

火山岩及其研究法

〔苏〕 科普切弗—德沃尔尼科夫等 著

地 质 出 版 社

火山岩及其研究法

(以哈萨克斯坦红岩蚀变的火山岩为例)

B. C. 科普切弗-德沃尔尼科夫

[苏] E. B. 雅科夫列娃 著

M. A. 彼特罗娃

周 济 群
黄 光 昭 译
张 遐 龄 校

地质出版社

内 容 提 要

本书以哈萨克斯坦红岩蚀变的火山岩为例,总结了活动带造山运动阶段喷发建造岩石的野外和室内的地质-岩石学研究经验。对喷发岩浆作用的现代概念、各种火山岩相的划分原则及其地质学特征,都作了较详细的论述。本书适宜于在火山岩发育地区工作的地质人员及地质院校师生参考。

本书第一至第五章及显微照片图版说明由国家地质总局南京地质矿产研究所周济群同志翻译,第六、七两章由国家地质总局南京地质矿产研究所黄光昭同志翻译,全书由张遐龄同志校对。对原书中某些内容比较陈旧的部分,翻译时作了一些删节。

В. С. КОПТЕВ-ДВОРНИКОВ, Е. Б. ЯКОВЛЕВА,

М. А. ПЕТРОВА

ВУЛКАНОГЕННЫЕ ПОРОДЫ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

(НА ПРИМЕРЕ КРАСНОКАМЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ
ВУЛКАНОГЕННЫХ ПОРОД КАЗАХСТАНА)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА» МОСКВА 1967

火山岩及其研究法

〔苏〕 В. С. 科普切弗-德沃尔尼科夫等著

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

1978年7月北京第一版·1978年7月北京第一次印刷

统一书号: 15038·新300 定价1.00元



目 录

第一章	活动带喷发岩浆作用的现代概念.....	1
第二章	火山岩相的划分原则.....	10
第三章	原始喷发相.....	13
第四章	次火山岩相.....	51
第五章	火山管道相.....	66
第六章	火山岩的地球化学研究及副矿物的意义.....	83
第七章	自岩浆角砾岩的地质-岩石学特征	88
	显微照片图版.....	97

第一章 活动带喷发岩浆作用的现代概念

我们不拟过多地向读者介绍关于喷发岩浆作用发展的某些最普通的概念。最近，由于地球物理学、地球化学及构造地质学资料被广泛地用于解决岩石学基本理论问题，因此，我们比以前任何时候都更充满信心地断定，许多侵入和喷发杂岩的岩浆来源是共同的，这种观点在苏联的文献中经常出现（Ф. Ю. 列文逊-列星格、А. Н. 查瓦里茨基等）。

关于岩浆来源以及地壳和上地幔构造的现代概念是极其多种多样，而且有时自相矛盾。苏联和其它国家的许多专门文献对此有所阐述，并已汇编成集，它在不同程度上论证了有关学说的概念。读者自己可以了解我国某些主要研究人员的著作内容，并迅速地评定这些观点的演化，以及作为这些观点基础的一些实际资料的代表性（别洛乌索夫，1964，1965；谢音曼，1963，1964，1965，等人）。

然而，反映地球深部物质成分演化的地质基础（岩浆岩，首先是其中的火山岩）尚研究得很肤浅。

我国许多研究人员，主要或者仅仅是在地质资料和大量的区域地质研究结果的基础上，认为超基性岩浆（超基性岩）、基性岩浆（辉长岩、玄武岩等）和酸性岩浆（花岗岩、流纹岩等）有着独立的来源。前两个来源于地球的上地幔，而酸性岩浆则是硅铝层中再生作用的结果。所谓岩浆作用，就是岩浆物质的产生和演化，以及岩浆从地球深部向地表运动的一切现象和全部过程。任何形式的岩浆作用，不管喷发的或者侵入的，要超越构造运动那是不可能的。岩浆作用和构造运动，是引起地球深部物质状态发生变化的统一体中不可分离的两个侧面。现在火山作用地区的深震源地震，就是这种作用突然变化的结果。在岩浆作用的进程中，由于克服了重力场的阻力，亦即重力、深部物质转移到上部构造层中。当岩浆达到地表后则形成其火山物质，而火山物质的状况则取决于重力作用。

导浆构造的兴起对于岩浆作用的发展有着决定性的意义。现在人们把导浆构造理解为贯通岩浆室、中间源及地球表面的深大断裂。А. Н. 查瓦里茨基曾经说过，堪察加的一些火山就是产在纵向断裂和横向断裂的交会点上，亦即产在地壳上导浆作用最强的地区。曾经研究过堪察加火山作用的 А. Е. 斯维亚特洛夫斯基（1961）指出，火山喷发作用往往同张性断裂有关。他也主张区分贯通岩浆源与地表的深火山断裂，以及同地表附近火山构造活动有关的浅成火山断裂。А. Е. 斯维亚特洛夫斯基研究苏联东北部的年轻火山作用后，得出以下结论，即在活动带的地槽发展时期，喷发中心往往沿正性构造或与之相毗连的地区而分布，如同分布有深海沟的岛一样。这个关于喷发火山作用同上升地段关系的结论，对于地槽发展的造山期的岩浆作用来说是正确的，在那里我们往往可以见到，在上升运动的隆起构造地段中，有着花岗岩类的喷发和侵入。

我们只强调指出，根据现代概念，供给火山作用中心的边缘岩浆源具有巨大的面积，在火山喷发过程内，由于这类边缘源物质数量的减少，十分自然，在它上部的地表就将沉陷

于是就形成了盆形火山口和火山构造洼地（别姆梅连，1963）。在中间源和边缘源内，岩浆沿上升通道活动并为自身成分的演化创造了条件。应当注意，岩浆也可以来源于不同水准面上的各种成分围岩中间源中，其中岩浆有着各种存在条件。

全部岩浆作用过程的实际地质资料令人信服地表明，玄武岩岩浆和流纹岩岩浆的形状，有着很大的差异性。实际上，玄武岩为安山岩和英安岩交替，即基性岩被酸性岩交替，乃是玄武岩岩浆的喷发杂岩的极为一般的现象。由此，在火山作用发育的某些阶段就会产生安山岩和玄武岩或者安山岩和英安岩极为密集频繁的互相交替。在堪察加现代化火山顶峰的火口和山麓附近喷溢的岩浆成分中岩石化学差别的事实，证明岩浆分异过程存在的真实性。更有甚者，这些现象甚至会发生发生在同一火山或导浆通道的范围内。一方面，查瓦里茨基在解释不同类型的成分在时间上的交替（由基性到酸性和由酸性到基性）时，正确地指出，这就是分异现象的强度与速度，从另一角度来说，也可说是与构造运动相互关系的反映，另一方面，列别杰夫研究了西伯利亚暗色玄武岩岩浆中的同一现象后指出，在深部的条件下既可发生分熔作用现象，也有岩浆同化现象。

现在我们尚不能准确地确定，安山岩和英安岩的形成究竟仅仅是由于分异作用的结果，抑或是由于岩浆同化和分熔现象相结合的结果？可以设想，岩石化学和地球化学资料的重新分析将有助于这方面问题的深入探讨，实际上流纹岩比较少，例如在亚美尼亚，流纹岩结束了中生代和第三纪玄武岩岩浆喷发杂岩的活动，岩石学者曾经根据与硅铝层内混杂现象有关的大量地球化学资料对这类喷发杂岩做过研究。

研究西伯利亚暗色岩建造的次火山岩相岩石证明，同样有重力分异作用参与分熔作用和岩浆同化作用，能产生多种多样的岩床和岩株。与此同时，根据一系列地球化学标志指出，在缺失安山岩的地槽带内流纹玄武杂岩和细碧英安杂岩中，岩石成分发生如此相对明显的更替，乃是由于不同成分中间源中物质供给的结果。最后，在哈萨克斯坦泥盆纪熔岩的个别熔岩流内有时也有分异现象。简而言之，派生的玄武岩岩浆中岩石的多样性，乃是不同过程的综合，而不仅仅是直到目前还被许多国外作者当作万能的N. 鲍温结晶分异作用的结果。

由中央哈萨克斯坦的萨雷苏—杰尼兹分水岭的喷发杂岩和乌拉尔东坡的喷发杂岩所获得的地质和地球化学资料，可作出如下几点结论：

1. 地槽阶段和造山运动阶段的玄武岩岩浆系来自不同的岩浆源。
2. 造山运动阶段的玄武流纹喷发杂岩岩浆则来自同时存在的各个不同的岩浆源。
3. 东哈萨克斯坦造山运动阶段流纹英安杂岩的英安岩岩浆乃是派生的流纹岩岩浆。这些英安岩就其地球化学特征和岩石化学特征而言，乃是花岗闪长岩浆的类似物，众所周知，这些生成物是由于混染作用而形成的。
4. 关于深部分异作用中的作用问题，派生的流纹岩岩浆尚未研究清楚，现在对于流纹杂岩岩石成分多样性的解释，我们只能强调有深部岩浆同化作用的可能性。

玄武岩岩浆演化的产物乃是喷发建造中最广的，这些产物在地壳发展史的整个时期内，见于地球的不同构造中：海洋、地台以及活动带。这也是橄榄岩岩浆建造所具有的特点，然而，若与派生的玄武岩岩浆相比较，它们的分布则极为有限。派生的流纹——花岗岩类岩浆，只是在地槽发展的一定时期，即造山运动阶段有典型意义。须强调指出的是，从最古老时代以至现今的最主要岩浆岩类型具有相当的稳定性。

在玄武岩岩浆方面存在这样一种概念,即不同类型的玄武岩的分布同地壳的一定构造单元相吻合。玄武岩的偏基性变种(大洋岩)为海洋的特点,偏酸性的(拉斑玄武岩的变种)则是大陆的特点。这种观点同地台和大洋下面的上层构造和温度可能存在差异的资料相一致。然而最近时期的研究结果却使这些观点受到强烈的动摇。早已查明,上述两种类型的玄武岩遍布大陆各地,最近又出现了大洋玄武岩中不存在化学专属性的看法。就这方面而言应指出下面各点因素。第一是碱性粗面玄武岩喷发物都集中地发育在大陆上(可能是深处的混杂作用结果)。第二也是主要之点,即细碧岩等几乎是全部发育在海洋条件下形成的火山岩层中。此外,还可见到地台型和地槽型超基性岩建造存在着明显的差异,它们的碱性系列是地台的特征,而非碱性系列则是地槽的特征。

上面业已指出,深大断裂对岩浆上升所起的特殊的作用。在张力作用下这些大断裂自上而下地张开。张力的存在同地球物质的涡流(коровые течения)有关。现有的夏威夷火山喷发地质资料证明,位于50公里深处的玄武岩岩浆以每昼夜约一公里(每小时40米)的速度向地表运动。近来,人们曾怀疑岩浆上升时围压力曾起着决定性的作用,推测,也有侧压力的参与。此外,岩浆上升力还与深大断裂带内所富含的气体的体积膨胀有关。由于断裂的存在,所以每当这些条件出现时,上地幔内压力就发生急剧变化,从而为地幔物质的熔化和向上运动创造了条件,也就是说,岩浆的形成与构造运动在这里具有同一性。当岩浆向上运动时,则可充填到不同深度的中间源以及更上面的边缘源中。在这些岩浆源内和岩浆运动的道路上,决定了岩石建造多样性的岩浆分异和同化现象的条件。花岗岩(流纹岩)岩浆是产生在硅铝层内具有强烈褶皱作用的活动带地区,这里常伴有急剧的温度变化。最近的一些工作证实,花岗岩岩浆的形成深度为15公里,温度 $650^{\circ}-700^{\circ}\text{C}$ 。

这样,关于活动带内岩浆作用发展的总规律问题就会自然地得出这样结论:岩浆的形成是在构造——岩浆旋回发展的进程中,由上地幔转移到硅铝层的。同时最近出现这样一种趋势,认为花岗岩岩浆的生成是由于硅铝层重熔的结果,及与之有关的花岗岩类岩石建造的多样性,同花岗岩类侵入体形成的规律性和原始淡色岩浆在其中起重要作用的花岗岩化现象的发展状况并不相符合。许多岩石学者将原始淡色岩浆视为硅铝层内共熔点熔化的结果。

活动带内的岩浆作用发展的规律性

在近年的文献中经常有人提到活动带的发展规律性问题,谢音曼(1960)曾经强调指出,活动带的发展一般不是单一旋回过程,而是多旋回过程;应当指出的是,对毕利宾拥护者的一个主要错误就是对这种情况的认识不足。在国外的论述中,以施蒂勒(1964)的观点最有意义;在博戈达诺夫(1959)穆拉托夫及哈因等(1954)的著作中都曾承袭了他的见解。根据岩浆作用的发展性质,施蒂勒划分出两种类型的地槽带:1. 伏地槽或者“火山”地槽带,该带内的岩浆作用过程获得最充分的发展。2. 冒地槽带(“无火山”地槽带),在该带内,岩浆活动只是局部短暂的,或者根本没有。

伏地槽发展初始阶段的下降运动时期,其特点是广泛出现伴有蛇绿岩建造、细碧角斑岩建造、硅质火山岩建造和其他建造的基性熔岩喷发及基性和超基性侵入体侵入的“初始”岩浆作用(根据施蒂勒)。到地槽活动的末期,上升运动和褶皱作用时期,则发生中性

和酸性成分岩浆的侵入和喷发。

地槽带转变为褶皱区以后，区内与造山运动同时通常广泛出现后成岩浆作用。即褶皱以后的后来岩浆作用，这类岩浆作用的突出特点是酸性火山岩层的形成和花岗岩类的侵入。在地台区通常出现暗色岩的火山作用。

这样，根据施蒂勒的意见，可划分出下述正常岩浆发展的四个阶段：出现硅镁层的火山作用的初始阶段，硅铝层岩浆作用同造山运动阶段和后（后造山运动）阶段，以硅铝层火山作用为特征的最终阶段。发生在固结地区和地槽系统衔接地段的边缘火山带乃是特殊的构造类型。这些构造的特点是后成类型岩浆作用的活动性增强。实质上，施蒂勒重复了早先布勃诺夫的著名图式。惟有其名词术语引起一定的困难。不能不承认，我国地质学者（Ю. А. 华利宾、B. A. 尼科拉也夫等）所提出的俄罗斯名词术语，能较完善和较准确地反映出岩浆作用过程的规律性和实质。

活动地带的形成历史通常被划分出构造—岩浆的大地构造旋回。根据别洛乌索夫的意见，旋回乃是出现在很大的时间过程内（15000 万年）振荡运动的周期变化结果。在使用“旋回”术语时，我们必须注意，发生在地壳中的地质过程是不可能逆转的，然而可能发生这样的情况，即一些（旧的）标志被另一些（新的）标志所替换，但是后者不能完全消灭旧的旋回标志，新标志的继承部分则出现有某种重复性的痕迹，也就是事物的循环性。

活动带的历史代表着振荡运动两种倾向的斗争，这两种倾向就是沉降运动（主导作用属于负向运动的地槽倾向和上升运动，主导作用属于正向运动的封闭倾向）。由于活动带从地槽倾向的旋回向活动带封闭倾向的旋回发展，因而就愈益变成继承性的，以致最后这些活动带转化为地台。我们在中央哈萨克斯坦的考察中证实了许多研究人员的观点，旋回由于沉降倾向的扩大（第一期）以及衍生玄武岩岩浆和橄榄岩岩浆的岩浆建造占优势而开始。旋回的第二个时期乃是上升的时期以及衍生的酸性花岗岩岩浆占统治地位的时候。

因此，所谓的构造—岩浆旋回具有很大的时间间隔，在这一间隔过程内，地幔物质状态发生周期性的规律变化，这种变化同样也是地壳构造运动状态、成岩过程、岩浆生成以及岩浆迁移条件有规律地发生变化和相互制约的原因。

卡辛（Н. Г. Кассин, 1931, 1937）等过去曾经指出，中央哈萨克斯坦地质历史中存在着一系列的构造—岩浆旋回。并且证实，无论是喷发形式或侵入形式的岩浆作用都有一定的方向性和序列。这种序列反映在科普切弗-德沃尔尼科夫所提出的中央哈萨克斯坦古生代的岩浆活动图式中（1956, 1960）。他在该著作中特别强调了哈萨克褶皱区发展的多旋回性质，并在博鲁卡也夫（Р. А. Борукаев 1959）所提出的范围内划分出震旦纪、萨拉伊尔、加里东及海西的构造—岩浆旋回。这些旋回的延续时间大致为：萨拉伊尔——11000 万年，加里东和海西宁——13000—14000 万年。

提醒一下，我们曾建议将构造—岩浆旋回的发展过程划分为两个时期。其中的第一个时期可以称为地槽时期，正为以上曾为指出过的，那样，这一时期的特点是广泛发育安山玄武岩成分的熔岩喷溢产物，以后又经受了绿岩蚀变作用。这些岩石的形成，往往发生在负向运动为主的海洋环境中。

第二，亦即造山运动时期，此时酸性的喷出熔岩有着重要的作用。这些喷发物发生在上升运动居主导地位的大陆陆相盆地内。红岩外貌乃是它们最显著的特征。

通常，在活动带发展的过程中，都将产生地质构造，但在构造范围内，每一旋回的不同岩浆作用产物的活动强度和结束情况都有所不同。这两个时期的岩浆活动常为褶皱幕所切断。形成于褶皱幕之间的火山岩综合体（熔岩、凝灰岩、次火山岩体等）称之为喷发杂岩。在这类喷发杂岩形成时尚未发现有很大的间断，通常可观察到火山岩物质成分的规律性变化。在多数情况下，这些火山岩都是属于同一岩浆源的派生产物。

十分自然，喷发杂岩就是具有一定地质时代的具体岩石建造。譬如，就中央哈萨克斯坦而言，这里有下一中泥盆统的安山英安杂岩和流纹英安杂岩，中泥盆统一佛兰阶的流纹英安杂岩，等等。在矿区阿尔泰可以划分出埃斐尔期和吉维齐—佛兰期的流纹玄武杂岩及法门那期的安山杂岩。如同侵入杂岩一样，喷发杂岩乃是多相的产物。这种多相性决定了新兴的岩浆系列的出现，并被称之为“形成建造”喷发杂岩的多相性同火山的多次喷发有关，并在火山岩屑的剖面中表现出火山碎屑岩与熔岩相互交替。

最后，还想略述一下所谓“火山—深成建造”，最近几年乌斯也夫等（Е. К. Устинов 1963）曾对这类建造给予了很大的注意。正如已经指出过的那样。这些概念并不新鲜。它们建立在喷发和侵入杂岩同属一个岩浆源的假设基础上。我们所研究的哈萨克斯坦地区的地质和地球化学资料不仅证实了这些概念符合实际，而且还说明岩浆活动的喷发或侵入形式，即喷发或侵入杂岩的生成首先决定于构造环境。然而，这并不意味着“火山—深成建造”一术语本身就是中肯的，因为所讲的是不同建造的结合，所以还是提“火山—深成组合”为适宜。

如果对比不同区域造山运动时期喷发物的现有资料，我们就不能发现这些喷发物的岩石建造和杂岩有着很大的多样性，绝大多数的岩石类型为玄武岩建造、玄武安山岩建造、英安安山岩建造、英安流纹岩建造以及玄武流纹岩建造，换言之，这些建造既是玄武岩岩浆，又是酸性（花岗岩类）岩浆的衍生物。有时将这些火山岩建造合而为一体统称为斑岩建造。然而这一名称并不确切，较为合适的是，不叫斑岩建造，而名之为造山运动期火山岩建造组（группы формаций）。应当指出，对中央哈萨克斯坦来说，很久以前就已发现玄武岩浆建造由基性向酸性方向发展的一般规律。然而，直到现在还不清楚决定岩石类型多样性的因素是什么。我们把这样或那样理论可能性的现实论据，加以具体化。我们业已掌握的重要证据说明，不宜进行玄武英安岩建造中的英安岩和英安流纹岩建造中的英安岩之间的岩石化学类比，因为英安流纹岩建造中的英安岩，显然是花岗岩岩浆深成混杂现象的结果。

有着同一岩浆源生成的全部标志的喷发建造和杂岩体可称之为单成岩。与此同时，还发现有复成因的喷发杂岩。而且为乌拉尔中央亚西亚及中央哈萨克斯坦造山运动时期所特有，在这些杂岩的组成中，既有玄武岩又有流纹岩。这些在成分上彼此相对立的岩石互层表明，在地壳的不同地点同时存在玄武岩岩浆源和流纹岩岩浆源。必须强调指出，在中央哈萨克斯坦的这种不同岩石的分布中，发现了下述构造控制标志：在隆起构造喷溢出流纹岩熔岩，而在凹陷构造中则为玄武岩。

也必须指出，火山作用中心分布类型有两种，即线型和面型。这点，在地质填图时很容易发现。其中每一类型都具有一定的火山岩及其岩层的某些地质—岩石学特征。查明火山作用中心具有重要的意义，因为各种不同成因类型的矿化现象，有时甚至是工业开采规模的矿化都位于火山作用中心，如赋存在脆弱带中。

正如地质填图经验所证明的, 这样一些火山作用中心可以通过综合直接标志和间接标志查明。泥盆纪、石炭纪及二叠纪的火山岩颈残迹乃是直接标志, 近几年来在哈萨克斯坦常常利用航空照片来划分这些岩颈残迹。属于间接标志者有: 存在次火山岩体的密布, 存在喷出岩钟、放射状岩脉和同心圆状岩脉, 粗碎屑的火山碎屑生成物(火山角砾岩、火山弹层等)的大面积分布。

在喷发杂岩的火山岩中可划分出不同岩相的岩石。譬如, 乌索夫(М. А. Усов 1935)曾经划分出喷出岩、岩床、岩盘相、岩脉相, 火山管道相及岩株相, 亦即以喷发岩固结条件(在地表上, 与地表无联系的深处等)为主要依据。但是, 他把各种产状、形态赋予同等意义的做法, 不能认为是正确的。我们觉得, 雅科甫列娃(Е. Б. Яковлева 1962)以矿山阿尔泰山为例提出的火山岩岩相划分方案比较恰当, 她根据该地岩石的固结条件划分出三种主要岩相: 1) 原始喷发相。2) 次火山岩相。3) 火山管道相。

总之, 喷发杂岩的形成曾发生在火山活动脉动有关的运动环境中。分离出不同喷发杂岩的较剧烈的运动和褶皱作用常伴随有岩浆作用的侵入形式。超基性岩成分和辉长橄榄岩成分的侵入体往往与不同旋回的第一期相吻合(在中央哈萨克斯坦为震旦纪和萨拉伊尔期)。照例, 每一旋回中最早的花岗岩类(花岗闪长岩)侵入体, 一般都发生在从地槽阶段发展到造山运动的过渡时期, 那时曾发生了最剧烈的构造运动。这种构造环境有利于花岗岩岩浆侵入时混杂现象的广泛发育。同区分造山运动时期的、不同喷发杂岩的褶皱作用有关的侵入体, 是以偏酸性的和略受混杂作用的岩石——花岗岩和淡色花岗岩为代表。因此, 在构造岩浆旋回过程中曾经反复地发生了侵入物质的侵入。从而可将一定时间内侵入活动形成的侵入体、有关的脉岩以及岩浆期后生成物一并理解为侵入杂岩。

由以上所述, 不难看出活动带中岩浆作用发展规律的研究状况, 客观地反映出存在于自然界的相互关系, 这点, 早已见于苏联和外国研究人员的著作中。显然, 活动带的长期发展和多旋回特征, 以及地槽期玄武岩火山作用为造山运动阶段的流纹花岗岩岩浆作用所交替, 可能是地壳发展的一个普遍规律。

由上所述, 可提出下述意见:

第一, 必须牢记, 活动带——这是一个凹陷或隆起的系统, 其中岩浆活动的发展并不均一, 当时一部分可能稳定, 而另一部分则保持着活动, 并在以后的旋回中继续发展。譬如, 加里东稳定后, 准噶尔-巴尔喀什地槽的中央哈萨克斯坦境内尚保持着原始地槽的状态。及至加里东旋回的造山运动时期, 在该地槽与加里东褶皱带的交接地段则广泛发育着流纹英安岩成分的酸性喷发杂岩及泥盆纪花岗岩类侵入体, 在海西旋回中, 加里东地台的构造和岩浆活化强度极其有限。在准噶尔-巴尔喀什地槽中, 火山活动都受纵向断裂控制。此外, 这些火山作用往往出现在由较古老岩石组成的中间地块范围内。

第二, 应当强调指出是这些毗连地区内岩浆作用的特殊个性, 例如乌拉尔和哈萨克斯坦。如果我们把中央哈萨克斯坦从寒武纪到古生代晚期的一般时间内, 划分为三个构造-岩浆旋回, 那么在乌拉尔, 从奥陶纪开始便存在统一的加里东-海西宁旋回, 其地槽时期与中央哈萨克斯坦的加里东旋回完全一致, 而造山运动时期则与中央哈萨克斯坦的海西宁旋回极其吻合。因此, 两个地区的构造和岩浆作用的独立性并不引起怀疑。在乌拉尔广泛发育着派生的玄武橄榄岩岩浆, 而在中央哈萨克斯坦则为花岗岩浆, 从而决定了两个地区的全部特征和成矿规律的差别。

我们的第三种意见是涉及到所谓的火山构造的问题。火山喷发一般都伴随有构造破坏,弗罗达维兹(В. И. Влодавец, 1954)认为放射形的、圆形的、弧形的断裂,圆形和扇形断层,就构造长度而言,大而平行的纵向和横向线等均属此种破坏。曾经指出,放射形构造主要出现在基性熔岩喷发的环境中,而环形构造则出现于酸性熔岩喷发的条件下。当个别地段沿环形断裂沉陷时,则形成的盆形火山口。以上所述火山构造的规模各不相同。火山断裂构造可以集中于个别的火山机构中,其规模一般不超过数百米,然而也发现有区域性的大型构造,其大小可达到数十公里。

别姆梅林(Беммелен)将一些巨大盆形沉陷称为火山—构造拗陷,规模大,直径可达50公里(Hamilton, 1960),甚至65公里(别姆梅林, 1963)。照例,这类拗陷均为熔结凝灰岩和凝灰熔岩所充填。米拉诺夫斯基(Е. Е. Милановский)和科罗诺夫斯基(Н. В. Короновский 1961)曾经描述过分布在中高加索上切格地区、长度达20公里、宽度达8公里的新生代火山—构造拗陷。拗陷受若干断距为数百米的断裂所限制,而具有一种复杂的阶梯状地堑特点。因此,填于拗陷内的凝灰熔岩在地堑中心的下降侧厚度最大达2—2.5公里,剖面最完整,剖面具有中心处凹陷的地堑地块的特征,而最小的厚度200—300米则出现于盆地的两侧。

斯维亚特洛夫斯基(А. Е. Святловский, 1957)把堪察加的火山—构造拗陷分为上新世火山—构造拗陷带和中堪察加地堑拗陷。同时指出,如果环绕地堑的构造断裂为直线型,则火山—构造拗陷的轮廓将是不规则的椭圆形。火山—构造拗陷可以不是各方面都为断裂所限定,还有平缓的、和受褶皱山所制约的。这种一部分为平缓的,一部分又为阶梯状的火山拗陷(“断裂拗陷”)名之为“箕状(конка)拗陷”。

安德逊(E. M. Anderson 1937)认为,岩浆室中压力的变化乃是形成火山—构造的原因。据他计算,如果压力过剩(相对围岩的压力而言),便沿压力方向产生圆锥形断裂的岩墙,如果压力小或不足时,便形成伴随有凹陷的盆形火山口。米拉诺夫斯基和科罗诺夫斯基(1961)还认为,当火山的不太深的地方(一公里多,也可能小于一公里),这就是所谓的近地表的边缘岩浆室。因此,在古火山岩发育地区进行地质填图时,必须考虑到火山—构造影响。例如,往常遇到的,局部切割古地形的火山岩层不整合,就可能是火山—构造现象—岩层倾斜、岩层断裂作用所引起。

近来,在不同地区所进行的详细地质测量查明了深成火山环形构造、凹陷的盆形火山口。某些作者将这些构造同月球上的环形构造相比拟。在世界各地(西欧、北美、非洲等)的中新生代和古生代的构造层中,都发现了这样的环形构造。在形态上类似的构造也见于元古生代构造层中。

最有意义的是分布于准噶尔—巴尔喀什地槽的钟状和环状封闭构造和半封闭构造。在这些晚古生代的构造中,广泛地发育着不同时代的流纹岩和英安岩成分的凝灰岩和熔结凝灰岩,它们已被放射状和同心图式分布的次火山岩体和岩颈所截穿。岩钟斜坡上的晚古生代火山岩的倾角达 30° ,而在盆形火山口内的倾角达 80° 。岩钟相对隆起,盆形火山口的深度为数百米。在环状构造的中心部分(乌里肯—卡拉克—库乌、克孜尔—拉伊等)。多少都分布有晚古生代的浅色花岗岩类露头。厚大的岩墙状花岗岩体,有时组成外环的弓形体。在受到剧烈剥蚀的构造中心地段(例如,东科恩拉德),火山岩就几乎被侵蚀净尽。环形构造中的大部分具累带状和半封闭条带——岩墙群,其中既有次火山岩体,也有同岩浆侵

入有关的岩墙。

毫无疑问,中央哈萨克斯坦的环形构造值得进行专门的研究。起初,曾根据发展性质把它们划分出若干类型:一种类型是具有长时间的发展历程,其他类型中,封闭构造和半封闭构造中心随时间推移而发现了位移,亦即一些构造继承性地发展了,另一些类型则发生了一些构造对另一些构造的叠加。环形构造有利于花岗岩岩浆的贯入。显然,分布于哈萨克斯坦的中心构造受着断裂的控制,而这种断裂的性质和断裂发生的机理尚未研究清楚。

火山作用与矿化

在所有的地区内,其中包括中央哈萨克斯坦,很大数量的成矿现象都与火山岩有关。以前人们常常将这些岩层中的花岗岩类侵入体看作与这些矿床有成因联系。然而,很早就已在北美,非洲及欧洲发现了一批在地质资料分析基础上确定为与火山岩有成因关系的矿床(金-明矾石矿床、金-银矿床、锡矿床等)。

关于火山岩建造的含矿问题,曾在1963年的专门会议上进行过讨论(见《火山岩建造的含矿性》)。火山作用发展规律的一般提法,首先将火山成因的矿床按照大地构造特征、矿床在地台和地槽区赋存状态特征进行划分。例如,应当只将与暗色岩建造的原始喷发作用有关的矿床列入到地台型矿床,在任何情况下都不能将同辉长橄榄岩和碱性岩有关的矿床列入到地台型矿床中。如果注意到成生环境,地槽形成各个时期中喷发火山作用发展规律的差异性,就可以事先断定,活动带发展的地槽期和造山期的矿床的类型将是不同的。从这些特点出发,就可以认为科特良尔(В. Н. Котляр)所划分的两大矿床类别,即早期地槽型矿床和晚期地槽型矿床还是适宜的。

所谓的斑岩建造,或者更确切地称之为造山期火山岩建造矿床类型的多样性,科特良尔认为,其中发育有不同产出形态和环境的古火山作用。以及多次岩浆活动和火山期后作用的不同构造条件,也就是这种多样性的反映。至于某些作者所划分的“非地槽带的矿床”,就要在该情况下完全以年代和保存条件等其他标志作为划分的基本原则。

根据谢尔巴(Г. Н. Шерба)的资料,下述一些矿床类型同造山期火山建造有关:铀矿床、铜-铋矿床、金矿床、明矾石矿床、多金属矿床、斑岩型铜矿床、高氧化铝矿床、钼和钨矿床、锡矿床。然而,考虑到许多成矿研究的现有水平,还不具备可靠地查明矿床与不同岩浆建造在成因方面联系的条件,因此,还要进行大量的综合性研究工作,我们决不可以认为与火山作用有关矿化类型表就是可靠的。与谢尔巴的看法相吻合,对哈萨克斯坦来说,必须有自己的具体工作方法。关于成矿作用同火山作用的关系问题,在不久前出版的德佐采尼兹(Г. С. Дзюценидзе 1965)的著作中也作了探讨。这部著作乃是关于沉积-火山岩石成因和成矿过程的广泛的科学总结。其中具体地探讨了化学沉积物(氧化硅、铁矿石及锰)的沉积与火山活动各个方面的关系。必须承认,在许多情况下,矿床同它们周围的火山岩在成因方面联系的证据并不充分,黄铁矿矿床就是一个明显的例子。

就南乌拉尔某些含铜黄铁矿床而论,在最近时期的著作中都报道有铜和多金属成矿现象的年代较含矿火山岩层的年代偏新的这样一个事实,从而证明含铜黄铁矿矿化和多金属矿化对含矿火山岩来说是后成的。另一些研究人员认为,火山岩层中的黄铁矿矿床可能具

有不同的成因，其中也包括火山成因，黄铁矿矿床地质——矿物特征的敛合^①（convergence, конвергентность）乃是区分其中不同成因的主要困难。

如所周知，中央哈萨克斯坦乃是具有特殊的热液蚀变岩石——次生石英岩，其中产有铜、钼、金及高氧化铝原料。次生石英岩乃是许多研究人员的研究课题。这些交代岩在晚古生代火山岩层中的共性，乃是毫无先例地出现在酸性成分的岩石中。已知，其中一部分是靠花岗岩类生成的。认为次生石英岩同岩浆期后活动的花岗岩类有关的观点，在40和50年代占统治地位。最近十年来广泛传播着关于次生石英岩同伴随有火山活动的热液作用有成因关系的概念，并在研究堪察加火山硫质喷气孔活动时得到证实。

在现代的火山活动地区，可观察到多种多样的矿化实例，这类矿化伴生有气成矿物露头，形成了硫化物、硫酸盐、硼酸盐、卤化物以及重金属的其他化合物。在该地发现有关蒸汽热水溶液，并且产有同小高加索和堪察加第三纪熔岩中成矿现象极为酷似的硫化物沉淀物。

对堪察加火山热液矿化的专门研究，使纳博科（С. И. Набоко）得出下列结论。

1. 地质事实表明，岩浆是挥发物和金属的来源。
2. 岩浆中挥发物的含量，按重量不小于2%。在挥发物成份中有H₂O蒸气、C、S、Cl、F、As化合物和卤素升华物特点的Bi、B、As、Hg、Sb、Pb、Fe、Zn、Mo以及Be、Pb、Zn、Ni、Mo—硫酸盐升华物。这些挥发物的凝结便导致酸性溶液的形成。因此，在互相关系中存在着随岩浆深度而变化的周期性供给和来自同一深度源泉的连续内生喷气流。
3. 酸性火山喷气、热水溶液同天然水相混合，从而在围岩中引起交代蚀变，同时，天然水本身也由于围岩的影响而发生性质的改变，亦即发生着置换反应。
4. 热液作用往往局限于火山管道、盆形火山口，也可发生在断裂带中，因此，蚀变岩石的晕圈往往同喷发中心不相一致。成矿组分集中在蚀变的明矾石化和黄铁矿化的岩石内。
5. 在地表条件中形成蛋白石明矾石化岩石，及至深处它们则为石英-绢云母次生石英岩所取代，往下则为含硫化物多金属矿化和汞锑矿化的青盘岩化岩石。也就是说，存在着热液蚀变的垂直分带。

据上所述，我们有理由认为С. Н. 加夫利科娃和М. К. 别赫杰娃（С. Н. Гаврикова и М. К. Бехтеева 1965）的研究工作具有非常重要的意义，他们根据地质资料和矿物成分特征，把滨巴尔喀什地区的次生石英岩划分为两种成因类型：1）与火山作用有关的类型，2）与侵入活动有关的类型。因此，滨巴尔喀什地区的次生石英岩应被看成是多相蚀变产物。

在上述简要叙述中，我们曾试图反映出研究火山岩中金属矿床成因的复杂性。显然，详细地质填图应当是这种研究工作的基础。在进行任何比例尺的地质填图时，都必须特别详细研究热液蚀变的岩石，并在地质图上予以标明。在必要的情况下，可说明普查工作的布置。当然，岩石学、地球化学以及地球物理工作在这些研究中也会起着非常重要的作用。

^① 在矿床学方面，属于完全不同的生成过程系列的两种矿床、其产地、形态以及矿物形成上都大致相同或极为相似的现象叫敛合。——译者

第二章 火山岩相的划分原则

在研究古火山岩层时我们确认,为了正确理解火山岩层的地质构造,不仅必须根据物质成分和年代来划分火山岩层,而且还要把不同条件下形成的成分相似和年代相近的火山岩加以区分。必须指出,火山岩层的这类岩相的划分,在许多情况下都显示出有重要的实际意义,如在查明与火山岩有关的各种类型矿床的赋存条件和标志方面。

很久以前就已确定,火山活动不仅表现在把火山物质喷到地表上,而且还形成一系列不同形状的近地表的岩体。然而长期以来,这一事实并未引起应有的注意。甚至在火山岩地区的详细地质填图时,也未能把这种岩体区分出来,以致在地层和区域地质构造的理解方面造成了很大的混乱。

从30年代开始,某些苏联地质学者就曾主张有必要划分出这些不同的火山岩。乌索夫(1935)曾注意到在具有熔岩外貌的岩石中,除去喷出亚类外^①,还必须划分出凝固深度不大,并且同火山活动作用有关的一些岩石。他写道,在不同的形成条件下,同一种喷发物质往往显示不同的岩石外貌,如果将沉积岩的术语用到岩浆岩上,则可叫不同的“岩相”。晚些时候,乌索夫又重新提起这个问题。譬如,他在《岩浆岩地质学》的著作中(1945)指出,喷发火山作用并非经常出现在真正的喷出相中,在某些情况下熔岩比较容易贯入到成层的岩石中,并形成岩床。乌索夫曾首先(1935)根据岩石产状的不同,划分了一系列火山岩相,并且指出了每一种岩相岩石的物态相特征(表1)。

此外,乌索夫曾以他认为具有同等意义的两种标志为根据,划分出一些火山岩的个别岩相。这就是岩石的产状条件(在某种深度上喷发和凝固的岩石)和岩体的形态(岩床、岩盘、岩墙及其他等)。这种方法不能认为是完全恰当的,因为后一特征常常具有偶然性,它取决于围岩层中裂隙或软弱地段的形态。此外,应当特别指出,以岩石的物态相为根据并将它列入乌索夫任何一定岩相中则是不可能的(例如在哈萨克斯坦就是如此)。总之,根据岩石的外貌只能将喷发岩同次火山岩和火山管道相岩石加以区别,而且这也不是能经常做到。

表 1

岩 相	物 态 相
喷 出 相	具烧变和成岩作用的原生相
岩 床—岩 盘 相	长期保持的微弱原生相
岩 墙 相	绿 岩 相
火 山 管 道 相	具绿岩化的原生相或具绿岩化的成岩作用相
岩 株 相	长期保持的微弱原生相

①根据乌索夫的资料,喷出相总是以熔岩被和熔岩流形式表现出来,岩钟的意义则较小。

以后，库兹涅佐夫（1955 a）对乌索夫的分类进行了某些补充和修改，提出了如下的分类（表 2）：

表 2

岩 相 类 别	亚 相
喷 出 相	1) 陆地相 2) 水下相 3) 火山管道相
浅 成 相	1) 岩床—岩盘相 2) 岩株相 3) 岩墙相
中 深 成 相	1) 岩基—岩盘相 2) 岩盘相 3) 岩株相 4) 岩盆相 5) 蛇纹石化侵入体
深 成 相	1) 交代花岗岩相 2) 岩浆花岗岩相 3) 岩墙相
超 深 成 相	1) 紫苏花岗岩相

根据库兹涅佐夫的意见，将与火山作用有关的岩石都列入到第一、二类岩相中。例如，他将浅成相（гипабиссальная фация）理解为深度小的相，在这一深度上岩浆是在较薄的覆盖层下冷凝的，并形成具喷发岩外貌的岩石，按照库兹涅佐夫的意见，浅成相侵入体几乎经常在成因和时间上同表部溢流物有关。这样，在库兹涅佐夫浅成岩相的定义中不仅包含直接与火山作用有关的岩石，显然，也包括了侵入杂岩的脉岩。把这些岩石合并为一大类，似乎根据不足。形成在深度不大，但与不同的岩浆活动（深成的、原始喷发的）有关的岩石，以不同的地质和物理-化学形成条件为特征。在其形成时，岩浆含有不同数量的挥发物。因此，它们曾以不同方式对围岩发生作用。此外，这类岩浆岩通常具有显微结构。所有这些都使我们应当承认乌索夫的正确观点，即仅将成因上与火山作用有关的岩石合并为一个岩相类。

在特涅尔和费尔赫金的《火成岩和变质岩地质学》一书（1961）中，阐述了类似的观点。作者们证实，部分熔岩在未喷溢到地表时即行凝结，曾在苏格兰西岸的穆尔岛和塔希提岛上见到过这类岩石，它们在矿物成分和结构上极为相似，尽管与喷溢到地表而形成的火山岩不尽相同。

特涅尔和费尔赫金指出，某些作者在划分火山（喷发）岩和深成（侵入）岩的同时，还划分出一类中间性岩石（浅成岩石）。这种意见值得怀疑，因为这样浅成岩中的许多岩石就与地表的熔岩等同了。比较正确的还是扩大火山岩的级别，以便使它能包含地表熔岩和产于近地表的具类似结构和矿物成分的侵入岩。

我们认为，不以乌索夫所提出的岩体形成条件和岩体形态两种标志为基础，而以岩相划分为基础较为合理，即只是一个岩体形成条件，其中包括岩体形成时同周围沉积物的相互关系。岩体形态是次要的标志，而且仅仅在划分亚相时以其为根据。按照我们的意见，总共可以划分出三种类型的岩相：原始喷发相、次火山岩相以及火山管道（图 1）。

原始喷发相岩石 (熔岩、熔岩角砾岩、各式各样的凝灰岩, 其中包括熔结凝灰岩等) 是在火山物质喷发到地表时形成的。通常这类岩石同沉积岩的产状一致。可在其中划分出三种亚相: 流状熔岩亚相、爆发亚相及喷出亚相。

次火山岩相岩石 形成于熔岩向地表运动过程中。由于种种原因, 熔岩未达到地表, 并在某种深度上形成的岩石。

火山管道相岩石 是岩浆向地表运动时形成的, 同时与地表有直接的联系。这类岩石呈岩颈、岩脉等形式充填导浆通道。

广义地讲, 所有上面指出的岩相和亚相岩石在地质上是这种岩石同时生成物, 换言之, 即代表一定时间间断隔火山作用过程中的多阶段喷发杂岩。次火山岩相和火山管道相火山岩的划分, 只适用于古老的、而又遭受侵蚀揭露的地区, 特别是在岩石发生断裂、揉皱或褶皱的地带。在未曾经受过侵蚀作用的年轻火山作用地区内, 原始喷发相岩石主要发育于地表。

原始喷发相和次火山岩相生成物在古老的火山作用地区分布很广, 而火山管道相生成物则较为少见, 只以个别规模不大的岩体出现。

最后应当指出, 并非所有从事火山岩研究的地质人员都同样地理解“岩相”这一术语。譬如, 马列也夫 (Е. Ф. Малеев 1963) 将这一术语有另一种理解, 而把火山岩分为由喷发类型、原始物质成分、形成岩石的构造、物理化学、生物学、自然地理等条件决定的多种岩相。这种划分方法对于研究火山岩乃是极为有利的, 然而在现代地质学知识水平上未必能适用于古相火山岩层, 尤其是火山岩层受到复杂位移的地区, 因为试图如此详细划分不具有清晰识别标志的火山岩层, 将使广阔地区受到根据不足的推测和假想。

第三章 原始喷发相

我们将凡是其生成同喷发到地表上的火山物质有关，并且其产状通常与沉积成因的岩石相一致的所有火山岩都列入喷发相的生成物中。这就是熔岩、熔岩角砾岩以及火山碎屑岩所有变种，其中包括熔结凝灰岩（игнимбрит）。按照一系列标志（岩浆物质成分、火山活动的性质、同火山机构的接近程度等），可将这些火山岩划分出若干个大类。

查瓦里茨基（1956）写道：“我们的名词学（不同于英国的名词学，在那里不能作出这种区别），很早就定出不同的术语：喷发（эффузия），它标志着形成熔岩流和熔岩被的液体活动岩浆的喷溢。喷出（экструзия），乃是标志出现在地表上粘稠不易流动的、并堆积成岩钟和喷出岩栓的熔岩。最后，迸发或者爆发（взрыв或эксплозия），就意味着岩浆爆炸成各个不同部分，并导致火山碎屑产物（火山灰、火山砾、火山弹、火山岩块）的堆积。

因此，按照原始喷发相火山产物的形成条件可划分为三种不同亚相的岩石：

- 1) 流状熔岩亚相（熔岩流、熔岩被的熔岩和熔岩角砾岩）；
- 2) 喷出亚相（熔岩、自岩浆角砾岩以及岩钟的其他岩石）；
- 3) 爆发亚相（火成碎屑岩和火山—沉积岩）。

上述三种亚相中的第一种亚相岩石（见图1）是在液体（玄武岩）岩浆或者被挥发物饱和的安山岩和流纹岩岩浆的喷溢过程中形成的，这类岩浆沿地表很有移动能力，常常达到相当大的距离。

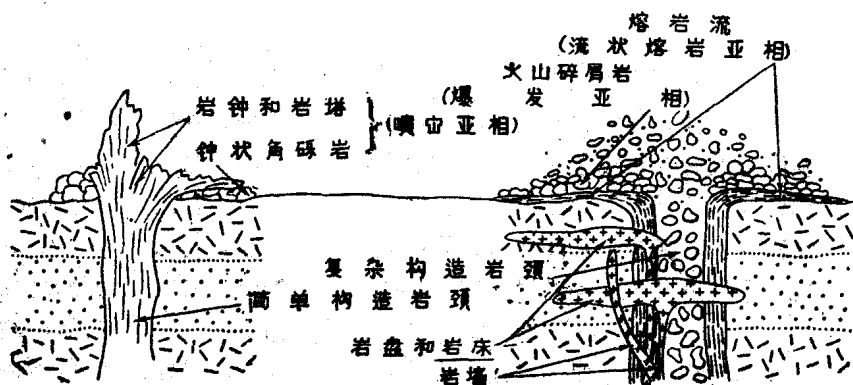


图1 不同相和亚相火山生成物的对比关系

原始喷发相（熔岩流、火山碎屑岩、岩钟和岩塔），亚相（岩盘、岩床、岩墙），火山管道相（简单构造岩颈和复杂构造岩颈）

喷出亚相岩石是在粘稠岩浆的挤出情况下形成的，有时其性质近似于固体（列文生-列星格等，1933），在地表上这类岩浆在直接位于导浆通道附近呈岩钟形式和岩碑状火山颈型的火山柱形式凝固的。不应该从上述所谓的喷出角度来看，正如加彼也娃、贝科夫斯