

# 论成矿系列与成矿预测的关联性

——以金厂沟梁一二道沟金矿田为例

周乃武\*

王新武

(东北大学黄金学院, 沈阳)

(华南地质研究院, 抚州)

**提 要:** 文章通过对金厂沟梁一二道沟金矿田三个不同地质构造单元内金矿床的对比研究, 确定了该矿田系由晚侏罗世末期形成的蚀变岩型金矿床和早白垩世形成的斑岩铜铅矿化及其含金石英脉型金矿床组成的成矿系列, 从而不仅合理地解释了客观地质现象, 而且成功地进行了成矿预测, 由此获取了对成矿系列与成矿预测间的必然因果关联要点的认识: 同一地质构造单元内, 不同成因类型, 不同矿种的矿床组合是该构造单元形成与发展过程中不同阶段的差异性成矿作用的必然产物; 同一地质构造单元内, 相同矿种的不同成因类型的矿床组合, 则是成矿主元素同一来源的统一性表现; 成矿系列揭示了成矿规律本质, 则必然为成矿预测提供科学依据和指导。

**关键词:** 金矿田 成矿系列 成矿预测 关联性 金厂沟梁一二道沟

## 1 引 言

金厂沟梁一二道沟金矿田横跨内蒙古自治区与辽宁省辖区, 矿田由三个差异性地质环境和矿床规模不等的金矿区组成, 经多轮地质勘查该矿田金储量已达到特大型, 故成为了最著名的金矿田之一; 因此也引起了国内外诸多单位和学者的关注, 并进行了多轮次、多学科的研究, 积累了十分翔实的资料和研究成果; 取得了关于矿床成因、成矿规律的基本一致的认识; 提出了与燕山晚期斑状花岗闪长岩体相关的斑岩热液成矿系统的成因观点与环带状展布的 Cu-(Mo)-Au-(Pb-Zn) 成矿规律(王志等 1989、孙丽娜 1990、林宝钦等 1992、王建平等 1992)。诸如雷同的观点, 长期束缚了本区找矿的突破, 甚至造成了较为严重的失误, 同时也成为了本次研究难以挣脱的桎梏而处于较长时间(1995—1996)的徘徊境地。

程裕淇先生在第五届全国矿床会议上所作的《三论成矿系列》报告中反复强调了成矿系列与成矿规律、成矿系列与成矿预测的必然关联性。本次找矿与预测的成功是遵循了这一理论的体现, 故拟通过对该矿田成矿系列厘定, 阐述笔者对成矿系列与成矿预测的内在因果关联的认识与体会。

## 2 矿田地质概况

金厂沟梁一二道沟金矿田处于华北陆台北缘, 内蒙地轴东段, 建平断隆北东部的宝国老地块的中央部位, 地块北邻兴蒙海西-印支地槽<sup>[5]</sup>, 东与燕山拗断带毗邻。

\* 周乃武, 男, 1941 年生, 教授, 从事矿床地球化学、金矿床研究。邮政编码: 110015

## 2.1 矿田地质

从矿田地质图清晰可见, 其被 EW 向复杂线性构造带 ( $F_1$ ) 和 NW 向主干断裂 ( $F_2$ ) 分割成各具特点的差异性地质构造单元:

(1) 金厂沟梁变质杂岩块: 位于矿田西北部即  $F_1$  北和  $F_2$  以西所夹区。变质岩为其主体组成隶属建平群小塔子沟岩组二岩段, 其主要岩性是以含磷、磁铁石英岩透镜体为特点的角闪-黑云质斜长片麻岩, 岩块至少经历三期变形, 韧性剪切带发育, 片麻理走向为近 EW 向, 北倾; 金矿矿脉受 NNW 和 NWW 两组共轭断裂裂隙控制, 且均显示多期活动与叠加于韧性形变之上的特点, 故形成了密集网格状展布的金厂沟梁大型金矿和蚀变岩型金矿化。

(2) 郝杖子花岗杂岩区: 位于  $F_1$  南和  $F_2$  以西区段, 为矿田花岗杂岩集中出露区, 其主体是印支期侵位的似斑状花岗岩岩基。按区内岩体岩性, 形成与定位时代次序列入表 1 中。

表 1 矿田主要岩石同位素年龄表

| 位置及名称                              | 岩性特征                                     | 与矿化关系                                       | 同位素年龄/ $10^6$ a |                                                                         |                                                                        |
|------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
|                                    |                                          |                                             | 继承性锆石<br>U-Pb 法 | 锆石(独居石)<br>U-Pb 法 <sup>②</sup>                                          | 全岩(单矿物)<br>K-Ar 法                                                      |
| 金厂沟梁南岩体                            | 片麻状二长花岗岩<br>(具变质岩残体)                     | Cu-Mo 矿化围岩                                  |                 | $182.8 \pm 1.8^{\text{②}}$                                              | $135.36^{\text{③}}/127^{\text{③}}$                                     |
| 西台子岩体                              | 似斑状花岗岩<br>(具变质岩残体)                       | 郝杖子金矿脉围岩                                    | 2430            | $220.54^{\text{②}}$                                                     | $207 \pm 3^{\text{②}}$<br>$187.9^{\text{③}}$                           |
| 对面沟岩体                              | 细粒花岗闪长岩<br>(外部相)<br>花岗闪长斑岩<br>(内部、二次侵入相) | Cu-Mo 矿化围岩<br>Cu-Mo 矿化岩体内是<br>Au-Sb(辉锑矿)石英脉 | 2001            | $125.51 \pm 2^{\text{②}}$<br>$131 \pm 2^{\text{②}}$<br>$128^{\text{②}}$ | $128 \pm 2^{\text{②}}$<br>$126 \pm 3^{\text{③}}$<br>$121.5^{\text{①}}$ |
| 二道沟矿区<br>楼上次火山杂<br>岩体<br>5-1# 矿脉底段 | 英安岩<br>环状流纹岩(体)<br>辉长闪长岩<br>石英岩(脉)       | 矿脉上覆围岩<br>6.21 矿脉围岩<br>成矿前                  | 2004            | $145 \pm 1^{\text{②}}$                                                  | $167.5^{\text{①}}$<br>$156.8^{\text{②}}$<br>$141.7^{\text{①}}$         |
| 其它两区岩脉                             | 黑云粗安岩脉<br>石英斑岩(Ⅱ)                        | 切错金厂沟梁矿脉<br>切错郝杖子石英脉                        |                 | $123^{\text{②}}$                                                        | $120.06 \pm 3^{\text{③}}$<br>$72.7^{\text{①}}$                         |
| 金厂沟梁区外围                            | 安山质晶屑凝灰岩                                 |                                             |                 | $129 \pm 1^{\text{②}}$                                                  |                                                                        |

① 据王志, 1988, 沈阳地矿所测定; ② 据林宝钦, 1992, 加拿大地调局实验室测定; ③ 据王建平, 1992, 中科院地质所测定

从表 1 中可见, 同一岩体因测年方法不同而出现多组数据, 表明方法本身所给予的地质含意不同, 据此, 本文视锆石 U-Pb 年龄为岩浆形成时间, 而 K-Ar 年龄为冷却, 抬升事件即定位时间。故本文认为数据是不容置疑的, 而方法的地质含意则是应探索的, 按此, 可知该区片麻状二长花岗岩形成于古元古代, 最终定位于中侏罗世末期; 西台子岩体特征表明其经历了印支期的再重熔和重就位事件。据两岩体在空间和特征上相似性, 二者为同一岩体的不同相并可与 W H 艾孟斯和 E S 莫尔<sup>[6]</sup>等人曾描述的与金矿相关的岩体特征类比, 尤其是其边缘相具有与变质岩片麻理产状一致的塑变的特征表现其冷侵位的过程, 笔者称之为重熔型继承性岩体。

对面沟复式岩株体形成于  $(131 \pm 2) \times 10^6$  a, 最终定位于  $121.5 \times 10^6$  a, 属同熔花岗

岩，是系统围岩。因此，区内金矿脉集中产于岩株体的南缘外接触带，显示其强力侵位引发的“放射状”裂隙控矿特征。

(3) 二道沟火山岩区：位于  $F_2$  断裂以东，且以  $F_2$  断裂为断陷盆地边缘断裂为特征。该岩区火山活动始于侏罗纪中期至早白垩世，具四个喷发-侵入旋回，其中中一晚侏罗世具三个旋回，且为金矿脉之围岩。种种迹象表明，区内金矿脉受 NW 向和 EW 向所构成的共轭断裂以及火山机构的联合控制。工业矿脉主要受 NW 向等间距稀疏展布的断裂控制，从而构成了二道沟蚀变岩型中型金矿床。

## 2.2 各岩区金矿脉特征对比

各岩区特征(表 2)表明郝杖子小型金矿无论在产出环境,矿化类型乃至与斑岩型矿化的关系上都显示出与其它两区金矿的显著差别。归根结底反映在成矿热液组成性质的差别上,即郝杖子以其富  $\text{SiO}_2$ , 富硫酸盐而显现出浅成低温的特征。相比较则会发现,金厂沟梁与二道沟区金矿既具有多方面的相似性,又具较明显的差异,相似性表征了两者的本质关联,而差异性则表征了两者间的层次与定位环境方面的不同。

表 2 矿田三个岩区金矿脉特征对比表

| 特征        | 矿区 | 金厂沟梁                                                                                                                                                                                                              | 二道沟                                                                                                                                               | 郝杖子                                                         |
|-----------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 控矿构造性质    |    | NWW-NNW 共轭剪裂,呈菱形密切展布;NWW 呈张扭性矿化强,NNW 呈压扭性矿化弱,显示韧性、脆性叠加断裂性质                                                                                                                                                        | EW-NW 与火山机构联合控矿, NW 呈张扭,EW 呈压扭之共轭断裂控矿                                                                                                             | 受岩株体强烈侵位形成的弧形放射状断裂控制 Cu-Mo 与金矿脉(SN 为张扭)                     |
| 矿脉规模、产状   |    | 73 条,主脉长 300~850m,一般厚 0.25~0.40 m,产状 $40^\circ \sim 90^\circ \angle 85^\circ \sim 90^\circ$ , $210^\circ \sim 220^\circ \angle 65^\circ \sim 85^\circ$ , $120^\circ \sim 130^\circ \angle 70^\circ \sim 80^\circ$ | 50 余条,长 300~1000m,厚 0.5~1.0m 产状 $40^\circ \sim 60^\circ \angle 70^\circ \sim 85^\circ$ , $220^\circ \sim 240^\circ \angle 70^\circ \sim 75^\circ$ | 15 条,长 65~2300 m,厚 0.2~2.0 m,产状 $270^\circ \angle 80^\circ$ |
| 矿化强度      |    | 品位高、大型                                                                                                                                                                                                            | 品位中等、中型                                                                                                                                           | 品位低、小型                                                      |
| 围岩蚀变      |    | 片理化的绿泥石化,绢英岩化,黄铁绢英岩化,碳酸盐化,成矿后的泥化。水/岩比值低                                                                                                                                                                           | 同左和铁锰碳酸盐化。水/岩比值高                                                                                                                                  | 黄铁绢英岩化为主,重晶石化和萤石化为特征                                        |
| 矿化类型      |    | 蚀变岩型为主兼夹石英脉型,复脉网脉                                                                                                                                                                                                 | 同左,平行脉带状                                                                                                                                          | 石英脉型,单脉状                                                    |
| 矿石组构特征    |    | 结晶结构,交代结构,固溶体分离结构,糜棱结构,块状、条带状细脉状,浸染状,角砾状构造                                                                                                                                                                        | 结晶结构,交代结构,固溶体分离结构,碎裂结构,块状、条带状,晶洞状,梳状,角砾状构造                                                                                                        | 结晶结构,交代结构,碎裂结构,块状,细脉状,浸染状晶细状,梳状构造                           |
| 矿石矿物组合及分带 |    | 以黄铁矿,砷黝铜矿,黄铜矿,方铅矿为主,自然金(900~980)分带不明显                                                                                                                                                                             | 以黄铁矿,铁闪锌矿,黄铜矿,砷黝铜矿和方铅矿为主,自然金(605~870),自上而下黄铁矿,黄铜矿增加,闪锌矿-方铅矿减少                                                                                     | 以黄铁矿为主,可见辉锑矿富银,辉银矿,角银矿,自然银等,金的成色偏低                          |
| 成矿流体性状    |    | $T_h = 300 \sim 350^\circ \pm$ 流体相分离成矿,富 $\text{CO}_2$ , CO 贫 $\text{CH}_4$ , 低盐度                                                                                                                                 | $T_h = 200 \sim 250^\circ \pm$ 流体沸腾,富 $\text{CO}_2$ , $\text{CH}_4$ 贫 CO, 盐度偏高                                                                    | 不清                                                          |
| 黄铁矿组成     |    | Fe=46.29~47.30<br>S=52.00~53.37<br>为富铁亏硫型,显示还原变质特征                                                                                                                                                                | Fe=39.75~44.23<br>S=45.64~51.31<br>为亏铁亏硫相对左区为氧化低温环境                                                                                               | 不清                                                          |
| 成因        |    | 变质热液型                                                                                                                                                                                                             | 变质热液+天水反应型                                                                                                                                        | 斑岩热液-中低温热液型                                                 |

### 3 构造热事件与成矿作用

#### 3.1 宝图老地块构造热事件

(1) 成矿物质的累积事件:  $A > 2800 \times 10^6 \text{ a}$  ( $(2882 \pm 467) \times 10^6 \text{ a}$ , Sm-Nb 法 骆辉等 1995<sup>[7]</sup>) 为新太古代上壳岩沉积期, 并伴随成岩作用富铁, 硫岩(基性-超基性熔岩, 层流沉积物)内部金被萃取;  $B > 2500 \times 10^6 \text{ a}$  ( $(2575 \pm 8) \times 10^6 \text{ a}$  锆石 U-Pb 法, 崔文元, 1991) TTG 花岗质杂岩侵入及区域性角闪-麻粒岩相变质变形期。期间, 岩石中金被萃取并以流体态向低温、低压区迁移, 构成了富  $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{S-H}_2\text{O}$  的含金流体的相对富集;  $C 1900 \times 10^6 \sim 1800 \times 10^6 \text{ a}$  ( $(1828 \pm 1.8) \times 10^6 \text{ a}$ , 林宝钦等, 1991) 重熔型花岗岩形成并导致金向热穹隆外缘进一步迁移和集中, 形成了变质-花岗热穹隆式含金流体库<sup>[8,9]</sup>。

(2) 成矿流体库被缓慢抬升与再分割期:  $260 \times 10^6 \sim 190 \times 10^6 \text{ a}$  的海西-印支期陆-陆碰撞导致兴蒙地块似推土机状向南推挤(高角度  $> 60^\circ$ ), 改造并激活了东西向赤峰-开原断裂, 使本区总体构造形迹呈近东西挤压状, 但抬升幅度小; 形成了同方向的开阔褶皱、韧性剪切带; 从而使原热穹隆周边的含金流体库被上述构造形迹分割成零星孤立并存储于底辟(继承性)花岗岩边缘的流体库。

(3) 矿田成矿定位期与滨太平洋第三隆起带发展期: 热液矿床, 特别是脉状矿床其成矿定位的充要条件应是导致成矿流体能够从流体库进入成矿圈闭的全部连通的断裂裂隙系统, 本文称为成矿定位构造系统。大量的矿床统计测定以及一些超深钻井资料揭示表明, 热液成矿定位构造系统是处于韧-脆性, 脆性的地壳浅层次(通常小于 5 km), 由此可知, 导致含矿地质单元快速抬升的构造热事件是包括金矿在内的热液矿床成矿定位的关键事件。太平洋板块于燕山期 ( $170 \sim 100 \times 10^6 \text{ a}$ ) 对欧亚大陆板块低角度 ( $20^\circ$ ) 俯冲引起了地幔、地壳物质的重组和形成了地块内推覆隆升与引张断陷。期间可划分为两大成矿定位期:

A.  $141 \times 10^6 \sim 135 \times 10^6 \text{ a}$  矿田金矿成矿定位主期。以中晚侏罗纪火山喷发一次火山侵入活动为标志的浅层次断裂构造脉动导致了存储于似斑状花岗岩基体外缘剪切带(深层次片麻岩)中的含金流体库被打开, 并依次进入 5 km 以上区段内脆-韧性断裂组成的成矿构造圈闭系统形成了赋存于变质岩的金厂沟梁式蚀变岩型深层次金矿及进入火山岩区受控于火山机构与 F1、F2 次级共轭剪裂联合控制的成矿圈闭, 形成了二道沟蚀变岩型浅层次金矿脉。依据表 1 所列数据, 该金矿定位时间为  $141 \times 10^6 \text{ a}$  后到  $136 \times 10^6 \text{ a}$  之前, 即侏罗纪末期的火山活动停息期。

B.  $128 \times 10^6 \sim 121 \times 10^6 \text{ a}$  斑岩型矿化定位期。众所周知白垩纪时期太平洋板块的俯冲, 不仅形成了一系列左行扭动的 NNE 向走滑断裂, 而且相伴形成了沿断裂呈串珠状展布的同熔型花岗岩株体。根据矿田内复式花岗闪长岩岩株形态及其引起的周边构造形迹展布特征可知, 该岩株为向南强力侵位导致了斑岩体周边的斑岩热液体系的矿化有序分布, 形成了内圈闭的环形展布的斑岩型 Cu-(Mo) 矿化和外圈闭呈南北脉状展布的 Au-Sb 矿脉, 依表 1 所列矿化定位时间应为  $121 \times 10^6 \sim 72.7 \times 10^6 \text{ a}$ 。

#### 3.2 两大成矿定位期及其对矿田内矿床格局的制约

(1) 前白垩纪构造格局: 前白垩纪期, 矿田是由似斑状花岗岩基体、建平群片麻岩组成

的隆起区和F1断层以东的侏罗纪火山岩沉降区,金矿则分布于岩基体边缘相的外接触带,构成了两个层次,不同性质控矿系统的金矿床。此期控矿断裂应为NW和EW共轭断裂,其中NW断裂裂隙系统应成为矿田内金矿脉的主体容矿圈闭。但种种迹象表明两矿区控矿构造存在着差异性,很显然这种差异应发生于斑岩矿化之前的构造活动。

(2) 前斑岩矿化期的构造格局:在金矿成矿定位之后,对面沟岩体侵位前( $136 \times 10^6 \sim 131 \times 10^6$  a)间的白垩纪初期因受NNE左行断裂制约,火山断陷盆地中心大幅度向NW方向推进,使金矿床赋存区,尤其是F2以西地段发生了右旋扭动式抬升(旋转角约 $20^\circ \pm$ )并进入剥蚀期。从而构成了金厂沟梁金矿脉呈现出原EW向转变为NNW向,原NW向转变为NNW向为主的展布态势,而不同于二道沟矿脉的展布方向。

斑岩矿化定位过程与构造格局。自 $131 \times 10^6$  a复式岩株体主体侵入起经历了多次的构造过程,但总体隆升方向受NNE所制约即向SSW上隆,依次出现了 $121 \times 10^6$  a斑岩矿化,黑云粗安岩侵位和对金厂沟梁矿脉的截截以及郝杖子金矿脉被NE向 $72.7 \times 10^6$  a石英斑岩脉切割。

据上述扼要讨论,本矿田成矿预测最佳区应是二道沟火山岩岩层覆盖区深部的片麻岩段,尤其是该矿区F1及次级断裂带展布区的深部。

## 4 对成矿系列与成矿预测关联性的体会

通过笔者应用成矿系列理论与研究思路获取了对金厂沟梁-二道沟金矿田的预测成功的实例再次证明了该成矿理论-成矿系列的正确,并就此谈点粗浅体会。

### 4.1 该理论揭示了成矿规律的实质

成矿规律的正确认识与总结是实现成矿预测的基础,而成矿规律应回答的问题主要是阐明不同类型矿床时空展布规律及两者间的内在关联,即取决于特定地质单元内地壳运动演化及其特定运动样式所引起的地幔、地壳中物质(含成矿物质)的重组结果。由此我们感觉到此理论的哲学思考在于它遵循了世间一切物质是永恒运动的唯物观和不同运动样式是物质存在形式的辩证思维观点,这一哲学指导与对地质事件的系统揭示的紧密结合则成为了该理论正确的理论基础和研究思路的主线。因此,查定并理顺研究区的构造热事件及其对应的地壳运动样式是确定成矿系列及其规律的基础与前提。

### 4.2 不同成因类型矿床的时空组合是地壳运动的不同演化阶段的作用总合表现

成矿系列理论的研究思路还指出,查明地壳演化中不同时期的地质作用(成矿作用)则是查明不同成因类型矿床的四维组合的要点,因此对不同时期的地质作用的区分与考查则是理顺成矿系列的关键。其中含盖了应阐述以地体内构造运动性状分析为主的构造岩浆和地层的重组态势的历史阶段恢复。这不仅为矿床成因类型确定所必须,而且还将为某一时空定位的矿床的现今表现展布的正确认识提供了合理解释的前提。对于本矿田,以往的研究者们虽然给出了多角度、多学科的测试和研究成果,却未能摆脱同成因、同时和同层次成矿的认识,其要害在于忽略了燕山中、晚期的构造运动差异性。例如其中还包括对年代学成果的认识和通过蚀变岩氧同位素大量测定结果所揭示的金厂沟梁与二道沟两区的水/岩比值的差异等,均与结论相矛盾而未能引起重视和合理解释。

#### 4.3 同种矿床的不同成因矿床的四维组合是成矿物来源的一致性的必然反映

在同一地区出现不同成因类型的同种金属矿床的四维组合无论在我国乃至世界其它地区均有大量的例证, 如众所周知的美国南达科他州霍姆斯塔克金矿区内就存在着形成于元古宙的变质热液主金矿化期矿床和因第三纪热事件所形成的与浅成斑岩-脉岩相关的小型金矿脉, 同样在本区亦出现了类似的现象, 而且成因类型尽管在时空上不同(或可能呈现在空间的重叠)但它们间的十分一致的 Au-Sb 建造组合却将两者联系在一起即郝杖子的金-辉锑矿和其它两矿区共有的金-黝铜矿(富含 Sb), 表征了三者成矿主元素具同源性。因矿床为不同期的不同成因产物, 才客观的出现郝杖子金矿不仅在矿化类型上, 更主要是在矿化强度与规模上不同于其它两金矿区。

综上, 笔者认为成矿系列理论是以科学的辩证思维为指导, 以区分运动与运动样式的差异为思维主线的科学体系, 因此必然能够客观地揭示成矿规律并实现成功的成矿预测。借此诚望“四论”的发表以使本理论的更臻完善与发展。

#### 参 考 文 献

- 1 王志等. 辽宁省二道沟金矿地质及成因. 长春地质学院学报, 1989, 19 (3): 288~297.
- 2 孙丽娜. 金厂沟梁金矿成矿物质来源及矿床成因讨论. 黄金地质, 1990, 3: 69~80.
- 3 林宝钦等. 华北陆台辽西冰长石-绢云母型低温浅成热液脉状金矿. 地科院“七五”对外科技成果选编, 1992, 60~70.
- 4 王建平. 刘永山等. 内蒙古金厂沟梁金矿构造控矿分析. 北京: 地质出版社, 1992.
- 5 辽宁省区域地质志, 726.
- 6 R. W. 博依尔. 黄金开发史和金矿床成因(中译本). 北京: 原子能出版社, 1991, 142~163.
- 7 王安建等. 脉状金矿地质与成因. 长春: 吉林科学出版社, 1996, 24~25.
- 8 张忠生, 周乃武等. 红花沟金矿田成矿规律与成矿预测. 沈阳: 东北大学出版社, 1993, 204~205.
- 9 李力, 周乃武等. 辽东半岛南部脉金矿床. 沈阳: 东北大学出版社, 1996, 1~80.