

基于无人机多光谱遥感图像信息的水质污染监测研究

投稿人：何雄

单位：《遵义水利水电勘测设计研究院》

摘要：

近几年国家对生态环境越来越重视，以生态为主题的课题不断被广泛提出，其中水资源污染监测是其中的核心环节。以往的河湖等水资源的监测需要消耗大量人力物力和很大的时间局限性的问题。随着无人机、遥感技术和成像光谱仪的发展，以及机器学习相关领域的快速发展，一种以无人机搭载多光谱成像仪的新型技术被广泛应用。本文以项目为实例，采用无人机搭载多光谱传感器对水质进行成像，通过专业技术手段，对影像进行水质分析，通过和实际水质采样数据对比，分析该技术手段的可行性和准确性。

关键词：

水质监测；无人机；遥感科学与技术；多光谱；

1 引言

贵州地貌属于中国西南部高原山地，境内地势西高东低，自中部向北、东、南三面倾斜，平均海拔在 1100 米左右。贵州河流处在长江和珠江两大水系上游交错地带，有 69 个县属长江防护林保护区范围，是长江、珠江上游地区的重要生态屏障。全省水系顺地势由西部、中部向北、东、南三面分流。水系非常发达，常年气候温润，雨水较多。近些年随着国家对乡村振兴的重视，乡村用水问题是近年来贵州大力解决的问题，各种大小中型水库建立解决了山区农民用水难、吃水难的问题。

但是科技的发展，生活水平的提高，环境污染问题越来越严重。经济的快速发展提高了老百姓的生活水平，也越来越注重生活质量和品质，对生活环境也提出了更高的要求。经济的快速发展遗留的问题就是在发展的同时对于环境保护的考虑不够，出现很多都是先污染后治理的问题。贵州河流水库众多，由于前期大力发展重工业，未处理过渡排放的工业废水，以及民众对环境保护的意识薄弱，未处理过渡排放的生活污水，导致水生态系统被严重破坏，河流湖泊污染严重，部分水域富营养化，浮游藻类大量繁殖，形成水华等现象，给国家带来了巨大的经济损失^[2]。根据国家环境监测总站数据显示，国内水域污染等级为 IV 类、V 类、劣 V 类严重污染的占总水域的 80%以上，其中最严重的事例为 2007 年 5、

6月的太湖蓝藻污染事件^[3]，造成了巨大的经济损失。因此，水质污染问题急需解决，而水质污染监测^[4]是其中一项重要环节。

传统的水质监测是在水资源范围内，修建监测站，通过不断的提取采样数据，经专业的设备分析后，得出分析结果。该手段投入的设备非常繁多，前期投入非常大，而且在实际操作过程中，靠监测站只能就近采样，对于监测站附近的水质监测非常准确，但是离开这个范围的水质就无法监测到了。人工采样，对人员经验判断考验非常大，采样的位置，采样的水质及对样本的保护都非常关键，而且人员投入也大，不可控因素多，操作非常不方便。以无人机为平台搭载多光谱传感器作业方式，可以弥补这些短板，全方位方便快捷的获取全区域的遥感影像资料，效率快捷，实时性高，利用该技术进行水质环境监测意义重大。

2 卫星遥感

我国卫星技术的飞速发展，遥感图像在各类研究中应用非常广泛，不同的星载遥感传感器不同，用途各异。从2006年开始到现在我国已发射34颗遥感卫星，全面对我国的地质灾害，水质污染提供全方位监测。无人机还没普及的时候主要是利用卫星影像进行遥感分析。卫星遥感能做大面积的环境监测，由于本身环绕轨道的问题，也无法做到实时监测。

3 无人机遥感

无人机遥感，即利用先进的无人驾驶飞行器技术、遥感传感器技术、遥测遥控技术、通讯技术、GPS差分定位技术和遥感应用技术，实现自动化、智能化、专业化快速获取国土资源、自然环境、地震灾区等空间遥感信息，且完成遥感数据处理、建模和应用分析的应用技术。无人机遥感系统由于具有机动、快速、经济等优势，现已逐步从研究开发发展到实际应用阶段，成为未来的主要航空遥感技术之一。特别是现在多光谱技术和仪器的发展，以无人机搭载环境监测设备进行环境监测将成为环境监测的重要手段。

4 水质监测

水质监测，是监视和测定水体中污染物的种类、各类污染物的浓度及变化趋势，评价水质状况的过程。监测范围十分广泛，包括未被污染和已受污染的天然水（江、河、湖、海和地下水）及各种各样的工业排水等。主要监测项目可分为两大类：一类是反映水质状况的综合指标，如温度、色度、浊度、pH值、电导率、悬浮物、溶解氧、化学需氧量和生化需氧量等；另一类是一些有毒物质，如酚、氰、砷、铅、铬、镉、汞和有机农药等。

5 水库水质监测实例

2021年7月，我们选择飞马 D2000 搭载多光谱航摄仪对遵义某重要水源水库建有水质监测站的一段进行无人机多光谱航摄。该水库为遵义市重要水源水库，水质质量直接影像老百姓的饮水质量，也是遵义市重点监测的水源水库。范围如图：

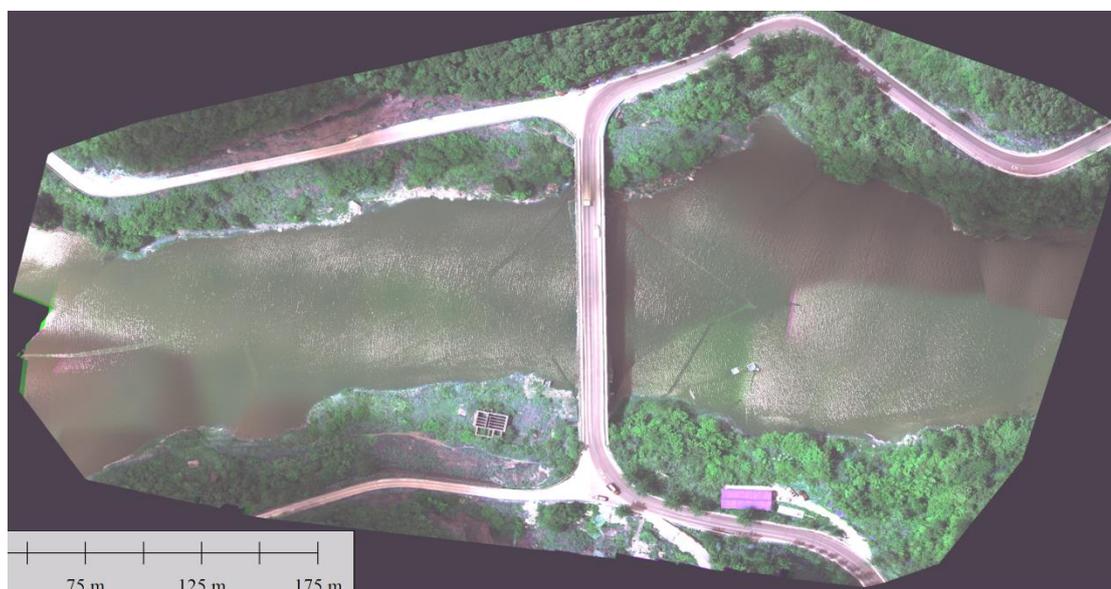


图 1

为了保证监测质量，航高选择 100 米，当地地形限制，高度无法再降低。

本次根据遥感定量反演出水色指数共 9 项。其中包括叶绿素 a 浓度、营养状态指数、富营养化指数、颜色指数等。现对以上参数进行说明。

5.1 叶绿素 a 浓度

水中浮游生物、初级生产力和水体富营养化程度影响着水体叶绿素 a 浓度含量，从而引起高光谱成像光谱上反射率的变化。基于对叶绿素 a 浓度敏感的反射率光谱或吸收光谱以及光谱指数，探索其与叶绿素 a 浓度之间的定量关系，估算影像中叶绿素 a 浓度的含量。

从反演结果来看，整体上叶绿素 a 浓度整体偏低（图中黄色 1.04-2，浅绿色 0.95-1.04，绿色-4.44-0.95），表明整体水质偏好。将叶绿素 a 浓度分为三个等级：小于 0.95ug/L、小于 1.04ug/L、小于 2ug/L。

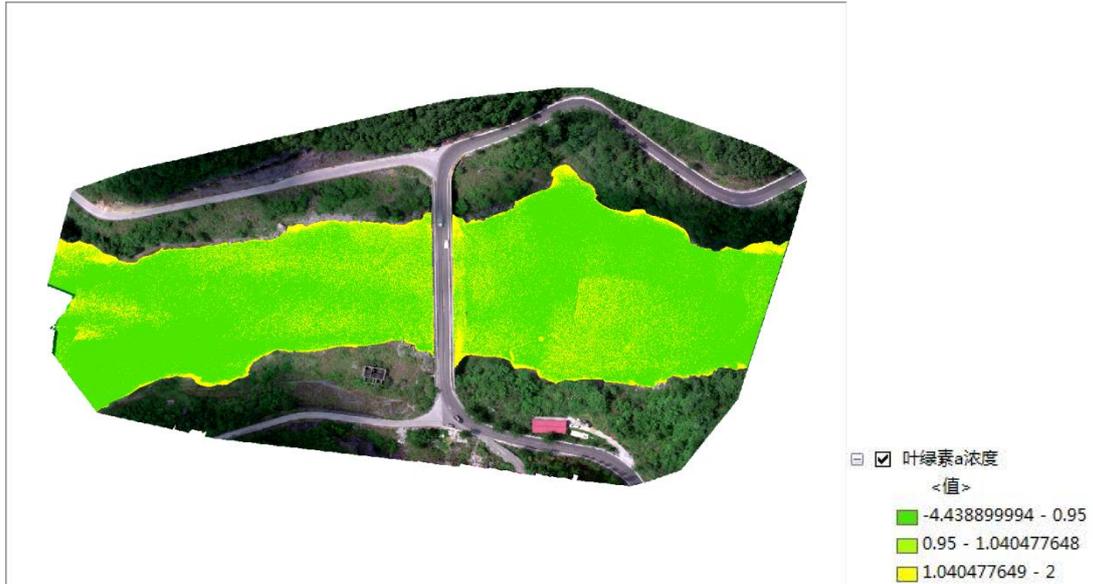


图 2

5.2 营养状态指数

水体营养状态指数是建立营养状态指数的目的是识别或评价水体的富营养化，是评估水体中用于植物、动物、浮游生物生存的营养物质的指标。富营养化的最重要特征是水体水生生物群落中的生产性有机体远远超过消费性有机体这种明显的不平衡，一般分为贫营养、中营养和富营养三种类型。该指数是通过间接估算水体叶绿素 a 浓度的方式进行营养状态指数的计算，从而间接建立水体营养状态与水体光谱反射率之间的关系。

整体水质偏好，故水体的营养状态指数偏低。

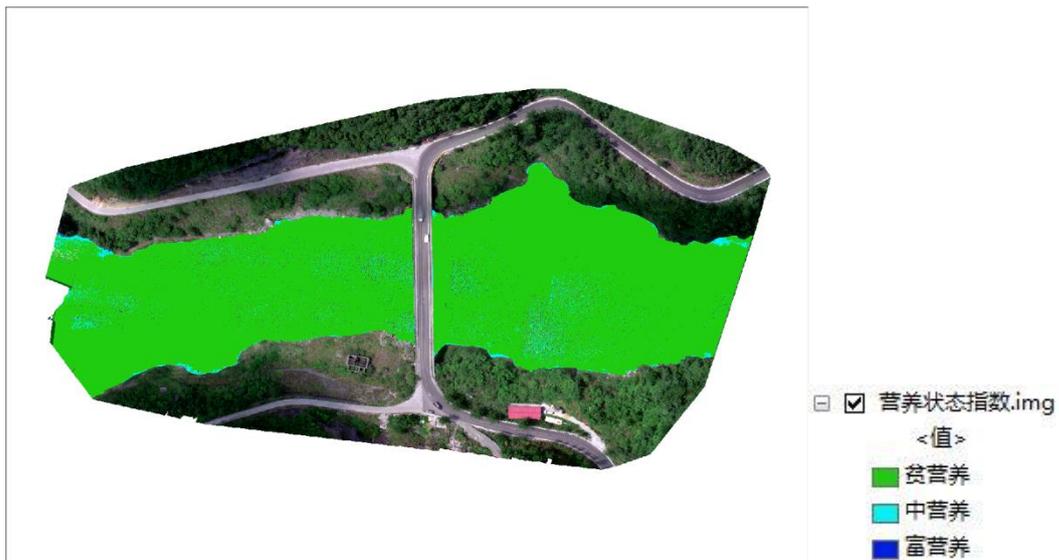


图 3

5.3 水体富营养化指数

水体富营养化指数原理同上，区别在于此次用的水体富营养化指数，只是单纯的 NDVI 指数的比对。没有代入叶绿素 a 浓度。计算 NDVI，区分正常水体与富营养化水体，确定不同程度富营养化的指数阈值。

整体水质较好，为了基于一期影像同期对比，可将水体分为三个等级。小于-0.2 的为水质优秀、大于-0.2 小于 0 的为水质一般，小于 1 的为较差水质。

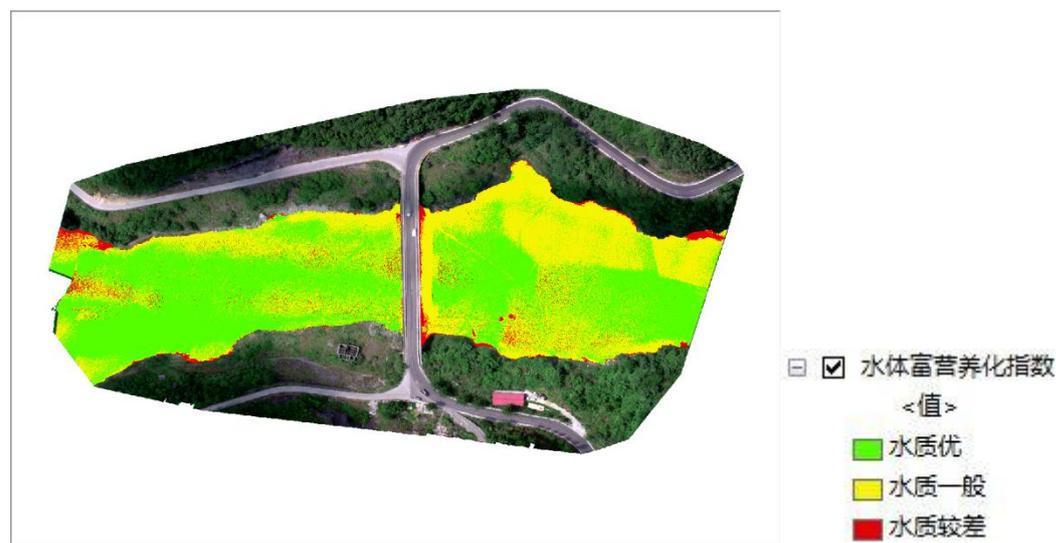


图 4

5.4 总磷

水中的总磷含量是衡量水质的重要指标之一，总磷的定义是水中各种有机氮 的总量。在叶绿素 a 影像上，水体内生化成分的改变，使得对总磷生化成分敏感 的波段位置的叶绿素值出现波动，曲线上的差异增大。基于对磷素组分敏感的 叶绿素值变化特征，探索叶绿素 a 浓度与磷含量之间的定量关系，估算影像中总磷的含量。

此次反演出的磷的总量在 0~0.16mg/L. 总体水质较好。这个总磷量整体控制较好，保证了水质微生物群安全。



图 5

5.5 总氮

水中的总氮含量是衡量水质的重要指标之一，总氮的定义是水中各种形态无机和有机氮的总量。在叶绿素 a 影像上，水体内生化成分的改变，使得对总氮生化成分敏感的波段位置上的叶绿素值出现波动，曲线上的差异增大。基于对氮素组分敏感的叶绿素值变化特征，探索叶绿素 a 浓度与氮含量之间的定量关系，估算影像中总氮的含量。有异常值，整体反演出总氮含量控制在 $0 \sim 0.89\text{mg/L}$, 趋于正常水平。



图 6

5.6 颜色指数

水体颜色指数即水色指数。水色指数是传统水体光学性质监测数据之一，水色指的是

海水的颜色。基于福莱尔比色表将自然水体颜色划分为 21 个颜色级别。色级标准是蓝色、黄色、褐色三种溶液按一定比例配置 21 中颜色，数值越小水色越高。就直观而言，数值大小决定了看到海水是否清澈，是否蔚蓝。水色指数是建立水体反色率与水体颜色之间的关系，水体颜色与水质参数变化密切相关，从而反映水质参数变化，是水体颜色重要的监测依据。

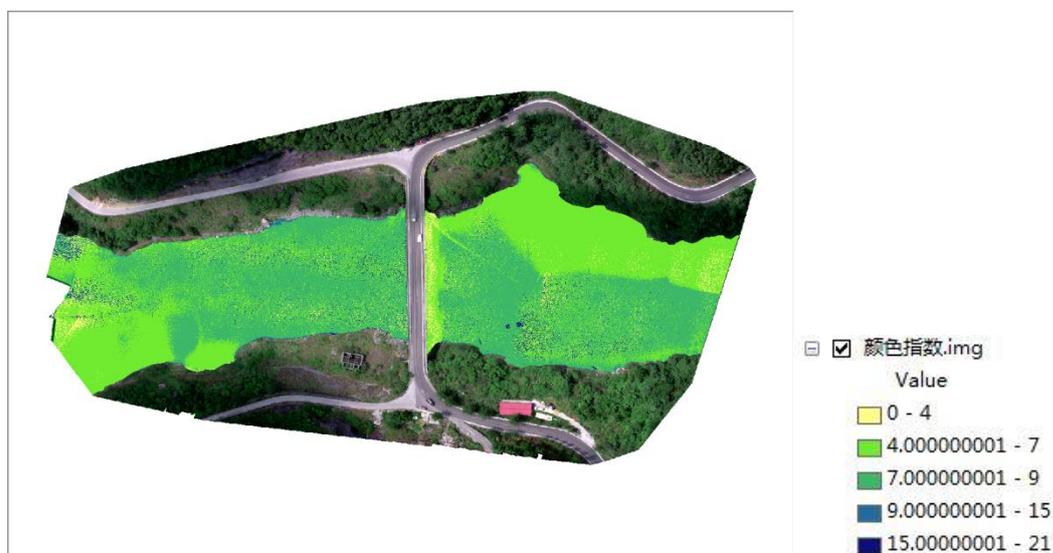


图 7

5.7 水体透明度

透明度作为水质参数的重要指标，其浓度不同，在高光谱影像上的反射率差异明显。基于对透明度浓度敏感的反射率光谱或吸收光谱以及光谱指数，探索其与透明度浓度之间的定量关系，估算影像中水体透明度浓度的含量。

从定量反演结果来看，整体水质透明度较好，水体清澈。

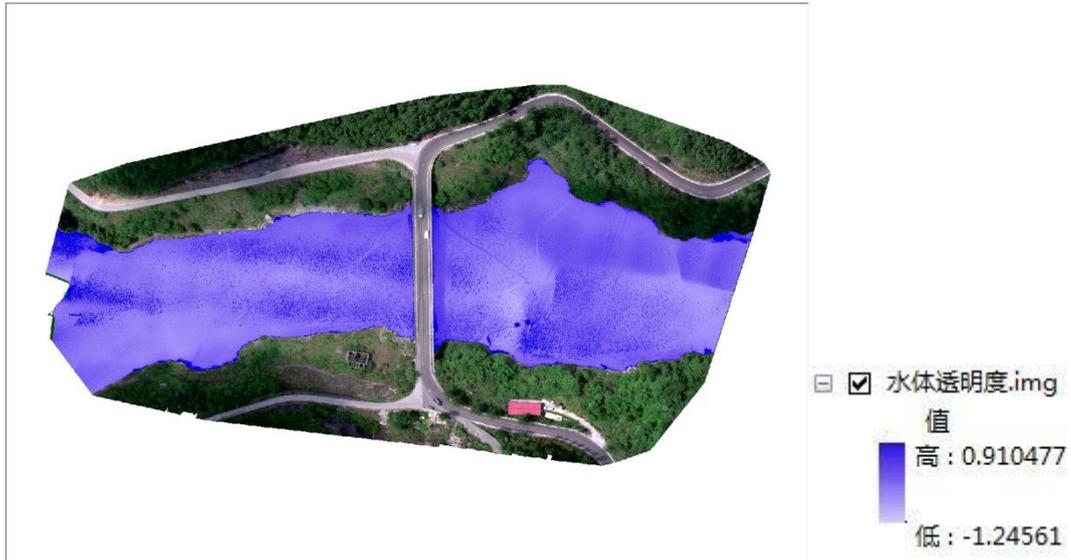


图 8

5.8 生化需氧量

生化需氧量(BOD5)是指表示水中有机化合物等需氧物质含量的一个综合指标。在叶绿素 a 影像上,水体内生化成分的改变,使得对生化需氧量敏感的波段位置上的叶绿素值出现波动,曲线上的差异增大。基于对生化需氧量敏感的叶绿素值变化特征,探索叶绿素 a 浓度与生化需氧量之间的定量关系,估算影像中生化需氧量。

数值越大代表需氧量越大,定量反演结果整体在 $0\sim 3.8\text{mg/L}$,需氧量较少,水质参数较好。



图 9

5.9 高锰酸盐指数

高锰酸盐指数 (CDOMn) 是测定地表水中还原性污染物的主要指标。在叶绿素 a 影像上, 水体内生化成分的改变, 使得对高锰酸盐指数敏感的波段位置上的叶绿素值出现波动, 曲线上的差异增大。基于对高锰酸盐指数敏感的叶绿素值变化特征, 探索叶绿素 a 浓度与高锰酸盐指数之间的定量关系, 估算影像中高锰酸盐指数。

遥感定量反演出的高锰酸盐指数整体控制在 0.4~5.56mg/L, 指数正常范围。

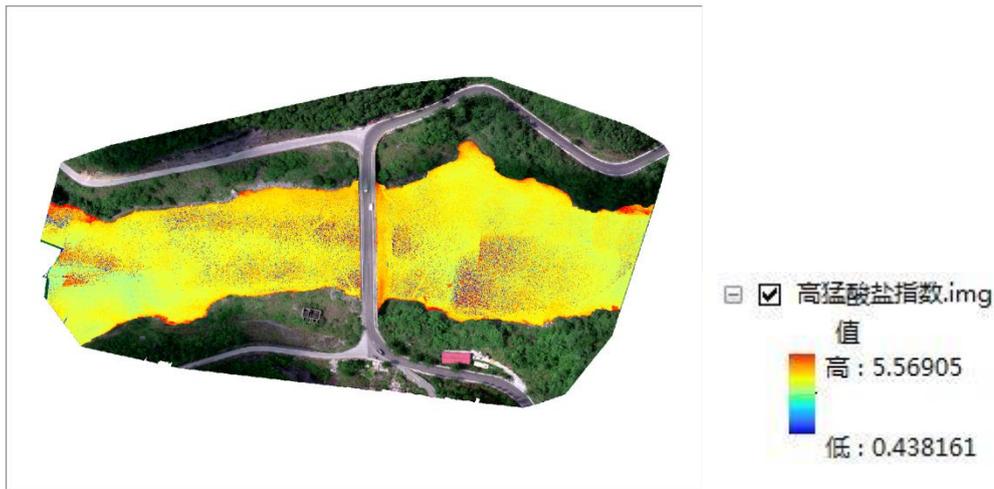


图 10

水质监测站提供的数据如下:

监测时间	水温(°C)	pH(无量纲)	溶解氧 (mg/L)		电导率(μS/cm)	浊度(NTU)	叶绿素a (mg/L)	藻密度 (cells/L)	高锰酸盐指数(mg/L)	氨氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	总氮 (mg/L)	化学需氧量 (mg/L)	BOD5 (mg/L)	氟化物 (mg/L)	硫化物 (mg/L)	氰化物 (mg/L)	六价铬 (mg/L)
			6-9	≥5														
2021-07-15 12:00	30.0	8.96	12.33	312.6	33.9	0.00660	307995	4.59	0.013L	0.029	0.84	18.92	2.33	0.191	0.0013	-0.00005	0.0017	
2021-07-15 13:00	30.1	8.96	12.43	312.4	41.0	0.00655	314808											
2021-07-15 14:00	30.1	8.98	12.33	312.7	16.7	0.00658	333624											
2021-07-15 15:00	30.3	9.00	12.34	313.0	66.9	0.00668	316302											
最大值	30.3	9.00	12.43	313.0	66.9	0.00668	333624	4.59	0.013	0.029	0.84	18.92	2.33	0.191	0.0013	-0.00005	0.0017	
最小值	30.0	8.96	12.33	312.4	16.7	0.00655	307995	4.59	0.013	0.029	0.84	18.92	2.33	0.191	0.0013	-0.00005	0.0017	
均值	30.1	9	12.4	312.7	39.6	0.0066	318182	4.6	0.02	0.029	0.84	18.9	2.3	0.191	0.005	0.0020	0.005	
水质类别		I	I					III	I	III		III		I	I	I	I	

图 11

挥发酚 (mg/L)	石油类 (mg/L)	阴离子表面活性剂 (mg/L)	锌(mg/L)	镉(mg/L)	铅(mg/L)	铜(mg/L)	汞(mg/L)	硒(mg/L)	砷(mg/L)
0.005	0.05	0.2	1	0.005	0.05	1	0.0001	0.01	0.05
0.0316	0.0008	0.042	0.0140	0.0008	0.0016	0.0020	0.000008	0.0007	0.0006
0.0316	0.0008	0.042	0.0140	0.0008	0.0016	0.0020	0.000008	0.0007	0.0006
0.0316	0.0008	0.042	0.0140	0.0008	0.0016	0.0020	0.000008	0.0007	0.0006
0.0316	0.001	0.05	0.014	0.00050	0.002	0.005	0.00002	0.0025	0.0050
V	I	I	I	I	I	I	I	I	I

图 12

上述所分析结果与水质监测站数据对比, 结果均与实际监测数据相吻合。

虽然结论来看较为准确, 但是数据还是存在如下问题:

1. 噪点多, 对于多光谱数据, 数据特点应该是连续的, 不应该出现细小颗粒;
2. 边缘区域数据判断不够准确, 这个有可能是本身水源边缘由于起风导致水浪拍击水源边缘水质混浊导致, 也有可能是航拍边缘质量不过关, 需进一步验证。

6 总结

本文利用无人机搭载多光谱传感器的新型技术,就目前热点水质量,水环境问题,进行初步实验,利用无人机影像具有实时性,较卫星影像有分辨率高的特点,通过反演模型,实现了对研究区域叶绿素 a、营养状态指数、富营养化、总磷、总氮、颜色指数、水体透明度、生化需氧量、高锰酸盐指数 9 种水质参数分析,通过与实测数据对比,得出无人机遥感可以较为准确的反应研究区域水质污染情况,从而确认无人机遥感技术在水源监测领域的可行性。

参考文献:

- [1]段洪涛,张柏,宋开山,王宗明,张树清.查干湖叶绿素 a 浓度高光谱定量模型研究[J].环境科学,2006,27(3):503-507.
- [2]何红曼,米海存,霍艾迪,Xunhong Chen.西安市曲江南湖富营养化遥感监测与评价[J].中国水土保持,2013(9):65-68.
- [3]宋瑜,宋晓东,江洪,郭照冰,郭青海.基于定量遥感反演的内陆水体藻类监测[J].光谱学与光谱分析,2010(4):1075-1079.
- [4]秦伯强,高光,朱广伟,张运林,宋玉芝,汤祥明,许海,邓建明.湖泊富营养化及其生态系统响应[J].科学通报,2013,58(10):855-864.