

西秦岭铅锌矿区域地球化学成矿预测模式

何进忠^{1,2}, 姚书振¹, 彭德启³

(1. 中国地质大学, 湖北 武汉 430074 2. 甘肃省地质调查院, 甘肃 兰州 730000 3. 甘肃省地质矿产勘查开发局, 甘肃 兰州 730000)

摘要:以成矿系列理论为指导,将区域内的铅锌矿按地球化学特征划分为贫铁型和富铁型2个亚系列,进而用逻辑信息法建立了西秦岭铅锌矿床区域地球化学场预测模式,验证结果较为理想。模式表明,贫铁型矿床的成矿环境为相对封闭还原的构造空间,富铁型矿床完整地反映了该类型铅锌矿床沉积成矿特点显著,而断裂等构造对成矿的直接影响相对不显著。与白银铜矿区域地球化学预测模式相比较,富铁型铅锌矿床中除铁族元素指示基性—超基性岩侵入事件外,其他元素均大致相似,两大类矿床形成的初始热动力条件不同。

关键词:成矿预测模式,区域地球化学,铅锌矿,西秦岭

中图分类号:P632 文献标识码:A 文章编号:1000-8918(2006)06-0488-05

区域地球化学成矿预测模式有许多形式,如矿床的地球化学异常模式^[1-3]、区域化探异常结构模式^[4]及统计分析模型^[5]等,涉及到金、银、铜、铅、锌等诸多矿种。其中除极少数模式为半定量模式外,绝大部分属于描述性定性模式。在建模过程中,由于传统成矿预测观念及资料的限制,尽管强调了地、物、化、遥等多种信息的综合,但在所建立的铅锌矿床及其他矿床的成矿预测模型方面可以说普遍对区域地球化学资料的应用不够充分,从而大大损耗了区域地球化学资料中蕴涵的有价值的信息。笔者旨在以成矿系列理论为指导,地球化学资料为基础,GIS及多种多元信息统计分析为手段,矿床亚系列为对象,分析矿床的地球化学图显示特征,用逻辑信息法建立西秦岭铅锌矿床区域地球化学场预测模式,进而分析认识模型、总结成矿规律。矿床成矿系列理论的成矿预测原则是,根据矿床的成矿系列预测成矿区带,根据矿床成矿亚系列来预测矿田^[6]。

1 建模方法

在矿产预测的实践中,可供使用的预测方法很多,概括起来有以下4类:经验模式预测、理论模型预测、统计分析预测、综合方法预测。相似类比理论是各种预测方法的基础,统计分析则是建立经验预测模式的科学途径。从各种数理统计方法的应用情况来看,特征分析法和逻辑信息法效果相对较好,王世称教授也认为,逻辑信息法是目前资源量预测中

比较实用、预测效果比较合理的统计分析方法^[7]。因此,在此利用逻辑信息法建立统计模型。

统计参数及统计方法^[8]:统计的对象是铅锌矿产出部位的地球化学场,该场通过地球化学图来展示。由于地球化学图上最明显的识别标志是色区,而色区是以地球化学背景含量服从对数正态分布为假设前提来划分的,因而,地球化学图上由低至高的6个含量色区可看成是元素对成矿可能性的影响作用或贡献大小的划分,对于某些元素可能高值区有利于成矿,有的元素可能低值区有利于成矿,有的元素可能中值区有利于成矿;从而在统计时,给地球化学图的6个色区(C)分别赋予6个数值,即C=1、2、3、4、5、6,分别代表低值区至高值区的值。矿床(点)产出部位的地球化学场即以矿床(点)产出部位某元素色区所示的高低值来衡量,这种取值方法比单纯用异常的存在与否判定某元素有无成矿远景的方法要全面的多。从而奠定了探讨运用地球化学地球化学图指导找矿的基础。

2 矿床成矿系列划分

2.1 矿上区域地球化学场

元素在有关铅锌矿床(点)上方显示的地球化学特征依1:50万西秦岭地球化学图总结如表1^①,其中高值区C=4,浓集区C=5~6,贫化区C=1~2。各类型矿床元素的显示特征不尽相同,但从中仍然可以看出以下特征。

① 甘肃地勘局化探队. 西秦岭地球化学图及说明书. 1988.

表 1 西秦岭规模铅锌矿床区域地球化学显示特征

地区	规模	高值区($C=4$)	浓集区($C=5\sim6$)	贫化区($C=1\sim2$)
丹凤群(VHMS 型)	矿点	Au, Nb, Ti, Y, La, Ag, Pb, W, Sn, Bi, Be, V, Cr, Ni, Co, U, Mn, P, Cd, Ba, Mg, Fe		Sb, Hg
西成地区 (SEDEX 型)	洛坝矿床	中型	As, Mo, Bi, Li, Fe, Nb, Zr, Ti, Ni, Co, Th, Mn, P, Cd, Ba, F, La, Fe	Sn, Y, Pb
	厂坝矿床	大型	Au, As, Ag, Hg, Cu, Sn, Mo, Li, Nb, Ti, Co, Cd, Y, F, K, Fe	Pb, Zn, Bi, Cr, Ni, Ba, Mg
	向阳山矿床	中型	Au, Hg, Bi, V, Ti, Co, Mn, Fe	Ag, Cu, Pb, Zn, W, Mo, Cr, Ni, Cd, Ba, Mg
	毕家山矿床	大型	Au, Sn, Mo, Li, Nb, U, Y, Sr, La, K	Sb, Ag, Hg, Pb, Zn, Cd, Ba
	邓家山矿床	大型	Sb, As, Hg, Zr, Ti, Ni, Ba, F, La, K	Au, Ag, Pb, Zn, Cd, Y
	页水河矿床	中型	Hg, Zr, Ni, Mn, Cd, Y	Pb, Zn
	代家庄矿床	中型	Zn, W, Sn, Nb, Cd, Ba, F, Ca	Sb, As, Hg, Pb
下拉地(VHMS 型)	小型	Hg, Cu, Sn, Mo, Li, Cr, Co, Mn, P, Y, F, Fe	Ag, Pb, Zn, Ni, Th, Cu	Sb
三叠纪与侵入岩有关	矿点	Hg, Cu, Pb, Zn, Sn, Ba, Y, La, Ca, Mg	Nb, Cr	Sb, As, Be

(1)丹凤群中的铅锌矿点、SEDEX 型矿床中的洛坝矿床、厂坝矿床及向阳山矿床, VHMS 型下拉地矿床所显示的元素组合有较高度的相似性, 具有亲石元素、亲铁元素与亲硫成矿元素共存的特点, 以及具有岩浆侵入体, 在丹凤群及厂坝矿床中还发育火山物质。毕家山、邓家山及代家庄矿床则主要显示亲石元素与亲硫元素的高值区, 相对贫乏铁族元素, 可能相对贫乏火山喷发物质或岩浆物质元素组合。页水河矿床显示高值区及浓集区元素不多, 但几乎全为亲硫成矿元素, 同样相对贫乏与岩浆物质有关的元素组合, 岩性为灰岩和千枚岩。三叠系与侵入岩有关铅锌矿点在区域上表现为亲硫元素及与碳酸盐岩有关的亲石元素富集、低温亲硫元素贫乏, 铅锌成矿元素未明显浓集。

(2)浓集区元素组合中, 三叠系中与侵入岩有关的铅锌矿无亲硫成矿元素, 洛坝铅锌矿及页水河矿床仅显示铅、锌的浓集, 但浓集区元素组合同时又表明, 厂坝、下拉地、丹凤群铅锌矿具有较高的成矿温度, 而毕家山、邓家山、页水河、代家庄具有明显的低温热液作用特点, 尤其明显的是代家庄铅锌矿。

(3)贫化区元素均属低温亲硫元素, 同样显示出丹凤群、厂坝矿、下拉地铅锌矿床的相似性, 均以贫 Sb 为特征。

2.2 矿床成矿系列划分

在一定的地质构造单元和一定地质构造运动阶段内, 与一定地质作用有关形成的在成因上有联系的各种矿种、各种成因类型及在不同地质位置产出的矿床组合, 进一步分为如下 6 级: 矿床成矿系列组合、矿床成矿系列类型、矿床成矿系列、矿床成矿亚系列、矿床式、矿床^[6]。

秦岭造山带铅锌矿床成矿作用表现为多期性和古生代—中生代集中成矿的特点。早期成矿作用的主要表现是火山作用、同生沉积作用等, 形成铅锌矿

层以及含铅锌建造, 晚期成矿作用多表现为强烈的构造—岩浆改造叠加成矿作用和岩浆热液成矿作用。姚书振等^①根据成矿构造背景、含矿建造和成矿时代, 将秦岭地区铅锌矿床划分为 6 个成矿系列, 其中在西秦岭所见为以下 3 个系列: 早古生代弧后海底火山喷流沉积铅锌矿成矿系列(VHMS)、海西期海底热水喷流沉积铅锌矿成矿系列(SEDEX)、中生代构造—岩浆热液铅锌矿成矿系列。大中型铅锌矿床均与海西期海底热水喷流沉积铅锌矿成矿系列(SEDEX)有关。为了顺利地建立区域地球化学场预测模式, 在此按矿床所处部位的地球化学特征, 将 SEDEX 型矿床按区域地球化学背景分为富铁型铅锌矿(HF)、贫铁型铅锌矿(LF) 2 个成矿亚系列。

(1)海西期 LF 成矿亚系列。矿床均产于中泥盆世碳酸盐岩及细碎屑岩系中, 火山岩及与其有关的元素组合不发育, 铁族元素色区值的平均值($\bar{C}_{\text{铁族}}$) 小于 3.5, 由热水喷流沉积改造作用而形成。包括毕家山矿床、邓家山矿床、尖崖沟矿床、代家庄矿床等。矿床类型为热水沉积改造矿床。

(2)海西期 HF 成矿亚系列。矿床产于中泥盆统一中石炭统含火山岩的碳酸盐岩及细碎屑岩系中, 火山岩及与其有关的元素组合相对发育, $\bar{C}_{\text{铁族}}$ 大于 3.5, 由海底火山喷流沉积而成或海底热水喷流沉积形成。典型矿床为厂坝—李家沟矿床、洛坝矿床、向阳山矿床、窑沟铅矿和下拉地铅矿。

3 区域地球化学成矿预测模式

3.1 预测模式

3.1.1 海西期贫铁型铅锌矿床预测模式

变异序列由大型矿床毕家山、邓家山铅锌矿, 中

① 姚书振, 吕新彪, 周宗桂, 等. 秦岭—松潘成矿区成矿规律和找矿方向研究. 2003.

型矿床代家庄、页水河铅锌矿,矿化点洞花沟、杜家营、小东沟铅锌矿,共有8个矿床(点)构成。

根据地球化学图编图结果的37种元素及其根据成矿环境拟定的第一过渡族元素(T)、亲硫元素(亲S)、热水岩元素(Hw,表示Na、Ca、Ba、Mg、Sr组合)色区值的平均值和 $C_V/(C_V + C_{Cr})$ 、 C_V/C_{Cr} 、 C_{Ni}/C_{Co} 、 C_U/C_{Th} 比值等7项指标,共计44项指标,大致依据其与变异序列的相关系数 $|r| \geq r_{0.05}(9) = 0.666$ 为准,最终选入Ag、Hg、Pb、Zn、W、Mo、Li、U、Cd及亲硫元素色区值的平均值等10项指标作为参与预测的变量。

变量赋值原则是:当 $(C_{Ag}, C_{Pb}, C_{Zn}, C_{Cd}) \geq 5$, $(C_{Hg}, C_{Mo}, C_{Li}, C_U, \bar{C}_{亲S}) \geq 4$, $C_W \leq 3$ 时,变量赋值为1,否则为0。将每个元素的离散性色区值数据化为由0、1两个数值组成的二态变量(B)矩阵(表2)。

表2 西秦岭海西期贫铁型铅锌矿床区域地球化学二态数据

矿点号	规模	Ag	Hg	Pb	Zn	W	Mo	Li	U	Cd	亲S
188 毕家山	大型	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
716 邓家山	大型	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1
119 代家庄	中型	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
173 页水河	中型	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
128 小东沟	矿化点	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
124 洞花沟	矿化点	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
127 杜家营	矿化点	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

最小区分标志组合: Hg-Ag; Hg-Zn; Hg-Cd; 亲S-W。有利度预测函数: $I = 0.125(B_{Ag} + B_{Zn} + B_W + B_{Cd} + B_{亲S}) + 0.375B_{Hg}$ 。

表3 西秦岭海西期富铁型铅锌矿床区域地球化学二态数据

矿点号	规模	Cu	Pb	Zn	Mo	Cr	Ni	Co	Ba	Mg	Fe	过渡族元素	亲硫元素	热水岩元素
181 厂坝	特大型	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
182 向阳山	中型	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
191 洛坝	中型	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
31 下拉地	中型	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
183 干鱼浪	矿点	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39-1 滩石头	矿点	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
184 石头坪	矿点	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
185 陶家沟上	矿点	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

最小区分标志组合: Fe-Co-Cr(Ba、Mg、亲S)-Mo; Fe-Co-Cr(Ba、Mg、亲S)-Cu; Fe-Co-Cr(Ba、Mg、亲S)-Hw; Fe-Co-Hw-Cu; Fe-Co-Hw-Mo。

有利度预测函数: $I = 0.0394(B_{Cu} + B_{Mo}) + 0.0709(B_{Cr} + B_{Ba} + B_{Mg} + B_S) + 0.248(B_{Co} + B_{Fe}) + 0.1417B_{Hw}$ 。

标准对象有利度预测模式图如图2, 规模矿床 $I \geq 0.3$, 大中型矿床 $I \geq 0.7$ 。

3.1.3 综合预测模型

按下式构造综合预测模型的有效度: $I = \max(I_1, I_2, \dots, I_n)$ 。当 $I = I_i$ 时, 矿化种类为 i 。对于本铅锌矿床预测模式来说, 取逻辑信息法对应的2个

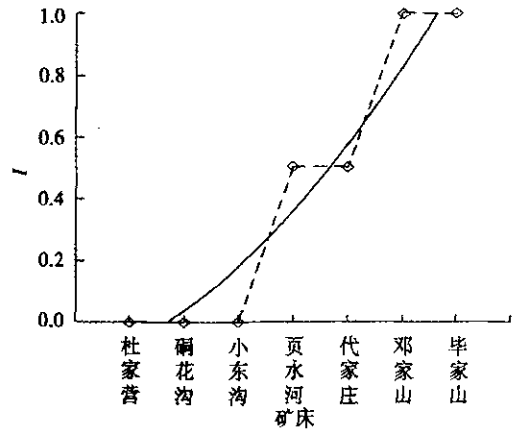


图1 西秦岭海西期贫铁型铅锌矿床区域地球化学预测模式标准对象有利度预测模式如图1, 规模矿床 $I \geq 0.3$, 大中型矿床 $I \geq 0.7$ 。

3.1.2 海西期富铁型铅锌矿床预测模式

变异序列由大型矿床厂坝铅锌矿, 中型矿床向阳山、洛坝、下拉地铅锌矿, 矿化点干鱼浪、滩石头、石头坪、陶家沟上铅锌矿, 共有8个矿床(点)构成。

根据与前述44项指标, 大致依据其与变异序列的相关系数 $|r| \geq r_{0.05}(8) = 0.707$ 为准, 最终选入Cu、Pb、Zn、Mo、Cr、Ni、Co、Ba、Mg、Fe、过渡族、亲硫元素及热水岩元素等13项指标作为参与预测的变量。

变量赋值原则是: 当 $(C_{Pb}, C_{Zn}, C_{Cr}, C_{Ni}, C_{Ba}, C_{Mg}, C_{Cu}, C_{Mo}) \geq 5$ ($C_{Co}, C_{Fe}, \bar{C}_T, \bar{C}_{亲S}$ 及 $\bar{C}_{(Hw)}$) ≥ 4 时, 变量赋值为1, 否则为0。由此得二态变量矩阵(表3)。

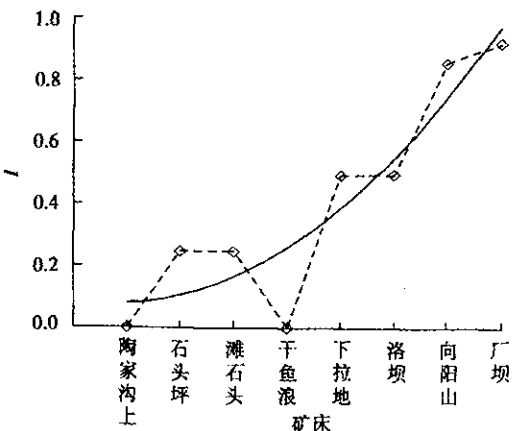


图2 西秦岭海西期富铁型铅锌矿床区域地球化学预测模式

模式参与运算。 $i=0$ 代表 HF 型铅锌矿, $i=1$ 代表 LF 型铅锌矿。

3.2 模式的验证结果

分别由用逻辑信息法建立的 LF 型、HF 型矿床预测模式及综合预测模式对成县幅西成矿田进行成矿预测(图 3),虽然 LF 型和 HF 型矿床预测模式分别较好地预测了本类型矿床的产出位置,但综合预测模式不仅准确地显示了厂坝、邓家山等模型矿床,而且大型矿床李家沟、尖崖沟及小型矿床庙沟验证了模型的正确性。与地球化学图、异常图相比,更加准确地刻划了大中型矿床的产出范围,效果较为理想。从而也证明了本文中所采用技术路线及矿床地球化学类型划分的正确性。

3.3 预测模型的地质意义

由于用逻辑信息法建立的模式中矿床规模与有利度具有较高的正相关关系,在此重点讨论这 2 个模式的地质意义,兼顾其他模式。

3.3.1 贫铁型矿床预测模式

有利度预测函数为 $I = 0.125(B_{Ag} + B_{Zn} + B_W + B_{Cd} + B_S) + 0.375B_{Hg}$ 。赋值条件为: $C_W \leq 2$, $C_{其余元素} \geq 5$,有利度函数的第 1 项 Ag 等元素所示为贫氧的还原环境及适宜的构造成矿条件,第 2 项则主要表明构造条件尤其是断裂构造对该类型矿床成矿的重要性,二者组合起来则是相对封闭还原的构造成矿空间。在毕家山矿区,主要控矿断裂构造方向为北东东和北东向,成矿元素和伴生元素异常强

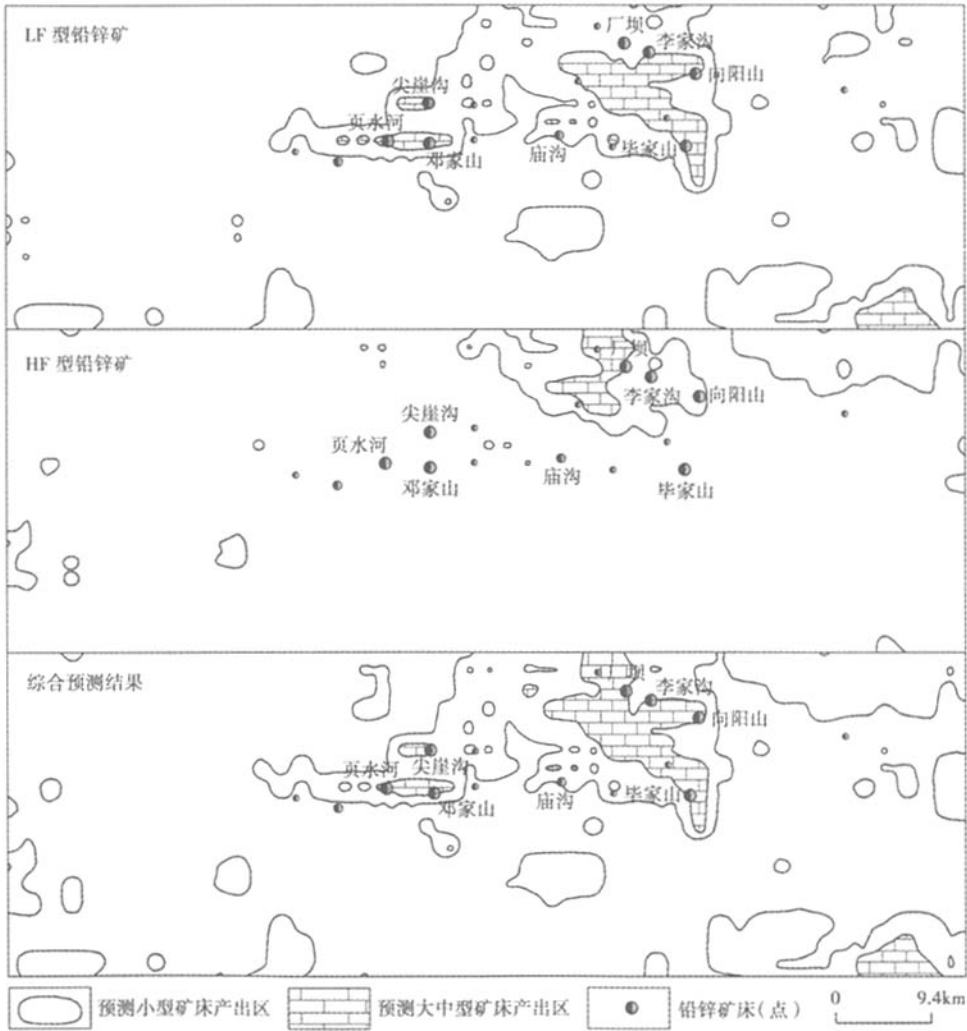


图 3 西秦岭铅锌矿床区域地球化学预测模型结果

度很大,但异常范围不宽,通常异常只局限在断裂或两盘的围岩中,稍微远离断裂带,元素含量就急骤于正常。断层泥中,成矿元素和伴生元素强烈聚集,普遍高于控矿断裂中元素的平均含量。由此可见矿区成矿元素的高度浓集主要源于断裂构造。通常所认

为的与热水岩有关的沉积成矿作用表现不明显。证据权法预测模式展示的结果与此类似。

3.3.2 富铁型矿床预测模式

有利度预测函数为 $I = 0.0394(B_{Cu} + B_{Mo}) + 0.0709(B_{Cr} + B_{Ba} + B_{Mg} + B_S) + 0.248(B_{Co} + B_{Fe}) +$

0.141 7 B_{hw} 。其中包括了中高温—中低温亲硫元素、铁族元素及热水岩元素,铁族元素可以理解为最初与基性—超基性岩侵入有关的热事件,由此推知,本模式完整地反映了该类型铅锌矿床与深源岩浆作用有关的成矿过程,沉积成矿特点显著,而断裂等构造对成矿的直接影响相对不显著。

3.3.3 预测模式的共性与不同

根据逻辑信息法分析所得 VHMS 型白银厂型铜矿区域地球化学场预测模式中包含的元素来看,其中有酸性岩侵入事件指示元素(Th)、热水岩元素(Na、Ba、Sn)、中高温成矿元素(Cu、Mo)及亲硫元素^[5]。而富铁型矿床中除铁族元素指示的基性—超基性岩侵入事件与此不同外,其他元素大致相似。由此可见两大类矿床形成的初始热动力条件不同。

4 结论

从对贫铁型和富铁型矿床所建立的预测模型中矿床规模与有利度的协变关系来看,两类矿床的逻辑信息法建立的模型及贫铁型矿床的证据权法模型较为理想。如果说大型—超大型矿床的产出是小概率事件,则这种小概率事件所产生的显著的异常结构特征使其较之小规模矿床来讲,寻找难度及找矿风险也相当小;反之小规模矿床的找矿难度更大。

贫铁型矿床的成矿环境为相对封闭还原的构造成矿空间,富铁型矿床完整反映了该类型铅锌矿床

沉积成矿特点显著,而断裂等构造对成矿的直接影响不显著。VHMS 型白银厂型铜矿区域地球化学场预测模式中,包含了酸性侵入岩指示元素、热水岩元素、中高温成矿元素及亲硫元素,而富铁型矿床中除铁族元素指示基性—超基性岩侵入外,其他元素大致相似,可见两类矿床形成的初始热动力条件不同。

预测模式验证结果证明了模型的正确性,从而也证明了本文中所采用技术路线及矿床地球化学类型划分的正确性。

参考文献:

- [1] 欧阳宗圻,李惠.典型有色金属矿床地球化学异常模式[M].北京:科学出版社,1998.
- [2] 邹光华,欧阳宗圻,李惠,等.中国主要类型金矿床找矿模型[M].北京:科学出版社,1996.
- [3] 吴承烈,徐外生,刘崇民.中国主要类型铜矿勘查地球化学模型[M].北京:科学出版社,1998.
- [4] 史长义.福建紫金山陆相火山岩型金矿田区域地质地球化学异常结构模式[J].物探与化探,1996,20(3):190.
- [5] 何进中.白银厂型铜矿区域地球化学场预测模式[J].矿产与勘查,1994,3(3):160.
- [6] 陈毓川,裴荣富,宋天锐,等.中国矿床成矿系列初论[M].北京:科学出版社,1998.
- [7] 王世称,陈永良,夏立显.综合信息矿产预测理论与方法[M].北京:科学出版社,2000.
- [8] 何进中.西秦岭铜矿区域地球化学研究[J].物探与化探,2003,27(4):269.

A REGIONAL GEOCHEMICAL PROGNOSTIC MODEL FOR LEAD-ZINC DEPOSITS IN WEST QINLING

He Jin-zhong^{1,2}, YAO Shu-zhen¹, PENG De-qi³

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Gansu Institute of Geological Survey, Lanzhou 730000, China; 3. Gansu Bureau of Geology for Mineral Exploration and Development, Lanzhou 730000, China)

Abstract In this paper, with the metallogenic series theory as the guide and the geochemical data as the basis, all lead-zinc ore deposits in the region were classified into two sub-series, i. e., LF type (with low content of iron group elements) and HF type (with high content of iron group elements), and a regional geochemical prognostic model was set up by using the logical information method. The model holds that the metallogenic environment of the LF type is structural reductive space whereas that of the HF type reflects entirely characteristics of sedimentary mineralization, with no evidence of tectonic mineralization. A comparison of the prospecting model of the HF type with the prediction model of the VMS type reveals that their thermal dynamic mechanisms are different: the former is related to basic-ultrabasic rock intrusion, while the latter to acidic rock intrusion.

Key words ore prognostic model; geochemistry; regional lead-zinc ore deposit; West Qinling

作者简介:何进忠(1963-),男,2004年获中国地质大学(武汉)矿产普查与勘探专业工学硕士学位,现为在读博士,长期从事矿产地质与矿床地球化学预测模式研究,先后发表论文多篇。