

# 某型天线车抗倾覆能力的计算与检验\*

冯大成

(中国航天科工集团第二研究院二十三所, 北京 100854)

**摘要:**近年来,米波雷达因其在反隐身目标方面所体现出的优势而引起了雷达界的高度重视,新型米波雷达不断问世。主要用于警戒雷达的米波频率较低,因而雷达天线结构比较稀疏,天线阵面巨大,并且大多部署在沿海或沙漠、戈壁地区,环境条件恶劣,风力往往比较大。因此米波雷达天线车的安全性设计尤为重要,而天线车的抗倾覆能力又是安全性设计的重中之重。文中给出了某型号车载米波雷达风负载的计算方法及给定环境条件下天线车的抗倾覆能力,并对抗倾覆能力的检验方法作了简要的介绍,通过实验验证了计算方法的可靠性。

**关键词:**风负载;倾覆力矩;抗倾覆;检验方法

**中图分类号:**TH113.2\*5 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-5300(2011)02-0028-03

## Overturn-resisting Calculation and Test of Radar Antenna Vehicle

FENG Da-cheng

(The 23rd Institute of the Second Academy of CASIC, Beijing 100854, China)

**Abstract:** Recently, VHF radar has got great attention by radar research world because of its advantages on target anti-stealth, and new type radars have been produced ceaselessly. Used mostly for surveillance, the frequency of VHF radar is relatively low, so its antenna structure is usually huge and sparse. Most of these radars are disposed in coastal and desert area where is of severe natural environment and great wind force. Therefore, safety design of VHF radar antenna vehicle is especially important, and the overturn-resisting ability of the vehicle is of top priority. This paper introduces the calculation methods of wind load for one VHF radar vehicle and the vehicle overturn-resisting ability under given environment conditions, and briefly describes the test methods for overturn-resisting ability. Reliability of the calculation methods is validated through experiments.

**Key words:** wind load; overturn moment; overturn resisting; test method

## 引言

雷达结构设计不仅是雷达研制中不可或缺的技术支撑,而且也是雷达性能和质量的重要保证。雷达的机动性、可靠性、安全性、环境适应性很大程度上都是通过结构设计来实现。雷达装备的安全性及环境适应性在雷达研制中的地位越来越重要。本文以某型号车载米波雷达天线车在环境要求的30 m/s风速下,是否会发生倾覆,产生破坏为例,简要介绍了天线车的抗倾覆能力的计算方法和实际加载验证。

## 1 环境条件要求

以《某型号雷达环境试验大纲》规定作为输入要

求。雷达抗风能力为:风速 $\leq 25$  m/s,正常工作;25 m/s < 风速 $\leq 30$  m/s,天线降转速工作;风速 $> 30$  m/s,停机倒天线。

## 2 基本方案

### 2.1 倾覆力矩的计算

#### 2.1.1 风载荷引起的倾覆力矩

风载荷的计算方法按《起重机设计手册》计算风载荷,基本公式为

$$F = C \cdot q \cdot K_h \cdot A$$

式中: $C$ 为风力系数; $q$ 为基本风压; $K_h$ 为高度系数; $A$ 为迎风面积。

\* 收稿日期:2010-11-04

## 1) 风力系数

风力系数与天线车的外形结构和尺寸有关,根据该型号天线阵面的结构形式及以往经验等综合因素考虑后选取  $C = 1.55$ 。

## 2) 基本风压

$$q = \rho \cdot V^2 / 2$$

式中:  $\rho$  为空气密度;  $V$  为风速。

$\rho$  取 15 °C 时空气密度  $1.25 \text{ kg/m}^3$ , 取风速  $V = 30 \text{ m/s}$  的情况, 带入式中得

$$q = 562.5 \text{ N/m}^2$$

## 3) 高度系数

高度系数与天线离地面的高度、地形环境有关, 本文取  $K_h = 1$ 。

## 4) 迎风面积

迎风面积  $A$  为天线车的有效面积。

整车在风载荷下的倾覆力矩为天线塔、天线阵面和座车底盘的倾覆力矩之和:

$$M_{\text{风}} = M_{\text{塔}} + M_{\text{阵面}} + M_{\text{底盘}} = 217\,574 \text{ N} \cdot \text{m}$$

作用在天线车上的风载如图 1 所示。

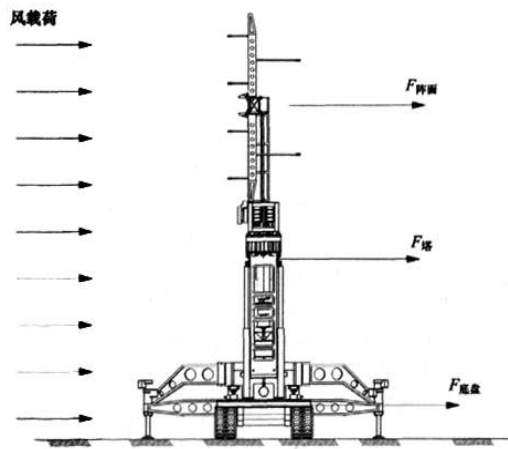


图1 作用在天线车上的风载

## 2.1.2 天线阵面重力偏心引起的倾覆力矩

天线阵面总重量  $G$  约为  $2\,000 \text{ kg}$ , 阵面重心与天线回转中心的偏心距  $L$  为  $0.2 \text{ m}$ ; 故偏心引起的倾覆力矩为

$$M_{\text{偏心}} = G \cdot L \cdot 9.8 = 3\,920 \text{ N} \cdot \text{m}$$

## 2.1.3 天线偏心旋转引起的倾覆力矩

天线阵面在旋转过程中的法向惯性力为

$$P_n = m \cdot \omega \cdot r$$

式中:  $m$  为天线阵面的质量;  $\omega$  为天线阵面的角速度;  $r$  为旋转半径。

已知天线阵面质量为  $2\,000 \text{ kg}$ ; 天线阵面角速度  $\omega = n\pi/30 = 0.628\,3 \text{ rad/s}$ ,  $n$  为天线阵面每分钟转的圈数; 则  $P_n = 1\,547.5 \text{ N}$ 。

天线阵面中心到地面的高度  $H = 8 \text{ m}$ ,  $M_{\text{惯性}} = P_n \cdot H = 12\,380 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

天线阵面偏心旋转惯性力如图 2 所示。

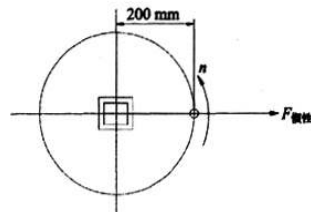


图2 天线阵面偏心旋转惯性力

## 2.1.4 天线车总倾覆力矩

天线车工作过程中,  $30 \text{ m/s}$  风速正面垂直作用在天线阵面、天线塔和底盘上的总的倾覆力矩为

$$M_{\text{总}} = M_{\text{风}} + M_{\text{偏心}} + M_{\text{惯性}} \approx 24 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}$$

## 2.2 抗倾覆能力计算

天线车抗倾覆能力主要体现在调平支腿各支撑点距天线车重心的距离  $L$ 。天线车总质量约为  $19.5 \text{ t}$ 。当  $M_{\text{车}} \cdot L > 24 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}$ , 即  $L > 1.23 \text{ m}$  时, 天线车不会发生倾覆。为满足天线车安全性要求, 取安全系数为 2 时,  $L = 2.5 \text{ m}$ 。

某型号天线车的重心距前支腿为  $3.0 \text{ m}$ ; 距后支腿为  $3.3 \text{ m}$ ; 距前后两支腿连线的垂直距离为  $3.0 \text{ m}$ 。因此, 天线车在工作状态处于环境风速达到  $30 \text{ m/s}$  时, 不会造成倾覆, 三个方向均有一定的安全系数。

在环境条件  $30 \text{ m/s}$  的风速下工作, 天线车主要结构件的强度及刚度应满足要求, 设计及校核应以风载倾覆力作为设计输入。

## 3 检验方法

根据天线车的实际受力情况, 采用模拟实际风载的方法检验天线车的强度及抗倾覆能力。将天线车展开, 在天线阵面的中心位置固定好钢丝绳, 另一端在高塔或吊车上固定一个定滑轮, 在距地面  $8 \text{ m}$  处, 沿底盘的纵向中心线水平向前、向后, 沿垂直纵向中心线水平向左、向右分别加载  $3 \text{ t}$  负载, 检验天线车是否发生倾覆, 产生破坏。去掉负载后能否正常工作, 起竖是否顺畅。

试验时加的总倾覆力矩约为  $24 \times 10^4 \text{ N} \cdot \text{m}$ , 相当于  $30 \text{ m/s}$  风速。

考虑到天线阵面为桁架结构在一点处牵引  $3 \text{ t}$  负载的承受能力, 将阵面等效为同等质量的金属筒, 在  $8 \text{ m}$  高度牵引负载。如图 3 所示。

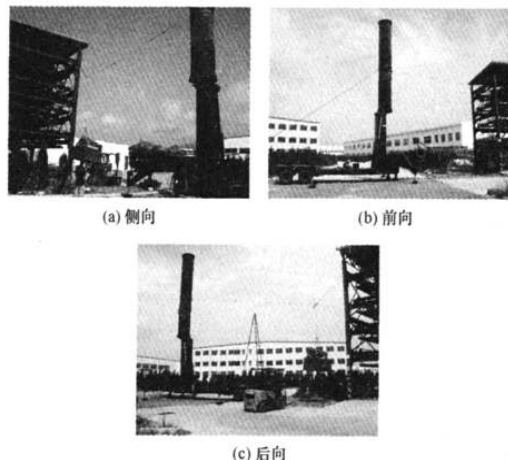


图 3 天线车三个方向的加载

在三个方向实际加载后, 天线车未发生倾覆。撤

掉载荷后, 天线车液压调平及起竖系统正常工作, 主要结构件强度、刚度均满足设计要求。

## 4 结束语

通过某型号车载米波雷达天线车抗倾覆能力的理论计算和实际加载相互验证, 此种计算方法和试验可行, 类似天线车在抗倾覆设计时可参考此种计算和检验方法。

## 参考文献

- [1] 张质文. 起重机设计手册[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998.
- [2] 原北京工业建筑设计院金属结构室. 塔桅钢结构设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1972.
- [3] 叶尚辉, 李在贵. 天线结构设计[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986.

冯大成(1980-), 男, 工程师, 主要从事雷达结构总体工作。

(上接第 27 页)

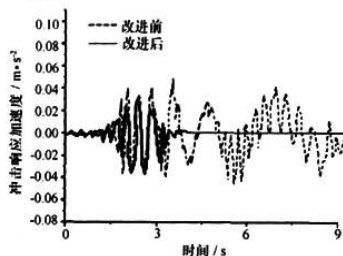


图 16 冲击响应加速度时间历程对比

## 8 结束语

对比数据表明, 当户外柜挠度较大时, 振动时将产生较大的振幅; 而当挠度较小时, 则户外柜过于刚硬, 在传递外来的冲击时, 会造成较大的冲击力。本文从抗冲击振动的角度, 对不同形式的户外柜采用适当的刚度和强度设计, 提供一个最佳挠度。同时, 通过在户外柜底部安装合适的隔振器对传到户外柜底座上的冲击振动进行衰减隔离。对于本载车平台, 安装户外柜时应采取较高的刚度(即允许挠度较小), 并选取合适的底座-减振器系统参数。

## 参考文献

- [1] 史科骏, 静波, 韩雪华, 等. 轿车副车架模态试验与分析[J]. 噪声与振动控制, 2003(1): 12-14.
- [2] 刘晓波. 机车车体结构抗振性设计探讨[J]. 机车电传动, 2008(6): 20-25.
- [3] 颜肖龙. 无谐振隔振原理的理论分析与研究[J]. 电子机械工程, 1998(1): 48-55.
- [4] 江国和. 带限位器的舰船设备隔离系统冲击响应研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2006.
- [5] 甘舜仙. 有限元技术与程序[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1988: 243-299.

张 竞(1979-), 男, 工程师, 主要从事雷达结构总体设计工作。

## 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,一直致力和专注于微波、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>