

内蒙古东乌珠穆沁旗钨矿床地球化学特征及深部找矿预测

任俊霖^{1,2,3}, 孙志辉^{1,2,3}, 姚嘉琪^{1,2,3}, 刘瑞年^{1,2,3}, 刘宁^{1,2,3}, 王鹏^{1,2,3}

(1. 河北华勘资环勘测有限公司; 2. 河北省地质资源勘探开发与生态保护重点实验室;

3. 华北地质勘查局五一四地质大队)

摘要:为预测东乌珠穆沁旗钨矿床1号矿体深部变化趋势,在对矿区地质特征和矿床成因研究基础上,开展了系统野外地质调查、流体包裹体测试及地球化学等相关研究工作。发现1号矿体受北西向断裂控制明显。矿体具多期多阶段成矿特点,结合格里戈良原生晕轴向分带法研究得到1号矿体原生晕轴向分带序列自上而下为Mo-F-Li-Au-Sn-W-B-As-Be-Ag-Zn-Cd-Cu-Pb-Bi-Ba,具备明显“前缘晕+尾晕共存”“前缘晕+近矿晕共存”叠加组合特征。结合W元素异常空间分布特征、成矿流体包裹体特征,推断1号矿体向深部(8中段以下)仍具有较大找矿潜力,并通过钻探成功验证,表明东乌珠穆沁旗钨矿床深部仍存在较大增储潜力。

关键词:原生晕;轴向分带;深部预测;东乌珠穆沁旗钨矿床;内蒙古;流体包裹体

中图分类号:TD15 P618.2

文章编号:1001-1277(2025)04-0092-10

文献标志码:A

doi:10.11792/hj20250417

引言

东乌珠穆沁旗钨矿床位于古亚洲成矿域二连—东乌旗CuAgPbZnSnWFeAu(Ⅲ级)成矿带,成矿条件优越^[1],金属矿产资源丰富。该矿床位于东乌珠穆沁旗北部萨麦苏木境内,矿床开发始于1971年,至今已有50余年的勘查开发历史,矿床规模达中型,为典型的中高温热液石英脉型矿床^[2]。以往研究表明,东乌珠穆沁旗钨矿床形成于燕山期,北西向断裂为主要控矿因素,多期次岩浆热液活动提供了丰富热源及矿源^[3]。以往研究成果为本次研究提供了扎实基础资料,但以往地质研究成果主要集中在矿体地质特征方面,针对矿床地球化学特征及深部矿体赋存状态的研究成果相对较少。

随着矿山逐年开采,可采资源匮乏,“攻深找盲”成为延长矿山服务年限的关键,深部找矿理论研究对矿山生产指导意义尤为重要。原生晕轴向分带预测法对于热液矿床深部预测工作具有良好指导作用^[3]。笔者选择矿区最具代表性的1号矿体,开展了原生晕样品采集测试及研究,通过采用相关分析、聚类分析、因子分析及地球化学异常分析等研究方法,结合流体包裹体数据等信息,对深部进行了靶区预测,并开展了钻探验证,取得了较好的找矿效果。

1 成矿地质背景

东乌珠穆沁旗钨矿床位于华北克拉通与西伯利

亚板块间古亚洲洋闭合形成的增生造山带中东部,属西伯利亚板块东南缘伊尔施早古生增生带。大地构造位置位于大兴安岭—蒙古—阿尔泰弧形构造带东翼东乌旗复背斜^[4-7]。

区域地层主要有泥盆系、侏罗系、新近系及第四系(见图1)。其中,泥盆系地层主要为安格勒音乌拉组(D_{3a}),主体为一套砂岩、板岩地层;侏罗系地层主要为红旗组(J_{1h}),主体为一套砂砾岩、火山碎屑岩地层;新近系与第四系主体分布在南东侧,主要为半固结的红土层与河床洪冲积物。

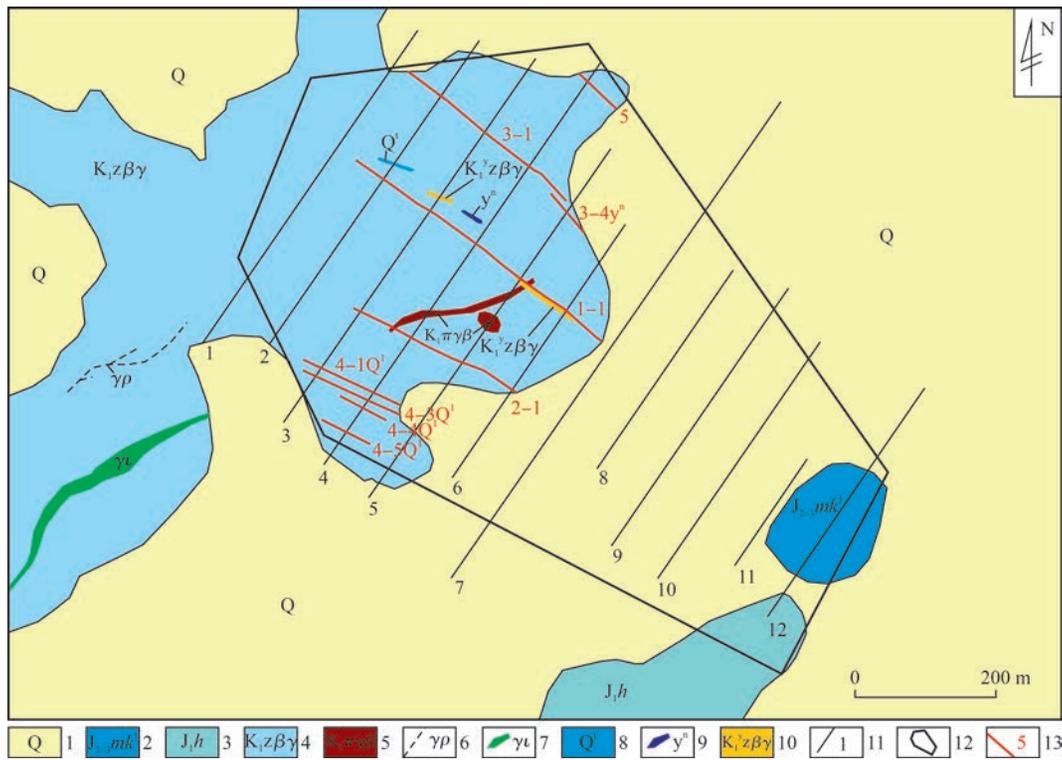
区域构造发育,总体可分为北东向与北北东向2组。北东向构造由一系列庞大且构造形迹组极为复杂的挤压带、褶皱、压性断裂及北东向分布的带状、条带状岩浆岩组成,具长期性、多期次活动特点,活动时间为华力西期—燕山晚期。华力西晚期构造活动导致大规模火山喷出及花岗岩侵入,同时形成一系列拗陷及隆起带。拗陷控制了侏罗系地层沉积分布。北北东向构造主要展布于矿区以北地区,继承并改造了北东向构造并于燕山期进一步发展形成,其构造形迹为北东向20°~35°,地貌上表现为隆起与盆地相间排列特征。

区域处于华力西期白音乌拉—东乌旗北北东向岩浆带与燕山期北东向滨太平洋构造域大兴安岭岩浆带叠加交会部位,岩浆活动强烈,以燕山期为主,

收稿日期:2024-09-03; 修回日期:2024-11-30

基金项目:内蒙古自治区地质勘查基金项目(NMKD2009-08);华北地质勘查局五一四地质大队科研项目(HKWYS2023-C2);华北地质勘查局五一四地质大队内蒙古自治区东乌珠穆沁旗钨矿深部扩界勘查项目;中国地质调查局项目(1212011085239,1212011120697)

作者简介:任俊霖(1989—),男,工程师,从事地质找矿工作;E-mail:361762989@qq.com



1—第四系 2—满克头鄂博组 3—红旗组 4—早白垩世中粒黑云母花岗岩 5—早白垩世似斑状黑云母花岗岩 6—花岗伟晶岩 7—花岗细晶岩
8—含钨石英脉 9—云英岩 10—云英岩化中粒黑云母花岗岩 11—勘探线及编号 12—矿区范围 13—矿体及编号

图2 东乌珠穆沁旗钨矿区地质简图

Fig. 2 Geological sketch of the East Ujimqin Banner Tungsten mining district

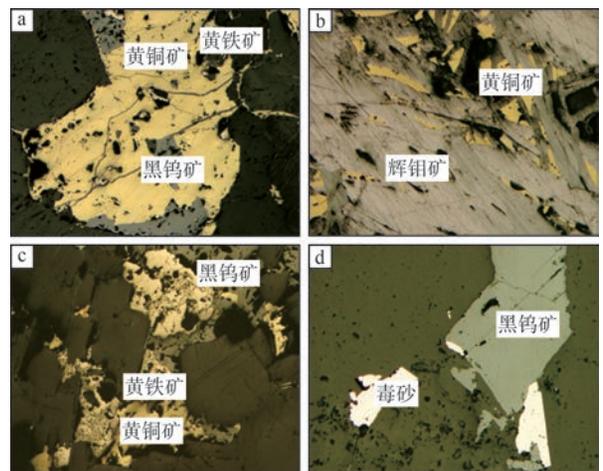
2.2 矿体特征

矿区内已发现矿体550余条,其中达工业品位的矿体有77条^[2]。矿体多密集成群分布于沙麦岩体内,少数分布于该岩体附近角岩地层中,走向295°~305°,呈石英、云英岩细脉型和大脉型2类近平行排列。矿体厚度差异悬殊,线脉级厚0.001~0.05 m,细脉级厚0.05~0.20 m,细脉和线脉多受压扭性节理控制,不具工业意义。大脉型矿体厚度普遍0.8~3 m,受北西向张扭性断裂控制,主要表现为稳定含钨石英脉,上下盘无规律断续不等厚分布含钨蚀变云英岩。主要的5条矿体平面上由南西至北东近等距平行排布,北西散开,南东收敛。剖面上4号、2号、1号、3号、5号矿带,以1号矿带为“中指”,指尖向上展开,呈“手掌状”展布。各矿体在平面表现较平直,局部略呈舒缓波状,剖面上分支复合、尖灭侧现、膨大缩小明显,总体形态向上发散,向下向1号矿体方向收敛。

1号矿体目前长约645 m,平均厚1.58 m,最大倾斜延伸约310 m。总体走向305°,近地表倾向南西215°,900 m标高以下则反倾为北东,陡倾,倾角81°~90°。矿体总体形态呈舒缓波状的弱折线形,上大下小,WO₃平均品位2.75%。局部分支复合、尖灭侧现特征明显,分支细脉一般延伸30~90 m后自然尖灭。因其为矿区内支柱矿体,本次选择该矿体进行地球化学研究及深部找矿预测工作。

2.3 围岩蚀变及矿化

热液蚀变主要包括自变质蚀变铁白云母化、云英岩化、绢英岩化、硅化、角岩化、绿泥石化,次为萤石化、碳酸盐化、高岭土化。赋矿段矿石矿物以黑钨矿为主,次为黄铁矿,偶见辉钼矿、方铅矿、闪锌矿(见图3)。脉石矿物以石英、白云母、黑云母为主,钾长石、钠长石次之。



a—含黑钨矿石英脉
b—含辉钼矿、黄铜矿云英岩化中粒黑云母花岗岩
c—含黑钨矿、黄铜矿、黄铁矿云英岩 d—含黑钨矿、毒砂云英岩

图3 单偏光镜下部分矿石矿物特征

Fig. 3 Characteristics of ore minerals under single polarizing microscope

2.4 成矿期次

成矿期次分4期,①云英岩-黑钨矿期:构成含黑钨矿云英岩和含黑钨矿云英岩化花岗岩组合,矿物为黑钨矿、石英、铁白云母、白云母、黑云母、黄玉等,黑钨矿以浸染状为主,斑块状次之。②石英-黑钨矿期:该期含钨石英脉明显切割云英岩-黑钨矿期含黑钨矿云英岩,多期脉动构造频繁,黑钨矿多呈矿块、矿巢等集合体产出。③硫化物期:矿化微弱却分布广泛,矿物组合为金星散状或团块状分布的辉钼矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等。④萤石期:矿物一般为紫褐色、杂色萤石等,绿泥石次之,预示钨成矿作用基本结束。各期次主要矿物生成顺序见图4。

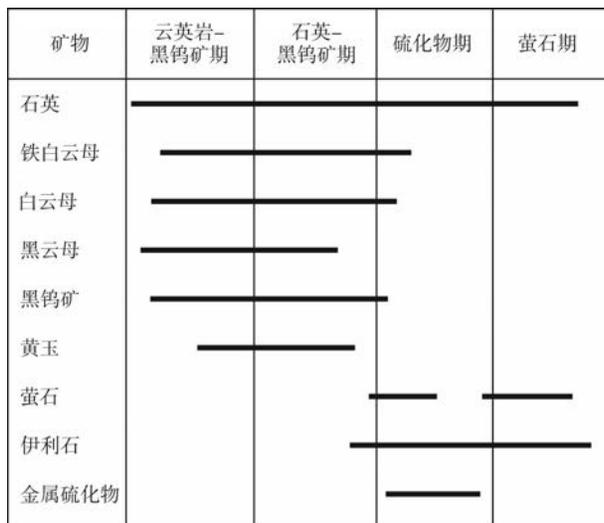


图4 主要矿物生成顺序

Fig. 4 Paragenetic sequence of major minerals

2.5 矿床成因

东乌珠穆沁旗钨矿床位于大兴安岭—蒙古—阿

尔泰弧形构造带东翼东乌旗复背斜带,在燕山期中晚侏罗世—早白垩世,区域上挤压背景逐渐转换为伸展背景,致近地表岩石圈物质快速拆沉,深部含矿岩浆物质迅速上侵。岩体上隆作用及区域北东向、北北东向断裂活动使沙麦岩体内部、顶部及外围形成不规则放射状裂隙或断裂。随后中高温含矿热液沿北西向次级赋矿断裂从深部贯入,在分异演化中不断释放热源。包裹体测试结果显示,热液类型为中高温型,以 H_2O-CO_2 三相包裹体为主,完全均一温度为 $227\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 311\text{ }^{\circ}\text{C}$,成矿流体为低盐的 $H_2O-NaCl-CO_2 \pm CH_4$ 流体体系^[1]。深部中高温、低盐度岩浆热液和浅部低温低盐度大气降水混合引起成矿热液温度骤降,钨元素快速沉淀,形成岩浆期后中高温热液石英脉型钨矿床。

3 矿体地球化学特征

为研究1号矿体原生晕地球化学特征,本次利用矿山开拓工程在1,3,5,7,8中段共5个中段进行了系统采样,共采集样品195件,采样点距5~20 m,采集样品为1号矿体内含钨石英脉及赋矿围岩构造裂隙内各类热液蚀变充填物。参考DZ/T 0248—2014《岩石地球化学测量技术规程》中典型石英脉型钨矿床指示元素和以往矿山区域性矿调资料^[1],本次选择铜、钡、铋、硼、锡、砷、锂、镉、铅、金、银、铍、钼、钨、氟、锌共16种元素分析测试,采用电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测试。测试工作由华北地勘生态资源检测中心(河北)有限公司(甲级资质)承担。

3.1 元素相关系数分析

根据采集的195件样品测试数据,结合元素相关系数矩阵(见表1)可知:

表1 元素相关系数矩阵

Table 1 Element correlation coefficient matrix

元素	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Cd	W	Mo	As	Sn	Bi	Ba	B	Li	Be	F
Au	1															
Ag	0.149	1														
Cu	0.088	0.424	1													
Pb	0.221	0.830	0.460	1												
Zn	0.026	0.317	0.520	0.524	1											
Cd	0.084	0.462	0.633	0.591	0.866	1										
W	0.052	0.043	0.209	0.116	0.035	0.059	1									
Mo	0.161	0.347	0.340	0.513	0.383	0.418	0.179	1								
As	0.289	0.279	0.360	0.417	0.385	0.369	0.102	0.276	1							
Sn	-0.015	0.109	0.337	0.353	0.675	0.484	0.022	0.372	0.407	1						
Bi	0.235	0.656	0.295	0.644	0.053	0.211	0.199	0.353	0.018	-0.133	1					
Ba	-0.019	0.057	0.283	0.257	0.559	0.456	-0.083	0.249	0.345	0.721	-0.196	1				
B	0.032	0.226	0.386	0.370	0.449	0.322	0.280	0.305	0.313	0.624	0.087	0.403	1			
Li	-0.037	0.164	0.410	0.364	0.683	0.531	-0.002	0.439	0.337	0.897	-0.037	0.740	0.534	1		
Be	0.013	0.106	0.319	0.335	0.610	0.408	0.002	0.400	0.263	0.826	0.034	0.688	0.558	0.840	1	
F	-0.051	0.103	0.340	0.316	0.644	0.510	-0.074	0.411	0.345	0.897	-0.112	0.752	0.572	0.889	0.791	1

1) Ag 与 Pb 相关系数 0.830, Ag 与 Bi 相关系数 0.656, Pb 与 Zn 相关系数 0.524, Pb 与 Cd 相关系数 0.591, Zn 与 Cd 相关系数 0.866, 表明 Ag、Pb、Zn、Cd、Cu、Sn、Bi 元素亲和性较明显。由于上述各元素为典型中高温指示元素, 指示可能具备中高温多金属成矿的可能。

2) F 与中温指示元素 Cd、Zn、Sn 及低温指示元素 Ba、B、Li、Be 等相关系数均大于 0.50, 反映矿区内热液活动的多期次演化特征明显, 成矿流体自高温元素到低温元素组合均具备, 同样反映出热液流体演化的复杂性。

3) W 既是矿区成矿元素, 也是高温指示元素, 与其他元素相关系数普遍偏小, 反映钨成矿较为独立, 与其他元素富集阶段不一致特征, 也与含钨石英脉中除黑钨矿以外的其他金属矿物含量较少的野外实际现象一致。

3.2 聚类分析

采用 Person 相关系数法对 195 件样品的 16 种元素开展了 R 型聚类分析, 结果见图 5。由图 5 可知, 16 种元素簇群性明显, 在相关系数为 0.65 水平可明显分为 3 个聚类组合: ① Ag-Pb-Bi 元素组合; ② Zn-Cd 元素组合; ③ Sn-Li-F-Be-Ba 元素组合。

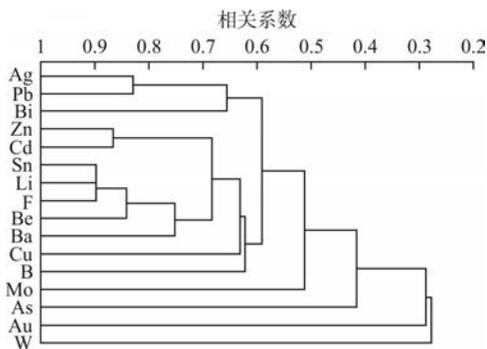


图 5 R 型聚类分析谱系图

Fig. 5 R-type cluster analysis dendrogram

其中, Ag-Pb-Bi 元素组合为典型多金属成矿组合, 表明矿区至少存在一期中高温多金属富集活动。Sn-Li-F-Be-Ba 元素组合为中低温元素组合, 可能与低温热液活动有关。鉴于花岗岩中普遍富含上述各类元素, 推断可能与花岗质岩浆晚期活动演化形成的热液有关; Zn-Cd 元素组合为中温元素组合, 其相对偏于与 Sn-Li-F-Be-Ba 元素组合成簇群分布, 反映其可能是岩浆活动晚期热液作用产物; W 元素与其他元素簇群关系不明显, 同样显示出其成矿独立性。

3.3 因子分析

因子分析是通过降维将关系紧密的元素聚在一起, 以便于提取解释元素特征, 降低需分析元素数目

及问题的复杂性, 可进一步探讨元素在地质演化过程中的迁移富集规律, 降低元素迁移因素分析复杂性^[11-15]。本次研究运用 SPSS19.0 (Statistical Package for the Social Science, SPSS) 进行因子分析, 当累计方差贡献率达 79.419 5 % 时, 共提取 5 个主因子 (见表 2), 基本包含原始变量大部分信息。

F1 因子主要荷载因子特征值 6.763 4, 为 Sn-Li-F-Zn-Be-Cd 元素组合, 是以中温元素为主的综合中低温元素组合, 元素组合多样, 主要反映中低温热液活动。

F2 因子主要荷载因子特征值 2.763 0, 为 Bi-Ag-Pb 元素组合, 是以中温元素为主的中高温元素组合, 反映了本区存在一次以 Pb、Ag、Bi 元素为主的中高温热液活动。这与野外编录中局部发现的星点状方铅矿、辉铋矿等硫化物吻合。

F3 因子主要荷载因子特征值 1.148 9, 为 W-B 元素组合, 是以 W 元素为主的高温元素组合, 同样表明 W 元素成矿较为独立, 与相关分析、聚类分析结果一致, 该期热液活动与其他期次热液活动关联性较小。与矿区内含钨石英脉中富含呈团块、星散状分布的黑钨矿, 但其他金属元素不明显的野外特征一致。

F4 因子主要荷载因子特征值 1.077 9, 为 Au-As 元素组合, 是一套中低温元素组合, 侧面反映出局部疑似存在以 Au 元素为主的较弱中低温成矿活动。

F5 因子主要荷载因子特征值 0.954 0 为 Cu-Cd-Zn 元素组合, 是一套典型中温元素组合, 该期次活动可能位于钨沉淀后期硫化物阶段, 以云英岩化蚀变花岗岩中呈星散状的黄铜矿、闪锌矿为特征。

3.4 元素纵剖面异常特征

1 号矿体的 4 勘探线—9 勘探线 1 中段—7 中段为目前矿山主采区域, W 异常与其吻合性较高, 显示了钨富集成矿主要位置 (见图 6)。W 异常呈三级浓度分带, 具多个浓集中心, 反映了含 W 元素热液在石英脉内部多次脉动成矿及不均匀沉淀特征。近地表呈现开口未封闭状态, 考虑矿床浅部受到一定剥蚀。各中段 W 高值点呈串珠状分布。高值点连线预示矿体向南东侧深部侧伏, 侧面反映了含钨热液流动方向, W 异常向深处在 6 中段趋于收紧, 但在 7 中段、8 中段则出现新的 W 异常, 且向深部尚未封闭, 推断为北西向张扭性断裂存在膨缩现象, 导致含钨热液在深部尖灭再现, 上部 W 异常与已知的 1-1 号矿体位置基本吻合。7 中段、8 中段出现的 W 异常与目前深部侧现的 1-2 号矿体位置大体呼应, 且下部 W 异常向深部未封口, 推断 1-2 号矿体在深部沿 W 高值带仍有一定成矿空间。

表2 初始因子荷载矩阵
Table 2 Initial factor load matrix

元素及参数	F1	F2	F3	F4	F5
Au	0.095 4	0.336 7	-0.082 4	0.826 3	-0.176 0
Ag	0.425 8	0.771 2	-0.195 3	-0.179 5	-0.106 0
Cu	0.605 8	0.311 5	0.131 6	-0.087 4	0.437 0
Pb	0.647 7	0.622 2	-0.153 9	-0.067 8	-0.090 5
Zn	0.842 1	-0.032 1	-0.121 1	-0.058 4	0.367 8
Cd	0.764 0	0.210 5	-0.169 4	-0.080 6	0.419 7
W	0.089 1	0.259 8	0.919 6	-0.005 2	0.103 7
Mo	0.596 6	0.281 1	0.067 5	-0.071 7	-0.297 9
As	0.530 8	0.137 4	0.060 7	0.554 4	0.255 5
Sn	0.857 5	-0.366 9	0.026 9	0.026 4	-0.143 8
Bi	0.188 3	0.836 6	-0.026 5	-0.125 0	-0.273 2
Ba	0.722 4	-0.411 8	-0.108 7	0.077 9	0.010 4
B	0.668 5	-0.053 2	0.387 7	-0.013 3	-0.221 4
Li	0.857 5	-0.309 7	0.026 8	-0.068 8	-0.143 8
Be	0.800 4	-0.336 3	-0.000 1	-0.019 0	-0.225 0
F	0.856 1	-0.379 4	-0.039 1	-0.021 1	-0.143 6
特征值	6.763 4	2.763 0	1.148 9	1.077 9	0.954 0
方差贡献率/%	42.271 2	17.268 5	7.180 8	6.736 8	5.962 2
累积方差贡献率/%	42.271 2	59.539 7	66.720 5	73.457 3	79.419 5

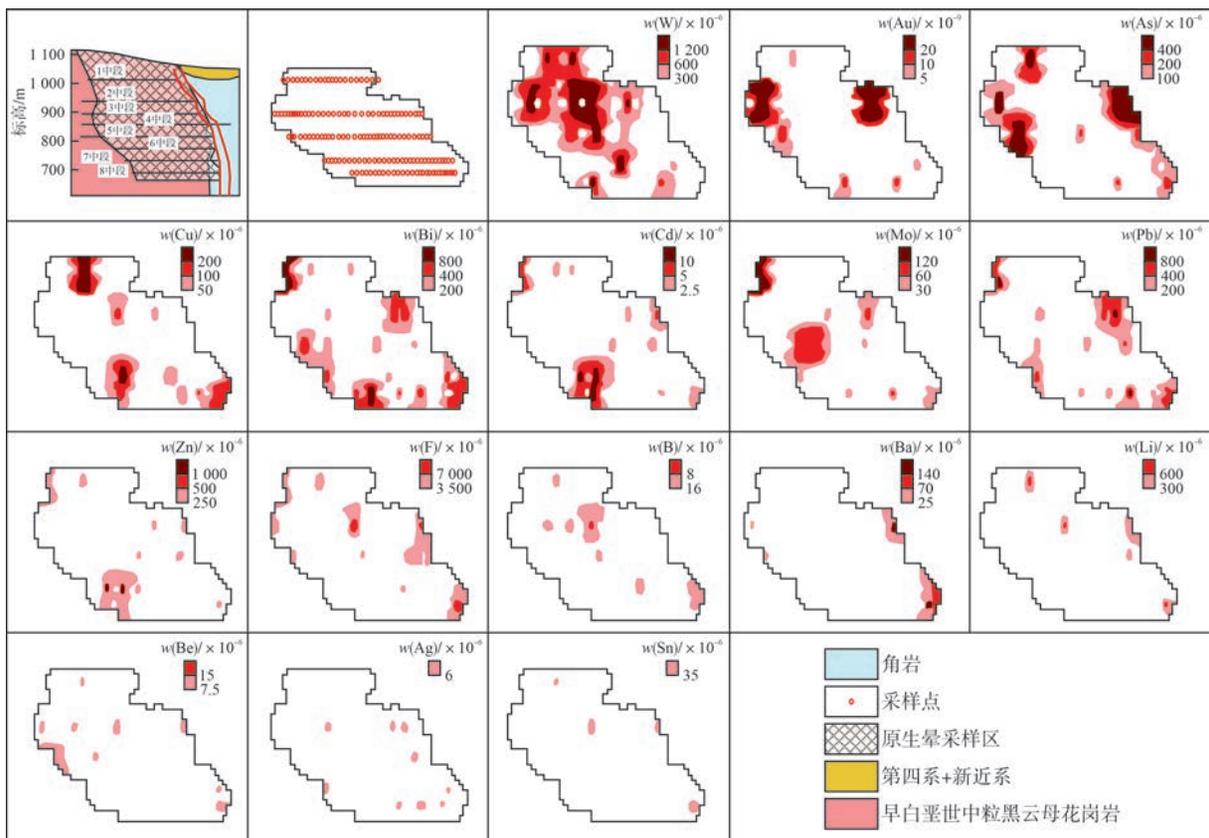


图6 1号矿体纵剖面异常剖析图

Fig. 6 Longitudinal section anomaly analysis diagram of Orebody 1

其余元素中,Au、As异常具三级分带,二者分布范围总体一致,位于W异常中部和边部,反映出高温元素成矿与中低温元素成矿具一定相斥性。As异常

与矿区内多期活动错断矿体的南东向隐伏断裂位置吻合,表明异常分布受断裂控制特征明显,该断裂可能是成矿热液上升的通道。Cu、Cd、Pb、Zn异常亦位

于W异常边部,反映出上述元素富集与W主成矿期关系不大,局部出现Cu、Cd、Zn、Ag元素散点高值异常,推断为金属硫化期局部伴生方铅矿、闪锌矿等硫化物所致。另外,F、B、Ba、Li、Be、Ag、Sn等元素多呈孤点状异常零散分布,总体规律性不明显,且浓集强度不高,反映其可能为岩浆期后热液初始富集,且尚未达矿化程度。

4 矿体原生晕轴向分带特征

原生晕异常分带是矿体三维空间概念,包括轴向分带、横向分带、纵向分带、垂直分带和水平分带^[16-21]。其中,轴向分带是指在原生晕异常内部的异

常沿矿液运移方向上的分带。热液矿床原生晕轴向分带理论是寻找隐伏矿的原理基础,因此采用原生晕轴向分带进行本次研究。原生晕轴向分带研究以JL.H.奥甫钦尼科夫和格里戈良等研究成果最具代表性。本区采用格里戈良原生晕轴向分带法,通过计算矿体背景值→线金属量→标准化→分带指数,根据元素分带指数最大值所在的中段,确定本区初步分带序列为:(Mo、Li、F)-(Au、W、Sn、B)-(As、Be)-(Ag、Cu、Zn、Cd)-(Pb、Bi、Ba)。对同一中段出现多种分带元素则通过变化指数和变化指数梯度确定顺序,最终得出1号矿体原生晕轴向分带序列自上而下为:Mo-F-Li-Au-Sn-W-B-As-Be-Ag-Zn-Cd-Cu-Pb-Bi-B(见表3)。

表3 矿体原生晕轴向分带特征

Table 3 Axial zoning characteristics of primary halos in the orebody

元素	线金属量/ $\times 10^{-6}$					标准化					分带指数				
	1	3	5	7	8	1	3	5	7	8	1	3	5	7	8
Au ¹⁾	0.931 6	12.028 4	1.497 9	0.527 8	1.614 8	0.077 4	1.000 0	0.124 5	0.043 9	0.134 3	0.008 6	0.079 7	0.015 9	0.006 7	0.021 3
Ag	410.82	1 344.62	1 099.06	1 004.07	907.75	0.305 5	1.000 0	0.817 4	0.746 7	0.675 1	0.034 0	0.079 7	0.104 0	0.113 8	0.106 9
Cu	39 346.20	14 388.53	2 935.43	40 859.13	22 804.39	0.963 0	0.352 1	0.071 8	1.000 0	0.558 1	0.107 1	0.028 1	0.009 1	0.152 5	0.088 4
Pb	89 034.81	109 106.34	70 941.25	39 395.41	70 684.80	0.816 0	1.000 0	0.650 2	0.361 1	0.647 9	0.090 7	0.079 7	0.082 8	0.055 0	0.102 6
Zn	79 579.03	35 765.87	38 666.26	121 128.81	76 857.79	0.657 0	0.295 3	0.319 2	1.000 0	0.634 5	0.073 0	0.023 5	0.040 6	0.152 5	0.100 5
Cd	1 237.13	524.96	517.67	2 089.28	1 235.44	0.592 1	0.251 3	0.247 8	1.000 0	0.591 3	0.065 8	0.020 0	0.031 5	0.152 5	0.093 7
W	223 956.81	736 249.88	282 778.88	201 716.37	160 280.98	0.304 2	1.000 0	0.384 1	0.274 0	0.217 7	0.033 8	0.079 7	0.048 9	0.041 8	0.034 5
Mo	47 405.63	9 279.88	32 118.87	2 940.46	5 235.41	1.000 0	0.195 8	0.677 5	0.062 0	0.110 4	0.111 2	0.015 6	0.086 2	0.009 5	0.017 5
As	52 867.96	177 112.78	111 257.10	12 043.84	18 885.36	0.298 5	1.000 0	0.628 2	0.068 0	0.106 6	0.033 2	0.079 7	0.080 0	0.010 4	0.016 9
Sn	2 536.73	7 607.83	3 388.25	1 201.58	850.38	0.333 4	1.000 0	0.445 4	0.157 9	0.111 8	0.037 1	0.079 7	0.056 7	0.024 1	0.017 7
Bi	216 125.54	99 774.25	97 947.62	74 421.05	189 628.63	1.000 0	0.461 6	0.453 2	0.344 3	0.877 4	0.111 2	0.036 8	0.057 7	0.052 5	0.139 0
Ba	1 315.61	7 716.51	3 717.91	3 390.76	7 606.57	0.170 5	1.000 0	0.481 8	0.439 4	0.985 8	0.019 0	0.079 7	0.061 3	0.067 0	0.156 1
B	427.78	1 398.25	651.62	532.12	291.14	0.305 9	1.000 0	0.466 0	0.380 6	0.208 2	0.034 0	0.079 7	0.059 3	0.058 0	0.033 0
Li	47 859.15	57 097.54	25 493.93	14 678.56	6 901.76	0.838 2	1.000 0	0.446 5	0.257 1	0.120 9	0.093 2	0.079 7	0.056 8	0.039 2	0.019 1
Be	669.69	2 010.92	1 969.91	574.51	301.43	0.333 0	1.000 0	0.979 6	0.285 7	0.149 9	0.037 0	0.079 7	0.124 7	0.043 6	0.023 7
F	958 565.30	946 359.66	634 965.34	132 963.81	176 566.15	1.000 0	0.987 3	0.662 4	0.138 7	0.184 2	0.111 2	0.078 7	0.084 3	0.021 1	0.029 2

注:1)w(Au) $\times 10^{-9}$ 。

参考典型赣南地区石英脉钨矿床轴向分带序列,结合矿区实际情况,选择As、Mo、F、Li为前缘晕指示元素,Au、W、Sn、B为近矿晕指示元素,Zn、Cd、Cu、Bi为尾晕指示元素。分析如下:

1)前缘晕指示元素As、Mo、F、Li出现在近地表1中段1 010 m标高,As、Mo异常向上未封闭,说明地表矿露头遭受了浅剥蚀作用,且指示了深部1中段—7中段694~1 010 m标高316 m高差内的已知矿体。

2)前缘晕指示元素As、Mo、F、Li再次出现在5中段、6中段780~820 m标高,As、Mo异常浓集中心明显完整,与已知矿体Au、W、Sn、B近矿晕指示元素互相叠加,形成了化学叠加晕,指示8中段以下更深空间成矿可能性。参考已知矿段前缘晕指示的316 m高差预测范围,推测至少464~695 m标高为深部新

的找矿靶区。

3)已知1-1矿体尾晕指示元素Zn、Cd、Cu、Bi位于7中段—8中段694~736 m标高,前缘晕指示元素As、Mo、F、Li呈散点状赋存于该标高段,形成了前缘晕+尾晕叠加状态^[9]。各元素异常分布范围、强度、规模等参数各不相同,毫无规律性,较为“杂乱”,推断为多次脉动钨成矿活动所致,但侧面反映了矿体深部将出现矿体的膨大狭缩或尖灭再现来完成类似上部已知矿体的原生晕闭环体系^[10],推测深部具一定找矿潜力。

5 流体包裹体特征

为研究1号矿体具体成矿温、压环境,将该矿体在花岗岩区、角岩区围岩段分别赋存的含钨石英脉进

行了流体包裹体采样,采样位置见图7,样品送至核工业北京地质研究院测试分析。

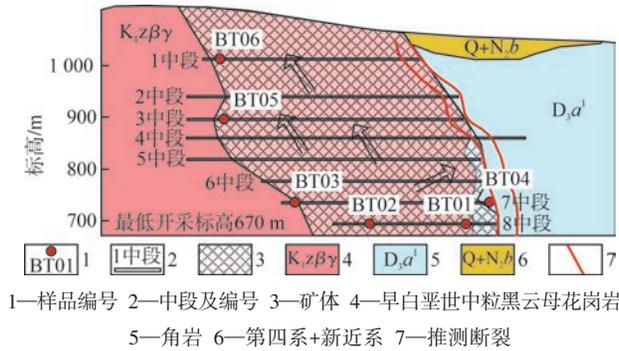


图7 包裹体采样位置及成矿热液运移图

Fig. 7 Sampling locations of inclusions and migration of metallogenic hydrothermal fluids

本次共测试6件样品271个测点,结果显示,含钨石英脉中流体包裹体普遍细小,多呈群带状分布,粒度一般4~20 μm,形状多呈椭圆状、近椭圆状或水滴状。包裹体类型以H₂O-CO₂三相包裹体为主,富液包裹体次之,局部可见含CO₂两相包裹体。气液比一般为20%~50%,平均值27%。盐度0.83%~10.62%,平均值4.14%,为低盐度流体体系,推测流体主要为岩浆后期热液或其与大气降水混合热液。

流体包裹体完全均一温度集中在227℃~311℃,近地表1中段—8中段完全均一温度由264℃渐变至302℃,显示热液流体由下而上流动,成矿温度随成矿演化而不断降低,矿区钨成矿热源位于深

部,总体属中高温热液流体范畴。

7中段、8中段花岗岩区多件样品平均完全均一温度为274℃,角岩区平均完全均一温度则降为269℃,显示热液流体水平运移方向应为花岗岩区流向角岩区。

7中段、8中段花岗岩区多件样品平均压力为292 MPa,角岩围岩地层平均压力为250.5 MPa,证明热液进入角岩围岩地层后,成矿压力环境有所减弱。

现有4中段、7中段、8中段深部坑道已证实,含钨石英脉在作为围岩的角岩地层内仍继续赋存,结合本次流体包裹体测试数据,证明含钨石英脉进入围岩地层后,成矿温、压虽有减弱现象,但在成矿温、压临界点的近矿围岩区域仍有一定赋矿空间,证明在岩体周边一定范围的角岩区寻找钨矿是可能的。

6 找矿预测

6.1 深部预测

基于对1号矿体原生晕轴向分带序列研究及矿体地球化学特征多维度研究,建立了该矿体原生晕理想模型(见图8),并对深部成矿靶区进行预测。综合得出:①含矿热液由下至上,由岩体至围岩流动,深部成矿物源、热源更为充足。②W异常在深部尚未封闭,有进一步敞口趋势,说明矿体向下仍存在赋矿空间。③多个中段坑道工程显示含钨石英脉在角岩地层赋存事实,证明角岩区具有寻找钨矿的可能。④前缘晕指示元素As、Mo、F、Li在5中段、6中段的再现,预测8中段以下464~695 m标高为新找矿靶区。

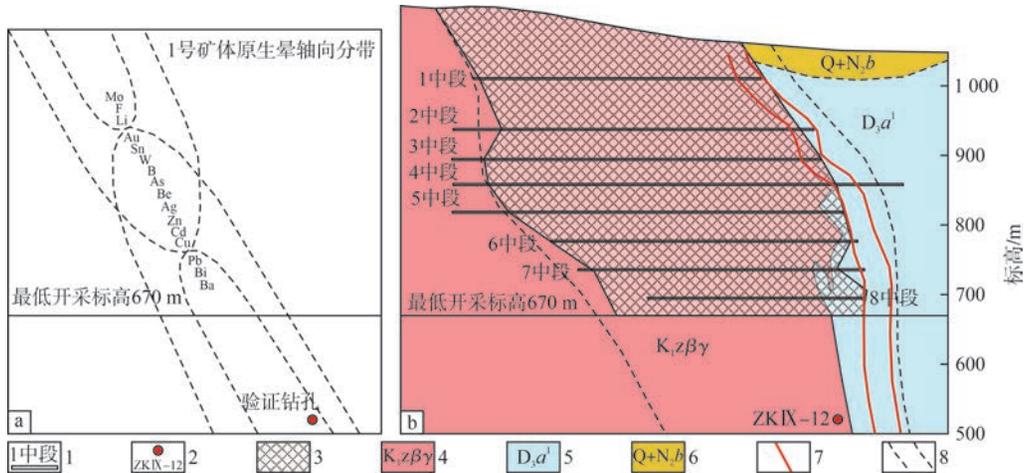


图8 1号矿体原生晕(a)预测模型及深部验证效果(b)

Fig. 8 Prediction model of primary halos in Orebody 1 (a) and deep verification results (b)

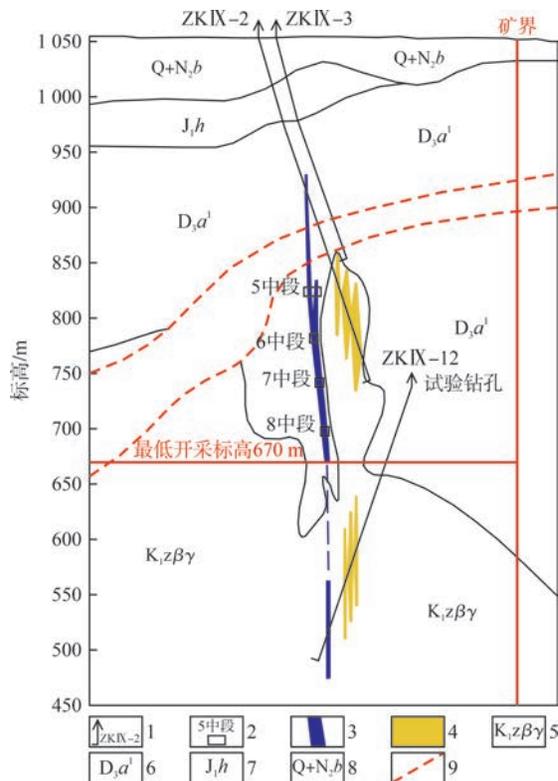
综合判定,矿区在8中段以下464~695 m标高及近角岩围岩地层为今后的找矿靶区,找矿前景良好。

6.2 工程验证

基于此次研究,在1号矿体成矿预测靶区布置了ZKIX-12钻孔,经验证发现多条平行矿体,总体见矿标高475~640 m(见图9)。第一层矿体:于155.2~

161.3 m处见云英岩型矿体,矿体厚2.26 m,WO₃单工程品位0.146%。第二层矿体:于168.5~179 m处见云英岩型和石英脉型混合矿体,矿体厚3.89 m,WO₃单工程品位0.191%。第三层矿体:于187.3~192.3 m处见云英岩型矿体,矿体厚1.85 m,WO₃单工程品位0.178%。第四层矿体:为本次预测的1-2号矿体,于

226.7~240.6 m处揭露,为石英脉型和云英岩型混合矿体,矿体厚4.45 m,WO₃单工程平均品位0.210%,找矿效果良好。



1—钻孔及编号 2—中段及编号 3—石英脉型矿体 4—云英岩型矿体
5—早白垩世中粒黑云母花岗岩 6—角闪岩 7—变质砂岩
8—第四系+新近系 9—推测断裂

图9 IX勘探线剖面验证钻孔见矿情况

Fig. 9 Mineralization status by verification drilling on Exploration Line IX

7 结论

1)元素相关系数、聚类分析、因子分析结果表明,W为东乌珠穆沁旗钨矿区主成矿元素,其成矿行为较为独立,与其他元素富集阶段不一致,簇群关系不甚明显。

2)纵剖面上,W异常与现有钨矿体吻合度较高,其多浓度分带和多浓集中心反映了钨多期次脉动成矿及不均匀沉淀特征。串珠状分布的W高值点连线预示矿体向南东侧深部侧伏,侧面反映了含钨热液流动方向。7中段和8中段出现的W元素异常预示着1-2号矿体深部仍有一定成矿空间。

3)流体包裹体测试结果显示,成矿热液中包裹体类型以H₂O-CO₂三相包裹体为主,气液比平均值27%。盐度平均值4.14%,推测流体为岩浆后期热液或其与大气降水混合热液。包裹体完全均一温度集中在227℃~311℃,属低盐的中高温热液流体,成矿温度随成矿演化过程逐渐降低。含矿热液由下而上、

从花岗岩向围岩方向运行流动。热液流体进入围岩地层后,成矿压力环境减弱,但在成矿温压临界点的近矿围岩区域仍有一定赋矿空间。

4)采用格里戈良原生晕轴向分带法统计1号矿体原生晕轴向分带序列自上而下为Mo-F-Li-Au-Sn-W-B-As-Be-Ag-Zn-Cd-Cu-Pb-Bi-Ba。选择As、Mo、F、Li为前缘晕指示元素,Au、W、Sn、B为近矿晕指示元素,Zn、Cd、Cu、Bi为尾晕指示元素,预测8中段以下464~695 m标高为新找矿靶区。通过本次钻探工程验证发现4层平行矿体,见矿标高475~640 m。其中,本次预测的1-2号矿体厚4.45 m,WO₃单工程平均品位0.210%,找矿效果良好。

【参考文献】

- [1] 滕学建,程银行,杨俊泉,等.内蒙古1:5万阿尔塔拉(L50E013010)、沙麦公社(L50E013011)、配种站(L50E013012)、准哈塔布其(L50E014010)、吉拉嘎浑迪(L50E014011)、阿木古楞包乐格(L50E014012)幅区域地质调查报告[R].天津:中国地质调查局天津地质调查中心,2016.
- [2] 张广孝,李长生,乔永文,等.内蒙古自治区东乌珠穆沁旗沙麦矿区钨矿资源储量核实报告[R].赤峰:赤峰宏远地质勘查有限公司,2009.
- [3] 陈全树,谢从瑞,杨忠智,等.河南洛宁范庄金银铅矿床地质特征及找矿前景分析[J].地质与勘探,2012,48(6):1 087-1 092.
- [4] 陈玉明,王开天.秘鲁胡斯塔铜矿原生晕地球化学特征及找矿效果[J].物探与化探,2008,32(2):126-130.
- [5] 刘光永,戴茂昌,祁进平,等.福建省紫金山铜矿床原生晕地球化学特征及深部找矿前景[J].物探与化探,2014,38(3):434-440.
- [6] 邵跃.矿床元素原生分带的研究及其在地球化学找矿中的应用[J].地质与勘探,1984,20(2):47-55.
- [7] 李俊建,付超,唐文龙,等.内蒙古东乌旗沙麦钨矿床的成矿时代[J].地质通报,2016,35(4):524-530.
- [8] 赵金忠,袁宏伟,卢粉云,等.内蒙古东乌旗(沙麦)钨矿的地质、地球物理、地球化学特征[J].西部资源,2015(5):104-106.
- [9] 庞绪成,董文超,倪开放,等.河南洛宁县范庄银矿原生晕地球化学特征及深部成矿预测[J].矿物岩石地球化学通报,2018,37(3):495-501.
- [10] 李惠,禹斌,魏江,等.矿区深部盲矿预测新突破——构造叠加晕找盲矿法[J].矿产勘查,2019,10(12):3 070-3 073.
- [11] 胡乔青,王义天,毛景文,等.山西义兴寨金矿床铁塘矿段原生晕地球化学与深部找矿预测[J].黄金,2023,44(7):1-9.
- [12] 魏子鑫,秦连元,要悦稳,等.青海省格尔木市白日其利金矿区构造叠加晕深部找矿预测[J].黄金,2023,44(1):75-81.
- [13] 王学阳,李慧,郭廷峰,等.吉林夹皮沟金矿田二道沟金矿区地球物理特征、地球化学特征及找矿效果[J].黄金,2022,43(12):26-32,38.
- [14] 张笑天,孙景贵,韩吉龙,等.吉林夹皮沟金矿集区三道岔金矿床成矿流体来源与演化——流体包裹体和H-O同位素的制约[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53(3):748-766.
- [15] 张兵强,赵富远,杨清毫,等.贵州省盘县架底金矿床成矿地质条件及找矿方向[J].吉林大学学报(地球科学版),2022,52(1):94-108.

- [16] 李玉洁,李成禄,杨元江,等.大兴安岭东北部多宝山矿集区二道坎银铅锌矿床磁铁矿地球化学特征[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53(2):436-449.
- [17] 董娟,袁茂文,李成禄.黑龙江多宝山矿集区二道坎银铅锌矿床热液菱锰矿地球化学特征及其指示意义[J].吉林大学学报(地球科学版),2022,52(3):855-865.
- [18] 赵忠海,梁杉杉,孙景贵,等.小兴安岭伊东林场金多金属矿床火山-次火山岩年代学、岩石地球化学及构造背景[J].吉林大学学报(地球科学版),2023,53(3):785-808.
- [19] 任良良,魏江,李惠,等.广西大瑶山西部一带勘查(新)区构造叠加晕法研究及应用[J].地质与勘探,2023,59(6):1 217-1 227.
- [20] 杨融,陈永清.云南个旧Sn-Cu多金属矿田风流山矿段原生晕分带与深部成矿预测[J].地质与勘探,2022,58(1):49-60.
- [21] 袁硕浦,王建平,许展,等.内蒙古白乃庙金矿流体包裹体与C-H-O-S稳定同位素特征及其对矿床成因的启示[J].地质与勘探,2022,58(2):286-298.

Geochemical characteristics and deep prospecting prediction of the East Ujimqin Banner Tungsten Deposit, Inner Mongolia

Ren Junlin^{1,2,3}, Sun Zhihui^{1,2,3}, Yao Jiaqi^{1,2,3}, Liu Ruinian^{1,2,3}, Liu Ning^{1,2,3}, Wang Peng^{1,2,3}

(1. Hebei Huakan Resources and Environment Survey Co., Ltd.;

2. Hebei Key Laboratory of Geological Resources Exploration, Development, and Ecological Protection;

3. 514 Brigade of North China Geological Exploration Bureau)

Abstract: To predict the deep-seated variation trends of Orebody 1 in the East Ujimqin Banner Tungsten Deposit, this study carries out related studies including systematic field investigations, fluid inclusion analysis, and geochemistry, based on the study of geological characteristics and genesis of the deposit. Key findings include Orebody 1 is dominantly controlled by NW-trending fractures and exhibits multi-stage mineralization. According to the Gregorian axial zoning method of primary halos, the vertical zoning sequence of primary halos in Orebody 1 is determined as (from top to bottom): Mo-F-Li-Au-Sn-W-B-As-Be-Ag-Zn-Cd-Cu-Pb-Bi-Ba, displaying distinct superimposed features of "coexisting front halo + tail halo" and "front halo + near ore halo". Combined with the spatial distribution of W anomalies and characteristics of ore-forming fluid inclusions, it is inferred that Orebody 1 retains significant prospecting potential at depths below Level 8. Drilling validation confirmed this hypothesis, revealing substantial untapped resources in the deep sections of the East Ujimqin Banner Tungsten Deposit.

Keywords: primary halo; axial zoning; deep prospecting prediction; East Ujimqin Banner Tungsten Deposit; Inner Mongolia; fluid inclusions