

胶东金青顶金矿床围岩蚀变特征与金矿化

陈海燕^{1,2}, 李胜荣¹, 张秀宝¹, 张运强², 周起凤¹,
崔举超¹, 刘振豪³, 宋玉波³

1. 中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;
2. 河北省区域地质矿产调查研究所, 廊坊 065000; 3. 山东金洲矿业集团有限公司, 山东 乳山 264500

摘要: 金青顶金矿围岩蚀变发育, 从近矿到远矿依次发育黄铁绢英岩化、绢英岩化和钾长石化, 并呈近似对称的带状分布。由地表至深部, 钾长石化蚀变强度有增大的趋势, 局部出现膨大收缩的豆荚状构造特征; 绢英岩化浅部较发育, 深部反复尖灭重现; 黄铁绢英岩化带宽度很窄, 仅浅部独立成带产出。各类蚀变过程中与 Au 成矿相关的 Ag、As、Hg 等元素含量增加, 蚀变围岩中成矿元素以带入为主, 推测围岩的主要作用是冷却成矿热液, 并改变其化学性质, 使成矿物质在有利的容矿空间沉淀富集, 而非提供成矿物质的母岩。

关键词: 围岩蚀变; 微量元素; 金青顶金矿; 胶东

中图分类号: P618.510.652 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2802(2012)01-0005-09

Wall Rock Alteration and Gold Mineralization in the Jinqingding Gold Deposit, Eastern Shandong Province

CHEN Hai-yan^{1,2}, LI Sheng-rong¹, ZHANG Xiu-bao¹, ZHANG Yun-qiang², ZHOU Qi-feng¹,
CUI Ju-chao¹, LIU Zhen-hao³, SONG Yu-bo³

1. State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Hebei Institute of Regional Geological and Mineral Resource Survey, Langfang 065000, China; 3. Gold Continent Group Geological Prospecting Limited Company, Rushan, Shandong 264501, China

Abstract: The study of wall rock alteration in the Jinqingding gold deposit shows that there are pyritization silicification-sericitization, silicification-sericitization and potash-alteration from proximal to distal. It is showed that, from shallow to deep strata, the alteration zone of potassic become wider and the beanpoded structure occurs in some places, and that silicification-sericitization is developed commonly in the shallow stratum but repeatedly disappears in deep strata, and that pyritization silicification-sericitization only occurs in the shallow stratum. The analytical results of Au related trace elements (Ag, As, Hg) indicated that their contents increase gradually from the unaltered granite to the slightly altered granite and to the strongly altered granite in the ore body. It is concluded that wall rock is not the main source of the ore-forming material, and that the main role of the wall rock is to cause chemical property changes of the hydrothermal fluid by cooling it down and to contribute to ore formation at certain special spaces.

Key words: Wall rock alteration; Trace-elements; Jinqingding gold deposit; Jiaodong

金青顶金矿床位于牟平-乳山金矿带中部, 是目前我国最大的石英单脉型金矿, 据金洲矿业集团 2009 年底储量核实金储量在 50 t 以上, 矿床规模为大型, 具有重要的科学研究价值。自上世纪 60 年代

以来, 国内地质学者对该矿床的研究从未间断过, 在其矿床地质特征^[1~4]、叠加晕特征^[5]、围岩蚀变^[6,7]、成矿年龄^[8,9]、成矿物质及成矿流体^[10~13]等方面均取得了大量成果。但关于本区围岩与金矿化的关

收稿日期: 2010-12-24 收到, 2011-01-28 改回

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(90914002); 全国危机矿山接替资源找矿项目(20089937); 高等学校学科创新引智计划项目(B07011)

第一作者简介: 陈海燕(1983-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 成因矿物学与找矿矿物学. E-mail: chenhaiyanok@163.com.

通讯作者: 李胜荣(1956-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 成因与找矿矿物学及环境与生命矿物学. E-mail: lisr@cugb.edu.cn.

系,长期以来一直存在着两种不同的观点。一些学者认为成矿物质是从围岩蚀变的过程中逐渐萃取而来的^[2];另外一些学者则认为成矿物质来源于深部流体^[14],围岩蚀变只是金成矿的表现。本文综合前人测试数据,系统研究了本区蚀变围岩的类型、范围及蚀变过程中元素的迁移规律,并分析了元素迁移与金成矿的关系,试从蚀变围岩的规模及元素迁移规律的角度探讨围岩对金成矿的贡献,为成矿物源的研究提供一些启示作用。

1 矿区地质概况

金青顶金矿体产于中生代昆崙山杂岩体中,受 NNE 向将军石-曲河庄断裂控制,成矿年龄为 $117 \pm 3 \text{ Ma}$ ^[8]。区内出露地层有下元古界粉子山群和荆山群变质岩系以及第四纪地层。区内岩浆岩以灰色中粗粒含黑云二长花岗岩分布最为广泛,锆石 SHRIMP 方法测得其 U-Pb 年龄为 $140 \sim 160 \text{ Ma}$ ^[15]。区内断裂构造以 NNE 和 NE 向两组最为发育,呈近似等间距排布(图 1)。

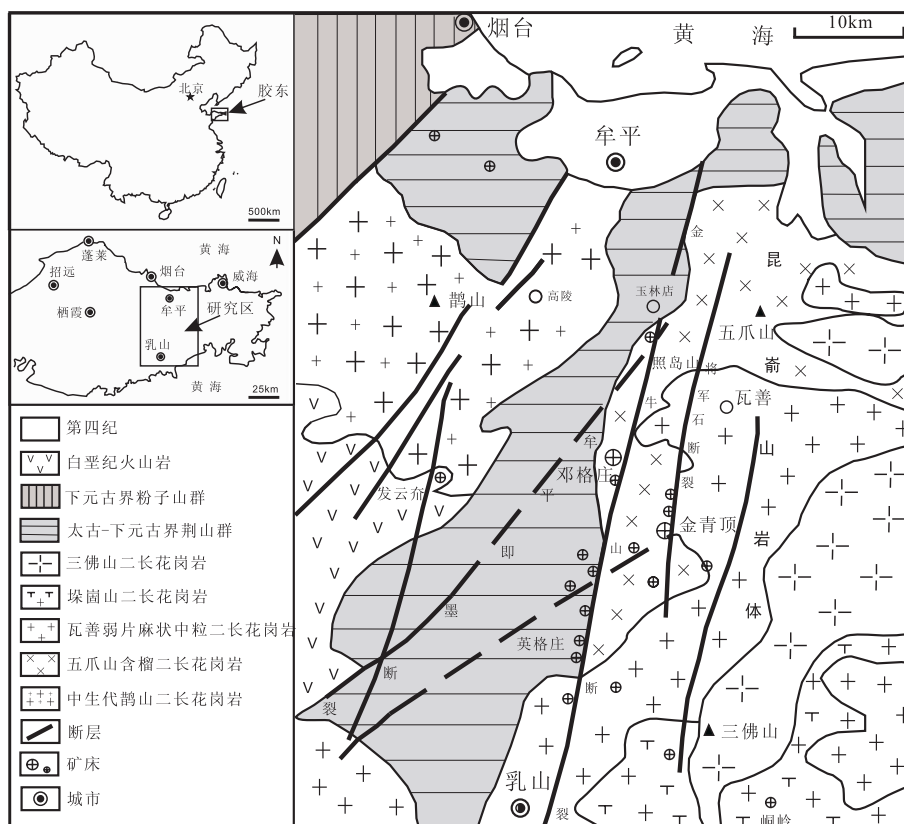


图 1 山东牟平-乳山地区区域地质略图(据文献[2, 16, 17]改绘)

Fig. 1 Regional geological sketch map of the Mouping-Rushan district(modified after ref. [2,16,17])

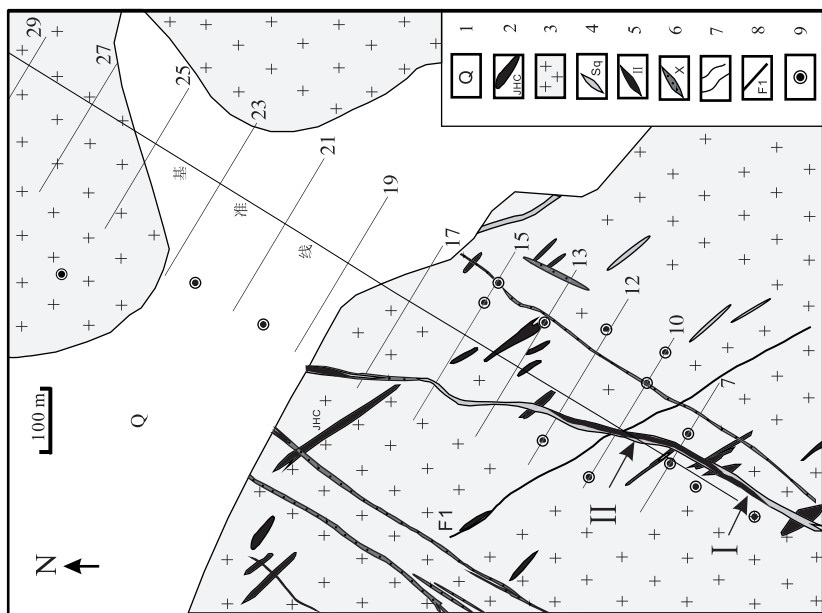
该矿床由 18 个矿体组成,其中 II 号矿体(图 2)是矿区内规模最大的一条石英单脉矿体,该矿体在地表出露约 250 m,总体走向 $50^\circ \sim 30^\circ$,倾向 SE,局部反倾,倾角 $83^\circ \sim 90^\circ$ 。矿体向 NNE 侧伏,侧伏角 $55^\circ \sim 65^\circ$,侧伏斜深大于 1100 m。矿体平均厚度 2.10 m,呈似板状,严格受断裂构造带控制。矿石类型为黄铁矿石英脉型和多金属硫化物型,矿石金属矿物以黄铁矿为主,其次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、碲金银矿等。金主要以自然金产出,其次为银金矿和碲金银矿,其赋存状态以裂隙金为主,其次为晶隙金和包体金。脉石矿物以石英为主,其次为方解石、菱铁矿、绿泥石、铁白云石、铁方解石

和重晶石等。矿石结构主要有自形、半自形、他形粒状结构,压碎、包含结构,交代残余结构,溶蚀结构等。矿石构造主要有块状、梳状、浸染状、网脉状、条带状、晶洞状及角砾状^[2]。

2 围岩蚀变特征

2.1 围岩蚀变类型

本区围岩蚀变发育,主要类型有钾长石化、赤铁矿化、硅化、绢云母化、绢英岩化、黄铁绢英岩化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化等(图 3)。按原岩变化程度、蚀变矿物组合可以将蚀变岩划分为以下几种类型:

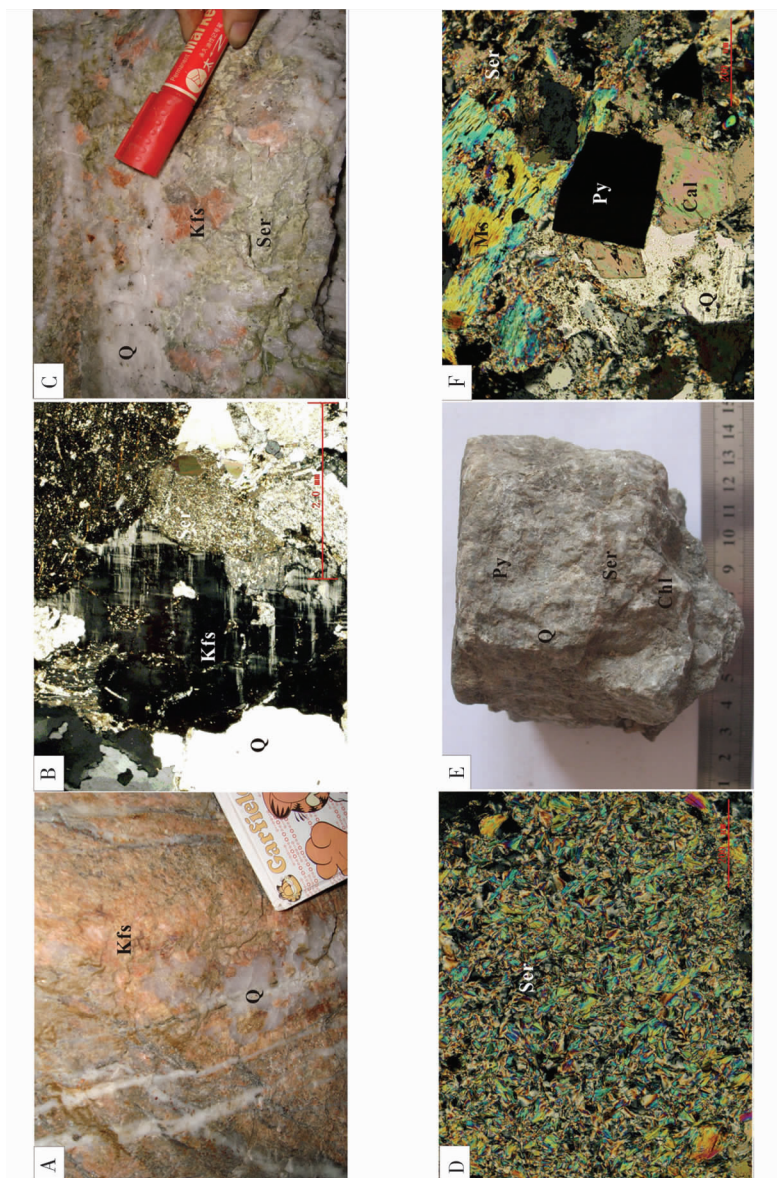


1-第四纪; 2-斜长片麻岩; 3-含黑云二长花岗岩;
 4-绢云母化硅化石英脉; 5-金矿体及编号; 6-煌斑岩脉;
 7-地质界线; 8-断裂; 9-见矿钻孔

1-Quaternary; 2-Plagiogneiss; 3-Biotite monzonitic granite;
 4-Sericitized-silicified quartz veins; 5-Gold ore body and its serial number; 6-Lamprophyre; 7-Geological boundary;
 8-Fault; 9-Drill hole

图 2 金青顶金矿区地质略图
 (据山东金洲矿业集团 2007 年资料修编)

Fig. 2 Geological sketch map of the Jinqingding gold ore district (modified after Gold Continent Group Geological Prospecting Limited Company, 2007)



A, B-钾长石化、硅化; C, D-绢英岩化; E, F-黄铁绢英岩化。Kfs-钾长石;
 Q-石英; Ser-绢云母; Ms-白云母; Ca-方解石; Py-黄铁矿

A, B-K-feldspared silicified; C, D-Sericitized-silicified; E, F-Pyritized-sericitized, carbonatized;
 Kfs-K-feldspar; Q-Quartz; Ser-Sericite; Ms-Muscovite; Cal-Calcite; Py-Pyrite

图 3 金青顶金矿床围岩蚀变类型、特征
 Photos showing the type and the characteristics of wallrock alteration in the Jinqingding gold deposit

钾长石化含黑云二长花岗岩:肉红、浅肉红色,主要矿物为钾长石、石英和褪色黑云母,副矿物有金红石、赤铁矿、榍石、锆石、磷灰石。交代残余结构、花岗变晶结构,块状构造。钾长石一般较新鲜,无明显泥化现象。按蚀变程度不同,还可分为强钾长石化和中弱钾长石化含黑云二长花岗岩,强钾长石化花岗岩为肉红色,主要矿物钾长石(25%~35%)、石英,极少量暗色矿物;中弱钾长石化花岗岩为浅肉红色到灰白色,主要矿物石英、钾长石(10%~20%)、斜长石,少量黑云母。

绢云母化含黑云二长花岗岩:灰白色略呈肉红色或灰绿色,主要矿物为钾长石、石英、绢云母、白云母,副矿物和伴生矿物有绿泥石、针状毛发状金红石、赤铁矿、磷灰石、碳酸盐矿物、榍石、溶蚀状锆石等。交代残余、鳞片状花岗变晶结构,块状构造。绢云母化表现为斜长石被星点状-面型绢云母所交代,黑云母也发生不同程度的绢云母化,有时还伴有碳酸盐化、绿泥石化。

黄铁绢英岩化含黑云二长花岗岩:灰绿色,主要矿物为石英、绢云母、黄铁矿,副矿物和伴生矿物有白云母、金红石、铁的氧化物、磷灰石、锆石和少量碳酸盐矿物。黄铁绢英岩化表现为长石类矿物大量减少甚至消失,代之以绢云母、石英和黄铁矿。

由硅化、绿泥石化、碳酸盐化叠加于钾长石化、绢英岩化之上构成的硅化岩、绿泥石化花岗岩、碳酸盐化绢英岩化花岗岩、绿泥绢英岩等仅在局部可见,不具带状分布特征。

2.2 蚀变分带

通过测量金青顶金矿Ⅱ号矿体17号勘探线西侧-335 m、-435 m、-585 m、-635 m、-735 m、-785 m中段围岩蚀变类型及范围,结合-300 m以上前人测试蚀变岩范围^[6],绘制了本区Ⅱ号矿体蚀变分带剖面图(图4)。观察显示,金矿体与围岩接触边界从上到下都很明显,-785 m以上围岩蚀变范围多为40~60 m(弱钾长石化),最大75 m,蚀变发育,强度不大,具有明显的分带特征,以含金石英脉为中心向两侧依次近似对称出现黄铁绢英岩化带、绢英岩化带、钾长石化带、含黑云二长花岗岩带。含金黄铁矿-石英脉与蚀变围岩边界一般较明显,其他蚀变带之间界限不明显,呈渐变过渡关系。

钾长石化特别发育,范围较广,蚀变强度由近到远逐渐减弱,遇到有石英脉出现的部位钾长石化程度又出现局部加强(图4)。从浅部到深部,强钾长石化范围基本在矿体到矿体外20~30 m左右,中等、弱钾长石化则延伸到矿体外40~75 m。从

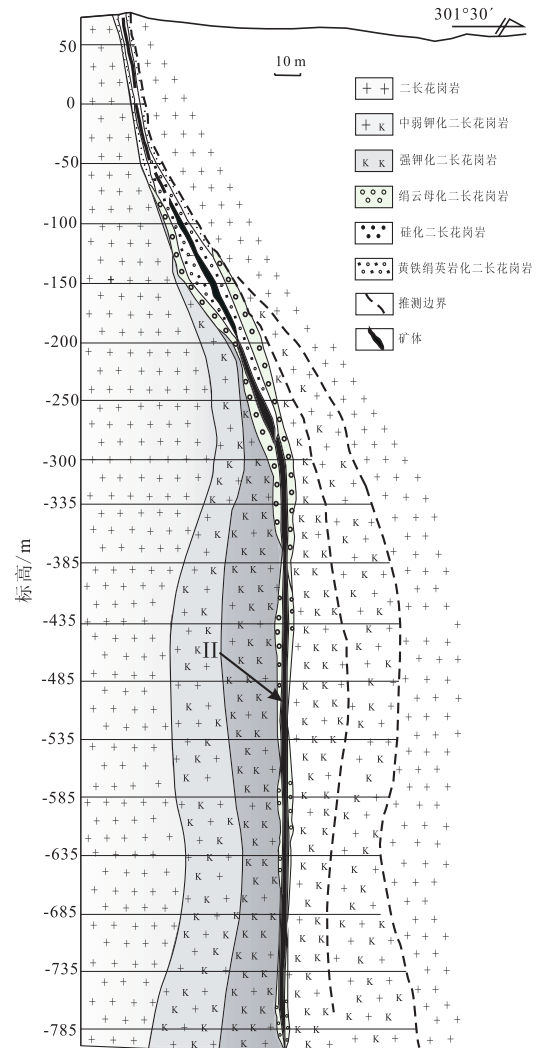


图4 金青顶金矿区17号勘探线围岩蚀变分带剖面图

Fig. 4 Geological section of the alteration zone on the line 17 of the Jinqingding gold deposit

-435~-785 m蚀变范围呈宽-窄-宽,强度呈强-弱-强的豆荚状变化趋势,值得注意的是-785 m中段矿体北部西侧钾化范围又加宽,强度加强,并出现较多似伟晶状钾长石化含黑云二长花岗岩成脉状穿插于强钾化花岗岩中。绢英岩化带宽度变化较大,-200 m以上相对较宽,一般1 m左右,-200 m以下逐渐变窄,局部尖灭重现,常以微弱叠加的形式出现在钾长石化花岗岩上或呈角砾状被矿脉包裹;黄铁绢英岩带宽度很窄,一般小于0.5 m,浅部独立成带产出,深部多与矿体和绢英岩化带共同产出,难以独立成带。硅化、绿泥石化、碳酸盐化一般叠加于钾长石化、绢英岩化和黄铁绢英岩化之上,产出局限,不具带状分布特征(图4)。

2.3 蚀变过程中元素的迁移规律

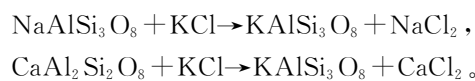
金青顶金矿围岩蚀变由远矿到近矿依次发育钾长石化、绢英岩化、黄铁绢英岩化^[2]。本文采用Grant^[18]的计算方法确定各种蚀变岩物质成分的迁

移规律,选用惰性元素 TiO₂ 为不活动组分,认为其在岩石中的绝对百分含量不变,来标准化各蚀变阶段岩石的成分含量,研究在上述蚀变过程中元素的迁移规律。运用公式:

TiO₂ 标准化数据 $\Delta C_x = C_a^x \cdot (C_o^{TiO_2} / C_a^{TiO_2}) - C_o^x$,
式中: C_a^x 为某蚀变岩中被标准化组分的含量; C_o^{TiO₂} 为原岩中 TiO₂ 含量; C_a^{TiO₂} 为某蚀变岩中 TiO₂ 含量; C_o^x 为原岩中被标准化组分的含量。

2.3.1 主量元素 钾长石化阶段:表现为碱性成矿

溶液对围岩中斜长石等矿物交代及沿裂隙充填而成,K元素随着碱性溶液对岩石的交代而加入到岩石中,在强碱性条件下其反应式如下:



分析结果得出,钾长石化过程中 K₂O 含量升高 2.01%,至于 SiO₂ 含量升高,可能是后期次生石英微细脉所致,Al₂O₃、Na₂O、烧失量等组分亦有所升高;Fe₂O₃、MnO、CaO 含量降低(表 1,图 5)。

表 1 金青顶金矿蚀变围岩分析结果及 TiO₂ 标准化数据

Table 1 Analytical results and TiO₂-normalized data of the altered rock in the Jinqingding gold deposit

项 目	测试数据				TiO ₂ 标准化数据		
	原 岩	钾化花岗岩	绢英岩	黄铁绢英岩	钾化花岗岩	绢英岩	黄铁绢英岩
SiO ₂	71.58	71.64	73.08	80.89	16.92	60.10	64.60
TiO ₂	0.21	0.17	0.16	0.094	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	14.44	13.68	16.32	8.13	2.46	3.66	-2.48
Fe ₂ O ₃	1.55	1.18	1.70	3.35	-0.09	0.63	4.00
FeO	1.00	0.85	1.40	0.60	0.05	0.64	-0.38
MnO	0.029	0.031	0.008	0.003	0.01	-0.02	-0.01
MgO	0.34	0.30	0.76	0.18	0.03	0.51	-0.45
CaO	1.45	1.16	0.24	0.056	-0.02	-0.91	-0.15
Na ₂ O	4.83	4.81	0.13	0.061	1.11	-4.67	-0.03
K ₂ O	4.57	5.33	4.86	2.45	2.01	-0.17	-0.69
P ₂ O ₅	0.055	0.038	0.042	0.019	-0.01	0.01	-0.01
Li	4.07	2.85	18.20	11.60	-0.60	16.5	1.54
V	6.20	4.84	4.90	63.60	-0.20	0.37	103.00
Cr	3.73	4.14	4.74	9.91	1.38	0.90	12.10
Co	1.36	1.15	1.12	20.00	0.06	0.04	32.90
Ni	1.68	1.70	1.74	3.22	0.42	0.15	3.74
Cu	18.60	15.70	7.29	18.80	0.79	-8.00	24.70
Zn	49.30	51.50	39.90	19.40	14.30	-9.10	-6.90
Ga	14.80	12.9	15.40	8.55	1.14	3.46	-0.80
As	2.64	2.10	2.40	5.63	-0.10	0.45	7.18
Se	0.13	0.13	0.03	0.07	0.03	-0.10	0.09
Rb	104.00	112.00	145.00	87.80	34.40	42.10	4.45
Sr	750.00	595.00	338.00	12.40	-15.00	-236.00	-317.00
Y	17.50	18.30	3.63	9.85	5.11	-14.00	13.10
Zr	66.60	59.10	39.20	36.40	6.41	-17.00	22.80
Mo	0.28	0.21	0.40	6.01	0.00	0.21	9.83
Sn	8.13	6.62	4.62	5.78	0.05	-1.70	5.22
Sb	0.11	0.10	0.21	0.44	0.02	0.12	0.55
Ba	2753.00	2906.00	871.00	122.00	836.80	-1980.60	-663.30
W	0.28	0.40	1.44	3.24	0.21	1.13	4.07
Tl	0.59	0.58	0.69	0.41	0.12	0.15	0.01
Pb	22.40	23.90	20.40	75.10	7.12	-2.20	107.00
Bi	0.09	0.05	0.06	44.40	0.00	0.02	75.50
Ag	0.15	0.15	0.10	41.70	0.00	0.08	49.70
Au	0.003	0.003	0.008	3.14	0.20	0.43	31.50
Hg	0.01	0.006	0.016	0.006	0.00	—	0.01

注: X射线荧光光谱法,由北京核工业地质研究院完成。主量成分单位为百分含量,微量元素单位为 μg/g。绘制 TiO₂ 标准化图时, SiO₂、Ba、Sr 取表中数据的 10%

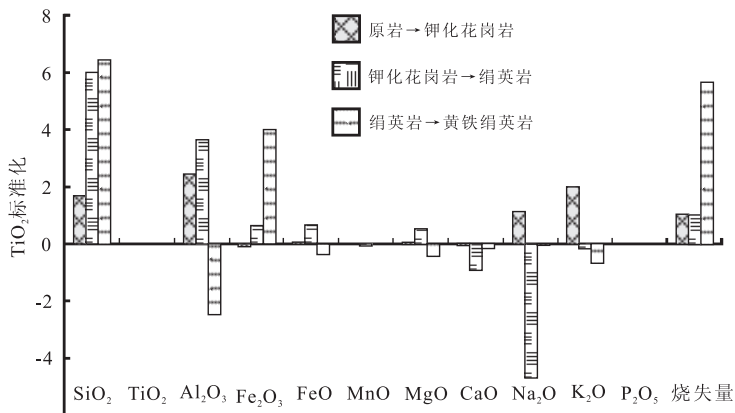
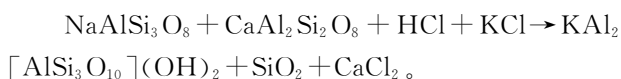


图5 金青顶金矿蚀变围岩主量元素含量 TiO_2 标准化图解(SiO_2 取 10% 作图)

Fig. 5 TiO_2 -normalized major elements patterns of the altered rock in the Jinqingding gold deposit

绢英岩化阶段:早期斜长石较钾长石更易于被绢云母和石英所交代,较晚期钾长石也被绢云母和石英交代,在弱酸性、弱碱性条件下其反应式如下。反应中斜长石被绢云母所交代, K^+ 随着酸性溶液对岩石的交代而继续加入到岩石中, Na^+ 、 Ca^{2+} 则从长石中被置换出来并被溶液带走,同时还有硅化的存在,造成 SiO_2 含量的升高。钾长石部分也被绢云母所交代。分析结果显示:绢英岩化过程中 NaO 含量降低 4.67%, K_2O 降低 0.17%, SiO_2 升高 60.10% (表 1,图 5),与之相对应矿物组合中斜长石、钾长石含量降低,石英含量升高,出现绢云母。绢英岩化过程中含量升高的组分还有 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO ,相对降低的组分还有 CaO 、 MnO 。 Fe_2O_3 升高,表现为有赤铁矿小斑点的生成。



黄铁绢英岩化阶段:大量 Si 的带入导致流体的 pH 降低,伴随温度降低,流体中溢出的 H_2S 使得体系 S 逸度升高,发生黄铁矿沉淀,即黄铁绢英岩化。该过程, SiO_2 含量再升高 64.60%, Fe_2O_3 升高 4.00%, Al_2O_3 、 K_2O 分别降低 2.48% 和 0.69%。(表 1,图 5)。

2.3.2 微量元素 钾长石化阶段:与未蚀变的原岩相比, Ba 、 Rb 、 Cu 、 Pb 、 Zn 、 Y 、 Zr 、 Ga 、 Nb 等微量元素含量相对增加,其中 Ba 、 Rb 含量显著增加,分别为 836.8×10^{-6} 、 34.4×10^{-6} (表 1,图 6)。

绢英岩化阶段:与钾长石化花岗岩相比, Rb 、 Li 、 Ga 、 W 、 Th 等微量元素含量增加; Ba 、 Sr 、 Cu 、 Zn 、 Y 、 Zr 、 Sc 、 Sn 、 Nb 等微量元素含量降低(表 1,图 6)。

Sr 的降低主要是斜长石被绢云母和石英交代的结果,花岗岩中 Sr 主要赋存在含 Ca 矿物斜长石中,当斜长石被蚀变为不含 Ca 的绢云母和石英时, Sr 与 Ca 一起进入溶液($\text{Sr}^{2+} \rightarrow \text{Ca}^{2+}$, Ca^{2+} 带出)。

黄铁绢英岩化阶段:与绢英岩化花岗岩相比, Au 、 Ag 、 Bi 、 As 、 Sn 、 Sb 、 Cu 、 Pb 、 Cr 、 W 、 V 、 Co 、 Ni 、 Mo 等与成矿相关的元素较大幅度升高(表 1,图 6)(增加 $0.01 \sim 103 \times 10^{-6}$), Sr 、 Ba 含量分别降低 317×10^{-6} 和 663.34×10^{-6} 。该阶段 Fe 、 Cu 、 Pb 、 Zn 等以硫化物存在,而 Au 、 Ag 、 Bi 、 As 赋存于这些硫化物中,因此前人推测金以 $\text{Au}(\text{HS})^{2-}$ 络合物的形式在中温条件下迁移,当溶液变得酸性及氧逸度降低时, $\text{Au}(\text{HS})^{2-}$ 变得不

稳定,造成 Au 、 Ag 与黄铁矿一起沉淀,使得 Au 、 Ag 、 Bi 、 As 大幅度升高,成为成矿的第一个阶段^[2]。

2.3.3 稀土元素 本区 REE 含量及分馏系数(ρ)见表 2, ρ 值是水岩交代作用过程中加入-带出活动性、稳定性的指示参数; $\rho < 0$ 时指示 REE 被带入; $\rho > 0$ 时指示 REE 被带出。 ρ 绝对值越大,指示 REE 在热液交代作用过程中活动性也越大^[6]。

$$\rho = \frac{\text{蚀变前岩石中 REE 含量} - \text{蚀变后岩石中 REE 含量}}{\text{蚀变前岩石中 REE 含量}}$$

对本区不同类型蚀变岩 REE 分馏系数 ρ 的计算及对比研究说明:蚀变岩类型不同,REE 在水岩交代作用过程中加入或带出元素也不同。从含黑云二长花岗岩→钾化花岗岩的过程中,LREE 多被带出,HREE 多被带入;从钾化花岗岩→绢英岩过程中 HREE 降低的幅度大于 LREE,并且降低的程度与绢英岩化的强度成正比;从绢英岩→黄铁绢英岩过程中,REE 均被带出($\rho > 0$)。REE 的 ρ 变化与蚀变岩的类型密切相关(图 7)。

3 围岩蚀变与金矿化的关系

测量观察发现,金矿体与围岩接触边界明显,蚀变发育,强度不大,与金相关的元素在各蚀变阶段含量以增加为主,尤其是 Au 、 Ag ,且离矿体越近、蚀变强度越大, Au 、 Ag 富集程度越强。蚀变围岩中 Au 等成矿元素的含量升高,即可能是蚀变过程中元素迁移富集的结果,也可能是成矿热液由于浓度差向两边扩散的结果。研究显示,从新鲜围岩到蚀变岩再到矿体, Au 等成矿元素含量没有降低的位置,说明蚀变围岩中 Au 等成矿元素含量升高是因为成矿热液因浓度差向两边围岩扩散的结果。因此,石英

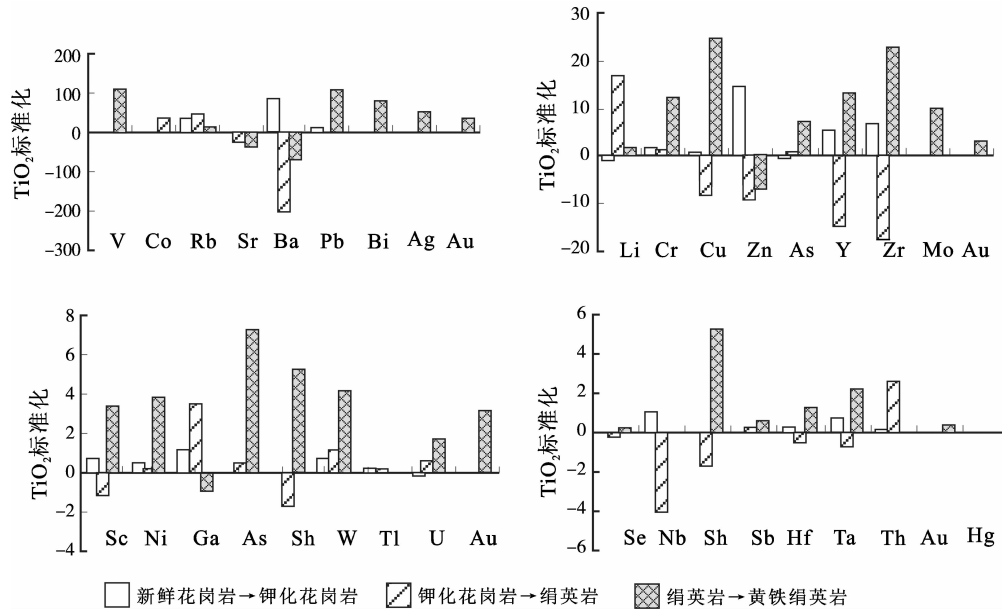


图 6 金青顶金矿蚀变围岩微量元素 TiO₂ 标准化图解

Fig. 6 TiO₂-normalized trace elements patterns of the altered rock in the Jinqingding gold deposit

表 2 金青顶金矿床蚀变围岩 REE 含量、标准化值及分馏系数(ρ)

Table 2 Fractionation factor, normalized date and contents of REE in the altered rock of the Jinqingding gold deposit

样品类型	数值类型	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
原岩	测试值	48.7	81.9	8.4	30.4	3.99	1.8	3.7	0.501	2.99	0.583	1.75	0.273	1.88	0.268
	测试值	37.9	64.3	6.94	24.8	4.17	1.76	3.69	0.594	3.57	0.663	2.11	0.264	1.59	0.223
钾化花岗岩	标准化值	0.78	0.79	0.83	0.82	1.05	0.98	1	1.19	1.19	1.14	1.21	0.97	0.85	0.83
	ρ 值	0.22	0.21	0.17	0.18	-0.05	0.02	0	-0.19	-0.19	-0.14	-0.21	0.03	0.15	0.17
	测试值	50.6	83.6	8.66	27.5	3.61	1.03	2.43	0.199	0.682	0.141	0.383	0.052	0.408	0.09
绢英岩	标准化值	1.04	1.02	1.03	0.9	0.9	0.57	0.66	0.4	0.23	0.24	0.22	0.19	0.22	0.34
	ρ 值	-0.04	-0.02	-0.03	0.1	0.1	0.43	0.34	0.6	0.77	0.76	0.78	0.81	0.78	0.66
	测试值	19.2	34.8	3.87	15.9	2.42	0.628	1.77	0.282	1.66	0.338	0.996	0.186	1.15	0.164
黄铁绢英岩	标准化值	0.39	0.42	0.46	0.52	0.61	0.35	0.48	0.56	0.56	0.58	0.57	0.68	0.61	0.61
	ρ 值	0.61	0.58	0.54	0.48	0.39	0.65	0.52	0.44	0.44	0.42	0.43	0.32	0.39	0.39

注:标准化值=蚀变后岩石中 REE 含量/蚀变前岩石中 REE 含量;ρ=1-标准化值。

测试单位:核工业北京地质研究院;测试仪器:电感耦合等离子体质谱(ICP-MS),测试条件:温度 20℃,相对湿度 30%。

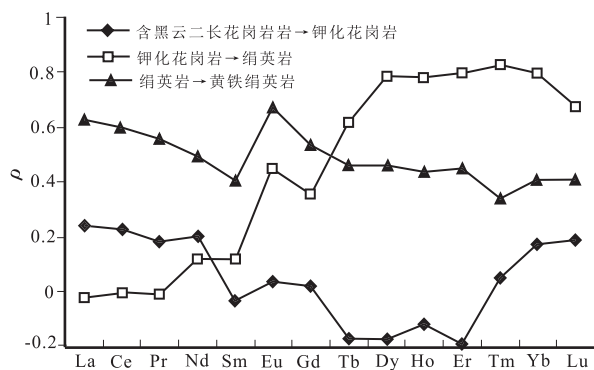


图 7 金青顶金矿床蚀变围岩 REE 的分馏系数变化图
Fig. 7 Diagram showing the trend of REE fractionation factor in the Jinqingding gold deposit

脉两侧近似对称发育的交代蚀变可能仅是金沉淀成矿过程的产物,围岩的主要作用是冷却成矿流体,改变成矿流体的酸碱度、氧化还原性以及各种气体的逸度,使成矿物质在有利的容矿空间沉淀富集,而非提供主要成矿物质的母岩。就目前矿床研究的深度而言,其对成矿物源的贡献十分微弱。该结论与来自胶东地区其他金矿床的 C、H、O、S 同位素得出的深部成矿流体上涌与地壳流体混合沉淀成矿的结论较一致^[14]。

4 结 论

(1)本区围岩蚀变类型主要有钾长石化、硅化、绢英岩化、黄铁绢英岩化等,在石英脉两侧呈似等间

距分布。钾长石化蚀变程度向深部有加强的趋势,但整体范围较窄,局部反复出现膨大收缩的豆荚状构造特征;绢英岩化地表较发育,深部反复尖灭重现。

(2)钾长石化蚀变过程中, K_2O 、 SiO_2 、Ba、Rb、Cu、Pb、Zn、HREE 等含量增加。绢英岩化过程中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、FeO、MgO、Rb、Li、Ga、W 等含量升高;NaO、 K_2O 、CaO、MnO、Ba、Sr、Cu、REE 等含量降低。黄铁绢英岩化过程中 SiO_2 、 Fe_2O_3 、Au、Ag、Bi、As、Sn、Sb、Cu、Pb、Cr、W、Hg 等与成矿相关的元素较大幅度升高; Al_2O_3 、 K_2O 、Sr、Ba、REE 等含量降低。大量不同类型蚀变围岩的 Au、Ag、Cu、S 含量数据显示所有类型蚀变岩的 Au、Ag、Cu 含量均高于新鲜混合花岗岩。

(3)围岩蚀变过程中可能提供了少量成矿物质,但围岩对金成矿的主要作用是冷却成矿流体,改变成矿流体的酸碱度、氧化还原性以及各种气体的逸度,使成矿物质在有利的容矿空间沉淀富集,而非提供主要成矿物质的母岩。

致谢:野外工作得到山东金洲矿业集团有限公司李振江总经理、于虎副总经理和地勘公司柳玉明经理的大力协助;研究工作得到山东金洲矿业集团有限公司地质探矿专家组指导,以及中国地质大学(北京)申俊峰教授、赵国春副教授、张华锋博士等提出宝贵意见,在此表示衷心感谢。

参考文献 (References):

- [1] 李治平. 胶东乳山金矿床成因[J]. 矿床地质, 1992, 11(2): 165-178.
Li Zhiping. Genesis of Rushan gold deposit in Jiaodong Province[J]. Mineral Deposits, 1992, 11(2): 165-178. (in Chinese with English abstract)
- [2] 李胜荣, 陈光远, 邵伟, 孙岱生. 胶东乳山金矿田成因矿物学[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 78-93, 103.
Li Shengrong, Chen Guangyuan, Shao Wei, Sun Daisheng. Research on genetic mineralogy in Jinqingding gold deposit [M]. Beijing. Geology Press, 1996: 78-93, 103. (in Chinese)
- [3] 李振江, 刘善宝, 孙玉堂. 金青顶金矿床成因及富集规律[J]. 黄金, 1999, 20(5): 8-12.
Li Zhenjiang, Liu Shanbao, Sun Yutang. The genesis and concentration regularity of Jinqingding gold deposit [J]. Gold, 1999, 20 (5): 8-12. (in Chinese with English abstract)
- [4] 刘善宝, 张宝林, 徐兴旺, 王杰, 蔡新平, 陈雁, 宋保昌, 祁民. 金青顶金矿床成矿流体的空间定位机制[J]. 黄金科学技术, 2005, 13 (3): 7-16.
Liu Shanbao, Zhang Baolin, Xu Xingwang, Wang Jie, Cai Xinping, Chen Yan, Song Baochang, Qi Min. The localizing mechanism of ore-forming fluids in the Jinqingding gold deposit [J]. Gold Science and Technology, 2005, 13 (3): 7-16. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李惠, 刘振昌, 王敬臣, 李涛, 高祥海, 耿仙湖, 王瑞腾, 于虎, 陈绪松, 刘善宝. 对山东金青顶金矿床原生叠加晕特征的跟踪研究及预测[J]. 地质找矿论丛, 2000, 15(2): 151-157.
Li Hui, Liu Zhenchang, Wang Jingchen, Li Tao, Gao Xianghai, Geng Xianhu, Wang Ruiteng, Yu Hu, Chen Xusong, Liu Shanbao. Overprint halo feature research on Jinqingding gold deposit and ore prediction following ore exploration[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2000, 15 (2): 151-157. (in Chinese with English abstract)
- [6] 杨敏之. 金矿床围岩蚀变带地球化学-以胶东金矿为例[M]. 北京: 地质出版社, 1998: 11-81.
Yang Minzhi. The geochemistry of wallrock alteration zone of gold deposits as exemplified by Jiaodong gold deposits [M]. Beijing, Geology Press, 1998: 11-81. (in Chinese)
- [7] 凌鸿飞, 胡受奚, 孙景贵, 倪培, 沈昆. 胶东金青顶和大尹格庄金矿床花岗质围岩的蚀变地球化学研究[J]. 矿床地质, 2002, 21(2): 187-197.
Ling Hongfei, Hu Shouxi, Sun Jinggui, Ni Pei, Shen Kun. Geochemical study of granitic wall-rock alteration in Dayingezhuang gold deposit of alteration rock type and Jinqingding gold deposit of quartz-vein type[J]. Mineral Deposits, 2002, 21 (2): 187-197. (in Chinese with English abstract)
- [8] Hu F F, Fan H R, Yang J H, et al. Mineralizing age of the Rushan lode gold deposit in the Jiaodong peninsula: SHRIMP U-Pb dating on hydrothermal zircon[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(15): 1629-1636.
- [9] 胡芳芳, 范洪瑞, 杨进辉. 胶东乳山金矿蚀变岩中绢云母 $^{40}Ar/^{39}Ar$ 年龄及其对金成矿事件的制约[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006, 25(2): 109-114.
Hu Fangfang, Fan Hongrui, Yang Jinhui. The $^{40}Ar/^{39}Ar$ dating age of sericite from altered rocks in the Rushan lode gold deposit, Jiaodong peninsula and its constraints on the gold mineralization[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2006, 25(2): 109-114. (in Chinese with English abstract)
- [10] 应汉龙. 胶东金青顶和邓格庄金矿床的同位素组成及其地质意义[J]. 贵金属地质, 1994, 3(3): 201-207.
Ying Hanlong. Isotopic compositions and their geological significance of Jinqingding and Denggezhuang gold deposits, Jiaodong[J]. Journal of Precious Metallic Geology, 1994, 3(3): 201-207. (in Chinese with English abstract)
- [11] 翟建平, 胡凯, 陆建军. 乳山金矿煌斑岩及流体和氢、氧、锶同位素研究[J]. 矿床地质, 1996, 15(4): 358-364.
Zhai Jianping, Hu Kai, Lu Jianjun. Lamprophyres ore-forming fluids and H, O, Sr isotope studies of the Rushan gold deposit[J]. Mineral Deposits, 1996, 15(4): 358-364. (in Chinese with English abstract)
- [12] 陈绪松, 徐九华, 刘建明. 山东金青顶金矿床和七宝山金矿床的流体包裹体 REE 组成[J]. 矿床地质, 2002, 21(4): 387-392.

- Chen Xusong, Xu Jiuhua, Liu Jianming. REE composition of fluid inclusions in Jinqingding and Qibaoshan gold deposits, Jiaodong Area[J]. Mineral Deposits, 2002, 21(4): 387—392. (in Chinese with English abstract)
- [13] Hu F F, Fan H R, Shen K, Zhai M G, Jin C W, Chen X S. Nature and evolution of ore-forming fluids in the Rushan lode gold deposit, Jiaodong peninsula of eastern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(5): 1329—1338.
- [14] 毛景文, 李厚民, 王义天, 张长青, 王瑞廷. 地幔流体参与胶东金矿成矿作用的氢氧碳硫同位素证据[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 839—857.
- Mao Jingwen, Li Houmin, Wang Yitian, Zhang Changqing, Wang Ruiting. The relationship between mantle-derived fluid and gold ore-formation in the eastern Shandong peninsula: Evidences from D-O-C-S isotopes[J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(6): 839—857.
- [15] 郭敬辉, 陈福坤, 张晓曼, Siebel W, 翟明国. 苏鲁超高压带北部中生代岩浆侵入活动与同碰撞—碰撞后构造过程: 锆石 U-Pb 年代学[J]. 岩石学报, 2005, 21(4): 1281—1301.
- Guo Jinghui, Chen Fukun, Zhang Xiaoman, Siebel W, Zhai Mingguo. Evolution of syn-to post-collisional magmatism from north Sulu UHP belt, eastern China: Zircon U-Pb geochronology[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(4): 1281—1301. (in Chinese with English abstract)
- [16] 张华锋, 翟明国, 何中甫, 彭澎, 许保良. 胶东崑崙山杂岩中高锆花岗岩地球化学成因及其意义[J]. 岩石学报, 2004, 20(3): 369—380.
- Zhang Huafeng, Zhai Mingguo, He Zhongfu, Peng Peng, Xu Baoliang. Petrogenesis and implications of the sodium-rich granites from the Kunyushan complex, eastern Shandong province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2004, 20(3): 369—380. (in Chinese with English abstract)
- [17] 范宏瑞, 胡芳芳, 杨进辉, 沈昆, 翟明国. 胶东中生代构造体制转折过程中流体演化和金的大规模成矿[J]. 岩石学报, 2005, 21(5): 1317—1328.
- Fan Hongrui, Hu Fangfang, Yang Jinghui, Shen Kun, Zhai Mingguo. Fluid evolution and large-scale gold metallogeny during Mesozoic tectonic transition in the eastern Shandong province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2005, 21(5): 1317—1328. (in Chinese with English abstract)
- [18] Grant J A. The isocon diagram—a simple solution to Gresens equation for Metasomatic alteration[A]. *Economical Geology*, 1986, 81: 1976—1982.
- [19] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies [A]. *Rare Earth Element Geochemistry*[M]. Elsevier, 1984: 63—114.

· 学会动态 ·

《矿物岩石地球化学通报》第四届编委会 第二次会议在北京召开

2011年12月3日,《矿物岩石地球化学通报》(以下简称《通报》)第四届编委会第二次会议在北京顺利召开,会议由中国石油勘探开发研究院承办,近30名编委出席会议。

会议由主编欧阳自远院士主持。常务副主编刘莉副编审汇报了《通报》两年来的工作情况。与会编委充分肯定了《通报》取得的成绩,指出了一些制约期刊发展的问题。针对刊物的实际情况,与会编委一致认为期刊应进一步改革,应在传播上开展一些工作,如实行期刊开放获取(OA)和更改为双月刊。稿源上,编委推荐和撰写优秀文章、主题约稿;借助学会平台,发挥各专业委员会和主办学术会议的优势,并将其作为长期的任务执行。内容上,应不拘泥于格式,体现《通报》的短、平、快特色。增设或恢复一些栏目,如“新发现、新观点、新技术”等,文章刊发设立主题,将分散的内容予以

集中,推荐封面文章等。另外,期刊还应本着培养人才发现人才的办刊原则,注重潜力作者的培养,如对一些不太成熟的研究生作者,进行指导以期提高。

欧阳自远主编建议,将学会工作与《通报》的发展结合起来,将学会正在组织编撰的“21世纪前十年学科进展与展望”的征稿作为一个栏目予以刊发,与会编委一致同意,认为这是一件意义深远的事,有的编委当即提出了具体的撰写计划。会议决定明年陆续刊发,待收集完成后辑成册集中出版。

会议为《通报》今后的发展指明了方向,为提升《通报》的影响力做出了具体的策划,达到了预期目的。

(刘莹 供稿)