

基础地质工作方法丛书

环状花岗岩 杂岩体

〔法〕B·博南

地质出版社



基础地质工作方法丛书

环状花岗岩杂岩体

〔法〕 B·博南 著

陈凤莲译

卢星芮仲清 校

地质出版社

内 容 提 要

本书以法国科西嘉岛的碱性花岗岩杂岩体为例,对照美国、尼日利亚、苏格兰、尼日尔等国大陆区花岗岩体和印度洋凯尔盖朗群岛大洋环境花岗岩体的研究,在阐述碱性环状花岗岩杂岩体产出的构造层次、侵位方式、岩石组合和结构特征等的基础上,结合地球化学,特别是同位素地球化学的室内分析,从理论、实验和野外工作等方面探讨了非造山碱性岩浆的产生机制、演化型式、成矿作用以及岩浆期后发生的各种地质现象。它既是有关花岗岩地质和构造研究的一本科学论著,也是进行这方面研究的一本方法指南。

本书可供从事岩石学、构造地质学、同位素地球化学研究的人员参考,也适于高等院校有关专业的师生阅读。

Les granites des complexes annulaires

Bernard Bonin

Bureau de recherches géologiques et minières, France, 1982

基础地质工作方法丛书

环状花岗岩杂岩体

〔法〕B·博南 著

陈凤莲 译

卢 星 芮仲清 校

责任编辑:张义勋 芮仲清

地质出版社出版发行

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本: 850×1168 $1/32$ 印张: 7.9375 字数: 203000

1989年6月北京第一版·1989年6月北京第一次印刷

印数: 1—1250册 国内定价: 3.10元

ISBN7-116-00451-3/P·376

译 者 的 话

阅读B. 博南的这本《环状花岗岩杂岩体》，我们仿佛随着作者一起从地球的大门口——破火山口入内，沿着由环状岩墙铺就的通道来到了神秘莫测的岩浆房和软流圈，尽情地周游了一番“地心”。途中，我们见到了火山口沉陷的奇异景观、环状岩墙的奇特侵位方式、岩浆房中捕虏体层力托下陷岩墙断块的壮举、熔融体在软流圈中上突和刺破岩石圈底部圈闭构造的喧嚣、推拥。而诸如岩浆-围岩相互作用引起岩浆混染，岩浆作用导致岩体矿物、结构特征的变化，以及岩浆期后的热液作用等众多的地下奇妙现象，也无不令我们目不暇接。

法国知名地质学家B. 博南就是这样以生动的叙述，将他在法国科西嘉岛和世界各地研究花岗岩体的丰富所获，向我们描绘了非造山碱性岩浆作用产生、生存和消亡的过程。通过他的阐述，我们不但了解了法国学派在花岗岩地质和构造研究上的代表性观点和他们在这一研究领域中取得的最新进展，更重要的是，作者从理论上、实验上，再结合野外工作经验，就当前花岗岩研究方面的一系列重要问题进行了探讨，为我们提供了碱性环状花岗岩杂岩体研究的一系列方法。例如，由于岩浆侵位机制的不尽相同，促使岩浆在地下不同的深度层次侵位而形成构造型式完全不同的岩体及岩石组合，加上岩浆的多期侵入作用，往往导致侵入体的彼此切割或被包裹，形成具有同一个中心或多个中心的杂岩体套叠构造，等等。这样，如果应用传统的地质研究方法，即单从岩体角度、岩石学角度或构造角度去进行分析，已不能正确地得出有关一个花岗岩体的全面情况。而B. 博南正是通过本书的研究向我们指出，只有将野外和室内工作结合起来，将岩体局部构造研究与区域构造研究结合起来，并采用岩石学、构造地质

学、地球化学以及其它学科的多学科综合对比研究手段，才能真正查明岩体的产生和演化特征，最终了解矿产的生成条件和产出环境。这可以说是本书的成功之处，也是本书的一大特点。

“他山之石，可以攻玉”。法国学者近十几年来在花岗岩地质研究上的长足进展和经验，特别是研究花岗岩体的一系列方法，对我们无疑也是一个宝贵的借鉴。我国碱性花岗岩分布广泛，十分发育，赋存有丰富的矿产，但迄今对它们的研究仍很薄弱。当前，加强对它们的研究，为国民经济的建设寻找更多的金属矿产，显然具有十分现实的意义。为此，我们继《花岗岩类岩石构造分析方法》一书之后，又将本书译介绍给我国地学界。本书如能对我国从事有关专业研究的人员有所启示和帮助，也就感到自慰了。这也正是译者翻译本书的目的。

本书在翻译过程中，曾得到地矿部情报所罗永国、肖庆辉、顾承启同志从译、校方面的诸多指点和帮助；此外，承蒙地质科学院肖序常、王松产、费振璧同志抽暇对译稿提出宝贵的修改意见，译者在此一并向他们表示感谢。

序

贝尔纳·博南 (Bernard Bonin) 的这本关于碱性环状花岗岩杂岩体著作的出版是非常及时的。它是在近10年来,从事地球物理和地球化学研究的地质工作者一直把注意力集中在板块边缘问题上,而现在正把注意力转向岩浆作用和板内变形作用问题问世的。读者在这本综述性著作里将看到精彩的论述和令人振奋的内容。作者善于把他在法国科西嘉岛的研究成果,在尼日利亚、美国新罕布什尔州、加拿大、爱尔兰和苏格兰的个人考察资料,以及对世界文献资料研究所得的知识,简洁明了地融汇在一起。作者是以明朗和分析的态度,言简意赅地探讨了碱性环状花岗岩杂岩体地质学的各个领域(构造学、地球物理学、岩石学、地球化学、成矿作用)。

非造山深成作用具有的重要意义长期以来受到忽视,而现在无论在理论上还是在找矿上都开始引起人们的重视。最近几年,特别是在非洲(安哥拉、马里、苏丹、埃塞俄比亚)和南美(巴西的朗多尼亚和亚马孙河地区、玻利维亚),发现了一些完全是由非造山杂岩体形成的岩区就是证明。根据伊伯尼-前亚马孙事件为20亿年,泛非-巴西事件为6亿年来看,这些杂岩体是在好几亿年期间分期侵入到克拉通地块中的。例如在尼日利亚,这些杂岩体有时伴生有大量的金属矿化(锡、钨、铌-钽、稀土、铀、钍)。此外,在大洋环境下(印度洋的凯尔盖朗群岛)存在类似的深成作用,就是地幔来源的证据。

本书填补了地质文献上的一大空白。它面向未来,指明了能确定板内深成作用在地球动力学背景中的地位和更好地为认识地幔-地壳交换作用而应当遵循的研究方法。

R. 布莱克

目 录

译者的话

序

引言..... (1)

第一章 构造和侵位的方式 (4)

I. 构造剥蚀的层次..... (4)

1. 地表构造层 (5)

1.1. 初始阶段..... (5)

1.2. 火山阶段..... (5)

1.3. 深成阶段..... (5)

1.4. 碎屑充填阶段..... (8)

2. 环状杂岩体构造层 (8)

2.1. 初始阶段..... (12)

2.2. 超熔花岗岩发育的阶段..... (12)

2.3. 低熔花岗岩发育的阶段..... (13)

2.4. 最后阶段..... (13)

3. 两个构造层之间的连接 (14)

4. 岩浆房构造层 (15)

II. 杂岩体的几何形态 (16)

1. 形状..... (16)

2. 平均直径 (20)

2.1. 破火山口..... (20)

2.2. 环状岩墙..... (22)

(1) 地质资料 (23)

(2) 说明 (23)

(3) 理论模型 (25)

(4) 说明 (26)

(5) 分析资料	(26)
(6) 分析结果	(28)
2.3. 小结	(29)
3. 间距	(31)
4. 总结	(34)
Ⅲ. 环状岩墙中熔融体的上升与冷却	(35)
1. 岩墙的厚度	(36)
1.1. 符号说明	(36)
1.2. 热量积累	(36)
2. 岩墙中熔融体侵入和冷却的持续时间	(37)
2.1. 符号说明	(37)
2.2. 瞬间侵入	(38)
2.3. 持续侵入	(38)
(1) 熔融体上升的速度	(38)
(2) 热量积累的可能性	(38)
Ⅳ. 环状杂岩体的侵位方式: 理论模型和实验模型	(41)
1. C.T.克拉夫、H.B.莫夫和E.B.贝利 (1909) 的早期模式	(41)
2. 火口沉陷的理论	(43)
3. 复式岩浆房的理论	(45)
4. 底辟的理论	(47)
5. 实验模型	(50)
6. 总结	(53)
Ⅴ. 非造山构造形成的早期阶段	(53)
1. 熔融体在软流圈中的产生	(53)
2. 熔融体在岩石圈中的上升	(56)
2.1. 斯托克斯式上升	(57)
2.2. 上升与冷却	(57)
3. 总结	(60)
Ⅵ. 非造山杂岩体的产生、生存和消亡	(61)
第二章 岩石的结构和矿物成分	(64)

I. 岩石的结构	(65)
II. 石英	(69)
III. 长石	(70)
1. 辉长岩中的长石	(71)
2. 二长岩中的长石	(71)
3. 花岗岩中的长石	(72)
3.1. 超熔花岗岩中的长石	(72)
3.2. 低熔花岗岩中的长石	(74)
3.3. 钠长石花岗岩中的长石	(75)
3.4. 透熔花岗岩中的长石	(75)
3.5. 暂时得出的总模式	(76)
(1) 同结晶的中条纹长石	(77)
(2) 单独结晶的长石	(78)
3.6. X射线分析的数据	(79)
4. 总结	(81)
IV. 无水含铁矿物	(82)
1. 橄榄石	(82)
2. 辉石	(84)
V. 角闪石	(85)
VI. 云母	(95)
VII. 副矿物	(103)
1. 氧化物	(103)
2. 硫化物	(104)
3. 硫酸盐类	(105)
4. 磷酸盐类	(105)
5. 卤化物	(105)
6. 硅酸盐类	(105)
6.1. 超碱性岩系中的硅酸盐类	(105)
6.2. 超铝质岩系中的硅酸盐类	(106)
7. 锆石	(108)
VIII. 岩体内矿物成分与结构的变化	(113)

1. 冷凝边	(113)
2. 捕虏体	(115)
3. 热液作用	(117)
3.1. 超铝质岩系中的热液作用	(117)
3.2. 超碱性岩系中的热液作用	(119)
IX. 结论	(121)
章后补充说明	(126)
I. 化学分析的问题	(126)
II. 化学结构式的计算问题	(127)
三章 岩浆岩的演化与岩浆期后现象	(129)
I. 碱性岩浆岩系列	(129)
1. 碱性岩浆岩特征的鉴定	(129)
1.1. 碱-二氧化硅图解 (都城秋穗, 1978)	(130)
1.2. 氧化物-二氧化硅图解	(132)
2. 碱性岩浆岩系列的演化	(135)
II. 基性岩	(139)
1. 呈岩体产出的基性岩	(140)
2. 呈捕虏体产出的基性岩: 是平衡还是不平衡的 产物?	(142)
2.1. 原始结构和矿物被保存下来的辉长岩	(142)
2.2. 含奥长石-角闪石的暗色捕虏体	(146)
2.3. 熔融体的不混溶性	(148)
3. 钠闪花岗岩: 是早期还是晚期分异的产物?	(150)
III. 酸性岩	(151)
1. 酸性岩的两个岩石系列及它们的特征鉴定	(152)
1.1. 碱-铝-铁图解	(152)
1.2. 钠-钾-铝图解	(154)
2. 酸性岩两个岩石系列出现的原因	(155)
2.1. 科罗-巴斯特利卡杂岩体岩石样品的可控熔融试验 结果	(157)
2.2. 超铝质熔融体的出现	(160)

2.3. 超碱性熔融体的出现·····	(161)
2.4. 讨论·····	(162)
3. 岩浆演化的一般型式·····	(162)
IV. 痕量元素的资料·····	(164)
1. 碱和碱土元素·····	(164)
1.1. 基性、中性岩中的碱和碱土元素·····	(164)
1.2. 酸性岩中的碱和碱土元素·····	(168)
2. U和Th元素·····	(171)
3. Rb-Sr系统与 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值的意义·····	(172)
3.1. 晚期同位素重新均质化的实例·····	(172)
3.2. 环状杂岩体的实例·····	(174)
(1) 法国科西嘉·····	(174)
(2) 格陵兰加达尔·····	(177)
(3) 苏格兰斯凯岛·····	(179)
(4) 尼日利亚·····	(181)
3.3. 岩浆房的情况·····	(185)
3.4. 小结·····	(188)
4. 讨论·····	(190)
V. 结论·····	(190)
章后补充说明·····	(192)
I. 氧化物-二氧化硅图解的问题·····	(192)
II. 氧化物-氧化物比值图解的问题·····	(194)
1. 第一种情况·····	(195)
2. 第二种情况·····	(195)
3. 结论·····	(195)
III. 关于“碱性”一词的含义·····	(196)
1. “碱性”·····	(196)
2. “超铝质-超碱性”·····	(197)
第四章非造山碱性岩浆作用的成因和演化·····	(199)
I. 非造山碱性岩浆作用的成因·····	(200)
1. 各种模式的局限性·····	(200)

2. 各种模式的特征	(201)
3. 圈闭构造的模式	(203)
II. 非造山碱性岩浆的上升与混染	(208)
1. 地壳熔融引起的混染	(209)
2. 岩浆-固体相互作用引起的混染	(210)
III. 岩浆的演化	(213)
1. 水的作用	(213)
2. 围岩的作用	(215)
3. 各种酸性岩类及它们的产地	(217)
IV. 岩浆期后岩石的演化	(221)
1. 热液蚀变	(221)
2. 钠闪花岗岩与碎裂岩带	(222)
3. 小结	(223)
V. 矿化作用	(223)
VI. 结论	(226)
结束语	(228)
参考文献	(232)

引 言

“花岗岩无处不有”

H.H.里德

花岗岩的产出环境和花岗岩的组成都是多种多样的。地球动力环境对岩浆来源和岩浆的侵位地点起着十分重要的作用。R. F. 马丁和A. J. 皮温斯基 (R. F. Martin, A. J. Piwinskii, 1972) 提出将岩浆岩系列划分为两类：一类是产在地壳缩短和板块会聚的地带，岩浆岩组合属于所谓“造山”系列；一类是产在地壳拉伸带或板内扩张带，或者在板块离散边缘，岩浆岩组合属于“非造山”系列。

本书要介绍的是属于“非造山”系列，特别是碱性岩系列的花岗岩及其伴生岩石。它们呈环状杂岩体的形式产出，故本书由此命名为《环状花岗岩杂岩体》。

本书主要根据法国的实例，即根据科西嘉 (Corse) 岛的杂岩体来介绍这些岩系的以下各种特征：

- 构造和侵位的方式；
- 矿物的成分和结构；
- 岩浆岩的演化与岩浆期后现象；
- 岩浆的来源和演化。

必要时，也用外国的其它实例来代替科西嘉的例子。

长期以来，法国科西嘉岛受到科研人员的注意，它差不多成了地中海地区的一个完备的天然实验室。在那里，各种地质问题都可以遇到，特别是环状花岗岩杂岩体 (图1)，就存在有20多个。由于岛上的自然条件特别有利 (地形起伏大)，因此通过对这些杂岩体的研究 (B. Bonin, 1980; P. Vellutini, 1977)，本书

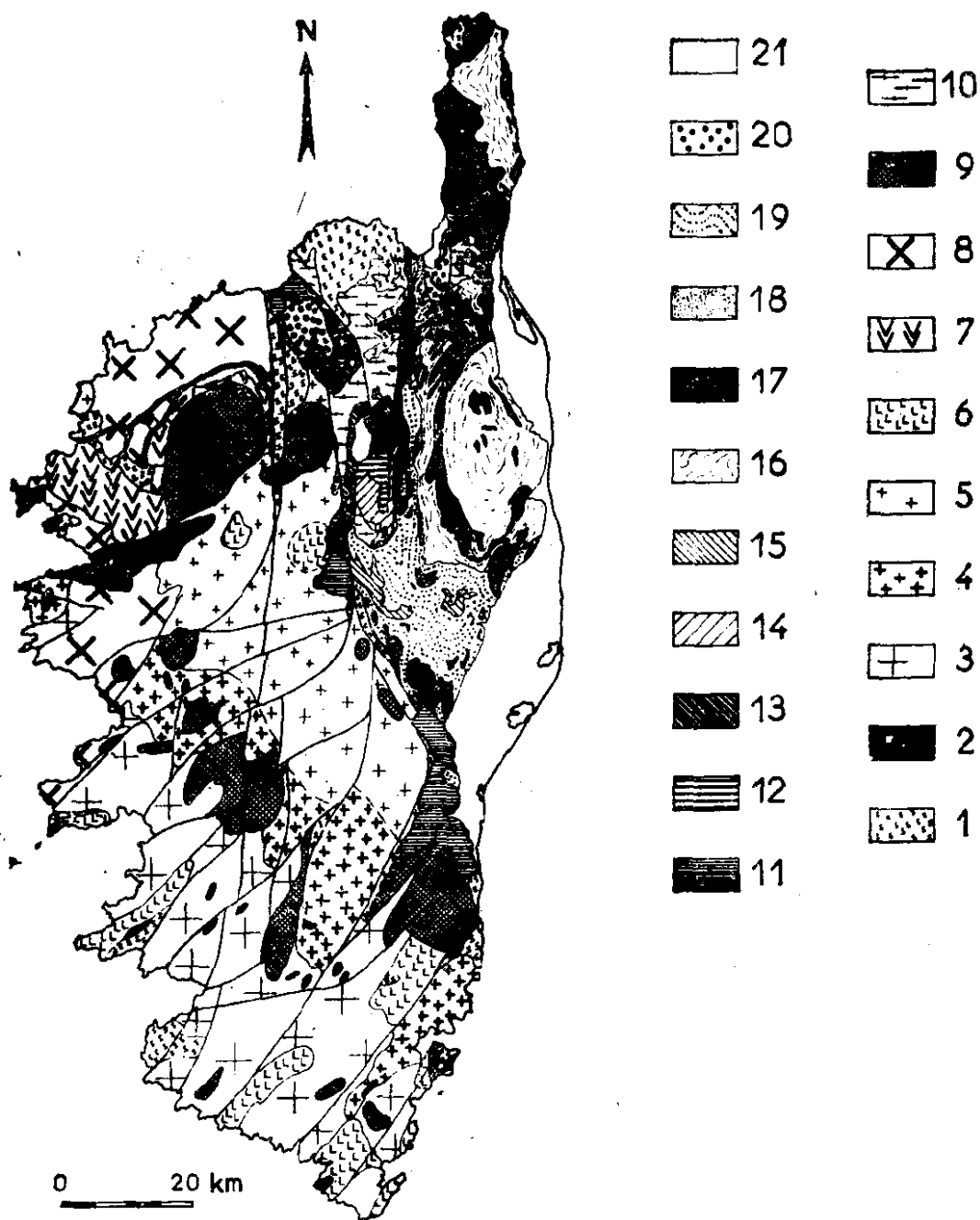


图 1 科西嘉岛的构造示意图

1—花岗岩侵入前的变质岩系和古生代岩系；2—辉长岩-闪长岩；3—花岗闪长岩和似斑状二长花岗岩（A带）；4—花岗闪长岩和英云闪长岩（B带）；5—花岗闪长岩和二长花岗岩（C带）；6—浅色花岗岩；7—钙碱性火山岩；8—含钾亚碱性岩系；9—非造山碱性杂岩体；10—东科西嘉花岗岩；11—原地岩系；12—圣安吉洛单元；13—科尔特单元；14—圣卢西亚单元；15—巴格利亚科纳-里旺托萨岩系；16—拉卡斯塔尼克西亚岩系；17—蛇绿岩；18—圣皮埃特罗·迪·滕达岩系；19—因泽卡岩系；20—地表异地岩单元；21—上第三系和第四系

提出并详细描述了一个严谨的构造模式。

这个模式同时又得到了世界上许多地方，特别是非洲、美洲和英国已知的有关花岗岩的类似文献资料的佐证。它的提出更多的要归功于英国的前辈学者，他们从本世纪初起就在世界上首先论述了苏格兰的环状杂岩体。象J. E. 里奇(J. E. Richey)这样的野外地质学家，A. 哈克(A. Harker)和H. H. 托马斯(H. H. Thomas)这样的岩石学家，J. E. 安德森(J. E. Anderson)这样的构造学家等所作的贡献是巨大的，因为他们从零开始以至建立了今天仍在使用的许多概念。在尼日利亚，这些花岗岩所具有的经济价值被人们发现，这标志着研究工作进入到一个重要的发展阶段：世界上所开采的锡、稀土和大部分铀来自环状花岗岩杂岩体。因此，研究环状花岗岩杂岩体的意义是显而易见的，它将基础研究与应用研究结合起来，而且大大地超出了局部地区的范围。

第一章 构造和侵位的方式

在地中海西部，科西嘉岛是拥有非造山成因酸性杂岩体数量最多的一个自然区。由于岛上的地势形成比较年轻（例如钦托山造山杂岩体构成岛上高达2710米的主峰，而深谷切蚀的深度达1500米）以及由于酸碱性岩类出奇的抗剥蚀，从而造就了科西嘉岛上最美最原始的自然景观，有利于对构成非造山杂岩体的所有构造层和杂岩体内部情况的研究。这将使我们有可能对厚达3000米的杂岩体的构造进行描述和精确测定。而在其它地方，直到现在，所提出的综合性资料仅涉及在剖面上表现为长不过500米的一些相邻岩体。

为了建立一个严谨的构造模式，需要解答非造山杂岩体的地质特征所提出的一些问题：

- （1）在每个构造剥蚀的层次上，一个杂岩体都有些什么结构？
- （2）所有构造层之间是怎样衔接的？
- （3）在同一地区内，杂岩体的几何形态特征意味着什么？
- （4）构成杂岩体的物质有些什么物理特征？
- （5）目前提出的综合性理论的内容是什么？它的长处是什么，不足又是什么？
- （6）能否得出非造山成因岩浆事件从开始到结束的完整过程？

I . 构造剥蚀的层次

我们将由地表开始向深部追索这些不同的构造剥蚀层次，并由此确定出若干个构造层。

1. 地表构造层

这个构造层主要出露在地表，深至少可达1000米（火山产物的最小厚度），尤以科西嘉北部和埃斯泰雷尔（Estérel）为最典型。这里，我们介绍一下P. 维吕蒂尼（P. Vellutini, 1977）根据斯康多拉-塞尼诺（Scandola-Senino）（图2）、钦托（Cinto）

（图3）和埃斯泰雷尔的实例进行研究而获得的资料。据该学者的观点，可以区分出以下若干个周期性的阶段：

1.1. 初始阶段

地壳最初开始隆起，是由于下伏岩浆房中超常的压力所引起的，并产生了主要是辐射状的断裂，而向心倾角很陡的同心状断裂则较罕见。这些断裂有助于火成碎屑喷出物补给通道的形成，熔结凝灰岩流的侵位和穹窿的形成。当剥蚀作用没有把这些破火山口形成以前的岩系剥蚀掉时，这些岩系就保存在破火山口的外带上。

1.2. 火山阶段

隆起的中心部位开始塌陷。先是张开，后被补给脉充填的断裂由于隆起的塌陷而被堵塞，这样，又一次产生了超常的压力而再次发生隆起。新形成的辐射状和同心状断裂的张开和（或）老断裂的重新活化，导致在地表形成了诸如火成碎屑岩、浮岩和熔结凝灰岩等先是酸性的、后是酸性和基性的且活动性很高的火山产物。由喷出活动的阵发特征（伴随重新隆起首先发生断裂的张开，随之在火山活动之后发生塌陷）所产生的震动，使距离破火山口边缘断层不远处发生同心状塌陷。当岩浆经过充分排气之后，火山活动发生变化，出现岩床的侵入，产生了边缘穹窿，岩浆并可能外溢到构造内带的附近。边缘断层的向心陡倾以及持续发生的塌陷可以解释火山建造何以具有多次叠加的外貌，在被火成碎屑岩或火山泥流隔开的各个熔结凝灰岩岩层之间何以会出现层间不整合现象。

1.3. 深成阶段