

## 二、项目简介

### 项目简介（限1000字）

#### 1、研究意义及背景

上海市共有河道43000多条，其中大多数都是镇（乡）管河道或村级河道，即通常所指的中小河道，中小河道缺乏长期的水质监测数据，水质污染来源更复杂，水质治理难度较大。常规人工采样分析具有测量精度高，数据可靠的优点，但效率相对较低。无人机高光谱遥感具有图像获取灵活方便，受大气影响小，光谱分辨率，空间分辨率高的优势，适合城市中小河道水质动态监测应用需求。针对村级和乡镇水体进行水质快速排摸研究，对实现上海市到2020年力争全面消除劣V类水体的水质治理目标重要现实意义。

#### 2、开展的研究工作及主要成果

项目围绕中小河道水质监测需求，研究了基于低空无人机高光谱遥感水质监测技术，基于光谱反射率二阶波动指数的中小河道水质分类技术，适合于内陆水质参数遥感监测仪器的光谱、辐射、信噪比参数敏感性仿真分析，以及地物光谱同步测量和水面采样模型验证等技术方法，构建了一套以无人机高光谱遥感为主的空、地、水立体监测的技术流程，提高了中小河道水体水质监测的智能化水平和效率。已发表了2篇论文（其中，1篇SCI检索），申请了2项发明专利。

#### 3、创新点

1)提出了一种基于光谱二阶微分波动指数的水质类型快速识别方法，突出了不同水质类型的波动差异特性，改进了通过水质参数遥感反演后再判断水质类型的方法，提高了水质类型遥感监测识别效率。

2)研究建立了一种基于哨兵二号数据的市管河道多光谱遥感水质综合监测模型，实现了中等空间分辨率多光谱卫星数据对城市水体的水质监测，促进了卫星遥感数据在内陆水体水质监测中推广应用。

3)通过仿真分析得出适用于典型水质参数遥感高精度监测的遥感器辐射分辨率、信噪比、光谱分辨率等参数设置范围，提供了针对不同监测精度需要的仪器参数范围，可为水环境定量遥感监测遥感器选择以及水质高光谱遥感监测专用遥感器研制提供参考。

#### 4、应用情况

上海普适导航有限公司、上海聚隆生态科技有限公司分别在上海市青浦区和嘉定区中小河道水环境无人机遥感监测水质实践中、普利兹环境科技（苏州）有限公司在苏州市高新区（虎丘）的部分中小河道水环境无人机遥感水质监测应用中，采用了本课题组提供的技术方法及反演模型，得到监测结果均能满足用户需求。

#### 5、推广前景

在基于高光谱卫星或航空（包括低空无人机）遥感、中高空间分辨率多光谱卫星内陆水体水质监测、以及水环境专用监测光谱仪研制中具有良好的应用前景。

## 三、科技创新

### 科技创新（限5000字）

#### 1、立项背景

目前针对水体悬浮泥沙浓度、叶绿素含量、黄色物质等典型水色参数开展定量遥感研究较多。近年来，曹红业、申茜等（2017）针对黑臭水体高空间分辨率遥感监测取得了成功应用。尹球等（2004）以太湖为研究对象，建立了叶绿素浓度、悬浮物浓度的超光谱响应模型。夏晓瑞等（2014）基于HJ\*1\*CCD等国产卫星图像，建立了新的蓝藻水华提取的决策树模型。李瑶等（2017）利用时谱曲线提供的物候信息，将太湖的蓝藻和水生植物区别开来。陈瑞瑞等（2017）基于MODIS数据研究了长江河口悬浮泥沙向浙闽沿岸输运近期变化的遥感分析。殷宇威等（2019）基于30m分辨率TM数据研究岛礁附近海域的悬浮泥沙分布时空变化。综合现有水环境遥感现状调研发现针对内陆水体水质参数和水质类型定量遥感的研究较少，尤其缺少针对中小河道高光谱水质类型遥感识别的研究。

上海市河网密布，共有河道43000多条，其中大多数都是镇（乡）管河道或村级河道，即通常所指的中小河道，单纯依靠地面船只采样分析监测水质，只能针对相对较大的河流开展常规监测。高光谱遥感由于其高精度、多波段、信息量大等特点被广泛应用于遥感水质监测，大大提高了水质参数的估测精度。无人机具有高效、高分辨率、灵活性等优势，是传统卫星遥感所无法比拟的，越来越受到研究者和生产者的青睐，大大扩展了遥感的应用范围和用户群，具有广阔的应用前景。将无人机与高光谱成像系统相结合，一方面克服了卫星和载人机高光谱平台使用成本高、使用条件苛刻的缺点，另外也可获得比卫星高光谱平台空间分辨率更高的监测数据。

针对上海市中小河道治理的需求，拟通过本项目实现的主要目标为：建立一套基于卫星遥感数据、无人机飞行遥感数据、地面光谱测量数据和水质监测站点数据一体化的上海市示范区中小河道水环境监测和反演算法流程，监测示范区中小河道水质类型，获得氨氮、溶解氧、透明度等水质指标的浓度和所属水质类别。建立的水质监测模型和方法能够在上海市其它区域的中小河道水质监测进一步推广应用。

#### 2、科技含量

##### （1）总体思路

针对城市中小河道水质监测和治理的应用需求，研究建立了一种基于多源遥感数据和地面测量数据的水质参数和水质类型遥感识别技术流程，并在研究示范区开展验证实验。采用多光谱中等空间分辨率卫星数据建立了市管河道水质遥感综合反演模型；开展了低空无人机高光谱飞行遥感实验，及同步地面光谱测量和水质采样分析，建立了典型水质参数光谱响应模型，及基于图像的水质类型遥感识别模型。解决了低空无人机高光谱图像反射率反演，以及水面图像阴影和耀斑去除等关键技术问题，实现了中小河道低空高光谱遥感数据水质参数遥感反演和水质类型遥感识别。典型水质参数反演精度有三个指标优于80%，2个指标优于70%。水质类型遥感识别属于同一类型的精度优于80%。

## (2) 技术方案与创新成果

### 1) 技术方案

A. 数据采集：开展野外光谱采集实验，在上海市采集各类型水体的光谱数据和水质数据，同时结合实验室历史数据，构成各类型水体的光谱库；随后根据需要下载满足研究条件的卫星遥感图像。

B. 数据处理、分析及建模：a) 对采集到的地面水体光谱数据进行预处理、随后进行一系列光谱指数运算，建立光谱特征指数与水质参数之间的定量反演模型。b) 对无人机飞行高光谱遥感图像进行几何校正，反射率转换等预处理，基于地面实验建立的水质反演模型应用于无人机飞行遥感数据水质反演。c) 对获取的哨兵二号卫星遥感数据进行辐射定标、大气校正等预处理，构建水质评价综合模型。d) 根据典型水质指标不同反演精度要求，进行仿真，分析光谱分辨率、信噪比等仪器参数对模型的影响。

C. 数据应用与精度验证：将建立的航空遥感水质反演模型和卫星遥感的水质综合评价模型进行测试，检验精度，对模型进行评价。

在数据处理和建模当中，将主成分分析和随机森林这种传统的机器学习方法运用到数据处理与建模当中，取得了较好的实验效果，在后续分析当中，运用仿真模拟技术，实现了对最佳仪器性能的仿真模拟，在推广应用中，可根据研究结论，针对性的设计适用于水质监测应用的遥感传感器

### 2) 攻克的关键技术

#### A. 高精度水质参数和水质类型高光谱遥感监测技术

典型水质参数TP、TN、DO值、CODMn等水质参数并没有直接的光学吸收和反射特征，通过分析较大的实测光谱特征变化和水质参数的关系，建立了适用于研究区典型水质参数反演的比值模型、一阶微分模型等精度较高的水质参数光谱响应模型；通过分析实测水质类型和图像特征的关系，基于随机森林、主成分分析等机器学习方法，建立了图像特征与水质类型的识别模型。

#### B. 高光谱数据的处理分析以及水色遥感敏感波段选择

低空高光谱遥感数据尽管受云雾大气影响较小，但是不可避免受到水面耀斑的干扰，降低河道水质反演结果。研究采用离散余弦变换采用逐步迭代的方式对耀斑区域的信息进行恢复，在尽可能接近真实值的同时保持较好的平滑度。

高光谱主要问题是波段数多，数据量大，给高光谱图像的分类、识别带来了很大困难。高光谱图像波段选择方法根据搜索方法可分为最优搜索波段选择法和次优搜索波段选择法，依据一定的评价准则函数进行波段组合搜索从而达到降维的目的。

### 3) 技术创新

A) 提出了一种基于光谱二阶微分波动指数的水质类型快速识别方法，突出了不同水质类型的波动差异特性，改进了通过水质参数遥感反演后再判断水质类型的方法，提高了水质类型遥感监测识别效率。

B) 研究建立了一种基于哨兵二号数据的市管河道多光谱遥感水质综合监测模型，实现了中等空间分辨率多光谱卫星数据对城市水体的水质监测，促进了卫星遥感数据

分析》（已录用）；

2) 研究建立了一种基于哨兵二号数据的市管河道多光谱遥感水质综合监测模型，实现了中等空间分辨率多光谱卫星数据对城市水体的水质监测，促进了卫星遥感数据在内陆水体水质监测中推广应用。

该创新点相应研究 已发表1篇论文：王歆晖，田华，季铁梅，巩彩兰，胡勇，李澜，何志杰. 哨兵2卫星综合水质指标的河流水质遥感监测方法，《上海航天》（已录用）。

3) 通过仿真分析得出适用于典型水质参数遥感高精度监测的遥感器辐射分辨率、信噪比、光谱分辨率等参数设置范围，提供了针对不同监测精度需要的仪器参数范围，可为水环境定量遥感监测遥感器选择以及水质高光谱遥感监测专用遥感器研制提供参考。

4) 建立了一套基于无人机高光谱数据的中小河道水质类型遥感识别方法和技术流程，并在研究区开展了示范应用。

该研究相应技术方法已申请2项发明专利：

1) 基于无人机成像光谱技术的中小水体水质类型遥感识别方法(已受理，申请号：201910664888.1)。

2) 一种基于光谱特征的城市河道水质类型遥感识别方法(已受理，申请号：201910021602.8)

#### 4、保密内容

本项目无保密内容。

#### 5、国际比较

从以下几个方面对本项目和国际水质遥感监测水平进行对比：

##### (1) 基于遥感的水环境监测技术

国际上在内陆水质遥感监测方面的研究集中于大型湖泊河流，因此常用的卫星传感器都是Landsat TM/ETM、MODIS、ENVISAT MERIS以及HJ CCD等数据产品。卫星数据空间分辨率较低，无法适用于中小河道水质监测。近几年无人机遥感技术在水体污染已经有了一定研究应用，多集中于湖泊蓝藻、水华等突发性事件的监测。已有基于无人机进行水质在线采样分析的研究，与遥感监测不同，获取的是一个站点的水质信息，不是面上的信息。国内外已有采用可编程多光谱相机监测水质的研究，光谱波段较少，对于某些水质指标缺乏对应监测波段，而光谱分辨率也是影响水质参数监测精度的重要因素之一。本项目以无人机高光谱遥感为主的空、地、水立体监测的技术流程，适用于城市中小河道水质监测。此外，本项目对适用于水质监测的遥感传感器的最佳仪器性能进行仿真模拟，给出了适用于水质监测的最佳遥感波段、光谱分辨率、

信噪比以及辐射分辨率等，具有新颖性。

## (2) 研究水质参数及水质类型方法及精度

水环境遥感的研究多从海洋开始的，在这方面国外学者研究起步较早，叶绿素、悬浮物和黄色物质的反演算法和模型经过不断改进完善已经较为成熟，而化学性水质指标遥感监测技术还不成熟，没有形成系统的研究和分析模式。本项目从水质遥感监测应用需求出发，针对总氮，总磷，高锰酸盐指数等5个指标进行了遥感反演，其中，3种水质指标反演精度优于80%。本项目提出的基于光谱二阶微分波动指数的中小河道水质类型分类技术，可直接对水体的光谱特征进行识别进而得到水体水质类型，提高了水质类型遥感监测识别效率。

经中国科学院上海科技查新咨询中心对国内外文献和专利查询，该项目研究技术具有新颖性。科技查新报告见技术评价证明附件。

## 四、推广应用情况

### 1、推广、应用情况及社会评价（限 2000字）

#### 1、项目的推广应用情况

在嘉定区及青浦区选择57条河道，获得了水质参数和光谱数据配套108组数据，其中81组有效数据用于分析建模和精度验证。嘉定区35条河道，其中，劣V类水9条，V类水5条，IV类水15条，III类水6条；青浦区21条河道，其中，劣V类水2条，IV类水9条，III类水8条，II类水2条。采用了10个时相的卫星影像数据对市管河道的水质进行了遥感监测。

项目研究分析了各水质参数的敏感波段，并在此基础上构建了各水质参数的反演模型，并运用测试数据对各模型进行测试，测试结果显示，CODMn、DO和TN三个水质指标的反演精度高于80%，TP和氨氮的反演精度高于70%。

将模型移植到无人机高光谱图像上，针对研究示范区河道无人机载成像光谱数据反演CODMn、DO值以及TN三个水质参数精度较高（均大于90%），氨氮反演精度83.1%，总磷反演精度79.7%，同时各水质指标的类别精度均大于85%。

上海普适导航股份有限公司借助本研究中的模式实现了基于无人机多光谱的水质监测，对13条河道的水质进行监测，结果表明13条河道中仅1条河道水质类型识别错误，识别准确率92.3%。

上海聚隆生态科技有限公司在上海市嘉定区中小河道水环境无人机遥感监测水质实践中，采用了本课题组提供的相关技术和方法，特别是中小河道典型水质参数反演和水质类型遥感识别模型，得到的典型水质参数反演结果与地面采样分析水质结果比较，均属于同一类水体，可以用于劣V类水体监测分类，水质分类准确率大于80%，具有较好的监测效果。证明成果中的反演模型适用于市区河道水环境遥感监测。

普利兹环境科技（苏州）有限公司在苏州市高新区（虎丘）的通安、科技城、镇湖街道的中小河道水环境无人机遥感水质监测应用中，采用了本课题组提供的技术方法及反演模型和水质类型识别模型，得到的典型水质参数反演结果与地面采样分析水质结果比较，均属于同一类水体，可以用于劣V类水体监测分类，应用航空高光谱遥感进行水质分类准确率大于90%，具有较好的监测效果。证明成果中的反演模型适用于苏南地区河道水环境遥感监测。

#### 2、项目的预期应用前景

##### 1) 在长三角水质参数监测中的应用前景良好

本项目研究针对的上海市河道水质污染类型主要为氨氮、溶解氧、高锰酸钾指数、总磷、总氮等指标超标造成的，基于本项目研究建立的水质识别模型在江苏省部分水体开展应用研究，水质识别精度能够满足用户的需求，通过调研长三角城市主要水体污染指标为高锰酸钾指数、总磷、总氮等参数，和上海市河道污染特征类似，因此，可以预测基于上海市河道空、地、水监测数据建立的水质监测模型在长三角其它城市典型水体水质污染监测中具有良好的应用前景。

##### 2) 在国内其它内陆水体水质类型监测中具有良好的应用前景

本项目建立的基于光谱二阶微分波动指数的水质识别类型方法，直接建立光谱特征与

## 四、推广应用情况

### 1、推广、应用情况及社会评价（限 2000字）

#### 1、项目的推广应用情况

在嘉定区及青浦区选择57条河道，获得了水质参数和光谱数据配套108组数据，其中81组有效数据用于分析建模和精度验证。嘉定区36条河道，其中，劣V类水9条，V类水5条，IV类水15条，III类水7条；青浦区21条河道，其中，劣V类水2条，IV类水9条，III类水8条，II类水2条。采用了10个时相的卫星影像数据对市管河道的水质进行了遥感监测。

项目研究分析了各水质参数的敏感波段，并在此基础上构建了各水质参数的反演模型，并运用测试数据对各模型进行测试，测试结果显示，CODMn、DO和TN三个水质指标的反演精度高于80%，TP和氨氮的反演精度高于70%。

将模型移植到无人机高光谱图像上，针对研究示范区河道无人机载成像光谱数据反演CODMn、DO值以及TN三个水质参数精度较高（均大于90%），氨氮反演精度83.1%，总磷反演精度79.7%，同时各水质指标的类别精度均大于85%。

上海普适导航股份有限公司借助本研究中的模式实现了基于无人机多光谱的水质监测，对13条河道的水质进行监测，结果表明13条河道中仅1条河道水质类型识别错误，识别准确率92.3%。

上海聚隆生态科技有限公司在上海市嘉定区中小河道水环境无人机遥感监测水质实践中，采用了本课题组提供的相关技术和方法，特别是中小河道典型水质参数反演和水质类型遥感识别模型，得到的典型水质参数反演结果与地面采样分析水质结果比较，均属于同一类水体，可以用于劣V类水体监测分类，水质分类准确率大于80%，具有较好的监测效果。证明成果中的反演模型适用于市区河道水环境遥感监测。

普利兹环境科技（苏州）有限公司在苏州市高新区（虎丘）的通安、科技城、镇湖街道的中小河道水环境无人机遥感水质监测应用中，采用了本课题组提供的技术方法及反演模型和水质类型识别模型，得到的典型水质参数反演结果与地面采样分析水质结果比较，均属于同一类水体，可以用于劣V类水体监测分类，应用航空高光谱遥感进行水质分类准确率大于90%，具有较好的监测效果。证明成果中的反演模型适用于苏南地区河道水环境遥感监测。

#### 2、项目的预期应用前景

##### 1) 在长三角水质参数监测中的应用前景良好

本项目研究针对的上海市河道水质污染类型主要为氨氮、溶解氧、高锰酸钾指数、总磷、总氮等指标超标造成的，基于本项目研究建立的水质识别模型在江苏省部分水体开展应用研究，水质识别精度能够满足用户的需求，通过调研长三角城市主要水体污染指标为高锰酸钾指数、总磷、总氮等参数，和上海市河道污染特征类似，因此，可以预测基于上海市河道空、地、水监测数据建立的水质监测模型在长三角其它城市典型水体水质污染监测中具有良好的应用前景。

##### 2) 在国内其它内陆水体水质类型监测中具有良好的应用前景

本项目建立的基于光谱二阶微分波动指数的水质识别类型方法，直接建立光谱特征与

水质类型的识别模型，该方法不受地域和季节限制，只要有光谱数据就可以使用该方法进行识别，因此，可以推广应用到国内其它地区内陆水体光谱监测。

### 3) 在高光谱遥感卫星水质监测中具有良好的应用前景

我国已经发射了高分五号高光谱卫星，资源一号高光谱卫星，以及欧比特高光谱卫星，基于本研究建立的光谱水质识别方法，可以推广应用于卫星高光谱数据对满足卫星空间分辨率尺度的河湖水体水质快速监测，对于推动高光谱卫星遥感数据在水环境监测中的应用具有良好的应用前景。

### 4) 在中高空间分辨率卫星遥感内陆水体水质监测中具有良好的应用前景

本研究建立的基于哨兵二号多光谱数据的综合水质识别方法，基于卫星数据的三个波段反演综合水质指数，目前国内高空间分辨率卫星数据已有高分一号，高分二号，高分六号，中等空间分辨率卫星如环境减灾卫星，中巴资源卫星等，该方法可以推动国产中、高分辨率多光谱卫星数据在内陆水体水环境监测中的应用，具有良好的应用前景。

### 5) 在水环境专用监测光谱仪研制参数设置中具有良好的应用前景

目前国内已经发射了气象卫星、海洋卫星、高分六号针对林业和农业的卫星、资源卫星等具有明确应用目标的专业卫星，基于国家目前对水环境治理的重视，迫切需要研制专门针对水环境污染监测和水环境生态监测的专业遥感器，因为水环境监测对仪器信噪比，辐射分辨率等指标要求都很高，因此，本项目通过仿真分析得出了为保证典型水质指标遥感反演精度所需的仪器参数的范围，对于未来专门针对水质监测的卫星或航空（包含低空无人机）遥感器研制的参数设置具有积极的技术支撑和良好的应用前景。