

应用 UTD 分析椭圆柱上天线的辐射特性*

陈 晨, 郭陈江, 张 凯, 康国栋

(西北工业大学电子信息学院, 西安 710072)

[摘要] 文中以单极天线为例应用 UTD 的曲面绕射理论对椭圆柱上天线的辐射特性进行了研究, 给出了两个相关算例, 结果与实际基本吻合, 证明了 UTD 方法的有效性。并简要讨论了工程应用中的模型简化以及影响椭圆柱模型方向图的因素。

[关键词] UTD; 椭圆柱; 单极天线

[中图分类号] TN820.1 [文献标识码] A

Analysis of Radiation From an Antenna on An Elliptic Cylinder by UTD

CHEN Chen, GUO Chen-jiang, ZHANG Kai, KANG Guo-dong

(School of electronic and Information, NWPU, Xi'an 710072, China)

Abstract: In this paper, the radiation from a monopole on an elliptic cylinder is discussed by UTD for convex surfaces and two examples are given whose results are consistent with experimental data, which proves UTD to be available. Furthermore, the simplification for the model of elliptic cylinder in engineering application and the factors that affect the radiation pattern are then referred to in this paper.

Keywords: UTD; elliptic cylinder; monopole

1 引言

在分析电大尺寸目标的电磁辐射和散射问题时, 一致性绕射理论(UTD)是一种有效的方法。而在分析天线处于复杂环境条件下的辐射特性时, 一致性绕射理论更是得到了普遍的应用。目前, UTD 已经广泛应用于机载、船载以及卫星上天线的研究中^[1~2]。在用 UTD 进行机载天线理论研究的过程中, 飞机数学模型的建立是关键。文中应用 UTD 分析了椭圆柱上单极天线的辐射特性, 得出了相应结果并进行了讨论。

2 计算理论

UTD 曲面绕射理论的绕射系数是通过平面波在理想导电圆柱上的绕射的典型问题的解推广得到的。而在分析椭圆柱上天线的辐射特性时就归结为计算下列场分量: (1) 亮区直射场; (2) 阴影区绕射场。散射总场就是以上两种场分

量的和。

2.1 源在曲面上的模型

如图 1 和图 2 所示, 源位于光滑凸曲面上的点 Q' , P_S 和 P_L 分别为阴影区和亮区的场点, \hat{n} 和 \hat{n}' 为曲面外法线方向, \hat{t} 、 \hat{t}' 及 \hat{t}'_1 为表面切线方向, \hat{b} 、 \hat{b}' 及 \hat{b}'_1 为副法线方向, \hat{s} 为从源点到场点的单位矢量, $\cos\theta' = \hat{n}' \cdot \hat{s}$ 。

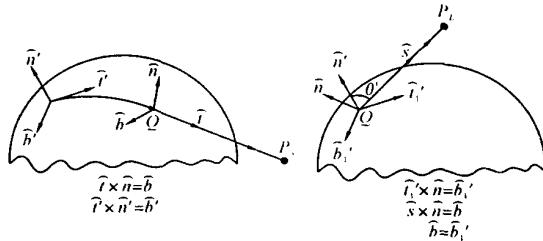


图 1 场点在阴影区

2.2 单极子等效源

对理想导电光滑凸曲面上的单极子, 单极子上任意一点 Q' 的无穷小电流矩为:

$$d\mathbf{P}_e(Q') = I(l') dl' \hat{n}' \quad (1)$$

* 收稿日期: 2005-05-11

作者简介: 陈晨(1982—), 男, 山东淄博人, 硕士研究生, 研究方向: 机载天线方向图计算及耦合分析。

图 2 场点在亮区

其中 $I(l')$ 表示单极子上的电流分布, l' 是从单极子底部 Q' 沿振子长度的距离。于是理想导电曲面存在时辐射的电流矩 $dP_e(Q')$ 就构成了曲面外 P 点的电场 $dE_e(P \mid l')$ 的等效源。

2.3 亮区直射场

当单极子位于曲面上 Q' 处, 而场点 P_L 位于照明区时, 直射场为:

$$dE_e(P_L \mid Q') = dP_e(Q') \bar{T}_e \frac{e^{-jks}}{s} \quad (2)$$

\bar{T}_e 为亮区直射场并矢系数:

$$\bar{T}_e = \frac{-jkZ_0}{4\pi} (\hat{n}' \hat{n} M + \hat{n}' \hat{b} N) \quad (3)$$

上两式中, $Z_0 = 120\pi$, 是自由空间的波阻抗; $k = 2\pi/\lambda$ 为自由空间波数; s 为源点到场点的距离; 而 M 和 N 是从理想导电圆柱和圆球上辐射的典型问题渐进解中导出的, 见文献[1]。

当场点位于深亮区时, 亮区直射场可近似表示为:

$$dE_e(P_L \mid Q') \sim \frac{-jkZ_0}{4\pi} dP_e(Q') \cdot (\hat{n}' \hat{n} 2 \sin \theta) \frac{e^{-jks}}{s} \quad (4)$$

2.4 阴影区绕射场

根据 UTD, 当场点 P_s 位于阴影区时, 该点的绕射场为:

$$dE_e(P_s \mid Q') = dP_e(Q') \bar{T}_e(Q' \mid Q) \sqrt{\frac{\rho_d}{s^d(\rho_d + s^d)}} e^{-jks^d} \quad (5)$$

其中 s^d 为绕射点到场点的距离; $\bar{T}_e(Q' \mid Q)$ 为并矢绕射系数, 可以看作一传输函数, 它不仅描述了 Q' 点处表面射线场的发射和沿从 Q' 点到 Q 点的短程线路上表面射线场的振幅和相位变化, 还描述了这一表面射线场在 Q 点的绕射, 其定义如下:

$$\bar{T}_e(Q' \mid Q) = \frac{-jkZ_0}{4\pi} [\hat{n}' \hat{n} T_s(Q') H + \hat{n}' \hat{b} T_b(Q') S] e^{-jks} \sqrt{\frac{d\psi_0}{d\eta(Q)}} \left[\frac{\rho_g(Q)}{\rho_g(Q')} \right]^{1/6} \quad (6)$$

式(5)、(6) 中的其它各量见文献[1]。

值得注意的是当场点位于深影区时, H 和 S 可以用下式表示:

$$H(\xi) \mid_{\xi \gg 0} \sim \sum_{n=1}^N \{ L_n^h(Q') \exp[- \int_{Q'}^Q \alpha_n^h(t') dt'] D_n^h(Q) \} \left[\frac{\rho_g(Q)}{\rho_g(Q')} \right]^{-1/6}$$

$$S(\xi) \mid_{\xi \gg 0} \sim \sum_{n=1}^N \{ L_n^s(Q') \exp[-$$

$$\int_{Q'}^Q \alpha_n^s(t') dt' \} D_n^s(Q) \} \left[\frac{\rho_g(Q)}{\rho_g(Q')} \right]^{-1/6} \quad (7)$$

式(7) 中各量见文献[1]。

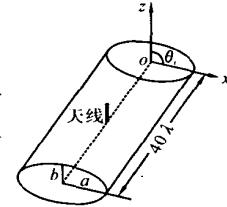


图 3 计算模型

3 结果及分析

文中应用 UTD 的曲面绕射理论分析了如图 3 所示的椭圆柱计算模型。给出了如下两个算例。

算例 1: 如图 3 所示计算

模型, 椭圆柱长短半轴 $a = b = 1.78\lambda$, 单极天线沿椭圆柱短半轴延长线方向垂直放置在椭圆柱面上, 工作频率 1GHz。通过计算所得 xoz 平面的远场方向图与文献[3] 给出的结果对比如图 4 所示, 可见两者吻合较好。

算例 2: 计算模型如图 3 所示, 椭圆柱长半轴 $a = 2\lambda$, 短半轴 $b = 1.5\lambda$, 单极天线沿椭圆柱短半轴延长线方向垂直放置在椭圆柱面上, 工作频率为 1GHz。通过计算所得 xoz 平面的远场方向图与实验结果对比如图 5 所示, 可见计算结果与实际符合较好。

图 4 及图 5 证明了本文分析椭圆柱模型方法的有效性。

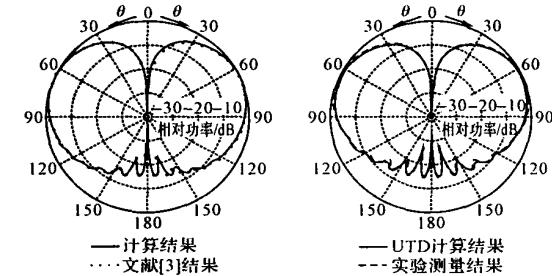


图 4 椭圆柱长短半轴 $a = b = 1.78\lambda$ 时
图 5 椭圆柱 $a = 2\lambda$, $b = 1.5\lambda$ 时
 xoz 面方向图

由于椭圆柱面上的射线寻迹比较复杂, 因此, 在其几何尺寸比较特殊时应力求简化模型。在实际工程应用中, 如果 $a/b \sim 1$ 时, 椭圆柱可以用圆柱来近似, 因为圆柱的射线寻迹远比椭圆柱简单。而在 $a/b \sim \infty$ 时, 可以用有限大的平板近似椭圆柱。

通过图 6 和图 7 可以看出椭圆柱的工作频率及几何尺寸对椭圆柱模型散射特性的影响。如图 6 所示, 椭圆柱 a 或 b 保持不变, a/b 增大时其方向图的主瓣变窄, 方向性变强。而当 a/b 不变, a 或 b 增大时, 方向图的副瓣降低。以上结论适合

于 a/b 不是很大的前提下。而通过图 7 可以看出几何尺寸固定而工作频率减小时方向图的副瓣降低。

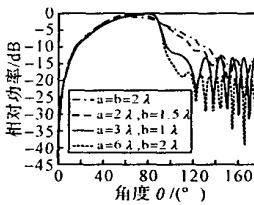
工作频率 $f=1\text{GHz}$

图 6 几何尺寸对椭圆柱方向图的影响

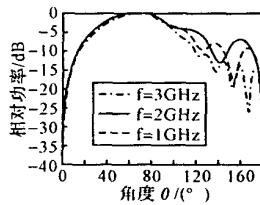
 $a=2\text{m}, b=1.5\text{m}$

图 7 频率变化对椭圆柱方向图的影响

4 结论

文中应用 UTD 中源在曲面上的曲面绕射理论分析了单极天线位于椭圆柱上的模型,给出了两个算例,结果与实际吻合较好。证明了本文分析椭圆柱模型方法的正确性。

[参考文献]

(上接第 780 页)

5 可能的解决方案

鉴于阻尼处理将会导致附加质量等一系列问题,就必须设法减小或者消除这些影响。最直接的方案,就是适当加长鱼雷壳体(若是在外部进行处理则不需要),以增加雷体浮力,平衡附加质量。根据分析,如果阻尼材料的密度与海水相当,则平衡阻尼处理引起的质量增加需要的鱼雷壳体长度为 $\Delta l=2hl/r$,对 324 雷(假设雷体长度为 2m),阻尼层为 2mm 时, $\Delta l=49.4\text{mm}$,该增加量还是能接受的。此外,阻尼处理的优化设计是解决这些问题的一种有效方法。

传统的附加阻尼结构减振设计中是将阻尼材料完全覆盖于待控结构表面,在这种情况下,阻尼处理的优化设计主要是结构参数设计,具体包括选择合适的阻尼材料类型,确定最优的层数和厚度等,以使结构的损耗因子达到最大值。但是更常见的情况是阻尼处理受到诸如附加质量、固有频率、结构刚度等约束条件的限制,特别是对鱼雷来说,附加质量的增加直接意味着战斗效力的降低。而经过分析可知:在雷体某些部位敷设的阻尼材料对减振仅有非常有限的作用或者说根本没有作用,这种情形是由自由阻尼结构阻尼机理及雷体本身的振动特征决定的,它的存在

- [1] P. H. Pathak, Techniques for High-Frequency Problems, in Antenna handbook: theory, applications, and design[M]. New York : Van Nostrand Reinhold, 1988.
- [2] W. D. Burnside, R. J. Marhefka, Antennas on Aircraft, Ships, or Any Large, Complex Environment, in Antenna handbook: theory, applications, and design[M]. New York : Van Nostrand Reinhold, 1988.
- [3] 汪茂光. 几何绕射理论[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1994.
- [4] P. H. Pathak, W. D. Burnside, and R. G. Kouyoumjian. A Uniform GTD Analysis of the Diffraction of Electro-magnetic Waves by a Smooth Convex Surface[J]. IEEE Trans. Antennas Propag 1980, AP-28(5):631—642.
- [5] R. G. Kouyoumjian. Asymptotic high-frequency methods[J]. Proc. IEEE 1965, 53(8):864—876.
- [6] R. G. Kouyoumjian. The geometrical theory of diffraction and its applications, in Numerical and Asymptotic Techniques in Electromagnetics[M]. New York : Springer-Verlag, 1975.

降低了鱼雷的有效载荷,因此应该设法避免。如何避免,实际上就是阻尼处理位置优化的问题。

当然,鱼雷阻尼处理对稳定性及流体动力方面的影响也可以通过阻尼处理位置的优化设计得到一定程度的解决。关于该问题,将在鱼雷阻尼处理优化设计专题中进一步讨论。

6 小结

由上述分析可知:鱼雷阻尼处理能够有效地增加鱼雷壳体的结构阻尼,以实现降低鱼雷自噪声和辐射噪声,提高其探测及声隐身能力的目的,但同时也会带来诸如附加质量、稳定性等方面不利影响,这些影响可以通过加长鱼雷壳体或进一步对阻尼处理的优化设计来得到有效解决。

[参考文献]

- [1] 戴德沛, 阻尼减振降噪技术[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1986.
- [2] 张宇文, 鱼雷总体设计原理与方法[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1998.
- [3] [俄]阿·斯·尼基福罗夫著, 谢信、王柯译校. 船体结构声学设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998.
- [4] 盛美萍、王敏庆、孙进才, 噪声与振动控制技术基础[M]. 北京: 科学出版社, 2001.

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)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)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),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>