

自然科学学科发展战略研究报告之十一：地球物理学

Strategic Research on Natural Science Disciplines: Geophysics

国家自然科学基金委员会

地球物理学的理论和技术在世界经济活动中具有举足轻重的地位。20 世纪后半期以来,一次性能源、金属及非金属矿产的勘探开发,对矿体的认定、资源评价及开发设计,都需要地球物理学提供的论据作为支撑。在重大工程建设方面,如长江三峡水库及黄河小浪底水库的坝址选择、坝基岩体评价,以及已建成的水利设施堤坝中隐患的勘测、治理,都离不开地球物理学提供的服务。此外,地球物理学还为陆地和 underwater 隧道的挖掘以及地下国防工程建设提供技术保障,在核爆炸监测、考古勘测等方面提供技术手段。近年来,地球物理学方法和技术又在环境污染的监测方面显示了能力。

地震预测是现代科学中最困难而又最为迫切需要解决的问题之一。虽然本世纪内地震预测问题不可能彻底解决,但由于地球物理学的发展,使只有几十年历史的地震预测研究已向实用化迈进。地球物理学还对城市、居民点、重大工程建设场地附近的岩体滑坡、泥石流进行了有效的预测和预警。

从地球科学的发展来看,只有地球物理学能为研究地球内部的结构提供直接的、量化的,并有足够规模和精度的信息。没有地球物理学的发展与进步,地球科学发展成为现代的、精细的科学是难以想像的。

作为学科的特点,地球物理学立足于全球性、统一性的整体研究;在方法手段上,立足于大规模、高精度的观测和多学科的综合性研究;而其研究成果,则在资源勘探、生态环境保护、地质灾害防治上得到广泛应用。地球物理学的发展,体现了物理学、数学、信息科学等学科向地球科学的渗透,而地球物理学的发展又促进了物理学、应用数学、计算数学、信息科学、电子学及其它应用科学的发展。

现状及发展趋势

地球物理学是研究地球的结构、演化过程及动力学模型的一门学科。随着人类社会生产的发展,

人类对地球的认识逐渐从近地表逐渐进入深层,由定性的判定到定量的认识。但迄今为止,提供维持人类生命及社会生产物质来源的地球外壳的岩石层以及与之相邻的上地幔、软流层、岩石层仍是当今地球科学的最重要研究内容和基础研究领域。

我国目前已建立了一支约有 3 万人的地球物理专业研究队伍,地球物理学的各分支学科已基本配套,野外观测设备及实验室装备水平居发展中国家的前列,其中地震台站的数量、地震勘探设备的水平、从业人员的数量都接近世界先进国家。

我国幅员广阔、地质—地球物理条件复杂的疆域本身就是极好的地球物理实验场所。几十年来,我国开展了一系列有关岩石层的研究工作,在全国建立了数字地震台网,成功地预测了一些大地震,并在地震研究中开拓了一些新的领域;应用各种地球物理勘探手段,查明了 136 种主要矿产资源的储量,配合地质勘探部门,发现了大庆油田等一些特大型油气田及矿产地。在动力大地测量,国防、天文、地球形态测量,以及大地水准面和板块运移研究中,地球物理学均作出了成绩。

在可预见的 5~10 年内,地球物理学的发展趋势如下:

1. 地球物理学理论和技术的发展将更有效地为资源勘探、开发及工程建设服务

应用地球物理学几十年来巨大的发展来源于经济发展的需求。70 年代的“能源危机”在世界规模上导致对石油、天然气勘探的大量投资,形成了强大的地球物理勘探(尤其是地震勘探)的队伍和技术储备。目前石油、天然气、地震勘探从信息采集到处理解释已全部数字化,采集的信息量增加迅速。在信号处理、成像理论及实践方面都有新的发展,致使地震勘探的反演(即根据观测结果推断地质体形态及性质)问题研究有长足进步。

为适应石油勘探开发的要求,油储地球物理学已成为应用地球物理学的一个新的分支学科。其实质是在提高地震勘探分辨率的基础上,综合地球物

理测井等手段,采用多种反演方法,研究大尺度的油气圈闭及小尺度的油气储集层;描述储集层的形态并估算储集层参数(孔隙度、含油气饱和度、渗透率)。从而进一步发展高分辨率的三维及四维地震勘探技术、多波多分量地震勘探技术、跨井或环井的层析成像技术及综合地球物理测井技术。本世纪的最后10年,一个完整的油储地球物理学理论体系将逐渐建立,观测设备、方法技术将逐渐配套并实用化、商业化。

在固体矿产勘测方面,由于70年代以来,在前苏联、南美、澳洲发现了多个超大型矿床,这些矿产的开发使矿产品价格下跌。直到80年代后期,对固体矿产勘探的投资才陆续回升。同期对黄金、金刚石等贵重矿产资源勘探的投资则始终有增无减,对贵重金属矿产勘探的理论和技术的比较受到重视。因此对固体矿产资源的地球物理勘探,一方面要提高地球物理勘探方法的水平,以增加后备资源储量,并作出综合评价;另一方面,对贵重矿产的勘探将形成重点。

应用地球物理学的另一发展方向是浅层地球物理勘探。包括地下水勘测、浅层天然气勘查,以及水利、电力、工程建设、环境监测、文物勘测等。

2. 地震学及地震预测将在“国际减灾十年”活动中得到巨大推动

地球的表层由一些巨大的板块组成,板块之间的相对运动使得在板块边缘和内部发生应力或能量积聚,应力或能量快速释放,就导致地震。因此,研究地球内部应力的分布及其变化,对了解孕震物理机制及发震过程具有重要意义。60年代初建成的世界标准地震台网(WWSSN)通过在全球范围内对地震的定位,对板块构造学说的创立和发展起了重要作用。70年代世界数字记录地震台网投入运行以来,已为分析地下应力状态提供了丰富的信息。地震学研究的最终目的是对未来地震发生的时间、地点、强度进行预测。按预测的时间尺度可分为长期(几年至几十年)、中期(几个月至几年)、短期或临震预测(几天至几个月)。

长期预测 近20年来的研究表明,在板块交界处的俯冲带是地震的多发区之一。前苏联1965年对勘察加半岛附近近50年内的强震活动作出过预测,结果是1965~1983年发生的5次7级以上大地震都在预测的危险区内。预测成功的原因是地震学家认识到地震均发生在板块交界的俯冲带内。但在板块内部,由于板块构造复杂,孕震及发震的机制与板块构造的关系是个难度很大,至今尚未解决的问题。它已成为长期预测中的难点。

中期预测 近年来,通过统计分析已发生过的地震在空间及时间上的分布特征,进行了地震的中期预测。国际上对中期预测的思路都是以统计分析

为依据。方法是统计性的、经验性的,缺乏物理基础方面的支持,而且实际预测时会出现滞后效应。地震活跃期间,预测值偏低;地震发生后,对未来地震发生的预测值又偏高。中期预测的可置信程度取决于目前测震手段能提供多少更为准确的、具有整体性的信息。因此建立更多的、观测精度更高的地震台网,发展能提供更多、更准确信息的测震手段,是中期预测研究的关键。

短期预测 大地震出现前,在震区内会出现大量异常现象,小地震次数急剧增加,断层变形量加大、地下气体逸出,地磁变化异常及动物的大量反常行为等。根据这些与孕震过程直接有关的现象,可作出某个地区发生地震的短期预测。如1975年我国对辽东半岛海城地震的预测已成为国际公认的短期预测成功的实例。从短期预测来说,震前的异常现象(前兆)应有重复性,即一次地震的前兆可能在另一次地震前出现,一个地区的地震前兆也可能在另一个地区的地震前重现。但实际上许多地震前兆现象重复性并不好。类似的例子在其它各国也都曾遇到。如1978年日本伊豆半岛近海发生7级地震前,有许多前兆现象;但1980年同一地区发生6.7级地震前,却未观测到类似的前兆;1987年12月日本房总半岛近海发生6.6级地震,在震中西侧是日本地震台网最密集的区域,但未观测到任何震前异常。因此什么是地震前兆,仍是当今短期预测中急待解决的问题。

3. 对我国大陆岩石层及其深部构造的物理和动力学过程进行深入研究

我国的岩石层物理与动力学的研究已有30多年的历史,并在华北、东北、华东不同的大地构造带上,在康滇裂谷区、青藏高原等特定地质区域、西北各沉积盆地,以及东南海域,进行了卓有成效的研究。这些研究的最终目的是对我国大陆的岩石层及其深部构造,大陆内部各构造单元的地球物理场特征,以及对基岩的拆离、滑脱及薄壳构造等作出预测性的模型。如今岩石层的物理与动力学研究已渗透到地球科学的各个领域,如地震学及地震预测、动力大地测量学、应用地球物理学、实验地球物理学,以及地质学、地球化学等,不仅众多问题的解决要涉及地球内部地壳及深部过程的动力学机制,而且很多学科的发展均是以岩石层物理与动力学作为基础研究领域。地球物理学中一系列国际合作研究计划,如数字地震台网的建立、大陆岩石层计划、国际上地幔计划等,都是从全球规模推动对岩石层物理与动力学的研究。今后,由于深部地震观测手段的进步,有可能分辨岩石层及上地幔范围内各层地质体的弹性及非弹性界面,建立岩石层内各岩层弹性波的速度剖面及其它参数(如电阻率、磁异常等)剖面,研究不同岩层在各种物理性质上呈现的

非均质性及各向异性,并对地壳中板块运动的规律,对大地构造、成矿作用的机理进行研究。

4. 立足于全球的整体性,进行实验地球物理研究

实验地球物理研究是地球物理学理论和方法研究的基础,它的特点是以地球整体作为实验观测场所。实验地球物理研究大致可分为采样实验及野外现场实验。其实验内容大致为:地球介质基本物理参数的测定,地质体及地质构造变形的基本过程和规律的研究,地球介质变形和物理场演变的模拟实验。由于地质体的变形及地质构造的演化是时间长达万年乃至亿年的过程,因此如何进行模拟实验本身就是一个值得研究的课题。近年来开展的在地层温度、压力条件下岩石的弹性参数和油、气、水储集层参数变化规律的研究,将对应用地球物理学的发展产生巨大推动作用。对地质构造变形基本过程和规律的研究,主要在岩石的破裂、摩擦、流变和力学失稳等四个方面展开。对这些问题的研究将有力地支持地球动力学和大地构造学的研究和发展。

5. 动力大地测量将逐步用空间定位技术取代传统的地面大地测量技术

动力大地测量及空间定位测量既可为火箭发射和人造卫星定位、天文、地壳形变观测等要求精确定位的行业提供服务,也能为大地水准面和板块运动的研究提供信息。大地测量为空间技术或航天技术提供精密地球模型,空间技术又为大地测量提供高精度观测手段,使大地测量学成为地球科学多种分支学科的交汇边缘学科,成为地球物理学中的重要分支之一。现代大地测量的基本任务是:

(1)建立和维持高精度的、全球性的惯性坐标系及地球参考坐标系,并在其中建立和维持全球性及地区性的三维大地控制网。监测这些网随时间的变化,可以提供高精度的地球坐标框架及地面点的基准坐标。

(2)测定、模拟和解释地球自转和极移、地球潮汐、地壳运动和海平面变化等动态现象。

(3)测定随时间变化的地球外部重力场。目前由于航天技术的发展,以空间大地测量技术、方法、理论的发展为纽带,带动了大地测量学各分支学科的发展,并形成了两个发展趋向:一是大地测量的理论、方法和技术逐步由传统的地面观测转向空间大地测量、动力(动态)大地测量,这种观测具有极高的观测精度,卫星定位精度可达厘米级;一是对地球重力场的研究日趋精密化。

战略目标和优先领域

当前地球物理学研究的任务是:资源勘查、生态环境保护、地质灾害预防和认识地球。其中认

识地球是地球物理学的基本任务,而前三者则是地球物理学的主要应用领域。

针对我国地理坐标特殊、地质—地球物理条件复杂、资源分布不均衡、综合国力有限、地质灾害频繁的现实,在5~10年内,我国地球物理学学科发展战略的总目标是:开拓应用地球物理学的理论和方法,以促进能源和资源勘探开发技术的更新换代;发展震源物理、地震预测的理论和方法,为减轻地震等自然灾害提供技术准备;开展环境地球物理研究,为环境污染治理及保护生态环境作出贡献;加强岩石层综合地球物理调查和实验地球物理研究,以建立中国大陆岩石层结构和演化的定量模型。优先研究领域可以概括为以下六个方面:

1. 应用地球物理

(1)理论和方法研究包括:沉积盆地演化的定量模拟解释以及地层型及岩性型油气圈闭的直接识别,油气藏及油气储集层的地震勘探描述和开发过程中的动态监测,小尺度地质异常体和地层精细结构的成像理论和方法。

(2)改进地球物理勘探方法和技术的研究包括:

——改进野外地球物理勘探装备技术水平,如地震勘探中多波多分量信号采集方法和设备的研究,重力、磁力、电法、放射性勘探法及地球物理测井技术装备更新换代的研究。

——地震、重力、磁力、放射性勘探及地球物理测井反演方法的研究,其中多种测量资料的联合反演尤其应受到关注。

——岩石、矿物各种物理性质的实验测定研究,使之为找矿及对矿体的综合评价服务。

应用地球物理应予优先资助的前沿性课题应是:二维、三维复杂地球介质中地震波传播理论与检测问题,勘探地球物理中的正、反演问题以及地震勘探(包括多波多分量地震勘探、垂直地震剖面法勘探、井间地震勘探)与综合地球物理测井资料的联合反演问题。

2. 地震学和地震预测

(1)震源物理研究主要是以地震记录为依据,用层析成像方法对震源的时间、空间特性进行反演,研究的重点是非均匀震源面的描述及强震发生时区域应力场的变化。

(2)地震预测研究主要是对未来发生地震的地点、时间和强度作出预测,长期预测的研究重点是发震地点和地震震级(强度),短期预测的研究重点是地震发生时间。

在地震学及地震预测领域内,应优先资助以下课题的研究:震源的精确定位及震级的量化研究,地震的震源特性及复杂震源层析成像,岩石层应力场及其成因以及大地震前后应力场的变化,板

块内地震孕震构造环境、孕震过程的研究,用空间技术对板块内现代应力场进行测量以及根据动力学变形预测未来地震的地点与强度(长期预测),地震前兆现象的研究及地震短期预测。

3. 岩石层物理与动力学

这一领域的研究以建立我国大陆岩石层结构和演化的定量模型为目标,其主要研究内容及优先资助的课题是:岩石层介质物理和力学性质的研究以及岩石层精细结构的探测与实验方法的研究;造山带与活化地区地球物理场的特征与岩石层结构的研究;地壳与上地幔的结构、深部断裂的产状与特性研究;以及岩石层的热结构及演化过程的研究。

4. 实验地球物理学

实验地球物理学领域应予重点资助的研究课题为:高温高压条件下岩石物理及力学性质的研究,高温高压条件下岩石流变性质及机制的研究,地球深部运动过程与浅层局部构造关系的研究,以及岩石的脆性—延展性转变和失稳转变过程的研究。

5. 动力大地测量学

现代大地测量的发展方向是应用空间大地测量技术推动大地测量学向地球科学的纵深发展,研究的重点是提高测量精度和水平。为此应资助以下一些前沿性的研究项目。

(1)空间大地测量:提高定位精度,并开拓高效定位技术在国民经济、科学技术和社会生活中的应用;

(2)地球重力场的研究;

(3)动力大地测量:四维时空大地测量,板块运动与驱动机制,地球内部构造形态,大地水准面和海平面变化以及全球引力场的变化等的研究;

(4)大气折光问题及其对大地测量的影响与消除、校正方法的研究,以及新型抗折光仪器的研制。

6. 综合地球物理研究及环境地球物理研究

前沿课题及优先资助的项目应包括:

(1)岩石层与流体的含水体系相互作用的研究;

(2)大陆深钻井及岩石层深部构造的研究;

(3)板块内部深部构造及板块边界地球物理场效应与深部过程关系的研究;

(4)造山带、盆地的综合地球物理场研究与含油气资源、矿场资源的综合评价;

(5)根据新资料编制地球物理—大地构造图;

(6)环境污染的航空地球物理监测及水体、大气污染的地球物理监测方法研究。

(责任编辑 刘先曙)

(本文为自然科学学科发展战略研究报告的摘要,全文将由科学出版社出版)

科技动态

美国海军正在试验第一个有高温超导体的声纳

据英国《新科学家》杂志1993年8月28日报道,美国马塞诸塞州斯特伯勒的超导体公司和康涅狄格州美国海军水下作战中心已完成了一个装有铋锶铜氧化物高温超导体的实验性声纳系统。这种高温超导体的临界超导温度为73K(—200℃)。

美国的这个实验性声纳系统,是一种把电能转变成声音的声发射器,用于探测浅海。该声发射器的成本为80万美元,它有一个用超导体制成的线圈,线圈在通过交流电时产生磁场。在线圈内有一个铋锶芯棒,这种稀土元素制成的芯棒是一种磁致伸缩材料,其长度随磁场的变化而变化。铋锶芯棒和浸在海水中的柱塞相连,芯棒伸长时带动柱塞运动产生声波。美国海军已成功地在30米深的试验湖中对这种声纳系统进行了试验。

超导体在50~70K的温度下冷冻,因为这是铋锶芯棒的最佳工作温度。高温超导线圈和铋锶芯棒配合可产生低频和高功率的声波。利用这种声波可以在静寂的海底进行探测。之所以要利用高温超导体来制造产生声波的线圈,是因为用普通的铜导体制造的线圈会因电流通过发生过热,损耗能量;而

若用仅在10K左右才具有超导性的低温超导体制造线圈,则冷却费用又太昂贵。

美国将高温超导体和控制它们的普通室温下的电子仪器结合在一起,这还是第一次。美国海军在声纳系统中应用高温超导体的实验引起了英国超导专家的关注。1993年6月9日,英国第一流的超导研究人员从美国实地调查参观回国后,立即向英国贸易工业部提出建议,要求依靠英国自己的专家进行一项为期3年,投资600万英镑的科研项目,研制高温超导体声纳系统,他们告诫政府说,如果不对高温超导研究进行资助,英国在超导体方面的萌芽工业在2年内就可能会消失。

英国超导专家之所以如此重视美国海军的实验性声纳系统,是因为高温超导体的世界市场预计在10年后大约可达100亿美元,到2020年可达2000亿美元。因此,一些国家正在大量投入资金。1992年,美国政府在这一领域花费了4亿美元;日本政府花费了1.4亿美元;英国科学和工程研究委员会在1993~1994年将投入380万英镑。

(刘先曙 编译)