

地学的探索

第六卷

地球信息科学

陈述彭 著



科学出版社
www.sciencep.com

地 学 的 探 索

第 六 卷

地 球 信 息 科 学

陈 述 彭 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本卷收入有关地球信息科学的文章共 57 篇。内容主要包括:①地球信息科学:论述地球系统科学与地球信息科学的有关理论问题,阐述新经济时代的地球信息科学及其应用,以及地理信息系统的发展及其产业化浪潮;②数字地球战略:讨论数字地球战略产生的背景及其制高点,数字地球带来的挑战,以及探讨数字地球的理论与技术问题;③卫星遥感应用:论述航天遥感应用的若干新理念、遥感地学分析的时空维,以及地理时空等级理论研究;④地学信息图谱方法与知识创新:阐述地学信息图谱的概念、方法与地理环境虚拟现实,以及网格计算、技术集成、知识创新等有关的问题。

本书可供从事航天、地理、气象、海洋、测绘、环境、生态、城市与区域规划,以及空间、信息技术、地球系统科学的科研工作者和有关高等学校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

地球信息科学/陈述彭著. —北京:科学出版社, 2003

(地学的探索; 6)

ISBN 7-03-011268-7

I. 地… II. 陈… III. 地球科学—信息管理 IV. P208

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 018897 号

责任编辑:彭胜潮 姚岁寒/责任校对:柏连海

责任印制:刘秀平/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003 年 7 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2003 年 7 月第一次印刷 印张: 20 1/4 插页: 3

印数: 1—3 000 字数: 480 000

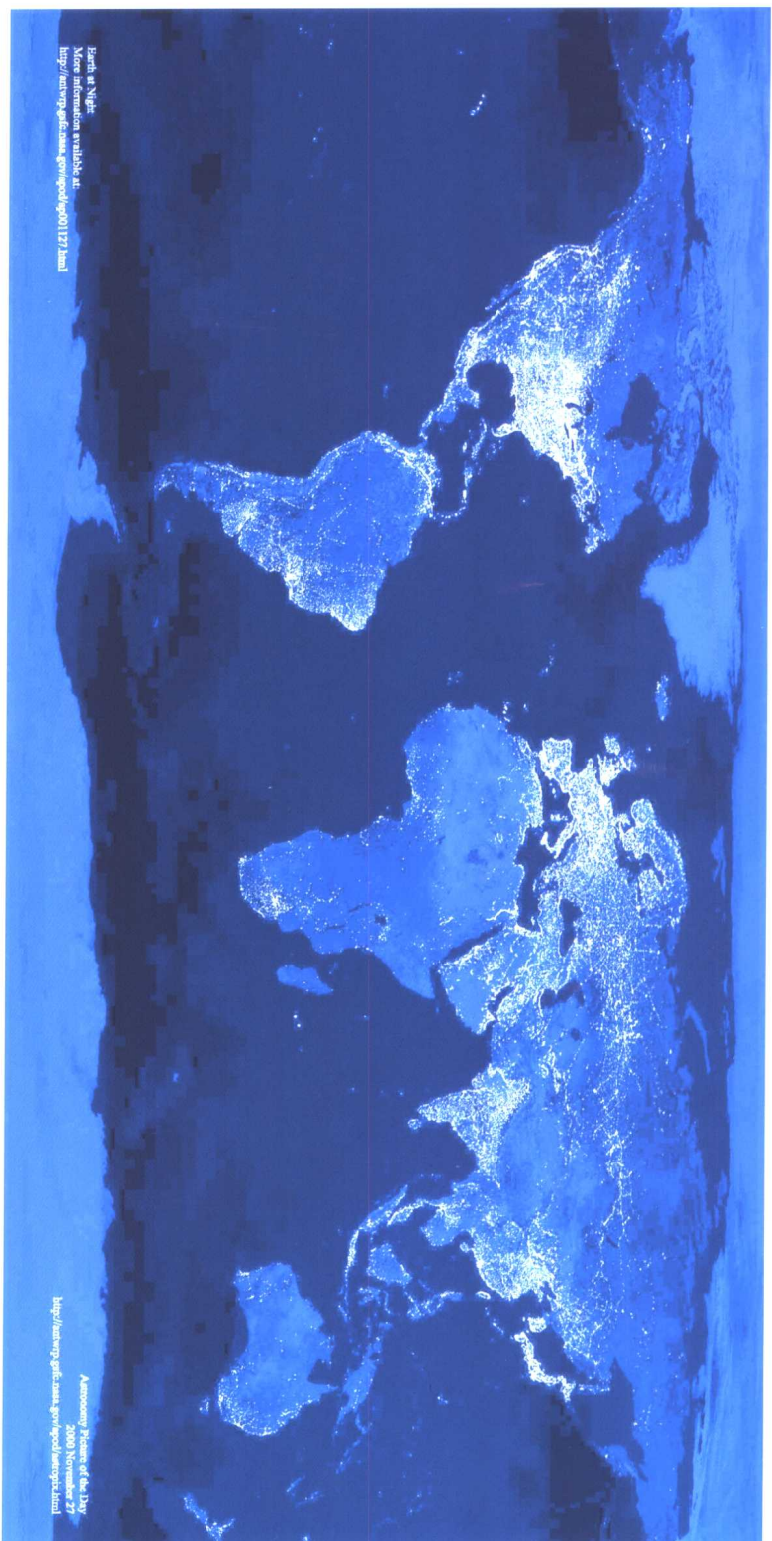
定价: 55.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)



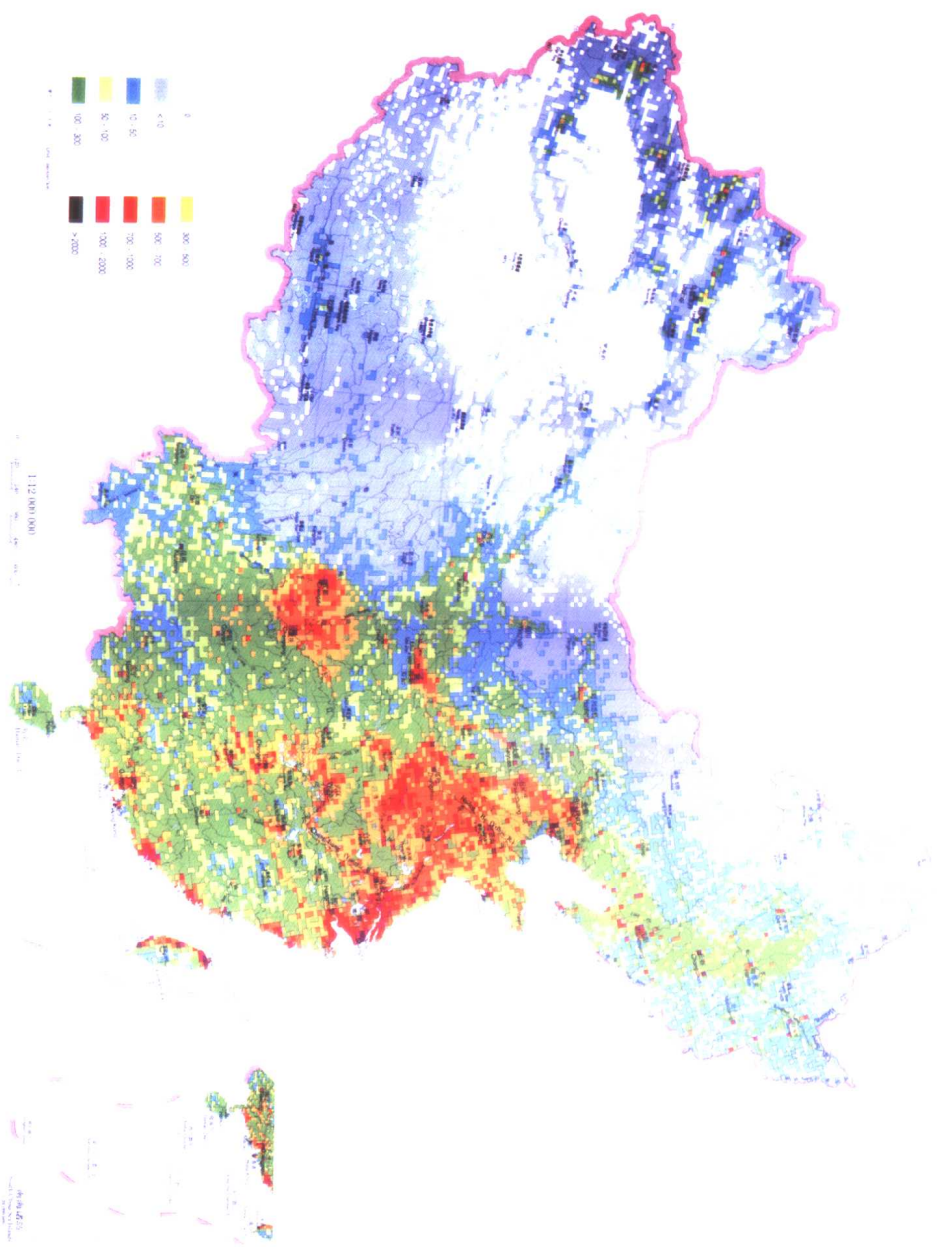
陈述彭教授近影
(2002)

图版

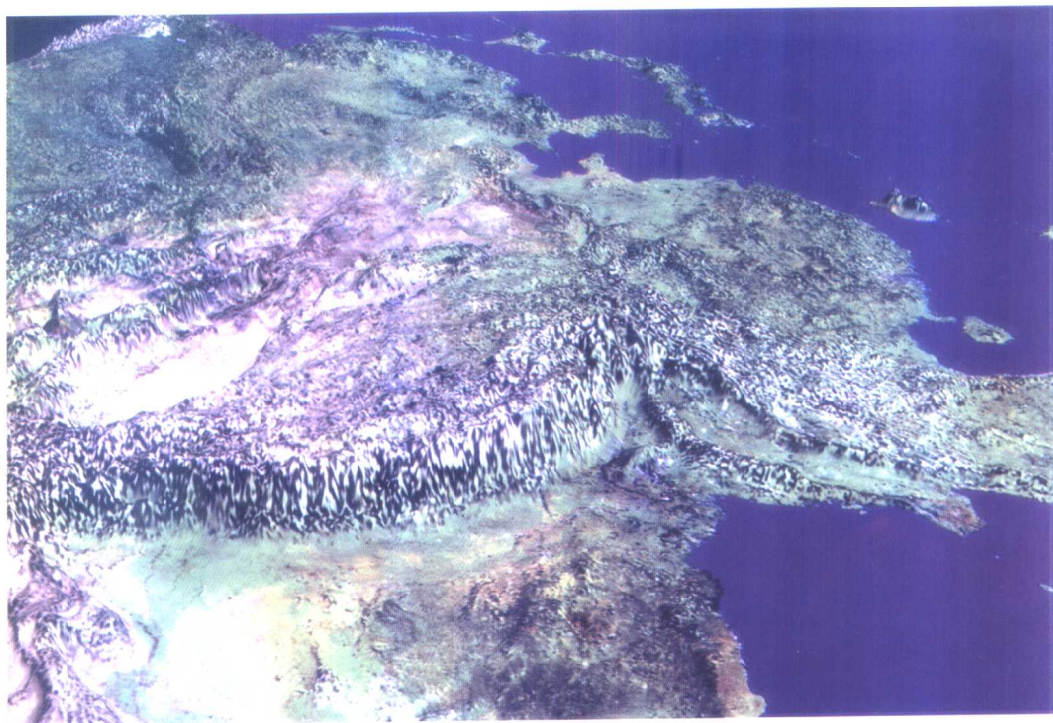


图版 I 全球夜光图

由美国军用气象卫星图像镶嵌而成。显示城市、人口密集于沿海地带；北美、欧洲、东南亚最为密集；陆地尚有20%以上属荒芜地区（参见“人口统计与空间分析”一文，据C. Mayhew和R. Simmon原图）



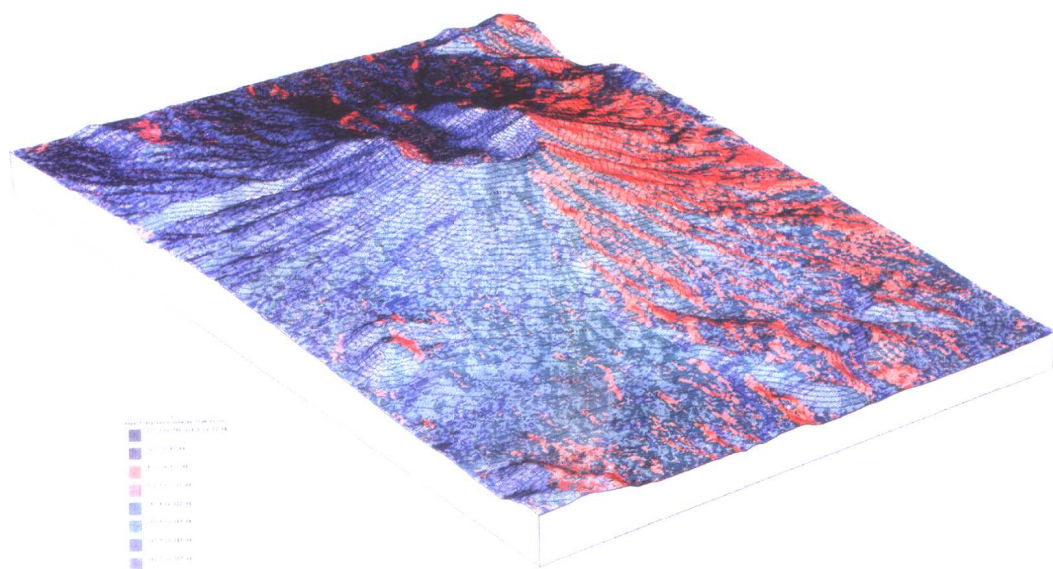
图版 II 中国人口密度图
用网格计算的人口分布图，更能反映人口与自然环境、水土资源的相互依存
(参见“网格地图与网格计算”一文，据刘岳等原图)



图版Ⅲ(a) 青藏大高原地势

自西南向东北俯瞰喜马拉雅山脉及天山、塔里木盆地，远眺东南海岸。

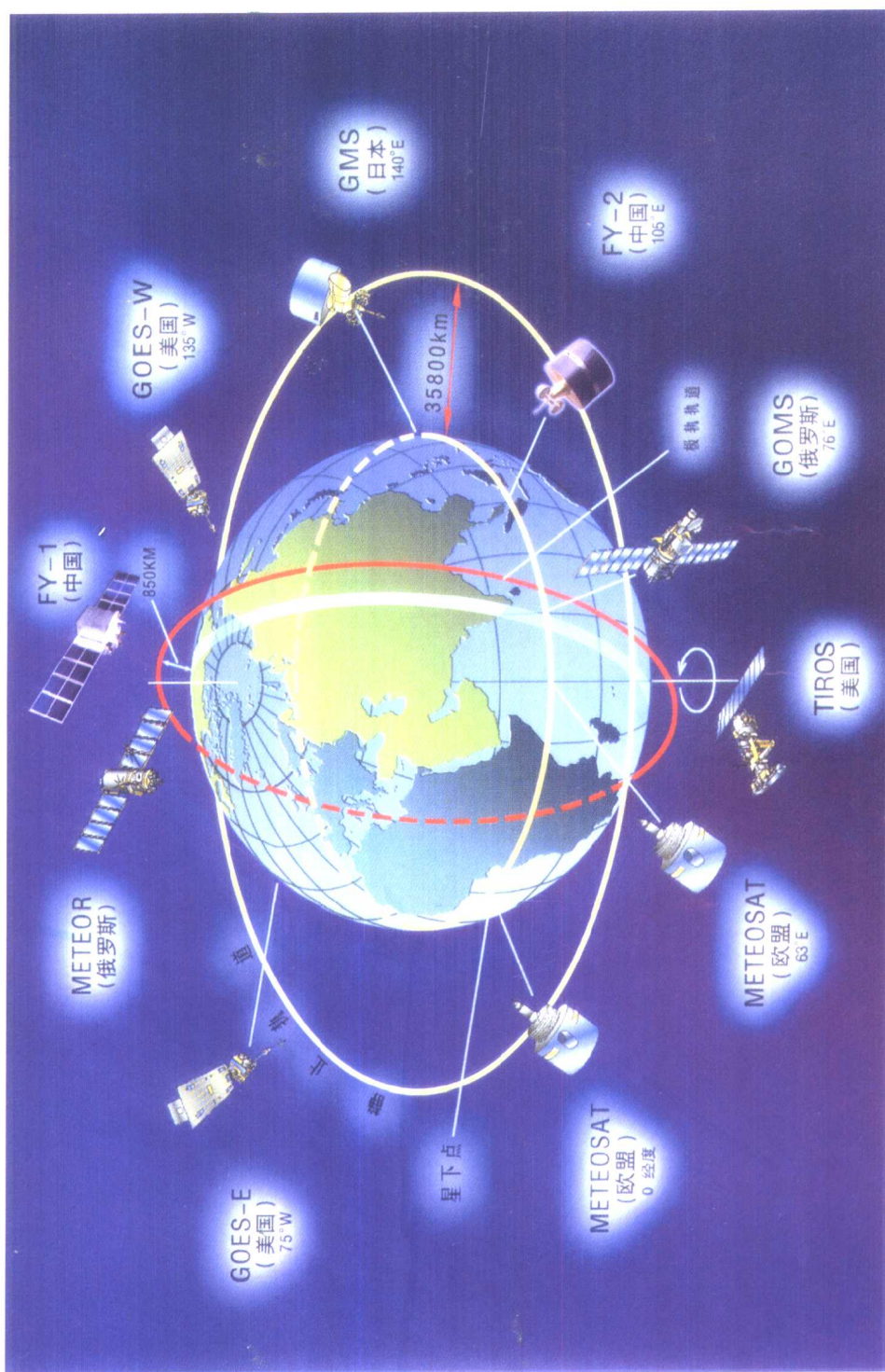
(引自中国卫星气象中心黄签等原图)



图版Ⅲ(b) 圣海伦火山地貌图

网格地形数字模型的三维显示，视角方位 35° ，俯角 30°

(引自美国环境研究所陈子坦原图)



图版IV 国际气象卫星轨道分配示意图
(引自中国气象卫星中心《风云纵览》原图)

《地学的探索》

总 序

从地球科学的时间和空间尺度看,一个人的生命活动几乎是可以忽略不计的。人类认识自己居住的星球,经历过一代又一代的努力,前赴后继,正在加速地前进之中。我们的祖先大致搞清楚海陆的轮廓,花费了1 000多年;地理探险和地形测量覆盖大陆面积的30%,大约又费了300年。而航空摄影测绘陆地面积的70%,则用了50年左右时间。现在,遥感卫星每天都在采集全球的图像和数据。古代地理探险家奉献出他们的一生,无非是记述未经发现的一片又一片的处女地,减少地球科学上的一些空白。当代地球科学研究的目标,则致力于探索这个星球的奥秘和规律。沧海桑田,人生浮游,“大作小观小亦大,无为有处有还无。”学海无涯,300年来人类对自然的理解本来就不过沧海一粟;几十年的岁月,个人所涉猎的学问就更加微不足道了。

不过,雪泥鸿爪,留下的究竟是历史的踪迹。好心的图书馆员,曾经把缩微的书本封存在地下室的钢球里,想把文化遗留给后人;多情的宇航专家,用磁带记录人类的语言和歌声,去沟通外星文明。他们所企望和梦想的,无非是想超越时间和空间的局限,着眼于未来的交流。地学工作者们,从观察一堆砾石的擦痕和磨圆度,可以探讨河流发育或冰川活动;从分析一组树木的年轮,可以追溯古气候的旱涝和变迁。从时代看人生,从人生度时势,尽管记录的只是个人学习、成长和工作的平凡过程,其中多少隐含着历史继承与发展的烙印;反映出时代进步的轨迹。作为地学研究队伍中行伍出身的普通一兵,在坎坷崎岖的科学生涯中,酸甜苦辣、成败得失,对于年轻的读者也许是耐人寻味的故事,对于未来的同行也许在觉得幼稚可笑之后,还能从中窥见半个世纪以来我国地球科学发展的一斑。

我早年从事科学的探索,不能说是“历史的误会”,也不是意外的机遇。原不曾有过可以自豪的远大抱负,也没有什么值得沾沾自喜的业绩。从小兴趣泛滥,好奇争胜。也许只是在报考湖南省立长沙高级中学的时候,无意中全部用地图应答那份地理考卷,再加上一年级刊登在校刊上的那篇《南岳记游》,受到过校长的青睐,就成了引导我献身地学的

第一个无声的信号。

“问渠哪得清如许,为有源头活水来。”注定命运的关键时刻,则是抗战时期的流亡大学。1937年,我以同等学历考进浙江大学。竺可桢先生任校长,地学方面的教授阵营盛极一时。教授们系统地讲授地学基础知识,严格地给予野外基本功训练,把我们一大批同学引到了地球科学的殿堂。当时,我们的心情就像闯进了广西、贵州的那些喀斯特洞穴,感到光怪陆离,目不暇接。同学们毕业之后,分道扬镳,多有建树。我则被留在学校,当了八年助教和研究生,在老师们的指引和督促下,蹒跚学步,从此开始了探索地学的生涯。

新中国诞生不久,成立中国科学院、筹建地理研究所,我不仅有幸继续接受竺可桢、黄秉维教授的教诲,还得到曾世英、方俊先生的指导,作为他们的助手,参加全国自然区划、黄河流域规划,开展地图学的研究,编制国家大地图集。十年浩劫之后,面对又被拉大了的我国与世界先进水平的差距,深感地球科学要想奋起直追,亟须引进现代科学方法和技术手段。在院所领导下,得到一批又一批有志青年同志的支持,先后筹建航空像片综合利用研究室,组织研制自动化制图系列设备,引进美国陆地卫星遥感图像,分设地理研究所二部,组建遥感应用研究所,成立资源与环境信息系统国家重点实验室。这些科学组织工作的目的,主要是致力于提高地学研究中定位、定量、定性的精度和系统分析的能力,探索地学走向现代化的道路。

本四卷文集的选择,大体上是按学科划分的,保持了各学科的独特体系,同时也基本上反映了个人从事地球科学探索的不同历史阶段,反映了时代背景的差别。

30至40年代,是我接受地学启蒙教育的时期。在抗日战争的烽火岁月里,过着流亡大学的艰苦生活。但是,学术空气却是那么浓郁!教授们执着地讲授他们的经典的地学知识,学生则如饥似渴地接受观察自然的基本功的训练。涂长望教授的大气物理、气象观测和天气预报;叶良辅教授的历史地质和岩石矿物分析;任美锬教授的地形发育旋回和经济地理区位理论;谭其骧教授的沿革地理;张其昀教授的地缘政治;……五彩缤纷,绚丽夺目,从天上到地下,从自然到人文,古往今来,南北东西,向我们展示出地球科学的大千世界,诱导我们专心致志去钻研,忘我地去探索,“天高任鸟飞,海阔凭鱼跃”,从而树立起地球科学大有可为的信念。

50至60年代,新中国社会主义建设的需求,让我有机会参加国家科技规划中的一些重大项目,工作中有幸与地学界与生物学界的许多耆

宿、前辈经常接触,有时还和苏联专家一起考察和讨论,他们实事求是的科学态度和一丝不苟的治学方法,使我获益不浅!特别是看到了打破学科之间的门户偏见,克服固步自封的技术观点的好处。认识到以地图作为许多学科共同的信息载体,很可能有助于地学研究中定位、量化的加强和综合分析能力的提高;从而致力于景观地图的研究与综合地图集的设计,探索普通地理图的综合指标与模拟方法,努力开拓地图学的研究领域和服务范围。即使在十年浩劫、万马齐喑的年月里,地图仍然显示出它顽强的生命力,并逐步成为喜闻乐见的地球科学成果的表达方式。

70至80年代,地球科学面临航空与航天技术发达的新时代。早在60年代初,我国已经着手开展航空像片的综合利用与系列制图,探索手扶跟踪与光机扫描应用于地图量测的可行性,起步略先于国际同行。1972年,中国科学院五所两厂联合研制自动化制图系列设备,自力更生,揭开我国电脑制图的序幕;1975年,中国科学院地理研究所率先引进美国资源卫星影像;1972、1977年先后组团考察墨西哥和英国、瑞典的遥感进展。1978年起,中国科学院先后组织哈密、腾冲、天津、二滩等航空遥感试验,并组建遥感应用研究所。地学、生物学界的许多中青年科学家,热情地加入探索遥感技术与应用的行列,并以他们的专业知识和科学储备,大大丰富和提高了遥感技术及其应用的水平,加速了地学的技术革新与进步,把我国遥感技术及其应用一步一步地推向高潮。

90年代的地球科学,面临信息时代的机遇和挑战。卫星遥感提供了全球监测的动态信息,为研究人口、资源、环境的全球变化,创造了空前的有利条件,有了把地球作为一个行星系统来研究的可能。由于电脑和数据库的引入,对于地球非常复杂的多圈层的结构和它的物质、能量与信息的转化和内部、外部的循环,也有可能进行动力学的分析和数据模拟。无论城市发展、资源开发,还是环境保护问题的宏观决策与工程规划,无不需要空间型的(地理)信息系统和智能化的专家系统来支持。为此,资源与环境信息系统国家重点实验室应运而生,开展探索全球数据库的设计,国家资源与环境信息系统的规范化和标准化研究,探索地理信息系统在水土流失、生态环境、城镇体系与江河灾情等各方面应用的可行性。地理信息系统方兴未艾,来日方长。对于地学研究引进系统论、信息论与控制论的科学思维方法,对于提高地学工程的社会效益和经济效益,必将产生极其深远而积极的影响。

海滩总是这样壮丽,每个细心的人都可以撷掇到几枚心爱的贝壳;山路总是如此坎坷,每攀登上一个台阶又可以领略更加开阔的视野。自

自然界是无比慷慨的,人民给予我的机遇也是千载难逢的。然而,由于知识的局限,主观的失误,自己对于地学研究的收获和奉献却是如此之少,心里总是感到惭愧和不安。在50年的地学生涯中,虽然偶尔也分享到一些表扬或奖励的喜悦,但受到批评或批判的痛苦的时候要多得多,这是符合实际的,心安理得的。“不要人夸赤色好,只留清气满乾坤。”所以仍然百折不回,坚持不懈,兢兢业业地继续在探索地学的现代化道路上。

科学事业的梯队像一支永远前进的雁阵。或许是出于信念和本能,或许是一种职业习惯或默契。前辈师友曾经带领我们学会飞翔,呕尽他们的心血,分享他们的余荫,自己也就感受到了历史的使命,勇敢地去探索,最大限度地减少对年轻一代的压力和阻力;直到自己精疲力竭,再退到阵列的后面,尾随着大伙儿继续前进。“春蚕到死丝方尽,蜡炬成灰泪始干”,光明和希望寄托于青年和未来。

我非常感谢科学出版社从我的400多篇论述中,选辑《地学的探索》这部四卷文集:第一卷地理学;第二卷地图学;第三卷遥感应用;第四卷地理信息系统。姚岁寒、励惠国同志花费了许多宝贵的时间,协同我的弟弟述武和子侄们整理旧稿,校勘图文,尽量把一些能够反映当时研究计划、实验工程或专著作品的原始设计思想或科学结论的篇章挑选出来,其中大约三分之一是未曾问世的手稿。真实地保存初稿的原貌,也没有必要重复专著内容或地图作品的全部。“纸上得来终觉浅,绝知此事要躬行。”其中的一些观点、想法是否切合实际,真有道理,正反两方面的经验教训如何适应时代,如何汲取精华、摒弃糟粕。所有这些,只因年逾古稀,逾越代沟已是力不从心,只能期待历史无情的检验,由读者公正的裁决。三人行必有吾师焉,朝闻道,夕死可矣!衷心欢迎对文集的批评和指教。抛砖引玉,竭诚欢迎我的老师和地学界的前辈继续指教,特别是要向中青年的同志学习。争取自己知识老化和记忆衰退的速度稍为减缓一点,能够继续尾随在梯队的后面,翱翔得更高一些、更远一些,欣赏那地球在不息地自转和公转。

陈述彭

1989年9月于北京

目 录

《地学的探索》总序

地球信息机理研究	1
地球系统科学与地球信息科学	6
新经济时代的地球信息科学	17
地球信息科学及其应用	21
信息社会与人地关系的几点思虑	30
地球信息科学畅想	35
资源环境领域的信息化与本土化	38
地理科学的信息化与现代化	41
地理信息科学与中国哲理	46
地理信息系统的基础研究	48
新一代地理信息系统的空前机遇	57
地理空间信息协调工作的建议	63
中国地理信息系统发展透视	67
地理信息系统产业化的浪潮	71
新世纪的祝福	75
“数字地球”战略及其制高点	76
“数字地球”与对地观测	85
“数字地球”之挑战与思考	89
全球环境变化的系统研究方法	92
积极参与全球研究计划	99
全球变化研究与地理信息系统	101
“数字地球”与世界森林的监测	111
“数字地球”与中国西部开发	118
“数字中国”,百舸争流	120
“数字区域”的锻造与链接	131
“数字城市”,与时俱进	135
“数字福建”率先启动	140
“数字地质图”与“数字石油”	142
航天遥感应用的若干新理念	144

遥感地学分析的时空维	150
地理时空等级组织体系初步研究	162
卫星遥感走近生活	171
环境监测与卫星遥感	175
从遥感监测与信息系统谈减灾救灾问题	179
中巴资源卫星及其示范应用	181
信息社会对空间数据的需求	182
国际空间年地球科学计划的进展	184
亚太地区空间应用和可持续发展	189
地学信息图谱刍议	200
地学信息图谱案例与诊断图谱方法	204
地学信息图谱的概念	209
地学信息的图谱方法	229
地学信息图谱与区域可持续发展虚拟系统	235
地理环境虚拟现实	241
地图学面临的挑战与机遇	243
地图科学的几点前瞻性思考	249
网格地图与网格计算	255
人口统计的时空分析	268
沟通文明,呵护地球	276
饮水思源,富而思进	286
超前决策与知识创新	288
团结就是力量,集成孕育创新	291
原始创新需要超前与跨越	294
宽松环境与自主创新	298
技术克隆与知识创新	300
新世纪创新人才的畅想	305
地球信息科学创新机制	306
跋	309
PROBE INTO GEO-SCIENCE	
A Brief Introduction of Volume VI	311
Contents of Volume VI	311

图版

地球信息机理研究^{*}

——一个跨学科的优先领域

20 世纪 50 年代,揭开了人类进入空间时代和信息社会的序幕。人造卫星和计算机的飞速进步,为研究复杂的地球系统提供了快速覆盖全球的准同步的丰富信息资源,跨越时空局限的分析模拟与预测预报的信息处理手段。在地球科学、生命科学、空间科学与信息科学之间,逐步构成一个跨学科的新兴领域或新的生长点。如果及时抓住这个机遇,因势利导,不仅对地球科学的现代化有所促进,而且有助于促进“信息高速公路”、“卫星应用与应用卫星”等高新技术产业的发展,使其取得切实的社会、经济效益和生态效益,为社会的可持续发展,提供宏观调控与生态工程设计的信息保证。

一、全球高速信息网络的机遇

《全球高速信息网络计划》的热潮,正席卷世界各国。美国 Internet 发展为高速信息公路的全球战略计划,标志着信息共享的需求开始由科学领域走向政府部门,走向社会。克林顿企图使网络从强化政府宏观调控功能,扩延到跨越国界、面向世界的天罗地网。美国设想以此为机,扭转国内经济萧条的危机,增加就业机会;并将南北美洲实现一体化的光缆干线建设延伸到欧洲与非洲,与亚洲、太平洋区域接轨,从而引起了世界各国,特别是经济迅猛增长的亚太区域的深切关注,提出了形形色色的方案,作出了多种多样的反映:既不愿错失机遇,又不甘寄人篱下,于是多层次的次区域网络计划纷纷出笼,与世界经济、政治的区域重新组合俨然合拍,各具浓厚的地方特色。例如,英国设想以运河河网为依托,建设本国独立的网络;非洲各国设想以沿海岸为闭环,德国考虑以国内大城市为闭环,提高效率,减少故障,而又进一步构成欧洲与非洲的洲际联网。在亚洲各国中,日本、韩国、泰国、新加坡、马来西亚等;采取分阶段建设、稳步前进的策略,首先着眼于本国信息工程建设的现代化,然后考虑国际联网,以避免瓦解与失控。总之,在这场信息领域的“星球大战”中,任何国家均不敢掉以轻心,又惟恐坐失良机,都在研究积极而又慎重的对策,竭力维护国家的信息产权,同时保持其在全球网络中的一席之地。

如果信息高速公路建设的作用和意义,果真如美国总统克林顿所声称的“将从根本上改变美国人民的生产、生活乃至社会交往的方式”。那么,它就不仅是一个通信技术与工程领域的问题,而是涉及社会、经济、法律诸多学科的社会参与,深刻影响到人口、资源与环境这些人类共同关心的与可持续发展有关的信息资源开发利用的问题。具体地说:高速信息网络的建设,不仅是政府行为,还需要社会的理解和支持以及多学科的综合研究与合作。例如,信息源的开发与利用,初期可能局限于金融商贸流通领域的“金卡”、“金关”,

^{*} 本文原是 1993 年在国家自然科学基金委员会“科学前沿,优先领域”国际讨论会上的发言,与何建邦、励惠国合作撰写,曾刊于《科技导报》,1994 年 12 月号,第 14~16 页。

随后逐步扩展到交通、物资部门的“VSAT”、“INMARSAT”系统;初期局限于统计、勘测、调查设计部门的数据库,随后逐步将延伸到以资源与环境卫星、地面台站网络为主体的自然资源与社会经济环境信息流的大联网。全球高速通信网络的雏形和实验,首先是在大专院校和科研部门的计算机通信与联网中实现的,美国也是由国内的 Internet 逐步伸展到欧洲和日本的 250 万用户的,英国、日本和德国等发达国家都准备从科技界和企业界着手,然后延伸到电视与通信、教育、娱乐的一体化,最终进入千家万户。其中轻重缓急,主要取决于信息源的储备。目前,我国卫星通信、微波通信和光纤光缆、移动电话的发展十分迅速,办公室自动化与多媒体技术日新月异,起点高、建设速度快,实现了技术上的超越与跃进;信息源的开发与利用,已引起通信工程专家们的深切关注。特别是资源与环境数据库建设中的标准化和国际化问题、卫星通信与光缆的区域布局问题、用户接口和服务器的成本与用户承受能力问题,都是涉及到高速信息网络建设的社会效益的关键科学技术,必须未雨绸缪、统筹规划。信息社会的进步,为地球信息科学的发展,创造了非常有利的工作环境,也提出了非常迫切的社会需求。

二、卫星应用的深化

我国已经基本建成对地观测的综合技术系统,在资源勘探、环境监测与生态工程多方面发挥着日益重要的作用。20 世纪 90 年代以前曾经发射和成功地回收了近 30 颗科学实验卫星,获取了极其宝贵的信息资源。2000 年以前计划发射的国内外通信及资源、气象等卫星又将达到 30 颗。90 年代,更是国际上群星璀璨,对地观测信息极大丰富的时代。日本 1997 年将发射第三代的改进型遥感卫星(ADOES),预期 2010 年前发射的各种卫星将超过 30 颗。NASDA 提出了雄心勃勃的 WEDOS 计划,为全球环境监测提供卫星信息、建立服务网络。美国 NASA 重新推出 CEOS 计划,网罗各国科学家参加地面实况验证和开拓应用领域的工作,免费提供卫星影像和数据资料。NASA、ESA 和 NASDA 之间,形成遍布全球的卫星地面接收台站网络,不惜巨额投资,剧烈争夺亚洲,特别是东南亚的信息阵地;使东南亚地面卫星站的密度远远超过了其他各洲,甚至世界最发达的地区,彼此重叠覆盖,浪费极大。例如,日本除已支持泰国建设外,最近又打算在菲律宾、印度尼西亚、蒙古和中国西部合作建站。加拿大则支持在基里巴斯、新加坡建站。加上印度、巴基斯坦、孟加拉、伊朗等国的卫星地面站,以及中国已建和筹建中的若干地面站,应该可以说,21 世纪初,亚洲地区的卫星信息源的采集能力是很大的。关键在于开发应用的广度和深度,这是空间技术发展向应用部门提出的时代召唤和挑战。

20 世纪 90 年代第三代卫星与遥感技术的进步,将从根本上改变人类长期以来观测地球由点到线、由线到面的推导模式,而是顺应从全球监测到局部、从宏观到微观的人类认知过程。传统的地图测绘和野外考察的大部分工作,逐步为以卫星定位系统、卫星通信系统与卫星对地观测体系所替代,即 GPS + RS + GIS 的一体化工作流程。这种新的流程已充分表示出它的先进性,成本可以降低 2/3,工时可以缩短 1/2,形成对陈旧工艺过程具有极强竞争力的新兴信息产业,从而从根本上改变了从事地球系统科学实验研究人员的知识结构和工作方式。新一代的地球科学家,他们正在进行成像光谱仪的设计和应用实验,达到 71~224 波段的细分光谱的性质;所获取的大量数据,需要用超大型计算机存储

处理和加工,来研究物质分子结构中的光谱特性;他们研制的多极化合成孔径雷达,已成为 20 世纪 90 年代遥感卫星的主流,需要采用分形分维(Fractal Analysis)、模糊数学等现代方法来提取其中的纹理规律,研究地质构造或海洋波浪等物质运动的信息。不久的将来,以海洋声呐、人工地震波与上述电磁波探测信息,在地球物理场与生物地球化学场的动力学研究中进行信息复合与集成分析,形成多波段、长周期、全天候的多源信息流与多维时空动态分析,更是当前研究地球系统科学的新兴领域,方兴未艾,前途未可限量。“八五”期间,国家自然科学基金委员会信息科学部与地球科学部高瞻远瞩联合立项,开展《遥感信息传输机理与成像规律》的重大基金课题,已经有了一个良好的开端。它对更充分地利用国内外的卫星信息资源,推进我国应用卫星与卫星应用的发展、提高社会效益,意义是十分深远的。技术科学,特别是空间科学和信息科学,为地球信息科学的发展提供了空前的机遇和挑战。

三、地学信息系统的集成与飞跃

地理信息系统在 20 世纪 90 年代蓬勃发展,蔚然成为信息产业的重要一环。其应用广度与科学内涵,远远超过 70 年代以制图自动化与图形分析为主体的初期水平,逐步形成跨学科的多层次、多功能的区域综合与空间分析工具。这一质的飞跃,主要是由于近年来地球系统科学的理论复兴。现代地球系统科学,以系统论、信息论和控制论为基础,重视地球圈层的相互作用与影响,以及各圈层之间的物质流、能量流与信息流的过程和时空变化规律。地理信息系统的研究领域,已不仅作为研究物质流与能量流的信息载体,而且包括研究地学信息流程的地球动力学机理与时空特性,研究地学信息传输机理的不确定性(多解)与可预见性(多维),从而制定对地观测与数字模拟的特定技术手段与分析研究方法。地面定位台站网络长时间序列观测与卫星同步监测空间分异的互补性,耗散结构与边界条件的分形分维分析、模糊数学处理方法,自然过程的预测、预报模型和地学工程干预下的社会、经济与生态效益的评估等等,都需要以地理信息系统作为信息载体进行综合研究。这些崭新的研究领域,正在由定性向定量集成的智能化方向迈进。地球圈层之间的信息传输机理及其增益与衰减规律,正在进一步被揭露;地学信息的复合、模拟、仿真与动态再现,近年来取得了开拓性的进展。地球动力学模型与分析软件的开发、知识库的建立,由于地球科学各分支学科发展阶段有所不同,进展的幅度也就各不相同。例如,大气动力学模型、洪水演进模型、地震波传导模型、海洋波浪模型等等,起步较早,研究相当深入,已初步应用于有关业务预报和灾情预警、评估系统,为社会提供信息服务。但更多的地球科学领域,涉及流变学的范畴,下垫面影响极其复杂,边界条件模糊不清,其知识规则甚至分类体系尚难以用数学公式和定量指标加以表达,物理或数学模拟又受到时间与空间尺度的限制,暂时还难以严格按照合理比例来实现。如果观测或采样的时序密度不足或时序空间代表性不强,则单纯利用数理统计分析所得到的结论,未必都能具有确切的物理含义,反映地学本身的规律。这些学科领域的模拟仿真与预测预报,目前就显得格外困难,难免出现较大的离散性和较大的误差。

《21 世纪议程》强调社会经济可持续发展,因而环境科学与全球变化研究必须相应地跨上一个新的台阶。环境科学研究将由仅着眼于污染问题而更加讲究生态效益,更加强