

地壳运动的深部地球物理背景

袁兆亿

(中国科学院长沙大地构造研究所)

提要 本文对地壳构造运动、深部地球物理特征的分析和研究结果表明,深源地幔物质流和浅源地幔物质流的运移状态及其组合型式,以及它们与地壳下界面形状的相对关系,是影响大地构造运动和地壳形变的主要因素,并由此说明了某些地区大地震活动比较集中和易于发生的原因,以及它们所对应的深部地球物理背景。

前言

地球是一个内部物质在不停地运动的球体,而这种运动总是不断地通过地壳的构造变动表现出来的。地壳活动性强的地区往往也是地震活动较频繁的地区,而地壳活动性的强弱则与地幔物质的运动状态有密切的关系。

引起地震的因素往往是多方面的,但是对于人类的日常生活威胁较大的大地震的发生,主要与深部的构造变动有关。这种深部构造变动的力源来自地幔物质的运移力。因此,通过分析地幔物质的运移状态对地壳构造变动的影响,就有可能从大区域的角度来划分出大地震活动较集中的地区,并了解这类大地震区之所以存在的深部地球物理背景。

一、地幔物质的运动形式

任何阶段,任何型式的大地构造运动,总是表现出与当时一定的地球物理特征相对应的,特别是与深部的地球物理特征有着密切的关系。在地质年代中,随着地球的演化,深部地球物理特征也在不断地发生着变化。这种变化与地幔物质的运动是紧密相联的。地幔物质的运动是由于地幔中密度异常源的存在,使得地幔物质偏离流体静力平衡状态而造成的。地球是具有明显的层状结构的球体,处于不同层位的地球物质,不但具有各自特殊的运动形式,而且其对地壳构造运动的影响也是不同的。一般来说,波长短,埋藏浅的密度异常源主要引起小尺度的物质运移,其对地壳构造变动的影响是局部的,短期的。而波长长,埋藏深的密度异常源则将引起大尺度的物质运移,其对地壳构造变动的影响是大范围的,长期的。

随着空间测量技术的日益发展,人造地球卫星提供的资料,使我们有可能对地幔深部密度异常源的分布得出新的认识。例如可以利用人造卫星提供的资料,绘制出全球的自由空气重力异常图(曾维鲁,1985)。由于地幔物质是具有平均粘度约为 2.4×10^{22} 泊的塑性体,在地球长期运动的过程中,在各种外力和内力的共同作用下,地幔物质将会发生缓慢的移动。由场论可知,对于物理场来说,场的等值线与力线总是正交的,即地幔物质的运移路径是与等值线的法矢量方向一致的。而地幔物质的运移强度则与场的等值线梯度变化的大小有关。

据此, 本文给出了所论区域的深源和浅源地幔物质运移状态图。深源地幔物质运移过程与地壳岩石的均衡状态无关, 它主要反映深部地幔物质的结构。浅源地幔异常源主要反映岩石圈下面地幔物质密度的横向不均匀性。它们两者都与地壳的构造活动有关。

本文给出了所论区域的深源(2—12阶GEM10B地球模型)和浅源(13—36阶GEM10B地球模型)地幔物质运移状态图。由此说明处于不同区域的地壳构造变动, 如何直接受控于运动着的地幔物质。

二、深源地幔物质运移力对地壳的影响

包括华南地区和华北地区在内的深源地幔物质运移状态如图1所示。由图1可见, 华南和华北地区均位于单向运移的地幔物质流之上, 该区域范围内不存在任何密度异常源。从宏观上来看, 地幔物质主体上是由西向东运移的。华南地区和华北地区同处于由西指东的统一构造应力场之中。但是具体地来看, 华南地区和华北地区所处的构造应力场状态是不完全一样的。在华南地区内, 大致以北纬25°为轴线, 其南北两侧的地幔物质在向东运移的过程中, 有逐渐离开该轴线的趋势, 使得该处的地幔物质流由于在单位时间内流过单位面积的流量减少而变得相对和缓。同时, 该轴线及其附近地区单位面积内的地幔物质所携带的地热流密度也必然会相对降低。结果使得华南地区的地壳活动性相对减弱。华北地区的地幔物质运移特征是大致以北纬40°为轴线, 其南北两侧的地幔物质在向东运移的过程中, 有向该轴线逐渐靠拢的趋势, 使得该处的地幔物质流由于在单位时间内流过单位面积的流量增加而变得相对急剧。同时, 该轴线及其附近地区的单位面积内的地幔物质所携带的地热流密度也必然会相对增高。结果使得华北地区的地壳活动性相对增强。

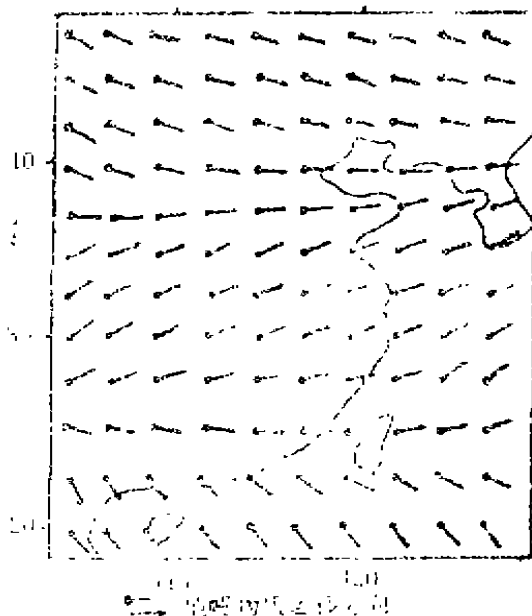


图1 华南和华北地区的深部地幔物质运移图
Fig. 1 The movement of deep origin mantle in South and North China

三、浅源地幔物质运移力对地壳的影响

一般来说, 现今的地球物理资料主要反映的是中生代以来的地质事件。故此由地幔物质运移图可知, 中生代以来的大地构造运动是深源和浅源地幔物质运移所产生的驱动力联合作用的结果。其中深源地幔物质运移作用力的影响是主要的, 它决定了大地构造运动发展阶段的性质(如, 活动期—地槽阶段, 地洼阶段, 平静期—地台阶段)。而浅源地幔物质运移作用力的影响, 在某种程度上可以起到诱导和加速地壳构造变动的作用, 在不同的地区

(例如, 华南地区, 华北地区) 这两种力的联合作用程度是不同的。就是在同一地区, 这两种力的联合作用也会随时间而发生变化。当大地构造运动处于剧烈期时, 深源地幔物质运移的强大驱动力往往会强烈地影响着浅源地幔物质的运移状态, 这时深源地幔物质和浅源地幔

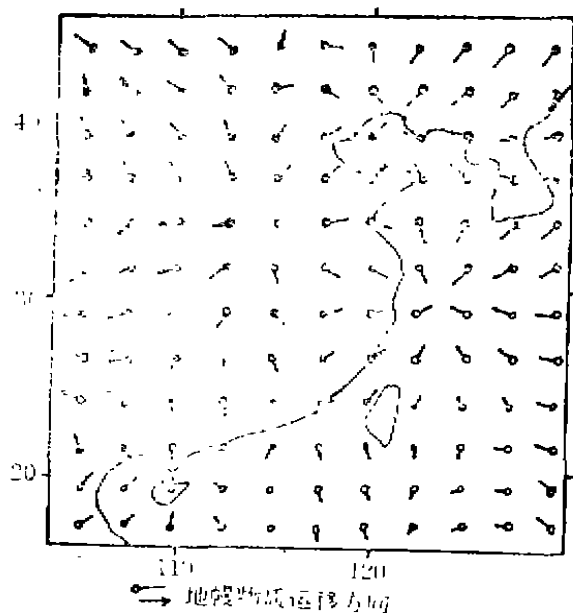


图2 华南和华北地区浅源地幔物质运移图
Fig. 2 The movement of shallow origin mantle in South and North China

物质运移的方向一致较明显。当大地构造运动不是处于剧烈期时, 深源地幔物质运移所产生的驱动力大大减弱, 其对浅源地幔物质运移状态的影响也变得相对地不明显。这时深源地幔物质和浅源地幔物质的运移方向基本上不存在对应关系。但是当浅源地幔物质在局部上与深源地幔物质运移方向一致时, 就会使的该局部地壳的活动性相对增强。

图2是包括华南地区和华北地区在内的浅源地幔物质运移图。由图2可见, 华南内陆地区所对应的浅源地幔物质流方向性不明显, 其与深源地幔物质的运移方向没有对应关系, 而且浅源地幔物质运移所产生的作用力较弱, 显示了华南内陆地区的地壳稳定性较高。在华南地区范围内, 从浙江的温州—福建—广东的汕头沿海一带, 浅源地幔物质运移方向和深源地

幔物质的运移方向对应关系较明显, 其结果将使得该沿海地区一带的地壳构造变动和大地震活动变得相对强烈。

与华南地区相比, 华北地区的浅源地幔物质流方向性较明显, 地幔物质运移所产生的作用力也较强。显示了华北地区的地壳活动性强于华南地区。但是从总体来看, 华北地区的浅源地幔物质与深源地幔物质在运移方向上不存在对应关系, 表明了华北地区目前不是处于大地构造运动的剧烈期。从局部来看, 在渤海湾南西西方向的邢台地区附近有一个浅源地幔物质发散源, 而在渤海湾北东东方向的海城地区附近有一个浅源地幔物质会聚源。这就为渤海湾及其邻近区域的浅源地幔物质流的运移提供了有利条件。在这个局部范围内, 由于其深源的地幔物质流和浅源的地幔物质流在运移方向上具有十分明显的对应关系, 这种结果无疑地会加强该地区地幔物质运移所产生的作用力对地壳构造变动的影响, 致使该地区的地壳变动显著增强, 大地震活动十分强烈。仅在近期内就在该地区范围内的邢台、渤海、海城、唐山、天津宁河等地先后发生了5次7级以上强震, 最大震级7.8级。相比之下, 华南地区的大地震活动远不如华北地区强烈。

四、地壳下界面形态对地壳变动的影响

在地壳构造变动的过程中, 除了地幔物质运移作用力这个主要影响因素外, 地壳的下界

面形态也会在地壳的构造变动中起到某种作用。当地壳下界面的等深度线走向与地壳构造应力的方向平行时，地壳活动性较弱。当地壳下界面等深度线走向与地壳的构造应力方向垂直时，地壳的活动性将相对较强。

图3是包括华南地区和华北地区在内的 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 平均自由空气重力异常图。由图3可见，华南和华北地区的重力异常等值线大体上呈现为南北走向。以北纬 30° 为中心线，沿该中心线有一系列由西向东逐渐扩展的重力异常等值线弧，表明了和华南和华北地区，由于现代的应力积累所造成的岩石圈局部弯曲引起的构造力方向是由西指向东的。由图3可见，华北地区重力等值线的梯度变化方向大体为北东东向，而华南地区重力等值线的梯度变化方向大体为南东东向。由此可见，华南地区的地壳构造应力方向以南东东为主，而华北地区的地壳构造应力方向则以北东东向为主。该结果与图1的分析是一致的。

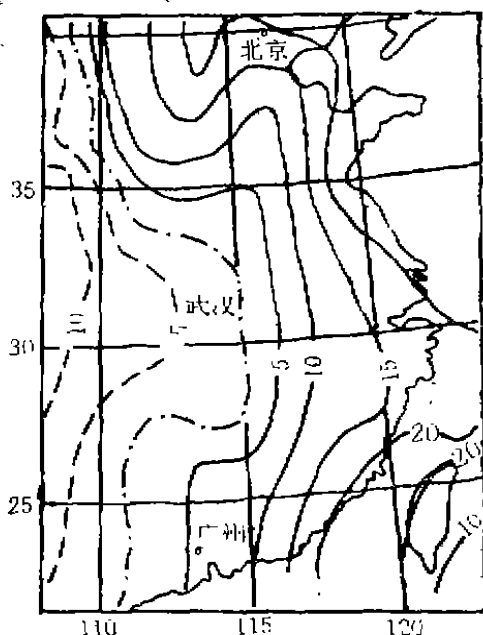


图3 华南和华北地区 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 自由空气重力异常图 (据王懋基等)

Fig. 3 The map of $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ free air gravity anomaly in South and North China

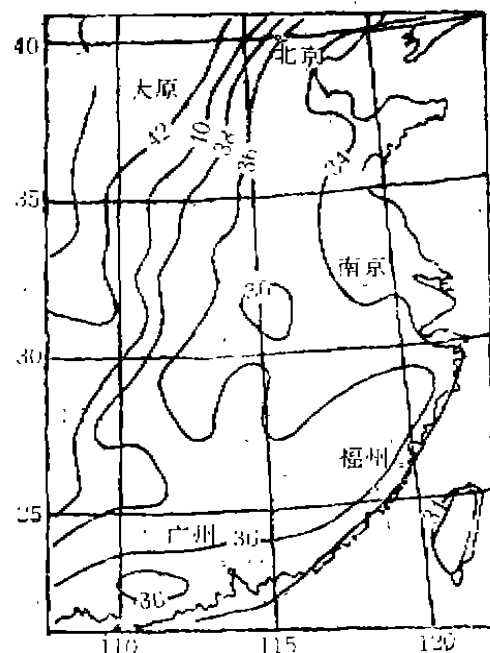


图4 华南和华北地区莫霍面深度图 (据周姚秀等, 1982)

Fig. 4 Moho depth distribution in South and North China

图4是包括华南地区和华北地区在内的莫霍面深度图。由图4可见，华南地区和华北地区的莫霍面等深度线走向明显不同。华南内陆地区莫霍面等深度线的走向变化趋势为从南至北由近东西向逐渐变为北东东向。而华北地区的莫霍面等深度线走向则大体上为北北东向。由图3和图4可见，由于华南内陆地区的地壳下界面等深度线走向的变化趋势与地壳构造应力场的方向近似平行，从而使得华南内陆地区的地壳活动性较弱。另一方面，在华南地区的温州—汕头沿海一带的地壳下界面等深度线走向与地壳构造应力场的方向接近垂直，致使温州—汕头沿海一带的地壳活动性相对较强。实际上，南岭纬向构造带的存在对华南地区的地壳构造变动有很大的影响。该构造带不仅影响着南岭地区地壳下界面的形态，而且由于其走

向近乎平行于地壳构造应力场的方向，就像为南岭地区的地壳设置了一条“加固筋”，减弱了这一地区及其邻近区域的地壳构造变动。

华北地区不但地壳下界面等深度线的走向与地壳构造应力场的方向接近于垂直，而且莫霍面的深度变化也较华南地区剧烈。特别是在渤海湾以西的邻近区域内，莫霍面每100公里的落差达5公里。所有这些因素加上地幔物质运移力的影响，使得华北地区的地壳构造变动和地震活动强于华南地区，而渤海湾及其邻近区域的地壳构造变动和地震活动又强于华北的其他地区。

五、结 束 语

地幔物质的运动是地壳运动和大地震活动的主要动力来源。不同的地幔物质运动形式引起的地壳构造运动形式是不同的。地幔和地壳既相互作用又相互依存。一方面，地壳作为地幔的盖层阻碍着地幔物质作垂直运动，同时，地壳与地幔之间的摩擦力以及地壳下界面的不规则形状也阻碍着地幔物质作水平运动。另一方面，地壳又在地幔物质运移力的作用下不断地发生着各种大地构造运动和地震活动。诚然，由于地壳结构和地幔物质的运动是复杂多样的，因此，只有充分地利用现代科学手段，综合多方面的地学研究成果，才有可能对地壳运动和大地震活动的力源机制问题作出更符合客观实际的解答。

● 考 文 献

- (1) 周姚秀等，我国区域重力场的基本特征及初步分析，物化探研究报导，第9期，1982。
- (2) 王懋基等，中国岩石圈的均衡特征，物化探研究报告，第9期，1982。
- (3) 吴功建，用综合方法研究中国东部深部构造，中国地质科学院院报，第9期，1984。
- (4) 曾维鲁，GEM10B地球模型全球自由空气重力异常场及勒让德函数计算的研究，地球物理学报，第28卷，第6期，1985。
- (5) 刘肇昌，板块构造学，四川科学技术出版社，1985。
- (6) Sammis, C.G., Dein, J. L., On the possibility of transformational superplasticity in the Earth's mantle. J. Geophys. Res., Vol.79, 1974.

THE DEEP GEOPHYSICAL BACKGROUND OF THE CRUSTAL MOTION

Yuan Zhaoyi

(The Geotectonic Institute of Changsha, Academia Sinica)

(Abstract) By studying the deep geophysical background of the crustal motion, it shows that the movement style of deep mantle flow and shallow mantle flow, their composition form and the relation between Moho shape and mantle movement are the main factors to affect the crustal motion. From this result, it can be found the reason of the occurrence of strong earthquakes often in some areas and the background of deep geophysics in this area.