

ICS 07.060

CCS A 45; A 90

团 体 标 准

T/CS0 *-2023

基于图像扫描分析系统的浮游动物图像识别与计数技术规范

Technical specification for zooplankton image identification and enumeration based on an image scanning and analysis system

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国海洋学会 发 布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
3.1 浮游动物图像扫描分析系统	1
3.2 形态学参数	1
3.3 生物量估算模型	1
3.4 生物量	1
4 缩略语	2
5 系统组成与性能要求	2
5.1 硬件配置	2
5.2 软件要求	2
5.3 性能指标	2
6 图像采集与处理流程	3
6.1 样品制备	3
6.2 图像采集	3
6.3 数据处理	4
7 物种鉴定	4
7.1 数据库构建	4
7.2 自动化识别与分析	4
7.3 人工辅助验证	4
8 数据质量控制	5
9 数据管理	5
9.1 数据格式与记录	5
9.2 数据共享与安全	5
10 生物量估算	6
10.1 估算原则	6
10.2 长轴和短轴的物理长度换算	6
10.3 浮游动物个体体积估算	6
10.4 浮游动物体积生物量估算	6
10.5 浮游动物湿重生物量估算	6
10.6 浮游动物干重生物量估算	7
10.7 估算记录要求	7
附录 A（规范性）形态学信息参数表	8
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。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国海洋学会归口。

本文件起草单位：青岛道万科技有限公司、国家海洋环境监测中心、中国科学院海洋研究所

本文件主要起草人：张国豪、谭畅、李宏俊、陶振铎、朱明亮。

引 言

浮游动物是水生生态系统物质循环与能量流动的核心环节，其群落结构与动态变化能直接反映水域环境质量和生态健康状况。传统人工镜检的方法要依赖经验性分类，存在检测效率低、标准化程度不足、人为鉴定结果差异大等问题，难以支撑现代海洋生态监测高频次、大样本的业务化需求。

随着人工智能技术的快速发展，基于高分辨率扫描成像与深度学习算法融合的浮游动物图像扫描分析系统，实现了浮游动物形态参数的自动化提取、类群智能识别及自动计数，显著提升了监测效率和数据的客观性。然而，国内尚未形成统一的技术操作规范，导致设备配置差异、数据处理流程不兼容、数据共享壁垒等问题，制约了智能化监测技术的规模化应用。

本标准的制定旨在填补国内在浮游动物图像扫描分析系统操作规范方面的标准空白，系统规范浮游动物图像扫描分析系统的硬件配置、图像采集处理、物种智能识别、人工辅助验证及数据质量控制全流程，确保监测结果的一致性与可比性。通过统一数据格式和共享机制，促进跨区域、跨机构的协作研究，推动我国浮游动物监测从传统人工模式向智能化、标准化方向转型，为海洋生态保护、资源管理与环境评估提供可靠的技术支撑。

基于图像扫描分析系统的浮游动物图像识别与计数技术规范

1 范围

本文件规定了基于图像扫描分析系统进行浮游动物图像识别与计数的系统组成与性能要求、图像采集与处理流程、物种鉴定、数据质量控制及数据管理的要求。

本文件适用于由网目 $200\ \mu\text{m}\sim 10000\ \mu\text{m}$ 的网具采得的、经中性甲醛溶液或乙醇溶液固定的淡水/海洋生态系统中浮游动物样本的自动化分类计数及基于形态学参数的生物量估算。

本文件不适用于未经固定的淡水/海洋浮游动物样本的直接分析。

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。

GB/T 12763.6—2007 海洋调查规范 第6部分：海洋生物调查

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

浮游动物图像扫描分析系统 **zooplankton image scanning and analysis system**

一种基于高分辨率扫描成像技术与深度学习算法，对浮游动物进行自动化分类、计数及生物量估算的图像分析系统。

3.2

形态学参数 **morphological parameters**

用于量化浮游动物形态特征的指标，包括浮游动物的长轴（Major）、短轴（Minor）、面积（Area）、周长（Perim）、圆形度（Circ）等。具体参数见附录A。

3.3

生物量估算模型 **biomass conversion model**

基于形态参数与体积的转换关系，通过几何形态回归模型（如椭球体体积公式），估算浮游动物生物量的方法。

3.4

生物量 **biomass**

单位体积水体中浮游动物的湿重或干重，单位为 mg/m^3 。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CPU: 中央处理器 (Central Processing Unit)

dpi: 每英寸点数 (dots per inch)

GB: 吉字节 (Gigabyte)

TSV: 制表符分隔值 (Tab-Separated Values)

5 系统组成与性能要求

5.1 硬件配置

浮游动物图像扫描分析系统硬件应包含以下部分。

a) 专用扫描仪:

- 1) 应配备水密扫描室, 可容纳液态浮游动物样品, 样品处理量宜为0.2 L~0.7 L;
- 2) 扫描分辨率应不低于2200 dpi;
- 3) 单张图像可容纳数百至数千个浮游动物个体;
- 4) 应配备优化的底部照明系统, 以保证图像质量和对比度;
- 5) 扫描池及接触部件应耐海水、稀释甲醛溶液和稀释乙醇溶液;
- 6) 扫描过程应对样品无损, 保证样品可安全回收。

b) 数据处理计算机:

配置不宜过低, 以免影响图像及数据处理功能, 参考配置:

- 1) CPU应不低于i7;
- 2) 内存容量应不低于16 GB;
- 3) 硬盘存储空间应不低于1 TB;
- 4) 具体配置可视情况调整。

c) 辅助设备:

包括样品清洗筛 (网筛孔径宜为200 μm)、样品分样器等样品前处理设备。

5.2 软件要求

系统应配备完整的图像采集与数据处理软件, 包括但不限于:

- a) 扫描控制软件: 用于控制扫描仪工作流程、参数设置及图像保存;
- b) 图像处理与分析软件: 用于对扫描原始图像进行批量处理, 实现图像转换、背景扣除、个体目标识别与分割、单个体图像提取及形态学参数计算;
- c) 物种识别与数据管理平台: 用于上传处理后的图像与数据, 集成深度学习算法进行物种自动识别, 并支持人工校验与数据管理。

5.3 性能指标

系统应满足以下性能指标要求。

- a) 测量范围: 可测量的浮游动物等效球直径范围为200 μm ~10000 μm ,
- b) 扫描速度: 单个样品扫描完成时间不宜超过5 min,
- c) 系统无故障运行时间: 系统连续无故障运行时间宜不小于720 h,
- d) 处理吞吐量: 单批次处理样品数量不小于10个, 单个样品图像处理时间不宜超过20 min。

6 图像采集与处理流程

6.1 样品制备

6.1.1 安全防护

固定浮游动物样品所用的中性甲醛或乙醇溶液，清洗时应遵循以下要求：

- a) 应在开阔通风处或通风橱中操作，
- b) 操作人员应佩戴防护手套、护目镜及实验服。

6.1.2 清洗固定液

应使用无颗粒海水冲洗筛上的样品三至四次，以去除残留的中性甲醛或乙醇溶液。冲洗后的废液应收集至密闭容器中集中处理。

冲洗样品时操作应轻柔，避免浮游动物个体破碎。

清洗掉固定液的浮游动物样品，应在24小时内完成样品扫描；若无法当日完成，须4℃冷藏避光保存，最长放宽至48小时完成样品扫描。

6.1.3 分样与稀释

当样品中浮游动物个体大小差距较大时（例如，既包含200 μm左右的个体，又包含1000 μm以上的个体），应进行分样处理，以避免扫描过程中忽略较大或较小的个体。分样后若个体数量过多（通常超过2000个），应进行稀释处理，避免因动物个体相互接触而产生误差。分样和稀释过程中应避免样品损失。

分样与稀释的具体步骤如下（以1000 μm网筛为例）：

- a) 将清洗后的样品置于1000 μm网筛上，用过滤海水轻柔冲洗。网筛上留存的部分为大于1000 μm的样品，通过网筛的部分为小于1000 μm的样品，实现粒径分级；
- b) 将待扫描的粒径级样品转移至样品分样器中，充分摇晃均匀后，取出1/2样品。重复此步骤，可将样品稀释至1/2、1/4、1/8……直至样品中个体数满足扫描要求（宜控制在1000~2000个）；
- c) 在样品瓶上标注样品信息及稀释倍数，保存剩余样品，取稀释至适宜浓度的样品进行扫描。

6.2 图像采集

6.2.1 扫描准备

扫描准备应遵循以下步骤：

- a) 开启扫描仪进行预热，预热时间不宜少于3 min；
- b) 在图像处理与分析软件中建立新项目，设置扫描分辨率（宜设置为2200 dpi）及对应的扫描区域；
- c) 执行背景扫描：向扫描池中加入清水，确保无气泡，启动扫描控制软件的背景扫描功能，应至少扫描2次背景图像，获取背景图像以用于后续图像校正。

6.2.2 样品扫描

样品扫描应遵循以下步骤。

- a) 样品放置：向扫描池中加入清水，水量应刚好没过扫描框的台阶。将扫描框放入扫描池中，将制备好的样品缓缓倒入扫描框内。使用拨样针将粘连的个体轻轻分离，将浮于水表的个体轻压至水下，并确保无气泡，盖上扫描仪上盖；

- b) 执行扫描：在图像处理与分析软件中录入样品信息（如样品编号、稀释倍数、采样站位、采样日期等），启动扫描控制软件，执行样品扫描。扫描完成后，软件自动保存原始图像。扫描过程中避免振动；
- c) 样品回收：扫描结束后，从扫描池中轻轻提起扫描框，用清水将扫描框上的样品冲洗至扫描池中。抬起扫描台，将样品随水回收至容器中，过筛后用中性甲醛溶液将筛上样品冲回至原样品瓶，以备复查或进一步深入研究。

6.3 数据处理

6.3.1 图像处理

使用图像处理与分析软件对原始扫描图像进行批量处理，应遵循以下步骤。

- a) 软件自动识别项目文件夹中扫描得到的全部原始图像；
- b) 软件自动对图像进行转换、背景扣除、个体目标识别与分割；
- c) 软件为每个识别出的个体生成独立的图像文件（个体小图），并同步计算形态学参数，输出包含所有参数数据的标准文件（如TSV格式）。形态学参数应符合附录A的规定。

6.3.2 图像质量控制

检查处理后生成的个体小图，若发现存在个体相互黏连或重叠的情况，应执行以下操作。

- a) 将所有包含重叠个体的图像集中存放；
- b) 使用图像处理与分析软件提供的切割工具，沿个体边界手动绘制分割线，将重叠个体分离；分离后的个体图像应重新编号，并通过元数据关联原样品信息；
- c) 对修改后的图像重新执行图像处理步骤，生成修正后的个体小图集及对应的形态学参数文件。

7 物种鉴定

7.1 数据库构建

应收集并整理本区域的浮游动物图像数据，建立标准化的图像识别数据库。数据库要求如下。

- a) 数据库中应包含经专业人员审核、标注准确的浮游动物图像；
- b) 数据库中应覆盖常见及优势物种，包含不同发育阶段、不同拍摄姿态的图像，以保证模型的泛化能力；
- c) 每张图像的物种标注采用实验室内不同鉴定人员间互校方法进行；
- d) 数据库应定期更新与维护，以保证识别准确性。

7.2 自动化识别与分析

7.2.1 数据导入

将处理获得的浮游动物小图及其形态学信息数据导入至物种识别与数据管理平台。

7.2.2 自动识别

在平台中选择相应的浮游动物数据库，采用CNN深度特征提取搭配随机森林集成分类算法，运行浮游动物自动识别程序，对每个个体进行物种分类识别。

7.3 人工辅助验证

7.3.1 验证要求

系统自动识别结果需经具备浮游动物分类学知识的人员进行人工复核。复核人员应根据图像形态特征，对鉴定结果进行逐一确认。

7.3.2 修正操作

修正操作应遵循以下要求。

- a) 对鉴定错误的个体，应将其拖拽或重新归类至正确的分类单元（种或属）；
- b) 对未识别的个体，应手动输入其分类学名称；
- c) 对碎屑、杂质等非生物图像，应归入“杂质”或“碎屑”类别。

7.3.3 验证目标

人工验证应覆盖全部个体，直至所有图片人工分类鉴定完毕。

8 数据质量控制

为确保监测数据的准确性，应建立数据质量控制机制。

- a) 抽检复核：每批次数据需随机抽取不少于10%的样本进行人工复核校验；
- b) 种类鉴定错误率计算：种类鉴定错误率 = (错误鉴定个体数/复检总个体数) × 100%；
- c) 种类鉴定错误率控制：复核中种类鉴定错误率应不超过20%；
- d) 超标处理：若抽检时种类鉴定错误率超过20%，应将该批次抽检比例扩大至50%。若扩大抽检后错误率仍超过20%，则应对该批次全部数据进行人工复核；
- e) 记录与报告：校验结果应记录于质量控制报告中。报告内容应包括：批次号、抽检样本数、错误数、错误率、复核人签名、复核日期。

9 数据管理

9.1 数据格式与记录

9.1.1 图像数据

原始扫描图像应保存为TIF格式，处理后的个体小图应保存为JPG格式。

9.1.2 元数据信息

应按照样品瓶标签上的信息，记录采样时间、采样地点、航次号、站位号、拖网类型、拖网深度、环境参数等元数据。元数据记录格式须符合GB/T 12763.6-2007的规定。

9.2 数据共享与安全

9.2.1 数据标注

共享数据必须标注数据管理者姓名、机构及联系邮箱，确保数据来源可溯，错误反馈可查。

9.2.2 分级管控

根据数据敏感级别，实施分级管控措施。

- a) 公开数据：开放公众访问权限；
- b) 受限数据：需通过申请获得访问权限，限制下载；
- c) 涉密数据：仅限数据管理人员内部使用。

9.2.3 数据备份与保留

应建立数据定期备份机制，建议每三个月备份一次。原始数据应在物种识别与数据管理平台至少保存5年。

10 生物量估算

10.1 估算原则

浮游动物生物量估算应基于附录A形态学参数，采用图像处理获得的长轴（major）和短轴（minor）长度，结合样品分样比例、浮游动物分类鉴定结果及滤水体积进行计算，碎屑、杂质、气泡及其他非生物对象不得纳入生物量计算。

10.2 长轴和短轴的物理长度换算

图像处理与分析软件输出的物体最佳拟合椭圆的长轴长度（major）和物体最佳拟合椭圆的短轴长度（minor）为像素值，应根据实际扫描分辨率换算为物理长度。

像素长度与实际长度按以下公式计算：

$$L = 25.4 \times \frac{P}{DPI}$$

式中：

L ——实际长度，单位为毫米（mm）；

P ——图像中对应的像素长度，单位为像素（pixel）；

DPI ——图像扫描分辨率，单位为dpi。当扫描分辨率为4800 dpi时，1 pixel对应的实际长度为0.0052917 mm，即5.2917 μm；当扫描分辨率为2400 dpi时，1 pixel对应的实际长度为0.0105833 mm，即10.5833 μm；当扫描分辨率为2200 dpi时，1 pixel对应的实际长度为0.0115454 mm，即11.5454 μm。实际计算时，应根据所采用的扫描分辨率确定像素与物理长度之间的换算关系。

10.3 浮游动物个体体积估算

浮游动物个体体积（individual volume, IV）基于物体最佳拟合椭圆的长轴长度和短轴长度计算，公式为：

$$IV = \frac{4\pi}{3} \times \frac{Major}{2} \times \left(\frac{Minor}{2}\right)^2$$

式中：

IV ——浮游动物个体体积，单位为立方毫米（mm³）；

Major ——物体最佳拟合椭圆的长轴；

Minor ——物体最佳拟合椭圆的短轴。

10.4 浮游动物体积生物量估算

对于经过分样扫描处理的样品，应根据实际分样比例对参与扫描的浮游动物样品体积生物量（displacement volume, DV）进行计算，公式如下：

$$DV = \frac{(\sum IV) \times k}{V}$$

式中：

DV ——浮游动物样品体积生物量（displacement volume, DV），单位为立方毫米/立方米（mm³/m³）；

k ——分样系数，全样扫描时，k=1；扫描原样品的1/2、1/4、1/8时，k分别取2、4、8，以此类推；

V ——采样的滤水体积，单位为m³。

10.5 浮游动物湿重生物量估算

浮游动物密度近似取 1 mg/mm^3 换算湿重 (wet weight biomass, WW)。WW的单位为 mg/m^3 。

10.6 浮游动物干重生物量估算

浮游动物样品的干重生物量 (dry weight biomass, DW) 应根据经分样校正并汇总后的各浮游动物类群的体积生物量进行换算, 公式如下:

$$DW = DV \times 0.16$$

式中:

DW ——浮游动物样品的干重生物量 (dry weight biomass, DW), 单位为 mg/m^3 ;

0.16 ——浮游动物体积与干质量的转换系数。

注: 毛颚类形变显著, 不推荐仅使用体积换算法; 特殊类群可采用组合几何模型进行修正。

10.7 估算记录要求

生物量估算过程应保证数据完整、可追溯。估算记录至少应包括下列内容:

- a) 样品编号、采样日期、采样地点和站位号;
- b) 采样水层或采样深度、采样网具及过滤水体积;
- c) 样品分样方式、分样比例;
- d) 浮游动物分类鉴定结果;
- e) 浮游动物个体体积;
- f) 浮游动物体积生物量结果;
- g) 浮游动物湿重生物量结果;
- h) 浮游动物干重生物量结果;
- i) 数据处理人员、审核人员及处理日期。

附录 A

(规范性)

形态学信息参数表

表 A.1 规定了浮游动物图像扫描分析系统输出的形态学信息参数名称及参数描述。

表 A.1 形态学信息参数表

序号	参数名称	参数描述
01	Area	以平方像素为单位的物体表面积
02	Mean	对象内的平均灰度值；对象中所有像素的灰度值之和除以像素数
03	StdDev	用于生成平均灰度值的灰度值标准差
04	Mode	对象内的模态灰度值
05	Min	对象内最小灰度值（0=黑色）
06	Max	对象内最大灰度值（255=白色）
07	Bounding rectangle	包围目标对象的最小外接矩形
08	x	物体重心的X坐标位置
09	y	物体重心的Y坐标位置
10	xm	物体灰度值重心的X坐标位置
11	ym	物体灰度值重心的Y坐标位置
12	Perim	物体外边界的长度
13	BX	包围对象的最小矩形的左上角点的X坐标
14	BY	包围对象的最小矩形的左上角点的Y坐标
15	Width	包围对象的最小矩形的宽度
16	Height	包围对象的最小矩形的高度
17	Major	物体最佳拟合椭圆的长轴长度
18	Minor	物体最佳拟合椭圆的短轴长度
19	Angle	主轴与平行于图像x轴的直线之间的夹角
20	Circ	圆形度： $(4 * \pi * \text{Area}) / \text{Perim}^2$ ，值为1表示为正圆，接近0表示为逐渐拉长的多边形
21	Feret	最大feret直径，即物体边界上任意两点之间的最长距离
22	IntDen	集成密度，对象中像素的灰度值之和（即=Area*Mean）
23	Median	对象内灰色值的中位数
24	Skew	灰度值直方图的偏斜度
25	Kurt	灰度值直方图的峰度
26	%area	由孔洞组成的物体表面积的百分比，定义为背景灰度
27	XStart	图像左上角点的X坐标
28	YStart	图像左上角点的Y坐标
29	Area_exc	去除孔洞后物体的表面积，以像素为单位（=Area*(1-%area/100)）
30	Fractal	物体边界的分形维数
31	Skelarea	骨架的表面积（以像素为单位）。在二值图像中，通过重复地从目标边缘去除像素直到它们缩减到单个像素的宽度来获得骨架
32	Slope	灰度归一化累积直方图的斜率
33	Histcum1	灰度等级归一化累积直方图的25%处的灰度值
34	Histcum2	灰度等级归一化累积直方图的50%处的灰度值
35	Histcum3	灰度等级归一化累积直方图的75%处的灰度值
36	XMg5	物体重心的X位置，伽马值为51

表 A.1 形态学信息参数表（续）

序号	参数名称	参数描述
37	YMg5	物体重心的Y位置，伽马值为51
38	nb1	在级别Histcum1上进行阈值处理后图像中剩余对象的数量
39	nb2	在级别Histcum2上进行阈值处理后图像中剩余对象的数量
40	nb3	在级别Histcum3上进行阈值处理后图像中剩余对象的数量
41	symetrie h	双边水平对称指数。
42	symetrie v	双边垂直对称指数。
43	symetrie hc	在灰度级Histcum1值上进行阈值处理后，物体相对于水平轴的对称性
44	symetrie c	在灰度级Histcum1值上进行阈值处理后，物体相对于垂直轴的对称性
45	convperim	对象中所有点都适合的最小多边形的周长
46	convarea	对象中所有点都适合的最小多边形的面积
47	fcons	基于纹理特征描述的对比度测量
48	Thickr	厚度比：物体最大厚度与物体平均厚度（去除最大厚度）之间的关系
49	tag	不再使用的旧变量(0或1->1)
50	esd	等效球直径
51	elongation	主轴/副轴
52	range	最大-最小
53	meanpos	(最大-最小)/范围
54	Centroids	矩心， $[(x_m-x)^2+(y_m-y)^2]^{1/2}$
55	cv	$100*(stdv/mean)$
56	sr	$100*(stdev/(max-min))$
57	perimareaexc	perim/area_exc
58	feretareaexc	feret/area_exc
59	perimferet	perim/feret
60	perimajor	Perim/major
61	circex	$(4*\pi*Area_exc)/perim^2$
62	cedxc	$(centroid)^2/area_exc$

参考文献

- [1] GB 17378.2—2007 海洋监测规范 第2部分：数据处理与分析质量控制
- [2] HJ 442.6—2020 近岸海域环境监测技术规范 第六部分 近岸海域生物监测
- [3] SC/T 9402—2010 淡水浮游生物调查技术规范
- [4] Harris, R., Wiebe, P., Lenz, J., Skjoldal, H. R., Huntley, M., 2000. ICES Zooplankton Methodology Manual. Academic Press.
- [5] 孙晓霞, 孙松. 海洋浮游生物图像观测技术及其应用. 地球科学进展, 2014, 29(6): 748 - 755.