

华北克拉通绿岩带型金成矿系统初析

翟裕生¹, 苗来成², 向运川¹, 邓 军¹, 王建平¹

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029)

摘要: 华北克拉通中绿岩带型金矿床是我国最重要的矿床类型之一, 也是我国黄金产量和储量的主要来源。从构造动力体制来看, 华北克拉通在漫长的演化历史中曾经历过中晚元古代的离散型陆缘、早古生代到晚古生代的汇聚型陆缘和显生宙中生代克拉通活化多个构造阶段。金矿床主要形成于克拉通活化阶段, 其总的构造背景可概括为由挤压、碰撞作用晚期或期后向伸展构造的转变时期。金成矿具有明显的区域地球化学背景。虽然华北克拉通绿岩带型金矿床形成时代不尽相同, 但具有相似的地质地球化学特征, 并与显生宙花岗岩类侵入体具有密切的时空及成因联系。年代学资料表明, 金矿床(化)与有关的花岗岩大体同时形成或稍晚于花岗岩, 指示金矿化是构造—花岗岩浆演化晚期的产物。因此, 这些金矿床基本上可归为一个成矿系统, 即绿岩带中与花岗质岩浆作用有关的热液成矿系统。

关键词: 华北克拉通; 绿岩带; 金矿床; 成矿系统。

中图分类号: P618.51; P611 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-2383(2002)05-0522-10

作者简介: 翟裕生(1930—), 男, 中国科学院院士, 教授, 博士生导师, 主要从事矿床学、矿田构造和区域成矿学的教学和研究工作。

成矿系统是矿床学向系统化、全球化方向发展的一种表现, 指在一定地质时空域中, 控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用动力过程, 以及所形成的矿床系列、矿化异常系列构成的整体, 是具有成矿功能的一个自然系统^[1]。对成矿系统的综合研究, 有利于全面认识成矿的动力学机制, 可以从整体上认识矿床的形成和分布规律, 进而对找矿预测具有指导意义。华北克拉通中绿岩带型金矿床是我国最重要的金矿床类型, 也是我国黄金产量的主要来源。前人对该类型矿床做了大量研究工作, 对矿床成因认识不断深化。本文根据对若干典型矿床的研究, 并参阅前人资料, 对华北克拉通上绿岩带型金成矿系统进行了初步分析, 并提出了成矿系统模型。

1 成矿构造背景

华北克拉通是我国最古老的陆块, 在其漫长的地质演化过程中, 经历了原始陆核发生、古元古代克

拉通结晶基底形成、中元古代裂陷、新元古代到古生代地台盖层沉积和中生代的克拉通活化等多个演化阶段, 并在这一复杂的过程中逐步形成多个金矿区, 成为我国主要的黄金生产基地(图 1)。

从古陆边缘构造动力体制分析, 华北古陆总体上经历了以下阶段: (1) 离散型陆缘。主要发育于中晚元古代, 在华北古陆北缘及南缘发育有裂谷盆地, 并形成以 SEDEX 型为主的矿床^[2]; (2) 汇聚型陆缘。华北古陆在新元古代末到早古生代由离散型被动陆缘逐渐转变为汇聚型主动陆缘, 在一系列有关增生地体中, 富含 Au、Cu 等成矿物质, 有的形成了 VMS 型矿床(如白银厂和白乃庙), 有的在后来的地质事件中经活化富集成为热液型矿床; (3) 地台活化。显生宙, 华北克拉通受到 3 次重要的构造—热事件的影响, 即晚古生代(海西期)华北板块与西伯利亚板块发生最终碰撞缝合^[3]、早中生代(印支期)华北板块与扬子板块发生碰撞缝合^[4~9]和中晚中生代太平洋板块向欧亚大陆下的俯冲^[7], 伴随着这 3 次重要的构造事件, 华北克拉通尤其是其东部边缘地带发生了广泛而强烈的岩浆作用及成矿作用。华北克拉通绿岩带金矿床主要形成于地台活化阶段, 其总的构造背景可概括为由挤压、碰撞作用晚期或

收稿日期: 2002-05-30

基金项目: 国土资源部地质调查项目(No. K1.4-1-5); 中国地质调查局项目(No. 200110200069); 国土资源部科技项目(No. 20010302)。

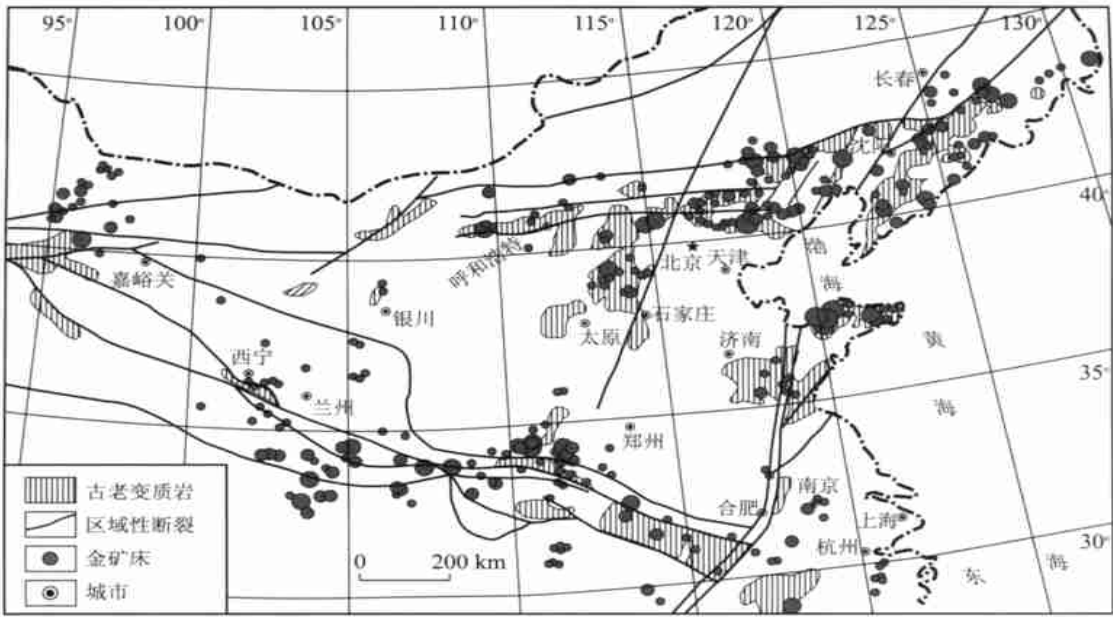


图 1 华北克拉通主要金矿区(床)分布

Fig. 1 Distribution of main gold orefields (deposits) of North China craton

期后向伸展构造的转变时期。

值得指出的是华北东部具大型走滑性质的郯庐断裂带穿过并错动了岩石圈, 引发了古陆北缘东段及东缘与花岗岩有关的大规模金成矿作用. 大兴安岭—太行山深断裂系统的显著活动也对京—张(家口)矿集区和小秦岭地区金矿的形成有重要影响(图 1)。

2 金成矿的区域地球化学背景

华北地块区域地球化学总体特征是相对富含 Fe、Au、Pt 族、Cu、Cr、Ni、Co 等元素. 根据 1/20 万水系沉积物化探扫面数据加工整理的结果(图 2), 可以看到华北地块中金的地球化学分布具有以下特征: (1)沿着克拉通边缘构造带形成若干个地球化学块体和局部异常; (2)金异常带的分布与主要的区域性构造展布方向密切相关; (3)区内金异常带主要产于前寒武纪变质基底内, 如冀北、胶东和小秦岭等; (4)区内有 5 个规模较大的金地球化学块体, 其中胶东块体 Au 平均值为 8.15×10^{-9} , 冀北地体为 8.57×10^{-9} , 与华北上地壳丰度值 0.74×10^{-9} 相比, 其浓集系数为 11. 经测定, 胶东块体代表性地段金总量中活动(可活化)金占 46.7%^[8]; (5)小秦岭及夹皮沟两地区的金地球化学块体呈孤立分布, 其中小秦岭块体分布在变质核杂岩中, 浓集强度高, Au 平均值达 13.9×10^{-9} ; 而夹皮沟块体则产于华北克拉

通北缘东段花岗—绿岩带的韧性剪切带中, 平均值为 6.5×10^{-9} . 上述地球化学特征表明华北克拉通具有丰富的金成矿物质基础。

3 花岗岩类时空演化与成矿

华北克拉通金矿床多分布于克拉通边缘(图 1), 其赋矿围岩虽然多种多样, 但以太古宙变质岩和显生宙花岗岩类为主. 金矿床与花岗岩类侵入体空间关系密切, 矿床或赋存于花岗岩体(包括碱性岩体)内及其接触带, 或产于花岗岩体附近^[9](平面上距岩体一般为 0~7 km)的围岩(主要为前寒武纪变质岩)中. 这种密切的空间关系可能暗示金矿床与花岗岩具有成因联系。

系统的花岗岩类和脉岩类锆石 SHRIMP(离子探针)U—Pb 及蚀变岩类的 Ar—Ar、Re—Os 和 Rb—Sr 等同位素年代学研究(表 1, 图 3)表明, 华北克拉通与金矿床空间关系密切的花岗岩类侵位于海西、印支、早燕山和晚燕山 4 个时期, 与此相对应, 金矿化也有海西期(?)、印支期、燕山早期和燕山晚期 4 个时期, 其中印支期和燕山晚期矿化, 尤其是燕山晚期金矿化最为广泛和强烈^[10~14]. 海西—印支期花岗岩及金成矿作用主要在华北克拉通北缘地区(如哈达门沟、冀东及夹皮沟), 可能与华北和西伯利亚两板块碰撞造山事件有关, 并具有从西到东花岗

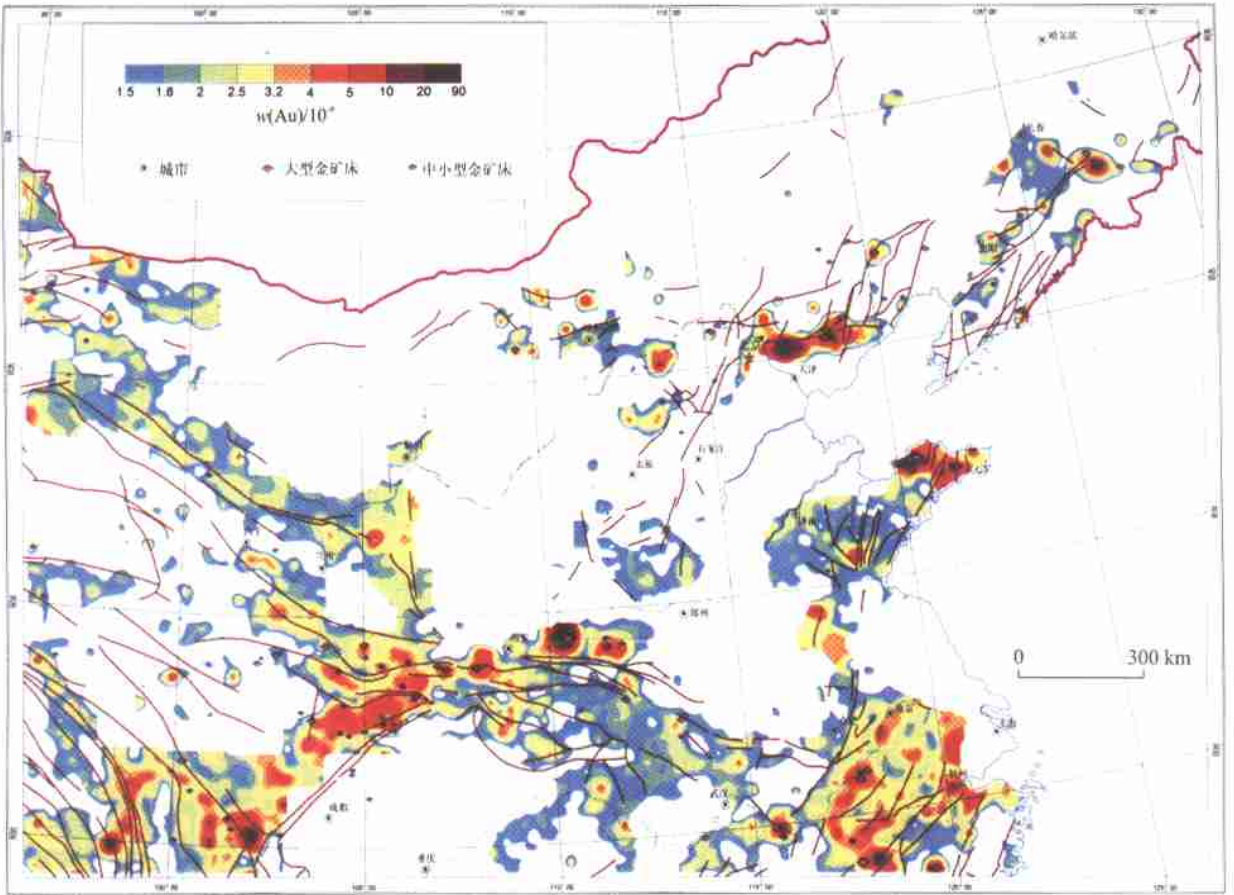


图 2 华北克拉通金地球化学

Fig. 2 Gold geochemistry map of North China craton

岩侵位年龄年轻化的趋势,可能指示这一碰撞造山作用在不同地区是不等时的,即西段发生较早(海西中晚期)而东段较晚(印支期)。燕山期尤其是燕山晚期花岗岩及伴随的金成矿作用则在整个华北克拉通均有表现,如乌拉山地区哈达门沟金矿^[15](132 Ma);辽西—蒙东南地区金厂沟梁—二道沟矿田^[16](126~118 Ma);安家营子金矿^[17](121 Ma)和排山楼金矿^[13](125 Ma);辽东地区四道沟和五龙金矿(125 Ma;刘汝琦,口头交流);胶东地区^[11,14]金矿(126~120 Ma);小秦岭地区金矿^[18](130~110 Ma)。燕山晚期(130~110 Ma)的金成矿作用在华北东部地区最为普遍,而且矿化强度大,可能与太平洋板块(包括Izanaqi 板块)向北的走滑和北西向的俯冲作用有关。

花岗岩类的地质地球化学研究表明,华北克拉通与金矿化有关花岗岩形成于正常大陆弧背景下,属I型花岗岩^[11,12,19,20]。与金矿化时间关系最密切的花岗岩多以小岩株形式产出,具有强或弱的负Eu异常和Nb亏损特征,说明金矿化与具演化(较强结

晶分异作用)的花岗质岩浆作用有成因联系,同时也暗示金成矿作用是发生在花岗质岩浆作用演化的晚期,是构造—岩浆演化晚期的产物。

4 构造临界转换与成矿

在成矿作用过程中,普遍存在多种形式的成矿参数的临界转换现象,其中构造动力体制转换可能起着根本作用,因为它控制或影响着其他地质作用(岩浆活动、沉积作用、变质作用和流体作用等)的发生、演化及成矿作用^[21]。构造动力体制转换具有多重性,表现为在不同环境和不同的尺度上,显示出自相似性。

4.1 全球尺度的构造体制转换

古大陆开合—散聚是构造体制转换的一种重要形式。据Barley等^[22]统计,古大陆聚合的末期到裂解的初期这个转换时期是大陆上成矿的高峰期。历史上这样的时期主要有3个,一是距今2 000~

表 1 华北克拉通主要金矿区花岗岩类和金矿化年龄统计

Table 1 Age of granitoids and gold mineralization of some major gold orefields North China craton

金矿区(床)	花岗岩或金矿化	年龄/ Ma 及测试方法	资料来源
乌拉山 (哈达门沟)	伟晶岩	1 846(SHRIMP)	苗来成等 ^[15]
	大桦背花岗岩	353(SHRIMP)	苗来成等 ^[15]
	矿化钾长石脉	132(SHRIMP)	苗来成等 ^[15]
	金矿化	353(绢云母 Ar—Ar) 139(钾长石 K—Ar)	Hart 等 ^[23] 李杰美等 ^[24]
张家口—宣化	水泉沟碱性杂岩体	393(SHRIMP)	Miao 等 ^[25]
	谷咀子花岗岩	236(SHRIMP)	Miao 等 ^[25]
	上水泉花岗岩	140(SHRIMP)	Miao 等 ^[25]
	金矿化	170(石英 Ar—Ar) 140(绢云母 Ar—Ar)	中国武装警察部队黄金指挥部 ^[26] Hart 等 ^[23]
冀东—辽西	都山花岗岩	223(SHRIMP)	苗来成 ^[12]
	青山口花岗岩	199(SHRIMP)	苗来成 ^[12]
	峪耳崖花岗岩	174(SHRIMP)	苗来成 ^[12]
	金矿化	250(辉钼矿 Re—Os) 170~133(K—Ar)	苗来成 ^[12] 张秋生等 ^[27] ; 钟汉等 ^[28]
金厂沟梁— 二道沟	西台子花岗岩	218(SHRIMP)	苗来成 ^[12]
	娄上闪长岩	161(SHRIMP)	苗来成 ^[12]
	西对面沟花岗闪长岩	128(Zircon U—Pb)	Lin 等 ^[29]
	同成矿期闪长岩脉	126(SHRIMP)	苗来成 ^[12]
排山楼	金矿化	125~110(K—Ar)	王建平等 ^[30] ; Lin 等 ^[29]
	大石头沟花岗岩	125(SHRIMP)	罗镇宽等 ^[13]
	成矿前后脉岩	125~124(SHRIMP)	罗镇宽等 ^[13]
	金矿化	124(绢云母 Ar—Ar)	骆辉等 ^[31]
夹皮沟	成矿前脉岩	223~218(SHRIMP)	苗来成 ^[12]
	黄泥河花岗岩	160(SHRIMP)	苗来成 ^[12]
	金矿化	2 470(锆石 U—Pb) 231(石英包裹体 Rb—Sr) 203(绢云母 Ar—Ar)	沈保丰等 ^[32] 李华芹等 ^[33] 苗来成 ^[12]
	胶东	玲珑型花岗岩	160~150(SHRIMP)
滦家河型花岗岩		160~150(SHRIMP)	Miao 等 ^[10] ; Wang 等 ^[11]
郭家岭型花岗岩		130~126(SHRIMP)	Miao 等 ^[10] ; Wang 等 ^[11]
成矿后脉岩		120(SHRIMP)	Miao 等 ^[10] ; Wang 等 ^[11]
金矿化		122~123(黄铁矿 Rb—Sr) 126~100(Rb—Sr, Ar—Ar)	Yang 等 ^[14] 张振海等 ^[34]
小秦岭	碱性脉岩	213~202(K—Ar)	Chen 等 ^[35]
	文峪花岗岩	130~106(U—Pb, K—Ar)	Chen 等 ^[35]
	成矿后辉绿岩脉	148(K—Ar)	卢欣祥等 ^[36]
	金矿化	222~208(Ar—Ar) 145~120(K—Ar, Ar—Ar)	任富根等 ^[37] Mao 等 ^[18]

1 800 Ma, 在广阔的中元古大陆产有基鲁那铁矿、奥林匹克坝 Cu—Au—REE 矿和含 Ti—V—Fe 矿; 二是距今 1 000~800 Ma, 新元古代超大陆上发育碎屑岩中铜矿和风化壳中铀矿等; 三是距今 400~300 Ma, 泛大陆上以沉积岩中的金属硫化物矿床最发育, 包括 MTV 型 Pb—Zn 矿和碎屑岩中的 Cu 及 Pb—Zn 矿等。

4.2 区域尺度的构造体制转换

如前所述, 华北克拉通金矿床主要形成于中生

代, 其成矿的动力学过程必定受华北中生代构造体制制约^[38-40]。近年的研究证实, 中生代华北尤其是其东部地区发生过构造体制的重大转折, 主要反映在以下几个方面: (1) 构造体制上从古生代至中生代早期近东西向构造格局转为晚中生代的北北东向构造格局, 由挤压为主到伸展为主; (2) 大陆动力学过程由古生代—中生代早期不同陆块的拼合转变为中生代晚期的陆内构造过程为主; (3) 岩石圈厚度由古

生代的大于 200 km^[41] 到中、新生代快速减薄至不

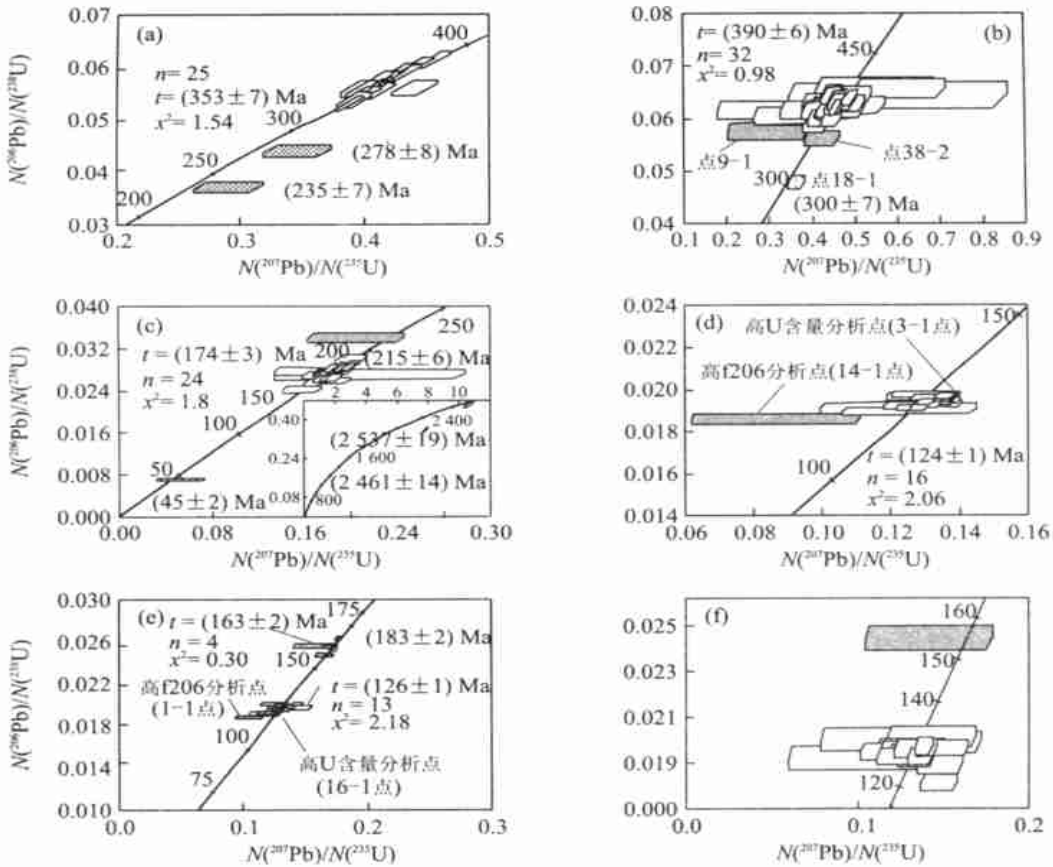


图 3 华北克拉通主要金矿区代表性花岗岩类侵入体锆石 SHRIMP 年龄

Fig. 3 SHRIMP age of zircon in granitic intrusions in main gold orefields of North China craton

a. 乌拉山大桦背花岗岩; b. 张宣水泉沟碱性岩体; c. 冀东(峪耳崖花岗岩); d. 排山楼大石头花岗岩; e. 金厂沟梁—二道沟地区成矿期闪长岩脉; f. 胶东郭家岭型花岗岩

足 80 km^[42, 43]; (4)中酸性岩浆活动及成矿作用在古生代均相对较弱,而在中生代活动强烈,至晚中生代达到高峰(表 1),形成了包括华北克拉通东部的大多数金矿床^[44].

4.3 矿田—矿床尺度的构造转换

此种尺度上的构造转换及对成矿的控制最为普遍和直观.如褶皱构造由挤压向拉张的转换部位、背斜脊部和(走滑)断裂的走向及倾向变化部位,常是矿床或矿体的富集空间.例如对胶东金矿集中区的研究表明,构造应力场由强到弱过渡部位,即强变形域到弱变形域的转换控制矿田—矿床(矿体)的产出^[45, 46];剪切带中脆—韧性构造过渡域控制矿床(体)的产出;断裂构造走向及倾向上的转弯部位或波状起伏的拐点处控制矿床(体)及富矿体的产出^[46].此外,在某一种构造总体背景下也存在局部异常转换,如总体挤压应力场中的局部引张部位、挤压或剪切构造中的局部拉张形成的减压扩容带、拉张

构造场(如裂谷)中封闭或半封闭的次级盆地等.这些局部异常转换部位都是矿床形成的有利条件.

不仅构造体制转换具有多重尺度,而且地球物理场、地球化学场和成矿参数(如温度、压力、深度、氧逸度)等也具有多重尺度的异常转换现象.成矿作用就是在这些参数耦合联动情况下发生,耦合得越好,即有利因素越多,就越有利于形成大型和超大型矿床.

5 金矿床成因及成矿系统模式

华北克拉通上不同地区和不同金矿床之间虽然存在一定差异,但它们却有着更多的共性.这些共性可概括为:(1)宏观上,金矿床集中区多分布于克拉通边缘,受区域线性构造交汇带的控制;在矿田或矿床尺度上,受断裂构造控制,包括脆性断裂和韧性剪切带;(2)不论矿床的围岩岩性如何,几乎所有的金矿床均具有相似的围岩蚀变类型(如钾长石化、硅

化、绢云母化、方解石化及绿泥石化等)和矿物组合(如黄铁矿+黄铜矿+方铅矿+闪锌矿等),只是围岩岩性不同时,不同蚀变类型的发育程度有所差别;(3)虽然有部分金矿床赋存于前寒武变质基底岩系中,也有少量前寒武纪形成矿床,但大多数金矿床均最终形成于显生宙(主要为燕山期);(4)除个别地区金矿的Pb(小秦岭)或Cu-Pb(夹皮沟)含量较高外^[32-47],总体上成矿元素组合相似,均为Au-Ag-Cu-Pb-(Mo);(5)金矿床矿石铅同位素组成在不同矿集区存在一定的差异^[48],但在同一成矿区(带)内各矿床之间表现出一致性,且矿石铅均比太古代变质岩富含放射成因铅,而与有关花岗岩的铅同位素组成一致,表明金矿床与花岗岩的源区相似;(6)除矿床的硫同位素组成有一定差异(反映成矿物理化学条件不同)外,其H、O、C同位素组成基本一致,且指示成矿物质来源于深部,成矿流体为深源流体,后期有大气水的混入;(7)流体包裹体资料显示,金矿化主要发生在350~200℃和相对低的压力条件下,成矿流体盐度较高^[11,49](w(NaCl)=6%~17%)。

上述特征表明,华北克拉通绿岩带型金矿床尽管形成时代不尽相同,却有着相同或相似的成矿机制,金矿化是构造-花岗岩浆演化晚期的产物,其成因可归为与花岗岩浆作用有关的中温热液矿床。

基于上述,可将华北克拉通主要金矿床基本上归为一个成矿系统,即绿岩带中与花岗质岩浆作用有关的热液成矿系统。成矿系统模式如图4,可描述为:(1)成矿背景。前寒武纪花岗岩-绿岩构造环境,古生代-早中生代陆缘内侧构造-岩浆活动带和晚中生代滨太平洋构造域构造-岩浆活动带;(2)深部构造动力学背景。中生代华北岩石圈的显著减薄,导致大规模的壳幔物质混合、下地壳重熔或壳幔同熔产生强烈岩浆作用及流体作用和成矿作用;(3)矿源场。古老变质基底岩系和深源成矿物质;(4)流体场。深部花岗质岩浆、地层水、大气水和(或)幔源流体;(5)能量场或热场。区域构造应力、花岗质岩浆活动热能及地幔热能;(6)运移场(流体通道)。区域性断裂、韧性剪切带、花岗岩类及脉岩类的侵位通道及岩石中裂隙和孔隙;(7)储矿场。次级或低序次断裂、断裂交汇部位、断裂扩容带、韧性剪切带、花岗岩类侵入体内外接触带等;(8)成矿时代。燕山期(140~110 Ma、175~160 Ma)和印支期(220~200 Ma)及海西期(350 Ma?),前者最为广泛;(9)成矿作用过程。深部相对平衡的含矿高温流体在构造及岩浆热能驱动

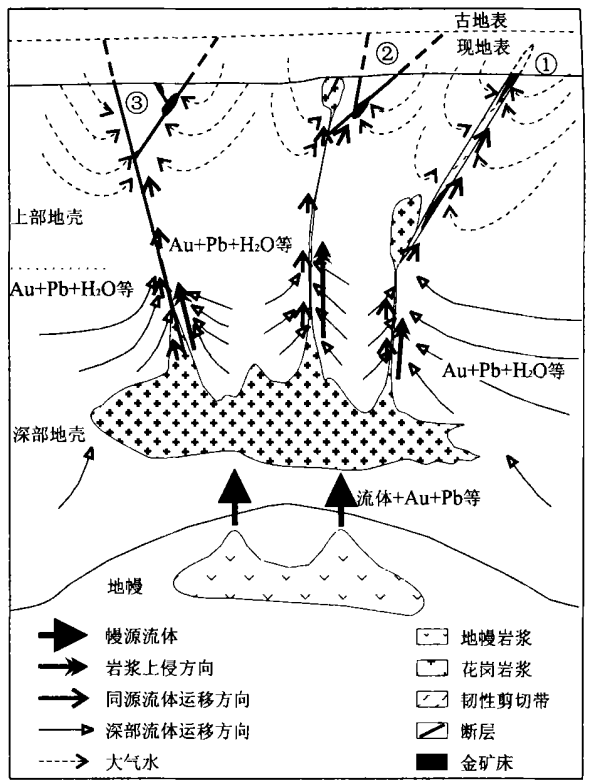


图4 华北克拉通绿岩带型金成矿系统模式
Fig. 4 Greenstone belt-type gold metallogenic system model of North China craton

①赋存于韧性剪切带中金矿床,如排山楼、夹皮沟、小秦岭等;②产于花岗岩体内部或岩体附近的金矿床,峪耳崖、柏杖子、胶东等;③产于变质岩中受脆性断裂控制的矿床,如哈达门沟、小营盘等

下,沿流体通道运移到地壳浅层次,在流体混合、浓缩(沸腾、水岩反应)等物理化学条件突变情况下,矿质在有利的储矿场中堆积成矿;(10)成矿作用产物,包括众多矿床和致矿异常(综合异常),其中的矿床类型主要有石英(钾长石)脉型(如胶东玲珑型金矿、东坪和峪耳崖等)、破碎蚀变岩型(如胶东焦家式金矿)和韧性剪切带型(如小秦岭、排山楼、金厂峪等)3种;(11)矿床形成后的变化。受断裂切割、位移产生的产状、形态的变化和受风化剥蚀等产生的质量、品位及规模的变化,总体上受改造和破坏程度较低,矿床的保存条件较好。

6 讨论和结论

成矿系统是当今矿床学研究的一个重要课题,它从事物的联系性和整体性出发,将复杂的成矿作用以系统思路贯穿起来,以求深入认识区域成矿规

律. 本文通过对华北克拉通绿岩带型金矿床的综合分析, 将成矿的环境、背景、要素、作用、过程、产物、异常和演变作为一个自然作用整体加以研究, 初步将其归为与花岗岩浆作用有关的热液成矿系统. 但这里要说明的一点是: 对华北克拉通上少数绿岩带型金矿床(如夹皮沟、小营盘)的形成时代还存在争议, 有研究者认为它们形成于显生宙^[12, 33], 也有人认为它们形成于前寒武纪^[32, 50]. 相信随着研究工作的进一步深入和新资料的积累, 华北克拉通绿岩带型金成矿系统的内涵也会不断地丰富和完善.

参考文献:

- [1] 翟裕生. 论成矿系统[J]. 地学前缘, 1999, 6(1): 13—27.
ZHAI Y S. On the metallogenic system [J]. Earth Science Frontiers, 1999, 6(1): 13—27.
- [2] 翟裕生, 张湖, 宋鸿林, 等. 大型构造与超大型矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
ZHAI Y S, ZHANG H, SONG H L, et al. Microscopic structure and superlarge ore deposits [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1997.
- [3] Tang K D. Tectonic development of Paleozoic fold belts at the north margin of the Sino-Korean craton [J]. Tectonics, 1990, 9: 249—260.
- [4] 王荃. 内蒙古中部中朝与西伯利亚古板块间缝合线的确定[J]. 地质学报, 1986, 60(1): 31—43.
WANG Q. Confirmation of ancient sutures between Sino-Korea plate and Siberian plate [J]. Acta Geologica Sinica, 1986, 60(1): 31—43.
- [5] Ames L, Tilton G R, Zhou G Z. Timing of collision of the Sino-Korean and Yangtze cratons: U-Pb zircon dating of coesite-bearing eclogites [J]. Geology, 1993, 21: 339—342.
- [6] Li Z X. Collision between the North and South China blocks: a crustal-detachment model for suturing in the region east of the Tanlu fault [J]. Geology, 1994, 22: 739—742.
- [7] Yin A, Nie S. A Phanerozoic palinspastic reconstruction of China and its neighboring regions [A]. In: Yin A, Harrison M, eds. The tectonic evolution of Asia [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 442—486.
- [8] 王学求. 大型矿集区地球化学调查与评价——以东天山为例[R]. 北京: 中国地质大学, 2002.
WANG X Q. Geochemical survey and assessment for large ore camps: a case history from eastern Tianshan [R]. Beijing: China University of Geosciences, 2002.
- [9] 宋瑞先, 王有志. 河北金矿地质[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
SONG R X, WANG Y Z. Geology of gold ore deposits in Hebei [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994.
- [10] Miao L C, Luo Z K, Huang J Z, et al. Zircon sensitive high resolution ion microprobe (SHRIMP) study of granitoid intrusions in Zhaoye gold belt of Shandong Province and its implication [J]. Science in China (Series D), 1997, 40: 361—369.
- [11] Wang L G, Qiu Y M, McNaughton N J, et al. Constraints on crustal evolution and gold metallogeny in the northwestern Jiaodong Peninsula, China from SHRIMP U-Pb zircon studies of granitoids [J]. Ore Geology Review, 1998, 13: 275—291.
- [12] 苗来成. 华北克拉通北缘花岗岩时空演化及与金矿关系[D]. 北京: 中国地质大学, 2000.
MIAO L C. Temporal and spatial evolution of granitoids in the northern marginal zone of the North China craton and their relationships with gold mineralization [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2000.
- [13] 罗镇宽, 苗来成, 裘有守, 等. 辽宁阜新排山楼金矿区岩浆岩定年及其意义[J]. 地球化学, 2002(待刊).
LUO Z K, MIAO L C, QIU Y S, et al. Age measurement on magmatite and its significance of the Paishanlou gold ore deposit in Fuxin, Liaoning Province [J]. Geochimica, 2002 (in press).
- [14] Yang J H, Zhou X H. Rb-Sr, Sm-Nd and Pb isotopic systematics of pyrites: implication for the age and genesis of lode deposits [J]. Geology, 2001, 29: 711—714.
- [15] 苗来成, Yuming Qiu, 关康, 等. 内蒙古哈达门沟金矿床成岩成矿年龄的定点研究[J]. 矿床地质, 2000, 19(2): 182—190.
MIAO L C, Yuming Qiu, GUAN K, et al. SHRIMP chronological study of the granitoids and mineralization in the Hadamengou gold deposit, Inner Mongolia [J]. Mineral Deposits, 2000, 19(2): 182—190.
- [16] 苗来成, 范蔚茗, 翟明国. 金厂沟梁—二道沟金矿田内花岗岩类侵入体锆石的离子探针 U—Pb 年代学及意义[J]. 岩石学报, 2002(待刊).
MIAO L C, FAN W M, ZHAI M G. Ion probe U-Pb chronology of zircon in granitic intrusions in the Jinchang-gouliang Erdaogou gold orefield [J]. Acta Petrologica Sinica, 2002 (in press).
- [17] 李永刚, 杨进辉, 苗来成. 内蒙赤峰安家营子金矿成矿时代以及对华北中生代爆发成矿的意义[J]. 科学通报, 2002(已提交).
LI Y G, YANG J H, MIAO L C. Metallogenic epoch of

- the Anjiayingzi gold ore deposit in Chifeng, Inner Mongolia and its significance to explosive Cenozoic ore-forming in northern China [J]. Chinese Science Bulletin, 2002 (submitted).
- [18] Mao J W, Goldfarb R, Zhang Z, et al. Gold deposits in the Xiaoqinling-Xiong' ershan region, Qinling Mountain, Central China [J]. Mineral Deposita, 2002, 36 (in press).
- [19] 王炳成. 山东招掖地区郭家岭斑状花岗岩的地质地球化学特征及成因探讨 [J]. 山东地质, 1988, 4(1): 45—63.
WANG B C. Geological and geochemistry features and genesis of the Guojialing type porphyritic granite in Zhaoye region, Shandong Province [J]. Geology of Shandong, 1988, 4(1): 45—63.
- [20] 赵海玲, 邓晋福, 杨秋利, 等. 河北峪耳崖金矿花岗岩的岩石学特征 [J]. 地球科学——中国地质大学学报, 1993, 18(增刊): 232—237.
ZHAO H L, DENG J F, YANG Q L, et al. Petrological characteristics of granites in the Yuerya gold ore deposit [J]. Earth Science — China University of Geosciences, 1993, 18(Suppl): 232—237.
- [21] 翟裕生, 邓军, 丁式江, 等. 关于成矿参数临界转换的探讨 [J]. 矿床地质, 2001, 20(4): 301—306.
ZHAI Y S, DENG J, DING S J, et al. Discussion on critical transition of ore-forming parameters (factors) [J]. Mineral Deposits, 2001, 20(4): 301—306.
- [22] Barley M E, Groves D I. Supercontinent cycles and the distribution of metal deposits through time [J]. Geol, 1992, 20: 291—294.
- [23] Hart C, Goldfarb R J, Qiu Y, et al. Gold deposits of the northern margin of the North China craton [J]. Mineral Deposita, 2002, 36 (in press).
- [24] 李杰美, 蔡尚波, 祝登丰, 等. 内蒙乌拉山地区金矿地质特征及找矿预测 [J]. 黄金地质科技, 1993, (2): 14—20.
LI J M, CAI S B, ZHU D F, et al. Geological features and ore-prediction of gold ore deposit of the Wulashan area, Inner Mongolia [J]. Science and Technology of Gold Geology, 1993, (2): 14—20.
- [25] Miao L C, Qiu Y M, McNaughton N J, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of granitoids from Dongping area, Hebei Province, China: constraints on tectonic evolution and geodynamic setting for gold metallogeny [J]. Ore Geology Reviews, 2002 (in press).
- [26] 中国武装警察部队黄金指挥部. 河北东坪碱性杂岩金矿地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
Gold Headquarters of Armed Police Army of China. Geology of gold ore deposit in the Dongping alkaline complex, Hebei Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [27] 张秋生, 杨振生, 高德玉, 等. 冀东金厂峪地区高级变质区地质与金矿床 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.
ZHANG Q S, YANG Z S, GAO D Y, et al. Geology and gold ore deposits in high-grade metamorphic rock area in the Jinchangyu region, eastern Hebei [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991.
- [28] 钟汉, 赵寅震, 颜琳, 等. 冀东东部地区金矿 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996.
ZHONG H, ZHAO Y Z, YAN L, et al. Gold ore deposits in the eastern part of Jidong [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1996.
- [29] Lin B Q, Shang L, Shen E S, et al. Vein gold deposits of the Liaoxi uplift, North China platform [A]. In: Maurice Y, ed. IAGOD quadrennial symposium [C]. Stuttgart, Schweizerbart; [s. l.], 1993. 597—612.
- [30] 王建平, 刘永山, 董法先, 等. 内蒙古金厂沟梁金矿构造控矿分析 [M]. 北京: 地震出版社, 1992.
WANG J P, LIU Y S, DONG F X, et al. Analysis of ore-controlling structure of the Jinchangouliang gold deposit, Inner Mongolia [M]. Beijing: Seismological Press, 1992.
- [31] 骆辉, 赵运起. 辽宁阜新排山楼金矿地质和成矿作用 [J]. 前寒武纪研究进展, 1997, 20(4): 13—23.
LUO H, ZHAO Y Q. Geology and mineralization of Paishanlou gold deposit in Fuxing, Liaoning Province [J]. Progress in Precambrian Research, 1997, 20(4): 13—23.
- [32] 沈保丰, 李俊建, 毛德宝, 等. 吉林夹皮沟金矿地质与成矿预测 [M]. 北京: 地质出版社, 1998.
SHEN B F, LI J J, MAO D B, et al. Geology and ore prediction of the Jiapigou gold ore deposit in Jilin [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998.
- [33] 李华芹, 刘家齐, 魏林. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
LI H Q, LIU J Q, WEI L. Geochronics study on fluid inclusions of hydrothermal ore deposits and its application in geology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1993.
- [34] 张振海, 张景鑫, 叶素芝. 胶东金矿同位素年龄厘定 [M]. 北京: 地震出版社, 1994.
ZHANG Z H, ZHANG J X, YE S Z. Collating of isotopic age of gold ore deposits in Jiaodong region [M]. Beijing: Seismological Press, 1994.

- [35] Chen Y, Fu S. Gold metallogeny of West Henan [M]. Beijing: Seismological Press, 1992.
- [36] 卢欣祥, 蔚向东, 董有, 等. 小秦岭—熊耳山地区金矿成矿时代 [J]. 黄金地质, 1999, 5(1): 11—16.
- LU X X, WEI X D, DONG Y, et al. The metallogenic epoch of gold ore deposits in Xiaolinling-Xiong' ershan region [J]. Gold Geology, 1999, 5(1): 11—16.
- [37] 任富根, 李维明, 李增慧. 熊耳山—崞山地区金矿成矿地质条件和找矿综合评价模型 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- REN F G, LI W M, LI Z H. Gold ore-forming geological conditions in the Xiong' ershan-Xiaoshan region and gold ore exploration and appraisalment model [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [38] 胡受奚, 叶瑛, 赵懿英, 等. 华北地台中生代热液成矿的构造环境 [J]. 高校地质学报, 1995, 1(1): 58—66.
- HU S X, YE Y, ZHAO Y Y, et al. The metallogenic tectonic setting of North China platform and its relation to hydrothermal metallogenesis [J]. Geological Journal of China Universities, 1995, 1(1): 58—66.
- [39] 陈衍景, 郭光军, 李欣. 华北克拉通花岗岩绿岩地体中生代金矿床的成矿地球动力学背景 [J]. 中国科学(D辑), 1998, 28(1): 35—40.
- CHEN Y J, GUO G J, LI X. Ore-forming geodynamic setting of Cenozoic gold ore deposits in granitic-greenstone terrane in the North China craton [J]. Science in China (Series D), 1998, 28(1): 35—40.
- [40] 邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 等. 中国东部燕山期岩石圈—软流圈系统大灾变与成矿环境 [J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 309—315.
- DENG J F, MO X X, ZHAO H L, et al. The Yanshanian lithosphere-asthenosphere catastrophe and metallogenic environment in East China [J]. Mineral Deposits, 1999, 18(4): 309—315.
- [41] 池际尚, 路凤香. 华北地台金伯利岩及古生代岩石圈地幔特征 [M]. 北京: 科学出版社, 1996.
- CHI J S, LU F X. Characteristics of kimberlite and Paleozoic lithospheric mantle [M]. Beijing: Science Press, 1996.
- [42] Fan W M, Menzies M A. Destruction of aged lower lithosphere and accretion of asthenosphere mantle beneath eastern China [J]. Geotectonica et Metallogenia, 1992, 16: 171—179.
- [43] Menzies M A, Fan W M, Zhang M. Paleozoic and Cenozoic lithoproses and the loss of > 120 km of Archean lithosphere Sino-Korean craton, China [A]. In: Prichard H M, Alabaster T, Harris N B W, et al eds. Magmatic processes and plate tectonics [C]. Geol Soc Spec Publ, 1993, 76: 71—78.
- [44] Zhai M G, Yang J H, Liu W J. Large clusters of gold deposits and large-scale metallogenesis in the Jiaodong Peninsula, eastern China [J]. Science in China (Series D), 2001, 44: 758—768.
- [45] 邓军, 徐守礼, 方云, 等. 胶东西北部构造体系及金成矿动力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- DENG J, XU S L, FANG Y, et al. Tectonic system and gold ore-forming dynamics of the northeastern Jiaodong Peninsula [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [46] 丁式江. 绿岩型金矿综合地质异常研究——以胶东焦家金矿为例 [D]. 北京: 中国地质大学, 1998.
- DING S J. A study on the comprehensive geological abnormality of gold deposits in greenstone belt: an example from Jiaojia gold orefield, East Shandong Province, China [D]. Beijing: China University of Geosciences, 1998.
- [47] 黎世美, 瞿伦生, 苏振邦, 等. 小秦岭金矿地质和成矿预测 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- LI S M, QU L S, SU Z B, et al. Geology and ore-prediction of gold ore deposits in Xiaolinling area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996.
- [48] 罗镇宽, 关康, 王曼枝, 等. 中国金矿床概论 [M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1993.
- LUO Z K, GUAN K, WANG M Z, et al. An introduction of gold ore deposits in China [M]. Tianjin: Tianjin Science and Technology Publishing House, 1993.
- [49] 李兆龙, 杨敏之. 胶东金矿床地质地球化学 [M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1993.
- LI Z L, YANG M Z. Geology and geochemistry of gold ore deposits in the Jiaodong Peninsula [M]. Tianjing: Tianjing Science and Technology Publishing House, 1993.
- [50] 胡小蝶, 陈志红, 赵彦明, 等. 河北小营盘金矿成矿时代——单颗粒锆石 U—Pb 同位素年龄新证据 [J]. 前寒武纪研究进展, 1997, 20(2): 22—28.
- HU X D, CHEN Z H, ZHAO Y M, et al. The metallogenic epoch of the Xiaoyingpan gold ore deposit: the new mineral of U-Pb isotopic age on single zircon [J]. Progress in Precambrian Research, 1997, 20(2): 22—28.

Preliminary Discussion on Gold Ore-Forming System in Greenstone Belt-Type of North China Craton

ZHAI Yu-sheng¹, MIAO Lai-cheng², XIANG Yun-chuan¹, DENG Jun¹, WANG Jian-ping¹

(1. *Faculty of Earth Sciences and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China*; 2. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China*)

Abstract: The greenstone belt-type gold deposit in the North China craton (NCC), one of the most important deposit types in China, is the major source of gold productions and reserves. In terms of geodynamics, the NCC has experienced several tectonic stages ranging from the Middle and Upper Proterozoic divergent epicontinents, the Lower to Upper Paleozoic convergent epicontinents, to the Phanerozoic-Mesozoic craton activation. This type of gold deposit, formed mainly in the craton activation stage, occurred in the transitional period from a compressive regime of late- or post-collision to an extension one. Gold mineralization occurred in a favorable regional geochemical setting (fairly high abundance of gold). Although these deposits were formed in different Phanerozoic periods, with the majority of these deposits in the Late Yanshanian, they share similar geological and geochemical features, and are spatially, temporally and genetically related to Phanerozoic granitic intrusions. Geochronological data suggest that gold mineralization is coeval with, or slightly post-dates, the emplacement of the associated granites, probably indicating that gold mineralization is likely a product of the late stage of tectono-magmatism. Therefore, the major gold deposits in the NCC can be considered as a single metallogenic system, i. e., hydrothermal metallogenic system related to granitic magmatism in greenstone belts.

Key words: North China craton; greenstone belt; gold deposit; metallogenic system.