

# 破片穿孔毁伤对圆抛物面天线电性能影响的仿真计算\*

袁俊明<sup>1,2</sup>, 张庆明<sup>1</sup>, 刘彦<sup>1</sup>

(1 北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081;

2 中北大学化工与环境学院, 太原 030051)

**摘要:**研究圆抛物面天线在大量破片穿孔毁伤条件下的远场辐射特性规律,利用高频电磁场分析模块 FEKO 软件,基于表面电流积分的物理光学法和矩量法混合使用,对圆抛物面天线的远场辐射特性进行了建模与分析,比较了反射面完好时和不同密度破片对反射面穿孔毁伤后的电性能变化。着重研究了天线反射面在不同密度的破片毁伤后远场辐射特性随破片密度的变化规律,结果表明:反射面天线增益在破片穿孔密度一定大小范围内不变,但随穿孔密度的增大而逐渐减小。

**关键词:**天线毁伤;破片;物理光学法;矩量法;远场辐射方向图

**中图分类号:** O383.3; TN95 **文献标志码:** A

## Simulation and Calculation of Influence of Fragment Damage to Performance of Antenna with Paraboloid

YUAN Junming<sup>1,2</sup>, ZHANG Qingming<sup>1</sup>, LIU Yan<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2 School of Chemical Engineering and Environment, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** The far-field radiation characteristics of circle parabolic reflector subjected to fragments perforated damage was studied. The far field radiation characteristics of circle parabolic reflector was modeled and analyzed using the moment method and the method of physical optics based on surface current integration in the analysis model FEKO of electromagnetic field of high frequency characteristics. The comparison that the electrical performance changes when reflector is perfect and reflector is damaged by fragments was made. The law that far field radiation characteristics changes with the different density of fragments was studied when antenna reflector is damaged by fragments. The results show that the gain of the circle parabolic reflector is invariable in the range of certain density of fragments but it decreases with increase of fragment density.

**Keywords:** antenna damage; fragment; PO method; moment method; far-field radiation pattern

### 0 引言

圆抛物面天线被广泛应用于各种无线电设备中,是卫星通讯、雷达与射电天文等领域的基础设施之一。它也是现代军用雷达天线的一种常见结构形式,安装在雷达运载车厢体上面或裸露在舰艇甲板上,往往成为重点打击的军事目标。通常打击该类天线目标的毁伤元是战斗部爆炸后产生的破片和冲击波,使天线反射面穿孔或变形、馈源贯穿或破裂以达到破坏天线结构目

的,从而使天线正常功能丧失。文献[1-3]是关于破片对赋形反射面天线的穿孔毁伤效应对远场辐射特性影响的初步研究。利用物理光学法对完好及毁伤后的反射面进行了数值建模,自己编程序进行计算,该方法较为复杂且不易实现。国外 AD 报告中提及了破片毁伤天线的内容,但具体的分析方法和结果却未说明<sup>[4]</sup>。文中采用 ANSYS 公司专注解决电大尺寸物理结果的高频电磁场分析模块 FEKO(任意复杂电磁场计算)软件<sup>[5]</sup>,对完好及在大量破片毁伤后的圆

\* 收稿日期:2008-07-10

作者简介:袁俊明(1979-),男,江西宜春人,讲师,博士研究生,研究方向:爆炸与毁伤。

抛物面天线进行建模仿真,着重研究不同密度的破片穿孔毁伤对圆抛物面天线远场辐射特性变化的规律。

## 1 破片毁伤天线的 FEKO 模拟方法

### 1.1 天线穿孔毁伤的基本方法

FEKO 模拟破片毁伤雷达天线反射面的基本方法是:根据实际雷达天线,在 FEKO 中建立相应天线模型,并在天线反射面模型上开小孔,以代替破片的贯穿作用,根据破片的大小、密度和分布特点以决定反射面模型上穿孔的大小、密度和分布,然后根据改进后的雷达天线模型进行计算,得出毁伤后的天线电性能变化情况,并与完好天线电性能比较,以确定雷达天线毁伤程度。这里只讨论破片对天线反射面穿孔毁伤并假设馈源正常工作,不考虑冲击波引起的整体变形和破片侵彻引起的局部变形。

### 1.2 天线穿孔毁伤的理论分析

根据天线理论与设计<sup>[6]</sup>对天线远区辐射场推导的理论可知,通过流分布的积分可以得出远场。对于反射面天线,可以采用馈源天线的入射场在金属反射面上产生的电流。天线普遍的远场辐射电场:

$$E = -j\omega A - (-j\omega A \cdot \hat{r})\hat{r} \quad (1)$$

适合于表面流动磁矢量位普遍表达式:

$$A = \mu \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r} \iiint_V J e^{j\beta \hat{r}r'} dV' \quad (2)$$

将式(2)代入式(1)可得反射面天线的远场辐射电场:

$$E = -j\omega\mu \frac{e^{-j\beta r}}{4\pi r} \iint_{S_r} [J_s - (J_s \cdot \hat{r})\hat{r}] e^{j\beta \hat{r}r'} dS' \quad (3)$$

式中: $\omega$  为辐射频率; $\mu$  为磁导率; $V'$  为源供给体积; $S_r$  为反射面的表面积; $\beta$  为平面波相位常数; $J_s$  为表面电流密度; $r$  为源点到远场点的距离; $\hat{r}$  为传播方向矢量; $r'$  为馈源指向反射面入射点的矢量。

对反射面穿孔毁伤的形状这里近似为方形,如图 1 所示。

由物理光学法(PO)可知,由于毁伤穿孔处没有电流,电流只在其它完好表面区域存在,因

此只要式(3)中被积函数的电流部分改变为式(4)即可:

$$J_s = \begin{cases} J_s & \text{完好时表面处} \\ 0 & \text{穿孔毁伤处} \end{cases} \quad (4)$$

如上所述,可以通过改变破片密度即反射面穿孔密度,建立反射面在破片穿孔毁伤的各种工况下的天线远场辐射特性模型,并进行仿真计算。

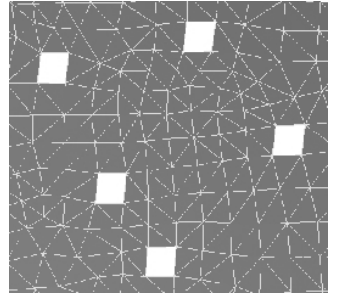


图 1 穿孔毁伤后反射面局部示意图

## 2 天线模型的建立

### 2.1 反射面完好时的天线模型

以圆抛物面天线为例,利用 FEKO 软件模拟完好时和破片对其穿孔毁伤后的电性能变化规律。该天线的反射面半径  $R = 0.75\text{m}$ ,高度  $H = 0.32\text{m}$ ,工作频率为  $1.5\text{GHz}$ ,根据式(5)可计算该反射面天线焦距  $F$ 。

$$F = \frac{R^2}{4H} \quad (5)$$

可知,焦距  $F = 0.44\text{m}$ ,因此馈源的坐标为  $(0, 0, 0.44)$ 。图 2 中工作平面坐标的  $N$ 、 $V$  及  $U$  分别代表  $x$ 、 $y$  及  $z$  方向。

因为这种口径圆抛物反射面天线是电大尺寸,一般采

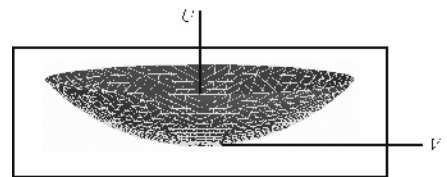


图 2 圆抛物面天线模型

用基于面电流近似的物理光学(PO)法进行分析计算<sup>[7-9]</sup>,而馈源采用赫兹电偶极子,置于焦点上。计算方法采用物理光学法和矩量法混合使用,将反射面天线的馈源部分和反射面部分作为一个整体进行分析。

天线电性能包括效率、增益、副瓣电平等许多参数,一般给出其辐射方向图与轴向增益即可。由天线理论及设计可知,天线的远场辐射方向图主瓣宽度越窄,副瓣越小,增益越高,而且波

瓣宽度越窄,方向性越好,作用距离越远,抗干扰能力越强。

## 2.2 反射面破片毁伤后的模型

根据战斗部对雷达天线攻击角度的不同,破片打击到反射面有两种情况:一种是集中在某个反射面区域,成正态分布穿孔;另一种是随机均匀地分散在反射面各个部位,穿孔分布较均匀。为便于计算,假定单枚破片毁伤反射面穿孔后孔状为均匀方形,方孔边长大约为2cm,且认为破片毁伤反射面时均匀贯穿,因此反射面穿孔认为是均匀分布。为了分析穿孔密度大小对反射面天线的电性能影响变化规律,计算的破片穿孔密度分别是20孔/m<sup>2</sup>、40孔/m<sup>2</sup>、60孔/m<sup>2</sup>、70孔/m<sup>2</sup>、80孔/m<sup>2</sup>、100孔/m<sup>2</sup>、200孔/m<sup>2</sup>、400孔/m<sup>2</sup>、600孔/m<sup>2</sup>。根据试验结果可知,这些破片数量足够考察此类尺寸的天线反射面在战斗部动态飞散角内遭受破片穿孔毁伤情况。

## 3 计算结果与分析

根据上面建立的反射面完好时和穿孔毁伤后的计算模型,利用FEKO软件进行了仿真计算,得到以下不同密度破片毁伤天线的远场辐射特性图,并对这些计算结果进行分析,获得破片密度变化时反射面的穿孔毁伤对天线电性能影响的规律。由于天线垂直面和水平面的辐射方向图变化规律一致,文中仅研究天线水平面方向图及其增益变化规律。

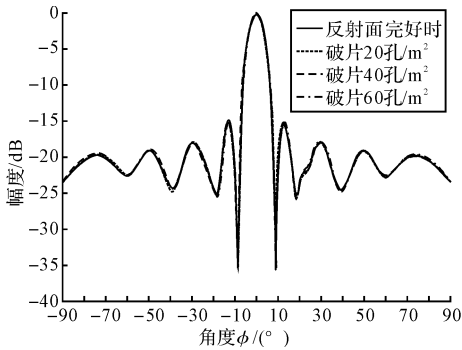


图3 20~60孔/m<sup>2</sup>时水平面方向图曲线

从图3可知,破片密度在20~60孔/m<sup>2</sup>之间变化时,天线水平面方向图的主瓣几乎完全吻合,没有变化,而副瓣稍微有些变化,且变化非常小,可以认为随着天线反射面上破片穿孔密度增加至60孔/m<sup>2</sup>,天线的远场辐射方向图几乎不受

影响。

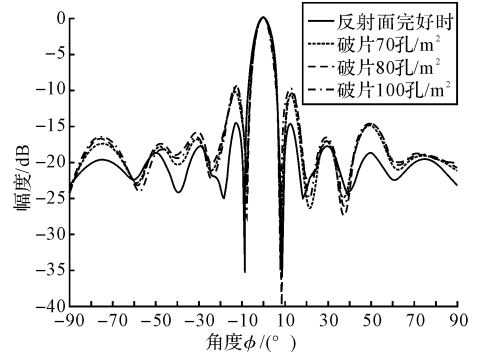


图4 70~100孔/m<sup>2</sup>时水平面方向图曲线

从图4可知,破片密度在70~100孔/m<sup>2</sup>之间变化时,天线水平面方向图的主瓣几乎完全吻合,没有变化,而副瓣稍微有些抬高,但变化较小,可以认为随着天线反射面上破片穿孔密度从70孔/m<sup>2</sup>增加至100孔/m<sup>2</sup>,天线的远场辐射方向图开始受到穿孔毁伤的影响。

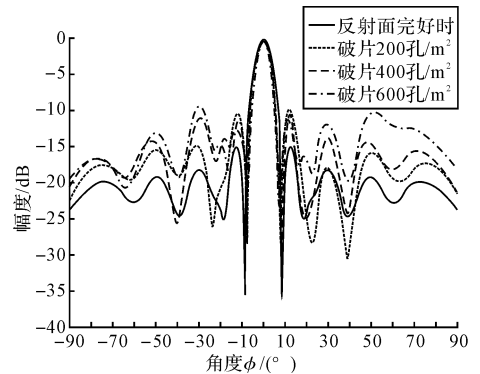


图5 200~600孔/m<sup>2</sup>时水平面方向图曲线

从图5可知,破片密度在200~600孔/m<sup>2</sup>之间变化时,天线水平面方向图的主瓣宽度开始变大,且副瓣稍微抬高较大,可以认为随着天线反射面上破片穿孔密度从200孔/m<sup>2</sup>增加至600孔/m<sup>2</sup>,天线的远场辐射方向图开始受到穿孔毁伤的较大影响。

从图6可知,破片密度从20孔/m<sup>2</sup>增至60孔/m<sup>2</sup>时,天线增益值不变,说明该破片密度条件下的穿孔毁伤对天线电性能没有影响。而破片密度从70孔/m<sup>2</sup>增至100孔/m<sup>2</sup>时,天线增益值开始下降,但下降幅度较小,说明该破片密度条件下的穿孔毁伤对天线的电性能开始有影响,但影响不大。随着天线反射面上破片穿孔密度从200孔/m<sup>2</sup>增加至600孔/m<sup>2</sup>后,天线的增益值呈现下降趋势,且下降幅度较大,说明该破片

密度条件下的穿孔毁伤对天线的电性能影响开始增大,天线增益值下降很快。

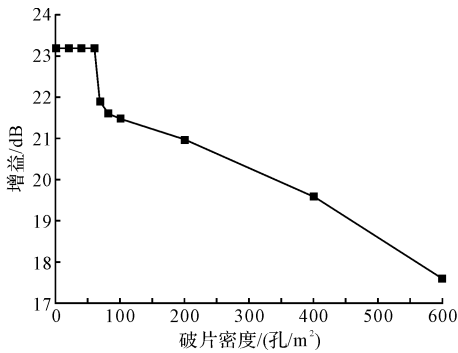


图 6 破片密度变化时天线增益变化图

## 4 结 论

根据物理光学法和矩量法,利用 FEKO 软件,对圆抛物面天线进行了建模仿真,对不同破片密度下天线穿孔毁伤工况进行了仿真计算,获得了破片穿孔密度变化下的天线远场辐射特性图,并对计算结果进行了对比分析,得到了圆抛物面天线反射面在大量破片穿孔毁伤后,它的电性能随破片穿孔密度变化的规律,得出结论:圆抛物面天线在遭受大量破片毁伤后,且仅对反射面造成穿孔毁伤的条件下,随着破片密度增大,天线电性能在破片密度为  $20 \sim 60$  孔/ $m^2$  时不受影响,增益值不变;在破片密度为  $70 \sim 100$  孔/ $m^2$  时,天线电性能开始受到影响且增益值出现缓慢下降趋势;在破片密度为  $200 \sim 600$  孔/ $m^2$  时,天线电性能开始受到较大影响,且增益值下降很快。

由上述分析可知,单纯依靠破片对天线反射

面的穿孔毁伤致使天线电性能下降的策略很难达到战术目的,该结论与试验结果一致。另外,该结论对评价实战中雷达的生存能力及评价反辐射武器的设计、作战效能也提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] 肖疆,徐晓文,董涛.单孔毁伤对赋形反射面天线辐射特性的影响[J].北京理工大学学报,2003,23(6):768-771.
- [2] 肖疆,徐晓文,董涛.多孔毁伤时赋形反射面天线辐射特性的研究[J].电波科学学报,2003,18(6):648-651.
- [3] 董涛,徐晓文,肖疆.赋形反射面天线毁伤效应研究[J].现代雷达,2003,25(10):54-56.
- [4] 肖疆.赋形反射面天线在穿孔毁伤条件下辐射特性的研究[D].北京:北京理工大学,2003.
- [5] 郑立志.FEKO在天线设计中应用[J].CAD/CAM与制造业信息化,2004(9):133-135.
- [6] Warren L Stutzman, Gary A Thiele.天线理论与设计[M].朱守正,安同一,译.北京:人民邮电出版社,2006.
- [7] Carberry T F. Analysis theory for the shaped-beam doubly curved reflector antenna[J]. IEEE Trans A P, 1969,17(2):131-138.
- [8] Winter C F. Dual vertical beam properties of doubly curved reflectors[J]. IEEE Trans A P, 1971, 19(2):174-180.
- [9] Duan D W, Yahya R S. A generalized diffracts ion synthesis technique for high performance reflector Antenna[J]. IEEE Trans A P, 1995,43(1):27-40.

(上接第 128 页)

侵彻体侵彻多层间隔靶板数值模拟将是下一步研究的问题。

参考文献:

- [1] 韩永要,赵国志,方清.伸出式侵彻体斜侵彻有限厚靶板数值模拟[J].弹箭与制导学报,2006,26(4):169-172.
- [2] 韩永要,赵国志,方清,等.侵彻体垂直侵彻半无限靶数值模拟[J].弹道学报,2007,19(1):64-67.
- [3] 韩永要,赵国志,李向东,等.长管体与长杆体侵彻靶板对比研究[J].力学与实践,2004,26(4):56-58.
- [4] 韩永要,赵国志,李向东,等.固连接异形侵彻体垂

直侵彻半无限靶简化模型[J].弹道学报,2004,16(3):78-82.

- [5] 林大金,沈培辉,赵国志.有攻角长管体垂直侵彻半无限厚靶的简化模型[J].弹道学报,2007,19(2):55-57.
- [6] 赵国志.穿甲工程力学[M].北京:兵器工业出版社,1992:106-107.
- [7] Livermore Software Technology Corporation LS-DYNA Keyword User's Manual(970v)[Z].2003.
- [8] 张巨香.大攻角长杆体垂直侵彻半无限靶的研究[D].南京:南京理工大学,2002.