

“镜铁山式”铁铜矿床地质特征及其成因探讨*

刘华山 李秋林

于浦生 邬介人

(冶金部西北地质勘查局五队, 酒泉) (中国地质科学院西安地质矿产研究所, 西安)

提 要: 探讨了镜铁山桦树沟矿区铁铜矿床成矿地质背景和成岩成矿的演化过程, 阐述控制铁铜矿带在水平和垂向分带变化的地质特征。根据线性构造与火山喷发沉积关系, 着重探讨“镜铁山式”铁铜矿床的成因机制, 并运用 $\delta^{34}\text{S}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$ 、 $\delta^{13}\text{C}$ 测试成果, 确立含铁铜硅质岩建造, 建立上铁下铜结构分带。认为该类型矿床是与海相火山作用有关的喷气沉积成因矿床, 具有与块状硫化物矿床共生, 组成铁-铜-硫矿床系列双层成矿结构模式。

关键词: 镜铁山式铁铜矿床 硅铁铜建造 矿床分带 火山-沉积环境 喷气-沉积成因

“镜铁山式”铁铜矿床是西北海相火山-沉积岩地区新近发现与勘探成功的铜矿类型^[1,2], 具有较为广泛的时空分布和潜在资源优势, 有望成为重要的工业类型之一。镜铁山桦树沟铁铜矿床的发现, 改变了北祁连西段多铁少铜(多金属)的成矿格局。之后又相继发现了柳沟峡、白尖及新疆雅满苏、沙泉子、磁海等铁铜矿床, 为我国西北地区增加了铁铜矿的典型实例。本文以桦树沟铁铜矿床为例, 结合国内外研究现状, 来探讨“镜铁山式”铁铜矿床的成因机制。

1 区域地质概况

镜铁山矿床是我国著名的铁矿之一, 主要由北大河东、西两侧的黑沟和桦树沟两矿区组成(图 1)。位于北祁连加里东褶皱带之西段复背斜轴部。

铁铜矿床主要分布于镜铁山群变质火山-沉积岩系中。在成矿时代上尚有争议, 早期曾定为寒武系(ϵ_2), 后期被定为中—新元古宙。依据邬介人等^[5]在北祁连西段柳沟峡地区发现的牙形刺化石(*phakelodus cffenuis (miillei)*, *proucontiodustorus* 等)和青海祁连县郭密寺地区发现的牙形刺化石与该地区有相似性, 还有可能重新定为寒武—奥陶系。

* 该项目由酒泉钢铁公司资助

刘华山, 男, 生于 1953 年, 冶金部西北地质勘查局五队副总工程师、西北地质矿产勘查开发院五分院院长, 长期从事铁铜矿找矿勘查工作。邮编: 735000

1997-05-04 收稿, 1997-09-11 修改回

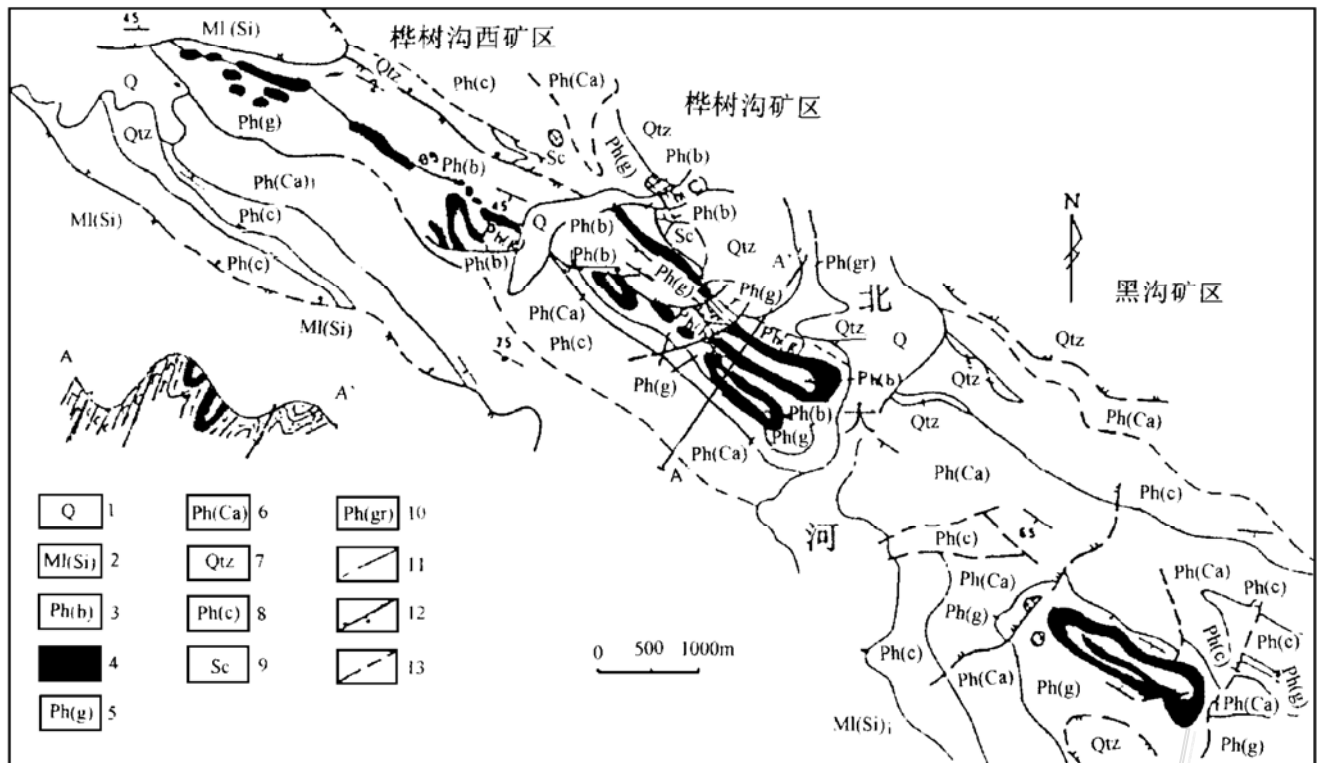


图 1 桦树沟—黑沟矿区地质略图

1—第四系；2—白云岩及白云质大理岩；3—灰黑色千枚岩；4—碧玉-菱铁矿-镜铁矿；5—灰绿色千枚岩；6—钙质千枚岩；7—石英岩；8—碳质千枚岩；9—绢云母千枚岩；10—杂色千枚岩；11—地质界线；12—逆掩断层；13—断层

Fig. 1. Geological sketch map of the Huashugou-Heigou ore district.

1—Quaternary; 2—Dolomite and dolomitic marble; 3—Grayish black phyllite; 4—Jasper-siderite-specularite; 5—Grayish green phyllite; 6—Calcareous phyllite; 7—Quartzite; 8—Carbonaceous phyllite; 9—Sericite phyllite; 10—Varicolored phyllite; 11—Geological boundary; 12—Overthrust; 13—Fault.

2 矿床地质特征

2.1 含矿岩系及矿层分带特征

桦树沟铁铜矿区长 2.5 km，宽 0.8~1 km，出露地层除零星分布的第四系外，均为镜铁山群下岩组，共分 8 层（表 1），除底部石英岩及铁矿层外，均为各类千枚岩。总的特征是变质浅，厚度大，相变明显。根据其岩石化学全分析数据（表 2），恢复原岩投入尼格里图上，大部分落在火成岩区。表明其原岩是以火山物质占优势的中基性、酸性凝灰岩（主要为石英角斑质凝灰岩）。而含铁碧玉岩是由生物化学沉积作用参与的热泉（火山）水与海水经过充分混合而形成的^[3]。含矿层位于火山喷发沉积旋回上部的千枚岩夹 C、Ca、Si、Fe 质岩中。铁矿层与岩层同褶皱，呈复式向斜状重复出现 7 个矿（体）带（图 2），铜矿层分布在铁矿主矿层下盘底板围岩部位。后生断裂对矿层有一定破坏作用，但地层和矿层仍基本连续，同生沉积构造在矿区有一定表现。在铁矿层中 Cu、Ba 局部富集，也可达工业品位。Cu 较分散未单独圈定矿体，Ba 可达大型伴生重晶石矿床。

表 1 桦树沟铁铜矿区地层表

Table 1. Stratigraphic scale of the Huashugou iron-copper ore district

地层时代	符 号	岩 性 描 述	厚度/m
第四系	Q	灰黄色钙质土、砂土、砾石等	1~65
镜 铁 山 群 下 岩 组	Zjt ¹⁻⁸	黑灰色千枚岩层：灰黑、灰绿色含铁绿泥石石英绢云母千枚岩及含铁白云石结核石英绢云母千枚岩，局部夹石英变砂岩及石英岩	60~300
	Zjt ¹⁻⁷	铁矿层：红褐、黄褐、浅灰、铁黑色条带状菱铁矿、镜铁矿夹灰色铁质千枚岩及铁碧玉透镜体。铜矿赋存在该层下部向斜北翼	3~150
	Zjt ¹⁻⁶	灰绿色绿泥石石英绢云母千枚岩：灰绿、暗绿、黑灰色绿泥石石英绢云母千枚岩夹透镜状不纯大理岩和石英岩，下部含碳石英绢云母千枚岩，铜矿赋存在该层上部向斜北翼	5~528
	Zjt ¹⁻⁵	钙质千枚岩：灰褐、深灰—浅灰色绿泥石方解石石英绢云母千枚岩夹泥质大理岩和不纯大理岩	110~550
	Zjt ¹⁻⁴	碳质千枚岩层：黑灰色含碳质绢云母石英千枚岩钙质薄层及碳酸盐化绢云母石英千枚岩，硅质千枚岩，局部变质石英岩	178~246
	Zjt ¹⁻³	绢云母石英千枚岩层：灰褐、灰白色绢云母石英千枚岩	33
	Zjt ¹⁻²	石英岩层：黄褐色、灰白色薄层—厚层状石英岩夹薄层绢云母石英千枚岩、硅质千枚岩	107
	Zjt ¹⁻¹	杂质千枚岩层：上部灰黑色包含碳质石英绢云母千枚岩夹硅质岩、钙质千枚岩；下部灰绿色方解石石英绢云母千枚岩夹透镜状灰岩	>75

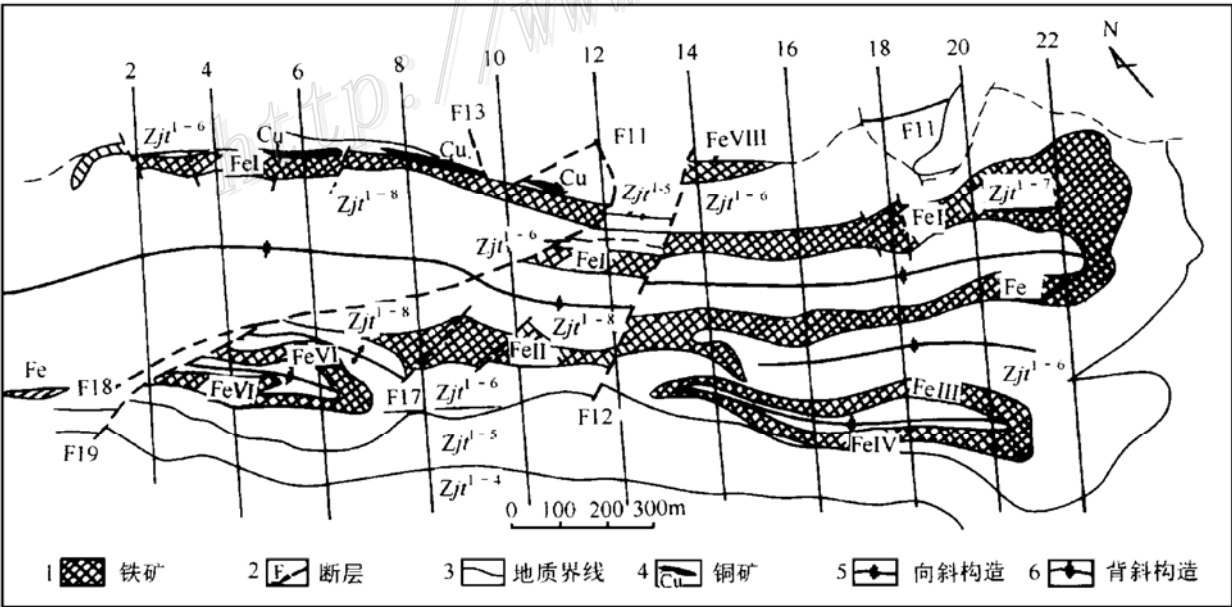


图 2 桦树沟铁铜矿区地表矿体分布略图
地层符号同表 1

Fig. 2. Schematic map showing distribution of surface orebodies in the Huashugou iron-copper ore district.

Symbols as for Table 1.

1—Iron deposit; 2—Fault; 3—Geological boundary; 4—Copper deposit; 5—Syncline; 6—Anticline.

表 2 桦树沟铁铜矿区岩石化学全分析结果表
Table 2. Chemical composition of various rocks from the Huashugou iron-copper ore district

序号	岩性	化 学 成 分/wb%														H ₂ O ⁻	S	SO ₃	CO ₂	烧失	合计
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	BaO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺							
1	灰白色千枚岩	50.54	0.37	7.45	4.27	14.55	2.98	0.34	0.45	0.18	2.00	0.60	0.16	0.92	0.06			12.58	13.56	97.45	
2	灰黑色千枚岩	61.66	0.69	14.90	8.15	1.51	4.20	0.10	0.80	0.10		0.10		0.29				4.12	4.42	96.33	
3	灰黑色千枚岩	59.80	1.35	11.07	7.36	5.60	5.39	0.05	0.50	0.12	2.60	0.09	0.07	0.16	0.13			4.13	4.42	98.42	
4	黑灰色千枚岩	72.87	0.62	13.24	2.81	2.04	3.55	0.10	0.33	0.50	2.02	0.02		0.21				2.91	3.12	101.22	
5	黑灰色千枚岩	66.89	0.58	13.59	2.73	3.14	3.95		0.34	0.16	3.06	0.03	0.038	4.30				0.71		99.52	
6	灰黑色碳质千枚岩	62.52	0.60	15.69	1.90	2.26	2.36		1.76	0.24	4.50	0.04	0.05	2.62				4.22		98.76	
7	灰黑色碳质千枚岩	65.22	0.67	17.64	1.30	3.21	2.44		0.29	0.23	4.47	0.01	0.05	3.88				0.33		99.94	
8	灰黑色碳质千枚岩	45.91	0.35	8.84	2.80	4.01	11.97		8.02		0.52	0.09	0.07	4.78	0.06		1.45	11.96		100.83	
9	灰黑色碳质千枚岩	52.84	0.31	8.76	1.97	2.34	8.79		7.58		1.52	0.06	0.09		3.70		0.95	11.60		100.52	
10	绿泥石英绢云千枚岩	62.86	0.81	11.07	2.77	4.55	4.00	0.01	1.60	0.44	4.00	0.21	0.11	1.00	0.01			4.68	5.69	98.11	
11	灰绿色含铁千枚岩	58.15	1.33	10.54	5.06	9.40	4.95	0.45	0.65	0.24	2.80	0.10	0.23	3.24	0.15			2.71	6.10	100.00	
12	绿泥石英绢云千枚岩	71.01	0.70	14.87	1.33	2.09	1.01		0.22	0.15	4.64	0.06	0.04	2.23				1.45		99.80	
13	绿泥石英绢云千枚岩	60.57	0.61	12.15	2.52	4.22	4.28		2.66	0.05	4.10	0.43	0.04	2.40				5.28		99.31	
14	灰绿色含铜千枚岩	62.31	1.11	12.93	4.47	5.06	4.77		0.29	0.05	3.49	0.08	0.04	3.71				1.12		99.43	
15	绿泥绢云千枚岩	56.25	1.36	14.24	3.08	8.58	7.15		0.22	0.04	3.14	0.04	0.08	5.36		有机炭 0.07		0.67		100.21	
16	绢云石英千枚岩	56.79	1.04	12.05	10.48	3.75	3.29		1.88	0.12	3.20	0.11	0.34	2.60			0.06	4.01	6.61	99.80	
17	硅化含铁千枚岩	39.61	0.42	8.02	30.52	2.51	2.01		1.38	0.25	2.22	0.27	0.10	5.71				5.54		98.56	
18	绢云石英千枚岩	58.93	1.02	13.28	6.69	5.30	2.37		0.68	0.14	5.00	0.04	0.19	3.25			0.08	2.95	6.20	99.92	
19	绢云石英千枚岩	60.94	1.16	12.99	9.24	2.33	2.64		1.35	0.20	4.80	0.09	0.23	1.55			0.06	2.40	3.95	99.98	
20	绢云石英千枚岩	63.35	0.79	12.99	5.10	2.18	3.07		1.73	0.18	4.40	0.18	0.11	1.35			0.06	4.28	5.63	99.77	
21	绢云石英千枚岩	60.94	0.67	11.16	5.40	1.60	3.40		3.93	0.08	4.40	0.40	0.12	1.15			0.03	6.66	7.81	99.94	
22	绢云石英千枚岩	58.00	0.98	11.69	13.77	1.45	2.48		2.18	0.20	2.80	0.41	0.25	1.98			0.04	3.35	5.33	99.58	
23	石英绢云母片岩	56.30	0.43	7.83	0.62	1.88	6.38	0.10	10.40	0.12	1.98	0.10		0.12				15.51	15.63	101.77	
24	钙质千枚岩	36.91	0.36	7.34	1.55	0.81	4.28		25.45	0.52	1.18	0.08		0.10				22.70	22.80	101.29	
25	深灰色含碳千枚岩	43.29	0.19	4.60	0.82	4.44	11.85		12.22	0.07	0.11	0.14	0.07	0.73				20.08		98.61	
26	石英绢云母千枚岩	39.23	0.15	4.02	1.34	1.39	14.45		14.85	0.10		0.09	0.06					22.35	24.30	99.98	
27	灰黑色千枚岩	36.72	0.23	5.34	0.65	2.66	10.15		16.69	0.01	1.33	0.16	0.05	1.04					24.50	99.95	
28	变砂岩	20.17	0.05	0.91	0.74	3.45	14.79		23.14	0.14	0.24	0.29	0.01	0.40				34.80		99.13	
29	含菱铁矿碧玉岩	51.78	0.02	0.15	4.97	25.70	0.30	0.28	0.20	0.01	0.40	0.06	0.09	0.80	0.13			12.24	13.17	97.13	
30	重晶石	2.95	0.02	0.36	1.22	3.15	0.18	58.00	0.15		0.01	0.04	0.07	1.34	0.29		32.66			102.14	
31	铁白云石结核	21.90	0.60	5.67	1.80	9.95	11.76	0.03	14.95	0.13	1.10	2.30	0.16	1.82	0.10			25.43	27.35	97.70	
32	变质粉砂岩	64.74	0.493	10.08	5.27	1.89	10.83	0.02	0.45	0.10		0.03	0.19					0.18	6.20	100.22	
33	变质石英砂岩	81.03	0.015	0.48	1.58	0.84	7.32	0.02	4.00			0.04	0.04					5.46	5.04	100.83	

注:序号 1、3、8~11、14、15、17、29~33 由西北勘探局冶金队化验室完成;5~7、12、13、25、28 由冶金部天津地质研究院测试;16、18、27 由地矿部西安测试中心测试;2、4、24 引自勘探报告;19~23、26 由西北矿冶研究院物质组分测试中心测试

2.2 矿床形态、产状及规律

根据铁矿（体）带的产出和分布，以 12~14 勘探线为界，将桦树沟铁铜矿区分分为东西两矿段。东段为向斜构造的翘起部位，地表矿体出露宽度大，矿体侵蚀较深，地形较低，埋深较浅，褶皱构造相对复杂；西段矿体出露较少，侵蚀较浅，地形较高，埋深较大，断裂构造相对发育。

铜矿体主要赋存于 Fe I 矿层西段下部和底板围岩中（图 2、图 3），在地表仅 6 线附近出露一条长 140 余米，宽 1~6 m，品位 0.22%~0.98% 的铜矿化带，矿体呈透镜状产出。据现有工程控制情况来看，深部矿化多层状，可分为含铁碧玉岩型铜矿（Cu I）和千枚岩型铜矿（Cu II）两大类型。在东起 11 线、西至零线，长约 1100 m，宽 12~60 m，延深 500 m 的范围内共圈出 8 个矿体（表 3），已达中型规模。除 CuV 产于 Cu II 矿体之上 7 m 的蚀变千枚岩中外，其它均产于 Cu I 矿体上下的破碎含铁碧玉岩或贫铁矿中。从总体上看矿体产状与围岩产状一致，沿倾向作 S 型弯曲，并具尖灭再现膨缩的特点。位于 Fe I 矿体底板的 F10 断层具韧-脆性变形层间构造性质，对 Cu I 矿体起叠加富集作用。

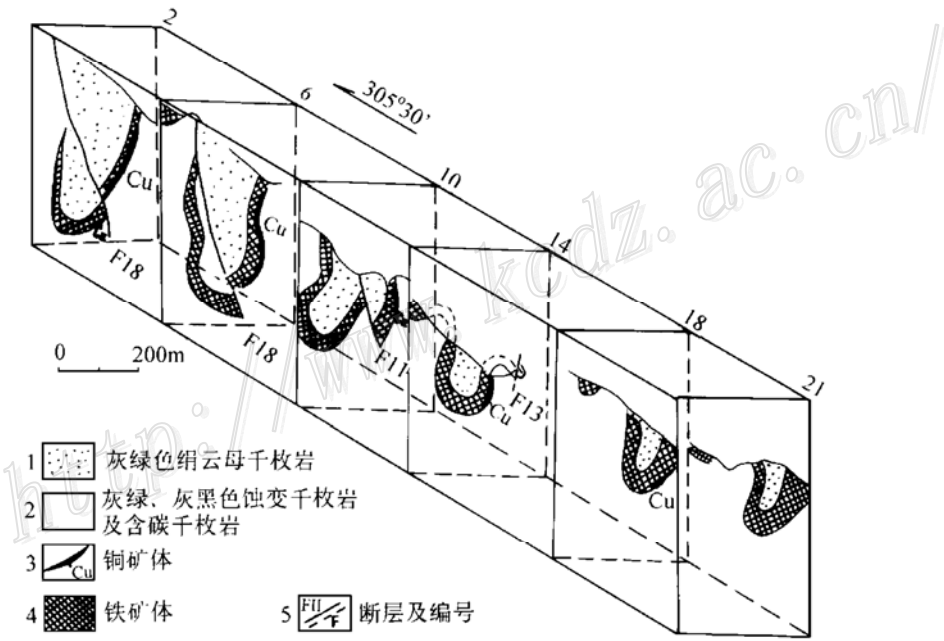


图 3 桦树沟铁铜矿断面系列图

Fig. 3. Serial sectional drawing of the Huashugou iron-copper deposit.

1—Grayish green sericite phyllite; 2—Grayish green and grayish black altered phyllite and carbonaceous phyllite;
3—Copper orebody; 4—Iron orebody; 5—Fault and serial number.

铁矿沿向斜层走向由东往西具镜铁矿减少，而菱铁矿增多的反消长关系，铜矿的平均品位则随矿体厚度变化而变化（图 4），除个别特富品位外，总体上由东往西，从上而下具有增高趋势。

2.3 矿石的结构、构造及物质组分特征

（1）矿石的结构、构造：①铁矿石的结构、构造：铁矿石的结构主要为半自形粒状结构、叶片状结构，偶见残余鲕状结构。构造以层纹—条带状构造最为常见，次为块状构造。浸染

表 3 桦树沟铁铜矿床铜矿特征表

Table 3. Characteristics of orebodies in the Huashugou iron-copper ore deposit

矿体 编号	矿体 形态	矿体规模/m			出露 标高/m	矿体产状		矿体平均 品位/%	分 布 范 围
		长	真厚	延深		倾向	倾角		
Cu I	似层状	≥1010	0.94~34.49 平均 11.89	300~450 平均 420	2400~2870	210°~240°	40°~85° 平均 61°	2.87	11-1 线 (37 个工程)
Cu II	似层状 透镜状	>660	6.17	320~500	2360~3000	210°~240°	40°~85° 平均 61°	2.77	3-9a 线 (41 个工程)
Cu III	似层状	50	7.01	380	2435~2680	210°~240°	59°	0.43	4 线 (2 个工程)
Cu IV	小透镜状	50	6.13	80	2740~2783	210°~240°	55°	0.40	8 线 (1 个工程)
Cu V	小透镜状	50	2.00	52	2492~2535	210°~240°	55°	0.55	8 线 (2 个工程)
Cu VI	似层状	50	2.00	140	2628~2740	210°~240°	55°	0.72	10 线 (2 个工程)
Cu VII	小透镜状	50						0.22	8 线
Cu I -1	脉状	50		245	2600~2842			0.26	8 线

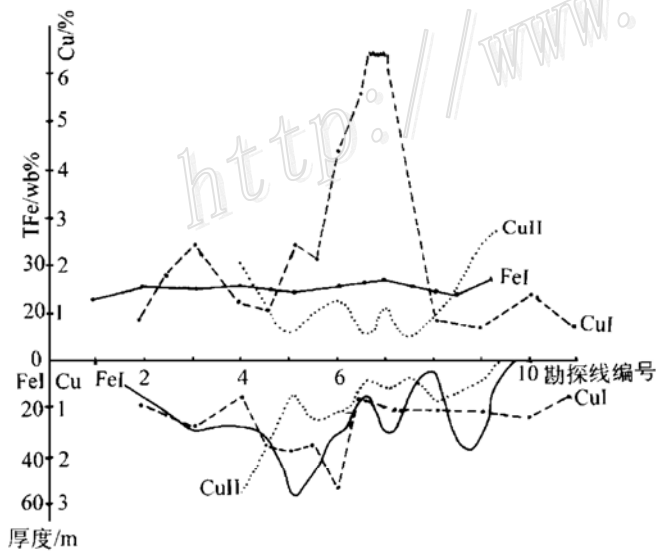


图 4 2884 中段铁铜矿体沿走向剖面厚度品位变化曲线
Fig. 4. Variation in thickness and grade of the iron-copper orebody along the strike section at 2884 level.

状构造与角砾状构造。②铜矿石的结构、构造：铜矿石的结构主要为半自形粒状结构、他形粒状结构、包含结构、交代结构、交代残余结构、编织结构等，偶见自形粒状结构。有块状构造、细脉浸染状结构、网脉状构造、角砾状构造、条带状构造等。其中块状构造是由黄铜矿、黄铁矿和脉石矿物组成较为均一的块状矿石，多分布于矿体中部；由矿石矿物呈细脉或斑点状组成的细脉浸染状矿石多分布于矿体边部；由黄铁矿、黄铜矿呈网脉或密集细脉胶结破碎的铁碧玉岩而成的网脉状构造的矿石多分布在矿体的中部和下部。角砾状构造主要见于含铜铁碧玉岩带（层）内；由黄铜矿、黄铁矿与碧玉或石英组成条带状构造的矿石多分布于矿体的上部或中上部。

(2) 矿石的物质组分：矿石的物质组分见表 4。铁矿石的矿石矿物以赤铁矿、菱铁矿、镜铁矿为主，磁铁矿、黄铁矿、褐铁矿次之。据矿石中矿物的自然组合及结构、构造特征，可将矿石划分为碧玉镜铁矿矿石、碧玉菱铁矿矿石、碧玉菱铁镜铁矿矿石、碧玉镜铁菱铁矿矿石、碧玉褐铁矿矿石等五种矿石类型。

表 4 桦树沟铁铜矿床矿石矿物组分特征

Table 4. Characteristics of ore mineral constituents in the Huashugou iron-copper deposit

矿体	金 属 矿 物		脉 石 矿 物	
	主 要	次 要	主 要	次 要
Fe II	赤铁矿、菱铁矿、镜铁矿	磁铁矿、黄铁矿、褐铁矿	碧玉、石英、白云石（铁白云石）、重晶石	锆石、绢云母、电气石、白钛石
Fe I	菱铁矿、镜铁矿、赤铁矿	磁铁矿、黄铁矿、褐铁矿	碧玉、（燧石）、石英、重晶石、铁白云石、（白云石）	绢云母、斜长石、白钛石、锆石
Cu I	黄铜矿、黄铁矿、菱铁矿	褐铁矿、镜铁矿、赤铁矿、斑铜矿、磁铁矿	石英、碧玉、白云母、（铁白云石）、方解石	白云母、重晶石、斜长石、绢云母
Cu II	黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿	铜蓝、黝铜矿、辉铜矿、镜铁矿、赤铁矿、闪锌矿、褐铁矿	铁白云石、石英、绢云母、方解石	电气石、绿泥石、锆石、碳质和泥质

铜矿石矿物成分较复杂，矿石矿物主要为黄铜矿、黄铁矿、菱铁矿、斑铜矿，其次为铜蓝、蓝铜矿、辉铜矿、黝铜矿、孔雀石、闪锌矿、针铁矿等，个别样品中尚见有自然金。主要脉石矿物为石英、铁白云石、白云石、方解石、绢云母、重晶石、绿泥石等。矿石矿物主要分布在千枚岩、碧玉岩及硅质脉体中。分布在容矿岩中的矿石矿物以条带状为主，浸染状次之。分布在硅质脉体的铜矿物以团块状为主，星点状次之，从组成矿石的铜矿物种类，并结合铜矿物组合在剖面上的产出位置来看，铜矿物共生组合在空间分布上具有一定的律，即存在着下黄（黄铜矿）上辉（辉铜矿、黄铜矿为主，黝铜矿、斑铜矿、铜蓝次之）的分带现象。

据铜矿石常量元素化学成分（表 5）看，其基本特征是，除 Cu、S 外，Si、Fe、Mn、Ba 等组分含量高，Al、Ti、P 等组分含量低。在千枚岩型铜矿（Cu II）中，SiO₂、Al₂O₃、K₂O、H₂O⁺等组合成绢云母化、硅化。故 SiO₂ 在矿石中大于它的铝硅酸盐矿物中的匹配量而显富集，Fe₂O₃ 主要形成镜铁矿或赤铁矿，FeO 主要形成菱铁矿和少量硫铁矿。在碧玉岩型铜矿（Cu I）石中，SiO₂ 主要以碧玉形式出现，Fe 组分除少量形成镜铁矿外，主要形成硫化物，BaO（高达 5.35%）呈重晶石赋存状态出现。

表 5 桦树沟铜矿石化学成分（%）

Table 5. Chemical composition of copper ores from the Huashugou iron-copper deposit

矿体号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁺	H ₂ O ⁻	P ₂ O ₅	BaO	Cu	S	合计
Cu II	49.20	0.09	9.40	9.13	12.03	0.51	3.56	0.10	0.19	2.41	9.20	0.11	0.09	0.06	1.08	1.93	99.18
Cu I	49.37	0.07	0.82	6.55	28.96	0.46	2.11	0.96	0.20	0.93	0.90	0.30	0.10	5.35	1.05	3.37	99.50

注：由中科院矿床地球化学开放研究实验室测试

从铜矿石的微量元素 (表 6) 特征来看: 千枚岩型铜矿中的 Cu 含量高于碧玉岩型铜矿 (Cu I), 从 Cu、Zn、Pb 元素系列变化来看, 相当于黄铁矿型铜 (多金属) 矿之 Cu 型或 Cu-Zn 型的主金属类型。从伴生元素 Ba、Au、Ag、Mn、Ti、Hg、Sr、As、Bi、Ge 等中的 Ba、Au、Ge 等局部富集和 Cu、Au、Ag 的相关特征来看, 表明它们成矿阶段的一致性。高 Si、Ba 和 Hg、Sb、As、Bi 等存在, 可显示其喷气沉积的主导作用。二者 Co/Ni 比值均大于 1, 显示了火山-沉积矿床的特点; 相反, Ti/V 比值却显示为陆源沉积的特征。由此看来, 该矿床在成矿物质来源上具火山源、壳源等复合特征。

表 6 桦树沟铜矿石的微量元素化学成分表

Table 6. Minor element contents of copper ores from the Huashugou iron-copper deposit

矿体	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Ba	Hg	Ti	Ni	Co	Sr	V	Ge	S	Co/Vi	Ti/V
Cu I	11	133	207	6	63	4	32	23	21802	0.86	300	3	61	212	12	3.4		20.3	25
Cu I	16	293	3917	6	148	8	5	25	1147	0.64	210	10	40	25	15	5.2	1.45	4	14
Cu II	13	2181	4234	10	63	5	550	22	452	0.88	824	69	99	49	64	5.1	8.29	1.4	12.8

注: Au、Ag 单位为 10^{-9} , S 单位为 wb%, 其余单位为 10^{-6} ; 由中科院矿床地球化学开放研究实验室测试

3 矿床成因讨论

对镜铁山桦树沟铁铜型矿床成因各家意见不一^[4], 其中有“沉积变质”说、“火山-沉积”说, “火山喷气沉积”说等。在 Fe、Cu 关系上有 Fe、Cu 共生和先 Fe 后 Cu 之区别。笔者通过近年来的研究, 认为该矿床属 Fe、Cu 基本共生的火山喷气成因, 又经叠加改造的复合类型矿床。

3.1 古地理环境与成矿的关系

从大地构造位置上, 局限于大陆板块和海洋板块的接合带或陆间裂陷带发育部位。火山沉积岩系多呈具方向性线型带状分布特征, 反映地壳演化、岩浆活动受控于板块机制和裂谷作用。铁铜矿床是在地槽发展的早期裂谷作用阶段沉积过程中, 由于强烈的火山喷发、喷气活动, 有用组分被搬到成矿有利的海底盆地沉积下来形成有用矿产, 在时空分布上受一定的限制, 层控特征明显。含矿层位一般由下而上, 显示还原-氧化环境条件的变化, 但从含矿层位的建造特征 (表 1) 而言, 不是一般的陆源碎屑沉积特征。上 Fe 下 Cu (图 2、3) 的矿床结构亦不具一般先 Cu 后 Fe 的正常沉积序列, 而是与火山喷气沉积活动相联系的先 Fe 后 Cu 的成矿次序。在铁铜矿区或含矿层位中, 还有英安斑岩、闪长玢岩、辉绿岩等浅成、超浅成侵入体分布, 它们的存在表明与区内火山活动在时空上的联系, 代表成矿后有一次地质事件对先成矿产生一定的影响; 同时表明铁铜矿床深部早期可能存在岩浆房或火山岩浆通道。这对发生热流体系统, 为形成铁铜矿床提供了热动力学条件, 从而可推断铁铜矿的生成与该区域的火山活动存在着不同程度的联系, 包括矿质来源、矿质迁移富集的热动力等因素均有较密切的关系。

3.2 矿质来源

铁铜矿床产于一定的建造层, 即夹含火山岩、火山沉积岩的碳酸盐-细碎屑岩沉积建造中,

在空间分布上具有较广的延展，其含矿层位就是该火山-沉积建造的水平分层。依据上述矿石的结构、构造和物质组分特征，结合稳定同位素研究结果（表 7、表 8、表 9）来看，桦树沟铁铜矿床以偏富重硫为特征，且离差大，说明硫源的复杂性，有海水硫和生物硫的参与。矿石中硫化物重硫顺序不明显，由此反映其分馏环境的不平衡性，成矿过程的多阶段与叠加改造的复合性。

表 7 硫同位素测定结果 (‰)

Table 7. Sulfur isotopic analyses of some minerals

产 状	样品数	测定矿物	$\delta^{34}\text{S}$	平均值	离 差
条带状、纹层状矿石	8	黄铜矿、黄铁矿	+14.6~+18.3	16.60	3.7
角砾状、网脉状矿石	9	黄铜矿、黄铁矿	+2.2~+19.7	11.40	17.5
层状、重晶石	8	重晶石	+24.5~+32.0	28.24	7.5

注：由长春地质学院、冶金部天津地质研究院、地矿部陕西综合地质队、地矿部矿床地质所等单位测试

表 8 氧同位素测定结果 (‰)

Table 8. Oxygen isotopic analyses of some minerals

矿物名称	碧 玉 (6)	石 英 (6)	菱 铁 矿 (6)	赤 铁 矿 (9)	镜铁矿 (1)
$\delta^{18}\text{O}$ 范围	+12.9~+19.5	12.3~16.6	+16.1~+17.5	+1.6~+12.7	+6.2
$\delta^{18}\text{O}$ 均值	+16.6	+15.1	+16.7	+5.8	+6.2
极 差	6.7	4.4	1.3	11.1	

注：括号内为样品数。由长春地质学院、地矿部西安测试中心测试

表 9 碳酸盐的碳测试结果 (‰)

Table 9. Carbon analyses of some carbonate minerals

矿物名称	黄色菱铁矿 (4)	紫红色菱铁矿 (1)	青灰色菱铁矿 (1)	铁白云石 (1)
$\delta^{13}\text{C}$ 平均值	-6.0	-5.4	-5.7	-5.0
$\delta^{13}\text{C}$ 范围	-5.8~-6.5	-5.4	-5.7	-5.0

注：括号内为样品数。菱铁矿由地矿部西安测试中心测试，铁白云石由长春地质学院测试

由表 8 可知，矿床内的 $\delta^{18}\text{O}$ 值不是正常海相沉积作用的产物。其中碧玉、石英、菱铁矿的 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化于+12.3‰~+19.5‰之间，平均值相近，暗示出它们的介质水来源相同，或和形成温度相近，一般可推断它们是在低温条件下形成的。而赤铁矿、镜铁矿的 $\delta^{18}\text{O}$ 平均值接近细碧质熔岩中的镜铁矿的 $\delta^{18}\text{O}$ 值+6.2‰（郭介人等，1994）^[5]。就同一含矿层而言，显示出底部硅质岩、碧玉岩、菱铁矿的 $\delta^{18}\text{O}$ 值高于上部镜铁矿、赤铁矿，这一方面暗示出其生成温度的差异，即上部温度高于下部，代表了成岩成矿的演化过程，亦代表其形成环境与矿质来源上存在着一定的联系。也就是说，它们在生成时间上有先后，但后者物质来源于前者，基本同处一个空间，且后者与当时的海底基底断裂有密切的关系，显然，与火山喷气作用有关。

从碳同位素组成（表 9）来看，该矿床中菱铁矿、铁白云石中的碳亦具岩浆源特征。其 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化范围在-5.0‰~-6.2‰间，比正常海相灰岩低，反映生物细菌活动较强烈，也说明

该矿床碳酸盐类沉积时处于半封闭环境中。在这种半封闭到封闭环境中,生物细菌还原活动与海水硫酸盐的剩余量成反比,因而导致硫同位素还原分馏小,沉淀出硫化物富³⁴S。

综上所述,桦树沟铁铜矿床的硅铁建造应为低温深水沉积环境的产物,在沉积过程中由于火山喷发、喷气活动可促进下渗海水的对流循环,在对流循环过程中有用组分被搬到成矿有利的氧逸度并不高的相对半氧化、半还原条件下的海底盆地沉积下来,形成赤铁矿(菱铁矿、磁铁矿)的沉积,而后形成浸染-网脉状黄铁矿、黄铜矿的沉积,形成铁铜矿石及铜矿石、产于火山喷气成因沉积物(条带状含铁建造、碧玉,含黄铁矿燧石)中。因此说,其成矿物质来源上具火山源,壳源等复合特征。

需要指出的是“上 Fe 下 Cu”双层结构模式,按一般沉积次序应先成含铜层,而后形成含铁层。但火山喷气沉积矿床的则不一样,在热模式对流条件下富 Fe 热卤水沿断裂或喷气口进入海底盆地,形成整合的喷气沉积铁矿层(也含 Cu),随着顶板沉积岩覆盖,上升的富 Cu 热卤水,在铁矿的底板围岩中形成蚀变筒与铜矿化;以至稍晚的热水活动扩展至先成的铁矿层中,使铁矿局部变为铁铜矿体。而铁矿底板围岩有可能成为铜矿主要赋存部位。除外,铁铜矿床中还伴生有 Au 元素的相对富集,还可能与构造-热水叠加改造有关。

3.3 矿床成因

宋叔和等(1982)把国内外火山岩型铜多金属矿床划分为四类^[6],除 I、II 类为黄铁矿型铜多金属矿床外,还把“地槽”活动带偏碱性火山岩组中似黄铁矿型铜-铁矿床(大红山),和“拗陷带”海相弱火山活动带内喷发-沉积-浅成岩浆活动中心形成的成因比较复杂的铁铜矿床等分别归为 III、IV 类。郭介人等(1994)^[5]认为铁铜型矿床主要为火山喷气沉积成因,与黄铁矿型矿床有许多相似处,在时空分布上两者有密切联系,属块状硫化物矿床的外延亚类。郭介人、于浦生等(1997)在“海相火山沉积岩区 Fe-Cu-S 系列成矿规律及铁铜型矿床预测”项目研究中^①,进一步提出“镜铁山式”铁铜矿不仅具火山喷气-沉积成因,而且它与块状硫化物矿床共同组成 Fe-Cu-S 系列矿产成矿系列。

根据以上讨论,笔者认为桦树沟铁铜矿床含矿岩系具有不同程度的火山岩类(熔岩、凝灰岩、次火山岩)和喷气岩(含 Fe、Mn 硅质岩、碧玉岩、菱铁(矿)岩、重晶石岩),在成矿系列中应属较远离火山岩中心的盆地含 Cu、Fe 硅质建造的海相火山-沉积岩区,海底火山喷气沉积成因矿床。

参 考 文 献

- 1 涂光炽等. 与海相火山活动有关的铁矿——以甘、新二省区为例说明. 北京:北京科学技术文献出版社,1978
- 2 薛纪春,姬金生,张连昌等. 北祁连镜铁山海底喷流沉积铁铜矿床. 矿床地质,1997,16(1):21~30
- 3 于浦生、郭介人. 海相火山-沉积建造铁铜矿床类型及地质特征,地球学报,1996,17(增刊)
- 4 于守南. 北祁连褶皱带桦树沟铜矿若干地质问题的讨论. 西北地质,1992,13(1)
- 5 郭介人等. 西北海相火山岩地区块状硫化物矿床. 武汉:中国地质大学出版社,1994
- 6 宋叔和,韩发等. 火山岩型铜多金属硫化物矿床 VCPD 知识模型. 北京:地质出版社,1994

① 郭介人等,1997,海相火山沉积岩区 Fe-Cu-S 系列成矿规律及铁铜型矿床预测(待刊)

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF THE JINGTIESHAN TYPE IRON-COPPER DEPOSITS

Liu Huashan, Li Qiulin

(No. 5 Geological Party, Northwest Bureau of Geological Exploration,
Ministry of Metallurgical Industry, Jiuquan 735009)

Yu Pusheng and Wu Jieren

(Xian Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of
Geological Sciences, Xian 710054)

Key words: Jingtieshan type iron-copper deposits, Si-Fe-Cu formation, zoning of ore deposit, volcano-sedimentary environment, exhalation-sedimentary origin

Abstract

The present paper recounts the achievements made in the performance of a major exploration project assigned by the State Planning Commission. The authors have probed into the metallogenic geological setting as well as rock-forming and ore-forming evolutionary process of the Huashugou mining area in Jingtieshan, a typical example of the Jingtieshan type iron-copper deposits, and expounded geological characteristics that control horizontal and vertical zonal variation of the iron-copper ore belt. Based on the relationship between the lineament and the volcanic eruption-sedimentation, the authors have dealt emphatically with the genetic mechanism of the Jingtieshan type iron-copper deposits; using $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ analytical results, they have also confirmed the iron-, copper-bearing silicalite formation and established a structural zoning characterized by iron in the upper part and copper in the lower part. It is considered that ore deposits of this type are exhalative-sedimentary deposits related to marine volcanism which possess the two-layer metallogenic structural model together with massive sulfide deposits and make up an iron-copper-sulfur deposit series.