

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

皖南歙县岩体的岩石地球化学特征、 形成时代和成岩条件

邢凤鸣 徐 祥 任思明 李应运*

(安徽省地质科学研究所, 合肥)

本文通过对皖南歙县岩体的地质产状和同位素年龄的研究, 认为该岩体形成于晋宁早期; 通过岩体与围岩板溪群千枚岩的微量元素含量的对比分析, 认为歙县岩体是千枚岩在深变质条件下部分熔融的产物, 并根据REE部分熔融模式计算出其熔融程度约为75%。

一、歙县岩体一般特征

在皖南, 位于江南古陆中部, 沿祁门-歙县-三阳坑断裂带, 分布有一个花岗闪长岩带, 该带由11个岩体组成, 歙县岩体为其中的一个岩体, 位于该花岗闪长岩带的中部。

歙县岩体西起歙县城关, 东至龟头尖, 大致作NE55°延伸, 长22km, 出露面积32km², 在平面上呈一向北东方向尖灭的楔形(图1)。

歙县岩体为中细粒黑云母花岗闪长岩, 灰到灰白色, 花岗结构, 块状构造(北部)及片麻状构造(南部)。主要矿物成分及含量为: 中-更长石($An=22-36$, 平均27)以更长石为主, 37%; 钾长石, 14%, 呈它形粒状分布于较自形的斜长石、黑云母和石英之间。据弗氏台测定: 钾长石的 $(-)2V=58 \sim 72^\circ$, 三斜有序度 $S_T=0.35-0.70$, $\Delta=0.1-0.7$, 按马富宁的分类, 应属中正长石。据X光衍射法测定, $Or\%=92-99$; $\delta=0.294-0.50$; $2\theta_{131}$ 未发生分裂, 三斜度 $\Delta_{131}=0$, $t_1=0.80-0.89$, 亦属中正长石; 黑云母占16%, $(-)2V=21-24^\circ$, 常包有锆石、磷灰石、钛铁矿等。在应力作用下, 黑云母片弯曲、扭折、部分碎粒化并重结晶为细粒黑云母, 大致定向排列; 石英占32%, 结晶比斜长石、黑云母晚, 但早于钾长石, 因受后期应力作用, 常碎裂成多边形细粒, 在岩体北部, 碎粒多在0.1—0.5mm之间, 到岩体南缘, 因挤压强烈, 部分已成糜棱状, 粒径0.02—0.05mm, 常拉长成透镜状小条带, 平行分布。石英均具波状消光, 并发育有变形纹。副矿物以钛铁矿(150g/10³kg)、石榴石(25g/10³kg)、磷钇矿(15g/10³kg)、锆石(20g/10³kg)、独居石(10g/10³kg)、磷灰石(104g/10³kg)为特征。其它如磁铁矿等副矿物, 含量均微。

岩石的片麻状构造以岩体南缘最为发育, 向北减弱, 至蔡坑已不明显。镜下观察表明, 该构造实际上是在准塑性剪切变形条件下形成的挤压片理和糜棱岩条带。

岩石中常见两类包体: (1) 千枚岩类, 来自板溪群牛屋组, 多为透镜状, 长1.2cm到10cm多, 边缘常有热变质晕圈。(2) 中级变质岩类, 一般粒径0.5cm左右, 浑圆状, 边界不清, 为片麻岩、变粒岩、片岩等, 矿物成分主要为斜长石、黑云母、石英、堇青石、石榴石、磷灰石等,

* 参加野外工作的还有陈琼林、袁守诚、马荣生、董庆山、韩顺道等十几位同志。

本文1987年1月收到, 1988年1月改回, 罗正华编辑。

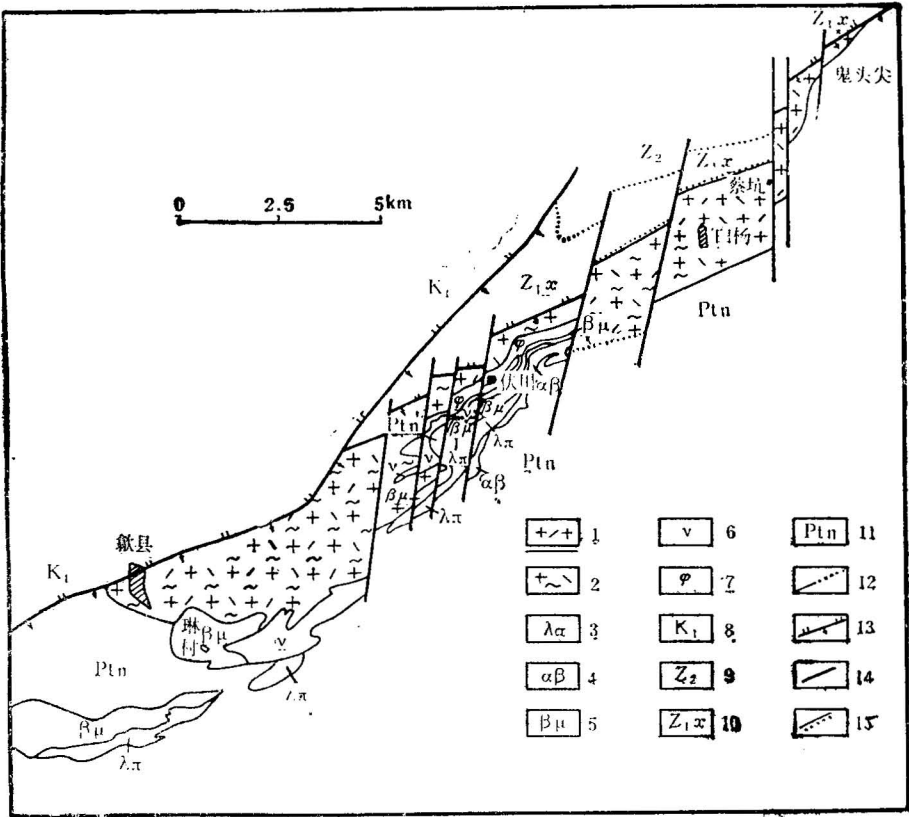


图 1 皖南歙县岩体地质简图 (据安徽省332地质队资料修测)

Fig. 1 Geologic sketch of Shexian intrusion in southern Anhui Province

1—中细粒花岗闪长岩; 2—片麻状花岗闪长岩; 3—角斑岩; 4—石英细碧岩; 5—枕状细碧岩; 6—辉长岩; 7—斜辉 辉 橄岩; 8—下白垩统; 9—上震旦统; 10—下震旦统休宁组; 11—元古界牛屋组; 12—实测与推测地质界线; 13—逆断层; 14—横断层; 15—沉积不整合界线

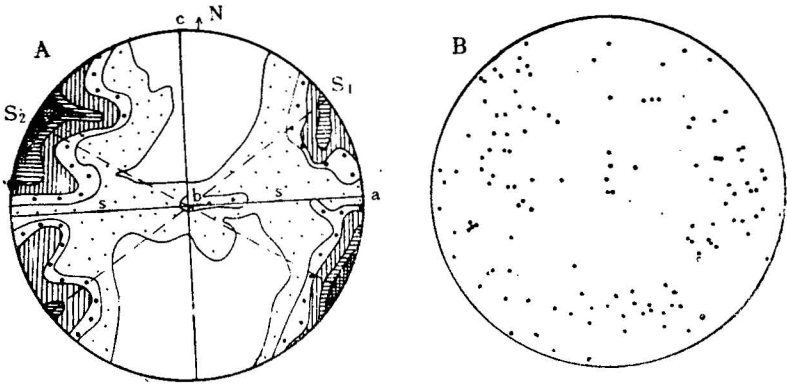


图 2 歙县岩体、休宁砂岩石英岩组图

Fig. 2 The fabric diagram of quartz c-axis from Shexian intrusion(A) and sandstone of Xiuning formation(B)

A—歙县岩体, 石英光轴160个, $s = ab$, 水平切面, 等密线0.6%—1.8%—3%—5%—6%—9%; B—休宁组细粒 砂 岩 石英岩组图, 石英光轴130个, 呈无规律散布

可能为源岩残留物。

从歙县岩体和围岩休宁组砂岩中采集了定向标本,进行了岩组分析,整理出石英光轴方位岩组图(图2)。图2-A是歙县岩体南缘琳村附近片麻状花岗闪长岩的石英光轴方位岩组图,为斜方对称的B-构造岩组构类型。差异滑动沿着两个相交于b轴的剪切面 S_1 和 S_2 发生,它们对称地产生在s面(片理面)的两边, $S_1 \wedge s$ 或 $S_2 \wedge s = 33^\circ$ 。石英光轴及其相当的晶体主轴,是平行于 S_1 和 S_2 这两个交叉的s面而按柱体律方位变形的。晶体c轴平行于剪切运动方向,故在ac面上呈现出两个明显的极密部。从极密部和次极密部在ac面上构成半环带状的特征表明,石英在发生剪切差异滑动的基础上,同时发生粒间外部的旋转差异运动,旋转角度不超过 35° 。由平行b轴的构造面具有剪切性质,相交于b轴的一对共轭滑面是平行于压缩轴的主应力作用的结果,c轴应是主压应力作用的方向,与s面即片麻理面垂直,故认为主应力近南北方向。

综合上述岩组分析的结果可以认为:歙县岩体的片麻状构造,是一种宏观和微观的定向组构,是在较深层次下韧性剪切带的变形产物。

图2-B是歙县岩体北侧围岩休宁组砂岩的石英岩组图。该图未出现对称的极密部,石英光轴出露点无规律地分散在投影图上,未显示出构造作用的影响,表明其沉积的时代晚于形成岩体片麻理的构造运动。

二、歙县岩体岩石化学、微量与稀土元素地球化学特征

(一) 岩石化学特征

歙县岩体的化学成分及有关参数列于表1,其特点为:(1)其化学成分与江南古陆东段雪峰期花岗岩类特别是华南东安期花岗岩类相似,在ACF图上均落入S型花岗岩区,且各点位置相近(图3),表明它们在形成时代上可能有某种共性。歙县岩体与戴里花岗闪长岩则有明显差别,分别属于不同的成因类型。(2)岩石富铝, $A/NKC(Al_2O_3/(Na_2O + K_2O + CaO) \text{分子数比}) = 1.30$,据Shand(1927)的分类,属过铝花岗岩。(3)氧化系数 $f'(Fe_2O_3/(Fe_2O_3 + FeO) \text{wt}\%)$ 很低,只有0.10。歙县岩体的 f' 以及 $SiO_2 < 65.5\%$,不仅与沿长江地区、大别山地区的花岗岩类区别,而且与皖南中生代花岗岩类有明显的区别。(4)富水, $H_2O^+ = 1.74\%$,高于一般花岗岩(0.33—0.69%)、花岗闪长岩(0.42—0.70)二倍左右。这可能表明,歙县岩体是在较深的封闭条件下改造沉积(变质)岩形成的,也可能是出现黑云母而不出现角闪石的原因之一。

(二) 微量元素地球化学特征

歙县岩体与中元古界板溪群牛屋组千枚岩的微量元素含量列于表2。可以看出,歙县岩体与牛屋组千枚岩中的微量元素含量相似(图4),二者可能有某种亲缘关系。从表2和图4还可以看出,F、Rb、Ba、Th在岩体中的含量高于在千枚岩中的含量,因为它们的离子半径大,且熔融活化度高,熔融时易进入液相;Li、Bi、Nb在岩体中的含量略高于在千枚岩中的含量,因其离子半径中等但熔融活化度高;相反,离子半径小,熔融活化度低的元素如Cr、Ni、Co、V、Cu等,因熔融时容易残留下来,故岩体中的含量明显偏低。这种元素地球化学上的差异,恰好符合部分熔融原理,表明歙县岩体可能是千枚岩在深处重熔的产物。

(三) 稀土元素地球化学特征

歙县岩体稀土元素含量与球粒陨石标准化值列于表3,同时列出了围岩牛屋组千枚岩以及上

表 1 歙县岩体化学成分与参数
Table 1. The petrochemical composition and parameters of Shexian intrusion

样号	岩体	岩石	化 学 成 分 %													
			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 ⁺	CO ₂	总计
AW—45	歙县	片麻状黑云母花岗岩	64.11	0.78	15.92	0.81	5.09	0.09	1.89	2.34	2.68	3.12	0.29	1.93	0.27	99.33
AW—112	歙县	黑云母花岗岩	65.32	0.58	15.21	0.37	6.55	0.12	1.67	2.07	2.77	3.18	0.04	1.54	0.05	99.47
平 均			64.72	0.68	15.57	0.59	5.82	0.11	1.78	2.21	2.73	3.15	0.17	1.74	0.16	99.40
戴里花岗岩			65.01	0.57	15.94	1.74	2.65	0.07	1.91	4.42	3.70	2.75	0.20	1.04		100.00
华南东安期花岗岩类平均 ⁽²⁾			66.30	0.46	15.08	0.27	4.54	0.11	2.77	2.62	2.54	3.23		2.14		100.06
江南台隆东段雪峰期花岗岩类平均 ⁽²⁾			68.53	0.54	15.56	1.16	3.49	0.15	1.45	2.52	2.59	3.52	0.21			99.72
样号	岩体	A/NKC	A:C:F (分子数%)	A:C:F (原子数%)	Na:K:Ca %	DI	标 准 矿 物 %									
							Or	Ab	An	Q	C	Hy				
AW—45	歙县	1.32	33:18:49	50:13:37	32:41:27	67	18.4	22.7	9.7	26.2	4.6	12.3				
AW—112	歙县	1.28	29:16:55	45:12:43	33:43:24	67	18.8	23.4	10.0	25.2	3.6	15.1				
平 均		1.30	31:17:52	47:13:40	32:42:26	67	18.6	23.1	9.8	25.7	4.1	13.7				
戴里花岗岩		0.93	29:34:37	45:26:29	34:28:38	68	16.3	31.3	18.8	20.4		6.6				
华南东安期平均 ⁽²⁾		1.21	29:18:53	45:14:41	29:42:29	67	19.1	21.5	13.0	26.0	2.6	14.4				
台隆东段雪峰期平均 ⁽²⁾		1.23	36:22:42	53:16:31	29:44:27	74	20.8	21.9	11.1	30.8	3.4	8.5				

由安徽省地矿局测试中心测试(岩石全分析)。

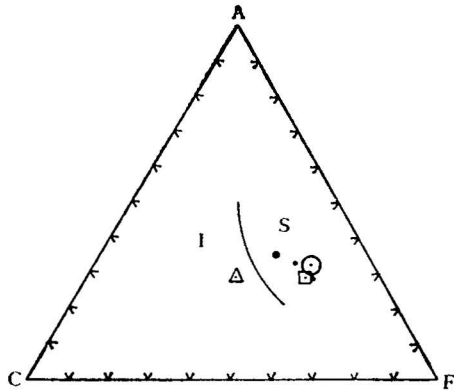


图 3 歙县岩体成因分类ACF图 (转引自金明霞等, 1985)^[1]

Fig. 3 ACF diagram of genetic classification of Shexian intrusion

●—岩体单样投影点; ⊙—岩体平均值; Δ—戴里花岗闪长岩; □—东安期岩体; ●—雪峰期岩体

表 2 歙县岩体与牛屋组千枚岩微量元素含量与参数

Table 2. The contents and parameters of trace elements of Shexian intrusion and phyllite of Niuwu F.

样 号	岩 石	微 量 元 素 含 量 (ppm)														
		F	Li	Rb	Cs	B	Bi	Be	W	Sn	Mo	Nb	Sr	Ba	Cr	Ni
AW-32	花岗闪长岩	780	40	125	6	6.1	0.36	1.6	5.8	3.6	0.78	11	153	634	20	11
AW-112	花岗闪长岩	850	44.5	109	8	9.3	0.41	1.8	1.5	5.1	0.72	18	242	543	28	25
平 均		815	43	117	7	7.7	0.4	1.7	3.7	4.4	0.75	14.4	198	588	24.2	18
AW-237	千 枚 岩	360	40	64	8	29	0.20	1.5	4.7	5.6	2.3	8.5	300	480	153	23
离 子 半 径		1.33	0.78	1.49	1.65	1.43	0.96	0.34	0.68	0.74	0.68	0.69	1.27	1.43	0.64	0.78
熔 融 活 化 度		1.22	1.25	1.35	1.25	1.29	1.11	1.45	1.12	1.20	0.88	1.00	0.86	1.27	0.30	0.13
样 号	岩 石	微量元素含量 (ppm)						$\frac{K}{Rb}$	$\frac{Rb}{Sr}$	$\frac{Sr}{Ba}$	$\frac{Cr}{Ni}$	logLi	logRb	logCs	log $\frac{Li}{Mg}$	
		Co	V	Cu	Pb	Zr	Th									
AW-32	花岗闪长岩	7.8	53	19	18	237	29	244	0.82	0.24	1.75	1.6	2.1	0.8	-2.2	
AW-112	花岗闪长岩	13.5	83	27	15	182	36	242	0.45	0.45	1.13	1.6	2.0	0.9	-2.4	
平 均		10.7	68	23	16.5	210	32.5	224	0.59	0.34	1.34	1.6	2.1	0.8	-2.4	
AW-237	千 枚 岩	14	105	40			10.3	232	0.21	0.63	6.80	1.6	1.8	0.9	-2.4	
离 子 半 径		0.82	0.65	0.70	1.32	0.87	1.10									
熔 融 活 化 度		0.27	0.43	0.43	1.25	1.19	1.38									

由江苏省地矿局中心实验室定量测定。

陆壳、下陆壳^[3]的相应值,并做了稀土元素配分曲线对比图(图5)。可以看出,歙县岩体的REE配分曲线为右倾型,钕具中等的负异常,其配分型式和含量与牛屋组千枚岩的相似,亦与上陆壳相似唯含量偏高,而与下陆壳显然不同。从表3右侧的4个参数上,也可获得同样的认识。因此,歙县岩体可能是牛屋组千枚岩高度熔融的产物。

表 3 歙县岩体与牛屋组千枚岩稀土元素含量与参数

Table 3. The REE contents and parameters of Shexian intrusion and Niuwu phyllite

样号	岩石	稀 土 元 素 含 量 (ppm)													δEu	ΣREE	LREE/ HREE	LaN/YuN
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y		
AW-32	花岗闪长岩	29.4	61.9	8.2	28.8	6.26	0.94	5.81	1.02	5.80	1.13	3.28	0.52	3.20	0.46	31.5		
AW-45	花岗闪长岩	31.7	68.9	9.35	33.5	7.62	1.18	6.58	1.07	5.39	0.97	2.56	0.41	2.46	0.36	25.7		
AW-112	花岗闪长岩	25.71	58.55	7.55	26.67	5.75	1.06	5.03	0.94	4.88	0.96	2.75	0.46	2.75	0.41	26.04		
平均值		28.94	63.12	8.37	29.66	6.54	1.06	5.81	1.01	5.36	1.02	2.86	0.46	2.80	0.41	27.75	157.4	7.0
千枚岩样品数2(AW-135, 237) 平均		28.93	57.63	7.34	27.38	5.5	1.31	4.68	0.83	4.63	0.91	2.74	0.41	2.76	0.41	25.25	145.5	7.4
上陆壳平均 ⁽²⁾		93.30	71.30	60.20	45.70	28.2	17.8	18.1	17.7	14.4	12.6	13.0	12.7	13.2	12.2		0.77	7.1
下陆壳平均 ⁽³⁾		30	64	7.1	26	4.5	0.88	3.8	0.64	3.5	0.80	2.30	0.33	2.2	0.32	22	146.4	9.5
• 球粒陨石标准化值; 球粒陨石值取 Boynton (1984) 推荐值 (转引自赵振华, 1985) ⁽⁴⁾ 。		96.8	79.2	58.2	43.3	23.1	12.0	14.7	13.5	10.9	11.1	11.0	10.2	10.5	9.9		0.63	9.2
下陆壳平均 ⁽³⁾		11	23	2.8	12.7	3.17	1.17	3.13	0.59	3.6	0.77	2.2	0.32	2.2	0.29	19	66.9	4.1
•		35.5	28.5	23.0	21.2	16.3	15.9	12.1	12.4	11.2	10.7	10.5	9.9	10.5	9.0		1.12	3.4

由湖北省地质实验室测定; • 球粒陨石标准化值; 球粒陨石值取 Boynton (1984) 推荐值 (转引自赵振华, 1985)⁽⁴⁾。

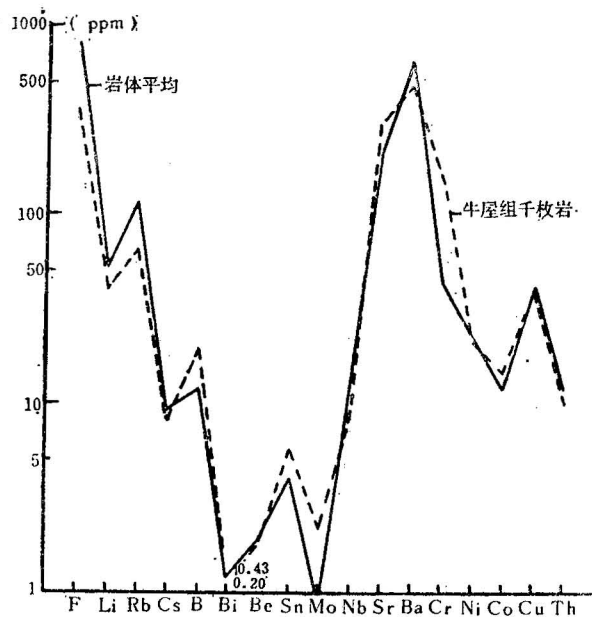


图 4 歙县岩体与围岩牛屋组千枚岩微量元素含量对比图

Fig. 4 - Comparing plot of trace-element contents between Shexian intrusion and their Country rock (phyllite)

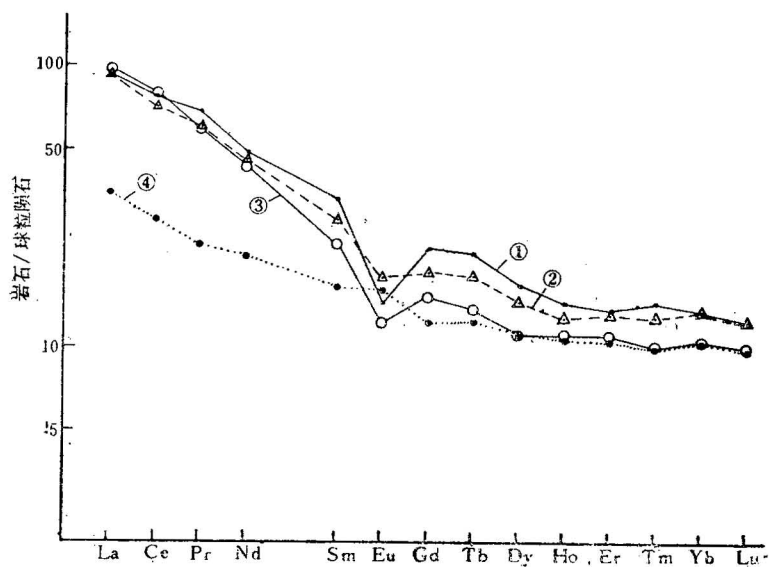


图 5 稀土元素配分曲线对比图

Fig. 5 Comparing plot for REE distribution patterns

①—歙县岩体；②—千枚岩；③—上陆壳；④—下陆壳

三、歙县岩体形成时代的讨论

(一) 几个基本的同位素年龄数据

1. 我们采自岩体北部蔡坑的片麻状构造不清楚的岩石样品，选取黑云母单矿物，用质谱稀释法测定K-Ar年龄为633Ma（由北京第三研究所测定）。
2. 采自岩体南部琳村北与显村的片麻状黑云母花岗闪长岩，用同位素稀释法测定 Rb-Sr 全岩等时线年龄。锶的测定用富集⁸⁴Sr的锶盐作稀释剂，用HF + HClO₄分解样品，经强酸性阳离子交换树脂和无机磷酸铅交换分离Rb和Sr。Rb的测定主要是在703型原子吸收光谱计上进行的，误差在2—3%以内。同位素分析是在MAT-260质谱仪上进行的，其样品同位素比值误差在 0.03—0.05%左右。计算结果见表4、图6。
3. 锆石U-Th-Pb年龄样品采自歙县岩体北部蔡坑村，肉眼看不出片麻状构造，镜下为花岗结构，但石英具波状消光，局部碎裂。测试数据列于表5。计算结果获得 4 个 年 龄 值，我们取 T(207/206) = 928.1Ma 作为歙县岩体的结晶年龄，理由述后。

表 4 歙县岩体全岩Rb-Sr等时线年龄数据
Table 4. Data of Rb-Sr isochron dating of the whole rock
in Shexian granitoid body

点 号	样 号	采样位置	Rb (ppm)	Sr (ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	年龄值及参数
2	AW31-3	稠木岭	134.70	187.99	2.0805	0.73362	t = 768.5 ± 76.7Ma
3	AW31-5	稠木岭	122.40	139.82	2.5430	0.73950	b = 0.01097 ± 0.0011
4	AW33-1	伏川	106.20	273.18	1.1277	0.72418	a = 0.71119 ± 0.00126
5	AW33-4	伏川	117.70	237.78	1.4364	0.72705	R = 0.99624
7	AW50-5	显村	106.90	217.67	1.4249	0.72613	λ _{Rb} = 1.42 × 10 ⁻¹¹ /a

北京第三研究所测试。

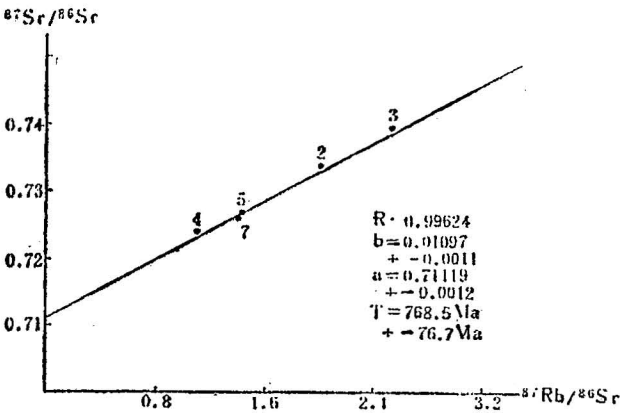


图 6 歙县岩体全岩Rb-Sr等时线图（样号同表4）
Fig. 6 The whole rock Rb-Sr isochron from Shexian intrusion

表 5 歙县岩体锆石U-Th-Pb年龄数据
Table 5. Data of zircon U-Th-Pb dating from Shexian granitoid body

样 号	采 样 地 点	元 素 含 量 (ppm)	铅同位素组成 (%)	年 龄 值 (Ma)
AW-113	蔡 坑	U = 569.40 Th = 84.13 Pb = 77.78	$^{204}\text{Pb} = 0.173$	$T_{(206/239)} = 746.4$
			$^{206}\text{Pb} = 80.31$	$T_{(207/235)} = 793.5$
			$^{207}\text{Pb} = 8.11$	$T_{(207/206)} = 928.1$
			$^{208}\text{Pb} = 11.356$	$T_{(206/232)} = 1003.3$

北京第三研究所测试。

(二) 歙县岩体同位素年龄的讨论

1982年安徽省332地质队在岩体南部取样，获得黑云母K-Ar年龄为474Ma（南京地质矿产研究所测定），因而把歙县岩体的形成时代定为加里东期。但是，样品采自动力变质带，由于该带具韧性变形特点，变质程度已达绿片岩相，超过了黑云母的封闭温度220°—300℃^[5]，加之黑云母不够新鲜，故474Ma的年龄偏新，不能代表岩体的结晶年龄。

Rb-Sr全岩等时线年龄768.5Ma，也不是歙县岩体的结晶年龄。考虑到样品采自动力变质带，有可能代表动力变质年龄。许村岩体的黑云母K-Ar年龄为913Ma^[6]，而采自其南部具片麻状构造的岩石的黑云母K-Ar年龄为743.6Ma（由北京第三研究所测定），也是一个佐证。动力变质作用只涉及歙县、许村等岩体而没有波及休宁组砂岩（见石英岩组分析），也表明动力变质作用发生在700Ma以前。

锆石U-Th-Pb年龄（表5）有4个数据。G.福尔指出：“一般地说，根据放射成因的 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 值得到的年龄最接近结晶化的时间，因为它不受近期铅或铀丢失的影响。”^[7]最近，陈汉宗通过对湖北周家湾岩体锆石年龄的研究，也认为铅铅比值“更接近岩体的形成代表”^[8]。因此，我们取928.1Ma做为歙县岩体的结晶年龄。这个年龄与处于同一构造岩浆带上的休宁岩体（991Ma^[6]，963Ma^[9]）、许村岩体（913Ma^[6]）、江西九岭岩体（937.1Ma^[9]）的同位素年龄一致，表明在落可嵎运动末期从江西到皖南曾发生过一次较强的岩浆活动，而歙县岩体正是这一运动的产物。

(三) 歙县岩体形成时代的地质证据

根据野外观察和室内研究，可以确定，歙县岩体侵入中元古界牛屋组，而被震旦系休宁组沉积不整合覆盖，故其形成时间应在距今800Ma到1 000Ma间。

1. 歙县岩体侵入牛屋组，使后者发生热变质，且岩体中常见数厘米到十余厘米的牛屋组千枚岩透镜状包体，其边缘常出现热变质晕。

2. 我们在白杨乡坑口村山坡采石矿口发现了沉积不整合的接触关系，见图7。可以看出，岩体与砾岩接触面与砾岩层面的产状一致。砾岩向上逐渐变细，夹花岗质碎屑岩透镜体。镜下观察，砾石成分以黑云母花岗岩闪长岩为主（含少量千枚岩及变质粉砂岩砾石），砾石的矿物成分与岩体的相似，主要为长石（水云母化）、石英、铁染风化黑云母，副矿物主要为锆石，含量2.2g/10³kg，与岩体顶部风化岩的含量1.5g/10³kg相近，且晶形同为正方柱与复正方双锥的聚形。砾

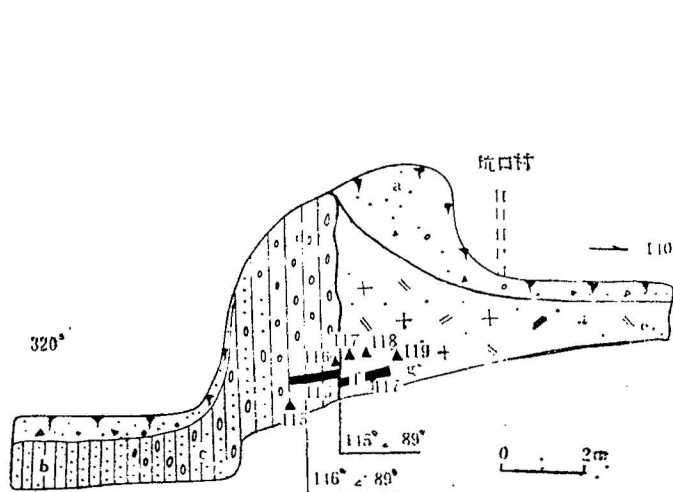


图 7 歙县白杨乡坑口村歙县岩体与休宁组砾岩沉积接触剖面素描图

Fig. 7 Sketch map of the sedimentary contact between Shexian granodioritic body and conglomerates in Xiuning formation at the Kengko, Baiying town, Shexian county

a—表土; b—休宁组砂岩; c—休宁组含砾砂岩; d—休宁组砾岩; e—休宁组砾岩; f—风化黑云母花岗闪长岩; g—取样位置及编号; g—取样标本位置及编号

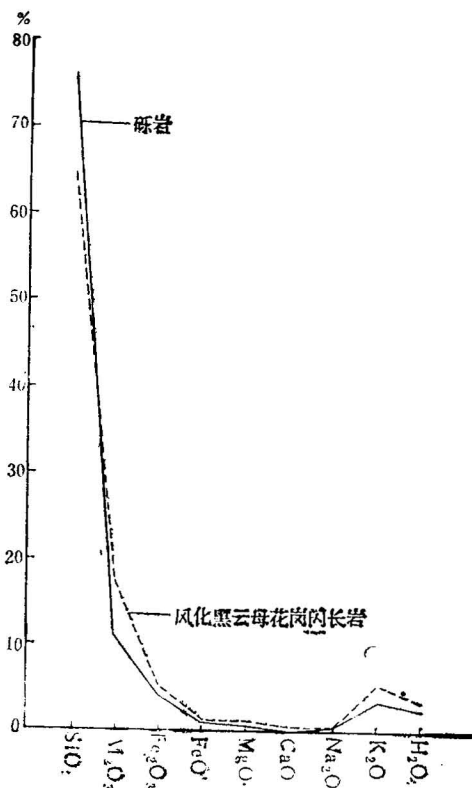


图 8 休宁组砾岩与风化黑云母花岗闪长岩化学成分相关图

Fig. 8 Correlation between conglomerate of Xiuning formation and weathering biotite granodiorite for chemical composition

石中, 扭折的黑云母、具波状消光和变形纹的石英及糜棱岩条带等, 与岩体中所见一致。此外, 休宁组的砾岩与长石砂岩中的斜长石, 与岩体中斜长石的成分相同, An 的峰值突出, 均落在 26—28 之间。可见, 砾岩的成分主要来自歙县岩体。

3. 经用网格法拣块分析砾岩与风化黑云母花岗闪长岩的化学成分比较相似, 二者有很好的相关性 (图 8)。

4. 图 2 所示, 使歙县岩体产生片麻状构造的构造作用没有波及到震旦纪休宁组砂岩, 而岩体的形成又老于片麻状构造的形成, 故歙县岩体的年龄可能早于 800 Ma。

四、歙县岩体的成岩条件

(一) 岩体形成温度和深度的估计

1. 根据岩体中黑云母的化学成分, 经过计算, 获得其固结温度为 690℃, 形成深度为 9.3 km (表 6)。

2. 根据黑云母的生成压力 0.28 GPa, 将歙县岩体的化学成分计算成标准矿物后, 投影到图 9 上, 获得岩浆固结温度为约 715℃。

表 6 歙县岩体黑云母化学成分与参数 (2个平均)
Table 6. The chemical compositions and parameters
of biotite from Shexian intrusion

化 学 成 分 (wt%)													
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 ⁺	CO ₂	F
35.97	4.46	19.83	2.23	17.43	0.25	7.69	1.86	0.16	4.66	0.12	4.25	0.23	0.15
阳 离 子 数 (以 12 个 氧 为 基 准)													
Si	Al ^{IV}	Ti ^{IV}	Ti ^{III}	Al ^{VI}	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	F	OH
2.66	1.34		0.25	0.39	0.12	1.08	0.02	0.85	0.15	0.02	0.44	0.04	2.10
参 数													
mg	R ³⁺ + Ti	R ²⁺	MF	Mg/Y	Mg/Fc	f _{Fe}	f _{Al}	lgf _{O2}	x	lgf _{H2O}	f _{H2O} (10 ⁵ Pa)	深 度 km	温 度 ℃
0.31	0.28	0.41	0.41	0.31	0.74	0.59	0.26	-14.6	0.40	3.45	2818	9.3	690

由江苏省地矿局中心实验室测定。

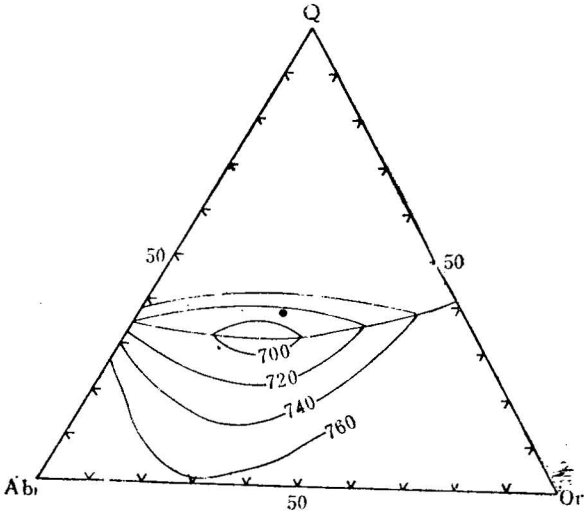


图 9 Ab-Or-Q-H₂O等压平衡图 (P_{H2O} = 3 000kg/cm²)
Fig. 9 Ab-Or-Q-H₂O(P_{H2O} = 3 000kg/cm²) isobaric equilibrium diagram (O. F. Tuttle and
N. L. Bowen, 1958)^[10]
• —歙县岩体

(二) 岩体的成因类型

从歙县岩体与围岩千枚岩在微量元素含量、稀土元素含量及其配分曲线的相似性来看, 岩体的源岩物质可能就是牛屋组千枚岩。从上述二者在微量元素含量上的差异性分析中可以看出, 基本上符合部分熔融原理。此外, 岩体在化学成分上也继承了千枚岩的许多特点: 铝过饱和、K/Rb值近等、Rb/Sr和Sr/Ba值均低, 等等。

黑云母为铁质黑云母, MF值为0.41、含铁系数 f_{Fe} 为0.59、镁的Y位占位率Mg/Y为0.31 (表6), 均符合陆壳改造型花岗岩类的相应值。

岩石的 $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}) = 0.71119$ (表4)、 $\Sigma\text{REE} = 157.4$ 、 $\delta\text{Eu} = 0.52$ (表3), 也都符合陆壳改造型花岗岩类。

但是, 歙县岩体的 Rb/Sr 值偏低 (0.59), 接近同熔型花岗岩的平均值 (0.52), $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ 靠近改造型花岗岩的下限, 黑云母的 MF 值、 f_{Fe} 、Mg/Y 值等, 也接近改造型的下限, 稀土元素的某些参数 (ΣREE 、 δEu) 也莫不如此。因此可以认为, 歙县岩体是一种接近同熔型的陆壳改造型花岗岩类, 这也是皖南晋宁早期花岗岩类有别于燕山期花岗岩类的一个显著特点。

(三) 歙县岩体形成模式探讨

根据上述微量元素与稀土元素含量的分析, 有理由认为歙县岩体可能是牛屋组千枚岩在深变

表 7 牛屋组千枚岩熔融程度计算

Table 7. The count for fusing degree of phyllite of Niuwu F.

千枚岩平均 (2)		残 留 相				千枚岩熔融相 F = 0.75		歙县岩体
元 素 含 量		矿物含量比		D 值		$C_i = \frac{C_0}{D(1-F) + F}$		
Ce	57.63	斜长石	0.55	Ce	0.32	Ce	69.43	63.12
Nd	27.38	黑云母	0.25	Nd	0.40	Nd	32.21	29.66
Sm	5.5	石榴石	0.015	Sm	0.44	Sm	6.40	6.54
.Eu	1.31	磷灰石	0.005	Eu	1.37	Eu	1.20	1.06
Gd	4.68	石 英	0.15	Gd	0.51	Gd	5.33	5.81
Dy	4.63	堇青石	0.02	Dy	0.75	Dy	4.94	5.36
Er	2.74	磁铁矿	0.005	Er	0.91	Er	2.80	2.86
Yb	2.76			Yb	0.81	Yb	2.90	2.80
Lu	0.41			Lu	0.63	Lu	0.45	0.41

REE 丰度单位: ppm; 斜长石、黑云母和石榴石分配系数数据 (涂光炽等, 1984) 表 6.5, 磷灰石分配系数数据表 6.6⁽¹⁾。

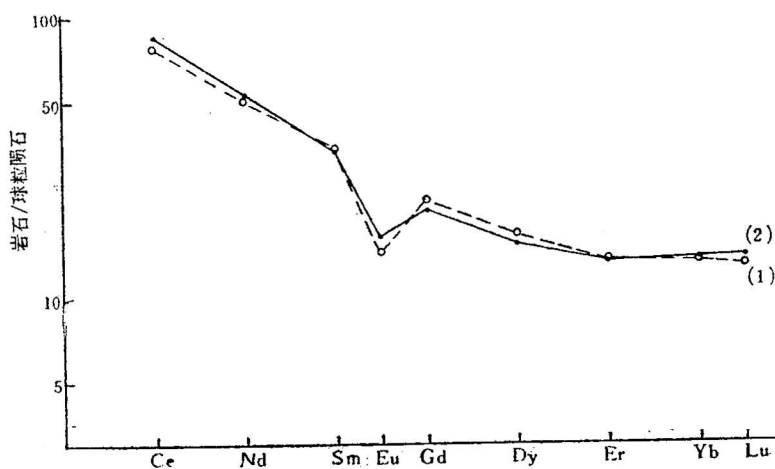


图 10 歙县岩体 (1) 和千枚岩 (2) REE 配分曲线

Fig. 10 REE distribution patterns of Shexian intrusion (1) and phyllite (2)

质条件下或深断裂构造作用影响下部分熔融的产物。又根据上述第二类包体的分析,歙县岩体的源岩可能为成分与牛屋组相当的石榴石角闪岩相变质岩。根据残留包体的矿物成分,结合歙县岩体的配分曲线,可以设计出残留相的矿物组成(表7),经过计算,千枚岩75%熔融后产生的岩浆,其稀土元素丰度与歙县岩体的稀土元素丰度一致(表7),其配分曲线拟合得相当好(图10)。因此可以认为,歙县岩体可能是牛屋组千枚岩在深处75%熔融的产物。

参 考 文 献

- [1] 金明霞、沈苏、黄永合、杨艳华, 1985, 康滇地轴重熔花岗岩的演化及其锡-钨成矿系列探讨。地质论评, 第3期, 第240—252页。
- [2] 南京大学地质系, 1981, 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系。科学出版社。
- [3] Taylor, S. R. and McLennan, S. M., 1985, *The Continental Crust: its Composition and Evolution*, Blackwell Scientific Publications, Oxford, p. 312.
- [4] 赵振华, 1985, 某些常用稀土元素地球化学参数的计算方法及其地球化学意义。地质地球化学, 增刊, 第11—14页。
- [5] 朱炳泉、范嗣昆, 1979, 根据同位素年龄与封闭温度研究地质体的热历史与磁历史。地质地球化学, 第6期, 第35—37页。
- [6] 中国科学院地球化学研究所, 1979, 华南花岗岩类的地球化学。科学出版社。
- [7] G. 福尔, 1977, 同位素地质学原理。科学出版社(1983)。
- [8] 陈汉宗, 1985, 周家湾岩体锆石年龄值及其地质意义。地球化学, 第2期, 第182—187页。
- [9] 胡世玲、王松山、桑海清、裘冀、刘家远, 1985, 应用 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化定年技术探讨江西九岭花岗岩闪长岩体的早期侵位时代。岩石学报, 第3期, 第29—34页。
- [10] Tuttle, O. F. et Bowen, N. L., 1958, Origin of granite in the light of experimental studies in the system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. *Geol. Soc. Am., Mem.*, No. 74, pp54—64.
- [11] 涂光炽、欧阳自远、朱炳泉、范嗣昆、钟富道、于津生、赵振华、傅家谟、洪业汤、卢家烂、王玉荣、郭其梯, 1984, 地球化学。上海科学技术出版社。

THE PETROCHEMISTRY AND FORMATIONAL AGE AND CONDITIONS OF THE SHEXIAN INTRUSION IN SOUTHERN ANHUI PROVINCE

Xing Fengming, Xu Xiang, Ren Siming and Li Yingyun

(Institute of Geological Sciences of Anhui Province)

Abstract

The Shexian gneissic granodiorite intrusion in southern Anhui trends NE 55° from Shexian in the west to Guitojian in the east with a length of 22 km and an outcrop area of 32 km². This intrusion was considered formerly to have formed during the Caledonian period by a biotite K-Ar isotope age of 474 Ma (1982). The authors think that the intrusion was formed in the early Jinningian period. The evidence is as follows: (1) The Shexian intrusion was intruded into the mid-Prot-erozoic Banxi Group and was unconformably covered by the Sinian Xiuning Formation. (2) The zircon U-Th-Pb age of the Shexian intrusion is 928 Ma. The main mineral composition and contents of the Shexian intrusion are: plagioclase 37% (An=27), K-feldspar 14%, biotite 16%, and quartz 32%; accessory minerals are,

ilmente ($150 \text{ g}/10^3\text{kg}$), xenotime ($15 \text{ g}/10^3\text{kg}$), garnet ($25 \text{ g}/10^3\text{kg}$), monazite ($10 \text{ g}/10^3\text{kg}$), zircon ($20 \text{ g}/10^3\text{kg}$) and apatite (104 g/t). The petrochemical characteristics of the Shexian intrusion are (1) Al-rich, $A/NKC=1.30$, (2) H_2O -rich, $\text{H}_2\text{O}^+=1.74\%$, and (3) low oxidation index, $f'_i=0.10$. The genetic type of the Shexian intrusion belongs to the continental crust-transformation type, as evidenced by the following: (1) the Mg and Mg/Y values of biotite are separately 0.41 and 0.31, (2) $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i=0.71119$, (3) $\delta\text{Eu}=0.52$, and (4) $A/NKC=1.30$. The authors consider the Shexian intrusion as the product of melting of phyllite in depth on the basis of the similarity in trace element and REE contents between the Shexian intrusion and the phyllite of the Banxi Group. From the calculation of the REE partial melting model, the Shexian intrusion resulted from 75% melting of phyllite of the Banxi Group.