

湘东北长三背花岗岩体成因机制研究

伍光英 陈辉明

贾宝华 何江南

(中国地质调查局中南地调中心, 宜昌 443003) (湖南地质调查研究院, 湘潭 411100)

摘 要 长三背花岗岩的矿物成分、岩石化学成分、稀土及微量元素含量等特征表明其源岩属壳源型; 其侵位构造环境属于大陆碰撞亚型, 是陆陆碰撞造山作用造就的陆壳改造系列花岗岩类。岩浆的演变机制主要是残余体分离作用; 其侵位方式是沿右行剪切带强烈楔入式侵位。

关键词 花岗岩 成因机制 长三背 湘东北

长三背岩体是江南古陆东南缘湘东北—赣西北大围山—九岭花岗岩带中的岩体之一(图 1), 属武陵—雪峰期花岗岩类岩体, 锆石铀—铅年龄为 $750 \sim 865 \text{ Ma}^{[1]}$ 。在对武陵—雪峰期花岗岩类岩体岩浆的起源、分异、演化等分析^[2,3]的基础上, 现对其成因机制作进一步探讨。

1 岩体地质和岩石学

岩体在平面上呈西端膨大、东端窄小的“蝌蚪”状, 长轴走向近东西, 与区域构造线一致, 出露长 34 km, 最宽处约 6 km, 面积 70 km^2 (图 1)。岩体南缘与围岩呈侵入接触关系, 接触面一般向北倾, 倾角 $70^\circ \sim 85^\circ$ 不等, 平面上呈向南凸出的弧形, 剖面上则较平直。北缘与围岩呈断层接触关系, 即被一条向南以 80° 陡倾斜的东西向韧性剪切平移断层分割, 使岩体与围岩突变接触。岩体深部产状南北两侧相向倾斜, 总体上向下逐渐变尖, 呈倒水滴状。

岩体划分为英云闪长岩、黑云母花岗闪长岩和(黑)二云母二长花岗岩三个单元。早次单元英云闪长岩仅分布在南部凸出部位, 晚次单元二云母二长花岗岩出露于中北部。黑云母花岗闪长岩为其主体, 主要矿物成分为斜长石、钾长石、石英和黑云母, 普遍含有变质矿物堇青石。除中部岩石少有变形外, 其余大部分均已(初)糜棱岩化。细粒花岗岩脉、花岗细晶岩脉、石英脉在岩体中部很发育, 尤其是石英脉, 当横穿一条剖面时, 可见到数十至数百条, 有的密集成带出现, 单脉宽一般几厘米至数十厘米, 长几米至数十米不等, 产状与岩石面理一致, 向北或南陡倾, 倾角 $60^\circ \sim 80^\circ$ 不等。

1.1 矿物成分特征及其成因意义

(1) 黑云母

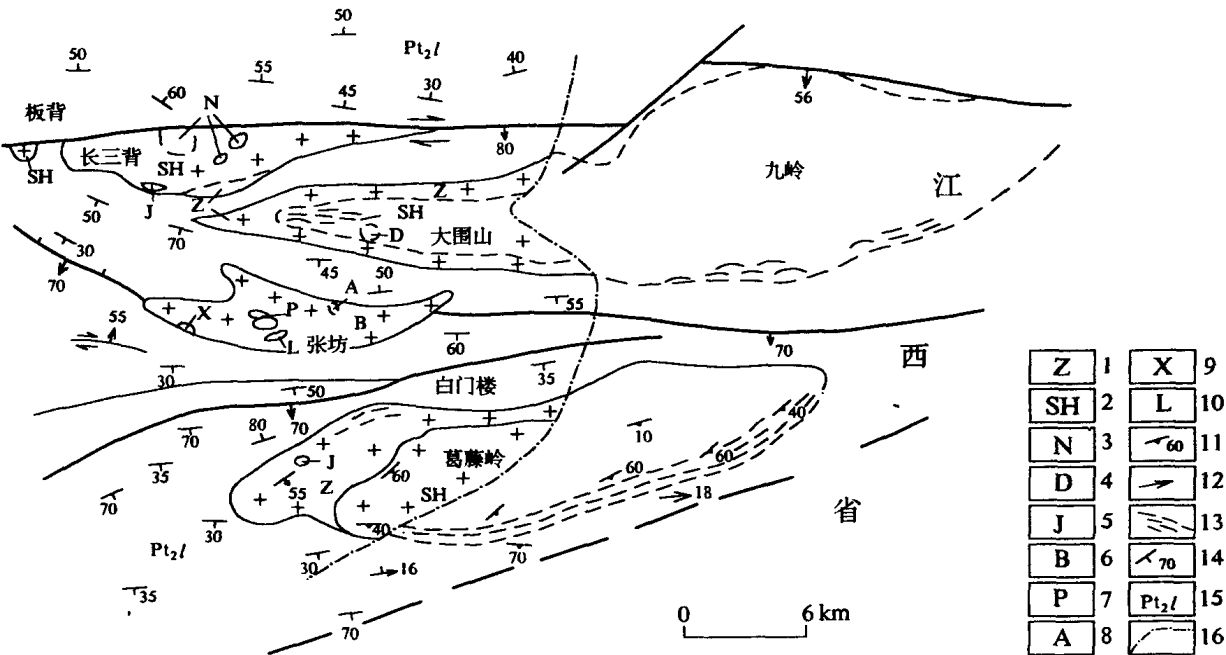


图 1 长三背花岗岩体区域地质图

Fig. 1 Geological map of the Changsanbei granitic intrusion

1. 黑云母英云闪长岩 2. 细中粒(堇青石)花岗闪长岩 3. 粗中粒(堇青石)黑云母二长花岗岩 4. 微细粒斑状黑云母二长花岗岩 5. 细粒二云母二长花岗岩 6~10. 为寒武纪不同单元花岗岩 11. 叶理产状 12. 线理产状 13. 剪切带 14. 岩层产状 15. 冷家溪群 16. 省界(省外岩体未细分)

长三背花岗岩类岩石(以下简称岩石)中,暗色造岩矿物主要为黑云母。黑云母的 Ti 含量在 0.183%~0.524% 之间,Mf 值,即 $Mg/(Mg + Fe)$ 值在 0.36~0.45 之间(表 1)。与马昌前等统计资料相对比^[4],黑云母处于酸性侵入岩黑云母与进变质黑云母的过渡区内,既有岩浆结晶成因,又有变质成因特点。

表 1 长三背岩体黑云母化学分析数据

Table 1 Petrochemical composition of biotite of Changsanbei granitic intrusion

岩 类	分析结果(%)													Mf	分析 方法
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFeO	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	合计		
二长花岗岩	34.08	3.57	17.89		4.16	18.14	0.27	7.06	0.24	0.24	9.17	0.01	99.60	0.41	湿化学
	34.99	2.54	18.05	21.35			0.31	8.32	0.00	0.09	9.24	0.00	94.89	0.41	
花岗闪长岩	35.35	3.07	18.17	20.46			0.26	7.40	0.00	0.09	9.38	0.00	95.18	0.39	电子 探针
英云闪长岩	35.11	1.56	17.97	22.57			0.23	7.68	0.00	0.09	9.48	0.00	94.67	0.38	
闪长质包体	33.93	2.44	18.01	23.08			0.33	7.22	0.01	0.10	8.75	0.00	93.87	0.36	
	35.47	3.15	18.28	20.23			0.16	8.10	0.00	0.26	8.78	0.00	94.44	0.45	

注:电子探针分析由中国地质大学(武汉)完成。

岩石的 Mf 值一般在 0.30~0.39 之间,比黑云母中的 Mf 值低。在岩石和黑云母的 Mf 值之间的二元关系图中,落点靠近 1:1 的比值线,且稍偏向黑云母 Mf 值区,并略具线性关系。结合张德全等(1998)的统计资料进行对比分析,黑云母有岩浆成因和变质成因两种类型,以后者为主。

岩石中黑云母的含量为 11.2%~18%,在黑云母花岗闪长岩中,含量为 13.8%~18%,平均为 15%左右。假若岩石中的 MgO 全部进入到黑云母中,岩石中黑云母理论含量即岩石中黑云母最高含量为:

黑云母理论含量 = (岩浆中的溶解度/黑云母中 MgO 含量) × 100%(1-1)

设黑云母中 MgO 的百分含量为 y,据马昌前等黑云母的分子式推导^[4]有:

$y = [241.8Mf / (1\,023.8 - 18\,903Mf)] \times 100\%$ (1-2)

800℃时花岗质熔体中 MgO 的溶解度为 0.15%^[5],以长三背岩体中黑云母的 Mf 值代入公式 1-2 求得 y 值,将此结果代入式 1-1 求得岩石中黑云母的理论含量为 2.1%~3.5%。若以黑云母与花岗岩的密度比为 1.16 进行换算^[4],则岩石中黑云母所占的体积百分比最大不过 4.1%。以上说明岩石中的黑云母主要是继承下来的地壳岩石部分熔融过程中残余组分;Puziewicz 等曾提出了相似结论^[6]。以此推论,长三背各岩石单元中黑云母含量的不同,是与部分熔融形成的熔体中混入的耐熔残余组份的多少有关。

(2)长石

长三背岩体中斜长石是最主要的造岩矿物,其自形程度高,双晶发育,晶粒一般粗大,环带结构发育。各单元岩石从早次花岗闪长岩至晚次二长花岗岩,斜长石的含量(%)由 52.5→35.7→29;但斜长石的 An 牌号由 44→43→35,变化不大,电子探针分析结果(表 2)亦如此。说明岩浆的分异程度不高。

表 2 环带斜长石化学分析数据
Table 2 Chemical composition of zoned plagioclase

环带	分析结果(%)											矿物计算(%)		
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	合计	An	Ab	Or
Pl-1	58.36	0.00	26.19	0.10	0.08	0.00	6.97	7.57	0.25	0.00	99.55	33.24	65.33	1.42
-2	57.6	0.01	26.53	0.00	0.04	0.00	8.10	6.99	0.14	0.00	99.40	38.73	60.48	0.80
-3	59.07	0.00	25.30	0.00	0.04	0.01	7.50	7.36	0.27	0.00	99.55	25.48	63.00	1.52
-4	56.09	0.00	27.88	0.05	0.00	0.01	9.78	0.56	0.21	0.00	99.67	48.33	50.44	1.23
-5	55.66	0.02	28.18	0.06	0.01	0.00	9.85	5.86	0.16	0.00	99.80	47.71	51.37	0.92
-6	57.16	0.00	27.07	0.02	0.04	0.02	8.17	6.96	0.18	0.00	99.61	38.94	60.04	1.02

注:电子探针分析由中国地质大学(武汉)完成。

主体黑云母花岗闪长岩中,一颗 3.5 mm×6.5 mm 大小的环带结构发育的斜长石,从其内环带至外环带分别作电子探针分析,结果见表 2;从核心至外带:An 从 33.24→38.73→
万方数据

25.48→48.33→47.71→38.94 变化;An/Ab 值从 0.51→0.64→0.56→0.96→0.93→0.65 变化。反映 An 及 An/Ab 值总体振动向上并有两次突变,这种特点反映了岩浆液相(熔体)至少发生了两次大的变化,且基性程度变高;还反映了只有混合作用才能出现这种现象,而这种现象又是在外来更基性物质(或岩浆)加入后才有可能出现。由于长三背岩体及围岩至今未发现基性火成岩石与其共生,因此,混合作用最可能的机制是残余体分离作用,即低度部分熔融形成的熔体(或岩浆)中,再次混入围岩耐熔残余组分或进一步以高度部分熔融方式(或渐进深熔作用)改变先成熔体(或岩浆)的成分,使其向基性增高方向演变。因此,环带结构发育的斜长石首先是从先成岩浆中结晶出晶核(内环带),而后,由于岩浆成分改变,结晶出更为基性的外部环带。

1.2 岩石成分变异的成因意义

岩石化学、地球化学资料分析(表 3、4、5)表明,长三背岩体中从包体→花岗闪长岩→二长花岗岩,岩石的酸碱组分总体上增高,而基性组分含量总体降低。

由表 3、4、5 绘出的二元成分变异图(图 2)看出,随 CaO 增高,TFeO、MgO、TiO₂ 和 REE 含量增高;SiO₂ 和 K₂O 含量降低,Al₂O₃ 和 Na₂O 的含量变化不大。各组分对 CaO 的变异均呈线性关系。

表 3 长三背岩体岩石化学分析结果(%)
Table 3 Cchemical composition of the Changsanbei granitic body(%)

岩 类	样号	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 ⁺	合计
二长花岗岩	2-2-1	69.62	0.42	12.92	0.64	4.28	0.05	1.43	0.39	3.67	5.70	0.11	1.16	100.39
	112	74.30	0.21	13.11	0.59	10.15	0.02	0.54	0.13	3.00	4.84	0.10	0.96	100.01
	Q-1	70.83	0.41	14.55	0.70	3.13	0.00	1.19	1.02	2.11	3.73	0.09	0.10	97.86
花岗闪长岩	Q-5	68.90	0.50	14.67	0.21	4.74	0.08	1.54	1.06	2.50	3.60	0.15		97.96
	D-5	68.26	0.53	15.05	0.34	4.13	0.08	1.38	1.67	2.86	3.83	0.20		98.35
	Q2	69.37	0.55	14.79	1.23	3.31	0.00	1.47	1.54	2.07	3.90	0.01	0.13	100.15
	2-4	68.30	0.63	14.66	0.41	4.34	0.07	1.58	1.62	2.61	3.70	0.15	0.76	98.83
	3-5	69.34	0.73	13.60	0.39	4.80	0.08	1.74	1.55	2.37	3.55	0.15	0.40	98.70
	77-L	67.48	0.60	15.07	0.40	4.90	0.08	1.58	1.72	2.53	3.58	0.18		99.63
英云闪长岩	G105	64.98	0.81	14.99	1.42	5.36	0.13	2.11	1.53	1.98	3.90	0.12	1.04	99.99
闪长质包体	3-2	65.80	0.74	14.53	1.01	4.72	0.08	2.12	1.65	2.80	3.82	0.12	1.36	98.75
	3-5-1	66.34	0.66	15.01	0.67	5.64	0.09	2.41	2.11	2.78	3.49	0.14	0.86	99.20
	Q-6	67.28	0.64	15.34	1.26	3.77	0.00	2.64	2.05	2.29	3.55	0.12		98.94
	仙八	67.20	0.65	14.85	0.39	4.90	0.10	1.76	2.15	2.70	3.35	0.15		98.20

注:电子探针分析由中国地质大学(武汉)完成。

表 4 长三背岩体岩石稀土元素分析数据($\times 10^{-6}$)
Table 4 REE contents of the Changsanbei granitic rocks

岩类	La	Ce	Pr	Na	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	Eu
二长花岗岩	12.61	26.98	3.22	13.58	3.93	0.97	4.47	0.98	6.91	1.43	4.25	0.70	4.43	0.65	37.71	122.21	0.30
	27.72	55.25	7.01	26.36	5.22	0.80	4.60	0.69	4.33	0.81	2.22	0.33	1.85	0.30	22.63	160.10	0.53
花岗闪长岩	27.32	58.98	7.68	28.55	6.01	0.83	5.57	0.84	5.48	1.01	2.71	0.42	2.37	0.37	27.75	175.89	0.47
	27.47	57.77	7.45	28.48	5.62	0.98	5.16	0.75	4.80	0.88	2.40	0.38	2.18	0.34	24.60	169.28	0.43
闪长质包体	23.21	47.47	6.36	22.80	4.72	0.71	4.36	0.63	3.76	0.67	1.71	0.26	1.43	0.23	17.47	135.87	0.52
	23.47	49.13	6.13	22.21	4.37	0.77	3.40	0.52	3.26	0.67	1.91	0.32	1.51	0.22	18.32	136.21	0.64

注:稀土元素测试由湖北省地质实验室完成。

表 5 长三背岩体岩石微量元素含量($\times 10^{-6}$)
Table 5 Trace elements contents of the Changsanbei granitic rocks

样号	W	Sn	Bi	Mo	Cu	Pb	Zn	As	Nb	Ta	Be	Li	Rb	Sr	Cs	Cr	Co	Ni	Zr	V	Ba
Gl12	1.50	7.1		0.7	2.5	15	40		7.6		0.93	28	253	20	9.8				74		210
3-2	1.81	5.1	0.97	1.78	31.3	27.7	80.7	3.46	12.3	0.23	1.7	74	165	83	16.8	59.6	13.9	24.9	184	89.1	323
3-5	1.81	6.4	0.69	1.87	25.1	26.5	69.3	2.68	13.5	0.76	2.1	48	177	74	13.8	75.8	11.8	21.6	180	83.8	340
2-4-1	1.43	5.5	0.40	1.59	27.0	25.6	68.0	3.79	10.8	0.25	2.1	41	151	90	15.8	55.0	13.0	24.4	171	83.5	392
3-5-1	0.87	3.6	0.51	1.87	28.7	15.6	75.4	2.23	16.5	0.50	2.1	41	153	77	10.4	100.7	15.3	30.2	167	93.6	392
3-2-1	1.06	73	0.97	1.56	152.4	58.6	81.3	7.4	14.2	0.10	1.7	60	227	80	13.8	82.1	15.6	27.4	241	100.9	823

注:微量元素测试由湖北省地质实验室完成。

花岗岩类岩浆演变的动力学机制研究表明,结晶分异、混合作用和分离熔融或批式熔融,都可以导致岩浆成分变异。但变异趋势是不同的,由此给出的图亦不一样。结晶分异、分离熔融或批式熔融形成的一套岩石只有在组分分配系数与 CaO 的相等时,才能在二元素(C^x-C^y)图中呈线性变异关系^[4,6]。对花岗质岩浆而言,上述变异图中的元素分配系数不大可能与 CaO 的相等。因此,长三背岩体花岗岩类岩石成分的变化反映岩浆演变机制应是混合作用,或者说岩浆演变混合作用机制是长三背岩体多成分单元岩石的形成机制。

此外,岩石中的一些参数,在共分母比值-比值协变图中呈直线关系(图 3),进一步说明长三背岩体岩浆演变机制是混合作用。

混合作用可能有岩浆的简单混合、同化混染和源区耐熔残余体与熔体的混合等混合方式。长三背岩体野外调查表明:(1)各单元岩石、尤其是岩体主体单元岩石中,或多或少有富云包体的存在,以及大量残晶黑云母条带与条带状富云包体共生;(2)在地表岩体突出部分,可见到与围岩成分相近的棱角状包体,但在岩体凹陷部位这种包体少见,岩体内部岩石成分和结构受围岩混入影响小;(3)岩体内虽然有深源包体(捕虏体)及浅源同岩浆成分相近的同生包体,这些包体是在岩浆上升侵位对本身早结晶的边缘相捕获而形成的,如石英岩包体、细-微细粒的英

云闪长岩包体及花岗闪长质包体,但对岩浆成分的改变作用不大;(4)与岩体共生的偏中性侵入岩,至今尚未发现。综上所述,岩浆的演变机制主要是残余体分离作用。

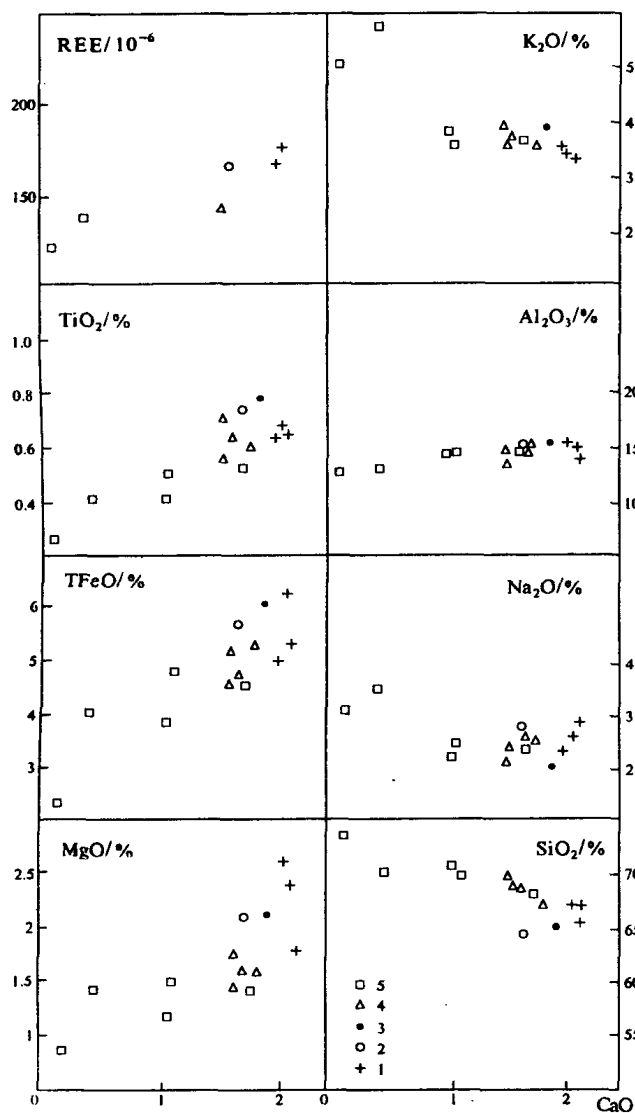


图2 岩体中氧化物协变图

Fig.2 Variation diagrams of oxides of granitic rocks

1. 暗色包体 2. 浅色包体 3. 英云闪长岩
4. 花岗闪长岩 5. 二长花岗岩

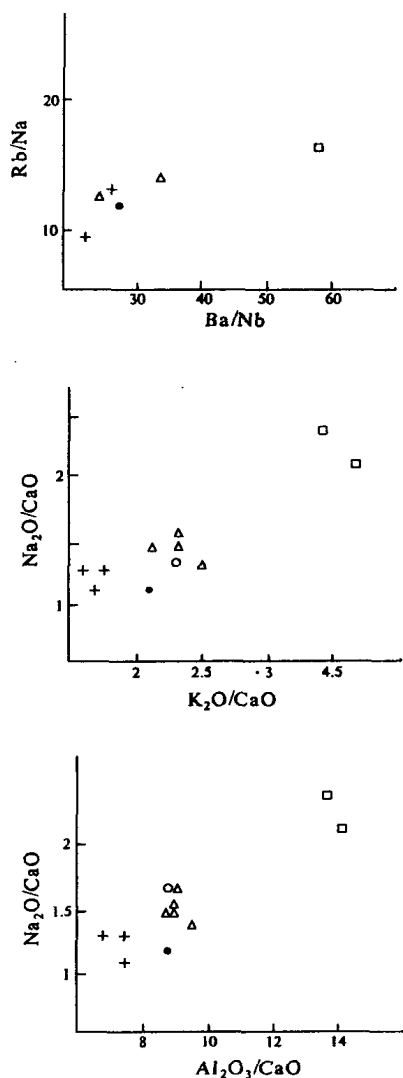


图3 岩体岩石参数比值-比值协变图

Fig.3 Diagrams of oxides and their ratios of granitoids

(图例及说明同图2)

2 岩体构造

2.1 近岩体围岩构造

近岩体围岩热接触变质带不明显,北面由于断层影响可能遭受破坏而不清,而南面也仅在少数地段有二云母片岩,斑点板岩。由于岩体侵位,在岩体围岩 30~50 m 的范围内产生了叠加于区域构造之上的小褶皱和片理等变形作用。如:(1)膝折局限于接触带附近,在岩体中北

部接触带上可见层理或劈面(S_{0-1})受膝折构造影响产生顺 S_{0-1} 方向的折断、位移;膝折面平行于接触断面者密集发育,规模相对较小;远离之则过渡为不对称的微细波折,长翼陡,短翼平缓并逐渐消失。(2)伴生岩体侵位发生的小褶皱相对紧闭,轴面普遍比层理 S_0 要陡,非对称;远离岩体变为波状褶曲,亦是长翼陡,短翼缓,进而很快消失。(3)次生片理带叠加于区域第1期板劈理之上,近岩体密集,远离之渐疏,片理面与接触带一致,伴随次生小褶皱或膝折带发生。

2.2 岩体内部构造

2.2.1 宏观构造特征 长三背岩体位于大围山韧性剪切带北侧分枝带上,构造变形比较强烈,岩体内南北两侧变形强、中间弱;北侧较南侧强,强弱分带性明显。从岩体中心向两侧,中部为弱变形带,由剪切透镜状花岗岩夹条带状或透镜状片岩组成;北侧为糜棱岩化岩→初糜棱岩→糜棱岩组合带;南侧为糜棱岩化岩→初糜棱岩组合带(图4)。

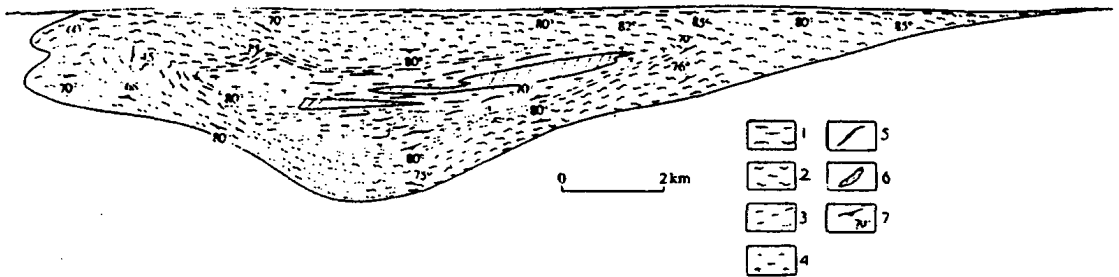


图4 长三背岩体变形岩石平面展布图

Fig. 4 Distribution map of distortion rocks of the Changsanbei granitic body

1. 花岗质糜棱岩 2. 花岗质初糜棱岩 3. 糜棱岩化花岗岩 4. 花岗岩 5. 细晶岩脉、石英岩脉 6. 围岩捕虏体 7. 面理产状

2.2.2 显微构造特征 岩体在上升侵位过程中,因岩石中的石英、长石、云母等造岩矿物受剪切挤压作用影响产生了强烈的变形,形成了一系列复杂的微细构造:(1)石英,在岩体的不同部位变形程度有明显差异:北侧带糜棱岩中变形最强,石英以拉伸条带为主,其颗粒长短轴比为5:1,最大可达10:1,定向性明显,核幔结构、变形带及拔丝结构比较发育,动态重结晶颗粒多见;主体初糜棱岩带中,石英明显被压扁拉长,多呈透镜状,具波状消光,边界常呈锯齿状或缝合线状,局部出现重结晶颗粒;糜棱岩化岩石中,石英只部分压扁拉长和波状消光,微具定向;中部的剪切透镜状花岗岩中,石英形变已不明显,多呈它形晶,定向微弱。(2)长石,主要是斜长石,在主体初糜棱岩变形带中长石斑晶的圆化现象普遍,与周围塑性基质构成“眼球构造”或曲颈拖尾等,长石双晶有弯曲、折断及扭折等现象,变形强烈处还出现部分出溶结构,显然是不均匀扭滑造成的;长石的穿晶裂纹比较多见,部分长石斑晶由于脆性破裂而形成“砂钟”构造。(3)云母,镜下观察常呈不规则束状与拉伸石英颗粒构成糜棱岩理;还有弯曲扭折、拖尾的“云母鱼”、波状消光等特征。

2.2.3 面状和线状构造要素 (1)岩体中的面理^[7]广泛发育(图5),呈近东西走向,倾向南或北,倾角 $60^{\circ} \sim 85^{\circ}$ 。在岩体端部或局部地段受边界面影响发生偏转,局部地段产状在短距离内相反、相向变化较快。面理由拉长包体和藕节状长英质脉体的压扁面及片麻理等组成,由长英质矿物定向排列形成的面状构造广泛发育,只有在应变不甚均一时,面理才呈透镜状、波状。

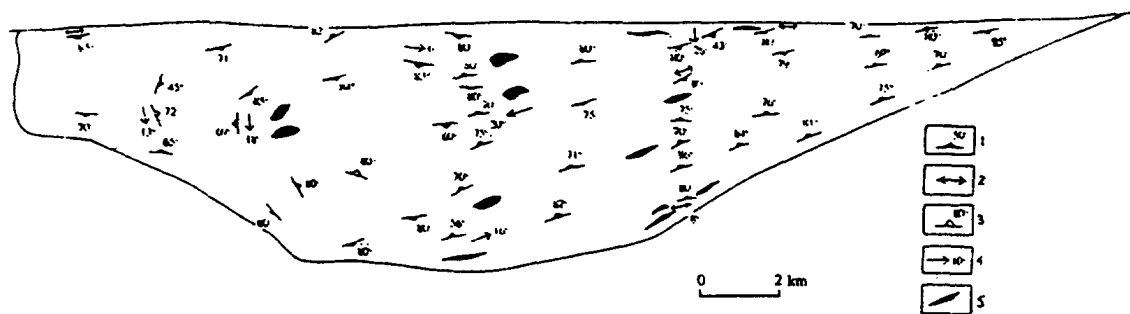


图 5 长三背岩体面理和线理平面示意图

Fig. 5 Sketch map of face and line texture of the Changsanbei granitic body

1. 实测面理 2. 实测水平线理 3. 磁性面理 4. 磁性线理 5. 包体形态与长轴方向

(2) 线理于面理面上, 为拉长石英、包体、浅色或暗色矿物断续线状排列而成, 通过系统测量可知, 线理倾伏方向为 $75^{\circ} \sim 110^{\circ}$, 近东西向者居多, 倾伏角较小, 一般为 $2^{\circ} \sim 20^{\circ}$, 多在 10° 以内。北侧带包体拉长较明显, $X:Z$ 为 $4:1 \sim 8:1$, 形态较复杂, 两端较尖, 且扭动; 中北部弱变形带中一般呈圆饼状或水滴状, $X:Z$ 一般为 $2:1 \sim 3:1$; 南侧介于上述两者之间, 主要以压扁为主。

上述于 XZ 面上所观察到的岩体变形带内的旋转应变标志均表明其应力作用方式为右旋扭动(图 6), 而图 7 则反映了这些组构的空间关系。

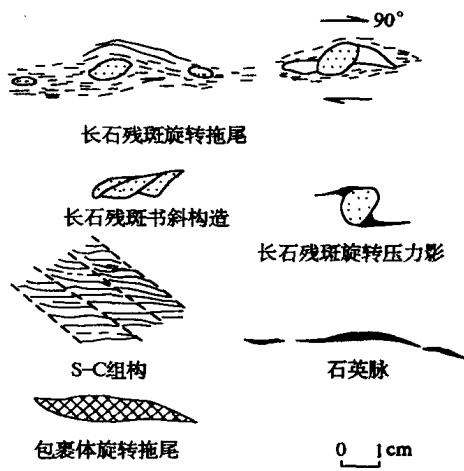


图 6 剪切标志图

Fig. 6 Map showing shear marks

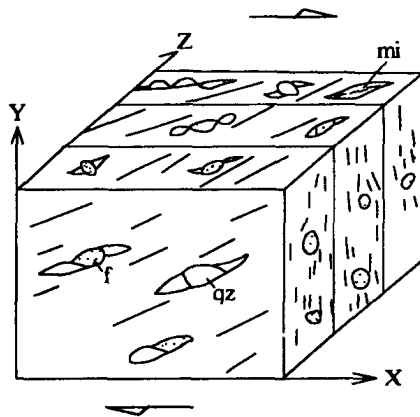


图 7 右行剪切动向模块图

Fig. 7 Map showing dextral

q⁺ - 石英 mi - 云母 f - 长石

2.2.4 组构特征 在岩体中有代表性的构造部位, 进行石英 C 轴组构分析, 得出各带、各部位石英 C 轴组构图(图 8)。在岩体的北侧边界剪切糜棱变形带上的初糜棱岩中(7-3 点), 发育有近 Z 轴的小圆环带, 半开角 90° , 具明显的不对称极密, 小圆环带向 Y 轴出露处延伸, 在 Y

轴附近出现 C 轴极密,相应的(A)轴极密出现在 X 轴附近,这种组构是高温高剪切应变的结果;据石英 C 轴极密点与糜棱叶理关系,以及变形岩石中 S 面理与 C 面理的关系,判断剪切指向为右行平移,剪切角 38° 。在糜棱岩中(7-2 点),发育 I 型交叉不规则环带极密组构,环带极点位于 Z 轴附近,Z 轴附近还有一个小圆环带,包含一个 C 轴主极密,3 个以上的次极密,有的极密分布接近中心 Y 轴,剪切角 17° ;7-1 点与之相类似,只是小圆环带及半开角更小($70^\circ \sim 75^\circ$),剪切角 15° 。这种从不对称极密、环带发育不完善的组构到多极密 I 型交叉不规则环带组构的变化,反映了应变强度和旋转程度由相对低至高的转化。

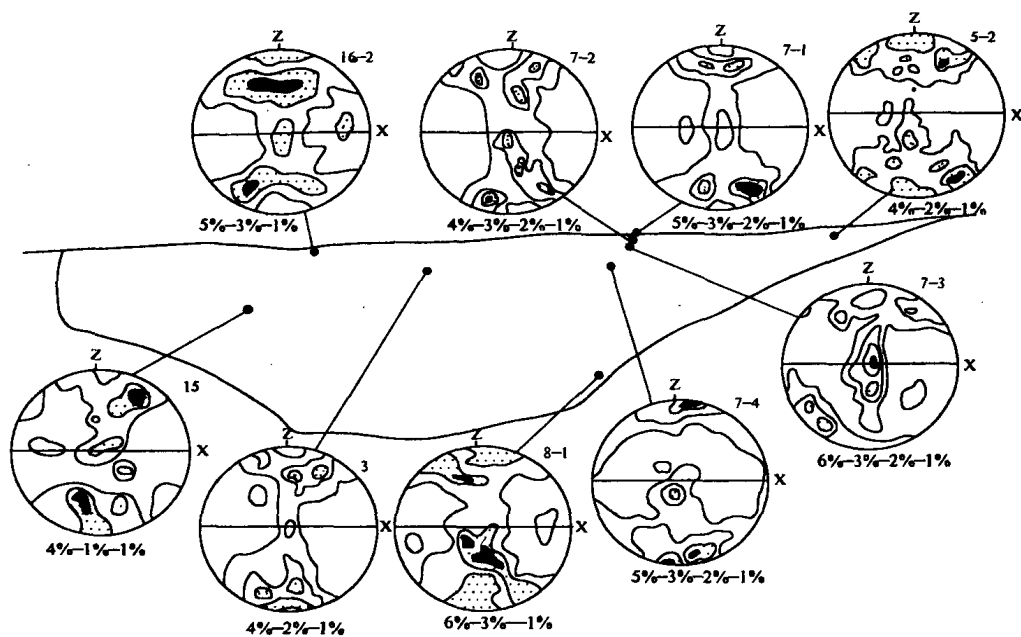


图 8 长三背岩体石英 C 轴组构图

Fig. 8 C-fabric map of quartz of the changsanbei granitic body

1. 7-1, 7-2, 16-2, 8-1 花岗质糜棱岩 2. 7-3, 7-4, 3, 5-2, 15 花岗质初糜棱岩

类似图形尚有 16-2 和 8-1 点,但南侧带的 8-1 点图形与北侧带比较,显然南侧带的主应变度要小于北侧,并且,有转变为具挤压—剪切之特点。

中北部 7-4 点的初糜棱岩中的石英 C 轴组构图与上述南北侧带比较则发生了明显的变化,环带轴近于垂直,环带中有近 Z 轴不对称极密,小圆环有向 Y 轴处延伸的趋势,并在近 Y 轴处形成次极密。反映以南北向挤压应力为主,兼有右行剪切应力之特点。类似图形尚有岩体东部 5-2 点和西部 15 点,绕 Z 轴的小圆环带发育更明显,半开角变小,分别是 40° 和 38° ,说明岩体侵位在相对较高的应变环境中,成岩温度是逐渐降低的。

由此可见,石英 C 轴组构可以明显地分为两大类,一类是出现环绕 Z 轴的小圆环带,不对称极密靠近 Z 轴的三角区内,环带不发育,以斜方对称为主,见于东西两侧及中北部,具轴对称压缩与平面应变之间的过渡特点。另一类是多极密 I 型交叉不规则环带组构,单斜对称为主,见于岩体南北两侧,反映出平面应变为主兼压扁应变之特点。

糜棱岩中的这种石英 C 轴组构的差异性变化,显然是剪切糜棱岩带中心与边部岩体北侧
万方数据

至南侧带的不同部位,受构造应力作用方式不同及强弱变化不等所造成。

岩组图型的晶体流变机制,可能是由石英底面和(+)(-)菱面滑移造成的,而菱面滑移的大量出现,与变形温度较高有关,这就说明长三背岩体侵位可能处于高温高剪切应变环境。

2.2.5 岩体的有限应变

(1)包体,大多分布在岩体边部,成分主要是闪长质,其次是长英质,形状多为长条形和长椭圆形,小的长轴 2~3 cm,大的 20~30 cm 不等。将其平均二维应变轴比(X:Z)投影在平面图上^[8](图 5),应变长轴方向为近东西向,中带局部向北东偏转,平均比值 3.3:1,最大可达 14:1,最小只有 1.3:1;择南、中、北 3 个点作主轴比分析,求得的弗林指数 K 值分别是 0.39、0.75、0.84。将其投影到 Wood 图解上可知,北侧地壳沿 X 轴拉伸 40%,沿 Y 轴拉伸 12%,沿 Z 轴缩短 35%;中部沿 X 轴拉伸 85%,沿 Y 轴拉伸 3%,沿 Z 轴缩短 48%;南部沿 X 轴拉伸 30%,沿 Y 轴拉伸 12%,沿 Z 轴缩短 90%。

(2)石英颗粒,以岩体的不同单元或变形带中岩石的 S-C 组构之间的夹角(φ)及变形岩石中 XZ 面上变形石英颗粒 X/Z 比值作 R_f/φ 图^[9],求得平均应变轴 RS(图 9)。北侧带样品中,石英颗粒投影点明显地呈竖直条带状集中分布,位于 $\varphi=0$ 的右侧, φ 角变化区间 $5^\circ\sim 35^\circ$,越近北边界, φ 角越小,于一条短剖面上从南至北, R_s 变大, φ 变小,分别是 $2\rightarrow 3.5\rightarrow 4.5$ 和 $30^\circ\rightarrow 18^\circ\rightarrow 10^\circ$,为右行剪切机制。南侧带样品中,石英颗粒投影点则有呈横向上条带状集中分布之趋势,于 $\varphi=0$ 两侧基本对称分布, R_s 值明显减小,一般在 2 左右;总体上表现为剪切-压扁成因机制。

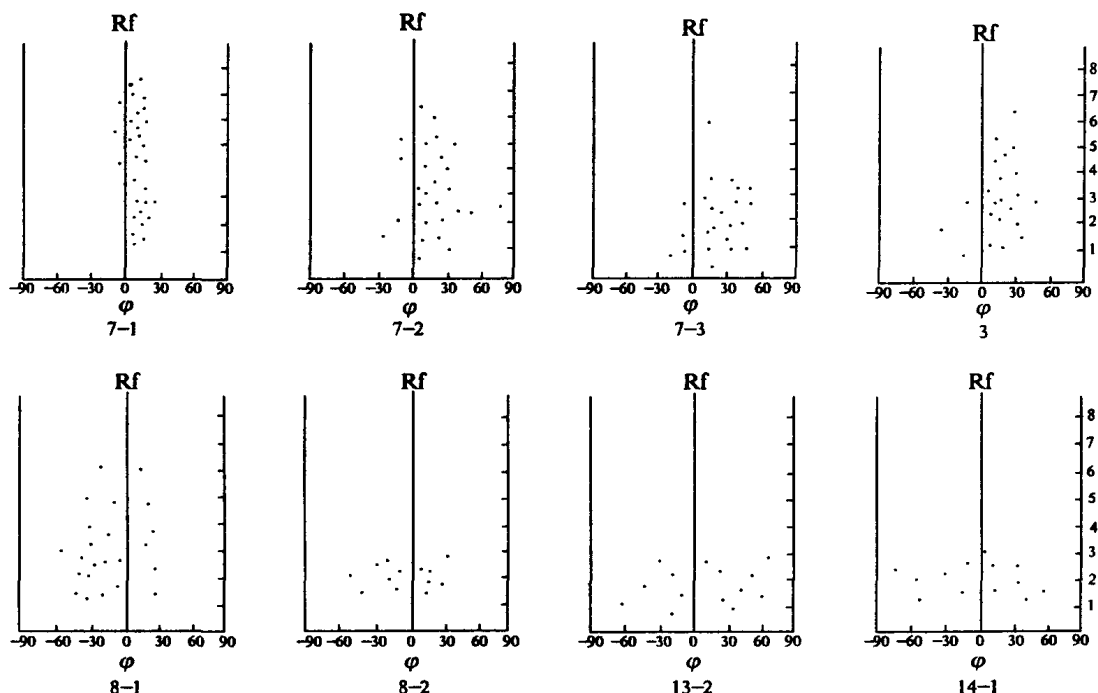


图 9 岩体石英 R_f/φ 组构图

Fig. 8 The R_f/φ fabric map of quartz from the Changsanbei granitic body

1. 7-1, 7-2, 8-1 花岗质糜棱岩 2. 7-3, 3 花岗质初糜棱岩 3. 8-2, 13-2, 14-1 糜棱岩化花岗岩

3 构造环境及侵位机制分析

3.1 花岗岩形成的构造环境

据 Debon 等的岩石化学分类^[10],长三背岩体属过铝质和部分准铝质黑云母二长花岗岩、(正长)花岗岩和花岗闪长岩组合。岩石属铝—钙铁镁组合和钙碱性亚型。结合该岩合格及邻近岩体花岗岩的矿物特性和岩石地球化学等有关参数值分析,如:副矿物组合属钛铁矿型,黑云母 Mf 值为 0.31~0.49, $K_2O/Na_2O > 1$, 铝饱和指数 $A/CNK > 1.1$, 锫亏损值为 0.32~0.74, 锶同位素初始值为 0.710 1~0.724 0 等,花岗岩属壳源型,相当于徐克勤等(1983)的陆壳改造系列花岗岩类。该花岗岩中用未变形的、不含或少含暗色包体或残余体的岩石、矿物成分、地球化学成分进行构造环境判别,属于 Maniar 等的造山花岗岩类大陆碰撞亚型^[11];在 Batchelor 等的 $R_1 - R_2$ 判别图^[12](图 10)中属同碰撞型,这和用 Pearce 等微量元素判别法^[13](图 11)得出的结论相当。已有研究成果表明,武陵—雪峰期扬子大陆和华夏大陆之间,沿文家市至江西宜丰—南昌一线,曾发生过陆陆碰撞造山作用(1 000~750 Ma)^[14,15],形成了大围山—九岭造山隆起带,并造就了陆壳改造系列花岗岩类。

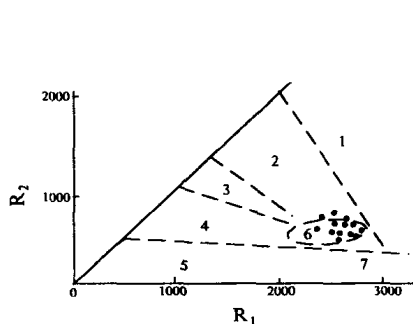


图 10 长三背花岗质岩石的 R_1 对 R_2 图解

Fig. 10 $R_1 - R_2$ plot for Changsanbei granitic body

1. 地幔分异花岗岩 2. 板块碰撞前花岗岩
3. 板块碰撞后花岗岩 4. 造山晚期花岗岩
5. 非造山期花岗岩 6. 同碰撞期花岗岩

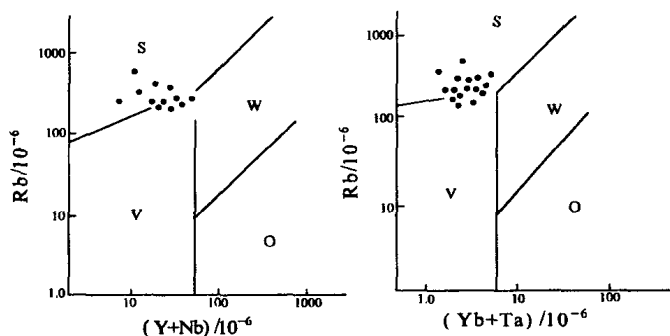


图 11 长三背花岗质岩石的 $Y+Nb$ 对 Rb 和 $Yb+Ta$ 对 Rb 图解

Fig. 11 $Y+Nb-Rb$ and $Yb+Ta-Rb$ diagram of the Changsanbei granitic body

- S-同碰撞花岗岩 V-岛弧花岗岩 O-洋脊花岗岩 W-板内花岗岩

一般认为岩浆顺剪切带强力楔入侵位发生在地壳深部,根据上述对岩体的矿物岩石学、微量元素及稀土元素等特征分析推断,长三背岩体为地壳深部未经地表风化的变质岩熔融而成。用岩石化学成分相关换算值,在 An/Ab 值相应的 $An-Ab-Or-Q-H_2O$ 系的 $Ab-Or-Q$ 面上投影^[16],投影点集中在水压(P_{H_2O})为 $3.10 \times 10^8 \sim 6.5 \times 10^8$ Pa,温度在 $700^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ 的范围内,说明岩浆形成的深度大致在 10~22 km 之间,平均 15 km 左右,在区域剪切推覆作用下,强烈的挤压引起局部地壳增厚,使之温度升高,同时,也使深部岩石本身的矿物脱水,加之剪切断裂活动浅表层中的游离水被带入到地壳深部使之局部富集,构成了一个深熔花岗岩形成的 $P-T-H_2O$ 环境。由此而产生的花岗岩浆沿北边界剪切薄弱带向上侵位运移形成了一个侵位中

心。岩浆上升的速度(通过野外对最大包体的观察求得)主体单元为 $7.3 \times 10^{-8} \sim 2.6 \times 10^{-7}$ m/s, 晚次单元为 7.4×10^{-7} m/s。它反映: 早次单元至晚次单元岩浆上升速度呈加快趋势; 岩浆侵位时外应力强度在逐渐增大; 岩浆演变受残余体分离作用影响。

3.2 侵位依据

(1) 岩体平面形态为特殊的“蝌蚪状”, 3 个单元从老到新自南而北总体上呈带状分布。

(2) 花岗岩的侵位与剪切带密切相关, 北边界变形最强, 为剪切变形机制; 南侧相对较弱, 为剪切-挤压机理, 显微构造和野外观察结果获知剪切方向为右行平移。

(3) 平推剪切位移量东端最大, 西端最小, 二维应变值(X:Z)在岩体西南部最低, 往南至南东方向增高, 北侧边界上最大。

(4) 岩体发生了横向拓宽, 朝南侧发生了较大弯曲, 东西端相对较窄, 东端尤为明显, 在近南北方向形成垂向压扁。

(5) 岩体构造面理虽因剪切断裂影响不时发生或南或北的倾向改变, 但总体上是朝北往岩体中心陡倾斜, 岩体在空间上可能为无根状或倒水滴状。

(6) 岩体产出状态与围岩适应性较好, 两者面理一致, 接触面附近有次级片理等小构造。

3.3 侵位方式

由以上依据可以清楚地看到, 长三背岩体表现为沿右行剪切带的强烈楔入式侵位。其侵位机理简略的分析是, 第 1 次韧性推覆构造作用之后, 由于其应力状态发生改变, 顺片理化带产生了东西向平移剪切, 同时由于构造应力体制转换期的横推剪切力不甚均衡, 而导致顺剪切带形成一狭长的潜在空隙, 岩浆则乘虚而入占据这一空间, 形成了早次单元岩石。鉴于剪切带初始不稳定性, 它必将进一步演变, 由于右旋律剪切应力作用使得其东南部向南发生弯曲, 并向西部平移, 在北北西方向产生附加挤压分应变, 北侧主剪切带产生近南北向剪切拉张应力转换, 并沿近南北向开始活动造成北侧围岩与早次单元间这一相对薄弱地带, 又形成新的断裂活动空间, 此时主次单元侵入吞没早次单元, 并向南扩展, 野外可清楚地观察到这一点。原因是剪切带发生了纵向分叉, 南侧先向外扩展, 但活动相对弱小, 先期岩浆侵入充填后慢慢停止活动; 而北侧剪切带活动强烈, 继续产生类似的剪切断裂活动, 形成的活动空间又为主体花岗岩所充填。结合面状和线状构造的展布规律, 初步判断岩浆是从北或东北或西南方向侵入的, 在这一侵入过程中, 因受到剪切带活动影响, 岩浆顺剪切平移方向在东部伸出一个较尖的拖尾。中北部的花岗岩小岩株(瘤)是在主岩体形成后形成的。

4 结论

(1) 长三背花岗岩体属过铝质和部分准铝质黑云母花岗岩和花岗闪长岩组合; 岩石属铝-钙铁镁组合和钙碱性亚型。

(2) 长三背岩体源岩属壳源型, 为地壳深部未经地表风化的变质岩熔融而成。该岩体各单元中岩石成分的变异主要为混合作用, 即残余体分离作用。

(3) 岩体侵位构造环境属于造山花岗岩类大陆碰撞亚型, 是陆陆碰撞造山作用造就的陆壳改造系列花岗岩类。

(4) 岩体侵位方式为沿右行剪切带的强烈楔入式侵位。

参 考 文 献

- [1] 湖南地质矿产勘查开发局. 湖南省区域地质志. 北京:地质出版社,1988
- [2] 贾宝华、伍光英、何江南等. 湖南花岗岩体侵位机制初步研究. 长沙:湖南地质出版社,1998
- [3] 湖南地质矿产勘查开发局. 湖南花岗岩单元—超单元划分及其成矿专属性. 湖南地质(增刊8),1995
- [4] 马昌前、杨坤光等. 花岗岩类岩浆动力学—理论方法及鄂东花岗岩类剖析. 中国地质大学出版社,1994
- [5] Puziewicz J and Johannes W. Experimental study of a biotite-bearing granitic system under water-saturated conditions. *Mineral Petrol*, 1990, 435—452
- [6] 李增田、马昌前等. 应用二组分成分变异曲线图判别岩浆作用的一套有效方法. *地球化学*, 1993, (2)
- [7] Paterson S R 等. 关于花岗岩内岩浆流面与构造面理区分准则的评述. *地质科学译丛*, 1990, (3):185—192
- [8] 肖庆辉. 花岗岩体应变测量基本方法简介. *地质科技通报*, 1989, (3):167—176
- [9] 蓝腊保、郑亚东. 用于有限应变测量的标准曲线图— Rf/ϕ 曲线和 50% 资料曲线. *地质论评*, 1984, (6)
- [10] Debon F and Lefort P A. Cationic classification of common plutonic rocks and their magmatic associations: principles, method, application. *Bulletin de Mineralogie*, 1982, III, 493—510
- [11] Maniar P D and Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoid. *Geol. soc. Am. Bull.*, 1989, 287—301
- [12] Betchelor R A and Bowden P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multication Parameters. *Chemical Geology*, 1985, 48: 43—45
- [13] Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *J. Petrol.*, 1984, 25: 956—983
- [14] 舒良树等. 九岭山南缘断裂带运动学研究. *地球科学*, 1994, (3)
- [15] 舒良树、郭令智等. 江南中段板块地质构造与碰撞造山运动学. 南京大学出版社, 1995. 154—161
- [16] 邱家骧. 应用岩浆岩岩石学. 中国地质大学出版社, 1991

GENETIC MECHANISM OF THE CHANGSANBEI GRANITIC INTRUSION IN NORTHEAST HUNAN

Wu Guang ying Chen Huiming

(Central - South China Geological Investigation Center, China Geological Survey, Yichang 443003)

Jia Baohua He Jiangnan

(Hunan Geological Survey, Xiangtan 411100)

Abstract

Mineralogical and petrochemical characteristics as well as REE and trace element geochemistry show that the Changsanbei granitic body was derived from remelting of crustal materials during the continent - continent collision and emplaced along a dextral shear zone with fractionation happened after emplacement of the magma.

Key words granite genetic mechanism Changsanbei northeastern Hunan