

# 舰艇天线布置对通信覆盖范围影响的“船模法”分析

黄嵩高 张坤元

中船 701 研究所 EMC 室  
武汉 430064

## 1. 引言

通信天线的主要战术技术指标是一定输入功率下的作用距离和方位。由“船模法”测得的天线的辐射方向图蕴含着天线的所有技术参数，它不仅表示了天线的作用方位、驻波比和阻抗，而且也表示了天线的增益和作用距离等。根据“船模法”测量的天线方向图，不仅可以分析舰船上层建筑对天线方向图方位的影响，而且可以得出其对天线增益的影响，这一点十分有意义，由此我们能够预测舰船上层建筑对通信覆盖范围的影响，既而就通信战技指标作出评估。

## 2. 天线辐射方向图的统计分析

为了比较定量地评估其辐射方向图，采用统计概率的分析方法是常用的好方法。根据“船模法”，采用立体分割测量<sup>[1]</sup>的增益方向图数据可转换成统计分布值，即辐射方向图累积增益概率分布。该曲线显示天线增益与给定概率情况下超过某个增益（如设计增益）电平的角度度数之间的关系。有了这种方向图的累积增益——概率曲线，可以看到某个天线在舰船布置条件下，是否达到了要求的增益和方位范围。选择不同的位置布置就可以使天线满足要求的增益和方位范围，进而满足通信距离和方位的要求，实现最佳布置。

数据转换可由计算机来完成，因为天线的辐射方向图包含的数据量非常巨大，依靠手工来完成统计概率分析几乎是不可能的。我们运用可视化编程技术完成了这项内容，软件流程图见图 1。

图 2、图 3 代表性地给出了经该软件处理后的增益——概率曲线，其中图 3 所分析的天线还有不同仰角的空间波值，同样可以看出在要求的仰角范围内是否达到要求的增益和方位范围，它反映的是立体的增益——概率。图中的频率为“船模法”测量的频率，实际工作频率应除以船模缩比倍数。曲线上的概率 100%，对应天线的作用方位覆盖 360° 角度范围，概率 50% 则对应线的作用方位覆盖了全方位的一半方位的角度范围。从图中很容易看出，增益高时，其概率低，覆盖角度范围小，反之亦然，这是符合理论和实际情况的。

## 3. 通信天线布置对通信覆盖范围的影响

根据船模天线的方向图及其增益——概率曲线，就能预测实船布置下天线的性能。单从通信方面而言，舰艇总体最终所要求的总性能，就是通信的战技指标，而通信战技指标主要就是通信覆盖范围。通过“船模法”分析通信覆盖范围，天线布置是否满足总体性能的问题能一目了然。

### 3.1 通信覆盖范围

通信覆盖范围是指通过通信线路所连通的距离。它主要与以下参数有关：

- 发射机和接收机的天线增益
- 发射机功率
- 噪声（背景噪声、接收机输入噪声）
- 信噪比
- 接收机灵敏度
- 接收信号的质量

- 线路容量（宽带和数据率）

舰艇通信覆盖范围的众多参数中，天线的增益是非常重要的，它是直接与天线布置有关的参数，其它的参数与天线布置的关系可以忽略，我们假定都是已知（或人为设定）和按预测的惯例设定的。在这样情况下，通信覆盖范围就是天线圆品质和增益品质<sup>[1]</sup>的函数。舰艇模型天线的测试和综合分析，就是寻求最佳的天线布局，使通信覆盖范围最大。

### 3.2 天线增益和通信覆盖范围的关系

通信覆盖范围可由距离方程式表示，即：

$$(S/N)_0[dB] = P_r[dBw] + G_r[dB] + G_s[dB] - L[dB] - M[dB] - KTB[dBw]$$

方程左边为接收机输入信噪比，右边末项 KTB 为接收机输入端噪声功率（或理解为背景噪声）；路径损耗 L 由专门的计算完成；设计余量 M 则根据线路质量要求和衰落储备等确定。剩下的  $G_r$  和  $G_s$  则是船模一天线测量得出的试验数据。从这个方程可清楚地显示出船模天线测试数据天线增益 ( $G_r$  和  $G_s$ ) 同通信战技指标的关系。显然，作为通信覆盖范围的界限值 (S/N) 同天线增益 ( $G_r$  和  $G_s$ ) 成正比。船模通信天线  $G_r$  和  $G_s$  的优劣，标志着通信覆盖范围的大小，在本文中用“全方位通信概率”表示，即在某一仰角在 0~360° 方位范围满足上述方程的概率。该概率图形象地给出通信覆盖范围。

### 3.3 海上短波表面波的通信覆盖范围

海上短波表面波（地波）通信具有极其重要意义。它充分利用海水导电率（σ）大、损耗小的特点，稳定可靠地完成 200~300 公里通信。海上表面波覆盖范围可达 1000 公里。海上短波表面波（地波）通信对海军十分重要，在于：

- 1) 海上战术数据传输网在视距外舰艇之间主要依靠海上短波表面波通信。
- 2) 海上短波表面波负担舰队间协同通信网任务。
- 3) 海上短波表面波负担舰队编队内对海指挥通信网任务。
- 4) 海上短波表面波信号场强与时间、季节关系不大，通信可靠。
- 5) 超短波通信距离大近，例如若超短波天线架高 50 米，通信距离也只有 50 公里左右，远比短波表面波通信小。

#### 3.3.1 海上表面波（地波）场强

海上短波表面波（地波）场强计算公式一般为：

$$E = 3 \times 10^3 d^{-1} A \sqrt{P G_r} \quad (\mu V/m)$$

其中：

d——距离 (m)

P——发射机输出功率 (KW)

$G_r$ ——收发方向上发射天线增益

A——衰减因子

衰减因子包括两种情况：当地球的弯曲影响可以忽略的临界距离：

$$d_0 = 80 f^{-1/2}$$

即：大于  $d_0$  和小于  $d_0$  两种情况。一般讲当距离小于 10 公里，可以不考虑地球弯曲。超过 10 公里，应按绕射公式计算。

在海军实际应用中, 短波表面通信大都稳妥地应用在 5~6MHz 以下, 但实际上可应用到 10MHz, 在夜间若需要可使用在 12MHz 以上。

### 3.4 超短波通信覆盖范围

### 3.4.1 超短波海上传播损耗

超短波海上通信计算的关键是传播损耗的计算。

### 3.4.1.1 几何视距之内传播损耗

超短波在几何视距之内含有直射波和反射波。

传播损耗随距离增大和频率增大而上升。

### 3.4.1.2 几何视距附近传播损耗

传播损耗计算公式为：

$$L = F(H_1, H_2)$$

在计算中, 几何视距和几何视距附近略有不同。

### 3.4.1.3 有效视距传播损耗

有效视距传播损耗计算公式：

$$L = F(S) \cdot F(H_1) \cdot F(H_2)$$

### 3.4.2 自由空间传播条件

菲涅尔理论指出, 当传播余隙  $H_c$  (见图 4) 处开孔面积为第一菲涅尔区面积的三分之一时, 为自由空间传播。

第一菲涅尔区半径为：

$$F_1 = \sqrt{\lambda d_0 d_1 / d}$$

今

$$F_0 = \frac{1}{\sqrt{3}} F_1 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{3d}}$$

称  $F_0$  为最小菲涅尔区半径。

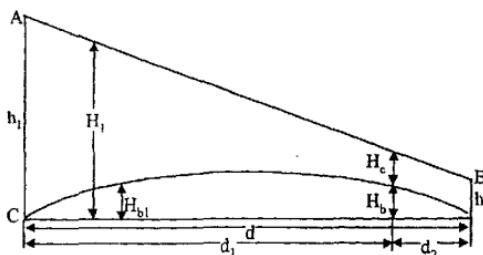


图 4 传播余隙示意图

当  $H_C \geq F_0$  时为自由空间传播, 不受海面的影响。

#### 4 数据处理

#### 4.1 软件目的和要求

根据通信天线覆盖范围的数学模型，运用本软件能形象、直观地显示舰艇通信战技性能，使用户能方便、简捷地应对各种需要的情况。

其要求如下：a. 测量方向图增益数据为基本数据，天线的其它参数可以任意设定。b. 运用可视化编程技术完成通信天线覆盖范围的预测，图、表、文一体化窗口显示所有战技参数。c. 多种平台支持，不仅支持最新的 Window98，而且支持 Window95、Window3.1、Window3.2 等操作系统，可移植性强，专用安装程序制作，可方便地安装到指定的计算机硬盘上。

#### 4.2 短波地波计算实例

我们利用“船模法”在天线场用 1:20 的某舰船模测试了 3 根鞭天线 a、b 和 c，得到了方向图增益的基本数据，用软件计算出通信覆盖范围全方位概率曲线，以验证数模的正确性和是否符合战技指标。

选取某舰船模典型位置的三根天线，a、b 天线选取的频率为：5MHz、7.5MHz、10MHz，其它参数为：

a 天线：P=1KW，短波地波 7.5MHz，调制为 A1A、F1B 和 J3E。

b 天线：P=1KW，短波地波 10MHz，调制为 A1A、FB 和 J3E。

因篇幅所限，只给出 b 天线分析曲线见图 5。

#### 4.3 超短波计算实例

由于超短波可以是地波，也可以空间波两种方式进行通信，因此我们选择某舰船模上 c 天线来进行运算。

##### 4.3.1 超短波地波通信

选取参数为：f=30MHz、60MHz

P=0.1KW

调制为 AM 和 FM

##### 4.3.2 超短波空间波通信

选取参数为：f=100MHz、150MHz、300 MHz、500 MHz

P=0.1KW

调制为 AM 和 FM

飞机高度为 3000m

仰角为 5°、10°、20°、30°、45°、60°

因篇幅所限，只给出 c 天线分析曲线其计算结果见图 6（仅给出 f=100MHz，仰角为 20 度，调制方式为 AM 时的情况）

#### 4.4 数据处理小结

通过对这三组实例数据预测分析，得出如下基本结论

- a. 本软件运行正常，界面操作均达到设计要求。
- b. 分析的通信覆盖范围基本符合舰艇总体战技指标的实际情况，验证了数模的正确性。

### 5、结论

通过对某舰船模的三根短波、超短波天线计算分析，结果表明该数模符合实际通信情况，并通过与美海军的纯数模预测比较，我们发现采用“船模法”与数模法相结

合, 所得到的分析曲线是连续的, 这比美国海军用纯数模得出的折线, 精度要高, 其预测的准确性无疑也得到了提高。

## 参考文献

- 1、张坤元、黄嵩高、郑生全、黄琼 《通信天线方向图品质的‘船模法’分析》, 舰船电子工程, 1998 年第 4 期
- 2、Law, Tr 《Shipboard Electromagnetics》 artech House Boston London, 1987
- 3、张坤元、黄嵩高 《舰艇模型天线布置试验及综合分析方法的研究 (98 年终)》, 内部报告

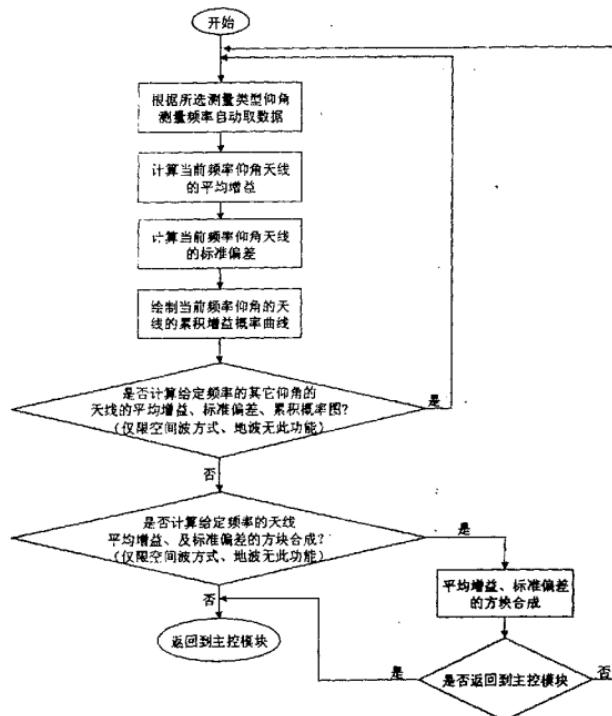


图 1 统计概率分析软件流程图

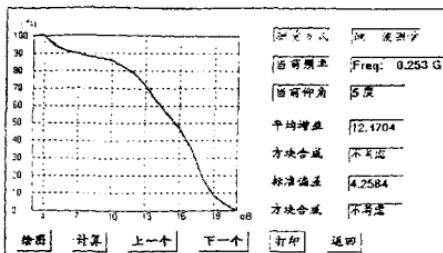


图 2 b 天线地波增益-概率

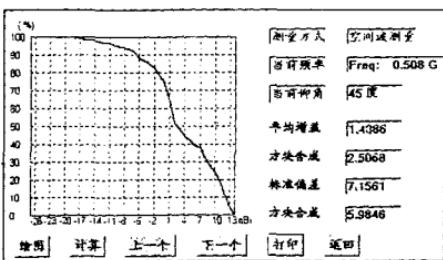


图3 c 天线空间波增益-概率 (45°仰角)

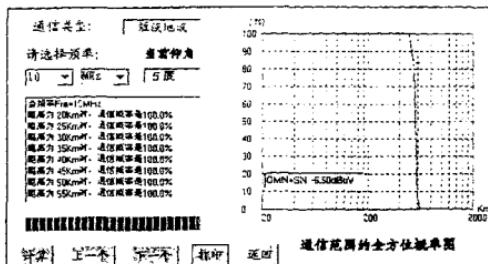


图 5 通信覆盖范围全方位概率图

(b 天线, P=1KW, 短波地波 10MHz, 调制为 A1A)

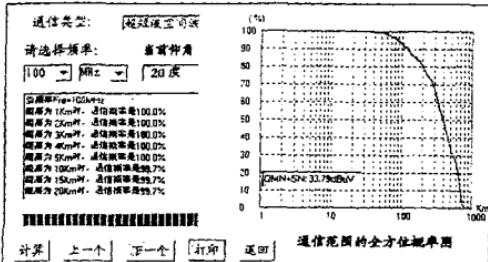


图6 通信覆盖范围全方位概率图

(c 天线, P=0.1KW, 超短波空间波 100MHz, 调制为 AM)

## 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>