

文章编号: 1000-5862(2019)01-0102-06

鄱阳湖浑浊水体后向散射系数模拟及校正研究

刘 瑶^{1,2}, 江 辉²

(1. 南昌大学资源环境与化工学院, 鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 江西 南昌 330031;

2. 南昌工程学院, 鄱阳湖流域水工程安全与资源高效利用国家地方联合工程实验室, 江西 南昌 330099)

摘要: 湖泊水体后向散射系数是水色遥感反演模型的重要参数, 浑浊 2 类水体的后向散射特性影响因素较多, 相对其他固有光学参数其测量难度大. 以鄱阳湖为例, 对湖区水体进行野外光学测量, 采用半分析模型方法模拟后向散射系数, 从而得到本地化的后向散射概率, 实现水体后向散射系数的精确校正. 研究结果表明: 鄱阳湖水体后向散射概率随着波长的变化而改变, 呈显著的 2 次函数关系; 鄱阳湖总悬浮颗粒物浓度 $< 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的中低浑浊水体 420、442、470、510、590 和 700 nm 的后向散射概率分别为 0.007 0、0.012 6、0.013 9、0.016 9、0.023 8、0.026 9, 均值为 0.016 9, 标准偏差为 0.008 0; 总悬浮颗粒物浓度 $\geq 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的高浑浊水体, 在绿光至红光波长的后向散射概率较为稳定, 与中低浑浊水体后向散射概率一致; 而紫光至蓝光波段不稳定, 此段范围是高浑浊和中低浑浊水体的后向散射概率调整的关键波段, 420、442 nm 的后向散射概率分别调整为 0.006 1 和 0.010 2. 研究结果可为湖泊浑浊水体后向散射系数精确校正提供研究思路、方法和数据支持.

关键词: 后向散射系数; 半分析模型; 后向散射概率; 总悬浮颗粒物; 鄱阳湖

中图分类号: O 432 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2019.01.17

0 引言

后向散射系数直接影响着水体遥感反射率或离水辐亮度等表观光学信号, 是水色遥感最重要的固有光学参数. 后向散射系数是体散射函数 $\beta(\theta)$ 散射角 (θ) 对后向半球的积分, 它只依赖于水体组成成分, 与外界环境光学变化无关. 但精确监测水体后向散射系数一直是一个难点, 目前常采用仪器直接测量法和散射系数替代的间接法获取后向散射系数^[1]. 随着近 10 多年先进光学仪器的发展, 仪器直接测量法较为多见, 主要使用的仪器有 HOBI Labs 公司的 HydroScat-6 (HS-6P)、Satlantic 公司的 BB9 和 VSF3 等. 本文采用 HS-6P 仪器, 其原理是 140° 固定角度的散射光, 计算体散射函数, 从而得到水体后向散射系数, 它是自容式设计, 体积小, 使用广泛^[2-3]. HS-6P 主要是根据清澈海洋水体而设计的, 测量数据要通过 sigma 校正, 后向散射概率 \tilde{b}_b , 即后向散射与总散射的比值是关键参数, 是水体光场二

向性的主导要素^[4], 在海洋水体中一般较为稳定, 采用默认值 0.015. 然而, 在浑浊水体中研究者认为后向散射概率应进行修正, C. H. Whitlock 等^[5] 针对浑浊河水的后向散射概率采用 0.059, J. T. O. Kirk^[6] 研究表明在沿岸水体中后向散射概率为 0.019 较为合适, E. Aas 等^[7] 在研究奥斯陆海湾水体时发现 412 ~ 665 nm 波段后向散射概率为 0.018 ~ 0.022, 刘炜等^[8] 在东海实验研究认为后向散射概率为 0.01 ~ 0.05. 由于水体类型复杂多样、研究方法和测量方法等差异, 水体后向散射系数的校正目前尚无定论^[9].

内陆水体的后向散射概率从海洋监测中得到发展, 宋庆君等^[1] 考虑不同水体和深度的后向散射概率均不同, 分别采用了 0.015、0.019、0.030 进行校正; 马荣华等^[10] 研究表明在近红外至红外波段范围内高浑浊水体以及部分中浑浊水体颗粒物后向散射系数随波长增长而不断增加, 与理论的趋势相违背, 这说明水体后向散射概率并不是一个定值, 在不同的波段是变化的, 并在太湖中得到验证; 刘忠华

收稿日期: 2018-07-17

基金项目: 国家自然科学基金(41461080, 51869012), 江西省青年科学基金(20171ACB21051), 江西省教育厅科技课题(GJJ170979)和江西省水利科技课题(KT201646)资助项目.

作者简介: 刘 瑶(1980-), 女, 江西九江人, 副教授, 博士研究生, 主要从事水环境遥感监测研究. E-mail: liuyaojj@163.com

等^[11]认为巢湖的后向散射概率为0.001 4~0.059 0; Wu Guofeng 等^[12]在利用 HS-6P 仪器测量鄱阳湖水体时发现后向散射系数监测存在不稳定现象,在420 nm 波长时比其他更长波段的后向散射系数要小.内陆浑浊水体后向散射系数与波长之间可能呈现的不是幂函数关系,主要原因可能是浑浊水体多次散射以及复杂的水体组分造成的.内陆湖泊水体组分差异性大,特别是浑浊水体,后向散射概率参数的设定更为关键,因此对浑浊水体后向散射系数校正方法的研究是很有必要的.在鄱阳湖高动态浑浊水体中有关后向散射系数校正的研究鲜见报道,研究鄱阳湖本地化的后向散射系数校正方法可为水体固有光学特性监测提供数据和方法上的支持,也为湖泊水质参数高精度遥感反演提供帮助.

1 材料与方法

1.1 研究区域

鄱阳湖是中国第一大淡水湖,位于江西省北部、长江南岸,鄱阳湖上承赣、抚、信、饶、修5河之水,下接长江.鄱阳湖水位季节性变化巨大,洪水期、枯水期的面积和蓄水量差异悬殊,年内水位变幅在9.79~15.36 m,绝对水位变幅达16.69 m,其多年平均水位12.86 m,湖口站水位历史最高为22.59 m.区域降水年内分配很不均匀,主要集中在4~9月,约占全年降水量75%左右.1961—2012年流域年均降雨量为1 636 mm,5河年径流量呈现振荡变化,无明显趋势,但年输沙量呈显著减小趋势.流域多年平均年入湖沙量主要来自5河,占比87%,赣江年均径流量约占5河总量的62.0%,5河水沙从1~12月份呈先增加后减少的变化趋势,最大值出现在6月份,最小值出现在12月份.入湖输沙量主要受水土保持和水库建设的影响,1985年以前水土流失面积增加,输沙量呈增加趋势,但随着水土保持工作的实施生效以及赣江流域的水库拦沙等水利工程的影响,1985年以后输沙量显著减少,水库滞沙是鄱阳湖入湖沙量减少的主要原因^[13].除此之外,采砂活动是鄱阳湖北湖区高浑浊水体形成的重要原因,棠荫以西和松门山岛以北航道、入江水道延伸到湖口区域为主要影响区域,南部主湖区、河流入湖口影响较小.浑浊水体主要集中在主湖区的北部以及入江航道区域,由于采砂活动的南移,近年来浑浊水域有向南蔓延的趋势^[14-15].研究团队于2017年6月25~29日开展了鄱阳湖水水质遥感巡航观测试验,共36个观测站点.采样站点空间分布如图1所示.

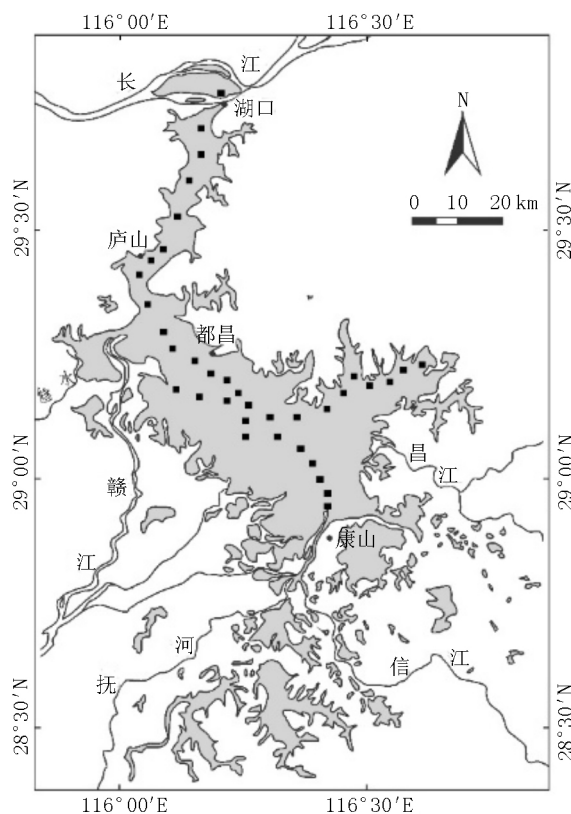


图1 鄱阳湖采样点分布图

1.2 采样与测定方法

通过全球定位系统(GPS)对设定的采样点进行定位,水样采集和光学参数测定同步进行,主要参数有:遥感反射率(R_s)、吸收系数($a(\lambda)$)、后向散射系数($b_{bp}(\lambda)$)、总悬浮颗粒物浓度(ρ_{TSPM}).利用SVC HR-1024野外光谱仪采用水面以上光谱测量法^[16]测量水体表面遥感反射率,每次采样点获得20条光谱曲线取平均值,获得21个站点的遥感反射率曲线.同步使用Hobilabs公司a-sphere水体光吸收测量仪获取距水体表面0.5 m深度处的表层水体总吸收系数,使用HOBILabs公司研发的hydroscat-6p(HS-6P)后向散射测量仪获取表层水体的后向散射系数,HS-6P的波段配置为420、442、470、510、590和700 nm.采集表层水样进行室内实验,根据GB 11901—89《水质悬浮物的测定重量法》测定总悬浮颗粒物浓度.经测定,鄱阳湖表层水体总悬浮颗粒物浓度监测的范围为3.05~73.10 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,平均值为 $(18.69 \pm 15.75) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

1.3 模拟与校正方法

1.3.1 后向散射系数模拟和后向散射概率的计算

与后射散射的测量相比,吸收系数的测量结果较稳定,精度较高^[9].由于半分析法有严密的理念基础及较高的精度和通用性^[17],通过数值模拟和实测

数据相结合的方法求解后向散射系数是校正测量参数的一种有效途径.

利用 Z. Lee 等^[18]提出的半分析法估算水体后向散射系数 $b_{bp}(\lambda)$, 假设水体表面的遥感反射率 $R_{rs}(\lambda)$ 和实测水体总吸收系数 $a_m(\lambda)$ 是真值, 在鄱阳湖的光学深水区未受到湖底影响的情况下, 根据半分析模型, 由 $R_{rs}(\lambda)$ 得到正好在水面以下 (0^-) 的遥感反射率 r_{rs} , 见 (1) 式. 对于浑浊水体, 参考波段 λ_0 向红光方向移动^[19], 考虑鄱阳湖水体特征和后向散射仪的波段设置, 选择 700 nm 作为参考波段. 由于在后向散射系数指数函数的经验公式中的 Y 值具有很强的时间性和区域性, 在内陆湖泊中太湖以 715 nm 作为参考波段, Y 的平均值为 1.380 ~ 3.064^[16], 巢湖的平均值为 2.719^[20]. 本研究利用光学闭合原理, 采用试算法, 根据公式 (2) ~ (4), 将 Y 值取为 0.5 ~ 3.0, 步长为 0.1 进行迭代计算, 求解出 $b_{bp}(\lambda)$. 通过 (5) 式迭代, 模拟得到吸收系数 $a_s(\lambda)$. 根据 (2) ~ (5) 式逐步计算.

$$r_{rs} = R_{rs}(\lambda) / (0.52 + 1.7R_{rs}(\lambda)), \quad (1)$$

$$u(\lambda) = (-g_0 + ((g_0)^2 + 4g_1r_{rs}(\lambda))^{1/2}) / (2g_1), \quad (2)$$

$$b_{bp}(700) = u(700) a(700) / (1 - u(700)) - b_{bw}(700), \quad (3)$$

$$b_{bp}(\lambda) = b_{bp}(700) (700/\lambda)^Y, \quad (4)$$

$$a_s(\lambda) = (1 - u(\lambda)) (b_{bw}(\lambda) + b_{bp}(\lambda)) / u(\lambda), \quad (5)$$

其中 $u(\lambda)$ 为 Z. Lee 等^[18] QAA 算法的比值; g_0 、 g_1 分别为 0.089 5 和 0.124 7; b_{bw} 为纯水后向散射系数; $a_s(\lambda)$ 为模拟水体总吸收系数; $b_{bp}(\lambda)$ 为水体后向散射系数. 将模拟得到的总吸收系数 $a_s(\lambda)$ 与实测总吸收系数 $a_m(\lambda)$ 进行对比, 根据 (6) 式, 求解出最小值 Δ , 从而确定相应的 Y 值, 并求解得到模拟的水体后向散射系数 $b_{bps}(\lambda)$.

$$\Delta = \min \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_m(\lambda_i) - a_s(\lambda_i))^2}, \quad (6)$$

其中 n 是波段数.

根据鄱阳湖水体的浑浊程度不同, 将水体分成 2 类: $\rho_{TSPM} < 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水体为中低浑浊水体类型, $\rho_{TSPM} > 50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的水体为高浑浊水体类型. 试用后向散射概率 \tilde{b}_{bt} 采用 0.005、0.010、0.015、0.020、0.030 和 0.040, 计算不同 \tilde{b}_{bt} 的测量后向散射系数, 对各类站点的测量后向散射系数取平均值, 建立不同波段试用后向散射概率 \tilde{b}_{bt} 与对应测量后向散射系数平均值的幂函数关系^[10]. 假定模拟的后向散射系数 $b_{bps}(\lambda)$ 为真值, 将模拟的后向散射系数平均值代入幂函数, 得到不同波段的水体后向散射

概率 \tilde{b}_{br} ^[9].

1.3.2 后向散射系数校正方法 为了保证在强吸收水体中能得到高精度的后向散射系数, 根据不同波段后向散射概率 \tilde{b}_{br} 的计算结果进行 sigma 校正, 公式如下:

$$b_b = \sigma(K_{bb}) b_{bu} \sigma(K_{bb}) = k_1 \exp(k_{exp} K_{bb}),$$

其中 b_{bu} 表示未校正的后向散射系数, k_1 取常数; k_{exp} 表示 HS-6P 通过定标后的特征常数; K_{bb} 为衰减系数; K_{bb} 计算公式如下:

$$K_{bb} = a + 0.4b, \quad b = (b_{bu} - b_{bw}) / \tilde{b}_{br},$$

其中 a 为有机物和无机物对光的总吸收系数, b 为引起衰减的水体总散射系数, b_{bw} 为水体后向散射系数.

2 结果与讨论

2.1 模拟结果

根据现场测量数据, 对实测了遥感反射率的 21 个站点进行模拟, 衰减系数计算中的 a 采用各站点的实测吸收系数. 从图 2 可知, 模拟的总吸收系数 $a_s(\lambda)$ 与实测的总吸收系数 $a_m(\lambda)$ 的决定系数达到 0.80 以上, 特别是前 4 波段的决定系数达到 0.92 以上, 模拟结果是可信的.

2.2 校正结果

中低浑浊水体不同波段的试用后向散射概率 \tilde{b}_{br} 与测量后向散射系数的平均值 $\text{mean}(b_{bpm})$ 之间分别建立幂函数关系, 见 (7) 式.

$$\tilde{b}_{br} = 0.006 \text{mean}(b_{bpm})^{-1.08} \quad R^2 = 0.909 \quad \lambda = 420 \text{ nm};$$

$$\tilde{b}_{br} = 0.011 \text{mean}(b_{bpm})^{-0.81} \quad R^2 = 0.905 \quad \lambda = 442 \text{ nm};$$

$$\tilde{b}_{br} = 0.011 \text{mean}(b_{bpm})^{-0.78} \quad R^2 = 0.906 \quad \lambda = 470 \text{ nm};$$

$$\tilde{b}_{br} = 0.013 \text{mean}(b_{bpm})^{-0.72} \quad R^2 = 0.902 \quad \lambda = 510 \text{ nm};$$

$$\tilde{b}_{br} = 0.015 \text{mean}(b_{bpm})^{-0.59} \quad R^2 = 0.892 \quad \lambda = 590 \text{ nm};$$

$$\tilde{b}_{br} = 0.015 \text{mean}(b_{bpm})^{-0.57} \quad R^2 = 0.887 \quad \lambda = 700 \text{ nm}. \quad (7)$$

将模拟的后向散射系数的平均值代入 (7) 式, 得到中低浑浊水体 420、442、470、510、590 和 700 nm 的后向散射概率 \tilde{b}_{br} 分别为 0.007 0、0.012 6、0.013 9、0.016 9、0.023 8、0.026 9, 均值为 $0.016 9 \pm 0.008 0$. 图 3 为中低浑浊水体不同波段的后向散射概率变化, 与马荣华等^[10]的研究结论相似, 呈显著的 2 次函数. 由图 4 可知, 使用随波长变化的后向散射概率校正实测的原始数据, 对中低浑浊水体后向散射系数有了较好的改进, 随着波长的增加后向散

射系数呈现减少的趋势。

$$\tilde{b}_{br} = -2 \times 10^{-7} \lambda^2 - 0.091, R^2 = 0.957.$$

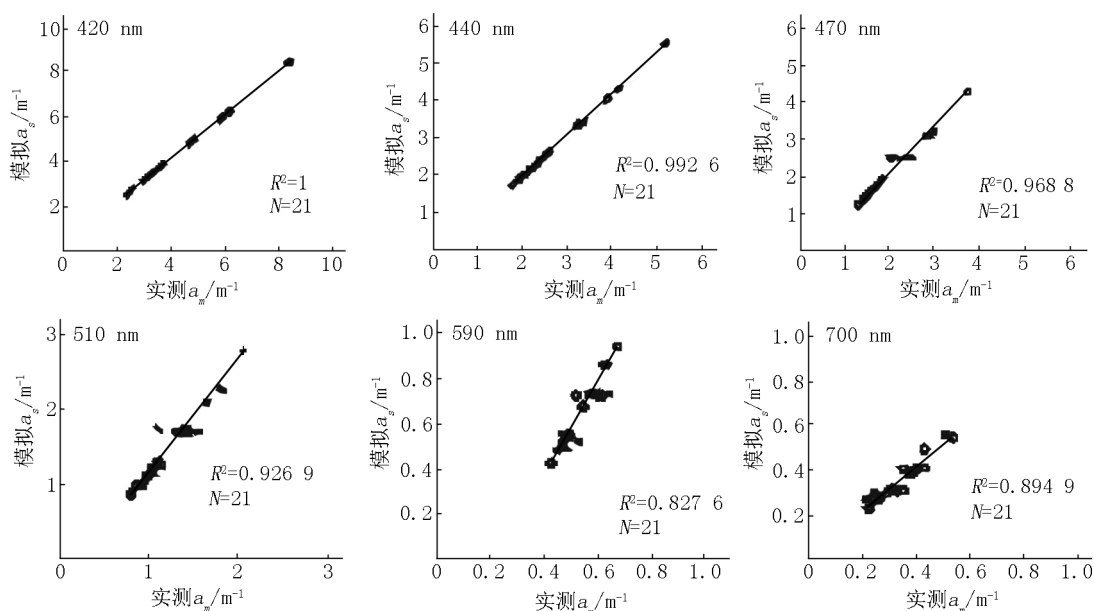


图 2 不同波段总吸收系数的模拟值与实测值的关系

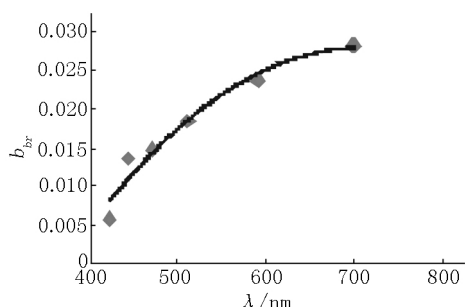


图 3 鄱阳湖水体后向散射概率与波长的关系

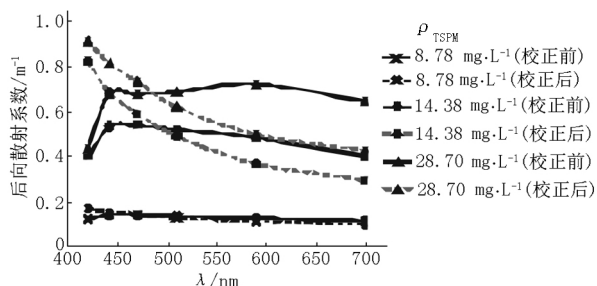


图 4 鄱阳湖典型中低浑浊水体后向散射系数波谱曲线校正前后对比

对于高浑浊水体, 波长大于 470 nm 的后向散射概率较为稳定, 但在波长小于 470 nm 时后向散射系数并不稳定, 特别是 420 nm 波段的后向散射系数总体偏小。经计算, 将高浑浊水体的 420、442 nm 波段后向散射概率调整为 0.006 1 和 0.010 2, 其他波段的后向散射概率值与中低浑浊水体相同, 典型高浑浊水体后向散射系数波谱曲线校正前后对比结果见图 5。

2.3 讨论

后向散射系数是水体固有光学量的重要参数之

一, 其测量精度直接与光学模型构建、水色参数反演密切相关。本文研究认为在不同水体后向散射概率波长是变化的, 使用单一的后向散射概率常数不适合该区域后向散射系数的推算, 这与大多内陆湖泊的研究结论相同^[11, 17]。与我国内陆太湖、巢湖相比, 鄱阳湖水体组分不同, 它以无机悬浮物为主导^[21], 其后向散射系数随波长的变化特征是不相同的, 需要使用本地化的后向散射概率参数进行调整。由于该模拟方法和校正方法大多采用的是固有光学特性, 不受水位、流速等外界条件的影响, 较为适合高动态变化的鄱阳湖水体, 并在鄱阳湖丰、平、枯水期的 3 次测量中均得到了验证, 效果较好。但由于半分析法中部分参数使用的是经验参数, 以及总吸收系数和水体遥感反射率的实测值可能有误差, 会使得后向散射概率具有不确定性, 今后还需实测验证。

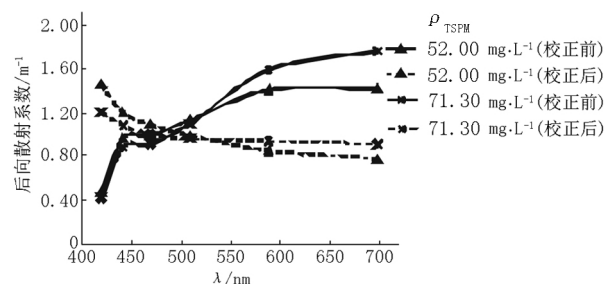


图 5 鄱阳湖典型高浑浊水体后向散射系数波谱曲线校正前后对比

水体后向散射信息与颗粒密度、粒径以及折射率密切相关^[18], 当总悬浮颗粒物较大时光的衰减速度加快导致后向散射系数低估, 由于鄱阳湖北部水体受到采砂、船只活动等人为因素的影响较大, 水体

变得更加浑浊. 当总悬浮颗粒物大于本研究的实测范围时, 后向散射概率可能随着波长的变化而发生改变, 因此对于特别高的浑浊水体后向散射概率还有待进一步改进. 同时水体颗粒物的粒径特征影响着后向散射系数, 不同颗粒形状、粒径类型的后向散射特性也将会发生改变^[22]. 鄱阳湖的粒径谱存在多种类型^[23-24], 因此考虑水体颗粒物的粒径谱类型可以对鄱阳湖后向散射概率进一步修正.

3 结论

1) 利用半分析法对鄱阳湖的总吸收系数进行模拟, 模拟结果与实测的总吸收系数较吻合, 决定系数达到 0.80 以上, 特别是前 4 波段的决定系数达到 0.92 以上, 选择 700 nm 作为参考波段是可行的, 能够使得模拟的水体后向散射系数有较为可靠的结果.

2) 鄱阳湖水体后向散射概率随着波长的变化而发生改变. 鄱阳湖水体后向散射概率与波长呈显著的 2 次函数关系. 鄱阳湖中低浑浊水体的 420、442、470、510、590 和 700 nm 的后向散射概率分别为 0.007 0、0.012 6、0.013 9、0.016 9、0.023 8、0.026 9, 均值为 $0.016\ 9 \pm 0.008\ 0$.

3) 当鄱阳湖水体 $\rho_{\text{TSPM}} > 50\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 绿光至红光波段的后向散射概率较为稳定, 与中低浑浊水体后向散射概率一致; 而紫光至蓝光波段范围不稳定, 高浑浊水体比中低浑浊水体在小于 470 nm 波段的后向散射概率更小, 因此紫光至蓝光波段是高浑浊和中低浑浊水体的后向散射概率调整的关键波段. 对于内陆湖泊 2 类水体后向散射特性影响因素较多, 今后还需实测数据进一步验证和总结.

4 参考文献

- [1] 宋庆君, 唐军武, 马荣华. 水体后向散射系数校正方法研究 [J]. 海洋技术, 2008, 27(1): 48-52.
- [2] 顾艳镇, 刘玉光, 修鹏, 等. 6 通道后向散射仪 [J]. 气象水文海洋仪器, 2008(2): 1-4.
- [3] Doxaran D, Leymarie E, Nechad B, et al. Improved correction methods for field measurements of particulate light backscattering in turbid waters [J]. Optics Express, 2016, 24(4): 3615-3637.
- [4] 申茜. 基于 Hydrolight 模拟的内陆水体光场的二向性 [J]. 北京工业大学学报, 2017, 43(5): 649-658.
- [5] Whitlock C H, Poole L R, Usry J W, et al. Comparison of reflectance with backscatter and absorption parameters for turbid waters [J]. Applied Optics, 1981, 20(3): 517-522.
- [6] Kirk J T O. Light & photosynthesis in aquatic ecosystems [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [7] Aas E, Høkedal J, Sørensen K. Spectral backscattering coefficient in coastal waters [J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(2): 331-343.
- [8] 刘炜, 李铜基, 朱建华, 等. 黄东海海区总悬浮物散射特性研究 [J]. 海洋技术, 2007, 26(2): 42-46.
- [9] 姜玲玲, 赵冬至, 王林, 等. 水体后向散射特性研究进展 [J]. 遥感技术与应用, 2013, 28(1): 150-156.
- [10] 马荣华, 宋庆君, 李国砚, 等. 太湖水体的后向散射概率 [J]. 湖泊科学, 2008, 20(3): 375-379.
- [11] 刘忠华, 李云梅, 吕恒, 等. 基于生物光学模型的巢湖后向散射概率估算 [J]. 环境科学, 2011, 32(2): 464-471.
- [12] Wu Guofeng, Cui Lijuan, Duan Hongtao, et al. Specific absorption and backscattering coefficients of the main water constituents in Poyang Lake, China [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185(5): 4191-4206.
- [13] 彭俊. 1950 年以来鄱阳湖流域水沙变化规律及影响因素分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(10): 1751-1761.
- [14] 江辉, 谢盛鑫, 刘瑶, 等. 鄱阳湖丰水期水体悬浮颗粒物粒径空间分布特征 [J]. 南昌工程学院学报, 2018, 37(6): 43-47.
- [15] 洪祎君, 蒋梅鑫, 贾玉连, 等. 鄱阳湖沙山高分辨率沙质地层及其冬季风气候信息记录的初步探究 [J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2017, 41(3): 319-325.
- [16] 唐军武, 田国良, 汪小勇, 等. 水体光谱测量与分析 I: 水面以上测量法 [J]. 遥感学报, 2004, 8(1): 37-44.
- [17] 李俊生, 张兵, 张霞, 等. 一种计算水体中悬浮物后向散射系数的方法 [J]. 遥感学报, 2008, 12(2): 193-198.
- [18] Lee Z, Carder K L, Arnone R A. Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters [J]. Applied Optics, 2002, 41(27): 5755-5772.
- [19] 张红, 李云梅, 黄家柱, 等. 内陆水体后向散射系数模拟研究 [J]. 环境科学, 2011, 32(9): 2522-2530.
- [20] 孙德勇, 李云梅, 王桥, 等. 巢湖水体散射和后向散射特性研究 [J]. 环境科学, 2010, 31(6): 1428-1434.
- [21] Jiang Hui, Liu Yao. Analysis and inversion of the nutritional status of China's Poyang Lake using Modis data [J]. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 2016, 44(5): 837-842.
- [22] 刘佳, 龚芳, 何贤强, 等. 光源偏振对水体颗粒后向散射系数测量的影响 [J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 36(1): 31-37.
- [23] 张琨, 陈晓玲, 黄珏, 等. 鄱阳湖丰、枯水期悬浮体浓度及其粒径分布特征 [J]. 华中师范大学学报: 自然科学

版 2014 48(5): 743-750.

[24] Slade W H ,Boss E. Spectral attenuation and backscatter-

ing as indicators of average particle size [J]. Applied Optics 2015 54(24): 7264-7277.

The Simulation and Calibration of Backscattering Coefficient of the Turbid Waters in Poyang Lake

LIU Yao^{1 2} ,JIANG Hui²

(1. School of Resources Environmental and Chemical Engineering ,Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization ,Ministry of Education ,Nanchang University ,Nanchang Jiangxi 330031 ,China; 2. National and Local Joint Engineering Laboratory of Hydraulic Engineering Safety and Efficient Utilization of Water Resources in Poyang Lake Basin ,Nanchang Institute of Technology ,Nanchang Jiangxi 330099 ,China)

Abstract: Backscattering coefficient is an important parameter of water color remotely-sensed retrieval model in lake ,there are many factors influencing the backscattering characteristics of case II turbid water ,and backscattering coefficient is more difficult measuring than other inherent optical parameters. The optics parameters are measured from Poyang Lake ,and the backscattering coefficient is estimated by the semi-analysis model ,thus the reasonable backscattering probability is obtained ,and the accurate correction of the backscattering coefficient is realized. The results show that the backscattering probability of Poyang Lake changes with the increase of wavelength ,and shows a quadratic function of wavelength. The backscattering probabilities of 420 ,442 ,470 ,510 ,590 and 700 nm respectively are 0.007 0 ,0.012 6 ,0.013 9 ,0.016 9 ,0.023 8 ,0.026 9 with low and medium turbid waters in Poyang Lake , and the mean value is 0.016 9 ,and the standard deviation is 0.008. While total suspended particulate matter concentration in high turbidity waters is greater than $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,the backscattering probability of green light to red light band is more stable ,which is similar with values from low and medium turbid waters ,and the range of purple light to blue light is unstable ,so this range is key for the backscatter probability adjustment of turbidity and clear water bodies ,the backscattering probabilities of 420 and 442 nm are respectively adjusted to 0.006 1 and 0.010 2 with high turbid waters in Poyang Lake. The research results can provide the support of research ideas ,methods and data for accurately calibrating the backscattering coefficient of turbid water bodies in lakes.

Key words: backscattering coefficient; semi-analytical approach; backscattering probability; total suspended particulate matter; Poyang Lake

(责任编辑: 刘显亮)