

某些景观区隐伏金属矿地气法试验结果

高玉岩,汪明启,夏修展,王涛

(中国地质大学 地球科学与资源学院,北京 100083)

摘 要:自采用液体捕集剂以来,经过试剂提纯、使用超净环境和捕集装置的改进,地气观测精度得到很大提高,不仅证实了隐伏矿上方地气金属元素异常存在,而且在实际找矿中获得了很好的找矿效果。通过介绍黄土覆盖和冲积平原区隐伏金属矿床上方地气元素分布特征,说明地气测量能够用于该类条件下隐伏矿勘查,可望为类似景观区矿产勘查提供有效地球化学手段。

关键词:地气法;隐伏矿勘查;黄土覆盖区;冲积平原区

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2010)02-0144-06

随着寻找露头矿的难度和风险的加大,目前国内找矿的重点由找近地表矿逐步向找隐伏、半隐伏矿转变。我国覆盖区面积巨大(约占全国陆地总面积的 1/3 以上),而且许多地区具有良好的成矿远景。这类地区由于覆盖原因,只有能穿透覆盖层的特殊找矿方法才可能发挥作用。地气法正是利用了覆盖层能保存由下部迁移上来携带矿体信息的地气物质这一特性,是具广泛应用前景的隐伏矿勘查方法之一^[1-2]。地气法于 20 世纪 80 年代末引入我国,由于长期坚持在理论探索、方法有效性、试验不同矿种(铅锌矿、铜、铜多金属硫化物等)、不同覆盖条件等方面的研究^[3-10],自 2000 年以来,随着采用液体捕集剂和 ICP-MS 分析方法^[11],地气物质捕集效率和重现性大大提高^[12-13],测试数据的可靠性也进一步得到提高,地气现象的存在得到肯定。近年来,在国家自然科学基金、国家 863 计划和中国地质调查局资助下,通过试剂提纯、使用超净环境和捕集装置的改进,使得地气测量方法得到进一步完善,不仅可测定其元素含量,而且可测定其同位素组成并示踪其物质来源^[14]。这为地气法的理论研究和实际找矿方面提供了技术上的有力支持,使其在能实际找矿中发挥了更大的作用。

目前对地气物质形成和迁移的机制比较认可的是,隐伏矿体及围岩或伴生的指示元素,经某种机制如氧化作用形成纳米级微颗粒,在一种或几种机制共同作用下,垂向向上迁移至覆盖层形成上置晕^[15]。笔者通过介绍地气法在典型黄土覆盖区和冲积平原

区实验测量结果,并对比常规土壤测量结果,讨论地气方法在覆盖区用于矿产勘查的优越性及其意义。

1 黄土覆盖区——甘肃蛟龙掌多金属矿区

1.1 地理概况

蛟龙掌多金属矿区地处甘肃静宁县,属于温带半干旱大陆性气候。海拔高度多为 1 200 ~ 1 500 m。地貌形态以黄土梁峁为主。区内沟谷纵横,沟谷多切割至红层中上部。除葫芦河谷底有少量基岩出露外,几乎全被黄土和红层覆盖(>90%)。

研究区属北祁连火山岩系东段,是北祁连褶皱带白银厂多金属矿带的东延部分,属于庄静多金属成矿带。该区出露较老地层有上泥盆统(D_3sh)长石石英砂岩、中志留统(S_2j)火山碎屑岩夹石英砂岩及灰岩透镜体,上奥陶统扣门子组中性—中基性海相火山岩、火山碎屑岩夹砂岩薄层和灰岩透镜体。

蛟龙掌多金属黄铁矿矿(化)体多产于扣门子组第三岩组中段中酸性火山碎屑岩和第四岩组中段绿泥石英砂岩中,矿带长约 4 km,宽 400 ~ 600 m。矿石呈浸染状、浸染一条带状和浸染—细脉状。主要矿石矿物为黄铁矿、闪锌矿、磁铁矿、方铅矿、黄铜矿以及少量次生矿物——褐铁矿、白铅矿、软锰矿和孔雀石等。围岩蚀变为绢云母化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化、石榴石化等。矿石中主要成矿元素为 Zn、S、Fe、Pb、Cu、Mn,伴生 Ag、Cd、As、Mo、Hg 等。矿体多被厚度不等的黄红层覆盖,覆盖层厚度一般为 20 ~ 150 m,最厚处超过 300 m。

表 1 甘肃蛟龙掌矿区岩矿元素含量特征

元素	w(围岩元素)(n=7)			w(矿石元素)(n=10)			w(围岩元素) w(矿石元素)
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
Ag	82	188	129	6010	85430	35060	271.78
Pb	31.2	133.7	71.53	10281.8	23687.6	15588.53	217.93
Cd	183	490	284.5	28410	115374	57482	202.05
Zn	138.4	533.3	245.7	7810.8	39666.4	18884.77	76.86
Cu	12.7	17.4	15.33	58.1	685	303.4	19.79
Ce	44.7	52.5	48.88	35.7	82.6	62.9	1.29
Rb	4.7	77.6	35.73	18.9	68.5	42.9	1.20
Lu	0.25	0.43	0.32	0.17	0.44	0.34	1.06
Tb	0.54	0.73	0.59	0.38	0.78	0.61	1.03
Gd	3	3.98	3.33	2.14	4.35	3.44	1.03
Ho	0.53	0.79	0.61	0.34	0.79	0.63	1.03
Er	1.57	2.5	1.92	1.02	2.52	1.96	1.02
Cs	0.08	2.23	0.92	0.07	1.66	0.93	1.01
Dy	2.88	4.08	3.27	1.77	4.35	3.28	1.00
Eu	0.58	0.93	0.72	0.42	0.86	0.7	0.97
Sr	107.4	305.3	181.63	75	261.4	160.73	0.88
U	0.93	1.25	1.12	0.64	0.67	0.65	0.58
Ta	0.12	0.52	0.34	0.15	0.21	0.18	0.53
Th	5.86	14.34	10.04	3.96	6.23	5.25	0.52
Hf	2.7	6.92	4.47	1.87	2.66	2.31	0.52
Nb	1.54	6	3.83	1.62	2.25	1.97	0.51
Ba	20	495.1	168.63	20	165.1	68.37	0.41
Ti	1221	2905.6	1863.03	401	1280	694.6	0.37

注:元素含量单位:Ag、Cd 为 ng/g,其他元素为 μg/g。分析单位:中国地质科学院物化探所中心实验室,表 2~表 4 的分析单位相同。

黄土物质组成均匀,是进行地气实验的理想研究区。

1.2 矿石和围岩指示元素特征

为了解蛟龙掌多金属矿指示元素特征,对矿石和矿区围岩进行了采样分析,结果见表 1。可以看出,与矿区围岩相比,矿石中 Pb、Zn、Cd、Ag、Cu 等明显富集,富集倍数大于 10,为地气试验的主要指示元素。

稀土元素与其他元素不同,矿石中不仅没有增高,而且相对围岩,矿石中稀土含量反而降低。

1.3 常规土壤实验结果

本次地气试验选择选择蛟龙掌矿区矿化较好的 48 勘探线进行土壤与地气测量对比试验。同样点进行土壤采样和地气测量。

48 勘探线矿化体出露基岩面,但覆盖厚度为 50~200 m。剖面长 400 m,点距 20~40 m。为全面了解土壤中指示元素分布特征,对土壤中 50 多种元素含量进行了分析,包括 Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Sb、Cr、Ni、Co、Fe、Mn、Sn、REE 等,表 2 为分析结果,图 1 为元素空间分布。

由表 2 可以看出,成矿元素 Cu 含量在 22.0~26.5 μg/g,Pb 含量在 18.0~21.9 μg/g,Zn 含量在 63.3~72.1 μg/g。从变异系数看,各元素均较小,如 Cu 的变异系数为 0.058, Pb 的变异系数为 0.056, Zn 的变异系数为 0.037,表明土壤中元素分布非常均匀,是进行地气试验的理想研究区。

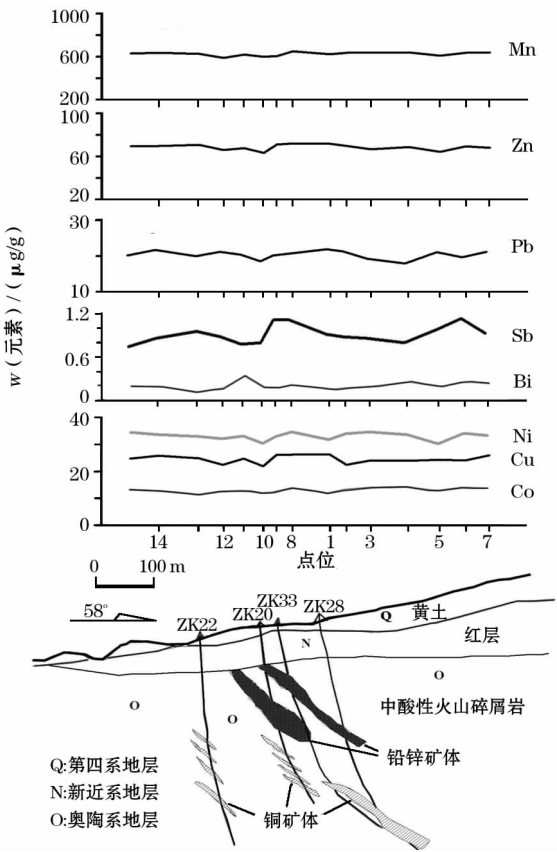


图 1 蛟龙掌矿区 48 勘探线土壤测量

从土壤元素空间分布(图 1)看,研究区土壤矿化指示元素 Cu、Pb、Zn、Bi、Sb、Cr、Ni 等都没有明显的起伏,矿体上方没有明显异常出现。因此,本区常规土壤测量无法用于寻找隐伏多金属矿体。

表 2 甘肃蛟龙掌 48 勘探线土壤元素及氧化物含量

元素	最小值	最大值	平均值	标准离差	变异系数	元素	最小值	最大值	平均值	标准离差	变异系数
Ag	50.9	87.3	71.5	10.85	0.152	Te	41.8	48.2	44.5	2.07	0.047
As	12.2	13.8	13.1	0.52	0.040	Th	10.9	13.3	12.3	0.72	0.059
B	49.5	61.6	54.3	3.89	0.072	Ti	3515.5	3732.1	3585.1	54.34	0.015
Ba	461.1	501.8	478.9	10.65	0.022	Tl	0.5	0.6	0.6	0.03	0.058
Be	1.8	2.1	1.9	0.09	0.046	U	2.5	4.0	3.2	0.37	0.117
Bi	0.3	0.4	0.3	0.02	0.080	V	73.1	83.4	78.7	2.44	0.031
Br	1.4	4.7	2.8	1.14	0.402	W	1.5	1.7	1.6	0.09	0.053
Cd	124.5	179.4	148.3	14.54	0.098	Zn	63.3	72.1	68.7	2.55	0.037
Cl	56.4	71.7	63.7	4.81	0.076	Zr	200.2	257.7	219.7	14.72	0.067
Co	10.9	14.0	12.6	0.97	0.077	Ce	59.9	71.1	65.2	3.28	0.050
Cr	66.2	73.7	69.5	1.90	0.027	Dy	4.4	5.3	4.9	0.22	0.046
Cs	7.4	9.8	8.4	0.73	0.086	Er	2.5	2.9	2.7	0.11	0.040
Cu	22.0	26.5	24.6	1.43	0.058	Eu	1.1	1.3	1.2	0.05	0.045
Ga	13.3	14.7	14.2	0.45	0.032	Gd	4.8	5.6	5.3	0.24	0.046
Hf	5.6	7.4	6.2	0.42	0.068	Ho	0.9	1.0	1.0	0.04	0.047
Hg	14.5	28.0	18.9	4.01	0.212	La	31.5	37.0	34.1	1.60	0.047
In	0.0	0.1	0.1	0.004	0.066	Lu	0.4	0.5	0.4	0.03	0.063
Li	34.2	42.2	38.8	2.30	0.059	Nd	28.2	33.0	30.5	1.53	0.050
Mn	589.4	651.0	626.0	17.27	0.028	Pr	7.4	8.6	7.9	0.37	0.046
Mo	0.7	1.2	0.9	0.12	0.134	Sm	5.3	6.2	5.8	0.27	0.048
Nb	10.9	13.0	12.1	0.48	0.040	Tb	0.8	0.9	0.9	0.03	0.037
Ni	30.3	34.6	33.0	1.37	0.041	Tm	0.5	0.5	0.5	0.02	0.039
P	601.7	1619.8	743.7	259.79	0.349	Y	23.2	27.5	25.5	1.09	0.043
Pb	18.0	21.9	20.4	1.14	0.056	Yb	2.6	3.0	2.8	0.13	0.047
Rb	91.5	100.6	96.3	2.59	0.027	SiO ₂	51.3	55.2	52.7	0.87	0.017
S	136.8	213.1	159.4	19.55	0.123	Al ₂ O ₃	10.9	11.4	11.2	0.17	0.016
Sb	0.7	1.1	0.9	0.12	0.135	Fe ₂ O ₃	4.2	4.5	4.4	0.11	0.025
Sc	10.6	13.2	12.0	0.78	0.065	MgO	2.4	2.9	2.7	0.16	0.059
Sn	2.3	3.1	2.8	0.21	0.075	CaO	8.9	9.5	9.1	0.21	0.023
Sr	248.0	345.7	292.9	29.94	0.102	Na ₂ O	1.6	1.8	1.7	0.04	0.026
Ta	0.9	1.1	1.0	0.06	0.063	K ₂ O	2.3	2.4	2.3	0.05	0.020

注:元素含量单位 Ag、Cd 为 ng/g、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、MgO、CaO、Na₂O、K₂O 为%,其他元素为 μg/g。

1.4 地气测量实验结果

1.4.1 捕集材料空白特征

捕集剂是地气测量成败关键因素之一。作为捕集剂的首要条件是其本底中金属元素含量要极低而且均匀。通过实验摸索,选择采用特殊方法清洗容器、高纯试剂提纯、超净环境捕集剂封装等处理技术,成功控制了捕集剂测试指标本底含量(表 3)。可以看出,部分金属元素 $w(\text{Ag}) < 0.002 \text{ ng/mL}$ 、 $w(\text{Cu}) < 0.263 \text{ ng/mL}$ 、 $w(\text{Pb}) < 0.56 \text{ ng/mL}$ 、 $w(\text{Zn}) < 2.326 \text{ ng/mL}$,许多元素接近甚至低于 ICP-MS 检出限(10^{-12}),常量元素含量也控制在 10 μg/mL 以下,完全满足了地气测量的技术要求。

1.4.2 地气测量结果

采样方法采用主动法,采样过程时间短(每个采样点几分钟至十几分钟),操作条件易于控制,有利于在生产实践中推广应用。

样品分析采用等离子质谱仪分析。等离子质谱仪特别适用液态捕集剂分析,分析灵敏度达高 $10^{-9} \sim 10^{-12}$,一次可测定多种元素,是目前最有效的地气样品分析方法。测定元素有: Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Sb、Cr、Ni、Co、Fe、Mn、Sn、REE 等 50 余种。

表 3 液态捕集剂部分测试指标本底含量

指标	含量	指标	含量	指标	含量	指标	含量
Ag	0.002	Lu	0.001	Tl	0.001	Dy	0.004
Au	0.003	Mn	0.741	Y	0.006	Sm	0.005
Ba	0.159	Mo	0.027	Yb	0.005	La	0.008
Be	0.010	Nb	0.054	Zn	2.326	Sr	0.080
Bi	0.001	Nd	0.007	As	0.145	Al ₂ O ₃	0.07
Cd	0.023	Ni	2.105	Hg	0.006	CaO	0.48
Ce	0.010	Pb	0.560	U	0.001	Fe ₂ O ₃	0.08
Co	0.079	Pr	0.002	P	49.9	K ₂ O	5.12
Cr	2.102	Rb	0.056	Li	1.190	MgO	0.03
Cs	0.003	Sb	0.012	Th	0.007	Na ₂ O	4.48
Cu	0.263	Sc	0.472				

注:指标含量单位 Al₂O₃、CaO、Fe₂O₃、K₂O、MgO、Na₂O 为 μg/mL,其他指标为 ng/mL。

虽然分析元素较多,但受篇幅所限,仅对主要指示元素 Pb、Zn、Cd、Bi、Cu 等成图(图 2)。可以看出,在矿石中富集程度高的元素如 Cu、Pb、Zn、Cd、Bi 等元素均在矿体上方出现不同强度异常,异常清晰,特别是 Cu、Pb、Bi 不仅异常强度高,而且范围宽,与隐伏矿体空间位置对应。地气异常峰值出现在矿体上方 10 号样点,该点 $w(\text{Cu}) > 6\,000 \text{ ng/L}$ 、 $w(\text{Pb}) > 1\,000 \text{ ng/L}$ 、 $w(\text{Zn}) > 10\,000 \text{ ng/L}$,对应于主矿体出露基岩面部位。

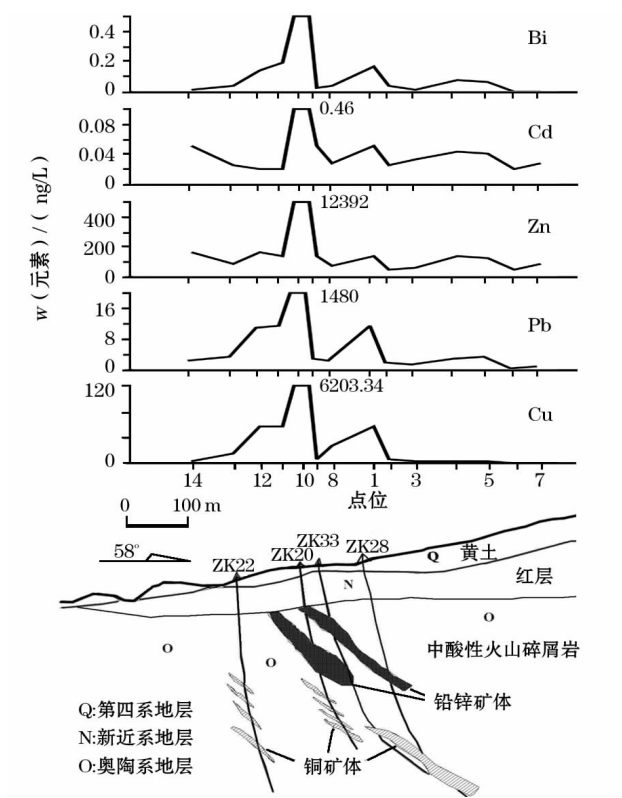


图2 蛟龙掌矿区48勘探线地气测量

地气测量结果说明,在厚黄土覆盖、常规化探无效的情况下,地气测量能够有效指示隐伏矿体,表明地气方法具有良好的应用前景。

2 冲积平原区——山东王家庄铜矿

2.1 地理地质概况

王家庄铜矿地处山东邹平县,鲁中泰沂山区与鲁北黄泛平原的叠交地带,海拔高度多为20~40 m。在地球化学景观上属湿润冲积平原区。矿区处于华北板块东南部,郯庐深大断裂(沂沭断裂)西侧,是山东省铜、金、钼等金属矿产重要产地之一。地表为第四系冲、洪积物覆盖,仅在矿区西部及南部可见白垩系下统青山组的中亚组和上亚组部分火山、次火山岩出露。

王家庄铜矿床位于邹平火山岩盆地中偏北部的会仙山破火山口中心部位,火山通道构造是主要控岩控矿构造,其外围发育放射状断裂。含矿岩体为王家庄石英闪长岩、石英二长岩体。矿体被第四系黄河冲积物所掩埋,覆盖层厚度一般在80~120 m。

2.2 矿石元素含量特征

矿石类型主要有伟晶状含金富铜矿矿石和细脉浸染状铜矿矿石。矿石结构有他形一半自形粒状结构、填隙结构、交代残余结构等,矿石构造有伟晶状构造、晶洞状构造、角砾—砂状构造、细脉浸染状构

造等。金属矿物主要有黄铜矿、砷黝铜矿、斑铜矿、辉钼矿、黄铁矿等。矿石中Cu平均含量3.99%,属富铜矿石,S平均含量7.22%^[16]。其中伟晶状含金富铜矿矿石Cu平均含量6.19%~9.05%,细脉浸染状铜矿矿石Cu平均含量0.51%~0.6%,一般在铜矿化厚度大的地段矿石中Cu含量较高。

为了解王家庄岩矿指示元素特征,对矿石和矿区围岩进行了采样分析,表4为分析结果。可以看出,与矿区围岩相比,矿石中Cu、Pb、Zn、Bi、Ag等明显富集,Cu富集倍数大于67,Bi富集倍数大于103。Cu、Pb、Zn、Bi、Ag可作为地气试验的主要指示元素。

2.3 土壤测量结果

选择王家庄矿区穿过主矿体的15勘探线作为实验剖面(图3)。15勘探线矿化体出露基岩面,但覆盖厚度为80~120 m。剖面长450 m,点距25 m。

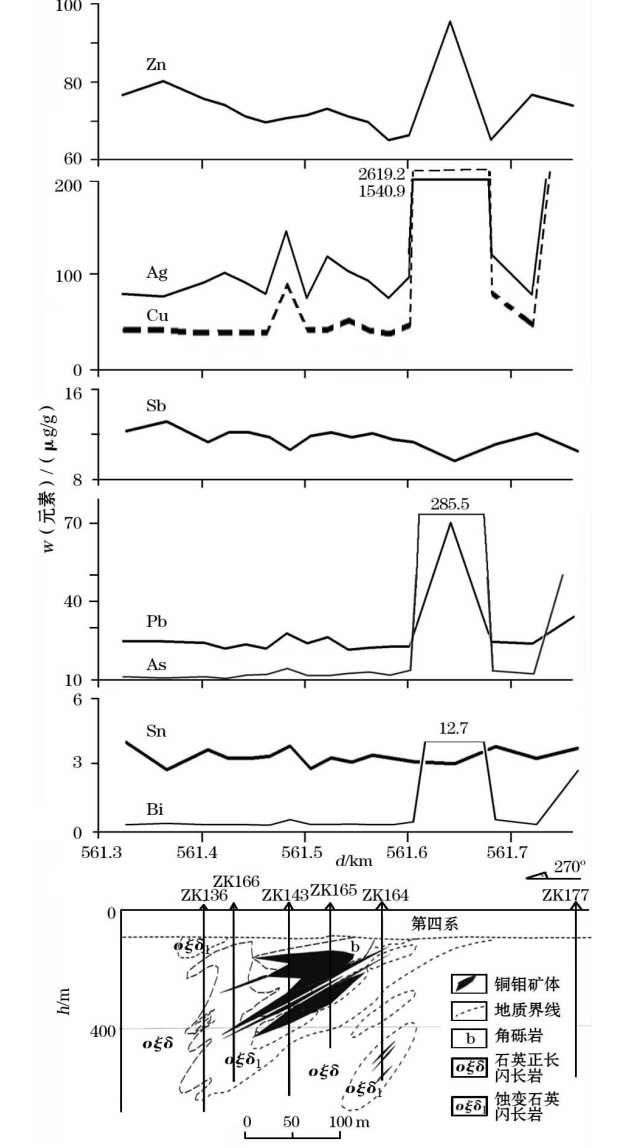


图3 王家庄铜矿区15勘探线土壤测量

表 4 山东王家庄矿区岩矿元素含量

元素	<i>w</i> (围岩元素)(<i>n</i> = 13)			<i>w</i> (矿石元素)(<i>n</i> = 11)			<i>w</i> (围岩元素) <i>w</i> (矿石元素)
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	
Sb	9.1	6966.3	748.82	0.5	5.7	1.86	402.59
Bi	0.1	210.0	22.67	0.1	0.5	0.22	103.90
Cu	447.2	150479.3	17316.81	110.1	725.8	257.73	67.19
Ag	428.0	51924.0	6237.10	88.0	290.0	173.27	36.00
Au	14.3	1009.9	140.50	2.4	10.4	5.94	23.65
Cd	46.0	6433.0	1649.10	43.0	274.0	94.27	17.49
As	3.6	831.9	192.54	1.6	138.3	16.07	11.98
Pb	5.8	2439.3	314.45	20.1	58.3	30.21	10.41
W	1.5	35.2	12.71	2.0	5.7	2.98	4.27
Zn	10.8	1032.8	136.68	24.1	72.1	45.16	3.03
Rb	0.9	294.0	170.50	96.7	130.0	114.02	1.50
Y	0.3	59.0	11.49	9.8	12.9	11.74	0.98
Ni	2.7	55.9	12.10	10.5	14.2	12.47	0.97
Er	0.0	6.2	1.15	1.0	1.4	1.23	0.94
Ho	0.0	2.2	0.41	0.4	0.5	0.44	0.93
Lu	0.1	0.8	0.22	0.2	0.3	0.23	0.93
Dy	0.1	12.6	2.38	2.2	2.8	2.57	0.93
Tm	0.0	0.9	0.17	0.2	0.2	0.18	0.92
Tb	0.0	2.4	0.46	0.4	0.6	0.51	0.91
Gd	0.1	17.6	3.41	3.3	4.1	3.77	0.90
La	0.9	129.6	38.61	38.1	46.7	42.76	0.90
Yb	0.0	5.7	1.10	1.0	1.4	1.22	0.90
Sm	0.1	22.1	4.53	4.9	5.8	5.36	0.85
Nd	0.5	115.2	26.32	28.7	34.2	31.60	0.83
Ce	1.1	238.0	65.81	71.7	87.8	80.21	0.82
Pr	0.1	29.8	7.35	8.2	9.8	8.98	0.82
Ba	23.0	1923.0	1036.40	1226.0	1578.0	1371.55	0.76
Eu	0.0	2.6	0.91	1.3	1.6	1.44	0.63
Co	0.9	17.8	4.46	5.9	8.1	7.19	0.62
Cr	2.7	16.4	9.64	13.3	22.8	20.43	0.47
Sr	5.5	488.0	246.05	466.7	1073.6	892.44	0.28

注:元素含量单位 Ag、Au、Cd 为 ng/g,其他元素为 μg/g。

以矿体为中心,向两侧布点。

为全面了解土壤中元素含量特征,对其中 62 种元素的含量进行了测定,包括 Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Sb、Cr、Ni、Co、Fe、Mn、Sn、REE等。*w*(Cu)一般为38.4 ~ 60 μg/g,*w*(Pb)为21.8 ~ 70.5 μg/g,*w*(Zn)在65.3 ~ 95.7 μg/g。其中部分元素含量极值出现在测线东部13号采样点,如*w*(Cu)为2 619.20 μg/g,*w*(Ag)为1 540.9 μg/g,系采矿污染所致。

图3中可以看出,研究区土壤中Cu、Pb、Zn、Bi、Sb、Ag、Sb等在Cu矿体上方没有异常显示。虽然在远离矿体的测线东侧出现了有极高Cu和Ag的单点异常,但该点异常与采矿污染有关。说明在黄河冲积物厚覆盖条件下,常规土壤测量无法发挥指示作用。

2.4 地气测量结果

虽然本次实验共分析了43种元素,但仅Pb、Zn、Ag、Bi、Cu、Co、Ni、Sb等10元素在矿体上方有异常显示。图4为15勘探线Pb、Zn、Ag、Bi、Cu元素分布。可以看出,在矿体上方Cu、Pb、Zn、Ag、Bi等元素均出现不同强度异常,异常清晰,异常峰值出现在矿

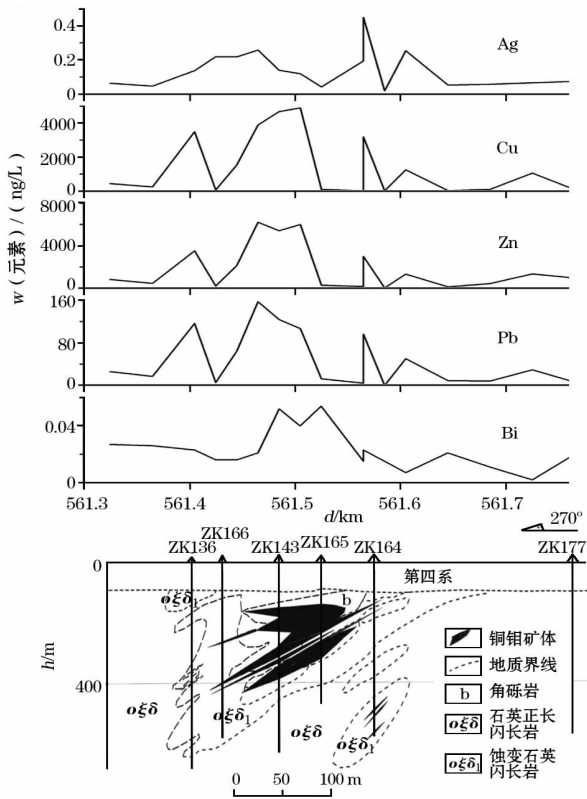


图 4 王家庄铜矿区 15 勘探线地气测量

体上方的 ZK166 ~ ZK164 之间,元素含量最高值 w (Cu) 大于 4 000 ng/L、 w (Zn) 大于 6 000 ng/L。异常与矿体空间位置基本吻合。从异常与矿体空间位置看,不同元素有所差异: Co、Ni、Bi、Mo、Cr 异常形态类似,强异常出现在主矿体头部,虽然强度高,但异常范围小; Cu、Bi、Ag、Pb、Zn 异常范围宽,异常峰值出现在主矿体上方。在 ZK164 下为规模小、埋藏更深的铜矿体,该部位 Cu、Bi、Ag、Pb、Zn 等也显示出较主矿体相对较弱的清晰异常。这说明在冲积平原区常规化探指示无明显指示效果的情况下,地气异常能有效地指示深部隐伏矿体。

王家庄铜矿试验研究说明,在冲积平原区厚覆盖条件下,地气法也能很好地指示深部隐伏矿体,为东部平原区矿产勘查提供了一种有效手段。

3 结论

(1) 在不同覆盖条件、常规土壤测量无效的情况下,地气测量均发现了清晰的金属元素异常,异常强度高且与矿体空间位置吻合。说明地气法在运积物厚覆盖的条件下,对寻找隐伏金属矿能发挥出独特的找矿作用,为覆盖区矿产勘查提供了有效的地球化学手段。

(2) 液体捕集剂和 ICP-MS 分析方法的采用,使得地气法捕集效率和分析测试水平大大提高,测试数据的可靠性也进一步得到提高。同时为地气法走向标准化和工程化提供技术上的有力支持,为在实际找矿中推广提供了保证。

参考文献:

[1] 汪明启. 国际勘查地球化学现状和发展趋势 [J]. 地球科学进展, 2005, 04 (20) : 477.

[2] 汪明启, 刘应汉, 高玉岩. 地气测量在北祁连盆地区找矿突破及其意义 [J]. 物探与化探, 2006, 30 (1) : 7.

[3] 任天祥, 刘应汉, 汪明启. 纳米科学与隐伏矿藏——一种寻找隐伏矿的新方法、新技术 [J]. 科技导报, 1995, 8 : 33.

[4] 刘应汉, 任天祥, 汪明启, 等. 隐伏矿区地气测量试验及效果 [J]. 有色金属矿产与勘查, 1995, 4 : 355.

[5] 伍宗华. 地气测量在叶县—邓县—南漳地学剖面研究中的应用 [J]. 岩石学报, 1995, 11 : 333.

[6] 伍宗华, 金仰芬. 山东邹平铜矿床上方地气流的组分特征及赋存状态研究 [J]. 物探与化探, 1996, 20 (1) : 14.

[7] 刘应汉, 任天祥, 汪明启. 应用于矿产勘查的地下纳米物质 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 1997, 16 : 250.

[8] 尹冰川, 伍宗华, 金仰芬. 地气溶胶测量——一种寻找隐伏矿床、研究深部构造地质的新方法、新技术 [J]. 地质地球化学, 1997, 229 : 25.

[9] 童纯蒨, 李巨初, 葛良全等. 地气物质纳米微粒的实验观测及其意义 [J]. 中国科学 (D 辑), 1998, 28 : 153.

[10] 童纯蒨, 李巨初. 地气测量寻找深部隐伏金矿及其机理研究 [J]. 地球物理学报, 1999, 42 : 135.

[11] 刘应汉, 孔牧, 孙忠军, 等. 纳米物质测量的液态捕集剂研究 [J]. 物探与化探, 2003, 27 (6) : 455.

[12] 刘应汉. 青海拉水峡铜镍矿纳米物质地球化学异常特征及找矿模型 [J]. 地质与勘探, 2003, 39 (2) : 11.

[13] 汪明启, 高玉岩, 张得恩, 等. 地气测量在北祁连盆地区找矿突破及其意义 [J]. 物探与化探, 2006, 30 (1) : 7.

[14] 汪明启, 高玉岩. 利用铅同位素研究金属矿床地气物质来源——甘肃蛟龙掌铅锌矿床研究实例 [J]. 地球化学, 2007, 36 (4) : 391.

[15] 汪明启. 从第一届国际应用地球化学会议看国际应用地球化学现状和发展趋势 [J]. 地球科学进展, 2006, 21 (1) : 90.

[16] 韩玉珍, 王世进, 曹秀华. 山东省邹平地区铜矿成矿地质条件及典型矿床研究 [J]. 山东国土资源, 2008, 24 (3) : 20.

GEOGAS TESTS IN THE EXPLORATION OF CONCEALED METALLIC DEPOSITS
IN SOME LANDSCAPE AREAS

GAO Yu-yan, WANG Ming-qi, XIA Xiu-zhan, WANG Tao

(School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Since the adoption of liquid trapping agent, the observation accuracy of geogas has been greatly improved through purification of reagents, utilization of super-clean environment and improvement of the collecting device. Geogas anomalies appear over concealed deposits, and a favorable effect is obtained in ore prospecting. This paper describes the features of geogas element distribution over concealed metallic deposits, in loessial overburden areas and on alluvial plains. Geogas survey is an effective geochemical means and can be used in search for concealed deposits in similar landscape areas.

Key words: geogas; concealed deposit exploration; loessial overburden area; alluvial plain

作者简介: 高玉岩 (1975 -), 男, 中国地质大学 (北京) 在读博士研究生, 主要研究方向勘查地球化学。