

基于水体光学分类的鄱阳湖悬沙浓度反演方法研究

况润元, 赵艳福, 罗 卫, 张刚华, 陈彦兵

(江西理工大学建筑与测绘工程学院, 江西 赣州 341000)

摘 要: 鄱阳湖是我国重要的湿地生态系统, 对调节流域的水沙变化有着重要作用。由于鄱阳湖湖区面积广, 内部差异大, 单一的悬浮泥沙反演模型不足以准确反演出湖区的悬浮泥沙浓度。以实测的反射光谱数据、泥沙浓度数据为基础, 提出一种基于分类后的反演模型, 即根据实测数据的光谱形态特征分类出 5 种典型的水体类型。在此基础上, 将分类后的各类水体分别建立各自合适的反演模型进行反演。结果表明基于水体分类的经验模型反演达到满意效果, 平均绝对误差为 0.00217g/L, 平均相对误差为 3.022%。基于分类后的经验反演模型适用于鄱阳湖悬沙浓度分布的监测研究, 有助于更加宏观、准确的掌握鄱阳湖泥沙浓度的空间分布和变化, 为保持鄱阳湖资源的可持续开发与利用提供决策依据。

关键词: 鄱阳湖; 遥感; 悬浮泥沙; 浓度反演模型

中图分类号: TP79 文献标识码: A 文章编号: 1000-0852(2017)06-0023-06

1 引言

鄱阳湖是我国重要的湿地生态系统, 更是我国重要的渔业基地, 正是依托鄱阳湖良好的生态环境和宝贵资源, 鄱阳湖生态经济区建设已上升为国家战略^[1]。然而, 近年来由于湖区周边经济社会的发展, 造成鄱阳湖湖区及周边环境问题越来越突出。

悬浮泥沙浓度是描述水质和内陆湖泊水环境评价的重要参数之一, 获得其在空间和时间上的分布信息对于理解、管理和保护湖泊生态系统是必要的^[2]。传统的悬浮泥沙浓度调查监测只进行有限点的调查, 调查速度慢、效率低且只能获取时间和空间上都离散的数据^[3]。而悬浮物对水体固有光学特性及水表面反射的影响使得利用遥感技术监测悬浮物浓度成为可能^[4]。遥感具有快速、大范围、周期短的特点, 可以实现大面积水域悬浮泥沙的动态、连续、同步的观测。

国内外学者用遥感手段对悬浮泥沙浓度展开了大量的定量研究。例如: 李四海等利用海洋水色卫星 Seastar/Sea 数据和准同步实测表层含沙量资料, 建立了长江口区悬浮泥沙遥感定量模型^[5]。陈沈良和张国

安等根据近年来长江河口及其邻近水域 8 个测站 1 年的表层悬沙浓度逐日观测资料, 并结合水动力状况, 对悬沙浓度的时空变化进行了分析^[6]。张伟^[7]等针对 HJ 卫星 CCD 传感器, 用实测数据在鄱阳湖区域建立悬浮泥沙浓度反演模型, 提出了针对 HJ 卫星 CCD 第三通道单一对数模型的悬浮泥沙浓度遥感监测方法。刘茜^[8]等把鄱阳湖作为研究的区域, 分析实测的鄱阳湖光谱数据, 意在寻找反演悬浮泥沙浓度的敏感波段, 从而为建立鄱阳湖悬沙浓度遥感反演模型奠定基础, 将其应用于鄱阳湖遥感得到悬沙浓度分布图。

鄱阳湖的湖区面积大, 时空动态也大, 不同浓度的水体波段敏感性也不一致, 以往研究大都是基于鄱阳湖实测离散点的悬浮泥沙含量和光谱信息, 采用单一模型来反演悬浮泥沙浓度。周晓宇^[9]等在对光学复杂水体进行光学分类的基础上, 分别建立了针对太湖各个类别水体的总悬浮物浓度高光谱反演模型, 通过对每类水体中各个模型的性能比较, 分别得到各类水体的最优模型。结果表明分类后, 模型精度和稳定性都有了很大程度的提高。因此本文利用基于水体光谱形态建立斜率的算法对鄱阳湖进行水体光学分类, 然后为每一类

收稿日期: 2017-01-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41101322); 江西省教育厅科学技术研究项目(GJJ160617)

作者简介: 况润元 (1976-), 男, 江西宜春人, 博士, 副教授, 主要从事水色遥感机理与应用、地理信息系统应用等方面的研究。

E-mail: rykuang@163.com.

建立悬浮泥沙反演模型进行反演,选择出每类水体最适宜的反演模型并与实测数据进行精度验证。

2 研究区域与数据处理

2.1 研究区域概况

鄱阳湖 ($28^{\circ}22'N \sim 29^{\circ}45'N$, $115^{\circ}47'E \sim 116^{\circ}45'E$) 是我国第一大淡水湖,位于江西省北部,长江中、下游交界处的南岸,湖面呈葫芦状。汇集赣江、修水、抚河、饶河、信江等河流,经湖口注入长江。鄱阳湖是中国最大的季节性吞吐性和通江性淡水湖泊,它季节性涨水,具有“高水是湖,低水似河”的独特的自然地理景观^[10]。

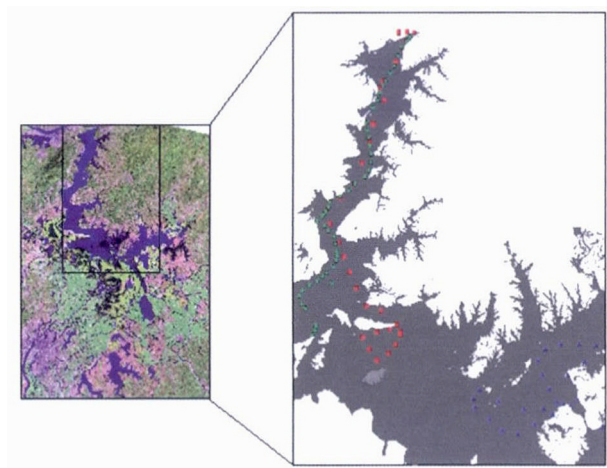


图1 研究区及野外采样点

Fig.1 The location of the study area and sampling sites

2.2 数据采集与处理

本文的实测数据分别是2013年9月、2014年7月和2014年8月在鄱阳湖主湖区(见图1)测量的光谱数据,并同步采集水样。光谱数据的采集和处理方法为唐军武等^[11]采用的水面以上测量法,将处理后的数据计算得到实测的遥感反射率。

测定悬浮泥沙浓度采用过滤重量法。该方法的原理是将附有泥沙滤膜的重量减去滤膜的重量得到悬浮泥沙的重量,再除以水样体积,得到单位水体中悬浮泥沙浓度值。具体步骤按照国家标准《河流悬移质泥沙测验规范》进行测定。

3 悬浮泥沙浓度反演模型

3.1 鄱阳湖水体光学分类

在光学复杂的水域使用一个通用算法去准确获得水体成分或生物光学参数是比较困难的,为了解决这个问题,在光学复杂的水域内提出光学分类,在此基础上分别建立反演总悬浮浓度模型能够提高反演精度^[12]。水体分类有利于阐明不同水体类型对反射波谱曲线响应的变化关系,对定量反演鄱阳湖的水体参数有着重要的意义。

本研究采用况润元等^[13]基于斜率的水体分类算法。利用该方法可将鄱阳湖水体依据实测反射光谱的形态特征大致区分出5种光谱特征(见图2), R_{655} (表

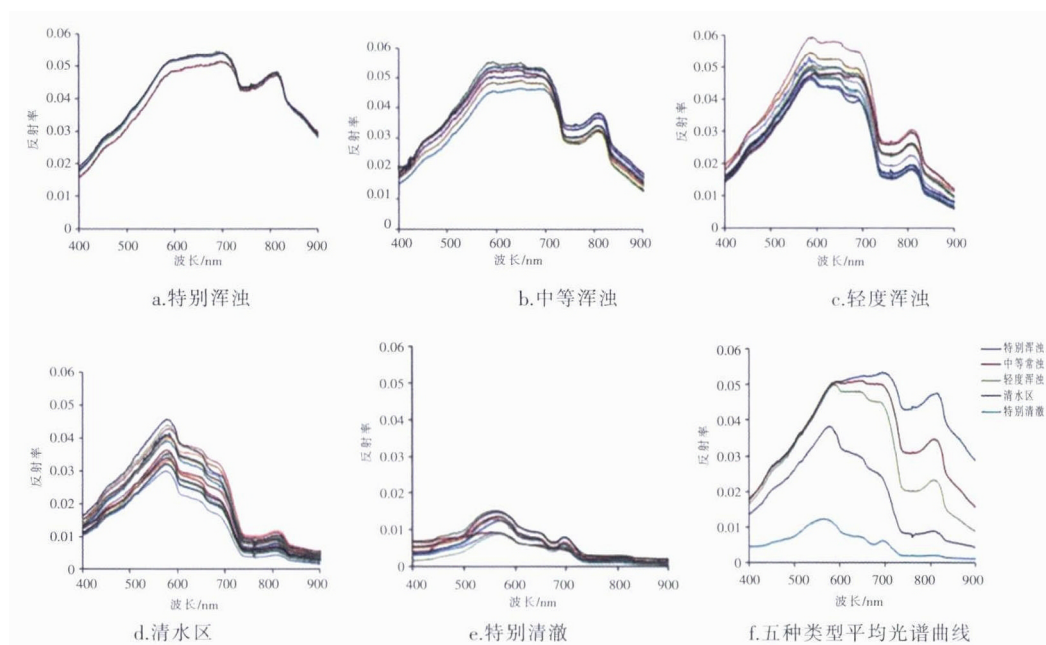


图2 鄱阳湖水体实测的反射光谱类型

Fig.2 The types of reflection spectrum of the measured water body in the Poyang lake

示水体在 655nm 的反射率,下同)与 R_{560} 的斜率不小于 0 为特别浑浊和中等浑浊,其中 R_{865} 与 R_{440} 的斜率不小于 0 为特别浑浊,小于 0 为中等浑浊; R_{655} 与 R_{560} 的斜率小于 0 为轻度浑浊和清水区及特别清澈区,由于轻度浑浊水体类型在 655nm 的反射率远远高于清水区及特别清澈区,因此 R_{655} 大于 0.037 为轻度浑浊,小于该值为清水区及特别清澈区;特别清澈水体在波长 500~600nm 之间的反射率都低于 0.02,相反清水区水体在该波长区间内的反射率高于 0.02,从而可以利用 500~600nm 之间的反射率是否大于 0.02 为规则判别,大于为清水区,反之为特别清澈区。

利用该方法可将鄱阳湖水体分为:特别浑浊、中等浑浊、轻度浑浊、清水区和特别清澈五种水体类别。除此之外,利用该方法对悬浮泥沙浓度的总样本数据进行分类,并统计出每类水体的样本数量。在对光学复杂水体进行光学分类的基础上,针对每一类水体分别建立多种反演总悬浮物浓度的模型。

3.2 悬沙浓度反演模型构建分析

目前反演悬浮泥沙浓度使用较多的模型,包括近红外单波段模型、波段平均模型、比值模型、微分模型。每种模型又包含多种数学函数形式,包括一次函数型(Linear)、二次函数型(Quadratic)、幂函数型(Power)、指数函数型(Exponential)及对数模型(Logarithmic)等。结合鄱阳湖悬浮泥沙空间分布的特点,采用近红外单波段模型、波段平均模型和比值模型三种模型以及 5 种不同的函数形式,针对上述五种水体类型来分别建立悬浮泥沙遥感反演模型。

根据研究区域的反射光谱特征,以及常用的 HJ 卫星的 CCD 影像的波段设置,选择蓝光、绿光、红光和近红外波段中心波长依次命名为变量 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 ,对应反射率分别为 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 ,然后与悬浮泥沙浓度进行相关分析,结果显示 B_4 波段反射率与悬浮泥沙浓度相关性较高,相关系数高于 0.9。因此 B_4 波段可以作为悬浮泥沙浓度遥感反演的敏感波段。

考虑到波段反射率比值可以消除水面光滑度、环境噪音等的影响,也可以削弱其他水质参数的影响,进而提高反演模型精度。故将 R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 进行组合,计算波段反射率比值,用 R_3/R_2 、 R_3/R_1 、 R_4/R_3 、 R_4/R_2 、 R_4/R_1 分别与相应浓度做相关分析,结果表明 R_4/R_3 、 R_4/R_2 、 R_4/R_1 的相关性都大于 95%,都可以作为敏感波段参与悬沙浓度反演模型的建立。

3.2.1 特别浑浊水体类型模型构建

针对特别浑浊水体类型,表 1 显示了利用不同的模型反演结果。总体来说,近红外单波段模型和微分模型的 R^2 较低,大都低于 0.5;而波段平均模型和比值模型(R_4/R_3 、 R_4/R_2 、 R_4/R_1)的 R^2 较高,大都高于 0.9,但是 R_4/R_1 波段比值模型除了二次多项式模型的 R^2 大于 0.9,其余的都小于 0.9 但大于 0.7,进一步说明在特别浑浊水体类型中比值模型比较适合反演。其中 R^2 在比值模型(R_4/R_3)中的二次函数模型最大,高达 0.9944。综上所述可知,比值模型(R_4/R_3)的二次函数模型为鄱阳湖特别浑浊水体类型的最优悬浮泥沙反演模型。

3.2.2 中等浑浊水体类型模型构建

针对中等浑浊水体,表 1 显示了利用不同的模型反演中等浑浊水体类型的结果。其中 R^2 在比值模型(R_4/R_1)的二次函数模型最大,高达 0.9935; R^2 在波段平均模型的一次函数中最低,低至 0.0000003,基本上可以视为无相关性。总体来说,波段平均模型的 R^2 极低,除了它的二次函数模型其余的都基本上可以忽略不计;比值模型(R_4/R_3 、 R_4/R_2 、 R_4/R_1)的 R^2 ,大都高于 0.9,因此用比值模型反演中等浑浊水体较好。综合考虑,比值模型(R_4/R_1)的二次函数模型为鄱阳湖中等浑浊水体类型的最优反演模型。

3.2.3 轻度浑浊水体类型模型构建

针对轻度浑浊水体,表 1 显示了利用不同的模型反演轻度浑浊水体类型的结果。其中 R^2 在微分模型中的一次函数模型最小,低至 0.0325; R^2 在比值模型(R_4/R_3)中的二次函数模型最大,高达 0.8353。总体来说,首先就是波段平均模型较低(介于 0.1 和 0.21 之间);其次近红外单波段模型的 R^2 也不高,四种模型的 R^2 都在介于 0.3 和 0.5;而比值模型(R_4/R_3 、 R_4/R_2 、 R_4/R_1)的 R^2 相对来说较高,都大于 0.5,尤其是一次函数和二次函数的 R^2 比较高。综合分析可知,比值模型(R_4/R_3)的二次函数模型为鄱阳湖轻度浑浊水体类型的最优反演模型。

3.2.4 清水区水体类型模型构建

针对清水区,表 1 显示了利用不同的模型反演清水区水体类型的结果。主要是因为清水区的水体不浑浊,泥沙含量极少,不利于建立光谱反射率与悬浮泥沙浓度两者之间的悬浮泥沙反演模型。其中最高的 R^2 出现在比值模型(R_4/R_2)的二次函数模型,达到 0.3531,因此用比值模型反演清水区水体较好。综合考虑,比值模型(R_4/R_2)的二次函数模型为鄱阳湖清水区

表1 5种水体类型的反演模型
Table1 The models for 5 typesof the water body

反演模 型类型	数学函数类型	特别浑浊水体 模型方程	R^2	中等浑浊水体 模型方程	R^2	轻度浑浊水体 模型方程	R^2	清水区 模型方程	R^2	特别清澈水体 模型方程	R^2
近红外 波段 模型(R_4)	一次函数	$y = -0.0041x + 0.0429$ $y = 0.203x^2 - 0.1524x + 0.0695$	0.3595 0.4995	$y = 0.0547x + 0.02$ $y = -0.2819x^2 - 0.1229x + 0.0162$	0.5074 0.5134	$y = 2.8896x + 0.0026$ $y = 541.39x^2 - 16.006x + 0.1602$	0.3931 0.484	$y = 0.7397x + 0.043$ $y = -339.65x^2 + 5.3435x - 0.0104$	0.1531 0.2373	$y = -1.9903x + 0.0049$ $y = 1479.5x^2 - 6.9081x + 0.0085$	0.425 0.4753
	幂函数	$y = 0.0399x^{-0.036}$	0.3692	$y = 0.0442x^{0.276}$	0.5398	$y = 1.4947x^{0.819}$	0.3647	$y = 0.2263x^{0.698}$	0.1748	$y = 2E-09x^{-2.02}$	0.50344
	指数函数	$y = 0.0429e^{-0.098x}$	0.3607	$y = 0.0207e^{2.088x}$	0.5323	$y = 0.021e^{0.377x}$	0.3876	$y = 0.0046e^{0.193x}$	0.1465	$y = 0.0074e^{-1.296x}$	0.4545
	对数函数	$y = -0.002\ln(x) + 0.0399$	0.3681	$y = 0.0064\ln(x) + 0.0403$	0.5127	$y = 0.0474\ln(x) + 0.2458$	0.3645	$y = 0.0052\ln(x) + 0.0355$	0.1824	$y = -0.003\ln(x) - 0.0187$	0.4523
	一次函数	$y = -0.0186x + 0.0533$ $y = 0.1547x^2 - 0.1316x + 0.0736$	0.9375 0.9478	$y = -0.0095582x + 0.1356997$ $y = 6374.9x^2 - 499.88x + 9.913$	3E-07 0.4335	$y = 1.7673x - 0.0044$ $y = -240.89x^2 - 17.49x - 0.2572$	0.162 0.2016	$y = 0.4213x + 0.0021$ $y = -171.63x^2 + 6.1154x - 0.0441$	0.103 0.2032	$y = -0.968x + 0.056$ $y = -17.423x^2 - 0.8241x + 0.0053$	0.1376 0.1376
波段平 均模型 [($R_4 + R_3$)/2]	幂函数	$y = 0.0402x^{-0.145}$	0.9436	$y = 0.1222188x^{0.021489}$	1.4E-06	$y = 1.9788x^{1.0673}$	0.1837	$y = 0.2602x^{0.837}$	0.0934	$y = 1E-09x^{-2.465}$	0.1495
	指数函数	$y = 0.0538e^{-0.399x}$	0.9403	$y = 0.1231835e^{1.593x}$	1.17E-05	$y = 0.0175e^{32.026x}$	0.1791	$y = 0.0039e^{48.388x}$	0.0769	$y = 0.0107e^{-0.97x}$	0.1419
	对数函数	$y = -0.007\ln(x) + 0.0397$	0.9409	$y = 0.01\ln(x) + 0.1$	0.00024	$y = -0.0583\ln(x) + 0.2532$	0.1689	$y = -0.0074\ln(x) + 0.0397$	0.1187	$y = -0.004\ln(x) - 0.0197$	0.136
	一次函数	$y = 0.4344x + 0.6439$	0.9892	$y = 0.5615x - 0.1711$	0.9177	$y = 0.2484x - 0.0384$	0.6423	$y = 0.0258x + 0.0029$	0.139	$y = -0.0111x + 0.0046$	0.3696
	函数	$y = 0.6323x + 0.7028$ $y = 1.2323x + 1.0009$ $y = 2.515x^2 - 1.4038x + 0.9732$	0.9152 0.7599 0.9944	$y = 0.4537x - 0.1354$ $y = 0.2714x - 0.1172$ $y = -1.8546x^2 + 2.5187x - 0.6817$	0.9356 0.9299 0.9364	$y = 0.1919x - 0.019$ $y = 0.115x - 0.0167$ $y = 2.1425x^2 - 1.3694x + 0.2603$	0.6414 0.6393 0.8353	$y = 0.035xx + 0.0029$ $y = 0.022x + 0.0028$ $y = -0.7691x^2 + 0.4129x - 0.0442$	0.1492 0.1337 0.2734	$y = -0.0198x + 0.0044$ $y = -0.0202x + 0.0067$ $y = 0.0822x^2 - 0.0601x + 0.011$	0.3927 0.4453 0.5646
比值模型 (R_4/R_3 、 R_4/R_2 、 R_4/R_1)	二次函数	$y = 13.152x^2 - 8.9805x + 2.4249$	0.9777	$y = -0.9165x^2 + 1.5052x - 0.4325$	0.9489	$y = 1.21x^2 - 0.7634x + 0.1634$	0.814	$y = -1.4776x^2 + 0.5778x - 0.0452$	0.3531	$y = 0.2509x^2 - 0.0978x + 0.0096$	0.5991
	函数	$y = 51.958x^2 - 36.744x + 7.8042$	0.973	$y = -0.6592x^2 + 1.4731x - 0.6567$	0.9935	$y = 0.4135x^2 - 0.4264x + 0.1534$	0.7917	$y = -0.7015x^2 + 0.4398x - 0.0574$	0.3206	$y = 0.1543x^2 - 0.0959x + 0.0155$	0.5086
	幂函数	$y = 0.9793x^{0.1361}$ $y = 1.196x^{0.242}$	0.986 0.9023	$y = 0.621x^{2.5476}$ $y = 0.4209x^{2.2314}$	0.9216 0.9397	$y = 0.2284x^{1.4935}$ $y = 0.1618x^{1.168}$	0.5495 0.5247	$y = 0.0314x^{0.9136}$ $y = 0.041x^{0.9078}$	0.1768 0.1927	$y = 5E-05x^{-2.133}$ $y = 2E-05x^{-1.89}$	0.4997 0.5125
	指数函数	$y = 1.9746x^{0.3044}$ $y = 0.6584e^{0.5412x}$	0.7322 0.989	$y = 0.1549x^{2.1101}$ $y = 0.0094e^{4.82x}$	0.9273 0.906	$y = 0.0909x^{1.172}$ $y = 0.0109e^{4.1794x}$	0.505 0.5897	$y = 0.028x^{0.95}$ $y = 0.0036e^{3.596x}$	0.1799 0.1588	$y = 1E-05x^{-3.072}$ $y = 0.0061e^{-6.98x}$	0.499 0.3859
	对数函数	$y = 0.7288e^{0.6764x}$ $y = 1.0632e^{0.848x}$	0.9117 0.7478	$y = 0.0128e^{3.8932x}$ $y = 0.0154e^{2.3x}$	0.9226 0.8946	$y = 0.0153e^{3.179x}$ $y = 0.0162e^{1.8711x}$	0.5711 0.5488	$y = 0.0036e^{4.93x}$ $y = 0.0035e^{3.0432x}$	0.1655 0.1582	$y = 0.0052e^{-1.209x}$ $y = 0.024e^{-12.87x}$	0.396 0.4885
对数 函数	对数函数	$y = 0.1574\ln(x) + 0.9626$	0.9861	$y = 0.296\ln(x) + 0.3159$	0.9269	$y = 0.0876\ln(x) + 0.1415$	0.5829	$y = 0.0068\ln(x) + 0.0189$	0.1577	$y = -0.003\ln(x) - 0.003$	0.4515
	对数函数	$y = 0.2282\ln(x) + 1.1658$	0.9058	$y = 0.2589\ln(x) + 0.2707$	0.9443	$y = 0.0694\ln(x) + 0.1222$	0.5709	$y = 0.0068\ln(x) + 0.021$	0.1773	$y = -0.003\ln(x) - 0.0046$	0.492
	对数函数	$y = 0.4426\ln(x) + 1.9008$	0.7445	$y = 0.2478\ln(x) + 0.1549$	0.9547	$y = 0.0689\ln(x) + 0.0887$	0.5716	$y = 0.0069\ln(x) + 0.0178$	0.1548	$y = -0.005\ln(x) - 0.0054$	0.4794

水体类型的最优反演模型。

3.2.5 特别清澈水体类型模型构建

针对特别清澈水体,表 1 显示了利用不同的模型反演特别清澈水体类型的结果。总体来说,和清水区相似,所有反演模型的 R^2 都比较低,没有一种模型的 R^2 超过了 0.6。主要是因为清水区水体不浑浊,泥沙含量极少,光谱反射率与悬浮泥沙浓度的相关性小,不利于建立两者之间的反演模型,因此 R^2 都比较低。其中最高的 R^2 出现在比值模型(R_4/R_2)的二次函数模型,达到 0.5991。综合分析可知,比值模型(R_4/R_2)的二次函数模型是鄱阳湖特别清澈水体类型的最优悬浮泥沙反演模型。

4 结果与分析

本文利用五种经验反演模型对每一类型水体分别

进行反演。研究结果表明:每种水体类型的比值模型中二次函数模型都是各自水体类型的最优反演模型,其中比值模型 (R_4/R_2) 的二次函数模型出现的频率最高(3次)。并且在清水区和特别清澈水体类型中的比值模型都是比值模型(R_4/R_2)的二次函数模型反演精度效果最好。

将预留的 10 个实测光谱反射率数据进行分类后经验模型反演,得到模型反演的悬浮泥沙浓度,将其与实测悬浮泥沙浓度进行精度分析对比。表 2 选取 10 个检验点,实测的悬浮泥沙浓度范围是 0.00083g/L~0.32381g/L,平均浓度 0.10295g/L,涵盖了水体分类的五种水体类型。采用水体分类的经验反演模型进行反演,得到反演平均浓度是 0.1037g/L,平均绝对误差是 0.00217g/L,平均相对误差是 3.022%;基于水体分类的经验反演模型反演的效果很好。

表2 反演模型的反演精度
Table2 The inversion accuracy of the inversion model

序号	水体类型	实测含量/g·L ⁻¹	经验反演模型(分类)		
			反演含量/g·L ⁻¹	绝对误差/g·L ⁻¹	相对误差/%
1	特别浑浊水体	0.32381	0.32424	0.00043	0.133
2		0.31364	0.30768	0.00595	1.898
3		0.11200	0.12146	0.00946	8.448
4	中等浑浊水体	0.07727	0.07876	0.00148	1.919
5		0.05172	0.05279	0.00106	2.054
6	轻度浑浊水体	0.05030	0.04947	0.00083	1.656
7		0.04839	0.04810	0.00029	0.594
8	清水区水体	0.04000	0.04166	0.00166	4.156
9		0.01153	0.01205	0.00053	4.562
10	特别清澈水体	0.00083	0.00079	0.00004	4.796
	平均	0.10295	0.10370	0.00217	3.022

5 结论

本研究利用基于斜率的水体光学分类方法将鄱阳湖水体反射光谱分为五类,借鉴悬浮泥沙理论算法和经验算法,对每一类水体尝试多种反演模型下多种数学形式的建立,在多种模型中结合 R^2 遴选出每一类水体的最优模型,然后利用实测数据对相应的最优反演模型进行检验。

研究结果表明:五种水体类型的比值模型中二次函数模型都是各自水体类型的最优反演模型,其中比值模型 (R_4/R_2) 的二次函数模型出现的频率最高(3次)。并且在清水区和特别清澈水体类型中的比值模型都是比值模型(R_4/R_2)的二次函数模型反演精度效果最好。基于实测数据的反演精度检验得出平均绝对误

差是 0.00217g/L,平均相对误差是 3.022%,反演效果好。可对鄱阳湖悬浮泥沙浓度的分布进行系统的了解,发挥遥感监测的优势。

此外,本研究建立反演模型的参数只考虑了悬浮泥沙浓度,并未考虑其他水色参数(如叶绿素,黄色物质等)对反射率的影响,反演模型该方面的精度有待提高。而且鄱阳湖水体分类后分别进行反演时,过程较为复杂,以后重点研究较为简单而适用性强、应用广泛的反演模型。

参考文献:

[1] 陈乐玲. 鄱阳湖生态经济区品牌传播研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2012. (CHEN Yueling, The Study of bRand Communication in Poyang Lake Ecological Economic Zone [D]. Nanchang: Nanchang University, 2012. (in Chinese))

[2] 郭国锋, 崔丽娟, 纪伟涛. 基于时间序列 MODIS 影像的鄱阳湖丰水

- 期悬浮泥沙浓度反演及变化[J]. 湖泊科学, 2009,21(2):288–297.(WU Guofeng,CUI Lijuan,JI Weitao.Time-series MODIS images-based retrieval and change analysis of suspended sediment concentration during flood period in Lake Poyang[J].Journal of Lake Sciences, 2009,21(2):288–297.(in Chinese))
- [3] 陈燕,孔金玲,孙晓明,等.基于半分析模型的渤海湾近岸海域悬浮泥沙浓度遥感反演[J]. 地理与地理信息科学,2014,30 (3):33–36,55.(CHEN Yan,KONG Jin ling,SUN Xiaoming,et al.Retrieval of sea surface sediment concentration in Bohai gulf offshore area based on semi-analysis model[J]. Geography and Geo-Information Science, 2014,30(3):33–36,55.(in Chinese))
- [4] 查桂红. 基于 GOCI 影像的内陆水体悬浮物浓度遥感估算研究[D]. 南京:南京师范大学, 2013.(ZHA Guihong. Study on Remote Sensing Estimation of Suspended Solids Concentration of Inland Waters Based on GOCI Data[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2013. (in Chinese))
- [5] 李四海,唐军武. 河口悬浮泥沙浓度 SeaWiFS 遥感定量模式研究[J]. 海洋学报, 2002,24 (2):51–58.(LI Sihai,TANG Junwu.A study on the quantitative remote sensing model for the sediment concentration in estuary[J].Acta Oceanologica Sinica,2002,24(2):51–58. (in Chinese))
- [6] 陈沈良,张国安,杨世伦,等. 长江口水域悬沙浓度时空变化与泥沙再悬浮[J]. 地理学报, 2004,59 (2):260–266.(CHEN Shenliang,ZHANG Guoan,YANG Shilun,et al.Tempotal and spatial changes of suspended sediment concentration and resuspension in the Yangtze River estuary and its adjacent waters[J].Acta Geographica Sinica, 2004,59(2):260–266. (in Chinese))
- [7] 张伟,陈晓玲,田礼乔,等. 鄱阳湖 HJ-1-A/B 卫星 CCD 传感器悬浮泥沙遥感监测[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2010,(12):1466–1469.(ZHANG Wei,CHEN Xiaoling,TIAN Liqiao, et al.Suspended sediment monitoring in Poyang lake using HJ-1-A /B CCD imagery[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2010,(12): 1466–1469. (in Chinese))
- [8] 刘茜, David G Rossiter. 基于高光谱数据和 MODIS 影像的鄱阳湖悬浮泥沙浓度估算[J]. 遥感技术与应用, 2008,23 (1):7–11.(LIU Qian, David G Rossiter.Estimation on suspended sedimentation concentration of Poyang lake using MODIS and hyperspectral data[J].Remote Sensing Technology and Application, 2008,23(1):7–11. (in Chinese))
- [9] 周晓宇,孙德勇,李云梅,等.结合水体光学分类反演太湖总悬浮物浓度[J].环境科学,2013,34(7):2618–2627.(ZHOU Xiaoyu,SUN Deyong,LI Yunmei,et al.Hyperspectral remote sensing of total suspended matter concentrations in lake Taihu based on water optical classification [J].Environmental Science,2013,34(7):2618–2627. (in Chinese))
- [10] 崔丽娟. 鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值评估研究[J]. 生态学杂志, 2004,23(4):47–51.(CUI Lijuan. Evaluation on functions of Poyang lake ecosystem[J].Chinese Journal of Ecology, 2004,23(4): 47–51. (in Chinese))
- [11] 唐军武,田国良,汪小勇,等. 水体光谱测量与分析 :水面以上测量法[J]. 遥感学报, 2004,8(1):37–44.(TANG Junwu,TIAN Guoliang, WANG Xiaoyong,et al.The methods of water spectra measurement and analysis I: above-water method [J].Journal of Remote Sensing, 2004,8(1):37–44. (in Chinese))
- [12] Bertrand L, Hubert L. Variability and classification of remote sensing reflectance spectra in the eastern English hannel and southern North Sea[J]. Remote Sensing of Environment, 2007,110(1):45–58.
- [13] 况润元,罗卫,张萌. 基于实测数据与遥感影像的鄱阳湖水体光学分类[J]. 长江流域资源与环境, 2015,24(5):773–780.(KUANG Runyuan, LUO Wei,ZHANG Meng. Optical classification of Poyang lake waters based on in situ measurements and remote sensing images[J].Resources and Environment in the Yangtze Basin,2015,24(5):773–780. (in Chinese))

Study on Inversion Model of Suspended Sediment Concentration Based on Optical Classification of Water Body in Poyang Lake

KUANG Runyuan, ZHAO Yanfu, LUO Wei, ZHANG Ganghua, CHEN Yanbing

(School of Architectural and Surveying & Mapping Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: The Poyang Lake is an important wetland ecosystem in China, which plays an important role in regulating the change of water and sediment. Because of large area and large internal differences of the Poyang Lake, a single suspended sediment inversion model is not enough to inverse the suspended sediment concentration. Therefore, this paper used a inversion model based on the classification with the measured reflectance spectra data and the sediment concentration data. It is said that according to the classification of spectral morphological characteristics of the measured data from 5 typical types of water bodies. On this basis, the classification of the various types of water were established respectively for the inversion of the appropriate inversion model. The results show that the empirical model retrieval based on water classification achieves satisfactory results, the average absolute error is 0.00217g/L, and the average relative error is 3.022%. Therefore, the empirical inversion model based on classification is applied to monitor the distribution of suspended sediment concentration in the Poyang Lake. This study will help to grasp the spatial distribution and change of the Poyang Lake sediment concentration, and provide decision basis for the sustainable development and utilization of the Poyang Lake resources.

Key words: Poyang Lake; remote sensing; suspended sediment; inversion model of concentration