

# 遥感技术在地表基质调查中的应用

王雁亮, 侯红星, 王伟, 孙肖, 李东辉

中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心, 河北 廊坊

收稿日期: 2021年9月30日; 录用日期: 2021年10月29日; 发布日期: 2021年11月5日

## 摘要

为了深入践行习近平总书记提出的“山水林田湖草是生命共同体”的系统思想, 葛良胜等人提出了自然资源地表基质调查的问题。针对这个问题, 中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心开展了长三角宁波地区地表基质层调查项目。遥感技术具有视点高、视域广、数据采集快和重复、连续观察的特点, 获取的资料为数字化, 可直接进入用户的计算机图像处理系统。运用遥感技术对地表基质进行调查, 可以为综合调查提供基础资料、辅助支撑、拓展研究, 使野外地质工作者对工作区有一个宏观的认知, 减轻工作负担, 补充调查成果。工作中解译了宁波地区的地表基质的分布, 其中岩主要为岩浆岩, 有少量沉积岩分布于入海口两侧, 土主要分布于工作区的北部, 砾沿河流线状分布, 泥分布于沿海滩涂。本次工作探索了遥感技术在地表基质调查中的应用方法, 取得了良好的效果, 通过将遥感技术应用于地表基质层调查, 可以更好地为综合调查提供基础资料、辅助支撑、拓展研究, 对于加快建立自然资源统一调查、监测、评价制度, 健全自然资源监管体制具有重大意义。

## 关键词

遥感, 地表基质, 自然资源, 生态环境, 宁波

# Application of Remote Sensing Technology in the Ground Substrate Survey

Yanliang Wang, Hongxing Hou, Wei Wang, Xiao Sun, Donghui Li

Langfang Natural Resources Comprehensive Survey Center, China Geological Survey, Langfang Hebei

Received: Sep. 30<sup>th</sup>, 2021; accepted: Oct. 29<sup>th</sup>, 2021; published: Nov. 5<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

In order to thoroughly implement the systemic thought of “landscapes, forests, fields, lakes and grasses are a community of life” put forward by General Secretary Xi Jinping, Ge Liangsheng and

others raised the question of ground substrate survey of natural resources. In response to this problem, the Langfang Comprehensive Natural Resources Survey Center of the China Geological Survey has launched a pilot project of ground substrate survey of natural resources in Baoding. Remote sensing technology has the characteristics of high point of view, wide field of view, fast and repeated data collection, and continuous observation. The acquired data is digital and can be directly entered into the user's computer image processing system. The use of remote sensing technology to survey the ground substrate can provide basic data, auxiliary support, and expand research for comprehensive surveys, so that field geologists have a macro understanding of the research area, reduce workload, and supplement survey results. The work explained the distribution of the ground substrate survey in Ningbo area. The rocks are mainly magmatic rocks, and a small number of sedimentary rocks are distributed on both sides of the sea entrance. The soil is mainly distributed in the northern part of the work area. The gravels are distributed in a linear form along the river, and the mud is distributed in the sea. Shoal along the beach. This work explored the application methods of remote sensing technology in ground substrate survey and achieved good results. By applying remote sensing technology to ground substrate survey, it can better provide basic data, auxiliary support, and expanded research for comprehensive surveys. It is of great significance to accelerate the establishment of a unified natural resource investigation, monitoring, and evaluation system, and to improve the natural resource supervision system.

## Keywords

Remote Sensing Technology, Ground Substrate, Natural Resources, Ecological Environment, Ningbo

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

遥感技术是根据电磁波的理论,应用各种传感仪器对远距离目标所辐射和反射的电磁波信息,进行收集、处理,并最后成像,从而对地面各种景物进行探测和识别的一种综合技术。遥感技术通常是使用绿光、红光和红外光三种光谱波段进行探测。绿光段一般用来探测地下水、岩石和土壤的特性;红光段探测植物生长、变化及水污染等;红外段探测土地、矿产及资源。遥感技术在自然资源调查中具有不可忽略的优势。一是遥感技术的宏观观测能力强大,获取的图像数据空间范围比地面观测视角范围要大得多,且不受地形地貌的影响。二是遥感技术在动态监测优势明显,遥感卫星按照一定的周期,通过获取同一地区不同时间的遥感数据,实现动态监测地表事物或现象的目的。三是遥感技术探测手段多样,数据量大,遥感技术通过不同遥感平台和传感器的组合,产生了多种探测手段和技术方法。四是遥感影像数据具有综合性与可比性,遥感数据是地表瞬间各种自然要素和人文要素的真实再现,和其他数据尤其是地图数据没有经过取舍,因此具有很强的综合性,可以满足不同用户的多种需求。

地表基质调查的相关研究早在 1993 年就被提出,从地球关键带[1]、立地层[2]直至如今的地表基质层,历时 27 年。期间经历了多次定义、框架、结构的更改,逐步完善,直至 2020 年 1 月 17 日自然资源部发布了《自然资源调查监测体系构建总体方案》(以下简称《方案》),《方案》中提出了自然资源分层分类模型的概念。地表基质调查是新时代自然资源调查监测体系不可或缺的组成部分,其数据与成果,在自然资源统一管理、科学研究、国土空间综合利用和科学规划、生态环境保护修复和综合治理等方面的支撑服务领域十分宽广,作用突出、意义重大。遥感技术在其中可以发挥重要的作用。运用遥感技术

可以在多期多源的卫星遥感影像中提取需要的要素,如耕地、林地、草地、建筑、园地、水系、地形等,在未进行野外地质工作时提供一手资料,并在野外调查工作时克服地形和天气带来的不利影响进行宏观解译,更好更快地为调查工作提供支撑服务。

## 2. 遥感技术在地表基质调查中的意义

### 2.1. 概念提出的过程

《地球科学新的研究机遇》(NRC, 2020)一文中提出了地球关键带是指异质的近地表环境,岩石、土壤、水、空气和生物在其中发生着复杂的相互作用,在调节着自然生境的同时,决定着维持经济社会发展所需的资源供应。范围边界在横向上,关键带[3]既包括已经风化的松散层,又包括植被、河流、湖泊、海岸带与浅海环境。在纵向上,关键带自上边界植物冠层向下穿越了地表面、土壤层、非饱和的包气带、饱和的含水层,下边界通常为含水层的基岩底板。

党的十八大以来,习近平总书记从生态文明建设的整体视野提出“山水林田湖草是生命共同体”的论断,强调“统筹山水林田湖草系统治理”,“全方位、全地域、全过程开展生态文明建设”。推进生态文明建设,需要符合生态的系统性,坚持系统思维、协同推进,牢固树立、深入践行“山水林田湖草是生命共同体”的系统思想。人的命脉在田,田的命脉在水,水的命脉在山,山的命脉在土,土的命脉在树。用途管制和生态修复必须遵循自然规律,如果种树的只管种树、治水的只管治水、护田的单纯护田,很容易顾此失彼,最终造成生态的系统性破坏。生态文明建设是中国特色社会主义事业的重要内容,关系人民福祉,关乎民族未来,事关“两个一百年”奋斗目标和中华民族伟大复兴中国梦的实现。

《方案》[4]提出根据自然资源产生、发育、演化和利用的全过程,以立体空间位置作为组织和联系所有自然资源体的基本纽带,以基础测绘成果为框架,以数字高程模型为基底,以高分辨率遥感影像为背景,按照三维空间位置,对各类自然资源信息进行分层分类,科学组织各个自然资源体有序地分布在地球表面、地表以上及地表以下,形成一个完整的支撑生产、生活、生态的自然资源立体时空模型(图1)。其中提出的自然资源分层分类模型中的第一层被命名为地表基质层。在遥感技术快速发展的今天,国产遥感卫星接连发射成功(如高分系列),遥感对自然资源调查与监测的作用也愈发凸显,本文以自然资源基础调查工程下属项目——长三角宁波地区地表基质层调查项目内容为基础,对遥感技术在地表基质层上的应用进行探究。

在《方案》中提出的自然资源分层分类模型中,第一层被命名为地表基质层。地表基质是地球表层孕育和支撑森林、草原、水、湿地等各类自然资源的基础物质。海岸线向陆一侧(包括各类海岛)分为岩石、砾石、沙和土壤等,海岸线向海一侧按照海底基质进行细分。

结合《方案》,葛良胜等(2020) [5]进一步完善提出了自然资源地表基质概念,提出地表基质层是当前出露于地球陆地地表浅部或水体底部,由天然物质经自然作用形成,孕育和支撑(但不一定或不限于)森林、草原、水、生物等各类自然资源的基础物质层。组成地表基质层的基础物质就是地表基质。而地表基质层的厚度,作为自然资源调查的客观对象之一,建议将这一深度确定为自地表或水体底面向下延深不超过 50 m 的范围(特殊情况下可以更浅或更深,这是一个着眼于调查工作需要而划定的人为边界,而非该层的自然物理边界)。

殷志强(2020) [6]在地表基质项目研讨会上提出,地表基质层是指陆地表层或水体底面以下,由自然过程形成的天然岩石和沙砾粘土等构成的地质体组成物质,其由固结或半固结岩石、第四系沉积物和风化残积物及其在表土母质基础上发育形成的土壤层所组成。是表生地质作用影响的范围,也是水、气、能量交换的主要发生地带,是风化、淋滤淀积、植被生长、微生物活动等各种过程所主导的地球关键带的核心区域。

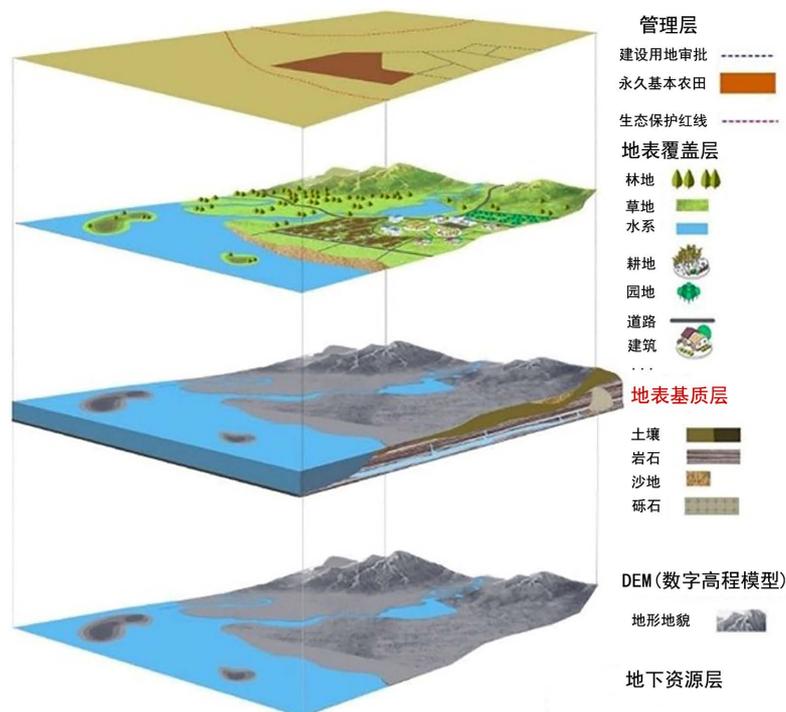


Figure 1. Hierarchical classification model of natural resources  
图 1. 自然资源分层分类模型

鲁敏(2020)等在河北省保定市自然资源地表基质层试点调查项目中,通过大量资料收集分析,将地表基质的概念初步定义为:出露于地球表层或水体底面以下,由天然物质经自然作用所形成的岩、砂砾、土、泥等组成的孕育和支撑森林、草原、水、湿地等各类自然资源的近地表圈层。岩石、土壤、水和生物在其中发生着复杂的相互作用,是水、气、能量交换的主要发生地带,在调节着自然生境的同时,决定着维持经济社会发展所需的资源供应。作为自然界客观存在的一个层位,其顶底界不因所支撑孕育资源需求、不因人类活动需求而产生变化(横向上主要包括岩石和第四系松散堆积物,纵向上主要包括土壤层、非饱和的包气带)。

## 2.2. 遥感的优势

开展地表基质调查对自然资源统一管理和科学研究、国土空间统一规划和用途管制以及生态环境整体保护修复和综合治理有着深远地意义[7]。遥感在自然资源地表基质调查中有着明显的优势。

### 2.2.1. 宏观观测能力强

遥感技术获取的图像数据空间范围比地面观测视角范围要大得多,且不受地形地貌的影响。一张比例为 1:35000 的 23 cm × 23 cm 的航空相片,可以反映出 60 多平方千米的地表综合景观实况;一副陆地卫星 TM 图像的面积可以达到 34,225 平方千米;极轨气象卫星在一条轨道的扫描宽度可达 2800 千米;一颗地球静止卫星的观测面积可达 1.7 亿平方千米。遥感技术可以从不同的空间尺度上实现大范围、多尺度的对地观测,这不仅拓宽了人们的视觉空间,为宏观地掌握地面事物的现状情况创造了极为有利的条件,同时也为宏观研究自然现象和规律提供了宝贵的第一手资料。

在地表基质调查中遥感技术能克服地形、环境、天气等不利因素的限制,区别于常规调查需要时间久的问题,使用较短时间借助遥感卫星进行大范围调查解译,在调查初期提供一手调查草图,为调查工作路线安排、调查重点地区部署等工作提供重要支撑。

### 2.2.2. 动态监测优势明显

遥感卫星按照一定的周期,通过获取同一地区不同时间的遥感数据,实现动态监测地表事物或现象的目的。遥感技术通过对地表周期性的重复观测,使人们能快速地掌握地表事物的变化,并在此基础上分析和研究事物变化的规律,发展趋势,进而为区域经济和社会发展决策提供科学支持。遥感动态监测具有数据获取速度快,数据一致性和对比性强的突出优势,这是传统方法无可比拟的。在一些范围比较广的区域地质勘探,应用遥感技术比传统的人工测量效率更高且成本更低。

在地表基质调查中,常规调查仅能对当前情况进行调查,无法对过去的情况进行调查,而收集前人资料与当前项目的调查方向和任务目标存在一定的差异性,且调查手段较为单一,不能很好地为调查项目服务,而遥感技术可以对历史影像数据进行研究解译,精确选取项目需要的具体时相的影像数据,进行针对性的调查解译,并对诸如农作物生长、河流水系变迁等监测类的调查方向,进行多年份、多时相的调查解译,为项目工作提供有力可信的资料服务。

### 2.2.3. 探测手段多样

遥感技术通过不同遥感平台和传感器的组合,产生了多种探测手段和技术方法。现代遥感利用可见光,紫外线,红外线,微波多种波段探测物体,不仅能探测地表的性质,还能探测到目标一定深度。微波波段具有对云雾冰等穿透性,可深化对被测目标的认识。微波波段还具有全天候工作的能力。多种探测手段使得获取的数据类型多样化,用户可以发挥这种优势,通过数据类型的优势互补,为遥感数据的综合分析与信息提取,深入研究地表事物和现象提供重要保障。

在地表基质调查中,遥感技术可以利用不同波段信息,借助光谱特性对土壤成分、水分、湿地分布、植被长势等进行分析,侧面对地表基质类型及自然资源进行调查,为调查工作提供多类型解译内容。

### 2.2.4. 数据具有综合性与可比性

遥感数据是地表瞬间各种自然要素和人文要素的真实再现,和其他数据尤其是地图数据没有经过取舍,因此具有很强的综合性,可以满足不同用户的多种需求。遥感探测所获取的是同一时段,覆盖大范围地区的遥感数据,综合展现了地球上的自然与人文现象,宏观反映了地球上各种事物的形态与分布,真实再现了地质,地貌,土壤,植被,人工构筑物等地物的特征,全面揭示了地理事物之间的关联性,并且这些数据在时间上具有相同的现势性和可比性。

在地表基质调查中遥感技术借助影像数据的综合性,可以对同一地区相同时相的不同要素的解译结果进行分析,探究要素之间的相关性,如对宁波地区的植被分布和地表基质类型进行相关性研究,探究不同植被与地表基质的关联,为地表基质调查任务提供支撑。

### 2.2.5. 精度高

遥感技术经过多年的发展,无论在光谱分辨率、空间分辨率、时间分辨率等方面都有巨大的进步,已经形成高光谱、高空间分辨率、全天时、全天候、实时的对地观测能力。这些先进的航天遥感技术为监测全球变化、区域环境变化等提供了大量的宏观、现势性资料,造福于人类及其安居环境。尤其是自法国发射了 SPOT-1 号卫星以后,基于现势性极好的传输型高空间分辨率卫星遥感图像的应用已引起了世界各国的普遍关注。卫星影像的地面分辨率由 10 m、5 m、2 m、1 m、甚至 0.16 m 逐步提高,高分辨率遥感图像的产生,不仅使土地利用、城市规划、环境监测等民用方面有了更便利、更详细的数据来源。

在地表基质调查中,基于重点工作区的大比例尺调查任务,使用高分辨率的遥感影像数据可以将地表基质分类、土地利用分类、水系等的边界更加精细地划分,对路线调查起到了一个很好的补充作用。

### 3. 遥感技术在地表基质中的调查方法

#### 3.1. 传统地质遥感解译方法

为了准确进行遥感地质解译,应对解译区的地质基础、构造格架、灾害地质、地形地貌和水文情况等要有粗略的了解。目标物在不同比例尺的遥感图像中以形状大小构成不同的形态标志特征,是界定和识别目标物的重要解译标志。各类目标物在图像中的形态特征是以点、线、面等组所组成的形状加以区别的。

##### 1) 点影像特征

点的几何含义是没有量的概念,但在遥感图像中肉眼可识别的点,往往是由数个或数十个像元点组成的色调(彩)组合,它们代表了地面一定面积内各种目标的综合反射率。影像中的点是色调或色彩的直观表现,这些差异不同的点的色调(彩)代表着不同点状物体反射特性的差异。在自然界中,相同或相近波谱特性的目标物往往具有一定规律的排列形式,它们在遥感图像中也就以不同排列形式的点状影像特征组合揭示目标物的属性。

##### 2) 线影像特征

线影像是相同性质点影像连续的线状排列。线影像可以是人文活动或地形地貌、河流水系等自然形态的线状痕迹的表现,也可以是线状地质体或地质现象的线形影像特征。从遥感地质解译角度,线性主要指非人文活动的地学线性地质体或地质现象,它们往往代表断裂、节理、破碎带、变质构造、岩脉、岩层产状、不整合,以及地形水系等自然线状迹线。

##### 3) 面影像特征

面影像是地物空间形体性质相同的点影像的集合,即不同形态面状物体在二维投影平面显示出的面状形态特征。通常所见面状影像有脉状、板状、透镜状、浑圆状、椭圆状、环状和不规则状等。这些面状形态特征往往以相互间独特的色调(彩)特征显现出来。与面状影像相关的地质属性有侵入岩体、岩脉、断层面、岩层面及不同组合的岩层条带、构造岩块等组合形式。

##### 4) 纹形特征

纹形影像是指图像具有相同或相似形态影像组合显示出一种特征的纹形图案。这些纹形图案是相同或相似岩性构成的微地形地貌、影纹结构、水系类型等地物景观影像的直接表现。

##### 5) 地形地貌特征

地表地物的地形地貌特征在图像上的显示具有一定的规律性,即地貌类型、形态及组合形式不同,反映的岩性、岩石类型也不同。

将这些方法应用到地表基质调查遥感解译中具有重要的意义。

#### 3.2. 地表基质遥感解译

对前人资料研究、分析和总结的基础上,充分利用地质、水文、地理、物化探、资源等资料,结合路线调查,对复杂地貌、地质体和特征性资源区加密调查路线。针对各项专题调查工作的不同特点,采用不同的解译方法,提取出所需要的信息。总结地表基质的分布规律,为野外实地调查及地表基质层分布规律探索提供依据。

以区域地质图为基础,基于遥感影像进行边界划分,在划分各类地表基质之间的界线时,由于植被覆盖较厚,直接的解译标志已经基本消失,但不同地表基质对植被的影响是不同的,如植被的颜色、长势等;各类地表基质所形成的冲沟的长短、切割深度的大小也有一定的差异,其所构成的水系类型也有一定的差异;再有不同地表基质的抗风化能力不同,则形成的山体形态、山脊和沟谷的形态亦不一样。依据不同地表基质在影像中表现出不同的色调及条纹直接判别,地形地貌特征间接划分其界线,同时对不同成因的第四系沉积物可判译划分。

### 3.2.1. 岩

以 1:50000 数字高程模型(DEM)结合遥感影像进行岩土边界划分, 根据自然资源地表基质分类体系, 选取山地区与平原区过渡带的合适位置作为岩土间的界线, 而后结合山地区影像图的纹理、形态、颜色及上覆植被特征对地表基基层岩石单元进行划分。

### 3.2.2. 砾

砾石主要分布在山前地带和洪积平原内侧, 地貌上组成山前倾斜平原, 扇状水系发育, 影像颜色与当地沙、砾石的矿物成分有关, 一般呈灰黑色, 也有蓝灰色、灰褐色、灰黄色等色调。其岩性从剖面上看, 在砾质平原区为沙、砾石夹沙层透镜体; 在细土平原区为亚砂土或亚黏土与沙或含砾、沙互层; 在西北干旱地区, 图像上多呈白 - 浅灰色。岩性为亚砂土、亚黏土与砂砾互层。

### 3.2.3. 土

土一般分布在洪积平原内侧和常年性流水河流的河床两侧, 地貌上组成地形平坦的冲洪积平原, 辫状水系特征明显。在植被生长茂密的地区, 图像上呈浅绿 - 灰绿色, 在西北干旱地区, 图像上多呈白 - 浅灰色。岩性为亚砂土、亚黏土与砂砾互层, 有时表层有厚度不等的沙土或亚砂土。

### 3.2.4. 泥

泥一般分布于季节性河流两测、湿地沼泽和水库水面附近, 地貌上组成倾斜的冲击河道和湖积河床。图像上呈浅黄色 - 深褐色。

## 3.3. 工作流程

地表基质遥感调查详细工作流程如下(图 2):

第一, 对研究区相关资料进行收集和分析。收集相应研究区的基础地质、灾害、地貌、水文、遥感、自然资源等相关成果资料, 形成对研究区的基本地质情况的了解。

第二, 收集覆盖工作区的遥感影像数据和相应数字高程模型, 选取的遥感影像数据分辨率应符合研究区需求, 被解译的地质环境因子应在相应比例尺遥感影像上显示纹理清晰, 特征明显, 研究区内云覆盖率应少于 5%, 且不覆盖明显地物; 数字高程模型应达到研究精度要求。结合数字高程模型对遥感影像进行预处理、影像融合、几何校正、正射校正、镶嵌、裁剪等处理, 制作出正射遥感影像图。

第三, 结合前人资料绘制研究区地表基质遥感解译草图, 建立初步的典型地表基质遥感解译标志, 设计贯穿地表基质单元的野外踏勘路线, 并进行野外踏勘。野外踏勘中结合实地结果将典型地表基质与遥感影像建立对应关系, 根据色调(色彩)、阴影、地形地貌、影纹图案建立并完善研究区地表基质遥感解译标志。

第四, 从影像图入手, 建立地表基质在研究区的整体概念, 采用人机交互的方式按照研究区地表基质遥感解译标志的研究区遥感影像图进行详细解译并绘制研究区初步地表基质遥感解译图, 对于解译标志明显的图斑, 应尽量解译到设计的最小填图单元, 并在解译中对有异议的位置进行标注, 以便下一步的外业验证重点验证。

第五, 设计外业验证点及路线。验证点应着重布置在以下位置: ① 所圈定界线不明确的地段; ② 所解译地表基质界线不能确定或需要追索连接的地段; ③ 解译程度不够或与以往资料有较大差别的地段; ④ 有重要水文地质、工程地质、环境地质意义的地段; ⑤ 地质环境演化分析和区域地质环境综合评价有意义的地段; ⑥ 研究区重点研究的地段。按照不同可解译程度设计验证点数。根据设计的验证点结合交通情况和地形地貌设计外业验证路线, 验证路线应尽量穿越地表基质界线。

第六, 外业验证并对验证结果进行质量检查。按照验证路线进行外业验证, 并按照验证结果对研究区初步地表基质遥感解译图进行修正, 并计算解译准确率。对解译准确率不达标的地区进行原因探究,

补充解译后重新设计路线进行外业验证。

第七, 对外业验证的原始资料进行自检、互检、项目抽检, 核查验证点线的布置正确性、地表基质解译标志正确性、地表基质分类及界线准确性和原始记录完整程度。对有问题的地方进行修改完善、补充解译、验证, 结合所得成果完善并绘制研究区地表基质遥感解译图, 并结合图件编写地表基质遥感解译成果报告。

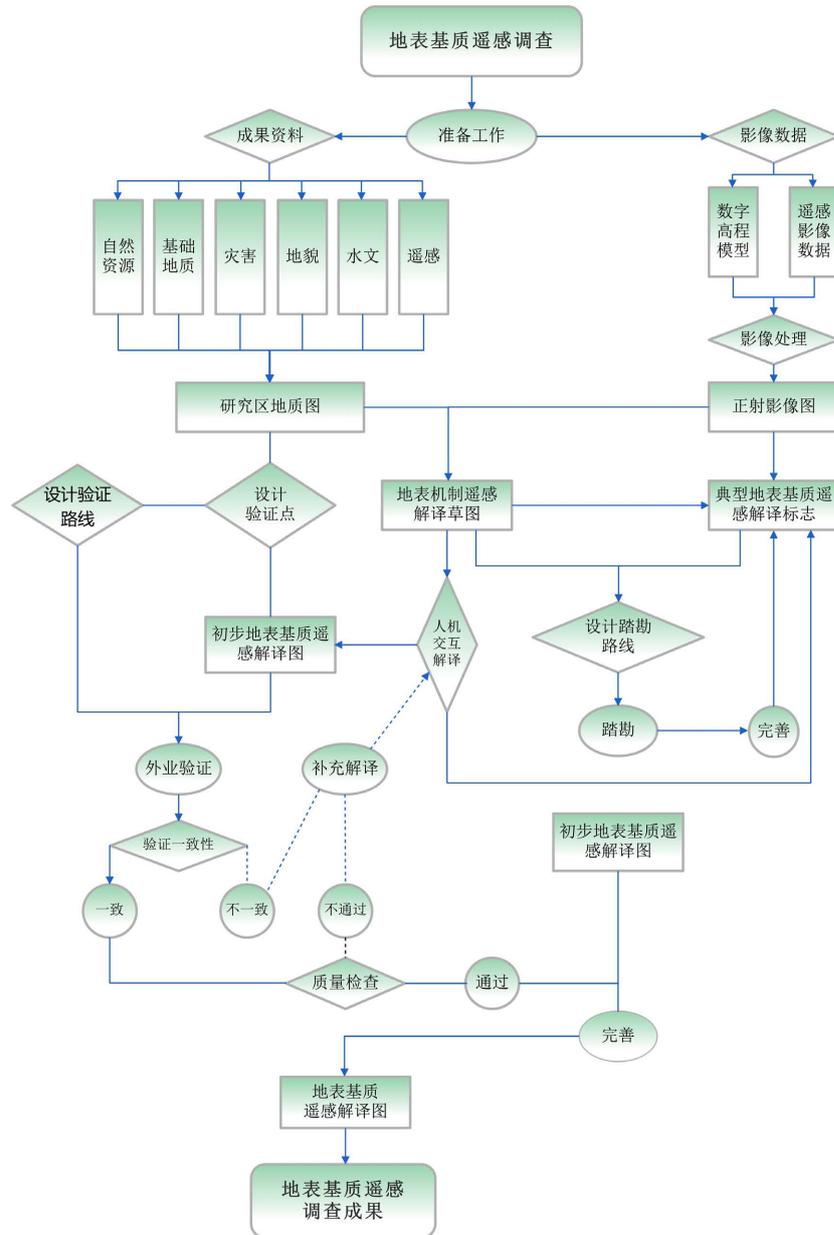


Figure 2. Technical flow chart for remote sensing interpretation of the ground substrate  
图 2. 地表基质遥感解译工作技术流程图

## 4. 实际应用

### 4.1. 研究区域概况

宁波市隶属浙江省, 为浙江省辖地级市、副省级市、计划单列市。地处中国华东地区、东南沿海,

大陆海岸线中段，长江三角洲南翼，东有舟山群岛为天然屏障，属于典型的江南水乡兼海港城市，是中国大运河南端出海口、“海上丝绸之路”东方始发港。宁波地处我国海岸线中段，长江三角洲南翼，位于东经 120°55′至 122°16′，北纬 28°51′至 30°33′之间，东有舟山群岛为天然屏障，北濒杭州湾，西接绍兴市的嵊州、新昌、上虞，南临三门湾，并与台州的三门、天台相连。宁波市陆域总面积 9816 平方千米，全市陆域总面积 9816 平方千米，其中市区面积为 3730 平方千米；海域总面积为 8355.8 平方千米，岸线总长为 1594.4 千米，约占全省海岸线的 24%。全市共有大小岛屿 614 个，面积 255.9 平方千米。宁波市地势西南高，东北低。市区海拔 4~5.8 米，郊区海拔为 3.6~4 米。地貌分为山脉、丘陵、盆地和平原。宁波市山脉面积占陆域的 24.9%，丘陵占 25.2%，盆地占 8.1%，平原占 40.3%。

### 4.2. 应用实际

按照地表基质遥感解译工作流程，选取了 Landsat-8 影像数据作为研究区地表基质遥感解译影像数据，时相为 2020 年 11 月，共 2 景，并向浙江省自然资源厅收集了宁波地区 1:50000 数字高程模型。对影像进行大气校正、地理配准、正射校正等预处理，制作出宁波地区遥感影像图，根据遥感影像图可见明显的地表基质中岩土体的分界线。随后借助宁波地区遥感影像图和已收集的相关成果资料，对宁波地区进行踏勘、建立宁波地区地表基质遥感解译标志、外业验证、质量检测，解译并制作出宁波地区地表基质遥感解译图，见图 3。

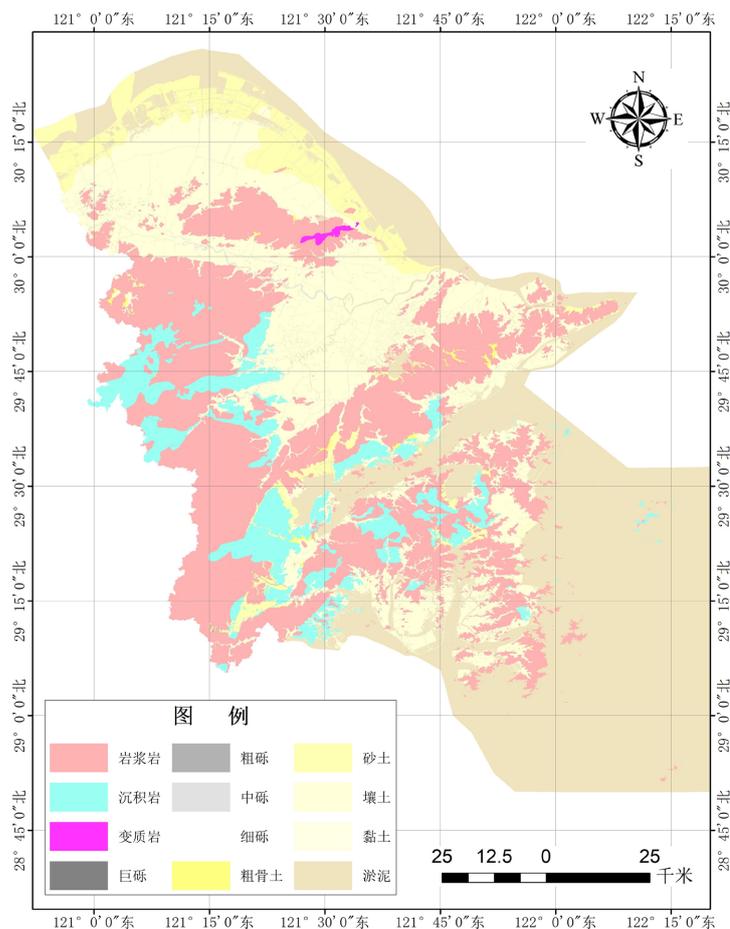


Figure 3. Remote sensing interpretation map of ground substrate in Ningbo area  
图 3. 宁波地区地表基质遥感解译图

宁波地区地表基质中沉积岩、岩浆岩主要分布于研究区的中部到南部地区，位于奉化区、宁海县、象山县、北仑区东南部以及余姚市南部地区，其中岩浆岩占较大部分，主要为凝灰岩；变质岩仅分布于北部地区，位于慈溪市境内；淤泥大量存在于研究区东部浅海和北部杭州湾，该地段主要为东海地区浅海地带和杭州湾地区大量坑塘，环境诱发淤泥形成；研究区大量出露壤土，几乎覆盖全部的平原区域，杭州湾北部局部区域存在砂土。

结合统计表 1，宁波地区地表基质类型主要为淤泥，占全区总面积的 37.38%，面积为 5333.85 km<sup>2</sup>，该数据与宁波地区近岸浅海区域面积相近，判断有一定的联系；其次为岩浆岩，占宁波地区总面积的 27.73%，面积为 3957.52 km<sup>2</sup>。

在宁波地区砾石、黏土和砂土仅有少量分布，分别占宁波地区总面积的 0.26%、0.00% 和 5.65%，根据野外调查显示宁波地区河流水系分布支流地表基质多为砾石，过山河流和湖泊多为基岩，与解译结果具有相关性。

**Table 1.** Statistical table of ground substrate classification in Ningbo area

**表 1.** 宁波地区地表基质分类统计表

地表基质类型	面积(km <sup>2</sup> )	百分比
岩浆岩	3957.52	27.73%
沉积岩	953.08	6.68%
变质岩	16.12	0.11%
巨砾	0.31	0.00%
粗砾	4.64	0.03%
中砾	33	0.23%
细砾	0.14	0.00%
粗骨土	27.91	0.20%
砂土	806.19	5.65%
壤土	3137.69	21.99%
黏土	0.01	0.00%
淤泥	5333.85	37.38%

## 5. 存在问题及研究方向

仅仅对地表基质情况进行解译分析并不能很直观地供政府职能部门使用，仍需要一些辅助解译或资料进行补充，不仅能提高地表基质遥感调查的准确度，在自然资源统一管理和科学研究、国土空间综合利用和科学规划、生态环境保护修复和综合治理等方面也起到一个辅助支撑服务的作用[8]。

### 5.1. 土地利用结构

土地利用结构是人类活动在土地利用上的反映，土地利用结构不同所产生的效益不同。合理的土地利用结构能促进土地利用系统的持续协调发展以及土地利用的社会、经济和生态效益的提高。优化土地利用结构的目的在于提高土地利用效率，特别是实现土地资源可持续利用。将土地利用结构与地表基质情况进行整合分析可以更好地对国土空间进行合理规划，使每一寸土地的使用更加合理化，提高土地的价值，为国家经济发展起到一个很好的推进作用。

## 5.2. 农作物监测

农作物种类分类监测是根据不同植被光谱的高度相似性和空间变异性等特点,对农作物的种类以及长势进行划分[9]。充分发挥高光谱遥感影像的性能,可对地表农作物的细微差别进行识别与分类,能够大大提高土地覆盖类型的识别与分类精度。农作物种类、农作物生长速率与土壤息息相关[10]。同一农作物在不同地表基质中生长的情况是不同的,这与地表基质中含有的微量元素和营养物质有关。并不是所有的地表基质都有利于农作物生长,对农作物进行遥感监测和分析,可以直观地了解该区地表基质的分布及动态变化,对国家在耕地资源及国土空间综合利用可以起到一个很好的支撑作用。

## 5.3. 森林蓄积量及分类监测。

使用定性因子和定量因子共同建立蓄积估计方程的思路可以对森林蓄积量进行研究。分利用遥感图像和监测区域可以准确获得的 RS、GIS 信息,以线性模型为基础,建立以样地大小为单位的蓄积量估测方程,对监测区域的蓄积量进行全面估测,然后再根据森林区划实现到林班和小班蓄积量估测。对林地蓄积量和种类的分析有助于确定山地地区地表基质类型。不同的树木植被适宜生长在不同的地表基质上,而在山地地区内,树木植被主要依靠自然生长,与平原区等人类活动大的地区不同,树木生长受人类影响较大。所以,对山地地区林地资源的监测分析可以直观地划分山地地区地表基质的分布规律及变化,可以辅助提高地表基质遥感解译准确程度,同时帮助政府机构更好的保护森林资源。

## 5.4. 河流水系动态监测

物体由于性质和所处环境不同,对电磁波反射或辐射特性也不同,收集和分析这些电磁波信息,便能识别目标物。处于不同状态和环境的水体反射和辐射电磁波的特性不同,这是水文遥感的基本根据。由于地表基质中砾石的分布于河流水系存在较高的相关性,对河流水系进行动态监测可以从侧面了解地表基质中砾石分布动态变化并探究其规律,此外在寻找地下水源,研究河口、湖泊泥沙淤积和河道变迁,进行水体污染监测等方面都有一个很好的应用。

## 6. 结论

地表基质调查目标明确,以土壤层调查旨在提高农林业高质量发展;以物质交换层调查建立生态环境响应机制,旨在为生态环境保护与治理提供支撑;以空间利用层调查构建三维立体模型,旨在服务于地下空间开发与利用。着力保障自然资源部履行“两统一”职责,践行山水林田湖草生命共同体理念。

本文探索了遥感技术在地表基质调查中的应用方法,在实际项目运行过程中,取得了良好的效果。建立了遥感地表基质调查技术体系,从遥感技术在地表基质调查中的意义到遥感地表基质解译方法、工作流程和实际项目应用,全方位地描述了“为什么要进行地表基质调查”、“为什么要用遥感技术进行地表基质调查”、“如何使用遥感技术进行地表基质调查”,并在项目中进行了实际应用,为地表基质综合调查打下了坚实的基础,提高了工作效率。

地表基质调查更加着重于与生态环境和地下空间开发的结合,取之于自然用之于自然,将地质与自然资源相结合,有着需求覆盖范围广、空间利用率高、生态融合强的特点,调查内容与人类活动和生态环境息息相关。

因此,将遥感技术运用在地表基质调查中,可以便捷地开展地表基质调查工作,利用遥感影像数据全面地对研究区内的各项信息进行解译分析,便于进行综合分析,完美贴合了生命共同体的需要,在某程度上减少野外地质工作者的负担,提高成果的全面性、宏观性、综合性,更好地支撑综合调查,为进一步科研做准备。

## 致 谢

感谢长三角宁波地区地表基质层调查项目负责人王伟、遥感负责人孙肖和其他对论文完成提出帮助和宝贵意见的人。

## 基金项目

中国地质调查局项目(DD20211425)资助。

## 参考文献

- [1] 美国国家科学院国家研究理事会. 地球科学新的研究机遇[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-155.
- [2] 顾云春, 李永武, 杨承栋. 森林立地分类与评价的立地要素原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 1-143.
- [3] 安培浚, 张志强, 王立伟. 地球关键带的研究进展[J]. 地球科学进展, 2016, 31(12): 1228-1234.
- [4] 自然资源部官网. 自然资源部关于印发《自然资源调查监测体系构建总体方案》的通知[EB/OL]. [http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117\\_2498071.html](http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200117_2498071.html), 2020-02-07.
- [5] 葛良胜, 杨贵才. 自然资源调查监测工作新领域: 地表基质调查[J]. 中国国土资源经济, 2020, 9(4): 4-11.
- [6] 殷志强, 秦小光, 张蜀冀, 卫晓锋, 侯红星, 何泽新, 鲁敏. 地表基质分类及调查初步研究[J]. 水文地质工程地质, 2020, 47(6): 8-14. <https://doi.org/10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.202010065>
- [7] 张杨建, 范春捆, 黄珂, 刘瑶杰, 俎佳星, 朱军涛. 遥感在生态系统生态学上应用的机遇与挑战[J]. 生态学杂志, 2017, 36(3): 809-823.
- [8] 杨光庆. 发挥卫星遥感优势促进可持续发展[J]. 中国航天, 1999, 12(9): 18-24.
- [9] 黄亮平. 高光谱遥感在农作物生长监测的应用研究进展[J]. 农村经济与科技, 2019, 30(5): 42-44.
- [10] 徐金鸿, 徐瑞松, 夏斌, 朱照宇. 土壤遥感监测研究进展[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 17-20.