



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 776—2025

组网天气雷达覆盖率和贡献度计算方法

Calculation method for coverage and contribution ratio of weather radar
network

2025-08-06 发布

2025-12-01 实施

中 国 气 象 局 发 布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 计算流程	2
5 数据要求	3
5.1 雷达元数据	3
5.2 体扫描参数	3
5.3 地形数据	3
6 覆盖率	3
6.1 波束遮挡	3
6.1.1 遮挡示意	3
6.1.2 数据匹配	4
6.1.3 遮挡判定	5
6.2 格点覆盖	6
6.2.1 高度上判定	6
6.2.2 高度层判定	6
6.3 统计计算	6
6.3.1 总覆盖率	6
6.3.2 单项覆盖率	6
7 贡献度	6
7.1 覆盖变化量	6
7.2 覆盖贡献度	7
附录 A(资料性) 天气雷达经纬度范围计算示例	9
A.1 单部天气雷达经纬度范围	9
A.2 组网天气雷达经纬度范围	9
附录 B(资料性) 坐标系定义及坐标转换	10
B.1 坐标系定义	10
B.2 坐标系转换	11
B.2.1 地心大地坐标 $A(B, L, H)$ 转换至天气雷达极坐标 $A(\theta, e, r)$	11
B.2.2 天气雷达极坐标 $A(\theta, e, r)$ 转换至地心大地坐标 $A(B, L, H)$	13
附录 C(资料性) 高度上和高度层间覆盖示例	15
附录 D(资料性) 贡献度计算示例	17
参考文献	18

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：中国气象局上海气象装备保障中心、中国气象局气象探测中心、云南省大气探测技术保障中心、中国气象科学研究院、浙江宜通华盛科技有限公司、华云敏视达雷达(北京)有限公司、北京市气象探测中心、成都信息工程大学、武汉市气象局。

本文件主要起草人：尹春光、陈玉宝、柳云雷、张涛、吴翀、王国荣、张持岸、李林、张福贵、秦建峰。

组网天气雷达覆盖率和贡献度计算方法

1 范围

本文件描述了天气雷达覆盖率和贡献度的计算方法。
本文件适用于单部和多部天气雷达覆盖率和贡献度的计算。

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

天气雷达 weather radar

用来探测大气中云雾、雨、雪等降水粒子的后向散射强度、位置、范围及其变化,以及沿雷达径向方向的平均径向速度和速度谱宽的雷达。

注:包括多普勒天气雷达、双偏振天气雷达、相控阵天气雷达。

[来源:QX/T 668—2023,3.1,有修改]

3.2

距离库 range bin

雷达回波信号处理时,天气雷达径向距离被划分为多个等距的采样单元,每个采样点存储前一采样单元的回波强度、速度等信息。

3.3

数字高程模型 digital elevation model; DEM

以规则格网形式表达地形高程的数字模型反映地表地貌形态的空间分布。参数包括覆盖范围、空间分辨率、坐标参考系统和高程值。

注:垂直基准为平均海平面时,高程值代表海拔高度。

3.4

障碍物 obstacle

对雷达发射和接收的高频电磁波产生遮蔽和影响的物体。

[来源:GB 31223—2014,3.3]

3.5

波束遮挡 beam blockage

天气雷达发射的电磁波束受到障碍物遮挡,导致雷达波束无法到达目标区域或返回的功率信号减弱。

3.6

覆盖率 coverage ratio

天气雷达覆盖范围内,在高度上或高度层间,覆盖总面积与评估区域总面积的比值。

3.7

单项覆盖率 individual coverage ratio

天气雷达覆盖范围内,在高度上或高度层间,由单雷达、双雷达或多雷达等各项覆盖面积与评估区域总面积的比值。

3.8

贡献度 contribution ratio

新增天气雷达后,原评估区域范围和面积不变时,在高度上或高度层间,单雷达或多雷达等各项覆盖增加的面积与原单项覆盖面积的比值。

4 计算流程

天气雷达覆盖率和贡献度计算方法流程见图 1。

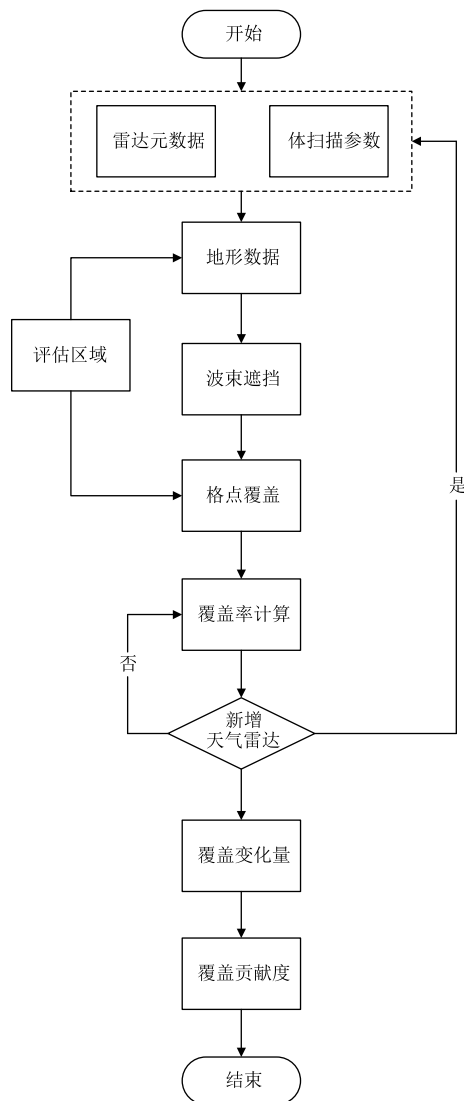


图 1 天气雷达覆盖率和贡献度计算方法流程

5 数据要求

5.1 雷达元数据

应包括各天气雷达的经度、纬度和天线馈源海拔高度。经纬度单位为度($^{\circ}$),精度保留小数点后 3 位,天线馈源海拔高度单位为米(m),精度保留小数点后 1 位。

5.2 体扫描参数

应包括体扫描仰角、方位起止角、波束宽度和径向探测距离。仰角、方位角、波束宽度单位为度($^{\circ}$),精度保留小数点后 1 位;径向探测距离单位为千米(km),精度为整数。

5.3 地形数据

以 0.01° 等经纬度分辨率在评估区域范围内获取数字高程模型(DEM)地形格点数据,范围可为:

- a) 单部天气雷达覆盖的经纬度范围(计算公式见附录 A);
- b) 组网天气雷达覆盖的经纬度范围(示意图见附录 A);
- c) 全国区域、省、市、县等行政区划边界经纬度范围。

注 1:建筑物、树木或高塔等孤立障碍物等同为地形格点数据。

注 2:根据业务需求和计算资源,等经纬度分辨率可提升至 0.001×0.001 。

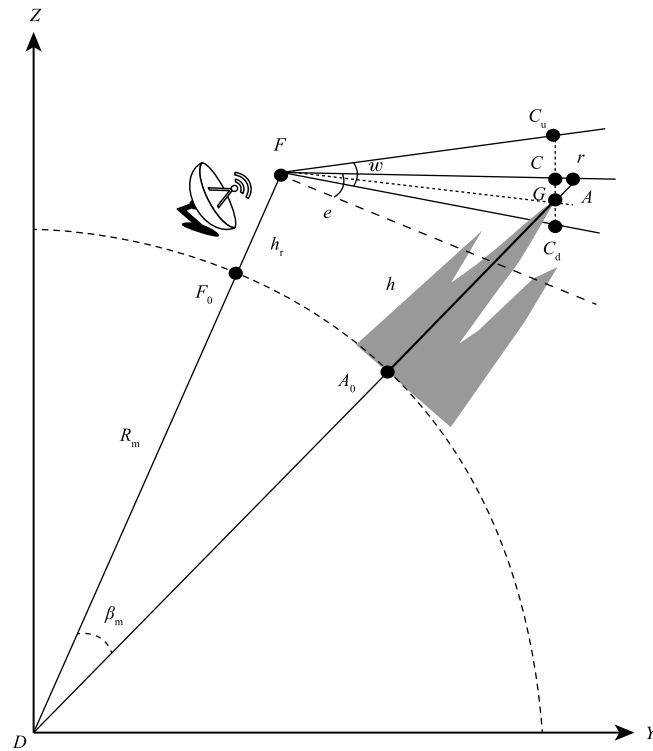
注 3:行政区域内以等经纬度分辨率划分格点时,边界上格点为有效点。

6 覆盖率

6.1 波束遮挡

6.1.1 遮挡示意

在标准大气传播条件下,天气雷达波束的传播路径近似为直线,国家大地坐标系(CGCS2000)椭球体近似等效球体。地心大地坐标系(定义见附录 B)下, G 点为 5.3 获取的地形格点数据 $G(B_g, L_g, H_g)$, B_g 为大地纬度, L_g 为大地经度, H_g 为海拔高度;雷达极坐标系(定义见附录 B)下, A 点为天气雷达波束中心线上采样点 $A(\theta_a, e_a, r_a)$, θ_a 为方位角, e_a 为仰角, r_a 为径向探测距离。地形格点数据 G 点产生波束遮挡被视为障碍物,示意图图 2。



说明：

- F ——天气雷达天线馈源点；
 F_0 —— F 在等效球表面的重力投影点；
 h_r ——天气雷达天线馈源高度；
 R_m ——等效地球半径；
 β_m ——修正后的地心角；
 D ——等效球体球心；
 w ——波束宽度；
 e ——体扫描仰角；
 G ——地形格点数据；
 C ——过 G 点波束截面与波束中心线交点；
 C_u ——过 C 点的波束中心线垂直线与波束上沿的交点；
 C_d ——过 C 点的波束中心线垂直线与波束下沿的交点；
 A ——与 C 点匹配同一距离库的采样点；
 r ——采样点 A 的径向探测距离；
 A_0 ——采样点 A 在等效球表面的重力投影点；
 h —— A 点到 A_0 高度。

注：图例为地球四分之一等效球体。

图 2 波束遮挡示意图

6.1.2 数据匹配

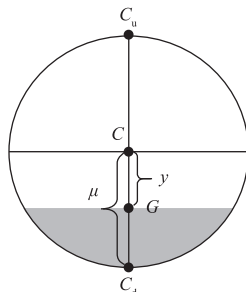
假定天气雷达波束水平宽度和垂直波束宽度相等，波束截面为圆形，截面图见图 3。地形格点数据 G 和天气雷达波束中心采样点 A 的匹配应符合下列规则：

- a) 过 G 点的直线与波束中心线垂直交点为 C 点， G 点与 C 点在同一波束截面上（见图 3）。
 $G(B_g, L_g, H_g)$ 转换为极坐标系 $G(\theta_g, e_g, r_g)$ （转换公式见附录 B）， θ_g 在 C 点方位角分辨率

$[\theta_c - 0.1^\circ, \theta_c + 0.1^\circ], e_g$ 在仰角分辨率 $\left[e_c - \frac{1}{2}w, e_c + \frac{1}{2}w\right]$, 多个地形格点数据 $G(B_g, L_g, H_g)$

转换径向距离 r_g 和 r_c 同一个距离库 r_b 时, 采用平均海拔高度 $\overline{H_g}$ 计算 r_g, r_g 与 r_c 近似相等。

- b) C点与A点在同一距离库, 方位角和仰角相等, r_c 与 r_a 近似相等. 极坐标系 $A(\theta_a, e_a, r_a)$ 转换为大地坐标系 $A(B_a, L_a, H_a)$ (转换公式见附录B), C点 $C(\theta_c, e_c, r_c)$ 转换的海拔高度 H_c 约等于A点海拔高度 H_a 。



说明:

C —— 过G点波束截面与波束中心线交点;

C_u —— 过C点的波束中心线垂直线与波束上沿的交点;

C_d —— 过C点的波束中心线垂直线与波束下沿的交点;

μ —— 天气雷达波束截面半径;

y —— 障碍物距波束中心点垂直位移。

图3 波束截面图

6.1.3 遮挡判定

6.1.3.1 波束遮挡率

按公式(1)计算波束遮挡率 K 。

$$K = \begin{cases} 1, & y \geq \mu \\ \left[\frac{y \sqrt{\mu^2 - y^2} + \mu^2 \sin \frac{y}{\mu} + \pi \mu^2}{\pi \mu^2} \right], & -\mu < y < \mu \\ 0, & y \leq -\mu \end{cases} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

y —— 地物遮挡距离波束中心点位移数值, 单位为千米(km), 按公式(2)计算;

μ —— 天气雷达波束截面半径值, 单位为千米(km), 按公式(3)计算。

$$y = H_g - H_c \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

H_g —— 障碍物海拔高度值, 单位为千米(km);

H_c —— C点海拔高度值, 与A点海拔高度 H_a 近似相等, 单位为千米(km)。

$$\mu = r_c \cdot \tan\left(\frac{w}{2} \cdot \frac{\pi}{180}\right) \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

r_c —— C点径向探测距离值, 与A点径向探测距离 r_a 近似相等, 单位为千米(km);

w —— 波束宽度值, 单位为度($^\circ$)。

6.1.3.2 判定条件

当 $K \geq 50\%$ 时,判定为完全遮挡;当 $K < 50\%$ 时,判定为部分遮挡。

6.2 格点覆盖

6.2.1 高度上判定

按照 5.3 在评估高度上提取格点 T_i (见附录 C)。每个格点 T_i 按 6.1 判定在单部天气雷达内是否存在波束遮挡。当格点 T_i 在组网所有天气雷达波束内均判定为遮挡时,该格点为盲点,否则为覆盖点,统计格点 T_i 被天气雷达覆盖的数量值。

6.2.2 高度层判定

高度层间包含起始高度、终止高度、一个或多个垂直高度分辨率(见图 C.1)。高度层格点 Q_i 在同一经纬度垂直高度上对应多个格点 T_i 均为盲点时,格点 Q_i 为盲点,否则为覆盖。格点 Q_i 被天气雷达覆盖的数量值为高度层间每个高度上 T_i 被天气雷达覆盖数量的最大值。示例见表 C.1。

6.3 统计计算

6.3.1 总覆盖率

由 N 部天气雷达组成的评估区域内,各高度上或高度层间,总覆盖率按公式(4)计算。

$$P_D = \frac{S_N - T_0}{S_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中:

P_D —— 总覆盖率;

S_N —— N 部天气雷达组网区域内总格点数;

T_0 —— 盲区格点数。

6.3.2 单项覆盖率

由 N 部天气雷达组成的评估区域内,各高度上或高度层间,单项覆盖率按公式(5)计算。

$$P_i = \frac{T_i}{S_N} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(5)$$

式中:

P_i —— 单项覆盖率, $i=0$ 时表示盲区格点率, $i=1,2,3,\dots,N$ 时,表示由 i 部天气雷达共同覆盖的比率;

T_i —— 由 i 部天气雷达共同覆盖的格点数, $i=0$ 时表示盲区格点数, $i=1,2,3,\dots,N$ 时,表示由 i 部天气雷达共同覆盖的格点数;

S_N —— 同公式(4)。

7 贡献度

7.1 覆盖变化量

N 部天气雷达组成的经纬度范围不变,新增 n 部天气雷达至 $N+n$ 部天气雷达时, S_{N+n} 与 N 部天气雷达组网区域的总格点数 S_N 相等。评估区域内各高度上或高度层间,格点覆盖变化量 ΔT_i 和覆盖变化率 ΔP_i 按公式(6)计算。

$$\begin{cases} \Delta T_i = T_{(i,N)} - T_{(i,N+n)} \\ \Delta P_i = \frac{\Delta T_i}{S_{N+n}} \times 100\% \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

式中：

ΔT_i ——由 i 部天气雷达共同覆盖的格点变化量；

$T_{(i,N)}$ —— N 部天气雷达组网时，由 i 部天气雷达共同覆盖的格点数；

$T_{(i,N+n)}$ —— $N+n$ 部天气雷达组网时，由 i 部天气雷达共同覆盖的格点数；

ΔP_i ——覆盖变化率， $i=0$ 时表示盲区减少率， $i=1,2,3,\dots,N$ 时，分别表示 i 部天气雷达覆盖的格点变化率；

S_{N+n} —— $N+n$ 部天气雷达组网区域的总格点数。

7.2 覆盖贡献度

N 部天气雷达组成的经纬度范围不变，新增 n 部天气雷达至 $N+n$ 部天气雷达时，评估区域内各高度上或高度层间， i 部天气雷达共同覆盖的格点数对 $i+n$ 部天气雷达共同覆盖的格点贡献数和贡献度按照公式(7)至公式(11)依次计算(计算示例见附录 D)。

a) 当 $i=0$ 时，盲区格点变化数对单雷达覆盖格点的贡献数 C_1 和贡献度 P_1 按照公式(7)计算：

$$\begin{cases} C_1 = T_{(0,N)} - T_{(0,N+n)} \\ P_1 = \frac{C_1}{T_{(0,N)}} \times 100\% \end{cases} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

C_1 ——对单部天气雷达覆盖格点的贡献数；

$T_{(0,N)}$ —— N 部天气雷达组网时盲区格点数；

$T_{(0,N+n)}$ —— $N+n$ 部天气雷达组网时盲区格点数；

P_1 ——对单部天气雷达覆盖的贡献度。

b) 当 $i=1,2,3,\dots,N-1$ 时， i 部天气雷达覆盖的格点变化数对 $i+1$ 部天气雷达共同覆盖格点的贡献数 C_{i+1} 和贡献度 P_{i+1} 按照公式(8)计算：

$$\begin{cases} C_{i+1} = T_{(i,N)} + C_i - T_{(i,N+n)} \\ P_{i+1} = \frac{C_{i+1}}{T_{(i,N)}} \times 100\% \end{cases} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

C_{i+1} ——对 $i+1$ 部天气雷达共同覆盖的格点贡献数， C_{i+1} 可由公式(9)验证；

$T_{(i,N)}$ —— N 部天气雷达组网时，由 i 部天气雷达共同覆盖的格点数；

C_i ——对 i 部天气雷达共同覆盖格点的贡献数；

$T_{(i,N+n)}$ —— $N+n$ 部天气雷达组网时，由 i 部天气雷达共同覆盖的格点数；

P_{i+1} ——对 $i+1$ 部天气雷达共同覆盖格点的贡献度。

$$C_{i+1} = \Delta T_0 + \Delta T_1 + \Delta T_2 + \dots + \Delta T_i \dots\dots\dots (9)$$

式中：

ΔT_i ——同公式(6)。

c) 当 $i=N$ 时，新增 n 部天气雷达对 $N+1, N+2, \dots, N+j, \dots, N+n$ 部天气雷达共同覆盖格点的贡献总数按照公式(10)计算：

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n C_{N+j} = T_{(N,N)} + C_N - T_{(N,N+n)} \\ P_{N+j} = \frac{C_{N+j}}{T_{(N,N)} + C_N - T_{(N,N+n)}} \times 100\% \end{cases} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

C_{N+j} ——对 $N+1, N+2, \dots, N+j, \dots, N+n$ 共同覆盖格点的贡献数, C_{N+j} 可由公式(11)验证；

$T_{(N, N)}$ —— N 部天气雷达组网时, 由 N 部天气雷达共同覆盖的格点数；

C_N ——对 N 部天气雷达共同覆盖格点的贡献数；

$T_{(N, N+n)}$ —— $N+n$ 部天气雷达组网时, 由 N 部天气雷达共同覆盖的格点数；

P_{N+j} —— $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 时, 对 $N+j$ 部天气雷达共同覆盖格点的贡献度。

$$C_{N+j} = \Delta T_{N+j} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

ΔT_{N+j} —— $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 时, 由 $N+j$ 部天气雷达共同覆盖格点的变化数。

附录 A

(资料性)

天气雷达经纬度范围计算示例

A.1 单部天气雷达经纬度范围

在大地坐标系下,单部天气雷达位置坐标为 $F(B_r, L_r, H_r)$, B_r 为天气雷达位置大地纬度, L_r 为天气雷达位置大地经度和 H_r 为天线馈源海拔高度。在天气雷达体扫描最低仰角 $e_{\min}$ 和最大径向探测距离 $r_{\max}$ 时,单部天气雷达的纬度覆盖范围 $[B_r - \Delta B_{\max}, B_r + \Delta B_{\max}]$, 经度覆盖范围 $[L_r - \Delta L_{\max}, L_r + \Delta L_{\max}]$, 其中纬度变化量 $\Delta B_{\max}$ 和经度变化量 $\Delta L_{\max}$ 见公式(A.1)。

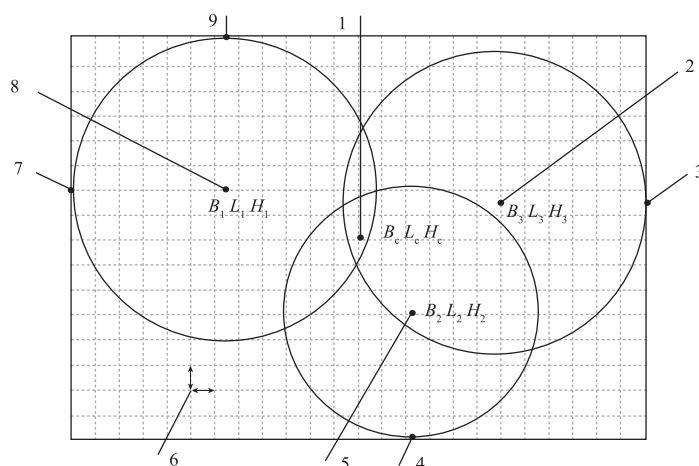
$$\begin{cases} \Delta B_{\max} = \frac{r_{\max} \cdot \sin e_{\min}}{111.32} \\ \Delta L_{\max} = \frac{r_{\max} \cdot \cos e_{\min}}{111.32 \times \cos B_r} \end{cases} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- $\Delta B_{\max}$ —— 最大径向探测距离时纬度变化量值,单位为度($^{\circ}$);
 $r_{\max}$ —— 最大径向探测距离值,单位为千米(km);
 $e_{\min}$ —— 天气雷达体扫描最低仰角值,单位为度($^{\circ}$);
 $\Delta L_{\max}$ —— 最大径向探测距离时经度变化量值,单位为度($^{\circ}$);
 B_r —— 天气雷达位置纬度值,单位为度($^{\circ}$)。

A.2 组网天气雷达经纬度范围

图 A.1 给出了由三部天气雷达组成组网覆盖范围的示例。组网天气雷达经度范围由所有雷达的最小经度和最大经度确定,纬度范围由所有天气雷达的最小纬度和最大纬度确定。



标引序号说明:

- | | |
|-------------------------|-------------------------|
| 1——组网中心纬度、经度和海拔高度; | 6——格点分辨率; |
| 2——天气雷达 3 纬度、经度和馈源海拔高度; | 7——由天气雷达 1 决定的最小经度; |
| 3——由天气雷达 3 决定的最大经度; | 8——天气雷达 1 纬度、经度和馈源海拔高度; |
| 4——由天气雷达 2 决定的最小纬度; | 9——由天气雷达 1 决定的最大纬度。 |
| 5——天气雷达 2 纬度、经度和馈源海拔高度; | |

图 A.1 组网天气雷达经纬度范围

附 录 B
(资料性)
坐标系定义及坐标转换

B.1 坐标系定义**B.1.1 地心坐标系**

地心坐标系以地球质心为原点的坐标系,描述地球上或地球附近空间点的位置。本文件方法计算基于 CGCS2000 国家大地坐标系(China Geodetic Coordinate System 2000)。地心坐标系包括下列内容。

- a) 地心大地坐标系:地心大地纬度 B 是过 A_1 点的椭球法线和椭球赤道面的夹角;地心大地经度 L 是过 A_1 地面点的椭球子午面与格林尼治天文台子午面的夹角;大地高 H 是地面点沿椭球法线到地球椭球面的距离。空间任意点 A 记为 $A(B, L, H)$ 。
- b) 地心直角坐标系: X 轴是在地球赤道上从地心指向本初子午线与赤道交点的方向; Y 轴是从地心指向东经 90° 经线与赤道交点的方向,与 X 轴垂直; Z 轴是从地心指向地球的北极点的方向,与赤道平面垂直。空间任意点 A 记为 $A(X', Y', Z')$ 。

B.1.2 天气雷达观测坐标系

天气雷达观测坐标系描述天气雷达与目标观测点位置的坐标系,示意图见图 B.1。观测坐标系包括:

- a) 极坐标系:天气雷达目标观测点 A 记为 $A(\theta, e, r)$,方位角 θ 为在雷达天线水平面上从天气雷达天线正北顺时针旋转增加的角度;仰角 e 为天气雷达波束中心线和天线水平面的夹角;径向距离 r 为沿波束方向上天气雷达天线至目标物之间的直线距离。
- b) 参考定位球坐标系:假定在北半球,参考定位球圆心为地球椭球球心 O 向南移动长度 d 后的 D 点,半径为基于天气雷达位置纬度 B_r 计算的卯西圈半径为 N_r 。天气雷达目标观测点 A 记为 $A(\varphi, L, h)$, φ 为 A 点在参考定位球中的地心纬度; L 为 A 点在参考定位球中的地心经度,与 A 点在地球椭球体中的经度一致, h 为 A 点到参考定位球投影点的距离。

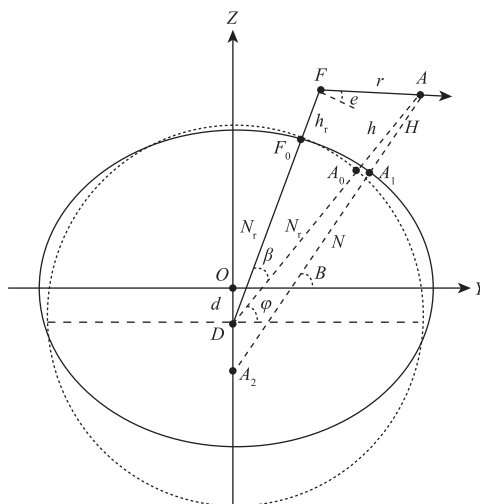


图 B.1 天气雷达参考定位球坐标系示意图

标引序号说明：

Z —— Z 轴方向；
 O —— 地球椭球球心；
 D —— 球体球心；
 F —— 天气雷达天线馈源点；
 F_0 —— F 在球体表面的重力投影点；
 h_r —— 天气雷达天线馈源高度；
 N_r —— 雷达所在位置的卯西圈曲率半径；
 e —— 体扫描仰角；
 β —— 参考定位球下的地心角；
 A —— 采样点；
 r —— 采样点 A 的径向探测距离；
 A_0 —— A 点在参考定位球面的投影点；
 h —— A 点到参考定位球面 A_0 高度；
 φ —— A 点在参考定位球中的地心纬度；
 A_1 —— A 点与地球椭球面的投影点；
 H —— A 点到 A_1 高度；
 B —— A 点大地纬度；
 A_2 —— AA_1 延长线与地轴交点。

图 B.1 天气雷达参考定位球坐标系示意图(续)

B.2 坐标系转换

B.2.1 地心大地坐标 $A(B, L, H)$ 转换至天气雷达极坐标 $A(\theta, e, r)$

B.2.1.1 将地心大地坐标 $A(B, L, H)$ 转为地心直角坐标 $A(X', Y', Z')$

$$\begin{cases} X' = (N + H) \cos B \cos L \\ Y' = (N + H) \cos B \sin L \\ Z' = (N + H) \sin B - \epsilon^2 N \sin B \end{cases} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

X' —— A 在 X 轴坐标；
 N —— 卯西圈曲率半径值，单位为米 (m)，按公式 (B.2) 计算；
 H —— 海拔高度值，单位为米 (m)；
 B —— 大地纬度值，单位为度 (°)；
 L —— 大地经度值，单位为度 (°)；
 Y' —— A 在 Y 轴坐标；
 Z' —— A 在 Z 轴坐标。

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - \epsilon^2 \sin^2 B}} \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

a —— 地球椭球长半轴数值，为 6378137(m)；
 ϵ —— 第一偏心率，取值 0.081819190428。

B.2.1.2 地心直角坐标 $A(X', Y', Z')$ 转为参考定位球坐标 $A(\varphi, L, h)$

$$\begin{cases} \varphi = \tan^{-1} \left(\frac{Z' + \epsilon^2 N_r \sin B_r}{\sqrt{X'^2 + Y'^2}} \right) \\ L = \sin^{-1} \left(\frac{Y'}{\sqrt{X'^2 + Y'^2}} \right) \\ h = \sqrt{X'^2 + Y'^2 + (Z' + \epsilon^2 N_r \sin B_r)^2} - N_r \end{cases} \dots\dots\dots (\text{B. 3})$$

式中：

φ ——在参考定位球中的地心纬度值,单位为度($^\circ$);

Z' ——同公式(B. 1);

ϵ ——同公式(B. 2);

N_r ——在参考定位球卯酉圈曲率半径值,单位为米(m),按公式(B. 4)计算;

B_r ——天气雷达位置大地纬度值,单位为度($^\circ$);

L ——同公式(B. 1);

X' ——同公式(B. 1);

Y' ——同公式(B. 1);

h ——A 到参考定位球表面高度值,单位为米(m)。

$$N_r = \frac{a}{\sqrt{1 - \epsilon^2 \sin^2 B_r}} \dots\dots\dots (\text{B. 4})$$

式中：

a ——同公式(B. 2);

ϵ ——同公式(B. 2);

B_r ——同公式(B. 3)。

B.2.1.3 参考定位球坐标 $A(\varphi, L, h)$ 转为天气雷达极坐标 $A(\theta, e, r)$ **B.2.1.3.1 参考定位球坐标 $A(\varphi, L, h)$ 至地心角高度坐标 $A(\beta, \theta, h)$**

$$\begin{cases} \cos \beta = \sin \varphi \sin B_r + \cos \varphi \cos B_r \cos(L - L_r) \\ \sin \varphi = \cos \beta \sin B_r + \sin \beta \cos B_r \cos \theta \\ \sin \theta = \frac{\cos \varphi \sin(L - L_r)}{\sin \beta} \end{cases} \dots\dots\dots (\text{B. 5})$$

式中：

β ——地心角值,单位为度($^\circ$);

φ ——同公式(B. 3);

B_r ——同公式(B. 3);

L ——同公式(B. 1);

L_r ——天气雷达位置大地经度值,单位为度($^\circ$);

θ ——方位角值,单位为度($^\circ$),取值范围 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

B.2.1.3.2 地心角高度坐标 $A(\beta, \theta, h)$ 转为天气雷达极坐标 $A(\theta, e, r)$

$$\begin{cases} e = \tan^{-1} \left(\cot \beta_m - \frac{R_m + h_r}{(R_m + h) \sin \beta_m} \right) \\ r = \frac{(R_m + h) \sin \beta_m}{\cos e} \end{cases} \dots\dots\dots (\text{B. 6})$$

式中：

e ——仰角值,单位为度($^{\circ}$);

β_m ——等效地心角值,单位为度($^{\circ}$),按公式(B.7)计算;

R_m ——等效地球半径值,常数值为 8500000(m);

h_r ——天线馈源海拔高度值,单位为米(m);

h ——同公式(B.3);

r ——径向探测距离值,单位为米(m)。

$$\beta_m = \frac{\beta}{K} \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

式中：

β ——同公式(B.5);

K ——大气折射率梯度值,标准大气 1 km 以下, K 取值为 4/3。

B.2.2 天气雷达极坐标 $A(\theta, e, r)$ 转换至地心大地坐标 $A(B, L, H)$

B.2.2.1 天气雷达极坐标 $A(\theta, e, r)$ 转换至参考定位球坐标 $A(\varphi, L, h)$

$$\begin{cases} \varphi = \sin^{-1}(\cos\theta\cos B_r\sin\beta + \sin B_r\cos\beta) \\ L = L_r + \sin^{-1} \frac{\sin\theta\sin\beta}{\cos\varphi} \\ h = \frac{r\cos e}{\sin\beta_m} - R_m \end{cases} \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

式中：

φ ——同公式(B.3);

θ ——同公式(B.5);

B_r ——同公式(B.3);

β ——同公式(B.5);

L ——同公式(B.1);

L_r ——同公式(B.5);

h ——同公式(B.3);

r ——同公式(B.6);

e ——同公式(B.6);

β_m ——同公式(B.6);

R_m ——同公式(B.6)。

B.2.2.2 参考定位球坐标 $A(\varphi, L, h)$ 至地心直角坐标 $A(X', Y', Z')$

$$\begin{cases} X' = (N_r + h)\cos\varphi\cos L \\ Y' = (N_r + h)\cos\varphi\sin L \\ Z' = (N_r + h)\sin\varphi - \epsilon^2 N_r \sin B_r \end{cases} \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

式中：

X' ——同公式(B.1);

N_r ——同公式(B.3);

h ——同公式(B.3);

φ ——同公式(B.3);

L ——同公式(B.1);

Y' ——同公式(B.1)；

Z' ——同公式(B.1)；

ϵ ——同公式(B.2)；

B_r ——同公式(B.3)。

B.2.2.3 地心直角坐标 $A(X', Y', Z')$ 至地心大地坐标 $A(B, L, H)$

$$\begin{cases} B = \tan^{-1} \left(\frac{aZ' + \epsilon'^2 b \sin^3 \delta}{b \sqrt{X'^2 + Y'^2} - \epsilon^2 a \cos^3 \delta} \right) \\ L = \tan^{-1} \frac{Y'}{X'} \\ H = \frac{\sqrt{X'^2 + Y'^2}}{\cos B} - N \end{cases} \dots\dots\dots (B.10)$$

式中：

B ——同公式(B.1)；

a ——同公式(B.2)；

Z' ——同公式(B.1)；

ϵ' ——第二偏心率,取值 0.0820944381519；

b ——地球椭球短半轴值,为 6356752.31414(m)；

δ ——过程参数值,按公式(B.11)计算；

X' ——同公式(B.1)；

Y' ——同公式(B.1)；

L ——同公式(B.1)；

H ——同公式(B.1)；

N ——同公式(B.1)。

$$\delta = \tan^{-1} \left(\frac{aZ'}{b \sqrt{X'^2 + Y'^2}} \right) \dots\dots\dots (B.11)$$

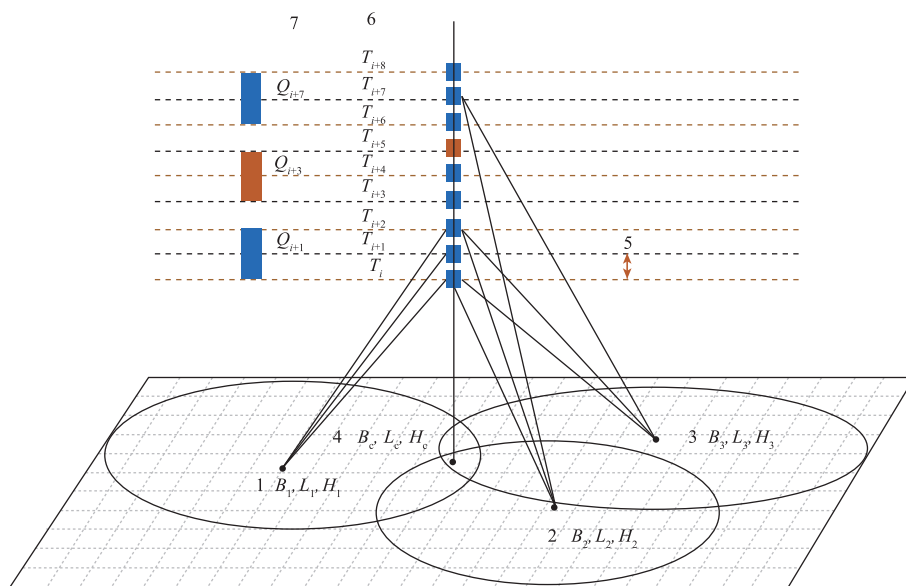
式中, a 同公式(B.2),其他变量同公式(B.10)。

附录 C

(资料性)

高度上和高度层间覆盖示例

图 C.1 给出三部天气雷达体扫描组成空间范围内格点覆盖判定。组网天气雷达水平覆盖范围同图 A.1。垂直范围包含起始高度和终止高度,垂直高度分辨率为垂直范围内划分的等距高度,可设置为 0.5 km、1 km 或者 2 km。 T_i 为高度上格点, Q_i 代表高度层上格点,格点经 6.1.3 判定,蓝色代表至少被一部天气雷达覆盖,红色代表未被任意天气雷达覆盖,高度上和高度层间格点判定结果见表 C.1。



标引序号说明:

- 1——天气雷达 1 纬度、经度和馈源海拔高度;
- 2——天气雷达 2 纬度、经度和馈源海拔高度;
- 3——天气雷达 3 纬度、经度和馈源海拔高度;
- 4——组网中心纬度、经度和海拔高度;
- 5——垂直高度分辨率;
- 6——高度上格点, T_i 代表高度上格点;
- 7——高度层格点, Q_i 代表被高度层上格点。

图 C.1 高度上和高度层间格点示意图

表 C.1 高度上和高度层间格点覆盖结果

高度上格点	归属雷达	覆盖分析	判定结果	高度层格点	覆盖分析	判定结果
T_i	天气雷达 1、天气雷达 2、天气雷达 3	是	三雷达覆盖	Q_{i+1}	是	三雷达覆盖
T_{i+1}	天气雷达 1	是	单雷达覆盖			
T_{i+2}	天气雷达 1、天气雷达 3	是	双雷达覆盖			
T_{i+3}	无	否	盲区	Q_{i+3}	否	盲区
T_{i+4}	无	否	盲区			
T_{i+5}	无	否	盲区			
T_{i+6}	无	否	盲区	Q_{i+5}	是	双雷达覆盖
T_{i+7}	天气雷达 2、天气雷达 3	是	双雷达覆盖			
T_{i+8}	无	否	盲区			

附 录 D
(资料性)
贡献度计算示例

N 部天气雷达组网的经纬度范围不变,新增 n 部天气雷达至 $N+n$ 部天气雷达时,评估区域内各高度上或高度层间, i 部天气雷达共同覆盖格点数对 $i+n$ 部天气雷达共同覆盖格点的贡献数和贡献度计算示例见表 D.1。

表 D.1 覆盖贡献计算示例表

i	$T_{(i,N)}$	$T_{(i,N+n)}$	ΔT_i	$C_{i+1} = T_{(i,N)} + C_i - T_{(i,N+n)}$
$i=0$	$T_{(0,N)}$	$T_{(0,N+n)}$	ΔT_0	$C_1 = \Delta T_0$
$i=1$	$T_{(1,N)}$	$T_{(1,N+n)}$	ΔT_1	$C_2 = T_{(1,N)} + C_1 - T_{(1,N+n)}$ $C_2 = \Delta T_0 + \Delta T_1$
$i=2$	$T_{(2,N)}$	$T_{(2,N+n)}$	ΔT_2	$C_3 = T_{(2,N)} + C_2 - T_{(2,N+n)}$ $C_3 = \Delta T_0 + \Delta T_1 + \Delta T_2$
$i=3$	$T_{(3,N)}$	$T_{(3,N+n)}$	ΔT_3	$C_4 = T_{(3,N)} + C_3 - T_{(3,N+n)}$ $C_4 = \Delta T_0 + \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3$
...	...	...	...	...
$i=N-1$	$T_{(N-1,N)}$	$T_{(N-1,N+n)}$	ΔT_{N-1}	$C_N = T_{(N-1,N)} + C_{N-1} - T_{(N-1,N+n)}$ $C_N = \Delta T_0 + \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \cdots + \Delta T_{N-1}$
$i=N$	$T_{(N,N)}$	$T_{(N,N+n)}$	ΔT_N	$\sum_{j=1}^n C_{N+j} = T_{(N,N)} + C_N - T_{(N,N+n)}$ $\sum_{j=1}^n C_{N+j} = \Delta T_0 + \Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \cdots + \Delta T_{N-1} + \Delta T_N$ $C_{N+j} = \Delta T_{N+j}$

参 考 文 献

- [1] GB/T 31223—2014 气象探测环境保护规范 天气雷达站
 - [2] GB/T 37411—2019 天气雷达选址规定
 - [3] QX/T 348—2016 X波段数字化天气雷达
 - [4] QX/T 461—2018 C波段多普勒天气雷达
 - [5] QX/T 462—2018 C波段双线偏振多普勒天气雷达
 - [6] QX/T 463—2018 S波段多普勒天气雷达
 - [7] QX/T 464—2018 S波段双线偏振多普勒天气雷达
 - [8] QX/T 524—2019 X波段多普勒天气雷达
 - [9] QX/T 668—2023 天气雷达组网产品数据格式 NetCDF
-

中 华 人 民 共 和 国
气 象 行 业 标 准
组网天气雷达覆盖率和贡献度计算方法
QX/T 776—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:1.5 字数:45 千字
2025 年 9 月第 1 版 2025 年 9 月第 1 次印刷

*

书号:135029-6463 定价:32.00 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