

质。长石显微海绵状结构中充填有沸石，因沸石晶体结构的特点，使其具有较强的离子交换性能、吸附性能，较大的比表面积、化学反应性（脱铝—解硅—吸钙）。因而可以除去某些有害杂质，除去硬水中的Ca，而起到净化、软化的作用。在麦饭石主矿物中赋存沸石，是其理化性质、功效的重要因素。

由于麦饭石富含有人体所需的微量元素和其主矿物长石特有的次生显微海绵状结构等特点，而赋予麦饭石有益的理化性质和功效，它既不同于一般同类岩石，也不同于完全由沸石或粘土矿物如蒙脱石所组成的矿石。因此，长石中沸石矿物的存在和其特殊的次生显微海绵状结构，可作为麦饭石的地质判别标志之一。

根据麦饭石主矿物和次生的蚀变矿物，矿床形成经历了岩浆、热液和风化作用阶段，其中热液作用阶段可能是主要的成矿阶段。

国内外火山岩、火山作用及其成矿关系的研究现状和今后工作的建议

李兆鼎

（中国地质科学院）

近二十年来，国际上火山岩和火山作用的研究，已超越了纯岩石学研究的范畴，紧紧围绕着以下三个目的：（1）更加详细和准确地阐明岩石圈的组成、演化及其动力学机制；（2）解决自然资源日益短缺，探索新的资源类型，扩大新的找矿和综合利用途径；（3）解决人类环境日益恶化问题，对自然灾害进行监测和预报。围绕上述主题，从课题内容、认识水平、科研途径等方面都有很大的发展，主要表现如下几方面。

1 高层次、跨学科的综合研究 （1）火山岩系列、组合与构造环境的研究：火山岩自然共生组合的岩浆系列和构造环境的研究，主要通过近代大洋中脊、大洋岛屿、岛弧、活动陆缘、弧后盆地、大陆板内活化带、大陆裂谷和地质火山岩自然共生组合的岩石学、矿物学和地球化学标志特征的研究和总结，用来分析和恢复古火山岩的古大地构造背景，并指导对成矿带和成矿系列的研究。

（2）蛇绿岩和伴生细碧岩的研究：蛇绿岩的研究，比七十年代初彭罗斯会议有了很大的前进，目前根据超镁铁质岩的组合、发育程度、伴生的火山岩和深成岩组合、典型的标志矿物，以及微量元素和同位素地球化学特征，可以把蛇绿岩进一步划分为大型洋盆蛇绿岩、弧后盆地和边缘海蛇绿岩、陆间海蛇绿岩和岛弧蛇绿岩，并分别对其扩张速度和部分熔融程度进行了定量估算。

细碧岩的“原生说”和“改造说”之争仍在进行，但越来越多的地质学、岩石学和地球化学证据，特别是实验岩石学证据更有利于“改造说”。

（3）板块边界火山岩和火山作用的研究：代表板块边界的岛弧、活动陆缘和弧后盆地

的火山岩和火山作用的研究在国际上受到广泛的重视，不仅发表了大量的专题研究论文，而且出版了系统总结的专著。研究工作表明，板块边界的拉斑系列、钙碱性系列和富钾碱性系列火山岩，是从老到新不同阶段的产物，而且在垂直岛弧的方向上，具有分带的特征。沿岛弧延伸方向火山岩的时代和组合规律的变化与大洋板块分段俯冲作用有关。岛弧和活动陆缘火山岩的岩浆形成机制，已有两种“二阶段”形成模式的观点。关于新生代板块边界火山岩和火山作用研究的理论和方法成就，越来越多地被用于研究中生代和古生代乃至元古代的火山岩带。

(4) 大陆板内火山岩和火山作用的研究，地台和地盾活化带的研究表明，活化区的断陷盆地和裂谷，在挤压环境的拉张阶段和拉张环境下，可以形成一系列大陆板内独特的火山岩组合。其中包括：以富钾流纹质、英安质火山岩为主，夹碱性玄武岩，以碱性玄武岩和玄武安山岩为主，夹粗面岩或碱性流纹岩的双峰式火山岩，钠质或钾质的碱性玄武岩和拉斑玄武岩的共生组合，以及金伯利岩、碳酸岩和碱性超基性岩的各种共生组合。碱性的与大陆裂谷有关的岩浆活动，一般认为与深部地幔的去气作用、地幔交代作用和地幔交代膨胀效应有关，并受“三联点”周围板块动力学和上地幔物质上拱形成的“地幔枕”和热柱所制约。

(5) 地幔结构和岩浆源区的研究，根据碱性玄武岩和金伯利岩及其深源包体，以及蛇绿岩的研究，特别是这些岩石的不相容元素和钨、铈同位素的研究，分别提出了地幔“双层结构”和“三层结构”模式的不同假设。多方面的证据表明地幔横向和纵向都是不均一的。玄武岩浆至少有两个不同源区：以洋脊橄榄拉斑玄武岩为代表的亏损地幔源区与以大陆裂谷碱性玄武岩为代表的未亏损的原始地幔源区。关于部分熔融产生玄武岩浆的源岩，有“辉石岩质”、“角闪岩质”、“榴辉岩质”、“尖晶石二辉橄榄岩质”等多种假设，实验结果对最后一种假设有利。不同时代玄武岩研究表明，地壳演化早期玄武岩都属拉斑系列，后来才发育钙碱性玄武岩，很晚才出现碱性玄武岩。岛弧和活动陆缘的拉斑玄武岩和钙碱性玄武岩是俯冲带洋壳脱水和产生碱性熔体，对上复楔形地幔进行改造，再发生部分熔融产生的岩浆。

(6) 下地幔和地核的研究：岩石圈及有关的岩浆活动的研究表明，它们仅仅属于巨大的地幔对流环中的一个很薄的边界层，所以研究板块、岩石圈及有关的岩浆岩，是研究地幔对流动力学模型的一个重要的边界条件。地球动力学研究说明核—幔界面是一个巨大的热界面，外地核产生巨大的热流，因此离开地核，不可能全面理解地幔。超高温、超高压实验表明，在大于50km深处， CO_2 和 H_2O 在硅酸盐熔体中很容易溶解，在深380km处，S波速突变处，对应温度为1400℃，与橄榄石相变为尖晶石结构有关，在650km处有钛铁矿相向钙钛矿相转变的不连续面；下地幔的成分模式为 $(\text{Mg}_{0.9}\text{Fe}_{0.1})\text{SiO}_2$ 和10%的 Al_2O_3 以1:1的混合物；地核主要由超高压相 ϵ -Fe组成，并含少量S、K或O等轻元素。

由此可见，上述研究，都是与火山岩和火山作用有关，但是都需要通过多学科综合研究，才能取得效果的高层次综合性的重大研究课题，其研究成果对整个岩石圈及其动力学研究有重要影响。

2. 基础研究和应用研究 (1) 火山地质学和火山学研究：这两个学科的研究及发展，同火山岩地区区域地质调查和自然灾害监测密切相关。在古火山岩地区的区域地质调查中加强了火山构造-岩相研究与火山地层学方法的结合。在以复合破火山口为中心，建立其控制

大的地层单元，并采用岩性、古生物、同位素年龄和古地磁相结合的划分对比方法方面取得很大进展，并进一步发现和证实了对应的火山地层界线，在不同地区具有非等时性。火山岩相学研究在解剖复合破火山口和次火山岩体方面，采用了遥感、物探、化探和地化地质相结合的方法，在恢复古火山作用历史和指导找矿方面取得了显著的成效。在现代火山监测研究方面，除地表地质工作之外，还采用了双发声处理、微重力网、质子旋进磁力仪测量和热流测量等综合手段，对于接收火山-地热区深部的脉冲信息、隐伏构造的活动性和了解岩浆房的深度、大小及活动性等方面，及时提供了大量有益的信息。

(2) 火山岩岩类学的研究：在这方面，有两个显著的特点，一是抓重要的、薄弱的和新的岩石类型的研究，二是抓统一分类命名，建立国家和国际级的火成岩数据库。

比较重视的岩石类型有科马提岩、钾镁煌斑岩、碳酸岩、高镁玄武岩和高镁安山岩，以及玻璃岩和凝灰质化学岩。这些岩石类型不仅本身研究程度较低，更重要的是具有特定的地质意义或找矿价值。

1979—1982年先后公布了国际火山熔岩矿物分类和火山碎屑岩的推荐方案之后，熔岩的分类方案又作过多次调整，目前多半倾向于熔岩的化学分类，并以硅和全碱为座标。新的国际方案同我国1984年推荐的方案极为相似，区别只是前者岩类分界用折线，我国方案用曲线。

(3) 火山岩地球化学研究：随着各种矿物物理分析测试手段的灵敏度和精度的迅速提高，岩石主量、微量元素和各种同位素的测定，朝着微量区、高精度和高效率方向取得了重大进展。致使研究人员有可能利用火山岩及其深源包体的地球化学数据，进行火山岩的岩浆来源、源区地幔物质组成、地幔部分熔融程度、岩浆房内分离结晶作用程度，以及岩浆形成后的混合作用的类型和混合程度的研究。在利用微量元素进行岩石成因研究时，常与同位素 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ， $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ ， $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ， $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ， $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ， $^3\text{He}/^4\text{He}$ 和 ^{10}Be 等数据资料配合。在基本建立岩浆作用过程模式和选取较准确的分配系数的条件下，可以对岩浆作用过程进行定量模拟计算。

(4) 岩石成因的实验研究：高温高压实验目前已经达到可以模拟地壳、上地幔、下地幔和地核的温压条件。流体介质传压装置实验条件为0—12kbar、20—1000℃，固体介质传压装置实验条件为0—45kbar和120kbar，20—1500℃。金刚石压力容器实验条件可达1700kbar和3500℃。对火山岩深源包体矿物组合稳定条件的研究，把上地幔自浅而深分为6个压力相，即钙长石-镁橄榄石相、尖晶石-辉石岩相、尖晶石-镁铝榴石相、榴辉-蓝晶岩相、柯石英相和金刚石-镁铝榴石相。实验表明，部分熔融产生玄武质岩浆最可能的源岩是石榴石二辉橄榄岩。在干的条件下，因压力不同，沿固相线出现的熔体成分也不同，即5kbar时为石英拉斑玄武岩；15—20kbar为碱性橄榄玄武岩、高铝玄武岩和玄武安山岩，其温度分别为1275、1225和1150℃。超高温超高压实验提供了深地幔和地核的成分模式，并测定了地幔岩的摩尔体积、弹性、电导率、光学吸收和放射衰变率等重要物性数据，在结合地震波速资料，对地幔组成和动力学机制的解释方面，有了重大突破。

(5) 火山岩的数学岩石学研究：火山岩的数学岩石学（统计岩石学）研究在多变量统计分析方面已相当普及，岩浆作用在深部和地表某些过程的数学模拟取得一定的进展。火山岩地区按矿种建立的矿床模式和评价的专家系统正在逐步发展。在建立火山岩或火成岩数据

库的基础上,通过大批量数据进行聚类分析、判别分析、主成分分析和贝耶斯原理的鉴别,对不同地区不同时代火山岩进行大范围的对比提供了可能性,此外在利用时间序列分析和马尔柯夫链的统计分析方法对火山沉积岩的划分、对比,以及对岩浆分离结晶作用研究方面取得了较好的效果。利用因子分析对应分析、相关分析和趋势分析等研究火成岩的成岩、成矿过程的控制条件和物质成分在二维或三维空间中的变化趋势方面,都取得了有益的效果。在建立火山岩控矿条件数据库的基础上,单矿种评价的专家系统的建立方面也取得某些进展。

3.火山岩地区矿产资源的研究 (1) 板块边界火山岩区成矿带的矿床系列、组合的研究:广义的“板块边界”,包括不同时代、不同大小的构造单元边界。目前可以归纳为三类,一是与裂谷和“热点”有关的碳酸岩铋、铈、磷、锶、钡、金刚石、块状硫化物和某些斑岩铜矿。二是削减作用有关的岛弧型斑岩铜-金矿、黑矿(Pb-Zn-Cu)、金矿、黄铁矿-自然硫;活动陆缘型斑岩铜-钼矿,钨、锡、萤石矿;弧后型锑矿。三是与陆间碰撞有关的斑岩铜矿、黑矿、汞矿、铀矿和金矿。

大型和特大型斑岩铜矿有两种主要类型,活动陆缘型的陆壳较厚,以铜、钼矿为主;岛弧型的陆壳较薄,以铜-金为主。大型和特大型的铅锌矿除了密西西比河谷型之外,便是火山-沉积型(包括“黑矿型”),一般形成在岛弧和活动陆缘晚期火山活动行将结束的阶段,与海陆交互的钙碱质火山岩有关。碳酸型盐铋、铈、磷、锶、钡矿和含金刚石的金伯利岩虽然都分布在稳定地台和地盾区,与裂谷构造有关,但前者主要分布在地台边缘,后者则位于固结度较高的内部。

(2) 重要矿产控矿条件和矿床模式的研究:控矿条件研究表明,火山岩地区绝大部分金属和非金属矿都是多因素复合成矿的,但对不同的矿区来说,起主导作用的因素可能有不同程度的差别。火山岩地区有关矿产控矿条件的共同特点是:①成矿带受一定的构造单元的^{边缘}活动带或单元内部活化带控制;②容矿火山岩系属于特定的系列和组合,比较有利的是海相、海陆交互相含炭质的火山沉积岩系;③容矿火山岩系下伏特定的基底岩系,比较有利的是变质的中基性火山岩系或含膏盐层的海相、海陆交互相变质火山沉积岩系。④导矿和容矿构造有两类,一类是区域性的断裂、推覆断裂、破碎带、剪切带和糜棱岩带。另一类是火山构造、比较有利的是破火山口、复合破火山口的环状断裂和破碎带,次火山岩顶部和边缘的角砾岩化带,以及火山穹丘内部的破碎带;⑤有火山-地热系统的存在,与成矿有关的火山-地热系统的主要组成部分,浅源岩浆房及岩浆向上运移的通道,地热池及加热水向上运移的裂隙、地表水、潜水及其向下渗漏的通道,以浅源岩浆房为基本热源,岩浆通道(次火山岩、岩颈和穹丘)为热柱,冷水和热水沿构造裂隙系统发生多中心对流循环。⑥火山岩地区的成矿过程,有时还有细菌生物化学作用参与。

在搞清火山岩地区各类矿床控矿条件的基础上,建立矿床模式,这种模式不是以成因方面的认识为基础,而是按可以在实际工作中加以识别的地质、矿床、构造、岩石和地球化学特征为依据,模式主要用于指导矿产资源的找寻、评价和勘探,以及建立矿床数据库和专家系统。

(3) 火山岩地区金矿的研究:这类金矿在各类金矿总储量中的比例日益增大,特别是近十年来,几乎增加了一倍,发现和勘探了九个大型和特大型的金矿。

国际上火山岩地区金矿按容矿围岩性质大体可以分为四种类型,其金矿储量据不完全统计

计为：含炭质的火山-沉积岩中的金矿占44%；英安质、流纹质火山岩及其破火山口和穹丘中是金矿占32.5%；安山质火山岩、次火山岩和火山-沉积岩中的金矿占22%；蛇绿岩类玄武岩和滑石菱镁岩中的金矿占1.5%。

火山岩地区金矿的成矿作用基本上都与火山-地热系统含矿热卤水的对流循环作用有关，但每个具体矿床在形成机制方面又有自己的特点，大体可以细分为：次火山岩-岩颈地热子系统，破火山口-火山穹丘地热子系统，火山喷气-热泉子系统，海底热泉子系统和深海沟热卤水子系统。

4. 今后工作的几点建议 (1) 选题要加强目的性：选题时，应考虑：①学科性和综合性的研究，要为区域地质调查、解决重大地质问题和深入阐明岩石圈的演化及地球动力学问题服务；②为适应经济发展需要，为指导重要和急缺矿产资源的找寻、勘查及综合利用服务；③为改善人类生活环境、减轻自然灾害和环境监测防治服务。

(2) 课题设置要分清层次，统筹规划：其基本目的是为了实现主要的科学目标和社会经济效益，为了从人力、物力、财力方面确保重点，兼顾一般，尽量减少重复。

结合我国的实际情况，项目、课题应分几个层次来组织：第一个层次是全国火山岩的古构造环境分区，及有关重要矿产资源时空分布的研究，编制全国性图件，建立全国火山岩数据库。第二个层次是几个重要的元古代和古生代造山带，中生代构造-岩浆活化带和裂谷的火山岩区(带)的综合性研究。第三个层次，在矿产方面要着重研究火山岩地区的金矿，近、富、浅的斑岩铜-金矿，大型火山沉积型铅锌矿、火山沉积型硼矿、科马提岩型铂矿、仰光煌斑岩型金刚石、碱性玄武岩中的宝石和火山玻璃岩的蚀变的非金属矿等，在火山地质学和岩石学方面，要着重研究火山地层划分对比中非等时性问题，复合破火山口、次火山岩和火山穹丘的控矿作用，大陆板内安山质火山岩形成机制，流纹质、英安质火山岩的岩相划分，隐伏岩体的地球物理研究，以及若干新的岩石类型的研究等。在成因机理方面，要着重考虑如下一些课题：根据火山岩深源包体和实验资料，建立上地幔剖面的研究，地幔岩的部分熔融和岩浆分离结晶、混合作用的定量模拟计算方法及其应用，恢复古火山-地热系统的矿物流体包裹体研究，地幔岩和火山岩熔融包裹体的研究，二辉橄榄岩，榴辉岩和角闪岩的熔融试验(10—45kbar, 1000—1500℃条件下)，超高温超高压条件下地幔矿物相转变、相平衡和含水性的研究。成岩、成矿指示元素在不同介质间的分配系数的测定，以及 ^{10}Be 同位素的测定等。

(3) 要加强科研队伍建设：火山岩、火山作用和成矿关系领域的研究是跨学科的综合课题。为了保证和提高研究成果的质量、水平，对于承担课题任务的科技人员必须不断改造和更新知识结构。承担项目和课题的单位要调整队伍的结构，使岩石、地球化学、矿床、构造地质和地球物理等各方面的科技人员，分工合作，从不同角度综合解决存在的实际问题。课题的层次越高，问题的综合性越强，越需要加强横向联合。不顾客观效果，单纯强调“肥水不外流”的做法是有害的。