

【Café 速递】李熙：夜光遥感的历史、现状与展望

核心提示：夜光遥感是近年来遥感领域的重要分支和新兴热点，引起了众多学者的研究兴趣。在 GeoScience Café 第 302 期交流活动中，李熙老师将从夜光遥感的概念、机理、方法和应用等多个角度出发，介绍夜光遥感的历史、现状与未来趋势，特别地，武汉大学“珞珈一号”卫星对于夜光遥感的贡献将在本次讲座中进行介绍。

主持：胡承宏 摄影：陈佳晟 摄像：陈佳晟 文字：修田雨

>>>人物名片

李熙，武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室教授，博士生导师，亚洲开发银行（ADB）国际顾问；发表 SCI 论文 30 余篇，担任 Science Advances、RSE 等 30 多种国际期刊的审稿人；主持国家重点研发计划、国家自然科学基金等多个国家级项目。研究成果曾经获得国务院办公厅、联合国安理会的采纳或引用，曾被《纽约时报》、《科学美国人》、CCTV 等 600 余家国际媒体报道。

>>>嘉宾小语

- ◇ 夜光遥感的定义：在夜间无云情况下，遥感传感器获取陆地/水体可见光源的过程即夜光遥感。
- ◇ 2018 年 6 月 2 日，武汉大学在酒泉卫星发射中心发射了“珞珈一号”卫星。空间分辨率 130 米，过境时间平均为夜晚 9:30，有 14 比特的量化，单景影像的覆盖范围为 200 公里*200 公里。
- ◇ 我们要思考怎么样有利于服务于人类命运的共同体，如何将夜光遥感的成果写在祖国大地上，未来的发展趋势需要我们做一些有意义的尝试。

>>>报告现场

2021 年 6 月 4 日晚上 7 点，武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室教授李熙老师做客 GeoScience Café 第 302 期学术报告活动。李熙系统全面地介绍了夜光遥感历史、现状与展望，让观众受益匪浅（图 1）。



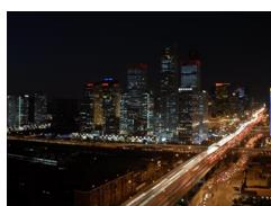
图1 李熙老师作精彩报告

李熙老师是 2009 年在武大遥感院毕业，同年进入实验室工作；2012 年开始接触夜光遥感，到现在已经研究了接近 10 年的时间。此次报告将从夜光遥感及应用、夜光遥感与决策支持、“珞珈一号”卫星、夜光遥感的历史回顾、夜光遥感的前沿与展望五个方面展开。

夜光遥感及应用

夜光遥感的定义：在夜间无云情况下，遥感传感器获取陆地/水体可见光源的过程即夜光遥感。

夜光遥感的主要光源可以分为三种（图 2），一个是城市灯光，一个是渔船发光，一个是油气井燃烧发光。城市灯光比较常见。渔船发光是通过巨大的灯光照明，把鱼给吸引到船边然后进行捕捞。油气井发光是为了防止石油开采过程出现的天然气直接排放到大气中产生更大的隐患，直接燃烧所发出的光。在这三种灯光亮度中，油气井燃烧的亮度是最大的，可能会是城市灯光的好几百倍。



城市灯光



渔船发光



油气井燃烧发光



城市灯光遥感影像



渔船灯光遥感影像



油气井燃烧发光遥感影像

图2 夜光遥感的主要光源

下面介绍一些比较有知名度的夜光遥感卫星(表1)。第一个卫星就是 DMSP,

2700m 分辨率。第二个 Suomi NPP, 740m 分辨率。Suomi NPP 的 VIIRS 传感器, 它所拥有的 DNB 波段是目前最常用的夜光遥感影像的来源。SAC-C 卫星、SAC-D 卫星是阿根廷的两个卫星, 这两个卫星的数据不公开。以色列的 EROS-B 卫星可以获取 0.7 m 的全色波段。“吉林一号”可以获取 RGB 波段, 是全球第一个同时具有高分辨率和多光谱波段的夜晚卫星。最后还有武汉大学的“珞珈一号”, 可以获取全色波段, 130m 分辨率。

观测平台	传感器	空间分辨率	所属国
DMS系列卫星	OLS	2700 m	美国
Suomi NPP卫星	VIIRS	740 m	美国
SAC-C卫星	HSTC	200~300 m	阿根廷
SAC-D卫星	HSC	200 m	阿根廷
EROS-B卫星	全色波段传感器	0.7 m	以色列
吉林一号	RGB波段传感器	1 m	中国
珞珈一号	全色波段传感器	130 m	中国

表 1 一些夜光遥感卫星的介绍

有关夜光遥感的基本应用, 李熙老师举了几个最常用的例子。一个是经济学。大量研究表明, 夜间灯光总量跟国民生产总值存在一个很好的线性关系。当没有准确的 GDP 统计数据时, 灯光可以起到代理变量的作用。我们可以通过建立计量经济模型对 GDP 数据进行反演与修正。

第二个是城市制图。通过灯光提取城市范围的优势在于, 它有非常低的成本和相对还不错的精度。灯光能提取一公里分辨率的、精度不错的城市范围分布图, 这个分辨率的分布图具有很好的实用性。

第三个是光污染研究。欧洲学者发现夜间灯光在一定程度上会损害人类的健康。夜光遥感为研究疾病的发病率和光污染之间关系提供了一种基础数据源。大量研究表明, 光污染可以对若干种癌症、肥胖、失眠, 甚至是青少年夜晚型人格的发病率产生影响。

光污染中, 除了对人类健康的污染, 还有天文学光污染。在城市的夜晚几乎不可能看到天空的银河, 这是因为大气存在气溶胶。有学者通过结合夜光遥感的数据跟大气气溶胶数据获得了全球的天文光污染分布图, 通过这张图就可以避开大型的人造光源, 有利于进行天文台的选址工作。

第四个是渔业监测, 在许多国家, 渔民利用部分海洋生物的夜间趋光性特点, 在渔船上装载巨大功率的照明灯泡, 从而高效地开展夜间渔业活动。

第五个是宗教与文化分析。美国 Miguel O. Román 团队曾对中东不同城市做

了一个以天为单位的时间序列的灯光分析。他们发现吉达（沙特阿拉伯城市）每年会有个灯光峰值出现，但其临近的城市海法（以色列城市）却没有。这是因为沙特是以穆斯林信仰为主体的国家，而穆斯林有一个“斋月”，每年斋月期间会有大量的朝觐活动，会吸引大量的穆斯林进行朝拜，所以夜间就出现了大量的灯光照明，最终灯光出现一个骤然增加的现象。

夜光遥感与决策支持

这部分主要介绍李熙老师团队的部分工作。第一个案例就是夜光遥感评估叙利亚内战的工作。图 3 是 2011-2014 年叙利亚夜光遥感影像，从图中可以看到，叙利亚内部的灯光急剧的减少，但外部的灯光变化量却很少。

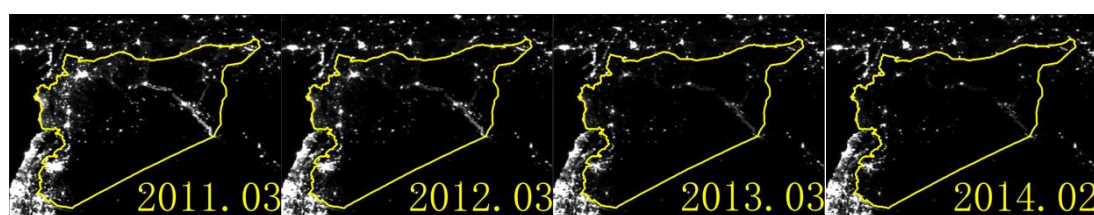


图 3 2011-2014 年叙利亚夜光遥感影像

对叙利亚 38 个月的夜光遥感影像进行时间序列分析，可以发现叙利亚的主要城市的灯光都呈现剧烈减少的趋势，但不同省份的灯光减少量有所不同。同时各省份夜光总量的减少和难民迁徙量存在正相关。这证明了灯光能够一定程度上反映叙利亚人道主义战争的时空分布。

之后，对叙利亚时间序列的夜光影像进行了聚类（图 4），两类结果发现，在没有加入任何的行政边界的数据的情况下，类别的分界线恰好就是国界线。三类结果发现，叙利亚内部存在两类，外部有一类。其中外部变化比较平稳，内部的两个，一个是剧烈减少，一个是一般性的减少。

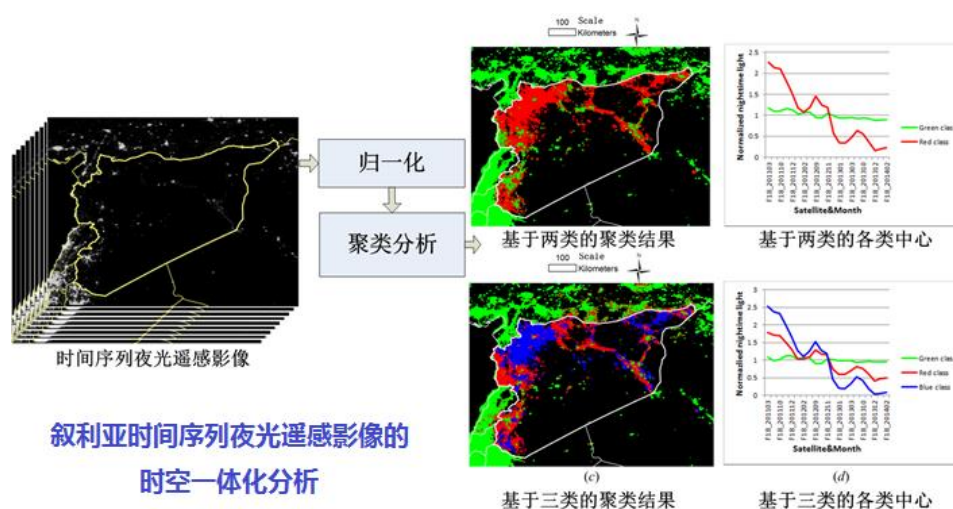


图4 叙利亚时间序列夜光遥感影像的时空一体化分析

这个工作提醒了国际社会对叙利亚的继续关注，叙利亚的人民正在遭受苦难；另外提供了一种时空的规律挖掘方法，去分析叙利亚的哪些地方更需要人道主义援助。

第二个工作是李熙老师在新冠期间响应国务院办公厅的号召，通过夜光遥感指数进行了复工复产的分析（图5）。

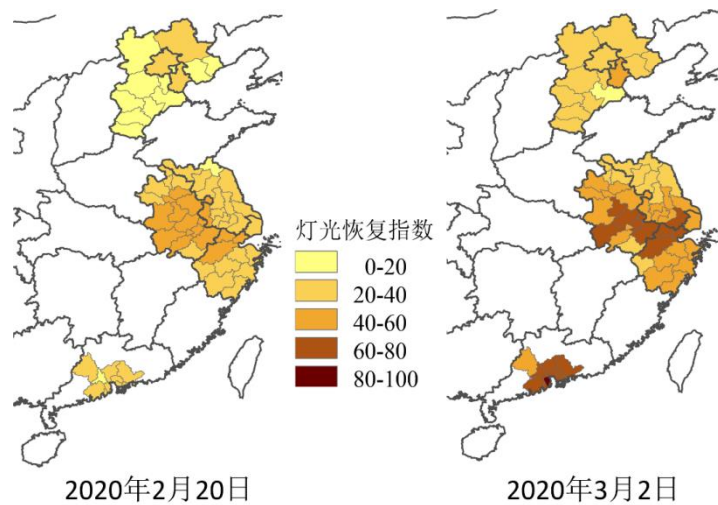


图5 新冠疫情期间的复工复产评估

“珞珈一号”卫星

2018年6月2日，武汉大学在酒泉卫星发射中心发射了“珞珈一号”卫星。空间分辨率130米，过境时间平均为夜晚9:30，有14比特的量化，单景影像的覆盖范围为200公里*200公里。

图6是美国的Suomi NPP卫星（740m分辨率）和“珞珈一号”的对比图。可以发现，在洛杉矶，“珞珈一号”可以看到城市道路的大致分布，但Suomi NPP是看不到的，这可以认为“珞珈一号”可以提供更加精细的空间分辨率的灯光信息。

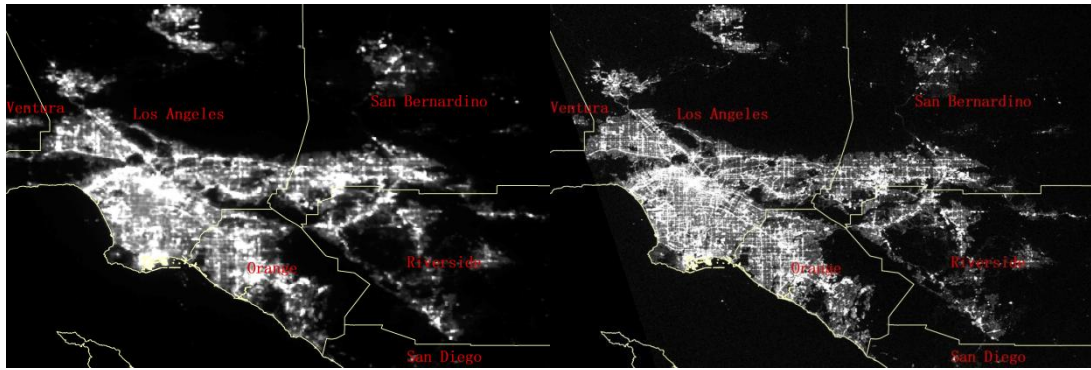


图6 美国 NPP 卫星和“珞珈一号”夜间影像的对比（洛杉矶）

武汉大学具有完全自主的卫星接收的功能。卫星发射之后，可以自主接收数据，然后由李德仁院士团队进行预处理，再进行数据的分发。“珞珈一号”把中国进行了完全覆盖，除此之外，对欧洲的西欧地区、北美的美西地区、大洋洲的澳大利亚地区都进行了覆盖。

武汉大学李德仁院士带领的团队把“珞珈一号”做成了全国一张图（图7），即通过遥感平差，影像匹配的方式，把不同时期的或者接近时期的影像拼成了一张图。我们可以通过这张图很好地研究中国区域经济发展，以及很多社会经济现象，这个数据也是免费发布的。

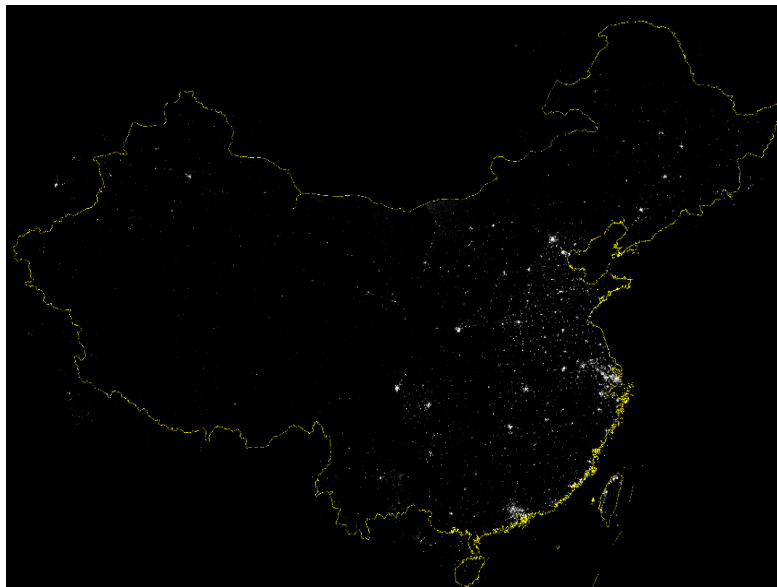


图7 “珞珈一号”全国一张图

提取城市建成区是“珞珈一号”的应用之一。李熙老师团队利用夜光影像和城市的 NDVI 影像，并使用 HSI 指数提取了城市建设区（图8）。“珞珈一号”的提取精度是 93%，NPP/VIIRS 的提取精度是 90%，虽然结果好像高不了很多，但是从细节来看，“珞珈一号”比 Suomi NPP 提取效果好很多，比如图9红圈中的道路。

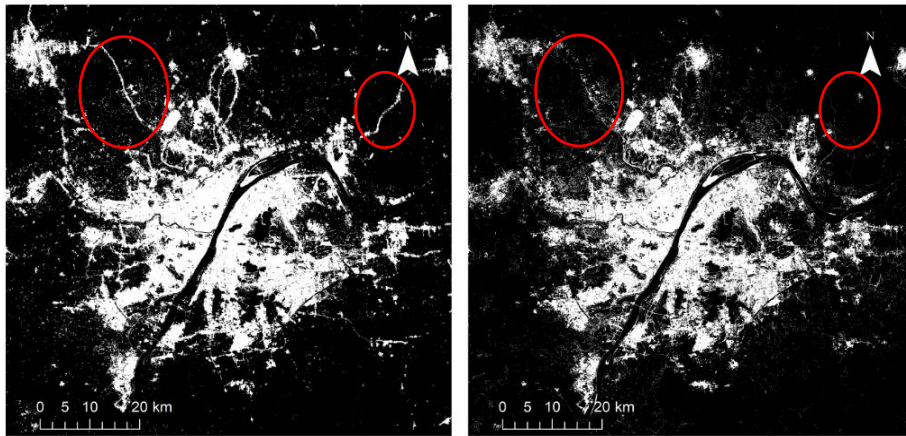
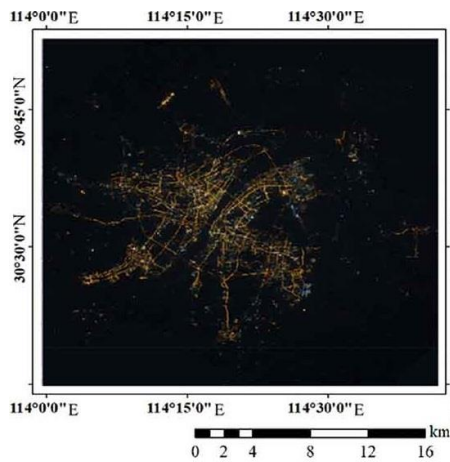
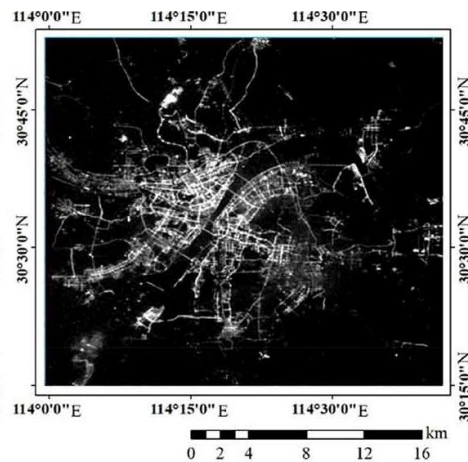


图8 “珞珈一号”和NPP/VIIRS的城市制图结果对比

“珞珈一号”数据仅有6个月的数据，无法进行城市扩张分析。针对这个问题，李熙老师团队进行了影像相对辐射定标的工作。图9(a)是2010年的国际空间站的影像，图9(b)是2018年“珞珈一号”的影像。基于稳健回归模型，把2010年的国际空间站的影像，模拟成一张2010年的“珞珈一号”影像（图9(c)）。然后对图9(b)和图9(c)进行变化检测，制作了2010到2018年的武汉市城市扩展地图（图9(d)），其整体分类精度为90%。



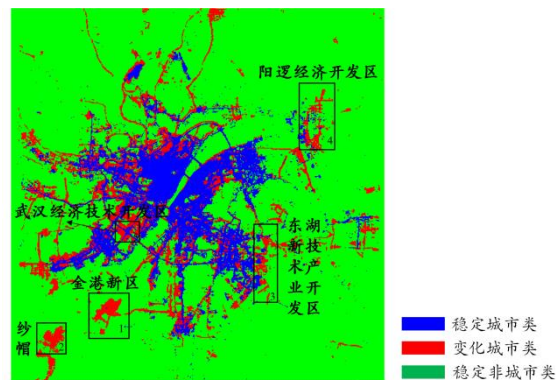
(a) 2010年的ISS影像



(b) 2018年的“珞珈一号”影像



(c) 模拟的2010年“珞珈一号”影像



(d) 2010-2018年的武汉市城市扩展地图

图9 “珞珈一号”城市扩展分析示意图

“珞珈一号”对联合国的人道主义评估也开展了一些支持工作，比如在 2018 年 6 月 5 号“珞珈一号”就对伊拉克北部进行了拍摄实验。此时伊拉克政府军刚刚赢得了战争胜利，解放北部不久（图 10 左）。在两个月后，7 月 28 号，伊拉克地区变成了图 10 右的状态。首先，油田开采发生了明显的恢复，油气井的发光增加。其次，Mosul 西北角的灯光发生了较为明显的增长，这意味着 Mosul 的重建工作在有序开展。但同时少部分地区的灯光发生了减少，原因尚不清楚，猜测是因为当时有大量的民兵武装在这里聚集，战争结束后就撤退了。最后这幅图直接提交给了联合国用于评估当时伊拉克北部的一些状况。

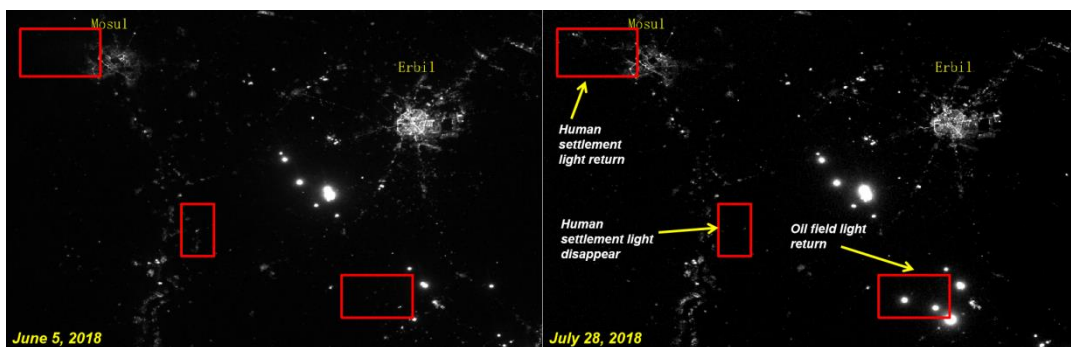


图 10 “伊斯兰国”战败后的伊拉克北部重建

夜光遥感的历史回顾

1974 年，美国军方内部资料首次透露了 DMSP 卫星可以进行在无云情况下的夜间灯光的观测。

1978 年，在 *Scientific American* 上首次公布发表论文证明，DMSP 具有夜晚灯光成像能力。

1980 年代，夜光遥感的研究还比较少，仅查到了两篇学术论文，关于夜光遥感与社会经济的。

1990 年代，DMSP/OLS 年合成影像正式被制作出来，美国海洋大气管理局的 Elvidge, C. D. 博士主持发布了这套产品，并发表了相关的研究论文。

2010 年，Elvidge, C. D. 博士公开了全球 1992 年到 2008 年的长时间序列灯光影像，这是一个非常密集的时间序列，可以用于包括城市化进程在内的各种领域的研究，这个数据的发布引爆了夜光遥感的研究浪潮。

2011 年，在《环境遥感》上，张清凌老师通过多时期的夜光遥感对局部或者全球尺度的城市化进行制图，首次证明了多时期夜光影像可以用来开展城市化

的建设分析。

2012 年，以色列的 Noam levin 教授团队首先获取了国际空间站的影像。他们通过对数据进行处理后，发现 60-100 米分辨率的国际空间的影像，可以获得更加精细的城市社会经济参数。

2013 年，李熙老师捕捉到了美国 Suomi NPP 卫星数据的发布，借此数据证明了灯光影像对区域经济建模能力的评估。这是首次把 Suomi NPP 的 VIIRS 影像引入到夜光遥感的应用之中。

2014 年，以色列的 Noam levin 教授团队获取了 1m 分辨率的 EROS-B 夜光遥感，并证明了 EROS-B 是一个非常好的夜间灯光数据源。

2016 年，以色列的 Noam levin 教授团队发现了，landsat-8 卫星可以进行夜间可见光的成像。这意味着如果未来能有 30 米分辨率的夜光遥感影像，就可以开展全球大规模的城市分析和城市制图。

2010 年，长光公司正式发布了“吉林一号”的彩色分辨率影像。

2018 年，武汉大学发射“珞珈一号”。2018 年还有一个里程碑事件，是黑色大理石（Black Marble）产品的首次发布。这是 Miguel O.Román 团队发布的夜光遥感数据产品，它经过了非常复杂的大气校正，滤光处理，季节性校正等等。大概在 2019 年可以正式下载，这个夜光数据产品的时间分辨率被提升到每天，它有两个指标，一个叫 VNP46A1，一个叫 VNP46A2。做过大气校正的是 VNP46A2，虽然还有很多问题，但是它是目前唯一做过这方面处理的产品。

这部分最后谈一下夜光遥感的学术社群，大致可以分为五类，分别是城市化与区域经济社群（中国学者为主）、经济学社群（美国、中国、国际组织等）、医学、生态社群（欧洲学者为主）、天文学社群（欧洲学者为主）、遥感前端与产品社群（美国 NASA、NOAA 为主）。

夜光遥感的前沿与展望

前沿主题包括什么呢？有新的传感器、夜间灯光的观测手段、夜光遥感的机理、夜光遥感的产业应用。

传感器方面，除了表 1 中列的那些传感器之外，中外有很多机构正在进行研发新的夜光遥感传感器。比如说中科院“广目”卫星，武汉大学正在研制的多光谱夜光遥感卫星，还有英国的 Alba Orbital 公司的 Unicorn-2A 和 Unicorn-2D 卫星，空间分辨率 24 米，据说已经造好了，但是没有发射。该公司计划 2021 年共

发射 10 颗卫星的夜光遥感星座，口袋卫星，单颗卫星重量为 750g。

关于夜间灯光的观测手段，李熙老师团队首次通过无人机的手段，小范围的进行观测获得了全球首套小时级分辨率的夜光遥感影像。同时全世界有很多城市摄像头，这些数据也将会为未来的城市灯光地面采样、真实验证提供一个很有利的数据源。

目前夜光遥感的辐射传输机理研究比较少见，现在还没有建立起一整套夜间灯光的辐射传输机理。

夜光遥感已经开始了一些产业化的应用。比如招商银行旗下的招银理财在 19 年就推出了首个全球夜光指数产品，为投资理财提供了支持。如果能通过夜光变化提前探知经济发展趋势，更有利于投资，所以夜光遥感与金融领域已经开始了一些比较深度的交叉。

下面谈一下未来的发展趋势。首先，多光谱、高空间分辨率和高时间分辨率是未来夜光遥感的发展趋势，同时具备三者是不太可能，但仅具备其中一者是完全可能的。第二，夜光遥感的辐射传输机理亟待建立。第三，夜光遥感及应用的微观机制需要研究。GDP 跟灯光是有关联的。但无法解释为什么有关系，所以需要研究他们的微观机制。第四，夜光遥感的应用边界在哪里？不能因为相关性高就一直在研究关系，这对科学进步是没有帮助的。我们需要知道夜光遥感中哪些有所为，哪些有所不为，需要把边界给清晰化出来。第五，夜光遥感与微光遥感的贯通。如果能相互贯通，我们就能建立一个夜间的全场景的遥感模型，也有利于区分不同光源的差异性等等。最后，夜光遥感必须与国际上的一些重大议题进行结合，比如说联合国 2030 可持续发展目标。我们要思考怎么样有利于服务于人类命运的共同体，如何将夜光遥感的成果写在祖国大地上，未来的发展趋势需要我们做一些有意义的尝试。

>>> 互动交流

提问者一：能介绍一下 VIIRS 不同产品的及其预处理吗？

李熙：VIIRS 有两个机构在制作产品，一个是科罗拉多矿业学院（Colorado School of Mines），他们做的是年产品和月产品，这些产品未能去除月亮和大气的影响。第二个是 NASA 的 Miguel O. Román 团队，他们做的是 Black Marble 产品，以天为分辨率，受云的影响经常会缺失数据。

如果你不考虑很高精度、不考虑大气影响的话，月合成产品和年合成产品可以用于进行长期的城市化监测。对于月产品，首先要进行背景值去除，一般设置

为 0.3-0.5 nW/cm²/sr。去掉以后会出现很多的空值，所以会对空缺值进行修补，一般是用时间序列的方法进行修补。

提问人二： Suomi NPP 卫星的空间分辨率有的说是 500m、有的说是 800m，然后您又说是 740m。所以这个空间分辨率到底是多少米？而且“珞珈一号”的分辨率是 130m，当时为什么设计的是 130m，而不是 100m 呢？

李熙： 实际上，VIIRS 的星下分辨率为 742m。大家为表示方便会用 750m 或者 800m 这种数字。500m 的话，是因为 VIIRS 产品在发布的时候是以经纬度产品发布的，不是以投影发布的，所以经过经纬度变化，投影变换之后，在地面上就是 500m 左右。“珞珈一号”的星下分辨率是 130m，为什么不是 100m 呢？实际上我们设计轨道时确实正好满足 100 米，但是后来发现这条轨道上有很多太空垃圾，所以只能往上提，最后就是 130m 的分辨率。

提问人二： 请问之前您进行叙利亚研究所做的聚类是怎么做的？是用 NTL 的变化值做的聚类吗？

李熙： 不是，其实就相当于把一个多时相的影像当成一个多波段的影像进行聚类。只不过我要做归一化，不做归一化，会使得高值区域聚在一起，低值区域聚在一起。我把这部分信息去掉之后，再进行聚类，就会把不同趋势的点聚成一类。

提问人三： 夜间灯光在影像上会有一个扩散效应，或者叫溢出效应。有人说是因为灯光本身会向外发光，它可能会往旁边发散出去；也有人说是传感器本身的性能不足所导致的。我想请教一下老师。

李熙老师的硕士生尹子民回答： 你说的第一点，溢出效应可能是灯光四处照射引起的，但是你要知道溢出效应在影像中的表现其实是很大范围的，DMSP 可能是 3 公里的溢出，VIIRS 可能是 1 公里的溢出，这不是灯光的一个简单照射可以形成的。其次，VIIRS 影像和 DMSP 影像的溢出效应，除了传感器移动和拍摄角度的影响，还有一些其他的因素，比如高原，高原的峰值和高原的灯光总值都会对灯光溢出造成一定的影响。还有灯光所处的环境，环境可以分为地理环境，就是陆地或海洋；以及周边环境，比如说植被环境就可能会有遮挡效应，也会对溢出产生影响。还有一个非常重要的因素就是以气溶胶为代表的大气因素，这是目前我认为最为重要的因素。总而言之，影响灯光的溢出因素还是比较多的，要做一个比较全面的解释还是比较困难的。

提问人四： 国内外很多的机构也在竞相研发一些夜光遥感的卫星，我想知道研发这样夜光遥感的卫星，最想要给他们的数据源赋予的特点是什么？是高空间

分辨率、高时间分辨率还是多光谱？还有我发现夜光遥感的研究区域之前都是在美国，因为美国发射的卫星，它的数据是最好的，也是最丰富的。那么如果中国发射一个夜光遥感卫星，是不是中国区域的数据会好一些，研究中国区域的会更多一点？

李熙：先回答你第二个问题。因为美国的城市化已经基本结束了。所以现在大部分学者更关注中国和印度的城市化，研究也主要集中在这两个国家。所以无论是谁发卫星，都会去监测这两个地方。

研发卫星肯定要考虑分辨率，如果要对产业进行监测的话，必须要有足够的时间分辨率，最好能一周有一两次过境。再就是空间分辨率，我们下一个目标都是 20m，这是个可以同时兼顾大范围和相对经济的分辨率，20m 可以对城市街道看的比较清楚了。就我而言，我觉得多波段的重要性不及前两个，但是欧洲那边的学者，他们关注灯光对健康的影响更甚于对经济的影响，他们希望探究不同颜色的光污染有什么不好，所以欧洲人就比较关注光谱方面的设计。



图 12 观众提问



图 13 李熙老师（左二）与部分听众、Geoscience Café 团队成员合影留念

GeoScience Café 以“谈笑间成就梦想”为目标，于每周五晚 7:00 在实验室四楼休闲厅，邀请 1-4 位嘉宾，为大家带来学术报告或经验分享。报告内容包括摄影测量与遥感、地理信息系统、导航与定位服务等研究方向，听众可在报告结束后向嘉宾提问、与嘉宾交流探讨，同时每学期还会举办 2 期人文类讲座和 2 场导师信息分享会。每期报告会根据嘉宾意愿在 B 站开设直播，使不能来到现场的听众同步参与。报告 PPT 和视频会在征得嘉宾同意的情况下在 qq 群和 B 站上发布。

更多精彩内容（讲座预告、讲座回顾、报告 PPT、报告视频）敬请通过以下方式获取：



QQ群



微信公众号



B站直播