

# 国土卫星影像应用研究

## ——京津唐地区资源与环境综合分析\*

傅肃性

(中国科学院地理研究所资源与环境信息系统国家重点实验室)  
国家计划委员会

1989年2月27日收稿

### 摘 要

本文利用国土卫星影像就京津唐地区的自然资源与环境调查进行了多学科综合应用和高层次专题制图的研究。在研究中,对影像的基本特性、质量和使用的技术指标作了较系统的分析,并按其精度、使用程度和效果等提出了评价。同时对国土卫星像片的几何配准,运用多项式与有限元法相结合的原理,进行了计算机和光学处理的对比研究。

本区资源与环境的遥感调查应用,主要是运用遥感地学原理,分析水文下垫面要素,划分水文环境类型,计算其产水量;分析非农业用地与总土地及其它用地的比例关系,探索土地利用类型结构的区域差异规律;农业低产地环境及其数量、质量特征的研究;综合调查森林资源,包括宜林地的生态环境、立地条件及宜林树种的生态与经济特性;以及以北京为中心的京津唐旅游圈及功能分区,矿产资源的赋存机制,区域地壳稳定性及区内近一万年来的自然环境的演化规律及其与国土整治、规划和城镇建设的关系等进行了多元综合研究。同时编制了一套高层次专题图件,并量算了各种资源数据。

**关键词** 扫描角 星下点 全景像片 高层次图 多元信息 应用系统

遥感技术,特别是航天遥感技术的迅速发展,使人类对地球科学的研究和认识,日趋深化。它们应用的领域正从资源清查、环境监测和区域综合分析向全球性系统的研究拓宽。

国土普查卫星资料是我国科学探测和技术试验卫星所获取的信息源。1985年10月和1986年10月,发射的两颗国土普查卫星,拍摄了大量的黑白像片和彩色红外像片。它是开展国土规划、环境整治、区域开发信息系统等研究的重要科学资料。

京津唐地区(包括北京市、天津市、唐山市、廊坊地区和秦皇岛市)国土卫星像片资源与环境综合调查研究,是开拓我国航天遥感技术为国民经济服务的新探索。

本研究的宗旨主要是编制京津唐地区国土规划,评价国土卫星像片及其应用效果,促进我国航天遥感的应用研究。其重点是:(1)分析研究我国国土卫星像片的基本特性、影像质量及使用的技术指标;(2)开拓国土卫星像片的应用领域,论证其应用的广度和深度,

\* 本文介绍的是在国家计划委员会国土司组织领导下,由中国科学院、地质矿产部、国家测绘局、航空航天部等部门所属26个单位协同完成所取得的集体研究成果。在课题研究和总结过程中,得到了有关部门领导的热情关心和支持,中国科学院学部委员陈述彭教授给予了具体地指导;张爱萍同志为研究报告题写了书名,宋平同志写了序,我们深表谢忱。

本文是笔者在1989年1月该课题成果鉴定会上的总结报告的基础上整理而成的。

以充分发挥其社会效益和经济效益;(3)开展本区资源与环境的综合调查分析,为国土整治、行业规划、生产管理和区域信息系统的建立,提供科学数据。

经过广大科技人员近 3 年的辛勤工作,该项研究达到了预期的目的,取得了丰硕成果,其中《京津唐国土资源与环境调查》和 1:50 万的高层次专题系列地图(8 幅),已由科学出版社出版。

## 一、国土卫星像片的几何特性与影像质量分析

我国返回式的国土卫星所获取的国土卫星像片,具有某些过渡型的特性。它是全景像片,是卫星在 200 公里左右的高度,由棱镜扫描式全景相机拍摄的。其特点是成像比例尺较大,图像分辨力高。但因飞行高度较低,卫星姿态稳定性较差,所以图像畸变较大。

基于上述因素,我们对国土卫星像片的特性、影像质量和使用的技术指标作了较系统的分析。

### 1. 国土卫星像片地面分辨力的分析

国土卫星图像的地面分辨力,与扫描角及航高成反向相关关系。从理论计算可知,卫星扫描成像,在星下点,当扫描角为  $0^\circ$  时,图像的地面分辨力可达 10.3 米,但扫描角增至  $55^\circ$ — $60^\circ$  时,像片边缘部位的分辨力减低为 40—45 米乃至 50 多米。研究表明,在第一代回收原片上(中心部位),借助于放大镜,经过多次选点分析,能识别出相应分辨力数值的地物,但在经反复拷贝的第四代像片上,其相应地物,则难以辨别。这与像片的冲洗质量、拷贝代数、目标物的形状以及背景物的对比度等因素有关。

### 2. 国土卫星像片比例尺的分析

全景像片的比例尺,主要也是随扫描角的不同而变化。当扫描角为  $0^\circ$  时,即像片的中心部位,其比例尺为 1:20 万—1:22 万,当扫描角  $55^\circ$ — $60^\circ$  时,在像片的边缘部位,比例尺变小。这种比例尺的变化与全景畸变、扫描位置畸变和像移补偿畸变有关。另外,全景像片比例尺的变化也与卫星摄影高度相关。例如,航高 175 公里时,星下点像片的比例尺约为 1:20 万,当航高在 200 公里时,星下点像片的比例尺是 1:23.5 万。所以,应用国土卫星像片时,必须考虑这种变化关系。

### 3. 国土卫星影像质量的剖析

国土卫星全景像片的框幅约为  $1.78 \times 0.2$  米<sup>2</sup>,因此,像片的中心部位与边缘部位,因扫描角和航高的不同,其影像质量是有差异的。为了能合理地使用这种信息源,我们对它作了综合分析,以期确定一个应用的技术指标。

为此,我们以 1:25 万地形图为基准,选取北大港—山海关以北一线的国土卫星像片为样片,选择了 19 个同名地物点,对像片比例尺与距像片中心位置的关系及其同名点方位的变化等作了量算对比分析,其结果是,(1)地形图与国土卫星像片上同名地物点连线的相对方位角误差小于  $2^\circ$  的,其影像质量较好;(2)据比例尺变化的速率分析,当扫描角

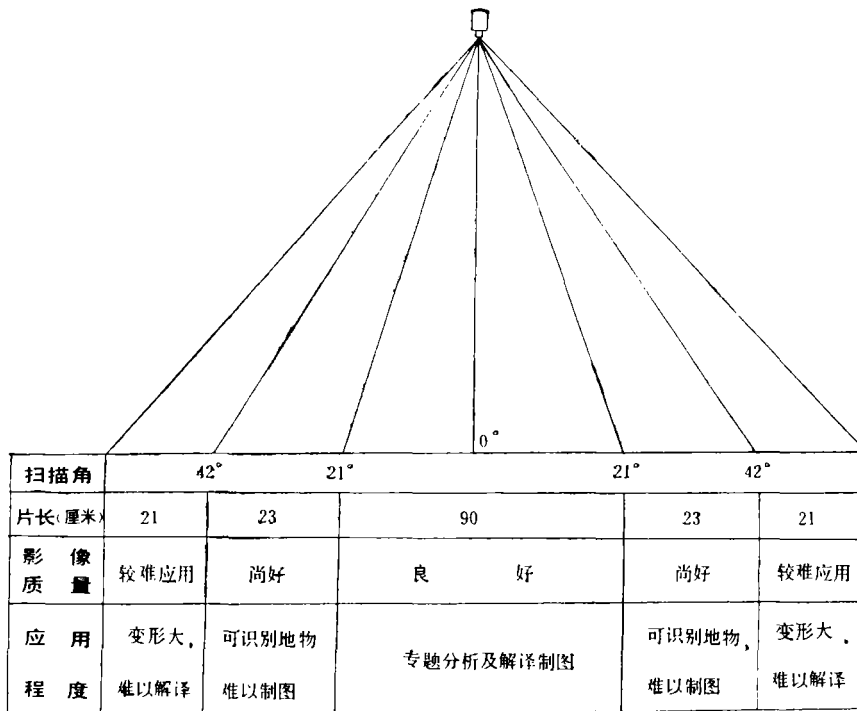


图 1 国土卫星影像质量分析示意图

Fig. 1 Quality analysis of satellite image of China

为  $\pm 21^\circ$  左右时, 国土卫星像片的比例尺与距像片中心距离的关系曲线, 变化骤然;  $\pm 21^\circ$  以下段, 影像质量较好;  $\pm 21^\circ$  以上段, 影像质量尚可; 大于  $\pm 42^\circ$  时, 影像较难利用(图 1)。

由上述分析可见, 国土卫星全景像片的质量,

当扫描角  $\leq \pm 21^\circ$  时, 影像质量良好;

扫描角  $> \pm 21^\circ - \leq 42^\circ$  时, 属尚好;

扫描角  $\geq \pm 42^\circ - \pm 60^\circ$  时, 较难应用。

## 二、国土卫星像片在资源与环境调查及其系列制图中的应用

影像质量的分析, 为调查制图等应用, 提供了一定的使用技术指标。但为能保证应用成果的质量, 对卫星姿态呈非稳定性状态下拍摄的全景像片, 进行几何配准等图像的处理, 是资源与环境调查及制图中的一个重要环节。

在影像质量分析中, 主要采用了有限元几何纠正法。即首先运用多项式或带附加参数的光束法, 对矩形单元作双线性变换, 剔除控制点的数据粗差, 对空间图像进行预处理; 然后再将其按地图坐标系分若干矩形单元, 进行有限元法的空间图像几何纠正。实验表明, 采用有限元纠正法, 能满足 1:25 万专题制图的几何精度要求。该方法比单纯用多项式法纠正的精度要高一倍。

京津唐地区 1:25 万国土卫星影像地图的研制, 为本区的专题调查、系列制图及资源

数据的量算,提供了可控制精度的影像底图。

综合性区域专题调查与高层次系列专题制图的遥感应用,主要包括水文下垫面要素分析,估算水资源量;非农业用地与其它土地面积的关系,及其动态变化的因果关系讨论;森林资源、宜林地生态环境及其指示群落、立地条件和生态地理系统平衡的法则研究;劣质土退化地的数量与质量特征的研究;以北京为中心的旅游圈资源调查及按旅游功能综合评价的资源分区;自然环境要素变迁的形迹分析,环境演化与国土整治、城镇建设等关系的研究;变质岩区矿产成矿机制的多元信息分析;区域地壳稳定性综合分析评价与工程建设;城市区域规划、管理和城市环境整治研究。

下面就国土卫星像片等遥感资料在以上 9 个专题研究中的应用,作些简要的分析。

### 1. 区域水文环境类型的遥感分析

京津唐地区的水资源问题,是制约本区经济发展、影响区域环境的重要因素。因此,探索一条快速准确地评价估算水资源量和预测前景的新途径,是具有深远意义的。

目前利用遥感技术还不能直接提取计算水资源量的有关参数信息。但运用遥感的多元信息特征,分析水文下垫面要素,划分不同水文环境类型,应用经验公式及结合类型特征所选取的参数(如多年平均最大可能损失量)估算其产水量,仍不失为一种快速有效的方法。

因为制约水资源形成、运移、贮存等的水文环境类型,不仅具有基本相同的地表水形成、径流过程,而且对地下水还有着基本相似的补给、贮存、径流等条件,所以,在相同的类型单元中,采用类同的计算参数来估算水资源量是可行的。

水资源遥感评价估算结果表明,全区水资源量约 130 亿立方米,与常规估算的数字基本近似。可见,利用遥感技术分析影响径流形成、运移、蓄水条件的水文环境因素,进行水资源量的估算是经济实用的途径之一。其准确性与对区域水文地质等认识程度、计算模式的合理性以及参数选取的代表性密切相关。

### 2. 土地利用类型结构特征的遥感分析

京津唐地区大城市集中,人口稠密,中小城镇居民地密布,交通、工矿业发达,旅游业兴盛,……。这些特点构成了土地利用新的结构比例关系。比如,非农业用地与总土地面积的关系,非农业用地与耕地面积的比例等等。对此,利用国土卫星像片分辨率高的特点,对前述有关类型作了重点反映,如真形居民地的表示,即为非农业用地等量算提供了可靠的依据。在此基础上,我们深入研究了非农业用地要素的密度分区,以确定它们的扣除系数,从而较准确地量算了土地利用类型数据。例如,全区可耕地面积 4400 多万亩,占总面积的 51% 多,净耕地面积近 3800 万亩,占总面积的 45%。同时,还获取了一系列有关的二次数据。比如,本区平原地区的交通、居民地和耕地之间的比例为 1:2.5:11.7。这些均有利于本区土地利用的科学规划和合理开发应用。

在 1:25 万专题类型图上量算的耕地数据与本区行政部门统计的耕地数据有一定的差异。总的说,量算出的各县耕地面积,一般都大于有关部门统计的数据,平均约差 14% 左右。当然,不同地区,其差异是不一样的。比如,山区诸县比平原诸县的耕地数差异要大。

因此,准确及时地掌握不同地区、不同条件下这类数据的差异系数,是清查土地资源需要研究的重要课题。初步实验认为,选用不同时期、多元信息复合的综合分析方法,从各典型区制图量算、统计分析中可以获得不同区域的耕地差异系数。自然,这是一个较复杂的问题,需考虑多种因素,比如对各部门制图量测、统计的原则、方法乃至政策,都须作统一的研究。它们对于土地的现代科学管理、城乡总体规划与决策应用是十分重要的。

### 3. 农业低产地的类型及其相关分析

前面从数量特征上研究了土地利用的性质和程度,然而,未能反映出土地的质量特征及其相关制约性。利用遥感技术不仅可以从数量特征上清查其分布的地域差异,而且能在质量特征上分析其发生发展的地理背景、生态环境及其演化趋势。

例如对于农业低产地(这里指的是劣质土退化地,主要包括盐碱地、洼涝地、风沙地、侵蚀地和污染地等)就可以从影像特征及间接因素(如地貌特征、气候条件、水文状况及人类活动)加以研究,分析其成因、迁移和趋势。如城镇工矿区的污水灌溉,虽缓解了局部地区的水资源短缺问题,也起了净化污水的作用,但却污染了土壤和地下水,形成二次污染。诸如此类的问题,均可通过地学、生物学和遥感分析,为农业低产地生态环境的治理和改良提供科学依据。

### 4. 森林植被生境调查与宜林地指示群落等研究

本区的植被包括自然的和人工栽培的两类。自然植被一般有针叶林、阔叶林、针阔混交林、灌丛、草丛、草甸、沼泽植被和盐生、沙生植被及水生植被。栽培植被包括人工林、果园、园林绿化地、果粮间作地及农作物等。它们的分布具有一定的地理规律性(图 2)。

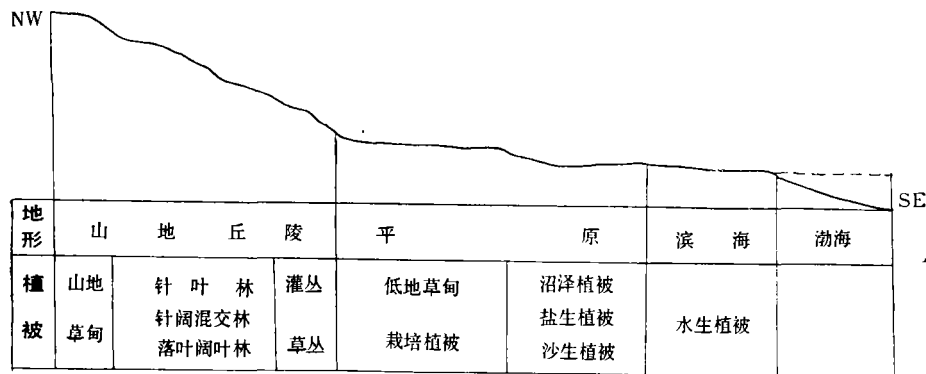


图 2 京津唐地区植被地理分布示意图

Fig. 2 Geographical distribution of vegetation of Beijing-Tianjin-Tangshan

该区的森林植被,长期以来,曾因人类的活动和破坏,导致区域生态环境不断恶化,形成了一种逆向演替的发展趋势,这就形成了本区目前以天然次生林和人工林为主要森林植被和森林资源的特点。因此,开展森林和宜林生境与立地条件的遥感应用研究,对于发

展本区的森林资源,具有重要的战略意义。

本区山地次生林植被的生态分布及植物群落特征等都有明显的垂直地带规律。森林、草地主要分布在山区。例如,油松林及针阔混交林一般分布在低山丘陵区和中山区。平原地区大部分是栽培植物。未开垦的河滩洼地、沼泽滨海区分布有草甸、沼泽植被和盐生植被。它们主要受地下水位变化、盐渍化程度、河道变迁及人类活动的影响。滨海和河泛区多是沙生植物。

本区的森林覆盖面积,依据 1:25 万森林植被资源图的量算,约为 60 万公顷(未包括果粮间作和林粮结合分布地),占全区总面积的 10.83%;宜林地<sup>1)</sup>面积为 86 万多公顷,占全区总面积的 15% 多。可见,宜林地是发展本区森林资源的重要基地。

山地宜林地的主要指示群落有落叶灌丛、灌草丛、草丛和山地草甸等,其中落叶灌丛分布区是山地中的重要宜林地,而山地杂类草草甸地是优良的宜林地,适于发展本区山地各种温带森林。

平原宜林地指示群落有低地草甸、盐生和沙生植被等。

对于宜林地的立地条件,从地形的高度、坡度和坡向因素,土壤的厚度、湿度和酸碱度等主导因子作了研究,另外,对宜林树种的生态经济特性也作了分析。

通过森林植被资源调查,我们认为:(1)以中山为主体的西部山地丘陵是现存森林的主要分布区,它是恢复本区森林植被的重要基地。今后应以其为基点,进行森林资源的总体规划;(2)以落叶灌丛、灌草丛为主分布的宜林荒山荒地,正处于向森林发展的演替过程,所以,落叶灌丛覆盖的宜林地应是该区植树造林的基地;(3)平原区,除按不同的指示群落、立地条件进行森林规划外,应注意发展防护林,并建立起防护林体系。

### 5. 旅游景观及其资源的影像分析

自然风景区的构景一般是由地貌、地质、水文、植被、气候等要素的特殊环境影响所形成的。因此,掌握自然环境内部景观分异特征,是利用卫星影像揭示风景资源类型和发掘旅游资源的新方法。

由不同岩性所塑造的景观,其形状千姿百态,奇峰异岭、岩溶洞穴、幽谷曲流等,往往栩栩如生地展示在影像画面上,因此,运用地学分析和地景素描的手法,表现不同的旅游景观特征,是旅游风景资源制图的一个特色。

本区集有山岳、河川、原野、滨海、淀泊等景观之美,有不少潜在旅游资源缀布在山、谷、林、泉的组合地域中,而揭示这些新的景点,则是卫星影像的特长。

在调查本区的旅游资源时,既注意到了行政单元的整体性,又考虑了旅游地理的系统性。因此,全区的旅游资源规划图,是根据以北京为中心的旅游圈观点来设计的,以构成北京与承德、秦皇岛、天津等横向性的旅游网络,发挥区域旅游资源的优势,并逐渐形成由北京中心环向外环乃至四周扩展的大旅游区。

### 6. 主要地质体特征分析与矿产赋存机理研究

运用遥感技术研究矿产资源的方法,往往是先分析地质体,即地层、岩性、褶皱构造、

1) 指适于造林的各类土地,包括有植被和无植被两类。

线性构造和环形构造等地质体的影像特征。因为,不同地层不同岩性的影像特征,通常以不同的纹理结构表征其差异。例如,网状、扇状条带纹形,多是第四系沉积物;环状线性纹形,一般为环形构造。而矿产的赋存与这些地质体特征紧密相关。

调查分析表明,变质铁矿的赋存与变质岩褶皱有关,主要赋存在复向斜和向斜构造中。而环形构造(含隐伏的),又多是区域铁矿等控矿的重要条件。因为矿产的分异、运移和富集主要是地壳运动构造的结果。所以环形构造的形成与隆起构造、岩浆侵入和火山喷发紧密相关。例如金属矿产的形成,多数出现于环形影像的边缘部位或是环内断裂、交叉相交部位。这些部位正是地质作用较频繁、易断裂、破碎的薄弱地段。多组短线型密集带也是它的一种表现。例如,本区迁西地区有数个此类构造区,已发现有金矿赋存。显然,诸如环形等构造都可作为预测金矿的依据之一。同时,也是铁矿、铜矿、钼矿等赋存区和找矿判读的标志。

### 7. 区域地壳稳定性的遥感分析评价

这是一项正在探索的应用研究工作。对于城市规划和生产建设具有重要作用。

区域地壳稳定性主要是依据线性影像分析,确定其中活动性断裂的展布和活动强度,研究与历史地震的关系以及现今应力场特征等,并根据这些分析研究作出综合评价。

京津唐地区,根据地壳形变,断裂易滑动角,地震的减震作用和沙土液化特点等进行了分区:

**稳定区:** 其地震烈度低于 VI 度。例如本区的北部和西南部山区;

**较稳定区:** 地震烈度等于或大于 VII 度,小于 VIII 度。主要分布于山前及平原的过渡带和主要河流冲积扇体的中上部;

**次稳定区:** 地震烈度达到 VIII 度。主要是位于距唐山1976年地震震中 100 公里以外的区域。

此外,对本区的一些重点工程也进行了稳定性评价,如铁矿厂址、铁路选线、城镇建设等项目,都取得了较理想的应用效果。

### 8. 自然环境要素变化的动态分析研究

本区的现代自然环境,是在最近一万多年来全新世时期才形成的。自此以后,该区的海陆分布、河湖水系、森林植被等自然要素,相继发生了重大变化。近两三千年来,尤其是近四五百年以来,自然环境受到人为活动的严重影响,致使区域环境恶化。

研究认为,利用遥感图像对近一万多年来形成的自然要素(如地表形态、水体环境的动态分析)有明显的的作用,因为这些要素类型间的结构、排列、叠置、镶接等关系在影像上均有较好的显示。因此,对诸要素的时空分布、演替特点、演进次序、发育层次等都能进行进一步地分析识别。

本区山地形态呈中山、低山、山前丘陵和台地的阶梯式变化分布;平原区从山麓至滨海呈洪积冲积倾斜平原、冲积平原、海积冲积平原、滨海平原的分带式分布。它们是长期地壳差异性升降运动等影响的结果。

上述研究,都是区域规划、环境整治和城镇建设的重要科学依据。

就平原来说,自新生代以来所形成的不同类型,各有特点。洪积冲积平原,其面上覆盖有晚更新世洪积冲积相黄土状土层,是全区工农业生产开发较早的地域。北京、唐山两市就座落在该平原上。科学合理地利用它,会产生事半功倍的效果。冲积平原是一系列古河道沙带所组成的扇形堆积区,是农业中、低产改造地带。它关系到该区中、小城市及其经济的发展。湖积冲积平原是洪涝多发的灾害区。海积冲积平原和海积平原是数千年前的海水淹没区。都是制约农业生产、城镇聚落发展的一个不可忽视的因素。因此,在京、津两大城市之间的广阔冲积平原上,建立起生态环境缓冲地带,对调节全区的资源、环境、人口等关系将产生深远的作用。

### 9. 城市区域规划中的应用研究

城市规划通常有区域规划、总体规划和详细规划等几种。为了弄清航天遥感能应用于哪一级规划,我们选择了具有不同特点的昌平、秦皇岛和唐山的典型市区作了研究。

(1) 城市区域规划背景分析 研究表明,国土卫星像片分辨力高,用于城市区域规划调查及背景系列图件编制是有效的、可行的,它可为城市区域规划的宏观决策提供依据。

(2) 城市功能结构变化与动态分析 城市土地利用的结构、比例关系是不断变化的,及时地掌握其变化规律,是城市总体规划的前提。例如秦皇岛市的商业区、住宅区、港湾区、旅游区、休养区及新开发区,其变化在卫星影像上都有展示,与原有的地形图、城市图、航空像片对比,均可获得城市结构、动态变化的图件和数据。

(3) 城市布局、配置和环境研究 城市的布局和配置是否合理,是现代化城市总体设计的重要内容之一。也是城市环境研究的重要组成部分。

例如秦皇岛市,据1:2.5万国土卫星像片分析,港湾区的交通场站、桥涵的配置及其它设施的布局,从整个城市不同功能的协调发展看,都应从全局出发作总体设计。又如唐山是一个以开发煤、铁资源为主的工业基地,因此,对城市环境的整治尤为重要。在该市的中心区南部及东北部,遍布着因采矿形成的地面塌陷坑,其中不少已积水,有的荒芜,在影像上呈蓝色或褐色的湖沼斑状特征,所以,利用卫星像片开展塌陷坑调查,对于矿区废弃地的再生利用、环境整治,将产生积极作用。也将对工矿区的生产配置、开发布局和绿化环境产生积极作用。如对那些形状极不规则的未积水或积水浅的塌陷坑,可规划填坑覆土、造田还耕;低洼积水深广的塌陷坑,可视其条件,发展养殖业;地理环境适中的塌陷坑,可填石造地用于建筑;城、矿区附近条件好的塌陷坑,可依形循势改建成水陆公园。总之运用遥感方法对这种废弃地开展全面清查,将可发挥明显的社会效益。

## 三、认识与启示

利用我国自己的国土卫星像片,开展大面积的区域综合应用研究,在国内还是首次。通过多学科多专业的多元信息综合研究,获取了一系列可用于区域开发信息系统的基础图件和资源数据。实践表明,全景国土卫星像片具有影像细致、层次清晰、分辨力高的特点,在农、林、水、土、矿产、环境评价、动态分析、旅游资源和城市规划等领域中的综合利用是经济有效的。

与此同时,我们还得到如下几点启示。(1) 国土卫星像片的应用,须了解和掌握区域地理背景、地域结构、分异规律,运用丰富的地学知识进行综合研究。因为遥感判读的过程,实际上是运用地学原理,复合多种信息反演地面实况的结果。(2) 国土卫星像片与多种信息复合应用的同时,将专家知识宝库运用于专业分析,使遥感信息和地学生物学的多元方法融为一体,能开拓出更广泛的应用领域,并达到新的深度。(3) 充分有效地利用专业知识,结合专业特色,研制生产性好的高层次专题综合图件,并建立区域性资源与环境信息系统及其数据库,能促进遥感技术的深化研究,发展资源卫星的应用系统,提高我国资源卫星资料应用研究的科学水平。

## STUDY ON APPLICATION OF NATIONAL SATELLITE IMAGE

### —Integral Investigation of Resources and Environment of Beijing-Tianjing-Tangshan Region

Fu Suxing

*(LREIS, Institute of Geography, Academia Sinica)*

#### Abstract

Application of national satellite image to investigation of natural resources and environment is a study of multidiscipline and high-level thematic mapping.

In this study, we systematically analyzed the basic characteristics, quality and technical indexes of the image, and evaluated the image from the view of point of accuracy, use frequency and effect. Moreover a comparative study of computer image processing and optic processing was done to solve the geometric registration of the image using multinomial and finite element method.

The principles of remote sensing in earth sciences were used in the investigation of resources and environment of the region to analyze hydrologic elements, regionalize hydrologic environment types, calculate water-yield; study the ratio relationship among agricultural landuse, non-agricultural landuse and total area, point out the regional difference of landuse type; research the qualitative and quantitative aspects of low-yield area environment; comprehensively investigate forest resources, including ecologic environment of the suitable-forest area, site and ecologic and economic aspects of suitable-forest tree; find out the travel circle surrounding Beijing and function regionalization, storage mechanism of mineral resources and crustal stability, evolution of natural environment in last ten thousand years and the relationship between them and land harnessing, planning and city and town construction. We also compiled one series of thematic maps of high-level, and calculated the resources data.

**Key words** Scanner angle Sub-stellar point Panoramic picture Map of high-level Multi-element information Application system