

构造叠加晕找矿法在云南省杨梅田铜矿床 深部盲矿预测中的应用

任良良,王润涛,张承玉,魏江,田华

(中国冶金地质总局地球物理勘查院,河北 保定 071051)

摘要: 云南省龙陵县杨梅田铜矿为中温热液型铜矿床,铜矿体的分布宏观上受上奥陶统第2层底部层位的控制,主要产于构造破碎带中。在系统研究赋矿地层和矿床的元素组合、成矿成晕的轴向分带及叠加特征基础上,总结了深部盲矿预测的构造叠加晕标志;根据矿床成矿规律和探矿构造圈定有利成矿空间,结合构造叠加晕原理,在有利成矿空间上方坑道或钻孔中的前缘晕叠加部位圈定盲矿体预测靶区,并对定位预测的靶区进行工程验证。验证结果证明了构造叠加晕找盲矿法在热液型铜矿深部盲矿体定位预测的有效性。

关键词: 杨梅田铜矿;构造叠加晕找矿法;热液型铜矿;深部盲矿体预测;云南省

中图分类号: P632.2;P618.41 **文献标识码:** A

0 引言

热液矿床的成矿成晕往往具有多期(次)叠加的特点。李惠教授领衔的科研团队根据热液型矿床成矿成晕多与构造有关的特性,将原生叠加晕找盲矿法进一步发展构造叠加晕找盲矿法^[1-3]。应用构造叠加晕找盲矿法的理论方法已在近百个热液型金矿床及外围进行找矿实践,取得了显著效果,而将该方法应用于杨梅田热液型铜矿床尚为首例。

杨梅田铜矿位于云南省龙陵县,为中温热液脉状铜矿床,成矿受地层和层间断裂构造的控制。本次研究通过系统研究赋矿地层元素组合、矿床元素组合、成矿成晕的元素轴向分带及叠加特征,总结深部盲矿预测的构造叠加晕标志^[4],并对深部盲矿进行预测,提出找矿靶位,为进一步探矿增储提供依据。经过验证取得了良好的预测效果,证明构造叠加晕找盲矿法适用于热液型铜矿床。

1 矿床地质特征

1.1 赋矿地层和控矿构造

(1)地层。矿区内主要出露的地层有奥陶系灰岩、白云质大理岩和砂岩,志留系砂质板岩、长石石英砂岩等,地层岩石均遭受中-浅程度的变质作用。铜、铅、银矿体主要赋存于上奥陶统第2层的青灰色-灰白色中厚层灰岩夹白云质大理岩中。

(2)构造。受区域构造影响,区内褶皱和断裂构造较为发育。杨梅田铜矿主要赋存在杨梅田向斜东翼的上奥陶统薄-中厚层灰岩中,岩层倾向W,倾角70°~89°。断裂构造大致分为2组,先期形成的SN向断裂被NE向断裂切割,前者既是矿液通道,又是容矿构造,控制了区内矿体的产状、形状及规模。

(3)变质作用与矿化。矿区的变质作用可分为热变质作用和热液蚀变作用,热液沿SN向断裂破碎带、剪切裂隙或褶皱枢纽部位的层间裂隙带进行交代,使灰岩的矿物重结晶,形成大理岩,并使岩石产生硅化等热液蚀变,距离断裂破碎带越近,大理岩化

收稿日期: 2019-01-17; 改回日期: 2019-03-21; 责任编辑: 余和勇

作者简介: 任良良(1987—),男,工程师,主要从事矿产勘查与地质工程工作。通信地址:河北省保定市新市区阳光北大街139号;邮政编码:071051;E-mail:renliang2002@163.com

和硅化越强,有利于形成多金属矿化或铜矿体。

1.2 矿体特征

杨梅田铜矿为多金属矿化带,呈 SN 向展布,矿带全长数十千米,矿化受 SN 向层间断裂带、次级构造裂隙和岩性的控制,均分布在上奥陶统中,赋矿围岩主要为微晶灰岩、白云质大理岩等。近矿围岩普遍具硅化和大理岩化,其中硅化与铜矿化的关系密切。围岩中普遍有铜矿化, $w(\text{Cu}) = 0.01\% \sim 0.05\%$ 。矿体呈矿团、矿巢、脉状、不规则状等。

铜矿石的自然类型为氧化铜矿石,矿石工业类型为铜银伴生矿石,矿床工业类型为热液脉型铜矿。

矿石矿物成分主要有孔雀石、蓝铜矿,次为黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、黝铜矿、赤铜矿、偶见黄铁矿、方铅矿及铅矿氧化矿物。铜品位平均为 0.82% ,最高可达 7.98% 。有益伴生组分为银,铜高则银高,呈正相关关系。

矿石结构多为半自形-他形粒状变晶结构,亦具残余交代结构。矿石构造常具星点状、浸染状、细脉状,偶见稠密浸染状和块状构造。

2 矿床地球化学特征

2.1 地层地球化学背景特征

赋矿地层中浓集克拉克值^[5] ≥ 1 的元素有 Cu、Pb、Ag、As、Sb、Be、Cd 和 Bi。

各元素浓集克拉克值从大到小依次是: Bi (122.35) $>$ Ag(24.05) $>$ Pb(20.91) $>$ Cd(12.06) $>$ Cu(3.02) $>$ Sb(2.24) $>$ As(1.3) $>$ Be(1.25)。

中奥陶统砂岩的 Cu、Pb、Ag、Sb、Mn 元素含量相对较高;上奥陶统灰岩的 Cu、Ag、Sr、Cd 元素含量相对较高;上奥陶统砂质板岩的 Zn、Ba、Ge、Bi 元素含量相对较高;大雪山中粗粒花岗岩的 As、Li 元素含量相对较高。由此可见,中奥陶统砂岩和上奥陶统灰岩的成矿元素显著高于其它地层。

2.2 矿床元素组合特征

表 1 列出了杨梅田铜矿床各类矿石中微量元素在不同含量区段的组合特征。

以各元素衬值 >2 为标准,与 Cu 共同的元素组合是 Cu、Pb、Zn、Ag、As、Sb、Hg、Ge、Bi、Mn、Co;以各元素衬值 >2 为标准,与 Pb 共同的元素组合是 Cu、Pb、Zn、Ag、As、Sb、Hg、Bi、Mn;以各元素衬值 >2 为标准,与 Ag 共同的元素组合是 Cu、Pb、Zn、Ag、As、Sb、Hg、Cd、Ge、Bi、Mn、Co。综合分析,Cu、Pb、Ag 的元素组合比较接近,表明这几种矿体同期成矿^[6],其共同的元素组合为 Cu、Pb、Zn、Ag、As、Sb、Hg、Bi、Mn。

表 1 杨梅田铜矿床微量元素在不同含量区段的组合特征

Table 1 Characteristics of trace elements in different content sections of Yangmeitian copper deposit

元素	$w(\text{Cu}) \geq 0.2\%$		$w(\text{Cu}) \geq 2\%$		$w(\text{Pb}) \geq 0.3\%$		$w(\text{Pb}) \geq 2\%$		$w(\text{Ag}) \geq 20 \times 10^{-6}$		矿区背景
	几何均值	衬值	几何均值	衬值	几何均值	衬值	几何均值	衬值	几何均值	衬值	
Cu	10965.87	57.56	51204.70	268.77	640.18	3.36	534.06	2.80	2640.87	13.86	190.52
Pb	690.80	2.75	1466.33	5.84	16714.75	66.61	49454.67	197.07	13037.29	51.95	250.95
Zn	227.64	2.44	504.34	5.40	423.23	4.53	374.55	4.01	532.55	5.70	93.35
Ag	6.07	3.16	15.30	7.95	10.63	5.52	23.23	12.07	33.37	17.34	1.92
As	61.26	21.40	133.00	46.46	45.08	15.75	38.29	13.38	75.57	26.40	2.86
Sb	17.07	12.72	37.04	27.61	20.21	15.07	37.52	27.97	66.24	49.39	1.34
Hg	47.43	3.19	54.59	3.68	66.72	4.49	78.72	5.30	124.36	8.38	14.85
F	268.31	0.61	269.34	0.61	234.57	0.53	177.53	0.40	210.39	0.48	440.26
Sr	31.39	0.34	28.14	0.31	51.44	0.56	66.25	0.72	54.03	0.59	92.09
Ba	134.82	0.65	158.88	0.76	247.21	1.19	214.07	1.03	202.09	0.97	207.77
Li	6.24	0.50	6.49	0.53	6.60	0.53	6.51	0.53	6.48	0.52	12.35
Be	1.04	0.64	1.09	0.67	0.99	0.61	0.76	0.46	0.79	0.48	1.63
La	9.07	0.39	8.41	0.36	12.13	0.52	11.74	0.51	10.65	0.46	23.15
Cd	1.55	0.85	1.91	1.06	3.35	1.85	4.52	2.50	3.91	2.16	1.81
Ge	2.07	2.34	2.27	2.56	1.62	1.83	1.62	1.83	1.80	2.03	0.89
Bi	5.78	11.81	11.96	24.45	2.96	6.04	4.45	9.10	6.14	12.54	0.49
Mn	1035.72	3.42	723.13	2.39	2043.83	6.76	1807.17	5.97	1193.26	3.94	302.55
Co	11.24	2.03	26.25	4.75	8.47	1.53	7.66	1.39	11.52	2.08	5.53
Ni	18.41	1.21	13.10	0.86	12.45	0.82	14.08	0.93	17.84	1.18	15.17
V	8.39	0.34	9.26	0.38	9.31	0.38	6.87	0.28	7.81	0.32	24.59

注:量的单位: $w_{\text{B}}/10^{-6}$,其中 $w(\text{Hg})/10^{-9}$ 。衬值=几何平均值/矿区背景。

2.3 元素相关关系

杨梅田铜矿中 $w(\text{Cu}) \geq 0.2\%$ 的元素相关关系,如表 2 所述。

表 2 杨梅田铜矿 ($w(\text{Cu}) \geq 0.2\%$) 的元素相关关系表
Table 2 Element correlation ($w(\text{Cu}) \geq 0.2\%$) in the Yangmeitian copper deposit

元素	正相关元素	负相关元素
Cu	Ag, As, Sb, Bi, Co, Ni	
Pb	Zn, Ag, Sb, Sr, Cd, Co, Ni	Ge
Zn	Pb, Ag, Sr, Cd, Mn	Ge
Ag	Cu, Pb, Zn, As, Sb, Hg, Sr, Cd, Bi, Co, Ni	Be
As	Cu, Ag, Sb, Hg, Cd, Bi, Co, Ni	
Sb	Cu, Pb, Ag, As, Hg, Sr, Cd, Bi	
Hg	Ag, As, Sb, Cd	
F	Ba, Li, Be, La, V	Sr
Sr	Pb, Zn, Ag, Cd, Mn	F, Be, Ge
Ba	F, La, V	
Li	F, Be, La, V	
Be	F, Li, La, V	Ag, Cd
Cd	Pb, Zn, Ag, As, Sb, Hg, Sr, Mn	F, Ge
Ge		Pb, Zn, Sr, Cd, Mn, V
Bi	Cu, Ag, As, Sb, Co	
Mn	Zn, Sr, La, Cd	Ge
Co	Cu, Pb, Ag, As, Bi, Ni	
Ni	Cu, Pb, Ag, As, Co	
V	F, Ba, Li, Be, La	Ge

3 构造叠加晕特征及标志

3.1 原生晕轴向分带^[7]特征

根据吴承列等^[7]总结的铜矿床原生晕轴向分带规律,在杨梅田铜矿的矿体及周围出现异常的元素有 Pb、Zn、Ag、As、Sb、Hg、Mn、F、Sr、Bi、Ba、La、Cd、Ge、Ni、V。

其中,Pb、Zn、Ag、As、Sb、Hg、Mn、F 元素多表现为矿体轴向地段的中、内带异常,而其他元素则呈零星出现的内、中、外带异常。

As、Sb、Hg、F 元素的强异常分布在矿体的上部及前缘,Pb、Zn、Ag、Mn、Co、Ni、Bi 元素异常分布在矿体的周围,Sr、Ba、La、Cd、V 元素的强异常分布在矿体下部。

成矿较好的宝顺铜矿段 V3 与 V3-1 号矿体底部 As、Sb 元素均有内带异常显示,且近矿指示元素 Pb、Ag 异常连续向下延伸,预示其下部有较好的成矿条件(图 1)。

3.2 构造叠加晕特征

成矿元素 Cu 及 Pb、Ag 由地表向深部有逐渐变弱的趋势,As、Sb、Hg、Ba、F 元素向深部有一定的延伸并逐渐增强。

由于叠加,计算轴向分带序列出现反常-反分带^[3-4];其中不同标高元素分带序列从上向下为 Zn-Hg-F-Ba-Li-Be-La-Cd-Mn-V→Cu-As-Sb-Ge-Bi-Co-Ni→Pb-Ag-Sr。

对比典型的热液型矿床^[8],尾晕指示元素 Mn、V 出现在上部,而前缘晕指示元素 As、Sb 出现在中、下部,Pb、Ag 等近矿元素出现在了分带序列的下部和尾部,形成了明显的反分带现象,这说明先期形成的上部矿体尾晕指示元素与下部矿体形成的头部指示元素叠加在一起;这种反分带现象往往预示着深部可能存在有盲矿体。

3.3 构造叠加晕标志

(1)最佳及特征指示元素组合。①根据杨梅田铜矿床各指示元素在矿体及周围形成异常的强弱及单元素形成原生晕的轴向分带特点,总结出该矿床最佳指示元素组合为 Cu-Pb-Zn-Ag-Mn-As-Sb-Hg-F-Sr-Bi-Ba-La-Ni-V;②特征指示元素组合:矿体前缘晕特征元素是 As、Sb、Hg、F,近矿晕特征元素是 Ag、Cu、Pb、Zn,尾晕特征元素是 Mn、Ba、La、Bi、Ni、V;③各指示元素对预测盲矿的指示意义:Cu 是矿区铜矿体的最直接、最重要的指示元素;As、Sb、Hg、F 是铜矿前缘晕的特征指示元素,在有 Cu 异常出现时伴有 As、Sb、Hg、F 元素的强异常,指示深部有盲矿体的存在;Pb、Zn、Ag 元素强异常距离矿体较近;Sr、Ba、La、V、Ni、Bi 元素强异常出现多指示着矿体尾部的出现,但当其与前缘晕指示元素 As、Sb、Hg、F 等强异常共存时,则指示矿体向下还有较大延伸或深部还会出现盲矿体。

(2)地球化学参数轴向变化规律。①杨梅田宝顺铜矿段 V3 矿体地球化学参数轴向变化规律:As、Sb 为前缘晕元素,Bi、Mn 为尾晕元素(表 3),从地表到中部的 PD1 中段再到 PD2 中段,As $\times$ 100/Bi 由高→低→高,即地表前尾晕比值高(1 280.28),矿体部位(PD1 中段)比值降低(185.43),矿体下部(PD2 中段)比值出现转折升高(583.15),显示下方有利于成矿;其他参数前尾晕比值从低→高→降低,底部 PD2 中段比值高于地表,也表示下部成矿的可能性较大;②杨梅田宝顺铜矿段 V3-1 矿体地球化

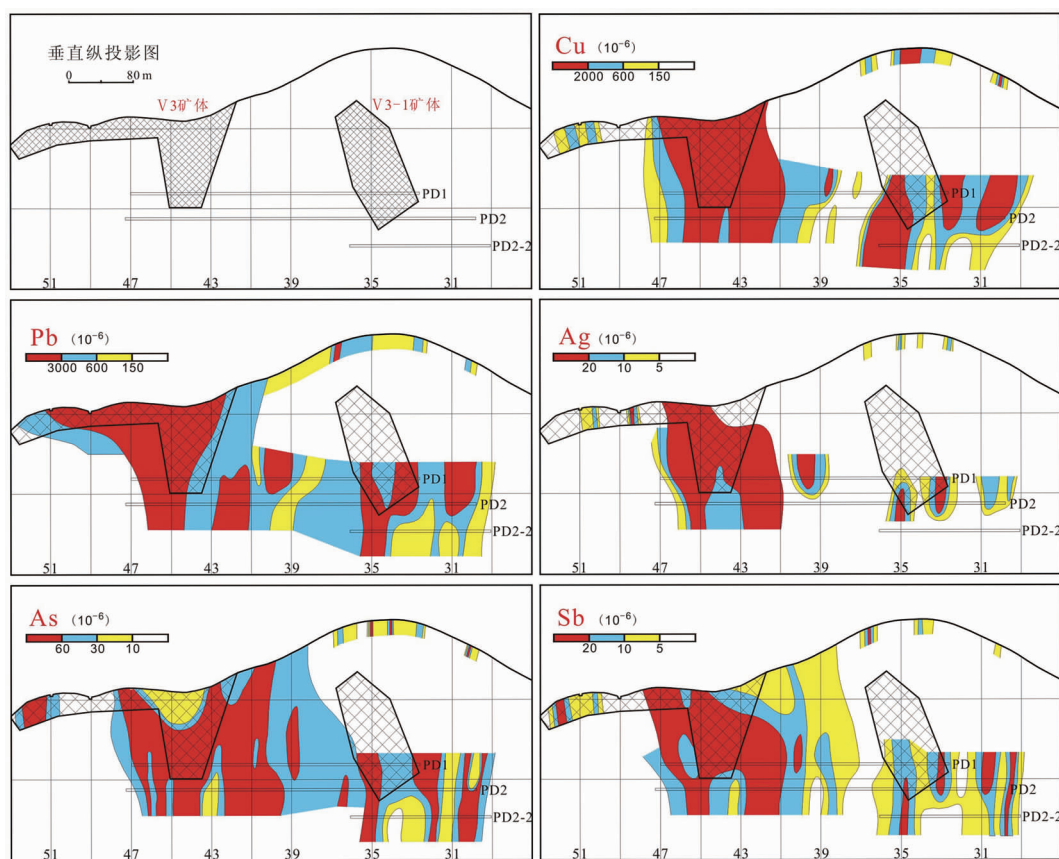


图1 宝顺铜矿段构造叠加晕垂直纵投影图

Fig. 1 Vertical projection diagram of the structure superposition of Baoshundong Cu ore domain

学参数轴向变化规律(表4)显示, $Sb \times 100/Bi$ 逐渐升高, $As \times 100/Bi$ 由高→低→高,表明底部(PD2-2)中段位置前缘晕元素再度升高,出现转折,指示其下方有利成矿。

(3)深部盲矿预测构造叠加晕标志。①在有Cu元素弱异常时,若前缘晕指示元素As、Sb、Hg、F有强异常的出现,而尾晕元素Sr、Ba、La、Cd、V元素异常较弱,则指示深部有盲矿体存在;②在矿体尾部显示尾晕元素强异常的同时,还出现As、Sb、Hg、F等前缘晕指示元素的强异常,即前缘晕与尾晕共存,则指示深部还有盲矿体存在^[1-4];③前缘晕指示元素As、Sb、Hg、F从矿体前缘→矿体头部→矿体中部→矿体尾部→尾晕,异常强度由强→弱→强,指示深部还有盲矿体存在;④地球化学参数As、Sb、Hg、F,出现从上部→下部的由低→高→低→最下中段又升高的转折,指示深部有盲矿体,或矿体向深部延伸较大;⑤反分带:计算原生晕轴向分带出现反分带,指示深部有盲矿体。

4 预测靶位的确定及验证

4.1 有利成矿部位与预测靶位

(1)根据杨梅田铜矿床的控矿规律和构造特征(如无矿间隔、等距性等),在剖面图和垂直纵投影图上可圈定出有利的成矿空间。

(2)根据构造叠加晕原理,若在有利成矿空间上方坑道中或钻孔中有前缘晕的叠加,指示深部有盲矿体存在,将有利成矿空间变为预测靶位。

4.2 预测靶位的定位

(1)根据构造叠加晕前缘晕、近矿晕元素强度确定靶位在叠加晕下方的深度或标高。构造叠加晕中Cu的含量为 $2\,000 \times 10^{-6}$,近矿指示元素(Pb、Zn、Ag)和前缘晕指示元素(As、Sb、Hg、F)多数为中、内带的强异常,指示盲矿体的矿头比较浅;若Cu的含量为 $1\,000 \times 10^{-6}$,前缘晕指示元素(As、Sb、Hg、F)及近矿指示元素(Pb、Zn、Ag)多数为中、外带异常,

表 3 宝顺铜矿段 V3 矿体不同深度前缘晕与尾晕比值

Table 3 Ratio of leading edge halo and tail halo of V3 ore body in Baoshundong mine section

中段	$(As+Sb) \times 1000 / (Bi+Mn)$	$As \times Sb \times 1000 / Bi / Mn$	$As \times 100 / Bi$	$As \times 100 / Mn$	$Sb \times 100 / Bi$	$Sb \times 100 / Mn$
地表	4.95	12.42	1280.28	0.40	311.50	0.10
PD1	628.08	634.43	185.43	43.24	146.72	34.21
PD2	70.11	81.81	583.15	5.68	144.13	1.40

注:PD1、PD2 为平硐编号(图 2)

表 4 宝顺铜矿段 V3-1 矿体不同深度前缘晕与尾晕比值

Table 4 Ratio of leading edge halos and tail halos of ore body V3-1 at different depths in the Baoshundong Cu ore domain

中段号	$(As+Sb) \times 1000 / (Bi+Mn)$	$As \times Sb \times 1000 / Bi / Mn$	$As \times 100 / Bi$	$As \times 100 / Mn$	$Sb \times 100 / Bi$	$Sb \times 100 / Mn$
PD1	129.59	66.53	1800.05	12.79	52.01	0.37
PD2	68.27	46.69	591.57	6.27	74.47	0.79
PD2-2	9.26	18.59	1213.84	0.77	241.59	0.15

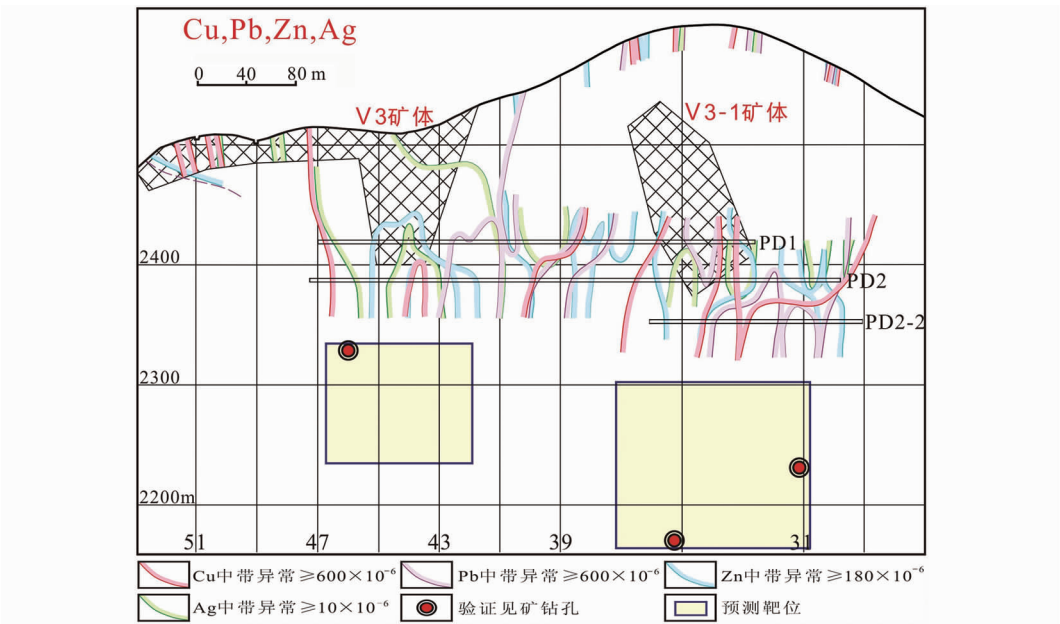


图 2 宝顺铜矿段预测靶位及验证工程垂直投影图

Fig. 2 Vertical projection diagram of the prediction target and verification project of Baoshundong mine

指示盲矿体的矿头较深;若 Cu 的含量 $\leq 600 \times 10^{-6}$,前缘晕指示元素(As、Sb、Hg、F)及近矿指示元素(Pb、Zn、Ag)多数为外带弱异常,则指示盲矿体的矿头深度更大。

(2)靶位长度、厚度延伸大小确定依据^[2]。①根据叠加晕宽度确定靶位宽度,根据上部已知矿体厚度推断盲矿体的厚度;②靶位延伸方向、大小确定依据:根据上部已知矿体侧伏方向推断靶位延伸方向,根据已知的无矿间隔、叠加晕元素组合及强度推断盲矿体的头部,根据已知矿体延伸大小推断靶位向

深度延伸大小。

4.3 靶位验证

依据构造叠加晕预测标志和靶位确定原则提出若干深部盲矿体预测靶位,矿山已对部分靶位进行了工程验证,均已见矿,取得了良好的找矿效果(图 2)。

5 结语

研究工作建立了杨梅田铜矿床的构造叠加晕模

式,确定了盲矿体预测标志,并取得了良好的找矿效果,表明构造叠加晕找盲矿法不仅适用于热液型金矿,也可应用于热液型铜矿床,证明该方法是一种预测深部热液型铜矿盲矿体快速、有效的找矿方法。

参考文献:

- [1] 李惠,张国义,禹斌,等. 构造叠加晕找盲矿法及其在矿山深部找矿效果[J]. 地学前缘, 2010, 17(1): 287-293.
- [2] 李惠,禹斌,李德亮,等. 构造叠加晕找盲矿法及研究方法[J]. 地质与勘探, 2013, 49(1): 154-161.
- [3] 李惠,禹斌,魏江,等. 热液金矿床深部盲矿预测的构造叠加晕实用理想模式[C]//中国地质学会 2017 年学术年会论文摘要: 下册. 北京: 中国地质学会, 2017: 93-96.
- [4] 李慧,张国义,魏江,等. 从原生晕、原生叠加晕到构造叠加晕: 化探找盲矿法的发展与创新[J]. 地质找矿论丛, 2016, 31(1): 92-98.
- [5] 蒋敬业,程建萍,祁士华,等. 应用地球化学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2006.
- [6] 欧阳宗圻,李慧,刘汉忠. 典型有色金属矿床地球化学异常模式[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [7] 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: 地质出版社, 1998.
- [8] 刘崇民,胡树起,马生明. 热液多金属矿岩石地球化学勘查[M]. 北京: 地质出版社, 2014.

Application of structural superimposed halo prospecting method to deep blind ore prediction in Yang Meitian copper mine

REN Liangliang, WANG Runtao, ZHANG Chengyu, WEI Jiang, TIAN Hua

(Geophysical Exploration Institute of China Metallurgical Geology Bureau, Baoding 071051, Hebei, China)

Abstract: Yang Meitian copper deposit in the Longling county of Yunnan province is a medium-temperature hydrothermal deposit. Macroscopically the Cu ore bodies are controlled by strata at bottom of the second layer of Upper Ordovician Series occurring mainly in the structurally fractural zone. This paper systematically studies the elements combination of ore-bearing strata and the ore deposits, the ore-forming and halo-forming axial zoning and their superposition and summarizes the structural superimposed halo signs for the prediction of deep blind ore. Targets are delineated on basis of metallogenic law and principle of the structural superposition theory workings designed and ore encountered and the structural superimposed halo prospecting method is first proved effective in the hydrothermal Cu ore prospecting.

Key Words: Yang Meitian copper deposit; structural superimposed halo prospecting method; hydrothermal Cu deposit; deep ore body prediction; Yunnan province