第 27 卷第 4 期　　物 探 与 化 探　　Vol. 27, No. 4
2003 年 8 月　　GEOPHYSICAL & GEOCHEMICAL EXPLORATION　　Aug., 2003

西秦岭铜矿区域地球化学研究

何 进 中[1,2]
(1. 中国地质大学,湖北 武汉 430074; 2. 甘肃省地质勘查局 第二地质矿产勘查院,甘肃 永登 730300)

摘 要: 对西秦岭地区 4 种主要成因类型铜矿的区域地球化学研究证明,在 72 个铜矿床或矿(化)点上很少显示铜或其它元素的浓集区。通过对甘肃南部碧口群分布地区主要铜矿产出的地球化学环境的分析认为,西秦岭地区各类型铜矿指示元素反映的是相应铜矿类型的区域地质建造,最佳指示元素则反映的是含矿地质建造。碧口群分布区的已知具规模的铜矿床及新探明的伐子坝中型铜矿均位于本区火山喷发沉积型铜矿的最佳指示元素所指示的有利部位。

关键词:区域地球化学特征;地球化学色区;元素的浓集区与贫化区;最佳指示元素;地球化学环境
中图分类号: P632　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000 - 8918(2003)04 - 0269 - 07

西秦岭地区位于秦岭东西复杂构造带西段,按最新大地构造单元划分方案则属于柴达木 —西秦岭地块及摩天岭地体[1];是我国重要的铅、锌、铜、铁、汞、锑、银、金等金属的成矿区,达到大中型规模的矿种有铅锌、锑、铁、金、汞、铜等。80 年代以来依据区域化探直接指示元素异常使该地区的铅锌、金、银、锑等矿种的找矿工作取得一系列进展,相继发现了鹿儿坝、坪定、石鸡坝、锁龙等大中型金矿床。遗憾的是铜异常显示较差,按 1∶50 万西秦岭地区地球化学异常图统计,全区共有铜异常 64 个,仅占汞、银的 55 %,而且单元素异常特征不明显,面积小、无浓度分带。从异常显示部位看,显示异常的已知矿床或矿(化)点有 11 个,占发现矿床或矿(化)点数的 15.3 %;白龙江复背斜含铜较高的黑色岩系等地球化学聚集 —浓集区 7 个;中新生代地层等铜地球化学贫化区 51 个。对已知铜矿的反映很差,碧口群极发育的中基性火山岩系、岷县 —凤县一带中酸性岩浆岩(含铜高)与围岩的接触带也无明显的铜异常。影响铜异常显示的因素可能有许多,但主要原因可能与铜的表生地球化学性质及本区高差大、地形坡度陡、雨量充沛、风化作用强烈的自然景观条件有关。那么,如何利用区域地球化学资料进行铜矿的勘查工作呢?中国地质大学地球化学系、地质科学院物化探研究所及甘肃省地矿局的相关单位均从不同角度及范围主要针对较具规模的矿床做过专门研究,获取了一系列有意义的成果;在区域范围内,利用所有已知矿床及矿(化)点的地球化学资料,总结在表生条件下较为稳定的铜矿的指示元素不失为一种可行的方法。因此,笔者从全区 72 个矿床或矿化点与 38 种元素地球化学场的对应关系出发,通过统计分析及矿床产出的地球化学环境分析来探索本区铜矿的最佳指示元素及区域地球化学资料在本区铜矿远景预测中的思路。从而达到探讨利用地球化学图进行铜矿勘查的目的。

1 铜矿类型及其地质背景

西秦岭铜矿泛指西秦岭地区所有含铜矿床,包括铁铜矿、铜砷矿、铜铅锌矿及铜矿,但主要为铜矿。成因类型大致有 4 种:矽卡岩型、热液型、沉积型及火山喷发沉积型。

矽卡岩型铜矿:主要分布在西秦岭北部褶断带的夏河甘加 —德乌鲁一带,其次在武都安化以北有零星分布;均产在印支 —燕山期花岗闪长岩与下二叠统或中三叠统的接触带;包括小型矿床 4 个,矿点 11 个,矿化点 10 个。

热液型铜矿:主要分布在天水娘娘坝 —利桥早古生代裂谷带及西秦岭北部褶断带。天水娘娘坝 —利桥早古生代裂谷带以李子园群陆内裂谷型基性火山岩及双峰式火山 —沉积建造为特征,华力西 —印支期构造 —岩浆活动强烈;在西秦岭北部褶断带,主要分布于泥盆纪西汉水群中,其次在康县孙家院、夏河完嘎滩 —德乌鲁一带晚古生代地层中有零星分

收稿日期:2002 - 07 - 24

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

布;包括 2 个小型矿床、10 个矿点、19 个矿化点。

沉积型铜矿:零星分布于迭部县及礼县冶力关一带。地质背景分别为西倾山迭山冲断带的中上志留统细碎屑岩夹含炭硅质岩及上泥盆统—下石碳统碎屑岩夹中酸性火山岩、赤铁矿层及磷灰岩;包括 1 个小型矿床,2 个矿点,4 个矿化点。

火山喷发沉积型铜矿:分布在碧口群南缘的碧口水库—太平川一带,主要含矿地层为薤县系,其中发育单峰式中基性火山岩,磁铁石英岩与黄铁矿型铜矿紧密共生;包括 2 个小型矿床、7 个矿点、2 个矿化点。新发现的伐子坝中型铜矿因探明时间晚于本文资料搜集时间而未能参与本次统计。

2 统计参数及统计方法

统计的对象是铜矿产出部位的地球化学场,该场通过地球化学图来描绘展示。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,各个色区分别反映了相应地球化学场的特点,因此,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;在统计时,我们给地球化学图的 6 个色区分别赋予 6 个数值,即 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该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得多。从而奠定了探讨运用地球化学图指导找矿的基础。

基于以上取值方法,所有铜矿产出部位的所有元素的取值均为 $1 \leq x \leq 6$ 的正整数,因为考察的目的是找出各个色区与成矿作用之间的关系,所以在此采用观测值即色区对应的矿床(点)频率统计直方图及其相关特征来进行统计分析、讨论各元素的分布与铜分布及铜矿化的关系,统计参数有众数(M)、相对众数的偏度(r)、元素显示矿床的灵敏度(S)、与铜分布直方图之间的距离系数(d)、矿床显示特征的稳定性(W)等 5 个。

众数:统计直方图中最高频率组对应的观测值。

相对众数的偏度:用众数对应的观测值为基准计算的偏斜度。临界值计算采用正态分布偏度临界值检验公式 $r_0 = \pm 2\sqrt{6/N}$,N 为参与统计的矿床数。

元素显示矿床的灵敏度:即各元素在矿点处呈深红色以上色区与深蓝色色区矿床(点)频数之差。由于深红色以上色区与深蓝色色区(即浓集区和贫化区)最为醒目,并且一般指示矿化存在的可能性较高,所以以其衡量某元素反映矿产的灵敏程度。

矿床显示特征的稳定性:指某元素在矿上显示特征的直方图中的浓集区或贫化区相对于中值区($x = 3$)来说具有单向富集或贫化特征($W = 1$)。如果某指示元素的灵敏度较高,即可显示浓集区又可显示低值区,或即可显示贫化区又可显示高值区,则该元素在地球化学图上表现为莫棱两可,亦即稳定性差($W = 0$),虽有浓集区或贫化区出现,也不能看做是最佳指示元素。

3 矿床(点)区域地球化学特征

西秦岭地区矽卡岩型、热液型、沉积型、火山喷发沉积型等 4 种类型铜矿的区域地球化学显示特征直方图及相关参数示于图 1、图 2。

3.1 各类型铜矿区域地球化学特征及指示元素

在考查各类型铜矿区域地球化学特征时,将各种规模等级的铜矿产地均视为同等对象,主要用 M 及 r 体现指示元素在矿上的主要色区值及相对于主要色区值的浓集和贫化趋势,由此达到选择指示元素的目的。据图 1、2 可将 4 种类型铜矿的区域地球化学特征及其相关说明归纳于表 1。矽卡岩型及热液型铜矿的区域地球化学场集中出现于高值区、中值区等 2 个取值区间,沉积型及火山喷发沉积型铜矿的区域地球化学场集中出现于高值区、中值区、低值区、贫化区等 4 个取值区间。依偏斜度具正偏特征者有明显的显示中高值区或浓集区的趋势,负偏斜者有明显的显示中低值区或贫化区的趋势,无偏者无明显的显示浓集区或贫化区的趋势。贫化区、低值区、中值区、高值区、浓集区的 M 值分别为 1、2、3、4、5～6,负偏、无偏、正偏的取值分别为 $r \leq -r_0$、$-r_0 \leq r \leq r_0$、$r \geq r_0$。

由于中值区高正偏的元素在矿上具有在中值区基础上形成浓集区的趋势,高值区元素在矿上主要呈现高值区而使其具有易形成浓集区的特点,两者均具有浓集型指示元素的特点。中值区高负偏的元素在矿上具有在中值区基础上形成贫化区的趋势,低值区元素在矿上主要呈现低值区而使其具有易形成贫化区的特点,使两者均具有贫化型指示元素的特点。中值区无偏的元素,因浓集、贫化趋势不明显,虽然个别元素可能成为指示元素,但在总体上指示作用不强,则不被列入指示元素系列。基于这条

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

元素	矽卡岩型铜矿统计直方图及相关参数(N=25)								热液型铜矿统计直方图及相关参数(N=27)						
	色区赋值	小型矿床		M	d	r	S	W	色区赋值	小矿	M	d	r	S	W
	1 2 3 4 5 6	5号矿	14号矿						1 2 3 4 5 6						
La		3	3	3	2.45	3.23	0	1		4	3	1.35	1.96	0	0
K_2O		3	3	3	1.08	1.53	0	0		3.5	3	2.92	2.08	0	0
Na_2O		3	3	3	2.24	-5.4	0	0		3	3	4.06	-5.8	0	0
CaO		3	3	3	1.22	3.26	0	1		3	3	3.89	3.98	4.17	1
MgO		4	3.5	3	3.56	3.44	0	1		3	3	1.47	3.6	7.14	1
Fe_2O_3		3	3	3	2.74	3.24	0	1		3	3	1.53	3.74	3.45	1
Al_2O_3		3	3	3	1.73	-5.2	0	1		3	3	3	-4	0	0
SiO_2		3	3	3	2.2	0	0	1		3	3	4.04	0	0	1
Au		3	6	3	4.6	4.51	17.4	1		5	3	1.83	3.73	7.41	1
Sb		3	6	3	5.64	1.36	20	0		3.5	3	3.37	-0.6	0	0
As		5	6	4	8.23	6.03	33.3	1		4	3	3.24	1.5	3.57	0
Ag		4	5	3	4.78	4.47	13	1		6	3	1.87	3.93	10.7	1
Hg		2	2	3	5.89	-1.8	-7.7	0		2	3	5.7	-1.2	-3.3	0
Cu		5	3	3	0	3.52	7.69	1		3	3	0	0.15	0	1
Pb		4	4	3	5.05	2.28	8	0		3	3	5.2	-0.2	0	0
Zn		4	4	4	7.85	-3.6	0	0		4	3	1.73	0.75	0	0
W		5.5	5	4	7.81	5.2	31.8	1		6	3	2.38	3.2	17.2	0
Sn		4	3.5	3	5.2	2.47	12.5	0		4	3	3.61	2.03	3.7	0
Mo		3	3	3	2.04	3.55	8	1		3	3	1.58	3.95	6.67	1
Bi		5	6	3	5.1	2.64	37.5	0		3.5	3	4.86	0.86	8	0
Li		4	3	3	4.76	4.43	4.76	1		3	3	1.73	4.72	3.7	1
Be		4.5	3	3	1	0.94	0	1		4	3	1.35	0.29	0	0
Nb		4	3.5	3	5.29	4.2	0	1		4	4	7.54	-4.2	-3.6	0
Zr		3	3	3	1.73	-0	0	0		3.5	3	3.32	-5.6	-3.7	1
V		3	3	3	2	5.41	0	1		3	3	3.21	4.85	3.45	1
Ti		3	3	3	0.71	3.64	4	1		3	4	6.66	-4.2	-3.4	0
Cr		3	3	3	1.68	3.14	0	1		3	3	2.08	4.32	4	1
Ni		4	3	4	6.67	2.18	8	1		3.5	4	6.72	-2.6	3.57	0
Co		3	3	3	1	3.68	4.17	1		3	3	0.58	3.22	0	1
U		3	3	3	5.34	4.83	13	1		3	3	2.68	-1.9	-11	0
Th		4	4	4	7.6	-0.6	13	1		3	4	5.73	-3.4	0	0
Mn		3	3	3	1.08	2.89	4	0		3	3	0.91	3.13	0	1
P		3	3	3	2.74	3.24	0	1		3	3	3.76	5.76	0	1
Cd		3.5	5	3	5.48	4.88	33.3	1		3	3	2.48	2.83	16.7	0
Ba		3.5	3	3	3.56	2.56	4.17	0		4	3	3.56	2.79	3.45	0
Y		4	4	4	8.09	-1.8	4	1		4	4	6.36	-3.6	0	0
Sr		4	3	3	1.63	3.14	7.69	0		3	3	1.41	2.59	3.45	0
F		2	3	3	3.29	0.71	0	0		4	4	7.3	-0.6	6.9	0

图 1　矽卡岩型及热液型铜矿地球化学特征统计直方图及相关参数

表 1　西秦岭铜矿区域地球化学特征

色区众数	贫化区		低值区		中值区			高值区		
偏度	无偏	正偏	无偏	正偏	负偏	无偏	正偏	负偏	无偏	正偏
矽卡岩型 0.9797					Na、Al、Hg、Sn、Mo、Bi、Li、Nb、V、Ti、Cr	Si、Be、Zr、F	La、K、Ca、Mg、Fe、Au、Sb、Ag、Cu、Pb、Co、U、Mn、P、Cd、Ba、Sr	Zn、Y	Th	As、W、Ni
热液型 0.9428					Na、Al、Hg、Zr、U	Si、Sb、Cu、Pb、Zn、Bi、Be、Cu、Pb、Zn、Bi、Be	La、K、Ca、Mg、Fe、Au、As、Ag、W、Sn、Mo、Li、V、Cr、Co、Mn、P、Cd、Ba、Sr	Nb、Ti、Ni、Th、Y	F	
沉积型 1.8516		Sb	As	Pb、Bi	Be	Na、Ca、Al、Si、Au、Hg、Zn、Sn、Li、Zr、Co、Mn、F	La、K、Mg、Fe、Ag、Cu、W、Mo、Nb、V、Ti、Cr、U、P、Sr	Y	Ni、Th、Cd、Ba	
火山喷发沉积型 1.7187	As	Sb	Pb、F	K、Be、Th、P	Ag、Hg、Zn、W、Mo、Bi、Li、U	Ca、Al、Sn、Cd、Ba	La、Mg、Fe、Si、Zr、V、Cr、Ni、Mn、Sr	Nb	Na、Cu、Co	Au、Ti、Y
说　明	无明显的显示中低值区趋势	有明显的显示中低值区趋势	无明显的显示中高值区或贫化区趋势	有明显的显示中高值区趋势	有明显的显示贫化区趋势	无明显的显示浓集区或贫化区趋势	有明显的显示浓集区趋势	有明显的显示中低值区趋势	无明显的显示浓集区或中低值区趋势	有明显的显示浓集区趋势

原则,可将 4 种类型铜矿的指示元素归纳于表 2。各类型铜矿的浓集型指示元素具如下特点。

(1) La、Mg、Fe、Ni、Y、Sr 是 4 种类型铜矿共有的指示元素,这种共性从某种程度上显示出不同类型铜矿之间产出的地质地球化学环境的共性,表明这4种类型铜矿均富集深源物质,或多或少与岩浆

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

元素	沉积型铜矿统计直方图及相关参数($N=7$) 色区赋值 1 2 3 4 5 6	小矿	M	d	r	S	W	火山喷发沉积型铜矿统计直方图及相关参数($N=11$) 色区赋值 1 2 3 4 5 6	中矿	小矿	M	d	r	S	W
La		4	3	0.91	3.54	0	1		3	4	3	3.24	3.83	0	1
K_2O		4	3	0	3.16	0	1		3	2	2	4.56	3.83	0	1
Na_2O		3	3	0.91	0	0	0		4	4	4	2.24	0	0	1
CaO		3	3	0.58	0	0	0		3	3	3	3.76	0	0	0
MgO		3	3	0.41	3.1	0	1		3	3	3	3.34	3.83	9.09	1
Fe_2O_3		3	3	0.41	3.33	0	1		3	4	3	1.35	4.73	44.4	1
Al_2O_3		3	3	0.91	0	0	0		3	3	3	3.76	0	0	0
SiO_2		3	3	0.91	0	0	0		3	3	3	2.38	3.25	0	1
Au		2	3	0.41	0	0	0		4	4	4	1.96	3.27	36.4	1
Sb		3.5	1	2.12	3.59	-60	1		2	2	1	3.98	3.27	-64	1
As		3	2	2.08	1.72	-17	0		1	1	1	5.02	0	-100	1
Ag		5	3	0.41	3.33	14.3	1		3	3	3	2.42	-3.6	-22	1
Hg		4	3	0.41	0	0	0		3	3	3	2.89	-3.3	0	1
Cu		4	3	0	3.39	0	1		6	4	4	0	0.87	30	1
Pb		2	2	1.87	3.54	0	1		3	3	2	3.14	1.16	-9.1	1
Zn		3.5	3	0.58	0	0	1		3	3	3	2.68	-3.7	-27	1
W		3	3	0.41	3.1	0	1		3	2.5	3	2.55	-4.9	-11	1
Sn		4	3	1.22	0	0	0		3	4	3	1.58	0	0	0
Mo		5	3	0.58	3.47	16.7	1		3	3	3	3.19	-3.2	0	1
Bi		3	2	2.97	3.33	0	1		3	3	3	2.77	-2.2	0	1
Li		3	3	0.41	0	0	0		3	3	3	2.97	-3.3	0	1
Be		3.5	3	0.58	-3.2	0	1		3	3	2	4.14	3.17	0	1
Nb		3	3	0	3.39	0	1		3.5	4.5	4	1.73	-4.6	0	0
Zr		3	3	0.91	0	0	0		3	4	3	2.74	3.17	0	1
V		4	3	0.41	3.33	0	1		3	3	3	2.42	3.4	18.2	1
Ti		3	3	0.41	3.33	0	1		4	5	4	1	2.24	40	1
Cr		3	3	0.41	3.33	0	1		3	3	3	1.91	3.26	0	1
Ni		5	4	1.53	-0.5	16.7	0		3	4	3	1.78	3.72	36.4	1
Co		4	3	0.41	0	0	1		4	4	4	0.82	0.3	30	1
U		4.5	3	0.58	2.88	0	1		3.5	3.5	3	2.52	-3.9	-13	1
Th		4	4	2.2	0.55	28.6	1		2	5	2	3.03	2.74	0	0
Mn		3	3	0.91	0	0	0		4	5	3	0.71	5.11	27.3	1
P		3	3	1	4.34	16.7	1		2	4	2	2.74	3.76	0	0
Cd		6	4	2.35	1.73	14.3	1		4	3	3	2.68	-0.7	0	0
Ba		5	4	1.78	-0.5	14.3	1		4	4	3	1.58	1.16	0	0
Y		4	4	2.04	-3.5	0	1		5	4	4	1.96	3.27	36.4	1
Sr		3	3	0.41	3.33	0	0		3	4	3	2.89	3.7	0	1
F		4	3	0.71	0.55	0	1		2	4	2	3.44	1.55	-18	0

图 2 沉积型及火山喷发沉积型铜矿地球化学特征统计直方图及相关参数

表 2 西秦岭铜矿(点)床的指示元素及与铜分布的关系

统计范围	铜矿类型及临界值	浓集型指示元素		贫化型指示元素	
		近似铜分布	非近似铜分布	近似铜分布	非近似铜分布
各类型铜矿总体	矽卡岩型 $d_0=4.0$	Ag、Cu、La、K、Ca、Mg、Fe、Co、Mn、P、Ba、Sr	Au、U、Cd、Th、As、W、Ni、Sb、Pb、Zn、Y	Mo、Na、Al、V、Ti、Cr	Hg、Sn、Bi、Li、Nb
	热液型 $d_0=4.0$	Mg、Au、Ag、Mo、Cu、La、K、Ca、Fe、As、W、Sn、Li、V、Cr、Co、Mn、P、Cd、Ba、Sr	Nb、Ti、Ni、Th、Y、F	Al、Zr、U	Na、Hg
	沉积型 $d_0=1.5$	Ag、Mo、P、Th、Cd、Ba、Cu、La、K、Mg、Fe、W、Nb、V、Ti、Cr、U、Sr	Y、Ni	Be	Sb、As、Pb、Bi
	火山喷发沉积型 $d_0=2.5$	Fe、V、Ni、Mn、Cu、Co、Au、Ti、Y、Si、Cr、Nb、Na	Mg、La、Zr、Sr	Ag	As、Sb、Pb、Zn、W、U、F、K、Be、Th、P、Hg、Mo、Bi、Li
各类型规模矿床	矽卡岩型	Au、Sb、As、Ag、Cu、W、Bi、Cd			
	热液型	Au、Ag、W			
	沉积型	Ag、Mo、Ni、U、Cd、Ba			
	火山喷发沉积型	Cu、Nb、Ti、Th、Mn、Y		As	

有下划线者为最佳指示元素

作用有关系;K、Ag、W、Th、P、Cd、Ba 是矽卡岩型、热液型及沉积型铜矿共有的指示元素,指示其与中酸性岩石或陆源碎屑岩之间的关系;Au、Co、Mn 是矽卡岩型、热液型及火山喷发沉积型铜矿共有的指示元素,可能主要与硫化物或相对还原的地球化学环境有关;Cu 是矽卡岩型、热液型及火山喷发沉积型铜矿共有的指示元素,沉积型铜矿在区域上显示铜异常的趋势不明显;Nb、V、Ti、Cr 是热液型、沉积型及火山喷发沉积型铜矿共有的指示元素,指示其可能与火山作用有一定关系;Ca、As 是矽卡岩型、热液型铜矿共有的指示元素,说明这 2 种类型铜矿均与碳酸盐岩有关;Mo 是热液型及沉积型铜矿共有

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

的指示元素。热液型铜矿在区域上显示铜异常的趋势不明显则证明 Cu 元素本身对指示本类型铜矿不利,找矿难度相对较大。

(2) Sb 是矽卡岩型铜矿的指示元素;Li、F 是热液型铜矿的指示元素;U 是沉积型铜矿的指示元素;Na、Si、Zr 是火山喷发沉积型铜矿的指示元素。这些指示元素的特殊性则显示出不同类型铜矿各自特有的显著的成矿环境或成矿作用特征,如火山喷发沉积型铜矿的指示元素是 Na、Si、Zr,说明本类型铜矿产出于酸性岩浆作用相对强烈的地质地球化学环境,硅质或石英质岩石相对发育。

3.2　具规模铜矿床区域地球化学特征

具规模铜矿床在此指规模在小型以上的铜矿床,按第 2 章的赋值原则将西秦岭地区 4 种成因类型具规模铜矿床的区域地球化学特征列于图 1、图 2,将其所显示的浓集区及贫化区元素作为这些具规模矿床的指示元素列于表 2,统计指示元素时若 2 个具规模矿床中只要有一个显示某元素的浓集区或贫化区则将该元素定为指示元素。

由表 2 可见,具规模矿床所显示的指示元素均包含在各类型矿床总体所显示的指示元素中,但所显示的指示元素个数比各类型矿床总体所显示的要少得多,而且相对于各类型矿床总体所显示的指示元素来说具有较大的或然性,即在此矿床上显示的指示元素不一定在另外一个矿床上显示,这就说明利用单个规模矿床总结区域地球化学指示元素的方法不一定可靠。各类型矿床的指示元素的共性及特殊性所体现出来的明显的地质地球化学意义,从另一方面说明用多矿床综合统计的办法来总结矿床指示元素的可靠性。中国地质大学等单位针对陇南地区的铜金矿研究报告也曾指出不能固守阳坝—伐子坝铜矿的指示元素①。

3.3　指示元素与铜频率分布

将 4 种成因类型铜矿的指示元素与相应类型铜频率分布形式进行比较,考察指示元素与铜的亲近关系。采用参数为 2 种分布形式之间的距离系数,以 $d_0 = d_{max}/2$ 为界可区分出近似铜分布及非近似铜分布的指示元素(表 2),其中 d_{max}为某类型铜矿铜与其它元素分布形式之间的距离系数最大值。如果从距离系数的几何意义去分析,近似铜分布的指示元素可以被认为是近矿指示元素,非近似铜分布的元素可以被认为是远矿指示元素。

4 种类型铜矿的浓集型指示元素中,近似铜分布与非近似铜分布元素以亲中基性岩元素与亲酸性岩元素共存为特点,只是火山喷发沉积型铜矿主要为亲基性岩元素;但贫化型指示元素中非近似铜分布元素全为亲酸性岩元素。表明这些非近似铜分布的贫化型亲酸性岩元素有相对独立的富集过程或富集地带,这一点尤以火山喷发沉积型铜矿表现最为明显,它的非近似铜分布元素数目与近似铜分布的浓集型指示元素数目几乎一样复杂,亲基性岩元素与亲酸性岩元素之间呈明显的消长关系,可谓火山喷发沉积型铜矿成矿的特殊地球化学环境。

3.4　最佳指示元素

对于铜矿的指示元素,必须考查其灵敏度及稳定性,只有灵敏度(S)高而且相对中值区($X = 3$)来说具有单向富集或贫化的稳定性,才是铜的最佳指示元素。如果某指示元素的灵敏度较高,但即可显示浓集区,又可显示贫化区,则在地球化学图上表现为模棱两可,亦即稳定性差,这些元素虽有浓集区或贫化区,也不能看作是最佳指示元素。在此最佳指示元素的界定指标为:$S > 5\%$与 $W = 1$。依此原则选择出本区 4 种类型铜矿的最佳指示元素(表 2)。例外情况是铜元素本身因在热液型铜矿及沉积型铜矿上的灵敏度均为零,不满足最佳指示元素的选择条件,但铜元素在这 2 种类型铜矿显示色区的统计直方图上具有单向富集趋势,偏度分别为 0.05 和 3.39,即铜存在的高值区应该是这 2 种铜矿化存在的有利地区,考虑到其直接指示意义而破例选入。从而最终确定矽卡岩型、热液型、沉积型和火山喷发沉积型铜矿的最佳指示元素,并得出以下认识。

(1) 矽卡岩型铜矿、热液型铜矿、沉积型铜矿的最佳指示元素均以存在中低温亲硫元素为特点。此外,矽卡岩型铜矿成矿环境中中酸性侵入岩的存在可能导致了 Th 的富集;热液型铜矿成矿环境中中基性火山岩的存在可能导致了 Mg 的富集;沉积型铜矿成矿环境中 Ba、P 的高含量指示这类矿床的形成不仅与生物化学沉积作用有关[2],而且还与相对封闭的沉积盆地中热卤水的沉积作用有关[3],其中的含炭硅质岩石一般富集 Ba、P。

(2) 火山热液型铜矿的最佳指示元素以亲中基性岩元素为主,中低温亲硫元素呈贫化型指示元素。

(3) 在 3.1 节中总结出的 4 种类型铜矿特有的下列指示元素均未能选入最佳指示元素,即:矽卡岩型铜矿的 Sb,热液型铜矿的 Li、F,沉积型铜矿的 U,

① 中国地质大学(武汉)地球化学系,甘肃地勘局以第一地质队. 陇南地区以异常形成机制分析为基础的铜、金地球化学找矿研究报告. 1997.

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

火山喷发沉积型铜矿的 Na、Si、Zr。究其原因为:矽卡岩型铜矿的 Sb 及热液型铜矿的 F 的稳定性差($W=0$),热液型铜矿的 Li、沉积型铜矿的 U、火山喷发沉积型铜矿的 Na 和 Si 的灵敏度低,火山喷发沉积型铜矿的 Zr 的灵敏度及稳定性均差。以稳定性差的元素来作为指示元素的可信度较低;灵敏度低而稳定性好的指示元素具有单向富集趋势,其高值区的存在可能指示相应铜矿的有利地区。当然,常量元素 Si、Na 及 Li 的分布模式可能为算术正态,而非对数正态,按对数正态间隔所勾绘的地球化学图不一定能客观地反映其地球化学面貌。要利用好这 3 种元素,就必须在地球化学图的成图过程中充分考虑其算术分布特征。

3.5 碧口群分布区因子分析结果的启示

针对火山喷发沉积型铜矿的主要产区碧口群分布区区域化探资料所做的因子分析成果表明:浓集型指示元素基本相当于 F2 的(+)V、Ti、Sr、Ni、Mn、Fe、Cu、Cr、Co,F4 的(+)U、Th、Si、Na 和 F5 的(+)P、Nb、Zr、La 等 3 个因子的组合,浓集型最佳指示元素则相当于 F2 。从元素组合的地球化学性质看,F2 属中基性岩浆岩或火山岩的指示元素组合,主要由相容元素组成,阳坝式铜矿则主要产于不连续岛状高值区,Cu 在本因子中载荷为 0.66123,指示中基性火山岩是 Cu 的主要携带者。F4 属典型的酸性岩浆岩指示元素组合,高值区呈岛状与阳坝岩体对应,0.5 以上的中高值区与薛县系对应,与 F2 的条带状相对较高值分布区总体吻合较好。F5 属于高场强元素及轻稀土元素,这些元素常呈相对独立的稳定矿物如磷灰石、锆石等出现于偏碱性岩浆岩中,指示该区铜的成矿作用总体上发生于张裂型构造环境[4,5],其高值区除出现于阳坝及鹰嘴山的花岗岩体外,还围绕 F2 因子穹隆状高值区分布。值得一提的是本次因子分析出现 1 个低方差贡献因子 F6 的(+)Sr、Hg,属中低温热液成矿元素或断裂构造的指示元素,Cu 在本因子中的载荷为 0.175928,表明 Cu 在本因子代表的热液活动中有成矿作用,高值区的空间展布与已知矿床吻合较好。该因子得分图的高值区与 F5 因子得分图的高值区有一定的对应关系,说明成矿作用可能与岩浆热源体有关。

据以上分析,进一步将该铜矿产出的地球化学环境阐述为以中高值区高度不相容元素为背景的高场强元素、相容元素富集型地球化学环境。可以说最佳指示元素反映的是矿田的含矿地质建造,一般指示元素则反映矿田的区域地质建造[6]。

4 区域地球化学成矿预测模式的应用

以最佳指示元素为基础建立了区域地球化学定位预测模式,进而依据各类型铜矿指示元素在不同规模矿床上显示特征的平均值,按矿床、矿点、矿化点次序构成的变异序列呈单调增或减的元素构造出下列矿床规模的有利度估计函数(I_i):矽卡岩型为:$I_i = 0.5(w_{Pb} + w_W + w_{Be} + w_{Ca})/(w_{Li} + w_{Ni})$;热液型为 $I_i = (w_{Ag} + w_W + w_{Sn} + w_{Be} + w_{Ni} + w_{Ba})/3.5$;沉积型为 $I_i = 0.25(w_{As} + w_{Zn} + w_{Mo} + w_U)/w_P$;火山热液型为 $I_i = 4w_{Th}/(w_{Mg} + w_{Fe} + w_V + w_{Ni})$。

利用最佳指示元素及相关的有利度函数对已知铜矿化点的预测认为,西秦岭地区的矽卡岩型、热液型及火山喷发沉积型铜矿具有进一步找矿前景,尤以火山喷发沉积型铜矿最具前景。这一认识相对于前人的研究成果①强调了碧口群火山喷发沉积型铜矿的找矿前景。前人认为,区内有远景的矿床类型为斑岩型(分布区同矽卡岩型,所采用资料中无此类型)、矽卡岩型及矽卡岩—热液型,远景区划中未包括碧口群分布区。杜秀芬等于 1991 年完成的有关碧口群分布地区铜矿成矿预测研究中②,所列指示元素与本文相当。90 年代以来,甘肃地勘局以第一地质队为主在碧口群分布区进行了大量铜矿勘查工作,探明了伐子坝中型铜矿,并对其它一些矿点进行了工作,铜矿勘查取得可较为理想的成效。由于笔者未直接参与该项工作,难说本文是否有直接指导作用,但有一点事实是肯定的,碧口群分布区的已知具规模铜矿床及新探明的伐子坝中型铜矿均位于本区火山喷发沉积型铜矿最佳指示元素及相关有利度函数所确定的有利部位。

5 结论

通过西秦岭地区各类型铜矿地球化学场的统计研究总结出了矽卡岩型铜矿的最佳指示元素为 Ag、Cu、Au、U、Cd、Th、As、W、Ni、Mo,热液型铜矿的最佳指示元素为 Cu、Mg、Au、Ag、Mo,沉积型铜矿的最佳指示元素为 Cu、Ag、Mo、P、Th、Cd、Ba、Sb,火山喷发沉积型铜矿的最佳指示元素为 Fe、Co、Ni、Mn、

① 甘肃省地质局地质勘探科学研究所. 西秦岭地区内生铜矿床找矿方向研究. 1980.

② 甘肃地勘局化探队. 摩天岭复背斜区域地球化学特征及其与 Au、Cu、Bi 成矿关系的研究报告. 1991.

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

Cu、V、Au、Ti、Y、Mg、Ag、As、Sb、Pb、Zn、W、U。其中带下划线者为贫化型指示元素。它们对各类型铜矿具有明显的指示作用,应用方便;部分相应铜矿类型所特有的指示元素无明显的浓集区,但其高值区具有指示意义,应重视其应用价值。

具规模矿床所显示的指示元素均包含在各类型矿床总体所显示的指示元素中,但所显示的指示元素个数比各类型矿床总体所显示的要少得多,而且相对于各类型矿床总体所显示的指示元素来说具有较大的或然性,而各类型矿床总体所显示的指示元素的共性及特殊性所体现出来的明显的地质地球化学意义则从另外一个方面说明用多矿床综合统计的办法来总结矿床指示元素的可靠性。碧口群分布区的已知具规模铜矿床及新探明的伐子坝中型铜矿均位于本区火山喷发沉积型铜矿最佳指示元素及有利度函数所确定的有利部位。

基于碧口群这一成矿单元所做的因子分析取得较理想的结果,进一步说明西秦岭全区的指示元素反映的是相应铜矿类型矿田的区域地质建造,最佳指示元素则反映的是与成矿部位关系更为紧密的含矿地质建造。

本文初稿曾于 1988 年由原甘肃化探队副总工孙善才带至西安西北物化探情报交流会交流,此次重写本文,又得到了原甘肃地矿局副总工任丰寿、徐家乐和原甘肃化探队高工李奎生及中国地质大学(武汉)胡明安教授的指导,在此一并致谢!

参考文献:

[1] 殷先明. 甘肃岩金矿床地质[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社, 2000. 1 - 2.

[2] 郑明华,黄茂新,蔡建民,等. 矿床地质学原理[M]. 成都:成都科技大学出版社,1993. 367 - 375.

[3] 张本仁,谷晓明,蒋敬业. 应用成矿环境标志于地球化学找矿的研究[J]. 物探与化探,1989,(2).

[4] 赵伦山,张本仁. 地球化学[M]. 北京:地质出版社,1987. 392 - 396.

[5] 刘肇昌. 板块构造学[M]. 成都:四川科学技术出版社,1985. 141 - 162.

[6] 地质矿产部地质辞典办公室. 地质辞典(一)普通地质构造地质分册(下册)[M]. 北京:地质出版社,1983. 116.

REGIONAL GEOCHEMICAL STUDIES OF COPPER DEPOSITS IN THE WEST QINLING MOUNTAINS

HE Jin-zhong[1,2]

(1. *China University of Geosciences, Wuhan* 430074, *China*; 2. *Gansu No.* 2 *Institute of Geology and Mineral Exploration and Development, Yongden* 730300, *China*)

Abstract: A study of regional geochemical characteristics of four main genetic types of copper deposits in West Qinling Mountain area shows that there exist very few concentration areas of copper or other elements in 72 copper deposits or occurrences. Based on an analysis of the geochemical environment for the formation of major copper deposits within the distributive area of Bikou Group in southern Gansu, it is held that in West Qinling Mountain area, the indicator elements of various types of copper deposits only reflect the regional geological formations of the corresponding types of copper deposits, whereas the optimal indicator elements reflect ore-bearing geological formations. The known copper deposits in the distributive area of Bikou Group and the newly-discovered Faziba medium-size copper deposits are all located in the favorable positions indicated by the optimal indicator elements for the eruptive-sedimentary copper deposits of this area.

Key words: regional geochemistry; color area; concentration area and depleted area; optimal indicator elements; geochemical environment.

作者简介: 何进中(1963 -),男,高级工程师。1984 年毕业于西安地质学院地质矿产专业,曾任甘肃省地质勘查局第五地质矿产勘查院副总工和师,现为中国地质大学(武汉)在读硕士研究生,发表论文 7 篇。

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