

应用 FEPG 系统进行地学机理分析和预测

中国地震局地质研究所 杨友卿

地球的演化是一个极其复杂的过程。但这并不能阻碍人们对自己生存环境的探索。当美国科学院院士 Turcotte 与 Schubert 出版《地球动力学原理》这部专著时,人们意识到数学物理方法对地学的重要意义。正是在这部书中,作者利用一些简单的微分方程,揭示了火山熔岩的冷却过程,令人信服地说明了放射性元素衰变对大陆地壳温度结构的影响不同于大洋地壳,解释了大洋岩石圈的挠曲规律。《地球动力学原理》中的大多数微分方程是一维的,可以利用技巧求出其解析解。但自然界中的实际问题往往是三维的、随时间变化的、本构非线性的,这类问题往往没有解析解。即使一些看起来简单的问题,如简支梁的线弹性小变形分析,也只能给出圣文南原理下的近似解(弹性力学)。计算机技术的飞速发展和有限元方法的日臻完善,使人们求解复杂的偏微方程成为可能。尽管如此,编写有限元程序仍然是一件烦琐的、令人望而生畏的事情。直到中国科学院数学研究所梁国平教授发明了 FEPG 系统,利用有限元方法研究自然界的演化规律才有了新的转机。

笔者是从事地球动力学与地震机理研究的。在研究临震阶段(一年尺度地震预报理论研究课题)地形变与地应力变化规律时,有关专家指出很有必要研究深大断裂活动、热物质上涌引起的前兆异常。热物质上涌必然引起温度场变化,温度变化将敏感地影响地壳介质的粘度。粘度则是控制应力松弛与蠕变的重要物理量。因此搞清断裂活动对地震的影响,必须把温度场的计算与应变场的计算耦合起来。笔者从 97 年 5 月接受任务,但一时难以找着合适的程序,自己逐句逐句编写程序就不能保证按期完成。后来笔者采用 FEPG 系统后,很快生成了计算程序,计算结果反映了地应力和地形变在地震来临阶段的随时间的变化,受到课题组的高度评价,其论文已发表在当年的《地震危险性预测研究》中。

笔者从事的另外一项课题涉及到固体与流体的相互作用。该项研究对于预测地下流体的运移规律,如石油天然气在地质时期的转移、地下水污染与防治等皆有积极的现实意义。该问题的建模尚属地学研究的前沿课题,自然也缺乏相应的求解程序。建立流固耦合问题的有限元程序,这在几年前尚属无人问津的领域,而今可由一个人在数月之内完成,这不能不归功于 FEPG 系统的威力。

笔者目前从事的盆地模拟程序的研制能够说明 FEPG 系统对于地学定量研究的意义。系统分析模拟盆地内各种地质过程,目前主要有两种手段。其一为物理模拟。由于沉积盆地的空间尺度、盆地演化时间的特殊性,物理模拟所要求的动力相似条件难以满足,这就大大限制了物理模拟的范围。在更大程度上数学模拟发挥着更大的作用。数学模拟首先要建立反映盆地内部各物理量之间基本关系的方程式。然后建立求解程序。由于这些方程多是偏微分方程,如热传导方程、渗流方程等(这些控制方程已基本建立起来了),采用数值计算是唯一的选择。由于盆地结构的不均一性和不规则性,有限元方法是盆地分析最好的数值计算方法。有限元对我们来说并不陌生,但把盆地分析的内容转化为有限元程序却不是一件容易的事情。有限元编程的困难使得很多石油公司往往选择有限差分方法。但有限差分方法仅适用于结构均匀、边界规则的对象。尽管如此,一个成熟的有限差分盆地分析程序的开发也相当不容易。目前国内各石油公司非常希望有一个好的盆地分析计算机软件。从国外购买这类软件是一个选择,但不是一个好的选

择。购买软件除了价格高外，主要的问题在于软件公司提供的只是一个经过包装的执行程序，内核如何，能否修改等问题难以解决，这样就免不了跟在别人后面爬行。在中国科学院数学所梁国平研究员发明有限元程序自动生成系统之后，发展我国版权自主的盆地分析程序已经具备条件。中国地震局地质研究所利用 FEPG 系统研究地应力场、地温场、地下流体的渗流场的相互作用，更加说明 FEPG 系统在发展国产有限元软件方面的巨大潜力。

作为 FEPG 系统的一个早期用户，我深深地感到 FEPG 系统是推动地球科学研究走向定量化的一个强有力的推动剂，也是把先进的科学理论转化为生产上可操作的技术的一个关键工具。