

武汉新一代天气雷达 CINRAD/SA 的环境技术要素分析

万玉发¹ 吴翠红² 左申正³

(1 中国气象局武汉暴雨研究所, 2 武汉中心气象台, 3 湖北省气象技术装备中心, 武汉 430074)

摘要 介绍了武汉 CINRAD/SA 雷达系统建设中确定雷达塔高与频点的技术分析过程, 明确提出了雷达站四周的净空保护要求; 重点计算和分析了 CINRAD/SA 雷达在 3 种实际运行模式(VCP11、VCP21、VCP31)下电磁辐射功率密度的空间分布, 并按照国家“电磁辐射防护规定”和“电磁辐射环境影响评价方法和标准”的要求, 估算了武汉 CINRAD/SA 雷达电磁辐射的最小防护距离。

关键词 武汉 雷达视程 频点选择 辐射分析

引言

武汉新一代天气雷达(CINRAD/SA)于 2002 年 12 月完成安装, 2003 年 1 月 22 日通过现场验收, 标志着湖北省气象局天气雷达探测应用从此迈进到一个新时代。要充分发挥新建 CINRAD/SA 雷达的作用, 无疑要加强雷达建成后的应用力度; 同时必须引起高度重视的是, 在建设中能清晰认识到和有效地处理好与雷达相关的各种技术因素也显得非常关键。实践表明, 天气雷达建设具有特殊和复杂的技术性, 是一个与其技术要求密切相关的系统工程, 武汉 CINRAD/SA 雷达系统建设的过程就一直伴随着对雷达架设和业务运行特殊需求的理解和解决过程。笔者作为该雷达系统建设的技术组成员, 在经历了整个建设过程后认为, 新一代天气雷达建设应综合考虑各种技术因素。其中在城市或近郊架设雷达, 尤其要注重雷达视程^[1]保护、雷达频点选择和电磁辐射评估 3 个因素, 在这里姑且称为雷达建设中的 3 个环境技术要素。这 3 个环境技术要素处理得好, 就保证了雷达探测的环境条件, 为雷达后期应用和效益发挥奠定了坚实的基础。葛润生研究员为我国新一代天气雷达建设在电磁环境测试和雷达电磁辐射防护等方面做了指导性研究^[2,3], 本文在此基础上, 联系武汉 CINRAD/SA 雷达建设的实际就上述 3 个环境技术要素进行分析和总结, 希望能有

助于解决雷达工作环境的有关问题。

1 雷达视程与塔楼高度

1.1 雷达视程

中国气象局监测网络司制定的《新一代天气雷达站网前期建设指南》特别指出, “在雷达主要探测方向上(降水过程的主要来向)的遮挡物对雷达天线的遮挡仰角不应大于 0.5° , 其它方向的挡角一般不应大于 1° , ……”。这显然是为了保证雷达视程而提出的, 有利于雷达作用的有效发挥。雷达视程是天气雷达能有效探测到某一有意义高度(一般应低于 3 km)云雨回波的距离。对于某一确定的天气雷达而言, 影响雷达视程的主要因素是雷达站址地理环境^[1], 这两点构成了我们通常说的净空条件。文献^[4]较详细地介绍了多普勒天气雷达站址视程的客观分析技术, 相应选址软件提供了选择雷达站址和确定雷达架设高度的有力工具。

1.2 塔楼高度

严格按照中国气象局监测网络司所制定的选址程序, 最终确定武汉营盘山(海拔高度: 53 m)为武汉新一代天气雷达站址。站址一经确定, 地理环境又不可改变, 要达到雷达探测的净空要求, 只有依靠雷达塔楼的高度。仅就满足所需的雷达视程而言, 塔楼应尽量建得高一些; 但是, 塔高了基建费用必然就高。因此, 需要计算和提出一个既满足雷达探测净空要

作者简介: 万玉发, 男, 1955 年生, 正部级高工, 主要从事天气雷达应用研究, E-mail: yufawan@163.com

收稿日期: 2003 年 10 月 13 日; 定稿日期: 2003 年 11 月 6 日

求,又使管理决策部门能接受的基本塔楼高度。

根据武汉营盘山雷达站址四周一定范围内的地理信息,利用雷达选址客观分析软件^[4],计算和绘制不同天线架高的系列遮蔽角图和等射束高度图以及与湖北省其它雷达结合的等射束高度拼图,从而分析和确定雷达塔楼高度。在 1999 年选址的当时,近距离(2 km 以内)最大可能会造成雷达探测遮挡主要有 3 个目标物,它们分别是南望山、喻家山及鲁广商业楼,在确定塔楼高度时重点考虑的是这 3 个目标物对雷达探测的影响。根据计算结果(表 1)和综合考虑,确定塔高为 75 m,就当时设计时是符合雷达探测技术要求的。

表 1 不同的雷达塔楼高度时附近高大建筑物和山脉对雷达的遮挡仰角 (°)

雷达塔高 m	鲁广商业楼	喻家山	南望山
	距离:1.57 km 方位:121.11°	距离:3.30 km 方位:79.66°	距离:1.68 km 方位:40.74°
60(120)	0.40	0.47	0.78
65(125)	0.21	0.38	0.61
70(130)	0.03	0.30	0.44
75(135)	-0.15	0.21	0.27
80(140)	-0.34	0.13	0.10
85(145)	-0.52	0.04	-0.07

注:括号内数字为天线馈体海拔高度

1.3 净空保护

能否保证武汉新一代天气雷达能在较长时间内正常探测,及时报请有关部门下文予以净空保护是非常重要的。在 2001 年初提交了《武汉多普勒天气雷达站址周围建筑物高度控制的技术规定》,该规定根据武汉雷达站当时建设方案(塔高 70 m)及中国气象局对新一代天气雷达站址要求,特对雷达站方圆 2000 m 范围(即控制范围)的建筑物高度控制进行了计算(表 2),并且特别强调控制范围内的建筑物限高视其处于雷达的探测方向和与雷达的距离由表 2 确定。

表 2 营盘山雷达站对周围 2000 m 范围内建筑物的限高

距离/m	建筑物限高(拔海)/m	
	主要探测方向 (120°~360°)	非主要探测方向 (0°~120°)
200	124	126
400	126	129
600	128	133
800	129	136
1000	131	140
1200	133	143
1400	135	147
1600	136	150
1800	138	154
2000	140	157

2 电磁环境与雷达频点

2.1 电磁环境测量

电磁环境测量是武汉新一代天气雷达建设前期的又一重要技术工作,它不仅关系到雷达建成后能否正常运行,也涉及到雷达频点的正确选择^[2]。湖北省无线电监测站对武汉营盘山雷达站址电磁环境进行了测试,以确定各类干扰源的干扰信号强度。电磁环境测量利用宽带低噪声高增益设备接收环境噪声和干扰信号,对接收信号进行频谱分析,换算出测量频段范围的噪声和干扰电平的功率密度(公式略)。

经过对监测到的频谱分布(图略)分析,得出电磁环境测试系统的噪声功率电平为 -85 dBm,在 2700~3100 MHz 频段里有 4 个频点存在明显的干扰电平,其值大于 -52 dBm;还发现从 2850~3010 MHz 段均不太“干洁”,一般存在高出噪声功率电平达 8 dBm 以上的干扰电平。

2.2 雷达频点选择

北京敏视达雷达公司确定 SA 型雷达 6 个工作频点(2730、2765、2800、2830、2860、2885 MHz)可供选择。由于武汉及其四周已占有 S 波段频点达 6 个之多(图略),因而给武汉新一代天气雷达频点的选择带来困难。经过电磁测量分析,2840 MHz 以上段应不予考虑,同时根据武汉四周占有频点情况和武汉数字化天气雷达 WSR-81S 曾受到较明显电磁干扰的经历,选定武汉新一代天气雷达的频率为 2800 MHz。经过一年多时间的业务运行,既没有发现被干扰的现象,也没有听到干扰其它微波设备的反应,因此,实践证明武汉 CINRAD/SA 雷达选择 2800 MHz 作为工作频率是正确的。

3 电磁辐射与防护距离

武汉 CINRAD/SA 雷达在实际业务运行中,其电磁辐射分布对四周办公和居民是否存在影响一直是人们关注的焦点。讨论雷达电磁辐射时,必须首先了解雷达的工作方式和有关技术参数。

3.1 工作方式和主要技术参数

武汉 CINRAD/SA 雷达根据扫描模式(VCP)的不同(表略),采用相应预先设定的脉冲重复频率(PRF)组、仰角配置、扫描速度(2~3 圈/min)作 360°方位锥面扫描,起始仰角 0.5°,扫描过程不断抬

高仰角, 抬高一定仰角就完成一次体扫, 周而复始。武汉雷达天线拔海高度(H) 135.7 m, 天线直径(D) 为 8.53 m, 波束宽度(θ) 小于 1° , 天线馈体处峰值功率(P_t) 经波导传输损耗后不大于 400 kW, 天线增益(G) 为 45.68 dB。

3.2 武汉雷达电磁辐射的空间分布

3.2.1 雷达射线方向的功率密度

雷达电磁波束的空间状况分为两种形式 3 个阶段, 起初为平行波束, 传播一段距离后经相位干涉逐渐形成锥形波束^[3]。因此, 射线方向的功率密度随距离分布可由 3 个距离区间来描述: 平行波束、波束形成后锥形波束、平行波束转换为锥形波束区间。在本文中直接利用文献[3]提出的平行波束和锥形波束的理论公式对武汉 CINRAD/SA 雷达电磁辐射的功率密度进行计算。

平行波束状况时, 辐射的功率密度 ρ 可用雷达天馈的平均发射功率(\bar{P}) 与平行波束的横截面积(相当于天线反射体的截面积) 之比来计算:

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

锥形波束形成后, 其射线方向最大的辐射功率密度 ρ 可按式(r 为距雷达的距离) 进行计算:

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

表 3 雷达各扫描模式下的参数及对应的占空比

扫描模式	频率 MHz	仰角层数	扫描圈数	体扫周期 min	脉冲宽度 μs	占空比	
						平行波束	锥形波束
VCP11	2800	14	16	5	1.49	$1.36 / (r \times 16)$	$1 / (16 \times 360)$
VCP21	2800	9	11	6	1.49	$1.36 / (r \times 11)$	$1 / (11 \times 360)$
VCP31	2800	5	8	10	4.46	$1.36 / (r \times 8)$	$1 / (8 \times 360)$

辐射功率密度的 6 min 平均值 ρ 等于雷达射线方向上功率密度 ρ 乘以占空比 δ :

$$\rho = \rho \times \delta \quad (3)$$

在具体计算时需进行两个特殊处理, 一是若扫描周期不是 6 min, 则应将 δ 乘上一个系数($6/T$, T 为体扫周期) 折算成 6 min 的占空比; 二是在计算功率密度 ρ 时, 按每圈扫描实际规定的脉冲重复频率和脉冲宽度计算平均发射功率(\bar{P}), 最低两个仰角或 3 个仰角(VCP31) 还进行了重复扫描, 计算时重复扫描的仰角层其功率密度进行累加。

对 3 种扫描方式分别按平行波和锥形波系统计算了 6 min 平均辐射功率密度的空间分布。表 4 表

根据天线波束形成理论, 按照公式 D^2/λ (D 为天线的直径, λ 为电磁波的波长), 可计算出武汉 CINRAD/SA 雷达锥形波束的形成距离 r_1 为 681 m。如果分别按公式(1)和(2)计算 ρ , 并令其 ρ 相等的距离为 r_0 , 根据武汉雷达参数计算出 r_0 为 410.6 m, 可作为天线辐射波作为平行波波束考虑时的最大距离。

3.2.2 雷达实际扫描时功率密度的空间分布

电磁环境保护限值是指 6 min 平均的功率密度值^[5], 而测点 6 min 平均的辐射功率密度 ρ 显然与雷达天线扫描运行方式有很大的关系。为计算方便, 这里引进类似于计算脉冲功率和平均功率之间转换关系中的占空比概念。

占空比 δ 定义为电磁波在测点的驻留时间与扫描周期的比值。其中平行波束时, 可转换为波束的宽度(近似等于天线的直径) 与扫描周期内波束在等同于测点距离所扫描的总周长的比值; 锥形波束时, 用天线扫过一个波束宽度的时间与运行体积扫描的周期时间的比值来表示。根据武汉 CINRAD/SA 雷达运行时的扫描参数可以计算出 3 种扫描模式(VCP11、VCP21、VCP31) 时的占空比(见表 3)。

示的是 3 种扫描方式在 0.5° 仰角时分别以平行波和锥形波计算的功率密度随距离的分布, 表 5 表示的是 3 种扫描方式在 20 m 处分别以平行波和锥形波计算的功率密度随高度的分布, 可见: ①近距离按锥形波计算的功率密度值比按平行波计算的要大得多, 垂直方向上分布也是如此; ②功率密度随距离的衰减均非常明显, 其中按锥形波方式计算递减更快; ③功率密度在低层比较大, 随高度的变化总体上是减小的趋势, 它还与每个仰角对应的脉冲重复频率有关; ④VCP31 模式的功率密度比其它两种模式要大, 但其仰角层数较少, 在 20 m 处到达的拔海高度为 137 m 左右。

表 4 不同模式 0.5°仰角时的功率密度随距离的分布

$\mu W cm^2$

水平距离 m	VCP11		VCP21		VCP31	
	平行波	锥形波	平行波	锥形波	平行波	锥形波
1	142.1	48794.8	172.2	59145.2	244.6	84033.6
5	28.4	1951.8	34.4	2366.0	48.9	3361.6
10	14.2	487.9	17.2	591.5	24.5	840.4
20	7.1	122.0	8.6	147.9	12.2	210.1
30	4.7	54.2	5.7	65.7	8.2	93.4
40	3.6	30.5	4.3	37.0	6.1	52.5
50	2.8	19.5	3.4	23.7	4.9	33.6

表 5 不同模式在 20 m 距离处功率密度随高度的分布

$\mu W cm^2$

高度/ m	VCP11		高度/ m	VCP21		高度/ m	VCP31	
	平行波	锥形波		平行波	锥形波		平行波	锥形波
135.88	7.09	121.99	135.88	8.59	147.86	135.88	12.20	210.08
136.21	7.08	121.92	136.21	8.59	147.78	136.22	12.20	209.96
136.54	5.37	92.43	136.54	6.51	112.03	136.57	12.19	209.70
136.87	5.37	92.27	136.87	6.51	111.85	136.92	7.08	121.63
137.20	5.36	92.07	137.20	6.50	111.60	137.27	7.07	121.33
137.54	5.36	91.81	137.80	6.48	111.00			
137.87	5.35	91.51	139.19	7.48	126.92			
138.33	5.76	98.32	140.91	6.82	113.54			
138.76	6.20	105.43	142.78	7.16	116.21			
139.23	6.17	104.65						
139.95	6.13	103.24						
140.69	6.08	101.59						
141.70	6.00	98.99						
142.78	5.91	95.88						

3.3 最小防护距离的客观计算

“电磁辐射防护规定”对其防护限值分为职业照射和公众照射两种,并规定了其照射限值^[5],由此可以导出电磁辐射场的场量参数(电场强度、磁场强度、功率密度),电磁辐射场量参数的限值仍用任意连续 6 min 内的平均值来界定。表 6 给出 S 波段电磁辐射场量参数的限值。

表 6 S 波段电磁辐射场量的防护限值

	电场强度 $V \cdot m^{-1}$	磁场强度 $A \cdot m^{-1}$	功率强度 $\mu W \cdot cm^{-2}$
职业照射量	28	0.075	200
公众照射量	12	0.032	40

根据雷达实际扫描时功率密度的空间分布计算和上述电磁辐射场量的防护限值规定,可以得出 3 种模式其对应的国家标准最小防护距离;根据环境保护行业标准 HJ/T10.3 - 1996“辐射环境保护管理导则:电磁辐射环境影响评价方法和标准”的要求^[6],还应该考虑到其它电磁辐射源的叠加影响,

功率密度值是取国家标准值的 1/5,由此计算出环评标准的最小防护距离,表 7 列出了 3 种扫描方式分别按两种波形计算和符合两种标准的职业照射和公众照射的最小防护距离。结果显示,无论是按平行波计算,还是按锥形波计算,VCP31 模式的最小防护距离均为最大。如按平行波计算,其国家标准的职业照射最小防护距离为 1.2 m,公众照射为 6.1 m;环评标准的最小防护距离为:职业照射 6.1 m,公众照射 30.6 m。如按照锥形波计算,近距离电磁辐射的功率密度要比平行波时大,因此最小防护距

表 7 分别按平行波和锥形波计算的雷达 3 种扫描模式下的最小防护距离

m

类 别	平行波		锥形波		
	国家标准	环评标准	国家标准	环评标准	
VCP11	职业照射	0.7	3.6	15.6	34.9
	公众照射	3.6	17.8	34.9	78.1
VCP21	职业照射	0.9	4.3	17.2	38.5
	公众照射	4.3	21.5	38.5	78.1
VCP31	职业照射	1.2	6.1	20.5	45.8
	公众照射	6.1	30.6	45.8	102.5

离也相应的要远,如 VCP31 模式,按照国家标准计算出来的职业照射最小防护距离为 20.5 m,按环评标准计算出来的最小防护距离为 45.8 m;国家标准公众照射最小防护距离为 45.8 m,按环评标准计算出来的最小防护距离为 102.5 m。

4 结论与讨论

(1) 新一代天气雷达项目建设必须科学处理好雷达净空保护、雷达频点选择、电磁辐射环评等十分关键的技术问题。从上述分析看,武汉雷达建设时的净空环境是符合有关规定的,雷达工作频点的选择从运行实践看也是正确的。

(2) 根据武汉 CINRAD/SA 雷达平均辐射功率密度(VCP31 为例)分布和环境保护行业标准限值规定,可按平行波计算出公众照射的最小防护距离为 30.6 m,按锥形波计算(电磁的实际转播至少在 300 m 内为平行波)公众照射的最小防护距离为 102.5 m。

需要说明的是,这些防护距离是指接近天线高度或超过天线高度上,低于天线高度时,处于雷达电磁辐射的“灯下黑”状态,辐射相应很小,远远低于“电磁辐射防护规定”和“电磁辐射环境影响评价方法和标准”所规定的电磁辐射场量的防护限值。

参考文献

- 1 Bandalo S. An analytic method for radar horizon computation. In: Collier C G, ed. International Weather Radar Networking. Kluwer Academic Publishers, 1992. 75 - 79
- 2 葛润生,熊毅,朱小燕. 新一代天气雷达站址选择中的电磁环境测试. 气象科技, 2001, 29(1): 19 - 21
- 3 葛润生,朱小燕. 新一代天气雷达电磁辐射防护. 气象科技, 2002, 30(4): 233 - 236
- 4 万玉发,杨洪平,肖艳姣,等. 多普勒天气雷达站址视程的客观分析技术. 应用气象学报, 2000, 11(4): 440 - 447
- 5 GB 8702 - 88. 电磁辐射防护规定. 北京: 国家标准出版社, 1988
- 6 HJ/T 10.3 - 1996. 辐射环境保护管理导则: 电磁辐射环境影响评价方法和标准. 最新中国环境保护标准汇编. 北京: 中国环境科学出版社, 2001

Analysis of Environmental Technical Elements for CINRAD/SA Radar in Wuhan

Wan Yufa¹ Wu Cuihong² Zuo Shenzheng³

(1 Institute of Heavy Rain, China Meteorological Administration, 2 Wuhan Central Weather Office, 3 Hubei Meteorological Equipment Center, Wuhan 430074)

Abstract: A description is made of the technical analyzing process of radar tower and frequency-point height determination during the construction of the Wuhan CINRAD/SA Radar System. The requirements for protection of bare space around the radar station are pointed out clearly. The spatial power density distributions of electromagnetic radiation of the CINRAD/SA Radar in three operating modes (VCP11, VCP21 and VCP31) are calculated and analyzed and the minimum protection distance is estimated according to the Regulations for Electromagnetic Radiation Protection and Environmental Impact Assessment Methods and Standards on Electromagnetic Radiation.

Key words: Wuhan, radar horizon, frequency point selection, radiation analysis