

文章编号: 1001-8360(2004)06-0044-06

室内天线及漏缆辐射场分布的计算与比较

刘斌, 舒琳, 王均宏

(北京交通大学 光波技术研究所、全光网络与现代通信网教育部重点实验室, 北京 100044)

摘要: 作为一种场强覆盖手段, 漏泄同轴电缆不但能够应用于隧道无线通信系统, 而且近年来也被应用于室内无线通信系统。本文从场强叠加原理出发, 利用射线追踪法分别计算了由天线和漏缆产生的场强覆盖, 得出了天线位置能在很大程度上影响室内场强分布、漏缆所产生的场分布比天线的更为均匀, 工作在单模辐射状态下的漏缆比多模辐射时所产生的场分布更均匀等重要结论。本文结果对于室内电波覆盖的进一步研究有参考价值。

关键词: 室内移动通信; 漏泄同轴电缆; 天线; 场强覆盖; 射线追踪法

中图分类号: TN929; U285 文献标识码: A

Calculation and Comparison of the Field Distributions of the Indoor Antenna and Leaky Coaxial Cable

LIU Bin, SHU Lin, WANG Jun-hong

(Institute of Lightwave Technology, Key laboratory of All Optical Network and Advanced Telecommunication Network,
Ministry of Education, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: As one of the field coverage methods, leaky coaxial cables can be used not only in the wireless communication systems in tunnels, but also in to the indoor wireless communication systems. In this paper, starting from the field superposition principle of the linear system, we calculate the field coverages of the indoor antenna and the leaky coaxial cable respectively by the ray-tracing method. Field distributions on planes at different heights from the ground and with different antenna locations are calculated, and compared with those from the leaky coaxial cables. It is found that the location of the indoor antenna has significant effect on the field coverage, and the field coverage of the leaky coaxial cable is smoother than that of the antenna. In addition, leaky coaxial cables working in the mono-harmonic radiation mode can give more uniform field coverage than that of the cables working in the multi-harmonic mode. The results of this paper are valuable to further research of indoor radio coverage.

Key words: indoor mobile communication; leaky coaxial cable; antenna; field coverage; ray-tracing method

随着信息时代的到来, 对无线通信的要求也越來越高, 人们希望能够在办公楼、医院、仓库、工厂、会议中心以及公寓楼等场所使用无线电来进行高质量的声音和数据传输, 灵活方便、质量可靠, 并且能够适应复杂环境的无线通信系统, 因而成为今后的发展趋势。这类系统不但能为终端用户提供便利, 而且能极大地减少新建建筑物内的线路安装, 并能在现有建筑物内提供新的通信服务而无需进行昂贵的、耗时的线路改建。

收稿日期: 2003-12-08; 修回日期: 2004-04-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60071012)

作者简介: 刘斌(1980—), 女, 吉林省吉林人, 硕士研究生。

E-mail: liubin_1980@sohu.com

室内无线通信系统中最重要的技术之一就是有效地辐射和接收射频电波, 在有限功率下尽可能使电波在建筑物内均匀传播。这方面目前研究较多的是在建筑物的中心安装天线, 以满足整个建筑物内的场强覆盖要求。但是这种方法仅适用于小型或中等建筑物, 对于大型建筑物则势必要求天线产生很强的辐射功率。而大功率的电磁波容易造成环境电磁污染, 并对其他系统产生强干扰, 同时, 这样的系统对移动体发射功率的要求也很高, 移动体需要配备较大容量的电池^[1], 这样的系统并不是最佳的。为此, 我们需要设计更为节能、对环境电磁污染小, 同时又能提高通信质量的电波传播系统。针对这一课题, 本文着重研究目前

室内常用的两种辐射源——天线和漏缆在室内产生的场强分布规律，并比较它们各自所具有的优缺点。所采用的方法是目前通用的射线追踪法。

1 基本理论和计算方法

室内无线通信系统的工作频率一般比较高,如900 MHz 和 1 800 MHz,因而波长与室内物体尺寸相比要小得多,此时电波的传播可以用几何光学来近似,即认为电磁波沿直线传播,远场区的电磁波可视为局部平面波,因而可以用射线追踪法来进行研究。射线追踪法的基本思想是:将发射点视为点源,其发射的电磁波可看成是向各个方向传播的射线,对每条射线进行跟踪,在遇到障碍物时按反射、透射或绕射来进行场强和相位计算,在接收点将到达该点的各条射线合并,从而实现传播预测^[2]。

1.1 室内天线辐射场的计算

如图 1 所示,在房间的某一位置 $R(x_0, y_0, z_0)$ 放置一个天线,那么房间中任何一点的场除了直射场以外,还有天花板、地面以及四个墙面的反射场。实际问题中含有多次反射,这里我们只考虑了一次反射,这是因为,通过以往的研究发现,二次反射场的强度一般都在直射场的 5% 以下,而计算二次反射的工作量是计算一次反射的许多倍,因此从工程的角度可以忽略二次及更高次反射。图 1 给出了到达场点 P 的直射场、天花板和地面的反射场以及一个墙面的反射场的示意图。

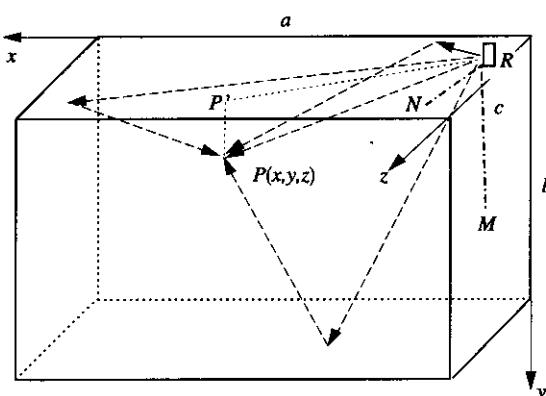


图 1 射线及本文中所使用的坐标

首先分析垂直放置(平行于 y 轴)半波天线的场强分布. 直射场直接由天线的辐射场公式得到

$$\begin{Bmatrix} E_x \\ E_y \\ F \end{Bmatrix} = E_0 \frac{e^{-jk_0 R}}{R} f(\alpha) \begin{Bmatrix} \cos\alpha \sin\beta \\ -\sin\alpha \\ \cos\alpha \cos\beta \end{Bmatrix} \quad (1)$$

式中, E_0 为辐射场的幅值, 在本文中取值为 10 V/m ;

$$R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}$$

表示从源点 $R(x_0, y_0, z_0)$ 到场点 $P(x, y, z)$ 的距离；

$$f(\alpha) = \cos(\frac{\pi}{2}\cos\alpha)/\sin\alpha$$

为半波天线的方向性函数; α 表示入射线与 y 轴正方向所成的角(图 1 中 $\angle MRP$), β 表示入射线在 $x-z$ 平面上的投影与 z 轴所成的角(图 1 中 $\angle NRP'$)。

反射场的计算(以左墙面的反射为例)则需要用到图 2 所示的坐标。

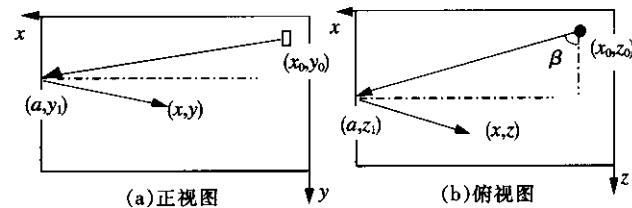


图 2 反射场求解平面示意图

利用文献[3]中的方法得到场点 $P(x, y, z)$ 处的反射场的各分量为

$$\begin{Bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{Bmatrix} = E_0 \frac{e^{-jk_0(R_1+R_2)}}{R_1+R_2} f(\alpha) \begin{Bmatrix} \cos\alpha \sin\beta \Gamma_v \\ -\sin\alpha \Gamma_h \\ \cos\alpha \sin\beta \Gamma_h \end{Bmatrix} \quad (2)$$

武中

$$R_1 = \sqrt{(a - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2}$$

表示从源点 (x_0, y_0, z_0) 到反射点 (a, y_1, z_1) 的距离：

$$R_2 = \sqrt{(x-a)^2 + (y-y_1)^2 + (z-z_1)^2}$$

表示从反射点到场点(x, y, z)的距离; Γ_v 为相对于反射面的垂直极化波的反射系数; Γ_h 为水平极化波的反射系数, 其表达式分别为^[4]

$$\Gamma_v = \frac{(\epsilon_r - j\epsilon_r') \sin \Delta - \sqrt{(\epsilon_r - j\epsilon_r') - \cos^2 \Delta}}{(\epsilon_r - j\epsilon_r') \sin \Delta + \sqrt{(\epsilon_r - j\epsilon_r') - \cos^2 \Delta}} \quad (3)$$

$$\Gamma_h = \frac{\sin\Delta - \sqrt{(\epsilon_r - j\epsilon'_r) - \cos^2\Delta}}{\sin\Delta + \sqrt{(\epsilon_r - j\epsilon'_r) - \cos^2\Delta}} \quad (4)$$

式中, $(\epsilon_r - j\epsilon_r')$ 为反射面的复介电系数, 本文中取各面的介电系数均为 $(4 - j0.3)$, 表示反射面为干燥混凝土墙面; \wedge 为射线与反射面之间的夹角

$$\Delta = \arctan \left[\mid x_1 - x_0 \mid / \sqrt{(y_1 - y_0)^2 + (z_1 - z_0)^2} \right]$$

如果天线水平放置,则直射场和反射场(同样以左墙反射为例)的计算公式分别为

$$\begin{Bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{Bmatrix} = E_0 \frac{e^{-jk_0 R}}{R} f(\theta) \begin{Bmatrix} \cos\theta \cos\varphi \\ \cos\theta \sin\varphi \\ -\sin\theta \end{Bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{Bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{Bmatrix} = E_0 \frac{e^{-jk_0(R_1+R_2)}}{R_1+R_2} f(\theta) \begin{Bmatrix} \cos\theta \cos\varphi \Gamma_v \\ \cos\theta \sin\varphi \Gamma_h \\ -\sin\theta \Gamma_h \end{Bmatrix} \quad (6)$$

式中, θ 为入射线与 z 轴正方向的夹角; φ 为入射线在 $x-y$ 平面上的投影与 x 轴的夹角。

1.2 漏泄同轴电缆的场分布计算

漏泄同轴电缆是一种屏蔽不完善的特种通讯电缆, 一方面它可以导引电信号沿电缆轴向传输, 另一方面又向电缆径向辐射电磁波信号。漏泄同轴电缆具有对地形的适应性强、场强稳定、传输率高和节省频率资源等优点, 在数字化、大容量移动车辆通信方面有独特的优势。由于它的这种独特性质, 漏泄电缆一直被用于隧道通信系统中。近年来, 人们也将它应用到了室内无线通信系统中^[5]。

漏泄同轴电缆是在封闭同轴电缆的外导体上周期性地开了一些缝隙。根据电磁理论, 每个缝隙可等效为一个磁偶极子, 运用叠加原理, 漏泄电缆辐射的总场就等于各个缝隙辐射电场的叠加^[3]。

假设漏缆沿 z 轴方向放置, 第 i 个缝隙的坐标为 $[x_0, y_0, (i-1)d]$, 与前面水平放置天线的场强计算类似, 漏泄电缆的辐射场强也可分为直射场和各墙面反射场。直射场的总场强等于所有缝隙直射场的叠加, 为

$$\begin{Bmatrix} E_x \\ E_y \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^N E_0 \frac{e^{-jk_0R_i-jk(i-1)d}}{R_i} \sin\theta_i \begin{Bmatrix} \sin\varphi_i \\ \cos\varphi_i \end{Bmatrix} \quad (7)$$

式中,

$$R_i = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + [z - (i-1)d]^2}$$

为第 i 个缝隙到场点的距离; k_0 、 k 分别为自由空间和漏缆中的电波传播常数。

同样以左墙面的反射为例, 在场点接收到的反射场强为

$$\begin{Bmatrix} E_x^{tot} \\ E_y^{tot} \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^N E_0 \frac{e^{-jk_0(R_{i1}+R_{i2})-jk(i-1)d}}{R_{i1}+R_{i2}} \sin\theta_i \begin{Bmatrix} \sin\varphi_i \Gamma_v \\ \cos\varphi_i \Gamma_h \end{Bmatrix} \quad (8)$$

式中,

$$R_{i1} = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + [z_i - (i-1)d]^2}$$

为源点 $[x_0, y_0, (i-1)d]$ 到相应反射点 (x_i, y_i, z_i) 的距离;

$$R_{i2} = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$$

为从反射点到场点 (x, y, z) 的距离; d 为漏缆的开缝周期; θ_i 为第 i 个缝隙的入射线与 z 轴的夹角; φ_i 为第 i 个缝隙的入射线在 $x-y$ 平面上的投影与 x 轴的夹角。

2 计算结果及分析

2.1 室内天线的场分布

根据前面公式, 可以计算出以半波天线作为辐射源时, 由直射场、4 个墙面的反射场以及天花板和地面的反射场, 叠加后得到空间各点的场强分布。

对 $13.5 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 的房间 ($a = 7.0, b = 3.0, c = 13.5$) 内的场分布进行了分析, 计算时在 $x-z$ 平面上均匀选取了 150×300 个样本点。图 3 给出了工作频率为 900 MHz 的天线放在不同位置时、距地面 $h = 0.8 \text{ m}$ (办公桌的高度) 平面上的电场分布情况。

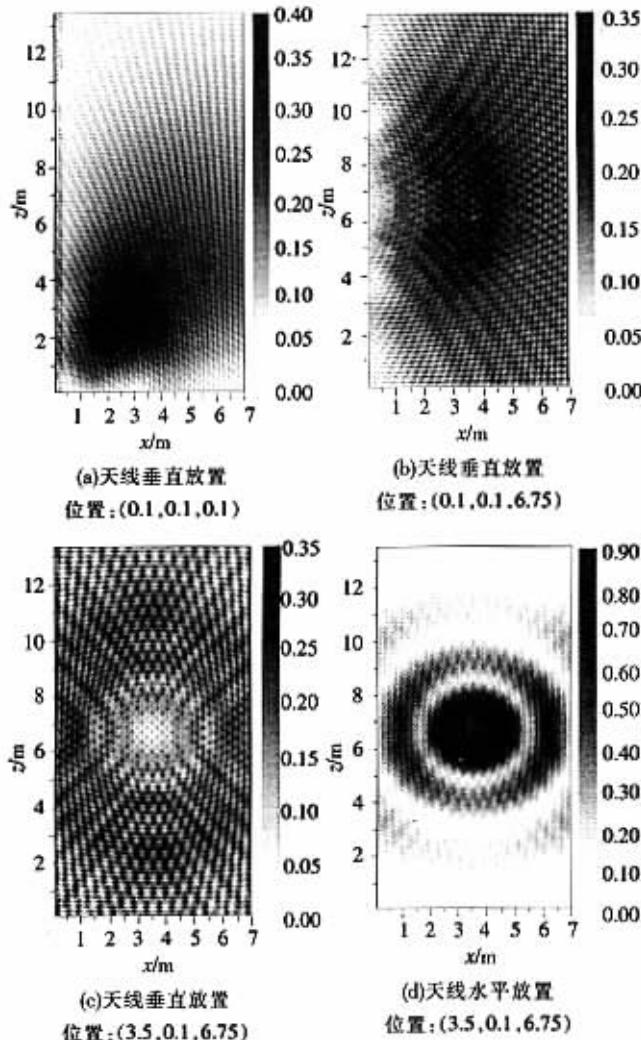
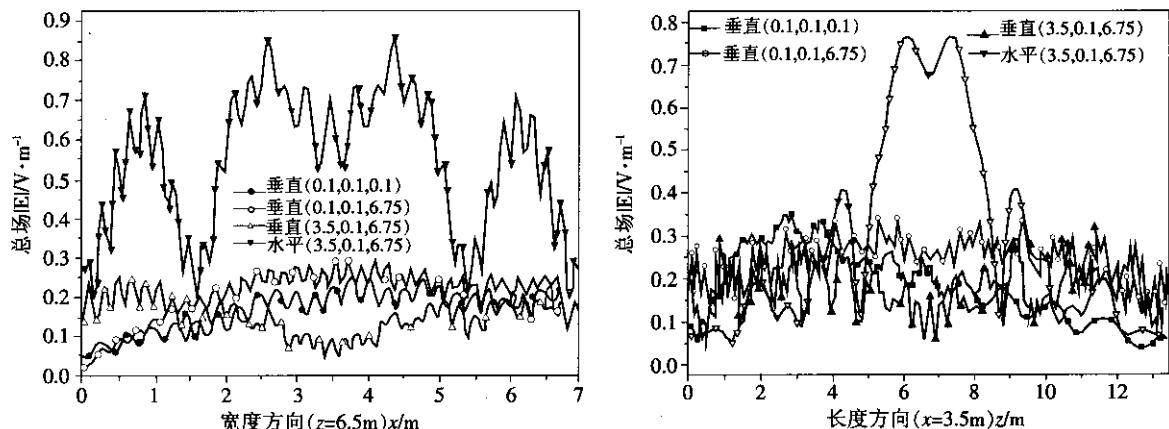


图 3 $h=0.8\text{m}$ 平面的场强分布图

对于图 3 所示的 4 种场分布, 图 4 给出了沿平面对称轴线的场强分布情况。

图 4 $h=0.8$ m 平面上沿平面对称轴线的场强分布图表 1 天线位置和放置方式不同时, $h=0.8$ m 平面上的场强数据统计

频率/MHz	天线坐标/放置方式	均值/ $V \cdot m^{-1}$	最小值/ $V \cdot m^{-1}$	最大值/ $V \cdot m^{-1}$	变化范围/dB
900	(0.1, 0.1, 0.1)/垂直	0.152 86	0.004 95	0.367 3	37.408 31
900	(0.1, 0.1, 6.75)/垂直	0.184 38	0.009 58	0.334 9	30.870 99
900	(3.5, 0.1, 6.75)/垂直	0.176 58	0.022 33	0.323 9	23.230 44
900	(3.5, 0.1, 6.75)/水平	0.239 95	0.009 57	0.864 2	39.114 05
1 800	(0.1, 0.1, 0.1)/垂直	0.152 45	0.005 88	0.445 1	37.581 61
1 800	(0.1, 0.1, 6.75)/垂直	0.171 21	0.010 85	0.428 4	31.928 39
1 800	(3.5, 0.1, 6.75)/垂直	0.197 28	0.022 76	0.364 7	24.095 27
1 800	(3.5, 0.1, 6.75)/水平	0.209 02	0.010 77	0.712 7	36.413 82

表 2 天线位置和放置方式不同时, $h=1.5$ m 平面上的场强数据统计

频率/MHz	天线坐标/放置方式	均值/ $V \cdot m^{-1}$	最小值/ $V \cdot m^{-1}$	最大值/ $V \cdot m^{-1}$	变化范围/dB
900	(0.1, 0.1, 0.1)/垂直	0.166 21	0.002 47	0.516 8	46.412 51
900	(0.1, 0.1, 6.75)/垂直	0.214 96	0.015 53	0.452 4	29.287 02
900	(3.5, 0.1, 6.75)/垂直	0.219 04	0.032 18	0.401 5	21.921 99
900	(3.5, 0.1, 6.75)/水平	0.245 53	0.020 39	1.043 0	34.177 34
1 800	(0.1, 0.1, 0.1)/垂直	0.166 34	0.004 51	0.643 2	43.083 39
1 800	(0.1, 0.1, 6.75)/垂直	0.199 13	0.010 18	0.609 9	35.550 22
1 800	(3.5, 0.1, 6.75)/垂直	0.238 72	0.016 66	0.494 8	29.455 09
1 800	(3.5, 0.1, 6.75)/水平	0.239 02	0.019 49	0.741 4	31.604 81

由图 4 可见, 天线位置不同时室内场强分布差别较大, 垂直放置于长边中间以及天花板中心处的天线产生的场强分布较均匀, 而垂直放置在墙角以及水平放置于天花板中心处的天线产生的场很不均匀。研究还发现垂直放置的天线处于同一个高度、但距墙壁的距离改变时场强分布有所改变, 变化的规律是: 天线越接近于天花板的中心, 室内的场强覆盖越均匀。表 1 给出了图 3 所示的 4 种场分布的一些数据统计。

此外, 考虑到个人移动通信的要求, 根据成年人站

立时手机通常的平均位置, 我们计算了工作频率分别为 900 MHz 和 1 800 MHz、距地面 $h=1.5$ m 层面的场强分布。场强分布图基本与图 3 类似, 相关的数据列于表 2。

从前面的数据可以看出, 天线的位置直接影响场强的分布。对于垂直放置的天线, 当天线位于天花板的几何中心时场强覆盖最均匀。而水平放置的天线, 虽然场强的最大值比垂直放置时大一些, 但变化范围较大, 对接收机的动态范围要求较高。

2.2 漏缆场分布的计算

下面再分析漏泄电缆的情况:假设沿房间的长度方向(z 轴方向)悬挂漏泄电缆,位置距天花板和侧壁均为 0.2 m,同样研究距地面 $h=0.8$ m 的平面。图 5 分别为 900 MHz 和 1 800 MHz、漏缆工作于单模和多模^[6]时的电场分布图。

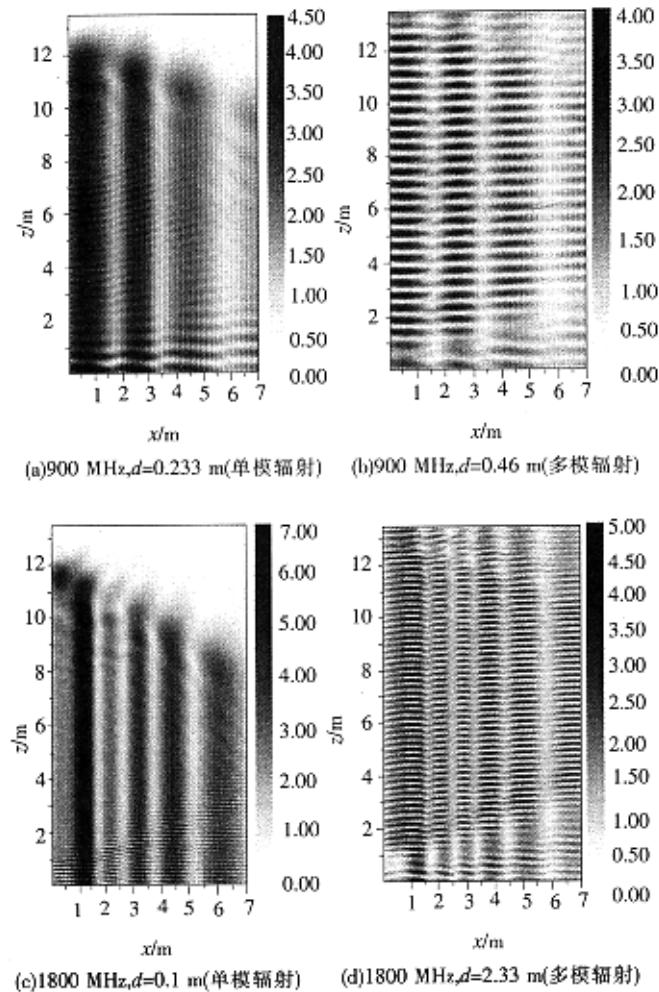


图 5 漏缆工作于单模和多模时电场分布的比较

由图 5 可以看出,漏缆在室内所产生的场在漏缆的径向形成部分驻波,对于 900 MHz 的单模和多模以及 1 800 MHz 的单模,在 $x=4.3$ m 附近有一峰值,而对于 1 800 MHz 的多模,场强沿径向的峰值更多,并且与前面 3 种情况的场强峰值位置不一致,为了便于观察,图 6 分别给出 900 MHz 和 1 800 MHz 时平行于漏缆和垂直于漏缆的场分布。

由图 5 可见,对于单模的情况,在漏泄电缆终端位置(图 5 中漏缆是沿 z 轴正方向馈电的,终端位置就是指与馈电相反的一端,即 z 接近于 13.5 m 的位置)的场强覆盖不是很好,这主要是因为漏缆工作于单模时,只有一 1 次空间谐波向外辐射,并且只有一个辐射方向(通常是后向辐射,即辐射方向与馈电方向相反),辐射方向可由 $\Psi = \arccos(\sqrt{\epsilon_r} - \frac{\lambda}{d})$ 得到。其中, ϵ_r 为电缆中绝缘介质的等效介电常数, Ψ 为 1 次空间谐波的辐射方向与漏缆轴向之间的夹角^[6]。可见,当 $\Psi \neq 90^\circ$ 时,漏缆的辐射电波不是沿着漏缆径向而是指向 z 轴负向的,因此必然在漏缆终端出现场值很小的三角形区域。当然,当漏缆的缝隙周期选取合适时,可使得 $\Psi = 90^\circ$ 。但从理论上讲,当 $\Psi = 90^\circ$ 时,各缝隙处的小反射在馈电端同相迭加,可能导致驻波增大的情况发生^[7]。因此,如果还想让缆工作于单模,可选择缝隙周期使 Ψ 接近 90° (但不等于 90°),从而可减小图 5(a)、图 5(c) 中三角形的面积。另一种方法是让漏缆直接工作于多模,这时漏缆有多个方向的辐射,不会再出现场值较小的三角区,如图 5(b)、图 5(d) 所示。

对比图 5(a)、图 5(c) 和图 5(b)、图 5(d) 发现,除单模辐射时的场值较小的三角区外,单模辐射的场分布要比多模均匀,但从全区域来讲,多模可有效覆盖全区。我们将 z 在 0~8.5 m 范围内(不考虑单模图的三角区)单模辐射和多模辐射的比较结果列于表 3 中。

由表 3 可以发现,单模辐射时电场的平均值和最

表 3 漏缆在单模辐射和多模辐射场强数据统计($h=0.8$ m 平面)

漏缆工作频率、模式	平均值/ $V \cdot m^{-1}$	最小值/ $V \cdot m^{-1}$	最大值/ $V \cdot m^{-1}$	变化范围/dB
900 MHz 单模	1.897 17	0.184 42	4.337 41	27.428 45
900 MHz 多模	1.173 81	0.019 78	3.521	45.008 79
1 800 MHz 单模	2.600 28	0.093 65	6.950 91	37.410 68
1 800 MHz 多模	1.606 13	0.016 74	4.647 01	48.868 36

小值都比多模辐射时的大,变化范围又小得多,这说明单模辐射的场强覆盖均匀度的确要好些。

2.3 天线和漏缆作为室内辐射源的比较

天线和漏缆辐射场的幅值均为 1.0 的时候,漏缆的场强覆盖要优于天线的好得多,场强平均衰落幅度也

要比天线小很多。而且,由于天线的位置直接影响场强覆盖,天线的位置必须设计得恰到好处,才能接收到较为均匀的场分布。此外,为安装天线,必须先铺设馈电电缆,这就增加了潜在的系统故障源。同时,为减少线路损耗,馈电电缆的直径也不能太小,所以整个系统

的成本并不比漏缆系统低多少(漏缆系统不需要天线)。根据最新漏缆厂家的测试结果,比射频电缆略粗的漏缆,其耦合损耗和传输损耗已可做到能够让人满意的程度。另外,一个更重要的特点是,漏泄电缆的电磁波信号只分布在相对有限的范围内,可减少日益严重的电磁波污染。因此,漏缆系统具有潜在的优势。

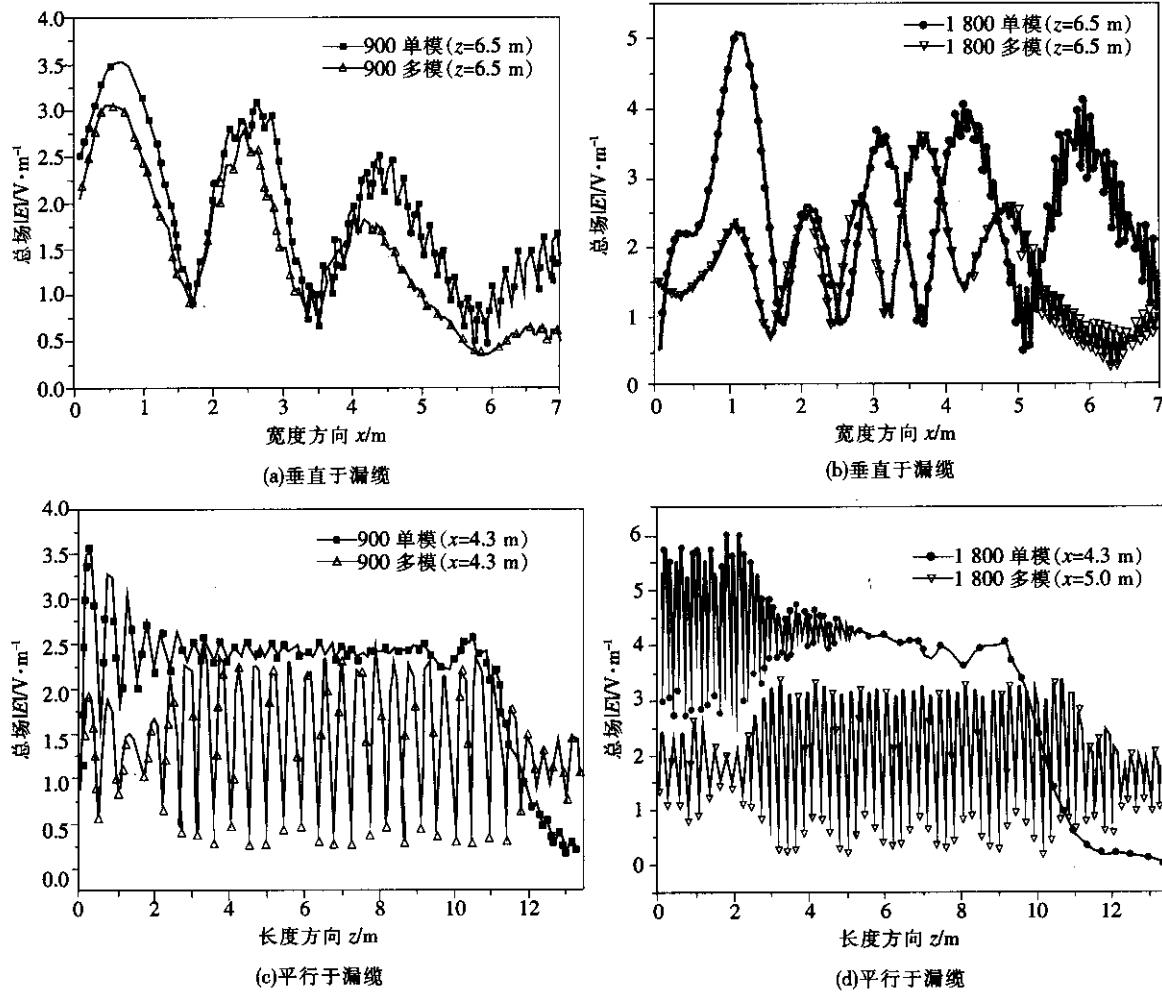


图6 漏缆工作于单模和多模时电场分布的比较

3 结束语

本文利用射线追踪法对天线和漏缆作为室内辐射源产生的场强分布进行了计算。计算结果表明,天线的位置直接影响其场强分布,而且容易出现场值很小的下陷区,而漏缆的场强分布则相对较均匀,单模工作时比多模工作时的场强覆盖更好些;只是单模工作时在漏缆终端的信号分布需进行补偿。通过几方面的比较,可以看出漏缆系统比天线系统更适合用来进行室内电波的场强覆盖。

参考文献:

- [1] SALEH A A M, RUSTAKO A J, ROMAN R S. Distributed antennas for indoor radio communication [J]. IEEE Trans on Communication, 1987, 35(12): 1245—1251.
万方数据

- [2] 季忠,黎滨洪,王豪行,陈兴义,赵耀庚.用射线跟踪法对室内电波传播进行预测[J].电波科学学报,1999, 14(2): 160—165.
- [3] 舒琳,施华,王均宏.铁路隧道中漏泄同轴电缆辐射场分布的计算[J].铁道学报,2002,24(2): 69—73.
- [4] 尚景明,王元坤.电波传播工程计算[M].西安:西安电子科技大学出版社,1989. 83—84.
- [5] Morgan S P. Prediction of Indoor Wireless Coverage by Leaky Coaxial Cable Using Ray Tracing[J]. IEEE Trans on Vehicular Technology, 1999, 48(6): 2005—2014.
- [6] 王均宏,简水生.漏泄同轴电缆辐射模式分析及高次模抑制[J].通信学报,2000, 21(12): 17—22.
- [7] Wang J H, Mei K K. Theory and Analysis of Leaky Coaxial Cables with Periodic Slots [J]. IEEE Trans. on Antenna and Propagation, 2001, 49(12): 1723—1732.

(责任编辑 姚家兴)

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>