

## 遥感及其地球表面时空多变要素的区域尺度转换

张仁华 孙晓敏 苏红波 唐新斋 朱治林

**摘要** 阐明了遥感在获取时空多变要素中的作用和意义,同时利用遥感方法作出了空间变异较大的叶面积指数、地表温度和净辐射通量的区域分布。通过遥感方法与传统的区域表达方法的对比,讨论了传统的等值线方法及其区域要素计算和表达方法的不足,估算了利用空间差异较大的非均匀要素所作出的区域分布的可能误差。其步骤是:用遥感和生态网络观测数据相结合的方法作出几个要素的区域分布影像图;在影像图上标出单点生态站的观测数据;以图像处理的方法,作出不同范围的各种要素平均值和标准差;揭示单点站的观测数据和不同范围要素平均值的差异;分析用传统的等值线方法所作出的区域分布的可能误差。

**关键词** 遥感 多变要素 尺度转换

**分类号** TP 701

## REMOTE SENSING AND SCALE TRANSFERING OF LEVITY PARAMETERS ON EARTH SURFACE

Zhang Renhua Sun Xiaomin Su Hongbo Tang Xinzhai Zhu Zhilin

(Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences Beijing, 100101, China)

**Abstract** The purpose of the paper is to clarify scientific significance of the remote sensing for obtaining levity parameters in time and space on the earth surface. First of all, Several regional imageries of the levity parameters, such as leaf area index, ground surface temperature and the net radiation were made using remote sensing data and the ecosystem network data. Secondly, measurements at the ecological stations were indicated in the imageries. Thirdly, averages and deviations for several different scale areas were made by using imaging processing. Fourthly, differences between the measurements at points and averages in the areas were pointed out. Finally, analyses the possible error when using measurements at points to express regional distribution. The analyses indicated the traditional expression of the regional averages for the parameters using single point measurements error beget very big error for leaf area index. There the leaf area index has extreme inhomogeneous distribution in space. The ground surface temperature takes second place. Meantime limitation of the remote sensing was also discussed. Effective and feasible way which express regional distribution well is combination between remote sensing method and point measurements.

**Key words** Remote sensing Levity parameters Scalling transfering

## 0 引言

遥感科学为什么会有这么大的吸引力?遥感应用为什么开展得如此广泛?这要从遥感信息特点方面进行分析。长期以来,人类所需求的与能获得的地学信息之间存在很大差距。在人类生存的环境中,许多与人类息息相关的地学信息均是具有区域尺度概念的:例如天气预报、气候趋势、国土整治、环境监测、农作物长势和产量预报,重大灾情评估,植被、土壤类型和地质构造调查等等。这些领域一般需要大范围的动态的信息内涵,才有实质性的意义。然而,人们过去只能在一个非常小的面积上观测这些信息。气象站观测员利用水银管状温度表观测到的地表温度只能代表几平方米的面积,观测场外与观测场内的温度相差10以上;水文工作者采用中子土壤水分测定仪观测到的土壤水分含量也只能代表几平方米面积内的土壤湿度;农业技术员从小块农田计算出的农作物产量不可能表达大范围的农业情况,等等。也就是说,局部信息代替不了区域分布信息,否则,将犯以偏盖全的错误。在遥感技术问世之前,为了表达上述区域分布信息,只能建立由许多测点构成的网络,以绘制等值线的方法表达区域分布信息。这是一种没有办法的办法。因为除了从测点获取的信息外,其他数据仅仅是根据附近几个测点数据的线性内插而得到的。对于非线性的不均匀下垫面,其各种参数与其真值之比将产生不可接受的误差。正因为如此,利用传统的等值线方法估算出的参数或要素的区域总量(如作物产量,森林积蓄量、草场生物量、地表蒸发量、作物耗水量等等),误差在200%以上是经常发生的。这种状况严重影响科学和经济的发展。

遥感科学为这些要素的区域测量和估算提供了强有力的手段,是从传统的“点”测量向“面”测量发展的一次飞跃,是区域地学信息获取途径的革命。翱翔在太空或天空的遥感传感器可以快速地、周期地获取大范围的二维甚至三维分布的地表电磁波信息。通过遥感模型和适当的地理信息系统的配合,能够作出作物产量,森林积蓄量、草场生物量、地表蒸发量、作物耗水量等参数的区域分布及其总量。近30a来,通过陆地卫星和气象卫星数据的结合,作出了国家和国际范围的小麦产量预报;作出了非再生和再生资源的定量调查;作出了详细的土地利用分布图;作出了地质岩性和断裂带的区域分布。高空遥感飞机和高光谱扫描仪、侧视雷达等传感器相结合的航空遥感,可以获得空间分辨率更高的地学信息。它们以更机动灵活的方式,准确地为政府部门提供了洪涝灾害的面积,及时预报农业旱灾的发展趋势,可以寻找金矿、铁矿远景区,提供寻找石油等矿藏的线索。总而言之,遥感技术在科学事业的发展和国民经济的腾飞中发挥着巨大作用,所有这一切应归功于遥感所具有的快速获取区域二维信息的功能。

本文明确了在大气圈、地圈、生物圈和水圈的相互作用过程中所需要的是连续的、区域尺度概念定量的信息。比上述应用更深入了一步。也就是说,均要求能够定量获取多维的和区域分布的地表的生物量和辐射通量、显热通量、潜热通量,土壤热通量等数据。

传统的以点代面的等值线方法的代表性误差究竟有多大?这个问题的答案可以告诉人们在定量认识区域尺度要素方面的差距,可更精确地研究地球科学的许多分支并促进其更快地发展。因此,首先应解决的关键问题是如何采用一种新的方法(即取代“以点代面的等值线方法”)确定主要参数的二维分布。

研究表明〔1~3〕,以现实的定量遥感和地面单点观测数据相结合的方法,可以获得某些时空多要素区域尺度的二维分布,例如,地表植被的叶面积指数、地表温度和地表净辐射通量等。我们将根据这些二维分布和单点的数据,分析它们之间的关

系，在此主要讨论：以定量遥感估算区域二维分布的基本思路和关键问题；某些要素的单点数据的区域代表性；不同的时空多变要素之间的区域代表性差异及物理内涵。

### 1 遥感区域估算方法的基本思路和实例

遥感区域估算方法的基本思路，首先应是建立实验遥感模型，即通过野外模拟试验，同时获取模拟的遥感信息和应用信息，从而建立由遥感信息转换为应用信息的模型。也就是现实的定量遥感模型。确定必须的遥感信息波段、时相、角度等，并确定必要的非遥感方法所能获取的辅助信息〔2〕。其次，正如我们已经阐明的，目前现实定量遥感中一个关键问题是同步观测和地面定标。这是克服复杂的大气辐射传输和遥感传感器不稳定等问题较现实的途径〔6〕。遥感信息源犹如一艘漂泊在水面上的“船”，船上各点的相对位置不因水面的升降而变化，但它们的绝对位置却因水面的升降而变化。同步观测和地面定标犹如给“船”的各点定出水面高度，从而也就定出了它们的绝对高度。这个过程称为“以点标定面”。运用遥感信息的二维分布优势，实现了由点向面的“空间扩展”。最后，对于一些需要时间积分的参数，还应该进行“时间扩展”，因为遥感信息是瞬时值，例如热量平衡和分量的日总量，在有些应用上更有价值。对比地面气象站、生态站的热量平衡各分量的时间过程数据日积分值，求出它们的转换系数，将定量遥感方法作出的瞬时值扩展成为日总量值。

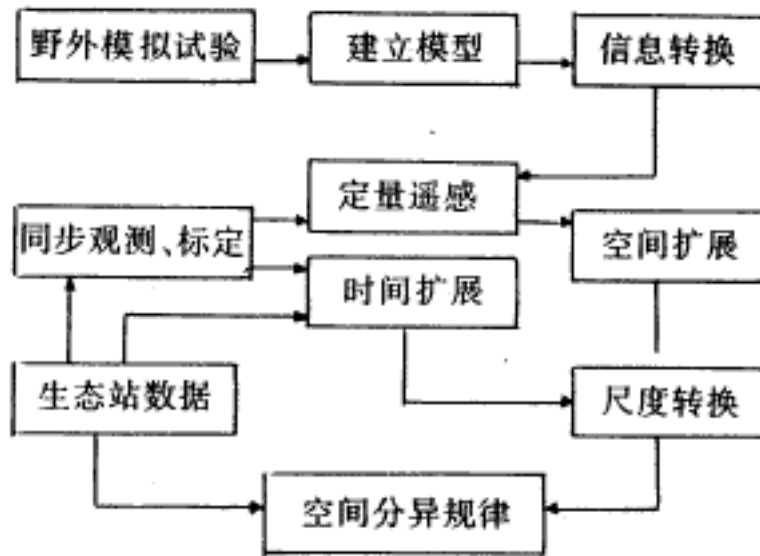
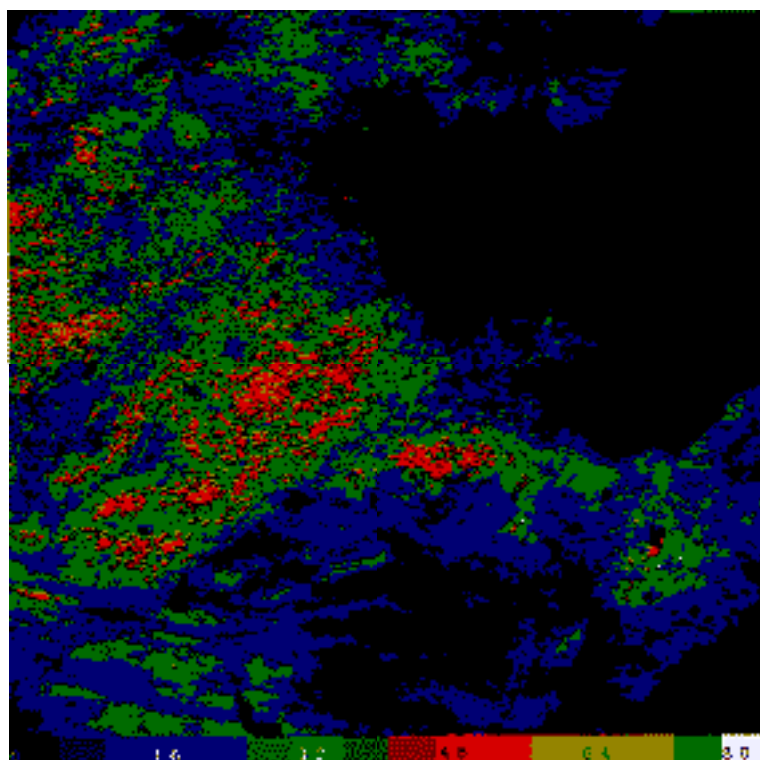
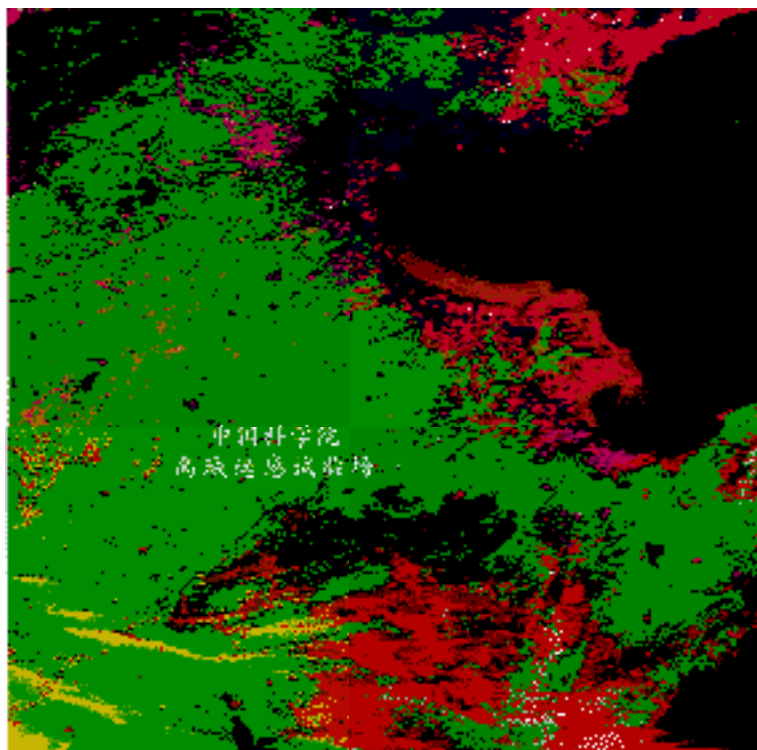
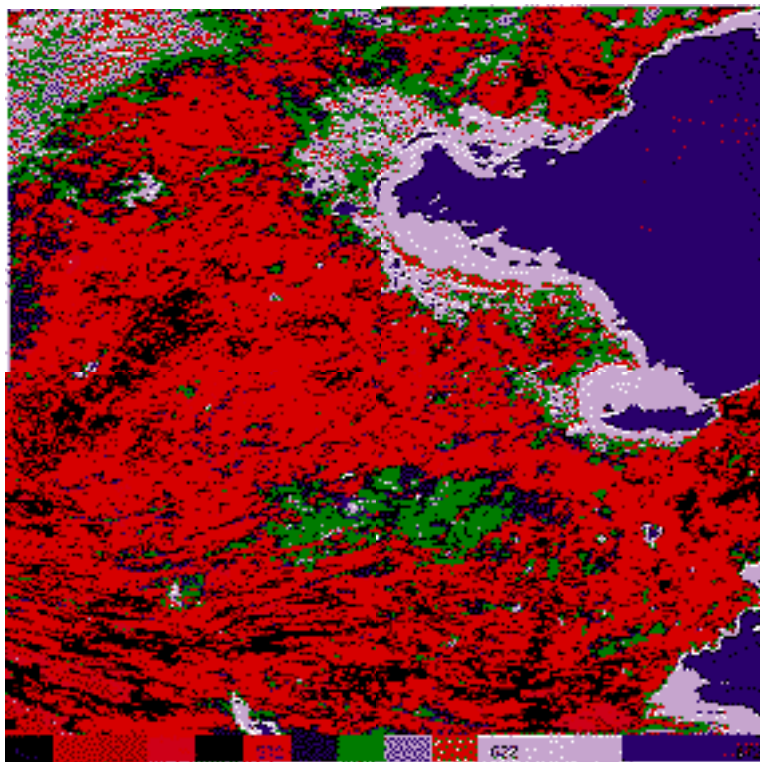
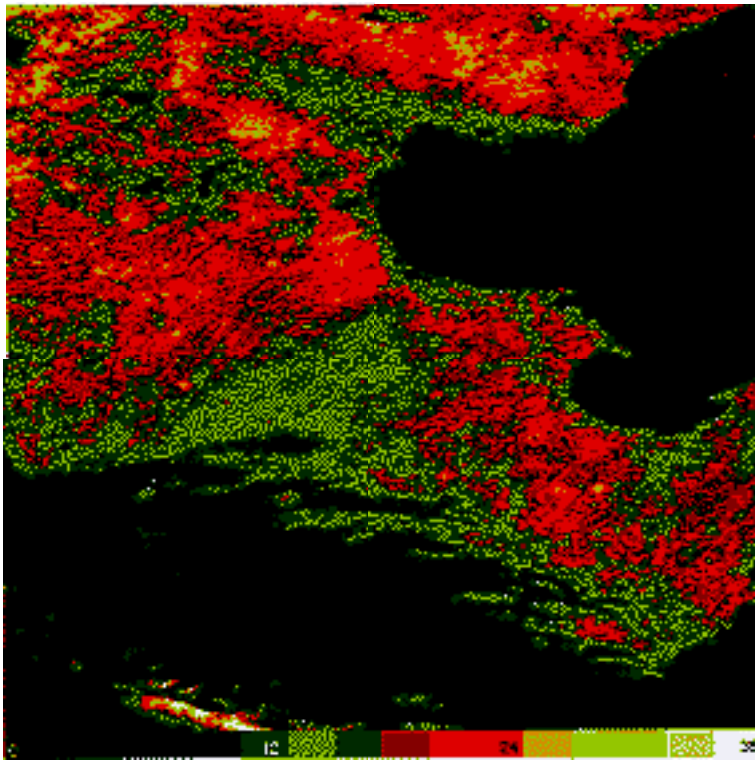


图1 现实定量遥感的基本思路

图1表达了目前现实定量遥感的基本思路：

根据该思路，这里主要讨论1997年在华北平原所开展的试验。以NOAA - AVHRR遥感数据为基本信息源，以生态网络站的测试数据作为辅助数据，获取了以中国科学院禹城综合试验站为中心的500 km × 500 km 范围内的叶面积指数(封4彩片2)、地表温度(封4彩片3)和地表净辐射通量的二维分布影像图(封4彩片4)。封4彩片1是这个范围NOAA - AVHRR1、2、3波段合成的伪彩色合成图，可作为背景分析。





叶面积指数信息可以从两个途径获取：用植被指数NDVI及其平均叶角等参数进行推算；用二向反射率分布函数进行反演<sup>〔3〕</sup>，前者虽然简单，但是需要平均叶角或叶角分布数据，后者的定量分布需要多角度的遥感数据，就像美国即将发射的ASTER卫星数据，将其一个一个像元进行反演。当然，利用多角度数据方程组进行反演很消耗机时，由于本文的宗旨只是为了获得叶面积的相对区域分布信息，从而说明区域分布的分异，不妨采用比较简单的方法。根据我们的实践，植被指数和叶面积指数有如下函数关系：

$$NDVI = A[1 - B \times \exp(- C \times LAI)] \quad (1)$$

$$LAI = \frac{\ln[(1 - \frac{NDVI}{A})/ B]}{C} \quad (2)$$

式中NDVI是植被指数，LAI是叶面积指数，A、B、C是实验常数。A、B通常接近1，而小麦叶角为球形分布，C通常为0.5。基本植被类型的分类和确定不同叶角的分布情况是首先要进行的工作。NDVI的确定，也要在地面定标红波段和近红外波段的反射率之后才能开展。

严格地讲，定量遥感地表温度也是一个非常复杂的研究课题。美国宇航局在20世纪末的奋斗目标仍然是1K的精度。因此，利用遥感数据直接反演的方法放在今后开展。在此，我们仅利用地面定标和图像处理的方法，作出地面温度的分布。正如图1所指出的，在研究区域内选择高中低三个地面定标点，定标点的面积要有卫星像元点的4到6倍。同步观测的时间差不能超过30 min，而且必须采用巡回两轨重复平均的方法，消除在30 min内的地表温度变化值。在观测区域内，大气状况被看作均匀的，通过三个地面定标点数据和NOAA - AVHRR数据的灰度值，可建立温度 - 灰度的回归方程。进而利用线性内插的方法，作出每个像元的地面温度(封4彩片3)。

地面净辐射分布通量也是非常重要的参数，它是所有地表通量的能源，与蒸发、土壤水分含量和作物产量等有密切的关系。遥感数据只能提供反射率和地表温度信息。为了计算净辐射通量，还必须知道短波和长波的入射能量。下面的式子可表达净辐射通量：

$$R_n = Q(1 - \rho) + \epsilon_{sky} T_{sky}^4 - \epsilon_s T_s^4 \quad (3)$$

式中 $R_n$ 是净辐射通量；Q是入射总辐射，包括太阳直接辐射和天空散射辐射； $\epsilon_{sky}$ 、 $\epsilon_s$ 分别为天空和地面的比辐射率； $T_{sky}$ 、 $T_s$ 分别为天空和地面温度。晴空入射总辐射Q随纬度、赤纬和时角的变化可按下面公式计算：

$$\frac{\partial Q}{\partial \varphi} = Q(\cos \varphi \sin \delta - \sin \varphi \cos \delta \cos \omega) \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \omega} = - Q(\cos \varphi \cos \delta \sin \omega) \quad (5)$$

式中 $\varphi$ 、 $\delta$ 、 $\omega$ 分别为当地当时的纬度、太阳赤纬和时角。天空温度也需要实测数据，一般利用红外辐射计，以地对空的方式进行测量。由于天空平均温度主要取决于大气中的各种气体成分。如果假设被测量地区的大气为同一气团，则，天空平均温度

也可近似认为相同。地面温度可利用上述结果直接进行计算。

## 2 单点数据的空间代表性及尺度转换

下面将根据这些二维分布影像图分析地表某些关键参数的空间变异，研究单点数据的空间代表性，分析单点数据的二维空间代表性。

叶面积指数信息的二维空间分布有很剧烈的非均匀性。这种非均匀性是基于水肥供给条件的差异和人类活动的影响。封4彩片2的植被信息主要是小麦。在中国科学院禹城遥感试验场中测量到的叶面积指数为5.3，这是用叶面积指数测定仪多次重复测定而得。该测点在图像上的坐标为X=166 Y=323；像元数为1，面积约为1 km<sup>2</sup>。如果我们用这个点上的观测值代表禹城站周围(包括禹城站)120个像元的叶面积指数值，这个正方形的4个角的坐标位置分别为160、325，160、335，170、325，170、335。而根据遥感方法，实际上这个面积约130 km<sup>2</sup>上的平均叶面积指数为3.6。也就是说，以禹城站的测量值代表周围130 km<sup>2</sup>范围的叶面积指数，将造成47%的误差；用同样的方法，以禹城站的测量值代表周围1 000 km范围的叶面积指数，将造成51%的误差；以禹城站的测量值代表周围2 860 km范围的叶面积指数，将造成178%的误差；以禹城站的测量值代表周围11 000 km范围的叶面积指数，将造成250%的误差(见表1)。当然，这种误差取决于单点值和被代表的区域平均值的类型差异。跨类型的区域误差大，同类型的区域误差小。其误差值可能有一个变化范围。由于目前生态站相当稀疏。从禹城站到滦城站约300 km直线距离内仅有两个站，两站间的下垫面复杂，无论如何，它们的代表性是有限的。在封4彩片2中，用遥感方法作出的叶面积指数可以填补两个站之间广阔的空白地带。从而大幅度提高区域叶面积指数的估算精度。

地表温度的二维空间分布也是非常不均匀的。不过，由于引起地表温度变化的主要驱动力—太阳辐射比较均匀，再加上近地层大气湍流的搅拌作用，地表温度的非均匀性相对叶面积指数而言没有那样剧烈。禹城站试验场小麦冠层表面温度为15℃，其坐标位置如上述。同前面一样，如果我们把这个点上的观测值代表禹城站周围(包括禹城站)120个像元面积内的温度值。这个正方形的4个角的坐标位置分别为160、325，160、335，170、325，170，335。而根据遥感方法，实际上这个面积约130 km<sup>2</sup>上的地表温度为12.1℃。也就是说，以禹城站的测量值代表周围130 km范围的地表温度，将造成2.9℃的误差(表2)。

表1 叶面积指数的单点数据代表性及二维空间变异

序号	像元位置 X1 Y1 X2 Y2	像元数目	面积约 (km <sup>2</sup> )	平均叶面积指数	中值叶面积指数	叶面积指数标准差	叶面积指数变异率	位置描述
1	166 323	1	1.1	5.3				禹城站
2	160 325 170 335	121	132	3.6	3.7	0.9	47%	禹城南
3	150 315 180 345	961	1057	3.5	3.5	0.9	51%	禹城南
4	160 325 210 375	2601	2861	1.9	1.8	1.2	178%	禹城南
5	160 325 260 425	10201	11221	1.5	1.6	1.1	253%	禹城南
6	140 270 240 370	10201	11221	3.0	3.3	1.2	76%	禹城北
相邻地块相对变率								
7	/ / / /	32	35	3.5	3.4	0.8	105%	禹城北

8	/	/	/	/	36	40	1.8	1.7	1.7		
9	/	/	/	/	63	69	4.5	4.7	1.4	74%	禹城北
10	/	/	/	/	63	69	2.7	2.7	1.0		

表2 表面温度的单点数据代表性及二维空间变异

序号	像元 X1	像元 Y1	位置 X2	位置 Y2	像元数目	面积约 km <sup>2</sup>	平均表面温度	中值表面温度	表面温度标准差	表面温度幅度	位置描述
1	166	323			1	1.1	15.0				禹城站
2	160	325	170	335	121	132	12.1	12.0	1.35	2.9	禹城南
3	150	315	180	345	961	1057	11.1	12.0	2.29	3.9	禹城南
4	160	325	210	375	2601	2861	13.7	14.0	3.33	1.3	禹城南
5	160	325	260	425	10201	11221	10.3	10.7	9.40	4.7	禹城南
6	140	270	240	370	10201	11221	12.1	10.0	3.47	2.9	禹城北

同理可推，以禹城站的测量值代表周围1 000 km范围的地表温度，将造成3.9 的误差；以禹城站的测量值代表周围11 000 km范围的地表温度，将造成4.7 的误差。当然，这种误差也取决于单点值和被代表的区域平均值的地表类型差异，一般而言，跨类型的区域误差大，同类型的区域误差小。例如，有一块与禹城试验站的地表类型比较接近的地块，在2 860 km范围，其平均地表温度为13.7 。以禹城站的测量值代表这个范围的地表温度，只造成1.3 的误差。在封4彩片3中用遥感方法作出的地表温度也可以填补两个站之间广阔的空白地带，从而可以提高区域地表温度的估算精度。

表3 净辐射的单点数据代表性及二维空间变异

序号	像元 X1	像元 Y1	位置 X2	位置 Y2	像元数目	面积 km <sup>2</sup>	平均净辐射 W/m <sup>2</sup>	中值净辐射	净辐射标准差	净辐射空间幅度 W/m <sup>2</sup>	位置描述
1	166	323	/	/	1	1.1	578	/	/	/	禹城站
2	160	325	170	335	121	132	587	683	525	-9	禹城南
3	150	315	180	345	961	1057	587	578	526	-9	禹城南
4	160	325	210	375	2601	2861	593	583	529	-17	禹城南
5	160	325	260	425	10201	11221	599	581	532	-21	禹城南
6	140	270	240	370	10201	11221	598	577	529	-20	禹城北



相对而言，地表净辐射通量分布的非均匀性并不十分剧烈。它除了有较均匀的太阳入射辐射外，天空长波入射辐射相对也比较均匀，构成净辐射通量的入射部分的主成分信息，从而使地表净辐射通量的区域分布相对比较均匀。禹城站试验场小麦冠层净辐射通量为 $578 \text{ W/m}^2$ 。其坐标位置如上述。同前面一样，如果我们把这个点上的观测值代表禹城站周围(包括禹城站)的120个像元面积也就是从东西方向第160像元点到第170像元点，从南北方向第325像元点到335像元点范围内的净辐射通量值。用遥感方法计算这个面积约 $130 \text{ km}^2$ 上的净辐射通量为 $587 \text{ W/m}^2$ 。也就是说，以禹城站的测量值代表周围 $130 \text{ km}^2$ 范围的地表温度，仅造成 $9 \text{ W/m}^2$ 的误差。以同样方法可以推算，以禹城站的测量值代表周围 $1000 \text{ km}^2$ 范围的净辐射通量，仅造成 $17 \text{ W/m}^2$ 的误差。以禹城站的测量值代表周围 $2860 \text{ km}^2$ 范围的地表温度，将造成 $21 \text{ W/m}^2$ 的误差。以禹城站的测量值代表周围 $11000 \text{ km}^2$ 范围的地表温度，将造成 $20 \text{ W/m}^2$ 的误差。

很多地学领域的研究课题均涉及到下垫面参数的单点的代表性问题。特别是大尺度模型的下垫面参数的输入是采用网格方式，一种参数在一个网格中只输入一个数。GCM环流模型的网格尺度是 $100 \text{ km} \times 100 \text{ km}$ 。在 $1 \text{ 万 km}^2$ 的面积里只输一个值。这个值的取值方式及其代表性就非常重要。往往就是采用单点的观测值代表 $1 \text{ 万 km}^2$ 的平均值。因此估算一个网格的平均值和单点观测值的差异，即估计以单点值代表该网格平均值的误差，应该是造成GCM环流模型的计算误差的主要原因。

从单点值转换到网格平均值，即尺度扩展(upscaling)，是尺度转换的主要内容。相反，从网格平均值转换到某一单点值，即尺度收缩(downscaling)。尺度转换的主要难点是该两种信息之间的非线性和非均匀性。目前可以运用多种手段，研究大小尺度信息之间的转换规律。例如，神经网络法、小波分析法、分形法等等。但是无论何种手段，有两件事不能忘记：第一，必须具有地面实况数据；第二，必须具有物理意义。显然，不同的参数有不同的尺度转换标准，在本文中所例举叶面积指数、地表温度和地表净辐射通量三种参数具有不同的尺度转换标准，更详细的研究将在以后进行。

### 3 结论和讨论

实践表明，利用遥感方法作出时空多变要素的区域分布，其方法是可行的。遥感方法与传统区域表达方法(等值线方法)的对比，证实了传统的区域要素计算和表达方法的不足。特别估算了对于空间差异较大的非均匀要素所作出的区域分布的可能误差。对于某些要素如叶面积指数采用以点代面的方法所造成的误差是相当惊人的，地表温度的非均匀性次之，地表净辐射通量的区域分布相对比较均匀。同时也证明定量遥感是大气-植被界面参数尺度转换的有力手段。虽然目前所能开展的定量遥感还存在一定的误差，但是，它能实实在在地提供尺度转换的信息。

我们认为，目前遥感方法尚存在不足。像大气纠正，混合像元分解等关键课题仍需继续深入研究。本文所提出的定量遥感思路中，特别强调了星地同步观测的重要性。它是目前克服大气影响的有效途径。对于较复杂的参数，必须有非遥感参数的辅助。因此，地面生态网络站、气象站、农业气象站和水文站所观测的非遥感参数是很有价值的。这是定量遥感的重要支撑。采用点面相互补偿、相互支撑的方法是今后开展定量遥感和区域估算的有效途径。

第一作者简介：张仁华 研究员，长期从事定量热红外遥感研究。对地表温度的定量反演和地物比辐射率的航空和航天直接测定有兴趣。先后发表学术论文60余篇，专著三册。最近发表的专著“实验遥感模型及地面基础”获中国科学院自然科学二等

奖。

作者单位：中国科学院地理研究所，北京 100101

## 参考文献

- [1] 张仁华.以作物光谱和表面温度为基础的蒸发模型.农田蒸发研究.北京：气象出版社，1991
- [2] 张仁华.实验遥感模型及地面基础.北京：科学出版社，1996
- [3] Zhang R H, Kuusk A, Gang C, Strahler A and Li X W. A new quantitative way for deterring leaf area index and net primary productivity in regional scale. The Journal of Chinese Geography, 1996, 6(4) : 1 ~ 17
- [4] Choudhury B J. Estimating evaporation and carbon assimilation using infrared temperature data: vistas and modeling. Theory and Application of Optical Remote Sensing, New York, 1989
- [5] Jupp D L B. Constrained two layer models for estimating evapotranspiration.Proc. of the 11th Asian Conference on remote sensing ,Guangzhou ,China, 1990

## 欢迎订阅2000年《城市规划汇刊》

《城市规划汇刊》是本研究城市规划的学术性刊物，它及时报道在改革开放以来和市场经济转轨的新形势下，我国城市规划学科发展中新的动态、新的探索、新的科研成果和新的实践总结等最新信息；综合介绍国内外有关城市规划、城市设计、道路交通、生活居住、园林风景和环境保护等方面的论述。

本刊阅读对象是：从事城市规划、设计、建设、管理工作的科技人员；大专院校中学习城市规划、建筑学、园林绿地、城市建设、城市道路、经济地理学等专业的师生；各界关心城市规划、城市建设的读者。

本刊由教育部主管，同济大学建筑城市规划学院《城市规划汇刊》编辑部主编，同济大学出版社出版，全国各地邮局发行。欢迎各界读者直接向邮局订阅，邮发代号4-465。

本刊为双月刊，在国内外公开发行(国际标准连续出版物号ISSN1000—3363，美国国际CODEN中心国际刊名代码CGHUET，国内统一刊号CN31—1360/TU)，2000年共出版6期(总第119~124期)，为扩大信息量，芯页由原64增至80页，每期定价8元，全年48元。

《城市规划汇刊》编辑部1999年8月