

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

一个錫石多金属矿带中閃鋅矿 的成矿期与成矿特征

陈 毓 川

本文所述的矿带,位于某小型拗陷中,其中出露有早泥盆世至中三迭世地层。泥盆纪地层主要是灰岩、泥灰岩、頁岩的互层;石炭纪至二迭纪地层为灰岩;中三迭世地层为頁岩、砂岩、灰岩的互层。它們之間均为不整合接触。岩层总厚度大于7,000米。矿带内地层普遍受到了褶皱、錯断的影响。发育有北西向紧密綫型排列的短軸背、向斜,背斜常呈倒轉型式,軸部有时出現逆掩断层,同时,見到近南北向地垒、地堑型、斜交拗陷带的小型隆起及凹陷。矿床一般位于隆起地带內的背斜軸部。在某些矿区范围内有岩浆岩出露,主要为浅成至次火山型的黑云母花崗岩,花崗斑岩,呈岩盘、岩脉、岩床和岩頸产出。矿床一般位于这些岩体周围,与岩浆岩在空間上的关系极为密切。矿带范围内产出的錫石多金属矿床,成矿作用比較复杂,从砂卡岩硫化物矿化期,經高温、中温甚至低温热液期,都有不同程度的、但极为明显的表現,并且在不同的地区和不同的构造位置形成了具有不同矿物組合的矿床。早期以产出錫矿为主,后期以多金属矿化为主。

在各类矿床中,閃鋅矿都是作为主要的或是重要的矿物組分之一产出的。因此在本矿带中可以見到从富含鉄(达19%)的黑色鉄閃鋅矿至无色透明的純閃鋅矿的完整系列,同时可以見到不同成因的閃鋅矿在其物理-化学性上明显的区别。根据对整个矿带各个矿床的分析和室内鉴定,本矿带的閃鋅矿按其成因及产出先后,可分为四期:

第一期——砂卡岩硫化物期中的閃鋅矿 为鉄閃鋅矿,黑色。薄片为中深棕紅,半透明。树脂光泽。四面体結晶,个别小的晶体呈八面体双錐,聚片双晶結構。在晶面上可以見到由磁黄鉄矿及黄銅矿固溶析离体构成的平行綫状結構。晶体粒度为2—3毫米,有的达0.5厘米。鉄閃鋅矿內广泛含有黄銅矿及磁黄鉄矿固溶析离体,二者含量基本相似。固溶析离体具乳浊状及格状結構(照片6)。本期閃鋅矿化学成分及微量元素含量如表1所示。

由表1中可見,本期閃鋅矿含鉄量普遍高达15—18%。大部分鉄以磁黄鉄矿形式賦存在閃鋅矿的晶格中,或以固溶析离体析出;一部分以黄銅矿形式存在。其次,閃鋅矿中錳含量高为0.4—0.5%,錳含量微,普遍含錳1%以上,而且含Bi、Ni、Ca、Cu、Sb、Al、Si、Pb、Sn、Ag,但錫含量都在0.01%以下。有些元素,如As、Ga、Ni、Be、B不为本期所有閃鋅矿所具有。根据閃鋅矿产出的位置、矿物共生組合可分二类。一类主要是由閃鋅矿与毒砂組成的矿脉,其中也含磁黄鉄矿及黄銅矿,但后二种矿物的生成晚于前二者。脉石为砂卡岩矿物:透輝石、符山石、斧石等,紫色和无色螢石发育,有錳方解石。矿脉中常含砂卡岩殘带,与矿脉交錯。毒砂与鉄閃鋅矿交代并溶蝕透輝石等砂卡岩矿物。砂卡岩矿物,如斧石以自形晶产于閃鋅矿中(照片4),而閃鋅矿又穿切毒砂。在厚度較大的矿脉中(2—3米),此种共生組合中的矿物产于矿脉的上下壁。在与砂卡岩带接触处,此类共生

表 1 第一期閃鋅礦化学成分与微量元素含量*

含 量 元 素	標本号	羅-34	羅-36	六-42	六-55
Fe		18.04	16.72	16.93	14.73
Zn		45.00	46.76	42.00	49.73
In		0.0006	0.002	—	—
Cd		0.38	0.46	0.44	0.49
Be		0.01	—	—	—
As		0.3	0.3	—	—
Si		3	0.5	0.1	0.1
Al		0.5	0.3	0.01	0.03
Sb		0.01	0.1	0.03	0.03
Mg		0.01	0.05	0.01	0.05
Mn		1	~3	1	1
Pb		0.1	0.05	0.03	0.5
Sn		0.005	0.01	0.005	0.001
Ga		<0.001	<0.001	—	—
Ni		0.001	—	—	—
Bi		0.005	0.01	0.03	—
Ti		0.05	0.05	0.001	0.003
Ca		0.3	0.3	0.3	0.10
Cu		1.75	0.45	0.99	0.050
Ag		0.03	0.001	0.003	<0.001
B		—	—	—	—

* 化驗及光譜分析全部由地質部地質科學研究院化驗室完成。

羅-34: 條帶狀砂卡岩似層狀礦脈, 由鉄閃鋅礦、毒砂等組成, 致密塊狀, 粗晶。

羅-36: 交代砂卡岩層的鉄閃鋅礦、毒砂礦脈, 含大量紫色螢石。

六-42: 交代砂卡岩層的鉄閃鋅礦、磁黃鉄礦-螢石礦脈。

六-55: 與方解石、螢石共生的鉄閃鋅礦。

組合中的鉄閃鋅礦(羅-34, 羅-36)普遍含 Be、As、Ga 和少量的 Ni、B、In, 同時特別富於 Al、Si。第二類礦脈由鉄閃鋅礦與磁黃鉄礦、紫色螢石和白色方解石組成, 並含少量毒砂和黃銅礦。它們都是產於厚度較大的礦脈中心部分。這類閃鋅礦(六-55, 六-42)在成分上與上類(第一類)有明顯的區別: 含鉄量稍低, 完全不含 In、Be、As、Ga、Ni、B; 含 Si、Al 較前類大為降低。因此這二類閃鋅礦雖屬同期, 但產出先後不同, 第一類產出較早, 強烈交代砂卡岩, 所富含的微量元素: Si、Al 以及 Be、B、Ni、Ti、Ca, 都是本區砂卡岩礦物中的主要成分, 因此, 可以認為閃鋅礦中的這些成分是在交代砂卡岩過程中吸取的, 這可以作為交代成因的閃鋅礦的標志之一。砷含量高, 又說明此期閃鋅礦是在富砷的礦液中析出的。第二類鉄閃鋅礦產出較晚, 不含或少含 Si、Al、Be、B、Ni、Ti、Ca 等元素, 產於礦脈中心, 呈致密塊狀, 交代砂卡岩的作用不明顯, 以充填作用為主。不含或少含砷。這說明這二類閃鋅礦是在不同物理-化學條件下以不同形式產出的, 屬於二個不同時期, 但其時間間隔不長。

第一期鉄閃鋅礦在空間上與砂卡岩緊密共生, 並交代砂卡岩, 呈層狀和侵染狀產出, 它亦與砂卡岩礦物——透輝石、石榴石組成細脈, 因此, 此期鉄閃鋅礦及其相關的硫化礦

矿期是在主要矽卡岩期后产出的。凡是有矽卡岩分布处,都有本期閃鋅矿产出。

第二期——高温热液的閃鋅矿 为鉄閃鋅矿,黑色,不透明微片呈棕紅,半透明,金鋼至树脂光泽,四面体結晶,但一般呈不規則块状,不等粒,聚片双晶发育,广泛含有磁黄鉄矿、黄錫矿、黄銅矿固溶析离体。化学成分見表 2。根据化学成分可以見到以下重要特点:

元 素	以 充 填 裂 隙 形 成 的 ZnS_{II}	层間矿脉中以交代为主形成的 ZnS_{II}
Fe	13% 左右达 17%	13% 左右
In	富 0.06—0.17%	更富 0.1—0.3%
Cd	富 0.4% 左右	較貧 0.3—0.4%
Ti, Ga, Ba	少数含微量	普遍含微量
Sn, Mn, Cu	普遍含量高, Sn, Mn 0.5—3% Cu > 0.1%	同左
Si, Al	普遍含微量 Si $\leq$ 0.1% Al $\leq$ 0.05%	含量高 Si $\leq$ 3—5% Al 0.3—0.5%
Sb, Mg, Pb, Bi, Ca, Ag	普遍含微量只 Bi 較少, 0.05—0.01%	普遍含有 Bi 高 0.1—0.3%
W, V, Yb	个别含微量	同左

表 2 第二期閃鋅矿化学成分

产 地 含 量 元 素	B 区 本 区						
	B' 区 裂 隙 脉					B 区 层 間 脉	
	30-18	4-8	33-7	33-23	5-8	40-39	长-13
Fe	12.44	17.61	14.38	12.39	12.55	13.89	12.43
Zn	50.9	41.00	49.03	50.00	48.9	47.6	43.78
In	0.12	0.064	0.074	0.17	0.11	0.3	0.18
Cd	0.41	0.31	0.42	0.42	0.42	0.3	0.38
Ga	<0.001	<0.001	—	0.001	—	0.003	0.0014
Ba	—	0.003	—	—	—	0.003	0.03
As	0.01	0.3	0.3	—	0.1	—	0.01
Si	0.01	0.5	0.01	0.005	0.05	3	5
Al	0.03	0.3	0.01	0.005	0.005	0.5	0.3
Sb	0.1	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.38
Mg	0.05	0.05	0.05	0.3	0.05	0.1	~0.1
Mn	~3	0.3	1	~1	1	1	1
Pb	0.1	0.3	0.3	1	0.1	0.3	0.35
Sn	0.5	1	0.3	1	3	0.5	0.3
W	—	—	—	0.01	—	—	—
Ni	—	—	—	—	—	—	—
Bi	0.01	—	0.05	0.01	0.005	0.1	0.3
Ti	—	0.05	—	—	—	0.05	0.05
Ca	0.1	0.1	0.3	0.5	0.03	0.1	0.01
V	<0.001	—	—	—	—	—	—
Cu	0.33	0.21	0.68	0.33	0.21	0.47	>0.3
Yb	—	<0.001	<0.001	—	—	<0.001	—
Ag	0.1	0.05	0.05	0.1	<0.001	>1	0.05
比重				4.03		4.03	

注: 30-18: 毒砂-鉄閃鋅矿-黄鉄矿矿脉。

5-8: 76 号脉与黄鉄矿、錫石、毒砂共生。

4-8: 0 号矿脉,与毒砂、錫石、黄鉄矿共生。

40-39: 层間交代矿脉,与磁黄鉄矿共生。

33-23: 46 号脉,与黄鉄矿、錫石共生。

长-13: 层間交代扁豆状灰岩矿脉与磁黄鉄矿共生。

33-7: 29 号脉,同 33-23。

本期閃鋅矿按其成因,可以分为交代形成的和充填形成的二种。充填形成的鉄閃鋅矿广泛产于 A、B 矿区的断裂-裂隙中,与錫石、毒砂、黄鉄矿、磁黄鉄矿、錳方解石共生,构成矿脉,但其产出時間晚于錫石、毒砂及黄鉄矿,与磁黄鉄矿相似,它們相互穿插,溶蝕,并被后期的硫盐矿物及錳方解石脉所穿切。閃鋅矿一般为不等粒,他形結構,一般粒度在 0.01—1 毫米。所有閃鋅矿晶粒都具聚片双晶結構(照片 11)。閃鋅矿內固溶析离体广泛分布,以磁黄鉄矿和黄錫矿为主,黄銅矿次之,并主要以乳油状产出。黄錫矿在分布上不均匀,見于早期殘余矿物周围,特别是在錫石周围富集,并常呈反应圈产出(照片 1)。閃鋅矿常受后期构造活动影响而錯碎,或成压力双晶。矿脉两旁的围岩蝕变以寬仅几厘米的硅化、紅柱石化为主,稍远为絹云母化,硅化(照片 3)。交代形成的鉄閃鋅矿主要产于 B 区层間交代矿脉中,亦見于裂隙矿脉二側的矿化带。它主要是交代扁豆状灰岩中富鈣質的扁豆体,与錫石、毒砂、磁黄鉄矿和紅柱石共生(照片 2)。交代成因的鉄閃鋅矿在結構上可分为二类,当交代完全时,为結晶較粗的不等粒結構;交代不完全时呈显微浸染状,有时具环带状构造(照片 10)。但他們都具有聚片双晶結構(照片 12),亦具有以磁黄鉄矿为主的乳油状固溶析离体,少量为黄銅矿及黄錫矿成分。固溶析离体在分布上有一定特点:当鉄閃鋅矿在磁黄鉄矿中呈团斑状时,具磁黄鉄矿成分的乳油状固溶析离体富集于閃鋅矿的中心带,而在閃鋅矿的边緣带为少。当閃鋅矿与蝕变围岩接触时,則固溶析离体富集于接触带上。从外表来看,二种不同成因的閃鋅矿很难区别,但在化学成分上,如表 2 所見,区别是明显的。围岩蝕变亦以紅柱石化、透閃石化、硅化及絹云母化为特征。据上述,本期閃鋅矿都应属于高温热液期产物。經 X-光鉴定得以下常数¹⁾。

	<i>d</i>	<i>I/I</i> ₀
第 二 期 閃 鋅 矿 X 光 粉 晶 数 据	3.40	1
	3.14	10
	2.72	2
	2.13	1
	1.92	9
	1.81	2
	1.63	8
	1.557	1
	1.500	1
	1.360	2
	1.244	7
	1.215	1
	1.146	1
	1.05	8
	1.042	5
<i>a</i> = 5.4228 Å		

第三期——中温热液閃鋅矿 依矿物共

生組合及穿插关系可以分为三个亚期:第一亚期是中高温条件下产出的;第二亚期是中温;第三亚期是中低温。这三类閃鋅矿的特点列表于 116 頁。

[对化驗結果的說明:标本珍 5-II, 三-5, 三-1 都是与硫錳鉛矿、脆硫錳鉛矿、輝錳矿紧密共生的閃鋅矿,前者以显微針状交代閃鋅矿,分布于閃鋅矿中(見照片 7、9)。因此光譜分析結果普遍含大量 Pb, Sb] 本期的特点是閃鋅矿与錳菱鉄矿^①、脆硫錳鉛矿^②、硫錳鉛矿、錳方解石^③、方鉛矿及輝錳矿紧密共生,并多次产出。开始以富鉄及与錳菱鉄矿、脆硫錳鉛矿共生为主(照片 5),随着含鉄量的逐渐降低,即变为与錳鉄菱石^④及硫錳鉛

矿^④共生为主,含方鉛矿。最后与胶状錳方解石(照片 8)、輝錳矿共生。他們常交互成带,形成极为典型的条带状构造矿石。无疑这是矿液含鉄量逐渐下降,錳、鉛、錳等元素含量

1) 所有 X-光照相及鉴定由地質部地質科学研究院第六室 X-光組完成。实验条件:照相机直径为 57.3 毫米,射線 FeK α , 工作电压 25kv, 管电流 XmA, 曝光時間 8 小时,晶胞常数由张天乐同志計算。

附註:

① 錳菱铁矿及錳鉄菱石的鉴定数据为:

产地 标本号 常数	C区錳菱铁矿	C区錳鉄菱石
	三-12	珍 4-1
FeCO ₃	63.3	
MnCO ₃	32.3	
MgCO ₃	3.97	
CaCO ₃	0.75	
Ng	1.858	1.824
Np	1.627	1.602
Ng - Np	0.231	0.222

② 脆硫錳鉛矿經化驗及X-光鉴定,化驗数据于下,X-光鉴定数据从略。

矿区 标本号 主要组分	A 区			C 区	
	长 脆	51-6	57	珍-5	珍 4-1
Sb	29.60	32.40	31.21	32.65	31.21
Pb	42.45	37.00	37.59	38.94	38.64
S	21.24	22.56	21.59	22.89	21.53
Fe	3.31	5.25	2.14	2.12	2.19

③ 錳方解石鉴定数据为:在矿区見到含 MnO₂ 量变化較大的一个系列。进行了折光率及光譜确定,个别进行了化驗检查:

产地 标本号 常数	A 区				C 区	
	33-13	2-2	3-9	215-1	珍 6	珍 5
Ng	1.6733	1.6801	1.6610	1.6772	1.720	1.716
Np	1.5021	1.5070	1.5038	1.505	1.540	1.540
Ng - Np	0.1713	0.1731	0.1572	1.1722	0.180	0.176
Ca	>10	>10			54.02(CaCO ₃)	
Mn	~3	10			40.4(MnCO ₃)	
Mg	0.5	0.3			0.5	
Fe	1	0.3			4.88(FeCO ₃)	

④ 硫錳鉛矿經 X-光及化驗分析鉴定。現举化驗資料如下:

产地及标本号 主要组分	C区三-1
Pb	54.7
Sb	21.88
S	18.19
Fe	0.2

表 3 第三期閃鋅礦主要特点

分 期		第 一 亚 期		第 二 亚 期				第三亚期	
标 本 号		芒-36	珍-5 II	三-12	三-5	三-1	珍-6 珍-5I	芒-35 芒-31 芒-33	
产 地		C 矿区	D 矿区	D 矿区			D 矿区	C 矿区	
空間分布特点		于 C, D 矿区分布广泛矿脉产出		主要发育于 D 矿区, B, C 量較少				見于 C, D 矿区	
共生矿物及 产出順序		毒砂-黄鉄矿- 閃鋅矿-錳菱 鉄矿	閃鋅矿-脆硫 錳鉛矿	閃鋅矿-錳菱鉄矿(錳鉄菱 石)-方鉛矿-脆硫錳鉛矿		胶状錳菱鉄矿 (含Fe)-閃鋅矿- 脆硫錳鉛矿	胶状錳方解 石-閃鋅矿- 輝錳矿	閃鋅矿-黄 鉄 矿-方鉛矿-硫 錳鉛矿	
矿物顏色		黑色,薄片呈 棕紅色	黑至紅褐	褐色至棕色,棕紅至黑		黑	棕紅至黑	无色至浅黄色	
透明度、晶形 断口、光泽		不透明,树脂 光泽,貝壳状 断口,四面体 及块状晶形	不透明至半透 明,树脂光泽, 貝壳断口四面 体晶形	同芒-36		不透明,油 脂光泽,四 面体及块状 晶形	同珍-5II	透 明 至 半 透 明,玻璃至树 脂光泽块状晶 形	
比 重		—	4.08		3.96	4.05	—	4.14	
結構及固溶 体		含黄銅矿乳 油状固溶体 聚片双晶	同左及与脆 硫錳鉛矿共 生	无固溶体, 含針状脆硫 錳鉛矿	同心圓环状結 构,后期再晶, 聚片双晶、細 晶,达0.2毫 米,无固溶体	粗晶,几毫米, 纖維状聚片双 晶,含大量細 針状(0.02— 0.04毫米)硫 錳鉛矿的色体	不 等 粒 0.2—0.3 毫 米,聚片双 晶,无固溶体	无固溶体,聚 片双晶达1毫 米	
化 学 成 分	Fe	11.52	11.68	4.82	3.16	4.64	4.17	1.22	1.62
	Zn	52.5	50.3	>10	54.7	41.87	>10	56.7	61.0
	Cd	0.25	0.59	>0.1	0.58	0.51	>0.3	0.44	0.39
	In	0.0062	—	—	—	—	—	—	0.0025
	Ga	<0.001	<0.001	—	<0.001	<0.001	—	—	0.001
	As	0.05	0.03	0.03	—	0.03	—	—	—
	Si	0.05	1	0.03	0.05	0.03	0.03	0.1	1—3
	Al	0.03	0.3	—	0.005	0.01	0.005	0.03	0.05
	Sb	0.05	>10	1	0.1	10	1	0.1	0.05
	Mg	0.005	0.005	0.005	0.005	0.05	—	0.003	0.05
	Mn	~3	~1	0.05	0.01	1	—?	1	0.1
	Pb	0.05	>10	0.5	10	>10	0.1	1	3
	Sn	0.1	0.3	0.05	1	0.7	1	0.003	0.01
	Ni	—	—	—	—	—	—	0.001	—
	Bi	—	—	—	—	—	—	—	0.001
	Ti	—	0.005	—	—	—	—	—	0.005
	Ca	0.03	0.03	—	0.03	0.05	1	0.3	0.03
	Cu	0.1	0.5	0.003	0.25	>0.1	>0.1	0.04	0.01
Ag	0.05	—	0.003	0.1	0.1	0.01	0.03	0.1	

續 (表 3)

分 期		第一亚期	第二亚期	第三亚期
化学 成分 特点 比較	含 Fe 量	富达 11%	3—5%	1—4%
	Cd	低 0.25%	最富 0.5—0.6%	中 0.4—0.5%
	Mn, Sn	普遍富含 Mn 1—3% Sn 0.1%	普遍含 Mn 1%, Sn 达 1%	較貧 Mn < 1% Sn < 0.01%
	Sb, Pb	微含 0.05%	富含	富含
	As	微含 0.05%	普遍微含 0.05%	不含
	Si, Al, Mg Ca, Cu, Ga In, Ni Bi, Ti	普遍微含 普遍不含	同左 同左	同左 同左
围岩蝕变		矿脉不平直, 围岩为泥质灰岩、蝕变为砂化、絹云母化、再晶作用, 脉围黄鉄矿浸染强烈, 閃鋅矿亦有浸染	脉壁围岩砂化、絹云母化、再晶作用为主, 脉壁界綫清楚, 交代作用极微, 有黄鉄矿浸染, 围岩为泥頁岩或泥灰岩、矿脉一般平直	脉壁清楚, 灰岩弱微再晶作用, 及黄鉄矿乳油状浸染, 并且有黄鉄矿变斑晶产出
反射率(白光)		—	14.4—14.7	同左
形成溫度		中 高 溫	中中溫	中低溫

X-光鉴定常数

标 本	三-1		三-5		芒-32	
	<i>d</i>	<i>I/I₀</i>	<i>d</i>	<i>I/I₀</i>	<i>d</i>	<i>I/I₀</i>
	3.44	2	3.44	4	3.44	3
	3.15	10	3.11	10	3.11	10
	2.73	1	2.70	3	2.70	2
	2.16	2	2.12	4	2.11	3
	1.915	9	1.91	10	1.91	10
	1.800	1	1.80	3	1.79	2
	1.630	8	1.63	8	1.63	9
	1.560	1	1.56	2	1.56	1
	1.356	2	1.35	3	1.49	1
	1.245	8	1.245	6	1.37	2
	1.104	9	1.215	1	1.35	5
	1.042	8	1.105	8	1.24	7
			1.041	8	1.227	1
					1.219	1
					1.102	8
					1.039	6
	$a = 5.4167 \text{ \AA}$				$a = 5.399 \text{ \AA}$	

相对提高, 矿液温度逐渐下降, 并作周期性有規則波动的結果。本期閃鋅矿在 C、D 矿区发育; B 矿区可見, 并以产出錳方解石为主; 在 A 矿区很少見到。

第四期——低温热液閃鋅矿 无色至黄褐色, 透明至半透明, 主要是产于石英-輝錫矿脉中, 早于輝錫矿而晚于石英产出, 不甚发育, 目前在 C、D 区見到, 在 C 区它与叶腊石組成細脉, 穿切輝錫矿脉。化学成分如下:

Fe	Zn	Cd	Si	Al	Sb	Mg	Mn	Pb	Sn	Ti	Ca	Cu	Ag
1.70	62.3	0.33	1	0.1	0.03	0.05	0.1	0.01	0.005	0.01	0.1	0.01	0.01

X-光鉴定常数如下:

第四期閃鋅矿 X-光 粉 晶 数 据												$a = 5.414 \text{ \AA}$
d	3.40	3.11	2.70	2.1	1.91	1.80	1.63	1.35	1.25	1.105	1.045	
I/I_0	4	1	2	3	9	3	8	2	4	5	3	

根据以上所述,对本矿区的閃鋅矿作几点初步总结。

表 4 各期閃鋅矿在各矿区的发育特点

矿 区	B 区	A 区	C 区	D 区
矿床产出的主要构造	倒轉背斜軸部, 橫裂隙带及背斜翼部层間錯动带	倒轉背斜及逆掩断层于倒轉背斜軸部砂卡岩带及翼部断裂构造	短軸倒轉背斜軸部及翼部的断裂构造和翼部砂卡岩带	不对称背斜軸部及四翼断裂构造中
矿床內火成岩	花崗斑岩及煌綠玢岩岩脉	黑云母花崗岩小侵入体出露	花崗斑岩岩脉	未見
含矿岩层	扁豆状灰岩-硅质頁岩, 上部被黑色頁岩层复盖	泥质岩为主砂卡岩	砂岩、灰岩、泥灰岩、砂卡岩	泥质灰岩、泥頁岩
第一期閃鋅矿	不見发育	发育极广, 于火成岩体周围砂卡岩带內, 以交代砂卡岩呈层状产出为主与毒砂、磁黄铁矿、黄铜矿、紫色螢石、錳方解石、共生为主	有发育, 于砂卡岩带內为主, 以交代砂卡岩呈浸染状产出与磁黄铁矿、螢石、砂卡岩矿物共生为主, 亦成矿脉穿于砂卡岩带中	不发育
第二期閃鋅矿	发育特广, 与錳石、毒砂、磁黄铁矿、磁黄铁矿、錳方解石共生, 充填作用及交代作用皆强烈。形成裂隙矿脉及层間交代矿脉	发育一般, 与錳石、毒砂、磁黄铁矿、无色螢石、錳方解石共生, 以磁黄铁矿为主, 形成裂隙矿脉, 充填成因为主	不发育, 只有石英-錳石-毒砂矿脉中有少量产出	不見
第三期閃鋅矿	发育較弱, 与脆硫錳鉛矿、錳方解石共生, 有时見少量方鉛矿	发育較弱, 只形成細脉带, 与方鉛矿、方解石共生, 不見硫盐矿物, 充填作用为主	发育中等, 分几期逐渐发育, 首先与毒砂、磁黄铁矿、錳方解石共生, 其次与錳方解石、黄铁矿、方鉛矿、硫錳鉛矿共生, 最后以純閃鋅矿与少量方鉛矿呈細脉产出, 都呈裂隙脉产出, 充填为主	发育特广, 分几期, 首先是与錳菱铁矿、黄铁矿、脆硫錳鉛矿共生产出, 次与錳菱铁矿、方鉛矿、硫錳鉛矿、輝錳矿及胶状錳方解石、輝錳矿共生产出, 逐渐演变, 后期穿切前期都充填裂隙形成較平直的矿脉交代作用微弱
第四期閃鋅矿	不发育, 見到有与錳方解石呈細脉穿切硫盐矿物	不发育	发育弱, 見与叶腊石共生成細脉, 穿于輝錳矿矿脉带中	发育弱, 与石英-輝錳矿、方解石共生, 充填为主

(1) 多期性、漸变性及間断性: 本矿带内閃鋅矿分布极广, 多期产出。閃鋅矿在各期之間具有阶段性的較断然的变化, 而在每期之中又是逐渐演变的, 呈多次重复析出, 且极有規律, 尤以中温热液期为显著。

(2) 各期閃鋅矿, 在矿带内不同的矿床中表现出不均一性: 各期閃鋅矿在不同构造单位的矿区内显示出不同的矿化强度以及不同的物理化学特性, 在各个矿区都有自己完整的发育系統, 区别于其他各区。现将各期閃鋅矿在各区发育的特点列入表 4。

(3) 各期閃鋅矿化学成分特点: 不同期的閃鋅矿, 在化学成分上有明显的区别(如表 5)。从表中可見, 矽卡岩硫化矿成矿期中的閃鋅矿含各种微量元素最多, 特別以普遍含有造岩元素、鉄族元素与揮发性元素(Be、B、Ti、Bi、Fe、Ni、Ca、Si、Al)为特点, 少含或不含 In、Sn, 普遍含 Cd、Mn、Cu, 微含 Sb、Pb、Ag、Ga; 高温热液期的閃鋅矿就以富含 In、Sn 为特点, 普遍含 Cd、Mn、Cu、Ca、Si、Al、Bi、As, 少含 Yb、Ti、Ga, 不含 Ni、Be、B; 中温热液期以富含 Sb、Pb、Ag、Sn 为特点, 普遍含 Cd、Mn、Cu、Ca、Si、Al, 其中 Mn、Cu 含量变貧, 不含或极少含有 In、V、Be、B、As、Ti、Ni、Bi、Ga、Yb, 含鉄量变化較大; 最后, 低温热液期的閃鋅矿中, 所含元素較少, 以含有 Cd、Mn、Ca 为特点, 少含 Cu、Ti、Sb、Mg、Pb、Ag、Si、Al、Sn, 不含 In、Ga、V、Be、B、As、Ni、Bi、Yb 等, 与前有明显的区别。

表 5 各期閃鋅矿化学成分特点

元 素	第 一 期	第 二 期	第 三 期			第 四 期
			第一亚期	第二亚期	第三亚期	
Zn	>50%	>50%	50%	>50%	>50%	>60%
S	≈30	≈30	≈30	≈30	≈30	≈30
Fe	15-18	13-19	≈11.5	5-3	4-1	0.1-2.9
Ba		0.003-0.03				
Mn	3	0.3-3	1-3	0.01-1	0.01-1	0.1
Cu	>0.1	>0.1	0.1	0.1-0.03	0.1-0.001	0.01
Cd	0.4-0.5	0.3-0.4	0.25-0.5	0.5-0.6	0.4-0.5	0.33
In	<0.001	0.06-0.3	0.001		0.001	
Ga	<0.005	0.005	<0.001	<0.001	<0.001	
Sn	0.001-0.01	0.5-0.3	0.1-1	0.3-1	0.01-1	0.005
V		0.001				
Be	0.001-0.01					
B	0.03					
As	0.05-0.3					
Ti	0.05	0.05	0.005		0.005	0.01
Ni	0.01				0.001	
Bi	0.01	0.3-0.3		0.005	0.005	
Sb	0.01	0.01-0.3	0.01-1	>1	0.1-1	
Mg	0.01-0.1	0.1	0.005	0.005	0.003	0.05
Pb	0.01-0.1	0.1-0.3	0.05-1	>1	0.1-3	0.01
Ca	0.1-0.5	0.1-0.5	0.03	0.03	0.03-1	0.1
Ag	0.01-0.001	0.05	0.05	0.1	0.01-0.1	0.01
Si	0.5-3	0.05-3	0.05	0.03-0.05	0.03-1	1
Al	0.3-1	0.01	0.03	0.01	~0.01	0.1
Yb		<0.001				

注: 粗細不同的綫条表示普遍含有的元素及其相对含量的多少, 虛綫条表示个别样品中含有, 斜綫为不含該元素。

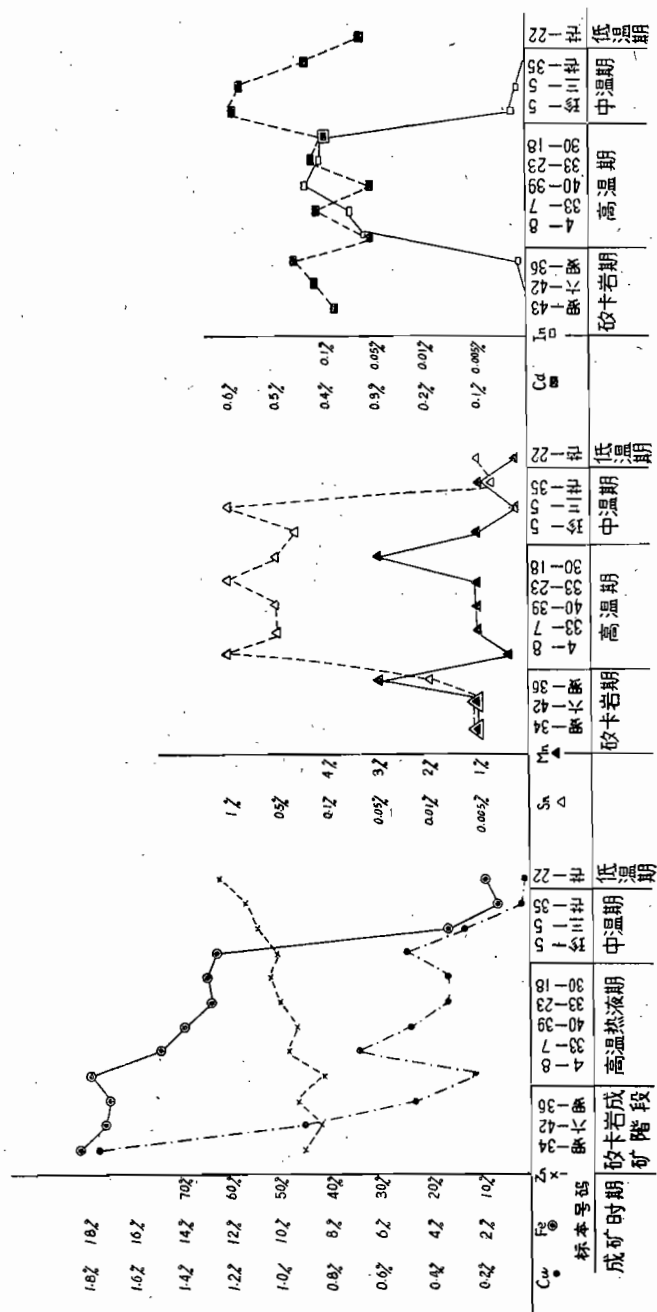


图 1 各成矿时期閃鋅矿内主要元素含量变化曲线图

各主要元素中如 Zn、Fe、Cu、Sn、Mn、In、Cd、Pb、Sb 在各成矿期产出的閃鋅矿内含量变化都具有一定规律(图 1)。Zn、Fe、Cu 三元素含量变化最规则,他们随成矿温度的降低,从矽卡岩期至低温热液期,锌的含量逐渐升高,由不到 45% 至 62%;铁含量逐渐降低,由 17% 降至 1.2%;铜含量亦逐渐降低由 1.75% 至 0.01%;锡元素于高温成矿期产出的閃鋅矿中含量最高,达 1% 以上。铅锑在各期閃鋅矿中都有,但在中温热液期中含量最高。锰在成矿温度较高的閃鋅矿中含量为高,达 3%。这说明,閃鋅矿在形成过程中,矿

液成分及物理-化学环境的不同,因此所含元素也不同。

(4) 閃鋅矿中固溶析离体分布特点: 各期閃鋅矿产出的固溶析离体有明显的不同。早期閃鋅矿(一、二期)有同时产出的磁黄鉄矿、黄銅矿,当存在錫元素时,以产出黄錫矿为特点。中期閃鋅矿中虽仍富含鉄及錫,但只产出黄銅矿固溶析离体。末期无固溶析离体。閃鋅矿中磁黄鉄矿与黄錫矿固溶析离体在高温阶段才能析出,黄銅矿固溶析离体可以在較大的温度界限内,即高一中温析出。

(5) 各期閃鋅矿的顏色、比重、光泽、結構: (見表 6)。閃鋅矿的顏色主要是与含鉄量有关,以本矿带情况来看,含鉄 5% 以上一般为黑色至褐色,含鉄 1—5% 的为褐紅色,小于 1% 为无色至淡黃色。另一方面,閃鋅矿的顏色亦受其内部所含包体影响,如有的閃鋅矿含鉄量虽小于 5%,因内部被硫錫鉛矿強烈交代,具黑色,并且光泽暗淡,由树脂光泽变为油脂光泽。閃鋅矿的比重受含鉄量多少的影响是极明显的,含鉄越多,比重越小。測得的比重最低值是 4.03,最高为 4.14,都高于理論的 $ZnS-FeS$ 系列的比重 (3.9—4.1),其原因,可能是由于閃鋅矿中有錳、錫的同形混合物之故。低温时,有胶状結構出現。

表 6 各期閃鋅矿物理特点*

	顏 色	比 重	光 泽	結 构
第一期	鉄閃鋅矿为黑色,薄片为棕紅色,只在某些裂隙矿脉旁交代浸染围岩的閃鋅矿,呈褐色但量极少	4.03	树脂光泽	粗晶至細晶,不等粒,聚片双晶
第二期			同上	交代矿脉以中細粒为主, < 1 毫米,裂隙脉中以粗粒为主,聚片双晶
第三期 一亚期	黑色	4.08	树脂至油脂光泽	粗晶,聚片双晶, > 1 毫米
二亚期	黑褐色		树脂光泽	不等粒,聚片双晶及胶状,同心圆状
三亚期	褐紅至无色	4.14	玻璃光泽	不等粒,粗晶,它形,聚片双晶
第四期	无色至褐紅色		同上	他形,不等粒,粗晶,聚片双晶表現較差

* 閃鋅矿顏色、光泽、比重,由张天乐同志鉴定、測定。

(6) 各期閃鋅矿含硫化鉄量,以及根据含硫化鉄量而測定閃鋅矿的产出温度: 現以本矿区的閃鋅矿資料,运用 G. 科勒魯特的实验結果,再結合本区地質条件——围岩蝕变、閃鋅矿的結構、矿物共生組合、产出深度等,对本区閃鋅矿产出温度作如下推論(表 7)。

測得的温度基本上与地質現象相符合,矽卡岩期的閃鋅矿成矿温度最高,在摄氏 585—700℃ 之間,有 FeS , $FeCuS_2$ 固溶析离体的存在,与矽卡岩矿物共生現象相符合。第二期成矿温度界于 500℃—600℃ 属高温热液期,围岩蝕变亦为高温的电气石化、透閃石化、硅化,固溶析离体发育,共生矿物組合为錫石、毒砂、磁黄鉄矿,因此与求得之温度相符合。第三期成矿温度界限很大,为 50°—535℃,以 200℃—300℃ 为主,基本上可分別属于热液的高、中、低三个阶段,矿物共生組合分別为毒砂、黄鉄矿、錳菱鉄矿;錳菱鉄矿、硫盐矿物、方鉛矿;輝錫矿、硫錫鉛矿、錳方解石以及从不同的围岩蝕变,并且后二亚期无黄銅矿固溶析离体等現象看,基本上是符合于測得的温度界限。第四期閃鋅矿成矿温度为 90℃

以下, 属于低温热液阶段, 这与矿物共生組合(輝銻矿、石英、叶腊石)及围岩蚀变微弱、无固溶析离体等地質現象完全符合。

(7) 交代成因及充填成因閃鋅矿的某些特点見表 8。交代成因的閃鋅矿在化学成分上最重要的特点是在于繼承被交代围岩中所含的某些元素。这是由于某些元素正象 II.

表 8 交代及充填型閃鋅矿特点对比

	类型	标本	化 学 成 分 区 别								围岩及其蚀变	矿物共生組合	結構构造
			Si	Al	Ba	Be, B, Ni	F	Bi	Ca	Fe			
砂卡岩期	交代型 黑色鉄閃鋅矿	罗-34	普遍达 3%	0.5%	不含	普含微量	>0.01%	少量	0.3—0.5%	16.7—18%	交代透輝石、符山石、鈣鋁榴石砂卡岩与砂卡岩共生沿层交代	透輝石、符山石、螢石、方解石、毒砂、磁黄鉄矿、黄銅矿	层状不等粒浸染状它形双晶
		罗-36											
		罗-38											
	充填型 黑色鉄閃鋅矿	六-42 六-55 芒-10	0.1%	0.002%	不含	不含	0.001%	少量	0.1—0.3%	15—17%	致密矿石	磁黄鉄矿、黄銅矿、毒砂、螢石、錳方解石	胶状层状致密块状不等粒它形聚片双晶
高温热液期	交代型 黑色鉄閃鋅矿	40-39 长-13	3—5%	0.3—0.5%	0.03—0.003%	不含	0.05%	0.1—0.3%	少量	12—14%	交代扁豆状灰岩中的富鈣质扁豆体透閃石化电气石化	錫石、毒砂、磁黄鉄矿、电气石、透閃石化、石英、方解石	条带状扁豆状浸染状不等粒它形聚片双晶
	充填型 黑色鉄閃鋅矿	33-17 5-8 罗-1等	0.01—0.1%	0.001%	不含	不含	大部分不含	0.01—0.03%	少量	12—19%	致密矿石	錫石、毒砂、黄鉄矿、磁黄鉄矿、錳方解石	脉状致密块状不等粒它形聚片双晶

II. 格里哥里維契所說的: 在交代过程中有分异活动性能。本区交代砂卡岩或交代扁豆状灰岩成因的閃鋅矿, 都富含 Si、Al、Ti, 与同期矿液充填而成的閃鋅矿相比含量高出 10—50 倍, 这是由于这些元素为本区围岩所富有, 同时它們在化学性質上是較惰性的, 因此矿液交代过程中較其他元素更易于留在原地, 为閃鋅矿結晶所俘获。但因砂卡岩与扁豆状灰岩化学成分上不同 (表 9), 因此交代这两类岩石的閃鋅矿在成分上亦各不相同。它們繼承被交代岩层中所特有的某些元素。如交代砂卡岩而形成的閃鋅矿中含 Be。此外, 有些共同成分, 但由于在不同岩石中产出的形式不同, 亦直接反映到在交代过程中分异性能的不同上, 例如 Fe、Ca, 于砂卡岩中以硅酸盐矿物产出, 在扁豆状灰岩中以碳酸盐产出。当以硅酸盐矿物产出时則較为惰性, 被富硫矿液交代时留于原地, 因此使交代砂卡岩产出的

表 9

岩 石	标本	Be	Si	Al	Mg	Mn	Pb	Sn	Fe	Ga	Ni	Bi	Ti	Ca	V	Cu	Na	Ag	Co
扁豆状灰岩	拉-三	—	10	3.85	1	0.05	—	—	1	0.001	0.005	—	0.5	>10	—	0.001	0.05	—	—
砂卡岩	罗-29	0.03	>10	10	1	0.3	0.03	0.005	3	0.003	0.003	0.01	0.3	>10	0.003	0.003	0.1	0.001	0.003

閃鋅矿含 Fe、Ca 都明显地較充填产出者为高。而在扁豆状灰岩中以碳酸盐产出的 Ca、Fe 較为活泼,易被交代,因此于交代扁豆状灰岩的閃鋅矿中不見 Fe、Ca 的富集現象。相反,鉄含量反为低些。这显然由于沿层交代时矿液所受压力較充填裂隙时大得多,服从于 G. 科勒魯特提出的在同一成矿温度时 ZnS_2 的含鉄量与压力成反比的定律,因此交代扁豆状成因的閃鋅矿比同期充填成因的閃鋅矿含鉄量要低些,这是正常的。矿液成分上的不同,矿液中各元素交代性能不同,也能在交代成因的閃鋅矿中有所反映。例如,在砂卡岩期矿液中显然含 B,并且易于交代砂卡岩,产出于交代成因的閃鋅矿中。在高温热液期中有 Ba、Bi,并且他們易于交代扁豆状灰岩,产于交代成因的閃鋅矿中。可見在閃鋅矿交代围岩时,不同元素有不同特性:围岩中如有 Si、Al、Be、Ti 及硅酸盐矿物中的 Fe、Ca,能留在原地进入閃鋅矿中,閃鋅矿就富含以上成分。矿液中的 B、Bi、Ba 易于在交代成因的閃鋅矿中产出。Sn、Mn、Mg、Pb、Sb、In、Cd、Ga、As、Ag、Cu 等元素在交代与充填过程中未見到明显的分异作用。

(8) 本区閃鋅矿中分散元素賦存的某些特点:一般認為,分散元素主要是产于中温成因的閃鋅矿或浅色閃鋅矿中。从本矿区情况看来,高温成因的深色閃鋅矿亦可以富集分散元素。本区閃鋅矿中,主要含有 In、Cd、Ga 三种。Cd 在四期閃鋅矿中都含有,以第三期含量最高,达 0.4—0.6%;第一期,含量为 0.4—0.5%;第二期含量达 0.3—0.4%;第四期含量 >0.3%。因此高温成因的黑色鉄閃鋅矿中亦可富含 Cd。In 只在第二期高温热液成因的黑色鉄閃鋅矿中产出,在地区上主要产于 A、B 区,对 67 个閃鋅矿的分析結果,其平均值达 0.05%。其他各期的閃鋅矿中 In 的含量都較少,一般只含十万分之一左右。Ga 在各期閃鋅矿中都較少产出,一般少于十万分之一,在低温成因的閃鋅矿中未見到富集現象。在本矿带内,于不同构造位置产出的矿床,虽属同期产出的閃鋅矿,但 In、Cd 含量亦各有区别。例如,在 A 区的第二期閃鋅矿中含 In(0.06%) 普遍略高于 B 区(0.05%),C 区第三期閃鋅矿中的 Cd(0.25—0.3%) 显著地低于 D 区的同期閃鋅矿(0.5—0.6%)。在同类矿脉中沿倾向方向,閃鋅矿中的 In、Cd、Ga 含量是有規律地变化的。矿脉从上往下,In 含量有規律增高,Ga 和 Cd 作有規律的降低,如在 B 区所見(表 10)。

表 10

平均含量 元素 水平高	In	Cd	Ga
725 米	0.0288/8	0.449/8	0.0038/8
685 米	0.0543/14	0.415/14	0.0028/12
635 米	0.0618/19	0.429/19	0.0020/19

造成上述現象的原因是: 1) 各矿期的矿液在分散元素含量上不同, In 只在高温热液期的矿液中有富集, Cd 普遍都含有, 第三期中相对为多, Ga 各期中都貧; 2) 各矿区同一期矿液所含分散元素的成分亦不一致; 3) 同一期閃鋅矿中, In 在較高温度下亦就是較早产出,在早期閃鋅矿中有富集, Cd 和 Ga 則反之; 4) In、Cd、Ga 在閃鋅矿内产出与否,与本区的地球化学特点有关。在有利的条件下,高温富鉄的黑色閃鋅矿中完全有可能形成

表 11

标本号碼	含 鉄 量	晶胞常数 $a(\text{\AA})$
40-39	14.53%	5.4228
三-1	7.3%	5.4167
芒-22	1.7%	5.414
芒-32	1.62%	5.399

In、Cd 的独立矿床。

(9) 閃鋅矿中含鉄量与閃鋅矿晶胞常数的关系: 晶胞常数值与閃鋅矿含鉄量成正比关系(表 11)。由于閃鋅矿中, 含 FeS 量与成矿温度为成正比关系, 因此晶胞常数与閃鋅矿的成矿温度亦成正比关系, 这亦可以作为确定閃鋅矿成矿温度的标志之一。

参 考 文 献

- [1] 戈尔德施密特 V. M. 1959 地球化学。科学出版社。
- [2] 别洛夫: 硫化物某些晶体化学特性。矿物专輯第一輯, 地质出版社。
- [3] 楊象时 1962 中国辽东一些多金属矿床中閃鋅矿的形成温度及其物理-化学性质关系。地质学报第 42 卷 1 期。
- [4] Бетехтин, А. Г. 1953 Минералогия госгеолтехиздат.
- [5] Бетехтин, А. Г. и др. 1956 Текстуры и структуры руд, Госгеолтехиздат.
- [6] Ингерсон, Э. 1959 Методы и проблемы геологической термометрии. В кн. Проблемы рудных месторождений. Изд-во иностранной литературы Москва.
- [7] Иодер, Х. С. 1954 Система $\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ и соответствующие метаморфические фации. В кн. Экспериментальные исследования в области петрографии и рудообразования. И. Л.
- [8] Kullerud, G. 1953 The Fe—ZnS system as a geological thermometer. Norsk Geol. Tidssk. 32 6—147.
- [9] Минералы. 1960 Справочник Том I.
- [10] Ферсман, А. Е. Геохимия избранные труды V.



照片 1

光片 III-6 放大 68×

产地: B 区裂隙脉

早期錫石(ka)、石英(kb)及黃鉄矿(πи)破碎、被閃鋅矿胶結而再次破碎充填硫錳鉛矿(бу)及黃錫矿(сг),錫石被強烈溶蝕,閃鋅矿被交代。

硫錳鉛矿与黃錫矿紧密共生,具文象結構,錫石具骸晶結構,矿石具破碎构造。



照片 2

光片 40-30 放大 237×

产地: B 区小脉

电气石(a)呈細針状穿于閃鋅矿(cφ)及磁黃鉄矿(np)中,与此二矿物共生,但較早晶出。



照片 3

标本 40-1 放大 110×

产地: B 区

泥质灰岩与矿脉直接接触处变质带,围岩硅化,石英(kb)再晶,电气石(a)呈細針状穿于石英中,錫石(ka)以自形晶产出。



照片 4

薄片 罗-39 放大 33×

产地: A 区

斧石砂卡岩带,斧石(a)穿于閃鋅矿(cφ)及方解石(k)中,长 1 毫米左右。



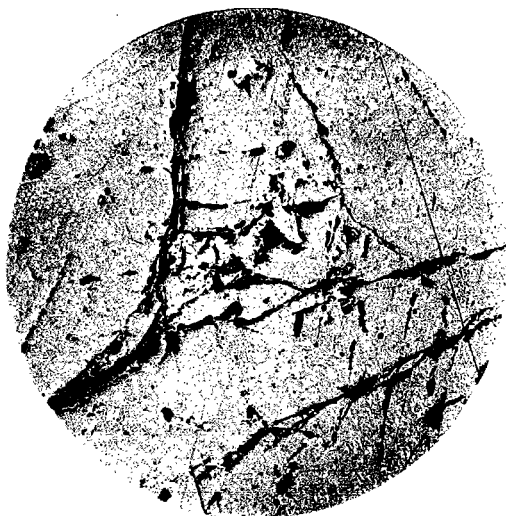
照片 5

光片 三-3 放大 32×

产地：D区

菱錳鉄矿-閃鋅矿-方鉛矿矿脉

閃鋅矿(сф)0.2毫米土,与菱錳鉄矿(си)
(0.4毫米)共生,具花崗結構,在二矿物胶結
帶中产出黃鉄矿(пи)細晶。



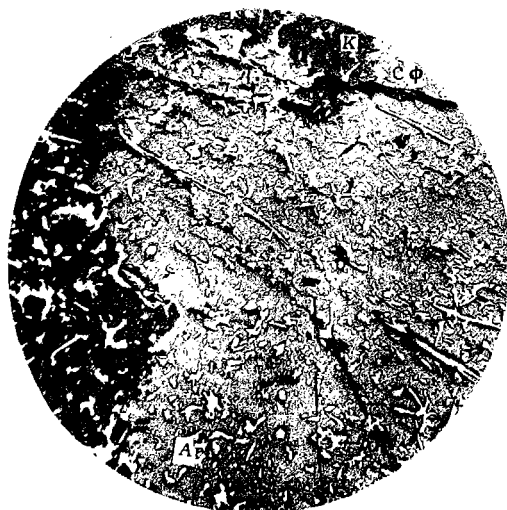
照片 6

光片 罗-33 放大 32×

产地：A区

砂卡岩中层状交代閃鋅矿脉。

在閃鋅矿中,黃銅矿及磁黃鉄矿呈乳浊
状固溶析离体广泛分布。并具显出定向排
列。



照片 7

光片 D-6 放大 32×

产地：D区

輝鋁矿(ан)呈針状、滴状(0.08毫米)均
匀分布于閃鋅矿(сф)(0.5毫米)及碳酸盐矿
物(к)中。

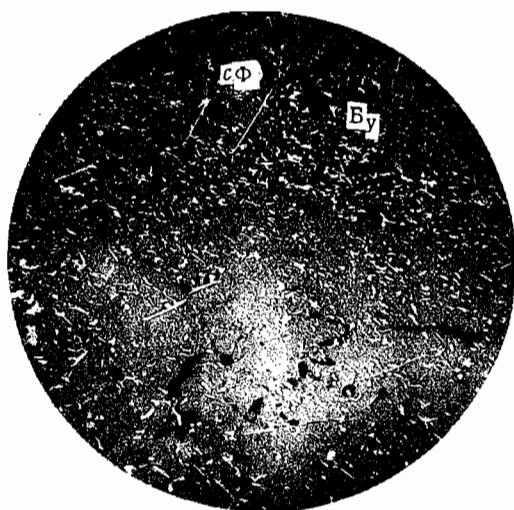


照片 8

光片 珍-6 放大 32×

产地：D区

錳方解石-輝鋁矿-閃鋅矿矿脉中,錳方
解石(к)具冻胶状結構产出。

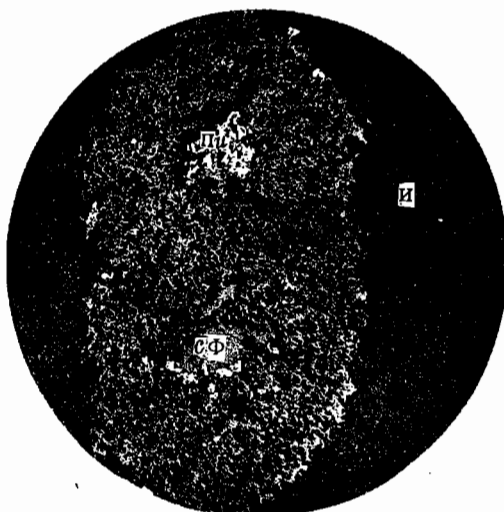


照片 9

光片 三-1 放大 68×

产地: D区

閃鋅矿-硫錫鉛矿-菱錳鉄矿矿脉中, 硫錫鉛矿 (св) 呈細針、細滴狀均匀分布于閃鋅矿 (сф) 中。



照片 10

光片 IIIo-34 放大 32×

产地: B区小脉, 围岩 (и) 浸染

閃鋅矿 (сф) 及黃鉄矿 (пи) 环球狀交代再晶灰岩 (и), 具环球帶及浸染狀构造。

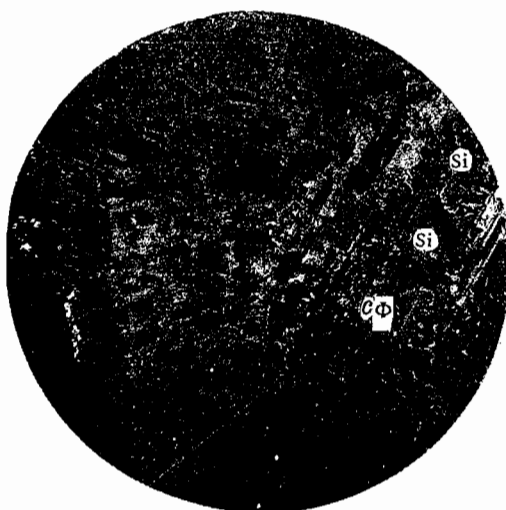


照片 11

光片 IIIo-35 放大 32×

产地: B区小脉

閃鋅矿 (сф) 具菱形聚片双晶狀或聚片双晶狀結構, 不等粒, 黃鉄矿 (пи) 成結狀結構产生于閃鋅矿晶粒間。



照片 12

光片 33-24 放大 32×

产地: B区三中段 57 号脉

交代成因的閃鋅矿 (сф) 具菱形聚片双晶結構, 交代富鈣岩帶, 于閃鋅矿殘留未被交代之硅質 (Si) 具点滴狀殘留結構。