



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 751—2025

机载云粒子谱仪技术要求

Technical requirements for airborne cloud particle spectrometer

2025-04-15 发布

2025-08-01 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 尺寸和质量 2

5 基础参数 2

6 地面试验 3

7 标校 3

8 安装 4

9 飞行测试 5

10 使用与维护 5

附录 A(资料性) 云粒子谱仪外形尺寸示意图 6

附录 B(规范性) 云粒子谱仪数据计算 7

附录 C(资料性) 云粒子谱仪粒径标定示意图 10

附录 D(资料性) 云粒子谱仪安装位置示意图与实例 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：中国气象局人工影响天气中心、中国科学院大气物理研究所、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、山西成功通用航空股份有限公司。

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

机载云粒子谱仪技术要求

1 范围

本文件规定了机载云粒子谱仪的尺寸和质量、基础参数、地面试验、标校、安装、飞行测试、使用与维护的技术要求。

本文件适用于机载前向散射云粒子谱仪的生产、测试、标校、安装、验收、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 6167.5—2014 民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第5部分：飞行冲击和坠撞安全试验

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

HB 6167.18—2014 民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第18部分：电源输入试验

HB 6167.19—2014 民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第19部分：电压尖峰试验

HB 6167.22—2014 民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第22部分：射频敏感性试验

HB 8465 民用飞机布线要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

云粒子谱 cloud particle spectrum

云粒子的尺度分布。

3.2

云粒子谱仪 cloud particle spectrometer

通过光学技术获取云粒子大小和分布的仪器。

3.3

采样周期 sampling period

云粒子谱仪一次采样数据的时间。

[来源：QX/T 733—2024, 3.3, 有修改]

4 尺寸和质量

4.1 尺寸

云粒子谱仪挂载于飞机时,其沿飞机纵轴方向的最大纵向长度应不超过 35 cm,横向最大长度应不超过 21 cm(云粒子谱仪外形尺寸示意图见附录 A)。

4.2 质量

云粒子谱仪总质量(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

云粒子谱仪采用连续激光进行探测,基于云粒子激光的前向米氏散射测量被测云粒子的大小和数量,应符合下列要求:

- a) 粒径测量分辨率:小于或等于 $2\ \mu\text{m}$;
- b) 最小可测粒径:小于或等于 $2\ \mu\text{m}$;
- c) 可测云粒子数浓度范围: $1\ \text{cm}^{-3} \sim 10000\ \text{cm}^{-3}$;
- d) 云粒子尺度谱通道数:大于或等于 30;
- e) 最小采样周期:小于或等于 1 s;
- f) 数据产品:单个采样周期内云粒子尺度谱、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。

5.2 组成构件性能

应符合下列要求。

- a) 激光器:
 - 1) 工作模式:连续;
 - 2) 工作波长: $400\ \text{nm} \sim 760\ \text{nm}$;
 - 3) 测量激光功率:小于或等于 200 mW。
- b) 探测器:
 - 1) 响应度:大于或等于 $0.4\ \text{A/W}$;
 - 2) 暗电流:小于或等于 5 nA;
 - 3) 响应时间:小于或等于 2 ns。
- c) 真空速传感器:
 - 1) 量程:大于或等于 200 m/s;
 - 2) 精度: $\pm 1\%$ 。

5.3 数据传输

应符合下列要求:

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

5.4 数据显示及接口

应具有下列功能：

- a) 数据显示：单个采样周期内能够测量到云粒子数、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，运行状态参数，且能回放历史数据，相应的数据应由附录 B 计算得出；
- b) 数据接口：RS232、TTL、RS422、RS485 等标准接口。

5.5 环境适用性

云粒子谱仪具有抗电磁干扰和除防冰的能力，同时满足下列工作条件：

- a) 真空速范围：10 m/s~200 m/s；
- b) 高度范围(海拔高度)：大于或等于 8 km；
- c) 温度范围：-55℃~70℃；
- d) 湿度范围(RH)：0~100%。

5.6 设备供电

应符合下列供电通用性要求：

- a) 供电方式：直流；
- b) 电源电压：24 V~32 V；
- c) 电流(含加热除冰)：大于或等于 10 A。

6 地面试验

云粒子谱仪的地面试验包括：

- a) 温度试验：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，高温工作温度参数为 70℃，低温工作温度参数为 -55℃；
- b) 振动试验：符合 HB 6167.6—2014 中 6.1 规定的试验条件和方法；
- c) 冲击试验：符合 HB 6167.5—2014 中 5.1、7.1、8.1 规定的试验条件和方法；
- d) 防水试验：符合 HB 6167.8—2014 中 5.3 规定的 R 类设备测试防喷水试验条件和方法；
- e) 射频敏感性试验：符合 HB 6167.22—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条件和方法；
- f) 电源输入试验：符合 HB 6167.18—2014 中 6.1 规定的 Z 类设备电源输入试验条件和方法；
- g) 电压尖峰试验：符合 HB 6167.19—2014 中 6.1 规定的 B 类设备电压尖峰试验条件和方法。

7 标校

7.1 操作步骤

云粒子谱仪应定期采用标准粒子标定粒径测量值(示意图见附录 C)，按下列步骤操作。

- a) 选用标准粒子粒径规格：至少包括 2 μm、10 μm、20 μm、30 μm、40 μm、50 μm。
- b) 选择室内自然条件为标定环境：
 - 1) 温度：15℃~30℃；
 - 2) 相对湿度(RH)：小于或等于 50%；

- 3) 洁净度:2000 等级。
- c) 使用专用的粒子喷瓶,将喷嘴对准探测光束中心并固定;更换粒子时,应清洁粒子喷瓶。
- d) 使用高压气瓶将粒子吹出,同时读取软件测量的粒径平均值(同一粒径规格),误差 $\pm 5\%$ 以内。
- e) 将标准粒子材质的折射率换算为水的折射率的等效粒径,按等效粒径标定。

7.2 合格判定

- 7.2.1 计算按 7.1 步骤操作得到的测量值与标准粒子等效粒径值之差,结果小于或等于等效粒径值的 5%,即判定合格。
- 7.2.2 更换标准粒子,重复 7.1 和 7.2.1 的操作和计算,直至完成全部粒径测试和判定。

8 安装

云粒子谱仪的安装应符合下列要求(安装位置示意图与实例见附录 D)。

- a) 安装位置及朝向:探头前端与飞机纵轴前向一致,正前方无遮挡物;探测窗口位置距离上方及左右两侧障碍物大于 50 cm;安装位置满足载荷平衡要求。
- b) 布线:符合 HB 8465 的要求,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。
- c) 机械接口:云粒子谱仪螺孔为标准 M4 尺寸,螺孔深度大于 6 mm,共 12 个,呈两侧对称排列,安装孔位布局符合图 1 标注的尺寸。
- d) 连接插头及线缆:
- 1) 规格:航空连接器;
 - 2) 芯数:15;
 - 3) 线缆规格:绞合铜导体,单线标称直径不小于 0.12 mm^2 ,导体直径不小于 0.55 mm^2 ,带屏蔽。
- e) 接口密封性:安装对接面满足 GB/T 4208—2017 规定的 IP56 防护等级要求。

单位为厘米

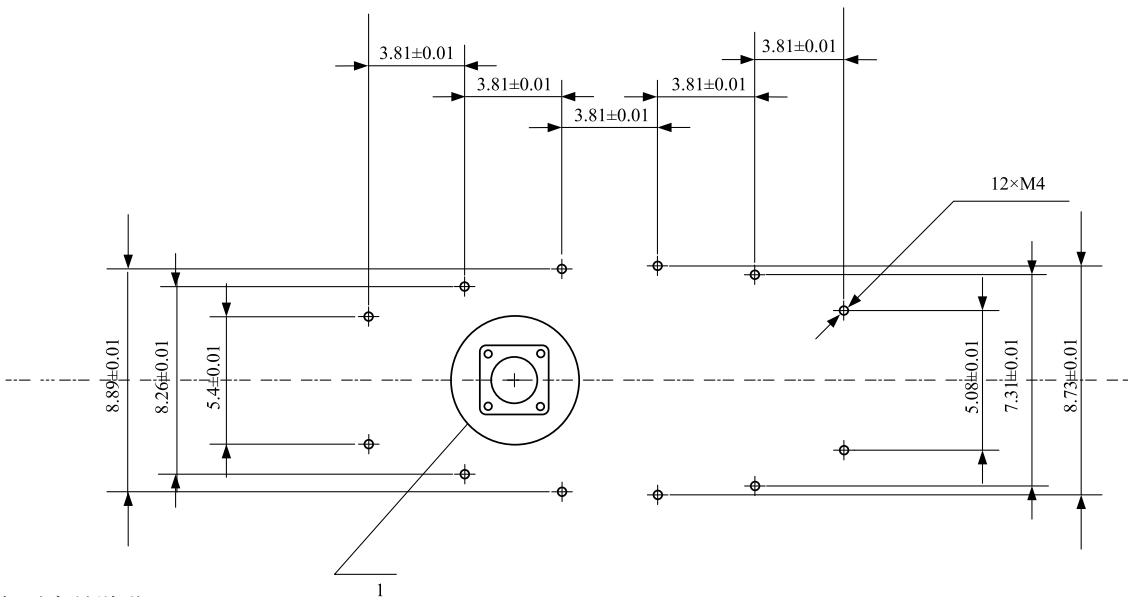


图 1 云粒子谱仪安装孔位布局

9 飞行测试

云粒子谱仪安装到飞机上后,应按下列要求测试仪器性能和飞行安全。

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(海拔高度):大于或等于 5 km。

b) 合格判据:

- 1) 测试过程中,云粒子谱仪工作正常,数据稳定返回,无丢帧,且未对飞行器及其他载荷工作产生电磁干扰;
- 2) 测试结束后,云粒子谱仪主体结构无机械损伤,固定螺钉无松动或掉落,密封完好。

10 使用与维护

云粒子谱仪的初始状态可能会因环境条件改变而发生变化,使用与维护应符合下列要求。

a) 每次飞行测量前:

- 1) 清洁光学窗口,确保洁净;
- 2) 检查确认仪器激光发射正常;
- 3) 检查确认软件正常接收数据,确保仪器和通信状态正常。

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 个月或每个作业季进场前进行一次标校,每次作业前后进行性能检查和维护。

附录 A

(资料性)

云粒子谱仪外形尺寸示意图

图 A.1、图 A.2 分别给出了云粒子谱仪外形尺寸侧视和前视示意图。

单位为厘米

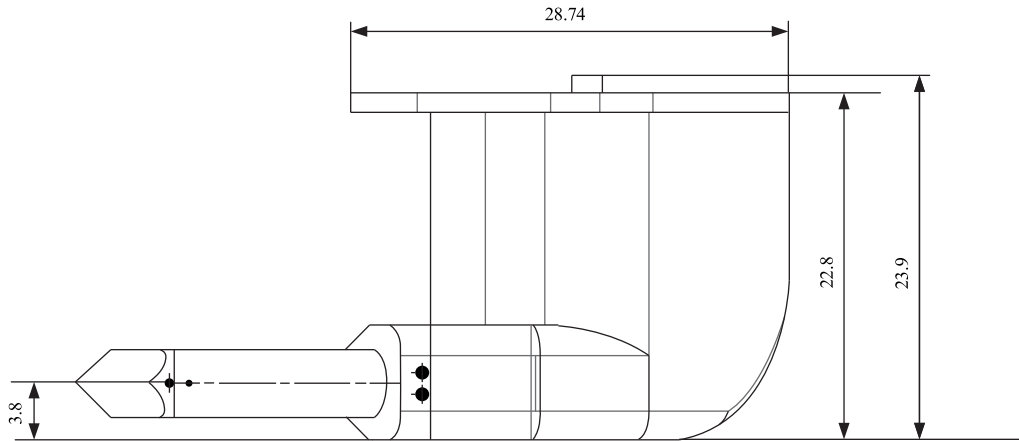


图 A.1 云粒子谱仪外形尺寸示意图(侧视)

单位为厘米

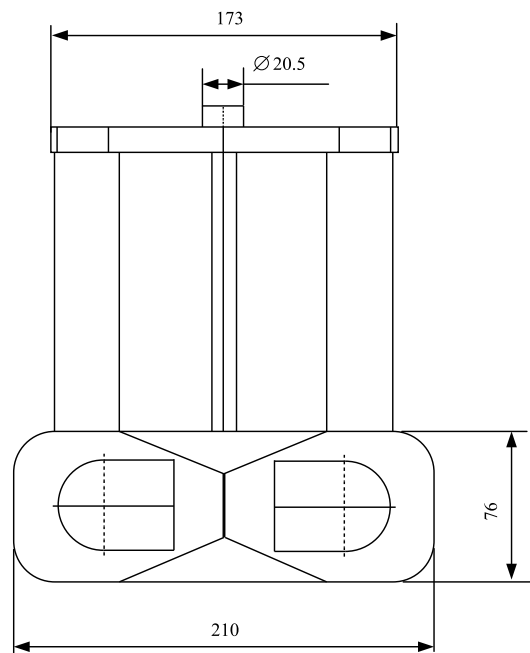


图 A.2 云粒子谱仪外形尺寸示意图(前视)

附 录 B
(规范性)
云粒子谱仪数据计算

B.1 单个采样周期内测量到的云粒子数

按公式(B.1)计算：

$$N = \sum_{i=1}^m n_i \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

N ——单个采样周期测量到的云粒子总数；

m ——云粒子尺度谱粒径通道数；

i ——云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 通道云粒子数。

B.2 平均直径

按公式(B.2)计算：

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

式中：

D_m ——平均直径,单位为微米(μm)；

N ——单个采样周期测量到的云粒子总数；

m ——云粒子尺度谱粒径通道数；

i ——云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 通道云粒子数；

d_i ——第 i 粒径通道对应的粒径中心值,单位为微米(μm)。

B.3 面积平均直径

按公式(B.3)计算：

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

式中：

D_{sm} ——面积平均直径,单位为微米(μm)；

N ——单个采样周期测量到的云粒子总数；

m ——云粒子尺度谱粒径通道数；

i ——云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 通道云粒子数；

d_i ——第 i 粒径通道对应的粒径中心值,单位为微米(μm)。

B.4 体积平均直径

按公式(B.4)计算：

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

式中：

D_{vm} —— 体积平均直径，单位为微米(μm)；

N —— 单个采样周期测量到的云粒子总数；

m —— 云粒子尺度谱粒径通道数；

i —— 云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 通道云粒子数；

d_i —— 第 i 粒径通道对应的粒径中心值，单位为微米(μm)。

B.5 有效直径

按公式(B.5)计算：

$$D_e = \sum_{i=1}^m n_i d_i^3 / \sum_{i=1}^m n_i d_i^2 \quad \dots\dots\dots (\text{B.5})$$

式中：

D_e —— 有效直径，单位为微米(μm)；

m —— 云粒子尺度谱粒径通道数；

i —— 云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 通道云粒子数；

d_i —— 第 i 粒径通道对应的粒径中心值，单位为微米(μm)。

B.6 体积中值直径

按公式(B.6)计算：

$$D_{mv} = d_k - d_w \left(1 - n_k d_k^3 / \sum_{i=1}^k n_i d_i^3 \right) \quad \dots\dots\dots (\text{B.6})$$

式中：

D_{mv} —— 体积中值直径，单位为微米(μm)；

d_k —— 第 k 粒径通道云粒子直径，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 通道云粒子数；

k —— 计算体积中值直径中间参数， k 从 1 开始递增，直至 $\sum_{i=1}^k n_i d_i^3 \geq \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m n_i d_i^3$ 时的值；

i —— 云粒子尺度谱各粒径通道序号；

m —— 云粒子尺度谱粒径通道数；

n_i —— 单个采样周期测量到的第 i 通道云粒子数；

d_i —— 第 i 粒径通道对应的粒径中心值，单位为微米(μm)。

B.7 数浓度

按公式(B.7)计算：

$$C_n = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{D_f WVT} \quad \dots\dots\dots (\text{B.7})$$

式中：

C_n —— 云粒子数浓度，单位为个每立方厘米(cm^{-3})；

m —— 云粒子尺度谱粒径通道数；

i —— 云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 通道云粒子数；
 D_f —— 系统景深参数，单位为毫米(mm)；
 W —— 取样光束宽度，单位为毫米(mm)；
 V —— 采样空速，单位为米每秒(m/s)；
 T —— 采样周期，单位为秒(s)。

B.8 含水量

按公式(B.8)计算：

$$q_{wc} = 10^{-6} \frac{\pi}{6} \frac{1}{D_f W V T} \sum_{i=1}^m n_i d_i^3 \dots\dots\dots (B.8)$$

式中：

q_{wc} —— 含水量，单位为克每立方米(g/m³)；
 D_f —— 系统景深参数，单位为毫米(mm)；
 W —— 取样光束宽度，单位为毫米(mm)；
 V —— 采样空速，单位为米每秒(m/s)；
 T —— 采样周期，单位为秒(s)；
 m —— 云粒子尺度谱粒径通道数；
 i —— 云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 通道云粒子数；
 d_i —— 第 i 粒径通道对应的粒径中心值，单位为微米(μm)。

附 录 C

(资料性)

云粒子谱仪粒径标定示意图

图 C.1 给出了云粒子谱仪粒径标定的示意图。

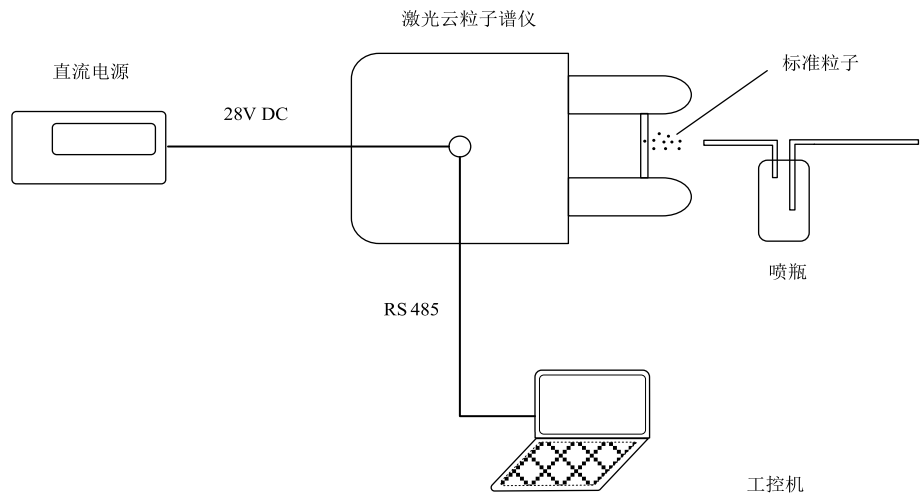


图 C.1 云粒子谱仪粒径标定示意图

附录 D

(资料性)

云粒子谱仪安装位置示意图与实例

D.1 安装位置示意图

图 D.1 给出了云粒子谱仪在飞机上的安装位置示意图。

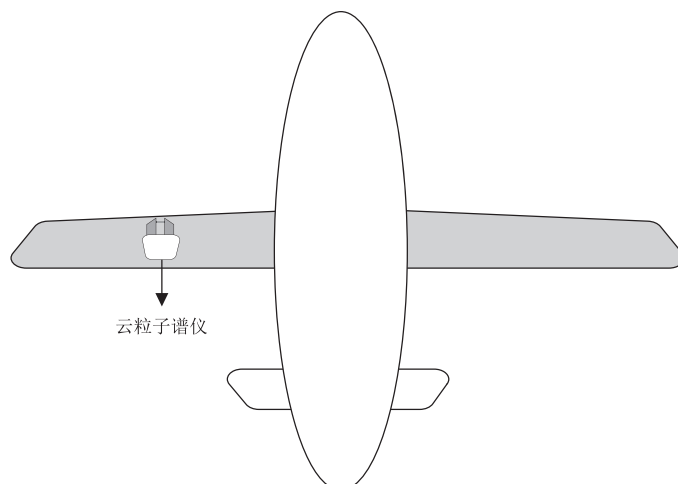


图 D.1 云粒子谱仪安装位置示意图

D.2 安装实例

图 D.2 给出了云粒子谱仪安装在飞机上的实例。



图 D.2 云粒子谱仪安装实例

参 考 文 献

- [1] QX/T 733—2024 机载云粒子成像仪技术要求
- [2] 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
-

中 华 人 民 共 和 国
气 象 行 业 标 准
机载云粒子谱仪技术要求
QX/T 751—2025

*

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
2025 年 5 月第 1 版 2025 年 5 月第 1 次印刷

*

书号:135029-6434 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