

# 中小型天线基础连接分析

周书中

(信息产业部电子第 54 研究所)

**摘要** 主要阐述风力作用于天线口面时,对天线基础的要求,地脚螺栓大小的选取,每个地脚螺栓螺栓所受预紧力的计算方法。

**关键词** 预紧力 翻转力矩 压强 许用应力

## 1 概述

中小口径的天线作为地面固定站被广泛应用于各个领域,作为天线的固定方式,事先将地脚螺栓预埋在基础中是天线连接最简单的方法之一,而地脚螺栓的大小往往被设计者忽略,凭经验及感觉选取。本文着重阐述一下当风力作用于天线口面时,天线作为一个弹性体,在风载荷的作用下,座架底板产生翻转的趋势。根据此假设选取地脚螺栓的大小。按此方法计算的 2.4 米、3 米天线已批量生产,有一定的参考价值。

## 2 分析计算

因天线指平时,天线基础所受的载荷最大,本文就天线指平时,进行天线基础与地基紧固的简单计算,如图 1 所示。天线所受的风载荷由公式计算<sup>[1]</sup>:

$$F = C_f \times A \times \rho v^2 / 16 \quad (1)$$

式中  $A$  为天线口面面积;  $C_f$  为风力系数 1.2;  $v$  为风速。

此时作用于天线上的力为风力  $F$  及天线本身的重大  $G$ 。风力  $F$  重力  $G$  通过螺栓组型心与座架底板垂直的轴线  $OO_1$  取矩,由于小口径天线的重心靠近座架中心,所以天线重力所产生的力矩可忽略,则天线所受的翻转力矩:  $M = F \times h$   $(2)$

天线此时的载荷是重力  $G$ ,风力  $F$  和翻转力矩  $M$  的组合。在以一定的预紧力拧紧连接后,这时连接的失效形式主要有:在力矩  $M$  的作用下,结合面

$a$  处松开;在风力  $F$  的作用下,座架滑动;在力矩  $M$  和重力的作用下,座架底板在  $b$  处压碎,而左边受力最大的螺栓被拉断。

地脚螺栓的直径和每个螺栓的预紧力都与四种失效形式有关,因此在满足不松、不滑、不碎、不断的条件下,对螺栓组进行计算。当天线固定在基础上时,螺栓受到预紧力的作用,假设每个螺栓的预紧力为  $F_1$ ,则结合面的压强为<sup>[2]</sup>:

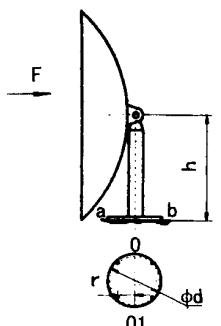
$$\delta_{F_1} = \frac{ZF_1}{A_1} \quad (3)$$

式中  $A_1$  为结合面的面积;  $Z$  为螺栓组的数量。 $\delta_{F_1}$  分布见图 2(a)。在重力  $G$  的作用下,连接处的预紧力共增加:  $GC_2 / (C_1 + C_2)$ ,其中  $C_2$  为座架底板的刚度;  $C_1$  为螺栓的刚度。

因为座架的刚度要远比螺栓的刚度大,所以我们认为结合面的压力增加了  $G$ ,连接处的压强增量为  $\delta_G = \frac{G}{A_1}$ ,分布见图 2(b)。

在翻转力矩  $M$  的作用下,翻转轴线左边的螺栓受到工作载荷  $F_M$ ,右边的螺栓受到了相等的压力,左右螺栓到翻转轴线的距离均为  $r$ ,则每个螺栓所受的工作载荷  $F_g$ <sup>[2]</sup> 为:  $F_g = \frac{M}{4r}$ 。在力矩  $M$  的作用下,座架结合面的压强在轴线的左边减少,右边增大,因为连接面为平面,所以压强为线性变化。在  $a, b$  处压强变化为<sup>[2]</sup>:  $\delta_M = \frac{M}{W}$   $(4)$  式中  $W$  为结合面的抗弯模量 圆形截面的  $W^{[3]} = \pi d^3 / 32 = 0.1 d^3$ ,  $\delta_M$  的分布见图 2(c)。

综合以上考虑,结合面的压强分布为  $\delta_{F_1}, \delta_G, \delta_M$  的叠加见图 2(d)。



1 天线安装示意图

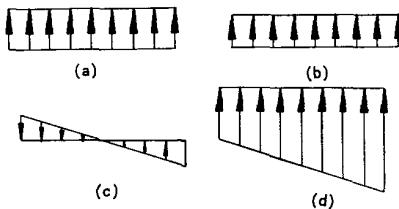


图 2 压强分布示意图

若满足不松的条件则<sup>[2]</sup>:  $\delta_{F_1} + \delta_G - \delta_M \geq 0$

$$\text{既 } \frac{ZF_1}{A_1} + \frac{G}{A_1} - \frac{M}{W} \geq 0 \quad (5)$$

利用式(5)求出的预紧力<sup>[2]</sup>:

$$F_1 = \frac{MA_1}{ZW} - \frac{G}{Z} \quad (6)$$

当式(7)<sup>[2]</sup>大于等于零时, 满足不滑条件

$$f_s(ZF_1 + G) - k_f F \geq 0 \quad (7)$$

式中  $f_s$  为结合面的摩擦系数 0.16;  $k_f$  为可靠系数 1.1。

当满足式(8),<sup>[2]</sup>  $\delta_{F_1} + \delta_G + \delta_M \leq [\sigma]_P$  (8)

式中  $[\sigma]_P$  为许用压应力。

则满足不碎条件。

根据不断裂条件求出所需的螺栓螺纹部分的直径, 螺栓的总拉力<sup>[2]</sup>

$$F_0 = F_1 + \frac{c_1}{c_1 + c_2} F_g \quad (9)$$

当  $C_2 >> C_1$  时,  $F_0 = F_1$ 。

按不控制预紧力情况下取  $k_m = 1$ ,

$$\text{安全系数} [S]_s = \frac{2200km}{900 - (7000 - F_0)^2 \times 10^{-7}}$$

螺栓的许用应力为<sup>[2]</sup>:  $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{[S]_s}$

式中  $\sigma_s$  为屈服限, 和螺栓材料及性能级别有关。

由第四强度理论可得出螺栓螺纹部分危险剖面的计算直径为<sup>[2]</sup>

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 F_0}{\pi [\sigma]}} \quad (10)$$

由螺栓标准试选相应的螺栓, 至于螺栓其余部分的尺寸可根据有关的标准确定。

### 3 应用举例

现以环焦 2.4 米天线在风速为 40 米/秒, 降精度工作为例计算所需螺栓直径, 已知  $h = 1200\text{mm}$ ,  $d = 380\text{mm}$ ,  $Z = 4$ ,  $G = 2500\text{N}$ 。由式(1)~式(10)得:

$$\text{风力 } F = 1.2 \times \pi \times 1.2^2 \times \frac{1}{16} V^2 = 5425\text{N};$$

力矩  $M = 5425 \times 1.2 = 6510\text{Nm}$ ;

接触面积  $A_1 = \pi \times 0.19^2 = 0.11\text{m}^2$ ;

抗弯模量  $W = 0.1 d^3 = 0.1 \times (0.38)^3 = 0.00548\text{m}^3$ ;

$$\text{预紧力 } F_1 = \frac{-G}{Z} + \frac{MA}{ZW} = \frac{6510 \times 0.11}{4 \times 0.00548} - \frac{2500}{4} = 32043\text{N}.$$

取  $F_1 = 32000\text{N}$ , 代入已知参数, 检查不滑条件可知:  $f_s(ZF_1 + G) - k_f F > 0$  满足条件。

检查不碎:  $\sigma_{F_1} + \sigma_G + \sigma_M \leq [\sigma]_P$ , 即:

$$\frac{4 \times 32000}{0.11 \times 10^6} + \frac{2500}{0.11 \times 10^6} + \frac{5425}{0.00548 \times 10^6} = 1.2,$$

此值甚小, 查看许用挤压应力, 满足不碎条件, 当  $C_2 >> C_1$  时, 螺栓总拉力  $F_0 = F_1$ , 取  $F_0 = 1.2, F_1 = 38452\text{N}$ 。

$$\text{安全系数} [S]_s = \frac{2200 \times 1}{900 \times (70000 - 38452)^2 \times 10^{-7}} = 2.75,$$

选用 A3 材料螺栓, 按性能级别 5.9 计算,  $\sigma_s = 450\text{N/mm}^2$ , 所以螺栓的许用应力为  $[\sigma] = \sigma_s / [S]_s = 450 / 2.75 = 163.6\text{N/mm}^2$ ,  $d_c = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 F_0}{\pi [\sigma]}} = 19.7\text{mm}$ 。

在实际设计中选取了 M24 的地脚螺栓, 其: 内径  $d_1 = 20.725$ , 中径  $d_2 = 22.052$ , 工作高度  $H = 1.624$ , 按此螺纹, 危险剖面的计算直径为:

$$d_c = \frac{1}{2} (d_1 + d_2 - \frac{H}{6}) = 21.26 > \text{需要值 } 19.7,$$

因此 M24 螺纹可用。

### 4 总结

在进行受力分析和强度计算中, 座架的结构形式、螺栓的材料和性能级别都对直径的选取有关。在进行天线结构设计时, 除需进行结构本身的力学计算外, 对基础连接的计算分析也是必不可少的。若连接处长期工作于疲劳状态, 不仅影响工作的稳定性, 而且还存在着安全隐患。本文在分析中采用了  $C_2 >> C_1$  的假设, 因为在实际设计中, 座架底板刚度远大于螺栓, 按此计算对不松、不滑、不碎都偏于安全, 而对不断接近实际情况。

### 参考文献

- 叶尚辉. 天线结构设计. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986
- 许镇宇, 邱宣怀. 机械零件. 北京: 人民教育出版社, 1981
- 苏冀林. 材料力学. 北京: 高等教育出版社, 1986

## 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>