

358-364

10618-5101

华北地台南缘金矿床的成因和成矿模式

邵世才^①

(中国有色金属工业总公司北京矿产地质研究所, 北京, 100012)

摘要 本文阐述了华北地台南缘金矿床形成的构造环境和地质地球化学条件, 认为该区金矿具有形成多期性、成因多重性和物质多源性的特征, 它们构成了一个完整的成矿系列, 据此建立了成矿模式。

关键词 韧-脆性剪切带, 地球化学, 金矿床, 华北地台南缘

成矿模式

华北地台南缘金矿带西起陕西潼关, 东至河南嵩县, 主要由小秦岭、崤山和熊耳山三个隆起区组成, 分别构成三个金矿密集区。区内出露的地层有太华群、熊耳群、官道口群、栾川群及第三系和第四系。太华群在区内广泛分布, 主要由片麻岩类和混合岩类组成, 变质程度达角闪岩相, 它是本区最主要的容矿层位。中元古代熊耳群大面积分布于崤山和熊耳山地区, 而在小秦岭地区已剥蚀殆尽, 它与下伏太华群呈不整合接触, 是一套基性至酸性的火山岩类岩石。中元古代官道口群和晚元古代栾川群分布在该区的南部, 为一套碳酸盐和泥质碎屑岩类岩石。该区从太古代至燕山期岩浆活动强烈。太古代晚期的岩浆喷发活动, 形成了区内的太华群; 中元古代火山喷发形成了分布广泛的熊耳群; 而至燕山晚期, 岩浆侵入活动强烈, 形成了华山、文峪和花山等花岗岩基及一些小斑岩体和角砾岩体。断裂构造十分发育, 一级断裂为围限断裂, 控制隆起区的分布; 二级断裂为控矿断裂, 它们完全控制着该区矿脉的分布。

1 金矿床的类型及矿床地质特征

根据矿石类型、结构及构造等宏观特征, 将该区金矿床分为三类: ① 石英脉型, ② 蚀变断层岩型, ③ 爆破角砾岩型, 其中蚀变断层岩型又可分为蚀变角砾岩型和蚀变糜棱岩型两个亚类(见表1)。不同类型金矿床在空间上并非完全独立, 如大多数蚀变角砾岩型矿脉内都产有石英脉型矿石, 有时也会有蚀变糜棱岩矿石; 而多数石英脉型矿脉两侧都产有蚀变糜棱岩型矿石。该区至今还没有发现完全独立的蚀变糜棱岩型矿床。不同类型的矿床在成因上也并非截然不同, 而是有内在的成因联系, 包括爆破角砾岩型在内, 它们构成了华北地台南缘一个完整的成矿系列。

^① 作者简介: 邵世才, 男, 33岁, 1989年和1993年分别在中国地质大学和中南工业大学获硕士、博士学位, 1993—1995年在中国科学院地球化学研究所做博士后研究。高工, 矿产地质, 100012 北京市安定门外北苑, Tel: 010-64232233-6210, Fax: 64232384。

收稿日期: 1996-08-30

表1 华北地台南缘主要金矿类型及地质特征

Table 1 the main types and geologic characteristics of the gold deposits

矿床类型	石英脉型	蚀变断层岩型		爆破角砾岩型
		角砾岩型	糜棱岩型	
容矿围岩	太华群变质岩	太华群变质岩和熊耳群安山岩	太华群变质岩	太华群及脉岩角砾
产状	脉状, 透镜状	透镜状, 似层状	透镜状, 似层状	囊状, 不规则状
矿石矿物	黄铁矿, 方铅矿, 闪锌矿, 黄铜矿, 自然金, 磁铁矿	黄铁矿, 方铅矿, 闪锌矿, 毒砂, 黄铜矿, 自然金, 银金矿, 碲金矿	黄铁矿, 方铅矿, 黄铜矿, 自然金, 银金矿	黄铜矿, 方铅矿, 自然金, 闪锌矿, 辉铋矿, 辉钼矿
脉石矿物	石英, 方解石, 白云石	石英, 铁白云石, 绢云母, 绿泥石, 萤石, 重晶石	石英, 绢云母, 绿泥石, 方解石, 绿帘石, 黑云母, 长石	石英, 绿泥石, 绿帘石, 方解石, 长石, 萤石
蚀变类型	硅化, 黄铁矿化, 绢云母化, 碳酸盐化	硅化, 黄铁矿化, 绢云母化, 绿泥石化, 铁白云石化	硅化, 黄铁矿化, 绢云母化, 绿泥石化, 青盘岩化	硅化, 青盘岩化, 绢云母化, 长石化, 碳酸盐化
规模	大中小型, 是主要金矿类型	大中小型, 是主要金矿类型	无独立金矿类型, 与石英脉型共生	中小型为主
分布	主要在小秦岭矿带	主要在熊耳山矿带	主要在小秦岭矿带	熊耳山矿带
典型矿床	文峪, 杨寨峪, 东闯, 潼峪	康山, 上宫, 虎沟, 葫芦沟	文峪, 杨寨峪的深部	祁雨沟, 雷门沟

2 控矿剪切带的特征和动力学分析

控矿剪切带可分为韧—脆性剪切带和脆性剪切带, 前者主要分布在小秦岭矿带, 后者分布在熊耳山和崞山矿带。小秦岭控矿韧—脆性剪切带主要为近EW向和近SN向, 有陡倾和缓倾之分, 以前者为主。剪切带规模相差较大, 从几m至几千m, 以三千m以上者含矿最好, 如S₅₀₅, S₆₀, S₉等矿脉; 带内构造岩较为发育, 主要有糜棱岩类岩石。熊耳山矿带的一个显著特点是不同方向脆性剪切带广泛分布, 以NE向含矿性较好, 如康山, 上宫和虎沟等大中型金矿床都产在NEE—NE向的陡倾剪切带中, 一般由数条互相平行的剪切带构成, 延长1~2km, 带宽一至数十m。带内主要发育碎裂岩, 并有少量糜棱岩。

剪切带中心出现超糜棱岩, 向两边逐渐对称过渡为糜棱岩、初糜棱岩和糜棱岩化岩石。糜棱岩类的成分主要为长英质、绢英质和石英质, 韧性基质为动态重结晶石英和绢云母, 残斑主要为长石、石英及黑云母等。糜棱岩中的石英呈现出强烈的韧性变形特征, 具体表现为粒内波状消光、点块状消光、变形带、塑性压扁拉长、多晶石英条带、竹节状石英条带、亚颗粒、动态重结晶以及核幔构造, 在石英残斑中还发育脆性变形的不规则张裂纹。长石在糜棱岩类中主要发生脆性破裂, 形成剪裂纹和张裂纹, 并以残斑的形式残存于韧性基质中; 在糜棱岩中长石也有一定的塑性变形行为, 如波状消光、双晶弯曲、扭折以及机械双晶等, 但其塑性变形不如石英那样显著。碎裂岩按其基质含量和碎块粒度可分断层角砾岩、碎斑岩和碎粉岩, 在脆性剪切带的边部也有碎裂岩化岩石。

根据小秦岭矿带糜棱岩中同构造重结晶矿物为石英、绢云母、钾长石、钠长石和绿泥石等,相当于中—高绿片岩相矿物组合。推测其形成温度应在 $350^{\circ}\text{C}\sim 400^{\circ}\text{C}$ 。熊耳山矿带糜棱岩矿物组合相当于绿片岩相,但缺乏钾长石和钠长石等矿物,估计形成温度在 $300^{\circ}\text{C}\sim 350^{\circ}\text{C}$ ±。应用白云母—绿泥石压力计获得熊耳山地区糜棱岩形成压力在 $1.5\sim 1.9\times 10^8\text{ Pa}$,其深度约 $5.0\sim 6.3\text{ km}$ 。小秦岭剪切带的形成深度应稍大于熊耳山剪切带,应在 $8\sim 10\text{ km}$ 范围内。利用糜棱岩中动态重结晶石英晶粒以及变形温度,可计算出小秦岭矿带糜棱岩形成的差异应力为 $32.5\sim 97.0\text{ Mpa}$,应变速率为 $3.75\times 10^{-12}\sim 4.96\times 10^{-10}\text{ S}^{-1}$,熊耳山矿带为 $30.0\sim 55.5\text{ Mpa}$ 和 $9.87\times 10^{-14}\sim 1.34\times 10^{-10}\text{ S}^{-1}$,这与用石英晶粒和自由位错密度计算的差异应力一致,证明石英是在稳态条件下变形的,即产生位错与位错消失的速率达到了平衡,亦即硬化与软化达到了平衡。

3 成矿流体地球化学

流体包裹体特征 石英脉型矿床的包裹体具有类型复杂、异常包裹体发育的特征,以多相和液相包裹体为主,数量中等,个体偏小,多在 $5\sim 10\mu$ 。蚀变断层岩型矿床包裹体具有较为发育、类型众多的特征,以液态水和气液水包裹体为主,大小一般 $4\sim 12\mu$ 。爆破角砾岩型矿床包裹体具有数量多、类型复杂、大小悬殊、分布杂乱和沸腾包裹体遍布岩体的特点^[1,2],以气态水、液态水包裹体和含子矿物多相包裹体为主, $2\sim 30\mu$ 。从石英脉型至蚀变断层岩型,包裹体具有种类逐渐变少,类型逐渐简单和气液比逐渐降低的趋势;每类矿床从成矿早期至晚期也是如此。从多种包裹体在同一成矿期内共存,均一温度相近,但 CO_2 等气体含量差别较大可推测流体发生了相分离(不混溶)现象,这是金发生沉淀的一个重要原因^[3]。

成矿流体的温度、压力和盐度 石英脉型矿床的温度在 $135^{\circ}\text{C}\sim 350^{\circ}\text{C}$,蚀变角砾岩矿床在 $140^{\circ}\text{C}\sim 260^{\circ}\text{C}$,从石英脉型至蚀变角砾岩型,成矿温度有降低的趋势。爆破角砾岩型矿床本身也是如此,但成矿温度有回返现象,这是岩浆热液流体多次余爆—脉动作用所致^[2]。石英脉型金矿床形成的压力最大,在 $108\sim 163\text{ Mpa}$ ^[4];蚀变角砾岩型矿床次之,在 $50\sim 90\text{ Mpa}$;爆破角砾岩型矿床最小,在 $20\sim 40\text{ Mpa}$ 之间^[1]。它反映了矿床的形成深度,即石英脉型矿床形成深度最大,为中等深度矿床;而爆破角砾岩型矿床形成最浅,为浅成热液型矿床。成矿流体的盐度从早期至晚期逐渐降低,石英脉型和爆破角砾岩型矿床表现得特别明显,如石英脉型矿床从早至晚依次为 $17.2\sim 5.3$ (平均 11.3)、 $4.35\sim 2.65$ (平均 3.2)、 $8.0\sim 1.2$ (平均 5.0) $\text{ Wt}\%\text{ NaCl}$;爆破角砾岩型矿床为 >47 、 $16\sim 7$ 、 $1.5\sim 0.7\text{ Wt}\%\text{ NaCl}$ ^[1];而蚀变角砾岩型矿床变化不大,均在 $12\sim 13\text{ Wt}\%\text{ NaCl}$ 。

流体包裹体的成分 包裹体液相组分为 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 F^- 和 Cl^- 等离子,不同类型的矿床其含量不同,石英脉型、蚀变角砾岩型和爆破角砾岩型矿床的成分类型分别是 $\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}-\text{K}^+-\text{Cl}^-$ 型、 $\text{K}^+-\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}-\text{SO}_4^{2-}-\text{Cl}^-$ 型和 $\text{Na}^+-\text{K}^+-\text{Cl}^- -\text{F}^- -\text{SO}_4^{2-}$ 型;气相成分为 H_2O 、 CO_2 、 CH_4 、 H_2 、 CO 、 N_2 等,其中 H_2O 和 CO_2 的含量约占 $99\text{ mol}\%$ 以上,且以 H_2O 为主。从石英脉型、蚀变角砾岩型至爆破角砾岩型矿床,液相和气相组分的含量逐渐降低, Na^+/K^+ 、 $(\text{K}^++\text{Na}^+)/(\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+})$ 、 $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$ 及还原参数等逐渐升高,而 CO_2/H_2 、 CO_2/CH_4 等则逐渐降低,反映了成矿流体的演化规律。

4 稳定同位素地球化学

硫同位素研究表明^[5]，石英脉型和爆破角砾岩型矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 呈塔式分布，变化不大，而蚀变角砾岩型矿床的 $\delta^{34}\text{S}$ 则较为离散，变化较大。三类矿床的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{ss}}$ 也各不相同，但并不说明其硫源不同，而是由其所萃取时的物理化学条件的不同和 $\delta^{34}\text{S}$ 的区域性变化所致，它们具有相同的硫源，均直接或间接来源于太华群^①。

该区铅同位素具有组成稳定，放射成因铅含量低的特点^[6]。矿石铅同位素变化范围较小， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 分别在17.009~18.181、15.368~15.590和37.433~38.689。 μ 值在9.1±，但 ω 和Th/U值变化相对较大，这与中国东部古老变质岩系具弱钍异常有关，它们分别在38.8~42.8和4.16~4.43之间。这些特征说明铅同位素来自低 μ 值和U亏损的深部源区。

成矿流体的 $\delta^{18}\text{O}$ 分布在-4.97‰~8.26‰， δD 在-124.2‰~-33.8‰，变化范围较大，以爆破角砾岩型矿床的氢、氧同位素最高，蚀变角砾岩型最低。在氢-氧同位素图上，石英脉型矿床的成矿流体，位于变质水范围内和变质水与雨水线之间并靠近变质水的范围，说明成矿流体主要为变质水，有少量雨水的参与，特别是成矿晚期， $\delta^{18}\text{O}$ 的“漂移”更趋明显，雨水的作用更为重要，从华山岩体内一长英质脉体的氢、氧同位素组成极低也可证明雨水参与了长英质脉体的形成。蚀变角砾岩型矿床主要分布在变质水和雨水线之间，且在晚期的石英-碳酸盐阶段，有明显的 $\delta^{18}\text{O}$ “漂移”，证明愈到晚期，雨水愈为重要，而早期主要为变质流体^[7]。爆破角砾岩型矿床早期的成矿流体均分布在岩浆水范围，而晚期却向雨水线移动，这说明早期的成矿流体为岩浆热液，晚期逐渐有雨水的加入，且水/岩比值逐渐降低，导致 $\delta^{18}\text{O}$ 和 δD 的范围向左上移动，因此该类矿床属岩浆热液型矿床，与国外同类矿床的地质地球化学特征和成因完全一致^[8]。

5 成矿时代和矿床成因

成矿时代对于我国有燕山期岩体侵入的太古宙金矿床的研究至关重要，即如果认为成矿在燕山期，矿床无疑就属岩浆成因；如果为前燕山期，那么就属变质成因。前人采用间接（岩脉穿插）法得出燕山期成矿^[4]和前燕山期成矿^[9,10]两种结论。作者用 ^{40}Ar - ^{39}Ar 法测定了含金硫化物的全溶视年龄，其中细粒黄铁矿为791 Ma，相当于晋宁期；而粗粒方铅矿则为85 Ma，相当于燕山晚期；Rb-Sr法获得含金石英脉的年龄分别在881和343^②、208和66 Ma^[11]，还发现430 Ma的花岗伟晶岩和76 Ma的云煌斑岩脉分别切穿含金构造蚀变带和含金石英脉。由此可知，该区含金脉体的形成具有长期性和多期性，也说明使金从ppb级富集 $10^3\sim 10^4$ 倍至ppm级不是任何一次地质作用所能完成的，也证明金在成矿过程中的活泼性，它可以不断地被活化—转移—定位—富集成矿，这是金能从ppb级富集至ppm级而成矿之关键。结合区域地质演化，作者认为石英脉型和蚀变角砾岩型矿床主要在前燕山期成矿，即晋宁期是一

① 邵世才，1992，华北地台南缘金矿床构造地球化学研究（博士论文）

② 陕西地质六队，1989，陕西桐峪金矿区Q₂典型矿床研究报告

次重要成矿期，加里东期也有成矿作用发生，而印支—燕山期则是成矿结束（定位）的时代。

根据各类地质体的含金性评价矿床地球化学特征及成矿时代，笔者认为石英脉型和蚀变角砾岩型矿床的成矿物质来自太古代变质岩系，成矿介质主要为变质流体，但在燕山期有雨水和岩浆水的加入，对已成矿体进行叠加改造，因此矿床主要属变质热液成因。爆破角砾岩型矿床的成矿物质和流体均来自岩浆热液，有少量雨水的参与，所以为岩浆热液型矿床。该区不同的矿床类型和成因类型构成了一个完整的成矿系列。

6 矿床垂向分带和成矿模式

由于剪切带型矿床严格受构造的控制，在不同构造层次上又表现出不同的变形域，相应地出现不同类型的构造岩，在垂向上必将出现不同类型的金矿化，如胶东^[12]和加拿大安大略金矿床^[13]。本区金矿床在垂向上同样显示出从脆性变形至韧性变形的系统变化（见图1）。蚀变角砾岩型金矿主要产在脆性破碎带中，位于熊耳群与太华群不整合面上下，形成深度相对较小；石英脉型金矿主要产于初—脆性变形带，形成深度相对较大；细脉浸染状的蚀变糜棱岩型金矿主要产在韧性剪切带内，是糜棱岩遭受热液蚀变的产物，形成深度最大；爆破角砾岩型金矿产于爆破角砾岩体内，形成深度最浅。

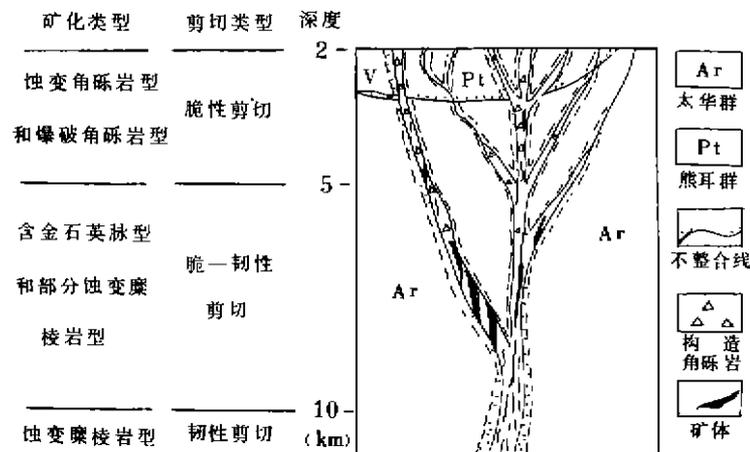


图1 金矿化垂向分带理想模式图

Fig. 1 The diagram showing model of vertical zonation of the gold mineralization

上述垂向分带模式的提出，对本区金矿床的研究和生产勘探都有重要的意义。如在文峪石英脉型金矿床的深部发现了蚀变糜棱岩型金矿体，预计新增储量15吨；又如，在熊耳群广泛分布的地区，因火山岩覆盖太厚，找矿效果不佳，而熊耳群与太华群不整合面附近的构造带，对成矿有利，如上官、康山等金矿就产在不整合附近。

建立我国太古代绿岩型金矿的成矿模式，必须考虑它同国外有三大差别：（1）围岩变质程度深，（2）有燕山期岩浆活动，（3）矿化具多期性和长期性。作者根据区内金矿化时代、矿床成因类型、控矿因素和垂向分带模式等，同时考虑到本区金矿床的形成具有长期和多期性、

成因具多重性、物质具多源性和矿床具多类型性的特点建立了华北地台南缘金矿床的成矿模式（见图2）。

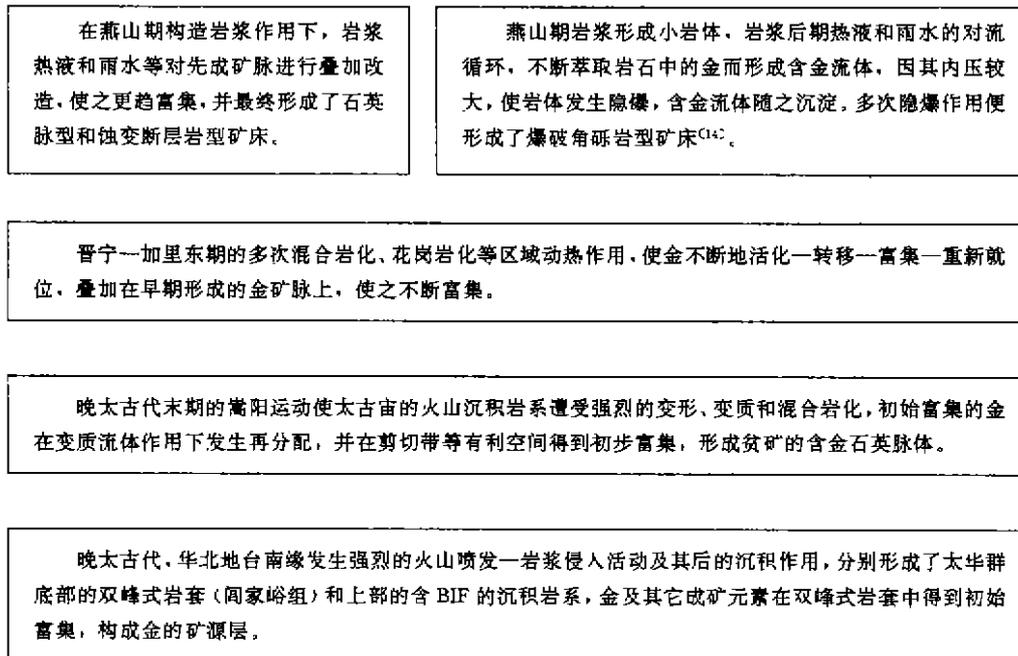


图2 华北地台南缘金矿床成矿模式图

Fig. 2 The metallogenic model of the gold deposits in southern margin of North China Platform

致谢：本研究得到了何绍勋教授的悉心指导，汪东波、奚小双、张曾荣、李和平博士的鼎力帮助，刘长命、尉向东、刘延祥等高工和秦岭、文峪和桐峪金矿的大力协助，对此表示衷心的感谢！

参 考 文 献

- 1 谢奔汉等. 河南祁雨沟爆破角砾岩型金矿床包裹体研究, 矿物学报, 1991, 11, 370~376
- 2 王宝德等. 河南祁雨沟爆发角砾岩型金矿床地质地球化学特征, 黄金科技动态, 1992, No1, 16-24
- 3 卢焕章. 从包裹体研究探索太古代一些金矿的成矿机理, 矿物学报, 1991, 11, 289~297
- 4 栾世伟等. 小秦岭金矿地球化学, 矿物岩石, 1985, No2, 1~117
- 5 邵世才等. 小秦岭金矿带成矿物质条件研究, 地质与勘探, 1993, 29 (4), 1~6
- 6 邵世才等. 华北地台南缘金矿床铅同位素研究, 中南矿冶学院学报, 1992, 23, 639~645
- 7 邵世才等. 河南熊耳山蚀变断层岩型成因的地质证据, 地质论评, 1994, 40, 520~525
- 8 Baker, E. M., et al. Geological, fluid inclusion, and stable isotopes of the gold-bearing breccia pipe at kinston, Queensland, Australia, Econ. Geol., 1991, 86, 810~830
- 9 王定国等. 金矿主要类型区域成矿条件研究, 豫陕小秦岭地区, 1989, 47~86, 地质出版社
- 10 胡正国. 陕西潼峪金矿床形成机理—同生构造型金矿模式探讨, 地质学报, 1990, 64, 144~156
- 11 王秀璋等. 中国改造型金矿床地球化学, 1992, 科学出版社
- 12 刘星. 山东玲珑金矿石英成因矿物学研究及其找矿远景的确定, 地质论评, 1992, 38, 173~183
- 13 科尔文, A. C., 加拿大安大略省太古宙岩金矿床的构造环境, 张秋明译, 国外地质科技, 1990, No 1, 37~49
- 14 邵世才. 爆破角砾岩型金矿的成因及成矿机制—以祁雨沟金矿为例, 矿物学报, 1995, 15, 230~235

The Genesis and Metallogenic Model of Gold Deposits Along the Southern Margin of North China Platform

SHAO Shicai

(Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, CNNC, Beijing 100012)

Abstract

The tectonic geologic and geochemical features of the gold deposits along the southern margin of North China Platform indicate that the formation is long—termed and multiperiod, the genesis is multi—type, and the material is multi—source, so they consist of a complete metallogenic series. Accordingly, the metallogenic model is put forward in the paper.

Key words shear zones, geochemistry, gold deposits, south margin of North China Platform.