

### 浮游植物人工智能检测技术规范 微流道成像法

Technical regulations for phytoplankton detection using artificial intelligence—Microchannel imaging

2026 - 05 - 27 发布

2026 - 09 - 01 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 方法原理.....	2
5 检测流程.....	2
6 样品准备.....	3
7 样品检测.....	3
8 群落特征参数计算.....	5
9 成果形式.....	6
10 质量保证与质量控制.....	6
附录 A（资料性） 浮游植物优势属名录 .....	8
附录 B（资料性） 浮游植物分类计数汇总表 .....	9
参考文献.....	10

## 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。

本文件由北京市水务局、北京市生态环境局提出。

本文件由北京市水务局、北京市生态环境局归口。

本文件起草单位：北京市水文总站（北京市水务局水质水生态监测中心）、北京市生态环境监测中心、武汉大江锐视生态科技有限公司。

本文件主要起草人：刘一宏、张淑珍、孙成华、李斌、王亚奇、王浩、杜泽瑞、黎甜、杨蓉、王东霞、郭伟、李心月、常淼、陶蕾、刘浩兵、王英才、颜旭、姜兵琦、徐冉、陶亮、孙春媛。

# 浮游植物人工智能检测技术规范

## 微流道成像法

### 1 范围

本文件规定了使用微流道成像法开展浮游植物人工智能检测的检测流程、数据分析、质量保证和质量控制等技术要求。

本文件适用于河流、湖泊、水库和渠道等地表水体的浮游植物检测。

### 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 1216 水质 浮游植物的测定 0.1 mL计数框-显微镜计数法

HJ 1295 水生态监测技术指南 河流水生生物监测与评价（试行）

HJ 1296 水生态监测技术指南 湖泊和水库水生生物监测与评价（试行）

SL 733 内陆水域浮游植物监测技术规程

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**微流道** microchannel

用于处理或操纵微小流体、尺寸从几微米到几毫米的微管道。

#### 3.2

**浮游植物** phytoplankton

悬浮于水中生活的微小藻类，亦称浮游藻类。通常包括蓝藻门、绿藻门、硅藻门、隐藻门、甲藻门、金藻门、黄藻门、裸藻门等，不包括细菌和其他植物。

[来源：DB11/T 1721—2020，3.1]

#### 3.3

**人工智能检测** artificial intelligence detection

使用人工智能算法对采集到的图像或视频数据进行自动化处理、目标检测、特征分析与量化的综合技术。

#### 3.4

**人工智能检测系统** artificial intelligent detection system

基于人工智能检测技术实现自动化检测的系统，包含硬件设备、算法模型与软件平台等模块。

#### 3.5

**浮游植物细胞密度** phytoplankton density

单位体积水体中全部或某种（类）浮游植物的细胞数，单位为cells/L。

### 3.6

**浮游植物生物量** phytoplankton biomass

单位体积水体中全部或某种（类）浮游植物的鲜重，单位为mg/L。

### 3.7

**浮游植物优势种** dominant species of phytoplankton

浮游植物样品中占比超过总细胞密度15%的种类。

[来源：SL 733—2016，3.2，有修改]

### 3.8

**准确率** accuracy rate

预测类别和真实类别相同的样本数占全部样本数的比率。

[来源：GB/T 41864-2022，3.9.22]

### 3.9

**召回率** recall

被正确预测的正样本占全部正样本的比率。

[来源：GB/T 41864-2022，3.9.20]

### 3.10

**精度** precision

预测类别为正样本的集合中真实类别为正样本的比率。

[来源：GB/T 41864-2022，3.9.8]

### 3.11

**平均精度均值** mean average precision (mAP)

对于不同类别的平均精度计算平均值得到的性能评价指标。

[来源：GB/T 41864-2022，3.9.15，有修改]

### 3.12

**重叠度** intersection over union

预测范围和标记范围的交叠率，即两个区域重叠的部分除以两个区域的集合部分得出的结果。

[来源：GB/T 41864-2022，3.9.4，有修改]

### 3.13

**群落特征参数** community characteristic parameters

用于描述生物群落组成、结构及功能的特征参数，常包含物种细胞密度、生物量、丰富度指数、多样性指数、均匀度指数等指标。

## 4 方法原理

借助微流道显微成像技术获取浮游植物样品多视野、多液层的高分辨率图像数据，应用人工智能检测算法对浮游植物个体进行自动定位与种属判别，开展特征分析与量化，实现细胞计数与多种指标的自动化计算。

## 5 检测流程

将前处理后的浮游植物样品注入微流道，通过显微镜在多个视野及不同液层深度采集图像。利用人工智能检测系统，依次进行图像预处理、目标检测、特征分析与量化，实现浮游植物种类的自动判别与细胞计数，进一步计算种类数、细胞密度、生物量并确定优势种。浮游植物人工智能检测流程见图1。

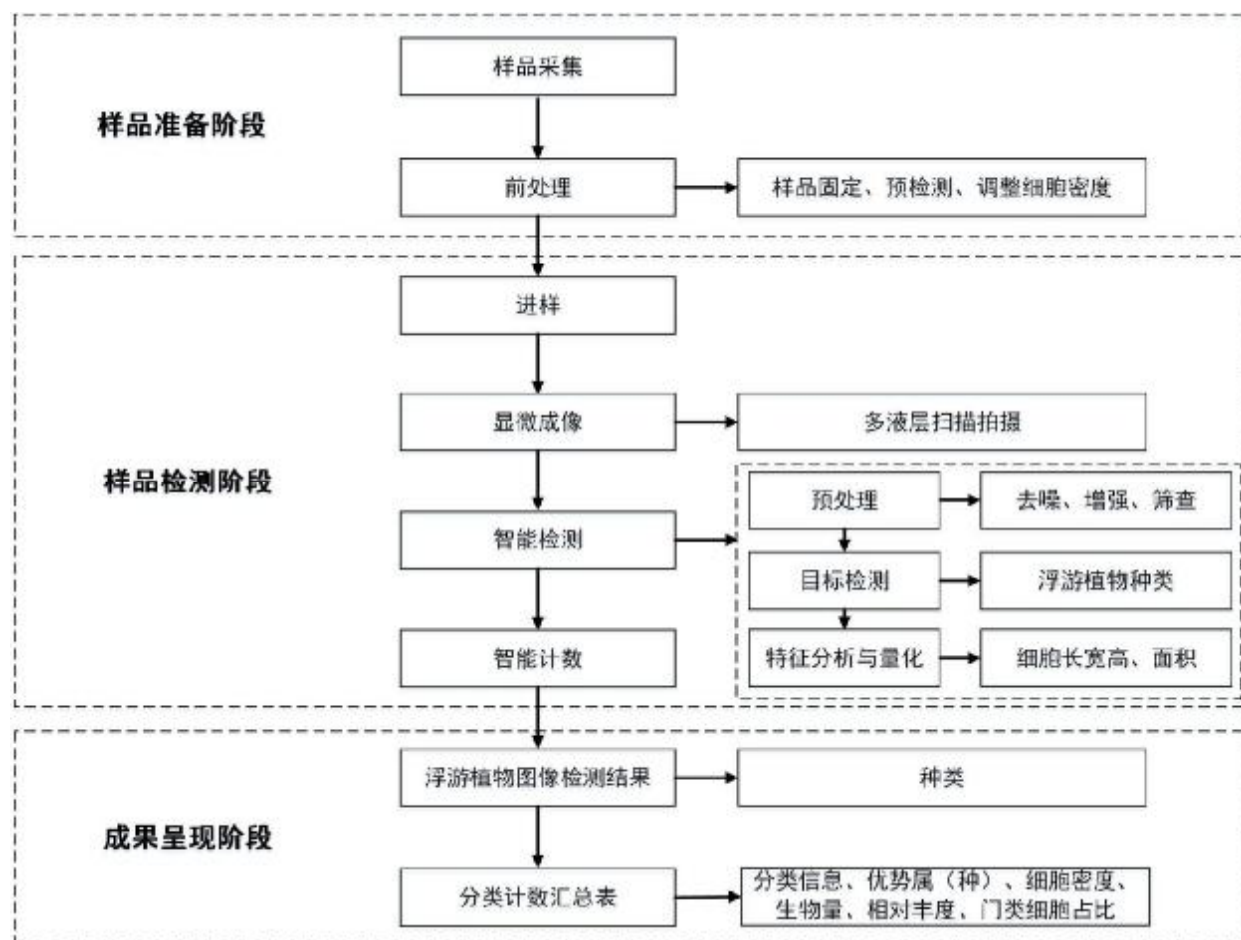


图1 浮游植物人工智能检测流程

## 6 样品准备

### 6.1 样品采集

样品的采集和保存应符合HJ 1216、HJ 1295、HJ 1296和SL 733的相关规定要求。

### 6.2 前处理

参考HJ 1216、SC/T 9402和DB11/T 1721进行浮游植物样品固定和预检测，根据预检测结果调整细胞密度，应使前处理后加入微流道中的样品浮游植物细胞密度为 $1 \times 10^7$  cells/L -  $3 \times 10^9$  cells/L。

若样品泥沙等杂质含量高，宜稀释水样使杂质图像与浮游植物图像之间空隙距离多数大于 $50 \mu\text{m}$ 。

## 7 样品检测

### 7.1 进样

将样品放至室温，取混匀后的样品注入浮游植物微流道板中，使微流道被完全充满，不留气泡。宜优先选用多通路浮游植物微流道板。

### 7.2 显微成像

### 7.2.1 硬件要求

系统应满足以下要求：

- a) 应配备具有平场消色差功能且物镜数值孔径不低于 0.6 的生物级显微镜，满足系统光学分辨率达到  $0.5\ \mu\text{m}$  以上；
- b) 应配备图像帧率至少为 25 fps 的工业相机，相机感光单元宜 2000 万像素及以上；
- c) 应配备相对于显微物镜至少三轴方向微米级运动自动控制功能的载物台，其中沿物镜轴向（Z 轴方向）的运动控制精度应优于  $1\ \mu\text{m}$ ；
- d) 应采用多液层扫描拍摄方式，对待测样品每个视野的不同液层自动对焦拍照。

### 7.2.2 显微扫描拍摄

#### 7.2.2.1 X、Y 轴方向计数视野分布

进样完成后，样品在显微镜载物台的待测位置进行自动显微扫描拍摄，计数视野宜在整个样品观测范围内均匀分布。

参考 SL 733，可根据视野平均藻细胞数确定合适的视野数。

#### 7.2.2.2 Z 轴方向多液层扫描拍摄

在 Z 轴方向应每隔不高于  $5\ \mu\text{m}$  拍摄一幅图像，所拍摄图像的焦平面范围宜覆盖微流道内底部到顶部所有液层。

### 7.2.3 图像质量

显微扫描拍摄图像应满足每微米内至少包含 8 个像素，平均色差应小于 2。为保证拍摄图像质量，相机的曝光时间应小于 10 ms，感光度 ISO 数值应小于 400，增益应小于 200%。

## 7.3 智能检测

### 7.3.1 训练数据库要求

- 7.3.1.1 标注图像应覆盖常见浮游植物 90% 以上属，其中包括附录 A 中所有优势属。
- 7.3.1.2 浮游植物图像特征清晰且在角度、形态、大小、颜色、背景等方面具有一定差异性。
- 7.3.1.3 训练数据库应定期更新并标明版本，如需增加新发现或需优化的物种图像，应经分类学专业人员确认。

### 7.3.2 人工智能检测算法要求

- 7.3.2.1 算法对于本地数据库中所有种类的检测准确率不低于 85%，召回率不低于 85%。
- 7.3.2.2 重叠度阈值为 0.5 时的 mAP 不低于 85%，在不同重叠度阈值（从 0.5 到 0.95，步长 0.05）的平均 mAP 不低于 80%。
- 7.3.2.3 算法能够在普通工作站上（普通中央处理器、主流图形处理器、32 GB 及以上内存）顺畅运行。
- 7.3.2.4 算法支持通过不断收集反馈数据优化检测模型权重参数等方式提升性能。
- 7.3.2.5 检测模型具备数据适应性，能够通过数据增强、迁移学习等技术，保持在不同数据分布下的准确性。

## 7.4 智能计数

在智能检测的同时进行细胞计数。若多细胞浮游植物个体细胞间隙不明显,宜根据群体的排列特征,测量面积或长度估算细胞数。计数完成后自动计算样品的浮游植物细胞密度、相对丰度、生物量和优势种属。

## 8 群落特征参数计算

### 8.1 细胞密度

按照公式(1)计算样品中浮游植物细胞密度:

$$N = \frac{n}{A} \times \frac{1}{h} \times \frac{V_i}{V_0} \times 1000000 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $N$ ——浮游植物细胞密度,单位为个细胞每升(cells/L);
- $n$ ——检测视野浮游植物累计细胞数,单位为个细胞(cells);
- $A$ ——检测视野累计计数面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>);
- $h$ ——微流道板内径高度,单位为毫米(mm);
- $V_i$ ——稀释或浓缩后的试样体积,单位为毫升(mL);
- $V_0$ ——稀释或浓缩前的水样体积,单位为毫升(mL);
- 1000000——体积换算系数,单位为微升每升(μL/L)。

### 8.2 相对丰度

按照公式(2)计算样品中第*i*属(种)浮游植物的相对丰度:

$$P_i = \frac{n_i}{n} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $P_i$ ——第*i*属(种)浮游植物的相对丰度;
- $n_i$ ——检测视野第*i*属(种)浮游植物的累计细胞数,单位为个细胞(cells);
- $n$ ——检测视野浮游植物累计细胞数,单位为个细胞(cells)。

### 8.3 生物量

浮游植物生物量计算优先采用体积测量法、然后换算成生物量。生物量具体检测方法按照SL 733 6.5执行。也可根据已有资料查得浮游植物细胞平均湿重值计算生物量。

### 8.4 Margalef 丰富度指数

按照公式(3)计算样品的Margalef丰富度指数:

$$d = \frac{S-1}{\ln M} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $d$ ——Margalef丰富度指数;
- $S$ ——浮游植物物种数;
- $M$ ——浮游植物个体总数。

### 8.5 Shannon-Wiener 多样性指数

按照公式（4）计算样品的Shannon-Wi ener多样性指数：

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \times \ln P_i \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$H'$ ——Shannon-Wi ener多样性指数；

$S$ ——浮游植物物种数；

$P_i$ ——第*i*属（种）浮游植物的相对丰度。

### 8.6 Pielou 均匀度指数

按照公式（5）计算样品的Pielou均匀度指数：

$$J = \frac{H'}{\ln S} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$J$ ——Pielou均匀度指数；

$H'$  ——Shannon-Wi ener多样性指数；

$S$ ——浮游植物物种数。

### 8.7 Simpson 优势度指数

按照公式（6）计算样品的Simpson优势度指数：

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \dots\dots\dots (6)$$

式中：

$D$ ——Simpson优势度指数；

$S$ ——浮游植物物种数；

$P_i$ ——第*i*属（种）浮游植物的相对丰度。

## 9 成果形式

### 9.1 分类计数汇总表

分类计数汇总表由浮游植物的分类信息、细胞密度、相对丰度、生物量、优势属（种）、门类细胞占比等组成，浮游植物分类计数汇总表参见附录B。

### 9.2 浮游植物图像识别结果

多液层拍摄识别的合成图上应以属（种）的中文名称或拉丁名标注识别结果。

## 10 质量保证与质量控制

### 10.1 人工比对

应在人工智能检测系统投入使用时和算法更新后进行人工比对测试。选择前处理后细胞密度在 $1 \times 10^7$  cells/L -  $3 \times 10^9$  cells/L之间、分属不同数量级的3个样品，同时使用本方法和HJ 1216、SL 733等规定的显微镜计数法开展检测。检测结果浮游植物细胞密度差异百分比应低于30%，优势种属保持一致。否则应重新调试算法至满足要求为止。

### 10.2 重现性

应在人工智能检测系统使用过程中按以下要求进行重现性测试：

- a) 随机选择 10% 的样品，对加样完成的同一微流道板重复检测 2 次，2 次细胞密度检测结果的相对偏差应在  $\pm 15\%$  以内，优势种属一致；
- b) 样品加样计数 2 次，2 次细胞密度检测结果相对偏差应在  $\pm 15\%$  以内，否则应增加计数一次，直至某两次细胞密度检测结果符合这一要求为止。测定结果为相对偏差在  $\pm 15\%$  以内的两次细胞密度检测结果的平均值。

附 录 A  
(资料性)  
浮游植物优势属名录

浮游植物优势属名录参见表A.1。

表A.1 浮游植物优势属名录

属名	拉丁名	属名	拉丁名	属名	拉丁名
平裂藻属	<i>Merismopedi a</i>	微囊藻属	<i>Microcystis</i>	拟柱孢藻属	<i>Cylindrospermopsis</i>
隐球藻属	<i>Aphanocapsa</i>	鱼腥藻属	<i>Anabaena</i>	束丝藻属	<i>Aphanizomenon</i>
假鱼腥藻属	<i>Pseudanabaena</i>	浮鞘丝藻属	<i>Planktol yngbya</i>	细鞘丝藻属	<i>Leptol yngbya</i>
泽丝藻属	<i>Limnothrix</i>	颤藻属	<i>Oscillatoria</i>	浮丝藻属	<i>Planktothrix</i>
盘星藻属	<i>Pediastrum</i>	四角藻属	<i>Tetraedron</i>	卵囊藻属	<i>Oocystis</i>
栅藻属	<i>Scenedesmus</i>	蹄形藻属	<i>Kirchneriella</i>	空星藻属	<i>Coelastrum</i>
纤维藻属	<i>Ankistrodesmus</i>	小球藻属	<i>Chlorella</i>	丝藻属	<i>Ulothrix</i>
游丝藻属	<i>Planctonema</i>	转板藻属	<i>Mougeotia</i>	衣藻属	<i>Chlamydomonas</i>
鼓藻属	<i>Cosmarium</i>	空球藻属	<i>Eudorina</i>	卵形藻属	<i>Cocconeis</i>
舟形藻属	<i>Nanocula</i>	脆杆藻属	<i>Fragilaria</i>	小环藻属	<i>Cyclotella</i>
羽纹藻属	<i>Pinnularia</i>	星杆藻属	<i>Asterionella</i>	直链藻属	<i>Melosira</i>
桥弯藻属	<i>Cymbella</i>	菱形藻属	<i>Nitzschia</i>	曲壳藻属	<i>Achnanthes</i>
针杆藻属	<i>Synedra</i>	锥囊藻属	<i>Dinobryon</i>	金杯藻属	<i>Kephyrion</i>
鱼鳞藻属	<i>Mallomonas</i>	多甲藻属	<i>Peridinium</i>	拟多甲藻属	<i>Peridiniopsis</i>
裸甲藻属	<i>Gymnodinium</i>	隐藻属	<i>Cryptomonas</i>	蓝隐藻属	<i>Chroomonas</i>

## 附录 B

(资料性)

## 浮游植物分类计数汇总表

浮游植物分类计数汇总表参见表B.1。

表B.1 浮游植物分类计数汇总表

分析日期						样品编号				
水体状况										
物镜倍数						设备名称及编号				
浓缩倍数						稀释倍数				
取样量(mL)						计数方式				
方法依据						数据库(算法)版本				
门	纲	目	科	属	种	拉丁名	细胞数 (cells)	细胞密度 (cells/L)	相对丰度 (%)	生物量 (mg/L)
总计										
		蓝藻门	绿藻门	硅藻门	隐藻门	裸藻门	黄藻门	甲藻门	金藻门	
细胞密度(cells/L)										
细胞密度占比(%)										
总细胞密度(cells/L)										
优势种(属)1						密度(cells/L)				
优势种(属)2						密度(cells/L)				
优势种(属)3						密度(cells/L)				
备注:										

### 参 考 文 献

- [1] GB/T 41864 信息技术 计算机视觉 术语
  - [2] GB/T 42886 显微镜 数字成像显示显微镜 提供给用户的成像性能信息
  - [3] GB/T 45225 人工智能 深度学习算法评估
  - [4] HJ/T 91.2 地表水环境监测技术规范
  - [5] HJ 494 水质 采样技术指导
  - [6] SC/T 9402 淡水浮游生物调查技术规范
  - [7] SL/T 733-2016 内陆水域浮游植物监测技术规程
  - [8] DB11/T 1721 水生生物调查技术规范
  - [9] DB14/T 2527 云平台 人工智能建模系统框架及功能要求
-