

中國地產集團

中國地產集團有限公司

111

中國地產集團

112

中国地震年鉴

CHINA EARTHQUAKE YEARBOOK

1990

地震出版社

23764

存在剪切机制的橄榄石-尖晶石过渡,造成过渡带两端密度突然增加,在这样的密度差异三联点,蠕应变易于积累导致中源和深源地震,并形成观测到的沿俯冲板块的无震空区。因此,沿板块的温度变化导致化学与力学性质的不均匀性。板块在动力学过程中并不是刚性体,而是非均匀的粘性-弹塑性薄层,引起震级与时间序列差异很大的地震。中国华北边缘盆地下面的上地幔可能受到600km深度地震的热动力或运动的扰动,将应力传递到上面的地壳,产生浅源地震。

(3) 青藏高原的地球动力学过程,对中国大陆的构造变形与地震活动有重要影响。高原的平均地壳厚度约70km,但在喜马拉雅地区和高原附近的盆地地壳厚度仅为40—50km,这表明存在显著的横向密度差异。在高原内部有很多活动断层带和盆地,在喜马拉雅以北还有南北向的正断层和盆地。高原内的地震活动很分散,多数大浅震发生在地壳厚度的过渡带上。在会聚边界上较深的地震占优势。数值结果表明,在大陆碰撞时,印度板块向北的移动仅使西藏地壳整体隆起,区域的均衡调整使地壳下沉并向外扩展。模拟结果还说明,在浅层有水平张应力存在,它与正断层和分散的地震活动有关。在浅层之下的挤压应力与喜马拉雅地区的较深地震有关。沿东部过渡带产生较高的应力,尤其是在高原的西北和东北角处均衡调整作用是浅层大地震发生的原因。因此,间歇式的板块逐步推进和横向密度差产生的重力均衡调整是导致地壳增厚、地震和新构造活动的联合过程,在高原周围(如鲜水河断层)发生地震前先有沿喜马拉雅弧的地震发生。

目前,日本、美国科学家对于研究板块边缘地震已形成了一套科学思路(Working Theory),主要是围绕板块相对运动与相互作用以及断层带动力学问题,但这个模型对板内地震不适用。我们的研究结果再次证明,由于远离板块边界,板块运动仅对大陆内部通过深部地幔运动产生间接影响。板内地震的发生与区域构造应力场以及地壳结构、热状态的不均匀性有密切联系,因此不能只注意断层带本身,而要研究大尺度范围的地球动力学过程,特别是大陆内部地壳应变能的迁移、局部积聚与释放的机制,以及控制这些动力过程的构造环境、物理状态等多方面的因素。在详细完备的地质与地球物理资料基础上,对大陆各种地震带的特征进行综合概括,建立不同的力学模型,用计算机数值模拟方法对地震的重复发生与迁移过程作更深入的定量研究,将会对大陆地震成因的探讨以及中长期地震预报提供科学依据。

(局地质研究所 罗焕炎)

地震破裂动力学研究进展

在空气中,飞机的速度突破音障早已成为人所共知的现象,但是对于在固体介质中发生的自然破裂,其破裂速度有没有屏障,能不能突破等问题,却仍处于理论探讨的阶段。在岩石破裂的二维问题里,最复杂的情况要算平面内剪切破裂,人们常见到的沿水平向扩展的走滑型断层就属于这一类。平面内剪切的破裂速度 v 有三个屏障:①瑞利波速度 v_R ;②S波速度 β ;③P波速度 α 。破裂速度能不能超过它们,怎样超过?Burridge(1973)曾经探讨过一种应力有界、无内聚区的稳态扩展模型,得到的理论结果是:平面内剪切裂纹的破裂速度可以大于瑞利波速

度和S波速度, 稳定在P波速度上Andrews(1976)采用数值解法模拟了平面内剪切裂纹的自然破裂, 他引入了Ida(1972)和Rice(1973)的滑动弱化模式, 发现破裂速度是通过“隧道”效应越过速度禁区的。所谓“隧道”效应指的是在破裂前缘的应力超出了材料强度导致破裂, 产生了次裂纹, 次裂纹前缘的破裂速度比原裂纹大得多, 甚至以大于S波的速度扩展, 乃至P波的速度。最后次裂纹与原裂纹聚合在一起, 这就是“隧道”效应。破裂速度就是通过这一效应越过禁区或发生“跃变”的。我们用解析的方法对于自然发生的破裂过程进行了分析, 它采用了比Burridge的稳态模型更加接近实际情况的模型。作为断层模型的平面内剪切裂纹的分析, 比反平面剪切裂纹要复杂得多。

首先, 从平面内剪切裂纹动态应力强度因子 K_2 入手。 K_2 是破裂速度 v 的函数, 并且代表了破裂的驱动力。在自然发生的破裂过程中, K_2 必须存在、收敛且大于零, 这些条件约束了 v 的取值范围。动态 K_2 的解析式最早是Kostrov(1975)在经典模型(线弹性断裂力学)的二维边界积分方程中导出的, Kostrov(1975)的推导限定平面内剪切裂纹的自然破裂速度不超过瑞利波速度。通过理论推导, 延拓了Kostrov(1975)的解, 进一步得出了 K_2 在超S波速破裂情况下的解析式。结果不但验证了Burridge(1973)针对稳态模型导出的推论, 还得出了在自然破裂情况下的新结论:

(1) 平面内剪切裂纹的自然破裂速度 v 有三个物理区, 第一个在0和 v_R 之间, 第二个在 β 和 1.70β 之间, 第三个为 α 。

(2) 平面内剪切裂纹的自然破裂速度 v 有两个物理“禁区”, 第一个在 v_R 和 β 之间, 第二个在 1.70β 和 α 之间, 它们分别构成了破裂速度的屏障。

超S波速破裂的 K_2 解析式是从普适的边界积分方程(和模型无关)导出的, 它虽然也是经典方程的解, 却在经典模型里不能实现。破裂速度不能超越第一屏障, 这是经典模型的应力的奇异性带来的。所谓奇异性就是裂纹端部的应力无限大。由于同样的原因, “隧道”效应在经典模型里也不能出现。

在理论分析中引入了滑动弱化模式, 使改进后的理论模型克服了经典模型的应力奇异性困难, 也使破裂速度突破了瑞利波速限制。

假定破裂是从一个静止的临界裂纹开始的。为了从直观上表明动态解和静态解都是一个理论体系中的自然解, 采用动态解退化的方法求静态解。是用应力分析的方法追踪裂纹的动态破裂过程的, 为此假定它受到了某种初始扰动或冲击作用。就地震动态破裂问题而言, 初始扰动或冲击代表了地震的触发因素。

将初始扰动分为三类: ①预应力增加; ②滑动摩擦力降低; ③介质的抗剪切强度降低, 数值计算结果表明: 扰动量越大, 破裂扩展的加速度也越大; 在同一大小的扰动量的作用下, 三种情况下的破裂过程不大相同。

通过理论分析和数值模拟, 发现:

(1) 产生“隧道”效应有两个必要条件: 一是破裂速度足够快, 二是初始扰动(冲击)足够强。

(2) “隧道”效应似乎发生在裂纹另一端的扰动波以某种速度到达时。

(3) 在滑动弱化模式中, “隧道”效应可能有多次。通过“隧道”效应, 破裂速度可以超越两个“禁区”, 直至达到P波速度。

固体介质的自然破裂过程, 必然会影响破裂源的能量辐射, 这个领域的绝大部分问题还

遗留着没有解决,它还缺乏有效的实验手段,不象气体动力学那样可以用风洞实验做直观验证。这就是为什么和气体动力学相比,固体介质中破裂动力学的进展要慢得多。

地震破裂动力学假定岩石中的剪切破裂总是沿着同一个平面(断层面)扩展。这是个宏观概念,它和微观裂纹(也叫做Griffith裂纹)的破裂方式大不一样,物理机制也更为复杂;它实际是无数微观裂纹聚合的结果,所以必须把它作为另外一个层次,和微观裂纹的行为区别开来。设计了一个实验来简单说明剪切断层形成过程的模型。实验内容就是在玻璃板里预制一组共线裂纹,使它们受到剪切力而破裂,这可以通过加单轴压来实现。每条裂纹长20—30mm,裂纹间距却只有它的1/10。预制这种共线裂纹比单裂纹要困难得多,成功地做到了这点。在实验中我们看到:小间距的共线剪切裂纹,内端部的后 它们不是向主压应力轴方向无限延伸,而是弯曲迂回地搭接到邻近的另一个裂纹的端部,然后出现张破裂分叉而局部破碎,从而实现了共线裂纹的贯通。如果裂纹间距大到某个值,相互搭接现象就出现不了。由此看来,裂纹密度是个主要参数。这个实验的原理可以用拉(张)应力判据来说明,它也为进一步研究断层的剪切破裂或常见的摩擦滑动过程(实际上这是两个相似的过程)中碎屑、断层泥是怎样形成的问题打开了思路。

关于微观层次上的Griffith裂纹的三维破裂问题,也取得了有意义的结果。李世愚、尹祥和滕春凯(1985)设计了一个首次表现Ⅰ—Ⅲ复合型裂纹的破裂实验,实验内容是在平板试件中心预制非穿透裂纹,用单轴压加载。在实验中观察到,非穿透裂纹不是原裂纹的简单转折破裂,而是沿裂纹前缘扩展出许多裂纹面,每一个破裂面都是复杂的扭曲、转折的曲面,并且在扩展过程中其形状保持着自相似性,它们的群体则呈现自相似结构,这些破裂面在板面的出露呈雁行排列。这个实验也为在野外观察到的地震断层伴生的张破裂在地面上呈现雁行排列的现象提供了一个很好的断裂力学模型。

关于三维脆性破裂的理论研究,对拉应力断裂准则提出了补充性假说和相应的计算方法(第一主微分面定点法)。从理论上首次给出了三维破裂面的完整解析解。破裂面是以破裂点为顶点的广角锥面,跨在原始裂纹面的前缘,锥面的外缘为螺旋线,每一条母线都与过该线的第一主微分面重合;复合型裂纹和纯Ⅲ型裂纹不同的是在形状上出现很大畸变 这样的初始破裂面数量繁多,叠错密接,互不相交。理论计算预期的结果与迄今仍为数不多的几篇文献所报道的实验结果都符合得相当好。

对于在断层剪切破裂过程中伴生的宏观张破裂也进行了分析,认为在低应力降的情况下,每条张破裂的尺度比起地震断层本身小得多,但宏观、微观张破裂的数量繁多,它们产生的效应的迭加才构成了“非剪切型”地震中张性成分。

(局地球物理研究所 李世愚 陈运泰)

可听前兆地声的发现

地声与地震的关系如何?地声在地震预报中的作用如何?这是地声观测研究的核心问题。国内外都在进行地声观测研究。我国从1966年开始地声观测,1977年采用仪器记录,获得了一些中、小地震前的地声记录。为了深入研究地声源的时间、空间规律、研究地声的发射机