

地球内部层圈耦合作用研究进展

Progress in the Research of Coupling Action between the Layer and Sphere in the Earth Interior

毛桐恩 刘新美 赵 明
(中国地震局地球物理研究所 北京 100081)
刘占坡
(中国地震局地质研究所 北京 100029)
姚家榴
(地震出版社 北京 100081)

近年来,随着深部地球物理探测技术、空间探测技术的完善和发展,对地球内部结构和运动规律的认识得到了深化。盛行的板块构造理论在解释一些重大的全球性及区域性地球动力学方面遇到了不同程度的困难,这是对全球地球科学界提出的新挑战,同时也为我们积极参与这些国际的前沿课题提供了机遇。

区域性和全球性的地球动力学是密切相关的,因而可以从全球地球动力学角度入手,解决区域性地球动力学问题,例如中国大陆的地球动力学问题(马宗晋,1994)。

现今地球动力学是以地球整体和各层圈的结构、构造现状及其耦合动态信息为研究对象,以现今为起点,反演其可能时间范围内的运动演变过程和规律性,从而提出部分的和整体的动力学解释,并正演预测未来。其主要的研究内容和方法是从客观现象出发,分析并提取其几何学、运动学特征,进而探讨地球内部的作用力与地球整体和区域运动的动力学过程,包括各种形式的运动、变形以及地震活动规律等,为减轻包括地震灾害在内的各种地质灾害提供理论基础(刘若新,1994)。

本文以“超板块构造”的地球层圈耦合的思想为指导,以“岩石圈壳幔组合结构” γ 值特征为手段,研究中国大陆现今地球动力学问题。

一、“岩石圈壳幔组合结构”概念的科学背景

我国地处欧亚板块的东南部,在全球构造格局中占有极为重要的位置。构造地震有板内地震与板缘地震之分,我国大陆地震基本属于板内地震,板

内地震研究是我国地震科学的学科特色。地震原本就是一种很复杂的自然现象,而板内地震比板缘地震更为复杂。

板内地震无论就其孕震过程、孕震环境,以及地震活动特征都不同于板缘地震。如何解释中国大陆板内地震时间域和空间域中表现出的非均匀性(地震高活动区与地震低活动区,地震高潮期与地震低潮期)一直是板内地震研究中的重要课题。

在理论上,尽管板块构造理论至今仍然是主导的理论思维,但在诸如大陆板内地震这样一种复杂的构造运动面前,板块构造模式的局限性已日益显露出来。板块构造理论认为“由地幔对流驱动岩石圈板块构造在全球范围内的水平运动主宰着地球表面的运动”(phinney et al, 1993),而现在人们愈来愈认识到,地球层圈间的相互作用和相互运动是改变地球表面形态和运动的重要因素。在研究地球的物质运动和能量转化时,必须辩证而全面地分析水平运动和垂直运动(任纪舜,1990)。应以“超板块构造”的地球多层圈之间相互作用和运动的思想为指导,特别应该注意上地幔内部一些重大构造界面(例如壳幔边界,岩石圈软流圈界面等)物理、力学性质和动力学特征以及它们之间耦合作用的研究(马宗晋,1994)。这些研究可望在一定程度上解释中国大陆板内地震活动的非均匀性特征。

板内地震的孕育、活动与岩石圈结构、介质环境密切相关。由于岩石圈壳幔介质在纵向与横向都是不均匀的、各向异性的、非线性的,故其物理力学深层过程对地震的发生和发展,或者说对大陆板内地震活动时空分布的不均匀性起着重要的影响和控制作用。因此,以地球层圈之间相互作用和运动的思路研究板内地震的岩石圈孕震环境,对岩石

圈板块内部壳 幔组合结构空间分布特征等深部内在环境因子与强震之间的可能联系进行研究分析(毛桐恩等, 1994, 1995, 1996), 无疑对深化认识中国大陆板内地震活动时空分布特征和力学机制是十分有益的。这就是提出“岩石圈壳 幔组合结构”的科学背景。

二、理论方法基础

岩石圈通常是指地球的刚性外壳, 它由地壳(C)和上地幔顶盖层(D)组成, 并在下伏的软流圈之上移动。刚性外壳由分割的岩石圈块体构成, 它们能彼此相互独立运动。

壳 幔边界(Moho 面)是一个重要的密度分界面, 同时它又是一个重要的均衡补偿面, 而岩石圈与软流圈之间的分界面则是物态分界面。由于固态的岩石圈是“漂浮”在软流圈之上的。所以岩石圈地壳中物质的相对集中所造成的地壳负载的不均匀性, 就会迫使岩石圈发生弹性弯曲, 这种作用反过来又会在地壳中引起一系列新的动力学过程。因此, 在研究发生于大陆地壳中的地震时, 必须把整个岩石圈作为一个整体加以考虑。

现代深部地球物理探测技术的发展, 已有条件和可能较为准确地探测岩石圈结构的某些地球物理参数。

综合深部地球物理探测研究得到的现今大陆地壳厚度(C)、上地幔顶盖层(即岩石圈地幔)厚度(D)、岩石圈厚度(L), 是表述岩石圈壳 幔组合结构的 3 个基本参数, 3 者之间的内在关联和组合关系(岩石圈壳 幔组合结构比值 $R = C/L$, $L = C + D$)反映了岩石圈的性质和演化历史及层 圈之间的相互作用和运动, 也决定了其动力学特征。大陆地壳厚度的横向非均匀变化是地球动力学过程的反映之一。我们不是孤立地去研究这种变化, 而是将其放在大陆动力学过程中来考察, 从其与深部及周围构造运动的联系中探讨这种变化的原因, 并率先考察大陆内部地壳厚度的变化与岩石圈厚薄变化之间的可能联系(岩石圈壳 幔组合关系)。初步研究表明: 区域地壳厚度与岩石圈厚度二者之间并非线性相关; 强震活动分别与地壳厚度、岩石圈厚度之间的关系也是不确定的, 而与岩石圈壳 幔组合结构比值 R 表现出明显的正相关关系。这意味着表征岩石圈壳 幔组合结构特征的无量纲地球物理参数 R 值具有重要的构造物理意义和动力学内涵: (1) R 值的空间分布特征反映了岩石圈内部结构的纵、横向非均匀性; (2) 标志着板块内部壳 幔物质运动状况及壳 幔间通过对流和浸入达到交换能量和物质的相互作用的程度; (3) 反映了壳 幔界面、岩石圈软流圈界面两个重大构造界面间的耦合作用关系;

(4) 反映了岩石圈与软流圈之间的耦合作用关系。

早在 70 年代中期, 美国的 Meyerhoff 父子提出, 并于 80 年代末期初成体系的“软流圈涌动构造”假说, 其要点如下: (1) 位于软流圈之下的刚性地幔(又称固结圈 Streosphere)存在的缓慢而稳定的冷却和收缩, 对此上覆软流圈和岩石圈都要作出一定滞后调整。(2) 随着刚性地幔的冷却、收缩, 会有岩浆从中分异出来并加入到软流圈中, 岩浆的加入致使软流圈的体积缓慢增加, 温度逐渐升高, 同时其强度逐渐降低, 最终使软流圈无法支撑上覆的岩石圈。(3) 当岩石圈的压力超过软流圈的支撑能力时, 岩石圈根将发生拆沉作用(delamination), 岩石圈根的拆沉作用使软流圈的岩浆组分进一步活化。按重力原理, 活化的岩浆上升并出现很大的脉冲或向上涌动, 并在上覆岩石圈中形成涌动通道。软流圈岩浆的涌动又反过来促使岩石圈根的拆沉作用发生。(4) 当涌动通道中充满软流圈的岩浆时, 将诱发通道上方的岩石圈地壳出现拉伸, 从而形成平行通道轴的裂谷、断层、裂隙等(朱起煌, 1995)。

软流圈涌动构造, 首先影响到岩石圈上地幔顶盖层(D)。地球物理探测表明, 此层中地震波速随深度变化是缓慢增加的, 但地震波速在其中的横向变化却很大, 横向变化意味着横向非均匀, 推测具有垂向的非均匀体(涌动通道中的流体)存在, 这个非均匀体的存在为软流圈涌动在岩石圈地幔中形成通道提供了地球物理证据(傅淑芳等, 1991)。同时, 软流圈涌动和岩石圈根的拆沉作用还影响到上地幔顶盖层(D)厚度的变化, 当 D 值减小时, 根据公式 $R = C/L = C/(C + D)$, R 值即增大。R 值高, 标志着壳 幔间物质相互作用、能量交换的程度高。岩石圈内部各种物理过程的动力源于深部地幔。地幔内部物质分布的不均匀则引起地幔内部物质运移, 这种地幔物质运移便影响着地球内部上述重大构造界面的变形, 这种变形通过 R 值反映出来, R 值梯度带实质上是岩石圈的变形带。总之, 岩石圈根的拆沉作用与软流圈的涌动构造作用相辅相成, 即岩石圈与软流圈之间的耦合作用, 直接影响着岩石圈壳 幔组合结构特征。不同的岩石圈壳 幔组合结构特征则在地壳内引起不同的动力学过程——地震活动性。

三、已取得的主要进展

1. 编绘了首幅中国大陆岩石圈 1×1 R 值分布图

80 年代以来, 我国以深地震测深(DSS)和大地电磁测深(MTS)为主的大陆地壳上地幔深部地球物理探测研究得到了长足的发展, 东部大陆的探测研究程度较西部高。

在前人和笔者以往进行深部地球物理探测研究的成果基础上,根据新近深部地球物理探测研究结果,对大陆地壳厚度(C)、岩石圈厚度(L)资料进行了系统的筛选和整理(毛桐恩,1996)。然后对地壳厚度(C)和岩石圈厚度(L)分别在60km×60km方形网格节点上采样,利用平面上9点滑动平均滤波方法,在计算机上完成R值的计算,计算机直接编绘出1:1400万的首幅中国大陆岩石圈1°×1°R值分布图。R值等值线形态走向与大地构造线形态、走向基本吻合。

2. 将中国大陆划为分属“非稳态型”与“准稳态型”两种类型的岩石圈块体

根据中国大陆1°×1°R值图像特征(R值等值线形态、走向、梯度带等),一类为R<0.382的准稳态型岩石圈块体(例如华南块体、鄂尔多斯块体、塔里木块体);另一类为R>0.382的非稳态型岩石圈块体(例如华北块体、南北构造带、东南沿海区)。0.382为黄金分割值。R>0.382的非稳态型岩石圈块体,其下伏软流圈地幔流体处于旺盛积累、强烈上涌的发散期,软流圈顶面埋藏较浅,底辟作用强烈。

3. R值是板内孕震的深部动力环境因子

对于板内地震非均匀空间分布的研究,是在确定的时间域中,研究地震的空间分布特征,由此确定出地震高活动区(如华北块体、南北构造带、东南沿海区)和地震低活动区(如华南块体、鄂尔多斯块体、塔里木块体)。地震高活动区与地震低活动区分属两种岩石圈壳幔组合结构类型,R值与强震活动表现为明显的正相关关系,即地震低活动区R<0.382,地震高活动区R>0.382。这确实说明板内地震的孕育、活动与介质环境即岩石圈的物理力学深层过程密切相关。

通过对中国东部大陆 $M_s \geq 6.0$ 的57个地震事件与其震中位置R值的回归分析,得出R值与 M_s 的相关关系式:

$$R = 0.87 + 0.057M_s \quad (1)$$

4. 近期强震危险性判定

利用R值与强震之间的相关关系进行强震危

险性预测研究,由(1)式作逆回归得出:

$$M_s = -1.53 + 17.5R \quad (2)$$

根据(2)式并结合 $R > 0.382$ 的高R值原则、历史地震重复原则、构造类比原则,确定出1998~2003年可能发生强震的危险区。再结合这些危险区中地球物理场前兆动态演化图像,可提供年度地震趋势预测意见。

5. 板内地震的软流圈涌动成因

从板内地震活动的非均匀性出发,研究了震源层、壳内高导低速层、岩石圈壳幔组合结构特征,软流圈涌动构造与地震热流体之间的相关或因果关系,提出了板内地震的软流圈涌动成因说(毛桐恩等,1996,1998)。

四、应用发展前景

应以深部地球物理探测资料为基础,从地球多层圈间耦合作用和运动的思路出发,研究不同岩石圈构造块体层圈之间相互作用和运动的差异,探寻反映不同岩石圈块体活动差异的深部动力环境因子,进行大陆岩石圈块体划分及其标志的研究。

“岩石圈壳幔组合结构”R值特征的研究,是研究地球层圈耦合作用及大陆现今地球动力学的重要切入点。探索中国大陆岩石圈壳幔组合结构与强震发生的关系,有助于深化认识现代地壳运动和岩石圈深度范围内的孕震环境、孕震过程,为板内地震成因研究开辟新的研究途径,为完善大陆强震成因理论提供科学基础,发展以地球层圈耦合作用机制为基础的大陆岩石圈块体动力学。

R值是深部孕震的动力环境因子,可做为中长期强震预测、划分未来强震危险区的新的地球物理量化判据。把岩石圈深部结构、孕震环境和地球物理前兆场动态演化图像有机结合,有望推进强震预测,以减轻自然灾害。

(删去13篇中外文参考文献)

(责任编辑 肖庆山)

(上接第61页)

际社会和有关政府投入;资源丰富,有盈利机会的地区和项目,则可以普通商业方式操作,但前提是有利于当地的替代发展,能提供持续的社会经济发展机会,使当地居民尽快获利。

(4) 充分利用当地的政治、法律、宗教和文化基础,建立和巩固毒品区的管理机构,维护地方安全应鼓励当地社区积极参与,吸纳当地人的知识和技能,重视当地居民的利益和要求。鼓励当地居民

逐步缩减毒品种植,使男女有同等参与的机会。鼓励社区居民参与民主建设,培养告别毒品的民间文化。

(5) 重视环境保护 毒品种植区多处偏远山区,开发程度较低,生态环境较好。替代经济不应以破坏环境为代价。目前主要毒品生产国多处热带,搞好热带森林的可持续利用对维护陆地生态系统有积极意义。

(责任编辑 王宏章)