

ICS 07.060

CCS A 45; A 90

# 团 体 标 准

T/CS0 \*-2024

## 船载无人直升机海洋气象观测 通用技术规程

general technical regulations for marine meteorological observation by shipborne  
unmanned helicopter

(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 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 一般规定 .....	1
4.1 观测方式 .....	1
4.2 观测任务 .....	1
4.3 数据采集与时间标准化 .....	1
4.4 观测人员要求 .....	2
4.5 观测环境要求 .....	2
4.6 支持母船要求 .....	2
4.7 观测仪器的通用条件 .....	2
5 气象观测要素 .....	2
6 无人机飞行姿态与定位导航 .....	3
7 观测仪器 .....	3
7.1 空气温湿度传感器 .....	3
7.2 风速风向传感器 .....	4
7.3 大气压强传感器 .....	4
7.4 净辐射传感器 .....	4
7.5 海表皮温传感器 .....	5
7.6 温室气体分析仪 .....	5
7.7 机载姿态仪 .....	5
8 天气观测 .....	5
9 能见度观测 .....	6
10 云量观测 .....	6
11 观测类别 .....	6
11.1 对比观测 .....	6
11.2 悬停观测 .....	6
11.3 巡航观测 .....	7
11.4 探空观测 .....	7
12 数据处理 .....	7
12.1 异常值剔除 .....	7
12.2 突变检验 .....	7
12.3 移动平台运动校正 .....	7
12.4 一致性检验 .....	8
13 数据存档 .....	8

附 录 A （资料性附录） 无人机飞行记录表 .....	9
附 录 B （资料性附录） 气象观测数据记录表 .....	10
参 考 文 献.....	11

## 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。

本文件由南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）提出。

本文件由中国海洋学会归口。

本文件起草单位：南方海洋科学与工程广东省实验室（珠海）

本文件主要起草人：张小波、杨清华、韩博、刘长炜、张功、周海涛、马玉婷……。



# 船载无人直升机海洋气象观测通用技术规程

## 1 范围

本文件给出了船载无人直升机（以下简称无人机）开展船载海洋气象观测的一般规定，气象观测要素、观测仪器、安装维护的技术规程，以及观测方式、数据处理与数据存储。

本文件适用于船载无人直升机海洋气象观测作业的组织 and 实施。

## 2 规范性引用文件

本文件无规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**无人直升机** unmanned helicopter

由遥控设备或自备程序控制装置操控，以动力驱动的旋翼为主要升力和推进力来源，能垂直起落的、重于空气的、具有任务载荷的不载人航空器。

### 3.2

**大气边界层** atmospheric boundary layer

最靠近下垫表面的对流层底层，受地表特征直接影响。

## 4 一般规定

### 4.1 观测方式

4.1.1 船载无人机海洋气象观测是由观测人员在科考船飞行甲板通过操控搭载气象要素传感器的无人直升机对科考船附近海域大气边界层气象要素进行观测的活动。

4.1.2 船载无人机海洋气象观测方式分为常规气象要素观测和大气边界层过程要素观测两种。常规气象要素观测是指无人机悬停在指定高度进行观测的方式。大气边界层过程要素观测是指无人机通过连续上升的方式进行气象要素及其变化过程的观测方式。

### 4.2 观测任务

4.2.1 观测海洋大气边界层的气象要素、记录观测内容。

4.2.2 向有关海洋服务部门、科研机构和其他有关部门提供航次观测的海洋气象观测情报。

4.2.3 为海洋气象预报、气象科学研究提供依据，为海洋气候分析积累历史资料。

### 4.3 数据采集与时间标准化

4.3.1 无人机搭载的数据采集器同时采集观测的要素数据，观测数据临时存储至采集器内存卡上，并即时回传至母船上无人机操控室备份。

4.3.2 无人机搭载的数据采集器使用的时制应与母船的时制一致，用协调世界时（UTC），观测记录及资料统计以16时为日界。

#### 4.4 观测人员要求

4.4.1 观测人员应经过海上安全培训，具备风险隐患识别和预防处理的能力。

4.4.2 观测人员应经过无人机驾驶培训并取得相应的无人机驾驶合格证。

4.4.3 观测人员应熟悉无人机的基本结构和工作原理，明确观测过程的职责和操作要点。

#### 4.5 观测环境要求

4.2.1 观测宜在光线良好，海面有效能见度不低于 1 千米，雷电、强风、强降水等天气条件下谨慎进行观测。

4.2.2 无人机起飞、降落观测期间海况应不大于 5 级。

4.2.3 无人机起飞、降落观测期间船速应不大于 3 节。

4.2.4 无人机起飞、降落观测期间风速应不大于 7 级。

#### 4.6 支持母船要求

4.3.1 应根据无人机的翼展、重量和尺寸，综合考虑作业任务和作业区域环境条件等，配备相应的支持母船。

4.3.2 支持母船应至少具备抵抗 6 级海况的航行能力。

4.3.3 支持母船甲板应具有无人机起降平台。

#### 4.7 观测仪器的通用条件

4.4.1 无人机搭载观测仪器的总重量不超过无人机的载重能力。

4.4.2 观测仪器应紧固搭载在无人机上，并做好防水、防尘、减震等防护处理。

4.4.3 观测仪器应经国家法定计量检定机构计量检定/校准/检测，且使用时应在检定有效期内。

4.4.4 观测仪器记录数据应准确可靠，并有断电保护功能。

4.4.5 观测仪器应能与控制台正常通信，检查观测结果应正常。

### 5 气象观测要素

气象观测要素及技术指标要求见表 1。

表1 基础通用标准明细表

序号	观测要素	技术指标要求
1	空气温度湿度	空气温度单位为摄氏度（℃），分辨率为 0.1℃，准确度为±0.2℃。 空气相对湿度单位为百分率（%），分辨率为 1%，准确度为±2%。



2	风速风向	风速单位为米每秒 (m/s)，分辨率为 0.1 m/s；当风速不大于 5.0 m/s 时，准确度为±0.5 m/s，当风速大于 5.0 m/s 时，准确度为测量值的±5%。 风向单位为度 (°)，分辨率为 3°，准确度为测量值的±5°。
3	大气压强	大气压强单位为百帕(hPa)，分辨率为 0.1 hPa，准确度为±0.3 hPa。
4	净辐射	净辐射单位为瓦每平方米(W/m <sup>2</sup> )，分辨率为 1 W/m <sup>2</sup> ，准确度为±20%。
5	海表皮温	海表皮温单位为摄氏度 (°C)，分辨率为 0.1°C，准确度为±0.2°C。
6	温室气体：二氧化碳、水汽、甲烷	二氧化碳浓度为百万分比浓度(ppm)，分辨率为 1 ppm，准确度为±1 ppm。 水汽浓度单位为百万分比浓度(ppm)，分辨率为 1 ppm，准确度为±6 ppm。 甲烷单位为百万分比浓度(ppm)，分辨率为 0.001 ppm，准确度为±0.003 ppm。

## 6 无人机飞行姿态与定位导航

无人机飞行姿态与定位导航见表2

表2 无人机飞行姿态与定位导航

序号	观测要素	技术指标要求
1	角速度	角速度单位为度每秒 (°/sec)，分辨率为 0.01°/sec，准确度为±0.05°/sec。
2	姿态（横滚、俯仰）	横滚和俯仰单位为度 (°)，分辨率为 0.1°，准确度为±0.25°。
3	定位	定位单位为米 (m)，分辨率为 0.5m，准确度为±1m。
4	速度	定位单位为米每秒 (m/s)，分辨率为 0.1m/s，准确度为±0.2m/s。
5	航向	航向单位为度 (°)，分辨率为 0.1°，准确度为±0.8°。

## 7 观测仪器

### 7.1 空气温湿度传感器

#### 7.1.1 传感器的指标为：

——温度：测量范围(-50~80)°C，分辨率为 0.1°C，准确度为±0.2°C。

——湿度：测量范围(0-100)%，分辨率为 1%，准确度为±2%。

7.1.2 传感器的安装：空气温度和相对湿度传感器需安装在防辐射罩内，尽量避免无人机自身发动机、电调和风扇等产生的热源和辐射的影响。

7.1.3 传感器的维护：日常需定期进行维护，检查设备与数据采集器连接是否正常。每次起飞前进行检查，确保防辐射罩没有破裂，传感器末端的过滤器也应定期检查是否有污渍。

## 7.2 风速风向传感器

### 7.2.1 传感器的指标为：

——风速：测量范围(1~30)m/s，分辨率为 0.1 m/s，当风速不大于 5.0 m/s 时，准确度为±0.5 m/s，当风速大于 5.0 m/s 时，准确度为±5%。

——风向：测量范围(0-360)°，正北为 0°，分辨率为 3°，准确度为±5°。

7.2.2 传感器的安装：风的传感器应安装在无人机主旋翼的上部，尽可能远离其主旋翼和尾翼，减少旋翼转动产生的扰流对风的影响。且风向传感器的 0° 应与无人机机头朝向一致。

7.2.3 传感器的维护：日常需定期进行维护，检查设备与数据采集器连接是否正常。每次起飞前进行检查超声探头无污渍，探头之间无遮挡。超声风向传感器的 0° 安装位置与无人机机头朝向一致。

## 7.3 大气压强传感器

7.3.1 传感器的指标为：测量范围(500~1100)hPa，分辨率为 0.1hPa，准确度为±0.3hPa。

7.3.2 传感器的安装：气压传感器安装在无人机机腹内，尽量避免无人机的发动机、电调和风扇等产生的热源影响，气压透气口不被旋翼转动、无人机运动产生的风影响。

7.3.3 设备维护：日常需定期进行维护，检查设备与数据采集器连接是否正常。起飞前检查气压传感器气管与外部空气接触部分是否通畅，确保无污渍或昆虫堵塞、管路无破损。

## 7.4 净辐射传感器

### 7.4.1 传感器的指标为：

——长波辐射：光谱范围（300~2800）nm，非线性误差：<1%；

——短波辐射：光谱范围（4500-42000）nm，非线性误差：<1%。

——净辐射：分辨率为 1W/m<sup>2</sup>，准确度为±1W/m<sup>2</sup>。

7.4.2 传感器的安装：系统可采用分体式或一体式四分量传感器进行观测，安装方法如下：

——分体式四分量传感器中一套长波和短波安装在主旋翼上部，另外一套长波和短波传感器安装在无人机脚架下部，必要时可加装稳定云台，用于保持四分量传感器水平；

——一体式四分量传感器安装应伸出无人机，避免旋翼转动时对辐射镜头的遮挡，以及机体对反射辐射部分的影响。

7.4.3 传感器的维护：日常需定期进行维护，检查设备与数据采集器连接是否正常。起飞前检查辐射四分量探头是否清洁，探头如果有灰尘、盐渍、雨滴、油污，应及时使用镜头布清洗。

## 7.5 海表皮温传感器

7.5.1 传感器的指标为：测量范围-10℃~40℃，分辨率为 0.1 °C，准确度为±0.2℃。

7.5.2 传感器的安装：海表皮温传感器安装在无人机脚架上，红外接收探头应垂直朝向海面。在观测海表皮温的时候，无人机飞行距离海面垂直距离不超过 20 米。

7.5.3 传感器的维护：日常需定期进行维护，检查设备与数据采集器连接是否正常。起飞前检查海表皮温红外探头是否清洁，探头如果有灰尘、盐渍、雨滴、油污，应用清水和棉签及时清洗。

## 7.6 温室气体分析仪

7.6.1 分析仪的指标为：

——二氧化碳：测量范围为(0~1000)ppm，分辨率为 1 ppm，准确度为±1 ppm；

——水汽浓度：测量范围为(0~7)%Vol，分辨率为 1 ppm，准确度为±6 ppm；

——甲烷：测量范围为(0~15)ppm，分辨率为 0.001 ppm，准确度为±0.003 ppm。

7.6.2 分析仪的安装：应安装在无人机机腹内，分析仪进气口放置在无人机机头部分。

7.6.3 分析仪的维护：日常需定期进行维护，检查设备与数据采集器连接是否正常。起飞前检查气体分析仪气管与外部空气接触部分是否通畅，确保无污渍或昆虫堵塞、管路无破损。

## 7.7 机载姿态仪

7.7.1 机载的指标为：

——角速度：测量范围为(-300~300) ° /sec，分辨率为 0.01° /sec，准确度为±0.05° /sec；

——姿态：测量范围为(-90~90) °，分辨率为 0.1°，准确度为±0.25°。

——定位：测量范围为(0~5000) m，分辨率为 0.5m，准确度为±1m；

——速度：测量范围为(-30~30) m/s，分辨率为 0.1 m/s，准确度为±0.2 m/s；

——航向：测量范围为(0~360) °，分辨率为 0.1°，准确度为±0.8 °。

7.7.2 传感器的安装：机载传感器安装在无人机靠近重心位置上，卫星导航定位系统天线应安装在无人机上部且无遮挡的位置。

7.7.3 设备维护：日常需定期进行维护，检查设备与数据采集器连接是否正常。起飞前检查陀螺仪和卫星导航定位系统安装紧固其无松动。

## 8 天气观测

8.1 主要指无人机观测时发生的天气现象种类的观测，并记录到附录A。主要包括以下现象：

——晴天无云；

——晴天有云；

——阴天；

——海雾；

——降雨；

——水龙卷；

8.2 出现水龙卷时应记录移动方向、出现时间、消亡时间。

8.3 观测中出现多种天气连续变化，需持续记录。

## 9 能见度观测

9.1 以人工目测方式进行，并记录到附录A。

9.2 白天站在飞行甲板，其向海面方向的能见度，根据水天线的清晰程度来判定：

——十分清晰，能见度 $\geq 50$ 千米；

——清晰， $20$ 千米 $\leq$ 能见度 $< 50$ 千米；

——勉强看清， $10$ 千米 $\leq$ 能见度 $< 20$ 千米；

——隐约可见， $4$ 千米 $\leq$ 能见度 $< 10$ 千米；

——完全看不清，能见度 $< 4$ 千米。

9.3 夜晚能见度参考科考船驾驶室的能见度。

## 10 云量观测

10.1 以人工目测为主，并记录到附录A。

10.2 只观测总云量，即云遮蔽天空视野的份数，把天空分成八等份，根据天空被云遮蔽的份数，确定云量百分比。

## 11 观测类别

### 11.1 对比观测

在正式开展无人机观测前，应对无人机搭载的气象要素观测设备和科考船搭载的气象设备进行对比观测，具体要求如下：

——对比观测的基本项目：空气温度、空气湿度、风速、风向、气压、净辐射、海表皮温、二氧化碳、水汽、甲烷，没有的项目除外；

——对比观测的时间：无人机观测正式开展前的半小时。

### 11.2 悬停观测

8.1.1 无人机起飞后远离船体悬停，作为开始观测时间并记录到附录A。

8.1.2 保持距海表4米，8米，16米，32米，分别观测5分钟。

8.1.3 无人机在上风向位置保持飞机悬停，远离船体 50 米以上。

8.1.4 无人机返回甲板时作为观测结束时间并记录到附录 A。

### 11.3 巡航观测

8.2.1 无人机起飞后远离船体悬停，作为开始观测时间并记录到附录 A。

8.2.2 使用无人机进行海面垂直高度小于 1 千米，水平范围小于 10 千米的立体观测。无人机根据自身技术指标特点，按照一定的航迹规划方法，制定最优或次优路径。常用的航迹规划方法包括以下 2 种：

——“S”形大面观测航线，在一定高度上获得大面多个观测点的大气要素值；

——螺旋式空间断层扫描航线，可以获得三维空间多个观测点的大气要素值。

8.2.3 无人机返回甲板时作为观测结束时间并记录到附录 A。

### 11.4 探空观测

8.3.1 无人机起飞后远离船体悬停，作为开始观测时间并记录到附录 A。

8.3.2 无人机连续上升至 1 千米时并记录到附录 A。

8.3.3 无人机连续下降至初始观测高度，作为结束观测时间并记录到附录 A。

## 12 数据处理

### 12.1 异常值剔除

通过数据采集器输出的诊断值来判断，当仪器的观测值在合理的量程内，且信号强度足够时，数据采集器才输出“数据可用”的诊断标识。

### 12.2 突变检验

在固定时间序列长度内，采用观测值 $[\bar{X} - 4\sigma, \bar{X} + 4\sigma]$ 的数据，其中 $\bar{X}$ 为平均值， $\sigma$ 为标准差。

### 12.3 移动平台运动校正

运动校正主要针对因无人机航行、晃动过程对观测风速造成的影响。真实风速是指在大地坐标系中的风速( $u_{true}$ )，可看作测量风速( $u_{mea}$ )与无人机运动速度( $u_{uav}$ )在大地坐标系上之差值： $u_{true} = u_{mea} - u_{uav}$ 。式中， $u_{uav}$ 为无人机在地球坐标系下的速度，可由 GPS 直接测量获得， $u_{mea}$ 是将风速传感器在无人机平台上观测的风速，与无人机航向( $\psi$ )和速度( $u_{uav}$ )有关。真实的风按下列步骤进行计算：

1、将导航的航向转化为常用的平面角度：

$$\psi_m = 90 - \psi;$$

2、如果  $\psi_m < 0$ ;  $\psi_m = \psi_m + 360$ ;

3、计算无人机视角的风向： $WDa = HD + WD$ ; HD 为无人机机头朝向，WD 为无人机上观测的风向。

4、如果  $WDa > 360$ ;  $WDa = WDa - 360$ ;

5、将角度转换至常用的数学坐标系： $WDam = 270 - WDa$ ;

6、如果  $WDam < 0$ ;  $WDam = WDam + 360$ ; 如果  $WDam > 360$ ;  $WDam = WDam - 360$ ;

7、计算 X 轴方向速度： $U_x = (WS * \cos(WDam)) + (u_{uav} * \cos(\psi_m))$ ; WS 无人机上观测的风速， $U_x$  向东为正;

计算 Y 轴方向速度： $U_y = (WS * \sin(WDam)) + (u_{uav} * \sin(\psi_m))$ ;  $U_y$  向北为正;

8、计算真实风速： $U_{true} = \sqrt{U_x^2 + U_y^2}$

9、计算风向： $WDture = 270 - \arctan(U_y/U_x)$ ;

10、如果  $WDture < 0$ ;  $WDture = WDture + 360$ ; 如果  $WDture > 360$ ;  $WDture = WDture - 360$ ;

#### 12.4 一致性检验

一致性检验包括时间和空间上的一致性检验。时间上的一致性检验主要是通过邻近时刻观测数据或气候态判别时间序列的异常波动。空间一致性的检验则是对比不同观测平台或传感器在同一时刻的观测数据，进而识别观测异常值，如利用船载气象站和探空观测数据对无人机观测数据进行验证。

### 13 数据存档

观测资料载体为纸质或计算机存储器。观测资料，特别是自动记录资料要定期转录到非易失性存储器(如光盘)上。在未转录到非易失性存储器上之前，应备份两份。按 GB/T12763.7 的要求，进行数据的进一步处理，生成数据文件见附录 B。

附 录 A  
(资料性附录)  
无人机飞行记录表

表A.1为无人机飞行记录表。

表A.1 无人机飞行记录表

海区：	船名：	调查机构：	站号：		
经度：	纬度：	海拔：	日期：	年	月 日
任务名称					
机型			机身号		
天气	能见度(km)	云量(%)	温度(°C)	风向(°)	风速(m/s)
架次	1	2	3	4	5
起飞时间					
降落时间					
飞行时长	__时__分__秒	__时__分__秒	__时__分__秒	__时__分__秒	__时__分__秒
观测设备					
观测种类	<input type="checkbox"/> 悬停 <input type="checkbox"/> 巡航 <input type="checkbox"/> 探空	<input type="checkbox"/> 悬停 <input type="checkbox"/> 巡航 <input type="checkbox"/> 探空	<input type="checkbox"/> 悬停 <input type="checkbox"/> 巡航 <input type="checkbox"/> 探空	<input type="checkbox"/> 悬停 <input type="checkbox"/> 巡航 <input type="checkbox"/> 探空	<input type="checkbox"/> 悬停 <input type="checkbox"/> 巡航 <input type="checkbox"/> 探空
其他记录：					
异常情况记录	出现时间	异常情况		处理措施	处理人
	__时__分				

观测者：

校对者：

审核者：

附 录 B  
(资料性附录)  
气象观测数据记录表

表B为无人机气象观测数据记录表。

表 B 气象观测记录表

海区:		船名:		调查机构:			站号:			日期: 年 月 日																
日期时间	经度	纬度	海拔	温度	湿度	气压	风速	风向	净辐射	从上往 下长波	从上往 下短波	从下往 上长波	从下往 上短波	海表皮温	二氧化碳	水汽	甲烷	X轴 加速度	Y轴 加速度	Z轴 加速度	横滚	俯仰	航向	航速	定位	



### 参 考 文 献

- [1]GB/T 12763.3-2020 海洋调查规范 第3部分：海洋气象观测
- [2]GB/T 35221-2017 地面气象观测规范 总则
- [3]GJB5433-2005 无人机系统通用要求