

中国小比例尺卫星影象地图的设计与制作*

黄 签

(中国地质大学(武汉)遥感研究室)

黄仁涛 张新长 徐 冰

(武汉测绘科技大学制图系、建工系)

赖桑青 朱惠明

(广州气象卫星地面站)

摘 要 利用数字化的 NOAA AVHRR 数据进行小比例尺、准同步宏观制图是一种低成本和快速的制图方法。笔者应用本文方法制作了第一幅小比例尺的、完整的中国假彩色卫星影象地图。它包含了全部的南中国海,这是使用其他的遥感数据(如陆地卫星或 SPOT 卫星)难以做到的。该图采用了热红外、近红外和可见光的红波段所构成的假彩色合成方案,提供了丰富的色彩和影象信息。本图制作时实施的数据处理内容包括:地图投影变换、影象反差增强和锐化、彩色平衡调整、去云处理和海陆分离处理、利用植被指数原理的影象时相修正和数字镶嵌操作等。根据影象地图的载重量和视觉效果,图上精心选取并设计了地理要素、地图符号和注记。该图是应用遥感新技术开发的地图新产品,被十七届国际摄影测量与遥感会议选为展示成果,并被该会评为获奖成果。

关键词 制图学;图象处理;NOAA/AVHRR;影象地图

1 引 言

影象地图制图是地图制图学的一个新的重要领域。大多数的卫星影象地图都采用地球资源卫星系列,如陆地卫星或 SPOT 卫星数据。但是,就小比例尺制图而言,NOAA AVHRR (NOAA 为美国海洋大气局的缩写。NOAA 卫星是目前运行的极轨业务气象卫星系列。AVHRR 为改进型甚高分辨率辐射仪的缩写。是 NOAA 卫星的主要成像传感器,具有五个光谱通道)在某些时候是一个适宜的低成本的遥感数据源。按照我国目前的情况,尚不可能使用陆地卫星 TM 或 MSS 数据进行一个完整的中国全境制图。主要原因有二:一是因为北京遥感卫星地面站受接收半径的限制,缺乏南海、我国西北和西藏地区的部分数据;二是若采用数字镶嵌作业,要处理如此大量的数据,成本极高。尽管 AVHRR 的地面分辨率较低(像底点为 1100 米),但是它是一种易于获取的、低成本的和高观测频率的遥感数据。它所具有的较大的成像范围和相对较小的数据容量,有利于经济地完成大面积的数字制图工作。同时,AVHRR 的高观测频率还

收稿日期:1992-05-21

* 国家自然科学基金资助课题

有利于获取高质量的影像以及通过去云技术获取无云的影像。因此,为我们制作一幅高质量、准同步的和低成本的小比例尺卫星影像地图提供了可能。

在这幅影像地图的设计和制作中,我们遵照国家的制图标准。选择双标准纬线等积割圆锥投影(艾尔伯斯投影)作为地图数学基础,南海诸岛插图选择了墨卡托投影作为其数学基础。考虑到最终的地图容量和视觉效果,精心选取并设计了地理要素、地图符号和注记。

三个 AVHRR 通道——热红外、近红外和可见光,被用来构成假彩色合成图象,这个合成方案要比仅使用近红外和可见光波段的常规标准假彩色合成具有更为丰富更为艳美的色彩。数字图象处理过程所实现的无痕迹平滑镶嵌最终获得了一幅精确而美观的影像底图。

2 数据收集和预处理

本图大多数图象数据由广州气象卫星地面站接收,其余的则来自北京和新疆地面站。接收时期为 1988 年底至 1991 年初期间的秋季至冬初。考虑到 AVHRR 的地面分辨率和最终的 1/400 万卫星影像地图的主观视觉效果,将中国分成 64 个子图象,每个子图象为 512×512 象元(因此每一子图象图廓点的经纬度均为非整值),以便于图象处理和硬件化的处理和屏幕显示,这是保证图象的最小数据量,64 个子图象覆盖了全国的陆域。相邻子图象间的重叠区为 32 个象元,这是保证数字镶嵌的最低要求。各子图象均按照其地理位置进行了编码,以便获取多时相的配准数据,绝大多数的影像数据被限制在卫星象底轨迹约 1024 个象元的宽度内,以避免轨道边缘影像分辨率的劣化。原始 10 比特结构的 AVHRR 数据被转换成 8 比特的字节型数据以适应显示。对 AVHRR 通道 1 和通道 2,选取了低 8 位比特的原始数据;对于原始热红外通道 4,则根据地面温度,选取一个相对应的图象亮度区域;对一些特殊地物,所选取的亮度范围有时要进行一些小的调整,如高反射率的沙漠,这类地物会导致通道 1 和通道 2 的低 8 位比特数据产生一个亮度饱和,这样就需要调整其亮度,达到图象整体的协调。数据预处理过程的主要任务是根据艾尔伯斯等积投影对 AVHRR 数据进行地图投影变换,其参数为:

$$\varphi_1 = 25^\circ N \quad , \quad \varphi_2 = 47^\circ N$$

投影常数:

$$\alpha = 0.5771093 \quad , \quad c = 46077318 \text{ 平方公里}$$

(上述参数和常数选自《小比例尺地图投影集》武汉测绘学院制图系编,1978 年,P24)。

当向系统输入 64 个分幅图的图廓点经纬度值时,系统就按规定的投影进行数据变换,并使用卫星轨道参数和时间码来执行变换。预处理的结果被存档以供数据制图处理过程中使用。

3 数据的制图处理

数据的制图处理,即影像底图的制作,是影像地图制作中最重要的一环。本图使用了 IIS 数字图象处理系统来完成几何精纠正、图象增强、彩色调整、数字镶嵌和一系列特殊的处理作业。

3.1 几何精纠正

经预处理的图象虽然已经被转换成一个艾尔伯斯等积投影的形式,但是仍存在着较小的几何误差,所以,有必要进行几何精纠正以保证影像地图的精度。方法是:

- 1)用坐标展点仪展出 64 个子图象的图廓坐标;
- 2)增加人工控制格网。如图 1 所示,共 13 个控制点。供校正视频数字化过程中带来的系统误差和畸变;
- 3)读取畸变图廓的人工控制点的图廓坐标并按理论值建立控制点文件,使用多项式(勒让德多项式)校正;
- 4)经校正,用局部直方图正规化的增强方法,形成控制的地图图象。

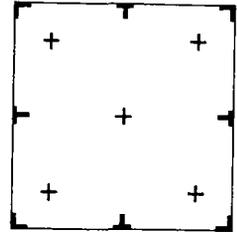


图 1

配准的具体操作是:

- 1)按四个象限分别进行平移式配准操作;
- 2)对四个象限分别确定位移矢量(x, y 分量),继而形成整幅影象校正用的控制点文件;
- 3)再次使用多项式纠正图象,几何误差控制在 1 个象元内,据此确定使用多项式的次数。因此,在 1/400 万比例尺图上,最终卫星影象地图的点位误差不超过 1mm。

3.2 假彩色合成与增强

为了获得丰富的色调和信息,实现最佳的视觉效果,本图采用了包含热红外波段的假彩色合成方案,尽管这样做的结果极大地增加了在数字镶嵌中色彩调整的难度,但也许这是 AVHRR 数据假彩色合成方案中最好的一种。该方案使用了三个在光谱空间中相关最小的光谱通道,即热红外通道 4(赋红色),近红外通道 2(赋绿色)和可见光红波段通道 1(赋兰色),从而可以获得最好的彩色平衡并获得最丰富的信息。在合成之前,对原始通道 4 数据进行了取反操作,使得图象亮度与地表辐射温度成正比。例如城市多为点状的红色图斑,体现了城市热岛效应。这种色彩规律符合人们的一般主观视觉心理习惯。为了控制影象色彩便于镶嵌操作,可采用彩色分量的线性拉伸方法。一般说,使用图象灰度统计量的拉伸方法子图象色彩会有较好的效果,但考虑到大量的数字镶嵌,尤其是地面景观变化很大的地区,必然会产生不合理的影象增强效果。使用基于统计量的高低钳位值增强方式(即累积亮度直方图的高低钳位面点值)在加入热红外信息后,往往会导致影象主观偏色(如偏红、即热红外增强过多),所以本图实际采用的是分波段亮度线性变换作用于三个彩色分量,使用对话式控制亮度变换的高低光亮度值,以确保色彩平衡合理,同时也可根据不同纬度的太阳亮度角条件,补偿成像时的照度差异,这是一项经验性的工作。

4 数字镶嵌操作

高质量的、满意的数字镶嵌往往是一件既困难又费时还需要有丰富经验的技术工作。在本图的镶嵌过程中,需要镶嵌 64 景子图象(中国陆地部分)和 12 景子图象(南中国海)。我们将这 76 景子图象按地理景观和图象特征的相似性分成 6 个部分;即新疆地区、西藏地区、中国中部地区,中国南部地区、东北地区 and 南海。先是对大陆部分进行分区镶嵌,最后将南海以外的五个部分镶嵌,以完成 64 景子图象的镶嵌作业构成影象底图的雏型。

彩色的调整是一件细致的工作,本图的镶嵌作业中,直方图匹配方法仅用于相邻图象间的重叠区以作为一种色彩参照,对图象的其他部分则同样使用上述的交互式的色彩的调整方法。羽状过渡处理被用于平滑色彩的变化并消除任何人为痕迹。

5 某些特殊的处理方法

5.1 云检测和去云处理

云和云影检测。根据云层(也包括积雪)所具有热红外波段中的低温特征和可见光中的高反射特征,在热红外波段检测出低温目标,在近红外和可见光波段中检测出高亮度目标,同时满足以上二种检测的目标必然包括云层,由此确定云区位置作为一个文件存贮起来。在其他时相的配准图象中按此同样的云区位置进行最小值替换运算(指可见光)和最大值替换(指热红外)去掉云层信息并以其他时相中的无云信息所代替,以达到去云的目的。若一次替换不能完全去云,则采用更多的时相数据进行上述操作,只要云层在时段周期中有位移运动,就可达到替换去云的结果。

云影的去除与上述去云类似,只是检测中不包括热红外,仅仅检测近红外和可见光中的低亮度信息,这样检测的结果必然包含云影信息,但也会包括其他一些低亮度信息(如山影、水体等)。不过云影是具有位移运动的,在替换运算中可以被替换,而山影和水体则是固定不变的,即便是用最大值运算后仍保持原影像低亮度特征。

上述的云和云影检测中,都需要经验地确定亮度检测阈值,并在每一次替换操作之后,根据替换效果,调整被替换部分的亮度,使之与原影像背景的亮度趋于一致。

5.2 图象季相修正

植被的季相变化是影响影像色调的最重要的因素之一。本图使用的图象的接收期(秋季至初冬),延续近四个月,某些图象中植被季相变化是相当明显的,尤其在西北地区。这将会给镶嵌处理带来问题,所以,必须进行修正。使用植被指数,如 $(CH2-CH1)/(CH2+CH1)$ 或 $(CH2-CH1)$,可以得到一幅植被指数图象(VI)。然后对原始的近红外数据(CH2)和植被指数图象进行一个简单的算术运算,即可产生一幅新的图象以替换原来的近红外波段(CH2)图象。即,

$$NEWNIR = A \times (NIR) + B \times (VI) \quad (3)$$
$$(|B| \leq |A|, A > 0)$$

NEWNIR 为新生成的图象,NIR 为近红外波段图象(CH2);A 和 B 为根据实际图象而确定的加权系数。经过这种修正,不同时相的相邻图象间的植被信息就趋于一致而其他部分则基本保持原状。

5.3 雪与碎云的颜色修改

由于被赋予红色的热红外数据已被取反(即一种反向线性变换,原数据最高亮度值变为最小,而获得最小亮度值变换为最大的一种取反操作),在合成影像中,云和雪这样的低温物体就呈现为青色调,这违背了人们一般的阅读习惯,同时也会导致色彩对比下降并破坏了色彩平衡。要将雪和碎云恢复成白色,则要使用如前述的云雪检测方法,将雪和碎云区提取出来,然后再对积雪区的通道 4 再次取反并适当调整该部分其他通道的亮度,就能使雪与碎云呈现出纯白色。

5.4 修改海色

由于热红外信息参加了合成,海洋在合成影像中呈现出红色。虽然热红外数据可以清楚地显示冷、暖洋流的情况,但是对于不具备充分地学知识的读者来讲,这也许超出了他们的理解能力。因此,有必要修改海色以符合绝大多数读者的阅读习惯。方法是,利用波段运算生成一

个陆地掩膜,再对海区使用分段线性变换,将其色调由偏红色改变至深兰色并将热红外信息去掉。代之以近红外数据。

5.5 图象锐化处理

这个处理的目的是为了改进图象的主观质量。先用拉普拉斯高通滤波提取边缘特征以形成一幅增强的边缘图象,尔后进行的图象锐化是使用原图象与它的边缘图象进行加权求和来实现的。即

$$\begin{aligned} \text{NEWIMAGE} &= A \times \text{IMAGE} + B \times \text{EDGEIMAGE} & (4) \\ (B \leq A, \quad A, \quad B > 0, A+B=1) \end{aligned}$$

NEWIMAGE 为新生成的锐化图象,IMAGE 和 EDGEIMAGE 分别为原影像和它们的边缘影像,A 和 B 为加权系数。

5.6 卫星影像底图的整体处理

本图是利用数字图象处理方法来生成的一幅完整的影像底图。考虑到工作量的因素,在原计划中未包括境外部分影像数据的收集,因此,在本影像底图中,境外部分被赋于灰色,并沿国境线外侧保持了一条影像带,相当于一幅地图中的色带。对境外部分大陆的边缘(包括岛屿),则使用数字形态学中的侵蚀算法加进了一条浅色的线条。每隔 5 度的经纬度交点处定位了小十字标志,以供与地理要素图配准之用。同时,按设计要求嵌入了图例部分和南海诸岛插图。

6 地图制图工作

通过数字镶嵌,图象处理完成了卫星影像的拼接、加工后,要成为“地图”就必须完成另一阶段的工作,即地图制图工作。

地图制图工作包括地理要素的表达、名称注记、图例设计和图面布局四个方面。

6.1 地理要素的表示

地理要素的表示主要解决三个问题,即地理要素的选取,地理要素的定位和地理要素色彩及符号的设计。

卫星影像地图是地图的一个新品种,它的价值显然在于能提供丰富的影像信息。因此,地理要素显然是第一位的,然而地理要素的表示要受到影像分辨率的限制。在本图中,地理要素包括河流,湖泊,水库,居民地、铁路、公路、山头 and 国界等。水系中选取表达中国三大河系中的一级支流和部分二级支流以及大型湖泊、水库等,主要显示其水网结构特征及密度对比。居民地中原则上地级市以上城市都予选取,但对中国东部人口密度过大地区,一部分地级市要舍去,西部地区居民地较为稀疏,除地级市以外,还适当要表示一些县级市;只选取主要干线铁路和主要的国家级公路(西部地区表示干线公路)。这些都以最新出版的地图为基准确定其等级;山脉仅选取那些著名的和有代表意义的山峰。由于影像分辨率的限制,许多要素难以显示。为了正确显示被选取的地理要素的位置,本图对各地理要素采取在卫星影像图上解译并运用与同比例尺同种投影的地理图上相应要素迭套的描绘方法来确定。为了尽可能提高描绘的精度,在迭套图上也绘出 $5^\circ \times 5^\circ$ 的相应经纬网格网,逐格对照描绘,事实证明,对于图象上难以分辨的细小河流、居民地,难以辨认的铁路、公路,都能较好地确定了它们的位置,国界的表示和定位则是以中国地图出版界规范的绘制方法为依据,以影像信息的相互关系为参照,经国家测绘局审定而确定的。

为了较明显地反映地理要素,必须运用地图符号来表达诸如过细的线状地物(包括河流、铁路、公路)、过小的居民地及著名山峰等。考虑到本图幅采用兰、绿、黄三色背景,所以,水系用紫色线划,铁路用黑白间隔线划,公路用品红色线划,山头用黑色等腰三角形符号;居民地中,一些重要大城市用放大的有轮廓特征的图形表示,其余城市用圈形符号,都缀以品红色,与绿兰色背景相衬,有如绿叶扶红花之效。国界则在境外侧沿国界饰以色带,加强国界符号效果。

6.2 地图注记

注记是地图语言的重要组成部分,中国汉字普遍较大,压盖影象较多,因此注记文字占用图面在很大程度上制约了地理要素的选取。本图幅的注记原则是绝大部分水系都要绘出相应的注记,所有选取的居民地和山峰原则上都要有注记,道路一般不注记。大的山脉如喜马拉雅山脉,唐古拉山脉和天山山脉等应给予注记。为了使注记在地图上显现,采取字体带白色衬边的形式。运用晒版中多层填膜的方法造成阴影,再经过晒版、制版处理成带有白底镶边的注记。

6.3 图例设计

图例设计方面,从内容而言,本图不同于普通地图而具有丰富地理信息的优势,则应通过图例设计体现出来。所以本图的图例分为三大部分。第一部分是水文要素,它包括河流、湖泊、水库、岛屿和珊瑚礁等;第二部分是自然要素,包括沙漠、高山雪被、黄土地貌、针叶林、阔叶林、沼泽和云层等;第三部分是社会经济要素,包括重要城市、铁路、公路、国界(未定国界)和长城等。这里第一、第三部分是读者可以在其他常规地图上见到的,而第二部分则是本图的特色,给予高层次读者提供了丰富的影象信息。

为了区别于一般地图上的图例,本图的图例都采用“环境式”图例方案,即在计算机屏幕上开一个窗口,展示本图例所要说明的主体,并连同其影象背景一起展示出来。这样,读者不是孤立的而是有机地认识和阅读图例,从而加深了对地图主体的认识。

6.4 地图的图面设计

本图比例尺为1:400万,图廓尺寸为150cm×110cm,需要采用两张标准全开纸进行印刷,以东经110°为中央经线。按照这个尺寸,最北部的漠河和最南部的海南岛基本上都处于“顶格”位置。相比之下,中国东西国界距内图廓有一段距离。为此利用东海、太平洋有一块较大的空白,安排南海诸岛。本图的南海诸岛影象之美是在其它地图上少见的,珊瑚礁似蓝宝石嵌在深兰色海域中,星罗棋布。对此尽可能扩大其比例尺(用1:700万),占有本图右下角空间,而相应的图例设置在中国境外西南部的一大片凹形处,与南海诸岛左右对称地分布于主图的东西两边,平衡又稳定了全图。

7 结 语

通过本文方法,已经证实了使用多波段的NOAA AVHRR数据,可以获得一种高质量、高速度、低成本的大幅面小比例尺卫星影象地图。本文采用NOAA AVHRR数据经数字图象处理方法制作的第一幅完整的中国卫星影象地图,是一幅符合制图标准的中国国家卫星影象地图。这充分表明,NOAA AVHRR应用于小比例尺卫星影象地图制图是一个潜在的方向。这种卫星影象地图不但对遥感与地学应用,而且对诸如教育、规划、科学普及和艺术欣赏等许多方面都将是有应用价值的。

Designing and Mapping of the Small-scale False-color Photomap of China

Huang Qian Huang Rentao Zhang Xinchang Xu Bing Lai Rongqing Zhu Huiming

Abstract A low-cost and quick mapping technique on near-synchronous, small-scale and macrocosm is developed using digital NOAA/AVHRR data. The satellite photomap of China is made from imagery and symbol base maps according to cartographic techniques strictly. This is the first small-scale, integrated and standard false-color satellite photomap of China, especially if contains the whole South China Sea that is rather difficult to use other remotely sensed data such as Landsat or SPOT. The false color composite of AVHRR thermal infrared, near infrared and visible red channels is used to provide rich information and colourful tones. The data processing includes map projection transformation, image enhancement both on contrast stretch and image sharpening, color balance adjustment, cloud removing, separated processing of land and sea, modification of image seasonal aspect with vegetation index image and mosaic. Geographic elements, map symbols and letterings were selected and desinged carefully considering the finial load of the photomap content and vision effect. This false-color satellite photomap of China has been selected by the 17th ISPRS Congress as a poster achievement.

Key words cartography; image processing; NOAA/AVHRR; photomap