

新一代多普勒天气雷达电磁辐射污染分析

王 峰^{1,2} 程小泉² 许 农²

(1. 中国科学技术大学电子工程与信息科学系, 合肥 230027,
2. 安徽省气象局气象信息中心)

提 要: 为定量分析天气雷达电磁辐射环境影响, 作者根据新一代多普勒天气雷达的主要性能参数, 结合对安徽即将布点的三部新一代多普勒天气雷达环境影响评价工作的成果, 理论推导其电磁辐射的分布情况, 按照《电磁辐射防护规定》(GB8702-88) 和《电磁辐射环境影响评价方法和标准》(HJ/T10.3-1996) 的要求, 分析了新一代多普勒天气雷达对环境的电磁辐射影响, 由此计算出天气雷达工作时主瓣方向及旁瓣方向电磁辐射安全防护距离, 对雷达布点站址选择及运行时的电磁防护有一定的参考价值。

关键词: 新一代多普勒天气雷达 电磁辐射 防护距离

Analysis of Electromagnetic Radiation Pollution of CINRAD

Wang Feng¹ Cheng Xiaoquan² Xu Nong²

(1. Department of Electronic Engineering and Information Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230027; 2. Anhui Meteorological Information Center)

Abstract: To aim at analyzing the new generation Doppler weather radar (CINRAD) electromagnetic radiation environmental impact, based on the technical parameters and operation mode of the CINRAD, and combined with the achievement of environmental impact assessment in Anhui, the electromagnetic radiation distribution of the radar calculated, the impact of radar is estimated, and the safety distance around it is calculated. It is beneficial to optimizing the distribution of radars.

Key Words: CINRAD electromagnetic radiation safety distance

引言

中国气象局以提高我国突发暴雨、沿海台风和大江大河强降水预警等灾害性天气预报时效和准确为目的,将在全国布设新一代天气雷达网。目前我国已建成 110 部新一代天气雷达站,占全国拟建 158 部计划的 73%。新一代多普勒天气雷达建址点电磁辐射环境影响正在引起人们的广泛关注。

国内外学者更多关注的是天气雷达在天气探测及预报服务方面的应用^[1-3],对于雷达电磁辐射的环境影响分析的较少,葛润生^[4]对雷达电磁辐射分布做过一些分析,毕存德^[5]对雷达操作间进行过电磁辐射值的现状检测。分别对天气雷达电磁辐射环境影响作过分析并提出了一些防护措施。

为定量分析天气雷达电磁辐射环境影响,作者根据新一代多普勒天气雷达的主要性能参数,结合对安徽即将布点的三部新一代多普勒天气雷达环境评价工作的成果,理论推导其电磁辐射的分布情况,按照《电磁辐射防护规定》(GB8702-88)和《电磁辐射环境影响评价方法和标准》(HJ/T10.3-1996)的要求,分析新一代多普勒天气雷达对环境的电磁辐射影响及安全防护距离的设定。这些结果对雷达布点站址选择及运行时的电磁防护有一定的参考价值。

1 新一代多普勒天气雷达运行参数

新一代多普勒天气雷达根据频率的不同,主要分为 S 波段和 C 波段两种,本文以 S 波段雷达为例进行分析,C 波段分析方法相同。

表 1 S 波段雷达发射参数

工作频率	发射机	发射机	天线馈口	天线馈口
	峰值功率	平均功率	峰值功率	平均功率
2.7~3.0GHz	750kW	1.4kW	350kW	700W

表 2 S 波段雷达天线技术性能指标

天线直径	8.54m
天线增益	≥44dB
波束宽度	≤1°
第一旁瓣电平	≤-29dB
远端副瓣电平	≤-40dB
扫描方位角	0~360°
扫描仰角	0.5~30°

新一代多普勒天气雷达天线扫描的运行方式有三种^[4]:平面位置扫描(PPI)、距离高度扫描(RHI)、体积扫描(VOL)。PPI 扫描时天线仰角固定,方位角作 0~360°的环扫,RHI 扫描时,方位角设定在某一位置上,天线的仰角自下而上扫描,体积扫描由一组不同仰角的 PPI 扫描组成。

2 天气雷达电磁辐射空间分布分析

根据雷达的运行方式,同时为了便于定量分析,可将雷达电磁辐射的区间分成三个区域,即主瓣工作区域(雷达天线仰角 0.5~30°,方位角 0~360°),第一旁瓣电磁辐射污染区域(雷达中心天线仰角 0.5°至雷达中心水平线-10°区域),远端旁瓣电磁辐射影响区域(雷达中心水平线-10°以下区域)。

2.1 天气雷达主瓣方向功率密度分布

新一代天气雷达天线采用圆抛物面型,用雷达反射面辐射出的电磁波初为平行波束,传播一段距离后经相位干涉逐渐形成锥形波束。根据天线波束形成理论,天线波束形成的距离可用 $D^2/\lambda \sim 2D^2/\lambda$ 来估算, D 为天线的直径, λ 为电磁波的波长。

平面波束状况时,辐射的功率密度(ρ)可简单的用雷达天线馈口的平均功率与平面波束的横截面积(相当于天线反射体的截面积)之比来计算^[4-5]:

$$\rho = 4\bar{P}/\pi D^2 \quad (1)$$

式中: ρ 为功率密度, \bar{P} 为天馈平均功率, D 为天线直径。功率密度 ρ 不随测点距雷达距离

的变化而改变。按新一代多普勒天气雷达天线的参数来估算,天馈平均功率取 700W,天线直径取 8.54m,得 ρ 为 $12.2\text{W}/\text{m}^2$,在锥形波束形成后,其主瓣方向最大的辐射功率密度 ρ 可按下式计算^[5-6]:

$$\rho = \bar{P}G/4\pi r^2 \quad (2)$$

式中: r 为测点距雷达的距离, \bar{P} 为天馈平均功率, G 为天线增益倍数。 ρ 随距离的增大而迅速的减小。按照新一代多普勒天气雷达 S 波段的参数带入计算,可得 ρ 为 $1.4 \times 10^6/r^2$ (W/m^2)。

设平行波束估算的 ρ 与锥形波束估算 ρ 相等的距离为 r_0 , r_0 可作为天线辐射的波束为平行波考虑时的最大距离,即距雷达天线的距离 $r < r_0$ 时,辐射波束的功率密度可视为固定值 ρ ,可算得 $r_0 = 339\text{m}$ 。

按 D^2/λ 来计算锥形波束形成的距离,可得锥形波束形成距离为 $r_1 = 681\text{m}$

由此得出在雷达主瓣方向功率密度分布情况如表 3。

表 3 新一代多普勒天气雷达主瓣方向功率密度分布情况

距离(m)	功率密度(W/m^2)
≤ 339	12.2
$339 < r < 681$	$1.4 \times 10^6/r^2 < \rho < 12.2$
≥ 681	$1.4 \times 10^6/r^2$

2.2 天气雷达主瓣方向(工作区域)电磁辐射影响分析

电磁辐射防护限值以 6 分钟平均功率密度值计算,受照射点 6 分钟平均的辐射功率密度 ρ 与雷达天线扫描运行方式有很大的关系。在受照射点距离大于锥形波束形成距离时,引进占空比概念。可近似的用天线波束宽度与天线扫描方位角范围的比值 δ 来表示,由此得出锥形波束下的占空比情况。

表 4 锥形波束区不同扫描方式的占空比

扫描方式	PPI	RHI
占空比	1/360	1/30

平行波束时,估算 6 分钟平均的辐射功率

密度也引入占空比的概念,用平行波束在受照射点的驻留时间与扫描周期的比值为占空比,

表 5 平行波束区不同扫描方式的占空比

扫描方式	PPI	RHI
占空比	$1.36/r$	$16.3/r$

根据雷达主瓣辐射的占空比以及辐射功率密度分布情况,对表 3 中数据按照 6 分钟平均值进行计算,结果列于表 6。

表 6 新一代多普勒天气雷达主瓣方向功率密度 6 分钟平均值分布情况

距离(m)	PPI 扫描功率密度(W/m^2)	RHI 扫描功率密度(W/m^2)
≤ 339	$16.6/r$	$199/r$
$339 < r < 681$	$3.9 \times 10^5/r^2 < \rho < 16.6/r$	$4.7 \times 10^4/r^2 < \rho < 199/r$
≥ 681	$3.9 \times 10^5/r^2$	$4.7 \times 10^4/r^2$

按照《电磁辐射防护规定》(GB8702—88)导出的电磁辐射防护限值的要求,结合考虑《电磁辐射环境影响评价方法与标准》(HJ/T10.3—1996)中对单个项目取值的要求,职业照射功率密度限制为 200 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$),公众照射功率密度限制为 8 ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)^[8-9]。

由此计算出要求防护的距离范围如表 7 所示。

表 7 新一代多普勒天气雷达主瓣方向模拟计算下防护距离

扫描方式(m)	防护标准	最低防护值($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	最小防护距离(m)
PPI	职业照射	200	8
	公众照射	8	208
RHI	职业照射	200	100
	公众照射	8	766

由此可推算雷达主瓣方向周边区域的防护要求,如图 1 所示。

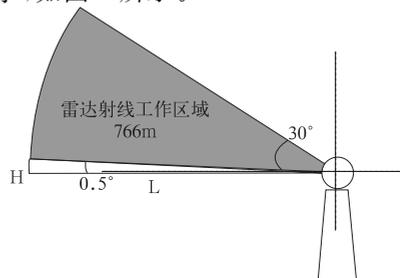


图 1 雷达主瓣方向防护要求示意图

在图 1 中, $H=766 \times \sin(0.5)=6.68\text{m}$,
 $L=766 \times \cos(0.5)=765.97\text{m}$

在雷达主瓣方向, 766 米范围内, 建筑物必须要限制高度, 距离雷达越近, 限高越严格, 在雷达塔楼附近不可建设比雷达塔楼本身高度还高的建筑物, 至 766 米, 限高为高于雷达天线中心位置水平线 6.68 米。

2.3 天气雷达第一旁瓣及远端副瓣电磁辐射污染区域

第一旁瓣及远端副瓣泄漏所产生的电磁辐射污染可按下式计算^[10]:

$$\rho = 100 \times \overline{PG} / 4\pi r^2 \quad (3)$$

式中 \overline{P} 取天馈平均功率 700W, 第一旁瓣污染区 G 取 15dB, 换算成倍数为 31.6 倍, 远端旁瓣污染区 G 取 4dB, 换算成倍数为 2.5 倍, 天线直径取 8.54m, 由此计算出第一旁瓣污染区 ρ_1 为 $1.76 \times 10^5 / r^2 (\mu\text{W}/\text{cm}^2)$, 远端旁瓣污染区 ρ_2 为 $1.39 \times 10^4 / r^2 (\mu\text{W}/\text{cm}^2)$ 。

由此可计算出第一旁瓣污染区与远端副瓣污染区职业照射与公众照射下的防护距离 (见表 8)。

表 8 旁瓣污染区域防护距离

	防护标准	最低防护值($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	最小防护距离(m)
第一旁瓣	职业照射	200	30
	污染区	公众照射	8
远端副瓣	职业照射	200	8
	污染区	公众照射	8

第一旁瓣与远端副瓣电磁辐射污染区的防护要求, 如图 2、3 所示。

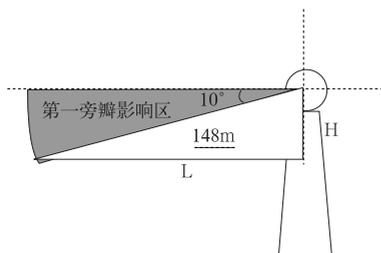


图 2 第一旁瓣电磁辐射污染区示意图

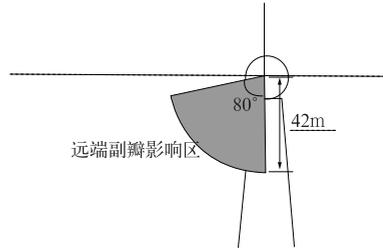


图 3 远端旁瓣电磁辐射污染区示意图

图 2 中, $H=148 \times \sin(10)=26\text{m}$, $L=148 \times \cos(10)=145\text{m}$

由图可见, 由于雷达天线的高度集中约束, 功率集中在雷达主瓣方向 (即天线工作区域), 旁瓣泄漏较小, 第一旁瓣 (水平方向 0° 至 -10° 区域) 电磁辐射污染影响区间按公众防护要求最远为 148m (与雷达天线罩中心水平轴线高差为 26m), 远端副瓣 (水平方向 -10° 以下区域) 电磁辐射污染影响区间按公众防护要求最远为 42m。

3 小 结

(1) 在雷达主瓣方向 (工作区域, 仰角 $0.5 \sim 30^\circ$, 方位角 $0 \sim 360^\circ$), 职业照射在 100m 以外满足电磁辐射职业防护限值标准, 公众照射在 766m 外满足电磁辐射公众照射防护限值标准。

(2) 在雷达第一旁瓣区域 (电磁辐射污染区, 雷达中心天线仰角 0.5° 至雷达中心水平线 -10° 区域) 在距离雷达水平距离 145m, 与雷达高差低于 26m 以外的区域以外满足电磁辐射公众照射防护限值标准。

(3) 在雷达远端副瓣区域 (电磁辐射污染区, 雷达中心水平线 -10° 以下区域) 与雷达中心距离 8m 外, 满足电磁辐射职业照射防护限值标准, 与雷达中心距离 42m 外, 满足电磁辐射公众照射防护限值标准。

参考文献

- [1] 吴林林. 新一代天气雷达冰雹探测算法及在业务中的应用[J]. 气象, 2006, 32(1): 51-55.
- [2] 王改利, 刘黎平. 多普勒雷达资料在暴雨临近预报中的应用[J]. 气象, 2005, 31(10): 51-55.
- [3] Joe Paul, Burgess Don, Potts Rod, et al. The S2K Severe Weather Detection Algorithms and Their performance[J]. Weather and Forecasting, 2004, 19: 43-63.
- [4] 葛润生, 朱小燕. 新一代天气雷达电磁辐射防护[J]. 气象科技, 2002, 30(4): 233-236.
- [5] 张培昌, 杜秉玉, 戴铁丕. 雷达气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 70-94.
- [6] 国家环境保护总局. 辐射环境保护管理导则——电磁辐射监测仪器和方法(HJ/T10. 2-1996)[S]. 北京: 国家标准出版社, 1996.
- [7] 毕存德, 孙治, 闫双华. 新一代天气雷达系统电磁辐射环境影响分析一例[J]. 云南环境科学, 2004, 23卷增刊: 189-190.
- [8] 国家环境保护总局. 电磁辐射防护规定(GB8702-88)[S]. 北京: 国家标准出版社, 1988.
- [9] 国家环境保护总局. 辐射环境保护管理导则——电磁辐射环境影响评价方法与标准(HJ/T10. 3-1996)[S]. 北京: 国家标准出版社, 1996.
- [10] 国家环境保护总局. 环境电磁波卫生标准(GB9175-88)[S]. 北京: 国家标准出版社, 1988.