

中华人民共和国海洋行业标准

HY/T XXXXX—XXXX

极地极光全视野观测规范

The specifications for polar all-sky aurora observations

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

## 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
4 总体要求.....	1
4.1 观测场地.....	1
4.2 观测设备.....	2
4.3 成像方位.....	2
4.4 采集程序.....	2
4.5 观测时间窗口.....	2
4.6 观测记录.....	2
4.7 数据存储.....	3
5 极光全视野观测.....	3
5.1 观测步骤.....	3
5.2 星空图像采集.....	3
5.3 全视野图像光学几何参数确定.....	4
5.4 极光子午线强度时变图（极光 keogram）制作.....	7
附 录 A （资料性） 极光全视野观测记录表.....	9
附 录 B （资料性） 三角测量定位法.....	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。

本文件由中华人民共和国自然资源部提出。

本文件由全国海洋标准化技术委员会（SAC/TC283）归口。

本文件起草单位：中国极地研究中心（中国极地研究所）、国家海洋标准计量中心。

本文件主要起草人：黄德宏、胡泽骏、牟长青。

## 引 言

由于地球磁场的特殊位形，太阳风-磁层-电离层相互作用汇聚在极区电离层，极光就是这些相互作用过程在极区高空大气中的显著表现，开展极光全视野观测可以获得磁场重联等边界层动力学过程在电离层高度的二维图像数据，对空间物理研究以及空间天气监测和预报具有特别重要的科学价值。

自1997年开始，我国在南极中山站开展了极光全视野观测，2003年中国极地研究中心（中国极地研究所）（以下简称“极地中心”）在与南极中山站几乎处在同一根磁力线的北极黄河站安装了三波段极光全视野观测系统，2011年极地中心在距离黄河站南约100公里处隶属于斯瓦尔巴特大学中心(The University Centre in Svalbard)的KHO(The Kjell Henriksen Observatory)站设立了新的极光观测点。2013年至2017年，极地中心在处在极光带下的中-冰联合北极科学考察站先后安装了4台极光全视野成像仪。上述极光全视野观测设备在极地台站连续工作，取得了大量、珍贵的极光全视野光学数据。

由于每次执行极光现场观测的人员不是固定的，而且极光观测对场地光照条件、设备标定等有特定要求和限定条件，为获取高质量极光全视野成像数据，特制定《极地极光全视野观测规范》。《极地极光全视野观测规范》依据行业标准的规则进行起草，旨在对我国极地极光全视野观测提供依据性文件，适用于我国在极地开展极光全视野观测，以保证观测资料的可信度和质量，便于观测数据的国际、国内交换、共享和使用。

# 极地极光全视野观测规范

## 1 范围

本文件规定了在我国极地科考站开展极光全视野观测的总体要求、观测步骤、数据采集和处理等内容。

本文件适用于我国在地理纬度 $60^{\circ}$ 及以上极地科考站开展极光全视野观测。

## 2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**极地空间环境观测** polar space environment observation

在地球南北极区开展的与日地空间环境有关的观测。

### 3.2

**极光** aurora

太阳风与地球磁层相互作用产生的高能粒子沿磁力线沉降到大气层轰击高层大气成分，使其激发或电离而产生的发光现象。

[来源：GB/T 41026-2021, 4.2]

### 3.3

**极光子午线强度时变图** aurora keogram

截取每帧极光图像沿地磁子午方向线强度信息，按采集的时间进行横向排列，用伪彩色表示极光强度信息图像。

### 3.4

**太阳高度角** solar elevation

地球上的某个地点太阳光线与通过该地与地心相连的地表切面的夹角。

## 4 总体要求

### 4.1 观测场地

#### 4.1.1 观测探头室

极光全视野观测设备光学部件需置于独立的观测探头室。观测探头室需配置加热、通风装置和光学透明罩除霜装置。离室内地面 1.5m 以上温度范围控制在  $0^{\circ}\text{C}\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度控制在 40% 以下。

#### 4.1.2 周边环境

观测探头室周边应没有遮挡物，开阔视野范围不小于  $160^{\circ}$ （即天顶角  $\pm 80^{\circ}$ ）。观测时无人工光源直射镜头和镜头上方的光学透明罩。

#### 4.2 观测设备

极光全视野观测设备需具备以下要求：

- a) 光学前端配备视野范围  $180^{\circ}$  的鱼眼镜头；
- b) 成像端配备电荷耦合器件 (CCD) 相机或电子倍增电荷耦合器件 (EMCCD) 相机或科学级互补金属氧化物半导体 (sCMOS) 相机, 成像面像素不低于  $512\times 512$ ；
- c) 针对单色全视野极光成像观测，需配备滤光片插槽和配套的窄带滤光片，滤光片的半高全宽 (FWHM) 不大于 2nm。

#### 4.3 成像方位

极光全视野观测设备在安装时，在条件许可的情况下应使观测设备成像图像的上下方向与本地台站地磁子午线方向对齐；无法满足上述条件时，可以通过拍摄星空图然后利用星空定位的方法确定极光图像的方位。

极光全视野观测设备主体或设备光路上的部件因为移动造成方位变化时，至少进行一次星空图采集以确定全视野图像的方位。极光图像的方位角误差小于  $1^{\circ}$ 。

#### 4.4 采集程序

采集程序具备单帧采集和自动序列采集功能。单帧采集主要供定位、聚焦、暗电流文件采集等使用，自动序列采集为观测设备正常工作模式。采集程序应具备曝光时间、增益控制等参数可调和记录相机开始曝光时刻等功能。

极光观测采集计算机系统时间采用世界时。

#### 4.5 观测时间窗口

极光观测应选择在晴朗的夜间，全视野范围内云覆盖应低于一半的条件下进行。满月期间（月相高于 95%）视观测设备的具体情况，可以暂停观测。

在满足上述观测条件下，光学观测在本地太阳高度角低于  $-15^{\circ}$ （在地平线下  $15^{\circ}$ ）时间段内进行。极夜期间太阳高度角始终低于  $-15^{\circ}$  时，观测不间断。

#### 4.6 观测记录

一次极光观测结束后，按附录 A 填写极光全视野观测记录表。

## 4.7 数据存储

一次极光观测结束后，所有观测数据需进行二次备份，实现数据安全存储。

## 5 极光全视野观测

### 5.1 观测步骤

极光观测应按以下步骤进行：

- a) 在满足观测条件的情况下，计算每次可观测时间窗口并对观测程序进行设置；
- b) 检查观测室的情况，查看光学透明罩是否有结霜情况，如果有，应开启除霜装置进行除霜；
- c) 在起始观测时间前半小时，在相机快门关闭的情况下，开启采集计算机和观测设备，对采集程序采集时间、曝光时间等参数进行设置，开启 CCD 相机制冷程序，CCD 相机制冷目标温度设置应低于 $-60^{\circ}\text{C}$ ；
- d) 采集一帧暗电流图像；
- e) 在光学透明罩无结霜前提下，按预定的观测时间采集极光序列图像；
- f) 采集一帧暗电流图像；
- g) 关闭采集设备电源；
- h) 每次观测结束后，做好观测记录和数据备份。

### 5.2 星空图像采集

#### 5.2.1 星空图像采集方式

采用单帧曝光拍摄方式，在 CCD 相机或 EMCCD 相机稳定在预设的制冷温度时，以小于 10 秒的曝光时间进行星空图像采集。

#### 5.2.2 星空图像的成像要求

全视野星空图像采集主要用于全视野极光图像的“物-像”光学几何参数定标。星空图像的成像要求为：

- a) 星点不存在拖影，星点强度呈单峰分布；
- b) 视野内清晰成像的星点数量应不少于 20 颗。

#### 5.2.3 星空图样例

图 1 给出了星空图样例，该星空图拍摄时间：世界时 2004 年 11 月 9 日 16:51:05，地点：北极黄河站，曝光时间：2 秒。

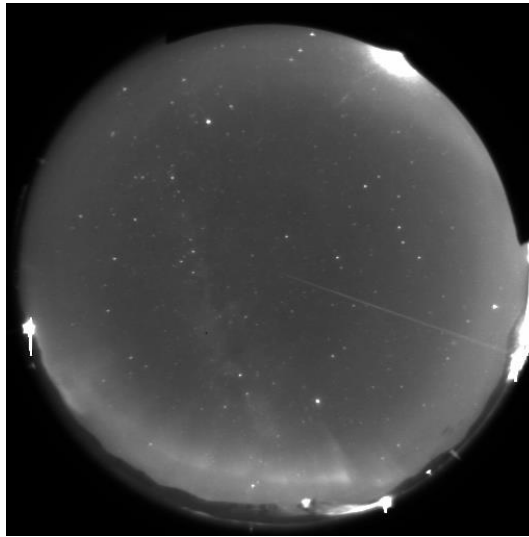


图 1 星空图样例

### 5.3 全视野图像光学几何参数确定

#### 5.3.1 全视野图像天顶坐标

利用星点位置对全视野图像在地理坐标系下的方位角进行定位的原理类似于三角测量定位法（附录 B）的原理。步骤如下：

- a) 选择星点  $M$  和  $N$ ，其在全视野图像中的坐标分别记为  $M(x_M, y_M)$ ， $N(x_N, y_N)$ ；
- b) 计算  $M$ 、 $N$  两点间距离  $L_{MN}$  为：

$$L_{MN} = \sqrt{(x_N - x_M)^2 + (y_N - y_M)^2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$L_{MN}$  为  $M$ 、 $N$  两点间的距离，单位为像素值；

$x_M$ 、 $y_M$  分别为点  $M$  在全视野图像中的横坐标和纵坐标值；

$x_N$ 、 $y_N$  分别为点  $N$  在全视野图像中的横坐标和纵坐标值。

- c) 线段  $MN$  中点为  $D(x_D, y_D)$ ，则  $MD$  距离  $L_{MD}$  为：

$$L_{MD} = L_{MN}/2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$L_{MD}$  为点  $M$  和点  $D$  间的距离，单位为像素值。

- d) 由星点  $M$  和星点  $N$  方位角的差值绝对值计算该两星点间的夹角  $\angle MON$ ，假设  $\angle MON = \alpha$ ；
- e) 根据点  $M$ 、 $N$  和  $\angle MON$ ，可以确定一个三角形  $\triangle MON$ 。假设  $\triangle MON$  的外接圆圆心为  $A(x_A, y_A)$ ，则  $\angle MON$  为  $\odot A$  的一个圆周角，而圆心角

$$\angle MAN = 2\angle MON \quad \dots\dots\dots (3)$$

- f) 圆心  $A$  到线段  $MN$  之间的距离  $L_{AD}$  为：

$$L_{AD} = L_{MD}/\tan \alpha \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$L_{AD}$  为圆心  $A$  到线段  $MN$  之间的距离，单位为像素值。



g) 圆 A 的半径  $R_A$  为:

$$R_A = \sqrt{L_{AD}^2 + L_{MD}^2} \dots\dots\dots (5)$$

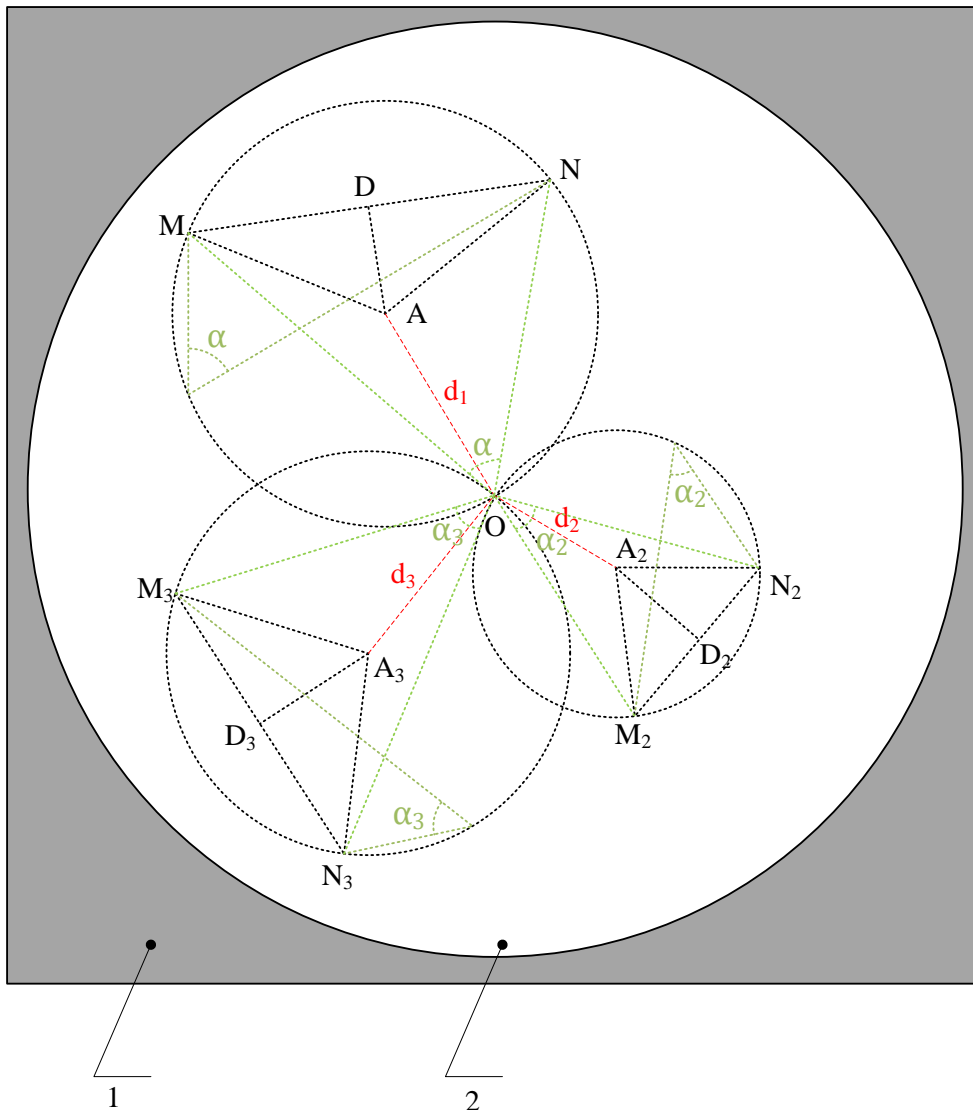
式中:

$R_A$  为圆 A 的半径, 单位为像素值。

h) 利用勾股定理计算圆心坐标, 计算公式为

$$\begin{cases} (x_M - x_A)^2 + (y_M - y_A)^2 = L_{AD}^2 + L_{MD}^2 \\ (x_N - x_A)^2 + (y_N - y_A)^2 = L_{AD}^2 + L_{MD}^2 \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

计算的圆心坐标有两组, 选择距离全视野图像中心点近的一组;



标引序号说明:

1——全视野极光成像设备 CCD 相机成像区域 (矩形阴影), 左上顶点坐标为 (0, 0);

2——全视野极光成像设备经前端光路实际有效成像区域 (实线边界大圆)。

图 2 全视野图像天顶坐标定位示意图

- i) 选择另外两组星点，重复步骤 a) 到步骤 h)，计算对应的外接圆圆心坐标和半径；
- j) 如果选择的三组星点确定的三个圆有一个共同的交点，如图 2 所示。则该点即为全视野图像的天顶  $O(x_0, y_0)$ 。按照三角定位的方法计算出这个交点的坐标即可；

$$\begin{cases} (x_A - x_0)^2 + (y_A - y_0)^2 = d_1^2 \\ (x_{A_2} - x_0)^2 + (y_{A_2} - y_0)^2 = d_2^2 \\ (x_{A_3} - x_0)^2 + (y_{A_3} - y_0)^2 = d_3^2 \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$x_{A_2}$  和  $y_{A_2}$  分别为圆心  $A_2$  点横坐标值和纵坐标值；

$x_{A_3}$  和  $y_{A_3}$  分别为圆心  $A_3$  点横坐标值和纵坐标值；

$d_1$ 、 $d_2$  和  $d_3$  分别为圆心  $O$  到圆心  $A$ 、 $A_2$  和  $A_3$  的距离。

- k) 在星点的所有组合中，会存在三个圆没有两两相交的情况，计算过程中要将这些组合排除；
- l) 在实际计算过程中三圆精确交于一点的情况也是极少的，大多是过相交的情况，如图 B.1b) 所示。遇到这种情况时，
- 1) 分别两两计算三个交点之间的距离；
  - 2) 如果交点之间的距离都小于 5 个像素，分别计算出三个点横坐标和纵坐标的平均值即可；
  - 3) 如果某一个交点与其他两个交点距离都大于 5 个像素，则排除该交点，重新增加一组星点计算，直到满足交点之间的距离都小于 5 个像素。

### 5.3.2 全视野图像天顶角与成像半径关系

不同地面观测台站的全视野成像仪的鱼镜头的设计模型各有差异，但是利用多项式拟合观测图像中星点的天顶角与它们在图像中的成像半径是最普遍的。星点的天顶角 ( $Z_a$ ) 与其在全视野图像中成像半径 ( $r$ ) 的散点图呈线性分布，通过采用直线拟合的方法确定两者的函数关系式，即

$$r = a \cdot Z_a + b \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$r$  为星点在全视野图像中成像半径，单位为像素值；

$a$  为拟合系数；

$b$  为常数。

### 5.3.3 全视野图像地理方位确定

5.3.3.1 确定天顶在图像中的位置  $O(x_0, y_0)$ ，以  $O$  点为原点， $y = y_0$  正半轴（向右为正）为参照，计算地理北与其夹角，从而得到地理北的确切位置。

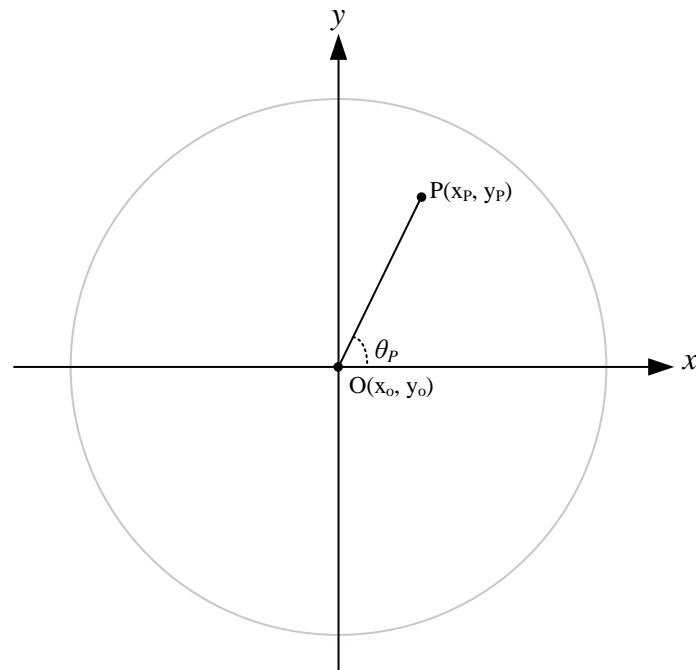


图3 极光全视野图像方位确定示意图

5.3.3.2 在极光全视野图像上选择一个星点  $P$ ，如图3所示，其在图像中的像素点位置  $(x_P, y_P)$  和方位角  $\alpha_P$  已知，确定星点  $P$  与参考轴的夹角  $\theta_P$ （单位为度）

$$\theta_P = \arctan\left(\frac{y_P - y_0}{x_P - x_0}\right) \dots\dots\dots (9)$$

5.3.3.3 选择的星点  $P$  在第一和第四象限时， $\theta_P$  是星点  $P$  与沿  $x$  轴正半轴的夹角。此时地理北与参考轴的夹角  $\theta$  为：

$$\theta = 360 - \alpha_P - \theta_P \dots\dots\dots (10)$$

5.3.3.4 选择的星点  $P$  在第二和第三象限时， $\theta_n$  是星点  $P$  与沿  $x$  轴负半轴的夹角。此时地理北与参考轴的夹角  $\theta$  为：

$$\theta = 360 - \alpha_P - \theta_P - 180 \dots\dots\dots (11)$$

#### 5.4 极光子午线强度时变图（极光 keogram）制作

制作极光子午线强度时变图的步骤如下：

- a) 确定极光全视野图像的方位角  $\theta$ ；
- b) 利用地磁模型，计算观测点的地磁南北方向相对于地理南北方向的夹角  $\alpha$ ；
- c) 根据极光全视野图像的采集成像左右反转的实际情况，使用  $\theta - \alpha$  或  $\theta + \alpha$  确定全视野图像相对地磁坐标的方位角；
- d) 极光 keogram 图（如图4示意）横坐标为世界时（UT），每天一幅图，即自0点开始至24点结束；纵坐标为地磁南北方向，自上而下分别指示地磁北（ $90^\circ$ ）方向至地磁南（ $-90^\circ$ ）方向，中间为正天顶；
- e) 抽取当天观测得到的全视野图像沿地磁南北方向（地磁子午线）上的图像数据，按照时间序列排列，构成极光 keogram 图图像数据部分。缺失数据用白色填充；
- f) 极光 Keogram 图需配置颜色条，用伪彩标识极光的强度信息，单位为千瑞利（kR）或使用光子计数（Counts）。

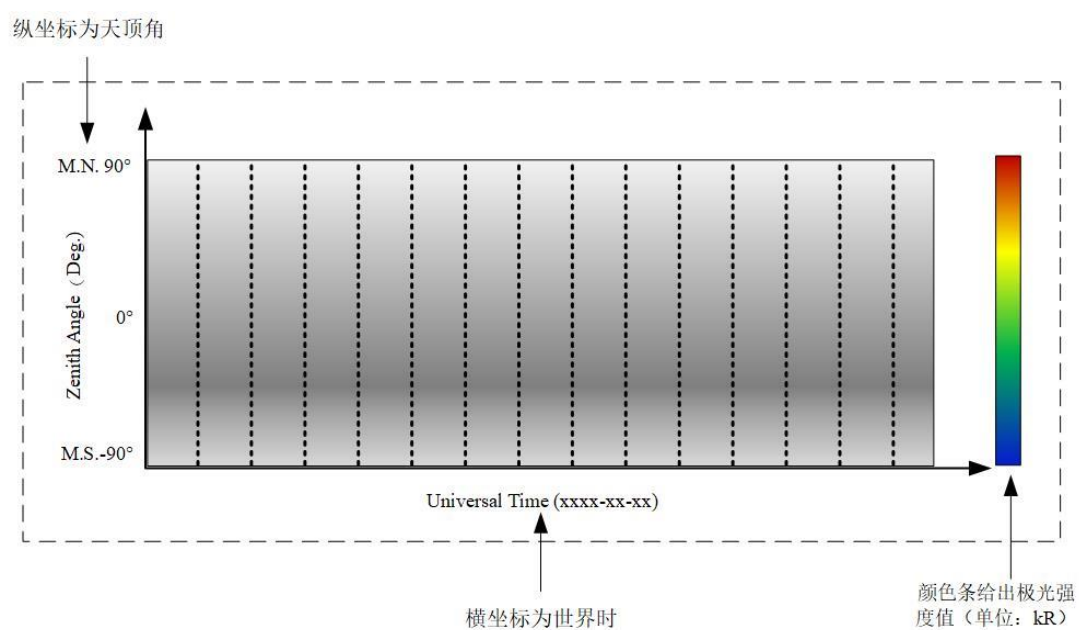


图 4 极光子午线强度时变图示意

附 录 A  
(资料性)  
极光全视野观测记录表

表 A.1 给出了极光全视野观测记录表。

表A.1 极光全视野观测记录表

年 月 日	星期	主导天气		记录员	
<b>设备运行情况 (建议每 6 小时巡查一次)</b>					
巡查时间 (世界时)	时 分	时 分	时 分	时 分	时 分
室外气温 (°C)					
机房湿度 (%)					
机房温度 (°C) (距地面 1.5m 以上)					
云量覆盖情况					
相机状态	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 故障	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 故障	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 故障	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 故障	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 故障
相机制冷温度 (°C)					
主机运行情况	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 故障	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 故障	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 故障	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 故障	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 故障
实时数据图像	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 异常
系统时间	<input type="checkbox"/> 准确 <input type="checkbox"/> 手动校准	<input type="checkbox"/> 准确 <input type="checkbox"/> 手动校准	<input type="checkbox"/> 准确 <input type="checkbox"/> 手动校准	<input type="checkbox"/> 准确 <input type="checkbox"/> 手动校准	<input type="checkbox"/> 准确 <input type="checkbox"/> 手动校准
供电情况	<input type="checkbox"/> 站区电力 <input type="checkbox"/> 自发电 <input type="checkbox"/> UPS <input type="checkbox"/> 蓄电池				
光学系统状态	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 故障				
观测波长 (nm)			积分时间 (s)		
记录开始时间	时 分	记录结束时间	时 分		
<b>数据与网络情况</b>					
数据文件总数			二次备份完成情况	<input type="checkbox"/> 完成 <input type="checkbox"/> 未完成	
数据上传情况	<input type="checkbox"/> 自动 <input type="checkbox"/> 手动 <input type="checkbox"/> 未上传		上传文件数		
至节点站网络	<input type="checkbox"/> 正常 <input type="checkbox"/> 慢速 <input type="checkbox"/> 故障				
人工操作情况、故障说明、当日总结及其他事项:					
值班人员签字					

附录 B  
(资料性)  
三角测量定位法

利用星点位置进行全视野图像定位的原理类似于三角测量定位法的原理。

三角测量定位法，是用两台或者两台以上的探测器在不同位置探测目标方位，然后运用三角几何原理确定目标的位置和距离。一般是利用三台探测器，在不同的位置测出距目标的距离，这样就得到了三个点的位置坐标  $A(x_1, y_1)$ 、 $B(x_2, y_2)$ 、 $C(x_3, y_3)$  和目标点  $O(x_0, y_0)$  到三点的距离  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 。以  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$  为半径作三个圆（图 B.1），由勾股定理，得出交点（目标点）的计算公式：

$$\begin{cases} (x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 = d_1^2 \\ (x_2 - x_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 = d_2^2 \\ (x_3 - x_0)^2 + (y_3 - y_0)^2 = d_3^2 \end{cases} \quad (B.1)$$

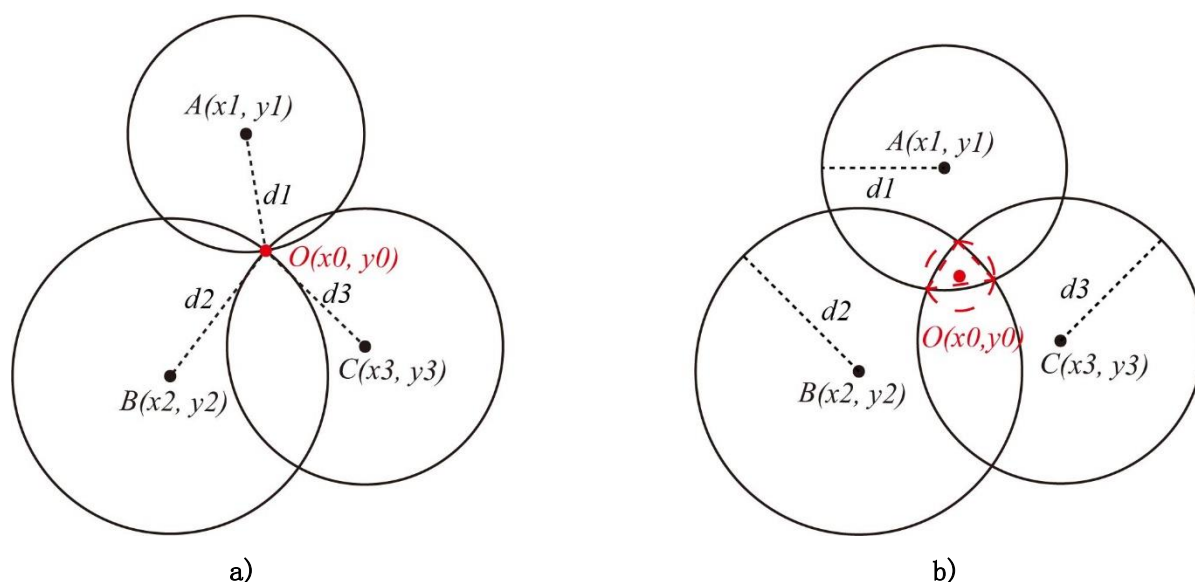


图 B.1 三角定位原理图解；a) 理想结果，b) 过相交情况

### 参 考 文 献

- [1] GB/T 41026-2021 极地科学考察术语
  - [2] 全国自然科学名词审定委员会.《地球物理学名词》.北京:科学出版社,1988
  - [3] 中国军事百科全书第二版编审委员会.中国军事百科全书(第二版)学科分册《军事空间天气》.北京:中国大百科全书出版社,2007
  - [4] 中国大百科全书总编辑委员会.《中国大百科全书 固体地球物理学、测绘学、空间科学》.北京·上海:中国大百科全书出版社,1985
  - [5] 张会朋,胡泽骏,胡耀垓,周晨.基于星点的全天空极光图像参数标定及其验证.地球物理学报,63(2):401-411,doi:10.6038/cjg2020M0487,2020
-