

辽宁弓长岭铁矿床斜长角闪岩类 地球化学特征研究及原岩恢复

刘 军 靳淑韵

(中色地科矿产勘查股份有限公司,北京 100012)

提要:弓长岭二矿区既是大型条带状铁矿床,同时又是大型磁铁富矿床,自 1949 年建矿以来,一直是鞍钢的主体矿山和高品位富矿的主要供应地。笔者在总结矿床地质特征的基础上,对矿区的主要变质岩—斜长角闪岩类的主量元素、微量元素和稀土元素进行了分析。结果显示:主量元素的平均化学成分与基性火山岩中玄武岩成分相似, MgO 和 CaO 含量比较高,而且 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$;微量元素:相容元素 Sc、V、Cr、Co、Ni、Cu 的含量比较高,属于右倾型; $(\text{Rb}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 5.95~132.93,平均值为 49.34,远远大于 1,为强不相容元素富集型;大离子亲石元素 Rb、Ba、K、Sr 明显富集,但 Th、U 强亏损;高场强元素中 Zr、Hf 明显富集,而 Nb、P 为中等亏损, Ti 为弱亏损,与亏损型洋中脊拉斑玄武岩很相近;稀土元素具有 $\sum \text{REE}$ 低 ($21.09 \times 10^{-6} \sim 69.13 \times 10^{-6}$, 平均 40.44×10^{-6})、LREE 略有富集 ($\text{LREE}/\text{HREE} = 1.70 \sim 2.58$, 平均 2.27; $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$: 0.93~4.27, 平均值 1.60) 的稍右倾型或平坦型特征。轻稀土分馏不明显 ($(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$: 0.87~3.28, 平均值 1.42)。根据主量、微量和稀土元素的特征,并结合环境构造判别图解,笔者认为,研究区斜长角闪岩的原岩为大洋中脊拉斑玄武岩。

关键词:斜长角闪岩;原岩恢复;地球化学;弓长岭

中图分类号: P591 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2010)02-0324-10

富铁矿在冶金行业被称为“工业味精”。中国铁矿资源的特点是贫矿多、富矿少、采选难度大,需要大量从澳大利亚、巴西和印度等国进口。改革开放以来,富铁矿石进口数量持续增长。1990 年进口富铁矿石 1419 万 t, 2005 年达 2.75 亿 t, 2006 年更是达到 3.26 亿 t^[1], 进口依存度也从 1991 年的 16% 猛增到 2006 年的 51.1%。从战略角度看,铁矿石的供应不能主要依靠进口,而是应该首先立足于国内。

弓长岭铁矿二矿区是鞍山—本溪地区最大的富铁矿床,也最为典型。弓长岭铁矿自 1949 年建矿以来,一直是鞍钢的主体矿山和高品位富矿的主要供应地。斜长角闪岩在弓长岭二矿区分布极为普遍,是本区的主要变质岩,主要分布在上含铁带和底部的角闪岩段中,与磁铁富矿形成的关系极为密切。因此,研究斜长角闪岩的地球化学特征并对其进行原

岩恢复,对研究弓长岭铁矿磁铁富矿的成因和成矿模式,指导矿山深部寻找富铁矿,具有重要的现实意义和战略意义。

1 矿区地质特征

弓长岭铁矿床属鞍山式火山沉积变质矿床,受后期构造作用及岩体侵入活动的影响较大。该矿床分 4 个矿区:一矿区、二矿区、三矿区、老岭—八盘岭矿区。二矿区位于弓长岭背斜的北翼,矿床西北端以寒岭断裂为界,南东端以偏岭断裂为界,与老岭—八盘岭矿区相邻。

二矿区的整个含铁岩系,呈北西向狭长带状处于大片混合岩包围之中,受到不同程度的混合岩化及热液交代作用,长约 4800 m,宽 100~700 m,倾向北东,倾角 60~80°。按矿体的分布可分为西北区(0~9 线)、

收稿日期:2009-06-19; 改回日期:2009-09-30

基金项目:全国危机矿山接替资源找矿项目—专题研究(200521036)资助。

作者简介:刘军,男,1979 年生,博士,工程师,主要从事矿产地质勘探工作;E-mail:liujun55@163.com。

中央区(9~19 线)和东南区(19~30 线)3 部分^[3]。

矿区地层主要为太古宇鞍山群茨沟组,在矿区西北部出露奥陶系石灰岩(图 1)。鞍山群茨沟组呈大的残留体存在于大片混合岩和混合花岗岩中,自下而上可分为 6 层:①底部角闪岩(Hb);②底部片岩(PSP);③下含铁带:第一层铁矿(Fe₁),中部片岩(SPS),第二层铁矿(Fe₂);④中部黑云变粒岩带(K),中间夹第三层铁(Fe₃);⑤上含铁带:第四层铁矿(Fe₄),下斜长角闪岩(Am),第五层铁矿(Fe₅),上斜长角闪岩(Am),第六层铁矿(Fe₆);⑥硅质岩层(S)(夹铁矿层)。

本区断裂构造发育,可划分为走向断层、横向断层。走向断层多为逆断层,部分为正断层。较大的走向断层有:大砬子走向逆断层(T1)、茨山走向逆断层(T3)、磨石沟走向逆断层(T7)、杨木山走向逆断层(T2)、F3 走向正断层、F4 走向正断层、T6 断层。横向断层在矿区的西北端被区域性寒岭断裂切割,东南端被偏岭断裂(F1)切割,矿床内的横断层发育。还包括第一横断层(N1)、第二横断层(N2)、第三横断层(N3)、第四横断层(N4)、第五横断层(N5)、第七横断层(N7)、第八横断层(N8)、第十横断层(N10)和 F₆ 断层。

弓长岭矿区至少存在两类花岗岩:一类年龄为 2.99 Ga,形成于条带状磁铁矿石岩之前;另一类年龄为 2.5 Ga 左右,形成于条带状磁铁矿石岩之后^[4]。

2 矿体规模和产状

弓长岭铁矿二矿区有贫铁矿体和富铁矿体两种:(1)贫铁矿体:呈层状、似层状赋存于两个含铁带之中。上含铁带包括第六层铁矿(Fe₆)、第五层铁矿(Fe₅)及第四层铁矿(Fe₄);下含铁带包括第二层铁矿(Fe₂)及第一层铁矿(Fe₁),另外,在两个含铁带之间黑云变粒岩层中夹有第三层铁矿(Fe₃)。

(2)富铁矿体:矿区已探明 138 个富矿体,其中第六层铁矿有 65 个富矿体,储量占富矿总储量的 77.1%;硅质层内有 29 个富矿体,储量占富矿总储量的 13.5%;第四层铁矿中有 21 个富矿体,储量占富矿总储量的 6.5%;第五层铁矿中有 19 个富矿体,储量占富矿总储量的 2.5%;第二层铁矿中有 3 个富矿体,储量占富矿总储量的 0.4%;第三层铁矿中仅有 1 个富矿体。

3 斜长角闪岩类地球化学特征

斜长角闪岩呈层状产生,局部为透镜状。底部角闪岩厚度最大(20~385 m),上下角闪岩层厚 16~40 m。

露头上呈绿色-暗绿色,微粒-细粒-粗粒变晶结构,以细粒为主,片状、条纹状构造,有的具变余层理构造。在断裂带及矿体附近,因受热液交代作用发生蚀变,可见绿泥石化、滑石化、蛇纹石化、绿帘石

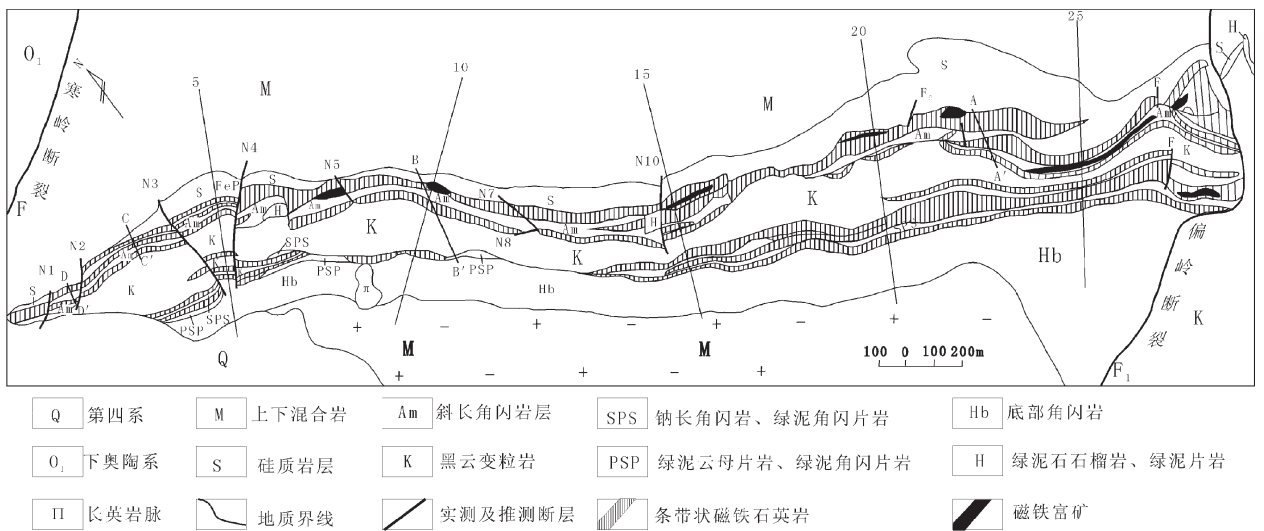


图 1 弓长岭铁矿二矿区地质平面图(据周世泰等^[3]略有修改)
Fig.1 Geological map of the second ore district of the Gongchangling iron deposit (modified after Zhou Shitai,1994)

化。矿物成分以普通角闪石、斜长石为主,次要矿物为石英、黑云母、石榴石,副矿物有黄铁矿、电气石和锆石等。普通角闪石的含量 50%~60%,为柱状晶体,自形-半自形,晶体粒径一般 0.1~0.5 mm;斜长石一般为中长石或拉长石,呈板状或柱状,半自形或他形,晶体粒径一般 0.1~0.15 mm。

本文对 13 件斜长角闪岩样品进行了主量元素、微量元素和稀土元素分析。

3.1 主量元素地球化学特征

13 件斜长角闪岩样品(表 1)的平均化学成分和基性火山岩中的玄武岩成分相似, SiO₂ 含量 49.89%, MgO 和 CaO 含量比较高, Na₂O>K₂O。在 SiO₂-K₂O+Na₂O 图解中(图 2)^[9], 样品点落入玄武岩区;在科马提岩分类命名图解中(图 3), 样品主要投在高铁拉斑玄武岩和高镁拉斑玄武岩区。

3.2 微量元素地球化学特征

13 件斜长角闪岩样品的微量元素分析结果(表 2)显示:相容元素 Sc、V、Cr、Co、Ni、Cu 的含量比较高;微量元素蛛网图(图 4)呈右倾型,大离子亲石元素 Rb、Ba、K、Sr 明显富集,但 Th、U 强亏损;高场强元素中 Zr、Hf 明显富集,而 Nb、P 为中等亏损, Ti 为弱亏损。(Rb/Yb)_N 值为 5.95~132.93, 平均值为 49.34, 远远大于 1, 为强不相容元素富集型。其富集和亏损程度分别为: Sr* 值为 0.51~2.91, 平均值为 1.59; Zr* 值为 1.07~4.63, 平均值为 1.62; Th* 值为

0.02~1.16, 平均值为 0.30; Nb* 值为 0.04~2.48, 平均值为 0.46; Ti* 值为 0.48~0.93, 平均值为 0.78; P* 值为 0.23~0.76, 平均值为 0.43。以上特征与亏损型洋中脊拉斑玄武岩很相近。

3.3 稀土元素地球化学特征

由表 3 和图 5 可以看出, 本区斜长角闪岩的稀土元素具有 Σ REE 低 (21.09~69.13 $\times 10^{-6}$, 平均 40.44 $\times 10^{-6}$)、LREE 略有富集 (LREE/HREE=1.70~2.58, 平均 2.27; (La/Yb)_N: 0.93~4.27, 平均 1.60) 的稍右倾型或平坦型特征。轻重稀土分馏不明显 ((La/Sm)_N: 0.87~3.28, 平均 1.42)。

БаЛашов(1976)根据岩石化学成分及稀土含量把正角闪岩分为 4 个类型:

(1) 由超基性岩类, 纯橄榄岩-橄榄辉长苏长岩, 经变质作用形成的绿泥石-阳起石正变质岩, 特征是稀土浓度极低, 仅为 10×10^{-6} 左右;

(2) 由岛弧及洋中脊拉斑玄武岩形成的正角闪岩具有平坦型的稀土元素分布模式, (La/Yb)_N=1.13 左右, 如澳大利亚太古宇的绿岩系;

(3) 由大陆拉斑玄武岩发育的正角闪岩, 则显示轻稀土富集的特征, (La/Yb)_N=3.10 左右, 稀土含量也高达 100×10^{-6} 以上;

(4) 碱性玄武岩变质形成的角闪岩, 稀土含量高, 轻稀土富集, (La/Yb)_N=8.7。

因此, 斜长角闪岩的稀土元素含量特征与一般

表 1 斜长角闪岩岩石化学成分分析结果(10⁻²)

Table 1 Chemical composition of plagioclase amphibolites(10⁻²)

样号	岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	合计
GE9	斜长角闪岩	48.13	0.41	15.39	4.1	6.2	0.18	8.46	12.45	1.97	0.63	0.03	1.48	99.42
GE13	斜长角闪岩	48.23	0.6	15.55	3.66	7.68	0.19	9.31	9.13	2.81	0.81	0.03	1.39	99.37
ER22	斜长角闪岩	48.89	1.27	14.01	4.51	8.96	0.35	6.15	9.69	2.56	1.54	0.1	1.39	99.42
ER35	斜长角闪岩	50	0.93	15.16	2.85	8.52	0.27	6.79	8.75	3.1	1.36	0.07	2.04	99.84
EZ12	角闪岩	43.78	1.47	15.53	6.12	10.76	0.39	6.55	10.57	2.09	0.83	0.1	1.35	99.54
EZ11	角闪岩	57.96	0.82	15.8	2.69	5.59	0.16	3.6	5.6	5.28	0.73	0.14	1.01	99.38
EZ25	角闪岩	51.17	1.35	18.19	2.9	7.29	0.24	4.42	6.33	3.87	2.02	0.11	1.46	99.37
GY28	斜长角闪岩	50.05	0.46	14.69	2.43	7	0.2	9.66	8.75	2.55	1.22	0.03	2.31	99.36
GY42	角闪岩	51.3	0.91	13.3	2.81	9.68	0.22	8.3	9.5	2.37	0.36	0.07	0.71	99.51
SK4	角闪岩	51.53	0.58	13.62	3.09	5.68	0.27	8.4	8.23	3.28	1.26	0.07	3.98	99.99
SK32	角闪岩	49.22	1.41	13.45	4.63	9.56	0.22	8.87	7.65	1.84	0.89	0.15	1.92	99.79
DM22	斜长角闪岩	50.89	0.5	14.49	2.92	7.14	0.24	9.33	8.23	2.94	1.72	0.03	1.35	99.79
ZC07-7	斜长角闪岩	47.39	0.46	13.88	2.42	8.34	0.25	13.37	7.53	1.59	1.9	0.03	2.84	99.99
	平均值	49.89	0.86	14.85	3.47	7.88	0.24	7.94	8.65	2.79	1.17	0.07	1.79	99.6
	玄武岩	49.2	1.84	15.74	3.79	7.13	0.2	6.73	9.47	2.91	1.1		0.95	99.06

注: 由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所(2005)分析; 玄武岩数据引自 Winter(2001)。

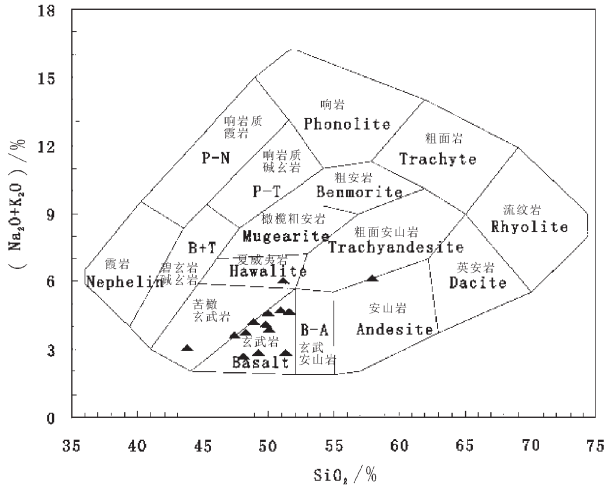


图 2 SiO₂-K₂O+Na₂O 图解^[9]
Fig.2 Diagram of SiO₂-K₂O+Na₂O

基性岩相似, 和亏损型洋中脊拉斑玄武岩也很相近(图 10)。(La/Yb)_N 平均值为 1.6, 和 Ba/Th 划分原则中的第二条相近, 即斜长角闪岩可能是由岛弧或洋中脊拉斑玄武岩形成的正角闪岩。

Eu 正异常不明显 (δ Eu: 0.81~1.22, 平均值 1.04); Ce 负异常也不明显 (δ Ce: 0.92~1.04, 平均值 0.97); Eu/Sm: 0.29~0.46, 平均值 0.38。

Sm/Nd 比值是反映 REE 分馏程度的重要参数之一, 而且也是反映物质来源的一个重要参数。如地幔为 0.260~0.375, 大洋玄武岩为 0.234~0.425, 而源于壳层的花岗岩类以及各类沉积岩一般小于 0.3。本区 Sm/Nd 比值范围为 0.23~0.33, 平均值 0.30, 落在大洋玄武岩的范围之内^[7-9]。

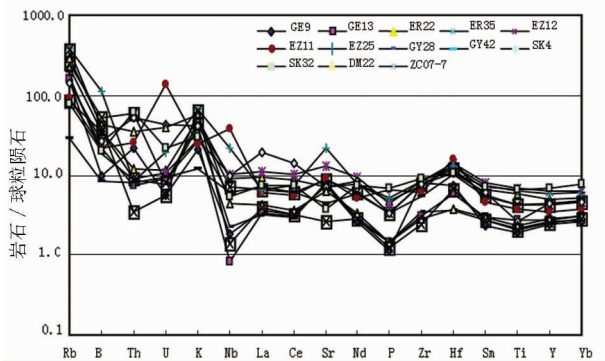


图 4 斜长角闪岩微量元素原始地幔标准化蜘蛛图解 (标准化数据引自 Sun & McDonough, 1989^[9])
Fig.4 Trace element primitive mantle spidergram of plagioclase amphibolites (after Sun & McDonough, 1989)

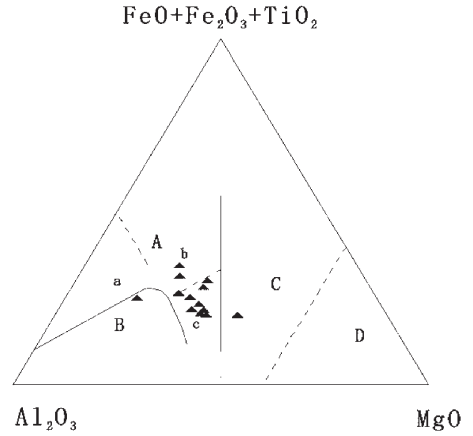


图 3 科马提岩分类命名图解(据 Jensen, 1976)
A—拉斑玄武岩系列:a—高铝拉斑玄武岩(二辉拉斑玄武岩、石英拉斑玄武岩), b—高铁拉斑玄武岩(辉石拉斑玄武岩、拉斑玄武岩), c—高镁拉斑玄武岩(苦橄拉斑玄武岩、橄橄拉斑玄武岩); B—钙碱性玄武岩系列; C—科马提质玄武岩; D—超镁铁质科马提岩

Fig.3 Classification of komatiite (after Jensen, 1976)
A—Tholeiite; a—High-Al tholeiite, b— High-Fe tholeiite, c—High-Mg tholeiite; B— Calc-alkali basalt; C— Komatiite basalt; D—Ultramafic komatiite

\sum Ce 表示 \sum La~Eu, 即轻稀土含量和。而 \sum Y 表示 \sum Gd~Lu+Y, 即重稀土含量和。 \sum Ce/ \sum Y 也是 REE 地球化学的一个重要参数, 由于它是 LREE 各元素和 HREE 各元素之和的比值, 与其他单元比值(如 La/Yb、La/Lu 等)相比, 能更全面地反映 REE 的分馏程度。 \sum Ce 的碱性较强, \sum Y 的碱性较弱, 随着岩浆作用从早期到晚期的演化, \sum Ce/ \sum Y 的比

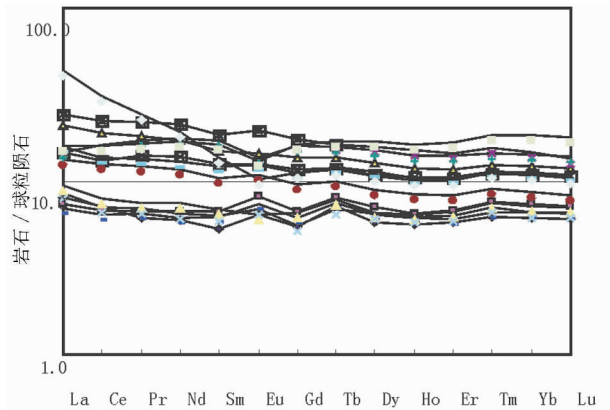


图 5 斜长角闪岩稀土元素分布模式图(球粒陨石标准化数据引自 Sun & McDonough, 1989)(图例同图 4)
Fig.5 Chondrite-normalized REE patterns of plagioclase amphibolites (after Sun & McDonough, 1989)

表 2 斜长角闪岩微量元素分析结果(10⁻⁶)Table 2 Trace element analyses of plagioclase amphibolites (10⁻⁶)

样号	GE9	GE13	ER22	ER35	EZ12	EZ11	EZ25	GY28	GY42	SK4	SK32	DM22	ZC07-7	平均值
Sc	43	35.5	49.8	46.2	54.8	26.9	59.2	49.6	45.3	33.5	50.8	47.3	39.53	44.72
V	176	180	306	250	342	180	305	177	256	170	337	210	158	234.32
Cr	597.4	239.9	86.7	218.2	96.7	59.3	286.1	676.9	230	371.8	66.8	649.1	612.8	322.44
Co	46	59.9	52.2	58.9	57.1	31.5	42.7	47.4	52.3	42.4	63.2	43.9	49.8	49.8
Ni	131.7	220.6	69	134	86.5	45.7	120.2	136.3	102.9	147.5	95.2	136.3	197	124.83
Cu	69.8	85.5	113.1	124.3	36.1	134	19.2	98.3	103.5	11.8	1033	11.2	5.3	141.94
Rb	96.6	99.8	138.8	155.5	53	59.2	244	108.9	18.1	89.7	49.9	182.9	238	118.04
Ba	69	152	244	371	242	152	791	131	59	186	142	300	279	239.73
Th	1.88	0.64	1.01	4.92	0.78	2.15	0.71	0.74	0.67	4.46	5.32	3.03	0.3	2.05
U	0.12	0.19	0.24	0.17	0.22	2.86	0.4	0.16	0.2	0.89	0.45	0.84	0.12	0.53
Nb	1.3	0.6	6.5	5	7.3	26.8	15.3	1.6	4.4	6.9	3.9	3.2	1	6.44
Ta	0.5	0.22	0.45	1.95	0.64	62.02	3.9	0.19	0.38	0.54	0.35	0.55	0.3	5.54
K	5221.52	6715.75	12817.21	11256.56	6914.98	6088.01	16786.15	10086.08	2971.87	10418.13	7346.65	14253.33	15759.37	9741.2
Sr	158	162	151	183	272	192	467	169	92	148	79	136	56	174.13
P	109.12	135.3	453.92	318.62	414.64	632.17	498.08	139.67	314.25	322.98	650.33	135.3	117.81	326.32
Zr	91	35	83	86	95	67	94	39	60	85	101	32	27	68.93
Hf	2.32	1.83	3.94	3.77	4.37	4.84	4.06	1.14	3.14	3.24	3.23	1.16	2.02	3
Ti	2463.95	3579.02	7631.64	5575.35	8836.63	4910.26	8120.06	2769.69	5443.46	3453.12	8422.98	3021.48	2741.44	5151.47
(Rb/Yb) _N	58.14	50.31	42.26	52.95	13.36	25.25	63.78	61.71	5.95	30.68	10.06	94.04	132.93	49.34
Nb*	0.15	0.06	0.3	0.27	0.53	2.48	0.58	0.1	0.65	0.32	0.3	0.15	0.04	0.46
Th*	0.26	0.08	0.09	0.4	0.17	0.43	0.04	0.08	0.39	0.57	1.16	0.21	0.02	0.3
Sr*	2.53	2.53	0.88	1.43	1.32	1.67	2.91	2.84	0.73	0.62	0.51	1.86	0.87	1.59
Zr*	4.63	1.44	1.3	1.73	1.36	1.07	1.31	1.65	1.24	1.62	1.29	1.29	1.2	1.62
Ti*	0.69	0.85	0.93	0.8	0.89	0.84	0.86	0.7	0.79	0.48	0.89	0.72	0.72	0.78
P*	0.23	0.32	0.47	0.37	0.37	0.64	0.5	0.46	0.42	0.36	0.76	0.4	0.26	0.43

注:①数据由中国地质科学院地球物理地球化学研究所(2005)分析;②Nb* = 2Nb_N/(K_N+La_N); Th* = 2Th_N/(Rb_N+K_N); Sr* = 2Sr_N/(Ce_N+Nd_N); Zr* = 2Zr_N/(P_N+Sm_N); Ti* = 2Ti_N/(Tb_N+Sm_N); P* = 2P_N/(Nd_N+Hf_N)。

表 3 斜长角闪岩稀土元素分析结果 (10⁻⁶)
Table 3 REE analyses of plagioclase amphibolites (10⁻⁶)

样号	GL9	GH13	HE22	EE35	EZ12	EZ11	EZ25	GY28	GY42	SK4	SK32	DM22	ZC07-7	平均值
La	2.5	2.3	6.6	4.6	7.5	4.1	4.5	2.2	4.9	13.5	5	2.9	2.65	4.87
Ce	5.8	5.5	15.4	10.6	18.1	10.1	13.1	5.2	11	25	13	6.4	5.7	11.14
Pr	0.75	0.82	2.23	1.72	2.7	1.5	2.11	0.79	1.65	2.96	2.03	0.92	0.85	1.62
Nd	3.6	4.03	10.35	8.29	12.72	7.06	10.61	3.68	7.75	11.52	10.12	4.49	3.9	7.55
Sm	1.05	1.3	2.93	2.45	3.62	2.03	3.35	1.22	2.37	2.66	3.17	1.34	1.23	2.21
Eu	0.47	0.6	1.07	0.93	1.44	0.8	1.01	0.55	0.91	0.76	0.96	0.47	0.51	0.81
Gd	1.41	1.73	3.56	3.03	4.5	2.49	4.14	1.59	2.9	2.89	4.19	1.71	1.45	2.74
Tb	0.34	0.38	0.65	0.56	0.77	0.48	0.75	0.36	0.57	0.55	0.8	0.37	0.33	0.53
Dy	1.86	2.28	4.12	3.51	5.11	2.88	4.88	2.07	3.67	3.45	5.44	2.13	2.1	3.35
Ho	0.4	0.47	0.85	0.76	1.08	0.6	1.01	0.44	0.75	0.73	1.17	0.46	0.44	0.71
Er	1.22	1.43	2.46	2.18	3.07	1.74	2.95	1.28	2.23	2.13	3.52	1.41	1.32	2.07
Tm	0.2	0.25	0.4	0.36	0.5	0.29	0.47	0.22	0.37	0.36	0.6	0.24	0.23	0.35
Yb	1.29	1.54	2.55	2.28	3.08	1.82	2.97	1.37	2.36	2.27	3.85	1.51	1.39	2.18
Lu	0.2	0.24	0.39	0.35	0.45	0.28	0.46	0.22	0.36	0.35	0.59	0.24	0.22	0.33
ΣREE	21.09	22.87	53.56	41.62	64.64	36.17	52.31	21.19	41.79	69.13	54.44	24.59	22.32	40.44
LREE	14.17	14.55	38.58	28.59	46.08	25.59	34.68	13.64	28.58	56.40	34.28	16.52	14.84	28.19
HREE	6.92	8.32	14.98	13.03	18.56	10.58	17.63	7.55	13.21	12.73	20.16	8.07	7.48	12.25
LREE/HREE	2.05	1.75	2.58	2.19	2.48	2.42	1.97	1.81	2.16	4.43	1.70	2.05	1.98	2.27
Eu/Sm	0.45	0.46	0.37	0.38	0.40	0.39	0.30	0.45	0.38	0.29	0.30	0.35	0.41	0.38
Sm/Nd	0.29	0.32	0.28	0.30	0.28	0.29	0.32	0.33	0.31	0.23	0.31	0.30	0.32	0.30
(La/Yb) _n	1.39	1.07	1.86	1.45	1.75	1.62	1.09	1.15	1.49	4.27	0.93	1.38	1.37	1.60
(La/Sm) _n	1.54	1.14	1.45	1.21	1.34	1.30	0.87	1.16	1.33	3.28	1.02	1.40	1.39	1.42
δ Eu	1.18	1.22	1.01	1.01	1.09	1.09	0.83	1.21	1.06	0.83	0.81	0.95	1.17	1.04
δ Ce	1.03	0.98	0.98	0.92	0.98	1.00	1.04	0.97	0.94	0.93	1.00	0.95	0.93	0.97

注: 数据由中国地质科学院地球物理地球化学研究所(2005)分析。

值逐渐增大,即 $\sum Ce$ 在岩浆作用晚期趋于富集(图6)。本区的 $\sum Ce/\sum Y$ 为1.03,则斜长角闪岩的原岩可能为大洋拉斑玄武岩。

4 原岩恢复及构造环境的判别

角闪岩是中深变质地区常见的一种变质岩类,它具有不同的成因,既可以由镁铁质火成岩(玄武岩、辉绿岩、辉长岩等)变质生成(正角闪岩),也可由泥质页岩、钙质页岩或沉积凝灰岩等变质形成(副角闪岩)。需要指出的是,原岩为镁铁质火成岩的正角闪岩具有重要的科学研究意义:①由于镁铁质火成岩的形成温度一般高于角闪岩变质相温度,因而用Sm-Nd, Rb-Sr或U-Pb等同位素定年方法测得的年龄值有可能代表其原岩的形成年龄;②它可以提供有关该镁铁质火成岩形成地质时期的地幔组成及演化方面的宝贵信息。需要指出的是,一方面由于中深变质岩系岩石的变质程度比较高(达角闪岩相),各种残余及变余结构一般很难保存,因而仅根据野外产状和岩相学研究来恢复原岩性质十分困难,从而需要借助于变质岩的岩石化学和微量元素特征来进行原岩性质恢复和成因判别。

4.1 原岩恢复

本区斜长角闪岩的原岩恢复长期以来是一个争议较多的问题。20世纪50—60年代,地质学家大多

认为斜长角闪岩是泥灰质岩石的变质岩。70年代中期以后,多数学者认为斜长角闪岩既有由基性火山岩变质而成的正角闪岩,也有由泥灰质沉积岩变质而成的副角闪岩。周世泰^[9]用鞍山地区鞍山群中的84件斜长角闪岩的岩石化学数据,投在他所提出的KA图解中,数据点均落在火山岩区之内,据此认为本区的斜长角闪岩为基性火山岩变质而成的正角闪岩。杨凤筠^[10]在弓长岭铁矿床中采了3个斜长角闪岩的硫化物样品,测定其硫同位素 $\delta^{34}S$ 均接近于零,与陨石硫同位素组成相似,认为本区的斜长角闪岩为正角闪岩。蒋少涌等^[11]测定了2个含铁带角闪岩层中斜长角闪岩的 $\delta^{30}Si$ 值为 $-0.62\text{‰} \sim -0.2\text{‰}$,在地球镁铁质岩石的 $\delta^{30}Si$ 值分布范围之内,这一结果与其原岩为拉斑玄武岩的认识相一致^[12]。

笔者将研究区13个斜长角闪岩样品进行判别分析:在c-n-f图解(图7)中,除1个点投在沉积岩区外,其余12个样品投点均落在火成岩区内;在Symoner的(al+fm)-(c+alk)对Si图解(图8)上,13个样品投点有11个落入火山岩区内;在 $\text{Log}(\text{Nb}/\text{Y})-\text{Log}(\text{Zr}/\text{TiO}_2)$ 图解(图9)中,13个样品点全部投在玄武岩区中。结合斜长角闪岩的主量元素特征(图2~3),认为本区的斜长角闪岩为正角闪岩,其原岩可能为玄武岩。

4.2 玄武岩的构造环境判别

根据Pearce图解^[5],玄武岩的喷发环境分为:洋中脊玄武岩(MORB)、火山弧玄武岩(VAB)、板内玄武岩(WPB)以及三者之间的过渡类型。

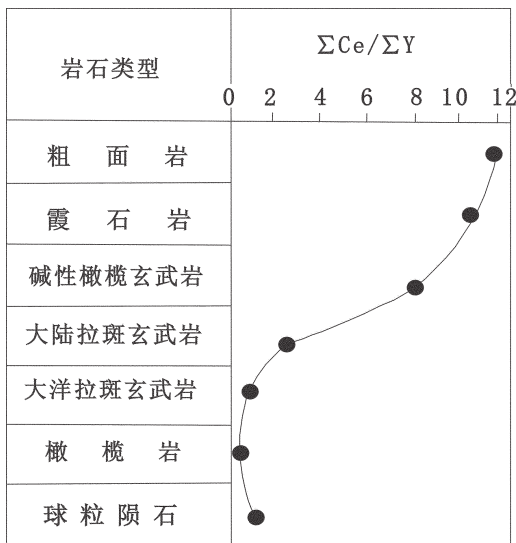


图6 原始岩浆成分演化过程中REE的分馏特征

Fig.6 Fractionation characteristics of REE in the compositional evolutionary process of primitive magma

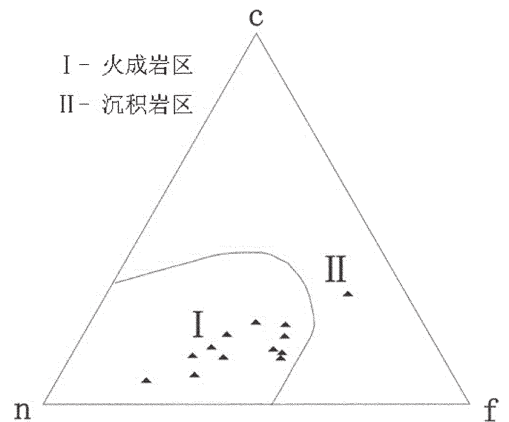


图7 区分正副变质岩c-n-f三角图解(据邓明恺,1979^[9])

Fig.7 Triangular diagram of c-n-f for distinguishing orthometamorphite from parametamorphic rock

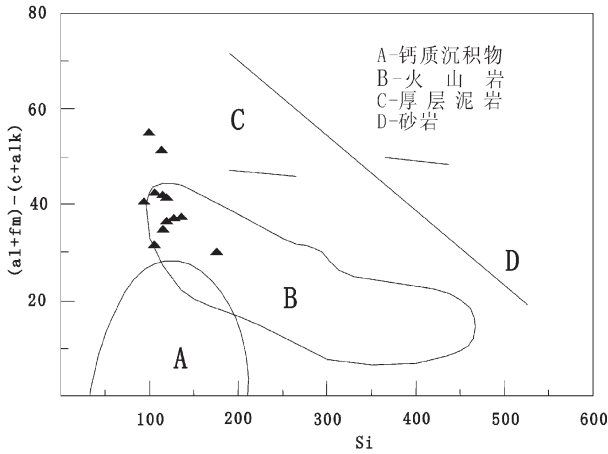


图 8 Si-(al+fm)-(c+alk)图解 (据 Symoner, 1953^[5])
Fig.8 Si-(al+fm)-(c+alk) diagram

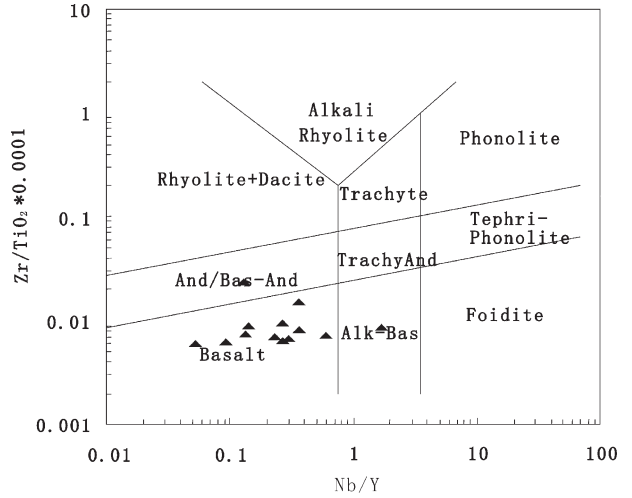


图 9 Nb/Y-Zr/TiO₂ * 0.0001 图解^[5]
Fig.9 Nb/Y-Zr/TiO₂ * 0.0001 diagram

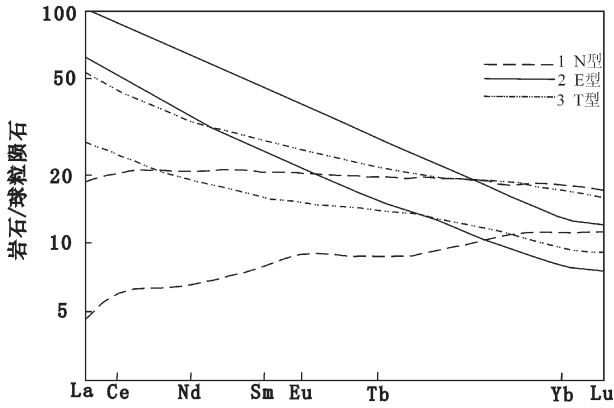


图 10 不同洋中脊玄武岩的稀土配分型式
(据 Leccex 等,1983^[5])

Fig.10 Chondrite-normalized REE patterns of different mid-ocean ridge basalts

洋中脊玄武岩出现于扩张性的大洋板块边缘,不仅大洋有,某些小型海盆地(如地中海)也有。是洋壳的主要组成部分,喷发产物为拉斑玄武岩和碱性玄武岩。根据稀土分配型式(图 10)又可将其分为正常的(N型)或亏损的、异常的(E型)或富集的(P型)、过渡的(T型)3 大类。从此图可知,各类洋中脊玄武岩稀土分配型式为一宽的范围,N型的洋中脊玄武岩亏损轻稀土,E型洋中脊富集轻稀土,T型的轻稀土富集程度则介于两者之间。

火山弧玄武岩:也叫岛弧玄武岩,产生于汇聚板块边缘附近,毕鸟夫带之上。又可分为岛弧低钾拉斑玄武岩(IAT)、钙碱性玄武岩(高铝玄武岩,CAB)和

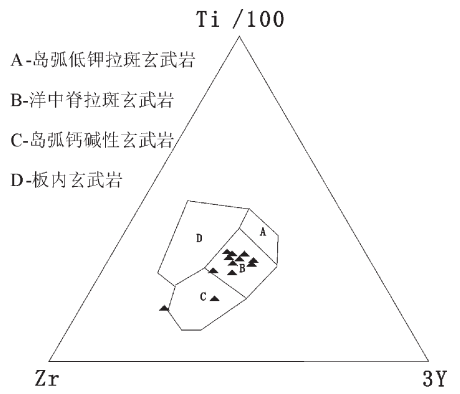


图 11 Ti/100-Zr-3Y 图解 (Pearce & Cann, 1973^[5])
Fig.11 Ti/100-Zr-3Y diagram

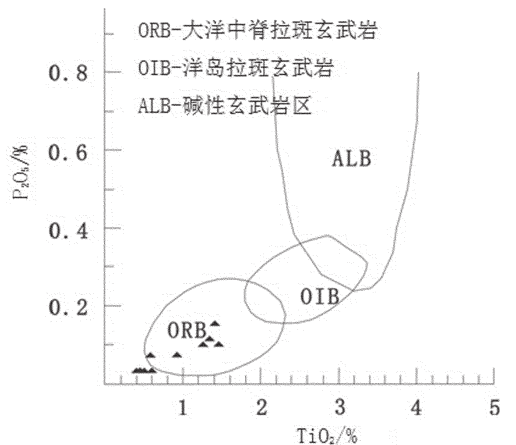


图 12 TiO₂-P₂O₅ 图解 (Bass, 1973^[5])
Fig.12 TiO₂-P₂O₅ diagram

橄榄粗安岩(SHO)。

板内玄武岩也叫热点玄武岩,出现于板块内部的某些热点上,喷发产物有拉斑玄武岩和碱性玄武岩。既可以产在大陆内部裂谷,也可以产在大洋岛屿上,分别称之为大陆玄武岩和大洋(洋岛)玄武岩。

需要说明的是,经受了各种不同程度变质作用的太古宙火山岩与现代火山岩的最大区别就是可能发生了活动组分的带进或带出。许多对判别现代火山岩行之有效但涉及到钾钠等活动组分的方法和图解,在研究太古宙火山岩时有可能导致错误的结论,所以笔者尽量选用惰性组分图解来判别构造环境。

从 $Ti/100-Zr-3Y$ 图解(图 11)和 $TiO_2-P_2O_5$ 图解(图 12)可以看出,样品点绝大部分都落在了大洋中脊拉斑玄武岩区。

综合上述微量元素和稀土元素特征,结合构造环境判别图解,笔者认为,研究区斜长角闪岩的原岩为大洋中脊拉斑玄武岩。

5 结 论

(1)斜长角闪岩主量元素的平均化学成分和基性火山岩中的玄武岩成分相似, MgO 和 CaO 含量比较高,而且 $Na_2O > K_2O$;

(2)微量元素:相容元素 Sc 、 V 、 Cr 、 Co 、 Ni 、 Cu 的含量比较高;微量元素属于右倾型, $(Rb/Yb)_N$ 值为 $5.95 \sim 132.93$,平均值为 49.34 ,远远大于 1 ,为强不相容元素富集型。大离子亲石元素 Rb 、 Ba 、 K 、 Sr 明显富集,但 Th 、 U 强亏损;高场强元素中 Zr 、 Hf 明显富集,而 Nb 、 P 为中等亏损, Ti 为弱亏损,与亏损型洋中脊拉斑玄武岩很相近;

(3)稀土元素具有 $\sum REE$ 低($21.09 \times 10^{-6} \sim 69.13 \times 10^{-6}$,平均 40.44×10^{-6})、 $LREE$ 略有富集($LREE/HREE=1.70 \sim 2.58$,平均 2.27); $(La/Yb)_N$: $0.93 \sim 4.27$,平均 1.60)的稍右倾型或平坦型特征。轻稀土分馏不明显($(La/Sm)_N$: $0.87 \sim 3.28$,平均 1.42);

(4)研究区斜长角闪岩的原岩为大洋中脊拉斑玄武岩。

参考文献(References):

[1] 张积林. 我国钢铁产业国际竞争力浅析[J]. 可持续发展, 2007(3): 26-30.
Zhang Jiling. The international competitive capacity analysis of steel industry in China [J]. Sustainable Development, 2007 (3):26-30(in Chinese with English abstract).

[2] 鞍山冶金地质勘探公司四零四队. 辽宁省辽阳县弓长岭铁矿床二矿区第二期地质勘探报告(1976-1981).
The Team 404 of An Shan Metallurgy Geology Exploration Company. The second geology exploration report of Gongchangling second ore district in Liao Yang, Liao Ning Province (1976-1981) (in Chinese).

[3] 周世泰. 鞍山-本溪地区条带状铁矿地质[M]. 北京:地质出版社,1994.
Zhou Shitai. The BIF Geology of An Shan - Ben Xi Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994 (in Chinese with English abstract).

[4] 万渝生. 辽宁弓长岭含铁岩系的形成与演化[M]. 北京:北京科学技术出版社, 1993.
Wan Yusheng. The Formation and Evolvement of Ferrous Rock Series of Gong Changling, Liao Ning Province [M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1993 (in Chinese with English abstract).

[5] 王仁民, 贺高品, 陈珍珍, 等. 变质岩原岩图解判别法 [M]. 北京:地质出版社, 1987.
Wang Renmin, He Gaopin, Chen Zhenzhen, et al. The Diagram Distinguish of Original Rock for Metamorphic Rock [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987 (in Chinese with English abstract).

[6] Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications of mantle composition and processes [C] // Saunders A D, Norry M J (eds.). Magmatism in the Ocean Basins. London: Geological Society Special Publication, 1989, 42: 313-345.

[7] 邱家骧. 岩浆岩岩石学[M]. 北京:地质出版社, 1983.
Qiu Jiaxiang. Magma Rock Petrology [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983 (in Chinese with English abstract).

[8] 王中刚, 于学元, 赵振华, 等. 稀土元素地球化学[M]. 北京:科学出版社, 1989.
Wang Zhonggang, Yu Xueyuan, Zhao Zhenhua, et al. REE Geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 1989 (in Chinese with English abstract).

[9] 李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1992.
Li Changnian. Igneous Rock Trace Element Petrology [M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 1992 (in Chinese with English abstract).

[10] 杨凤筠. 鞍山地区前寒武纪硅铁建造同位素地质的初步研究[J]. 天津地质调查所所报, 1980, 1: 110-122.
Yang Fengjun. The initial research of isotope geology of ferrosilicon formation in Precambrian in An Shan - Ben Xi area [J]. The Academic Journal of Tian Jin Geology Survey Institution, 1980, 1: 110-122 (in Chinese with English abstract).

[11] 蒋少涌. 辽宁弓长岭太古代条带状硅铁建造(BIF)的硅同位素组成特征[J]. 中国科学(B辑), 1992, 37(6): 626-631.
Jiang Shaoyong. The Si isotope feature of BIF in Archeozoic in Gongchangling, Liaoning Province [J]. China Science (ser.B), 1992,

37(6):626-631(in Chinese with English abstract).

[12] 翟明国, Windley B F. 鞍山太古代条带状铁建造(BIF)的稀土及微量元素特征 [J]. 地球化学, 1989, 3:241-250.

Zhai Mingguo, Windley B F. The REE and trace element feature of BIF in Archeozoic in An Shan-Ben Xi area[J]. Geochemistry, 1989, 3:241-250(in Chinese with English abstract).

Geochemical characteristics and original rock restoration of plagioclase amphibolites in the Gongchangling iron deposit , Liaoning Province

LIU Jun, JIN Shu-Yun

(Sinotech Mineral Exploration Co., Ltd., Beijing 100012, China)

Abstract: Iron resources in the second ore district of Gongchangling is not only a large-sized banded low grade iron ore deposit but also a large-sized high grade iron ore deposit. Since 1949, it has become the main mine providing high grade iron for the Anshan Steel Iron Group Cooperation. The authors studied the second ore district of Gongchangling, and analyzed major elements, trace elements, rare earth elements of the amphibolites. Some conclusions have been reached: ① the average compositions of major elements are SiO₂ 49.89%, TiO₂ 0.86%, Al₂O₃ 14.85%, Fe₂O₃ 3.47%, FeO 7.88%, MnO 0.24%, MgO 7.94%, CaO 8.65%, Na₂O 2.79%, K₂O 1.17%, and P₂O₅ 0.07%, similar to things of basalt: MgO and CaO are high, Na₂O>K₂O; ② as for trace elements, the content of compatible elements (Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu) is high, (Rb/Yb)_N=5.95~132.93, with an average of 49.34; Rb, Ba, K, Sr, Zr, Hf are enriched, whereas Th, U, P, Nb, Ti are depleted, similar to things of deficiency type mid-ocean ridge tholeiite; ③ REE: \sum REE ratios are relatively low ($21.09 \times 10^{-6} \sim 69.13 \times 10^{-6}$, averagely 40.44×10^{-6}), LREE/HREE=1.70~2.58, (2.27 on average); (La/Yb)_N=0.93~4.27 (1.60 on average), and (La/Sm)_N=0.87~3.28 (1.42 on average); ④ the original rock of amphibolites is basalt and, according to the discrimination diagram of environment structure, the original rock of amphibolites should be mid-ocean ridge tholeiite.

Key words: amphibolites; original rock; geochemistry; Gongchangling

About the first author: LIU Jun, male, born in 1979, doctor, engineer, engages in mineral resources exploration; E-mail: liujun55@163.com.