

中国地质科学院

矿床地质研究所刊

1983年 第2号

(总第8号)

地质出版社

中国地质科学院

矿床地质研究所刊

1983年 第2号

(总第8号)

地质出版社

中国地质科学院
矿床地质研究所所刊
1983 年 第 2 号
(总 第 8 号)

中国地质科学院矿床地质研究所编辑

(北京阜外百万庄)

责任编辑: 谭惠静

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: $787 \times 1092^{1/16}$ 印张: $7^{5/8}$ 字数: 177,000
1983年5月北京第一版·1983年5月北京第一次印刷
印数: 1—1,906册 定价: 1.50元
统一书号: 15038·新921

目 录

前言.....	(1)
一、区域地质-构造背景	(2)
(一) 成矿区所处区域地质构造位置	
(二) 成矿区主要基底构造线系统	
(三) 区域地层概述	
(四) 岩浆活动与铁(多金属)矿床分布	
二、马坑铁矿含矿建造及火山岩	(5)
(一) 矿区地质简介	
(二) 含矿建造特征	
(三) 火山岩	
三、矽卡岩及交代作用地球化学	(26)
(一) 与火山作用有关的双交代型矽卡岩及其形成机制	
(二) 与火山期后热液活动有关的渗滤型钙矽卡岩	
四、马坑铁矿火山热液-沉积形成的地质-地球化学特征	(60)
(一) 马坑铁矿矿体产状	
(二) 马坑铁矿的层控特征和成矿时代	
(三) 马坑铁矿的形成环境	
(四) 原生矿石类型及矿石结构、构造特征	
(五) 马坑矿区各类岩石、矿石中铜、铅、锌的示踪特征	
(六) 矿石物质成分的某些地球化学特征	
(七) 锰的来源及锰铁分离	
(八) 铁矿中的团块状碧玉	
五、稳定同位素研究	(87)
(一) 实验技术	
(二) 硫同位素研究	
(三) 氧和氢稳定同位素研究	
(四) 碳稳定同位素研究	
(五) 讨论	
六、热液-沉积成矿理论的由来、现实例子及成矿机制	(98)
结语	(103)

前 言

据记载,马坑矿区南东侧地表的褐铁矿百年前就有小规模人工开采。解放后,有关地质队先后多次来此工作,并于1957年10月发现隐伏的磁铁矿矿体。自此对该铁矿床进行过两次正式勘探工作,尤其是1971年至1975年该省地质一、二、三队,1976年至今该省地质八队、冶金三队对西矿段的勘探过程中,积累了丰富的实际资料,并开展了许多研究工作。

1976年根据国家下达的“闽西南—粤东火山—侵入岩分布地区富铁矿成矿规律、找矿方法和找矿方向”的研究项目,我们承担了马坑铁矿典型矿床的解剖研究工作。五年来,我们的研究工作分为两个阶段:前两年以矿区地质及岩石、矿石工作为主,编写了阶段报告——《福建龙岩马坑铁矿地质特征及其形成条件的研究》(由邹天人、葛朝华、韩发、陈德潜完成),并获得1978年全国科学大会奖。后三年在原工作基础上,通过区域对比,对马坑铁矿火山热液—沉积成因的地质地球化学特征进行了室内外研究,其中稳定同位素工作是与北京大学地质系同位素地质室穆治国、陈成业共同完成的。因此,本文既是上述研究成果的总结,也是参加本区生产、科研各单位互相帮助、共同协作的成果。

本文在充分的实际资料基础上,依据现代大洋热卤水成矿的事实,提出了马坑铁矿火山热液—沉积成因的新见解。当前,国内外地质界对火山成矿作用越来越重视,大量的海洋地质调查资料为“火山—热卤水成矿说”提供了令人信服的证据。然而,把这一新的成矿理论用于实际,进行典型矿床的解剖工作还刚刚是个开始。正是在这个意义上,本项研究工作也是一个新的尝试,力图用“火山—热卤水成矿说”解决矿产普查、勘探中某些问题。由于我们业务水平有限,错误不妥之处难免,敬请读者批评、指正。

本文在编写过程中,得到宋叔和研究员、黄蕴慧副研究员的指导,边效曾总工程师、朱上庆教授、周圣生副研究员、潘廓祥高级工程师、郑直副研究员、裴荣富副研究员、孙忠和副研究员审阅了此稿,并提出宝贵的修改意见,在此一并致谢。

一、区域地质-构造背景

(一) 成矿区所处区域地质构造位置

闽西南-粤东铁(多金属)成矿区,北起福建三明,南抵广东兴宁,长约三百公里,宽一百余公里,呈北东向展布。区内分布有马坑、阳山、洛阳、潘田、银顶格、铁山嶂、尖山等铁矿床,珠地、龙凤场等多金属矿床。

该成矿区所处大地构造单元为永(安)-梅(县)上古生代拗陷。西、北侧临后加里东隆起带,东侧为浙闽粤中生代拗陷。关于永梅拗陷的性质,以往被认为是长期隆起的“华夏古陆”中的稳定台型拗陷盆地。七十年代以来大量区域地质调查新资料表明,其实际情况远非如此。(1)所谓的华夏古陆是不存在的。作为古陆的依据是闽粤沿海地区广泛分布的变质岩以及安溪、德化一带出露的变质岩系,以往都被认作前震旦系的变质岩,而实际上前者主要是晚侏罗世火山岩系,一部分为晚三叠一早侏罗世地层所形成的动力变质混合岩化带,后者实际上属古生代地层,最老也不能超过早古生代^①。(2)拗陷的东界并非由政和一大埔深大断裂所限。以往把所谓的政和一大埔深大断裂作为永梅拗陷带的东界,同时也把该断裂作为划分福建省东西两个不同构造单元的截然界线。现在看来,无论从航磁资料还是卫星照片的解释都不足以说明该深大断裂的存在^②。另外,从岩相建造分布的分析,上古生代沉积盆地东界远远超过了该断裂的控制,已达永春-安溪-长泰一带,甚至更东。近年来,在永梅拗陷东侧之浙闽粤中生代拗陷中,于福鼎南溪发现了比较确切的石炭纪地槽型碎屑岩沉积地层^③。这些资料证明,断裂以东既不是“古陆”,也不是加里东隆起区,其地槽沉降的发展已延至中晚石炭世。

从上述资料不难看出,永梅拗陷并非由古陆所圈定的盆地,盆地西界是加里东期隆起带——武夷山隆起,东部由于中生界的大面积掩盖边缘界线不清。石炭纪开始,盆地西部属海西期地台型沉积,向东逐渐过渡为海西期冒地槽乃至地槽型沉积,沉降的发展一直延至晚石炭世一早二叠世。此间并伴有海底火山活动。这一构造沉降带究竟属陆内古裂谷系环境,还是属大陆边缘环境尚需进一步深入研究。

(二) 成矿区主要基底构造线系统

成矿区的基底构造方向,根据航磁资料和卫星照片的判读分析,推断主要基底构造线方向为北东东-北东向和东西向两组^④。这两组断裂构造不仅对基底起重要控制作用,同时也是本区岩浆活动、成矿作用的主要控制因素(图1)。

北东向(北东 $50^{\circ}\pm$)断裂是本区规模最大,延续性也最好的一组断裂。其中有五条主要断裂带通过本区,它们分别是:①宁化-建阳断裂带;②三明-武平断裂带;③周宁

① 原地矿所第三铁矿研究队构造组 1979 对闽南、粤东铁控矿构造的初步认识 福建地质 第2期

② 中国地质科学院原地矿所四室方法组 1979 闽南地区航磁资料的解释及对某些地质构造问题与找矿方向的初步认识 福建地质 第3期

—上杭—平远断裂带；④福安—永定—梅县断裂带；⑤罗源—永春—丰顺断裂带。该组构造系统控制着拗陷的基底状态。沿周宁—上杭—平远断裂带构成三明—古田—上杭基底隆起区，以此为中心两侧为基底拗陷区，西侧为明溪—长汀拗陷，东侧为大田—龙岩—梅县拗陷。上古生代地层建造在两个拗陷带中有明显的不同。西部拗陷带下石炭统为台式陆相、滨海相碎屑岩含煤建造，东部拗陷带则属槽式海相碎屑岩（夹火山岩）建造乃至类复理石建造。罗源—永春—丰顺断裂带以东为中生代拗陷，海西期基底情况不清。

这里还要指出的是⑧宁德—潘田—蕉岭断裂带，北段为北东向，南段则为北东东向（北东 $60^{\circ}\pm$ ），它可能属更早期的断裂。有意义的是该区主要大中型铁矿床都沿此断裂带分布。（见图1）

东西向断裂是本区另一组主要基底断裂。这组断裂一般都呈断续状分布，且常被其它方向断裂（包括北东向断裂）所错动，说明可能是更古老的基底断裂构造。该组断裂中，以⑦仙游—武平断裂带规模最为宏大，成为本区东西向基底断裂的主体。它不但控制了该区某些上古生界乃至基底地层的東西向分布，还与本区几个主要大矿床有密切的关系。

（三）区域地层概述

该区地层自上古生界以来，除下（中）泥盆统有缺失外，直至第四系出露较全（表1）。

区内出露最老地层为下古生界，在闽西南地区被划分出寒武系（C）和奥陶—志留系（O—S），在粤东统称为前泥盆系（AnD）。它们零星分布于西部边缘地带，为一套变质的海相碎屑岩夹大理岩及火山岩岩系，具复理石建造特征，总厚度大于五千米。

上古生界分布广泛，为一个完整的海进—海退系列，厚可达七千米以上，是本区金属矿床乃至煤、磷和石灰岩等最主要的含矿层。中上泥盆统与下古生界基底呈不整合接触，为一套陆缘滨海相粗碎屑岩建造，多经浅变质作用，厚达二千米。石炭系分布范围较泥盆系稍有扩大，为一个完整的海进程序。下石炭统在区域西南部为陆相或滨海相碎屑岩含煤建造，在福建境内称林地组，粤东称忠信组，江西称梓山组，它们可以进行对比。林地组向东北部（大田—龙岩一带）逐渐过渡为海相碎屑岩建造，有些地方夹火山岩和石灰岩。而再向东（德化—安溪一带）过渡为类复理石建造，其厚度大于二千米。中石炭统黄龙组在西部地区（如宁化、长汀）为磷酸盐相沉积，而向东到龙岩—永安一带相变为海相碎屑岩夹石灰岩及火山岩岩系。而本区北面福鼎发现中石炭统地槽型碎屑岩沉积。上石炭统船山

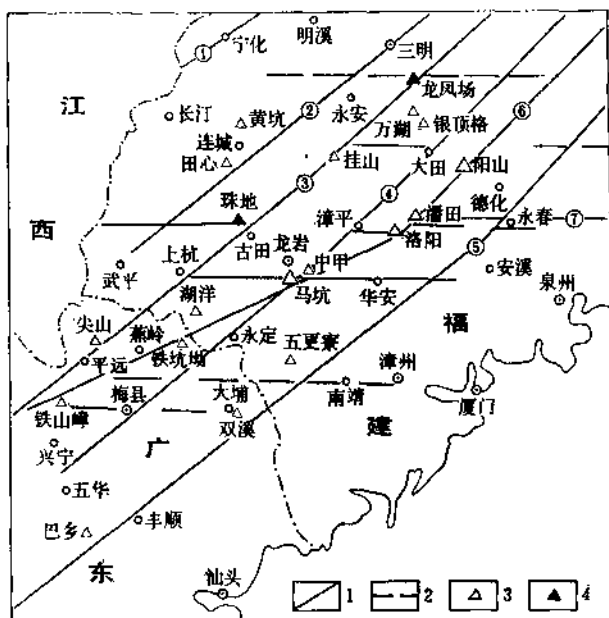
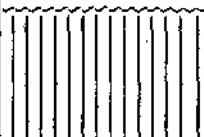
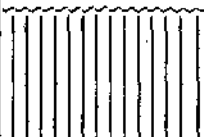
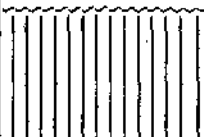


图1 成矿区基底构造及矿点分布

1—北东东—北东向断裂；2—东西向断裂；3—铁矿床（点）；
4—多金属矿床；①—⑦—断裂带编号

区 域 地 层 简 表

表 1

界	系	统	组 (群)		建 造 特 征
			闽西南地区	粤东地区	
新生界	略				略
中生界	白垩系	上统	赤 石 群	灯 塔 群	陆相火山岩建造 厚达5000米以上
		下统	沙 县 组	官草湖群	
			石 帽 山 群		
	侏罗系	上统	板 头 组	兜 岭 群	陆相含煤建造 厚度变化大, 可达6000米以上
			南 园 组		
			长 林 组		
		中统	漳 平 组	漳 平 群	
		下统	梨 山 组	金 鸡 群	
	三叠系	上统	文英山组/蕉坑组		小 坪 组
			大 坑 组		
		中统	安 仁 组		大 冶 组
			下统	溪 尾 组	
		溪 口 组			
古生界	二叠系	上统	长兴组/大隆组		大 隆 组
			翠 屏 山 组		
		下统	童子彦组		孤 峰 组
			文 笔 山 组		
			板 腰 组		
	石炭系	上统	船 山 组		
		中统	黄 龙 组		
		下统	林 地 组	忠 信 组	
	泥盆系	上统	姚子坑组 天瓦麻组		三门滩组 中 棚 组
					
		中统			
			下统		
	志留系	未分、未建名			统称前泥盆系
	奥陶系				
	寒武系	上统	未建名		
中统					
下统					

(据福建、广东省地质局区测资料修编)

组为海相碳酸盐岩沉积, 由于海浸范围稍有扩大, 因此该组偶有超覆现象。二叠系本区比较发育, 下二叠统底部称栖霞组, 为海相含硅质碳酸盐岩建造; 上部闽西南地区又分为文笔山组和童子彦组 (或龙岩组或加福组), 粤东统称孤峰组, 为一套海相硅质、砂泥质沉积, 向上过渡为海陆交互相含煤沉积, 为本区重要产煤层位。上二叠统闽西南地区包括翠屏山组和大隆组或长兴组, 粤东地区为龙潭组和大隆组, 为一套以陆相为主的海陆交互相含煤沉积过渡为上部海相砂泥岩、灰岩的沉积。

中生界之下、中三叠统仍属海相钙质、硅质及砂泥质沉积, 而自上三叠统始则转为陆相沉积。上三叠统至中侏罗统以陆相碎屑岩沉积为主, 夹煤层及火山岩, 分布零星。上侏罗统至下白垩统为一套陆相喷发的中酸性火山岩系, 上白垩统至下第三系以陆相红色粗碎屑岩堆积为主。

(四) 岩浆活动与铁 (多金属) 矿床分布

本区自上古生代以来, 岩浆活动主要表现为两个活动时期。一个是海西期早、中石炭世海底基—中性火山喷发活动, 它们沿北东—北东东向断裂带分布于拗陷带次一级断陷盆地中, 该期火山活动与“马坑式”铁矿及主要多金属矿床关系极为密切。另一个活动期是燕山期晚侏罗世至晚白垩世中酸性岩浆侵入—喷发活动, 形成占本区地表分布面积三分之一以上的花岗岩—流纹岩类岩石, 可见该次活动规模之大。

本成矿区铁及多金属矿床分布有明显的规律。其中多金属矿床 (如龙凤场、珠地等) 主要分布于基底隆起区, 而铁矿床主要分布于基底拗陷区, 特别是东部的大田—龙岩—梅县拗陷带几乎集中了本区绝大多数具有一定规模的铁矿床, 如阳山、潘田、洛阳、马坑、铁坑坳、铁山嶂等。

二、马坑铁矿含矿建造及火山岩

(一) 矿区地质简介

马坑铁矿床位于本成矿区之东南大田—龙岩—梅县铁成矿带中部, 它是本区规模最大的铁矿床。区域上正好处北东—北东东向断裂与东西向主干断裂带中的泉州—西坑—马坑东西向断裂交叉处 (见图1)。

马坑铁矿床东临莒舟花岗岩, 西侧为大洋花岗岩 (图2)。极据钻孔资料及花岗岩岩石学研究表明, 该二花岗岩体在矿区范围内深部可能相连通。该矿区东界为北北西向天山凹断层所限, 西侧为近南北向的溪马河断层所错断, 造成南西端矿体被断失, 南东侧以莒舟花岗岩为边界, 北西为下二叠统加福组至上二叠统翠屏山组上覆地层所覆盖。

矿区主要构造线方向为北东向, 其次为北西向。由含矿建造及其上覆地层组成复杂的褶皱, 轴向北东 40° 左右。沿 F_2 断层上盘 (北西侧) 为一个明显的背斜, 沿下盘 (南东侧) 为一个明显的向斜构造。此外沿溪马河断层附近有规模较小的近南北向褶皱构造。除作为本矿区东西边界的天山凹断层和溪马河断层外, 区内主干断裂方向为北东 $40-45^{\circ}$, 如 F_1 、 F_2 等, 纵贯全区, 断层面倾角较陡 ($70-85^{\circ}$), 一直影响到主矿体。区内所见断裂构

造形迹均属成矿后的断裂, 尚未发现矿液通过它们并发生交代、充填这些通道的痕迹。

区内出露的花岗岩为钾长花岗岩, 黑云母含量很少, 特别是靠近顶部几乎不见。进一步可分为微斜长石花岗岩相(分布于顶部)和正长石花岗岩相(较深部)。花岗岩含副矿物磁铁矿较高(可达0.5—3公斤/吨), 其次有钛铁矿、独居石、锆英石、磷灰石及少量褐钨铀矿和铌铁矿。岩石化学特点是富硅($\text{SiO}_2 75.7\%$)、富碱($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} 8.33\%$, 且 $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$); 贫钙($\text{CaO} 0.7\%$)、镁($\text{MgO} 0.29\%$)、铁($\text{Fe}_2\text{O}_3 0.93\%$, $\text{FeO} 0.91\%$); 并且富

含挥发份。从各方面研究表明, 该岩体为岩浆演化较完全的产物, 形成深度浅。

(二) 含矿建造特征

马坑矿区内出露最老地层为下石炭统林地组(?), 它分布于南东侧靠近花岗岩的接触带, 向北西依次可以见到中石炭统黄龙组至下二叠统栖霞组碳酸盐岩地层, 以及下二叠统文笔山组至加福组碎屑岩地层。

关于马坑铁矿在地层剖面中产出的位置及含矿建造的性质, 随着近年来对该矿床研究程度的不断深入而不断深化, 日趋明朗。自一九五七年马坑铁矿床被发现以来, 很长一段时间里人们都认为矿体产于南靖群($\text{D}_3 - \text{C}_1$)与栖霞组(P_1q)灰岩的不整合间断面上, 并进而认为该矿床正是沿这个构造薄弱带交代灰岩而成的^①。在此期间, 各研究者没有把成矿作用与整个含矿建造有机联系起来, 只不过把灰岩看作是一种易于被交代的有利岩石而已。

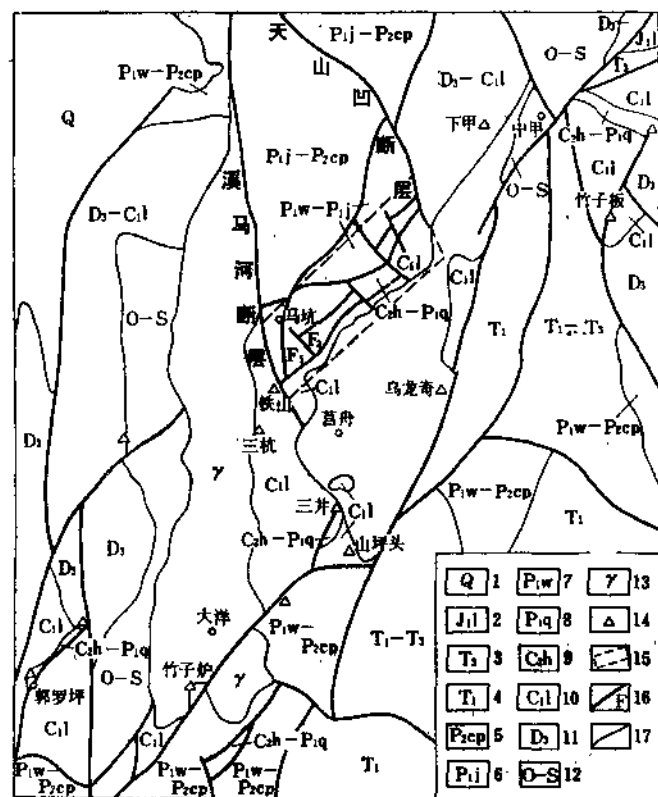


图2 马坑铁矿区域地质图(据福建121队资料改编)

1—第四系; 2—下侏罗统梨山组; 3—上三叠统; 4—下三叠统;
5—上二叠统翠屏山组; 6—下二叠统加福组; 7—下二叠统文笔山组;
8—下二叠统栖霞组; 9—中石炭统黄龙组; 10—下石炭统林地组;
11—上泥盆统; 12—志留系至奥陶系; 13—花岗岩; 14—铁矿点;
15—马坑铁矿矿区; 16—断层线; 17—地质界线

自一九七六年该区富铁矿会战以来, 地矿所第三铁矿研究队地层组通过对马坑铁矿含矿层位的详细研究, 并结合马坑矿区附近的中甲剖面、大池含矿地层剖面等的研究对比, 认为马坑铁矿的石炭系剖面是完整的连续的。并进而把整个含矿地层自下而上划分为四套: (1) 林地组(C_1D) 石英岩、变质粗砂岩和砂质千枚岩; (2) 主矿体、砂卡岩、大

① 福建省地质一五中队 1976年 马坑铁矿中矿段详细勘探地质报告

理岩,相当于黄龙组(C_2h);(3)浅色质纯厚层大理岩,一般不夹燧石条带,相当于船山组(C_3c);(4)栖霞组灰白、灰黑色含泥质中薄层燧石条带灰岩^①。七六年以来,我们在研究含矿地层剖面的过程中,发现存在大量的中—基性火山熔岩(对马坑铁矿区火山岩的最初报导见于1976年福建地质一五中队的详勘地质报告),并且它们与铁矿床的形成有着密切的关系(将在以后的章节中讨论)。在此基础上,我们确立了马坑铁矿的含矿火山—碳酸盐岩建造剖面,并进而划分为四个组合(图3)。

(1) 碳酸盐岩—安山岩组合 包括整个栖霞组和船山组上部,厚度(假厚度,下同)约200米。岩性主要为灰白—灰黑色含泥质及燧石结核、燧石条带灰岩。靠下部燧石条带减少,并夹两层安山岩(分别称第一层和第二层火山岩),安山岩本身遭强烈的次闪石化和局部的矽卡岩化。本组合大理岩化灰岩中,已确定的化石有:希瓦格礁(*Schwagerina* sp.)、费伯克礁(*Vorbeekina* sp.)、早板珊瑚(*Hanyasakia* sp.)等^②。本组合不含矿。

(2) 碳酸盐岩—玄武岩—钙铁质矿层组合 包括船山组下部的黄龙组上部。厚度约150米。由大理岩、矽卡岩、玄武岩和铁矿体组成。大理岩灰白—白色,质地较纯。矽卡岩发育,包括有扩散型钙矽卡岩和渗透型钙矽卡岩,后者规模更大。铁矿体多层(称小矿体),越靠底部越发育,可分为透辉石—磁铁矿、方解石—磁铁矿、辉石(角闪石)—石榴石—萤石—磁铁矿等组合的矿体,均属钙—铁建造类型。该组合夹一层较稳定的玄武岩(称第三层火山岩),亦受强烈的次闪石化和矽卡岩化。本组合上部大理岩中见有化石遗迹,但由于重结晶作用强烈,而难以鉴定。仅在个别钻孔中鉴定出皱壁礁(*Rugosofusulina* sp.),在马坑外围大池一号孔大理岩中发现假希瓦格礁(*Pseudoschwagerina* sp.)^③。这是确切无疑的船山组化石,而低于船山组的化石尚无可靠的证据。

(3) 玄武岩—硅铁质矿层组合 层位相当于黄龙组下部或至林地组顶部。厚50—100米。由铁矿层和层状玄武岩互层组成,构成六个旋迴。铁矿层的矿石类型皆属石英—磁铁矿(经蚀变可形成透闪石—磁铁矿),与铁矿层相伴生的还有硅质岩,由于晚期硅化强烈发育,致使在钻孔中无法将硅质层单独划分出来。中甲铁矿露头剖面 and 浅槽揭露的剖面中,都清楚可见铁矿层中分布有不只一层白色硅质岩,硅质岩中尚保留有礁科、腕足类、海百合茎等可辨认的化石。玄武岩均遭受强烈的蚀变,上部三层玄武岩以次闪石化、矽卡岩化

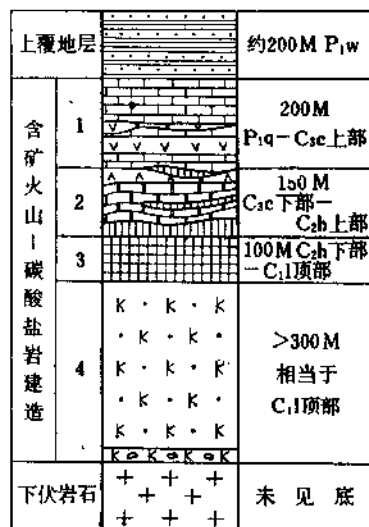


图3 马坑铁矿含矿建造剖面

1—下二叠统文笔山组; 2—灰岩; 3—大理岩; 4—安山岩; 5—玄武岩; 6—蚀变基性火山岩; 7—蚀变角闪基性火山岩; 8—花岗岩及中石炭世前的地层; 9—钙—铁质矿层; 10—硅—铁质矿层

① 高联达、朱秀芳、王士涛 1979 闽西南上古生代地层简述及马坑铁矿床控矿层位的探讨 福建地质第2期

② 高联达等 1979 闽西南上古生代地层简述及马坑式铁矿床控矿层位的探讨

为主,下部三层以钾化、硅化为主。未见化石。

(4) 蚀变基性火山岩 相当于林地组上部。厚度大于300米。主要由遭受强烈硅化、钾化的玄武岩及其残留组成。其中可能尚存在一定数量的凝灰岩、次硬砂岩。由于蚀变作用强烈,喷发旋迴无法划分。本组合最底部有大约20米厚的角砾状岩石,业已遭到强烈的硅化和钾化,其化学成分与蚀变的玄武岩相同。

含矿建造的上覆地层为下二叠统文笔山组(P_2w),厚200米左右,灰黑—黑色砂质泥岩。下部夹1—3层透镜状钙质粉砂岩,上部夹薄层状粉砂岩。动物化石丰富,并夹杂少量植物化石。该含矿建造下伏岩石包括见到的花岗岩及可能存在的中石炭世前的地层。据北西边部已打穿含矿建造的五个钻孔资料看,含矿建造最底部的角砾状岩石之下均为花岗岩。鉴于花岗岩与含矿建造的接触关系尚不能十分肯定,以至花岗岩的归宿问题不清,所以含矿建造的基底尚有进一步深入研究的必要。

(三) 火 山 岩

1. 确定火山岩存在的产状证据

在马坑铁矿床的含矿建造剖面中存在火山岩,现在已为绝大多数地质工作者所承认,尽管其规模和它在成矿作用中的地位尚有不同的看法。然而,“会战”初期(一九七六年)马坑铁矿床中是否有火山岩的存在则是一个很有争议的问题。这是因为:(1)在以往区域地质研究中,认为该区是处于长期稳定的古陆,上古生代根本没有火山活动,自然也不会出现火山岩了;(2)尽管人们早已发现有辉绿岩的存在,但由于地表很少出露,在钻孔中又难以确定它的产状,往往被人们所忽视;(3)岩石一般结晶较好(全晶质),且后期交代蚀变极其强烈,很难加以辨认和恢复;(4)传统的砂卡岩成矿观点,无须火山岩的存在。上述这些原因都在一定程度上阻碍了对它的进一步认识。几年来,我们对马坑铁矿区的岩石组合特点、接触关系、产状、结构构造、矿物成分及其组合、化学组成以及交代蚀变特征等进行综合分析研究后,认为矿区内广泛分布的以往被叫做辉绿岩的岩石多数就是石炭纪喷发的安山岩和玄武岩。而主矿体底部那些原被认为是林地组的泥岩砂砾岩则是被强烈钾化和硅化的基性火山熔岩及其凝灰岩。

确定马坑铁矿区火山岩的存在,再没有什么证据能比其产状更有说服力了。因为诸如斑状结构、气孔充填构造等等特征,虽然都是火山岩的典型标志,但似乎又可以被一些人视为侵入岩脉所特有。可惜的是马坑矿区地表露头太差。为达此目的。我们不得不去仔细编录和反复检查大量钻孔岩芯(约七十个钻孔)。研究结果给确定本矿区火山岩的存在提供了可靠的依据:①我们所研究的对象(即辉绿岩)在含矿建造剖面上部三个组合中,几乎在所有钻孔中所出现的层数一致(边缘钻孔由于自然尖灭除外),极少有例外。即在第一组合中有两层,第二组合中有一层,第三组合中有六层(其中最顶部一层被顺序称为第四层)。②每一层在含矿建造剖面中都有它固定的位置。第一层距 P_2w 与 P_2q 的接触面约40米至80米;第一、第二层的围岩均为大理岩化灰岩;第三层的围岩为大理岩,局部为小矿体或砂卡岩;第四层的顶板为透辉石-磁铁矿矿体(小矿体),底板为石英-磁铁矿矿体(主矿体);余下五层均分布于石英-磁铁矿矿体之中。③岩石的成分在空间上有明显的分界,即第一、第二层为安山岩,以下为玄武岩。④钻孔岩芯观察表明它们与围岩呈整合接触(极

个别例外), 其整合产状在地表露头 and 连图结果都得到证实。⑤ 经全岩铷锶等时线法年龄测定, 为 364 ± 46 百万年 (样品采自第三组合及邻近矿层底板的玄武岩), 与围岩地层时代相符。⑥ 在总厚度仅 50—100 米的第三组合中玄武岩竟分布有六层之多, 然而至今尚未见到一处玄武岩中包含有磁铁矿矿石的角砾, 也未见各层之间的相互穿插现象, 这充分说明玄武岩不是晚于铁矿层的脉岩。其次在上部第一组合中, 可见到安山岩与灰岩接触, 尽管安山岩本身遭受了强烈的蚀变, 而灰岩竟不见接触变质现象, 这些都足以说明它们不是晚期的脉岩。

我们重点研究了五条勘探线剖面, 对其中四十一个钻孔岩芯进行反复的检查和岩矿鉴定工作。作图结果表明, 含矿建造中的安山岩、玄武岩都呈严格的层状体产出, 它们与围岩一起被褶皱, 同被错断, 在相邻的剖面中它们之间可以对比。图 4 为靠近矿区西南边缘的剖面, 这里的安山岩、玄武岩厚度较小, 但单层厚度变化却不大, 显示为延伸较稳定的层状体。图 5、图 6 更加靠近盆地中心 (亦即火山活动中心部位), 安山岩、玄武岩以岩钟

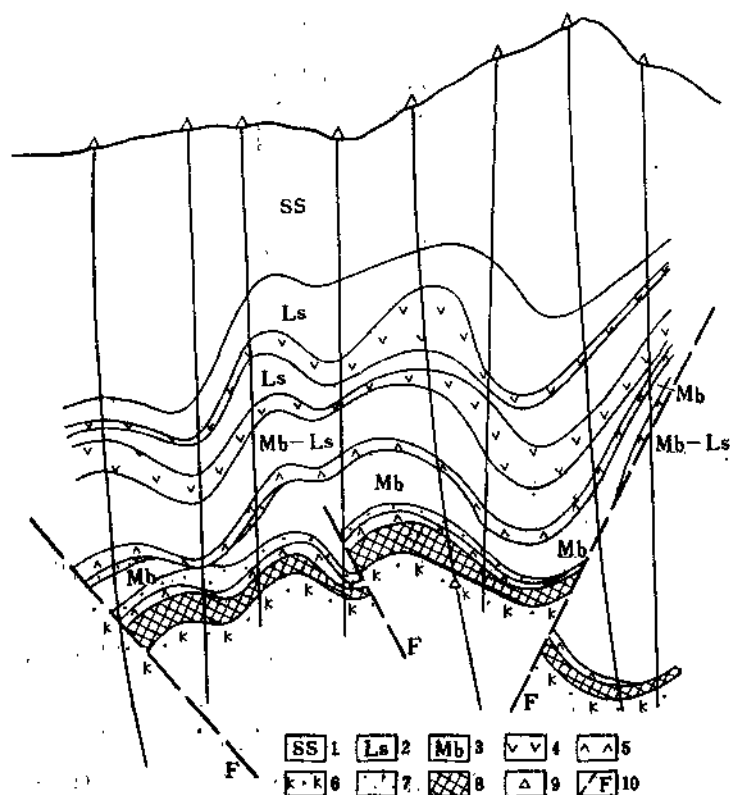


图 4 马坑铁矿 57 线剖面图

1— P_1j-P_2w 泥板岩、砂岩; 2—灰岩; 3—大理岩; 4—安山岩; 5—玄武岩; 6—钾化、硅化玄武岩; 7—小矿体; 8—主矿体; 9—岩石化学分析采样点; 10—断层线

状、透镜状为特征, 厚度变化大、延伸较小。图 7 为图 5 底部主矿体 (第三组合) 的放大剖面, 显示石英-磁铁矿层与玄武岩 (下部多被钾化和硅化) 互层产出的特点。

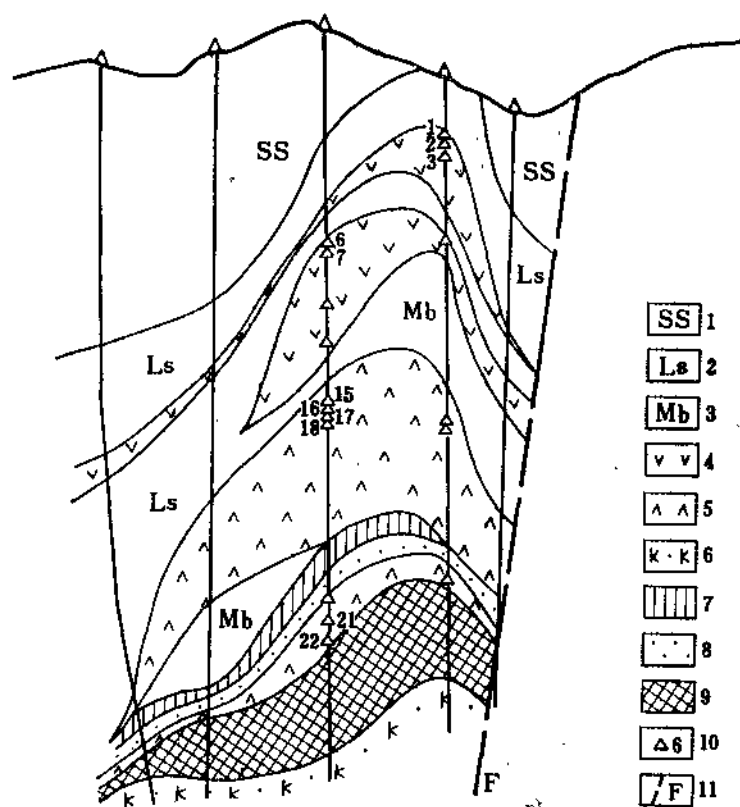


图 5 马坑铁矿60线剖面图

1—P_{1j}-P_{1w} 泥板岩、砂岩；2—灰岩；3—大理岩；4—安山岩；5—玄武岩；6—钾化、硅化玄武岩；7—萤石-磁铁矿；8—透辉石-磁铁矿；9—主矿体；10—岩石化学分析采样点及编号；11—断层线

2. 火山岩的岩石类型及其岩石学特征

马坑铁矿分布的火山岩类型简单，以熔岩为主，碎屑岩很不发育。特别是后者均遭强烈的蚀变交代作用，导致其从成分到组构都已面貌皆非，很难恢复。所以本文只着重叙述熔岩类的特征。

次闪石化辉石玄武岩 产于含矿建造的中下部（包括第三、四层及主矿中、下的各层玄武岩）。岩石呈灰黑—黑色，块状构造，全晶质似斑状结构，有些具典型的嵌晶含长结构（照片1）。局部可见淬火冷凝边，杏仁构造可见，但不发育，杏仁体充填物多为绿泥石、方解石、石英等（照片2）。岩石主要由斜长石和次闪石组成，辉石只以残留体状态存在于次闪石的核心部位。斜长石含量35—45%，次闪石（+辉石）占50—65%。矿物结晶粒度一般为1毫米。副矿物亦很简单，只见磷灰石和钛铁矿（多已蚀变为白钛石），含量分别为2—3%左右。很突出的特点是不见橄榄石和磁铁矿。斜长石板条状，往往形成斑晶，含钙长石分子数50—68%，少量样品经X光衍射和费氏台测定，有序度不超过0.5，再考虑形成时间较老，后期蚀变作用的影响，形成时的有序度可能更低。辉石属透辉石—普通辉石或可能存在易变辉石。次闪石属普通角闪石。玄武岩遭受绢云母化、钾长石化比

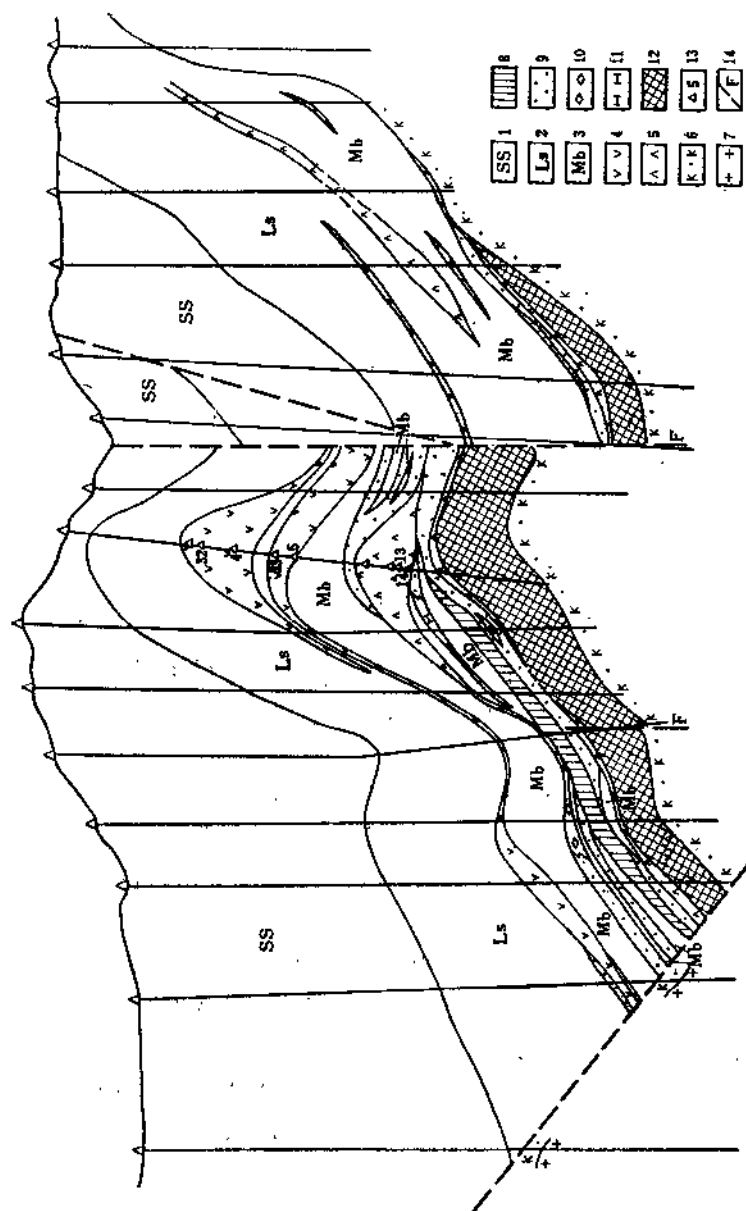


图6 马坑铁矿61线剖面图

1—P₁—P₁w 泥板岩、砂岩；2—灰岩；3—大理岩；4—安山岩；5—玄武岩；6—辉化、硅化玄武岩；7—花岗岩；8—黄岩—磁铁矿；9—透辉石—磁铁矿；10—方解石—磁铁矿；11—粒硅铁石—磁铁矿；12—主矿体；13—岩石化学分析采样点及编号；14—断层线

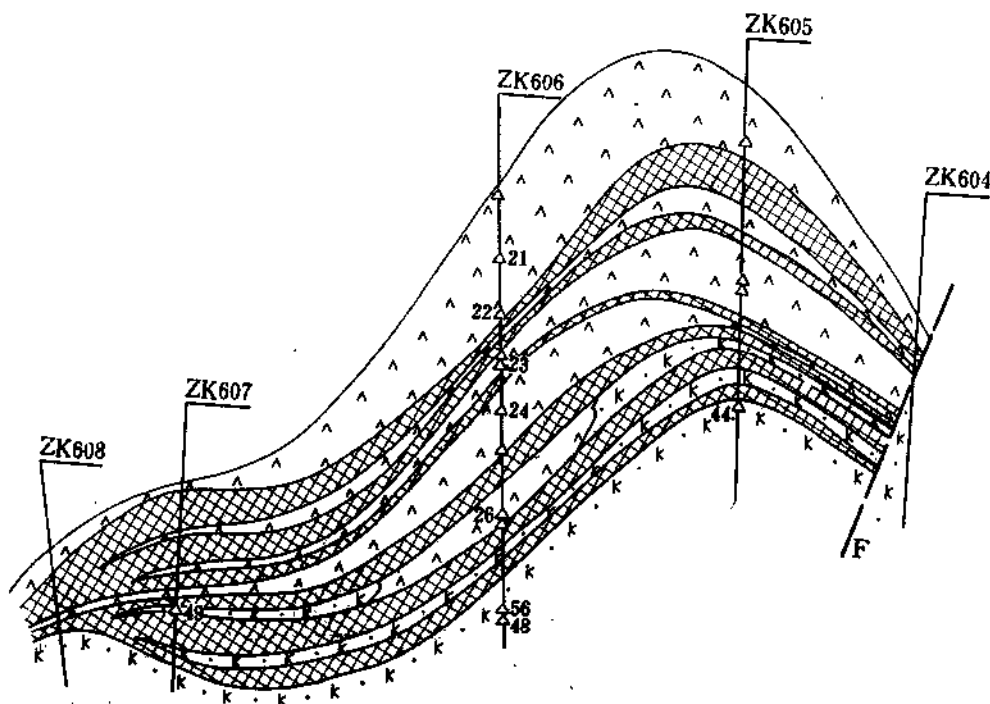


图7 马坑铁矿60线主矿体剖面图
(图例同图5)

较普遍,使得很难找到新鲜的岩石标本。薄片观察,斜长石多已不同程度的绢云母化,有些已形成不具一定晶形的细晶钾长石。由于绢云母化、钾长石化的结果,使得很多的分析样品 K_2O 含量增高,甚至达2—3%。

次闪石化辉石安山岩 主要分布于含矿建造上部(即第一、二层),主矿体下部个别部位见到。岩石呈深灰—灰黑色,块状构造,以似斑状,聚斑状连续不等粒状结构为特征(照片3、4),基质多为交织结构,连续不等粒结构。岩石主要由斜长石、次闪石和石英及少量钾长石组成。斜长石含钙长石分子数10—40%,含量50—65%,次闪石含量30—35%,石英5—10%。石英、钾长石多呈不规则状或相互组成似文象结构分布于斜长石粒间。常见副矿物为磷灰石和白钛石。矿物结晶粒度很细,一般为0.2—0.5毫米。

3. 火山岩岩石化学成分特征及分类

为研究本区火山岩的岩石化学成分特点,不同单位曾相继做过大量的岩石化学成分分析,但由于后期蚀变作用影响,绝大多数样品分析结果都不能代表原始岩石的成分。本文作者对不同层次的岩石采集具代表性的新鲜样品(16个)做了分析,并收集有关分析资料共31个列于表2。按岩石中 SiO_2 和 $(Na_2O + K_2O)$ 的含量及其相关变化,把分析结果投入密德莫斯特分类图解(E. A. K. Middlemost, 1972)中(图8)。从图可见这些样品明显地集中在两个范围内,一是Ⅱ区(碱性玄武岩区)及其与Ⅰ区(亚碱性玄武岩区)的分界线附近;另一是集中于Ⅳ区(安山岩区)和Ⅴ区(安粗岩区)的分界线附近,它们均属由亚碱质岩系向碱质岩系过渡的类型。

马坑铁矿区安山岩、玄武岩化学成分 (重量%)

表 2

		序号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	TiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	灼减	加和
安山岩	第一层	1	56.05	13.96	2.08	6.15	8.26	3.54	0.23	2.05	2.30	2.52	0.34	1.81	99.29
		2	54.52	13.56	1.91	7.55	5.97	4.72	0.61	2.06	1.58	2.92	0.31	2.97	98.68
		3	55.08	13.51	1.13	7.68	8.26	4.38	0.26	2.05	3.50	1.49	0.31	1.84	99.49
		4	54.58	13.90	1.33	11.26	5.45	2.85	0.19	1.62	2.32	2.88	0.32	2.56	99.26
		平均	55.06	13.73	1.61	8.16	6.99	3.87	0.32	1.95	2.43	2.45	0.32	2.30	99.19
	第二层	5	54.00	13.21	1.59	10.40	6.37	3.19	0.54	1.68	4.78	1.59	0.33	2.10	99.78
		6	56.17	14.58	1.58	7.13	6.32	3.24	0.36	1.76	3.66	2.45	0.24	2.73	100.23
		7	56.06		1.86	9.06	5.51	8.52			3.10	2.37			
		8	56.54	13.60		11.08	6.64	3.08	0.20	1.72	3.29	2.37	0.24	1.02	99.78
		9	55.48	13.52		8.85	8.09	2.94	0.53	1.87	3.70	3.24	0.36	2.00	100.58
		10	56.16	13.16	1.24	9.43	5.72	2.79	0.35	1.58	4.44	1.90	0.34	2.34	99.95
		11	55.05	14.10		8.80	7.29	3.26	0.53	1.87	3.63	3.05	0.34	2.21	100.13
		12	55.24	14.25	1.63	7.73	6.72	3.53	0.45	1.86	3.63	2.96	0.29	1.38	99.57
	平均	55.59	13.77	1.56	8.75	6.58	3.19	0.42	1.76	3.78	2.49	0.31	1.97	100.17	
	平均	55.32	13.75	1.59	8.46	6.79	3.53	0.37	1.86	3.11	2.47	0.32	2.14	99.71	
玄武岩	第三层	13	46.48	13.55	2.23	9.17	11.90	7.09	0.43	1.33	2.48	1.08	0.14	3.87	99.75
		14	48.38	14.02	1.57	9.00	11.47	6.74	0.61	1.81	2.41	1.32	0.17	3.03	100.53
		15	47.22	13.90	2.22	8.40	10.94	7.06	0.59	1.93	2.23	1.48	0.12	2.55	98.64
		16	46.77	13.19	1.46	9.43	11.23	7.12	0.48	1.88	2.08	1.25	0.17	3.74	98.80
		17	47.87		2.18	9.25	10.74	6.76			2.36	1.20			
		18	48.63	14.41	1.54	9.95	8.60	6.55	0.22	2.05	2.45	1.59	0.12	2.95	99.06
		19	47.44	13.60	1.91	9.76	11.48	7.70	0.39	1.76	2.68	0.62	0.19	1.85	99.33
		20	47.72	13.39	1.48	10.76	12.01	7.23	0.24	1.58	2.47	0.79	0.16	1.58	99.41
		平均	47.56	13.72	1.82	9.47	11.04	7.03	0.42	1.76	2.40	1.17	0.15	2.80	99.34
	第四层	21	47.72		2.56	9.50	9.18	7.24			1.78	2.65			
		22	49.13	13.63	1.97	10.68	8.00	6.74	0.50	2.05	2.32	1.75	0.96	2.20	99.93
		平均	48.43	13.63	2.27	10.09	8.59	6.99	0.50	2.05	2.05	2.20	(0.96)	2.20	99.96
	主矿中	23	48.14	13.56	1.94	9.25	8.97	7.05	0.50	1.95	1.03	2.42	0.17	3.41	98.39
		24	47.30	13.69	2.52	9.09	10.24	8.15	0.56	1.30	1.41	2.94	0.11	2.58	99.89
		25	47.92		2.57	10.18	9.92	7.92			1.90	1.77			
		26	49.74	13.47	2.08	8.67	9.72	7.42	0.53	1.55	2.13	1.85	0.07	2.61	99.84
		27	48.78		2.64	8.39	10.42	7.90			2.08	1.64			
		平均	48.38	13.57	2.35	9.12	9.85	7.69	0.53	1.60	1.71	2.12	0.12	2.87	99.91
	主矿下	28	49.37	13.86	1.87	9.67	10.86	7.51	0.25	1.65	2.16	0.81	0.08	1.51	99.40
		29	47.64	13.00	2.07	9.02	11.15	7.56	2.49	1.85	2.63	1.26	0.16	1.99	98.82
		30	48.59	13.52	1.54	11.20	10.11	7.71	0.30	1.64	1.83	0.99	0.13	1.21	98.77
		31	49.05	13.85	2.12	8.53	9.38	7.21	0.59	1.89	2.23	1.61	0.13	2.11	
		平均	48.66	13.56	1.90	9.61	10.38	7.50	0.41	1.76	2.21	1.12	0.13	1.73	98.97
	平均	48.36	13.60	2.04	9.49	10.19	7.42	0.45	1.74	2.09	1.50	0.13	2.34	99.35	

其中1、2、6、15、16、23、31来自福建地质局八队；8、9、11、12、19、20、29、30来自福建原121队，其余由原地矿所八室分析。平均安山岩按1:1平均，平均玄武岩按2:1:3:5平均