

浙江省中生代侵入岩和火山岩成因关系

俞云文

(浙江省区调大队)

摘要 浙江省内中生代侵入岩与大面积分布的火山岩, 在空间上密切共生, 形成时间相近, 岩石化学、地球化学特征相似, 推测它们系为同源岩浆在不同环境下形成的产物。

浙江省中生代岩浆岩广泛分布(图1), 其中火山岩分布面积为 41100km², 占全省基

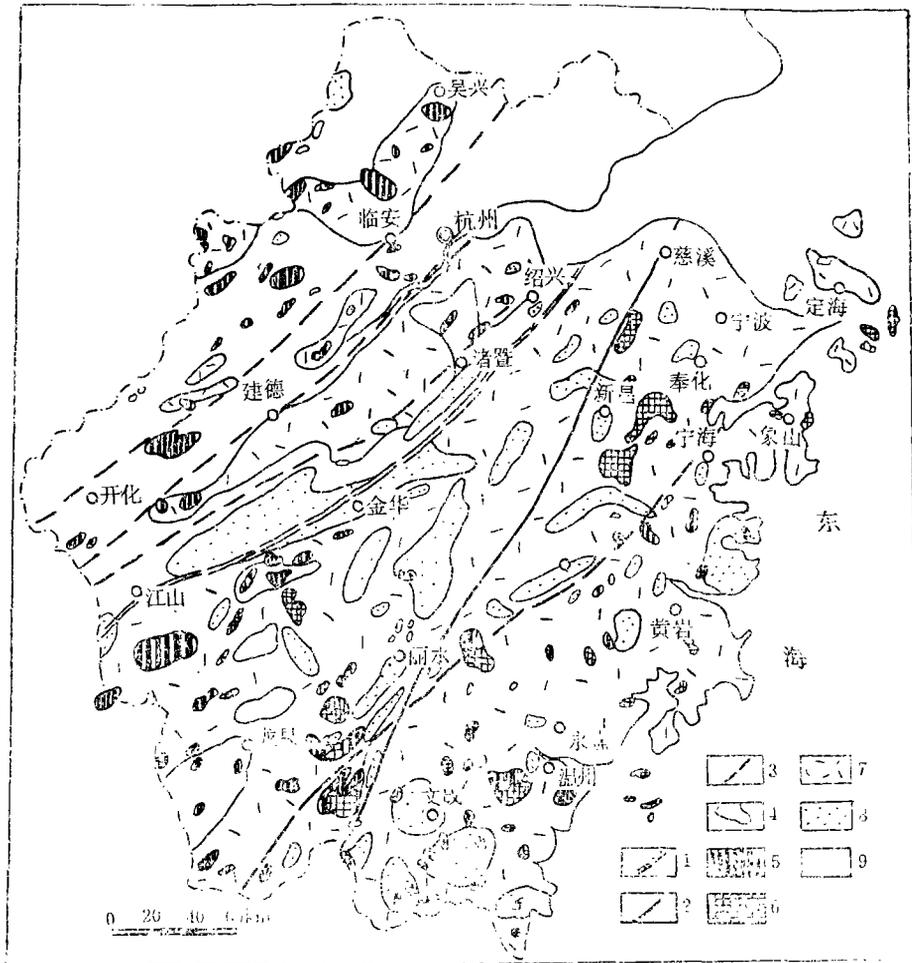


图1 浙江中生代侵入岩和上侏罗统、白垩系火山岩分布略图

Fig. 1. Sketch map showing the distribution of Mesozoic intrusive rocks and Upper Jurassic and Cretaceous volcanic rocks in Zhejiang.

1. 晚侏罗世火山活动带界线; 2. 早白垩世火山活动带界线; 3. 火山活动亚带界线; 4. 地质界线; 5. 燕山早期侵入岩; 6. 燕山晚期侵入岩; 7. 上侏罗统分布区; 8. 白垩系分布区; 9. 前晚侏罗统分布区

岩面积的 51.07%，酸性、中酸性熔岩和碎屑岩占绝对优势，酸性熔结凝灰岩十分发育。侵入岩出露面积为 5568km²，以酸性花岗岩类为主，97%的岩体分布于火山岩区内，特别是与构造火山盆地、破火山口等中级火山构造密切相关。在许多地方，火山岩、潜火山岩（或侵出相火山岩）、侵入岩宏观上似为互相过渡，有的火山盆地中部为侵入岩、外侧依次为潜火山岩（或侵出相火山岩）、喷出岩形成“圈层构造”。

笔者在总结浙江省中生代火山岩资料过程中，发现侵入岩与火山岩在空间上密切共生，形成时间相近，岩石化学、地球化学特征相似，推测它们系为同源岩浆在不同环境下形成的产物。下面从四个方面讨论它们的成因联系。

一、空间分布密切共生

根据岩浆岩分布特征，以江山—绍兴深断裂为界可以分成浙西北和浙东南两个带。火山活动和侵入活动的强度均自西北向东南增大，两类岩石的化学成分、地球化学变化趋势具同步性。浙西北带，火山岩多发育于北东向的断陷盆地内，自西而东形成金紫尖—天目山、淳安—新登、寿昌—临浦、兰溪—诸暨四个亚带，火山活动强度波浪式地自西北向东南增强，喷发物主要为流纹质、英安质熔岩和碎屑岩，少量安山岩，偶见安玄岩。侵入岩以花岗岩、花岗闪长岩为主，它们往往位于火山盆地中间（如天目山火山构造盆地中的董岭岩体，桐庐盆地的横村埠岩体，寿昌盆地中的白菊花尖岩体、九华山岩体等）；有的则围绕火山盆地边缘呈半环状分布（如天目山盆地北侧的黄湖、五关山、石马湾、仙霞等岩体）。特别值得提及的一些火山盆地中侵入岩成群分布，岩体与火山岩宏观上界限不清，似乎两者难解难分，临安县昌化西北的华光潭一带十分典型（图 2），这种现象清楚地显示出侵入岩与火山岩的同时性和同源性。

浙东南岩带，除龙泉、遂昌、鹤溪等地有小块变质岩出露外，几乎全为中生代火山岩所覆盖。从火山活动特征分析，可以划分为两个亚带。喷出岩主要为流纹质和英安质熔岩及其碎屑岩，到白垩纪晚期，出现少量碱性岩。侵入岩以花岗岩、钾长花岗岩和花岗闪长岩为主，总体上也构成北东向的两个岩带。在沿海岩带中，明显形成分别以文成、永嘉、宁海、定海为中心的四个大型环状分布的火山—侵入杂岩区。

火山岩与侵入岩不仅在总体分布上一致，在桐庐横村埠、绍兴宜家坞、乐清北雁荡山、苍南望州山、瑞安金岩头和大罗山、上虞贾家、黄岩望海岗、临安东天目山、丽水黄畈、庆元县城、天

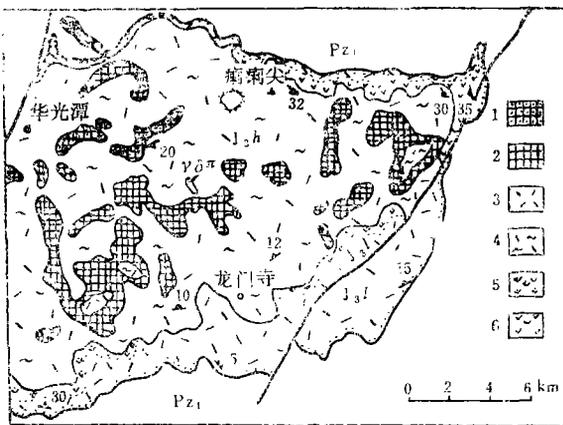


图 2 临安华光潭火山盆地浅成斑岩体分布图
(据 1:20 万临安幅地质图编绘)

Fig 2. Disfributum of hypabyssal porphyries in Huaguangtan volcanic basin, Lin-An County.

- 1. 石英闪长岩；2. 花岗闪长斑岩；3. 流纹岩；
- 4. 流纹质熔结凝灰岩；5. 英安岩；6. 安山岩。
- Pz₁: 下古生界；J₃L: 劳村组；J₃h: 黄尖组

台山头郑、临海括苍山和仙人桥等地中型火山构造(破火山口、火山穹隆、构造火山盆地和火山洼地)中,均分布有与火山喷发作用密切相关的潜火山岩和浅成侵入岩,且往往在火山构造的中心部位出现浅成侵入岩,与潜火山岩、喷出岩构成“圈层构造”,这是浙江侵入岩与火山岩分布形态上一种普遍现象。

同时,在岩石化学成分上,火山岩和侵入岩自西北向东南均出现 SiO_2 递增,碱质递减的趋势。

二、火山活动和侵入活动时限上的相近

据中生代火山岩和侵入岩 166 个 K-Ar 同位素年龄测定数据和七条 Rb-Sr 等时线年龄资料,中生代侵入活动与火山活动时限:K-Ar 法测定年龄值显示出侵入活动有三个阶段,第一阶段为 140~150Ma,第二阶段为 110~120Ma,第三阶段为 70~80Ma,缙云前村钾长花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄为 99Ma,大体相当于第二阶段侵入岩。火山岩 K-Ar 法测定年龄有 130~140Ma、100~110Ma 和 80~90Ma 三期,Rb-Sr 等时线年龄有二组,一组为 $132 \pm 9 \sim 140 \pm 14\text{Ma}$ (140 ± 14 、 139.8 ± 11 、 136.39 ± 4 、 $132 \pm 9\text{Ma}$,样品采自浙西北的劳村组、黄尖组和浙东南的高坞组—九里坪组);另一组为 $118 \pm 4\text{Ma}$ 。

浙东南岩带的火山活动时限在距今 70~120Ma 间,高潮期为 110~120Ma 和 70~80Ma 两个时期;侵入活动在 70~120Ma 间,高潮期在 100~110Ma 和 70~80Ma 间。同时,无论侵入岩或火山岩,70~80Ma 年龄组大多出现于浙东南沿海地带。上述资料不仅表明侵入活动与火山活动时限上的一致性,而且均显示自西往东,即由内陆向沿海时代渐新的趋势。

三、岩浆的同源性

浙江中生代侵入岩与火山岩的同源性表现在下列几个方面:

(一) 相似的岩类和岩类比例

燕山早期侵入岩主要为花岗(斑)岩、钾长花岗(斑)岩、花岗闪长(斑)岩、石英正长(斑)岩,少量石英二长岩、石英闪长(玢)岩、闪长玢岩,辉长辉绿岩仅一个岩体,面积 3.3km^2 ;晚侏罗世火山岩主要为流纹岩、英安岩及相应的火山碎屑岩,安山质岩类甚少,玄武岩极为少见。燕山晚期侵入岩仍以花岗岩类为主,闪长岩类稍有增加;火山岩中的安山岩、玄武岩明显增多。侵入岩和火山岩两者岩类比例具同步消长的趋势(表 1)。

(二) 相近的化学成分

表 2 所列浙江中生代侵入岩和火山岩平均化学成分。燕山早期侵入岩与晚侏罗世火山岩的平均成分极为接近,主要氧化物含量相差无几,唯侵入岩 Fe_2O_3 低而 FeO 相对较高, Na_2O 稍高。燕山晚期侵入岩相对于白垩世火山岩酸度较大,相应的 Na_2O 、 K_2O 含量亦稍高,但均为富钾。 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值变化于 1.20~1.49 之间,火山岩中 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 比值稍高于侵入岩。碱度率(AR)在 2.22~3.26 之间,侵入岩碱度较火山岩稍高。同时,侵

表 1 侵入岩和火山岩主要岩类比例表

Table 1 proportions of Major Intrusive and Volcanic Rock Types

时 代	比 例 %	基性岩	中性岩	中酸性岩	酸性岩	碱性岩
燕山早期侵入岩		0.10	2.56	19.55	55.77	22.02
晚侏罗世火山岩		0.19	2.95	19.77	77.66	0.03
燕山晚期侵入岩		0.14	5.98	6.29	87.49	0.10
白垩纪火山岩		6.51	16.32	6.75	60.08	10.34

注：侵入岩为面积百分比，火山岩据87个剖面统计的厚度百分比。

表 2 火山岩和侵入岩平均化学成分* (%)

Table 2 Average Chemical compositions of Volcanic and Intrusive Rocks

		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 ⁺	总量
白垩纪	火山岩	68.10	0.51	14.13	2.29	1.67	0.11	1.59	2.57	3.16	4.02	0.16	1.69	100
	侵入岩	73.66	0.26	13.25	1.15	1.19	0.07	0.47	1.11	3.81	4.56	0.08	0.39	100
晚侏罗世	火山岩	71.27	0.34	13.86	1.71	1.50	0.08	0.66	1.18	3.22	4.81	0.09	1.88	100
	侵入岩	71.19	0.35	13.97	1.31	1.82	0.08	0.67	1.33	3.79	4.80	0.09	0.60	100

* 侵入岩据面积百分比加权计算，火山岩据厚度百分比加权计算。

入岩和火山岩相应岩类的酸度、碱度也极为接近(表3)。

3. 岩浆演化趋势相似

浙江中生代的侵入岩和火山岩均属钙碱性系列，岩浆演化服从于钙碱性系列岩浆演化的规律。在 AFM 图解中，两者投影点基本重合，当岩石由基性向酸性演化时，铁、镁氧化物等比例下降，投影点趋向浅近于直线。K—Na—Ca 原子重量百分比图解中，两者亦具相似的演化趋势；侵入岩和火山岩的分异途径亦十分接近。碱度率的变异，无论是侵入岩还是火山岩，投影点趋向斜交钙碱质和弱碱质区间界线，酸性部分略向右偏，SiO₂<62%时多为钙碱质，SiO₂>70%时，以弱碱质为主，唯火山岩碱度率投影点较为分散。

4. 微量元素丰度相近

中生代火山岩和侵入岩的微量元素丰度相近(表4)。Cu、Pb、Zn、Mo、Sn、Ni、Co、V、Zr 元素侵入岩丰度稍高于火山岩，而 Mn、Sr 元素火山岩中丰度较大。同时，火山岩中 Nb、u 丰度低于侵入岩，而 Ta、Th 丰度高于侵入岩。

5. 副矿物组合类型的相似性

中生代火山岩中副矿物组合为磁铁矿—磷灰石—锆石型，常伴有锐钛矿、钛铁矿、白钛矿、金红石、榍石、褐帘石、独居石、铌钛矿等。锆石形态以复四方晶类为主，简单四方晶类为次，多数为柱状，长宽比 2:1~4:1，常有各种形态的连晶，包晶，少数锆石有突起、环带等再生现象。中生代侵入岩的副矿物组合也为磁铁矿—磷灰石—锆石型，唯在部

表3 侵入岩和火山岩SiO₂含量和碱度对比表
Table 3 Comparison of the SiO₂ Contents and Alkalinities of Intrusive and Volcanic Rocks

时代	岩性	样品数	SiO ₂	AR*	K ₂ O/Na ₂ O
白 垩 纪	流纹岩	41	75.24	2.63	1.66
	花岗岩	171	75.12	3.57	1.22
	英安岩	6	67.40	2.99	1.18
	花岗闪长岩	13	67.37	2.47	1.05
	安山岩	6	58.58	1.76	0.77
	闪长岩	30	59.78	1.91	0.79
晚 侏 罗 世	玄武岩	5	49.58	1.46	0.51
	辉绿岩	2	50.40	1.58	0.66
	流纹岩	267	73.65	2.56	1.65
	花岗岩	196	74.86	3.14	1.33
	英安岩	75	66.74	2.65	1.16
	花岗闪长岩	54	67.16	2.52	1.07
	安山岩	27	59.71	2.05	0.99
	闪长岩	16	61.40	2.03	0.71
世	玄武岩	6	50.42	1.52	0.63
	辉长辉绿岩	3	52.12	1.40	0.34

* AR = (Al₂O₃ + CaO + 全碱) / (Al₂O₃ + CaO - 全碱) 全碱 = K₂O + Na₂O, 当 SiO₂ > 50%, 1 < K₂O/Na₂O < 2.5 时, 全碱 = 2 × Na₂O

表4 侵入岩和火山岩微量元素丰度表*
Table 4 Trace Element Abundances of Intrusive and Volcanic Rocks

	Cu	Pb	Zn	Mo	Sn	Mn	Ni	Co	V	Ba	Ga	Zr	Sr	Rb	Nb	Ta	U	Th
火山岩	9	55	68	2	<5	561	4	4	34	1000	13	228	203	189	13.4	7.1	4.4	35.7
侵入岩	17	73	68	6	8.6	463	7	5	39	709	17	454	54		28.3	4.8	9.0	17.9

* 侵入岩据面积百分比加权平均, 火山岩据厚度百分比加权平均;
Zr、Sr、Rb、Nb、Ta、U、Th 为定量分析成果, 余为光谱半定量分析成果。

分岩体中榍石含量较高。有的锆石有熔蚀现象, 表面具毛玻璃状和熔洞, 其形态特征与火山岩中锆石十分相似。

6. 近似的 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始比值

一般认为有相同物质来源和成因的岩石具有一致的同位素组成, 就 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始比值而言, 浙江晚侏罗世火山岩为 0.7064~0.7121。缙云前村燕山晚期碱长花岗斑岩为 0.7103。两者 ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始比值的一致性表明它们的原始岩浆来源区相同。此外, 中生代火山岩和火山成因矿床中矿石的 δ³⁴S 在 -4.04~13.03‰ 之间, 且大部分在 3~6‰ 左右, 表明岩浆不是直接来自上地幔, 亦不是硅铝层地壳的重熔, 而可能主要是下部地壳物质部分熔融的产物, 同时也可能有上地幔派生岩浆的加入, 并混杂有少量上部地壳物质而

形成的。

7. 稀土元素特征的一致性

天台华顶山、九里坪、乐清北雁荡山、黄岩望海岗、衢州市白菊花尖、桐庐横村埠、文成等处侵入岩和周围的喷出岩中稀土元素丰度，具有下列特点：(1) 不同地区火山岩、侵入岩体的稀土元素丰度和各种比值略有差异，而同一地区侵入岩和喷出岩稀土元素丰度和各种比值十分接近。(2) 侵入岩和喷出岩的稀土元素配分曲线近于平行，向右倾斜，一般火山岩曲线位置稍低于侵入岩，表明侵入岩和火山岩是同源岩浆分离结晶作用的产物。

(3) 同一个火山—侵入杂岩体中侵入岩和喷出岩 Eu 亏损程度差异不大，同时，LREE/HREE 比值及 La/Yb、La/Sm、Sm/Nd 比值均十分接近。表明火山—侵入杂岩体中火山岩和侵入岩两类岩石形成时间间隔不长。

本文承蒙王德滋教授，周新民、陈克荣副教授审阅，并提出许多宝贵意见，作者考虑了这些意见作了适当修改，在此表示衷心的感谢。文中资料除注明来源者外，均系历年区调成果。

主要参考文献

- [1] 王德滋、周新民，1980，火山岩岩石学。科学出版社。
- [2] 刘昌实、周金城等，1982，浙江桐庐火山侵入杂岩的特征和演化。南京大学学报，第二期。
- [3] 孙鼎等，1983，浙江桐庐火山侵入杂岩的地球化学特征。地球化学，第四期。
- [4] 徐克勤等，1983，论花岗岩的成因系列—以华南中生代花岗岩为例。地质学报，第二期。

GENETIC RELATIONS BETWEEN MESOZOIC INTRUSIVE AND VOLCANIC ROCKS IN ZHEJIANG

Yu Yunwen

Abstract

In Zhejiang province, Mesozoic intrusive rocks and widespread volcanic rocks are closely associated in space. Their time of formation is close and their petrochemical and geochemical characteristics are similar. It is inferred that they are the products formed by cognate magmas different environments. The author discusses the genetic relations in the above-mentioned aspects.