

李祥超<sup>1</sup> 周中山<sup>1</sup> 陈则煌<sup>1</sup> 陈璞阳<sup>1</sup> 叶挺<sup>1</sup>

## 避雷针对天气雷达回波影响的研究

### 摘要

针对避雷针对天气雷达回波影响的问题,通过对天气雷达的盲区及雷达散射截面(RCS)的理论分析,利用 HFSS 仿真软件及实验的方法,研究水平极化下,不同材料不同尺寸的避雷针的雷达散射截面,结论是:在相同材料避雷针及相同雷达波长情况下,避雷针高度、半径与其雷达散射截面呈正相关;在相同雷达波长情况下,避雷针为理想金属的雷达散射截面比塑钢与理想金属组合材料的雷达散射截面大;实验结果表明避雷针架设在 X 波段多普勒天气雷达天线附近时,对雷达回波造成的影响可忽略不计.研究结果为在天气雷达附近架设避雷针提供了理论和实验依据,具有应用价值.

### 关键词

避雷针;天气雷达;HFSS 仿真;雷达回波;雷达散射截面

中图分类号 TM862

文献标志码 A

收稿日期 2014-08-05

资助项目 国家自然科学基金(41075025);大气科学与环境气象实验教学中心科研基金(SXJC2014A02)

### 作者简介

李祥超,男,高级实验师,主要从事电涌保护器的研制与调试.lxcfanglei@163.com

<sup>1</sup> 南京信息工程大学 中国气象局气溶胶-云-降水重点开放实验室,南京,210044

### 0 引言

天气雷达是用于探测大气中降水区的位置、分布、强弱及其变化的雷达<sup>[1-3]</sup>.天气雷达系统是集成高频微电子技术、计算机技术、自动控制技术、微波技术和通信技术为一体的高科技电子设备<sup>[4-6]</sup>.目前国内常用的天气雷达波长为 3、5 和 10 cm.天气雷达大部分安装在高山、高层建筑、载体的顶端或是空旷地带,雷达的抛物面天线是最易遭受雷击的部位.为了防止雷达天线直接遭受雷击,通常的做法是在天线附近安装避雷针减少其遭受雷击的概率<sup>[7-10]</sup>.

《QX2—2000 新一代天气雷达站防雷技术规范》规定,为减少避雷针或架空避雷线金属支撑杆对雷达工作的影响,避雷针杆或架空避雷线金属支撑杆应在雷达天线仰角零度下边缘以上,使用一段高强度玻璃钢管替代金属杆,其内使用截面积不小于 50 mm<sup>2</sup>,多股铜线实现接闪器与金属支撑杆的电气连接<sup>[11-12]</sup>.接闪器的避雷针长度不应大于 1 m,使用圆钢的直径不应小于 16 mm,使用钢管的直径不应小于 25 mm.王振旺<sup>[13]</sup>以雷达系统总体设计为背景,着重分析了对雷击电磁脉冲(LEMP)应采取的对策和途径,并讨论了实现综合防雷设计的可能性.季少卫等<sup>[14]</sup>指出无论对机动型雷达或固定基地式雷达,其接地和防雷系统都是不可缺少的部分,并就雷达的接地和防雷系统的设计进行了较全面的分析,还从工程实际出发分析了系统设计的方法,但是文中没有分析避雷针对天气雷达回波的影响.

以上文献并未得出避雷针对天气雷达回波的具体影响.本文通过对天气雷达的盲区及雷达散射截面(RCS)的理论分析,通过模拟仿真及实验分析,研究不同雷达波长水平极化下,不同材料、尺寸避雷针的雷达散射截面,得出的理论数据为在天气雷达附近架设避雷针提供了使用数据,具有一定的实际应用价值.

### 1 避雷针对天气雷达回波影响的理论分析

#### 1.1 天气雷达的盲区分析

天气雷达采用脉冲工作方式,即雷达仅在很短时段内向外发射能量,然后处于接收回波状态.脉冲宽度,即雷达向外发射能量所持续的时间,是指调制脉冲的持续时间,一般为微秒量级.脉冲宽度用  $\tau$  表示,单位为  $\mu\text{s}$ .

在雷达发射一个脉冲的结束时刻,脉冲前沿已经到达雷达  $\tau \mu\text{s}$ ,

这一时间在空间对应的几何长度为

$$L = c\tau. \quad (1)$$

例如,  $\tau = 1 \mu\text{s}$ ,  $L = 300 \text{ m}$ . 常称  $L$  为脉冲长度.

脉冲宽度  $\tau$  和雷达的距离分辨率有着密切的关系.  $\tau$  越小, 距离分辨率  $\Delta R$  越小. 距离分辨率应当满足:

$$2\Delta R_{\min} = \tau c, \quad (2)$$

所以

$$\Delta R_{\min} = \frac{\tau c}{2}, \quad (3)$$

其中  $\Delta R_{\min}$  为雷达的距离分辨率.

脉冲宽度的大小决定了雷达的盲区半径的大小. 盲区半径是指雷达能有效探测的最小范围, 用  $R_{\min}$  表示, 简称盲区. 在盲区以内的目标, 雷达是无能力探测的, 这是因为当目标距离雷达很近(在盲区以内)时, 目标回波的前沿将同发射脉冲的后沿混合在一起, 以致于无法分辨. 为了缩小雷达的盲区, 应采用很窄的脉冲宽度, 但脉冲宽度越小, 对雷达系统的设计要求就越高. 脉冲宽度一般在  $0.5 \sim 3 \mu\text{s}$  之间.

避雷针安装在距离天气雷达天线  $3 \sim 5 \text{ m}$  的位置, 因此避雷针处于雷达的盲区范围. 从理论上讲, 雷达是探测不到避雷针的, 但是现在的各种雷达得到广泛应用, 尤其是新一代的多普勒天气雷达发展很快, 天气雷达应安装避雷针保护. 根据天气雷达原理, 雷达利用目标对电磁波的散射、反射来发现目标并测定其位置, 根据多普勒效应测量云的相对运动速度. 目前大多数天气雷达采用水平极化电磁波, 避雷针所在的位置处于雷达电磁波辐射范围, 就会对雷达电磁波造成反射, 对雷达回波造成影响. 设雷达反射功率为  $P_1$ , 天线增益为  $G$ , 距雷达  $R$  处目标所照射到的功率密度为

$$S_1 = \frac{P_1 G}{4\pi R^2}. \quad (4)$$

避雷针截获一部分发射功率并将它们重新辐射于不同的方向. 用下式表示在距离  $R$  处的回波功率密度:

$$S_2 = S_1 \frac{\sigma}{4\pi R^2} = \frac{P_1 G}{4\pi R^2} \cdot \frac{\sigma}{4\pi R^2}, \quad (5)$$

其中  $\sigma$  为避雷针的反射截面积. 设雷达天线的有效截面积为  $A_e$ , 则雷达收到的回波功率  $P_1$  为

$$P_1 = A_e S_2 = \frac{P_1 G A_e \sigma}{(4\pi)^2 R^4}. \quad (6)$$

可以把避雷针看成简单圆柱体, 天气雷达波长

很短, 一般为厘米波 ( $3, 5$  和  $10 \text{ cm}$ ), 与避雷针的直径尺寸较为接近. 对于几何形状较为简单的圆柱体, 可以近似用几何光学的方法来计算避雷针的反射截面积:

$$\sigma = \frac{2\pi l^2 r}{\lambda} \cos \theta \times \left[ \frac{\sin(\beta l \sin \theta)}{\beta l \sin \theta} \right]^2, \quad (7)$$

其中,  $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$  为相移常数,  $\lambda$  为雷达波长.

雷达接收到避雷针回波功率:

$$P_1 = A_e S_2 = \frac{P_1 G A_e r}{(4\pi)^2 R^4} \cdot \frac{2\pi l^2}{\lambda} \cos \theta \times \left[ \frac{\sin(\beta l \sin \theta)}{\beta l \sin \theta} \right]^2. \quad (8)$$

由此可以得出避雷针对雷达回波的反射主要与避雷针和雷达天线的距离  $R$ 、雷达电磁波的波长  $\lambda$ 、雷达电磁波主瓣中心线和避雷针轴线夹角  $\theta$  及避雷针半径  $r$  有关. 增大避雷针与雷达天线之间的距离, 减小避雷针的反射半径, 对于减小避雷针对雷达波反射回波的影响是有效的.

## 1.2 雷达散射截面(RCS)理论分析

雷达散射截面(RCS, 简称为散射截面)是度量雷达目标对照射电磁波散射能力的一个物理量. 定义为单位立体角内目标朝接收方向散射的功率与从给定方向入射于该目标的平面波功率密度之比的  $4\pi$  倍.

基于电磁散射理论可解释为: 雷达目标散射的电磁能量可以表示为目标的等效面积与入射功率密度的乘积, 它是基于在平面电磁波照射下, 目标散射具有各向同性的假设. 对于这样一种平面波, 其入射能量密度为

$$W_i = \frac{1}{2} \vec{E}_i \times \vec{H}_i^* = \frac{|\vec{E}_i|}{2\eta_0} \hat{e}_i \times \hat{h}_i, \quad |W_i| = \frac{|\vec{E}_i|^2}{2\eta_0}, \quad (9)$$

式中,  $\vec{E}_i, \vec{H}_i$  分别为入射电场强度与磁场强度, “\*”

表示复共轭,  $\hat{e}_i = \frac{\vec{E}_i}{|\vec{E}_i|}, \hat{h}_i = \frac{\vec{H}_i}{|\vec{H}_i|}, \eta_0 = 377 \Omega$  为自由空间波阻抗.

借鉴天线口径有效面积的概念, 目标截取的总功率为入射功率密度与目标等效面积  $\sigma$  的乘积, 即:

$$P = \sigma |\vec{W}_i| = \frac{\sigma}{2\eta_0} |\vec{E}_i|^2. \quad (10)$$

假设功率是均匀、各向同性地向四周立体角散射的, 则在距离目标  $R$  处的目标散射密度为

$$|\vec{W}_s| = \frac{P}{4\pi R^2} = \frac{\sigma |\vec{E}_i|^2}{8\pi\eta_0 R^2}. \quad (11)$$

然而,类似于式(9),散射功率密度又可用散射场强  $\vec{E}_s$  来表示,即:

$$|\vec{W}_s| = \frac{1}{2\eta_0} |\vec{E}_s|^2. \quad (12)$$

由式(11)与式(12)可得:

$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{|\vec{E}_s|^2}{|\vec{E}_i|^2}. \quad (13)$$

式(13)符合 RCS 的定义. 当距离  $R$  足够远时,照射目标的入射波近似为平面波,这时  $\sigma$  与  $R$  无关(因为散射场强  $\vec{E}_s$  与  $R$  成反比,与  $\vec{E}_i$  成正比),因而定义原场 RCS 时, $R$  应趋向于无限大,即要满足远场条件. 根据电场与磁场的储能互相可转换的原理,远场 RCS 的表达式应为

$$\sigma = 4\pi \lim_{R \rightarrow \infty} R^2 \frac{\vec{E}_s \cdot \vec{E}_s^*}{\vec{E}_i \cdot \vec{E}_i^*} = 4\pi \lim_{R \rightarrow \infty} R^2 \frac{\vec{H}_s \cdot \vec{H}_s^*}{\vec{H}_i \cdot \vec{H}_i^*}. \quad (14)$$

### 1.3 避雷针对电磁波的绕射理论

圆柱体对平面电磁波的绕射问题可用圆柱函数表示,如入射波 ( $E_z^i$ ) 和散射波 ( $E_z^R$ ) 分别表示为

$$E_z^i = \sum_{-\infty}^{\infty} i_m J_m(k\rho) e^{im\theta} = e^{-impcos\theta}, \quad (15)$$

$$E_z^R = \sum_{-\infty}^{\infty} a_m^R H_m^{(2)}(k\rho) e^{im\theta}, \quad (16)$$

其中,  $\rho, \theta$  是以圆柱体截面的中心为原点的极坐标,入射波的方向与  $\theta=0$  的方向相同(即  $\theta=0$  称为前向场,  $\theta=\pi$  称为后向场),  $J_m(k\rho)$  为贝塞尔函数,  $H_m^{(2)}(k\rho)$  为第二类汉开函数,  $a_m^R$  为级数的系数.

对于不同的圆柱体,由具体的边界条件决定:

$$E_z(a, \theta) = E_z^i(a, \theta) + E_z^R(a, \theta) = E_z^1(a, \theta), \quad (17)$$

$$H_\phi(a, \theta) = H_\phi^i(a, \theta) + H_\phi^R(a, \theta) = H_\phi^1(a, \theta), \quad (18)$$

其中,  $E_z(a, \theta), H_\phi(a, \theta)$  分别为圆柱体外表面的切向电场和磁场,  $E_z^1(a, \theta), H_\phi^1(a, \theta)$  分别为圆柱体内表面的切向电场和磁场,  $a$  为圆柱体半径.

对于导电圆柱体,由于  $E_z^1(a, \theta) = H_\phi^1(a, \theta) = 0$ , 可得:

$$a_m^R = -(-i)^m \frac{J_m(ka)}{H_m^{(2)}(ka)}.$$

对于介质圆柱体,情况比较复杂,有公式:

$$H_\phi = \frac{i}{\omega\mu_0} \frac{\partial E_z}{\partial \rho},$$

$$E_z^1 = \sum_{-\infty}^{\infty} a_m J_m(k_1\rho) e^{im\theta},$$

$$H_\phi^1 = \sum_{-\infty}^{\infty} \frac{ik_1 a_m}{\mu_0 \omega} J'_m(k_1\rho) e^{im\theta}, \quad (19)$$

代入式(17)和式(18)得:

$$a_m = [i^m J_m(ka) + a_m^R H_m^{(2)}(ka)] \frac{1}{J_m(k_1 a)}, \quad (20)$$

$$\frac{a_m}{k} = J'_m(k_1 a) = \frac{i^m}{k_1} J'_m(ka) + \frac{a_m^R}{k_1} H_m^{(2)'}(ka), \quad (21)$$

$$a_m^R = \frac{i^m \left[ \frac{J'_m(ka)}{k_1} - \frac{J_m(ka)}{k} - \frac{J'_m(k_1 a)}{J_m(k_1 a)} \right]}{\left[ \frac{H_m^{(2)}(ka) J'_m(k_1 a)}{kJ_m(k_1 a)} - \frac{H_m^{(2)'}(ka)}{k_1} \right]}, \quad (22)$$

其中,  $k_1 = \frac{2\pi}{\lambda_1} = nk = \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_0}} \cdot k = \sqrt{\epsilon_k} \cdot k$ ,  $\epsilon_0$  为真空介电常数,  $\epsilon_1$  为介质中介电常数.

## 2 仿真分析

利用 HFSS 高频结构仿真软件,对不同半径和材料的避雷针在水平极化方式下,仿真计算不同频率下避雷针的雷达散射截面(RCS)随高度的变化趋势.首先,在 HFSS 高频结构仿真软件操作界面建立避雷针仿真模型,分别改变避雷针的半径(1 和 1.5 cm)和材料(理想金属、金属介电常数 4.3 的材料与理想金属相结合),将避雷针参数设置为:材料为理想金属或金属介电常数 4.3 的材料及理想金属相结合,半径为 1 或 1.5 cm(半径为 1 cm 的理想金属与内径为 1 cm、外径为 1.5 cm 的金属介电常数为 4.3 的材料)的圆柱体,极化方式设为水平极化,频率分别设为 2.83、5.556 和 9.375 GHz,依次改变避雷针的高度,对已建立好的仿真模型进行仿真计算. HFSS 是基于电磁场有限元方法(FEM)分析微波工程问题的三维电磁仿真软件,利用稳定成熟的自适应网络剖分技术进行仿真计算.图 1a、1b 分别为避雷针在相同波长雷达时,在窄频带和宽频带时对避雷针的离散扫频,图 2a、2b 分别为避雷针在相同波长雷达时,在频带为 2.83 GHz 时对避雷针的离散扫频.其中图 1、图 2 的横坐标为频率(GHz),纵坐标为单站 RCS 值(dB).因为仿真时对避雷针进行某频段内或单频点离散扫频得出的雷达散射截面相同,为了减少 HFSS 运行时间,以下数据都为对避雷针进行单频点离散扫频得出的避雷针雷达散射截面值.

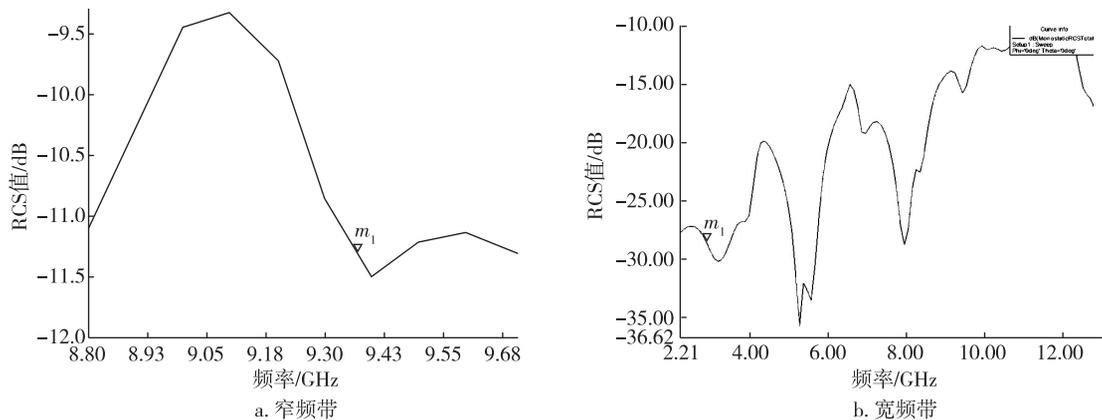


图1 2.2~13.0 GHz 频段内的离散扫频

Fig. 1 Discrete swept frequency chart with frequency ranging from 2.2 GHz to 13.0 GHz for narrow band, and for wide band

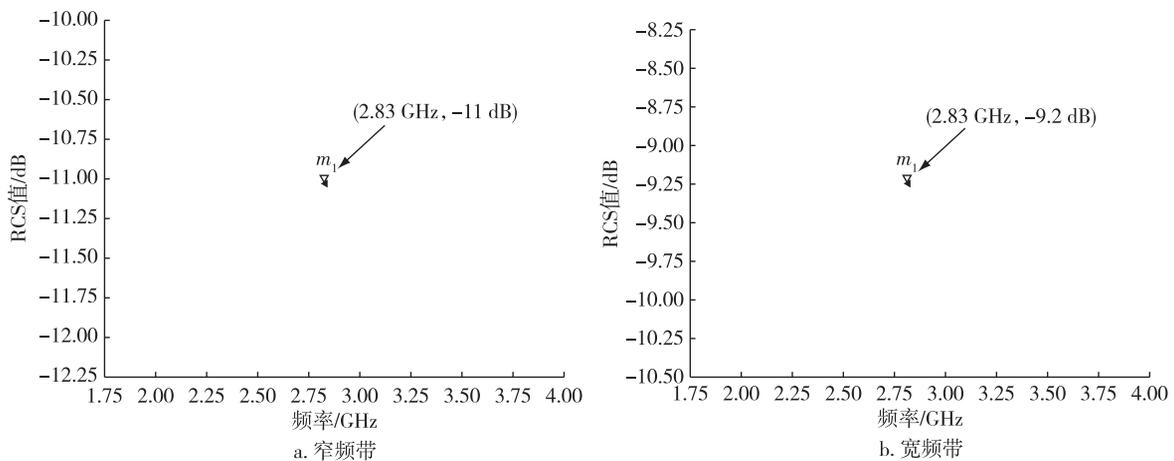


图2 2.83 GHz 离散扫频

Fig. 2 Discrete swept frequency chart at 2.83 GHz, for narrow band, and for wide band

### 2.1 不同避雷针半径的雷达散射截面分析

避雷针材料为理想金属(金属介电常数为1),在雷达频率分别为2.83、5.556和9.375 GHz时,比较避雷针不同半径(1和1.5 cm)时的雷达散射截面随避雷针高度的变化趋势.如表1和图3所示,在不同频率时,当避雷针的半径为1 cm,避雷针高度从10~800 cm范围变化时,其雷达散射截面与避雷针高度呈正相关,且RCS值变化范围为-21.49~21.02 dB;当避雷针的半径为1.5 cm,避雷针高度从10~800 cm范围变化时,其雷达散射截面与避雷针高度呈正相关,且RCS值变化范围为-19.13~22.3 dB.当避雷针高度相同,避雷针半径为1.5 cm时,其雷达散射截面大于避雷针半径为1 cm时的雷达散射截面,且雷达散射截面随着避雷针高度的增加而增加,最终雷达散射截面会逐渐趋于稳定.当避雷针

高度与半径相同时,避雷针的雷达散射截面随着雷达频率的增加呈递增趋势.

### 2.2 不同雷达频率的雷达散射截面的分析

对材料为理想金属且具有相同半径的避雷针,在不同雷达频率(2.83、5.556和9.375 GHz)下,进行雷达散射截面值比较,如图4a、4b所示,得出随着避雷针高度的增加,雷达频率越大时,避雷针的雷达散射截面越大,即避雷针高度与其雷达散射截面呈正相关;当避雷针在相同材料、相同高度时,在相同的雷达频率下,避雷针的半径越大,避雷针的雷达散射截面越大.因为对于导电圆柱体而言,其半径越大,绕射场越小,雷达回波反射的就越多,避雷针的散射截面就越大,即避雷针的雷达散射截面值与避雷针的反射截面呈正相关.

当避雷针材料为塑钢与理想金属的组合时,如

表 1 不同避雷针半径的雷达散射截面

Table 1 RCS values at different radius of lightning rod dB

避雷针 高度/cm	半径/cm					
	1		1.5		1	
	$f=2.83$ GHz		$f=5.556$ GHz		$f=9.375$ GHz	
10	-21.49	-17.56	-18.78	-19.13	-16.38	-16.21
20	-16.13	-12.54	-13.26	-12.79	-10.46	-9.91
30	-12.83	-9.26	-9.93	-9.17	-6.94	-6.22
40	-10.41	-6.91	-7.50	-6.61	-4.46	-3.75
50	-8.56	-5.09	-5.62	-4.62	-2.53	-1.80
60	-7.01	-3.57	-4.07	-3.02	-0.95	-0.19
70	-5.74	-2.28	-2.75	-1.67	0.39	1.14
80	-4.61	-1.17	-1.61	-0.49	1.55	2.29
90	-3.60	-0.18	-0.59	0.52	2.57	3.37
100	-2.69	0.71	0.30	1.46	3.48	4.29
150	0.76	4.15	3.80	5.01	5.75	7.77
200	3.25	6.62	6.28	7.51	9.50	10.31
250	5.17	8.53	8.21	9.47	11.43	12.21
300	6.74	10.10	9.78	11.04	13.02	13.81
350	8.01	11.43	11.12	12.39	14.35	16.13
400	9.22	12.58	12.28	13.55	15.51	16.32
450	10.25	13.12	13.30	14.58	16.50	17.33
500	11.15	14.51	14.21	15.50	17.03	18.25
550	11.98	15.34	15.03	16.32	17.63	19.06
600	12.74	16.09	15.79	17.08	18.28	19.83
650	13.43	16.78	16.48	17.78	19.01	20.49
700	14.07	17.43	17.13	18.42	20.13	21.16
750	14.67	18.01	17.73	19.02	20.64	21.74
800	15.23	18.57	18.28	19.58	21.02	22.30

表 2 所示,即避雷针的金属半径为 1 cm,塑钢的内径为 1 cm,外径为 1.5 cm,避雷针在雷达频率为 5.556 GHz 时,其雷达散射截面远远小于雷达在其他频率的雷达散射截面,且当避雷针材料为塑钢与理想金属的组合时,在相同的避雷针高度及相同的雷达频率下,避雷针的雷达散射截面远远小于相同条件下避雷针材料为理想金属时的雷达散射截面.这是因为电磁特性的核心是金属的相对介电常数随频率的改变,低频情况下的介电常数是复数,电磁波在导体表面产生感应电流,感应电流会产生散射场,同尺寸非金属目标的雷达散射截面要远小于金属目标雷达散射截面.

### 3 实验分析

本实验中利用 X 波段多普勒天气雷达,采用体积扫描方式收集资料,即在一系列固定的仰角上分

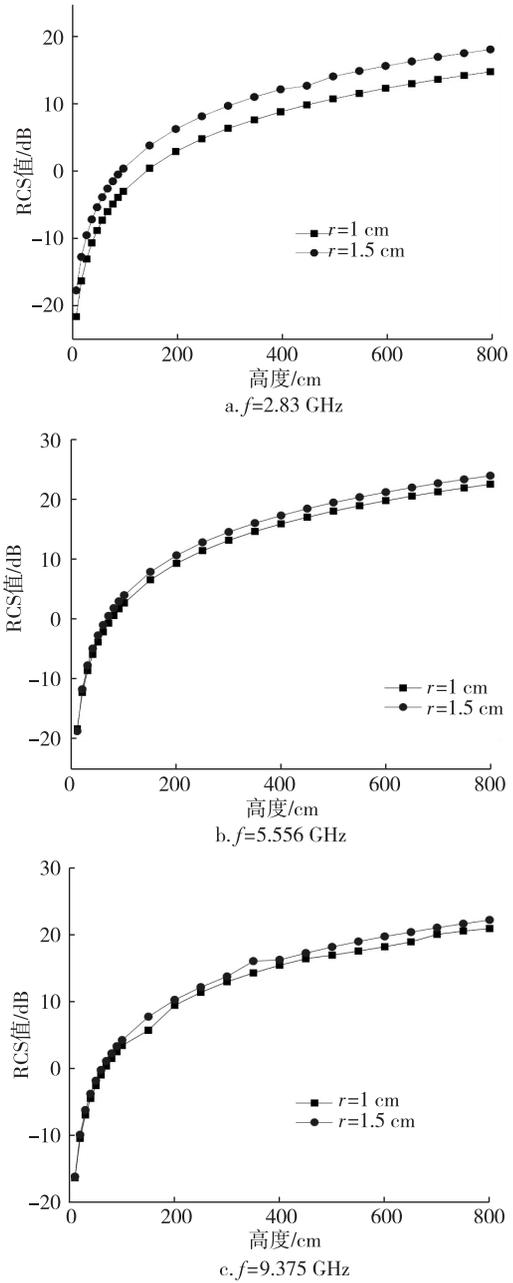


图 3 不同避雷针半径的雷达散射截面比较

Fig. 3 Comparison of RCS of different lightning rod radius

别扫描 360°(即 PPI)扫描进行采样.首先,令 X 波段天气雷达在一定的仰角下扫描一周,在所得雷达回波图上找到有回波的方位,然后分别在该方位且距天气雷达距离 4 m 的位置,依次架设高度为 1 m、半径为 1.5 cm 的金属避雷针;高度为 1 m 的塑钢与金属的组合型避雷针,避雷针内部为半径 1 cm 的金属,外部为内径 1 cm、外径 1.5 cm 的塑钢材料,并分别得到雷达回波强度与雷达回波速度.

图 5 为避雷针对雷达回波的影响实验,图 5a 为

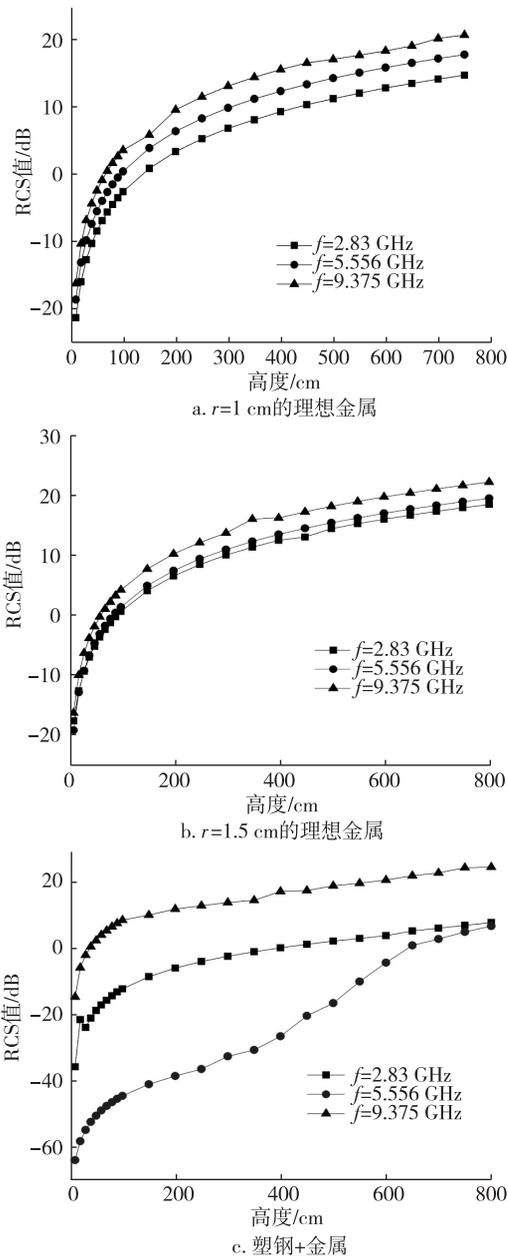


图4 不同雷达频率的雷达散射截面比较

Fig. 4 Comparison of RCS value at different frequency of radar, and for rod of perfect conductor with radius  $r=1$  cm and radius  $r=1.5$  cm, respectively, and for rod of combined material

在 X 波段雷达前架设塑钢与金属组合型避雷针,图 5b 为在 X 波段雷达前架设金属棒.图 6 为避雷针对天气雷达回波的影响实验中所得的雷达回波强度,其中图 6a 为 X 波段雷达在一定仰角下扫描一周所得的雷达回波强度,图 6b 为 X 波段雷达前架设塑钢与金属组合型避雷针所得的雷达回波强度,图 6c 为 X 波段雷达前架设金属避雷针所得的雷达回波强度.由如图 6 中所指示的测试方向可得出:避雷针对

表 2 塑钢及金属组合型避雷针雷达散射截面

Table 2 RCS value of lightning rod

combining with plastic steel and metal dB

避雷针高度/cm	f/GHz		
	2.83	5.556	9.375
1	-35.78	-63.75	-14.88
10	-21.65	-58.11	-6.15
20	-24.00	-54.73	-2.35
30	-21.18	-52.31	0.17
40	-18.95	-50.42	2.00
50	-17.28	-48.87	3.70
60	-15.87	-47.54	5.02
70	-14.53	-46.40	6.15
80	-13.38	-45.39	7.19
90	-12.46	-44.48	8.15
100	-8.81	-40.99	9.63
150	-6.25	-38.51	11.48
200	-4.24	-36.47	12.47
250	-2.67	-32.63	13.43
300	-1.32	-30.73	14.07
350	-0.15	-26.64	16.73
400	0.90	-20.50	17.02
450	1.83	-16.74	18.43
500	2.64	-10.26	19.21
550	3.47	-4.62	20.18
600	4.86	0.54	21.47
650	5.73	2.47	22.29
700	6.56	4.63	23.86
750	7.43	6.37	24.05
800	-35.78	-63.74	-14.87

雷达回波强度没有影响.图 7 为避雷针对天气雷达回波的影响实验中所得的雷达回波速度截图.图 7a 为 X 波段雷达在一定仰角下扫描一周所得的雷达回波速度,图 7b 为 X 波段雷达前架设塑钢与金属组合型避雷针所得的雷达回波速度,图 7c 为 X 波段雷达前方架设金属避雷针所得的雷达回波速度.由如图 7 中所指示的测试方向可以得出:避雷针对雷达回波速度不产生影响.

结合 X 波段天气雷达强度和速度图可得出,本实验在 X 波段多普勒天气雷达前端所架设的避雷针处于雷达盲区之内,即当目标距离雷达很近(在盲区以内)时,目标回波的前沿将同发射脉冲的后沿混合在一起,雷达分辨率不够而无法探测到避雷针的存在,因此在本实验中 X 波段多普勒天气雷达前端架设的避雷针对雷达回波造成的影响可忽略不计.

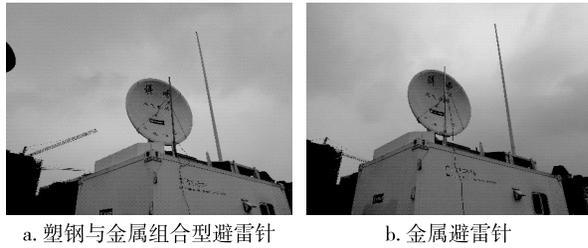


图5 避雷针对雷达影响实验

Fig. 5 Experimental installation of rod effect on radar, with for rod with plastic steel and metal, and for metal rod

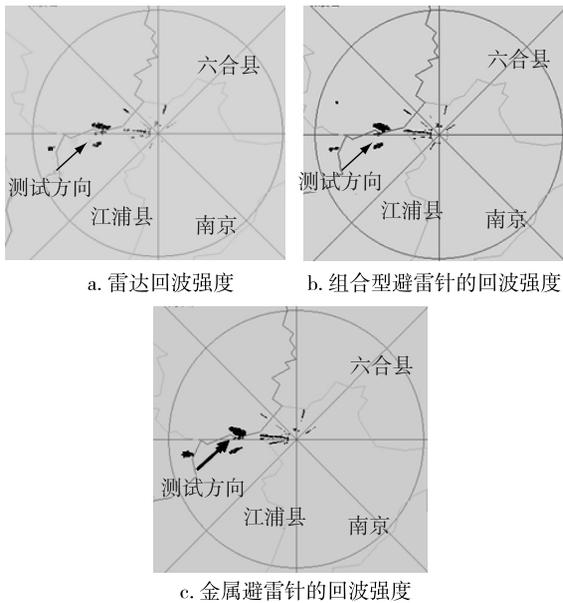


图6 避雷针对雷达散射截面的影响实验(雷达回波强度)

Fig. 6 Radar echo intensity, without lightning rod, with the installation of rod with combined material, and with the installation of metal rod

#### 4 结论

1) 避雷针材料为理想金属(金属介电常数为1),在雷达频率分别为2.83、5.556和9.375 GHz,避雷针半径为1.5 cm时,避雷针雷达散射截面大于相同高度且避雷针半径为1 cm时的雷达散射截面,并且避雷针雷达散射截面与其高度呈正相关;当避雷针高度与半径相同时,避雷针的雷达散射截面随着雷达频率的增加呈递增趋势。

2) 避雷针材料为理想金属时,在相同的避雷针半径及雷达频率下,避雷针高度与其雷达散射截面呈正相关;在相同避雷针高度及雷达频率下,避雷针的雷达散射截面与避雷针的反射截面呈正相关;当避雷针材料为塑钢与理想金属的组合时,在相同的

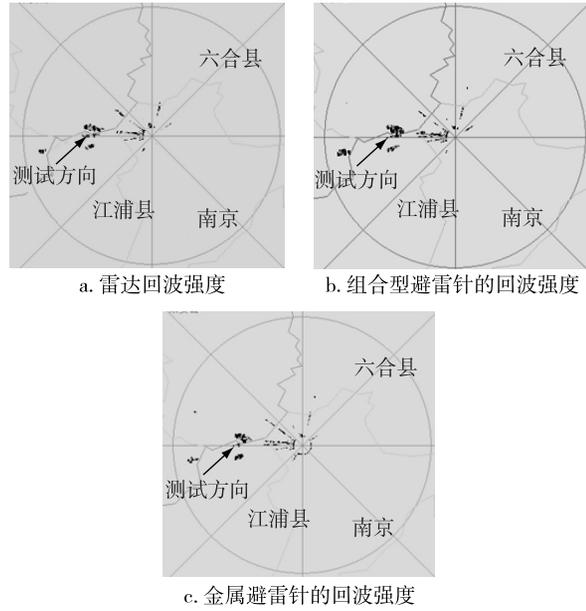


图7 避雷针对雷达散射截面的影响实验(雷达回波速度)

Fig. 7 Radar echo velocity, without lightning rod, with the installation of rod with combined material, and with the installation of metal rod

避雷针高度及相同的雷达频率下,避雷针的雷达散射截面远远小于相同条件下理想金属时的雷达散射截面。

3) 当避雷针架设在X波段多普勒天气雷达盲区以内时,目标回波的前沿将同发射脉冲的后沿混合在一起,雷达分辨率不够而无法探测到避雷针的存在,此时避雷针对雷达回波造成的影响可忽略不计。

#### 参考文献

##### References

[ 1 ] Grecu M, Krajewski W F. An efficient methodology for detection of anomalous propagation echoes in radar reflectivity data using neural networks [ J ]. J Atmos Oceanic Technol, 2000, 17( 2 ): 121-129

[ 2 ] 江源, 刘黎平, 庄薇. 多普勒天气雷达地物回波特征及其识别方法改进 [ J ]. 应用气象学报, 2009, 20( 2 ): 203-213  
JIANG Yuan, LIU Liping, ZHUANG Wei. Statistical characteristics of clutter and improvements of ground clutter identification technique with Doppler weather radar [ J ]. Journal of Applied Meteorological Science, 2009, 20( 2 ): 203-213

[ 3 ] 李丰, 刘黎平, 王红艳, 等. C波段多普勒天气雷达地物识别方法 [ J ]. 应用气象学报, 2014, 25( 2 ): 158-167  
LI Feng, LIU Liping, WANG Hongyan, et al. Identification of ground clutter with C-band Doppler weather radar [ J ]. Journal of Applied Meteorological Science, 2014, 25( 2 ): 158-167

- 158-167
- [ 4 ] Blondel A.Improvements in or relating to radiator systems for wireless telegraphy[J].Belgian Patent,1902,6(10):76-85
- [ 5 ] Skolnik M I. Introduction 10 radar systems [ M ]. New York: McGraw-Hill,2001:323-324
- [ 6 ] Marcum J I. A statistical theory of target detection by pulsed radar[ C ]//IRE Transactions on Information Theory,1960,6(2):59-267
- [ 7 ] Klauder J R, Price A C, Darlington S, et al.The theory and design of chirp radars[J].The Bell System Technical Journal,1960,39(4):745-808
- [ 8 ] 邝向军.关于金属介电常数的讨论[J].四川理工学院学报:自然科学版,2006,19(2):75-78  
KUANG Xiangjun. Discussion on dielectric constant of metal[J].Journal of Sichuan University of Science & Engineering:Natural Science Edition,2006,19(2):75-78
- [ 9 ] 黄培康,殷红成,许小剑.雷达目标特性[M].北京:电子工业出版社,2008:231-235  
HUANG Peikang, YIN Hongcheng, XU Xiaojian. Radar target characteristics [ M ]. Beijing: Electronic Industry Press,2008:231-235
- [ 10 ] 李良超,吴振森,邓蓉.复杂目标后向激光雷达散射截面计算与缩比模型测量比较[J].中国激光,2005,32(6):770-774  
LI Liangchao, WU Zhensen, DENG Rong. Comparison of the back laser radar cross-section calculation of complex object with the measurement of scale-model [ J ]. Chinese Journal of Lasers, 2005, 32(6): 770-774
- [ 11 ] 王文涛.天线雷达散射截面分析与控制方法研究[D].西安:西安电子科技大学工程学院,2011:12-14  
WANG Wentao. Research on analysis and control methods of antenna radar cross section [ D ]. Xi'an: School of Electronic Engineering, Xi'an University of Electronic Science and Technology, 2011: 12-14
- [ 12 ] Knott E F. A progression of high frequency RCS prediction techniques [ J ]. Proceedings of the IEEE, 1985, 73(2): 252-264
- [ 13 ] 王振旺.微波雷达防雷措施研究[J].雷达与对抗,2007(1):17-20  
WANG Zhenwang. A discussion on the thunder-proof of the microwave radar [ J ]. Radar & Ecm, 2007(1): 17-20
- [ 14 ] 季少卫,翁继周.雷达防雷和接地系统设计[J].现代雷达,2005,27(6):63-65  
JI Shaowei, WENG Jizhou. Design of radar thunder defend and grounded system [ J ]. Modern Radar, 2005, 27(6): 63-65

## On the effect of lightning rod on weather radar echo

LI Xiangchao<sup>1</sup> ZHOU Zhongshan<sup>1</sup> CHEN Zehuang<sup>1</sup> CHEN Puyang<sup>1</sup> YE Ting<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Key Laboratory for Aerosol-Cloud-Precipitation of China Meteorological Administration, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

**Abstract** This paper carries out theoretical analysis on blind area of meteorological radar and the Radar Cross Section (RCS), in order to address the effect of lightning rod on radar echo. The RCS of lightning rods with different materials and sizes are studied by HFSS simulation and experiment under horizontal polarization. The simulation results show that, given the same rod material and radar wavelength, the RCS is positively related with the rod height and radius; given the same radar wavelength, the RCS is larger by rod with perfect metal than that with combined material of plastic steel and perfect metal. The experiment result indicates that the effect of lightning rod on weather radar echo can be ignored when the rod is installed near the X band Doppler radar. The result provides theoretical and practical reference for the installation of lightning rod near meteorological radar.

**Key words** lightning rod; weather radar; HFSS simulation; radar echo; Radar Cross Section