

基于进化卷积神经网络算法的开孔外壳屏蔽效能预测

黄洋

(安徽省食品药品检验研究院 安徽省合肥市 230051)

摘要: 本文研究了基于进化卷积神经网络算法的开孔外壳屏蔽效能预测。电子设备工作频率逐渐提高,电磁辐射噪声日益严重,采用屏蔽外壳是有效抑制电磁干扰的常用方法。然而,由于散热和接线,外壳会带有孔洞,极大地影响了其屏蔽效能,部分外壳内部介质板的存在也对屏蔽效能产生了一定的影响。本文对含介质板开孔外壳建模后,通过传输线方法(TLM)建立等效电路模型,然后通过进化卷积神经网络算法(Evolutionary Convolutional Neural Network Algorithms, ECNN)得到验证参数,从而得到外壳屏蔽效能。利用 CST 对相应外壳进行仿真分析后,对比屏蔽效能仿真结果和算法结果,证明了该方法结果的准确性和可靠性。通过等效电路计算箱内各点屏蔽效能,最后通过电波暗室远场测量各点辐射强度来验证预测结果。

关键词: 电磁辐射; 屏蔽效能; 传输线理论; 进化卷积神经网络算法

1 引言

屏蔽效能通常可以通过科学的计算方法来预测,这对屏蔽腔的设计具有重要意义,常用的计算方法有数值计算和解析计算。目前,解析方法主要包括 Bethe 小孔耦合理论、基于电磁拓扑(Electromagnetic Topology, EMT)理论的 BLT(Baum-Liu-Tesche)方程法和等效传输线法(Transmission Line Method, TLM)。本文基于传输线方法建立屏蔽腔体等效电路并通过进化卷积神经网络算法求解等效电路阻抗参数,然后预测屏蔽外壳屏蔽效能。^[1-3]

本文的结构如下:在第二部分中利用 CST 建立开孔外壳模型并得到仿真结果。第三部分中论述了基于 ECNN 神经网络算法提取 BLT 方程等效电路参数。第四部分中利用三米法暗室进行实验测量,并分析实验结果。在第五部分中给出了本文的结论。

2 开孔外壳电磁屏蔽特性仿真与分析

电场和磁场屏蔽效能(Shielding Effectiveness, SE)定义分别为式(1)和(2)^{[2][3]}:

$$SE_E = 20 \lg \left(\frac{E_0}{E_s} \right) \quad (1)$$

$$SE_H = 20 \lg \left(\frac{H_0}{H_s} \right) \quad (2)$$

其中, H_0 和 E_0 表示施加电磁屏蔽壳前后对应点的电场大小, E_s 和 H_s 表示应用电磁屏蔽壳之前和之后对应点的磁场大小,屏蔽效率的单位为分贝(DB)。本文以屏蔽壳对电场的屏蔽效能作为测量结果^[4-6]。

如图 1 所示,在 CST 仿真软件中设置外壳外形尺寸如下: a 为 51, b 为 121, c 为 61, e 为 16, f 为 11, g 为 6, h 为 9,厚度 t 为 0.3,单位: cm。几何中心为 p,坐标为(x1, Y1, z1),电介质板的几何参数为 m=21, n=19,单位为 cm。

设置外壳参数:其中外壳材料为铝(95.9%),以碳基介质为例,相对介电常数取 8.1。本文采用横向电磁场来确定壳体的电场和磁场方向。激励源设置为具有垂直极化和 1V/m 电场的平面波。探头设置为距外壳前部 25cm 的点 P

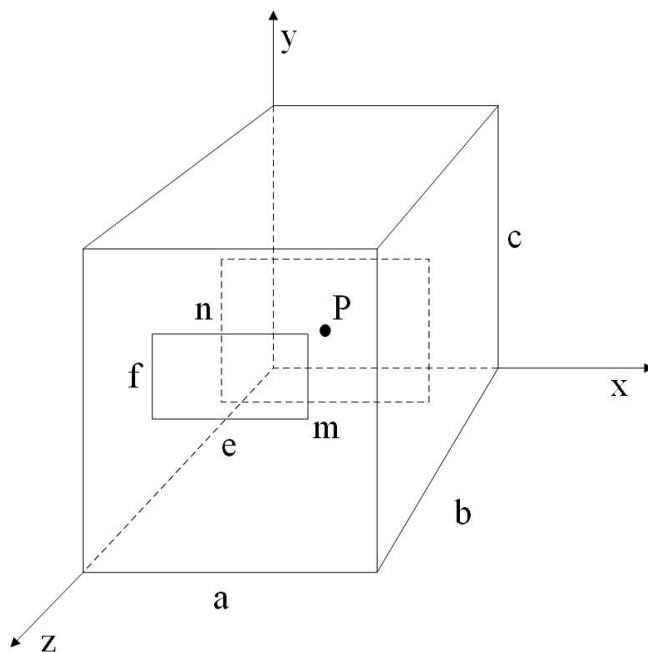


图 1: 开孔外壳模型图

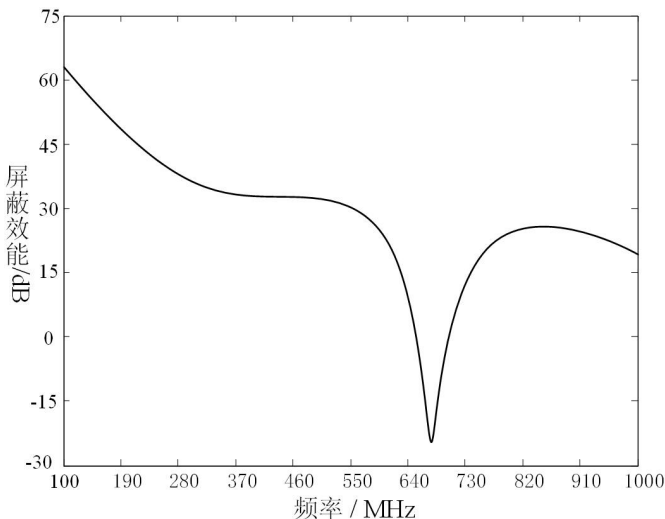


图 2: P 点屏蔽效能仿真结果

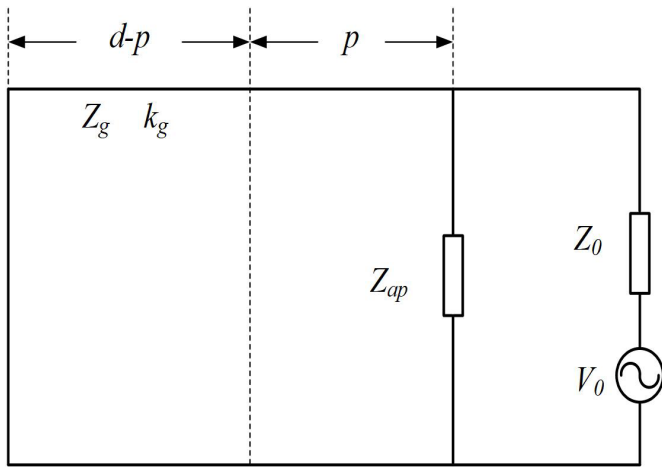


图 3: 屏蔽外壳等效电路

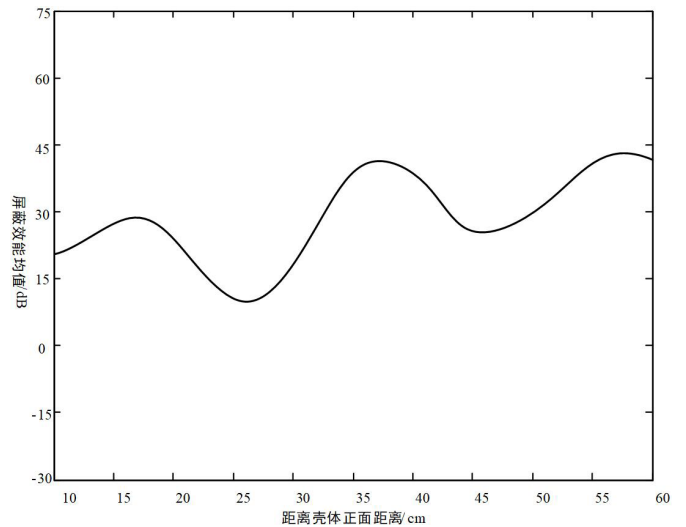


图 5: 与开孔面距离不同点处对应的屏蔽效能关系图

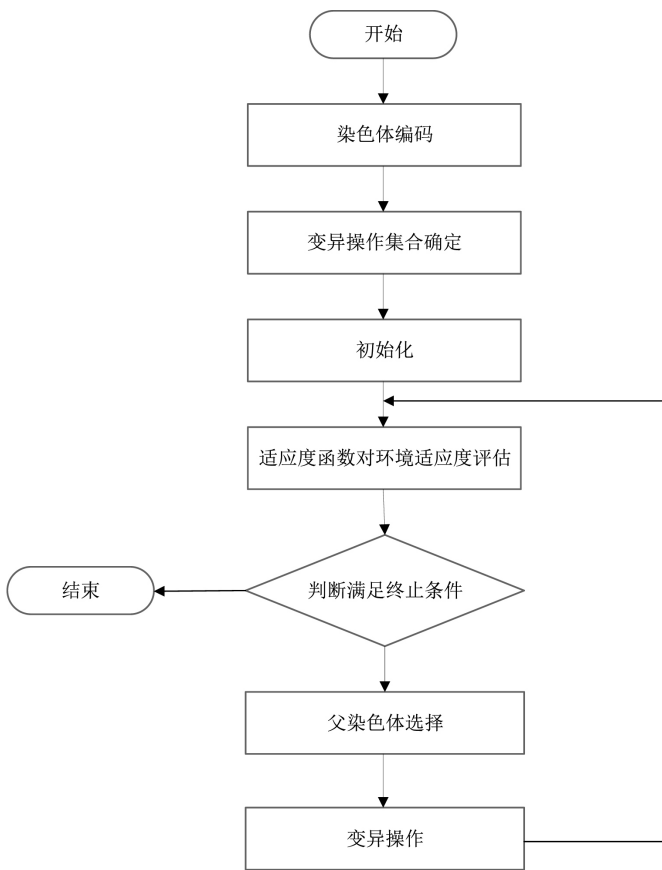
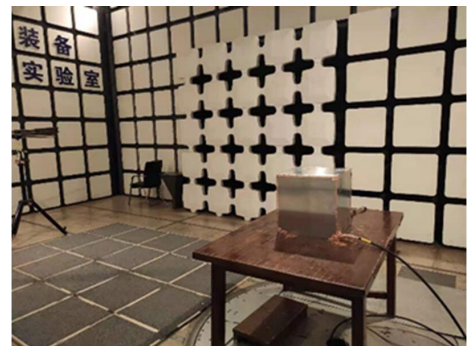


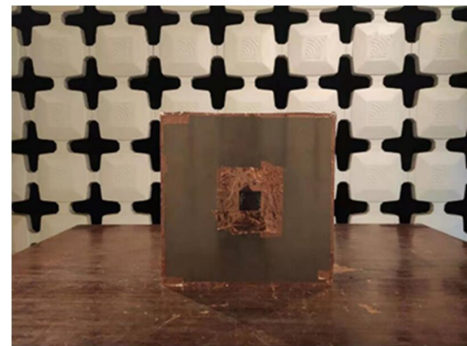
图 4: 算法训练流程图

和点 Q。图 2 显示了 P 点屏蔽效能的 CST 模拟结果。

由图 2 仿真结果可知：屏蔽效能在 372-552MHz 范围内屏蔽效能随频率变化很小；552-582MHz 内随频率升高而下降；在 582-822MHz 上，随着频率的升高而上升，频率在 822-1000MHz 时，屏蔽效能随频率升高而缓慢降低。在 100-1000MHz 的整个频带中，随着频率的增加，它呈现出下降趋势。580MHz 的屏蔽效率是模拟图像的最低点，谐振频率点和最差的屏蔽效果。



(a) 电波暗室实物测试图



(b) 加装屏蔽外壳面

图 6: 电波暗室场地布置

3 基于进化卷积神经网络的开壳屏蔽效能研究

3.1 开孔外壳的传输线等效电路

在本文中，开口等效于传输线，电磁屏蔽壳等效于具有短端的波导 [7-8]。图 3 是屏蔽壳的等效电路。

根据传输线理论、麦克斯韦方程组、戴维南等效定理及屏蔽效能定义式，可以求得观测点 P 处的等效阻抗 Z_1 、等效电压源 V_1 、等效电压 V_p 和负载 Z_2 及屏蔽效能 SE_p 如式(3)。

Full Spectrum

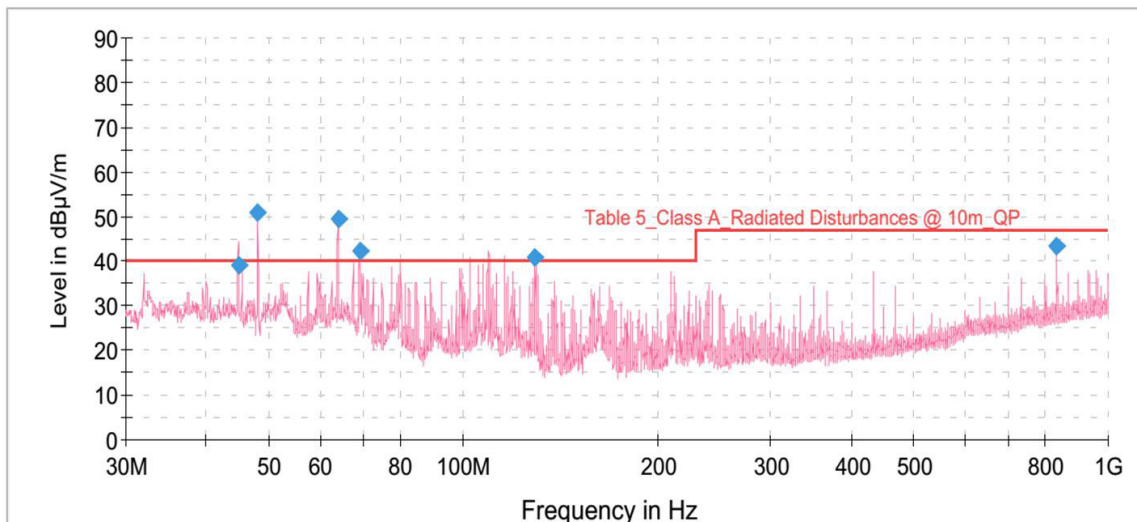


图 7: A 辐射骚扰噪声

Full Spectrum

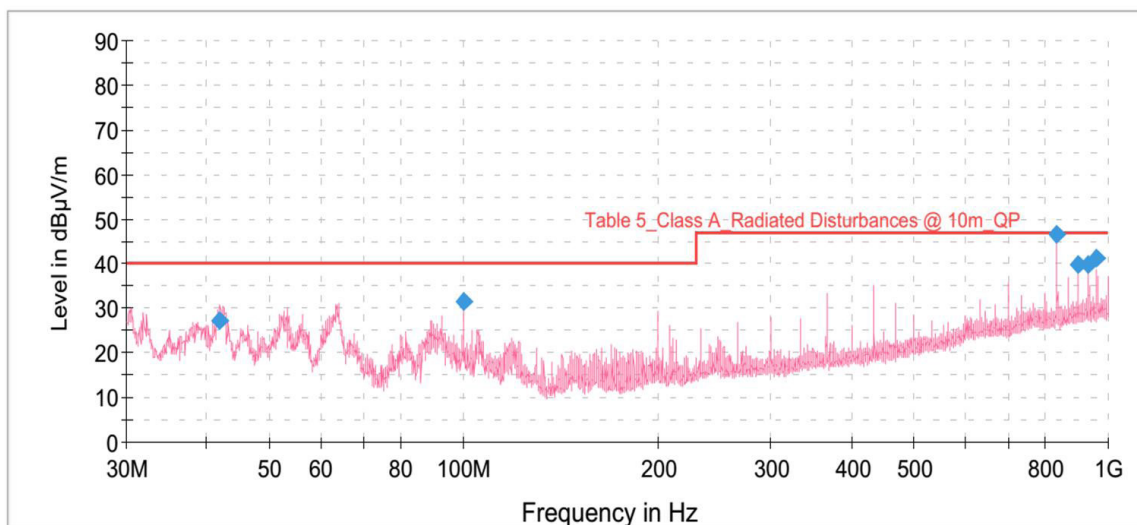


图 8: B点辐射骚扰噪声

$$\begin{cases}
 V_1 = \frac{V_{ap}}{\cos(k_g y_p) + j \left(\frac{Z_{ap}}{Z_g} \right) \sin(k_g y_p)} \\
 Z_1 = \frac{Z_{ap} + j Z_g \tan(k_g y_p)}{1 + j \left(\frac{Z_{ap}}{Z_g} \right) \tan(k_g y_p)} \\
 Z_2 = j Z_g \tan[k_g (d - y_p)] \\
 V_p = \frac{C V_1 Z_2}{Z_1 + Z_2} \\
 SE_p = -20 \lg \left| \frac{V_p}{V_{ap}} \right| \\
 Z_{ap} = k_g j \tan k_2 f
 \end{cases} \quad (3)$$

其中 k_g , Z_g 为矩形波导的相位阻抗和特性阻抗, 为观测点的位置坐标和屏蔽壳的几何尺寸, 为算法优化得到的孔径

阻抗参数、孔径形状参数和位置参数, 观测点的屏蔽效率预测值为 SE_p 。

基于进化卷积神经网络算法的参数提取。

根据壳体中心位置的屏蔽效能信息, 通过进化卷积神经网络算法获得公式 (3) 中的参数 k_1, k_2, C 。

进化算法作为传统领域中常见的优化算法, 其在多个领域内都有广泛的应用。本文使用进化算法优化神经网络以获得更加精确的电路参数信息。在进化神经网络算法中, 将电路初始参数代入初始种群个体的染色体中, 并对神经网络的内部参数和神经网络结构进行编码, 通过进化算法对神经网络的结构与参数进行优化^[9-10]。结合进化算法产生深度神经网络的自动构建, 以此在计算多参数问题时, 手动参数调整的工作量大大降低。算法的基本过程如下:

(1) 染色体编码: 为找到最优或接近最优的深度神经

网络,使用进化算法来优化深度神经网络,在进化神经网络的染色体中编码复杂而庞大的数据信息。

(2) 变异操作:相较于交叉操作,变异操作更常见于基于深度学习的进化神经网络的进化策略。本文算法中采用变异操作作为主要的参数计算进化操作。

(3) 选择适应度函数:为评估染色体对测试环境的适用性,提出适应度函数概念,通过适应度函数选择更适应环境的染色体。

(4) 训练流程:基于深度学习的进化神经网络训练流程如图4所示,相关流程步骤如下:

①在实际电路参数问题上,挑选合适的整合染色体需要编码信息与变异操作;

②设定最简网络并初始化算法,将该网络作为种群个体,根据实验设计需求设置训练种群规模大小;

③为确定染色体个体对目标环境的适应度,算法计算种群个体的适应度函数,根据适应度计算结果来选择合适的染色体作为父代种群;

④通过变异操作对父代染色体种群开展进化策略,在产生的新一代种群中,选择得出子代种群,持续循环至到满足终止条件则算法停止,不满足则转向(3)算法继续^[11-12]。

可得算法流程图如图4所示。

在本文算法计算中节点数 $n=1000$,各结构外壳由公式

(4) 计算获得的屏蔽效能为 SE_p ,对应结构的屏蔽效能仿真值记为 SE_0 ,则适应度 Q 为:

$$Q=(SE_p-SE_0)^2 \quad (4)$$

3.2 箱内屏蔽效能分布

根据公式(3)可以计算得到与开孔面距离不同点处对应的屏蔽效能关系,如图5所示,结果表明,距离孔表面26cm处屏蔽效率小,屏蔽效果差。38cm处屏蔽效率大,屏蔽效果好。

4 3米法全波暗室实验

在电波暗室中进行验证实验,分别测试开孔面26cm处的A点及38m处的B点的辐射骚扰。电波暗室实物测试图,如图6所示。

测试结果表明,A点和B点的辐射干扰结果分别如图7和图8所示,图谱显示A点的辐射骚扰噪声强于B点辐射骚扰噪声,即在中低频率段,A点处比B点处的屏蔽效能弱,而在高频段,两者屏蔽效能基本相近。

5 结论

本文在100MHz-1000MHz通过开孔外壳电磁屏蔽特性仿真与分析,得出神经网络算法提取的参数预测屏蔽效能结果的准确性。之后利用远场电波暗室测试结果,进一步验证与开孔面距离不同点处对应的屏蔽效能关系,通过本文的方法更加方便的预测开孔外壳内部各点屏蔽效能,为未来研究提高外壳的屏蔽效能提供工程参考价值。

参考文献

- [1] 公延飞,郝建红,蒋璐行,等.基于Bethe小孔耦合理论和镜像原理的双腔体电磁泄漏的解析模型[J].电工技术学报,2018,33(9):2139-2147.
- [2] Nie Baolin, Du Pingan. Electromagnetic shielding performance of highly resonant enclosures by a combination of the FETD and extended Prony's method[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2014,56(2):320-327.
- [3] Z. Yan, F. Qin and J. Cai, "Shielding Effectiveness of Materials Under the Excitation of High-Power Microwave," in IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, vol. 62, no. 5, pp. 2317-2320, Oct. 2020, doi: 10.1109/TEMC.2019.2951278.
- [4] 周泽伦.带孔缝箱体电磁屏蔽效能的研究[J].西安科技大学学报,2016,36(1):122-126.
- [5] 胡博宇.任意平面波辐照下开孔矩形腔体屏蔽效能快速计算方法[J].电工技术学报,2018,33(15):3651-3660.
- [6] M. P. Robinson, J. D. Turner, D. W. P. Thomas, et al. Shielding effectiveness of a rectangular enclosure with a rectangular aperture[J]. Electronics Letters, 1996,32(17):1559-1560.
- [7] 张亚普,达新宇,谢铁城.孔缝箱体屏蔽效能电磁拓扑分析模型[J].强激光与粒子束,2014,26(2):228-233.
- [8] Nie Baolin, Du Pingan. Electromagnetic shielding performance of highly resonant enclosures by a combination of the FETD and extended Prony's method[J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2014,56(2):320-327.
- [9] Ghawi R, Jürgen Pfeffer. Efficient Hyperparameter Tuning with Grid Search for Text Categorization using kNN Approach with BM25 Similarity[J]. Open Computer Science, 2019,9.
- [10] Abraham A. Meta-Learning Evolutionary Artificial Neural Networks[J]. Neurocomputing, 2004,56:1-38.
- [11] Chalmers D J. The Evolution of Learning: An Experiment in Genetic Connectionism[J]. Connectionist Models, 1991,79(2):81-90.
- [12] 朱虎明,李佩,焦李成,等.深度神经网络并行化研究综述[J].计算机学报,2018,41(8):21.

作者简介

黄洋(1992-),男,大学本科学历,电气工程及其自动化专业,助理工程师。研究方向为电磁兼容。