河北省含铁岩系的地球化学特征

宫进忠,楚福录,刘振东
(河北省地球物理勘查院,河北 廊坊 065000)

摘 要: 依据河北省区域岩石地球化学调查成果,讨论了区内不同成因类型含铁岩系的地球化学特征。其中重要的沉积变质铁矿地层中 Al_2O_3、Ti、P、V、Cr、Ni、Cu、Zn的质量分数和 $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$、$w(Sr)/w(Ba)$、$w(La)/w(Y)$较高,Rb、Li、Cs、Sc的质量分数及 $w(K_2O)/w(Na_2O)$较低;海相沉积型铁矿地层中强烈富集 Sb、Li、B、Hg、Sr和 K_2O,同时贫化 FeO、Na_2O、CaO、Mn、Rb等元素;主要接触交代型铁矿围岩中 CaO、MgO 的质量分数较高,SiO_2、Al_2O_3、K_2O、Mn、Ti、P、V、Cr、Zr、Ba、REE的质量分数及 $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$较低。这些地球化学特征反映其特定的地质构造环境。

关键词:含铁岩系;成因类型;地球化学特征;河北省
中图分类号: P632 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-8918(2006)05-0393-04

河北省铁矿资源丰富、成因类型齐全、成矿期次多、分布十分广泛。其中以沉积变质型(冀东式)最重要,其次为接触交代型(邯邢式和涞源式),再次为沉积型(宣龙式)。成矿作用除具有旋回性(cyclic),更突出地表现为单方向性(unidirectional)和一次性(uniqueness),具明显的时控和层控特征。从太古宙至显生宙均有重要铁矿形成,其中太古宙—早元古代以沉积变质型为主,中元古代以滨海沉积型为主,中生代燕山期以接触交代型最为发育,其赋矿围岩具一定的选择性。

在前人相关研究基础上,依据河北省区域岩石地球化学调查成果(宫进忠等,1995),笔者就上述 3种类型铁矿的赋矿围岩地球化学特征进行讨论。

1 太古宙—早元古代沉积变质铁矿

1.1 地质概况

本区沉积变质铁矿的主要层位是遵化群跑马场组、卢龙群司家营组和朱杖子群,其次是迁西群三屯营组、五台群上堡组、单塔子群白庙组和阜平下亚群南营组,双山子群茨榆山组和迁西群上川组含矿较差,其它层位不含或极少含磁铁石英岩层。

产于遵化群跑马场组中的变质铁矿称水厂型,具有很多中型甚至大型矿床,其原岩为含沉积岩的火山岩-硅铁建造;产于卢龙群、单塔子群、五台群和阜平群中的变质铁矿称司家营式,蕴藏着本区规模最大的铁矿,其原岩为火山岩-沉积岩-硅铁建造;产于朱杖子群中的铁矿称柞兰杖子型,有大型矿床产出,原岩为含火山岩的沉积岩-硅铁建造。

1.2 矿床成因

综合前人对沉积变质铁矿成因的认识可归纳如下:

(1)条带状铁矿(BIF)的形成是海洋由还原性转变为氧化性这一特定历史转折阶段的标志。地球早期还原性海水里可溶解大量铁质,水生植物光合作用产生的游离氧引起海水中铁氧化并沉积[1];

(2)硅铁建造的成矿物质来源:规模较大的铁矿层往往出现在各级火山-沉积旋回的上部,产于巨厚层基性熔岩之上的中酸性火山杂砂岩中,意味着它形成于火山喷发作用终止和沉积作用开始的时刻,表明其物质来源于火山活动[2];

(3)大地构造环境:水厂型铁矿可能形成于太古宙早期原始大陆间的不规则状盆地;司家营型铁矿可能为近似于准稳定陆台性质的开阔盆地;柞兰杖子型铁矿可能为古拗拉槽环境[2]。

1.3 地球化学特征

本区重要和次要沉积变质铁矿地层化学元素含量对比(表 1)表明:前者中 Al_2O_3、Ti、P、V、Cr、Ni、Cu、Zn、Se、Au、As的质量分数和 $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$、$w(Sr)/w(Ba)$、$w(La)/w(Y)$较高,Rb、Li、Cs、Sc的质量分数及 $w(K_2O)/w(Na_2O)$较低。

$w(Al_2O_3)$、$[w(La)+w(Y)]$和 $w(La)/w(Y)$值较高,反映出粘土质成分较多;Ti、P、V、Cr、Ni、

收稿日期: 2005-03-29

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 河北省重要和次要沉积变质铁矿地层地球化学特征

含铁层位		$w_{Fe_2O_3}$	w_{FeO}	$\frac{w_{Fe_2O_3}}{w_{FeO}}$	$w_{Al_2O_3}$	w_{Ti}	w_P	w_V	w_{Cr}	w_{Ni}	w_{Cu}	w_{Zn}	w_{Se}	w_{Au}	$\frac{w_{Sr}}{w_{Ba}}$	$w_{La}+w_Y$	$\frac{w_{La}}{w_Y}$	w_{As}	w_{Rb}	w_{Li}	w_{Cs}	w_{Sc}	$\frac{w_{K_2O}}{w_{Na_2O}}$
重要	Arp	5.10	4.10	1.24	13.0	3760	991	127	192	67.4	59.3	88.8	0.12	1.46	0.76	47.0	1.83	0.75	36.6	10.7	1.29	17.2	0.65
	Ars	3.03	0.91	3.33	15.8	3006	850	70.7	39.8	18.7	40.8	68.1	0.069	9.88	0.53	51.4	1.86	1.17	70.6	10.3	2.40	9.35	0.87
	Ptlzh	2.60	3.60	0.72	14.3	3838	889	115	112	36.2	37.7	73.0	2.60	3.60	0.72	14.3	3838	889	115	112	36.2	37.7	73.0
次要	Arm	1.00	3.10	0.32	12.8	2772	557	74.5	51.1	45.1	19.0	60.6	0.05	1.09	0.25	42.1	0.63	0.56	153	18.6	2.49	32.2	1.85
	Arb	1.60	1.40	1.14	13.1	2228	697	45.7	40.4	14.0	13.5	49.1	0.03	0.67	0.38	41.2	1.13	0.49	96.4	11.6	1.26	19.7	1.32
	Arsh	2.80	4.80	0.58	12.3	3248	600	122	66.3	37.5	20.0	88.0	0.05	0.78	0.75	32.3	0.74	0.51	62.4	30.0	4.75	22.8	0.52

注:Arp为遵化群跑马组、Ars为卢龙群司家营组、Ptlzh为朱杖子群、Arm为阜平群南营组、Arb为单塔子群、Arsh白庙组五台群上堡组地层;含量单位为 $w_{氧化物}$ /%、$w_{Au,Hg}$ /10^{-9}、$w_{其他元素}$ /10^{-6},表 2、表 3同;测试单位为河北地矿中心实验室(保定)

Cu、Zn、Au、Se的质量分数较高,Li、Rb、Cs、Sc质量分数及 $w(K_2O)/w(Na_2O)$较低,则反映出具有较大比例的基性源岩成分;较高的 $w(Sr)/w(Ba)$值反映了距陆稍远的海盆环境;较高的 $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$值反映出具有较高的氧逸度,促使 Fe^{2+}转变为 Fe^{3+}沉淀;铁矿中 As的富集是氢氧化铁吸附作用的结果,铁胶体凝聚速度(凝聚剂多少)愈快,被吸附的 As就愈多(刘英俊等,1986)。

2 中元古代沉积铁矿

2.1 地质概述

宣龙式铁矿是我国沉积型铁矿主要类型之一,赋存于中元古界长城系串岭沟组近底部,属典型的海相沉积型矿产。主要位于燕山台褶带宣龙复式向斜中。军都山岩浆岩带、太行山拱断束等构造单元也有少量分布。

宣龙式铁矿发育好的燕山西段,串岭沟组下部以砂岩、粉砂质页岩为主,底部为铁矿层,上部为黑色碳质含钾页岩及灰绿色含钾页岩,夹数层含叠层石白云岩。属大部环陆、半封闭式海湾状盆地中的滨浅海相生物化学沉积地层,厚 11～91 m;获鹿东焦相同层位铁矿岩系相变为暗紫色板状页岩 6 m、含砾粗砂岩 2 m、砂质页岩 5 m及块状赤铁矿层 2 m,为滨海泻湖相;不含铁矿层的蓟县层型串岭沟组由以灰黑色粉砂质伊利石页岩为主,夹粉砂岩和白云岩,为浅海相潮间带沉积。

2.2 地球化学特征

因宣龙式铁矿未取样,只能将成矿条件较差的获鹿东焦剖面与蓟县层型对比。两者元素含量对比(表 2):前者强烈富集 Sb、Li、B、Hg、Sr、W和 K_2O;强烈贫化的有 Zn、FeO、Na_2O、Cu、Cr、CaO、Mn、Cs、Pb、Co、Rb等。

FeO、Cu、Zn、Pb、Mn、Cr、Co等贫化可能反映了较强的氧化环境,较高的 $w(Sr)/w(Ba)$值反映出离陆地较远的海洋环境;下覆东焦群地层中 Sb、Li、B、Hg的富集与区域变质作用有关。

表 2 获鹿东焦与蓟县青山岭串岭沟组地球化学特征

地层分区	指标	w_{Sb}	w_{Li}	w_B	w_{Hg}	w_{Sr}	w_W	w_{K_2O}	w_{Rb}	w_{Ba}	w_{Co}	w_{Pb}	w_{Cs}	w_{Mn}	w_{CaO}	w_{Cr}	w_{Cu}	w_{Na_2O}	w_{FeO}	w_{Zn}
获鹿东焦	w_1	2.06	454	1218	77.9	218	2.07	5.9	47.2	178	4.8	5.83	2.78	77	0.2	23.0	10.7	0.1	0.2	7.7
蓟县青山岭	w_2	0.15	36.7	92.3	22.0	72.7	1.09	3.5	108	412	13.5	16.3	7.96	218	0.6	73.6	40.8	0.5	1.1	65.6
w_1/w_2		13.7	12.4	13.2	3.55	3.00	1.90	1.69	0.44	0.43	0.36	0.36	0.35	0.35	0.33	0.31	0.26	0.20	0.19	0.12

3 中生代燕山期接触交代型铁矿

3.1 地质概况

依成矿母岩和矿床特征的重要差异本区接触交代型铁矿可划分为邯邢式和涞源式。

邯邢式铁矿是指中生代燕山旋回幔源分异演化系列杂岩体与中奥陶统为主的碳酸盐岩接触带形成的以磁铁矿为主伴生钴铜等金属的接触交代型矿床。据河北省成矿区划资料,中奥陶统磁县组是邯邢铁矿最主要的含矿层位,拥有邯邢地区总储量的 79.7%,马家沟组和峰峰组则拥有 20.3%。

涞源式铁矿是指燕山旋回 I型花岗岩与中、上元古界碳酸盐岩接触交代形成的经常伴生铜锌钼的铁矿床,含矿围岩以高于庄组和雾迷山组最重要,常有工业价值的矿床。

3.2 控矿围岩岩石学特征

据邯邢铁矿区地质条件的研究,认为赋矿围岩对成矿作用的影响表现在以下几方面:

(1)铁矿与含膏盐岩层空间上关系密切,膏盐层是一个相对柔软的层间薄弱带,且其盐度较高,对

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

铁矿形有利;

(2)围岩中 CaO和 MgO比例对成矿产生一定影响,w(Mg)/w(Ca)为 0.4～0.14和 w(MgO)为 6%左右时,最为有利;

(3)石炭系、二叠系的砂页岩中 MgO、CaO含量极低,SiO_2、Al_2O_3含量过高,不利于交代成矿(河北省地质矿产局,1986)。

3.3 地球化学特征

本区主要碳酸盐岩地层地球化学指标特征(表3)表明,在主要与次要(或无)接触交代型铁矿围岩之间,Cl、S含量及 w(Mg)/w(Ca)值之间没有系统的相关变化趋势,这些指标难以作为灵敏的地球化学判据。其他元素含量或指标却存在系统的差异:与次要(或无)矿围岩相比,主要的铁矿围岩具有较高的[w(CaO)+w(MgO)]值,以及具有较低的 SiO_2、Al_2O_3、K_2O、Mn、Ti、P、V、Cr、Cu、Zn、Rb、Zr、Nb、Hf、Ta、Ba、Pb、REE等碎屑成分和较低的氧逸度($w_{Fe_2O_3}/w_{FeO}$)。

表 3　河北省重要和次要接触交代型铁矿赋矿围岩地球化学指标特征

	围岩地层	$w_{CaO}+w_{MgO}$	$\frac{w_{Fe_2O_3}}{w_{FeO}}$	w_{SiO_2}	$w_{Al_2O_3}$	w_{K_2O}	w_{Mn}	w_{Ti}	w_P	w_V	w_{Cr}	w_{Cu}	w_{Zn}	w_{Rb}	w_{Zr}	w_{Ba}	w_{Pb}
主要	O_2c	50.8	2.0	3.4	0.6	0.4	90	255	55	5.9	1.6	3.2	7.2	10.7	2.8	50.6	8.01
	O_2f	51.8	1.0	1.9	0.6	0.2	96	182	41	5.4	1.5	3.4	6.3	7.2	2.7	52.3	7.60
	O_2m	49.6	1.0	4.3	0.7	0.4	68	241	61	6.9	3.4	11.6	7.5	8.3	3.9	56.5	6.73
	Jxw	49.1	1.0	22.9	0.7	0.3	58	132	44	5.1	5.7	14.3	6.3	6.6	6.0	270	9.09
次要	O_2l	47.0	1.5	7.4	1.4	0.9	83	483	100	9.3	4.9	8.1	8.4	15.8	13.5	76.7	7.55
	O_1y	44.0	2.0	11.3	2.6	1.4	481	1123	347	18.2	9.6	7.5	15.6	24.9	20.8	86.6	12.3
	Є	37.5	7.7	21.0	4.7	1.6	543	1995	292	44.7	24.4	22.3	33.2	46.8	60.9	137	14.4
	Chg$k$	34.8	2.5	28.8	2.2	1.5	2170	578	201	14.7	11.5	11.7	13.6	23.9	32.3	278	11.0
	Cht	24.3	1.1	35.4	6.7	5.7	875	3182	447	69.8	28.4	16.7	13.4	63.9	83.2	177	13.4

	围岩地层	w_{Hf}	w_{Ta}	w_{La}	w_{Ce}	w_{Nd}	w_{Sm}	w_{Eu}	w_{Gd}	w_{Tb}	w_{Yb}	w_{Lu}	w_Y	δ_{Eu}	w_{CeA}
主要	O_2cfld	0.15	0.05	3.1	6.4	2.9	0.50	0.11	0.60	0.09	0.18	0.03	3.0	0.6177	0.0959
	O_2mcfld	0.15	0.08	2.3	4.6	3.0	0.40	0.07	1.00	0.06	0.25	0.03	2.0	0.3088	0.0796
	Jx$w$dl	0.20	0.07	2.1	4.3	2.2	0.30	0.07	0.40	0.06	0.14	0.03	2.0	0.6177	0.0673
次要	O_1yld	0.52	0.18	6.6	14.5	6.2	1.20	0.29	1.10	0.24	0.65	0.06	5.0	0.7788	0.2045
	Єag	3.25	0.79	19.9	39.7	20.6	4.10	1.16	2.70	0.86	2.94	0.34	27.0	1.0537	0.6354
	Єam	0.49	0.14	6.0	12.7	4.7	1.10	0.29	1.00	0.25	0.63	0.06	5.0	0.8530	0.1766
	Chg$d$l	0.80	0.12	6.9	12.7	5.4	1.00	0.22	1.00	0.18	0.59	0.07	6.0	0.6795	0.2030
	Ch$t$dl	2.29	0.53	18.8	39.3	16.0	3.30	0.80	2.60	0.49	1.77	0.24	15.0	0.8372	0.5659

注:O_2c为磁县组,O_2f为峰峰组,O_2m为马家沟组,Jxw为雾迷山组,O_2l为亮甲山组,O_1y为冶里组,Є为组寒武系,Chg$k$为高于庄组,Cht为团山子组;ld为白云质灰岩,dl为白云岩,ag泥灰岩,am灰岩;物化探所承担 Hf、Ta和稀土元素的分析测试;含量单位为 10^{-6}

在稀土元素的配分方面,前者具有较低的 Eu异常(δ_{Eu})和 Ce异常。稀土元素主要以 +3价状态出现,Eu与 Ce则有例外。在强酸性还原条件下可出现 Eu^{2+},在碱性、氧化条件下可出现 Ce^{4+},两元素的异常可帮助恢复成岩介质的氧化还原条件及物质来源。

海水中 pH值和氧分压(P_{O_2})是控制海洋碳酸岩中 Ce含量的主要因素,Ce异常可作为判别海洋 pH和 P_{O_2}变化的标志[3]。

从岩石类型和沉积环境来看,次要(或无)铁矿围岩地层(Cht、Chk、Є、O_1)以富含粉砂质、砂质、泥晶、粉晶陆源碎屑及豹皮状、泥质条带状和竹叶状构造为特征,多形成在动荡的浅水环境。主要铁矿围岩地层(O_2c、O_2f、O_2m、Jxw)多为较纯的碳酸盐岩,形成于海水加深,介质氧不充分的还原环境。

围岩较高的 Si、Al、K、Mn、Ti等碎屑成分和较高的氧逸度、Eu异常及 Ce异常,对铁的接触交代成矿作用的不利影响可推断如下:

(1)促使含铁的脉石矿物(钙镁铝硅酸盐)大量形成,导致岩浆热液中铁的浓度趋于降低;

(2)氧逸度增高,使铁多以 Fe^{3+}形式出现,易于结晶沉淀,降低其活动性,阻碍其向有利部位迁移。

最后需指出,由于涞源式铁矿的成矿作用与邯邢式有所不同(如有色金属增加),对前者不利的高于庄组对后者常常可以变得有利。

4 结论

在许多铁矿分布区,由铁元素的成矿地球化学特征所决定,很难形成可识别的区域铁地球化学异常,这就极大地限制了化探方法在找铁中的应用效

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

果。笔者提出的河北省不同类型铁矿床中出现的伴生元素的地球化学异常特征,有可能使化探方法在类似地区寻找铁矿过程中发挥一定作用。

参考文献:

[1] 戴问天. 地球化学的进步与矿床成因理论的演变 [J]. 地质与勘探, 1989 (11): 1.
[2] 张贻峡, 叶挺松, 阎鸿铨, 等. 冀东太古代地质及变质铁矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1986.
[3] 于炳松. 古海洋化学性质恢复的若干地球化学新方法 [J]. 地质地球化学, 1996 (5): 20.
[4] 宫进忠, 杨立寰, 杨书辰. 河北省化学地层研究 [J]. 物探与化探, 2003, 27 (4): 276.
[5] 刘英俊, 曹励明. 元素地球化学导论 [M]. 北京: 地质出版社, 1987.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF FERRUGINOUS ROCKS IN HEBEI PROVINCE

GONG Jin-zhong, CHU Fu-lu, LIU Zhen-dong
(Hebei Institute of Geophysical Exploration, Langfang 065000, China)

Abstract: This paper has discussed geochemical characteristics of different genetic types of ferruginous strata on the basis of achievements made in regional geochemical rock survey. In strata of important sedimentary iron deposits, the quality fractions of Al_2O_3, Ti, P, V, Cr, Ni, Cu, Zn and the $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$, $w(Sr)/w(Ba)$ and $w(La)/w(Y)$ ratios are relatively high, whereas the quality fractions of Rb, Li, Cs, Sc and $w(K_2O)/w(Na_2O)$ ratios are relatively low. The strata of marine sedimentary iron deposits are strongly enriched in Sb, Li, B, Hg, Sr and K_2O, but depleted in FeO, Na_2O, CaO, Mn, Ti, P, V, Cr, Zr, Ba. Besides, the quality fraction of REE and the $w(Fe_2O_3)/w(FeO)$ ratios are rather low. These geochemical characteristics reflect a special geological-tectonic environment.

Key words: ferruginous rock; genetic type; geochemical characteristics; Hebei Province

作者简介:宫进忠 (1962 -),男,河北迁安人。1983年毕业于中国地质大学 (武汉)勘查地球化学专业。现为河北省地球物理勘查院教授级高级工程师,主要从事区域地球化学工作。

上接 381页

Abstract: This paper presents new data processing and interpretation methods for the high-precision magnetic data in search for deep-buried minerals in crisis mines. Such means as the three-dimensional visualized inversion based on the numerical integral of 3D bodies, the weak signal identification by the wavelet analysis tools, the equivalent dipole layer method for the fast reduction of magnetic data from an undulated relief to a horizontal plane, and the transformation of to, all fall into this category. The performance of these new methods was illustrated in search for deep-buried minerals in the Daye iron mine, and a magnetite ore body more than 30m thick was discovered by the drilling along No. 15 exploration line arranged according to the authors' interpretation in 2005. The application of these new methods shows that the adoption of these new methods is essential in the continued resources exploration for crisis mines.

Key words: crisis mines; geomagnetic data processing; three-dimensional visualized inversion; wavelet analysis; the reduction of potential field to a horizontal plane using the equivalent dipole layer method; the Daye iron mine

作者简介:刘天佑 (1945 -),男,教授,从事应用地球物理教学与科研。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net