

# 全数字化方法与遥感应用\*

——祝贺王之卓教授 80 寿辰

陈述彭

励惠国

(中国科学院遥感应用研究所) (中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室)

**编者按** 今年 11 月是我国著名摄影测量学家和遥感专家、本刊编委会顾问王之卓教授的 80 寿辰。特载此文,谨致祝贺。

## 一、前 言

航空摄影测量是 30 年代引进到中国来的。王之卓教授 1939 年获德国柏林工业大学工学博士回国之后,首先在大学开设摄影测量课程,致力于测绘教育事业,为我国测绘界培养的专家和工程师,代代相传,桃李遍天下。他在科学研究方面,著作等身,开拓建树,蜚声国内外。早在 40 年代(抗日战争时期)王教授执教于同济大学时,即曾兼任中国地理研究所研究员。50 年代初,王教授积极支持并参与中国科学院地理研究所的筹建,任该所学术委员会委员。70 年代末,当选为中国科学院学部委员,指导筹建遥感应用研究所,任该所学术委员会副主任。80 年代中,又热情洋溢地支持地理信息系统的开展,在学部大会上发表论文,大声疾呼地球科学应该提高现代化与自动化水平,倡导全数字化方向,指出地理信息系统将是摄影测量与遥感的归宿<sup>1)</sup>,1985 年,又担任资源与环境信息系统国家重点实验室学术委员会副主任,协助国家计委和地理研究所领导,进行筹建工作,并亲自主持了该室举办的第一次国际学术讨论会(1987 年,北京)<sup>[1]</sup>,与西德康尼西宁(G. Konecny)教授、日本村井俊治(Shnnji, Murai)教授、英国兰德(D. Rhind)教授、美国马布尔(D. F. Marble)教授、加拿大汤林逊(R. F. Tonlinson)教授和美国邓吉曼(Jack Dangermond)所长等学术委员一起,审定了该实验室的学术方向和研究计划。1989 年,王教授又直接领导和筹建遥感测绘信息工程国家实验室,得到国家计委和世界银行的大力支持。王之卓教授不仅是出色的教育家,也是卓越的科学家。他所领导的全数字化研究方向,不仅为摄影测量,而且为遥感技术和地理信息系统的发展,奠定了坚实的理论基础;指明了地球科学现代化的正确途径,其影响是极其深远的。各种空间信息的获取、传输、存储、处理以及图形显示,无一不在向数字化方向努力。对地观测的航空摄影、卫星遥感与地理信息系统的建立,更不能例外。

\* 本文系作者应德意志联邦共和国柏林工业大学之约为《王之卓教授祝寿专刊》所写的专稿。

1) 王之卓,摄影测量学的回顾,中国科学院地学部第二次全体大会论文,1983 年。

作者以无比崇敬的心情,感谢王教授数十年来给予的指导和支 持。 本文仅从遥感应用这一侧面,补充介绍王教授倡导的全数字化学术思想,对于我国遥感技术与地理信息系统发展所起的作用和已经取得的进展。 这些,当然远不足以反映王教授对于我国地球科学发展的理论贡献和事业成就的全貌。

## 二、我国科学实验卫星摄影像片的纠正与制图

### 1. 我国卫星像片的特征参数

1985—1988 年,我国成功地发射和回收的科学实验卫星,运行在近地椭圆轨道上,近地点约为 175 公里,远地点 410 公里。 卫星在近地点区摄影,摄影高度约为 175—210 公里。 采用椭圆轨道近地点摄影,既可获得所期望的有效轨道寿命,又可在焦距一定的情况下获得较之高椭圆轨道摄影更高的空间分辨率的影像:

科学实验卫星摄影选用的是全景棱镜扫描式相机,光学扫描系统沿垂直于轨道运行方向掠过地物。 扫描角为  $\pm 60^\circ$ ,能利用的区段,扫描角小于  $\pm 42.5^\circ$ 。 地面摄影范围为 45—600 平方公里。 去掉由于扫描抖动而引起的像质模糊部分,实际有效利用范围约为 40—400 平方公里,轨道地面摄影覆盖周期为 5 天。

由于采用全景扫描方式成像,相机焦距不变,随着扫描角的变化,成像比例尺跟着变化。 又由于一幅照片不是同一瞬间拍摄成的,对于科学实验卫星而言,约需 4—5 秒,其间卫星的轨道和姿态运动、地球自转、相机的扫描运动等,都是影像畸变的重要因子,若应用于地图测绘,则需进行几何纠正。

同美国陆地卫星和法国 SPOT 卫星的影像相比,我国卫星的影像分辨率较高,比例尺适中,信息量比较丰富。 另外我国卫星摄影幅面宽,一幅扫描成像的时间相对较短,因此同步性能较好。 当然我国卫星影像也有很多不足之处,一是全景摄影机造成的比例尺变化较大,给几何校正工作带来了复杂性,影响了推广应用;二是采用低轨道短寿命卫星空间摄影,无重复摄影能力,使用于资源与环境的动态监测和灾害预报受到限制。

### 2. 我国卫星像片的几何纠正

全景像片的畸变较大,比例尺变化也较大,如果不纠正,根本无法与航空摄影测绘的地形图匹配。 因此首先要把全景像片纠正成正射影像。 目前,对空间或航空遥感获取的影像,一般用多项式或用附加参考的光束法,对不同误差源产生的系统误差进行综合纠正,都能取得较好的效果。

全景像片的纠正,是根据地面控制点,将畸变图像改正为等效框幅像片,按地面坐标系进行空间定位,使全景像片与所摄景物的投影变换关系,得到近似的恢复。 为了精确地实现全景像片的几何纠正,还应考虑到在窄缝扫描成像过程中,因飞行器连续运动、姿态变化、地球自转等而引起的影像变形和像移补偿残余以及反光镜旋转等所产生的系统误差,采用对像点误差坐标加入多项式附加参考改正的方法,可以纠正影像的系统畸变及误差。

目前,在我国有用计算机方法处理纠正;也有在正射投影仪上扫描纠正。 用计算机方

法处理较为普遍,但投资多.与正射投影仪相比,存在着占时太多、幅面较小、分幅较多、分幅扫描图像之间颜色不易控制和中误差较大等问题,给拼贴镶嵌大区域图像带来了一定的困难.

### 3. 正射投影仪 ( $Z_2$ -orthocomp) 纠正科学实验卫星全景影像的精度分析

作者在黄河三角洲试验区,选用1984年9月发射的科学实验卫星的彩色红外全景摄影像片,扫描角 $30-45^\circ$ ,三条航带,覆盖面积为6万平方公里(不包括海域).由于正射投影仪的承片盘尺寸为 $24 \times 24$ ,所以将各区分为10张卫星像片进行纠正,在航带方向上可进行光学镶嵌,但长度不得超出1米.依此根据控制点镶嵌成了黄河三角洲地区1:10万正射影像图<sup>[2]</sup>.

黄河三角洲正射影像图的精度测定,是利用1983年版1:5万航测地形图,以图形工作站上测得地形点的坐标值为真值( $X_{\text{真}}, Y_{\text{真}}$ ).以1:10万影像图上测得同名地形点的坐标值为观测值( $X_{\text{观}}, Y_{\text{观}}$ ).测得点位中误差值为 $\Delta X = \pm 0.47$ 毫米,  $\Delta Y = \pm 0.39$ 毫米.目前以图上0.5毫米点位中误差来规定各种成图比例尺的点位中误差.因此该图基本上能满足1:5万成图精度的要求.

### 4. 我国科学实验卫星正射影像制图实验

我国科学实验卫星影像原片的比例尺,在原片的中央部位,即星下位置,比例尺为1:20.5万,到边缘部份,比例尺大约为1:60万.因此,整个黄河三角洲的影像放大2—6倍时,影像质量较好.在制作地形图时所表示的要素,除面积要素外,大部分是线状地物.而线状地物在影像上,往往是综合要素影响的结果,明显易续.即在1:10万的正射影像上能判读的1:10万地形图中的自然和社会经济要素,均占90%左右.居民地周围的土堤无法判读<sup>1)</sup>.黄河三角洲科学实验卫星影像明显地反映了制图区域的自然条件与地域特征,可以编制土地利用图、植被图、土壤图、地貌图、海岸变迁和海涂分类利用图等图件,供国民经济有关部门进行综合规划使用<sup>[3]</sup>.

此外,在京津唐试验区也进行了类似的制图实验.纠正后的比例尺为1:50万的影像地图,在应用于系列专题制图,包括自然环境变化、地质找矿、土地资源、旅游资源评价等方面均获得成功<sup>[4]</sup>.

## 三、国际卫星影像的数字处理与分析

### 1. 气象卫星的数字图像处理与分析

我国早在70年代初就已开始接收NOAA和TIROS气象卫星的图像.目前已用本国生产的气象卫星云图接收机装备了30多个地方的接收台站,广泛地为气象、海洋、水文及教学科研部门提供卫星云图.数字磁带的接收,则集中由国家气象局卫星气象中心等少数软硬件装备必较完善的部门提供服务.中国作为世界气象组织(WMO)成员国

1) 李东、陈晓莉等,山东东营市六户镇幅国土卫星正射影像与地形图套合精度比较图(1:5万),中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室,1989年.

之一,参与了全球天气观测与预报系统,很早就采用了数据处理的国际规范,并建立了实验性接收站,取得了 10 年的实践经验。更重要的是进行了充分的理论准备,建立了多种尺度的数据预报模式、灾害天气分析模型和一些气候变迁数据库,拥有长时间系列的历史资料。全国近 3 000 个气象站的观测纪录也建成了通讯网络,设计了自动填图系统。这些都为气象卫星应用打下了坚实的科学基础,使气象卫星图像数据的处理与分析,从一开始就在较高的起点上进行,得到庞大的地面技术系统的支持,迅速地成为气象预报、海况渔情预报、海冰预报等经常业务的组成部分<sup>[5]</sup>,提高了预报的准确率,特别是在灾害预报方面取得了重要进展。例如,多年来一个不漏地捕捉了热带风暴或台风;通过准确到小时的暴雨预报、洪峰预报,保证了 1984 年长江的防洪抢险,减少了淹没损失;发现了 1987 年大兴安岭特大森林火灾<sup>[6]</sup>。充分发挥了卫星云图时间分辨率高的作用。

按地图投影进行几何纠正之后的气象卫星云图,尽可能地提高了其定位精度,为多时相叠加或与其它卫星资料配准提供了方便。曾经应用于分析我国东部作物与森林的绿波和褐波的推移、河南全省的小麦估产、东海与黄海的温度场与渔情预报、渤海的海冰分类与消长、黄土高原的土地利用与综合治理区划、黄河洪水和冰凌的预警等,在环境变化的动态监测方面开拓了多方面的应用领域<sup>[7]</sup>。

在充分进行了理论、方法和地面接收与处理技术系统的准备之后,1988 年中国首次发射了气象卫星风云一号,第三天就能并入运行(业务)系统,发出气象和海洋业务预报。可惜由于技术性故障,这颗卫星的寿命过于短暂,使一些预定的运行项目无法开展,因此,目前气象卫星的应用不能不仍然停滞于局部的、试验性的阶段,全国性的或全球性的项目的开展,只能寄希望于 90 年代的第二次发射的成功。

## 2. 陆地卫星与资源卫星影像数字图像的处理

1987 年,在北京建成的遥感卫星地面站,可接收各种陆地卫星和资源卫星(Landsat 和 SPOT)的图像和数据。但由于只能覆盖全国领土的 80% 及部分海域,接收 SPOT 和预处理 TM 的能力尚不完备,因此,目前还要订购日本、泰国及巴基斯坦等邻近国家地面接收站的产品,才能满足边远地区和海域的需要。自 1972 年以来,我国购置了 100 多套图像数字处理设备,引进了大量 CCT 磁带。在地质、石油、煤炭、冶金、农林、水利等产业部门和地方建立了 17 个遥感应用中心。在地质区测、煤炭、石油、铀矿、有色金属勘测方面,在森林、土地、滩涂、草场资源调查与规划方面,在水土流失、洪涝灾害、森林火灾与虫害等自然灾害预报方面,以及在城市规划、自然环境变迁、地震灾害监测方面都进行了大面积的分析研究工作,取得了巨大的社会效益,受到了国家的奖励<sup>[7]</sup>。

然而,与气象卫星的应用相比,可明显地看到,资源卫星的应用基础研究薄弱。地面技术系统分散,面临着三方面的问题:(1)数字图像处理的功能局限于图像增强和数据统计相关分析,缺乏适用于我国特定地理环境条件下的专业模型及软件的支持,仍然依赖于专家个人的知识和经验,以目视判读为主,不能充分利用到像元级的信息。(2)从图像辐射、几何校准、数字镶嵌到图像自动分类与机助制图之间,缺乏地理信息系统的支持,尚未

1) 国家气象局,北京大学遥感技术应用研究所,气象卫星影像应用分析图集,科学出版社,即出。

形成流水作业工艺系统,不能快速地大面积地生产专题地图。(3)信息源缺乏时间上同步或准同步的保证。获取覆盖全国疆域的 670 多幅 MSS 影像,其接收时间先后可能延伸 5 至 10 年,急需的全国资源清查或环境变化监测的精度和时效都受到极大的损失。

目前,陆地卫星与资源卫星在我国的应用,经历了引进与消化的阶段,各个领域都完成了大量适应性的实验工作,但尚未形成全国规模的信息处理与分析利用能力。为了配合 1993 年我国发射资源卫星计划的实施,我国正在为建立具有我国特色的、智能化较高的应用技术系统而积极努力<sup>1)</sup>。

### 3. 系列制图与地理信息系统

60 年代初,在中国科学院地理研究所设置了“航空像片综合利用研究室”,开展航空摄影非地形测图方面,即地理判读与专题制图方法及其应用的研究和实验,1962 年,作者等在海南岛以 1:1.6 万航空全色像片作为统一的信息源,在进行 1:1 万地形图测绘的同时,按 1:1 万,1:5 万和 1:20 万三级比例尺,判读并经过地面实况验证,编绘了六种农业自然条件图,包括坡度(组合)、地质、地貌、土壤、植被和土地利用,初步形成了系列制图的概念、方法和程序<sup>[4]</sup>。1972 年,作者考察了墨西哥国家土地委员会以航空摄影为基础、勘查全国土地资源、建立土地档案的 10 年计划,更加深了对系列制图的理解并进行了广泛的宣传。嗣后在全国的多次遥感试验中,都进行过系列制图。从航空像片作为统一信息源的系列制图如云南腾冲<sup>[5]</sup>、吉林净月潭、四川渡口以及天津<sup>[6]</sup>和北京;以卫星影像作为统一信息源的有太原<sup>[11]</sup>、迪庆、三江平原等,编绘的专题地图含 5 至 25 幅不等。以后更推广到山西、河南、内蒙古等省(区),为农业区划和城市规划提供了基本的图件和数据。对遥感技术的应用,起了一定的先导作用。

1983 年以后,我国开始建立若干实验性的地理信息系统,并探索其在全国性规划与决策或地区性工程设计与管理中应用的可能性。例如全国范围的人口、政区、农业、森林等数据库已基本建成;交通网络、经济统计、自然环境、地形高程 (DEM) 数据库也在设计实验中<sup>[12]</sup>。有些全国性的数据库,曾经得到联合国等的国际援助与合作,这将为我国参加国际空间年 (International Space Year) 活动以及地圈-生物圈计划 (Geosphere and Biosphere Program) 打下良好的基础<sup>[13]</sup>。另一方面,针对我国资源开发与环境保护的重大问题,着眼于自然灾害的防治,在灾害天气、地震、洪水泛滥、水土流失、沙漠化、盐渍化、沼泽化、湖泊功能退化、草场退化、海平面升降与岸线进退等方面已开始引入地理信息系统来进行预测、预报研究工作。特别是在城市规划与管理方面,地理信息系统的应用已取得了较好的效果,诸如污染监测、交通流量控制、地籍管理、地下管道系统公共服务网点部署等方面,受到了工程设计部门的欢迎和采纳。

在各种数据库的数据采集和更新过程中,航空摄影与卫星影像都是重要的信息源。特别是数字地形模型 (DTM) 的建立,几乎都是间接或直接来源于航空摄影测量的成果。目前,在我国以航空像片作为地理信息系统数据源的数据处理方式的试验进行过三种。

(1) 通过常规的摄影测量制图过程,完成 1:1 万地形图

按全国统一的地理坐标或地形格网,读取高程数据,主要用于环境工程的规划和设计。例如在黄河下游及其新三角洲,建立防洪信息系统和生态工程信息系统<sup>[4]</sup>,采样格网密度达 50×50 米,高程读数为 0.25—0.5 米,详尽地反映了地形的微起伏,在坦荡的沉积平原上,诸如废弃的河槽、新旧堤防、老嫩滩地、决口扇和决口潭的遗迹,通过三维显示,无不历历在目。应用于分析河流改道,引灌放淤方案的选择,蓄洪排涝决策,洪水淹没损失的估算,以及居民地、交通网部署等地学工程问题,有助于动力学模拟和对比研究。

#### (2) 利用手扶跟踪数字化仪,按等高线弧段读数建立矢量数据库

采用 ARG/INFO 系统软件进行数据管理或数据转换。例如 1987 年在长江中游的洞庭湖区,建成了堤垸包围的洼地数字地形模型,通过 ITC 的“湿地开发与管理软件”,进行湿地资源开发与农业适应性评价的研究。1989 年作者在平泉县通过 1:7.5 万的航空像对立体量测直接读数,按 1:5 万规范要求,每 200 米一个点,在试验区 3 289 平方公里范围内,共计 14 万个数据,直接输入计算机主机存储(或数字磁带记录),生成 DEM 数据库,用于进行森林立地条件调查,草场资源估算,并与 TM 影像匹配,实现了土地利用的三维显示。

#### (3) 利用多时相航空像片,提取特定历史时期的某些痕迹或轨迹

首先通过单幅航空像片判读分类标绘界线,仅对像主点附近重叠最小的部分图形分类进行编码,然后扫描输入多边形边界的读数,在计算机内进行数字镶嵌,以便与其它专题地图叠加或对比。此项实验,正在黄土高原水土流失区内进行。初步结果表明,先作影像正射镶嵌图,然后判读编绘专题地图,有明显的经济效益。

## 四、殊途同归

无论是航空像片还是卫星影像都是人们对地观测获取的地理信息,是通过摄影或遥感采集的地物光谱信息的记录<sup>[5]</sup>。20 世纪的前半世纪,由于航空摄影测量学的发展,率先建立了空间定位、定量分析的原理、方法和工程技术系统,从根本上改造了传统的地形图测绘工艺程序<sup>[6]</sup>,为其它地球科学的现代化突破了一个缺口,并促成了其它地球科学领域加强定位定量分析的社会需求,系列地图应运而生。20 世纪的后半世纪,卫星遥感把地球科学各个领域的定性分析推向新的高潮,特别是红外、微波技术和图像数据处理、自动分类软件的开发,使各个专业的定性分析能力迅速提高,从而又对空间定位精度提出了更高的要求。这就导致了多维地理信息系统的诞生。由于地理信息既具备较高的三维空间定位精度,又具备多层次的地理数据项和动态更新能力,既体现了微观分析基础上的综合,同时又适应于宏观指导下的分析,达到了定位、定性、量化的统一,因此,它成为当代地球科学现代化的重要技术保证,决不是偶然的巧合。王之卓教授数十年如一日的科学实践,在摄影测量学方面取得的理论建树,和他在遥感方面开拓的事业成就,实质上是一脉相承、殊途而同归的。

## 参 考 文 献

[1] Proceedings of International Workshop on Geographic Information System, Beijing/87, Sponso-  
(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

red by IGU, NSFC, Idrac, Printed by LREIS, 1987.

- [ 2 ] 陈晓莉等, 黄河三角洲国土卫星正射影像地图(1:10 万), 科学出版社, 1989 年.
- [ 3 ] 陈述彭等, 国土普查卫星资料应用研究, 第二集, 科学出版社, 1989 年.
- [ 4 ] 傅肃性等, 国土普查卫星资料应用研究, 第一集, 科学出版社, 1988 年.
- [ 5 ] 龚家龙, NOAA 卫星 TB 磁带的数据处理和墨卡托图像, 遥感信息, (3), 1989.
- [ 6 ] 曹述五等, 利用气象卫星图像监测辽河洪水, 遥感信息, (3), 1989.
- [ 7 ] 陈述彭等, 陆地卫星影像——中国地学分析图集, 科学出版社, 1985 年.
- [ 8 ] 中国科学院遥感应用研究所, 海南岛航空像片判读文集, 测绘出版社, 1981 年.
- [ 9 ] 中国科学院腾冲遥感试验组, 腾冲地区航空遥感图集, 科学出版社, 1981 年.
- [ 10 ] 中国科学院环境科学委员会、天津市环境保护局编, 天津市环境质量图集, 科学出版委, 1986 年.
- [ 11 ] 承继成主编, 陆地卫星影像太原幅农业自然条件目视解译系列图, 科学出版社, 1983 年.
- [ 12 ] Chen Shupeng: The Development and Application of Geographic Information System in China, Asian Geographer Vol. 6, No. 2, Hong Kong, 1987.
- [ 13 ] Chen Shupeng: A Proposal for the Global Information System, Global Change Atlas and Encyclopedia of the Change Earth. Presented to the ISY, SAFISY Conference, UK, Feb., 1989.
- [ 14 ] Chen Shupeng: Pilot Study of CIS assist to the Development Plojects in the Yellow Rives Basin, Presentative in ESCAP Workshop on GIS, Bongkok, 1988.
- [ 15 ] 陈述彭, 我国遥感信息的开发与应用, 中国科学院院刊, 3(1)1988.
- [ 16 ] 王之卓, 摄影测量原理, 测绘出版社, 1985 年.

## Mathematic Analysis and Data Processing on Remote Sensing in China

Chen Shupeng

(Justisu Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences)

Li Huiguo

(National Lab, of Resources and Environment Information System, Institue of Geography,  
Chinese Academy of Sciences)

### Abstract

The paper is written at the invitation of Special Bulletin of Industrial University, F. R. Germany for the 80th anniversary birthday of Prof. Wang Zhizhuo. Prof. Wang, the member of Divison of Geoscience in Chinese Academy of Sciences, has very actively adviced and suggested to establish the Institute of Geography, Institute of Remote Sensing Application (IRSA), and National Laboratory of Resources and Environment Information System (LREIS). Also he is the vice president of the academic committee both of IRSA and of LREIS. Under the guidance of his scientific thoughts of mathematic analysis and data processing, various applications have been actively being carried out all over the research field on remote sensing in our country. These applications include the geometric correction of Chinese Experimental Science Satellites and orthoimage mapping; digital processing and analysis of international satellite image; and series maps editing and geographic information system construction, etc. His theoretical attributions to Principles of Photogrammetry and Photogrammetric digitized Processing have produced extensive and profound influence on prompting spatial and quantitative analysis in the field of geo-science and realizing modernization.