

相山中生代含铀火山杂岩 岩石地球化学

夏林圻 夏祖春 张 诚

著

R. Clocchiatti J. Dardel J. L. Joron

地质出版社

相山中生代含铀火山杂岩 岩石地球化学

夏林圻* 夏祖春* 张 诚*

R. Clocchiatti** J. Dardel*** J. L. Joron**

著

* 中国地质科学院西安地质矿产研究所

** 法国国家科研中心萨克莱核研究中心 Pierre Süe 实验室

*** 法国原子能署

地 质 出 版 社

(京)新登字085号

内 容 提 要

本书是国内外第一部有关含铀火山杂岩岩石地球化学研究专著。作者以相山中生代含铀火山杂岩为例,从分析火山活动发生的区域构造背景入手,全面论述了该火山杂岩的矿物学、岩相学和地球化学特点,并结合矿物包裹体温压地球化学研究数据,追溯了相山中生代火山作用岩浆演化的物理化学过程,提出了U、Th等成矿元素的岩浆预富集模式,确定了岩浆期后热水溶液的性质及其对于成矿元素的活化再富集作用。基于对世界典型含铀火山岩系的对比分析,建立了火山岩型铀矿的区域岩石地球化学标志。

本书可供岩石、构造、矿床和地球化学等专业的生产、科研人员以及有关院校师生参考。

相山中生代含铀火山杂岩

岩石地球化学

夏林圻 等著

责任编辑:叶 丹

地质出版社出版发行
(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)
新华书店总店科技发行所经销



开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 6.25 铜版图: 3页 字数: 140 000

1992年1月北京第一版·1992年1月北京第一次印刷

印数: 1—1000册 定价: 5.40元

ISBN 7-116-00961-7/P·827

前 言

火山岩型铀矿是我国主要工业铀矿类型之一，也是世界显生宙脉型铀矿中一个非常有意义的类型。我国火山岩型铀矿相对集中分布于东南部浙江、福建、江西、广东四省，主要和中生代酸性火山作用密切相关。其中，位于江西省乐安和崇仁两县交界处的相山火山岩型铀矿为其典型代表。

作者以相山中生代含铀火山杂岩为重点，在分析中生代火山活动发生的区域地质构造背景的基础上，全面论述该火山杂岩的岩相学、矿物学和地球化学特点；结合矿物中岩浆包裹体温压地球化学研究数据，追溯该火山作用岩浆演化的物理化学过程；运用最新的亲湿岩浆元素地球化学研究方法和理论，提出 U、Th 等成矿元素的岩浆预富集模式；确定岩浆期后热水溶液的性质，及其对于成矿元素的活化再富集作用；并基于对世界若干典型含铀火山岩系的对比分析，建立火山岩型铀矿的区域岩石地球化学标志。

作者在相山野外工作期间曾得到江西相山 721 矿及叶庆庚总工程师和彭富良工程师的热情支持和帮助。本书在定稿过程中，承蒙宋叔和学部委员、王德滋教授、吴利仁研究员、周新民教授和张建副研究员等审阅，并提出宝贵的修改意见，在此谨致以深切感谢。

序

江西相山铀矿是我国最大的火山岩型铀矿床，在世界上也享有盛名。本书作者在前人工作的基础上，通过中法合作研究的形式，对相山含铀火山杂岩作了深入研究，其研究方法颇有独到之处，体现了岩石学与地球化学的紧密结合。作者在书中首先对相山火山杂岩形成的构造背景作了充分论证，认为它和世界上其他典型含铀火山岩系相同，形成于板块构造会聚带，火山岩浆是在活动大陆边缘背景下由具有高度混合比的壳幔混合物的部分熔融所产生。作者通过岩石化学和地球化学研究，揭示了相山中生代火山杂岩属于同源产物，即为高位岩浆房结晶分异的结果。特别值得称道的是，作者通过岩浆包裹体的研究，得出了一系列温压地球化学数据，追溯了相山中生代火山岩浆演化的物理化学过程，这是前人所未曾涉及的领域，是本书的鲜明特色。作者对铀的成矿作用提出三阶段模式，即源区熔融的初步富集，岩浆房内分异过程中的预富集和岩浆期后热液系统作用活化再富集。这一分析相当精辟。本书属于研究相山中生代火山杂岩的最新成果，其整个研究思路和研究方法对于解剖其他类似矿床的成岩成矿作用有重要的参考价值。

王 德 滋

目 录

前言

第一章 火山作用产生的地质构造背景	1
-------------------------	---

第二章 相山火山杂岩的岩相学、矿物学特征	7
----------------------------	---

一、基本特征	7
--------------	---

二、火山旋回	8
--------------	---

三、岩相学特征	10
---------------	----

(一) 流纹质凝灰岩	11
------------------	----

(二) 流纹质熔结凝灰岩	13
--------------------	----

(三) 流纹英安岩	15
-----------------	----

(四) 碎斑流纹岩	15
-----------------	----

(五) 黑云母二长花岗斑岩	16
---------------------	----

(六) 黑云母石英二长斑岩	17
---------------------	----

四、矿物学特征	17
---------------	----

(一) 斜长石	17
---------------	----

(二) 碱性长石	23
----------------	----

(三) 黑云母	26
---------------	----

(四) 单斜辉石和角闪石	28
--------------------	----

(五) 副矿物	31
---------------	----

第三章 相山火山杂岩的岩石地球化学特征	33
---------------------------	----

一、岩石化学	33
--------------	----

(一) 岩石系列	33
----------------	----

(二) 主元素成分的演化	35
--------------------	----

(三) 含铀火山岩系的区域岩石化学标志	37
---------------------------	----

二、稀土元素	38
--------------	----

三、微量元素	42
--------------	----

(一) 地质动力学环境和源区性质的确定	42
---------------------------	----

(二) 火山岩浆形成和演化过程中U (和Th) 的预富集作用	43
--------------------------------------	----

1 U和Th	44
--------------	----

2 Ta、Hf和Rb	47
------------------	----

3 La、Ce、Sr、Ba、Zr	47
------------------------	----

4 Sc、Ti、Co	47
------------------	----

四、锶、氧同位素	49
----------------	----

(一) 锶同位素	49
----------------	----

(二) 氧同位素	49
----------------	----

第四章 相山火山杂岩岩浆房内结晶分异物理化学历史的追溯	51
-----------------------------------	----

一、岩浆包裹体特征	51
-----------------	----

二、火山岩浆演化热历史的追溯	52
----------------------	----

三、火山岩浆演化过程中压力条件的变异.....	54
四、火山岩浆演化的化学史.....	58
(一) 主元素演化	58
(二) 挥发组分及氧逸度的变化	59
1 挥发组分总量	60
2 挥发性元素 (S、Cl) 的丰度	61
3 气体组分和逸度	61
第五章 岩浆期后热液性质的确定	69
一、流体包裹体特征	69
二、热液流体性质的确定.....	72
第六章 结论	74
图版说明	78
参考文献	87
英文摘要	91

CONTENTS

Preface

CHAPTER ONE	Geotectonic setting at which occurred the volcanism	1
--------------------	--	----------

CHAPTER TWO	Petrographic and mineralogical characteristics of volcanic complex from Xiangshan.....	7
--------------------	---	----------

1. Basic characteristics.....	7
2. Volcanic cycle.....	8
3. Petrographic characteristics.....	10
(1) Rhyolitic tuff	11
(2) Rhyolitic welded tuff.....	13
(3) Rhyolacite	15
(4) Porphyroclastic rhyolite.....	15
(5) Biotite monzonitic granite-porphyry.....	16
(6) Biotite quartz monzonite-porphyry.....	17
4. Mineralogical characteristics	17
(1) Plagioclase	17
(2) Alkali-feldspar	23
(3) Biotite	26
(4) Clinopyroxene and amphibole.....	28
(5) Accessory minerals	31

CHAPTER THREE	Lithogeochemical characteristics of volcanic complex from Xiangshan	33
----------------------	--	-----------

1. Petrochemistry	33
(1) Rock series.....	33
(2) Evolution of major elements compositions.....	35
(3) Regional petrochemical criteria of uraniferous volcanic series.....	37
2. Rare earth elements.....	38
3. Trace elements.....	42
(1) Determination of geodynamic setting and nature of source region.....	42
(2) Preconcentration of U (and Th) in the course of formation and evolution of volcanic magma.....	43
i) U and Th.....	44
ii) Ta, Hf and Rb.....	47
iii) La, Ce, Sr, Ba and Zr.....	47
iv) Sc, Ti and Co.....	47

4. Strontium and oxygen isotopes.....	49
(1) Strontium isotopes.....	49
(2) Oxygen isotopes.....	49
CHAPTER FOUR Retracing of physicochemical history of crystallization differentiation within magma reservoir of volca- nic complex from Xiangshan.....	51
1. Characteristics of magmatic inclusions.....	51
2. Reconstruction of thermal history of volcanic magma evolution	52
3. Variation of pressure conditions in the course of volcanic magma evolution.....	54
4. Chemical history of volcanic magma evolution	58
(1) Evolution of major elements.....	58
(2) Evolution of volatile components and oxygen fugacities.....	59
i) Total contents of volatile components.....	60
ii) Abundance of volatile elements(S, Cl).....	61
iii) Gas components and their fugacities.....	61
CHAPTER FIVE Determination of nature of post-magmatic hydrothermal fluids.....	69
1. Characteristics of fluid inclusions.....	69
2. Determination of nature of hydrothermal fluids	72
CHAPTER SIX Conclusions.....	74
Plates and captions.....	78
References.....	87
Abstract in English.....	91

第一章 火山作用产生的 地质构造背景

在我国各个时代的火山岩广泛发育。但是,火山岩型铀矿床仅与产于特定地质构造条件下的火山作用有关,它们相对集中分布于我国东南部中生代火山岩区。根据尹家衡^①的研究,我国东南沿海中生代火山岩的分布可以分为浙西赣东北、浙东闽东、闽西赣东和粤东四个火山构造岩浆活动区。相山中生代含铀酸性火山杂岩体位于闽西赣东构造岩浆活动区的北缘(图1)。

就宏观分布而言,中国东南沿海中生代火山岩带是亚洲大陆东部,包括苏联远东滨太平洋地区长达近 4000km 的西环太平洋中生代火山岩带的组成部分。中生代环太平洋火山岩带的存在,以及其总体上的北东向展布与大洋海岸线的平行关系,反映出该火山岩带的形成应与中生代大洋板块的运动有关。

据全岩—矿物铷锶等时线法测得的同位素地质年龄数据:① $114 \pm 1 \text{ Ma} - 147 \pm 8 \text{ Ma}$ (方锡珩等,1982);② $147 \text{ Ma} - 163 \text{ Ma}$ (刘家远,1985);③ $132 \pm 2 \text{ Ma}$ (李坤英等,1989);以及对于碎斑流纹岩中黑云母 K-Ar 稀释法和 $^{39}\text{Ar} - ^{40}\text{Ar}$ 法测定的同位素地质年龄分别为 $141.2 \text{ Ma} - 146.8 \text{ Ma}$ 和 $141.1 \text{ Ma} - 141.8 \text{ Ma}$ (李坤英等,1989),以相山为代表的中生代含铀火山作用活动时代应为中侏罗—早白垩世。该时代与中生代时西太平洋—库拉板块向亚洲大陆板块俯冲消减及印度板块与亚洲板块碰撞的时间相当(图2,Hilde等,1976)。尽管目前对于我国东南沿海在中生代时期的大地构造性质尚有:①岛弧型活

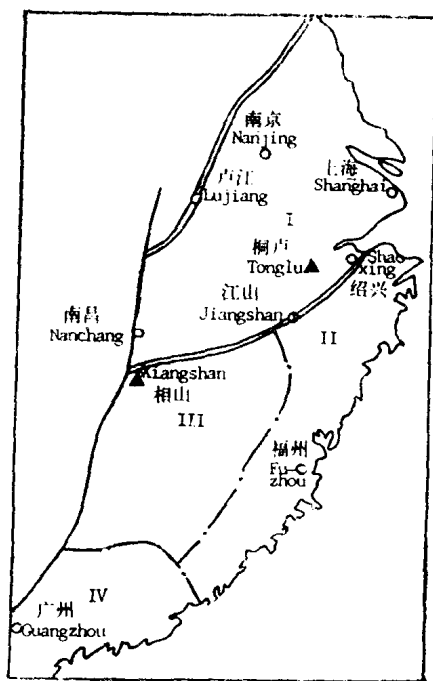


图 1 中国东南大陆中生代火山构造岩浆活动区略图(据尹家衡,1989)

I. 浙西赣东北构造岩浆活动区; II. 浙东闽东构造岩浆活动区; III. 闽西赣东构造岩浆活动区; IV. 粤东构造岩浆活动区

Fig. 1 Scheme of Mesozoic volcano-tectono-magmatic activity region of southeastern continent, China(after Yin Jiaheng, 1989)

I. Tecto-magmatic activity region of western Zhejiang province and northeastern Jiangxi province; II. Tecto-magmatic activity region of eastern Zhejiang province and eastern Fujian province; III. Tecto-magmatic activity region of western Fujian province and eastern Jiangxi province; IV. Tecto-magmatic activity region of eastern Guangdong province

① 尹家衡,1989,中国东南大陆中生代火山活动旋回、火山构造及其控矿意义。

动大陆边缘(罗志立,1979),②安第斯型活动大陆边缘(郭令智等,1983),和③构造活化大陆边缘(尹家衡,1989;杜杨松等,1989;陈繁荣等,1989)等不同的认识,但总体上,均一致同意东南沿海的大规模中生代火山活动应是亚洲大陆板块、西太平洋-库拉大洋板块以及印度大陆板块会聚区构造-岩浆活动的反映(Chen Zhaobo,1981;吴利仁,1982,1985;尹家衡,1989)。笔者对相山火山岩的微量元素构造地球化学研究,也有力地证明,该中生代含铀火山杂岩具有板块构造会聚区火山岩浆活动产物的鲜明特点。自本世纪70年代以来,世界上许多岩石地球化学家们基于微量元素在岩浆作用过程中的稳定性,曾对各种大地构造环境中产出的玄武岩系列的微量元素地球化学特点给予了极大关注,建立了一系列基性火山岩微量元素地质构造环境判别图解。相对而言,有关酸性岩浆岩系列的地球化学构造环境判别研究,只是近年来才开始引起重视。Pearce等人(1984)首先在这一领域进行尝试,并相应建立了Rb-(Ta+Yb)和Rb-(Nb+Y)图解,用以判别花岗质

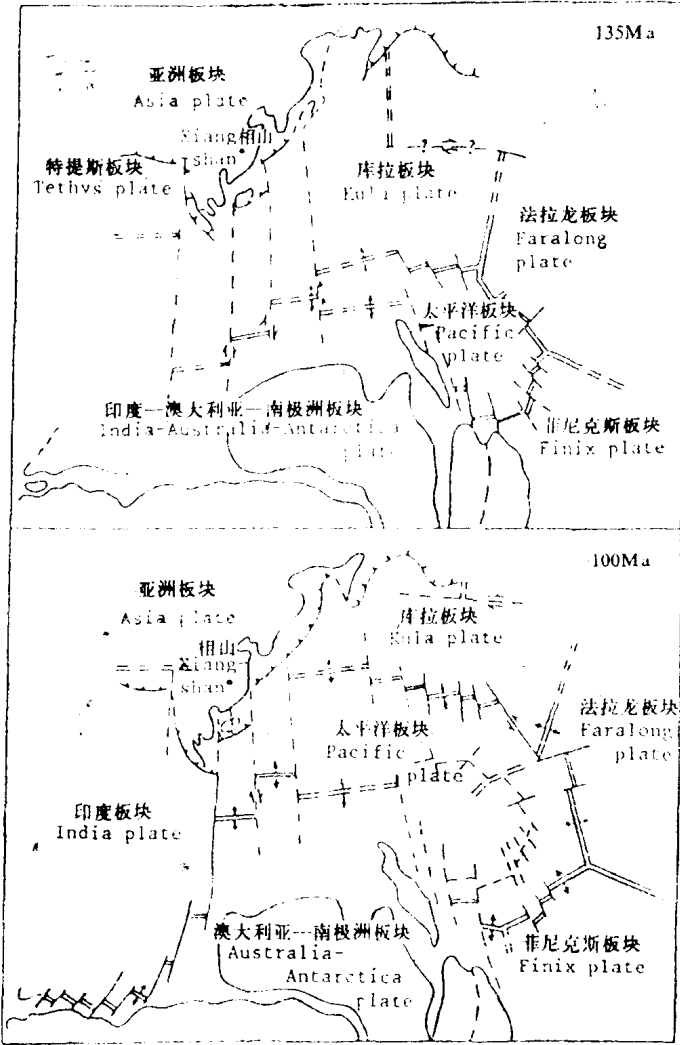


图 2 中生代西太平洋板块构造格局 (据 T. W. Hilde)

Fig. 2 The setup of platetectonic evolution for the West-Pacific area at Mesozoic era (After T. W. Hilde, 1976)

岩石形成的地质构造环境。最近，Thlèblement 和 Cabanis (1990) 又推出了 (Rb/100)-Tb (或 Y/44)-Ta (或 Nb/16) 三元图解，应用于酸性岩浆岩，具有较 Pearce 图解 更为令人满意的地质构造环境判别效果。我们将相山中生代火山杂岩的微量元素分析结果投点于该三元图解，所有成分点均落于属于板块构造会聚带的同 消 减 (Syn-Subduction) 酸性岩浆岩区域之中 (图 3)。更值得提及的是 Joron 和 Treuil (1989)，根据他们二十年来

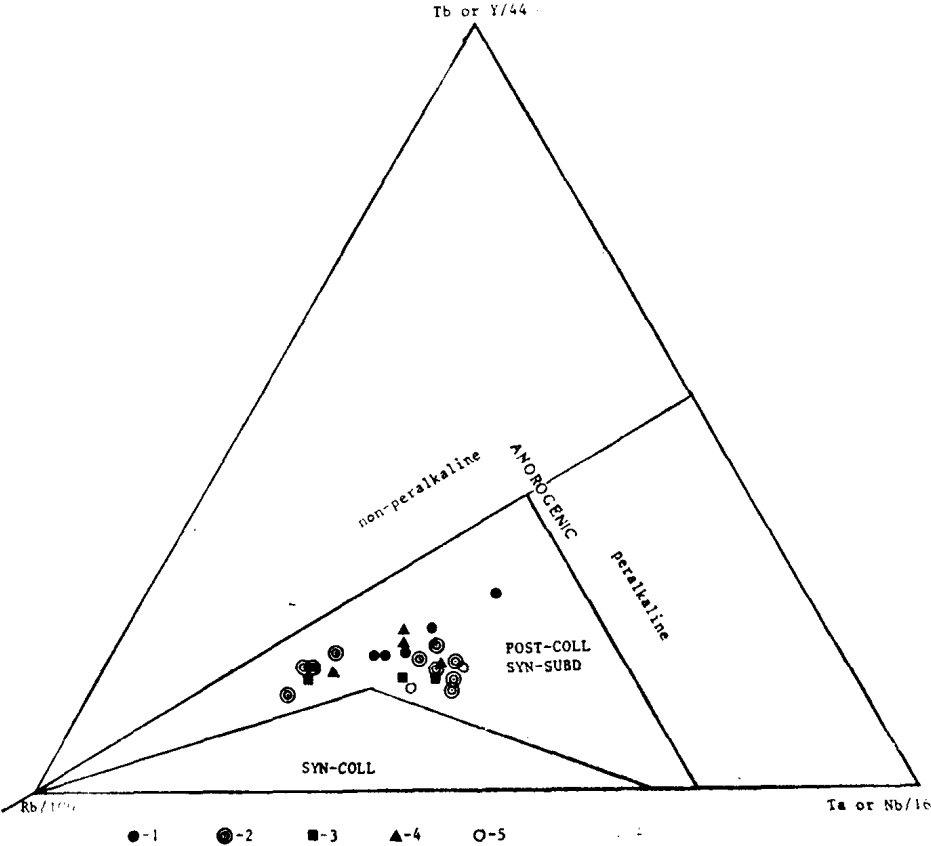


图 3 同碰撞、后碰撞、同消减及非造山带非过碱性和非造山带过碱性酸性岩浆岩套地质构造判别图 (据 D. Thlèblement 和 B. Cabanis, 1990)

1. 空落凝灰岩和灰流凝灰岩；2. 碎斑流纹岩；3. 流纹英安岩；4. 黑云母二长花岗斑岩；5. 黑云母石英二长斑岩

Fig. 3 Geotectonic discrimination diagram of syn-collision, post-collision, syn-subduction, anorogenic non-peralkaline and anorogenic peralkaline acidic magmatites(After D. Thlèblement and B. Cabanis, 1990)

1. Ash-fall and ash-flow tuffs; 2. Porphyroclastic rhyolites; 3. Rhyodacites; 4. Biotite monzonitic granite-porphyry; 5. Biotite quartz monzonite-porphyry

对于火山岩中亲湿岩浆元素 (HYG) 地球化学特点的系统研究，最近成功地 建立了一个离散板块 (大洋区) 和会聚板块边界区地幔亲湿岩浆元素三元 模式图 解 (图 4)，在这个图解中获得了两个简单而有规律的 HYG 元素阵列。一为洋底地幔 HYG 元素阵列，该阵列的理论曲线与太平洋、印度洋、大西洋洋底玄武岩的 HYG 元素的实际分布曲线完全一致。另一则为会聚板块边界区亲湿岩浆元素地幔阵列，该阵列的理论曲线也与世界上若干已知会聚板块边界区火山岩系 HYG 元素的实际分布曲线完全一致 (Joron, Treuil, 1989)。如图 5 所示世界若干著名含铀火山岩系 (意大利、墨西哥、法国南部) 样品的 HYG 元素

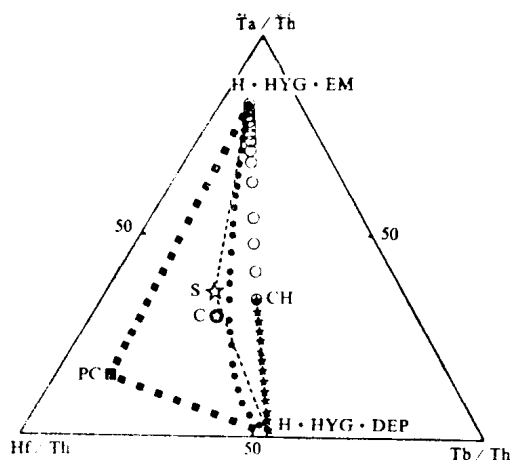


图 4 离散板块（大洋区）和会聚板块边界中地幔亲湿岩浆元素理论演化趋势

（据 J. -L. Joron 和 M. Treuil, 1989）

亲湿岩浆元素比值系用球粒陨石平均值标准化 ($Th = 0.028 \text{ ppm}$; $Ta = 0.031 \text{ ppm}$; $Hf = 0.128 \text{ ppm}$; $Tb = 0.047 \text{ ppm}$)

H·HYG·EM: 强亲湿岩浆元素富集型碱性玄武岩源; H·HYG·DEP: 强亲湿岩浆元素亏损型洋脊拉斑玄武岩源; CH: 球粒陨石平均值; C: 地壳平均值; S: 页岩平均值; PC: 地幔混染端员。●: 大洋地幔亲湿岩浆元素阵列; ■: 会聚板块边界区亲湿岩浆元素地幔阵列; ○: 富集型与球粒陨石之间混合; ★: 亏损地幔与球粒陨石之间混合

Fig. 4 Theoretical evolution trends of mantle hygromagmaphile elements in divergent plates(suboceanic region)and convergent plate boundaries(After J. -L. Joron and M. Treuil, 1989)

The ratios of HYG elements are normalized to chondritic average data ($Th = 0.028 \text{ ppm}$; $Ta = 0.031 \text{ ppm}$; $Hf = 0.128 \text{ ppm}$; $Tb = 0.047 \text{ ppm}$, Bougault, 1980; Bougault et al. 1985). H·HYG·EM: highest hygromagmaphile element-enriched alkali basalt source; H·HYG·DEP: highest hygromagmaphile element-depleted MORB tholeiitic source; CH: chondritic average; C: crustal average; S: shales average; PC: mantle contaminant end-member. ●: suboceanic mantle HYG element array; ■: HYG element mantle arrays in convergent plate boundaries; ○: mixing between enriched and chondritic poles; ★: mixing between depleted and chondritic poles

成分点均分布于上述会聚板块边界 HYG 元素地幔阵列的强亲湿岩浆元素富集地幔源 (H·HYG·EM) 和地幔混染端员 (PC) 连线之上, 同样, 我国相山中生代含铀火山杂岩的 HYG 元素分布也与其完全一致。综上所述, 可以得出, 含铀火山岩系, 无论我国或是世界, 均无例外地呈现板块构造会聚带火山作用产物的共性特征。

最后应当特别指出, 中国东南沿海中生代火山岩与太平洋东岸安第斯型活动大陆边缘火山岩都是在大体相同的地质构造背景下, 为大洋板块和大陆板块相互作用形成的产物。只是后者以安山质岩类为主, 而包括东南沿海在内的西环太平洋中生代火山岩则情况比较复杂, 其中东南沿海的闽、浙、赣、粤、湘一带, 以英安岩一流纹岩为主要火山岩组合, 流纹岩占绝对优势 (吴利仁等, 1982; 吴利仁, 1985)。但是近年来的研究查明, 我国东南沿海中生代酸性—中酸性火山杂岩中分异演化程度最低的侵出体内部相 (粒状碎斑熔岩) 和次火山侵入相 (石英二长斑岩、石英二长岩、石英二长闪长岩) 仍以中酸性英安质和中性安山质火山岩类为主 (王德滋等, 1982; 孙鼎等, 1983; 尹家衡等, 1985; 陶奎元等, 1985; 夏林圻等, 1989; 杜杨松等, 1989), 而且在区域上, 也见有少量基性玄武岩类和安山玄武岩类零星产出。由此可以推断, 我国东南沿海大陆边缘中生代火山杂岩的形成机制仍可能是与东太平洋安第斯型活动大陆边缘的火山岩大体近似, 其动力学机制乃是

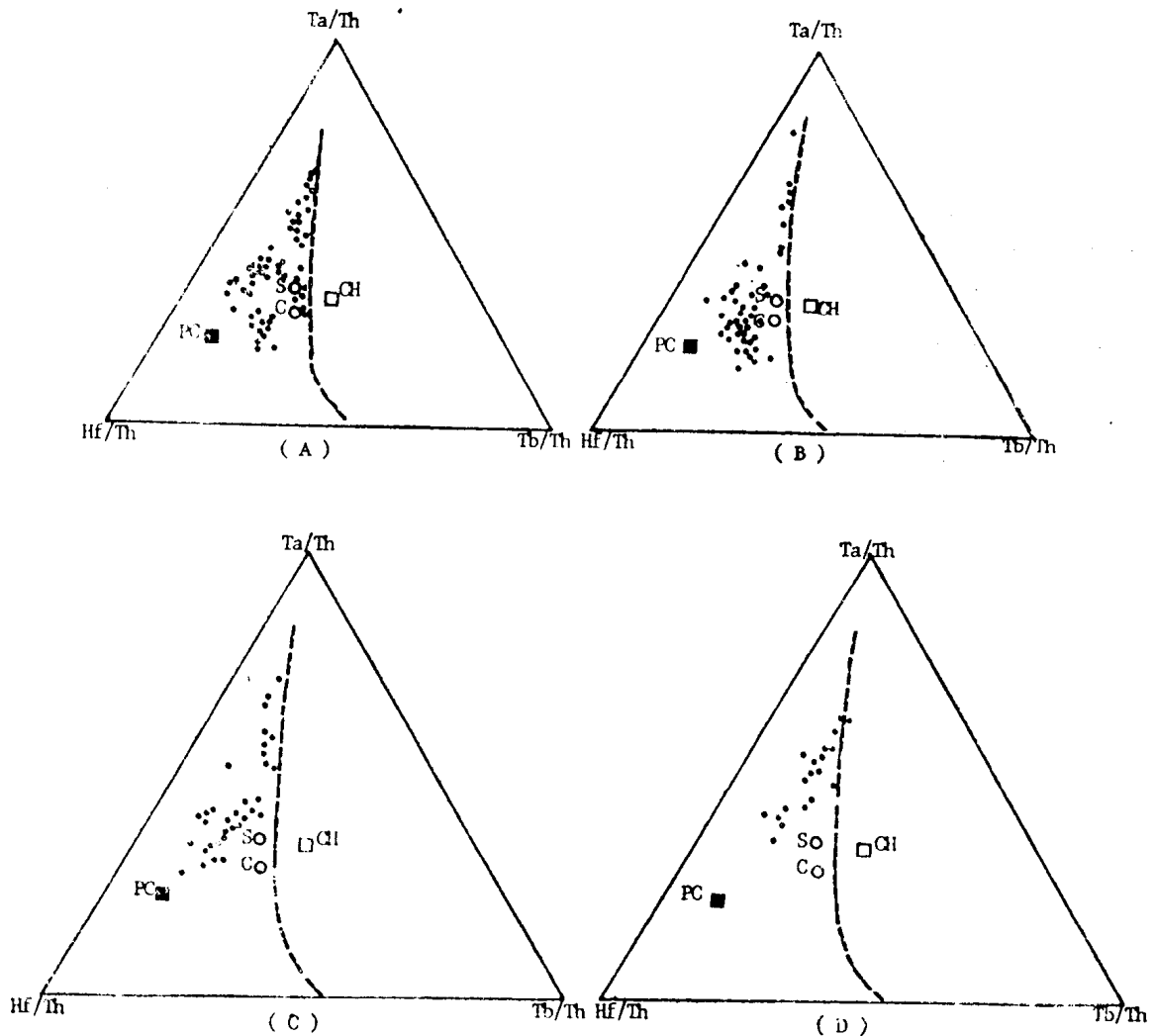


图 5 会聚板块边界区含铀火山岩样品 Ta/Th、Hf/Th、Tb/Th 球粒陨石标准化投点

A: 意大利; B: 墨西哥; C: 法国南部; D: 中国相山。图中符号同图 4

Fig. 5 Ta/Th, Hf/Th, Tb/Th chondritic-average-normalized plots for uraniferous volcanic rock samples in converging plate boundaries

A, Italy; B, Mexico; C, Southern France; D, Xiangshan, China. Symbols as in Fig. 4

源自于中生代时, 由于太平洋-库拉洋脊扩张引发的库拉板块向亚洲大陆板块的俯冲消减作用。根据各方面地质资料分析 (吴利仁等, 1982, 1985), 台湾岛东部的高压低温变质带和福建沿海的长乐-南澳高温低压变质带, 分别与日本列岛西南部的双变质带三波川组及领家组相对应, 代表中生代大洋板块消亡带的遗迹。考虑到中生代末, 日本列岛与台湾岛、欧亚大陆开始脱离, 因此中生代时的海沟俯冲带应靠近欧亚大陆, 自台湾岛东部作 30° 方向延伸。据古地磁资料, 中生代时库拉板块运动的方向为 NNW 向, 斜交海沟俯冲于欧亚板块之下, 故俯冲角度南缓北陡 (吴利仁等, 1982; 吴利仁, 1985)。由于东南沿海一带西太平洋-库拉板块的俯冲角度很小 (可能小于 20° , Cheng Zhaobo, 1981), 从而造成消减板块之上的地幔楔质量较小, 有较多的下部陆壳物质再循环卷入到板块消减带的地幔楔之中 (Treuil, Joron, 1990), 对源区产生强烈混染。由这种壳幔混合源部分熔融

所产生的火山岩浆必然会相对偏酸性 (Wilson, 1989)。在此顺便提及, 根据地球物理资料判断, 南美安第斯活动大陆边缘东太平洋纳兹卡 (Nazca) 板块向东俯冲的角度一般为 20° — 30° , 在秘鲁及智利中部, 俯冲角度仅 15° 左右。纳兹卡板块沿秘鲁-智利海沟向南美大陆的俯冲深度最大可达 600 km (垂深); 影响距离 (平距) 在秘鲁及中智利为 700 km, 在智利北部达到 800 km (Wilson, 1989)。我国东南沿海一带, 若考虑到台湾岛与日本列岛于中生代晚期脱离欧亚大陆的这一因素, 其中生代时海沟俯冲带的实际位置应相当于现今台湾海峡一带, 该处与江西相山相距仅约 600 km, 因此中生代时库拉板块向欧亚板块的俯冲作用是可以影响到相山地区的。我国东南沿海中生代活动大陆边缘 (或称洋-陆碰撞带) 的大规模酸—中酸性火山作用发生于太平洋-库拉板块向亚洲大陆板块俯冲阶段末期, 属于由挤压向张裂过渡的构造环境, 这应当是其有别于安第斯型和岛弧型活动大陆边缘火山作用的一个可能的重要原因 (杜杨松等, 1989; 王德滋等, 1990)。

第二章 相山火山杂岩的岩相学、 矿物学特征

一、基本特征

相山中生代火山杂岩由酸性火山碎屑岩夹沉积岩、酸性—中酸性熔岩及中酸性次火山岩组成。杂岩体平面上呈椭圆形,东西长 26 km, 南北宽 16 km, 面积约 309 km² (图 6)。火山岩系基底为前寒武纪变质岩(片岩、千枚岩、板岩)及晚三叠—早侏罗世碎屑岩(砂岩、砂砾岩、页岩)夹煤层。

该火山杂岩体产于东西向、北东向及北西向多组基底构造的交汇部位,为一塌陷式破火山口构造(方锡珩等, 1982; 刘家远, 1985; 陶奎元等, 1985), 四周基底均向中心倾斜, 东陡西缓, 呈不对称的漏斗状。破火山口的北、东、南三面均为环状塌陷构造, 西部

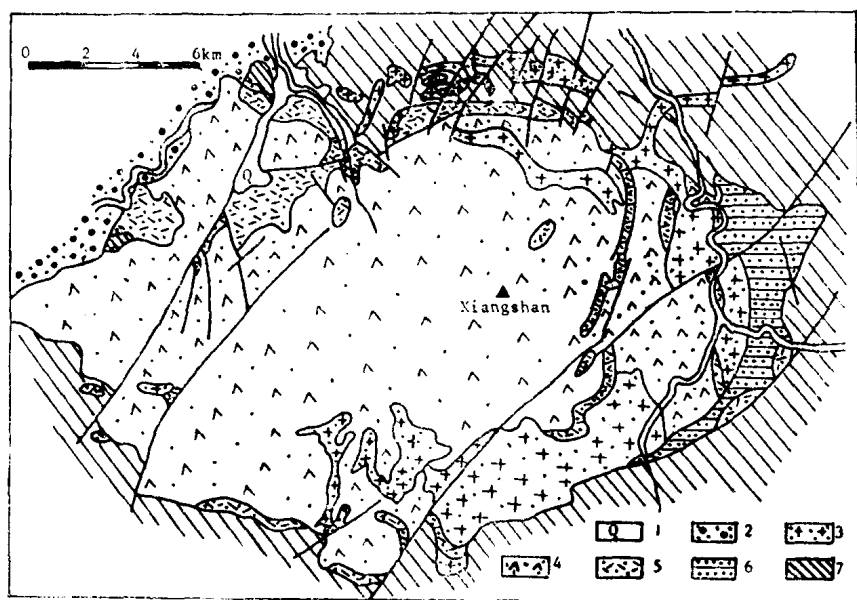


图 6 相山中生代火山杂岩岩相略图

1. 第四系; 2. 晚白垩世紫红色砂砾岩; 3. 花岗斑岩、黑云母二长花岗斑岩和黑云母石英二长斑岩(次火山相); 4. 碎斑流纹岩(侵出相); 5. 酸性凝灰岩(空落凝灰岩)、酸性熔结凝灰岩(灰流凝灰岩)和流纹英安岩(溢流相)夹砂岩、砂砾岩(内陆湖盆相); 6. 晚三叠—早侏罗世砂岩、砂砾岩、粉砂岩(火山岩系基底); 7. 前寒武纪变质岩(火山岩系基底)

Fig. 6 Rock phase scheme of mesozoic volcanic complex from Xiangshan

1. Quaternary system; 2. Upper cretaceous purplish red sand conglomerate rock; 3. Granite-porphry, biotite monzonitic granite-porphry and biotite quartz monzonite-porphry (subvolcanic phase); 4. Porphyroclastic rhyolite (extrusive phase); 5. Acidic tuff (air-fall tuff), acidic welded tuff (ash-flow tuff) and rhyodacite (effusive phase) with sandstone and sand conglomerate rock (interior lake basin phase); 6. Upper Triassic-lower Jurassic sandstone, sand conglomerate rock and siltstone (basement of volcanic series); 7. Pre-cambrian metamorphic rock (basement of volcanic series)

为北东向及北西向阶梯状塌陷，形成许多菱形断块。相山火山构造的发生与演化，明显受到区域构造作用与火山作用的双重控制，断裂构造的交汇部位为岩浆上升和早期火山喷发提供了通道。早期火山物质喷发后，火口塌陷，形成破火山口。尔后，火山侵出相熔岩沿火山通道上涌，分布于该塌陷火口的中部。晚期次火山岩呈小岩株、岩脉或岩墙侵入于边缘断裂之中。

二、火山旋回

相山中生代火山活动可以分为二个喷发（及侵入）亚旋回及相应的六个阶段（表1），它们大体上分别与前人所划分的打鼓顶组和鹅湖岭组火山地层相当^①。第一亚旋回第一阶段开始为间歇式火山空落相喷发，形成流纹质晶屑凝灰岩夹内陆湖盆相沉积碎屑岩，然后转为灰流相喷发，形成流纹质熔结凝灰岩。第二阶段开始以内陆湖盆相碎屑沉积为主，继之为空落相火山喷发，形成流纹质玻屑晶屑凝灰岩。第一亚旋回的最后阶段为熔浆大量喷出，形成溢流相流纹英安岩（参见白云-邹家山剖面，图7）。

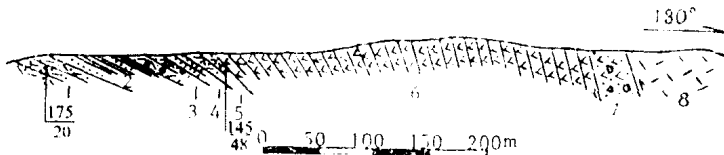


图 7 相山 B-B' (白云-邹家山) 地质剖面

1. 熔结凝灰岩（灰流凝灰岩）厚度：18.0 m；2. 粉砂岩及粘土质页岩 厚度：16.3 m；3. 凝灰质砂砾岩 厚度：18.5 m；4. 粉砂岩及粘土质页岩夹薄层流纹英安岩 厚度：2.7 m；5. 晶屑凝灰岩（空落凝灰岩）厚度：10.6 m；6. 流纹英安岩 厚度：206.0 m；7. 断层破碎带（含流纹英安岩碎块）；8. 碎斑流纹岩（边缘相）含基底变质岩捕虏体

Fig. 7 B-B' (Baiyun-Zoujiashan) Geological section of Xiangshan

1. Welded tuff (ash-flow tuff)	Thickness: 18.0m
2. Aleuinite and argillaceous shale	Thickness: 16.3m
3. Tuffaceous sand conglomerate rock	Thickness: 18.5m
4. Aleuinite, argillaceous shale and minor lamellose rhyodacite	Thickness: 2.7m
5. Crystal tuff (air-fall tuff)	Thickness: 10.6m
6. Rhyodacite	Thickness: 206.0m
7. Fault zone (containing fragments of rhyodacite)	
8. Porphyroclastic rhyolite (peripheral phase) containing the enclaves of metamorphic rocks of basement	

第二亚旋回与第一亚旋回呈喷发假整合关系，按火山作用方式及形成先后顺序，也可以分为三个阶段。第一阶段以灰流相流纹质弱熔结凝灰岩为主，伴有空落相流纹质晶屑凝灰岩。第二阶段从喷发转为以侵出作用为主（图8），形成侵出相碎斑流纹岩，它们构成了相山火山杂岩的主体，貌似一火山岩穹。岩穹的边缘冷却较快，由玻质碎斑流纹岩组成；向内随着冷却速度变缓，岩石基质部分结晶程度增高，逐渐过渡为细碎斑流纹岩；中心相为全晶质粒状碎斑流纹岩。书堂一带，可以清楚地见到碎斑流纹岩挤入到流纹英安岩及凝灰岩之中（图9）。第三阶段为浅成—超浅成次火山侵入活动阶段，形成沿边缘断裂

① 江西省地质局区测队，1977，1:20 万新干幅区测报告。