

Simulation Analysis of 5G Electromagnetic Shielding Effectiveness of Metal Circular Vent Hole Array

Zihao Kang

International College of Zhengzhou University, Zhengzhou Henan
Email: kangzh2017@163.com

Received: Jul. 29th, 2020; accepted: Aug. 12th, 2020; published: Aug. 19th, 2020

Abstract

Good electromagnetic shielding efficiency and heat dissipation performance are important factors to ensure the stable operation of electronic equipment. 5G communication puts forward higher requirements for the design of metal shielding vent hole arrays for electronic equipment. In this paper, the finite element method is used to study the regulation of electromagnetic shielding effectiveness of the hexagonal periodic arrangement of metal circular vent holes in the frequency range of 1 GHz to 40 GHz. The electromagnetic shielding effectiveness is adjusted with the change of diameters of vent hole, metal thickness, incident angle and polarization mode of electromagnetic wave. The results show that under the certain heat dissipation efficiency, reducing the diameter of vent hole or increasing the metal thickness can effectively improve its shielding effectiveness, and its performance can maintain good stability to the incident angle and polarization mode. The above results have certain reference significance for the electromagnetic shielding design of 5G communication.

Keywords

Electromagnetic Shielding, Vent Hole Array, 5G Communication

金属圆形散热孔阵5G电磁屏蔽效能仿真分析

亢子豪

郑州大学国际学院, 河南 郑州
Email: kangzh2017@163.com

收稿日期: 2020年7月29日; 录用日期: 2020年8月12日; 发布日期: 2020年8月19日

摘要

良好的电磁屏蔽和散热性能是保障电子设备稳定工作的重要因素,5G通信则对电子设备金属屏蔽散热孔阵的设计提出了更高要求。本文通过有限元法数值研究了在1 GHz~40 GHz频段正六边形周期排布金属圆形散热孔阵随散热孔径、金属厚度、入射角度和极化方式改变的屏蔽效能调控规律。结果表明,在保持散热效率不变的前提下,通过减小散热孔径或增大金属厚度可以有效提高其屏蔽效能,并且该性能对入射角度与极化方式均能保持较好的稳定性。该结论对5G通信频段电磁屏蔽设计具有一定的参考意义。

关键词

电磁屏蔽, 散热孔阵, 5G通信

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着电子科技水平的飞速发展以及电子设备的广泛应用,电子设备所面临的电磁环境日益复杂,相关产品对电磁屏蔽的要求越来越高[1]。加装金属电磁屏蔽罩是一种常见的电磁屏蔽手段,通过金属对电磁波的屏蔽作用,可以使电子设备在工作时既不干扰其它设备,同时也不受其它设备影响[2]。但是有时为了达到散热的目的,需要对电子设备的金属屏蔽罩进行开孔散热。由于开孔会直接导致屏蔽效能的降低[3],甚至可能会使屏蔽效能完全消失,因此,研究者对具有不同散热孔阵的金属屏蔽罩在6 GHz以下频段的电磁屏蔽性能展开了广泛研究[4][5]。如石高峰等人[4]比较了单个散热孔与相同面积散热孔阵在0~1 GHz范围内的电磁屏蔽效果,其结果表明,圆形周期分布的散热孔阵的电磁屏蔽效能明显优于单个散热孔。何新文等人[5]研究了不同形状的散热孔阵在0~4 GHz范围下的电磁屏蔽效能,经优化后的金属散热孔阵的电磁屏蔽效能均能达到30 dB以上。

随着5G通信时代的步步临近,电磁设备的工作频率不断提高,电子设备之间的干扰愈发严重,同时随着功耗的不断增加,发热量也不断提高,因此电子产品的电磁屏蔽性能与散热性能方面的平衡愈加重要。尽管已有少数研究者通过设计新型散热孔,取得了较为不错的电磁屏蔽性能,如徐留留等人[6]设计出一种新颖的介质开孔型频率选择表面,实现了在28 GHz频率下电磁屏蔽效能达30 dB以上,带宽大于2 GHz,并且在入射角 0° ~ 60° 范围内具有良好稳定性。但是该类新颖散热孔结构对制作工艺要求较高,成本也较高,并不利于金属电磁屏蔽罩的应用普及,因此对散热孔阵在5G通信频段的电磁屏蔽性能进行分析仍具有重要的现实意义。

本文利用有限元法对正六边形排布金属散热孔阵在1 GHz~40 GHz频段范围内的电磁屏蔽性能进行分析,研究了几何参数(散热孔径、金属厚度)与电磁波入射方式(入射角度、极化方式)等因素对其电磁屏蔽效能的影响规律。该项研究对5G通信谱段的金属电磁屏蔽开孔设计具有一定的指导意义。

2. 结构与建模

正六边形周期分布的金属圆形散热孔阵不仅具有散热效率高、均匀性好等特点,在电磁屏蔽方面还具有对电磁波极化方式不敏感等优点,是工业上最为常见的金属散热孔阵之一。因此本文将重点研究此

种金属散热孔阵的电磁屏蔽性能。图 1 为该类型金属散热孔阵的示意图,其中 T 为金属散热孔阵的厚度, D 为散热孔的直径, P 为周期长度(两散热孔的孔间距), 虚线为一个散热孔周期单元。

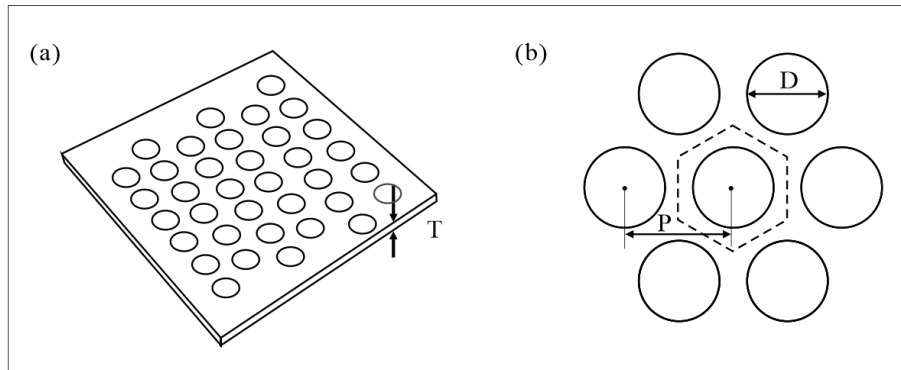


Figure 1. Schematic diagram of metal circular vent holes. (a) 3D view; (b) Top view
图 1. 金属圆形散热孔阵示意图。(a) 3D 图; (b) 俯视图

通常情况下, 散热孔直径 D 与周期长度 P 可以独立变化, 但如果考虑散热效率一定时, 散热孔直径 D 与周期长度 P 应满足一定比例关系。本文定义散热效率 η 为孔面积与总面积之比, 根据几何关系可得:

$$\eta = \frac{S_{\text{孔}}}{S_{\text{总}}} = \frac{\pi D^2}{2\sqrt{3}P^2} \quad (1)$$

式中, $S_{\text{孔}}$ 代表散热孔面积, $S_{\text{总}}$ 代表金属屏蔽罩总面积(金属与散热孔面积之和)。由式(1)可得, 当散热效率一定时, 周期长度 P 与散热孔直径 D 满足下式:

$$P = \sqrt{\frac{\pi}{2\sqrt{3}\eta}} D \quad (2)$$

此外, 本文为了定量分析金属散热孔阵的电磁屏蔽效能, 还定义屏蔽效能(Shielding Effectiveness, 简称 SE)为有无屏蔽时空间中同一位置的电场强度之比:

$$SE = 20 \lg \left| \frac{E_0}{E_S} \right| \quad (3)$$

式中, E_0 代表无金属散热孔阵时空间某位置的电场场强, E_S 代表有金属散热孔阵时空间该位置处的电场场强。当入射波的电场强度相同时, 屏蔽区域内电场强度越小即 SE 越大, 表示屏蔽效能越好。

由于影响金属散热孔阵的电磁屏蔽效能因素较多, 其 SE 不仅与散热孔本身几何参数及周期排布有关, 还与电磁波的入射方式及频率有关[7], 因此, 在绝大多数情况下, SE 与相关因素之间的调控规律无法用简单的解析式进行表达, 这在一定程度上限制了金属散热孔阵的研究与应用。为了解决上述问题, 研究者开发出多种电磁波数值模拟方法对金属散热孔阵的 SE 变化规律进行研究, 如时域有限差分方法[8]、有限元[9] [10]、矩量法[11]等方法。上述方法在研究分析金属散热孔阵的 SE 调控规律方面, 展现出灵活、快速、不受频段限制等特点, 近年来得到了研究者的广泛青睐。

基于以上原因, 本文采用有限元方法对正六边形分布圆形金属散热孔的 SE 在 5G 通信频段进行数值仿真分析。在本文中, 金属选定为铜, 这主要由于其具有良好的散热特性及电磁屏蔽特性, 是最为常见的金属屏蔽材料之一。金属散热孔阵上下介质设定为空气, 并在空气层外加设一定厚度的完美吸收层, 用以模拟在无限大空间中金属散热孔阵的电磁波屏蔽效能。同时, 为了体现金属散热孔阵的周

周期性排布特点, 本文选定正六边形作为单个周期单元(如图 1(b)中虚线所示), 并将其正六边形的六条边设为周期性边界条件。此外, 在本文中, 电磁波的频段范围设置为 1 GHz~40 GHz, 基本覆盖了主要的 5G 通信频段。

3. 结果与讨论

3.1. 散热孔径对 5G 电磁屏蔽效能的影响

本文首先对金属屏蔽散热孔阵的孔径大小对 5G 电磁屏蔽效能的影响规律进行研究。本文假定散热效率 η 均保持为 50%, 则根据式(2)可得, 散热孔直径 D 、周期长度 P 取值如表 1 所示。

Table 1. The corresponding value of hole diameter D and period length P when the heat dissipation efficiency is 50%
表 1. 散热效率为 50%时金属屏蔽散热孔阵的孔径 D 与周期长度 P 的取值

散热孔直径 D /mm	周期长度 P /mm	散热效率 η
2.00	2.70	0.5
3.00	4.05	
4.00	5.40	
5.00	6.74	
6.00	8.09	

此外, 在该部分讨论中, 还设定金属厚度 T 始终为 2.0 mm, 电磁波入射极化方式为垂直入射 TM 模式。利用有限元法可得, 不同散热孔径在 1 GHz~40 GHz 的 SE 随频率变化如图 2 所示。

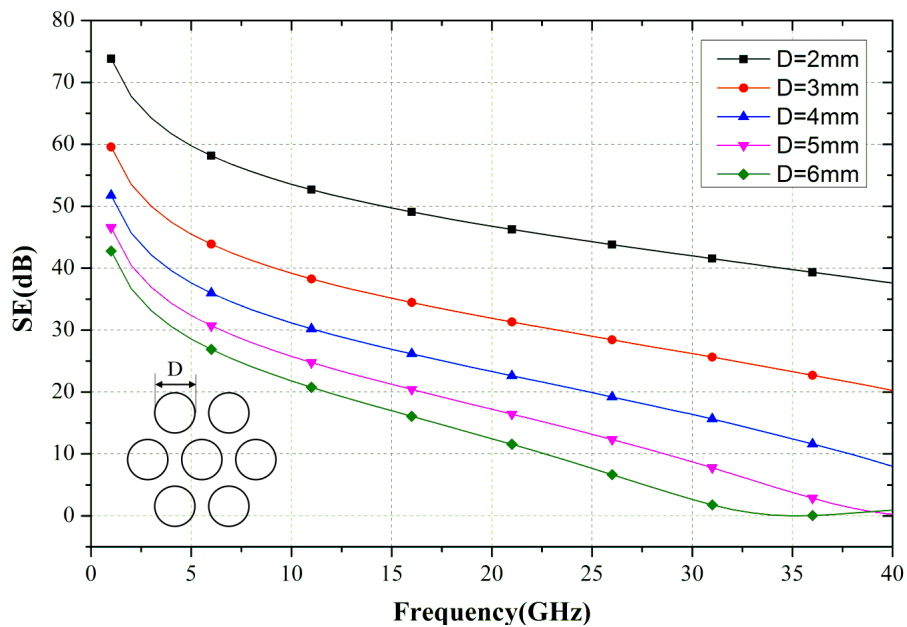


Figure 2. Electromagnetic SE of metal vent hole arrays with different diameters
图 2. 不同散热孔径金属散热孔阵的电磁屏蔽效能

从图 2 可以看出, 散热孔径大小对金属散热孔阵的 SE 的影响较大, 随着散热孔径的逐渐增加, 其 SE 逐渐降低。以 28 GHz 为例, 当孔径 D 为 2 mm 时, 金属散热孔阵的 SE 为 42.8 dB。而当孔径 D 为 6 mm

时, 金属散热孔阵的 SE 则减小为 4.6 dB, 这说明了较大的金属散热孔阵会造成 5G 电磁屏蔽的泄漏, 而较小的金属散热孔阵则会具有较好的 5G 电磁屏蔽效能。需要指出的是, 虽然金属散热孔阵直径越小, 其电磁屏蔽效能越好, 但在实际应用中, 散热孔孔径不易过小, 从而防止灰尘积聚。此外, 从图 2 还可以看出, 无论散热孔径的大小如何变化, 金属散热孔阵的 SE 均呈现随频率地增加而减小的趋势。在 1 GHz~40 GHz 范围内, 散热孔径 D 为 2 mm 时, 其 SE 的最低值为 37.5 dB, 这说明当散热孔径 D 为 2 mm 时, 金属散热孔阵在 5G 频段范围均具有良好的电磁屏蔽效能, 能够满足工业上对 5G 频段电磁屏蔽效能的需求。

3.2. 金属厚度对 5G 电磁屏蔽效能的影响

金属散热孔阵的 SE 不仅会受到散热孔径 D 影响, 还会受到金属厚度的影响。通常情况下, 金属越厚, 屏蔽效能越好, 但厚度过大也会导致散热不好以及金属屏蔽罩成本的增加, 因此研究满足 5G 电磁屏蔽要求的金属屏蔽散热孔厚度也具有重要意义。在该部分讨论中, 仍设定散热效率 η 为 0.5, 设定散热孔径 D 为 4 mm, 此时对应周期长度为 5.40 mm, 电磁波入射极化方式仍为垂直入射 TM 模式。利用有限元法可得, 不同金属厚度在 1 GHz~40 GHz 的 SE 随频率变化如图 3 所示。

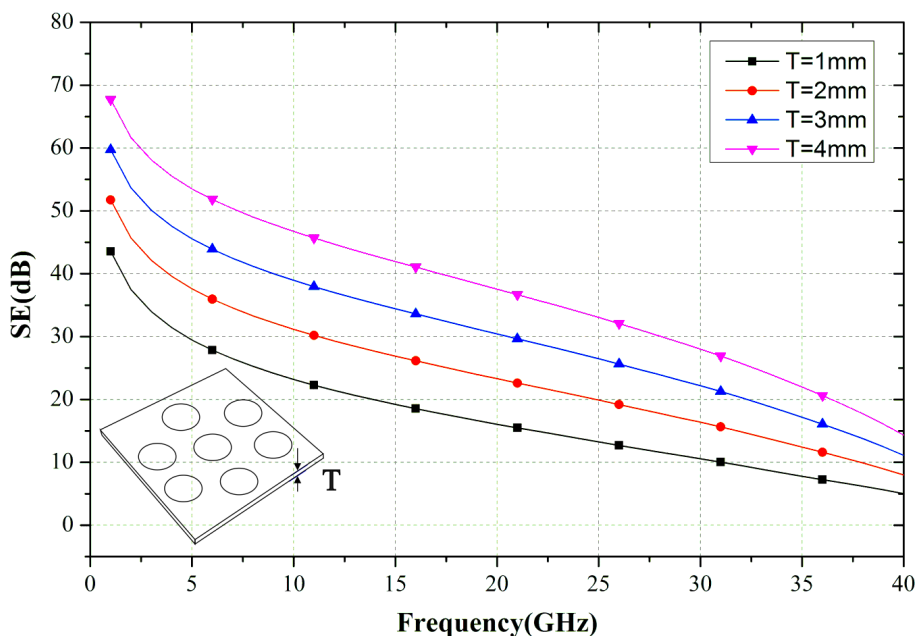


Figure 3. Electromagnetic SE of metal vent hole arrays with different thickness

图 3. 不同厚度金属散热孔阵的电磁屏蔽效能

由图 3 可以看出, 金属散热孔阵的 SE 随着金属厚度的增加而增大。仍以 28 GHz 为例, 当金属厚度为 1 mm 时, 金属散热孔阵的 SE 仅为 11.7 dB, 金属散热孔阵并不能起到屏蔽电磁波的作用。而当金属厚度增加至 4 mm 时, 金属散热孔阵的在 28 GHz 处的 SE 增加为 30.1 dB, 金属散热孔阵的电磁屏蔽效能得到了明显地增强。此外, 从图 3 还可以看出, 在 1 GHz~40 GHz 范围内, 金属散热孔阵的 SE 均呈现随频率地增加而减小的趋势, 这与前文研究散热孔径对金属散热孔阵 SE 的影响时所得出的规律一致。值得特别指出的是, 虽然金属厚度与散热孔径都能影响金属散热孔阵的 SE, 但相对于孔径大小, 金属厚度对金属散热孔阵 SE 的影响较为有限, 因此在实际设计金属散热孔阵时, 可优先考虑减小散热孔径, 以增大金属散热孔阵在 5G 频段的电磁屏蔽效能, 同时考虑金属屏蔽罩的易用性, 可以适当减小

金属厚度。

3.3. 入射角对 5G 电磁屏蔽效能的影响

在实际应用中，由于电磁波不会总是垂直入射，因此探究电磁波在不同入射角度下金属散热孔阵的屏蔽效能也十分重要。依据散热孔径及金属厚度对金属散热孔阵的屏蔽效能的影响规律，并综合考虑金属散热孔阵的防积灰要求及易用性，本文设定金属厚度为 2 mm，金属散热孔径 D 为 2 mm，周期长度为 2.70 mm，由式(2)易知，此时金属散热效率 η 仍保持为 0.5。考虑电磁波 TM 极化，改变电磁波入射角($0^\circ\sim 80^\circ$)，数值模拟计算金属散热孔阵在 1 GHz~40 GHz 频段的屏蔽效能，结果如图 4 所示。

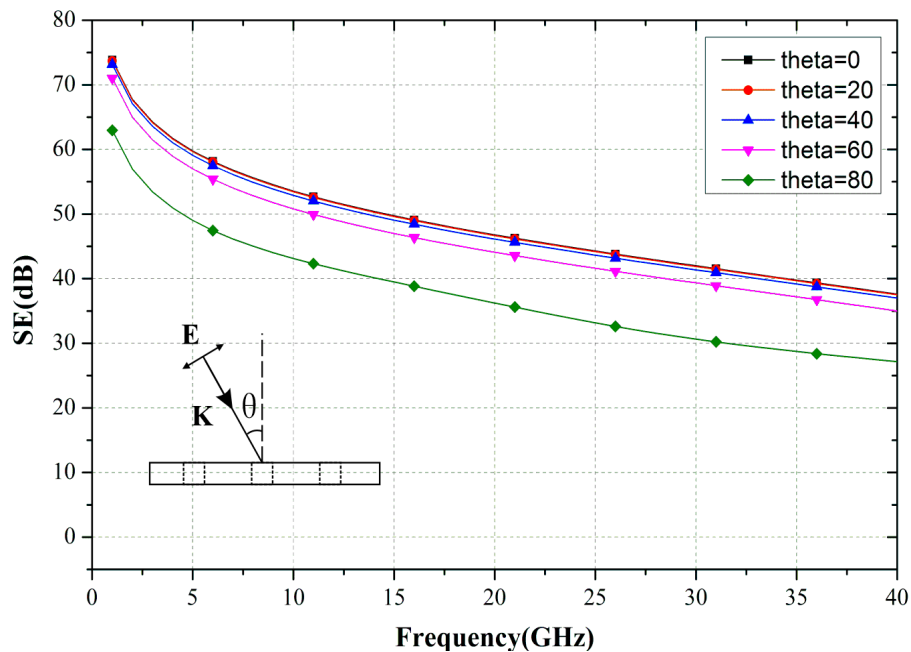


Figure 4. Electromagnetic SE of metal shielding vent hole array to TM polarization at different incident angles

图 4. 不同厚度金属散热孔阵的电磁屏蔽效能

由图 4 可以看出，TM 极化电磁波以不同入射角入射时，金属散热孔阵的 SE 随频率的变化规律大体一致。同时，在 $0^\circ\sim 40^\circ$ 范围 SE 基本无变化，在入射角为 $40^\circ\sim 60^\circ$ 范围内 SE 有轻微下降，但 40 GHz 频段以下其 SE 均大于 30 dB，能够满足工业电磁屏蔽的基本需求。但需要指出，当入射角为 80° 时，31 GHz~40 GHz 的高频段内其 SE 会略低于 30 dB，出现轻微地电磁泄漏。

3.4. 极化方式对 5G 电磁屏蔽效能的影响

为了全面研究金属散热孔阵对各类电磁波的屏蔽效能，需要对不同极化方式下金属散热孔阵的 SE 进行探究。本文保持金属散热孔阵的金属厚度(2 mm)、散热孔径(2 mm)及周期长度(2.70 mm)不变，计算电磁波在 TE 极化方式下，入射角为 $0^\circ\sim 80^\circ$ 时金属散热孔阵的 SE，结果如图 5 所示。

由图 5 可以看出，与 TM 极化规律相同，在 TE 极化方式下金属散热孔阵的 SE 也随着入射角和频率的增大逐渐降低。所不同的是，1 GHz~40 GHz 频段间的 TE 极化电磁波以 $0^\circ\sim 80^\circ$ 入射时，金属散热孔阵的 SE 均大于 30 dB，略优于 TM 极化时金属散热孔阵的屏蔽效能。综上所述，无论为何种极化方式，当 1 GHz~40 GHz 频段电磁波以 $0^\circ\sim 60^\circ$ 入射时，金属屏蔽圆形散热孔阵均能保持良好的电磁屏蔽效能。

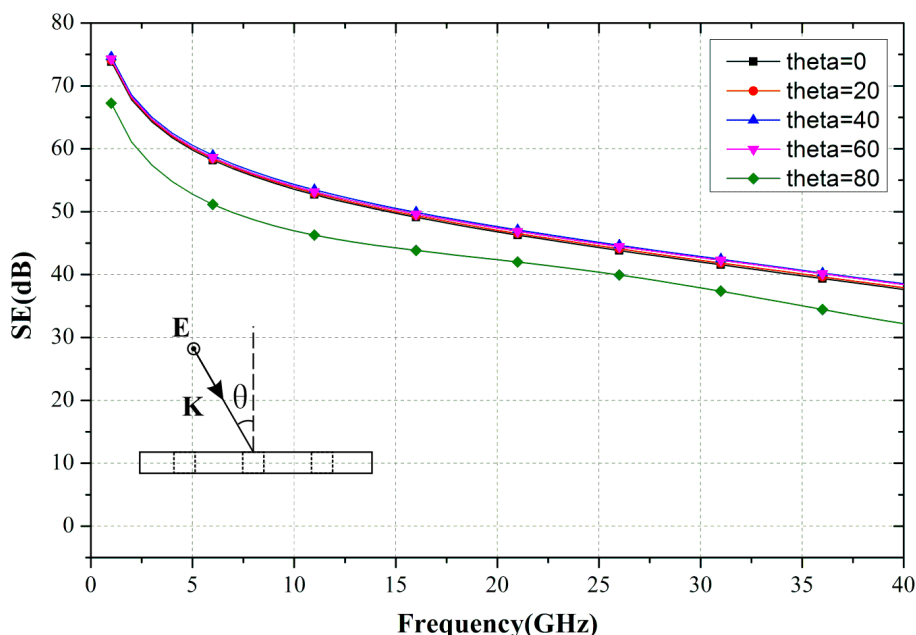


Figure 5. Electromagnetic SE of metal shielding vent hole array to TE polarization at different incident angles

图 5. 不同入射角度下金属屏蔽散热孔阵对 TE 极化的电磁屏蔽效能

4. 结论

本文针对正六边形周期排布圆形金属散热孔阵，探讨了散热孔径、金属厚度、入射角度及极化方式对其电磁屏蔽效能的影响规律。结果表明，减小散热孔径或增大金属厚度能有效提高金属散热孔阵电磁屏蔽效能，并且该性能对电磁波入射角度与极化方式均能保持较好的稳定性。当金属厚度为 2 mm、散热孔径为 2 mm，散热效率为 50% 时，TE 或 TM 极化电磁波以 $0^\circ \sim 60^\circ$ 入射时，正六边形周期排布圆形金属散热孔阵在 1 GHz~40 GHz 频段内的 SE 均大于 30 dB，基本满足了 5G 通信对于电磁屏蔽需求，在一定程度上平衡了散热与电磁屏蔽之间的矛盾，对工程上的开孔型电磁屏蔽罩的设计具有一定的参考意义。

参考文献

- [1] 孔静, 高鸿, 李岩, 等. 电磁屏蔽机理及轻质宽频吸波材料的研究进展[J]. 材料导报, 2020, 34(9): 9055-9063.
- [2] 李玉凌, 何连杰, 郭安琪, 等. 多层金属板低频磁屏蔽效能的理论模型与特性分析[J]. 科学技术与工程, 2020, 20(16): 6490-6496.
- [3] 柒培华, 郝建红, 范杰清. 基于高频微波效应的箱体散热孔阵的屏蔽效能[J]. 河北师范大学学报(自然科学版), 2013, 37(6): 568-573.
- [4] 石高峰, 田梦倩, 钱海龙. 机箱通风孔屏蔽效能仿真及优化[J]. 安全与电磁兼容, 2013(6): 74-77.
- [5] 何新文, 解国领, 吴迪. 孔洞对于机箱屏蔽效能的影响[J]. 无线电工程, 2016, 46(5): 99-102.
- [6] 许留留, 闫丽萍, 赵翔. 适用于 5G 电磁屏蔽的介质开孔型频率选择表面设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2019, 17(4): 616-620.
- [7] 白婉欣, 李天乐, 郭安琪, 等. 平面波照射下无限大导体板上周期孔阵屏蔽效能的解析研究[J]. 物理学报, 2019, 68(10): 89-97.
- [8] Kuo, C. and Kuo, C. (2016) Finite-Difference Time-Domain Analysis of the Shielding Effectiveness of Metallic Enclosures with Apertures Using a Novel Subgridding Algorithm. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 58, 1595-1601. <https://doi.org/10.1109/TEM.2016.2572210>

- [9] 王海峰, 庄光磊. 应用于 GSM1800 屏蔽的小型化频率选择表面设计[J]. 遥测遥控, 2015, 36(2): 61-64.
- [10] 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.
- [11] Ali, S., Weile, D. and Clupper, T. (2005) Effect of Near Field Radiators on the Radiation Leakage through Perforated Shields. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, **47**, 367-373.
<https://doi.org/10.1109/TEMC.2005.847372>