

第四章 可见光/反射红外遥感

4.1 光学遥感图像

4.2 光学遥感图像预处理

4.3 遥感信息提取



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

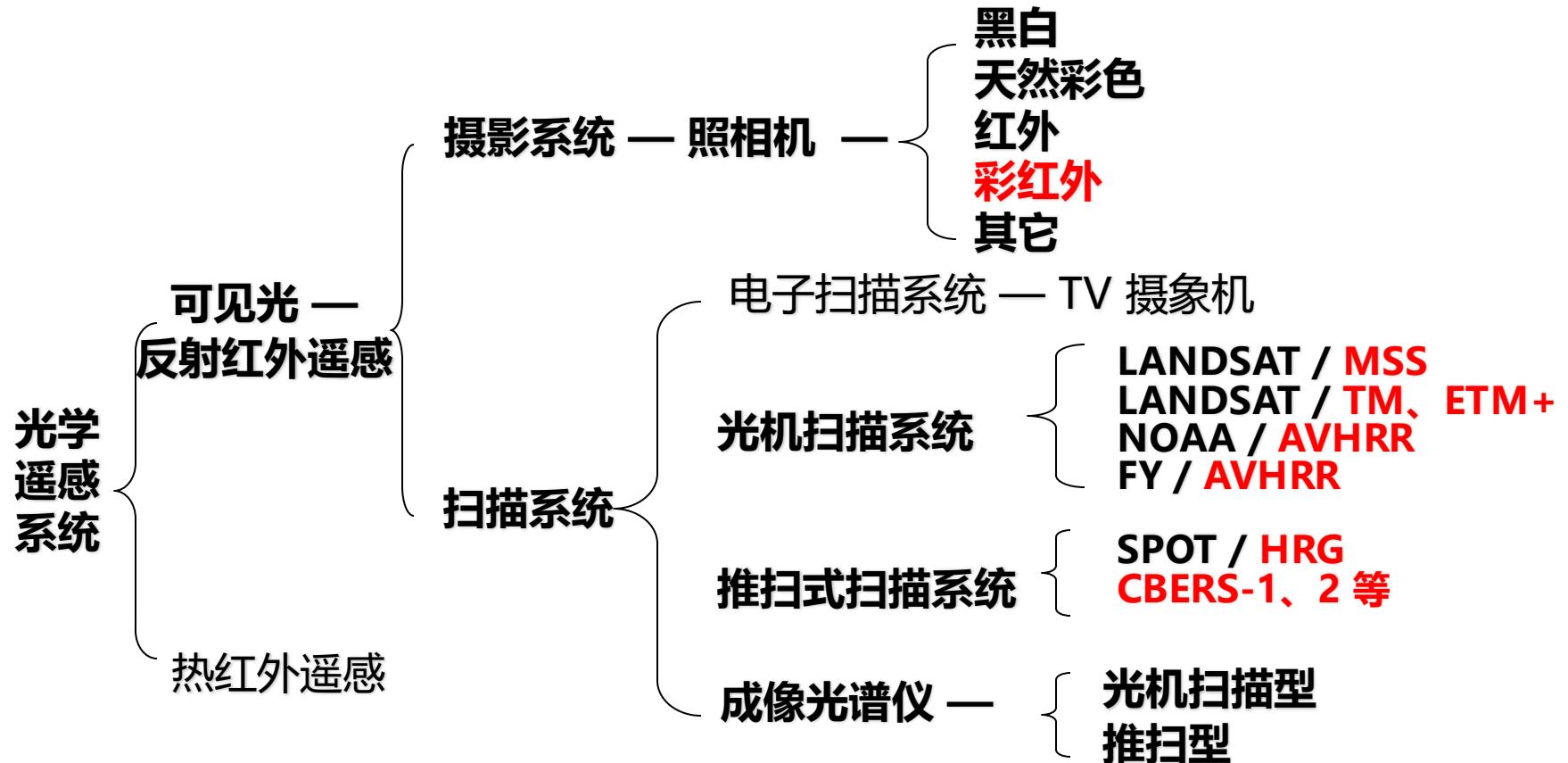
4.1 光学遥感图像

光学遥感是一种利用光学系统采集目标反射或发射的光线，将其转换为电信号进行处理，以获取目标的信息，主要在紫外至红外光学波段内工作。

光学遥感系统由传感器、平台和地面处理系统组成。传感器是光学遥感系统的核心部件，主要用于接收地面反射和发射的光信号。



光学遥感系统



光学遥感系统—摄影系统

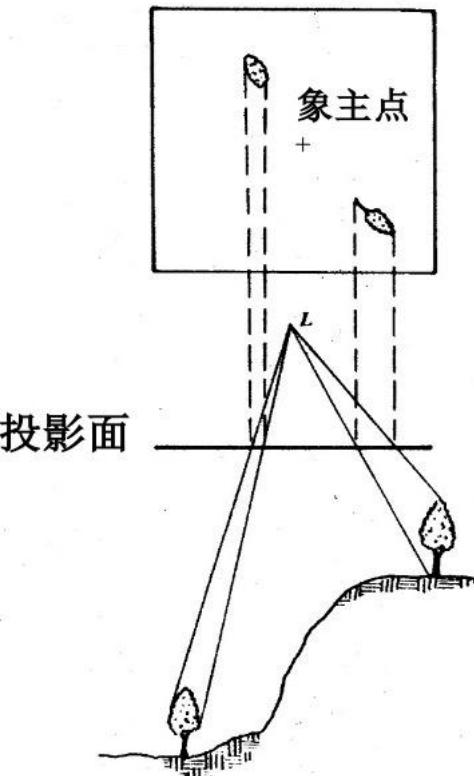
摄影系统用光学摄影波段（紫外—近红外， $0.3\text{--}0.9\mu\text{m}$ ）的电磁辐射能量，通过照相机直接成像。包括有可见和不可见的电磁波。因为紫外($0.3\text{--}0.38\mu\text{m}$)多被大气吸收与散射，目前较少被遥感利用。

摄影系统是一种分幅成像系统。一幅像片为瞬间成像，多为中心投影。因地面常有起伏、多数物体具有高度、像片又有倾斜，所以会产生像点位移、图像变形。

变形规律：以像主点（相片上框标连线的交点，或者相机主光轴对应相片上的点。）为中心向外呈辐射状，越往边缘变形越大；地形起伏越大变形越大。

像点位移量(d)，可表示为： $d = h r / H$

h -- 物体高度， r -- 物体距像主点的距离， H -- 飞行高度。



摄影图像--中心投影



摄影系统的优势



- 空间分辨率高；
- 立体像对，利于精确地测量与分析；
- 高度的灵活性、实用性、成本低（相对于卫星而言）；
-

因此，尽管摄影系统与多波段扫描系统相比，胶片的光谱响应范围要窄得多，但仍有很多的应用领域，被广泛应用，并派生出一门技术成熟的航空摄影测量学。



航空像片的光学性质

黑白全色片、黑白红外片、彩色像片、彩红外像片、多波段摄影像片

- **黑白全色片：**感光范围为 $0.36\text{-}0.72\mu\text{m}$ ，与人眼对光的敏感范围相近。像片上的明暗色调与真实景物明暗色调近似，与真实景物相比，像片上反差稍低。各感光乳胶层均可能有响应。
- **黑白红外片：**对蓝色、紫色、红色和近红外敏感。由于植被类型在近红外波段具有较高的光谱反射率，采用红色滤光片对红外像片胶片曝光后，可增强植被与背景信息的反差。像片上色调明暗由地物在近红外波段反射率强弱所决定。



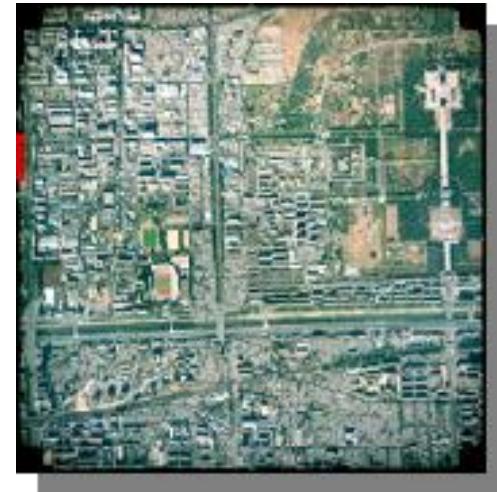
汕头市黑白航片



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

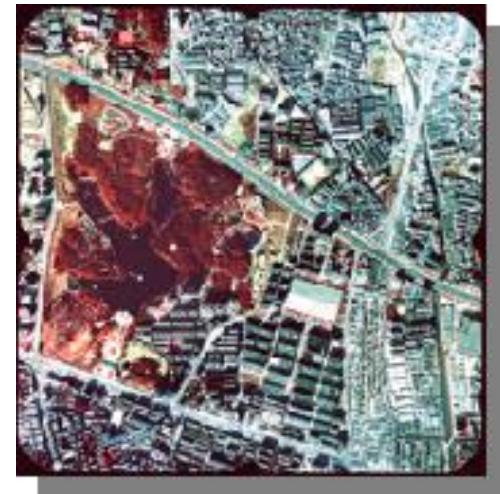


- 彩色像片：对蓝色、绿色、红色敏感，彩色胶片能够达到或接近天然彩色，与真实景物色彩非常接近。



北京市天然彩色航片

- 彩红外片：对绿色、红色、近红外光敏感，彩红外像片上各种地物颜色与真实景物不同，原来绿色被赋予蓝色，红色被赋予绿色，反射红外被赋予红色。



云南澄江彩红外航片

二滩彩红外航片



彩红外模拟天然彩色影像



二滩彩红外航片

交换红绿波段



- **多波段摄影像片：**包括航天和航空两种类型。把电磁波分成多个特定的波段，每个摄像镜头使用不同波段的滤光片和不同感光胶片，采用不同波段同步摄影同一区域的多种黑白像片，记录下目标地物在不同波段的特征。

利用地物在不同波段具有不同的电磁波反射率，通过多波段黑白像片的比较来识别地物目标，也可以通过彩色图像来增强目标地物与背景之间的对比度。





汕头市黑白航片与卫星多光谱数据 (TM743) 融合

- 高空间分辨率
- 多光谱



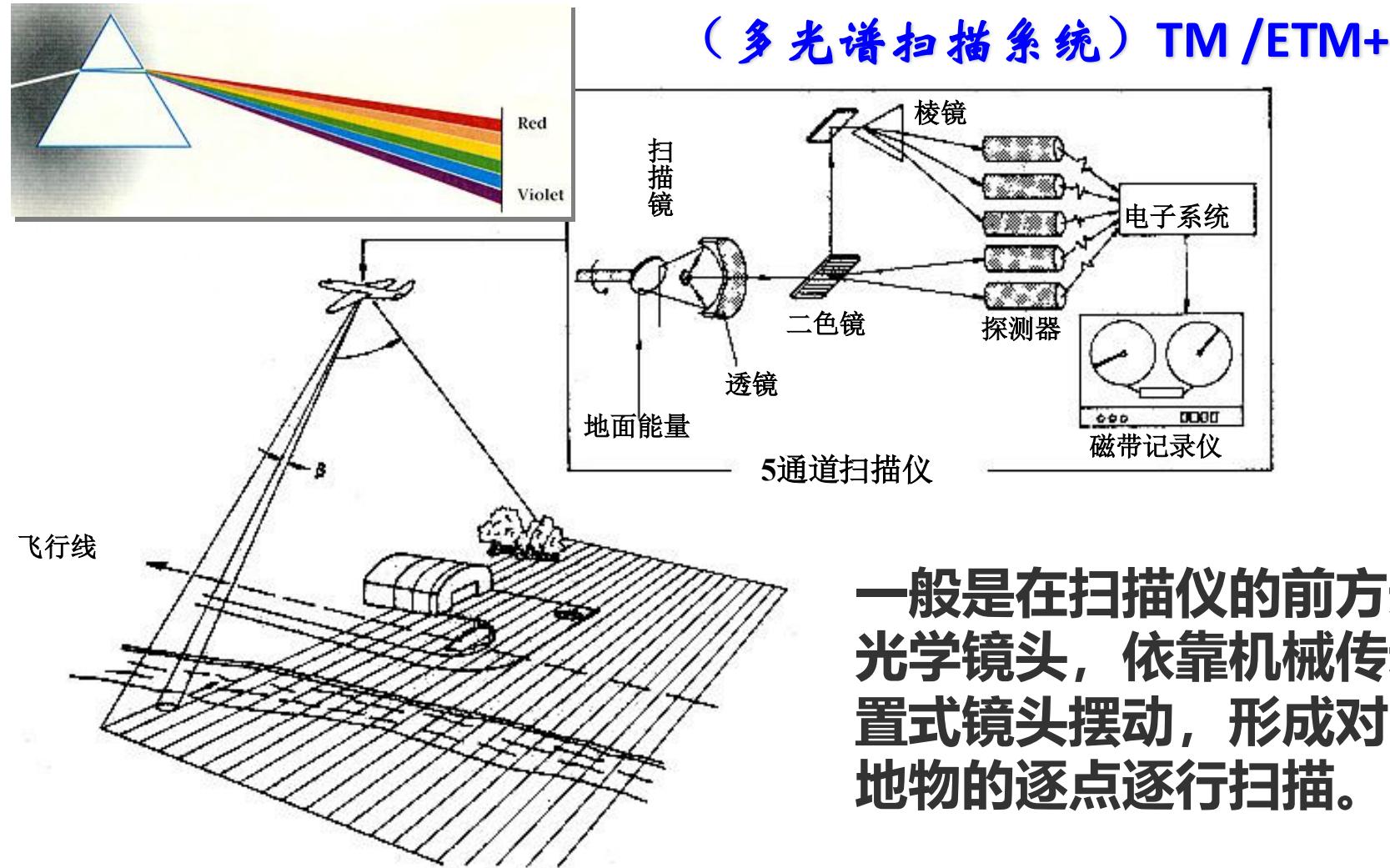
中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences



汕头市航片与TM
融合监测土地利用
变化



光学遥感系统—光-机扫描系统



一般是在扫描仪的前方安装光学镜头，依靠机械传动装置式镜头摆动，形成对目标地物的逐点逐行扫描。

特点：行扫描、多中心投影，离投影中心越远，像点位移量越大。

多光谱扫描系统的特点： (与多光谱摄影系统相比)



波谱范围：摄影系统仅局限在 $0.3\text{-}0.9\mu\text{m}$ 光学摄影谱段内；**多波段扫描系统可感应** $0.3\text{-}15\mu\text{m}$ 谱段的信息。

记录方式：传统摄影系统是回收胶片方式，胶片/图像的转换由地面完成；**扫描系统是数字记录、快速传输、处理、实时显示。**

摄影系统的**图像**是由胶片光化学过程获得（光的辐射能量差，以影象密度差表示），辐射定标困难；**扫描系统的数据是由电子产生**（光电转换、模数变换），**更适于定标，可给出定量的辐射数据。**

扫描系统中探测器的**动态范围大**，即电子格式可记录很宽范围的值，且在探测过程中，探测器并不损耗。

多光谱摄影系统，用**多个分离的光学系统**独立采集各波段图像，各波段图像间存在着空间与辐射方面的可比性问题；**多光谱扫描系统用同一光电系统同时采集整个光谱波段的数据，再经分光系统分解成不同波长的光。**





金、银、铜矿区

Shortwave Infrared



摩洛哥小阿特拉斯山

黄色、橘红色和绿色分别代表石灰岩、
砂岩、石膏
暗（深）蓝绿色代表浅层花岗岩

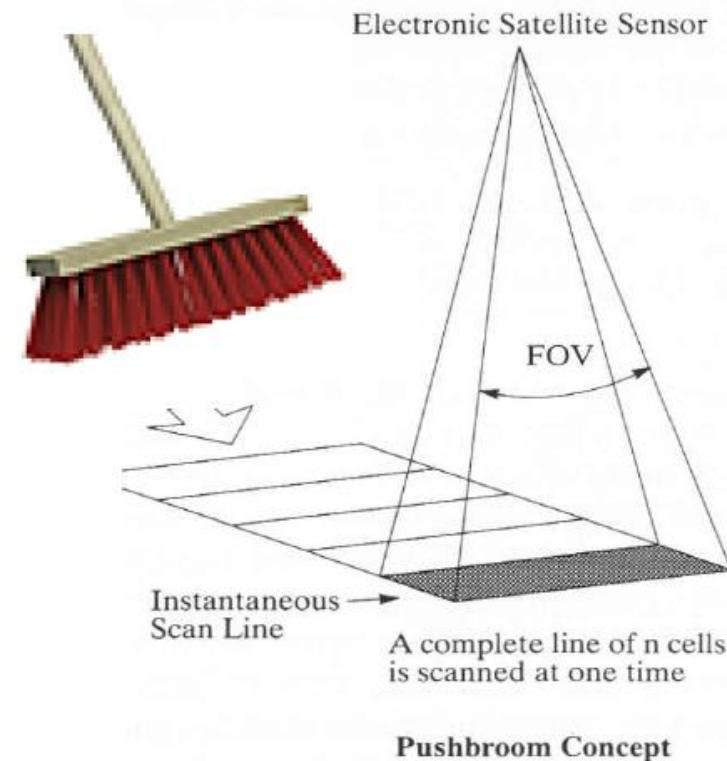


光学遥感系统—推扫式扫描系统

推扫式扫描系统，探测元件固定，通过遥感平台运动对目标物进行扫描，探测器按扫描方向阵列式排列来感应地面响应，即不摆动扫描镜，沿轨道方向推扫。瞬间获取垂直于飞行方向的一条扫描线。

飞行器向前飞行时候，一次可以收集一行的图像。推扫式接受的信号要强于摆扫式，因为推扫式在一个像素内的时间很长。

SPOT, QuickBird, IKONOS



推扫式扫描系统的特点：

(与光-机扫描系统相比)

- 由于推扫系统可以为每个探测器提供较长的停留时间，因而有**更强的记录信号和更大的感应范围**（动态范围），增加了相对信噪比，可以使空间和辐射分辨率更高。
- 由于记录每行数据的探测器元件间有固定的关系，线性阵列系统的几何完整性更好、**几何精度更高**。
- CCD体积小、重量轻、能耗低。
- 由于没有光机扫描仪的机械运动部件，系统**稳定性更好**且结构的可靠性高，使用寿命更长。

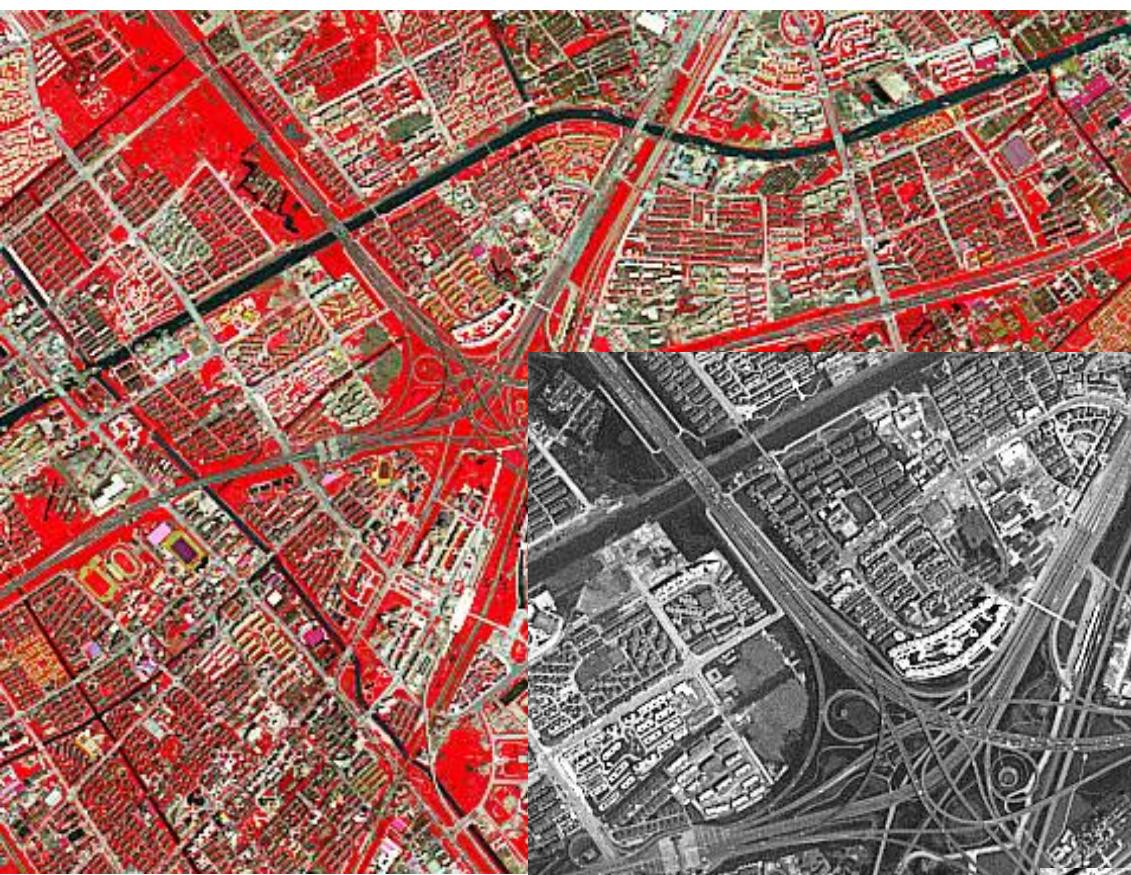
因此，CCD被广泛用于遥感系统，特别是星载遥感系统中。

**不足之处：因探测器间灵敏度的差异往往会产生带状噪声；且总视场
(大小)一般小于光机扫描仪。**



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences





10m



5m

2.5m

SPOT5

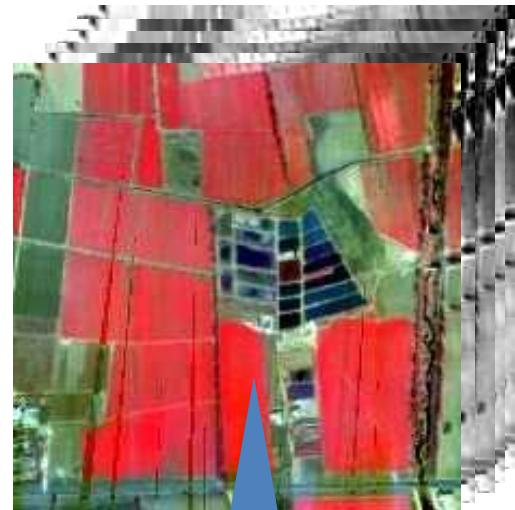
- 826km高空看立交桥



光学遥感系统—成像光谱仪

将空间成像技术与地物光谱技术有机结合，实现对同一地区同时获取几十个到几百个波段的地物反射光谱图像，可以获取更高的光谱分辨率图像。

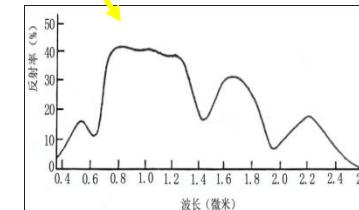
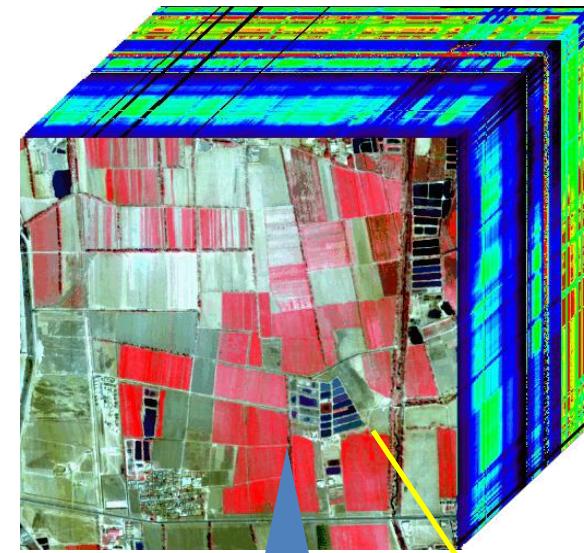
全色及彩红外



多光谱 (μm 级)

- 航天：面阵列探测器+推扫式扫描仪
- 航空：线阵列探测器+光机扫描仪

高光谱 (nm 级)



成像光谱



成像光谱的特点：

- **波段多，光谱分辨率高，光谱分辨率为纳米级。**如AVIRIS在0.4-2.5um范围有224个波段，Hyperion有242个波段，“**图谱合一**”（和地物的实际光谱更为接近，有更多的“诊断”波段，可进行地物的精细分类，获取更多的地物信息，提高分类精度）
- **波段间相关性强，数据“冗余”明显，因此特征参数选择显得更为重要**
- **数据量大，计算量大、复杂，对算法、计算机软硬件提出新的要求，有的多光谱数据处理的算法不一定可以照搬到高光谱数据处理，针对高光谱数据的特点有一些新的处理方法**
- **高光谱数据的空间分辨率相对较低，但随着技术的发展，空间分辨率也在不断提高，如MODIS的空间分辨率250m-1000m），Hyperion的空间分辨率30m**

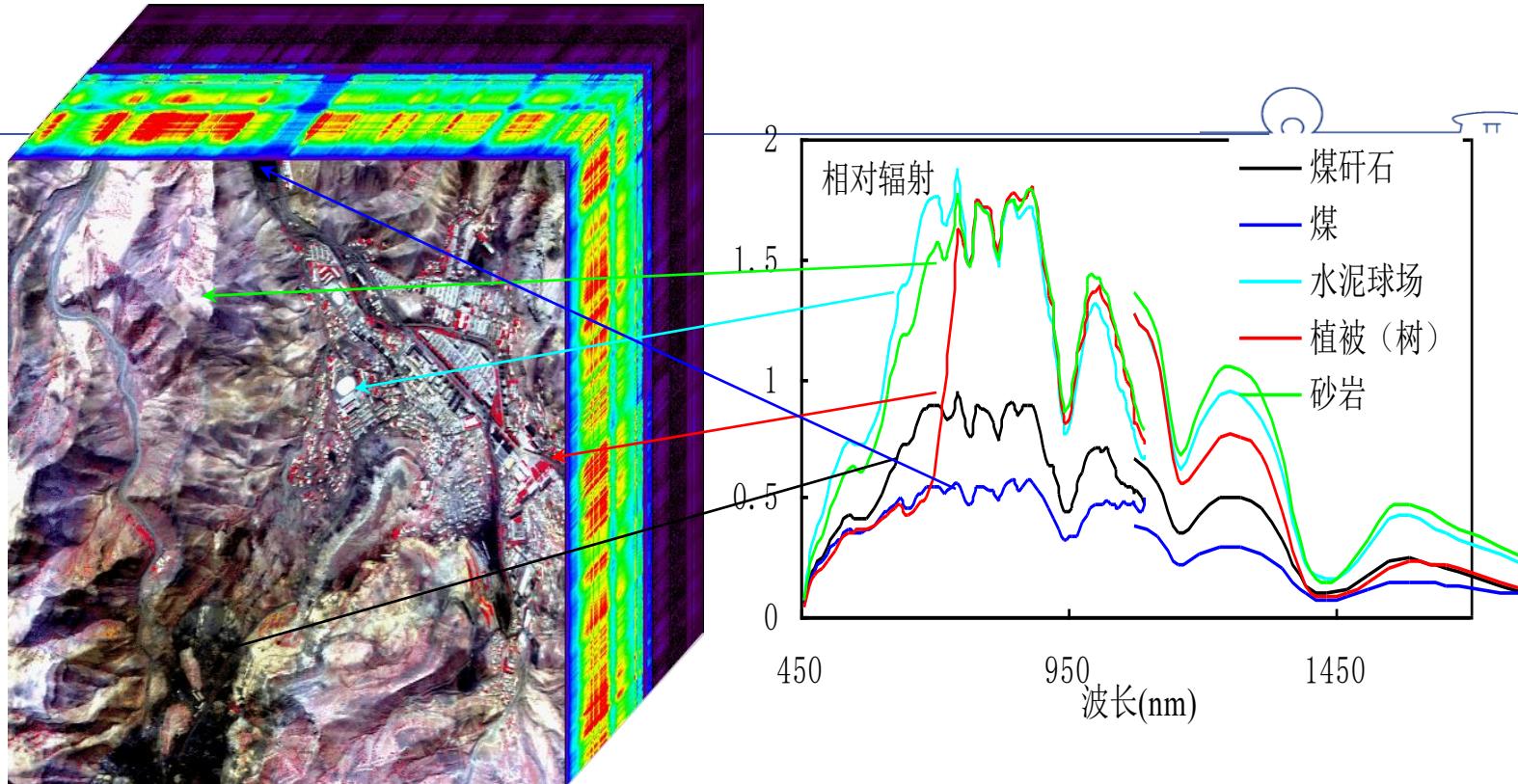
遥感器	光谱范围 (nm)	波段数	光谱带宽 (nm)	瞬时视场 (mrad)	运行时段
MAIS (模块式航空成像光谱仪)	460–1100	32	20.0	1.5, 3.0, 4.5	1991年开始
	1440–2400	32	20.0		
	8200–12200	7	400–800		
OMIS (实用型模块化成像光谱仪)	400–1100	64	10–20	1.5, 3.0	1996年开始
	1100–2000	16			
	2000–2500	32			
	3000–5000	8			
	8000–12000	8			
	400–800	224			
PHI (推扫式高光谱成像仪)	400–800	< 5.0	1.5	1.5	1996年开始

OMIS



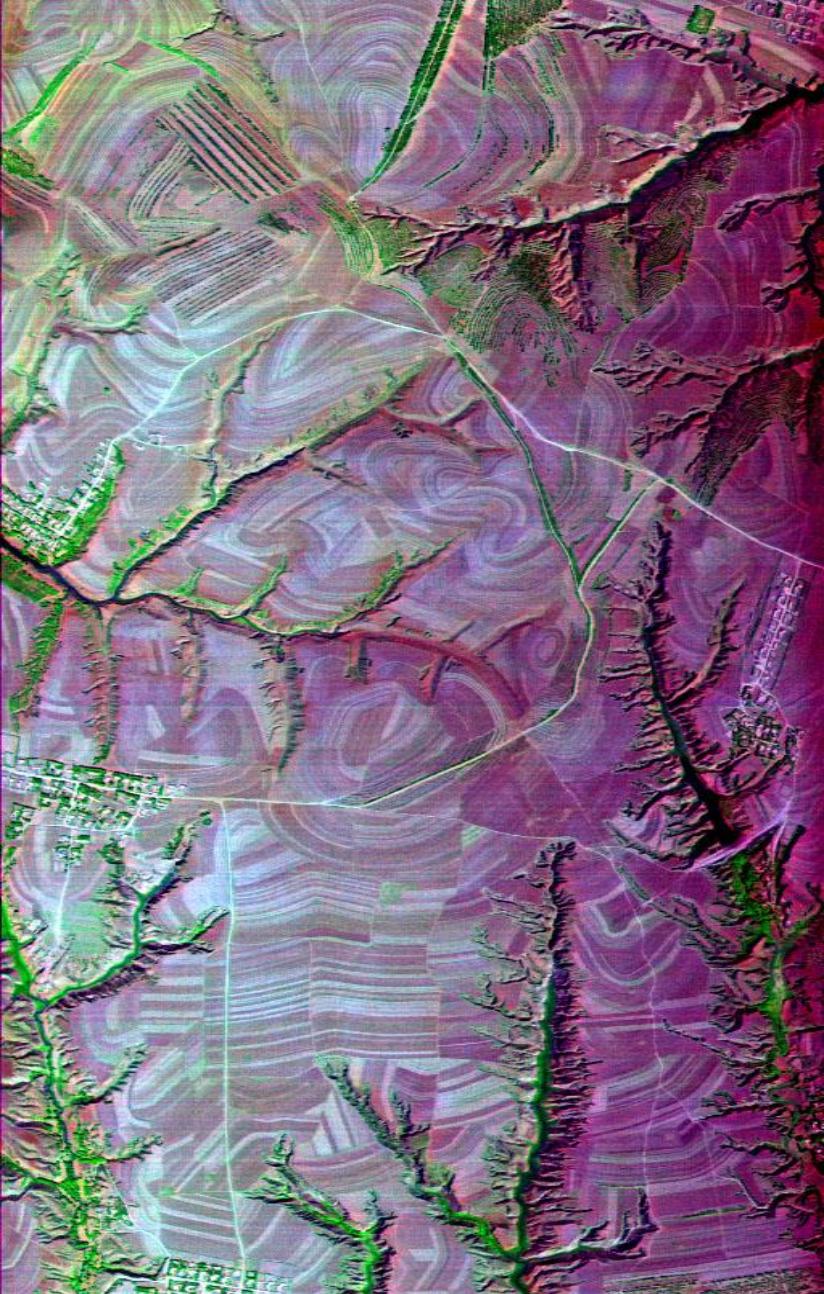
PHI





**贺兰山地区某煤矿的OMIS高光谱图像立方体
(128 波段、分辨率 约 3米) 2001年7月**

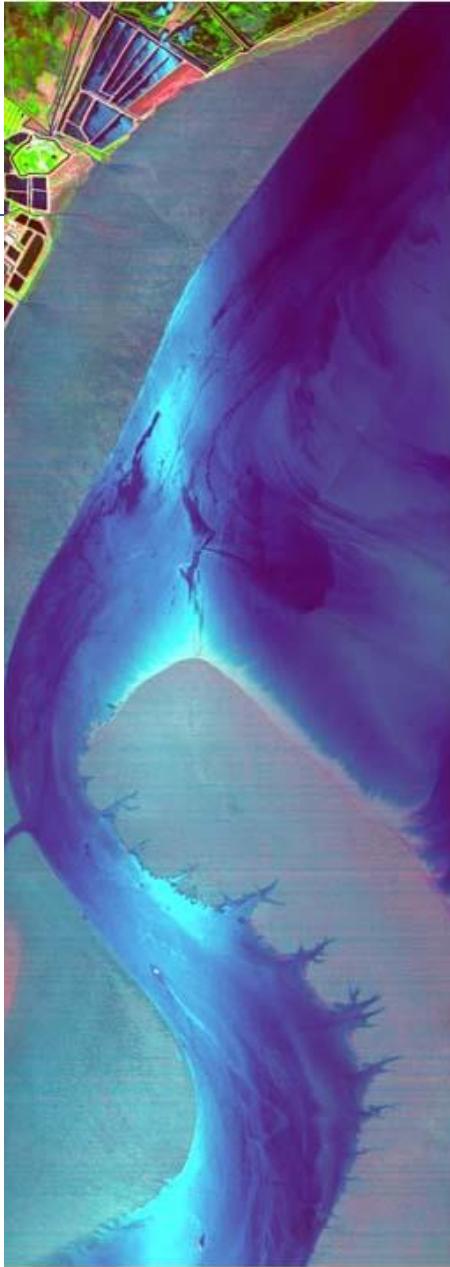
**高光谱遥感图像具有空间 - 光谱 三维信息合一的特点，可以反映
对象的精细光谱差异。**



内蒙奈曼旗

2000.6

R: 7780 nm、G: 1054 nm、B: 662 nm、H: 1700 m



R: 8082.9nm; G: 750nm; B: 670nm

辽东湾三波段合成图像之五(OMIS 2000年6月)



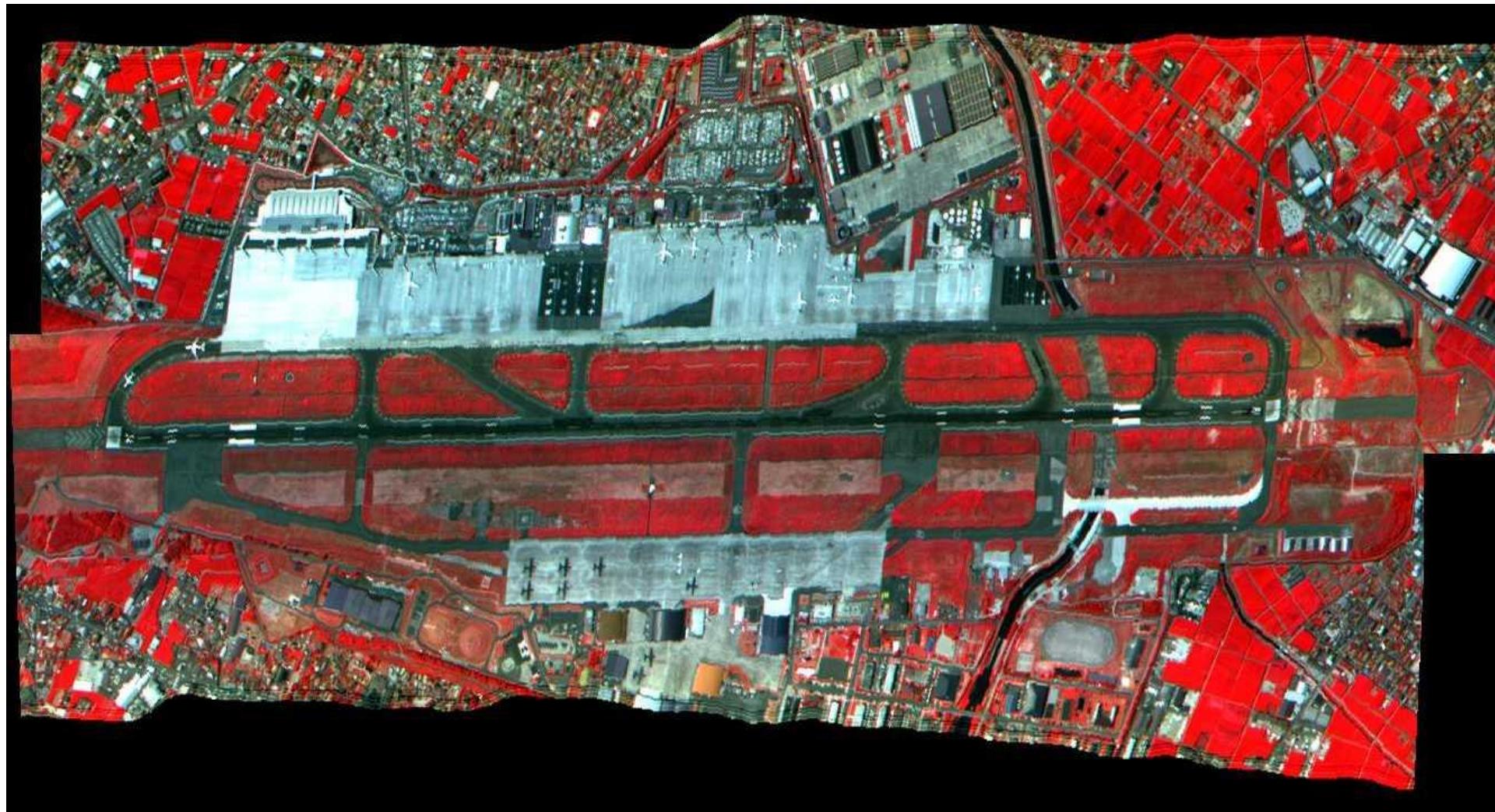
R: 865nm; G: 750nm; B: 565nm



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences



UCAS



- ◆ **光机扫描仪：**

常见于多光谱、红外扫描成像，空间分辨率不算高

- ◆ **推扫式扫描仪：**

常用于高分辨率陆地卫星，空间分辨率较高

- ◆ **成像光谱仪：**

用于高光谱成像，波段数多，光谱分辨率高，空间分辨率低



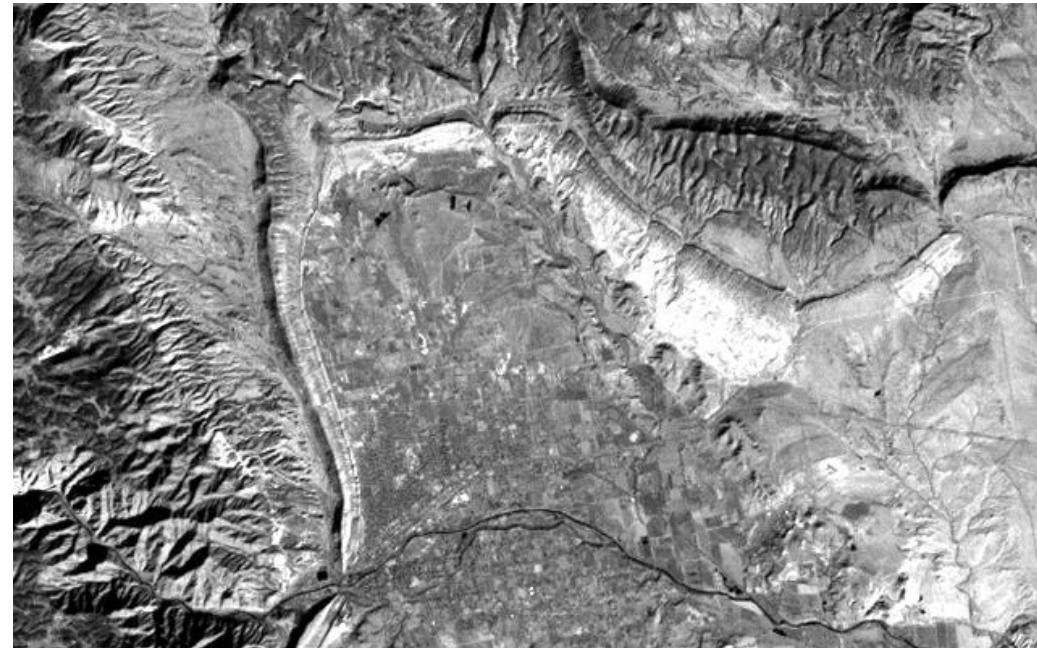
颜色系统



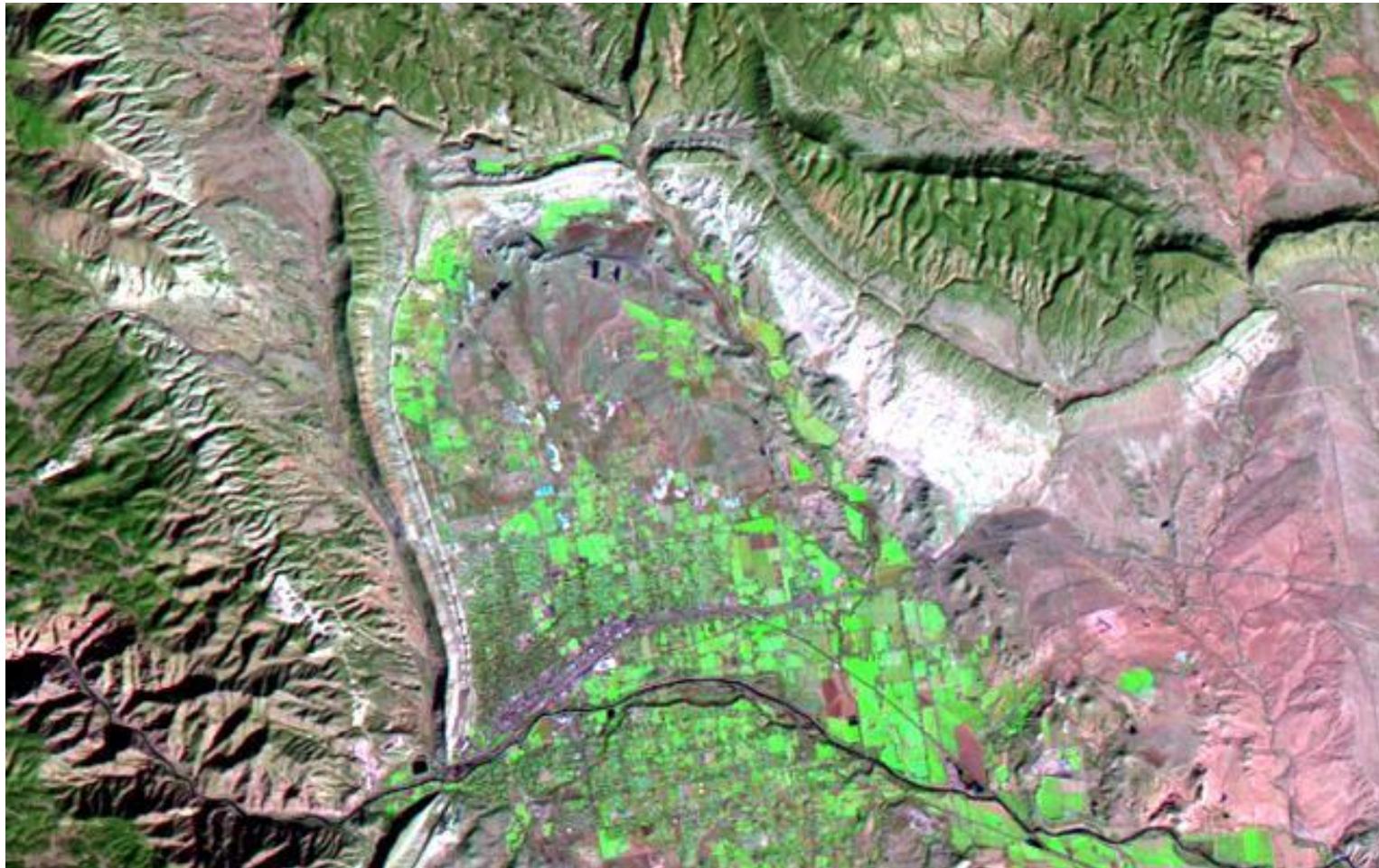
亮度与颜色：

在光亮条件下，人眼能分辨各种颜色，当光谱亮度低到一定程度，人眼的感觉便是无彩色的。

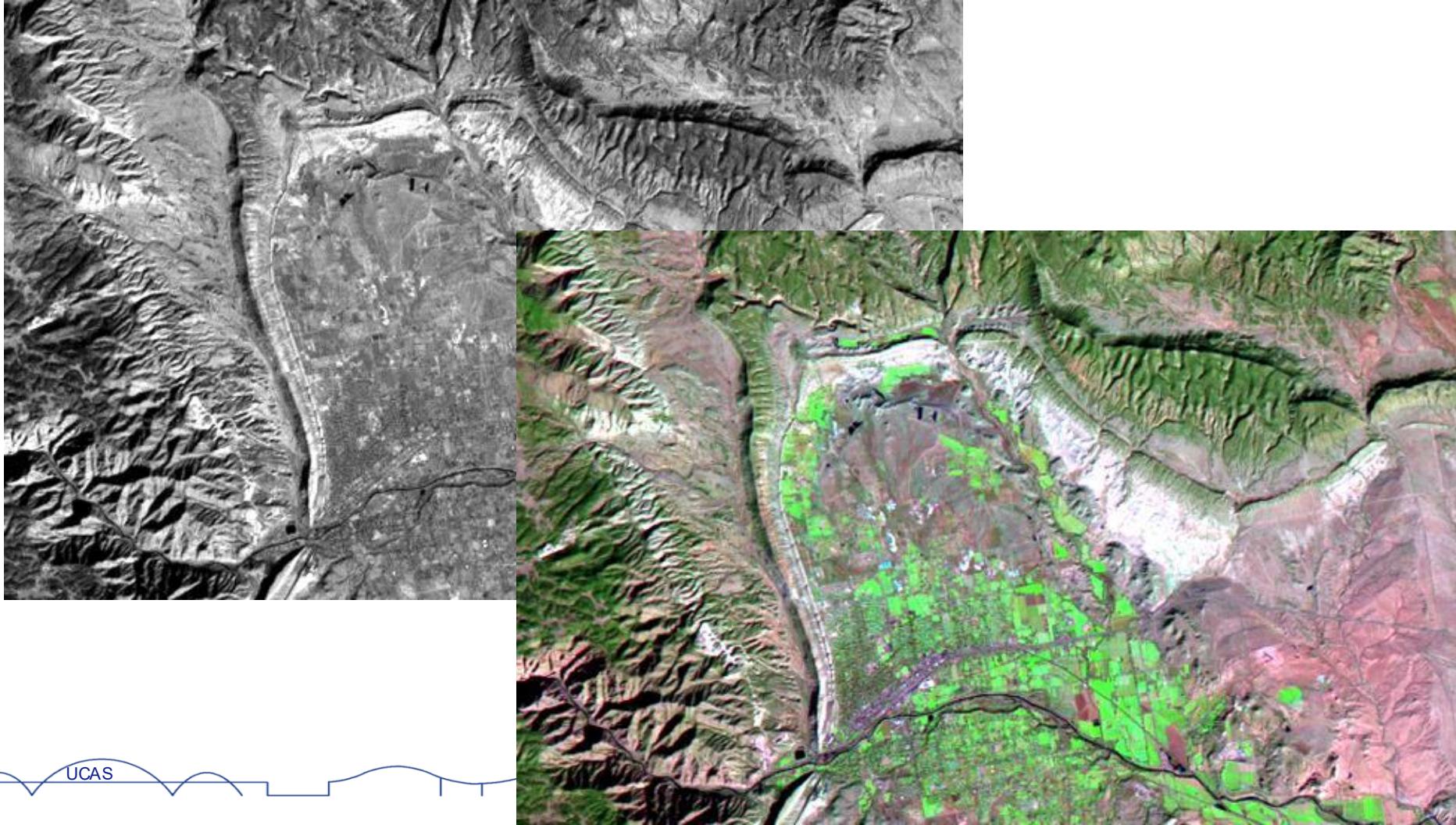
亮度对比：遥感图像中的灰度图像



颜色对比：相邻区域不同颜色的相互影响



人眼能够区别一百多种颜色，可见人眼对颜色的分辨力比对黑白灰度的分辨力强得多，正因此，彩色图像能表现出更为丰富的信息量。



图像颜色

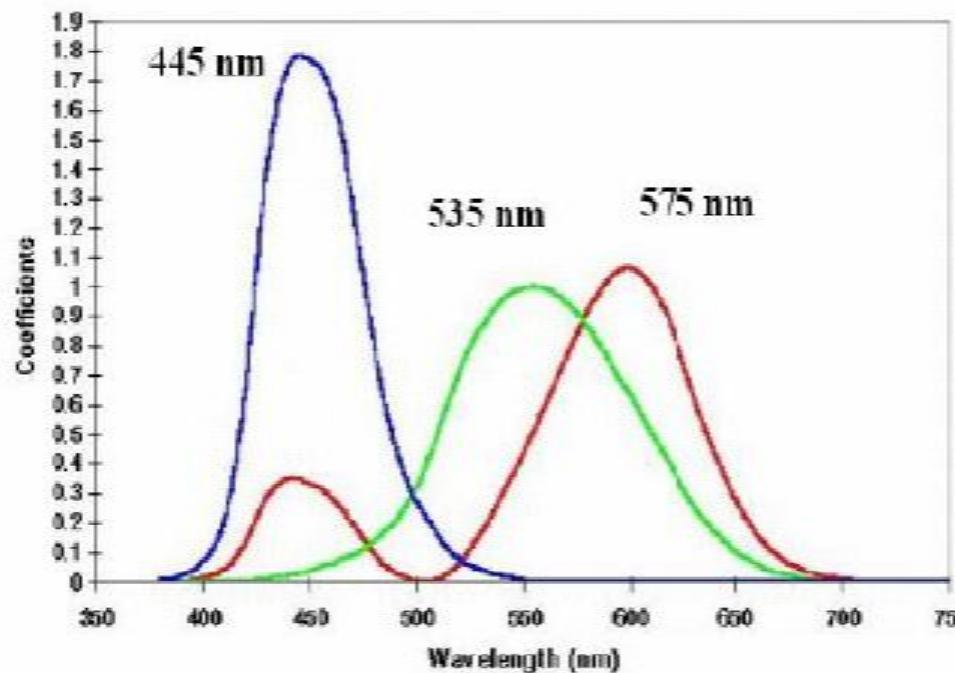
人类视觉系统

◆ **杆状细胞**: 没有彩色视觉、分辨率低。

◆ **锥状细胞**

有三种类型: 红色、绿色、蓝色感光细胞, 有彩色视觉。

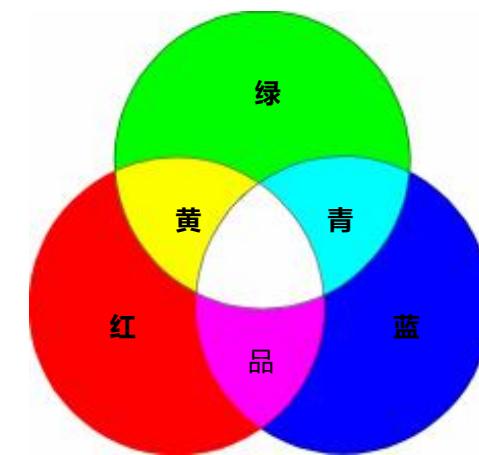
人眼三种细胞对
不同光波的感光
灵敏度





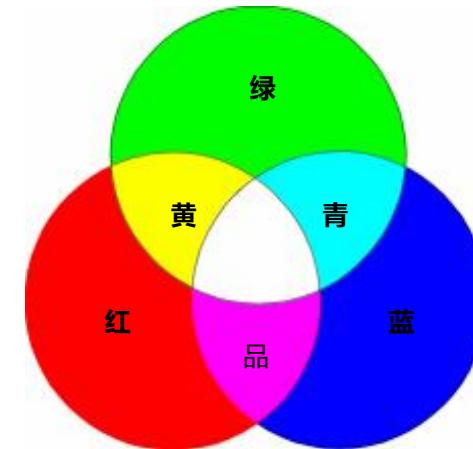
三基色：是三种相互独立的颜色，其中任一色均不能由其它二色混合产生。所有其它颜色都可以由三基色按不同的比例组合而得到。

为标准化起见，1931年国际照明委员会(CIE)作了统一规定，选定波长为700nm、546.1nm和435.8nm的单色光作为红(R)、绿(G)、蓝(B)三原色，又称为物理三基色。



加色原理：其基色是红、绿、蓝；不同比例的三基色光相加得到彩色称为相加混色

- 红 + 绿 = 黄
- 红 + 蓝 = 品
- 蓝 + 绿 = 青
- 红 + 蓝 + 绿 = 白
- 红+青= 绿+品= 蓝+黄= 白



减色原理：其基色是黄、品红、青；通常为绘画颜料，颜料能吸收入射光光谱中的某些成分，**未吸收的部分被反射，从而形成了该颜料特有的彩色，这就是相减混色。**当不同比例的颜料混合在一起的时候，它们吸收光谱的成分也随之改变，从而得到不同的彩色：

黄 = 白 - 蓝

品 = 白 - 绿

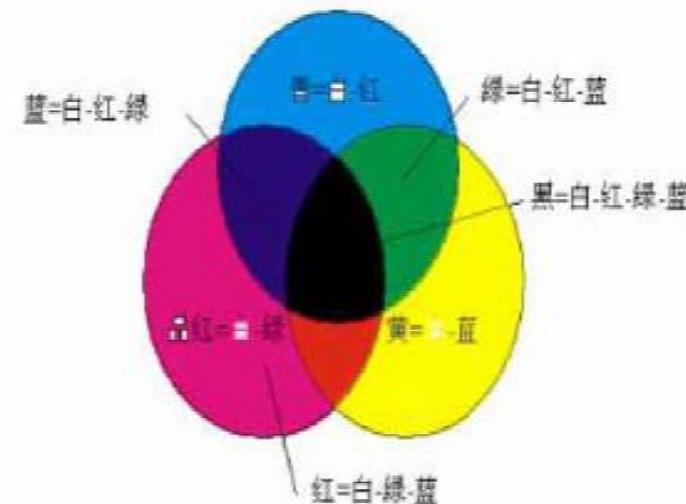
青 = 白 - 红

黄 + 品 = 白 - 蓝 - 绿 = 红

黄 + 青 = 白 - 蓝 - 红 = 绿

品 + 青 = 白 - 绿 - 红 = 蓝

黄 + 品 + 青 = 白 - 蓝 - 绿 - 蓝 = 黑



颜色的性质



明度: 人眼对光源或物体明亮程度的感觉。

一般，物体反射率越高，明度就越高。

色调: 色彩彼此相互区分的特性。往往刺激人眼的光波不是单一波长，而是一些波长的组合。

饱和度: 彩色纯洁的程度，光谱中波长是否窄，频率是否单一的表示。

-光源: 发出的若是单色光就是最饱和的；

-物体颜色: 如果物体对光谱反射有很高的选择性，只反射很窄的波段，则饱和度高。

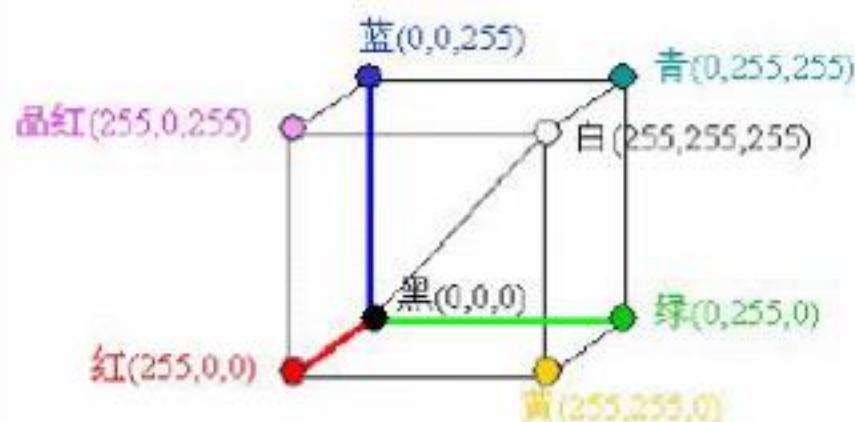


颜色模型（颜色空间）

——描述颜色的三维空间坐标系，一个颜色定义为颜色空间的一个点。

◆ RGB (红、绿、蓝)

RGB颜色模型是三维直角坐标颜色系统中的一个单位正方体。在正方体的主对角线上，各原色的量相等，产生由暗到亮的白色，即灰度。 $(0, 0, 0)$ 为黑， $(255, 255, 255)$ 为白，正方体的其他6个角点分别为红、黄、绿、青、蓝和品红



UCAS



◆ CMYK (青、品红、黄、黑)

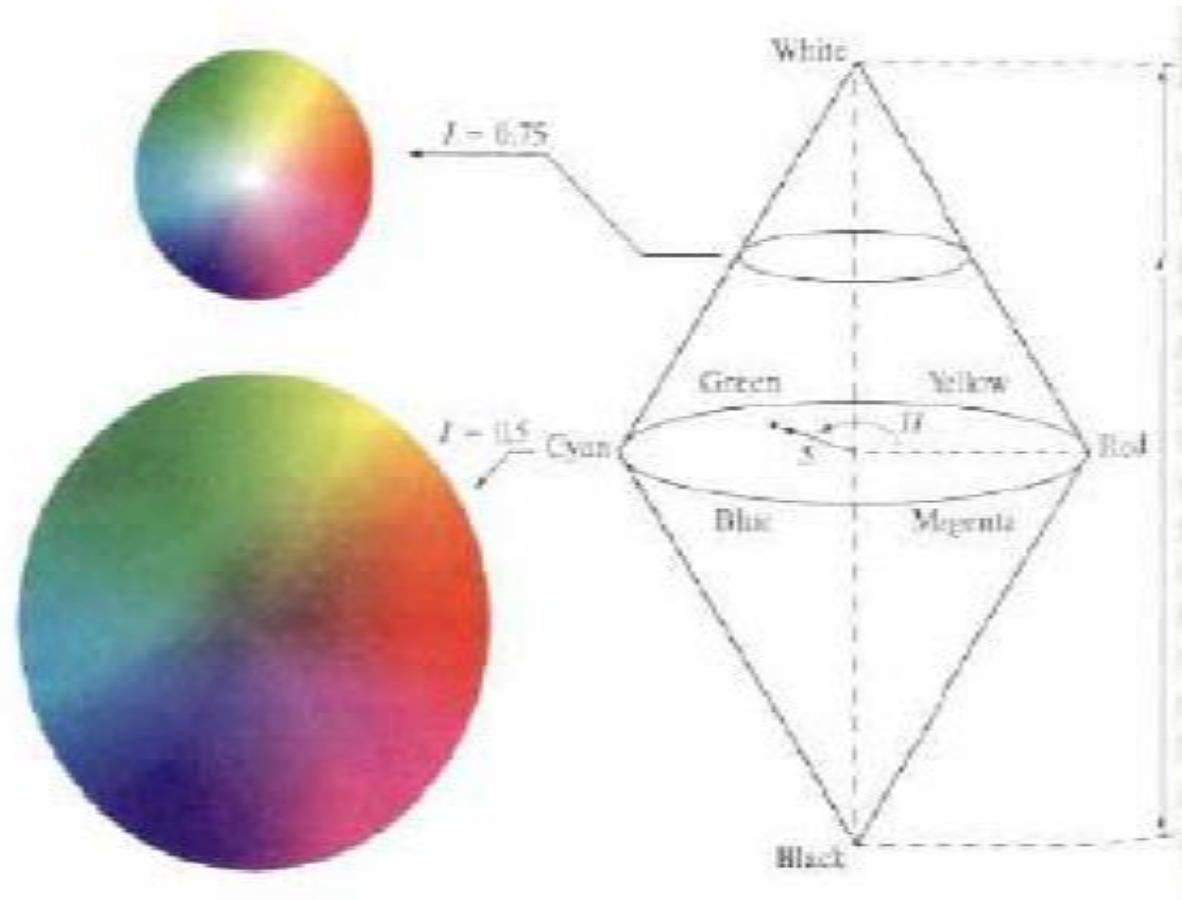
(Cyan, Magenta, Yellow, Black) 用于印刷、绘画等

CMY为相减混色，它与相加混色的RGB空间正好互补，也即用白色减去RGB空间中的某一色彩值就等于同样色彩在CMY空间中的值

由于彩色墨水和颜料的化学特性，用等量的CMY三基色得到的黑色不是真正的黑色，因此在印刷术中常加一种真正的黑色 (black ink)，所以CMY又写成CMYK

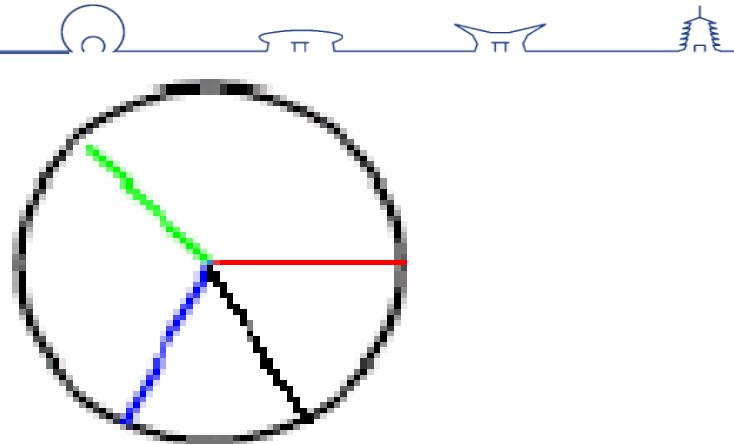
◆ HLS 模型

HLS色彩空间和RGB色彩空间只是同一物理量的不同表示法，因而它们之间存在着转换关系。



UCAS

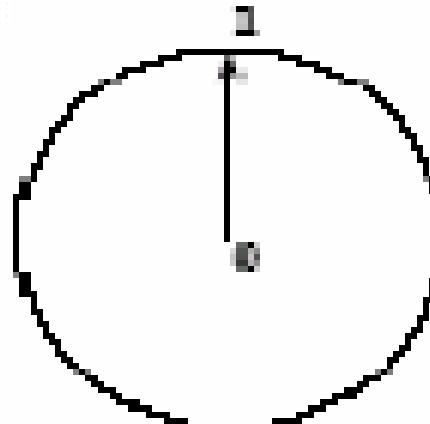
H: 表示色度，由角度表示（ $0\sim360^\circ$ ）。反映了该颜色最接近什么样的光谱波长 0° 为红色， 120° 为绿色， 240° 为蓝色。



L: 表示光照强度或称为亮度，它确定了像素的整体亮度，而不管其颜色是什么。其最亮值为1，0为最暗。



S: 表示色饱和度，色饱和度参数用从色环的原点到彩色点的半径长度表示。在环的外围圆周是纯的或称饱和的颜色，其饱和度值为1。在中心是中性（灰）色调，即饱和度为0。



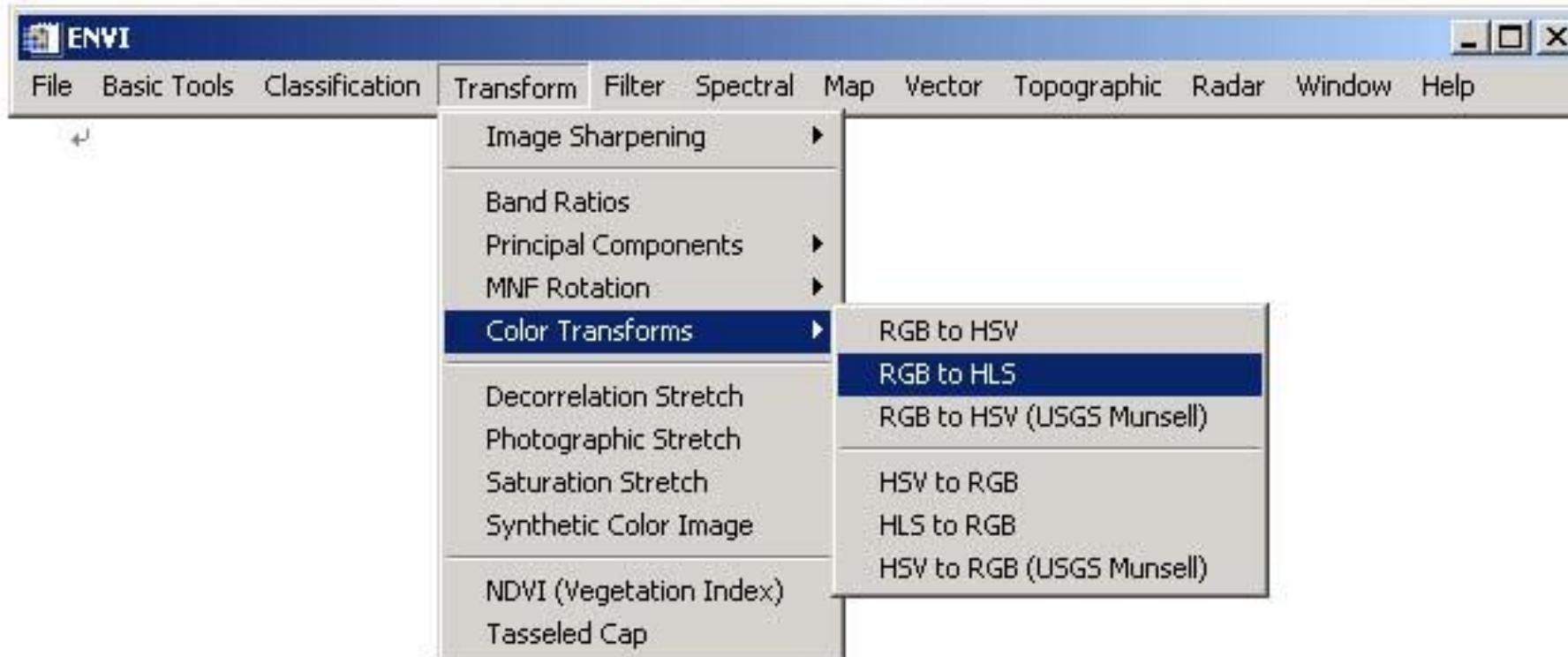


黑白色只用明度描述，不用色调、
饱和度描述。



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

RGB→HLS变换

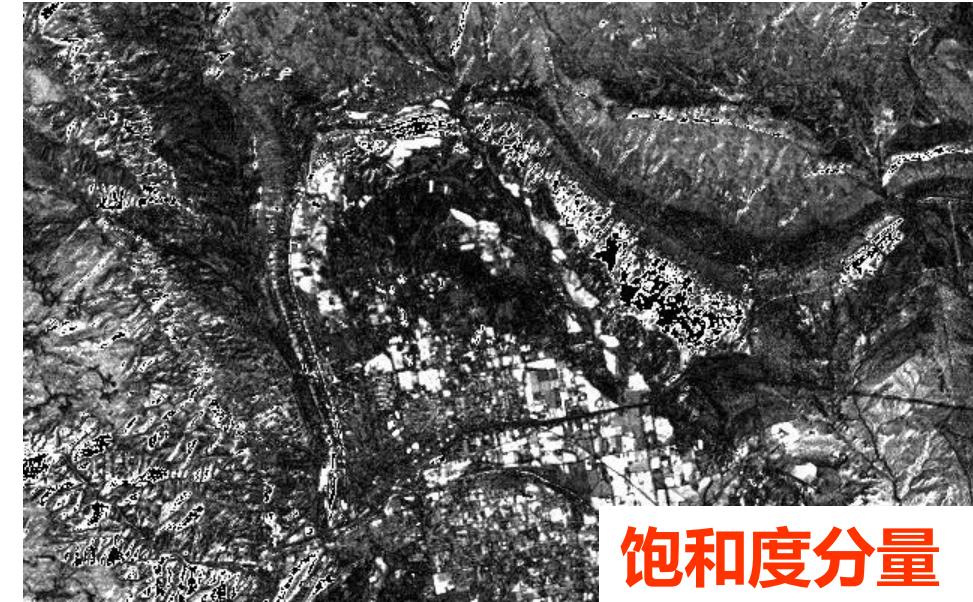
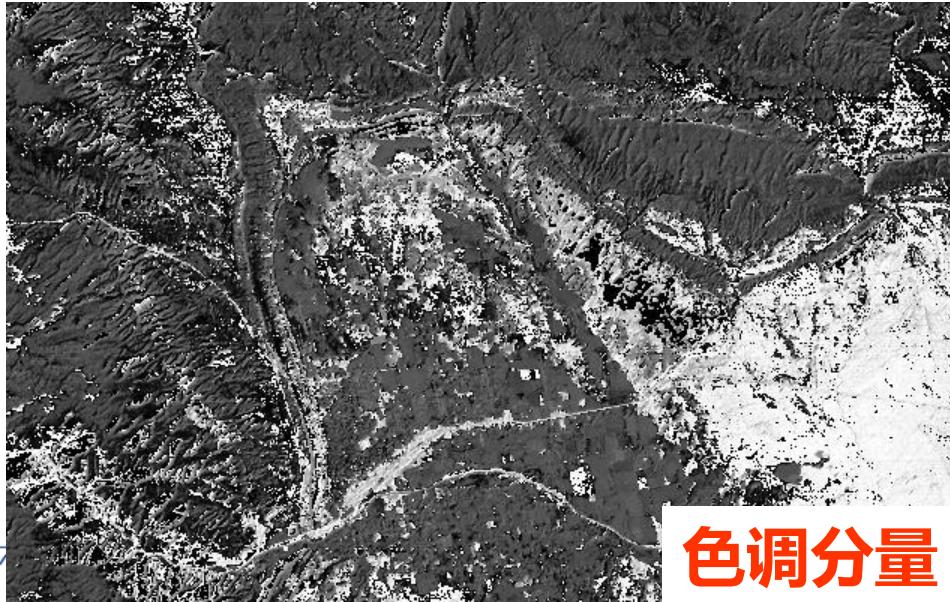
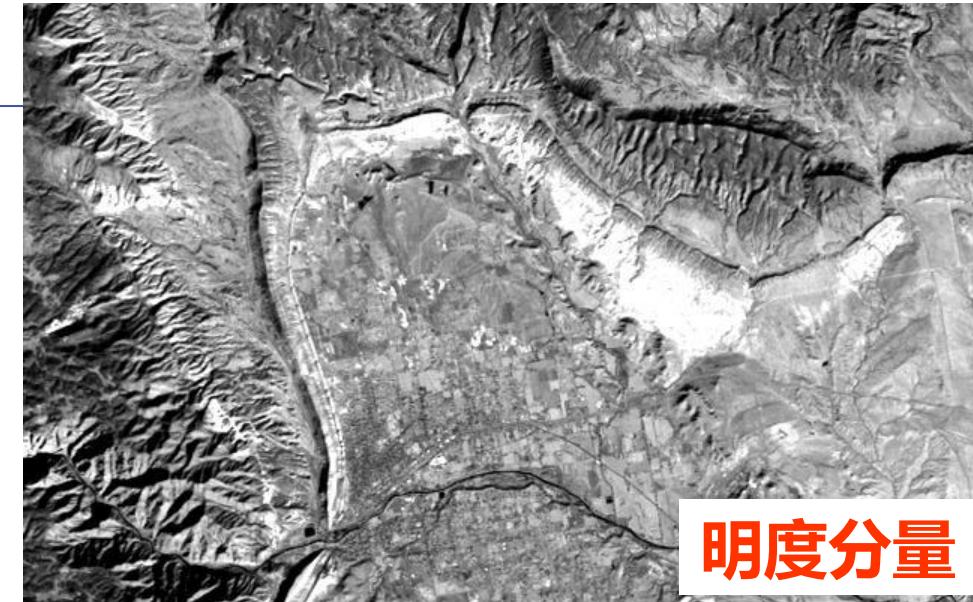
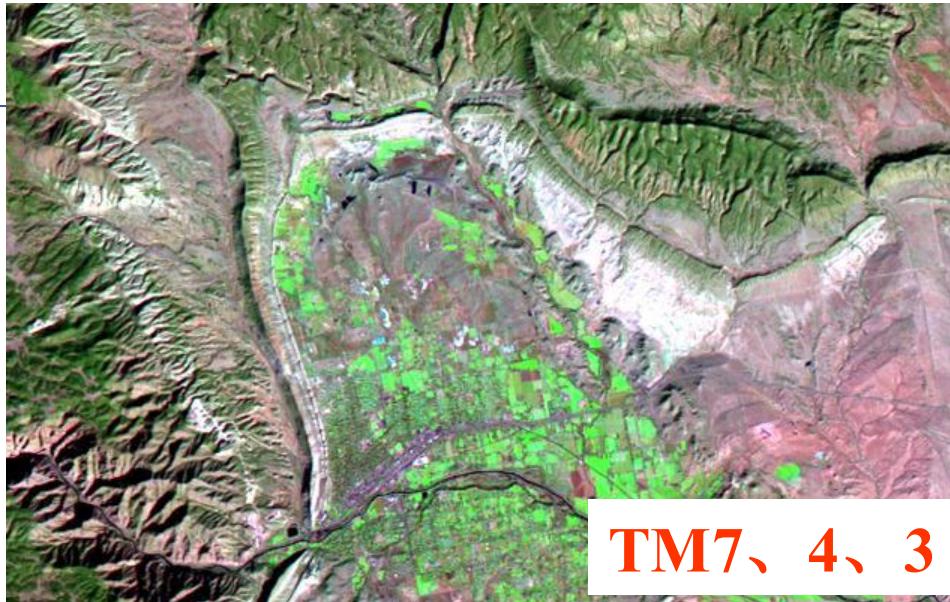


RGB: Red, Green, Blue

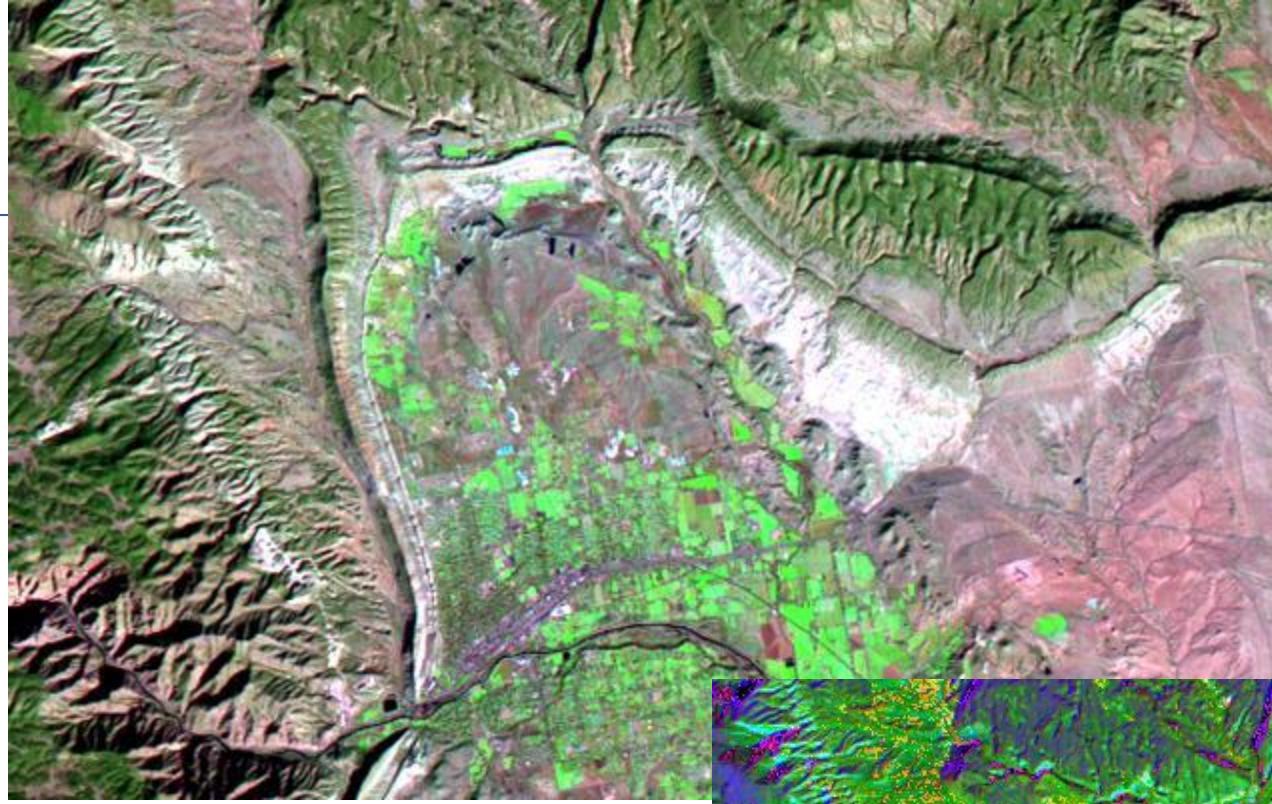
HLS: Hue, Light, Saturate



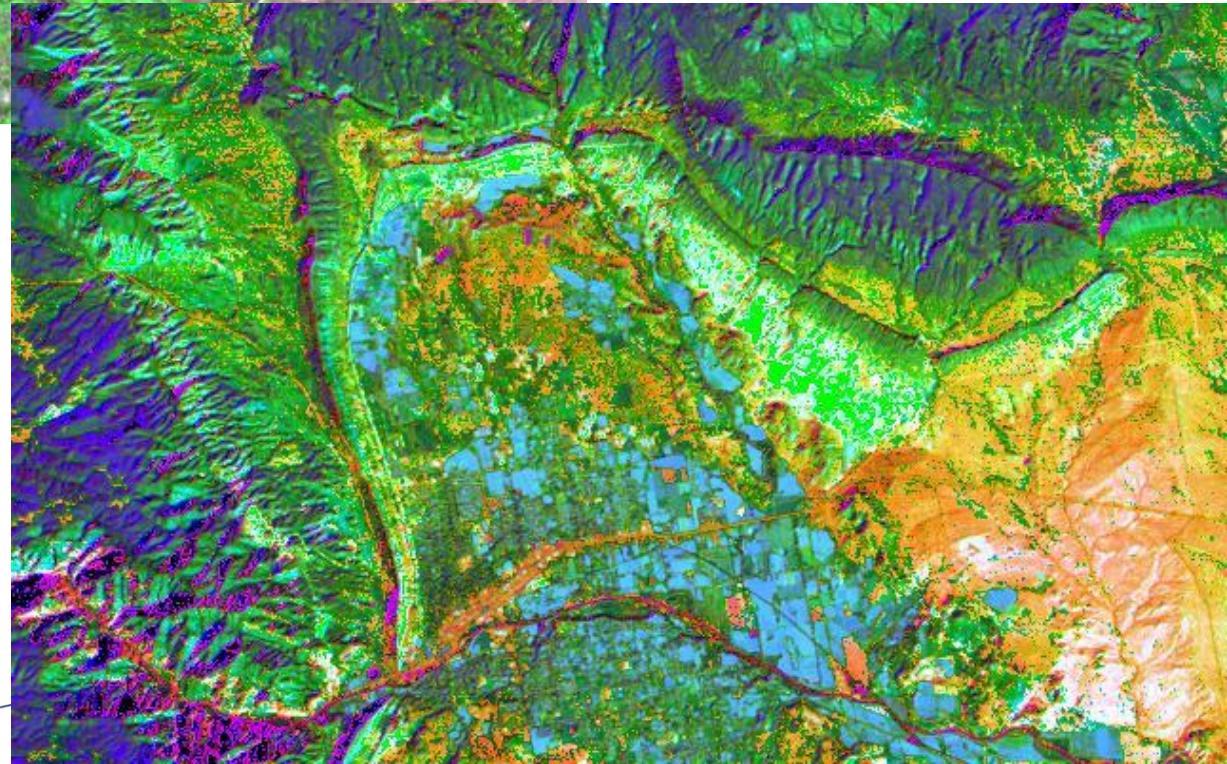
RGB→HLS



RGB



HLS



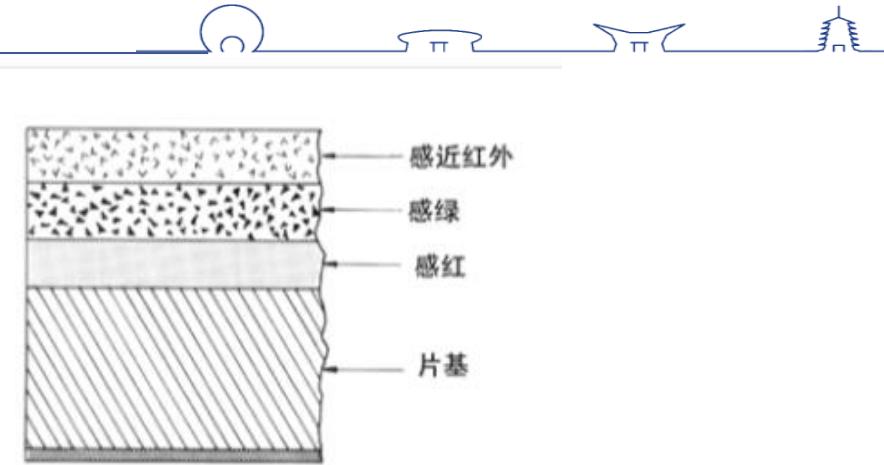
中国科学院
of Chinese Academy of Sciences



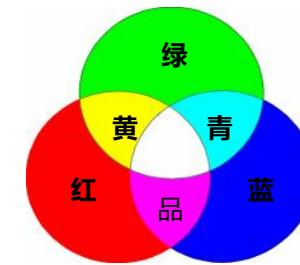
彩色红外航空像片的光学性质

彩红外胶片有3个感光乳胶层：

感近红外层、感绿层、感红层。当目标反射 $0.5 \sim 0.9\mu\text{m}$ 波长范围内的电磁波能量入射到胶片上。



	负片	正片
• 近红外分量 -	青	红
• 绿光分量 -	黄	蓝
• 红光分量 -	品红	绿



彩红外航空像片呈现红绿蓝的不同组合色；各乳胶层感光度不同，色反差增大，色彩更鲜艳，层次更丰富；滤去散射蓝光，图像更清晰；增加了NIR的信息，信息更丰富，识别地物的能力更强。



草地与人造草皮 的不同表现

美国威斯康辛大学校园



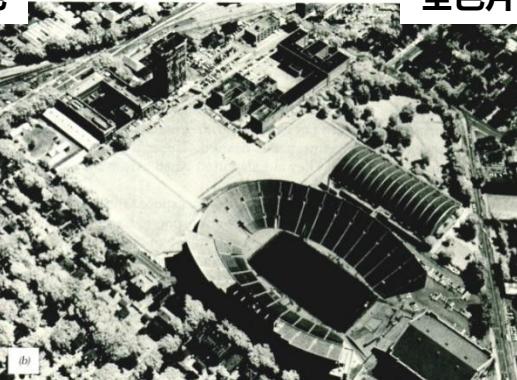
天然彩色



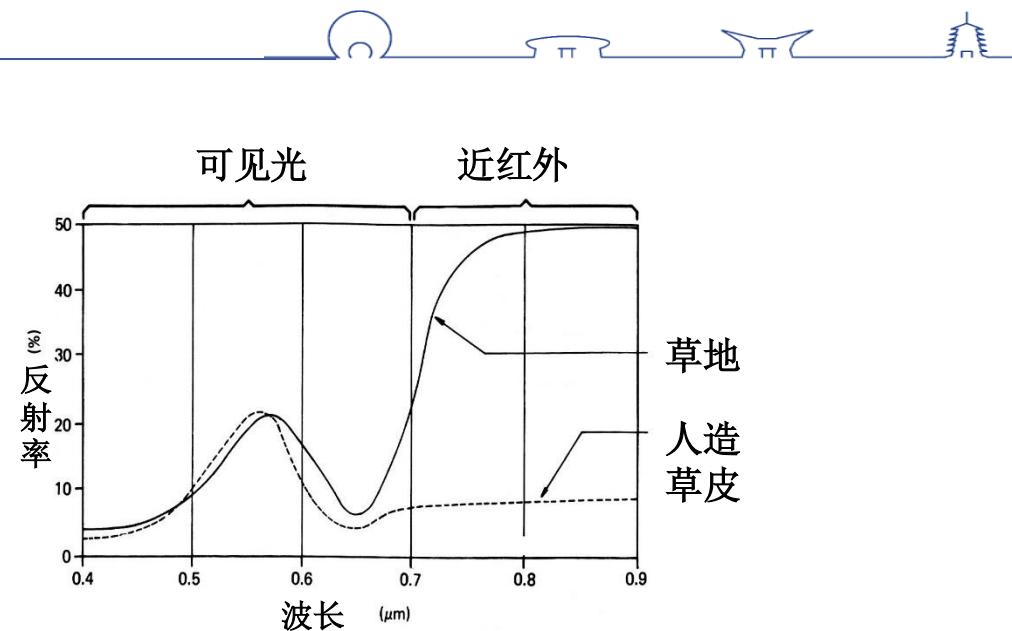
全色片



彩红外



红外片



在天然彩色照片上体育场中央的人造草皮和体育场外的真实植被的颜色一样。

体育场中央是人造草皮，所以在彩色红外照片上不为红色。

彩色红外照片在军事上可用于识别伪装。





彩红外摄影像片的色彩

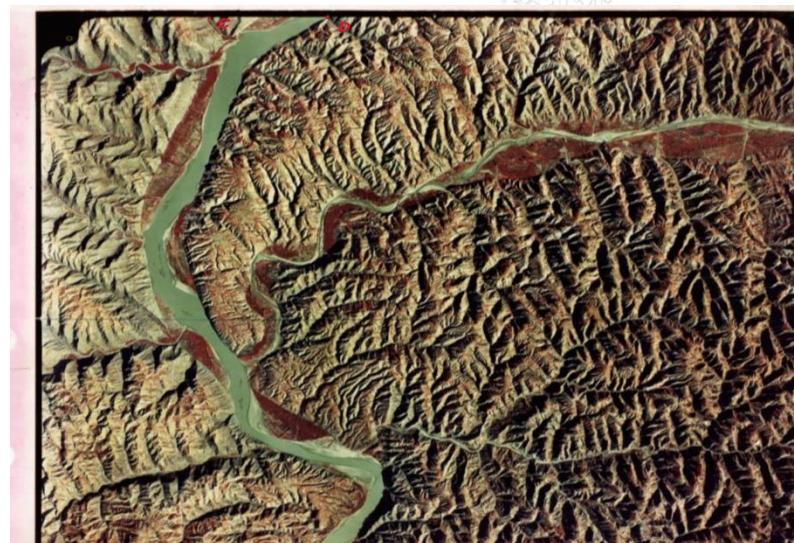
物体的颜色主要取决于它对红、绿、红外光的反射特性。

绿色植物 叶子反射绿光(G)和近红外光(NIR)。

在彩红外像片上，健康绿色植物呈**红色系列**(如水稻-暗红色、作物生长旺季呈鲜红色，针叶林呈紫红色、阔叶林呈红色、幼林呈粉红色等)。

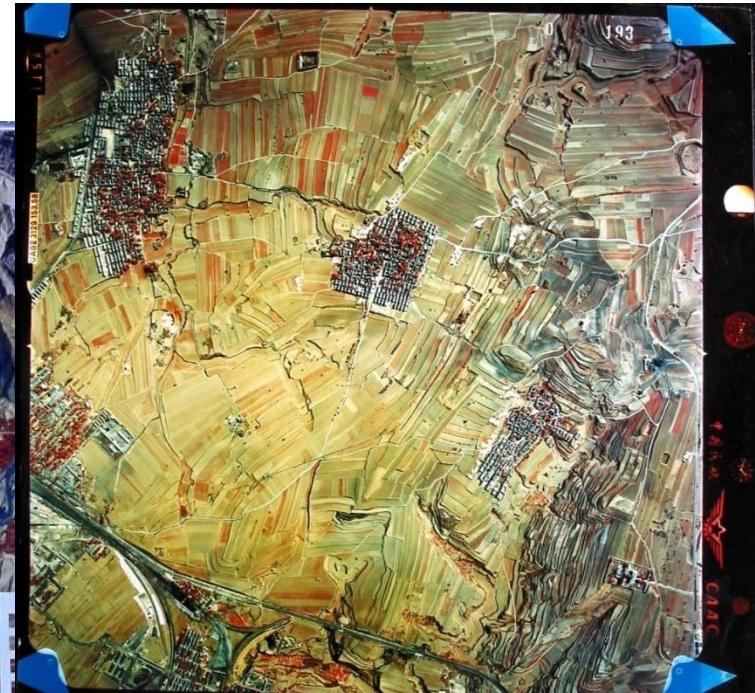
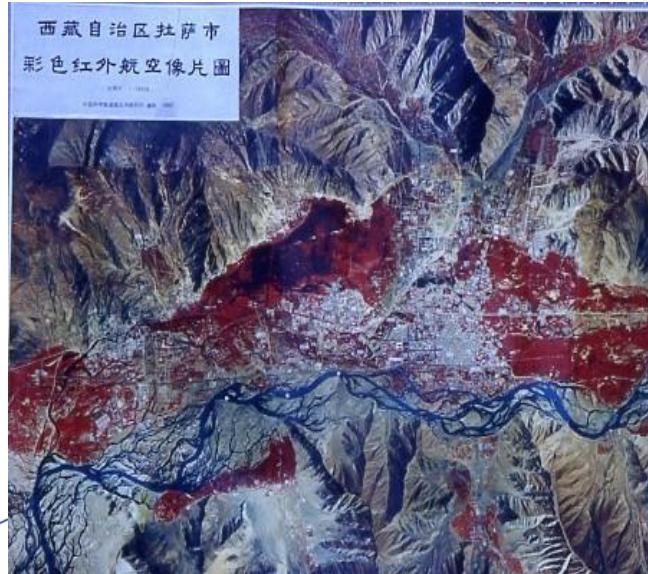
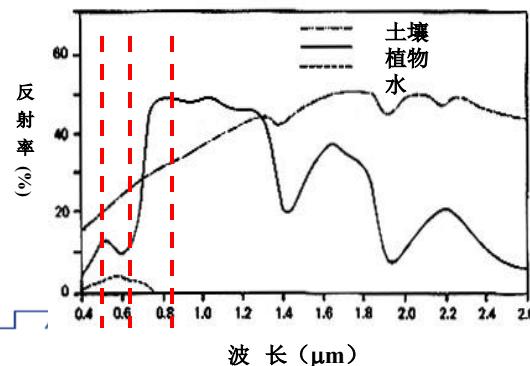
水体强烈吸收红外光，并吸收红光而反射蓝绿光，在正片上呈黑+蓝的蓝黑色、蓝灰色。当水体含泥沙或被污染时，便较多地反射红光、红外光，则影像色彩从**蓝→青→黄色变化**。因此，彩红外像片对清水、浊水、污染水及土壤湿度等易于判别。

绿+红=黄

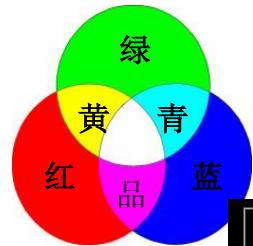


裸地或土壤 对红外、红、绿、蓝光均有反射。随着水分和有机质含量的不同，颜色变化较大。若水分含量少，则呈淡黄、棕色；若湿度大些则呈不同的灰青色。

居民地（城区），因多为水泥材料，青灰屋顶反射蓝、绿光且反射率较低，而呈灰蓝色；若为红瓦房反射较强的红光、红外光而呈淡黄色。



遥感图像的彩色显示

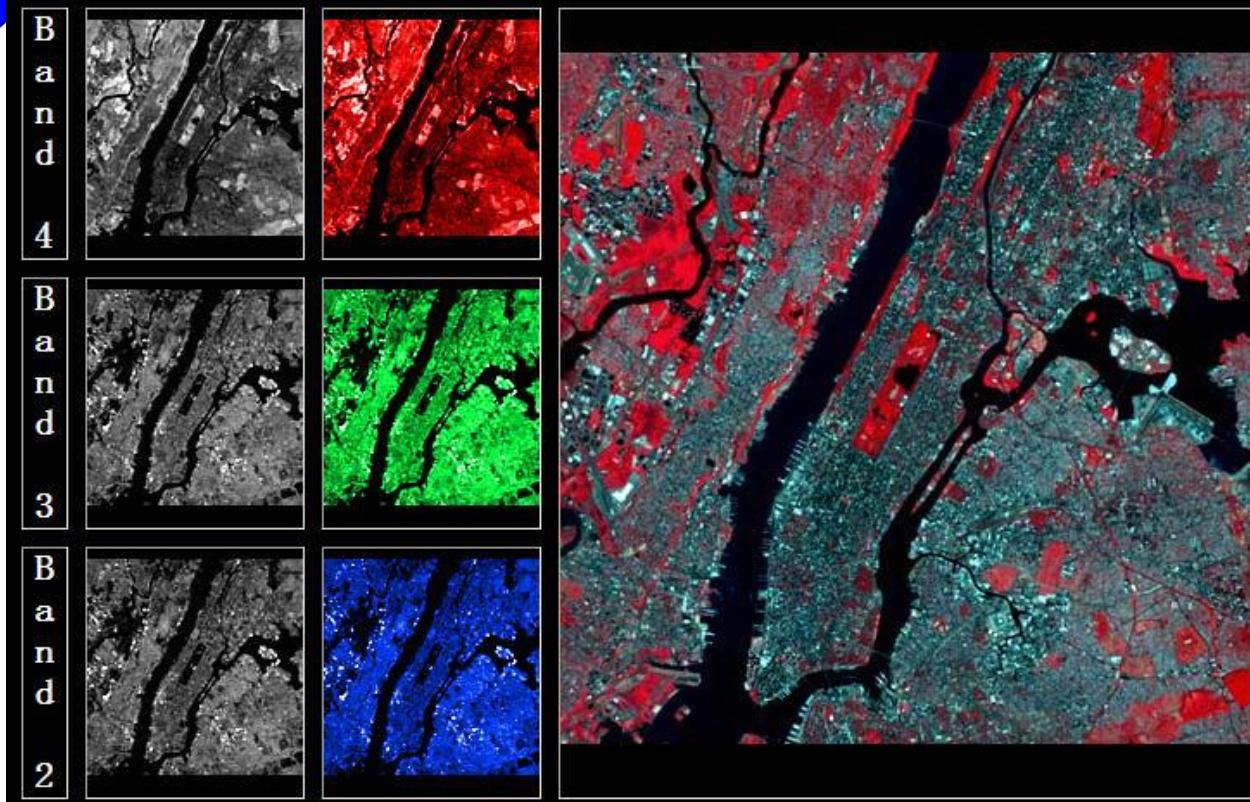


NIR
波段

R
波段

G
波段

图像数据 → RGB值



NIR波段-红色，R波段-绿色、G波段-蓝色

遥感数据，
多采用RGB
坐标系统

用3幅数字图
像和加色原
理显示彩色
图像。



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

“天然” 彩色合成:

可见光 R、 G、 B 波段---- (RGB)

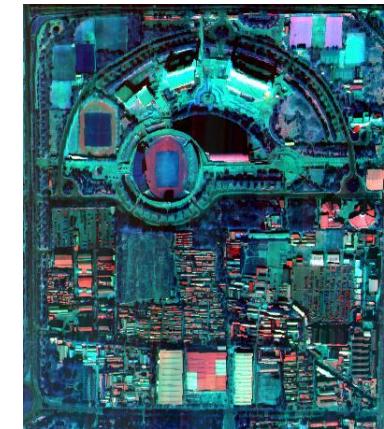
如, TM 3、 2、 1 (RGB)



假彩色合成 :

如, TM 1、 2、 3 (RGB)

TM 3、 5、 4 (RGB) 等



标准假彩色合成: NIR、 R、 G 波段---- (RGB)

植被-红色系列、水体-蓝色系列、裸地-浅色系列等

(与彩红外航空摄影像片的色彩相似)

如, TM 4、 3、 2 (RGB)

SPOT-5 3、 2、 1 (RGB) 等



美国加州盐湖地 区ASTER图像

bands 3、2、1

植被-红；雪、干盐湖-白；岩石-
棕、灰、黄、蓝；

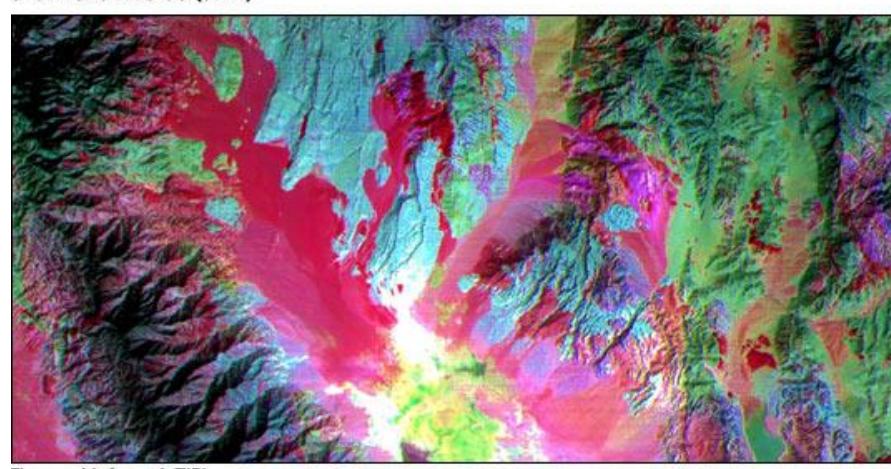
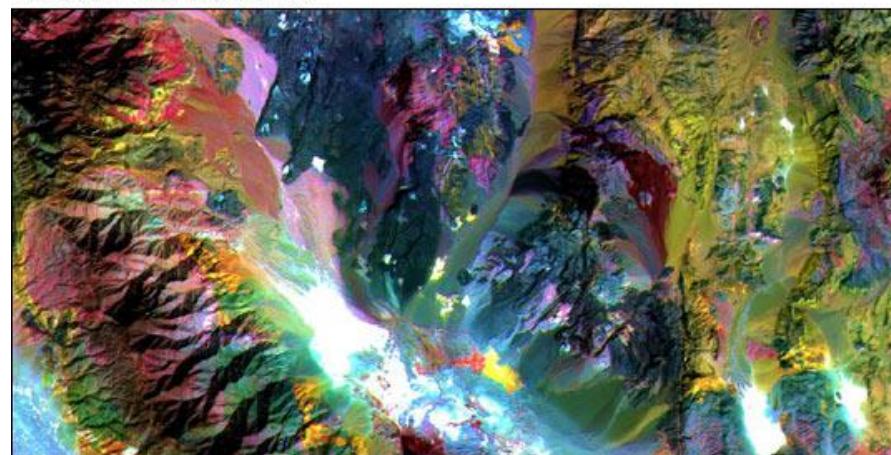
bands 4、6、8

石灰岩-黄绿色，紫色-高岭石富集区；

bands 13、12、10

石英岩-红；碳酸岩-绿色，铁镁质
的火山岩-紫色

March 30, 2000



4.2 光学遥感图像预处理

利用遥感器观测目标物辐射或反射的电磁能量时，从遥感器得到的测量值与目标物的光谱反射率或光谱辐射亮度等物理量是不一致的，测量值中包含太阳位置及角度条件、薄雾及霭等大气条件所引起的失真，为了正确评价目标物的反射特性及辐射特性，必须消除这些失真。

消除图像数据中依附在辐射亮度中的各种失真的过程叫辐射量校正。

辐射量校正：遥感器的灵敏度特性为起因的畸变校正、**大气校正**、由**太阳高度及地形**等为起因的畸变校正。



- 辐射定标
- 大气校正
- 几何校正

图像配准

图像镶嵌



几何校正

图像上的几何图形与该物体在所选定的地图投影中的几何图形产生差异，使图像产生了几何形状或位置的失真，消除这种差异的过程称为几何校正。

成像投影方式 ➔

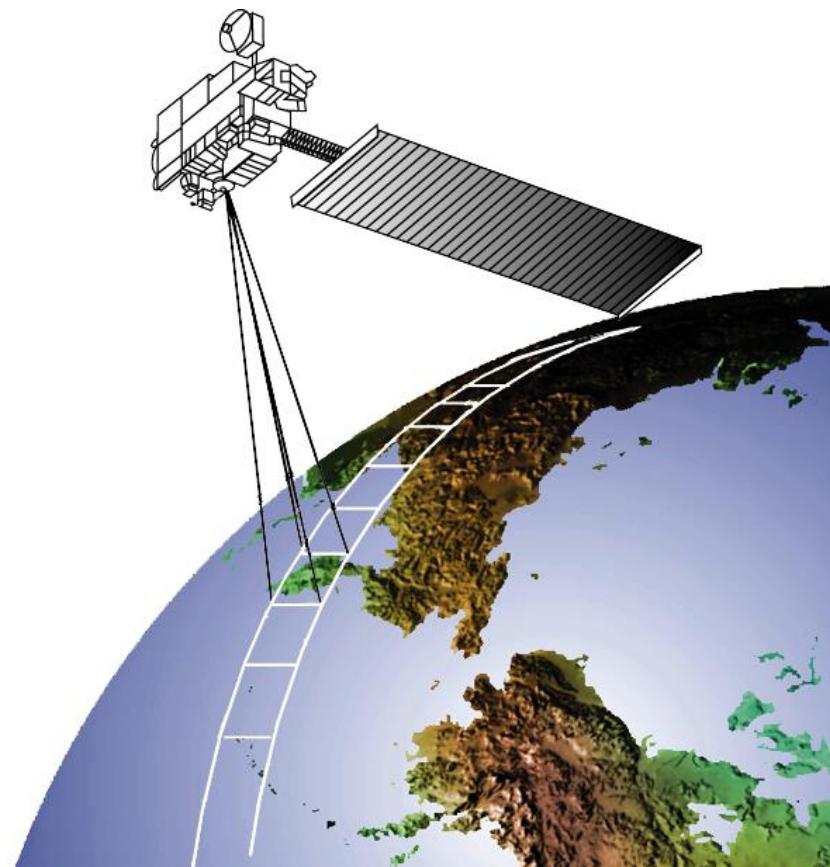
传感器姿态变化 ➔

地形起伏 ➔

传感介质的不均匀 ➔

地球曲率 ➔

地球旋转 ➔



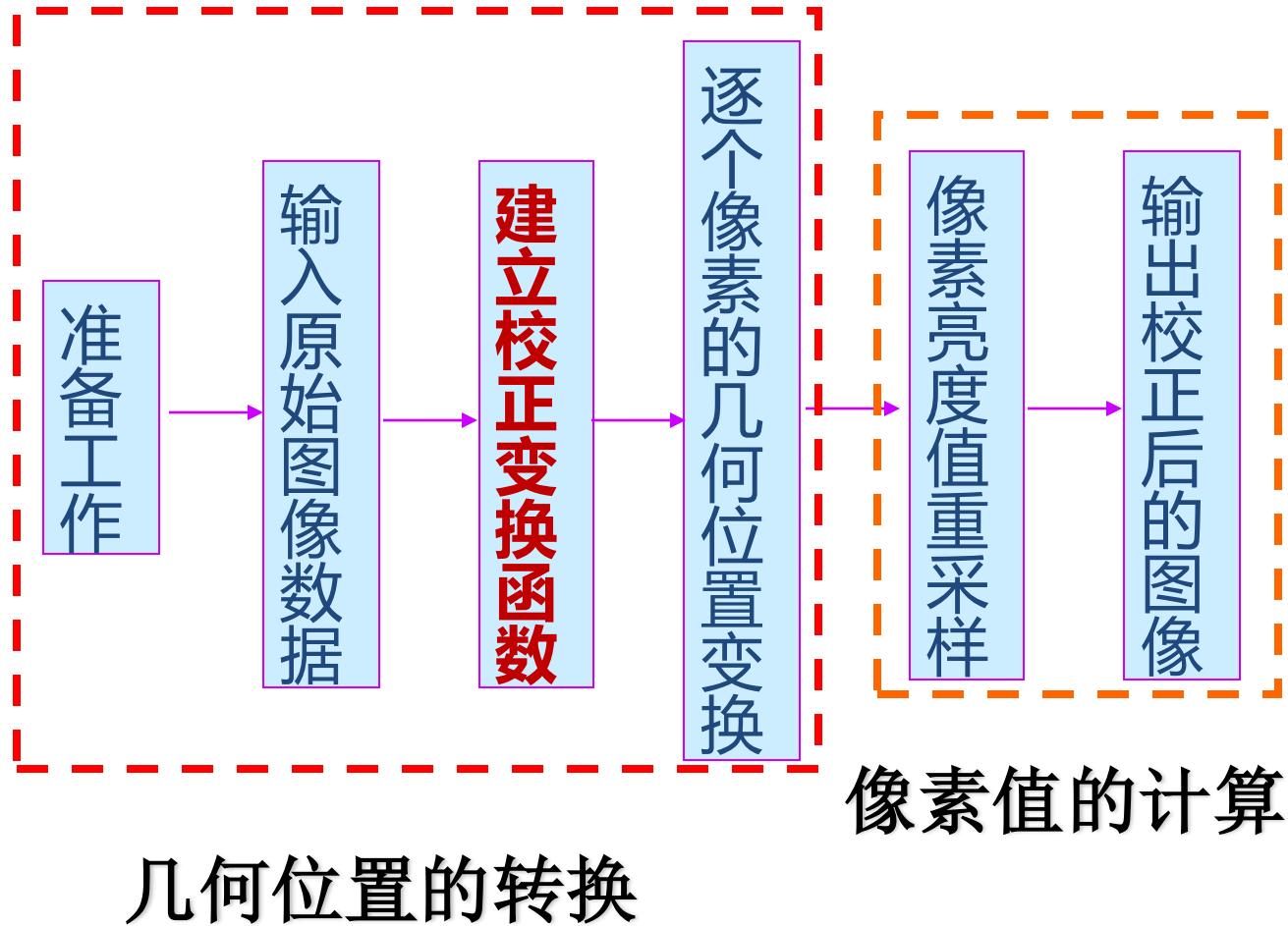


⇒ **系统误差校正**: 对一些系统误差按实际测定的参数, 如传感器姿态、传感器运行至各个摄站时刻、传感器内部结构的几何偏移等加以校正。

⇒ **几何精校正**: 当系统误差改正后, 图像上还有残剩误差, 包括残剩的系统误差和偶然误差, 一般用地面控制点作进一步的几何处理。



技术流程





主要步骤：

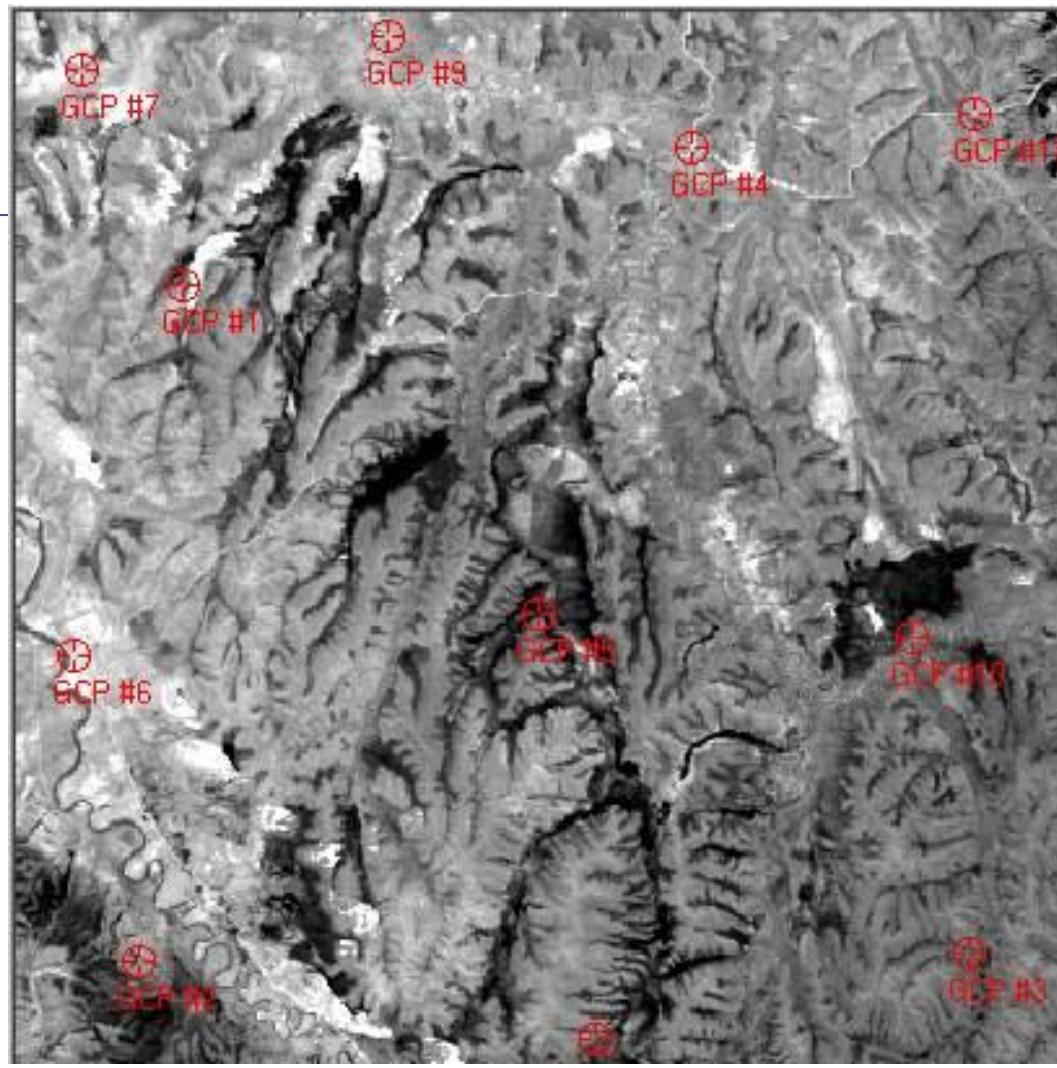
- ✓ 控制点的选择
- ✓ 几何坐标转换函数的选择
- ✓ 像素值的计算—重采样函数的选择





控制点的选择

控制点分布和残差文件



Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	X Ref.	Y Ref.	Z Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error	Contrib.
1	GCP #1		950.131	-1558.498	18277302.591	3719545.196	3450.800	Control	-0.204	0.296	0.359	0.462
2	GCP #2		690.856	-5412.635	18265237.396	3681614.944	3457.200	Control	0.335	0.287	0.441	0.567
3	GCP #3		5429.169	-5368.426	18312851.445	3672943.576	3466.800	Control	0.249	0.239	0.345	0.443
4	GCP #4		3849.363	-762.841	18308412.152	3720702.042	3437.900	Control	1.088	0.778	1.337	1.718
5	GCP #5		2979.321	-3429.682	18293169.756	3696455.484	3448.700	Control	-0.483	0.221	0.531	0.683
6	GCP #6		326.757	-3674.092	18265793.443	3699197.377	3433.600	Control	0.345	-0.358	0.496	0.638
7	GCP #7		365.771	-332.775	18274379.692	3731580.497	3460.000	Control	-0.347	-0.919	0.983	1.262
8	GCP #8		3306.399	-5852.213	18290509.018	3672291.190	3465.700	Control	-0.455	-0.328	0.561	0.720
9	GCP #9		2121.012	-132.308	18292620.787	3730149.082	3434.200	Control	0.443	0.843	0.952	1.223
10	GCP #10		5098.497	-3565.186	18313988.871	3691090.632	3446.900	Control	0.007	-0.204	0.204	0.262
11	GCP #11		5453.702	-578.527	18324796.250	3719421.250	3483.200	Control	-0.973	-0.855	1.296	1.664
12	GCP #12							Control				

选择控制点



⇒ **选取原则**

- ① 均匀分布 ② 特征明显 ③ 足够数量

⇒ **选取方法**

- ① 固定的地形地物交叉点
- ② 对角线选取 -> 棋盘方式加密 -> 蛇形加密(主城区和山区)

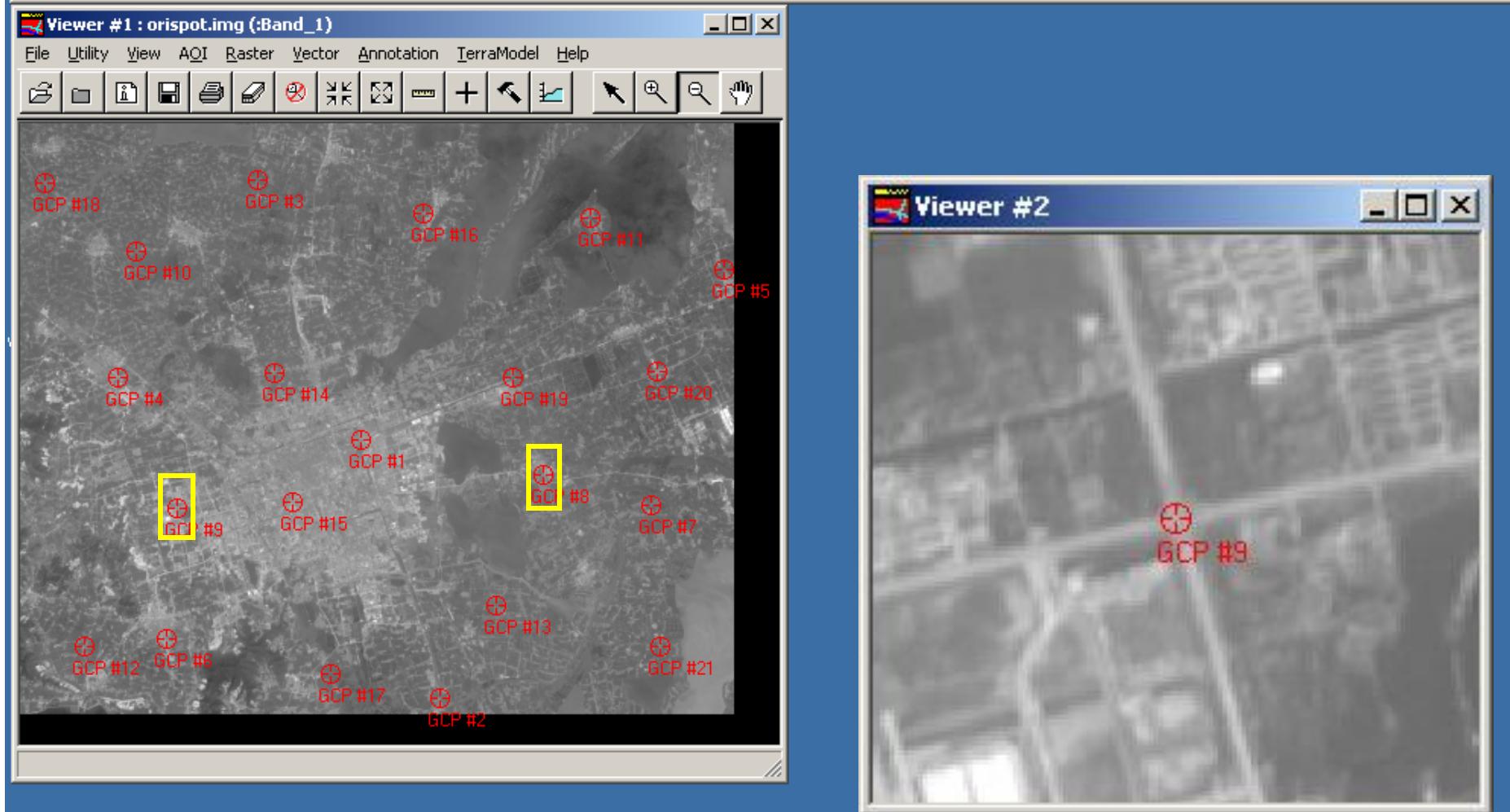
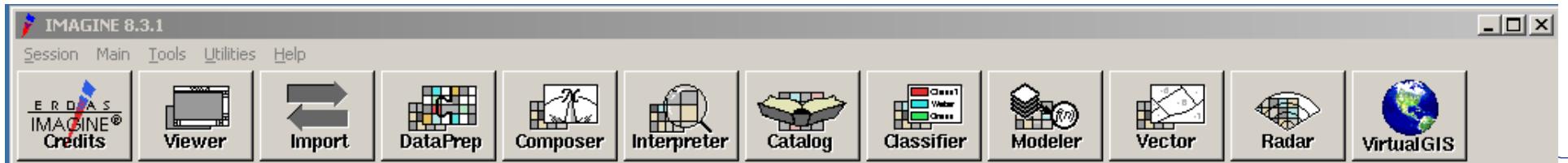
⇒ **控制点的数量**

每景宜在20-30个。

⇒ **技术指标**

校正后的图面中误差一般不大于0.5pixel，最大不大于1pixel。





控制点分布

GCP Tool : (Input : orispot.img) (Reference : 123reference.gcc)

File View Edit Help

Control Point Error: (X) 0.3656 (Y) 0.1915 (Total) 0.4127

Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	X Ref.	Y Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error	Contrib.
1	GCP #1		1789.250	-1664.000	3469685.000	21274898.750	Control	-0.353	0.249	0.432	1.047
2	GCP #2		2210.500	-3027.500	3455520.000	21276790.000	Control	-0.589	0.078	0.594	1.440
3	GCP #3		1251.000	-293.000	3484122.500	21271882.500	Control	0.488	-0.146	0.510	1.235
4	GCP #4		511.000	-1334.500	3475067.500	21262857.500	Control	-0.899	0.399	0.983	2.382
5	GCP #5		3700.750	-771.000	3475292.500	21295212.500	Control	-0.366	0.043	0.369	0.893
6	GCP #6		770.250	-2712.000	3461022.500	21263097.500	Control	0.366	0.147	0.395	0.956
7	GCP #7		3320.810	-2005.500	3463745.630	21289470.630	Control	0.752	-0.183	0.774	1.876
8	GCP #8		2754.000	-1846.000	3466274.141	21284121.695	Control	-0.075	0.088	0.115	0.280
9	GCP #9		825.000	-2023.000	3467730.203	21264802.657	Control	0.670	-0.676	0.952	2.306
10	GCP #10		608.000	-672.000	3481449.584	21264931.245	Control	-0.002	0.000	0.002	0.006
11	GCP #11		3000.000	-496.000	3479187.461	21288750.641	Control	-0.001	-0.003	0.003	0.008
12	GCP #12		336.000	-2752.000	3461343.158	21258741.665	Control	-0.011	-0.005	0.012	0.028
13	GCP #13		2504.000	-2536.000	3459880.438	21280514.885	Control	0.007	0.002	0.007	0.017
14	GCP #14		1336.000	-1312.000	3473914.063	21271021.385	Control	0.003	0.004	0.005	0.012
15	GCP #15		1432.000	-1992.000	3467037.039	21270832.878	Control	0.005	0.002	0.005	0.013
16	GCP #16		2120.000	-472.000	3480902.724	21280125.865	Control	0.004	0.005	0.006	0.015
17	GCP #17		1632.000	-2896.000	3457777.527	21271294.296	Control	0.008	0.001	0.008	0.020
18	GCP #18		128.000	-312.000	3485805.865	21260824.300	Control	0.001	-0.005	0.005	0.011
19	GCP #19		2592.000	-1336.000	3471579.243	21283359.607	Control	0.010	0.004	0.011	0.026
20	GCP #20		3352.000	-1304.000	3470618.954	21290912.430	Control	-0.000	-0.001	0.001	0.003
21	GCP #21		3368.000	-2752.000	3456304.402	21288710.739	Control	-0.017	-0.001	0.017	0.041

残差文件





校正变换函数

多项式校正



回避成像的空间几何过程，直接对图像变形的本身用多项式变换进行数学模拟。将遥感影像的总体变形看作是平移、缩放、旋转、仿射、弯曲以及更高次的变形综合作用的结果。

$$x = a_{00} + a_{10}X + a_{01}Y + a_{20}X^2 + a_{11}XY + a_{02}Y^2 + a_{30}X^3 + a_{21}X^2Y + a_{12}XY^2 + a_{03}Y^3 + \dots$$
$$y = b_{00} + b_{10}X + b_{01}Y + b_{20}X^2 + b_{11}XY + b_{02}Y^2 + b_{30}X^3 + b_{21}X^2Y + b_{12}XY^2 + b_{03}Y^3 + \dots$$

X,Y：为控制点在参考坐标系中的理论坐标；

x, y：为同名控制点对应的原始图象坐标（行列号）；

a_{ij},b_{ij}: 多项式系数。



数字微分校正



对于**地形起伏较大，或卫星侧视角较大的影像，可利用DEM (数字高程模型) 进行数字微分校正，通过对图像上像点位移的逐点改正，得到高精度的正射影像。**

$$x_i = -f \frac{a_1(X_i - X_{si}) + b_1(Y_i - Y_{si}) + c_1(Z_i - Z_{si})}{a_3(X_i - X_{si}) + b_3(Y_i - Y_{si}) + c_3(Z_i - Z_{si})}$$

$$y_i = -f \frac{a_2(X_i - X_{si}) + b_2(Y_i - Y_{si}) + c_2(Z_i - Z_{si})}{a_3(X_i - X_{si}) + b_3(Y_i - Y_{si}) + c_3(Z_i - Z_{si})}$$

f: 等效焦距；

X_i, Y_i, Z_i 为地面点i的地面坐标；

x_i, y_i 为其图像坐标；

X_{si}, Y_{si}, Z_{si} 为i行上传感器的地面坐标；

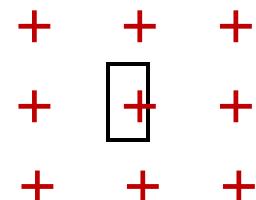
a_j, b_j, c_j 为i行的外方位元素 ψ_i, ω_i, k_i 所确定的旋转矩阵中的9个元素。





注意事项

- ⇒ 至少9个控制点，采取上、中、下三排均匀分布；
- ⇒ 图像坐标尽可能读到子像素；
- ⇒ 加入的DEM应能满足高程精度要求。





点号	像素坐标 x	像素坐标 y	参考坐标 X	参考坐标 Y	参考坐标 Z	X 残差	Y 残差	RMS 中误差
1	950.13	1558.49	18277302.59	3718545.18	3450.80	-0.2038	0.2960	0.4617
2	690.85	5412.63	18265237.39	3681614.94	3457.19	0.3349	0.2869	0.5665
3	5429.16	5368.42	18312851.44	3672943.57	3466.80	0.2491	0.2389	0.4434
4	3849.36	762.84	18308412.15	3720702.04	3437.89	1.0876	0.7777	1.7177
5	2979.32	3429.68	18293169.75	3696455.48	3448.69	-0.4833	0.2205	0.6825
6	326.75	3674.09	18265793.44	3699197.37	3433.60	0.3445	-0.3575	0.6377
7	365.77	332.77	18274379.69	3731580.49	3460.00	-0.3470	-0.9192	1.2622
8	3306.39	5852.21	18290509.01	3672291.19	3465.69	-0.4549	-0.3277	0.7203
9	2121.01	132.30	18292620.78	3730149.08	3434.19	0.4425	0.8428	1.2229
10	5098.49	3565.18	18313988.87	3691090.63	3446.89	0.0066	-0.2038	0.2619
11	5453.70	578.52	18324796.25	3719421.25	3483.19	-0.9732	-0.8550	1.6642

残差文件



校正精度检查



随机读点法

在校正后的图像上均匀选择4-5个特征点，读出其坐标值，然后与地形图上对应点的坐标进行比较，判断是否满足要求。





几何校正后像元值的确定

- 最近邻法
- 双向线性内插法
- 三次卷积内插法





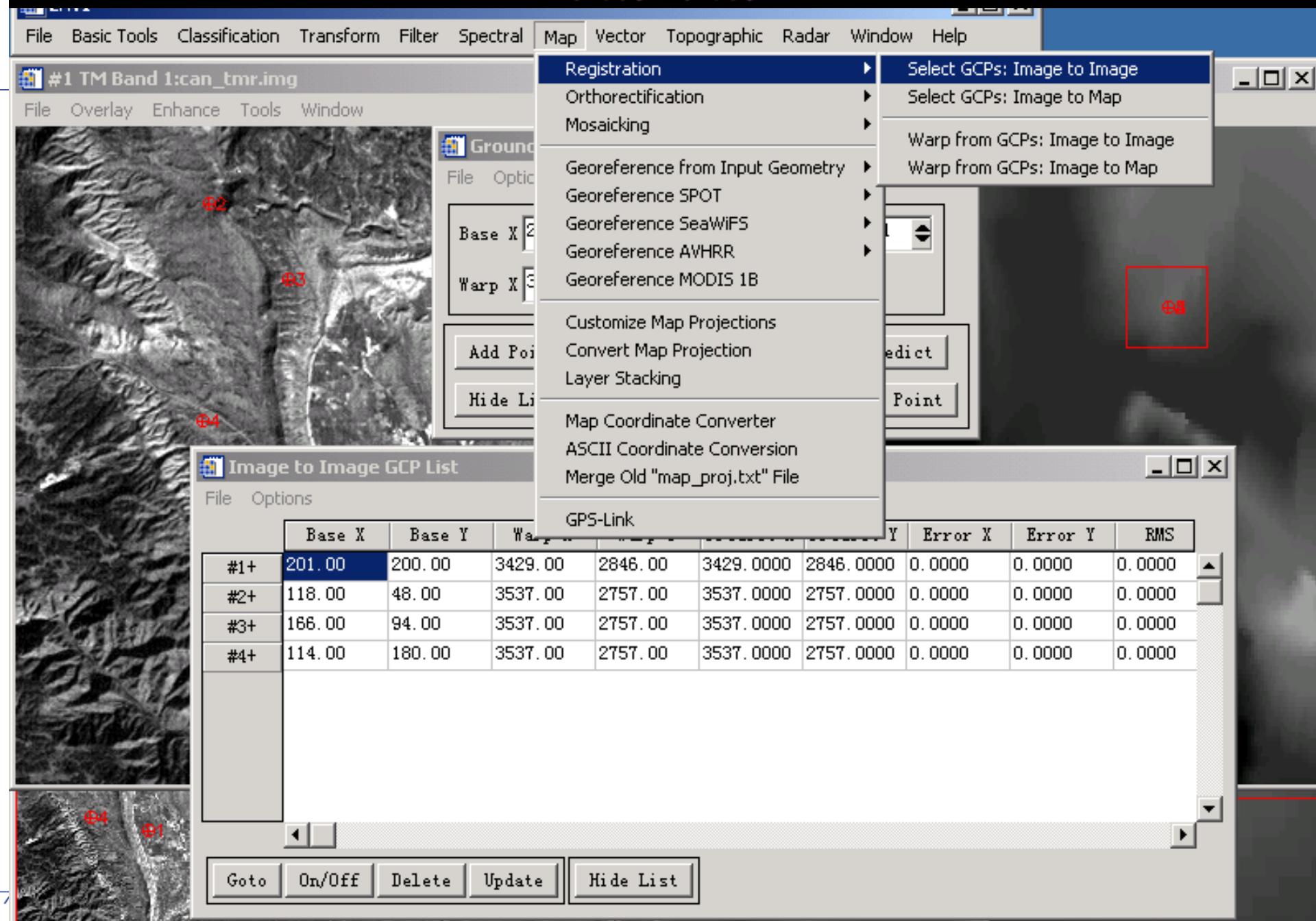
图像——地形图

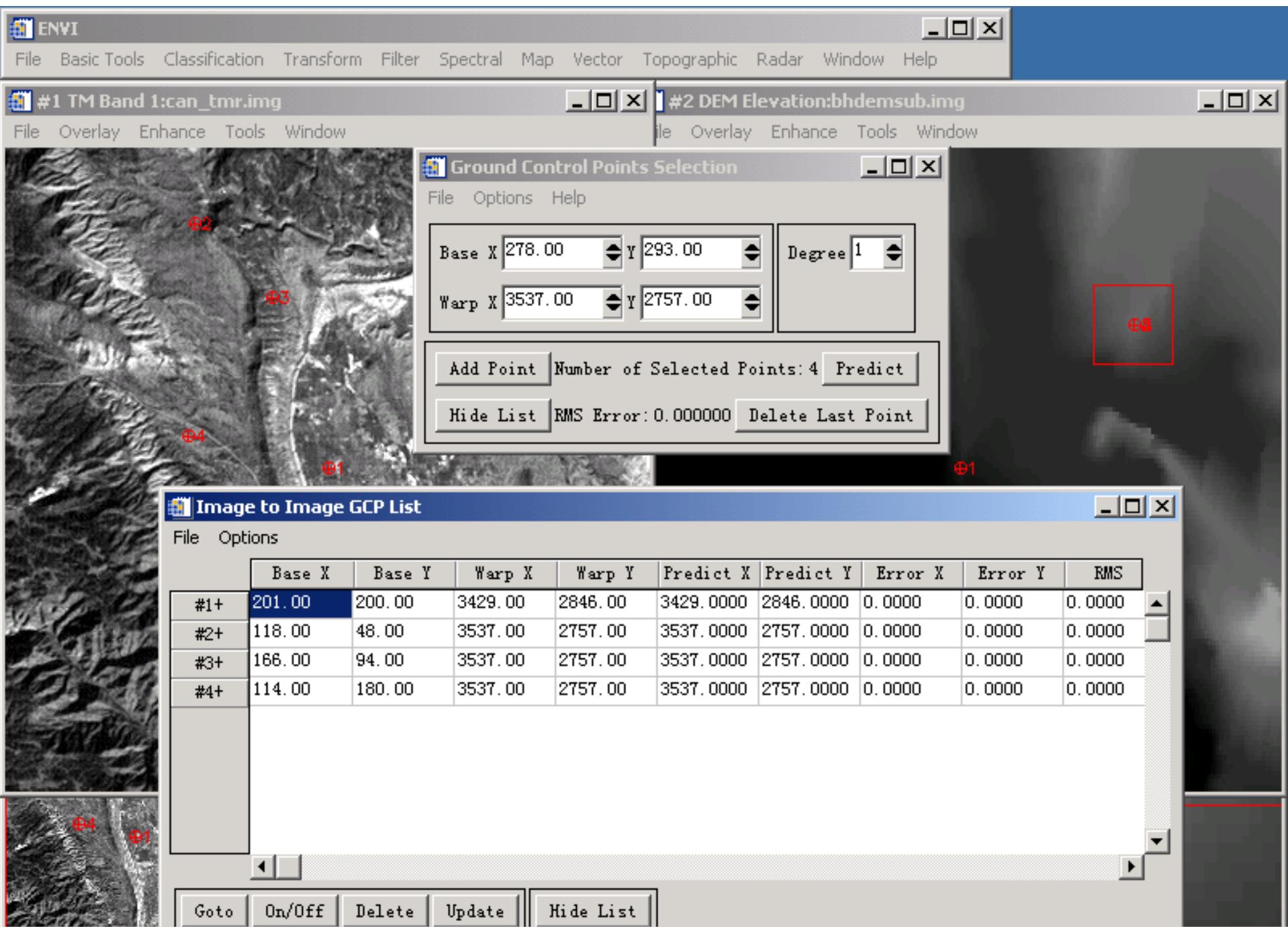
图像——基准图像（几何坐标）



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

图像-图像





MODIS几何校正

鉴于MODIS图像数据独特的存储格式，它将多种类型的数据，例如图像数据、地理位置、轨道参数、仪器噪声等全部存储在一个 HDF文件中。MODIS图像(1B) 的几何校正，一般有如下两种方法：Built GLT方法和 Export GCP方法。



Export GCP方法的图像几何校正



将HDF文件中的经纬度数据导出为地面控制点(GCP)文件,然后采用常规的多项式方法进行校正。

因为GCP点数目众多,分辨率500m的MODIS图像中GCP点可达 $1354 \times 2040 = 2762160$ 个,理论上可使多项式的次数达到上千次。实际使用中一般不超过四次,如果次数继续增加,则位置精度增加很少而计算量增加很多,已没有实际意义。对于GCP点数目众多且不规则排列的情况宜采用Delaunay三角网方法。构建三角网时遵循以下准则:扩展点与扩展边两点连线的夹角最大。这时所形成的三角形尽可能的接近等边三角形,即Delaunay三角剖分,这与GIS中常用的构建TIN(不规则三角网)的规则相同。然后将三角网插值成规则网格,将像素放在相应网格中实现几何校正。

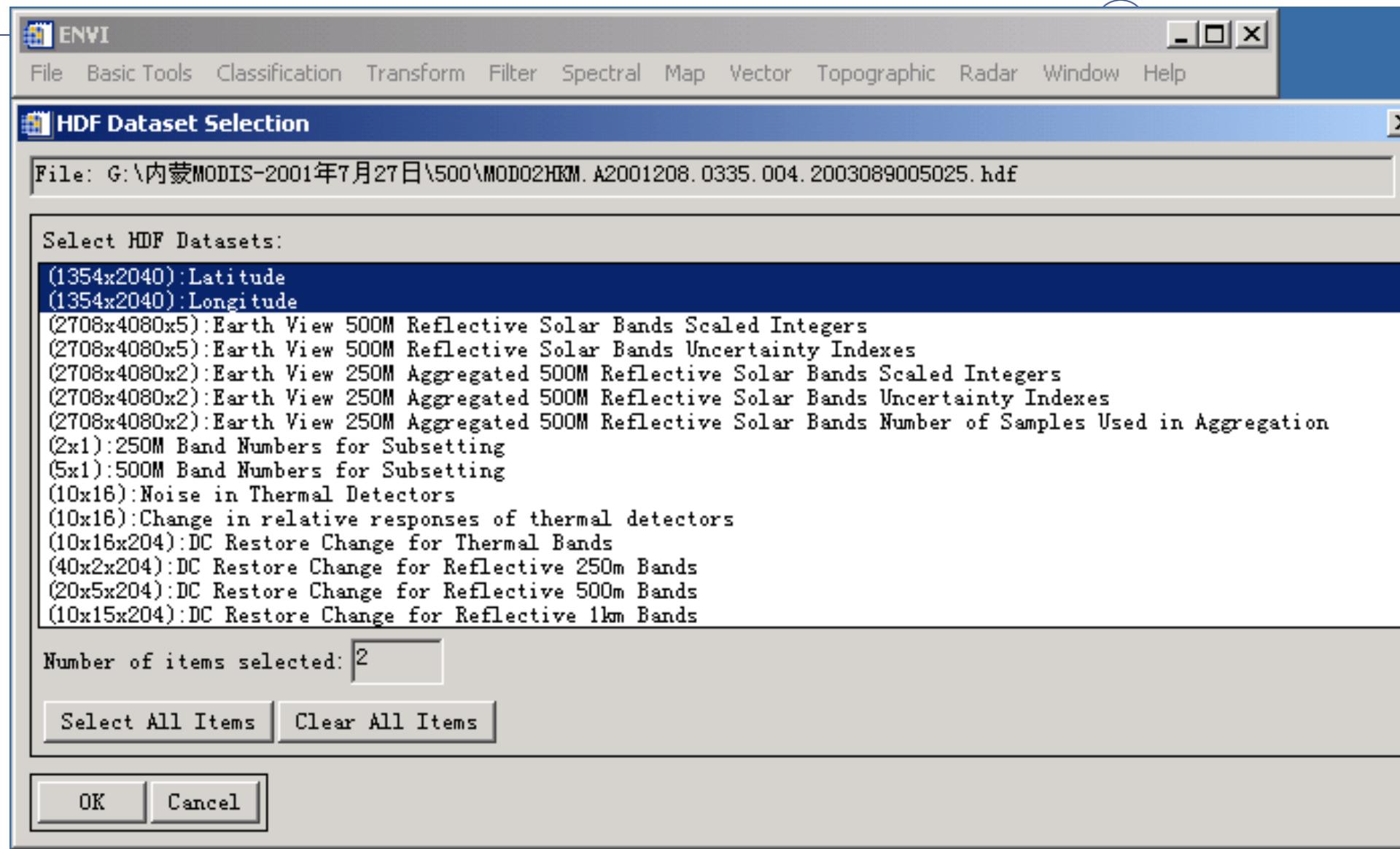


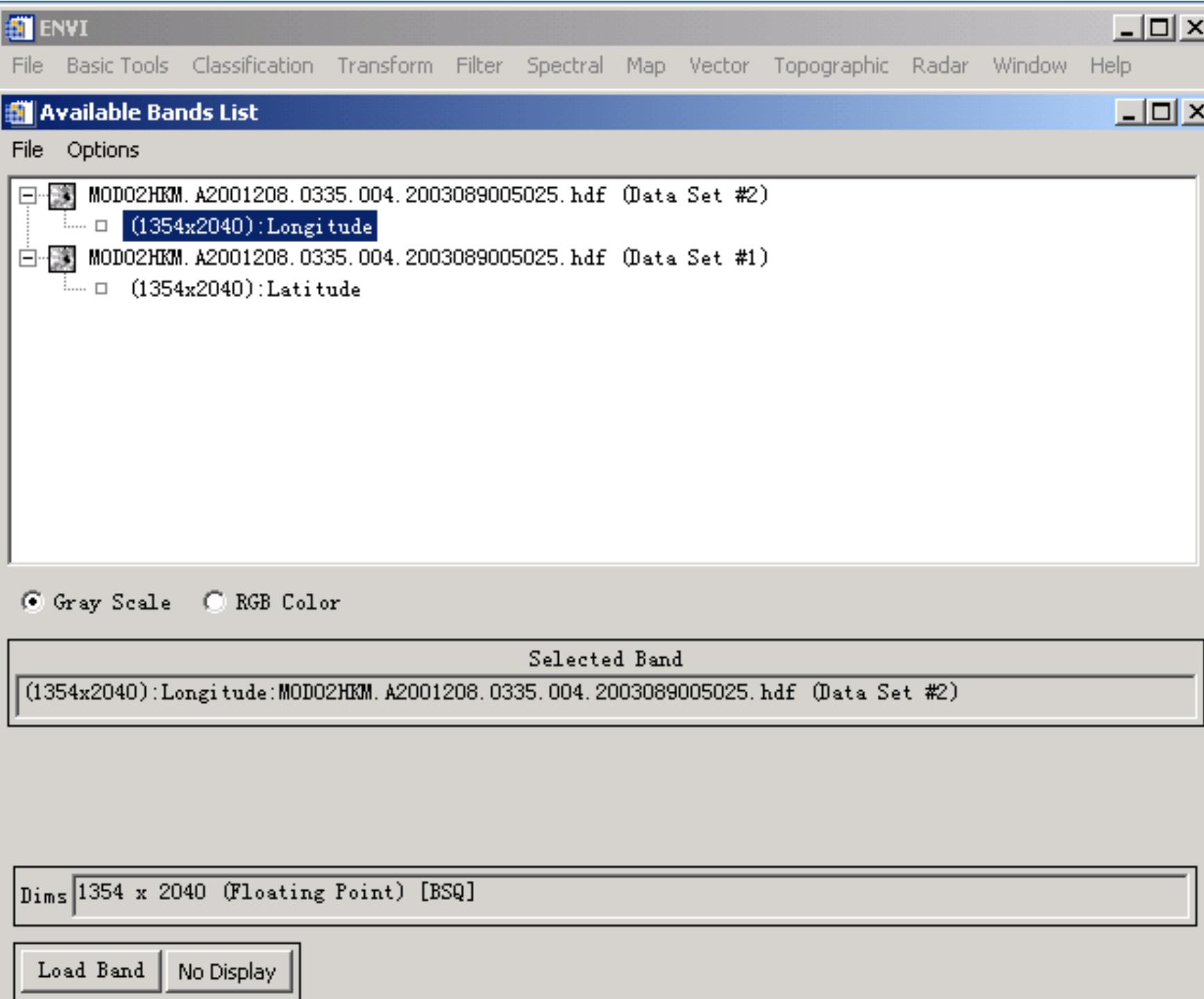
Built GLT方法的图像几何校正



MODIS数据的 HDF文件中已经包含有经度和纬度数据，我们可以利用这些数据进行校正而不必人工选取地面控制点。使用遥感图像处理软件ENVI的 Built GLT(Geometry Lookup Table)功能，以经度作为 X 方向数据，以纬度作为 Y 方向数据建立 GLT，然后使用 GLT 对图像进行几何校正。其原理就是使图像中的每一个像素对应一个坐标，根据坐标值将此像素放在相应的位置上，从而达到几何校正的目的。









File Basic Tools Classification Transform Filter Spectral

Map Vector Topographic Radar Window Help

Available Bands List

File Options

- MOD02HKM.A2001208.0335.004.2003089005025.hdf
 - (1354x2040):Longitude
- MOD02HKM.A2001208.0335.004.2003089005025.hdf
 - (1354x2040):Latitude

Gray Scale RGB Color

Selecte

(1354x2040):Longitude:MOD02HKM.A2001208.0335.004.2003089005025.hdf (Data Set #2)

Dims 1354 x 2040 (Floating Point) [BSQ]

Load Band No Display

Registration
Orthorectification
Mosaicking

Georeference from Input Geometry

Georeference SPOT

Georeference SeaWiFS

Georeference AVHRR

Georeference MODIS 1B

Customize Map Projections

Convert Map Projection

Layer Stacking

Map Coordinate Converter

ASCII Coordinate Conversion

Merge Old "map_proj.txt" File

GPS-Link

Build GLT

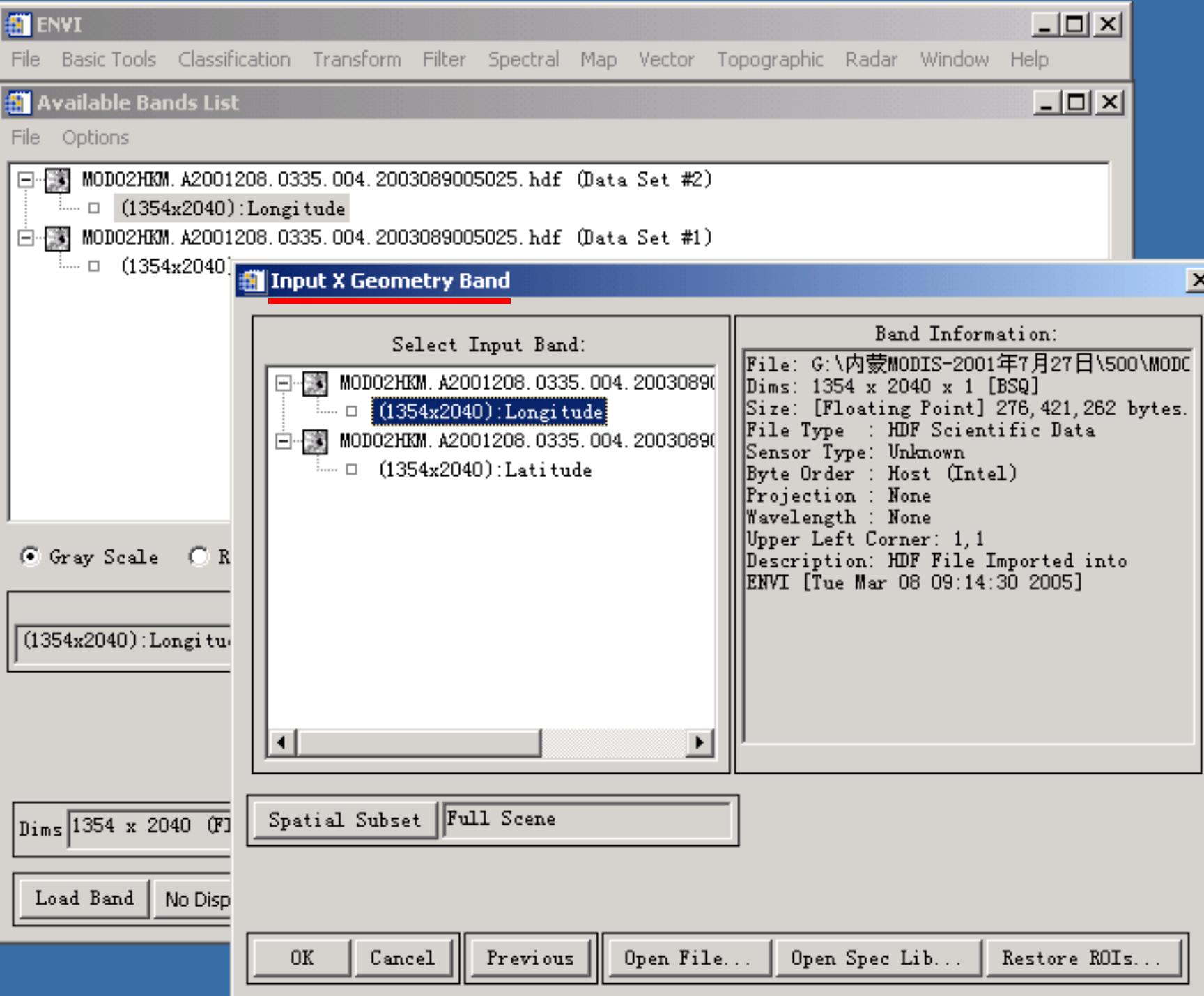
Georeference from GLT

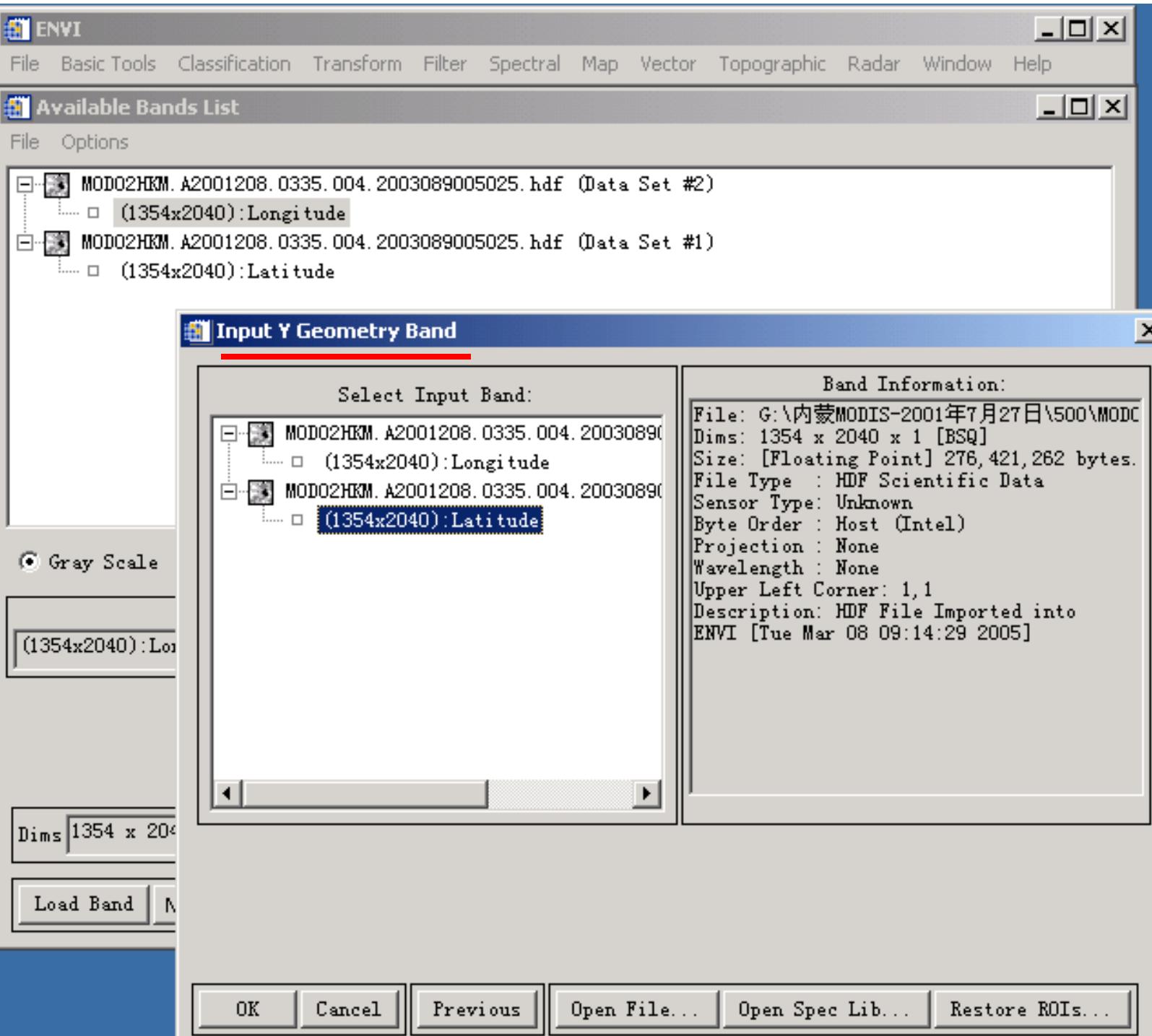
Georeference from IGM

Build Super GLT

Georeference from Super GLT

Super Georeference from IGM







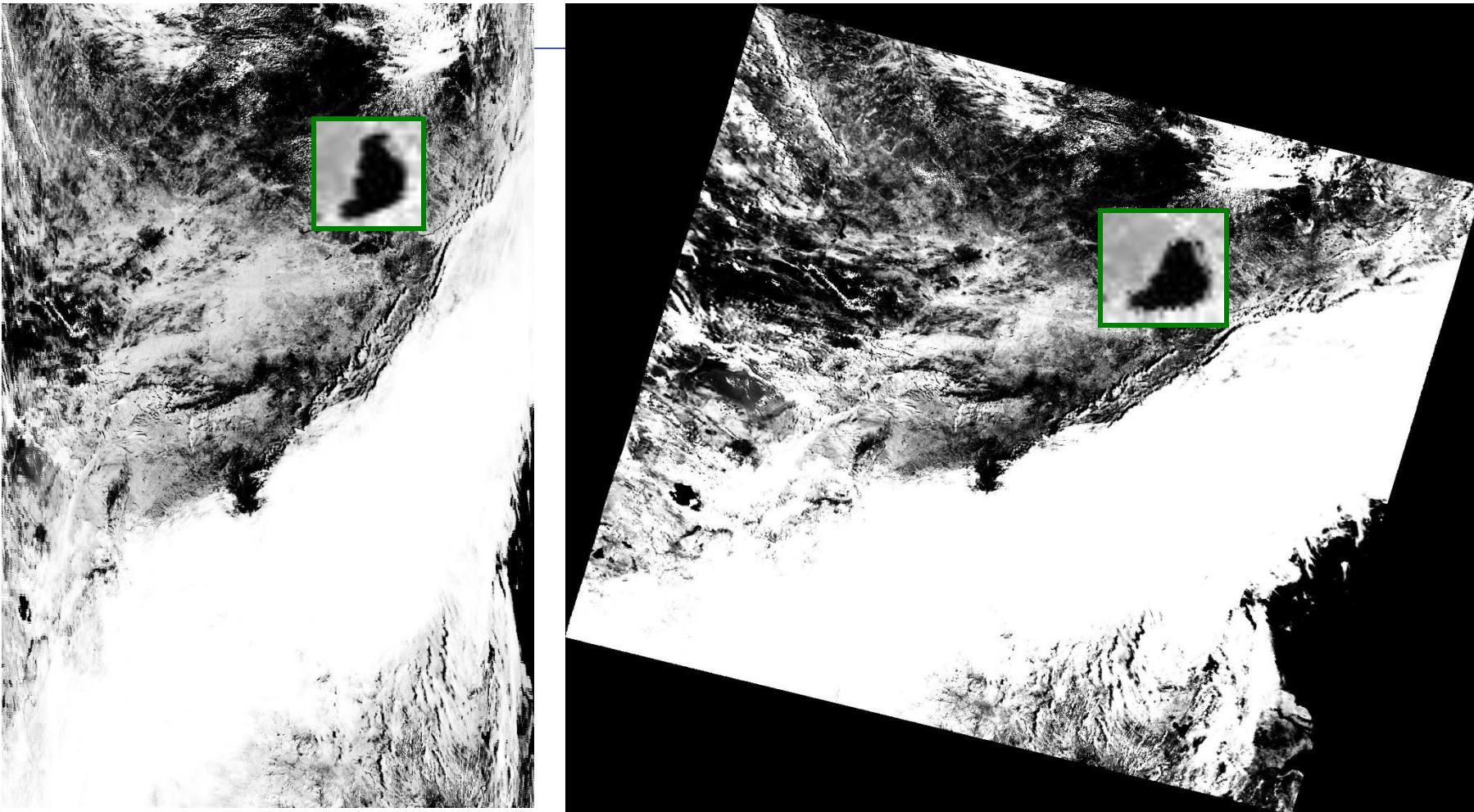
Built GLT方法时需要逐点计算，耗时较长，原始图像信息保存较好；

在同样机器上采用Export GCP方法时只需约1/9的时间，但需要重采样。

比如定量遥感研究中，为了尽可能保证数据的精度，采用了第一种方法。



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences



配准

图像配准 (Matching) 是将同一地区的不同特性的相关图像(如不同传感器，不同日期，不同波段等获取的同一地区图像)在几何上互相匹配，即实现图像与图像间地理坐标及像元空间分辨率上的统一。

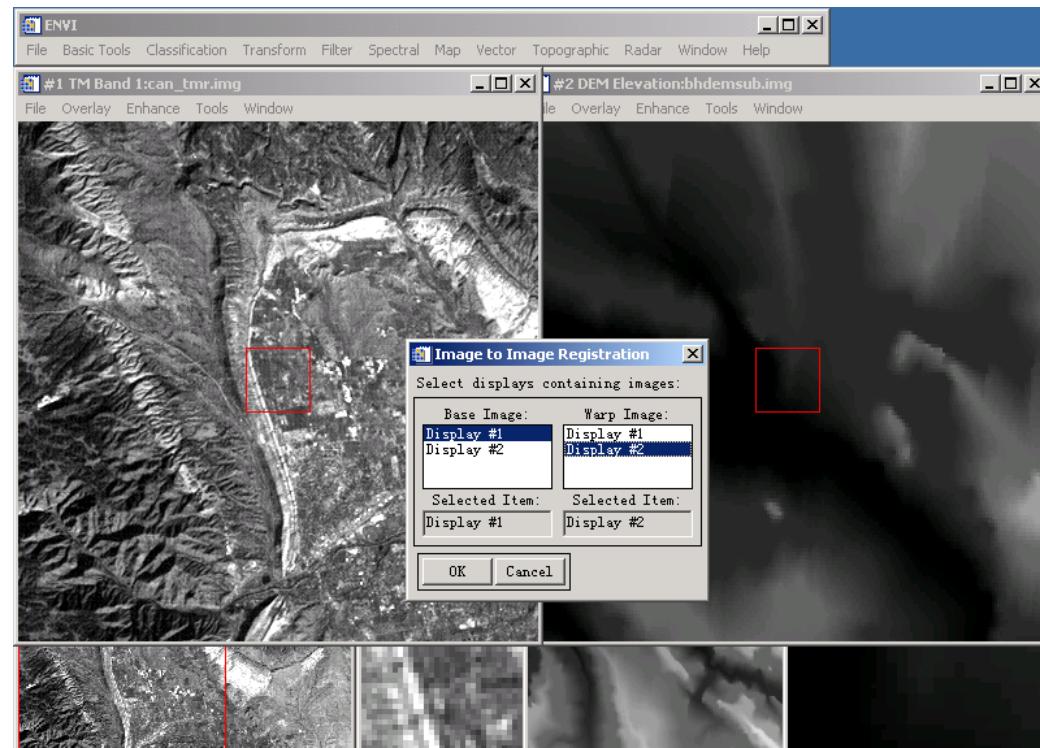


⇒ 相对配准

选择某一遥感图像作为参考图像，将其它遥感图像与之配准，简称图像对图像的配准。

⇒ 绝对配准

将所有的图像分别校正到地图坐标系下。



配准流程

⇒ 同名点的选取

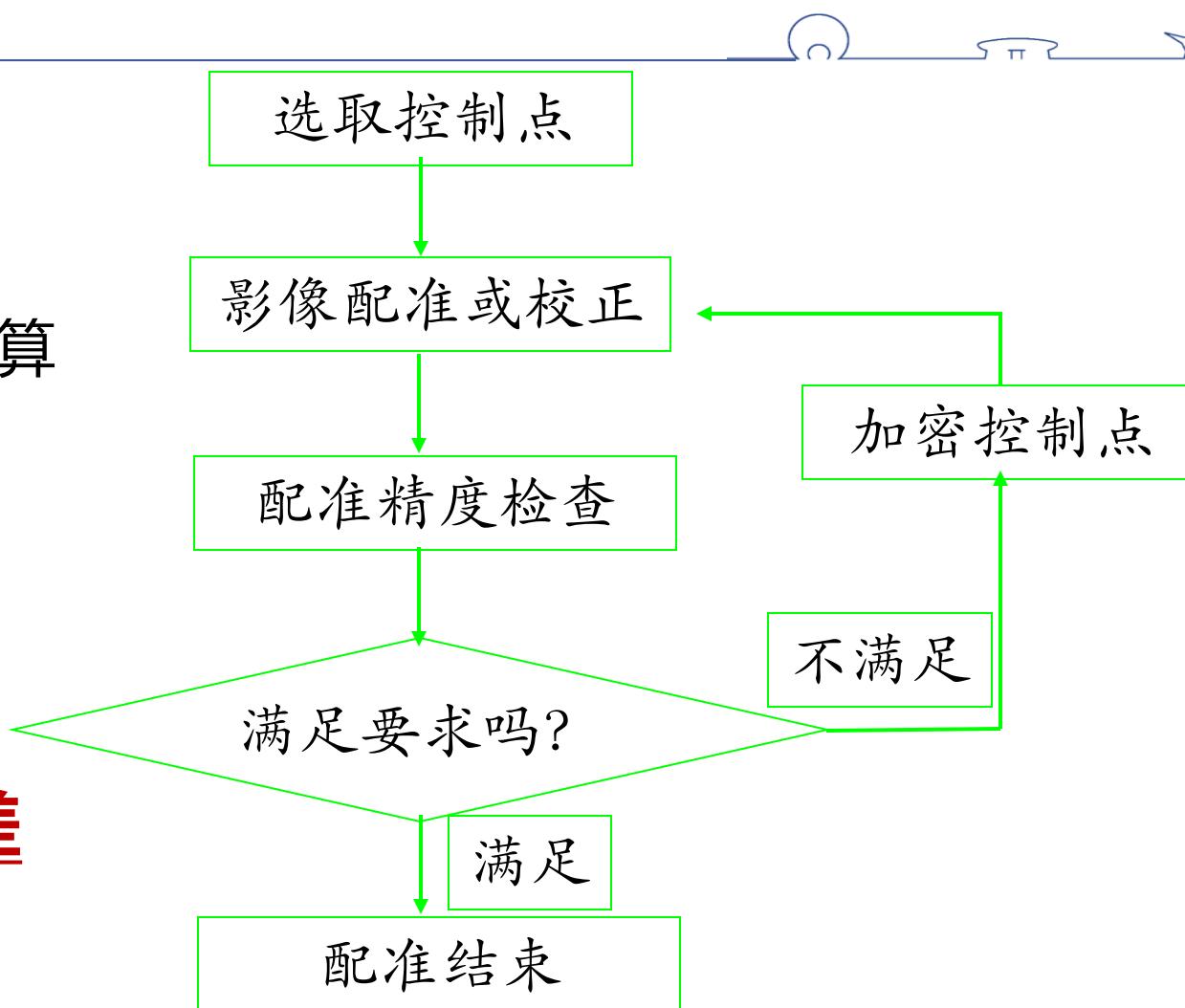
人工目视 相关运算

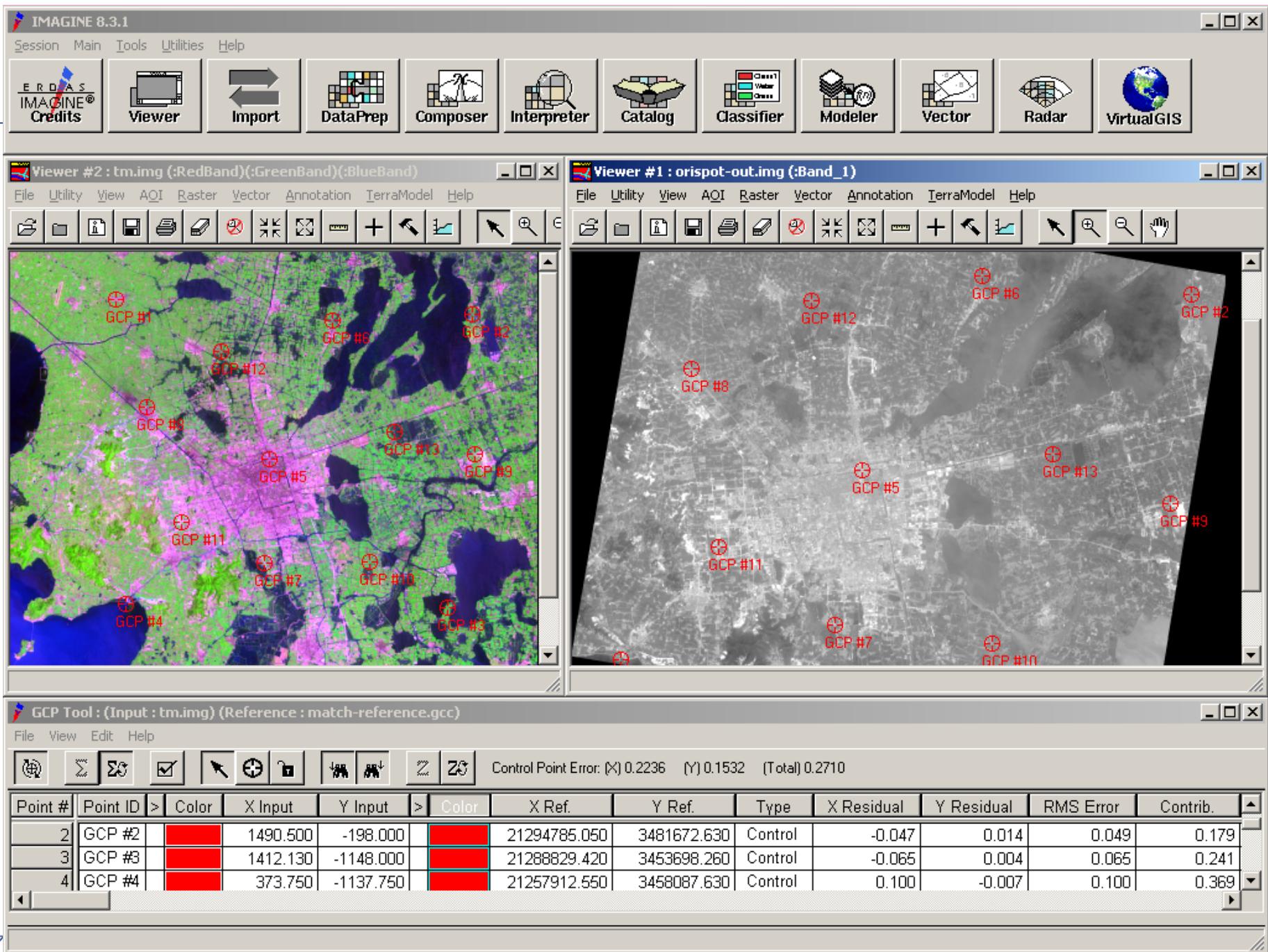
⇒ 采用的方法

一般多项式拟合法

⇒ 图像配准中误差

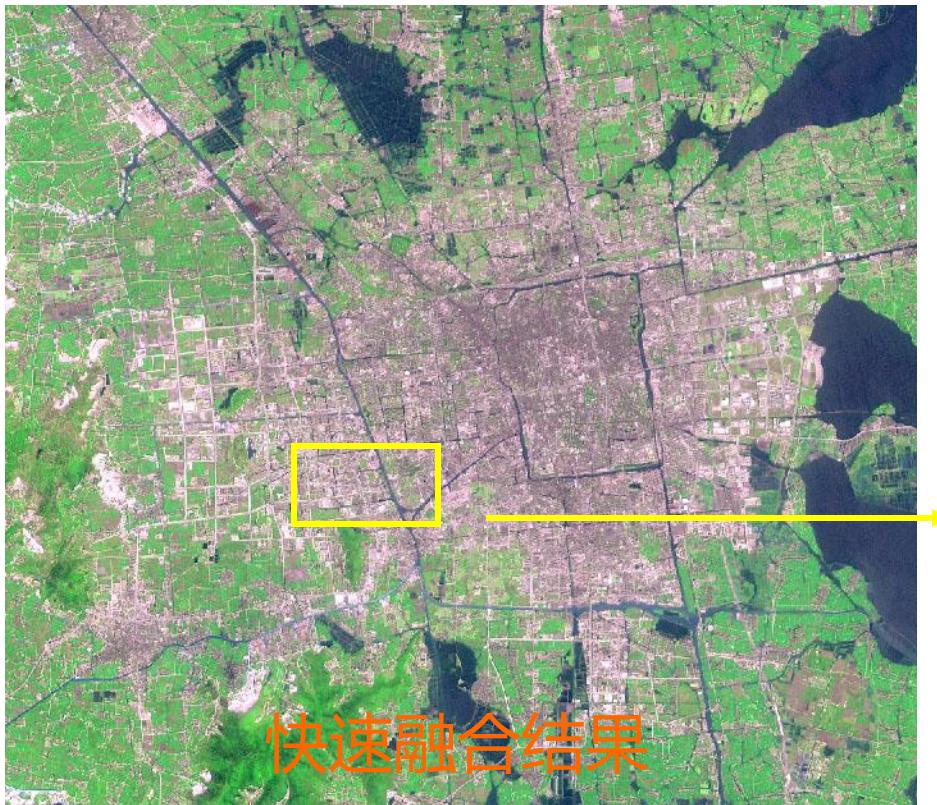
一般地区不大于0.5个像元，平原地区严格控制在0.5个像元以内，山区适当放宽（1个像元）。





配准精度检查

对配准后数据进行快速融合处理，目视检查融合图是否有重影现象。



配准不合格 有重影的影像



利用图像处理软件的连接和分层交互显示功能目视检查数据配准精度。

透明叠加检查



镶嵌

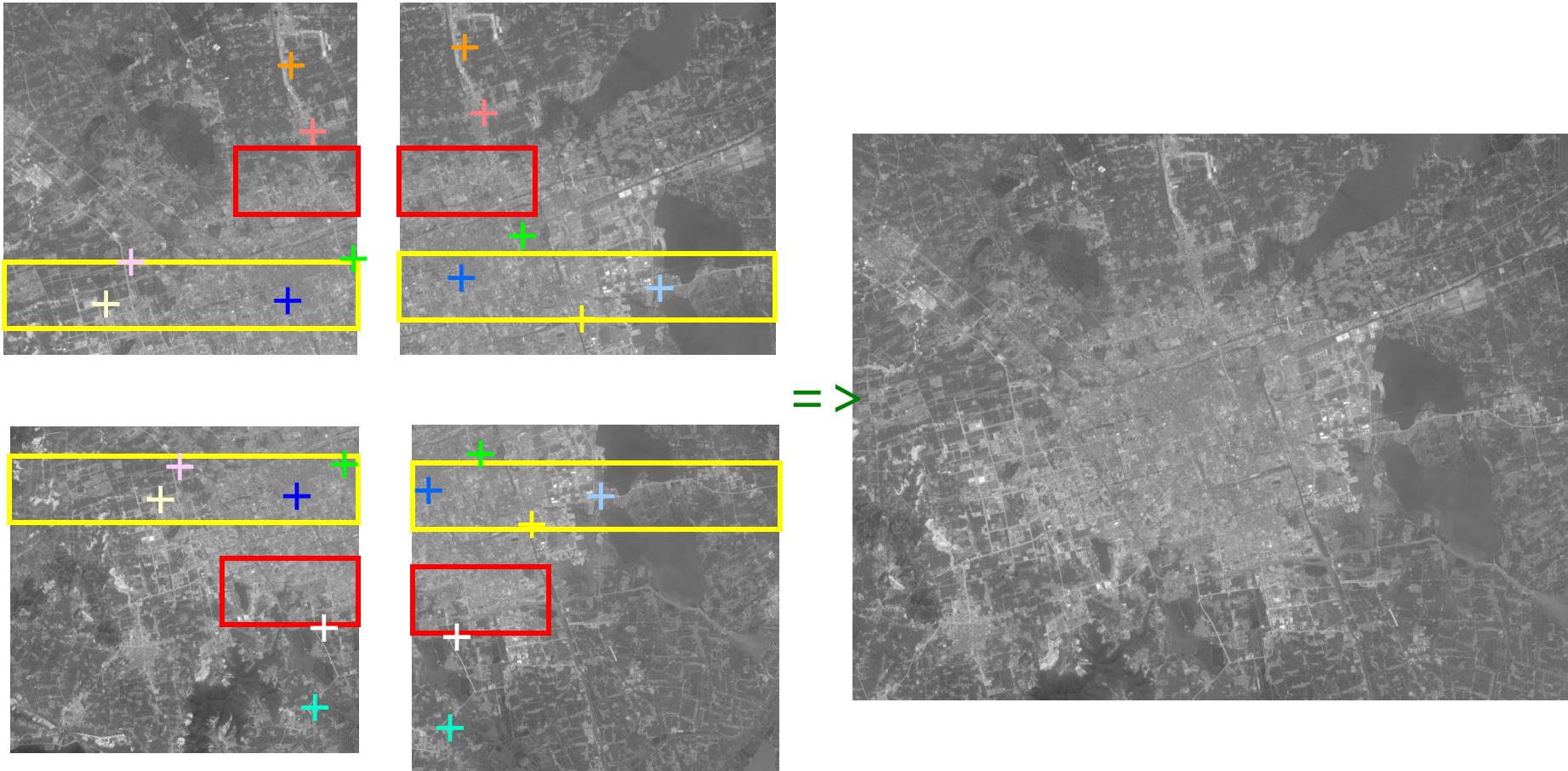


图像镶嵌(Mosaicking)是将两幅或多幅图像拼在一起，构成一幅整体图像的技术过程。





镶嵌过程



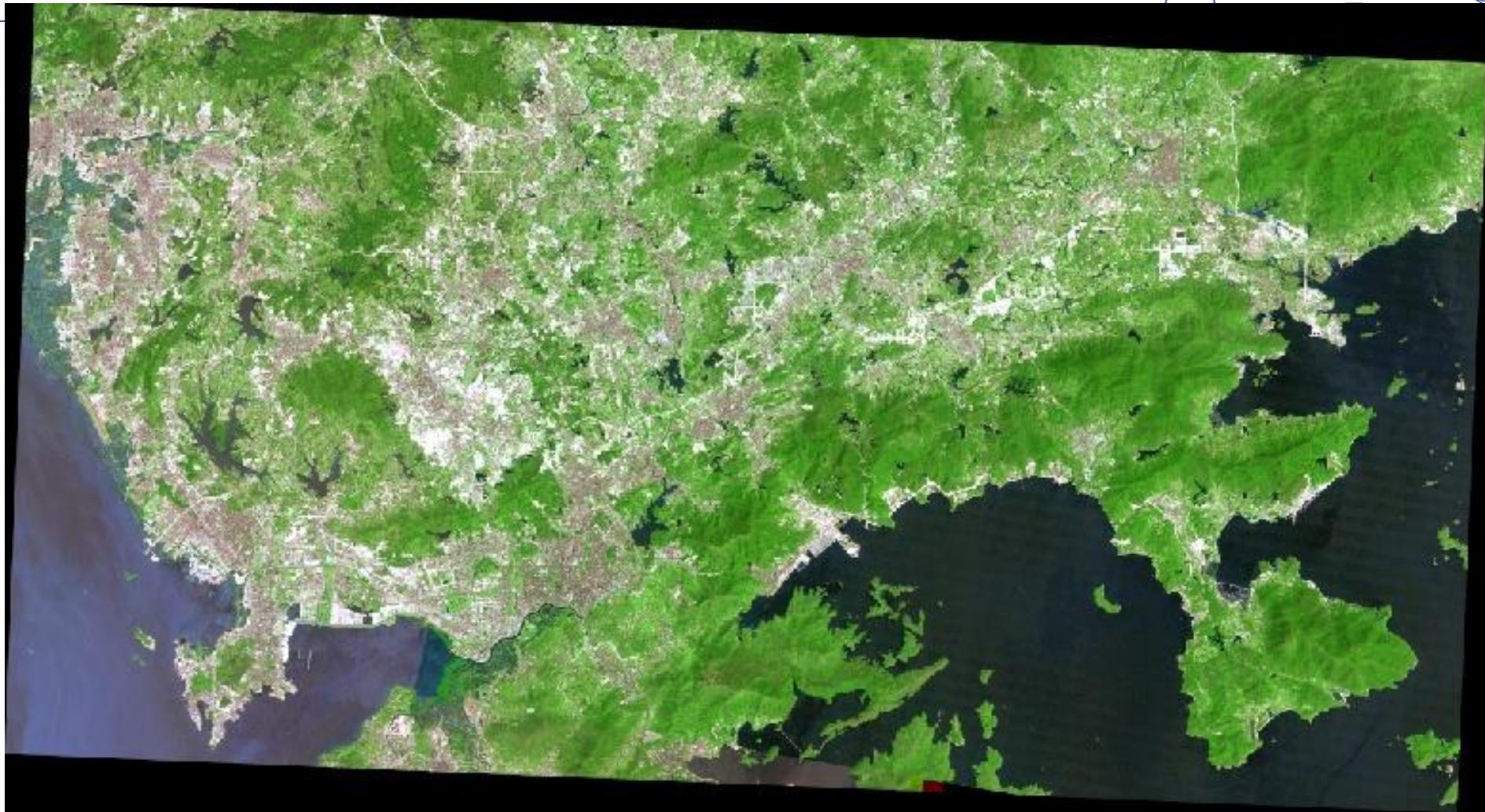
色彩拼接



没有经过色彩调节的拼接影像



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences



经过色彩调节的拼接影像





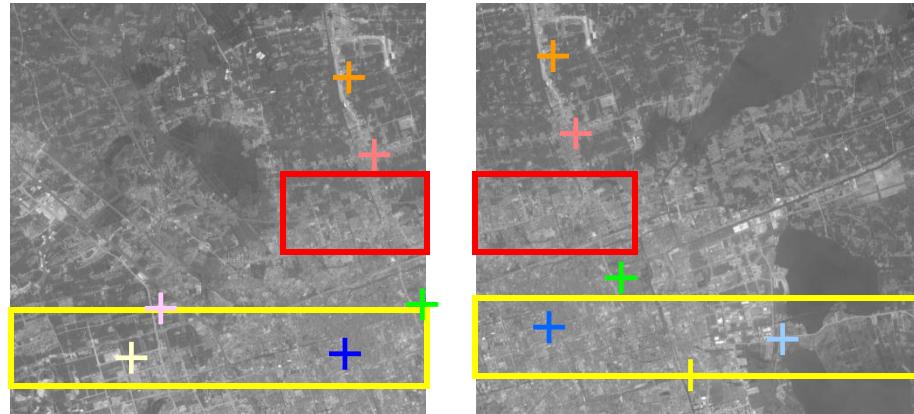
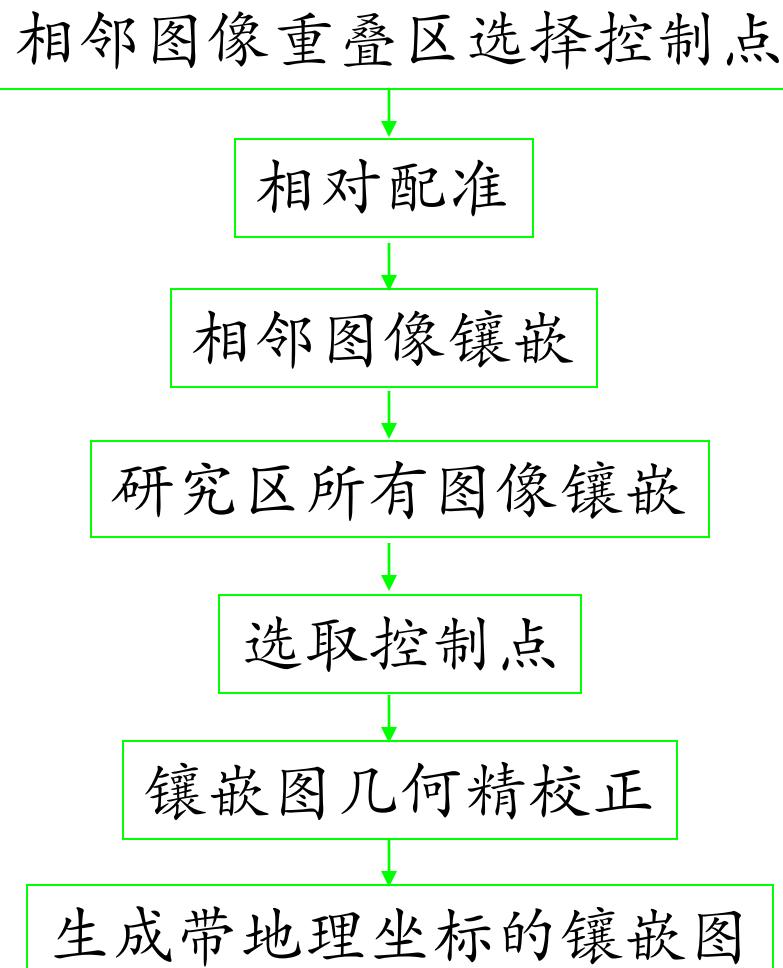
几何位置发生错位的影像



几何错位改正后的影像

镶嵌方案

先镶嵌后校正



优点：

快速、省力，一般适合于相邻图像重叠较大、像元间相对几何精度较高、以平原区为主的遥感图像的镶嵌。





先校正后镶嵌

各景图像分别进行
几何精校正

带地理坐标
的镶嵌图

优点：

对相邻图像的重叠度要求不高，避免局部地区精度不高对整体精度造成不利影响。一般适合于涉及山区的SPOT数据的镶嵌。



4.3 遥感信息提取



- ◆ 目视解译
- ◆ 计算机自动提取



目视解译



图像是人的视觉所能感受到的一种形象化的信息。对于地表空间分布的各种物体和现象，遥感图像包含的信息量远比文字描述更为丰富、直观和完整，因此在地学研究中非常注意利用遥感图像来获取地球表层资源与环境的信息。

遥感图像目视解译的目的：就是从卫星遥感图像中获取需要的地学专题信息。

解译原理：就是通过人眼对目标地物识别特征的认知，得出遥感图像中有哪些地物、它们分布在哪里。对其数量和特征进行粗略的估算。



目视解译标志



目标地物特征：遥感图像中地物特征是地物电磁波辐射差异在遥感影像上的典型反映。按照其表现形式的不同，目标地物特征可以概括为“色、形、位”三大类。

- **色** 指目标地物在遥感图像上的颜色或灰度，包括目标地物的色调、颜色和阴影等。
- **形** 指目标地物在遥感图像上的形状，包括目标地物的形状、纹理、大小、图形等。
- **位** 指目标地物在遥感图像上的空间位置，包括目标地物分布的空间位置、相关布局等。





目标地物的识别特征：是人眼在卫星图像上能够识别出地物的目标地物具体特征，也就是常说的解译标志，包括色调、颜色、形状、大小、阴影、位置图形、相关布局等。



计算机自动提取

遥感数字图像计算机解译以**遥感数字图像**为研究对象，在计算机系统支持下，综合运用地学分析、遥感图像处理、GIS、模式识别与人工智能技术，实现地学专题信息的智能化获取。

——计算机支持下的遥感图像理解



遥感图像分类



遥感图像分类原理

遥感图像分类方法

分类过程



中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

计算机解译的难度

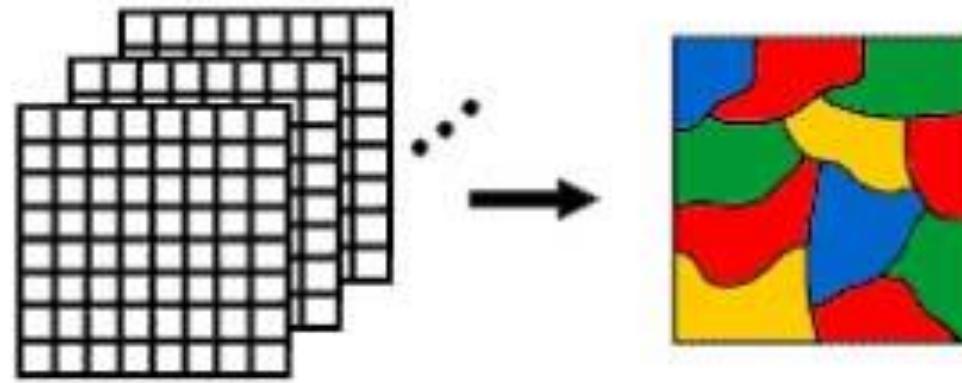


- 遥远的高空成像，受传感器、大气、太阳位置等影响，剔除噪声，提取精确的目标信息。
- 遥感图像信息量丰富，不同地物间信息的相互影响与干扰，使得提取目标信息困难。
- 遥感图像的地域性、季节性、不同成像方式增加了解译难度。



遥感图像分类原理

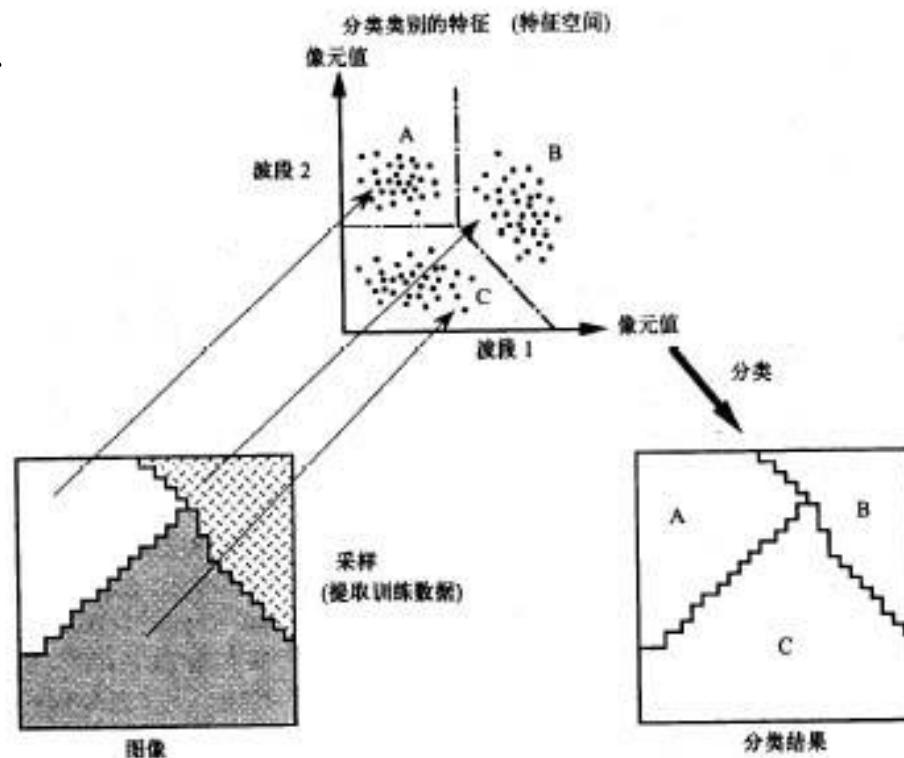
遥感图像分类：基于模式识别理论，利用计算机将遥感图像中的信息自动分成若干地物类别。



分类的基本原理：

同类地物具有相同或相似的光谱特征，不同的地物具有不同的光谱特征。

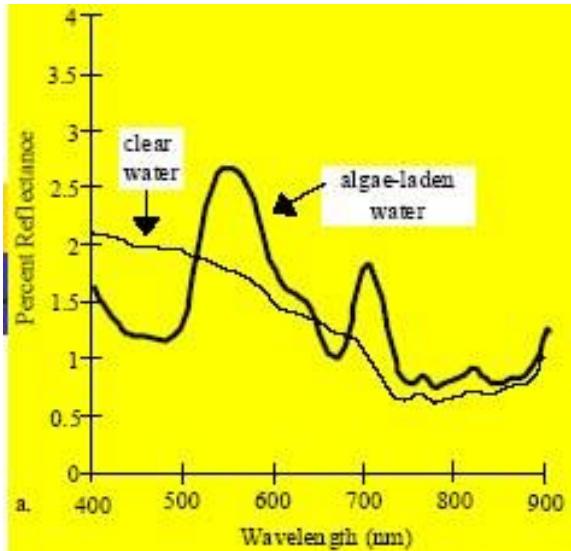
遥感图像分类：每个像素按照亮度接近程度给出对应类别，以达到大致区分遥感图像中多种地物的目的。



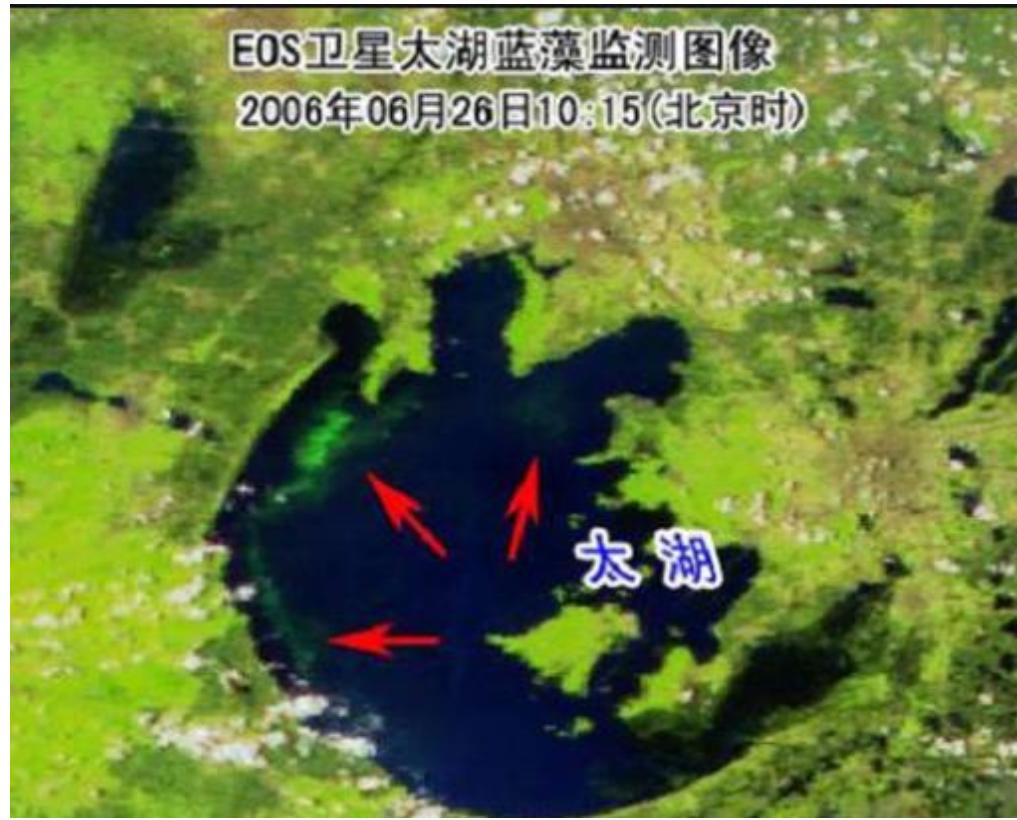
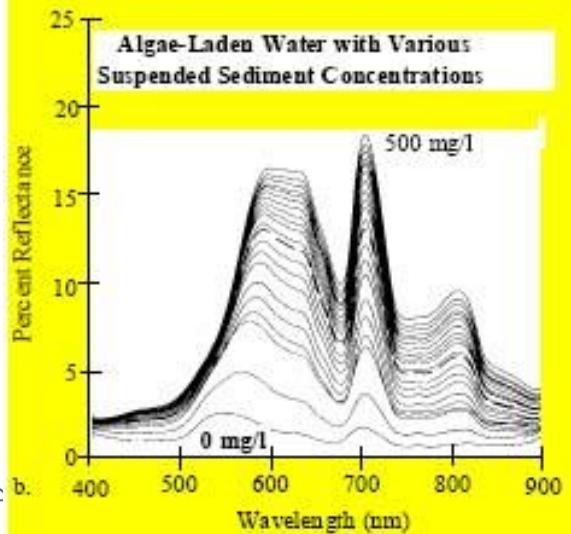
存在问题：

? 同物异谱、异物同谱

清水与长满藻类的水体对照波谱曲线



长满藻类但含不同浓度悬浮物的水体对照光谱曲线



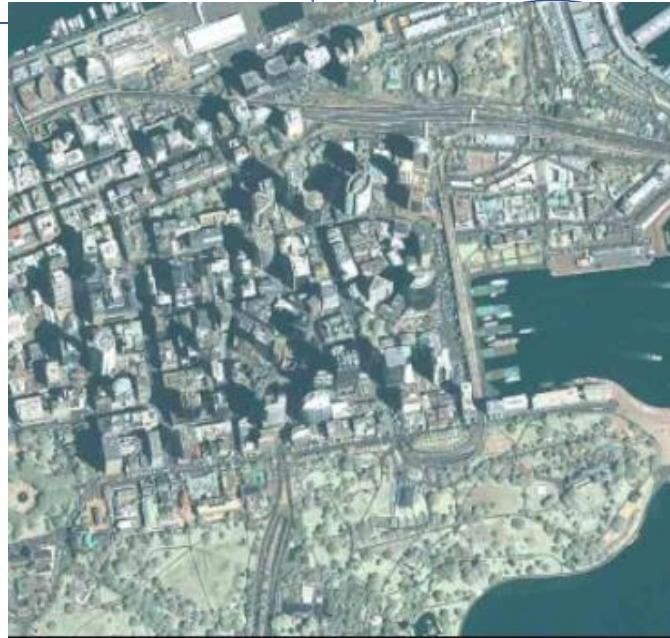
? 光谱类和信息类不对应

光谱类: 基于不同的光谱特征形成的类。

如房屋的阳面和阴面光谱特征不同，属于不同的光谱类。

信息类: 根据实际需要待分的类别，人为的划分。

如城市由道路、建筑物、水体、绿地等不同地物组成，不同地物光谱特征不同。



遥感图像分类方法

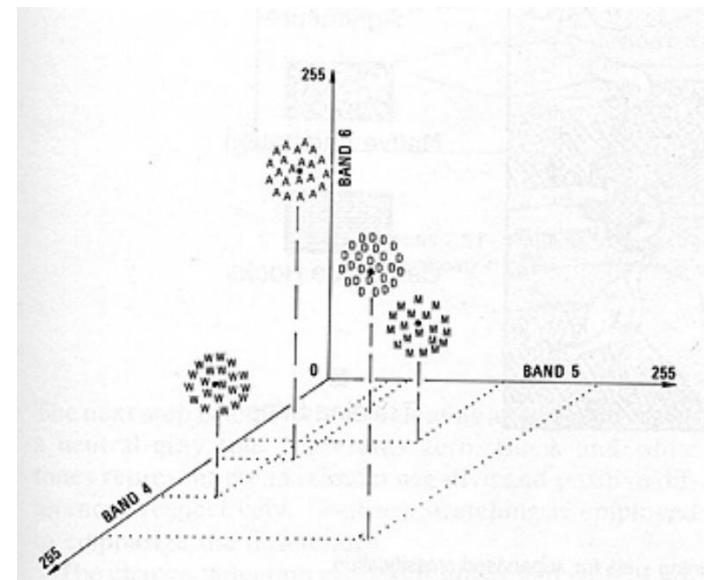
- ✓ 非监督分类 (unsupervised classification)
- ✓ 监督分类 (supervised classification)



✓ 非监督分类

(unsupervised classification)

在没有先验类别作为样本的条件下，根据像元间相似度大小进行计算机自动判别归类，无须人为干预，分类后需确定地面类别。



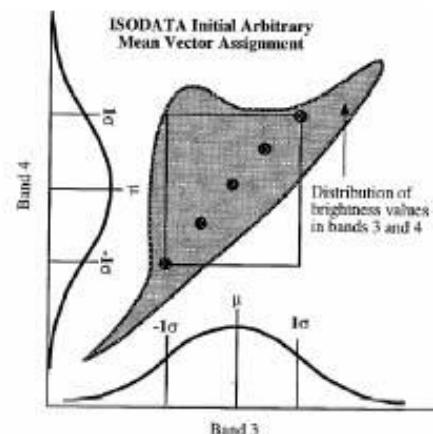
ISODATA 算法



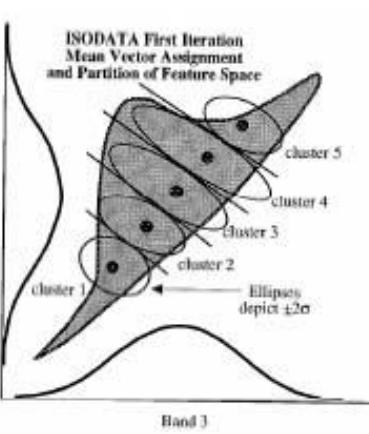
ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technipue) ---- 迭代自组织数据分析技术

计算数据空间中均匀分布的类均值，然后用最小距离技术将剩余像元迭代聚集。

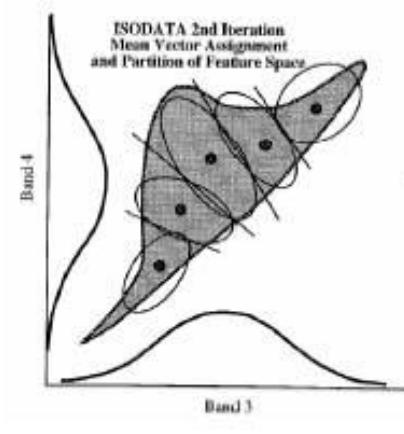
每次迭代都将重新计算均值，并用新的的均值对像元进行再分类。这一过程持续到每一类的像元数变化少于选择的像元变化阈值或已经达到了迭代的最多次数。



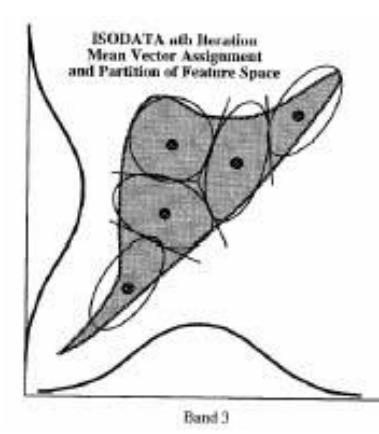
原始的聚类中心



第1次迭代后的类别分布



第2次迭代后的类别分布



第n次迭代后的类别分布

如 ENVI-ISODATA参数对话框，要求输入：

分类数：Min (10) 、Max (40)；

像元变化的阈值 (5.00)；

最大迭代数 (10)；

每类中最小像元数 (1)；最大标准差 (3.50)；

最小类间距 (4.00)；最大合并数 (2) 等；

不设定时，则
所有像元都参
与分类

限定类别数量

最大迭代次数

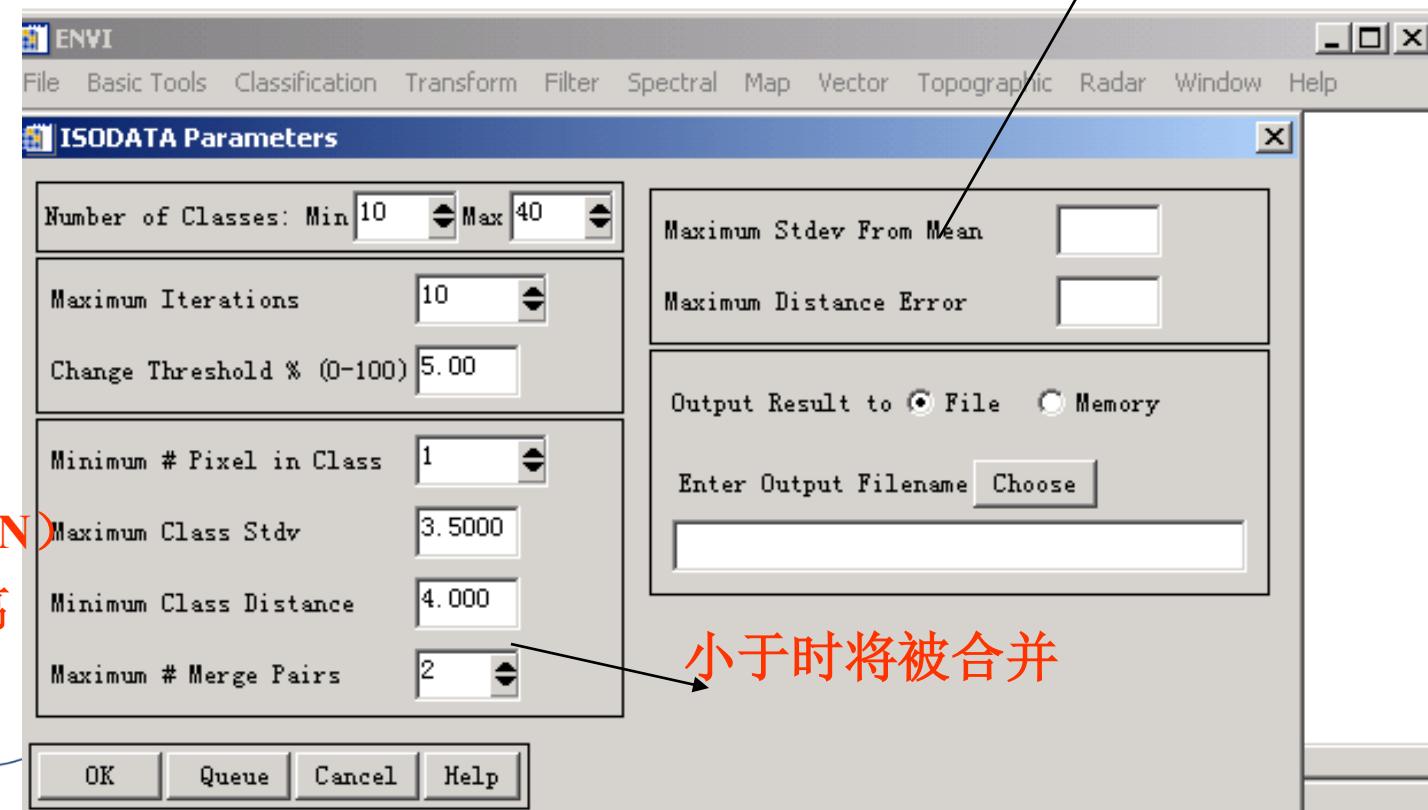
像元数变化阈值

某一类最少像元数

最大分类标准差 (DN)

类均值之间最小距离

被合并的成对类别
数的最大值



小于时将被合并

非监督分类的特点



主要优点：

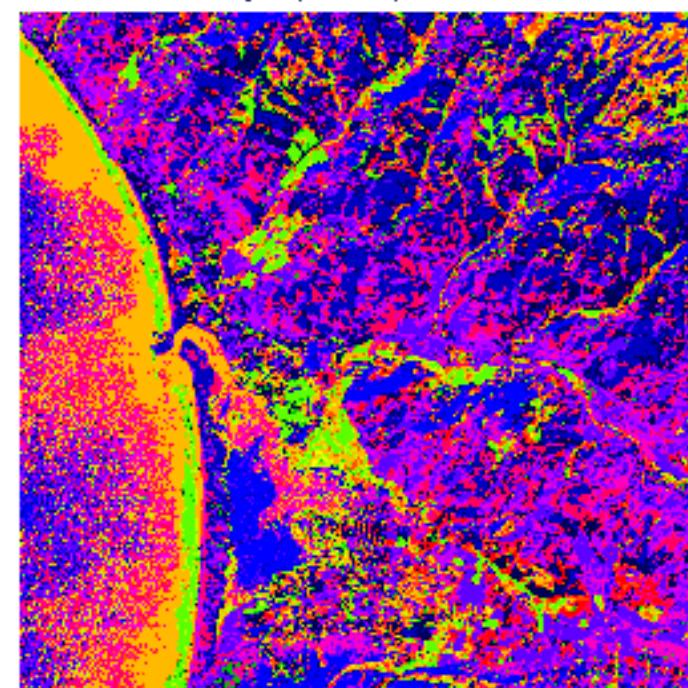
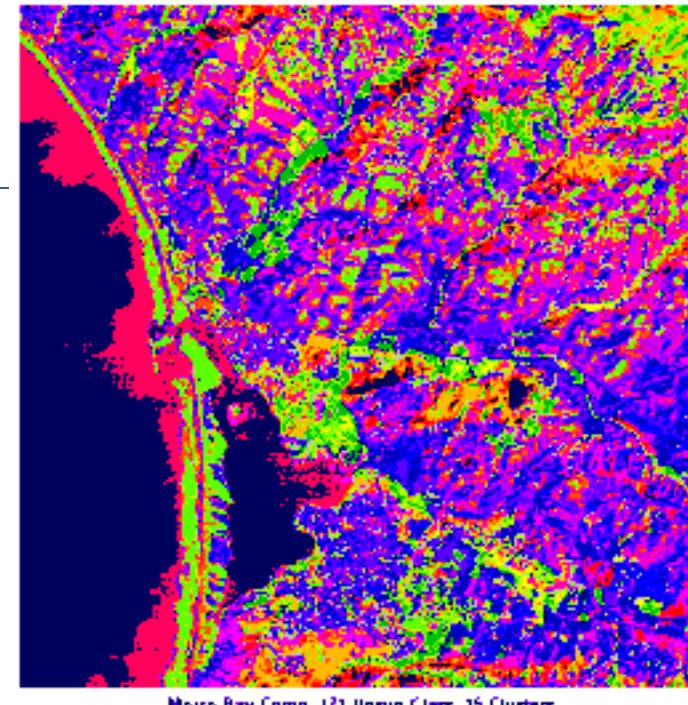
- 无需对分类区域有广泛地了解，仅需一定的知识来解释分类出的集群组；
- 人为误差的机会减少，需输入的初始参数较少（往往仅需给出所要分出的集群数
量、计算迭代次数、分类误差的阈值等）；
- 可以形成范围很小但具有独特光谱特征的集群。

主要缺点：

- 对其结果需进行大量分析及后处理，才能得到可靠分类结果；
- 分类的集群与地类间，或对应、或不对应，加上普遍存在的“同物异谱”及“异物同谱”现象，使集群组与类别的匹配难度大；

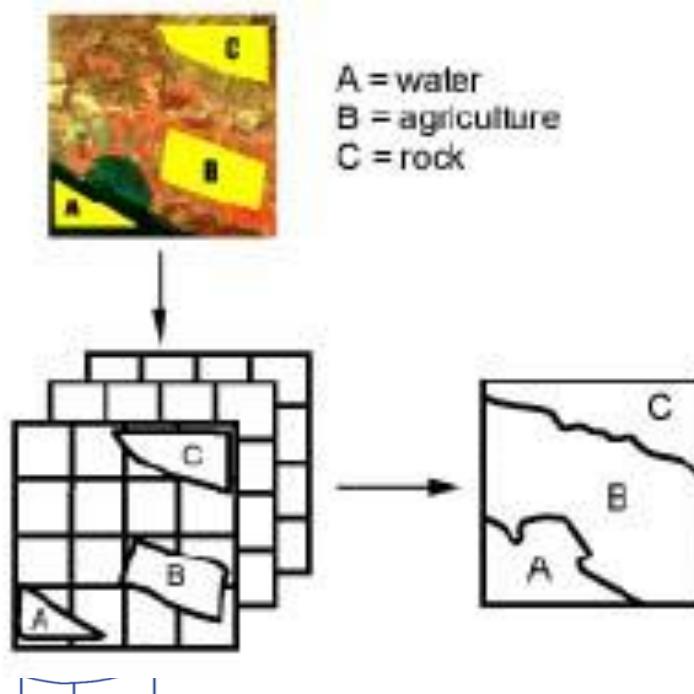


非监督分类结果



✓ 监督分类 (supervised classification)

首先选取有代表性的训练区作为样本，通过选择特征参数（如像元亮度均值、方差等），确定判别函数，据此进行分类。

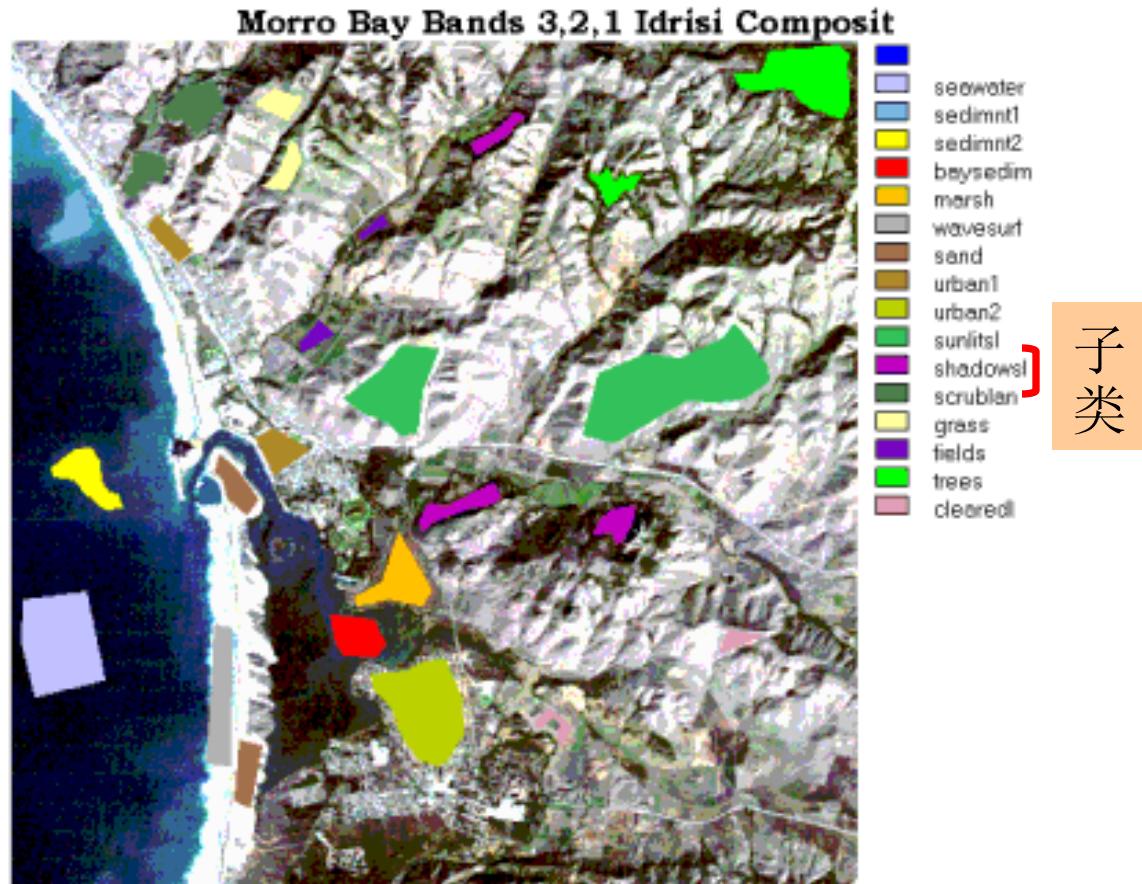


监督分类法，又称训练分类法 --- 用已被确认类别的样本像元去识别其它未知类别像元的过程。

1. 选择训练区(感兴趣区)

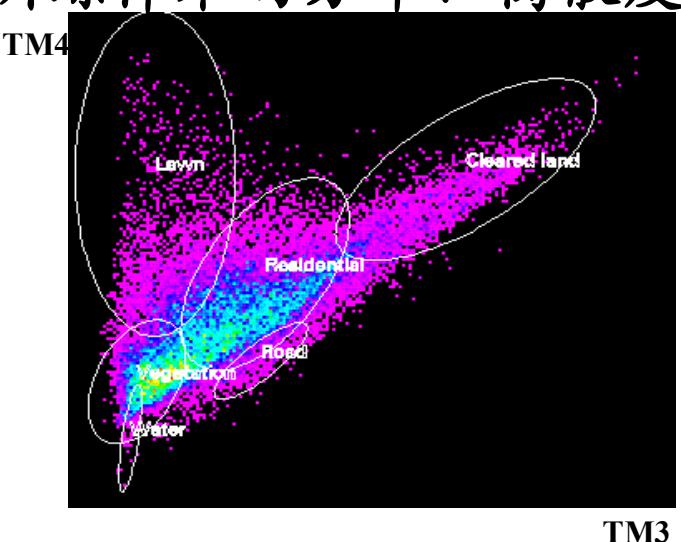
(已被确认类别的样本像元)

- 训练阶段的质量决定着分类阶段的成功与否，也决定着从分类中所获取的信息的价值。
- 用于分类的样本统计结果，要充分反映每种信息类型中光谱类的所有组成。
- 代表性、完整性
- 多个样区

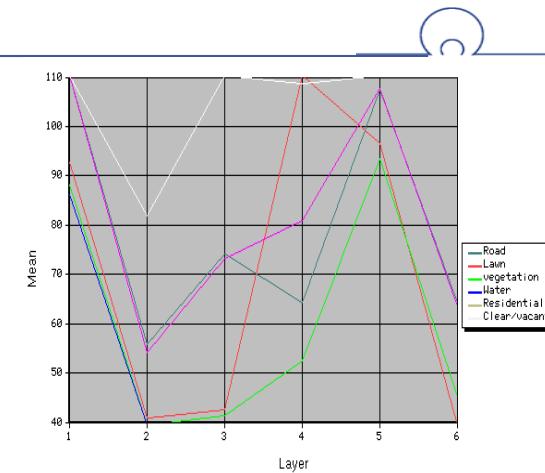


2. 感兴趣区有效性评价

- 对已知训练区土地类型的光谱特征数据进行多元统计分析，计算其基本统计值---如最大值、最小值、均值等；
- 各类别训练样本的分布、离散度

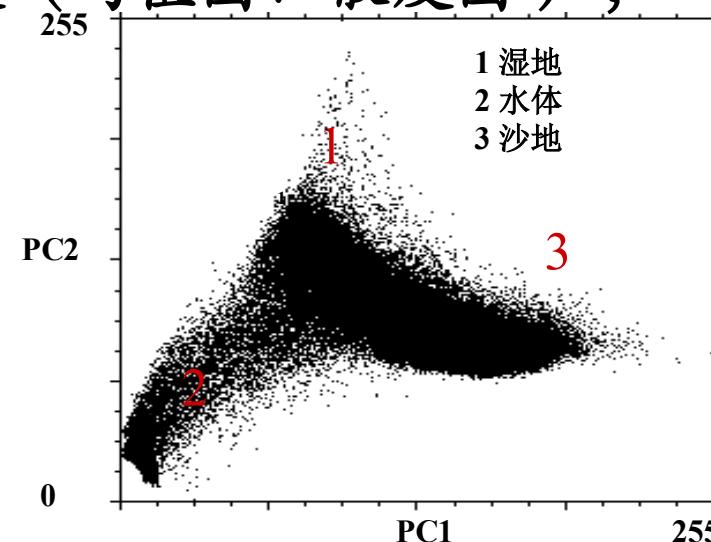


二维特征空间内不同类别的散度图



各类别在不同波段的均值图

(均值图、散度图)；





- 计算感兴趣区的可分离性

ROI Tools对话框中， Options-Compute ROI Separability

用以下两个参数来衡量：

Jeffries-Matuita、Transformed Divergence

取值范围：0-2.0

>1.9: 可分离性好；

1.0-1.9: 通过编辑感兴趣区或选择新的感兴趣区来提高可分离性；

<1.0: 可以考虑将它们合并为一个感兴趣区。

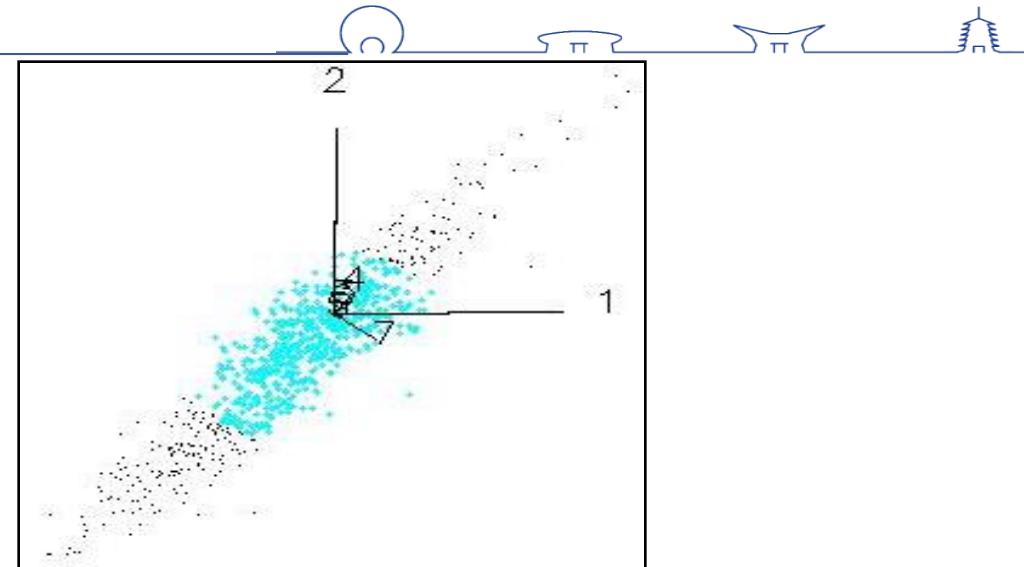


- 样本纯化，以选择最有效的样本与谱段，保证后续分类的可靠性。

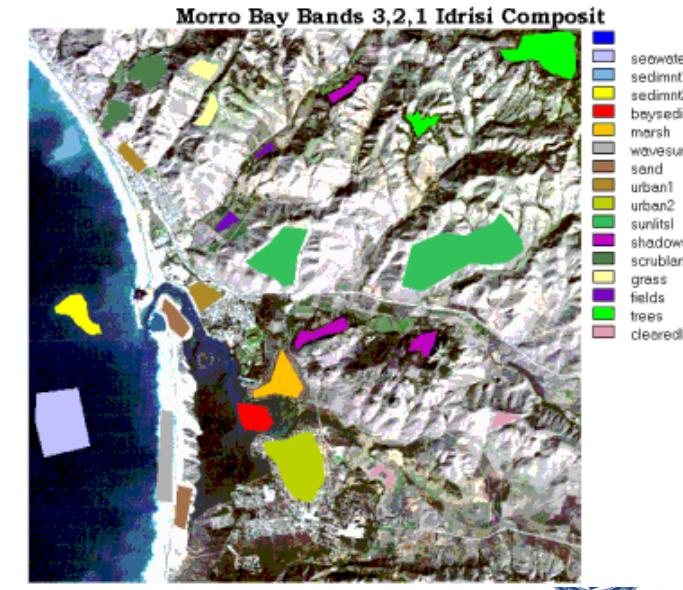
ENVI 遥感图像处理系统提供一个**N维可视化分析器**（N—Dimensional Visualizer），通过它可对选择的训练区像元进行**提纯**。

若多维空间旋转时，某些像元始终聚集在一起，则为同一类别的较纯像元；

若多维空间旋转时，所选像元分成了两个部分或散得较开，则说明选择的训练样本不纯，需把此训练区像元重新处理。

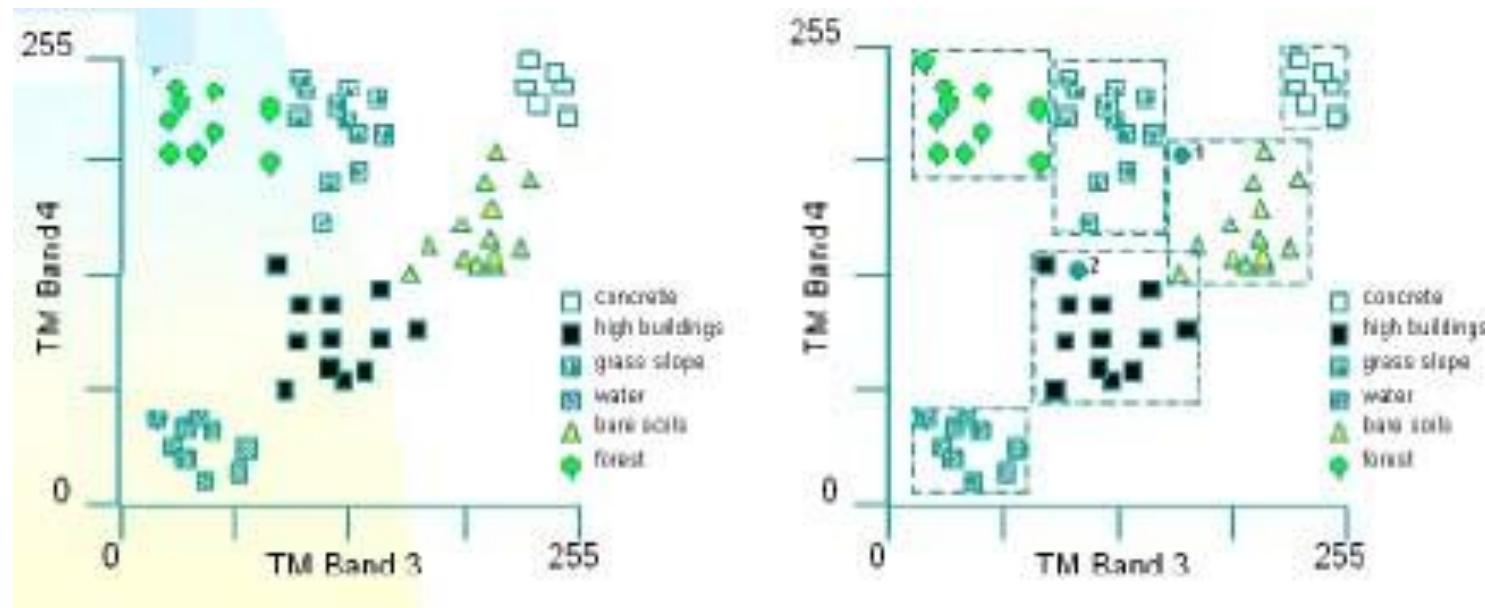


TM 1-7 特征空间内 不同类别散度图



3. 选择合适的监督分类算法

平行算法---是根据训练样本的亮度值范围（最大值、最小值）形成一个二维数据空间。其它像元的光谱值如果落在训练样本的亮度值所对应的区域，就被划分到其对应的类别中。

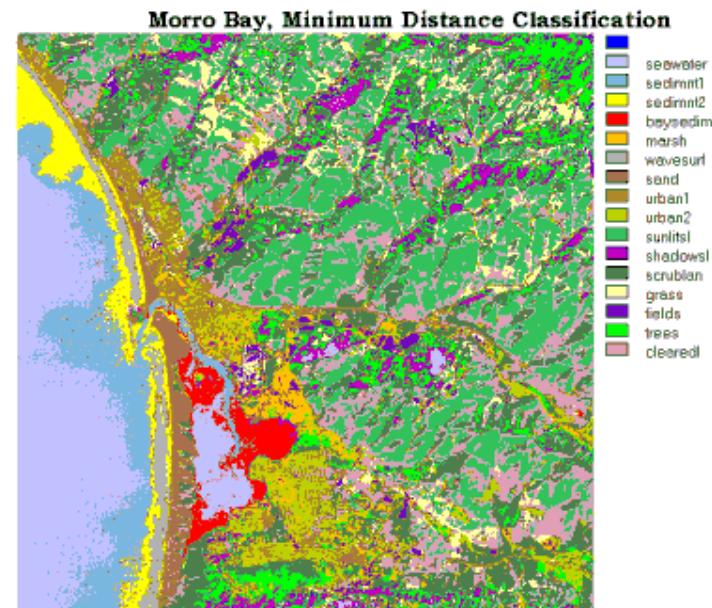
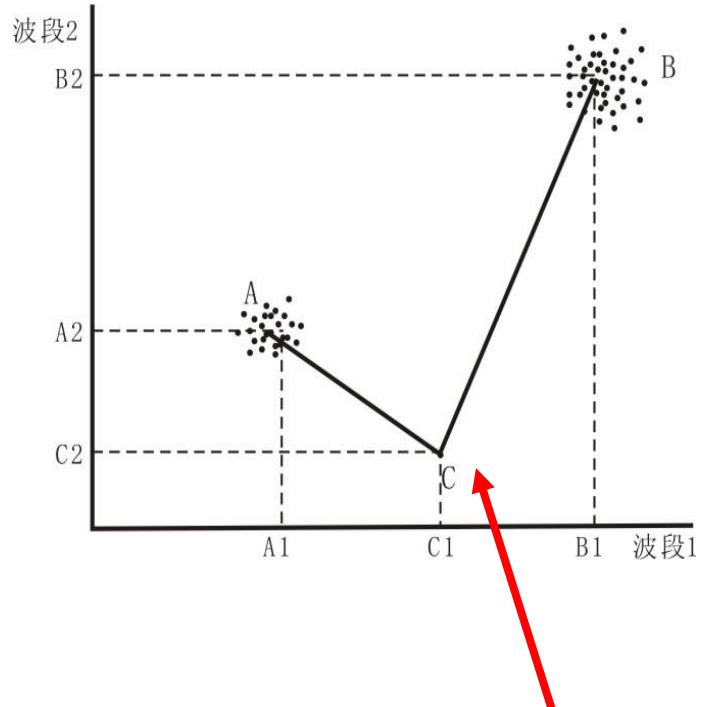


平行算法示意图



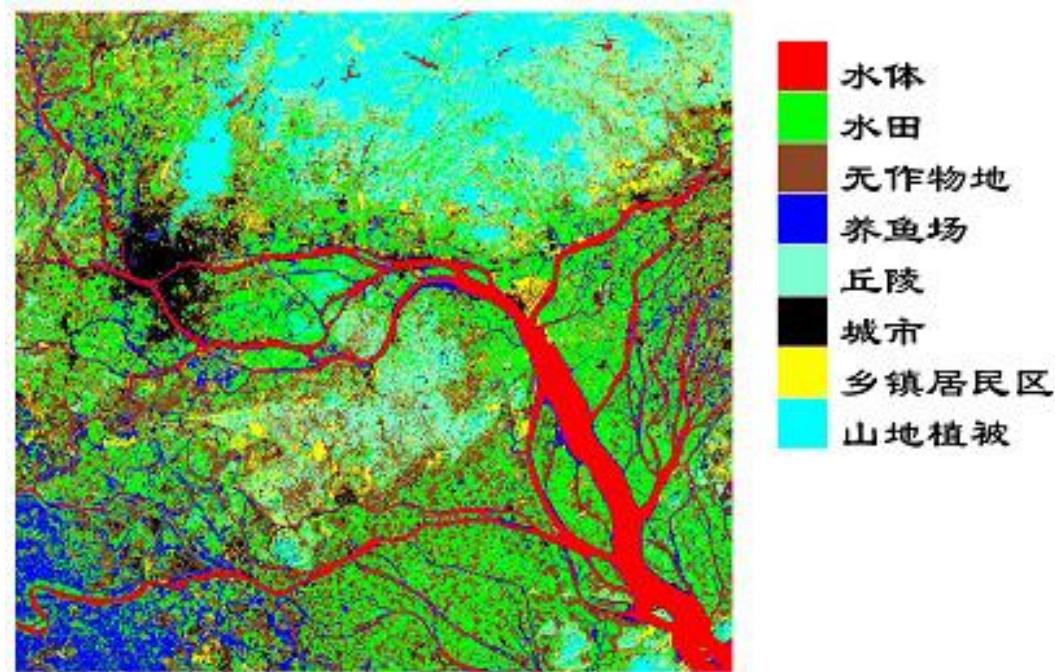


最小距离法—是利用训练样本中各类别在各波段的均值，根据各像元离训练样本均值距离的大小来决定其类别。



最大似然法——是根据训练样本的均值和方差来评价其它像元和训练类别之间的相似性（即考虑到各类别在不同波段上的内部方差，以及不同类别其直方图重叠部分的频率分布），是一种广泛应用的分类器。其基本的数学公式是基于正态分布的假设。

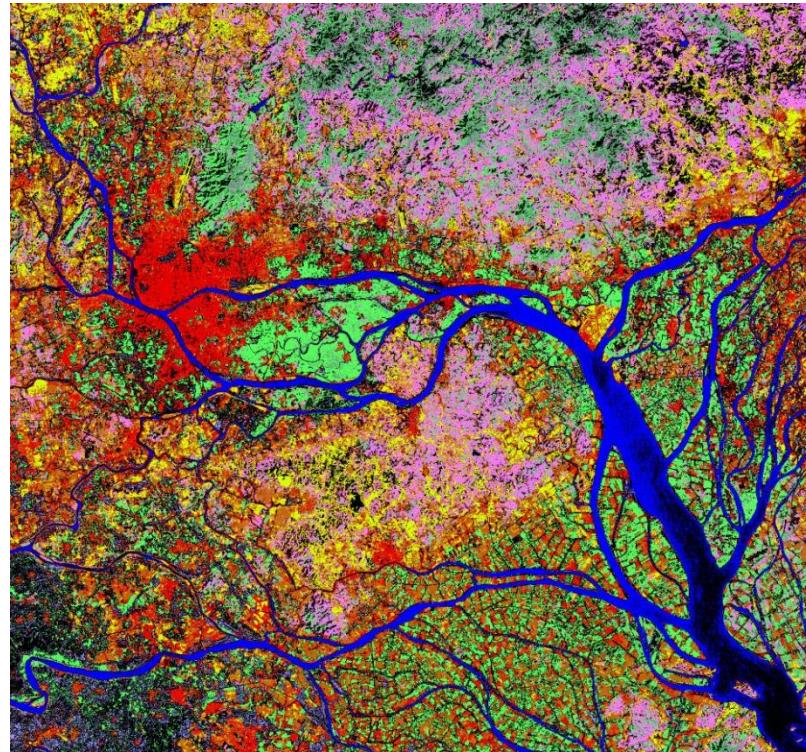
广州
(TM)





波谱角分类法 (Spectral Angle Mapper — SAM)

——是通过比较样本光谱向量和每个像元的向量在N维空间中的角度，将像元分配到相应的区间中去，角度值越小，分类越精确。



波谱角法



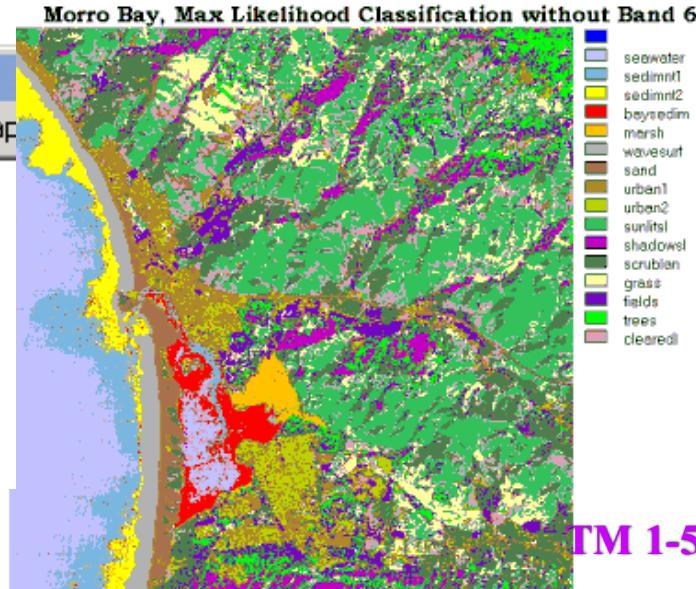
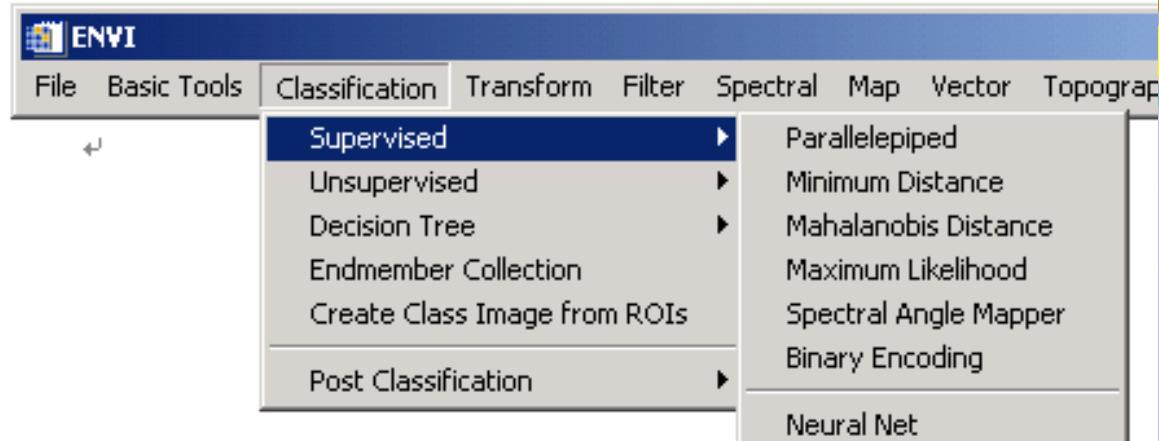
UCAS



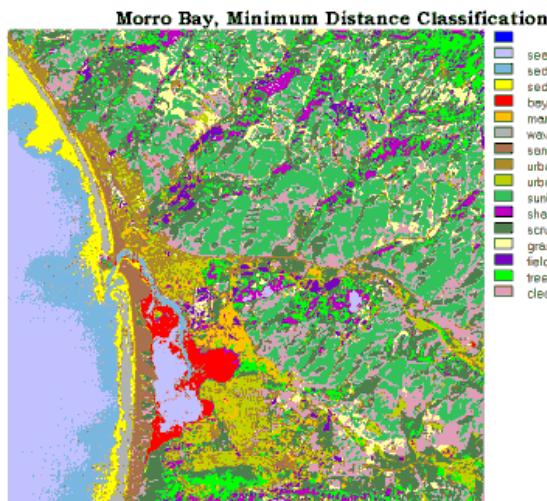
中国科学院大学
University of Chinese Academy of Sciences

4. 计算机自动分类

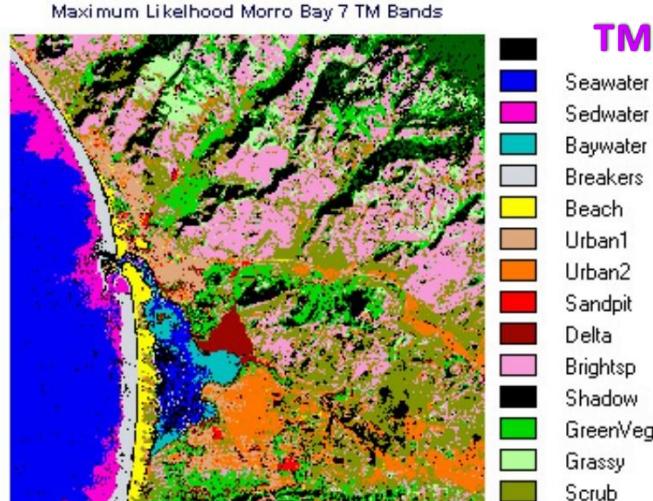
通过已知样本像元去识别其它未知像元，每个像元和训练样本作比较，按照不同规则将其划分到和其最相似的样本类。



TM 1-5、7



最小距离法



TM 1-7

最大似然法

5. 分类精度评价



——不可缺少的部分

用分类图与标准数据（图件或地面实测值）进行比较，以正确的百分比来表示精度。

评价标准：

非位置精度：以一个简单的数值，如面积、像元数目等表示分类精度，未考虑位置因素，精度偏高。

位置精度：将分类的类别与其所在的空间位置进行统一检查。

——混淆矩阵方法



混淆矩阵

	水体	耕地	植被	村庄	道路	用户精度 (%)
水体	94	0	0	0	0	100
耕地	1	242	18	26	0	82.03
植被	0	8	215	4	0	94.71
村庄	0	3	16	175	1	89.74
道路	0	5	34	6	19	62.50
制图精度 (%)	98.95	93.80	75.97	82.94	95.00	29.69
总体精度 (%)	85.9385			Kappa系数	0.7763	

对一个特定的分类影像（或分类图）来说，整体精度等于正确分类数除以样本总数。

制图精度指实地样本被正确分类的概率；

用户精度指分类中的一个样本能确实代表实际地类的概率。



Kappa系数

既考虑混淆矩阵中沿对角线方向的数据，也考虑非对角线方向的数据。

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^m p_{ii} - \sum_{i=1}^m (p_{i+} * p_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^m (p_{i+} * p_{+i})}$$

N: 样本总数

m: 混淆矩阵中的行数

p_{ii} : 位于第*i*行和第*i*列的样本数量

p_{i+} : 第*i*行的样本总数量

p_{+i} : 第*i*列的样本总数量

同时计算这两种精度比较理想



监督分类的特点



主要优点：

- 可充分利用分类地区的先验知识，预先确定分类的类别；
- 可控制训练样本的选择，并可通过反复检验训练样本，以提高分类精度（避免分类中的严重错误）；
- 可避免非监督分类中对光谱集群组的重新归类。

主要缺点：

- 人为主观因素较强；
- 训练样本的选取和评估需花费较多的人力、时间；
- 只能识别训练样本中所定义的类别，对于因训练者不知或因数量太少未被定义的类别，监督分类不能识别，从而影响分结果（对土地覆盖类型复杂的地区需特别注意）。



数理统计 + 人工解译 --- 混合分类

鉴于监督与非监督分类各自的限制，人们往往采用两者结合的混合方法：

- 对光谱数据先进行非监督聚类，以取得光谱特征较为均一的集群；
- 再对集群进行监督分类，以获得所需的土地类型图。

以数理统计理论为基础的遥感图象数据的自动分类，具有算法成熟、充分利用人机交互等特点，但对解译分析人员依赖性强，其结果往往因地制宜，因人而异，难以相互比较和转换，很大程度上不具备可重复性等。这些局限性影响了迅速、准确、客观地获取大面积土地覆盖信息。尽管如此，这一方法仍是目前大尺度遥感分类的主导方法。

制约分类精度的因素



❖ 遥感数据的制约:

光谱: 相似性、时相与环境

空间分辨率

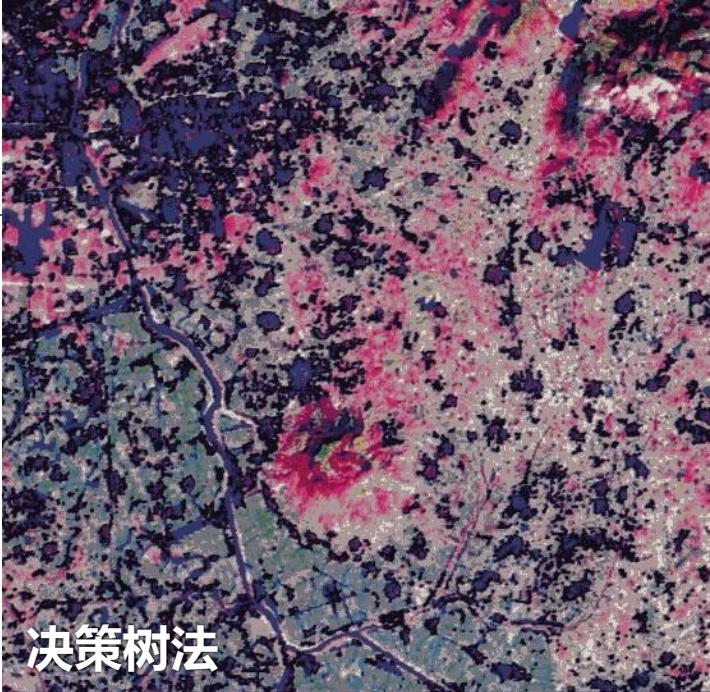
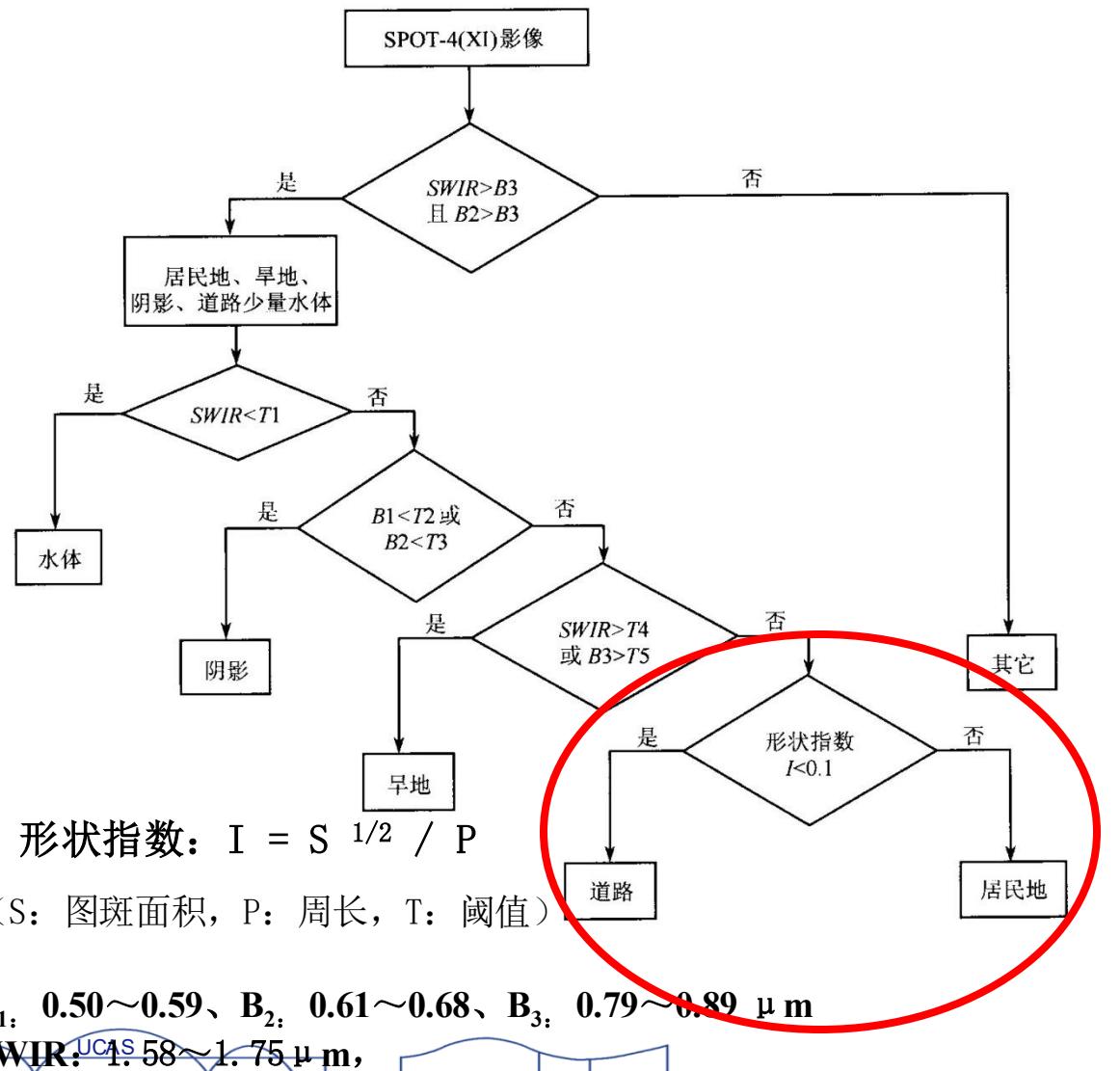
❖ 分类方法

单点分类 (基于像元的分类)

空间、结构信息未充分利用



SPOT影像居民地信息 自动提取的决策树方法

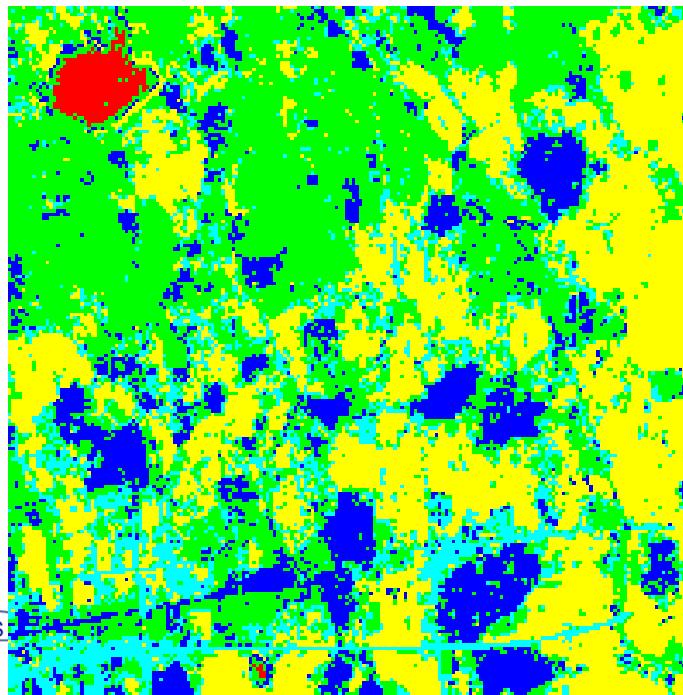


遥感分类的新方法---人工神经网络分类

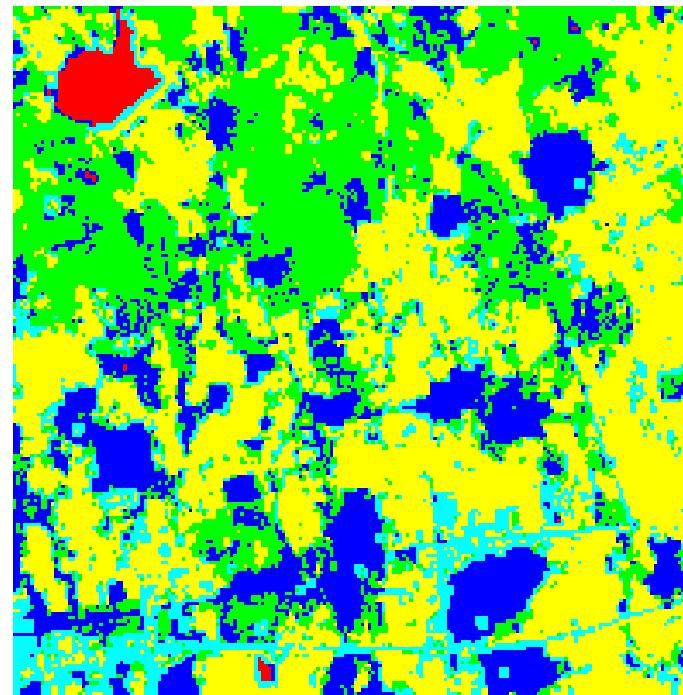
输入层共6个，包括TM1-5、7波段；输出层为要分类的地物数目，这里设为5；经网络训练和测试，隐层的神经元数目为3，网络的其他各参数设置如下：

- 期望误差最小值为0.001；
- 学习次数为10000；
- 修正权值的学习速率为0.05，动量项系数为0.5；
- 训练初始权重为0.075。

最大似然法多光谱分类



神经网络多光谱分类图



本章 小结



- 掌握颜色空间模型，试比较彩红外像片与标准假彩色合成影像的异同；结合地物光谱特性，理解植被、水体、土壤、居民地等地物的颜色规律
- 掌握遥感图像预处理过程及遥感信息提取方法

