

一次能够真正开展全球性对比和讨论。

尽管板块构造理论目前仍得到广泛承认,但板块学说只能解释固体地球表层的运动学和动力学问题,板块构造仅仅代表了行星演化的一个特定阶段,在地球的层圈系统中,它是既受影响又参与作用过程的组成单元,对于地球的形成和演化以及长期变化、地球磁场的生成和逆转、与地热和物质大循环等有关的地核和地核—地幔边界、生物圈的环境变化等,板块构造理论几乎从未涉及。正因为板块构造学说的局限性,美国国家科学基金会(NSF)地球科学顾问委员会于1988年11月提出了“行星地球统一理论(UTOPE)”的战略计划,旨在从行星演化的更高角度进行探索和研究,寻求建立一种更全面、更综合的行星地球的统一理论,以充分了解地球和其它行星从太阳系中诞生到它们目前状态的演化,使对地球演化的理解能够建立在对地球的物理、化学和生物学的详细、定量预测模型的基础上。国际上已将建立超越板块构造理论的新的全球地球观作为当前和今后地球科学发展的目标。

现在,地球科学比以往任何时候都更加要求从全球观点进行研究,其原因是:第一,作为研究支柱的技术方面的巨大进步,使对地球科学各领域的全球性观测正在成为现实;第二,对过去分别孤立对待的各种地球现象之间相互作用的重要性的深入认识,促使逐步产生了地球科学各领域的跨学科综合研究;第三,从比较行星科学的角度看,地球是一个悬浮在行星空间,并不断受到外界干扰的开放系统,地球科学的研究对象无论在空间上还是时间上都在大大扩展。

在过去的二三十年中,随着科学新概念的不断发展和空间探测技术、数据收集和处理技术的迅速发展,人们对地球的研究范围已扩大到从隧道扫描显微镜和离子探针的原子尺度到依据全球地震台网和轨道卫星所提供的数据得出的影像的全球尺度,地球科学家正在构造地球的综合图像;从卫星的空间探测,到全球地震台网和全球陆地观测系统等地面观测网络,以至到对大陆、大洋的超深钻探,已经构成了对地球的全球立体观测探测网络。从80年代陆续推出和开始实施的一系列大型国际地球科学合作研究计划,如国际岩石圈计划(ILP)、深海钻探计划(DSDP)/大洋钻探计划(ODP)、世界气候计划(WCP)、国际地圈生物圈计划(IGBP)等,已形成了对地球的全球立体研究网络。

二、地球科学的系统观

把地球作为一个由相互作用着的各个组成部分或子系统组成的连续的、统一的有机整体——地球系统,并运用一般系统论的原理研究地球系统的

整体行为,这只是近十余年的事。1983年,美国国家航空和航天局(NASA)顾问委员会任命了一个地球系统科学委员会(Earth System Sciences Committee),该委员会于1988年出版的《地球系统科学》一书中首次提出了“地球系统科学”的观点,认为全球变化是地球各个组成部分——地核、地幔、岩石圈、水圈、大气圈、生物圈(包括人类社会)——之间相互作用与反馈的结果,对这些相互作用和反馈过程的科学认识需要将地球作为一个统一的动力学系统来研究。我国科学家钱学森于1983年提出建立“地球表层学”以研究地球表层这个“复杂的开放巨系统”。1983、1986、1989年我国连续召开“天地生相互关系学术讨论会”,提出:要解决当前世界面临的能源、资源、粮食、人口、环境等属于天地生领域的“自然社会综合症”,就应将天文、地球、生物三者作为一个相互联系、相互作用的整个系统,进行多层次、多序列、多学科的综合研究。可以说,国际上的地球系统科学和国内的天地生综合研究的系统观,大体上是同时起步的,它们的目标和方向一致,只是特色和侧重点有所不同。

地球系统科学是应人类面临的根本生存环境危机(全球变化)的严重挑战而兴起的。人类对地球的开发、利用与探索研究由来已久,并形成了一系列专门针对地球某一组成部分,并带有各具特色的研究方法及其知识体系的专门学科。仅仅在十余年前,科学家们才普遍认识到必须,而且也有可能如实地把地球看成是一个由相互作用着的各个部分组成的统一系统(即地球系统)来研究,而不是彼此孤立的各部分的集合体,只有这样才能真正深化对地球的认识,也才能回答人类所面临的一系列地球系统行为的紧迫环境问题。因此,地球科学的“系统观”标志着地球科学从传统地学观念向地球系统科学的转变。当然,地球系统科学并不能代表传统地学各学科自身的发展,相反要求它们能更深入精确地研究和提供地球系统各组成部分自身的规律性知识。

从系统的观点研究地球,地球系统科学不刻意追求对某个部分的细节了解,而是要对地球这个系统用大量的状态变量予以刻画,通过对各组成部分自身过程和相互作用关系以及外部作用对地球系统行为的影响的认识,描述状态变量的动态变化,从而达到预测地球这个动力系统行为的最终目的。

三、地球科学的信息观

地球科学与其他许多领域一样,正在经历着数据处理和计算的革命。一方面,地球科学可以获得大量信息,虽然由于计算机的发展,数据的获取、存储、传播和应用已经发生了变化,但数据量的增大

已经使传统的数据管理方法难以作科学处理,从而限制了大量数据在解决一些重要问题中的潜在应用。另一方面,要“更深刻地认识地球”并应用获得的知识以解决人类面临的严峻问题,最基本的保证,一是不断提高数据准确性和可靠性,获取足够的数量,不断补充和更新数据,并能获取连续观测的动态数据;二是使得到的各个学科的数据得以充分和有效地利用,实现数据的社会共享,能为整体性综合研究提供快捷、方便的系统数据服务。

鉴于这种情况,地球科学的信息技术有了很大发展。一方面,十分注重建立和改善地面、空中、海上的立体数据信息观测系统网络,提高分辨率和准确率,以实现现代化数据信息的观测—接收—传输—处理自动化;另一方面,大力发展计算机化数据信息系统网络,这种网络不仅可以提供已有的数据和处理数据,还可为决策服务,提供咨询,并成为进行科研选题与立项、成果评审等的有效工具。

随着地球科学信息观的确立和发展,地球科学各种信息系统的建设成了地球科学发展不可或缺的内容。美国 NASA 地球系统科学委员会在《地球系统科学》中指出,地球观测系统(EOS)将成为全球变化研究和过程研究的主要空间设备(地球系统科学的观测系统),在 90 年代中期及以后随着 EOS 的使用,地球系统科学的数据将成倍增长,而认识地球系统和全球变化战略的重要组成部分是要在最广泛的意义上致力于数据和信息的管理。因此,报告提出必须建立地球系统科学的信息系统,并给出了发展该系统的主要准则。报告并指出:“设想的信息系统很显然是一项艰巨的任务,但舍此就没有地球系统科学,地球系统科学的信息系统必须设计得适合地球本身的多变性和复杂性,因为它是在地球成为不可逆转或埋下大灾难之前探测和研究全球变化的唯一希望。”

地球科学的信息系统建设中值得一提的是地理信息系统(GIS)。GIS 是在计算机软硬件设备支持下,对有关空间数据按地理坐标或空间位置进行预处理、存储、分析评价、显示、更新和辅助决策的高新技术。它不仅是一个建立在地球坐标系统内的空间数据库,而且是一个能对地理环境进行系统分析、模拟试验的专家系统。国际上 GIS 的发展始于 60 年代,主要服务于资源和环境领域,在区域管理、规划和科学决策中应用广泛。在我国,GIS 被称为资源与环境信息系统(REIS),它的研究起步于 80 年代。由于它对资源开发与环境保护的管理规划和决策具有很大的社会效益,也是实现决策科学化与民主化,实现区域规划计算机化和模式化的重要技术保证,所以受到了国家的重视,一些系统已经建成并已投入使用。目前,GIS 正朝着具有统一标准的多层次和分布式系统的方向,以及与遥感技术紧密

结合并直接接口,实现具专家系统水平的智能分析与决策等方面深入发展。

当前对全球变化的研究十分重视数据与信息系统的建设,国际地圈生物圈计划(IGBP)的两个支撑计划——数据与信息系统(DIS)及全球变化的分析研究和培训系统(START),即是明证。全球环境变化研究中的人类因素计划(HDP)也将建立自己的数据信息系统(HDP/DIS)。这些数据信息系统的建立与使用,将为揭示全球变化的形成机理,洞察重要地球系统过程的本质和预测未来的全球变化趋势发挥不可估量的作用。

四、地球科学的人地协调观 与可持续发展思想

当 20 世纪接近尾声、面对人类 21 世纪的发展的时候,人们的注意力广泛地集中于环境问题及地球的可居住性。由于地球人口数量正在以指数增长,而人类掠夺式的开采和利用自然资源,已使地球的生命支持能力处于严重的压力下,引起了危及人类自身生存的严重环境问题。

也只是在近十余年来,人类才日益认识到“只有一个地球”,为了人类自身的生存和发展,必须协调人与自然的关系,合理地开发利用自然资源,维护和改善人类的生存环境,使人类与自然协调发展。这已成为地球科学的首要战略任务。这种“人地协调观”已经成为地球科学的重要学术思想之一。

可持续发展思想是人地协调观的集中体现。可持续发展思想虽然不仅属于地球科学的范畴,但与地球科学关系密切。可持续发展思想是世界环境与发展委员会(WCED)于 1987 年发表的报告《我们共同的未来》(Our Common Future)的中心思想。该报告提出可持续发展是“既满足当代人的需要,又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。虽然可持续发展的理论酝酿已久,但它的正式提出还是在世界范围内引起了广泛的争论和很大的反响。《我们共同的未来》在 1987 年第 42 届联合国大会上获得通过。该报告将环境保护与全球经济增长和发展这两个似乎不相干的问题统一了起来,详尽地阐述了世界经济和全球生态的现状与未来,指出了人类在解决人口、资源、环境与经济发展关系方面应采取的正确方法。

在环境与发展问题迫在眉睫的情况下,在可持续发展思想的指导下,联合国开始制定可持续发展的战略措施,于 1992 年 6 月在巴西召开的联合国环境与发展大会上通过了《21 世纪议程》等历史性文件。《21 世纪议程》制定的前提是我们已经认识到:第一,人类面临的环境问题是全球性的,可持续发展绝非简单的选择,而是在大自然对我们严厉惩

罚之下我们不得不采取的策略；第二，可持续发展是完全可行的，使人类文明与大自然协调一致、平衡发展是一项异常艰巨的任务，但我们别无选择。《21 世纪议程》旨在强调持续高效地利用自然资源，有效地治理环境污染，重视废物利用，以达到全人类生活水平的普遍提高。《21 世纪议程》的最终目标就是扭转全球环境恶化的局面，促使世界各国合理地利用资源和环境从而达到可持续发展的目的。联合国环境与发展大会等一系列的国际会议的召开及通过的《21 世纪议程》、《气候变化框架公约》、《生物多样性公约》等二十多个有关环境的公约、文件等，反映了在关于环境与发展领域进行全球合作的共识和最高级别的政治承诺，是当今人类社会向可持续发展目标努力的新起点。

人地协调观的形成与可持续发展思想的正式提出，虽然时间不长，而且要实现人地协调与可持续发展还有很长的路要走，但人地协调观和可持续发展思想对人类生存和发展的作用是不可估量的。

五. 地球科学技术体系的形成与发展

地球科学中的许多进展是设备改进带来的。19 世纪 90 年代以后，每一个十年中，仪器的重大改进（从早期地震仪和 X 射线及放射性的发现开始）都对地球科学产生了极大的影响。地球科学的发展对科学技术进步的依靠程度从来没有现在这样迫切。一方面，地球科学目前比 50 年代以前依赖更多的实验科学家，新的先进的设备带来了种类繁多而且比以往更为精确的数据，许多问题也以更快的速度提出并得以解决。另一方面，必要的设备更加昂贵，并且在短时期内就会变得过时。地球科学的前沿研究已经与高新技术融为一体，这是当前和今后地球科学最基本的特点之一。

我国国家自然科学基金委员会（1991 年）发表的《自然科学学科发展战略研究报告：地质科学》中指出，在地质科学领域已逐渐形成了相互配套和补充的四大地质科学技术体系，即观测与探测技术、测试与分析技术、模拟与实验技术、地质信息的计算与处理技术。事实上，随着高新技术的发展及其在大地球科学中的应用，大地球科学的技术体系也已逐渐形成。已经形成和发展的技术体系包括：

1. 观测与探测技术体系

该技术体系正向大范围、高精度、高分辨率，以及实时动态跟踪观测的方向发展。这些技术包括：空间高精度测距技术——甚长基线干涉测量（VLBI）、卫星激光测距（SLR）和全球定位系统（GPS）等；地球深部探测技术——大陆超深钻探技术、地震层析成像技术、大陆地震反射（COCORP）技术、全球数字地震台网技术等；海洋探测技术

——海洋钻探技术、深潜技术、海洋卫星遥感技术等；大气遥感技术——地基遥感技术（天气雷达、地面微波温湿廓线仪、高频多普勒测风雷达、激光雷达及声雷达）、空基遥感技术（美国第三代低轨业务卫星 NOAA 系列、日本静止气象卫星 GMS、欧洲空间局静止气象卫星 METEOSAT、美国第二代高轨地球静止业务环境卫星 GOES 系列）等。目前，利用这些技术已经建成或正在建设一系列观测和探测地球各种过程的四维时空网络，如地球观测系统（EOS）、全球陆地观测系统（GTOS）、全球气候观测系统（GCOS）、全球海洋观测系统（GOOS）、全球环境监测系统（GEMS）和平流层变化探测网络（NDSC）等。

2. 模拟与实验技术体系

该技术体系正向超高温、超高压、全面考虑和参数化实际地球物理过程、高空间分辨率和水平分辨率等客观、定量和自动化的方向发展，如高温高压大腔体实验技术，数值模拟和数值天气预报技术等。

3. 测试与分析技术体系

该技术体系正向计算机控制的高灵敏度、高分辨率、自动化仪器分析发展，如加速器质谱技术（AMS）、同步加速器辐射技术及一系列电子微束分析技术（如离子探针、扫描电镜、质子探针等）、地球化学示踪技术、各种特殊性能质谱仪（如共振电离质谱仪）等。

4. 计算与处理技术体系

信息计算与处理技术的迅猛发展已使地球科学信息的收集和处理经历着自动化、数字化的革命。其显著特征是地球科学的数据信息系统、专家系统（如地理信息系统）的建设已成为地球科学发展的主要内容之一，并成为解决一系列地球科学问题的希望。

随着全球环境问题的日益严峻和协调人与自然关系的迫切需要，地球科学将在解决人类面临的全球环境问题中发挥独特的作用，因而协调人与自然的科学技术也将成为地球科学技术体系发展的新内容。其中包括：应用地球科学知识保证可持续发展的科学技术，如环境管理与评价技术、资源调查以及资源变化监测技术、促进自然资源利用的科学技术等；保护和改善地球环境的科学技术，如全球变暖的对策技术、沙漠化的对策技术、热带森林减少的对策技术、酸雨的对策技术、臭氧层破坏的对策技术、海洋污染的对策技术、环境协调型技术等。

地球科学技术体系的形成和发展，已经极大地推动了地球科学的发展，使地球科学进入了对地球进行整体研究的新阶段。（责任编辑 冷远猷）