

中国东部新生代火山的迁移 与大陆裂谷的扩张和大陆漂移^①

邓晋福 赵海玲 叶德隆 路风香 莫宣学

(中国地质大学, 北京 100083)

中国东部大陆裂谷系的玄武质火山活动, 主要集中在三条北东向狭长的裂谷带内, 由西北往东南依次为大兴安岭-太行山火山裂谷带, 长白山-郑庐断裂火山裂谷带, 东南沿海火山裂谷带。每个带内, 第四纪玄武质火山岩沿裂谷带的轴部分布, 第三纪玄武岩则分布在翼部, 这和玄武岩分布在大洋中脊及翼部的规律相同; 由于大陆裂谷的扩张, 早期的第三纪玄武质火山由裂谷轴部向外侧迁移。中国东部大陆岩石圈是由西北往东南漂移的。中国东部大陆裂谷系的形成和扩张, 与印度板块向北运动、太平洋板块向北运动有关。

关键词 中国东部 新生代 火山迁移 大陆裂谷扩张 大陆漂移

第一作者简介 邓晋福 男 57岁 教授 岩石学专业

0 前言

中国东部大陆裂谷系新生代玄武质火山活动主要集中在三个 NE 向的狭长地带内, 从西北到东南它们是, 大兴安岭-太行山火山裂谷带, 长白山-郑庐断裂火山裂谷带, 东南沿海火山裂谷带(图 1)。我们(Deng et al., 1985)已提出中国东部新生代火山的迁移是大陆裂谷扩张和大陆漂移的重要表现和证迹, 本文提出详细论证并分别估算它们的速率, 讨论它们形成的可能机理。

1 火山迁移与裂谷扩张

大陆裂谷区火山岩呈现分带性, 在时间上自裂谷两翼山区向盆地内迁移的现象已被证实(Condie, 1976, 1982; Грачев, 1977; Логачев, 1983; 邓晋福等, 1985; Deng et al., 1984, 1985)。

汉诺坝-大同火山盆地分布于大兴安岭-太行山火山裂谷带的南端, 它包括著名的山西地堑系最北端的大同盆地与燕山山脉内的宣化盆地, 桑干河贯穿其中, 在地形上属山间河谷盆地, NE 向延长, 盆地内堆积巨厚的第四纪和现代沉积物(图 2)。在盆地内分布着第四纪中更新世的大同火山群, 其两侧可能是早更新世的火山。盆地的边部分布着上新世玄武岩, 南

① 本文是国家自然科学基金资助项目研究成果

侧边缘如浑源玄武岩,蔚县玄武岩,北侧边缘如尚义南之玄武岩等。裂谷盆地两翼的山区分布着中新世玄武岩,北翼的内蒙高原上有著名的汉诺坝玄武岩,集宁玄武岩,丰镇-右玉玄武岩,南翼五台山有繁峙玄武岩。另外,大兴安岭-太行山火山裂谷带的中部的达里诺尔-阿巴嘎旗火山群为更新世,最晚的火山喷发集中在阿巴嘎旗一带,该火山群东南侧为赤峰第三纪玄武岩,其西北侧为蒙古达里干夏的第三纪玄武岩。著名的五大莲池火山群为第四纪,分布在该火山裂谷的北端,全新世的老黑山-火烧山火山分布在中部,两侧为更新世的火山。

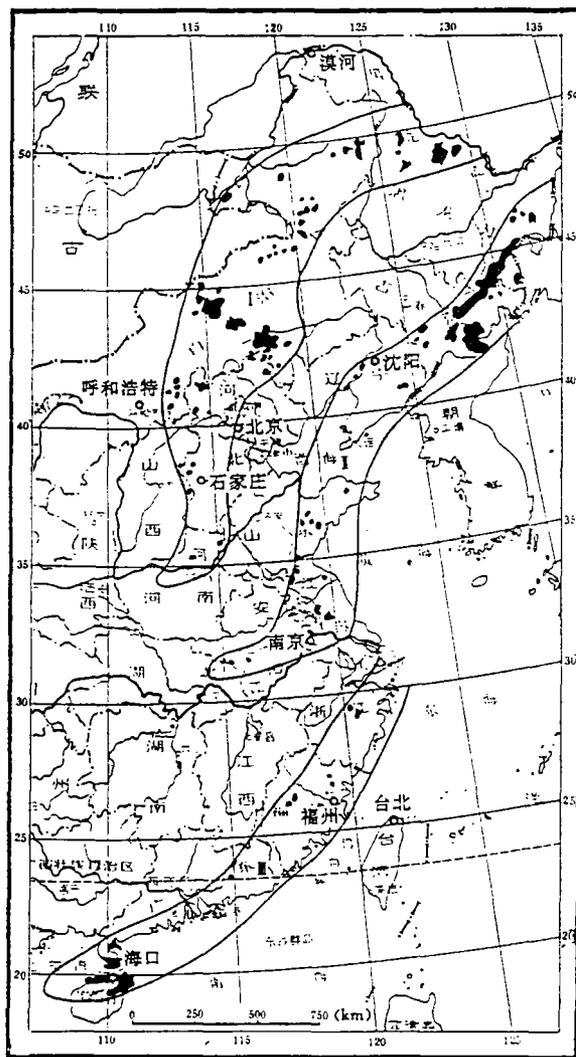


图1 中国东部新生代玄武岩分布图

(玄武岩出露据周新华等,1982)

I. 大兴安岭-太行山火山裂谷带; II. 长白山-郯庐断裂火山裂谷带; III. 东南沿海火山裂谷带

靖宇-镜泊湖火山盆地分布于长白山-郯庐断裂火山裂谷带的北部,靖宇盆地位于龙岗山,镜泊湖盆地分布于老爷岭与张广才岭之间,虽然现代盆地没有相连,但新生代玄武岩的

分布是连续的，我们把它看作为一个裂谷火山盆地(图 3)。它们都是山间河谷盆地，NE 向延伸。河谷盆地内分布着更新世玄武岩火山，常称为河谷玄武岩。靖宇盆地两翼的较低的山上分布着上新世玄武岩，远离河谷盆地两翼的高山上分布着中新世玄武岩，常称它们为高位玄武岩。安图、和龙之间的甄峰山玄武岩和长白山西侧的奶头山玄武岩为中新世，抚松以东的大片玄武岩主要可能属上新世，中新世与上新世玄武岩的界线不清楚。敦化以北的大片玄武岩可能主要属上新世，可能亦有中新世玄武岩的存在。奇怪的是，镜泊湖更新世河谷玄武岩西北侧无晚第三纪的高位玄武岩，只在东南侧有，这与上面所述的对称带状分布规律不一致，见下节讨论。另外，该裂谷火山带的南端的嘉山-六合火山盆地，盆地内广泛分布第四纪玄武岩，其南侧南京一带分布第三纪玄武岩，其西北侧嘉山一带亦分布第三纪玄武岩。

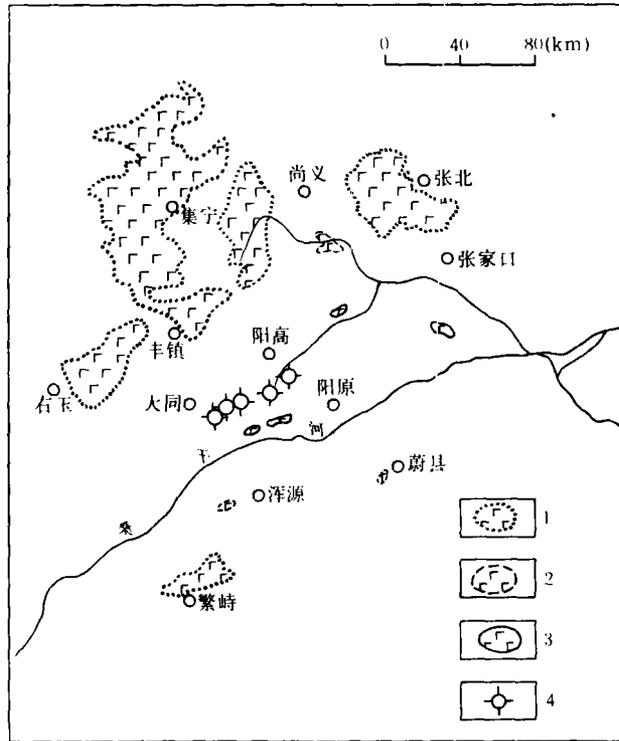


图 2 汉诺坝-大同火山盆地玄武岩分布图

(界线据中国地质图集,1973)

- 1. 中新世玄武岩; 2. 上新世玄武岩; 3. 早更新世玄武岩; 4. 中更新世火山群

琼雷火山盆地分布于东南沿海火山裂谷带的南端。它是一个以琼州海峡为轴心的新生代滨海盆地，地形上呈低平台地，常称为琼雷台地。最新的第四纪火山主要沿琼州海峡两侧分布。盆地北翼向东延伸的方向上有三水-河源一带的第三纪玄武岩，南翼蓬莱一带及南海海域中有第三纪玄武岩分布。该火山裂谷带的北端有新昌-嵊县火山盆地，广布上新世-更新世玄武岩，其西北侧龙游-巨县一带以及东南侧宁海-温州一带分布有较老的玄武质角砾岩筒等。

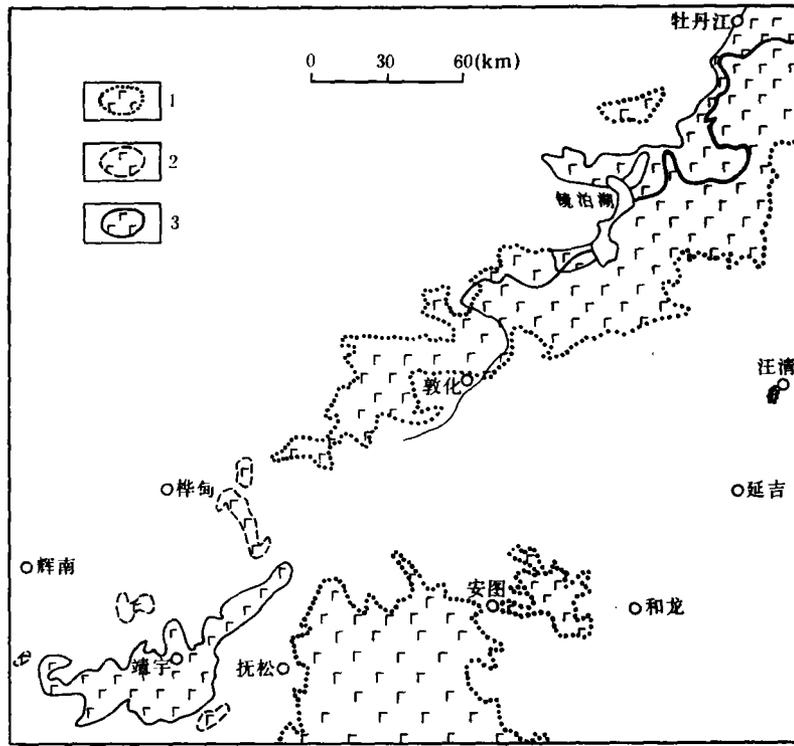


图 3 靖宇-镜泊湖火山盆地玄武岩分布图

(界线据中国地质集,1973)

1. 中新世玄武岩;2. 上新世玄武岩;3. 更新世玄武岩

看来,裂谷火山盆地内的火山时代较新,向盆地边部和侧翼的高地火山时代变老,这种特征的带状分布对大陆裂谷来说可能具有普遍意义。在实质上,大陆裂谷的这种水平侧向分带现象与洋中脊玄武岩的水平侧向带状分布是类似的。众所周知,洋中脊的这种带状分布被看作中洋中脊水平扩张的证据。但是,奇怪的是,目前一般都用“非活动论”观点而不是用扩张作用观点来解释大陆裂谷火山岩的这种带状分布现象。Sugisaki(1976)指出,中心裂谷地带的较高的活动性与最大的应力释放有关,将产生拉斑玄武岩岩浆,两翼地带较低的活动性将产生碱性岩浆。Грачел(1977)指出,裂谷作用的早期,火山作用表现为“分散性”,它与分散的张应力场有关,后期构造活动加剧并汇集在盆地内,火山作用向裂谷盆地迁移并集中。我们认为,与洋中脊类似,大陆裂谷火山的水平侧向分带是裂谷水平扩张的直接证据,可能是因为它的扩张和伸展量比洋底扩张小得多,易被人们忽视,从而仍停留在“固定论”观点上。我们以汉诺坝-大同裂谷火山盆地为例来讨论。中新世玄武岩分布在远离盆地的高原或高山上,玄武岩流下伏岩层海拔高程约 1350m,其顶可达 2000m 以上;上新世玄武岩分布在盆地两侧边缘的低山丘陵地带,下伏岩层的海拔高程约 1200m,其顶可达 1400m;第四纪更新世

玄武岩分布在盆地内,下伏岩层海拔高程约 1050m,最高的黑山火山顶达 1883m。不同时代的玄武岩都呈独立的分布,高山和高原上只分布中新世玄武岩,其上无上新世和更新世玄武岩;低山丘陵上新世玄武岩直接与新生代前的岩石接触,其间无中新世玄武岩,其上无更新世玄武岩;盆地内更新世玄武岩直接覆盖在第四纪沉积物之上,后者直接覆盖在太古界桑干群变质岩之上,其间无中新世和上新世玄武岩层,从而形成了阶梯状地堑式盆地。它说明,裂谷火山盆地的形成是裂谷侧向水平扩张把较老的火山推向两侧的结果。如果从固定论观点来看,盆地早在中新世就形成,那时火山喷发“分散”,遍布盆地及其周边,第四纪时集中收缩在盆地内,如果是这样,那么盆地内应有中新世及上新世的沉积作用和火山的发生,但是,实际上,现今的盆地是第四纪才开始形成的,那里无中新世和上新世的沉积作用和火山的发生。根据这个典型盆地的分析,我们提出中国东部新生代大陆裂谷盆地形成的可能模式,如图 4 所示。中新世时期,岩石圈伸展上隆,形成平缓宽广的聚煤盆地,玄武岩岩浆夹带着大量上地幔碎块沿张开的岩石圈深断裂喷出地表。上新世时期,岩石圈继续上隆伸展,先成的深断裂侧向水平扩张,推动两侧的岩层沿着地壳浅部的薄弱带向两侧作近水平的滑移,驮着中新世玄武岩移向两侧,较老的岩层露出地表,由于重力被断裂所夹的岩块下陷形成裂谷盆地,地形分异加剧,形成了上新世红土夹砂砾层沉积,玄武岩岩浆继续从上地幔源区喷溢于盆地内。第四纪时期以同样方式,裂谷盆地扩张,形成黄土夹砂砾层和玄武质火山。全新世盆地进一步水平扩张,形成现代桑干河河谷,从而形成了现今的这种阶梯状地堑式裂谷火山盆地。

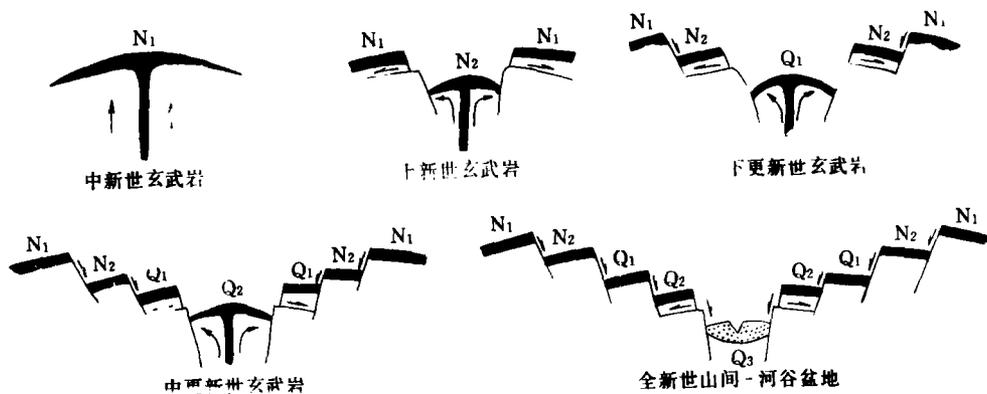


图 4 大陆裂谷火山盆地形成模式

根据火山岩的侧向水平迁移,我们提出计算裂谷扩张速率的公式:

$$v/(\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}) = S/\Delta t$$

v 为半扩张速率, S 为裂谷轴到最老火山岩之间的距离,可以取最老火山岩相离的距离的一半表示它, Δt 为最老与最新火山岩年龄的差值。

对汉诺坝-大同火山盆地来说,高位的中新世玄武岩取汉诺坝玄武岩的 K-Ar 年龄 (21.51~25.42Ma) (王慧芬等, 1982) 的平均值 23.5Ma, 盆地内更新世玄武岩取大同火山群的 K-Ar 年龄 (0.508~0.369Ma) (杨学昌等, 1982) 及昊天寺火山底座的年龄 (0.34~0.35

Ma)^①的平均值 0.43Ma。所以 $\Delta t = 23.07 \times 10^6 \text{a}$ 。西北侧中新玄武岩以右玉—丰镇—张北一线为准,东南侧以繁峙—浑源—蔚县一线为准,相距 100km(图 2),半距离(S)= $5 \times 10^6 \text{cm}$,所以

$$v = 0.22 \text{cm/a}$$

对于靖宇-镜泊湖火山盆地来说,高位的中新世玄武岩取和龙甄峰山玄武岩 K-Ar 年龄 (19.91Ma),更新世河谷玄武岩 (0.09~0.61Ma)(刘嘉麒,1982)平均值 0.3Ma, $\Delta t = 19.61 \times 10^6 \text{a}$ 。西北侧高位玄武岩以桦甸—敦化—镜泊湖一线为准,东南侧以和龙—安图间的甄峰山—汪清一线为准,相距 90km, $S = 4.5 \times 10^6 \text{cm}$,所以:

$$v = 0.23 \text{cm/a}$$

遗憾的是,其它火山盆地的玄武岩还没有同位素年龄资料或不完整,目前无法进行扩张速率的估算。

用火山岩迁移估算的扩张速率 (0.22~0.23cm/a) 完全可与用 SiO_2 指数等估算的大兴安岭玄武岩带与龙岗山玄武岩带(相当本文的靖宇-镜泊湖火山盆地)的扩张速率 (0.20~0.22cm/a)(邓晋福等,1985)相比较,亦可与东非裂谷的最大扩张速率 (0.30cm/a)(Sugisaki, 1976)相比较。

2 火山迁移与大陆漂移

众所周知,许多大洋岛屿火山年龄变化的定向性,记录了岩石圈板块运动的行迹(trace),成为测量岩石圈漂移方向和速度可靠和信服的依据之一。这种热点火山作用在大陆内部亦已被证明,它已成为确定大陆漂移的重要依据。最近,Wellman(1983)应用热点论提出,时代相同的火山岩呈线状展布是由软流圈中一个固定的线状岩浆源所引起,随着岩石圈的漂移,导致了这些线状火山带随时间在地理上的迁移。看来,这种线状岩浆源火山作用模式比热点火山作用更适用于大陆裂谷火山作用,包括中国东部新生代大陆裂谷火山作用。

中国东部新生代裂谷火山盆地的年龄相同的火山呈线状分布(图 2、3),岩石学研究表明,岩浆来自软流圈(邓晋福等,1985)。因此,这些线状火山带乃是软流圈顶部固定的线状岩浆源在地表的表现。由于裂谷的水平扩张,同时代的线状火山带已经分裂成两个对称于裂谷的火山带(图 2、3),我们可以把两个火山带的对称轴线看作线状火山的原有位置。由图 2、3 可以看出,汉诺坝-大同火山盆地及靖宇-镜泊湖火山盆地的第四纪火山的轴线位于晚第三纪火山轴线的西北侧,它暗示了,相对于固定的上地幔线状岩浆源来说,岩石圈向 SE 方向漂移。类似于计算扩张速度那样,我们根据在一定的时间间隔内漂移的距离来计算大陆的漂移速度。据图 2、3,汉诺坝-大同火山盆地的靖宇-镜泊湖火山盆地向 SE 分别漂移了 10 与 9km,漂移速度(v')分别为 0.04 与 0.05cm/a。如果我们把靖宇与镜泊湖的更新世火山相连,其轴线为 NE45° 与中新世火山的轴线(NE30°)相差 15°,它暗示岩石圈向 SE 漂移时又顺时针地旋转了 15°,那末,可估算出旋转速度(v'')为 0.76×10^{-4} 度/年,它帮助我们较好地解释了,为什么镜泊湖第四纪火山的西北侧无晚第三纪高位玄武岩(见上节)。汉诺坝-大同火山

① 陈文奇、刘若新 1984 年的谈话

盆地不同时代的火山轴线是近于平行的,岩石圈漂移时不伴随旋转作用。如果,这种情况是有代表性的事实的话,它暗示中国东部新生代时期大陆裂谷作用时,西侧的大兴安岭-太行山火山带主要是定向的水平扩张与漂移,而靠东侧的长白山-郯庐断裂火山带则表现为在水平扩张和漂移时有顺时针的旋转作用,它的必然结果是,东北地区的大陆岩石圈总扩张量大于华北和华南地区,火山作用一定更强烈。东北地区新生代火山作用的强烈程度与分布面积均大于华北和华南地区暗示了上述推论的某种合理性。

由火山迁移所推定的中国东部大陆岩石圈向 SE 的漂移和顺时针的旋转是与由古地磁所推定的欧亚大陆向 SE 漂移和顺时针旋转(Wyllie,1976)是符合的。从我们的研究中可以看出,由于大陆岩石圈的扩张与漂移的联合,裂谷火山盆地的两半部分,总扩张速度是不同的,见图 5 所示。盆地的东南半部分由于扩张方向与漂移方向的一致,总扩张速度是两者之和,汉诺坝-大同盆地和靖宇-镜泊湖盆地分别为 0.26 和 0.28cm/a。而盆地的西北半部分,由于扩张与漂移的方向相反,总的扩张速度是两者之差,它们分别是 0.18,0.18cm/a。对于大陆裂谷火山盆地来说,这种不对称扩张可能具有普遍意义。中国东部三个裂谷火山带内,火山活动主要集中在火山盆地内,火山带与盆地呈现斜列式排布,它暗示上地幔软流圈顶部的线状岩浆源亦可能呈斜列式排布。

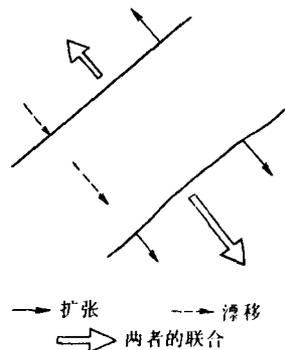


图 5 不对称的扩张模型

3 大陆裂谷的形成

大陆裂谷作用一般分为主动裂谷作用与被动裂谷作用(Sengor et al., 1978; Baker et al., 1981; Condie, 1982),东非裂谷被看作为典型的主动裂谷,岩石圈的拉张归因于软流圈的底辟作用;贝加尔裂谷被看作典型的被动裂谷,岩石圈的拉张来自印度与欧亚板块的碰撞作用。Логачев(1983)提出了不同的观点,认为上述二个裂谷的形成都是软流圈底辟作用的结果,它们之间的差异归因于肯尼亚裂谷下软流圈底辟物质的熔融程度高。

由中国东部新生代三个裂谷火山带以及其西北侧的贝加尔裂谷火山带的斜列式排布可以恢复大陆裂谷系的边界(图 6),西界大致与贺兰山-四川盆地一线相符,约东经 105°,东界大致与海岸线一致。火山岩带的方向代表了大陆裂谷带的扩张轴,由它可反演出应力方

向,同时从火山迁移推定的顺时针方向的旋转可推知东西边界亦是一对顺时针方向的扭应力,两者相符。推定的西边界应力与印度板块向北推进的主应力符合,东边界应力符合于太平洋板块向 NW 推进产生的弧后扩张主应力的一个分力。值得注意的是,作用于火山带的呈 SE 方向的拉张应力与弧后扩张的主应力大致相符,它可能比呈 NW 向的拉张应力(由西边界扭应力分解产生的一个分力)大,它们的联合结果导致东部大陆向 SE 漂移,并产生顺时针旋转。应力场的这种内部一致性暗示了,中国东部大陆裂谷系的形成和漂移与印度板块和太平洋板块对欧亚板块的碰撞与俯冲有成生联系。

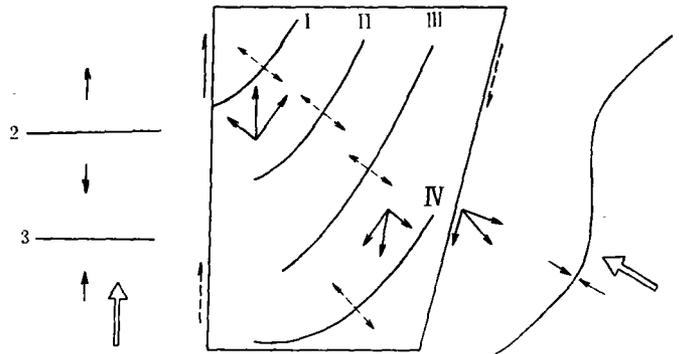


图 6 中国东部大陆裂谷系应力场模型

虚箭头,由火山岩带推定;实箭头,由板块运动推定;空心箭头,表示板块运动方向。
 裂谷火山带, I. 贝加尔带, II. 大兴安岭-太行山带, III. 长白山-郯庐断裂带, IV. 东南沿海带。
 1. 岛弧; 2. 天山-塔里木; 3. 青藏高原

研究(邓晋福等,1985)表明,中国东部大陆裂谷系的形成与驱动力来自上地幔,上地幔的过热状态,重力不稳定性,物质的对流和底辟上升导致了岩石圈在构造的活化形成大陆裂谷。

根据上面的分析,我们可以提出一个中国东部新生代大陆裂谷系形成的粗略模式。新生代时期,可能是由深部地幔上升的热流产生“过热”状态导致在上地幔浅部(60~120km)局部熔融形成低速层,密度降低产生重力不稳定性,软流圈上升使上覆岩石圈隆起并伸展减薄。上地幔向 SE 的扩张流联合印度与太平洋板块向欧亚大陆的推进导致东部大陆向 SE 的漂移和顺时针旋转,岩石圈伸展沿 NE 方向破裂,致使大量玄武岩岩浆喷出地表。早第三纪时期上地幔局部隆起位于东部大陆中部,形成大型裂谷火山盆地。晚第三纪时期上地幔对流向西北和东南方向扩张增长,并形成次级对流中心,导致三个 NE 方向宏伟的裂谷火山带的形成,直至第四纪。更新世晚期可能是由于太平洋扩张的加剧以及东面岛弧的阻挡,致使东部大陆向 SE 的漂移和扩张停止,裂谷的封闭使火山活动大大减弱并形成强烈分异的碱性进化岩浆,如长白山天池的粗面岩-碱流岩组合。

全文承蒙池际尚教授审阅,并提出宝贵意见,工作过程中得到张渝昌、秦德余、吉让寿、陆国新等同志帮助,深表谢意。

(收稿日期:1990年7月17日)

参 考 文 献

- 1 王慧芬. 张家口汉诺坝玄武岩钾-氩年龄. 第二届全国同位素地球化学学术讨论会论文(摘要)汇编, 1982, 489~491
- 2 中国地质科学研究院主编. 中华人民共和国地质图集, 1973
- 3 邓晋福、郭莫岚、路风香. 东北地区新生代玄武岩及其与大陆裂谷构造的关系. 国际交流地质学术论文集(27届国际地质大会), 1985, 3, 13~22
- 4 邓晋福、郭莫岚、路风香. 中国东北地区上地幔组成、结构及热状态. 深部过程与大陆裂谷国际学术会议论文, 1985
- 5 刘嘉麒. 长白山地区新生代火山活动的研究. 第二届全国同位素地球化学学术讨论会论文(摘要)汇编, 1982, 148~150
- 6 杨学昌等. 大同火山群玄武岩钾-氩年龄初步测定. 第二届全国同位素地球化学学术讨论会论文(摘要)汇编, 1982, 507~509
- 7 Baker BH and Morgan P. Continental rifting: progress and outlook, *EOS* 1981, 62, 585~586
- 8 Condie KC. Plate Tectonics and Crustal Evolution, 2-ed, 1982
- 9 Deng Jinfu, Molan E, Fengxiang Lu. Neozoic Basalts in Northeast China and Their Relation to Continental Rift Tectonics, 27-th Inter. Geol. Cong. (Abst) 1984, 4, Sec. 08, 09, 289~290
- 10 Deng Jinfu, Molan E, Fengxiang Lu. The Shift of Cenozoic Volcanoes and the Spreading of the Continental Rift in East China, *DIPCR (Abstracts)* 1985, 30
- 11 Sugisaki R. Chemical Characteristics of Volcanic Rocks, Relation to Plate Movements, *Lithos.* 1976, 9, 17~30
- 12 Wellman P. Hotspot Volcanism in Australia and New Zealand, Cenozoic and Mid-Mesozoic, *Tectonophys.* 1983, 96, 225~243
- 13 Wyllie PJ. *The Way the Earth Works, An Introduction to The New Global Geology and its Revolutionary Development*, 1976
- 14 Xinghua Zhou et al. Cenozoic Volcanic Rocks of Eastern China—Secular and Geographic Trends in Chemistry and Strontium Isotopic Composition, *Earth Planet. Sci. Lett.* 1982, 58, 301~329
- 15 Грачев АХ. Рифтовые Зоны Земли, 1977
- 16 Логачев НА и Д. р. Кампоновский Континентальный Рифтогенез и Геологические Формации (На Примере Кенийской и Байкальской Рифтовых Зон), *Геотектоника*, 1983, 2, 3~15

THE SHIFT OF CENOZOIC VOLCANOES AND THE SPREADING AND DRIFTING OF CONTINENTAL RIFTS IN THE EASTERN CHINA

Deng Jinfu Zhao Hailing Ye Delong Lu Fengxiang Mo Xuanxue
(*China University of Geosciences, Beijing, 100083*)

Abstract

Cenozoic basaltic volcanism of the eastern China continental rift system is mainly concentrated in three NE—extending narrow rift belts. From northwest to southeast, they are the Daxinganling—Taihangshan Belt, the Changbaishan—Tanlu Fault Belt and the Southeast Coast belt. In each of these belts, Quaternary basaltic volcanoes are located along the axial area of rift belts, whereas Tertiary basalts are distributed on each of the flanks of these belts. Similar to the distribution of basalts on mid-ocean ridge and its flanks, the earlier Tertiary basaltic volcanoes shifted outward from the axes of the rifts as a result of continental rift spreading. In addition, the axis of the Quaternary basaltic volcanoes is located in the northwest side of the Tertiary basaltic volcanoes, suggesting the continental lithosphere of the eastern China drifted southeastwards. The spreading and drifting rate of the continental rifts can be estimated respectively from the shifting distances and time interval of volcanoes. The direction of tectonic stress, which is deduced from the echelon arrangement of three NE—extending volcanic belts, suggests that the formation and spreading of the eastern China continental rift system is genetically related both to the northward movement of the India Plate and the northwestward movement of the Pacific Ocean Plate.