

7265

56.7

中国东部新生代玄武岩 及深源岩石包体

鄂莫岚 赵大升 主编



科学出版社



中国东部新生代玄武岩 及深源岩石包体

主 编

鄂莫岚 赵大升

科 学 出 版 社

1 9 8 7

内 容 简 介

本书是中国科学院地质研究所的科研成果之一,它是一本比较全面系统地阐述了我国东部新生代火山岩及其中超镁铁岩包体的专著。

全书资料丰富、图文并茂,约七十余万字。书中发表了新的岩石和矿物化学分析数据数百个,岩石微量元素分析数据百余个,系统地总结了幔源超镁铁岩包体及其寄主岩的时空分布规律及其岩石学、矿物学和地球化学特征,进而探讨了我国东部上地幔的化学成分、矿物组成和结构,为我国深入研究地幔物质组成及其演化提供了丰富的资料。

本书可供从事地质、岩石、矿物及地球物理等专业工作者,特别是从事、地球深部研究的人员及有关院校师生参考。

中国东部新生代玄武岩 及深源岩石包体

鄂莫岚 赵大升 主编

责任编辑 谢洪源

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987 年 12 月第 一 版	开本: 787×1092 1/16
1987 年 12 月第一次印刷	印张: 31
精 1—450	插页: 精 11 平 10
印数: 平 1—900	字数: 726,000

统一书号: 13031·3953

本社书号: 5088·13—14

布脊精装 9.80 元
定价: 平 装 8.30 元

前 言

目前,在地球科学领域(尤其是在岩石学领域)中普遍认为,以火山活动或构造活动方式被搬运到地表的某些超镁铁岩,可视为来自上地幔的岩石样品。它们包括赋存于金伯利岩和碱性镁铁质-超镁铁质熔岩及碎屑岩中的石榴石橄榄岩、尖晶石橄榄岩以及少量的石榴石辉石岩和榴辉岩等包体(碎块、团块);某些超镁铁质深成岩体(特别是阿尔卑斯型的);以及紧密地与富石榴石的橄榄岩体伴生在高级变质基底杂岩中的榴辉岩(其中石榴石的镁铝榴石组分含量 $>50\%$)块体。对这些产于世界各地的岩石样品,已有些学者(如 Wyllie 等, 1967; Kuno & Aoki, 1970; Carmichael 等, 1974; Ringwood, 1975; Dawson, 1980; Соболев, 1975; 等等)进行过比较系统的综合论述和研究。但对广布于中国东部沿海地区新生代火山岩中的超镁铁岩包体(Ultramafic xenoliths),至今尚无系统的研究成果发表。基于这种状况,本专著的作者们根据近几年来对中国东部新生代火山岩及其中超镁铁岩包体开展工作中取得大量实际资料的基础上,进行了比较全面、系统的综合研究,书写成这一专著。我们希望这一研究成果,对促进这一领域的深入研究有所助益,也希望在这一领域的研究中作出应有贡献。

由于金伯利岩、碱性玄武质和超镁铁质熔岩以及其火山碎屑岩中的超镁铁岩包体,为人们研究下地壳和上地幔提供了天然样品和直接信息。因此,通过对它们的研究,不仅可以为人们认识下地壳和上地幔的物质组成、形成过程、演变历史以及深部地质作用(岩浆的生成及演化和变质、变形等等)提供重要依据,也可提供在探索地球和行星的形成、演化及太阳系的物质组成特征等方面的一些信息。因此,对这方面的研究早已引起地球科学学者的极大兴趣和广泛重视,并于本世纪六十年代末被列为国际上地幔合作研究计划的主要内容之一。十多年来,通过世界许多科学家的通力合作,对超镁铁岩包体及其寄主岩的岩石学、矿物学、元素地球化学、同位素地球化学、动力地球学及实验岩石学等方面进行了广泛和深入的研究,已取得了丰富的研究成果,并逐步完善,成为地球科学中的一门新兴学科——地幔岩石学。

中国东部沿海地区新生代岩浆活动十分强烈,广泛发育以玄武岩类为主的火山岩系,构成环太平洋西岸中、新生代岩浆岩带的重要组成部分。在岩带内的碱性玄武质岩石及某些偏碱性的超基性岩石中往往含有较丰富的、类型复杂的来自地球深部的超镁铁岩包体以及石榴石、单斜辉石、歪长石、橄榄石、金云母、角闪石和钛铁矿等巨晶,其中有些地区所含包体或巨晶的丰度及大小为世界罕见。因此,对于这方面的研究,中国东部沿海地区可为世界上最为理想的地区之一。这正是中国东部环太平洋西岸岩浆岩带引起国内外地球科学研究者所关注的原因。

从七十年代末开始,我们相继开展了中国东部(大体上包括东经 108° 至 135° 、北纬 15° 至 53° 之间的沿海区域)新生代火山岩及其中超镁铁岩包体的研究工作。在数年中,对北起黑龙江南到海南岛的广阔地区内几乎所有含超镁铁岩包体的新生代火山岩,进行了野外考察和室内的系统研究,取得了较为丰富的地质、岩石、矿物、地球化学及显微构造等多方面的实际资料。这本专著就是在对这些实际资料综合分析的基础上,并参阅了国

内外有关的大量文献而写成的。它阐述了中国东部新生代火山岩的时空分布规律及其与地质构造之间的关系；超镁铁岩包体、巨晶及寄主岩的岩石和岩石化学、矿物和矿物化学、微量元素地球化学以及同位素地球化学等方面的区域特征；并结合热力学、岩石物理化学、实验岩石学及地球物理等已有资料来探讨成岩过程中的物理化学条件；进而提出其成因和演化的初步认识以及研究地区上地幔的可能组成、变质变形特征、古地温梯度的变化以及它们对地壳的形成和演化的影响等等。我们认为对这些问题的深入了解和探索，不仅在地质基础理论研究上具有意义，而且对中国东部新生代时期的大地构造性质及形成和演化历史以及对某些矿产的形成和富集、地震成因的研究等方面也有其实际价值。

参加本书编写的有中国科学院地质研究所和武汉地质学院的九位同志。前言和绪论由赵大升执笔；第二章由鄂莫岚、邓晋福和路凤香共同完成，其中第一至第三节由鄂莫岚执笔，第四至第五节由路凤香执笔，第六至第九节由邓晋福执笔；第三章由赵大升和郑学正共同完成，其中第一节由郑学正执笔，第二至第三节由赵大升、郑学正执笔；第四章由肖增岳和王艺芬执笔；第五章由从柏林和张儒暖共同完成，其中第一节和第四节由从柏林执笔，第二、三节由张儒暖执笔；第六章由鄂莫岚执笔。总的说来，本专著的作者们对所研究项目中的一些主要问题的认识基本上是一致的，但对个别问题或某些细节问题，仍不可避免地存在着这样或那样的见解。有鉴于此，专著中有关地区性的论述部分基本上保持了相对的独立性，以便于更好地反映各个作者的观点。我们认为这对今后进一步的深入研究是会有所助益的。

本专著是集体劳动的成果，它是不同单位岩石学研究工作者相互协作、共同完成的。初稿完成后承蒙中国科学院地质研究所的吴利仁研究员和叶大年及李秉伦副研究员、有色金属总公司北京地质研究所的马力高级工程师、武汉地质学院的邱家骧副教授、地质矿产部的李文祥高级工程师以及国家地震局地质研究所的刘若新和杨美娥副研究员进行了审阅，并提出了宝贵的修改意见。根据所提意见，作者们对初稿作了一些修改和补充，并由鄂莫岚同志最后定稿。

应指出，本专著虽然是目前对中国东部新生代火山岩及其中超镁铁岩包体和巨晶研究中较为全面、系统的文献，但由于工作地区大，涉及的问题又很广，而且其中不少问题目前在国内外的地学研究工作者中尚存在很大的分歧和争论，加之作者们水平所限，因此，我们深深感到，本研究成果仅仅只是在这项研究领域迈出了一步，其中对不少问题的认识尚不成熟，有待今后进一步深化。文中有疏漏或不妥之处，谨请读者指正。

我们衷心感谢在野外考察期间给予大力协助的有关地质系统的同行们，也衷心感谢为我们提供各种分析、测试数据的所有工作者。此外，也对在整个研究过程中及完成本专著的撰写和出版工作中给予我们支持、鼓励并提出宝贵修改意见的所有专家和同行们致以深切的谢忱。

一九八五年三月

目 录

前言

第一章 绪论	赵大升	1
第一节 超镁铁岩包体的研究概况		1
第二节 玄武岩及包体的岩石分类		3
一、玄武岩的岩石分类		3
二、包体的类型及岩石种属的划分		3
第三节 包体的成因假说		5
第四节 中国东部新生代地质构造总特征及火山岩时空分布规律		6
第二章 东北地区新生代玄武岩和超镁铁岩包体	鄂莫岚、路凤香、邓晋福	10
第一节 区域地质概况		10
一、本区断裂褶皱构造概况		10
二、新生代火山岩的时空分布及岩石学基本特征		13
第二节 超镁铁岩包体的岩石学		21
一、超镁铁岩包体的分布		21
二、本区超镁铁岩包体岩石类型及特征		24
三、本区超镁铁岩包体的成因		30
第三节 超镁铁岩包体的岩石化学特征		31
一、橄榄岩类包体的化学成分特征		36
二、与 Ringwood (1975) 的模拟上地幔岩成分的对比		37
三、本区与世界几个地区包体的化学成分平均值的对比		39
第四节 超镁铁岩包体的矿物学		39
一、矿物的一般特征		46
二、矿物化学特征及可能的依赖因素		64
三、小结		72
第五节 碱性玄武岩中的高压巨晶		72
一、巨晶的类型与分布		72
二、各类巨晶的特征		74
三、巨晶形成条件讨论		81
第六节 上地幔热状态		86
一、温度、压力计算的方法和结果		87
二、辉石地温		87
三、上地幔物质组成剖面		91
第七节 寄主玄武岩		96
一、寄主玄武岩的主要类型及岩石学特征		96
二、寄主玄武岩岩石化学特征		98
三、寄主玄武岩与构造的关系		104
第八节 玄武岩岩浆的起源		112
一、原生玄武岩岩浆		112

二、寄主玄武岩与上地幔橄榄岩包体之间的互补关系	117
三、玄武岩岩浆起源的温度、压力条件的估算	123
四、寄主玄武岩岩浆起源的机理	128
第九节 上地幔的演化	130
一、塑性流动	130
二、元素的分异与上地幔成层化	131
三、辉石岩岩浆形成事件	131
四、角闪石、金云母交代作用事件	132
五、玄武岩岩浆的形成事件	132
六、上地幔演化概略模式	132
第三章 华北地区新生代玄武质火山岩及超镁铁岩包体.....赵大升、郑学正	133
第一节 新生代玄武岩	133
一、玄武岩的时空分布	133
二、玄武岩岩石学	135
三、玄武岩微量元素和同位素地球化学	182
四、本区玄武岩的成因探讨	188
第二节 超镁铁岩包体及巨晶	189
一、包体及巨晶的类型和地质特征概述	190
二、包体的结构类型及组构特征	194
三、包体的岩石化学特征	198
四、包体的稀土元素地球化学	207
五、包体的矿物及矿物化学	216
六、巨晶及其矿物化学	248
第三节 包体成因探讨及研究地区上地幔的可能组成	256
一、关于局部熔融程度的估算	256
二、包体形成温度和压力的估算	262
三、包体的成因探讨	265
四、研究地区上地幔物质的可能组成	267
第四章 华东地区新生代玄武岩和超镁铁岩包体.....肖增岳、王艺芬	269
第一节 新生代玄武岩	269
一、玄武岩的区域地质构造背景及其时空分布	269
二、玄武岩岩石学	274
三、玄武岩的矿物学	290
第二节 超镁铁岩包体及巨晶	299
一、超镁铁岩包体的寄主岩	299
二、超镁铁岩包体的岩石学	301
三、二辉橄榄岩包体结构	308
四、二辉橄榄岩包体与岩浆的反应	314
五、二辉橄榄岩包体的矿物学	314
六、巨晶矿物学	325
第三节 过渡金属和稀土元素(REE)地球化学.....	334
一、过渡金属地球化学	335
二、稀土元素地球化学	335

第四节 超镁铁岩包体成因及上地幔物质的可能组成	339
一、部分熔融程度的估算	339
二、二辉橄榄岩包体的平衡结晶 $P-T$ 条件	340
三、包体成因讨论	345
四、上地幔物质的可能组成	346
第五节 玄武岩浆形成及演化	346
一、玄武岩浆形成与演化	346
二、玄武岩浆形成的可能模式	347
第五章 中国东南部新生代火山岩系及其超镁铁质岩包体.....张儒媛、从柏林	349
第一节 新生代火山岩系	349
一、大地构造背景	350
二、分布概况	351
三、化学分类	353
四、火山岩系的判别及其大地构造含义	381
第二节 新生代基性-超基性火山岩中的包体	390
一、分布	390
二、岩相学	391
三、岩石化学	399
四、一些特殊的包体	408
五、矿物化学	409
六、共存矿物对的 $Fe-Mg$ 分配及其平衡结晶的 $P-T$ 条件	433
七、上地幔组成	438
第三节 新生代基性和超基性火山岩系中的巨晶	439
一、巨晶的形态和矿物化学	439
二、巨晶的晶胞大小	453
三、巨晶的形成机制和形成的物理条件	454
第四节 微量元素地球化学	456
一、过渡金属	456
二、亲热水和岩浆的元素(hygromagmatophile 元素,简写为 HYG).....	465
三、稀土元素 (REE)	467
第六章 结论.....鄂莫岚	476
参考文献.....	479
图版	

第一章 绪 论

在本章中我们将简略地对目前国内外的超镁铁岩包体的研究概况、分类及成因等作一介绍,目的是便于初次涉及这方面工作的读者,对该领域的基本情况有一梗概的了解,也为了避免在本专著各章节中出现重复。此外,为了让读者对中国东部新生代地质构造及火山岩的时空分布有个整体概念,编制了一幅研究区的构造及火山岩分布略图(图 1-1),并作了简要说明。

第一节 超镁铁岩包体的研究概况

超镁铁岩包体系指那些直接生成于地幔中或是来自地幔物质的局部熔融而产生的超镁铁质或镁铁质岩浆中的结晶堆积物,经金伯利岩岩浆或玄武岩岩浆携带到地表的岩石碎块。可能是由于金伯利岩中经常发现有金刚石而引起人们关注的原因,早在本世纪二十年代末期已对金伯利岩中的超镁铁岩包体的成因提出了一种合理的解释。这方面具有代表性的经典文章是由 Wagner (1928)发表的,他提出金伯利岩岩筒中的一套橄榄岩-榴辉岩包体是从上地幔被带出的岩石标本的推论,这种推论已得到很多研究者的支持。而碱性玄武质岩石中的超镁铁岩包体,到五十年代初期才引起了人们的重视,自 Ross(1954)第一次报道并对其进行岩石学研究以来,已得到迅速发展。从六十年代起对这一领域进行了比较系统的研究,从以岩石学研究为主发展到七十年代的岩石学、矿物学、微量元素地球化学、同位素地球化学及动力地球学等方面的综合研究,同期大量实验岩石学特别是高温高压实验资料的取得和积累,提供了地球深部可能存在的岩石和矿物的性质和稳定区以及岩浆生成的物理化学条件等方面很有价值的数 据,从而大大地促进了人们对地球深部的认识,使地球科学的某些基本问题趋于更合理的解释,并已逐渐完善成为一门新兴的地球科学——地幔岩石学。近些年来,由于地幔岩石学与地球物理、岩石圈动力学和深部地球化学等学科相互渗透,以及海洋地质学与宇宙地质学等研究的开展,因此这一研究领域日趋深化,探讨的范围已涉及到对原始地幔的组成、结构、演化和地幔的交代以及金伯利岩和玄武岩岩浆成因等现代地球科学的重大理论问题。

在这一研究领域中我国的起步较晚,五十年代中期赵宗溥(1956)对中国东部新生代玄武岩的岩石学和岩石化学进行了较系统的综合研究,其后虽然个别学者曾对个别地区玄武岩中的超镁铁岩包体有过报道,但较多的工作则始于七十年代中期,且多侧重于岩石学和岩石化学方面的研究及资料的积累阶段。八十年代初将“中国东部环太平洋带地壳-上地幔的形成与演化”列为地学基础理论重大研究项目之一后,作为该项主要内容之一的中国东部新生代玄武岩及其中超镁铁岩包体和巨晶的研究工作,才全面、系统地开展起来。目前国内已有众多的学者在从事这方面的研究,我们相信在这一研究领域中不久将会获得重大成果。

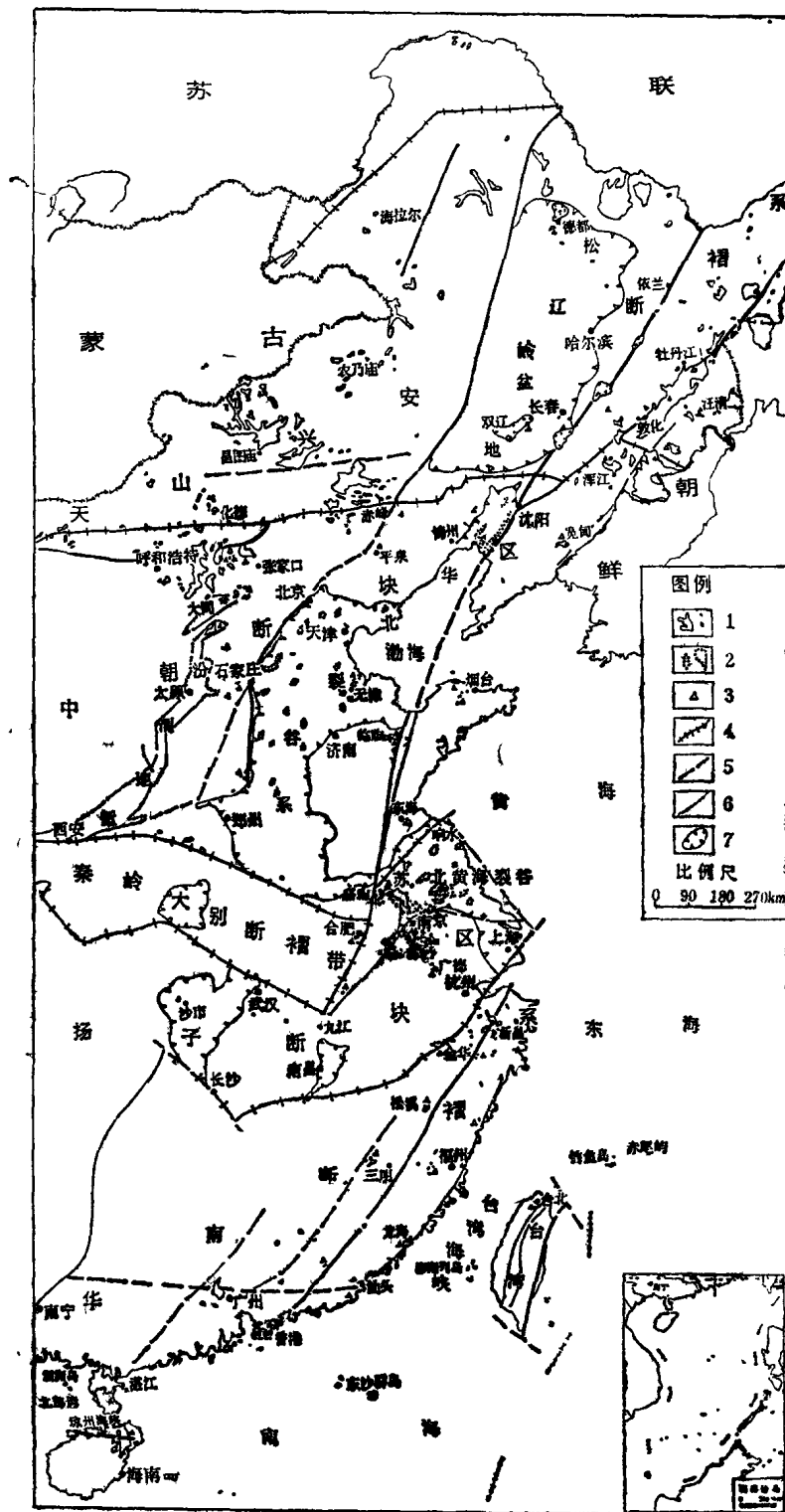


图 1-1 中国东部新生代火山岩分布略图

1. 出露的火山岩; 2. 隐伏的火山岩; 3. 含包体的地点; 4. 断块边界; 5. 岩石圈断裂; 6. 区域性断裂; 7. 盆地界线

第二节 玄武岩及包体的岩石分类

岩石学家们早就认识到,地球上存在着由矿物和化学组成不同的几大类岩浆岩,并从不同的侧面(矿物的、化学的、标准矿物的)对各大类中的岩石种属提出了划分的意见,但至今尚无一个被大家公认的统一分类命名方案。这显然是由于自然界中岩浆岩的多样性、复杂性以及人们目前认识自然的局限性所造成的。因此现今已提出各式各样的分类,在一定程度上均具有人为的因素,也就难于反映出自然界不同类型岩浆岩之间在组分上往往存在连续过渡的情况。即使如此,但现有的分类在实际工作中仍是十分有用的,问题在于如何更合理地去选用这些分类。关于岩浆岩的分类命名问题,不少学者编著的岩石学专著中已有叙述,这里就本专著中采用的玄武岩和超镁铁岩包体的岩石分类命名作一简略介绍。

一、玄武岩的岩石分类

由于玄武岩类岩石一般结晶较细和往往含有玻璃质,不易准确地测定其实际矿物比例,因此,多采用化学分类法。在本专著中我们将采用 Yoder 和 Tilley (1962) 建议使用的 CIPW 标准矿物,通过玄武岩四面体进行分类(见表 1-1; 图 1-2)以便与国内外地质文献中广泛采用该分类法的研究成果进行对比。对于个别未包含于上述分类但已广泛被岩石学者习用的岩石名称,在文中仍加以采用。至于那些呈岩筒、岩脉(墙)或不规则体产出的超基性熔岩,我们将辅以其它图解和分类方案进行岩石命名。

表 1-1 按 CIPW 标准矿物成分的玄武岩分类

(据 Ringwood, 1975)

岩 套	成 分
拉斑玄武岩套 (以出现标准紫苏辉石为特征)	石英拉斑玄武岩 含石英 + 紫苏辉石
过渡岩套	橄榄拉斑玄武岩 含橄榄石 + 紫苏辉石
	橄榄玄武岩 在图 1-2 中位于临界不饱和面附近的拉斑玄武岩,含紫苏辉石 < 3%
碱性玄武质岩套 (以出现标准霞石为特征)	碱性橄榄玄武岩 含橄榄石及 0—5% 的霞石
	碧玄武岩 含橄榄石及 > 5% 的霞石
	橄榄霞石岩 以橄榄石、透辉石和霞石作为主要矿物,但无钠长石
高铝岩套	含 Al_2O_3 15—18% 的玄武岩; 在图 1-2 中主要位于橄榄拉斑玄武岩体积内,但范围可以从碱性橄榄玄武岩经橄榄玄武岩到橄榄拉斑玄武岩

二、包体的类型及岩石种属的划分

目前一般根据矿物成分及结构等特征,将超镁铁岩包体划分为两大类型: Frey 和 Prinz (1978) 称之为 I 型和 II 型; Ishibashi (1970) 称之为绿色型和黑色型; 而 White

(1966) 则分为二辉橄榄岩系和异剥橄榄岩系。I 型(绿色型或二辉橄榄岩系)包体的组成矿物以富镁和铬为特征,并具变质结构。II 型(黑色型或异剥橄榄岩系)包体的组成矿物以富铁和钛为特征,多具火成结构,有的也兼具变质结构。在本专著中我们采用绿色型和黑色型的划分方案。应指出,在中国东部个别地点的包体中见到一种稀少的由橄榄岩和辉石岩组成的复合包体 (Composite xenoliths) 或称混成包体,这是很有意义的。

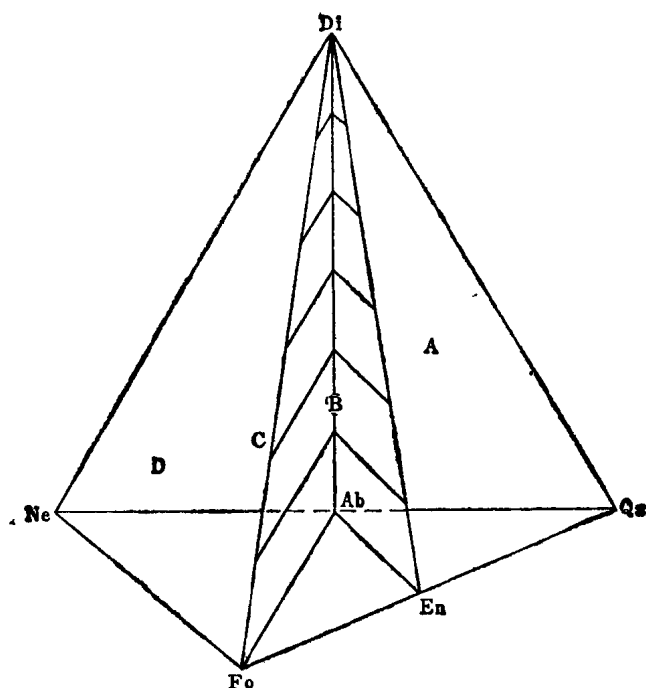


图 1-2 “玄武岩四面体”分类图

(据 Yoder 和 Tilley, 1962)

Di-Fo-Ab 面为硅不饱和临界面; Di-En-Ab 面为硅饱和面。

A 为石英拉斑玄武岩区; B 为橄辉拉斑玄武岩区; C 为碱性橄辉玄武岩区;
D 为橄辉岩区。

高铝玄武岩通常落入橄辉拉斑玄武岩区内,成分相对地向着 Ab 顶点位移

超镁铁岩包体的岩石种属划分,目前国内外的研究者均采用与一般超镁铁岩(深成岩)种属划分相同的方案。虽然这种分类方案尚未统一,但它们均依据岩石中橄榄石、单斜辉石、斜方辉石和角闪石等主要造岩矿物的含量之比为基础来划分的。本专著中我们采用了当前在文献中应用比较普遍的由国际地质科学联合会第 24 届地质年会上通过(1972)并建议使用的超镁铁岩(深成岩)分类方案。该分类是以岩石中橄榄石(Ol)、斜方辉石(Opx)、单斜辉石(Cpx)或橄榄石(Ol)、辉石(Py)、角闪石(Hb)的相对含量,利用三角图进行分类命名(图 1-3)。考虑到含铝相矿物(尖晶石和石榴石)对超镁铁岩包体的形成起到重要的指示作用,因此,应在上述分类所划分的岩石名称之前缀以所含含铝相矿物来命名(如尖晶石二辉橄榄岩,石榴石辉石岩等等)。

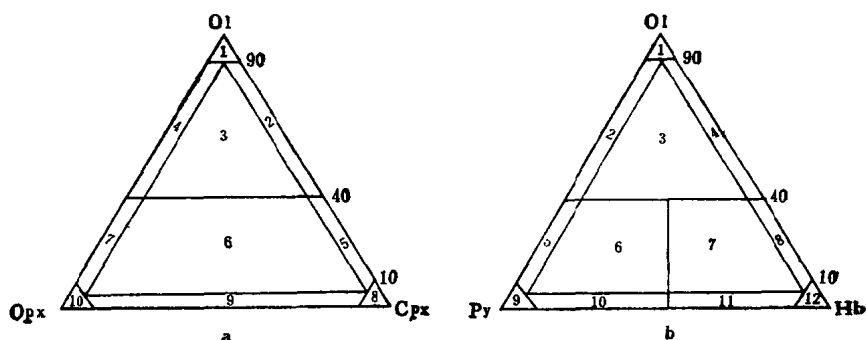
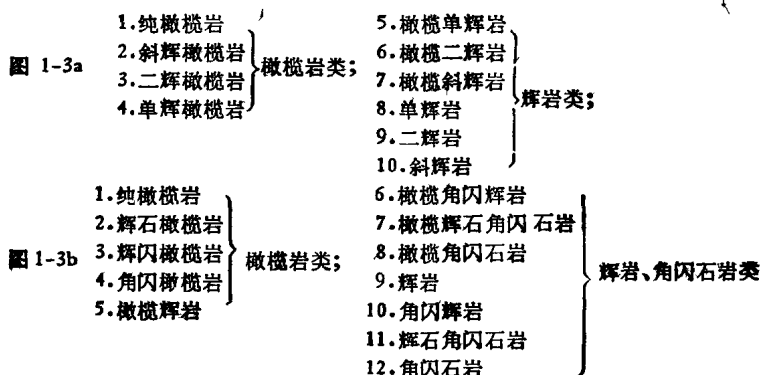


图 1-3 超镁铁质岩(深成岩)分类命名三角图

(据 1972 年 24 届国际地质年会通过)



第三节 包体的成因假说

自 Wagner (1928) 提出金伯利岩中的超镁铁岩包体是上地幔岩石的随机标本及 Ross (1954) 推论碱性玄武岩中的超镁铁岩包体是从上地幔衍生的以来, 许多知名的学者 (O'Hara, 1967、1968; Dawson, 1980; Wyllie 等 1967; Ringwood, 1975; White, 1966; Green 等, 1970; Frey 和 Prinz, 1978; Kuno 和 Aoki, 1970; Соболев 等, 1975; 等等) 从岩石学、地球化学、同位素地球化学及实验岩石学等各个领域进行了较系统的研究, 并在他们的论文或专著中, 对超镁铁岩包体作了详细论述, 并对其成因提出了不同的假说和推测。概括起来可归纳为以下四种假说: 1) 是寄主岩浆在中高压下早期结晶物质的堆积相, 可称之为同源包体; 2) 与寄主岩浆成因上无关的、在上升途中偶然捕获的超镁铁岩碎块, 可称之为偶然包体; 3) 不一定与寄主岩浆有密切成因关系的上地幔源区物质, 可称之为源区包体; 4) 它代表上地幔原始物质经局部熔融出寄主岩浆后的耐(或难)熔残余, 可称之为残余包体。

对于碱性玄武质岩石中二辉橄榄岩包体的成因, 存在着两种截然不同的假说, 一种为“同源”说, 另一种为“捕获”说。第一种假说为 O'Hara (1967, 1968) 所提出并一直坚持的。他认为, 地幔是由石榴石二辉橄榄岩组成, 它经部分熔融后的残余应为石榴石方辉橄榄岩, 而不是二辉橄榄岩。结论是, 碱性玄武岩中的尖晶石二辉橄榄岩包体是同源堆积物, 是某些紫苏辉石标准矿物岩浆变为霞石标准矿物岩浆的整个作用的一个组成部分。但

此假说却遭到愈来愈多的曾对碱性玄武质岩石中二辉橄榄岩包体进行过研究的大多数学者的反对(如 Ringwood, 1975; Frey & Green, 1974; White, 1966; Kuno & Aoki, 1970; Jackson, 1968; Carter, 1970; 等等),他们认为“同源”说与许多具体客观事实相违背,而且也难于对某些现象作出解释,因而提出了另一种假说,即二辉橄榄岩包体是寄主玄武岩浆搬运到地表的地幔物质的主张。但持后一种假说的学者们在包体是代表玄武岩浆的上地幔源区物质?还是代表上地幔原始物质经局部熔融析出熔体后的耐熔残余物?抑或是玄武岩浆在上升途中偶然捕获的超镁铁岩碎块?还存在不同的观点。

看来碱性玄武岩中辉石岩类包体的成因要比二辉橄榄岩包体更复杂些,目前主要有三种观点:一种观点是根据辉石岩包体及寄主岩中矿物在成分上的相似性和连续性,以及具典型的火成结构,而推测辉石岩包体是寄主岩的原生岩浆早期结晶矿物的堆积相,即所谓的同源包体,这一观点已得到多数研究者的支持(如 Aoki, 1968, 1974; Frey, 1980; White, 1966; Carter, 1970; Green, 1970; 等等)。另一种观点认为除上述同源包体外,还存在着一种包体是原始地幔物质经局部熔融的产物,即所谓绿色型的辉石岩包体,这一观点也得到不少学者的支持(如 Jackson 和 Wright, 1970; White, 1966; Соболев 等 1975; 等等)。这些学者指出,这种绿色型的辉石岩包体与尖晶石二辉橄榄岩具有相似的成因。近来少数学者则提出一种新的观点,认为部分辉石岩包体是上地幔二辉橄榄岩(在底辟上升时)熔出辉石岩熔浆结晶作用的产物(Wilshire 等, 1975; 鄂莫岚等, 1982)。

本专著的作者们根据对中国东部新生代玄武质岩石中超镁铁岩包体作了较全面、系统地研究后认为,这些包体中的绝大部分(以尖晶石二辉橄榄岩占绝对优势)的成因,用残余说来解释似乎更为合理。然而对那些数量虽少,但事实上较为复杂的包体,是难以用一种统一的成因假说来概括全貌的。有关这方面的认识,我们将在以后的有关章节中进行详细讨论。

第四节 中国东部新生代地质构造总特征及火山岩时空分布规律

中国东部沿海地区中生代以来构造格局发生了深刻的变化,原来以东西向为主的构造发育方式转变为以北北东向构造为主。印支运动结束了区内各地槽(如东北、秦岭及华南诸地槽)的发育并褶皱隆起,把区内原大地构造性质互异的地质单元拼合为统一的刚-塑性块体,并具有活动陆缘(安第斯型)的性质,其中广泛而强烈地发育了一套属钙碱性系列的中酸性岩浆活动。

进入新生代时期,中国东部沿海地区又进入了一个新的演化阶段,即由活动陆缘转化为张裂的大陆边缘,其构造线的方向总体上亦由北东转为北北东向,这可能与大陆板块与大洋板块以北东或北北东向接壤以及大洋板块向大陆板块的活动有关。大陆板块的仰冲促使中国东部沿海地区岩石圈的抬升,陆壳在拉张应力作用下,导致黄海、东海及南海等陆缘海或边缘海以及大陆上众多断陷盆地和裂谷的形成。由于裂陷作用及伸展构造的普遍发育。沿着这些深达岩石圈的裂谷及深断裂,幔源的玄武岩岩浆大量地、频繁地喷出地表,形成了以玄武岩类占绝对优势的新生代火山岩广布于中国大陆东部。

不少学者的研究表明,大陆板块内部的伸展、裂陷作用是最常见的构造类型。新生代时期,由于受到拉张作用的影响,使位于欧亚大陆板块边缘的中国东部陆壳解体,除陆区

表 1-2 中国东部新生代火山岩活动时期简表

地区	活动时代	同位素年龄值 (Ma)	主要岩石类型	代表性产地	含包体情况	备注
东北地区	第四纪 全新世—晚近期 更新世中、晚期 更新世早期	1 万年以前至 1721 年 0.58—0.06 1.5—0.85	白头山冰场组粗面岩及火山碎屑岩、五大连池玄武岩 碱性玄武岩、粗面玄武岩	白头山、火烧山、老黑山 白头山、五大连池、镜泊湖 龙岗、宽甸、松花江、图门江	镜泊湖、龙岗等地含包体	资料来源请阅本书有关章节
	晚第三纪 上新世 中新世	4.2—2.0 23—7	碱性玄武岩、过渡型玄武岩 碧玄岩、碱性橄辉玄武岩为主	主要分布在长白山地区 老爷岭、粘底山、汪清、伊通	含包体	
	晚第三纪 渐新世 始新世 中新世 古新世	37—27 49—39 78—61	碱性玄武岩、过渡型玄武岩 富橄辉玄武岩、碱性橄辉玄武岩 拉斑玄武岩、过渡型玄武岩	下辽河、通化马鞍山 双辽、牡丹江、莲花 长春大屯、吉林双辽	含包体	
华北地区	第四纪 全新世 更新世		橄辉玄武岩	无棣大山 内蒙古、山西阳高、左权、大同、河北井陘	含包体	
	上新世—更新世 上新世早期 上新世 中新世 上新世	<9.66—4.44 26.43—9.66	碱性玄武岩、玄武岩 碧玄岩、碱性橄辉玄武岩 以碧玄岩及碱性橄辉玄武岩为主，少量拉斑玄武岩	内蒙古、山东蓬莱、沂水、 山东临朐、兖州、蓬莱、栖霞、昌乐、沂水 双塔、赤峰、临朐、集宁、昌乐等地	含包体 含包体 含包体	
	渐新世 中新世 古新世	32.20 46.50 60.7(鲁中)、>60.0(华北平原)	玄武岩(阳原北山) 玄武岩(沙河街组)、凝灰质火山碎屑岩(栗子沟组) 玄武岩	察哈、阳原—蔚县、 华北裂谷		
华东地区	第四纪 更新世早—中期		碧玄岩及橄辉玄武岩为主	女山、牢山等地	含包体	
	上新世—中新世 上新世—中新世	42.6(广德团山包)	以橄辉拉斑玄武岩为主 碱性橄辉玄武岩及碧玄岩	戴山—六合火山群、江宁、句容、 广德附近、茅山等地	含包体	
	渐新世—古新世		拉斑玄武岩及碱性橄辉玄武岩	苏北盆地、阳明山		
华南地区	第四纪 全新世 更新世	2.05(南海尖高岛)	以玄武岩为主 玄武岩、橄辉玄武岩、局部玻基橄辉岩、高铝玄武岩、安山岩 玄武岩熔岩和角砾岩 玄武岩、玻基橄辉岩、碧玄岩、霞石玄武岩、霞辉橄辉玄武岩等 以玄武岩类为主，在三水盆地除玄武岩外还发育有较厚的粗面岩—碱流岩及火山碎屑岩	海南岛木炭、高陵等地 海南南部、尖高岛、台湾北部 粤东梅县、普宁、汕头、大埔等地	个别含包体 含包体	个别含包体 含包体
	晚第三纪 上新世—更新世 上新世早期 中新世 晚第三纪未分		玄武岩、玻基橄辉岩、碧玄岩、霞石玄武岩、霞辉橄辉玄武岩等 以玄武岩类为主，在三水盆地除玄武岩外还发育有较厚的粗面岩—碱流岩及火山碎屑岩	峨边玄武岩、澎湖列岛、闽西地区 台湾西北部、南海中央盆地 三水、河源、浙江巨县等地	局部含包体 局部含包体	
	渐新世 古新世	45—51(粗面岩中透长石) 51—61(华涌组中段玄武岩中锆石)		三水、河源、连平盆地中、雷州半岛、石湾、梧州	局部含包体	

形成一系列裂谷和裂陷盆地外,在海域内形成南海中央盆地,且伴随扩张作用,沿扩张脊喷发了大量的玄武质熔岩,而使其逐渐转化为洋壳性质。

中国东部的新生代火山活动按时代可大体上归纳为早第三纪、晚第三纪及第四纪三期。在陆区,早第三纪火山岩分布于呈北东和北北向展布的裂谷(松辽盆地、下辽河-渤海、华北、苏北-黄海及江汉等)、地堑(汾渭地堑)及一些大大小小的裂陷盆地(河源、三水、雷琼、抚顺及苏南等等)内,此外在南海中央盆地及南海北部大陆架上的某些断陷盆地内也有其分布。多数情况下(尤其是在裂谷系中)以拉斑玄武质熔岩及碎屑岩为主,并呈夹层产于下第三系地层中,在个别裂陷盆地中尚发育有较多属碱性系列的玄武岩及凝灰岩。在三水盆地除早期有玄武质熔岩和角砾凝灰岩的喷发外,晚期有大量的粗面岩及相同成分的火山碎屑岩发育,局部(华涌组下段)则有较多碱流岩和相应成分的火山碎屑岩。中国东部早第三纪的火山岩除少数出露于地表外,绝大部分均隐伏于各裂谷及裂陷盆地之中,目前已测得的同位素年龄见表1-2,它们大体上可分为三组:即60.0—78.5Ma; 60.0—45.0Ma及32.2—37.45Ma。

晚第三纪火山岩在中国东部广为分布,它们主要出露于新生代早期形成的一些裂谷和裂陷盆地的周边及一些断裂带上,而少量也见于某些裂谷及裂陷盆地内,以岩脉、岩墙或岩席产于下第三系地层中,或作为夹层产于上第三系地层内。其中属中新世的火山岩主要出露于东北地区的南岗山、河北汉诺坝地区、山东临朐-昌乐地区及台湾岛西北部,常构成熔岩台地,总厚度从百余米到近千米,主要由碱性玄武质熔岩组成,个别地区有少量拉斑玄武岩伴生,而在台湾岛西北部该期火山岩则以玄武质碎屑岩为主,并出现少量玻璃质的玄武岩(Juan等,1953,称之为台湾岩)。此外,在南海中央盆地有此期玄武质岩浆的喷溢。上新世一早更新世是中国东部分布最广也是活动最为强烈的一次火山喷溢活动,几乎在所有的岩带中均有其发育,尤其在东北地区的多数岩带、内蒙古岩带、阴山-燕山岩带、郯庐断裂带两侧、浙江嵊县-新昌一带、雷琼地区以及澎湖列岛等均有较大规模的分布,而其它地区一般规模较小、且多呈火山锥体、岩筒、岩墙、岩脉和不规则体成群或单个地沿断裂带分布。该期火山岩以玄武质熔岩为主,但它们在地区上表现出较大的差异,有的地区(如位于敦化-密山断裂带上的船底山玄武岩或老爷岭玄武岩、山东的部分玄武岩、福建明溪地区的玄武岩等)以碱性橄榄玄武岩及碧玄岩-橄榄霞石岩为主,有的地区(如沿图门江、鸭绿江和二道松花江的“河谷玄武岩”汉诺坝地区的部分玄武岩、嘉山-六合一带的部分玄武岩、福建沿海地区的玄武岩及雷琼地区的部分玄武岩等)则以碱性橄榄玄武岩与拉斑玄武岩共存,而在闽浙地区的一些断裂带(如江山-绍兴、上虞-丽水-松溪等)则形成了许多规模很小的基性-超基性(玻基橄辉岩、碧玄岩、霞石玄武岩、黄长煌斑岩及与它们同成分的角砾岩)岩群。晚第三纪玄武岩已测到的同位素年龄见表1-2,大体上可分为四组:21.51—26.43Ma; 16.78—19.90Ma; 14.11—9.66Ma; 4.2—2.0Ma。

第四纪的火山岩的展布格局与晚第三纪火山岩相似,但除东北地区、内蒙古地区、海南岛北部和雷州半岛等地有较大规模的喷发活动外,一般强度减弱,主要沿断裂带形成大小不等的火山群。其岩石组合因地而易,大体上可分为几种类型:以碱性橄榄玄武岩为主,部分含少量碧玄岩及火山碎屑岩(如镜泊火山群、龙岗火山群、山东地区的部分玄武岩);以强碱质玄武岩及碎屑岩为主(如五大连池火山群、二克山火山群、科洛火山群、无棣大山火山、郯庐断裂南段的女山和大蜀山火山等);钾质碱性粗面岩和碱流岩(这种组合仅见于

白头山、除熔岩外尚有相同成分的火山碎屑岩);高铝玄武岩、辉石(或角闪石)安山岩和集块岩(如台湾北部的大屯火山群);英安岩质侵入岩和熔岩以及安山岩(如台湾北部的基隆火山群)。对中国东部第四纪火山岩的年龄测定资料甚少,因此往往只能依据地层关系进行推断,从表 1-2 表明,目前第四纪火山岩已有的年龄资料(包括用 K-Ar 法、 ^{14}C 及古地磁测到的数据)较集中于东北地区,其它地区仅有个别数据,大体上有 1.5—0.85Ma、0.58—0.06Ma 及 0.01Ma—近代三组。

中国东部新生代火山岩除台湾及南海部分具水下喷发外,均属陆上喷发性质,其喷发方式有中心式及裂隙式两种。早第三纪火山岩受所赋存的裂谷、地堑和断陷盆地的控制,以裂隙式喷溢占优势。晚第三纪火山喷发活动往往形成较大面积的熔岩台地和台地间的火山锥体、其空间分布明显受断裂带控制,表明以裂隙式喷发的宁静溢流为主,局部具中心式喷发特征。而第四纪的火山喷发活动则以中心式喷发为主、常见保留完好的火山锥体、孤立方山及盾形台地。其分布亦明显受断裂带控制。

中国东部新生代火山岩常见含有超镁铁岩包体及普通辉石等高压巨晶,但它们在每期火山岩中的丰度、类型则有所不同,总的来说,主要赋存于晚第三纪及第四纪的碱性及强碱性的玄武质熔岩及火山碎屑岩中,而在早第三纪火山岩中极为罕见(目前仅知在双辽七星山火山群中见含有超镁铁岩包体)。一个特殊的例外是在台湾的大屯火山群中见有富角闪石团块赋存于高铝玄武岩和安山岩中。此外,在个别地区(如福建龙海的牛头山、河北汉诺坝地区)曾报道在属亚碱性系列的拉斑玄武岩中含有超镁铁岩包体,我们认为,这些岩石中的超镁铁岩包体是属“偶然包体”或是“残余包体?是属“绿色型包体”或“黑色型包体”均有待进一步工作。各地所见超镁铁岩包体均以“绿色型”为主,其中尤以尖晶石二辉橄榄岩最为常见,其次为辉石岩类,少见纯橄榄岩及方辉橄榄岩、含角闪石的橄榄岩仅见于个别地区。含石榴石的橄榄岩或辉石岩包体在我国东部新生代火山岩中发现很少,且较集中于东南沿海地区(如浙江衢县西龙、福建明溪及广东普宁县麒麟等),在东北及华北地区仅发现有石榴石辉石岩包体(如宽甸、汉诺坝等)。而石榴石橄榄岩包体虽有报道(冯家麟等,1982),但尚需进一步证实。

综观中国东部新生代火山岩的空间分布,明显地受裂谷、断陷盆地及断裂带的控制,而这些构造与断裂带的方向主要为北东和北北东向,显示出大体和大陆板块与大洋板块的接壤带方向一致。因而使我们推断,中国东部新生代火山活动可能与大洋板块向大陆板块之下俯冲所引起的大陆边缘张裂作用息息相关。