

冲绳海槽岩浆活动研究进展及思考

李怀明, 翟世奎

中国海洋大学海洋地球科学学院, 山东青岛, 266100

内容提要:冲绳海槽以其特有的构造地质环境吸引着众多地质学者的关注。针对冲绳海槽地区岩浆作用过程的研究是其中的核心内容之一。本文综述了近年来冲绳海槽岩浆源区物质特征、岩浆形成演化过程及其控制机制等方面研究取得的主要成果,并在此基础上指出了目前冲绳海槽岩浆活动研究工作中存在的科学问题,提出利用铀系不平衡方法研究冲绳海槽岩浆活动的新思路,同时探讨了今后一段时间内的研究方向应该集中在以下四个方面:①菲律宾板块俯冲的脱水过程对冲绳海槽岩浆活动的作用;②俯冲过程中深海沉积物对冲绳海槽岩浆的贡献;③冲绳海槽岩浆熔融的控制因素;④冲绳海槽火山活动和海底热液活动的成因关系。

关键词:冲绳海槽;铀系不平衡;岩浆活动

板块俯冲环境,特别是弧后扩张中心的岩浆作用过程一直以来是地质学者们关注的热点问题,同时也是一个存在问题较多,认识程度最为不足的一个地区。其原因主要有三个方面。首先,俯冲区和大洋中脊是地球上产生火山活动和板块运动的两个最关键的地区,俯冲区岩浆活动还涉及到地壳和地幔之间的物质交换,在壳幔之间长期的物质组成平衡中扮演着重要角色(Bourdon et al., 2003)。其次,弧后扩张盆地熔融的岩浆物质会涉及到多种来源,包括地幔楔、板块俯冲的古老洋壳物质、深海沉积物等(Turner 和 Hawkesworth, 1997),有时还会加入混染的陆壳物质。在不同弧后地区,地幔楔的物质组成,俯冲洋壳的年龄和成分等都存在较大差异。其次,深海沉积物是否会对岩浆作用有物质贡献还存在疑问,而一旦存在这种贡献,经过了各种复杂地质过程改造的深海沉积物会以何种形式进入弧后地区的岩浆仍是一个不清楚的问题。再有,弧后扩张盆地岩浆形成和演化过程的控制因素相对复杂,单纯地利用类似洋中脊型的绝热的减压熔融过程或者岛弧型岩浆熔融过程(板块俯冲释水加入造成地幔物质的液相线降低而产生部分熔融)都不能对弧后地区岩浆的熔融过程进行合理的解释。

冲绳海槽是夹在东海陆架和琉球海沟、琉球岛弧之间的一条狭窄的弧形区域,其南北边界分别是

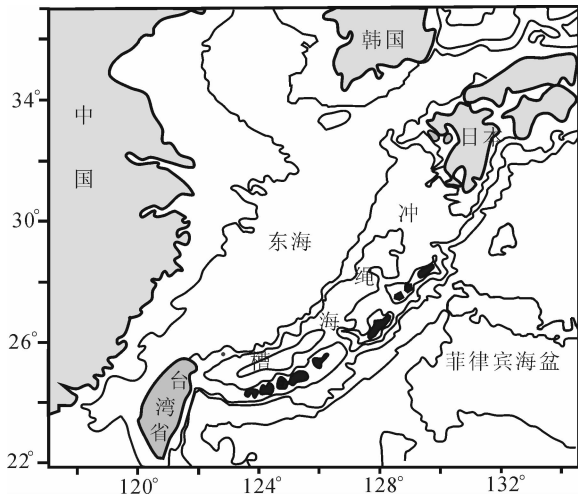


图1 冲绳海槽地理位置

Fig. 1 The map of the Okinawa Trough

中国的台湾岛和日本的九洲群岛(图1)。冲绳海槽是菲律宾板块向亚欧板块俯冲过程中形成的弧后扩张盆地,同琉球海沟和琉球岛弧一同构成了一套完整的沟弧盆体系,是目前地球上唯一一个发育在陆壳之上,处于早期扩张阶段的弧后扩张盆地。在冲绳海槽内,宫古断裂带是一条非常明显的分界线,把海槽分为南北两段,二者在地壳结构、构造变动、地球物理特征等方面都有明显的不同。例如,冲绳海

注:本文为国家重大基础研究发展规划"地球圈层相互作用中的深海过程和深海记录"(编号 G2000078503)和国家自然科学基金"冲绳海槽中部沉积物元素地球化学研究(编号 40306009)的成果

收稿日期:2007-03-22;改回日期:2007-09-15;责任编辑:章雨旭。

作者简介:李怀明,男,1977年生。博士研究生。主要从事现代海底热液活动和岩浆活动研究。电话:0532-66782869;Email:huaiming_lee@163.com。

槽北段的陆壳厚度大约为 30km,南段要薄很多,大约为 18km(翟世奎等,2001);菲律宾板块俯冲的方向、角度和贝尼奥夫带深度在南段和北段也有较大差别,在冲绳海槽北段,菲律宾板块近乎以垂直于琉球海沟方向向下俯冲,俯冲速率为 5cm/a 左右,贝尼奥夫带位于海槽轴部下 150~200km 左右。在冲绳海槽南段,菲律宾板块的俯冲方向变得不是很明显,俯冲速率较北段要大,约为 7cm/a,贝尼奥夫带的深度为 150km 左右(Shinjo et al.,1999)。

冲绳海槽独特的地质环境和重要的科学意义使其成为多领域地质学者关注的热点地区,针对冲绳海槽地区岩浆形成和演化过程的研究无疑成为其中的核心内容之一。深化对冲绳海槽地区岩浆活动的认识,不仅可以丰富对俯冲区和全球性岩浆活动的认识,还能够深入了解俯冲区地壳和地幔之间的物质转移以及壳幔之间长期的物质组成平衡。近几十年来,国内外的众多学者针对冲绳海槽的岩浆活动已做了大量工作,在冲绳海槽的地幔物质化学组成特征、岩浆的物质来源、不同类型火山岩浆形成演化的过程、岩浆熔融的控制机制等方面取得了许多重要成果。

1 冲绳海槽岩浆活动研究进展

1.1 冲绳海槽岩浆源区的物质组成

目前,对于东亚、东南亚及其临近边缘海盆地的上地幔物质组成还存在很大争议。一些作者认为印度洋洋中脊型的上地幔物质已经影响到了这个地区(Tatsumoto,1991)另外一些学者并不同意这样的观点,他们认为次亚洲(sub-Asian)和西太平洋上地幔的化学组成特征是由于 Sino—Korean 克拉通的影响(Tu et al.,1991)。因此,冲绳海槽地幔源区的物质组成特征的研究仍存有众多的争议。

Ishizuka 等(1990)认为冲绳海槽中部的地幔源区是处于岛弧型和正常大洋中脊型源区之间的过渡类型,但并不能确定这样的源区特征是否可以代表整个冲绳海槽的地幔源区特征。黄朋等(2006)利用冲绳海槽岩浆岩的 Sr-Nd 同位素特征并结合铀系年龄结果,认为冲绳海槽岩浆物质来源于 PRE-MA 地幔源区。Shinjo 等(1999)通过对冲绳海槽和琉球岛弧玄武岩的地球化学和 Sr—Nd 同位素特征分析,提出冲绳海槽中部玄武岩岩浆主要有两个来源,即富集型洋中脊地幔和板块俯冲组分。同时,认为冲绳海槽南段火山岩化学组成的变化反映了该地区上地幔化学组成的不均一性和复杂性,火山岩

的化学组成特征显示板块俯冲对上地幔的岩浆源区有明显影响,但是如果确定冲绳海槽南段的上地幔的化学组成特征还需要进一步的研究(Shinjo et al.,1999)。Hoang(2006)对九州群岛的玄武岩进行了系统的地球化学分析,并结合对冲绳海槽和琉球岛弧火山岩的研究成果,认为冲绳海槽地区相对亏损地幔的存在表明老的太平洋地幔(经过板块俯冲脱水改造)已经挤入了俯冲洋壳和具有印度洋洋中脊地幔特征的次亚欧(sub-Eurasian)软流圈之间,同时俯冲洋壳阻挡了次亚欧地幔向东运动。

1.2 冲绳海槽岩浆演化过程研究

冲绳海槽广泛发育了从酸性到基性不同类型的火山岩,其中以流纹英安岩和玄武岩为主。这种双峰式的岩石类型在其它地区也有出现,例如,马里亚纳海沟北部的不成熟扩张中心、Izu-Bonin 岛弧等。但是,冲绳海槽上地幔组成的不均一性和俯冲板块的影响为探讨双峰式火山岩的形成过程带来了很大困难。目前,对于冲绳海槽岩浆形成演化过程的研究主要集中在陆壳物质的混染程度,不同类型火山岩浆的形成过程和地幔物质熔融等几个方面。

1.2.1 陆壳物质对岩浆的混染

冲绳海槽是发育在亚欧板块陆壳边缘的弧后盆地。岩浆在上升过程中是否会受到陆壳物质的混染,混染程度如何,陆壳下部是否会发生熔融同上地幔岩浆发生混合?在冲绳海槽岩浆的形成和演化过程的研究中,这些问题都是必须考虑的。虽然目前对冲绳海槽不同位置岩浆的陆壳混染程度还有很多不同的观点,但是大部分学者认为上地幔物质部分熔融形成的岩浆会沿着构造裂缝快速上涌,地壳物质对岩浆有不同程度的混染,但混染程度有限。

1.2.2 岩浆的演化过程

冲绳海槽的岩浆源于上地幔物质的部分熔融,但对于不同类型火山岩浆的形成演化过程的认识还存在争议。孟宪伟等(1999)通过对冲绳海槽中部不同类型火山岩的 Sr-Nd 同位素组成分析,认为冲绳海槽中段不同类型火山岩是洋中脊型岩浆同化了早已存在的壳源物质而产生的流纹质部分熔体以不同比例与洋中脊型岩浆混合的产物。Ishizuka 等(1990)提出冲绳海槽内的流纹岩源于不同于玄武岩岩浆的岛弧型岩浆源。但是,多数学者的结果并不支持在冲绳海槽存在多种岩浆类型的观点。翟世奎等(1997)、于增慧等(2001)、Honma 等(1991)、Shinjo 等(2000)认为冲绳海槽的浮岩是玄武岩岩浆结晶分异的产物,并不存在不同类型岩浆的混合。

翟世奎等提出了冲绳海槽浮岩岩浆的作用模式,认为地幔物质部分熔融形成橄榄拉斑玄武质岩浆,经过充分的结晶分异过程形成了富含 SiO_2 的浮岩岩浆。李巍然等(1997)认为冲绳海槽各类火山岩主要都是由地幔成因的玄武岩岩浆经历程度不同的结晶分异作用和同化混染作用后在海底形成。张家强等(2000)分析了冲绳海槽某一站位($27^{\circ}32'N, 127^{\circ}02'E$)玄武岩样品的斑晶矿物、基质和岩浆包裹体,认为该站位的玄武岩岩浆为基性玄武岩浆,岩浆包裹体代表了一种碱性的橄榄玄武岩浆,来源于上地幔尖晶二辉橄榄岩的部分熔融,并沿着“碱性橄榄玄武岩浆—粗面玄武岩浆—玄武质粗面岩浆—粗面岩浆”方向演化,每一阶段的岩浆在上升过程中都不同程度地受到地壳物质的同化和混染作用。

1.2.3 冲绳海槽岩浆熔融的控制因素

已有研究表明,控制冲绳海槽地区地幔物质部分熔融因素有两种:一种是构造条件,即地幔的构造裂缝引起了地幔物质的减压熔融(张家强等,2000)第二种是俯冲板块脱水进入地幔楔,使得地幔物质液相线降低而产生部分熔融(于增慧等,2001)。但这些结论都缺乏足够的证据支持。究竟是哪一种因素控制着冲绳海槽的地幔物质熔融,或者如果两种因素同时起作用,那么二者之间存在什么样关系?等等这些问题都需要进一步深入研究。

2 冲绳海槽岩浆活动研究中的主要科学问题及研究手段分析

2.1 主要科学问题分析

尽管这几年对冲绳海槽岩浆作用过程的研究取得了很多重要进展,但由于冲绳海槽地区的特殊性和复杂性,一些重要的科学问题仍未解决或者存在着众多的争议,主要表现在以下几个方面。

(1) 菲律宾板块俯冲对冲绳海槽岩浆活动的贡献。菲律宾板块向欧亚大陆的俯冲是形成琉球海沟—琉球岛弧—冲绳海槽体系的主要动力。板块的俯冲过程不仅仅是一个物理过程,还涉及到地壳和地幔、沉积物和地幔之间的物质转移和化学变化。目前的工作明显缺乏板块俯冲过程对冲绳海槽岩浆活动影响的研究。例如,在俯冲过程中,深海沉积物是否会对冲绳海槽的岩浆有物质贡献,如果有,沉积物以什么样的形式进入岩浆? 冲绳海槽岩浆体系富含大量的水组分,这些水是否完全来自俯冲洋壳的脱水,板块俯冲的释水过程对冲绳海槽岩浆活动的影响程度? 冲绳海槽南段和北段在构造特征和火山活

动等方面都差别较大,这些不同与菲律宾板块俯冲的速率、深度和角度有什么联系? 等等。

(2) 冲绳海槽地幔楔物质熔融的控制因素。Peate 等(2000)认为弧后扩张盆地岩浆的物质组成受到洋中脊型岩浆过程和俯冲区环境岩浆活动过程,即岛弧型岩浆过程的共同作用。在冲绳海槽地区,究竟是哪一种岩浆过程占主导地位,二者之间又存在什么样关系? 这些问题都还没有得到完善解决。

(3) 冲绳海槽火山活动与海底热液活动的关系。冲绳海槽热液沉积物和火山岩包裹体的同位素组成资料表明,冲绳海槽的海底热液活动同岩浆作用有着密切联系(于增慧等,2004;侯增谦,1999),岩浆作用不仅为热液流体提供了热源,而且海可能是重要的物源之一(于增慧,2000)。同时,热液活动区火成岩不混融包裹体的研究(Yang, 1996; Lowenstern, 1991; Kamenetsky, 2001 2002)表明富含溶解性金属离子(特别是 Cu)和其它非气相元素的岩浆源流体是热液成矿流体的早期形式(于增慧等, 2001)。这给冲绳海槽岩浆活动和热液活动关系的研究提出了新的课题。例如,同洋中脊和其它弧后盆地的热液流体组成相比,冲绳海槽热液流体富含 Au、Ag 等金属元素,这些异常富集的金属元素是来自于海水同围岩的淋滤反应,还是岩浆源流体的直接贡献? 冲绳海槽岩浆源流体对热液流体体系的物质贡献程度?

2.2 解决科学问题的技术手段

近年来,短寿命放射性元素的地球化学和年代学研究成为俯冲环境和洋中脊地区岩浆作用过程研究的新方法。特别是,铀系衰变链中的短寿命核素对(^{238}U — ^{230}Th , ^{230}Th — ^{226}Ra 和 ^{231}Pa — ^{235}U),其半衰期和在氧化性流体中地球化学性质的差异,使其可以示踪岩浆从熔融、结晶分异直到上涌喷出的运移过程和时间尺度(Turner, 2000),了解岩浆的粘度、运移速率等物理性质(Hawkesorth, 2004)以及板块俯冲脱水对岛弧环境岩浆活动的作用(Duf-rane, 2006)等。

铀系衰变链(U—Th—Pb)的短寿命核素对的半衰期比较短,U—Th 体系的半衰期为 76ka, Pa—U 体系的半衰期为 1.6ka, Th—Ra 体系半衰期最短为 1.6ka。因此,铀系不平衡可以记录从最早为 380ka 到最近的火山活动过程(Turner, 2000) (铀系不平衡特征在火山岩中存在时间约为 5 倍的该体系半衰期)。在铀系元素中,U 和 Ra 在氧化性流体

中活动性非常强, Th 和 Pa 的性质相对稳定, 且铀系元素在不同矿物中的含量比较低, 分馏系数较小, 结晶分异过程对铀系元素的分布影响不大。在板块俯冲过程中由于古老洋壳脱水会造成俯冲区岩浆中的铀系元素发生不平衡。已有研究表明, 在板块俯冲的深度小于 200km 的条件下, 板块脱水过程可以造成地幔楔中岩浆的铀系不平衡 (Dufrane, 2006)。铀系不平衡方法在俯冲环境和洋中脊岩浆活动的研究已经取得许多重要成果, 将该技术手段引入对冲绳海槽岩浆作用过程的研究中对解决上述重要科学问题必将提供重要的科学依据或取得突破性成果。

3 进一步研究工作的思考

利用铀系不平衡等地球化学方法, 针对目前冲绳海槽岩浆活动研究中存在的主要科学问题, 作者认为目前以及未来几年的工作应该集中在以下几个方面研究。

(1) 菲律宾板块俯冲的脱水过程对冲绳海槽岩浆活动的作用。铀系核素对 ^{238}U — ^{230}Th 和 ^{230}Th — ^{226}Ra 对俯冲区的岩浆熔融过程中的流体特别敏感, 并且冲绳海槽地区的火山岩年龄^{[7][29]}和贝尼奥夫带的深度都符合铀系不平衡方法的应用条件。利用铀系同位素不平衡 ($^{238}\text{U}/^{230}\text{Th}$ 和 $^{230}\text{Th}/^{226}\text{Ra}$ 比值等), 并结合大离子亲石元素 (Ba、Rb 等)、高场强元素 (Nb、Ta、Zr 等)、稀土元素 (REE) 的相关比值和 Sr 同位素特征 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), 明确板块俯冲的脱水过程对冲绳海槽岩浆形成的作用程度, 了解板块俯冲的释水进入地幔楔的时间尺度, 探讨板块俯冲的深度、方向、角度和速率对弧后盆地区地幔楔熔融方式和程度的影响。

(2) 俯冲过程中深海沉积物对冲绳海槽岩浆的贡献。迄今, 在冲绳海槽火山岩中, 还没有找到俯冲过程中深海沉积物有物质贡献的证据。火山岩中¹⁰Be 以及 Ce 的负异常, 高 Th/Ce 值, 和非放射性的 $^{144}\text{Nd}/^{143}\text{Nd}$ 富集等都是深海沉积物进入岩浆的地球化学特征。Plank 等 (2004) 认为火山岩中的 Th/La 比值在不同的地质环境差别较大 (大洋玄武岩 Th/La 小于 0.2, 陆壳 Th/La 大于 0.25, 岛弧玄武岩和深海沉积物 Th/La 范围为 0.09~0.34), 可以用于示踪循环的深海沉积物对岩浆活动的贡献。结合以上火山岩中的地球化学特征, 探讨循环沉积物对冲绳海槽岩浆活动的贡献程度和方式。

(3) 冲绳海槽岩浆熔融的控制因素。研究表明, 铀系衰变链中的 U—Th 和 Th—Ra 体系对于岩浆

熔融过程中流体的加入特别敏感, 而 Pa—U 体系的地球化学特征主要受洋中脊类型的岩浆过程控制 (即地幔物质的减压熔融过程)。因此, 可以利用铀系不平衡特征并结合相关的示踪元素及同位素组成明确冲绳海槽岩浆熔融的控制机制。

(4) 冲绳海槽火山活动和海底热液活动的成因关系。火山岩, 特别是原生火山岩中包裹体研究可以了解初始岩浆的物质组成和物理化学性质, 同时, 能够提供岩浆成因流体的重要信息。通过对冲绳海槽火山岩包裹体, 特别是橄榄石矿物中的不混熔包裹体的研究 (Kamenetsky, 2001 2002), 探讨冲绳海槽热液成矿流体和岩浆活动在成因上的关系。

4 小结

冲绳海槽是菲律宾板块向欧亚大陆下俯冲过程中形成的弧后扩张中心, 是目前地球上唯一一个发育在陆壳之上的处于扩张早期阶段的弧后盆地。冲绳海槽以其独特的地质环境吸引着众多地质学者的关注, 岩浆的形成和演化过程是大家关注的核心内容之一。在综合分析了近年来冲绳海槽岩浆活动研究的重要进展的基础上, 分析了目前研究工作中存在的主要科学问题, 包括板块俯冲作用与岩浆活动之间的制约关系和岩浆作用与热液活动之间的关系等。指出利用铀系不平衡方法等地球化学手段研究冲绳海槽岩浆活动可能会取得突破性的研究成果, 同时探讨了今后一段时间内的主要研究方向应该集中在以下几个方面: ① 菲律宾板块俯冲的脱水过程对冲绳海槽岩浆活动的作用; ② 俯冲过程中深海沉积物对冲绳海槽岩浆的贡献; ③ 冲绳海槽岩浆熔融的控制因素; ④ 冲绳海槽火山活动和海底热液活动的成因关系。

参 考 文 献 / References

- 侯增谦, 艾永德, 曲晓明, 张琦玲, 唐绍华. 1999. 岩浆流体对冲绳海槽成矿热水系统的可能贡献. 海洋学报, 73(1): 57~65.
- 黄朋, 李安春, 胡宁静, 付永涛, 马志邦. 2006. 冲绳海槽火山岩 Sr—Nd 同位素特征及 U 系年龄. 中国科学(D辑), 36(4): 351~358.
- 李巍然, 杨作升, 王永吉, 张保民. 1997. 冲绳海槽火山岩岩石化学特征及其地质意义. 岩石学报, 13(4): 538~550.
- 孟宏伟, 杜德文, 吴金龙, 龙江平. 1999. 冲绳海槽中段火山岩系 Sr 和 Nd 同位素地球化学特征及其地质意义. 中国科学(D辑), 29(4): 367~371.
- 于增慧, 翟世奎, 赵广涛. 2001. 冲绳海槽浮岩中岩浆包裹体岩石化学成分特征. 海洋与湖沼, 32(5): 474~481.
- 于增慧, 翟世奎, 赵广涛. 2004. 冲绳海槽浮岩中碳、氢同位素组成特征. 海洋学报, 26(6): 58~63.

- 于增慧. 2000. 冲绳海槽火山岩中岩浆包裹体及气体同位素组成研究. 博士论文, 中国科学院海洋研究所, 78.
- 翟世奎, 陈丽蓉, 王镇, 干晓群. 1997. 冲绳海槽浮岩岩浆活动模式浅析. 海洋地质与第四纪地质, 1: 59~66.
- 翟世奎, 陈丽蓉, 张海启. 2001. 冲绳海槽的岩浆作用与海底热液活动. 北京: 海洋出版社, 99~103.
- 张家强, 孙永福, 姜晓黎. 2000. 冲绳海槽碱性玄武岩浆的起源和演化. 海洋学报, 22(6): 63~72. Bourdon B, Turner S, Dosseto A. 2003. Dehydration and partial melting in subduction zones: Constraints from U-Series disequilibria. Journal of Geophysical Research, 108(B6): 2291.
- Dufrane S A, Asmerom Y, Mukasa S B, Morris J D, Dreyer B. M. 2006. Subduction and melting processes inferred from U-series, Sr—Nd—Pb isotope, and trace element data, Bicol and Bataan arcs, Philippines. Geochimica et Cosmochimica Acta, 70: 3401~3420.
- Hawkesorth C, George R., Turner S, Zellmer G. 2004. Time scales of magmatic processes. Earth and Planetary Science Letters, 218: 1~16.
- Hoang N, Uto K. 2006. Upper mantle isotopic components beneath the Ryukyu arc system: Evidence for "back-arc" entrapment of Pacific MORB mantle. Earth and Planetary Science Letters, 249: 229~240.
- Honma H, Kusakabe M, Kagami H, Iizumi H, Sakai H, Kodama Y, Kimura M. 1991. Major and trace element chemistry and D/H, $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios of rocks from the spreading center of the Okinawa Trough, a marginal back-arc basin. Geochemical Journal, 25: 121~136.
- Ishizuka H, Kawanobe Y and Sakai H. 1990. Petrology and geochemistry of volcanic rocks dredged from the Okinawa Trough, an active back-arc basin. Geochemical Journal, 24: 75~92.
- Kamenetsky V S, Binns R A, Gemmell J B, Crawford A J, Mernagh T P, Maas R, Steele D. 2001. Parental basaltic melts and fluids in eastern Manus backarc Basin: implications for hydrothermal mineralization. Earth and Planetary Science Letters, 184: 685~702.
- Kamenetsky V S, Dacidsen P, Mernagh T P, Crawford A J, Gemmell J B, Portnyagin M V, Shinjo R. 2002. Fluid bubbles in melt inclusions and pillow-rim glasses: high-temperature precursors to hydrothermal fluids? Chemical Geology, 183: 349~364.
- Lowenstern J B, Mathood G A, Rivers M L, Sutton M V. 1991. Evidence for extreme partitioning of copper into a magmatic vapor phase. Science, 252: 1405~1409.
- Peate D W, Kokfelt T F, Hawkesworth C J, Van Calsteren P W, Hergt J. M, Pearce A J. 2000. U-series isotope data on Lau Basin glasses: the role of subduction-related fluids during melt generation in back-arc basin. Journal of Petrology, 42: 1449~1470.
- Plank T. 2004. Constraints from Thorium/Lanthanum on Sediment Recycling at Subduction Zones and the Evolution of the Continents. Journal of Petrology, 46: 921~944.
- Shinjo R, Chung S L, Kato Y, Kimura M. 1999. Geochemical and Sr—Nd isotopic characteristics of volcanic rocks from the Okinawa Trough and Ryukyu arc: implications for the evolution of a young, intracontinental back arc basin. Journal of Geophysical Research, 104(B5): 10591~10608.
- Shinjo R, Kato Y. 2000. Geochemistry constraints on the origin of bimodal magmatism at the Okinawa Trough, an incipient back-arc basin. Lithos, 54: 117~137.
- Tatsumoto M, Nakamura Y. 1991. DUPAL anomaly in the Sea of Japan: Pb, Nd and Sr isotopic variations at the eastern Eurasian continental margin. Geochimica et Cosmochimica Acta, 55: 3697~3708.
- Tu K, Flower M F J, Carlson R W, Zhang M, Xie G H. 1991. Sr, Nd, and Pb isotopic compositions of Hainan basalts (South China): implications for a subcontinental lithosphere DUPAL source. Geology, 19: 567~569.
- Turner S, George R M M, Evans P J, Zellmer G F. 2000. Time-scales of magma formation, ascent and storage beneath subduction-zone volcanoes. Phil. Trans. R. Soc. Lond, 358: 1443~1464.
- Turner S, Hawkesworth C. 1997. Constraints on flux rates and mantle dynamics beneath island arcs from Tonga—Kermadec lava geochemistry. Nature, 389: 568~573.
- Yang K, Scott S D. 1996. Possible contribution of a metal-rich magmatic fluid to a sea-floor hydrothermal system. Nature, 383: 420~423.

Advances and Developments in Study of the Magmatism in the Okinawa Trough

Li Huaiming, ZHAI Shikui

Department of Marine Geoscience, Ocean University of China, Qingdao, 266100

Abstract: Many geologists have been interested in the Okinawa Trough due to its unique tectonic environment. The magmatism is regarded as one of the key questions in the Okinawa Trough. The advances associated with the magmatism in the trough have been overviewed, including the studies about the characters of the magmatic sources, the processes of the magma melting and evolution and the regularities of melting. Based on these, the difficult questions on this field have been presented and a new idea that using the method of U-series disequilibria to study the magmatism in Okinawa Trough has been brought forward. Meanwhile, some research directions about the study of magmatism in the Okinawa Trough should be paid much attention to in the future, e. g. ① the influence of the Philippine subduction slab on the magmatism processes, ② the implications of the subducting sediment for the magma, ③ the controlling factors of the magma melting, ④ the link between the magmatism and the seafloor hydrothermal activity.

Key words: Okinawa Trough; magmatism; seafloor hydrothermal activity