



# 中华人民共和国气象行业标准

QX/T 621—2021

---

## 气象观测资料质量控制 天气雷达

Quality control of meteorological observation data—Weather radar

2021-07-16 发布

2021-11-01 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 缩略语 .....	3
5 质量控制内容 .....	4
6 质量控制方法 .....	4
7 质量控制标识 .....	6
附录 A(资料性) 非回波数据的识别与消除算法 .....	7
附录 B(资料性) 径向电磁干扰回波识别与消除算法 .....	9
附录 C(资料性) 异常地物杂波识别与消除算法 .....	11
附录 D(资料性) 海杂波的识别与消除算法 .....	13
附录 E(资料性) 生物回波识别与消除算法 .....	15
附录 F(资料性) 空间一致性判别算法 .....	16
附录 G(资料性) 时间一致性判别算法 .....	17
附录 H(资料性) 晴空回波识别与消除算法 .....	18
附录 I(资料性) 亮带回波的识别与订正算法 .....	20
附录 J(资料性) 天气雷达回波衰减订正算法 .....	21
附录 K(资料性) 波束阻挡订正算法 .....	22
附录 L(资料性) 退速度模糊算法 .....	24
参考文献 .....	25



## 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。

本文件由全国气象仪器与观测方法标准化技术委员会(SAC/TC 507)提出并归口。

本文件起草单位：中国气象局气象探测中心。

本文件主要起草人：杨金红、梁海河、张林、文浩、叶飞、李瑞义、古庆同。



# 气象观测资料质量控制 天气雷达

## 1 范围

本文件规定了天气雷达观测数据的质量控制内容、方法、标识。

本文件适用于 S、C 波段天气雷达基本观测数据质量控制。

## 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 3784—2009 电工术语 雷达

## 3 术语和定义

GB/T 3784—2009 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**天气雷达数据 weather radar data**

天气雷达生成的所有回波数据和非回波数据，以及元数据。

### 3.2

**回波数据 echo data**

对天气雷达发射的电磁波经大气中的气象目标粒子或非气象目标物后向散射返回到天气雷达的能量进行数字化处理后的数据。

注：回波数据包括气象回波数据和非气象回波数据。

### 3.3

**非回波数据 non-echo data**

由天气雷达部件故障、性能下降、技术参数变化、信号处理异常等天气雷达设备自身原因引起的非零数据。

### 3.4

**元数据 metadata**

反映天气雷达站名、站号、型号、经纬度、海拔高度等站点信息，以及天气雷达参数的数据。

### 3.5

**气象回波数据 meteorological echo data**

天气雷达发射电磁波后，经大气中的雨滴、云滴、冰晶、雪花、冰雹、折射率分布很不均匀的空气等后向散射返回到天气雷达的能量进行数字化处理后的数据。

注：气象回波数据包括降水回波数据和非降水回波数据。

### 3.6

**非气象回波数据 non-meteorological echo data**

由地物、飞机、船只、海浪、昆虫、鸟类等非气象目标物对天气雷达电磁波的后向散射引起的天气雷

达回波数据。

3.7

**降水回波数据 precipitation echo data**

由大气中产生降水的云、各种水汽凝结物等对电磁波的后向散射能量,经处理后显示的回波数据。

3.8

**非降水回波数据 non-precipitation echo data**

未形成降水的云、雾、晴空大气等对电磁波的后向散射能量,经处理后显示的回波数据。

3.9

**基数据 base data**

以同相正交数据作为输入,结合目标物位置信息和雷达参数经信号处理算法得到的数据。

[来源:QX/T 461—2018,3.3]

3.10

**产品数据 product data**

对基数据进行算法处理获得的表示天气雷达气象特征的数据。

3.11

**距离模糊 range ambiguity**

当被测目标的距离超过雷达重复周期所对应的距离时,远距离的回波将与近距离的回波混淆,出现的距离不确定性。

[来源:QX/T 3784—2009,2.3.5.8]

3.12

**速度模糊 velocity ambiguity**

当被测目标的径向速度产生的多普勒频率绝对值超过脉冲多普勒雷达的重复频率的二分之一时,出现的速度不确定性。

[来源:QX/T 3784—2009,2.3.5.10]

3.13

**时间一致性 time consistency**

天气雷达连续扫描过程中,第一个体扫数据与第二个体扫数据变化的程度;或一个体扫数据中,连续两个仰角数据变化的程度。

注:在天气雷达网内,天气雷达观测数据记录时间与准确时间之间存在的超前或滞后的程度。

3.13

**空间一致性 spatial consistency**

相邻两部同型号天气雷达探测同一块回波时,其中一部天气雷达的基本反射率与另一部天气雷达基本反射率差别的程度;相邻两部天气雷达探测同一块回波时,其中一部天气雷达的回波位置与另一部天气雷达回波位置偏离的程度。

3.15

**波束阻挡 beam blockage**

由天气雷达周围各种地物(如高山、树木、建筑物等)对天气雷达发射的电磁波束的遮挡引起的在一定空间范围内无回波。

注:遮挡的程度与地物相对于天气雷达的高度、地物离天气雷达站的距离以及天气雷达天线的仰角有关。

3.16

**地物杂波 ground clutter**

天气雷达波束照射到天气雷达站附近的高山、建筑物等静止的非气象目标时产生的回波数据。



## 3.17

**异常地物杂波 anomalous propagation**

在天气雷达站周围,由大气的逆温、湿度随高度递减过快而造成电磁波传播路径向地面弯曲,使平时探测不到的地面目标物在天气雷达屏幕上显示出来的回波数据。

## 3.18

**生物回波 biological echo**

天气雷达在探测过程中,由鸟类、蝙蝠、昆虫等飞行物为散射体而在屏幕上显示的回波数据。

## 3.19

**海杂波 sea clutter**

由海浪、海涌和海洋近岸波对天气雷达电磁波的后向散射而被天气雷达所接收的回波数据。

## 3.20

**亮带回波 bright band echo**

当冰晶下落通过 0℃ 融化层时,外表面开始融化,由这些包着水外衣的冰晶而产生的回波增强的一种现象。

## 3.21

**晴空回波 clear air echo**

在空中没有云和降水的时候,由大气折射率涨落、大气湍流对电磁波的散射而产生的回波数据。

## 3.22

**回波衰减 echo attenuation**

天气雷达发射出的电磁波在遇到大气中悬浮的气溶胶、云滴、雨滴和冰晶等粒子时发生散射和折射,从而使电磁波能量减弱的现象。

## 3.23

**质量控制码 quality control flag**

标识天气雷达数据质量状况的数字。

[来源:QX/T 93—3017,3.2,有修改]

## 3.24

**质量控制类型码 quality control type flag**

标识天气雷达数据质量类型的代码。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AP:异常地物杂波(Anomalous Propagation)

BBE:亮带回波(Bright Band Echo)

BB:波束阻挡(Beam Blockage)

BE:生物回波(Biological Echo)

CA:晴空回波(Clear Air Echo)

EA:回波衰减(Echo Attenuation)

EMI:电磁干扰(Electromagnetic Interference)

GC:地物杂波(Ground Clutter)

MAE:平均绝对误差(Mean Absolute Error)

ND:非回波数据(Non-echo Data)

PPI:平面位置显示器(Plan-Position Indicator)

- RA:距离模糊(Range Ambiguity)
- RMSE:均方根误差(Root Mean Square Error)
- SC:海杂波(Sea Clutter)
- SPC:空间一致性(Spatial Consistency)
- TBB:相当黑体亮度温度(Temperature of Brightness Blackbody)
- TC:时间一致性(Time Consistency)
- VA:速度模糊(Velocity Ambiguity)

## 5 质量控制内容

天气雷达数据质量控制的内容见表 1。

表 1 质量控制内容

天气雷达数据类型			质量控制内容
回波数据	气象回波数据	降水回波数据	回波衰减
			亮带回波
			距离模糊
			速度模糊
			时间一致性
			空间一致性
			波束阻挡
		非降水回波数据	晴空回波
	非气象回波数据	—	电磁干扰
		—	地物杂波
		—	异常地物杂波
—		海杂波	
—		生物回波	
非回波数据	—	—	设备自身原因引起的非零数据

## 6 质量控制方法

### 6.1 一般性检查

#### 6.1.1 数据文件检查

应对生成后的天气雷达基数据文件格式、文件命名规则、文件生成的时间是否准确进行检查。

#### 6.1.2 数据完整性检查

应对生成后的天气雷达基数据文件的字节数是否完整、文件是否有丢失进行检查。

### 6.1.3 元数据检查

应对天气雷达站号、站名、型号、经纬度、馈源海拔高度、工作频率、天馈线参数等信息的设置是否与实际情况或实际测量值相符进行检查。

## 6.2 质量控制算法

### 6.2.1 非回波数据识别与消除

非回波数据识别与消除算法见附录 A。

### 6.2.2 径向电磁干扰回波识别与消除

径向电磁干扰回波识别与消除算法见附录 B。

### 6.2.3 异常地物杂波识别与消除

异常地物杂波识别与消除算法见附录 C。

### 6.2.4 海杂波识别与消除

海杂波的识别与消除算法见附录 D。

### 6.2.5 生物回波识别与消除

生物回波的识别与消除见附录 E。

### 6.2.6 空间一致性判别算法

空间一致性判别算法见附录 F。

### 6.2.7 时间一致性判别算法

时间一致性判别算法见附录 G。

### 6.2.8 晴空回波识别与消除算法

晴空回波的识别与消除算法见附录 H。

### 6.2.9 亮带回波识别与订正算法

亮带回波的识别与订正算法见附录 I。

### 6.2.10 衰减订正算法

衰减订正算法见附录 J。

### 6.2.11 波束阻挡订正算法

波束阻挡算法见附录 K。

### 6.2.12 退速度模糊算法

退速度模糊算法见附录 L。

## 7 质量控制标识

7.1 对质量控制后的数据应进行质量标识,即将数据文件与之对应的质量控制码(质控码)放入数据库进行保存,一个基数据文件对应一个质控码,每个仰角的扫描文件也对应相应的质控码。

7.2 天气雷达数据质量标识用质控码表示。质控码分为质量控制标识码和质量控制类型码。

7.3 质量控制标识码应符合表 2 的要求,质量控制类型和质量控制类型码的对应关系应符合表 3 的要求。

表 2 质量控制标识码

序号	质量控制标识码	含义
1	0	正确
2	1	可疑
3	2	错误
4	4	订正数据
5	7	无观测任务
6	8	缺测
7	9	未作质量控制

表 3 质量控制类型码

序号	质量控制类型	质量控制类型码
1	非回波数据	ND
2	电磁干扰	EMI
3	海杂波	SC
4	地物杂波	GC
5	异常地物杂波	AP
6	晴空回波	CA
7	生物回波	BE
8	时间一致性	TC
9	空间一致性	SPC
10	速度模糊	VA
11	距离模糊	RA
12	亮带回波	BBE
13	波束阻挡	BB
14	回波衰减	EA

附录 A

(资料性)

非回波数据的识别与消除算法

A.1 概述

非回波数据是由天气雷达部件故障、性能下降、技术参数变化、信号处理异常等天气雷达设备自身原因引起,在天气雷达屏幕上呈现出不规则的表现形式,以“圆面”形式出现的称之为“饼形”非回波数据,以“扇面”形式出现的称之为“扇形”非回波数据,以“环状”形式出现的称之为“环形”非回波数据。不同形状采用不同的识别与消除算法。

A.2 “饼形”非回波数据的识别与消除

A.2.1 计算整个天气雷达扫描平面 PPI 上数值的平均值  $\bar{Z}$  和扫描平面 PPI 上有数值的总数量与整个 PPI 面总库数的百分比  $R_z$ 。

A.2.2 当  $\bar{Z}$  和  $R_z$  都超过了事先给定的阈值,则认为该扫描面上的数据都是异常数据,予以清除。执行该条件判断时,数值低于零及以下者认为无回波,不计算。

A.2.3  $\bar{Z}$  和  $R_z$  分别按照公式(A.1)和公式(A.2)计算。

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{a_z}} \sum_{j=1}^{N_{r_z}} (Z_{i,j} \times M_z)}{N_{a_z} \times N_{r_z}}, M_z = \begin{cases} 1, Z_{i,j} \neq spval \\ 0, Z_{i,j} = spval \end{cases} \dots\dots\dots(A.1)$$

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^{N_{a_z}} \sum_{j=1}^{N_{r_z}} M_z}{N_{a_z} \times N_{r_z}} \times 100\%, M_z = \begin{cases} 1, Z_{i,j} \neq spval \\ 0, Z_{i,j} = spval \end{cases} \dots\dots\dots(A.2)$$

式中:

$Z_{i,j}$  ——  $(i,j)$  距离库上天气雷达观测像素点的值;

$N_{a_z}$  —— 总方位数;

$N_{r_z}$  —— 沿着径向的总距离库数;

$spval$  —— 无效值。

注:“饼形”非回波数据的识别与消除算法对“饼形”非回波数据占整个 PPI 一半以上时识别率较高,但当占到一半以下时,则不能识别,需要根据“扇形”与“环形”非回波数据的识别与消除算法。

A.3 “扇形”非回波数据的识别与消除

A.3.1 提取下列能反映扇形异常数据的 3 个特征量:

- a) 径向上数据的平均值异常高,大于阈值 55 dB(可调);
- b) 径向上异常值库数很多,接近距离库总数;
- c) 相邻两个径向上的异常值库数几乎相等。

A.3.2 满足 A.3.1 的数据表示该方位上数据存在异常。

A.3.3 利用 A.3.1,找到异常数据的结束径向,再根据异常(扇形)数据的结束方位,逆时针顺序搜索异常(扇形)数据的开始方位,最后删除整个扇形内的数据。

A.4 “环形”非回波数据的识别与消除

A.4.1 提取每个距离圈上数据的标准偏差和绝对误差的平均值这两个特征量。

A.4.2 若每圈标准偏差( $S_D$ )和绝对误差的平均值( $M_{AE}$ )都小于给定的阈值,且距离库上有数据的径向数至少为整圈的一半,则认为该距离库上各径向上的数据都是异常数据。

A.4.3 根据规律找到“环形”数据的开始距离库,搜索“环形”数据的结束距离库,然后删除“环形”异常数据。

A.4.4  $S_D$  和  $M_{AE}$  分别按照公式(A.3)和公式(A.4)计算。

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n_{\text{rays}}} (Z_j - \bar{Z})^2}{n_{\text{Total}}}} < S_{D_{\text{Threshold}}} \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

$$M_{AE} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{\text{rays}}} |Z_j - \bar{Z}|}{n_{\text{Total}}} < M_{AE_{\text{Threshold}}} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

- $n_{\text{rays}}$  —— 每个距离圈的方位数;
- $Z_j$  —— 每个距离圈上第  $j$  个数据;
- $\bar{Z}$  —— 每个距离圈上数据的平均值;
- $n_{\text{Total}}$  —— 每个距离圈有数据的总数;
- $S_{D_{\text{Threshold}}}$  —— 每个距离圈上数据的标准偏差的阈值;
- $M_{AE_{\text{Threshold}}}$  —— 每个距离圈上数据的绝对误差平均值的阈值。

附录 B

(资料性)

径向电磁干扰回波识别与消除算法

B.1 原理

径向电磁干扰回波的识别与消除算法采用模糊逻辑法,基本思想是提取能够反映径向干扰回波特征的参数,然后根据参数的概率分布建立相应的隶属函数以及径向干扰回波 0~1 的取值判据,再对判据值加权累加,当某点的判据值超过事先给定的阈值时,该点就被判定为径向干扰回波并剔除之。

B.2 提取特征参数

从反射率因子中提取下列反映径向干扰回波和降水回波差异的特征参数:

- $D_B$ ,表示当前径向前后距离库回波功率的一致性;
- $R_{REF}$ ,表示反射率因子在当前径向上的延展性;
- $T_{DBZ}$ ,表示径向上局部反射率因子回波纹理的一致性,按照公式(B.1)计算;
- $S_{PIN}$ ,表示局部范围内相邻反射率因子符号变化的情况,按照公式(B.2)计算。

$$T_{DBZ} = \frac{\sum_{j=-5}^{j=5} (Z_{i,j} - Z_{i,j+1})^2}{11} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$S_{PIN} = \sum_{j=-5}^{j=5} M_{S_{PIN}}, M_{S_{PIN}} = \begin{cases} 1, & \frac{|Z_{i,j} - Z_{i,j-1}| + |Z_{i,j+1} - Z_{i,j}|}{2} > Z_{thresh} \\ 0, & \frac{|Z_{i,j} - Z_{i,j-1}| + |Z_{i,j+1} - Z_{i,j}|}{2} \leq Z_{thresh} \end{cases} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- $Z_{i,j}$  —— 第  $i$  个方位第  $j$  个距离库上的反射率因子值;
- $Z_{thresh}$  —— 距离库之间反射率因子变化的阈值。

B.3 建立概率分布与隶属函数

B.3.1 建立一个含径向干扰回波、层云降水回波和对流云降水回波的数据库,统计分析 3 种回波的不同特征参数的概率分布,并分析径向干扰回波和降水回波各特征参数差异。其中:

- 径向干扰回波可以从回波的形态、径向和方位的延展性进行确定;
- 层云降水回波从回波的范围,强度(通常为 15 dBZ~35 dBZ)进行确定;
- 对流云降水回波从回波结构(一般为不规则的块状结构,且结构紧密)、强度(一般在 35 dBZ 以上)进行确定。

B.3.2 根据特征参数  $D_B$ 、 $R_{REF}$ 、 $T_{DBZ}$ 、 $S_{PIN}$  的概率分布,确定各参数的隶属函数。

B.4 选取特征参数的权重

B.4.1 特征参数权重的选取利用对统计数据库识别结果的临界成功指数(CSI)评分确定,CSI 评分按照公式(B.3)计算,识别准确率按照公式(B.4)计算。

$$C_{SI} = P_{OD,RI} \times P_{OD,PC} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中:

$P_{OD,RI}$  —— 径向干扰回波的识别准确率；

$P_{OD,PC}$  —— 降水回波的识别准确率。

$$P_{OD} = \frac{N_{HIT}}{N_{ALL}} \dots\dots\dots (B.4)$$

式中：

$P_{OD}$  —— 识别准确率；

$N_{HIT}$  —— 准确识别的样本总数；

$N_{ALL}$  —— 参与统计的总样本数。

**B.4.2** 在权重选取的过程中,使用下列先验约束条件,减少分析组合的数量：

- a) 特征参数  $R_{REF}$ 、 $D_B$  权重占比大于 0；
- b) 特征参数  $T_{DBZ}$ 、 $S_{PIN}$  在局部水平纹理平滑的径向干扰回波识别时权重占比分别为 1 和 0,在局部水平纹理粗糙的径向干扰回波识别时权重占比各为 1；

注：这是根据径向干扰和降水回波在参数  $T_{DBZ}$ 、 $S_{PIN}$  的概率分布较多重叠区域决定的。

- c) 每个特征参数的权重不能超过权重总和的 40%。

**B.4.3** 根据计算得出的 CSI 评分,选取最高 CSI 评分的权重占比组合作为各特征参数的权重占比。



附录 C

(资料性)

异常地物杂波识别与消除算法

C.1 原理

从天气雷达的基本反射率、径向速度、速度谱宽衍生出不同的特征参数,运用统计方法分析不同回波的特征参数,找出这些特征参数的差异,再根据差异设置隶属函数,从而得到 0~1 的取值判据,最后根据判据得出该点是否异常地物杂波。

C.2 提取特征量

C.2.1 从天气雷达资料基本反射率中提取下列 4 个特征量:

- 水平纹理  $T_{dBZ}$ ,反映了基本反射率的水平变化,按照公式(C.1)计算;
- 垂直梯度  $G_{dBZ}$ ,反映了基本反射率的垂直变化,按照公式(C.2)计算;
- 沿径向方向的变号  $S_{IGN}$ ,反映了基本反射率沿径向变化的变号,按照公式(C.3)计算;
- 沿径向的库间变化程度  $S_{PIN}$ ,反映了基本反射率沿径向方向变化的一致性,按照公式(C.4)计算。

$$T_{dBZ} = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_R} (Z_{i,j} - Z_{i,j+1})^2}{N_A \times N_R} \dots\dots\dots(C.1)$$

式中:

- $N_A$  ——在方位方向定义的计算范围;
- $N_R$  ——在距离方向定义的计算范围;
- $Z_{i,j}$  ——任意点的基本反射率。

$$G_{dBZ} = W_R (Z_{up} - Z_{low}) \dots\dots\dots(C.2)$$

式中:

- $W_R$  ——与距离有关的权重;
- $Z_{up}$  ——上层 PPI 的基本反射率;
- $Z_{low}$  ——对应的本层 PPI 的基本反射率。

$$S_{IGN} = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_R} M_{S_{IGN}}}{N_A \times N_R}, M_{S_{IGN}} = \begin{cases} 1 & Z_{i,j} - Z_{i,j-1} > 0 \\ 0 & Z_{i,j} - Z_{i,j-1} < 0 \end{cases} \dots\dots\dots(C.3)$$

式中:

- $N_A$  ——在方位方向定义的计算范围;
- $N_R$  ——在距离方向定义的计算范围;
- $Z_{i,j}$  ——任意点的基本反射率。

$$S_{PIN} = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_R} M_{S_{PIN}}}{N_A \times N_R}, M_{S_{PIN}} = \begin{cases} 1 & |Z_{i,j} - Z_{i,j-1}| > Z_{thresh} \\ 0 & |Z_{i,j} - Z_{i,j-1}| \leq Z_{thresh} \end{cases} \dots\dots\dots(C.4)$$

式中:

- $N_A$  ——在方位方向定义的计算范围;
- $N_R$  ——在距离方向定义的计算范围;

$Z_{\text{thresh}}$ ——库间基本反射率的变化阈值,一般取 2 dB~5 dB。

C.2.2 从天气雷达资料径向速度和速度谱宽中提取下列 3 个特征量:

- 径向速度的区域平均值  $M_{\text{DVE}}$ ;
- 径向速度的区域方差  $S_{\text{DVE}}$ ,按照公式(C.5)计算;
- 速度谱宽的区域平均值  $M_{\text{DSW}}$ 。

$$S_{\text{DVE}} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_R} (M_{\text{DVE},i,j} - \overline{M_{\text{DVE}}})^2}{N_A \times N_R} \right]^{1/2} \dots\dots\dots(\text{C.5})$$

式中:

- $N_A$  —— 在方位方向定义的计算范围;
- $N_R$  —— 在距离方向定义的计算范围;
- $M_{\text{DVE},i,j}$  —— 某点经过中值滤波处理的径向速度值;
- $\overline{M_{\text{DVE}}}$  —— 在这一范围的平均值。

C.3 设置隶属函数

根据地物和降水回波特征设置隶属函数,对这些特征量进行模糊化处理,得到所有特征量对于不同类型回波的 0~1 取值判据。

C.4 识别回波

对这些判据进行加权累加,当某点的判据超过事先给定的阈值时,该点回波被识别为异常地物杂波,剔除之。

附录 D

(资料性)

海杂波的识别与消除算法

D.1 原理

海杂波的识别与消除可采用模糊逻辑方法,即从天气雷达资料(基本反射率、径向速度和速度谱宽)中提取用于区分不同回波(如降水回波、地物和海杂波等)的特征量。根据降水回波、地物和海杂波的特征设置隶属函数,对这些特征量进行处理,得到所有特征量对于不同类型回波的 0~1 取值判据,该判据越大,回波点属于这种类型回波的可能性就越大。对这些判据进行加权累加,当某点的海杂波的判据超过指定的阈值时,该点就被识别为海杂波。

D.2 提取特征量

D.2.1 从天气雷达资料基本反射率中提取下列 5 个特征量:

- 基本反射率的纹理  $T_{dBZ}$ ,反映基本反射率的局地变化,区域回波越均匀,  $T_{dBZ}$  值越小,反之越大,按照公式(D.1)计算;
- 基本反射率的垂直变化  $G_{dBZ}$ ,按照公式(D.2)计算;
- 沿径向的库间变化程度  $S_{PIN}$ ,按照公式(D.3)计算;
- 降水回波概率  $F_{OBP}$ ,反映回波为降水回波的程度,值越大说明为降水回波的可能性越大,海杂波的可能性越小,按照公式(D.4)计算;
- 时间变化  $V_{T-dBZ}$ ,按照公式(D.5)计算。

$$T_{dBZ} = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_R} (Z_{i,j} - Z_{i,j+1})^2}{N_A \times N_R} \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- $N_A$  —— 在方位方向定义的计算范围;
- $N_R$  —— 在距离方向定义的计算范围;
- $Z_{i,j}$  —— 任意点的基本反射率。

$$G_{dBZ} = W_R (Z_{up} - Z_{low}) \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

- $W_R$  —— 与距离有关的权重;
- $Z_{up}$  —— 对应的上层 PPI 的基本反射率;
- $Z_{low}$  —— 对应的本层 PPI 的基本反射率。

$$S_{PIN} = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_R} M_{S_{PIN}}}{N_A \times N_R}, M_{S_{PIN}} = \begin{cases} 1 & |Z_{i,j} - Z_{i,j-1}| > Z_{thresh} \\ 0 & |Z_{i,j} - Z_{i,j-1}| \leq Z_{thresh} \end{cases} \dots\dots\dots (D.3)$$

式中:

- $N_A$  —— 在方位方向定义的计算范围;
- $N_R$  —— 在距离方向定义的计算范围;
- $Z_{i,j}$  —— 任意点的基本反射率;
- $Z_{thresh}$  —— 库间基本反射率变化的阈值。

$$F_{\text{OBP}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_R} M_P}{N_A \times N_R} \dots\dots\dots (D. 4)$$

式中：

- $N_A$  —— 在方位方向定义的计算范围；
- $N_R$  —— 在距离方向定义的计算范围；
- $M_P$  —— 区域内满足海杂波强度、速度阈值判定为降水回波的个数。

$$V_{\text{T-dBZ}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_A} \sum_{j=1}^{N_R} |Z_{0,i,j} - Z_{-1,i,j}|}{N_A \times N_R} \dots\dots\dots (D. 5)$$

式中：

- $N_A$  —— 在方位方向定义的计算范围；
- $N_R$  —— 在距离方向定义的计算范围；
- $Z_{0,i,j}$  —— 当前时刻某点的基本反射率值；
- $Z_{-1,i,j}$  —— 该点前一时刻某点的基本反射率值。

**D.2.2** 从天气雷达资料径向速度和速度谱宽中提取下列 2 个特征量：

- 径向速度的区域平均值  $M_{\text{DVE}}$  ；
- 速度谱宽的区域平均值  $M_{\text{DSW}}$  。

**D.3 确定隶属函数**

利用实际的天气雷达降水、海杂波资料，分析这些回波 D.2 提及的特征量分布情况，在此基础上确定隶属函数。

**D.4 识别海杂波**

对这些特征量进行处理，得到所有特征量对于不同类型回波的 0~1 取值判据，对这些判据进行加权累加，当某点的海杂波判据超过指定的阈值时，该点就被识别为海杂波。

## 附 录 E

(资料性)

## 生物回波识别与消除算法

生物回波识别算法首先对双偏振天气雷达测得的反射率因子  $Z$ 、差分反射率因子  $Z_{DR}$ 、差分传播相移  $\phi_{DP}$ 、协相关系数  $\rho_{HV}$  等特征量和反射率因子纹理  $S_{Dz}$ 、差分传播相移纹理  $S_{D\phi_{DP}}$  等反映观测值小尺度数值变化的特征量进行预处理,然后采用模糊逻辑算法来判断每个回波点属于哪个类别的可能性,从而实现生物回波的识别。

**附 录 F**  
**(资料性)**  
**空间一致性判别算法**

**F.1 原理**

通过读取同一时刻相邻天气雷达同一等高面的格点数据,寻找回波重叠区域内同时到两部天气雷达距离相等的区域(等距离线),输出等距离线上空间一致性的平均偏差、标准偏差和相关系数 3 个指标,实现对相邻天气雷达基本反射率空间一致性检测的一种判别算法。

**F.2 指标判别方法**

**F.2.1** 若基本反射率值平均偏差在 3 dB 以内、标准偏差在 5 dB 以内,相关系数在 0.5 以上,三个指标同时满足则标识为可信。

**F.2.2** 若基本反射率值平均偏差在 3 dB~5 dB、标准偏差 5 dB~8 dB,相关系数 0.3~0.5,满足其中一个指标则标识为可疑。

**F.2.3** 若基本反射率值平均偏差在 5 dB 以上、标准偏差在 8 dB 以上,相关系数在 0.3 以下,满足其中一个指标则标识为疑误。

**F.2.4** 以上指标作为相邻天气雷达回波空间一致性判别的依据,在判别时要排除波束阻挡,避免遮挡区的数据参与比较。

附 录 G

(资料性)

时间一致性判别算法

时间一致性判别算法按以下步骤采用 F 检验算法。

- a) 将两个连续时刻体扫数据同一仰角对应方位上的径向数据分为一组,根据 F 检验公式(见公式(G.1))分别求出每一组数据的  $F$  数值,再与  $F$  分布表中的值( $F_{\text{值}}$ ,计算方法见公式(G.3))对比,若计算出的  $F$  数值大于或等于表中的  $F_{\text{值}}$ ,则说明对比数据之间存在显著性差异,若计算出的  $F$  数值小于表中的  $F_{\text{值}}$ ,则说明对比数据之间没有显著差异。
- b) 当由某一径向组计算得到的  $F$  数值大于表中的  $F_{\text{值}}$  时,记做一个  $F$  异常点,最后统计出  $F$  异常点数占整层的百分比。
- c) 对一个体扫基数据,若有大于或等于 1 层且  $F$  异常点数大于 40%,或者有大于或等于 3 层且  $F$  异常点数大于 30%,则标识为疑误;若仅有 2 层且  $F$  异常点数大于 30%,则标识为可疑;其他情况标识为可信。

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \dots\dots\dots(G.1)$$

式中:

$S_1$ 、 $S_2$ ——某一组径向数据标准偏差,按照公式(G.2)进行计算。

$$S^2 = \frac{\sum (Z - \bar{Z})^2}{n - 1} \dots\dots\dots(G.2)$$

式中:

$Z$  ——某一组径向数据的反射率因子值;

$\bar{Z}$  ——某一组径向数据的反射率因子平均值。

$$F_{\text{值}} = F_{\alpha/2}(n_1 - 1, n_2 - 1) \dots\dots\dots(G.3)$$

表示在显著水平  $\alpha = 0.05$  下从  $F$  分布表中查到的数值,  $n_1$  和  $n_2$  分别是两组数据的长度。

附录 H

(资料性)

晴空回波识别与消除算法

H.1 方法

晴空回波识别与消除算法在产品数据上采用倾斜测试算法,在基数据上采用基于卫星资料进行晴空回波的消除。

H.2 倾斜测试算法

对回波进行垂直连续性检测,当算法检测到仰角从 0.5°到 1.5°时,位于 40 km~150 km 距离圈(可调参数)范围内的回波区域减小了 51%(可调参数)以上,算法将丢弃 0.5°仰角的反射率因子数据,采用 1.5°仰角反射率因子代替。

H.3 基于卫星资料的识别方法

H.3.1 原理

对降水和非降水条件下卫星资料 TBB 特性值进行统计分析,得到 TBB 的概率分布,采用 TBB 阈值法进行天气雷达非降水回波的消除。

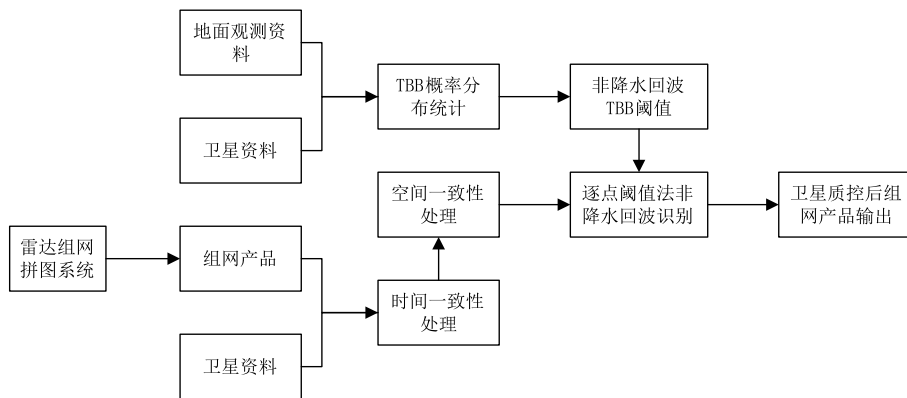


图 H.1 晴空回波识别方法流程图

H.3.2 识别流程

图 H.1 给出了识别流程图,流程如下。

- a) 利用地面观测资料和卫星 TBB 资料,统计分析降水和非降水条件下 TBB 的概率分布,确定非降水回波消除对应的 TBB 阈值(考虑非降水回波识别消除效果、降水回波误识别率等因素, TBB 阈值取 273 K,可调)。地面观测气象资料取每小时国家自动站的观测资料,卫星资料取 Himawari-8 卫星红外通道(10.4 μm)资料。
- b) 对天气雷达资料和卫星资料进行时间一致性和空间一致性处理。其中:
  - 1) 时间一致性处理方法采用“最临近匹配”和“时间间隔不超过 30 min”的原则对两种资料时间进行一致性处理;



- 2) 空间一致性处理采用天气雷达—卫星资料“点对块”方法处理,“块”的半径可选为 15 km。
- c) 对晴空回波区进行识别。基于 TBB 阈值法,对比卫星 TBB 资料判断是否上空为晴空区。如果天气雷达观测区域存在回波,而卫星资料显示该区域为晴空区,就认为该区域内的回波为无云条件下的非降水回波。
- 1) 假设天气雷达资料格点  $R(i, j)$  上存在回波值,对应卫星资料格点  $S(i, j)$ ,对  $S(i, j)$  周边一定范围内的晴空特征属性进行统计,统计值超过设定阈值就认为  $R(i, j)$  为晴空回波。
  - 2) 选取 1) 统计分析确定的 TBB 阈值作为非降水识别特征属性。
  - 3) 按照公式(H. 1)进行回波识别计算,当  $P_{i, j}$  大于某一阈值时,认为该格点是晴空区。如果对应天气雷达格点存在天气雷达回波,就被识别为非降水回波。

$$P_{i, j} = \frac{\sum N_{\text{sat}}}{\pi r^2} \times 100\%, N_{\text{sat}} = \begin{cases} 1, T_{i, j} \geq T_{\text{th}} \\ 0, T_{i, j} < T_{\text{th}} \end{cases} \dots\dots\dots(\text{H. 1})$$

式中:

- $P_{i, j}$  ——为以卫星资料格点  $S(i, j)$  为中心半径为  $r$  范围的晴空特征属性占总面积的比例;
- $T_{i, j}$  ——天气雷达资料经纬格点  $R(i, j)$  对应的卫星云图 TBB,单位为开尔文(K);
- $T_{\text{th}}$  ——TBB 阈值,单位为开尔文(K)。

附录 I

(资料性)

亮带回波的识别与订正算法

亮带回波的识别采用反射率因子垂直廓线法,即利用体扫资料生成层状云降水回波的反射率因子垂直廓线。具体步骤如下。

- a) 从距离天气雷达站较近的探空站获取时间分辨率为 12 h 的探空资料,从 0 °C 层高度以上 500 m(缓冲高度)开始,自上而下找到局部最大反射率因子所在高度  $h_{\max}$ 。
- b) 确定  $h_{\max}$  后,分别向上和向下找到最大反射率因子递减某一阈值(一般为 10%)的高度  $h_{\text{Top}}$  和  $h_{\text{Bot}}$ ,根据公式(I.1)–(I.4)判断亮带回波是否存在。如果同时满足公式(I.1)–(I.4),则亮带回波存在。其中  $D_1 = 400 \text{ m}$ ,  $D_2 = 1000 \text{ m}$ ,  $D_3 = 1500 \text{ m}$ ,可根据当地某一时间段内多次层状云降水过程进行调节。

$$h_{\text{Top}} - h_{\text{Bot}} \geq D_1 \quad \dots\dots\dots(\text{I. 1})$$

$$h_{\text{Top}} - h_{\max} \leq D_2 \quad \dots\dots\dots(\text{I. 2})$$

$$h_{\max} - h_{\text{Bot}} \leq D_2 \quad \dots\dots\dots(\text{I. 3})$$

$$h_{\text{Top}} - h_{\text{Bot}} \leq D_3 \quad \dots\dots\dots(\text{I. 4})$$

c) 对亮带回波进行订正:

- 1) 按照公式(I.5)计算反射率因子订正值  $d$ ;
- 2) 按照公式(I.6)计算订正后的反射率  $d_{\text{BZ}}$ 。

$$d = \begin{cases} \frac{h - h_{\max}}{\alpha} + \frac{h_{\max} - h_{\text{Bot}}}{\beta}, h > h_{\max} \\ \frac{h - h_{\text{Bot}}}{\beta}, h \leq h_{\max} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(\text{I. 5})$$

式中:

$h$  ——反射率因子所在高度;

$h_{\max}$  ——局部最大反射率因子所在高度;

$\alpha$  ——亮带顶到亮带最大值所在高度之间用最小二乘法拟合的斜率;

$h_{\text{Bot}}$  ——向下找到最大反射率因子递减某一阈值(一般为 10%)的高度;

$\beta$  ——亮带底到亮带最大值所在高度之间用最小二乘法拟合的斜率。

$$d_{\text{BZ}} = d_{\text{BZ}_0} - d \quad \dots\dots\dots(\text{I. 6})$$

式中:

$d_{\text{BZ}_0}$  ——天气雷达观测的反射率因子。

附录 J

(资料性)

天气雷达回波衰减订正算法

J.1 由天气雷达反射率因子的测量值  $Z_m$  计算得到实际值  $Z_r$  的一个估计,  $Z_r$  的计算见公式(J.1)。

$$Z_m(R) = Z_r(R)\tau(R) \dots\dots\dots(J.1)$$

式中:

$\tau(R)$  ——在天气雷达与距离  $R$  之间雨区的双程透过率,  $\tau(R) = \exp\left\{-2 \int_0^R k(R)dR\right\}$ 。

J.2 衰减系数  $k(R)$  与天气雷达反射率因子  $Z_r(R)$  之间的经验关系可表示成  $k(R) = aZ_r^b(R)$ , 则公式(J.1)表示成公式(J.2), 即公式(J.3)。常用的  $\lambda=3.2$  cm,  $5.6$  cm 和  $10$  cm 处球形粒子群降水区系数  $a$  和  $b$  取值见表 J.1。

表 J.1 球形雨滴情况下衰减系数与反射率因子之间的经验关系中系数  $a$ 、 $b$  的值

$\lambda/\text{cm}$	$a$	$b$
3.2	3.0199	0.8771
5.6	0.9381	0.8749
10.0	0.2940	0.8645

$$Z_m(R) = Z_r(R) \exp\left\{-2 \int_0^R a Z_r^b(R)dR\right\} \dots\dots\dots(J.2)$$

$$Z_r(R) = Z_m(R) \exp\left\{2 \int_0^R a Z_r^b(R)dR\right\} \dots\dots\dots(J.3)$$

J.3 假定  $b$  与  $R$  无关, 由公式(J.3)可得衰减订正的解析解:

$$Z_r(R) = Z_m(R) / \left[1 - 2ab \int_0^R Z_m^b(R)dR\right]^{\frac{1}{b}} \dots\dots\dots(J.4)$$

J.4 在区间  $[0, R]$  内降水强度不太大, 且在区间  $[0, R]$  内  $Z_m$  连续已知时, 可以由此得到精确的订正。但在其他情况下, 可采用下列迭代算法和逐库订正算法进行订正。

a) 迭代算法: 以  $Z_r(R)$  的第  $k$  阶迭代订正结果  $Z_r^k(R)$  取代式(J.3)右边的  $Z_r(R)$ , 得到高一阶的订正结果, 即:

$$Z_r^{k+1}(R) = Z_m(R) \exp\left\{2 \int_0^R a^k Z_r^k(R)dR\right\} \dots\dots\dots(J.5)$$

其中, 零阶迭代值  $Z_r^0(R) = Z_m(R)$ 。

b) 逐库订正法: 沿径向依次外推对各库进行衰减订正, 在完成对第  $i$  个库的衰减订正后, 由前  $i$  个库的订正结果计算  $\tau_i$ , 再进行第  $i+1$  个库的衰减订正, 即:

$$Z_r(i) = [Z_m(i) / \tau_{i-1}] \exp\{a [Z_m(i) / \tau_{i-1}]^b \Delta R\} \dots\dots\dots(J.6)$$

式中:

$\Delta R$  ——库分辨率,  $i=1, 2, 3, \dots$

**附录 K**  
(资料性)  
**波束阻挡订正算法**

**K.1 原理**

根据天气雷达站周围的地形数据,计算波束遮挡率,再根据波束阻挡的订正规则进行补偿。

**K.2 波束遮挡率**

**K.2.1** 计算天线能量在波束宽度范围内被遮挡的比例。

**K.2.2** 在计算时,以当前方位角为中心,从 $-1.5^\circ \sim 1.5^\circ$ 分成 31 个方位点( $0.1^\circ$ 分辨率)来进行累积。天气雷达波束遮挡率按公式(K.1)计算。

$$O = \sum_{n=-15}^{15} B_{LE(n)} W_{A(|n|)} \dots\dots\dots (K.1)$$

式中:

- $O$  —— 遮挡率;
- $B_{LE(n)}$  —— 第  $n$  个方位角上电磁波束遮挡率,按照公式(K.3)计算;
- $W_{A(|n|)}$  —— 第  $n$  个方位角的波束偏移衰减率,按照公式(K.2)计算。

$$W_{A(|n|)} = \frac{\int_{0.1(|n|-0.5)}^{0.1(|n|+0.5)} \exp[-4\ln 2 (\theta/sig)^2] d\theta}{\int_{-1.55}^{1.55} \exp[-4\ln 2 (\theta/sig)^2] d\theta} \dots\dots\dots (K.2)$$

式中:

$sig$ ——天气雷达波束分辨率, $n$ 的取值范围为 $-15 \sim +15$ 。

**K.2.3** 在第  $n$  个方位角方位上, $\pm 1.5^\circ$ 俯仰上完全没有遮挡,则  $B_{LE(n)} = 0$ 。如果从 $-1.5^\circ$ 仰角开始遮挡了  $m$  个方位,则  $B_{LE(n)}$  按公式(K.3)计算。

$$B_{LE(n)} = \frac{\int_{-1.55}^{0.1(m+0.5)} \exp[-8\ln 2 (\theta/sig)^2] d\theta}{\int_{-1.55}^{1.55} \exp[-8\ln 2 (\theta/sig)^2] d\theta} \dots\dots\dots (K.3)$$

式中:

$m$ ——取值范围是 $-15 \sim +15$ 。

**K.3 波束阻挡的订正**

**K.3.1** 计算出遮挡率后,根据波束阻挡的订正规则进行补偿。波束阻挡订正规则见表 K.1。

**表 K.1 波束阻挡订正规则**

波束遮挡率 %	反射率因子订正 dB
0~10	0
11~29	+1
30~43	+2
44~55	+3
56~60	+4

**K.3.2** 如果某个仰角的波束被地形遮挡的部分小于 60%，则对该仰角的反射率因子值按照表中的内容做相应的订正，如果被遮挡的部分大于 60%，可认为波束被完全挡掉，成为盲区。对方位上波束受阻部分超过 60%而盲区宽度小于或等于两个波束宽度时，盲区内某一距离库的基本反射率用对应的同一距离相邻两个库的基本反射率算术平均值来填补，否则考虑更高仰角上的回波来填补此距离库。

**附 录 L**  
**(资料性)**  
**退速度模糊算法**

**L.1 方法**

可采用硬件和软件两种方法。其中：

- a) 硬件方法常使用双脉冲重复频率法或者三脉冲重复频率法；
- b) 软件方法有多种,大多数速度退模糊软件算法都是基于径向速度在空间和时间上的连续性,从沿径向或方位的一维退模糊、二维退模糊,一直到沿径向、方位、仰角和时间序列的四维退模糊。

**L.2 基本思路**

把每个观测的径向速度与某个参考速度相比较,当两者的差值大于预设的风切变阈值时,可认为观测的径向速度模糊,需要通过调整公式  $V_T = V_O \pm 2n \times V_N$  中的  $n$  值,使得  $V_T$  与参考速度的差值位于预设的风切变阈值范围内。

**L.3 算法**

算法如下：

- a) 搜索某一仰角速度数据最弱风区寻找满足条件的备用初始参考径向,确定两组退模糊的初始参考径向和参考速度；
- b) 从初始参考径向开始进行两次顺时针和逆时针  $180^\circ$  方位的径向退模糊处理,同时对径向和方位方向的强风切变进行检查；
- c) 如果还有强风切变存在,则搜索弱风切变区中有效速度库最多的径向,第二次确定一组退模糊的初始参考径向和参考速度,再重复 b) 步骤的退模糊过程,直到无强风切变存在。

## 参 考 文 献

- [1] QX/T 93—2017 气象数据归档格式 地面气象辐射
- [2] QX/T 461—2018 C波段多普勒天气雷达
- [3] QX/T 462—2018 C波段双线偏振多普勒天气雷达
- [4] QX/T 463—2018 S波段多普勒天气雷达
- [5] QX/T 464—2018 S波段双线偏振多普勒天气雷达
- [6] 文浩,张乐坚,梁海河,等. 基于模糊逻辑的新一代天气雷达径向干扰回波识别算法[J]. 气象学报,2020,78(1):116-127
- [7] 刘黎平,吴林林,杨引明. 基于模糊逻辑的分步式异常地物杂波地物回波识别方法的建立和效果分析[J]. 气象学报,2007,65(2):252-260
- [8] 文浩,刘黎平,张扬. 多普勒天气雷达地物回波识别算法改进[J]. 高原气象,2017,36(3):736-749
- [9] 谭学,刘黎平,范思睿. 新一代天气雷达海浪回波特征分析和识别方法研究[J]. 气象学报,2013,71(5):962-975
- [10] 程昌玉,张乐坚,梁海河,等. 基于气象卫星资料的天气雷达非降水回波消除方法[J]. 气象与减灾研究,2017,40(2):141-145
- [11] 庄薇,刘黎平,胡志群. 青藏高原零度层亮带回波的识别订正方法及在雷达估测降水中的应用[J]. 气象,2013,39(8):1004-1013
- [12] 王楠. 衰减订正技术在C波段雷达降水估测中的应用[J]. 安徽农业科学,2012,40(9):5575-5577
- [13] 张培昌,王振会. 天气雷达回波衰减订正算法的研究(I):理论分析[J]. 高原气象,2001,20(1):1-5
- [14] 罗丽,井高飞,郭佳,等. 北京气象局天气雷达回波阻挡订正技术研究[J]. 科学技术与工程,2016,16(12):12-19
- [15] 肖艳姣,万玉发,王珏,等. 一种自动多普勒雷达速度退模糊算法研究[J]. 高原气象,2012,31(4):1119-1128

中华人民共和国  
气象行业标准  
气象观测资料质量控制 天气雷达  
QX/T 621—2021

\*

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:2 字数:60千字  
2021年8月第1版 2021年8月第1次印刷

\*

书号:135029-6258 定价:40.00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