

# 山西平顺地区矽卡岩型铁矿床地质特征及成矿物质来源探讨

张海东<sup>1</sup>, 刘建朝<sup>1</sup>, 陈正乐<sup>2</sup>, 刘淑文<sup>1</sup>, 戈小红<sup>1</sup>, 成欢<sup>1</sup>, 张雪<sup>1</sup>

(1. 长安大学资源学院, 西安 710054; 2. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

**[摘要]**山西平顺地区矽卡岩型铁矿主要产于燕山期中性侵入岩与中奥陶统碳酸岩地层接触带及其附近。矿化蚀变带明显, 钠长石化是重要的找矿标志。北落峡 ZK28-7 钻孔岩芯样地球化学特征、黄铁矿( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.741\sim 18.301$ , 平均值 17.993;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.433\sim 15.551$ , 平均值 15.495) 以及早期( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.859\sim 18.474$ ;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.429\sim 15.431$ ) 和晚期侵入岩( $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.959\sim 18.223$ , 平均值 18.088;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.434\sim 15.566$ , 平均值 15.536) 的 Pb 同位素组成共同表明, 除晚期中性侵入岩是磁铁矿的成矿母岩之外, 还包括早期超基性-基性侵入岩, 它也是磁铁矿形成的重要成矿母岩之一, 其很可能是通过被晚期闪长岩同化交代, 大量铁质进入了晚期闪长岩, 经后期钠化蚀变, 铁质析出, 形成磁铁矿, 间接的提供物质来源。

**[关键词]**太行山南段平顺地区 早期 晚期侵入体 Pb 同位素 成矿物质来源

**[中图分类号]**P618.42 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2010)04-0634-09

Zhang Hai-dong, Liu Jian-chao, Chen Zheng-le, Liu Shu-wen, Ge Xiao-hong, Cheng Huan, Zhang Xue. Geological characteristics of skarn iron deposits and their mineralization material source in the Pingshun area, Shanxi Province[J]. *Geology and Exploration*, 2010, 46(4): 0634-0642.

## 0 引言

平顺铁矿位于太行山南段山西省长治市境内, 是华北地区重要的矽卡岩型铁矿矿集区, 和邯邢铁矿以及安阳-林县铁矿构成了太行山南段矽卡岩型铁矿床成矿带。以往研究主要集中在邯郸-邢台地区, 认为岩体是由大陆拆沉作用和大洋俯冲作用形成(罗照华等, 1997; 邓晋福等, 2000), 具有壳幔岩浆混合的特点(陈斌等, 2005, 2006), 邯邢式铁矿的形成受邯郸地幔柱的控制(毛景文等, 2005), 并探讨了铁矿床的形成时代和成矿物质来源等问题(郑健民, 2007)。60~70年代, 平顺矽卡岩型铁矿床进行了大量的找矿地质勘探工作, 但对成矿作用研究较薄弱。以往研究对铁矿床的形成主要有两种观点, 一种观点认为是由火山作用形成, 另一种观点认为铁矿体形成与晚期岩体钠化作用有关(张海东等, 2009), 但对铁矿成矿物质来源没有进行深入研

究。本文在对平顺矽卡岩型铁矿的地质特征综合研究的基础上, 结合本区具有代表性的芦沟和北落峡两个矿区的岩体蚀变带特征及岩石矿物 Pb 同位素示踪, 来探讨本区成矿物质来源问题。

## 1 地质概况

研究区在大地构造位置上位于吕梁-太行断块的太行块隆南段, 与邯郸-邢台和安阳-林县地区具有相同大地构造背景, 空间上处于大型宽缓的太行山复式背斜的西翼, 南北向两个宽展的复式背斜隆起带, 控制了东西两个岩浆岩带的具体展布。断裂和褶皱均以北北东向为主, 明显受中生代太平洋板块俯冲作用影响(陈斌等, 2005; 郑健民, 2007; 张海东等, 2009), 构成了平顺地区控矿构造的总体轮廓(图1)。出露的地层主要为中奥陶统马家沟组灰岩、泥灰岩及少量下奥陶统三山子组白云岩(表1), 其中中奥陶统马家沟组一、三、五岩性段以泥灰岩为

[收稿日期]2009-04-22; [修订日期]2010-06-17; [责任编辑]郑杰。

[基金项目]全国危机矿山项目(编号:200614004), (编号:200899500)资助。

[第一作者简介]张海东(1982年-), 男, 2008年毕业于长安大学, 获硕士学位, 在读博士生, 现主要从事矿床地质研究工作, Email: zhang150079@tom.com。

主,二、四、六岩性段以中厚层较纯质灰岩为主,是主要的控矿围岩,三山子组白云岩地层产状水平。中生代燕山期岩浆岩分布广泛,大多呈岩盖、岩脉、岩床和小岩株产出。岩体规模不大,空间上由西向东组成两个近平行的岩浆岩带,呈北北东向串珠状分布。由东向西分别称为第一岩浆岩带和第二岩浆岩带,本次研究主要为成矿规模大、蚀变作用强的第一岩浆岩带西安里地区(图1)。西安里岩体形成于燕山期,岩性较

复杂,由早、晚两期侵入岩组成,早期侵入岩以橄榄辉长岩为主,晚期侵入岩主要为中性闪长岩-二长闪长岩,在二者接触部位为角闪闪长岩,规模较小。

橄榄辉长岩主要矿物为橄榄石、辉石、斜长石、角闪石,辉长结构为主,块状构造为主。角闪闪长岩主要组成矿物为角闪石和长石,角闪石颗粒粗大,后期重结晶作用强烈。闪长岩-二长闪长岩主要矿物

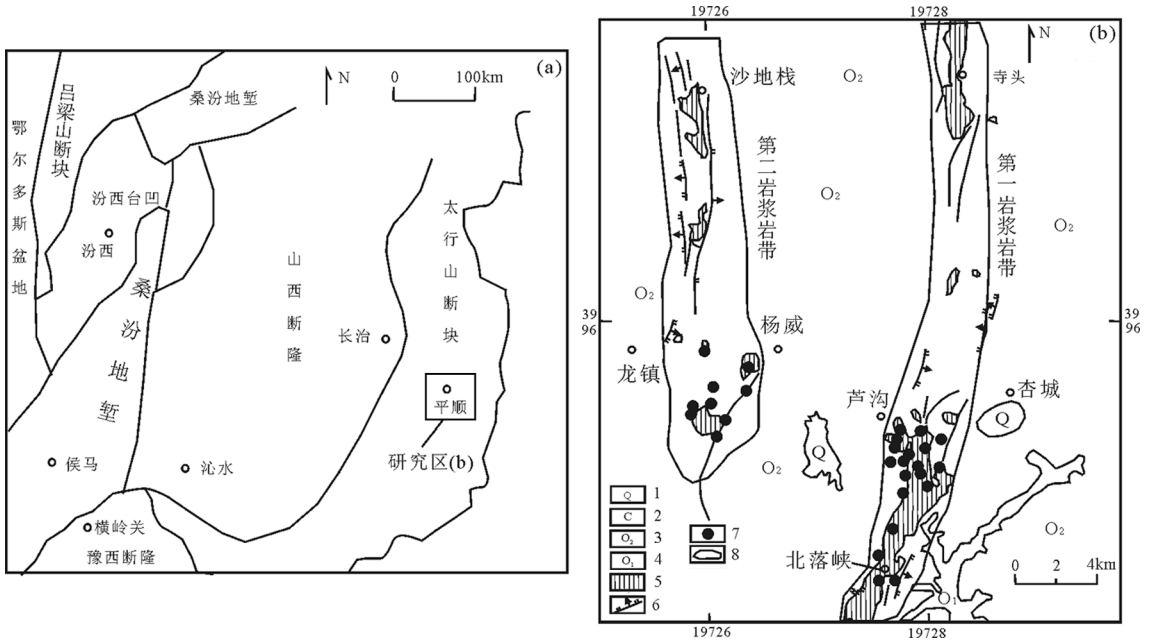


图1 平顺地区第一构造岩浆岩带地质简图

Fig. 1 Simplified geologic map of the first structure magmatic belt in the Pingshun area

- 1-第四系;2-石炭系;3-奥陶系中统;4-奥陶系下统;5-燕山期闪长岩-二长闪长岩;6-断层;7-矿床位置;8-岩浆岩带范围  
 1-Quaternary;2-Carboniferous;3-Middle Ordovician;4-Lower Ordovician;5-Yanshanian diorite-monzodiorite;6-fault;7-the location of deposit;  
 8-range of magmatic belt

表1 平顺地区奥陶系马家沟组地层简表(212地质队,1979)

Table 1 Simplified table of Majiagou Group of Ordovician system in the Pingshun area (after No. 212 geological brigade, 1979)

统	组	段	厚度(m)	代号	岩性
上奥陶统		第六段	0~60	O <sub>2</sub> <sup>6</sup>	厚层深灰色灰岩
		第五段	74~85	O <sub>2</sub> <sup>5</sup>	角砾状泥灰岩夹两层厚7~10米的中层灰岩
中奥陶统(O <sub>2</sub> )	中家沟组	第四段	178~222	O <sub>2</sub> <sup>4-3</sup>	中厚层石灰岩夹泥质白云质灰岩
				O <sub>2</sub> <sup>4-2</sup>	中薄层灰岩夹薄层白云质灰岩或灰质白云岩
				O <sub>2</sub> <sup>4-1</sup>	中厚层豹皮状灰岩、底部含燧石结核
		第三段	20~80	O <sub>2</sub> <sup>3</sup>	黄色团块状泥灰岩夹角砾状泥灰岩透镜体
				O <sub>2</sub> <sup>2-2</sup>	中厚层灰岩夹含砾白云质泥灰岩
		第二段	100~136	O <sub>2</sub> <sup>2-1</sup>	中厚层灰岩及白云质条带灰岩、下部为角砾状灰岩或角砾泥灰岩
O <sub>2</sub> <sup>1</sup>	钙质页岩夹薄层灰质白云岩				
下奥陶统(O <sub>1</sub> )	三山子组		42~72	O <sub>1</sub>	含燧石条带、结核白云岩

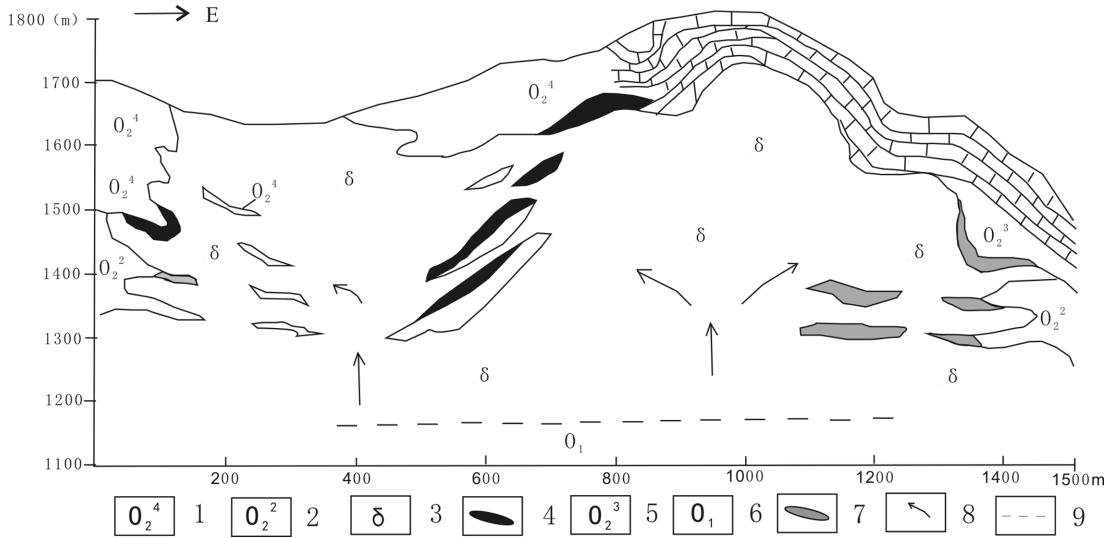


图 2 北洛峡 27 勘探剖面矿体分布图

Fig. 2 Map showing distribution of iron deposits along exploration line 27 in Beiluoxia

1-马家沟灰岩四段;2-马家沟灰岩二段;3-闪长岩、二长闪长岩;4-已知矿体;5-马家沟灰岩三段;6-下奥陶统白云岩;7-推断矿化有利部位;8-岩体上侵方向;9-下奥陶统白云岩与岩体的接触界面

1-the fourth limestone;2-the second limestone;3-diorite, monzodiorite;4-known orebody;5-the third limestone;6-Lower Ordovician dolomite;7- Inferred favorable mineralization position;8-the direction of intrusive rocks;9-the contact interface between Lower Ordovician dolomite and magmatic rocks

表 2 西安里矿区主要矿体特征表

Table 2 Characteristics of main orebodies in the Xi'anli mining district

矿区	矿体号	成矿层位	规模			矿体形态	围岩		矿石自然类型
			延长(m)	延深(m)	厚度(m)		顶板	底板	
北洛峡	5	$O_2^{2-3}$	903.77	97~110	6~11	似层状	$\Delta m$	Mb	浸染状-块状磁铁矿石
	2	$O_2^{2-3}$	632.27	70~85	8~11	似层状	Mb	$\delta m$	浸染状-块状磁铁矿石
	28	$O_2^{2-2}$	613.97	70~80	8~10	似层状	Mb	$\delta m$	浸染状-块状磁铁矿石
	29	$O_2^{2-2}$	223.43	35~80	10~14	透镜状	$\Delta m$	$\delta$	浸染状-块状磁铁矿石
芦沟	2	$O_2^{4-2}$	350	140~200	10~17	透镜状	Mb	$\delta m$	浸染状-块状磁铁矿石
	10	$O_2^{4-1}$	200	50~150	1~20	扁豆状	$\Delta m$	Sk	浸染状-块状磁铁矿石
后塬	1	$O_2^{2-3}$	685	120~150	4~20	似层状	Mb	$\delta m$	浸染状-块状磁铁矿石
	水沟	14	$O_2^{2-2}$	570	64~167	7~14	似层状	$\Delta m$	Sk
交界坡	4	$O_2^{2-2}$	460	110	9	似层状	Mb	$\delta m$	浸染状-块状磁铁矿石
	23	$O_2^{2-3}$	365	70~119	20~33.61	透镜状	$\Delta m$	$\delta m$	浸染状-块状磁铁矿石
	3	$O_2^{2-3}$	304	50~100	6.97	扁豆状	$\Delta m$	$\delta m$	浸染状-块状磁铁矿石
	25	$O_2^{2-2}$	150	80	最大达 37.8	透镜状	$\Delta m$	$\delta m$	浸染状-块状磁铁矿石

注: Mb-大理岩;  $\delta m$ -蚀变闪长岩。

为斜长石、钾长石和角闪石,半自形粒状结构,块状构造。早期、晚期侵入岩体具有相似的岩石地球化学特征,表现为低硅高镁,轻稀土富集重稀土亏损并呈现轻微 Eu 正异常;大离子亲石元素(如 Sr、Ba、

K)放射性成因 Pb 富集,亏损高场强元素(如 Nb、Ta、Ti)。这些特征说明两个岩浆岩带均起源于富集地幔,但在上侵定位过程中受到不同程度下地壳的混染(刘玉成等,2006;刘建朝等,2008)。

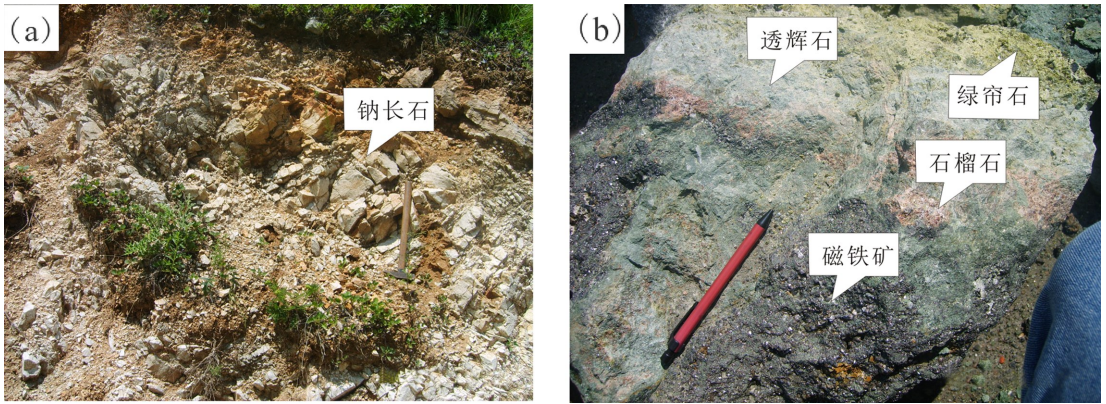


图 3 平顺地区热液蚀变现象

Fig. 3 Hydrothermal alteration in the Pingshun area

a-钠长石;b-透辉石、石榴石及磁铁矿

a-albite; b-diopside, garnet and magnetite

表 3 北落峡第 7 钻孔岩芯样分析结果表 (%)

Table 3 Analysis results of core samples of 7th borehole in Beiluoxia (%)

样品编号	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	TFe
01	1.30	7.85	2.68
02	1.15	7.00	3.62
03	2.00	8.75	3.64
04	1.25	7.30	3.96
05	1.40	6.45	7.93
06	0.96	6.35	9.21
07	0.35	7.30	3.67
08	0.40	4.50	8.40
09	0.85	7.85	4.30
10	0.50	5.60	5.02
11	0.30	9.90	2.18
12	0.40	8.70	3.73
13	0.85	8.70	3.73
14	1.20	8.80	3.44

一般为几十米到几百米,每个矿区均有一、二个或几个比较重要的主矿体,它们的储量常占矿区总储量的 70% 以上(表 2)。按矿体与岩体相互关系,矿体类型可分为产于岩体两侧和岩体顶部似层状矿体、产于岩体内部不规则捕虏体矿体及产于围岩内部贯入式矿体,矿体的形态明显受到接触面及周边构造形态的控制。其中产于接触带的铁矿体规模最大,其次是产于岩体内的捕虏体铁矿体,产于碳酸盐岩内捕虏体矿体规模最小。

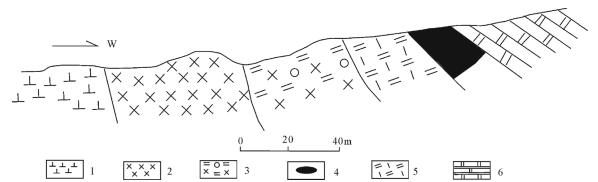


图 4 北落峡 301 勘探线矿化蚀变带剖面图

Fig. 4 Cross section of mineralization alteration along exploration line 301 in Beiluoxia

1-闪长岩; 2- 钠长岩; 3-矽卡岩; 4-铁矿体;

5-透辉石岩; 6-大理岩

1-diorite; 2- albite; 3-skarn; 4-orebody; 5-diopside; 6-marble

## 2 矿床特征

### 2.1 矿体形态及产出位置

本区磁铁矿矿体主要产于燕山期晚阶段闪长岩体与中奥陶统碳酸盐岩的接触带上,成矿层位主要是 O<sub>2</sub><sup>2</sup> 和 O<sub>2</sub><sup>4</sup> 地层(图 2)。西安里地区内有大小矿区 5 个,共有铁矿体 126 个,矿体大小不等,长度一

### 2.2 矿石组成及结构构造

矿石的矿物组成简单,以磁铁矿为主,次为黄铁矿,以及少量磁黄铁矿,黄铜矿和铜兰等。当黄铁矿成为主要矿石矿物时,矿石则为硫铁矿矿石(如交

表 4 西安里杂岩体岩石矿物 Pb 同位素分析测试结果

Table 4 Analysis result of lead isotope in complex rocks and minerals from Xi'anli

样品号	类型	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	M
LB-1	黄铁矿	18.301	15.551	37.936	9.38
LB-2		17.937	15.501	37.911	9.32
LB-25		17.741	15.433	37.643	9.21
SG105	橄榄	18.474	15.431	37.374	9.13
SG106	辉长岩	17.859	15.429	37.509	9.19
SG308		18.223	15.612	38.641	9.51
SG309	闪长岩	18.044	15.566	38.402	9.44
SG201		17.959	15.531	38.279	9.38
SG204	角闪 闪长岩	18.125	15.434	38.289	9.17

注: Pb 同位素测试于 2007 年 6 月在中国科学院广州地球化学所完成。

界坡 25 号矿体北端和芦沟 10 号矿体北端的矿石) (表 2)。在某些氧化矿石中, 假象赤铁矿是主要矿石矿物。脉石矿物以透辉石和碳酸盐矿物为主, 次为角闪石、镁橄榄石、石榴石、绿帘石等。晚期蚀变矿物有透闪石、黑云母、铁云母、绿泥石、蛇纹石、滑石、及晚期碳酸盐等。

矿石结构以自形-半自形和他形结构为主, 其次为包含状结构、熔蚀和交代残余结构以及压碎结构。矿石构造以浸染状、致密块状、条纹-条带状、斑杂状、细脉状为主, 并含有少量晶洞、皱纹状、角砾状和胶状构造。

### 2.3 生成顺序

根据野外及室内的综合研究, 将矿石矿物组合分为早期、晚期两个形成阶段: 早期阶段以气液蚀变交代作用为主, 晚期阶段以热液交代作用为主。气液蚀变交代作用早期为岩基的淋滤(李洪普等, 2009), 伴有强烈的钠长石化作用, 形成了一套以钠长石为主的交代岩(图 3a); 晚期为钙镁-铁质交代作用为主, 主要形成透辉石矽卡岩及少量的石榴石矽卡岩(图 3b)。磁铁矿主要在晚期蚀变阶段形成, 它总是以交代透辉石或碳酸盐围岩为主。热液蚀变交代作用早期以钙质交代作用为主, 形成一套含水硅酸盐, 如葡萄石、绿帘石、阳起石、透闪石等高温热液矿物; 晚期往往形成中低温的绿泥石、蛇纹石、方解石等。

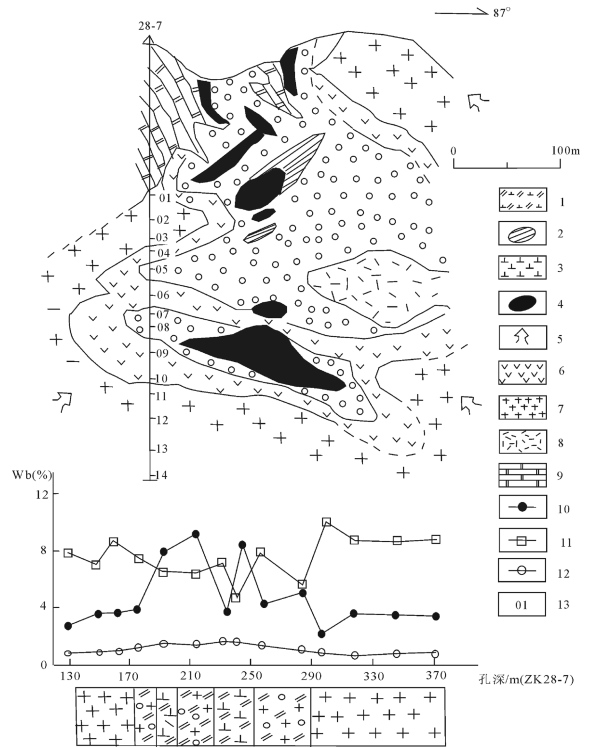


图 5 北落峡第 28 勘探线剖面图及  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、TFe 三种氧化物分布曲线图 (Tero Niranen et al., 2007)

Fig. 5 Cross-section of exploration line 28 and  $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、TFe distribution curves of core samples in the Beiluoxia area

1-透辉石斜长岩及透辉石化闪长岩; 2-透辉石岩; 3-闪长岩; 4-铁矿体; 5-岩体上侵方向; 6-透辉钠长岩; 7-钠长岩; 8-透辉石化闪长岩; 9-大理岩; 10-TFe 变化曲线; 11- $\text{Na}_2\text{O}$  变化曲线; 12- $\text{K}_2\text{O}$  变化趋势; 13-采样编号

1-diopside anorthosite and diopside diorite; 2-diopside rocks; 3-diorite; 4-ore deposit; 5-the direction of intrusive rocks; 6-diopside albitite; 7-diopside diorite; 8-albitite; 9-marble; 10-trend of TFe; 11-trend of  $\text{Na}_2\text{O}$ ; 12-trend of  $\text{K}_2\text{O}$ ; 13-sample number

### 2.4 蚀变带特征

研究区内不同类型的蚀变作用在时间上有先后, 在空间上往往互相叠加, 但蚀变分带特征仍十分明显, 如北落峡 301 勘探线剖面(图 4)。根据蚀变带内矿物种类和含量的不同, 从岩体到围岩可将蚀变带依次划分为以下 5 个带: ① 钠长岩带(白色带), 岩石广泛发生钠长石化, 暗色矿物逐渐减少, 斜长石被钠长石取代, 岩石颜色变为浅灰色或灰白色。钠长石化在接触带附近最强, 远离接触带逐渐变弱, 其宽度、厚度变化急剧, 几十米~几百米不等;

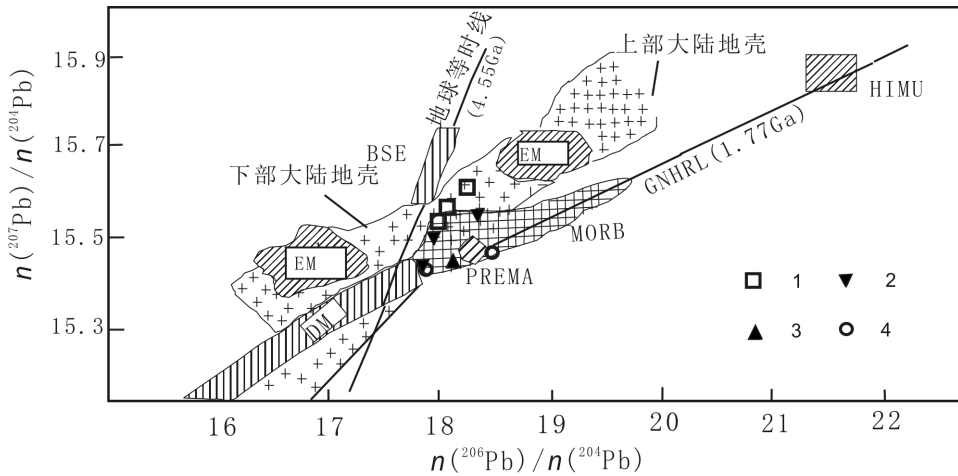


图7  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  同位素相关曲线图解(据杨学明等,2009 修编)

Fig.7 Correlation curves of isotope  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  (modified from Yang *et al.*, 2009)

NHRL: 北半球参考线,地球等时线年龄为 4.55Ga;DM: 亏损地幔;BSE: 全硅酸盐地;MI: 富集地幔 I;EM II: 富集地幔 II;HIMU: 具有高 U/Pb 比值的地幔;PREMA: 普通地幔;MORB: 洋中脊玄武岩;1-闪长岩-二长闪长岩;2-黄铁矿;3-角闪闪长岩;4-橄榄辉长岩

NHRL: Northern Hemisphere reference line, the age of the Earth's isochron is 4.55Ga; DM: depleted mantle; BSE: whole silicate earth; EM I: enriched mantle I; EM II: enriched mantle II; HIMU: mantle with high U/Pb rates; PRE

MA: common mantle; MORB: mid ocean ridge basalts; 1-diorite-monzodiorite; 2-pyrite; 3-hornblende; 4-olivine gabbro-diabase

② 次透辉石钠长石带和球状葡萄石带(灰绿色带): 相对于钠长岩带颜色明显加深,由于含有次透辉石而呈现微绿色,半自形粒状结构,同时向花岗变晶结构变化,块状构造。此带还可看到葡萄状圆球构造,球状葡萄石被钠长石熔融交代,透辉石呈长柱状或短柱状。该带主要矿物有钠长石、次透辉石、葡萄石、方解石等;③透辉斜长石岩带(绿色带): 蚀变带中透辉石含量增加,短柱状或粒状,绿色,半自形粒状结构,有钠化、葡萄石化及更晚期的云母类叠加。主要矿物有斜长石(常见绢云母化,黝帘石化)、透辉石,晚期有角闪石、绿泥石、钠长石、绿帘石、碳酸盐叠加,有时见到少量角闪石巨大残留晶体被透辉石交代;④ 磁铁矿体带: 由磁铁矿等金属矿物交代大理岩而成,常见磁铁矿,黄铁矿,还含有少量黄铜矿,铜兰等金属矿物。磁铁矿体主要叠加于矽卡岩带和大理岩带的接触带上,发育角闪石化和绿帘石化等;⑤ 大理岩带: 碳酸盐岩围岩受侵入岩体热变质重结晶作用形成大理岩,宽度不等,从几十米到几百米,是重要的找矿标志之一(高辉等,2009;肖晓林等,2010)。

### 3 成矿物质来源探讨

#### 3.1 蚀变带内元素分布特征

为了研究元素在各蚀变带的分布变化情况,本次将本区第 28-7 钻孔的部分岩芯样进行化学分析,分析结果见表 3。在图 5 中,蚀变带从上往下依次为:钠长岩-透辉钠长岩及透辉斜长岩-钠长岩,  $\text{Na}_2\text{O}$  含量的变化为先减少后增大,而  $\text{K}_2\text{O}$  和 TFe 为先增大后减少,尤其在透辉斜长岩带向磁铁矿带过渡中,TFe 含量表现为突变性增大。从上面分析可以看出,未蚀变的闪长岩,在高温富含挥发份流体的作用下,岩石中暗色矿物(角闪石、黑云母等)和磁铁矿解体消失,并从溶液中带出铁质和  $\text{K}_2\text{O}$ ,带入  $\text{Na}_2\text{O}$ ,形成大量钠长石等新生矿物。在钠长石化带中,从侵入岩向矿体方向,钠长石化由弱到强,岩石中  $\text{Na}_2\text{O}$  渐趋增高,铁质和  $\text{K}_2\text{O}$  含量逐渐降低,褪色现象也逐步显著,由闪长岩类的深灰色渐变为钠长岩的灰-灰白色。钠长石化的范围、强度与矿体规模成正比,即钠化越强、范围越大,则矿体规模也大。钠长石化已成为本区重要的找矿标志。

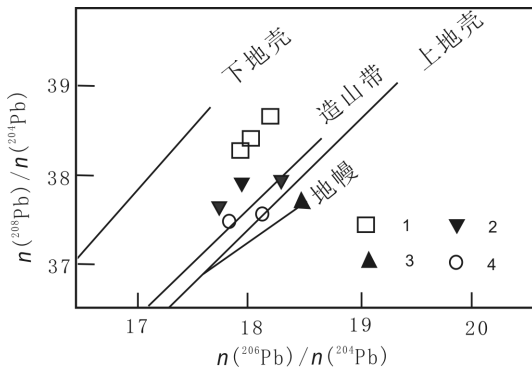


图6  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  同位素相关曲线图解 (Critiana *et al.*, 2004)

Fig. 6 Correlation curves of isotope  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

- 1-闪长岩-二长闪长岩; 2-黄铁矿; 3-角闪闪长岩;  
4-橄榄辉长岩  
1-diorite-monzodiorite; 2-pyrite; 3-hornblende;  
4-olivine gabbro-diabase

从上述蚀变作用带中元素的带入带出关系不难看出,铁矿石中的铁是由闪长岩从深部带出,在岩体就位以后,受钠化蚀变形成白色钠长岩带,并将铁质转化为富含铁质溶液,最终形成铁矿体。

### 3.2 铅同位素特征

铅同位素组成除受放射性衰变和混合作用影响外,不会在物理、化学和生物作用过程中发生变化,即在矿质运移和沉淀过程中铅同位素组成保持不变(沈渭洲,1987)。因此铅同位素组成是示踪成矿物质来源最直接、最有效的一种方法,被广泛应用于各种矿床的研究中(张乾等,2000,2002a,2002b)。

为了研究本区磁铁矿的矿物质来源,本次研究测试了3件黄铁矿样品4件晚期闪长岩样品和2件早期橄榄辉长岩样品,其中3件黄铁矿样品均采自西安里芦沟矿区,并且它们都与磁铁矿共生在一起,可以认为黄铁矿与磁铁矿的铁质来源是相同的。岩石的铅同位素分析结果见表2,矿石铅与岩体铅同位素组成接近,说明矿石铅与岩体铅具有大致相同来源;在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 演化模式图解上(图6),晚期中性侵入岩投影点落在下地壳和造山带铅增长线之间,早期橄榄辉长岩和角闪闪长岩落在地幔和造山带铅增长线之间,而黄铁矿落在早期和晚期侵入岩之间的造山带铅增长线附近,这些特

征表明,黄铁矿中的铅与早期、晚期侵入岩中的铅存在某种联系,或者说早期、晚期侵入岩为黄铁矿的形成提供了一定物质来源(汤中立,2002);另一方面,黄铁矿的铅为下地壳铅和造山带铅的混合铅,但由于模式图中的造山带铅的含义不明确,它实际上包括了高 $\mu$ 值的整合铅、俯冲带的壳幔混合铅、海底热水作用铅和部分沉积与变质作用铅。这种混合作用通常以沉积作用、火山作用、岩浆作用、变质作用以及极速的侵蚀循环作用等方式把来源地幔、上地壳和下地壳的铅混合,形成具有均一U/Pb和Th/Pb的造山带铅。根据上面的分析,黄铁矿的铅很可能属于下地壳铅和地幔铅的混合铅,其来源于早期、晚期侵入岩中的铅。在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{2087}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 演化模式图中(图7),所有样品都落在地球等时线的右侧,以富集放射性成因Pb为特征,说明源区应富集大离子亲石元素U、Th,属于富集地幔型。所测样品几乎都落在了EM I、EM II之间的下地壳和普通地幔范围内,并明显形成了两组,其中,晚期闪长岩为一组;角闪闪长岩与早期橄榄辉长岩为一组。本次所测的三个黄铁矿样品有两个靠近晚期侵入岩,有一个靠近早期侵入岩,说明黄铁矿的铅与晚期侵入体的关系比与早期侵入体的关系密切。

从以上分析可以看出,晚期中性侵入体为黄铁矿提供了主要的铅,但是早期超基性-基性侵入体也为黄铁矿的形成提供了一定的物质来源。由于所测的黄铁矿均与磁铁矿共生,说明黄铁矿和磁铁矿具有共同的成矿物质来源,同时进一步的也说明了晚期侵入体是本区磁铁矿的主要成矿母岩,但早期侵入岩也为磁铁矿的形成提供了一定量的物质来源,其很可能是通过被晚期闪长岩同化交代,大量铁质进入了晚期闪长岩,经后期钠化蚀变,铁质析出,在有利的部位形成磁铁矿。

## 4 结论

① 地球化学成分研究表明,岩体在发生钠化的过程中,岩浆热液将Na被带入,Fe、K带出,并有利的地段形成铁矿体。

② 铅同位素示踪进一步表明,晚期闪长岩是主要的成矿母岩,但早期超基性-基性侵入岩也提供了一定物质来源,结合该区早期、晚期侵入岩的时

空分布关系,早期超基性-基性侵入岩很可能是通过被晚期中性侵入岩交代同化,大量铁质进入晚期中性岩浆之内的方式,间接为铁矿体提供了物质来源。

#### [References]

212 Geological Party. 1979. Discussion on ore-forming mechanism of Na-activation in Handan-Xingtai areas [J]. Geological Science and Technology in Shanxi, (2): 1-9 (in Chinese with English abstract)

Critiana Liana Ciobanu, Nigei John Cook. 2004. Skarn textures and a case study: the ocan de Fier-Dognecea ore field, Banat, Romania [J]. Ore Geology Reviews, 24: 315-370 (in Chinese with English abstract)

Chen Bin, Liu Chao-qun, Tian Wei. 2006. Magma mixing between mantle and crustal derived melts in the process of Mesozoic magmatism, Taihangshan; constraints from petrology and geochemistry [J]. Earth Science Frontiers, 13 (2): 140-147 (in Chinese with English abstract)

Chen Bin, Zhai Ming-guo, Tian Wei. 2005. Petrogenesis of the mesozoic Intrusive complexes from the southern Taihang orogen, north China craton; elemental and Sr-Nd-Pb isotopic Constraints [J]. Bulletin of Mineralogy Petrology and Geochemistry, 24 (2): 93-101 (in Chinese with English abstract)

Deng Jin-fu, Zhao Guo-chun, Zhao Hai-ling, Luo Zhao-hua, Dai Sheng-qian, Li Kai-ming. 2000. Yanshanian igneous petroectonic assemblage and orogenic-deep processes in east China [J]. Geological Review, 46 (1): 41-43 (in Chinese with English abstract)

Gao Hui, J. Hronsky, Cao Dian-hua, Li Rui-ping, Zhang Peng. 2009. An analysis on matallogenetic model and ore-control factors of jinchuan Cu-Ni (PGE) magmatic sulfide deposit and its exploration implications [J]. Geology and Exploration, 45 (3): 218-221 (in Chinese with English abstract)

Liu Jian-chao, Zhang Hai-dong, Liu Shu-wen, Ge Xiao-hong. 2009. Study on genesis of the intrusive complex in Pingshun area, southern Taihang mountains [J]. Geological Review, 55 (3): 318-328 (in Chinese with English abstract)

Liu Yu-cheng, Yang Yi-hua, Wang Yong-ji. 2006. Ore-controlling structures and orientation prognosis of deep concealed ores in the Daye iron mine [J]. Geology and prospecting, 42 (6): 10-16 (in Chinese with English abstract)

Li Hong-pu, Zhang Bing-wen, Ma Jin-yuan, Zhang Shou-ting, Zhang Xi-quan, Song Zhong-bao. 2009. Analysis of magnetic anomaly characteristics in east Nalingguole river iron deposit in east Kunlun Mountain, Qinghai province [J]. Geology and Exploration, 45 (3): 3-13 (in Chinese with English abstract)

Luo Zhao-hua, Deng Jin-fu, Zhao Guo-chun, Cao Yong-qing. 1997. Characteristics of magmatic activities and orogenic process of Tai Hangshan intraplate orogen [J]. Earth Scinece, 22 (3): 279-284

(in Chinese with English abstract)

Mao Jing-wen, Xie Gui-qing, Zhang Zuo-heng, Li Xian-feng, Wang Yitian, Zhang Chang-qing, Li Yong-feng. 2005. Mesozoic large-scale metallogenic pulses in North China and corresponding geodynamic settings [J]. Acta Petrologica Sinica, 21 (01): 169-88 (in Chinese with English abstract)

Shen Wei-zhou. 1987. Stable isotope geochemistry [M]. Beijing: Atomic Energy Press; 23-70 (in Chinese)

Tero Niranen, Matti Poutiainen, Irmeli Manttari. 2007. Geology, geochemistry, fluid inclusion characteristics, and U-Pb age studies on iron oxide-Cu-Au deposits in the Kolar region [J]. Oregeology Reviews, 30: 75-105

Xiao Xiao-lin, Chen Cen. 2010. Geological characteristics of the Songshunangou gold deposit in Qinghai Province [J]. Geology and Exploration, 46 (2): 191-198 (in Chinese with English abstract)

Yang Xue-ming, Yang Xiao-yong, Chen Shuang-xi. 2000. Petrological and geochemica [M]. Hefei: China Science and Technology University Press; 50-214 (in Chinese)

Zhang Hai-dong, Liu Jian-chao, Liu Shu-wen, Ge Xiao-hong, Li Xu-fen, Xue, Xu-ping. 2009. Geological characteristics and metallogenic model of skarn iron deposits in Pingshun area, southern Taihang mountains [J]. Journal of Mineralogy and Petrology, 29 (3): 53-59 (in Chinese with English abstract)

Zhang Qian, Pan Jia-yong, Shao Shu-xun. 2000. An interpretation of ore lead sources from lead isotopic compositions of some ore deposits in China [J]. Geochemical, 29 (3): 231-238 (in Chinese with English abstract)

Zhang Qian, Shao Shu-xun, Liu Jia-jun, Liu Zhi-hao. 2002a. Lead isotopic composition and lead source of polymetallic deposits in the lage ore-assembly district in the Lanping basin [J]. Acta Mineralogica Sinica, 22 (2): 147-154 (in Chinese with English abstract)

Zhang Qian, Pan Jia-yong, Liu Jia-jun, Shao Shu-Xun, Liu Zhi-hao. 2002b. Determination and application of the upper mantal lead composition in western Yunnan [J]. Geology-Geochemistry, 30 (3): 1-6 (in Chinese with English abstract)

Zheng Jian-min. 2007. The Ore-forming fluid and mineralization of skarn Fe deposits in Handan-Xingtai area, South Hebei [D]. Beijing: China University of Geoscineces (Beijing): 2-93 (in Chinese with English abstract)

Tang Zhong-li. 2002. Dividing and prospecting for super-large scale Ni-Cu (Pt) magmatic sulfide deposits [J]. Geology and Exploration, 38 (3): 1-7 (in Chinese with English abstract)

#### [附中文参考文献]

212 地质队. 1979. 再论“邯邢式”铁矿的钠化成矿机制 [J]. 山西地质科技, (2): 1-9

陈斌, 刘超群, 田伟. 2006. 太行中生代岩浆作用过程中的壳幔岩浆混合作用: 岩石学和地球化学证据 [J]. 地学前缘, 13 (2): 140

-147

陈斌,崔明国,田伟,江博明. 2005. 太行山南段中生代杂岩体的岩石成因:元素和 Nd-Sr-Pb 同位素地球化学证据[J]. 矿物岩石地球化学通报,24(2):93-101

邓晋福,赵国春,赵海玲,罗照华,戴圣潜,李凯明. 2000. 中国东部燕山期火山岩构造组合与造山:深部过程[J]. 地质论评,46(1):41-43

高辉,J. Hronsky,曹殿华,李瑞萍,张鹏. 2009. 金川铜镍矿床成矿模式、控矿因素分析与找矿[J]. 地质与勘探,45(3):218-221

李洪普,张炳文,马金元,张寿庭,张喜全,宋忠宝. 2009. 青海东昆仑那陵郭勒河东铁矿床磁异常特征分析[J]. 地质与勘探,45(3):3-13

刘建朝,张海东,刘淑文,戈小红. 2009. 太行山南段平顺地区杂岩体成因研究[J]. 地质论评,50(3):318-328

刘玉成,杨艺华,王永基. 2006. 大冶铁矿控矿构造研究及深部隐伏矿体定位预测[J]. 地质与勘探,42(6):10-16

罗照华,邓晋福,赵国春,曹永清. 1997. 太行山造山带岩浆活动特征及其造山过程反演[J]. 地球科学,22(3):279-284

毛景文,谢桂青,张作衡,李晓峰,王义天,张长青,李永峰. 2005. 中国北方中生代大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报,21(01):169-88

沈渭洲. 1987. 稳定同位素地球化学[M]. 北京:原子能出版社:23-70

肖晓林,陈岑. 2010. 青海松树南沟金矿床地质特征[J]. 地质与勘探,46(2):191-198

杨学明,杨晓勇,陈双喜. 2000. 岩石地球化学[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社:50-214

张海东,刘建朝,刘淑文,戈小红,李旭芬. 2009. 薛旭平太行山南段平顺地区矽卡岩铁矿地质特征及成矿模式探讨[J]. 矿物岩石,29(3):53-59

张乾,潘家永,邵树勋. 2000. 中国某些多属矿床矿石铅来源的铅同位素诠释[J]. 地球化学,29(3):231-238

张乾,邵树勋,刘家军,刘志浩. 2002. 兰坪盆地大型矿集区多金属矿床的铅同位素组成及铅的来源[J]. 矿物学报,22(2):147-154

张乾,潘家永,刘家军,邵树勋,刘志浩. 2002. 滇西地区上地幔铅同位素组成的确定及其应用[J]. 地质地球化学,30(3):1-6

郑健民. 2007. 冀南邯邢地区矽卡岩铁矿成矿流体及成矿预测[D]. 北京:中国地质大学(北京):2-93

汤中立. 2002. 超大型 Ni-Cu (Pt) 岩浆矿床的划分与找矿[J]. 地质与勘探,38(3):1-7

## Geological Characteristics of Skarn Iron Deposits and Their Mineralization Material Source in the Pingshun Area, Shanxi Province

ZHANG Hai-dong<sup>1</sup>, LIU Jian-chao<sup>1</sup>, CHEN Zheng-le<sup>2</sup>, LIU Shu-wen<sup>1</sup>, GE Xiao-hong<sup>1</sup>, CHENG Huan<sup>1</sup>, ZHANG Xue  
 (1. Resource College of Chang an University, Xi an 710054;  
 2. Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** The skarn-type iron deposits mainly occur in the contact zone between Yanshan intermediate rocks and Middle Ordovician carbonate rocks in the Ping Shun area of Shanxi Province. The mineralization and alteration show pronounced zoning, and albitization is an important ore-hunting indicator. The  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios of pyrite are in the ranges of 17.741 ~ 18.301 (averaged 17.993) and 15.433 ~ 15.551 (averaged 15.495), respectively. The  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios of early intrusive rocks samples are 17.859 ~ 18.474, and 15.429 ~ 15.431, respectively, while later intrusive rocks samples are 17.959 ~ 18.223 (averaged 18.088), and 15.434 ~ 15.566 (averaged 15.536), respectively. The Pb isotopic compositions of various kinds of samples from the deposit and the chemical composition of part 7<sup>th</sup> hole's core samples in Beiluoxia show that the ore material of magnetite originated from intermediate intrusive rocks of the middle stage as well as ultramafic-mafic intrusive rocks of the early stage. Ultramafic-mafic intrusive rocks are assimilated by intermediate rocks, leading to lots of iron entering the sulfenite of late stage. The later sodic alteration caused iron precipitation and then formation of magnetite, which served as the material source for mineralization indirectly.

**Key words:** Pingshun area, Shanxi, early and later intrusive rocks, Pb isotopic, mineralization material source