

doi: 10.6053/j.issn.1001-1412.2021.01.011

基于构造叠加晕方法的内蒙古金厂沟梁金矿 36号脉深部矿体预测

王俊¹, 张贺然¹, 安文通^{1,2}, 张长征³, 刘福林³,

李永才¹, 魏子鑫¹, 张承玉¹, 王旭¹

(1. 中国冶金地质总局地球物理勘查院, 河北 保定 071051;

2. 中国地质大学(北京), 北京 100083;

3. 内蒙古金陶股份有限公司, 内蒙古 赤峰 024000)

摘要: 文章以构造叠加晕理论为指导, 对金厂沟梁金矿 36 号脉已有的勘探工程进行系统采样, 化验分析 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Hg、F、B、Ba、Bi、Mo、Mn、Co、Ni、W 等元素含量, 总结矿床元素组合、含矿构造中原生晕空间分布特征和矿床构造叠加晕特征, 建立构造叠加晕盲矿预测模式及标志, 在 36 号脉深部圈定 2 个盲矿找矿靶区, 显示深部具有良好的找矿前景。

关键词: 金厂沟梁金矿; 36 号脉; 构造叠加晕; 盲矿体; 深部预测; 内蒙古

中图分类号: P632.1; P618.51 **文献标识码:** A

供科学依据。

0 引言

金厂沟梁金矿区位于华北地台北缘内蒙地轴东段努鲁儿虎隆起的东北部, 是金厂沟梁—二道沟矿田西北部的大型金矿床, 矿石类型分为多金属硫化物石英脉和含金蚀变岩 2 种。矿区共发现大小矿脉 70 余条, 以头道沟断裂为界分为东、西 2 部分, 西区的 30 余条矿脉为矿区的主体部分, 其主矿体倾向延深达 800 m, 总体矿化呈现深部薄而贫的变化趋势, 开采程度较高; 东矿区 30 余条脉受经济及勘查手段等因素限制, 勘查及开发程度较低。近年来, 许多研究者对金厂沟梁金矿床开展成矿规律和成矿预测研究^[1-6], 有效地推动了矿区的地质找矿工作。基于原生叠加晕预测方法发展而成的构造叠加晕找矿预测方法在找矿实践中获得显著的效果^[7-11], 本次研究采用构造叠加晕方法对金厂沟梁金矿西矿区的 36 号脉深部开展找矿靶区预测研究, 旨在缓解目前矿区远景资源不足的现状, 为今后的矿区深部找矿提

1 地质概况

1.1 矿区地质特征

矿区分布的地层有新太古界建平群下部的小塔子沟岩组、中生界侏罗-白垩系陆相火山岩和第四系松散沉积物。建平群小塔子沟岩组的岩性主要为角闪斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩, 斜长角闪岩和角闪岩等, 为金厂沟梁金矿的赋矿地层。

矿区构造以断裂为主。燕山期, 在强烈的构造运动中, 矿区断裂中控制并赋存了各类金矿脉。按延展方向断裂可分为 SN 向、NW 向和 NE 向 3 组, 其中 SN 向和 NW 向断裂为成矿前或成矿期断裂, NE 向断裂为成矿后断裂。

矿区主要的侵入体有 2 个。一为西台子斑状中细粒花岗岩: 呈岩基状分布于金厂沟梁金矿田的南部, 为郝杖子金矿床的主要赋矿围岩; 二为片麻状二

收稿日期: 2020-08-27; 改回日期: 2021-01-14; 责任编辑: 余和勇

作者简介: 王俊(1985—), 男, 工程师, 本科学历, 2010年毕业于河北理工大学, 从事地质找矿工作。通信地址: 河北省保定市竞秀区阳光北大街 139 号, 中国冶金地质总局地球物理勘查院; 邮政编码: 071051; E-mail: 361076647@qq.com

长花岗岩:分布于金厂沟梁矿区的南侧,呈 EW 向延长,沿长轴方向长约 4 km,东部较窄(500 m)而西部较宽(2000 m)。

矿区内矿的建平群变质岩普遍经受了前寒武纪的角闪岩相区域变质和混合岩化,燕山期伴随构造-岩浆活动发生的各类热液蚀变,常见的蚀变类型包括绿泥石化、黄铁矿化、绢云母化、硅化和碳酸盐化等。

1.2 矿体特征^①

金厂沟梁金矿 36 号脉为矿区规模较大的矿体,位于西矿区的西北部,矿体开采的最大标高为 180 m 中段,为盲矿体,地表未见出露。矿体走向 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$,倾向 $100^{\circ}\sim 130^{\circ}$,倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。矿体的上下盘围岩均为斜长角闪片麻岩,矿体严格受构造裂隙控制,呈脉状产出,平面及剖面上均呈舒缓波状,矿体内绿泥石化、绢云母化、硅化发育。

矿石主要金属矿物为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿,次要金属矿物为辉铜矿、银黝铜矿、辉铜银矿、毒砂、针铁矿、赤铁矿、磁铁矿、斑铜矿、铜蓝、孔雀石、褐铁矿;脉石矿物为石英、绢云母、绿泥石、方解石、长石及角闪石等。

矿石结构有压碎结构、结晶结构、溶蚀结构、包裹交代结构、包含结构等;矿石构造有块状构造、浸染状构造、脉状构造、角砾状构造、泥状构造等。

2 矿床地球化学特征

2.1 赋矿围岩背景特征

矿区内无蚀变矿化新鲜岩石 17 种元素的含量列于表 1。综合统计结果(表 1)表明,主要赋矿岩体和地层中,Au、Sb、Ba、Ag、Pb、Bi 等元素浓度克拉克值 >2 ,富集程度从大到小依次是:Bi(77.29) $>$ Ag(3.99) $>$ Au(2.64) $>$ Sb(2.60) $>$ Ba(2.45) $>$ Pb(2.12);二长花岗岩岩体样品中 Au、Sb、F、Ba、Ag、Cu、Pb、Bi、Mo、W 的浓集克拉克值 >1 ,片麻岩地层中 Au、Sb、F、Ba、Ag、Zn、Pb、Bi、Co 浓集克拉克值 >1 ,二者共同富集 Au、Sb、F、Ba、Ag、Pb、Bi 等元素;二长花岗岩含 Au、As、F、Ba、Ag、Cu、Pb、Bi、Mo、W 元素较高,片麻岩含 Sb、Zn、Co、Ni 较高。岩体和地层中多元素呈现出一定富集特征,特别是成矿元素 Au 具有富集特征,反映出成矿物质的多源性特点。

2.2 矿床元素组合特征

金厂沟梁矿区 36 号脉的强矿化(指 $w(\text{Au}) \geq 3000 \times 10^{-9}$)样品的微量元素含量特征见表 2。Au、

表 1 金厂沟梁矿区地层、岩浆岩中微量元素含量特征

Table 1 Content characteristics of trace elements in strata and magmatic rocks of Jinchanggouliang gold mining area

元素	二长花岗岩(20 件)		片麻岩(30 件)		综合统计(背景)(50 件)		克拉克值
	平均值	浓度克拉克值	平均值	浓度克拉克值	平均值	浓度克拉克值	
Au	12.52	3.58	7.57	2.16	9.26	2.64	3.5
As	1.89	0.86	1.83	0.83	1.85	0.84	2.2
Sb	1.40	2.33	1.68	2.80	1.56	2.60	0.6
Hg	35.74	0.40	34.06	0.38	34.72	0.39	90
B	5.92	0.46	5.71	0.44	5.79	0.45	13
F	1055	2.34	618	1.37	765	1.70	450
Ba	1220	3.13	813	2.08	956	2.45	390
Ag	0.37	4.65	0.29	3.60	0.32	3.99	0.08
Cu	196	3.11	51.48	0.82	87.88	1.39	63
Pb	29.12	2.43	23.29	1.94	25.47	2.12	12
Zn	27.45	0.29	122	1.30	67.30	0.72	94
Bi	0.32	80.85	0.30	75.00	0.31	77.29	0.004
Mo	3.71	2.85	0.61	0.47	1.26	0.97	1.3
Mn	303	0.23	1025	0.79	629	0.48	1300
Co	3.49	0.14	31.08	1.24	12.95	0.52	25
Ni	4.82	0.05	53.21	0.60	20.36	0.23	89
W	11.42	10.38	0.68	0.62	2.10	1.91	1.1

量的单位: $w(\text{Au}, \text{Hg})/10^{-9}$;其他元素 $w_B/10^{-6}$ 。平均值为几何平均值,浓集克拉克值=几何均值/背景。克拉克值据黎彤(1976)。

表2 金厂沟梁矿区36号脉强矿化样品的微量元素含量特征

Table 2 Content characteristics of trace elements for the strong mineralized samples of vein No. 36 of Jinchanggouliang mining area

矿脉号	分析元素	Au	As	Sb	Hg	B	F	Ba	Ag	Cu	Pb	Zn	Bi	Mo	Mn	Co	Ni	W
36号脉	几何均值	8732	279	107	3232	6	622.2	276	27.3	2767	4194	5936	11.4	8.7	944	22.2	75.1	7.4
	衬度值	943	150	68	93	1.04	0.81	0.29	86	31	165	88	37	6.96	1.5	1.72	3.69	3.51
	背景值	9.26	1.85	1.56	34.7	5.79	765.3	956.2	0.3	87.9	25.5	67.3	0.31	1.26	629.3	13	20.4	2.1

强矿化样品:指 $\omega(\text{Au}) \geq 3000 \times 10^{-9}$ 的样品。量的单位: $\omega(\text{Au}, \text{Hg})/10^{-9}$; 其他元素 $\omega_{\text{B}}/10^{-6}$ 。

表3 金厂沟梁金矿床36号脉强矿化样品的元素相关关系表

Table 3 Element correlation for the strong mineralized samples of vein No. 36 in Jinchanggouliang gold deposit

元素	正相关元素	负相关元素
Au	Bi, Co	
As	Hg, Ba, Ag, Mo, Ni, W	
Sb	Hg, Ag, Bi	Mn
Hg	As, Sb, Ag	Ba, Mn
B	F, Ni, W	
F	B, Ni, W	
Ba	As, Hg	
Ag	As, Sb, Hg, Cu, Pb, Bi, Mo, Co	
Cu	Ag, Pb, Zn	
Pb	Ag, Cu, Zn	
Zn	Cu, Pb	
Bi	Au, Sb, Ag, Co	
Mo	As, Ag	
Mn		Sb, Hg
Co	Au, Ag, Bi	
Ni	As, B, F, W	
W	As, B, F, Ni	

强矿化样品:指 $\omega(\text{Au}) \geq 3000 \times 10^{-9}$ 的样品。字体加粗的元素(如“**Bi**”)表示不正常的正相关关系。

As、Sb、Hg、B、Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo、Mn、Co、Ni、W等元素的衬度值 >1 ,其中Au、As、Sb、Hg、Ag、Cu、Pb、Zn、Bi、Mo、Ni、W等元素的衬度值 >2 ,显示成矿热液活动具有多元素组合的异常特征。

2.3 元素相关关系

计算矿体元素相关关系与金矿理论上的相关性对比,可反映矿床成矿过程中有无多期多阶段叠加特点及叠加程度。反映矿床中叠加后元素间新的相关关系,为确定盲矿预测标志提供新的依据,当金矿体下部或尾部出现前、尾晕叠加共存时,计算其元素相关性,可能出现前缘晕元素与尾晕元素相关。新前、尾晕元素相关反映矿体前缘晕叠加。表3为金厂沟梁金矿床36号脉强矿化样品的元素相关关系。表中前缘晕元素与尾晕间出现了不正常的正相关关系,指示深部盲矿体的叠加。

3 构造叠加晕特征

3.1 构造叠加晕浓度分带标准

在综合分析各元素含量分布特征值变化的基础上,以各元素背景值的2倍、4倍和8倍,或2倍、8倍和32倍作为外带、中带和内带的下限值,Au的分带以达到矿化水平($\omega(\text{Au}) \geq 0.1 \times 10^{-6}$)为外带,为更突出浓集中心,将部分元素(Au、As、Cu和Pb)分为强带、内带、中带和外带共4个浓度带。分带标准见表4。

3.2 构造叠加晕分布特征

36号脉构造叠加晕垂直纵投影图和剖面图见图1和图2。

由图1可见,Au元素在矿体内呈多个强-内带异常中心,在深部工程控制的5线—3线、1线—2线出现连续的强-内带异常;伴随Au强异常,蚀变岩型金矿典型近矿晕指示元素Ag在5线—1线呈连续的内带异常,Cu出现较连续的中-内带异常,Pb呈强-内带连续异常,Zn呈连续内带异常;典型前缘晕指示元素As呈连续且面积较大的强-内带异常,Sb呈内带异常,Hg呈连续的内带异常,B呈弱异常,F在1线—2线深部呈内带异常;典型尾晕指示

表 4 金厂沟梁金矿床 36 号脉构造叠加晕指示元素浓度分带标准

Table 4 Concentration zonation standard of indicator elements of superimposed halo of vein No. 36 in Jinchanggouliang gold deposit

元素	Au	As	Sb	Hg	B	F	Ba	Ag	Cu	Pb	Zn	Bi	Mo	Mn	Co	Ni	W
外带	0.1	20	10	100	6	800	1000	4	200	50	150	2	2.5	800	20	30	5
中带	0.5	80	20	400	12	1200	1500	8	400	200	300	8	5	1200	40	60	10
内带	1	160	40	1200	24	1600	2000	16	800	800	600	16	10	1600	80	90	20
强带	3	480							5000	5000							

量的单位: $w(\text{Hg})/10^{-9}$; 其他元素 $w_B/10^{-6}$ 。

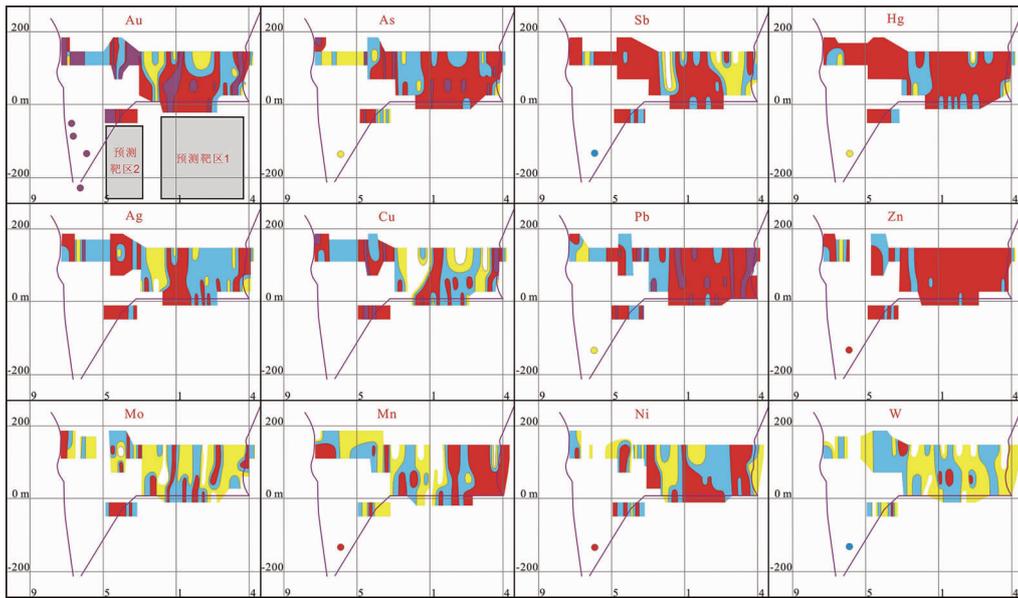


图 1 金厂沟梁金矿床 36 号脉构造叠加晕及预测靶位垂直纵投影图

Fig. 1 Vertical projection of 36 vein structure superimposed halo and predicted target position in Jinchanggouliang gold deposit

元素 Bi 在深部主要呈外带异常, Mo 呈零星的内带异常, Mn 呈较连续的内带异常, Co 呈外带异常, Ni 呈连续的中-内带异常, W 呈中-外带异常。

3.3 构造叠加晕总体特征

Au 是金矿的主成矿元素, 其强异常范围与矿体范围基本一致, 以金矿体为中心向四围逐渐减弱。Ag、Cu、Pb、Zn 是金矿的重要伴生元素, 与金的相关程度较高(表 3), 它们的中-内带异常范围与金的中-内带异常范围基本一致, 但各元素的内带异常中心与金的内带异常中心并不完全一致。As、Sb、Hg、F、Ba 的中-内带异常有出现在矿体前缘及矿体上部的趋势, 但各元素的中-内带异常中心不完全重合。F、Ba 异常强度较弱。Bi、Mo、Mn、Co、W、Ni 的中-内带异常分布在矿体下部, 各元素中-内带异常范围

基本一致, 但中心不完全重合。

应用分带指数的方法计算由上至下元素分带序列为 Au-Mn-Pb-Ba-Mo-W-F-Ag-Sb-Bi-Co-Cu-Ni-Hg-As-Zn。与典型的热液矿床正常轴向分带序列对比^[11], 计算结果出现反常-反分带^[9]。前缘晕指示元素 F、Sb、Ba 出现在中部, 与近矿指示元素共存, 指示两次成矿大部分同位叠加, 预示矿体延伸很大; 前缘晕指示元素 Hg、As 在下部与尾晕元素混存, 预示深部有盲矿体存在。

计算矿体-晕不同标高地化参数(表 5), 各参数 $(As \times Sb \times Hg) / (Bi \times Co \times Mn)$ 、 $(As \times Sb) / (Bi \times Co)$ 、 $(As \times Sb) / (Mo \times Mn)$ 、 $(As \times Sb) / (Bi \times Mo)$ 矿体最下部 10 m 位置都有升高的趋势, 说明 36 号矿脉深部有盲矿存在。

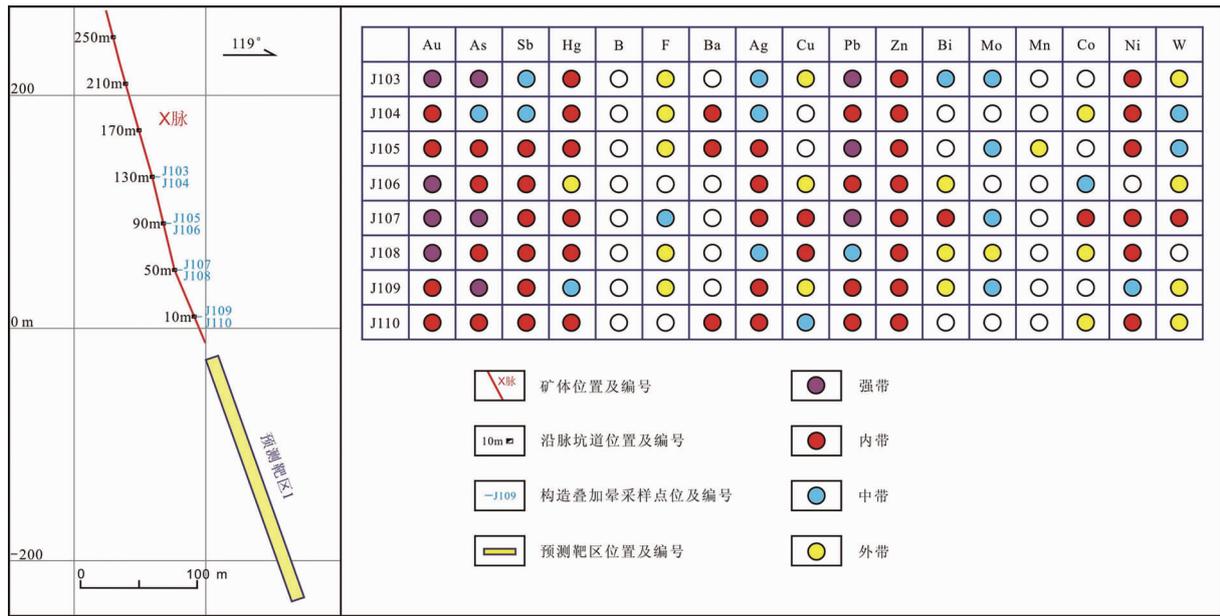


图2 金厂沟梁金矿床36号脉1线构造叠加晕及预测靶位剖面图
 Fig. 2 Structural superposed halo and predicted target profile of 36 vein 1 line in Jinchanggouliang gold deposit

表5 金厂沟梁金矿床36号脉1线不同标高各参数垂向变化特征

Table 5 Vertical variation characteristics of parameters at different elevations of line 1 of vein 36

标高/m	$(As+Sb+Hg)/(Bi+Mo+Mn)$	$(As \times Sb \times Hg)/(Bi \times Mo \times Mn)$	$(As \times Sb)/(Mo \times Mn)$	$(As \times Sb)/(Bi \times Mo)$
130	0.39	235.3	0.73	747.1
90	3.51	929.6	3.16	294.1
50	1.85	4063.7	5.32	2586.0
10	2.84	7598.9	24.04	3022.4

4 构造叠加晕深部预测实用模式

根据金厂沟梁金矿床成矿作用异常元素组合特征及构造叠加晕异常空间分布特点,结合中国典型蚀变岩型金矿床深部盲矿预测的构造叠加晕模型,建立36号脉构造叠加晕深部预测实用模式(图3),Hg、As、Sb、(F、Ba)元素具有前缘晕特征指示元素组合意义,Au、Ag、Pb、Zn、Cu元素具有近矿晕特征指示元素组合意义,Mn、Bi、Mo、Co、Ni元素具有尾晕特征指示元素组合意义。

(1)预测金矿体向深部是否有延伸的构造叠加晕标志为:上部已知金矿体经深部坑道或钻孔控制还没有尖灭,Au出现强-内带异常,近矿晕特征指示元素Ag、Pb、Zn、Cu呈内带异常组合,前缘晕特征指示元素Hg、As、Sb、F、Ba出现中-内带异常组合,尾晕特征指示元素Mn、Bi、Mo、Co、Ni呈现中-内带

异常组合,前-尾晕中-内带异常共存。若前-尾晕中-外带共存,指示矿体向深部延伸较大。

(2)预测深部有盲矿的构造叠加晕标志为:上部已知金矿体深部经坑道或钻孔控制已尖灭,Au呈中-外带异常,近矿晕特征指示元素Ag、Pb、Zn、Cu呈中-外带异常组合,前缘晕特征指示元素Hg、As、Sb、F、Ba呈中-内带异常组合,尾晕特征指示元素Mn、Bi、Mo、Co、Ni呈中-内带异常组合,前-尾晕中-内带共存。若Au为外带,且前-尾晕中-外带共存,指示盲矿体较深。

5 预测结果

36号矿体在深部工程5线-3线、1线-4线Au呈现强-内带异常,近矿晕特征指示元素呈连续的中-内带强异常,前缘晕和尾晕特征指示元素呈现强异常特征,综合反映出目前工程控制地段仍处于

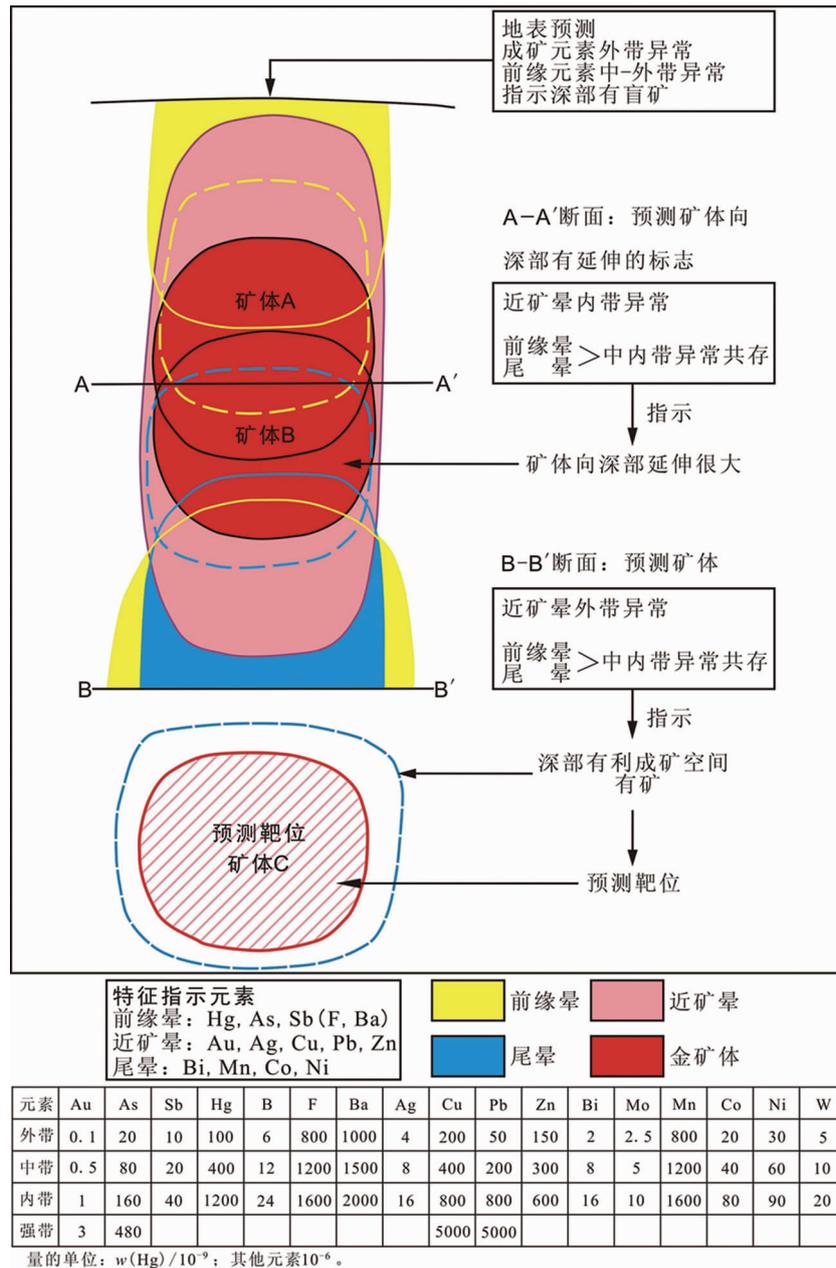


图 3 金厂沟梁金矿床 36 号脉构造叠加晕深部盲矿预测实用模式图 (垂直纵投影图)

Fig. 3 Vertical projection of practical model for blind ore prediction in deep part of structural superposition halo of Jinchanggouliang gold deposit

成矿热液活动较强部位,头尾晕叠加共存等良好深部盲矿特征预测标志更进一步证实了盲矿叠加作用的依据。经综合分析,5线—4线0~—250 m 标高范围具有良好的找矿前景,共圈定出 2 个预测靶位区,为深部后续找矿的探矿工程布置提供了充分依据。

注释:

① 宋文明,翟玉峰,刘福林. 内蒙古自治区敖汉旗金厂沟梁矿区金矿详查报告. 赤峰:中金内蒙古金陶股份有限公司,2012.

参考文献:

[1] 褚金锁,贾洪杰. 金厂沟梁金矿床地质特征及成因[J]. 矿产与地质,2000,14(3):551-553.
 [2] 刘宗秀,魏存弟,赵春光,等. 金厂沟梁—二道沟金矿田地质地球化学特征及成因探讨[J]. 世界地质,2002,21(1):13-17.
 [3] 牛树银,王宝德,张建珍,等. 内蒙古金厂沟梁金矿的构造特

- 征及深部找矿预测[J]. 大地构造与成矿学, 2011, 35(3):348-354.
- [4] 张伟波, 侯万荣, 聂凤军, 等. 敖汉旗金厂沟梁金矿床地质特征及成矿时代[J]. 地质论评, 2014, 60(6):1409-1416.
- [5] 杨帆. 华北地台东段赤峰—朝阳地区浅成热液金矿床成矿作用研究[D]. 长春:吉林大学, 2019.
- [6] 赵志远. 内蒙古金厂沟梁金矿构造控矿及成矿规律[D]. 石家庄:石家庄经济学院, 2011.
- [7] 李惠, 张文华, 常凤池, 等. 大型、特大型金矿盲矿预测的原生叠加晕模型[M]. 北京:冶金工业出版社, 1998.
- [8] 李惠, 张国义, 禹斌. 金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果[M]. 北京:地质出版社, 2006.
- [9] 李惠, 禹斌, 李德亮. 构造叠加晕找盲矿法及找矿效果[M]. 北京:地质出版社, 2011.
- [10] 禹斌, 李惠, 李德亮. 成矿区带构造叠加晕研究及成矿预测[M]. 北京:地质出版社, 2011.
- [11] 欧阳宗圻, 李惠, 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.

Prediction of deep orebody based on structural superimposed halo method of vein No. 36 in Jinchanggouliang Gold Mine, Inner Mongolia

WANG Jun¹, ZHANG Heran¹, AN Wentong^{1,2}, ZHANG Changzheng³, LIU Fulin³,
LI Yongcai¹, WEI Zixin¹, ZHANG Chengyu¹, WANG Xu¹

(1. Geophysical Exploration Institute of China Metallurgical Geology Bureau,
Baoding 071051, Hebei, China;

2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

3. Inner Mongolia Jintao Co., Ltd., Chifeng 024000, Inner Mongolia, China)

Abstract: Based on the theory of structural superimposed halo, this paper, presents data for rock samples that were systematically collected during the exploration of the No. 36 gold-bearing quartz vein of the Jinchanggouliang gold deposit, and 17 elements determined to investigate the geochemical characteristics of the deposit. The elemental combination of the deposit and the spatial distribution characteristics of the primary halo in the ore-control fault were systematically studied. The characteristics of structural superimposition halo are summarized. The prediction model and mark of structural superimposition halo blind ore are established. Then two blind ore prospecting targets are delineated in the depth of 36 vein, showing a good prospecting prospect in the deep.

Key Words: the Jinchanggouliang gold deposit; structural superimposed halo; blind orebody prediction