## 从定性到定量，遥感技术“进阶式”

日前，陆地探测一号01组B星成功发射。AB双星编队，将在地质灾害、土地调查、基础测绘、防灾减灾等方面大显身手。它们应用的技术，就是遥感。如今，大家已经对“遥感”耳熟能详——遥感，是指非接触的、远距离的探测技术，一般指通过遥感器对物体的电磁波辐射、反射特性进行探测，从而利用这种非接触的方式感知物体的种种特性。那么，从遥感技术发明至今，发生了怎样的变迁？又有哪些可期的未来？

　**遥感科技“高”在哪儿**

**高分一号“一眼”，800公里尽收**

　　我们今天所说的遥感，一般指在距离地表一定高度的平台上，如飞机、卫星等，利用遥感器对地表进行观测的活动。当然，利用无线传感器对地表、利用探地雷达或其他有穿透性的遥感器对地下进行观测也被认为是广义的遥感范畴。

　　对于公众而言，最熟悉也是最早发展起来的遥感，就是从卫星平台观测地球表面，这也是20世纪末发展最为迅速的科技领域之一。卫星遥感能够频繁持久地提供地表的面状信息，具有宏观、动态、精确地监测地表环境变化的特点。总的来说，包括卫星遥感在内的遥感技术具有如下优势：

　　其一，进行大范围观测。遥感用航摄飞机飞行高度为10公里左右，陆地观测卫星轨道高度一般在600-800公里左右，例如我国高分一号卫星的覆盖范围可以达到800公里之宽，大概相当于北京到安徽淮北的距离。这种感知，就是古人“欲穷千里目，更上一层楼”的人眼视觉中，视场和距离的关系。

　　其二，获取信息的速度快、周期短，受地面限制条件少。尤其通过卫星组网观测或大幅宽相机观测，对同一地区甚至可以做到一天内多次观测。而对于因自然条件恶劣或者国境限制不能在地面到达的区域，也可以通过卫星遥感方便及时地获取地面信息。

　　其三，获取信息的手段多，信息量大。根据不同的目的，可选用不同波段、不同探测方式的遥感器来获取信息。例如可采用可见光探测物体表面形状、颜色等信息，也可通过红外探测物体的温度信息，还可以利用不同波段对物体不同的穿透性来获取地物内部信息。

　　人类的信息需求有80%与地理空间位置有关，而在全球普遍面临日益严重的资源环境问题的形势下，遥感宏观、动态、精确等特点，在国民经济、社会发展和国防安全中起着越来越重要的作用。地球观测组织（GEO）确定的遥感9大应用领域，涵盖了灾害、卫生、能源、气候、水、天气、生态系统、农业、生物多样性等，更是涉及了人类生活的方方面面。

　**为什么需要定量遥感**

**由“能看”到“看准”**

　　人们对事物的认知，总是先看到表象，然后涉及实质，尤其是对自然科学研究而言，观察-总结-归纳-演绎推理-实证是通用的研究逻辑。研究者更注重于用数学建立起自然世界的研究对象之间的映射关系，以便用数学方法解释自然规律并进一步预测规律。因此相较于定性的描述，定量的刻画和应用更是自然科学的关键所在。自然科学的分析、对规律现象的确定性描述，这都离不开“数据”或者“量化”这一研究基础。

　　20世纪70年代以来，卫星遥感主要采取垂直观测方式，以获得地表二维信息，对获取的数据则基于地面目标漫反射的假定，作一些简单校正后利用地面目标的光谱特性作地表分类或经验判读。早期遥感的应用，更多的是基于定性描述，也就是通过可视的地物颜色、纹理、形状、大小等要素来对地物的各种属性进行推断并进行应用。但是，随着需求的发展，定性遥感越来越难以满足科研和应用的需求。

　　例如，卫星遥感通过云图可以很直观地显示各种气团的运动趋势，但中、长期天气预报的准确性仍不令人满意。其主要原因之一就是在大气动力学模型中，需要知道影响地面和大气温度的大气下垫面反照率和影响气流运动的粗糙度这些量化的信息。而定性的分析显然不能满足这个需求。

　　很自然地，人们开始着眼于通过遥感的方式来获取地物更多量化信息的研究，并期望定量遥感能承载更多的应用需求。

　　那么，什么是定量遥感？对应于定性遥感而言，定量遥感是从地物反射或发射的电磁辐射里，来推演得到地物某些特征定量化描述的手段。通俗地说，就是在遥感获取的各项电磁辐射信号的基础上，通过数学的或者物理的模型，将遥感信息与观测地表目标联系起来，定量地反演或推算目标的各种自然属性信息。

　　定量遥感有什么优势？我们以全球气候变化研究为例。在全球气候变化研究中，定量的遥感数据产品起着至关重要的作用。它们不仅能够作为输入参数集来驱动数值过程模型运行、评价和验证其模拟结果，还可以通过适时的输入更新结合数据同化的方法确定过程模型的某些状态变量或者参数，以提高不同时空尺度的碳、水、氮通量等模拟精度并进行预测。在行业部门的各种业务应用中，各种评估对量化指标的旺盛需求，也对遥感的定量化提出了更高要求。

　**定量遥感难在哪儿**

**模型构建、参数反演个个是难关**

　　如前所述，遥感应用水平要提高，定量遥感是必由之路。

　　但是，定量遥感要作准很难。它的精确度主要取决于前向模型构建和参数反演两方面。

　　什么是前向模型构建？想要搞明白这个原理，我们先来看明代罗贯中的一句诗：“夕阳方照桃花坞，柳絮飞来片片红”。李小文院士曾这样诠释：柳絮明明是白的，为什么诗人观察到柳絮是红的呢？这可能是三个原因导致的：首先是太阳照射和观测的角度的关系。由于是夕阳，太阳光穿越大气的光学路径较长，短波段散射严重，导致直射光偏红。其次反映了地表参数的特征：桃花坞里桃花灼灼，形成一个红色的下垫面，导致反射光偏红。再次是反映了气溶胶的特性：柳絮本身是全波谱反射，此时反射夕阳红，反射桃花红，因此柳絮成了片片红。

　　而我们构建前向模型，就是要把信号的光谱、像元对应的空间范围、成像时间、太阳照射和观测的角度关系、极化特性、描述大气特性和地表特征的参数集，都综合在一个数学表达式中，来描述遥感传感器接收到的辐射信号。

　　建模是定量遥感反演的前提条件和基础，而电磁辐射穿越大气、植被，到达土壤，再反射穿越植被、穿越大气，达到卫星传感器的遥感成像过程的复杂性使得用数学模型来描述变得极端困难。

　　反演的过程则是建模的逆过程，也就是通过遥感观测的电磁辐射信号逆推估算大气或陆表特性参数集的过程。理论上说，通过多个观测解方程组的方法可以得到我们感兴趣的地表特性的定量信息。但“理想很丰满，现实很骨感”，地表太复杂、而遥感观测总是有限的——这就好比盲人摸象，很多信息都是有限的、孤立的，要想获得准确认知，需要对获得的信息进行融合、积累和综合。我们一直在试图寻找更好的办法来解决问题，比如利用先验知识、时空约束、多阶段反演、最优化反演等。其中涉及很多专业知识和数理内容，我就不再赘述了。

　**我国定量遥感水平如何**

**保持国际领先，未来仍要加油**

　　我国定量遥感研究起步于20世纪90年代，在李小文院士等前辈科学家的推动下，一直保持在国际领先地位。随着我国航天事业的蓬勃发展、行业部门对遥感日益旺盛的需求以及遥感科技工作者对学科发展的不断推动，我国势必稳步从定量遥感大国向定量遥感强国迈进。

　　那么，未来的中国定量遥感研究会怎样发展？笔者认为可以着重考虑以下几个方面：

　　更加重视科学目标明确的我国自主卫星计划的提出。目前，国产卫星更多地仍然在模仿和跟跑的道路上，从卫星观测模式、载荷设置、载荷成像（观测）体制等方面仍有大量模仿的痕迹。固然，对业务运行的卫星而言，这意味着更稳定、可靠性更强和可复用的数据更多。但对科学研究而言，则意味着新型观测数据更少。类似CASEarth、高分五号(部分载荷)、碳卫星、水卫星等由科学家用户以特定科学问题为驱动，主导进行的卫星计划应该更多地被支持。

　　同时，应更加重视国产卫星数据产品面向国际用户的开放。经过载荷研制、地面验证、国产卫星共性产品生产等多方共同努力，将国产卫星数据定量产品的质量稳步提升后，更需要面向国际用户进行开放，这既是我国科技自信的表现，也是通过吸引更多国际用户使用产品从而提升我国遥感卫星产品国际影响力的具体途径。

　　再者，应更加重视定量反演的“两端”。地表辐射前向模型是进行定量遥感反演的基础，我国科研人员在地表辐射前向模型的改进、集成和应用方面居于国际前列，在针对复杂场景、新成像体制、新遥感模式的前向模型提出方面还需要科研人员的共同努力。定量遥感反演产品是直接面对科学家用户和行业用户服务，和其他市场化的产品和服务一样，产品质量、产品使用说明、对用户的技术支持、产品不确定性和区域适用性等均需要同步提供，以便各类用户获得更好的用户体验。