

阳山花岗岩复式岩体的矿物标型特征 与复式岩体的划分

陈学正 周玉林 张素菊

(中国地质科学院矿床地质研究所)

众所周知,正确划分复式岩体是花岗岩研究的一项课题,在理论和实践上都有重要的意义。复式岩体划分的标志是多方面的,本文在德化幅区测报告的基础上,从矿物标型特征着手,对阳山花岗岩复式岩体进行了工作,并得到以下初步认识。

一、岩体概况

阳山花岗岩复式岩体位于福建省德化县和永春县境内,面积约为220平方公里,由桂洋、国宝、岩头、盖德、白石岩和苦坑仔等六个岩体组成,它们

分别与古生界和中生界地层呈侵入接触。

复式岩体的岩石类型基本上可分两类:一类以二长花岗岩为主,局部出现花岗闪长岩或钾长花岗岩;另一类以钾长花岗岩为主,局部出现碱性长花岗岩。前一类包括桂洋、国宝、岩头、盖德、白石岩等岩体,后一类是苦坑仔岩体。

复式岩体岩石学特征见表1。

从表1可以看出,桂洋和国宝两岩体普遍出现碎裂结构,桂洋岩体还有明显的片麻状构造,白石岩岩体为赋存于桂洋岩体内的小岩株,故在野外条

钾长石的标型特征

表 2

特 征	岩 头	盖 德	苦 坑 仔	
钠长石条纹 双晶	钠长石条纹双晶的平均含量约10%,条纹宽度一般为0.02毫米,平行主晶的结晶方向分布,以分解条纹为主,有一部分火焰状、树枝状的交代条纹。	钠长石条纹双晶较发育,含量多为10—20%,条纹宽度0.02毫米。在斑状岩相带中以分解条纹为主,在中粗粒岩相带中以交代条纹为主。	钠长石条纹双晶非常发育,含量在30%以上,呈火焰状、阴影状,属典型的交代条纹。该岩体出现反条纹长石。	
双 晶	无格子双晶。	交代条纹发育的岩相带出现格子双晶。	格子双晶发育。	
成 分	Na ₂ O%	2.53—2.54	1.81—2.10	1.63—3.87
	K ₂ O%	10.60	9.40—10.39	12.00—14.50
	CaO%	0.18—0.40	0.15—0.41	0.03—0.13
	Rb ₂ O%	0.05—0.06	0.036—0.076	0.12—0.162
分 子 % 度	Ab	25.51—26.04	22.37—25.81	14.83—31.98
	Or	70.60—71.06	68.44—75.51	66.81—88.65
	An	2.01—4.4	2.12—5.75	0.16—1.22
有 序 度	0.46—0.74	0.37—0.60	0.77—0.95	
K/Rb比值	160.0—191.3	136.44—262.76	59.4—108.1	

表1 阳山花岗岩类岩石学特征

特征	岩体	桂 洋	固 宝	岩 头	董 德	白 石 岩	菩 坑 仔
时 代		据南京大学地质系资料, 斜长石的同位素地质年龄为201百万年, 为混合花岗岩。	省区测队定为 103.0 ± 0.5 , 岩体中伟晶岩内白云母的同位素地质年龄为157.5百万年。	省区测队定为 103.0 ± 0.5 。	岩体东侧的董云母同位素地质年龄为160百万年。	省区测队定为 103.0 ± 0.5 。	省区测队定为 103.0 ± 0.5 , 按岩石化学特征亦以放在燕山晚期为宜。
岩石类型		二长花岗岩。	以二长花岗岩为主, 局部地段出现花岗岩闪长岩。	主体是二长花岗岩, 出现少量花岗岩闪长岩。	以二长花岗岩为主, 局部为斜长花岗岩岩。	二长花岗岩。	均为斜长花岗岩岩, 边缘有碱性长花岗岩岩。
结构构造		普遍出现碎裂结构和片麻状构造。应力作用明显, 除石英波状消光及晶格错位外, 斜长石和黑云母沿双晶面和解理面撕裂或劈开。	碎裂结构明显, 但不出现在片麻状构造。	文象结构发育, 以共结文象为主。脉岩呈花斑结构, 有高温石英假相。	岩体东南部为斑状结构, 西北部为中粗粒花岗岩结构, 文象结构不发育, 块状构造。	花岗岩, 块状构造。边缘为细粒相, 内部为中粗粒相。	花岗岩结构, 块状构造。主体为中粗粒相, 南部边缘为细粒至中粗粒相。
钠化作用		不强	不强	不明显	中粗粒结构, 带有钠化现象	不强	钠化作用较强, 出现黝晶状和补丁状钠长石, 形成反条纹长石
成 分		SiO ₂ % 73.38—73.66 CaO% 0.82—1.69 TiO ₂ % 0.25—0.49 Na ₂ O% 3.24—3.56 K ₂ O% 1.86—1.37 Rb ₂ O% 0.02 K/Rb 203.35 F的富集含量% 0.081	71.90—75.98 0.12—1.48 0.15—0.37 2.06—3.55 1.52—2.63 0.024—0.028 221.50—175.04 0.051	70.75—71.67 1.02—1.58 0.10—0.42 2.11—3.73 1.46—1.85 0.020—0.028 256.73—166.76 0.060	70.39—74.45 0.70—1.47 0.12—0.34 3.51—4.04 1.21—1.47 0.021—0.032 232.74—137.38 0.118	73.51—76.42 0.21—0.60 0.02—0.18 3.68—4.16 1.06—1.71 0.051—0.096 91.49—49.07 0.199	
典型矿物组合		绿帘石—铁铁矿—磷石—钙铁矿	绿帘石—铁铁矿—磷石—黄铁矿	磁铁矿—角闪石—黄铁矿—磷铁矿	磁铁矿—角闪石—黄铁矿—磷石	磁铁矿—磷石—磷石—磷铁矿	磁铁矿—磷石—磷石—磷铁矿

件下均不难区别。以下集中讨论野外特征比较相似的岩头、盖德和苦坑仔三个岩体的划分和对比。

二、矿物标型特征

复式岩体虽然都由花岗岩类岩石所组成,但由于它们的形成条件有一定差别,在一些“贯通”矿物上留下了明显“信息”——即矿物标型特征。现就钾长石、云母和锆石讨论如下:

1. 钾长石

表2为钾长石的标型特征。

稀碱金属的含量以及它们与主元素间的比值,可起到花岗岩成因和演化的标志作用^[1]。随着岩浆分异作用的进行,物向晚期产物集中,因而K/Rb比值就成了岩浆演化的重要标志。图1为岩头、盖德、苦坑仔三岩体岩石的K/Rb比值和F含量的关系。

在花岗岩中Rb主要进入钾长石,其次是云母,

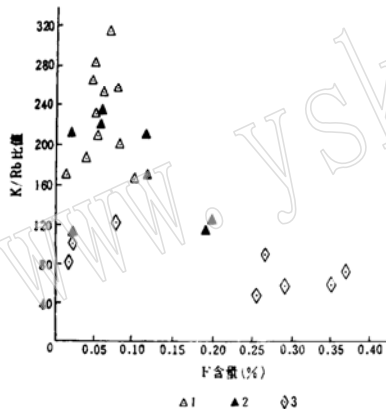


图1 岩体岩石的K/Rb比值和F含量关系图

图例: 1—岩头岩体; 2—盖德岩体; 3—苦坑仔岩体

所以钾长石中Rb₂O含量和K/Rb比值即可反映岩石的特点。从岩头、盖德到苦坑仔岩体,钾长石中Rb的含量增加,而K/Rb比值降低,尤其是苦坑仔岩体同其它岩体有显著差别,说明它形成较晚、演化较完全。

钾长石中钠长石组分的含量与岩体形成的总压力成反比,而钾长石中钠长石条纹状晶的发育程度与总压力成正比^[2]。即形成深度浅的花岗岩中,钾长石含钠长石组分高,而钠长石条纹状晶不发育;反之,形成深度大的花岗岩,钾长石中钠长石组分含量低,而钠长石条纹状晶较发育。本区岩头岩体的钾长石含钠长石组分高,而钠长石条纹状晶含量低,它无疑是在较浅的条件下形成的,与表1所示的岩石学特征一致。苦坑仔岩体钾长石中的钠长石条纹状晶发育,钠长石组分含量也很低(个别Na₂O含量稍高者与晚期钠交代作用的叠加有关),其形成深度应大于岩头岩体。盖德岩体和岩头岩体的形成条件比较接近。

钾长石的有序度与其形成条件有关,在低于500℃的热液条件下,在缓慢的结晶过程中,正长石可转变为微斜长石(V. Marmo 1967)^[3]。因此,与微斜长石花岗岩比较,正长石花岗岩有结晶温度较高而晶出速度较快的特点。A.И.特拉别谢夫等(1969)提出钾长石三斜度受其形成深度的影响,故最大微斜长石出现在中深成岩内,而正长石则赋存于浅成岩中^[4]。本区三个岩体钾长石有序度有明显区别,反映了由岩头、盖德到苦坑仔岩体形成深度增大、形成温度降低。

地质观察和成岩实验证明,随着花岗岩岩浆的演化,H₂O和F向晚期相集中,从而导致结晶温度降低。图1说明了这种趋势,并为二长石地质温度计和K/Rb比地质温度计^[5]所证实。

	岩头岩体	盖德岩体	苦坑仔岩体
二长石地质温度计	605—625℃	600—615℃	460—580℃
K/Rb比地质温度计	680—715℃	665—820℃	600—650℃

2. 黑云母

本区三岩体黑云母成分的标型特征见表3。

由表3可知,各岩体中黑云母主元素的含量不同。按含铁性、含铁性系数和含铝性,黑云母分为两类:一类是岩头、盖德岩体,其含铁性(一般在0.78以下)、含铁性系数(多在0.69以下)和含铝性(小于0.35为主)低;另一类是苦坑仔岩体,其相应的比值分别超过0.9、0.852、0.38。

在TiO₂-FeO-MgO三角图上(见图2),岩头,

岩体中黑云母成分的标型特征

表 3

岩体名称 样 品	岩 头 岩 体				盖 德 岩 体		若 坑 仔 岩 体					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
蚀 变 现 象	弱绿泥 石化	未蚀变	强绿 泥石化	未蚀变	未蚀变	未蚀变	褪色	褪色	未蚀变	未蚀变	褪色	
TiO ₂ %	4.00	4.80	4.82	4.76	4.32	4.17	0.78	1.23	2.00	2.13	0.36	
含铁性(FeO+Fe ₂ O ₃ /FeO+Fe ₂ O ₃ +MgO)	0.893	0.665	0.790	0.722	0.724	0.724	0.995	0.982	0.925	0.918	0.922	
含铁性系数(FeO/FeO+MgO)	0.879	0.600	0.682	0.690	0.662	0.601	0.993	0.978	0.902	0.906	0.852	
含铝性(Al ₂ O ₃ /FeO+Fe ₂ O ₃ +MgO+Al ₂ O ₃)	0.421	0.284	0.279	0.273	0.375	0.257	0.383	0.341	0.426	0.382	0.762	
氧化系数(Fe ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃ +FeO)	0.141	0.242	0.122	0.140	0.166	0.255	0.178	0.159	0.322	0.146	0.514	
Fe—Ti—Mg关系	FeO%	75.56	51.15	66.39	59.55	57.46	57.62	96.36	93.87	80.86	83.33	79.39
	TiO ₂ %	13.88	14.79	13.51	13.72	13.23	12.89	2.98	4.05	10.37	8.00	6.87
	MgO%	10.55	34.05	20.08	26.72	29.30	29.19	0.65	2.07	8.76	5.67	13.74
Fe—Mg—Al关系	FeO%	47.93	40.79	53.09	48.71	44.84	46.43	56.68	61.04	44.23	52.81	12.87
	MgO%	6.69	27.15	14.11	21.85	22.86	23.78	0.038	1.35	4.79	5.49	2.22
	Al ₂ O ₃ %	45.37	32.47	32.79	29.43	32.29	29.34	42.93	37.61	50.97	41.69	84.90
K%含量	2.831	4.134	0.880	4.147	6.848	2.739	4.034	2.011	6.050	6.948	8.284	
Rb%含量	0.009	0.018	0.009	0.033	0.048	0.027	0.229	0.241	0.238	0.402	0.219	
K/Rb	314.66	229.66	97.77	125.65	142.67	101.44	17.62	8.34	25.42	17.284	37.83	
Mg%含量	1.915	6.082	4.005	5.84	6.023	6.010	0.107	0.397	1.065	1.455	0.454	
Li%含量	0.009	0.014	0.019	0.11	0.009	0.030	0.312	0.370	0.112	0.208	0.037	
Mg/Li	212.78	497.29	321.79	530.35	669.22	200.33	0.343	1.07	9.51	7.00	12.27	
Zn/Fe	0.0042	0.0025	0.0014	0.0032	0.0059	0.0022	0.017	0.0287	0.0287	—	—	

盖德岩体富MgO和TiO₂,苦坑仔岩体则富FeO₃在FeO—Al₂O₃—MgO三角图上(见图2),苦坑仔仍以贫MgO富Al₂O₃为特点。

W. A. 迪尔(1937)指出,较酸性的岩石中黑云母Fe²⁺/Mg 比值较高⁽⁹⁾。在花岗岩类演化过程中黑云母的Si、Ti、Mg含量减少,而Al、Fe²⁺、Fe³⁺的含量增加。本区黑云母的标型特征证实了上述结论。图3所示各岩体中的SiO₂含量与黑云母的含铁性呈正相关,图4所示黑云母的含铁性与TiO₂含量呈负相关。

黑云母微量元素标志性更明显。从表3可以看出,较晚期的苦坑仔岩体其黑云母含Li、Rb、Zn高,分别超过岩头、盖德岩体数倍至数十倍不等,这就导致苦坑仔岩体的黑云母K/Rb、Mg/Li比值大幅度降低、Zn/Fe 比值大大提高。这些都是划分岩体的有效标志。

3. 锆石

本区三个岩体中的锆石的若干特征综合如表4。

本区三个岩体中的锆石有两种主要类型。一类锆石的特点是颜色较浅、透明度较高、光泽较强,含固体包体较少,延长系数较大,其柱面以{110}为主,锥面{111}不太发育,晶面晶棱很少蚀蚀,紫外光下发黄绿色萤光。岩头和盖德岩体的锆石属此类。另一类锆石颜色较深,透明度较低,光泽较弱,含固体包体较多,延长系数较小,晶体有熔蚀现象,一般无萤光反应,苦坑仔岩体的锆石属此类。

锆石的形态是它形成条件的函数,如:长柱状锆石产于靠近接触带的上部岩体内,故据此可判断岩体的剥蚀深度。细晶岩和其它浅成脉岩中的锆石多呈针状⁽¹⁰⁾。本区岩头和盖德岩体的锆石多呈长柱状,岩头岩体中还有针状晶形者,具浅成相特点,而且岩体剥蚀深度小。苦坑仔岩体的锆石不具

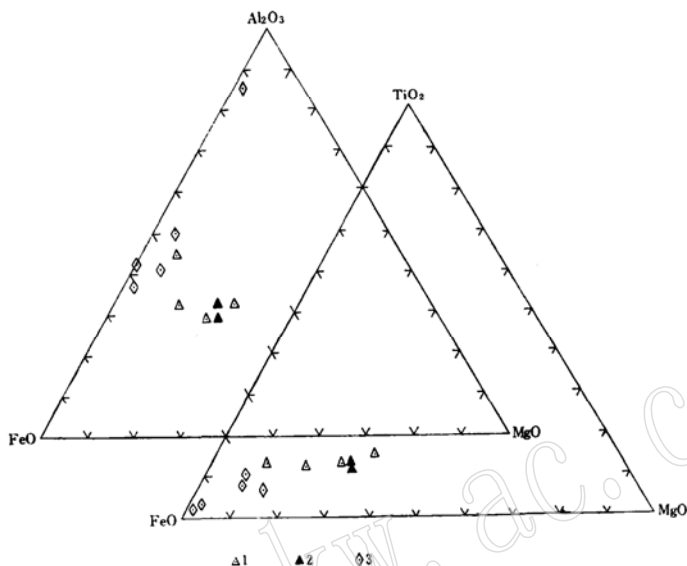


图2 黑云母的 $TiO_2-FeO-MgO$ 三角图和 $FeO-Al_2O_3-MgO$ 三角图

图例：1—岩头岩体，2—盖德岩体，3—苦坑仔岩体

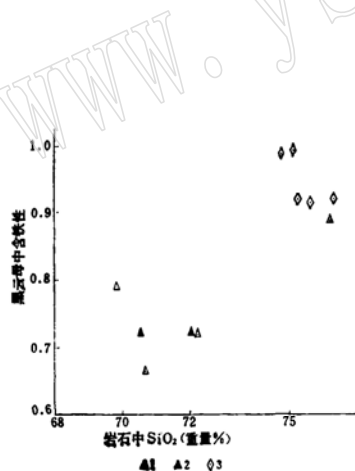


图3 岩体的 SiO_2 含量与黑云母的含铁性的关系图

图例：1—岩头岩体，2—盖德岩体，3—苦坑仔岩体

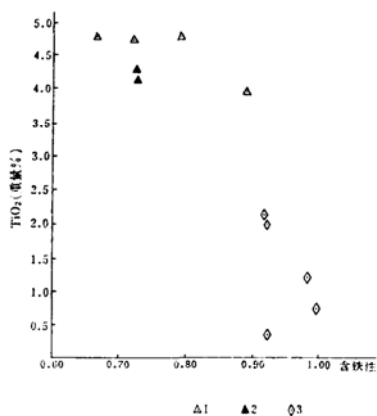


图4 黑云母的含铁性与 TiO_2 含量的关系图

岩体中锆石的标型特征

表4

特征	岩体	岩头	盖德	若坑仔
晶形		无色透明, 略带黄色色调, 晶体细小, 部分呈针状。柱面{110}为主, 锥面不发育, 出现偏锥面体{311}, 晶面很少受熔蚀	浅黄色至浅棕黄色, 主要晶面是{110}、{111}, 而{100}不发育。晶形一般完好, 约10%受熔蚀, 有再生现象。	颜色变化大, 从浅棕、棕褐、咖啡色至乳白色等, 无色透明者少见。晶形有{110}、{111}和{100}、{111}两类, 出现叠生、交叉现象, 并出现板状晶形。受熔蚀现象较普遍。
延长系数		针状锆石延长系数最大, 一般为3—4。	延长系数一般为2—3, 部分可达到4。	延长系数一般小于2。
包体		含气液包体多, 很少出现固体包体。	含黑色固体包体, 平行C轴排列。	含较多暗色矿物包体, 使矿物透明度降低。
比重		4.51—4.52	—	4.34—4.38
晶胞参数		$a = 6.6120 \pm 0.0037 \text{ \AA}$ $c = 5.9841 \pm 0.0047 \text{ \AA}$ $\delta 0.00056$	—	$a = 6.6104 \pm 0.0039 \text{ \AA}$ $c = 5.9826 \pm 0.0038 \text{ \AA}$ $\delta 0.000554$
HfO ₂ %		1.26—1.32	1.26	2.25—3.09
Zr/Hf		42.356—44.376	43.897	16.794—22.853
Y ₂ O ₃ %		0.36—0.40	0.39	0.80—1.30
U ₂ O ₃ %		0.01	—	0.37—0.79
Th/U		57.666	—	3.300—5.124
紫外线下发光性		发蓝光	发蓝光	深色者不发蓝光

成因相特点。

本区各岩体中的锆石有不同世代, 无色透明锆石主要产在交代作用微弱的花岗岩中(如岩头岩体), 而钠化作用强的花岗岩则出现暗色锆石, 若坑仔岩体随着钠化作用的加强, 无色透明锆石减少, 并出现连生、交叉、变形等现象。不同世代的锆石既可出现在不同岩体中, 也可出现在同一岩体内。

锆石的晶形与晶出的介质环境有关。岩头岩体较为基性, Si、K、Na含量都不高, 其晶面除{100}、{111}外, 还出现偏锥面体{311}。若坑仔岩体 Si、K、Na含量都高, 故晶形除{110}、{100}柱面外, 锥面只出现{111}。

锆和铪的化学性质相近, 在地质作用过程中紧密伴生, 是典型的地球化学元素共生对。但在不同的地球化学条件下, 锆、铪可表现出不同性状, 从而发生某种程度的分离, 这样锆铪的比值就起到相应的标型作用。从基性岩到酸性岩, 锆石中Hf含量增加, 而Zr/Hf比值减小, 在辉长岩中锆石 Zr/Hf

比值平均为50—70, 花岗岩为35—40, 伟晶岩峰为30^{(42)·(43)·(45)}。如表4所示, 岩头和盖德岩体锆石含HfO₂在1.26—1.32%间, Zr/Hf比值为42.356—44.376, 稍高于花岗岩中锆石的平均值。若坑仔岩体锆石的HfO₂含量为2.25—3.09%, Zr/Hf比值降为16.794—22.853, 明显低于其平均值, 而接近于变花岗岩(锆石的Zr/Hf比值多在10—20之间), 反映了若坑仔岩体在该复式岩体中演化最彻底。此外, 锆石中U、Th、TR的含量也随着岩浆演化而聚集。其含量在上述两类岩体中明显不同, 符合上述结论。

三、结 语

1. 阳山花岗岩复式岩体中的岩头、盖德、若坑仔三岩体岩性特征相似, 且接触关系不清, 但由于它们形成的地质—地球化学条件不同, 使造岩矿物和副矿物出现了各自的标型特征, 这无疑是划分复式岩体的一项重要标志。钾长石的有序度、其钠长石组分的含量, 钠长石条纹状晶体的特点; 黑云母的

含铁性、含铁性系数、含铝性及 TiO_2 的含量；锆石的晶形、延长系数、发光性等起到标型作用。但上述矿物中微量元素含量，以及微量元素与相应的主元素的比值标型特征尤为明显，如钾长石的 Rb_2O 含量和 K/Rb 比值；黑云母的 Li, Rb, Zn 含量及 $K/Rb, Mg/Li, Zn/Fe$ 比值；锆石中的 Hf, U, Y, Th 以及 Zr/Hf 和 Th/U 比值等。

2. 岩头和盖德两岩体，各种矿物的标型特征非常接近，可以认为是同源岩浆的同期产物，它们唯一的区别是前者的浅成相特点更明显。若坑仔岩体是另一类，它的形成条件与前两者不同。从岩头、盖德到若坑仔岩体，岩石化学成份更富酸性，岩体的形成深度有所增加，总压力有所增高，而形成温度有所降低，是岩浆演化的必然结果。

3. 从上述资料看，矿物标型特征的研究与岩石学和微量元素地球化学研究的结果是一致的，三者可以相互印证。在缺少充分地质依据和未获得同位素地质年龄资料的情况下，根据岩石化学特征和矿物标型特征暂将若坑仔岩体划入燕山晚期比较合理，但仍需进一步验证。

野外工作得到福建省区队大力协助，福建省地质局实验室提供了一部分岩石和单矿物分析结果，其它各项测试任务分别由测试所、矿床所X光组，红外光谱组，电子探针组完成。插图由矿床所绘图组清绘。洪大卫、李锦杰、余时美参加了部分工作，黄蕴惠、袁忠信给予了热情帮助，蒋溶先生审阅了本稿，提出许多宝贵意见，笔者在此一并致谢。

参 考 文 献

[1] Ставров О. Д., 1978. Геохимия лития, рубидия, цезия в магматическом процессе.

«Недра» М.

[2] Самаркин Г. И., Самаркина Е. Я., Сиридонов Э. М., 1976. Состав и условия кристаллизации калиевых полевых шпатов из гранитоидов главного гранитного пояса южного урала.

изд. А. Н. СССР. Сер. Геол. №4.

[3] Чухров Ф. В., И Др. 1972. Типоморфизм минералов и его практическое значение

«Недра» М.

[4] Трабжев А. И., Юняков Б. А. 1969. Степень триклинности калиевого полевого шпата как один из критериев глубина формирования эндогенных рудных месторождений

Докл. А. Н. СССР. Т88, №1.

[5] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., Rock-forming minerals. Vol. 3 Sheet silicates.

[6] Ляхович В. В., 1979. Акцессорных минералы горных пород «Недра» М.

[7] Ляхович В. В., 1968. Акцессорных минералы

«Недра» М.

[8] Костерин А. В., Шведеевский И. Д., Рыбалова, Э. К., 1960. Об отношении Zr/Hf в дириковах некоторых изверженных пород Северного склона кураминского хребта. Геохимия №5.

[9] Gottfried D., Greenland L. P., Campbell E. Y., 1968. Variation of Nb-Ta, Zr-Hf Th-U and K-Cs in two diabase granophyre suites

Geochim. Cosmochim. Acta, Vol. 32, No9.

The Typomorphic Characteristic of Minerals of Yangshan Multiple Granite Body and Its Petrological Subdivision

Chen Xuezheng Zhou Yulin Zhang Suju

Abstract

The Yangshan granite is a multiple rock body, in which the Yantou rock body, Gaide rock body and Kuzenzi rock body are rather similar to one ano-

ther in structure and texture, but their typomorphic characteristics of minerals are different, therefore, we can classify these rock bodies into two petrological types. In the Yantou rock body and Gaide rock body, the degree of order of the K-feldspar is lower (0.37-0.74), the Ab content of the K-feldspar is relatively high, the ratios of $\text{FeO}/\text{FeO} + \text{MgO}$ and $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ of the biotite are lower, ranging from 0.665 to 0.724 and 0.2557 to 0.375 respectively, while in the Kuzenzi rock body, the degree of order of the K-feldspar has increase to 0.77-0.95, the ratios of $\text{FeO}/\text{FeO} + \text{MgO}$ and $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3$ of the biotite are higher than that of the Yantou-and Gaide rock body. Moreover the typomorphic characteristics of Zircons for the two types of the granites are obviously different.

The paper has also confirmed that the conclusion drawn from the typomorphic study of the minerals coincides with the result of petrological and geochemical studies of these granites.

更正:

本刊1983第2卷第1期第62页表2中应为 Mo^{6+} , Te^{6+} , Se^{6+} , Ge^{6+} 第64页第5行“ En^{2+} ”中应为 Eu^{2+} 。又76页右下侧2行中“在益刊”应为“庄益刊”第2期131页右9行“Ti(III)含量→氧化”应为“Ti(III)含量小且比Fe(II)易氧化”。