

T/ACCEM
团 体 标 准

T/ACCEM XXXX—2025

无人机自动采样与浮游植物智能监测技术
规范

Unmanned Aerial Vehicle (Uav) automatic sampling and phytoplankton intelligent
monitoring technical specification

(征求意见稿)

2025 - XX - XX 发布

2025 - XX - XX 实施

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。

本文件由贵州分测环境科技有限公司提出。

本文件由中国商业企业管理协会归口。

本文件起草单位：贵州分测环境科技有限公司、×××、×××。

本文件主要起草人：×××、×××、×××。

无人机自动采样与浮游植物智能监测技术规范

1 范围

本文件规定了无人机自动采样与浮游植物智能监测技术的术语和定义、系统组成、技术要求、性能指标、安装调试、运行维护、数据管理、质量保证与质量控制以及安全注意事项的内容。

本文件适用于无人机自动采样与浮游植物智能监测技术的实施与质量控制。

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 4208 外壳防护等级（IP代码）

GB 5749 生活饮用水卫生标

GB/T 38152—2019 无人驾驶航空器系统术语

HB 8735—2023 民用无人机系统数据链通用要求

HJ 915.1 地表水水质自动监测站选址与基础设施建设技术要求

HJ 915.3 地表水水质自动监测站（常规五参数、COD_{Mn}、NH₃-N、TP、TN）运行维护技术规范

HJ 1216 水质 浮游植物的测定 0.1 mL计数框-显微镜计数法

MH/T 2008 无人机围栏

NY/T 4616—2025 农业野生植物原生境保护点无人机监测技术规范

SC/T 9402—2010 淡水浮游生物调查技术规范

SL/T 733—2016 内陆水域浮游植物监测技术规程

3 术语和定义

GB/T 38152—2019、SL/T 733—2016界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1 无人机自动采样 UAV automatic sampling

利用无人机实现多个不同点位浮游植物样品自动采集功能。

3.2 无人机场 UAV airport

具备无人机采样任务及路径规划设置、引导无人机自动起降、自动充电、接收无人机采集的水样等功能。

3.3 智能监测 intelligent monitoring

借助显微成像技术、人工智能识别算法以及数据分析模型，实现浮游植物种属精准鉴定、细胞密度计算、生物量评估以及优势种判定等监测环节的自动化作业。

3.4 AI 智能识别 AI intelligent recognition

利用人工智能算法，对浮游植物进行自动识别、分类和统计。

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浮游植物细胞密度或总浮游植物生物量15%的种类。

4 系统组成

4.1 自动采样系统

无人机自动采样系统主要由下列单元构成：

- 无人机机场单元：集成无人机起降平台、无人机围栏模块，支持实时接收空域限制数据，触发预警时自动调整航线、无人机收纳装置、自主航线规划、断点续飞功能以及多路样品接收装置等；
- 无人机采样单元：无人机单次飞行在较大范围内采集多个不同点位浮游植物样品，包括无人机、多路水样采样器等；
- 样品进样单元：具备从无人机场多路样品接收装置中自动进样的功能，包括采样泵、进样管路、过滤器等；
- 样品预处理单元：浮游植物样品的固定、沉淀与浓缩，形成待检样品。

4.2 浮游植物智能监测系统

无人机浮游植物智能监测系统主要由下列单元构成：

- 图像采集单元：采集浮游植物图像，包括显微镜、光源等；
- AI 智能识别单元：对采集到的图像进行处理分析，识别和分类浮游植物，包括 AI 算法、计算平台等。
- 数据传输单元：通过有线或无线的方式，具备将采集的图像数据、样品监测数据和硬件故障数据传输至数据中心的功能。
- 辅助单元：包括电源、防雷、温控、自动清洗和废液回收等装置，保证系统的正常运行。

5 技术要求

5.1 无人机采样单元

5.1.1 无人机可根据系统设定的采样任务、采样点位和采样时间，自动进行浮游植物样品采集任务。
5.1.2 可对无人机作业的飞行路径进行规划与设置，完成路径设置后，无人机能够自动地按照设置的飞行路径进行样品采集任务。

5.1.3 无人机应具备单北斗导航及定位能力，采样点位的悬停精度可达 $\pm 0.5\text{m}$ 。
5.1.4 监测断面布设应符合 SL/T 733—2016 中 4.1 条～4.3 条的规定，分层采样应符合应符合 SL/T 733—2016 中 4.4 条的规定，并且保证在水位、流速等外界条件发生变化时所采集到的水样具有代表性。

5.1.5 监测点位布设及采样频次参考 GB/T 14581、HJ1295、HJ 1296 和 SL/T 733 的相关规定执行。定位和定量样品的采集和保存按 HJ 1216 的规定执行。

5.1.6 无人机空载飞行半径不低于 15 km，无人机最低载荷不低于 2 kg，无人机单次飞行作业时间不低于 40 min。

5.1.7 无人机空载作业及满载作业时，抗风等级应不小于 5 级

5.1.8 无人机外壳防水防尘性能应符合 GB 4208 中规定的 IP45 防护等级要求。

5.1.9 无人机围栏设置应符合 MH/T 2008 的规定，在由经度、纬度、高度以及时间所界定的四维空间限制范围内自主飞行。当无人机接近设定围栏边界时，能够及时触发预警机制，并自动调整飞行航线以规避越界风险。围栏内飞行，无人机应具备自动避障功能。

5.1.10 无人机作业应按照中国民用航空局的要求，参考 CH/Z 3005 的规定执行。作业时可同时搭载可见光相机和取水装置，可在取水采样时，自动地对采样点位进行质控操作。

5.1.11 无人机支持多舱取水采样功能，单次飞行可实现不低于 3 个点位的水样采集功能。

5.2 无人机场站单元

- 5.2.1 可设置无人机采样时间，采样地点，并规划无人机飞行路径。
- 5.2.2 具备自动引导无人机起降和充电功能。
- 5.2.3 具备气象环境感知和硬件自检功能，能智能感知并判别是否具备无人机作业的飞行条件。
- 5.2.4 无人机系统数据链功能应符合 HB 8735—2023 第 6 章的规定。无人机场支持与无人机双向通信的能力，智能机库可根据周边气象环境的变化、无人机传回的飞行姿态信息以及它感知的环境数据等进行实时分析和判别，如遇紧急情况，智能机库可及时发送中止作业、更换作业地点、返航等指令，确保无人机的飞行安全。
- 5.2.5 无人机场具备数据储存和备份功能，能及时保存无人机飞行任务、航线规划、飞行姿态、以及相应的气象、环境等数据，确保各类数据的安全和提供事后备查功能。
- 5.2.6 无人机场具备多舱储水的能力，能够自动地将无人机采集的水样与多舱储水装置进行对接。

5.3 样品进样单元

- 5.3.1 无人机现场采样应符合 SL/T 733—2016 中 5.6 条的规定。
- 5.3.2 具备从无人机场多舱储水装置中自动进样的功能。
- 5.3.3 具备样品进样完成后自动清洗进样管路和多舱储水装置的功能。
- 5.3.4 样品进样单元应包括采样泵、进样管路、过滤器等装置。
- 5.3.5 采样泵应满足地表水水质自动监测系统仪器与设备运行所需水量和水压的要求，选用的材质应适应水体环境，具备防腐、防漏等性能。
- 5.3.6 采样管路应采用耐用、耐热、耐压的环保材质，具有良好的化学稳定性，不与水样中监测项目发生物理作用或化学反应。铺设时应确保采水管路平滑并具有一定坡度。
- 5.3.7 过滤器应具备防堵塞、过滤泥沙和清洗等功能，清洗过程不应造成污染。

5.4 样品预处理单元

- 5.4.1 样品预处理单元应具备自动对采集的水样原液进行固定、静止沉淀和浓缩处理的功能，满足浮游植物监测指标分析要求。
- 5.4.2 样品预处理单元包含用于进行固定和浓缩水样的浓缩处理罐，并应该在水样进入前由系统进行过自动清洗。
- 5.4.3 系统应具备自动将一定容积的水样加入浓缩处理罐，并按水样容积添加固定比例鲁哥试剂的功能。
- 5.4.4 为保证水样与鲁哥试剂充分混合均匀，样品预处理单元应包含摇匀装置，具备水样加入鲁哥试剂后自动进行混合均匀的功能。
- 5.4.5 样品预处理单元应具有定容功能，能够确保浓缩处理罐中经过固定的水样具有特定的体积。
- 5.4.6 水样在浓缩处理罐中静置沉淀，沉淀时间可由系统软件设定设置。
- 5.4.7 水样静置沉淀后，系统应具备自动抽取上清液，并按设置的浓缩倍数定容待检测样品的功能。
- 5.4.8 参考 HJ 1216、SC/T 9402 进行浮游植物样品固定、沉淀和浮游植物细胞密度调整，前处理后加入微流道中的样品浮游植物细胞密度宜为 $1 \times 10^7 \sim 3 \times 10^9 \text{ cells/L}$

5.5 图像采集单元

- 5.5.1 显微镜：生物级显微镜，40X 平场消色差物镜和 10X 目镜；
- 5.5.2 相机：工业级相机，相机分辨率不低于 500 万像素，帧率不低于 30 帧/s，能够采集到清晰的浮游植物图像数据；
- 5.5.3 运动平台：采用高精度运动平台，能够自动控制平台移动，拍摄不同液层和视野下的浮游植物图像数据；
- 5.5.4 光源：设备应提供均匀稳定的照明，避免相机采集的图像出现过曝或欠曝的现象。
- 5.5.5 40X 物镜下，通过工业相机实现自动采集浮游植物显微图像数据的功能。
- 5.5.6 采集浮游植物显微图像数据时，可自动控制运动平台的移动，实现视野自动切换和多液层图像数据采集的功能。

5.6 AI 智能识别单元

- 5.6.1 种类鉴定应符合 SC/T 9402—2010 第 5 章的规定。浮游植物计数按 SC/T 9402—2010 中 6.1 条规

定的方法执行。

5.6.2 监督信息分析与报告应符合 NY/T 4616—2025 第 6 章的规定。

5.6.3 为保证 AI 智能识别的效果和精度要求, 在进行浮游植物识别之前, 应先通过图像清晰度检测算法来计算采集的显微图像质量。

5.6.4 可按设置的图像质量条件, 自动地对聚焦不清晰、过曝、欠曝和偏色的图像进行滤除, 并通知图像采集单元重新采集新的图像数据。

5.6.5 浮游植物检测算法应能够完全识别附录 A 中列出的浮游植物优势种属, 能够准确识别常见浮游植物种类, 一般不低于 100 常见种。

5.6.6 浮游植物细胞分析算法可根据检测出的浮游植物种类, 具备自动计算出它的藻细胞个数的功能。

5.6.7 AI 智能识别单元可根据检测出的浮游植物种类和藻细胞个数, 具备自动计算出藻密度、浮游植物生物量、优势藻种、以及各种类浮游植物占比等监测指标的功能。

5.6.8 AI 智能识别单元具备平行样质控分析功能, 能够自动地计算平行样的藻密度偏差比例。

5.6.9 若平行样的藻密度偏差比例大于设置的阈值(一般设置为 30 %), 系统认为本次监测数据存在问题, 将重新进样进行二次分析。反之, 则对平行样监测数据自动地进行加权平均, 作为最终样品监测结果。

5.6.10 AI 智能识别单元具备软件更新的功能。在联网状态下, 具备闲时远程自动更新的功能。

5.7 数据传输单元

5.7.1 具备 4G/5G 无线通信或 1000 M 以太网通信的功能。

5.7.2 接口要求应符合 HB 8736—2023 中 5.2.3 条的规定, 可将图像数据、样品监测数据和硬件故障数据上传至指定的数据中心。

5.7.3 图像数据、样品监测数据和硬件故障数据在本地数据库中进行管理, 能够对已上传的数据进行标识。

5.7.4 对已上传的数据, 具备自动清理功能, 可自动清理本地图像数据、样品监测数据和硬件故障数据, 以节省硬盘容量。

5.7.5 具备断点续传功能, 通信网络中断恢复后, 能够自动地对未完成上传的数据进行续传。

5.8 辅助单元

5.8.1 具备硬件故障诊断功能, 能够定时地对系统各硬件模块进行巡检。在联网状态下, 具备自动上报硬件故障的功能。

5.8.2 设备应具备防雷装置, 防雷措施应符合相关规范, 防止雷击损坏设备。

5.8.3 设备应具备管路清洗装置, 能够自动地对进样管路和浓缩沉淀装置进行清洗。

5.8.4 设备应具备废液回收功能, 废液桶能够存储至少 1 周的废液, 并配备液位传感器, 当废液容积超过液位传感器时, 能够主动上报报警信息, 提醒运维人员更换新的废液桶。

6 性能指标

浮游植物智能监测系统应具备:

- 自动计算出浮游植物的种类、藻密度、生物量和优势藻种等指标;
- 具备平行样检测分析功能, 确保上报浮游植物监测数据的准确性;
- 无人机具备单次飞行采集 2 个以上点位浮游植物样品的能力, 单个样品采集容量不低于 500ml;
- 具备自动进样、自动添加鲁哥试剂固定、自动浓缩沉淀、管路自动清洗和废液自动回收功能, 可实现浮游植物全流程自动化监测功能;
- 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 %
- 浮游植物测量范围为 104 cell/L~109 cell/L;
- 浮游植物监测频率不低于 1 次/天(浓缩沉淀 12 小时条件下);
- 设备重复监测误差小于 5 %;
- 设备无故障运行时间应大于 720 小时;
- 设备运行维护周期不高于 1 次/周。

7 安装调试

7.1 安装技术要求

- 7.1.1 系统选址与基础设施建设应符合 HJ 915.1 的规定。无人机自动采样与浮游植物智能监测系统安装参见附录 B 所示。
- 7.1.2 安装现场应提供 200 V、50 Hz 的单相交流电。供电功率不低于 1200 W。
- 7.1.3 系统内部的净水过滤装置应接入符合 GB 5749 的水源，保证系统内部管路与装置能清洗干净。现场未铺设供水管道的情况下，应就近设置储水桶等设施并定期补充清洗用水。
- 7.1.4 系统设备应放置于平整坚实地面，安装牢固可靠，避免在运行过程中发生震动。
- 7.1.5 设备与墙体或其它设备之间应保持足够距离，不影响系统的散热、设备操作与维护。
- 7.1.6 系统中的阀门、过滤器等配套部件应安装在便于观察和检修位置。
- 7.1.7 系统内装有强腐蚀性液体的装置应有警示标识。
- 7.1.8 应设置废液暂存区域，存储设施上对废液类型、处理时间等有明确标识。
- 7.1.9 无人机场应安装在空旷地面或楼顶等无明显信号遮挡的场地。为保障机场 RTK 基站的信号质量和设备运行稳定性，需保证地面高度角 20° 范围内无明显信号遮挡物。
- 7.1.10 无人机场部署区域地面的总体承重需 $\geq 800 \text{ kg}$ ，安装前需对场地进行安全排查，确保承重足以支撑，若安装在房顶或高处悬空位置时，应避免选择楼体边缘处安装。
- 7.1.11 无人机场所有室外线缆宜使用 PVC 管敷设或使用镀锌钢管，紧固在地面并良好接地，线管末端可使用防火泥进行封堵处理。
- 7.1.12 无人机场周边应建造高度、强度足够的围墙或围栏，并配备视频监控装置，防止人员随意进入，确保设备及人员安全。

7.2 调试技术要求

- 7.2.1 设备调试前，应先检查设备型号、供电电压、额定电流或功耗等条件是否满足正常运行需要。
- 7.2.2 进行下列操作并观察设备各项自检数据指标记录，确保无人机、机场、信号天线以及空气传感等各个辅助设备正常工作：
- 手动控制遥控无人机进行远距离飞行，测试无人机信号天线是否正常工作；
 - 手动控制遥控无人机进行多点位水样采集，测试多点位水样采集功能是否正常工作；
 - 手动设置飞行任务，测试无人机场是否能够根据任务要求自动开启、释放无人机并控制其起降和完成任务。
- 7.2.3 通过控制单元依次操作各泵、阀、运动机构等部件是否运行正常，检查管路有无漏液。
- 7.2.4 检查液位计等传感设备是否正常触发与复位。
- 7.2.5 执行采样流程，通过调整采样容量传感器位置，调节管路清洗时间、采样量定容位置等参数，保证采样前对管路进行完全清洗以及采样量满足检测要求。
- 7.2.6 执行样品固定流程，调节试剂泵相关参数，保证试剂加注量符合要求且与水样均匀混合。
- 7.2.7 执行样品浓缩流程，调节浓缩倍率等参数，检查实际浓缩比例与参数设置是否保持一致。
- 7.2.8 执行检测流程，检查图像采集单元、AI 智能分析单元是否运行正常。
- 7.2.9 执行清洗流程，检查管道和浓缩装置是否完全清洗并排空。
- 7.2.10 设定自动运行时间，检查系统是否正常执行自动任务。
- 7.2.11 检查网络设置，确保数据传输与远程控制正常。
- 7.2.12 调试完成后，系统自动运行的检测结果应与人工采样检测结果进行比对，确保数据准确可靠。

8 运行维护

- 8.1 运维单位及人员配置应满足 HJ 915.3 相关要求。
- 8.2 系统运行时间及检测频次可以远程设置，以满足不同的监测要求。
- 8.3 系统运行时，因不可抗力因素导致停运的，应及时向相关主管部门报告并录入系统运行记录表。
- 8.4 远程维护：
- 每天远程查看系统的检测结果数据和运行日志，录入系统运行记录；

- 每周根据系统检测结果，判断系统运行情况及数据可靠性；
- 出现异常信息时，维护人员应分析产生的原因，并对相关流程的参数进行检查确认，必要时前往现场确认和维护。

8.5 现场维护：

- 定期检查采样点周边环境，及时清理杂物，记录水体、水位变化和采样口位置，保障采样正常；
- 检查确认系统管路、泵阀、传感器是否运行正常，定期对采样单元、预处理单元和检测单元中关键零部件和易损件进行清洗或更换；
- 定期添加或更换试剂；
- 定期转存废液，并对废液进行专业化回收处理；
- 检查确认系统电源接线可靠，线路无破损、漏电等情况；
- 每年对显微检测设备进行标定和校准。

9 数据管理

- 9.1 建立系统运行记录手册，每天将系统监测数据（如生物量、密度、浮游植物优势种属）和异常运行信息记录在运行记录表中。
- 9.2 建立系统维护保养手册，每次维护、保养或维护后将设备维护、故障处理、废液处理、试剂添加等信息录入系统维护保养表中。
- 9.3 定期检查主机存储空间并对数据进行备份，防止数据丢失。
- 9.4 定期对监测数据进行审核和分析，及时发现和解决问题。
- 9.5 建立操作权限等级制度，对维护操作人员、系统管理人员赋予不同权限，防止数据被篡改丢失。

10 质量保证与质量控制

- 10.1 系统设备应选择符合质量标准的原材料和性能稳定的零部件，并与供应商建立长期稳定的合作关系，以确保产品的可靠性。
- 10.2 核心部件（无人机、无人机库、显微镜、显微运动平台等）应提供厂家出具的质量保证资料，如合格证等文件。
- 10.3 在生产过程中，应对每个环节进行严格的控制。包括但不限于：工艺参数的调整、装配过程的监督、质量检测与测试等。通过建立科学的生产管理体系，及时发现和解决潜在的质量问题，确保系统设备的质量稳定。
- 10.4 质检部门应对设备进行严格的质量检测与测试，进行整机测试和性能参数的验证，检测合格后方能出厂，并出具完整的出厂检测记录和产品合格证明。
- 10.5 应制定标准化的系统安装与调试方案，严格要求作业人员按要求进行设备安装和调试工作，并做好安装调试记录。
- 10.6 系统所使用的试剂应当制定标准的制备方式、保存条件要求，并对使用中的试剂注明有效期限。
- 10.7 系统耗材清单就标明耗材名称、规格型号、更换周期等信息，并做好更换记录。
- 10.8 系统操作、维护人员应经过系统性的学习和培训，掌握设备的工作原理、运行流程、操作方法后，经考核合格方可上岗。
- 10.9 制定标准化的培训方案，对系统的使用和维护人员进行系统性的培训，保障设备高质量地稳定运行。
- 10.10 系统使用的显微镜应每年进行一次标定，以确定计数视野面积。
- 10.11 制定标准化的维护保养方案，定期对设备进行检查与维护，并做好维护记录。
- 10.12 应定期通过人工采样检测的方式，定期与系统监测结果进行比对分析，及时通过调整参数、更换配件等措施保障监测结果的准确性。
- 10.13 建立售后服务机制与良好的沟通渠道，及时解决系统在使用过程中发现的问题，保障设备长期稳定运行，同时根据用户的反馈与需求，进行质量改进与持续优化。

11 安全注意事项

- 11.1 系统在安装、调试、运行和维护过程中，所有操作人员都应接受专业培训并具备专业工作技能，在工作过程中注意安全防护措施，避免触电、机械伤害等事故发生。
- 11.2 定期对使用人员和维护人员进行复训，确保其熟练掌握系统的安全操作技能。
- 11.3 系统所使用的腐蚀性液体，必须有清晰明显的警示标识。
- 11.4 系统运行所产生的对环境有污染性的废液，必须设置专门的存储装置和固定存放区域，并设置警示标识，废液由专业机构回收处理。

附录 A
(资料性)
浮游植物优势种属名录

A. 1 浮游植物优势种属名录见表 A. 1。

表 A. 1 浮游植物优势种属名录

浮游植物种属		
舟形藻属	桥弯藻属	曲壳藻属
沟链藻属	针杆藻属	小环藻属
平裂藻属	微囊藻属	假鱼腥藻属
泽丝藻属	空星藻属	颤藻属
衣藻属	金杯藻属	细鞘丝藻属
直链藻属	星杆藻属	蹄形藻属
鱼鳞藻属	鱼腥藻属	游丝藻属
多甲藻属	羽纹藻属	转板藻属
菱形藻属	拟柱孢藻属	纺锤藻属
拟多甲藻属	空球藻属	尖头藻属
蓝隐藻属	栅藻属	鼓藻属
脆杆藻属	锥囊藻属	浮丝藻属
隐球藻属	盘星藻属	浮鞘丝藻属
纤维藻属	隐藻属	丝藻属
四角藻属	裸甲藻属	小球藻属
卵囊藻属	束丝藻属	

附录 B
(资料性)
无人机自动采样与浮游植物智能监测系统安装示意图

B. 1 无人机自动采样与浮游植物智能监测系统安装示意图见图 B. 1。

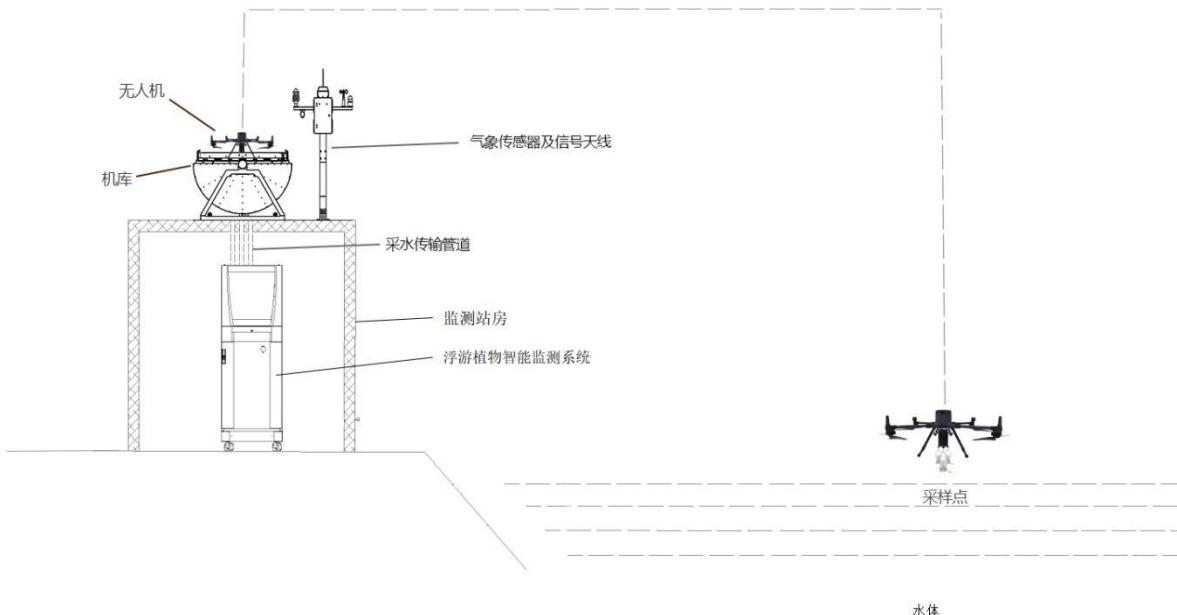


图 B. 1 无人机自动采样与浮游植物智能监测系统安装示意图

参 考 文 献

- [1] CH/Z 3001—2010 无人机航摄安全作业基本要求
 - [2] GB/T 14581—1993 水质 湖泊和水库采样技术指导
 - [3] HJ 1295—2023 水生态监测技术指南 河流水生生物监测与评价（试行）
 - [4] HJ 1296—2023 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）
-