

河南高粱店乡铁铜矿地质地球化学特征及成因探讨

袁 迁^{1,2} 吕新彪^{1,2} 朱乔乔³ 柯长书⁴ 刘 洪⁵ 曹晓峰^{1,2}

(1.中国地质大学资源学院,湖北 武汉 430074;2.中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室,湖北 武汉 430074);3.中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037;4.湖北省国土资源厅矿业权储备交易中心,湖北 武汉 430074;5.中国地质调查局成都地质调查中心,四川 成都 610000)

摘要:河南信阳高粱店乡铁铜矿矿区位于华北地台南缘陆壳增生带——东秦岭加里东构造岩浆带的东端,主体由二郎坪群火山、沉积、构造杂岩带构成。矿体主要呈透镜状产于二郎坪群大栗树组第二岩性段斜长角闪(片)岩中,具有明显的层控特征,铁矿石中常见似层状黄铜矿,似层状矽卡岩化和硅化为近矿围岩的主要蚀变类型。根据矿床地质-地球化学特征,结合矿石的矿物共生组合、硫同位素组成及流体包裹体成分及特征,认为该矿床的形成与古生代二郎坪群的海相火山喷发沉积密切相关,早期的海底火山喷发形成了大量的玄武岩质熔岩(富含铁、铜),在火山喷发旋回的间歇期,形成了喷流沉积型的铁矿层和碳酸盐岩层;晚期受加里东末期—海西早期区域变质作用的影响,造成矿区基性火山岩变质形成层状矽卡岩,同时叠加了热液成因的浸染状、脉状铜铁矿化。故该矿床属于火山-沉积变质改造型含铜磁铁矿床。

关键词:地质-地球化学特征;二郎坪群;矽卡岩;矿床成因;河南高粱店

中图分类号:P618.31;P618.41 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2013)04-1252-18

矿区位于华北地台南缘陆壳增生带——东秦岭加里东构造岩浆带的东端(图1)。主体由二郎坪群火山、沉积、构造杂岩带构成。其南经朱阳关—夏馆—大河断裂(朱夏断裂)与秦岭群相接,北经瓦穴子—王岗断裂(瓦穴子断裂)与宽屏群相接^[1,2]。

该区是北秦岭褶皱带多金属成矿带的东段^[3-5],这里蕴藏着丰富的金铅锌多金属矿产,各类矿床(点)星罗棋布,从而成为中国重要的金铅锌多金属矿集区^[6-8],其中与火山有成因关系的金、银多金属、铁矿床(点)30余处,以小中型为主^[9]。其中铁矿点主要分布于二郎坪群内条山—铁山层状“矽卡岩带”中,以铁为主,次有少量锰、铜矿^[9-11],高粱店乡铁铜矿即位于该层状矽卡岩带内。

燕长海等^[10,11]在豫西地区开展铅锌银和铜多金属矿产评价工作时,指出层状“矽卡岩型”Fe(Cu)矿

床与接触交代矽卡岩矿床存在较大的差别,前者成分较单纯的绿帘石岩和石榴子石岩,薄层状与纹层状构造,近于纯净的纹层状磁铁矿体,磁铁矿层中的黄铁矿—黄铜矿呈条纹状产出,撕裂状绿帘石岩和石榴子石的原生角砾,孤立的盆(坑)状磁铁矿体,以及大理岩中弥散状的磁铁矿等都是后者所不具备的,反映的是海底热水介质之中泥(钙)质的充分交代,以及之后磁铁矿的喷流沉积。因此他认为高粱店乡铁铜矿矽卡岩与条山—铁山层状矽卡岩带中的矽卡岩皆为热水沉积岩,系喷流沉积成因矿床类型。

1 区域地质背景

矿区地层以下古生界寒武系大栗树组为主,岩性为墨绿色斜长角闪片岩、黑云斜长片岩和白云斜长片岩,夹大理岩透镜体。地层自上而下依次为:新

收稿日期:2012-09-28;改回日期:2013-05-08

基金项目:中国地质大学地调院“河南省信阳市高粱店铁矿综合成矿预测研究”及[2010]矿调-3(NMKD2010-3)为内蒙古自治区莫力达瓦达斡尔族自治旗拉抛等八幅1:5万区域矿产地质调查联合资助。

作者简介:袁迁,男,1988年生,博士生,矿产普查与勘探专业;E-mail:sunshine24@foxmail.com。

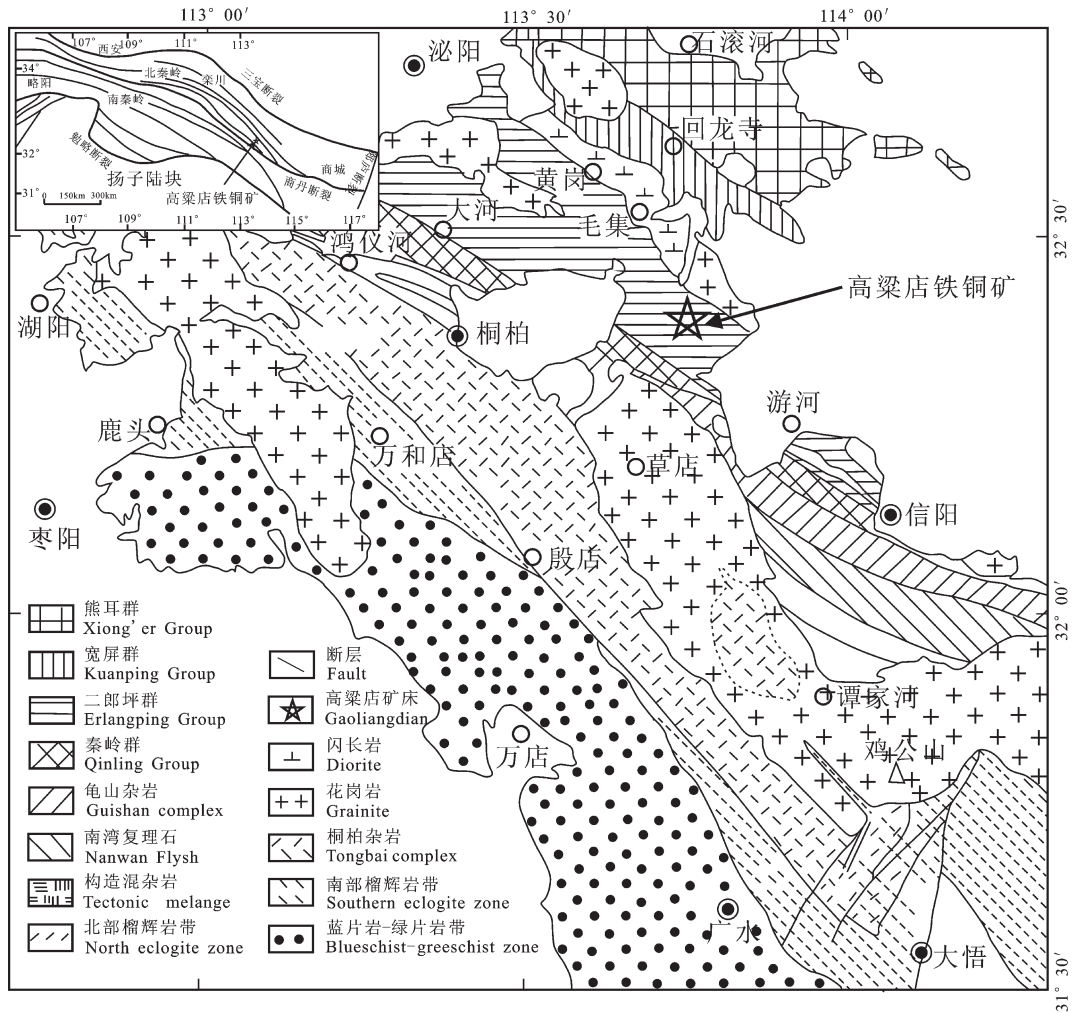


图 1 桐柏造山带地质简图及矿区位置图^[12-14]

Fig.1 Simplified geological map of the Tongbai orogen and location of the Gaoliangdian Fe-Cu deposit

元古界歪头山岩组 (Pt_{3w}); 寒武系大栗树岩组 (ε_d); 张家大庄岩组 (ε_z); 刘山岩组 (ε_l); 上白垩统周家湾组 (K_{2z}); 第四系 (Qp_{PI}, Qp_{qPI})。

矿区总体构造格架为固县韧性剪切带及其叠加的脆性破碎带。

矿区岩浆岩主要为加里东期和海西期酸性岩浆岩。加里东期斜长花岗岩 (γ₃²) 和闪长岩 (δ₃²) 分布于矿区东部, 侵位于刘山岩组内; 海西期斜长花岗岩 (γ₄) 零星分布于矿区中部与东部, 侵位于张家大庄岩组与刘山岩组内(图 2)。

2 矿床地质

2.1 矿体地质

矿体赋存于大栗树岩组斜长角闪片岩内, 矿体形态为似层状与透镜状, 平行排列, 走向北西 268°~

318°, 倾角 43°~56°。

位于楼子湾的 Fe1 矿体是高梁店乡铁铜矿床最主要的工业矿体。Fe1 矿体总体走向 210°左右, 倾向北东, 倾角 25~40°, 矿体长度超过 120 m, 且往西延长到勘查区以外。倾斜延深 50~70 m。矿体厚度 1~7.19 m, 平均 2~4 m, 厚度分布以 3~5 m 居多, 局部可达 10 m 以上。

2.2 矿石特征

2.2.1 矿石类型

矿石按其矿物组合分为 2 种类型, 以石英角闪绿帘磁铁矿矿石(图 3)为主, 次为石榴石透辉石磁铁矿矿石(图 4)。

2.2.2 矿物成分

石英角闪绿帘磁铁矿矿石中主要的矿石矿物有磁铁矿、黄铜矿、闪锌矿、磁黄铁矿、斑铜矿、方铅矿等;

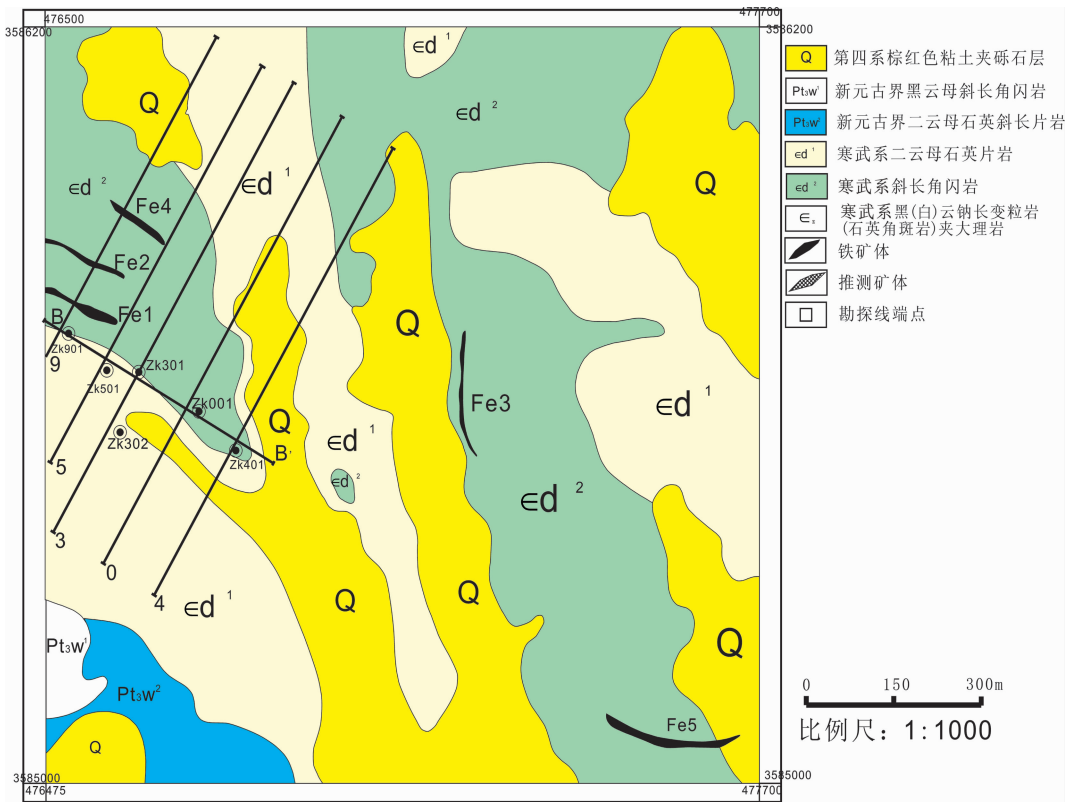


图2 高粱店铁铜矿楼子湾矿段地质略图

Fig.2 Geological sketch map of the Gaoliangdian iron-copper deposit



图3 石英角闪绿帘磁铁矿石

Fig.3 Quartz-hornblende-epidote magnetite



图4 石榴石透辉石磁铁矿

Fig.4 Garnet-diopside magnetite

脉石矿物主要为有普通角闪石、斜长石、绿帘石、黑云母、石英、方解石等。

石榴石透辉石磁铁矿石的主要矿石矿物有磁铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿等；脉石矿物主要有石榴子石、透辉石、透闪石、绿泥石、石英、方解石等。

2.2.3 矿石组构

矿石结构以交代结构、填隙结构和包含结构为

主。晚期的黄铜矿交代早期磁铁矿、黄铁矿，使之成交代残余结构(图5)，晚期的透明矿物填充在早期半自形—自形磁铁矿颗粒间隙，构成填隙结构(图6)。在图5中可见黄铜矿包含磁铁矿，同时磁铁矿本身又被磁黄铁矿从内部所交代，形成包含和交代结构的双重结构。

矿石构造有团块状构造(图7)、条带状构造(图

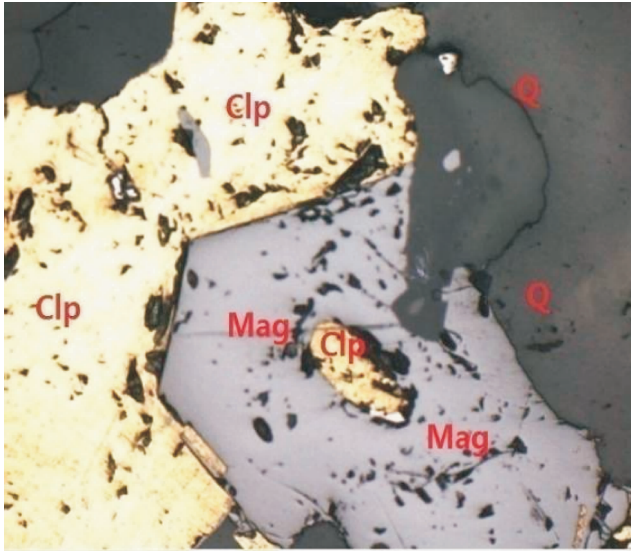


图 5 交代残余结构
Fig.5 Metasomatic relict texture

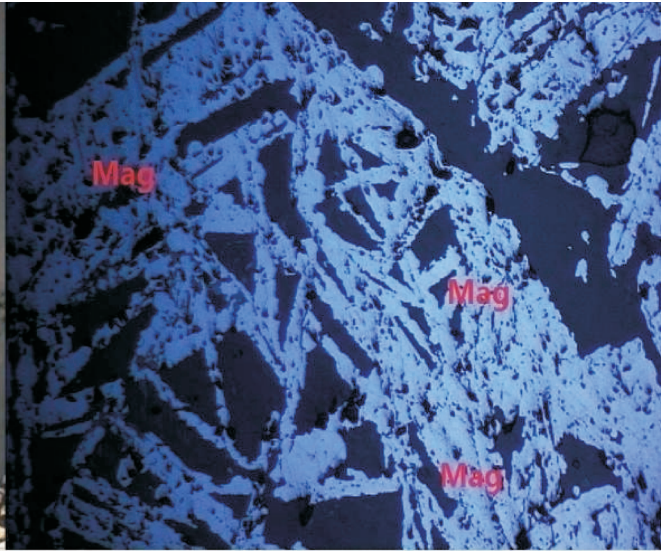


图 6 填隙结构
Fig.6 intersertal texture



图 7 团块状铁铜矿石
Fig.7 Lumpy structure of iron and copper ore

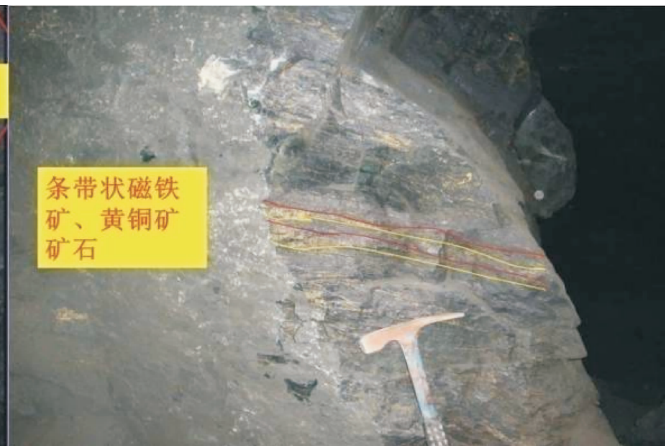


图 8 条带状铁铜矿石
Fig.8 Banded structure of iron and copper ore



图 9 两种石榴子石砂卡岩
Fig.9 Two kinds of garnet skarn

8)、浸染状和细脉浸染状构造等。

2.3 围岩蚀变

矿区地层主要受桐柏—大别超高温、高压变质带的区域变质作用和多期次岩浆活动引起的接触(热)蚀变。根据地层中岩石矿物组合,其区域变质作用为绿片岩相—低角闪岩相的低级—中等变质程度。矽卡岩和硅化为近矿围岩的主要蚀变,其次为绿帘石化和大理岩化,最后为绿泥石化。

矽卡岩化主要表现为绿帘石榴子石,主要有两种产出状态(图 9),一种为斑点状石榴子石,其与铜矿化关系密切,颗粒较大,分散较均匀;另一种石榴子石为致密块状强磁铁矿化石榴子石,与磁铁矿关系密切,磁铁矿呈团块状与石榴子石共生于该矽卡岩中。

2.4 矿化期与矿化阶段划分

根据矿物共生组合特征、脉体穿切关系及流体包裹体测温资料,可将蚀变矿化过程划分为两期,第二期划分为两个阶段。

第一期,火山喷流沉积期:加里东期第一火山喷发旋回中直接形成火山熔浆型铁矿;在火山喷流间歇期,由于火山气液的作用在先前形成的铁矿基础上叠加似层状、条带状或浸染状的硫化物。

第二期:第一阶段,矽卡岩期:由于区域变质作用和多期岩浆活动引起的接触(热)变质作用,使岩层中所夹的大理岩透镜体经交代作用变质为层状、似层状绿帘石石榴石矽卡岩,与此同时析出一部分矽卡岩型磁铁矿。

第二阶段,石英硫化物期:在区域变质作用的晚期,由于温度大大降低,SiO₂不再和Ca、Mg、Al、Fe等结合形成矽卡岩类矿物;此外由于活泼性减弱,因此独立形成大量的石英SiO₂。也由于温度降低,热液中含有大量的金属组分和矿化剂H₂S等结合形成大量金属硫化物,还有方解石、绿泥石。所以在之前多期次形成的磁铁矿基础上再次叠加不规则状、脉状和浸染状的铜矿化。

3 矿床地球化学特征

3.1 成矿构造背景分析

3.1.1 赋矿围岩主量元素特征

本次工作共采集了矿区大栗树组(εd)2个代表岩性(斜长角闪岩及角斑岩各5件)的10件样品进行了化学全岩、微量元素和稀土元素的分析。所有样品测试项目均由澳实分析检测(广州)有限公司测

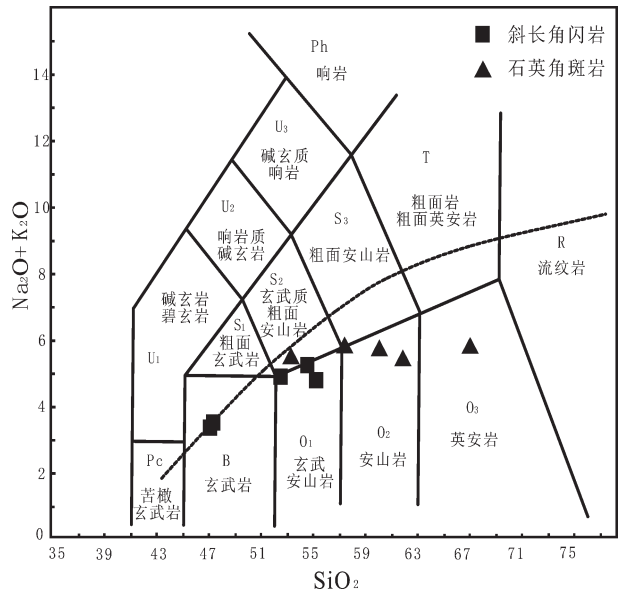


图 10 高粱店铁铜矿火山岩 TAS 分类图
Fig.10 TAS diagram of volcanic rocks in the Gaoliangdian Fe-Cu deposit

试中心测定。主量元素分析采用等离子光谱仪定量分析,检测元素范围 0.01%~100%;微量元素和稀土元素分析仪器为等离子体质谱仪,主量元素及稀土元素分析结果见表 1。

岩石化学分析结果在 SiO₂-(K₂O+Na₂O) 岩石分类图(图 10)上显示,斜长角闪岩属于玄武岩和玄武安山岩;角斑岩属于安山岩和英安岩类,与前人统计的该地区这类岩石的主量元素(表 1)对比发现,其总体显示一致的主量元素特征。其中斜长角闪岩是岩石组成的主体, SiO₂<55%; TFeO/MgO + TFeO 一般为 1.81~3.22; MgO 小于 5%; Na₂O>K₂O,表明斜长角闪岩中的钠长石含量高,富碱(尤其 Na₂O > K₂O)的中-基性火山岩有利于火山岩型铁矿的形成^[15,16]。

如果是同源岩浆演化形成的一组岩石,其在成分变异图解上的投点应具有较好的相关性。从该区火山岩的氧化物变异图解(图 11)知,虽然本区受到一定的后期变质,每种氧化物不能连成一条光滑的曲线,但其变化范围仍显示出与 SiO₂ 有较好的相关性,表明岩浆分异在演化过程中起主导作用^[7]。因此,该含矿火山岩的岩石组合应为同源岩浆演化的火山岩。这也从地球化学的角度证明了该矿床与火山岩为同期成矿,这与该矿床大部分矿石保留的薄

表 1 高梁店铁铜矿赋矿火山岩主量元素(%)及稀土元素含量(10⁻⁶)
Table 1 Major elements content (%), REE element (10⁻⁶) of the Gaoiliangdian iron-copper deposit

样号	岩性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiFe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	LOI	Total		
LZWQZK001-4	角斑岩	66.9	15.1	4.28	2.61	1.68	4.55	1.44	0.77	0.19	0.14	2.03	99.9		
LZWQZK301-2	角斑岩	59.9	15.65	7.94	4.12	2.98	4.79	1.14	1.12	0.35	0.26	1.45	99.8		
LZWQZK302-1	角斑岩	61.7	14.9	7.43	4.29	2.74	4.54	1.09	1.05	0.34	0.24	1.48	99.9		
LZWQZK302-2	角斑岩	53.1	16.6	9.72	6.41	4.84	5.02	0.57	1.14	0.21	0.26	1.91	99.9		
LZWQZK901-2	角斑岩	57.3	15.75	8.77	4.74	3.47	4.36	1.62	1.18	0.3	0.26	1.93	99.8		
文献 ^[10] (7 个平均)	角斑岩	56.27	15.44	9.34	6.38	.05	4.48	0.84	0.77	4.05	0.16	1.61	99.54		
LZWQZK301-1	斜长角闪岩	52.3	16.35	11.65	7.13	4.81	4.54	0.47	1.39	0.28	0.22	1.64	101		
LZWQZK401-1	斜长角闪岩	55.1	15.75	10.65	6.86	3.3	4.31	0.62	1.41	0.21	0.34	1.3	99.9		
LZWQZK501-3	斜长角闪岩	47.2	21.2	9.18	11.3	4.86	3.26	0.36	0.91	0.26	0.17	1.24	100		
LZWQZK901-1	斜长角闪岩	54.4	16.05	10.35	6.02	3.58	4.33	1.03	1.37	0.22	0.31	1.94	99.7		
QYQ-1	斜长角闪岩	47	20.5	9.2	10.75	5.06	2.75	0.72	0.9	0.21	0.16	2.26	99.6		
文献 ^[10] (18 个平均)	斜长角闪岩	47.94	16.07	11.19	2.36	10.92	2.36	0.43	0.81	0.26	0.1	2.31	99.41		
样号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
LZWQZK001-4	角斑岩	30.9	60.8	8.05	33.1	7.59	2.2	7.83	1.28	7.59	1.65	4.95	0.73	4.82	0.78
LZWQZK301-2	角斑岩	27	51.9	7.21	29.8	7.12	2.06	7.1	1.19	7.08	1.54	4.63	0.7	4.47	0.72
LZWQZK302-1	角斑岩	28.1	57.2	7.84	33.3	7.62	2.2	7.57	1.24	7.26	1.61	4.74	0.7	4.5	0.73
LZWQZK302-2	角斑岩	13	26.6	3.77	16.8	4.43	1.49	4.68	0.77	4.63	1.03	2.97	0.42	2.9	0.45
LZWQZK901-2	角斑岩	25.1	50.8	6.32	26.4	6.13	1.89	6.05	1.05	6.47	1.45	4.1	0.62	3.83	0.63
LZWQZK301-1	斜长角闪岩	11.4	23	3.33	15.4	4.15	1.44	4.45	0.76	4.7	1.05	3.03	0.44	2.73	0.44
LZWQZK401-1	斜长角闪岩	17.6	36.9	5.21	23	5.94	1.92	6	0.99	5.94	1.33	3.75	0.53	3.54	0.55
LZWQZK501-3	斜长角闪岩	9	20.2	3.06	13.8	3.36	1.13	3.34	0.58	3.28	0.71	2.03	0.29	1.89	0.3
LZWQZK901-1	斜长角闪岩	19.3	38.1	5.41	23.9	6	1.87	6.05	1.01	5.93	1.27	3.76	0.53	3.43	0.55
QYQ-1	斜长角闪岩	10.1	23.1	3.12	13.4	3.28	1.16	3.31	0.56	3.46	0.73	2.11	0.31	1.86	0.3

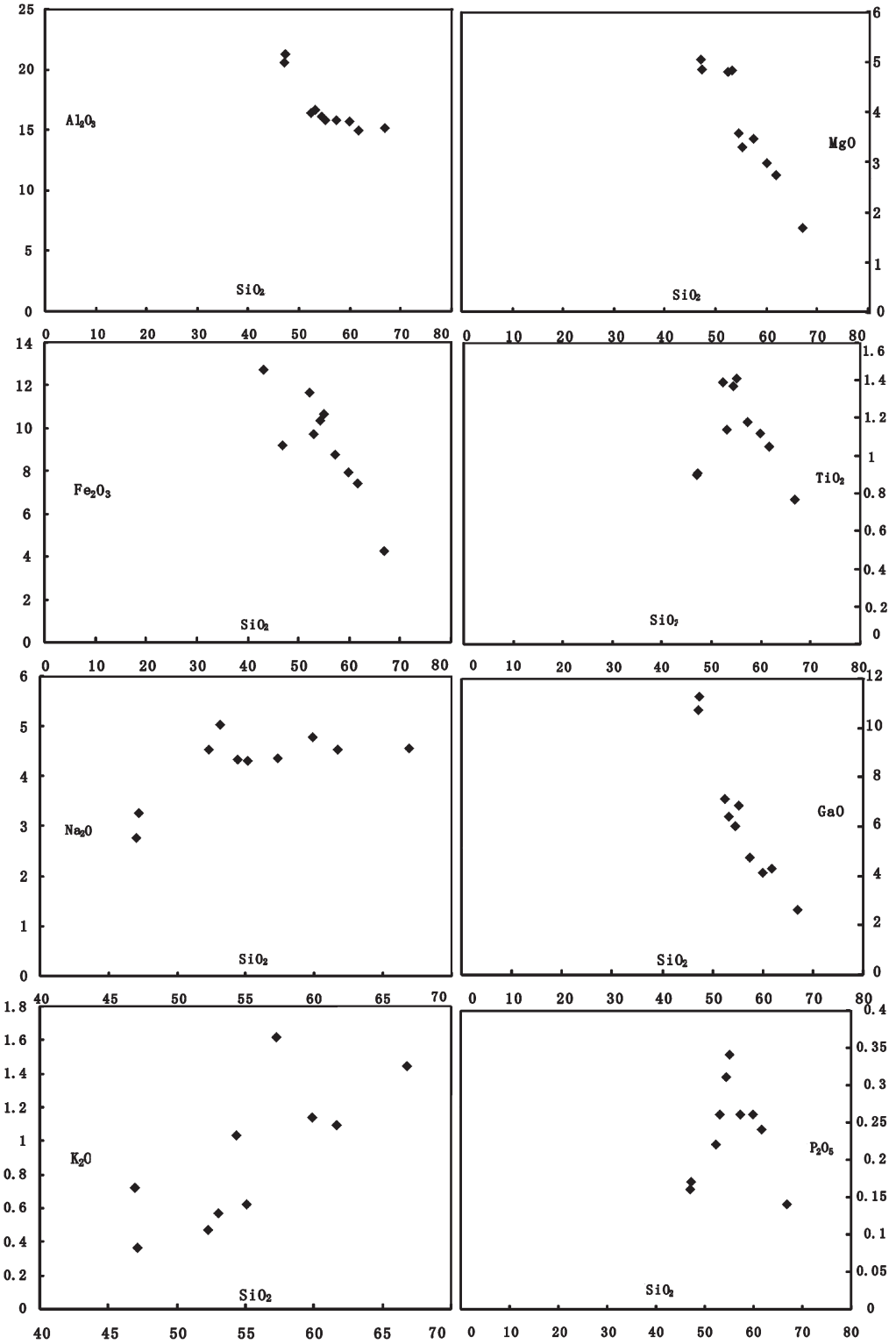


图 11 高粱店铁铜矿火山岩哈克图解

Fig.11 Harker diagrams of volcanic rocks in the Gaoliangdian iron-copper deposit

层、纹层状矿石特征相符合。

在 TFeO-(Na₂O+K₂O)-MgO 图解(图 12)上,只有 1 个样品完全落在拉斑玄武岩系列的范围内,其余的绝大多数样品均位于钙碱性玄武岩系列的范围内。在岩石系列火山岩 SiO₂-K₂O 图解(图 13)中,样品基本均落在中钾系列范围内。

3.1.2 赋矿围岩微量元素特征

从研究区赋矿火山岩系的微量元素分析结果见表 2 以及微量元素蛛网图(图 14)可以看出:矿区火山岩微量元素整体变化不是较大,其中所有样品明显富集 Pb、Ba,显著亏损 Nb、Ti,较为亏损的微量元素有 P、Ti。这些都显示其为大陆边缘的微量元素特征。由此可以推测,地壳物质可能参与了该区的岩浆过程,而这与弧后盆地环境中演化形成的基性岩浆具有高场强元素(HFSE)丰度低、低场强元素丰度高的特征相一致^[9]。微量元素蛛网图总体显示矿区二郎坪群变基性火山岩具有岛弧岩浆岩的特征。

3.1.3 赋矿围岩稀土元素特征

从楼子湾铁铜矿稀土元素分析参数(表 3)得出矿区变火山岩稀土含量总量变化范围不大,其中角斑岩稀土总含量($\sum REE \approx 142 \times 10^{-6}$),较斜长角闪岩稀土总量($\sum REE \approx 87 \times 10^{-6}$)高出约 55×10^{-6} 。

矿区变基性火山岩的稀土分配模式为轻稀土富集型,基本表现为右倾型曲线(图 15),角斑岩轻重稀土比值(LREE/HREE=4.54)与斜长角闪岩轻重稀

土比值(LREE/HREE=3.98)较为接近;配分曲线从 La 到 Eu,明显右倾,而从重稀土的 Gd 到 Lu,则较为平坦;角斑岩显示 Eu 的异常($\delta Eu=0.92$),而斜长角闪岩显示 Eu 的略微正异常($\delta Eu=1.01$);同时两组样品均显示极为一致的 Ce 负异常(角斑岩为($\delta Eu=0.94$),斜长角闪岩约 $\delta Eu=0.915$)。总观矿区变火山岩的稀土元素特征,其元素配分型式与岛弧和弧后盆地拉斑玄武岩更为相似,其较高的 REE 含量以及较低的(La/Yb)_N与典型的大陆拉斑玄武岩($2\sum REE=190 \times 10^{-6}$, (La/Yb)_N=12.2, $\delta Eu=0.80$)相差较远。

3.2 矿石地球化学特征

3.2.1 微量元素地球化学特征

对矿区内不同类型的典型矿石进行微量和稀土元素分析。所有样品测试项目均由澳实分析检测(广州)有限公司测试中心测定。微量元素采用等离子光谱定量测定;稀土元素分析仪器为等离子体质谱仪,检测 38 种元素。分析结果分别见表 4~5。

从蛛网图(图 16)中可以看出所有矿石和矿化岩石微量元素 MORB 标准化曲线基本上不倾斜,其中 LILE 中 Sr、Ba 相对富集, HFSE 丰度都高于 MORB 值, La 以后除 Pb 强烈富集与 Zr 强烈亏损外,其余元素都较为平稳且都高于 MORB 值。样品 HFSE 配分曲线形态与围岩基性火山岩的非常相似,只是矿石的 HFSE 含量较基性火山岩较低。这反

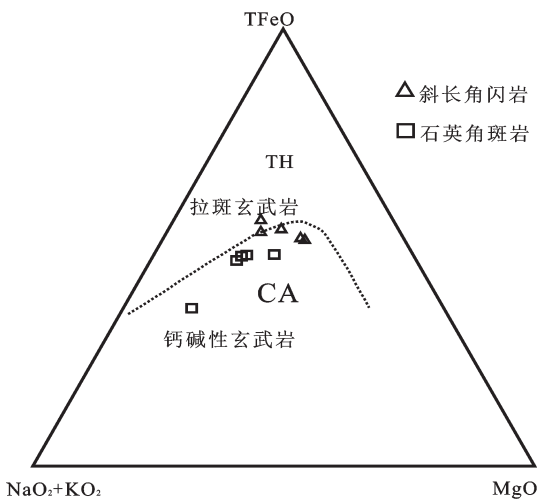


图 12 高梁店铁铜矿区火山岩 TFe-(Na₂O+K₂O)-(MgO)三角图

Fig.12 TFe-(Na₂O+K₂O)-MgO diagram of volcanic rocks in the Gaoliangdian iron-copper deposit

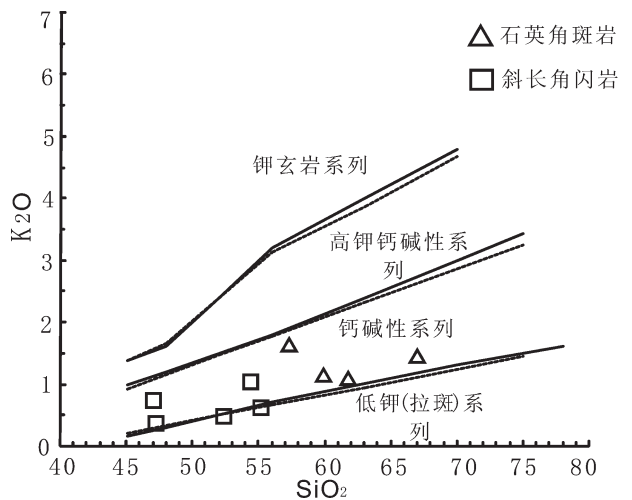


图 13 高梁店岩石系列火山岩 K₂O-SiO₂ 图解

Fig.13 Diagram of K₂O-SiO₂ for volcanic rocks in the Gaoliangdian iron-copper deposit

表 2 高粱店铁铜矿赋矿火山岩微量元素含量 (10^{-6})
 Table 2 Trace element (ppm) analyses of the Gaoliangdian iron-copper deposit

样号	岩性	Ag	Ba	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	Mo	Nb	Ni	Pb
LZWQZK001-4	角斑岩	<1	1405	6.2	10	0.66	47	19.7	5.3	<2	5.8	<5	9
LZWQZK301-2	角斑岩	<1	523	10.9	10	0.74	<5	20.6	4.6	<2	5.2	<5	23
LZWQZK302-1	角斑岩	<1	608	12.7	10	0.69	<5	20.8	4.6	<2	5.1	<5	56
LZWQZK302-2	角斑岩	<1	358	32.8	60	0.44	144	18.6	2.7	<2	2.7	22	12
LZWQZK901-2	角斑岩	<1	763	19.6	10	0.73	24	20.3	3.8	<2	4.4	7	8
LZWQZK301-1	斜长角闪岩	<1	243	34.2	10	0.18	23	18.3	2.5	<2	2.9	14	10
LZWQZK401-1	斜长角闪岩	<1	287	23.4	<10	0.17	71	21.8	3.3	2	3.3	<5	6
LZWQZK501-3	斜长角闪岩	<1	230	30.3	40	0.65	103	20	1.6	<2	1.8	23	10
LZWQZK901-1	斜长角闪岩	<1	679	22.2	<10	0.45	21	20.8	3.3	4	3.2	<5	6
QYQ-1	斜长角闪岩	<1	413	33.2	40	2.72	107	19.2	1.5	<2	1.8	26	9
样号	岩性	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr
LZWQZK001-4	角斑岩	24	2	379	0.4	5.66	<0.5	1.35	71	1	44.6	90	187
LZWQZK301-2	角斑岩	13.6	2	376	0.3	4.55	<0.5	1.03	135	2	43.3	170	164
LZWQZK302-1	角斑岩	15	2	370	0.3	4.56	<0.5	1.03	156	2	41.7	162	158
LZWQZK302-2	角斑岩	9.9	1	324	0.2	2.36	<0.5	0.46	283	1	27.2	93	100
LZWQZK901-2	角斑岩	31.1	1	309	0.3	3.77	<0.5	0.96	228	1	39.9	149	150
LZWQZK401-1	斜长角闪岩	4.8	1	463	0.2	2.88	<0.5	0.66	308	1	33.3	114	111
LZWQZK501-3	斜长角闪岩	3.8	1	608	0.1	0.64	<0.5	0.15	281	1	18.1	67	55
LZWQZK901-1	斜长角闪岩	18.6	1	456	0.2	3	<0.5	0.61	289	1	33.6	112	113
LZWQZK301-1	斜长角闪岩	5.6	1	273	0.2	1.88	<0.5	0.64	324	1	26.6	87	89
QYQ-1	斜长角闪岩	11.7	1	423	0.1	0.59	<0.5	0.17	271	1	19.7	87	59

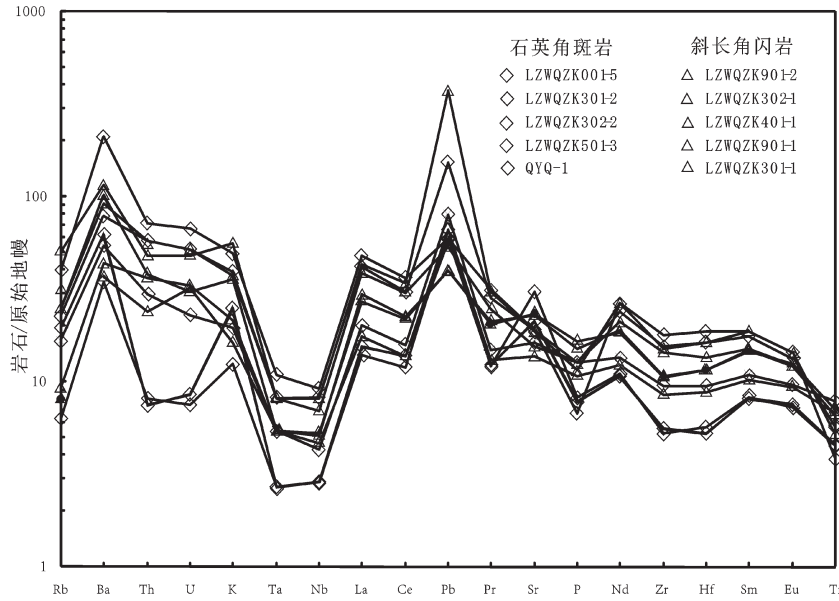


图 14 高梁店铁铜矿区变基性火山岩微量元素原始地幔标准化蛛网图^[18]
 Fig.14 Primitive mantle-normalized spider diagram for metabasic rocks in the Gaoliangdian iron-copper deposit

表 3 高梁店铁铜矿稀土元素分析参数

Table 3 REE analytical (ppm) parameters in the Gaoliangdian iron-copper deposit

样品号	样品名	Σ REE	LREE	HREE	LREE/HREE	(La/Yb) _N	δ Eu	δ Ce
LZWQZK001-4	角斑岩	172.27	142.64	1.82	4.81	4.60	0.87	0.95
LZWQZK301-2	角斑岩	152.52	125.09	1.80	4.56	4.33	0.89	0.91
LZWQZK302-1	角斑岩	164.61	136.26	1.83	4.81	4.48	0.89	0.94
LZWQZK302-2	角斑岩	83.94	66.09	1.93	3.70	3.22	1.00	0.93
LZWQZK901-2	角斑岩	140.84	116.64	1.94	4.82	4.70	0.95	0.99
LZWQZK401-1	斜长角闪岩	113.20	90.57	1.93	4.00	3.57	0.98	0.94
LZWQZK501-3	斜长角闪岩	62.97	50.55	1.97	4.07	3.42	1.03	0.94
LZWQZK901-1	斜长角闪岩	117.11	94.58	1.86	4.20	4.04	0.95	0.91
LZWQZK301-1	斜长角闪岩	76.32	58.72	1.94	3.34	3.00	1.02	0.92
QYQ-1	斜长角闪岩	66.80	54.16	2.09	4.28	3.90	1.08	1.01
	平均值	115.06	93.53	1.91	4.26	3.92	0.97	0.94

注:原始数据由澳实分析检测(广州)有限公司测试中心测定(单位: μg/g),结果计算由 GeoKit 软件完成。

映了这类矿石样品可能继承了矿区基性火山岩的微量元素地球化学特征。成矿物质主体源自含矿火山岩系及其下伏基底物质,是由循环的热水从中淋滤出来并在海底沉积形成的^[20]。

3.2.2 稀土元素组成及地球化学特征

从高梁店铁铜矿矿石稀土元素分析参数(表 6)可以看出矿石稀土含量总量较低且变化范围不大,为 $9.98 \times 10^{-6} \sim 41.29 \times 10^{-6}$,平均为 24.78×10^{-6} ;其稀土

分配模式为轻稀土富集型,基本表现为右倾型曲线(图 17),其平均 LREE/HREE=4.11,在配分曲线上可以看出,从 La 到 Sm,明显右倾,而从重稀土的 Gd 到 Lu,则较为平坦;除 LZW-1-24 的 δ Eu 呈略微正异常外其他矿石均显示为 Eu 的负异常(δ Eu 平均 0.7)的同时所有矿石样品显示极为一致的 Ce 负异常(δ Ce 平均为 0.7)。另外矿石的稀土元素共同之处在于具有相近稳定的 Sm/Nd 比值,为 0.197~

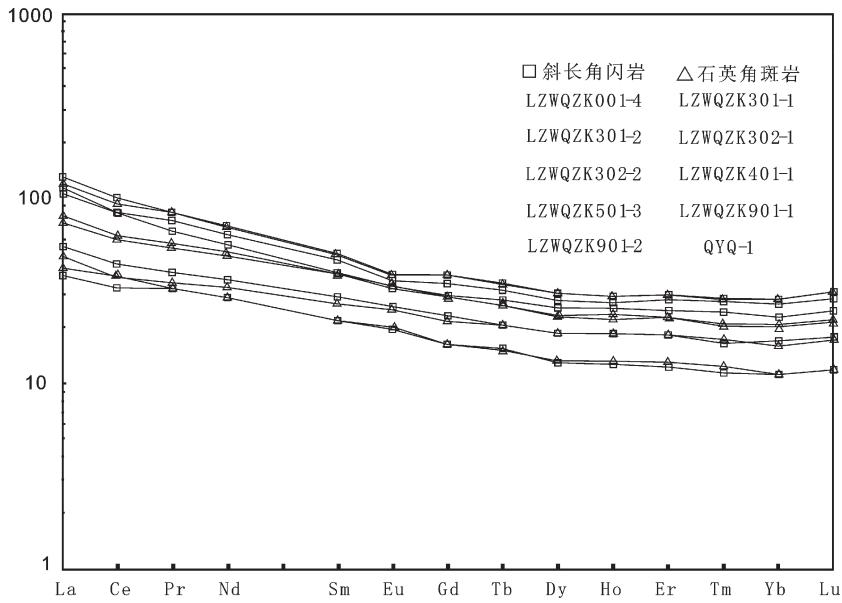


图 15 高粱店铁铜矿变火山岩稀土元素球粒陨石标准化分布型式图^[19]

Fig.15 Chondrite-normalized REE patterns of the Gaoliangdian iron-copper deposit

0.247,平均为 0.221,该比值均小于 0.333,属 LREE 富集型。

总观矿区矿石的稀土元素特征,该矿床矿石具有平缓的稀土元素分配型式,其与 MORB(洋脊玄武岩)的配分型式较为相似,而与大陆拉斑玄武岩($\sum REE=190 \times 10^{-6}$, $(La/Yb)_N=12.2$, $\delta Eu=0.80$) 相差较远,但从稀土总量、铈异常及铈异常特征看,其接近于岛弧和弧后盆地拉斑玄武岩。

矿石稀土元素对这类与火山岩相关的矿床形成具有示踪作用,一般认为该类矿床形成是从火山岩中萃取贱金属的溶液流出并进入海底形成的沉积物^[10]。矿石稀土元素的配分型式可反映成矿热卤水的变化特点。结合矿石稀土元素配分曲线(图 17)看,除 LZW-1-24 号样品外所有矿石均显示明显的弱的负铈异常,这与典型的热水沉积成矿的特点不一致。

4 矿床成因

4.1 硫同位素

分析样品选自不同类型矿石中的黄铁矿及黄铜矿(表 7)。黄铜矿的 $\delta^{34}S$ 值范围为 5.46‰~6.17‰,平均为 5.86‰;黄铁矿的 $\delta^{34}S$ 值范围在 5.21‰~5.99‰,均值为 5.51‰。可看出两种矿物的硫同位素的组成非常接近,但黄铜矿的硫同位素值较黄铁矿稍大,在硫同位素频数分布图上(图 18),硫同位素

组成的变化范围窄,其为较小的正值,这与玄武岩的硫同位素组成接近,表明本区硫主要来源于上地幔或者下地壳^[21-25]。

已有研究表明以火山岩为主要围岩的矿床中硫有两个主要来源^[26],即海水硫酸盐和岩浆硫,后者硫可以直接来源于岩浆射气和从火山岩中淋滤出来。从本矿床硫同位素组成呈现塔式分布特点及其平均值为 5.69‰推断,其硫来源可能为岩浆硫与海水硫的混合,这一点可与白银厂矿田块状硫化物矿床的硫同位素对比,是海水与火山岩进行热反应的结果^[27]。

4.2 成矿成岩时代探讨

燕长海等(2007)对二郎坪群的成矿时代做过较为详细的研究,绝大多数硫化物样品的单阶段铅模式年龄变化范围为 333~640 Ma,集中分布于 355~380 Ma^[10]和 430~480 Ma^[10]两个区间(图 19),这两个区间与二郎坪群火山沉积岩的形成时代和变质时代吻合。在研究矿石中的硫同位素时利用矿石中重晶石与海水硫酸盐的硫同位素组成相比较的方法^[28]发现其组成与泥盆系海水硫酸盐的 $\delta^{34}S$ 相近,因此推测二郎坪群铜多金属矿床的形成时代为泥盆纪,与铅同位素组成判断的矿床形成时代基本一致。

由于本矿区明显为两期成矿,晚期可能遭受加里东末期—海西早期区域变质作用影响,在早期矿石的基础上叠加了一些热液成因的脉状浸染状铁铜

表 4 高梁店铁铜矿赋矿火山岩稀土元素含量 (10^{-6})
Table 4 REE element content (10^{-6}) of the Gaoliangdian iron-copper deposit

样号	岩性	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
LZW-1-2	脉状黄铜矿化磁铁矿	9.1	13.5	1.65	6.9	1.39	0.27	1.72	0.24	1.6	0.34	1.04	0.14	1.16	0.17
LZW-1-8	条带状黄铜矿磁铁矿	5.2	6.8	0.88	3.6	0.71	0.22	0.83	0.12	0.83	0.17	0.51	0.07	0.44	0.06
LZW-2-15	条带状磁铁矿矿石	2.4	2.3	0.28	1.6	0.36	0.12	0.59	0.09	0.75	0.2	0.58	0.07	0.57	0.07
LZW-1-24	浸染黄铜矿化磁铁矿	8.6	13.6	1.67	6.8	1.5	0.61	1.79	0.33	2.48	0.56	1.71	0.21	1.27	0.16
LZW-1-41	绿帘石化磁铁矿	3.1	3.6	0.5	2.2	0.52	0.12	0.67	0.1	0.79	0.17	0.55	0.08	0.49	0.07

表 5 高梁店铁铜矿赋矿火山岩微量元素含量 (10^{-6})
Table 5 Trace element analyses (10^{-6}) of the Gaoliangdian iron-copper deposit

样号	岩性	Ag	Ba	Co	Cr	Cs	Cu	Ga	Hf	Mo	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	Ta
LZW-1-2	脉状黄铜矿化磁铁矿	2	21.3	22	<10	0.47	>10000	9.8	1	8	0.5	<5	<5	1.2	2	166.5
LZW-1-8	条带状黄铜矿磁铁矿	<1	7.5	148	<10	0.08	5500	4.7	0.4	26	0.4	<5	31	0.3	1	163.5
LZW-2-15	条带状磁铁矿矿石	<1	29	4.8	<10	0.12	1050	12.8	0.6	<2	0.3	<5	140	1.1	1	23.4
LZW-1-24	浸染黄铜矿化磁铁矿	<1	29.4	13	10	0.2	>10000	16.9	1	2	1.1	<5	212	1.2	5	35.6
LZW-1-41	绿帘石化磁铁矿	<1	33.1	32	<10	0.03	4810	6.3	0.2	<2	0.2	<5	64	0.3	<1	53.1
样号	岩性	Th	Tl	U	V	W	Y	Zn	Zr	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn
LZW-1-2	脉状黄铜矿化磁铁矿	2.24	<0.5	0.9	15	160	10.2	354	15	0.005	<0.01	8.09	33.3	<0.01	<0.01	0.06
LZW-1-8	条带状黄铜矿磁铁矿	0.6	<0.5	0.7	10	38	6.4	60	9	0.02	<0.01	2.12	22.8	<0.01	0.01	0.01
LZW-2-15	条带状磁铁矿矿石	0.33	<0.5	0.2	11	2	6.6	26	<2	<0.005	<0.01	0.2	55.6	<0.01	<0.01	0.01
LZW-1-24	浸染黄铜矿化磁铁矿	2.91	<0.5	1.4	25	3	16.8	156	17	<0.005	<0.01	2.51	33.5	<0.01	<0.01	0.02
LZW-1-41	绿帘石化磁铁矿	0.25	<0.5	0.1	8	16	6.6	129	<2	<0.005	<0.01	0.63	19.7	<0.01	0.01	0.02

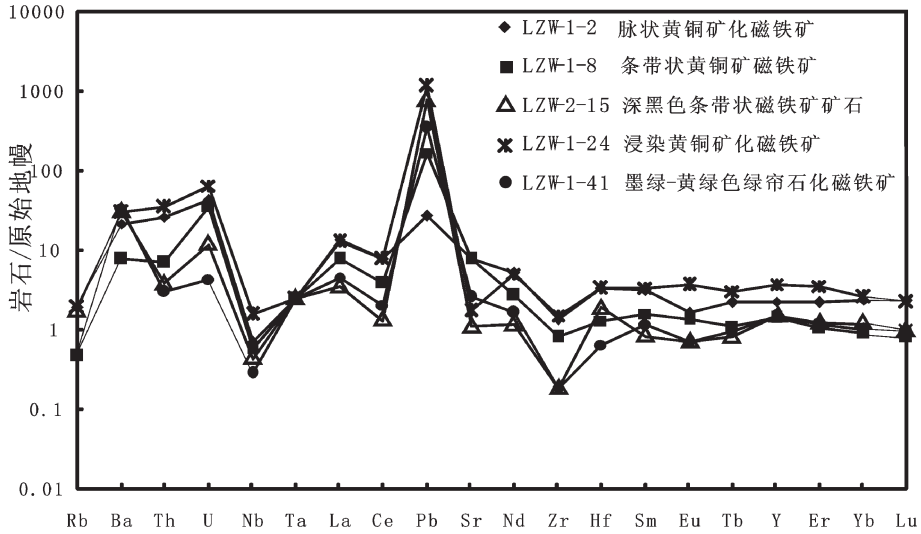


图 16 高梁店铁铜矿区变基性含矿火山岩微量元素原始地幔标准化蛛网图^[18]

Fig.16 Primitive mantle-normalized spider diagram for metabasic ore-bearing rocks of the Gaoliangdian iron-copper deposit

表 6 高梁店铁铜矿矿石稀土元素分析参数

Fig.6 REE analytical (ppm) parameters in the Gaoliangdian iron-copper deposit

样品号	样品名	Σ REE	LREE	HREE	LREE/HREE	(La/Yb) _N	δ Eu	δ Ce
LZW-1-2	脉状黄铜矿化磁铁矿	39.22	32.81	6.41	5.11	5.62	0.53	0.79
LZW-1-8	条带状黄铜矿磁铁矿	20.44	17.41	3.03	5.74	8.47	0.872	0.71
LZW-1-24	浸染黄铜矿化磁铁矿	41.29	32.78	8.51	3.85	4.85	1.13	0.82
LZW-1-41	绿帘石化磁铁矿	12.96	10.04	2.92	3.43	4.53	0.62	0.64
LZW-2-15	条带状磁铁矿矿石	9.98	7.06	2.92	2.41	3.02	0.79	0.57
	平均	24.77	20.02	4.75	4.11	5.30	0.79	0.70

注:原始数据由澳实分析检测(广州)有限公司测试中心测定(单位:μg/g),结果计算由GeoKit软件完成;铈异常按公式 $\delta Eu = (Eu_{岩}/Eu_{球}) / \sqrt{(Sm_{岩} * Sm_{球})(Gd_{岩} * Gd_{球})}$ 计算。

矿石(以铜和矽卡岩铁铜矿石为主)。该地区大致存在三期区域变质作用,分别在晋宁期,加里东期以及海西期,但其变质温压条件差别较大,结合本次研究的区域所处的变质相带、变质矿物组合和流体包裹体所确定的温度和压力范围,推测区内的绿片岩相一角闪岩相变质时代应为加里东期,时间范围为370~400 Ma,这也与王志宏在河南省 1:50 万地质图说明书的认识相一致^[3]。

4.3 矿床成因初探

通过对该矿床矿石微量、稀土元素组成特征以及对矿石中硫同位素组成特征的研究可以认为,楼子湾铁铜矿矿石与二郎坪群火山岩建造是极为配套的,为同生矿其同生构造(建造)特征很明显,如:

薄层、纹层及条带状铁铜矿石。所以可以认为二郎坪区该类矿床成矿物质和矿液主要来自深部火山;结合该地层地球化学特征,研究区火山岩的铜等金属元素的背景值高于全区背景值^[7]。由此认为,二郎坪群中的火山岩为成矿提供了铜等金属元素,即二郎坪群火山岩具有矿源层属性。

然而从实地野外观察发现该矿床明显遭受到后期变质变形改造,叠加了热液特征的铜-锌矿化,所以该矿床为两期成矿,早期就是跟火山同期的,形成一些呈层状、透镜状的矿体(以铁矿石为主),矿石呈块状、条带状,晚期叠加一些热液交代成因的脉状浸染状铁铜矿石(以铜和矽卡岩铁铜矿石为主),这与根据矿石矿物组合划分的成矿期次也相互吻合。

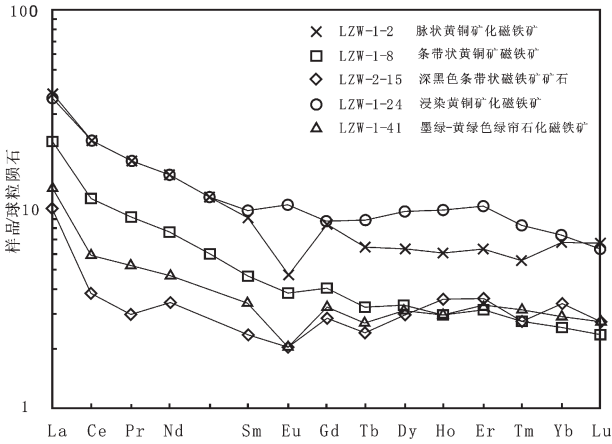


图 17 高粱店铁铜矿变矿石稀土元素球粒陨石标准化分布型式图^[19]

Fig.17 Chondrite-normalized REE patterns of the Gaoliangdian iron-copper deposit

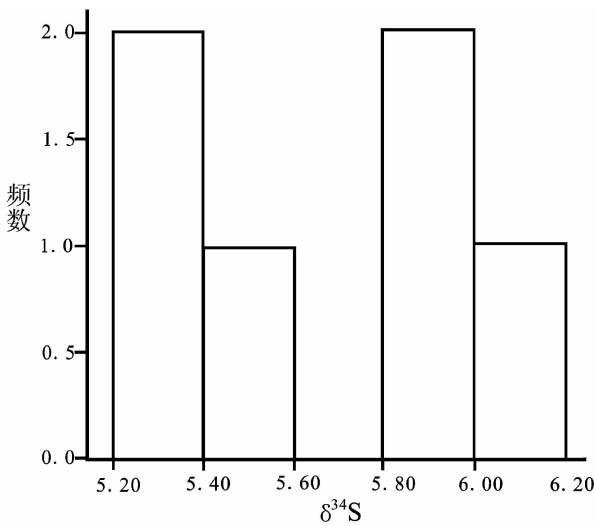


图 18 高粱店铁铜矿硫同位素组成

Fig.18 The composition of sulfur isotopes from the Gaoliangdian iron-copper deposit

综上所述,高粱店楼子湾铁铜矿床的形成早期与古生代二郎坪群的海相火山喷发沉积密切相关,在加里东期火山喷发期间,海底火山喷发形成了大量的玄武岩质熔岩(富含铁、铜),在火山喷发旋回的间歇期,形成了喷流沉积型的铁矿层和碳酸盐岩层。在成矿晚期受加里东末期—海西早期区域变质作用,造成矿区基性火山岩变质形成层状矽卡岩,同时叠加了热液成因的浸染状、脉状铜铁矿化,属火山喷流沉积以及后期热液叠加改造的含铜磁铁矿床。

表 7 高粱店铁铜矿硫化物中硫同位素组成
Table 7 The composition of sulfur isotopes in sulfides from the Gaoliangdian iron-copper deposit

样品编号	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰} (-\text{CDT})$
LZW-1-3	黄铁矿	5.34
LZW-1-11	黄铁矿	5.21
LZW-1-36	黄铁矿	5.99
LZW-1-4	黄铜矿	5.46
LZW-1-5	黄铜矿	6.17
LZW-1-7	黄铜矿	5.97

注:测试单位为中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室同位素地球化学研究室。

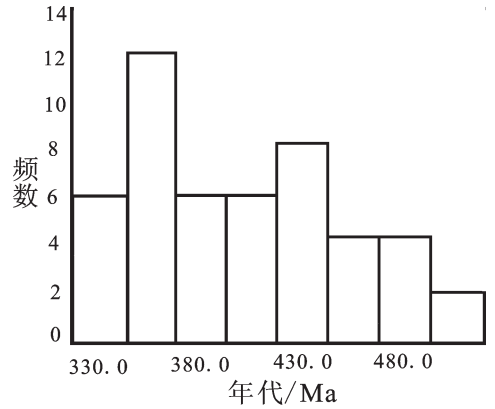


图 19 二郎坪群铜多金属矿石、围岩模式年龄直方图^[19]
Fig.19 Model age histograms of copper polymetallic ores and wall rocks of Erlangping Group

4.4 成矿作用及规律探讨

二郎坪群的含矿岩层主要为火神庙组(南阳盆地以西称大栗树组和刘山岩组)和大庙组(南阳盆地以西称张家大庄组)顶部。火神庙组为一套细碧、角斑岩系,具有 3~4 个火山喷发旋回,在这套火山岩中,发现 3~4 个火山岩含矿层位,它们均产于每一个喷发旋回顶部,第一、二旋回顶部为一富铁层位,形成姑山式火山熔浆型铜、锌、磁铁矿层,本矿床赋矿火山岩即为该层位;第三旋回顶部为富硫层位,为火山喷气作用形成的低品位硫铁矿层,Cu 含量 0.1%~15%、Ag 含量高达 $3 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$ 、Pb 含量 0.05%~15%^[8,29]。从稍大区域上,可以看出在二郎坪群大栗树组和刘山岩组出露区,自南向北与火山活动的矿

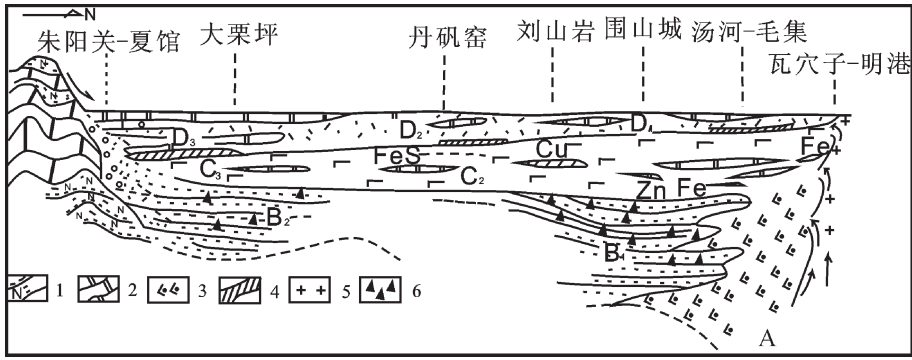


图 20 二郎坪群地层原始分布示意图

1—黑云斜长片麻岩;2—大理岩;3—基性—超基性岩;4—碳硅质岩;5—斜长花岗岩;6—原始 Au、Ag 矿源层;A—部分堡子组; B₁—歪头山组;B₂—小寨组;C₁—大栗树组;C₂—二进沟组、火神庙组、丹矾窑组;C₃—南火神庙组;D₁—张家大庄组;D₂—大庙组、云架山群;D₃—子母沟组

Fig.20 The original strata of Er'langping Group

1- Biotite-plagioclase gneiss; 2- Marble; 3- Basic-ultrabasic rock; 4- Carbonaceous siliceous rock; 5- Plagiogranite; 6- Original Au-Ag source bed; A-Part of Baozi Formation; B₁-Waitoushan Formation; B₂-Xiaozhai Formation; C₁-Dalishu Formation; C₂-Erjinggou Formation, Huoshenmiao Formation, Danfanjiao Formation; C₃-Namhuoshenmiao Formation; D₁-Zhangjiadazhuang Formation; D₂-Damiao Formation, Yunjiashan Group; D₃-Zimugou Formation

床自火山裂隙喷发中心向外表现出明显的分带性(图 20):

①首先在条山至毛集一带的火山喷发中心带及其附近形成富铁基性熔浆型含铜铁矿, 还同时形成了火山气—热液交代的层状“矽卡岩”型铁矿^[30]。而这种类型铁矿的标志性特点就是都存在这种层状“矽卡岩”。这种特殊的层状矽卡岩和火山熔浆型铁矿为该重要特色的矿床, 可以肯定是一个统一整体。它们严格受近火山口的层状基性熔岩控制, 自西向东依次是: 桐柏毛集、南召铁矿、西峡白石尖铁矿、西湾和七道河铜矿、卢氏竹园铁铜矿、汤河铁矿、大河面铜矿、兰草铁铜矿、直到陕西三条岭铁矿, 断续延长达 35 km^[3]。喻积贤在卢氏对汤河铁铜矿研究时认为这种层状矿化“矽卡岩”实际上也是一种富钙铝、贫镁的超基性次生熔浆, 直接喷发—沉积后经低级的区域变质作用即可形成含铁、铜的绿帘石、石榴石岩^[3], 这与笔者的认识相符合, 这种现象在福建永平地区也较为发育^[31]。

②在偏离喷溢中心一段距离的枕状细碧角斑岩中产出黄铁矿型铜、铅、锌矿, 代表性的矿床有刘山岩黄铁矿型铜矿; 内乡河湾铜矿以及卢氏丹矾窑贫黄铁矿, 该类型铜锌矿床的成矿物质来源均与二郎坪群火山岩有着不可分割的关系^[27,32]。

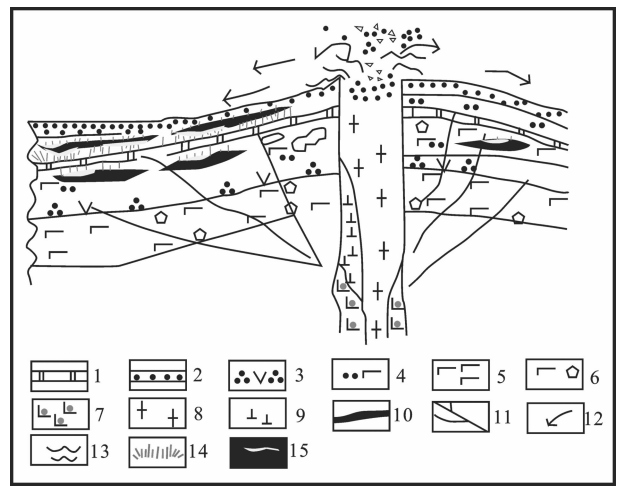


图 21 高粱店铁铜矿成矿模式图^[29]

1—碳酸盐岩; 2—砂岩; 3—角斑岩; 4—细碧质凝灰岩; 5—枕状细碧岩; 6—火山集块岩; 7—超基性熔岩; 8—酸性熔岩; 9—中性基岩; 10—火山沉积型铁矿层; 11—火山气液通道; 12—物质来源方向; 13—火山液; 14—矽卡岩; 15—纹层状铜矿石

Fig.21 Metallogenic model of the Gaoliangdian iron-copper deposit

1-Carbonatite rock; 2-Sandstone; 3-Quartz keratophyre; 4-Spilite-bearing tuff; 5-Pillow spilite; 6-Volcanic agglomerate; 7-Ultrabasic lava; 8-Acidic lava; 9-Intermediate-basic rock; 10-Volcanic-lava type iron ore layer; 11-Volcanic gas-liquid conduit; 12- Material source direction; 13- Volcanic liquid; 14-Skarnization; 15-Layered copper ore

③在更远的离喷发中心的地层中 Au、Ag 丰度高于克拉克值数十倍到百倍, 在经多期的构造活动或期后热液改造, 一般形成金银矿床。代表性矿床有破山银矿床、银洞坡金矿床和银洞岭银矿床等。这些金银矿床的成矿物质来源也均与二郎坪群火山岩关系密切^[33,34]。这种分带现象, 实际上反映了自火山喷发中心向外, 火山活动自火山熔浆喷溢—海底火山爆发射气—火山喷发沉积的环境差异^[29], 不同环境的差异加上火山喷发的空间分布属性造成了该铁铜锌矿床的多金属成矿带。

综合以上规律认识结合本矿床地质特征及类型, 提出该类铁铜矿床成矿模式如图 21 所示。

5 结论

(1) 根据矿床地质—地球化学特征, 结合矿石的矿物共生组合、硫同位素组成及流体包裹体成分及特征, 认为该矿床属于火山—沉积变质改造型含铜磁铁矿床。

(2) 在研究该矿床成矿环境基础上, 同时结合前人关于该地区成矿类型分带的前人及成矿规律的研究基础上, 提出了高梁店铁铜矿成矿模式。

致谢: 首先感谢中国地质编辑部王老师认真细致的修改, 在野外工作中的到了信阳鑫凯矿业有限责任公司的大力支持和帮助; 在论文写作过程中得到朱江、陈超、梅微博士以及张磊、李鹏、胡庆成、石洞等同学热心的指导和帮助, 在此一并表示衷心的感谢!

参考文献 (References):

- [1] 刘平河, 庞振山, 张照锋, 等. 试论河南毛集—二郎坪古裂陷带演化史[J]. 地质调查与研究, 2005, 28(2):89-91.
Liu Pinghe, Pang Zhenshan, Zhang Zhaofeng, et al. Tectonic evolution of the Palaeo-fault zone in Maoji-Erlangping area, Northwestern Henan Province [J]. 2005, 28(2):89-91 (in Chinese with English abstract).
- [2] 姚宗仁, 涂金顺, 焦守敏, 等. 二郎坪的层序古构造环境及成矿作用讨论[J]. 河南地质, 1987, 5(4):1-9.
Yao Zongren, Tu Jinshun, Jiao Shoujing et al. Sequence's ancient tectonic environment and mineralization of Erlang Group [J]. Henan Geology, 1987, 5(4):1-9 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王志宏, 关保德, 裴放, 等. 阶段性板块运动与板内增生——河南省 1:50 万地质图说明书[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000: 87-97.
Wang Zhihong, Guan baode, Pei Fang, et al. Periodic Plate Movement and Intraplate Hyperplasia—specification of 1:500000

- Geological Map in Henan Province [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2000:87—97 (in Chinese).
- [4] 罗铭玖, 黎世美, 卢欣祥, 等. 河南省主要矿产的成矿作用及矿床成矿系列[M]. 北京: 地质出版社, 2000:12-90.
Luo Mingjiu, Li Shimei, Lu Xinxiang, et al. Metallogenesis and Deposit Series of Main Mineral Resources of Henan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2000:12-90 (in Chinese).
- [5] 杨志华, 郭俊锋, 苏生瑞, 等. 秦岭造山带基础地质研究新进展[J]. 中国地质, 2002, (3):246-256.
Yang Zhihua, Guo Junfeng, Su Shengrui, et al. New advances in geological study of the Qinling orogen [J]. Geology in China, 2002, (3):246-256 (in Chinese with English abstract).
- [6] 耿树方, 严克明, 周伟勤, 等. 秦巴金属矿产成矿概论 [M]. 北京: 地质出版社, 1994:1-10.
Geng Shufang, Yan Keming, Zhou Weiqin, et al. Metallogenic Regularities of Main Metallic Minerals in Qinling-Dabashan Mountains [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994:1-10 (in Chinese).
- [7] 燕长海. 东秦岭铅锌银成矿系统内部结构[M]. 北京: 地质出版社, 2004:1-140.
Yan Changhai. Internal Structure of Metallogenic System of the Lead-zinc ore in East Qinling [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004:1-140 (in Chinese).
- [8] 汤清龙, 赵志强, 吉恒召, 等. 东秦岭二郎坪群地质特征及成矿规律[J]. 华南地质与矿产, 2010, 04:45-54.
Tang Qinglong, Zhao Zhiqiang, Ji Hengzhao, et al. Geological characteristics and metallogenic regulations of Erlangping Group of East Qinling Orogenic Belt [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2010, 04:45-54 (in Chinese with English abstract).
- [9] 冯胜斌, 周洪瑞, 燕长海, 等. 东秦岭(河南段)二郎坪群铜多金属成矿环境及成矿效应[J]. 矿产与地质, 2006, 20(6):1-7.
Feng Shengbin, Zhou Hongrui, Yan Changhai, et al. Metallogenic environment of copper polymetallic deposit in Erlangping group of east Qinling and its metallogeny [J]. Mineral Resources and Geology, 2006, 20(6):1-7 (in Chinese with English abstract).
- [10] 燕长海, 彭翼, 曾宪友, 等. 东秦岭二郎坪群铜多金属成矿规律 [M]. 北京: 地质出版社, 2007:1-240.
Yan Changhai, Peng Yi, et al. The Metallogenic Regularity of Cu-Polymetallic Deposits of Erlang Group in East Qinling [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007:1-240 (in Chinese).
- [11] 燕长海, 刘国印, 彭翼, 等. 豫西南地区铅锌银成矿规律 [M]. 北京: 地质出版社, 2009:1-127.
Yan Changhai, Liu Guoyin, Peng Yi, et al. The Metallogenic Regularity of Lead-zinc Ore in the Southwest, Henan Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2009:1-127 (in Chinese).
- [12] 胡娟, 刘晓春, 曲玮, 等. 桐柏造山带古元古代变质基性岩的锆石 U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 地球学报, 2012, 33 (3):305-307.
Hu Juan, Liu Xiaochen, Qu Wei, et al. Zircon U-Pb Ages of

- Paleoproterozoic Metabasites from the Tongbai Orogen and Their Geological Significance [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2012, 33(3): 305-307(in Chinese with English abstract).
- [13] Zhang Guowei, Guo A L, Liu F T, et al. Three-dimensional architecture and dynamic analysis of the Qinling Orogenic Belt [J]. *Science in China (Series D)*, 1996, 39(supp.):1-6.
- [14] 索书田, 钟增球, 张宏飞, 等. 桐柏山高压变质带及其区域构造型式 [J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2001, 26 (6):251-559.
Suo Shutian, Zhong Zengqiu, Zhang Hongfei, et al. High-pressure metamorphic belt and its tectonic pattern in Tongbai Mountains, central China [J]. *Earth Science——Journal of China University of Geosciences*, 2001, 26 (6):251-559 (in Chinese with English abstract).
- [15] Nystrom J O, Henriquez F. Magmatic features of iron ores of the Kiruna type in Chile and Sweden: Ore textures and magnetite geochemistry [J]. *Economic Geology*, 1994, 89(4):830-839.
- [16] Frietsch D R, Perdahl J A. Rare earth elements in apatite and magnetite in Kiruna-type iron ores and some other iron ore types [J]. *Ore Geology Reviews*, 1995, 9(6):489-510.
- [17] 路凤香, 桑隆康. 岩石学 [M]. 北京:地质出版社, 2002, 47-48.
Lu Fengxiang, Sang Longkang. *Petrology* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002:47-48(in Chinese).
- [18] Pearce J A, Harris B W, Tindle A G, et al. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrology*, 1984, 25(4):956-983.
- [19] Sun M C D, McDonough. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [J]. *Geological Society London Special, Publications*, 1989, 42(1): 313-345.
- [20] 李立兴, 李厚民, 王登红, 等. 河南桐柏地区铜锌多金属矿床的微量元素和稀土元素特征及成因意义 [J]. *地学前缘*, 2009, 16 (6):328-331.
Li Lixing, Li Houmin, Wang Denghong, et al. Trace element and REE geochemistry and its metallogenic significance for Cu-Zn deposits in the Tongbai area, Henan [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(6):328-331(in Chinese with English abstract).
- [21] 周学武, 李胜荣, 鲁力, 等. 浙江弄坑金银矿化区黄铁矿标型研究 [J]. *矿物岩石*, 2004, 24(4):6-13.
Zhou Xuewu, Li Shengrong, Lu Li, et al. Research on typomorphism of pyrite from Longkeng gold-silver mineralization district in Wuyi county, Zhejiang Province, China [J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2004, 24 (4):6-13 (in Chinese with English abstract).
- [22] Ohmoto H, Goldhaber M B. Sulfur and carbon isotopes [C]// Baxnes H L. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. New York: Wiley, 1997:517-599.
- [23] Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics—the mode I [J]. *Tectonophysics*, 1981, 75:135-162.
- [24] B.A 各里年科著, 赵瑞译. 硫同位素地球化学 [M]. 北京: 科学出版社, 1980:1-100.
B.A Ge Linianke, Zhao Rui. *Geochemistry of Sulfur Isotope* [M]. Beijing: Science Press, 1980:1-100(in Chinese).
- [25] 韩吟文, 马振东. 地球化学 [M]. 北京:地质出版社, 2003:94-204.
Han Yinwen, Ma Zhendong. *Geochemistry* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003:94-204(in Chinese).
- [26] 韦昌山, 杨振强, 付建明, 等. 河南桐柏刘山岩铜锌矿床成因及古大地构造环境 [J]. *地质科技情报*, 2004, 23(2):26-27.
Wei Changshan, Yang Zhenqiang, Fu Jianming, et al. Origin and palaeotectonic setting of Liushanyan copper-zinc deposit in Tongbai, Henan Province [J]. *Geological Science and Technology Information*, 2004, 23 (2):26-27 (in Chinese with English abstract).
- [27] 韦昌山, 杨振强, 魏君奇, 等. 刘山岩矿床矿石的稀土元素和硫、铅同位素的地质意义 [J]. *华南地质与矿产*, 2002, 06(4):42-43.
Wei Changshan, Yang Zhenqiang, Wei Junqi, et al. Components and geological significance of REE and sulfide-lead isotopes of ores from the Liushanyan copper-zinc deposit, Henan Province [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2002, 06(4):42-43(in Chinese with English abstract).
- [28] 侯增谦, 韩法, 夏林圻, 等. 现代与古代海底热水成矿作用 [M]. 北京:地质出版社, 2003:355-359.
Hou Zengqian, Han Fa, Xia Linqi, *Hydrothermal Systems and Metallogeny on the Modern and Ancient Sea-floor* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003:355-359(in Chinese).
- [29] 刘国范, 马庚杰, 刘勤安, 等. 河南省泌阳条山铁矿床地质特征及找矿前景 [J]. *地质与勘探*, 2011, 47(20):240-242.
Liu Guofan, Ma Gengjie, Liu Qinan, et al. Geological characteristics and ore-search prospect of the Tiaoshan iron deposit in Biyang, Henan Province [J]. *Geology and Prospecting*, 2011, 47 (20):240-242(in Chinese with English abstract).
- [30] 张荫树, 朱永延. 河南桐柏—泌阳铁矿成矿地质特征和矿床成因探讨 [J]. *河南地质*, 1985, 3(1):9-15.
Zhang Yinshu, Zhu Yongyan. The Geological features and Genetic study of Tongbai-Biyang iron deposit in Henan Province [J]. *Henan Geology*, 1985, 3 (1):9-15 (in Chinese with English abstract).
- [31] 廖宗廷, 马婷婷, 李玉加, 等. 永平矿区层状砂卡岩的成因及成矿意义 [J]. *同济大学学报*, 2001, (11):1322-1326.
Liao Zongting, Ma Tingting, Li Yujia. On genesis of bedded skarn and mineralization in Yongping Mining Area [J]. *Journal of Tongji University(Natural Science)*, 2001, 29(11):1322-1326(in Chinese with English abstract).
- [32] 韦昌山, 杨振强, 付建明, 等. 河南刘山岩铜锌矿区细碧岩-石英角斑岩质含矿火山岩系的构造环境 [J]. *华南地质与矿产*, 2003, 4(08):36-37.
Wei Changshan, Yang Zhenqiang, Fu Jianming, et al. Palaeotectonic setting of ore-bearing spilite-quartz keratophyreseries in Liushanyan copper-zinc mine, Henan [J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2003, 4(08):36-

37(in Chinese with English abstract).

[33] 李红梅, 魏俊浩, 王洪黎, 等. 河南桐柏围山城金银成矿带成矿物质来源: 铅同位素证据[J]. 地质与勘探, 2009, 45(4):374-380.

Li Hongmei, Wei Junhao, Wang Hongli, The Sources of ore-forming materials in Weishancheng Au-Ag mineralization belt in Tongbai, Henan Province: Lead Isotope Evidences[J]. Geology and Prospecting, 2009, 45 (4):374-380 (in Chinese with English

abstract).

[34] 江思宏, 聂凤军, 方东会, 等. 河南桐柏围山城地区主要金银矿床的成矿年代学研究[J]. 矿床地质, 2009, 28(1):70-71.

Jiang Sihong, Nie Fengjun, Fang Donghui, et al. Geochronology of major gold and silver deposits in Weishancheng area, Tongbai County, Henan Province[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(1): 70-71 (in Chinese with English abstract).

Geological-geochemical features and genesis of the Gaoliangdian Fe-Cu deposit in Henan Province

YUAN Qian^{1,2}, LV Xin-biao^{1,2}, ZHU Qiao-qiao³,
KE Chang-shu⁴, LIU Hong⁵, CAO Xiao-feng^{1,2}

(1. Faculty of Resource Department, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4. Mining Right Reserve Trading Center of Land and Resources of Hubei Province, Wuhan 430074, Hubei, China; 5. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, Chengdu 610000, Sichuan, China)

Abstract: The Louziwan iron-copper deposit is located in the east of East Qinling-Dabie orogenic high-pressure metamorphic belt. It occurs in the Er'langping Group composed of volcanic rocks and sedimentary rocks. The ore bodies with clear layer control features are almost in the lentoid form in the second block of Er'langping Group. Skarnization and silicification are the most important wall rock alterations. It is held that the mineralization has the close relationship with the Er'langping Group, as evidenced by the ore geology, geochemistry, mineral assemblages, sulfur isotope and composition of fluids in minerals. In the early stage, large amounts of basaltic lavas rich in iron and copper were formed in the submarine volcanic activities, thus producing a sedex iron ore layer and carbonate rock during the intermittent period of the volcanic eruption; in the late period, due to regional metamorphism, the basic volcanic rock resulted in the formation of layered skarn, with the superimposition of disseminated, veined copper iron ore mineralization of the hydrothermal origin. It is thus concluded that the deposit belongs to the type of volcanic-sedimentary-metamorphic Fe-Cu deposit.

Key words: geological-geochemical features; Er'langping Group; skarn rocks; metallogenesis

About the first author: YUAN Qian, male, born in 1988, doctor, specializes in mineral prospecting and exploration; E-mail: sunshine24@foxmail.com.