

当代地球物理学的主要成就和 21 世纪上、中叶的发展导向

滕吉文

(中国科学院地质与地球物理研究所 北京 100101)

地球物理学是地球科学中的新兴学科,也是人类借以深入认识复杂地球内部结构及其深层过程的重要科学途径。地球物理学是以物理学研究的发展为依托,运用物理学的理论和方法探索地球的内部结构、驱动力系与演化。它的研究范围涉及地壳、壳幔边界、地幔、核幔边界(含 D"层)、地核,尤其是岩石圈和软流层中所发生的各种物理现象、成因及物质运移过程。这就需要通过地球物理场的观测、资料处理与反演,并力图以地球作为整体进行综合研究,进而深化认识地球本体。

基于地球物理学是一门涉及面极为广泛的边缘科学领域,它包括地球内部、大陆、海洋和宇宙空间。20 世纪是地球物理学发展的极为关键的历史阶段,并形成了一系列大型的全球计划,如国际地球物理年、国际上地幔计划、国际地球动力学计划、国际岩石圈计划、国际地学大断面计划、国际减灾十年、大陆钻探计划、全球变化计划、大陆动力学计划、日地物理计划、地球空间环境计划,……等。这些计划的实施与研究深化了对地球本体的认识,为资源、能源、灾害和环境提供了形成、分布与发展的深层过程和空间要素。日地空间物理的研究使得人们的视野扩大到宇宙(它是地球系统最外的圈层),极大地增强了对地球整体研究的思维与导向。这些成就激励了空间和地球(包括大陆和海洋)以及生态环境之间的耦合,而且对于人类生存空间、社会进步与经济繁荣及其可持续发展形成了固、气、液态物质组构的一个由地核到宇宙的立体领域,并在造福人类的进程中取得了辉煌的成就。

21 世纪的地球物理学将必担负起地球科学中一系列重大科学问题的先导,这是因为在地表所见到的的一切地球物理、地球化学和地质现象,以及生物演化、环境变迁、全球变化和海洋的形成均必然地取决于地球内部的深层动力过程。为此,地球物理学仍将必深化对地球本体的认识,量化圈层耦合和深部物质状态及物质的错综组构,为水资源、矿产资源、地震灾害和环境(含空间环境)问题做出贡献,并成为更高效的支撑人类社会和经济可持续发展的科学砥柱。

当今人类正面临着世纪交替的时代更迭,在着 21 世纪的上、中叶将必会是人类社会历史的一个巨大的变革时期,并面临着挑战。为此本文还将着重讨论以下三个问题,即地球物理学的发展进程和其战略意义;20 世纪主要的重大成就;21 世纪上、中叶的发展前沿和导向。

(1)地球物理学的发展进程和战略意义。主要阐述地球物理学的发展在建设中的作用;在社会与经济发展中的地位和在深化对地球本体认识中的响应。

(2)20 世纪主要的重大成就。地球物理学在 20 世纪,特别是近几十年来的重大成就大体上可归结为 12 个方面(具有全球意义的),当然,其最为突出的成就应为地球内部的圈层结构、板块构造与动力学和资源与能源。

(3)21 世纪上、中叶的发展前沿。主要应为地球深部物质与能量的交换、圈层耦合和深层动力过程。为此必须对环境与灾害、能源、海洋和高分辨率的观测技术给予强有力的支撑。

全球地球科学发展的最新成就,动摇了一些传统的概念,触及了一些人们以前尚不敢触及的领域,并沿着新的方向发展。它的未来正面临着比以往任何时候都更富有挑战性的复杂格局,即展现出前所未有的发现和突破机会,同时也正处于一个充满希望与前景的转折点上。这便标志着,在 21 世纪的地球物理学必须有所突破,方能完成由一个地学大国向地学强国的飞跃。

地球动力学的某些关键问题

曾 融 生

(中国地震局地球物理所, 北京 100081)

本文主要包含两部分内容;即 ①地幔对流的模式; ②印度—欧亚陆—陆碰撞过程和华北—扬子陆—陆碰撞过程。

1. 地幔对流的模式

板块运动要求地幔必须存在某种对流。过去曾有众多的地幔对流模式,但与地表构造的尺度不相匹配。全球的地震层析成像显示:

(1)某些海洋俯冲带可以穿过 660km 间断面,达到幔核边界,全地幔对流似乎更合理;

(2)热物质上升呈现不规则的形状,有些热柱自幔—核边界上升,但不一定都达到地表;有些热物质的上升只限制在上地幔之中。

(3)不均匀、非对称的全地幔对流可能解释板块构造的运动,实际的地幔对流模型,今后将会逐步得到完善。

2. 陆—陆碰撞模式

直到现在,通常是沿用海—陆的碰撞模式来解释陆—陆的碰撞过程。但是陆陆碰撞带的构造活动带和地震活动带通常比海—陆碰撞的活动带宽得多;大陆的地壳和岩石圈比海洋地壳和岩石圈的厚度大得多,而密度较小,因此它不能俯冲到地幔深处;大陆地壳下部具有明显的塑性,它将使岩石圈上部(上地壳)和岩石圈下部产生脱耦现象,也就是说它们的形变和运动不是一致的。根据喜马拉雅与藏南的中深源地震以及地壳构造可得如下结论:

(1)陆—陆碰撞时产生地壳俯冲,而不是岩石圈俯冲。

(2)大陆地壳俯冲的深度达到上地幔顶部,在印度—欧亚的碰撞中,地壳俯冲深度为 100km 左右。

(3)大陆地壳俯冲出现多重现象。最先是在缝合带处产生地壳俯冲,等到俯冲到达上地幔顶部后,由于地壳太轻,俯冲被迫停止;但是印度大陆继续往北推进,使得在缝合带以南的某些薄弱带出现第二次地壳俯冲;等到地壳俯冲达到上地幔顶部时,地壳俯冲再次被迫停止;与此类似,以后可以出现第三次地壳俯冲。这样缝合带以南地区就出现广阔的构造活动带和地震活动带。

近来在研究东秦岭深地震反射剖面中,明显看到与喜马拉雅以及藏南相似的现象。根据深地震测深,我们曾发现华北块体南部的 Moho 界面有 2~3 个速度相似的 p_{n1} , p_{n2} 等,说明此处的 Moho 是由相互的薄层组成的。在东秦岭的地震反射剖面中,我们看到这种典型的华北 Moho,它和扬子的 Moho 截然不同。由此可以清楚地看到两个地台的缝合带位置以及缝合带处两个地台碰撞时的形变。由此得到的缝合带位置位于剖面上栾川和方城附近,而不是在商丹。缝合带处两地台碰撞时所产生的变形是地壳俯冲,而不是其他形式。

东秦岭与喜马拉雅—藏南两个不同地区同时出现的多重地壳俯冲,有力地证明陆—陆俯冲的过程与海—陆俯冲过程有明显差别;多重地壳俯冲也可以解释陆—陆碰撞带为什么会有如此宽阔的地质构造带与地震活动带。

21 世纪初油气田地球物理技术发展的新动向

杨红霞 高林

(中石化勘探开发研究院南京石油物探研究所 南京, 210014)

上个世纪后叶,特别是近十几年来,以地震为主导的油气田地球物理技术的迅速发展和广泛应用,使石油工业在“弱经济时代”保持了昔日的辉煌。有分析表明,进入 21 世纪,在全球能源结构中,石油和天然气仍将处于重要地位。这意味着油气田地球物理在未来几十年内仍有很好的发展前景。

上世纪八十年代中期,三维地震技术的突破使油气田地球物理逼近了地下介质的一个固有属性——空间属性,它提供了二维地震所无法揭示的油气藏的空间变化信息,为复杂构造油气藏的成功勘探奠定了基础。在随后的十几年中,人们在不断完善构造油气藏勘探技术的同时,又在积极探索岩性油气藏的勘探方法。三维叠前深度偏移技术,在墨西哥湾复杂盐丘构造下方油气藏的勘探中取得了举世瞩目的成就;三维相干体技术、三维 AVO 技术在预测河道砂体等岩性油气藏方面也初见成效。但是,以碳酸盐岩缝洞型、致密砂岩裂缝型为代表的复杂岩性油气藏仍然是对地震勘探技术的挑战。它要求油气地球物理逼近地下介质的另一个固有属性——各向异性属性。这个领域与油气藏地震动态监测一起已成为当今油气地球物理发展的趋势。近些年来,应用地球物理界已经和正在向这两个领域发起冲击,油气田地球物理技术正蕴育着新的重大的突破。

21 世纪初油气田地球物理发展的新动向主要表现为下列六大方面:

(1) 传统的层状介质地震勘探理论受到冲击,为寻求新的勘探理论模式的应用基础研究将得到加强,非均匀各向异性介质成为主要研究对象,相应的数据采集和处理方法是主要研究内容,物理和数值模拟是主要研究手段。

(2) 矢量地震将出现新的研究热潮,解决复杂介质问题的需求、海上横波勘探技术的突破以及计算机技术的进步为矢量地震的发展创造了条件,预计未来几年内多波多分量勘探技术会在陆上取得突破性进展。

(3) 油气藏地震动态监测 (4D 时延 VSP 等) 将形成“气候”,用地震进行开发过程的动态监测不仅能提高注采效率,优化开发方案,而且能寻找到死油区,促进老油田的增储上产。最近,人们提出了“装备油气田”的新概念,其含义就是在油气藏上方安装永久性探测器,对与生产有关的储层参数不间断地进行主动或被动监测,了解开发期间各种参数的变化,以便及时调整和修改生产方案,实现优化开发。

(4) 多学科综合油藏表征的重要性将日益增强;随着油气后备资源量勘探难度的增大,人们对已发现油气藏的“资产”意识越来越强,希望对其内部特征有更全面和更详细的了解,以实现最经济最彻底的开发。地震、地质、测井、钻井和油藏工程等多学科的相互渗透和有机结合是实现油藏表征的关键。

(5) 定量地球物理将成为一种时尚:勘探开发工作的深入和技术的进步使人们不再满足于用地球物理资料圈定有利构造和定性划分油气藏,而希望对储层(包括岩性、储集性和液体流动特性)进行定量的预测和精细的描述。这就向地球物理提出了测量尺度、误差控制和解决非唯一性问题等方面的挑战。

(6) 先进的信息技术将得到更广泛的应用。网络技术、可视化技术、虚拟现实 VR 技术和神经网络等各种智能技术正在将地震技术带入一个全新的境界。

当代石油工业的全球化趋势日益加剧,地球物理行业将面临更大规模且更为激烈的竞争,技术优势、经济实力和良好信誉仍将是制胜的主要因素,集研究、开发、示范、服务于一体是地球物理公司的成功之路。

21 世纪的地球电磁法

曹俊兴

(成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都, 610059)

最近十年地球物理的应用领域呈现出了空前的多样化, 预示着 21 世纪地球电磁法会有更大的发展机遇与拓展空间。21 世纪水资源勘查与环境监测的需求将是推动地球电磁法发展的主要因素, 而人才则是地球电磁法能否抓住机遇获得发展的关键因素。

20 世纪地球电磁法经历了从无到有、从简单到复杂、从单一到系列化的发展历程。《Electromagnetic Methods in Applied Geophysics》一书对此有较全面的总结。地球电磁法与地电法是密切相关的。如以研究的目标参数性质而论, 电磁法应归于电法类; 而如以物理原理基础而论, 电法当归入电磁法。地球电磁法的种类甚为繁多。Nabighian 认为“电磁法的主要困难在于它的复杂性”, 大概极少有那个地球物理学家敢说“他熟悉所有的电磁方法”。地球电磁法的始端大概可以追溯到 20 世纪之初 Schlumberger 兄弟发展的电法。其后俄罗斯、东欧及加拿大科学家在此领域做了较多的创新性工作。但总的来说, 地球电磁法的很多方法技术是从地震方法中借鉴移植而来的。地球电磁法的发展是由需求决定的。70 年代以前地球电磁法主要用于金属矿勘探。80 年代随着采矿业的衰败使得地球电磁法的发展经历了一个低谷时期。而在同一时期因石油天然气勘探的强劲需求推动地震方法却获得了很大的发展。进入 90 年代, 地球物理的应用领域出现了空前的多样化, 地球电磁法获得了新的发展机遇与拓展空间。同时数据采集与处理技术的进步也使地球电磁法的效率与能力大为提高, 地球电磁法重新受到关注与重视。“如果说 80 年代是 3D 地震快速发展的十年, 那末 90 年代则是地球物理学家对 3D 电磁模拟和反演兴趣日益增长的十年”。

20 世纪地球电磁法的方法技术发展精彩纷呈。但早在 19 世纪中叶就建立起来的普适性电磁理论并没有很好的结合到地球电磁法的特殊情况中来。地球电磁法使用的物理模型依然以高度简化与近似的分层或分块均匀介质模型为主, 因而很难展开更深入的数据分析与信息提取。对电磁波场与地质介质的相互作用目前主要采用数值仿真方法研究。20 世纪发展了很多电磁场数值计算方法, 但绝大多数都不是为地球电磁法而发展的。将其它领域的计算方法移植到地球电磁法中必须考虑如下特殊因素: ①地质介质物质组成的多样性、非均匀性以及结构的复杂性; ②地质介质电性结构的多尺度非均匀性、各向异性以及分形分维性; ③地质介质与电磁场相互作用的非线性; ④激发源尺度的有限性与类型的多样性; ⑤扩散电流传播的动力学效应特性, 以及广泛存在且日甚的人文干扰源等地质介质的多尺度多样化非均匀性在多数情况下很难用确定性的数学方法精确描述, 而这恰恰是数值计算所必需的。数值计算的确定性与目标参数分布的多尺度随机性之间的矛盾有可能获得影响广泛的创新成果。最近十年地球电磁法的研究主要集中在 2D 及 3D 非均匀介质中电磁波场的数值模拟与非线性反演成像方面, 对实际波场的观测研究相对较少。地球电磁法属应用物理学科, 必须得有充分的“物”的基础, 才有可能有“理”的突破。新世纪不仅应进行更多的地球电磁场观测, 还应发明更为先进、巧妙的观测技术与设备。地球电磁法是一种技巧性很强的“艺术”, 艺术是浑然一体的, 只有融合了一切种类的艺术才能臻于最完善的境界。“新世纪的地球电磁法只有融合一切可融合的知识与技术, 同时又融入地球物理方法技术体系才能获得真正的发展。地球电磁法固有的复杂性与应用的综合集成性要求从业者具有坚实的数理基础与广博的知识背景。在科学研究日趋职业化的时代, 如何吸引足够数量的高素质人才加盟将是地球电磁法能否在 21 世纪获得发展的关键性因素。

本研究由国家自然科学基金与教育部高等学校骨干教师资助计划项目的资助。

21 世纪的地震数据处理系统

赵改善

(中国石化石油勘探开发研究院南京石油物探研究所, 南京, 210014)

地震数据处理已经有五十年的历史。在这五十年里,地震数据处理的技术、软硬件系统、应用范围、工作方式、工作量、质量、周期和应用效果等诸多方面都发生了巨大的变化和进步。技术进步主要体现在:适应的条件越来越复杂,获得的资料质量越来越高,结果越来越准确、可靠,提供的信息越来越丰富、全面。硬件平台发展的主要表现为:速度更快,容量更大,吞吐能力更强,成本更低。软件平台发展的主要特征是:使用更加方便,操作更加容易,工作效率更高,功能更强。

二十一世纪对地震数据处理系统的需求和挑战是:①支持多分量地震数据处理;②支持延时地震即四维地震数据处理;③适用于复杂地表条件;④支持全面的深度域处理;⑤彻底用叠前成像代替叠加;⑥支持各向异性处理;⑦支持叠前解释性处理;⑧满足数据量和计算量挑战;⑨支持“实时地震勘探”。

除了在适应新的地震勘探方法,增加新的地球物理功能外,我们还应进一步发展下列技术,改善地震数据处理的效果:①复杂地表条件下的静校正技术;②地表一致性处理技术;③多次波等复杂干扰波压制技术;连续速度分析技术;⑤多块三维地震资料的联片处理、三维拼接技术;⑥叠前地震数据插值技术;⑦非线性信号处理技术。

从系统的实现技术方面来看,新一代地震数据处理系统应该全面采用近年来以及今后若干年内信息技术发展,包括计算机技术、网络技术、软件技术等,的最新成果,提高系统的工作效率,改进系统易用性、易维护性、易扩展性,扩大系统的应用面,支持全球化的“网络协同工作”,满足不断发展的石油勘探开发的需求。

新一代地震数据处理系统将主要由三部分组成:①数据服务器,负责地震处理所有相关数据的存储管理,数据服务器既可以和数据处理服务器位于同一台计算机系统上,也可以位于单独的系统上,甚至可以由多个系统组成数据服务器群;②数据处理服务器,其软件为由一系列具有特定数据处理功能的模块组成的功能模块库,运行于计算能力较强的计算机系统上,可以是一台高性能计算机,也可以是由一系列高性能计算机组成的集群系统甚至是分布式异构系统;③交互服务器,交互服务器作为数据服务器和数据处理服务器与用户之间的桥梁,以 Web 服务器为基础并加以专门的应用扩充(应用服务器)为客户提供基于网络的对地震数据处理的访问。客户端基于标准的网络浏览器,以实现客户端的零维护,系统的维护和升级只在服务器端进行。新一代地震处理系统的三个部分通过网络连接,他们可以位于一个局域网内,也可以位于广域网甚至全球化的互联网中。

新一代地震处理系统应具有以下特征:①开放性;②网络化,集成化(一体化);④可视化;⑤并行化。

具体来说具有以下几方面的技术特征:①网络化;②支持 web 计算模型;③采用 Java 编程语言;④支持组件技术,支持远程协同工作;⑥支持可视化;⑦支持实时处理;⑧支持 AsP 应用模式;⑨支持一体化;⑩智能化测试;⑪更丰富的用户界面;⑫支持计算机集群技术。

我们应该抓住当前难得的发展机遇,在国际石油物探界理论研究和技术开发的基础上,通过有效的体制和机制创新,发展地震勘探新方法、新技术,开发我国自主知识产权的新一代地震数据处理系统,以适应新世纪石油勘探开发的需要,迎接我国石油工业所面临的严峻挑战。

新世纪我国海洋地球物理发展研究

温佩琳 谢忠球

(中南大学地球物理勘察新技术研究所, 长沙, 410083)

海洋是举世瞩目的领域,海洋面积占地球面积的 71%。我国是沿海大国,拥有 18000 多千米的大陆岸线,管辖海域约 300 万平方千米,有四亿多人口生活在沿海地区,沿海地区工农业总产值约占全国总产值的 60%。我国对海洋这一领域给与高度重视。在《中国海洋 21 世纪议程》中,中国政府将下一世纪发展的战备目标明确为:“建设良性的海洋生态系统,形成科学合理的海洋开发体系,促进海洋经济持续发展”,坚持以发展海洋经济为中心,适度快速开发,海陆一体化开发,科教兴海和协调发展的原则”。21 世纪将是人类全面认识、开发利用和保护海洋的新世纪。地球科学应该在新世纪中为海洋的认识、开发利用和保护起开路先锋的作用。

新世纪海洋地球物理研究的特点主要是,由于科学技术的进步,地球物理理论、方法技术的发展,应该对原有资料重新系统整理和分析、再认识,获取新的认识。随着地球物理勘探仪器观测精度的提高和卫星探测系统的形成,新一轮地球物理探测的形式已成熟。新世纪网上海洋地球物理资料共享、资源共享,强调海洋地球物理与海洋地质学、地球化学、大地测量、海洋物理、海洋化学、海洋生物、海洋环境……等的研究方法相结合等等。

板块构造学说是 20 世纪地质科学的重大成就。它首先起源于海洋地球物理的研究成果。海洋的一些活动构造—洋脊、岛弧和转换断层把地球的岩石层划分成六大板块。通过若干个国际计划对于板块的驱动力方面已取得不少新的认识,以后主要精力转移到大陆块体方面的研究。为了新世纪的海洋开发利用,应该回过头来从海洋研究开始,加强海洋地球物理研究,从而推动全球的地质研究。

结合我国的环境特点与社会经济发展,并考虑国际海洋地质学的发展,21 世纪我国海洋地球物理应着重于中国海、深海与大洋以及全球变化三个领域。我国海洋地球物理研究主要是 60 年代至 80 年代中期的资料,加上国家的投资有限,海洋地球物理研究有所停顿。虽然国家“九五”期间确定了海洋“863”计划,重点是基础研究工作,新世纪中国海必须进行新一轮的地球物理工作,要求多方法、高精度,在获取更多更丰富信息的基础上开展其它工作。中国海海底地貌、沉积、非生物资源信息系统与 1:200000 万海底立体图系及应用“3S”方法对海疆的监测系统,本课题为海洋权益、划界、资源开发及海底环境与工程的提供基本依据。中国海岸环境资源(水、土、生物、海洋)承载力与最宜开发模式研究,加强油气田勘察和开发,在开展高精度重力、磁法、地震(四维、高分辨、多波等技术)研究和勘探基础上,进行海底 MT、TEM 等电磁法勘探新技术,均具有 GPS 定位技术)的多方法综合及联合反演解释;海岸海洋环境工程地球物理勘察方法与地质灾害预防研究;领海基线、岛屿、海峡、水道、大陆架与 200 海里专属经济区权限划定综合研究,包括历史沿革、海洋地理与地质依据及海洋法等。深海与大洋的研究是参与世界公海海域研究的项目;通过国际合作交流促进科学家间的了解和科学水平共同提高,而且有些海域必须通过国际合作才可开展工作。全球变化涉及海岸海洋与深海大洋两部分,着重于国际合作与全球对比课题。

当代海洋地球物理学研究,需重视地球物理与地质、海洋、大气、地理以及生物等科学、自然与社会科学的交叉渗透、资源与环境开发、疆界和海洋权益与国际海洋法、21 世纪议程等。重视新技术的应用可加速研究开发工作,提高科学水平,所以宜重视与相关部门的合作及国际合作,加强研究力量。这样才可做到事半功倍,有利于海洋科学的发展。

以实际问题的解决为导向，构建应用地球物理的创新体系

曹俊兴 贺振华

(成都理工大学油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都, 610059)

在科学技术已成为经济发展与社会进步第一推动力的今天, 科学研究除了认识自然与自我而外, 更多的在于研究解决人类生存与发展所面临的问题。科学研究的灵魂在于创新。近年科技管理部门广为讨论的一个话题就是“创新机制”。其实创新有两类: 一类是可遇不可求的“偶得”性创新, 一类是有计划有目标的“开山架桥”性创新。刻意的“标新立异”其实与创新无涉。作为有意识的活动和有目标有要求的事业, 科学研究能追求的创新主要是“目标”导向的“开山架桥”型创新。围绕“目标”问题的解决而展开的探索活动自然会产生创新的成果, 而目标问题的性质与意义在很大程度上也就决定了研究成果的性质与意义。实际问题的科学问题提炼即创新体系的建立, 科学问题解决方案的策划与实施即创新。

对应用地球物理而言, 主要的任务是研究解决国家社会经济发展所必须的资源与环境勘查问题。在现阶段以至未来 10~15 年, 石油与水资源的严重短缺是制约我国社会经济发展的两个主要因素。石油与水资源的短缺不完全是绝对的资源性短缺问题, 也有发现不足方面的原因。对照油气资源评价与勘探结果就会发现, 我国除松辽盆地石油资源探明率接近 80% 以外, 其它各主要盆地的探明率都不及一半, 而塔里木等盆地的探明率还不到 10%。问题在于未探明的油气资源主要赋存在深层与非常规复杂油气藏中, 而目前的勘探技术难以发现、评价这类油气藏。非常规油气藏之重要类型是缝洞型碳酸岩储层。从地震勘探的角度看, 主要的问题是缝洞响应无法识别。这有两方面的原因: 一是响应本身很弱, 无识别可能; 二是对响应特征把握不清楚, 无识别办法。以发展有效的缝洞型储层地震勘探技术方法为目标, 至少应研究解决如下几方面的科学问题: ①双相非均匀裂缝介质中地震波的传播规律与裂缝的地震响应特征; ②双相非均匀裂缝介质中地震波传播的物理数学模型与数值仿真技术方法; ③地震记录的裂缝信息提取与评价方法技术; ④非均匀裂缝介质的地震成像方法技术。对这些问题的系统研究解决, 就构成了一个应用地球物理科学研究创新体系。我们姑且称之为裂缝介质中的地震波场理论与成像方法技术。

地震勘探近二十年来一直是应用地球物理研究的重点。其主要原因在于油气勘探需要的推动和石油公司的强大财力支持。但从长远来看, 对我国经济与社会发展影响最大的将是水资源的短缺问题, 尤其是在西部。石油的短缺对社会经济的影响是急性病, 立竿见影, 易引起人们的关注; 而水资源短缺对社会经济的影响是慢性病, 不易引起人们的高度警觉。但石油终究是可以找到替代品的, 而水则不然。人可以不开汽车, 但不能不喝水。地下水勘查与评价是解决水资源短缺问题的一个重要方面。以地下水勘查与动态评价问题为导向, 我们可以建立起另一个应用地球物理基础研究创新体系——含流体裂缝介质的电磁成像方法技术。它包括如下基本内容: ①电磁波场在含流体裂缝介质中传播的物理数学模型与数值仿真方法技术; ②高精度电磁数据的采集技术与含流体裂缝介质的电磁波场响应特征; ③含流体裂缝介质的电磁成像方法技术。裂缝介质的电磁成像创新体系与地震成像创新体系并无很多共同之处。首先是很难从物理模拟实验的角度研究含流体裂缝介质的电磁波场响应特征, 其次是电磁数据的采集方法技术研究远未从电磁法研究中分化出来, 发展相对落后。至于电磁波场与地震波场性质及特点的不同, 则更是不言而喻的。

科学研究的选题大致有两类: 一是从实际问题入手提炼科学问题, 另一是从学科技术发展需要提炼科学问题。有希望形成源头创新的科学研究选题主要来源于解决实际问题的需要。也就是说, 以实际问题的解决需求为基础而构建的科学研究创新体系更具源头创新性。

地球核幔动力学研究现状与展望

朱介寿

(成都理工大学地球物理系, 成都, 610059)

地球在五十亿年的演化过程中, 其内部一直存在着大规模的物质流动及化学分异。核幔边界 (CMB) 是地球内部最重要的物理化学界面 (密度从 5.57g/cm^3 增至 9.90g/cm^3 温度跃变达 $1000\sim 2000^\circ\text{K}$)。地球内部两个巨大的热机 驱动全球构造活动的热机及产生磁场的磁流体发电机 在核幔边界相互作用 进行物质及能量交换。

长时间来 地幔及地核动力学问题只停留在猜测阶段。20世纪 60 年代提出的板块学说的重要支柱地幔对流及板块的传送带模式 都是臆想的 现在看来并不存在。以后出现了双层对流或全地幔对流模式 以及地幔柱概念。九十年代初 一些日本学者提出了超级热柱及冷柱假说 使地幔对流研究更加混乱。

近 10 年来 地幔及地核动力学研究获得了重要的进展 高分辨率地震成像 超级计算机模拟及高温高压实验, 使我们能通过观测及实验手段研究地球深部的精细结构及核幔动力过程。

从 97 年到现在已发表了大量的高分辨率地震层析成像成果 尽管资料不同 方法不同 但其结果都十分一致 岩石圈及下地幔底部的横向不均匀十分显著 而地幔中部相对较均匀。在 $800\sim 2000\text{km}$ 深度 沿特提斯及东太平洋俯冲带存在着板片状高速异常。在西太平洋俯冲带 仅在 $600\sim 900\text{km}$ 存在片状高速异常。在太平洋中南部及非洲西部 下地幔底部为低速异常区 东亚及西太平洋下地幔底部为高速异常区。

对 CMB 上 D' 层的研究 发现其厚度及速度变化大 各向异性明显。并发现了 CMB 边界上厚度仅 $20\sim 40\text{km}$ 、波速降低 30% 的超低速层 它很可能是核幔热交换的源头。

基于高分辨率三维层析成像, 用计算机模拟了地幔内温度分布及大规模物质流动, 它反映了从中生代 150myr 以来的地幔动力学模式。其结果与过去假想的对流模式大相径庭。在整个地幔中呈现为大小不等、形状复杂的上升流或下降流。这种物质流与温度分布直接联系 即上升流较热, 下降流较冷 地幔中片状或带状异常 主要反映了温度变化。过去有人错误地用古岩石圈板块下沉到地幔底部 以解释高速异常的存在。复杂的地幔流直接带动了地表板块运动。全球地幔流的汇聚点分别在东亚以及美洲 (特别是南美洲) 发散点在太平洋及非洲。

地球的磁场由外核流体运动产生 这种流体运动受到内核旋转 相对于地幔快 $0.2^\circ/\text{年}$ 的控制。内核各向异性明显 ($>30\%$) 在地球深化历史中 内核在缓慢增长。

地球表面的洋中脊和大裂谷系是相互联系的且深度不超过 4000km 。地幔热柱分为深源 (下地幔底部) 及浅源 ($400\sim 600\text{km}$)。它一般与洋中脊或大裂谷系没有直接成因关系。

1998 年以来 我们在国家自然科学基金资助下 已开展了地球深层结构的研究 初步获得了欧亚及西太平洋下地幔的速度、地幔内部界面起伏。以及上地幔速度衰减的精细三维图像。对东亚西太平洋的地球动力学进行了探讨。欧亚大陆与西太平洋地区自中生代以来主要受特提斯洋闭合, 印度板块陆陆碰撞, 东亚大裂谷系解体等重大事件影响 它们都是地幔物质在 $1.5\sim 2$ 亿年地幔流带动地表岩石圈运移的结果。

地球深部结构及动力学研究已经历了一百多年漫长历史, 到目前实际上刚处于起步阶段。尽管近年来已取得了一定进展 但地球内部几千公里以下的物质及能量交换仍然是一个谜 有待在 21 世纪突破。

本项目为国家自然科学基金重点项目 (编号 49734150) 及国土资源部专项计划 (编号 20001010) 资助。

地球内部结构的宽频带数字地震波形研究

吴建平

(中国地震局地球物理研究所, 100081)

20世纪80年代以来,宽频带数字地震台网在全球范围内得到了快速发展,地震台站的全球分布得到明显改善。目前面向世界各国地震学家的全球数字地震台网观测的波形资料可以通过IRIS在华盛顿大学的数据管理中心方便地得到。这些数据包括GDSN、IDA、GSN、Geoscope、CDSN、MENET、POSEIDON、GEOFON、CNSN等数字地震台网的资料以及IRIS的PASSCAL流动地震台阵在全球不同区域的不定期观测资料。“九五”期间中国地震局在CDSN的基础上建成了由47个宽频带数字地震台站组成的中国国家数字地震台网,并相继建成20个规模不等的区域遥测数字地震台网。

宽频带数字地震台网的运行和资料的积累大大促进了全球性和区域性地球内部结构的研究。波形叠加剖面、面波层析成像、接受函数反演、体波波形反演、区域地震波形反演、ScS多次反射波方法、SS前驱波方法、介质各向异性研究、介质衰减特性研究和地震相对精确定位等一系列基于宽频带数字地震波形资料的地震学方法得到了快速发展。

20多年来,利用面波波形资料研究地壳、上地幔速度结构横向不均匀的工作取得了长足的进展。全球面波层析成像的水平分辨率从最初的4000km逐步提高到1000km左右。区域性面波层析成像的水平分辨率达到100~400km,揭示出大陆内部不同构造单元之间的深部结构特征。在中国大陆地区,多个研究小组利用数字地震台站的面波资料得到了水平分辨率约400km的面波层析图像。随着中国国家数字地震台网的资料积累,中国大陆面波层析成像的分辨率将得到进一步提高。

地幔内部速度间断面是地球圈层速度结构中最为引人注目的特征之一。近年来,以ScS多次反射波和SS前驱波波形资料为基础的全球速度间断面横向变化的研究,取得了较大的进展。研究表明,在410km和660km附近的间断面之间,过渡带厚度的变化可达20km。在地表与核幔边界之间,古老的大陆地区的平均走时比海洋盆地地区小约7.7s, Q值比海洋地区的高约50%。在地幔内部还存在其它间断面,这些界面上、下区域的走时、Q值以及界面的反射系数存在明显的横向变化。近年来发展的接收函数方法可以为上地幔速度间断面研究提供更高的横向分辨率。特别是在由密集台站组成的天然地震观测剖面中,采用共深度迭加技术可获得高分辨率的上地幔速度间断面横向变化特征。

近年来,宽频带远震接收函数方法在岩石圈速度结构、重要构造单元边界的划分、火山、地幔热柱和地壳各向异性等方面的研究中得到了广泛的应用。由于远震接收函数能较好地反映台站下方附近的速度结构,并且对速度界面特别敏感,可以提供高分辨率的速度结构横向变化信息。

宽频带体波波形和区域地震波形反演技术是上地幔速度结构研究中的重要方法。与走时资料相比,波形资料能更好地反映地球内部的速度梯度特征。80年代以来,以宽频带体波波形资料为基础的速度结构研究给出了全球一系列重要区域的上地幔速度结构。90年代以来,区域地震波形反演方法受到了地震学家的重视,它在岩石圈速度结构和岩石圈厚度的横向变化研究中具有良好的应用前景。

随着地震学理论和地震观测技术的不断发展,地震波形反演技术将在地球内部结构研究中发挥越来越重要的作用。

世界油气勘探开发的新热点——深海

洪 菲 胡天跃

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

1. 概述

90年代中后期以来 随着深海技术的进步 寻找新型大油气田的成功率明显上升 深海勘探进入了一个新的纪元。从一度被人们称为“死海”的墨西哥湾深海勘探取得的巨大成功开始 由此与深海相关的油气勘探开发每年以近 30%的速度上升。究竟多深才能称之为深海呢 工业界认为 不能用传统的固定平台而开始利用其他方式的设备如漂浮平台、拉腿平台、单固定平台和海底开采设备就认为是深海。根据统计数据 深海泛指大于 300米的水域。

2. 关键技术

(1)似地震反射面 在海底有一种冰冷的且能燃烧的冰块晶体将成为未来的清洁能源 它被称为水合甲烷(即天然气水合物)初步估算 这些物质的储量可能超过全球陆地煤炭、石油和天然气总和的两倍。在地震剖面上 用于探测水合物的似地震反射面代表了水合物稳定储藏的底部 是水合物沉积层与界面下自由天然气的过渡带。

(2)混合地震反演 在深海区 混合地震反演技术综合了叠前叠后反演技术 在缺少测井资料的情况下, 有效地进行大数据量反演。其基本思想是首先给定深度间隔产生一组随机模型 采用每一个随机模型计算出合成数据 将合成数据与观测值进行对比 用遗传算法修改模型并进行反复迭代 直到观测值与合成数据达到一致 将从这些模型中所获得的参数作为迭后反演的低频背景波阻抗趋势来进行混合反演。

(3)区域多次二维叠前深度偏移 深海钻探的高风险和高投资要求对储层分辨率进一步提高 广泛采用高分辨率的叠前深度成像。大尺度的多次二维深度偏移处理比起对每一条二维测线分别进行处理来说 是进行重点区域调查有效的方法 既能得到更多的内部信息又可以经济、省时地得到精确深度成像 其优于稀疏二维和局部三维勘探。

(4)地震和地质力学方法 在深海 由于缺少测井资料 AVO 成为现今最流行的直接检测烃类物的方法。然而 压力、岩性和薄层效应都会导致伪 AVO 效应。在深海 仅仅依靠 AVO 是不行的。通过结合有效应力和岩性可以测出封闭 岩石能量衰减也是检测油藏性质的好方法。

(5)近偏移距压制多次波 在深海, 一阶海底多次波或微曲多次波几乎同时到达或强烈影响一次波。常用的去多次波的方法 如拉冬 $f-k$ 方法 需要进行内切除 但就会失去解释中重要的近偏移距信息。采用基于模型的自适应 Kirchhoff 型加权叠加算法 通过对振幅和相位的估计实现较好地消除了深海地区近偏移距的多次波的目标。

3. 展望

在将来的 10 年 国外深海作业的一些领域如电子油田、钻探成像、实时深度成像、多分量成像、环境和灾害分析、海底检波器随地形排列等方面将成为新的趋势。在国内 2000 年中国海洋石油总公司的招商通告中, 南海深海区块占招商区块总面积的 54% 我国南海深海地震勘探活动必将使我国的深海勘探开发事业推向一个新时代。

本研究由教育部高等院校骨干教师资助计划资助。

智能化地震事件识别和定位系统研究现状与趋势

刘希强^① 周蕙兰^② 沈萍^③ 季爱东^①

我国在从地震计到地震参数产出的全国过程中,借助于公共技术,数字观测和通讯部分已达到很高的水平;观测和显示系统已能满足需要;唯独中途的震相识别,至今离不开人的干预,人的经验智慧,没有形成一套适用于全国和区域的自动化地震事件识别和定位实用化软件系统。曲克信、张少泉等老专家对中国地震数字化工作中的这一“瓶颈”问题表示担忧。

国内外基于各台网运行的地震定位系统,存在以下科学问题需要解决:①发展满足人们精度并能自动识别宽频带记录图中震相的方法;②进一步降低事件触发的误判率:发展事件触发后构造地震和非构造地震分类的自动识别方法;③提高软件系统的智能化程度。目前事件的一次定位误差较大,主要是由震相识别误差大或有误所致,导致二次定位更多的是靠人机交互。与P波识别相比S波自动识别的精度更不尽人意;④以往适应于窄频带台网运行的软件系统,已不完全适合在宽频带台网中运行;⑤完善和更新区域地震震相走时表和速度模型数据库,结合波形相关分析技术,以提高地震定位的速度和精度。

目前,世界上进行的核爆当量越来越低,各地经济的发展又使得台站记录的背景噪声加大,人工爆破和矿爆的频次逐年提高,加之宽频带记录包含的频率成分比模拟记录更加丰富,因而增加了对地震事件和震相准确识别的难度。我们认为,要寻找新的进行地震模式和震相准确识别的有效判据,必须从两个方面着手:一是突出事件记录中的震源信息,特别是震源随时间变化过程,来提取随机干扰与有效信号、有效信号之间(此指构造事件和非构造事件)在震源过程中随时间变化的差异;二是突出事件记录的时间进程,即观测信号的非稳态性质。综观前人提出的各种判据和方法,基于线性、高斯性和稳态性信号假设的方法居多,判据只反映了研究窗口中时间序列的平均折中结果。要区分随机干扰、构造地震与非构造地震的震源信息差异,数字化记录时间进程中的差异,发展基于非线性、非高斯性和非稳态信号模型的地震模式识别和震相识别方法,才是解决研究问题的根本所在。然后,采用神经网络技术进行综合识别,必定会提高震相识别精度。在震相识别精度提高的前提下,基于完善和更新后的区域地震震相走时表和速度模型数据库,可实现智能化地震定位“快”和“精度高”的目标。

以数字化台网为依托,今后应开展如下研究工作:背景噪声、构造地震与非构造地震识别方法研究;震相类型和震相自动识别方法研究;③综合信息识别的神经网络设计;④根据地震目录观测报告建立震相走时数据库和区域地壳速度模型;⑤地震定位参数反演;⑥智能化软件系统研制。

通过研究,实现如下目标:①寻求能够分离出震源破裂信息的有效方法。如利用小波(包)变换对时域地震信号进行不同尺度的分解,通过对不同尺度下信号瞬时特征物理量、多分辨率能量及其分形特征分析得到背景噪声、构造地震和非构造地震的有效判据。基于P波和S波具有不同的偏振特性来寻求区分震相类型的有效方法和判据。为了使地震震相类型识别方法更加有效,寻求对观测资料进行带通滤波而信号失真度较小的有效方法。寻求适合于描述非稳态地震波模型的有效震相识别方法,提高识别的准确率,使错误识别率得到进一步的降低。⑤设计有效的神经网络系统,提高神经网络学习效率、智能化水平和综合识别准确率。⑥根据有观测以来的地震目录观测报告建立震相走时数据库和区域地壳速度模型,使自动化定位精度不低于人机交互定位结果。

本研究受国家自然科学基金会资助(课题号 40074007)

① 山东省地震局 济南 250014

② 中国科学院研究生院 北京 100039

③ 中国地震局地球物理研究所 北京 100081

机载激光海底测深技术的发展和展望

昌彦君 朱光喜 彭复员

(华中科技大学电信系 武汉 430074)

机载激光海底测深是一种利用机载激光发射和接收设备 通过发射大功率脉冲激光 进行海底深度探测的先进技术。该技术基于海水中存在一个类似于大气的透光窗口 通过从飞机上由激光雷达向下发射高功率、窄脉冲激光 同时测量水面反射光与海底反射光的走时差 并结合蓝绿光的入射角度、海水的折射率等因素进行综合计算 获得被测点的水深值。再与定位信号、飞行姿态信息、潮汐数据等综合 确定出特定坐标点的水深。由于激光测深系统借助机载 并辅之激光扫描和 GPS 全球定位技术 可以满足大面积、高速度、高精度和低成本是现代测深的需要 因此 其发展水平和发展方向受到广泛地关注。

自从上世纪 60 年代末第一个机载激光海底测深系统问世以来 世界上已有美国 AOL, OWL, SHOALS 等系统)加拿大 LARSEN-500)、瑞典 FLASH, HAWKEYE)、澳大利亚 LADS, WRELADS)、俄国(Chai-ka, Makrel- I)、法国、荷兰等近十个国家 先后开展了机载激光海洋测深系统的研究和开发工作 经过不断地试验和改进 现已进入实用阶段。我国从 20 世纪 80 年代末开始 开展了机载激光海洋探测系统的研制 并成功地研制出了我国第一套机载激光海洋探测试验系统 ,1996 年 5 月在海上进行了机载探测试验 成功地探测到了水深 80-90m 海底回收信号。总的来看 美国、加拿大、瑞典、澳大利亚四国 开展研究的时间比较长 技术水平一直处于领先地位。

在 21 世纪里 机载激光海底测深技术目前已显露的发展趋势有以下几个方面 ①采用 1-2KHz 高重复频率的半导体泵浦 Nd:YAG 固体激光器。提高重复频率是为了适应高搜索效率、高分辨率的需要 采用半导体泵浦固体激光器 因为它出光效率高 从而可以提高探测能力)体积小、重量轻 更适合于机载。 采用先进的计算机和高速信号处理硬件 使得信号检测、存储和显示都可以在 1-2KHz 高脉冲重复频率下实时完成。做到飞机飞过之处 海底地形就可实时显示出来。 使用带宽更窄的滤波器 通过空间滤波、偏振滤波等技术 ,抑制海水向后散射 提高系统的测深能力 尤其是 采用多种手段联合或探索新的测量方法和技术进一步消除或抑制背景噪声 提高系统白天的测深能力。 用点阵扫描与成像探测相结合的探测技术 在提高探测能力和提高识别能力方面进行优势互补。点阵扫描虽然探测深度较大 但是由于点阵密度不高 不足以显示目标的轮廓 而又无法根据目标的回波特性来区分不同目标 识别能力较差。成像探测却可以显示水下目标的轮廓 有利于较好地识别目标 但其探测深度较浅。把两者相结合、有机地配合起来 则可能达到更好的效果。⑤进一步减小系统的体积、重量和能源耗费 提高整个系统的机动性 以及完善自动导航仪与系统的接口 开发简便的系统软件界面 使系统操作简单化、自动化等也是机载激光海洋探测系统的发展趋势。

机载激光海底测深技术是集光、机、电为一体的系统 它涉及大气光学、海洋光学、激光技术、信息检测技术、计算机技术等诸多领域。激光光束的高分辨率能获得海底的传真图像 从而可以详细调查近海海底地貌和海底底质 其发射和接受系统借助机载后 具有速度快、覆盖率高、灵活性强的特点。可作常规海道测量、海底地貌测绘之用 尤其是具有能对舰船不宜到达的海域进行探测的优势。海洋大国已广泛用其开展近海或沿岸大陆架海底地形测量 因此 机载激光测深技术必将以提高探测精度、提高探测能力、提高识别能力和提高作业效率四个方面为方向 得到进一步地发展。

准噶尔盆地、天山造山带、塔里木盆地、阿尔金造山带、柴达木盆地和昆仑造山带（北缘）岩石圈结构及其动力学研究

赵俊猛¹ 张先康² 王尚旭³ 鲁兵¹ 张进¹ 卢苗安¹

(1 中国地震局地质研究所, 2 中国地震局地球物理勘探中心, 3 石油大学)

准噶尔盆地、天山造山带、塔里木盆地、阿尔金造山带、柴达木盆地和昆仑造山带（北缘）岩石圈结构及动力学研究是国家 973 课题（编号 G1999043301）其宗旨是用综合地球物理方法获得准噶尔盆地、天山造山带、塔里木盆地、阿尔金造山带、柴达木盆地与昆仑造山带（北缘）的地壳上地幔结构，建立盆山耦合关系，探讨叠合盆地形成演化的深部动力学背景，结合地质资料进行综合分析，编制地质断面，建立中国西北部（特别是青藏高原北缘）的地球动力学模型。本课题的前期研究是完成以下三条剖面：

1. 库尔勒-托克逊-吉木萨尔综合地球物理剖面

剖面长 600km，主要考察塔里木盆地北缘、准噶尔盆地南缘与天山造山带的地壳上地幔结构和盆山耦合关系。研究吐鲁番盆地与博格达山的深部地球动力学过程，结合沙雅~布尔津剖面的研究成果以及国内外的有关资料，综合研究天山造山带的分段特征及其与塔里木盆地、准噶尔盆地不同地段的盆山耦合关系。

2. 大柴旦—若羌—库车综合地球物理剖面

剖面长 1400km，主要考察柴达木盆地的地壳上地幔结构，柴达木盆地与阿尔金造山带的接触关系，阿尔金造山带与塔里木盆地的耦合关系，塔里木盆地沿 40°线附近的南北分块的深部构造特征，满加尔坳陷和库车坳陷的深部结构。

3. 格尔木—大柴旦—花海子综合地球物理剖面

剖面长约 400km，主要确定乌图美仁断裂是否存在及其深部依据，柴达木盆地南北分块的深部依据以及各块体的构造差异特征。

沿上述三条剖面分别进行人工地震宽角反射/折射探测、重磁联合反演，并结合 MT 资料和地质资料综合分析，获得了以下主要的初步认识：

(1) 塔里木盆地与准噶尔盆地向天山造山带对冲。在盆山结合部位分别发现了双层莫霍面以及莫霍面间的低速体。这与沙雅—布尔津剖面所揭示的塔里木盆地向天山造山带单侧、层间插入与俯冲消减形成明显差异，也是东西天山岩石圈尺度构造差异的显著特征之一。

(2) 博格达山的快速隆升主要由准噶尔盆地向天山的俯冲所引起的地壳抬升和作为独立块体局部抬升双重因素引起的，与吐鲁番盆地的形成具有统一的深部构造背景。

(3) 库车坳陷的西侧为塔里木盆地与天山接触带，东侧为俯冲消减转换带，中下地壳在莫霍面下凹的背景上分别发育壳内低速层，构成了塔里木盆地整体结构的特殊部位。

(4) 北纬 40°线南北存在明显的地壳速度差异。

(5) 塔里木盆地向阿尔金造山带俯冲消减。

(6) 柴达木盆地与阿尔金造山带表现为走滑接触，接触带两侧存在速度差异。

(7) 柴达木盆地地壳较厚（约 60km）。在格尔木与达布逊湖之间存在岩石圈尺度的界面以及速度等值线陡变带，推测为深断裂所致，但这一断裂没有断到地表。

(8) 将准噶尔盆地、塔里木盆地和柴达木盆地作一比较便可以发现：A 它们的地壳平均厚度不同，准噶尔盆地为 50km；塔里木盆地为 55km；柴达木盆地为 60km；B 它们的基底速度不同，准噶尔盆地为 6.3km/s，塔里木盆地为 6.0km/s，柴达木盆地为 5.8km/s；C 它们的地壳结构不同，柴达木盆地的中地壳发育 C3 界面；D 它们的岩石圈结构不同，准噶尔盆地和塔里木盆地的基底顶界面与莫霍面呈同步起伏，在南北应力作用下表现为整体变形特征，柴达木盆地的基底与莫霍面呈近似镜像关系，与华北和渤海湾盆地有类似之处。

地震勘探发展与三维矢量波场

姚陈 陈祥国

(国家地震局地质所, 国家地震局地球物理所)

地震法在整个地球物理勘探中扮演主要角色。对于传统的单分量记录, 通过滤波、叠加和偏移得到构造成像 这些已构成整体格架并形成产业能力。在长期发展中 西方国家在理论、方法及技术进步方面起着主导作用, 其商业化的处理软件对我国地震勘探业形成冲击。我国地震科研虽奋力拼搏, 但因缺少在重大理论和概念上实现突破的机会 整体发展上已很难有大作为。跟踪型发展类似国外做作业、我们抄作业 结果必然降低我国在基础理论和重大科学上提出问题和解决问题的能力, 在学术上也降低自我评判能力。国内建立大型研究项目多限于地质目标 对所要求的地球物理支撑重视不够。

从陆地到海底接收, 地震勘探发展的一个突出特点是三分量观测大量增加。我国地震理论界更早地意识到, 相比单分量仅记录到波空间振动的部分投影, 三分量具有的根本优势是其记录到的是三维矢量波场。矢量波场是由各波矢量构成的场。基于反射矢量波场来研究解释反射, 这意味着地震勘探从标量场向矢量波场的转换 无论在理论基础、资料处理、数据解释还是信息提取上都意味着一场革命。

理论上需加强各向异性 and 横向非均匀性介质中三维矢量波场的研究。如多层介质的反射 P 波和转换横波构成三维矢量波场, 横波分量是两个近似正交偏振波矢量相互干涉的结果, 与三维倾斜界面有关的反射波、侧向波等都具有三维空间偏振。对于反射波矢量的时距, 我国提出基于多层各向异性介质能量反射研究, 使得率先走出速度各向异性的理论误区成为可能; 理论上提出反射 PS 波仍具有双曲时距 这为发展纵、横波速度联合反演提供了理论基础; 对于海底反射, 提出基于矢量波场研究解释各类波的性质和特征等。空间偏振是波矢量的第一本质特征, 有必要突出与偏振有关的波的动力学特征研究。理论和概念上的突破将为观测数据的处理解释提供依据 也关系到信息提取途径。

需要从新的视角考虑三分量资料处理技术的发展。具有不同偏振、振幅和到时的波矢量相互干涉和叠加导致反射波场复杂性, 也影响记录的信噪比。因在单分量记录上看不到波的全部振动, 以往只能通过波的频率差异或视速度差异压制非反射波, 通过叠加突出有效反射。我国提出基于波矢量的偏振差异从相干波场中将不同偏振方向的波分离开, 并率先将研究从笛卡尔坐标扩展到仿射坐标。目前波场分离技术仍限于三个波矢量构成的相干波场问题。对于数目更多的波矢量构成的相干波场, 波场分离需建立新的数学格架并解决相应的理论问题。综合和有效利用各波矢量的偏振、频率和视速度差异发展波场分离法涉及到未来地震学资料处理的重大技术创新。

在观测解释方面, 克服反演非唯一性的根本途径是扩大地震记录上的信息利用量。我国用反射率法理论地震图标定层速度的研究表明 地震波走时反演存在多解性和不确定性问题 需要增加波的偏振、振幅和波形等作为反演约束条件, 而与此相关的矢量波场反演比标量场走时反演要复杂的多。

信息提取包括精细构造成像及获取有关岩性和裂隙、孔隙岩体内部细结构更多信息。相比以往, 信息量将成倍增加。综合利用不同性质的反射波矢量, 要求更新信息的提取途径和信息显示方式, 这方面尚有相当大的发展空间。

三分量记录显示出的波场特征目前在国内外引起不少理论上的困惑 涉及到数据处理、反射性质、观测解释和信息提取诸方面。这要求各方面的创新研究, 也给我国地震勘探提供了新的发展机遇。

本研究由中国国家自然科学基金 49874012 资助。

固体破裂的均匀化理论

安镇文 朱传镇

(中国地震局地球物理研究所, 北京, 100081)

固体介质材料 的损伤扩展与破坏是由于内部大量微损伤 裂纹与空洞 的萌生、扩展和传播的级联作用 导致介质 (材料) 宏观力学性能的弱化直至最终的断裂与失稳。它是当前力学界、工程界、国防工程 特别是地震学界十分关注的一个焦点, 也是固体力学的基本问题之一。它与湍流并列 堪称力学中最复杂、最困难的两大难题。特别是地震问题 其背景十分复杂 其物理过程涉及到很强的非线性作用。

由于问题的复杂性 显然 简单的还原论思想难以揭示固体损伤扩展和断裂过程的复杂性和裂纹分形生长过程中表现出来多值、易变和不断分叉的物理本质。在损伤破裂扩展研究中 许多研究仅仅涉及到介质 材料 性质、几何特征及空间分布的研究。我们则致力于地壳系统岩石裂纹扩展的分形动力学和能量输运过程的复杂性研究。我们认为固体损伤、破裂和扩展仅在介质的均匀和各向同性条件下进行 其破裂的大小依赖于时空均匀化的尺度。当固体在某范围达到临界均匀之后 若有扰动发生 只要有足够的动量 那么破裂就开始传播 直到均匀尺度结束为止。因此 破裂过程乃是一个系统的均匀化过程。为讨论这种动态过程 首先假定在地幔对流作用下和板块运动过程中 介质在空间上的不均匀性和各向异性导致了介质在某个空间上有能量的积累和应力集中, 其后效是导致能量高的地区向低能量区流动。我们称此过程为使介质均匀化和各向同性。假定能量的不均匀程度可用梯度 ∇u 表示 扩散流强度 q 与梯度 ∇u 的关系是

$$q = -D \nabla u$$

这里 D 为扩散系数 取为常数。为简单起见 这里仅考虑一维扩散 即扩散仅沿 x 方向进行。在平行六面体中设 $q|_x dydz$ 是流入的能量, $q|_{x+dx} dydz$ 为流出的能量。同时考虑小六面体中有一广义流。于是有:

$$-(q|_{x+dx} - q|_x) dydz + \frac{\partial^{2/3} u}{\partial x^{2/3}} dx dydz = -\frac{\partial q}{\partial x} dx dydz + \frac{\partial^{2/3} u}{\partial x^{2/3}} dx dydz$$

由扩散定律 得到一阶非整数阶演化适定方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial^{2/3} u}{\partial x^{2/3}}$$

$$u(0, t) = 0, \quad t > 0 \quad (\text{边界条件})$$

$$u(L, t) = 0, \quad t > 0$$

$$u(x, 0) = \Phi(x), \quad t > 0 \quad (\text{初始条件})$$

应用非整数阶微积分方程理论 我们求解了上述非整数阶演化方程的解答:

$$\mu(x, t) = \exp\left(-\frac{x}{2D}\right) \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{b_n}{\left[\frac{n^2 \pi^2 D}{L^2} + \frac{1}{4D}\right]} + \left[D_n - \frac{b_n}{\frac{n^2 \pi^2 D}{L^2} + \frac{1}{4D}} \right] \exp\left(-\left[\frac{n^2 \pi^2 D}{L^2} + \frac{1}{4D}\right]t\right) \right\} \sin \frac{n\pi x}{L}$$

其中:

$$b_n = -\frac{2}{L} \int_0^L c_1 x^{-5/3} \sin \frac{n\pi x}{L} dx$$

$$D_n = \frac{2}{L} \int_0^L \exp\left(-\frac{x}{2D}\right) \Phi(x) \sin \frac{n\pi x}{L} dx$$

我们发现由于演化方程中存在着的耗散源 物理模型上这一微小的变化 却导致了非常复杂的结果。方程最后的解要比经典的扩散方程复杂得多。这一方程描述了固体损伤破裂过程的复杂性。它揭示了固体破裂前的成核过程和均匀化过程 系统失稳破裂的尺度依赖于成核区的大小。

目前应用地球物理学本科教育所面临的挑战与对策

孙建国 杜晓娟

(吉林大学地球物理系, 长春, 130026)

本文讨论目前应用地球物理学本科教育所面临的挑战及迎接挑战的对策。在即将进入到 21 世纪的前夜, 国家对高等学校的专业目录进行了大范围的调整, 原属工科的应用地球物理学本科专业被与其它相邻学科合并重组为勘查技术与工程专业, 不再单独存在。而作为研究生专业的应用地球物理学则与应用地球化学等专业合并组成地球探测与信息技术专业。在这种新形势下, 具有工科性质的应用地球物理学教育面临着严峻的挑战。首先 应用地球物理学本科教育所面临的第一个问题 是实验教学时数的大幅度压缩和裁减。以原长春科技大学 现吉林大学 地球物理系为例 应用地球物理的专业课的实验教学时数分配 已从以前的近百学时压缩至 30~40 学时。其次 应用地球物理学本科教育所面临的第二个问题 是专业课教学计划事实上的部分落空。按传统的教学大纲, 应用地球物理专业课的教学主要安排在第六及第七学期。由于准备考研和寻找毕业后的去向, 有相当多的一部分学生利用专业课时间参加各种不同类型的考研补习班, 或是与有关用人单位洽谈。由此造成的后果 是只有部分学生能完成规定的专业课学习内容(这对其它专业也是如此)。最后, 应用地球物理学本科教育所面临的第三个问题, 是学生对学习应用地球物理缺乏兴趣。由于我国目前的体制还不能使每个进入大学的学生都按个人的兴趣和意愿选择专业, 所以有相当的一部分学生是被调整到原应用地球物理 现勘查技术与工程 专业中的。因此 从一迈进大学的校门开始 这部分学生就打算在毕业后通过考研究生或是通过找工作的方式来改换专业。因此, 在学习上, 这部分学生或是集中主要精力学习与计算机有关的各种课程 或是把大部分的时间用来学习其它学科 例如电子光学 应用数学 的专业课和专业基础课。另一方面 由于勘查技术与工程专业涵盖了遥感、应用地球化学等专业方向 而这些方向中的一些学科又在表面上比地球物理更多地或更直接地应用计算机, 所以有相当多的一部分学生在学习及考研究生的选择过程中 选择了非地球物理方向。类似的问题在原长春科技大学即使是按应用地球物理专业培养的 2001 届本科毕业班中也曾经出现过。

出现上述问题的原因有下列三种: 国家和管理部门的政策性变化 例如实验教学时数过少的问题; 市场经济的必然结果, 例如为了考研和找工作而缺课; ③传统的课程体系不适应新专业在设置上的要求; 本科学生对应用地球物理的历史和现状了解得太少。对于前两个原因 学校只有适应和执行 而对后两个原因 人们却可以采取相应的措施加以改善。

因此 目前我们遇到的挑战性问题: 在新的勘查技术与工程专业中 如何建设应用地球物理这一专业方向? 在新专业所限定的学时范围内, 如何开展应用地球物理的教学工作? 如何引起学生对地球物理的兴趣 吸引学生进入地球物理的学术与应用天地?

为解决上述问题, 我们首先应改革现有的课程体系。对于勘查技术与工程专业中的应用地球物理, 应以实用性为主, 兼以介绍最基本的理论基础。其教学的基本内容应是野外的工程设计和室内的资料整理解释方法 而将原理方面的内容后移到硕士生阶段。其次 我们要充分地利用现代的技术手段 编制多媒体教材 以声音和图像相结合的方式提高单位时间内的教学信息量。三是要利用各种方式和手段介绍最前沿的地球物理技术及目前国内外的发展趋势, 使本科学生了解地球物理的未来。最后, 高等学校应与产业界开展密切的合作, 聘请有关企业中的专家和管理人员到学校来介绍产业界的实际情况, 使学生对今后所从事的工作有更全面的了解。

莺琼盆地岩石弹性物性规律的研究

张树林

(中国海洋石油研究中心南海西部研究院, 湛江, 524057)

1. 研究意义

本研究为多波地震资料在气藏和岩性预测方面的应用打下了坚实的基础、提供了可靠的依据。利用的资料和数据有: 岩芯实验室测试数据、全波列数据和井旁地震资料。

2. 含不同流体岩石的弹性模量的变化

理论上, 当岩石含气体以后, 岩石的刚性模量显著降低, 而剪切模量基本不变(有时稍微增加)。从莺琼盆地数口井的岩芯实验室测试数据及计算结果来看, 含气岩石的刚性模量(K_{dry})比含盐水岩石的刚性模量(K_{wet})小得多; 而含气岩石的剪切模量(μ_{dry})与含盐水岩石的剪切模量(μ_{wet})基本一样(含气岩石的剪切模量稍有增加)。含气岩石的刚性模量一般比含盐水岩石的刚性模量小 15Gpa 左右, 而含气岩石的剪切模量只比含盐水岩石的剪切模量大 2Gpa 左右。

3. 纵横波速度比和岩石弹性参数的变化规律

岩石的纵波速度由岩石的刚性模量和剪切模量及密度决定, 而横波速度只由岩石的剪切模量和密度决定。含气以后, 纵波速度肯定会大幅降低, 横波速度基本不变。相应地, 含气岩石的纵横波速度比和泊松比也将大幅降低。

4. 纵横波波阻抗与纵横波速度比和岩石弹性参数的相关性研究

利用全波列测井数据(陵三段气层和上覆盖层), 对纵横波波阻抗与速度比或泊松比的相关性进行详细分析, 得出结论: (a) 砂岩和泥岩的数据点明显分离; (b) 相对于盖层泥岩而言, 气层砂岩的速度比和泊松比明显偏低; (c) 气层砂岩的纵波波阻抗稍低于泥岩的纵波波阻抗, 而砂岩的横波波阻抗则相反。

5. 地震波参数、岩石密度和孔隙度的相关性研究

含盐水和含气岩芯的速度比、泊松比与孔隙度的相关性都很差。

6. 高温高压地层的岩石弹性参数的变化规律

莺歌海盆地泥底辟中深层属高温高压地层。从实验室岩芯测试结果, 得出几个结论:

(1) 在围压 6.6~65.4Mpa、温度 25~170 的范围内, 莺歌海盆地完全饱含气砂岩、粉砂岩的静泊松比在 0.002~0.246 之间变化;

(2) 在围压 14.4~87.7Mpa、孔压 6.7~70Mpa、温度 25~170 的范围内, 完全饱和水的砂岩、粉砂岩的静泊松比在 0.198~0.360 之间变化;

(3) 在温度不变时, 饱含气岩样的静泊松比随围压的增大而增加;

(4) 在围压不变时, 饱含气岩样的静泊松比对温度的变化不敏感;

(5) 在温度和孔隙压力不变时, 饱含水岩样的静泊松比随围压的增加而降低;

(6) 在围压和孔隙压力不变时, 饱含水岩样的静泊松比对温度的变化不敏感;

(7) 在温度和围压不变时, 饱含水岩样的静泊松比随孔压的增加而增大;

(8) 对于不同孔隙的砂岩, 当有效压力从 200psi 增加到 2500psi 时, 纵横波速度比是增加的; 当有效压力大于 2500psi 时, 速度比基本不变。

7. 纵横波速度比和泊松比随深度的变化规律

浅层岩石(无论含气与否)的速度比和动泊松比均随深度的增加而快速降低。

从莺歌海盆地中深层(深度大于 2500 米)岩样的实验室测试结果发现: 岩样的速度比和泊松比几乎不随深度而变化。笔者利用地震资料计算了不同测线、多个物理点的中深层的速度比和动泊松比, 也得出与实验室相同的结论。