

文章编号: 0258-7106 (2000) 04-0297-10

新疆北部主要金矿床的成矿地球化学特征

廖启林^{1,2} 戴塔根² 邓吉牛³ 王军升³

(1 南京大学地球科学系, 南京 210093; 2 中南工业大学地质研究所, 长沙 410083

3 有色北京矿产地质研究所, 北京 100012)

提 要: 主要依据成矿作用方式、基本成矿特点及关键控矿标志等, 将新疆北部的原生金矿划分为 7 个矿床类型, 分别是浅成低温热液型金矿、韧性剪切带蚀变岩型金矿、微细粒浸染型金矿、浅成岩-构造蚀变岩型金矿、变质热液型金矿、石英脉型金矿及铜、金伴生型矿床。通过分析比较各矿床类型典型金矿的 REE 分布型式、其矿石的微量元素含量与分布型式、硫与铅同位素组成及流体包裹体成分等资料, 探讨了其成矿地球化学特征。

关键词: 金矿床 矿床类型 成矿地球化学特征 新疆北部

中图法分类号: P618.5 文献标识码: A

新疆北部常指新疆辖区内北纬 40°以北地区, 包括阿尔泰、准噶尔、天山及塔里木盆地北缘一部分等辽阔疆域^[1,2]。自 80 年代以来, 本区相继发现了一大批金矿床, 并有不少学者对这些金矿床做过研究^[3-21]。本文在吸收前人成果的基础上, 结合作者做的工作, 对新疆北部主要金矿床的成矿地球化学特征做一初步探讨。

1 主要金矿类型及其典型矿床

本区现已探明各种金矿床 30 处以上, 具中型以上规模者近 20 处, 矿床类型较多, 不同学者提出了各自的分类方案, 其中较具代表性的有涂光炽^[7]、芮行健等^[4]、赵殿甲^[8]等的划分方案, 如涂光炽先生以含矿岩系为主要依据将其分为变质碎屑岩型、海相火山岩型、陆相火山岩型与闪长岩类岩体内外接触带型等 4 类; 芮行健等以金矿产出的地质-构造环境为基本依据将阿尔泰的原生金矿分为产于前寒武纪变质岩系中的金矿、产于古生代浊积岩或碳质细碎屑岩中的金矿、产于火山岩系中的金矿、产于中浅成脉岩、浅成-超浅成岩中的金矿及产于深成岩浆岩中的金矿等 5 大类^[4]; 赵殿甲按金矿产出的主要地质环境将其划分为产于动力变质环境的金矿、产于火山环境的金矿与产于中酸性小岩体侵入环境的金矿等 3 大类。本文依据本区金矿的成矿作用方式与特点、关键控矿标志、矿化类型及其与产出环境的关系等, 从便于与国内外类似矿床比较、能体现一定的找矿价值出发, 将其划分为以下 7 个类型:

I. 浅成低温热液型金矿: 以阿希^[4]、伊尔曼德^[4,19]、西滩金(银)矿^[5]、阔尔真阔腊、金

基金项目: 本文曾受到国家 305 项目 96-915-02-05 专题的资助

第一作者简介: 廖启林 (1964—), 男, 高级工程师、博士研究生, 地质地球化学专业

收稿日期: 1999-06-15; 修订日期: 1999-11-23

山沟^[10]等金矿床为代表, 其容矿火山岩有陆相(金山沟)、海相(阔尔真阔腊)、海陆交互相(阿希), 按标型热液蚀变又可具体分为冰长石-绢云母型(阿希)、酸性硫酸盐型(阔尔真阔腊)、硅化岩型(伊尔曼德^[4])。

表1 新疆北部各典型金矿床的基本地质特征

Table 1. Basic geological characteristics of typical gold deposits in northern Xinjiang

成矿类型	典型矿床	产地	基本地质特征	
浅成低温热液型	硫酸盐型金矿	阔尔真阔腊	阿勒泰吉木乃县	产于萨吾尔古岛弧之中泥盆统萨吾尔组(D ₂ s)安山质火山岩中, 主要受NW向断裂、火山机构及次火山岩体的联合控制, 金矿体多呈不规则脉状。主要矿物组合为: 黄铁矿等硫化物-钠铁矾与明矾等硫酸盐-方解石等碳酸盐, 主要蚀变有青磐岩化、硫酸盐化、硫化物化、碳酸盐化、绢云母化、泥化等, 成矿温度106~270℃
	冰长石-绢云母型金矿	阿希	伊宁县吐拉苏盆地	形成于加里东古岛弧吐拉苏石炭纪火山断陷盆地之下石炭统大哈拉山组第五岩性段(C ₁ d ⁵)安山岩中, 受区域性断裂及火山机构的联合控制, 矿体多呈大脉-细脉状。矿物组合主要为银金矿-硒银矿-自然金-黄铁矿-毒砂-方铅矿-闪锌矿-石英-绢云母-冰长石, 主要蚀变有硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化、冰长石化等, 成矿温度120~180℃
剪切带蚀变岩型	糜棱岩型金矿	科克萨依	阿勒泰青河县	产于加波萨尔岛弧之下泥盆统托让格库都克组(D ₁ t)中基性浅变质火山碎屑岩中。矿床严格受控于布尔根韧性剪切带, 矿体多呈脉状、透镜状, 变形强烈、具典型糜棱结构。矿物组合为石英-绢云母-自然金-黄铜矿-黄铁矿-毒砂-闪锌矿-方铅矿-方解石, 主要蚀变为硅化、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化、碳酸盐化等, 成矿温度中高温
	破碎蚀变岩型金矿	康古尔	鄯善县	产于阿齐山-雅满苏岛弧下石炭统阿齐山组(C ₁ a)中酸性火山岩中, 矿化受控于剪切糜棱岩化带。矿体多呈板状、脉状。矿物组合为自然金-磁黄铁矿-黄铁矿-黄铜矿-石英-绢云母-绿泥石, 主要蚀变为青磐岩化、黄铁绢英岩化、磁黄铁矿化、硅化、绿泥石化等, 成矿温度120~250℃
微细粒浸染型金矿	萨尔布拉克	阿勒泰富蕴县	产于加波萨尔岛弧构造区额尔齐斯大型推覆构造下盘之下石炭统南明水组(C ₁ n)浊积岩建造中, 矿床受紧闭线性背斜与高角度逆冲断层的双重控制, 矿体多呈脉状、囊状。矿物组合为毒砂-黄铁矿-碳酸盐-石英, 主要蚀变为毒砂-黄铁矿化、硅化、绿泥石化, 成矿温度中低温	
浅成岩-构造蚀变岩型金矿	野马泉	青河县南部	产于加波萨尔岛弧之志留系库布苏群(S ₂₋₃ k)浅变质含碳碎屑岩中, 矿化受控于浅成岩脉及其边部的构造破碎带, 矿体以脉状为主。矿物组合为黄铁矿-毒砂-银金矿-自然金(银)-黄铁矿等, 主要蚀变有强硅化、脉状斜长石化、碳酸盐化、绢云母化、硫化物化, 成矿温度中低温	
变质热液型金矿	望峰	乌鲁木齐河南侧	产于中天山造山带之志留系阿河布拉克组(S ₁ h)片麻岩中, 为一套浅海相细碎屑岩-碳酸盐岩建造, 矿化受控于博罗科努-阿其克库都克深大断裂所形成的变质带。矿体多呈脉状, 与辉长岩脉有一定的联系。矿物组合为自然金-黄铁矿-石英-钾长石等, 主要蚀变有硅化、黄铁矿化、钾长石化、绢云母化、绿泥石化、大理岩化, 成矿温度高-中温	
石英脉型金矿	照壁山	哈密靠近甘肃省界	产于沙泉子断裂南侧红柳河造山带之海西早期黑云母花岗岩中, 含金石英脉受控于岩体中NE及NW向节理, 呈长30~500m、宽1.5~30m的脉状。矿物组合简单, 以石英为主, 加少量的黄铜矿、黄铁矿等硫化物, 蚀变较弱, 有硅化、黄铁矿化、加少量绿泥石化, 成矿温度204~285℃	
铜、金伴生型矿床	乔夏哈拉	阿勒泰富蕴县	产于准噶尔东北扩张陆缘近岸断陷带之中泥盆统北塔山组(D ₂ b)中基性火山-沉积岩中, 铁、铜、金共存, 主矿体为似层状含铜、金的磁铁矿, 受控于断裂旁侧的层状夕卡岩及火山机构。主要金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、自然金、磁黄铁矿、磁铁矿, 主要蚀变有硅化、绢云母化、绿泥石化、夕卡岩化, 为一中高温海相火山岩型铜(金)矿床	

II. 韧性剪切带蚀变岩型金矿: 以康古尔^[5,11]、马头滩^[6,11]、赛都、多拉纳萨依^[18]、科克萨依^[6]等金矿为代表。

III. 微细粒浸染型金矿: 以萨尔布拉克金矿为代表。

IV. 浅成岩-构造蚀变岩型金矿: 以布尔克斯岱、野马泉、库布苏、阿克塔斯等金矿为代表。

V. 变质热液型金矿: 以望峰、马热勒铁等金矿为代表。

VI. 石英脉型金矿: 以金窝子、齐求、照壁山、西凤山、红石岗等金矿为代表。

VII. 铜、金伴生型: 以阿舍勒、乔夏哈拉、喀拉萨依、老山口等矿床为代表。

以上各类金矿之典型矿床的基本地质特征见表1。

2 微量元素地球化学

2.1 稀土元素地球化学特征

本区不同类型知名金矿床的稀土元素含量及其分布型式见表2、图1(据表2), 可看出: ①不同类型金矿的REE分布型式有明显的差异, 绝大部分金矿的矿石与其容矿围岩(含地层与岩体)相比, 表现为矿石的稀土总量发生了急剧亏损, 矿石的REE分布型式形态更趋于复杂化, 反映了其成矿的过程要明显复杂于成岩的过程, 成矿的物质来源与受控因素都更趋于多源化与多因性; ②以阔尔真阔腊为代表的浅成低温热液型金矿的REE分布型式(图1A)表现为含矿地层(D_{2s})中的安山玢岩(可近视代表原始岩浆)与赋矿的钠长斑岩之间的REE分布型式呈相似的平坦直线型, 富集轻稀土元素的趋势较明显, 其含金黄铁矿矿石(原生)的REE分布型式呈微有起伏的折线型, 其含金黄钾铁矾矿石(表生)的REE分布型式呈起伏明显的折线型, 相对富集轻稀土的趋势明显, 矿石的稀土总量明显低于其含矿地层与赋矿岩体, 反映了金矿石(或该金矿床)明显经历了更为复杂的地质作用过程与演化机制; ③以科克萨依、康古尔为代表的韧性剪切带蚀变岩型金矿的REE分布型式(图1B)表现为金矿石及赋矿糜棱岩的REE分布型式呈波状起伏的折线型, 含矿地层(D_{1t}, C_{1a})之火山岩的REE分布型式呈微有起伏的折线型, 糜棱岩中黄铁矿的REE分布型式接近于含矿地层(D_{1t}), 而不是类似于其赋存的糜棱岩, 矿石的稀土总量明显低于其含矿地层, 康古尔与科克萨依这两个不同韧性剪切带蚀变岩型金矿的含矿地层之REE分布型式基本一致, 这些特征反映了该类金矿之黄铁矿与金矿石的形成过程是有差异的、不同产区剪切带所赋存的火山岩地层具有可比性; ④以望峰为代表的变质热液型金矿, 其矿石的REE分布型式(图1C)总体上呈一“V”字型折线、与其它所有金矿相比独具特色; ⑤以野马泉为代表的浅成岩-构造蚀变岩型金矿, 其金矿石与含矿闪长玢岩之间的REE含量及分布型式均十分接近, REE分布型式(图1A)呈一起伏和缓的折线型、富集轻稀土的优势明显, 反映了其控矿浅成岩与该类金矿化之间确存在密切的联系; ⑥以照壁山为代表的石英脉型金矿, 其金矿石与含矿花岗岩之间的REE分布型式完全不同(图1C), 矿石以出现负Ce异常为特征、呈一起伏明显的折线型, 花岗岩以出现负Eu异常为特征、呈一宽缓的斜“V”型折线, 矿石的稀土总量明显低于其容矿花岗岩; ⑦以乔夏哈拉、阿舍勒为代表的铜(金)伴生型矿床, 其含矿海相火山岩地层(D_{2b}, D_{1-2a²⁻³})的REE分布型式(图1D)呈相对富重稀土的折线型, 铜金矿石呈一正Eu异常明显的波状折线

型, 矿体下部凝灰岩地层中顺层产出的硅质岩呈相对富集轻稀土的折线型, 铜金矿石与硅质岩的稀土总量明显低于含矿火山岩地层。上述不同金矿之 REE 特征的差别, 实质是反映了其成矿机制与产出环境的差异。

表 2 新疆北部一些金矿床的稀土元素分析结果 (10^{-6})

Table 2. REE analyses of some gold deposits in northern Xinjiang (10^{-6})

金矿床	序号	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
阔尔真 阔腊 ^①	1	23.34	44.15	17.42	3.06	0.87	2.54	0.35	0.48	1.42	0.24	1.65	0.28
	2	15.19	33.42	16.67	3.62	1.20	3.50	0.50	0.62	1.73	0.27	1.67	0.26
	3	0.24	0.55	0.41	0.16	0.07	0.28	0.05	0.08	0.32	0.03	0.14	0.02
	4	1.85	4.80	0.55	0.07	0.01	0.05	0.09	0.01	0.03	0.01	0.04	0.01
野马泉 ^①	5	38.97	70.24	44.81	13.10	1.91	6.97	1.29	1.48	4.40	0.47	3.89	0.34
	6	42.13	78.54	47.07	14.40	1.91	7.59	1.00	1.58	4.57	0.47	4.57	0.43
科克 萨依	7	10.27	27.43	12.00	2.48	0.55	2.15	0.32	0.42	1.20	0.20	1.32	0.21
	8	0.61	1.51	0.78	0.17	0.17	0.27	0.04	0.08		0.04	0.26	0.04
	9	0.61	1.50	1.02	0.15	0.07	0.17	0.02	0.04		0.02	0.12	0.02
	10	27.70	63.30	33.80	5.60	1.82	3.96	0.51	0.60		0.23	1.43	0.21
康古 尔 ^[11]	11	0.85	1.97	1.14	0.41	0.23	1.07	0.19	0.32	0.59	0.10	0.56	0.09
	12	13.40	27.3	13.90	3.27	0.97	4.17	0.64	0.78	1.92	0.29	1.79	0.26
望峰 ^②	13	25.00	44.00	23.00	5.25	1.00	4.25	0.08	0.75	2.03	0.30	0.95	0.25
照壁 山 ^[13]	14	0.26	0.20	0.42	0.08	0.02		0.01				0.11	0.01
	15	45.24	81.32	44.44	6.03	0.50		1.01				3.04	0.50
乔夏 哈拉	16	1.70	3.51	2.84	0.94	1.05	1.51	0.27	0.34		0.13	0.76	0.13
	17	11.50	21.80	11.80	2.74	1.01	2.68	0.44	0.59		2.65	1.75	0.20
	18	2.07	2.64	2.13	0.46	0.12	0.33	0.07	0.09	0.20	0.03	0.17	0.03
阿舍勒 ^③	19	7.58	15.36	10.90	2.53	0.83	3.26	0.41	0.53	2.08	0.52	2.61	0.37
球粒陨石		0.32	0.94	0.60	0.20	0.07	0.31	0.05	0.07	0.21	0.03	0.19	0.03

注: 各样品原始编号及其成分分别为: 1—ZK39-1-10—容矿钠长斑岩; 2—K27—含矿建造之中泥盆统萨吾尔组(D_{2s})安山玢岩; 3—ZK11-1-10—含金黄铁矿(矿石); 4—KT39-16—含金黄钾铁矾(矿石); 5—56-4—蚀变岩型金矿石; 6—56-1—容矿岩体(闪长玢岩); 7—KX-10—糜棱岩中的浸染状黄铁矿; 8—K97-4—金矿石(含金蚀变糜棱岩); 9—K97-3—近矿围岩(不含矿糜棱岩); 10—K97-1—含矿建造之下泥盆统托让格库都克组(D_{1t})片理化玄武-安山质晶屑凝灰岩; 11—RK2—金矿石(石英硫化物); 12—X-7—含矿建造下石炭统阿齐山组(C_{1a})安山质火山岩; 13—WF—蚀变片麻岩矿石(原文无样号, WF为作者所编); 14—G13-15-1—金矿石; 15—GR-1—赋矿花岗岩体; 16—Q-12—块状硫化物铜金矿石; 17—QP1-2—含矿层中泥盆统北塔山组(D_{2b})玄武安山岩; 18—夏55—矿体下部凝灰岩地层中顺层产出的硅质岩; 19—85K₅-III-26—主容矿层位中下泥盆统阿舍勒组第二岩性段第二层(D_{1-2a2-2})英安质含角砾熔岩; ①准噶尔北缘重点成矿区带地物化综合找矿及靶位优选(新疆有色地勘局内部资料, 1996, 第110~128页, 265~268页); ②吴锡丹, 1995, 新疆望峰金矿地质特征及成矿规律, (新疆第三届天山矿产地质学术讨论会论文集, 第356~365页); ③陈元正等, 1991, 国家305项目“阿舍勒区段成矿地质特征、矿床成因、控矿因素和成矿预测研究”(课题代号: I₂₋₁), 第12页; 序号7、18号样资料来自①, 余下未注明者资料均来自国家305项目96-915-02-05专题, 空白示缺资料

2.2 矿石的微量元素特征

本区不同矿化类型金矿之矿石的微量元素含量除 Au 特高外, 其余相关成矿元素则表现出不同的特征(表3, 图2(据表3)): ①浅成低温热液冰长石-绢云母型金矿(阿希), 表现为富 Au、As, 贫 Cu、Pb、Zn、Ba, 微量元素分布型式呈现清晰的“双峰”, 酸性硫酸盐型金矿(阔尔真阔腊)则相对富 Cu、Zn、Sb, 黄铁矿中富 Co, 分布型式呈现幅度不大的“多峰”; ②韧性剪切带蚀变岩型金矿(科克萨依)相对富 Pb、As、Sb、Co, 分布型式呈较缓的“三峰”; ③微细粒浸染型金矿(萨尔布拉克)特富 As, 分布型式呈明显的“双峰”; ④浅成岩-构造蚀变岩型金矿(野马泉等)相对富 As、Sb, 分布型式呈一近似的“W”型; ⑤变质热液

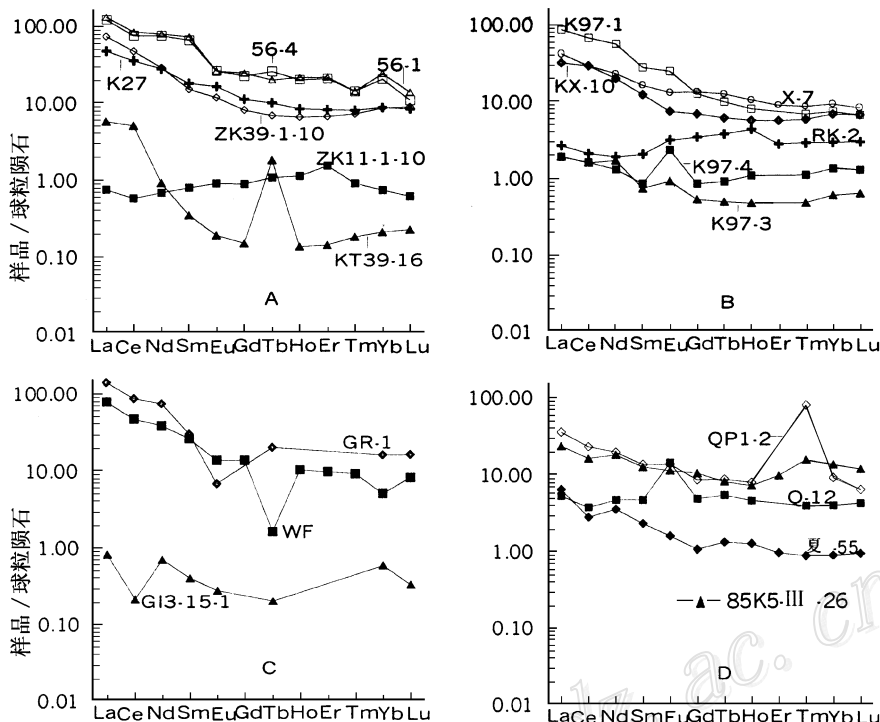


图 1 新疆北部部分金矿床的稀土分布型式

Fig. 1. Chondrite-normalized REE patterns of some gold deposits in northern Xinjiang

型金矿 (望峰) 除 Au 高外, 所有伴生元素均较低, 分布型式呈一特有的“单峰”; ⑥ 石英脉型金矿 (照壁山) 除 Au 显示明显的高含量外, As、Sb 也显示了较好的相对富集趋势, 分布型式以向右倾斜的“单峰式”折线为主; ⑦ 铜、金伴生型矿床 (乔夏哈拉、阿舍勒) 表现为 Au 高、Ag 高、Cu 高, 阿舍勒矿床的大多数成矿及其伴生元素均显示了明显的富集趋势, 其矿床的微量元素分布型式总体上呈一“多峰式”复杂折线。

将本区各典型金矿的 REE 分布型式与其矿床的微量元素分布型式做一比较可综合为 4 类模式, 再结合其产出背景可将本区金矿床概括为 4 大金矿系列: ① 主要产于岛弧环境下大断裂旁侧的低温浅成系列金矿床, 包括了浅成低温热液型、浅成岩-构造蚀变岩型、微细粒浸染型等金矿床, 其 REE 分布型式总体上表现为富集轻稀土优势明显的平缓折线或平坦式直线型、个别矿石表现为相对富集轻稀土的“单峰式”折线型 (图 1A), 矿床的微量元素分布型式表现为富 Au 及其伴生元素 (As、Sb 等)、贫铁族元素 (Ni、Co 等) 的“双峰式”折线 (图 2A), 这类矿床的成矿主要与中偏酸性的浅成侵入岩或次火山岩的关系密切; ② 产于动力变质环境下的韧性剪切带系列金矿床, 其 REE 分布型式以相对富集轻稀土的右倾式折线型为主、个别矿石表现为平缓或略向右倾的折线型 (图 1B), 其矿床的微量元素分布型式表现为富 Au、Pb、As、Sb、Co 的“三峰式”折线 (图 2B); ③ 主要产于造山带环境的中高温中深成系列金矿床, 包括了石英脉型及变质热液型金矿, 其 REE 分布型式总体上以右倾式起伏剧烈

表3 新疆北部主要金矿床的矿石微量元素含量 (10^{-6})

Table 3. Trace element content for ores from main gold deposits in northern Xinjiang

金矿床	矿石性质	序号	样数	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Ni	Co	Ba
阿希 ^[14]	蚀变岩	1	5	5.2350	9.928	22.5	25	45	2225.0	4.5	44	11.4	70
阔尔真阔腊 ^①	黄铁矿	2	3	5.3000	25.740	419	59	103	366.0	25.5	18	200.0	
	明矾石	3	1	0.6500	0.850	1100	510	245	8.1	10.3	49	3.5	
萨尔布拉克 ^[15]	毒砂等	4		3.4000	1.000	45	22	104	6800.0	2.6	70	30.0	300
科克萨依 ^①	黄铁矿	5	1	0.5500	4.900	350	870	165	450.0	21.5	31	200.0	
野马泉 ^①	蚀变闪长玢岩	6	1	1.0000	23.200	5	42	43	200.0	200.0	10		370
布尔克斯岱 ^④	蚀变碎屑岩	7	10	2.3790	3.976	45	46	153	136.0	6.8	15	11.8	
照壁山 ^[13]	石英脉	8	3	4.9396	3.230			62	165.0	14.3	9	1.2	186
望峰 ^③	蚀变片麻岩	9	6	4.6500	0.132	16	36	35	4.4	0.5			
	石英碳酸盐	10	2	3.0000	0.060	11	55	40	1.5	0.2			
乔夏哈拉	黄铜矿、黄铁矿	11	3	0.8770	3.700	19255	11	355	42.3	4.0	123	86.0	57.3
	蚀变岩	12	1	1.2800	50.000	13	10	78	33.0	0.6	107	24.0	116
阿舍勒 ^[16]	闪锌矿、黄铜矿	13	17	0.4600	32.470	32124	2418	16770	2539.9	69.8		65.0	2888
北疆区域丰度值 ^[19]				0.0006	0.059	24	12	65	4.0	0.3	23	5.3	412

①、③同表2, ②安银昌, 1995, 新疆布尔克斯岱—阔尔真阔腊金矿田构造岩浆演化与成矿模式, 中南工业大学硕士论文, 第29~37页, 样品数大于1时取其平均值; 乔夏哈拉资料来自国家305项目96-915-02-05专题; 空白示缺资料

的折线型为主(图1C), 矿石的微量元素分布型式总体上以相对富金明显的右倾式“单峰”折线为主(图2C), 反映了其成矿所富集的元素较单一; ④产于晚古生代(偏早期)海相火山岩中的铜、金(多金属)伴生型系列矿床, 其REE分布型式主要表现为既有相对富集轻稀土、又有相对富集重稀土的波状起伏式折线型(图1D), 矿石的微量元素分布型式表现为富Au、Ag、Cu等多元素的右倾式折线, 其成矿与海底火山喷流作用具有密切的联系。此外, 还可发现本区典型金矿的矿石之微量元素与其REE分布型式相比发生了一些变异, 最明显的是浅成岩-构造蚀变岩型金矿(野马泉、布尔克斯岱), 其REE分布型式与浅成低温热液型金矿更为接近, 而其矿石的微量元素分布型式则更接近于韧性剪切带蚀变岩型金矿, 反映了该类金矿的成矿既与浅成岩有密切的联系、又与断裂构造的活动息息相关; 又如伴生型矿床, 阿舍勒与乔夏哈拉两矿床的容矿火山岩的REE分布型式总体上比较接近, 而矿石的微量元素分布型式则表现为阿舍勒矿床的大部分微量元素均发生了显著的富集、乔夏哈拉的元素富集却相对较简单, 反映了这种产于海相火山岩中的铜、金伴生型矿床的成矿所造成的元素富集可以是十分复杂、也可以是较简单的。

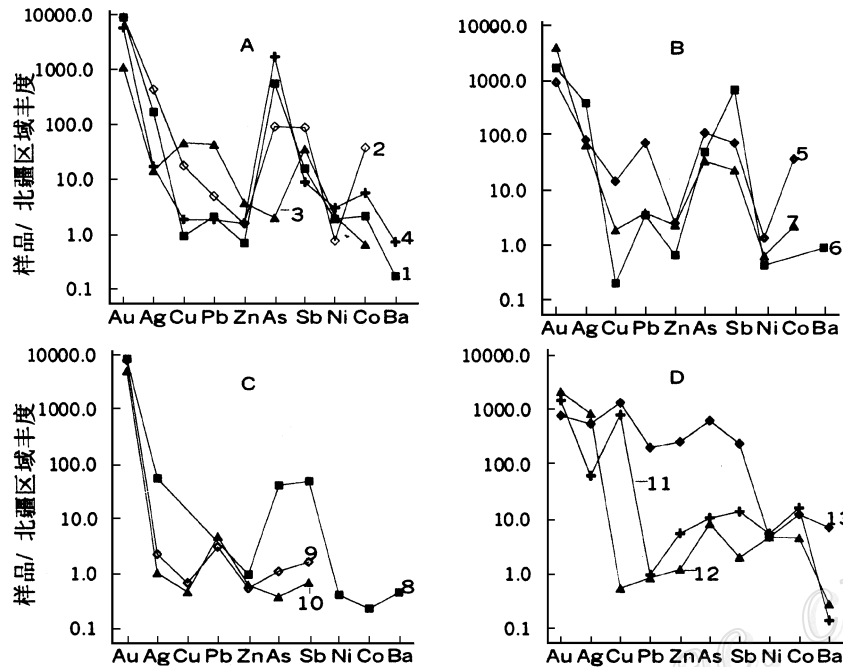


图 2 新疆北部主要金矿床矿石的微量元素分布型式

Fig. 2. Distribution patterns of trace elements in ores from main gold deposits in northern Xinjiang.

3 同位素地球化学

3.1 硫同位素 (表 4)

除阿希、望峰等少数金矿外, 本区绝大多数金矿的 $\delta^{34}\text{S}$ (CDT) 值接近陨硫、其变化范围多集中在 $-5\% \sim 5\%$ 之间、均值集中在零值附近, 反映了其成矿过程中硫的来源较单一、以来自深部 (下地壳或上地幔) 的火山硫与岩浆硫为主。微细浸染型金矿 (萨尔布拉克) 的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-6.1\% \sim 1.2\%$, 这点与我国产于沉积岩中的典型微细浸染型金矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $-24\% \sim 18\%$ 、具有较宽的变化范围、以沉积成因的硫源为主^[17]相比, 有明显不同, 反映了火山沉积环境下形成的微细浸染型金矿与正常沉积环境下形成的同类矿床有差别; 望峰变质热液型金矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 $0.1\% \sim 12.3\%$, 硫源以沉积硫为主, 说明其成矿的硫源主要来自附近围岩中的沉积地层; 阿希大型金矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $1.0\% \sim 10.5\%$, 较分散, 显示其硫源具有深源硫与部分火山岩地层硫的双重性。

3.2 部分矿床的铅同位素 (表 5)

从所收集到的本区部分金矿床的铅同位素资料来看, 与硫同位素所提供的信息相一致, 即除了以阿希为代表的冰长石-绢云母型金矿及以望峰为代表的变质热液型金矿较为特殊外, 其余金矿的铅同位素组成变化范围均很窄小, 其 μ 值极差小于 0.5, 反映了其成矿中 Pb 主要来自下地壳或上地幔; 而望峰变质热液型金矿的 Pb 同位素组成变化范围相对较大、其 μ 值极差小于 1, 显示了与其赋矿围岩一致的特性, 指示其成矿的 Pb 主要来自志留系地层; 阿希金

矿的 Pb 同位素组成变化范围最为分散, 反映了其成矿的铅具有部分深源铅和部分含矿火山岩围岩铅的双重性^[5]。

表 4 新疆北部主要金矿床的硫同位素组成

Table 4. Sulfur isotopic composition of main gold deposits in northern Xinjiang

金矿类型	金矿床	测定矿物	样品数	$\delta^{34}\text{S}/\%$	
				范围	平均值
浅成低温热液型	阿希 ^[4]	黄铁矿	15	1.0~10.5	
	阔尔真阔腊 ^①	黄铁矿、磁黄铁矿	6	1.6~3.5	2.58
	西滩 ^[5]	黄铁矿、方铅矿、闪锌矿	5	0.1~2.3	1.56
韧性剪切带蚀变岩型	多拉纳萨依 ^[18]	黄铁矿	2	-3.3~-0.3	-1.80
	科克萨依 ^①	黄铁矿	1	-0.6	-0.60
微细粒浸染型	萨尔布拉克 ^[15]	黄铁矿、毒砂	11	-6.1~1.2	
变质热液型	望峰 ^②	黄铁矿	4	0.1~12.3	8.60
石英脉型	齐求 ^[2]	黄铁矿、毒砂、方铅矿	14	-0.3~1.7	0.90
伴生型	阿舍勒 ^③	黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿	14	-1.3~6.3	4.60
	乔夏哈拉 ^①	黄铁矿、黄铜矿	6	0.7~2.9	1.63

①、②同表 2; ③中国有色金属地质勘察总局, 1993, 中国铜矿找矿新进展, 第 38~51 页; 空白示缺资料

表 5 新疆北部部分金矿床的铅同位素组成

Table 5. Lead isotopic composition of some gold deposits in northern Xinjiang

矿床	样数	测定矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	μ
康古尔 ^[11]	5	黄铁矿、方铅矿	18.146~18.174	15.534~15.583	37.930~38.088	9.111~9.456
布尔克斯岱 ^①	2	黄铁矿	17.954~18.100	15.445~15.528	37.063~37.968	8.3~9.0
望峰 ^②	3	黄铁矿	18.311~19.565	15.032~15.848	38.360~39.865	8.319~9.765
照壁山 ^[13]	3	黄铜矿、石英	18.541~18.629	15.574~15.671	38.394~38.805	9.400~9.581
阿希 ^[5]	4	方铅矿、黄铁矿、白铁矿	17.988~18.785	15.032~16.011	37.854~39.248	7.920~9.896
阿舍勒 ^③	19	黄铜矿、黄铁矿、方铅矿等	17.854~18.283	15.466~115.633	37.644~38.082	

①同表 3; ②③同表 2; 空白示缺资料

4 包裹体成分特征

通过对比本区各典型金矿床的石英流体包裹体的基本成分(表 6), 可发现各类型金矿床之间的包裹体成分差异较清晰: 浅成低温热液金矿(阿希、阔尔真阔腊等)以明显的 $\text{K}^+ > \text{Na}^+$ 、相对贫 Mg^{2+} 、 F^-/Cl^- 变化无规则、 $\text{CO}_2 > \text{CO}$ 而区别于其它类型的金矿; 韧性剪切带蚀变岩型金矿(康古尔、多拉纳萨依等)则是 $\text{Na}^+ > \text{K}^+$ 、相对富 Mg^{2+} 与 Ca^{2+} 、富 SO_4^{2-} 、 F^-/Cl^- 比值远离 1 (以 $\ll 1$ 为主)、相对较富 H_2O 为特征; 微细粒浸染型金矿(萨尔布拉克)则表现出 $\text{K}^+ \ll \text{Na}^+$ 、 $\text{F}^- \ll \text{Cl}^-$ 、富 Ca^{2+} 且 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ 、富 CO_2 的特点; 变质热液型金矿(望峰)以明显地贫 H_2O 而独具特色; 浅成岩-构造蚀变岩型金矿(布尔克斯岱)则以 $\text{K}^+ > \text{Na}^+$ 、 $\text{F}^- < \text{Cl}^-$ 、富 H_2O 、富 CO_2 且 $\text{CO}_2 \gg \text{CO}$ 为特征; 石英脉型金矿(照壁山等)以 $\text{F}^- < \text{Cl}^-$ 、贫 Mg^{2+} 、富 CO_2 且 $\text{CO}_2 \gg \text{CO}$ 、 $\text{K}^+ < \text{Na}^+$ 或 $\text{K}^+ \approx \text{Na}^+$ 而显示其个性。

表 6 新疆北部主要金矿床的石英包裹体成分 (10^{-6})

Table 6. Chemical composition of fluid inclusions in quartz from main gold deposits in northern Xinjiang

金矿床	样品数	液相							气相				
		K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ O	H ₂	CH ₄	CO ₂	CO
阔尔真阔腊 ^①	1	225.0	14.4	18.40	0.9	6.9	2.7		333	0.1	2.0	64	
阿希 ^[19]	25	14.6	3.3	0.00	0.1	0.7	5.3	11.5	922	0.3	2.4	38	8.7
伊尔曼德 ^[9]	4	8.6	2.6	0.56	0.1		2.8	6.1	3641	1.3	8.1	77	34.1
康古尔 ^[11]	4	6.0	12.3		0.4	1.4	14.3	4.3	336	0.2	2.2	390	0.3
多拉纳萨依 ^[18]	4	11.0	54.1	6.30	1.4	1.3	41.1	36.4	470	0.1	1.8	12	10.5
科克萨依 ^①	1	2.5	13.8	43.10	0.8	5.0	1.4	172.0	375	0.1		30	
萨尔布拉克 ^[20]	3	0.2	5.2	4.28	0.7	0.4	7.0	4.0	978	0.1	7.4	96	0.0
布尔克斯岱 ^[21]	7	3.5	1.3	0.53	0.0	1.6	4.8		1677	1.1	6.4	150	8.8
望峰 ^②	1								153	3.4	0.2	375	1.8
照壁山 ^[13]	4	3.2	5.3	2.85	0.3	0.6	7.0	0.0	1584		6.6	49	1.8
齐求 ^[20]	8	10.2	7.4	0.04	0.1	2.4	4.2	7.5	2156	0.8	4.3	313	2.6

①②同表 2, 样品数大于 1 时取其算术平均值; 空白示缺资料

5 结 论

(1) 本区 7 个类型的金矿床以浅成低温热液型及韧性剪切带蚀变岩型金矿的成矿优势最为明显, 浅成岩-构造蚀变岩型及变质热液型金矿显示了一定的潜在成矿远景。

(2) 硫、铅同位素资料对比发现本区大多数金矿床均显示出较明显的 $\delta^{34}\text{S}$ 为陨石硫、铅为正常铅的共性, 反映了其成矿的硫、铅主要来自深部; 作为新疆目前最知名的大型金矿床——阿希金矿, 其硫同位素组成较为分散、铅同位素组成最为分散, 显示了其成矿中的硫、铅既有深部基底来源、又有部分含矿火山岩地层之来源的双重特性, 昭示了本区一些大型金矿的诞生往往伴有独具的优越成矿条件; 作为新疆目前为数不多的产于志留系变质岩中的重要金矿床之一的望峰变质热液型金矿, 其 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围最宽、铅同位素组成也较为分散, 其矿石的微量元素分布型式仅呈现 Au 高这一“独峰”、流体包裹体成分中明显相对贫 H_2O , 反映了其特有的成矿属性。

(3) 据本区金矿的 REE 及其矿石的微量元素分布型式等成矿地球化学特征、并结合其主要的产出背景, 可将其概括为 4 大金矿系列, 分别是产于岛弧环境下大断裂旁侧的低温浅成金矿系列、产于动力变质环境下的韧性剪切带金矿系列、产于造山带环境下的中高温中深成金矿系列及产于晚古生代海相火山岩中的铜、金伴生型矿床系列。

最后谨向本文所引用资料的单位及作者们诚表敬谢!

参 考 文 献

- 1 胡霭琴, 张国新, 李启新等. 新疆北部主要地质事件同位素年表 [J]. 地球化学, 1995, 24 (1): 20~ 23.
- 2 胡霭琴, 王中刚, 涂光炽等. 新疆北部主要地质演化及成岩成矿规律 [M]. 北京: 科学出版社, 1997, 1: 221~ 238.
- 3 芮行健, 朱韶华, 刘抗娟等. 新疆阿尔泰原生金矿基本特征及区域成矿模式 [J]. 地质论评, 1993, 39 (2): 139~ 147.
- 4 毋瑞身, 田昌烈, 杨芳林等. 新疆阿希地区金矿概论 [J]. 贵金属地质, 1996, 5 (1): 5~ 21.
- 5 姬金生, 薛春纪, 曾章仁等. 新疆东天山康古尔塔格金矿带研究 [J]. 地质论评, 1997, 43 (1): 69~ 77.

- 6 尹意求, 李嘉兴, 张积斌等. 新疆青河县科克萨依韧性剪切带金矿床的构造演化模式 [J]. 矿床地质, 1998, 17 (4): 314~ 320.
- 7 涂光炽. 北疆原生金矿类型划分初步意见 [J]. 新疆地质科学, 1980, (2): 128~ 133.
- 8 赵殿甲. 新疆金矿床的成因类型 [J]. 矿产与地质, 1994, 8 (5): 317~ 320.
- 9 翟伟, 杨荣勇, 漆树基. 新疆伊宁县伊尔曼德热泉型金矿床地质特征及成因 [J]. 矿床地质, 1998, 18 (1): 47~ 54.
- 10 陈仁义. 新疆东准噶尔铜金矿床类型及其时空分布 [J]. 矿床地质, 1995, 14 (3): 228~ 234.
- 11 张连昌, 曾章仁, 韩照信. 新疆鄯善康古尔金矿床地球化学研究 [J]. 地质找矿论丛, 1994, 9 (4): 12~ 21.
- 12 陈哲夫, 成守德, 梁云海等. 新疆开合构造与成矿 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1997, 208~ 210; 261~ 264.
- 13 周济元, 张斌, 张朝文等. 东天山古大陆及其边缘银、铍、钼、金和铜矿地质 [M]. 北京: 地质出版社, 1996, 155~ 165.
- 14 廖启林, 戴塔根, 刘悟辉等. 新疆西天山金、铜地球化学背景探讨及其找矿方向 [J]. 矿产与地质, 1999, 4 (13): 235~ 240.
- 15 芮行健. 新疆阿尔泰金矿床论文集 [C]. 北京: 地质出版社, 1994, 79~ 86; 155~ 156.
- 16 王全明, 方一平, 冯京. 新疆阿舍勒铜锌矿床矿石化学组分分带研究及意义 [J]. 矿床地质, 1995, 14 (4): 314~ 321.
- 17 刘建明, 刘家军, 郑明华等. 微细浸染型金矿床的稳定同位素特征与成因探讨 [J]. 地球化学, 1998, 27 (6): 585~ 590.
- 18 汪玉珍, 刘玉林. 新疆多拉金矿床成因探讨 [J]. 新疆地质, 1992, 10 (2): 101~ 109.
- 19 沙德铭. 西天山阿希金矿流体包裹体研究 [J]. 贵金属地质, 1998, 7 (3): 180~ 188.
- 20 吕瑞英. 新疆萨尔布拉克金矿找矿矿物学标型特征研究 [J]. 地球科学, 1990, 15 (6): 657~ 665.
- 21 郭定良, 吴玺虹, 谭克仁. 新疆布尔克斯岱金矿床含金矿物标型特征及其地质意义 [J]. 大地构造与成矿学, 1996, 20 (2): 165~ 171.

A STUDY OF METALLOGENIC GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF MAJOR GOLD DEPOSITS IN NORTHERN XINJIANG

Liao Qilin^{1,2}, Dai Tagen², Deng Jiniu³ and Wang Junsheng³

(1 Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093;

2 Institute of Geology, Central South University of Technology, Changsha 410083;

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

Key words: gold deposit, ore deposit type, metallogenic geochemical characteristics, northern Xinjiang

Abstract

On the basis of mineralization modes, basic metallogenic features, key ore-controlling indicators, relationship between mineralization and its ore-forming environment, the primary

(下转接 314 页 to be continued on p. 314)

and NNE-trending zones. The gold deposits with superhigh-grade ore are located in the intersections of the two sets of zones, where the frequency of P-type pyrite is higher than 90%, the average value of thermoelectrical coefficient of P-type pyrite is higher than $250\mu\text{V}/^\circ\text{C}$, and the dispersion of thermoelectrical coefficient of P-type pyrite is lower than 1.5. These characteristics indicate that the superhigh-grade gold deposits were formed in the confined tensile faulted zone under the conditions of lower temperature, higher content of As, Sb and Te in ore-forming fluid, and insignificant variation of temperatures and composition in the fluid. The abundant gold was derived from Guojialing granodiorite through the ore-forming fluid. Metallogenic location was close to the channel along which ore-forming fluid migrated upward.

(上接第 306 页 continued from p. 306)

gold deposits in northern Xinjiang can be divided into seven types, namely epithermal gold deposits, altered rock type gold deposits in the ductile shear zone, micro-fine-grained dissemination gold deposits, supergene and structural-altered rock type gold deposits, metamorphic hydrothermal type gold deposits, auriferous quartz vein type deposits and copper-gold associated deposits. By means of analysing and comparing these typical gold deposits in such aspects as REE partitioning patterns, trace element content and their partitioning patterns in gold ores, sulfur and lead isotopic composition and composition of quartz fluid inclusions, the authors deal with their metallogenic geochemical characteristics. In the light of their metallogenic geochemical features and basic ore-forming background, the authors generalize these gold deposits into four important mineralization series, viz. low-temperature and supergene gold series formed in some lateral districts beside large fractures in the island arc, gold series hosted in some ductile shear zones related to dynamic and metamorphic environment, middle-high temperature and middle-hypogene gold series formed in some orogenic belts, and copper-gold associated series formed in Late Paleozoic marine volcanics. The authors also consider that a large-size gold deposit is often characterized by some special preferential mineralization conditions, and metamorphic hydrothermal type gold deposits have some specific mineralization features.