

中国东南地区地壳演化、分区及地震成因特点

陈家超 冯霞英 朱振宇

(广东省地震局, 广州 510070)

摘要 本文利用物质分异的理论, 阐明了不同地壳类型的相互转化, 进而讨论了中国东南地区地壳演化基本特征。在此基础上对该区地壳进行了分区, 并分析了各个分区构造特征与地震的关系。结果表明, 该区内陆深大断裂带下部地壳和上地幔物质分异微弱, 显示出断裂活动强度低, 地震活动平静; 东部地区物质分异强烈, 靠近菲律宾板块消减带, 断裂活动和地震活动显著增强。

关键词: 东南地区; 物质分异; 地壳演化; 地震成因

研究地震活动性, 进而探讨地震成因可以有多种方式, 本文拟从物质分异的角度研究不同地壳类型的相互转化, 在此基础上对地震成因进行讨论。本文研究的范围是中国东南地区, 主要包括桂、粤、湘、闽、浙、台湾诸省及滇东南、黔东南、琼北、苏南、皖南部分地区, 还包括台湾海峡、台湾东部至台东海沟一带海域。

1 不同类型地壳的相互转化

地壳类型分为三种, 即海洋型、过渡型和大陆型地壳, 三者在地球物理、地壳结构、地壳厚度、岩石成份和地震分布等方面存在较大差别(表1)。

上述三种地壳类型随着时间的推移不断发生变化并相互转化。推动这种相互转化的原因主要是地球内部的物质分异作用。

A·Π·维诺格拉对球陨石和地幔岩加热进行分熔实验得到如下结果:

球陨石或地幔岩 $\xrightarrow{1500^{\circ}\text{C} \pm}$
易熔部分——玄武岩(富含 Si , Al , Na , K , Ca , Tl , Fe^{+3})
难熔部分——纯橄榄岩(富含 Ag , Ni , Cr , Mn , Pt)

以后又有更多的依据说明, 大洋地壳中的拉斑玄武岩层是地幔中分异出来的易熔组分, 所以 Na_2O 比地幔岩增加 3.6—6 倍, 达到 1.83—3.70% 以上; K_2O 增加 1.23—3.6 倍, 达到 0.16—1.50%; 而上地幔的纯橄榄岩则是残留的难熔部分^[1]。

大陆地壳中的中-弱酸性岩石主要由拉斑质洋壳在板块俯冲带(过渡地壳)下插到上地幔, 从而分异出来的易熔物质组成:

拉斑质玄武岩 (辉石+斜长石)
 $\xrightarrow{\quad}$ 易熔部分—— $\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O}$ 等 (中-弱酸性岩浆)
 $\xrightarrow{\quad}$ 难熔部分——榴辉岩 (石榴石+辉石)

表 1

地壳类型 项 目	大陆型地壳	过渡型地壳	海洋型地壳
地壳厚度	30—50km	15—40km	5—15km
地壳结构	沉积盖层:以沉积岩为主,兼有部分火山岩。花岗岩层:由花岗岩类、花岗片麻岩、角闪斜长片麻岩、变质陆屑岩和变质中性火山岩类组成。玄武岩层(硅镁层):变相中、基性火山岩及部分苏长岩、斜长岩等	花岗岩层与玄武岩层不易分开	海底疏松沉积物。沉积岩层(硅镁层):上层为玄武岩流、变质沉积物,下层为蛇纹岩、辉长岩
波速	沉积盖层 V_p 2.5—4.5km/s 花岗岩层 V_p 4.5—6.5km/s 玄武岩层 V_p 6.5—7.2km/s	V_p 从 6.5km/s 向下连续增大到 8.2km/s	疏松沉积物 V_p 1.5—3.4km/s 玄武岩层 6.8—7.3km/s
低速层分布特征	不连续,活化区出现多层次、单层薄特点	在上下地壳中间存在巨厚低速层($V_p<6\text{km/s}$)	不明显
与上地幔接触界线明显程度	明显。莫氏面上 V_p 6.5—7km/s,突然增加到 8km/s,7—8km/s 地段窄或不存在	类似海洋地壳,深度 30km V_p 从 6.5km/s 连续增大到 8.2km/s	莫氏面不明显或不存在, V_p 7.2—7.8km/s 区段很大
地震	弱至强,局部可达 7 级以上。地震分散	强度、频度高,最大可达 8 级以上	弱,主要集中在大洋中脊两侧

另一部分花岗岩型地壳则是由过渡地壳下部基性岩在高温高压下通过分熔作用,先形成钠质系列而后过渡到混合型($\text{Na}_2\text{O}\approx\text{K}_2\text{O}$)。以后又通过同熔、重熔或在“岩汁”作用下产生混合岩化或交代作用而形成的。

根据 $\Phi\cdot A\cdot$ 列特尼柯夫(1968)研究,花岗岩化过程产生的主要矿物是架状硅酸盐矿物(长石、石英等),它们随着温度和压力降低而发生体积增大。这样在大陆地壳形成过程中随着地幔物质的不断渗入和花岗岩层的形成,地壳本身也随之增厚,轻的物质如 Al、Ca、Na、K 越来越集中于地壳内,特别是地壳上部。在上地幔中钾元素仅是一种微量元素。

大陆地壳物质分异作用一般较过渡型地壳弱,但随着幔源物质和热流继续沿深大断裂或地壳软弱带渗入,地壳本身放射性元素蜕变产生热能的积累,一部分陆壳物质可重新分异。

大陆地壳在一定条件下产生裂谷。裂谷区上地幔隆起,导致陆壳逐渐变薄,裂谷中心可产生拉斑玄武岩“洪流”。随着时间的推移,一些裂谷可衰亡,另一些则出现扩散现象,形成拉斑玄武岩岛屿或海底,逐渐演变成洋壳,如南海中央盆地即是在大陆地壳的基础上发展起来的新洋壳。

2 中国东南地区地壳演化基本特征

四堡期以前中国东南地区只存在单一的玄武岩洋壳,根据有关研究^[2],这时在该区西北面川中和南面南海(大于 1500ma)地区已出现了陆壳。环绕着上述两个陆壳经逐步演化、生长,形成了该地

区现代的大陆地壳。

(1) 四堡运动(东安运动)是东南地区最早的一次造山运动。这时沿着杭州湾,往西经洞庭湖,再转向西南雪峰山直至广西九万大山一线出现俯冲带,在这一线的东侧,晚元古代至早古生代期间,洋壳占有较大优势^[3],当时它往西北俯冲于川中陆壳之下,沿线断续出露蛇绿岩套长达 1000 多公里(图 1)。在俯冲带与川中陆壳之间是一种过渡型地壳,即两种地壳混杂、重迭,发生压缩形变,加之水和热流的掺入,使地壳物质重新分异。因此在蛇绿岩套北侧形成火山岩岛弧,它以钙碱性英安质凝灰岩建造为主。伴随着岩浆分异作用,有花岗岩出现,如九万大山本洞花岗闪长岩体,它侵入四堡群并被板溪群不整合覆盖,其同位素年龄测定为 14.22 亿年,表明这时过渡地壳已分异出大陆地壳雏形。

在雪峰期,东南侧的洋壳继续向北西俯冲,在俯冲海沟一侧桂北龙胜至雪峰山东南缘出现了新的蛇绿岩套及其深海浊积岩,这时过渡地壳的物质分异作用更为剧烈。在弧后西北侧中、下扬子地区分异物质形成地幔、地壳上升流,导致地壳拉张,板溪群和上溪群铺岭组形成一套基性熔岩;赣北庐山地区上双桥山群亦有玄武岩、变流纹岩和凝灰岩出现;皖、浙、赣交界地区的井谭和上墅组由杏仁状安玄岩、安山岩等组成;赣西北—湘东北落可寨组、江口组是一套火山—陆屑岩建造,它们与四堡期火山岛弧平行迭置。与此同时产生了高温进变质作用、混合岩化作用,导致大量花岗岩体形成,表明大陆地壳已经进入比较成熟阶段。

在晚古生代—早中生代期间,桂西右江地区地壳曾发生过大裂谷并产生过洋壳化,二迭纪期间形成基性熔岩,其上为复理石建造,我们曾经称这个地区为右江地槽^[5]。

(2) 加里东期,洋壳俯冲带已经往东移至丽水、政和、莲花山一线(图 1)。沿着这个带形成加里东期蛇绿岩套。例如闽北地区建瓯群有 800 米厚变质火山岩系,同时在建瓯、南平一带沿政和—大埔深大断裂带分布有长达 60 公里的细碧角斑岩建造,在政和、建阳等地发现多处“无根”镁铁—超镁铁岩体。经化学分析确定其岩浆来自上地幔^[6]。

上述古缝合线与元古代古缝合线之间形成加里东期过渡型地壳,形成一套地槽型沉积建造,出现云开大山、武功山和武夷山古岛弧,产生新的物质分异作用。在云开大山、武功山、武夷山主体存在加里东期混合岩和花岗岩(4 亿多年),表明郁南运动对花岗岩陆壳形成起了重要的作用。中奥陶世末在武夷—云开岛弧区地壳分异作用加强,在一些断裂带上出现红柱石—硅线石型高温低压变质带和形成一系列花岗岩体。这种大规模分异作用,一直持续到加里东晚期,使加里东晚期花岗岩体分布较为广泛,如江西南康龙回岩体等。陆壳形成后物质分异作用并未结束,其中以燕山期最为剧烈,形成一系列巨大复式花岗岩岩基。

(3) 在台湾东部,沿着台东—花莲深断裂带形成一条明显的蛇绿岩带(富含镁、铁),它是海西—燕山期菲律宾板块向东南陆壳俯冲的古缝合线,与西边加里东期古缝合线组成新的过渡地壳,在

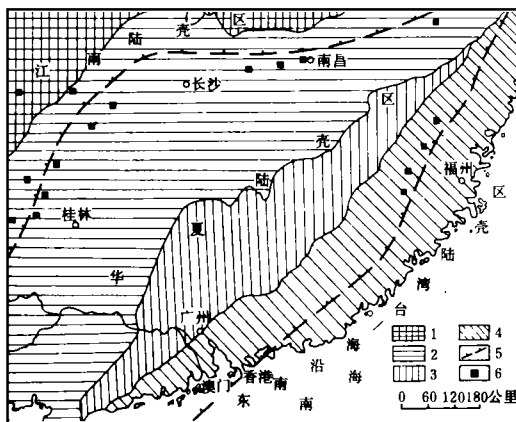


图 1 中国东南地区岩浆分异图

1. 四堡—东安期为主岩浆分异区;
2. 加里东—海西—印支期为主岩浆分异区;
3. 燕山早中期为主岩浆分异区;
4. 燕山中晚期—喜山期为主岩浆分异区;
5. 古缝合线及地壳分区界线; 6. 蛇绿岩套出露地点

Fig. 1 Map showing magmatic differentiation in southeast China

这个过渡地壳上形成了巨厚的复理石沉积建造及火山沉积岩系。这套岩系与北西面加里东期陆壳晚古生代沉积物截然不同,后者属于地台型碳酸盐建造、含煤砂泥质建造。

燕山期,在过渡地壳部分,物质分异作用特别强烈,出现大规模中酸性岩浆侵入与喷发,地表所见,大部分地区被火山熔岩及花岗岩覆盖,有时见两者呈逐渐过渡关系。在形成时代上越靠近海域,时代越新(图1)。不仅如此,还发现酸性、中酸性和中偏碱性岩浆的分带现象。火山岩岩石的碱度、钾钠比值以及含铁量有增高的趋势, Sr^{87}/Sr^{86} 比值为0.7082和 $0.7089\pm0.0021^{[4]}$,证明岩浆来自陆壳本身的分异作用,标志着大陆地壳进入到成熟时期。这种分异作用一直持续到喜山期,它不仅使中新世后期海底扩张并形成台湾海峡前陆盆地,而且导致大面积玄武岩喷发和产生花岗岩、混合岩。

(4) 喜山期俯冲带已东移至台湾以东深海沟,它与琉球海沟、马尼拉海沟连成一线,是菲律宾洋壳向中国大陆地壳俯冲的现代俯冲带,它与台东—花莲古缝合线之间的地域属现代过渡型地壳。台湾东部及邻近的岛屿系现代岛弧系。伴随化学分异作用,出现岛弧型安山岩、酸性火山岩以及混合岩、花岗岩等。由于大洋板块不断俯冲,分布在台东海岸山脉的蛇绿岩套及复理石沉积物逆冲到中新世火山沉积岩之上,这一带又是第三纪低温高压蓝闪石片岩分布的场所。

3 中国东南地区地壳分区简述

根据地壳演化基本特征,本区初步可划分出江南、华夏相对稳定陆壳区,东南沿海—台湾活动性陆壳区和台东花莲深断裂以东过渡型地壳(图1)。

(1) 江南陆壳区位于本区西北面,即元古代古缝合线及其以北地区。该区现阶段已是一块古老的稳定大陆地壳。其西侧地壳较厚,约40公里,向东逐渐减薄降至32公里。该区现阶段物质分异作用甚弱,断裂活动年速率一般小于0.1毫米^[7],为重磁异常平静区。其地震频度和强度都较低。

(2) 华夏相对稳定陆壳区位于四堡与加里东期古缝合线之间,其地壳厚度为32—30公里。该区在燕山早期分异作用最为强烈(图2),而现阶段分异作用已停止,所以在该地区内沿深大断裂带,重磁异常值和地壳运动速率都 比较低^[7]。该区地震活动较弱,仅在其东南缘寻乌—河源断裂及

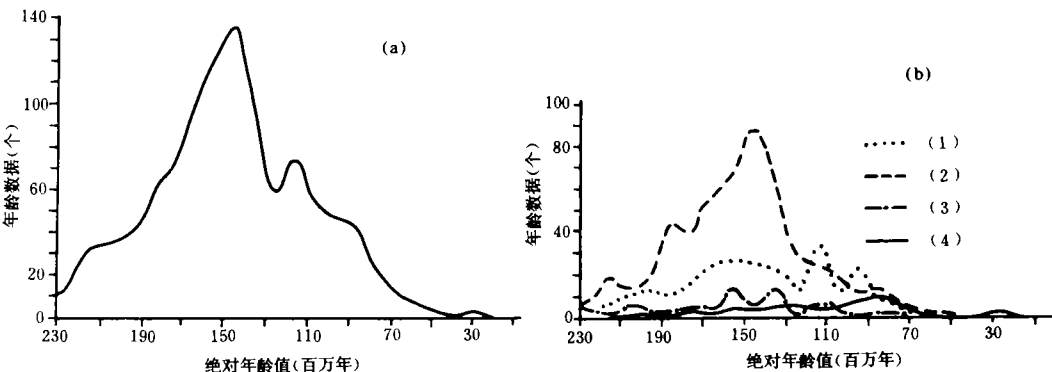


图2 华南地区中生代以来花岗岩同位素年龄数据频率曲线(据杨森楠等)

- a. 华南全区中生代花岗岩同位素年龄数据频率曲线;
- b. 分区中生代花岗岩同位素年龄数据频率曲线;
- (1)赣北—湘桂区;(2)赣南—粤北区;(3)浙西—闽西区;(4)浙东—闽东—粤东区

Fig. 2 Frequency curve of isotopic age data of granites formed in and posterior to the Mesozoic in south China

灵山断裂带上发生过 6 级左右地震。

(3) 东南沿海—台湾活动性陆壳区系指东南沿海至台湾本岛。它是中国大陆地壳向东延伸的最新部分。其西侧地壳厚度约为 30 公里,往东减至 24 公里,花岗岩层厚度变化与地壳厚度变化同步,但是局部有增厚现象,如台湾中部雪山—玉山一带地壳厚度可达 30 公里(图 3)。该区在燕山和喜山期物质分异都很强烈,80% 以上地区地表被燕山晚期花岗岩、火山沉积岩覆盖,从浙东至闽东再至粤东为一条显著的岩浆岩带,这个带可延伸至海岸以外 100—150 公里^[8]。岩浆喷发亦由西部的中心式喷发往东转变为裂隙式喷发,而且越向东其时代越新。在台湾东部发现有喜山期混合岩和花岗岩,分异作用往往受北东或近南北向深大断裂控制,如沿福建漳浦—佛县断裂带,发育有 75 公里长、宽数公里上新世—更新世的拉斑玄武岩^[9],其地壳内低速层厚度达 6.8 公里。因此,区域重磁异常较强,其中重力异常零值线沿海岸线延伸,其西侧为负异常区,东侧为正异常区。上述异常带一般反映深部构造轮廓,并受菲律宾板块俯冲方向严格控制。由于区内北东或近南北向深大断裂下部物质分异作用强,又紧靠台东海沟,沿断裂垂直形变速率一般可达 2.10 毫米/年,水平形变率为 2.33 厘米/年以上。因此该区内地震强度较大,频度也较高。最大震级为 8 级。

(4) 台湾花莲深断裂以东至台东深海沟之间的地壳属于现代过渡型地壳,它直接由菲律宾板块在台东深海沟俯冲造成,属近代环太平洋火山、地震带的一部分。其地壳活动速率为 9 厘米/年。目前,壳内硅铝、铝镁层都处在形成阶段。

4 东南地区地壳演化、分区、构造特征与地震活动的关系

该区内,包括川中地区(除东部边缘外)历史上发生的地震的最大震级为 6.5 级,地震活动比较微弱,在我国大陆地区中属于地震活动平静区。

该区东部与环太平洋地震带紧密相连,那里属板块消减带,即为过渡型地壳区,地震活动十分频繁和强烈;北部与我国华北强震区接壤,西部及西南部与南北地震带衔接。然而该区内部地震活动平静,对此仅用板块构造的理论是比较难于解释的。另外,菲律宾板块以 9 厘米/年的速率向西消减,该区所承受

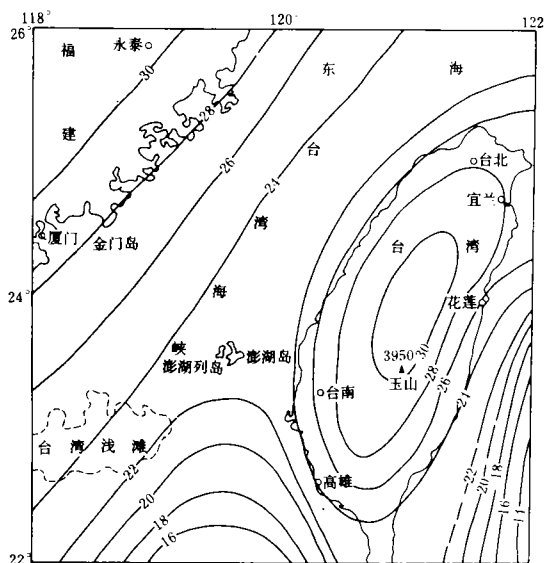


图 3 闽台地区陆壳等厚线图(单位:公里)

Fig. 3 Isopachyte map of continental crust in

Fujian—Taiwan area

的压力较中国大陆其它部分都大,而地震活动却比其它地区平静,显然还有块体内部的原因。

华北地区的地壳发展阶段与东南地区不同,早在震旦纪期间就已形成稳定的大陆地壳,物质分异作用暂时停止了。进入中生代以后,这种分异作用再次变得强烈起来,并且一直持续到新生代。在新生代期间,特别是沿着一些穿壳构造,如北东向深大断裂等分异作用尤为强烈,致使一些构造部位上地幔局部隆起,地壳减薄,热流值增大,玄武岩浆上涌^[14]。物质分异引起的垂直作用力和区域应力场水平作用力迭加,致使该区域断裂的垂直和水平运动速率分别达到 4—18 毫米/年和 3.5 毫米/年。因此,在断裂带附近,上地幔隆起的边缘往往形成大震震源,构成一条又一条强烈地震带。

* 根据南海地质调查指挥部资料重新编制。

南北地震带是中国东、西两大块体的衔接部位。在此以西,地壳发展与东南地区差别也较大。它在晚古生代期间还处在过渡地壳阶段,即地槽阶段,至今尚未形成稳定的大陆地壳。沿北西和南北向穿壳构造,深部物质分异作用仍然十分强烈,其垂直运动量可达2.80毫米/年,水平扭动速率最大可达10.40毫米/年^[14],因此在这些穿壳构造带上,往往发生强震,如鲜水河断裂带等。

东南地区内部如江南、华夏陆壳区与周围地区不同。在中生代期间虽然该区地壳又重新活动,

造成大规模构造变动、岩浆活动和变质作用,但中生代以后地壳处于稳定状态,以前形成的穿壳构造已被岩浆岩胶结与充填,现阶段在这些构造部位上深部物质分异处于休眠状态,整个地壳是一个稳固的块体。近代虽然承受了菲律宾板块的强大压力,但其断裂活动速率一般也只有0.1—1.2毫米/年,因此,在该区内部地震很平静。该区东部,即东南沿海—台湾陆壳区的情况有所不同,其陆壳形成时间较晚,至今地壳和上地幔还处在剧烈分异、成长的过程,如东南沿海断裂是一条明显的新生代玄武岩浆分异带。根据对岩浆岩深源包体的研究^[12]及琼北地区玄武岩⁸⁷Sr/⁸⁶Sr初始值(0.70299/0.7036*)显示,其岩浆来自地下65—130公里的上地幔,而且琼北地区地下10公里深处存在的低速层可能也是岩浆分异造成的(图4)。区内断裂带的垂直形变速率在2.1毫米/年以上,水平形变速率在2.33毫米/年以上。因此,在物质分异强烈的构造部位边缘,由于区域构造应力场与垂直作用力迭加,形成强震发生的环境。这就是人们熟悉的东南沿海地震带。台湾西部及其海域也是一条明显的物质分异地带。由于菲律宾板块在台东海沟消减引起深部岩浆的分熔作用,促使区内断裂的一些部位解缚,同时它又靠近菲律宾板块消减带,在强大区域水平作用力和局部地区垂直作用力引起的剪切应力迭加作用下,致使大震频繁发生形成著名的台湾西部地震带。

(本文1992年10月13日收到)

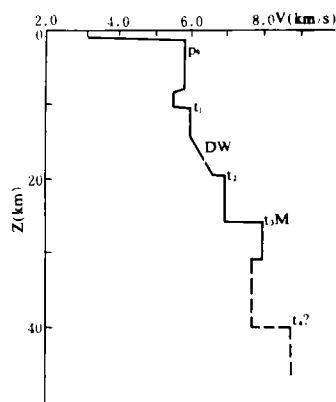


图4 琼北地区地壳深度与地震波速关系图

g-4 Diagram showing relation between depth of crust and seismic velocity in north Qiongzhou area

参考文献

- 1 南京大学地质系. 华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系. 北京: 科学出版社, 1981.
- 2 王鸿桢. 中国华南地区地壳构造发展的轮廓, 华南地区古大陆边缘构造史论文集. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1986.
- 3 乔秀夫, 等. 华南晚前寒武纪古板块构造, 中国及其邻区大地构造论文集. 北京: 地质出版社, 1980.
- 4 郭令智. 华南大地构造格架和地壳演化, 第26届国际地质大会构造地质论文集. 北京: 地质出版社, 1980.
- 5 陈国达, 关尹之, 陈家超, 等. 桂西地槽区. 中南矿冶学院学报, 1963, 校庆专刊.
- 6 黄树峰. 政和一大浦断裂北段活动历史及控岩作用初探. 福建地质, 1984, 3(2).
- 7 刘光勋, 等. 中国东部活动断裂的现代构造运动. 地震地质, 1982, 4(2).
- 8 杨森楠. 华南燕山阶段古构造特征, 华南地区古大陆边缘构造史论文集. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1986.
- 9 章惠芳. 中国东南沿海地区泉州爆破深地震测深资料的再解释. 中国地震, 1988, 4(2).
- 10 郭增建, 秦保燕, 等. 震中迁移现象. 地震战线, 1977, (3).

* 邹和平, 海南岛北部晚新生代构造演化, 1984.

- 11 陈家超,刘江. 地壳下部及上地幔物质分异作用对地震成因机制的影响. 西北地震学报,1985,7(1).
- 12 中国科学院南海海洋研究所海洋地质构造研究室. 南海地质构造与陆缘扩张. 北京:科学出版社,1988.
- 13 郭增建,秦保燕,等. 新生代以来玄武岩喷发区与震中迁移始发点——兼论三层模式. 西北地震学报,1988,10(增刊).
- 14 刘光勋,等. 中国东部活动断裂的现代构造运动. 地震地质,1982,4(4).

CRUSTAL EVOLUTION, DIVISION AND SEISMOGENETIC CHARACTERISTICS IN SOUTHEAST CHINA

Chen Jiachao, Feng Xiaying and Zhu Zhenyu

(*Seismological Bureau of Guangdong Province Guangzhou, China*)

Abstract

In the light of the theory of material differentiation, this paper describes the transformation of crustal types from one into the other and discusses the fundamental characteristics of crustal evolution in southeast China. On this basis, southeast China is divided into different crustal divisions, and the relations between tectonic feature and seismology are discussed.

The results show that material differentiation has been taking place only weakly in major deep fracture zone of southeast China inland, resulting in a low intensity of fracture activity and in the quiescency in seismicity; whereas in the eastern part being close to the subduction zone of Philippine Plate, material differentiation is strong, fracture activity and seismicity are significantly strengthening.

Key Words: Southeast China; Magmatic differentiation; Crustal evolution; Seismogenesis