

微波热疗天线的设计与优化

蒋颉¹ 周蔚红² 何建国¹

(¹国防科技大学电子科学与工程学院，长沙 410073；²国防科技大学光电学院，长沙 410073)

Jiangjie_nudt@163.com

摘要：设计了一种工作在 915MHz 频率的新型微波热疗天线。运用 CST 仿真软件建立人体组织微波热疗模型，对加脊圆波导天线和优化后的加脊圆波导天线在人体组织中产生的电磁场分布及比吸收率(SAR)进行了分析计算，并且比较了优化前后两种辐射天线在 915MHz 频率时的 S 参数。结果显示：通过优化的辐射天线结构，减少了天线的能量反射，电场的分布更为集中，有效加温深度也更好。

关键词：微波热疗，加脊圆波导，比吸收率，S 参数

Design and Optimize of A Microwave Hyperthermic Antenna

JIANG jie^[1], ZHOU weihong^[2], HE jianguo^[1]

(¹College of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073；

²College of Optoelectric Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract: A new antenna for microwave hyperthermic is designed in this paper, working at 915MHz. The simulation software CST is used to analyze the distributions of the electromagnetic fields and the specific absorption rate in human tissues to ridged circular waveguide antenna and the optimized one. S parameter of ridged circular waveguide antenna is compared with the optimized one at 915MHz. The results show that the optimized radiant antenna reduces the reflected energy, makes the electric field more concentrated and the effective heating depth better.

Keywords: Microwave hyperthermia; Ridged circular waveguide; Specific absorption rate; S parameter

1 引言

微波热疗就是利用电磁能量在人体组织中所产生的热效应，使组织细胞温度升至41 到45 的有效治疗高温区，并且维持一定的时间，加速病变细胞的死亡，但不损伤正常细胞组织^[1]。因此合理设计辐射器天线的结构，精确计算辐射电场分布，是正确判断微波热疗过程温度热场分布的前提。

本文采用CST仿真软件建立了微波热疗模型，通过该模型设计了一种高效实用的辐射天线，具有很好的近场辐射方向性，同时保证了良好的SAR 分布。

2 微波热疗建模

2.1 天线模型

为了避免对组织细胞造成伤害，通常采用具有若方向性的圆波导天线，其工作频率为915MHz。然而，通过仿真分析发现，单纯的圆波导天线的电

磁近场聚焦作用较差。为了使天线具有更好的辐射性能，设计中采用给圆波导加脊的方式，使得电磁场分布集中在两脊之间。为了保证阻抗的匹配，将同轴线的外导体连接在脊波导边上，内导体延伸至相对的脊内达到匹配，形成单极辐射器；同时脊为线性变化，阻抗由 52Ω 渐变到 165Ω 。如图1(a)所示，其中圆波导半径 $R = 7.367cm$ ，长度为 $L = 16.78cm$ ，壁厚 $t = 0.35cm$ ，后腔深度 $l = 0.35cm$ ，波导内脊间距 $h_1 = 0.886cm$ ，辐射口面脊间距 $h_2 = 4.48cm$ ，采用 50Ω 同轴馈电。

由于体膜表面电磁反射较大，为进一步提高治疗效率，须对其结构加以优化。为了获得更好的辐射效率，设计中采用介质填充圆波导天线腔体，并在天线口面加载厚度为 $\lambda / 4$ 的三层介质实现匹配变换，该结构不仅可以抵消体模表面反射回波对天线的影响，而且可以增强电场的方向性，减小了电场能量的泄漏。结构如图1所示。

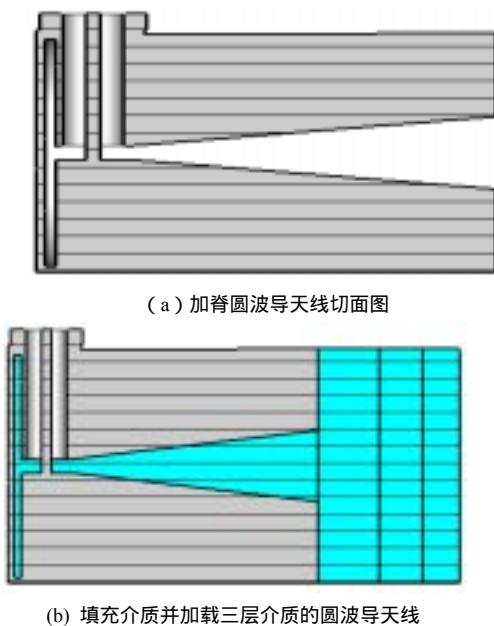


图1 仿真天线结构视图

2.2 人体组织模型

根据辐射天线口径的大小和方便实测的原则，确定仿真模拟的体模箱的截面尺寸为 $30cm \times 30cm$ ，厚度为20cm，置于距离辐射天线1cm处；在915MHz频率下人体组织的相对介电常数 $\epsilon = 51$ ，磁导率 $\mu = 1$ ，电导率 $\sigma = 1.28S/m$ 。

3 参数提取

3.1 比吸收率(SAR)分布的计算

比吸收率(SAR)的定义是单位质量生物组织对电磁场能量的吸收率，计算公式为：

$$SAR(W/Kg) = \frac{\sigma}{2\rho} |E|^2$$

上式中 ρ 和 σ 分别表示组织的密度和电导率， $\rho = 1.05g/cm^3$ ， $\sigma = 1.28S/m$ 。辐射天线的导体及绝缘介质的SAR为0。

3.2 SAR与热疗时间的关系

由于人体组织吸收电磁波能量后产生热量，在温度上升到治疗要求的条件时，可用量热法测出SAR与热疗时间的关系。在组织热扩散等影响可以忽略的条件下，测出SAR与热疗时间的关系表达式为：

$$SAR(W/Kg) = c \frac{VT}{Vt}$$

上式中C为组织的比热，单位为 J/KgK ， Vt 为热疗的时间，单位为s， VT 是温度上升到变化量，

单位为K。组织的比热为常量，所以从上式中可以得出，在加温治疗的过程中，SAR越大，则温度上升更快，治疗时间更短，辐射剂量越小。

4 计算结果及其分析

计算采用的CST微波高频仿真软件。源为TEM模，加在辐射天线的输入端口，功率为1W。对结构优化前后的两个辐射天线在组织中产生的电磁场和SAR分布以及辐射天线输入端口的S参数进行计算比较。

电场强度取模值 $|E|$ ，在XOY平面，体模放置在距天线辐射口面1cm处，如图2所示，图3给出了体模不同深度条件下的SAR分布图，图4为 S_{11} 的扫频图。在图2和图3中，左侧均为优化前的分布图，右侧为优化后的分布图。

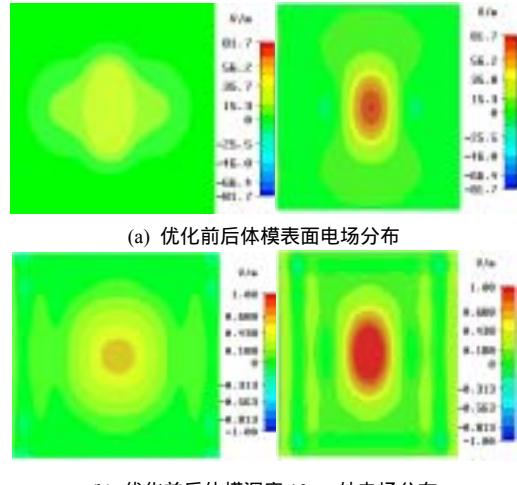


图2 体模中的电场分布图

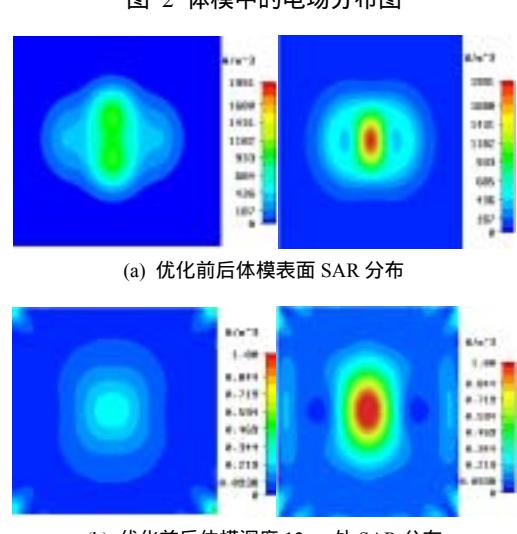


图3 体模中的 SAR 分布图

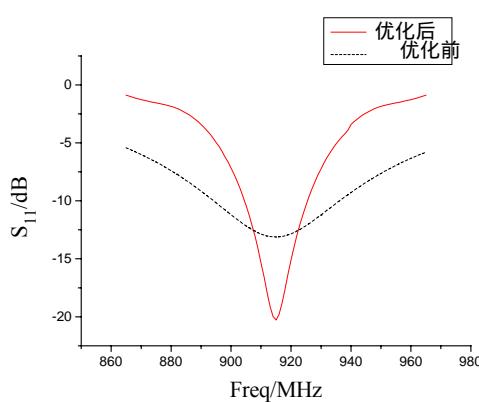


图4 结构优化前后的 S_{11} 扫频图

从辐射天线在体膜不同深度的电场分布(见图2)可以看出,经过介质填充并在辐射口面加载三层介质优化以后,电场聚焦明显,而且在相同深度条件下,场强更大,同时电场分布均匀,保证了有效加温面积。

从SAR在体膜不同深度分布图(见图3),优化前后天线的SAR分布都较均匀,而且优化后的SAR值高于优化前,改善有效加温深度,减少治疗时间和辐射剂量。

从 S_{11} 对比图(见图4)得到,在优化前后曲线的最低点均落在915MHz,而优化前 S_{11} 为-13.12dB,优化后为-20.26dB,优化后的能量反射更小,辐射效率得到提高。

5 结论

医用微波热疗天线与一般作用于远场的天线不同,热疗天线作用于近场区域^[8]。它应具有将传

作者简介:蒋颉,男,硕士研究生,主要研究领域为天线技术与电磁磁场的生物效应;周蔚红,女,博士,讲师,主要研究领域为光子电磁学;何建国,男,教授、博士生导师,电子学会高级会员,主要研究领域为电磁计算与超宽带技术。

输线上的导行波转换为自由空间电磁波,并将辐射能量集中形成定向辐射的功能。

本文通过仿真,设计并改进了一种新型的微波热疗天线,实现了微波热疗天线对生物组织加热效果的计算机模拟,并做出对比。通过优化改进,辐射天线的阻抗匹配程度更好,反射回腔体的功率小,提高了辐射功率的利用率,保证微波发射器正常工作和稳定,同时优化后电场近场的辐射方向性显著提高,保证了与治疗部位良好的一致性,实现高效率治疗,避免损害周围正常组织和器官,对改善微波肿瘤热疗的临床治疗效果具有重要的意义。

参考文献

- [1] 林世寅.肿瘤热疗物理学概要[J].医学物理,1986,3(2):44-45
- [2] Koichi Ito, Kazuyuki Saito. Microwave Antennas for Thermal Therapy[J]. Thermal Medicine, 2007, 23 (1): 23-30
- [3] ER. Lee, TR. Wilsey, Peter TH, etc. Body Conformable 915MHz Microstrip Array Applicators for Large Surface Area Hyperthermia[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2002, 39(5):470-484
- [4] 席晓莉,汪文秉,王丽黎.微波热疗天线在生物组织中温度分布的模拟[J].微波学报,2005,21(1):66-69
- [5] 周琦,刘新芽.多层介质中电磁波的反射与透射[J].南昌大学学报(理科版),2003,27(1):37-44
- [6] 江汉保.微波体模[J].中国生物医学工程学报,1992,11(3):199-203
- [7] 高蕴雅,缪毅强,钱鸿森.医用外照射微波辐射器的改进和临床应用[J].红外与毫米波学报,2001,4(20):143-146

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>