

制印合成中国1:50万 假彩色卫星影像图的实验*

钱 金 凯

(中国科学院地理研究所)

提 要

中国1:50万假彩色卫星影像图,根据各地区自然景观特征,进行了一系列增强处理,并结合了地形图的优点。该图信息量丰富、成本较低和便于推广应用。

如何应用陆地卫星图象来研究我国的自然条件,已是我国地学科学工作者普遍关心的问题

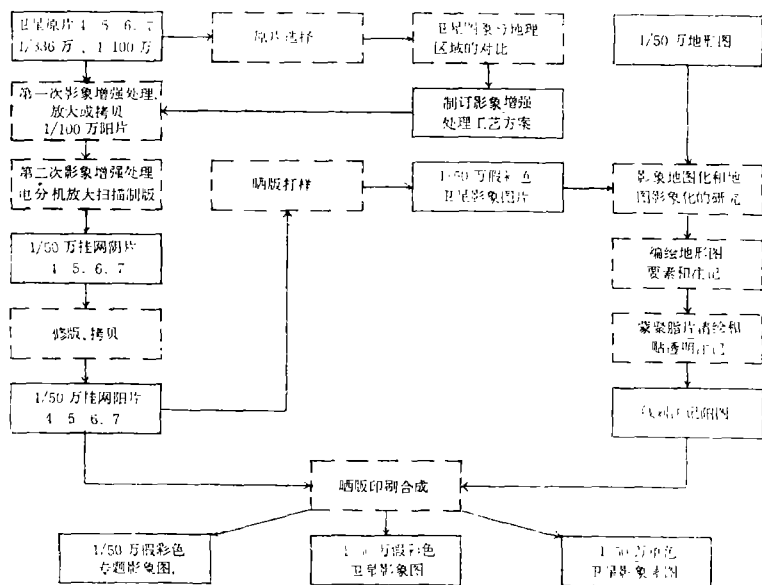


图 2 制印合成1:50万假彩色卫星影像图工艺程序

Fig.2 Technical procedure for the print of 1:500,000 false colour satellite image.

本文1982年10月14日收到,1983年2月26日收到修改稿。

* 参加本课题实验工作的还有王恩尧、张庆臻同志;工作中并得到中国科学院印刷厂、北京大学地理系遥感教研室、中国科学院遥感应用研究所、中国科学院自然资源综合考察委员会、石油勘探开发科学院地质研究所、地质部航空物探总队等单位的大力协助,谨此一併致谢。

题。但目前复制卫星象片一般采用放大机晒单波段黑白卫片或用彩色合成仪合成彩色卫片，速度慢、成本高、质量不稳定，影响卫星遥感图象资料的广泛应用，为此我们试用制印合成的方法编制了中国1/50万假彩色卫星影象图（图已正式出版）。如图1（图版1）所示。该图影象细腻、信息丰富，较好地反映了我国地理景观。现将成图方法（参看图2）介绍如下：

一、原片选择

引进的粗加工陆地卫星四个波段原片是制印合成影象图的基础，它的好坏直接影响合成图象的质量。确定了以下选片的标准：

1. 图象清晰、层次丰富、反差适中。
2. 图象云层覆盖少，一般不超过5%—10%。
3. 影象色调基本协调一致，选用5月至10月的卫星图象，避免北方各省出现被雪覆盖的图象。

根据这些标准，从我国进口的不同时期上千套卫星象片中，选取了ERTS—1、2、3的最佳影象原片。从而保证了假彩色卫星合成影象的质量。

二、卫星图象与地理区域的对比

根据各地区的自然景观特征，对四波段黑白卫星图象进行比较分析，是影象增强处理前的重要环节。一张好的假彩色图象，并非是四波段影象信息的叠加，由于四波段卫片的波长不同，地表形态在各波段上有不同的反映，如MSS4对陆地的地层岩性，第四纪松散沉积物的性质、植被的分布等有较明显的反映，MSS5对陆地地貌的反映较为清晰，MSS7则对水体反映清楚等。组合成一幅层次清晰、信息丰富、真实反映各个不同地区的自然景观的假彩色影象图，首先要解决如何从四个波段黑白卫片中提取有效的信息。

根据制印合成的原理，影象图上呈现的明暗层次和各种颜色的深浅，是用分版迭合成色和调合色墨成色来完成的。分版迭合成色是依靠各色印刷版上的网点以其“并置”和“迭合”法来构成多种颜色的。这种成色法则，是以三原色用加色法或减色法得出不同色相。它们在成色的色调上是一致的。一般说网点的成数和油墨的含量成等比关系。根据这个道理，用密度计分别测出四个波段黑白卫星底片上主要类型的影象密度，然后把它换成网点的百分数。这样就可以设想，MSS4用黄色、MSS5用红色、MSS6用黑色、MSS7用蓝色制印合成假彩色影象图会得出什么样的彩色效果。以南昌幅（130-40）为例。卫片的拍摄时间1973年12月24日，分别测得六种类型地物在四个波段原片上的密度（见表1），可以看出，同一地物在各个波段上影象的密度是不同的，换算成网点百分数后，各类地物网点的密度都在61%以上，根据减色法的原理，合成的假彩色图象中各类地物影象的颜色都很深，层次不清，整个图面成暗调。未能反映此地区的自然景观，12月份的南昌地区植被大部分都已落叶，平原上的农作物秋收已完，湖水处于枯水期，湖漫滩露出水面，因此山地上复盖植被和湖边的芦苇的假彩色应是桔红到红棕色调，平原应为草绿色、湖水应为湖兰色、湖滩接近白色。根据以

上地理区域分析,进行影象增强处理后加网的阳图上量测同类地物的网点百分数(见表2),两表对比,就可以看出四个波段卫片影象增强处理后影象密度发生的变化。图3是处理前的影象,图4是处理后的影象(图版2)。图1是处理后影象合成的彩色效果。

表 1 南昌幅原片量测的密度数据
Tab.1 Density data measured from the original of the sheet of Nanchang.

波 段 类 型	MSS4(黄)		MSS5(红)		MSS6(黑)		MSS7(兰)		合成假彩色 效 果
	密度	网点百分数	密度	网点百分数	密度	网点百分数	密度	网点百分数	
湖 水	0.84	85	0.62	76	0.87	87	1.23	93	兰 黑 色
湖 漫 滩	0.66	78	0.41	61	0.50	68	0.57	73	深兰灰色
芦 苇	0.93	88	0.89	87	0.74	81	0.68	79	深暗红色
平 原	0.81	84	0.64	77	0.68	79	0.67	79	深兰灰色
山地阴坡	1.34	95	1.32	95	1.45	96	1.37	95	黑 色
山地阳坡	1.14	92	1.07	91	0.84	85	0.60	75	深红棕色

表 2 南昌幅影象增强处理后量测的数据
Tab.2 Density data measured from the image of the
sheet of Nanchang after enhancment process.

波 段 类 型	MSS4 黄	MSS5 红	MSS6 黑	MSS7 兰	合成假彩色 效 果
	网 点 百 分 数	网 点 百 分 数	网 点 百 分 数	网 点 百 分 数	
湖 水	32.50	10.0	0	82.20	湖 蓝 色
湖 漫 滩	10.38	6.7	0	16.80	淡 浅 蓝 色
芦 苇	56.10	35.40	0	33.00	桔 红 色
平 原	27.10	10.0	0	39.30	草 绿 色
山地阴坡	94.20	79.00	49.10	91.20	棕 黑 色
山地阳坡	75.20	43.20	0	27.60	红 棕 色

网点积分密度和网点百分数的换算方法是:密度是阻光率的对数^[3]:即 $D = \log O$, $O = \frac{1}{T}$, $D = \log \frac{1}{T}$, 其中D表示密度, O表示阻光率, T表示透过率;网点成数正好是单位面积内未被透过的光量与投射光量之比。一成网点是透过了投射光量的90%,其余类推,五成网点是透过了投射光量的50%,在投射光量一定的情况下,透过的光量越小,则阻光率越大,即网点越大。利用这种关系,可推算出,网点成数(网点百分数)。如果已知网点密度(积分密度),就可换算网点百分数。

例如网点积分密度为0.4的网点百分数的换算是： $\lg^{-1} 0.4 \approx 2.5$

网点的百分数为： $1 - \frac{1}{2.5} = 60\%$

以上网点积分密度不包括软片灰雾度。表 3 给出了按此方法计算的网点积分密度和网点百分数的换算表。

表 3 网点积分密度和网点百分数换算表

Tab.3 Conversion of the integrated density to the percentage of points in networks.

网点积分密度	网点%	网点积分密度	网点%	网点积分密度	网点%	网点积分密度	网点%
0.00	0	0.21	38	0.42	62	0.76	83
0.01	2	0.22	40	0.43	63	0.79	84
0.02	5	0.23	41	0.44	64	0.82	85
0.03	7	0.24	42	0.46	65	0.85	86
0.04	9	0.25	44	0.47	66	0.88	87
0.05	11	0.26	45	0.48	67	0.91	88
0.06	13	0.27	46	0.49	68	0.95	89
0.07	15	0.28	48	0.51	69	0.99	90
0.08	17	0.29	49	0.52	70	1.03	91
0.09	19	0.30	50	0.54	71	1.08	92
0.10	21	0.31	51	0.55	72	1.13	93
0.11	22	0.32	52	0.57	73	1.20	94
0.12	24	0.33	53	0.58	74	1.27	95
0.13	26	0.34	54	0.60	75	1.36	96
0.14	28	0.35	55	0.62	76	1.47	97
0.15	29	0.36	56	0.63	77	1.61	98
0.16	31	0.37	57	0.65	78	2.00	99
0.17	32	0.38	58	0.67	79	3.00	100
0.18	34	0.39	59	0.69	80		
0.19	35	0.40	60	0.72	81		
0.20	36	0.41	61	0.74	82		

按照此表就可以用密度计测出四个波段卫片上几种主要地物的网点积分密度，直接查出

网点的百分数，根据网点的百分数，就可以知道四波段合成的假彩色影象图的影象效果。衡量影象图效果的标准是：是否反映该地区自然景观的结构和区域差异；影象层次是否丰富；影象的颜色是否鲜明和易于判读。

三、卫星象片图象增强处理

影象增强处理是分二步完成的。第一次影象增强处理，是1/336万或1/100万卫星原片（阴片），放大和拷贝成1/100万阳片过程中进行的。第二次是通过电子分色扫描制版过程完成的。概括起来有三个方面：

（一）反差调整

影象反差调整可使各物体影象密度的相对关系发生改变，达到改善影象质量或彩色显示效果，利于分析判读。

这种调整是利用不同蒙片的组合来改变黑白卫片的反差和层次，两正片或两负片相加，使反差增大。正片和负片相加，使反差减小。

为了改善1/50万假彩色卫星影象图的彩色显示效果，一般平原、沙漠、黄土地区都要进行反差增强。平原地区（图5，图版3）地势平坦，水网密集，在黑白卫片中，由于影象的反差较小便不易分辨，反差增强后，细小的人工渠道，田块以及作物，影象都可以清楚的显示。黄土地区由于流水强烈切割，十分破碎，密集的冲沟纵横交错，沟壁陡峭。反差增强后（图6，图版3），不但黄土沟可以清晰地表示出来，而且增加了影象的立体感。沙漠地区（图7，图版4）扩大沙漠的通风和背风坡的反差，各种沙漠形态，表现的都十分清楚。高山峡谷地区（图8，图版4）冰雪覆盖的粒雪盆和裸露岩石的光谱反差很大，往往使一些中间色调的细微影象层次得不到充分的显示，这就需要采用减小反差的方法，才可清楚的看出复式山谷冰川的影象，主冰川是由四条冰川汇成。冰川倾斜方向表面形态，甚至冰川的侧碛、中碛以及冰舌末端冰碛物形成的陡坡也十分明显。

反差调整蒙片的制作，是根据测定“原片影象”的反差。在测量时，影象的最大和最小密度值，必须选择若干有代表性的地物，这样，测得的结果才能较好地代表该影象的反差特性，一般的黑白原片影象反差应控制在接触网目的基本密度范围或分色软片的宽容度内，即1.0~1.2为好，这样影象的层次才比较丰富，质感较好。例如，原片影象反差较高，为1.25。要把它降低到0.8的话，就要有一张0.45的黑白正蒙片。把制作好的蒙片和母片对准叠合，进行放大或拷贝，就可以得到理想反差的1/100万阳片，供分色机扫描制版。

（二）底色去除

是用不同光谱段蒙片迭加，使一些影象消失或部分提取。一般来说，这种方法的应用范围比较窄，而且针对性比较强。在制印合成中把这种蒙片叫底色去除蒙片。主要用于海洋和大湖泊的底色去

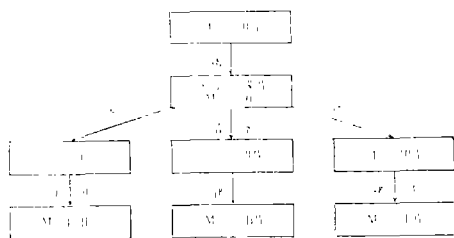


图 9 底色去除蒙片

Fig.9 The mask film of removed base colour.

除，降低原稿暗调混合色中的色量或黑色部分的色量（图 9）所示。

由于水体在近红外MSS6、MSS7上，水面比陆地反射或发射的红外光少得多，因此水面的最高密度达2.0左右，MSS4对水体具有一定的透射能力，含杂质较少的水体透视深度一般可达10米—20米，能反映水下地形。MSS可对水体的混浊程度，即海水中的泥沙流，大河中的悬移物质的状况都有鲜明的反映。如果不对这种高密度的四张原片进行底色去除，合成后的假彩色海洋影象图，就会成为黑色，层次不清。每个波段海洋部分去多去少，主要取决于原片黑色与暗调混合色的色量，一般MSS4（黄）、MSS5（品红）去除20%的网点密度，MSS6（黑）尽量去除。采用两次曝光的办法，第二次曝光把底色去除，蒙片去掉。MSS7（兰）则要保留。用底色去除处理的四张卫片制印合成的影象图，海洋就变成兰色色调，清澈而深的水体呈兰黑色，清澈而浅的水体呈兰青色，混浊的水体呈淡兰色。

（三）彩色的运用

为了利用人眼对彩色变化的敏感度远高于黑白色调的这一生理特点。影象密度变化改用彩色的变化来显示，从而提高人们对影象密度差异，特别是影象细微层次密度变化的识别能力。

四波段多光谱卫片的波长与彩色的关系见表 4。

表 4 波长和彩色的关系
Tab.4 The relation of wavelength with colour

波 段 名 称		波 长 范 围 (μ)		颜 色 显 示	
MSS4	0.5—0.6	0.45—0.48	兰	青 绿、黄 波 段	
		0.48—0.50	青		
		0.50—0.56	绿		
		0.56—0.59	黄		
MSS5	0.6—0.7	0.59—0.62	橙	橙 红 波 段	
		0.62—0.76	红		
MSS6	0.7—0.8	0.76以上近红外	红色波和近红外波段		
MSS7	0.8—1.1		近 红 外 波 段		

从表 4 看出，在0.76μ以上是近红外波段，故在MSS6、MSS7上的影象是非可见光影象，MSS4、MSS5也不是单色波，因此多光谱卫片合成不出原来景物的真实色调，故称假彩色。根据这个道理，四波段黑白卫片进行彩色合成，颜色的组合可以是任意的。这就给利用彩色进行影象增强处理提供灵活性。色彩增强主要是在色调、饱和度、亮度这三个可变动的参数上进行调整。

色调即每个波段代表的颜色，经过多种组合试验，根据各个波段的特性，以MSS4用黄色、MSS5用品红、MSS6用黑色、MSS7用兰色，印刷合成的假彩色卫星影象图的效果最好。如绿色的植被由于强烈地反射红外波，所以产生红色影象，虽然它不符合自然界的真实色

彩,但恰恰都是这种“假彩色”,可以使人们看清大自然的许多秘密。

饱和度表示物体透过或反射色光的选择程度,色彩越鲜艳,饱和度越高,反之饱和度越低。各波段颜色饱和度的确定,主要是根据卫星象片所在地区自然景观的特征,确定一个主色调,然后分析四个波段各色在主色调中占的比例。颜色的饱和度可用下面的公式表示,如果一个颜色得到三个单位的黄光和六个单位的白光,则:

$$\text{饱和度} = \frac{3 \text{ 单位黄光}}{9 \text{ 单位总和}} = 33.33\%$$

可见这个颜色的组合大约只是33%的纯黄,因此物体在反映光的组成中,白光越少,它的色彩饱和度越大。

亮度是它在色彩中作为表现黑色的测定量。如果一个颜色失去亮度,便趋于纯黑。在用四个波段卫星底片合成中,对MSS6(黑色)的应用要特别注意。它的作用是补黄、红、兰三个主色版三色组合暗调部位的不足,如山地的阴坡、平原的低洼处。MSS6要做短调黑版,网点密度在30%左右比较合适。这样既不使假彩色影象图失去亮度,又能增强影象的立体感。如果黑版调子长,影象的细微层次色调变化就会被黑版过多的色量所遮盖,影象色调偏暗。

对每幅假彩色卫星影象图的四个波段黑白卫片,都要根据三方面的情况进行影象增强处理。即:

1. 遥感分析判读和应用的需要。
2. 对每幅四波段黑白影象,进行地理区域分析。
3. 看原片的类型、反差、灰雾度等。

一般内容复杂的影象图,几种影象增强的方法都得使用,以辽宁省的岫岩幅为例。1975年9月拍摄,这里背山面海,从山地、缓丘、谷地、滨海平原到沿海海蚀阶地,由于海水和其它地物光谱反射率差别很大,若让海洋影象层次和色调合适,则高山、平原部分的影象就不合适。若让平原部分影象适中,则山地的阴坡面和海洋的影象就发闷,(图10,图版5)。对这种原稿必须分别处理,平原区用反差景片拉大反差;山地则用压反差蒙片降低反差;海洋区要用底色去除蒙片进行密度提取,降低原稿暗调或黑色部分的色量。经过这样增强处理的四波段合成假彩色影象图如图11(图版5),影象效果显然有了明显提高。

四、电子分色扫描制版工艺

根据试验,如果先用四个波段的黑白原片合成假彩色卫片,再用电子分色机扫描制版后,发现打样的假彩色影象图效果不理想。这是由于经过光学合成,图象信息丢失较多,影响影象图的质量。因而考虑直接用四个波段的黑白原片用电子分色机扫描,制成彩色版,以减少制版工艺过程,避免影象信息的丢失。该过程先由专业人员把卫片四个波段影象信息,进行地理区域分析,对要什么样的彩色效果,突出那些要素,黑白影象的高、中、低调层次要做那些调整提出要求,订出制版工艺方案,再由技术工人通过操作,数字显示,完成数据化制版。

黑白卫星原片用电子分色机扫描,直接加网,两翻平凹版新工艺,是扩大电子分色机应

用范围的一种尝试，也是1/50万假彩色卫星影象图质量得到显著提高的一个重要原因。

电子分色机通过对单波段卫片上每一象元的扫描，经光电转换成电子信号，利用模拟计算机对扫描象元的颜色、层次依次校正，并进行黑度计算，底色去除、细微层次增强、软片密度定标等运算，然后通过计算机完成由1/100万原稿放大成1/50万的要求，最后将电子信号通过光电转换成与原稿扫描点相对应又经过校正的光信号，在软片上曝光，得到相应的分色软片。

经过上述程序制版后，影象图的质量有了明显的提高。

五、地形图要素的表示

为了便于应用卫星影象图，还加绘了主要居民地、河流、山脉名称和山峰的高程。

中国1/50万假彩色卫星影象图上增绘了以下地形图要素：

1. 居民地：分三级表示，即省会、地和县，县以下。（人口密集的东部地区，表示县级以上，人口稀少的西部地区，适当的表示一些县级以下的重要居民地）。一般县级以上的居民点在影象图上以兰灰色影象显示，以不同字体的名称注记来表示居民地的等级和行政意义。

2. 交通：在假彩色卫星影象图上，铁路都能清楚地显示，公路在东部地区由于两旁树木的覆盖而难以辨认。西部地区的主要公路也能清楚地显示。为避免过多的压盖图象信息，不再加绘公路。

3. 地面高程点：由于卫星象片只能直观的表达地面起伏，而不能得出地势高低数据，因此卫星影象图上加了主要特征点的高程注记。

4. 水系和地貌：在1/50万假彩色卫星影象图上，已经具有地形图所无法相比的表现力。因此，只要对一些主要的河流、湖泊、山脉、山峰加注名称就可以了。河流、湖泊分三级表示。山脉、山峰分两级表示。

综上所述，制印合成的1/50万假彩色卫星影象图与国内合成仪合成的假彩色卫片比较，具有以下优点。

1. 图象清晰

我们对青海省柴达木盆地中的台吉乃尔湖幅卫片，用制印合成获得的1/50万假彩色卫星影象图与用彩色合成仪合成获得的1/50万假彩色卫片进行了比较，对同样的七种地貌类型的颜色，进行了黄、红、兰、黑四色密度的量测，可以看出四个波段黑白底片的密度变化。图12和图13就是根据七种地貌类型量得的密度数据而划的密度曲线。

通过对比，可以看出1/50万假彩色卫星影象图中，七种地貌类型的四个颜色混合密度的比例发生很大的变化。根据减色法原理，可以看出彩色合成仪合成的1/50万假彩色卫片上山、地、沙地、洪积平原、湖积平原、冲积湖积平原类型，红、黄、兰、黑四色的密度高，而混合比例很接近，因此混合色随着密度的升高颜色由黄灰调到深兰黑色。整个彩色卫片的颜色偏灰而发闷，各种类型的层次区别不明显。制印合成的1/50万假彩色卫星影象图，由于根据地理区域特点进行影象增强处理，山地、沙地，冲积湖积平原类型红、黄、兰、黑四色的密度差

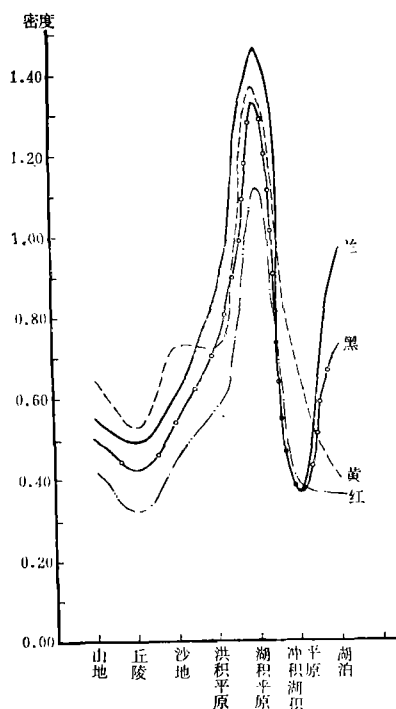


图 12 1/50万假彩色卫片密度曲线
Fig12. Density curve of 500,000 false colour satellite picture

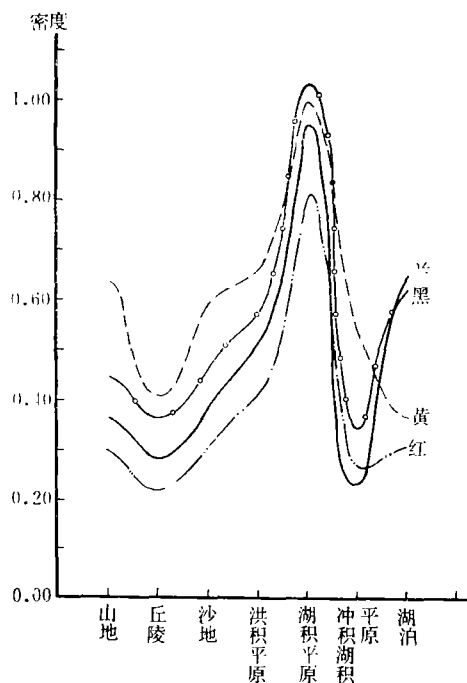


图 13 1/50万假彩色卫星影像图密度曲线
Fig13. Density curve of 500,000 false colour satellite image

距拉大，而七种地貌类型各色的密度有了不同程度的降低，如湖积平原颜色的最高密度由1.40降到1.00左右，因此整个图面的色相明亮，山地阴阳坡对此明显、立体感强，沙丘的形态得到了更清楚的显示，洪积平原和湖积平原中的微地貌，如细小的冲沟就更清晰可辨、冲积湖积平原上草地的红色影象更鲜艳。

2. 成本较低

中国1/50万假彩色卫星影像图，是立足国内印刷厂现有的设备和材料，通过电子分色机扫描制版、印刷合成，不但可以大量印刷，而且成图速度快，质量稳定。全国共553幅，每套900多元，只需人工合成假彩色卫片成本的二十分之一。

3. 便于推广和应用

中国1/50万假彩色卫星影像图，是对卫星图象地理信息，进行了增强处理。它不仅详细、清晰地反映了地表若干地理景观的特征，同时还能揭示某些隐伏的地理、地质现象及其动态变化趋势。而加绘的地形图要素，更有利于用户进行专业判读。

参 考 文 献

- (1) 国家遥感中心：遥感文选，科学出版社，1980年。
- (2) 张圣凯等：实用遥感图象光学处理方法，科学出版社，1981年。
- (3) 孟昭恒等编：平印照相制版原理，北京出版社，1981年。
- (4) 钱金凯：假彩色卫星影像图制印合成的方法，测绘通报，第五期，1980年。

AN EXPERIMENT OF THE 1:500,000 FALSE COLOUR SATELLITE IMAGE OF CHINA

Qian Jinkai

(Institute of Geography, Academica Sinica)

Abstract

The 1:500,000 false colour satellite images of China have been completed by the Institute of Geography. Procedures on contrast enhancement of the images with the landscape features have been done in different regions. The advantages of both satellite photographs and topographic maps were complemented. An atlas in medium scale of satellite images was compiled to present the physical features of China. The research in the compilation involved:

1. The choice of the photographic originals from satellite
2. The comparative analysis of the satellite images with geographic features.
3. The process of contrast enhancement of the satellite images,
4. The exploration of the technique for the printing plates by electronic colour scanner,
5. The addition of map marks to satellite image.

Consequently, the Atlas has the following characteristics;

1. The exquisiteness and abundance of the image involmente can present the features of geology, geomorphology, hydrology, soil, vegetation and land use and reveal some concealed natural phenomena and their dynamic tendency.
2. the technique for the Atlas was adequate, the cost of the images was very low.
3. The images are easier for the users to identify in their own aspects.

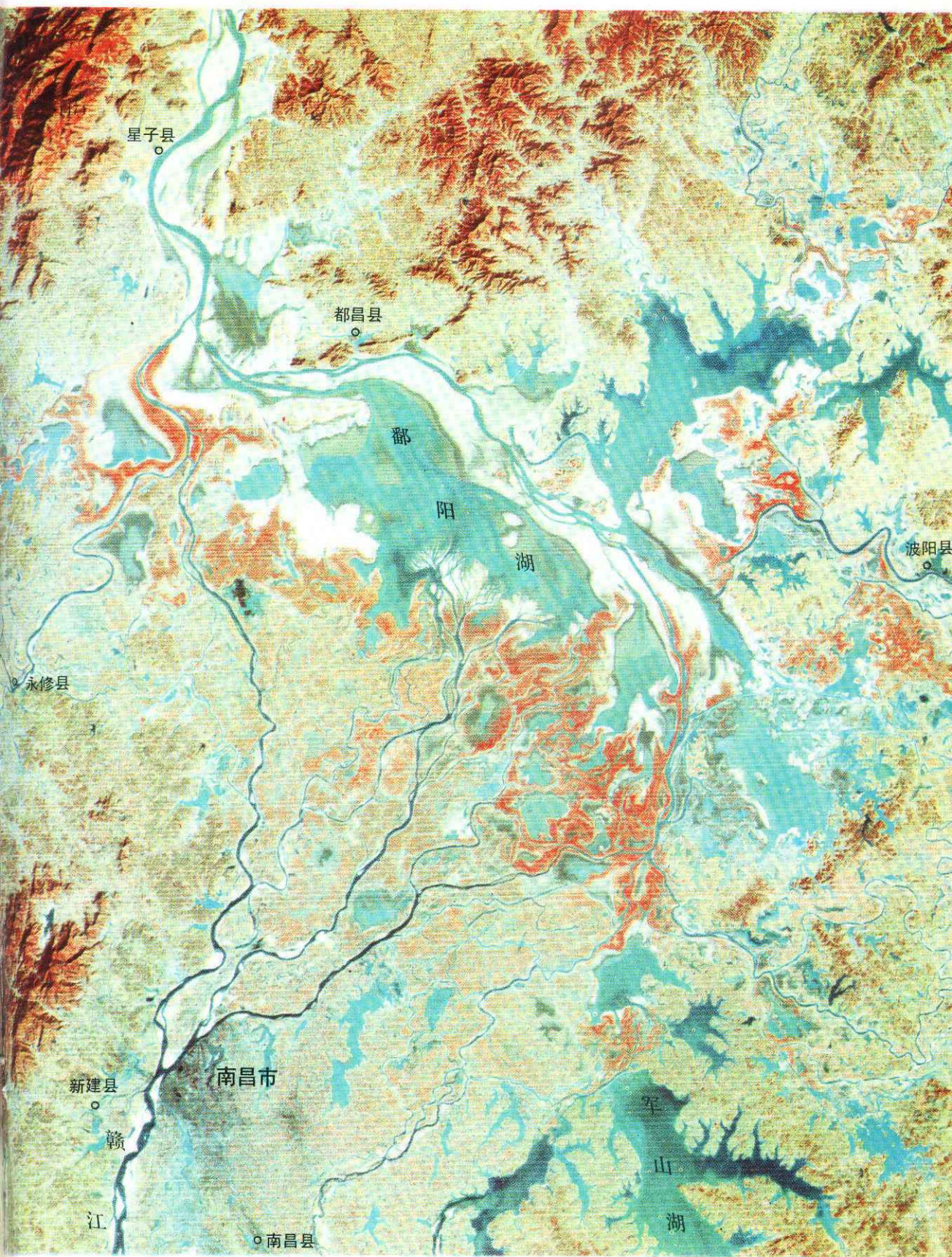


图1 南昌地区假彩色卫星影像图

Fig 1 The printed sheet of Nanchang. satellite image of false colour composite.

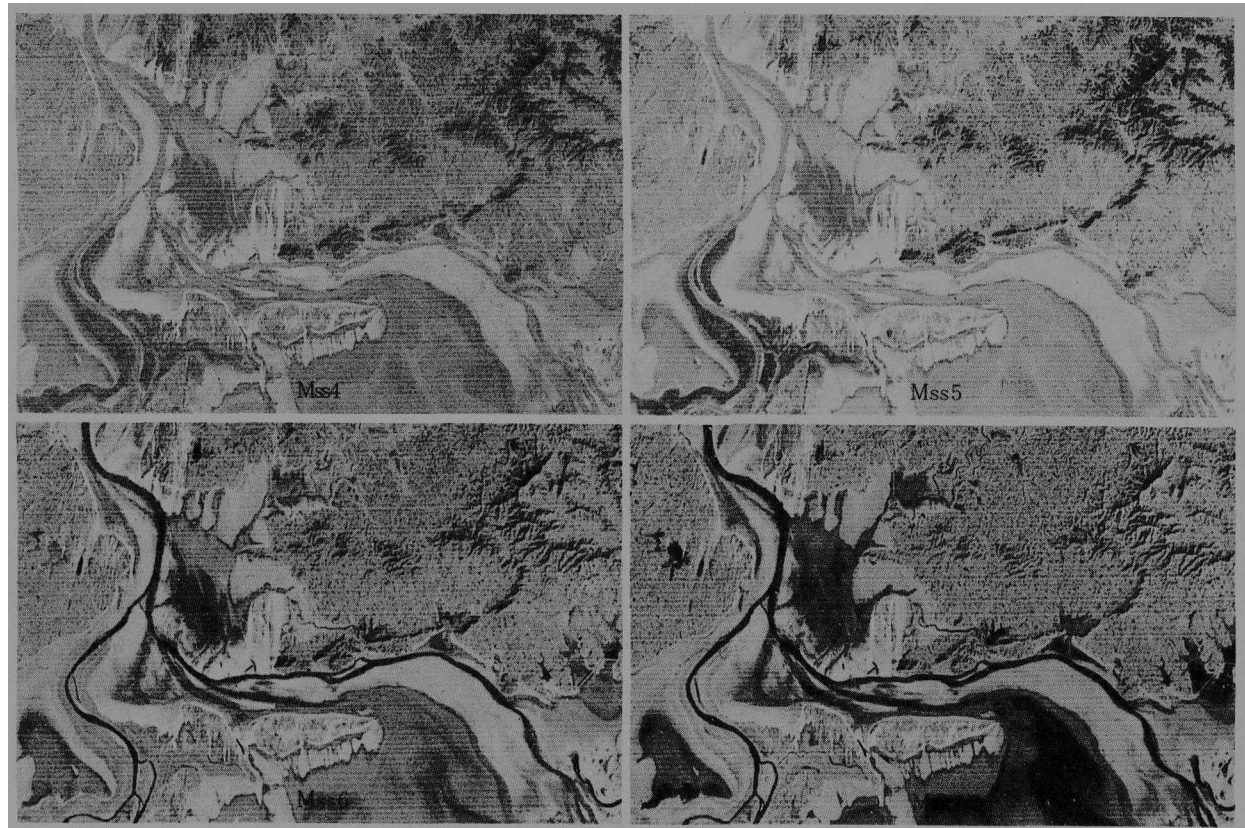


图 3 处理前的四波段影像

Fig 3 Four-wave-band image before the process.

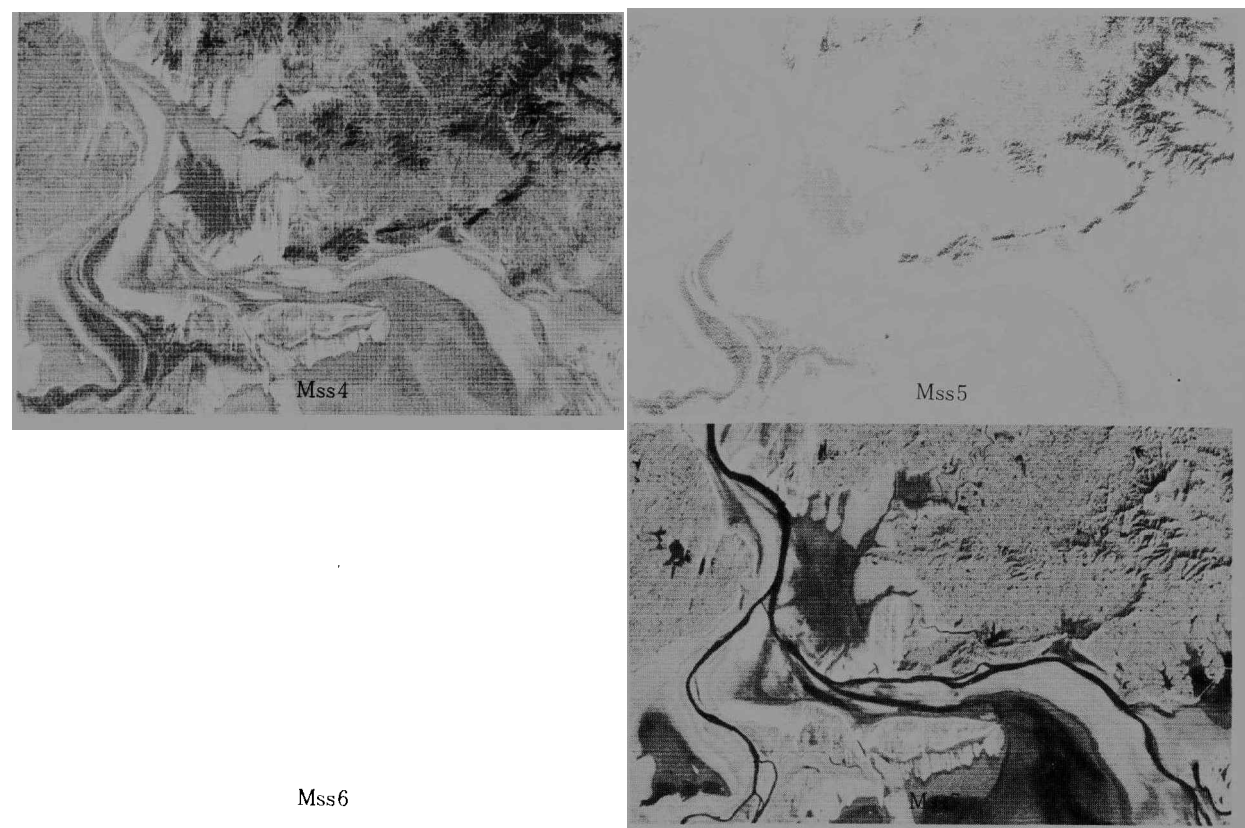


图 4 处理后的四波段影像

Fig 4 Four-wave-band image after the process.



图 5 平原地区反差增强的影像图

Fig 5 Image of contrast enhancement in plain area

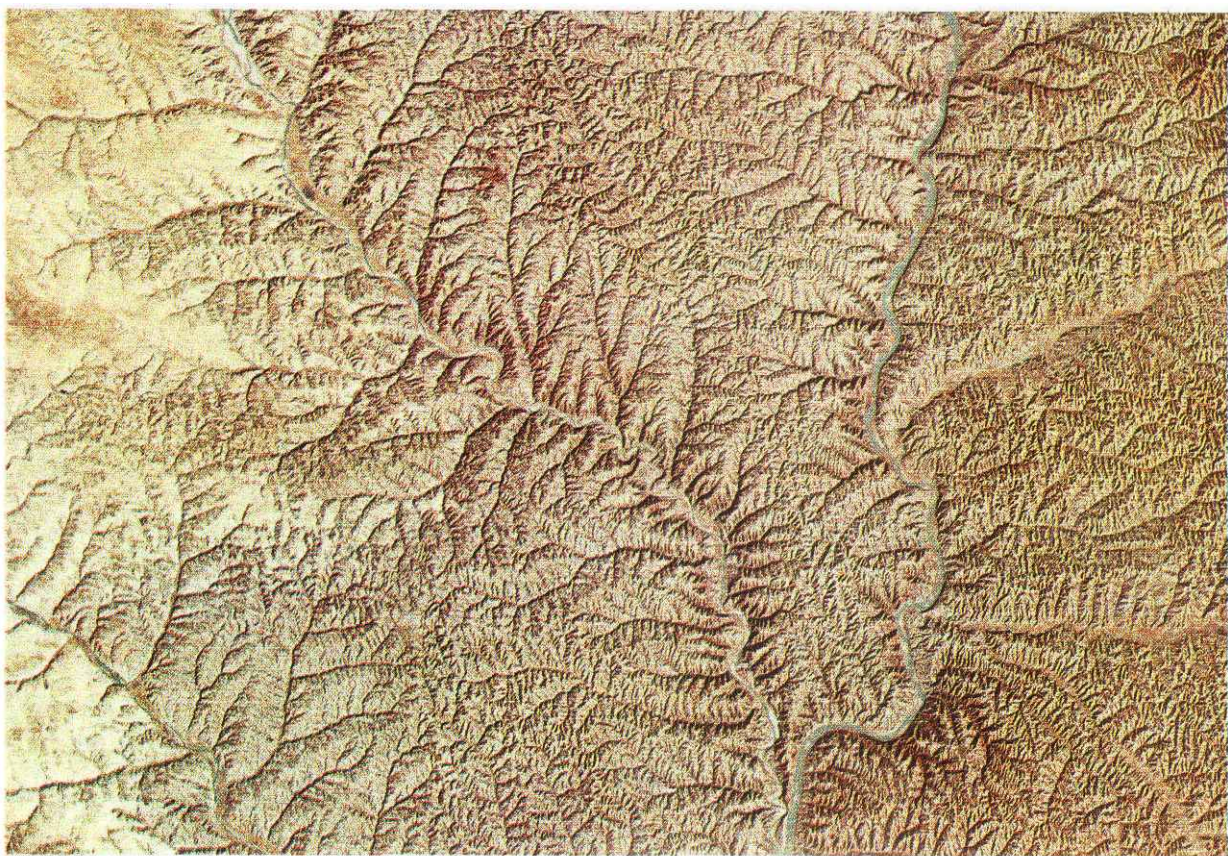


图 6 黄土地区反差增强的影像图

Fig 6 Image of contrast enhancement in Loess area.



图 7 沙漠地区反差增强的影象图

Fig 7 Image of contrast enhancement in desert area.

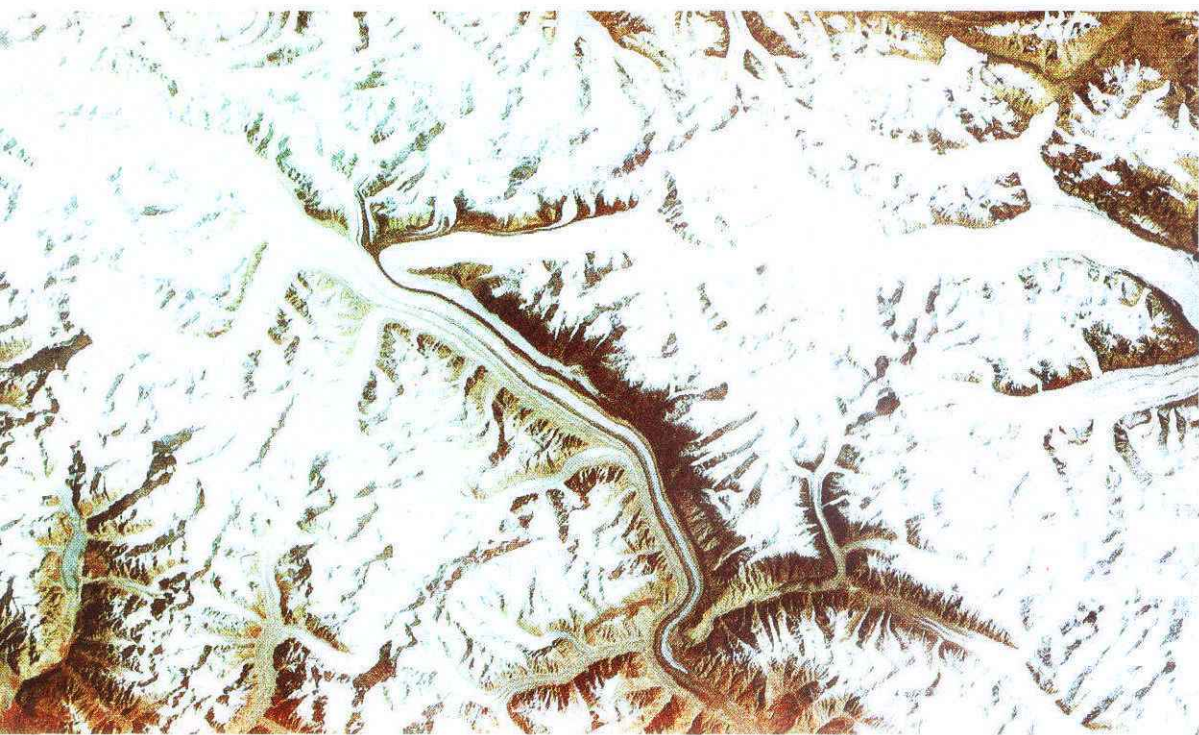


图 8 高山地区反差减弱的冰川影象图

Fig 8 Image of contrast abatement of glacier in mountain area.



图10 增强处理前假彩色合成图象

Fig 10 Colour compose image before the enhancement process.



图11 增强处理后假彩色合成图象

Fig 11 Colour compose image after the enhancement process.