

# 减小舰载雷达天线风载荷的有效方法

陈君 陈建民

中国船舶重工集团公司七院 723 所

(扬州市 204 信箱 225001)

**【摘要】**分析了影响舰载雷达天线风载荷的主要因素，并通过对 A、B 两型舰载雷达天线模型风洞试验结果的分析，提出了减小天线风载荷的有效方法。

**【关键词】**天线 风洞试验 风载荷

## 1 引言

现代战争对舰船抗恶劣环境的要求越来越严酷，而舰载雷达的天线一般架设在桅杆区，风载荷是其所受的主要载荷之一，对天线座的强度和刚度影响很大，也直接关系到天线座各轴电机驱动功率的大小。因此，如何减小天线风载，对减小天线座各电机的驱动力矩，减轻天线座的重量，从而提高天线座的强度和刚度，提高天线座的谐振频率，增强系统的稳定性，具有十分重要的意义。

## 2 影响风载荷的主要因素

天线所受风载荷由风力和风力矩组成，它们难以用理论分析求得，一般都是通过天线模型的风洞试验测量风力系数及风力矩系数，然后再求得作用于实物的风载荷。

如图 1 所示，天线所受风力可分解为以下三个分量：

风阻力： $F_x = C_x \cdot q \cdot A$

风升力： $F_y = C_y \cdot q \cdot A$

风侧力： $F_z = C_z \cdot q \cdot A$

风力矩也可分解为以下三个分量：

滚转力矩： $M_x = C_{zx} \cdot q \cdot A \cdot D$

方位力矩： $M_y = C_{zy} \cdot q \cdot A \cdot D$

俯仰力矩： $M_z = C_{xz} \cdot q \cdot A \cdot D$

式中： $C_x$ 、 $C_y$ 、 $C_z$  为风力系数， $C_{zx}$ 、 $C_{zy}$ 、 $C_{xz}$  为风力矩系数，均由风洞试验测得； $A$  为天线口面面积； $D$  为天线特征尺

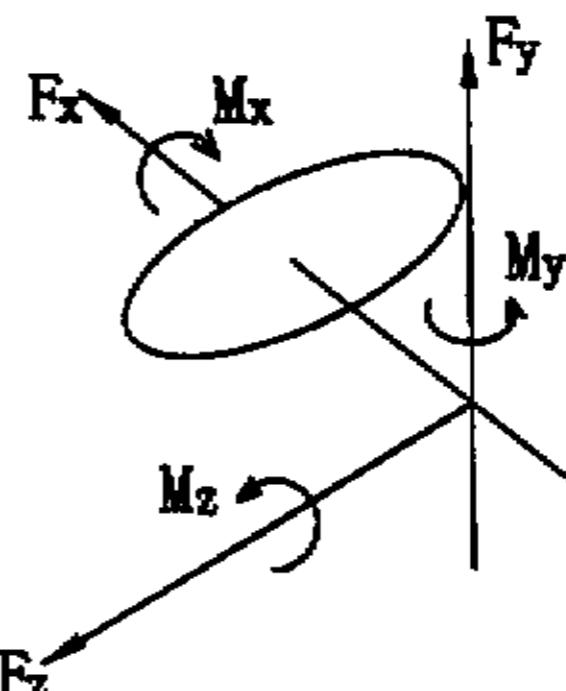


图 1 风载荷的分解示意图

寸:  $q$  为动压,  $q = \frac{1}{2} \rho v^2$ ,  $v$  为风速,  $\rho$  为空气密度:

一般取  $\rho = 0.125 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ , 故  $q = \frac{1}{16} v^2$ 。

对于某一舰载雷达系统而言, 最大工作风速  $v$  在环境条件下已明确规定。对于某一电性能已定、结构形式相应既定的天线而言, 其口面面积  $A$  及特征尺寸  $D$  也是一定的。从上述计算公式中可以看出, 只要设法合理减小风力系数及风力矩系数, 就能有效地减小风载荷。

为了找出减小风力系数及风力矩系数的有效方法, 我们来分析 A、B 两型舰载雷达的天线模型风洞试验结果。

试验模型如图 2 所示。图中  $a$  为天线中心与方位转轴中心的距离, 风翅也就是通常所说的风力平衡板。

### 3 A、B 两型舰载雷达天线模型风洞试验结果的分析

A 型天线为栅条式抛物面状反射体。试验过程中, 我们对不同  $a$  值对风载荷系数的影响做了比较。

表一列出了  $a=0 \text{ mm}$  和  $a=67 \text{ mm}$  两种情况下风载荷系数的峰值。

表一 (风速  $v=40 \text{ m/s}$ )

风载荷系数	$a=0 \text{ mm}$	$a=67 \text{ mm}$
$C_x^{\text{max}}$	0.61339	0.61266
$C_y^{\text{max}}$	0.07614	0.06576
$C_z^{\text{max}}$	-0.24801	-0.25376
$C_{\text{max}}$	0.02918	0.03096
$C_{\text{min}}$	-0.07100	-0.02377
$C_{\text{max}}$	0.20705	0.20531

从上表中可以发现, 随着  $a$  值的改变,  $C_x$ 、 $C_y$ 、 $C_z$ 、 $C_{\text{max}}$ 、 $C_{\text{min}}$  的峰值变化不大, 而方位风力矩系数  $C_{\text{yy}}$  的峰值变化较大。我们进一步分析  $C_{\text{yy}}$ — $\beta$  (方位角) 曲线 (图 3 所示) 发现,  $a=67 \text{ mm}$  时的方位风力矩系数峰值在天线背风与迎风时相差不大, 而且峰值比  $a=0 \text{ mm}$  时要大大减小, 此时方

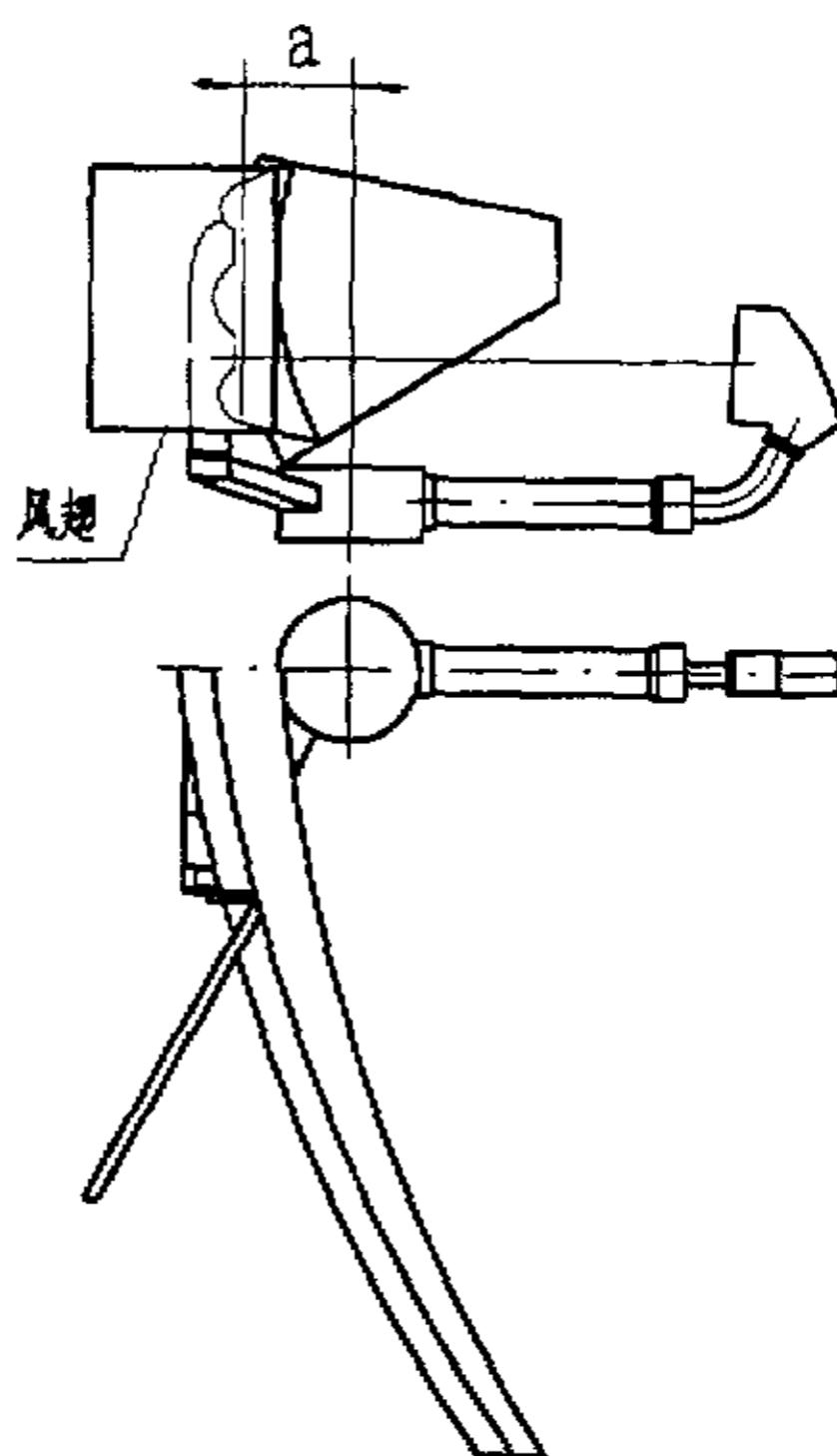


图 2 天线风洞试验模型

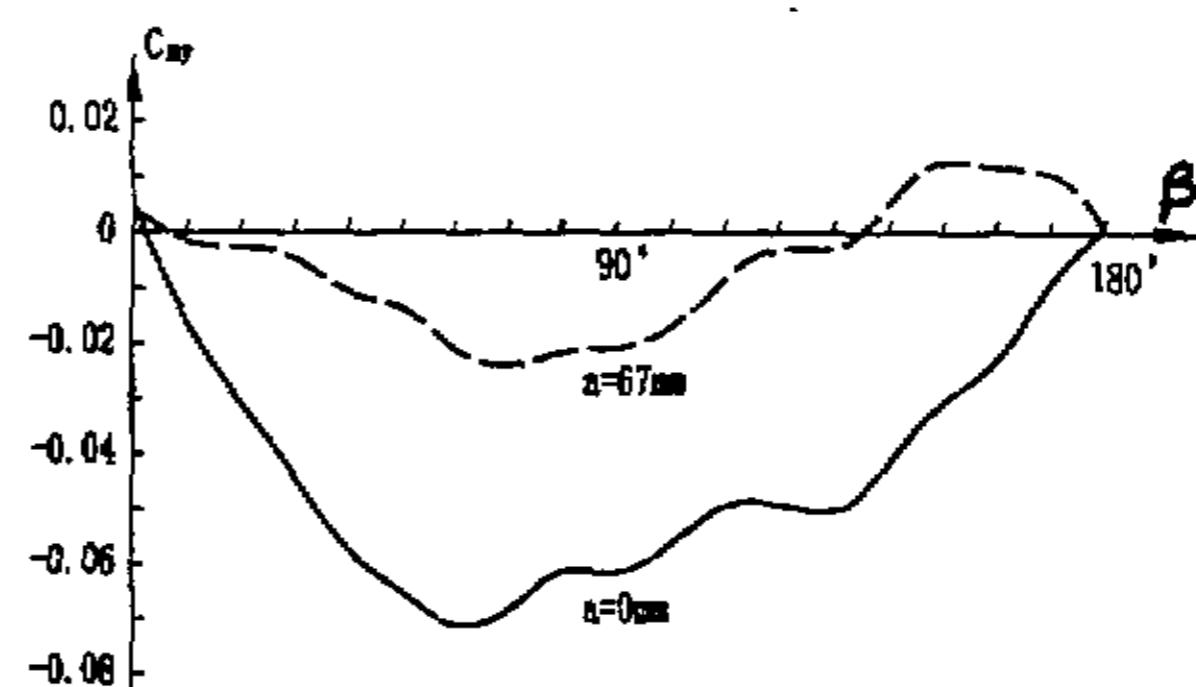


图 3 A 型天线  $C_{\text{yy}}$ — $\beta$  曲线

位电机所需的驱动功率可以大大减小，从而减轻方位部分的重量，也减小了纵摇和横摇的载荷。

### 3.2 B型天线模型风洞试验结果的分析

B型天线为抛物面状实体反射体。试验过程中，对不同的a值、不同风翅形状的模型做了如表二所示的九种试验：

表二

a(mm)	风翅	(风速 $v=45\text{m/s}$ )							
		0	38	50	50	50	65	92.5	120
	无	无	无	梯形	矩形	矩形	梯形	矩形	矩形

分析和比较上述九种情况下风载荷系数随方位角的变化曲线，我们得出如下结论：

1. 如表三及图4所示，加风翅可以减小方位风力矩的峰值，加矩形风翅比加梯形风翅效果明显。

表三

a(mm)	风翅	$C_{M_{y\max}}$
50	无	0.158
	梯形	0.131
	矩形	0.101

2. 在九种不同的试验情况下，模型的方位风力矩系数峰值，当  $a=0\text{mm}$ 、无风翅时最大 ( $C_{M_{y\max}}=0.187$ )；当  $a=120\text{mm}$ 、矩形风翅时最小 ( $C_{M_{y\max}}=0.059$ )。方位风力矩系数峰值随a值的增加而减小。

### 4 结论

综上所述，为了有效地减小舰载搜索雷达天线的风载荷，我们可以采取如下一些有效措施：

1. 选择合适的方位转轴位置。适当地选择方位转轴位置，可使方位风力矩系数峰值减小，并使方位风力矩在整个方位角范围内比较均匀，从而减小天线的驱动功率。与此同时，还要考虑把天线系统的重心控制在一定的范围之内，合理设计天线系统的结构型式，尽量减小天线系统对方位转轴的转动惯量。

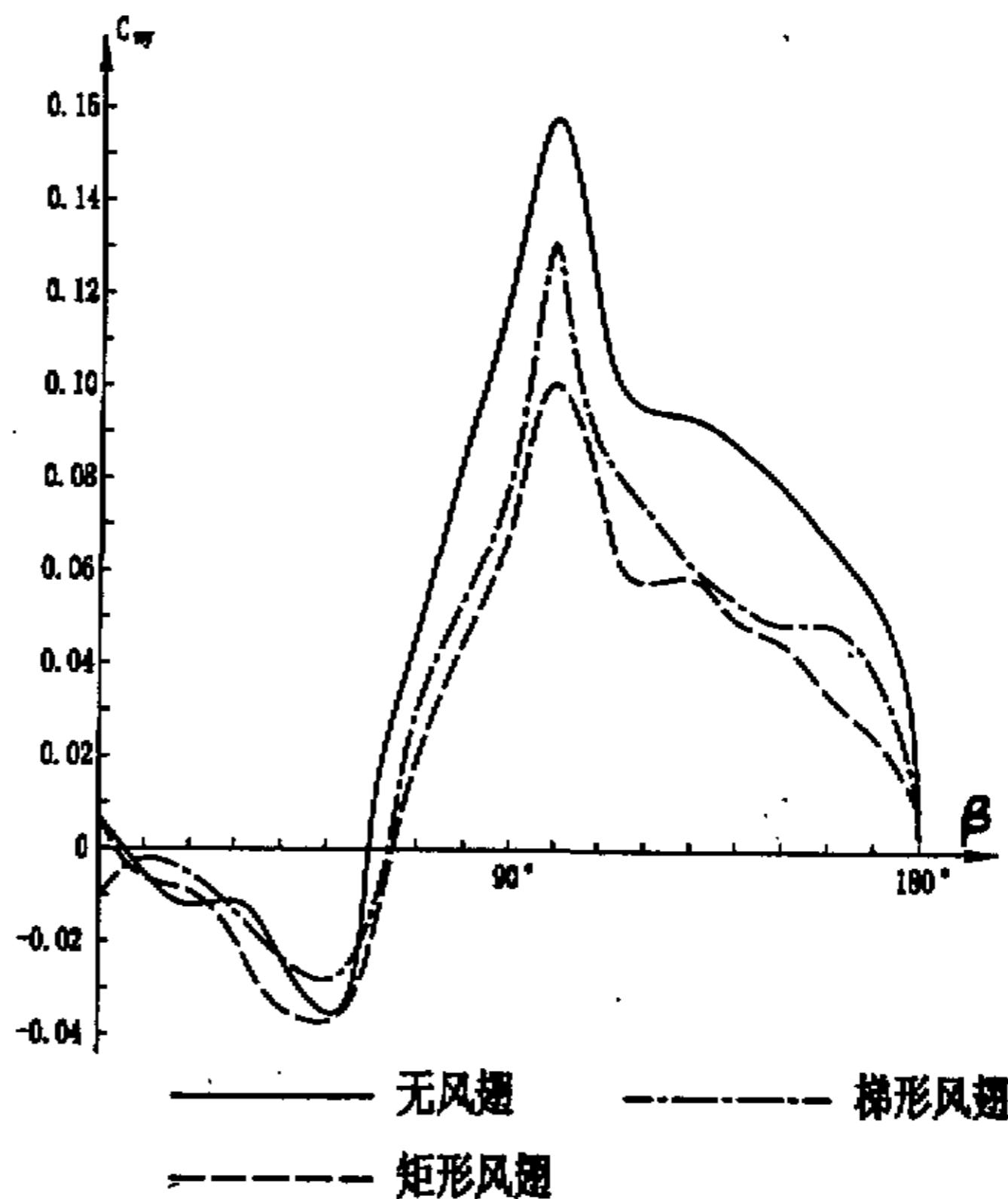


图4 B型天线  $C_{M_y}$ — $\beta$  曲线

2. 加合适的风翅，尽量减小方位风力矩系数的峰值。风翅的面积、位置和角度，难以从理论上计算来确定，一般都是通过多次的风洞试验来确定其最佳值。

此外，还可以采取在天线的漏过功率允许的情况下，尽量增加反射体的漏空度来减小天线风载荷的方法等。

#### 【参考文献】

- [1] 叶尚辉, 李在贵. 天线结构设计. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986
- [2] 王生洪, 龚振邦, 王世萍. 电子设备机械设计. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1994

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>