

金属矿产

# 内蒙古迪彦钦阿木钼矿区热液矿化蚀变分带建模—基于 Surpac 软件

阎浩<sup>1</sup>, 黄费新<sup>1</sup>, 孙赫<sup>1</sup>, 赵立群<sup>1</sup>, 张勇<sup>1</sup>, 张昊<sup>2</sup>, 李帅值<sup>2</sup>,  
刘芳芳<sup>1</sup>, 王嘉上<sup>3</sup>

(1. 中国冶金地质总局矿产资源研究院, 北京 100025; 2. 中国冶金地质总局第一地勘院, 河北三河 065201; 3. 中国地质大学(北京), 北京 100083)

**[摘要]**本文应用了近红外光谱分析技术(BJKF-1型便携式近红外矿物分析仪)及Gemcom Surpac三维地质建模软件;通过近红外光谱分析技术,对迪彦钦阿木矿区Ⅲ号矿带勘查钻孔中提取的岩石样品进行测试,并结合野外编录情况,将钻孔中岩石的蚀变类型主要划分为青磐岩化、泥化和绢英岩化。结合该矿区以往地质工程勘查资料,应用加拿大Gemcom Surpac三维地质建模软件,通过距离幂次反比法,将蚀变信息转化为数字参数并取代传统的品位数据,建立了矿体的蚀变块体模型,划分出了斑岩型矿床特有的蚀变分带。根据在矿区划分的蚀变分带,表明斑岩型矿化的蚀变中心位于矿区东南和西南部,推断导致成矿的斑岩侵入体很可能位于矿区东南和西南方位的深部。迪彦钦阿木矿区的工作结果表明,基于Gemcom Surpac实现的矿区三维蚀变分带建模可以很好的圈定热液矿化蚀变分带,解释并找出指向斑岩型矿化-蚀变中心的指示标志,判断矿化中心,为确认矿床类型提供了直接证据,并对进一步的勘探具有重要参考意义。

**[关键词]**Gemcom Surpac 软件 热液矿化 蚀变分带 三维建模 迪彦钦阿木

**[中图分类号]**P618.51 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2012)05-0932-8

Yan Hao, Huang Fei-xin, Sun He, Zhang Yong, Zhang Hao, Li Shuai-zhi, Liu Fang-fang, Zhao Li-qun, Wang Jia-shang. A model for alteration zoning of hydrothermal mineralization based on Surpac software for the Diyanqinamu Mo mine district Inner Mongolia [J]. *Geology and Exploration*, 2012, 48(5): 0932-0939.

## 0 引言

斑岩型矿床蚀变矿物分带可作为斑岩型矿化、蚀变中心的指示标志及依据(胡受奚, 1980; 袁见齐, 1985; 胡受奚, 2004; 简伟, 2009; 徐庆生等, 2010)。对于野外露头出露较好的区域可对地表的蚀变信息提取,在第四系覆盖较厚地区,从钻孔岩心中提取蚀变信息也可用来进行蚀变分带划分;蚀变分带模型的建立对成矿类型、找矿靶区的圈定都具有重要的意义。

随着光谱矿物分析技术的逐步成熟,它已经应用于矿物的识别和测量;而基于三维可视化技术和地质

统计学的地质三维建模软件,可以将矿床内外部的结构、形态及空间变化形象的展现出来(吴立新, 2000)。内蒙古迪彦钦阿木钼矿是近年新发现的在二连浩特-东乌珠穆沁旗成矿带上一个典型的与斑岩有关的大型矿床,金属资源量目前已达70万吨。文章以Surpac软件为操作平台,运用BJKF-1型便携式近红外矿物分析仪检测野外采取的岩石样品,分析、鉴别特征蚀变矿物,确定蚀变类型,划分蚀变分带,在此基础上构建了矿区地表及深部蚀变体的三维实体模型和块体模型,针对蚀变块体模型进行了距离幂次反比法插值运算,并进一步探讨了基于该模型之上的成矿类型及侵入斑岩体的潜藏位置。

**[收稿日期]**2012-02-24; **[修订日期]**2012-03-29; **[责任编辑]**郝情情。

**[基金项目]**中国冶金地质总局风险勘查项目(编号:CMGB2011-FX02)资助。

**[第一作者]**阎浩(1981年-),男,2010年毕业于中国地质大学(北京),获硕士学位,助理工程师,现主要从事金属矿产勘查工作。E-mail: yanhao@cmgb.cn。

## 1 地质概况及矿体地质特征

迪彦钦阿木矿区位于内蒙古锡林格勒盟东乌珠穆沁旗额仁高毕苏木南约 20km 处。该矿区地处西伯利亚板块南缘查干敖包 - 奥尤特 - 朝不楞古生代构造 - 岩浆带与大兴安岭中生代构造 - 岩浆岩带南段的叠加部位, 是我国十分重要的多金属成矿带( 聂凤军等 2007; 张万益等 2008) ( 图 1)。区内出露的地层主要为中奥陶统汗乌拉组 ( $O_2h$ )、上石炭统宝力格庙组, 广泛分布于该区南部和东南部, 岩性主要为灰绿、灰色晶屑岩屑凝灰岩、凝灰质砂岩、安山岩、凝灰岩, 在汗乌拉组上岩段局部夹有结晶灰岩透镜体和硅质岩脉体; 上侏罗统查干诺尔组 ( $J_3c$ ) 岩性为凝灰质角砾岩、晶屑岩屑凝灰岩、安山岩, 为该区的主要赋矿围岩; 第四系全新统 (Q) 湖积及风成沉积物 (图 2)。矿化区内各类褶皱和断裂构造发育广泛, 其中与迪彦钦阿木钼矿有关的是迪彦钦阿木背斜以及相关的构造破碎带, 该背斜是北西向展布的, 其两翼的破碎带是钼矿发育的有利部位( 聂秀兰等 2010)。

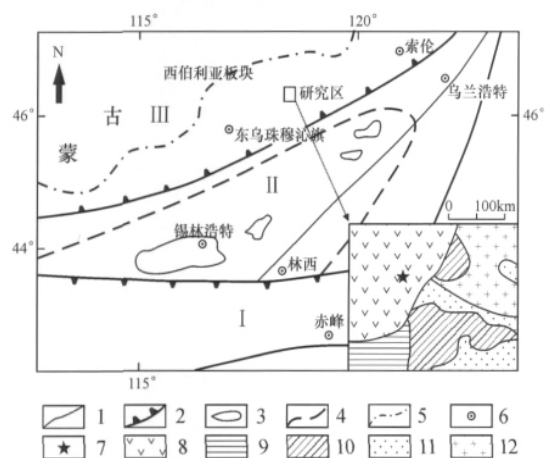


图 1 内蒙古迪彦钦阿木钼矿区区域构造略图  
(根据 Wang et al. 2001 资料汇编)

Fig.1 Simplified regional tectonic map of the Diyanqinamu Mo ore district, Inner Mongolia (after Wang et al. 2001)

I - 华北陆块; II - 古生代兴安造山带; III - 西伯利亚板块; 1 - 断裂带; 2 - 古板块缝合带; 3 - 前寒武纪变质岩地块; 4 - 锡林浩特前寒武纪中间地块推测边界; 5 - 国界; 6 - 城镇; 7 - 矿区位置; 8 - 侏罗系;

9 - 石炭系; 10 - 奥陶系; 11 - 第四系; 12 - 矿区印支期石英闪长岩

I - North China continent block; II - Paleozoic Hinggan - Mongolia orogenic belt; III - Siberian plate; 1 - fault zone; 2 - paleo-plate suture zone; 3 - precambrian metamorphic block; 4 - inferred boundary of Xilinhot Precambrian metamorphic massif; 5 - National boundaries; 6 - town and city; 7 - Project location; 8 - Jurassic strata; 9 - Carboniferous strata; 10 - Ordovician strata; 11 - Quaternary; 12 - Indosinian quartz diorite

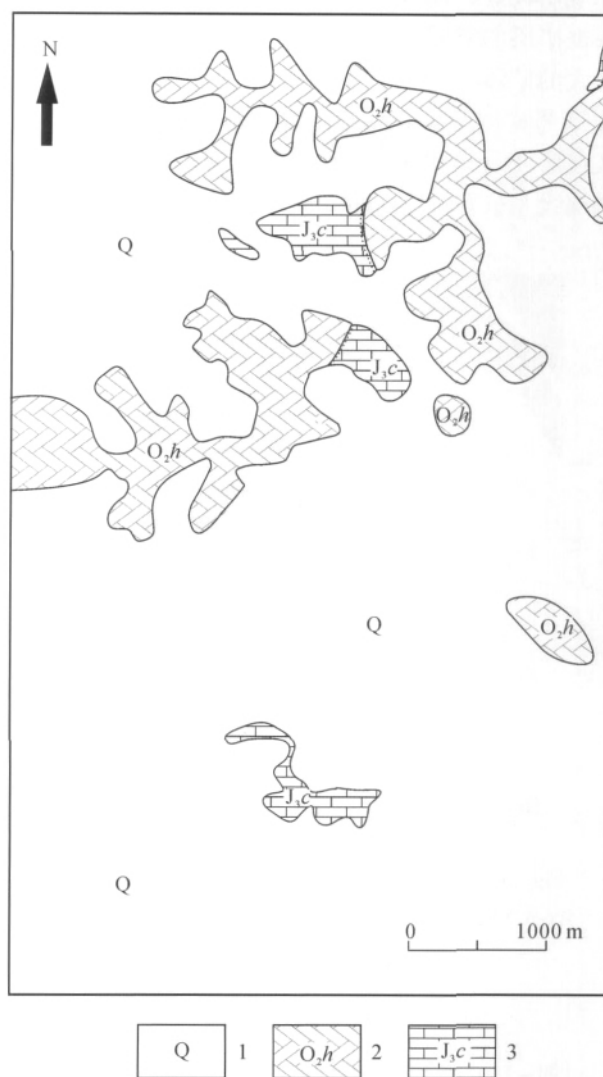


图 2 迪彦钦阿木矿区地质图 (根据中国冶金地质总局第一地勘院 2010 资料汇编)

Fig. 2 Geological map of the Diyanqinamu mine district (after Institute of Geology and Mineral Exploration, CMGB 2010)

1 - 第四系; 2 - 中奥陶统汗乌拉组凝灰岩、安山岩;

3 - 上侏罗统查干诺尔组凝灰岩、安山岩

1 - Quaternary; 2 - Middle Ordovician Hanwula Fm. tuff and andesite;

3 - Upper Jurassic Chaganruoer Fm. tuff and andesite

在现有工作程度上, 矿区范围内共圈定三处矿化带, 从东向西依次为 I、II、III 号矿化带。其中 I、II 号矿化带以铅锌多金属矿化为主, III 号矿化带为钼多金属成矿, 考虑到本文的建模分析只牵涉 III 号矿化带, 故不对 I、II 号矿化带进行描述。

III 号矿化带矿体形态主要受北西向背斜控制, 在背斜的南西翼倾向南西, 倾角  $40^\circ \sim 60^\circ$ , 背斜为一宽缓褶皱, 背斜两翼从 21 线向 61 线逐渐撒开, 两翼

成矿较好,背斜核部受挤压应力的影响矿化较差。根据矿层的空间位置和矿化集中情况分别圈出了三个大的矿体,自上至下依次编号为Ⅲ-1号、Ⅲ-2号、Ⅲ-3号矿体。21线钻孔仅控制Ⅲ-1号矿体,25~61线在Ⅲ-1号矿体下部均见到Ⅲ-2号矿体。在37~85勘探线北东方向见到Ⅲ-3号矿体(图3)。

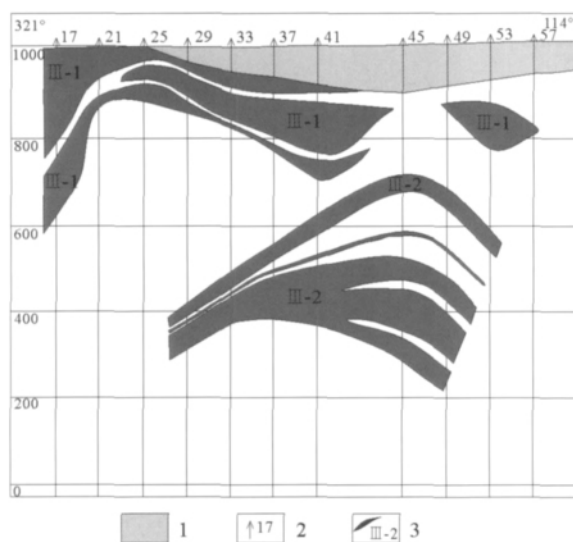


图3 Ⅲ号带矿体纵剖面图(出自锡林郭勒盟金仓矿业有限责任公司地质报告 2009)

Fig. 3 Simplified profile of orebody No. 3 (data from Xilingol League Jinchuang Mining Ltd 2009)

1 - 破碎带; 2 - 钻孔; 3 - 矿体

1 - fracture zone; 2 - drill hole; 3 - orebody

Ⅲ-1号矿体:位于矿区西南部,背斜的南西翼,分布在21~85线之间,矿体形态为厚大脉状;由41个钻孔控制长约1600 m,宽约240 m,倾向南西,倾角 $40^{\circ} \sim 60^{\circ}$ 。Ⅲ-1号矿体估算332+333+334钼金属资源量20.53万t,钼平均品位为0.098%,占全部资源量的52.41%,为Ⅲ号带的主矿体。Ⅲ-2号矿体:平行倾伏于Ⅲ-1号矿体之下,长约1000 m,宽约50 m。钼平均品位为0.071%,此矿体估算332+333资源量1.64万t,占全部资源量的4.18%。Ⅲ-3号矿体:该矿体位于背斜北东翼,长约1000 m,宽约200 m,钼平均品位为0.115%,矿体估算332+333+334资源量16.98万吨,占全部资源量的43.35%。

矿化带总体为三层似层状矿化体,夹石较多,矿层分支复合现象明显。矿体形态比较复杂,矿化体、低品位矿体及工业矿体从成矿机理、矿物来源上并无差异,它们之间也无明显的界限;由于钼矿化的不均匀性及褶皱断裂对矿层形态的影响,导致矿体形

态复杂,呈近平行层状或大的透镜状,矿体单层之间难以对应。

在野外钻孔编录中观察到的主要矿石矿物为:辉钼矿、黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿。矿石中的脉石矿物受后期蚀变和后期构造作用影响,较为杂乱,成分较为复杂,主要有石英、钾长石、斜长石、萤石、绿泥石、绢云母、白云母、碳酸盐、粘土矿物和火山碎屑矿物。

## 2 蚀变矿物光谱分析

在迪彦钦阿木矿区共采集21条勘查线上的133个钻孔的样品,采样原则为:在钻孔编录基础上,除第四纪覆盖层以外,选择蚀变发育的岩心,以5 m为点距进行全孔采样,蚀变强烈处加密至3 m;共计获得蚀变样品5116件。样品在野外取得并编号,在室内运用BJKF-1型便携式近红外矿物分析仪进行测量,识别蚀变矿物,样品大小以覆盖仪器测量窗(15 mm×15 mm)为宜。

结果显示,主要蚀变矿物为:伊利石、绢云母、高岭石、叶蜡石、绿泥石、绿帘石、阳起石、地开石、明矾石等,并且以组合形式出现:叶蜡石+高岭石、地开石+叶蜡石+高岭石、绿泥石+绿帘石、伊利石+黄铁矿、石英+绢云母、地开石+高岭石、明矾石+地开石等。根据斑岩型矿床的典型特征划分出:绢英岩化带、高级泥化带、青磐岩化带。

## 3 建模流程及应用

将测试的样品结果建成数据库,与以往不同的是,这里将品位数据用蚀变信息取代,流程图如下(图4)。

### 3.1 地质数据库的建立

为建立迪彦钦阿木矿区钻孔岩心蚀变数据库,共收集并整理了21条勘查线上的133个钻孔数据,按照Surpac数据库的建制要求,分别建立了以TXT文件为格式的开孔坐标、测斜数据、岩性数据、蚀变数据表格。表格中,用蚀变矿物数据取代了传统建模中的品位数据去构建模型。

### 3.2 工程轨迹的三维显示

将已经建立好的四个TXT格式文件导入Surpac数据库后生成数据库定义文件\*.ddb,随生成的\*.mdb即为Access2000数据库,通过钻孔设置便可在三维空间显示工程布局(图5)。

### 3.3 三维蚀变实体模型

迪彦钦阿木矿区三维实体模型创建采用剖面线

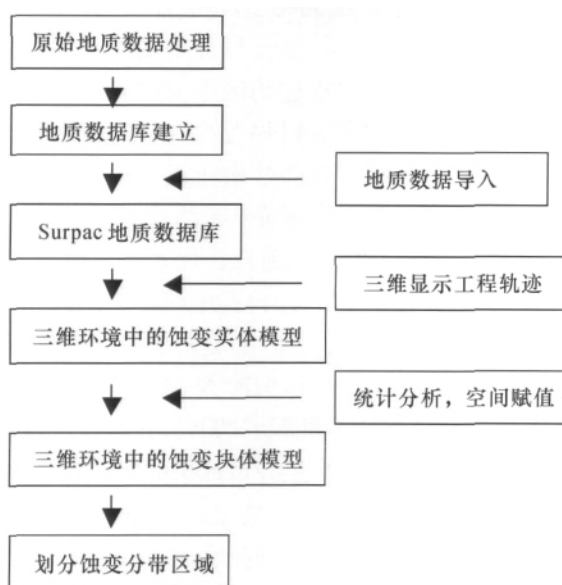


图 4 建立迪彦钦阿木矿区蚀变模型流程图

Fig. 4 Flow chart of building an altered model for the Diyanqinamu mine district

法。本文虽然不是以矿体资源量估算为目的,但通过钻孔岩心柱的识别及野外编录内容可以看出,矿

区的主要赋矿围岩为安山岩和凝灰岩,围岩蚀变也主要发生在安山岩和凝灰岩上,尽管不同岩性间蚀变程度具有非均一性,但由于热液作用致使原岩中的化学元素迁移所发生的围岩蚀变具有普遍性(Ignacio S. Torres - Alvarado 2007; 侯增谦等 2009)、以及对围岩选择的随机性(胡受奚 2004),鉴于此,本文可以将矿区已施工的范围做为一个整体的蚀变模型来考虑。圈连时,将每条勘查线上有明显蚀变的岩体圈定在一个范围内形成一个二维剖面,连接各勘查线间剖面使之形成三角网,并对实体两端封闭后验证,即可得到迪彦钦阿木矿区围岩蚀变的 DTM 实体模型(图 6)。

### 3.4 三维蚀变块体模型

考虑到迪彦钦阿木矿区的三维建模是根据钻孔中的蚀变信息构建的,将蚀变信息转化为数字参数并取代传统的品位数据。绢英岩化、泥化和青磐岩化的参数值是固定的,所以不会有特高值的出现,但同样要考虑到在周围一定距离内相近的点有较强的相关性,随着距离的增大,相关性随即减弱(侯景儒等 2001),所以本文选用距离幂次反比法进行块模型的估值。可用下式表示:

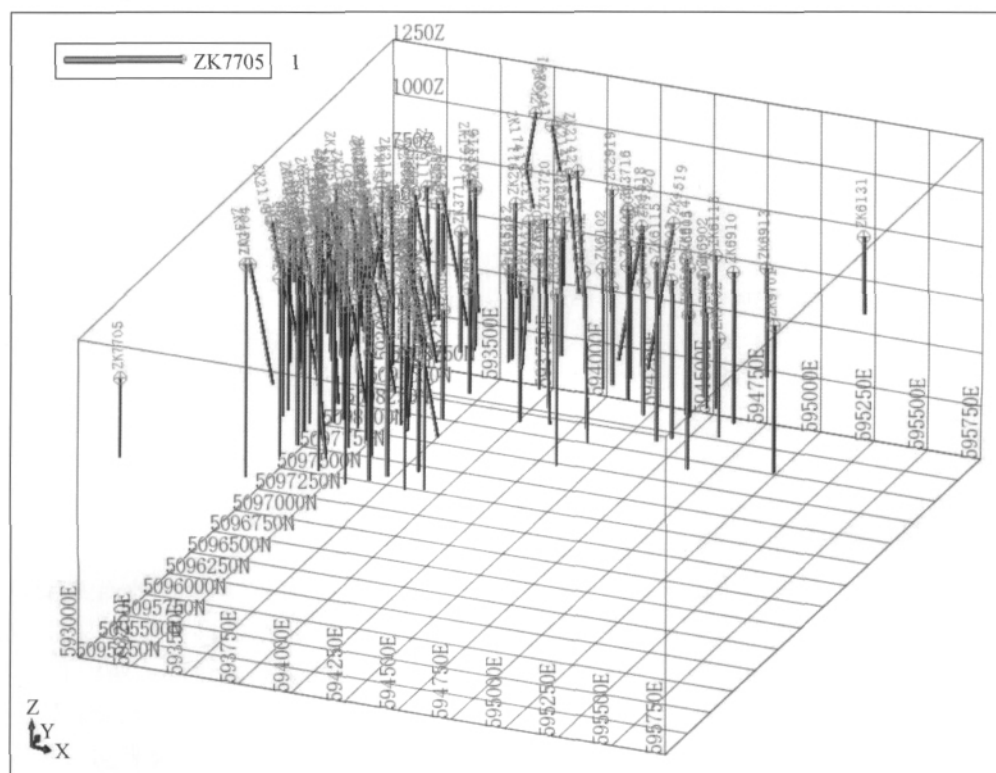


图 5 迪彦钦阿木矿区Ⅲ号矿带探矿工程分布图

Fig. 5 Distribution of exploring projects at No. 3 belt in the Diyanqinamu ore district

1 - 探矿工程位置及编号

1 - position and number of drill hole

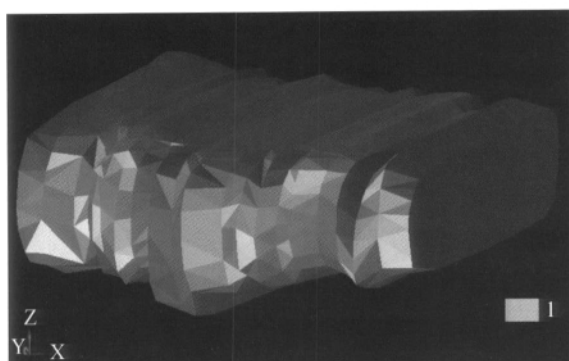


图6 矿区蚀变范围 DTM 模型

Fig. 6 DTM model of alteration range in the Diyanqinamu ore district

1 - 矿区蚀变范围

1 - alteration range of diyanqinamu

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^p} Z_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{(D_i)^p}}$$

式中  $Z$  是估计值  $Z_i$  是第  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) 个样本,  $D_i$  是距离  $p$  是距离的幂, 幂越高, 内插结果越平滑 (White *et al.*, 2004)。

在已建立好的蚀变实体模型基础上创建“con\_蚀变”的约束文件, 这样就可以把块体模型控制在圈定的块体边界内。执行“距离幂次反比法”命令, 导入“蚀变模型.mdl”, 利用过程中制定的组合样线串文件作为数据源来填充块模型。添加已经创建好的“con\_蚀变”的约束, 通过增加属性比重来赋值, 再根据属性为蚀变块体着色。由于在钻孔中没有发现与矿化同期的钾长石和黑云母, 故着色时按照绢英岩化、高级泥化、青磐岩化依次设定为黄、粉、绿三种颜色, 在未蚀变地区用白色表示, 就可以十分清晰的看出迪彦钦阿木钼矿区的热液蚀变分布情况(图7)。

#### 4 分析

对矿区钻孔岩心进行蚀变矿物取样时, 发现在若干钻孔中有部分钾长石的存在, 通过对在钻孔中钾长石发育部位两侧的岩石进行蚀变矿物分析后发现, 矿区钻孔中钾长石发育部位两端的蚀变矿物多为叶蜡石 + 高岭土、地开石 + 叶蜡石 + 高岭土、绿泥石 + 绿帘石等, 根据斑岩型矿床典型的蚀变分带特征, 这几组矿物组合通常与钾长石不发育在同一蚀变带; 此外, 在钾长石赋存的岩心部位, 没有发现斑岩型矿床中钾化带特有的黑云母化现象。与以往资料的对比中我们发现, 在马拉松多、玉龙和莽总矿区

的钾化带中, 黑云母的析出到达了 10%; 而在多宝山、德兴矿区中, 钾长石化和黑云母化是相伴产出的 (芮宗瑶等, 1984); 而在上述矿区中, 在绢英岩化带中出现了绢云母 + 黄铁矿 + 伊利石组合; 在高级泥化带中出现了地开石 + 明矾石 + 叶蜡石组合; 在青磐岩化中出现了绿泥石 + 绿帘石 + 黄铁矿组合; 这说明迪彦钦阿木矿区钻孔中发现的钾长石化并不是成矿同期的热液蚀变造成的, 这些钾长石应该是岩浆成因, 与矿化期蚀变无关。热液成矿作用总是伴随着热液的蚀变作用, 但热液的蚀变作用却不一定伴随有矿床的形成 (芮宗瑶等, 1984; 胡受奚, 2004), 也就是说, 由于岩浆热液的多阶段性, 后期导致成矿的热液蚀变叠加在先期未能成矿的热液蚀变之上, 产生了早期与后期蚀变矿物在成矿地区共存的现象, 因此, 这里的钾长石不能作为后期与矿同期成因的标志来看待。

钻孔中的蚀变主要以青磐岩化、高级泥化和绢英岩化为主; 就矿区辉钼矿的矿化分布而言, 钻孔中的辉钼矿主要产出位于岩心绢英岩化蚀变较为发育的部位, 这说明辉钼矿矿化与绢英岩化蚀变关系最为密切, 岩心中条带矿化脉两侧绢云母呈现团块集合体形态分布并与辉钼矿共生。对比德兴、多宝山、玉龙等斑岩型矿区, 具有工业品位的辉钼矿化通常也主要产出在绢英岩化带中 (芮宗瑶等, 1984)。根据已有的特征蚀变矿物组合 (袁见齐, 1985; 胡受奚, 2004; 简伟, 2009; 徐庆生等, 2011), 据此划分出了迪彦钦阿木矿区特有的蚀变分带, 即: 绢英岩化带 (石英 + 绢云母/伊利石 + 黄铁矿)、高级泥化带 (蒙脱石 + 叶蜡石 + 高岭土 + 地开石 + 明矾石)、青磐岩化 (绿泥石 + 绿帘石 + 黄铁矿)。

通过上述判别得出的迪彦钦阿木矿区蚀变块模型就具有较高的实际意义。从矿区的蚀变块模型上看, 在  $XY$  平面上 (块模型正上方) (图 8a), 可清楚的看到, 整个矿区的蚀变主要以青磐岩化为主, 这主要集中在矿区的北部; 而在矿区的南部, 出现了高级泥化和绢英岩化的过渡现象, 即蚀变增强趋势, 这种增强趋势主要集中在矿区的西南方和东南方位。从  $XZ$  平面上 (图 8b) 看, 整个矿区内的青磐岩化蚀变现象大为减少, 绢英岩化和高级泥化蚀变相对增加并以分带的形式出现在矿区东南和西南部的下方。矿区中高级泥化蚀变的出现表明, 该矿区风化剥蚀程度较浅, 作为斑岩蚀变体系的最上部, 它的存在指示了钾化蚀变很可能存在于更深的部位, 钻孔还未探测到, 同时也说明矿区深部还有很好的找矿前景。

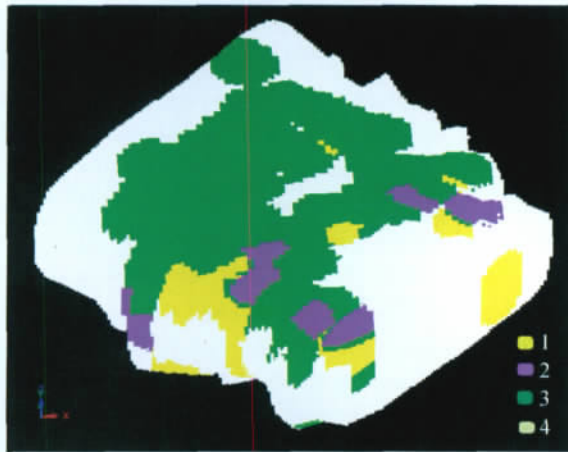


图7 迪彦钦阿木矿区蚀变块体模型

Fig. 7 Block model of alteration in the Diyanqinamu mine district

1-绢英岩化;2-泥化;3-青磐岩化;4-无蚀变  
1- sericitic alteration ;2-argillic alteration;  
3- propylitization;4-unaltered

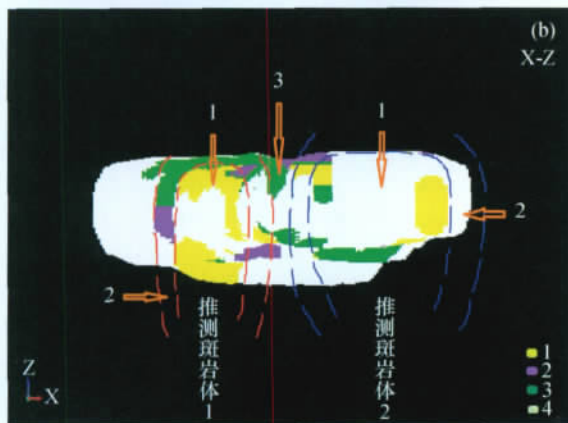
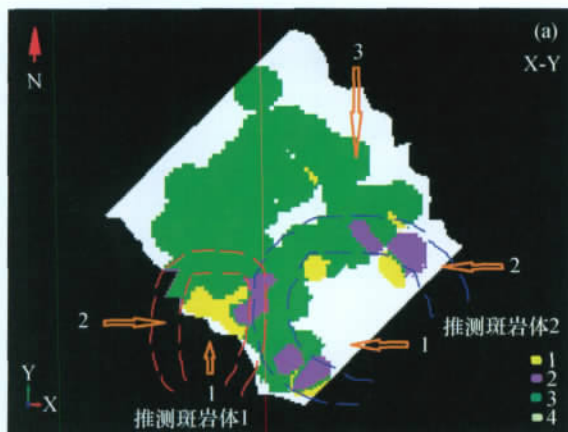


图8 X-Y(a)、X-Z(b)方向观察图

Fig. 8 Perspectives in directions X-Y(a) and X-Z(b)

1-绢英岩化;2-高级泥化;3-青磐岩化;4-无蚀变  
1- sericitic alteration;2-argillic alteration;  
3- propylitization;4-unaltered

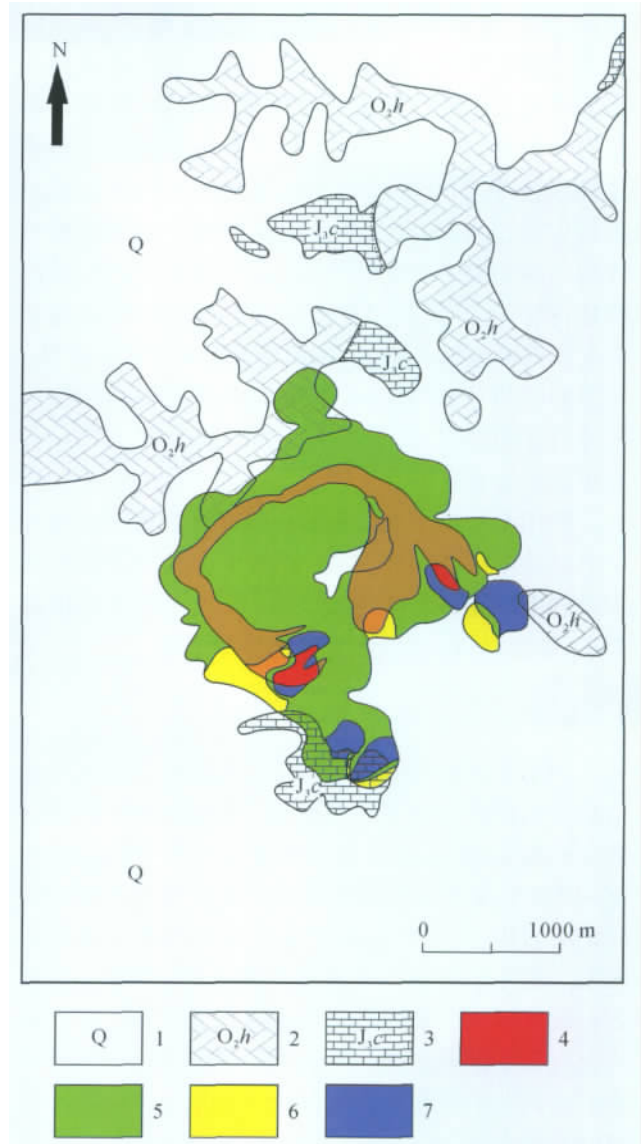


图9 迪彦钦阿木矿区 1: 10000 地层、矿体及蚀变叠加地质图 (根据中国冶金地质总局第一地勘院, 2010 资料汇编)

Fig. 9 Geological map (scale 1: 10000) of stacked strata and orebody and alteration of the Diyanqinamu mine district (after Institute of Geology and Mineral Exploration, CMGB 2010)

1 - 第四系;2 - 中奥陶统汉乌拉组凝灰岩、安山岩;3 - 上侏罗统查干诺尔组凝灰岩、安山岩;4 - 矿体;5 - 青磐岩化;6 - 绢英岩化;7 - 高级泥化

1 - Quaternary;2 - Middle Ordovician Hanwula Fm. tuff and andesite;  
3 - Upper Jurassic Chaganruoer Fm. tuff and andesite;4 - orebody;  
5 - propylitization;6 - sericitic alteration;7 - argillic alteration

将迪彦钦阿木矿区 800 m 深度的主矿体在地表的投影以及矿区蚀变分带在地表的投影叠加在矿区 1: 10000 的地质图上(图 9), 可更加形象的看出矿化与蚀变之间的关系。800 m 深处的矿体矿化连续性较



好,呈C字型展布,C字型开口向东南方,其开口两端正好位于矿区东南和西南部,即两处高级泥化和绢英岩化地段。从整个矿体的形态看,其开口两端的矿化较宽大,各自向北西延伸逐渐变窄直至相连,说明矿体的产出起始于矿区两处高级泥化和绢英岩化带,并随即向北西方向延伸的。图中勘查基线均匀的切割了矿化和蚀变,并且间断了它们的连续性,推测这种间断很可能是受矿区成矿关系密切的北西向断裂构造影响,不仅切割了矿区钼矿产出,还影响到其下部隐伏的、从更深部蔓延出的两枝侵入体岩株的位置,这也说明在两个岩株的下部还会有更大的岩浆房存在。

利用两种不同观察角度以及矿体和蚀变的叠加中得到的结果共同表明:矿区的蚀变分带现象具备了斑岩型矿床特有的蚀变特征,以西南部和东南部为主,推测接近斑岩-蚀变矿化体系中心。

## 5 结论

利用 Surpac 三维建模软件,从钻孔中提取蚀变信息来构建矿区蚀变三维模型,对斑岩型矿区进行蚀变矿物填图,从而由平面延展至三维空间。迪彦钦阿木矿区钻孔中的蚀变矿物类型主要为青磐岩化和绢英岩化,并在矿区南部发育小范围的高级泥化现象。尽管矿区钻孔中出现了钾长石,但通过对钾长石发育部位两端岩心进行蚀变矿物分析,通过对比斑岩型矿区典型蚀变矿化特征后发现:迪彦钦阿木矿区钻孔中发现的钾长石化并不是成矿同期的热液蚀变造成的,这些钾长石应该是岩浆成因,与矿化期蚀变无关。根据迪彦钦阿木矿区三维蚀变模型的结果显示推断,在平面上主要蚀变中心位于矿区的西南、东南部,被一条与矿区成矿有关的北西向断裂所隔断,其下部为成矿有关的斑岩侵入体的岩支。

致谢:感谢中国冶金地质总局矿产资源研究院郭健教授在建模成图中给予的建议。感谢中铁资源徐庆生研究员给予的大力帮助。与本单位牛向龙博士后、吴华英博士的讨论也使我受益匪浅。

### [References]

- Hou Jing - ru ,Huang Jing - tian. 2001. Application of geostatistica in classification for resources/reserves of solid fuels and mineral commodities [J]. *Geology and Prospecting* ,37( 6) : 61 - 66( in Chinese with English abstract)
- Hou Zeng - qian ,Ma H W ,Zaw K. 2003. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: Product of large - scale strike - slip faulting in eastern Tibet [J]. *Economic Geology* ,98: 125 - 145
- Hou Zeng - qian. 2004. Porohyry cu - mo - au deposits: some new insights and advances [J]. *Science Frontiers( China University of Geosciences , Beijing)* ,11( 1) : 131 - 144( in Chinese with English abstract)
- Hou Zeng - qian ,Yang Zhi - ming. 2009. Porphyry deposits in continental settings china: geological characteristics ,magmatic - hydrothermal system and methallogenic model [J]. *Acta Geoscientica Sinica* ,83( 12) : 1779 - 1817( in Chinese with English abstract)
- Hu Shou - xi. 1980. Matasomatic altered rock petrography [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1 - 6 ( in Chinese)
- Hu Shou - xi ,Ye Ying ,Fang Chang - quang. 2004. matasomatic altered rock petrology and prospecting significance [M]. Beijing: Geological Publishing House: 88 - 90 ( in Chinese)
- Ignacio S ,Torres - Alvarado ,Kailasa Pandarinath ,Surendra P. Verma ,Peter Dulski. 2007. Mineralogical and geochemical effects due to hydrothermal alteration in the Los Azufres geothermal field ,Mexico [J]. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* ,24( 1) : 15 - 24
- Jian Wei ,Liu Wei ,Shi Li - hong. 2009. Advances in study of porphyry molybdenum deposit [J]. *Mineral Deposits* ,29( 2) : 308 - 316 ( in Chinese with English abstract)
- Nie Feng - jun ,Jiang Si - hong ,Zhang yi. 2007. Metallogenic studies and prospecting orientation in centraland and eastern segments along China - Mongolia Border [M]. Beijing: Geological Publishing House: 193 - 454( in Chinese)
- Nie Feng - jun ,Jiang Si - hong ,Zhang yi ,Liu yan ,Hu peng. 2004. Geological features and origin of porphyry copper deposits in China - Mongolia border region and its neighboring areas [J]. *Mineral Deposits* ,23( 2) : 176 - 189 ( in Chinese with English abstract)
- Nie Xiu - lan ,Hong Wan - rong. 2010. The discovery of Dinyanqingamu large - size Mo - Ag Deposit ,Inner Mongolia ,and its geological significance [J]. *Acta Geoscientica Sinica* ,31( 3) : 469 - 472( in Chinese with English abstract)
- Ross P S ,Jebak M J ,Walker B M. 2002. Discharge of hydrothermal fluids from a magma chamber and concomitant formation of a stratified breccias zone at the Questa porphyry molybdenum deposit ,New Mexico [J]. *Economic Geology* ,97: 1679 - 1699
- Rui Zong - yao ,Huang Chong - ke ,Qi Guo - ming ,Xu jue ,Zhang hong - tao. 1984. Chinese Porphyry Cu - Mo Mineral Deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1 - 350( in Chinese)
- Sillitoe R H. 1973. The Tops and Bottoms of Porphyry Copper Deposits [J]. *Economic Geology* ,68: 799 - 815
- Shen Zun - li ,Zhang Mei ,Yu Xi - qing ,Cheng Wen - guo ,Gao Wei - yu ,Zhou Wen - chuan. 2010. New progresses in exploration of molybdenum deposits and analysis of mineralization prospect in inner Mongolia [J]. *Geology and Prospecting* ,46( 4) : 561 - 575 ( in Chinese with English abstract)
- Wang J B ,Wang Y W ,Wang L J ,Uemoto T. 2001. tin - polymetallic mineralization in the southern part of the Daxing Mountains in China [J]. *Resource Geology* ,51( 4) : 28 - 291
- Westra G and Keith S B. 1981. Classification and genesis of stockwork molybdenum deposits [J]. *Economic Geology* ,76: 844 - 873
- White ,Matthew J ,Saequsa ,Hiromitsu. 2004. Representation of fracture zone interpretation uncertainty in 3D geological models of the Mizunami Underground Research Laboratory ,Japan [J]. *Materials Research*

- Society Symposium Proceedings 807:533 – 538
- Wu Li – xin. 2000. Digital earth ,digital china and digital mine [J]. Mine Surveying 4 ( 1 ) : 6 – 9
- Whitney J A. 1975. Vapor generation in a quartz monzonite magma: a synthetic model with application to porphyry copper deposits [J]. Economic Geology 70 : 105 – 114
- Xu Qing – sheng ,Guo Jian ,Liu Yang ,Huang Shu – feng ,Li Qiu – ping , Chen Yu – shui. 2011. Application of Short Wave Infrared Spectrum Mineral Analyzer( BJKF – 1 ) to alteration mineral mapping at Panan , Tibet [M]. Geology and Exploration 47 ( 1 ) : 107 – 112 ( in Chinese with English abstract)
- Xue Chun – ji ,Qi Si – jing ,Kui He – ming. 2006. Basic Mineral Deposit Geology [M]. Beijing: Geological Publishing House: 110 – 122 ( in Chinese)
- Yang Zhi – ming ,Hou Zeng – qian. 2009a. Giant porphyry Cu deposit at Qulong ,Tibet: Constraints from fluid inclusions and H – O Isotopes [J]. Acta Geoscientia Sinica 24:489 – 502 ( in Chinese with English abstract)
- Yao Feng – liang ,Sun Feng – yue. 2006. The course of mineral deposit [M]. Beijing: Geological Publishing House: 90 – 96 ( in Chinese)
- Yuan Jian – qi ,Zhu Shang – qing ,Zhai Yu – sheng. 1985. Mineral Deposit Geology [M]. Beijing: Geological Publishing House: 167 – 170 ( in Chinese)
- Zhang Wan – yi. 2008. Magmatic activity and metallogeny of Dong Ujimqin Banner Inner Mongolia [D]. Beijing Chinese Academy of Geological Sciences: 1 – 80 ( in Chinese with English abstract)
- [附中文参考文献]
- 侯景儒 ,黄竞先. 2001. 地质统计学在固体矿产资源/储量分类中的应用 [J]. 地质与勘探 37 ( 6 ) : 61 – 66
- 侯增谦. 2004. 斑岩 Cu – Mo – Au 矿床: 新认识与新进展 [J]. 地学前沿 ( 中国地质大学 ,北京 ) ,11 ( 1 ) : 131 – 144
- 侯增谦 ,杨志明. 2009. 中国大陆环境斑岩型矿床: 基本地质特征、岩浆热液系统和成矿概念模型 [J]. 地质学报 83 ( 12 ) : 1779 – 1817
- 胡受奚. 1980. 交代蚀变岩岩相学 [M]. 北京: 地质出版社: 1 – 6
- 胡受奚 ,叶 瑛 ,方长泉. 2004. 交代蚀变岩岩石学及找矿意义 [M]. 北京: 地质出版社: 88 – 90
- 简 伟 ,柳 维 ,石黎红. 2009. 斑岩型钼矿床研究进展 [J]. 矿床地质 29 ( 2 ) : 308 – 316
- 聂凤军 ,江思宏 ,张 义 ,白大明. 2007. 中蒙边境中东段金属矿床成矿规律和找矿方向 [M]. 北京: 地质出版社: 193 – 454
- 聂凤军 ,江思宏 ,张 义 ,刘 妍 ,胡 朋. 2004. 中国边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因 [J]. 矿床地质 23 ( 2 ) : 176 – 189
- 聂秀兰 ,侯万荣. 2010. 内蒙古迪彦钦阿木大型钼 – 银矿床的发祥及地质意义 [J]. 地球学报 31 ( 3 ) : 469 – 472
- 芮宗瑶 ,黄崇珂 ,齐国明 ,徐 珏 ,张洪涛. 1984. 中国斑岩铜钼矿 [M]. 北京: 地质出版社: 1 – 350
- 沈存利 ,张 梅 ,于玺卿 ,程文国 ,高维裕 ,周文川. 2010. 内蒙古钼矿找矿新进展及成矿远景分析 [J]. 地质与勘探 46 ( 4 ) : 561 – 575
- 吴立新. 2000. 数字地球、数字中国与数字矿山 [J]. 矿山测量 4 ( 1 ) : 6 – 9
- 薛春纪 ,祁思敬 ,魏合明. 2006. 基础矿床学 [M]. 北京: 地质出版社: 110 – 122
- 徐庆生 ,郭 健 ,刘 阳 ,黄树峰 ,李秋平 ,陈玉水. 2011. 近红外光谱矿物分析技术在帕南铜 – 钼 – 钨矿区蚀变矿物填图中的应用 [J]. 地质与勘探 47 ( 1 ) : 107 – 112
- 袁见齐 ,朱上庆 ,翟裕生. 1985. 矿床学 [M]. 北京: 地质出版社: 167 – 170
- 姚凤良 ,孙丰月. 2006. 矿床学教程 [M]. 北京: 地质出版社: 90 – 96
- 杨志明 ,侯增谦. 2009a. 西藏驱龙超大型斑岩铜矿床的成因: 流体包裹体及 H、O 同位素证据 [J]. 地质学报 24: 489 – 502
- 张万益. 2008. 内蒙古东乌珠穆沁旗岩浆活动与金属成矿作用 [D]. 北京: 中国地质科学院: 1 – 131

## A Model for Alteration Zoning of Hydrothermal Mineralization Based on Surpac Software for the Diyanqinamu Mo Mine District ,Inner Mongolia

YAN Hao<sup>1</sup> ,HUANG Fei – xin<sup>1</sup> ,SUN He<sup>1</sup> ,ZHAO Li – qun<sup>1</sup> ,ZHANG Yong<sup>1</sup> ,ZHANG Hao<sup>2</sup> ,

LI Shuai – zhi<sup>2</sup> ,LIU Fang – fang<sup>1</sup> ,WANG Jia – shang<sup>3</sup>

( 1. Institute of Mineral Research ,CMGB ,Beijing 100025;

2. No 1 Institute of Geology and Mineral Exploration ,CMGB ,Sanhe Hebei 065201;

3. China University of Geosciences ( Beijing ) ,Beijing 100083)

**Abstract:** This work is based on application of the near – infrared spectroscopy ( NIR ) analysis technology ( Portable near – infrared mineral analyzer of BJKF – 1 type ) and the Gemcom Surpac three – dimensional modeling software. We have measured the hydrothermal alteration samples collected from the boreholes of the No. 3 belt in the Diyanqinamu area ,Inner Mongolia by using the NIR analysis technology. Integrated with field records ,we divided the alteration types into propylitization ,argillic alteration and sericitic alteration. Combined with previous geological survey data and utilizing the Canadian Geomcon Surpac three – dimensional modeling software ,alteration information is transformed into digital parameters which replace the traditional grade data by the adopting genetic algorithm method. Then we set up the altered orebody block model and delineated rock alteration zones that characterize porphyry deposits. The alteration zonation in the Diyanqinamu area indicates that the centre of the porphyry mineralization lies in the southeast and southwest of the mine field. It is inferred that the porphyry intrusions could be found beneath the centre of the porphyry mineralization. The results in the Diyanqinamu area show that the Gemcom Surpac three – dimensional modeling software can effectively determine the hydrothermal alteration zones and establish mineralization models ,interpret and locate the indicators directing to the centre of the porphyry mineralization – alteration and estimate the mineralization center. This study may provide direct evidence for verifying deposit type and has guidance significance to the further exploration.

**Key words:** Gemcom Surpac software ,hydrothermal mineralization ,alteration zoning ,three – dimensional modeling ,Diyanqinamu ,Inner Mongolia