
【Café速递】 曹志刚：卫星遥感下的湖泊悬浮物时空动态观测

核心提示：

面对众多的研究课题和大量的已有研究成果，如何寻找自己的研究出发点？本期嘉宾曹志刚将从“非法采砂”的研究旅程开始，讲述在看似普通的遥感湖泊悬浮泥沙的时空变化中，发现的有趣的研究现象，以及后续的研究进展。来自中科院的曹志刚博士将分享他的研究成果与科研经验！

主持：薛婧雅 录像：杨美娟 文字：杨美娟

>>>人物名片

曹志刚，中国科学院南京地理与湖泊研究所 2017 级博士生，主要研究方向是湖泊水色遥感。第一作者发表 SCI 论文 8 篇，先后获得国家奖学金（硕士、博士）、中科院南京分院伍宜孙奖学金、南京分院院长特别奖等奖项。2019 年受国家留学基金委资助前往美国加州大学圣巴巴拉分校地球研究所进行联合培养。

>>>报告现场

2020 年 07 月 03 日 19 点，中国科学院南京地理与湖泊研究所 2017 级博士生曹志刚做客 GeoScience Café 第 262 期线上讲座，分享了他在硕士期间系统的研究过程，即卫星遥感下的湖泊悬浮物时空动态观测，然后分享他的科研经验。

01 水色遥感基本原理

湖泊里面水的颜色千差万别，原因是什么？这个是研究水色遥感的一个基本出发点。水体里面含有各种各样物质，其光谱特征各异，形成了各种各样的水色。总体上，湖泊里的光学活性物质主要有纯水分子，有色的溶解有机物，浮游的植物色素以及非色素的颗粒物。光进入水体后，在他们的影响下，离开水面的时候得到了离水的遥感反射率，经过大气，被卫星接收到，这便是正演的过程。此外，水色遥感研究中，还涉及到反演的过程，反演便是从卫星的信号中得到离水遥感反射率，获得吸收和散射特性以后，得到水体中各种物质的浓度和时空分布。水色遥感涉及到正演与反演两个过程，与其它领域的遥感非常相似的。

水色遥感基本原理

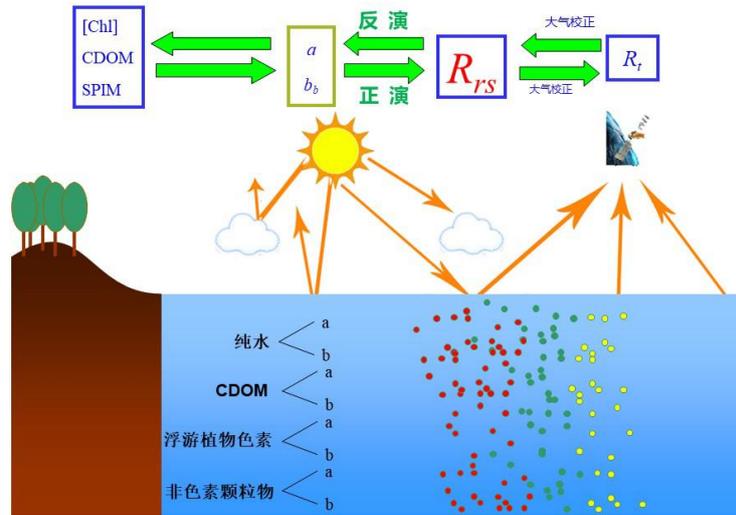


图 1 水色遥感基本原理

02 卫星遥感下的湖泊悬浮物时空动态观测

曹志刚本次为大家介绍的是悬浮物的时空动态观测研究，以及他开展研究的过程。湖泊悬浮物作为水色三要素之一，主要包括水体中的无机泥沙，和浮游藻类色素。悬浮物会影响水体的透明度，影响光在水里的传播，最后会影响水体初级生产力。

在关于悬浮物的研究中，曹志刚开展的第一个工作，是研究悬浮物的时空变化。曹志刚认为，在研究悬浮物时空特征之前，首先要大概明白影响湖泊中悬浮物特征的因素有哪些。总体上，气象因子和人类活动都是改变湖泊悬浮物浓度的重要因子，降雨和风会通过径流和再悬浮作用影响水体中悬浮物的浓度及分布，此外人类活动的影响会直接改变水体中的悬浮物的传输和分布过程。

曹志刚选择的研究区是淮河流域最大的湖泊洪泽湖，至于为何选择洪泽湖作为研究水域，曹志刚解释道，洪泽湖是淮河中游和下游的连接点，淮河入湖径流占洪泽湖总入流量的 70% 以上，是比较有代表性的研究区域。

对于洪泽湖的研究采用野外星地同步观测的方式：

- 2014-2016 年进行 6 次野外实验，收集 157 个点位，采样时间覆盖春、夏、秋、冬，
- SPM（总悬浮物）和 SPIM（无机悬浮物）的相关系数是 0.95，和 SPOM（有机悬浮物）的相关系数只有 0.48
- 洪泽湖的悬浮物主要成分是无机悬浮物

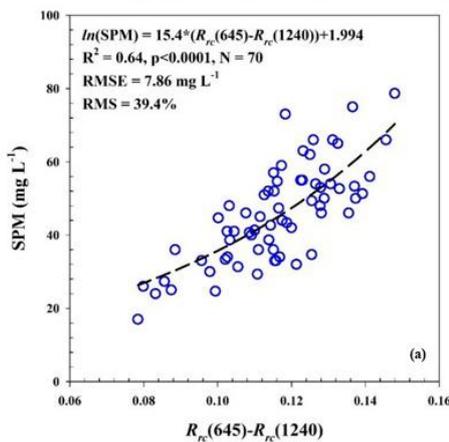
研究采用 MODIS Aqua 卫星数据，从 2002-2015 年间 5000 多景 MODIS 数据中目视筛选出较为清晰的少云、无云影像用以研究。相对于 terra 数据，aqua 卫星

数据能够一定程度上减少太阳耀斑对水体的影响。

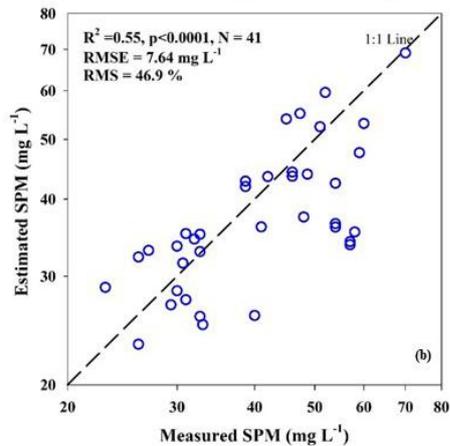
进一步，曹志刚选择采用经验算法，不具体考虑大气水体中辐射信号的吸收反射复杂过程，这样易于在区域实现。相对于陆地研究，水体反演算法的构建对星地同步样点需要做一个时间窗口控制。这是因为，水体具有流动性，在时间范围较大差异时，卫星的观测的水体环境和实测的会有所偏离。曹志刚利用±3h的时间窗口筛选出 111 近实时同步样点，基于 MODIS / Aqua 的 R_{rc} 数据和对应实测 SPM 构建模型。

$$R_{rc}(\lambda) = \rho_t(\lambda) - \rho_r(\lambda) = \rho_a(\lambda) + \pi t(\lambda) t_0(\lambda) R_{rs}(\lambda)$$

$$[SPM] = \exp(15.4 * R_{rc}(645) - R_{rc}(1240)) + 1.994$$



模型的开发



模型的验证

图 2 洪泽湖的悬浮物浓度遥感估算算法

之后，基于该算法获取的 2002–2015 年的洪泽湖悬浮物浓度时空变化。在悬浮物浓度 SPM 的年际变化及年内季节变化的分析过程中，曹志刚发现，2012 年以来，洪泽湖大部分区域的 SPM 浓度显著上升，而淮河河口区域出现了下降趋势。对于这一反常但有趣的现象，曹志刚等人进一步深入研究其原因。在已知水体悬浮物浓度及分布会受到降雨、风等气象因素的影响下，还受到人类活动的干扰。因此需要可以从这两方面着手分析以 2012 年为界的变化。

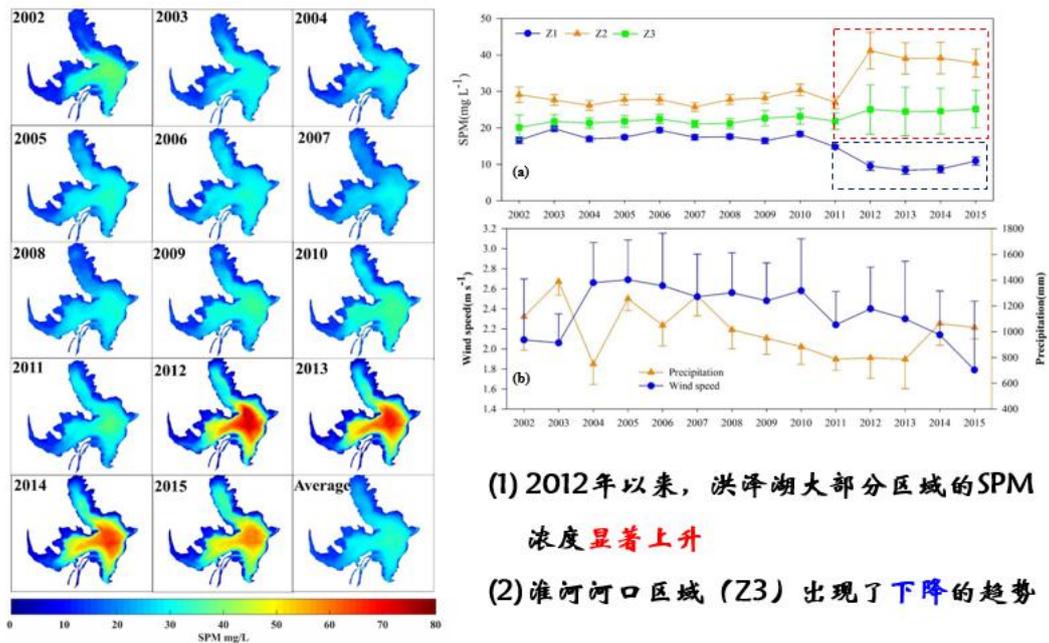


图3 SPM的年际变化

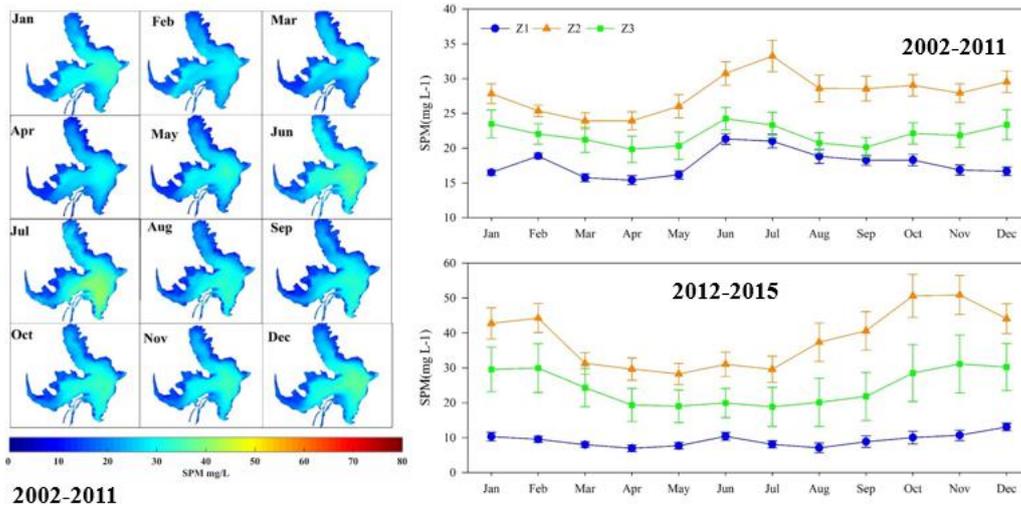


图4 SPM的年内季节变化

研究发现，洪泽湖区域的降雨和风速在2012年前后并没有发生显著的变化，因此应当着重考虑人类活动的影响。通过大量的调研，网络上有洪泽湖大范围非法采砂的新闻报道。采砂活动会搅乱水体，使得水体中悬浮物浓度显著增加。紧接着，参考已有的研究算法，曹志刚采用Landsat数据提取采砂船的时空分布。遥感影像的短波红外波段上，采砂船会形成明显的亮斑，与呈黑色的水体存在明显的对比差异，所以可以通过目视解译的方法进行采砂船初步的提取和分析。经过对比分析，发现洪泽湖的采砂船在2012年数量骤增，且之前少有分布，基本确定了2012年来的悬浮物增加与非法采砂活动有关。大致推算下，2012年以来，

水体平均 SPM 浓度约增加了 21.07%，对于 12.5m 的正常水位下，粗略估算每年增加的 150.48 亿吨的泥沙与采砂活动有关，由此可见非法采砂对于湖泊环境的影响十分严重。

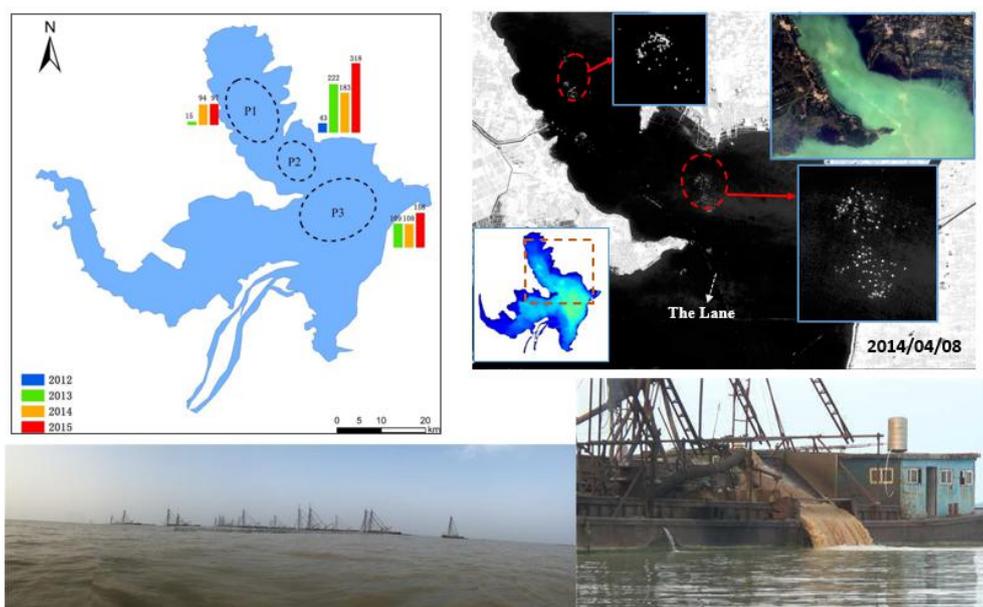
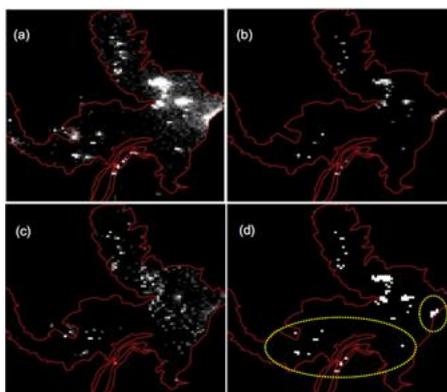


图 5 遥感影像提取采砂船分布

之后，曹志刚介绍他们团队利用 VIIRS 夜间灯光数据进行湖体采砂范围的研究。考虑到政府对于非法采砂的严厉打击，白天采砂船只数量已经降低，但洪泽湖悬浮物浓度依旧较高，所以研究将视线转换到夜间，开展基于 VIIRS 夜间灯光数据的湖体采砂范围分析。结果发现，洪泽湖的 2012-2016 年间，夜间采砂船范围很大，夜间非法采砂的活动使得政府白天的政策收效甚微。

- 1, Log10 变换
- 2, 梯度变化
- 3, 阈值分割
- 4, 二值化提取



Duan, Cao et al., STOTEN, 2019

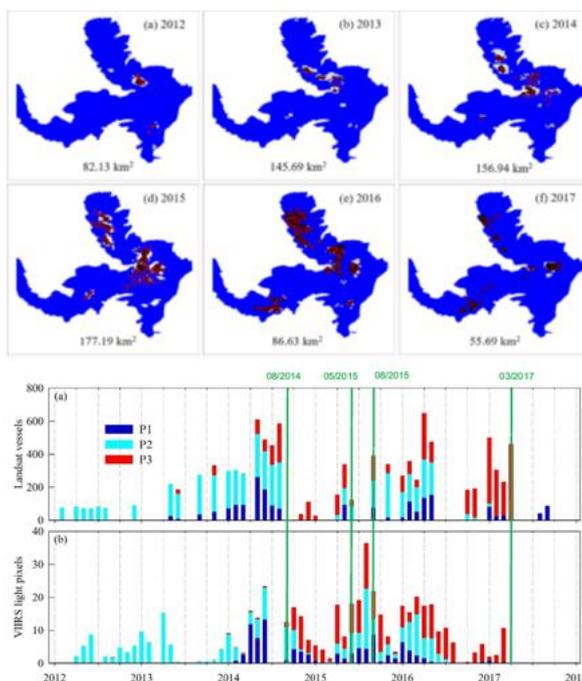


图 6 基于 VIIRS 夜间灯光数据的湖体采砂范围

最终，2017 年 3 月以后，打击力度加大，洪泽湖非法采砂行为得到有效控制，这一点也可以从遥感影像中得到体现，2017 年 3 月之后，洪泽湖水体 SPM 浓度确实存在显著降低。

03 研究经验分享

最后，曹志刚对于本次分享的湖泊悬浮物时空分析研究进行了总结，探讨研究过程，并分享了他在科研过程中宝贵的经验。

1. 寻找“新”的题目，更容易让别人产生兴趣，因人而异
2. 如果是传统领域的选题，从“模仿”开始爬着走
3. 结果不合常理时，检查结果，抓住“异常”
4. 剖析结果时先由“细”到“粗”，再由“粗”到“细”
5. 从实际的问题出发，有时候会让自己的思路更开阔
6. 写作时如果对自己的英语没有把握，可以从中文开始，优先整理逻辑
7. 认真对待审稿人意见，事无巨细，从尊重开始

>>> 互动交流

问题一： 请问学长，您之前提到的 2012 年悬浮物浓度突增，除了采砂船的影响，还有没有发现其他的影响因素？

曹志刚： 有的。其实，本次报告中只是研究的成果之一。已有的研究论文的核心是讲两个部分，第一个是在年际方面，它的悬浮物浓度在 2012 年迅速增加是采砂活动导致的。但在年内短时间尺度上，气象因素也是重要的影响因素。风和降雨共同作用，洪泽湖的悬浮物会呈现不同的形态，而且形态之间也会相互转换，这个是我们的另外一个研究点。之所以在这里没有讲那一部分，是因为我本次报告三个部分着重于采砂船，会相对连贯一些。降雨和风确实会有影响，感兴趣的话可以看一下我的相关论文，里面也详细提到了这些情况。

问题二： 学长好，我想请问非光学水色，比如说溶解氧没有光谱特征，没有固定的经验模型，就是说反演其他的非光学的水质情况，

曹志刚： 遥感非光学特性物质有不少人在做。据我个人了解，总磷现在的研究做的相对比较多。溶解氧我之前看到过一篇论文，但是总体现在相关研究还不多。溶解氧这些物质浓度是没有光谱特征的，如果去做的话，在足够多代表性数据支持下，用经验统计方法，或者机器学习模型，应该是能做出一些适用于区域的模型。但是，这里面临的一个主要问题是遥感的非光学特征的模型机理是什么？因为遥感信号和非光学物质之间没有直接联系，怎么把他们联系起来？特别

是还要考虑，你的模型是一个纯经验统计的，如果换一批数据，是不是模型就不能用了？换个区域是不是也不能用了？在这里其实是一个难点。之前有做总磷的遥感反演，有一些人把颗粒态的磷和悬浮物联系到一起，因为总磷和悬浮物之间关系很好，就可以去联系到悬浮物的光学特性上面，比较好的解释了机理的问题。

问题三：请问学长在出图的时候有哪些考虑，大量的数据总要舍弃一些东西除了借鉴模仿以外，还有其他的方法吗？能详细介绍一下吗？

曹志刚：作图确实很难，怎么能把你的结果综合起来，好好的展示你的结果，特别是，怎么能做出让大家眼前一亮的图表。我在这方面探索，这里分享我的一点经验。第一，是模仿别人的图。报告里面我之前提到的那些时空分布，折线变化，其实就是模仿领域内前辈们的图来的。第一步为什么要模仿，主要是这写图的形式在各种期刊上反复出现，说明这些图的样式是能较好地体现信息的，能把这个信息表达得好。这也是大家为什么持续在用这些图的原因。一般这些经典的图首先要保留的。第二个部分是针对论文的一些细节，有什么样的图能够体现工作量的，这些信息怎么来综合起来。这些在 nature 和 science 上的论文往往很多，比如说做全球的时候或者做一些大范围变化，用了一些很花俏的图表来表示，这个是需要下功夫慢慢去体会的。然后，我们在论文里还会面临舍弃一些东西。在整理初稿的时候，我的通常作法是先把能做的都做出来，然后可能会产生一二十张图，接下来就是把这些图能不能合并，不能合并的话，如果这些图不重要，它是不是跟表格有交叉，然后进行舍弃。现在论文很多提供的附件，可以把这些不重要的图当作附件放进去。这是我自己的经验，供你参考。

本期讲座回放链接：<https://www.bilibili.com/video/BV1KK411H7FZ>

本期海报回看链接：<https://mp.weixin.qq.com/s/2uIScrTkpztPtNoK4ivGwQ>

问卷反馈链接：<https://www.wjx.cn/jq/74279734.aspx>

		
本期讲座回放链接	本期海报预览链接	问卷反馈链接

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