黑鹰山磷钇-铁矿富钠质火山岩的岩相学研究*

Petrographic Study on Sodium-Rich Volcanic Rocks in Heiyingshan Xenotime-Iron Deposit

刘 妍[1] 聂凤军[1] 江思宏[1] 苏旭新[2] 王新建[2]

（1 中国地质科学院矿产资源研究所，北京 100037；2 内蒙古地质调查院，内蒙古 呼和浩特 010020）

Liu Yan[1], Nie Fengjun[1], Jiang Sihong[1], Su Xinxu[2], Wang Xinliang[2]

(1 Institute of Mineral Resources,CAGS,Beijing 100037, China; 2 Geological Survey of Inner Mongolia, Hohhot 010020，Inner Mongolia, China)

摘 要 在矿区范围内的岩（矿）相学和电子探针方面研究，证实了富钠质的火山岩的存在，这些岩石在矿区范围内分布广泛，为主要的赋矿围岩。这套富钠质的火山岩中钠长石化、绿泥石化、磷灰石化和磁铁矿化现象极为发育，以至形成钠长角斑岩、石英钠长角斑岩、钾角斑岩和次火山岩相的石英钠长斑岩等，构成角斑岩-石英角斑岩系，从而推断此矿床可能属一种较为特殊的岩浆热液型磷钇-铁矿床。

关键词 角斑岩-石英角斑岩系 钠长石化 磷钇-铁矿床 黑鹰山

黑鹰山磷钇-铁矿位于甘肃酒泉市正北 270 km 处，属内蒙古额济纳旗管辖。该矿是 1957 年 8 月发现的，随即由祁连山地质队进行普查勘探，1959 年提交勘探报告。1966－1967 年甘肃省第四地质队又进行了补勘。1979－1983 甘肃省地质局第四地质队进行了 1∶5 万区域地质和矿产调查工作。宋叔和（1973）曾将矿区内部分岩石归为石英角斑岩和钾长石石英角斑岩。宋学信（1989）证实矿区内确有角斑岩存在。本次工作对黑鹰山磷钇-铁矿床开展了较系统的地质、地球化学和岩（矿）相学研究，确认了矿区的主要赋矿围岩为一套富钠质的火山岩-角斑岩系，总结出本矿床特有的成矿作用和规律，并解决了钇的赋存状态问题。

1 矿区地质概况

黑鹰山磷钇-铁矿床位于哈萨克斯坦板块红石山－黑鹰山地体中，大地构造位置处于哈萨克斯坦与西伯利亚板块交接地段。矿区内出露的地层主要为石炭系下统白山组第三、四岩段及第四系。其中白山组第三岩段为主要赋矿围岩，占据矿区主要位置。前人❶把第三岩段分为上、下两个岩带。上岩带主要为喷溢相的英安岩，及局部次火山岩-钠长斑岩，出露宽度自西向东为 250～600 m；下岩带为喷发-沉积相的英安质火山碎屑-沉积岩，出露宽度在西部为 600～800 m，在南东有的地段仅 30～60 m。经过我们的工作和总结前人的资料，发现主要赋矿的第三岩段英安质熔岩或英安质火山碎屑岩应为一套角斑岩-石英角斑岩系及与其相对应的角斑质火山碎屑岩类。在第三岩段内存在 3 个火山机构，火山机构边部的环状断裂控制着铁矿体的分布，在Ⅲ号火山机构的中心部位分布着钇、磷矿体。四岩段分布于矿区北东侧，主要为流纹岩，局部为霏细岩，与下覆三岩段为断层接触或喷发不整合接触。侵入岩体为海西期的花岗闪长岩和二长花岗岩，

* 国家自然科学基金项目（40073015）和国家地质调查项目（K1.3.32）联合资助

第一作者简介 刘妍，女，1957 年生，工程师，主要从事岩矿鉴定工作。

❶ 甘肃省地质矿产局. 1983. 1∶5 万黑鹰山幅区域地质矿产调查报告，矿产部分.

分布于矿区的中段南部，呈岩株状产出。并常可见有斜闪煌斑岩等岩脉。矿区构造为一走向近 EW 的单斜构造，地层产状总体倾向 N－NE，局部受火山机构及断裂的影响地层产状与总体产状不协调。

2　富钠质火山熔岩-次火山岩的岩石化学资料总结

从表 1 岩石化学资料可以看出，矿区内不论是火山熔岩还是次火山岩都以富含钠质为特征，其 Na_2O 的含量在 5.66%～10.5%之间，平均为 7.41%，明显＞6.24%（宋叔和，1973）。根据 SiO_2 的含量可将这套富钠质火山熔岩分为中性角斑岩 w（SiO_2）为：60.46%～64.50%和酸性石英角斑岩 w（SiO_2）为：65.66%～68.58%。根据 K_2O 的含量均＜1%，可确定为钠长角斑岩和石英钠长角斑岩。

表 **1**　黑鹰山磷钇-铁矿各种富钠质火山岩岩石化学成分统计表

岩石名称	角斑岩	石英钠长斑岩	石英斜长斑岩	碱流岩	英安岩	英安玢岩	钠长斑岩	角斑岩统计值
样品编号	2 个样品平均	HV-16	W-4	60-Xa	2 个样品	4 个样品	2 个样品	统计平均值
SiO_2	64.50	70.60	66.54	68.58	65.67	60.46	73.90	64.15
TiO_2	0.745	0.039	0.81	0.05	0.81	0.67	0.59	1.01
Al_2O_3	13.95	16.20	15.79	13.94	15.52	13.01	12.96	15.55
Fe_2O_3	3.14	1.41	5.41	2.76	6.85	6.25	1.41	2.23
FeO	3.70	2.33	1.35	0.84	1.30	3.70	0.91	2.58
MnO	0.378	0.039	0.11	－	0.12	0.28	0.09	0.04
MgO	3.15	0.15	0.63	0.22	0.43	2.48	0.24	1.47
CaO	1.84	0.60	0.48	1.18	0.56	1.85	0.73	2.30
Na_2O	6.35	7.78	8.11	10.5	7.20	5.66	6.28	6.24
K_2O	0.23	0.38	0.29	0.40	0.65	0.34	1.64	1.39
H_2O^+	1.45	0.41	0.90	0.54				1.41
H_2O^-	0.19	0.16	0.19	1.86				0.54
CO_2	0.36	0.54	0.22	痕				1.22
P_2O_5	0.075	0.20	0.08	0.05	0.06	0.20	0.03	0.18
V_2O_5	0.016	0.003	－	－				
总计	100.08	100.84	100.72	100.92	99.17	94.90	98.78	100.31
资料来源	宋学信, 1998	宋学信, 1998	1/5 万区调报告, 1983	刘永康, 1966	1/5 万区调报告, 1983	1/5 万区调报告, 1983	1/5 万区调报告, 1983	宋叔和, 1973

3　岩石学和矿物学研究

本次工作主要根据岩（矿）相学研究和电子探针分析结果，并参考前人的岩石化学资料，根据细碧岩-石英角斑岩的定名原则❶❷，可把矿区内所出现的富钠质火山岩分为钠长角斑岩、石英钠长角斑岩、钾角斑岩和次火山岩相的石英钠长斑岩等。

3.1　钠长角斑岩

灰－灰绿色，斑状结构，基质具似交织结构。斑晶成分主要为钠长石（电子探针分析结果见表 2，HYS-H_3-09-1　An＝0）斑晶含量 15%～20%；其次为已完全被绿泥石交代的暗色矿物斑晶含量 3%～8%；斑晶大小在 1～4 mm 之间。基质中钠长石（电子探针分析结果见表 2，HYS-H_3-09-2　An＝0）含量 45%～50%，呈小板条状，常具定向排列的流动特征，绿泥石和磁铁矿含量 25%～35%。在钠长石斑晶中残留环带构造的特征，其中心部位残留有绢云母、绿帘石和黝帘石等，表明岩石早期斜长石斑晶经历了强烈的钠黝帘石化和绢云母化作用；在钠长石斑晶的边缘部位常可见绿泥石交代绢云母和黝帘石的现象，表明绿泥石化作用发生在晚期。从而可以推断岩石的蚀变过程：绢云母化＋钠黝帘石化→钠长石化→绿泥石化。根据钠长石斑晶中所残留的蚀变矿物组合特征可推断原为中长石，并且岩石中不含石英，故该岩石的原岩应为安山岩。

❶ 宋志高. 关于细碧岩、角斑岩与细碧岩-角斑岩系一些问题的讨论. 西北地质所（内部资料）.
❷ 关于细碧岩-石英角斑岩鉴定. 西北地质所一室岩矿实验组（内部资料）.

3.2 石英钠长角斑岩

灰－灰绿色，斑状结构，基质具微晶－似交织结构。斑晶成分主要为钠长石斑晶含量 15%～20%、石英斑晶含量 2%～3%和已完全被绿泥石交代的暗色矿物斑晶含量 3%～8%，斑晶大小在 1～5 mm 之间。基质中钠长石含量 40%～45%，石英含量 10%～20%，绿泥石和磁铁矿含量 10%左右。岩石蚀变特征与钠长角斑岩相同，可推断原岩为英安岩。

3.3 钾角斑岩

该类岩石较为复杂，镜下可清楚观察到钠长石、绿泥石和磷灰石交代原生斜长石斑晶和钾长石斑晶的现象。

表 **2** 黑鹰山角斑岩矿物成分的电子探针分析结果

序号	样 号	岩石名称	矿物名称	Na_2O	K_2O	CaO	MgO	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	Cr_0O_3	MnO	FeO	Total
1	HYS-H_3-07-1	钾角斑岩	绿泥石	0.05	0.01	0.03	11.77	18.51	25.25	0.03	0.03	1.25	30.03	86.95
2	HYS-H_3-07-2	钾角斑岩	绿泥石	0.00	0.00	0.01	12.82	21.56	22.97	0.03	0.03	1.24	31.32	89.97
3	HYS-H_3-07-3	钾角斑岩	钠长石	11.99	0.04	0.10	0.01	18.91	68.10	0.00	0.00	0.02	0.04	99.21
4	HYS-H_3-07-4	钾角斑岩	钠长石	11.22	0.06	0.08	0.00	20.29	67.21	0.00	0.00	0.00	0.05	98.90
5	HYS-H_3-07-5	钾角斑岩	钠长石	11.22	0.06	0.06	0.00	20.27	67.83	0.00	0.00	0.00	0.10	99.54
6	HYS-H_3-09-1	角斑岩	钠长石斑晶	11.84	0.03	0.06	0.00	18.84	68.68	0.00	0.00	0.00	0.03	99.47
7	HYS-H_3-09-2	角斑岩	钠长石基质	11.51	0.03	0.10	0.00	18.67	68.59	0.00	0.02	0.00	0.04	98.95
8	HYS-H_1-04-1	钾角斑岩	钠长石	11.63	0.05	0.10	0.00	19.66	68.24	0.00	0.01	0.00	0.02	99.72
9	HYS-H_1-04-2	钾角斑岩	钾长石	0.24	16.28	0.00	0.00	18.28	64.77	0.00	0.00	0.03	0.09	99.69
10	HYS-H_1-04-3	钾角斑岩	钠长石	11.75	0.14	0.08	0.07	18.99	68.13	0.01	0.01	0.06	0.24	99.48

1. $(MgO_{0.9322}Fe_{1.8851}Al_{0.1878})_{3.0051}(OH)_6\{(Mg_{1.0000}Fe_{0.8809}Cr_{0.0026}Mn_{0.1165}Al_{1.0000})_{3.0000}[(Si_{2.7805}Al_{1.2124}Ti_{0.0053})_{4.0000}O_{10}](OH)_2\}$

2. $(MgO_{1.0495}Fe_{1.8100}Al_{0.3102})_{3.1697}(OH)_6\{(Mg_{1.0000}Fe_{1.0000}Al_{0.8846}Cr_{0.0026}Mn_{0.1128})_{3.0000}[(Si_{2.4633}Al_{1.5315}Ti_{0.0052})_{4.0000}O_{10}](OH)_2\}$

3.$(Na_{1.0251}K_{0.0021}Ca_{0.0048})_{1.0320}[Al_{0.9832}Si_{3.0034}O_8]$

4.$(Na_{0.9584}K_{0.0032}Ca_{0.0037})_{0.9653}[Al_{1.0537}Si_{2.9613}O_8]$

5.$(Na_{0.9603}K_{0.0016}Ca_{0.0029})_{0.9664}[Al_{1.0547}Si_{2.9666}O_8]$

6.$(Na_{1.0076}K_{0.0016}Ca_{0.0469})_{1.0121}[Al_{0.9749}Si_{3.0150}O_8]$

7.$(Na_{0.9787}K_{0.0016}Ca_{0.0469})_{1.0273}[Al_{0.9650}Si_{3.0076}O_8]$

8.$(Na_{0.9843}K_{0.0026}Ca_{0.0466})_{1.0315}[Al_{1.0095}Si_{2.9731}O_8]$

9.$(Na_{0.0217}K_{0.9632})_{0.9847}[Al_{0.9994}Si_{3.0041}O_8]$

10.$(Na_{1.0048}K_{0.0079}Ca_{0.0037})_{1.0164}[Al_{1.0064}Si_{3.0043}O_8]$

（1）斑晶成分为钠长石和钾钠长石的岩石：岩石呈灰－灰绿色，斑状结构，基质具微晶结构。斑晶成分为钠长石和钾钠长石，含量为 15%～20%。在较新鲜的钠长石斑晶中可见有呈条纹状分布的斜长石交代残留，在一般的钠长石斑晶中常见有绢云母、绿帘石和绿泥石等蚀变矿物，表明该钠长石斑晶为交代斜长石斑晶而成，其钠长石斑晶成分见表 2（HYS-H_1-04-1；*An*＝0）。钾钠长石斑晶中常可见有呈条纹状分布的钾长石（电子探针分析结果见表 2，HYS-H_1-04-2），而钠长石交代钾长石斑晶所形成的钠长石成分（电子探针分析结果见表 2；HYS-H_1-04-3，*An*＝0），表明这些钾钠长石混合斑晶为钠长石交代钾长石斑晶而成。从这些斑晶残留的特征可以推断，该岩石的原岩除含有一定量的斜长石斑晶外还含有一定量的钾长石斑晶。基质成分主要有微晶钠长石和绿泥石，不含石英，故原岩可能为粗面-安山岩。

（2）斑晶成分主要为（假象）钾钠长石的岩石：该岩石的长石斑晶呈自形板状，含量为 7%～8%，镜下观察具有钾钠长石混晶（假象）的特征，电子探针测试结果为 *An*＝0 的钠长石，见表 2（HYS-H_3-07-3；HYS-H_3-07-4）。暗色矿物斑晶含量为 2%～3%，已完全被绿泥石交代，电子探针测试结果见表 2（HYS-H_3-07-1；HYS-H_3-07-2）。基质中的碱性长石镜下也具有钾钠长石混晶（假象）的特征，电子探针测试结果为 *An*＝0 的钠长石，见表 2（HYS-H_3-07-5；）。因此，这些无论是斑晶还是基质的（假象）钾钠长石可能为钠长石交代钾长石而成。因此，从这些残留（假象）钾钠长石的特征可以推断，该岩石的原岩主要由钾长石和暗色矿物组成，岩石中不含石英，故原岩可能为粗面岩。

此外，该岩石中磷灰石交代钠长石的现象极为发育，其磷灰石晶体呈长柱状，为晚期热液蚀变作用的产物。电子探针分析结果：P_2O_5 41.94%；CaO 53.94%；其它杂质元素含量甚微，几乎不含 ΣCe 和 ΣY。

3.4　石英钠长斑岩

具斑状结构，斑晶主要为钠长石和钾钠长石，有少量石英斑晶。基质具微晶花岗结构，主要矿物成分为钠长石、石英和绿泥石。钠长石化、绿泥石化和磷灰石化现象也极为发育。

4　钇的赋存状态研究

磷钇矿床产于黑鹰山铁矿区内，位于黑鹰山铁矿区Ⅱ、Ⅲ矿段之间，主矿体分布在黑鹰山Ⅲ号火山机构中心的钠长角斑岩内。矿石矿物主要为磷灰石。前人（宋学信，1989；宋叔和，1973）做过大量的工作，发现稀土元素与磷灰石密切相关，在磷灰石单矿物样品中稀土氧化物总量达 2.94%～3.05%，并且含量相对稳定。但由于测试手段、经费等条件限制，对稀土元素的赋存状态不清，推测钇以类质同象存在于磷灰石晶格中。经过我们的工作，在粗大的磷灰石晶体中发现了 2 种稀土矿物包裹体——褐帘石和硅钇铈矿。

褐帘石：呈暗褐色，板状，产于粗大的磷灰石晶体中，粒度一般在 0.1～0.5 mm 之间。电子探针分析结果：Na_2O 0.02%； MgO 0.10%； Al_2O_3 13.52%；SiO_2 30.89%； CaO 14.17%；MnO 0.59%； FeO 15.78%； Y_2O_3 1.21%； La_2O_3 4.34%； Ce_2O_3 10.52% ；Pr_2O_3 1.43%；Nd_2O_3 3.55%。

硅钇铈矿：粒度极为细小，一般仅几个μm，呈细小包裹体均匀散布在粗大的磷灰石晶体中。鉴于稀土矿物极为细小，矿物学研究相当困难，只能根据电子探针分析结果定名。电子探针分析结果：Na_2O 0.20%；MgO 0.49%； Al_2O_3 0.65%；SiO_2 20.88%； K_2O 0.14%； CaO 1.83%；TiO_2 0.11%；MnO 0.04%； FeO 0.43%； P_2O_5 2.93%；Y_2O_3 20.35%； La_2O_3 9.09%； Ce_2O_3 22.26%；Pr_2O_3 1.16%；Nd_2O_3 9.26%；ThO_2 4.71%；总量为 94.55%。

5　结　论

（1）通过上述各岩石岩相学的研究表明，矿区内的角斑岩-石英角斑岩系是成岩后期富钠质热液对岩石发生钠长石化和绿泥石化交代作用而成。

（2）根据角斑岩-石英角斑岩系岩石中残留的原岩特征可以推断，原岩可能有安山岩、英安岩、粗面-安山岩和粗面岩等。此外，还见有蚀变玄武岩，其长石为中长石。

（3）磷灰石交代钠长石的现象说明，钠长石化作用在前，磷灰石化作用在后，为晚期热液作用的产物。另一方面，磷灰石晶体中包裹的稀土矿物褐帘石为一分布较为广泛的热液矿物，内蒙中南部地区的伟晶岩中褐帘石以富轻稀土元素为特征，其轻稀土氧化物含量为 20%左右。本次研究所发现的褐帘石轻稀土氧化物含量 19.84%～21.52%，与该地区的情况基本相吻合，说明本矿床可能属一种较为特殊的岩浆热液型磷钇-铁矿床。

参　考　文　献

刘永康. 1966. 西北一地区酸性火山岩及火山热液铁矿床的矿化特点. 矿床学论文集. 西北金属矿床. 北京：科学出版社. 33～51.

宋叔和. 1973. 关于火山岩的岩浆源和分类. 西北地质科技情报，(4)：1～13.

宋学信. 1989. 黑鹰山铁矿床的岩石学、地球化学特征及成因. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊. 第 1 号，71～79.