

分散元素矿床类型、成矿规律 及找矿-综合利用方向

杨敏之

(天津地质研究院, 天津 300061)

摘 要: 对我国 86 个大-中型矿床(铅锌矿床 30 处、铜矿 29 处、钼矿 14 处、金矿 6 处、铝矿 2 处、钨矿 2 处、锡、铁、煤矿各 1 处)内分散元素地质调查、分散元素查定基础上,着重从成矿地质条件、成矿物质来源、成矿机制、赋存状态划分了伴生分散元素金属矿床的类型和分散元素独立矿床的类型。对各类型矿床内 8 种分散元素(Cd, Ge, Ga, In, Tl, Se, Te, Fe)的存在形式,进行了单矿物提纯、岩矿鉴定、化学定量分析、X 光衍射分析、电子探针分析、形成温度测定。总结了各类型矿床分散元素的成矿规律,指出了找矿-综合利用方向。

关键词: 分散元素矿床类型; 分散元素成矿规律; 分散元素找矿-综合利用方向; 中国

中图分类号: P612; P618.7 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2006)01-0001-09

1 分散元素矿床类型

1.1 伴生分散元素的金属矿床类型

1.1.1 伴生分散元素铅锌矿床类型

从成矿地质、地球化学特征上,对伴生分散元素的铅锌矿床划分了 6 种类型(表 1,表 2)。其中热水沉积-改造型铅锌矿床内最富含分散元素,伴生分散元素铅锌矿床内分散元素主要赋存于各种闪锌矿内(表 2)。成矿温度上^[10],低温黄色闪锌矿(100~200℃)内富含镉、锗、镓、铊,中温棕褐色闪锌矿(200~300℃)内含有镉、镓,高温黑色闪锌矿(300℃~450℃)内赋存有铟。硒、碲主要在黄铁矿、磁黄铁矿内。

1.1.2 伴生分散元素的铜矿床类型

伴生分散元素的铜矿床划分了 6 种类型(表 3)。各类型铜矿床内均含有碲、硒、铟、镓。斑岩型、岩浆铜镍矿床内存在有多种碲、硒的独立矿物(辉碲铋矿、硒硫铁矿、碲铋钼矿等)。铟、镓在黄铜矿内,硒、碲存在于黄铁矿、磁黄铁矿内。

1.1.3 伴生分散元素的钼矿床类型

伴生铋的钼矿床类型有 4 种(表 4)。斑岩型、夕卡岩型钼矿床的辉钼矿内铋的含量较高。辉钼

矿同质多形 2H₁+3R 型内铋的含量偏高。中温热液作用(200~350℃)形成的辉钼矿内铋有较高的含量。

1.1.4 伴生分散元素的金矿床、锡-多金属、钨矿床类型

与绿岩带或碱性杂岩有关的含金-石英脉型金矿床内均产出多种金-银碲化物矿物;微细浸染型金矿床内出现铊的独立矿物(辉铊矿、硫铊铋汞矿等)。锡-多金属矿床矿石内含有 In, Cd, Ga, Se, Te。这些分散元素赋存在闪锌矿、锡石内。斑岩型钨矿床、钨-铋石英脉型钨矿床内产出碲的独立矿物(碲铋铋矿、辉碲铋矿等)(表 5)。

1.1.5 伴生分散元素的铝、铁和煤矿床

铝土矿床内富含镓,铁矿床内含有锗,煤矿矿层内含有铊(表 6)。

1.2 分散元素独立矿床类型

近年来发现的分散元素独立矿床有 10 处(锗 3 处、镉 2 处、硒 2 处、铊 2 处、碲 1 处)。从成矿地质条件、成矿过程、成矿机制上,这些矿床可划分为 6 种类型,主要为沉积-低温热液-改造型矿床和高-中温-中深成热液型矿床;矿种以锗、铊、碲、硒、镉为主。成矿作用上以低温和生物、有机质作用有关(表 7)。

表1 伴生分散元素铅锌矿床类型、地质地球化学特征及其分散元素组合

Table 1 Geological and geochemical characteristics of the Pb-Zn ore deposits with by-product of the disperse elements and the disperse element assemblage

主金属矿床	矿床类型	代表性矿床	控矿构造	含矿岩石组合	成矿时代 (Ma)	矿体形态	围岩蚀变	矿石结构、构造	矿物组合	分散元素组合	分散元素载体矿物	成矿温度 (°C)	同类型矿床
铅矿	热水沉积-弱改造矿床	高河	位于燕辽中-晚元古代地槽槽内, 呈 NEE 向分布, 受 NE 向压扭性断裂、倒转褶皱控制。	中元古界高于庄组桑树砬亚组, 矿体顶板为含锰白云岩, 底板为黑色页岩	1 434	层状、似层状、扁豆状	碳酸盐化、硅化、黄铁矿化	层纹状、莓状、团斑状构造, 晶粒、球粒结构	黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、白铁矿、菱铁矿	Cd, Ga	黄色闪锌矿	115 ~ 220	花垣、银冶岭、锡安、团宝山
	热水沉积-强烈改造矿床	青城子	位于早-中元古代辽东裂谷中部, 受 EW 向褶皱、NE 向张扭性断裂与 NW 向推覆构造共同的控制。	早-中元古界辽河群浪子山组变粒岩、斜长角闪岩, 大石峪组一段白云石大理岩、透辉透闪变粒岩, 出现多期斑状黑云花岗岩	1 470 强烈改造年龄 421, (234 ± 14) ~ (235 ± 31) (印支中期)	似层状、凸透镜状、脉状	硅化、白云石化、绢云母化、铁锰碳酸盐化	纹层状、莓球状构造, 变斑状结构, 花岗变晶结构, 交代残留结构	闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、银铜矿	Cd, In, Ge, Ga	闪锌矿	14 ~ 280 320 ~ 370	东升庙、西成厂坝、凡口、罗平、会泽、酒厂
	热水沉积-气液叠加矿床	水口山	受 NNE 向断裂及 SN 向倒转背斜的控制	二叠系上统当冲组含锰泥灰岩、硅质岩, 二叠系下统栖霞组含煤石灰岩, 中生代花岗岩	300 ~ 250 叠加改造年龄: 180 ~ 80	凸透镜状、扁豆状、似层状、脉状	硅化、水云母化、绿泥石化、萤石化、碳酸盐化、夕卡岩化	变晶结构、固溶体分离结构, 条带构造、细脉、网脉状构造	黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂	Cd, In	闪锌矿	240 ~ 370	八家子、黄沙坪
锌矿	火山-热液矿床	银山	赣东北深断裂的北西部, 火山岩系呈 NE 向分布, 铅锌矿集中区位于 NE 向断裂与 EW 断裂交汇处	侏罗纪末流纹状英安斑岩、英安质火山碎屑岩、千枚岩	160 ~ 140 [35, 36]	脉状、网脉状、平缓似层状	绢英岩化、硅化、碳酸盐化、绿泥石化	晶粒结构、交代残留结构、团斑状构造、网脉状构造、角砾构造	闪锌矿、黄铁矿、方铅矿、黄铜矿、毒砂、磁黄铁矿、淡红银矿等	In, Cd, Ga	闪锌矿	210 ~ 412	冷水碛、五都、扣花营
	火山喷气-变质矿床	寨家营 ^[4]	位于尚义-崇礼-赤城深断裂 (南部 EW 向) 与康保-围场深断裂 (北部 EW 向) 之间, 矿区内发育 10° ~ 20° 断裂, 控制了铅-锌矿体展布	下元古界红旗营子群大同营子组夕线石斜长变粒岩、黑云斜长变粒岩、角闪变粒岩、大理岩	119 [50, 51] 燕山晚期	脉状、凸透镜状、囊状	黄铁绢英岩化、阳起石化、硅化、绿泥石化、碳酸盐化	条带状、细脉浸染状、团斑状构造、固熔体结构、交代残留结构	铁闪锌矿、方铅矿、辉银矿、毒砂、磁黄铁矿、黄铁矿	Cd, In, Se, Ti	闪锌矿	230 ~ 360	西榆林、锡铁山、小铁山
	夕卡岩型矿床	桓仁	产出铅锌的夕卡岩位于花岗闪长岩与寒武-奥陶系灰岩接触带内, 沿 EW 向断裂带分布	中奥陶系晶质灰岩、白云质灰岩、燕山晚期花岗岩、花岗斑岩	130 ~ 140 燕山晚期	凸透镜状、饼群状、囊状	钙铁石榴石-透辉石-绿帘石化	交代残留结构、斑晶-粒状结构、网脉状构造、条带状构造	闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿	In, Cd, Te	闪锌矿	250 ~ 340	青阳、五昌庙

表 2 伴生分散元素铅锌矿床中闪锌矿的分散元素质量分数
Table 2 Disperse element content of sphalerite in Pb-Zn ore deposits with by-products of the disperse elements

Table 2 Disperse element content of sphalerite in Pb-Zn ore deposits with by-products of the disperse elements																				w _B /10 ⁻⁶						
主 金属 矿床	代表性 矿床	闪锌矿 特征	形成 温度· (℃)	Cd		In		Ge		Ga		Tl		Se		Te		同类型 矿床								
				分析 样数	变化 范围	平均	分析 样数	变化 范围	平均	分析 样数	变化 范围	平均	分析 样数	变化 范围	平均	分析 样数	变化 范围									
热水沉积- 弱改造矿 床	高板 河 ^[4]	淡黄色、 黄色	115~ 140	13	2300~ 14980	4447	13	2~36	15	13	3~184	63	13	7~210	88	13	9~261	72	花垣、铜 安、团宝 山、银冶岭							
			370~ 450	38	150~ 260	2100	38	300~ 452	360	38	3~25	18	38	30~61	23	38	2~28	10		3~5	3.30	38	1~3	2.20		
			250~ 320	32	4300~ 5600	4933	32	0.6~ 0.89	0.78	32	11~40	57	32	15.50~ 31.60	21.20	32	0.1~ 1.1	0.40		0.1~ 0.2	0.15	32	0.1~ 0.3	1.70		
			220~ 280	27	4700~ 5300	4987	27	0.52~ 0.89	0.68	27	2~14	8	27	13.50~ 18.40	16.40	27	0.60~ 0.90	0.69		15~28	24	27	2.0~ 4.7	3.50		
			140~ 200	30	2500~ 15000	12000	30	2~ 10	5.73	30	350~ 2100	1300	30	17~ 34.5	136	30	1.65~9	5.04		0.6~ 3.5	1.50	30	0.3~4	1.63		
铅	热水沉积- 气液叠加 型矿床	水口山	黑褐色	240~ 370	43	1420~ 4060	2396	43	40~164	74	43	1~25	7	43	4.4~55	21.50	43	0.1~ 2.0	0.83	43	0.3~ 29	12	43	10.63	29	八家子、黄 砂坪
				335~ 412	39	2000~ 4300	3185	39	38~640	246	39	0.7~5	2	39	2.00~ 52.60	35.23	39	5~9	8.00	1~23	13.40	39	1~9	5.4		
矿 床	火山-热液 型矿床	银山	棕褐色	210~ 270	46	1860~ 2500	2685	46	127~ 335	215	46	1~2.5	2	46	2.50~ 49.00	27.60	46	2.5~ 49.00	27.60	46	3.6~20	14.50	46	2.5~ 4.5	3.5	冷水洞、五 都、扣花营
				125~ 140	350	1000~ 3300	2000	35	125~ 330	214	35	2.0~ 6.5	5	35	2.00~ 39.00	25.00	35	2.00~ 39.00	25.00	5.5~ 25	14.10	35	2.0~ 4.5	3.0		
				230~ 360	52	1427~ 4200	3540	52	57~ 400	112	52	0.8~ 30.8	24	52	5~57	22.00	52	5~57	22.00	1.3~37	23	52	3~5	4.2	西榆皮、锡 铁山、小铁 山	
				340~ 460	360	192~ 4800	1863	36	50~ 200	136	36	2~12	8	36	4~54	26	36	4~54	26	2~5	3	36	1~4	2.5		
				250~ 310	40	3800~ 9900	4470	40	17~50	30	40	3~19	15	40	2~42	33	40	2~42	33	40	12~34	25	40	17~21		
120~ 210	32	1200~ 5200	3500	32	5~20	13	32	13~29	12	32	15~40	28	32	15~40	28	32	4~23	16	32	22~123	40					

* 共生石英等脉石矿物内气液包裹体均一法测温,经等重直方图统计结果。

表3 伴生分散元素铜矿床类型及黄铜矿的分散元素质量分数

Table 3 Disperse element content of chalcopyrite in Cu deposits with the disperse elements as by-product

主金属 矿床	矿床类型	代表性 矿床	控矿构造	含矿岩石 组合	矿体形态	围岩蚀变	矿石 矿物组合	矿石 结构构造	成矿时代 (Ma)	成矿温度 (°C)	分散元素 载体矿物	分散元素 组合	分散元素 ($\mu\text{g}/10^{-6}$)	同类型 矿床
铜 矿 床	斑岩型 铜矿床	德兴、铜 厂、富家 坞、朱砂 红	沿赣东北 $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 方向深断裂分 布,矿体受NWW, NW及SN三组断 裂的控制	燕山早期花岗岩 长斑岩复式岩体, 闪长玢岩	筒状、细 脉状、细 脉浸染 状矿体	石英、白云母 化、钾长石 母、黑云母 化、绿泥石 化、绿帘石 化	黄铜矿、黄铁 矿、斑铜矿、辉 钨矿、内柱矿、 方铅矿、辉钼 矿	细脉浸染状 构造、晶洞、 角砾状构造、 包含结构、交 代残留结构、 压碎结构	中侏罗 世 179 ~157	210 430	辉钼矿、 碲银矿、碲 金银矿、碲 铜矿、黄铜 矿、辉钼 矿、黄铁矿	Te, In, Re, Se, Ga	黄铜矿(13个样平均值): In=9.2, Ga=1.9, Ge=0.3 黄铁矿(3个样平均值): Ga=0.4, Ge=1.7, In=0.4, Se=31, Te=11.4 辉钼矿(1个样): Re=263	玉龙、中 条山
	夕卡岩 型铜矿 床	铜官山	受NE、NNE向断 裂构造多期次活 动控制,成矿作用 出现在NE向缓 倾斜倒转背斜、倾 没背斜、倒转背斜 多种封闭构造内	石炭系黄龙组底 部品质灰岩、白云 质灰岩、白云质灰 岩;石炭-二叠系、 三叠系白云质灰 岩与花岗岩长岩、 石英闪长岩接触 带	凸镜状、 囊状、饼 群体似 层状	钙铁石榴石 透辉石夕卡 岩、钙铁辉石 化、透闪石- 蛇纹石化、阳 起石化	黄铜矿、斑铜 矿、黄铁矿、辉 钨矿、磁铁矿、辉 钼矿	层纹状、斑状 构造、变晶结 构、交代残留 结构	186 ~113, 晚 侏罗世- 早白垩 世	250 420	黄铜矿、黄 铁矿、磁黄 铁矿、辉钼 矿	In, Ga, Se, Te, Re	黄铜矿(20个样平均值): In=76, Ge=5, Ga=50 黄铁矿(17个样平均值): Se=30, Te=80	华铜、寿 王坟、城 门山、武 山、狮子 山、老庙 基山
	火山-块 状硫化 物型铜 矿床	白银厂	位于古火山穹窿 构造内,沿NW向 火山-构造带分布	寒武-奥陶纪细碧 角斑岩、树质海相 火山岩岩石组合: 石英角斑岩、细碧 岩、火山碎屑岩	透镜状 扁豆体、 似层状、 饼群体	绿泥石化、绢 英岩化、碳酸 盐化、硅化、 绿帘石化	黄铁矿、黄铜 矿、铁闪锌 矿、磁黄铁 矿、黝铜矿	网脉状、浸染 状、块状构造、 球状结构、 变晶状结构、 交代结构	446 ^[41] , 晚奥陶 世	200 350	黄铁矿、黄 铜矿、铁闪 锌矿、磁黄 铁矿	In, Ga, Se, Te	黄铜矿(14个样平均值): In=85, Ga=53, Ge=2.5, Se=60, Te=81 黄铁矿(12个样平均值): Se=89, Te=70	西蒸石 青铜、折 腰山、火 焰山
	火山-喷 气-变质 型铜矿 床	红透 山 ^[1]	受NEE-EW向褶 皱-断裂构造控 制,矿床产于两端 封闭的倒转向形 褶皱内,轴向S陡 倾	太古宙清原群红 透山组上部石楠 黑云斜长片麻岩、 夕线黑云斜长片 麻岩、角闪斜长片 麻岩内	囊状、似 层状、透 镜状	硅化、透闪石 化、黑云母 化、绢云母 化、绿帘石 化、碳酸盐化	黄铜矿、磁黄 铁矿、铁闪锌 矿、黄铁矿	斑状、角砾 状、条带状构 造、似海棉晶 体结构、变晶 结构、固溶体 结构	3258 $\pm$ 37 ^[1]	370 520	黄铜矿、磁 黄铁矿、黄 铁矿	Se, In, Te	黄铜矿(8个样平均值): In=10, Ga=5, Se=426 磁黄铁矿(20个样平均 值): Se=114, Te=11 黄铁矿(7个样平均值): Se=28, Te=10	霍各气、 大荒沟、 树基沟、 西北山
热 水 沉 积 变 质 型铜矿 床	热 水 沉 积 变 质 型铜矿 床	东川易 门 ^[39,40]	川一易门拗拉槽 内,受SN向构造 控制,在NE向、 EW向、SN向构造 线制约的三角地 带	元古宇中昆阳亚 群洛雪组下部、底 部和绿汁江组白 云岩岩石组合内	层状、似 层状、凸 镜状、扁 豆体	白云岩化、硅 化、铁锰碳酸 盐化	黄铜矿、辉铜 矿、斑铜矿	层纹状、马毛 丝状、斑点 状、角砾状构 造、交代残留 结构、变晶结 构	新元古 代、早震 旦世 810 ~770 ^[43]	160 250	黄铜矿、斑 铜矿	In, Se, Te	黄铜矿(12个样平均值): In=156, Se=130, Te=42 斑铜矿(8个样平均值): In=283, Se=121, Te=14	拉拉大 红山、烂 泥坪
	岩浆熔 离-铜-碲 型矿床	金川、 白家咀 子 ^[38]	位于边缘隆起构 造-断裂带控矿构 造线由EW向转 变为NW向,在转 折部成矿,矿区为 一向SW倾斜的 单斜构造	纯橄岩、二辉橄 岩、橄辉二辉 岩、二辉岩	板状体、 楔形板体、 透辉体、 漏斗状、 脉状	透闪石化、次 闪石化、蛇纹 石化、精石 碳酸盐化、金 云母化、黑云 母化、透辉石 化	磁黄铁矿、磁 黄铁矿、紫硫 铁矿、方黄 铜矿、白铁 矿、黄铁矿、 铜尖晶石	海棉晶、铁构 造、斑点状构 造、网脉状构 造、固溶体分 离结构、包含 结构	1509 ~820	400 600 350 550	碲银矿、碲 金银矿、碲 铜矿、碲钼 矿、碲铋矿 矿、黄铜 矿、方黄铜 矿	Te, Se	黄铜矿及方黄铜矿 Se=97~2240, 碲 黄铁矿 Se=46~217, 磁铁矿 Se=57 ~182, 黄铁矿 Se=37~269, 碲以硫 化物多种独立矿物存在黄铜矿内 Ga =2~13, Ge=0.9~2, In=1~4, Te=1~8.	黄铜矿、碲 金银矿、碲 铜矿、碲钼 矿、碲铋矿 矿、黄铜 矿、方黄铜 矿

表 4 伴生铼的钼矿床类型及其辉钼矿中铼的质量分数

Table 4 Types of Mo deposits with Re as by-product and variation of Re content in molybdenite							
主金属钼 矿床类型	矿床名称	矿物-岩石组合	辉钼矿同质 多型类别	$w(\text{Re})/10^{-6}$			
				样品数	变化范围	平均值	
夕卡岩型钼矿床、铜 钼矿床	杨家杖子	辉钼矿-透辉石夕卡岩	2H ₁	24	90~ 279	140	
		辉钼矿-钙铁石榴石夕卡岩	2H ₁	20	20~ 50	35	
		辉钼矿-硅化夕卡岩	2H ₁	22	2~ 20	9	
	华铜华峰坑	辉钼矿-黄铜矿-钙铁石榴石夕卡岩	2H ₁	13	10~ 50	30	
	吉林临江	辉钼矿-黄铜矿-钙铁石榴石夕卡岩	2H ₁	16	16~ 80	50	
	安徽笔山	辉钼矿-钙铁石榴石夕卡岩	2H ₁	20	22~ 60	46	
斑岩型钼矿床、铜钼 矿床	江 西 德 兴 铜 厂 ^[52]	辉钼矿-黄铜矿-绢云母-硅化花岗闪长斑岩	2H ₁ + 3R	3	879~ 2630	1378	
			2H ₁	2	127~ 244	185	
	陕西金堆城	辉钼矿-绢云母化花岗斑岩	2H ₁	11	5~ 26	17	
		辉钼矿-硅化安山玢岩	2H ₁	9	7~ 20	12	
		吉林大黑山	辉钼矿-绢云母化硅化斜长花岗岩	2H ₁	16	10~ 64	35
	辉钼矿-淡红沸石-高岭石化斜长花岗岩		2H ₁	25	5~ 30	17	
	江西阴储岭 ^[52]	辉钼矿-黑钨矿-绢英岩化二长花岗斑岩	2H ₁	1	66	66	
夕卡岩-斑岩过渡型 钼矿床	河南栾川上房 沟	辉钼矿-镁质夕卡岩、绢云母化花岗斑岩	2H ₁	3	4~ 20	14	
石英脉型铜钼矿床、 钨钼矿床	黄铜矿-辉钼矿- 石英脉	安 徽 安 庆 月 山 ^[6]	辉钼矿、黄铜矿、斑铜矿、白云石、细晶闪长岩	2H ₁ + 3R	5	15~ 60	48
	辉钼矿-石英脉	安 徽 太 平 萌 坑 ^[6]	辉钼矿、钾长石、石英、绢英岩、花岗岩	2H ₁	6	20~ 45	35
	辉钼矿、石英脉	河北撒岱沟门	辉钼矿、微斜长石化、绢英岩化斑状花岗岩	2H	32	10~ 55	39
	辉钼矿-石英脉	吉林石人沟	辉钼矿、钾长石、绿泥石、高岭石化、花岗岩	2H ₁	14	5~ 40	32
	辉钼矿-黑钨矿- 石英脉	江西西华山	辉钼矿、黑钨矿、云英岩、黑云母花岗岩	2H ₁	16	12~ 34	28

表 5 伴生分散元素矿床类型、分散元素含量及赋存形式表

Table 5 Types of ore deposits with disperse elements as by-product and occurrence of the disperse elements				
主金属矿床	矿床类型	伴生分散元素及其赋存状态	分散元素 $w_B/10^{-6}$	矿床名称
金矿床	与绿岩带有关的金-石英脉型	以金-银碲化物形式存在, 碲金银矿、碲银矿、碲铅矿、碲铋矿		乳山金青顶、平邑归来庄
	与碱性杂岩有关的碲-金-石英脉型 ^[45,46]	碲铅矿、碲金银矿、碲金矿、碲铅金矿、硫碲铅矿、自然碲		河北东坪
	微细浸染型金矿床 ^{24, 25]}	铊: 辉铊矿、硫铊铊汞矿、硫铁铊矿、褐铊矿、含铊黄铁矿、红铊矿		桂西北、金牙、明山、高龙
锡石-多金属矿床	热水沉积-气液叠加强烈改造锡-多金属矿床	铟、镉、硒、碲赋存在黑色铁闪锌、锡石内	闪铟矿(样品数): In= 375 (133), Cd= 520(67), Ga= 16 (122), Se= 8(21), Te1= (19) 锡石(样品数): In= 40(7), Ga= 4(3), Se= 15(1), Te= 10(1)	广西大厂(大福楼、长坡、铜坑、巴力、龙头山)
钨矿床	斑岩型钨矿床	硫碲铋矿 B、赫碲铋矿		广东莲花山
	钨碲石英脉型矿床	碲铋矿 B、碲铋矿 A、多碲铋矿、辉碲铋矿		江西盘古山

表 6 伴生分散元素的铝、铁、煤矿床及其分散元素质量分数
Table 6 Al, Fe, coal deposits with disperse elements as by-product and content of the elements

主矿床	矿床类型	伴生分散元素及其赋存状态	伴生分散元素($w_B/10^{-6}$)	有关矿床
铝土矿床	沉积-水铝土矿床 ^[34]	镓存在于一水铝石内,与 Al ₂ O ₃ 有关,上下盘为铝土页岩粘土质页岩(石炭系)	Ga= 14~ 120(34 个样),平均值= 59	华北某地
	风化三水铝土矿床 ^[34]	镓存在于三水铝石内,矿物组合有硬水铝矿、勃水铝矿、蒙脱石、水云母、高岭石、绿泥石等	Ga= 47~ 77(15 个样),平均值= 55	华南某地
铁矿床	沉积铁矿床、沉积-变质铁矿床	锗存在于赤铁矿、结晶赤铁矿、磁铁矿内,矿物组合有鲕绿泥石、黑硬绿泥石等	Ge= 80~ 240(14 个样),平均值= 120 ^[53]	湘东北某地
煤矿床	沉积-生物矿床	锗存在于镜煤、亮煤内,以锗腐殖盐形式存在于煤的有机质中,呈锗的有机化合物	Ge= 80~ 2500(140 个样),平均值= 460 ^[54]	华北某地

表 7 分散元素独立矿床类型、矿床实例、主要特征表
Table 7 Types of independant deposits of disperse element and the examples and their main characteristics

分散元素 独立矿床类型	元素组合	矿床实例	产出岩石组合	矿石矿物组合
高-中温-中深成热液型矿床	碲(金)	四川大水沟 ^[47-49]	中-下三叠统碳泥质白云岩、白云石大理岩、变质玄武岩	辉碲铋矿、黄碲铋矿、硫碲铋矿、碲铋矿、六方碲银矿、碲金矿、软碲铜矿、自然碲、碲华
沉积-变质-改造型矿床	硒(金)	川甘交界拉尔玛 ^[31]	寒武系太阳顶群上部的深灰-灰黑色块状-厚层状碳质硅岩、碳硅质板岩	灰硒汞矿、硒硫锑矿、硒锑矿、硒铜矿、灰硒铅矿、硒镍矿、硒硫锑铜矿、白硒铁矿
	铊(汞)	贵州滥木厂 ^[21]	上二叠统龙潭组泥质碳酸盐岩和下二叠统夜郎组页岩、灰岩、泥灰岩	红铊矿、斜硫铊汞矿、硫铁铊矿、辰砂、雌黄、雄黄
	铊(砷)	云南南华 ^[23]	上侏罗统雄黄厂段碳质泥质白云岩、碳泥质灰岩、白云质泥岩	铊黄铁矿、辉铁铊矿、硫砷铊铅矿、硫砷铊矿、雄黄、雌黄
沉积-低温热液-改造型矿床	硒	鄂西南渔塘坝 ^[28]	二叠系下统茅口组碳质硅质岩、碳质页岩、硅质岩	硒铁矿、方硒铜矿、黄硒矿、硒银矿、自然硒、硒黄铁矿
	镉(锌)	贵州牛角塘 ^[26]	下寒武统清虚洞组藻类白云岩、泥灰岩、泥岩、黑色页岩	硫镉矿、菱镉矿、镉闪锌矿、黄铁矿
	镉(锌)	俄罗斯突伯 ^[61]	泥盆纪砂岩	硫镉矿、镉硒矿、菱镉矿、闪锌矿、黄铁矿
热水沉积-变质改造矿床	锗(煤)	云南临沧 ^[31, 32]	新第三纪第一-岩性段硅质岩、泥灰岩、碎屑岩、煤层	含锗褐煤、锗腐植体、锗的有机化合物
火山-热液型	锗(锡、铜、锌)	玻利维亚中南部 ^[62]	斑岩、凝灰岩、流纹岩、泥质岩	硫银锗矿、锡石、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿
热水沉积-气液叠加-改造型	锗(砷、铜、铅、锌)	南非西南部特素木部 ^[62]	元古代白云岩、晶质灰岩	锗石、硫锗铁铜矿、砷黝铜矿、硫砷铜矿、黄铜矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿

2 分散元素矿床的成矿规律

积区,地壳盖层较厚的地域。如我国江南地块的滇黔分散元素成矿区。

分散元素矿床内产出的岩石组合和容矿岩石主要为硅质岩(锗)、藻类白云岩(镉)、碳质泥质灰岩(铊)、碳质硅质页岩(硒)及黑色岩系(硒、铼、锗等)

分散元素矿床主要密集出现在克拉通周边的沉

有关的岩石组合。

分散元素矿床产出的地层层位主要为古生界(寒武系、奥陶系、泥盆系、二叠系)和三叠系,部分为元古界地层。

各种类型分散元素具有独自的元素组合和矿物组合特征。各类型矿床内出现的元素组合有: Cd-Ge-Zn , Mg-As-Ti , In-Fe-Zn , Se-Te-S , Ge-As-Fe , Re-Mo , Te-Au , Bi-Te 等; 矿物组合有砷、铋、锑、铊、硒、碲等含硫盐类矿物组合。

赋存分散元素矿物和分散元素独立矿物的产出,与分散元素成矿的物理化学条件有着依存关系: 高-中温黑色闪锌矿(300~450℃)内富含有铟; 低温黄色闪锌矿(100~200℃)内则富含有锗、镉、镓。成矿阶段晚期出现铊、铋的独立矿物。

分散元素在矿物内的含量变化与矿物的晶体结构、晶体化学类别有关。 $2\text{H}_1 + 3\text{R}$ 型辉钼矿内富含铋。分散元素独立矿物主要为砷、锑、铋含硫盐类矿物。

分散元素独立矿床类型主要为低温-改造型矿床(锗、镉、铊、镓),成矿温度为 100~250℃。碲、铟、铋的成矿温度偏高(250~400℃)。

分散元素超常富集的矿床是与矿床多个成矿阶段的继承-聚集有关。分散元素的富集和分散元素独立矿物的出现多在成矿作用晚期阶段。

分散元素矿床氧化带、铁帽带内产出超常富集的氧化矿石。地表氧化作用下,分散元素形成氢氧化物(水铟石, $\text{In}(\text{OH}_2)$; 锗铁矿, $\text{Fe}^{2+} \text{Ge}(\text{OH})_6$)、锗的硫酸盐(钙锗矾)、硒酸盐(黄硒铅矿, PbSeO_4)、碳酸盐(菱镉矿, CdCO_3) 和胶体吸附状态的锗水赤铁矿等。

生物、海藻、深海沉积物、火山灰、火山玻璃内都有分散元素的超常富集。

3 分散元素矿床的找矿-综合利用方向

加强我国滇黔地区、华北地块北缘地区、陕甘川地区、辽吉等分散元素矿床密集区内分散元素的地质找矿和开发利用工作。

对富含分散元素的铅锌、铜、钼、锡等金属矿床矿石、精矿、尾矿、选冶产品内分散元素的调查和查定工作。加强地质矿山-选厂-冶炼厂-环保工作等多方面的沟通和协调,提出分散元素综合利用方案和治理-研究的长远规划。

加强分散元素独立矿物、独立分散元素矿床和新类型的找矿工作,开拓分散元素资源找矿的新领域。

注意分散元素矿床表生-氧化带、土壤、地下水、植被、河流内分散元素原生晕、次生晕的研究。圈定分散元素分散晕的异常区。编制分散元素分散晕的分布图。提出分散元素利用和环保治理方向。

对现已勘探、开发的分散元素金属矿床需补充分散元素地质调查和查定工作。特别要加强分散元素金属矿床矿石内微粒、微量、微区的矿相学研究工作。圈定分散元素富集地段和富集区。

生物-有机质作用对分散元素分散、富集的实验研究,海洋沉积物、火山作用及火山灰、火山玻璃内分散元素的分布、含量变化、富集规律的研究,是当代分散元素研究的新领域。

参考文献:

- [1] 杨敏之. 红透山铜矿床氧化带内硒的地球化学及其资源-环境利用方向[J]. 地质找矿论丛, 2004, 19(3): 143-146.
- [2] 杨敏之. 关门山铅-锌矿床氧化带内铟的超常富集地球化学及其资源-环境利用方向[J]. 地质找矿论丛, 2003, 18(4): 220-224.
- [3] 杨敏之. 分散元素矿床类型、成矿规律及成矿预测[J]. 岩石矿物地球化学通报, 2000, 19(4): 381-383.
- [4] 杨敏之. 冀北银矿床类型、矿床地质地球化学、地史-演化模式及找矿方向[J]. 地质找矿论丛, 2000, 15(3): 193-203.
- [5] 杨敏之. 含铋矿床的新成因类型及其地质找矿方向[J]. 地质地球化学, 1983, (2): 13-14.
- [6] 杨敏之, 倪集众. 我国某地区钼矿床成矿的地质特征及钼族元素的研究[J]. 地球化学, 1975, (1): 11-21.
- [7] 杨敏之, 倪集众. 我国某地区夕卡岩型、热液型铜矿床内贵金属元素的地球化学[J]. 地球化学, 1974, (3): 157-168.
- [8] 杨敏之. 分散元素存在形式的研究现况和动向[J]. 地质快报, 1964, (1): 1-4.
- [9] 杨敏之. 不同类型钼矿床内铋、硒地球化学资料的讨论[J]. 地质快报, 1963, (15): 1-6.
- [10] 杨敏之. 中国辽东一些多金属矿床中闪锌矿的形成温度与其物理化学性质的关系[J]. 地质学报, 1961, 41(1): 45-63.
- [11] 杨敏之. 铊的地球化学[J]. 地质科学, 1960, (3): 148-158.
- [12] 涂光炽. 分散元素地球化学及成矿机制[M]. 北京: 地质出版社, 2003. 1-423.
- [13] 涂光炽. 中国超大型矿床(I)[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 1-584.
- [14] 涂光炽. 中国层控矿床地球化学(第一卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 1-351.
- [15] 涂光炽. 初论碲的成矿问题[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 211-214.
- [16] 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室. 矿床地球化学[R]. 北京: 中国科学矿床地球化学开放研究实验室, 1997. 1-517.
- [17] 王秀璋. 中国改造型金矿床地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1992. 1-173.
- [18] 芮宗瑶. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1994. 1-558.
- [19] 芮宗瑶. 中国斑岩铜(钼)矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1984. 1-333.

- [20] 芮宗瑶, 李宁, 王龙生, 等. 关门山铅锌矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1991. 1-184.
- [21] 张宝贵, 张忠溢. 木厂独立铊矿床主要地球化学特征[A]. 中国科学院地球化学研究所. 资源环境与可持续发展[C]. 北京: 科学出版社, 1999. 122-124.
- [22] 张宝贵, 胡静, 王三学. 西南低温成矿域铊(含铊)矿床地球化学和生物成矿[J]. 矿物岩石地球化学通报. 2000, 19(4): 341-342.
- [23] 张忠, 张兴茂, 张宝贵. 南华砷矿床碱金属碱土金属地球化学[A]. 中国科学院地球化学研究所. 资源环境与可持续发展[C]. 北京: 科学出版社, 1999. 413-415.
- [24] 范裕, 周涛发. 铊矿床成矿规律[J]. 地质科技情报, 2005, 24(1): 55-60.
- [25] 潘家永, 张乾. 微细浸染型金矿床与分散元素铊的共生关系[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 343-345.
- [26] 叶霖, 刘铁庚. 贵州牛角塘富镉的赋存状态和矿床成因初步研究[A]. 中国科学院地球化学研究所. 资源环境与可持续发展[C]. 北京: 科学出版社, 1999. 113-115.
- [27] 刘家军, 刘建明, 郑明华, 等. 西秦岭寒武系金矿床中金-硒共生的物理化学条件[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 231-232.
- [28] 朱建明, 郑宝山, 王中良. 鄂西南恩施塘坝微域高硒环境中的硒分布[A]. 中国科学院地球化学研究所. 资源环境与可持续发展[C]. 北京: 科学出版社, 1999. 173-176.
- [29] 张乾, 战新志, 邵树勋. 孟恩陶勒盖铅锌铜锡钨多金属矿床[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 298-299.
- [30] 李朝阳. 中国铜矿主要类型特征及其成矿远景[M]. 北京: 地质出版社, 2000. 1-247.
- [31] 高振敏, 李朝阳. 分散元素矿床地球化学研究[A]. 中国科学院地球化学研究所. 资源环境与可持续发展[C]. 北京: 科学出版社, 1999. 241-248.
- [32] 胡瑞忠, 苏文超. 锗的矿物学、地球化学和矿床学研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 215-217.
- [33] 刘英俊. 元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1984. 1-518.
- [34] 刘英俊. 中国含镓矿床的主要成因类型[J]. 矿床地质, 1982, 1(1): 51-60.
- [35] 郝正平. 江西银山多金属矿床的矿化分带[J]. 矿床地质, 1988, 7(3): 3-14.
- [36] 朱上庆, 黄华盛. 层控矿床地质学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1988. 1-346.
- [37] 翟裕生, 姚书振. 长江中下游铜金矿床矿田构造[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999. 1-193.
- [38] 甘肃省地质矿产局第六地质队. 白家咀子硫化铜镍矿床地质[M]. 北京: 地质出版社, 1984. 1-213.
- [39] 陈好寿, 冉崇英. 康滇地轴铜矿床同位素地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1992. 1-90.
- [40] 冉崇英. 康滇地轴层控铜矿床的成矿机理[M]. 北京: 地质出版社, 1989. 1-48.
- [41] 闫秋实, 尹观. 甘肃白银厂矿田铅石红外光谱特征和地质年龄估测[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(1): 52-56.
- [42] 薛春纪. 辽东青城子矿集区金、银成矿时代及地质意义[J]. 矿床地质, 2003, 22(2): 177-183.
- [43] 邱华宁, Wijhans J R. “东川式”层状铜矿⁴⁰Ar-³⁹Ar 成矿年龄测定[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20(4): 358-359.
- [44] 赵斌. 中国主要夕卡岩及夕卡岩型矿床[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 1-339.
- [45] 中国人民武装警察部队黄金指挥部. 河北省东坪碱性杂岩金矿地质[M]. 北京: 地震出版社, 1996. 1-175.
- [46] 赵振华. 东坪金矿石榴石、金分布及其相关性[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 223-225.
- [47] 陈毓川, 毛景文. 四川大水沟碲(金)矿床地质和地球化学[M]. 北京: 原子能出版社, 1996. 1-127.
- [48] 李葆华, 曹志敏, 温春华. 大水沟碲矿床脉特征及包裹体类型[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 346-347.
- [49] 王汝成, 陆建军, 陈小明. 四川石棉大水沟碲矿床成因探讨[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(4): 348-349.
- [50] 黄典豪. 热液脉型铅-锌-银矿床富铁闪锌矿中硫化物包裹体成因探讨[J]. 矿床地质, 1999, 18(3): 244-252.
- [51] 黄典豪. 蔡家营铅-银矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1992. 1-148.
- [52] 杨超群. 钨锡钼铋矿床研究的某些进展[J]. 河南地质, 1985, (增刊): 27-38.
- [53] 杨光明. 赤铁矿型锗矿石中锗的赋存状态研究[J]. 地质与勘探, 1980, (7): 35-40.
- [54] 汪本善. 我国某些煤中锗的成矿条件[J]. 地质科学, 1963, (4): 198-207.
- [55] 黄典豪. 热液脉型铅-锌-银矿床富铁闪锌矿中硫化物包裹体成因探讨[J]. 矿床地质, 1999, 18(3): 244-252.
- [56] Clare R. Collins K. Effect of inorganic and Organic ligand on the Mechanism of Cadmium Sorption[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1999, 63(19-20): 2989-3002.
- [57] Mercone D, Thomson J. A Coupled Natural Immobilisation Mechanism for Mercury and selenium in Deep-sea sediments[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1999, 63(10): 1481-1488.
- [58] Christopher J. Siderophile Geochemistry of Ga, Ge and Sn: Cationic oxidation states in silicate melts and the effect of composition in iron-Nickel alloys[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1999, 63(17): 2667-2677.
- [59] Keslen E. Phase Relation among Selenides, Sulfides, Telluride, and Oxides: Application to Selenide-Bearing Ore deposits[J]. Economic Geology, 1997, 92(4): 468-484.
- [60] Сидеева Н. А. Минералогия Типы месторождений Основные черты Геохимии Селена и Теллура [А]. АН, СССР, 1959.
- [61] Гурьянова Е. Э. К Минералогии и Геохимии Кадмия в Осадочных Пород Тувы [J]. Геохимия, 1960, (2): 177.
- [62] Жукова А. С. К. Геохимии Германия. АН, СССР. Вопросы Минералогии Геохимии и Генезиса Месторождений Редких Элементов [М]. Выпуск 3. 26. 1960.

TYPES OF DISPERSE ELEMENT DEPOSITS AND THEIR ORE-FORMING REGULARITY AND ORE-SEARCHING AND COMPREHENSIVE UTILIZATION DIRECTION

YANG Min-zhi

(Tianjin Geological Academy, Tianjin 30061, China)

Abstract: Based on the geological survey and data collection of 86 ore deposits, which include 30 Pb-Zn deposits, 29 Cu deposits, 14 Mo deposits, 6 Au deposits, 2 W deposits, 1 Sn deposit, 1 Fe deposit and 1 coal deposit and are accompanied by disperse elements, and their geological and metallogenic condition, ore material sources and the occurrences of the disperse elements are classified into types of the metal deposits with disperse elements as by-product and the independent disperse element deposit. Facing to occurrences of the 8 disperse elements of Cd, Ge, Ga, In, Te, Se, Fe purification of monominerals, electronic probe analysis and determination of ore-forming temperature are carried out to sum up concentration regularity of the disperse elements and point out their comprehensive utilization directions.

Key words: disperse element deposit types; regularity of disperse element concentration; ore-searching and comprehensive utilization directions of the disperse elements; China

欢迎订阅 2006 年《地质找矿论丛》

《地质找矿论丛》为国家科技部和新闻出版总署批准,由中钢集团天津地质研究院主办的地学科技期刊,于 1986 年创刊,国内外公开发行。中国标准刊号:ISSN 1001-1412, CN 12-1131/P。

《地质找矿论丛》是中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)、《中国学术期刊综合评价数据库》和《中国科学引文数据库》来源期刊,并已成为国际权威文摘刊物美国《化学文摘》(CA)和俄罗斯《文摘杂志》收录期刊。期刊同时全文入编《中国学术期刊(光盘版)》、《中国期刊网》、《万方数据系统科技期刊群》、《中文科技期刊数据库》和《华艺 CEPS 中文电子期刊》等电子出版物和数据库,以多种媒体方式向读者提供服务。

《地质找矿论丛》主要报道矿产成矿理论与成矿预测、物质成分及综合利用、矿产地质勘查新技术新方法及其应用、地学信息技术、水文地质与工程地质、环境地质调查与治理、资源勘查工程、矿产品深加工技术、地质矿产技术经济等方面的科研成果、进展评介、研究简报,并不断开拓报道领域与深度。

《地质找矿论丛》面向从事地质科研、矿产勘查、矿山企业、矿产品开发的科技人员和地学院校师生。热忱欢迎地矿行业、地学院校、文献信息部门的单位和个人踊跃订阅并投稿。

《地质找矿论丛》为季刊;每期 72 页, A4 国际开本,每季度末月出版;每期定价 5.00 元,全年共计 20.00 元。

订阅办法:

(1) 向《地质找矿论丛》编辑部函索订单订阅,订购款通过邮局汇款。

编辑部地址:天津市河西区友谊路 42 号,

中钢集团天津地质研究院《地质找矿论丛》编辑部

邮政编码:300061

联系人:王书辉

联系电话:022-28367243

E-mail: luncong@yeah.net

(2) 通过“全国非邮发报刊联合发行部”订阅。

地址:天津市大寺泉集北里别墅 17 号(300385)

电话:022-23973378; 23962479

传真:022-23973378

E-mail: LHZD@public.tpt.tj.cn

网址: www.LHZD.com