
国外地质参考资料

(岩浆侵入机制)

地质矿产所情报组

1973年11月

前 言

1969年1月在英国利物浦大学召开了“火成侵入机制”的国际讨论会。会议由利物浦地质协会和利物浦大学简·赫德曼地质实验室联合发起。与会者达200余。会上宣读的论文主要是火成岩岩石学及化学演化的角度来论述岩浆侵入作用，会后汇编成册，以“火成侵入机制”为名于1970年1月出版。

该文集分六个部分：1.构造岩浆旋迴各阶段火山作用与深成作用间的关系；2.火成杂岩体的地质特征；3.火成侵入的方式和侵位；4.有关岩浆的实验资料及岩浆的产生；5.关于岩浆上升及侵位的理论；6.讨论：岩浆的起源、上升及侵位。

我们选译了该文集中四篇文章，另外，从全苏第一次火山岩会议文集中选译了加别耶娃的“古火山学研究任务”一併供大家参考。

1973年11月9日

目 录

前 言

构造岩浆旋迴各阶段火山作用与深成作用的关系

..... E. K. 烏斯基也夫

全球构造、岩石的力学性质和火山侵入的机制

..... S. A. 默雷尔

从岩石化学成分的变化看火山作用与深成作用的相互关系

..... C. M. 斯卡夫

熔结凝灰岩喷出的机制

..... H. 塔齐耶夫

苏联境内古火山学研究的任务

..... P. M. 加別耶娃

构造岩浆旋迴各阶段火山作用

与深成作用的关系

Е. К. 烏斯基也夫

一、前言

一般认为构造运动和岩浆作用之间有密切关系，而且許多文章都曾评论过这种关系。西欧最著名者首推H. 史蒂勒的文章(1940)，苏联则可以Ю. А. 毕里宾的文章为代表(1955)。但是，现代野外观察表明，不同地质构造单元的构造发育及其岩浆表现之间的关系，比上述传统方法中所论述的要复杂得多。的确，越来越多地要求对某些已确立的观念加以重新考虑，并要求提出一种较为明确的地质概念，这种概念能较好地符合我们的知识现状、能较好地解释自然现象中的种种明显的矛盾。这是一种普遍的趋势，岩石学者(库茲涅佐夫1964)和构造地质学者(Shtreis 1968, 納吉宾娜1968)都有这种趋向。

由于岩浆现象的双重性：火山和深成作用既取决于构造作用的特征，也取决于每个地质构造的发育阶段，所以构造和岩浆作用之间的关系问题就特别复杂。近几十年来的野外调查提供了許多重要资料，这些资料推翻了经典地质原理并奠定了新的理论基础。Φ. И. 列文生——列星格在把岩浆系列(Magmatic Suites)的理论介绍到苏联的这个过程中起了很大作用，这一理论为苏联地质工作者在苏联广大地区的地质制图中成功地应用并有所发展。

火山作用和深成作用之间的关系存在着岩石学和地质学两个方面的问题。在G. Panto 的文章(1964 1967)中最近讨论了第一个问题, 本文将论及第二个问题。

二、关于火山作用与深成作用之间

关系的假說的演化

这个问题的历史明显地有着几个阶段, 其顺序与岩石学发展的主要时期一致。

最早的阶段也是最长的一个阶段, 可回溯到岩浆地质的创始者——J. Hutton 的见解, 并持续到本世纪最初的十年。这种见解认为岩浆作用中的喷出和侵入活动在成因上完全是一致的。并认为, 岩浆作用的确是一种深成作用的外在表现, 这些深成作用同时还控制并造成了在岩石学上与熔岩相当的深成岩体。这种观点为 W. Zirkel 和 H. 罗森布什在理论上证实并发展, 近来, 又为德国的 E. Suess 学派的代表所进一步阐明。

这个体系最初的解体与某些花岗岩为法国 Eliode Beaumont 和圣克瑟尔 Devill 证实为非岩浆成因有关。这种花岗岩(通常与深成构造有关)为以后的调查表明, 显然系不同成因和成分的岩石交代改造所成。在二、三十年代, 由于 O. Wegmann, D. L. Reynolds, H. Backlund 和其他人的研究在岩石学中形成的新的发展趋势, 逐渐突破了花岗岩和流纹岩在成因上的一致性这一概念, 后来所有的岩石学上相应的喷发岩和侵入岩的同一概念也被突破。“超变质论者”,

他们发现，不仅花岗岩有越来越新的交代形成的例证，而且花岗闪长岩、正长岩、辉长岩也有，甚至还有超基性岩，于是也得出了这一结论。

在岩石学发展的这个时期，W.Q.Kennedy 和 E.M.Anderso (1938) 的著名论文讨论了火山作用和深成作用间地质关系的新概念。将玄武岩组合及与其有关的侵入体组合与深成的花岗岩类及与其有关的喷发岩组合作了对比。这种对比不仅包括其成因和成分，而且也包括其发育的地质构造条件，因为前者与地台有关（克拉通），而后者与褶皱带（造山带）有关。

这种观点的必然结果就是 H.H.Read (1943-1944) 以火成岩分成两个独立的大类，即火山岩（喷发岩）和深成岩（侵入岩）的意见，代替原来的岩石分类。这种意见的提出，意味着岩石学发展史上“超变质”阶段的结束。火山论者和深成论者的普遍的成因一致性的老观点，目前与他们的普遍存在着独立性的新观点适成对照。

Φ.Ю.列文生—列星格把这个阶段叫做“岩浆的危机”，仅持续了几十年。地质制图方法的改进以及因而在区域地质和岩石学方面的成就动摇了两个学派的基础，使这个问题得到进一步的解决。

最重要的进展是对若干复杂的岩浆系列作了详细研究，包括火山岩和深成岩的同源岩浆系列。苏联以外的 G.W.Tyrrell (1955), A.F.Buddington (1959), R.L.Smith (1960), C.D.Branch (1967) 等等都促进过这一发展，在苏联还有 M.A.Favo-

rskaya (1956), V. N. Kotlyar (1960), M. B. Borodaye-
vskaya (1966), E. K. Ustiyev (1963) 和其他人的一些文章。
应该强调的是在苏联, 这个复杂的问题曾引用许多实例广泛地讨论过。
如1965年莫斯科组织了关于火山—深成建造的专题讨论会, 1966
年在阿拉木图总结了岩浆地质这一分支学科的经验。

火山作用和深成作用这一问题的现状与岩石学史上过去两个时期
的情况迥然不同, 因为岩浆作用的两种不同形态间的关系, 看来在不
同的地质构造条件和构造岩浆旋迴的不同阶段都有差别。当然在某些
地质环境中彼此完全无关的火山和深成作用证明在其它方面又是相互
有关联的。于是, 一个综合概念阶段的兴起就代替了以前认为火山和
深成作用(经典岩石学)的总的同一性, 或同样地也代替了认为这些
作用都是各自独立的(交代论者的岩石学)概念, 这样就克服了岩石
学者们以前由于野外经验不足所造成的偏见。

本文以下各节专门对具有不同火成岩组合(火山的、深成的、火
山——深成的)不同地质条件作简短评述。

三、构造岩浆旋迴各阶段火山作用

和深成作用的问题

分析火山作用和深成作用之间关系的最有利条件是在活动带。在
活动带的地质发育过程中, 构造是连续的, 这种构造以一定的阶段性和
一定的沉积与岩浆岩类型为特征。基于此, 就形成了构造岩浆旋迴
的现代概念, 这是过去几十年来地质理论的主要成就之一。

我曾提到，这个理论的创立者及某些跟随者曾力求极为详尽地阐述旋迴发育的假说，尤其着眼于严格划分不同阶段间的界线，这个假说现正受到批判。各个活动带有着不同的地质历史，构造运动与岩浆作用之间的关系与以前所想像的不同而且更复杂。尽管每个褶皱带的演化都有自己的特征，然而这类地质构造却有着共同的特点。以下三个阶段，是以一定类型的岩浆作用为特征的活动区发育的主要过程：(1)主要是地槽沉降，(2)主要是地背斜隆起，并伴有褶皱作用和造山运动，(3)造山后构造和岩浆作用。从地质年代界线的观点来看，最后一个阶段不大清楚，要在地质上加以解释亦比前两个阶段往往更为复杂。然而，它通常和前两个阶段一样在构成褶皱带及其岩浆系列的主要特征方面也是十分有意义的。虽然各地槽褶皱带都有自己的特点，但无疑，在构造岩浆作用中存在着某些共同的趋势，这就有可能对实际材料作进一步的对比分析。

四、地槽沉降阶段的火山作用

和深成作用

确实可靠的地质事实之一是在地质构造旋迴的第一个阶段，地槽槽沟持续的下翘运动为沉积作用所补偿，从而预示将来褶皱带的形成。这种沉降的形成（真正的原因还不甚清楚），伴随有地壳延展并形成构造，流出岩浆的断裂。所有这些彼此相关的地质现象在那些后来发展成褶皱带的早先的地槽沉降带的观测结果而得到很好的证明（图1）。这也为某些近代的地槽型的沉降所确认。

火山岩系及与其伴生的侵入体与沉积层的交替产出表明，在下翘凹陷的地槽中，构造断裂已达到可能生成岩浆的深度。有一些标志说明，这些深度在各处不一样。这就是同一地质时期的一个地槽内出现不同火成岩的原因。

按照所建立的概念，岩浆作用的内地槽阶段以基性喷发岩（细碧岩、辉绿岩）和局部伴生有酸性喷发岩（角斑岩）为主要特征，这种喷发构成了所谓细碧—角斑岩系，有时还有基性和超基性成分的侵入岩。蛇绿岩这个名称应用在这些复杂的岩石中强调其主要特点——基性岩占优势。

但是，与每个地槽独特特点相应的内地槽的岩浆作用的实际情况很不一致。下面所列某些实例说明内地槽的岩石特点可能变化很大。

1. Barrandian 沉降带（捷克斯洛伐克）

这个沉降带是中欧地区的一种构造类型，其中的岩浆岩从传统观念说来，曾作为典型的内地槽蛇绿岩岩浆作用的产物。这个沉降带由布拉格伸延到比尔森，历经寒武纪、奥陶纪、志留纪和泥盆纪。早期下翘阶段的沉积层与细碧岩和细碧凝灰岩的厚层岩石交替产出。海相动物群。在细碧岩中常见的枕状构造和凝灰岩中混有沉积物表明，这一建造系水下成因（Piala 1967）。其特点是极广泛发育有钠质的以及较为罕见的钾质的球状玄武细碧岩。

地槽系的最后阶段，即泥盆纪，其特点是主要以辉绿岩质火山岩并伴有少量厄塞岩辉绿岩侵入岩和富橄榄石辉绿、着橄岩。在奥陶纪

和志留纪沉积中，还有以沸綠岩和閃煌岩輝綠岩为代表的碱性基性岩类的侵入岩；同时也有霓石——普通輝石正长岩岩脉。总的說来，事实上沒有角斑岩质酸性熔岩的Barrandian 沉降带可当作地槽中“原始”基性火山作用的典型实例。

2. 烏拉尔地槽

这个地槽在志留纪和泥盆纪的早期下翘阶段有蛇綠岩发育。它与Barrandian 沉降带的区别不仅在于构造及伴随的岩浆作用规模巨大，而且酸性火成岩的作用明显，且酸性岩的数量还随时间增长。

水下喷发的巨厚物质的下部分布很广，包括詳細研究过的中烏拉尔，主要是細碧岩和少量的角斑岩和钠长斑岩质火山岩。这是一个典型的細碧——角斑岩建造（查瓦里茨基 1946），但是其中中性成分的岩石最近才发现（例如，安山岩和英安岩）。建造顶部酸性熔岩和凝灰岩增多。在地背斜，见有水下和陆相相掺和的火山岩系，这反映向岛弧条件过渡。其中酸性喷发常常以熔结凝灰岩为代表（Chervyakovskii 1968）。

也还伴有少量次火山和浅成的侵入体，一部分是同期的，一部分切穿了碓铜矿的綠岩建造。其成分由輝长岩—輝綠岩变到斜长花岗岩（Shteinberg 1963）。

烏拉尔的細碧—角斑岩带的西部是一个著名的輝长岩—輝岩—纯橄岩建造带。这是个延伸很长（超过700 Km）的链状侵入岩群，其中伴随大的輝岩侵入体和巨大的輝长岩深成岩体，有少量纯橄岩。

这个带的地质位置还不清楚。某些研究者 (Sergievskii 1958) 认为它在生成时间上相当于烏拉尔的细碧岩—角斑岩火山岩；其它人 (Vorob'eva 等 1962) 认为是与綠岩系形成后的褶皱时期有关。

3. 阿尔泰地槽

这个地槽与前一个地槽的区别不仅在于酸性火山岩所起的作用比较大，而且还在于基性和较酸性的喷发岩系发育的地区不同。戈尔諾—阿尔泰的里菲—早寒武世沉积与水下细碧岩和辉綠岩的厚岩层互层。大量的安山岩见于戈尔諾—阿尔泰东部早寒武世火山建造中，戈尔諾—阿尔泰处于以基性岩为主的地区之中，这两种情况，火山岩都伴随有辉綠岩、辉长岩—辉綠岩和闪长岩—辉綠岩的岩墙、岩床和岩株 (库兹涅佐夫 1964)。更晚的泥盆纪，Rudnyi 和阿尔泰西部火山岩层其特征是以酸性喷发岩为主 (角斑岩、钠长斑岩和酸性凝灰岩) 而细碧岩和綠辉岩则少得多 (Nekhoroshev 1958)。泥盆纪岩层中从中性和酸性成分的岩盖和岩株侵入体，直至花岗岩—斑岩被认为所起作用甚为重要。

4. 高加索地槽

高加索地槽的特征是地槽发育为同样类型，但这个时期中生代内地槽建造的发育，随着母岩浆酸度的增长，火山活动中心位移。侏罗纪早期沉降阶段，伴之有细碧岩、辉綠岩和与中里阿斯沉积成互层的某些安山岩的水下喷发岩。与喷发岩相伴产出的，有包括辉綠岩岩床、辉长岩和蛇纹岩化橄榄岩的浅成侵入岩体。这一建造发育的主要地区

在大高加索南翼 (Dzotsenidze 1948)。山脉北翼有上里阿斯时期的火山作用的特征，并有水下和陆相喷发的酸性火山岩 (角斑岩、钠长斑岩及凝灰岩)。后者无疑与内地槽隆起和岛弧有关。许多酸性成分的岩盖、岩株和岩墙侵入体也与上述构造活动有关 (Lebedev 1950)。

5. 太平洋带西北部中生代地槽

环绕亚洲东北部的中生代褶皱带之内还有一种内地槽的岩浆作用类型。与前所述的事例比较，维尔霍扬—楚科奇 (二迭纪—三迭纪) 地槽建造的早期明显地发育有细碧岩的安山岩成分的喷发岩。这个时期的 Monotonous 火山物质遍及于广阔地区，而极个别地含有更酸性或更基性成分的熔岩和凝灰岩层。除了较小的岩墙以外，没有相应的侵入岩 (Springis 1958)。在细碧、辉绿和流纹岩相中，安山质火山岩的重要性这一点也是中生代锡霍特—阿岭地槽早期阶段的特征 (Favorskaya 1956, Izokh 1965)。就像相邻的朝鲜拗陷那样 (Kobayashi 1933)。

维尔霍扬—楚科奇地槽发育的晚期阶段 (侏罗纪) 伴随有相当强烈的火山作用，酸性火山岩的数量还逐渐增加，同时火山岩的物质成分显著不同。同早期阶段对比，侏罗纪火山活动中心明显位移，也同样是太平洋中生界这个地段的特点。它与扩大看的地背斜构造相连，后者伴有岛弧凸起，以及其地表喷发更为重要。在这个阶段，一个很重要的特点是火山岩与一系列少数含金的侵入岩体 (岩墙、岩盖、岩株、小的浅成

深成岩体)共生,它们在成因上的相同由地质发育上的同时期和岩石成分变化范围相同得以证明(Ustiyev, Shatalov 等 1960, Apel'tsin 1957)。

五、造山作用阶段的火山作用

和深成作用

一种构造体系的变化和地槽盆地的消失,显然是在所有的情况下与地背斜构造的逐渐发育^是同时开始,而以复相和线状褶皱及造山作用而告终。这个时期的构造岩浆旋迴是以早先的拗陷区域的总的隆起、岩浆作用的一个新的活动相以及完全活动带的逐渐固结为特征。A. B. Ronov (1961)所做的某些褶皱带隆起速度的分析表明,构造运动速度的明显增高,这就像早期地槽沉降阶段一样,正好是这个时期的特征。构造运动增强的结果必然是:构造断裂的作用增大了,后者不仅控制岩浆岩的发育而且也在岩浆的形成中起重要的作用。当普遍隆起时就能很清楚看到,地槽下翘时期就已初具轮廓的地背斜构造与比较酸性的岩浆作用之间的关系。在相同时间火山建造和深成岩建造间的量的关系,如上述,变得特别清楚。

1. 维尔霍扬—楚科奇褶皱带

晚侏罗世褶皱会使前边讨论过的地槽拗陷相当大的区域干涸,就在这个地方造成了一个广阔的山区。科雷马中间地块的西部边缘,在这个时期发生过最为强烈的构造活动,沿科雷马地块侏罗纪凹陷下沉最大。目前一个最大的隆起带在这里已具轮廓。一个延伸很长的构

造断裂带在上述构造的边界发育。沿造山带的这个特别活动且能渗透过岩浆熔融体的地段可观察到晚侏罗世的岩浆活动。

在前已提到的火山带建造中见有这个岩浆作用的早期相，火山带的喷发岩在地层和岩石学上相当于含金小侵入体建造，这种复杂的喷发与侵入岩系在地槽沉降的水下条件就开始发育，而在造山早期在岛弧产生了巨厚的中、酸性熔岩及含陆相植物化石的凝灰岩的时期结束；而且，复向斜与这种岛弧平引，有大量成分类似的岩墙和岩株的小侵入体侵入。这种火山——深成岩组合的产出和构造位置使得我们把它看作是岩浆作用由地槽到造山类型的过渡。

造山期岩浆作用的晚期相以著名的科雷马花岗岩岩基带为特征，这个带延伸达1000公里以上（烏斯基也夫，Shatalov等1960）。带内建造从整个晚侏罗世一直持续到早白垩世的初期，并有許多大的花岗岩岩体侵入（达1000—2000平方公里）。岩基群总的方向与褶皱走向相同，虽然許多单个的侵入体的构造位置局部地并不一致。从地质位置和绝对年龄测定来看，許多岩基侵入体与褶皱时间部分是同构造的，而部分在其后立即形成，即使在岩基群之内也有晚期的直至晚白垩世的侵入岩。

科雷马“岩基”主要由钾、钠比值不同、铝接近过饱和的黑云母花岗岩组成。許多侵入体表明，几个侵入相顺序如下：花岗闪长岩——花岗岩——白岗岩——细晶岩。地质和岩石的准则说明花岗岩在平均3—5公里和更大的深度结晶。局部浅成带侵入体有火山和次火山相（

Rudikh, 1966)。但是在蛇綠岩帶內噴發岩和侵入岩相的共生却相當罕見。

花崗岩體通常有陡的接觸帶，這與岩漿沿構造斷裂侵入有關。然而在特別大而深的侵蝕岩基中，在深成岩體和被包圍的沉積岩的整合接觸帶上有寬的花崗岩化的接觸變質帶。顯然，在深處岩漿交代作用和交代變質作用都增強了。

2. 錫霍特—阿嶺褶皺帶

如上所述，這個帶是東亞中生代體系的一部分，有着造山期岩漿作用的特點。

中至晚侏羅世的早期地背斜的隆起在褶皺帶中部比基尼地區，有一些花崗岩體貫入，同時還有較基性的海底火山岩的形成。然而，比基尼侵入體本身沒有同源岩漿的火山岩。

這個帶的主要褶皺形成於侏羅紀的末期和白堊紀初期。與之伴隨的有幾個平行的花崗岩侵入體鏈群，並平行於北東向的褶皺構造伸延。許多岩體有岩基特點，所占面積超過 1000 平方公里。每一個鏈群中的侵入體的特點各異。

錫霍特—阿嶺帶南部，迈振地區，這個時期的深成岩體主要是花崗岩。具淺成特徵，並與多數流紋岩成分的火山岩有密切的成因和空間關係（Rub 等 1964）。

В.Р. Изокх (1965) 曾以決加里斯基 (Khungariskian) 名字描述了这个帶北部強烈隆起地區一個極複雜的中深的侵入體建

造。早期相以小的超基性侵入体为代表，跟着有辉长岩、闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩侵入体（超基性岩：辉长岩：花岗岩比例是1：10：200）。花岗岩通常是黑云母型，照例是铝过饱和的。在这个地区没有喷发岩，但在森諾曼—土伦统砾岩中，除洪加里斯基花岗岩卵石外还发现有基性和酸性喷发岩的卵石。这些很可能是与上升到地表的洪加里斯基深成建造某些侵入体相当、完全被侵蚀了的火山岩体的残余物。

3. 阿尔泰褶皱带

阿尔泰带的特点是火山和深成建造之间^有极有意义的关系。前造山期的晚期（早石炭世杜内阶），在阿尔泰南部有流纹岩成分的部分为水下和一部分为陆相喷发的安山岩系。有显著差异构造运动的杜内阶火山作用和地背斜构造的形成有关那是无疑的。

早石炭世末期和晚石炭世初期这里是以区域褶皱为特征，一个复杂的侵入岩系叫做Zmeinogorsk含金属杂岩。Ю. А. 库兹涅佐夫（1964）认为这些侵入体系同一个岩浆源，这个岩浆源还生成了上述杜内阶火山岩物质。V. P. Nekhoroshev（1958）所做的详细调查表明，Zmeinogorsk侵入岩、岩株和岩盖的产状。其早期相有较小的辉长岩岩体，随后有英云闪长岩和花岗闪长岩。晚期相最大的侵入体以石英二长岩和微斜长石花岗岩为代表。

这个时期火山和深成岩数量关系未曾做过计算。显而易见，在这个时期火山作用起了主导作用。

在中阿尔泰地区和Kalba山地区发育的岩基型的构造后侵入体说明深成作用已明显地占了主导地位。巨大的Kalba岩基(350公里×20—40公里)见于晚泥盆—早石炭世的砂岩和板岩中,与褶皱总的走向一致,但也还有一些与这个走向不一致的岩枝。Kalba岩基,像与其相连的纳霍姆深成岩体一样,主要是由黑云母花岗岩组成,还有花岗闪长岩、石英闪长岩和石英正长岩。没有遭到构造变动的顶垂岩体其花岗岩化之广泛表明:一部分花岗岩是就地岩浆交代了被包裹的板岩和砂岩而形成的。

据Ю. А. 库兹涅佐夫(1964),中阿尔泰和戈尔诺阿尔泰的许多花岗闪长岩—英云闪长岩岩基其产状和形成条件都类似。

4. 烏拉尔褶皱带

这是一个反映了地壳构造范围内复杂的岩浆作用的实例,正如最近地球物理研究所证明的那样,烏拉尔褶皱带的特点是在塔吉尔—马格尼托哥尔斯克拗陷的广大地区烏拉尔中、南部地壳中没有硅铝层。这一点,是拗陷与其邻近的上部构造层为硅铝型的地背斜构造间地壳及岩浆发育上根本不同的原因。当然,在海西地槽消失和褶皱带发育的时期,不同构造岩相带中的岩浆作用特点也不同。这种地质环境提供了一个难得的机会去追索两个分异作用体系,一个是玄武岩类成因,一个是花岗岩类成因(Shteinberg 1963)。

塔吉尔—马格尼托哥尔斯克拗陷,有基性和超基性的岩浆杂岩。在下石炭世,即构造运动的前造山活动和东烏拉尔复背斜地区的稳定