

2013 全国遥感研究生暑期班

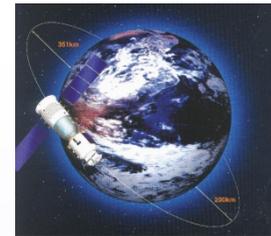
定量遥感分析方法

赵英时

中国科学院大学

2013年7月17日





内容提要

一、遥感面临的问题

二、定量遥感的基本概念

三、定量遥感的基本内容与方法

1、方向性与多角度遥感

2、尺度效应与尺度转换

3、病态反演与反演策略方法

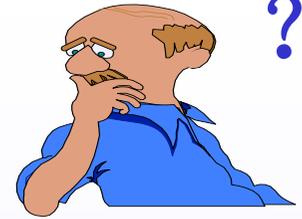
4、遥感模型与应用模型的链接

四、定量遥感试验研究

* 参考教材：赵英时等，遥感应用分析原理与方法（第二版），科学出版社，2013

一、遥感面临的问题

需要认识



EOS
2000G/天

海量遥感数据

利用率仅达
5%左右

监控作物生长需要LAI、Cab、Ws、Wv等；但目前遥感所能提供的VI、CWSI等难以满足农学、生态学模型的需求。

矛盾？

大气动力学模型(GCM)，需要下垫面的温度、反照率、粗糙度等参数。但目前遥感所能提供的相关参数难以满足模型精度的需求。

多学科交叉

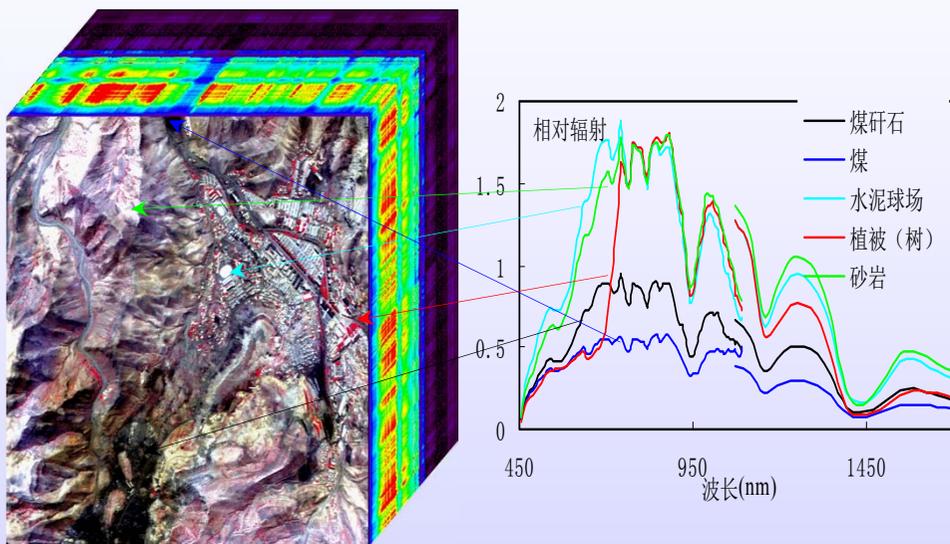
遥感应用需要的有效信息匮乏

深化基础理论研究、遥感应用分析模型

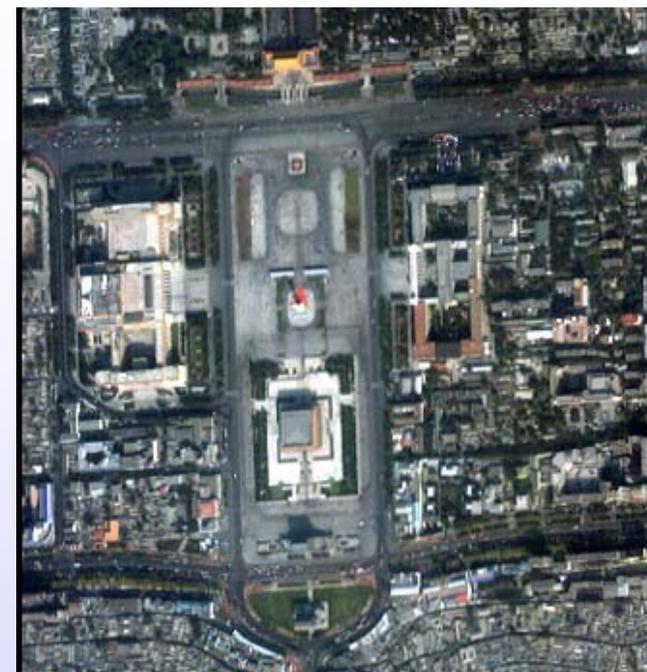
1) 遥感数据源的改善

遥感面临的问题

高光谱、高几何分辨率、高灵敏度、多角度、多类型遥感器的研制与运行。



贺兰山煤矿高光谱图像
(OMIS 128 波段、约 3米)
2001年7月 遥感所



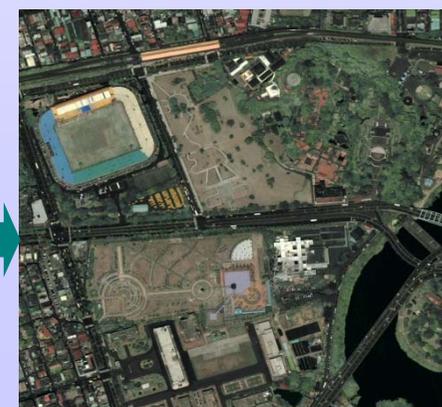
北京 天安门 IKONOS
(1m、4m)



全球



北京 (30m)



台北 (0.61m)

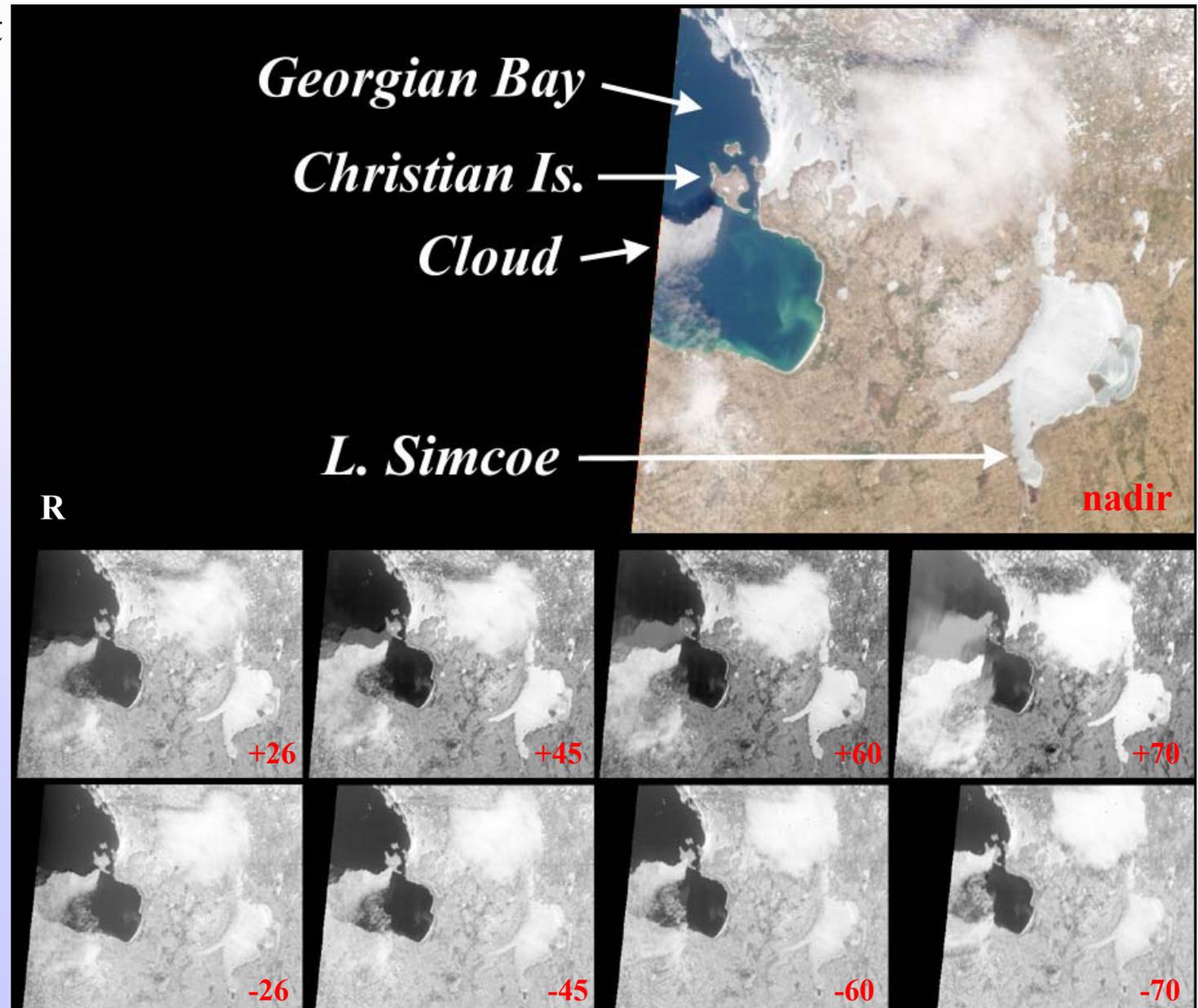
多角度 MISR -- a Cloud's Reflection

The displacement of the cloud from south to north as the view progresses from forward to aftward is primarily a geometric parallax effect due to the cloud's elevation above the surface.

forward

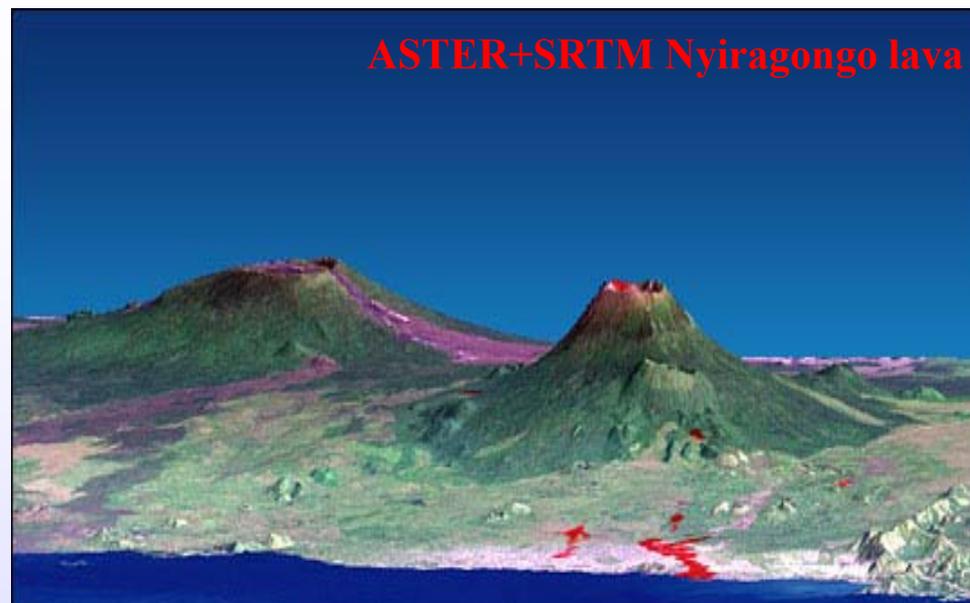
aftward

Canada, 2000.3.6



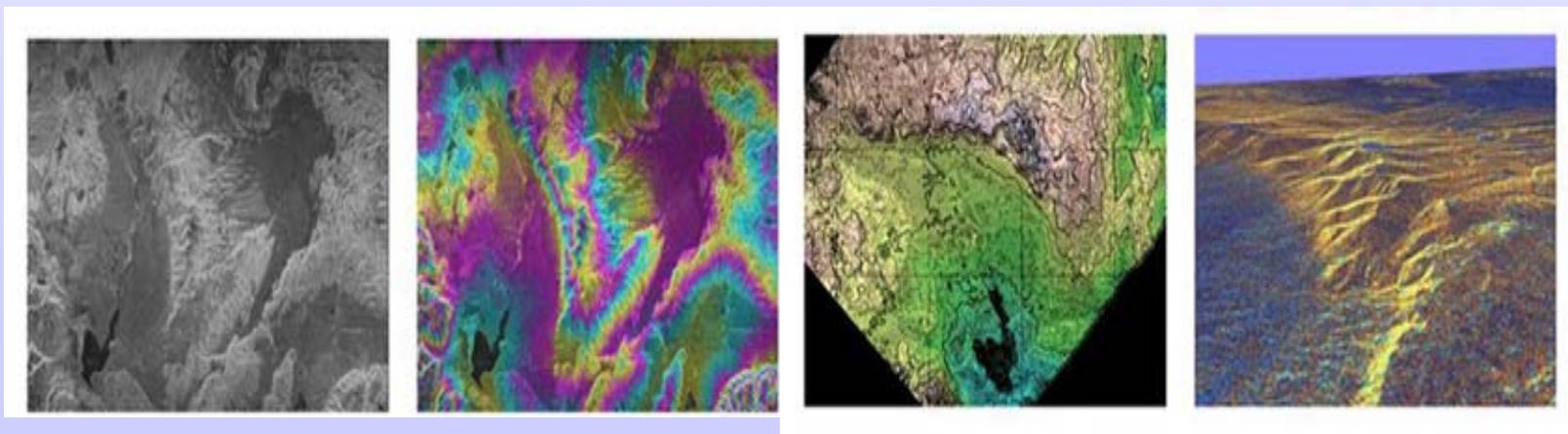
航天飞机雷达地形测量飞行任务 (SRTM)

高定位精度 --- 指 GPS 定位，微波、激光测距，三维立体观测，如 SPOT 异轨侧视~多角度实时立体观测（星载 MISR、ASTER 等）、干涉雷达等； 以提高遥感定位、定量、多维分析的水平。



空间双天线系统，测量地形精度达16m

雷达
立体
观察



L - HH

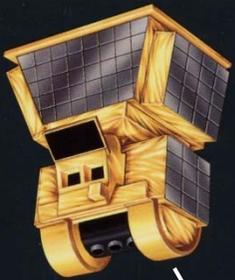
干涉图

地形图

3-D透视图

大型平台综合 对地观测系统

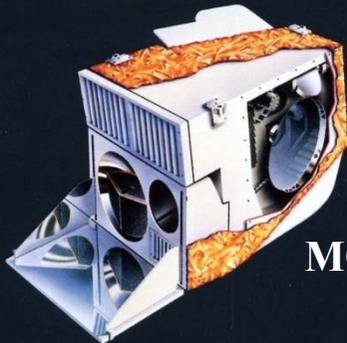
Clouds and Energy System of two broad-band radiometers: cross-track and nadir-viewing radiometers measure emitted radiative energy from the surface of the atmosphere. Provide continuity of Earth Radiation Budget Experiment (ERBE) measurements.



CERES

Measurements include:
Viewing from the top of the atmosphere in order to monitor the Earth's total radiative energy flux. Data will be provided by complementary observations from ASTER, MISR.

MODIS, the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, is a cross-track Earth radiometer scanning the Earth's surface and clouds to provide discrete spectral data.

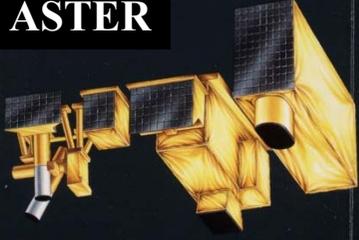


MODIS



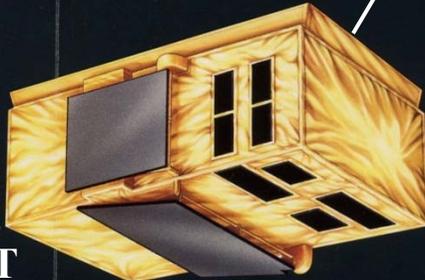
采用多种遥感仪器
载于同一平台上，构成
一个自校、互校系统，
以提高观测数据的灵敏
度、准确度。

ASTER, the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, is a suite of three advanced optical radiometers that operate in the visible and near infrared, the short-wavelength infrared, and the thermal infrared.



ASTER

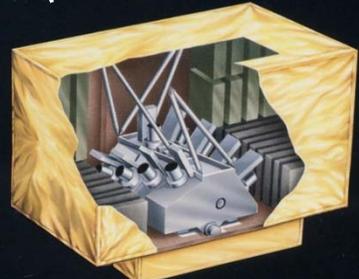
Measurements of the Troposphere, back scanning, and cross-track scanning, spectrometers operate in the visible and near infrared that measures carbon dioxide and methane to define how these gases interact with the Earth's atmosphere, and biosphere.



MOPITT

Measurements include:
Measurements throughout the total atmospheric column. Methane is an important greenhouse gas whose concentration in the atmosphere is increasing rapidly due to human activities. Carbon monoxide profile concentrations. Carbon monoxide, while a weak greenhouse gas, is an important indicator of the effects of human activities on the atmosphere and the carbon cycle.

MISR, the Multi-Angle Imaging Spectro-Radiometer, consists of nine separate, charge-coupled device, pushbroom sensors as to observe the Earth in four spectral bands and nine separate view angles.



MISR

FIRST ANNIVERSARY
TERRA
Science Operations

MISR
CERES
ASTER
MOPITT
MODIS

- MISR measurements include:**
- Moderate resolution, multi-angle views of the Earth's surface and maps of vegetation, deserts, and ice cover.
 - Data on clouds and atmospheric aerosols as components of the Earth's radiative balance and to provide corrections for atmospheric effects to the high-resolution surface images provided by MODIS and ASTER.

2) 数据处理分析方法的发展

过去，以像元为最小处理单元，以光谱亮度值为基本处理对象，以二维空间的数学模型为理论基础的常规数字图像处理方法，已不能满足实用化需求，需发展遥感数据处理分析方法，以提高遥感的时效性和精度。

比如：多源数据融合、数据与模型同化、混合像元分解；发展以纹理、空间特征为基础的处理方法；发展神经网络、小波理论、模糊数学、认知科学等新方法在遥感中的应用；借助GIS，建立环境背景数据库，并在GPS快速准确定位基础上，实现在分析决策模型支持下，快速的多源、多维复合分析。



Washington, D.C.
Landsat/TM (30m) + KVR-1000 (2m)

新疆吐鲁番地区火焰山



CBERS-1多光谱数据 (20m) 与 SPOT全色数据 (10m) 高通滤波融合结果



TM 543 (RGB) 1997.9.18



Radarsat / SAR 1997.9.6

TM+ SAR

去云图像

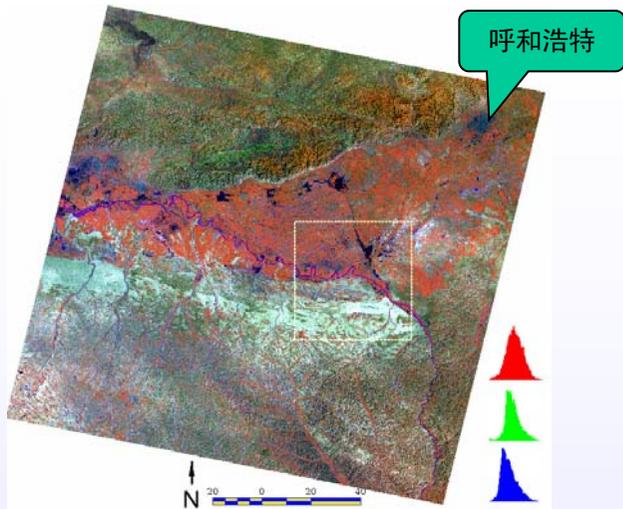
融合

(上海浦东新区)



TM 543 + SAR 融合图像

混合像元分解



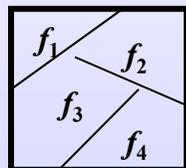
内蒙半干旱地区 LSMM 分解结果图

$$R = f_1 \rho_1 + f_2 \rho_2 + f_3 \rho_3 + f_4 \rho_4 + \varepsilon$$

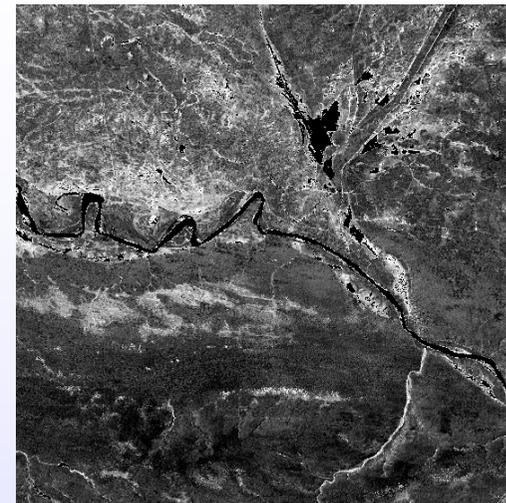
$$f_1 + f_2 + f_3 + f_4 = 1$$

已知 --- R 、 ρ_{1-4}

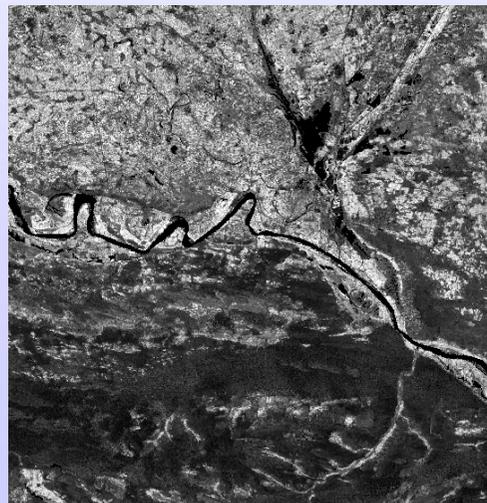
待求 --- f_{1-4}



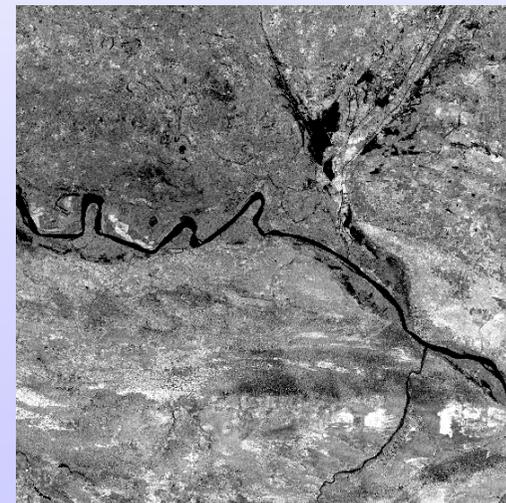
f_1 沙地



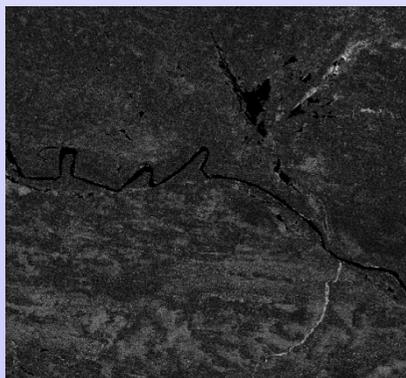
f_2 盐碱地



f_3 农地



f_4 林草地



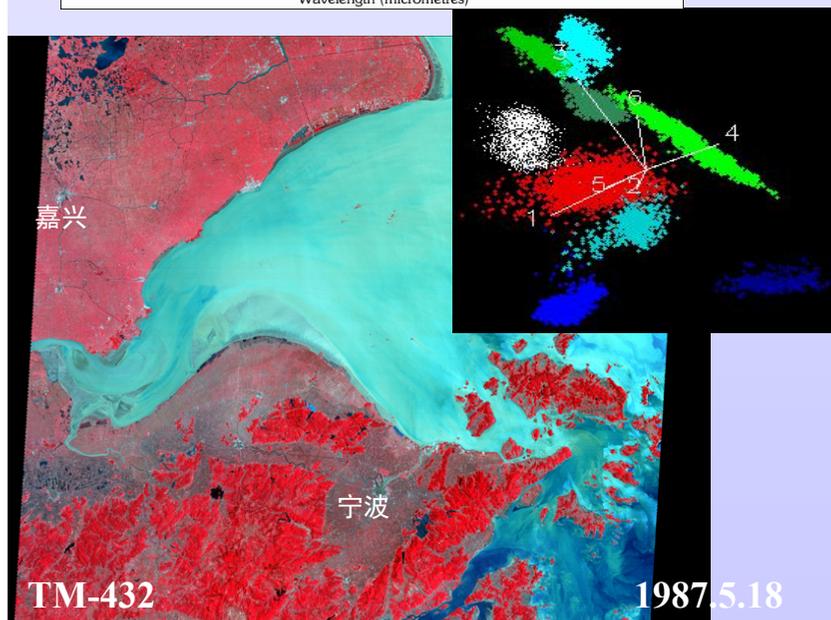
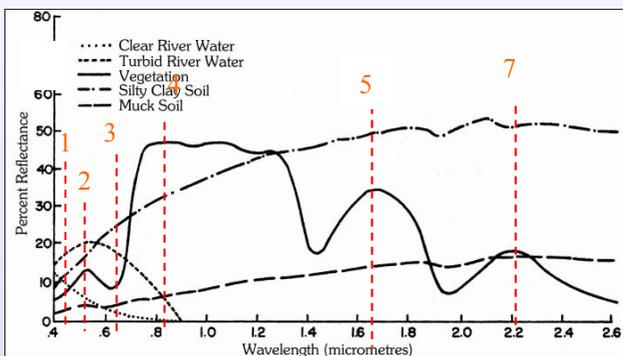
残差图

4- endmember 的LSMM分量图 (1996年)

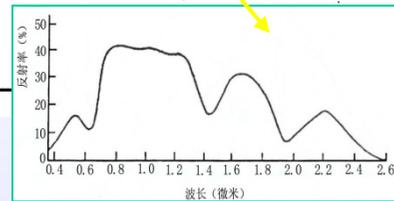
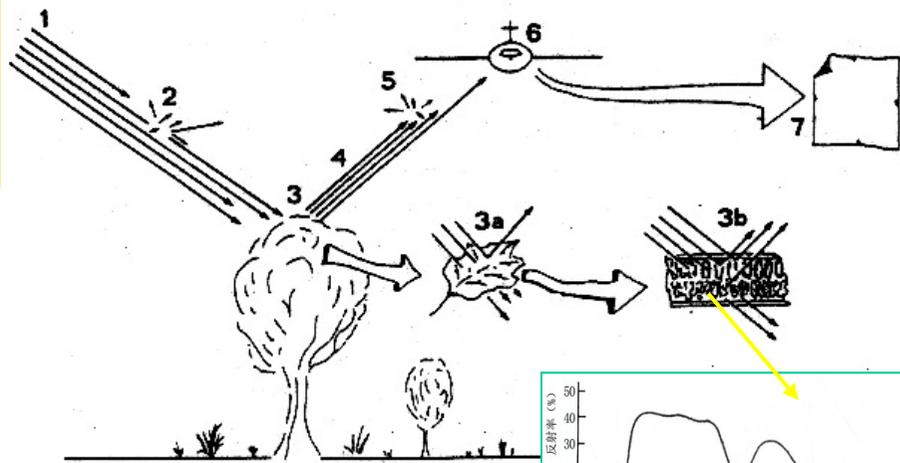
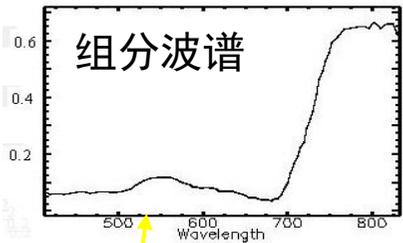
杭州湾



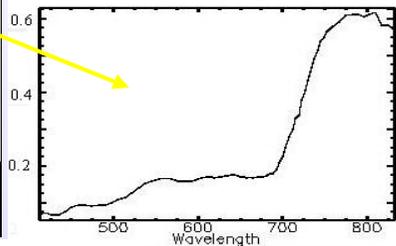
以 TM 1-7 为例



3) 遥感基础理论研究的深化



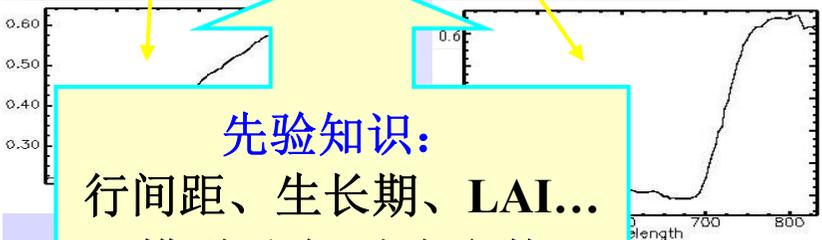
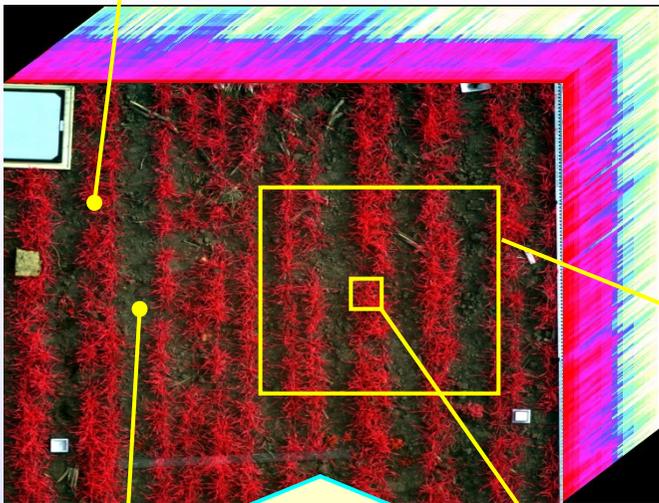
遥感像元波谱



空间尺度问题 ?

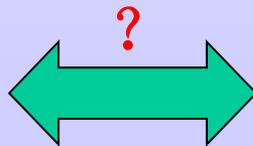
遥感模型定量反演地表参数

深化遥感机理研究



先验知识：
行间距、生长期、LAI...
模型反演-地表参数

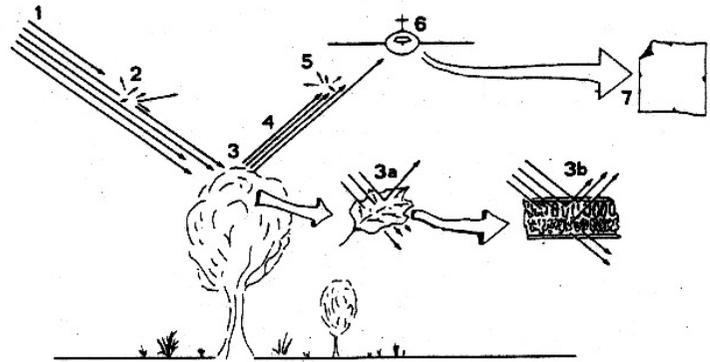
遥感数据
L、 ρ 、 α 、T、 σ
VI、WI ...



地表参数
LAI、Cab、F、B、Ws
Wv、LE ...

遥感数据的科学理解

二、定量遥感的基本概念



遥感的成像过程是十分复杂的。它经历了从辐射源→大气层→地球表面→探测器等的过程。这里的每个环节都涉及到非常多的参数，且许多参数间又是密切关联的。以植被遥感系统为例：

- ① 辐射源{ a }，包括太阳辐射和天空散射的强度、入射方向等；
- ② 大气{ b }，包括大气中的悬浮微粒、水蒸气、臭氧等的空间密度分布和本身因波长而异的吸收和反射特性；
- ③ 植被{ c }，包括植被组分（叶、茎、干等）的光学参数（反射、透射）、结构参数（几何形状、植株密度）及环境参数（温度、湿度、风速、降雨量等）。一般说来这些参数都可能随波长、时间和空间位置而变；
- ④ 地面或土壤{ d }，包括反射、吸收、表面粗糙度、结构及含水量等；
- ⑤ 探测器{ e }，包括波谱响应、校准、位置及观察方向等。

* {} 表示其特性和参数集合

二、定量遥感的基本概念 -- 续

遥感器所得到的辐射信号 $\{R\}$ ，随辐射源 $\{a\}$ 、大气 $\{b\}$ 、植被 $\{c\}$ 、地面 $\{d\}$ 、探测器 $\{e\}$ 的特性而变化，可表示为：

$$R = f(a, b, c, d, e) + \varepsilon$$

函数 f 反映了产生 $\{R\}$ 的辐射转换过程。 ε 为误差，它描述了模型模拟值和测量值之间的不确定性。

由给定的系统参数 $\{a - e\} \rightarrow \{R\}$ ，为正演问题，即 前向建模；‘**正演**’是从机理出发，研究因果关系，并用数学物理模型来表达。

由测量值 $\{R\} \rightarrow \{a - e\}$ ，为反演问题；“**反演**”是从观测到的现象推求未知的原因或参数。

二、定量遥感的基本概念 -- 续

如：反推植被参数 $C = g(R, a, b, d, e) + \varepsilon$ 。

为了求出{C}，往往需要对系统参数{a、b、d、e}假设为或可测或已知，或对于复杂过程进行分解简化 --- 如通过辐射纠正、大气校正分别解决{e}、{b}的影响，而大气校正又与{c}、{d}相关。

可见，‘前向模型’的建立（正演）是‘反演’的先决条件，而‘反演’地表参数更有实用价值，但难度更大。‘遥感反演’涉及到许多参数，其中很多参数是未知的或目前难以精确测量的。

因而，要实现遥感定量反演就必须**固定**一些（不敏感）参数、**简化**一些过程、**假设**一些条件，这就必然存在着“**无定解**”（或不确定性）、敏感性等一系列理论方法问题。

三、定量遥感的基本内容与方法

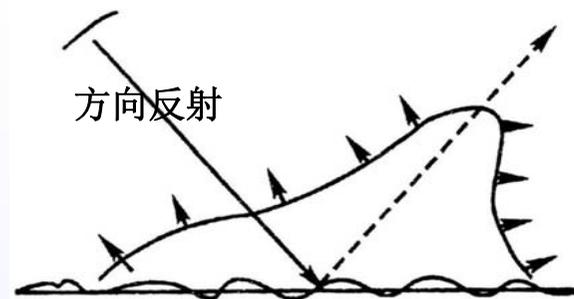
定量遥感不仅要进行遥感机理与各种前向模型的研究，还要进行各种反演模型、反演策略与方法、尺度转换、真实性检验等方面的研究。这些正是目前定量遥感基础理论研究的热点、难点问题。

1. 方向性与多角度遥感
2. 尺度效应与尺度转换
3. 病态反演与反演策略方法
4. 遥感模型与应用模型的链接

三、定量遥感的基本内容与方法

1、方向性与多角度遥感

(1) 方向性



过去卫星对地观测，主要采用垂直观测采集数据。常规的遥感研究，也主要是从地物的波谱特征入手，把地表看作各向同性的、均匀的表面——“朗伯体”。

但事实上，地球表面并非朗伯体（非均一、各向异性），地物与电磁波的相互作用也非各向同性，而**具有明显的方向性**。这种方向上的差异不仅与**两种角度**（入射、观测方向）有关，还随地物**波谱特征**和**空间结构**要素的变化而变化。

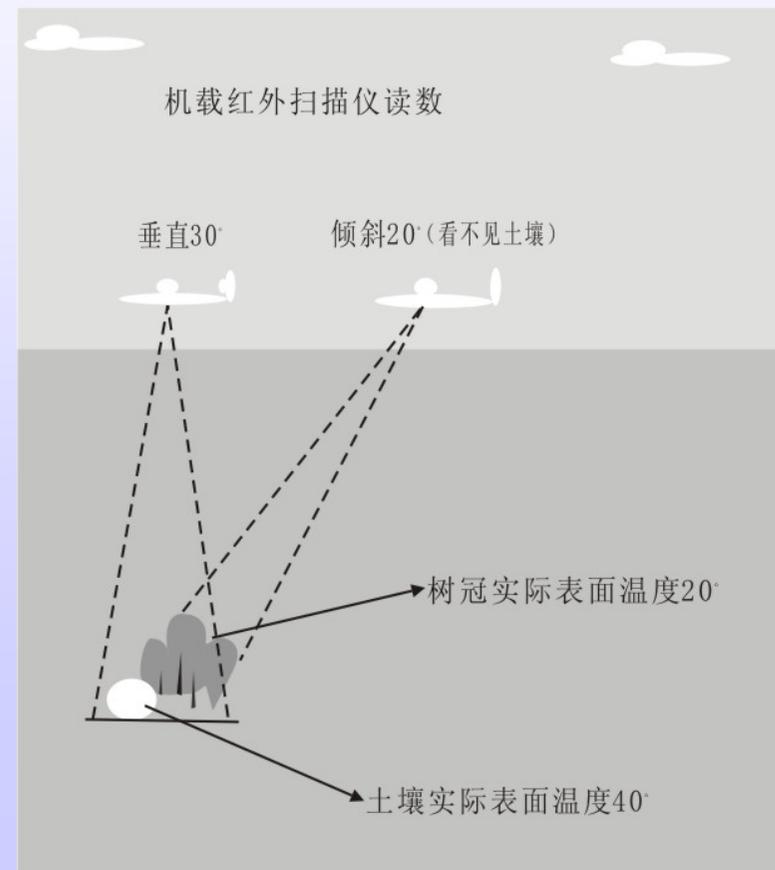
BRDF 模型可概念地表示为：

$$BRDF(i, r, \lambda) = f[i, r, p(\lambda), s]$$

1. 方向性与多角度遥感—续

随着太阳高度角及观测角度的变化，地物的反射、发射特征及地物瞬时表现出的空间结构特征都有变化。因而，在遥感图像上，则可能产生同一地物反射、发射信息的很大差异。

Kimes (1985) 研究认为，在反照率反演中，假设目标为朗伯表面，则可以引起高达**45%**的误差；在温度反演中，随着观测天顶角从**0~80°**变化，观测到的作物表面亮度温度可以产生**13°C**变化。这种温度差异是由作物的**几何结构**及**真实温度的垂直分布**造成的，并受总体比辐射率、太阳高度角和仪器视角大小等因素的影响。



观测角度对表面温度的影响

1. 方向性与多角度遥感—续

(2) 多角度遥感

多角度遥感实现了对地面目标的多方向观察，可以获得多角度数据。通过反射与发射辐射的方向性BRDF模型（如RT模型、GO模型、Ambrals模型及物体热辐射方向性模型等）的研究和应用。我们可以从多角度遥感数据中，反演、分离、提取目标方向信息 --- 组分光谱和空间结构参数（地表方向反射率、地表反照率、植冠的叶面指数、叶倾角分布、方向植被覆盖度、地表粗糙度等）。

可见，方向性模型研究、多角度遥感数据提取与应用，是定量遥感必须首先解决的关键问题。

1. 方向性与多角度遥感—续

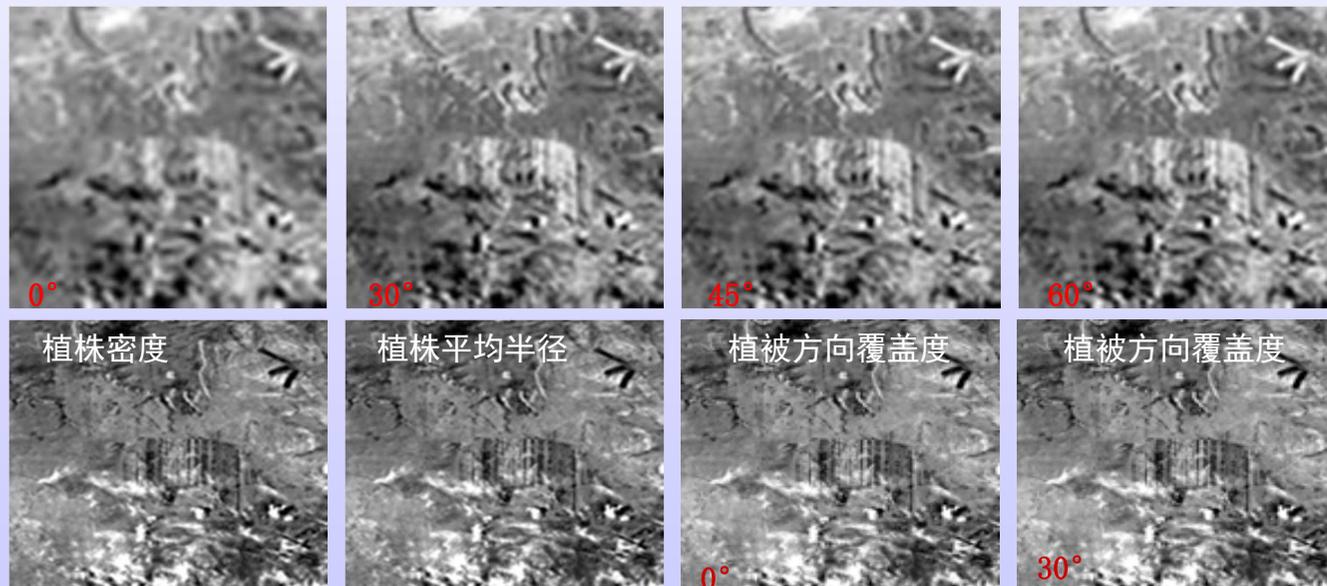
多角度遥感数据获取方式

目前，多角度遥感数据的获取有两种方式：

- ① 多角度遥感器（MISR、ASTER、POLDER）准同步的直接获得同一地区多个角度遥感数据；

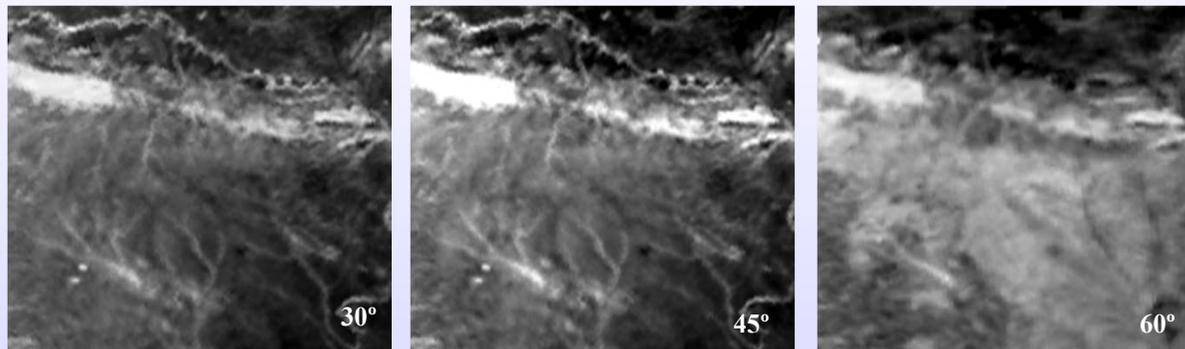
BRDF模型
反演及方向
信息提取

(ASTER)



1. 方向性与多角度遥感—续

- ② 利用 MODIS、NOAA 等卫星数据的宽视域 ($\pm 55.4^\circ$) 和高时间分辨率特点, 选用单星连续多天获得多轨数据, 通过轨道飘移所产生的角度差异, 经BRDF模型反演, 可获得同一地区的多角度方向信息。



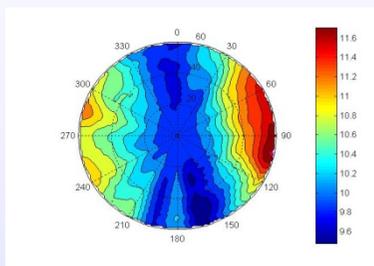
多轨NOAA数据的方向信息提取

$$R(\theta, \vartheta, \phi, \Lambda) = f_{iso}(\Lambda) + f_{vol}(\Lambda)K_{vol}(\theta, \vartheta, \phi) + f_{geo}(\Lambda)K_{geo}(\theta, \vartheta, \phi)$$

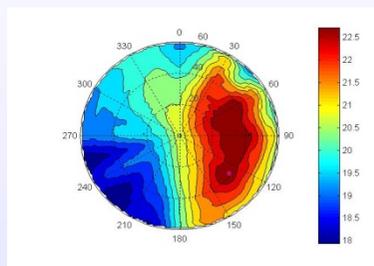
研究表明: 加入角度数据后, 无论从类间可分性还是从分类精度上都要比常规分类有所改善。

1. 方向性与多角度遥感—续

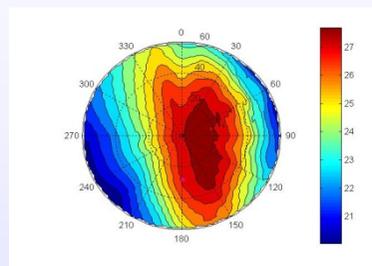
冬小麦方向性亮度温度分布昼夜变化



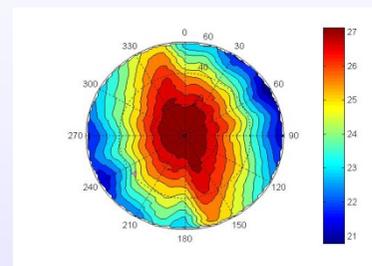
2001/04/21 08:00



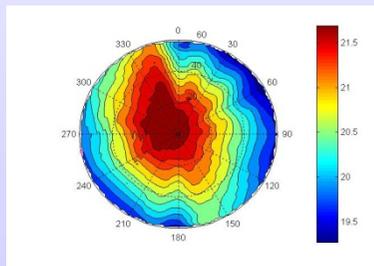
2001/04/21 10:00



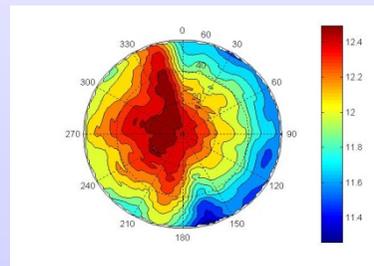
2001/04/21 12:00



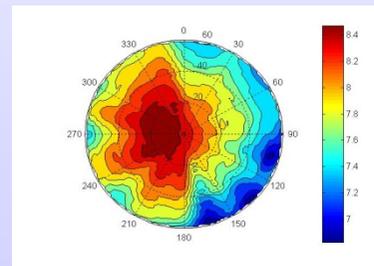
2001/04/21 14:00



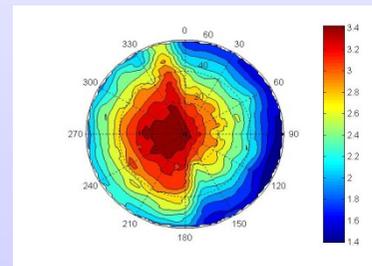
2001/04/21 16:00



2001/04/21 18:00



2001/04/21 20:00



2001/04/22 00:00

三、定量遥感的基本内容与方法

1. 方向性与多角度遥感
2. 尺度效应与尺度转换
3. 病态反演与反演策略方法
4. 遥感模型与应用模型的链接

三、定量遥感的基本内容与方法

2. 尺度效应与尺度转换

- 1) “尺度效应与尺度转换”的涵义
- 2) 尺度效应分析
- 3) 空间异质性的定量化表达
- 4) 尺度转换方法

尺度是一个广泛使用的术语，在不同的领域有着不同的内涵。尺度既可以表征研究的幅度（如地理范围），也可以作为刻画细节的度量（如分辨率）。

显然，若将研究对象简单地看成是在空间均匀的，则尽管观测尺度不同，也无需研究尺度问题，只需简单平均即可。

2. 尺度效应与尺度转换—续

尺度效应与尺度转换

- 不同地学对象、地表现象与过程，空间特征上有很大差异，这些差异往往是非线性的，不能简单平均。即 **自然-人文单元是以不同空间尺度客观存在着**。对它们的研究需要按不同的尺度进行。
- 不同尺度的观测数据、遥感反演产品不具有可比性，不同尺度的遥感反演模型也不能混用。即 **不同尺度间存在对比、转换、误差分析等问题**，即“尺度效应与尺度转换”。
- ‘尺度转换’是定量遥感必须解决的关键问题，也是提高遥感应用水平的关键所在。
- 多空间、时间分辨率的遥感数据，为不同时空尺度研究提供可能。



2. 尺度效应与尺度转换—续

1) “尺度效应与尺度转换”的涵义

“尺度效应与尺度转换”可理解有 4 层涵义：

- (1) 定律、算法的尺度适用性
- (2) 地面‘点’与遥感‘面’数据的代表性
- (3) 遥感数据的空间域
- (4) 遥感数据的时间域

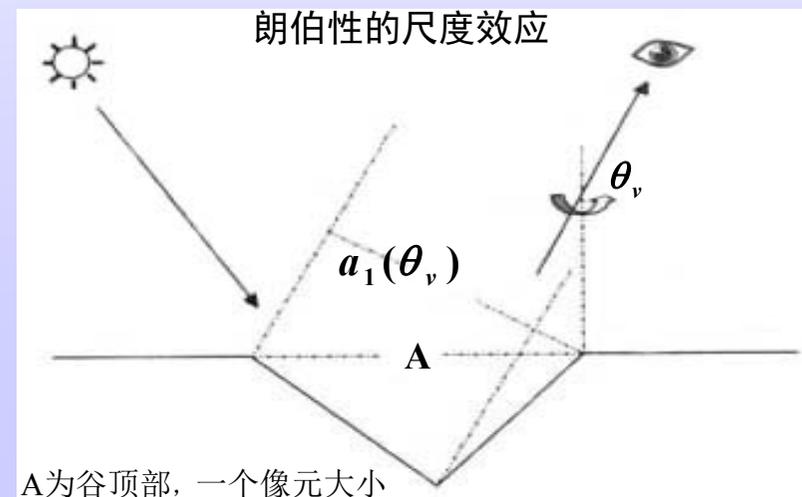
1) “尺度效应与尺度转换”的涵义

(1) 定律、算法的尺度适用性

指那些立足于点或均一表面（即局地尺度）上定义的概念，总结、推导出的基本物理定理、定律（如普朗克定律、基尔霍夫定律、互易定律等），直接用于以遥感像元尺度的面状信息（多为非均一的）时，有个**适应性**问题。即需要对其适用性进行检验和纠正，而这种纠正正是与像元尺度上的地学定量描述密不可分的。这里存在着尺度效应与尺度转换问题。

如图尽管两坡面均为朗伯反射面。但因入射光的方向及多次散射，则在遥感器视场内两坡的亮度不一，而亮、暗的面积比随观测角而变化。这个像元作为整体，不再具有朗伯特性。

李小文用一个简单的GO模型说明像元的非漫反射特性主要是像元尺度上地表的三维结构决定的。即**像元内处处漫反射(各向同性)**，但**整个像元并非具有朗伯特性**。



1) “尺度效应与尺度转换”的涵义

(2) 地面‘点’与遥感‘面’数据的代表性

- 常规地学手段对地表信息的采集多是以稀疏的地面观测点方式进行的，而遥感数据的采集是以面状“连续”像元方式记录。
- 由离散观测的‘点数据’来标定遥感像元‘面数据’，再扩展到‘区域’
甚至‘全球’，是完全不同的空间尺度。
- 不同尺度信息之间往往是**非线性或不均匀的**，‘以点代面’的**代表性、扩展性**有待研究。研究表明：对于非均匀下垫面，一个站点观测的代表性可能只有几百米或更小。
- 由‘**点-面扩展**’，①需借助适当的数学方法进行线性或非线性的内插与外推；②考虑到地表的非均匀性，运用空间异质性因子、DTM等先验知识，来描述地表特征分布变化与尺度变化，进行空间尺度转换；③需加强星-机-地同步观测试验和真实性检验的方法研究。

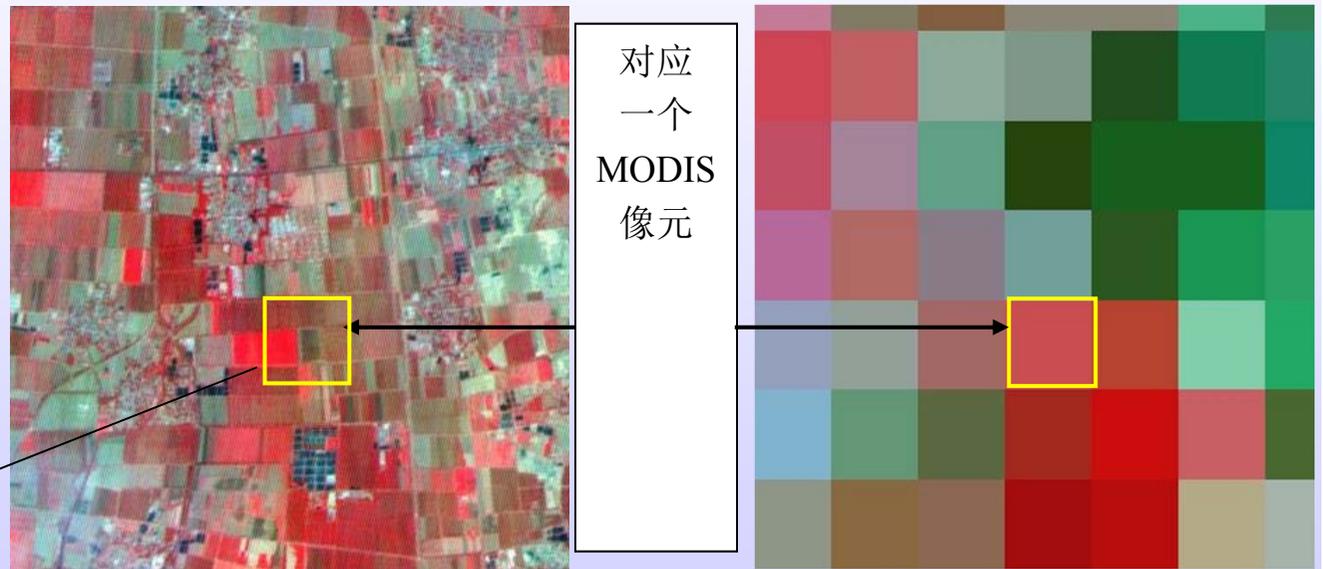
1) “尺度效应与尺度转换”的涵义

(3) 遥感数据的空间域

遥感像元面状信息本身是多空间分辨率的 (< 1 m ~ 数 km)。这些不同尺度像元各表征不同的‘量’，其地表状况 (空间异质性) 有明显差异，则不同尺度间的遥感数据、模型、反演的产品均存在尺度效应。

MODIS 与 ASTER 的像元尺度对比

北京顺义实验区
(973项目)



对应于一个MODIS像元的赵全营大田实验区

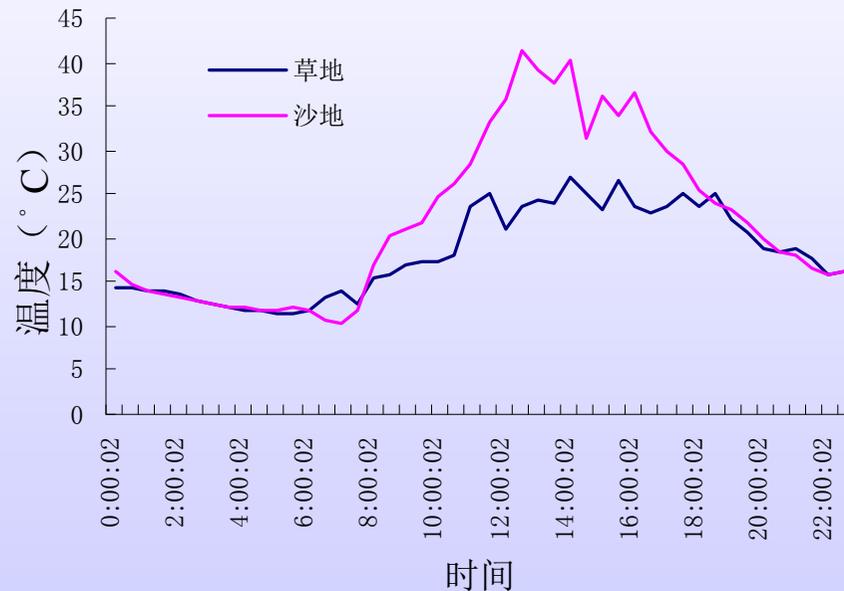
研究表明：对同一地区估算植被覆盖度变化，若用AVHRR数据 (1 km) 则覆盖度变化范围为 0~22%，而用SPOT数据 (20m) 则为 0~63%。

1) “尺度效应与尺度转换”的涵义

(4) 遥感数据的时间域

遥感数据是瞬时的，遥感反演的 α 、 T 等能量平衡参数也是瞬时值，但实际应用中往往需要一定时间尺度的参数，这就需要进行‘时间扩展’。

如热量平衡各分量的日总量，需要对比地面的气象站、生态站的热量平衡各分量时间过程数据的日积分值和遥感方法所获得的瞬时值，求出它们的转换系数；或建立不同的温度日变化模型来获得任意时刻的温度值。



7月份沙地和羊草草地表面温度日变化

遥感数据与地表过程模型的同化也是‘时间扩展’的有效方法。

2. 尺度效应与尺度转换—续

综上所述，无论是在不同尺度数据的解译、融合、转换，还是不同尺度遥感反演算法和模型的应用，以及不同尺度地面实测点数据对遥感反演参数面数据的真实性检验等方面，都需要进行尺度效应分析与尺度转换研究。

在不同尺度信息间的‘尺度效应与尺度转换’的研究中，

- 需要进行尺度效应分析，研究尺度变化对信息量、模型、处理结果的影响；
- 需要解决空间异质性及尺度效应的定量化表达问题；
- 需要借助于相关先验知识（空间异质性因子、DEM等），建立相应的尺度转换模型进行尺度转换。

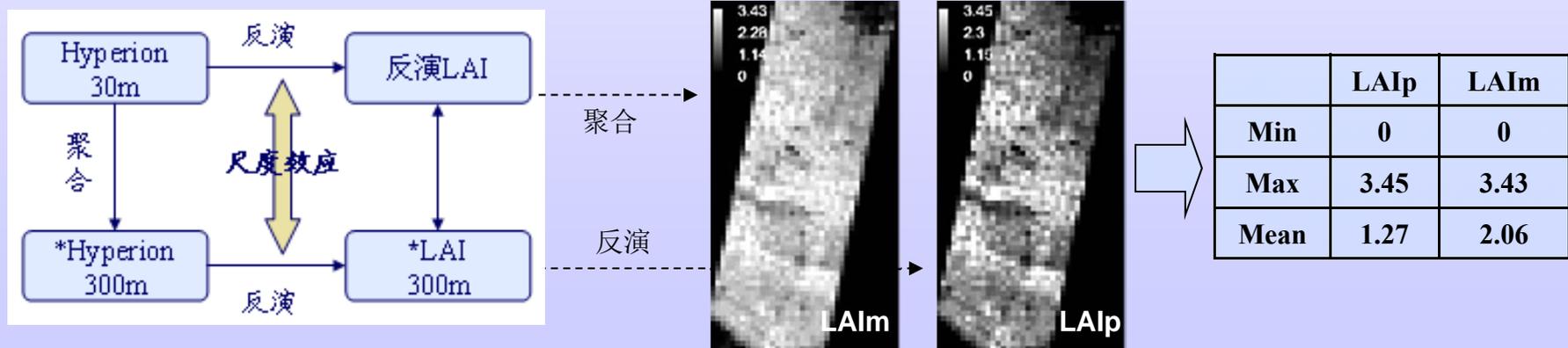
2. 尺度效应与尺度转换 - 续

2) 尺度效应分析

由同一遥感数据源 (Hyperion) 和同一反演模型 (ACRM冠层反射率模型), 采用两种升尺度方式:

- ① 反演再聚合 LAI_m , 可作为低分辨率 LAI 的真值;
 - ② 聚合再反演 LAI_p , 可作为低分辨率 LAI 反演值;
- 两者结果不同, 存在‘尺度效应’。

两者之差 $err = LAI_p - LAI_m$ 为尺度偏差, 可被定义为升尺度后遥感影像反演 LAI 的误差因子, 进行尺度效应分析与评价。



2. 尺度效应与尺度转换—续

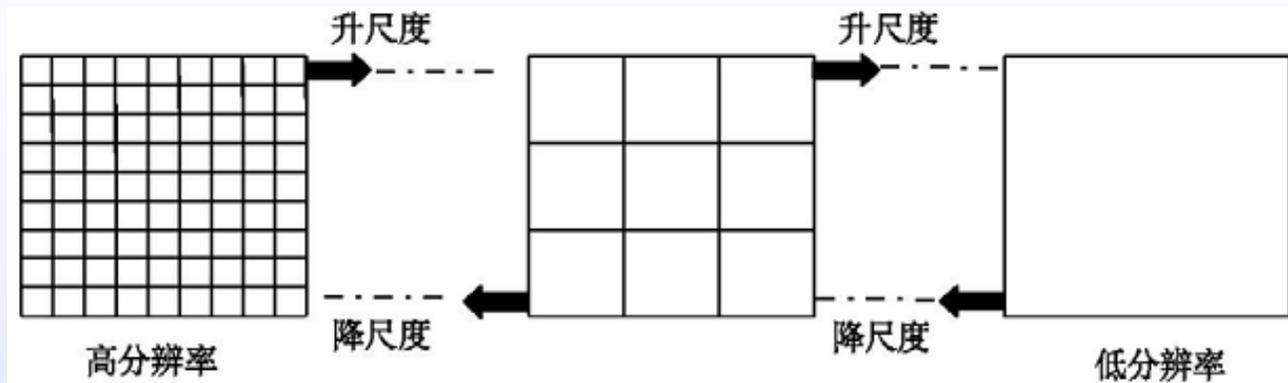
3) 空间异质性的定量化表达

空间异质性是指某种变量在空间分布上的不均匀性及复杂程度。对它的研究是不同尺度遥感数据转换的基础。空间异质性（包括空间组成、空间结构、空间相关）的研究，一般采用**参数化法**，即定义不同的参数来描述不同尺度地表特征的空间异质性。

- 用均值、方差等**统计值**来描述空间异质性；
- 用空间自相关性指数、尺度方差、局部方差、半方差法（变差图）等**地统计学参数**来描述空间异质性；
- 用**纹理分析、分形几何、小波分析、神经网络**等方法来描述空间异质性，并进行尺度分析与转换；
- 用**直方图分解图谱法**（驻点、边界点等）来描述空间不同尺度地表特征的空间关系、分布格局、破碎程度；
- 计算不同空间分辨率遥感数据的**空间距离**（J-M 距离等），进行统计可分性度量等。

2. 尺度效应与尺度转换—续

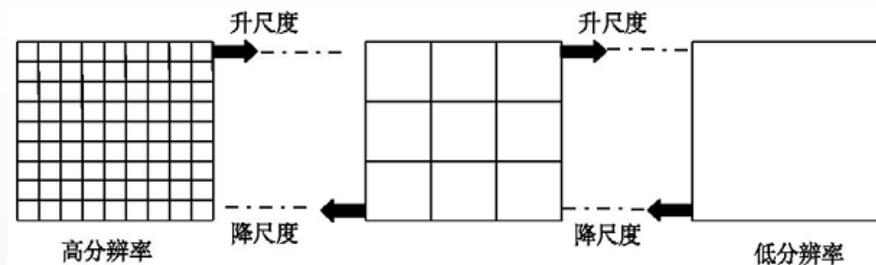
4) 尺度转换方法



- **尺度上推** (Scaling up 升尺度—聚合) 又称尺度扩展，指利用小尺度获取的信息（观测、模拟结果）来外推大尺度信息的过程；
- **尺度下推** (Scaling down 降尺度—分解)，指利用大尺度获取的信息（观测、模拟结果）来分解得到小尺度信息的过程。

2. 尺度效应与尺度转换—续

尺度上推

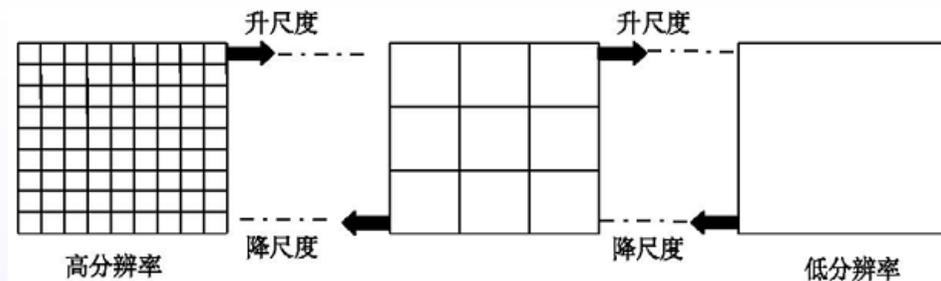


‘尺度上推’的升尺度（从小到大），为‘信息归并、像元聚合’的过程，一般采用基于统计分析和经验回归的方法，如局部平均或各种重采样法等，通过简单的线性加权，实现从高空间分辨率向低空间分辨率的转换；若地表特征复杂呈非均匀、非线性关系，则需要从机理出发，运用泰勒级数展开法、分形和自相似法等数学方法，建立各种尺度转换模型，实现由小尺度到大尺度的尺度扩展。

例如，为检验MODIS-LAI产品的真实性，一般难以直接用地面点数据验证（两者尺度悬殊，在空间域上难以得到可比共同基准），而借助于30m的TM数据作为中间过渡，运用同样的算法获得TM-LAI；经地面点数据验证后，再将它们‘归并’到1km，与MODIS-LAI产品进行比较分析。研究表明，对于表达同一非线性地表参数，任何两种尺度均存在一定差异。这种差异随着非线性地表参数结构和空间分布的离散程度（空间异质性）的变化而变化。

2. 尺度效应与尺度转换—续

尺度下推



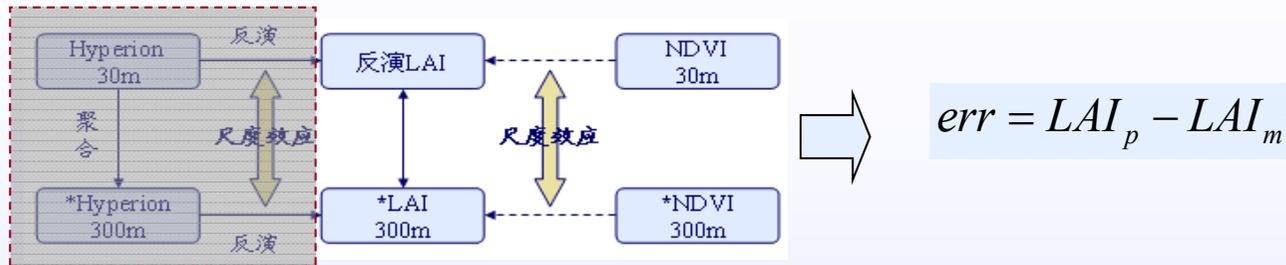
‘尺度下推’的降尺度（从大到小），为‘信息分解’的过程，一般采用各种内插法、或通过线性、非线性方法分解像元，实现从低空间分辨率向高空间分辨率的转换。这类似于混合像元的分解问题，可借助于不同的光谱混合模型，如线性、概率、几何光学、随机几何、模糊模型等，进行‘信息分解’。

此外，应用线性或非线性回归分析方法建立大尺度特征信息与小尺度特征信息之间的相关关系；以及将高分辨率图像的细节部分（高频信息，或小尺度分类结果对应于大尺度像元内的地类面积百分比）融合到低空间分辨率图像上，均可认为是一种降尺度处理。

2. 尺度效应与尺度转换 - 续

案例

以 LAI 反演为例，尺度效应的定量化表达及尺度转换



基于 LAI-NDVI 回归方程，利用二阶泰勒级数展开法，可建立尺度误差因子 err 的定量表达式：

$$err = LAI_p - LAI_{mean} = -\frac{1}{2} \sigma_{NDVI} * g''(mNDVI)$$

式中， $mNDVI$ 、 σ_{NDVI} 分别为较高分辨率 n 个像元 NDVI 的均值与方差。

可见，大尺度数据反演 LAI 的误差，可通过聚合前图像 NDVI 的方差与均值进行调整。也就是说，可通过较高分辨率数据所得的误差纠正因子，对低分辨率反演结果进行纠正，即进行尺度转换。

* Zhu X H, Feng X M, Zhao Y S, et al., 2010, Scale effect and error analysis of crop LAI Inversion. *Journal of Remote Sensing*, 14 (3): 579-592.

三、定量遥感的基本内容与方法

1. 方向性与多角度遥感
2. 尺度效应与尺度转换
3. 病态反演与反演策略方法
4. 遥感模型与应用模型的链接

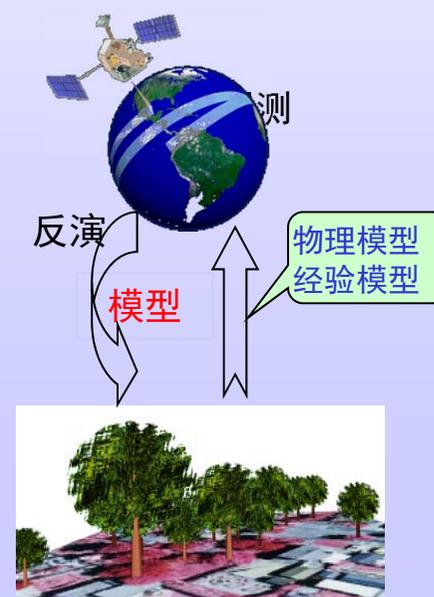
三、定量遥感的基本内容与方法

3. 病态反演与反演策略方法

遥感应用的本质是将获取的大量遥感数据转化为人们所需要的各种地面信息（或参数）的一个反演过程。

- 遥感参数反演一般是通过数学物理方法，建立**遥感模型**来实现的。
- 传统遥感地表参数反演的**必要条件**是 $n > m$ （ n 为观测的数据量、 m 为待反演的模型参数量），采用最小二乘法进行迭代计算。
- 尽管遥感模型要固定一些参数、假设一些条件、或简化一些过程，抓住关键参数。但遥感信息的有限性、相关性以及地表状况的复杂多变，要真正满足 $n > m$ 是很困难的。即**信息量不够**。

因而，许多遥感反演问题本质上是‘**病态**’的，是‘**无定解**’的问题。



3. 病态反演与反演策略方法-- 续

遥感病态反演策略方法

在遥感病态反演中，必须注意以下几个方面：

- 1) 先验知识的引入，以增加信息量
- 2) 多源遥感数据综合反演，以补充观测数据量
(融合、主被动协同、多角度数据参与)
- 3) 遥感数据与过程模型同化，以获得时空连续的参数
- 4) 反演策略与技巧

3. 病态反演与反演策略方法--续

1) 遥感定量反演中先验知识的引入

(1) 先验知识的涵义

李小文等认为在遥感模型反演中，先验知识可分为两类：

① **对模型参数的物理限制**，称为‘硬边界’，即按各参数的物理意义

决定其取值范围，在数学中可表示为约束条件，如反照率只能在0~1之间取值、叶片大小只能是正值等；

② **对研究对象的观测数据的积累**，称为“软边界”的先验知识，其不确定性较大，如**地学辅助信息**--植被（叶倾角分布类型-喜平型或倾斜型或球面型、冠层结构类型-水平均匀型或离散型、植被生长阶段等）、气象、水文、DEM、土壤、土地利用、社会经济等非遥感信息；先期的**遥感知识积累**--如各种室内、野外地物波谱测量数据、不同地类的BRDF测量值、NDVI等；以及**对研究对象的了解及专家经验**等。

1) 遥感定量反演中先验知识的引入—续

(2) 先验知识在反演中的作用

① 判断反演结果的置信度

即反演结果与先验知识库的参数比较,以衡量反演结果是否可信。

② 检验数据质量及平滑噪声

比如,可根据参数的先验知识(先验估计值)与实际数据的空间距离,来检验数据质量;也可用先验知识来平滑噪声,恢复数据,即在原数据集中添加先验参考数据。

③ 采样数据不足时,模拟数据以增加信息量,获得合理结果。

比如,可通过计算机图形法模拟真实自然植被,作为先验知识引入模型反演中。

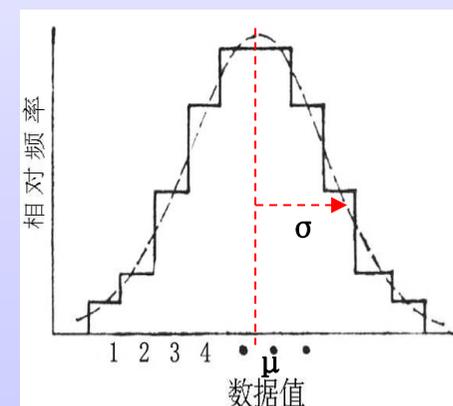
1) 遥感定量反演中先验知识的引入—续

(3) 先验知识表达方式

先验知识的表达方式可以有多种形式:

- ① 直接用**数学符号或数值**形式表达 (即参数取值的“硬边界”), 如模型参数的先验初始值 (可能的取值范围, 或约束条件)、反射率非负且小于1 ($0 \leq \rho < 1$) 等;
- ② 以对遥感数据 (随机变量) 的**统计特征**或地统计学处理结果作为先验知识, 如均值、方差、协方差矩阵或分布密度、变异函数等;

如 遥感反演是将地表参数和观测数据分别看作一个有一定概率分布的随机变量 (一般假设为参数呈高斯正态分布), 先验知识可由参数的均值、方差、协方差矩阵等统计特征来描述。



类别数据的正态分布及参数化

1) 遥感定量反演中先验知识的引入—续

③ 以**逻辑形式**表达，如“if ... then ...”（假如，VI>2.5、DEM49-100m ...

那么，为林地，否则为草地或耕地），以对遥感数据的处理结果进行知识层的确认和纠正。

④ 以**概率密度分布函数**形式表达，将地表参数在不同条件下的概率密度分布或分布率作为参数反演的先验知识。参数的不确定性和相关性、模型及测量数据的误差均可用概率分布（又称先验分布）来描述。

先验分布与反演后的后验概率相联系的关键是贝叶斯公式：

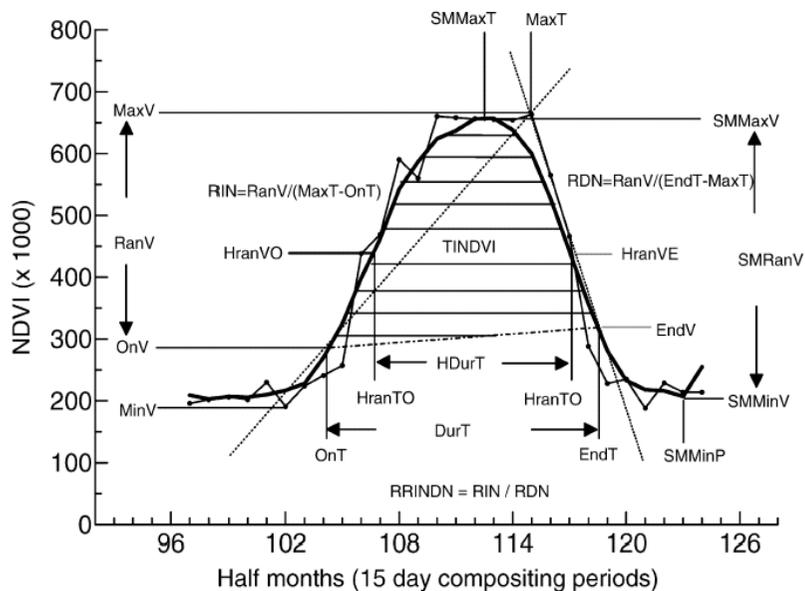
$$P(X|Y_{obs}) = \frac{P(Y_{obs}|X) P(X)}{P(Y_{obs})}$$

X -模型参数， Y_{obs} -观测数据； $P(X)$ 为 X 的先验分布； $P(X|Y_{obs})$ 为 X 的后验概率； $P(Y_{obs}|X)$ 表示在给定 X 时 Y_{obs} 的条件概率。

Bayes反演的本质是用观测数据提供的信息从先验概率得到后验概率（它综合了先验知识与观测数据所提供的信息），并对未知参数的先验分布进行更新。

1) 遥感定量反演中先验知识的引入—续

案例—物候信息提取



NDVI时间序列曲线的参数化

* NDVI时序曲线受多种干扰，需要进行去噪声平滑处理（如最大值合成法），获得时序拟合曲线。

植被时序变化信息常作为植被参数反演中十分重要的先验知识。一般通过地物波谱库或长时间序列的遥感数据、产品（MODIS-NDVI、LAI）**曲线的参数化处理**，提取植被波谱变化的特征信息，如最大/最小值、均值、方差等统计参数，或植被生长期的始末、生长峰值、生长期大小、增长速率等关键物候信息。

这些物候信息作为植被生长参数的先验知识，常被引入到遥感定量模型分析、代价函数构建、同化过程研究中，参与地表参数反演，以提高模型反演精度，或用于遥感反演产品的优化及植被季节变化的研究。

1) 遥感定量反演中先验知识的引入—续

(4) 先验知识引入方法

先验知识引入遥感模型反演中有多种方法与途径，比如

① 模型反演或构建查找表 (LUT) 时，通过大量实验数据**直接给出某些变量** (如LAI、LAD等) **的分布函数**，即对某些参数规定约束条件，缩小取值范围，以提高反演精度。

这是反演过程中输入先验信息的最简单方法。

中等退化草场反射率计算的输入参数

参数	值	参数	值
太阳高度角	28°	水含量 (%)	150
叶面积指数	0.6	叶绿素含量 (%)	0.5
叶片相对尺寸	0.06	干物质含量 (%)	99.4
Markov参数	1.0	糖物质含量 (%)	0.2
叶角方差	0	叶片层数	1.5
叶角	45°	单位面积内草的数目	500
叶片折射指数	1.4	草的平均水平半径	0.07
叶干重 (g/m ²)	52.6	垂直半径与水平半径之比	10

1) 遥感定量反演中先验知识的引入—续

- ② 构建代价函数时直接引入先验知识（变量的先验估计），可有效地向代价函数最小值收敛，以提高反演精度。

* 因遥感模型复杂、参数过多，则模型反演中很难直接得到参数的解析解，只能求解特定条件下的最优解（即近似数值解）。因此在一般的模型反演中，先要在模拟值（模型变量）和测量值之间构建一个‘代价函数’，再利用不同优化算法来调整 and 选择模型参数取值，使得代价函数最小化，由此获得模型反演的最优解。

如：将先验知识（物候信息）引入，构建代价函数

$$F = \sum_{DVS=0}^n \left[\left(\frac{DAY_{DVS}^{cal} - DAY_{DVS}^{pri}}{10 * DAY_{DVS}^{pri}} \right)^2 + \left(\frac{LAI_{DVS}^{cal} - LAI_{DVS}^{pri}}{LAI_{DVS}^{pri}} \right)^2 \right]$$

如：植被结构参数反演中，针对绿色植被反射光谱的3个极值（绿峰、近红外峰、红波谷）重构光谱参数，作为光谱先验知识，引入代价函数中，参与树冠结构参数反演，以改善反演结果。

3. 病态反演与反演策略方法-- 续

2) 多源遥感数据综合反演

充分利用各种不同类型遥感数据（多遥感器、多时相、多尺度、多频段、多角度）的特点与优势，既信息互补又增加信息量，通过一定的规则（或算法）进行信息优化处理，来提高定量遥感反演效果。

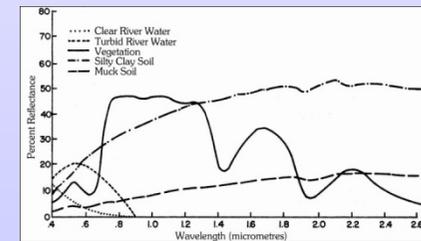
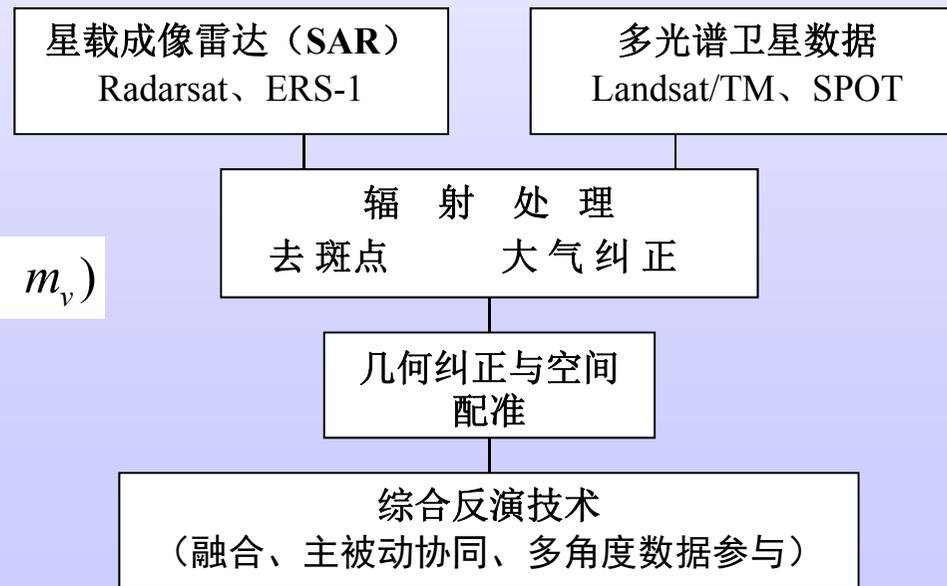
- 多源遥感数据融合
- 主被动遥感协同反演
- 多角度遥感数据参与

2) 多源遥感数据综合反演—续

多源遥感数据预处理

各类不同来源的遥感数据，因轨道、平台、观测角度、成像机理、几何特征、波谱范围、参数表达、分辨能力等均等的不同，其几何特征相差很大，反映的地物特征有很大不同。在综合反演前，必须先进行**数据预处理---辐射处理、几何纠正与空间配准等**，再考虑采用何种综合反演技术方法，以更充分地利用和挖掘这些数据资源，补充观测数据量，提高反演效果。

$$\sigma^o = f(Veg, Sr, m_v)$$



2) 多源遥感数据综合反演—续

案例：多源遥感数据综合反演土壤水分

热红外
遥感

遥感土壤热惯量模型反演
裸地+植被覆盖区土壤水

雷达
遥感

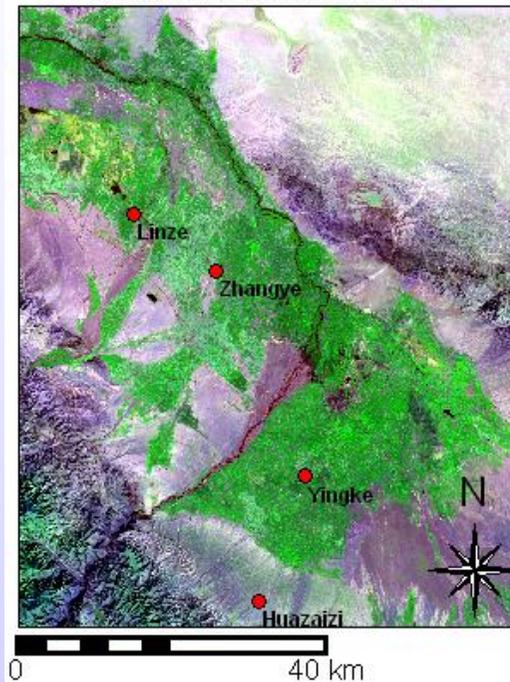
- 经验模型
- 双尺度微波散射模型
反演 裸地土壤水

光学
+
雷达
遥感
协同
反演

裸地+植被覆盖区

- 光学-雷达数据融合提取
土壤水信息
- 光学+雷达模型耦合反演
- 光学、雷达模型优化算法

Automatic weather stations in the middle reaches of Heihe River Basin



数据源：ASTER、TM、ASAR

雷达数据与水文过程模型 (DHSVM) -- 单点 土壤水分同化
光学数据与水文过程模型 (DHSVM) -- 区域 土壤水分同化

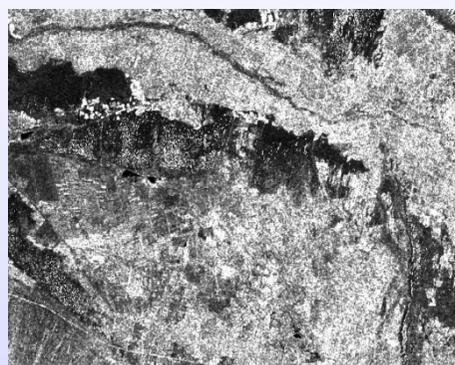
案例：多源遥感数据综合反演土壤水分

(1) TM+ASAR 融合数据的土壤水分信息提取

用小波变换与IHS结合的算法，将TM5、4、3与ASAR数据融合，并从统计学和对土壤水信息表达两方面进行融合效果评价，结果表明，融合后的图像信息量更丰富，图像质量更好，对土壤水分更为敏感。



TM5、4、3合成图



VV极化下ASAR影像

小波变换+IHS

融合影像



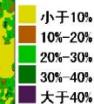
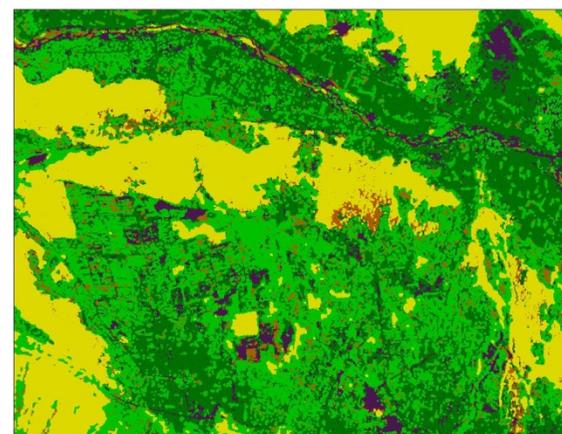
融合效果评价

贝叶斯网络分类



构建 BN 网络进行分类，得土壤水分分布图，经实测数据验证表明融合后的分类结果较好地反映出试验区内土壤水分的分布状况。

张掖临泽地区土壤水分等级分布图



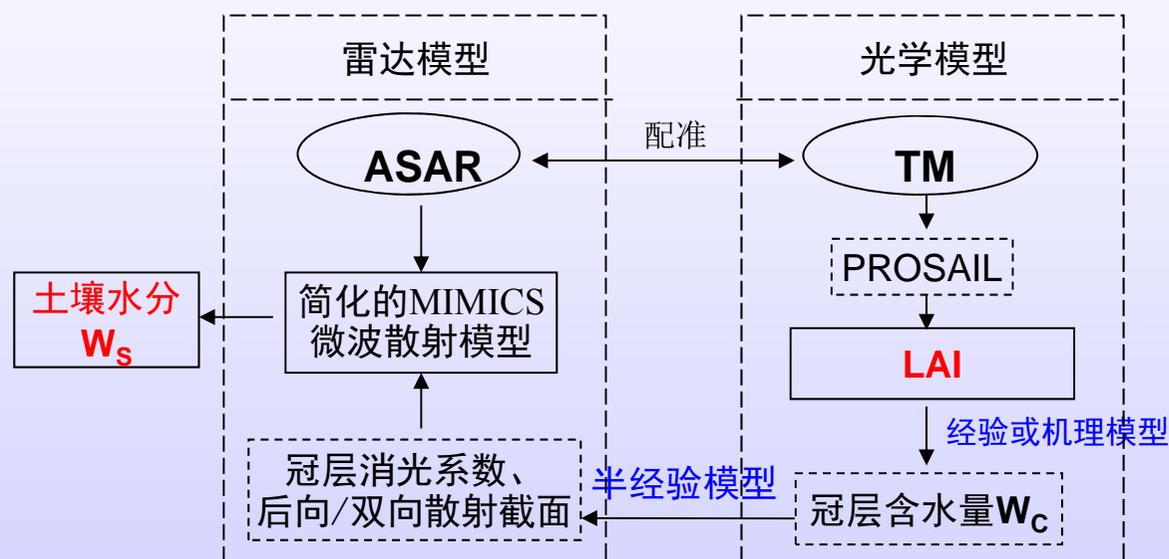
案例：多源遥感数据综合反演土壤水分

(2) 主被动遥感耦合模型协同反演土壤水分

$$\sigma^o = f(\text{Veg}, \text{Sr}, m_v)$$

- 用光学遥感来获取植被特性信息（如 LAI、BI、F、 W_C 、NDVI 等），建立微波/光学协同反演模型，以削弱或消除植被对 W_S 的影响。

考虑到基于辐射传输的微波散射模型很复杂，涉及参数众多，采用光学模型来获取 LAI、冠层含水量等，并建立冠层含水量与冠层消光系数、后向/双向散射截面的半经验模型，以协同反演土壤水分。



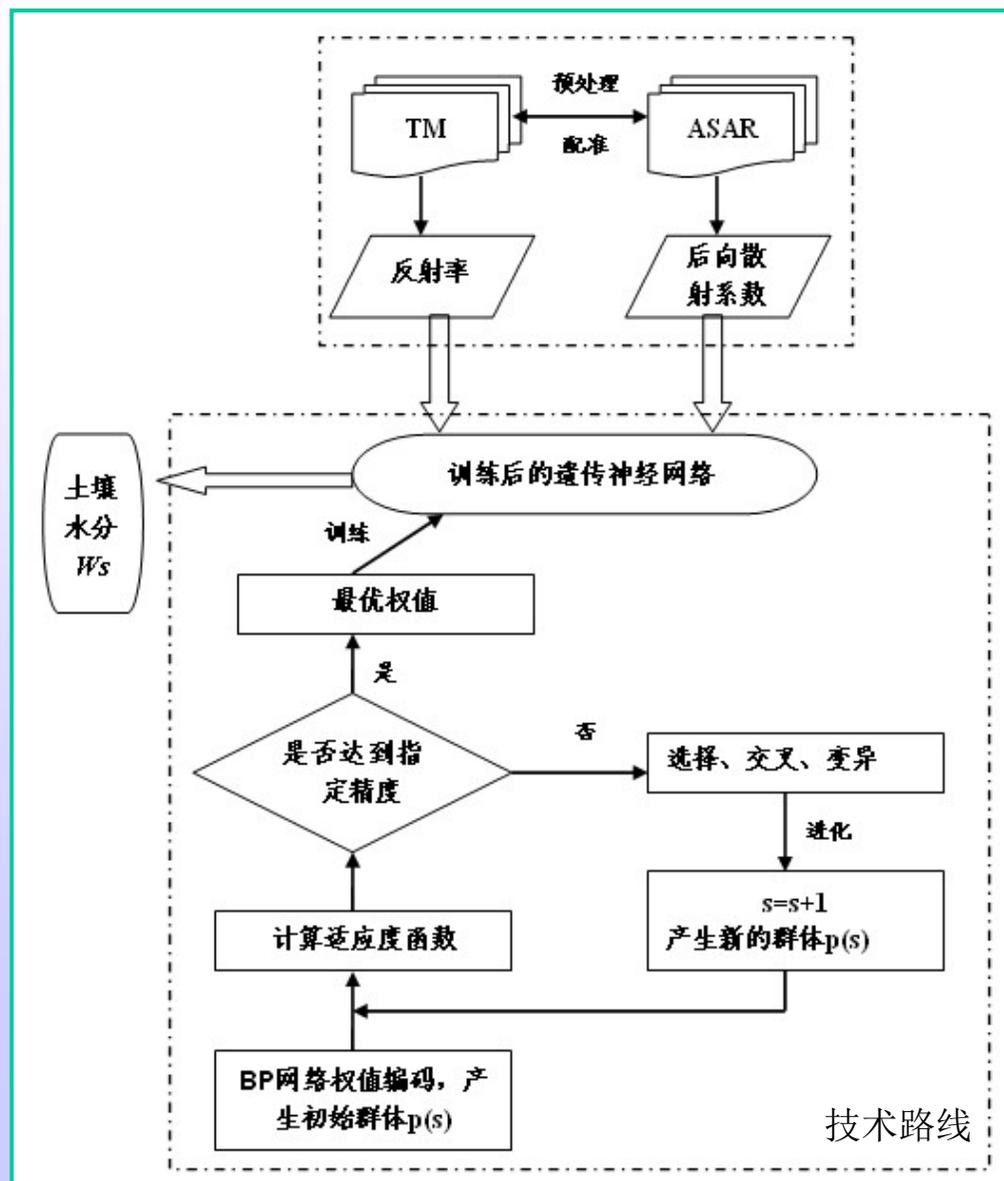
- 用微波散射仪获得地表粗糙度，或用雷达数据估算表面粗糙度；用微波辐射仪获得亮度温度，或用热红外数据反演地表温度；并将这些不同遥感数据源获得的地表参数，通过模型耦合、数据同化等不同方法，来提高遥感反演 W_S 的精度。

案例：多源遥感数据综合反演土壤水分

(3) 基于优化算法的主被动协同反演土壤水分

由于遥感理论模型都相当复杂，无法反向推导出土壤水分反演的精确表达式，因此也可采用神经网络、遗传算法等优化算法来估算土壤水分。

先建立一个BP神经网络，并利用遗传算法对网络的节点权值进行了优化。然后将光学遥感数据、微波遥感数据作为遗传神经网络的输入参数，土壤水分作为输出参数，反演得到研究区的地表土壤水分布图。

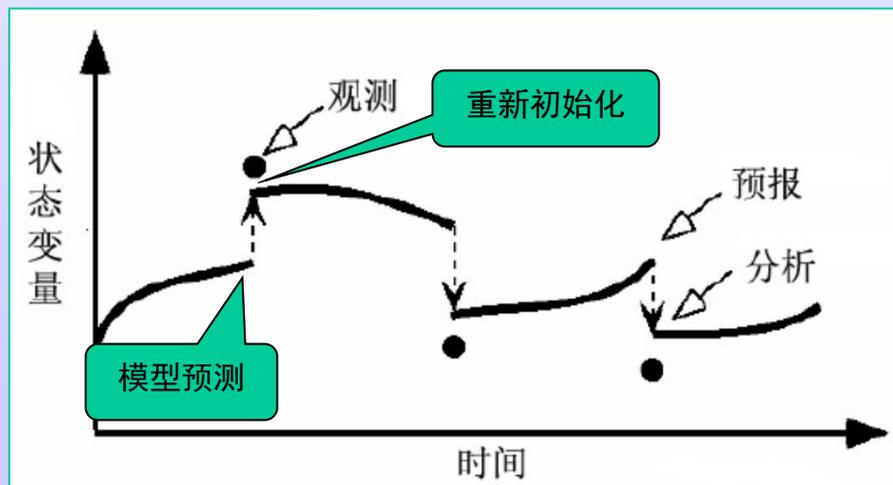


3. 病态反演与反演策略方法--续

3) 遥感数据与过程模型的同化

- **遥感观测**：存在有限性（时空不连续）、相关性、不确定性、代表性、噪声误差、遥感病态反演等问题；
- **模型模拟**：受到数值计算和过程理解（物理机制）的限制，且模型参数及驱动数据（初始值、边界条件）具有不确定性，随着模型向前运行，误差不断积累。

数据同化是指在考虑数据时空分布以及观测场和背景场误差的基础上，在数值模型的**动态运行过程中不断融合新观测数据**的方法。



两者同化：既通过观测数据**自动调整**模型运行轨迹，**控制**模拟误差的积累，提高模型预测能力；又实现遥感信息由**瞬时-连续、浅层-深层**的扩充，提高遥感反演精度。

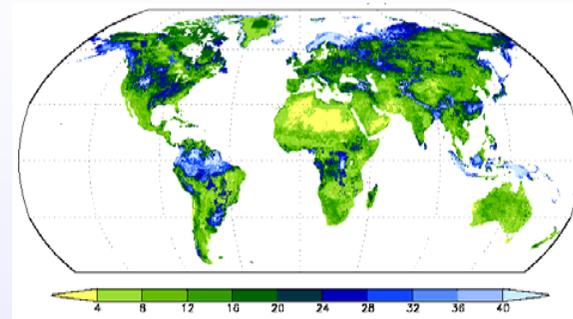
陆地数据同化系统 (LDAS)



方法：空间观测与地面观测数据来驱动陆地表面过程模型。



观测



根区土壤水分含量 [%]

驱动数据与参数

同化算法

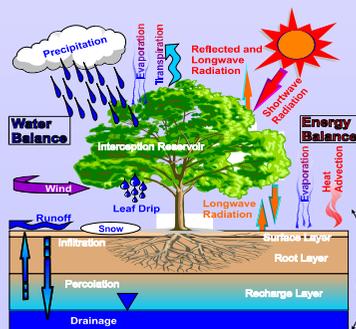
陆地数据同化系统 (LDAS)

输出

降雨，温度，辐射等。
植被类型，土壤质地与类型，高程等

土壤水分，蒸发，能量通量，温度，河流径流，积雪特性等。

陆地表面过程模型



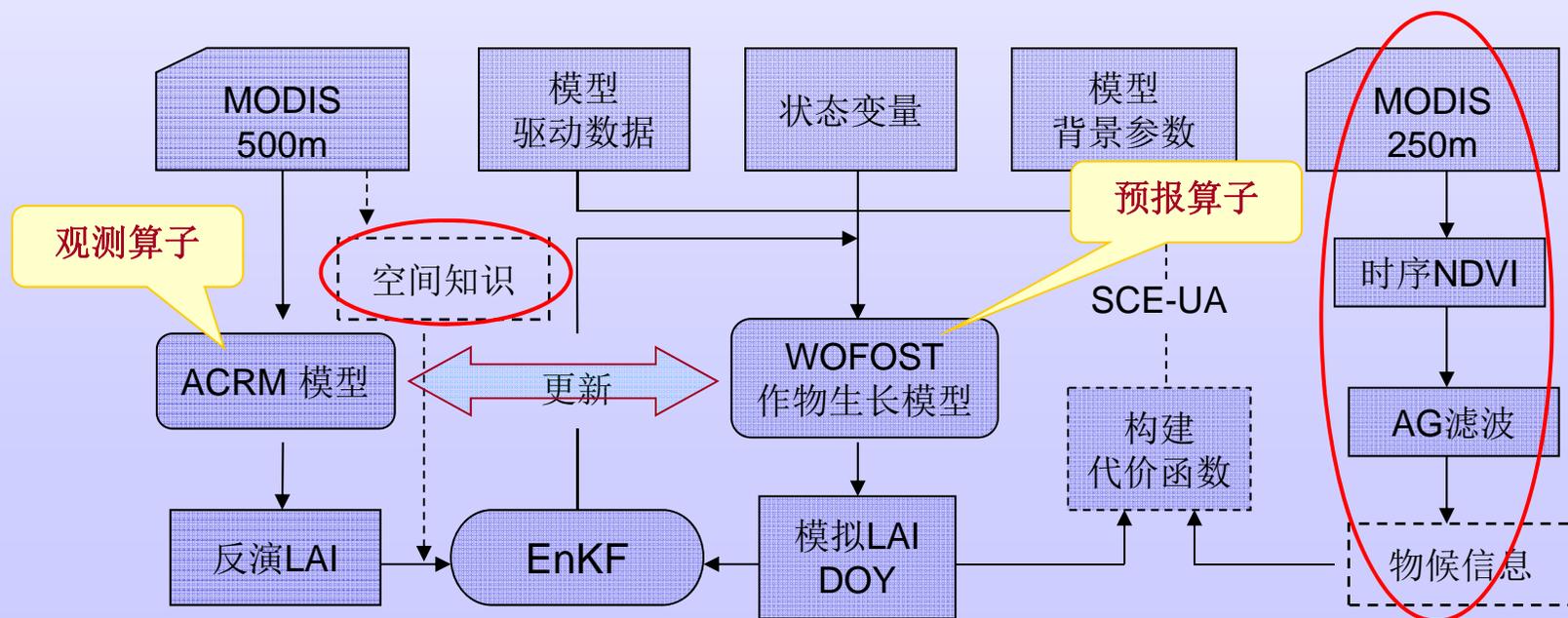
这些输出参数用作气象、气候预报模型和地表水资源应用所需的初始值

4) 遥感数据与过程模型的同化-案例1

基于时空知识的遥感与作物生长模型同化反演LAI

基于空间知识（尺度信息）和时间知识（物候信息）的MODIS遥感数据与WOFOST作物生长模型同化反演LAI的方法。

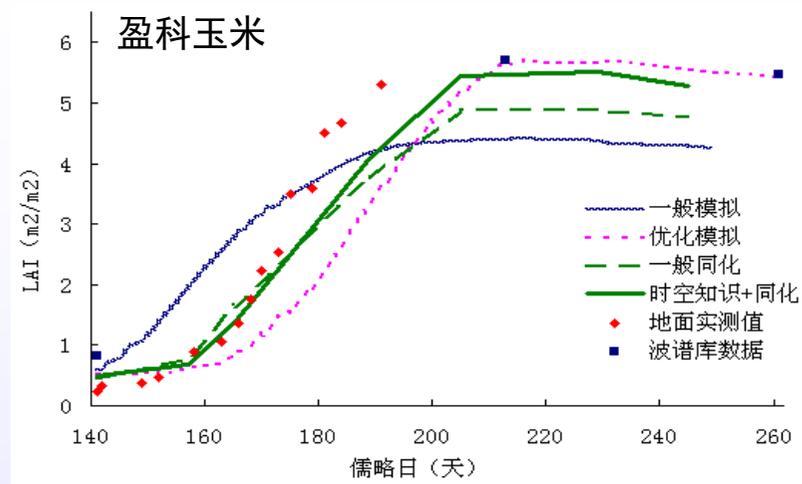
- ① 在模型参数化过程中，利用时序NDVI数据提取的物候参数，对模型的敏感参数进行SCE-UA优化，将优化后的WOFOST模型作为**预报算子**；
- ② 通过提取MODIS不同空间分辨率数据之间的尺度信息，以降低空间异质性影响，改善‘点-面’匹配；修正ACRM模型反演结果，作为**观测算子**；
- ③ 基于集合Kalman滤波（ENKF）**同化**，实现遥感反演LAI的时间扩展和精度提高。



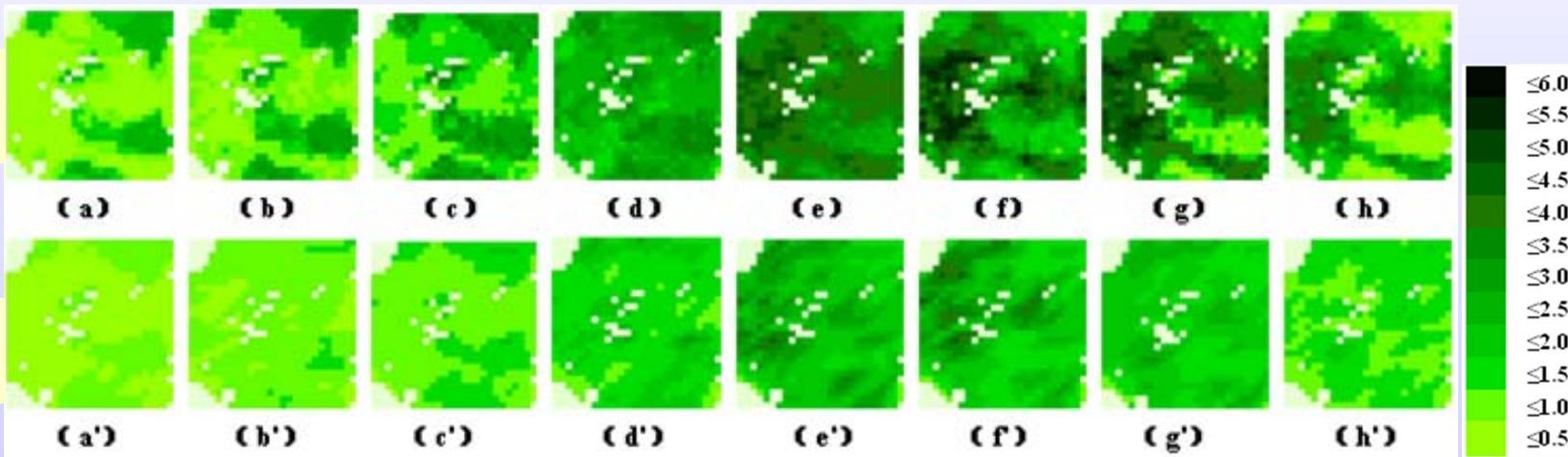
3、基于时空知识的遥感与作物生长模型同化反演LAI

实验与验证

张掖市以南8km的典型农田生态系统实验结果表明：基于时空知识的同化方法能明显改善作物叶面积指数的估算，使模拟结果值更接近于地面实测值，生长曲线变化也更加合理。



同化结果

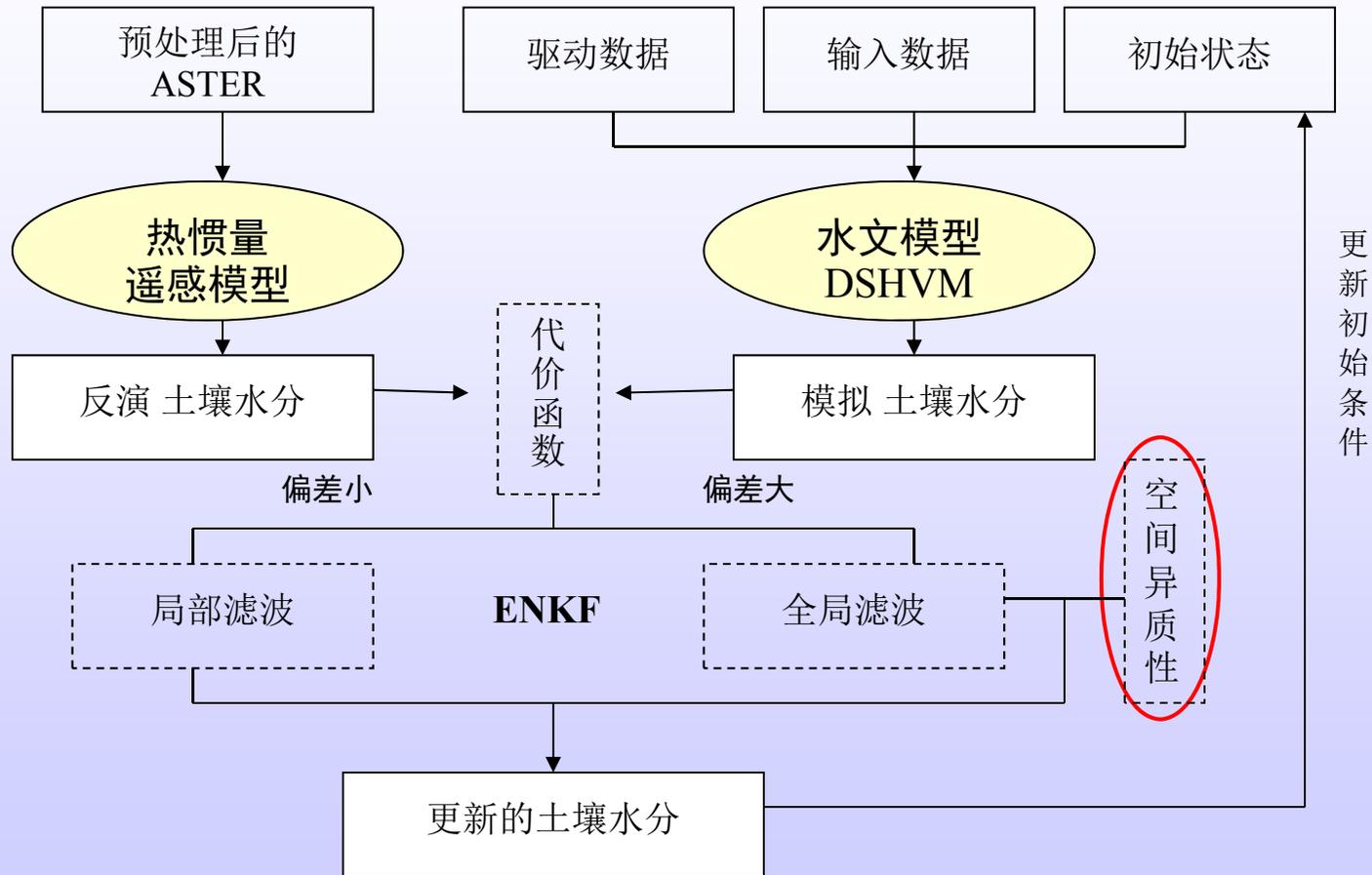


研究表明：基于时空知识的同化方法能明显改善作物叶面积指数的估算，使模拟结果值更接近于地面实测值，生长曲线变化也更加合理，并实现了遥感反演的时间扩展。

* Zhu X H, Zhao Y S, Feng X M, Retrieving crop leaf area index by assimilation multi-scale MODIS data into crop growth model based on prior knowledge, *Chinese Geographical Science*,

3) 遥感数据与过程模型的同化-案例2

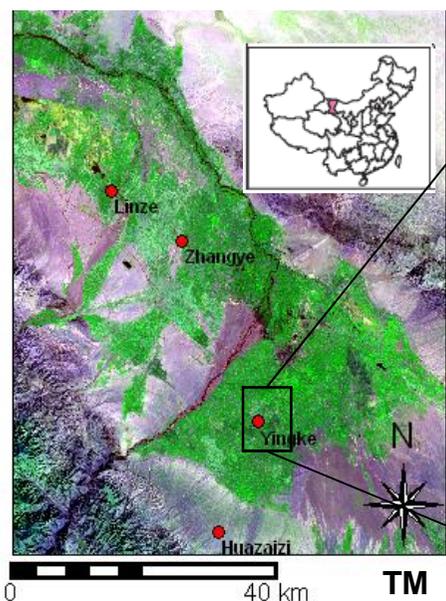
热惯量遥感与水文过程模型的区域土壤水分同化



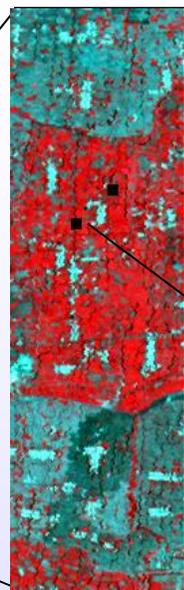
区域土壤水分同化方案

热惯量遥感与水文过程模型的区域土壤水分同化实验

黑河流域盈科绿洲区



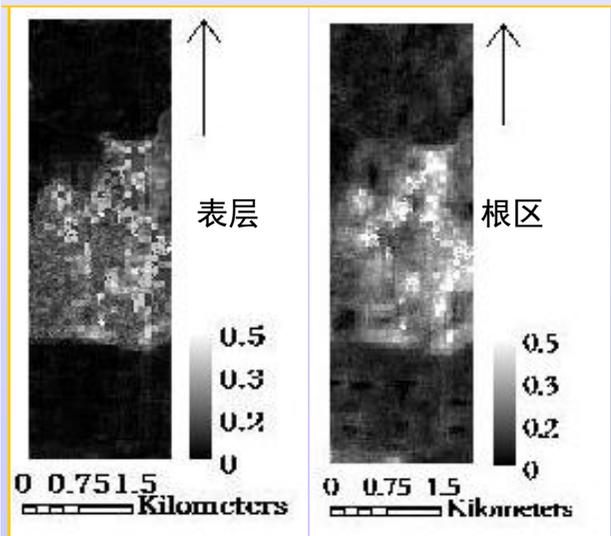
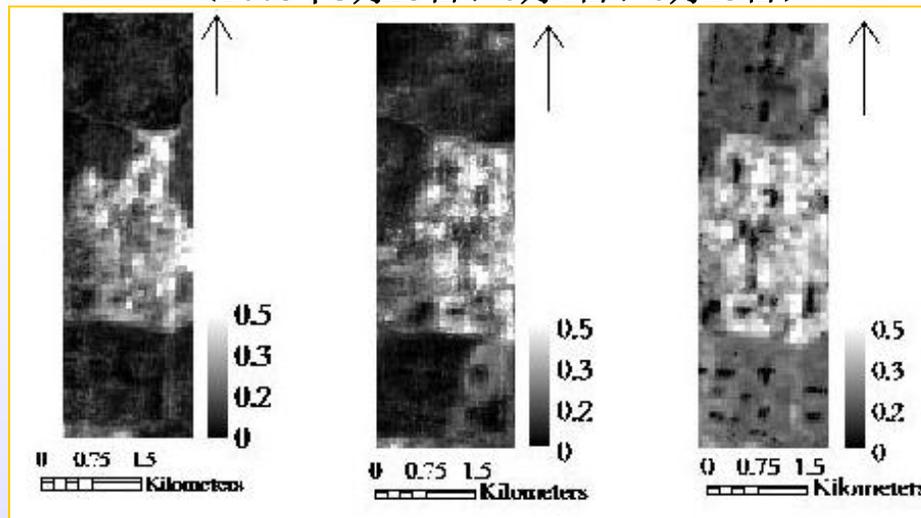
ASTER



小麦样地
玉米样地

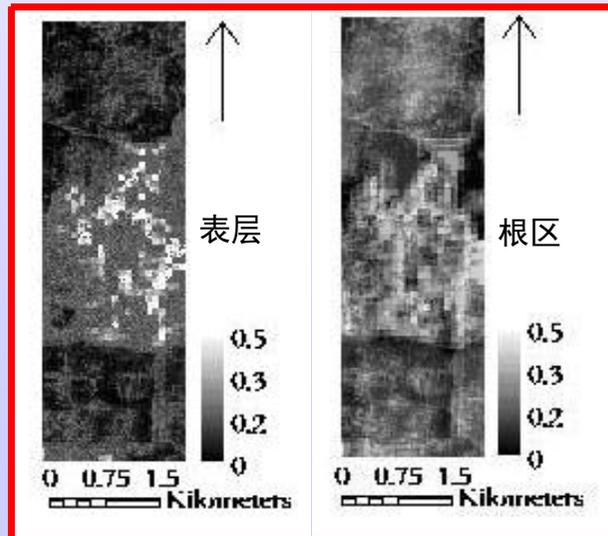
盈科绿洲区 (ASTER)

遥感热惯量法反演表层土壤水分
(2008年5月23日、6月4日、6月13日)



同化前水文模型模拟结果

Prof. Zhao Yingshi



研究区土壤水分同化结果

土壤水分模拟值和同化结果误差统计

YINGKE地区	单模型结果	同化结果
玉米样地表层	8.43%	2.77%
玉米样地根区	10.19%	6.55%
小麦样地表层	14.54%	6.32%
小麦样地根区	12.92%	7.65%

经实测数据验证表明, 此方法可明显提高土壤水分的估算精度。

3. 病态反演与反演策略方法-- 续

4) 反演策略与技巧

- ① **参数敏感性的描述**。指地表观测数据对待反演的模型参数的敏感性。模型反演中，参数很多，不同的参数在模型反演中的作用不同，不敏感参数对反演结果极不稳定，可能会使反演失败。因而需进行模型参数敏感性分析。
- 用给参数增加一个小小改变量（如 ± 0.15 的噪音）的方法（即扰动分析法），对参数敏感性进行判断；对不敏感参数可能的取值范围作出估计，强行赋予它一个合理的值，加以固定，而不让不敏感参数参与反演。
 - 在模拟值与观测值比较的基础上，提出**敏感指数**的概念：

$$I = \left| \frac{[y(x + \Delta x) - y(x - \Delta x)] / y(x)}{2 \Delta x / x} \right|$$

式中， x 为模型参数中的某一参数值； Δx 为该参数的改变量； $y(x)$ 及 $y(x + \Delta x)$ 、 $y(x - \Delta x)$ 分别为参数改变前后的模拟输出量。

I 值越大表示该参数越敏感，反之越不敏感。

4) 反演策略与技巧 -- 续

- 提出 “**参数的不确定性和敏感矩阵**” 的概念 (USM), 用以描述各参数

在每个采样方向上的每个采样点的敏感矩阵表达式为

$$USM(i, j) = \frac{\Delta\rho(i, j)}{\rho_{\text{exp}}(i)}$$

式中, $\Delta\rho(i, j)$ 是第 i 个采样方向或波段在其他参数固定在期望值时, 第 j 个参数在其不确定范围内导致反射率 ρ 最大值和最小值之差;
 $\rho_{\text{exp}}(i)$ 是所有参数固定在期望值时第 i 个采样方向或波段处的反射率 ρ 值。

USM把数据对参数的敏感性与参数先验知识的不确定性结合起来, 为数据集和参数集的分割提供分析判断依据。

- ② 基于知识的**多阶段反演策略**。即将一个复杂的模型简化为若干个子模型, 分阶段反演。每个阶段决策中, 先计算参数的 USM, 用最敏感的观测数据去反演最不确定的参数; 并将前一阶段的反演结果作为后一阶段反演的先验知识, 直至反演结果满意为止。
- ③ **先验知识的积累和合理利用**, 以增加信息量, 寻求在特定先验知识和测量条件下的最优解。这可解决地学反演无定解问题, 大大提高反演的效果。

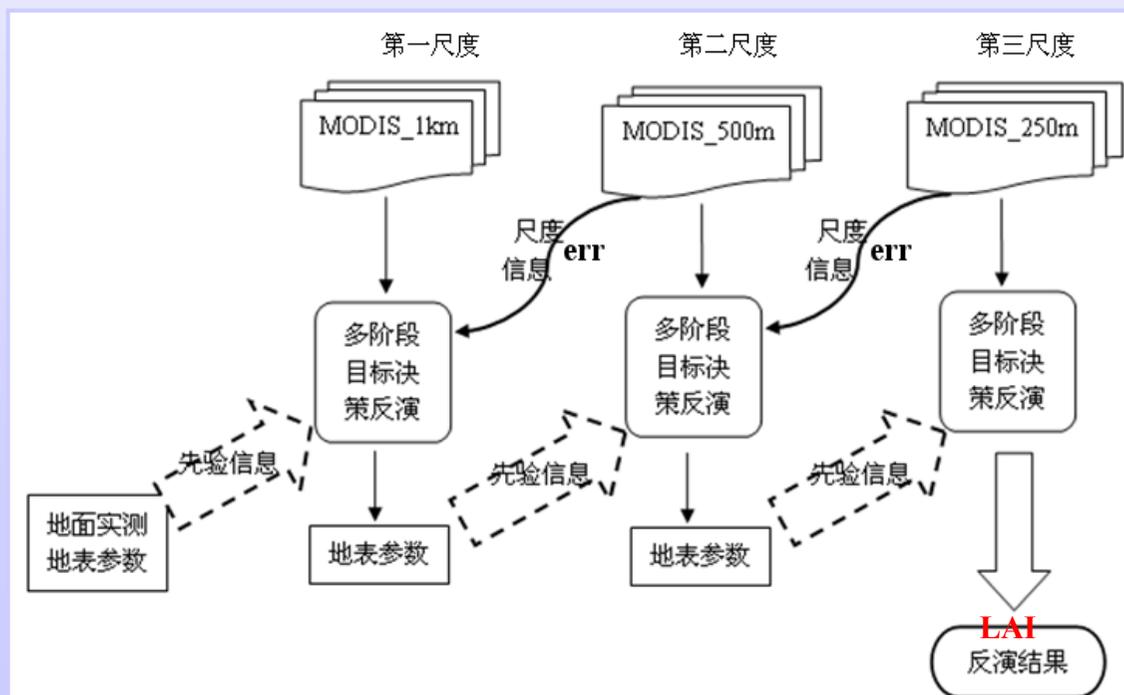
应用案例

基于LAI空间知识的多尺度、多阶段目标决策反演

从两个方面来减少模型反演的不确定性问题：

- ① 考虑了多尺度数据间的空间联系，提取**多尺度空间信息**，作为先验知识参与反演，减少地表空间异质性的影响；
- ② 基于USM（不确定性与敏感性矩阵）的**多阶段目标决策反演**方法，用最敏感的数据反演最不确定的参数，使反演目标更加明确；用粗尺度反演结果作为细尺度反演的先验知识，充分利用各尺度遥感数据，结合空间知识与地面实测数据，进行多尺度多阶段LAI反演。

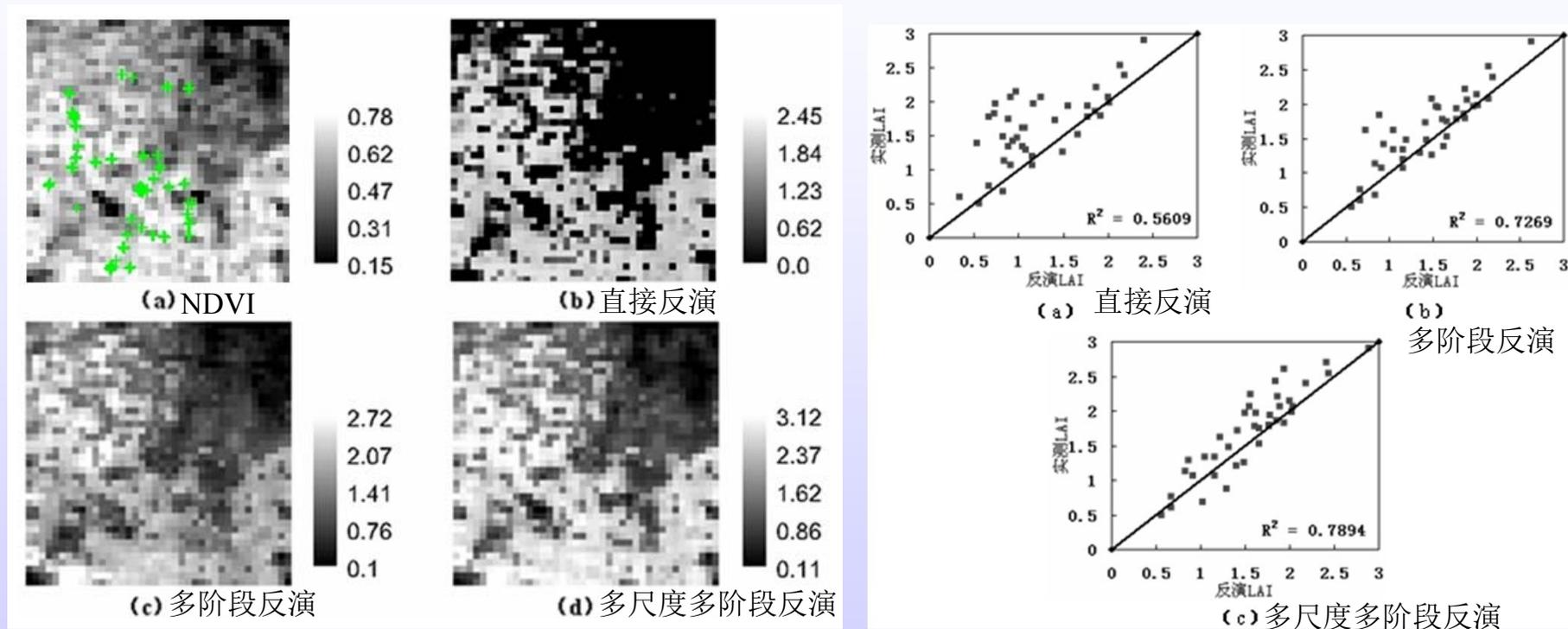
加入空间知识的多阶段目标决策反演策略



基于LAI空间知识的多尺度、多阶段目标决策反演—续

* 利用MODIS数据反演黑河盈科农作区LAI
作为典型例子对该方法进行验证。

实验与验证

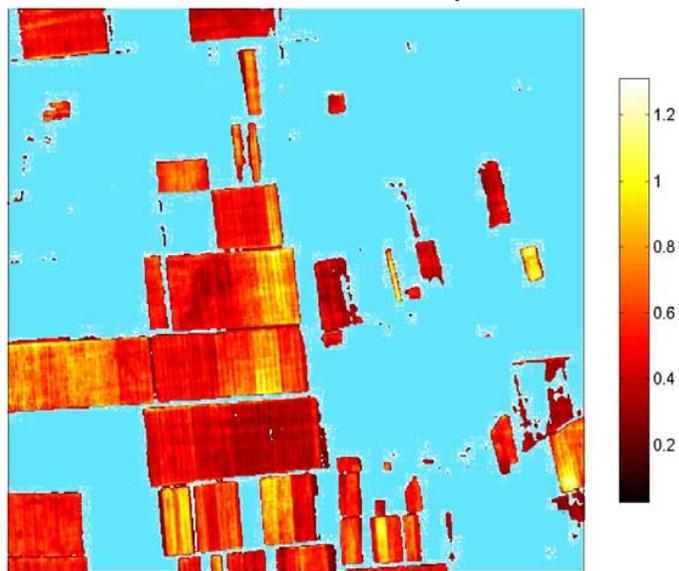


经地面数据验证，反演精度可从直接反演的 **0.56** 提高到 **0.79**。
表明: 这种反演方法较以往传统的区域性参数获取方法更为准确、可靠。

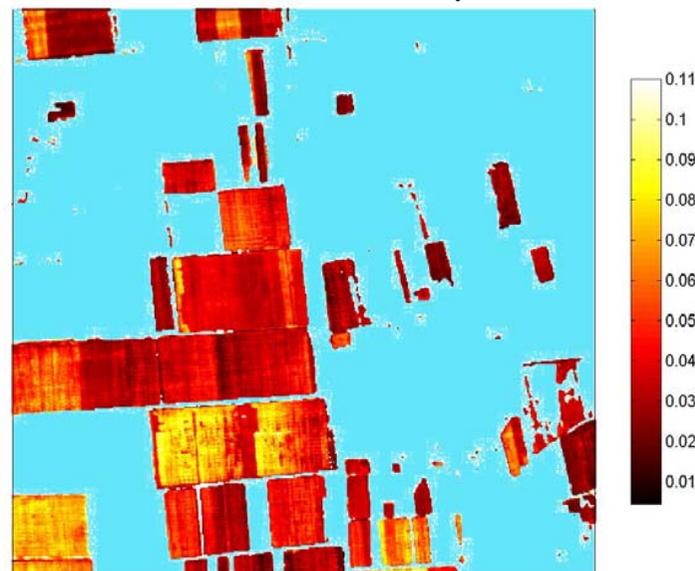
* Zhu X H, Feng X M, Zhao Y S, 2012, Multi-scale MSDT inversion based on LAI spatial knowledge.
Science in China (Series D Earth Sciences), 55(8):1297-1305. (SCI)

多角度AMTIS 数据反演地表参数

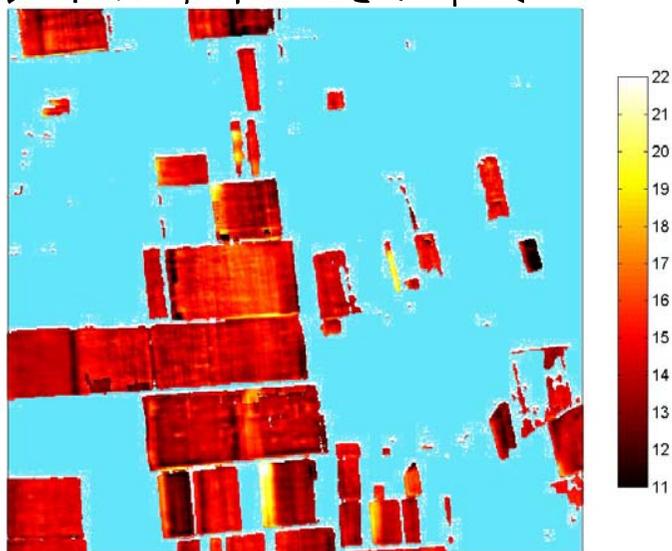
叶面积指数分布



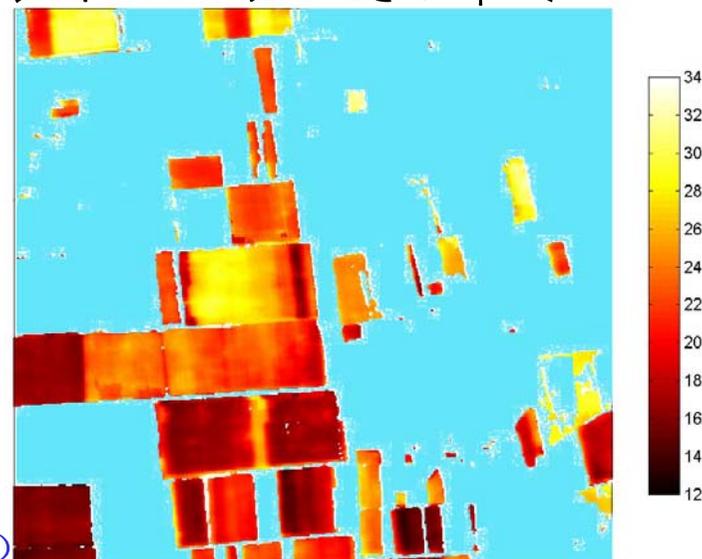
土壤含水量分布图



农作物叶片温度分布图 / °C



农作物土壤温度分布图 / °C



AMTIS--863
VIS--NIR--TIR
9角度

(刘强、柳钦火、田国良等)

三、定量遥感的基本内容与方法

1. 方向性与多角度遥感
2. 尺度效应与尺度转换
3. 病态反演与反演策略方法
4. 遥感模型与应用模型的链接

三、定量遥感的基本内容与方法

4. 遥感模型与应用模型的链接

遥感应用研究中，关键在于从海量遥感数据中提取或反演出“实用”的专题信息、特征指标和地表参数。因此需要建立各种遥感模型及遥感应用分析模型，如

- 简单的**遥感指数模型**（VI、WI等），并建立起遥感指数（如NDVI等）与相应地表参数（如LAI、BI、F、Chl）之间不同的线性、非线性统计相关模型（多变量回归方程）。
- 较为复杂的**遥感物理模型**，从遥感机理出发，建立各种数学物理模型，如地表二向反射模型（RT模型、GO模型、GO-RT混合模型等）、地表热辐射方向性模型、大气辐射传输模型等。
- 遥感与GIS结合的**应用分析模型**，如土壤侵蚀模型、作物估产模型等。

4. 遥感模型与应用模型的链接—续

补充

遥感模型

辐射传输模型（RT模型）

- **假设:**冠层（散射介质）**水平方向是均匀的**，**垂直方向上介质的密度、性质有变化**（可分为若干层处理），**植被组分在同一高度上随机分布**；
- 在冠层辐射传输研究中，需要对叶片及植被冠层的特性（结构和光学特征）进行**参数化**描述，如冠层厚度、密度、**LAI**、**LAD**和冠层中各组成的基本散射特性、叶面积密度分布等，均作为模型参量；
- 通过引入光学路径和散射相函数（表征冠层的散射特征）的概念，建立它们与群体结构参数间的物理联系----**辐射传输方程**，来推知植被体内辐射场分布（多次散射、吸收、透射的方向、分布）；
- 适用于**连续植被冠层**的反射状况，如垄状特征不明显的作物或处于生长期的作物、大面积生长茂盛的草地等。**RT模型**虽理论严谨，考虑了**多次散射**作用，但参数多，推导繁琐。

PROSPECT + SAIL 辐射传输模型 (PROSAIL)

PROSPECT -- 描述叶片光学特征的辐射传输模型

$$(\rho_l, \tau_l) = \text{PROSPECT}(chl_{a,b}, c_w, c_m, N)$$

其中，**输入**：叶绿素a、b浓度 $chl_{a,b}$ 、叶片水吸收深 c_w 、叶片干物质含量 c_m 、叶片层数等4个参数；**输出**：叶片反射率、叶片透过率。

SAIL 冠层辐射传输模型，冠层反射率 ρ 可表达为：

$$\rho = \text{SAIL}(LAI, LAD, \rho_l, \tau_l, \rho_s, SKYL, \varphi_0, \theta_0, \theta_s)$$

其中，结构参数 (LAI 、 LAD)，组分光谱参数 (ρ_l 、 τ_l 、 ρ_s)，天空散射光在总入射光中的比例 $SKYL$ (由大气校正模型获得)，以及入射和观测角。

PROSAIL 模型将PROSPECT模型输出的叶片反射率 ρ_l 、叶片透过率 τ_l 作为SAIL模型的输入。

PROSAIL模型反演植被生化组分的基本策略是将遥感器所获得的冠层反射率，先用SAIL冠层模型反演出叶片反射率、叶片透过率，再用PROSPECT叶片模型反演出各种生化组分。

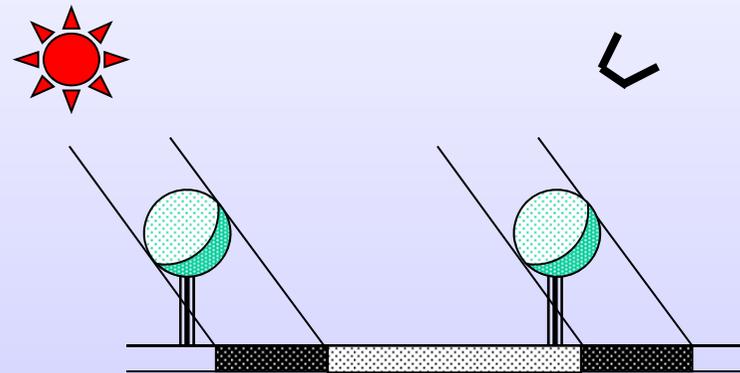
几何光学模型（GO模型）

GO模型把几何光学理论引入到植被的BRDF研究中。它主要考虑地物的宏观几何结构，把地面目标假定为具有已知几何形状和光学性质按一定方式排列的几何体。

假定观测视场内只有地面和树冠的反射，则遥感器接收的信号 S 为 4 个分量的面积加权和：

$$S = K_g \cdot G + K_c \cdot C + K_z \cdot Z + K_t \cdot T$$

其中， K_g 、 K_c 、 K_z 、 K_t 是光照地面、光照树冠、阴影地面、阴影树冠这 4 个分量在像元中所占面积比例； G 、 C 、 Z 、 T 分别是 4 分量在给定日照条件下的实际亮度（假设均为朗伯反射的反射率）。

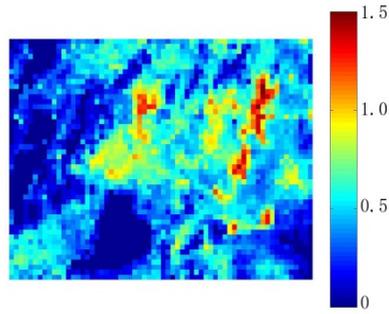


这里 G 、 C 、 Z 、 T 和 S 被当作已知值或测量值。则通过解线性方程组来求 K_g 、 K_c 、 K_z 、 K_t 。

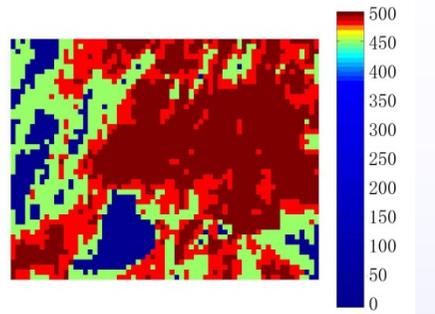
GO模型在解释复杂地表的反射特征时有简单明晰的优点，特别适用于森林、灌丛等不连续植被冠层的反射状况。

案例：遥感混合模型反演区域植被结构参数

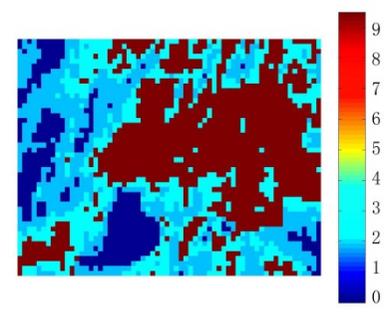
MISR



LAI



植株平均密度



植株高度

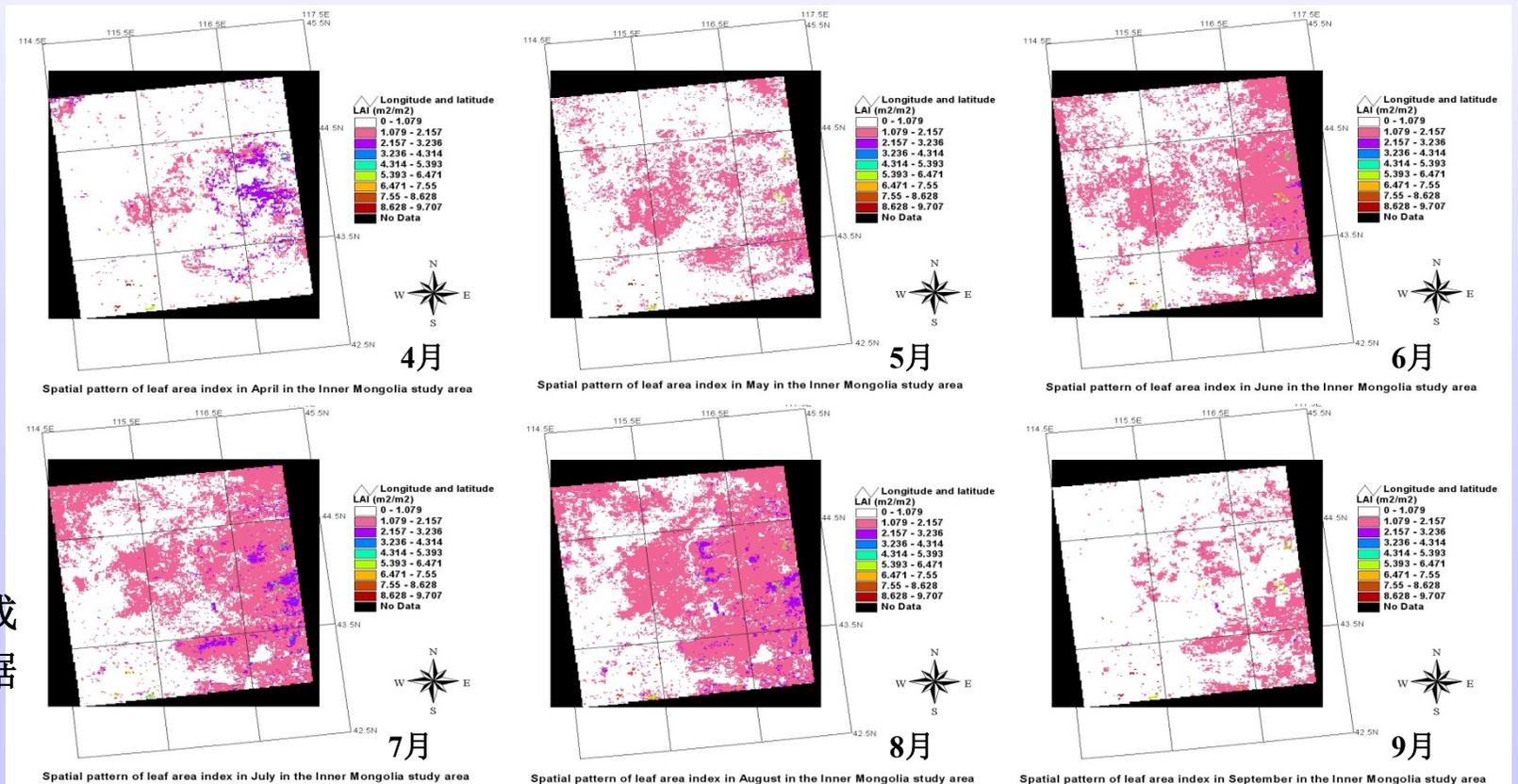
冯晓明 等

MODIS

LAI
的
时空
变化

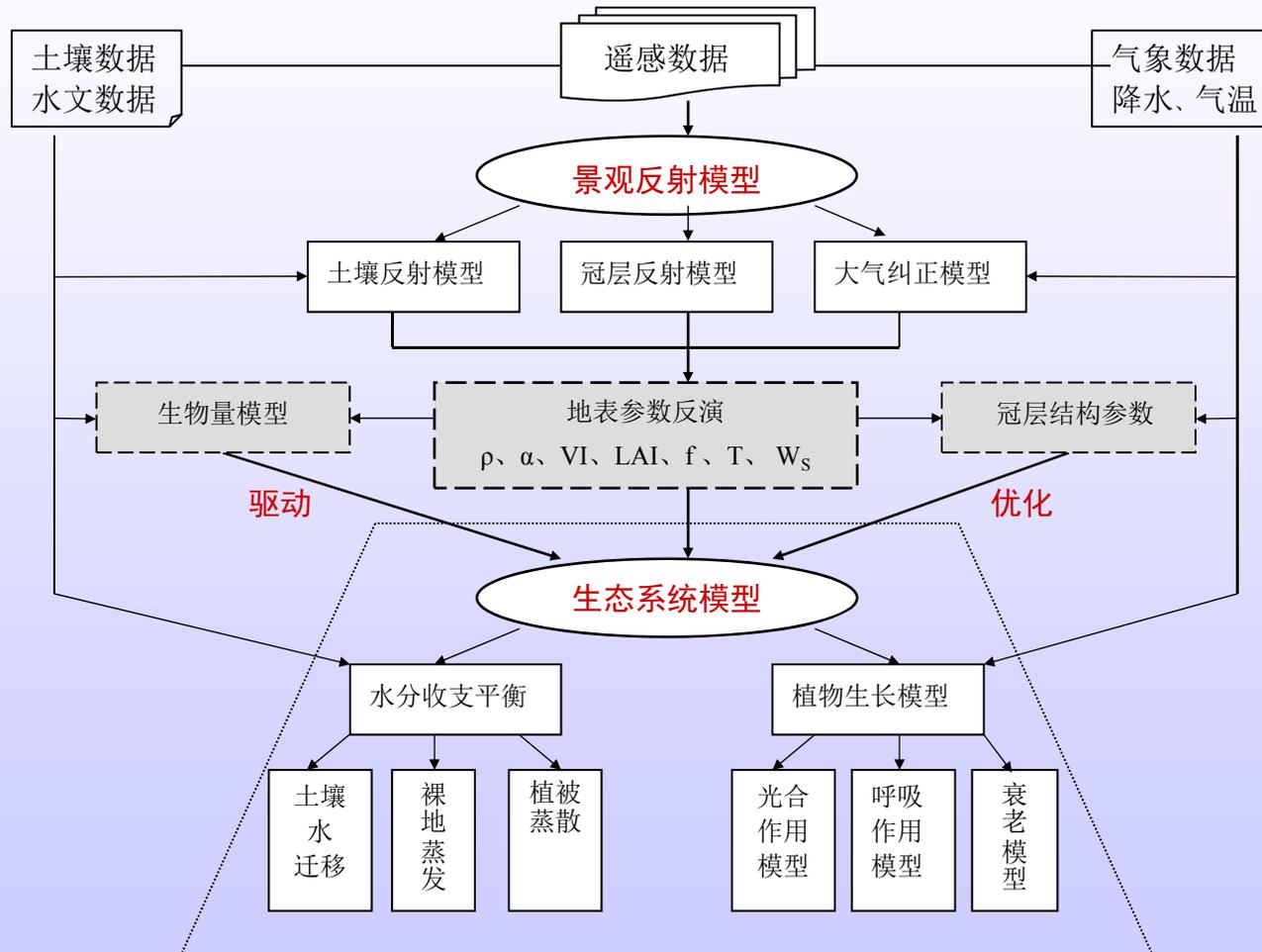
2002年8天合成的
7个波段数据

张娜 等



4. 遥感模型与应用模型的链接-续

草地生态系统遥感链接模型---生态系统模型+景观反射模型



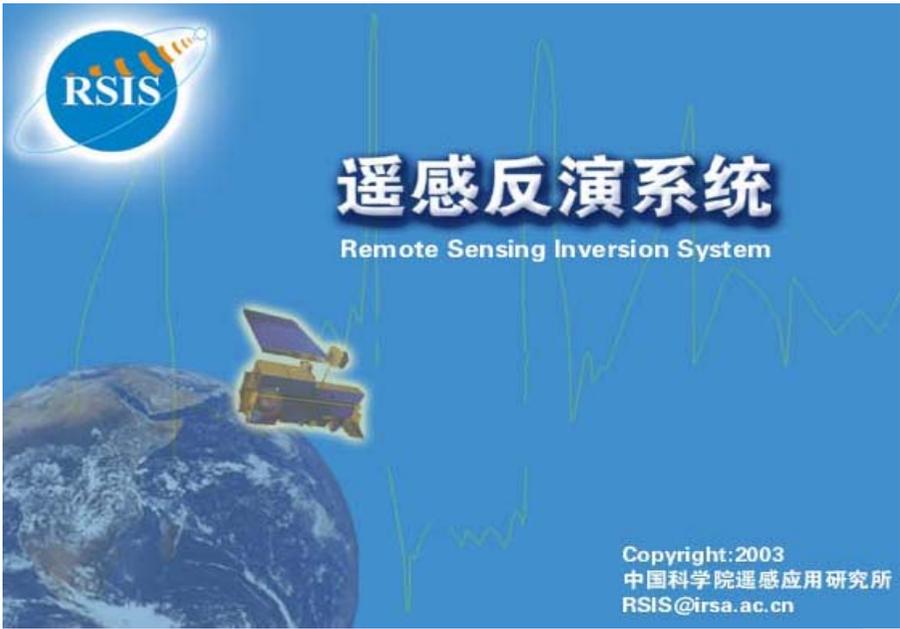
4. 遥感模型与应用模型的链接—续

目前的问题是，遥感提供的模型、信息往往‘**不好用或用不上**’，而应用必需的信息，遥感又一时提供不了。

如：遥感模型反演的是**表层土壤水**，但农业应用更需要的是**根系层土壤水及植株含水量**；遥感模型反演的地表温度是**瞬时的**，而地表能量平衡研究更需要**连续的过程数据**。

可见，遥感模型与应用模型的‘**链接**’不够，而两者‘链接’涉及到对遥感数据和地学过程的理解、遥感机理、遥感模型精度、遥感与非遥感数据的融合、数据与模型同化、地表参数反演等一系列复杂问题。

基于 MODIS 的遥感反演软件系统 -- RSIS



- ✓ 数据预处理
- ✓ 云检测
- ✓ 气溶胶
- ✓ 大气水汽含量
- ✓ 大气校正
- ✓ 地表覆盖分类
- ✓ 地表反射率
- ✓ 地表反照率
- ✓ 植被指数
- ✓ 叶面积指数
- ✓ 陆面温度
- ✓ 海面温度

遥感反演系统(RSIS)

遥感反演系统是以中分辨率卫星遥感数据 (MODIS) 为主进行遥感图像定量处理的专业软件, 可进行多种地表与大气参数的遥感定量反演。可广泛应用于农业、林业、气象、水文、生态、环境以及灾害监测等领域。

系统运行环境: 要求PentiumIII 500, 128MB内存, 64K真彩色显示设备, 20G硬盘以上配置;

操作系统: Windows98/Windows2000/WindowsXP。

Remote Sensing Inversion System

RSIS(V1.1)主要包括以下功能: 数据预处理 (数据导入导出、辐射定标、去云处理、几何校正、大气校正、表观反射率提取、表观亮度温度提取等); 大气与地表参数反演(大气气溶胶与水汽反演、地表二向反射率与地表反照率反演、地表温度与地表发射率反演、植被指数与叶面积指数反演)以及应用产品输出(地表总辐射、光合有效辐射、地表蒸散、初级生产力)。

软件产品设计

软件获奖证书

数据预处理模块

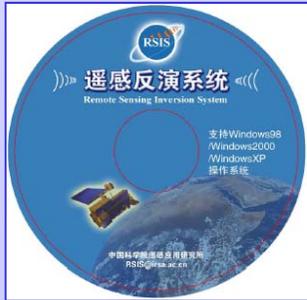
辐射校正
云的检测
几何校正
图像匹配

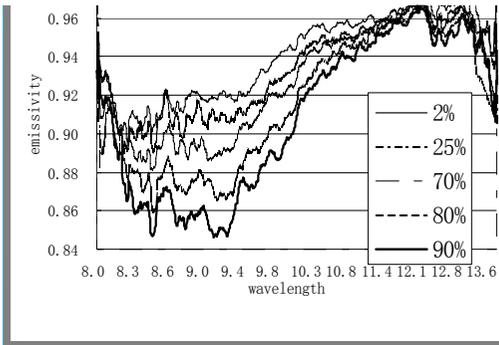
大气参数反演与大气校正
水汽反演
气溶胶光学厚度反演
地表温度与反照率反演

土地覆盖信息提取
土地覆盖分类产品

叶面积指数与植被指数提取
NDVI
EVI
SAVI

本软件使用Visual C++ 6.0开发, 使用模块化的开发方法, 具有良好的扩展性和可移植性, 适用多种windows平台。软件有良好的人机交互界面, 运算速度快, 计算结果准确。



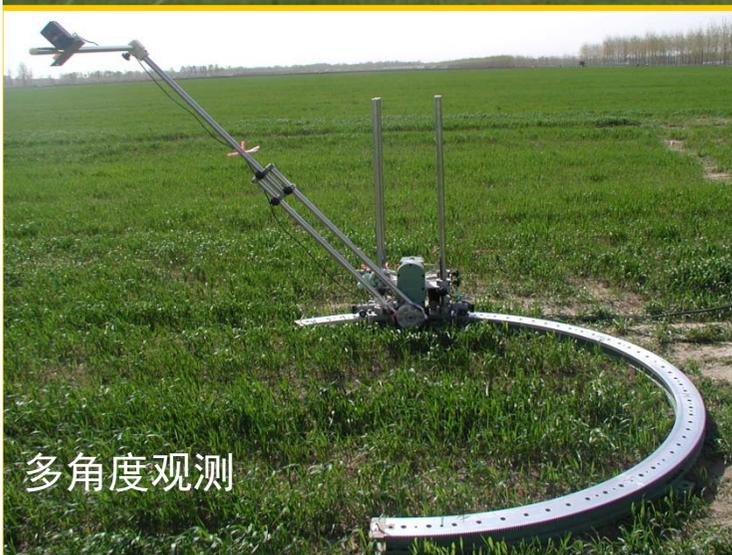


定量遥感 试验研究



- 发现遥感信息传输规律
- 认识遥感信息机理
- 检验和完善遥感信息模型
- 获取先验知识
- 评价遥感反演精度

地面实测数据的准确获取



多角度观测

CO2激光方向比辐射率测量



北京顺义星-机-地大型定量遥感综合试验 (2001年)

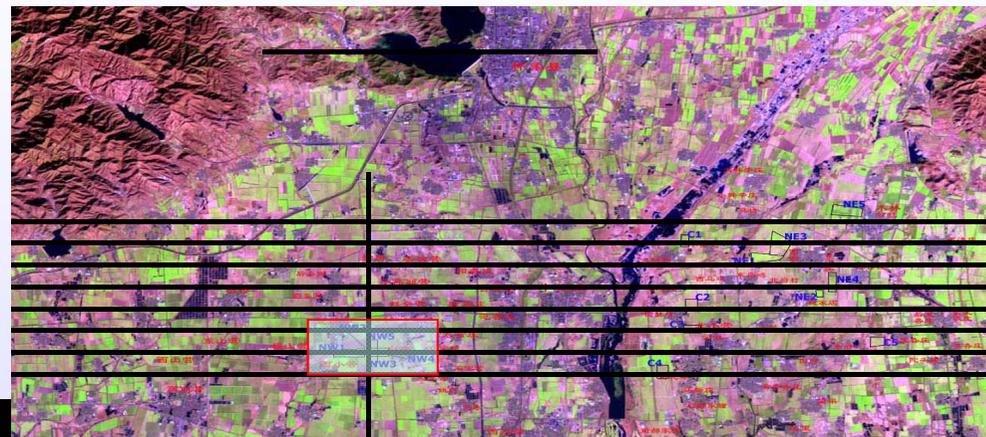
卫星遥感数据: SPOT、TM、ASTER、MODIS、AVHRR

航空飞行数据: 约35G (多角度与高光谱)

地面试验数据: 多角度多光谱观测、
农学参数、大气与农田小气候参数

七大要素的反演与验证:

叶面积指数、反照率、平均温度/组分温度
叶绿素、土壤含水量、蒸散发



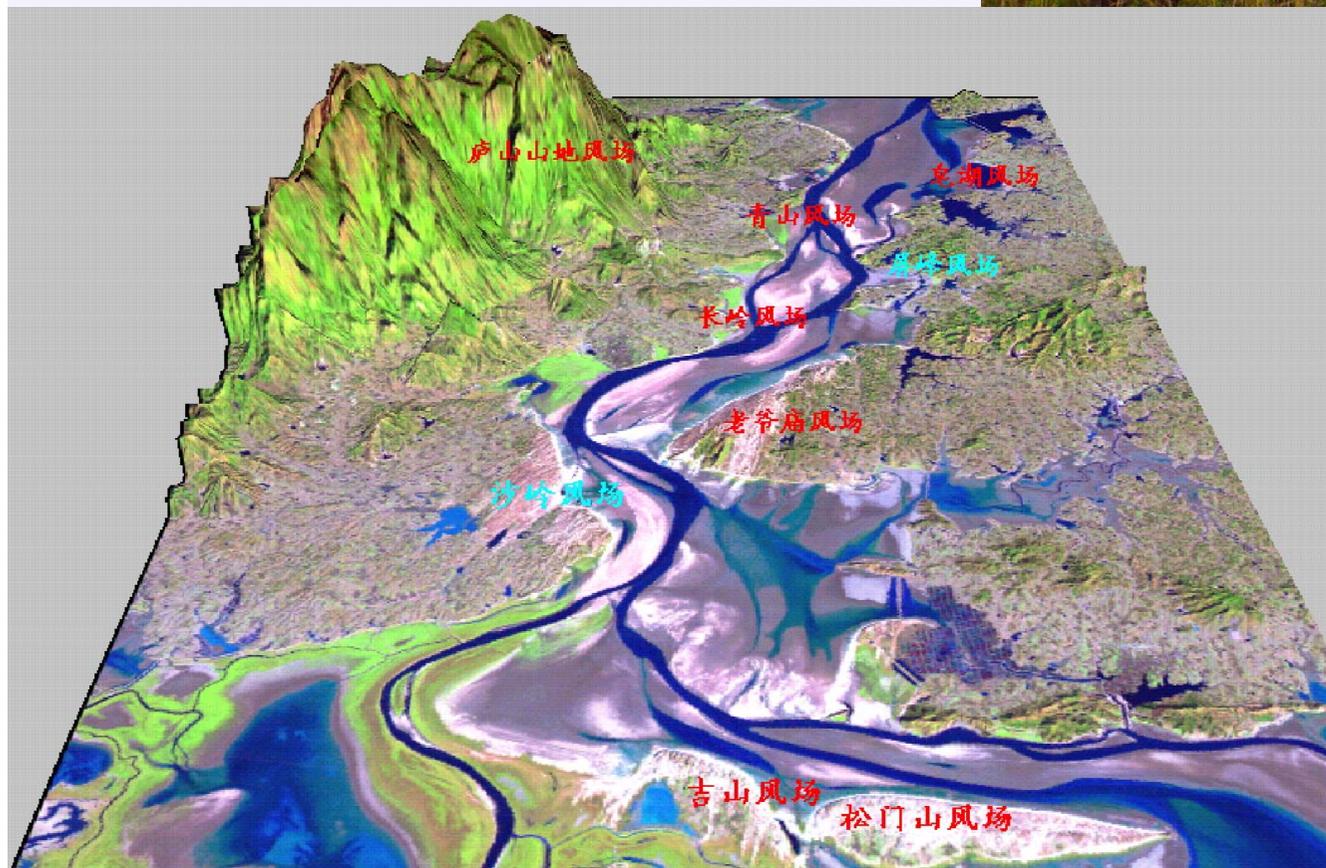
航带设计图

航空飞行数据



国家973项目

山江湖工程生态效应评估 遥感综合试验（2005年）

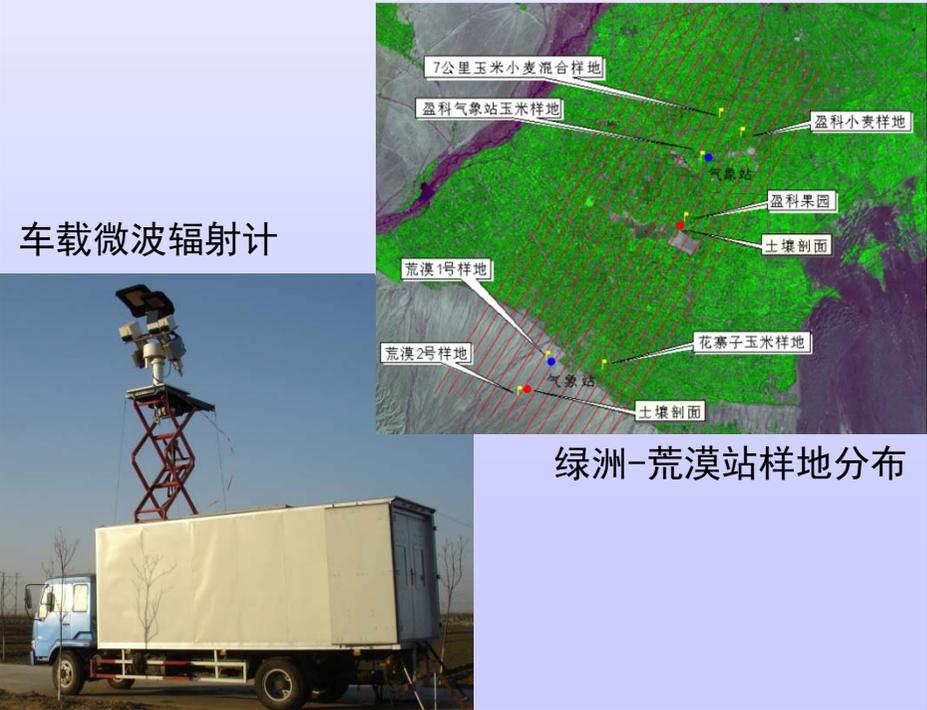
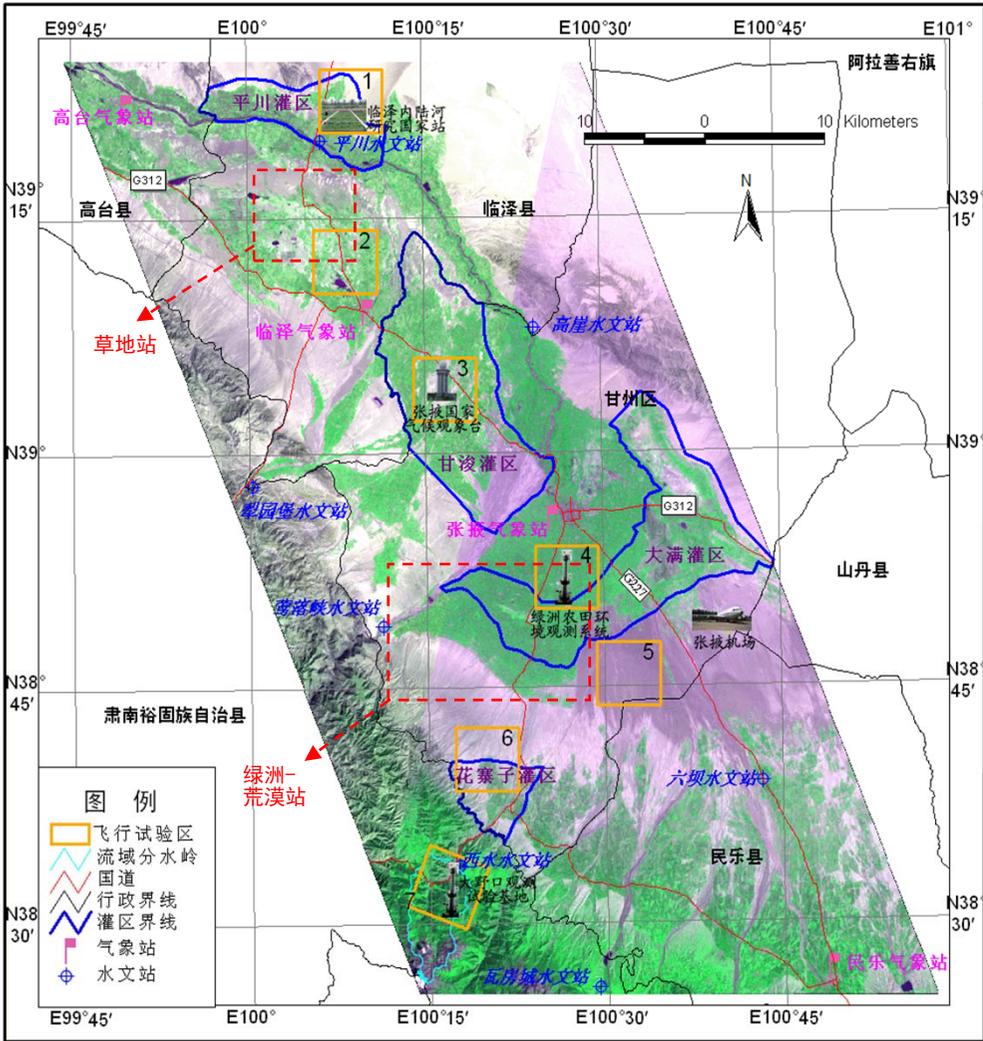


鄱阳湖主要风场卫星遥感三维立体图

黑河流域星机地综合遥感试验 (2008年)

由中科院西部计划项目‘黑河流域遥感—地面观测同步试验与综合模拟平台建设’与国家973计划项目‘陆表生态环境要素主被动遥感协同反演理论与方法’的联合实施。

**卫星数据: SPOT、TM、ASTER、MODIS
Hyperion、CHRIS、ALOS、ASAR等**
**航空数据: 多角度红外、高光谱OMIS
CCD相机、激光雷达、微波辐射计**
地面观测数据: 多角度多光谱、微波辐射散射、农林参数、大气与农田小气候参数等



车载微波辐射计

绿洲-荒漠站样地分布



波谱数据库、模型库、图像库和先验知识库一体；收集典型地物波谱 30000 余条及配套参数；并在新疆棉花监测、岩矿识别等研究中获得成功应用。

我国典型地物波谱知识库

查询数据结果 - Microsoft Internet Explorer

波谱数据 (野外观测) 质量等级: 未审核

农作物波谱 (横轴为波长, 纵轴为反射率) 详细查看本条曲线

背景反射率波谱曲线 详细查看曲线

波谱相关信息

[配套参数内容链接]

- 作物及土壤组分参数
- 农作物结构参数
- 农作物观测目标
- 农作物管理信息
- 天气状况
- 大气参数
- 观测地点信息
- 波谱观测仪器
- 配套观测仪器
- 其它观测项
- 入库说明
- 工作人员信息
- 采集过程照片

作物组分信息

- 叶绿素 a (mg/g): 2.387763547
- 叶绿素 b (mg/g): 0.905246305
- 叶片含水量 (mg/g): 74.29245283
- 含水量等效厚度 (cm): 空
- 叶片可溶性糖含量 (%): 空
- 叶片淀粉含量 (%): 空
- 植物全氮含量 (%): 空
- 木质素 (%): 空
- 纤维素 (%): 空
- 光合速率 ($\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$): 空
- 气孔导度 ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$): 空
- 蒸腾速率 ($\text{mmolH}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$): 空
- 样叶叶位: 空

土壤组分信息

观测地点: 北京市/昌平区
 观测作物: 小麦
 样地名称: 小汤山试验田
 数据类型: 野外_植被
 观测日期: 2004-5-10
 [经度:] 116.4385 °
 [纬度:] 40.1831 °
 [测量高度:] 1.3 m
 [审核时间:] 空
 [审核状态:] 未审核
 [审核意见:] 植株上方
 [仪器平台:] 手提
 [备注 (鼠标移上显示具体内容)]

[相关象元尺度波谱查看]

点此查看

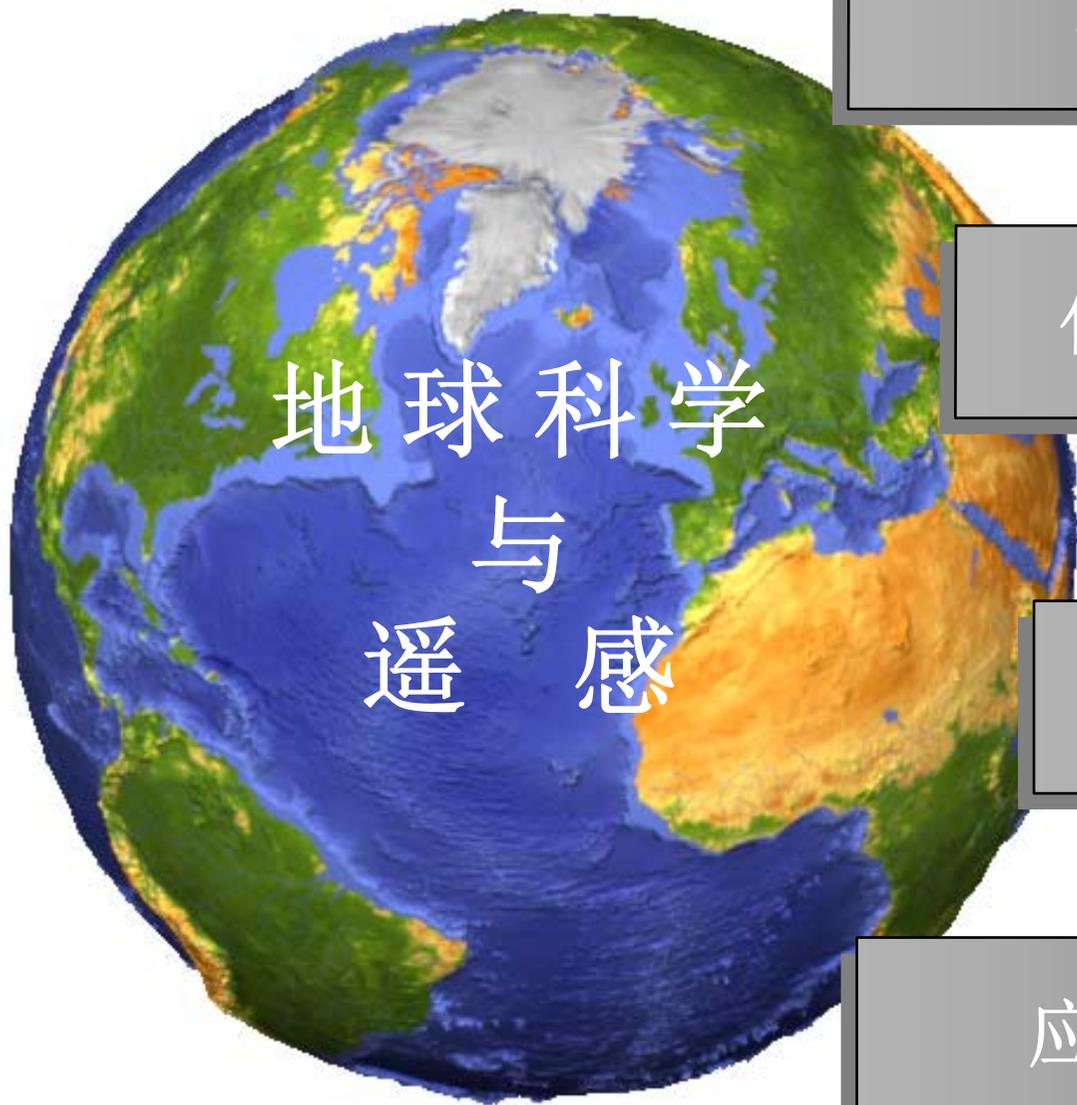
相关模型解释

[时空相关波谱查询(可以多选)]

实验室

- 实验室_植被_根
- 实验室_植被_茎
- 实验室_植被_叶
- 实验室_植被_花
- 实验室_植被_果
- 实验室_植被_背景

Internet



地球科学
与
遥感

科学理解

传感器与平台技术

信息技术

应用与产业化



谢谢！