ICS 07.060
CCS A 47

QX

中华人民共和国气象行业标准

QX/T 733—2024

机载云粒子成像仪技术要求

Technical requirements for airborne cloud particle imager

2024-09-02 发布　　2024-12-01 实施

中　国　气　象　局　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　外形尺寸和质量 …… 1
5　基础参数 …… 2
6　地面测试 …… 3
7　标定 …… 3
8　安装 …… 4
9　飞行测试 …… 5
10　使用与维护 …… 5
附录 A(资料性)　成像仪外形尺寸示意图 …… 6
附录 B(规范性)　成像仪数据计算 …… 7
附录 C(资料性)　成像仪粒径检定示意图 …… 10
附录 D(资料性)　成像仪安装位置实例 …… 11
参考文献 …… 12

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。

本文件由全国人工影响天气标准化技术委员会(SAC/TC 538)提出并归口。

本文件起草单位：中国科学院大气物理研究所、中国气象局人工影响天气中心、中国兵器工业第二〇九研究所、山西省气象学会、山西省人工影响天气中心、北京厚力德仪器设备有限公司。

本文件主要起草人：郭学良、钱尧、史晓丁、方春刚、杨泽后、李培仁、孙鸿娉、李义宇、付丹红、王乐、孙海铎。

机载云粒子成像仪技术要求

1 范围

本文件规定了机载云粒子成像仪(以下简称“成像仪”)的外形尺寸和质量、基础参数、地面测试、标定、安装、飞行测试、使用与维护的技术要求。

本文件适用于基于激光光束线形阵列探测扫描成像原理的成像仪的生产、测试、检定、安装、使用与维护。

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—2017 外壳防护等级(IP 代码)

HB 6167.2—2014 民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第 2 部分:温度和高度试验

HB 6167.6—2014 民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第 6 部分:振动试验

HB 6167.8—2014 民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第 8 部分:防水试验

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

云粒子 cloud particle

冰晶粒子、雪粒子、霰粒子、云滴粒子、雨滴粒子等云中粒子的总称。

3.2

云粒子成像仪 cloud particle imager

基于激光光束线形阵列探测扫描成像原理获取云粒子(3.1)图像的仪器。

3.3

采样周期 sampling period

云粒子成像仪(3.2)采样一次数据的时间。

3.4

真空速 true air speed

挂载云粒子成像仪的飞机相对于周围大气的实际速度。

注:单位为米每秒(m/s)。

4 外形尺寸和质量

4.1 外形尺寸

成像仪挂载于飞机时,其沿来流方向的纵向最大长度应不大于 100 cm,横向最大长度应不大于

22 cm(外形尺寸示意图见附录 A)。

4.2 质量

成像仪总质量(不含线缆插头等连接器)应不超过 12 kg。

5 基础参数

5.1 基本性能

成像仪应采用被测云粒子在激光光束照射下的光学成像测量方法,并符合下列要求:

a) 粒径测量分辨率:小于或等于 25 μm;
b) 最小可测粒径:小于或等于 25 μm;
c) 最大可测粒径:大于或等于 1550 μm;
d) 最小可测粒子数浓度:小于或等于 1 cm^{-3};
e) 最大可测粒子数浓度:大于或等于 10000 cm^{-3};
f) 粒子尺度谱通道数:大于或等于 62;
g) 采样周期:小于或等于 10 s。

5.2 组成构件

成像仪的主要组成构件性能应符合下列要求。

a) 激光器:
   1) 工作模式:连续输出;
   2) 工作波长:400 nm～760 nm;
   3) 探测功率:小于或等于 40 mW。
b) 探测器:
   1) 探测器类型:一维线形阵列;
   2) 像元数:大于或等于 64;
   3) 单个像元长度与相邻像元中心距之比:大于或等于 90%;
   4) 响应时间:小于或等于 10 ns。
c) 连接插头及线缆:
   1) 规格:航空连接器;
   2) 芯数:15;
   3) 线缆规格:绞合带屏蔽。

5.3 数据通信

应满足下列要求:

a) 传输距离:大于或等于 30 m;
b) 数据传输速率:大于或等于 115200 bps;
c) 数据传输误码率:小于或等于 10^{-6}。

5.4 数据显示

应具有下列功能且符合要求,相应的数据应按附录 B 计算。

a) 数据显示:

1） 单个采样周期内统计结果：粒子总数、平均直径、面积平均直径、体积平均直径、有效直径、体积中值直径、数浓度、含水量；
2） 单个采样周期内图像结果：实时云粒子图像、云粒子尺度谱①、数浓度变化曲线、含水量变化曲线；
3） 实时环境参数：气温、气压、真空速、海拔高度。

b） 数据存储：存储基础数据、产品数据和相应的采样时间、真空速、环境气象要素等数据。
c） 数据回放：支持在通用设备上回放历史数据。
d） 数据接口：RS232、TTL、RS422、RS485 等标准接口。

5.5 环境适用性

成像仪在降水、颠簸等环境下应能正常使用，具有抗电磁干扰能力，应同时满足下列要求：

a） 飞行真空速范围：10 m/s～200 m/s；
b） 飞行高度范围：0 km～10 km；
c） 环境温度范围：－40 ℃～60 ℃；
d） 环境相对湿度范围：0%～100%；
e） 气压范围：250 hPa～1100 hPa。

5.6 设备供电

应满足下列供电通用性要求：

a） 供电方式：直流；
b） 工作电压：24 V～32 V；
c） 工作电流：小于或等于 20 A（含加热除冰）。

6 地面测试

应符合下列要求：

a） 温度测试：符合 HB 6167.2—2014 中 5.5.2 和 5.5.4 规定的高/低温工作试验条件和方法要求，高温工作温度参数为 60 ℃，低温工作温度参数为－40 ℃；
b） 振动测试：符合 HB 6167.6—2014 中 6.1 规定的试验条件和方法要求；
c） 防水测试：符合 HB 6167.8—2014 中 5.3 规定的 R 类设备测试防喷水试验要求；
d） 射频敏感性测试：符合 HB 6167.8—2014 中 6.1 规定的 S 类设备测试传导敏感度试验及辐射敏感度试验规定。

7 标定

7.1 方法和步骤

成像仪应采用圆点转盘模拟方式进行粒径检定（示意图见附录 C），并应按下列步骤操作：

a） 圆点转盘制作：在玻璃盘片上制作大小不同的不透光圆点，模拟真实粒子；
b） 圆点直径至少包含仪器可测量直径的最小值、最大值和一个中间值，圆点制作的直径公差不大于 10%；

① 云粒子尺度谱为云粒子浓度的尺度分布。

c) 玻璃透光率以探测光束穿过圆点转盘的无圆点位置时，成像仪未测量到粒子图像为准，圆点透光率以探测光束穿过圆点时，成像仪能测量到粒子图像为准；
d) 圆点转盘旋转时，圆点线速度覆盖 0 m/s～20 m/s 范围；
e) 将圆点转盘上的标准模拟圆点放置于成像仪探测区中心位置（见图 C.2），以 20 m/s 速度通过采样区域，从上位机软件读取被测圆点的平均直径。

7.2 合格判定

7.2.1 计算被测圆点平均直径的测量值（D）与被测圆点的标称值（D'）之差$|D-D'|$，结果小于或等于成像仪的粒径分辨率时，判定为合格。

7.2.2 更换标准模拟圆点，重复 7.1 和 7.2.1，直至完成全部模拟圆点测试。

8 安装

成像仪安装应符合但不限于下列要求（安装位置实例见附录 D）。

a) 云粒子分布测量准确性：探头前端与飞行方向保持一致，正前方无遮挡物，探测窗口位置距离上方障碍物大于 50 cm。
b) 飞行安全性：成像仪连接结构及紧固螺钉的机械强度满足飞行安全要求，安装位置满足载荷平衡要求。
c) 安装接口密封性：安装对接面符合 GB/T 4208—2017 第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 11 章规定的 IP55 防护等级要求。
d) 布线：采用符合航空标准的线缆，机内走线设计避免与飞行器及载荷电子信号之间相互串扰。
e) 机械接口：
   1) 使用符合航空飞行要求的紧固螺钉，并与飞机安装挂架连接；
   2) 成像仪螺孔为标准 M4 尺寸，共 12 个，呈两侧对称排列，位置与间距符合图 1 标注的尺寸。

单位为厘米

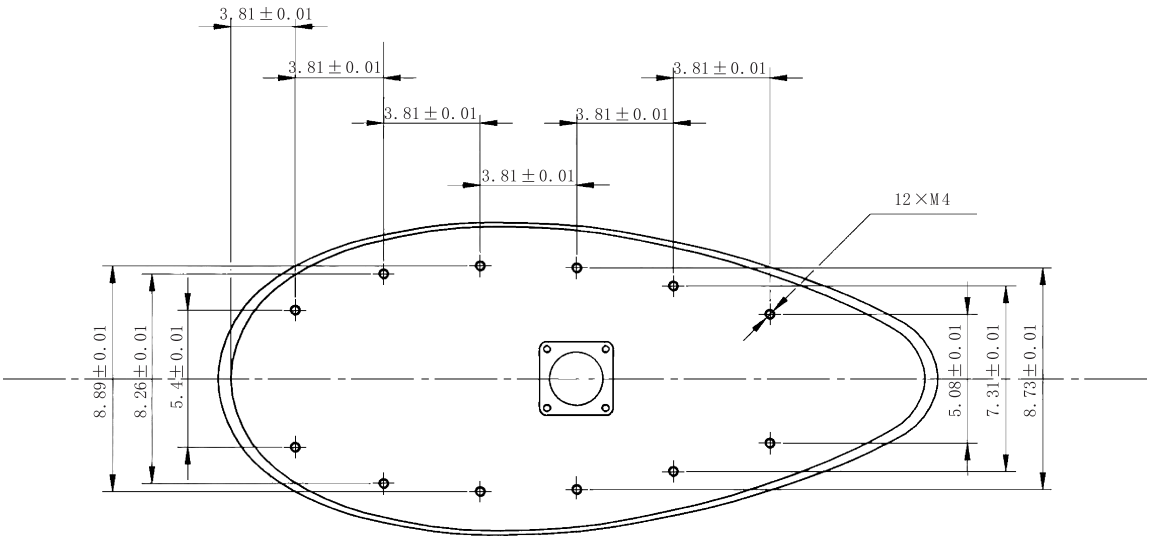


图 1 成像仪安装位置与间距

9 飞行测试

成像仪安装到飞机上后，应按下列要求测试性能和飞行安全。

a） 测试条件：

1） 飞行测试时间：单次云中飞行时间大于或等于 2 h；

2） 飞行测试高度：不低于 5 km(海拔高度)。

b） 合格判据：

1） 测试过程中，成像仪工作正常，数据稳定返回，无丢帧，且未对飞机及其他载荷工作产生电磁干扰；

2） 测试结束，成像仪主体结构无机械损伤，固定螺钉无松动或掉落。

10 使用与维护

成像仪使用和维护应符合下列要求。

a） 每次飞行测量前：

1） 清洁光学窗口，检查激光发射接收正常情况；

2） 检测工作状态和通信连接状态，检查系统供电和通信正常情况。

b） 探测臂和空速管前端装上保护套，每次飞行测量前取下。

c） 每 6 个月进行一次性能检查、维护和检定。

附　录　A
（资料性）
成像仪外形尺寸示意图

图 A.1、图 A.2 给出了成像仪外形尺寸示意图。

单位为厘米

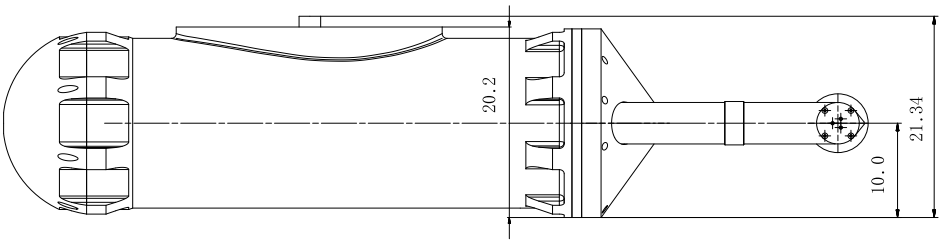


图 A.1　成像仪外形尺寸示意图(侧视)

单位为厘米

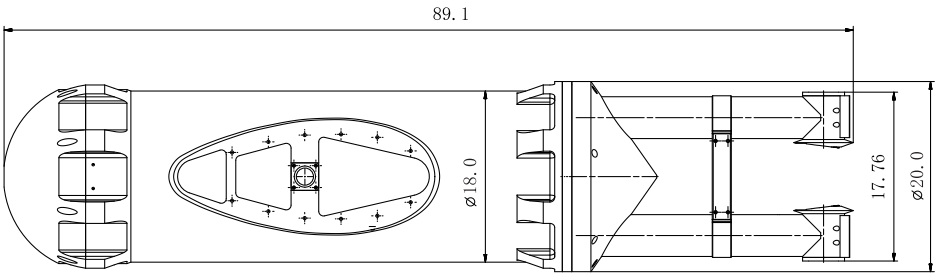


图 A.2　成像仪外形尺寸示意图(俯视)

附 录 B
（规范性）
成像仪数据计算

B.1 单个采样周期内测量到的粒子总数

按公式(B.1)计算：

$$N = \sum_{i=1}^{m} \frac{n_i S_{max}}{S_i} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (B.1)$$

式中：

N ——单个采样周期测量到的粒子总数；

m ——粒子尺度谱粒径通道数；

i ——粒子尺度谱各粒径通道序号；

n_i ——单个采样周期测量到的第 i 粒径通道粒子数；

S_{max}——最大采样面积，设备固有参数，单位为平方厘米(cm^2)；

S_i ——第 i 粒径通道对应的采样面积，设备固有参数，单位为平方厘米(cm^2)。

B.2 平均直径

按公式(B.2)计算：

$$D_m = \sum_{i=1}^{m} \frac{n_i d_i}{S_i} / \sum_{i=1}^{m} \frac{n_i}{S_i} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (B.2)$$

式中：

D_m ——平均直径，单位为微米(μm)；

m ——粒子尺度谱粒径通道数；

i ——粒子尺度谱各粒径通道序号；

n_i ——单个采样周期测量到的第 i 粒径通道粒子数；

d_i ——第 i 粒径通道对应的粒径中心值，单位为微米(μm)；

S_i ——第 i 粒径通道对应的采样面积，设备固有参数，单位为平方厘米(cm^2)。

B.3 面积平均直径

按公式(B.3)计算：

$$D_{sm} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m} \frac{n_i d_i^2}{S_i} / \sum_{i=1}^{m} \frac{n_i}{S_i}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (B.3)$$

式中：

D_{sm} ——面积平均直径，单位为微米(μm)；

m ——粒子尺度谱粒径通道数；

i ——粒子尺度谱各粒径通道序号；

n_i ——单个采样周期测量到的第 i 粒径通道粒子数；

d_i ——第 i 粒径通道对应的粒径中心值，单位为微米(μm)；

S_i ——第 i 粒径通道对应的采样面积，设备固有参数，单位为平方厘米(cm^2)。

B.4 体积平均直径

按公式(B.4)计算：

$$D_{vm}=\sqrt[3]{\sum_{i=1}^{m}\frac{n_i d_i^3}{S_i}/\sum_{i=1}^{m}\frac{n_i}{S_i}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(B.4)$$

式中：

D_{vm}——体积平均直径，单位为微米（μm）；

m ——粒子尺度谱粒径通道数；

i ——粒子尺度谱各粒径通道序号；

n_i ——单个采样周期测量到的第 i 粒径通道粒子数；

d_i ——第 i 粒径通道对应的粒径中心值，单位为微米（μm）；

S_i ——第 i 粒径通道对应的采样面积，设备固有参数，单位为平方厘米（cm^2）。

B.5 有效直径

按公式（B.5）计算：

$$D_e=D_{vm}^3/D_{sm}^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(B.5)$$

式中：

D_e ——有效直径，单位为微米（μm）；

D_{vm} ——体积平均直径，单位为微米（μm）；

D_{sm} ——面积平均直径，单位为微米（μm）。

B.6 体积中值直径

按公式（B.6）计算：

$$D_{mv}=D_k-d_w\left(1-\frac{n_k d_k^3 S_{max}}{S_k}/\sum_{i=1}^{k}\frac{n_i d_i^3 S_{max}}{S_i}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(B.6)$$

式中：

D_{mv}——体积中值直径，单位为微米（μm）；

D_k ——第 k 粒径通道粒子直径，单位为微米（μm）；

d_w ——各粒径通道粒径宽度，单位为微米（μm）；

n_k ——单个采样周期测量到的第 k 通道粒子数；

d_k ——第 k 粒径通道对应的粒径中心值，单位为微米（μm）；

S_{max}——最大采样面积，设备固有参数，单位为平方厘米（cm^2）；

S_k ——第 k 粒径通道对应的采样面积，设备固有参数，单位为平方厘米（cm^2）；

k ——计算体积中值直径中间参数，k 从 1 开始递增，直至 $\sum_{i=1}^{k}\frac{n_i d_i^3 S_{max}}{S_i}\geqslant\sum_{i=1}^{m}\frac{n_i d_i^3 S_{max}}{S_i}$ 时的值即为 k 值；

i ——粒子尺度谱各粒径通道序号；

n_i ——单个采样周期测量到的第 i 粒径通道粒子数；

d_i ——第 i 粒径通道对应的粒径中心值，单位为微米（μm）；

S_i ——第 i 粒径通道对应的采样面积，设备固有参数，单位为平方厘米（cm^2）。

B.7 云粒子数浓度

按公式（B.7）计算：

$$C_n=\sum_{i=1}^{m}\frac{n_i}{S_i VT} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(B.7)$$

式中：

C_n ——粒子数浓度，单位为个每立方厘米（个/cm^3）；

m ——粒子尺度谱粒径通道数；

i ——粒子尺度谱各粒径通道序号；

n_i ——单个采样周期测量到的第 i 粒径通道粒子数；

S_i ——第 i 粒径通道对应的采样面积，设备固有参数，单位为平方厘米（cm^2）；

V ——真空速，单位为米每秒（m/s）；

T ——采样周期，单位为秒（s）。

B.8 粒子含水量

按公式（B.8）计算：

$$q_{wc} = 10^{-6} \frac{\pi}{6} \frac{1}{VT} \sum_{i=1}^{m} \frac{n_i d_i^3}{S_i} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (B.8)$$

式中：

q_{wc} ——含水量，单位为克每立方米（g/m^3）；

V ——真空速，单位为米每秒（m/s）；

T ——采样周期，单位为秒（s）；

m ——粒子尺度谱粒径通道数；

i ——粒子尺度谱各粒径通道序号；

n_i ——单个采样周期测量到的第 i 粒径通道粒子数；

d_i ——第 i 粒径通道对应的粒径中心值，单位为微米（μm）；

S_i ——第 i 粒径通道对应的采样面积，设备固有参数，单位为平方厘米（cm^2）。

附　录　C
（资料性）
成像仪粒径检定示意图

图 C.1、图 C.2 分别给出了成像仪采用圆点转盘模拟方式进行粒径检定的示意图。

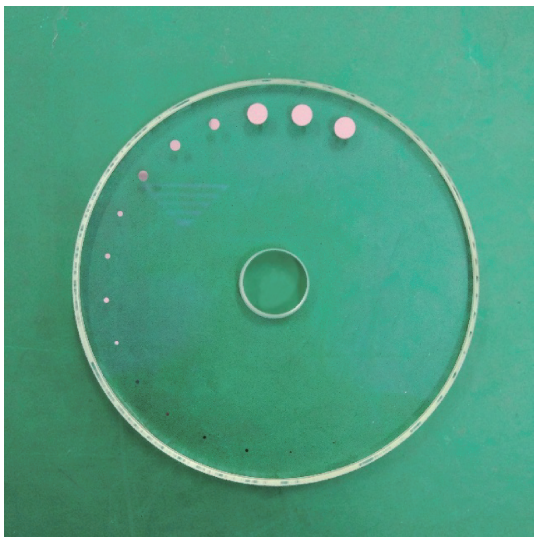
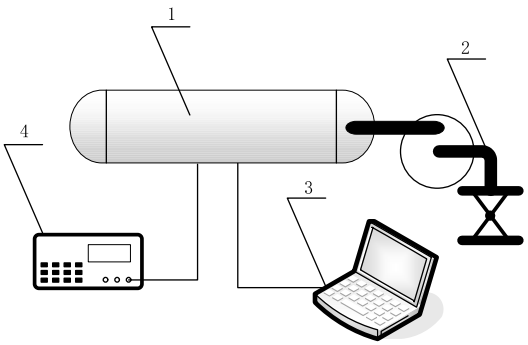


图 C.1　成像仪标定圆点转盘示意图



标引序号说明：
1——成像仪；
2——标定装置；
3——计算机；
4——直流电源。

图 C.2　成像仪粒径检定示意图

附　录　D
（资料性）
成像仪安装位置实例

图 D.1 给出了成像仪安装在飞机上的实例。

图 D.1　成像仪安装位置实例

参 考 文 献

[1] 郭学良,于子平,杨泽后,等. 高性能机载云粒子成像仪研制及应用[J]. 气象学报,2020,78(6):1050-1064

[2] 张佃国,郭学良,龚佃利,等. 山东省1989—2008年23架次飞机云微物理结构观测试验结果[J]. 气象学报,2011,69(1):195-207

[3] 范烨,郭学良,张佃国,等. 北京及周边地区2004年8、9月层积云结构及谱分析飞机探测研究[J]. 大气科学,2010,34(6):1187-1120

中 华 人 民 共 和 国
气 象 行 业 标 准
机载云粒子成像仪技术要求
QX/T 733—2024
*
气象出版社出版发行
北京市海淀区中关村南大街 46 号
邮政编码:100081
网址:http://www.qxcbs.com
发行部:010-68408042
北京建宏印刷有限公司印刷
*
开本:880 mm×1230 mm 1/16 印张:1.25 字数:37.5 千字
2024 年 10 月第 1 版 2024 年 10 月第 1 次印刷
*
书号:135029-6412 定价:30.00 元

如有印装差错 由本社发行部调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68406301