

# “微波技术”课程中 计算机绘制电场线的探讨与分析\*

李 虎 梅中磊 丁光泽 张晓萍

(兰州大学 信息科学与工程学院, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要** 文章分析探讨了计算机绘制电场线的两种方法, 在此基础上提出了改进措施, 并用改进后的方法采用 Matlab 语言绘制了圆波导中  $H_{21}$  波电力线图, 证明了改进方法的有效性和可行性, 文中也简单介绍了常用于解决电磁场问题的其它两种软件, 为进一步推进微波技术课程的教学改革奠定了良好的基础。

**关键词** 电场线 matlab 语言 圆形波导 计算机绘制

**中图分类号** G642.0 **文献标识码** A

“微波技术”课程是电子信息、通信工程类专业的一门重要专业基础课, 是学生的概念从低频过渡到高频段的关键课程, 其教学目的是培养学生运用所学知识独立分析与解决实际问题的能力, 以及发现与提出问题的能力和创新能力, 并为后续专业课打好必要的理论基础<sup>[1]</sup>。学生通过这门课需建立高频段许多重要概念, 尤其是涉及到场的一些问题, 其特点是所分析的对象和模型具有三维的动态分布<sup>[2]</sup>, 概念抽象, 理论性强, 需要学生具有较强的空间想象能力和逻辑思维能力。由于初次建立高频段的概念, 学生对这些基本概念的理解有一定难度。如何采用多种教学方法和教学手段, 利用现代教育技术, 将抽象复杂的场的概念转化为具体直观的图像, 通过绘制电场线、磁场线形象地描述场分布, 使学生直接观察各种传播模式下电磁场的空间分布特性, 深刻理解电磁场的实质, 并引导学生亲自动手实践, 激发他们学习这门课程的积极性和创造性, 是这门课程近年来主要探索的改革思路。在实现上述改革的过程中, 绘制波导中各传输模式电磁场分布的电场线和磁场线是关键问题之一。绘制电场线(或磁场线)的难点是在二维坐标中普通的绘图指令仅可画出纵坐标和横坐标的关系, 而波导中的场分量表达式描述的并非坐标系中的两个分量的关系解, 所以无法直接由函数关系绘制图形, 故而需另辟蹊径。本文对两种计算机绘制电场线(或磁场线)的方法进行了分析探讨, 发现了各自的优缺点, 在此基础上提出了改进的方法, 并用改进后的方法应用 Matlab 语言绘制了  $H_{21}$  波电力线图, 为进一步推进微波技术课程的教学改革奠定了良好的基础。

## 一、电力线的绘制方法

### (一) 用电场线描述电场

用场线描述矢量场是物理学中的一个重要思想方法, 电场线(或磁场线)实际上就是一阶微分方程的解<sup>[3]</sup>:

\* 收稿日期 2007-11-30  
资助项目 兰州大学第六批重点课程建设项目。  
作者简介 李虎(1985-)男, 安徽阜阳人, 硕士研究生, 主要从事光纤通信研究。

$$\frac{dy}{dx} = \tan [\alpha(x, y)] = \frac{E_y(x, y)}{E_x(x, y)} \quad (2.1)$$

$\alpha$  是点  $(x, y)$  处的场矢量与  $x$  轴正方向的夹角。由基本单位矢量之间的关系可知, 直角坐标系下的分量  $E_x$  和  $E_y$  可以用极坐标系下的分量  $E_r$  和  $E_\phi$  来表示<sup>[4]</sup>:

$$E_x = E_r \cos \phi - E_\phi \sin \phi \quad (2.2)$$

$$E_y = E_r \sin \phi + E_\phi \cos \phi \quad (2.3)$$

在用计算机进行数值模拟时, 微分方程 (2.1) 可近似为以下两个等式:

$$x_{i+1} = x_i + \delta_s \cos \alpha_i \quad (2.4)$$

$$y_{i+1} = y_i + \delta_s \sin \alpha_i$$

其中  $(x_i, y_i)$  是点  $P_i$  的坐标, 如图 (1) 所示,  $\delta_s$  为所取步长。按 2.4 式可以逐点画出电力线, 每一个点的坐标都由前一个点的坐标和电力线方程决定。图 2 是根据此方法画出的圆波导  $H_{11}$  波电力线图。此方法的优点是形象地展现了圆波导横截面上的场线分布, 缺点是在绘制过程中, 不易明确标出场的方向, 且编程复杂, 不利于学生们操作实践, 当场的分布较复杂时, 画电场线的起始点不易选择。另外, 根据  $\alpha$  的大小及场线的位置, 方程 (2.4) 有时需要修正为:

$$x_{i+1} = x_i - \delta_s \cos \alpha_i \quad (2.5)$$

$$y_{i+1} = y_i - \delta_s \sin \alpha_i$$

(二) 场分布的箭头图表示<sup>[5]</sup>

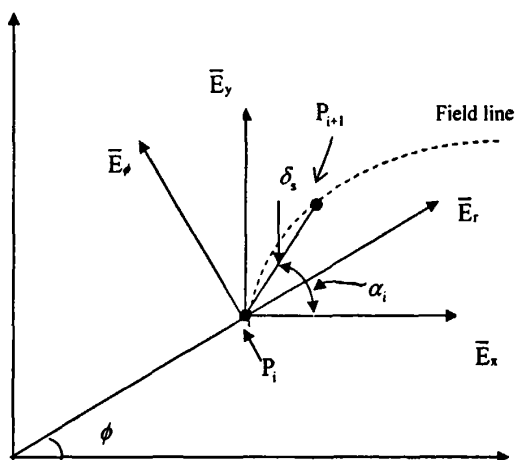


图 1 电场线的一阶微分方程数值解

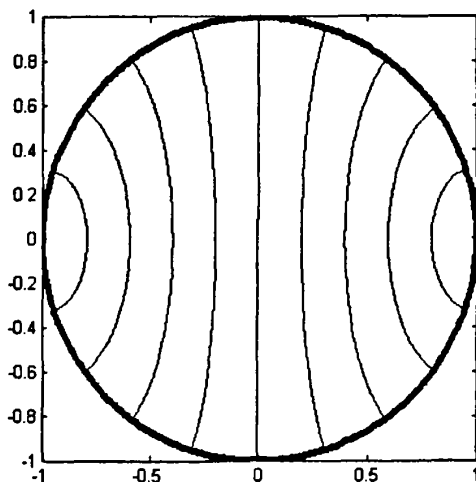


图 2 圆波导中  $H_{11}$  波电力线图

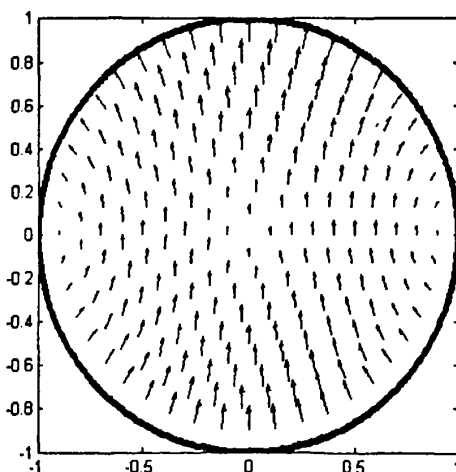


图 3 圆波导中  $H_{11}$  波电场分布的二维矢量箭头图

波导中的场分布除了可以用平滑的场线描述以外, 还可以利用 Matlab 中的 Quiver 函数绘制出各种模式场分布的二维矢量箭头图。用此方法编程简单, 易于实现。理论上可以直观地展现出

任意模式下任意位置的场的大小和方向。用该方法绘制的圆波导  $H_{11}$  波电场图如图 3 所示, 由图看出该方法没有细致完整的描述场的分布情况。

### (三) 改进的方法

针对 2.1 中绘制场线的缺点及难点, 可以将上述两种方法结合, 绘制任意模式的场线。具体做法是: 先用 Quiver 函数大致绘制出场的分布, 作为微分方程方法的参考, 并由此确定画电场线的起点及方程 (2.4) 与 (2.5) 的选择。图 4 为用改进方法绘出的圆波导中  $H_{21}$  波电力线图。作为国际公认的最优秀的科技应用软件, Matlab 在电磁场和微波教学中有着广泛应用, 这得益于其直观高效的编程特点。Matlab 除了具备卓越的数值计算能力外, 它还还为数据分析和数据可视化、算法和应用程序开发提供了最核心的数学和高级图形编辑工具。

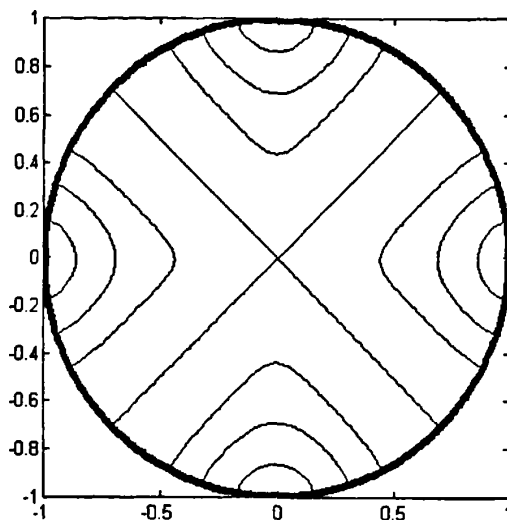


图 4 圆波导中  $H_{21}$  波电力线图

## 二、其它两种常用的仿真软件简介

Mathematic<sup>[6]</sup> 软件在数值计算及逻辑分析中有其优越的功能, 可用来解决各种领域里涉及到的复杂的数值分析和计算, 同时也具备较强的图形绘制功能, 能绘出各种函数图形, 并可自动完成许多复杂的计算与推理工作, 这给电磁场的数值计算结果的可视化带来极大的方便。制作动画和手动画的相关软件<sup>[7]</sup> Macromedia Flash 是一种矢量图形编辑和动画制作软件, 它界面友好, 操作方便, 具有简洁、实用性很强的动作脚本语言, 可进行编程, 以实现复杂的动作控制及交互功能。它的输出文件可以根据需要选择合适的形式, 包括各种静态和动态图片以及 html 文件等。以 Flash 为主体结合 3Dmax 制作出各种多姿多彩的动画课件在电磁场微波教学中会有广泛的应用。

笔者研究分析了微波技术课程中计算机绘制圆波导中传输模式电磁场分布的电场线和磁场线的方法, 用文中分析的方法结合 Matlab 语言的相关功能可以绘制各种电磁场的电场线或磁场线, 其主要思路也可用于与电磁场相关的其它课程, 为该类课程教学方法的改革提供了有效的方法。

### 参考文献:

- [1] 曹斌照, 许福水, 梅中磊. 关于“电磁场理论”课程题库建设的研究[J]. 高等理科教育, 2006 (4): 112-114.
- [2] 张晓萍, 许福水, 谭志红. 《微波技术》、《电磁场理论》课程计算机辅助教学的研究与探讨[J]. 高等理科教育, 2000 (3): 73-74.
- [3] E. R. Nagelberg, J. M. Hoffspiegel. Computer - Graphic Analysis of Dielectric waveguides [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1967 (3): 187-189.
- [4] K. A. Zaki, C. Chen. Field Distribution of Hybrid Modes in Dielectric Loaded Waveguides [J]. Microwave Symposium Digest, 1985, 85 (1): 461-464.
- [5] C. S. Lee, S. W. Lee, S. L. Chuang. Plot of Modal Field Distribution in Rectangular and Circular Waveguides [J]. Ieee Transactions On Microwave Theory And Techniques, 1985 (3).
- [6] 王国伟, 杨能彪, 刘浩. 基于 Mathematic 的圆形波导电磁场的可视化[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23 (11): 51-53.
- [7] 许福水, 吕英奇, 曹斌照, 等. 多媒体教学课件中手动画的制作与应用 [J]. 高等理科教育, 2007 (1): 39-41.