

湖库蓝藻水华及湖泛短期预测预警 技术规范

Technical specification for short-term forecast and early warning of algal bloom and
decayed black water

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 预测预警技术方案	1
5 预测预警工作流程	9
6 精度评估与质量控制	10
参考文献	12

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由江苏省生态环境厅提出。

本文件由江苏省生态环境厅归口。

本文件起草单位：中国科学院南京地理与湖泊研究所、南京中科深瞳科技研究院有限公司、江苏省水文水资源勘测局。

本文件主要起草人：秦伯强、李未、吴挺峰、朱广伟、张运林、崔驰潇、李慧赟、李枫、张建华、闻亮。

本文件为首次发布。

湖库蓝藻水华及湖泛短期预测预警技术规范

1 范围

本文件规定了湖库蓝藻水华及其引起的湖泛事件的实施短期预测预警工作中的术语与定义、技术方案、工作流程、精度评估与质量控制内容及方法。本文件适用于湖泊、水库等内陆水体蓝藻水华及其引起的湖泛事件的短期预测与预警。河流、池塘等类似水体蓝藻水华预测预警、水草腐烂或外源有机质输入引起的湖泛预测预警也可参考本文件。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

HJ 1098 水华遥感与地面监测评价技术规范
江苏省太湖蓝藻暴发应急预案 苏政办函[2021]108号
江苏省太湖湖泛应急预案 苏政办函[2020]47号

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

蓝藻水华 cyanobacterial bloom

内陆水体湖库中蓝藻门某种或多种优势种属大量繁殖并引起水体表面有肉眼可见蓝藻颗粒、表层水体叶绿素a浓度达到20 $\mu\text{g/L}$ 以上、蓝藻细胞密度达到1000万个/L以上的生态现象。

3.2

湖泛 black water event

湖库中因蓝藻堆积物、水草残体、烂泥上翻及河流有机质输入等引起的水体有机质大量分解、水色黑、表层水体溶解氧浓度低于2.0 mg/L ，并伴随有机硫化物等恶臭性气味释放的水环境现象。

3.3

水质短期预测预警 short-term forecasting and warning of water quality

运用数值模拟、机器学习、多元统计等方法对湖库未来3~7天的蓝藻水华、湖泛等水质风险概率、位置、规模等实施预测，并结合水体水质保障目标实施风险预警的技术方法。

3.4

浮藻指数 floating algae index

利用遥感影像多个波段反射率信息，构建光谱组合估算模型，解译湖库水体表层漂浮及能对表层水色产生影响蓝藻等藻类生物量高低的指数。

4 预测预警技术方案

4.1 基本原则

4.1.1 效率优先原则

蓝藻水华及湖泛的短期监测预警是一种快速预判未来几天湖库蓝藻水华风险的技术方法，在模型的驱动数据获取、模型的运算时间均应考虑时效性，一般驱动数据的监测完成时间小于8小时，模型运算时间小于2小时。

4.1.2 最简化原则

蓝藻水华及湖泛预测预警方法、模型应尽可能简单，包括模型方法、驱动信息、运算过程、结果判别，在满足结果精度要求的情况下，尽量使用方法简单、数据易得的预测预警方法。

4.2 预测预警技术流程

预测预警的技术流程如图1。

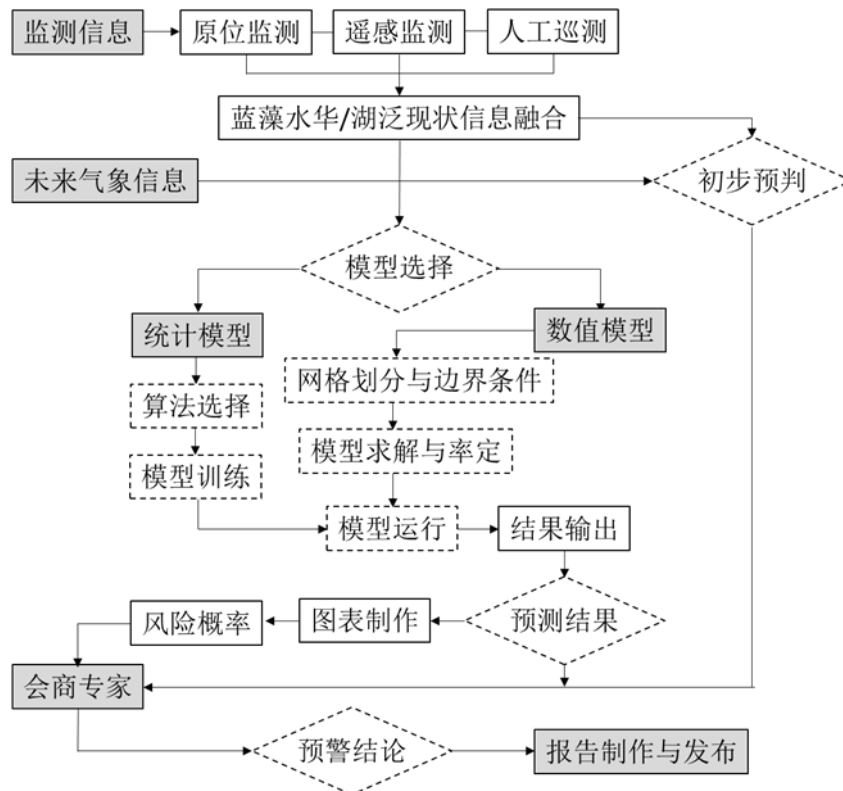


图1 蓝藻水华及湖泛预测预警技术流程图

4.3 水质预见期设置

根据蓝藻水华及湖泛的变化时间特征及响应保障能力，蓝藻水华及湖泛预测预警的预见期宜为3~7天，预测趋势的时间间隔宜设为1天，必要时可缩短为1 h。

4.4 预测内容设置

4.4.1 预测指标

4.4.1.1 蓝藻水华的强度表征指标可以是藻类细胞密度、浮游植物叶绿素 a、浮藻指数或其他能反映蓝藻水华严重程度的生物量或相关替代指标。湖泛强度主要是水体溶解氧浓度及其低于 2.0mg/L 的水域面积等指标。

4.4.1.2 本文件中推荐使用的蓝藻水华强度指标为叶绿素 a 浓度及水体藻密度，湖泛强度指标为溶解氧浓度及低于 2.0mg/L 的水域面积。

4.4.2 预测空间范围

预测空间范围因湖库的水质敏感性等湖库管理需要而定，可以是关键水质断面、湖库的敏感湖区，也可以是整个湖区。饮用水源地取水口、景观水域、生态敏感区等一般是预测的重点区域。对于目标水域面积较大、垂向分层明显等水体，宜使用二维或者三维水动力模型，进行分层日变化验算和预测。

4.5 模型运算及辅助判断的环境参数准备

4.5.1 蓝藻水华及湖泛强度表征及相关水质风险参数

4.5.1.1 参数选择依据

水华发生应根据3.1中蓝藻水华表观特征及表层水体中水华强度指标进行判别，即现场表观目测、水体叶绿素a浓度、藻类细胞密度、遥感反演识别等。对于具体水体，首先应当对上述各信息进行进一步比对分析，以水体藻类细胞密度和水体叶绿素a为主，构建蓝藻水华表征参数体系。

4.5.1.2 蓝藻水华表征参数

蓝藻水华基本表征参数一般为水体叶绿素a浓度、藻类细胞密度、浮藻指数等。在监测能力有保障的情况下，可以增加蓝藻在藻类中的占比、蓝藻优势种等参数。表征参数可以由不同监测方法获得，如水样采集后的实验室分析、显微镜镜检、原位在线监测设备、现场仪器测定等。使用前应通过比对，获得监测方法之间的差异，并在预测预警结果分析中予以考虑。

4.5.1.3 湖泛表征参数

湖泛的表征参数为表层水体溶解氧浓度。条件许可的情况下，可以增加水体透明度、氨氮浓度、高锰酸盐指数、硫化物浓度、二价铁浓度、有机硫浓度、 β -紫罗兰酮、 β -柠檬醛等辅助判别。

4.5.1.4 蓝藻水华及湖泛遥感监测信息

在有条件的湖库，可以采用遥感监测获取湖库蓝藻水华及湖泛现状信息，包括水华面积、叶绿素a浓度、浮藻指数等，以及湖泛的空间范围、黑度等湖泛强度表征信息。

4.5.2 气象与水文参数

4.5.2.1 蓝藻水华及湖泛预测预警的基础气象参数为未来 3~7 天的气温。为提升预测精度，预测模型运行及预警报告编制中可使用的气象参数有气温、气压、风速、风向、相对湿度、太阳辐射、日照时数、降雨量、相对湿度等。

4.5.2.2 蓝藻水华及湖泛预测预警的基础水文参数为未来 3~7 天的雨强概率。为提升预测精度和满足不同类型模型需要，水文参数可包括模型构建中的水文参数及模型运行中的水文参数，出入湖河道的空间位置、流量，湖库的换水周期、水位、水温、水深，水动力参数如波高、波周期、流速、流向等。部分气象、水文参数可以通过相关参数进行估算，如未来 7 日的太阳辐射状况、日照时数、降雨量等可以根据天气预报提供的气温、阴晴状况、风速、降雨信息估算，出入湖流量可以通过降雨量进行估算。

4.5.3 水体理化参数

4.5.3.1 预测预警模型构建与运行中需要对目标湖库水体理化参数进行调研与准备，从参数用途上可分为模型构建所需参数、模型运行所需参数，以及预测结果研判所需参数。

4.5.3.2 预测预警所需的基础湖库物理参数包括水深、透明度。为提高模型精度常用的物理参数还包括水下地形、底泥性状、水体热分层状况、悬浮物浓度、水下光场、水体电导率等。

4.5.3.3 预测预警所需的基础湖库化学参数包括总磷浓度、氨氮浓度、总氮浓度、溶解氧浓度等。为提高模型精度还可以增加总溶解性磷浓度、硝酸盐离子浓度、总溶解性氮浓度、高锰酸盐指数等水化参数，以及关键水域的浮泥厚度、表层底泥中有机质含量、总氮含量、总磷含量、生物活性磷含量等。

4.6 模型分类与选择

4.6.1 模型分类

蓝藻水华及湖泛的预测预警模型分为数值模型和统计模型两类。可根据具体湖库的数据保障情况、目标水体的重要程度、技术队伍状况等选择合适的模型方法。

4.6.2 数值模型

4.6.2.1 数值模型是基于湖库水文水动力、水生态的机理过程构建数值方程，编写方程求解模型，在监测数据及未来气象等信息驱动下求解方程，实现对未来藻类水华及湖泛情势预测的定量方法。

4.6.2.2 该类模型适用于湖库面积大、水文水动力数据翔实、蓝藻水华及湖泛的时空异质性大、水动力的输移和扰动作用不可忽视的水体。

4.6.3 统计模型

4.6.3.1 统计模型是基于蓝藻水华或湖泛特征指标自身的长期变化规律，运用机器学习等技术构建蓝藻水华及湖泛特征指标的变化规律模型。特征数据可来源于高频人工监测、自动在线监测、遥感监测。

4.6.3.2 通过选择恰当的算法，如机器学习算法、贝叶斯统计模型等，获得蓝藻水华或湖泛特征指标的长期变化规律，并依据在线监测数据或其他高频获取数据的时间序列特征，结合未来气象水文信息的预测结果，对未来3~7天蓝藻水华或湖泛情势进行定量预测。

4.6.3.3 该模型适用于目标水域面积较小，或者对空间格局信息没有要求的情况。

4.6.3.4 统计模型方法可以单独使用，也可以与数值建模方法结合使用，作为数值建模方法在局部水域的有效补充。

4.7 数值模型构建与运行的一般要点

4.7.1 湖库水体的空间网格划分

4.7.1.1 选取合适的地理坐标将目标湖库的空间范围数字化。一般可根据湖库岸线的曲折程度及运算效率需求，将湖库水体实施矩形网格划分、正交网格划分或者三角形网格划分。

4.7.1.2 网格划分时应兼顾模型运行的结果精度、运行稳定性及运算效率需求，实施空间不均匀的网格尺寸划分。

4.7.1.3 对于岸线复杂区、蓝藻水华及湖泛十分敏感的湖区，应适当加密网格剖分。

4.7.1.4 网格加密时可采用插值算法（如Kriging插值法）为水平空间上调查数据缺失的部分进行水深等属性的赋值。

4.7.1.5 由于蓝藻在垂直方向上常存在强烈的分层现象，大多数湖库都需要进行垂向分层。应结合运算效率和稳定性，选择合适的垂向分层数量。

4.7.2 确定主要模型方程组

数值模型应结合文献,为水动力过程、藻类生长过程、溶解氧消耗过程等编写数学方程组,以表征、求解湖库中藻类及相关理化环境的动态变化。常见的方程组包含描述水体运动的控制方程组、模拟水质参数在水动力作用下运移的物质输运方程组、模拟蓝藻生物量和溶解氧浓度时空动态变化的藻类生长方程和溶解氧生消方程、模拟蓝藻颗粒空间位置随时间变化的运动方程组等。具体方程组因具体模型有较大差异。以常用的水动力Navier-Stokes方程组为例,主要方程包括:

(1) 连续方程:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

(2) 动量方程:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -fv - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -fu - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

(3) 静压方程:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

u, v, w ——流速在 x, y, z 三个方向上的分量;

t ——时间;

ρ ——水体的密度;

f ——科里奥利力;

g ——重力加速度;

P ——水压,

A_h, A_v ——水平和垂直方向的紊流粘度。

在水动力要素影响下,水质参数模拟的输运方程示例如方程(5):

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial (uC)}{\partial x} + \frac{\partial (vC)}{\partial y} + \frac{\partial (wC)}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial x} \left(Dh \frac{\partial C}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left(Dh \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left(Dv \frac{\partial C}{\partial z} \right) = S \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

C ——为藻类生物量、溶解性总磷、溶解性总氮以及溶解氧等水质变量;

S ——各变量的源汇项;

h ——水深。

4.7.3 模型初始条件设置

4.7.3.1 在蓝藻水华及湖泛预测数值模型运行前,应提供起始时刻预测参数及中间过程参数的初始条件。

4.7.3.2 初始值可以是单一监测方法获得的数据,如人工采样监测、自动在线监测、卫星遥感监测等,也可以多种监测方法获得的综合数据。

4.7.3.3 对于不同监测方法获得的综合数据，需要进行数据融合，即对全部或者部分时间段、全部或部分空间上的数据互相校验，选取质量高的监测数据作为融合后的初始数据。

4.7.3.4 如果有环境水质监测断面或相关生态观测研究站的长期监测数据，数据融合时应优先与自动监测断面藻类细胞数或生态观测站长期观测数据进行融合、统一。

4.7.3.5 初始数据通过插值算法插值到模拟水域的全部空间网格上，形成数值模型运算的初始条件。

4.7.4 模型的边界条件设置

4.7.4.1 模型边界条件的内容

4.7.4.1.1 蓝藻水华及湖泛预测数值模型启动前需要设定的边界条件包括水气边界、出入流侧边界和水土边界等湖库生态系统的外部物质和能量条件。

4.7.4.1.2 水气边界条件包括气温、光照、降水量、营养盐沉降通量等能量和物质交换条件。

4.7.4.1.3 出入流侧边界条件包括入流位置及流量、出流位置及流量、入流营养盐通量、出流营养盐通量等。

4.7.4.1.4 水土界面的边界条件包括泥沙及营养盐沉降通量、底泥再悬浮通量、营养盐释放通量等。

4.7.4.2 模型边界条件参数的获取与确定

4.7.4.2.1 气象信息获取与处理

4.7.4.2.1.1 边界条件中气象要素的获取方法一般有以下两种：

1) 自行构建中尺度天气预报数值模型获取；

2) 气象信息网站上查询提取。

4.7.4.2.1.2 气象信息网站上提取的气象信息可进行适当转化，比如根据阴、雨、晴、多云等信息，结合气温与季节特征，对太阳辐射信息进行估算。

4.7.4.2.2 营养盐干湿沉降信息

营养盐干湿沉降通量可根据区域干湿沉降观测数据或文献数据等结合降雨信息等进行估算获得。

4.7.4.2.3 出入流信息

4.7.4.2.3.1 出入流侧边界的参数获取是由地表径流（主要为河道）输入到湖库藻型生态系统的水文水质时间序列估算获得，也可采用入湖河道或者河口布设的水质自动监测数据平台直接提取。

4.7.4.2.3.2 入流流量数据可根据历史数据获得降雨-径流关系式后通过降雨量估算，也可以通过构建流域水文模型模拟获得。

4.7.4.2.4 水土界面条件参数

水土边界条件参数通过水土界面进入湖库藻型生态系统的物质和能量时间序列获取，可通过历史数据统计分析或构建地下水模型、内源释放模型进行预测估算。不同方案获取的边界条件参数需要经过相互校验之后，通过内插成时间上与数值模型计算步长一致的时间序列。

4.7.5 模型求解过程

4.7.5.1 蓝藻水华、湖泛表征指标可采用有限差分法或者有限体积法等求解。

4.7.5.2 模型中的矢量参数和标量参数可采用交错格式：即标量参数设置在网格中心，矢量参数设置在网格边界中心位置处。差分格式可以采用中心差分，向前差分或者向后差分。垂直方向上，宜采用隐含差分法。

4.7.5.3 基于水动力基础的生态模型运行宜按照设定的时间步长先计算水动力场的变化。然后分别计算温度、营养盐、藻类等差分方程，求解相关变量的预测结果。

4.7.5.4 多方程、多过程求解时，时间步长与空间网格分辨率应匹配。

4.7.5.5 模型经调试编译后，宜做成软件包，方便不同层级的技术人员操作。

4.7.6 模拟预测结果的输出

4.7.6.1 模型运行后的直接结果是一组或者多组数据，应通过编写程序将数据进行加工整理，提取重要的结论信息，绘制直观的数据图。

4.7.6.2 应将各个格点叶绿素 a 浓度、溶解氧浓度、流速、流向、氮、磷等营养盐浓度输出，并通过数据读取及绘图软件将预测区域表层水体叶绿素 a 浓度、溶解氧浓度的空间场绘制成图，必要的情况下对不同层位的模拟运算结果绘制成图，支撑进一步专家研判、预警结论制定，以及风险的成因分析等工作。

4.8 机器学习模型（统计类预测模型）的构建与运行要点

4.8.1 机器学习算法选择

根据预测目标湖库生态特征、湖库形态、蓝藻水华风险的促发条件、驱动数据的积累情况、监测数据的频次及持续支撑能力、蓝藻水华或湖泛的发生规律特点等数据基础，应充分考虑影响预测参数的各种因素，合理选择机器学习模型方案，采取合适的方法确定输入层单元内容、隐含层单元个数以及输出层单元内容，调整层与层之间连接的权值和偏置值，设计出最优的网络结构，提高预报结果的可靠性和预报精度。

4.8.2 数据准备

4.8.2.1 收集预测目标湖库水体中浮游植物叶绿素 a、藻类细胞密度、藻类群落结构、溶解氧浓度、水体理化指标等参数及目标湖库流域气象水文参数的长序列数据。

4.8.2.2 一般数据序列的时长应在 1 年以上，最好在 10 年以上。

4.8.2.3 应通过初步分析数据序列中预测参数自身的变化规律及预测参数与中间过程参数的关联特征，筛选关键参数，减少模型的数据需求。

4.8.2.4 应通过构建预测参数与关键参数之间的线性或非线性关系，对数据库质量进行分析，对数据进行适当清洗，剔除不合理数据。若观测数据有缺失，可设置适合的窗口长度，在窗口内采取移动中位数的方法对数据进行插值补充。

4.8.2.5 对于高频监测数据，可采用滑动平均法，将观测数据的时间间隔控制在 6~24h 之间，具体的时间间隔应当与预测结果的时间间隔相同。

4.8.3 模型初始化

根据具体的机器学习算法，对模型软件进行初始化，确定模型的输入层、隐含层及输出层的各项参数，对各层参数的权值及阈值进行设定，避免输入数据波动引起的模型预测结果异常。

4.8.4 模型训练与结果验证

4.8.4.1 利用目标湖库的历史数据库，对基于数据的蓝藻水华及湖泛预测模型进行训练。

4.8.4.2 随机选取样本总数的 50%~70%作为训练集样本，输入机器学习模型的网络，根据输出值与测定值之间的误差反复调整权值和偏置值。

4.8.4.3 模型构建完成后，选取样本总数量中其余的 15%~25%的数据，作为验证集样本输入网络，用于测度在训练过程中网络泛化能力的表现，防止训练中发生过拟合现象。

4.8.4.4 根据测度结果，对模型参数、权值、偏置值进行调整，提高预测结果的合理性。

4.8.4.5 最后选取样本总数量的 15%~25%，作为测试集样本输入网络，用于训练期间及训练后的独立样本数据，对机器学习模型的网络性能进行测试、分析及评价，根据评价结果再对模型进行适当优化，并作为预测结果分析、风险预警研判时的参考依据。

4.8.5 模型运行

运用训练、调试好的机器学习模型，将最新获得的输入参数，如自动监测系统获得参数，或者遥感影像反演参数等，输入到机器学习模型中，进行快速运行、计算，获得预测时段的蓝藻水华、湖泛信息结果。

4.8.6 模型输出与优化

4.8.6.1 将模型运行的未来蓝藻水华及湖泛预测结果进行比对、统计及图表制作。

4.8.6.2 输出结果的数据及图表中，时间间隔应控制在 6~24h。

4.8.6.3 新的监测数据获得之后，宜及时对前次预测结果进行比对，用机器算法不断优化模型。

4.8.6.4 至少每年要对全年的预测与实测数据进行比对，优化算法，对算法中的阈值、变量等进行系统校准，提高算法精度。

4.9 风险评估及预警信息制作

4.9.1 蓝藻水华及湖泛风险概率计算

利用预测模型计算出的叶绿素a浓度等藻类生物量指标，以及溶解氧浓度等湖泛表征指标，对照《江苏省太湖蓝藻暴发应急预案》中关于蓝藻水华分级确定的藻类细胞密度或叶绿素a浓度阈值，以及江苏省太湖湖泛应急预案中关于湖泛确定时的溶解氧浓度阈值，对蓝藻水华及湖泛的发生风险进行初步判断。然后，结合气象、水文、湖体理化指标等环境信息，对目标格点或水域的蓝藻水华或湖泛发生风险概率进行二次研判，以考虑气象、水文条件对相同细胞密度、叶绿素a浓度、溶解氧浓度对应风险等级的干扰。推荐选取水体中藻类浓度、溶解氧浓度指标以及在实际观测中较易获取的风速、降雨等气象因子，参考公式（6）中的气象参数关联概率经验公式，计算预测格点或水域内的蓝藻水华或者湖泛发生概率。也可根据具体模型、具体水体的蓝藻水华状况，自行构建风险概率估算方法或权重系数。

$$F = f_1(N_{1t}) \times f_2(V) \times f_3(R) \times f_4(N_{2t}) \dots\dots\dots (6)$$

式中， $f_1(N_{1t})$ 为由 t 时刻藻类数量引起的概率， $f_2(V)$ 为由风速条件引起的概率， $f_3(R)$ 为由降雨条件引起的概率， $f_4(N_{2t})$ 为由 t 时刻溶解氧浓度引起的概率。四种因子的概率赋值可参照表1，也可以根据湖库实际情况因地制宜确定。

表1 预测参数数值及气象等条件参数状况构建的蓝藻水华及湖泛风险概率计算权重表

叶绿素 a /($\mu\text{g/L}$)	$f(N_{1t})$	风速 /(m/s)	$f(V)$	降雨	$f(R)$	溶解氧 /(mg/L)	$f(N_{2t})$
≥ 60.0	1	0.3~3.3	1	晴、多云	1	1.0	1
50.0	0.9	3.4~5.4	0.9	阴、小雨	0.9	2.0	0.8
40.0	0.8	5.5~7.9	0.8	阵雨、雷阵雨	0.8	4.0	0.6
20.0	0.7	8.0~10.7	0.7	中雨	0.7	6.0	0.4
10.0	0.4	>10.8	0.5	大、暴雨	0	8.0	0

4.9.2 蓝藻水华预测面积估算及风险等级确定

- 4.9.2.1 应根据预测水体的风险承受程度，对目标水域进行蓝藻水华敏感度风险分区。
- 4.9.2.2 对于具有水源地功能水域、珍稀物种栖息地、公众休闲重点场所等，应当设置更为严格的蓝藻水华强度容忍度。
- 4.9.2.3 在单位格点蓝藻水华概率的基础上，通过格点数量及位置，对蓝藻水华面积进行统计，并结合发生位置的风险控制要求等信息，确定蓝藻水华的预警风险等级。
- 4.9.2.4 按照 4.9.1 的单一格点或水域蓝藻水华风险概率系数，统计大于概率值超过特定概率值（一般讲单点概率大于 50% 的格点进行统计）格点数或水域数，按照模型的空间网格化划分，或者机器学习方法中单个断面代表的水域面积，估算蓝藻水华发生面积。
- 4.9.2.5 具体的风险概率值应根据各个湖库的模型结果进行率定、修订。按照预测目标的蓝藻应急预案等级划分，如太湖蓝藻暴发应急预案，包括面积大小、发生敏感区位置等信息，确定该蓝藻水华的发生强度及预警风险等级。
- 4.9.2.6 蓝藻水华的风险等级宜按照红色、橙色、黄色、绿色、蓝色等划分，分别对应于重度水华、中度水华、轻度水华、少量水华、无风险等，以便于公众识别。

4.9.3 湖泛发生面积估算及预警风险确定

- 4.9.3.1 应根据预测水体的风险承受程度，对目标水域进行湖泛敏感度风险分区。
- 4.9.3.2 对于具有水源地功能水域、珍稀物种栖息地、公众休闲重点场所等，应当设置更为严格的湖泛强度容忍度。
- 4.9.3.3 与蓝藻水华面积估算及预警风险等级确定的原则类似，按照 4.7.1 的单一格点或水域的湖泛风险概率系数，统计大于概率值超过特定概率值（如 50% 以上）格点数或水域数，按照模型的空间网格化划分，或者机器学习方法中单个断面代表的水域面积，估算湖泛发生的面积值。
- 4.9.3.4 参照相关湖库水质风险空间分级，结合预测的湖泛面积，确定湖泛预警风险等级。
- 4.9.3.5 湖泛风险等级宜按照红色、橙色、黄色、绿色、蓝色等划分，分别对应于重度湖泛风险、中度湖泛风险、轻度湖泛风险、轻微湖泛风险、无风险等，以便于公众识别。

5 预测预警工作流程

5.1 监测数据整理及预判

根据预测模型的需求收集湖库中蓝藻水华及湖泛现状信息、相关气象与水文、水质及生物等相关信息，以及未来 3~7 天天气预报信息，完成预测模型所需数据整理及融合，并基于目标湖库长期的蓝藻水华及规律，对蓝藻水华及湖泛的后期发展趋势做出初步的专业预判。

5.2 预测模型运行及结果分析

运用数值模型或统计模型，对未来预见期的蓝藻水华表征参数、湖泛表征参数等进行运算、求解，获得预见期的逐时或逐日蓝藻水华表征参数或湖泛的表征参数时间序列，绘制相关结果的时空序列图，结合相关湖库蓝藻水华及湖泛的历史经验，初步确定目标湖库蓝藻水华或湖泛的变化趋势、强度及时空位置。

5.3 风险评估及预警报告制作

5.3.1 按照模型预测结果，结合湖库本身的蓝藻水华及湖泛敏感区划分，开展湖库蓝藻水华或湖泛发生的风险概率、预计规模、叶绿素 a 浓度等信息的超标强度等分析，结合目标水体的蓝藻水华或湖泛等

级划分方案，绘制不同风险等级的水域分布及其变化过程图，并按照一定的预警报告规范，整理、填报蓝藻水华及湖泛预测预警报告。

5.3.2 信息应包括预见期时间、当前关键信息状态值、未来气象条件、预测结果数据及图表、风险等级判别与色彩、预测预警结论、应对建议、报告制作单位及制作人等信息。

5.4 内部会商及报告发布

5.4.1 宜由湖库管理部门牵头成立预测预警报告综合研判专家组，可包括蓝藻水华及湖泛监测人员、数据分析人员、模型运行技术人员、蓝藻水华及湖泛研究专家、相关水体环境管理人员及决策人员等，对初步制作的蓝藻水华及湖泛预测预警报告进行会商，纠正数据、结果、结论中的错误或者不合理之处，斟酌报告语句及结论。

5.4.2 在预警结论中可将风险形成的原因进行简单评述，以方便告知用户风险成因，并尽量给出相应的防控措施建议。

5.4.3 由主管部门或指定人员向有关部门或者有关公众发布。公众旅游的敏感水域的预警信息在征得主管部门许可后，可采取微信推送、旅游网站链接等形式进行发布，以方便公众及时了解。

6 精度评估与质量控制

6.1 精度评估内容

6.1.1 蓝藻水华及湖泛预测预警技术应定期进行预测结果精度及预警质量评估，每年应当对技术进行评估，修订完善模型参数。

6.1.2 评估内容包括预报的叶绿素 a 浓度、溶解氧浓度、蓝藻水华或湖泛发生的位置、面积、强度等预报结果、预警等级等。

6.2 精度评估方法

6.2.1 将后期实际测定、遥感监测等获得的蓝藻水华及湖泛表征参数叶绿素 a 浓度、溶解氧浓度等信息，与预测预警报告发布的预测结果进行比对，分 24 小时预见期、48 小时预见期、72 小时预见期、168 小时预见期等进行分段精度评估。也可以单点在线自动监测值进行分段精度评估。

6.2.2 数据对比的定量分析评估可以包括叶绿素 a 浓度、溶解氧浓度等，预报统计评估是指通过模型预报结果与实况的偏差、误差和相关性等方面的分析。评估指标可包括标准化的平均偏差、均方根误差及相关系数等。

6.3 预测风险概率精度的评估方法

6.3.1 通过后期实际监测结果与预测报告结果相对比，针对蓝藻水华及湖泛发生概率进行比对分析。

6.3.2 如果某段水域水华或者湖泛预报概率大于 50%且真实发生了水华或者湖泛，一般可定为预报正确；如果某段水域预报概率小于 50%且没有发生湖泛，一般也定为预报正确；如果某段水域水华或者湖泛预报概率大于 50%却没有发生水华或者湖泛，则判定预报错误；如果某段水域水华或者湖泛预报概率小于 50%却发生了水华或者湖泛，也判定预报错误。

6.3.3 统计预报正确样本与实况总样本的比值，即为概率预报正确率。

6.4 预测面积精度的评估方法

6.4.1 通过后期实际监测结果与预测报告结果相对比，针对蓝藻水华及湖泛发生面积进行分期比对分析。

6.4.2 根据 HJ 1098 中 6.3 节水华程度分级标准，按照蓝藻水华面积占水面的比例，将水华程度分为 I-V 五个级别。

6.4.3 根据《江苏省太湖湖泛应急预案》中湖泛事件分级，按照湖泛面积占水面的比例，可将湖泛程度分为 I-III 三个级别。

6.4.4 对照水华、湖泛发生面积与实况结果，若水华、湖泛预报面积与实际发生面积在同一级别内，则说明预报正确，反之则是预报错误。

6.4.5 统计预报正确样本与实况总样本的比值，即为发生面积预报正确率。

6.5 质量保障

6.5.1 预测预警业务化运行中，蓝藻水华及湖泛的预测精度应大于 60%，方可对外发布。

6.5.2 当预测精度低于 60% 时，应及时对模型进行优化。

参 考 文 献

- [1]GB 3838 地表水环境质量标准
 - [2]DB32/T 3202 湖泊水生态监测规范
 - [3]DB32/T 4005 淡水浮游藻类监测技术规范
 - [4]DB32/T 4187 湖泛巡测规范
-