

内蒙古白乃庙铜矿区正副绿片岩 和正副角闪岩

内蒙古自治区一〇三地质队

王振元

一、地质概况

白乃庙铜矿区位于内蒙古自治区四子王旗白音朝克图公社。属天山—阴山纬向构造带北缘。矿区地层称白乃庙群 (Zb)，自下而上暂分五个岩段，其岩性如下：

第一岩段 (Zb¹)：变粒岩、黑云斜长片麻岩、硅线石黑云片麻岩、石榴石二云片岩、斜长角闪岩等。

第二岩段 (Zb²)：长石石英片岩、绢云长石石英片岩、黑云石英片岩夹含残斑阳起斜长片岩及变英安质角砾熔岩等。

第三岩段 (Zb³)：含残斑阳起斜长片岩、变安山质角砾状阳起斜长片岩、岩屑晶屑阳起斜长片岩、变英安流纹岩、阳起斜长片岩夹绿泥斜长片石。

第四岩段 (Zb⁴)：绢云长英片岩、绢云石英片岩、变英安岩、变英安流纹岩等。

第五岩段 (Zb⁵)：下部为含残斑阳起斜长片岩、变安山质同成分角砾熔岩、阳起斜长片岩夹绿泥斜长片岩、变安山玢岩、岩屑晶屑阳起斜长片岩；上部除上述岩性外，尚有变质砂岩、泥岩、结晶灰岩等。

上述第一、二岩段为断层接触。第一岩段是否属于白乃庙群 (Zb) 尚有不同认识。笔者考虑到地层和断层的产状及其相互关系，暂把它置于白乃庙群下部。白乃庙群 (Zb) 的时代据与其有关的一组锆英石单矿物铀钍铅法同位素年龄值定为中元古代。

变质岩可分属两个变质相，即角闪岩相和绿片岩相。本文仅就绿片岩和角闪岩的原岩性质鉴别问题做些讨论。

二、岩相学特征

绿片岩相的岩石主要分两大类：一类为熔岩状含残斑阳起斜长片岩、角砾熔岩状的阳起

斜长片岩、变余岩屑晶屑阳起斜长片岩、阳起斜长片岩夹绿泥斜长片岩。另一类为变英安岩，变英安流纹岩等。本文仅讨论前者。

1、绿片岩：这组岩石主要分布在第三、五岩段，第二、四岩段仅有少量夹层。这组岩石自下而上分两类四种岩石类型，其岩性特征如下：

(1) 正绿片岩：含残斑阳起斜长片岩，岩石表面为灰绿色，新鲜面为绿色，变余斑状结构、变余杏仁状构造、片状构造。原岩基质轻度变质形成的变质矿物交代并围绕斑晶和杏仁体呈纺锤型定向分布，构成片理，层理不发育。镜下见基质为纤状变晶结构，局部保留了辉绿结构、含长结构。杏仁体由碳酸盐、石英、绿帘石等组成。斜长石、角闪石变余斑晶明显（见图版 I—1,2），斜长石被绿帘石、绢云母沿节理交代，但保留了斜长石板状晶体的特征。角闪石被阳起石、绿帘石、绿泥石沿节理部分交代明显，仍可见较自形的角闪石轮廓。斜长石变余斑晶（ $An=32-38$ ，见表1）占0—5%，角闪石变余斑晶占0—20%，基质变质矿物钠长石（ $An=2-5$ ，见表1）占20—50%，阳起石占10—35%，绿泥石占5—15%，其次有碳酸盐和微量的锆英石、楣石、磷灰石、不透明矿物等组成。

表 1 费氏台和电子探针测定结果

Table. 1 Results of universal stage and electron probe determination

样号	岩石名称	矿物名称	费氏台测定 (An)	电子探针分析结果								
				An	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	MnO	FeO^*
P ₁₄ -8	斜长角闪岩	角闪石		1.38	13.71	9.36	44.32	0.93	12.51	0.50	16.01	
		斜长石	43—38	40	6.61	0.13	27.14	57.23	0.77	8.54	0.03	0.07
1B-1	斜长角闪岩	角闪石		1.63	12.77	10.08	42.76	0.58	12.14	0.71	17.74	
		斜长石	43—45	43	6.77	0.05	27.18	56.64	0.08	9.47	0.02	0.09
P ₁₁ -11	具残斑阳起斜长片岩	阳起石		0.35	18.58	4.96	50.73	0.17	13.94	0.39	11.34	
		斜长石	34—32	38	7.77	0.03	24.8	58.83	0.12	8.60	0.02	0.09
P ₁₁ -12	具残斑阳起斜长片岩	斜长石		2	11.98	0.01	19.79	67.29	0.13	0.35	0.02	0.05
P ₁₁ -14	具残斑阳起斜长片岩	斜长石		5	11.02	0.18	21.55	64.73	0.60	1.11	0.02	0.11
		角闪石		1.33	14.23	9.30	44.30	0.94	12.41	0.49	16.13	
ZK615	阳起斜长片岩	阳起石		1.02	17.03	10.02	44.19	0.38	13.45	0.28	12.88	
		阳起石		1.41	13.95	10.29	43.67	0.37	13.16	0.19	16.69	

(2) 角砾熔岩状含残斑阳起斜长片岩，其安山质熔岩角砾不规则，多被压扁，与基质界限宏观清晰、微观模糊呈渐变过渡特征。产状与片理一致。一般粒径数厘米到十几厘米，基质经变质形成的矿物（同熔岩状含残斑阳起斜长片岩）交代并绕角砾和变余斑晶定向排列构成片理，层理不发育，视厚度数米到数十米。与熔岩状含残斑阳起斜长片岩呈渐变过渡关系，平面上犬牙交错出现。多分布在每个喷发旋迴的下部。

(3) 具变余岩屑晶屑的阳起斜长片岩, 风化面灰色到灰绿色, 新鲜面绿色到灰绿色, 变余岩屑晶屑结构、纤状变晶结构, 片状构造。见原岩基质经变质后形成的矿物明显的交代并绕岩屑、晶屑分布。镜下见变余安山质岩屑和不规则状的棱角状斜长石晶屑。基质变质矿物为钠—奥长石、阳起石、绿泥石、绿帘石、碳酸盐和微量的磷灰石等组成。此类岩石厚度小延伸大, 常位于角砾熔岩状含残斑阳起斜长片岩的上部。

(4) 副绿片岩: 阳起斜长片岩夹绿泥斜长片岩, 风化面灰色、灰绿色, 新鲜面灰绿色、绿色。两种岩石类型呈互层状韵律式交替构成, 层理清晰。单层厚度介于数毫米到数米, 复层厚度数米到数十米。这些变化是过渡的而且经常是反复的。镜下见阳起斜长片岩呈纤状变晶结构, 片状构造。岩石由纤状阳起石、钠—奥长石和少量绿泥石、绿帘石、碳酸盐等组成。而绿泥斜长片岩呈鳞片变晶结构, 片状构造。岩石由板状斜长石、鳞片状绿泥石和少量针状阳起石、绿帘石、碳酸盐等组成。本文重点对比正绿片岩、副绿片岩两种岩石类型。

2、斜长角闪岩: 这组岩石仅分布在第一岩段的上部, 共有两种类型, 从剖面看自下而上岩性特征如下:

(1) 不具变余微层的斜长角闪岩, 风化面灰色, 新鲜面灰绿色, 粒状变晶结构、花岗变晶结构(见图版 I—3), 角闪石为短柱状, 与斜长石($An=38-45$, 见表1) 粒度均为0.1—0.4mm。矿物略具定向性。岩石主要由角闪石、斜长石和少量绿帘石、微量石英、板状钛铁矿、榍石、磷灰石等组成。绿帘石交代角闪石、斜长石、石英, 石英部分有变形纹和波状消光。

在乌拉乌苏东北有变余枕状构造, 八矿段北东见角砾状构造, 有的具变余枕状构造, 风化面灰绿色到灰色, 新鲜面灰绿色。变余岩枕中心由绿帘石、绿泥石、斜长石、碳酸盐、石榴石、黑云母等组成。边缘形成双层外壳, 由内向外分别由斜长石和角闪石组成, 锤击呈蛋壳状脱落, 岩枕体周围为斜长角闪岩。岩枕体产状与构造线方向斜交。

角砾熔岩状斜长角闪岩, 灰色, 新鲜面灰绿色, 变余安山质角砾为灰白色。变余角砾熔岩状构造, 角砾多被压扁, 与基质界限宏观明显、微观模糊不清。基质为斜长角闪岩。

(2) 具变余微层的斜长角闪岩, 灰色, 新鲜面灰绿色。纤柱状变晶结构, 角闪石呈自形, 半自形, 略具定向性, 粒度0.3—0.8mm; 斜长石呈板状较自形, 粒度0.3—0.8mm, 其含量前者多于后者。细粒花岗变晶结构, 角闪石、斜长石粒度均为0.05—0.1mm, 前者含量少于后者。岩石由两种结构形态、两种粒度和两种变质矿物含量比值不同的岩石构成层理, 层理清晰, 延伸十数米被覆盖。

根据上述研究结果, 白乃庙群两类绿片岩和两类斜长角闪岩不仅结构、构造相似, 产状也具有相似的特征。可见, 含残斑阳起斜长片岩和不具变余微层的斜长角闪岩应恢复为安山玄武质熔岩; 阳起斜长片岩夹绿泥斜长片岩和具变余微层的斜长角闪岩的原岩为凝灰岩到层凝灰岩。

三、稀土元素在变质岩原岩鉴别中的应用

为了进一步证实绿片岩和角闪岩的原岩, 运用稀土元素的地球化学分配型式进行原岩鉴别。一般岩石化学方法进行原岩鉴别比较困难的情况下, 变质岩的稀土元素含量和分配型式能帮助解决变质岩的原岩鉴别问题。一般认为, 在区域变质过程中, 稀土元素是不活动的。

表 2
Table 2

编号	岩石名称	原岩代号	样品数		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy
1	绿泥阳起斜长片岩	-	1	含量PPm	12.2	21.8	4.5	14.5	3.1	0.92	3.2	0.85	3.2
				岩石/球粒陨石	40.67	25.95	37.5	25.0	14.76	12.43	10.67	17.35	10.32
2	含残斑阳起斜长片岩	+	5	含量PPm	5.382	14.08	1.78	8.96	2.78	0.56	3.00		2.36
				岩石/球粒陨石	17.94	16.76	14.83	15.45	13.24	7.57	10.00		7.61
3	斜长角闪岩	-	2	含量PPm	7.25	17.7	3.95	13.5	3.3	1.05	3.6	0.955	3.7
				岩石/球粒陨石	24.17	21.07	32.92	23.28	15.71	14.19	12.0	19.49	12.1
4	斜长角闪岩	+	4	含量PPm	1.360	4.316		1.828	1.268	0.278	1.55		2.475
				岩石/球粒陨石	4.533	5.138		3.152	6.036	3.75	5.167		7.984
哈斯金 (Haskin) 加斯特 (Gast) 1966年球粒陨石					0.30	0.84	0.12	0.58	0.21	0.074	0.30	0.049	0.31
编号	岩石名称	原岩代号	样品数		Ho	Er	Tm	Yb	Lu	ΣREE PPm	La/Yb	$\frac{\Sigma La - Eu}{\Sigma Gd - Lu}$	
1	绿泥阳起斜长片岩	-	1	含量PPm	0.84	1.9	0.44	2.3	0.62				
				岩石/球粒陨石	11.51	9.05	13.33	11.5	20.0	70.31	5.30	4.27	
2	含残斑阳起斜长片岩	+	5	含量PPm		1.24		1.62					
				岩石/球粒陨石		5.91		8.10		41.762	3.32	4.08	
3	斜长角闪岩	-	2	含量PPm	0.95	2.15	0.49	2.3	0.68				
				岩石/球粒陨石	13.01	10.24	14.85	11.5	21.94	61.625	3.15	3.11	
4	斜长角闪岩	+	4	含量PPm		1.310		1.655					
				岩石/球粒陨石		6.283		8.275		16.038	0.82	1.29	
哈斯金 (Haskin) 加斯特 (Gast) 1966年球粒陨石					0.073	0.21	0.033	0.20	0.031				

即使在某些交代流体作用下,岩石中的碱和碱土金属含量发生了变化,稀土元素仍然基本是不活动的。但 P.L. 黑尔曼等人(1979)研究了分别产于澳大利亚、加拿大和美国三个地区的火山岩,它们均经受了埋藏变质作用,变质程度自葡萄石—绿纤石相至绿片岩相。结果表明,稀土元素在变质过程中的性状相当复杂,远远不能用“基本上不活动”来概括。他们指出在埋藏变质作用的条件下,稀土元素的活动性可表现为以下四种情况:(1)稀土元素总量增高和轻稀土选择性富集;(2)稀土含量在一定范围内波动;(3)稀土总量降低;(4)某些稀土元

素选择性活动。我们的工作证明稀土元素在判别正副角闪岩和正副绿片岩方面是有效的，而岩石化学方法则误差甚大。

白乃庙铜矿区绿片岩和角闪岩稀土元素含量和球粒陨石 (Haskin and Gast, 1966) 标准化数据如表 2，它们的稀土元素分配型式见图 1。由表 2、图 1 可见，含残斑的阳起斜长片岩稀土元素分配型式具平缓右倾亏损为特征，其稀土总量为 41ppm，轻重

稀土元素比值 $\left(\frac{\sum La-Eu}{\sum Gd-Lu}\right)$ 为 4.08，显示稀土元素总量低，富轻稀土特点。因此，这类岩石同岛弧型玄武岩类岩石具有相似的稀土元素分配型式。不含残斑的绿泥阳起斜长片岩稀土元素总量为 70.31ppm 轻重稀土元素比值 $\left(\frac{\sum La-Eu}{\sum Gd-Lu}\right)$ 为 4.27，它们的稀土元素

分配型式以平缓的右倾亏损为特征。轻稀土特征是亏损，表明火山物质是在地表的高氧逸度条件下形成。

综上所述，白乃庙铜矿区的绿片岩可分两类：一类是含残斑阳起斜长片岩应鉴别为中基性熔岩；另一类阳起斜长片岩夹绿泥斜长片岩其原岩应鉴别为凝灰岩或层凝灰岩。

斜长角闪岩稀土元素和球粒陨石标准化及分配型式仍见表 2、图 1，其中不具微层理的斜长角闪岩与含残斑阳起斜长片岩具有相似的重稀土元素分配型式和负钕异常特征，轻稀土元素有明显的差异（后面讨论）。尽管如此，含残斑阳起斜长片岩经鉴别原岩为中基性熔岩，由此可见不具微层的斜长角闪岩原岩应为基性熔岩。另一类具微层的斜长角闪岩与阳起斜长片岩具有相似的稀土元素含量和稀土元素分配型式。经鉴别它们的原岩都是凝灰岩或层凝灰岩。

对比正变质斜长角闪岩与正变质含残斑阳起斜长片岩稀土元素 (REE) 分配型式，前者低，呈波状左倾；后者高，呈平缓右倾。重稀土元素与岛弧拉斑玄武岩近似而轻稀土与拉斑玄武岩相比前者偏低，后者相近。正斜长角闪岩这种稀土元素分配型式可能有两种原因：一是岩浆形成时熔融量大，接近于洋中脊玄武岩的类型，轻稀土原始亏损。二是某些角闪岩相变质岩在变质作用过程中，在适当成分变质流体的参与下可导致 LREE 的活化和带出 (B.L. 维沃等, 1981)。含残斑阳起斜长片岩基本上保留了岛弧拉斑玄武岩的 REE 分配型式特征。这可能是在变质作用过程中原岩矿物 (辉石、角闪石、斜长石) 经变质反应形成新的变质矿物 (阳起石、绿泥石、绿帘石等)，使 REE 在新的物理化学条件下重新分配，但含量没有发生显著变化。

副斜长角闪岩和阳起斜长片岩 REE 分配型式均呈弱的富 LREE 型，它们的总含量、REE 与球粒陨石比值、 $\frac{\sum La-Eu}{\sum Gd-Lu}$ 的比值都比相对应的正斜长角闪岩和含残斑阳起斜长片岩高，表现出基性、中基性火山沉积岩的特征。

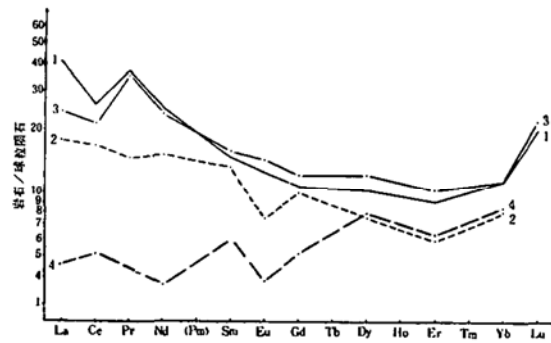


图 1 内蒙古白乃庙绿片岩、角闪岩稀土元素分配型式图

Fig.1 REE pattern of greenschist and amphibolite of Bainaimiao Group, Inner Mongolia
1—绿泥阳起斜长片岩；2—含残斑阳起斜长片岩；
3—具变余微层的斜长角闪岩；4—不具微层的斜长角闪岩

正斜长角闪岩和含残斑阳起斜长片岩的REE分配型式图上均出现负铕异常。其原因：①变质原岩可能是在富氢低氧的条件下形成；②铕(Eu^{2+})的地球化学性质与钙(Ca^{+2})相似， Eu^{2+} 富集于早期沉淀的斜长石中。副斜长角闪岩和阳起斜长片岩的REE分配型式图上，均出现负Ce异常，据Ce的地球化学性质，它可以从 Ce^{3+} 被氧化成 Ce^{4+} 。 Ce^{4+} 就从三价稀土“整体”中分离出去。由于 $\text{Ce}^{3+} \rightleftharpoons \text{Ce}^{4+} + e$ 的氧化电位高，因此，只有在强氧化条件下才能形成。是否可以推断这套火山沉积岩是在陆缘高氧逸度条件下形成的。虽经变质作用，变质形成的新矿物（阳起石、绿帘石、绿泥石）都能较多的“捕获”原岩中矿物分解放出的REE。因此，REE在变质作用前后也没有发生显著变化。

上述讨论的四种岩石类型属同源、同时的火山沉积地层，经历相同的变质作用。

通过白乃庙群的正副绿片岩和正副角闪岩的变余特征的观察和稀土元素分配型式的研究结果表明，二者吻合得较好。在中浅变质相范围内，稀土有可能作为鉴别正副绿片岩和正副角闪岩的有效方法。

本文是在王仁民同志帮助下完成的。秦正永、张宏业同志审阅并提出宝贵的修改意见，郑振芳总工程师等给予大力支持，绘图室同志代为清绘图件。笔者在此一并感谢。

主要参考文献

- 〔1〕 徐登科等，1977，矿物化学计算方法，地质出版社。
- 〔2〕 王凯怡，1981，某些变质岩中的稀土元素，国外地质，11期，科学技术文献出版社。
- 〔3〕 赵振华，1978.9，稀土元素地球化学特征及其在岩石和矿床成因研究中的应用，地质地球化学，贵州人民出版社。
- 〔4〕 王贤觉等，1984，海南玄武岩的某些地球化学特征，地球化学，第4期，科学出版社。

图版说明

图版 I-1，薄片，单偏光×33

含残斑阳起斜长片岩，纤状变晶结构，变余斑状结构。变余斑晶：角闪石(Hb)，斜长石(Pl)；基质：阳起石。

图版 I-2，薄片，单偏光×33

含残斑绿泥斜长片岩，变余斑状结构，鳞片变晶结构；变余斑晶：斜长石(Pl)；基质：斜长石(灰白色)，绿泥石(chl)，碳酸盐(Cc)

图版 I-3，薄片，单偏光×33

斜长角闪岩，花岗变晶结构，斜长石(灰白色Pl)，角闪石(灰黑色Hb)。

Ortho-or Para-Greenschist and Amphibolite in Bainaimiao Copper Mining District, Inner Mongolia Autonomous Region

Wang Zhenyuan

Abstract

The metamorphic rocks of the Bainaimiao Group in Bainaimiao Copper Mining District have been metamorphosed to amphibolite facies and greenschist

facies. The amphibolite facies consists mainly of leptite, gneiss, blastobanded amphibolite and non-blastobanded amphibolite. The greenschist facies is composed largely of relict phenocryst-bearing actinolite plagioclase schist and non-phenocrystal actinolite plagioclase schist with intercalated chlorite-plagioclase schist.

Through studies of their relict textures and REE patterns, both the amphibolite and greenschist can be divided into ortho- and para-types.

The protoliths of the relict phenocrystal actinolite plagioclase schist and non-blastobanded amphibolite were basic lavas, while those of the non-phenocrystal actinolite plagioclase schist and blastobanded amphibolite were tuff or layered tuff.

