

基于 Ansoft 的静电屏蔽分析与研究

赵文来, 杨俊秀, 李 霖

(浙江理工大学信息学院, 杭州 310018)

摘 要: 穿戴防辐射服装成为一些特殊人群的流行选择。从静电屏蔽的屏蔽理论出发, 基于 Ansoft 软件, 给出静电场中空腔分散、不闭合及闭合情况下空间场的不同分布, 并给出几种特定源与空腔对空间电场线与电位线分布的影响, 通过比较给出要实现屏蔽, 空腔要闭合或接近闭合的需求。而通用的防辐射服由于接缝及孔洞的影响, 会使屏蔽的效果下降。

关键词: Ansoft; 有限元; 屏蔽; 等位(势)线; 防辐射服

中图分类号: TN702 **文献标识码:** A

0 引 言

在电子设备中, 常采用接地的金属外壳; 频率较高的信号传输线外面常包有一层金属网; 某些用途的电源变压器中, 常在初级绕组与次级绕组之间放置一不闭合的金属薄片等等, 这些都是为了使设备或空间免受电磁干扰采用的屏蔽措施。随电子技术的进步, 家用电器种类日益丰富, 空间电磁辐射越来越严重, 穿戴防辐射服装成为一些特殊人群的流行选择。以静电场中常见到的静电屏蔽为例, 从静电屏蔽的理论出发, 基于 Ansoft 软件, 给出静电场中空腔分散、不闭合及闭合情况下空间场的不同分布。

1 静电屏蔽

假设金属空腔内有源, 为给出具体表达式及场分布图, 设源与边界满足下列条件^[1]:

a) 自由空间中一实心圆球, 其上加载 100 V 的电压, 外罩一以圆球中心为球心的金属球状空腔, 设无限远处的电位为零;

b) 求空间电位变化规律, 并画出沿径向电位的变化曲线;

c) 若空腔不闭合, 场分布如何变化。

2 理论求解

该题属于静电场问题, 且满足球对称条件, 故可根据高斯定理进行或求解满足题目要求的拉普拉斯方程, 此处给出高斯定理的求解。

解: 为设金属球半径为 a , 金属空腔内、外表面半径分别为 $b, c (c > b > a)$, 金属球带电量为 q (待定, 可根据金属球电位 100 V 求)。

利用高斯定理 $\oint_s \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \frac{\sum q}{\epsilon_0}$, 求解结果为:

$$\mathbf{E} = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \mathbf{e}_r, & a < r < b, r > c \\ 0, & \text{其它} \end{cases}$$

根据要求, 选择无穷远为电位的参考点, 则由 P

点电位 $\varphi_p = \int_p^{\text{参考点}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$ 得空间的电位表达式:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \int_r^\infty \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_r^a \mathbf{E}_1 \cdot d\mathbf{l} + \int_a^b \mathbf{E}_2 \cdot d\mathbf{l} \\ &+ \int_b^c \mathbf{E}_3 \cdot d\mathbf{l} + \int_c^\infty \mathbf{E}_4 \cdot d\mathbf{l} \\ &= \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} + \frac{1}{c} \right) \quad (r < a) \end{aligned}$$

$$\varphi_2 = \int_r^\infty \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_r^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} + \int_b^c \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l}$$

$$\begin{aligned} & + \int_c^\infty \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \\ & = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{b} + \frac{1}{c} \right) \quad (a < r < b) \\ \varphi_3 & = \int_r^\infty \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_r^c \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \\ & + \int_c^\infty \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 c} \quad (b < r < c) \\ \varphi_4 & = \int_r^\infty \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_r^\infty \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \\ & = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (r > c) \end{aligned}$$

由以上表达式可看出, $r < a, b < r < c$ 空间电位为常数, 其它与该点到原点的径向距离成反比, 且在分界面上均满足电位连续性。

3 Ansoft 求解

电磁场问题的实质即是求解给定边界条件下的麦克斯韦方程组及方程组演化的其他偏微分方程。从求解的技术手段上分, 有解析求解及数值求解。对简单问题可得到方程的解析解, 若模型复杂, 则很难获得模型的解析解^[2-3]。随计算工具的发展, 电磁场数值计算深入各个领域, 有限元法是常用的数值方法, 其中 Ansoft 公司的 Maxwell 3D/2D 就是优秀的电磁分析软件^[4-5]。下面基于 Ansoft 公司的 Maxwell 2D 给出几种特殊情况下场的分布规律。

3.1 闭合空腔, 腔内有源

a) 基于 Maxwell 2D, 空腔闭合不接地, 壳心电位 100V 时空间电位分布如图 1 所示。

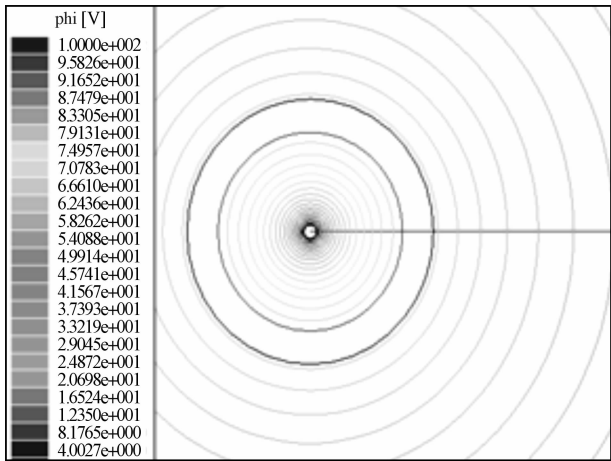
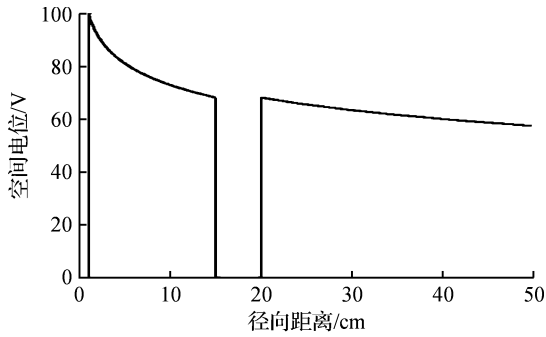
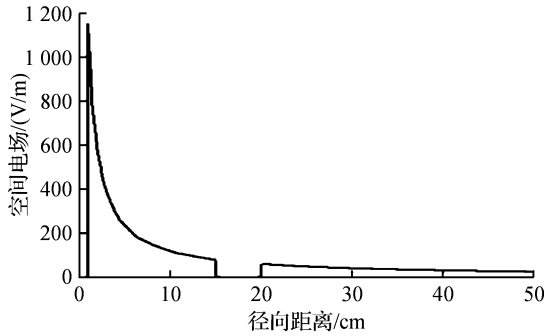


图 1 空腔闭合时空电位线分布

由图 1 可看出等位线沿径向衰减的规律, 且空腔内、外空间均有电场分布, 空腔阻挡不住腔内电荷激发的场。更清晰的, 沿径向线画出电位与电场变化规律, 如下图 2(a)、图 2(b)所示。



(a) 空间电位沿径向分布



(b) 空间电场沿径向分布

图 2 电位及电场沿径向分布

由图 2 看出, 空间电位沿径向反向衰减, 电场沿径向平方反向衰减, 与理论表达一致。且空腔的存在没有影响腔内源在腔外空间的场分布, 即空腔起不到屏蔽外部空间的作用。

b) 若 a) 中空腔闭合接地, 则空间电位分布如图 3 所示。

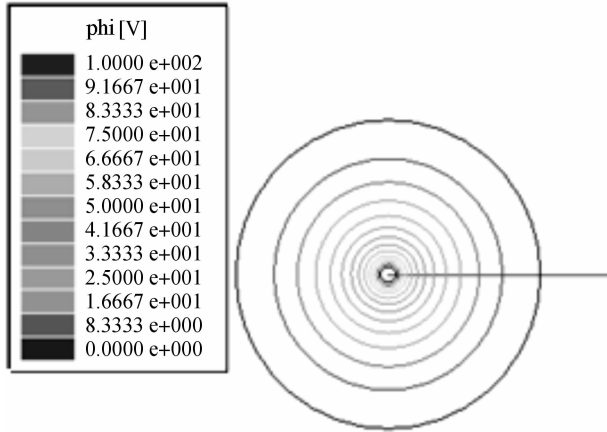
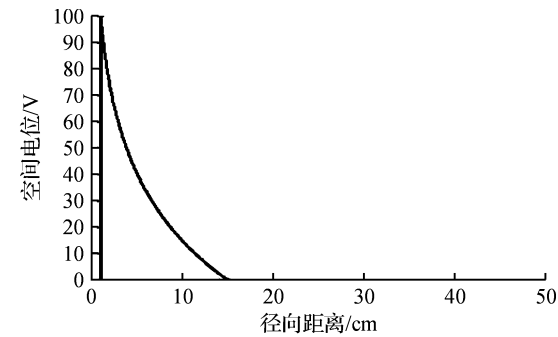


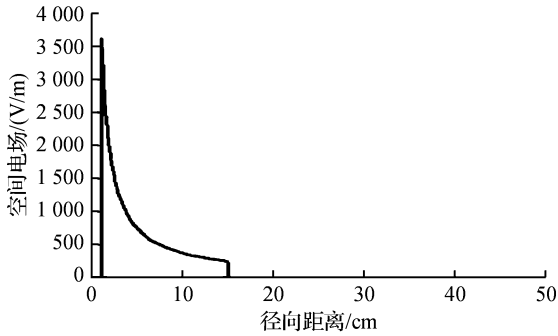
图 3 空腔闭合接地时空电位线分布

由图 3 可看出, 腔内空间电位衰减规律与图 1 一致, 而腔外无电场。更清晰的, 沿径向线画出电位与电场变化规律, 如下图 4(a)、图 4(b)所示。

由图 4 看出, 腔内空间电位沿径向反向衰减, 电场沿径向平方反向衰减, 与理论表达一致。而腔外空间无电场分布, 说明金属空腔隔断了源向空腔外辐射场, 使得电力线终止于空腔, 从而外部空间不受



(a) 空间电位沿径向分布



(b) 空间电场沿径向分布

图4 电位及电场沿径向分布

腔内源影响,即空腔起到屏蔽外部空间的作用,一些电子产品常加金属外壳目的即为防止该产品的电磁泄露。

3.2 空腔不闭合,腔外有源

随家用电器种类日益增多,空间电磁辐射越来越严重,穿戴防辐射服装成为一些特殊人群的流行选择。所谓防辐射服装即织物内添加金属网,使得外部辐射源场量终止于金属网,从而保护人体免受电磁干扰的衣物。理论上电导率高的金属网对内部空间可起到屏蔽作用,但由于衣物接缝、孔洞的影响,所谓的 90% 屏蔽实际达不到^[6]。下面基于 Ansoft公司的 Maxwell 2D 给出几种特殊情况下场的分布规律。

a)基于 Maxwell 2D,空腔 30°不闭合情况下电位与电场线的分布如图 5(a)、图 5(b)所示。

由图 5 首先验证了电力线、等位线沿径向衰减的规律,同时可看出空腔有缺口导致电场线部分进入空腔内,空腔未起到屏蔽作用。可沿径向画电场变化规律,如下图 6 所示。

由图 6 可看出,电场未到达空腔时,沿径向衰减;空腔内电场不为零,且通过空腔后电场依然存在,却大大衰减。有缺口导致电场线部分进入空腔内,空腔未起到完全屏蔽作用,却使场衰减很快,要求不高的话基本可以算是屏蔽。

b)基于 Maxwell 2D,空腔 90°不闭合情况下电

位与电场线的分布如图 7(a)、图 7(b)所示。

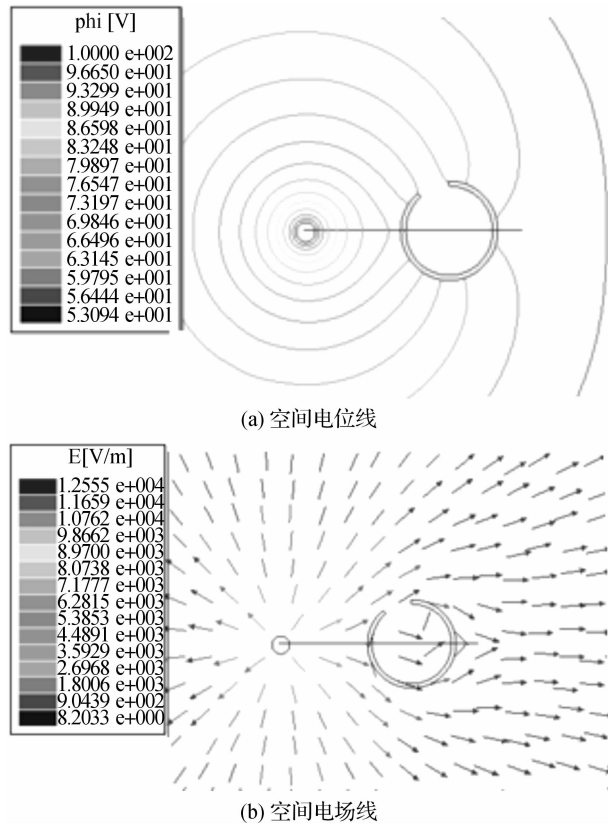


图5 空腔有小缺口时空电位线电场线分布

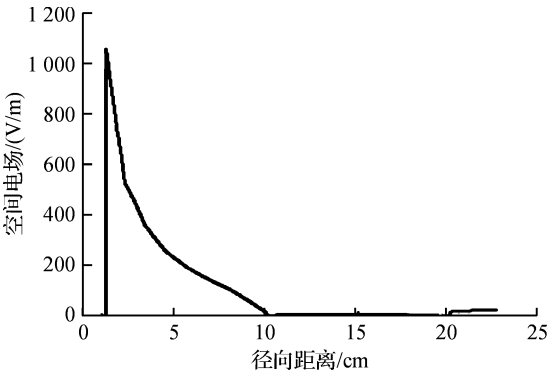
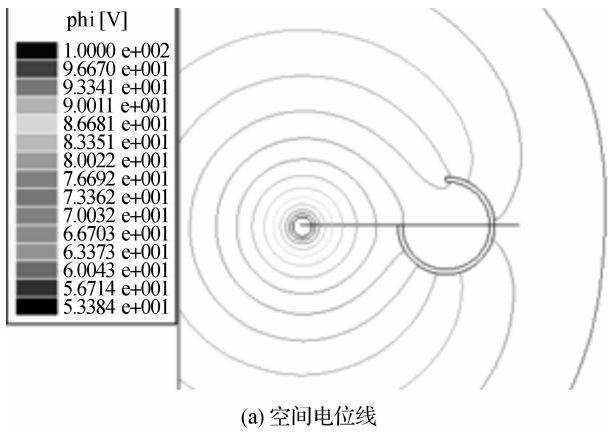


图6 沿径向电场变化规律



(a) 空间电位线

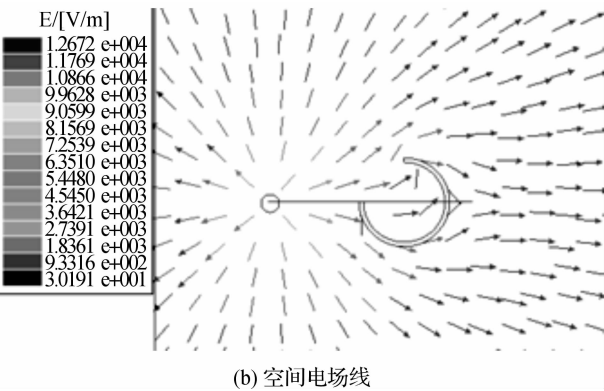


图 7 空腔 90°缺口时空间电位线电场线分布

图 7 与图 5 相比,电位线的变化依然延续沿径向衰减的趋势,但进入空腔的电场有所增加,可看出空腔有缺口导致电场线部分进入空腔内,空腔未起到屏蔽作用。沿径向线画出电场变化规律,如下图 8 所示。

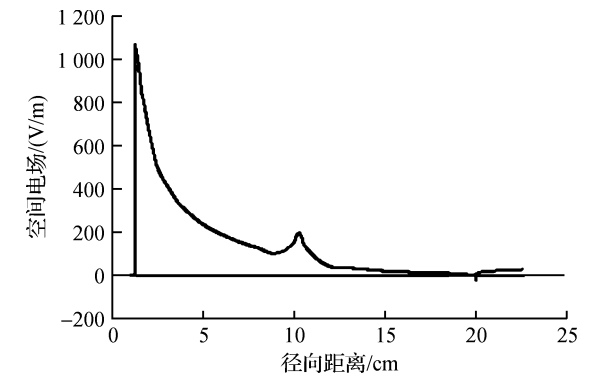


图 8 相比图 6 可看出,电场未到达空腔时,延续沿径向衰减规律;空腔内电场不为零,且腔内比腔体靠近源的部分电场更大,空腔不但未起到屏蔽作用,反而充当了天线接收电磁信号。

c) 基于 Maxwell 2D,如果空腔严重的不连续,即分散时电位与电场线的分布如图 9(a)、图 9(b) 所示。

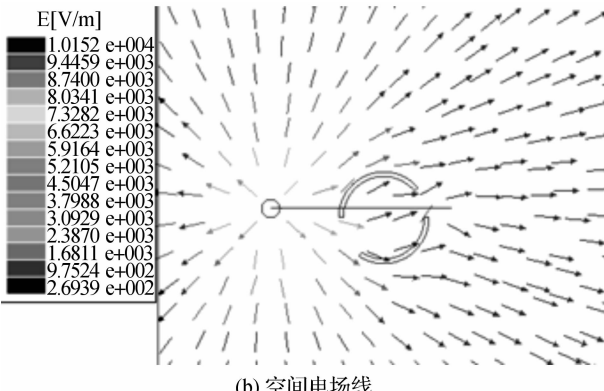
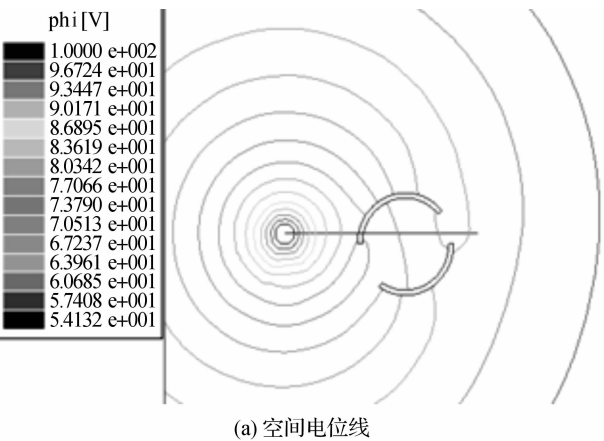


图 9 空腔分散开时空位线电场线分布

图 9 与图 7 相比,电位线的变化依然延续沿径向衰减的趋势,但进入空腔的电场增加更多,沿径向线画出电场变化规律,如下图 10 所示。可看出空腔分散导致电场线进入空腔,空腔未起到屏蔽作用。

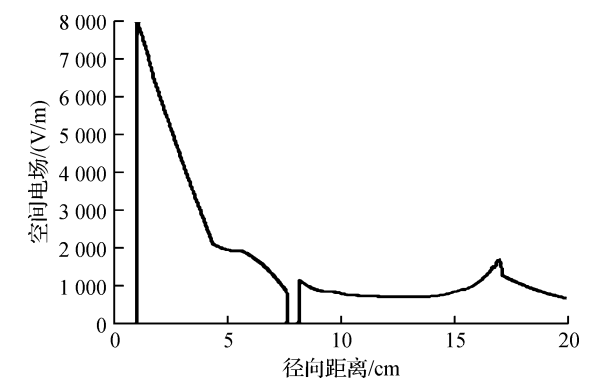
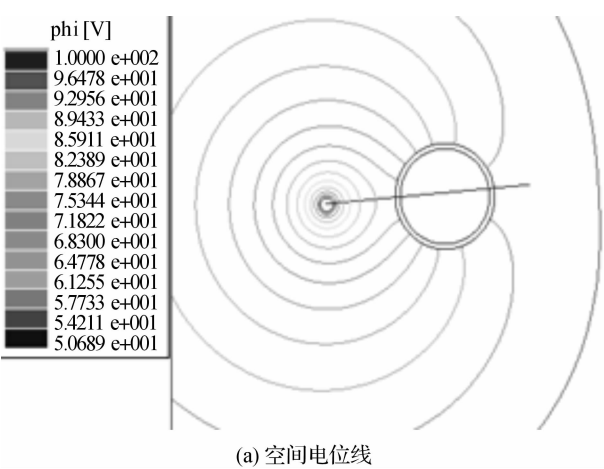


图 10 相比图 8 可看出,空腔内电场不为零,与空腔不存在时变化规律基本相当,且部分空间比腔体靠近源的部分电场大,空腔几乎起不到屏蔽作用。

d) 基于 Maxwell 2D,空腔闭合时空位与电场线的分布如图 11(a)、图 11(b) 所示。



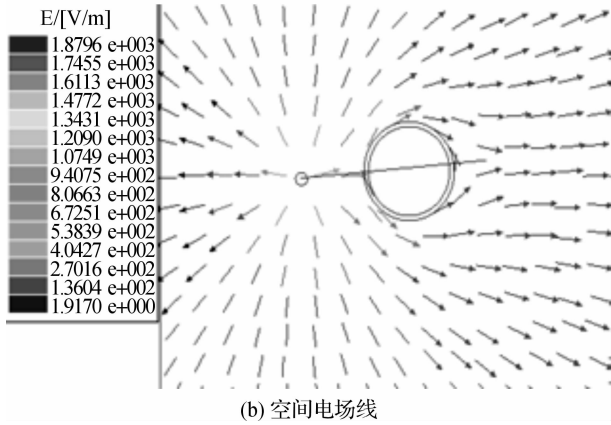


图 11 空腔闭合时空电位线电场线分布

图 11 与图 9 相比, 电位线、电场的变化延续沿径向衰减的趋势, 但空腔内无电场。更清晰的, 沿径向线画出电场变化规律, 如下图 12 所示。

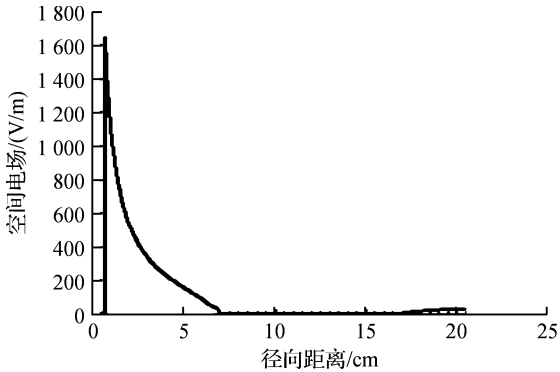


图 12 沿径向电场变化规律

图 12 相比图 10 可看出, 空腔内电场为零, 外部源激发的场在空腔的作用下未进入空腔, 空腔起到屏蔽内部空间不受外界电磁干扰的作用。

4 结 语

综上可知, 闭合或接近闭合空腔可屏蔽腔外源对内部空间的影响, 同时空腔接地可屏蔽腔内源对腔外空间影响。特殊的防辐射服, 头、手、脚都包含进去能屏蔽外部源对人的辐射, 但普通防辐射服, 尤其防辐射背心由于接缝及孔洞影响, 其屏蔽效果会大打折扣^[7-8]。要实现源与空间完全屏蔽, 即空腔内的辐射源对外界空间也无影响, 空腔闭合且接地即可实现。

参考文献:

- [1] 刘国强, 赵凌志, 蒋继娅, 等. Ansoft 工程电磁场有限元分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [2] 陈执平. 本科电磁场教学中引入 ANSYS 的尝试[J]. 大学物理, 2009, 29(7): 32-35.
- [3] 胡盘新, 钟季康. 在大学物理教材中引入计算机数值解的尝试[J]. 物理与工程, 2006, 16(2): 47-50.
- [4] Wang Jian, Liu Lidong, Gao Youhua, et al. Study on numerical simulation of electrical fields inside isolated phase bus based on ANSOFT[J]. Electrical Machines and Systems, 2008(8): 17-20.
- [5] 赵彦珍, 应柏青. Ansoft 在“电磁场与波”课程教学中的应用[J]. 电气电子教学学报, 2010, 32(2): 95-96.
- [6] 汪秀琛, 张 欣, 王素玲. 影响防电磁辐射服屏蔽效能的显著因素分析[J]. 西安工程科技学院学报, 2006, 20(4): 397-400.
- [7] 邢怀民, 李武军. 静电屏蔽与静电能量[J]. 新乡学院学报: 自然科学版, 2008, 25(1): 24-26.
- [8] 骆 建, 董晓波, 肖 玲, 等. 防辐射服屏蔽效能研究与测试[J]. 认证与实验室, 2011(1): 71-73.

Analysis and Study of Static-Shielding Based on Ansoft

ZHAO Wen-lai, YANG Jun-xiu, LI Lin

(School of Informatics, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Wearing electromagnetic shielding clothing is a simple and popular choice to some people from static-shielding theory, electric fields are given in different cases of not close or close cavum based on software of Ansoft. Electric field lines and equipotential lines will be changed with different source and boundary condition. The analysis results show that all or almost closed cavum is needed in order to achieve all shielding. But shielding efficiency of usual electromagnetic shielding clothing will be lowered because of clothing joints and holes.

Key words: Ansoft; finite element; shielding; equipotential line; electromagnetic shielding clothing

(责任编辑: 陈和榜)