

西藏中南部各类花岗岩中磁铁矿 标型特征的研究

丁 孝 石

(中国地质科学院矿床地质研究所)

磁铁矿是最常见的贯通矿物之一，各种地质体中均可见到。不同成因的磁铁矿，其化学成分，内部结构和物理性质等是有差异的。因此，根据磁铁矿的某些特征来探讨其岩体成因是有一定意义的。

一、概 述

1. 花岗岩类岩石分布和样品采集

西藏地区火成岩出露面积比较广泛。其花岗岩类岩石主要分布在雅鲁藏布江北岸，呈东西向连续分布，并严格受构造控制，这是我们所熟知的冈底斯中酸性侵入岩带。主要岩性为花岗闪长岩。在该带的不同地点共采集11个人工重砂样品。在冈底斯岩带北、南两侧多见不连续的零星分布的花岗岩小岩株。北带（羊八井地区）所出露的岩性多为黑云母花岗岩，在该带不同岩体中共采集13个人工重砂样品。南带（仁布—聂拉木）所出露的多为

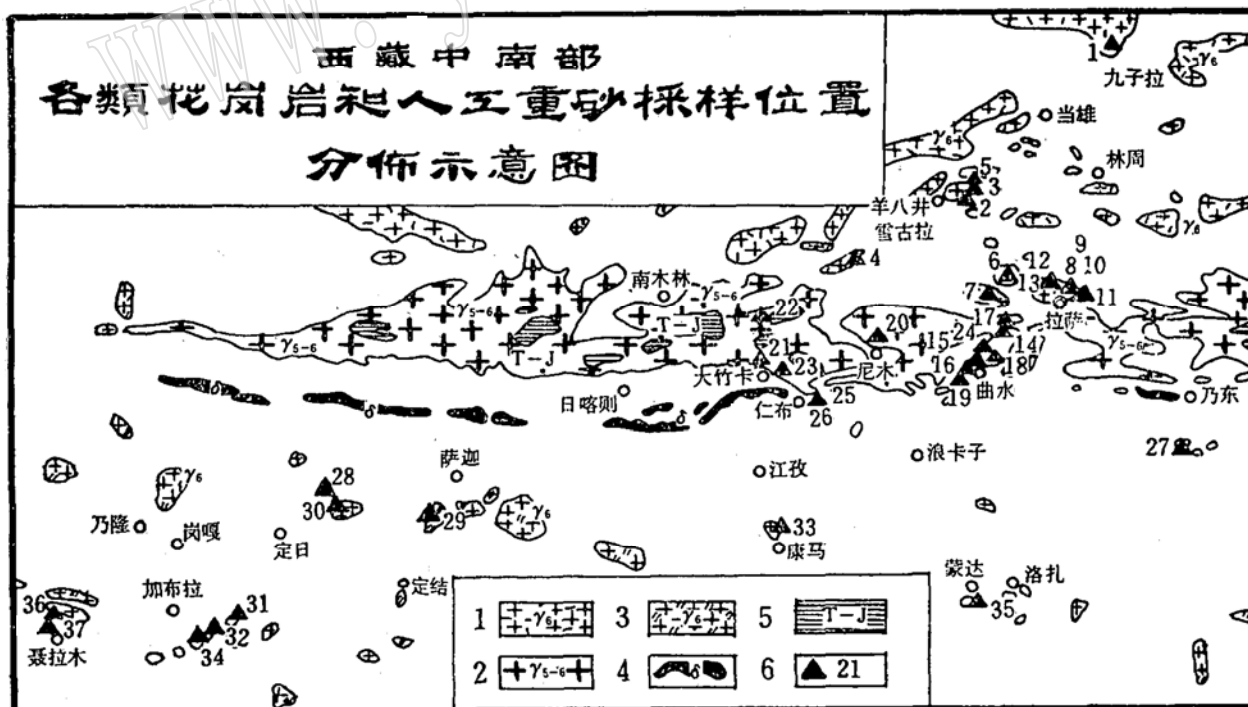


图 1 西藏中南部各类花岗岩和人工重砂采样位置分布示意图

Fig. 1 Index map Showing sampling locations in granites in Central—South Xizang.

图例说明: 1—二云母花岗岩, 2—花岗闪长岩, 3—黑云母花岗岩, 4—蛇绿岩, 5—凝灰岩, 6—采样位置。

二云母花岗岩和电气石花岗岩小岩株。在该带共采集12个人工重砂样品。西藏中南部各类花岗岩和采样位置见图1。

2. 各类花岗岩中矿物共生组合及磁铁矿的含量

所采集的人工重砂原岩为花岗闪长岩、黑云母花岗岩、二云母花岗岩、电气石花岗岩和混合岩（眼球状混合岩和黑云斜长斑状混合岩）。由于原岩性质和产生的地质条件不同，样品中的矿物共生组合也有明显的不同，见表1。

表 1 各类花岗岩中矿物共生组合

Tab. 1 Mineral association in various types of granites

岩 性	花岗闪长岩	黑云母花岗岩	二云母花岗岩	电气石花岗岩	混 合 岩
样 品 编 号	XR-381, XR-398 XR-5401, XR-370 XR-494, XR-455 XR-481, XR-542 XR-599, XR-155 XR-79, XR-130A Na-1, XR-470	XR-10A, XR-40 XR-36, XR-86 XR-91 XR-109 XR-549, XR-65 XR-95, XR-104 XR-256	XR-27E, XP-27F XR-363, XR-358 XR-353, XR-226B XR-170	XR-96, XR-140	XR-101 XR-141
分 布	中带 曲水—尼木—大竹卡	北带 拉萨—羊八井—当雄	南带 洛扎—聂拉木	南带 聂拉木	南带 聂拉木
矿 物 组 合 (比重>3)	黑云母, 角闪石 绿帘石, 褐帘石 磁铁矿, 榍石 磷灰石, 钛铁矿 石榴石, 黄铁矿 锆石, 钼石	黑云母, 绿帘石 褐帘石, 磁铁矿 榍石, 磷灰石 钛铁矿, 石榴石 黄铁矿, 锆石 独居石, 钼石 辉钼矿, 萤石	黑云母, 白云母 磷灰石, 电气石 钛铁矿, 金红石 石榴石, 黄铁矿 锆石、晶质铀矿	磷灰石 电气石 锆 石	黑云母、磷灰石 电气石、钛铁矿 锆石, 十字石 独居石, 磷钇矿

从表1可看出：磁铁矿主要富集在中带冈底斯花岗闪长岩带和北带（羊八井）的黑云母花岗岩中，而南带二云母花岗岩和电气石花岗岩中未见磁铁矿产出。

各类花岗岩中磁铁矿的定量结果见表2。

从表2看出：磁铁矿在各样品中含量有着明显差别。花岗闪长岩中磁铁矿的含量大部分在15000克/吨以上；黑云母花岗岩中的磁铁矿含量在10000克/吨以下。而二云母花岗岩和电气石花岗岩中则不含磁铁矿。另外，磁铁矿含量多寡与原岩中的铁含量成正比。由花岗闪长岩至黑云母花岗岩至二云母花岗岩和电气石花岗岩，其磁铁矿的品位和原岩中铁（ $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ）的含量依次降低。

根据石原舜山提出花岗岩类岩石中磁铁矿系和钛铁矿系的成因分类法^[1]可知：冈底斯岩带（花岗闪长岩）属磁铁矿型；南带（二云母花岗岩和电气石花岗岩）属钛铁矿型。前者应属I型，后者为S型。在ACF图上（图2），南带花岗岩贫Ca（S型）和中、北带花岗闪长岩和黑云母花岗岩富Ca（I型）。在ACF图上则能明显区分。

表2 各类花岗岩中磁铁矿含量及化学参数

Tab. 2 Content and chemical parameters of magnetites in granites.

分带	序号	野外编号	岩石名称	产地	磁铁矿 品位 (克/吨)	原岩化学参数				
						A. C. F 参数			Fe ₂ O ₃ + FeO (%)	Fe ³⁺ / Fe ²⁺ + Fe ³⁺
						Al ₂ O ₃ - Na ₂ O- K ₂ O	CaO	FeO- MgO		
北带 (羊八井)	1	XR-10A	花岗岩	当雄	4500	8.05	3.42	3.54	3.46	0.326
	2	XR-40	黑云母花岗岩	羊八井	12872.3	6.59	0.11	4.58	3.49	0.435
	3	XR-36	黑云母花岗岩	羊八井	9850	5.79	2.36	1.78	3.03	0.600
	4	XR-65	黑云母花岗岩	雪古拉	5070.6	2.74	0.77	1.40	1.51	0.500
	5	XR-45	浅色花岗岩	羊八井	4644.4	3.63	1.10	1.26	3.06	0.675
	6	XR-130A	黑云角闪花岗岩	拉格路151	13333.3	7.42	2.68	2.44	4.47	0.754
	7	XR-155	黑云角闪花岗岩	古荣	29250	7.55	5.04	7.57	7.81	0.324
	8	XR-79	黑云角闪花岗岩	夺底沟	24750	9.26	5.67	6.17	6.48	0.407
	9	XR-86	黑云母花岗岩	夺底沟	9112.5	7.35	0.79	1.96	3.41	0.511
	10	XR-91	黑云母花岗岩	夺底电站	6243.2	6.24	2.36	2.95	3.38	0.356
	11	Na-1	黑云角闪花岗岩	纳金电站	27676.9	15.05	7.78	7.13	7.90	0.429
	12	XR-109	粗粒斑状花岗岩	天葬台	10473.2	6.99	1.76	2.21	2.94	0.487
	13	XR-104	浅色花岗岩	天葬台	4581	6.83	0.32	1.16	1.35	0.444
中带 (曲水—大竹卡)	14	XR-5401	斑状钾长花岗岩	曲水	16183.9	9.30	4.67	3.47	6.06	0.718
	15	XR-494	花岗闪长岩	曲水	18145.1	10.30	6.29	4.92	6.43	0.655
	16	XR-470	绿帘石花岗岩	曲水		8.59	3.41	3.34	4.38	0.517
	17	XR-481	花岗闪长岩	曲水	15350	8.82	4.25	3.20	5.79	0.747
	18	XR-549	黑云母花岗岩	曲水	6000	6.77	2.44	1.02	2.05	0.731
	19	XR-455	花岗闪长岩	曲水	25638.1	11.25	5.76	6.22	7.27	0.490
	20	XR-599	黑云母花岗岩	尼木	1483.9	7.95	2.93	2.28	4.57	0.746
	21	XR-381	花岗闪长岩	大竹卡	31861.9	11.65	8.41	6.91	9.27	0.608
	22	XR-398	花岗闪长岩	大竹卡	25886.2	11.68	5.37	5.54	7.48	0.551
	23	XR-370	花岗闪长岩	大竹卡	8457.1	7.77	3.46	3.56	5.43	0.606
	24	XR-542	花岗闪长岩中包体	曲水	9633.3	11.94	8.78	8.60	10.52	0.475
	25	XR-27F	二云母花岗岩	仁布		4.47	0.63	1.58	1.41	0.211
	26	XR-27E	二云母花岗岩	仁布		5.50	0.63	1.47	1.46	0.263
南带 (洛扎—聂拉木)	27	XR-226B	二云母花岗岩	浪卡子山口		8.08	1.73	1.86	2.34	0.533
	28	XR-363	白云母花岗岩	嘉错拉		7.77	1.49	1.16	1.69	0.591
	29	XR-358	二云母花岗岩	定日		4.94	1.18	0.78	1.64	0.571
	30	XR-353	二云母花岗岩	嘉错拉		4.56	1.25	2.19	3.16	0.488
	31	XR-95	黑云母花岗岩	定日通门		6.30	1.42	2.58	2.63	0.222
	32	RX-96	电气石花岗岩	绒布寺		8.62	0.20	1.69	1.42	0.474
	33	XR-256	黑云母花岗岩	康马	259.5	6.45	2.18	1.89	2.17	0.500
	34	XR-101	黑云斜长混合岩	绒布寺		9.37	2.52	4.98	6.85	0.516
	35	XR-170	白云母花岗岩	洛扎		6.38	1.25	0.67	0.92	0.250
	36	XR-140	电气二云花岗岩	聂拉木		7.72	0.61	1.82	1.32	0.333
	37	XR-141	眼球状混合岩	聂拉木		8.25	2.05	3.75	3.96	0.278

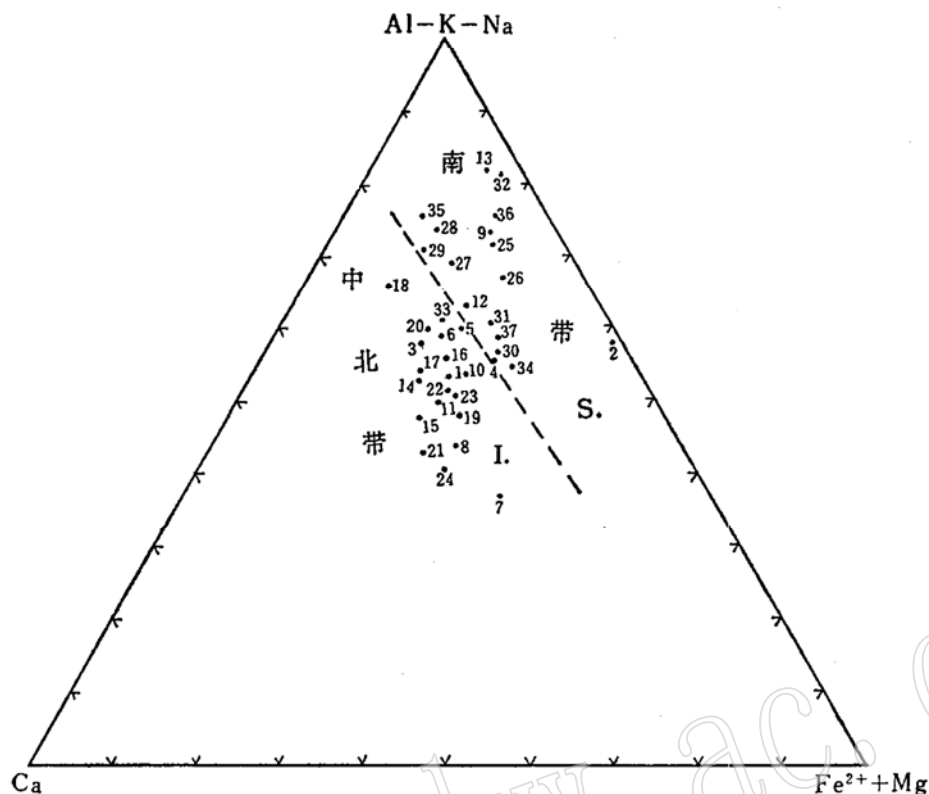


图 2 西藏中南部各类花岗岩的ACF图

Fig. 2 ACF diagram of granites of Central-South Xizang

注：图中编号同表 2。

二、磁铁矿的型标特征

1. 磁铁矿的物性、光性特征

磁铁矿属等轴晶系、八面体晶形，粒度为0.2—0.3毫米。颜色为黑色，条痕褐红色。不透明、强磁性。比重为4.72—5.38。硬度为325—467公斤/毫米²。从所测得的成果来看，比重大小与磁铁矿本身的化学成分Si、Al等含量多少有关。

作者又测定了在不同单色光下的反射率，见表3。在反光镜下还见有部分磁铁矿中钛铁矿的分离片晶。片晶呈针状，多分布在磁铁矿的边部或其解理中，钛铁矿的反射率高于磁铁矿。出现钛铁矿的分离片晶仅见于几个磁铁矿样品(XR—104, XR—45, XR—65, XR—398, XR—5401, XR—542)。这一钛铁矿分离片晶固溶体分解结构的出现，标志着磁铁矿的形成温度可能为520℃^[2]。

2. 磁铁矿的X—射线分析

23个磁铁矿的X光衍射分析结果见表4。该样品是用日本理学D/max—ⅢA型X光衍射仪分析的。实验条件：Fe/Mn, 40kv, 30mA。

磁铁矿的空间群为Fd3m (O_h⁷)。求晶胞参数a值按下面公式计算：

$$1/d_{hkl}^2 = (h^2 + k^2 + l^2) / a^2$$

磁铁矿的晶棱长a₀值为8.368—8.388。该值的变化可能与磁铁矿本身成分含量和比重有密切的关系。

表3 磁铁矿的物性和光性特征

Tab. 3 Physical and optical characteristics of magnetites

岩性	编 号	产 地	硬 度 (公斤/ 毫米 ²)	比 重	反 射 率 (%)				晶胞棱长 a_0 (Å)
					480	546	589	656	
花 岗 闪 长 岩	XR-398	大竹卡	467	5.26	20.48	19.52	19.19	20.00	8.378
	XR-381	大竹卡	424	5.21	19.51	19.80	19.67	20.17	8.381
	XR-370	大竹卡	386	5.06	20.68	20.70	20.53	20.09	8.371
	XR-599	尼 木	353	4.79	19.21	18.40	18.77	19.20	8.381
	XR-5401	曲 水	325	5.38	20.06	18.01	20.99	20.71	8.378
	XR-494	曲 水	386	4.96	19.83	19.56	19.00	18.63	8.378
	XR-481	曲 水	424	4.98	21.08	20.59	19.83	20.56	8.381
	XR-542	曲 水	386	5.00	19.75	19.50	19.73	19.82	8.375
	XR-455	曲 水	353	5.33	19.80	18.98	18.59	18.86	8.378
	XR-155	古 荣	424	4.79	19.25	20.31	19.57	20.00	8.381
	Na-1	纳金电站	353	5.22	19.49	18.83	18.49	18.84	8.378
	XR-130A	拉格公路151	386	5.16	19.81	19.73	18.68	19.02	8.378
	XR-79	夺底沟	424	4.86	20.38	17.49	19.68	19.81	8.375
黑 云 母 花 岗 岩	XR-549	曲 水	386	4.66	19.62	17.96	19.65	20.00	8.388
	XR-10A	当 雄	353	4.72	19.36	19.74	19.51	19.82	8.381
	XR-65	雪古拉	467	5.19	21.61	20.82	20.06	20.76	8.381
	XR-36	羊八井	325	5.31	20.02	19.41	19.00	19.20	8.378
	XR-40	羊八井	467	5.07	19.80	20.18	20.09	20.67	8.388
	XR-45	羊八井	424	5.35	19.87	19.77	20.41	21.06	8.378
	XR-91	夺底电站	424	4.98	20.24	20.15	20.18	20.36	8.381
	XR-86	夺底沟	424	5.30	19.95	18.60	20.63	19.53	8.368
	XR-104	天葬台	386	5.06	18.95	17.45	18.87	19.20	8.391
	XR-109	天葬台	405	5.16	20.98	20.92	20.76	20.89	8.381

3. 磁铁矿的化学成分

将西藏中部各花岗岩类岩石中的磁铁矿进行了化学全分析和微量元素分析, 结果见表5。从表5可看出以下几个特点:

(1) 磁铁矿中的 $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量均在94.09—98.04%, 而 FeO 含量在24.25—30.72%; Fe_2O_3 含量在64.18—72.67%。与磁铁矿的理论值(FeO 31.06%, Fe_2O_3 68.94%)^[3]相比稍有不同, 实测值一般均低于磁铁矿的理论值, 这是由于成岩过程中有少量元素混入所造成的。实测磁铁矿中 $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ 比值为2.2—2.5。其中大部比值均与磁铁矿的理论值($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$) 2.2相当。

(2) 磁铁矿中往往会混入与 Fe^{3+} 和 Fe^{2+} 离子半径相近的一些元素, 如Al, Ti, Si, Mg, Mn, Ca以及微量元素Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co等。它们在磁铁矿中的种类和含量会引起磁铁矿的晶胞参数、比重、硬度和反射率等物性、光性的改变。所以, 磁铁矿的化学成分可以作为探索磁铁矿形成的标型特征。

(3) 花岗闪长岩中磁铁矿的 TiO_2 、 Al_2O_3 、 MnO 和 MgO 的含量比黑云母花岗岩中磁铁矿低, 这一现象, 说明Ti、Al、Mg、Mn在磁铁矿中含量是随着岩石酸度的增高而降低。此外, 还与其形成温度有关, 成岩温度高时, 磁铁矿中Ti等元素的含量也较高, 反之较低^[3]。

表4 磁铁矿的X光衍射分析(d)

Tab. 4 X-ray diffraction analysis of magnetites

样品号	资料[8]			花岗闪长岩型									
	I	d	hkl	XR-398	XR-381	XR-370	XR-599	XR-5401	XR-494	XR-481	X-R 542	XR- 455	XR- 155
d值	3	4.800	111	4.823	4.832	4.819	4.835	4.829 4.644	7.200 4.827		4.823	4.823	4.830
										4.035			
	6	2.968	220	3.016 2.960	2.963	2.959	2.963	2.961	2.961	2.962	2.960	2.961	2.962 2.695
	10	2.526	311	2.526	2.527	2.524	2.527	2.526	2.526	2.527	2.525	2.526	2.527
	2	2.422	222	2.418			2.419	2.418	2.420			2.421	
	6	2.094	400	2.095	2.096	2.094	2.096	2.095	2.094	2.096	2.094	2.094	2.096
	4	1.715	422	1.712	1.712	1.712	1.712			1.713		1.712	1.712
	6	1.615	511.333	1.614		1.614	1.615	1.614	1.614	1.614	1.613	1.614	1.614
a_0 (Å)	8	1.485	440	1.483		1.483	1.483	1.483	1.483 1.479	1.483 1.479	1.482	1.483 1.480	1.483
		8.404		8.378	8.381	8.371	8.381	8.378	8.378	8.381	8.375	8.378	8.381
样品号	花岗闪长岩型			黑云母花岗岩型									
	Na-1	XR-130A	XR-79	XR-549	XR-10A	XR-65	XR-36	XR-40	XR-45	XR-91	XR-86	XR-104	XR- 10
d值				9.392									
	4.832	4.829	4.827	4.838	4.833	4.832	4.829	4.838	4.832	4.835	4.816	4.839	4.830
					4.428								
									3.295				
	2.961	2.961	2.960	2.963	2.963	2.963	2.961	2.964	2.961	2.962	2.957	2.964	2.964
		2.703							2.694				
	2.526	2.526	2.525	2.529	2.527	2.527	2.526	2.529	2.526	2.527	2.523	2.530	2.527
	2.419	2.419	2.419	2.421	2.421				2.419	2.420	2.416		2.421
	2.095	2.096	2.095	2.096	2.097	2.096	2.096	2.096	2.094	2.095	2.093	2.098	2.097
		1.712	1.712		1.713		1.712				1.710	1.690	1.712
	1.614	1.614	1.614	1.615	1.615	1.615	1.614	1.614	1.614	1.614	1.613	1.615	1.615
a_0 (Å)	1.611	1.610			1.611								1.611
	1.483	1.483	1.483	1.483	1.483	1.484	1.484	1.483	1.483	1.483	1.482	1.483	
		1.479			1.480		1.480				1.479		
	8.378	8.378	8.368	8.388	8.381	8.381	8.378	8.388	8.378	8.381	8.368	8.391	8.381

分析者：四川峨眉综合利用研究所杨有富。

(4) 花岗闪长岩中磁铁矿的Cr、Ni和Co含量比黑云母花岗岩中磁铁矿要高。前者一般含量为Cr=86—270PPm, Ni=24—68ppm, Co=33—73ppm。后者比前者则低一个数量级或一倍。由此说明, 由基性岩岩浆所分异的花岗岩其磁铁矿中Ti、Cr、Ni、Co的含量较高, 而硅铝层重熔花岗岩的磁铁矿中则含量较低^[4]。

(5) 依据磁铁矿中MnO和TiO₂的含量关系可了解磁铁矿的分布特点。从图3可见, 花岗闪长岩中的磁铁矿的MnO含量在0.10—0.26%之间, 而TiO₂在0.2—1.5%之间。但中带(冈底斯岩带)花岗闪长岩磁铁矿中MnO和TiO₂的含量低于北带(拉萨—古荣)黑云母花岗岩磁铁矿中MnO和TiO₂的值。在图上还可看出: 黑云母花岗岩中磁铁矿分布有两个区域, 一个高Mn区(XR-40, XR-65, XR-91, XR-109, XR-104)和一个低Mn区(XR-36, XR-86, XR10A)。两个区正好分布在花岗闪长岩体区域边缘部分。

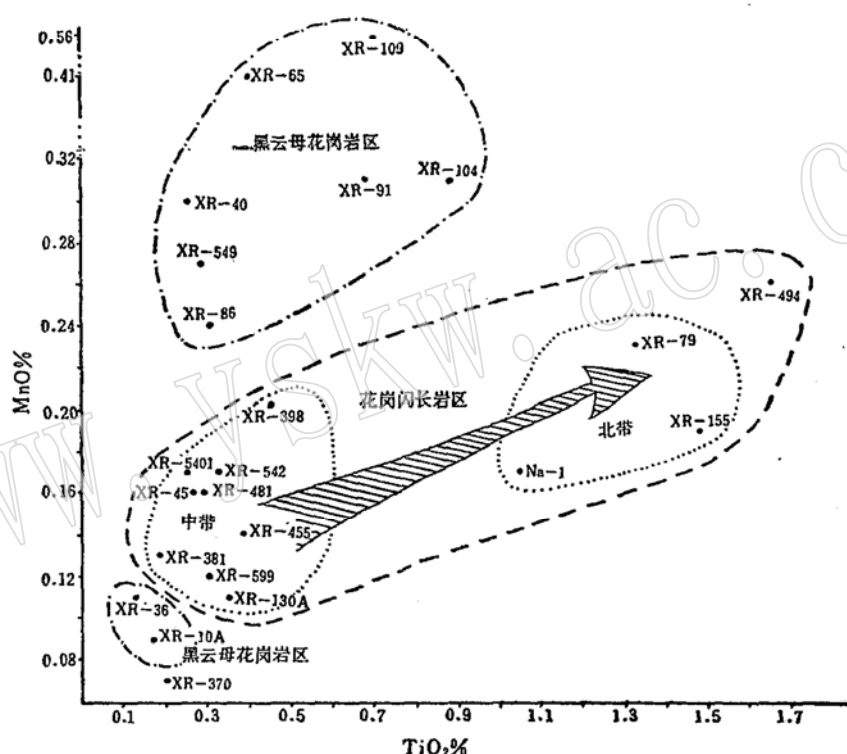


图3 黑云母中的TiO₂与MnO分布

Fig.3 Relation between MnO and TiO₂ in magnetites

4. 磁铁矿的穆斯堡尔谱分析

穆斯堡尔法是研究铁的价态、高铁和高铁的含量比值、占位等最有效的方法。

将23个磁铁矿样品进行了穆斯堡尔谱分析。该样品是在国产FF—1913型穆斯堡尔谱仪上进行的。所测得的磁铁矿穆斯堡尔谱见图4。其中各种穆斯堡尔谱参数用日本160—II型计算机拟合, 结果见表6和表7。从图4和表6、7中可以看出:

(1) 磁铁矿属反尖晶石型结构。晶体化学式为Fe³⁺[Fe²⁺ + Fe³⁺]O₄。每个单位晶胞中有8个Fe₃O₄分子, 32个氧离子组成立方紧密堆积的骨架。其中有两个位置: 四面体A位(Fe³⁺)和八面体B位(Fe³⁺ + Fe²⁺)^[5]。单位晶胞中共有64个四面体位置和32个八面体位置, 只有1/8的四面体位置和1/2的八面体位置被铁离子所占据。即8个Fe³⁺占据A

表5 磁铁矿的
Tab. 5 Chemical composition

岩类		花 岗 闪 长 岩 型									
成 分	编 号	XR-398	XR-381	XR-370	XR-599	XR-5401	XR-494	XR-481	XR-542	XR-455	XR-155
	含 量(%)										
全分析结果 (%)	SiO ₂	0.82	0.44	0.44	1.10	0.53	1.10	0.46	0.58	0.43	0.70
	TiO ₂	0.45	0.18	0.20	0.30	0.25	1.65	0.28	0.33	0.38	1.47
	Al ₂ O ₃	0.27	0.20	0.21	0.37	0.27	0.42	0.16	0.33	0.21	0.34
	Fe ₂ O ₃	69.94	67.68	67.48	66.78	70.57	64.18	67.68	70.47	67.24	66.16
	FeO	28.60	30.36	30.36	29.28	26.94	29.91	30.27	27.12	30.72	29.93
	CaO	0.66	0.64	0.76	0.82	0.46	0.89	0.57	0.23	0.53	0.72
	MgO	0.14	0.11	0.05	0.15	0.10	0.20	0.05	0.11	0.09	0.12
	MnO	0.22	0.13	0.07	0.12	0.17	0.27	0.16	0.17	0.14	0.19
	总 计	99.10	99.74	99.57	98.92	99.29	98.62	99.63	99.34	99.74	99.63
以氧为4的阳离子数	Fe ²⁺	0.916	0.975	0.976	0.939	0.860	0.959	0.971	0.864	0.986	0.954
	Mg	0.009	0.006	0.003	0.009	0.006	0.011	0.003	0.006	0.005	0.008
	Mn	0.008	0.004	0.003	0.004	0.005	0.009	0.005	0.005	0.005	0.006
	Ca	0.028	0.026	0.031	0.034	0.019	0.036	0.024	0.010	0.023	0.029
	Σ	0.961	1.011	1.013	0.986	0.890	1.015	1.003	0.885	1.019	0.997
	Ti	0.013	0.005	0.006	0.009	0.008	0.043	0.009	0.010	0.011	0.043
	Si	0.031	0.018	0.018	0.043	0.020	0.043	0.018	0.023	0.016	0.026
	Al	0.013	0.009	0.010	0.016	0.013	0.019	0.008	0.015	0.010	0.015
	Fe ³⁺	1.959	1.955	1.953	1.925	2.028	1.850	1.955	2.021	1.943	1.898
	Σ	2.016	1.987	1.987	1.993	2.069	1.955	1.990	2.069	1.980	1.982
微量元素 (ppm)	Cu	50	26	54	120	58	36	100	190	34	19
	Pb	87		47	20	33	13	13	27	40	40
	Zn	240	81	94	160	120	150	160	130	140	110
	Co	73	31	33	35	40	40	50	38	51	27
	Ni	62	17	48	33	24	32	26	31	29	32
	Cr	800	78	860	270	290	370	360	22	260	750

分析单位：天津冶金地质调查所

位，8个Fe²⁺和8个Fe³⁺占据B位。磁铁矿的穆斯堡尔谱图由两套六线谱组成。将它们分别指派给A位上的Fe³⁺和B位上的Fe²⁺与Fe³⁺。

(2) 用穆斯堡尔谱法测定Fe²⁺和Fe³⁺的含量。可按下二式进行：

$$\text{Fe}^{2+} = \frac{\text{TFe}}{2(A_1/A_2 + 1)} \dots\dots\dots ① \quad \text{Fe}^{3+} = \text{TFe} \left[1 - \frac{1}{2(A_1/A_2 + 1)} \right] \dots\dots\dots ②$$

注：TFe为化学分析值 (TFe = Fe²⁺ + Fe³⁺)

A₁和A₂为穆斯堡尔谱分布面积。

据上二式可算出磁铁矿中Fe²⁺和Fe³⁺的含量，结果见表8。从表8看出：用穆斯堡尔法计算的Fe²⁺和Fe³⁺数值与化学分析值略有差异。Fe³⁺的穆斯堡尔值高于化学分析值，而Fe²⁺则低于化学分析值。用穆斯堡尔法测定磁铁矿中铁价态的含量是准确的。

(3) 经穆斯堡尔法分析，发现部分磁铁矿中含有磁赤铁矿 (r-Fe₂O₃)，见表6、7。磁铁矿样品中出现磁赤铁矿主要是由于长期氧化条件下经次生变化作用形成。

化 学 成 分
of magnetites.

			黑 云 母 花 岗 岩									
Na-1	XR-130 A	XR-79	XR-549	XR-10 A	XR-65	XR-36	XR-40	XR-45	XR-91	XR-86	XR-104	XR-109
0.90	0.42	0.53	1.10	0.74	1.20	0.50	0.54	0.69	1.00	0.87	0.66	0.56
1.05	0.35	1.33	0.28	0.17	0.40	0.13	0.25	0.27	0.68	0.30	0.87	0.70
0.46	0.19	0.32	0.37	0.40	0.65	0.19	0.24	0.30	0.49	0.42	0.58	0.40
65.88	66.68	65.44	67.78	66.78	69.67	68.78	67.88	72.67	68.84	66.28	69.87	67.68
30.36	30.00	30.72	29.01	30.00	25.87	29.10	29.64	24.25	25.54	29.14	26.58	28.02
0.46	0.84	0.73	0.45	0.70	0.46	0.57	0.66	0.46	1.04	0.95	0.07	0.75
0.27	0.07	0.12	0.14	0.26	0.13	0.06	0.08	0.06	0.12	0.10	0.04	0.10
0.17	0.11	0.23	0.27	0.09	0.41	0.11	0.30	0.16	0.31	0.24	0.31	0.56
99.55	98.66	99.42	99.40	99.14	98.79	99.44	99.59	98.86	98.02	98.30	98.98	98.77
0.968	0.973	0.985	0.925	0.974	0.820	0.934	0.950	0.770	0.818	0.943	0.845	0.900
0.015	0.004	0.008	0.008	0.015	0.008	0.004	0.005	0.004	0.008	0.006	0.003	0.006
0.005	0.004	0.008	0.009	0.003	0.014	0.004	0.010	0.005	0.010	0.008	0.010	0.019
0.019	0.035	0.030	0.019	0.029	0.019	0.024	0.028	0.019	0.043	0.039	0.003	0.031
1.007	1.016	1.031	0.961	1.021	0.861	0.966	0.993	0.798	0.879	0.996	0.861	0.956
0.030	0.010	0.039	0.008	0.005	0.011	0.004	0.008	0.008	0.020	0.009	0.025	0.020
0.035	0.016	0.020	0.043	0.029	0.045	0.019	0.021	0.026	0.039	0.034	0.025	0.014
0.021	0.009	0.015	0.016	0.019	0.029	0.009	0.011	0.014	0.023	0.019	0.026	0.018
1.889	1.944	1.886	1.944	1.925	1.986	1.991	1.958	2.076	1.981	1.929	2.000	1.955
1.975	1.979	1.960	2.011	1.978	2.071	2.023	1.998	2.124	2.063	1.991	2.076	2.007
19	19	62	65	17	15	19	19	19	9	21	9	21
	27	7	33	33	330	27	27	27	67	47	20	20
90	79	120	280	18	470	82	140	160	110	120	210	180
29	29	33	35	22	23	13	27	21	23	28	17	31
29	26	36	19	13	11	<10	<10	<10	<10	<10	12	<10
360	500	490	71	320	36	74	79	37	81	78	50	81

5. 磁铁矿中的稀土元素的研究

从23个磁铁矿样品中仅选取4个样品作了稀土元素等离子光谱分析, 其结果见表9。

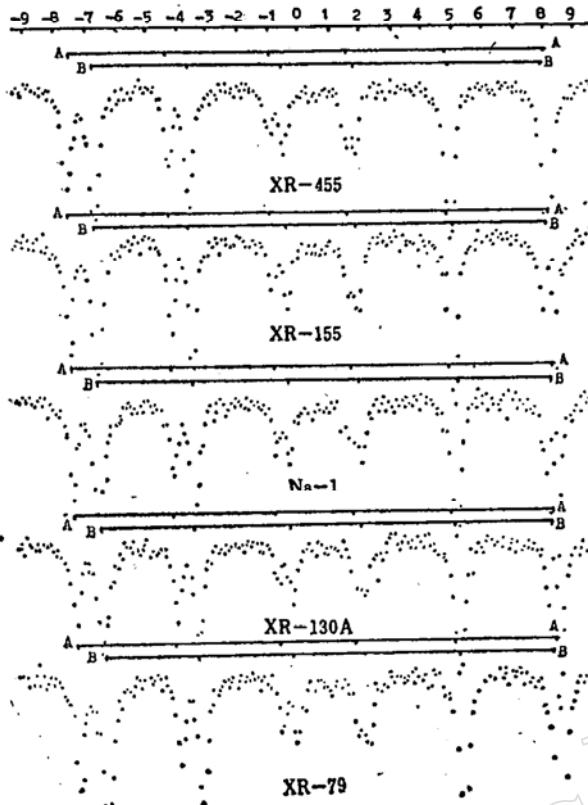
从表9和图5中看出以下特点:

(1) 磁铁矿及其母岩(花岗闪长岩)中稀土元素是以轻稀土为主, 形成左高右低的稀土模式。

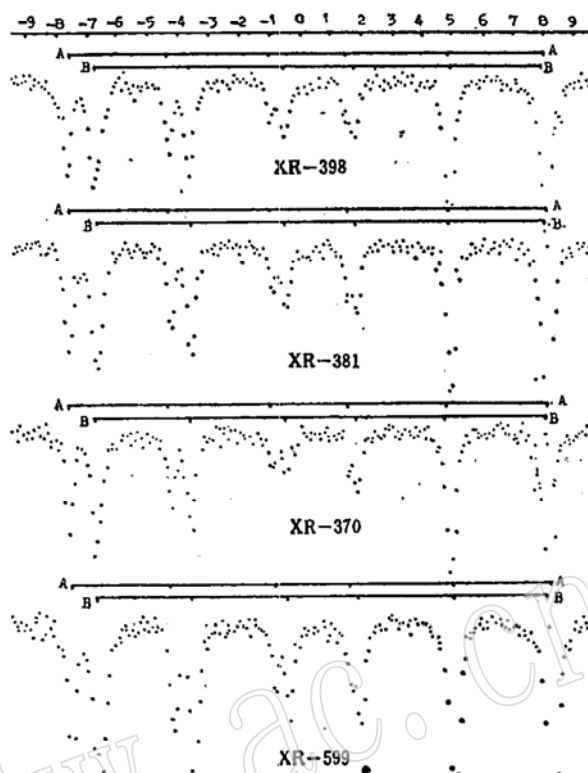
(2) 花岗闪长岩中的稀土元素含量比磁铁矿中稀土元素含量多一倍以上。尽管如此, 磁铁矿和母岩(花岗闪长岩)的稀土模式是相似的。

(3) 花岗闪长岩和花岗闪长岩中的磁铁矿, 其铈异常极不明显, 稀土元素分布模式呈近平滑并向右倾斜的曲线。

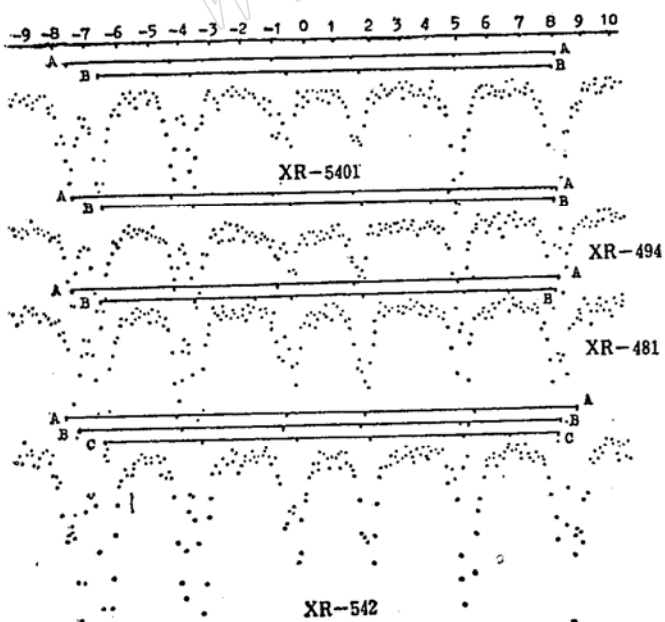
(4) 黑云母花岗岩中的磁铁矿, 稀土元素含量比其余的几个磁铁矿中的稀土元素含量高10倍以上。其中铈异常极明显, 呈“V”字型。



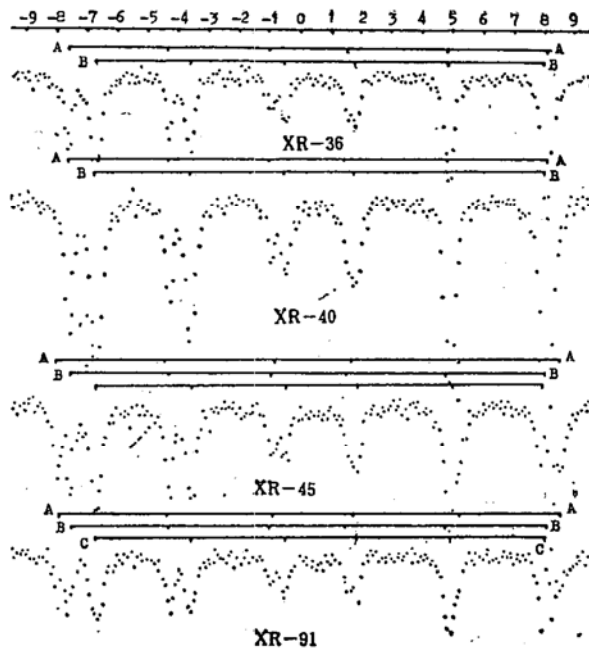
1



2



3



4

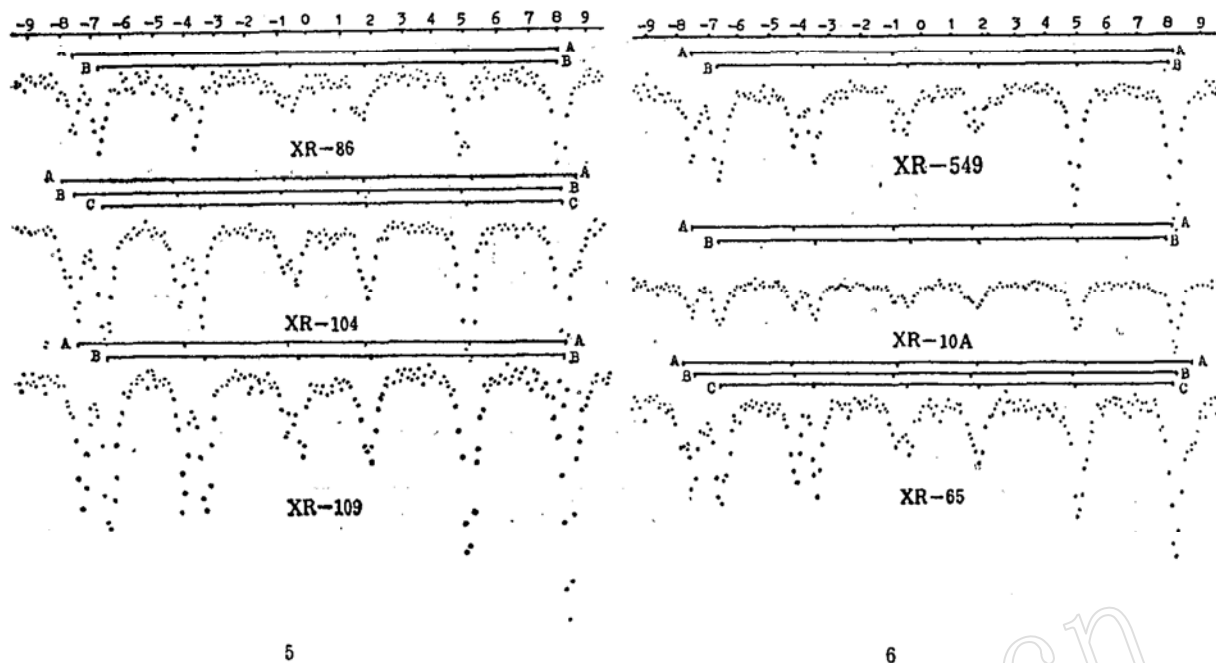


图4 磁铁矿的穆斯堡尔谱图

Fig. 4 Mössbauer spectrum of magnetites.

实验条件：放射源为 Co^{57} ，速度4.1毫米/秒，常温。

1—3花岗闪长岩中的磁铁矿；4—6黑云母花岗岩中的磁铁矿。

综上所述，稀土元素分布模式的变化与岩石类型，形成时代有密切关系。从闪长岩、花岗闪长岩、黑云母花岗岩到二云母花岗岩，岩石由中酸性逐渐变为酸性，形成时代由燕山晚期到喜山期，稀土元素分布模式由平滑变为V形曲线，铕异常由不明显变为极明显。

三、结 语

通过对西藏中南部各类花岗岩中磁铁矿特征的系统研究，发现在不同地质条件、不同岩类 and 不同时代花岗岩中磁铁矿的各种特征均有明显差异^[6]。

1. 从采集36个花岗岩类岩石中的人工重砂，其中有23个样品中富含磁铁矿，而它们都分布在冈底斯岩带及北缘羊八井一带。而南带则不含磁铁矿。

2. 不同时代、不同岩性的各类花岗岩中之磁铁矿，均含有与铁离子半径相近的Ti、Cr、Ni、Mg、Mn、Ca、Si、Al等元素。但花岗闪长岩中磁铁矿的Cr、Ni、Ti等元素明显高于黑云母花岗岩中磁铁矿的Cr、Ni、Ti的含量。

3. 不同岩类的各类花岗岩中的矿物共生组合也不同。花岗闪长岩和黑云母花岗岩中主要含有磁铁矿、榍石、角闪石、褐帘石等副矿物，二云母花岗岩和电气石花岗岩中则不含上述副矿物。

4. 从几个样品中的稀土元素总含量、轻重稀土元素含量比、铕(Eu)异常的程度均有以下明显的区别：

(1) 黑云母花岗岩中磁铁矿(XR-45)中稀土元素总量高于花岗闪长岩中磁铁矿的十倍以上。

(2) 黑云母花岗岩中磁铁矿的稀土模式呈“V”字型，具明显的负Eu异常；而花

表6 磁铁矿的穆斯堡尔谱参数
Tab. 6 Mössbauer spectrum of magnetites

岩类	编号	产地	A位				B位				面积比 A ₁ /A ₂		
			同质异能 位移 (毫米/秒)	四极分裂 (毫米/秒)	半高宽 (毫米/秒)	磁场强度 (千奥斯特)	分布面积 A ₁	同质异能 位移 (毫米/秒)	四极分裂 (毫米/秒)	半高宽 (毫米/秒)		磁场强度 (千奥斯特)	分布面积 A ₂
花岗岩	XR-398	大竹卡	0.42	0.003	0.28	491.56	36.82	0.80	0.004	0.36	459.11	63.18	0.583
	XR-381	大竹卡	0.41	0.002	0.26	490.98	36.69	0.79	0.018	0.34	458.63	63.31	0.579
	XR-370	大竹卡	0.41	0.002	0.24	481.60	34.08	0.79	0.013	0.34	460.20	65.92	0.517
	XR-599	尼木	0.41	0.001	0.24	490.46	34.57	0.78	0.011	0.34	458.04	65.43	0.528
	XR-5401	曲水	0.42	0.008	0.36	492.865	46.98	0.80	0.033	0.32	458.95	53.02	0.886
	XR-494	曲水	0.42	0.023	0.24	491.27	33.35	0.79	0.035	0.36	458.49	66.65	0.500
	XR-481	曲水	0.41	0.012	0.24	491.20	34.70	0.79	0.006	0.34	459.65	65.30	0.531
	XR-542*	曲水	0.39	0.040	0.34	487.80	26.33	0.77	0.028	0.24	456.73	56.86	0.463
	XR-455	曲水	0.41	0.013	0.26	491.40	34.11	0.80	0.016	0.36	459.56	65.89	0.518
	XR-155	古荣	0.42	0.019	0.26	491.75	36.42	0.80	0.016	0.34	459.64	63.58	0.573
	Na-1	纳金电站	0.41	0.003	0.24	491.33	33.55	0.79	0.002	0.38	459.92	66.45	0.505
	XR-130A	拉格公路151	0.41	0.009	0.26	491.62	35.14	0.79	0.003	0.36	459.39	64.86	0.542
	XR-79	夺底沟	0.41	0.009	0.24	490.993	33.64	0.79	0.010	0.36	458.43	66.36	0.507
黑云母花岗岩	XR-549	曲水	0.42	-0.010	0.28	490.81	35.62	0.79	0.000	0.36	460.18	64.38	0.553
	XR-10A	当雄	0.42	0.000	0.36	489.11	36.20	0.82	0.040	0.44	457.89	63.80	0.567
	XR-65*	雪古拉	0.41	0.025	0.24	490.56	26.10	0.79	0.006	0.36	459.08	73.90	0.353
	XR-36	羊八井	0.42	-0.000	0.26	491.372	36.86	0.79	0.024	0.34	459.49	63.14	0.584
	XR-40	羊八井	0.42	0.003	0.30	491.63	35.30	0.79	0.012	0.38	458.97	64.70	0.546
	XR-45*	羊八井	0.41	0.006	0.23	490.76	27.22	0.80	0.005	0.42	459.79	52.78	0.516
	XR-91*	夺底电站	0.41	0.040	0.24	490.86	33.28	0.82	0.042	0.32	462.14	47.55	0.700
	XR-86	夺底沟	0.41	0.030	0.26	492.37	33.27	0.80	0.005	0.36	462.58	66.73	0.499
	XR-104*	天葬台	0.41	0.000	0.28	490.78	28.86	0.79	0.013	0.36	495.24	58.43	0.494
	XR-109	天葬台	0.47	0.100	0.34	489.57	46.09	0.78	0.040	0.36	457.17	53.91	0.855

分析者：中国地质科学院地质研究所 甘源明、袁嘉琪

· 磁铁矿中有 γ - Fe_2O_3 ，其参数见表7。

表7 磁铁矿中 $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ 的穆斯堡尔参数Tab. 7 $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ in Mossbauer absorption spectrum for magnetites

岩类	样 品 编 号	同质异能位移 (毫米/秒)	四级分裂 (毫米/秒)	半 高 宽 (毫米/秒)	磁场强度 (千奥斯特)	分布面积 (%)
花岗闪长岩	XR-542	0.47	-0.14	0.32	513.244	16.81
黑云母花岗岩	XR-65	0.51	-0.08	0.32	516.222	17.73
	XR-45	0.50	-0.141	0.21	516.84	20.10
	XR-91	0.48	-0.13	0.22	516.70	19.17
	XR-104	0.51	-0.06	0.30	515.47	12.72

注：该表是表6中*的补充表。

表8 磁铁矿中 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 穆斯堡尔谱测定值Tab. 8 Determination of Fe^{2+} and Fe^{3+} in magnetites by Mossbauer spectrometry

岩 类	样 品 编 号	TFe含量 (化学值)	穆谱峰面积比 (A_1/A_2)	穆斯堡尔谱测定值		化学分析值	
				$\text{Fe}^{2+} = \text{TFe} / 2(A_1/A_2 + 1)$	$\text{Fe}^{3+} = \text{TFe} [1 - 1 / 2(A_1/A_2 + 1)]$	Fe^{2+}	Fe^{3+}
花 岗 闪 长 岩	XR-398	2.875	0.583	0.908	1.967	0.916	1.959
	XR-381	2.930	0.579	0.966	2.001	0.975	1.955
	XR-370	2.929	0.517	0.777	1.962	0.976	1.953
	XR-599	2.864	0.528	0.935	1.927	0.939	1.925
	XR-5401	2.888	0.886	0.951	2.123	0.860	2.028
	XR-494	2.809	0.500	0.933	1.874	0.959	1.850
	XR-481	2.926	0.531	0.971	1.970	0.971	1.955
	XR-542	2.885	0.463	0.921	1.898	0.864	2.021
	XR-455	2.929	0.518	0.925	1.965	0.986	1.943
	XR-155	2.852	0.573	0.941	1.945	0.954	1.898
	Na-1	2.857	0.505	0.949	1.908	0.968	1.889
	XR-130A	2.917	0.542	0.946	1.972	0.973	1.944
	XR-79	2.871	0.507	0.953	1.941	0.985	1.886
黑 云 母 花 岗 岩	XR-549	2.869	0.553	0.924	1.916	0.925	1.944
	XR-10A	2.899	0.567	0.925	1.966	0.974	1.925
	XR-65	2.805	0.353	1.037	1.910	0.820	1.986
	XR-36	2.925	0.584	0.923	1.843	0.934	1.991
	XR-40	2.908	0.546	0.940	1.989	0.950	1.958
	XR-45	2.846	0.516	0.939	1.927	0.770	2.076
	XR-91	2.799	0.700	0.823	1.875	0.818	1.981
	XR-86	2.872	0.499	0.958	1.913	0.943	1.929
	XR-104	2.845	0.494	0.952	1.892	0.845	2.000
	XR-109	2.855	0.855	0.770	2.084	0.900	1.955

岗闪长岩中磁铁矿的Eu异常则不明显，呈平滑曲线。

(3) 黑云母花岗岩中磁铁矿的稀土元素分布模式呈近水平，说明重稀土元素含量较高。而花岗闪长岩中磁铁矿的稀土分布模式向右倾，呈左高右低。

5. 通过穆斯堡尔谱测定，发现23个磁铁矿样品中有5个样品含有部分磁赤铁矿，出现

表 9 磁铁矿和母岩中稀土元素含量及球粒陨石分布系数
Tab. 9 Content of rare-earth elements and chondrite-normalized partition coefficient in magnetites and various types of granites

	磁 铁 矿										磁 铁 矿 的 母 岩								
	XR-398			XR-481			XR-542			XR-45			XR-398 (花岗岩长岩)			XR-481 (花岗岩长岩)			XR-542 (暗色包体)
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
La	11.46	30.32	10.78	28.52	10.71		28.33	20.44		54.07	17.43		46.11	37.43		99.02	50.25		132.94
Ce	23.53	24.11	24.04	24.63	21.97		22.51	23.55		242.37	42.99		44.05	82.92		84.96	91.18		93.42
Pr	2.14	87.80%	0.93	88.16%	1.99		14.42	5.05		73.63%	36.59		79.65%	36.74		64.28	9.08		79.35%
Nd	8.32	11.62	6.18	8.63	7.45		10.41	28.46		39.75	21.59		30.15	34.56		48.27	32.93		45.99
LREE	45.45		41.93		42.12			290.50			87.08			163.78			183.44		
Sm	1.55	6.74	0.71	3.09	1.38		6.00	10.43		45.35	4.94		21.48	8.01		34.83	6.87		29.87
Eu	0.42	4.85	0.16	1.85	0.41		4.72	0.56		6.47	1.36		15.70	1.15		13.28	1.82		21.02
Gd	1.26	4.05	0.82	2.64	1.19		3.83	17.07		54.89	4.85		15.60	7.37		23.70	5.94		19.10
Tb	<0.13	8.75%	<0.13	6.37%	<0.13		2.29	2.74		16.11%	0.58		15.38%	10.21		12.95%	0.70		8.96%
Dy	0.81	2.08	0.71	1.82	0.91		2.93	24.85		63.72	3.97		10.18	6.28		16.10	4.20		10.77
Ho	0.36	4.15	0.50	5.76	0.30		3.46	7.91		91.13	1.12		12.90	1.81		20.85	1.19		13.71
MREE	4.53		3.03		4.32			63.56			16.82			25.59			20.72		
Er	0.49	1.92	0.57	2.24	0.51		2.00	15.91		62.39	2.16		8.47	3.34		13.10	2.14		8.39
Tm	0.24	6.02	0.46	11.53	0.16		4.01	3.16		79.20	0.38		9.52	0.67		16.79	0.43		10.78
Yb	0.56	3.45%	0.89	5.47%	0.60		2.41	17.80		10.28%	2.25		4.97%	3.40		4.67%	2.37		11.69%
Lu	0.50	12.92	0.68	17.57	0.48		12.40	3.62		95.54	0.64		16.50	0.84		21.71	0.73		9.52
HREE	1.79		2.60		1.75			40.49			5.43			8.25			27.09		
Y	3.91		4.10		4.63			151.02			21.11			32.94			21.36		
总计	55.67		51.66		52.82			545.57			130.44			230.56			231.19		

分析单位: 中国地质科学院测试技术研究所等离子光谱组。

注: 1. 稀土元素含量 (ppm); 2. 轻稀土元素 (LREE), 中稀土元素 (MREE), 重稀土元素 (HREE) (百分含量%)。

3. 磁铁矿及其母岩稀土元素含量/球粒陨石稀土含量 (平均值) —— 用里德值

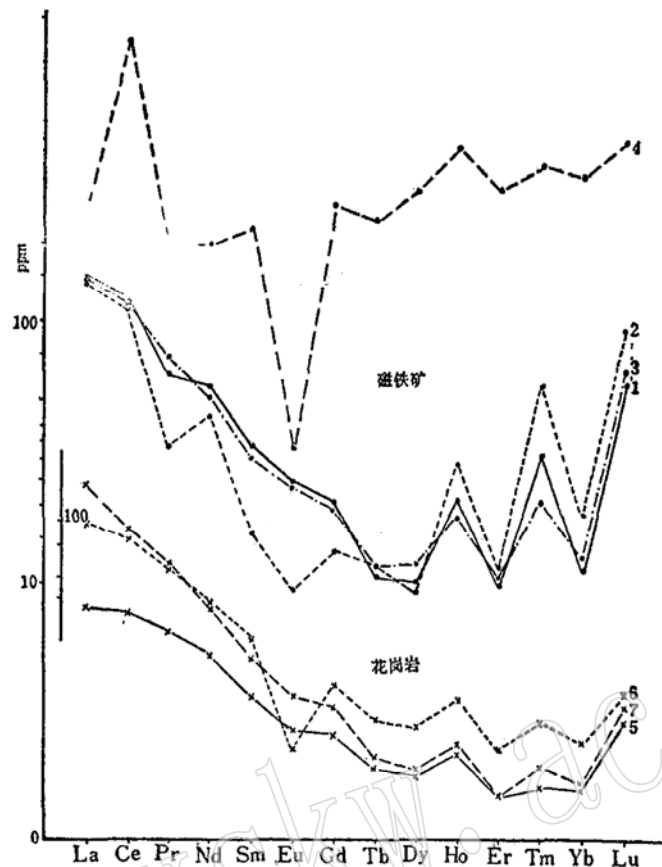


图5 磁铁矿及母岩(花岗闪长岩)的稀土元素球粒陨石标准化图

Fig. 5 The chondrite-normalized REE pattern in magnetites

注: 磁铁矿: 1—(XR-398), 2—(XR-481), 3—(XR-542), 4—(XR-45), 花岗闪长岩: 5—(XR-398), 6—(XR-481), 7—(XR-542)

磁赤铁矿可能受近地表氧化条件的影响^[7]。

综上所述, 含磁铁矿的花岗闪长岩和黑云母花岗岩可能属幔源成因, 而不含磁铁矿的二云母花岗岩和电气石花岗岩可能属壳源成因。

通过对西藏中南部各类花岗岩中磁铁矿的系统研究, 取得了一些成果和认识, 为今后进一步研究板块构造和花岗岩类的成因提供了一点素材。

中国科学院地质所金成伟同志、许荣华同志和中国地质科学院地质所刘国惠同志协助采集了部分花岗岩样品, 工作中给予了一定的帮助, 在此表示谢意。

参 考 文 献

- 〔1〕 高桥正树、荒牧重雄、石原舜三, 1982, 磁铁矿系列/钛铁矿系列与I型/S型花岗岩类岩石的对应关系。国外地质科技。
- 〔2〕 陈光远等, 1981, 成因矿物学, 武汉地质学院出版。
- 〔3〕 林师整, 1982, 磁铁矿矿物化学成因及演化的探讨。矿物学报, 第3期, P. 166—174。
- 〔4〕 H. H. 肖克, 1983, 磁铁矿中稀土元素及其微量元素分布。国外矿床地质, 第25期。
- 〔5〕 应育甫, 1977, 穆斯堡尔效应在矿物学中的应用。科学出版社。
- 〔6〕 涂光炽、张玉泉、王中刚等, 1982, 西藏南部花岗岩类地球化学。科学出版社。
- 〔7〕 王璞等, 1982, 系统矿物学(上册), 地质出版社。
- 〔8〕 中国科学院地球化学研究所, 1978, 矿物射线粉晶鉴定手册。科学出版社。

Study of Typomorphic Characteristics of Magnetite in Various Types of Granites of Central-South Xizang (Tibet)

Ding Xiaoshi

Abstract

In studying the characteristics of magnetite and other accessory minerals in various granitic rocks of Central-South Xizang, the author found that magnetites from different types of granites formed under different geological conditions and of different ages have distinctly different characteristic features. The content and chemical composition of magnetite as well as the mineral assemblage and rare-earth pattern in the granite all reflect either the mantle or crustal origin of the rock. It is concluded that the granodiorite in the Gangdise belt is characterized by mantle origin and the muscovite-biotite granite and tourmaline granite in Nielamu district are of crustal origin.