿脉位置及编号

200×10^{-6} , As 为 $20 \times 10^{-6} \sim 100 \times 10^{-6}$, $F > 1000 \times 10^{-6}$; 异常一般出现在铁方解石化强烈部位, 岩石破碎, 常见小断裂及小褶皱, 异常宽度 5 ~ 10 m。地表出露矿体, 同时出现 Pb、Zn、Ag、Hg、As、Cu 的多峰状异常, $(Pb + Zn) > 10000 \times 10^{-6}$ 时, 异常的宽度比矿体露头宽 2 ~ 4 倍, Pb、Zn、Ag、Hg、As 异常范围比较宽大, 处于外带, Cu、Ga、Ge、Cd 异常仅限于矿化带内, 一般反映了矿体的赋存部位。

4) 矿体异常形态为一带状不对称异常, 矿体上部特征指示元素为 Zn、SHg、THg、Cd; 中部为 Cu、Ga、Ge、Cd; 下部为 Pb、Ag、As、Cu; 矿体尖灭部位, 异常以 As、Ag、Hg 为主, 一般不出现 Cu、Pb、Zn 主成矿元素的异常。

3 原生异常的组分分带性

3.1 垂向分带性及其形成机制

铅硐山矿床中, 矿体的平均品位及伴生组分的平均含量在垂向上有明显的变化规律(图 2), Pb、Zn 及 As、Sb、Hg、Cd 含量在垂向上的显著变化表明可能存在原生异常的垂向分带。

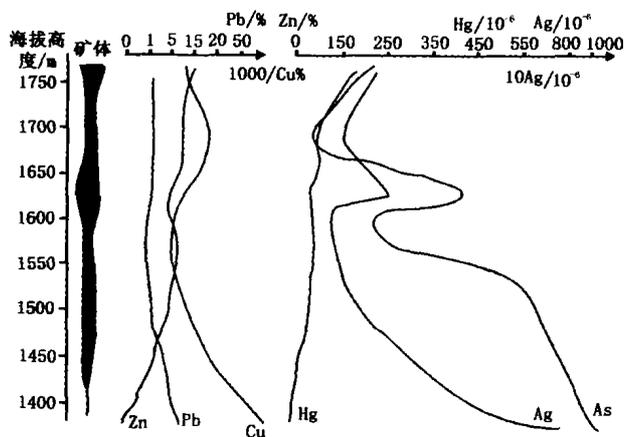


图 2 铅硐山铅锌矿床中矿体平均品位垂向变化图

垂向分带实际是反映元素在空间上的最大浓集部位, 选用 C B 格里戈良法、线金属量梯度法研究异常中元素的垂向分带序列, 得出综合分带序列^[22]:

SHg(吸附汞) - Zn - THg(全汞) - As₁ - Cd - (Cu - Ga、Ge) - Pb - Ag - Sb - As₂、Au。

在综合分带序列中, SHg - Zn - THg - As₁ - Cd 为前缘晕元素组合; (Cu - Ga、Ge) 为矿体中部晕元素组合; Pb - Ag - Sb - As₂、Au 为矿体下部晕元素组合。对这种原生异常的分带性形成机制讨论如下:

1) As 占据分带序列两个位置, As₁ 主要与 Pb、Zn 硫化物有关, As₂ 反映毒砂—黄铁矿化^[10]。不同

标高的黄铁矿中元素含量也有类似的变化规律, 以矿体中下部的黄铁矿中含较高的 As、Ag、Sb 为特征。围岩中的黄铁矿含 Pb、Zn、Cu 均较高, Pb 为 $1100 \times 10^{-6} \sim 7500 \times 10^{-6}$, Zn 为 $370 \times 10^{-6} \sim 1900 \times 10^{-6}$, Cu 为 $190 \times 10^{-6} \sim 290 \times 10^{-6}$ 。矿体中的黄铁矿含 As 为 $4100 \times 10^{-6} \sim 9100 \times 10^{-6}$, 而毒砂—黄铁矿化中的黄铁矿含 As 高达 $20000 \times 10^{-6} \sim 70000 \times 10^{-6}$, 基本上为砷黄铁矿。

2) 贵州牛角塘锌镉矿床中闪锌矿含 Cd 为 1.15% ~ 1.62%, Zn/Cd 值 32.27 ~ 75.25^[24]。本矿床中闪锌矿含 Cd 为 0.2333% ~ 0.2567%^[22], Zn/Cd 值为 266 ~ 238, 与前者相比, 本区闪锌矿中含 Cd 低, 而 Zn/Cd 值大。但在秦岭铅锌矿床中从热水沉积型(Cd = 0.1776%) → 热水沉积—改造型(Cd = 0.2107%) → 热水再造型(Cd = 0.263%) Cd 依次增高^[15]。可以看出随着后期构造再造作用的增强 Cd 发生富集, 本区 Cd 含量介于热水沉积—改造型与热水再造型之间, 暗示在后期改造过程中将热水沉积中 Cd 不具有分带性的特征, 而形成 Cd 的最大浓集部位, 这也是本矿床具有原生异常分带的机制之一。

3) Hg 主要富集在闪锌矿中, 而且后期改造过程形成的脉状铅锌矿石中闪锌矿明显富集 Hg^[22], 在表生氧化过程中由于闪锌矿被氧化形成菱锌矿和异极矿, Hg 被释放形成可迁移态(如 HgO 和 HgCl)沿构造裂隙上升迁移到近地表, 被土壤吸附形成 SHg(吸附汞)异常, 所以 SHg(吸附汞)在分带序列中位于最前缘, SHg(吸附汞)异常也是寻找盲矿体的重要指标之一。

4) Pb - Ag - Sb 为矿体下部异常元素组合, 秦岭热水沉积型铅锌矿床中方铅矿含 Ag 为 491×10^{-6} , 而热水沉积改造型 Ag 为 745×10^{-6} , 显然后期改造过程中方铅矿中 Ag 发生明显富集; 方铅矿为 Ag 的主要富集矿物之一^[22], 而银黝铜矿及银锑硫化物, 主要分布于方铅矿富集部位, 并与方铅矿密切共生或包裹于方铅矿之中而呈显微粒状, 银黝铜矿及银锑硫化物多形成于后期改造过程中; 由于方铅矿(密度为 7.4 ~ 7.6 g/cm³)比闪锌矿(密度为 3.9 ~ 4.2 g/cm³)具有较大的密度和塑性流变的特点, 在铅硐中背斜形成过程中可能造成方铅矿向背斜两翼及倾伏端的深部发生塑性流动, 因闪锌矿中富集 Cd、Hg; 方铅矿中富集 Ag、Sb, 由于方铅矿和闪锌矿在空间上的相互分离, 也就形成了 Zn - THg(全汞) - Cd 和 Pb - Ag - Sb 的浓集中心部位在空间上发生

相互分离,这正是原生异常分带性的矿物-地球化学实质。

5) 铅铜山 I 号矿体铅锌平均品位和伴生组分的平均含量变化在垂向上具有明显的规律(图 2),而原生异常及其分带序列正是这种规律的地球化学体现,也为应用分带指数进行地球化学预测提供了地球化学和矿床学依据。

3.2 纵向分带性

纵向分带反映了原生异常沿矿体走向上的变化规律。通过对铅铜山 I、II 号矿体的研究,得出如下纵向分带序列(从矿体中心向两端):Cu - Pb - Ag - Cd - Hg - Zn - As。这种分带实际上反映了矿物的纵向分带,如 PD₂ 坑从矿体中心向东端,在 CM₅₀ 穿脉所见到的矿物组合为闪锌矿-方铅矿-黄铜矿-黄铁矿(毒砂),而在以东以闪锌矿-方铅矿为主,到 CM₄₉ 穿脉以闪锌矿为主,出现毒砂-黄铁矿,到最东端的穿脉中(CM₄₆),则基本上没有 Pb、Zn 硫化物,以毒砂-黄铁矿化为主。在铅铜山 I 号矿体中也见到类似的规律。

3.3 分带指数的变化规律

矿体不同部位和标高中元素含量及比值有明显的变化规律,矿体中上部主成矿元素以 Zn 为主,Ag、As、Cu 含量较低,而 Hg、Cd 含量高。矿体中下部 Pb、Ag、As、Cu 含量高,Hg、Cd、Zn 则相对降低。在矿体中上部,Zn/Pb 比值在 2~6 间变化,(Zn + 100Hg)/(Pb + 100Ag) 比值大约为 2~6,(Zn · Hg · Cd)/(Pb · Ag · As) 和 (Zn · Hg · Cd)/(Pb · Ag · Cu) 值大于 100;在矿体中下部,Zn/Pb 值在 0.01~2,(Zn + 100Hg)/(Pb + 100Ag) 值变化范围在 10⁻⁵~0.1 间,(Zn · Hg · Cd)/(Pb · Ag · As) 和 (Zn · Hg · Cd)/(Pb · Ag · Cu) 值变化于 10⁻⁵~0.1 间。分带指数的变化更能反映这种元素含量及比值的变化规律,一阶、二阶和三阶分带指数与矿体的相对标高间具有线性相关,随其深度的变化而呈线性变化,以 1600 m 标高(海拔高度)为相对标高的 360 m,以 1240 m 为相对标高的 0 m,其下为负值(相对标高),其回归方程如下(图 3):

置信度	=5%	=1%
临界相关值	r = 0.754	r = 0.874
Y(相对标高)	= 24 + 35.45(Zn/10As)	r = 0.874
Y	= -32.6 + 14.87(Zn + 100Hg + 100Cd/Pb + 10Cu + 100Ag)	r = 0.941
Y	= 34 + 170.13(3Zn/Pb + 100As + 100Cu)	r = 0.914

Y	= 45 + 58.95(Zn + 100Hg + 100Cd/Pb + 100As)	r = 0.913
Y	= -43 + 33.62(Zn/Pb)	r = 0.929
Y	= 52 + 265.32(Hg/As)	r = 0.903
Y	= -33 + 24.48(2Zn/Pb + 10Cu)	r = 0.890
Y	= -14 + 15.03(Zn/10Cu)	r = 0.806

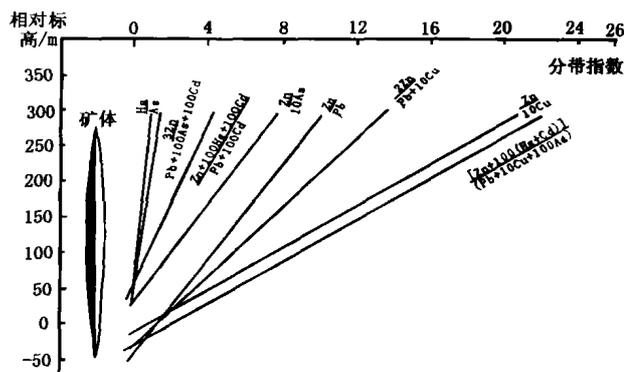


图 3 铅铜山铅锌矿床原生异常分带指数图

从上述 8 个回归方程来看,置信度为 1% 时,前 6 个方程比较可靠(可靠程度 99%),相关系数大于临界值,若置信度为 5%(可靠程度 95%),8 个方程的相关系数均大于临界值。利用上述方程则可以评价化探异常,估计矿体剥蚀程度,其综合误差 0~50 m。

4 结论

铅铜山铅锌矿床的原生地球化学异常具有分带性,轴向分带序列(自上向下)为 SHg(吸附汞) - Zn - THg(全汞) - As₁ - Cd - (Cu - Ga、Ge) - Pb - Ag - Sb - As₂、Au。纵向分带序列为(从矿体中心向两端):Cu - Pb - Ag - Cd - Hg - Zn - As。矿体不同部位和标高中元素含量及比值有明显的变化规律,矿体中上部主成矿元素以 Zn 为主,Ag、As、Cu 含量较低,而 Hg、Cd 含量高。矿体中下部 Pb、Ag、As、Cu 含量高,Hg、Cd、Zn 则相对降低。形成这种分带的机制为:(1) 热水沉积过程中可能形成矿化分带与异常分带,如 Ba、Sr、F 异常在铅锌矿体中小于低值区(负异常),而在矿体上盘形成明显的高值强异常;(2) 在后期改造过程中,因 Hg 和 Cd 富集于闪锌矿中,而 Ag 和 Sb 的硫酸盐矿物与方铅矿密切共生,形成了原生异常分带;(3) 在矿体的表生氧化过程中,因含 Hg 矿物遭受风化后释放晶格中的 Hg,这种 Hg 被地表土壤吸附后形成 SHg(吸附汞)异常(前缘晕)。铅铜山原生异常分带指数具有明显变化规律,分带指数与相对高程的回归方程可以用于对铅铜山深部及外围的成矿预测,判断和预测深部矿化

体的工业价值,评价地表矿化体的剥蚀程度。

[参考文献]

- [1] C B 格里戈良, A n 索洛夫夫, M φ 库津. 苏联固体矿产化探规范[M]. 北京:地质矿产部情报研究所出版,1985,87.
- [2] 赵琦. 原生晕垂直分带的元素比重指数算法[J]. 物探与化探,1989(2):157~159.
- [3] 邱德同. 确定矿床原生晕指示元素分带序列的新方法[J]. 地质与勘探,1989(8):51~53.
- [4] 解庆林. 浓集指数法确定矿床原生晕元素轴向分带序列[J]. 地质与勘探,1992(6):55.
- [5] 李扬, 邱德同, 李峻峰. 确定金矿床元素分带序列的新方法[J]. 地质与勘探,1993(12):47~48.
- [6] 朴寿成, 连长云. 一种确定原生晕分带序列的新方法——重心法[J]. 地质与勘探,1994(1):63~65.
- [7] 朴寿成, 杨永强, 连长云. 原生晕分带序列研究方法综述[J]. 世界地质,1996,15(1):44~48.
- [8] 李惠, 张文华, 刘宝林, 等. 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,1999,35(1):33~35.
- [9] 刘泉清, 欧阳宗圻. 成矿一成晕地球化学模式及其研究意义[J]. 桂林冶金地质学院学报,1983(1):53~65.
- [10] 方维萱. 陕西省凤太金属矿床成矿成晕模式及地球化学找矿预测系统[A]. 阮天键, 吴昌荣编, 朱有光编. 第四届勘查地球化学学术讨论会论文集选编[C]. 武汉:中国地质大学出版社,1991,49~55.
- [11] 方维萱. 陕西小秦岭地区金矿成矿模式及地质地球化学预测系统[A]. 阮天键, 吴昌荣. 第五届全国勘查地球化学学术讨论会论文集选编[C]. 武汉:中国地质大学出版社,1995,35~41.
- [12] 谈树成, 高建国, 晏建国, 等. 云南个旧矿区南部矿床原生晕垂直分带研究——以龙树脚矿段为例[J]. 矿物学报, 2001, 21(4):596~601.
- [13] 张本仁, 骆庭川, 陈德兴. 陕西柞水—山阳成矿带区域地球化学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1989,55~81.
- [14] 王相, 唐荣扬, 李实. 秦岭造山与金属成矿[M]. 北京:冶金工业出版社,1996,187~229.
- [15] 王集磊, 何伯焱, 李健中, 等. 中国秦岭型铅锌矿[M]. 北京:地质出版社,1996,116~126.
- [16] 黄转莹, 路润安. 陕西省凤县银母寺铅锌矿床原生地球化学异常特征[J]. 地质地球化学,2001,29(3):32.
- [17] 方维萱, 张国伟, 李亚林. 南秦岭晚古生代伸展构造特征及意义[J]. 西北大学学报,2001,31(3):236~240.
- [18] 方维萱, 胡瑞忠. 秦岭造山带泥盆纪三级构造热水沉积成矿盆地主控因素[J]. 大地构造与成矿学,2001,25(1):27~35.
- [19] 方维萱. 陕西铅铜山大型铅锌矿床热水沉积岩相特征[J]. 沉积学报,1999,17(1):44~50.
- [20] 方维萱, 胡瑞忠, 张国伟, 等. 秦岭造山带泥盆系热水沉积岩相的亚相和微相划分及特征[J]. 地质与勘探,2001,37(2):50~54.
- [21] 方维萱, 刘方杰, 胡瑞忠, 等. 凤太泥盆纪拉分盆地中硅质铁白云岩—硅质岩特征及成岩成矿方式[J]. 岩石学报,2000,16(4):700~710.
- [22] 方维萱. 陕西凤县铅铜山大型铅锌矿床矿物地球化学研究[J]. 矿物学报,1999,19(2):198~250.
- [23] Liu Tiegeng, Ye Lin, Chen Guoyong. Geochemical characteristics of the independent cadmium deposit, Niujiaotang, Duyun, Guizhou[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(sup):61~62.
- [24] 叶霖, 刘铁庚. 贵州都匀牛角塘富镉锌矿床中镉的分布及赋存状态探讨[J]. 矿物学报,2001,21(1):115~118.
- [25] 张正阶, 林金辉, 宋谢炎, 等. 闪锌矿中杂质 Fe 存在形式的重新认识[J]. 矿物学报,1997,17(1):1~10.

ZONING CHARACTERISTICS AND INDEX OF PRIMARY GEOCHEMICAL ANOMALIES IN QIANDONGSHAN PB - ZN DEPOSIT, SHAANXI PROVINCE, CHINA

HUANG Zhuan - ying^{1,2}, LU Run - an²

(1. LODG, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002;

2. Northwest Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CNNC, Xi'an 710068)

Abstract: Zoning characteristics and zoning index of primary geochemical anomalies in the Qiandongshan Pb - Zn deposit of Shaanxi Province have been discussed in this paper. The Primary geochemical anomalies of the Qiandongshan Pb - Zn deposit are of obvious zoning, i. e. the vertical zoning sequence (from top to bottom) is S - Hg - Zn - THg - As₁ - Cd - (Cu - Ga, Ge) - Pb - Ag - As₂ - Au. The Zoning of primary geochemical anomalies with significant variation can be used to do metallogenic prognosis in the depth and around the deposit.

Key words: primary geochemical anomaly, zoning sequence, zoning index, metallogenic prognosis, Qiandongshan