



杨文采,广东大埔人,中国地质科学院地质研究所研究员,中国科学院院士,地球物理学家。主要从事地学、资源勘探方法等方面的研究。在中国应用地球物理学理论、方法及相关地学研究中取得系统和独创性成果。

卷首语 Foreword

科技导报 2016, 34(23)

三维物性成像照亮地球内部

1979年,计算机化轴向层析X射线摄影技术(computerized tomography,CT)获得诺贝尔生理学或医学奖;1984年,美国哈佛大学推出了全地幔地震层析成像图。1985年,笔者在中国地球物理学会报告了地震层析成像的理论方法。此后,地球物理探测随信息技术同步发展,大约每10年就更新换代,地球内部更深更精细的成像成果不断涌现。全球除了几千个固定地震台站在连续监测地震活动之外,还有几万台流动的地震仪,安置在海底和大陆,采集全球和重点区域的地壳运动。

2005年,地球物理学家完成了CRUST2.0全球地壳地震波速成像,分辨率达到 $2^{\circ}\times 2^{\circ}$ 。目前,地壳上地幔地震层析成像的空间分辨率已达到30~50 km,在不远的将来很快会达到 $10\text{ km}\times 10\text{ km}$ 。基于大地电磁测量的地壳上地幔三维电阻率成像也不甘落后,2014年在华北和西藏完成了 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$ 分辨率的三维电阻率成像。2016年,我们根据全国重力测量数据建立了中国大陆地壳三维密度扰动模型,分辨率已达到 $10\text{ km}\times 10\text{ km}$ 。三维成像照亮了地球内部的结构构造,可以使地壳上地幔变得越来越透明。

大陆不仅保留了2亿年以来地质作用的大量痕迹,还保留了2亿年以前岩石圈地质作用的痕迹,如古造山带、古俯冲带、古裂谷及古转换断层等。三维物理性质成像照亮了地球内部的结构构造,但是如何来识别它们是什么构造呢?这不是地球物理学能独自解决的问题。在20世纪,固体地球科学从单一的地质学发展为一门多学科分支多兵种的现代科学,创新了同位素地质年代学、地球化学、板块构造学和地球动力学。同位素地质年代学可以测定地质作用的年龄,地球化学可以测定相关岩石的成分,板块构造学和地球动力学可以作为分析地质作用过程的理论基础。此外,岩石物理可以指示物理性质和相关岩石成分之间的统计规律。有了多学科多兵种的综合研究,根据三维物理性质图像解释地球内部的结构构造就有了科学根据。

地球内部的三维物理性质成像不仅证实了板块构造学和地球动力学原先的一些猜想,还使人们看到一些原先不曾想到的地下构造。例如,作为大陆骨架的古老克拉通地体,常常有深达300 km的陆根。大陆的中地壳常常有低电阻率低地震波速低密度的异常体,可能与岩石水溶作用增强和气水聚集有关。青藏高原下地壳有低电阻率低地震波速低密度的异常带,反映下地壳岩石的流变蠕变,造成青藏高原和周边区域的隆升和地震活动。华北东部有穿透地壳岩石的低电阻率低密度异常体,反映5000万年前大陆岩石圈的裂解,至今尚未完全停止活动。地震波速成像揭示了1.5亿年前古太平洋板块俯冲到华南大陆下方,形成了500~660 km深度的高地震波速层。地震波速成像还揭示了南太平洋板块和东非大裂谷下方,有深达地核的低地震波速超级热羽翅,可能激发全地幔热对流。

板块构造学说成功地解释了2亿年以来大洋岩石圈的发展,但是没有回答大陆岩石圈的演化问题,有40亿年历史的大陆岩石圈的演化显然比大洋演化模式复杂得多,因此板块构造学说登陆后遇到许多难题。地球内部三维物理性质成像的成果激发了地质学家的想象力,为研究地球演化的动力学作用规律提出了新的假说,其中最流行的就是地幔热羽翅假说。这个假说认为推动地球演化的主要动力不是板块的生长和俯冲回归的循环,而是地幔热羽翅的上涌改造。地幔热羽翅假说可以解释诸如大陆上火成岩省和大洋底高原形成等问题,但是至今尚未找到令人信服的证据,证明低地震波速显示的热羽翅是什么成分和结构。虽然地幔热羽翅假说还只是假说而不是理论,但是给了人们一个重要启示:地球内部不同圈层现今的状态,有的在反映若干亿年前地球整体的运动状态。正如天文学研究那样,今天地球上观测到遥远星际发生的事件,反映的是若干亿年前遥远星际的变动;今天地面观测到的下地幔热羽翅,也许反映了若干亿年前地球表层的运动状态,因为地球系统是持续向外散热的保守系统。

总之,地球演化作用的产物隐藏于壳幔结构的不均匀性中。根据三维物理性质图像解释地球内部的结构构造,然后全球对比同类大地构造单元的壳幔结构,根据壳幔结构的差异和大地构造作用发生的时代把它们按演化阶段排序,可以找到岩石圈构造单元生成和演化的规律性。当前,全球典型大陆构造单元的地壳上地幔三维物性成像资料已经积累到足以开展全球对比的程度,通过地球物理观测、信息处理和反演取得空间准确定位的描述固体地球内部不均匀性的地球模型,并与地质学、地球化学信息综合,已经为研究地球演化的动力学作用规律提供了现实可能性,从而产生了大陆动力学这个新的科学分支。大陆动力学要把区域地球物理研究成果集合起来,序列起来,通过全球对比去寻找地球内部物质运动的证据,最后求得对全球大陆地质演化的系统理解。

除人口膨胀和环境污染之外,21世纪人类社会可持续发展最严重的问题仍然是清洁能源紧缺和频发的自然灾害。基于地球内部三维物理性质成像的大陆动力学研究可为解决地球资源匮乏与地质灾害难题提供理论根据,为社会可持续发展做出贡献。

杨文采

(中国地质科学院,北京 100037)