

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

新疆托里地区金矿床地质特征及成因讨论

白文吉 甘源明 周美付

(中国地质科学院地质研究所, 北京)

中国新疆西准噶尔托里县境内的安齐—萨尔托海一带的金矿床, 产在达拉布特蛇绿岩带的蛇绿岩套中。根据金矿床的地质背景、地球化学特点和成矿温度等, 作者将其成因与古洋壳的热泉活动联系起来, 认为产于蛇绿岩套不同部位的金矿床和矿化系同一成因, 并建议命名为蛇绿岩型金矿,

一、蛇绿岩和金矿的区域地质背景

托里金矿带位于西准噶尔海西地槽褶皱带的扎依尔—达拉布特复向斜的两翼。区内出露的地层有泥盆系库鲁木迪组 (D_2k)、下石炭统包古图组 (C_1b) 和太勒古拉组 (C_1t), 它们是一套海相火山碎屑沉积岩, 包括凝灰质砂岩和粉砂岩等。盖层局部见有侏罗系八道湾组 (J_1b) 和第四系。区内发育有一套逆掩断层, 如达拉布特断裂、安齐断裂和哈图断裂等, 它们近于平行展布, 共同构成北东—北北东向的主要构造骨架, 并且控制区内蛇绿岩体和金矿带的分布 (图1)。

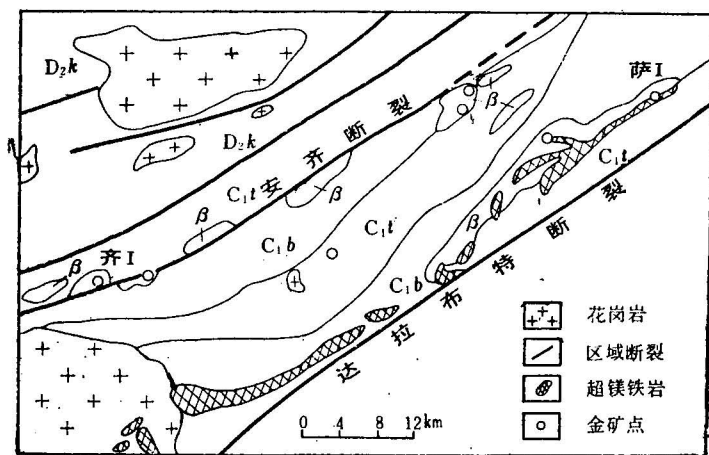


图1 托里金矿区域地质略图

(据新疆地质矿产局第七地质队资料简化)

Fig. 1 Geological sketch map of the Tuoli gold mine
(after 7th Geological brigade of the Geological Bureau of Xinjiang)

C_1t —下石炭统太勒古拉组; C_1b —下石炭统包古图组; D_2k —泥盆系库鲁木迪组; β —玄武岩

根据区内花岗岩 (同位素年龄238.9Ma) 侵入到蛇绿岩套内^[1], 以及蛇绿岩套上部整合地层含的生物化石 (如 *Calamites* sp., *Colpodexylon* sp. 等)^[1], 推断蛇绿岩形成于早石炭世。

本文1986年12月收到, 1987年8月改回, 李国容编辑。

1) 据新疆地质矿产局区域地质调查队1984年简报。

二、蛇绿岩套内各单元的关系

西准噶尔海西褶皱带内分布数条蛇绿岩带，在托里金矿区一带，蛇绿岩沿达拉布特和安齐三条断裂分布，又可分别称为蛇绿岩南亚带和北亚带。南亚带的蛇绿岩块主要由玄武岩和变质橄榄岩组成，北亚带主要由玄武岩组成，与发育完好的典型蛇绿岩套对比，缺失堆积岩相和岩墙群，

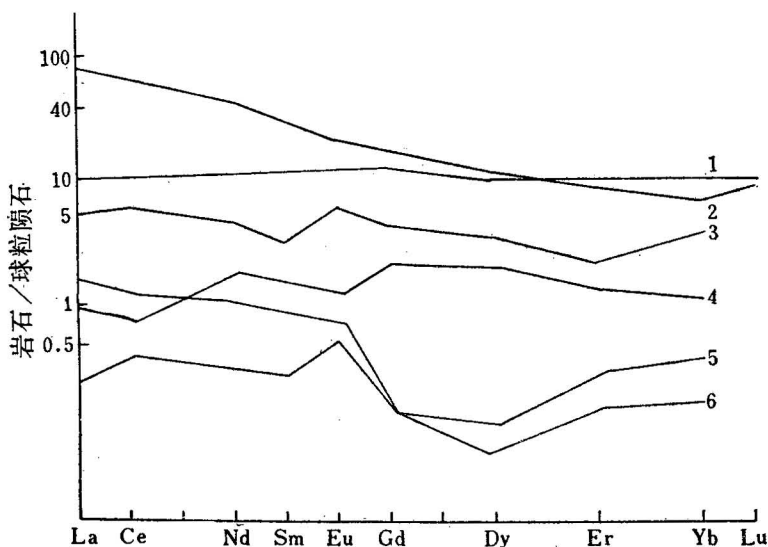


图 2 托里金矿基性熔岩和超镁铁岩的稀土模式

Fig. 2 REE patterns for mafic and ultramafic rocks in the Tuoli gold mine

1, 2—玄武岩 (basalt); 3—橄长岩 (脉) (troctolite); 4—二辉橄榄岩 (lherzolite); 5—纯橄岩 (dunite); 6—斜辉辉橄岩 (harzburgite).

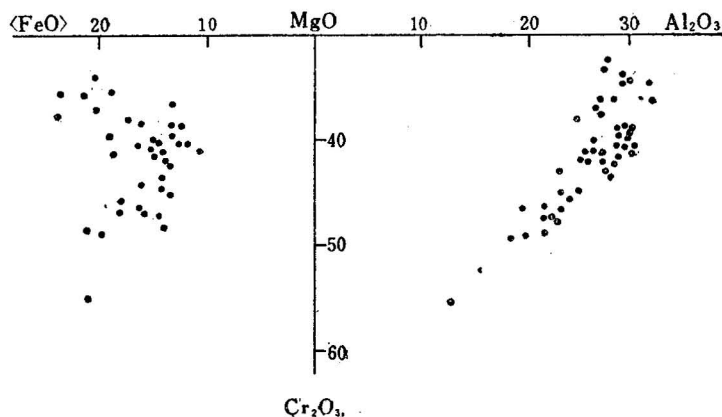


图 3 托里地区萨尔托海铬铁矿床造矿铬尖晶石化学成分变异图

(据白文吉, 1982)⁽⁴⁾

Fig. 3 The variation of chemical compositions of forming-ore Cr-spinels for podiform type in Sartohay chrome deposit
(after Bai Wenji, 1982)

但两个岩带内均发育有放射虫硅质岩。

南亚带蛇绿岩套的下部变质橄榄岩与其南部围岩 (C_{1f}) 呈断层接触, 其上部玄武岩和硅质岩与下石炭统包古图组呈整合接触关系, 变质橄榄岩与玄武岩之间也为断层接触, 因而普遍缺失堆积岩 (图1), 但迄今部分研究人员仍认为变质橄榄岩与玄武岩呈侵入接触关系^[1]。然而, 有一点是无分歧的, 即在西准噶尔褶皱带内, 变质橄榄岩、玄武岩和放射虫硅质岩常成一体出现, 它们是古洋壳的一部分, 应为蛇绿岩。

托里蛇绿岩的镁铁岩、超镁铁岩的稀土元素模式表明, 玄武岩、橄长岩、二辉橄榄岩、纯橄岩和斜辉辉橄岩的稀土元素模式与世界典型蛇绿岩的相似^[2]; 只是玄武岩具有两种稀土模式, 即平坦型和富集型 (图2)。以Ti—Cr, Ti/Cr—Ni图解^[1,3]验证, 判定托里金矿区玄武岩相似于岛弧玄武岩, 推测托里地区蛇绿岩套属于岛弧成因的古洋壳。

除上述“三位一体”的杂岩特点外, 托里蛇绿岩套的变质橄榄岩相所含工业铬铁矿属于典型豆荚状矿床, 例如其中萨尔托海铬铁矿床的造矿铬尖晶石化学成分的变化趋势, 与世界典型蛇绿岩套中的相似 (图3)。

三、金矿床地质特征

托里金矿可分成萨尔托海金矿带和安齐金矿带, 分别分布在蛇绿岩南亚带和北亚带内。每个金矿带都由数个金矿床 (点) 组成 (图1), 其中萨 I 矿床作为南亚带的代表, 齐 I 矿床作为北亚带的代表。金矿床的容矿岩石主要为蛇绿岩套的成员, 矿体赋存于遭到强烈破碎和蚀变的变质橄榄岩和玄武岩中。蚀变岩、变质玄武岩和石英脉均见有金矿化, 有时它们本身就是矿体。蚀变岩这里系指由斜辉辉橄岩蚀变而成的石英菱镁岩、滑石菱镁岩、绿泥石滑石岩等, 并依次向蛇纹石化斜辉辉橄岩过渡, 呈现出明显的蚀变分带现象。变质玄武岩主要指遭到绿泥石化、绿帘石化和碳酸盐化等蚀变作用的玄武岩。玄武岩类的蚀变分带性不明显或不具分带性。

值得指出的是, 在萨 I 金矿区内, 在斜辉辉橄岩相中存在数条几百米长的蚀变带, 玄武岩块分布在斜辉辉橄岩相中, 后者表明萨尔托海蛇绿岩具有蛇绿混杂岩的特点 (图4)。

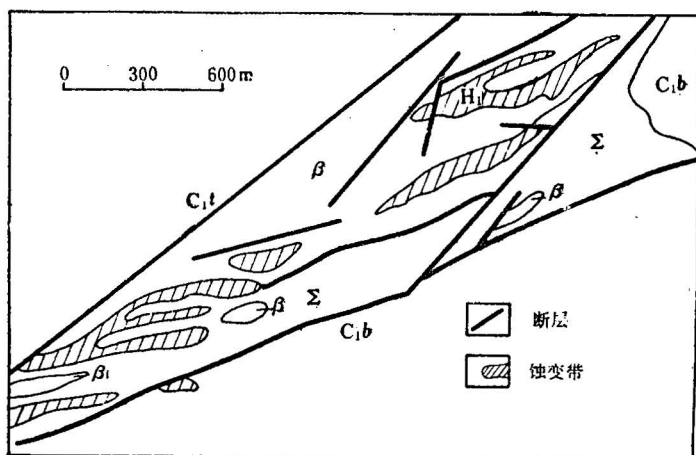


图4 萨 I 金矿床蚀变岩、玄武岩和橄榄岩分布图

(据新疆冶金地质勘探公司701地质队资料简化)

Fig. 4 Map of distribution of altered rocks, basalts and peridotites in the Sartohay-I gold mine

(after Geological Team No. 701 of the Xinjiang Geoexploration Company)

C_{1f} —下石炭统托勒古拉组; C_{1b} —下石炭统包古图组; Σ —超镁铁岩; β —玄武岩

齐 I 矿床位于安齐断裂北侧, 容矿岩石为太勒古拉组凝灰质砂岩、粉砂岩、玄武岩和辉绿岩。金矿体沿破碎带分布, 常常成群和成带出现, 矿体由含金石英脉及其两侧的蚀变岩石组成。大多数石英脉厚 0.1—0.4m, 延长可达数百米。蚀变特点是硅化、绢云母化、绿泥石化和绿帘石化等。萨 I 矿床的容矿岩石主要为超镁铁岩的蚀变岩, 个别矿体产在玄武岩内。

四、矿石矿物的主要特征

萨 I 矿床的矿石矿物组成比较繁多, 主要有黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、自然金、辉砷镍矿、辉铜矿和铜蓝等, 除上述金属矿物外, 还有石英、菱镁矿、白云石、滑石和绿泥石等。

齐 I 金矿床的矿石矿物相对比较简单, 主要为黄铁矿、黄铜矿、自然金和石英, 有时在矿体两侧围岩中有毒砂矿化、碳酸盐化和硅化现象。

齐 I 和萨 I 二个矿床中的黄铁矿的微量组分含量有明显的差异, 前者贫钴、镍, 后者相反 (表 1)。证明黄铁矿承袭了容矿岩石特点。爆裂法包裹体测温表明, 萨 I 矿床黄铁矿形成的温度范围 410—320℃ (4 个样品), 齐 I 矿床的为 300—210℃, 前者明显的高于后者。石英包裹体均一法测温结果, 萨 I 矿床石英形成温度范围 360—340℃ (5 个样品), 齐 I 矿床为 340—300℃ (8 个样品)。石英爆裂法测温, 萨 I 矿床为 510—310℃ (38 个样品), 齐 I 矿床为 330—275℃ (10 个样品)。总之, 容矿岩石为地幔橄榄岩时, 形成矿化的温度高, 而玄武岩和砂岩中的矿化是在较低温度下形成的。说明古洋壳的下部层位, 含矿热液的温度增高, 热源来自上地幔部分。

矿床中的石英气-液包裹体的主要成分有 (单位为 ppm): Na^+ 5.67—10.11, K^+ 2.11—8.18, Ca^{2+} 1.82—2.94, Mg^{2+} 0.44—0.98, SO_4^{2-} 1.28—6.69, F^- 0.58—3.56, Cl^- 6.54—14.0, NO_3^- 0.84

表 1 黄铁矿的化学成分 (ppm)

Table 1 Chemical compositions of pyrite (ppm)

	特征值	元素	S (%)	Fe (%)	As	Au	Ag	Cu
萨 I	平均值 ($\bar{x}$)		51.78	45.43	10	100.86	14.71	564
	样数 (n)		6	6	7	21	21	21
	变化范围		51.4—52.96	43.25—49.00	0—40	5—200	5—35	125—1475
齐 I	平均值 ($\bar{x}$)		49.97	46.09	24600	82.84	66.33	241
	样数 (n)		10	10	10	15	6	10
	变化范围		49.00—51.12	44.14—47.5	1200—86500		3—200	10—300
	特征值	元素	Pb	Zn	Co	Ni	Se	Te
萨 I	平均值 ($\bar{x}$)		98	285	262	1057	30	40
	样数 (n)		21	21	21	21	7	7
	变化范围		50—300	125—625	50—500	275—5000	0—50	0—80
齐 I	平均值 ($\bar{x}$)		28	248	52	75		
	样数 (n)		3	5	5	10		
	变化范围		5—30	150—300	30—90	50—120*		

注: 根据新疆冶金地质勘探公司 701 地质队、新疆地质矿产局第 7 地质队及北京矿冶研究院电子探针室分析数据综合整理。

—1.28, CH₄ 0.35—0.63, CO₂ 9.0—72.0, H₂ 0.16—0.30, CO 9—72 (4个样品)¹⁾。上述成分表明参与成矿作用的热液可能有海水加入。

二个矿床金属硫化物的 $\delta^{34}\text{S}\%$ 为 $-2.8\sim+4.3\%$,极差为7.1%,平均值为 $+1.5\%$,主要分布在 $-1.0\sim+4\%$ 之间(表2)。不同矿床和矿体的硫同位素组成没有明显的差别,并表现出慢源硫组成特点,显然,金矿的成因与蛇绿岩有关。

矿石矿物石英、方解石、菱镁矿、白云石、滑石等氧同位素组成($\delta^{18}\text{O}\%$)分布范围较大(表3),数值偏高,具有变质水组成特点^[5]。托里金矿床与上述矿物平衡的水,氧同位素组成($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$)变化范围为5.54—11.73‰。新疆托里金矿床成矿热液可能为岩浆水与海水混合的结果,与我国胶东等地金矿床热液组成明显不同(图5)。

表 2 托里金矿床硫同位素组成

Table 2 Compositions of sulphur isotope in the Tuoli gold mine ($\delta^{34}\text{S}\%$)

矿 物 矿 区	黄 铁 矿											毒 砂
萨 I	+3.4	+4.1	+3.1	+2.9	+2.6	+4.0	+4.3	+2.3	+2.7*	+3.3*	+3.1*	
萨 IV	+1.0	-0.4										
萨 V	-1.2	-0.7	+2.7	+1.0	+1.3	-0.3	+1.1					
萨 II	+0.1											
铭门沟												-1.1
满碛山	-2.8											-1.2
齐 I	+0.8	+1.7	+1.7	+1.4	+1.3	+1.0	+1.3	+0.9	+0.8*	+1.3*		+1.0 0.6
齐 II	+0.3	+1.3	+3.0	+2.5	+1.7	+3.0						+2.8 +1.9

注:带“*”者为核工业部第三研究所测试,其余引自新疆地质矿产局第7地质队、新疆冶金地质勘探公司701队有关资料。

据托里金矿床的方铅矿的铅同位素组成(表4),按单阶段演化计算出铅的模式年龄分别为480Ma和1420Ma,说明铅来源有区别。用拉塞尔-法夸尔-卡明公式计算 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的模式年龄分别为320Ma和290Ma年,与蛇绿岩套的地质年龄大体吻合。

五、矿床成因

直到前不久,国外还报道了蛇绿岩杂岩中蚀变橄榄岩相中的金矿化^[6],并认为是在热水溶液大规模循环作用下,卤水通过构造裂隙发生碳酸盐化,使二氧化硅、硫化物和金等发生沉淀所致。相似的观点见于许多人解释太古代绿岩中金矿床的成因论述^[6]然而,迄今还没有将产于蛇绿岩套不同层位、不同容矿岩石中的金矿化联系起来,归纳在一起用热泉作用成因加以模式化。然而这种统一看待蛇绿岩带中的金矿床成因,对开阔思路和找矿工作,是有益的。

1) 冶金工业部地质研究所1986分析。

表 3 托里金矿床氧、碳同位素组成(‰)

Table 3 Compositions of oxygen and carbon isotopes in the Tuoli gold mine (‰)

产 地	样 号	矿 物	$\delta^{18}\text{O}(\text{SMOW})$	$\delta^{13}\text{C}(\text{PDB})$	$\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$
齐 I	T I -7	石 英	11.93		5.69
	T I -8	石 英	15.31		9.05
齐 II	T II -1	石 英	16.39		10.13
	T II -2	石 英	12.89		6.65
萨 I	Ts-1	石 英	12.81		7.45
	Ts-2	石 英	12.45		7.09
	E-Au-Q	石 英	17.08		11.70
	E160	石 英	15.39		10.02
	E060	石 英	17.12		11.73
	E083	方 解 石	14.28	- 3.67	10.46
	E-1	菱 镁 矿	16.10	- 1.70	
	E-2	白 云 石	11.84	- 8.40	5.54
	E037	滑 石	9.11	$\delta\text{D} - 69.69$	
	E-Au-Q	石英中包裹体水		$\delta\text{D} - 79.16$	

注：样号中带“T”者引自新疆工学院地质系，为核工业部第三研究所测试，其余为中国地质科学院矿床地质研究所金生今等测试。

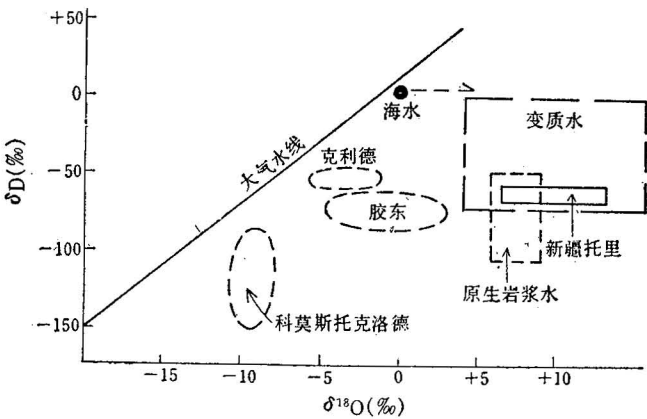


图 5 新疆托里金矿与某些金矿床成矿热液的 $\delta\text{O}-\delta\text{D}$ 图解^[6]

Fig. 5 Diagram of $\delta\text{O}-\delta\text{D}$ for ore-forming hydrothermal in the Tculi gold mine.

表 4 方铅矿的铅同位素组成

Table 4 The compositions of lead isotope of galena

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	φ 值
18.235	15.728	38.60	0.613
16.037	15.228	36.423	0.733

由于托里金矿的容矿岩石主要为玄武岩、变质斜辉辉橄岩和变质砂岩等,前者是火成岩,后者为地槽复理石的成员,但是共同组成古大洋壳。金矿化对古洋壳的所有岩石没有专属性,这是金的地球化学学习性决定的。托里地区的金矿化与容矿岩石的破裂带、蚀变带和石英脉的出现相伴随。表明产于不同容矿岩石中的金矿化,是由断裂和热液活动控制的。

产在蛇绿岩套比较高层序容矿岩石(玄武岩)中的金矿化,其成矿温度较低,大约在300—200℃,产在较低层序容矿岩(变质橄榄岩)中的金矿化温度较高,大约400—300℃,表明热液温度向蛇绿岩的低层位方向变高。因而有理由推断热液是由灼热的橄榄岩加热的,加热后的热液有利于携带矿质和循环。这就是热泉作用的表现。

托里金矿床氧同位素分析证实, $\delta^{18}\text{O}$ 变化范围较大,具有海水与地幔水混合的特点,表明海水参加了金矿的成矿作用,这为海底热泉成因提供了佐证。

石英液态包裹体中存在 K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 等,且含量较高,证明热液与海水成分有相同之点,金矿化与蛇绿岩有成因联系的明显证据之一是硫同位素表现为地幔硫的特点,即蛇绿岩的硫等组分参加了金矿化作用。同时与金共生的黄铁矿含有异常高的镍和钴等(表1),表明托里金矿与蛇绿岩的超镁铁岩、镁铁岩的高镍、钴的地球化学特点相吻合,它们从超镁铁岩、镁铁岩中析出,加入金的矿化作用中。

蛇绿岩带内的放射虫硅质岩与金矿化的关系还不十分清楚,硅质岩中目前还没发现金矿床,但世界某些绿岩带中的石英岩的金矿化给人们以启迪。硅质岩作为蛇绿岩套的一员,在金矿化的岩石专属性极不明显的情况下,可能有金异常出现或存在矿体。硅质岩与金矿化之间的关系也不清楚。但硅质岩使人联想到大洋盆沉积时的硅水环境,这种含硅较丰富的海水的热泉活动可能更有利于石英脉型金矿的形成,硅质岩可能作为区域性找金标志。

当然,在蛇绿岩带内,断裂构造,尤其是古洋壳形成期间的断裂,岩石蚀变和某些元素的异常分布,如金、砷、硼、硫、铈、铀、银、铅、锌、铜和 CO_2 等,也是找矿的指示剂。

总之,强调指出的是,托里金矿区的矿体虽然产在不同的容矿岩相或岩石中,但都是海西期古洋壳形成过程中受张应力作用产生裂隙,海水沿裂隙渗入洋壳乃至其灼热部分或灼热的地幔橄榄岩层,被加热的海水渗流到大洋中,在其通路上沉淀了矿物质和金。长期的反复的热泉活动形成金矿体。在岛弧环境下,热泉作用可能波及大洋壳的盖层,如果已经在大洋壳上覆盖了砂质沉积物,热水仍可在循环过程中透过砂层,在其中发生金矿化。由于金的地球化学学习性决定,在500—150℃左右中低温热泉中沉淀。托里的赋存在不同容矿岩石中的金矿,可称蛇绿岩金矿。

在工作中曾得到新疆冶金地质勘探公司701队、新疆地质矿产局第7地质队的支持,原稿承郭文魁教授审阅并提出宝贵的修改建议,特表谢忱。

参 考 文 献

- [1] 王一圣、张金声、王来生, 1982, 达拉布特蛇绿岩带基本特征及成因模式讨论。中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊, 第4期, 第42—53页。
- [2] Coleman, R. G., 1977, *Ophiolite, ancient lithosphere*. Springer-verlag Berlin Heidelberg, New York, P. 229.
- [3] Peccaliva, L., Ohnenstetter, D., Ohnenstetter, M., 1979, Geochemical discrimination between ocean-floor and island-arc tholeiites—application to some ophiolite, *Can. J. Earth Sci.*, 16, PP. 187 1—188 2.
- [4] 白文吉, 1982, 铬尖晶石矿物化学成分异常特征及其地质意义。中国地质科学院地质研究所所刊, 第5期, 第55—64页。
- [5] 张理刚, 1985, 稳定同位素在地质科学中的应用。第267页。陕西科技出版社。
- [6] Gerard, B. and Marc, L., 1985, Gold in carbonatized ultramafic rocks from ophiolite complexes. *Ecop. Geol.*, Vol. 80, No. 7, PP. 202 8—202 9.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF THE TOLI GOLD DEPOSIT IN XINJIANG

Bai Wenji, Gan Yanming and Zhou Meifu

(Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing)

Abstract

The gold deposit dealt with in this paper has been proved to be a new type of gold deposit. It formed within a hot spring system of the ancient oceanic crust which was then emplaced onto the continent along with the marine-crustal structure.

This deposit consists of the Sartohay and Anqi metallogenic belts, equivalent to the south subbelt and north subbelt of ophiolite, respectively. In the Sartohay belt, the gold bodies are found in basalts, ultramafic rocks and their altered rocks, and in the Anqi belt, in basalts and pyroclastic-sedimentary rocks. The two belts are different in mineral composition. Pyrite in the Sartohay belt is rich in Co and Ni but poor in As, while the reverse is the case with that in the Anqi belt. The mineral characteristics and inclusion thermometry suggest that both ore-forming temperature and pressure in the Sartohay metallogenetic belt are higher than those in the Anqi metallogenetic belt.

The sulfur isotopic composition in the deposit indicates that the sulfur came from the upper mantle. The hydrogen and oxygen isotopic compositions suggest that the ore-forming hydrothermal fluid was a metamorphic hydrothermal mixture of magmatic water and sea water, equivalent to that of ophiolite. The Pb isotopic age of the ores was dated at 290—320Ma, implying that the deposit was formed almost simultaneously with the ophiolite. The evidence shows that the formation of the Toli gold deposit was related to the convection of submarine hydrothermal solution and as well a product of the submarine hot spring activities.