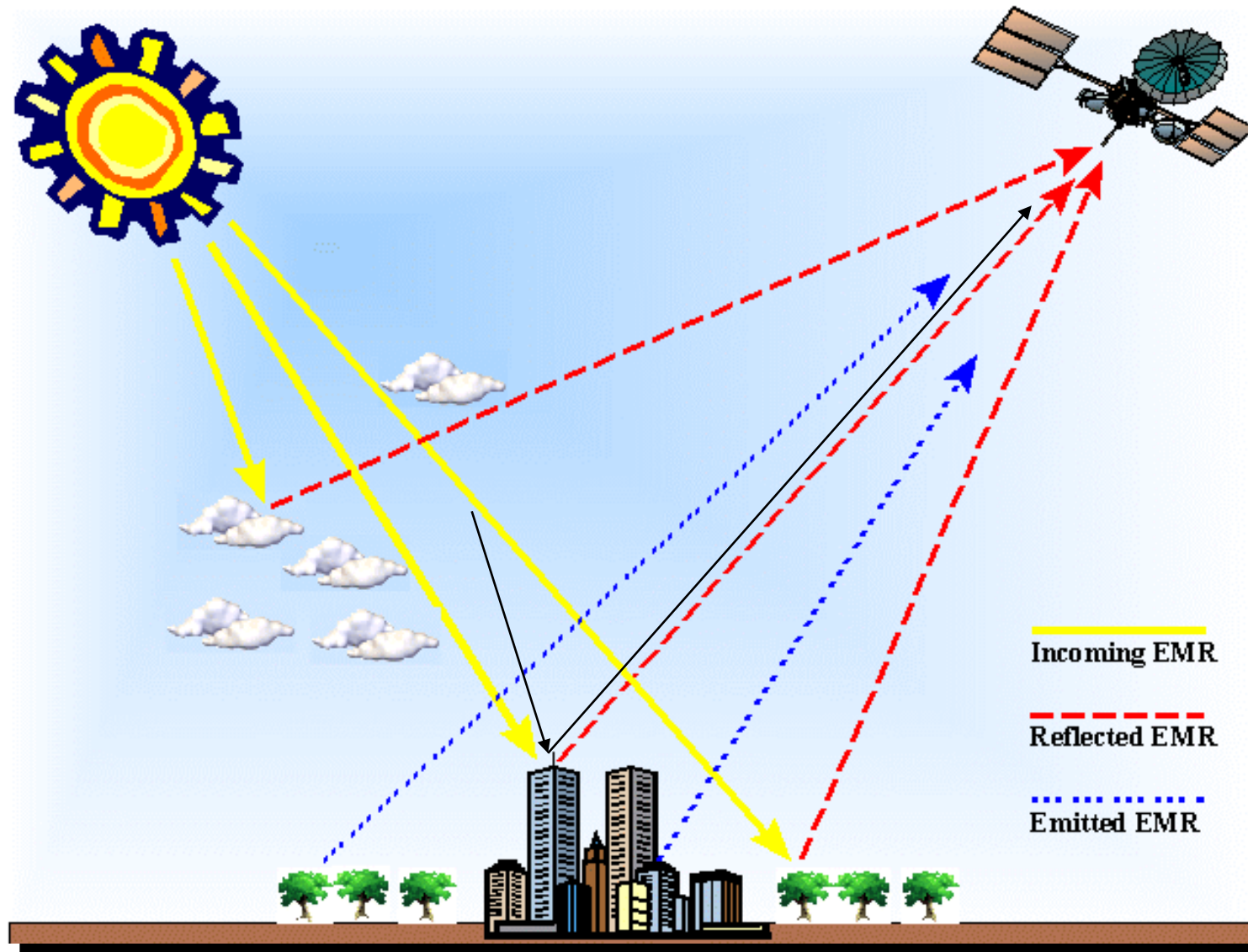


## 第六章

# 遥感图像的辐射校正

# How Remote Sensing Works



利用传感器观测目标的反射或辐射能量时，传感器得到的测量值与目标的光谱反射率或光谱辐射亮度等物理值不一致，称为辐射失真。

针对遥感影像辐射失真或辐射畸变进行的影像校正的方法称作辐射校正。  
(Radiometric Correction)

# 主要内容

---

- 产生辐射畸变的主要原因
  - 辐射校正的方法
  - 辐射校正的应用和相关问题
-

# 辐射传输方程得出传感器输出

$$E_{\lambda} = K_{\lambda} \{ [\rho_{\lambda} E_0(\lambda) e^{-T(Z_1, Z_2) \sec \theta} + \varepsilon_{\lambda} W(\lambda)] e^{-T(0, H)} + b_{\lambda} \}$$

$K_{\lambda}$  传感器的光谱响应系数

$\rho_{\lambda}$  地物波谱反射系数

$E_0$  太阳辐射照度，

$T(Z_1, Z_2)$   $Z_1, Z_2$  区段大气层的厚度，

$\theta$  太阳天顶角

$\varepsilon_{\lambda}$  地物的波谱发射率系数

$W_e$  与地物同温度的黑体的发射通量密度

$H$  平台高度

$b_{\lambda}$  大气辐射所形成的天空辐射照度

# 一、引起遥感图像辐射畸变的主要原因

---

- 传感器的误差；
  - 太阳高度及地形等引起的畸变；
  - 大气对辐射的影响；
-

# 传感器误差引起的畸变

## 1、由光学系统的特性引起的畸变：

在使用透镜的光学系统中，例如在摄像面中，存在着边缘部分比中心部分发暗的现象（边缘减光）。渐晕现象



F=45mm



## 渐晕现象的辐射校正

## 2、由探测器特性引起的畸变：

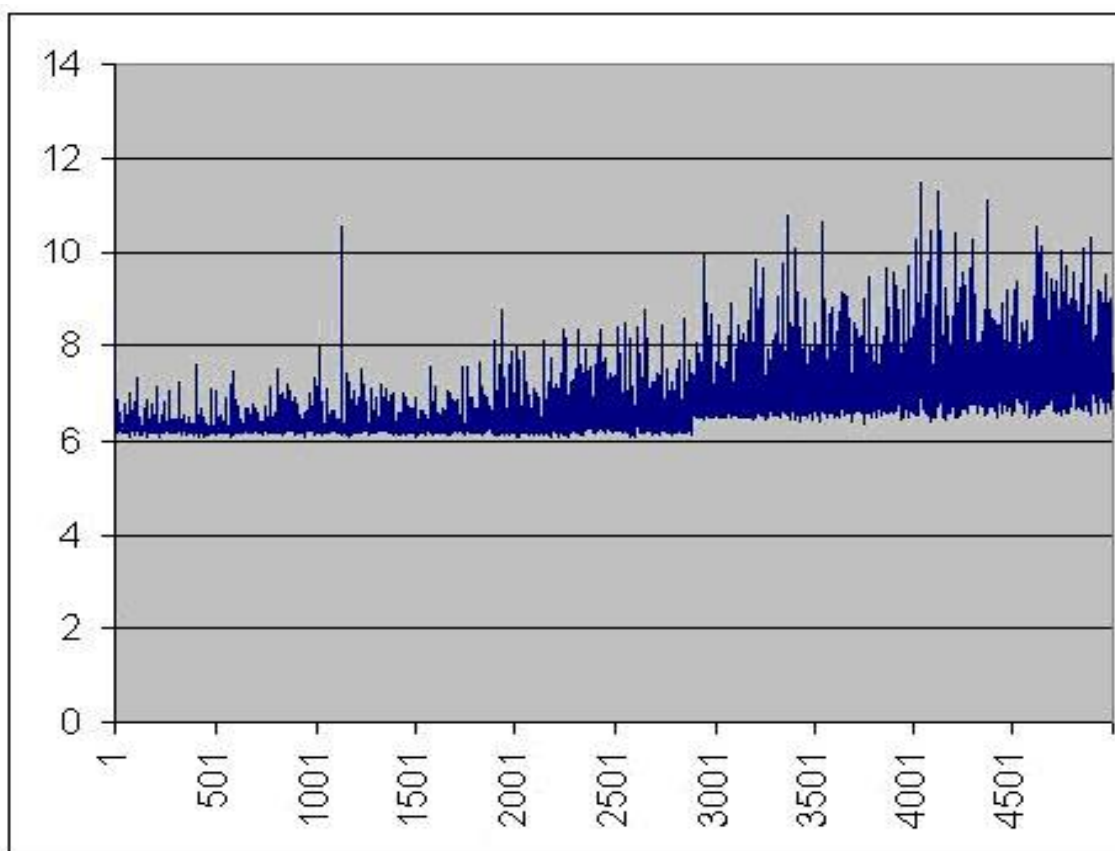
主要包括两类：

- 光电转换误差，即在电磁波信号经转换系统变成电信号记录时出现的误差；
- 探测器偏置和增益变化引起的误差等

可以定期地在地面测定其特性，根据测定值进行辐射定标。

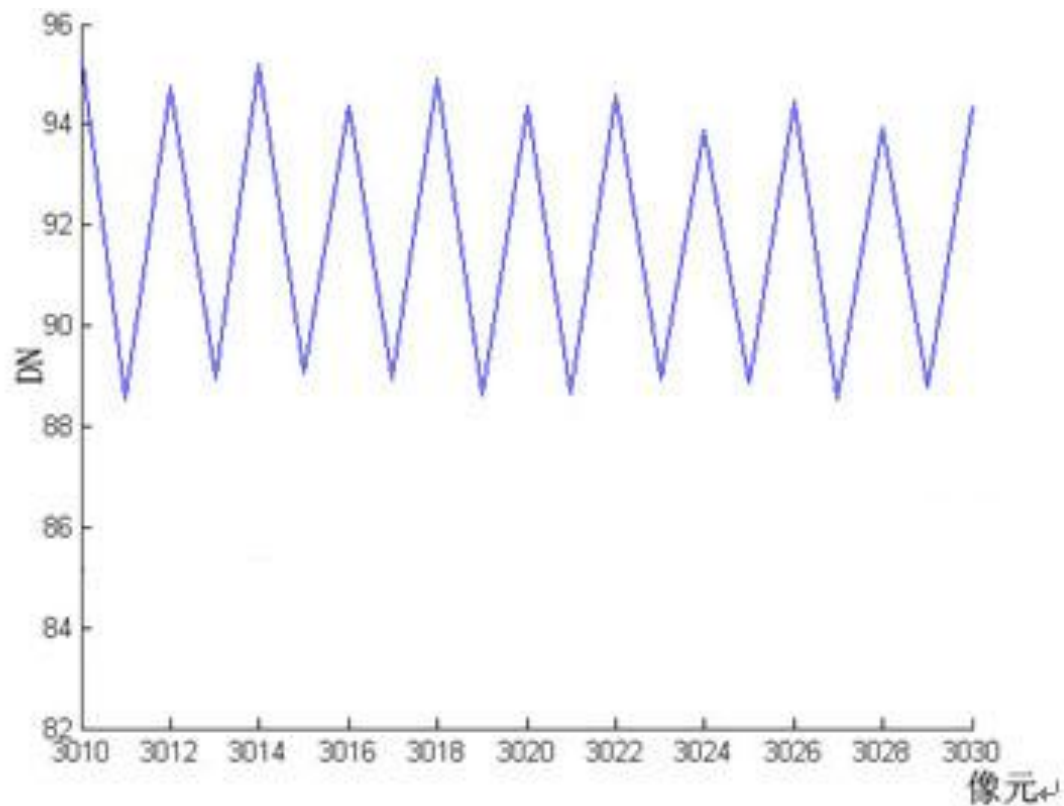
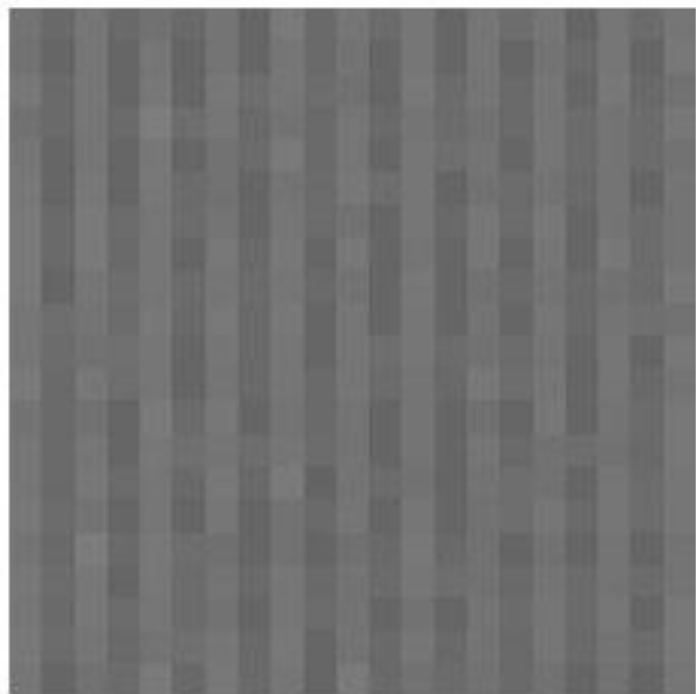


成像CCD阵列中各探测器增益和偏置的不一致性；

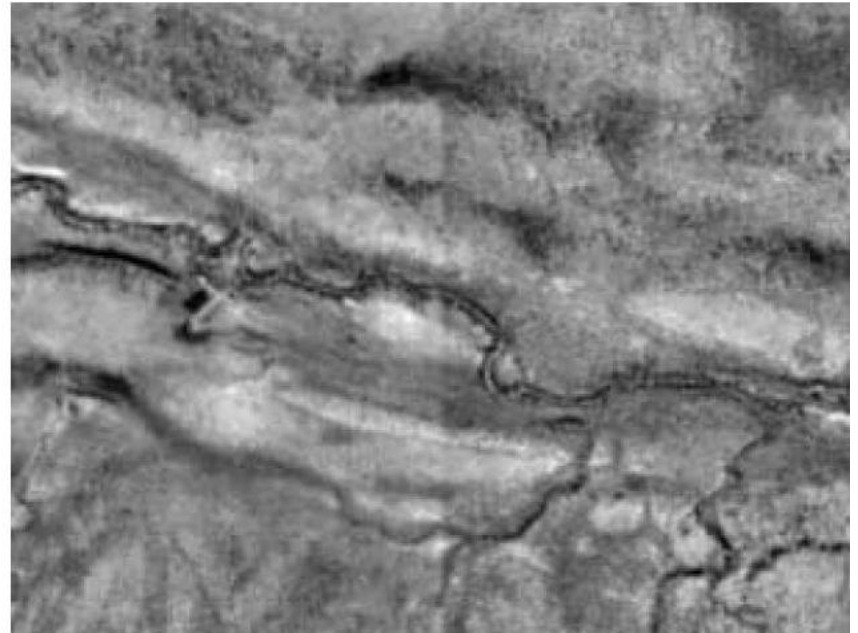
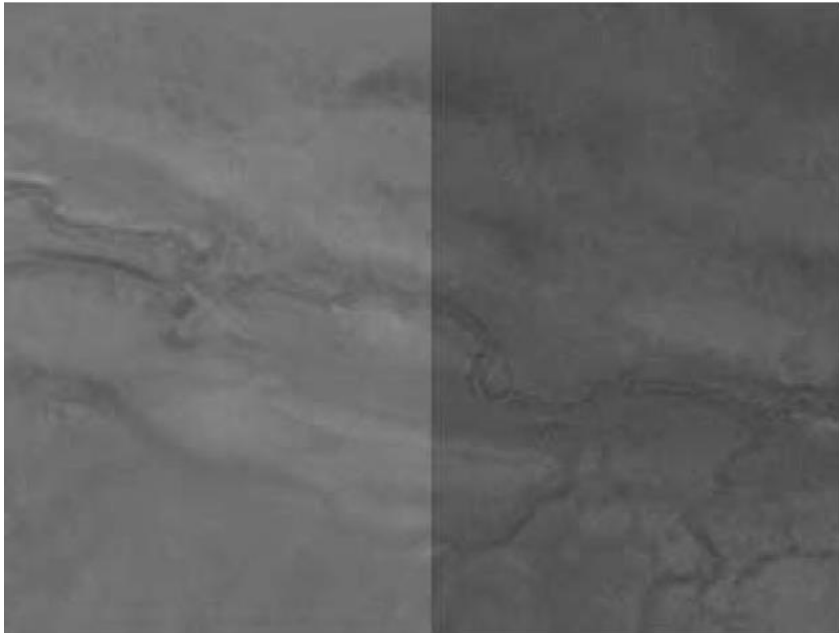


**CCD电子噪声输出**

奇偶探测器两路采样电路的不对称性;



# CCD拼接色差



## 探测器行或列缺失



# 太阳高度及地形等引起的畸变校正

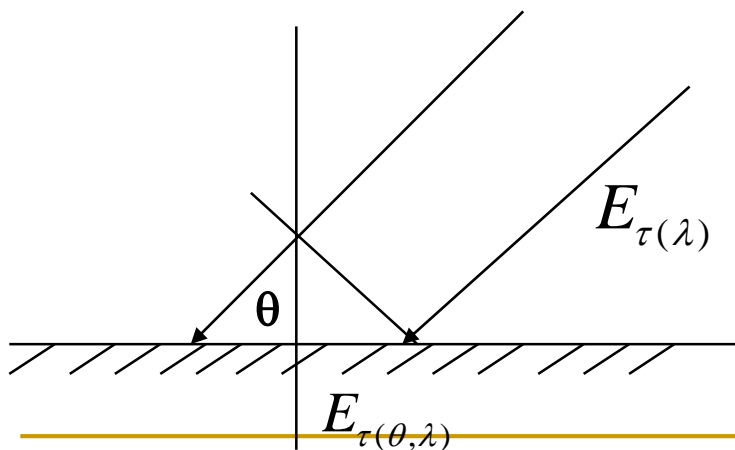
## 1、太阳的位置引起的辐射误差

如果实际得到的图像是 $g(x, y)$

校正图像是 $f(x, y)$  则有校正公式:

$$f(x, y) = g(x, y) / \sin \theta$$

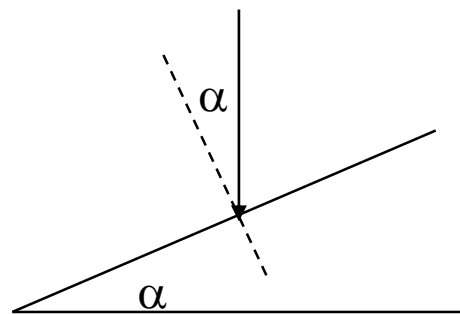
$$E_{\tau(\theta, \lambda)} = E_{\tau(\lambda)} \sin \theta$$



## 2、地形倾斜的影响校正

当地形倾斜时，经过地表反射再入射到遥感器的太阳光的辐射亮度就会依倾斜度而变化。

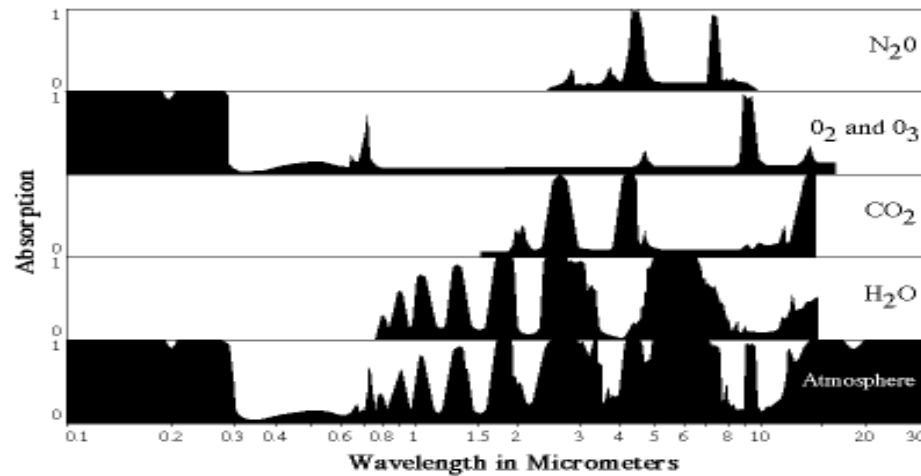
$$f(x, y) = \frac{g(x, y)}{\cos \alpha}$$



地形坡度引起的辐射校正方法需要图像对应地区的DEM数据

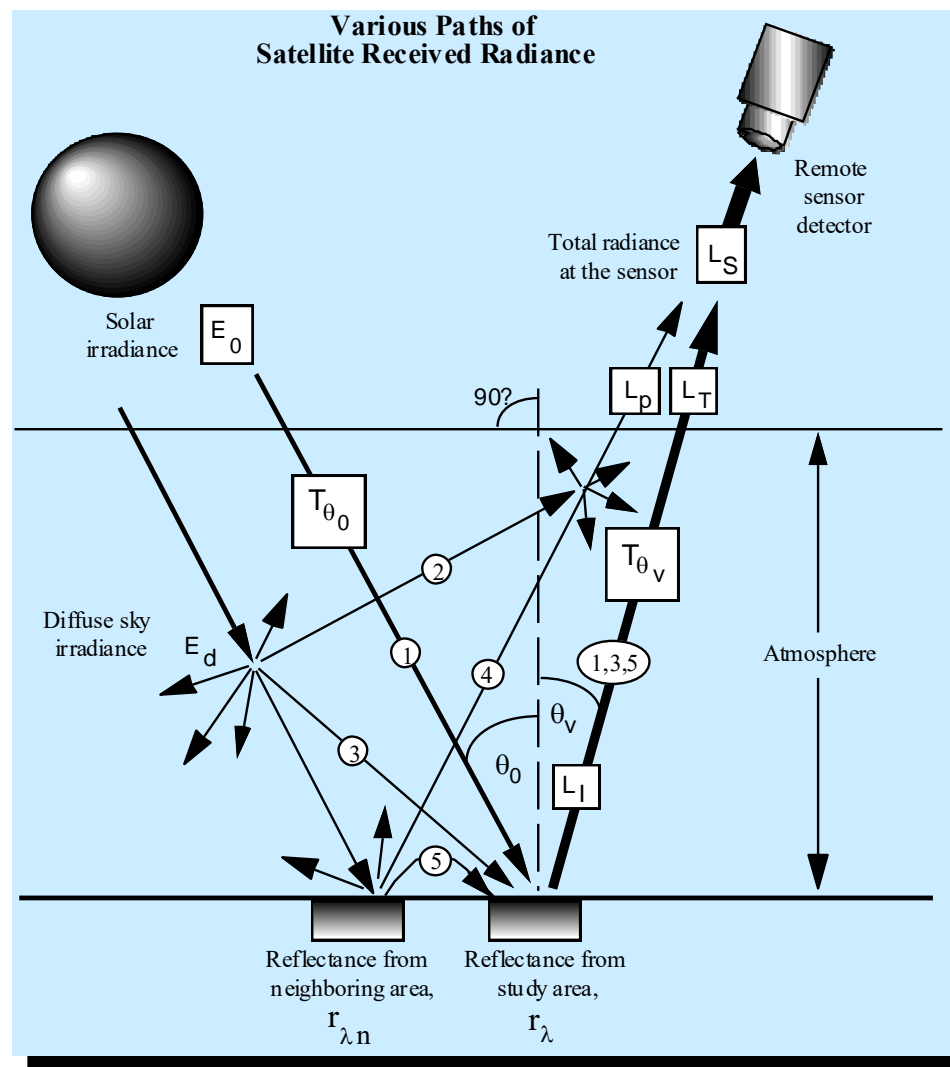
# 大气对辐射的影响

## Sun's Absorption Spectrum



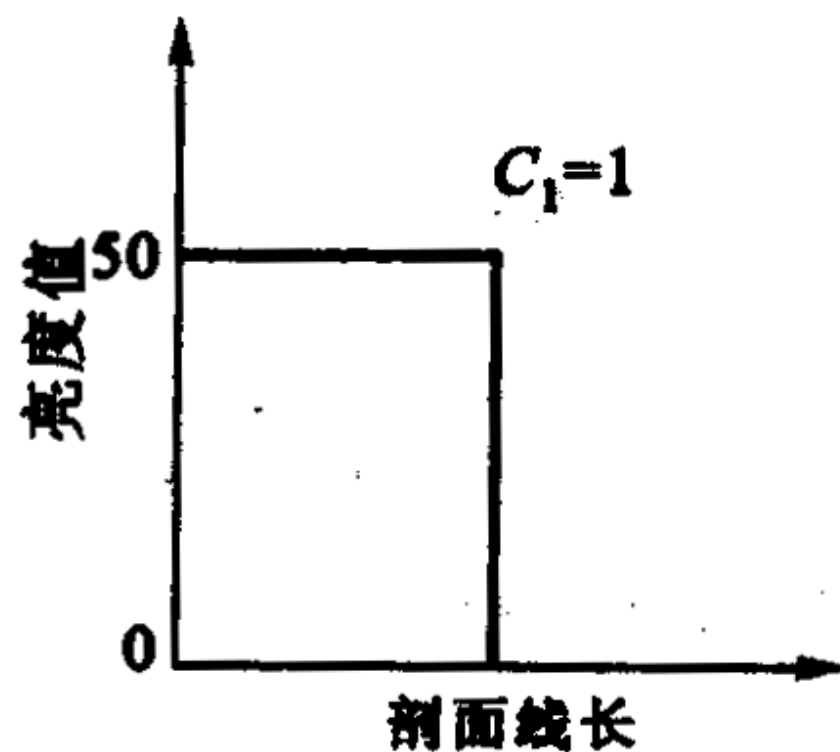
The absorption of the Sun's incident electromagnetic energy in the region from 0.1 to 30  $\mu\text{m}$  by various atmospheric gasses. The first four graphs depict the absorption characteristics of  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$  and  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}_2$ , and  $\text{H}_2\text{O}$ . The final graphic depicts the cumulative result of having all these constituents in the atmosphere at one time. The atmosphere essentially closes down in certain portions of the spectrum while there exist “atmospheric windows” in other regions that transmit incident energy effectively to the ground. It is within these windows that remote sensing systems function.

进入大气的太阳辐射会发生反射、折射、吸收、散射和透射。其中对传感器接收影响较大的是吸收和散射。  
为消除由大气的吸收、散射等引起失真的辐射校正，称作大气校正。

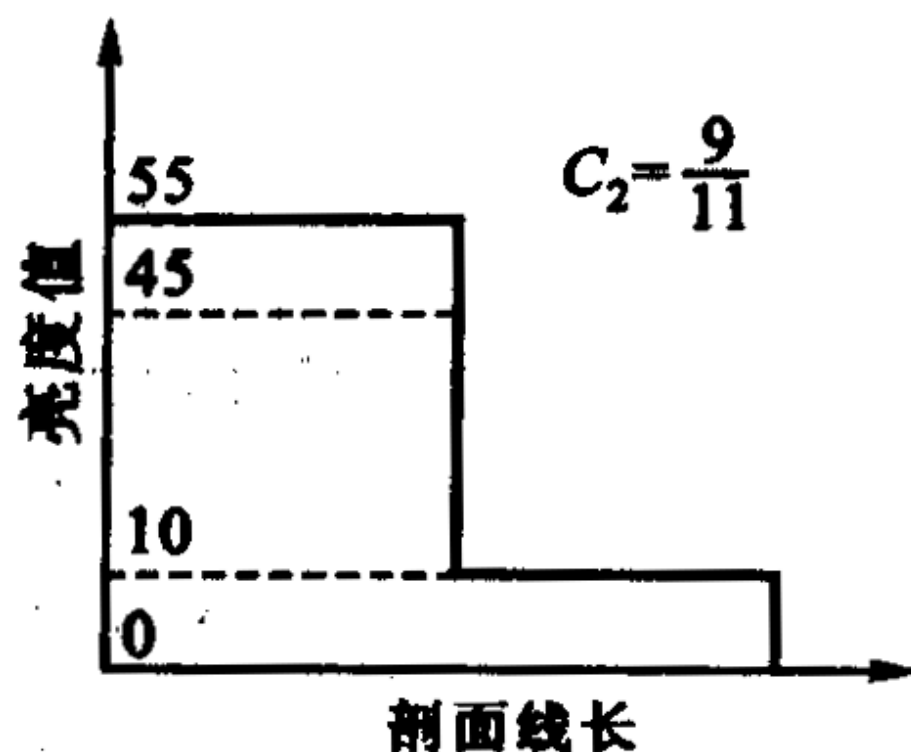




- 由于大气吸收和散射，透射率小于1，从而减弱了原信号的强度；
- 由于大气的散射有一部分直接或经过地物反射进入到传感器，增强了信号。



(a)



(b)

图 4.17 大气影响下图像亮度对比变化

- 若无大气时，图像中某剖面白处的亮度值为50，黑处为0，则它们之间的比值（亮度对）为： $C1 = (50-0) / 50 = 1$ ;
- 若大气存在时，由于透射率小于1，辐射减少10 %，亮度值减至45。同时，由于散射进入传感器，使黑白处均增加10，因此，亮度对比为  $(55-10)/55 = 9/11$ 。
- $C2 < C1$ ，图像质量下降了。



原始影像

一级放大



二级放大







## 二、辐射校正的方法

针对传感器自身

利用定标装置提供参数来校正探测器对图像产生的影响。没有定标装置时，采用数学统计方法。

针对成像过程

建立各类不同景物光谱辐射特性进行定量分析的模型，校正探测器输出量与地景物亮度之间的对应关系。

# 常用的传感器辐射校正方法

星上定标装置，特殊场景法，影像统计法

## 建立校正模型

$$I_c(m) = g(m) \cdot I_g(m) + C(m)$$

$I_c(m)$  —— 校正后的标准值；

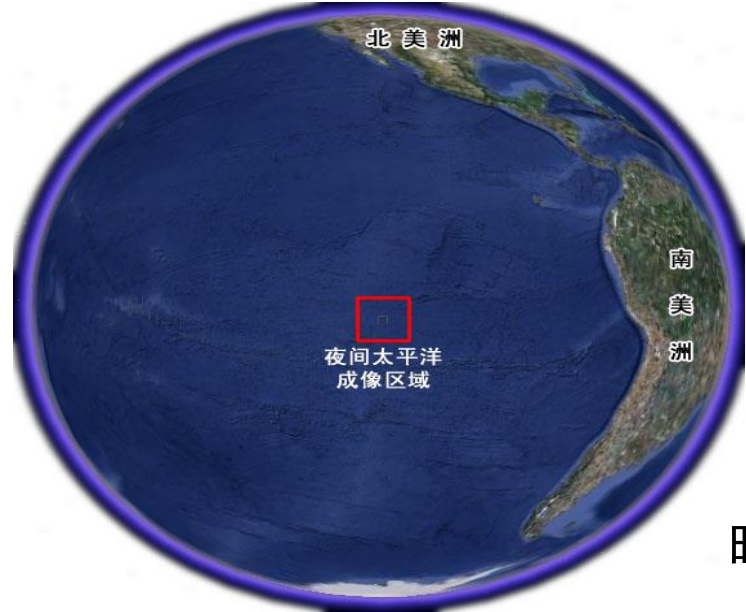
$I_g(m)$  —— 探测器实际的输出值；

$g(m)$  —— 第 $m$ 个探测器的校正比例系数；

$c(m)$  —— 第 $m$ 个探测器的校正偏差。

# 特殊场景法

制定了使用时间序列的夜间太平洋暗目标和南极DOME-C亮目标影像完成星上无定标装置的相对辐射校正系数生成。



暗 目 标

成像地点	20S，110W
成像长度	1500～4500 行之间
积分时间 1	320 微秒
积分时间 2	4096 微秒
侧摆角度	0 度
用途	对比分析在不同积分时间条件下 CCD 暗电流的输出特性

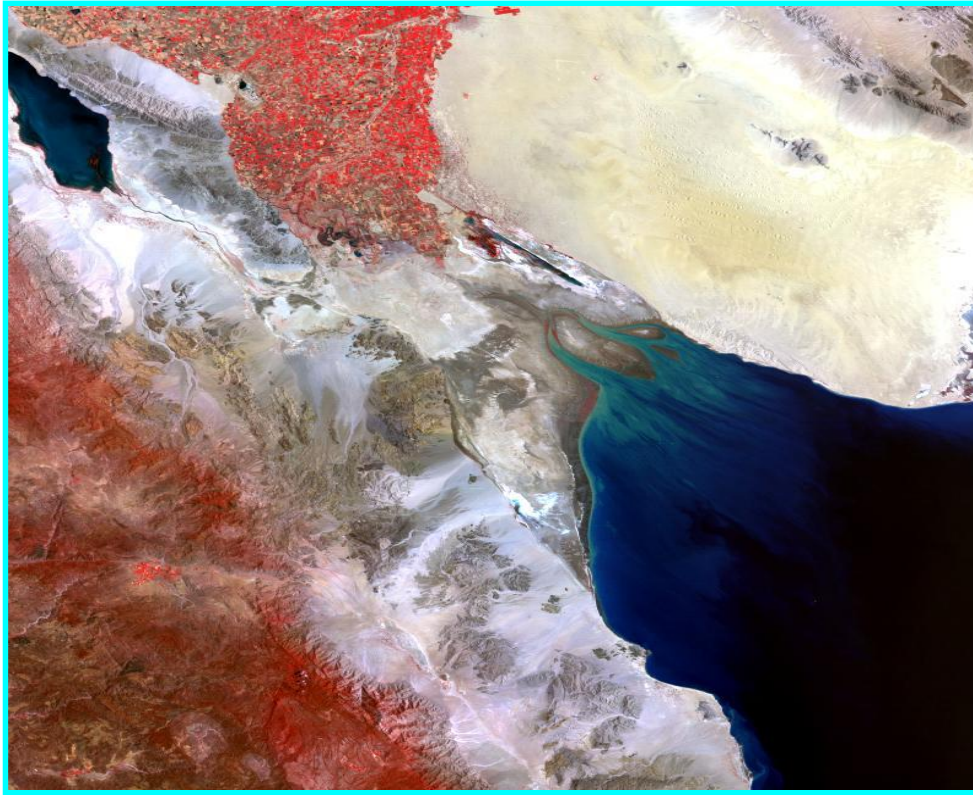


亮 目 标

成像地点	74.5S，123E
成像长度	2500 行以上
积分时间	320 微秒
侧摆角度	0 度
用途	计算相对辐射校正的增益系数



# Site used for Cross-calibration of Landsat 2 to 3



Sonora Desert



# 利用辐射传输方程进行大气校正

$$E_{\lambda} = K_{\lambda} \{ [\rho_{\lambda} \square E_0(\lambda) e^{-T(Z_1, Z_2) \sec \theta} + \varepsilon_{\lambda} \square W_e(\lambda)] e^{-T(0, H)} + b_{\lambda} \}$$

在可见和近红外区，大气的影晌主要是由气溶胶引起的散射造成的。在热红外区，大气的影晌主要是水蒸气的吸收造成的。为了消除大气的影晌，在可见和近红外区气测量气溶胶的密度，在热红外区，测量水蒸气浓度。

利用辐射传输方程时，通常只能得到近似值。

## 大气影响的粗略校正

- 粗略的校正只需要校正程辐射度，即散射光直接进入传感器的部分。严格地说，程辐射度的大小与像元的位置有关，随大气条件、太阳辐照方向和时间变化而变化。但可以认为在有限面积内是一个常数，其大小只与波段有关。

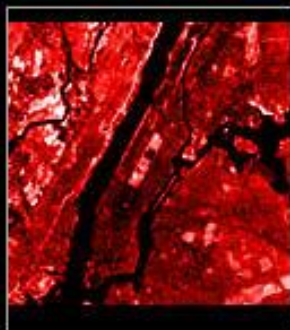
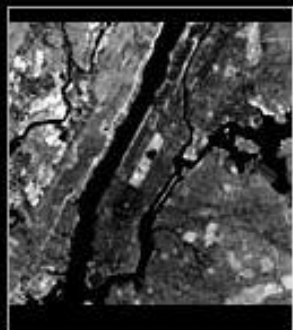
## 三种校正方法

- 直方图最小值去除法

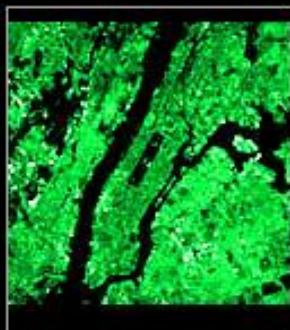
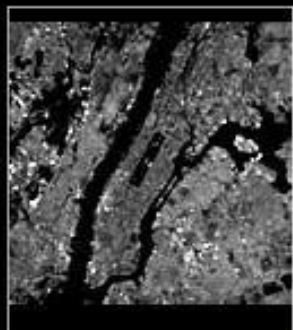
横坐标表示亮度值，纵坐标表示像元数。在直方图上可以找到一幅图像中的最小亮度值。在图像中找出亮度应为零的区域(黑区)。如深海水底处、山区阴影处。但实际上这些区域不为零。



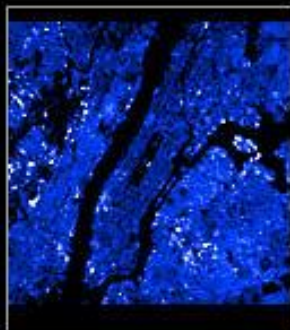
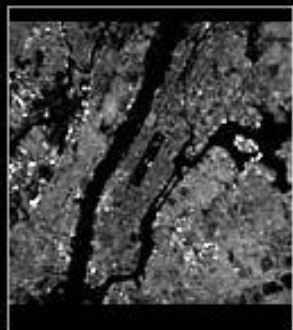
B  
a  
n  
d  
4



B  
a  
n  
d  
3



B  
a  
n  
d  
2



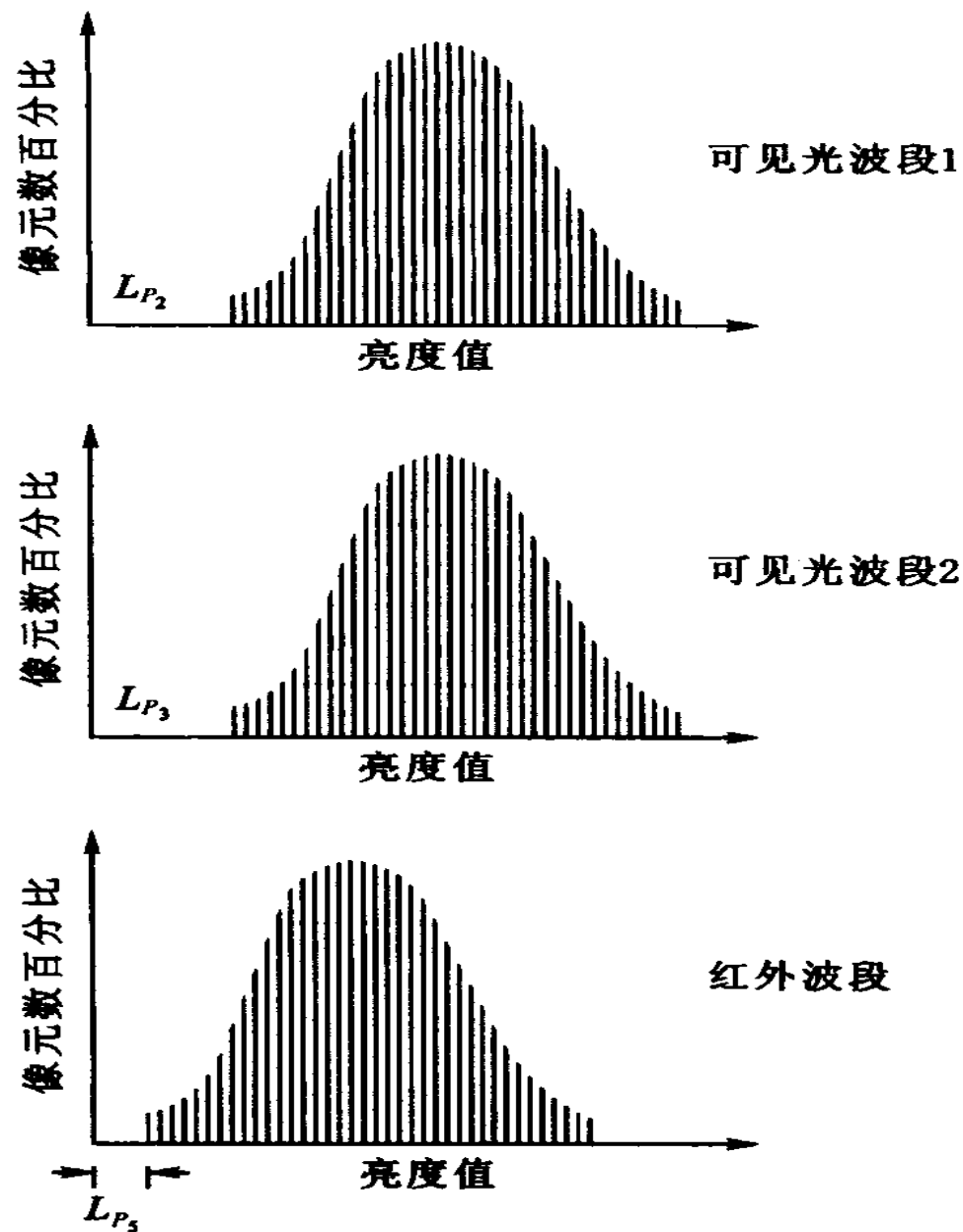


图 4.19 直方图最小值比较

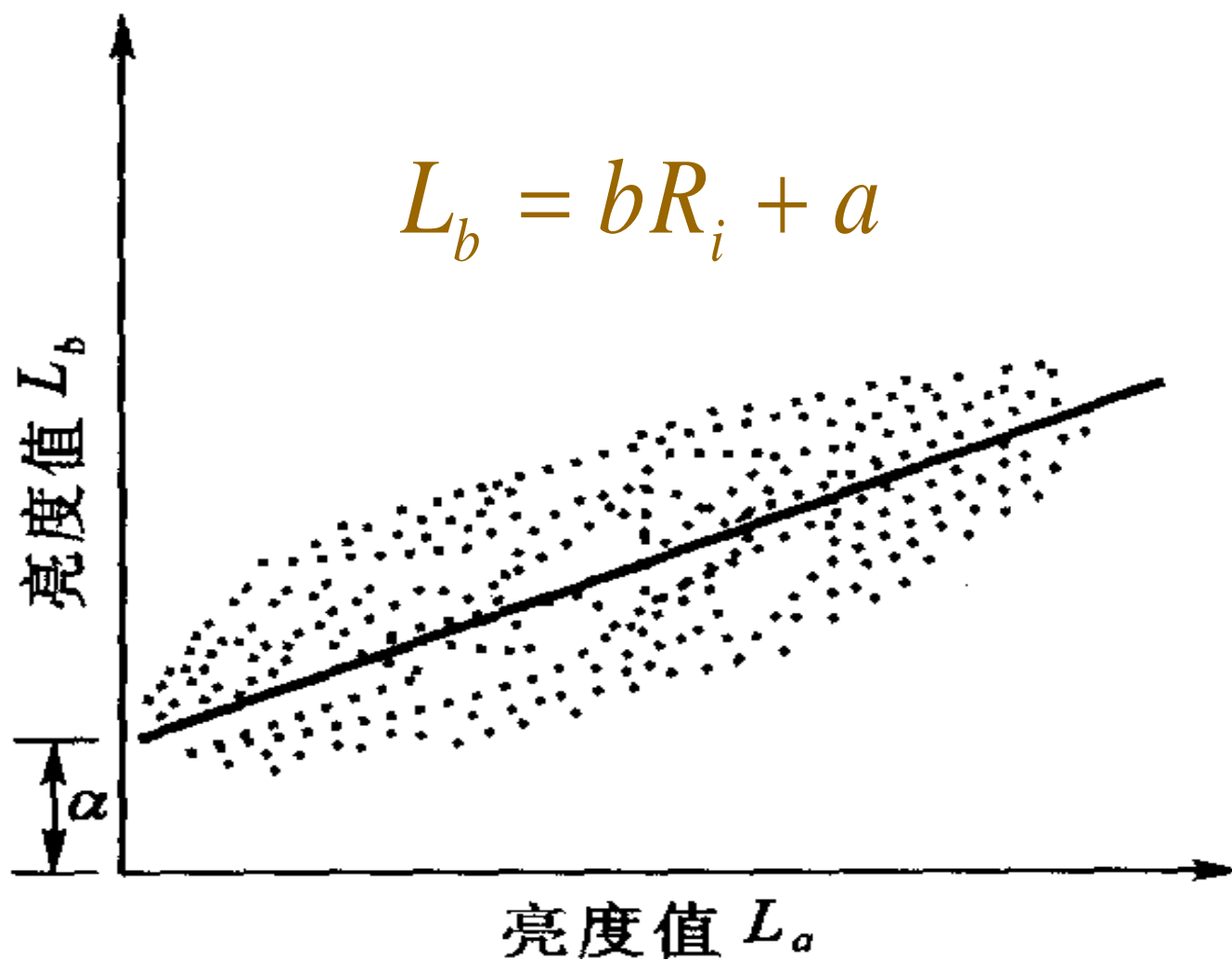
- 一般，这种由大气散射导致的亮度随波长增大而减小。
- 方法：将每一个波段中每一个像元的亮度值都减去本波段的最小值，改善图像质量。

## •波段对比回归分析法：

- 假定某红外波段，其程辐射的大气影响最小，接近为零，取该波段为横坐标。取另一波段为纵坐标。
- 作出二维亮度散点图。
- 通过回归分析，在散点中找到一条直线，该直线与纵坐标相交于一点，其截距为 $a$ 。



## ■ 回归分析法



- 通过回归分析，在二维散点图上一定能找到一直线，且其方程为：

$L_b = b L_a + a$  式中a是直线在 $L_b$ 轴上的截距，b是斜率。

$$b = \frac{\sum (L_a - \bar{L}_a)(L_b - \bar{L}_b)}{(L_a - \bar{L}_a)^2}$$

最小二乘直线拟合

式中 $\bar{L}_a$ ,  $\bar{L}_b$ 分别为a, b波段亮度的平均值。

$$a = L_b - bL_a$$

- 可以认为a 即为纵坐标波段的程辐射度。
- 在纵波段中的每一个像元的亮度值中减去a ，改善图像质量。

## • 公式法

与卫星扫描同步进行野外波谱测试，将地面测量结果与卫星影像对应像元亮度值进行回归分析，回归方程为

$$L_b = a + bR_i$$

式中， $L_b$ 为卫星观测值；

$R_i$ 为地面反射率；

$a$ 和 $b$ 为回归系数。

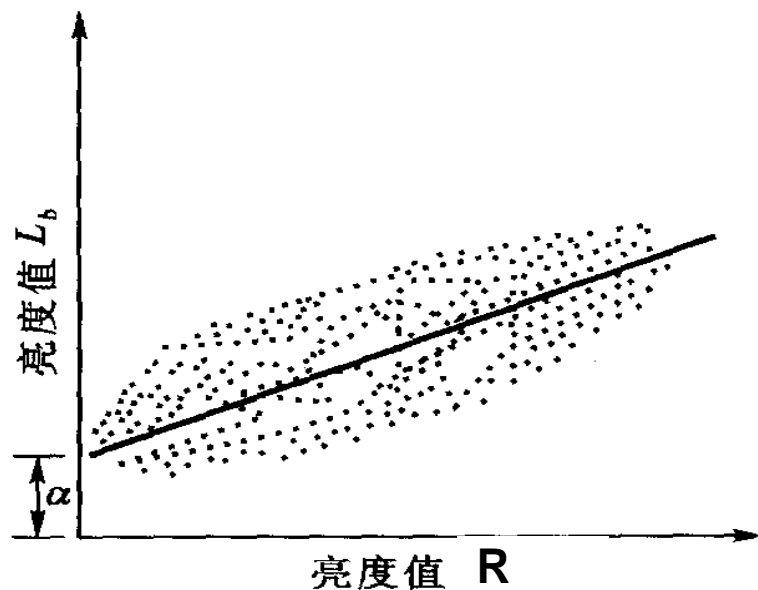
系数 $a$ 为大气散射引起对辐射的干扰部分

$$a = S_i L_{Bi} \quad (7.2)$$

式中,  $S_i$ 为系统增益因素;

$L_{Bi}$ 为大气程辐射率。

系数 $b$ 表示辐射率 $L_{Ai}$ 随地面反射率 $R_i$ 递增而增长的程度大小。它表示直线的斜率。

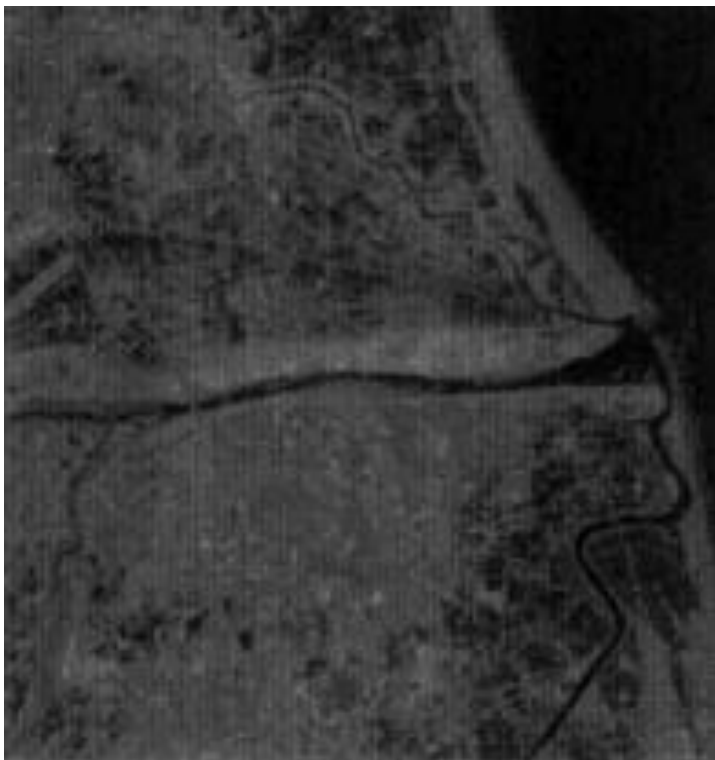


绝对辐射校正

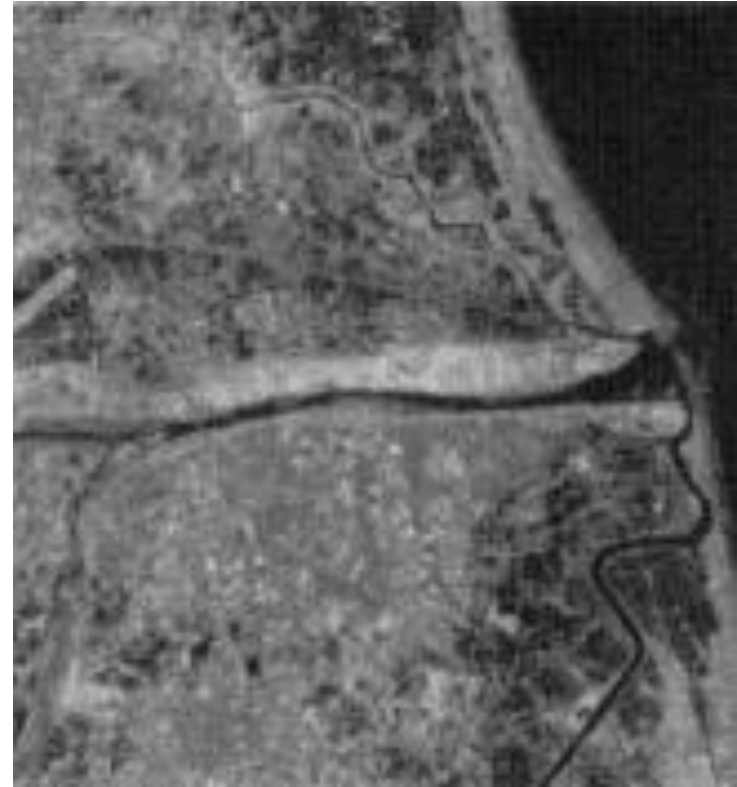
# 定标场



# 应用



不同时相获得的影像





## 成像时间延时——多光谱与全色之间（融合影像）



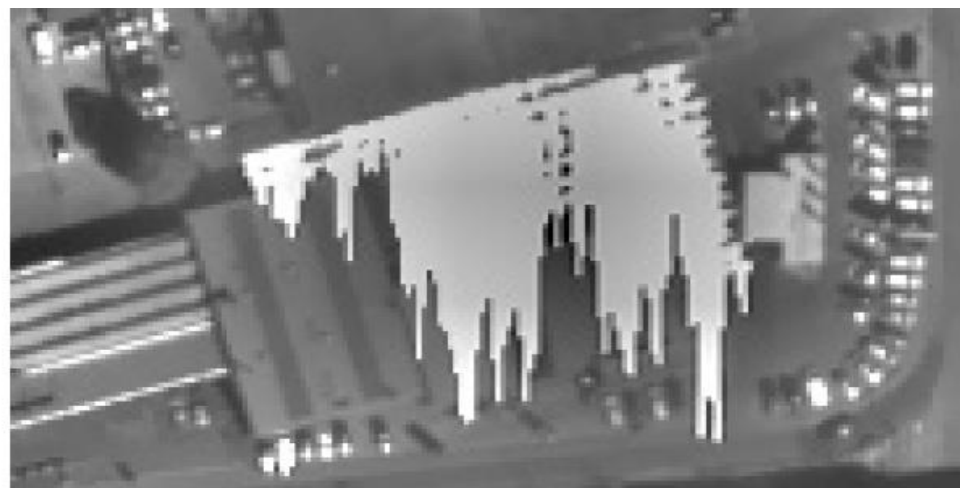
“鬼影”

由于多光谱和全色成像之间有延时，造成运动物体的融合影像出现“鬼影”现象。如：IKONOS。



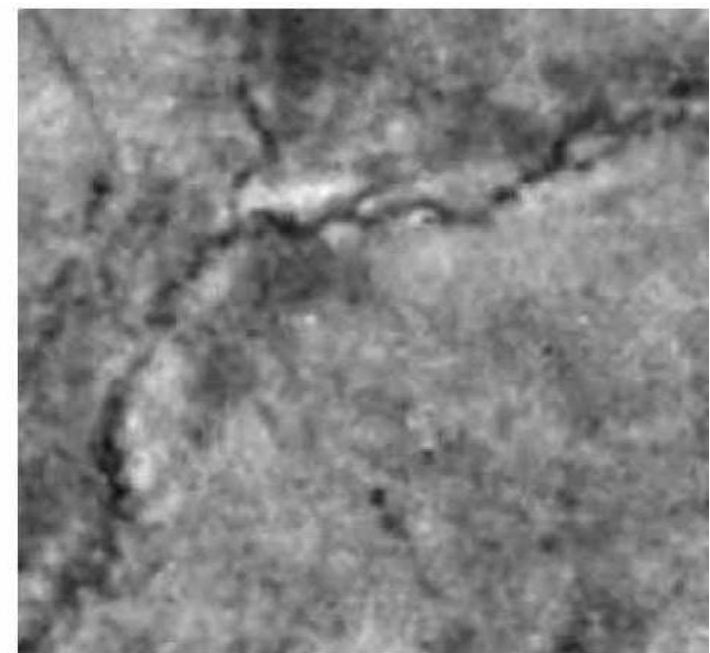
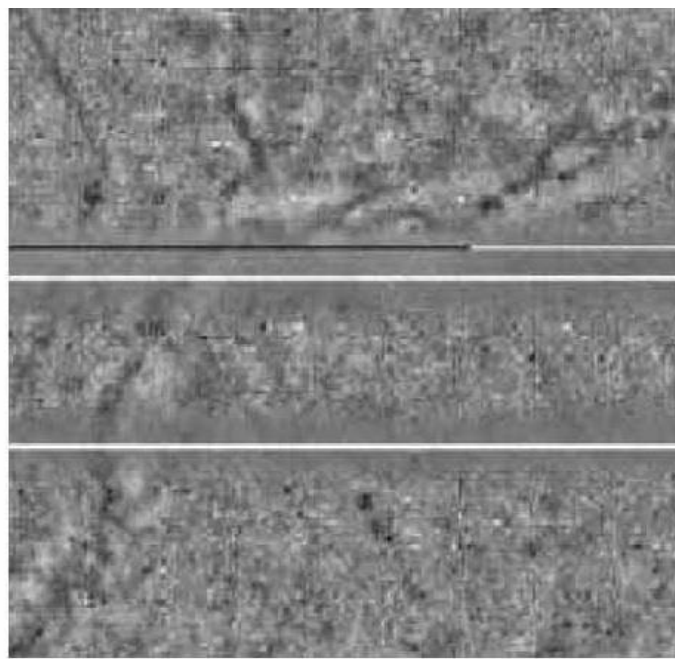
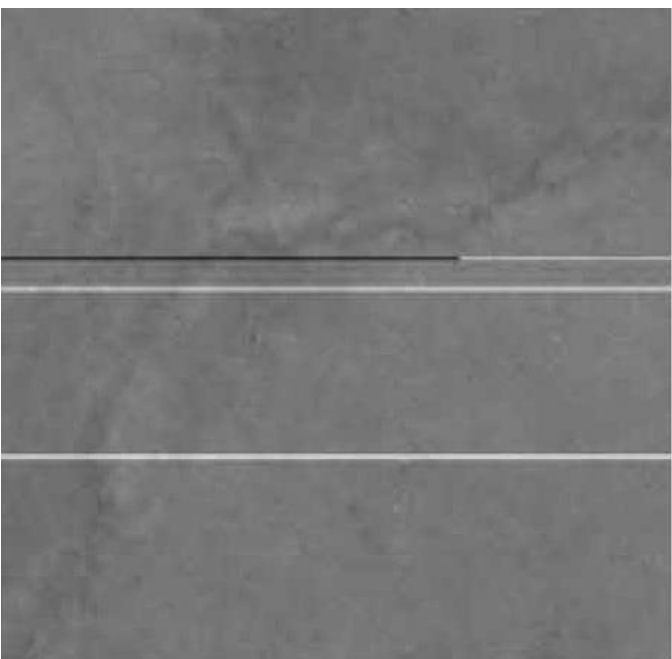
# 辐射质量现状

## 饱和或电子泄漏



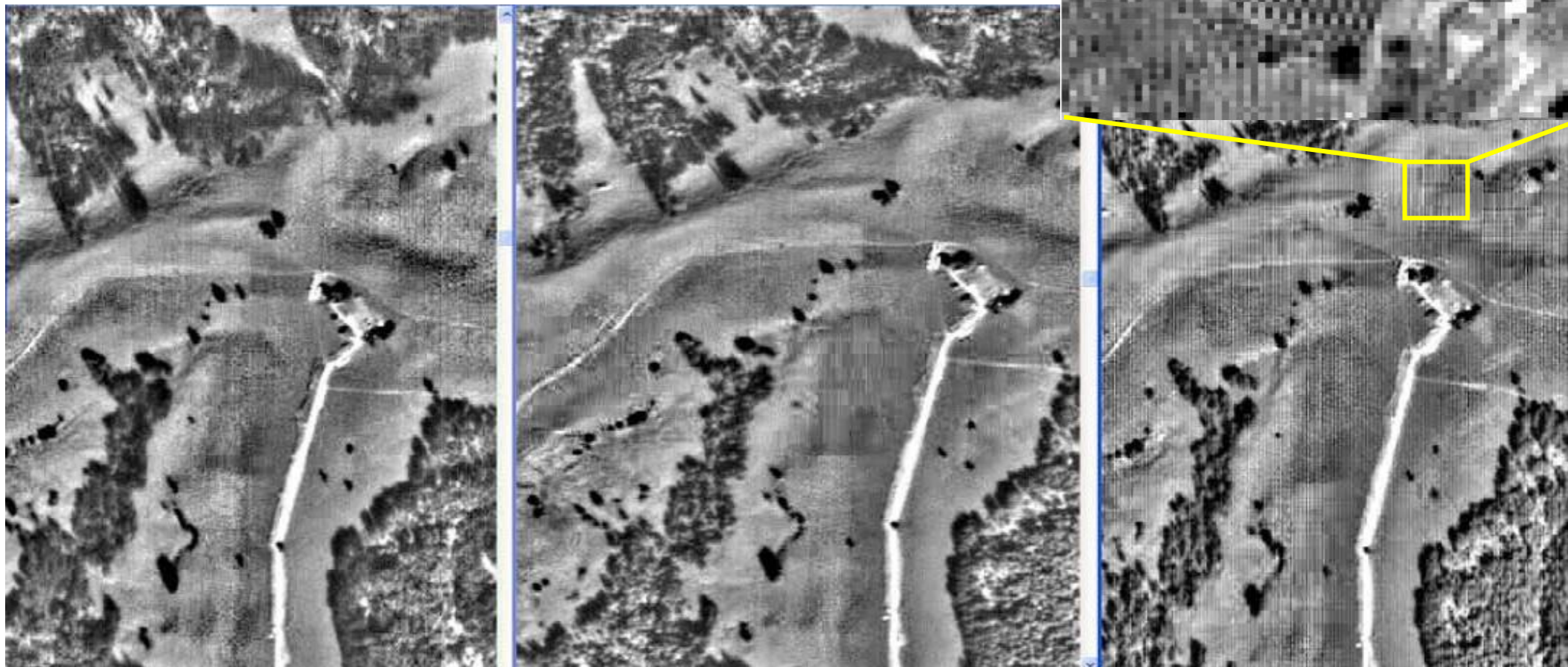
建筑物边界、高反射地物出现DN值饱和现象，也称之为泄漏，尤其是在TDI CCD影像中出现频繁。如：IKONOS、QB、CBERS-02B。

# 掉线



由于地面接收站与卫星传输链路的不稳定，造成传输过程中出现丢数据包的情况，在影像中出现掉线。如：BJ-1。

## 数据压缩马赛克现象

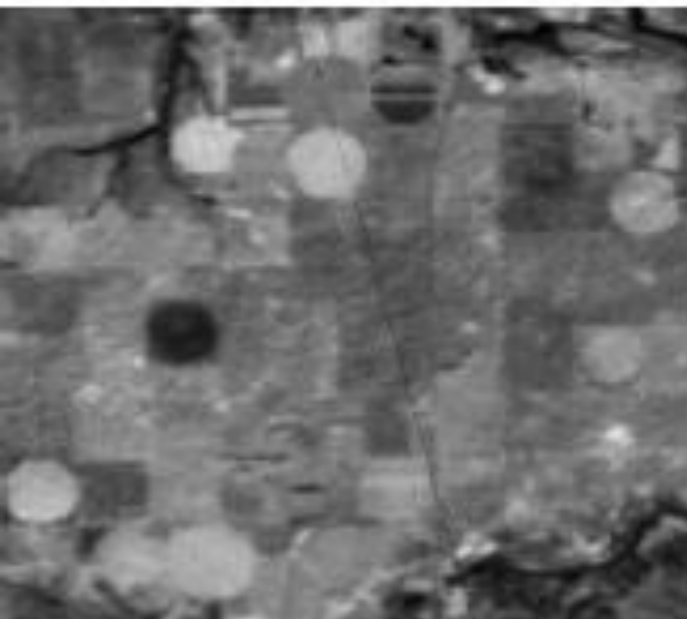


大压缩比的JPEG压缩方式，造成影像马赛克现象，尤其是均一地物影像。如：BJ-1实时压缩模式

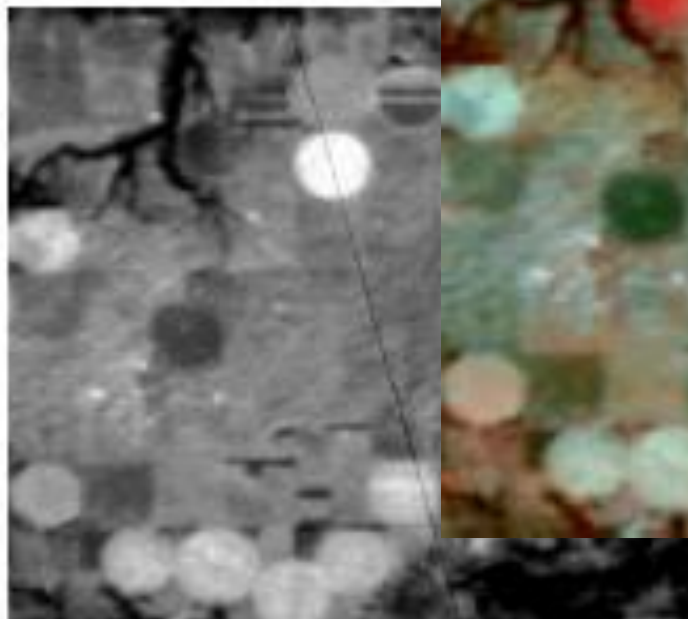


## 某CCD性能衰减

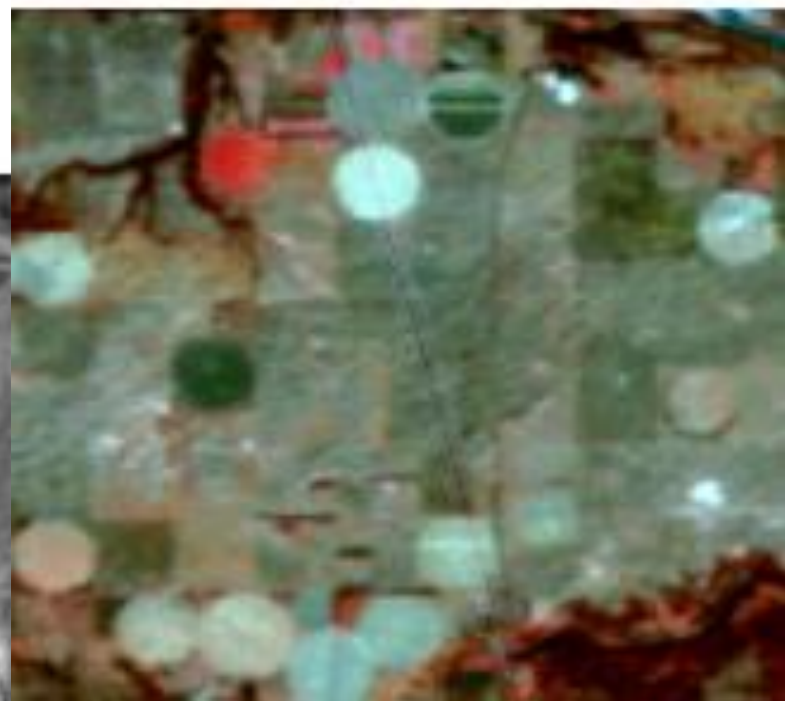
NIR



Red

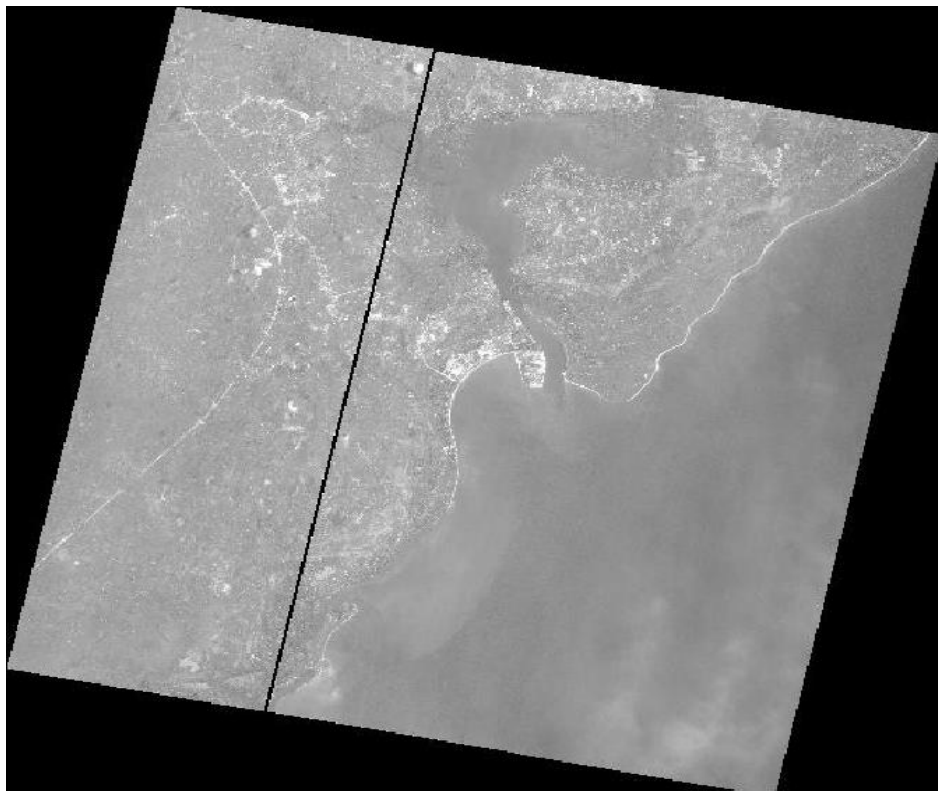


RGB

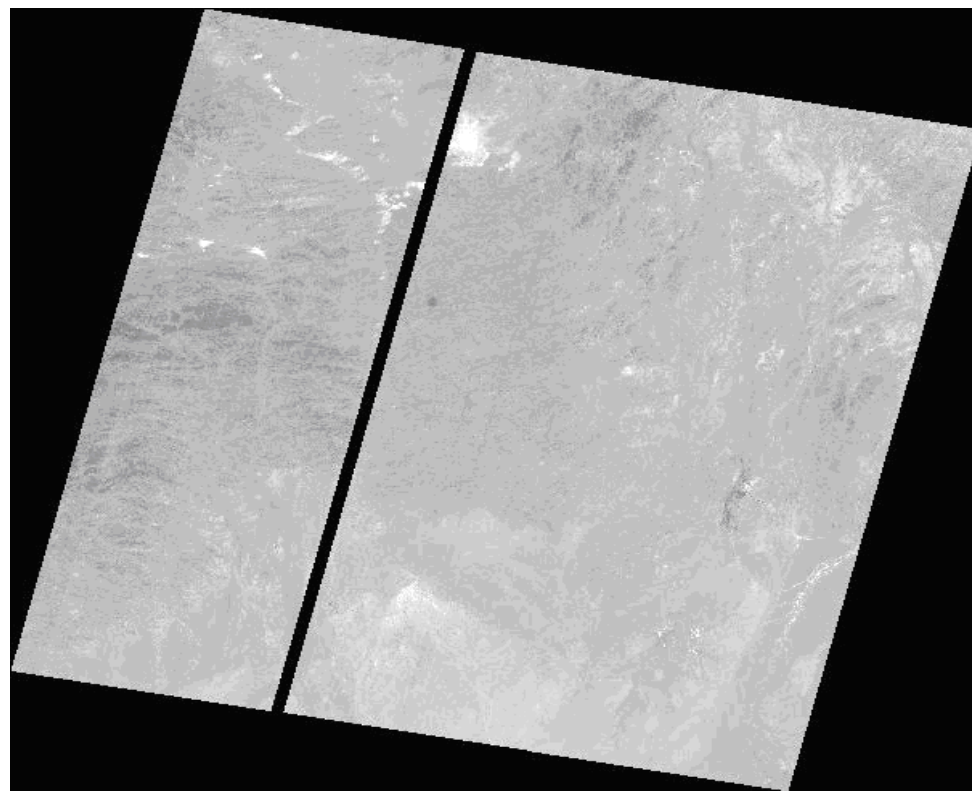


在轨运行过程中，某CCD性能衰减。如：BJ-1多光谱P相机中的一个CCD性能衰减。

## 某CCD失效



2009年5月20日



2009年6月1日

在轨运行过程中，某CCD失效。如：CBERS-02B HR图像。

## 波段配准——多光谱与全色图像之间（融合影像）



建筑物边界不清晰，出现色彩移位；

---

# 总结

- 产生辐射畸变的原因；
- 校正方法

## ●思考：

重采样对遥感影像的分类精度和影像信息是否有影响；  
几何校正与辐射校正的顺序对影像应用有影响吗？