

我国火山岩和火山作用的研究进展

——第二届全国火山岩会议综述

干 国 梁

(宜昌地质矿产研究所)

本文根据全国第二届火山岩会议情况,从火山地质和火山岩岩石学、火山岩地区成矿作用以及学科前沿理论及新技术方法等方面介绍了我国火山岩和火山作用的研究进展,最后提出了这一研究领域今后的努力方向。

关键词: 火山岩; 火山作用; 火山岩地区成矿作用; 研究进展

第二届全国火山岩会议于1991年10月16日至20日在天津召开。这次会议的中心议题是“火山岩、火山作用及其与资源、环境的关系”。会议交流的内容相当广泛,涉及到我国各地区火山岩(包括我国东部环太平洋中新生代陆相火山岩和西部古生代造山带和元古代活动带海相、海陆交互相火山岩)的火山地质学、区域岩石学、地球化学,以及火山岩地区有关矿产资源及其形成条件和开发,还涉及到火山岩和火山作用研究领域某些学科前沿的理论和新技术问题。这次会议展示了我国火山岩和火山作用研究方面的最新研究成果和进展,也反映了这一研究领域今后应当加强的研究方向。

火山地质和火山岩岩石学研究进展

1. 岩类学

火成岩岩类学研究是火成岩岩石学、岩石化学、地球化学及成因研究的重要基础。这次会议上不仅由王碧香介绍了国际火成岩分类命名的研究现状和动向以及超镁铁岩、煌斑岩、碳酸岩、金伯利岩和霞石岩类分类学方面的成果,而且也有人提出、报道了一些新的岩石类型。肖晋等在湘南地区发现了大量的“全硅质”陆相火山岩和次火山岩(隐爆角砾岩)。前者以中心型火山机构形式产出,岩石主要由微晶石英和隐晶硅质构成,具流动构造和流动熔蚀状构造。后者具特征的爆碎结构,多形成椭圆状和等轴状角砾岩体,角砾岩体水平分

带性明显,角砾成分主要为不同深度围岩的爆碎产物,胶结物主要为微晶石英和隐晶硅质物。在化学成分上,极富 SiO_2 (一般 $>95\%$), $\text{FeO}>\text{Fe}_2\text{O}_3$, 相对富U、Mo、As、Cr、Au、Hg、V、Ni、Pb、Zn, 贫REE($<15\text{ppm}$), 不出现明显Eu负异常,而且石英中包裹体含盐度较低(<6 , $\text{NaCl wt}\%$)。在矿化特征上,普遍发育U、Au及多金属异常或矿化,有些还产出有大型含金的U(Mo)矿床和大型Pb、Zn、Au(Ag、U、Cu)矿床。肖晋等指出,该类岩石可能由“挥-硅岩浆体系”所形成,其成岩成矿物质来源于地幔岩浆与地壳物质混熔的产物,属混合源型。冯家麟、谢漫泽等报道了世界上十分稀少的一类岩石——球状岩。球状岩产于山西同洞沟,岩石由两部分物质组成:一部分为早期形成的呈紧密堆积的、大小相近的球体;另一部分为球体之间的晚期形成的胶结物。球体多呈圆形,直径 $1.4\sim 6.2\text{cm}$,具明显同心圆环带构造,自内向外分别为角闪石集合体环、斜长石集合体环、角闪石斜长石集合体环和斜长石集合体环。胶结物主要为角闪石集合体(占 90% 以上),少量为斜长石等矿物。从球状岩整体成分来看,应属基性岩或偏基性岩范畴。其成因有待进一步研究。曾广策等^①在海南省北部蓬莱岭也发现一种产出稀少的熔

^① 康先济、付建明对此也作过初步研究,定名基本相同。但未在会议上报道。

岩——莫来铁尖晶岩。这种岩石以小透镜体形式产于碱性橄辉玄武质凝灰岩中，隐晶结构，主要由铁尖晶石、莫来石、火山玻璃及少量铁板钛矿组成，其化学成分特征是贫 SiO_2 (35.87%)、异常富 Al_2O_3 (32.59%)、 Fe_2O_3 (14.02%)、 FeO (11.07%)、 TiO_2 (4.73%)。他们认为这种岩石是该区深部岩浆演化趋势（原始玄武岩浆→橄辉玄武岩→碱性橄辉玄武岩→碧玄岩→莫来铁尖晶岩）的最终产物。王建国提出，大兴安岭扁扁山岩钟的岩石类型属于一种特殊的次火山岩——自岩浆角砾岩（指由侵入作用所形成，具斑状结构，大部分斑晶均已破碎和分裂，基质则具有属于酸性成分熔岩典型结构的一种岩石）。其主要特征是：产于火山机构中，产状为岩钟状次火山岩体；风化后具凝灰岩外貌，原岩具典型岩浆岩特征，即既具有岩浆岩结构、构造特征，又具有火山碎屑岩的结构、构造特征；形成于不稳定的构造环境中——构造断裂带附近。

2. 火山地质

孙善平简要介绍了我国火山地质学的研究历史和现状。王玉生等讨论了火山活动系列中的旋回、相系、作用机制、环境、岩石组合类型及其与火山构造的关系，指出一套发育完全的火山活动系列，从早到晚可划分出3个旋回（初火山、主火山和破火山旋回）和4大相系（沉积喷发相系、喷发相系、喷发沉积相系+浅成侵入相系，分别与3个旋回相对应）。臧尧龄等讨论了中国东北中生代断陷盆地中岩浆活动的多旋回性、火山岩系特征、喷溢作用方式及多重岩浆在时空上的演化规律。谢家莹等指出，中国东南大陆中生代火山活动的基本特征是：时间上具多旋回性；空间上具分区性和迁移性；规模强度具双向演变趋势；成分上具共同性和演化的差异性；火山喷发中心具迁移性和继承性。

3. 火山岩岩石学

孙善平等初步提出了一个火山碎屑岩成因类型划分方案，将其划分为3个类型（地下爆发火山碎屑堆积型、陆上火山碎屑堆积型和水下火山碎屑堆积型）和16个亚型。陈小明等研究了浙东南雁荡山地区不同产状（喷出相和次火山岩相）的流纹质成分熔结凝灰岩。前者一般分布于火山机构外围地带，其熔结条带所显示的流面产状较平缓，在同一冷却单元中显示出完整的火山灰流冷却单元特征，即从下到上岩石组合为未熔结→弱熔结→强熔结→

弱熔结→未熔结凝灰岩。后者一般分布于火山通道及与火山作用有关的断裂构造中，其熔结条带所显示的流面产状平行于与围岩的接触界面，与围岩呈侵入接触关系。结合基质特征的扫描电镜研究以及到玻屑、晶屑与基质关系的研究，他们认为这两种凝灰岩具有不同的成岩物理化学条件和成岩方式：喷出相熔结凝灰岩是塑性、半塑性及部分刚性的不等粒碎屑在较长一段时间内保持较高温度条件下压结成岩；而对次火山岩相熔结凝灰岩来说，成岩时基质表现出液态流体性质，整体上说，它是介于灰流型熔结凝灰岩与熔岩之间更接近熔岩的一种过渡岩石。黄克玲、周鸣镛对一直有争议的相山“主体岩石”进行了镜下显微结构分析，发现①岩石中含有10~20%或更多的塑性浆屑和塑性玻屑及火山灰屑。这些塑性体具明显的熔结凝灰结构；②占岩石中50~70%的所有“斑晶”矿物黑云母、石英、钾长石、斜长石都或强或弱地表现出破碎、破裂的形态特征，而且破碎的晶体之间存在着粒间显微应力效应；③岩石中含量约5~10%的变质岩、砂岩等棱角状刚性岩屑几乎无热接触变质现象，不具热烘烤变色边或热变质边，表明刚性岩屑为火山爆发作用的产物，具有个体堆积的特征，岩石中的基质、浆屑、晶屑及刚性岩屑普遍不同程度地遭受重结晶或改造作用，反映火山碎屑物在堆积过程中普遍遭受强烈热流体的作用。由此他们认为这一巨厚层状火山岩可能是由火山凝灰岩、熔结凝灰岩及熔岩等多次重复叠加的互层岩石经热流体作用而成的“统一”岩性。程万明、史宝玉研究了冀北丰宁、围场等地火山岩区的玄武质、粗安质、流纹质火山弹的基本特征，指出岩浆因 SiO_2 含量不同所造成的粘度上的差异以及气体多少，不是形成火山弹的关键，而火山爆发强度和岩浆在火山口（喷发之前）的凝结程度才是形成火山弹的关键条件。此外，黄光昭、尹家衡讨论了蒸气岩浆爆发岩的判别及其研究意义。谢家莹等分析了碎斑熔岩和火山碎屑流的相特征与相模式。

4. 火山岩的构造环境

王碧香、李兆鼎分析了中国火山岩组合的时空分布特点及其构造意义，指出了从元古代→早古生代→晚古生代→中生代→新生代火山岩分布特点、岩石组合及构造环境的演变特点，并认为我国火山岩的时空分布特点反映了我国上地幔组成的横向不均一性，反映了大陆构造历史 and 不同发展阶段的基

本构造格局,反映了岩石圈演化趋势和动力机制,也反映了中国大陆岩石圈与美洲大陆的明显差异性。徐公愉讨论了中国元古宙火山作用的地质构造背景特点,认为它从一个侧面反映出元古宙的地壳演化和元古宙活动带的形成受控于板块构造机制和裂谷作用。

就中国东部地区来说,陶奎元论证了中国东南大陆(沿海)火山带在环太平洋火山带中的独特地位。谢芳贵、谢家莹基于地球化学研究,认为中国东南大陆中生代火山岩既不同于岛弧型火山岩,也有别于安第斯山型活动大陆边缘火山岩,而是属于大陆边缘靠板内环境下的产物,可称为“陆边缘内型”火山岩。冯宗帜通过对福建中生代火山岩的研究,也得出与此相同的结论。而且,冯宗帜进一步指出,福建火山岩的火山活动环境演变为:自 $T_2 \rightarrow J_1 \rightarrow J_2 \rightarrow K_1$,由断陷扩张 $\rightarrow$ 挤压 $\rightarrow$ 拉张。

就西部地区来说,莫重学等指出了三江造山带中弧火山岩的多样性,并认为岩浆混合作用和地壳物质的混染作用是造成弧火山岩多样性的主要机制。夏林圻等恢复了北祁连早古生代加里东旋回活动大陆边缘沟—弧—盆体系的形成演化,并指出它经历了一个由大陆裂开 $\rightarrow$ 大洋化 $\rightarrow$ 沟、弧、盆体系形成和完善 $\rightarrow$ 洋盆收缩闭合 $\rightarrow$ 碰撞造山的全过程,在其每一阶段均发育了具有相应岩石地球化学特征的海相火山活动。

此外,对于陕西、青海、新疆、云南以及北京等地区各时代火山岩的构造环境,许多人也作了研究。

5. 火山机构及其控矿

谢家莹总结了火山机构发展演化阶段及与成矿作用的关系,以及火山构造中矿产赋存部位的规律性,指出在发育初期拗(断)陷阶段可形成某些火山沉积矿产,在主喷发作用阶段可形成酸性玻璃质岩系列矿产(如沸石、膨润土、珍珠岩等),在破火山口—侵入(出)作用阶段可形成各种金属、非金属矿产,在火山活动后期地热体系热水循环阶段可形成浅成、超浅成中低温Ag、Au、Pb、Zn热液交代—充填矿床。尹家衡等将火山构造分为3级,并指出火山机构中矿产的主要赋存部位为:火山机构与区域构造复合部位;火山机构内侵入、侵入岩的内外接触带;火山机构周边环状断裂内外侧;环状、放射状断裂、火山穹窿、火山通道中;火山机构的层间滑动破碎带、挤压破碎带中,以及火山机构内的地热活动区。冯祝平研究了山西灵丘县太

维山银矿的火山构造特征,认为从找矿的角度来说,破火山口中的火山口构造,以及与断裂构造交汇处是找矿的重要构造标志。

此外,韦德光、冯宗帜指出,福建戴云山巨型环状火山构造是环太平洋中生代火山带中罕见的—一个规模巨大(长轴约170km²,短轴约100km²)、结构构造复杂(其中包含数以近百的形态、大小不一的次级环状构造)的环状火山构造,经初步分析,认为中心式火山活动、白垩纪继承性的火山喷发作用及火山边缘的岩浆侵入,是造成该巨型环状火山构造具有环中环、环套环结构构造特点的主要原因。

6. 熔融包裹体

王碧香、张元奇通过研究南极乔治王岛菲尔德半岛第三纪火山岩中的熔融包裹体,发现透辉石、斜长石中熔融包裹体的气相成分以CO₂为主,其次为H₂S、CH₄、CO,少量为N₂、O₂、H₂O、H₂,反映出上地幔顶部熔浆在结晶早期主要由CO₂和硅酸盐熔体组成,H₂O极少。他们还发现从喷发早期到晚期,透辉石的熔融包裹体中CO₂含量逐渐增高,H₂S、CH₄、CO含量却不断降低。赵太平等研究了江苏溧水白垩纪橄榄安粗岩系列火山岩斜长石斑晶中的熔融包裹体,发现其主要组分为SiO₂(63.38~85.38%)、Al₂O₃(7.16~19.06%)、K₂O(5.05~11.89%),反映出岩浆结晶过程中与结晶矿物平衡共存的残余岩浆成分富硅富钾。

火山岩地区成矿作用研究进展

这次会议上交流论文所涉及的火山岩地区的矿产以Au、Ag贵金属矿床最多,其次为Cu、Pb、Zn多金属矿床和放射性U矿床,极少为非金属矿产。

1. Au、Ag贵金属矿床

李兆鼎等根据成矿地质背景,将火山岩地区Au矿分为4大类:①产于超镁铁质、镁铁质火山岩和与之伴生的火山—沉积岩中的Au矿、Ag—Au矿和Hg—Au矿;②产于安山质和安山英安质火山岩、次火山岩和根部相侵入岩中的Au矿、Ag—Au矿和Au—Cu矿床;③产于流纹质或流纹英安质火山岩、次火山岩和火山根部侵入岩中的Au矿、Au—Ag矿和含Au的Ag—Pb—Zn矿;④产于火山—沉积岩、浊流岩和碳酸盐岩中的Au矿、Hg—Au矿和含Au的Ag—Pb—Zn矿。任富根认为岩浆侵入—火山喷发活动能为Au的成矿提供各种必要条件,

它不仅能提供深部的矿质, 而且在其活动过程中可以使Au活化转移, 并产生搬运矿质的流体介质。此外, 它所必须具有的断层构造还可以提供矿质迁移通道和赋矿空间。华锡棠总结了陆相火山岩Ag—Au矿的成矿规律及控矿构造模式, 认为该类矿床的成矿背景决定了它以Ag为主的特色, 其成矿特征为成矿时间上具滞后性、成矿作用具长期性和聚集性、矿化分带具间距性、成矿元素和围岩蚀变具分带性, 其矿田(床)构造模式有: 深大断裂上盘次级羽状断裂构造、交叉构造、复杂化的火山洼地构造、基底断裂与串珠状环形火山机构叠加构造和先后形成的破火山口叠加组合构造。

就其他因素来说, 刘家远指出花岗质潜火山杂岩与Au、Ag贵金属成矿有极密切的成因联系, 可形成各种类型Au、Ag矿床。傅祥林等认为河南瑶沟金矿成矿主岩(熊耳群中、中酸性火山岩和火山角砾熔岩及有关的次火山岩)中的金矿化与钾化有密切关系, 并指出金矿体均位于钾化最发育之处。

2. 放射性U矿床

方锡珩总结了我国火山岩型U矿的基本地质特征及成矿规律: ①集中分布于中国东南部, 绝大多数均产于中生界火山岩系中; ②矿床产于活动大陆边缘的陆相火山岩系中, 火山岩以酸性岩为主, 夹少量(偏碱性)中性岩; ③矿带受火山(岩)喷发岩带控制, 矿田主要受火山盆地控制, 而且, 从盆地盖层与基底岩系的关系、火山旋回和盆地形成方式等方面来说, 上迭式盆地、双旋回盆地、塌陷式盆地较为有利; ④矿床、矿体受火山盆地内的火山构造和区域断裂的复合部位控制, 矿化常具多部位性和多层次性, 还具有双侧伏规律。含矿主岩以次火山岩、熔岩和熔结凝灰岩为主; ⑤矿化年龄明显晚于含矿主岩(火山岩), 一般差20~60Ma; ⑥伴生的成矿元素以Mo为主, Ag、Au、Be、P等次之; ⑦矿化贫富、垂幅与围岩蚀变的关系: 矿石品位为迪开石型>钠长石型和水云母型, 矿化垂幅为水云母型>迪开石型和钠长石型。段清春初步分析了陆相火山岩热液型富U矿床的形成地质条件, 认为富U的基底、优越的盖层、良好的结构、有利的构造、强烈的蚀变、多期次叠加等地质条件的联合作用, 才能形成富U矿床。王玉生等提出, 破火山旋回活动带对于火山岩型U矿有重要的找矿意义。他们指出: 火山岩型U矿主要形成于破火山旋回、

定位于破火山旋回活动带内, 由破火山作用形成的断裂系统、隐爆构造、破火山塌陷、次火山侵入及界面滑脱等部位, 常控制着U矿的空间分布。

3. Cu、Pb、Zn、Fe、Mn多金属矿床

这次会议交流论文所涉及的Fe、Cu、Pb、Zn、Mn多金属矿床基本上集中于我国西北地区与海底火山作用有关的海底火山喷发沉积(变质改造)矿床。任秉琛总结了这类矿床的地质环境和矿床类型, 指出矿床大都位于活动大陆边缘构造—岩浆带中或板内裂谷—构造岩浆带中, 其成矿时代为隐生宙和显生宙, 从矿化类型来看, 隐生宙矿床的特点是Fe与Cu共生, 显生宙矿床的特点是以Cu、Pb、Zn矿化为主。

黄世坤认为与大洋中脊、岛弧、沟系统有关的海底火山—喷溢热水除可以形成多金属硫化物沉积外, 还可形成Mn矿。他还列出了一系列证据, 以论证我国一些大型Mn矿(如广西下雷、木圭、云南斗南、鹤庆、贵州遵义、松桃、湖南民乐、辽宁瓦房子等)均系古海底火山喷溢热水沉积矿床。

4. 非金属矿产

苏良赫、孙善平总结了我国东部地区分布广泛、储量丰富的沸石岩和膨润土的地质产状和矿物学特征, 指出它们主要产于中生代中酸性火山岩系中, 更集中于晚侏罗世和早白垩世陆相地层中, 与中酸性、酸性凝灰岩密切共生, 两者常共生在一起构成大型沸石岩和膨润土矿床。沸石岩的主要矿物成分为斜发沸石和丝光沸石, 两者常共生在一起。膨润土的主要矿物成分为蒙脱石, 靠近地表主要由钙蒙脱石组成钙基膨润土。深部主要由钠蒙脱石组成钠基膨润土。徐海江认为在闽、浙、赣、粤、内蒙等地均有产出的火山碎斑熔岩为一成因特殊的火山岩石材, 它质地均一, 整体性好, 有可利用性。钱祖廉以河北张家口地区玄武岩为例, 阐明了玄武岩广阔的开发前景, 指出它不仅是普通建筑石料, 而且是有特殊用途的优质板材和筑路石料及保温原材料和蓝、绿等宝石之源。此外, 在其喷发间隙面上还可能产出硅藻土矿床。通过初步研究, 李民兴认为产于冀北二叠系中—中酸性火山岩中的朝阳湾叶蜡石矿床为火山期后热液蚀变成矿的典型实例。

学科前沿理论及新技术方法

1. 元素分配系数研究

为改变目前国内外元素分配系数资料分散、不

系统、难以参照使用的状况,笔者经大量资料(2万多个数据)的收集和整理,提供了一套较完整、实用的矿物/熔体间元素分配系数资料,它涉及到8大类主岩(钙碱性、碱性基性岩、钙碱性、碱性中性岩、钙碱性、碱性、过铝酸性岩和超酸性岩)、28个矿物(橄榄石、单斜辉石、斜方辉石、角闪石、黑云母、金云母、斜长石、钾长石、石英、磁铁矿、钛铁矿、石榴石、锆石、榍石、磷灰石、褐帘石、黄玉、堇青石、蓝方石、白榴石、霞石、白磷钙矿、镁铁钛矿、板钛矿、黄长石、钙钛矿、尖晶石、金红石)、70个元素(Li、Rb、Cs、K、Na、Ca、Sr、Ba、Mn、Fe、Mg、Cu、Pb、Zn、Co、Ni、Be、La、Ce、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y、Sc、Cr、In、Ga、Al、B、Cd、Sb、Bi、U、Th、Zr、Hf、Si、Ti、Ge、Sn、Mo、Nb、Ta、W、V、P、F、Cl、S、N、O、C、As、CH、Pu、Re、Os、He、Ne、Ar、Kr、Xe)。在此基础上,笔者不仅以更充分、全面的资料阐述了前人初步提出的矿物成分和熔体酸度、碱度对分配系数的影响,而且还阐述了前人未注意到的矿物结构(架状、层状、链状、岛状)和熔体铝过饱和度对分配系数的重要影响,并指出这些变化规律可作为预测未知元素分配系数的基本准则。

2. 新技术方法

喻乐华根据Moore(1970)以及Fisher和Schmincke(1984)的研究资料,建立了玄武岩浆中 H_2O 含量与 P_2O_5 、 K_2O 含量的线性回归方程,以此作为一种估算玄武岩浆中 H_2O 含量的方法。张招崇介绍了由火山作用形成的自组织矿物结构的例子(如斜长石的振荡环带、科马提岩中的橄榄石枝状晶体、球状枕状玄武岩中的放射状、树枝状斜长石晶体以及流纹岩中的球粒),并指出当岩浆晶中

体在远离平衡的条件下形成时,利用耗散结构理论以及分形理论来描述并阐明火成岩中的自组织矿物结构显然要比传统方法要合理得多。

3. 岩浆物理性质研究

岩浆物理性质研究近几年在我国开始受到重视。会上莫宣学介绍了国外岩浆熔体结构的研究现状。笔者发现岩浆成分对分配系数的影响可用熔体结构理论(如聚合作用模式)得以解释。冯家麟等对汉诺坝玄武岩的研究表明,玄武岩的结构特点以及岩石是否携带深源包体与玄武岩熔体结构和过冷度有密切关系。

4. 火山岩数据库的建立

尚如相等建立了一个火山岩数据库管理及应用系统,它将数据库和方法库有机地结合成一个整体,将数据库分为岩石学、主要氧化物、稀土元素、微量元素、同位素、单矿物及资料来源文献等7个子数据库。该系统具有数据库管理、数据处理、图型功能和火山岩分类命名等主要功能,可促进火山岩研究工作的现代化。

今后的努力方向

李兆鼎在大会总结上指出,我国火山岩和火山作用研究今后的努力方向是,应当在普遍提高火山岩地区基础地质调查程度的基础上,一方面要积极发展火山岩和岩浆作用学科领域(包括火山地质学、火山岩岩类学、区域岩石学、区域地球化学、岩浆物理学、成因地球化学、实验岩石学及统计分析和数值模拟等)的理论和方法,跟踪国际学科发展前沿和有关高新技术,另一方面要扩大服务面,以学科理论、方法为手段,为解决某些综合性、高层次的重大地质问题以及资源环境问题(如岩石圈演化的动力学机制、某些重要矿产资源短缺问题和环境地质问题、“全球变化”问题)服务。

New Advances in Studies on Volcanic Rocks and Volcanism

in Our Country—A Summary Covering the Papers

Presented in the Second All China Conference on Volcanic Rocks

Gan Guoliang

The 2nd all China conference on volcanic rocks was held in Tianjin, October, 1991. The papers read out at the conference involve the progresses of our country in studies on volcanic geology, vulcanopetrology, mineralization in volcanic-rock province, theories of frontier disciplines and new techniques and methods. The author tries to sum up the main points of these papers and gives the main direction of attack in this domain field hereafter.