

中国彩色卫星影像图的设计与编制*

张圣凯 夏明宝 石军梅 关 威 刘桂云 陈子南 刘 斌

(中国科学院遥感应用研究所)

摘 要

从我国国情和应用需要出发,选用70年代陆地卫星MSS影像584景,采用合理的制图设计与多种光学处理及镶嵌制图技术,编制成1:100万中国假彩色卫星影像图。该影像图色彩协调一致,宏观效果良好,它生动形象地反映我国自然地理概貌,具有广泛的应用和学术价值。

关键词 影像图 控制基础 彩色协调

陆地卫星的发射及其影像获取,为人们有效地研究生存环境,了解全国、全球的自然变化提供了优越条件。把多景影像信息,按照一定的数学基础,与地理名称注记综合表示在同一平面上编制成卫星影像图。它可以综合反映一个庞大地区地理环境的多种信息。这种卫星影像图在地理环境研究和资源调查中得到广泛的应用。

70年代中期,我国就开始了卫星影像图的编制实验。十多年来,已取得了显著的成绩和可观的进展^[1]。如,曾用陆地卫星单波段影像编制出版了1:400万中国黑白卫星影像图,为研究我国的地质构造,地形地貌起了较好的作用。此后,我们曾陆续编制了黄淮海、辽宁、新疆、云南等地区的彩色合成影像图,为区域研究提供了遥感技术服务,得到了社会的广泛欢迎。

为了更有利于深入系统地研究我国自然地理环境的形成和演变,揭示自然要素之间的相互作用,研究环境与经济发展的关系,为合理开发自然资源,因地制宜地发展工农业生产,建立良好的生态环境而服务。我们在多年的科学、技术、经验和资料积累的基础上,采用合理的制图设计与先进的彩色合成处理技术,编制成功了1:100万中国假彩色卫星影像图(见图版I图1)。图幅面积为4.5米×5.5米,是迄今为止我国编制幅面最大的假彩色卫星影像图。它将我国960万平方公里的锦绣河山展现在图上。为了更好地了解及使用此一影像图,特将其设计与编制的要点作一介绍。

一、构思设计的要点

随着航天遥感技术的迅速发展,产生了多种高分辨率的影像数据,这必然对发展遥感

* 本图由陈述彭教授为科学技术顾问,童庆禧、郑立中、张琦娟等18位专家组成编委会;中国国家遥感中心资料部、培训部、研究发展部、地质矿产部、总参测绘局、林业部、国家海洋局,广州地理所等兄弟单位提供卫星像片资料;本文得到郑威、陈正宜研究员的热情指导,在此一并致谢。

制图及其应用分析,会产生深远的影响。但考虑到我国应有一幅反映环境本底的假彩色影像图作为基础,以便与不断更新的遥感数据进行对比,用于研究环境的动态和变迁。为此,本图确定以70年代的MSS影像为基本资料,利用现有的光学仪器设备,采用光学合成,切割镶嵌制图方法成图。这种以较少的投资,快速编制1:100万中国卫星影像图,是研究所需而又力所能及的多、快、好、省的技术途径。

编制卫星影像图希望能全面地反映自然环境多要素,以便于为多学科的分析与动态

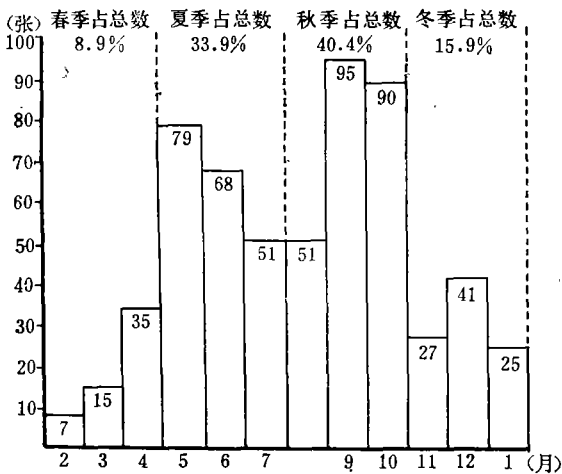


图2 卫星像片时相统计分析

Fig. 2 Statistical Analysis of Imaging Time of Landsat Images

对比所用。我们考虑到土地覆盖状况是突出反映区域景观差异的主导因素,也是卫星影像最能直接显示的光谱信息,为此确定选用夏秋成像为主的卫星像片。因为此时所反映的光谱信息不仅能全面地照顾到全国范围内的植被及水资源分布,而且大气光照条件好,能获得清晰而层次丰富的彩色影像。由于我国幅员辽阔,大陆部分南北纬度差达 30° 多、季相差别很大、平原山地也相当错杂,因而要在全国范围内获得同一时间内的优质遥感影像是很困难的。为此,我们反复查询和对比选择了全国32个单位的MSS影像,从合成的2500张单景彩色像片中,挑选出584幅成像较为清晰,地面要素反映也较全面的优质像片为编图的基本资料,其中夏秋季影像占74.3%,卫星像片时相统计分析见图2。

根据影像科学的研究,黑白像片是以它的明暗影调层次来体现丰富的景物,而彩色片则以颜色和影调的结合来表现自然景物。实践证明,标准假彩色合成像片,不仅可以反映可见光谱信息,而且还显示了人眼不可见的近红外光谱信息。假彩色像片的颜色虽不同于自然景色,但它的影像色彩丰富,对专业判读分类十分有利。中国彩色卫星影像图,就是根据三原色合成原理,改变多波段分层曝光时间的比例,调控色彩三要素的变化来控制全图的色彩基调,并以它不同的色相、明度和饱和度的变化差异,使之色彩多样、层次丰富,增强图像的表达能力。使读者从图像的色彩系统、立体层次,密度差异中,运用地学、生物学、环境科学的科学思维与逻辑推理,增强了对自然地理环境要素的识别能力。

在控制基础的设计上,考虑到我国是一个中纬度国家,我们选择了能较好表现我国领土的完整和形状一致的等角圆锥投影为控制基础,并设计了一种既能保证数学精度又利于成图的过渡方法,即将单景影像按1:100万地形图单幅进行拼贴,然后按1:100万等角圆锥投影连接成幅。为了能均匀配赋误差,按不同的纬度作必要的线性纠正变换。图面整饰与配置,力求简洁,壮观,及整体的和谐。

综上所述说明了中国彩色卫星影像图的设计与编制,既要考虑到地学、生物学规律,

还运用地图学、遥感技术法则,使丰富的信息充分地反映出来,并达到影像色彩和谐。所以本图是地图和影像的结合,科技与艺术的结合,它既可研究,又可应用,还可欣赏。

二、编制工艺及主要技术处理

我们在广泛收集卫星像片资料和有关图件的基础上,认真分析制图区域的特点,制订切实可行的编制工艺方案,其工艺流程如图 3 所示。

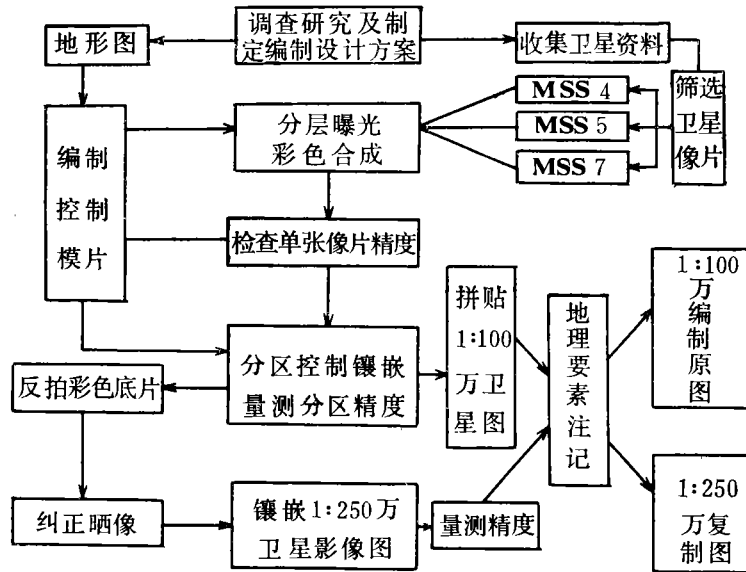


图 3 工艺流程方框图

Fig. 3 Flow Chart of the Compilation Technique

完成上列工艺流程,其主要技术处理关键问题是:

1. 控制基础

单景 MSS 影像具有近似正射投影的特征,它的地理坐标与等角圆锥投影相差甚小^[2],所以编制小比例尺区域性的卫星影像图,一般可以用标准分幅的 1:100 万地形图作控制,直接合成、镶嵌拼贴成幅。制图精度可以满足同比例尺专题制图的要求。但由于百万分之一地图投影是每幅图单独进行投影的,上下图幅拼接时,因为纬度不同,有着不同的投影常数,使同名纬线的投影半径稍有差别,同名纬线不能重合,裂隙最大值 0.6 毫米。另外每幅图各有它自己的中央经线,所以相邻若干图幅拼接时会产生一定的裂隙。如图 4 是相邻四幅在一

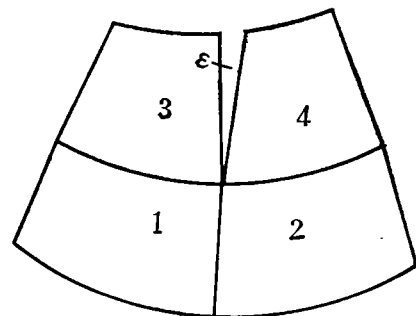


图 4 拼接裂隙示意图

Fig. 4 The Sketch of Mosaic Crevice

公共图廓点上进行拼接,此时裂隙角大小为 $\varepsilon' = 25' \cdot 15 \cos \varphi$, 式中 φ 为接图的公共图廓点的纬度,以裂隙距表示,则为 $\varepsilon = 3.25 \cos \varphi$ (毫米)。

由此可见,纬度低的图幅,接图时裂隙较大,最大达 3.25 毫米(赤道处),在实际应用时,因为裂隙尚微小,对地图的使用影响不大,但拼幅越多,裂隙越大。为了将 584 张卫星影像拼贴成幅,并具有一定的数学精度,我们将单景影像按 1:100 万地形图分幅镶嵌,并逐渐拼贴成 15 个分区影像图,从而把总体误差分解为局部误差,并把局部误差按区域配赋在可控制的 15 个小区内,这样保证了影像图的区域精度(见本文精度分析)。再将 15 个分区卫星影像复照成彩色负片,然后用 1:250 万中国全图(等角圆锥投影)作控制,并分别选取一定数量的纠正点,采用 E₄ 纠正仪进行纠正晒像,再镶嵌拼贴成 1:250 万中国卫星影像图,从而保证了全图的数学精度。

2. 彩色协调

我国幅员辽阔、地形复杂,高差悬殊,因而具有多种多样的气候类型。随着地理位置的不同,自然物候的差异,同种地物的光谱,亦因而有着十分明显的变化。就是同一地区,植被随时相的变化,表现出十分明显的光谱特性差异。而地物光谱的任何差异,都将不同的胶片密度记录下来,因而在彩色合成的像片上表现出不同的色调(见表 1)。要

表 1 不同成像的彩色合成像片密度对比

Table 1 Density Comparison of Colour Composites of Different Objects

轨道名称	成像日期	彩色合成像片	彩色密度	农田	草场	林地	壁	雪山	裸岩
158—30	78.8.13	a	黄	0.11	0.13	0.12	1.42	0.76	0.04
			品红	0.37	0.38	0.35	1.44	0.85	0.42
			青	1.25	1.29	1.16	1.43	0.42	0.67
	72.9.22	b	黄	0.37	0.31	0.19	1.05	0.80	0.06
			品红	0.67	0.63	0.44	0.94	0.94	0.05
			青	0.95	0.84	0.90	0.17	0.75	0.20
	76.10.16	c	黄	0.64	0.45	0.12	1.39	1.24	0.05
			品红	0.97	0.78	0.49	1.45	1.21	0.14
			青	1.11	1.01	0.98	1.43	1.14	0.08

使近六百景像片的色彩协调一致,技术难度很大。为此必须首先分析影响影像色彩的环境因素,掌握使主要植被区宏观色调近似一致的原则,尽量精选成像时间接近、质量较优的卫星像片资料^[3]。并根据三原色合成的基本原理,试验研究彩色合成中影像密度(透过率)、目标物的光谱反射率与合成色调的关系及变化规律。多波段底片透过率的差异仅是合成中色彩变化的内在因子,而调整不同波段底片的曝光时间或变换分层曝光时间的比例及处理条件;可以得到多种彩色图像。至于如何确定像片的色彩基调,一般可将卫星像片上的中性灰标作为定色的依据。从理论上推知,灰色是由等量的红、绿、蓝三原色混合而成,所以只要将合成条件调到中性灰标,一般能达到单幅像片的彩色平衡。但对于镶嵌图来说,用中性灰标来控制彩色合成是难以做到的。在影像图的合成中,为了使相邻像片

颜色协调,往往需要改变某一像片的颜色,这就有可能破坏合成颜色的平衡。另外有的卫星影像几经非标准拷贝,影像密度没有按一定的比例关系传递,破坏了中性灰的合成条件。如果仍以中性灰条件合成,就不能取得理想的色彩效果,因此必须根据图像的判读要求来确定合成条件。

合成相邻的彩色像片,往往由于地区不同,成像时间不一,光照条件不同,而导致影像的密度、反差不一。这时必须用定量测试分析方法,确定相邻像片的最佳合成条件,才能达到色彩协调的要求。但是有些卫星像片反差过大或过小,单靠调整合成曝光条件是不能奏效的,需用拷贝复制或相关掩模^[4]、彩色蒙罩等光学处理,调整原片的密度反差,再行合成。对于全国影像图的色彩协调,则着眼于宏观颜色效果,即相邻像片色彩自然过渡及总体色彩和谐且协调一致。

3. 控制镶嵌

为了保证多景影像的镶嵌精度,首先制作地形图透明模片,在镶嵌拼接时将透明模片蒙在合成像片上,用水系等明显地物来控制所镶嵌像片的平面位置,正确性得达到一定的精度。在照顾像片拼接精度的同时,应着重使像片与模片的同名地物套合。如地物影像套合误差较大,则应照顾重要影像之套合,使误差均匀配赋,镶嵌采用平面切割交叉镶嵌工艺^[5](见图 5)。镶嵌拼贴分成 15 大片,然后以同名地物重合为准,将 15 片影像连接成幅。为避免误差的单向积累和整个图形产生过大的扭曲,镶嵌从图幅中央开始向四周扩展。彩色镶嵌除了尽可能地提高影像图的几何精度外,如何保证影像图色调的一致性也是十分重要的。切割镶嵌时,尽可能地使地物接边差保持在一定的限度之内,且使地物色调均匀过渡,自然衔接,保证影像图色调的一致。

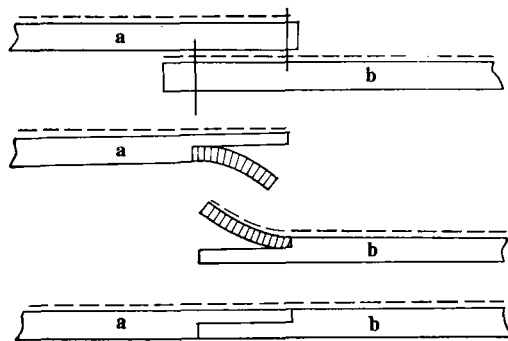


图 5 平面交叉镶嵌工艺

Fig. 5 The Plane-Cut Intersect Technique.

4. 边界处理

由于卫星影像未经几何纠正且影像图比例尺较小,西部高山有的终年覆盖冰雪,有的卫星影像质量欠佳,地形特征难于判别,因此无法在影像上准确勾绘境界,我们参照近期出版的中国政区图,在内陆国境外 2—4 公分,采用国境外缘由近似直角的线段组成的折线作为边界,这样,既保持了边界附近影像的完整,又反映了我国大陆国土的大致形状。东部海域则大体参照经济管辖区所涉及的范围,保留东经 124° 以西的海洋影像,南海诸岛由于缺乏影像,采用南海诸岛附图表示,以示我国完整的领土范围。

三、精度分析

卫星影像图的精度,必须满足地理制图的精度要求,才有普遍的使用价值。卫星影像图的平面精度除受卫星像片质量及地球曲率、地形高差,大气折光等因素造成的误差影响外,尚有合成影像比例尺误差,拼接误差,模片转绘误差及模片与影像的套合误差等方面的影响。后面这几项误差可以在作业过程中加以控制,而最后反映在影像图上的误差是以上诸方面因素造成的综合误差。这种综合误差可用像点的平面位置中误差表示。为了对成图精度作出比较客观的分析、评价,我们以 15 个分区影像图为单位,分别在透明模片和影像图上选刺同名地物点,并测量各点的误差矢量 Δ 。然后代入中误差公式:

$$m_{\phi} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$$

式中: m_{ϕ} 为中误差, Δ 为误差矢量, n 为量测点数。求得各区平面位置中误差(见表 2)。

表 2 分区平面位置精度统计表

Table 2 Statistical Table of Plane Position Precision in Each Piece of the image map

分区号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
拼幅数	11	2	2	3	4	4	2	1	4	4	4	4	2	4	3
量测点数	65	30	17	20	41	48	11	20	65	61	21	17	45	47	40
平面位置 中误差 (毫米)	2.42	0.67	0.64	1.32	1.32	0.74	1.04	0.55	0.87	0.67	1.24	0.79	0.79	0.77	1.11

从表 2 中可以看出 1 号分区中误差偏大,其原因是由九幅 1:100 万地形图拼接而成,所以影响了镶嵌拼贴误差。极大部分中误差在 1 毫米以内。台湾及海南岛中误差分别为 0.64 毫米、0.55 毫米。以上数据表明,相拼的图幅越少,位置精度越高。上述精度的统计分析,仅反映卫星影像图的分区镶嵌拼贴精度,并不代表中国卫星影像图的整幅精度。为了进一步测量全图的数学精度,我们在纠正镶嵌的 1:250 万影像复制图上选取了 241 个检查点,与 1:250 万中国地图同名地物点比较,求得点位中误差为 ± 0.86 毫米。通过精度分析表明,1:100 万卫星影像图可以满足小区域地理制图的要求,1:250 万复制图能满足同比例尺专题制图的精度要求。

四、特点及应用

中国卫星影像图是由 584 景卫星影像编制而成。由于编制过程中注重了彩色协调和制图技术的处理。各幅像片间无明显的接缝和色调差异。全图影像清晰,反差适中,云量极少,层次丰富,色彩协调一致,生动形象地反映出我国地理景观的总貌。该图概括起来

有以下特点:

(1) **宏观性强** 本图相当于近 10 万张 1:5 万航空像片的覆盖范围,全国范围的宏观信息和概念,很难从浩如烟海的航空像片上提取。通过卫星影像图,能给人们一个从宇宙的高度来看中国的机会,它为人们从事地表宏观现象、结构和规律的研究,提供了极有价值的本底分析资料。

(2) **可比性好** 卫星影像图是以 1:100 万地形图作控制,合成、镶嵌而成。它具有良好的几何精度,能与其它图件进行横向对比分析,既可与其它图件相参照,对比分析影像特征,建立判读标志;也可用影像信息来纠正或补充其它专题图件的不足;同时还能和以前或以后的遥感影像进行纵向对比分析,获得某些地理环境要素的动态变化数据。

(3) **影像综合信息丰富** 卫星影像图选用陆地卫星 MSS 多波段底片合成假彩色像片,比单波段信息量丰富得多,使一些肉眼难以识别的灰度信息变为易于识别的彩色信息,一些自然要素的微观差异,在图上也能清晰易读。卫星影像不仅清晰地显示了地表显露的自然景观,同时还可以揭示了隐伏的地理、地质现象以及动态变化趋势。它是地表和部分地下信息的综合反映,比其它图件更有综合应用价值。

本图虽具有上述特点,但由于影像资料采自不同的年份、季节的记录,影像质量参差不齐。个别地区冰雪和云量覆盖偏大,这些不足之处依赖光学处理是难于解决的。尽管如此,它所提供的宏观综合信息,是富有应用分析潜力的,将为多学科的遥感应用开拓广泛的前景。也将为全球全国性的宏观研究创造了条件。概括起来有下列学科方面的应用价值:

(1) 研究大地构造体系

中国卫星影像图突出反映了地质地貌结构,线性形迹和环形形迹,为宏观分析大地构造,研究板块运动,洋底扩张学说提供了直观的证据^[6]。例如沿雅鲁藏布江缝合带、横断山区安宁河大裂谷,郟庐深大断裂带等,在影像图上,显示的线性形迹的规模和组合,使人们对欧亚板块和印度板块的相对运动,太平洋西岸岛弧的形成有了不少新的认知。通过对色彩丰富的线性体的分析可以启示追踪新的线索,填补观测的疏漏,完善区域构造体系。从图中还可以深入剖析各种地质信息体的分布规律、圈定控矿构造的部位,为寻找矿产及油气资源提供有效手段。

(2) 研究自然环境,因地制宜发展生态农业

本图采用多光谱彩色增强处理技术,使人眼不可见的近红外光谱信息得到了显示,丰富的彩色影像和层次,详尽地反映了我国土地覆盖的分布状况。从密集分布的红色影像上,可以清楚地看到我国东部生态环境良好,再生资源丰富,并具有悠久的开发历史,是我国工农业生产发展基地。然而西部及西北地区,以蓝、绿色调分布在影像上的是成片的沙漠,戈壁等不毛之地。这些地区农耕地极少,森林稀少,植被覆盖率低。尤其是黄河中上游丘陵,山区水土流失相当严重。影像图使人们认识了不利的自然环境与生态条件。从而为有关生产和科研部门,进行国土及农林生产发展规划,有的放矢采取综合治理措施,防治山区水土流失,合理开发自然资源,保护生态环境,因地制宜地发展生态农业提供了

形象直观的背景图件

(3) 为研究我国环境历史变迁, 积累本底资料。

该图是 70 年代地理环境的历史记录。卫星影像图以不同深浅的蓝色调和图纹形状结构, 再现我国河网密布, 湖泊众多, 辽阔的海域和绵延 18000 公里的海岸。第四纪以来的水系变迁规模十分宏大, 河曲的发育和演变相当频繁, 湖泊盛衰消长也很显著, 其蛛丝马迹, 在卫星影像图上均可找到。为研究近代自然历史变迁的空间和时代, 提供难能可贵的信息。用它与 90 年代新一代陆地卫星 6 号及 MOS 1 号(日)以及我国自己发射的资源卫星影像作对比分析, 不仅能研究水域动态的变化, 而且还可为研究我国土地利用、土地覆盖的动态变化, 毁林、造林状况, 土地沙漠化及盐碱化的消长等等, 积累科学数据。

(4) 普及科学知识, 促进学术交流

中国卫星影像图形象直观, 生动地反映了我国的锦绣河山, 激发人们的爱国之心, 尤其对广大青少年普及科学知识、进行爱国主义教育有积极作用。中国卫星影像图还准备按国际空间委员会规定分 1:150 万、1:250 万两种比例尺, 用中文、英文注记印刷出版, 作为国际空间年 (ISY) 全球卫星影像图的中国部分, 争取在 1992 年代表我国参加国际空间学术活动。

参 考 文 献

- [1] 陈述彭、黄驹, 陆地卫星影像制图及其应用, 地理学遥感技术应用论文集, 气象出版社, 1987 年。
- [2] 励惠国、夏明宝, 小比例尺卫星影像地图编制实验, 第三届全国地图学术会议论文选集, 测绘出版社, 1982 年。
- [3] 夏明宝等, 中小比例尺彩色卫星影像图的编制研究, 遥感应用的实践与创新, 测绘出版社, 1990 年。
- [4] 阎守邕、张圣凯等, 实用遥感图像光学处理方法——相关掩模技术及其应用, 科学出版社, 1981 年。
- [5] 张圣凯, 魏成阶, 提高假彩色卫星影像图质量的方法, 环境遥感, 1(2), 1986 年。
- [6] 陈述彭等, 陆地卫星影像中国地学分析图集, 科学出版社, 1984 年。

Design and Compilation of the Colour Landsat Image Map of China

Zhang Shengkai Xia Mingbao Shi Junmei
Guan Wei Liu Guiyun Chen Zinan Liu Bin
(Institute of Remote Sensing Application, Academia Sinica)

Abstract

584 scenes of Landsat MSS images acquired in 1970's are chosen for compilation in consideration of the national conditions and applied requirement. Reasonable cartographic design, multiple optical processing techniques and the soft-mosaicking cartographic technique are used. Then, the false-colour Landsat image map of China is compiled on the scale of 1:1,000,000, which is concordance in colour and excellent in macro-appearance. It lively shows the general geographic features of China, and has extensive applicability and academic value.

Key words Image Map Control Basis Colour Concordance

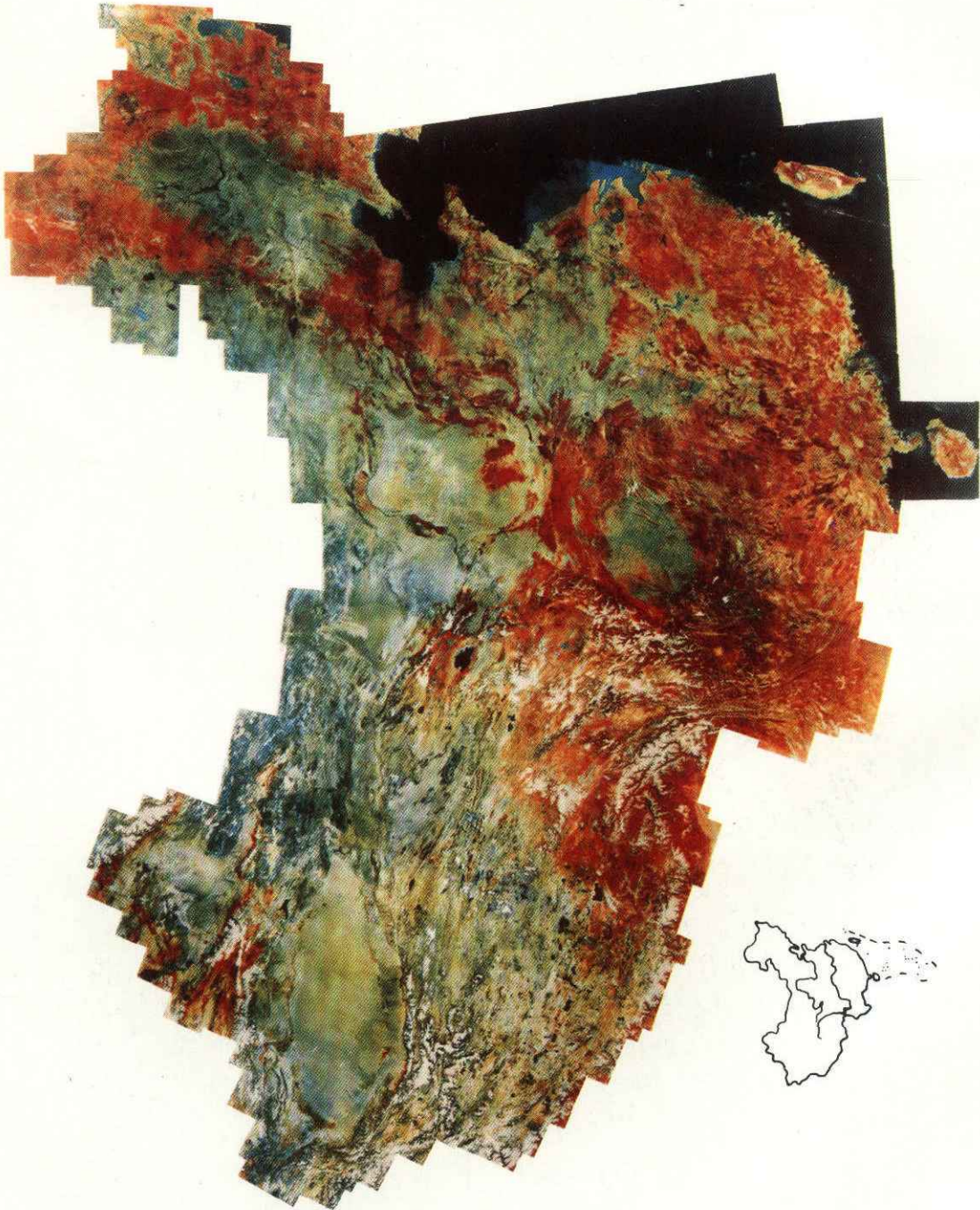


图1 中国彩色卫星影像图