

河北阜平地区太古宙变质深成岩与金矿的关系初探

夏国礼¹, 张家奇², 杨进京¹

(1. 河北省地质调查院, 廊坊 065000; 2. 河北省地球物理勘察院, 廊坊 065000)

[摘要]区内变质深成岩由阜平岩群变质表壳岩经深部重熔作用形成, 典型特征是低钾富钠, 具有TTG岩石特点。经对变质深成岩成矿元素的研究表明: ①Au元素丰度值很高(平均 2.10×10^{-6}), 远远高于世界中性—中酸性侵入岩及地壳中Au元素的丰度值; ②Au元素浓集克拉克值(488.37)远远大于1, 呈非常强的富集状态; ③Au元素在变质深成岩中的变异系数(0.65)几乎是区内变质表壳岩中Au元素的2倍, 有利于Au元素的聚集成矿。故变质深成岩应是成矿物质的主要提供者。

[关键词]变质深成岩 深部重熔作用 金矿矿源体 河北阜平地区

[中图分类号]P588.34; P618.51 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2007)04-0046-05

河北省阜平地区(东经 $113^{\circ}30' \sim 114^{\circ}45'$, 北纬 $38^{\circ}10' \sim 39^{\circ}10'$)太古宙基底内金矿发育, 据不完全统计, 区内90余处金矿床、矿(化)点有80%皆产于基底变质岩系内, 关于金矿的成因前人大都认为主要与太古宙阜平岩群变质表壳岩有关^[1-3]。近年来, 通过新一轮1:5万和1:25万区调工作, 在原来太古宙阜平岩群变质表壳岩中解体划分出大量的变质深成岩体, 作者根据野外工作成果和室内测试资料进一步分析研究发现, 区内绝大多数金矿几乎都分布在阜平旋回变质深成岩体内, 两者空间上紧密相伴, 表明区内金矿与太古宙阜平旋回变质深成岩的成因联系更为密切(图1), 即区内阜平旋回变质深成岩才是该区金矿成矿物质的主要提供者。

1 变质深成岩主要特征简述

区内阜平旋回变质深成岩广泛出露, 其中以坊里深成片麻岩(以下简称“变质深成岩”)出露规模最大, 最具有代表性(锆石U-Pb一致线年龄为2646Ma、2648Ma), 与区内金矿的关系也最为密切, 是区内金矿的主要赋矿围岩, 其主要特征是:

1) 变质深成岩总体呈块状岩貌, 层状特征不明显, 岩性单调均一; 岩体内见有大量规模不等的阜平岩群变质表壳岩包体, 岩体与较大包体的接触界线常模糊不清, 而与较小包体尤其是超镁铁—镁铁质包体的接触界线则清楚截然, 有时还可见到包体内的早期面理与变质深成岩体内的晚期面理具有斜交

现象, 表明变质深成岩既具有原地—半原地重熔特征, 又具有岩浆异地侵入之特点。

2) 岩性为黑云斜长片麻岩。岩石呈灰色, 片麻状、条痕状、条带状及肠状构造; 鳞片粒状变晶结构, 变余半自形岩浆结构比较常见, 矿物粒径一般0.5~2mm; 矿物成分主要为奥长石($An=20 \sim 27$, 含量60%~65%)、微斜长石(含量5%~10%)、石英(含量20%左右)、黑云母(含量10%~15%)及少量角闪石。原岩相当于富钠质的英云闪长岩。

3) 变质作用方面, 经历了区域高角闪岩相变质作用。交代作用以钠化、硅化为主, 特点是在先存矿物颗粒间, 尤其是斜长石边部形成钠长石净边并析出石英, 使早期偏基性斜长石发生去钙增钠作用^[1]; 变形作用方面, 普遍遭受了强烈的区域性中深层次的构造变形作用, 岩体内揉流褶皱和小型韧性剪切带发育, 先存矿物石英产生波状消光、裂纹和亚颗粒化, 斜长石双晶发生变形和扭曲。

4) 岩石化学成分突出特点是低钾富钠($K_2O/Na_2O < 0.5$), 硅、铝含量较高^[4], 而 $Fe_2O_3^* + MgO$ 较低($< 4.30\%$)。由表1可知, 区内变质深成岩 SiO_2 平均66.64%, Al_2O_3 平均15.60%, K_2O/Na_2O 平均0.49, $Fe_2O_3^* + MgO = 5.92\%$ 略高一些; 其他化学成分和比值特征与Martin(1994)^[5]及Condie(1981)^[6]太古宙TTG岩石化学成分平均值比较接近, 表明区内变质深成岩与太古宙TTG岩石的岩石

[收稿日期]2006-05-22; **[修订日期]**2007-01-08。

[基金项目]中国地质调查局项目(编号:200310200055)资助。

[第一作者简介]夏国礼(1957年—), 男, 1982年毕业于河北地质学院, 获学士学位, 教授级高工, 现主要从事区域地质矿产调查及技术管理工作。

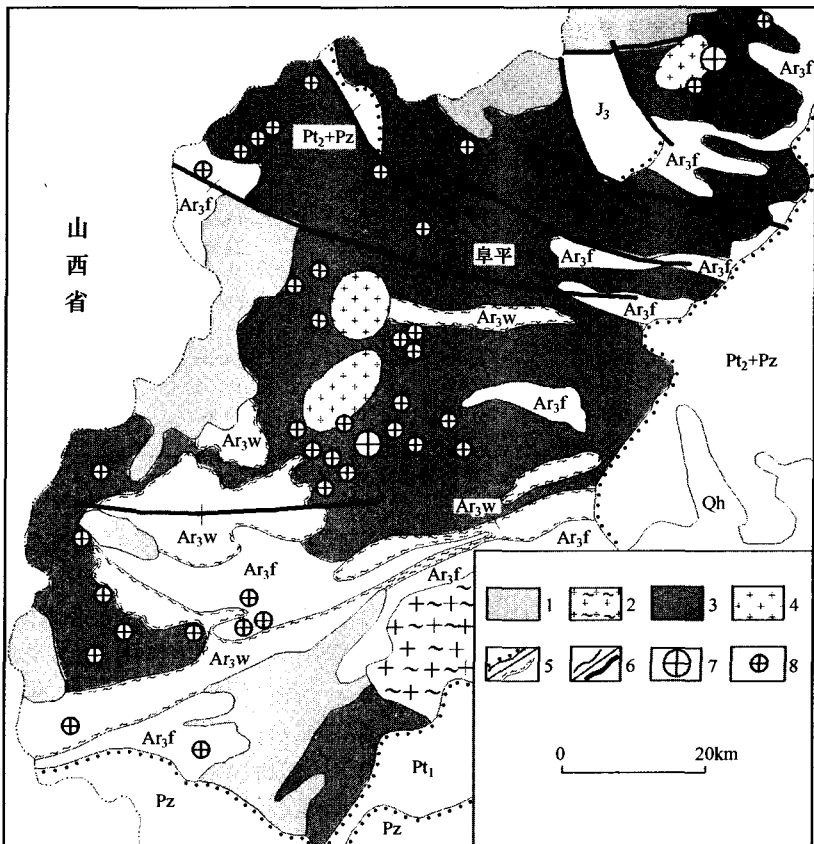


图 1 阜平地区太古宙变质深成岩与金矿分布略图
(据河北省 2001 年 1:50 万数字化地质图修编)

Qh—全新世松散堆积物;J₃—晚侏罗世火山地层;Pz—古生代海相沉积地层;Pt₂+Pz—中元古代及古生代海相沉积地层;Pt₁—古元古代变质表壳岩;Ar_{3w}—新太古代湾子岩群变质表壳岩;Ar_{3f}—新太古代阜平岩群变质表壳岩;1—湾子旋回早期变质深成岩;2—湾子旋回晚期片麻状变质花岗岩;3—阜平旋回变质深成岩;4—燕山期花岗岩质侵入岩;5—不整合及改造后的不整合地质界线;6—一般地质界线及断裂;7—大型金矿;8—小型金矿或矿(化)点

表 1 太古宙 TTG 岩石平均化学成分与区内变质深成岩平均化学成分对比表

主要氧化物及比值	Martin(1994) ^[5]	Condie(1981) ^[6]	区内变质深成岩 (9 件样品平均值)
SiO ₂	69.79	69.66	66.64
Al ₂ O ₃	15.56	15.86	15.60
Fe ₂ O ₃ *	3.12	3.16	4.07
MnO	0.05	0.04	0.06
MgO	1.18	1.14	1.85
CaO	3.19	3.38	3.25
Na ₂ O	4.88	4.70	4.63
K ₂ O	1.76	1.59	2.29
TiO ₂	0.34	0.35	0.47
P ₂ O ₅	0.13	0.11	0.19
Fe ₂ O ₃ * + MgO	4.30	4.30	5.92
Fe ₂ O ₃ */MgO	2.64	2.77	2.20
K ₂ O/Na ₂ O	0.36	0.34	0.49
A/CNK	0.99	1.02	0.97
Mg [#]	0.43	0.42	0.49

注:表内岩石化学成分数据由河北省区域地质矿产调查研究所测试(1993—1995),引自河北省太行山中北段 1:5 万区调片区总结报告;A/CNK = Al₂O₃/(CaO + Na₂O + K₂O),Mg[#] = MgO/(MgO + Fe₂O₃*) 皆为摩尔分数;氧化物含量单位为%。

化学性质相似。

5) 库尔斯等人(1984——资料引自房立民等编著的《变质岩区 1:5 万区域地质填图方法指南》,1991)统计了 120 个样品后得出 TTG 岩石的 $\Sigma REE = (10.50 \sim 499) \times 10^{-6}$, $(La/Lu)_N = 0.34 \sim 413$, $Eu/Sm = 0.041 \sim 1.76$,表明 TTG 岩石稀土总量及某些元素比值变化范围很宽,稀土元素分布型式也多种多样,因而库尔斯等人又将其进一步划分为 Eu 具负异常、Eu 具正异常、Eu 基本无异常 3 种类型。区内变质深成岩 ΣREE 平均 180.14×10^{-6} , $(La/Lu)_N$ 平均 19.76, Eu/Sm 平均 0.20,基本介于上述范围之内(表 2),并且区内变质深成岩稀土元素配分曲线与库尔斯等人所划分的 Eu 具负异常的 TTG 配分曲线形态相似(图 2a、b),皆为分异强烈且向右倾斜的轻稀土富集型配分曲线。再次表明区内变质深成岩具有 TTG 岩石之特征。

2 变质深成岩成因浅析

关于区内阜平旋回变质深成岩的成因问题可谓

表 2 区内太古宙变质深成岩与变质表壳岩及库尔斯 TTG 岩石稀土元素特征值对比表

岩石单位	岩 性	样品序号	$\Sigma \text{REE}/10^{-6}$	$\Sigma \text{Ce}/\Sigma \text{Y}$	δEu	$(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$	Yb_{N}	$(\text{La}/\text{Lu})_{\text{N}}$	Eu/Sm
区内变质	黑云斜长	1	140.75	10.67	0.71	12.21	7.66	11.59	0.22
深成岩	片麻岩	2	197.14	17.56	0.64	28.21	5.26	29.86	0.19
		3	218.53	10.12	0.69	10.68	11.48	10.67	0.21
		4	165.72	11.73	0.61	17.48	6.32	20.92	0.18
		5	159.85	11.10	0.67	13.30	7.99	16.29	0.21
		6	198.83	16.63	0.65	24.68	5.89	29.25	0.19
区内变质	黑云角闪	7	131.26	15.62	0.56	23.58	3.83	24.21	0.17
表壳岩	斜长-二	8	124.35	17.64	0.61	28.89	3.35	28.30	0.19
	长片麻岩	9	170.79	11.02	0.63	11.46	9.57	12.17	0.19
		10	145.61	15.51	0.97	34.56	3.25	36.12	0.24
区内变质深成岩平均值			180.14	12.97	0.66	17.76	7.43	19.76	0.20
区内变质表壳岩平均值			143.00	14.95	0.69	24.62	5.00	25.20	0.20
库尔斯等(1984) ^[7]			10.50~499	变化很大				0.34~413	0.041~1.76

注:表内稀土元素数据由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所测试,2004。

见仁见智,莫衷一是,归纳起来主要有 3 种观点:①原岩为岩浆岩^[4](相当于英云闪长岩);②混合岩化成因^[7];③陆壳物质深部重熔并伴有重熔型岩浆异地侵位^①。作者根据所掌握的资料比较倾向于后一种观点,理由是:①从野外宏观特征来看,多数情况下岩体与围岩呈渐变过渡关系,接触界线模糊不清;局部地段则表现出较为明显的侵入关系。②岩体中常有规模大小不等的似层状、透镜状及不规则状阜平岩群变质表壳岩包体,岩体与较大变质表壳岩包体(残留体)的接触界线比较模糊,两者片麻理产状比较协调,包体种类亦明显受围岩岩性控制;岩体与较小变质表壳岩包体及超镁铁-镁铁质包体的接触界线则清楚截然,显示出较明显的岩浆侵位特点。③岩体空间形态呈浑圆状,有些地段岩体内部原有的地层特征被改造(重熔)殆尽,岩性单调均一,具有较明显的岩浆岩特征。④从微观特征来看,镜下以变晶结构为主,但又常见有变余岩浆结构。⑤稀土元素是一组难熔、难分离、非常稳定的元素族,不易受后期各种地质作用和各类地质事件的干扰,是追踪地质作用的指示剂^[8]。因而用稀土元素判别岩石的成因尤其对变质岩来讲效果相对更好一些。由表 2 可知,区内阜平旋回变质深成岩与阜平岩群变质表壳岩稀土元素特征值比较接近,并且两者稀土元素配分曲线的形态也十分相似(图 2b、c),表明两者具有密切的亲缘关系,即区内阜平旋回变质深成岩主要由阜平岩群变质表壳岩(黑云斜长及黑云角闪斜长变粒岩、黑云斜长片麻岩夹斜长角闪岩)在中高级变质作用下,发生重熔后再结晶形成的。由于阜平旋回强烈的构造运动,在构造驱动力的作用下,可使重熔岩浆发生异地侵位,与围岩形成较明显的侵入关系,从而形成混合岩化、原地-半原地重熔及岩浆异地侵位多种现象兼而有之的深成岩类。

造成上述多种现象并存的主要原因可能是不同地段其重熔程度不同、重熔作用不均匀、不彻底所致。正如程裕淇等(2004)^[4]所指出的那样,深熔作用与变质作用、混合岩化作用、岩浆作用有着密不可分的联系,三者之间没有一种截然的界线,是一种过渡和叠加的关系。可见,重熔型岩浆作用往往经历了变质作用→混合岩化作用→重熔型岩浆作用这样一个完整的递进过程,是变质作用发展到一定阶段的产物。

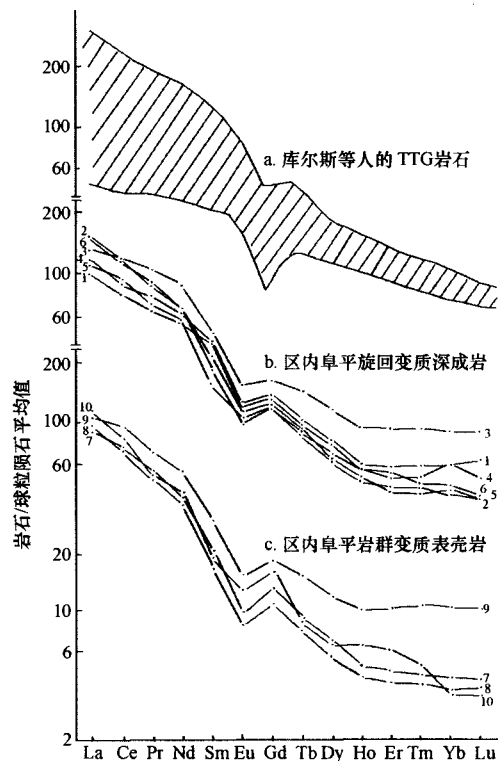


图 2 区内阜平旋回变质深成岩与阜平岩群变质表壳岩及库尔斯等人(1984)TTG 岩石稀土元素配分曲线对比图解(图中曲线编号同表 2 中样品顺序号)

① 河北省国土资源厅及河北省地质矿产勘查开发局,河北省北京市天津市数字化地质图说明书,2001.

上述观点比较合理地解释了该区变质深成岩体内缘何混合岩化、原地-半原地重熔以及岩浆异地侵入多种现象并存的问题。

3 变质深成岩与金矿的关系

3.1 变质深成岩与金矿空间关系密切

从图1可以明显看出,区内绝大多数金矿床、矿(化)点尤其是大型金矿床几乎都分布在阜平旋回变质深成岩体中,即使有些金矿分布于燕山期花岗岩体附近,但仍然分布于两者接触带之外接触带部位的阜平旋回变质深成岩体内,表明阜平旋回变质深成岩应是区内金矿的主要赋矿围岩。

3.2 变质深成岩是成矿物质的主要提供者

一般认为,太古宙变质岩区是寻找大型和特大型金矿的重要地区之一,特别是局部深熔作用形成的花岗岩类岩石和基性岩脉比较发育的地区对形成金矿极为有利^[9]。该区情况亦无不如此,区内金矿的成矿物质主要来源于阜平旋回变质深成岩而并非阜平岩群变质表壳岩。众所周知,任何矿床的形成都必须具备两个条件:其一,是否具备成矿的物质基础;其二,成矿物质能否聚集。首先,从成矿元素的背景含量来看,区内阜平旋回变质深成岩中 Au 元素的丰度值较高(平均 2.10×10^{-6}),明显高于世界部分地区中性-中酸性侵入岩 Au 元素的丰度值(0.0075×10^{-6} , 博伊尔, 1979; 0.0031×10^{-6} , 美国地球化学手册, 1974; 两数据引自宋端先等编著《河北金矿地质》, 1994)和维诺格拉多夫(1962)地壳中 Au 元素的丰度值(0.0043×10^{-6} , 数据引自武汉地质学院教研室编著的《地球化学》, 1979), 同时

也明显高于区内变质表壳岩中 Au 元素的平均值(1.30×10^{-6})(表3),具备了形成大型金矿床的物质基础。其次,从成矿元素的聚集程度来看, Au 元素在变质深成岩中的浓集克拉克值为 488.37, 远远大于 1, 呈非常强的富集状态; 虽然区内变质表壳岩中 Au 元素的浓集克拉克值也远远大于 1, 也呈强富集状态, 也可以提供一部分成矿物质, 但与变质深成岩中 Au 元素的浓集克拉克值相比明显小得多(表3)。三则, 从 Au 元素的变异程度来看, 区内变质深成岩中变异系数为 0.65, 几乎是变质表壳岩(变异系数 0.35)的 2 倍(表3), 表明变质深成岩中 Au 元素的变异程度更高, 更有利于 Au 元素的富集成矿。再者, 尽管区内金矿床、矿(化)点大多环绕燕山期花岗岩体分布(自南而北分别为南城子花岗岩体、赤瓦屋花岗岩体、麻棚花岗岩体), 但南城子花岗岩体 Au 元素的丰度值平均为 0.0004×10^{-6} (9 件样品), 赤瓦屋花岗岩体 Au 元素的丰度值平均为 0.00069×10^{-6} (11 件样品), 麻棚花岗岩体 Au 元素的丰度值平均为 0.00064×10^{-6} (9 件样品), 各花岗岩体中 Au 元素的丰度值普遍较低, 既远远低于区内阜平旋回变质深成岩, 也明显低于区内阜平岩群变质表壳岩, 因此, 区内燕山期花岗岩不可能提供太多的成矿物质。然而, 花岗质岩浆的侵入活动可以提供大量的热源, 在构造活动和岩浆热液的作用下可以形成良好而持续的热动力循环系统, 使早期初步富集在阜平旋回变质深成岩中的 Au 元素再次发生活化、迁移, 并在新的有利构造部位富集成矿。总之, 阜平旋回变质深成岩才是区内金矿成矿物质的主要提供者。

表3 区内太古宙变质深成岩与变质表壳岩 Au 元素含量及特征值对比表

岩 性	元素	变化范围	平均值	标准离差	变异系数	浓集克拉克值
区内变质深成岩(23 件样品平均)	Au	0.47~4.18	2.10	1.37	0.65	488.37
区内变质表壳岩(19 件样品平均)	Au	0.66~2.25	1.30	0.45	0.35	302.33
中性-中酸性侵入岩(博伊尔, 1979; 4710 件样品平均)	Au		0.0075			
中性-中酸性侵入岩(美国地球化学手册, 1974; 641 件样品平均)	Au		0.0031			
地壳中的丰度值(维诺格拉多夫, 1962)	Au		0.0043			

注:表内 Au 元素数据由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所测试, 2004; Au 元素含量单位为 10^{-6} 。

3.3 深部重熔作用有利于形成金矿

阜平旋回持续的中高级变质作用及强烈的构造变形作用使阜平岩群变质表壳岩发生了广泛的混合岩化和深部重熔作用, 形成了大量的变质深成岩, 为 Au 等成矿元素的重新活化、迁移和富集提供了有利的条件。俞传平(1983)^①认为, 小营盘金矿区大量金的活化迁移主要发生在重熔作用或混合岩化作用

期间, 认为混合岩化作用形成的浆汁是形成该区各类混合岩和金矿床的母体。原因是变质岩系中普遍含有较高的氯和硫, 区域变质作用或混合岩化作用过程中, 岩石中的微量金可与氯硫形成多种络合物, 使其在碱性溶液中有较大的溶解度并易于迁移^②, 嗣后, 由于酸度变大等因素影响, 使金在低压扩容地带沉淀富集。莫柱荪、洪大卫(1986)^③也认为, 花岗

① 俞传平. 小营盘金矿一带区域混合岩化作用与含金石英脉的成因联系, 1983.

② 母瑞身. 我国金矿床主要成因类型划分, 1981.

③ 莫柱荪, 洪大卫. 花岗岩问题讲稿, 1986.

岩化(超变质作用)过程中,由于物理化学条件改变,有利于成矿元素重新活化迁移、重新组合和相对集中。上述观点与该区的实际情况基本相符。由表 3 可以明显看出,深部重熔作用发生前,阜平岩群变质表壳岩中 Au 元素的丰度值平均为 1.30×10^{-6} ;深部重熔作用发生后,变质深成岩中 Au 元素的丰度值平均为 2.10×10^{-6} 。表明深熔作用过程实际上是 Au 元素重新活化、迁移、再分配和富集成矿的过程,使原本 Au 元素丰度值就很高的阜平岩群变质表壳岩经深部重熔作用后,在形成深成花岗岩的同时也随之形成了 Au 元素更加富集的新的矿源体。换言之,经过构造-变质热动力叠加改造的矿源层才是成矿和找矿的最佳地段^[10]。另外,区内变质深成岩东侧紧邻北北东向太行山深断裂带(岩石圈断裂),从区内变质深成岩展布方向与太行山深断裂带展布方向严格对应的情况来看,区内发生的深部重熔作用和成矿作用似乎还与该深断裂带的强烈活动有关。该深断裂带自新太古代开始就已具一定规模^[8],加之当时地壳较薄,固结程度低,地球深部热量很容易沿深断裂带向上传导,是深部热流和成矿流体(H_2O 及 CO_2 、 SO_2 、 Cl_2 、 H_2S 等络合剂)容易集中和活动的有利部位^[11],在使陆壳物质发生局部重熔的同时,深部的成矿物质也会随之上涌,使 Au 等成矿元素在深部重熔过程中可以进一步叠加和富集,从而有利于形成金矿床和矿(化)点。因此,阜平运动期间太行山深断裂带的强烈活动,无疑也为区内深部重熔作用和金矿的成矿作用提供了先决的、非常有利的构造条件。

4 几点认识

1) 阜平旋回变质深成岩主要由阜平岩群变质表壳岩经深部重熔作用形成,明显特点是低钾富钠,硅、铝含量较高,而铁、镁含量相对较低;稀土元素配分模式为轻稀土富集、铈略具亏损并向右陡倾的曲线。与典型 TTG 岩石的特征颇为相似。

2) 深部重熔作用过程中,由于重熔作用的不均

一性和不彻底性,形成了区内中高级变质作用-混合岩化作用-深部重熔作用(原地-半原地重熔伴有岩浆异地侵位)“三位一体”现象。

3) 阜平旋回变质深成岩是区内金矿成矿物质的主要提供者。变质深成岩中 Au 元素的丰度值远远高于世界部分地区中性-中酸性侵入岩 Au 元素的丰度值及维氏地壳中 Au 元素的丰度值,也明显高于区内阜平岩群变质表壳岩中 Au 元素的丰度值,具备了形成大型金矿床的物质基础;另外,变质深成岩中金的浓集克拉克值及变异系数也都明显大于变质表壳岩,表明变质深成岩中更有利于 Au 元素的聚集和成矿。

4) 就该区而言,深部重熔过程实际上是 Au 元素再次分配和富集的过程。深部重熔作用可使变质表壳岩中 Au 元素重新活化、迁移和富集,从而使区内变质深成岩成为 Au 元素更加富集的、新的矿源体。

[参考文献]

- [1] 牛树银,陈路,许传诗,等.太行山区地壳演化及成矿规律[M].北京:地震出版社,1994.
- [2] 章百明,赵国良,马国玺,等.河北省主要成矿区带矿床成矿系列及成矿模式[M].北京:石油工业出版社,1996.
- [3] 宋瑞先,王有志,王振彭,等.河北金矿地质[M].北京:地质出版社,1994.
- [4] 程裕淇,杨崇辉,万渝生,等.太行山中北段早前寒武纪地质和深熔作用对地壳岩石的改造[M].北京:地质出版社,2004.
- [5] Martin H. Archean grey gneisses and continental crust origin[A]. Condie. Archean crustal evolution [C]. Elsevier, Amsterdam, 1994:205-259.
- [6] Condie K C. Archean Greenstone Belts [M]. Elsevier, Amsterdam, 1981:434.
- [7] 河北省地质矿产局.河北省北京市天津市区地质志[M].北京:地质出版社,1989.
- [8] 王人镜.岩石化学[M].武汉:武汉地质学院印刷出版,1984.
- [9] 阎竹斌,刘春富,常建国.金矿勘查工作手册[M].陕西:兴华印刷厂印刷,1989.
- [10] 姜峰贤.山西五台县东腰庄金矿成矿地质特征及矿床成因[J].地质与勘探,2006,42(3):24-29.
- [11] 陈广浩,张湘丙,王岳军,等.构造成矿理论的研究进展及在金矿找矿中的应用[J].地质科学,2002,37(4):462-472.

PRELIMINARY DISCUSSION ON RELATIONSHIP BETWEEN ARCHEAN METAMORPHIC PLUTON AND GOLD DEPOSITS IN FUPING, HEBEI PROVINCE

XIA Guo-li¹, ZHANG Jia-qi², YANG Jin-jing¹

(1. Hebei Institute of Geological Survey, Langfang 065000;

2. Hebei Institute of Geophysical Exploration, Langfang 065000)

Abstract: Metamorphic plutons in the Fuping area were derived from anatectic melting of supracrustal rocks of Fuping group, which are low in potassium and rich in sodium and are also characterized by geochemistry of TTG. Ore-forming element studies of the metamorphic plutons give following conclusions. Firstly, compared with intermediate to intermediate-acidic intrusive rocks and continental crust, these rocks possess very high abundance of Au with average 2.10×10^{-6} . Secondly, concentration Clarke value (488.37) of Au is much larger than 1, showing these rocks are strongly enriched in Au. Thirdly, Au variation coefficient (0.65) in the rocks is nearly two times as large as that of metamorphic supracrustal rocks in the area, being advantageous to forming gold deposits by accumulating of Au. Therefore, it is concluded that metamorphic plutons should be the source materials for gold deposits.

Key words: metamorphic pluton, anatectic melting, source, gold deposit, Fuping, Hebei