

试论我国大陆板内强震活动与地球动力学过程的关系

向 光 中

(兰州地震研究所)

摘 要

本文根据“由浅入深”、“由静到动”的研究方法,分析了我国大陆的地球物理、地球化学以及地质发展历史的实际资料,把地震活动与深部物性活动联系起来,提出了 $M \geq 6$ 级地震在空间上的活动范围受岩石圈厚度控制;断层只在一定岩石圈厚度范围内对强震震中的位置起控制作用。由于软流层的物质活动与相邻板块活动的历史有关以及对流单体活动区随时间的变化,因此地震活动也将发生变化。

地震是地质作用的结果,强地震的活动也是地球内部物质活动的表现。研究地震活动与地球动力学的关系,是一个非常重要的课题。

一、强震震中的空间分布

我国大陆内6级以上的浅源强震,在东部主要分布在长江以北的华北地区和华南沿海诸省,西部地区分布在青藏高原内和新疆天山南北及阿尔泰地区。东北地区有少数浅源强震出现。

地震震中在空间上的分布很不均匀,呈明显带状和“零散状”。我国东部和西部的地震分布并不呈现出对称的图案。此外,还存在几个“无震区”,即自有历史记载以来直到现今未曾发生过 $M \geq 6$ 级地震的地区,如东经104度以东的贵州、湖北、四川、湖南和广西的部分地区以及西部的塔里木盆地、甘肃北山、马宗山、山丹龙首山及民勤一线以北。往东延伸与内蒙北部和蒙古人民共和国东部的⁽¹⁾“无震区”相连。

地震震中的空间位置,往往与断裂构造的展布情况有关。作者曾在《我国大陆浅源强震活动与东西向构造的关系》一文中作过详细的分析。指出了东西向构造是构成全球性的主体构造,只是在不同地区与其它不同方向的构造相交组成网格。这种情况在北半球表现得比较清楚,尤其是在我国和蒙古人民共和国境内⁽²⁾就更加突出。例如东经104度以东地区的东西向构造与北东向构造相交,以西地区或104度附近地区的东西向构造则与北北西或北西和近南北向的构造相交。虽然东部地区有北西向构造,西部地区有北东向构造,但其发育的规模

和范围相对地小得多,有的文献将此称之为“谐振性”构造^[2]。上述网格的交点或其附近,往往是强震震中所在位置。然而,并不是所有的强震位置都受网格交点控制,也不是所有的交点都有地震发生。这与深部的物质活动情况有关。

二、地震活动与深部物质活动

很多文献指出地震活动与火山活动的关系相当密切。就以本世纪中期来说,五十年代初期,全球火山活动处于一个高潮期,相应地也是地震活动的高潮期^[3]。例如,我国西部昆仑山地区的火山喷发发生于1950年,之后,相继在察隅、当雄、山丹、民勤等地发生了七级以上的强震。1980年11月美国加州北部和意大利南部地震发生时,也有火山活动相伴随。我国东部广泛分布着新生代的火山岩,它与强震震中在空间上的分布范围,虽然不完全吻合,但都是新生代以来曾经有过岩浆活动的地区。由此可见,地震活动与岩浆活动的区域关系是相当密切的,只是有的震中区,岩浆活动的方式,不一定都以喷发的形式表现出来。一些地震的前兆现象也将说明这一点。例如,1976年5月29日云南省龙陵潞西7.5、7.6级强震发生前40天,震中区龙陵巴腊掌温泉的水温突然从原来的81℃上升到91℃,直到震后才逐渐恢复^[4]。1976年唐山地震前,震中附近的地温有明显的上升^{[1]*}。类似情况,历史上也曾经有过记载。

温泉是地热的一种表现。很多地区的地震震中分布与温泉的分布有较明显的相关性。从总体关系上可以看出,温泉分布多、温度高的地区也是地震活动频度高、强度大的地区,如福建、广东两省温泉的分布有着自内陆向东南沿海数量增多、温度增高的趋势^{[1]*},地震的频度和强度相应的也有增高之势。虽然这些地区现今没有火山喷发,但曾经是第四纪岩浆活动的区域。因此,有些人认为温泉之热来源于深部的岩浆。纵然有些震区,很少温泉出露,但震前的水温突增。如1739年银川地震前,地下水的温度增高到“可浴”的程度。这些现象用深部岩浆活动时的热流扩散来解释较为合理。这是一个比较复杂的问题,还需做进一步的研究。

火山喷发时,往往伴随有大量的CO₂,这是众所周知的事实。一些强震发生前,经常有喷气现象,其中成分以CO₂居多。1976年7月28日唐山7.8级地震发生前二十余天,在距震中区一百余公里的北京地区,发生了喷气,同年8月8~9日6.0、6.2级强系震发生前,在北京地区出现喷气现象,气体中CO₂的浓度超过了13.4%^[4]。这种喷气来势和规模是相当可观的。Barnes和石慧馨在研究碳酸水出露带分布特征时,都指出许多温热碳酸水出露的地区,地震活动性较强^[5]。虽然CO₂的来源是多方面的,但是,上述现象的出现,不能不说与深部的岩浆活动有关。近来一些研究结果表明(参看久城育失《地球内部的二氧化碳》一文),CO₂的来源与形成于软流层的玄武岩浆活动有关。

此外,我国东部一些强震区的地球物理资料表明,河间^{[3]*}、邢台、临沂^{[4]*}、海城、唐山^{[3]*}等地震与上地幔的断错和局部隆起有关^{[6][7]}。

1) • 国家地震局地球物理勘探大队,京津地区人工地震地壳测深资料,1978。

2) • 参阅广州地震大队1976年资料。

3) • 国家地震局物探队,1973,1974,1977年研究报告。

4) • 国家地震局地质研究所大地电磁测深组1973年研究报告。

综上所述，可以认为，地震活动与深部物质的活动相关。

三、地震活动、岩浆活动和盆地的形成 与岩石圈结构的关系

在以往的一些文献中，把地震活动与深部构造的联系通常限于地壳厚度变化方面。实际上，地震活动地带并不完全与地壳厚度突变带相一致。

David.S.Chapman等人根据表层热流区域变化编制了全球的岩石圈厚度图^[8]。该图与Ernst.W.Schwidersk编制的地球表面密度图比较^[7]，两者极为近似（图1），根据某些实际资料的验证，我国岩石圈的厚度变化情况与Chapman等人编制的示意图基本相符，只是某些细节方面可能略有出入。必须指出，岩石圈厚度的分布往往与地壳厚度分布不一致，如图1a所示，岩石圈厚度超过120公里的地区相当于贵州、四川和鄂尔多斯。此外，塔里木盆地至阿拉善地块的岩石圈厚度也有超过120公里的趋势。上述地区的地壳厚度远比青藏高原内某些地区的地壳厚度小得多。造成这种现象的原因还不清楚。如果将岩石圈厚度分布图与我国的强震震中分布图进行对比，不难发现岩石圈厚度较大的地区与我国大陆内的无震区基本吻合。这一情况也见于美洲大陆。

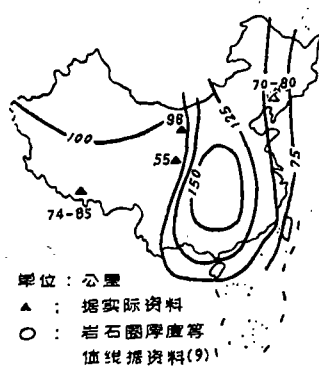
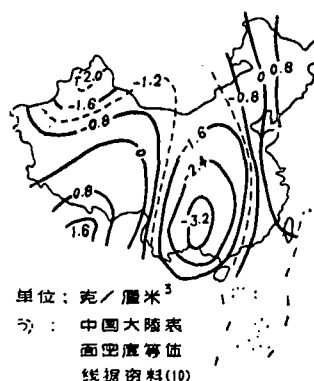


图1a 中国大陆岩石圈
厚度分布示意图



系。

我国东部许多新生代盆地的发展往往伴有玄武岩浆的活动。如长江中下游地区,火山岩多为盆地的组成部分;山西大同火山群的分布与盆地相关;广东三水盆地的填充物中,表现

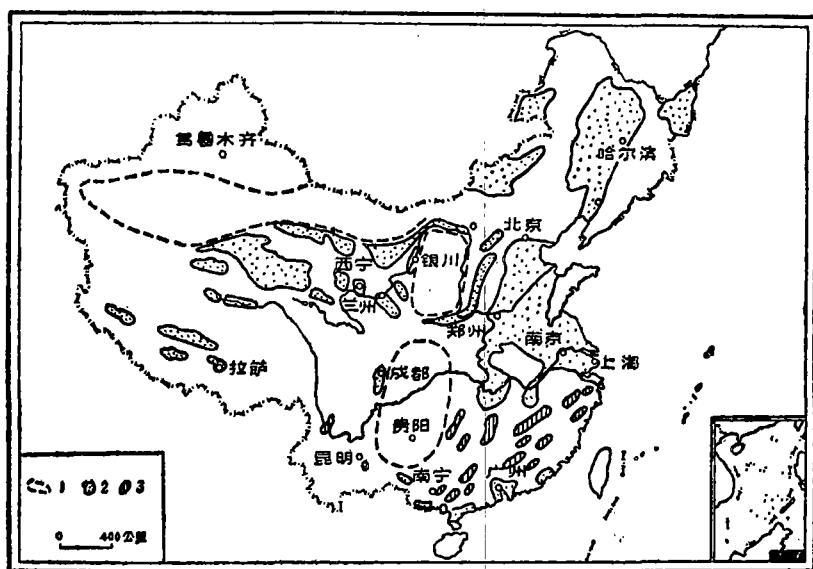


图2 晚中生代—新生代盆地分布示意图

1.无震区、2.新生代及第四纪盆地, 3.白垩纪—第三纪盆地

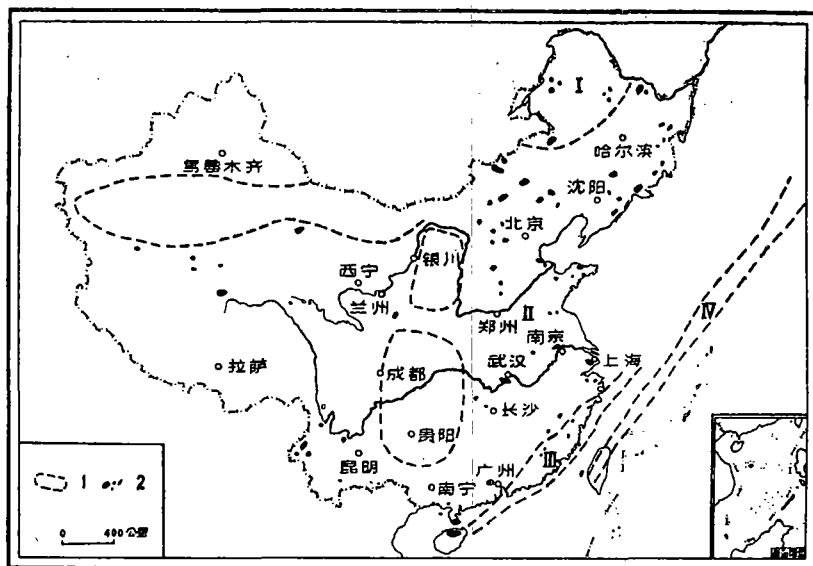


图3 新生代火山岩分布示意图

1.无震区2.新生代玄武岩 I. 钾质碱性玄武岩带 II. 钠质碱性玄武岩带
III. 大陆杆栏拉班玄武岩带 IV. 高铝玄武岩带

出多次火山活动。此外, 华北平原、江汉平原和洞庭湖盆地¹⁾*在其新生代发展过程中, 也往往伴有玄武岩浆的活动。

东部地区新生代玄武岩在空间上主要分布在岩石圈厚度小于100公里的地区内^[11]。关于我国东部新生代玄武岩的成分问题, 赵宗溥早在1956年就指出, 中国东部新生代玄武岩是世界上典型的碱性玄武岩^[12]。岩石化学分析资料表明, 各地岩石总碱量($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)有着从北往南、由西往东逐渐降低的趋势。而且, 华南地区的 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 5\%$, 东北、华北地区的 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 5\%$, 大致的分界线位于南京一带。化学成分的不同反映在岩石类型上的区别, 由西往东大体上可以分为四个岩带²⁾*: (1) 钾质碱性玄武岩带, (2) 钠质碱性玄武岩带, (3) 大陆杆栏拉斑玄武岩带, (4) 高铝玄武岩带。以上四个岩带以钠质玄武岩带分布面积最大, 大陆杆栏拉斑玄武岩主要分布在福建沿海一带。这两个岩带分布的地区, 基本上就是我国东部大陆内强震活动的范围。尤其是福建地区新生代玄武岩的分布, 更具有典型意义。根据孙伟汉等人的研究, 福建省西部玄武岩内深源包体中柘榴石的镁铝榴石组分一般均大于60%, 而东部未见镁铝榴石。他们根据这一事实推断, 福建省西部新生代原始岩浆形成的深度较大, 约100~150公里, 东部较小, 约70~100公里^[13]。华北地区新生代玄武岩形成的深度, 根据 Sr^{88} 和 Sr^{87} 比值确定, 与福建西部地区的玄武岩相似³⁾*。他们的推论与I. 路钊(1968)根据实验结果得出的结论基本一致^[14]。岩石成分贫钙、铝及 Mg/Ca 比值高的特点表明, 我国东部玄武岩的形成是由深部原始岩浆直接形成的^[15]。由此可见, 各种岩石类型的分带和空间分布基本上反映了原始岩浆的形成深度, 正好位于岩石圈下的软流层内(图4)。

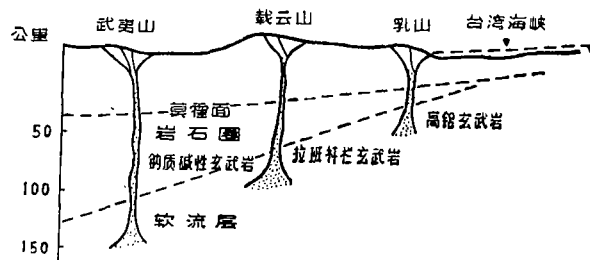


图4 玄武岩形成深度示意图(根据孙伟汉等修正)

冯锐等肯定了我国大陆上地幔有低速层存在, 宋仲和等确定了北京—萨哈拉一带的低速层出现在深度大约为55~120公里范围内。这些资料与Chapman等人的岩石圈厚度相符, 同时也表明, 形成玄武岩的原始岩浆来自于上地幔软流层是可信的。

我国西部青藏高原的岩石圈厚度小于100公里(74~85公里)⁴⁾*。新生代以来直至1950年在高原地区范围内曾经有过多次数玄武岩浆的喷发活动, 如新疆昆仑山阿什库勒地区, 青藏交界附近的昆仑山南缘强巴地区^[16], 甘肃玉门红柳峡和天水礼县一带。岩石化学成分与我国

1) * 张祖圻, 湖南冶金地质, 1978。

2) * 吕炳全, 对中国东部新生代玄武岩的几点认识, 海洋地质资料, 1978。

3) * 据刘国栋同志口述。

4) * 朱炳全, 从青藏高原探讨挤压板块的热历史, 青藏高原科学讨论会论文(摘要), 1980。

东部地区的火山岩相似或更偏碱性。地球物理资料的推断指出（见图1、6），我国西部的强震活动区与玄武岩浆的深部活动分布区基本一致，因为和我国东部一样，也是处于上部高密度区。

美国西部不仅是一个地震活动强烈的地区，而且是新生代火山活动相当活跃的地区。J. Gilluly (1965) 指出，美国西部那些晚新生代火山岩地区属于那种深地壳并具有低速层的上地幔区。

上述事实表明，地震的分布、新生代的岩浆活动和盆地的发展三者相互关系密切，同时都受岩石圈厚度的制约。

四、地震活动与地幔软流层活动的关系

为了进一步研究地幔软流层物质活动的情况，我们对一些地质事件采取了由老到新、由浅到深、由静态到动态的分析方法。

我国东部上白垩世—第三纪形成的许多盆地，第四纪以来有的继续发展，成为继承性盆地，同时形成一些新生盆地。它们在华南分布于福建、广东和广西几省的沿海地区，在华北分布于洞庭湖、鄱阳湖以北的广大地区，如图2所示。火山岩总碱量南部和北部的不同，是造成这种现象的反映。完成盆地（第四纪以来不再有沉积物填充的盆地）分布的中间地带现在不再是软流层物质活动的场所，因此，现今几乎没有强震活动。根据这种情况可以认为，纵然有些地区在历史上是一个强震活动的地区，如果地幔软流层物质的活动发生了变化，不再继续活动，那么地震活动也将发生变化，甚至成为无强烈地震活动的“停息”地区。这一点在中长期预报方面是有意义的。

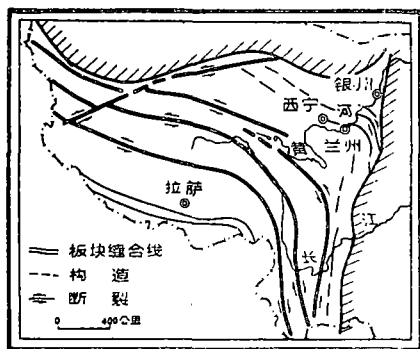


图5 青藏高原弧形构造示意图

我国西部地区在构造形态上有一个非常明显的特征：一系列朝北东方向突出的弧形构造出现在塔里木—阿拉善地块以南（图5）。这些构造形迹是三迭纪以后各个时期的产物。几个主要弧形构造西侧的走向呈北西西或近东西，具左旋挤压性质^[17]，但东侧有些构造也具有左旋的性质。各个时期形成的弧形构造，它们之间在地表上的形态，显示出调谐一致的特征。六盘山—南西华山弧形构造，虽然是在古祁连山加里东构造格架的基础上，经过后来改造形成的，但与巴颜喀拉山系的印支弧形构造和唐古拉弧形构造

在形态上和旋扭性质上保持着谐调一致。这些构造与强震活动的关系密切，构成了强震活动的分带性*。因此，有必要对弧形构造形成的原因作比较详细的分析。

青藏高原的不同地区，发育着各种不同性质的盆地和断陷，既有压性、压扭性的，也有张性的。一些长轴与构造线一致的压性盆地分布在青藏高原内部，如共和盆地、可可西里盆

* 侯珍清，中国大陆强震活动规律，1979。

地和哈拉湖盆地等。一般压扭性的盆地多呈菱形。出现在青藏高原周边河西走廊的酒泉盆地和民乐盆地，其锐角指向北西—南东。位于青藏高原周边的川西地区和云南地区虽无菱形盆地，却有菱形断块，其形成与压扭作用有关。以张性为主的有银川断陷盆地，呈纺锤状，延伸方向为北北东或近南北。陇西地区和西海固地区的兴仁堡盆地的性质目前尚不清楚。根据它们出现于弧形构造顶部附近的情况以及近似于“新月”和弯曲纺锤的形状推断，可能具有张裂的性质。

造成以上现象的原因，作者以为上地幔软流层物质长期向北东的活动是起主要作用的因素。

上述构造形成于印支运动以后的各个不同时间。所以弧形构造与各类盆地的形成，与其说是印度板块向北推挤的结果，倒不如说是推动印度板块的软流层物质活动的反映。

M.N.Toksöz和A.T.Hsa在研究边缘盆地演化时，提出了消减岩石圈在软流层中产生诱发对流的可能，并指出诱发对流还可作为一些构造现象产生的机制^[18]。我国东、西部地质事件的演化情况可与Toksöz等提出的诱发对流的演化阶段进行比较（图6）。他们的第一阶段（见图6A），相当于我国西部的情况，也就是说，在印度板块向北插入深度不大的情况下，软流层物质仍保持长期以来往北东的流动方向，只是在俯冲带附近形成局部的小规模的诱发对流，其方向与软流层物质总的流动方向相反。雅鲁藏布江两侧的热水活动具有对称性，而且在中间存在一个“冷带”^{*}，据佟伟等人的研究，目前藏南的水热活动正处于“新兴”阶段，而藏北则开始“衰老”。这种情况可能与局部诱发对流的发展有关。由于局部的横流^[19]，造成了弧形构造东侧某些断层旋扭方向与主体弧形构造东侧的右旋性不一致。我国东部地区完全受诱发对流的支配，如图6B所示。该图相当于Toksöz的第四演化阶段，即最后阶段。我国东部在上白垩世—第三纪时受一个对流单体所支配，因此，广泛发育了许多上白垩世—第三纪的盆地或断陷。第四纪时，分成了两个对流单体，一个向北缩小，一个往南缩小。因此，第四纪盆地和断陷也分为南北两个地区，而且形成了一个由“完成盆地”组成的“中间地带”。随着时间的推移，这种对流单体的作用范围，有可能还将继续缩小甚至消失，地震活动区域也相应地有所改变。

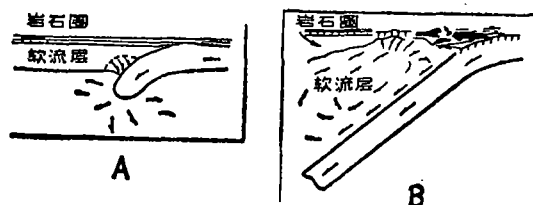


图6 诱发对流示意图（据Toksöz图简化）

第一阶段（见图6A），相当于我国西部的情况，也就是说，在印度板块向北插入深度不大的情况下，软流层物质仍保持长期以来往北东的流动方向，只是在俯冲带附近形成局部的小规模的诱发对流，其方向与软流层物质总的流动方向相反。雅鲁藏布江两侧的热水活动具有对称性，而且在中间存在一个“冷带”^{*}，据佟伟等人的研究，目前藏南的水热活动正处于“新兴”阶段，而藏北则开始“衰老”。这种情况可能与局部诱发对流的发展有关。由于局部的横流^[19]，造成了弧形构造东侧某些断层旋扭方向与主体弧形构造东侧的右旋性不一致。我国东部地区完全受诱发对流的支配，如图6B所示。该图相当于Toksöz的第四演化阶段，即最后阶段。我国东部在上白垩世—第三纪时受一个对流单体所支配，因此，广泛发育了许多上白垩世—第三纪的盆地或断陷。第四纪时，分成了两个对流单体，一个向北缩小，一个往南缩小。因此，第四纪盆地和断陷也分为南北两个地区，而且形成了一个由“完成盆地”组成的“中间地带”。随着时间的推移，这种对流单体的作用范围，有可能还将继续缩小甚至消失，地震活动区域也相应地有所改变。

五、断层和地震活动

作者从不同方面论证了地震活动与上地幔软流层物质活动的关系。但是软流层顶部距离大陆地表的深度至少在70公里以上，而我国大陆内许多强震的震源深度大部分都小于40公里，那么两者之间是怎么联系起来的呢？

众所周知，很多强震的震中位于断裂附近，其中有些断裂与新生代玄武岩的分布有着密

* 佟伟、章铭陶，西藏的地热活动特征及其对高原构造模式的控制意义，青藏高原科学讨论会论文（摘要），1980。

切的关系。例如,我国东部地区新生代火山岩的分布往往受东西向、北东向与北西向断层的制约,尤其与前两者的关系更为密切。说明这些断层可能切割到地幔,重力资料也显示出在地壳深部,东西向构造发育较地表清晰。L.R.Sykes在研究板内地震活动时指出,地震活动和碱性岩浆作用可能受穿透整个岩石圈通到岩浆源的软流层顶部的深断裂所控制^[20]。这就表明,我国强震活动和碱性玄武岩在空间上相关的事实与Sykes的论点相吻合,而且还表明,巨大的深断裂可以将软流层中的物质转输到岩石圈内,造成能量的集中和释放,发生地震。有时还可将软流层的物质传送到地表,形成火山。地震的发生,一方面取决于断裂是否穿透岩石圈达软流层,另一方面还要取决于软流层物质现今的活动情况。后一方面,可能是岩石圈下应力的一种来源,并形成由下向上的断裂,导引软流层的上升,但不到达地表,所以在震中区不一定都有火山喷发。这两方面的情况说明,地震的发生不单纯是地表断层应力的集中和释放,而是在一定热动力条件下能量的集中和释放。被传输物质的规模和蕴藏的深度,可能是造成一些地震前兆现象差别的一个主要原因^[21]。

结 论

综合以上所有的论述,地震活动与地球动力学过程的关系如图7所示,结论如下:

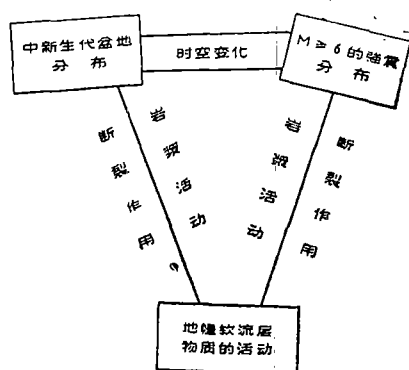


图7 强震活动与地球动力学过程关系示意图

(1)地震的发生及其活动规律是上地幔软流层物质活动的直接反映。软流层物质活动的规模和范围随时间的不同而不同,因此,强震活动的地区也随时间变化。

(2)地震在空间上的活动范围还受岩石圈的厚度所控制,超过一定厚度的地区便是“无震区”。断层只在一定岩石圈厚度范围内对强震震中的位置起控制作用。

(3)软流层物质活动的性质与相邻板块活动的历史有关,活动历史不同的板块是造成软流层物质活动分区性的原因。这种不同性质的分区性又反映在不同区域具有不同性质的控震或强震构造上。

(4)强震发生前的某些异常现象可能就是深部物质活动和变化的信息。

承蒙郭增建、侯珍清、张必敦、朱海之、杨理华、李绍炳等同志惠阅原稿,并提出了宝贵意见,在此表示衷心感谢。

(本文1981年5月25日收到)

参 考 文 献

- [1] 向光中, 我国大陆东西向构造与地震活动的关系, 西北地震学报, Vol. 1, No. 2, 1979.
- [2] 苏蒙地质科学队, 蒙古地质基本问题, 地质出版社, 1980.
- [3] 刘光远, 青藏高原大震活动和火山活动的讨论, 西北地震学报, Vol. 1, No. 1, 1979.
- [4] 石慧馨、蔡祖煌, 在我国发现的地震前地下流体异常的实例, 地震学报, Vol. 2, No. 4, 1980.
- [5] 石慧馨, 中国碳酸水出露带分布特征简介, 地震地质, Vol. 2, No. 2, 1979.
- [6] 邓起东等, 关于海城地震震源模式的讨论, 地质科学, No. 3, 1976.
- [7] 方仲景等, 苏鲁皖地区晚新生代的构造应力场的初步讨论, 地震地质, Vol. 1, No. 4, 1979.
- [8] Chapman, D.S. and Pollack, H.N., Regional Geotherms and Lithospheric Thickness, Geology, Vol. 5, No. 5, 1977.
- [9] Schwiderski, E.W., Mantle convection and Crustal Tectonics Inferred From a Satellite's Orbit, A Different View of Sea-Floor Spreading, J. Geophys. Res. Vol. 73, No. 8.
- [10] 邓起东等, 中国地震烈度区划图编制的原则和方法, 地震学报, Vol. 2, No. 1, 1980.
- [11] 刘百箴, 中国大陆地震的应力调整场动态模型, 地震地质, Vol. 1, No. 3, 1979.
- [12] 赵宗溥, 中国东部新生代玄武岩类岩石化学的研究, 地震学报, Vol. 36, No. 3, 1956.
- [13] 孙伟汉、赖志敏, 福建省新生代火山岩岩石化学特征及构造地质关系的讨论, 地球化学, No. 2, 1980.
- [14] Wyllie, P.J., The Dynamic Earth, Wiley, New York, 1971.
- [15] 郑学正等, 我国东部新生代玄武岩岩石化学的一些讨论, 地质科学, No. 3, 1978.
- [16] 邓万明, 藏北第四纪火山岩岩石学和岩石化学初步研究, 地质学报, Vol. 52, No. 2, 1978.
- [17] 李玉龙, 陕甘宁青四省(区)新构造与现代构造应力场及其动力来源的初步分析, 西北地震学报, Vol. 1, No. 4, 1979.
- [18] Toksöz, M.N., Hsa, A.T., 岛弧后对流和边缘盆地地形成的数值研究, 地震地质译丛, Vol. 1, No. 4, 1979.
- [19] 环文林等, 中国及邻区现代构造形变特征, 地震学报, Vol. 1, No. 2, 1979.
- [20] Sykes, L.R., Intraplate Seismicity, Reactivation of Preexisting Zones of Weakness, Alkaline Magmatism, and Other Tectonism Postdating Continental Fragmentation, Reviews of Geophysics and Space Physics, Vol. 16, No. 14, 1978.
- [21] Wakila H. et al., 由上地幔挤入岩浆形成的氦点, 地震地质译丛, Vol. 1, No. 3, 1979.

A STUDY OF THE RELATION BETWEEN ACTIVITIES OF STRONG EARTHQUAKES AND GEODYNAMIC PROCESSES IN THE CONTINENT OF CHINA

Xiang Guang→zhong

(Lanzhou Seismological Institute)

Abstract

Based on the method "from static to motion" and "from surface to depth", this paper analyses the geophysical, geochemical, geological and historical material in the continent of China. Seismicity is connected with motions in the depth of earth. It is suggested that active regions of strong earthquakes $M \geq 6$ are under the control of lithosphere thickness; the fault only occurred at the some thickness of lithosphere controls the position of epicentre. As the material activities of asthenosphere are related to the history of neighboring plate action and the active region of convection cell changes with time, in the seismocitive region changes will take place.