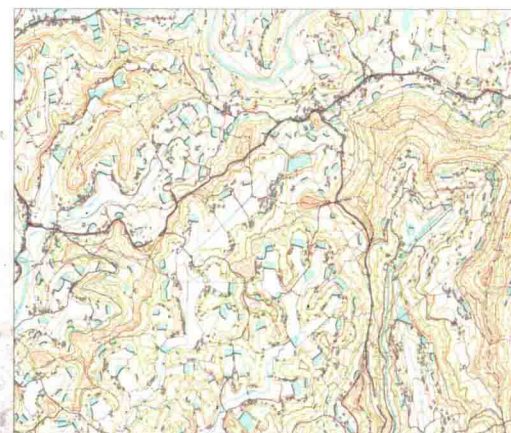
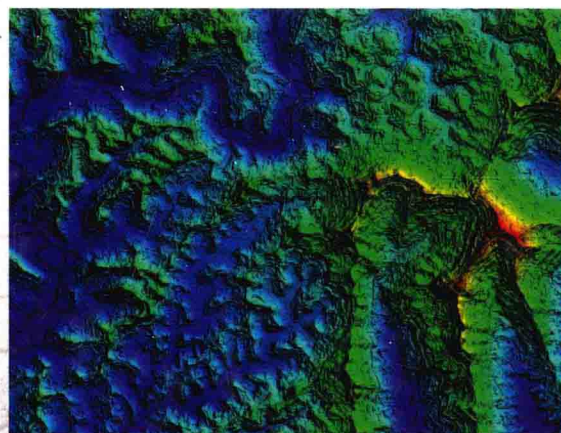
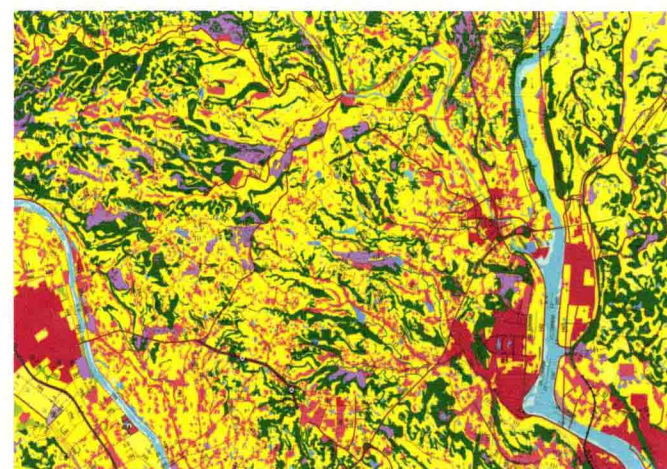
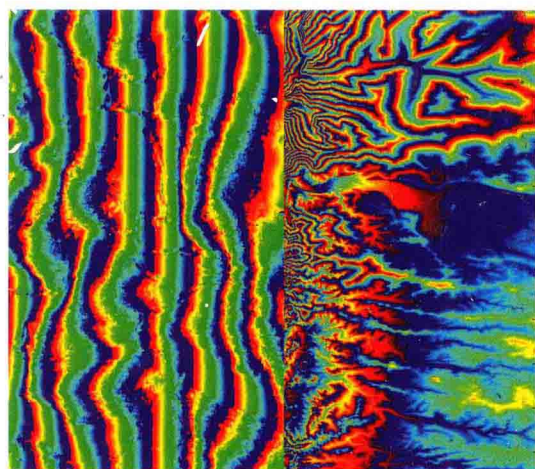


机载InSAR系统

地形测绘与应用 图集

主 编 谭克龙 副主编 庞玉哲 苗小利 彭桂辉



科学出版社
www.sciencep.com

机载InSAR系统地形测绘与应用

图集

主 编 谭克龙

副主编 庞玉哲 苗小利 彭桂辉



科学出版社

www.sciencep.com

内 容 简 介

本图集是根据国家863计划“高效能航空SAR遥感应用系统地形测绘应用示范”课题的研究成果编辑而成。全书共分 5 章：第 1 章首先介绍我国自主研发的高分辨率机载InSAR系统，展示机载InSAR系统的载机、X波段天线、P波段天线、舱内设备以及示范区的飞行设计图和采集的SAR数据等；第 2 章展示我国自主研发的SAR干涉数据处理系统和整个处理过程中的SAR干涉数据；第 3 章通过翔实的图片生动地介绍我国首次研发的机载InSAR测制3D（DEM、DOM、DLG）产品系统和技术方法，包括机载InSAR测制3D产品工艺流程、自主研发的SAR—MAS制图系统、定标控制测量技术、基于SAR影像的调绘方法、机载InSAR测制3D产品技术方法等；第 4 章深入讨论机载InSAR在土地利用调查中的应用，通过与光学影像对比试验研究，结合外业调查结果的比较，提出应用的可行性；第 5 章给出机载InSAR数据测制1：10 000、1：50 000比例尺3D产品的精度检测结果，并介绍课题取得的成果和验收情况。

本图集可供从事测绘、遥感、地理等学科领域的科研、生产人员以及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

机载InSAR系统地形测绘与应用图集/谭克龙主编.
—北京：科学出版社，2015. 11

ISBN 978-7-03-046153-7

I. ①机… II. ①谭… III. ①机载InSAR-应用-地形测绘-图集
IV. ①P217-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第256645号

审图号：GS(2016)1449号

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

中煤地西安地图制印有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年8月第 一 版 开本：889×1194 1/12

2016年8月第一次印刷 印张：13 1/2

定价：380.00元

《机载InSAR系统地形测绘与应用图集》

编委会

主 编：谭克龙

副 主 编：庞玉哲 苗小利 彭桂辉

编 辑：谢志清 张立本 韦立登 高晓梅 胡玉新 李先华 张 远

制 图：黄晓艳 庞玉哲 许 珂 朱瑞芳 宋 健 梁 涛

设 计：杨 柳

责任编辑：彭胜潮



机载干涉合成孔径雷达 (interferometric synthetic aperture radar, InSAR) 是SAR的一种功能的发展和开拓,应用InSAR进行地形测图,这是InSAR技术研究的最初目的,也是最为重要的工作内容。它既能对地面进行高度估计,提取地面三维信息,还可以对地面运动目标进行检测和定位,更可以进行地面形变监测。机载雷达系统具有全天候、全天时特点,以其灵活性、机动性和测量的高精度越来越受到人们的重视。它极少受天气影响,可弥补航空摄影测量受制于天气的不足,解决多云、多雨地区测绘的难题。机载InSAR系统是地形测绘、资源环境制图的一种有效手段,在滑坡、火山、地震等地表活动的监测和国防、边界测绘中具有不可替代的作用。

干涉合成孔径雷达技术经过多年的发展,其应用领域也在不断拓展。我国的机载SAR设备与技术近年来取得了较大的进步。目前,有许多著名的研究单位在积极推进InSAR技术的发展应用,并且有相当的技术优势,如中国煤炭地质总局航测遥感局就是代表之一。该局的研发团队承担的国家高技术研究发展计划(863计划)“高效能航空SAR遥感应用系统地形测绘应用示范”(编号:2007AA120305),在谭克龙主持下,经过不懈努力,完成了比例尺为1:10 000和1:50 000的机载InSAR成图试验与应用研究,取得了可喜成果,为我国机载InSAR系统地形测绘产业化奠定了基础。

该图集就是利用中国科学院电子学研究所研发的机载X波段干涉合成孔径雷达系统和P波段多极化合成孔径雷达系统,经过自主研发的数据处理系统获取了DEM(数字高程模型)、DOM(数字正射影像)和DLG(数字划线地图)数据成果,并经精选编辑而成的。该图集系统介绍了机载InSAR系统及数据处理以及产品制作的各个环节,整个内容形成了较完整的体系,展现了近年来机载InSAR测量应用于地形测绘的最新成果。该图集以图文并茂的形式展示了机载InSAR测制的比例尺为1:10 000和1:50 000地图不同类别地物、地貌的3D产品(DEM、DOM、DLG)对比图及在土地利用方面的应用情况,让读者一目了然,因此我向相关行业的学者和专家推荐阅读或参考。

目前,InSAR技术发展较快,国内机载InSAR系统在地形测绘方面的应用刚起步,期望该图集的出版能够对我国机载InSAR系统在地形测绘领域的应用起到积极的推动作用,引领测绘手段和技术不断完善,为雷达在国家建设特别是在测绘领域的应用做出贡献。

中国科学院院士

2015年6月

前言

合成孔径雷达 (synthetic aperture radar, SAR) 的出现是微波遥感发展史上划时代的伟大成就, 而干涉合成孔径雷达 (interferometric SAR, InSAR) 的出现将SAR的二维测量拓展到三维空间测量, 极大地扩展了SAR的应用范围, 使InSAR技术地形测绘成为了可能。

为此, 我国“十一五”期间开展了国家高技术研究发展计划 (863计划) “高效能航空SAR遥感应用系统地形测绘应用示范”课题研究, 旨在采用我国自主研发的机载干涉合成孔径雷达系统和SAR干涉数据处理系统, 形成机载InSAR系统测制1:10 000、1:50 000比例尺DEM (数字高程模型)、DOM (数字正射影像图)、DLG (数字线划图) 技术规程, 推进我国机载InSAR系统地形测绘的实用化和产业化。该课题研究成果主要创新性体现在定标控制测量控制点布设方法、基于InSAR影像的调绘方法、机载InSAR系统测制3D产品系统等方面, 在国内首次研发出机载InSAR测制1:10 000数字测绘产品系统及技术方法, 并选择西部困难地区测制了1:10 000、1:50 000的3D产品, 精度符合国家规范要求, 为我国机载InSAR系统地形测绘产业化发展奠定了技术基础。

本图集以图文并茂的形式展示了课题研究的成果, 全面系统地阐述了我国自主研发的机载双天线InSAR系统、SAR干涉数据处理系统、机载InSAR系统测制3D产品的系统和技术方法及其在土地利用调查中的应用, 给出了3D产品的精度检测和质量检查结果, 展望了InSAR数据进行地形测绘的前景。全书共分5章: 第1章首先介绍我国自主研发的高分辨率机载InSAR系统, 展示机载InSAR系统的载机、X波段天线、P波段天线、舱内设备以及示范区的飞行设计图和采集的SAR数据等; 第2章展示我国自主研发的SAR干涉数据处理系统和整个处理过程中的SAR干涉数据; 第3章通过翔实的图片生动地介绍我国首次研发的机载InSAR测制3D产品系统和技术方法, 包括机载InSAR测制3D产品工艺流程、自主研发的SAR-MAS制图系统、定标控制测量技术、基于SAR影像的调绘方法、机载InSAR测制3D产品技术方法等; 第4章深入讨论机载InSAR在土地利用调查中的应用, 通过与光学影像对比试验研究, 结合外业调查结果的比较, 提出应用的可行性; 第5章给出机载InSAR数据测制1:10 000、1:50 000比例尺3D产品的精度检测结果, 并介绍课题取得的成果和验收情况。

本图集是编者针对目前国际InSAR技术的发展, 系统总结了几年来该项目的成果编辑而成。由于编者水平和时间所限, 书中难免存在错误及不当之处, 敬请读者不吝指教。

目 录

序

前言

第 1 章 我国自主研发的高分辨率机载InSAR系统 / 001

- 1.1 课题简介 / 003
- 1.2 我国自主研发的机载InSAR系统 / 004

第 2 章 我国自主研发的SAR干涉数据处理系统 / 011

- 2.1 我国自主研发的SAR干涉数据处理系统 / 013
- 2.2 试验区与示范区SAR干涉数据 / 017

第 3 章 我国首次研发的机载InSAR测制3D产品系统与技术方法 / 039

- 3.1 示范区概况 / 041
- 3.2 机载InSAR技术生产3D产品工艺流程 / 041
- 3.3 自主研发的SAR-MAS系统 / 044
- 3.4 定标控制测量技术 / 045
- 3.5 基于SAR影像的调绘方法 / 049
- 3.6 机载InSAR测制3D产品技术方法 / 052

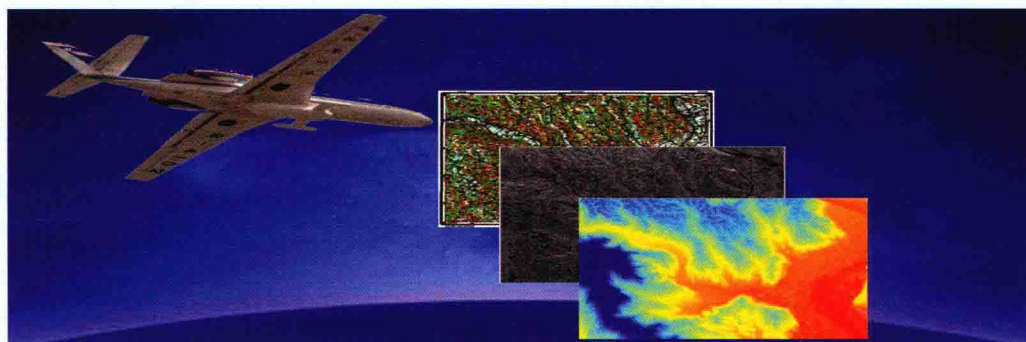
第 4 章 机载InSAR在土地利用调查中的应用 / 099

- 4.1 试验区概况 / 101
- 4.2 试验区土地利用解译标志 / 103
- 4.3 机载InSAR图像土地利用填图 / 117
- 4.4 机载InSAR土地利用调查可行性 / 139

第 5 章 机载InSAR 3D产品质量检验与成果 / 141

- 5.1 机载InSAR 3D产品质量检验 / 143
- 5.2 国家验收 / 147
- 5.3 课题成果 / 148

参考文献 / 154



第 1 章 我国自主研发的高分辨率机载InSAR系统

1.1 课题简介

1.2 我国自主研发的机载InSAR系统

1.1 课题简介

1.1.1 课题概述

“高效能航空SAR遥感应用系统地形测绘应用示范”课题，是国家高技术研究发展计划（863计划）地球观测与导航技术领域高效能航空SAR遥感应用系统项目的第五课题（课题编号：2007AA120305），主要研究西部测图和土地利用调查技术，开展1：10 000、1：50 000比例尺地形测绘应用示范，完善业务运行系统和技术规范。通过科研团队的艰苦攻关，该课题成功地解决了机载InSAR技术生产3D [DEM（数字高程模型）、DOM（数字正射影像图）、DLG（数字线划图）] 产品的工艺流程、定标控制测量技术、SAR影像的调绘方法、机载InSAR系统测制3D产品等关键技术。该项目和课题分别于2012年8月13日和10月16日通过科技部的验收。通过该课题的研究和实践，形成了完整的国产机载InSAR系统地形测绘体系，有力推进了我国机载InSAR系统地形测绘从示范研究走向了实用化。该项目是国家“十一五”期间规模最大、投入资金最多、“产学研”三方单位共同承担的重大项目。

“高效能航空SAR遥感应用系统地形测绘应用示范”项目全程采用了我国自主研发的机载InSAR系统和干涉数据处理系统，获取和处理了上万平方千米的机载InSAR数据，测制了陕西、山西、四川等试验区6 000多平方千米的3D产品，产品满足国家1：10 000、1：50 000技术规范要求，这标志着高效能航空SAR遥感应用系统在地形测绘产业化的开始，它将有效解决长期困扰我国西部地区和多云、多雨地区及边境地区的测绘以及自然灾害应急响应等国家重大工程与应用的需求，必将大力提升我国航空SAR遥感技术服务于国家经济建设的能力。

1.1.2 核心研究内容

高效能航空SAR遥感应用系统地形测绘应用示范，是研究西部测图应用示范技术、西部土地利用调查应用示范技术，开展1：10 000、1：50 000比例尺地形测绘应用示范，完善业务运行

系统和技术规范。围绕项目指南要求，主要开展以下关键技术研究：

- ◆ 机载InSAR技术生产3D产品的工艺流程；
- ◆ 机载InSAR的定标测量及控制测量技术；
- ◆ 基于SAR影像的调绘方法；
- ◆ 机载InSAR测制3D产品系统及技术方法；
- ◆ 机载InSAR土地利用调查方法可行性研究。

1.1.3 项目的先进性

通过对关键技术的研究和实践，形成了完整的国产机载InSAR系统地形测绘体系。首次采用我国自主研发的机载干涉合成孔径雷达系统测绘完成了1：10 000、1：50 000 DEM、DOM、DLG产品，形成了一套完整的技术方案、工艺流程、作业方法和制图系统，制定了《机载干涉合成孔径雷达（InSAR）系统测制1：10 000、1：50 000数字高程模型 数字正射影像图 数字线划图技术规程》，为推广机载InSAR系统地形测绘奠定良好的技术基础，有效推动了该技术的业务化运行，同时将有力推进我国机载InSAR系统地形测绘从示范研究走向产业化。

1.2 我国自主研发的机载InSAR系统

我国自主研发的机载InSAR系统主要由两部紧凑组合的高分辨率X波段和全极化P波段雷达系统组成，两部雷达可同时作业，X波段具备双天线交轨干涉能力，P波段具备重复轨迹干涉能力。

1.2.1 机载InSAR系统

表1.1 机载InSAR系统参数

X波段干涉SAR	
中心频率	9.6 GHz
极化方式	水平（HH）极化
平面分辨率	0.5 m×0.5 m
高程精度	0.3 m
P波段极化SAR	
中心频率	620 MHz
极化方式	HH、HV、VH、W
平面分辨率	1.0 m×1.0 m

1.2.2 飞行扫描平台



图1.1 试验使用的飞机

(1) 舱外设备

◆ X波段天线



图1.2 X 波段天线

◆ P波段天线



图1.3 P 波段天线

◆ X+P波段天线



图1.4 X+P 波段天线

(2) 舱内设备

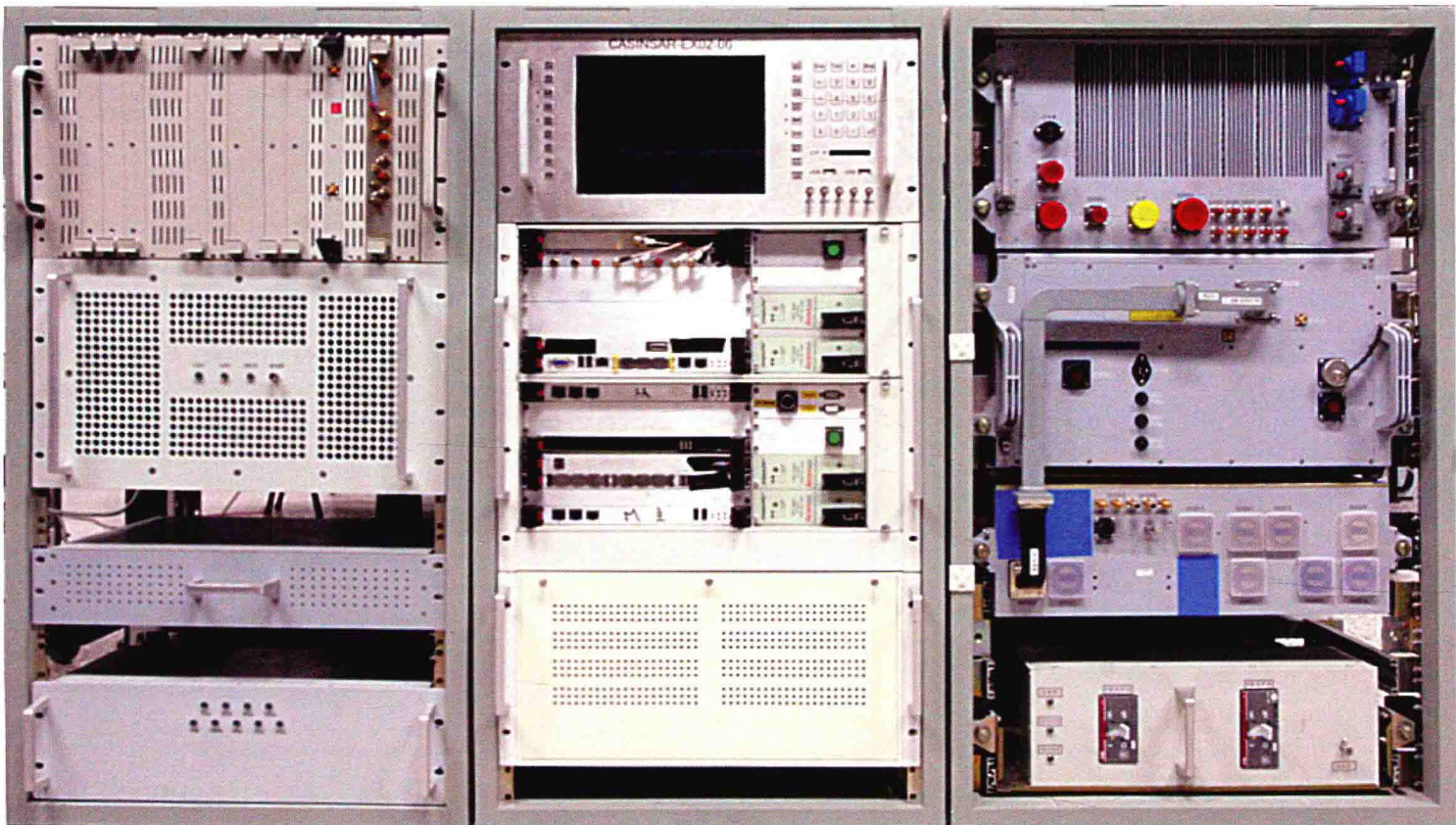


图1.5 机舱内设备

(3) 实时卫星差分导航系统

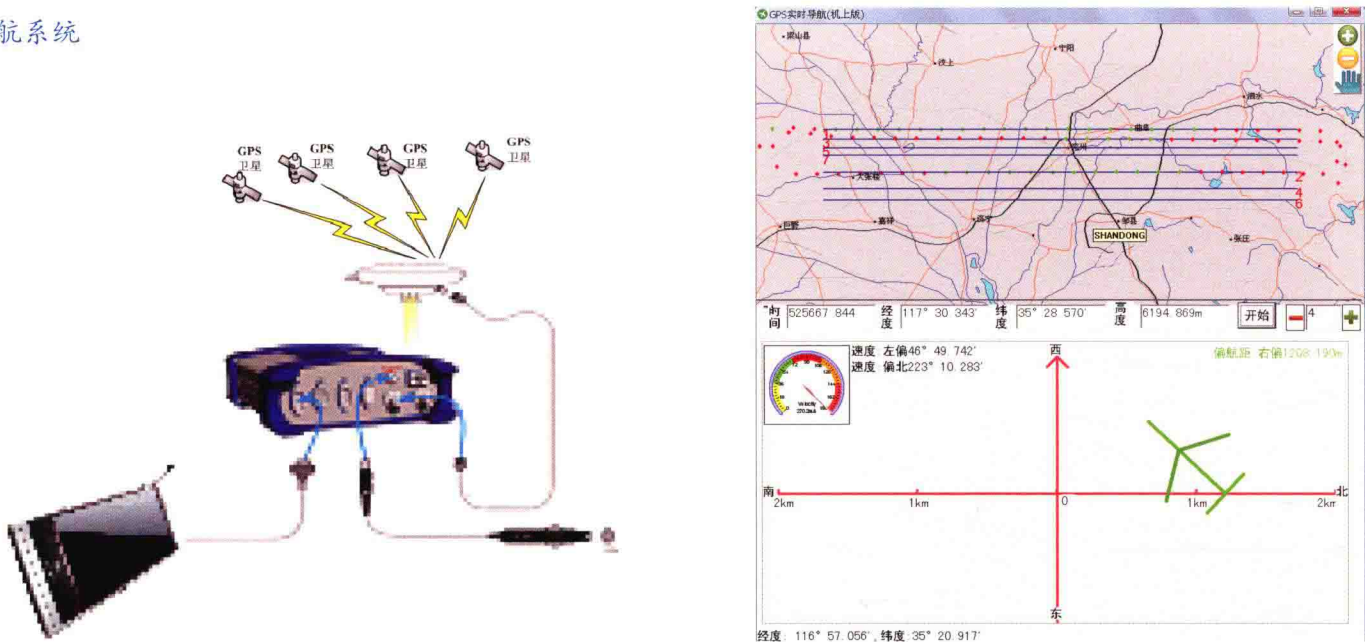


图1.6 实时卫星差分导航系统

(4) 设计飞行航线图

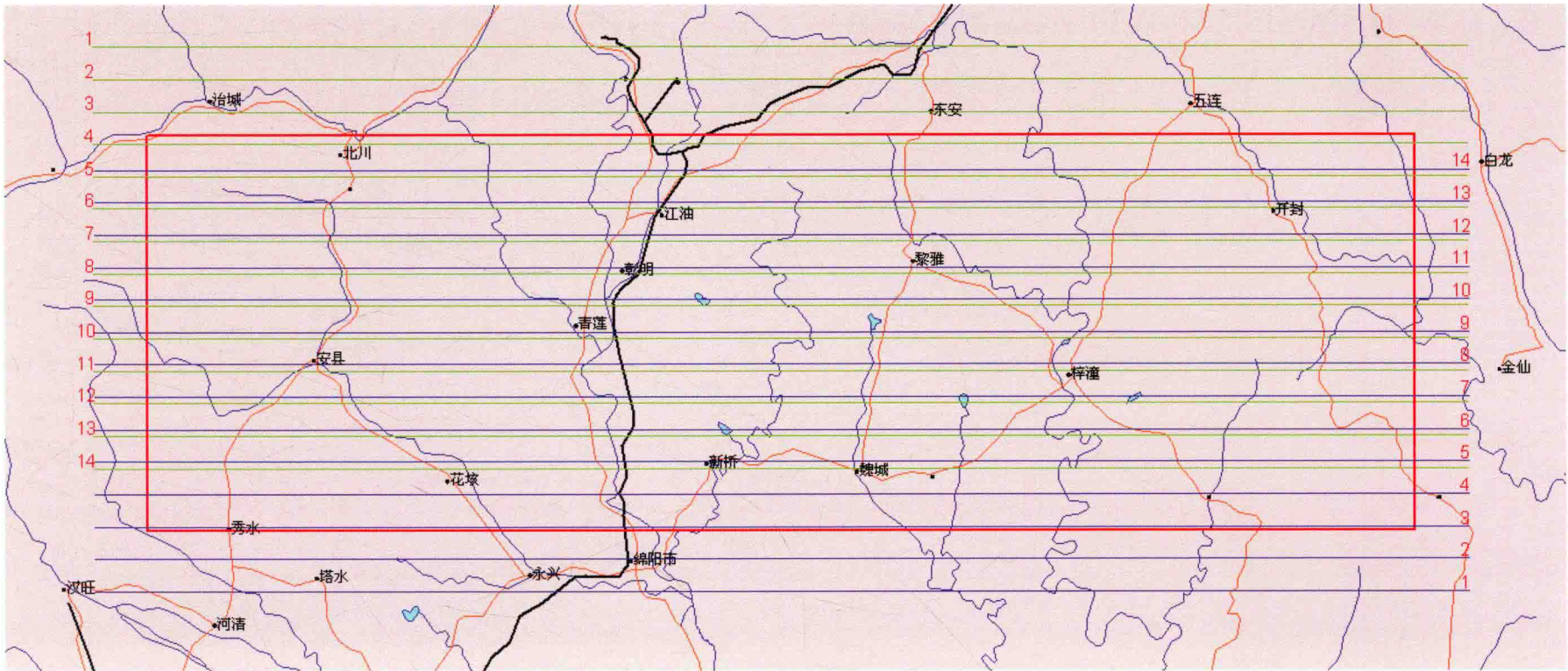


图1.7 1 : 50 000飞行设计图

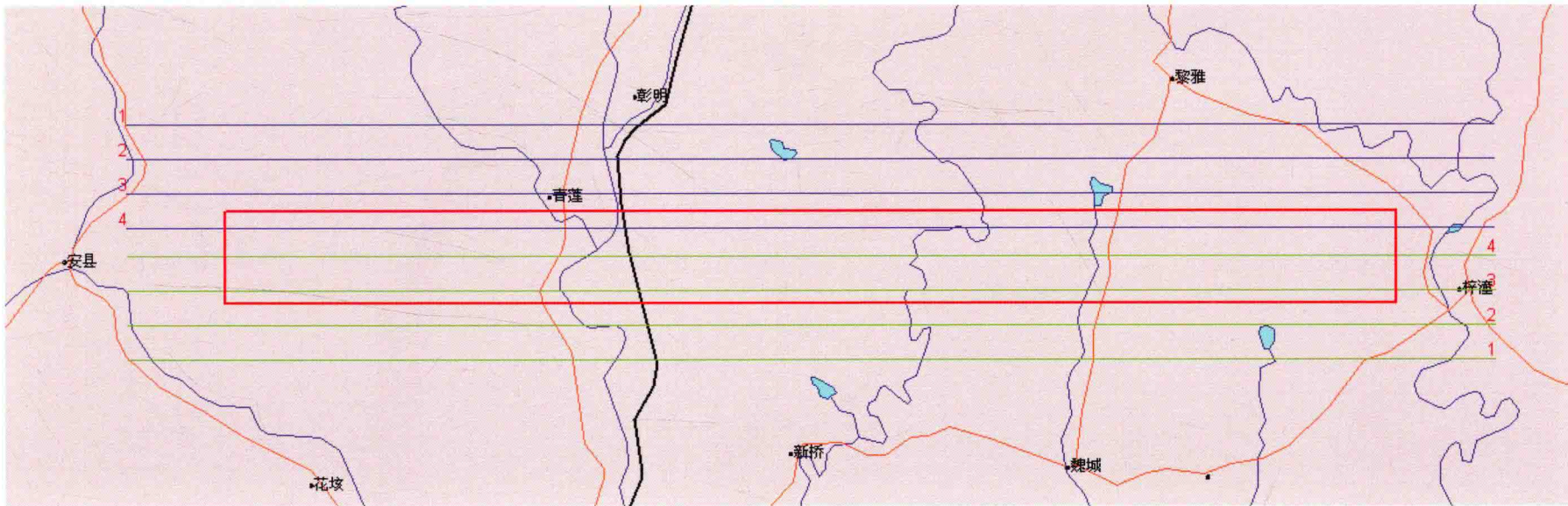


图1.8 1 : 10 000飞行设计图

(5) 获取的干涉数据



图1.9 干涉条纹图（X波段）

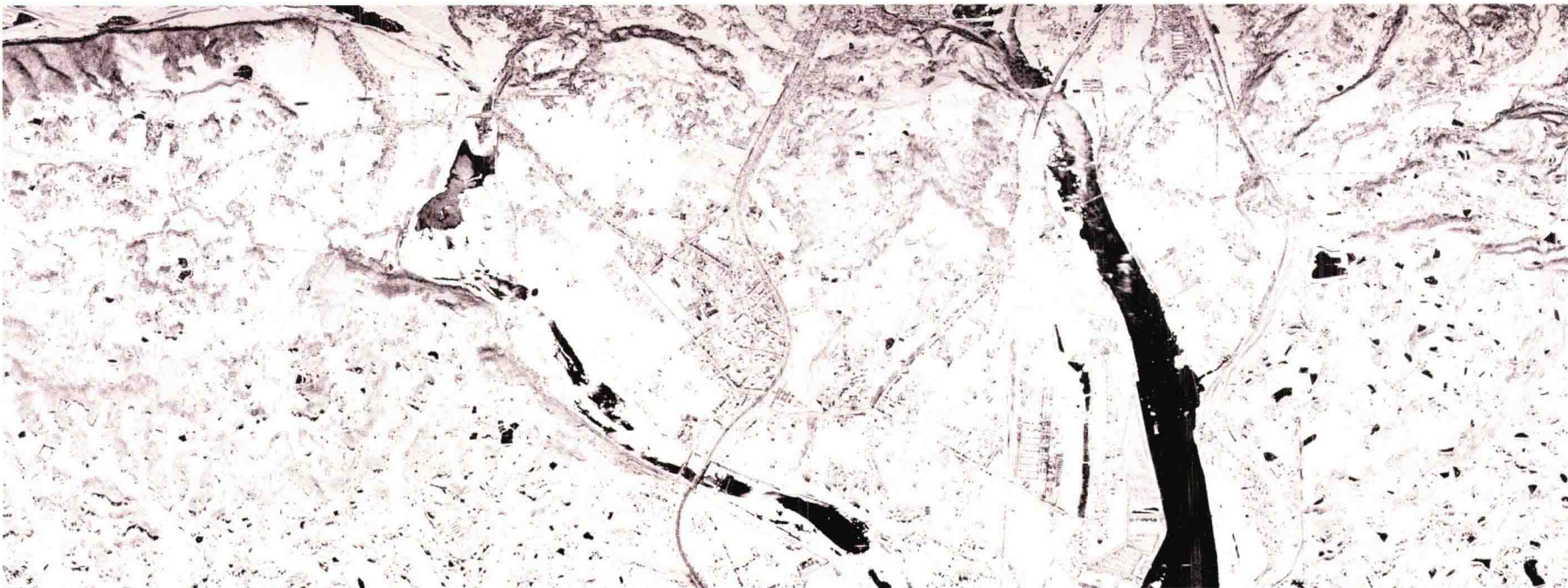


图1.10 干涉系数图（X波段）

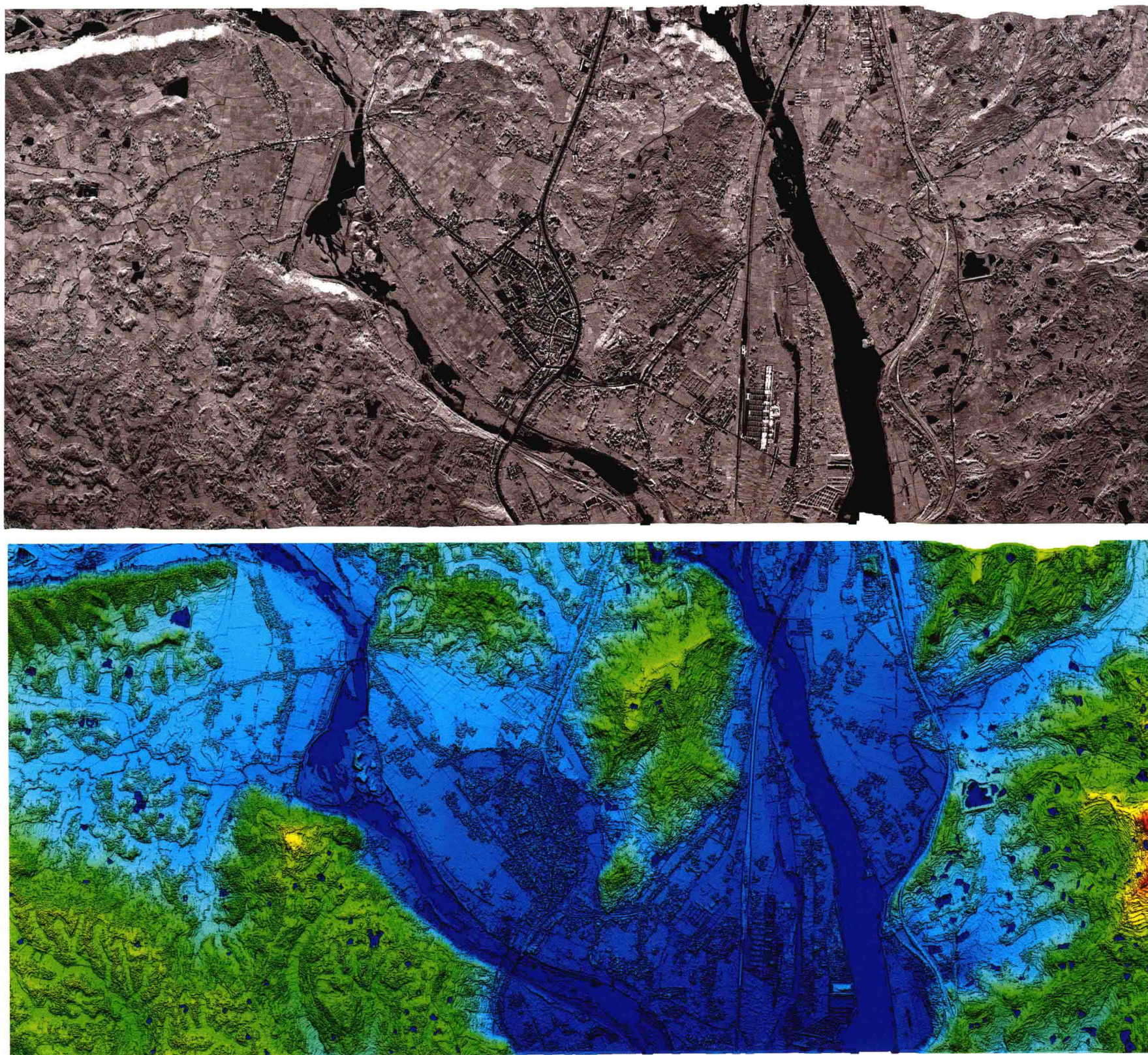


图1.11 正射DOM、DEM (X波段)



图1.12 P波段极化SAR影像图

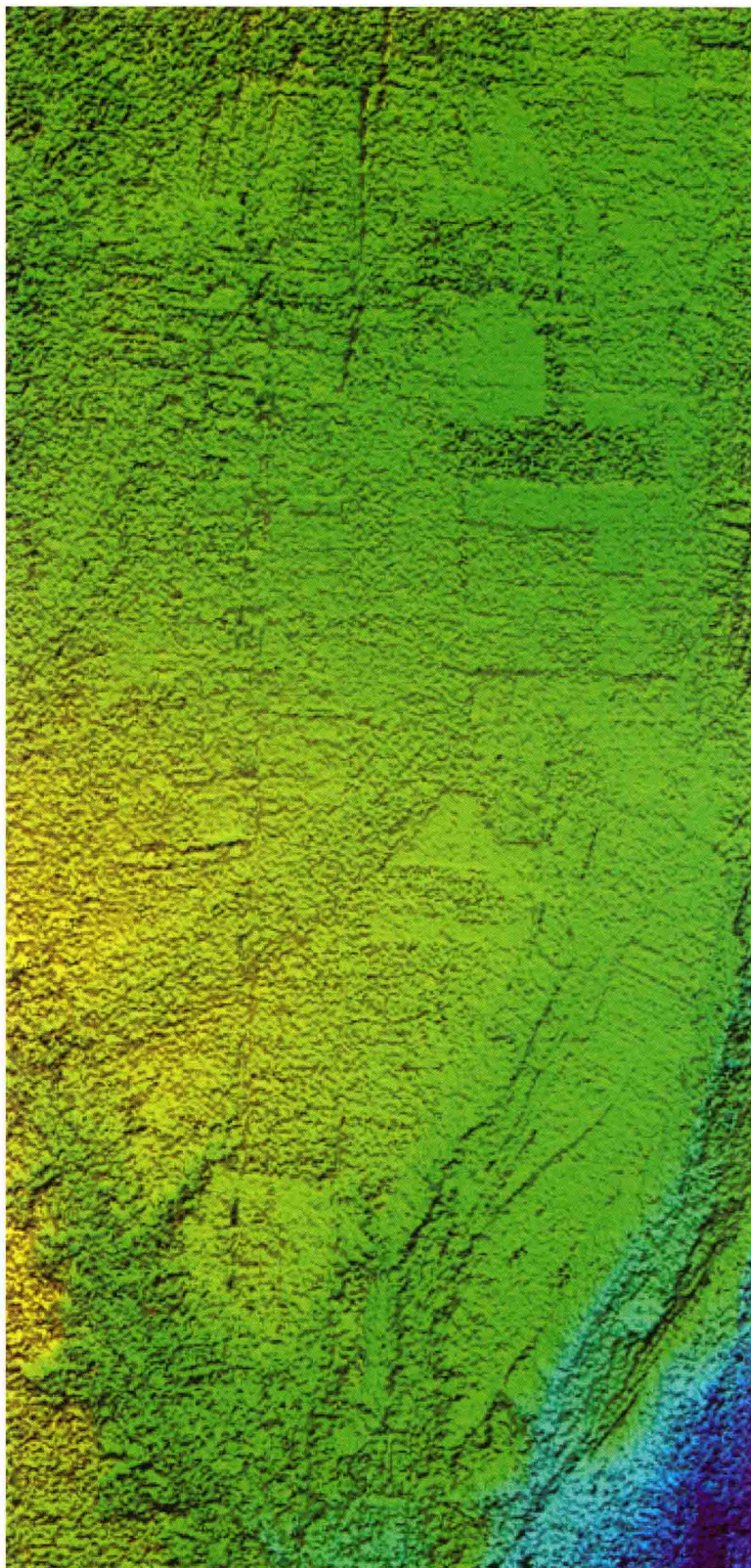


图1.13 P波段DEM透视图