青藏高原东南部地区岩石圈结构及形变模式复杂性的综合地球物理学约束

姚华建
中国科学技术大学地球和空间科学学院地震与地球内部物理实验室，合肥，230026

大约发生在 50~60Ma前的印度板块与亚洲板块的碰撞逐渐形成了现今平均海拔高度约5km左右的青藏高原。通过地表GPS观测得到的现今地表速度场显示青藏高原的物质正在朝着青藏高原东南部地区（川滇）及青藏高原东北部地区移动。青藏高原地壳深部甚至上地幔物质是如何运移的，以及所引起的形变模式一直是世界地球科学研究和争论的热点问题之一，例如块体挤出模型和下地壳物质流动模型便是两个代表性的争论模型。青藏高原东南部地区的地质构造尤为复杂，该区域一些主要的地质块体被缝合带或大型走滑断层所分割，且该区域的岩石圈形变主要受印度岩石圈板块的北向俯冲、缅甸微板块岩石圈的东向俯冲及坚硬的四川盆地岩石圈对青藏高原物质东向运移的阻挡所控制。因为青藏高原东南部地区是整个青藏高原物质运移的最主要的通道，所以认识该区域的岩石圈结构及形变模式对认识整个青藏高原的物质运移机制及构造演化模式有着十分重要的意义。

最近 10 年间流动地震台阵观测的飞速发展为认识青藏高原东南部地区的三维精细速度结构提供了前所未有的机遇，也为认识该区域岩石圈的形变及地震活动性提供了新的契机。此外，新的地震学方法（如噪声与地震面波联合成像等）及多种地球物理资料联合反演和解释也为更好地约束该区域地下结构提供了强有力的技术支持。

现已获得的多种地球物理研究结果显示青藏高原的东南部地区的中下地壳存在较为明显的力学强度较弱的低速层或高导层，这与整个区域较大的地壳泊松比、很小的岩石圈有限弹性厚度及较大的地表热流值相吻合。此外，面波径向各向异性的研究结果显示该区域中下地壳沿水平方向偏振的横波速度明显大于沿垂直方向偏振的横波速度，即 $V_{SH} > V_{SV}$，这意味着中下地壳各向异性强度较大的矿物质（如云母）更多地沿水平方向平层排列。这些地球物理观测结果与下地壳物质流动模型的假设较为吻合。

但研究结果也发现低速层或高导层的分布存在明显的三维空间变化，可能与该区域的大型断层（如鲜水河－小江断裂带、龙门山断裂带等）的分布有直接的关系，大断层可能会阻隔低速层或高导层的延伸。如果中下地壳确实存在物质流动，那么其流动模式将会是非常复杂的，会存在明显的三维空间变化，这与传统的下地壳物质流动模型中假设的下地壳软弱层的分布基本只与深度相关存在很大差异。

面波反演所获得的横波速度的方位角各向异性显示上地壳方位各向异性的模式基本与该区域的大型走滑断层的分布相似，尤其是在川滇地区，横波快波传播的方向基本平行于鲜水河－小江断裂带，显示出大断层（或断裂带）对地表和上地壳形变的控制作用。但该区域上地幔顶部的横波方位各向异性的模式与上地壳存在较大的差异，显示该区域地壳上地幔在局部区域可能处于解耦状态，这可能与中下地壳存在软弱层有较大关系。但整个区域地壳和上地幔形变的耦合（或解耦）度仍需要在今后进行大量的观测和研究，例如将通过 GPS 获得的地表瞬时形变场、面波获得的不同深度的各向异性、以及远震和区域地震的横波分裂结果结合起来去综合分析和解释该区域岩石圈的形变状态和耦合情况。

目前地球物理学的综合研究结果显示青藏高原东南部地区的地壳浅部（如上地壳）可能主要受大型断层活动的控制，但在地壳深部（如中下地壳）主要受软弱层的控制，软弱层在局部区域也可能与

Email: hjyao@ustc.edu.cn

大型断层相互作用。所以综合中下地壳物质流动模型与中上地壳块体挤出模型能够更好地解释目前青藏高原东南部地区的综合地质地球物理学研究结果。

今后我们需要更多的研究去更为精确地认识青藏高原东南部地区的结构、形变、地震活动性及动力学演化问题，包括基于密集台阵的地震学成像方法，多种地震学和地球物理学数据的联合反演和综合解释，以及将地球动力学和多种地球物理学观测结果综合起来去研究青藏高原东南部的演化的形变问题等。