

河南省国土资源科学研究院理论研究丛书

河南遥感地质理论与实践

张天义 张克伟 赵鸿燕 等 编著



地质出版社

科学研究院理论研究丛书

河南遥感地质理论与实践

张天义 张克伟 赵鸿燕 等 编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

《河南遥感地质理论与实践》是河南省国土资源科学研究院理论研究丛书之一。本书采用理论与实例相结合的方法,对河南省遥感地质的理论和方法进行全面、系统的论述。全书共两篇10章,上篇重点探讨了遥感影像的目视判读方法,遥感、物化探多元信息在成矿预测、矿山环境监测和区域地质调查的工作流程和工作方法;下篇主要论述了河南遥感地质发展历程。

本书内容丰富,具有基础性、实践性和广泛的应用性,对遥感、地质矿产、地理信息系统、环境保护、国土资源动态监测等领域的科研和技术人员,具有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

河南遥感地质理论与实践 / 张天义等编著. —北京:
地质出版社, 2016. 7

ISBN 978-7-116-09839-8

I. ①河… II. ①张… III. ①区域地质调查-遥感地
质-研究-河南 IV. ①P562.61②P627

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 175451 号

责任编辑:孙亚芸 杨 艺

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

咨询电话:(010)66554528(邮购部);(010)66554633(编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真:(010)66554686

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:787mm×1092mm $\frac{1}{16}$

印 张:14.25

字 数:340千字

版 次:2016年7月北京第1版

印 次:2016年7月北京第1次印刷

定 价:48.00元

书 号:ISBN 978-7-116-09839-8

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

《河南遥感地质理论与实践》

编 委 会

主 编：张天义

副 主 编：张克伟 赵鸿燕

编 委：魏也纳 曹希强 戴立乾 饶 欢 张 璋
付 标 康鸳鸯 潘振祥 段嵘峰 王 涛

目 录

绪 论	(1)
第一节 遥感遥测——世界进入信息化时代的催化剂	(1)
第二节 引进与创新——我国遥感技术走向世界前列	(3)
第三节 遥感地质——河南地质工作信息化的重要平台	(6)

上篇 河南遥感地质关键技术研究进展

第一章 遥感影像目视解译技术——地貌地体判读法	(11)
第一节 基于遥感图像信息集逻辑规律的地质解译过程	(11)
一、遥感图像中的信息集合	(11)
二、遥感信息概念的内涵扩大与外延	(12)
三、探求因果联系的科学归纳法推理	(13)
四、探求等同关系的类比推理法	(14)
五、探求真实性的科学论证法	(14)
第二节 基于影像纹理结构逻辑关系的造山带地质解译	(22)
一、造山带遥感线性构造展布形式与地质背景判读	(23)
二、遥感线性构造的地球物理背景	(26)
三、遥感线性构造带的地质意义判读	(27)
第三节 基于影像光谱单元分类的区域大地构造格局判读	(29)
一、基于线性构造与地貌—地体单元的河南大地构造基本架构分析	(29)
二、中国中央造山系构造域	(32)
三、东亚裂谷系构造域	(35)
四、华北陆块区构造域	(36)
五、基于遥感地质特征的河南大地构造发展脉络的梳理	(38)
第二章 基于地物反射波谱的遥感信息监督分类研究	(40)
第一节 地物反射波谱曲线及应用原则	(40)
一、岩石反射波谱测试与遥感数字影像的监督分类	(41)
二、矿化蚀变岩类反射波谱与遥感数字影像的监督分类	(43)
三、基于反射波谱曲线成矿信息监督分类的人机对话流程	(46)
第二节 基于热动力岩块学说的内生矿产成矿单元遥感解析	(48)
一、隐伏岩浆区遥感地质判读的学术思想	(49)

二、浅隐花岗岩及其富矿性的遥感判读模式	(51)
三、浅隐花岗岩致矿性遥感判读模式的应用原则	(52)
第三节 基于 MIS/GIS 信息平台的找矿靶区遥感定量预测技术	(57)
一、内生金属矿床成矿信息遥感影像判别模式	(57)
二、关于成矿信息找矿概率计算及综合变量的构置	(58)
三、矿床成矿统计预测方法的选择	(62)
四、成矿预测区圈定的原则	(63)
第三章 大数据、云计算——精细遥感技术研究进展	(69)
第一节 基于热红外遥感技术的地热资源普查	(69)
一、卫星遥感地温监测基本原理	(69)
二、局地文件生成与地温计算	(70)
第二节 基于高分辨率遥感数据的建设项目环境影响评价	(80)
一、遥感-景观生态风险评价的技术可行性分析	(81)
二、遥感-景观生态风险评估实践意义分析	(82)
三、建设项目环境影响评价因子的遥感定量分析	(83)
第三节 矿产资源集聚区地质环境遥感动态监测	(90)
一、多光谱遥感环境监测技术路线与技术流程	(91)
二、干涉合成孔径雷达 (InSAR) 遥感技术指标及技术流程	(94)
三、永城市煤矿区 D-InSAR 监测地表形变监测	(99)
第四章 规范化建设——遥感地质进入地质勘查主流程	(101)
第一节 基于行业规范的区域水文地质、环境地质、遥感地质研究	(101)
一、区域大陆动力学研究的地质概念模型建立	(101)
二、区域含水岩系遥感解译影像标志建立	(108)
三、人机对话遥感信息提取过程控制	(113)
第二节 基于行业规范的矿产资源调查遥感地质研究	(124)
一、基于光谱认识——湖北黄陵地区花岗岩带金矿地质遥感可行性分析	(124)
二、遥感地质解译程度分析	(126)
三、成矿规律与成矿预测	(130)
第三节 基于行业规范的基础地质调查遥感地质研究	(132)
一、区域地质调查遥感地质工作程序研究	(132)
二、白垩系陈棚组火山建造与岩相特征遥感分析	(135)
三、火山岩区遥感地质工作基本程序	(138)
第五章 辅助决策支持系统——遥感信息技术集成	(140)
第一节 基于空间数据三维展示系统的国土资源信息平台	(140)
一、总体设计	(140)
二、数据处理关键技术设定	(141)
三、辅助决策支持技术设定	(145)
第二节 基于矿山地质环境动态监测信息系统建设	(147)

一、系统总体设计	(148)
二、空间数据库设计	(152)
三、监测精度分析	(154)
第三节 基于地质遗迹保护与地质公园管理的信息化过程	(157)
一、系统总体设计	(157)
二、数据模型结构设计	(159)
三、图面内容及图层编码	(162)
四、系统环境与功能实现	(164)

下篇 河南遥感地质发展历程

第六章 遥感地学机构与技术能力建设	(171)
第一节 遥感地学机构与人才培养	(171)
一、遥感地质技术普及阶段的机构与人才培养 (1975 ~ 1990 年)	(171)
二、遥感技术应用创新阶段的机构建设与人才培养 (1990 ~ 2000 年)	(172)
三、遥感技术标准化阶段的机构建设与人才培养 (2000 年至今)	(173)
第二节 遥感基础设施建设	(173)
一、机载光学相机航空摄影技术应用与专业队伍建设 (1955 ~ 1999 年)	(173)
二、星载遥感数据获取与卫星地面站建设 (1970 ~ 2000 年)	(174)
三、遥感信息平台建设与技术集成 (1995 ~ 2010 年)	(175)
第三节 遥感技术应用能力建设	(176)
一、光学或机械模拟法立体测图 (1933 ~ 1984 年)	(176)
二、计算机软件控制的解析摄影测量制图 (1985 ~ 1994 年)	(176)
三、全数字摄影测量和制图 (1995 年至今)	(177)
第七章 遥感测量与地学制图	(179)
第一节 航空摄影测量与地学制图	(179)
一、土地资源调查航空摄影测量与制图 (1982 ~ 2010 年)	(179)
二、航空摄影测量与地质勘查 (1956 ~ 1999 年)	(180)
三、航空摄影测量与水资源、考古勘查 (1955 ~ 1999 年)	(182)
第二节 卫星遥感测量与制图	(182)
一、卫星大地测量与制图 (1975 ~ 2010 年)	(182)
二、地球资源卫星遥感与制图 (1975 ~ 2009 年)	(184)
三、遥感地质调查与制图 (1979 ~ 2012 年)	(186)
四、卫星遥感制图与水资源调查及灾害预警 (1978 ~ 2009 年)	(188)
第八章 遥感地质矿产调查	(190)
第一节 区域地质遥感调查	(190)
一、区域地质调查遥感试验研究 (1979 ~ 1995 年)	(190)
二、区域地质调查遥感应用技术创新性研究 (1984 ~ 1994 年)	(191)

三、区域地质调查遥感技术的规范化研究（2000 年至今）	(192)
第二节 矿产地质遥感调查	(193)
一、油气资源遥感调查（1978 ~ 2006 年）	(193)
二、固体矿产遥感地质调查（1984 ~ 2012 年）	(194)
三、地热资源遥感调查（1999 ~ 2007 年）	(196)
第九章 环境地质与农业地质遥感	(198)
第一节 水文、工程与环境地质遥感调查	(198)
一、遥感技术在水工环地质工作中的普及应用（1984 ~ 1993 年）	(198)
二、遥感技术在水工环地质工作中的自主创新（1994 ~ 2012 年）	(199)
第二节 农业地质与生态环境遥感调查	(201)
一、农业气象卫星遥感（1988 ~ 2009 年）	(201)
二、农业地质遥感调查（1984 ~ 2009 年）	(201)
三、生态环境遥感调查（1984 ~ 2005 年）	(202)
第三节 矿业开发与矿山地质环境遥感动态监测	(203)
一、矿山开发与矿山地质环境遥感监测技术研发（2004 ~ 2009 年）	(204)
二、矿山开发与矿山地质环境遥感监测技术创新（2010 年至今）	(204)
第十章 国土资源综合遥感调查与动态监测	(206)
第一节 河南省国土资源遥感综合调查	(206)
一、国内首次省级国土资源遥感综合调查（1984 ~ 1988 年）	(207)
二、河南省国土资源遥感综合调查及信息化工程（1998 ~ 2000 年）	(208)
三、西藏自治区国土资源遥感综合调查（1998 ~ 2001 年）	(210)
第二节 国土资源遥感综合监测与“一张图”工程	(210)
主要参考文献及资料	(214)
后 记	(216)

绪 论

遥感遥测 (Remote Sensing), 即“遥远的感知”, 由美国海军科学研究部普鲁依特 (E. L. Pruitt) 于 1960 年提出。尽管航空摄影测量的历史已有 100 余年, 但现代意义的遥感技术则是以 20 世纪中叶苏联发射的第一颗人造地球卫星为起始点, 随后开始的美国阿波罗探月计划和气象卫星 (NOAA) 系列与地球资源卫星 (Landsat) 系列等发射升空后才得到广泛的应用。遥感技术系统以航空或航天运载工具搭载的航空照相机、多光谱扫描仪、高光谱扫描仪、微波辐射计或合成孔径雷达等传感器, 从外层空间探测地球表层信息, 并通过卫星地面站传输、存储, 分发到应用部门。遥感技术系统包括遥感实验、信息获取、数据处理、技术应用 4 个部分。遥感按运载工具类型可分为地面遥感、航空 (机载) 遥感和航天 (星载) 遥感等; 按照传感器工作波段可分为可见光、红外线等被动遥感和微波、激光等主动遥感; 按照用途可分为气象、海洋、资源与环境 and 侦察监测遥感等。现阶段的遥感遥测技术因其光谱波段划分细、几何精度高, 且覆盖面积大、获取情报速度快、受地面障碍限制小, 并能在短时期内连续、反复进行观测等优点, 与较传统的航空摄影相比, 在探测自然资源、监视环境动态变化、气象观测、军事侦察等方面具有更重要的应用价值和广阔的发展前景。

第一节 遥感遥测——世界进入信息化时代的催化剂

航空、航天遥感地观测技术引申到地学领域的规模化应用, 可追溯到 20 世纪 60 年代。以 1961 年 4 月苏联宇航员加加林乘坐东方 1 号宇宙飞船从太空俯瞰地球为起点, 以美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 发射 TIROS/NOAA 系列和美国航空航天局 (NASA) 的“阿波罗计划”、Landsat 对地观测卫星系列为标志, 开启了人类在资源与环境勘查领域的航天遥感和信息化时代。

NOAA 系列气象卫星轨道是接近正圆形的太阳同步极轨, 轨道高度 833 ~ 870km, 携带的探测仪器主要有高分辨率辐射计 (AVHRR) 和泰罗斯垂直分布探测仪 (TOVS), AVHRR 包括从可见光到热红外的 5 个电磁波段 (0.58 ~ 12.50 μm), 扫描地面幅宽 2800km, 星下点地面分辨率为 1.1km。随后, 日本发射的地球同步气象卫星 GMS 系列所搭载的可见光与红外自旋扫描辐射计 (VISSA) 包括可见光 (0.5 ~ 0.75 μm) 通道、热红外 (10.5 ~ 11.5 μm 、11.5 ~ 12.5 μm) 两个通道和水汽通道 (5.5 ~ 7.5 μm), 地面分辨率分别为 1.25km 与 5km。

美国 ERTS/Landsat 系列属太阳同步轨道的地球资源技术卫星/陆地卫星。其中, 陆地卫星 Landsat1 - 3 搭载多光谱扫描仪 MSS 影像资料及反束光导管相机 RBV 影像, Landsat - 1 和 Landsat - 2 地面分辨率均约 78m, Landsat - 3 地面分辨率为 40m。1982 年发射的

Landsat-4 携带专题制图仪 TM 影像资料, 多光谱地面分辨率达 30m。1999 年 Landsat-7 发射后开始应用增强型专题制图仪 ETM 影像资料, 其全色波段分辨率达 15m。2000 年 11 月发射的 EO-1 卫星搭载的高级陆地成像仪 ALI 是 ETM+ 的接替版, 增加了 3 个探测大气水汽与气溶胶的波段, 全色影像空间分辨率达 10m。

法国 1986 年发射的“地球观测卫星系列”SPOT-1 卫星, 采用了推扫式电荷耦合装置 CCD 相机, 全色影像空间分辨率为 10m。2002 年发射的 SPOT-5 号卫星, 全色影像空间分辨率达到 2.5m, 并可获取立体像对。

美国 1999 年 Space Imaging 公司发射了 IKONOS 商业遥感卫星, 其全色和多光谱影像可融合成 1m 分辨率的彩色影像, 是世界上第一颗提供高空间分辨率遥感影像的卫星。Orbimage 公司于 2003 年发射的 Orbview-3 卫星也具备与 IKONOS 同样的分辨率。

以色列于 2000 年前后发射的 EROS-A/B 系列卫星, 中国台湾 2004 年发射的 FORMOSAT-2 卫星, 印度于 2005~2010 年发射的 Cartosat-1 号卫星 (IRS-P5) 和 IRS-P6 (Resoursesat-1) 卫星, 日本 2006 年发射的 ALOS 对地观测卫星上搭载的全色遥感立体测绘仪 (PRISM) 等, 全色空间分辨率也可达 1.8~2.5m。

2001~2009 年, 美国 Earth Watch 公司发射的 QuickBird 卫星, GeoEye 公司发射的 GeoEye-1 卫星, DigitalGlobe 公司先后发射的两颗 WorldView 卫星, 均具备了亚米级空间分辨率和获取立体像对的功能; 其中 GeoEye-1 和 WorldView-2 地面分辨率优于 0.5m。

在光谱分辨率方面, Landsat 等卫星一般仅具有 4 个至 7 个波段, 光谱分辨率在微米级。1999 年美国、日本和加拿大联合发射的 Terra 卫星, 搭载有“先进星载热辐射与反射辐射计”ASTER, 具备 14 个光谱波段; 搭载的“中分辨率成像光谱仪”MODIS 有 36 个离散光谱波段, 光谱范围从 $0.4\mu\text{m}$ (可见光) 到 $14.4\mu\text{m}$ (热红外), 实现了全光谱覆盖。2000 年 7 月美国空军发射了 MightySat-2.1 (Sindri) 卫星, 搭载的“傅立叶变换超光谱成像系统” (FTHSI), 含有 470~1050nm 波光谱区域的 256 个波段。2000 年 11 月, 美国 NASA 发射了地球观测卫星 1 号 EO-1, 搭载有 Hyperion 高光谱成像光谱仪, 是第一个商用星载高光谱遥感传感器, 具有 242 个波段, 以推扫方式获取可见光近红外 (VNIR) 和短波红外 (SWIR) 光谱数据, VNIR 通道包括光谱波段 1~70, 波长 356~1058nm; SWIR 通道包括光谱波段 71~242, 波长 852~2578nm。

除光学成像设备外, 由于微波雷达可穿透云雾、不分昼夜全天候获取地球图像, 星载微波雷达成为获取地球影像资料的主动式遥感手段。1991 年与 1995 年, 欧洲空间局先后发射了欧洲雷达卫星 ERS-1 和 ERS-2, 搭载的主要传感器为合成孔径雷达 (SAR), 工作波段为 C 波段, 空间分辨率达 30m; 2003 年又发射了 ENVISAT-1 卫星, 搭载的 ASAR 合成孔径雷达, 空间分辨率最高可达 10m。日本 1992 年发射了 JERS-1 地球资源卫星, 搭载了 SAR, 工作频段为 L 波段, 空间分辨率达 18m; 2006 年发射了高级陆地观测卫星 ALOS, 搭载的相阵列型合成孔径雷达 (PALSAR), 最高空间分辨率可达 7m。1995 年加拿大发射了雷达卫星 RADARSAT-1, 其搭载的 SAR 可用 4 种工作方式达到不同的分辨率, 最高分辨率可达 $9\text{m} \times 10\text{m}$; 2007 年发射的 RADARSAT-2, 最高空间分辨率可达 3m。2007~2008 年, 意大利发射了 COSMO-SkyMed 高分辨率雷达卫星星座, 共由 4 颗 X 波段合成孔径雷达卫星组成, 最高空间分辨率为 1m, 具有雷达干涉测量地形的能力。2007 年和 2010 年, 德国先后发射了高分辨率雷达卫星 TerraSAR-X 和陆地合成孔雷达附加数字

高程测量卫星 TanDEM - X, 两颗卫星以不到 200m 的距离同步飞行, 可绘制出高精度的 3D 地球数字模型 DTM 和数字表面模型 DSM, 地面分辨率为 1m, 高度精度优于 2m。

由于早期的遥感影像空间分辨率和波谱分辨率都比较低, 一次成像覆盖面积较大 (如美国资源卫星 Landsat MSS/TM 一景覆盖范围为 185km × 185km), 对于地表宏观构造特征可以很好地表现, 遥感地质工作的主要任务是区域性构造解释及隐伏断裂构造识别。而随着高光谱、高几何分辨率遥感技术的发展, 获取的遥感数据最高可达数十至上百个光谱波段, 几何分辨率由 30m、15m 提高到 2.5m、1 ~ 0.7m, 使得其在岩石地层识别和土壤湿度、作物估产及洪涝监测等领域应用前景更加广阔。

为克服传统单波段、多光谱遥感在波段数、波段范围、精细信息表达等方面的局限性, 利用很多窄的电磁波波段获取物体有关数据的技术, 可在电磁波的紫外、可见光、近红外、中红外以至热红外区域, 获取许多非常窄且光谱连续的图像数据。这样, 在传统的二维遥感的基础上增加了光谱维, 形成了一种独特的三维遥感。对大量的地球表面物质的光谱测量表明, 不同的物体会表现出不同的光谱反射和辐射特征, 这种特征引起吸收峰和反射峰的波长宽度在 5 ~ 50nm 之间, 其物理内涵是不同的分子、原子和离子的晶格振动, 引起不同波长的光谱发射和吸收, 从而产生了不同的光谱特征。高光谱遥感数据最主要的特点是将传统的图像维与光谱维信息融合为一体, 在获取地表空间图像的同时, 得到每个地物的连续光谱信息, 从而实现依据地物光谱特征的地物成分信息反演与地物识别。因此, 高光谱遥感 (Hyper Spectral Remote Sensing) 成为遥感领域最重要的发展方向之一。

20 世纪末, 伴随着全球定位系统 GPS 卫星的发射和地理信息系统 GIS 研发的兴起, 加拿大 PCI 公司的 PCI Geomatica; 美国 ERDAS LLC 公司的 ERDAS Imagine、Research System, INC 公司的 ENVI, Esri 公司的 ArcGIS; 澳大利亚 ERM 公司的 ERMMapper; 瑞士徕卡公司的 LPS 遥感及摄影测量系统; 我国自主开发的 RSIES、IRSA、SAR INFORS、CASM ImageInfo、iMOS - Image、Titan 等遥感图像处理软件等, 与美国的 ArcGIS、Mapinfo、Mapfriend 及我国独立研发的 MapGIS、GeoStar、GeoGlobe、GeoScan、GeoWay、MapStar 等多种地理信息系统和制图软件平台相兼容, 具备遥感图像常规处理、GPS 联接、几何校正与定标、多光谱分析、高光谱分析、雷达分析、地形地貌分析、数字高程模型 DEM 自动提取、栅格与矢量数据管理和转换、神经网络分析、区域分析、三维浏览与图像生成、正射纠正与正射影像图 DOM 生成等强大功能, 可满足大面积、高精度的遥感地质调查与地理制图的生产要求。遥感信息平台与全球定位系统 (GPS)、地理信息系统 (GIS) 和基于互联网的 WebGIS 技术的融合成为世界信息革命的重要标志。

第二节 引进与创新——我国遥感技术走向世界前列

我国利用遥感技术开展地质与环境调查起步较晚, 但进展较快。在 20 世纪 70 年代中期, 国家计委地质局委托北京大学率先开展以航空地质为主体的遥感应应用技术培训, 为地质勘查行业遥感技术的普及奠定了基础。随后, 水利部、地质部所属的工程地质勘查部门先后在雅砻江二滩电站、红水河龙滩电站、长江三峡工程、黄河龙羊峡电站、金沙江下游溪洛渡、白鹤滩及乌东清电站库区开展了大规模的区域性滑坡、泥石流遥感调查。从 80 年代中期起, 又分别在宝成、宝天、成昆铁路等沿线进行了大规模的航空摄影, 为调查地

质灾害分布及其危害提供了可靠的信息源。90年代初,国家计委专门成立了全国遥感地质工作协调小组推广遥感地质技术,组织实施了“新亚欧大陆桥沿线遥感综合调查”、“秦岭成矿带金矿遥感地质调查研究”和全国“省级国土资源遥感综合调查”等项目。与此同时,各部委、省(区)遥感中心和遥感地质工作站相继成立,随着中小比例尺遥感综合调查课题的普遍展开,我国遥感界逐渐摸索出一套利用遥感信息源,以目视解译为主、计算机图像处理为辅,将重点区遥感解译成果与现场验证相结合,利用其他非遥感资料综合分析、多方验证的技术方法。值得关注的是,进入21世纪后,遥感与卫星定位系统、地理信息系统实现了3S技术集成,由国家、行业部门组织编制的技术规范、规程和技术要求等相继颁布实施,基于3S平台的数字地质技术开始起步,特征异常提取、干旱-半干旱区矿物填图以及在国家层面实施的区域矿产地质、基础地质、环境地质等调查的遥感地质工作进入规范化阶段,标志着遥感技术在完成实验研究的同时进入地质工作主流程。

在遥感传感器研究领域,我国将近40年的发展历程,从风云气象卫星、中巴资源卫星到北斗系列、高分系列,奋起直追国外先进技术。其中,自1988年起相继发射升空的风云系列气象卫星包括7颗极轨气象卫星和8颗静止气象卫星。风云1号卫星轨道高度为901km,携带多光谱可见光与红外扫描辐射仪,包括7个可见光与近红外波段、3个红外波段,扫描幅宽达2900km,星下点分辨率达1.1km。风云3号A星装载了扫描辐射计、红外分光计、微波温度计、微波湿度计、中分辨率光谱成像仪、微波成像仪、紫外臭氧总量探测仪、紫外臭氧垂直探测仪、地球辐射探测仪、太阳辐射监测仪和空间环境监测仪等11台有效载荷,观测谱段从真空紫外线到微波共99个光谱探测通道,其中有5个通道的地面分辨率达到250m。可稳定运行的风云2号C星(2004年发射)、D星(2006年发射)、E星(2008年发射)和F星(2012年发射)属地球同步轨道定点观测卫星(静止气象卫星),轨道高度35800km;星载扫描辐射计包括可见光、短波红外、水汽和两个长波红外5个观测通道,星下点空间分辨率为可见光($0.55\sim0.75\mu\text{m}$)1.25km、热红外($10.5\sim12.5\mu\text{m}$)5km、水汽5km,可以实现非汛期每小时、汛期每半小时覆盖地球表面约1/3的全圆盘图像,可获取地球空间环境白天可见光云图、昼夜红外云图和水汽分布图;空间环境监测器实现对太阳X射线、高能质子、高能电子和高能重粒子流量的多能段监测。

中巴地球资源卫星(CBERS)由中国与巴西联合研制,包含CBERS-01星(1999年发射)、CBERS-02星(2003年发射)和CBERS-02B星(2007年发射)3颗卫星。CBERS-01/02/02B搭载的CCD相机星下点的地面分辨率为19.5m,CBERS-02B搭载的高分辨率相机(HR)星下点的分辨率达2.36m,使中国也迈入了掌握高空间分辨率遥感技术国家的行列。

知识链接1: 中国资源卫星遥感传感器技术参数

中巴地球资源卫星代号CBERS,由我国和巴西共同出资、联合研制。01号卫星于1999年升空,它是我国第一代传输型地球资源卫星。星上3种遥感相机可昼夜观测地球,利用高码速率数传系统将获取的数据传输回地球地面接收站。设计在轨寿命2年,运行轨道为与太阳同步轨道,轨道高度为778km,赤平倾角为 98.5° ,绕轨一圈时间为100.26min(一般情况下每26天观测全球一遍)。中巴地球资源卫星02B、04号分别于2007年9月、

2014 年 12 月在太原卫星发射中心由长征四号乙运载火箭送入太空。

资源卫星传感器技术参数:

- 20m 分辨率的 5 谱段 CCD 相机;
- 80m 和 160m 分辨率的 4 谱段红外扫描仪;
- 256m 分辨率的 2 谱段宽视场成像仪。

高分辨率对地观测系统是我国正着手研发的新一代高分辨率对地观测系统,于 2006 年列入《国家中长期科学与技术发展规划纲要(2006~2020 年)》。2010 年 5 月,包含至少 7 颗卫星和其他观测平台的“高分辨率对地观测系统重大专项”全面启动,计划到 2020 年建成我国自主的陆地、大气和海洋观测系统。

知识链接 2: 中国“高分专项”卫星遥感传感器技术参数

高分 1 号是中国高分辨率对地观测系统国家科技重大专项的首发星,于 2013 年 4 月 26 日在酒泉卫星发射中心由长征二号丁运载火箭成功发射。它配置有两台 2m 分辨率全色/8m 分辨率多光谱相机和 4 台 16m 分辨率多光谱宽幅相机,设计寿命 5~8 年。高分一号卫星具有高、中空间分辨率对地观测和大幅宽成像结合的特点,全色分辨率 2m 和多光谱分辨率 8m 的图像组合幅宽优于 60km,16m 分辨率多光谱图像组合幅宽优于 800km,为国际同类卫星观测幅宽的最高水平,从而大幅提升了观测能力,并对大尺度地表观测和环境监测具独特优势。在具有类似空间分辨率的同时,可以在更短的时间内对一个地区重复拍照,其重复周期只有 4 天,实现了高空间分辨率和高时间分辨率的完美结合。

高分 2 号卫星 2014 年 8 月 19 日顺利进入预定轨道,标志着我国遥感卫星进入了亚米级“高分时代”。这颗卫星是目前我国分辨率最高的光学对地观测卫星,空间分辨率首次精确到 1m,包括全色成像和多光谱成像,最后用户拿到的是彩色成像图片。卫星扫描的幅宽达到了 45km,在全球同类卫星中幅宽是最大的。

高分 3 号是一颗合成孔径雷达卫星,它搭载的合成孔径雷达可以克服风雨云雾、黑夜的不利影响,对地面和海洋实施全天时、全天候成像。按照设计,其精良的载荷设备可以实现卫星影像分辨率和成像幅宽的良好平衡,可对疑似区域先进行大范围普查,再进行小范围详查,将在未来的海上搜救中发挥重要作用。

高分 5 号将拥有大气环境和成分探测设备,如可以间接测定 PM_{2.5} 的气溶胶探测器。高分 7 号则属于高分辨率空间立体测绘卫星。高分系列卫星覆盖了从全色、多光谱到高光谱,从光学到雷达,从太阳同步轨道到地球同步轨道等多种类型,构成了一个具有高空间分辨率、高时间分辨率和高光谱分辨率能力的对地观测系统。

北斗卫星导航系统(BDS)是中国正在实施的自主发展、独立运行的全球卫星导航系统,致力于向全球用户提供高质量的定位、导航、授时服务,并能向有更高要求的授权用户提供进一步服务,军用与民用目的兼具。我国在 2003 年完成了具有区域导航功能的北斗卫星导航试验系统,之后开始构建服务全球的北斗卫星导航系统,于 2012 年起向亚太地区大部分地区正式提供服务,并计划至 2020 年完成全球系统的构建。北斗卫星导航系统空间段计划由 35 颗卫星组成,包括 5 颗静止轨道卫星、27 颗中地球轨道卫星、3 颗倾斜同步轨道卫星。至 2012 年底北斗亚太区域导航正式开通时,已为正式系统发射了 16 颗卫星,其中 14 颗组网并提供服务,分别为 5 颗静止轨道卫星、5 颗倾斜地球同步轨道卫星(均在倾角 55°的轨道面上)、4 颗中地球轨道卫星(均在倾角 55°的轨道面上)。

知识链接 3：中国北斗卫星导航系统技术参数

静止轨道卫星定点位置：东经 58.75°、80°、110.5°、140°、160°。

中地球轨道卫星运行在 3 个轨道面上，轨道面之间为相隔 120°均匀分布。

导航系统在 L 波段和 S 波段发送导航信号，在 L 波段的 B1、B2、B3 频点上发送服务信号。B1 频点：1559.052 ~ 1591.788MHz；B2 频点：1166.220 ~ 1217.370MHz；B3 频点：1250.618 ~ 1286.423MHz。

终端设备服务精度为：定位精度平面 10m、高程 10m；测速精度 0.2m/s；授时精度单向 50ns（开放服务不提供双向高精度授时）。

广域差分：在亚太地区借助与类似于广域增强系统的广域差分技术（广域增强），根据授权用户的不同等级，提供更高的定位精度，最高为 1m。

信息收发：军用版容量为 120 个汉字，民用版 49 个汉字。

如今，可以自豪地说，我国在遥感卫星运载工具和传感器技术研究领域已进入世界先进行列，在遥感技术应用研究领域处于世界领先水平。

第三节 遥感地质——河南地质工作信息化的重要平台

据全国科学技术名词审定委员会审定公布，遥感地质（Remote Sensing Geology），是综合应用遥感技术进行地质调查和资源勘探的方法。基于地面及航空遥感试验的遥感数字图像数据的处理和地质判释，适用于地质找矿、地质环境调查。因此，遥感地质学融合了计算机技术、电磁辐射理论和信息科学、数理统计的理论技术，促进地质工作主流程序进入信息化阶段。

河南省遥感地质工作起步于 20 世纪 70 年代。自 1975 开始，国家计委地质局为推动遥感应用技术在地质勘查工作中的普及，委托北京大学地质地理系和国家航空物探大队举办 10 期“航空地质”与“卫星遥感地质”学习班。河南省地质局先后派遣生产一线技术人员共计 10 人次赴北京参加技术培训，河南省科学技术委员会也派人员赴日本、德国进修遥感技术。至此，河南遥感地质发展的种子团队基本形成。1978 年，地质矿产部河南省遥感地质工作站成立。河南省气象局、河南省地质局、河南省测绘局、河南省地震局、河南冶金地质勘探公司、河南省地理研究所、华北石油地质局、黄河水利委员会等部门或单位随后也相继组建了遥感技术应用机构，运用全色及彩红外航空影像、陆地卫星 Landsat 资料进行自然资源综合考察、地质调查、矿产勘查等业务在全省普遍展开。

1979 年，河南省遥感地质工作站杨素梅工程师在国内最早提出利用卫片环形影像识别隐伏岩体和利用岩石矿物光谱特征对花岗岩基进行解译的观点与方法。1984 年，河南省第一水文地质大队和地质矿产部华北石油地质局的遥感地质工作者发表的《浅谈卫星影像的“晕”》和《从西汉铜镜的启示到遥感影像基底构造解译》，开启了遥感目视解译从“形似”到“神往”的捕捉隐含信息的先河。1984 年，河南省政府批准成立了河南省遥感技术协作委员会，在国内率先组织“河南省国土资源遥感综合调查”项目的实施，不但为全省各行业培养了大批遥感技术人才，而且在遥感技术应用前沿领域的诸多探索与实践为我国赶超世界先进水平做出了有益的贡献。1985 年，《河南省中心城市 1:1 万航空彩红外影像地图》由省测绘局出版发行。1986 ~ 1989 年间，国内首次利用彩红外航空遥

感技术编制的《鸣皋幅 1:5 万区域地质图》、国内首例利用卫星遥感编制的《伏牛山花岗岩谱系 1:10 万遥感地质解译图》、《河南省 1:50 万农业地质图》和《遥感-物化探多元信息成矿预测方法研究》等成果由河南遥感地质工作站完成,标志着河南遥感地质工作从标准化启动、从生产实际需求出发,在与地学前沿领域的贴近中不断创新。

1990 年,地质矿产部与河南省政府联合组建的地质矿产部郑州遥感中心和河南省遥感中心在郑州成立,河南遥感地质工作由此揭开新的一页。在河南省、地质矿产部和国家计委的支持下,河南省遥感中心相继承担了国家“七五”重点遥感地质项目“新亚欧大陆桥区域稳定性遥感评价”、“黄河河道带河道变迁研究”,国家“八五”科技攻关课题“秦岭成矿带金矿遥感地质调查与研究”,国家地质行业基金项目“河南崤山地区遥感图像识别及信息处理技术研究”和国家计委项目“河南省国土资源遥感综合调查及信息化工程”等。通过大型科研生产项目的实施,河南省地学界在知识积累、技术储备、人才培养和地质工作信息化建设等方面取得了长足的进展。

在农业地质研究方面,基于生态环境遥感评价的农业区划,形成以优势生物资源开发与地质-生态环境适应性评估相结合的学术思想,从构建目标物生态气候-地质环境入手,进行优质、高效农业开发与规划研究技术。通过卢氏县农业地质项目的实践(河南省地质矿产厅科技攻关项目),优选出闪长岩地质背景“锌镉板栗”培育区,新近系红土丘陵台地背景优质烟叶培育区和“热岛”马兰黄土背景名优苹果培育区等。农业专家评价为“解决了我们多年想解决而不能解决的问题”。

在环境地质研究方面,基于地貌动力学的遥感解析,形成以自然规律的认识与自然规律的延拓应用相结合的原则,从自然现象发生的必然性入手,利用自然法则来治理优化环境、终止或延缓灾害链条发展过程的技术方法。通过黄河下游河道带变迁遥感调查项目(国家重点项目)的实践,提出了“丁坝淤临、复堤淤背,变地上河为相对地下河”的治黄方略。原国家计委领导同志评价:“分管水利工作多年,从未听到这样的建设性意见,这就是创新。”

在遥感光谱研究方面,基于矿化蚀变带羟基矿物含量和重金属污染植物生理变异、岩石暗色矿物增减波谱反应曲线的特征,形成成矿特征信息与岩浆演化序列信息提取的数字图像处理数学模型。通过熊耳山-外方山区金矿遥感靶区研究和伏牛山花岗岩序列遥感解译项目(河南省地质矿产厅科技攻关项目)的实践,达到了断裂构造带矿化蚀变区段与成矿元素浓集中心的准确定位,掌握了遥感光学色谱应用岩浆侵位过程基性与酸性物质递变规律的判识技术。专家鉴定意见为“在应用地物反射光谱曲线指导遥感数字图像处理技术领域,居国内先进水平”。

在成矿预测研究方面,基于遥感热动力岩块(环形构造)热动力学意义的剖析,以信息采集的多元性与成矿特征信息的专属性相结合,建立了矿田、矿带、矿区、矿体的控矿信息模型,应用逐级逼近原理完成矿床到矿体的空间定位。通过秦岭造山带金矿遥感调查与研究项目(国家科技攻关项目)的实践,解决了遥感图像纹理结构、成矿地质要素的度量数字化技术和与物化探异常相匹配的综合变量构置方法,以及稳健回归数学模型,将遥感地质从定性解译提高到定量分析阶段。

20 世纪与 21 世纪之交,由遥感(RS)、全球定位系统(GPS)和地理信息系统(GIS)技术集成的 3S 技术应用飞速发展,在资源与环境调查和管理方面的应用趋于成

熟。河南省测绘系统推广了以 3S 技术为基础的数字摄影测量和内外业一体化测图系统,河南省测绘局被列入首批国家基础测绘设施项目省级 A 类单位工程单位,建成了综合应用航空遥感、卫星定位、全站仪外业采集、全数字摄影测量系统、计算机地图数字化采编等高新技术的能力和生成大比例尺 4D (DLR、DEM、DOM、DRM) 数字测绘产品的功能,成为第二次全省土地调查和城乡地籍调查的有力技术支撑。“十五”与“十一五”期间,河南省遥感中心、河南省国土资源信息中心等开展了应用 3S 技术开展土地变更调查、矿业开发活动动态监测方法技术的一系列试验,土地与矿业活动卫片执法监察已形成常态。“十一五”后期,国土资源部部署实施了国土资源调查与管理“一张图”工程。2009~2012 年,河南省国土资源厅以河南省国土资源数据中心为技术依托,基本完成了河南省国土资源“一张图”工程的框架建设,可运用“天上看、网上管、地上查”技术手段,推进实现国土资源精细化动态监管的目标。

进入 21 世纪,国际遥感与信息技术得到了飞速发展。对地观测系统形成地面、航空、航天等多层次网络化覆盖,传感器向电磁波谱全波段、细分光谱技术延伸,图像处理实现了光学-电子计算机混合处理,实现了信息自动分类和模式识别,尤其是遥感 RS 与 GIS 和 GPS 形成一体化的技术系统实现了遥感分析解译的定量化与精确化。为此,河南遥感地质界根据国民经济发展的实际需求,提出跟踪学科前沿的 3 个优先发展领域:①以精确遥感技术为支撑,通过 GNSS、Internet 和通信技术的有机融合,把分布在全省范围内的永久性全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System)基准站连接起来,构成新一代网络化的地质信息连续采集运行系统;②借助信息时代大数据、云计算潮流的推动,通过构筑资源、环境与地理信息平台实现全省国土资源信息共享,为全省建设用地扩展和矿山环境、地质灾害区动态监控与预警提供技术支撑;③以中国地质调查局颁布的《1:25 万遥感解译技术指南(补充 1:5 万要求)》(DD2011-03)、《区域地质调查中遥感技术规定(1:250000)》(DD2011-04)、《矿产资源开发遥感监测技术要求》(DD2011-06)、《地质环境遥感监测技术要求(1:25 万)》(DD2011-07)、《干涉雷达数据处理技术规程》(DD2014-11)、《多光谱遥感数据处理技术规程》(DD2014-12)、《岩矿波谱测试技术规程》(DD2014-13)、《高光谱遥感数据处理技术规程》(DD2014-14)等为标准,将进入地质勘查主流程的遥感地质工作推向规范化新阶段。

经过将近 40 年的艰苦探索和实践,遥感技术已成为河南省国土资源调查、管理与保护不可或缺的方法手段,在区域地质调查、矿产资源勘查、水文工程地质调查、水资源勘查、地质灾害调查与预警防治、地质旅游资源调查与地质遗迹保护、矿业开发活动执法监察、土地资源调查和土地执法监察、土地整理与国土资源综合整治等诸多国土资源领域做出了重大贡献。在其他资源环境领域,例如气象与气象灾害预报、农作物长势监测与估产、森林资源调查与防火、生态环境调查与生物多样性保护、水土保持和洪涝灾害防治等方面也做出了显著成绩。尤其是在 3S 技术集成方面,河南遥感地质界经过探索和实践形成了具有自主知识产权的基于遥感应用技术与数据库、地理信息系统技术的集成,资源现状调查与资源潜力评价相结合,制图数字化与区域资源环境信息平台的构建相结合的思想理念,建立了基于资源潜力发掘和基于资源经济可持续发展的数据库建设、辅助决策支持系统与构建技术流程。陈述彭院士曾赞誉河南省在遥感应用技术和大范围地理信息系统建设方面居国际领先水平。

上 篇

河南遥感地质关键技术研究进展