

· 成果简介 ·

青藏高原东部存在下地壳物质流

——高原隆升与地壳形变的大地电磁学证据

于 晟 马晓冰

(国家自然科学基金委员会地球科学部, 北京 100085)

[关键词] 青藏高原, 大地电磁测深, 地壳流, 地壳形变

近日,中国科学院地质与地球物理研究所白登海研究员等发表在 *NATURE GEOSCIENCE* 上的题为“Crustal deformation of the eastern Tibetan plateau revealed by magnetotelluric imaging”的文章引起了科学界广泛关注。2010年4月14日, *NATURE CHINA* 将此项研究成果列为今年地学研究的亮点之一,指出“高导的下地壳意味着含有更多的流体,就使得其在地质年代尺度上可以流动。同时,这些发现也支持地壳流是高原隆升的起因。”日前, *NATURE* 也将这一研究成果列为近期地学研究的亮点之一。

在印度板块和欧亚板块碰撞以来的50百万年间,青藏高原南北向缩短了约750 km,垂向平均隆升了约4500 m,高原隆升所消耗的物质质量占不到高原缩短所产生的物质质量的一半,那么其余的物质到哪儿去了?是以什么方式消失的?青藏高原隆升机制研究中的一个关键问题就是要为这些剩余物质寻找一种或几种合理的出路。为此,人们提出了诸如“块体挤出”、“重力均衡扩散”、“连续流变”等多种假设。其中多数模型认为物质的东移是高原能够保持基本均衡的主要原因,但在物质移动的方式上存在不同看法。换句话说,青藏高原隆升机制研究中存在争议的一个焦点问题就是岩石圈的变形方式。任何一种假设要变成学说,都必须得到观测证据的支持,解决这一问题的根本出路在于对岩石圈的结构和物质状态的认知。

在国家自然科学基金的持续支持下,白登海研究员领导的研究小组在东喜马拉雅构造结及周围地区实施了连续6年的大地电磁观测,获得了青藏高原东部岩石圈电性结构的初步知识。观测结果发现,在青藏高原存在两条巨大的中下地壳低阻异常

带,通过理论计算被认为是两条中下地壳的弱物质流:一条从拉萨地块沿雅鲁藏布缝合带向东延伸,环绕东喜马拉雅构造结向南转折,最后通过腾冲火山;另一条从羌塘地体沿金沙江断裂带、鲜水河断裂带向东延伸,在四川盆地西缘转向南,最后通过小江断裂和红河断裂之间的川滇菱形块体。结合地面地质构造以及GPS观测成果,文章提出了该区岩石圈“双地壳流+边界剪切”变形的新模式。该模型认为,青藏高原深部以两个中下地壳弱物质流的快速塑性变形为主,上地壳则以南北两个边界断层(异常体的边界,即雅鲁藏布缝合带和金沙江-鲜水河断裂带)的块体走滑变形为主。

该项研究成果的意义在于:(1)把浅层刚性块体的滑移与深层的塑性流变两种变形机制有机的统一了起来,二者分别反映了不同深度的变形方式的主导性。这种统一是以观测资料为基础,既承认地面地质观测的断层走滑的作用,同时以深部物质流动的方式回答了GPS观测所提出的问题:青藏高原东部地面向东的位移量有限,不足以消耗高原缩短所产生的剩余物质,大部分剩余物质是以地壳流的方式通过深部变形消耗掉了;(2)青藏高原中下地壳流主要集中在南北两条带内,而不是以前所认为的普遍存在于高原中部。这一点对解释为什么青藏高原及中国西南地区的构造活动(如地震活动和成矿作用等)具有明显的条带性提供了一条新的思路;(3)为今后理论模型的研究提供了一种空间构造形态和物性状态的依据。

该项研究所提出的地壳流模型(*crustal flow*)与前人提出的管流模型(*channel flow*) (Royden, 1996; Beaumont et al., 2001)具有相似之处,也有不同的地方。相同之处在于这几种模型都认为青藏

本文于2010年5月21日收到。

高原中下地壳存在低粘性的弱物质。不同之处在于:Royden模型和Beaumont模型均证明高原中下地壳存在弱物质层的情况下,上下地壳将发生解耦现象,通过挤压褶皱等过程,可以形成青藏高原现今的地面构造形态。特别是Royden模型根据GPS观测认为不需要高原物质的向东移动,只要中下地壳存在弱物质层(channel flow),在印度板块的碰撞下,就可以形成现今的高原形态。Beaumont模型证明高原在侧向挤压缩短的情况下,地壳内的弱物质将沿边界断层发生塑性挤出,从而引起高原周围的造山和剥蚀,形成高原现今的构造格局。这两个模型都没有涉及到青藏高原中下地壳弱物质在有限空间呈条带状分布的情况,也没有阐述管流的横向东流以及对高原剩余物质的消耗作用。如果把channel flow和crutal flow进行客观评论的话,可以认为channel flow是在当时有限观测资料的基础上,

以简化的概念性模型论证了青藏高原壳内弱物质的存在及其在高原隆升过程中的作用,为青藏高原隆升机制的研究开辟了一条新的途径;该项研究提出的crustal flow则是在channel flow概念的启发下,以实际观测资料为依据,具体刻画了壳内弱物质的空间分布形态、位置及大小,指出了弱物质分布的不均匀性以及局部空间的快速流动和对高原剩余物质的消耗作用,是对channel flow模型的发展和深化,在解释已经发生的构造现象和预测未来的构造活动(如地震活动、深部成矿等)等方面具有了一定的实际意义。比如,2001年的昆仑山口地震、2008年的汶川地震和2010年的玉树地震均是由羌塘地体到川滇的地壳流引起的边界走滑或逆冲走滑所导致的,由该模型可以对这些地震的发生机制做出较好的解释。

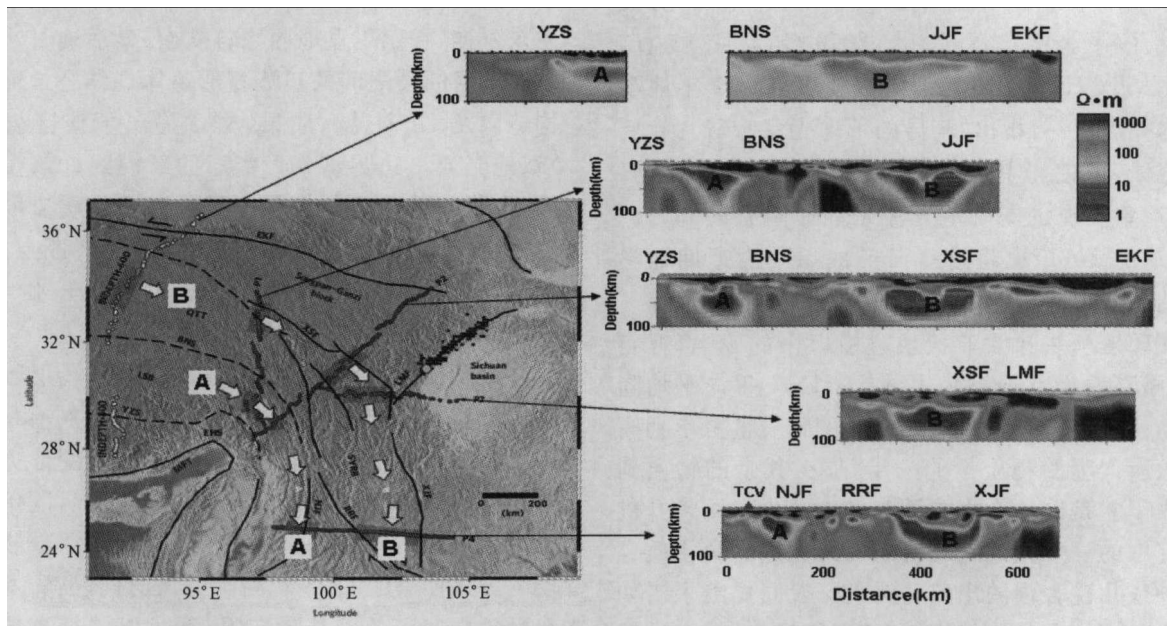


图1 青藏高原东部大地电磁(MT)观测所揭示的地壳流分布

(说明:左图表示MT测线的位置及推测的地壳流(白色箭头)的分布,右图为每条测线的2维MT结果模型。INDEPTH-100和INDEPTH-600为INDEPTH项目的MT测线;P1—P4分别为EHS3D项目的MT测线EHS3D-3,EHS3D-2,CZMT-WE,EHS3D-1;LSB-拉萨地块;QTT-羌塘地体;EHS-东喜马拉雅构造结;MFT-主山前逆冲带;SYRB-川滇菱形块体;YZS-雅鲁藏布缝合带;BNS-班公-怒江缝合带;JJF-金沙江断裂;EKF-东昆仑断裂;XSF-鲜水河断裂;LMF-龙门山断裂;NJF-怒江断裂;RRF-红河断裂;XJF-小江断裂;TCV-腾冲火山;A、B代表中下地壳两个低阻异常体。)

国家自然科学基金委员会地球科学部对白登海研究员在青藏高原的大地电磁测深研究进行了持续的支持。自2004年起,白登海研究员在自然科学基金面上项目“东喜马拉雅构造结及周围地区深部3维结构与动力学——前期研究(40374034)”和“EHS3D-MT数据的静位移校正与畸变分析(40974043)”,以及重点项目“东喜马拉雅构造结及

周围地区深部3维结构与动力学(EHS3D)——第一阶段(40634025)”的稳定和深度支持下,在东喜马拉雅构造结及周围地区进行了3维结构和动力学的前期研究和第一阶段的工作,取得了该项有重要意义的研究成果。

(下转317页)

顺利通过了教育部验收并跃升为国家级重点实验室。

(4) 推动了我校的学科发展。从宁夏大学已获资助的科学基金项目来看,主要集中在我校的重点学科和学位点,如土木与水利工程系(7项)、数学计算机学院(9项)、生命科学学院(14项)、农学院(16项)等,这些学院既是我校获得科学基金资助的“大户”,又是学校“211”国家级培育学科、区级重点学科的聚集点,在科学基金项目研究成果的推动下,不仅项目主持人成为了相关学科的学术带头人或学术骨干,而且推动了教学水平的提高,促进了相关学科快速发展,从而也带动了学院教学科研水平的整体发展。

(5) 催生了一批标志性科研成果,增强了宁夏大学服务地方的能力。国家自然科学基金的资助,发挥了对地方基础研究的导向作用,增强了宁夏大学自主创新能力和产业技术储备,催生了一批标志性成果的产生,增强了基础研究为地方经济社会发展服务的能力。如在科学基金项目“宁夏干旱区膜下滴灌压砂瓜非充分水肥耦合效应及模型研究”(50769007)的研究带动下,晒砂瓜已成为宁夏中卫市的又一标志性产品,通过规模种植,取得了巨大的

经济效益;在科学基金资助项目“大肠杆菌耐热性肠毒素(ST1)基因突变及其免疫原性研究”(30560110)、“大肠杆菌毒力岛转移与致泻机制的相关性研究”(30860207)工作基础上研制成功的“幼畜腹泻双价基因工程苗”,已获国家一类新兽药证书,并联合企业组建了“宁夏博奥药业有限公司”,开始了产业化的开发和推广应用。

4 结语

通过对宁夏大学2002—2009年度获得国家自然科学基金项目的统计分析看出,国家自然科学基金为我国西部地区高校的科学研究提供了经费来源,同时也为西部高校的科研发展注入了活力,起到了积极的激励作用,并为西部地区稳定了一批优秀科研队伍,培养了一批青年人才,积累了丰富的地域民族科研资料,也为西部地区科技、经济的发展和振兴提供了重要的契机。

参 考 文 献

- [1] 王长锐,孟宪平. 2009年度国家自然科学基金项目申请与资助情况综述及2010年管理工作新举措. 中国科学基金, 2010(1):33—34.
- [2] 国家自然科学基金代码表. <http://www.nsf.gov.cn>.

NSFC—A BOOSTER ENGINE FOR THE STRIDING DEVELOPMENT OF NINGXIA UNIVERSITY

Di Liangchuan

(Science and Technology Department of Ningxia University, YinChuan 750021)

(上接 304 页)

CRUSTAL FLOW BENEATH THE EASTERN TIBETAN PLATEAU —The Evidence from Magnetotelluric Sounding

Yu Sheng Ma Xiaobing

(Department of Earth Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085)

Key words Tibetan Plateau, magnetotelluric sounding, crustal flow, crustal deformation