

硅质岩岩石化学研究方法及其在 “镜铁山式”铁矿床中的应用*

杨建民¹⁾ 王登红¹⁾ 毛景文¹⁾ 张作衡¹⁾ 张招崇²⁾ 王志良¹⁾

(¹⁾中国地质科学院矿床地质研究所 100037,北京; ²⁾中国地质科学院地质研究所,北京 100037)

主题词 硅质岩 岩石化学 比值法 图解法

提要 硅质岩研究是难度较大且目前又颇受重视的课题,岩石化学方法是研究其成因及成岩环境的重要手段。本文对常用的近20种比值法、图解法作了初步检验,考察了其可行性。“镜铁山式”铁矿床产于北祁连造山带上元古代镜铁山群,应用上述方法对其岩石化学特征作了较全面的分析研究,认为铁矿床围岩中的石英岩具有生物成因硅质岩特征,主要来自地表风化作用,铁矿体中的铁碧玉岩具火成成因特征,来源于海底喷流。

1 概述

硅质岩是一类特殊的岩石,由化学作用、生物和生物化学作用及某些火山作用、热水作用所形成的富含 SiO_2 (一般 $>70\%$)的岩石,也包括在盆地内经机械破碎再沉积者,都可以称为硅质岩^[1]。

自Wadsworth(1893)最初提出硅质岩这一名称以来,对其概念和成因一直有不同看法,归纳起来大致可分为三种:①生物或生物化学沉积成因(许靖华,1979等);②化学沉积,包括火山喷发成因、超碱性条件下沉积及热水沉积成因(Perterson & Vonder Borch, 1965; Dapples, 1967; Rona, 1983等);③交代(硅化)成因(Loyan & Chase, 1961)。一般认为那些缺乏生物而与碳酸岩“势不两立”的层状硅质岩,用热水沉积的模式去解释可能更客观。硅质岩是多成因的,可以产出于多种环境,为研究方便,本文将硅质岩分为两个基本大类,即生物成因类型和火成成因类型。前者主要由生物及生物化学作用形成,如硅藻土、放射虫岩、海绵岩、蛋白土等,其成岩温度较低,成岩环境相对稳定,成岩物质主要来自地表,可能伴生外生沉积矿产;后者主要由火山或热水作用形成,如碧玉岩、燧石岩、硅华等,其成岩温度较高,成岩环境的构造活动显著,成岩物质主要来自深部,可能伴生内生热水沉积矿产。由于不同成因的硅质岩在成岩物质来源、成岩环境及成岩物理化学条件等方面的显著差异,其岩石化学成分必然有所不同,这是利用岩石化学方法研究硅质岩成因的物质及理论基础。根据不同成因硅质岩的岩石化学特征,人们总结了许多研究方法,主要有比值法和图解法。本

* 本文系国家计委科技找矿项目(JG9471902)和原地质矿产部定向科研项目(DKJ95-16)的部分研究成果

第一作者简介 杨建民,男,1958年生,博士,副研究员,从事矿物学、矿床地质和地球化学研究。

收稿日期 1999-03-05, 改回日期

文利用国内外研究程度较高的一些典型硅质岩的岩石化学资料,对这些方法逐一进行检验,论证了其可行性。

“镜铁山式”铁矿床分布于北祁连山西段中上元古代镜铁山群中,已探明的铁矿床(点)有数十个,其中镜铁山矿床(包括桦树沟与黑沟两个矿区)为大型,柳沟峡和白尖矿床为中型,其余为小型或矿点。镜铁山群为以陆源碎屑为主夹有白云质大理岩及铁矿层的浅海相沉积岩系,总厚度逾4000m。按岩性组合特征可分为上下两个岩组。镜铁山群下岩组是镜铁山式铁矿的赋存层位,属绿片岩相浅变质岩系,其上部以杂色千枚岩与变质粉砂岩为主,夹镜铁矿-菱铁矿层及白云质大理岩,底部为中-厚层状石英岩。在镜铁山式铁矿床中,铁碧玉岩与镜铁矿呈条带状共生,作为铁矿层的一部分。研究铁碧玉岩的成因及形成环境,也是研究镜铁山式铁矿床的成因及形成环境。尤其是对于研究镜铁山式铁矿床这样的形成于中元古代、不存在生物活动的矿床而言,选取硅质岩岩石化学研究方法,并与世界上典型硅质岩进行对比研究,是研究其形成环境的一种有效方法。作者选取桦树沟与柳沟峡两个铁矿床中的铁碧玉岩及其围岩中的石英岩作为研究对象。

2 比值法

通常,根据岩石化学分析资料给出的数值,可以初步了解硅质岩的成因特征,如典型的海相火山沉积硅铁建造以低 K_2O 、低 P_2O_5 、高 TiO_2 为特征。这是因为K是陆相元素,P是亲生物元素,而Ti不易形成碳水化合物,难以被生物吸收利用,因而在生物体中贫Ti。由此,海相火山沉积硅质岩也以低P高Ti而区别于高P低Ti的生物成因硅质岩。典型海相火山沉积硅铁建造的另一个特点是高Si低Al(Al_2O_3 1.13%),但对于硅质岩则未必尽然,如苏联别洛耶湖上游生物化学成因的红碧玉岩平均 SiO_2 82.76%, Al_2O_3 0.93%,而同一地区火山成因凝灰质岩平均 SiO_2 79.91%, Al_2O_3 5.85%,后者反而比前者低Si而高Al。从表1也可看出,各类硅质岩的化学成分是很复杂的,成因特征的直观性较差。一般并不是直接利用分析结果,而是根据元素的地球化学特点和大量实际资料,总结出一些经验性的判据(表2)来分析研究硅质岩的成因。本次研究利用世界各地一些典型硅质岩的岩石化学资料,对这些判据进行了检验(表3),结果发现:①总体上,多数判断结果与地质研究结论一致,说明不同成因硅质岩确实存在着岩石化学成分上的差别;②氧化物比值法常与原子比值法相矛盾,后者可靠性较差,如野田玉川硅质岩体作为典型热水沉积成因者,用三种原子比值法(Fe/Ti 、 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 、 $(Fe+Mn)/Ti$)均判别为非热水成因;再如前苏联别洛耶湖上游火山成因硅质岩(表3序号6)用氧化物比值法均判别为火成成因,与实际地质情况符合,而原子比值法却显示其为非火成成因。可见,原子比值法的可靠性尚待研究。实际上,生物成因硅质岩常低Ti,因而 Fe/Ti 、 $(Fe+Mn)/Ti$ 两个比值偏高,完全可能落入热水沉积范围内。③同一样品,用不同方法可能得到完全不同的结论。如格鲁吉亚晚第三纪淡水藻土 $SiO_2/Al_2O_3 = 116$,与生物成因特征比值107很接近;但其 $MnO/TiO_2 = 0.25$,却与火山成因者(0.24)很接近。由此可见,要综合分析,不能只凭个别比值或有意识地选择某些比值去说明成因问题。

桦树沟铁矿床与柳沟峡铁矿床硅质岩的岩石化学资料列于表4。由于铁碧玉岩中含有大量的尘埃状赤铁矿,使得其化学成分中 $Fe_2O_3 + FeO$ 含量可在17%~35%,而 SiO_2 含量

表1 典型硅质岩的岩石化学成分

Table 1 Petrochemical composition of typical silicalite

序号	产地	样数	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	H ₂ O	资料来源
1	野田玉川	8	92.31	0.23	2.89	0.48	0.94	0.25	0.95	0.47	0.33	0.45	0.048		[2]
2	丘查	5	82.79	0.34	5.52		5.58	0.10	3.94	1.13	0.15	0.61	0.12		[2]
3	日本 Shimawto		92.8	0.08	1.99	2.12	0.73	0.78	0.95	1.03	0.41	0.42			[3]
4	美国 Franciscan		92.63	0.09	1.4	2.67	0.26	0.8	0.33	0.11	0.16	0.42			[3]
5	典型冷水型	24		0.36	5.63	3.72		0.23	1.28	0.62	1.01	1.09			[4]
6	前苏联别洛耶湖上游	4	79.91	0.46	5.85	0.82	2.10	0.11	1.15	2.82	1.18	1.05			[5]
7	澳大利亚 Renisen Bell		77.30	0.52	7.51	0.55	5.35	0.04	1.90	1.35	0.44	0.87	<0.03		[4]
8	加拿大 Agnic-Eagle		65.40	0.50	15.90	1.35	4.75	0.10	0.98	0.88	7.86	1.90	0.08		[4]
9	加拿大 Cobett		71.10	0.45	12.10	0.50	4.90	0.13	1.84	0.25	2.97	1.69	0.07		[4]
10	加拿大 Milebach		52.60	1.15	15.50	3.00	11.90	0.14	3.68	1.37	0.78	3.09	0.31		[4]
11	哥斯达黎加	37	89.88	0.12	2.50	2.96	0.06	0.43	0.44	0.30	0.18	0.42	0.07		[6]
12	勘察加		91.63	0.02	1.34	0.04	-		0.03	1.33	-	-	0.02	5.19	[7]
13	西准唐巴勒	1	70.09	0.80	10.87	7.11	1.76	0.09	1.70	0.30	3.45	3.00	0.18		[8]
14	西藏达拉布特	1	90.22	0.09	0.85	2.60	2.69	0.76	0.47	1.48	0.06	0.12	0.08		[8]
15	西藏	1	85.74	0.26	3.72	1.35	4.86	0.16	1.26	1.0	0.51	0.53			[8]
16	陕西凤太	3	74.51	0.11	1.30	0.21	3.73	0.19	1.74	7.05	0.04	0.44	0.014		[2]
17	陕西银洞子	6	52.48	0.44	17.14	1.70	3.21	0.17	0.74	2.19	3.81	2.59	0.20	0.78	[9]
18	秦岭八方山	2	82.33	0.08	1.77	0.41	1.84	0.08	1.00	3.85	0.08	0.58			[10]
19	秦岭铅铜山	3	62.45	0.07	1.09	8.85	6.81	0.26	1.23	5.48	0.07	0.24			[10]
20	秦岭邓家山	4	72.52	0.12	1.76	1.35	2.93	0.14	1.75	6.29	0.04	0.14			[10]
21	秦岭		79.99	0.08	1.50	-	2.16	0.20	0.79	1.91	-	0.55	0.07		[10]
22	辽宁清河镇群	11	89.03	0.11	2.88	0.15	0.82	0.04	1.50	2.11	0.77	1.03	0.06		[11]
23	辽东(Pt ₁)	9	91.03	0.17	2.40	0.48	1.40	0.16	0.912	2.58	0.42	0.32	0.31	0.55	[12]
24	西准唐巴勒	3	90.68	0.17	3.12	0.97	1.68	0.13	0.70	0.83	0.73	0.55	0.39		[8]
25	太平洋		85.18	0.02	0.22	5.07	0.16	0.10	0.16	0.39	0.38	0.03	0.15		[8]
26	太平洋		79.39	0.03	0.29	6.53	0.14	0.12	0.22	1.22	0.57	0.24	0.04		[8]
27	深海	25	63.91	0.65	13.30	5.66	0.67	0.50	1.95	0.75	0.83	1.17	0.16	7.35	[8]
28	南极海		67.36	0.59	11.33	3.40	1.42	0.19	1.71	0.89	1.64	2.15	0.10		[8]
29	前苏联别洛耶湖上游	4	82.76	0.13	0.93	1.20	0.35	0.37	0.16	7.90	0.21	0.17			[5]
30	格鲁吉亚(N)		95.23	0.04	0.82	0.25	-	0.01	0.16	0.79	0.05	0.11	0.12	2.87	[7]
31	格鲁吉亚(E ₃)		88.02	-	3.32	2.08	-	-	0.54	1.53	-	-	-	3.02	[7]
32	前苏联(E)		85.26	0.22	4.40	2.03	-	-	0.50	1.40	-	0.21	0.16	4.81	[7]
33	加里曼丹		94.90	0.10	2.31	1.19	-	-	0.30	0.30	-	0.50	痕	1.35	[7]
34	典型生物型	8	88.04	0.016	0.84	1.59	0.26	0.30	0.19	5.07	0.18	0.16	0.03		[4]

续表 1

序号	产地	样数	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	H ₂ O	资料来源
35	典型生物型	13	95.96	0.03	0.71	0.43	0.08	0.02	0.02	0.30	0.06	0.05	0.02		[4]
36	湖南怀化	1	92.45	-	1.24	-	4.69	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.70		[13]
37	安徽(P)		85.82	0.02	0.39	0.93	3.48	0.03	0.43	4.84	0	0.04			[5]
38	西秦岭(S ₂)	15	92.58	0.02	0.47	0.17	0.60	0.01	0.51	2.38	0.04	0.12	0.20		[14]
39	西秦岭(S ₂)	9	95.27	0.05	0.66	0.17	0.61	0.02	0.21	0.66	0.04	0.15	0.27		[14]
40	日本 Setoggawa (Tr)	37	87.92	0.21	4.81	1.70		-	0.55	0.29	0.91	1.21	0.01		[15]
41	日本 Setoggawa (Tr)	17	77.31	0.39	10.40	3.52		-	1.17	0.40	1.59	2.47	0.02		[15]
42	日本 Chichibu (P-J)	31	93.30	0.13	2.53	1.26		-	0.59	0.13	0.27	0.66	0.06		[15]
43	日本 Chichibu (P-J)	6	94.90	0.06	1.13	1.29		-	0.54	0.31	0.06	0.34	0.02		[15]
44	美国 Nevada		93.50	0.07	1.51		0.59	0.02	0.07	0.43	0.08	0.42			[16]
45	美国 Nevada		90.70	0.03	2.55		0.32	0.02	0.10	0.20	0.07	0.58			[16]
46	加拿大 Selwyn (O)		76.02	0.43	8.63		1.07	0.01	1.06	0.12	0.07	2.93	0.17		[16]
47	加拿大 Selwyn (O)		91.69	0.07	1.92		0.43	0.01	0.16	0.24	0.05	0.29	0.24		[16]
48	加拿大 Selwyn (S)		75.38	0.55	11.67		1.44	0.01	0.94	0.02	0.15	4.44	0.06		[16]
49	美国缅因	154		0.24	4.06							1.20			[17]
50	广西德保(D)	5	90.57	0.09	1.23	5.29		0.49	0.13	0.17	0.04	0.35	0.21		[18]
51	DSDP Leg 32		91.87	0.10	1.53	2.91		0.46	0.64	0.37	0.56	0.53	0.18		[18]
52	日本放射虫岩		95.30	0.10	1.99	0.98		0.04	0.54	0.38	0.12	0.51	0.06		[18]
53	湖南新晃藻硅岩		97.91	0.05	0.05	0.25	0.14	-	0.05	0.05	0.27	0.11	0.04	0.63	[19]
54	广西来宾		97.17	-	0.13	0.43	0.64	0.02	0.04	0.08	0.31	0.09			[19]
55	南方 T ₁ 黑色硅页岩		88.56		1.13		2.39		0.38	0.31	0.64	0.35	0.09		[20]
56	大巴山 T ₁ 含放射虫硅质岩		89.63	0.01	0.25		2.48	0.07	0.09	0.47		0.18	0.04		[20]
57	西天山喇嘛萨依	5	80.21	0.24	2.90	0.68	1.08	0.07	3.20	4.71	0.18	1.22	0.20		[21]
58	陕西富平(O)		77.00	0.30	3.23	0.57	3.18	0.05	1.67	6.47	0.40	0.40	0.06	1.44	[22]
59	西藏雅鲁藏布江	28	89.38	0.16	1.65	1.11	5.54	0.11	0.47	0.43	0.43	0.27	0.08		[23]
60	原苏联麦维母河上游		93.19	-	0.99	1.97	0.51	0.24	0.23	2.24	0.15	0.16	0.03	0.48	[23]

表2 硅质岩化学成分的一些常用特征比值

Table 2 Some commonly-used characteristic ratios of chemical components of silicalite

序号	成因特征	样数	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO}}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{MgO}}$	$\frac{\text{MnO}}{\text{TiO}_2}$	资料来源
1	正常生物化学沉积	8	4.40	107	235	346		[2]
2	火山沉积	4	0.46	13.7	36	69.5		[2]
3	海底热泉型, 变质	8	0.51	31.9	183	97.2		[2]
4	丘查海底热液型	5		15.0	108	20.9		[2]
5	前苏联生物化学沉积			92	259	338	2.3	[14]
6	前苏联火山沉积			14	36	70	0.24	[14]
7	正常生物化学沉积		4.94	105.2	259.8	46.5		[11]

表3 典型硅质岩的岩石化学特征比值

Table 3 Petrochemical characteristic ratios of typical silicalite

序号	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO}}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{MgO}}$	$\frac{\text{MnO}}{\text{TiO}_2}$	序号	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO}}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{MgO}}$	$\frac{\text{MnO}}{\text{TiO}_2}$
生物	4.40	107	235	346	2.3						
火山	0.46	13.7	36	69.5	0.24						
1	0.51	31.9	118	97.2	1.09	31	-	26.5		163	
2	-	15.0	109	21.0	29	32	-	19.4		171	
3	2.90	46.6	111.8	97.7	9.75	33	-	41.1		316	
4	10.27	66.2	160	281	8.89	34	6.12	104.8	259	463	18.8
5	-				0.64	35	5.38	135.2	872	4798	0.67
6	0.39	13.7	35.8	69.5	0.24	36	-	74.6	4623	9245	
7	0.10	10.3	59.0	40.7	0.08	37	0.27	220	2146	200	1.50
8	0.28	4.1	6.7	66.7	0.20	38	0.28	197	579	182	0.50
9	0.10	5.9	15.3	38.6	0.29	39	0.28	144	501	454	0.40
10	0.25	3.4	13.6	14.3	0.12	40		18.3	47.5	160	
11	49.33	36.0	149.8	204	3.6	41		7.4	19.0	66.1	
12	-	68.4		30.54		42		36.7	100.3	158	
13	3.97	6.4	10.9	41.2	0.11	43		84.0	237	176	
14	0.97	106.1	501.2	192	8.4	44		61.9	187	1336	0.29
15	0.28	23.0	82.4	68	0.62	45		35.6	139.5	907	0.67
16	0.06	57.3	155.2	42.8	1.73	46		8.8	25.3	71.7	0.02
17	0.53	3.1	8.2	70.9	0.39	47		47.8	270	573	0.14
18	0.22	46.5	124.7	82.3	1.00	48		6.5	16.4	80.2	0.02
19	1.30	57.3	201.5	50.8	3.7	49					
20	0.46	41.2	402.9	41.4	1.17	50		73.63	232	697	5.44
21	-	53.3		101.3	2.5	51		60	84	144	4.6
22	0.18	30.9	49.5	59.4	0.36	52		48	151	176	0.4
23	0.34	37.9	121.4	99.8	0.94	53	1.79	1958	258	1958	-
24	0.58	29.1	70.8	130	0.76	54	0.67	747	243	2429	-
25	31.69	387	208	532	5.0	55		78	89	233	-
26	46.64	274	98	361	4.0	56		359	498	996	7
27	8.45	4.8	32	32.8	0.77	57	0.63	28	57	25	0.29
28	2.39	5.9	17.8	39.4	0.32	58	0.18	24	96	46	0.17
29	3.43	89.0	217.8	517	2.85	59	0.20	54	128	190	0.69
30	-	116.1	595	595	0.25	60	3.86	94	301	405	-

注:资料来源同表1。

表4 桦树沟、柳沟峡铁矿床硅质岩的化学成分
Table 4 Chemical composition of silicite from Huashugou and Liugouxia iron deposit

序号	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	H ₂ O ⁺	样号	产地	资料来源
1	硅质岩	72.66	0.01	0.12	22.38		0.21	0.63	0.96	0.02	0.20	0.10		HJ5-3	桦树沟	本文
2	铁碧玉岩	53.17	0.01	0.24	27.26		0.40	2.18	0.25	0.04	0.31	0.10		HJ1-15	桦树沟	同上
3	铁碧玉岩	72.72	0.03	0.94	22.82		0.74	0.62	0.39	0.05	0.52	0.10		LG3-7-1	柳沟峡	同上
4	石英岩	80.26	0.05	0.62	3.57	0.63	0.07	0.66	7.65	0.18	0.01	0.01	0.66	LG	柳沟峡	同上
5	铁碧玉岩	55.55	0.04	1.82	30.22	4.86	0.39	0.85	0.94	0.09	0.39	0.044	0.94	J6-4	桦树沟	刘华山等 (1996)
6	铁碧玉岩	62.84	0.01	0.09	25.00	6.72	0.38	0.34	0.28	0.15	0.06	0.017	0.89	H6-8	桦树沟	
7	铁碧玉岩	54.52	0.01	0.35	12.57	13.00	0.058	1.26	0.63	0.01	0.02	0.044	0.67	910-YH-1	桦树沟	同上
8	铁碧玉岩	71.68	0.035	0.74	13.36	3.72	0.398	1.43	2.38	0.01	0.05	0.043	0.95	910-YH-2	桦树沟	同上
9	石英岩	81.03	0.015	0.48	1.58	0.84	0.042	7.32	4.00	0.00	0.00	0.036		9211-YQ-5	桦树沟	同上
10	石英岩	93.68	0.09	2.84	0.59	0.50	0.01	0.25	0.30	0.10			0.17	KD539	桦树沟	同上
11	石英岩	87.29	0.10	1.61	0.21	1.02	0.01	2.00	3.76	0.00	0.10	0.02	0.70	HdYQ12	桦树沟	杨华洲等 (1991)
12	石英岩	80.67	0.10	1.05	0.09	0.98	0.01	2.70	6.29	0.08	0.15	0.02	0.46	HdYQ13	桦树沟	同上
13	石英岩	86.22	0.78	3.31	0.35	0.78	0.02	1.29	2.37	0.10	1.38	0.03	0.60	HdYQ16	桦树沟	同上

测试单位: 国家地质实验测试中心。

较低(53%~71%),且后期又发生了重结晶作用,因而代表性较差。将桦树沟、柳沟峡铁矿床的硅质岩样品的岩石化学特征比值与表2中所列比值进行比较、判别后,可看出铁碧玉岩的特征比值总体上与火成成因者接近,而石英岩的特征比值总体上与非火成成因的特征比值接近(表5),即铁碧玉岩的成因与石英岩成因有明显差别。由中粗粒纯净石英砂组成的石英岩,在成分和结构上显示较高的成熟度,在桦树沟一带,石英岩层面常见泥裂和波痕构造,表明其为机械搬运再沉积的产物。铁碧玉岩为海底热液喷流作用的产物,与石英岩在岩石化学特征比值上有差别当在预料之中。

表5 桦树沟、柳沟峡铁矿床中硅质岩的岩石化学特征比值

Table 5 Petrochemical characteristic ratios of silicalite from Huashugou and Liugouxia iron deposits

序号	Fe ₂ O ₃ /FeO		SiO ₂ /Al ₂ O ₃		SiO ₂ /(K ₂ O+Na ₂ O)		SiO ₂ /MgO		MnO/TiO ₂		成因类型
	4.40		107		235		346		2.3		★
	0.46		13.7		36		69.5		0.24		▲
1			605.5		330.3		115.3		21.0		★
2			221.5		151.9		▲		40.0		▲
3			77.3		127.6		▲		117.3		▲
4	5.7	★	129.5	★	422.4	★	121.6		1.4	★	★
5	6.2	★	30.5	▲	115.7	▲	65.4	▲	9.8		▲
6	3.7	★	698		299.2		184.8		38.0		
7	1.0		155.8		1817		43.3	▲	5.8		
8	3.6	★	96.9	★	1194		50.2	▲	11.4		
9	1.9	★	168.8	★			11.1		2.8	★	★
10	1.0		32.9		936.8		374.7	★	0.1		
11	0.2		54.2		872.9		43.6	▲	0.1		
12	0.1		76.8	★	350.7	★	29.9		0.1		★
13	0.4	▲	26.0		58.3	▲	66.8	▲	0.03		▲

★—生物成因; ▲—火成成因。

3 图解法

图解法实际上是比值法的另一种表达方式,因为更直观,故应用也更为广泛。

3.1 Al₂O₃-TiO₂ 图解

将世界各地的典型硅质岩分为火成成因与生物成因两类,在 Al₂O₃-TiO₂ 图上投点,可看出不同成因的硅质岩有线性关系(图1),火成成因硅质岩分布于图的右上部,生物成因者位于图的左下部,中间为过渡区。火成硅质岩高 Al 高 Ti,而生物硅质岩低 Al 低 Ti。分布于过渡区者可能是多成因的,需借助其它方法综合判定。桦树沟与柳沟峡铁矿床硅质岩样品在该图上也呈线性分布(图1),并且全部落入生物成因区。比较铁碧玉岩与石英岩,前者更体现出低 Al₂O₃、低 TiO₂ 的特征,这可能有两种解释:一种是桦树沟式铁矿床的海底热液喷流作用远离火山或喷口,Al 与 Ti 含量趋于降低,因为在桦树沟矿区没有发现可清楚确认

的火山物质;另一种是以桦树沟为中心的热液喷流作用,矿化越强则原岩被改造的程度越大,原始沉积特征越不明显。如前所述,铁碧玉岩已发生了重结晶等后期改造作用。需要强调的是,铁碧玉岩与石英岩分为明显的两组,差别显著。

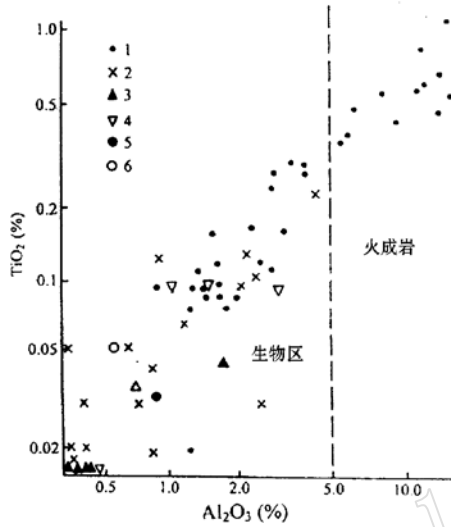


图1 不同成因硅质岩的 $Al_2O_3 - TiO_2$ 图解

Fig. 1 $Al_2O_3 - TiO_2$ diagram of silicalites of different geneses

1—火成成因典型硅质岩; 2—生物成因典型硅质岩;
3—桦树沟铁矿铁碧玉岩; 4—桦树沟石英岩; 5—柳沟峡铁矿铁碧玉岩; 6—柳沟峡石英岩

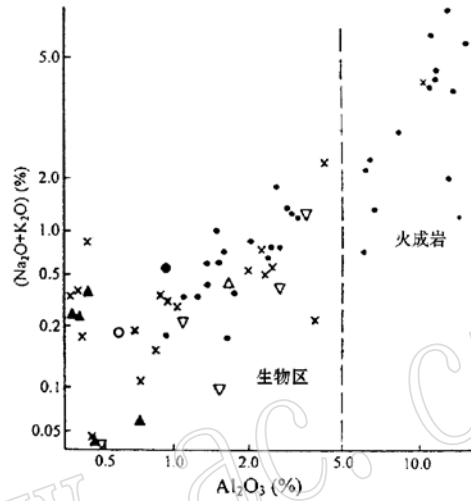


图2 不同成因硅质岩的 $Al_2O_3 - (Na_2O + K_2O)$ 图解

Fig. 2 $Al_2O_3 - (Na_2O + K_2O)$ diagram of silicalites of different geneses

(图例同图1)

3.2 $Al_2O_3 - (Na_2O + K_2O)$ 图解

典型硅质岩在 $Al_2O_3 - (Na_2O + K_2O)$ 图上的投点也呈线性分布(图2),显示铝碱正相关,其中火成成因者高铝高碱,位于图的右上部,而生物成因者低铝低碱,位于图的左下部。桦树沟、柳沟峡硅质岩样品全部落于图的左半部,石英岩为非火成成因,落入生物区理所应当。铁碧玉岩与石英岩相比,明显富碱质,表明其仍保留了部分火成成因的特征。

3.3 $SiO_2 - Al_2O_3$ 图解

该图解是从比值法 SiO_2/Al_2O_3 转化而来的,也是一种常用方法。在 $SiO_2 - Al_2O_3$ 图解上,一般生物成因者高Si低Al,而火成成因者Si与Al呈反相关(图3)。总体上生物成因者 SiO_2 都在75%以上,而火成成因者Si、Al分布较分散。桦树沟、柳沟峡硅质岩样品在该图解上分为明显的两个区,石英岩多位于生物成因区,而铁碧玉岩分布于生物成因区外,与部分火成成因者一同分布于低Si低Al区。在该图解中,石英岩显示出高Si高Al特征,而铁碧玉则具低Si低Al特点。

3.4 $(Na_2O + K_2O) - SiO_2$ 图解

生物成因硅质岩 $SiO_2/(Na_2O + K_2O)$ 值较高,位于高 SiO_2 低 $(Na_2O + K_2O)$ 区,火成成因者呈无规律散点分布(图4),并不限于火山凝灰质硅质岩区内(陈从云,1988)。桦树沟、

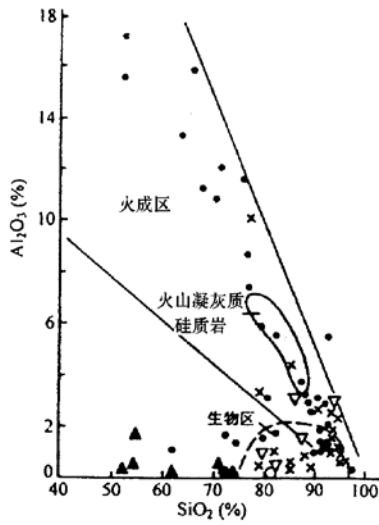


图3 不同成因硅质岩 SiO₂-Al₂O₃ 图解

Fig. 3 SiO₂-Al₂O₃ diagram of silicalites of different geneses (图例同图1)

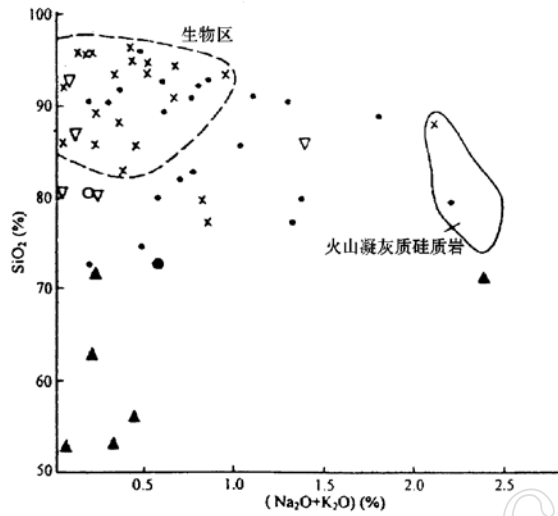


图4 不同成因硅质岩(Na₂O+K₂O)-SiO₂ 图解

Fig. 4 (Na₂O+K₂O)-SiO₂ diagram of silicalites of different geneses (图例同图1)

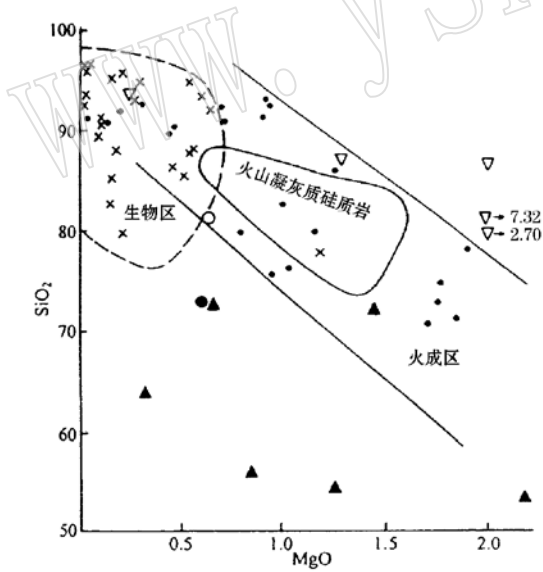


图5 不同成因硅质岩 MgO-SiO₂ 图解

Fig. 5 MgO-SiO₂ diagram of silicalites of different geneses (图例同图1)

柳沟峡石英岩样品投点多落于生物成因硅质岩区,而铁碧玉岩投点远离生物成因区呈无规律散点分布,二者区别明显。

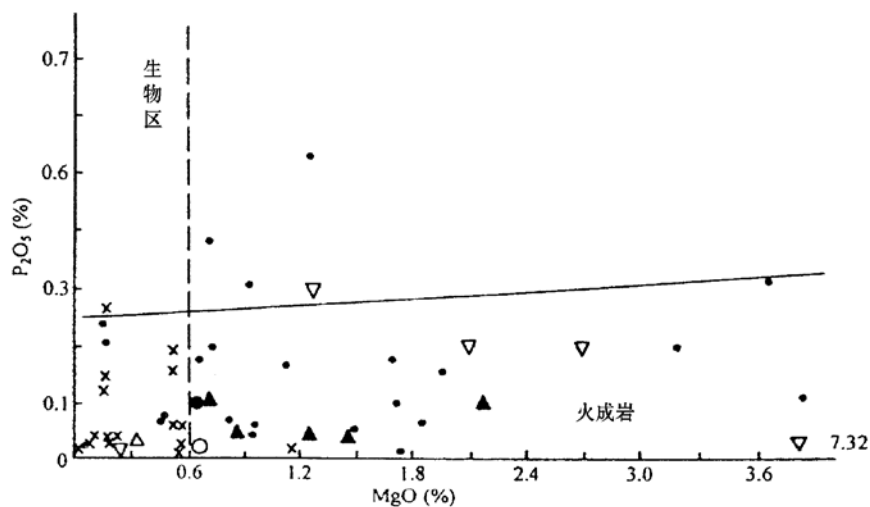
3.5 MgO-SiO₂ 图解

与(Na₂O+K₂O)-SiO₂ 图解类似,生物成因硅质岩位于高SiO₂低MgO(<1%)的区域,而火成成因硅质岩也呈散点分布,但SiO₂与MgO之间有一定的相关性,随SiO₂含量增加MgO含量显著降低(图5)。这与火成岩一般演化规律是一致的,体现了该类硅质岩火成成因的地球化学特点。桦树沟、柳沟峡石英岩的投点部分落入生物成因区,部分因后期白云石化而使MgO、CaO含量剧增,使其投点远离生物成因区。铁碧玉岩投点位于生物区外围,趋近于火成成因区。

3.6 MgO-P₂O₅ 图解

生物成因硅质岩样品投影点一般沿纵向分布,而火成成因硅质岩因低P₂O₅(一

般<0.2%)而MgO变化大,投点呈横向分布(图6)。柳沟峡、桦树沟铁碧玉岩样品投影点

图6 不同成因硅质岩 MgO-P₂O₅ 图解Fig. 6 MgO-P₂O₅ diagram of silicalites of different geneses
(图例同图1)

多分布于火成成因区,石英岩也因后期白云石化强烈而使一些投影点落入火成成因区。

3.7 Fe₂O₃-MgO-K₂O 图解和 SiO₂-Al₂O₃×10-(Fe₂O₃+MnO)×10 图解

Hein 等人(1983)在研究哥斯达黎加西部 Nicoya 玄武岩杂岩体中韵律层状和块状硅质岩时应用了这两个图解。在 Fe₂O₃-MgO-K₂O 三元图中,生物成因硅质岩趋于远离 MgO、K₂O 端而靠近 Fe₂O₃ 端分布,火成成因硅质岩则呈远离 K₂O 端的散点分布(图 7)。桦树沟、柳沟峡石英岩样品投点总体上分布于远离 K₂O 端,而靠近 MgO-Fe₂O₃ 边偏 MgO 端,铁碧玉因富 Fe₂O₃ 而分布于 Fe₂O₃ 端。石英岩与铁碧玉岩分布有明显差别。

在 SiO₂-Al₂O₃×10-(Fe₂O₃+MnO)×10 三元图解上,生物成因硅质岩分布于远离 Al₂O₃ 端而靠近 SiO₂-(Fe₂O₃+MnO)×10 边偏 SiO₂ 端一侧,火成成因者则远离(Fe₂O₃+MnO)×10 端而靠 SiO₂-Al₂O₃×10 边分布(图 7)。桦树沟、柳沟峡石英岩样品分布于生物成因区,而铁碧玉岩样品分布于远离 Al₂O₃×10 端,靠近 SiO₂-(Fe₂O₃+MnO)×10 边的近(Fe₂O₃+MnO)×10 端。Hein 等人研究的太平洋隆起金属沉积物和 Nicoya 玄武岩的投点落于 Fe₂O₃ 和(Fe₂O₃+MnO)×10 端,与桦树沟铁碧玉岩相近,显示其海底热液成因。在此图上,石英岩与铁碧玉岩分为明显的两群,也显示出二者成因上的差别。

4 结论和讨论

不同成因的硅质岩具有不同的岩石化学特征。一般生物成因的硅质岩高 SiO₂、P₂O₅、Fe₂O₃ 而低 Al₂O₃、TiO₂、FeO、MgO 及碱;而火成成因者则相反,表现为 SiO₂/Al₂O₃、SiO₂/(K₂O+Na₂O)、SiO₂/MgO 等值均显著低于前者。另一方面,生物成因硅质岩与火成成因硅质岩之间存在过渡区,比如我国吉林、山东等地,国外高加索、加利福尼亚等地都可见

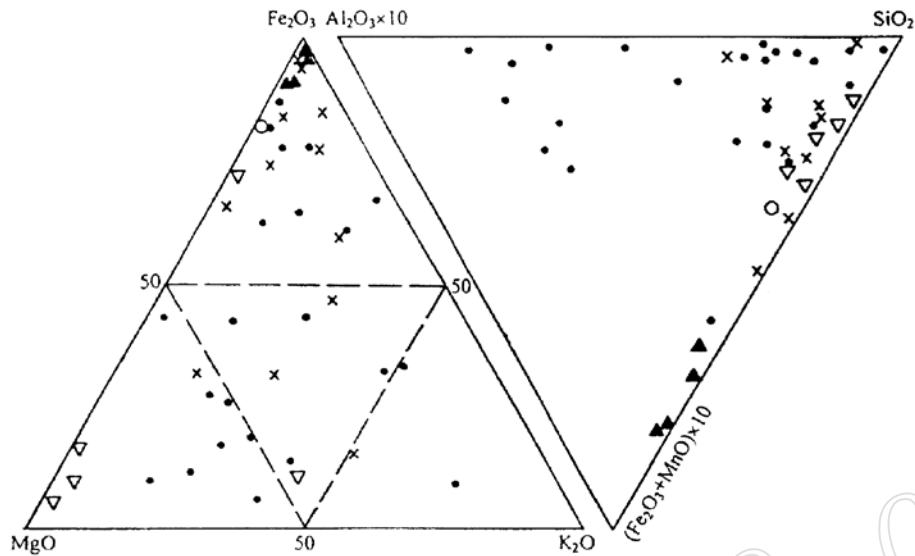


图7 不同成因硅质岩的 $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{K}_2\text{O}$ 图解和 $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 \times 10 - (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}) \times 10$ 图解

Fig. 7 $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{MgO} - \text{K}_2\text{O}$ diagram and $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 \times 10 - (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}) \times 10$ diagram of silicites of different geneses

(图例同图1)

到硅藻土与火山灰或火山岩共生的现象。实际上,通过火山喷发或海底喷流活动可以从深部带来大量的 SiO_2 ,而表生条件下在风化成壤过程中也有大量的 SiO_2 被带入沉积盆地。就特定的沉积环境而言, SiO_2 可能有两种来源,地表的和地下深处的。当沉积环境靠近大陆边缘且构造稳定, SiO_2 可能主要来自风化作用;当沉积环境构造不稳定,火山作用强烈,深部提供的 SiO_2 可能超过陆源 SiO_2 而占主导地位;在远离大陆的深海盆地,虽然也可能经浮游生物或海流带入陆源 SiO_2 ,但广泛分布的火山物质或海底喷流提供的 SiO_2 占优势。因此, SiO_2 的来源是多种多样的,不同构造-沉积条件下的硅质岩有不同的 SiO_2 来源,有不同的地球化学特征,综合分析硅质岩的岩石化学数据,对于探讨硅质岩的成因及其沉积环境有重要意义,可以获得有关沉积盆地及大地构造环境发展演化的重要信息。由于硅质岩成因的复杂性,在研究实际问题时,必须从地质情况出发,综合分析,以得出正确的结论。

通过对桦树沟、柳沟峡两个铁矿区中石英岩与铁碧玉岩的地球化学特征研究,作者认为:①两个矿区的石英岩与铁碧玉岩在地球化学特征上有明显差别。石英岩具有生物成因硅质岩特征,铁碧玉岩具火成成因特征,表明两者具有不同的来源,石英岩主要来自地表风化作用,而铁碧玉岩来源于海底喷流。也即是,铁矿由海底喷流形成,而围岩千枚岩成岩物质以陆源碎屑为主,主要形成于风化作用。另一方面,在铁矿层的下部与上部都有较厚的千枚岩,表明铁矿的形成环境应为大陆边缘,否则不能带入大量的陆源碎屑。②桦树沟的石英岩与柳沟峡的石英岩有一致的地球化学特征,桦树沟的铁碧玉岩与柳沟峡的铁碧玉岩有一致的地球化学特征,表明两个铁矿床形成于相近的地质环境,这也为二者皆为“镜铁山式”铁矿床提供了证据。

参 考 文 献

- 1 曾允孚, 夏文杰. 沉积岩石学. 北京: 地质出版社, 1986, 190.
- 2 张复新. 秦岭泥盆系中与铅锌矿化有关喷流岩的识别与找矿. 地质与勘探, 1989, (5): 11~18.
- 3 莫斯霖. 广西晚泥盆世硅质岩沉积特征与成因探讨. 广西地质, 1991, (2): 39~48.
- 4 韩 发, Hutchinson R w. 大厂锡多金属矿床热液喷气沉积的证据——含矿建造及热液沉积岩. 矿床地质, 1989, (2): 25~37.
- 5 陈洪德, 曾允孚. 广西丹池盆地上泥盆统榴江组硅质岩沉积特征及成因讨论. 矿物岩石, 1989, (4): 22~29.
- 6 Hein J R, Kuijpers E P, Denyer P and Sliney R E. Petrology and Geochemistry of Cretaceous and Paleogene Cherts from Western Costa Rica. In: A. Iijima, J. R. Hein, and R. Siever (ed.) Siliceous Deposits in the Pacific Region. Elsevier Scientific Pub. C., 1983, 143~173.
- 7 中国科学院贵阳地球化学研究所. 简明地球化学手册. 北京: 科学出版社, 1977, 126.
- 8 霍有光, 冯益民. 西准噶尔放射虫硅质岩类型、环境及地质意义. 西北地质, 1990, (3): 1~7.
- 9 薛春纪. 银洞子似碧玉岩的海底热液沉积特征研究. 矿物岩石, 1991 (2): 31~40.
- 10 吕仁生, 隗合明. 秦岭热水沉积铅锌矿床中硅质岩特征及成因. 岩石矿物学杂志, 1992, (1): 14~21.
- 11 陈从云. 辽北清河镇群硅质岩的成因与构造—沉积环境. 辽宁地质, 1988, (3): 265~273.
- 12 王仲会, 马 青. 辽宁早元古宙铅锌成矿带中硅质岩地质—地球化学特征. 辽宁地质, 1990, (2): 124~136.
- 13 刘魁梧, 陈其英, 韩安平. 磷块岩中的硅质组分和硅质岩. 岩石学报, 1990, (1): 47~55.
- 14 唐朝晖, 曾允孚. 西秦岭中志留统含铀岩系中硅质岩的岩石学、地球化学及其成因. 岩石学报, 1990, (2): 62~71.
- 15 Matsumoto R and Iijima A. Chemical Sedimentology of Some Permo-Jurassic and Tertiary Bedded Cherts in Central Honshu, Japan. In: A. Kijima, J. R. Hein and R. Siever (ed.) Siliceous Deposits in the Pacific Region. Elsevier Scientific Pub. C., 1983, 143~173.
- 16 Maynard J B, Okita P M. Bedded Barite Deposits in the United States, Canada, Germany, and China: Two Major Types Based on Tectonic Setting. Eco. Geol., 1991, 86: 364~376.
- 17 Pollock S G. Chert Formation in an Ordovician Volcanic Arc. Jour. Sed. Petro., 1987, 57 (1): 75~87.
- 18 陈多福, 陈先沛. 广西德保泥盆系硅质岩的沉积特征和成因探讨. 地球化学, 1992, (2): 190~197.
- 19 涂光炽等. 中国层控矿床地球化学 (第二卷). 北京: 科学出版社, 1987, 157~196.
- 20 王忠诚, 范德廉, 陈锦石. 大巴山下寒武统黑色岩系中毒重石矿床的成因探讨. 地质科学, 1992 (3): 237~248.
- 21 隗合明等. 西天山喇嘛萨依铜矿地质特征及成因. 西安地质学院学报, 1992 (1): 14~20.
- 22 梅志超, 卢焕勇, 李文厚. 渭北奥陶系的放射虫燧石岩. 沉积学报, 1992 (2): 9~18.
- 23 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏南部的沉积岩. 北京: 科学出版社, 1981: 52~71.

The Petrochemical Research Method for Silicalite and Its Application to the “Jingtieshan Type” Iron Deposits

Yang Jianmin¹⁾, Wang Denghong¹⁾, Mao Jingwen¹⁾, Zhang Zuoheng¹⁾,
Zhang Zhaochong²⁾, Wang Zhiliang¹⁾

¹⁾ Institute of Mineral Deposits, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

²⁾ Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037)

Key words: silicalite; Petrochemistry; ratio method; graphic method

Abstract

The study of silicalite is a rather difficult yet quite important subject, and the petrochemical method is an important means for studying its genesis and rock-forming environment. Based on a preliminary test of nearly twenty common ratio methods and graphic methods, this paper has examined their feasibility. The “Jingtieshan type” iron deposits are distributed in Middle and Upper Proterozoic Jingtieshan Group in the western part of North Qilian Mountain, where tens of iron deposits (ore spots) have been discovered. Among them, the Jingtieshan iron deposit is large-sized, and the Liugouxia and the Baijian iron deposits are medium-sized. The Lower formation of Jingtieshan Group is the host horizon of the iron deposits and belongs to greenschist facies epimetamorphic rocks, with its bottom being medium-thick stratiform quartzite. Within the Jingtieshan type iron deposits there exists ferrojasper rock associated in banded form with specularite, and hence the study of the formation environment and genesis of ferrojasper rock means the study of the formation environment and genesis of Jingtieshan type iron deposits. The authors collected ferrojasper rock samples and surrounding quartzite samples from the Huashugou and the Liugouxia iron deposits, used petrochemical research method for silicalite and compared the silicalite with typical silicalite in the world. The conclusions reached are as follows: (1) the quartzite in wall rocks of the Jingtieshan type iron deposits shows character of biogenic silicalite and results mainly from surface weathering, while the ferrojasper rock in iron orebodies exhibits igneous character and is derived from submarine exhalation; (2) geochemical characteristics of quartzite and ferrojasper rock in Huashugou and Liugouxia demonstrate that these two iron deposits were formed in similar geological environments and should both belong to Jingtieshan type iron deposits.