

甘肃北山狼娃山铁矿地质地球化学 特征及成因浅析

王卫伟¹, 姜修道¹, 杨镇熙², 曹佰迪³

(1. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 2. 甘肃省地矿局第四地质矿产
勘察院, 甘肃 酒泉 735000; 3. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054)

摘要:狼娃山铁矿位于红石山蛇绿岩带南侧, 矿体产于下石炭统白山组火山凝灰岩中, 属火山岩型矿床。因前人对于该矿床的基础地质研究少之又少, 因此对于矿床的勘探和进一步找矿带来了一定的难度。笔者从矿区的基础地质入手, 通过对矿区围岩、蚀变岩和矿体的微量元素、稀土元素和S同位素的研究, 探讨其矿床成因。结果表明, 从围岩到蚀变岩, 再到矿体, 较之于地壳更加富集于地幔的微量元素(Sc、Co、Ni、Cu)均数倍乃至数百倍的富集于矿石中, 而相对富集于地壳的元素(Zr、Nb、Ta、Th)则更富集于围岩和蚀变岩。根据围岩、蚀变岩和矿体的稀土元素含量及其配分图, 发现围岩和蚀变岩为右倾型, 并具有明显负Eu异常, 而矿石较特殊亏损轻稀土并具有显著的正Eu异常, S同位素结果显示 $\delta^{34}\text{S}$ 值的变化范围为 $+0.6\text{‰} \sim +3.4\text{‰}$, 平均值为 $+1.82\text{‰}$ 。北山地区在早石炭世时曾发生大规模的岩浆事件, 而同时期区域上为岛弧环境, 综上结果表明, 成矿物质来源于亏损上地幔部分熔融的含矿岩浆, 在近地表侵入下石炭统白山组沉积成矿, 据此可认为, 狼娃山铁矿为火山岩型铁矿。

关键词:地球化学特征; 成矿物质来源; 矿床成因浅析; 狼娃山铁矿; 甘肃北山

中图分类号: P618.31

文献标识码: A

文章编号: 1009-6248(2015)01-0179-12

Geological and Geochemical Characteristics and Genesis of Langwashan Iron Deposit in Beishan, Gansu Province

WANG Weiwei¹, JIANG Xiudao¹, YANG Zhenxi², CAO Baidi³

(1. College of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. No. 4 Geology and Mineral Exploration Institute, Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Jiuquan 735000, Gansu, China; 3. Xi'an Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Langwashan iron deposit locates in the south of Hongshishan ophiolite belt. The ore bodies occur in the volcanic tuff of Baishan formation of Lower Carboniferous. According to the received classification, this iron mine belongs to volcanic iron deposit. Because few basic geological researches on this iron deposit have been done before, we faced certain difficulties in exploring and finding the ore deposit. Beginning with the facts of basic geology, we studied the charac-

收稿日期: 2013-07-9; 修回日期: 2013-11-11

基金项目: 中国地质调查局专题研究“北山地区构造岩浆事件与成矿关系研究”(1212010010405)资助

作者简介: 王卫伟(1989-), 男, 陕西商洛人, 长安大学在读硕士, 主要从事矿物学研究。Email: chd211www@126.com

teristics of trace element, rare earth elements and sulfur isotope of wall rocks, altered rocks and ore body, and discussed the mineralization process. Results show that mantle trace elements (Sc, Co, Ni, Cu) tend to enrich significantly in the ore body. However, the relative crust trace elements (Zr, Nb, Ta, Th) are more inclined to enrich in the wall rocks and altered rocks. According to the REE content of wall rocks, altered rocks and ore bodies as well as the spider diagram, wall rocks and altered rocks are rich in LREEs with obvious negative Eu anomaly, whereas ore bodies especially lack LREEs with significant positive Eu anomaly. The sulfur isotope results of the ore indicate that the value of $\delta^{34}\text{S}$ varies from +0.6 ‰ to +3.4 ‰, with an average of +1.82 ‰. There have been large-scale magmatic events in Early Carboniferous in Beishan area when it is in island-arc tectonic setting. These results show that the ore-forming materials are derived from ore-bearing magma produced by partial melting of upper depleted mantle. Then the ore-forming materials intruded the Baishan Formation of Lower Carboniferous and deposited to mineralize near surface. In conclusion, Langwashan iron mine can be regarded as a volcanic type iron deposit.

Keywords: geochemical characteristics; source of ore-forming materials; deposit genesis analysis; Langwashan iron deposit; Beishan of Gansu province

北山造山带位于塔里木板块北部边缘,属于古亚洲构造区南带天山-兴安造山带中西段(杨合群等,2006)。甘肃北山早石炭世晚期,红石山洋向塔里木板块北缘发生俯冲作用,形成本区陆缘岛弧火山-沉积岩系和华力西中晚期花岗岩,以及红石山蛇绿混杂岩带(刘晓东等,2009)。何世平等(2002)划分的两条缝合带分别为红柳河-牛圈子-洗肠井蛇绿岩带和红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带的位置;哈萨克斯坦板块南缘和塔里木板块北缘均为活动大陆边缘,形成野马泉-雀儿山岛弧带和白山-狼娃山岛弧带(刘明强,2007)。

狼娃山铁矿床位于红石山蛇绿岩带南侧 10 km 处,属于甘肃北山扫子山-红石山华力西期金、铜、镍、铬、铁成矿带(张发荣等,2003)的一中等规模的火山岩型铁矿床。前人曾对狼娃山铁矿床进行过一定的调查研究工作,但是一般都集中在找矿找矿勘探上面,具体到矿区、矿体详细的地质特征等方面的研究较少,可以查阅的文献只有 1:25 万红宝石幅区调报告和狼娃山铁矿控矿构造分析(潘仇等,1981)。

笔者在经过区域和矿区详细的野外工作和室内研究的基础上,对狼娃山铁矿的地球化学特征和成因进行了初步的探讨(图 1)。

1 矿区地质特征

矿区出露地层主要为下石炭统白山组中-酸性火山岩、硅质板岩和第四系松散沉积物。矿区的火山岩主要为晶屑凝灰岩、岩屑晶屑凝灰岩、钾化晶屑凝灰岩和硅质板岩(图 2)。

1.1 矿区构造

根据矿区矿体地表出露走向及糜棱岩的糜棱面理方向,矿区主要厘定出 3 条构造带,分别为东西向构造、北西西向构造和北西西向构造。

(1)东西向构造。主要为东西向压扭性构造,在矿区由一系列疏密不等的压性劈理、挤压破碎带、压性及压性兼具扭性断裂组成。

(2)北西西向构造。矿区内大部分矿体的走向与该套构造线一致,在矿区内亦见有北西西向的一组压性兼扭性断裂。

(3)北东向构造。在矿区主要表现为规模较大的断裂,呈 $55^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 方向展布,断裂带长可达数千米至数十千米。

1.2 矿体特征

区内主要的矿体都是呈似层状,少量为透镜状、

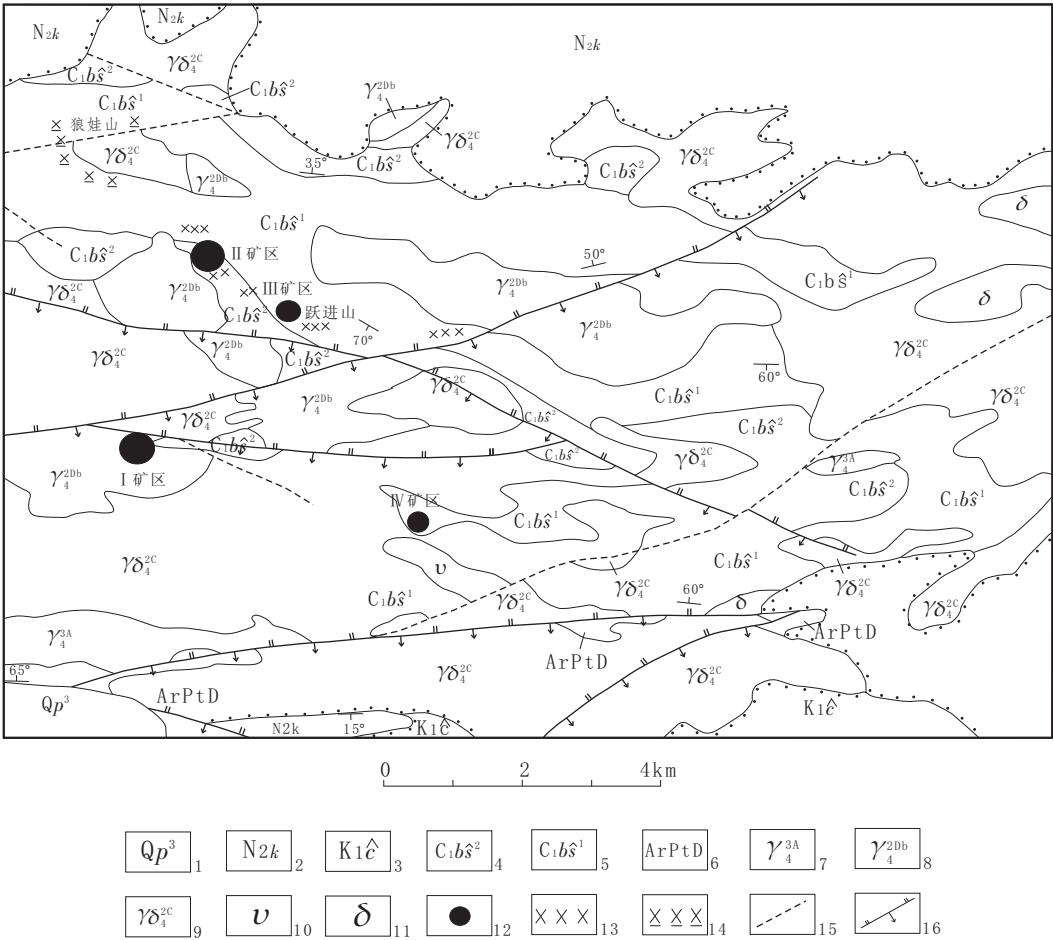
脉状等(图 2、图 3)。矿体走向多呈 100°~130°近东西方向。地表矿体大部分南倾,倾角较陡,多在 60°~75°,隐伏矿体大多北倾,倾角多为 50°~80°,地表矿体规模为中等或较小,长为 25~70 m,厚度为 2.25~14.85 m;隐伏矿体一般长 100~260 m,厚 1.13~11.69 m,最大厚度 28.95 m,延深(垂深)145~200 m。

1.3 矿石特征

狼娃山铁矿床主要为磁铁矿矿石,金属矿物成分

主要为磁铁矿、穆磁铁矿及少量的黄铁矿。非金属矿物成分主要为石榴子石、阳起石、钾长石、绿帘石矿物及石英等。

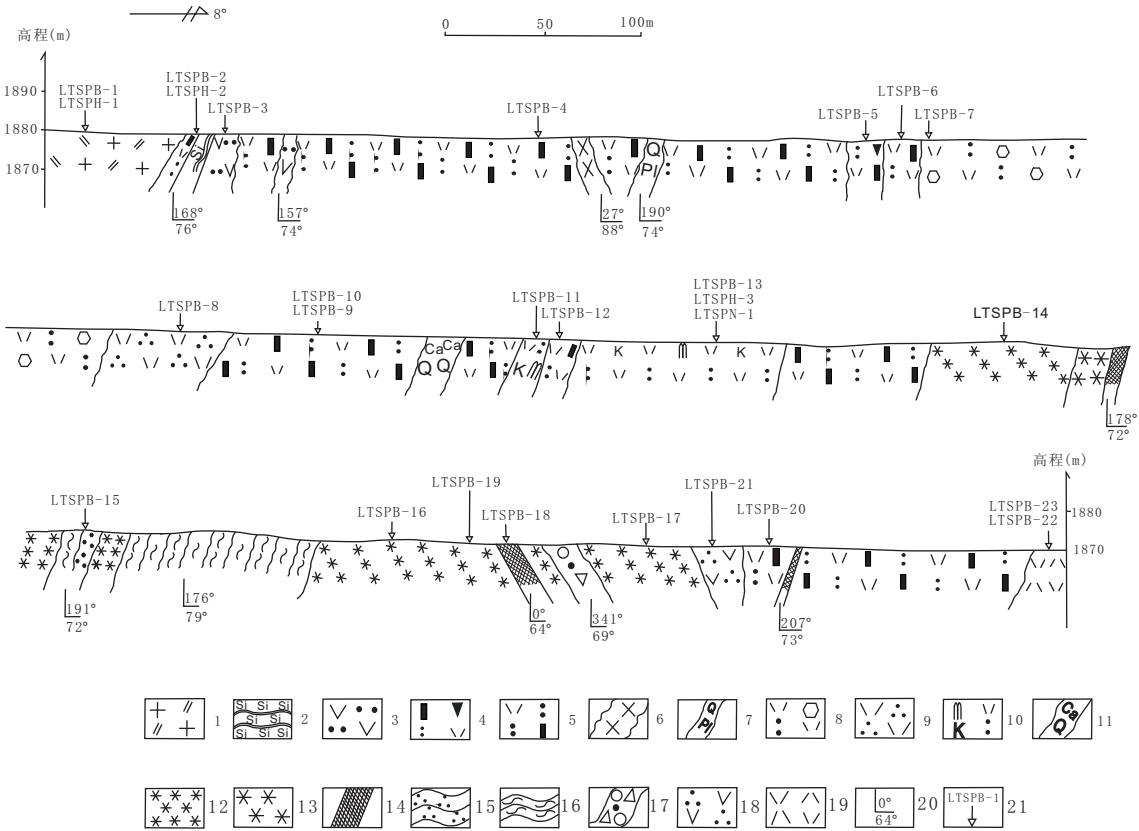
磁铁矿是矿石的最主要组成部分,呈半自形、他形,中、细粒粒状结构,粒径 0.3~0.8 mm 均匀分布。穆磁铁矿主要呈两种形态,一种为呈自形、半自形针状集合体,长为 0.3~0.6 mm,宽为 0.02~0.05 mm;另一种为呈自形、半自形的长柱状,长为 0.5~0.8 mm,宽为 0.08~0.12 mm 或长为 1.1~1.6 mm,宽



1. 第四系松散-半胶结砂砾岩;2. 石炭系白山组上亚组硅质板岩;3. 石炭系白山组下亚组酸性火山岩;
4. 华力西晚期花岗岩、钾长花岗岩;5. 华力西中期中细粒二长花岗岩,华力西中期花岗岩闪长岩;6. 新近系苦泉组砖红色粉砂岩;7. 白垩系赤金堡组灰黄色砂砾岩、粉砂质泥岩;8. 太古宙早元古代敦煌岩群片麻岩、片岩、石英岩夹硅质大理岩;9. 辉长岩;10. 闪长岩;11. 闪长玢岩;12. 铁矿点;13. 砂卡岩化;14. 青磐岩化;15. 实测及推测断层;16. 逆断层

图 1 狼娃山铁矿-矿区区域地质图(陈永全等,2011)

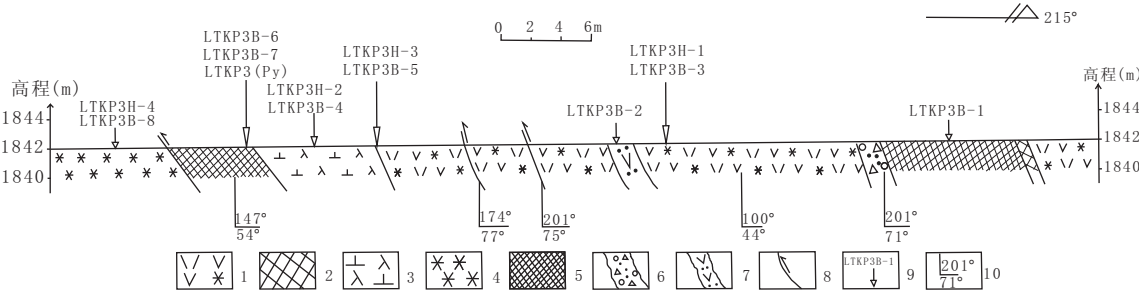
Fig. 1 Geological map of Langwashan iron deposit(Modified from iron deposit report, Chen Yongquan and Lu Shenzhang, 2011)



1. 二长花岗岩;2. 硅质板岩;3. 中性岩脉;4. 岩屑晶屑凝灰岩;5. 晶屑凝灰岩;6. 辉绿岩脉;7. 长英质岩脉;8. 石榴子石化凝灰岩;9. 石英斑岩;10. 钾化熔结凝灰岩;11. 石英碳酸盐脉;12. 强蚀变岩;13. 弱蚀变岩;14. 矿体;15. 石英片岩;16. 绿泥石片岩;17. 构造岩;18. 次生石英岩;19. 流纹岩;20. 产状;21. 采样点及样片编号

图 2 狼娃山铁矿 130 勘探线剖面图

Fig. 2 Crosssection along 130 exploration line of Langwashan iron deposit



1. 蚀变英安岩;2. 矽卡岩;3. 闪长玢岩;4. 蚀变岩;5. 矿体;6. 构造岩;7. 中性岩脉;8. 断层;9. 采样点及样片编号;10. 产状

图 3 狼娃山铁矿 110 勘探线剖面图

Fig. 3 Crosssection along 110 exploration line of Langwashan iron deposit

为 0.2~0.4 mm 的板状;黄铁矿主要为半自形或他形状呈脉状或浸染状穿插在块状磁铁矿或穆磁铁矿中,大小为 0.2~0.8 mm 不等,部分为单个或几个

半自形或他形粒状黄铁矿分布于磁铁矿或穆磁铁矿晶隙间,大小一般为 0.4~2 mm,差异较大。其中部分黄铁矿包含穆磁铁矿,或交代透明矿物呈自形

晶存在于较大的自形穆磁铁矿晶隙之间,说明黄铁矿晚于穆磁铁矿形成的。

石榴子石呈中、细粒结构,矿石中多呈数毫米的黑红色粗粒自形晶,不规则的团块状或块状。镜下观察到石榴石成团块状或浸染状,规则的自形晶,正交偏光镜下全消光,部分石榴子石矿物周围发生强烈的矿化;阳起石呈毛发状、针状自形晶集合体,长为 0.2~0.4 mm,与绿帘石共存;钾长石呈团块状或浸染状普遍存在于矿体及围岩中,呈半自形、他形,为钾长石化产物;绿帘石在矿体及围岩中都有发育,主要呈他形粒状,团块状或浸染状存在,粒度 0.05~0.4 mm 大小不等。

2 矿床地球化学特征

2.1 微量元素地球化学特征

由狼娃山铁矿床的围岩、蚀变岩和矿石微量元素含量(表 1)可以看出,围岩、蚀变岩和矿体整体上表现为 Ga、Sr、Y、Cd 富集倍数为数倍,而元素 Be、Rb、Zr、Nb、In、Cs、Ba、Hf、Ta、Pb、Th、U 的富集倍数则为数十倍甚至有达百倍。表现为负异常的元素有:Sc、Cr、Co、Ni,其中 Sc、Co 亏损倍数为数倍,Cr、Ni 亏损倍数平均达百倍。围岩、蚀变岩,矿石的蛛网图(图 4)在形态上基本相似,没有特别明显的富集和亏损之间的转变。

表 1 狼娃山铁矿床围岩、蚀变岩和矿石微量元素含量表(10⁻⁶)

Tab. 1 Trace element contents of hosted, altered rocks and ore body of Langwashan iron deposit(10⁻⁶)

样品编号	岩性	Li	Be	Sc	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y
LTKP3H-1	蚀变英安岩	15.22	0.77	10.46	18.37	16.64	29.43	211.0	46.78	21.33	10.08	78.06	12.44
LTKP3H-3	蚀变英安岩	17.58	0.59	15.81	353.50	30.15	119.7	41.88	86.63	20.95	4.63	7.08	12.27
LTKP3H-4	强蚀变岩	0.11	0.78	5.54	13.53	32.95	13.90	45.41	62.34	12.49	21.19	43.65	3.08
LTKP6H-2	强蚀变英安岩	0.18	1.09	6.48	46.15	4.16	9.49	49.26	48.30	13.42	24.36	25.07	10.76
LTKP6H-3	矽卡岩	6.33	0.58	6.09	83.21	5.55	54.99	31.86	126.27	13.18	83.94	34.75	17.81
SEYH-1	弱蚀变岩	9.38	1.26	11.28	63.26	15.40	76.26	432.2	66.85	26.14	28.18	202.75	32.91
SEYH-2	强蚀变岩	10.90	1.18	14.90	16.95	5.10	5.52	45.61	37.52	17.61	139.74	159.82	27.04
SEYH-4	强蚀变岩	9.33	0.88	34.39	13.07	37.81	17.13	41.00	103.57	20.59	15.74	416.98	27.30
SEYH-5	弱蚀变岩	6.73	1.16	12.01	9.64	7.60	6.61	12.80	44.67	12.99	151.78	230.54	18.94
ZKH-1	弱蚀变岩	0.11	1.34	11.65	87.51	8.36	11.88	36.37	30.31	16.63	28.67	62.97	19.87
ZKH-2	强蚀变岩	3.80	1.36	9.68	14.23	10.03	10.43	16.06	35.59	17.66	85.45	66.42	19.16
ZKH-4	强蚀变岩	4.78	0.65	5.85	17.29	114.1	112.8	72.00	57.89	21.25	116.18	85.22	16.74
ZKH-5	弱蚀变岩	3.31	0.95	9.01	25.12	55.00	60.47	59.04	54.70	16.16	165.86	165.99	29.75
LTSPH-3	蚀变英安岩	1.52	1.89	3.20	16.61	2.52	6.68	5.16	14.01	13.48	34.98	48.50	22.74
LTKP1H-1	弱蚀变凝灰岩	3.05	0.30	3.41	11.74	6.28	3.96	18.11	14.68	12.52	165.31	47.31	11.25
LTKP1H-2	弱蚀变凝灰岩	3.68	0.67	2.39	46.34	11.35	2.76	52.35	15.87	10.99	173.98	43.95	9.90
LTKP1H-3	弱蚀变岩岩	3.81	0.30	3.26	10.21	29.93	5.18	213.6	24.06	10.00	178.80	45.96	7.43
LTKP1H-4	蚀变凝灰岩	7.82	0.94	9.12	15.30	25.06	13.95	477.2	145.08	18.49	121.28	76.05	31.38
LTKP1H-6	强蚀变岩	1.48	1.00	9.09	39.93	76.61	39.30	346.9	91.85	28.61	35.83	176.19	27.49
LTKP1H-9	矽卡岩	0.32	0.51	13.34	47.06	7.87	5.52	132.3	54.07	28.42	100.73	149.49	15.87
LTKP1H-10	强蚀变岩	5.45	0.67	12.73	39.69	43.62	7.73	189.2	53.88	20.70	128.80	100.60	34.62
LTKP1H-11	蚀变英安质熔岩	7.07	0.61	12.13	5.62	6.81	2.17	18.96	58.56	16.44	109.36	56.37	24.01
LTKP1H-5	蚀变闪长岩	3.25	0.98	10.31	37.02	8.49	11.77	28.79	30.92	12.88	74.67	45.03	18.90
LTSPH-2	英安岩	9.78	2.27	12.42	82.07	9.47	45.34	23.32	12.18	18.26	82.00	96.93	28.31

续表 1

样品编号	岩性	Li	Be	Sc	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y
LTKP3H-2	闪长玢岩	0.24	1.05	4.97	14.82	7.86	9.11	50.03	27.62	13.39	58.88	54.62	14.89
LTKP6B-1a	闪长玢岩	5.39	0.84	4.61	13.58	2.00	6.81	3.08	11.82	14.80	119.62	43.69	19.32
SEYH-3	磁铁矿矿石	1.94	0.37	6.37	28.12	4.93	7.60	11.07	17.66	13.09	7.25	80.75	34.59
LTKP1H-7	含硫化物磁铁矿	1.64	1.25	2.58	10.55	250.65	229.09	512.54	76.20	11.94	16.88	28.11	32.35
LTKP1H-8	含硫化物磁铁矿	1.08	1.42	2.13	12.74	8.88	6.56	188.47	72.11	19.61	7.99	18.44	8.01

样品编号	岩性	Zr	Nb	Cd	In	Cs	Ba	Hf	Ta	Pb	Th	U
LTKP3H-1	蚀变英安岩	105.39	4.35	0.07	0.88	0.77	31.08	2.21	0.22	1.67	2.65	1.80
LTKP3H-3	蚀变英安岩	92.96	3.75	0.04	0.31	0.88	12.00	1.98	0.20	1.26	1.30	3.15
LTKP3H-4	强蚀变岩	217.62	10.66	0.16	0.05	0.48	168.71	4.83	0.65	18.89	5.55	4.90
LTKP6H-2	强蚀变英安岩	151.23	7.74	0.10	0.08	0.84	78.71	3.61	0.52	3.13	6.60	2.67
LTKP6H-3	矽卡岩	131.20	6.26	0.27	0.10	0.69	614.71	3.20	0.49	159.26	7.18	2.03
SEYH-1	弱蚀变岩	136.66	10.34	0.15	0.41	0.91	78.45	3.33	0.62	4.21	9.31	3.12
SEYH-2	强蚀变岩	356.21	10.22	0.17	0.33	7.09	181.62	6.93	0.51	2.63	7.07	5.86
SEYH-4	强蚀变岩	110.93	4.37	0.07	0.08	0.62	105.34	2.33	0.20	4.54	1.11	0.47
SEYH-5	弱蚀变岩	202.95	5.76	0.08	0.09	1.56	512.65	4.54	0.46	10.15	2.18	4.96
ZKH-1	弱蚀变岩	136.17	7.32	0.06	0.09	1.41	62.83	3.10	0.42	2.71	4.87	2.44
ZKH-2	强蚀变岩	160.25	5.56	0.07	0.25	1.99	706.59	3.93	0.44	9.02	7.15	4.40
ZKH-4	强蚀变岩	147.07	6.60	0.08	0.66	2.08	145.24	3.17	0.44	2.55	14.68	5.68
ZKH-5	弱蚀变岩	130.43	7.86	0.09	0.66	2.48	545.43	3.30	0.61	4.82	10.96	7.37
LTSPH-3	蚀变英安岩	200.93	9.56	0.06	0.03	1.23	372.85	5.28	0.80	2.51	7.66	2.55
LTKP1H-1	弱蚀变凝灰岩	101.55	5.97	0.06	0.03	0.81	882.92	2.71	0.52	8.43	7.10	1.93
LTKP1H-2	弱蚀变凝灰岩	111.54	5.45	0.09	0.03	0.90	886.08	2.82	0.45	3.97	7.06	1.29
LTKP1H-3	弱蚀变岩	115.88	5.43	0.05	0.08	0.82	930.04	2.83	0.44	4.54	7.69	1.29
LTKP1H-4	蚀变凝灰岩	247.13	10.78	0.22	0.23	1.42	1317.93	5.92	0.87	5.25	9.50	4.21
LTKP1H-6	强蚀变岩	156.52	9.46	0.21	1.19	1.28	395.81	3.66	0.51	20.13	9.36	6.20
LTKP1H-9	矽卡岩	138.39	9.51	0.11	0.98	0.59	960.70	3.36	0.54	7.84	8.52	6.65
LTKP1H-10	强蚀变岩	188.78	8.64	0.22	0.32	1.65	1118.04	4.32	0.53	12.36	8.04	3.39
LTKP1H-11	蚀变岩英安质熔岩	232.62	9.78	0.13	0.06	0.66	728.29	5.27	0.62	8.54	6.60	2.42
LTKP1H-5	蚀变闪长岩	152.50	4.52	0.06	0.11	0.44	1062.10	3.68	0.33	6.51	4.24	1.81
LTSPH-2	英安岩	206.75	16.22	0.11	0.02	4.21	303.69	4.91	0.99	1.82	9.80	2.16
LTKP3H-2	闪长玢岩	204.14	7.13	0.13	0.17	0.84	361.04	4.70	0.52	4.94	6.74	2.42
LTKP6B-1a	闪长玢岩	166.60	9.13	0.02	0.04	1.04	939.44	4.60	0.74	3.28	7.56	2.14
SEYH-3	磁铁矿矿石	53.40	2.94	0.04	0.74	0.48	15.52	1.06	0.12	1.29	0.72	3.61
LTKP1H-7	含硫化物磁铁矿	27.29	3.18	0.22	1.38	3.02	24.07	0.65	0.15	76.63	1.12	4.15
LTKP1H-8	含硫化物磁铁矿	31.02	0.56	0.07	0.27	0.58	8.16	0.65	0.04	1.72	0.58	4.38

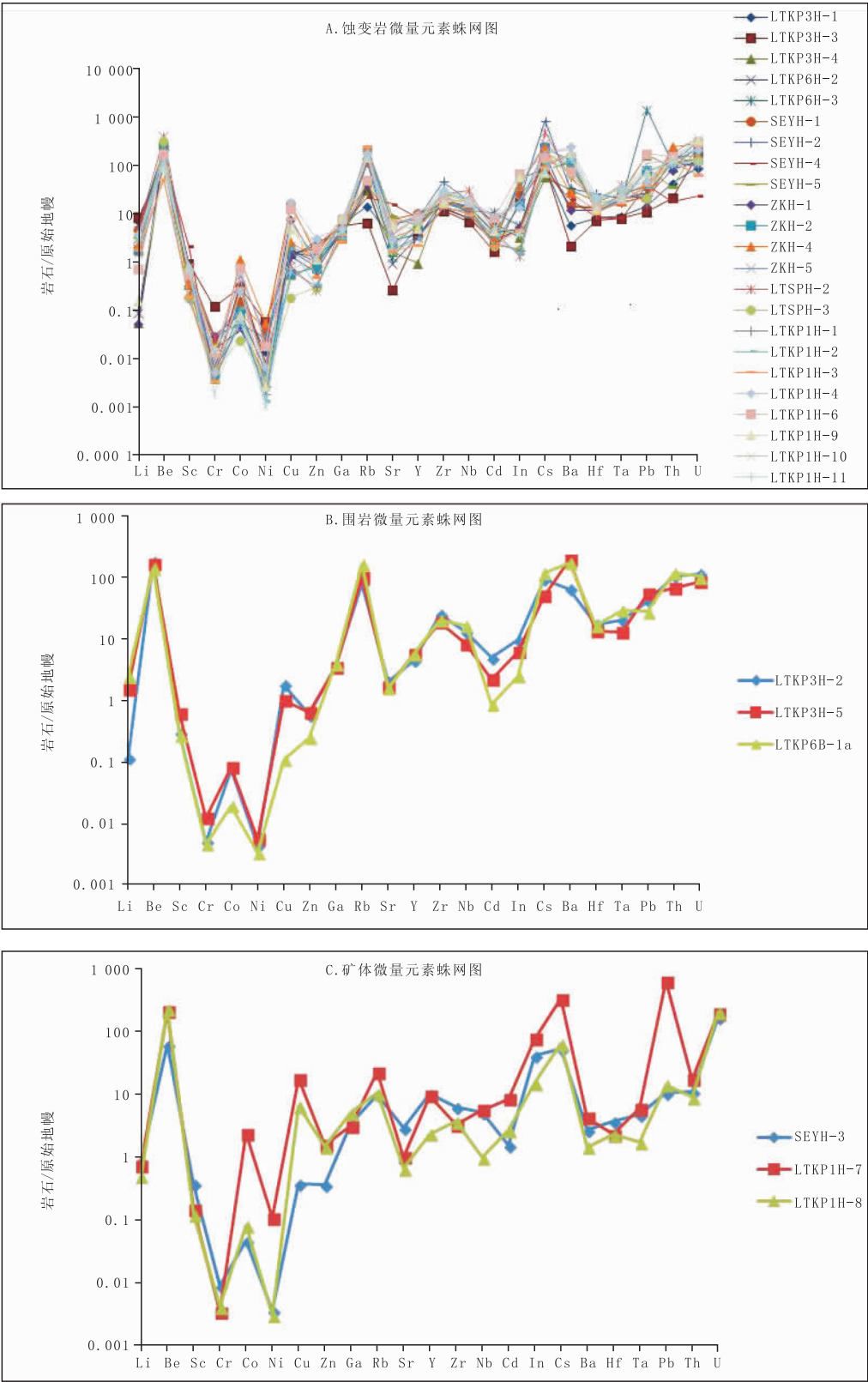


图 4 狼娃山铁矿蚀变岩、围岩和矿体的微量元素原始地幔标准化蛛网图

Fig. 4 Protomantle-normalized distribution patterns of trace element of altered rocks, hosted and ore body of Langwashan iron deposit

2.2 稀土元素地球化学特征

和特征参数见表 2,其球粒陨石(26 个球粒陨石平狼娃山铁矿围岩、蚀变岩和矿石稀土元素含量均值,赵振华,1982)标准化配分曲线如图 5 所示。

表 2 狼娃山铁矿围岩、蚀变岩和矿石稀土元素含量和特征参数表(10⁻⁶)

Tab. 2 REE contents and characteristice parameters of hosted, altered rocks and ore body of Langwashan iron deposit(10⁻⁶)

样品号	LTKP3H-1	LTKP3H-3	LTKP3H-4	LTKP6H-2	LTKP6H-3	SEYH-1	SEYH-2	SEYH-4	SEYH-5	ZKH-1
岩性	蚀变英安岩	蚀变英安岩	强蚀变岩	强蚀变英安岩	矽卡岩	弱蚀变岩	强蚀变岩	强蚀变岩	弱蚀变岩	弱蚀变岩
La	32.13	3.98	4.21	1.91	21.32	81.30	78.98	11.93	11.32	10.08
Ce	56.55	7.77	10.86	6.82	39.41	157.44	134.90	25.52	20.88	22.10
Pr	6.51	1.04	0.95	1.08	5.20	17.38	13.68	3.82	2.72	2.87
Nd	21.86	4.82	3.59	6.07	18.27	62.24	49.64	17.18	10.70	11.91
Sm	3.23	1.49	0.75	2.05	3.30	10.58	7.40	4.26	2.26	3.07
Eu	1.00	0.86	0.14	0.43	0.49	1.80	1.75	1.48	0.78	1.26
Gd	2.73	1.94	0.68	2.22	3.13	8.82	6.27	4.81	2.54	3.42
Tb	0.35	0.36	0.10	0.37	0.48	1.11	0.82	0.79	0.41	0.59
Dy	1.93	2.23	0.56	2.03	2.77	5.49	4.53	4.61	2.63	3.47
Ho	0.41	0.46	0.13	0.44	0.61	1.09	0.95	1.01	0.63	0.75
Er	1.17	1.27	0.38	1.15	1.74	2.83	2.62	2.73	1.88	2.02
Tm	0.17	0.19	0.06	0.17	0.27	0.38	0.37	0.38	0.28	0.29
Yb	1.19	1.23	0.40	1.09	1.79	2.29	2.38	2.47	1.91	1.85
Lu	0.20	0.19	0.08	0.16	0.28	0.33	0.36	0.38	0.31	0.28
ΣREE	129.43	27.82	22.89	25.98	99.06	353.07	304.65	81.36	59.25	63.96
LREE/HREE	14.88	2.54	8.56	2.41	7.95	14.80	15.65	3.74	4.59	4.05
(La/Yb) _N	18.18	2.19	7.07	1.18	8.04	24.02	22.41	3.27	4.01	3.68
(La/Sm) _N	6.27	1.68	3.55	0.59	4.06	4.84	6.71	1.76	3.15	2.07
(Gd/Yb) _N	1.85	1.28	1.38	1.65	1.42	3.13	2.13	1.58	1.08	1.50
(La/Lu) _N	16.91	2.20	5.57	1.20	7.84	25.22	22.98	3.23	3.81	3.71
δEu	1.00	1.54	0.58	0.61	0.46	0.55	0.77	0.99	0.99	1.18
δCe	0.88	0.88	1.23	1.09	0.86	0.94	0.89	0.88	0.86	0.95

样品号	ZKH-2	ZKH-4	ZKH-5	LTSPH-3	LTKP1H-1	LTKP1H-2	LTKP1H-3	LTKP1H-4	LTKP1H-6	LTKP1H-9
岩性	强蚀变岩	强蚀变岩	弱蚀变岩	蚀变英安岩	弱蚀变岩	弱蚀变岩	弱蚀变岩	弱蚀变岩	强蚀变岩	矽卡岩
La	75.71	19.28	6.65	12.07	18.78	14.24	14.15	13.75	155.1	86.82
Ce	137.13	35.83	12.14	27.77	30.55	19.97	36.47	24.88	260.0	152.49
Pr	14.43	4.33	1.49	3.41	4.17	3.37	3.04	4.28	25.9	15.75
Nd	50.95	15.46	6.32	14.27	14.20	12.03	10.27	17.77	86.0	56.58
Sm	7.73	3.23	2.26	3.51	2.63	2.16	1.85	4.21	11.9	8.47
Eu	1.45	1.06	1.44	0.80	0.63	0.51	0.35	0.82	3.1	2.57
Gd	6.09	3.32	3.74	4.25	2.55	1.92	1.58	4.73	8.1	6.43
Tb	0.73	0.49	0.73	0.75	0.39	0.30	0.24	0.80	0.9	0.72
Dy	3.46	2.75	4.48	4.47	2.08	1.68	1.43	4.79	4.4	3.30
Ho	0.69	0.56	1.05	0.95	0.43	0.37	0.32	1.09	0.9	0.64
Er	1.83	1.55	2.95	2.56	1.19	1.08	0.94	3.15	2.6	1.69

续表 2										
样品号	ZKH-2	ZKH-4	ZKH-5	LTSPH-3	LTKP1H-1	LTKP1H-2	LTKP1H-3	LTKP1H-4	LTKP1H-6	LTKP1H-9
岩性	强蚀变岩	强蚀变岩	弱蚀变岩	蚀变英安岩	弱蚀变岩	弱蚀变岩	弱蚀变岩	弱蚀变岩	强蚀变岩	砂卡岩
Tm	0.27	0.22	0.43	0.36	0.18	0.17	0.16	0.48	0.4	0.24
Yb	1.79	1.44	2.83	2.40	1.28	1.16	1.08	3.34	2.3	1.61
Lu	0.28	0.23	0.44	0.35	0.22	0.19	0.17	0.56	0.3	0.26
ΣREE	302.53	89.77	46.95	77.92	79.28	59.16	72.05	84.65	562.04	337.57
LREE/HREE	18.99	7.49	1.82	3.84	8.53	7.60	11.17	3.47	27.07	21.67
(La/Yb) _N	28.59	9.03	1.59	3.40	9.89	8.29	8.88	2.78	45.03	36.40
(La/Sm) _N	6.17	3.76	1.85	2.16	4.49	4.15	4.82	2.06	8.22	6.45
(Gd/Yb) _N	2.76	1.87	1.07	1.44	1.61	1.34	1.19	1.15	2.83	3.23
(La/Lu) _N	27.63	8.62	1.56	3.55	8.93	7.78	8.59	2.57	47.11	35.06
δEu	0.63	0.98	1.50	0.63	0.74	0.75	0.61	0.56	0.91	1.03
δCe	0.92	0.89	0.88	1.00	0.78	0.66	1.26	0.76	0.89	0.91

样品号	LTKP1H-10	LTKP1H-11	LTKP1H-5	LTSPH-2	LTKP3H-2	LTKP6B-1a	SEYH-3	LTKP1H-7	LTKP1H-8
岩性	强蚀变岩	蚀变岩	蚀变闪长岩	英安岩	闪长玢岩	闪长玢岩	磁铁矿矿石	含硫化物 磁铁矿	含硫化物 磁铁矿
La	89.63	24.31	9.85	18.79	8.35	16.97	2.56	2.22	1.70
Ce	154.79	45.07	19.97	37.61	17.22	30.97	4.81	4.26	2.81
Pr	16.43	6.30	2.59	5.18	1.84	4.20	0.62	0.58	0.31
Nd	60.79	22.73	11.04	19.39	6.88	16.35	3.12	3.37	1.35
Sm	9.27	4.75	2.83	4.02	1.43	3.49	1.56	2.52	0.58
Eu	2.18	0.77	0.84	0.75	0.35	0.72	1.12	2.68	0.64
Gd	7.72	5.27	3.30	4.22	1.72	3.63	2.79	5.00	1.08
Tb	1.08	0.88	0.58	0.72	0.31	0.62	0.58	0.93	0.20
Dy	6.03	4.94	3.49	4.45	2.15	3.75	4.07	5.49	1.25
Ho	1.31	1.01	0.80	1.03	0.55	0.83	1.09	1.13	0.27
Er	3.59	2.61	2.22	2.91	1.74	2.39	3.36	2.77	0.72
Tm	0.50	0.39	0.33	0.42	0.28	0.35	0.52	0.36	0.10
Yb	3.09	2.51	2.14	2.77	2.04	2.36	3.45	2.12	0.65
Lu	0.44	0.40	0.34	0.42	0.34	0.38	0.52	0.31	0.10
ΣREE	356.86	121.92	60.31	102.68	45.21	86.99	30.18	33.75	11.75
LREE/HREE	14.01	5.77	3.57	5.07	3.95	5.08	0.84	0.86	1.69
(La/Yb) _N	19.61	6.55	3.11	4.59	2.77	4.86	0.50	0.71	1.76
(La/Sm) _N	6.08	3.22	2.19	2.94	3.66	3.06	1.03	0.56	1.86
(Gd/Yb) _N	2.03	1.71	1.25	1.23	0.69	1.25	0.66	1.91	1.34
(La/Lu) _N	21.08	6.32	3.02	4.61	2.52	4.68	0.51	0.75	1.80
δEu	0.77	0.47	0.84	0.55	0.68	0.61	1.61	2.26	2.45
δCe	0.89	0.84	0.91	0.88	0.99	0.84	0.87	0.86	0.85

ΣREE、LREE/HREE、δCe 均表现出由蚀变岩到围岩,再到矿石逐渐减小的规律,δEu 则表现为从围岩到蚀变岩,再到矿石逐渐增加的规律。围岩和蚀变岩均为轻稀土相对富集的右倾型。轻稀土元素内部发生了较强的分异,为较陡的右倾型(图 5A、图

5B)。重稀土元素内部发生了微弱的分异,中等程度到微弱的负 Eu 异常和微弱的负 Ce 异常;矿石则表现出与围岩和蚀变岩迥然不同的特点:重稀土元素分异较低,所以斜率较低轻,而轻稀土元素为整体向左倾中部明显下凹型(图 5C)。ΣREE 含量低,

轻、重稀土分异较弱,具有较高的正 Eu 异常和较弱的负 Ce 异常。

3 成矿物质来源

3.1 微量元素特征

根据微量元素含量数据按围岩、蚀变岩和矿体 3 类分别计算各元素的平均值元素 Co、Ni、Cu、In、Pb、U 从围岩到蚀变岩再到矿体含量显著增加,表明这些元素是由矿浆带来的矿浆较富含这些元素。Co、Ni、Cu3 种元素在地幔中的含量较之于地壳明显富集,说明成矿物质来源与地幔关系密切。据 Taylor et al. , 1985,GERM,1998 数据,在大陆上地壳 Th/U 值为 $3.82[(10.7 \times 10^{-6})/(2.8 \times 10^{-6})]$,在大洋地壳 Th/U 值为 $2.20[(0.22 \times 10^{-6})/(0.10 \times 10^{-6})]$,大于大陆地壳中的 Th/U 值。笔者通过计算 Th/U 从围岩到蚀变岩再到矿体分别为 3.58、1.94、0.20,也说明成矿物质来于地幔部分熔融而上涌的岩浆。

3.2 稀土元素特征

通常借助热液矿物(如石英、黄铁矿、萤石等)的稀土元素特征来探讨成矿物质可能的来源(Philip R Whitney,et al. ,1998)。此外,还可以根据稀土元素的异常来判断物质来源的深浅。由于稀土元素在大多数情况下为不相容元素,在岩浆结晶过程中易保存在残余流体相中(酸性岩体除外),所以对于深部形成的的热液流体(地幔源)其稀土元素总量较低,轻重稀土元素分异弱(赵振华,1997)。因此可以通过热液矿物中稀土总量的大小和轻、重稀土元素分异程度(刘家军等,2000;王丽娟等,2003)来判断成矿流体的来源的深度。根据围岩、蚀变岩和矿体的稀土元素含量(表 2)及其配分图,发现围岩和蚀变岩(图 5A、图 5B)为右倾型,并具有明显负 Eu 异常,而矿石较特殊(图 5C),稀土元素为 $11.75 \times 10^{-6} \sim 33.75 \times 10^{-6}$,平均为 25.23×10^{-6} ,平均 LREE/HREE=1.13,数据表明矿石的稀土总量较低,轻、重稀土分异不明显。由此可知成矿物质来源于地幔部分熔融的岩浆。

3.3 S 同位素特征

研究表明:矿床中硫的来源是多样的,主要分为 3 类:①地幔硫。地幔是许多重要成矿物质的源区,根据陨石以及各种来源于地幔的镁铁质-超镁铁质

演示的研究认为,其 $\delta^{34}S$ 接近于 0,并且变化范围很小。②地壳硫。在沉积作用、变质作用和岩浆作用及表生作用中,地壳物质的硫同位素组成变化很大。③混合硫。地幔来源的岩浆在上升侵位的过程中混染了地壳物质,各种硫源的同位素相互混合(韩咏文等,2003)。笔者在本次工作中共分析测试的狼娃山铁矿床中硫同位素值 5 个,测试对象均为黄铁矿样,其中 4 个取自含黄铁矿磁铁矿矿石中,1 个取自蚀变岩(表 3)。测试结果为: $\delta^{34}S$ 值的变化范围在 $+0.6\text{‰} \sim +3.4\text{‰}$,极差为 $+2.8\text{‰}$,平均值为 $+1.82\text{‰}$,在一个比较在的变化范围内,显示了硫同位素组成在测试的样品中比较稳定。因此,结合上述理论依据得出,硫来源于岩浆热液即来源于来自上地幔的岩浆,在向地壳上升运移过程中,混染了地壳 S。

表 3 狼娃山铁矿黄铁矿硫同位素组成表

Tab.3 Sulfur isotope composition of pyrite from the Langwashan iron deposit

序号	样品原号	岩性	检测结果
			$\delta^{34}S \text{ V-CDT}(\text{‰})$
1	Py4	黄铁矿	0.6
2	LTKP1(Py)	黄铁矿	1.5
3	LTKP3(Py)	黄铁矿	2.9
4	LTKP6(Py)	黄铁矿	0.7
5	SEY(Py)	黄铁矿	3.4

4 结论

根据矿区围岩、蚀变岩和矿石的稀土、微量元素数据及配分曲线,硫同位素的研究,发现成矿岩浆来源于地幔。北山区域上为哈萨克斯坦板块和塔里木板块碰撞的缝合带,矿区处于骆驼山-红石山-黑鹰山深大断裂南部 20 km,早石炭世发生了规模巨大的构造岩浆事件,大量的安山质和英安质岩浆喷出,前人研究认为该区喷发相火山岩具有典型的岛弧火山岩的特点(聂凤君等,2002)。根据火山岩型铁矿成矿模型(汪邦耀,2011)、狼娃山铁矿构造和岩浆条件均符合该成矿模型。由此可知,狼娃山铁矿成矿物质来源与亏损上地幔部分熔融的含矿岩浆在近地表侵入下石炭统扫子山组沉积成矿,据此可认为,狼娃山铁矿为火山岩型铁矿。

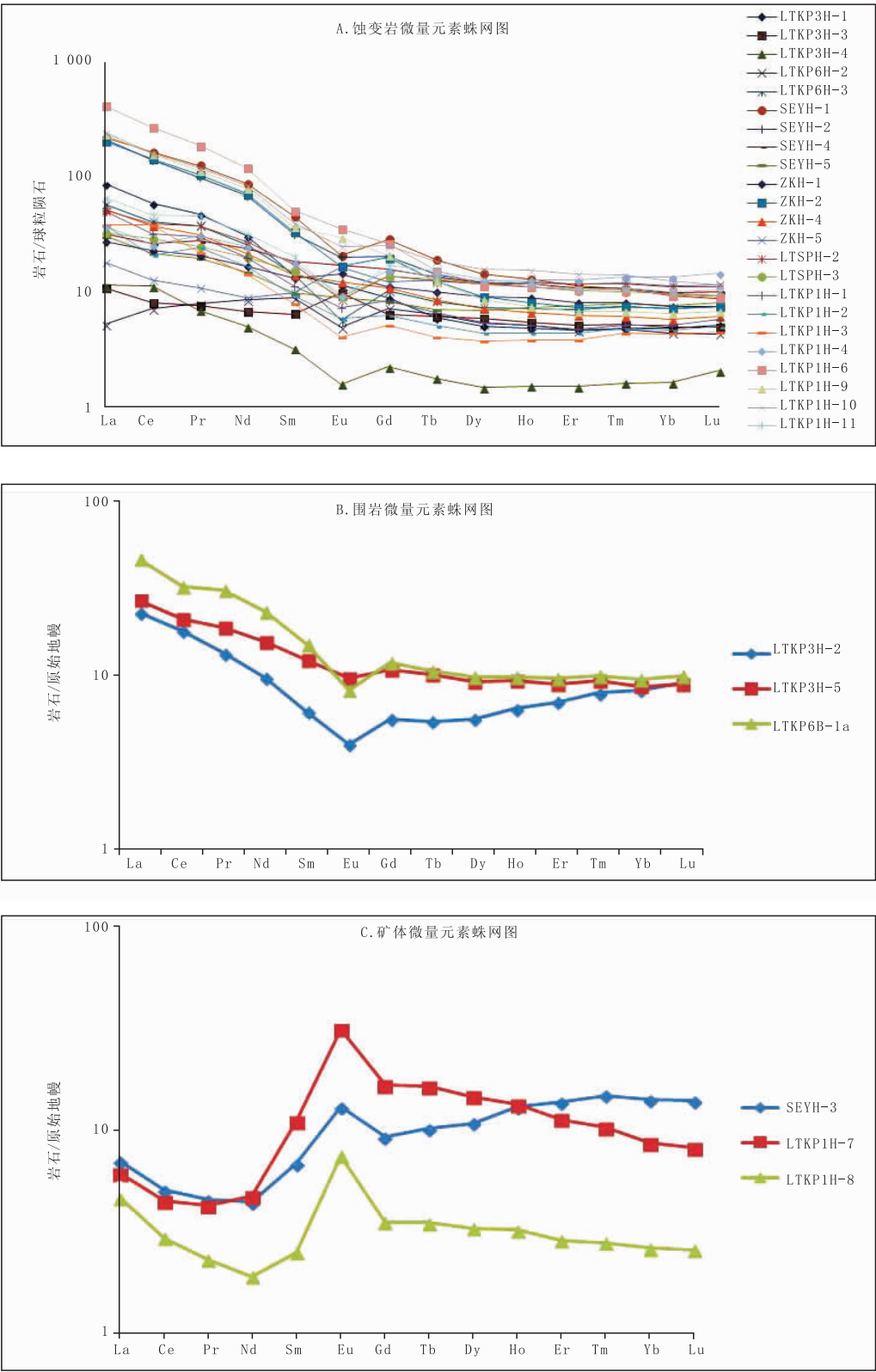


图 5 狼娃山铁矿围岩、蚀变岩、矿体稀土元素球粒陨石标准化配分图
Fig. 5 Chondrite-normalized distribution patterns of REE for hosted, altered rocks and ore body of Langwashan iron deposit

参考文献(References):

- 潘恍,刘光,杨钟堂. 狼娃山铁控矿构造分析[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊,1981.
- PAN Guang, LIU Guang, YANG Zhongtang. Structural control of Lang Washan iron deposit[J]. Bull. Xi'an Inst. Geol. M. R., Chinese Acad. Geol. Sei. 1981.
- 张发荣,牛卯胜. 甘肃北山地区成矿带划分及基本特征[J]. 甘肃地质学报, 2003,12(1):51-52.
- ZHANG Farong, NIU Maosheng. Divisions and basic features of the metallogenic belts in Beishan area of Gansu Province[J]. Acta Geologica Gansu, 2003, 12(1): 51-52.
- 韩咏文,马振东. 地球化学[M]. 北京:地质出版社, 2003: 256-257.
- HAN Yongwen, MA Zhendong. Geochemistry[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2003:256-157.
- 聂凤君,江思宏. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向[M]. 北京:地质出版社, 2002.
- NIE Fengjun, JIANG Sihong. Metallogenic Studies and Ore Prospecting in the Conjunction Area of Inner Mongolia Autonomous Region, Gansu Province and Xinjiang Uygur Autonomous Region (Beishan Metal), Northwest China[M]. Beijing, Geological Publishing House, 2002.
- 汪邦耀. 新疆西天山查岗诺尔和智博火山岩型铁矿床地质特征与成因研究[D]. 西安:长安大学,2011:120-121.
- WANG Bangyao. Geological characteristics and genesis of Changangnuoer and Zhibo Volcanogenic iron deposits, in Western Tianshan, Xinjiang[D]. Xi'an: Chang'an University, 2011:120-121
- 赵振华. 稀土元素地球化学研究方法[J]. 地质地球化学, 1982, 10(1):26-33.
- ZHAO Zhenhua. A study of REE geochemistry[J]. Geology and Geochemistry, 1982,10(1):26-33.
- 赵振华. 微量元素地球化学原理[M]. 北京:科学出版社,1997.
- ZHAO Zhenhua. The theory of trace element geochemistry Geological[M]. Beijing: Publishing House, 1997.
- 刘家军,李朝阳,潘家永,等. 兰坪一思茅盆地砂页岩中铜矿床成矿物质来源研究[J]. 地质与勘探,2000,36(4): 16-19.
- LIU Jiajun, LI Chaoyang, PAN Jiayong, et al. ORE-forming material sources of the copper deposits from sandstone and shale in Lanping-Simao basin, Western Yunnan and their genetic implications[J]. Geology and Prospecting, 2000,36(4):16-19.
- 王莉娟,王京彬,王玉往,等. 蔡家营、大井多金属矿床成矿流体和成矿用[J]. 中国科学(D辑),2003,33(10): 941-950.
- WANG Lijuan, WANG Jingbin, WANG Yuwang, et al. The ore-forming fluids and metallogeny from Cai Jiaying and Da Jing polymetallic deposits[J]. Science in China (Serie D), 2003,33(10):941-950.
- 刘东晓,董雅清,张月宝. 甘肃北山南金山—狼娃山金成矿带成矿作用特征[J]. 甘肃地质,2009,18(4):30-31.
- LIU Dongxiao, DONG Yaqing, ZHANG Yuebao. Characteristics of mineralization of Nanjin Mountain-Langwa Mountain gold Metallogenic belt in Beishan area, Gansu Province[J]. Gansu Geology, 2009,18(4):30-31.
- 刘明强. 甘肃北山造山带红石山地区埃达克质花岗岩类的发现及其地质意义[J]. 矿物岩石学杂志,2007,26(3): 233-234.
- LIU Mingqing. Geochemical characteristics and geological significance of adakitic granitoids in Hongshishan area of the Beishan orogenic belt, Gansu Province[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 2007,26(3):233-234.
- 杨合群,李英. 北山造山带的基本成矿特征[J]. 西北地质, 2006,39(2):78-79.
- YANG Heping, LI Ying. Main Metallogenic Characteristics in the Beishan Orogen[J]. Northwestern Geology, 2006,39(2):78-79.
- 何世平,任秉琛,姚文光,等. 甘肃内蒙古北山地区构造单元划分[J]. 西北地质, 2002, 35(4):30-40.
- HE Shiping, REN Bingshen, YAO Wenguang, et al. The division of tectonic units of Beishan area, Gansu-Inner Mongolia[J]. Northwestern Geology, 2002, 35(4): 30-40.
- PHILIP R Whitney, JAMES F Olmsted. Rare earth element metasomatism in hydrothermal systems: the Willsboro- lew is wollastonite ores, New York, U S A [J]. Geochimica, 1998, 62(17): 2965-2977.