

# 浙江大学 2019-2020 学年 春夏 学期

## 《电磁场与电磁波》课程期末考试试卷

课程号：85120060，开课学院：信息与电子工程学院

考试试卷：√A 卷、B 卷（请在选定项上打√）

考试形式：闭、√开卷（请在选定项上打√），允许带课本入场

考试日期：2020 年 6 月 26 日，考试时间：120 分钟

诚信考试，沉着应考，杜绝违纪。

考生姓名：学号：所属院系：

题序	一	二	三	四	五	总分
得分						
评卷人						

### 一、单项选择题(每小题 2 分，共 40 分)

1. 关于电磁波，下面说法正确的是（ B ）

- A. 声波、微波、紫外线、可见光都是电磁波；
- B. 平面电磁波是指等相位面为一个平面的电磁波；
- C. 电磁波的传播必须有介质，其传播信息最大速度为光速；
- D. 静电场和恒定磁场由于麦克斯韦方程的限制，也是相互耦合的；

2. 在磁各向异性介质中，描述正确的是（ D ）

- A.  $\mathbf{E}$ 、 $\mathbf{H}$  和  $\mathbf{k}$  的方向相互垂直
- B.  $\mathbf{S}$  的方向与  $\mathbf{k}$  的一致
- C.  $\mathbf{E}$ 、 $\mathbf{D}$ 、 $\mathbf{S}$ 、 $\mathbf{k}$  共面
- D.  $\mathbf{H}$ 、 $\mathbf{B}$ 、 $\mathbf{S}$ 、 $\mathbf{k}$  共面

3. 无源空间中，有介质 1 ( $2\epsilon_0, 2\mu_0$ ) 与介质 2 ( $8\epsilon_0, 4\mu_0$ )，介质 1 和介质 2 的电导率分别为 20 S/m 和 80 S/m，两者的分界面是  $z=0$  的平面，若已知介质 1 中的磁场强度为  $\vec{H} = 2\vec{a}_x + 3\vec{a}_y + 5\vec{a}_z$ ，则介质 2 中的磁场强度应为（ B ）

- A.  $2\vec{a}_x + 3\vec{a}_y + \vec{a}_z$
- B.  $2\vec{a}_x + 3\vec{a}_y + 5\vec{a}_z$

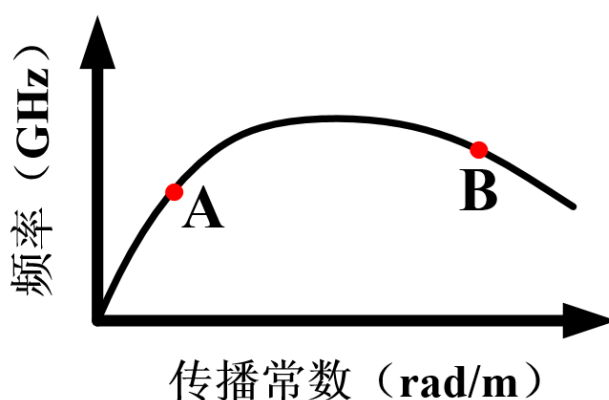
C.  $\vec{x} + \vec{y} + \vec{z}$

D.  $0.5\vec{x} + 2\vec{y} + 1.5\vec{z}$

4. 两同轴线内外径相同，填充介质的相对介电常数为  $\epsilon_r$ ，若  $\epsilon_r = 2.5$  的同轴线要和  $\epsilon_r = 10.8$  的同轴线实现阻抗匹配，需连接同样粗细、四分之一波长的同轴线，若这三段同轴线磁导率相同，则该同轴线的  $\epsilon_r$  约为（ D ）

A. 6.05      B. 4.9      C. 6.6      D. 5.2

5. 如果在某种导波结构中色散曲线如下，下列说法正确的是（ D ）



- A. 该色散曲线上 A 点和 B 点表明该点相速度大于群速度；  
 B. 在图上 B 点群速度与相速度方向相同；  
 C. 该导波结构工作于 TEM 模；  
 D. 在图上 B 点群速度与相速度方向相反；

6. 矩形波导横截面的宽边为  $a$ ，窄边为  $0.2a$ ，那么以下哪些模式是简并的？（ B ）

A.  $TE_{20}$  和  $TE_{01}$       B.  $TE_{50}$  和  $TE_{01}$   
 C.  $TE_{02}$  和  $TE_{10}$       D.  $TE_{05}$  和  $TE_{10}$

7. 关于圆波导，下面说法错误的是（ D ）

- A. 圆波导中 TE 模表示为  $TE_{mn}$  时， $m$  表示场沿圆周分布的驻波数， $n$  表示场沿半径分布的半驻波数或场的最大值个数；  
 B. 汽车在隧道中接收不到电台信号，是因为隧道可等效成圆波导，而信号频率在此圆波导截止频率以下；

- C. 圆波导不适合用来做传输系统；
- D. 圆波导的  $TE_{11}$  模和矩形波导的  $TE_{10}$  模场分布类似，因而可直接将两者连接并且无反射；
8. 关于光纤，下列说法错误的是（ B ）
- A. 光纤是一种介质光波导，其包层折射率必须比纤芯低，从而实现全内反射；
- B. 光纤可以单模工作在  $LP_{01}$ ， $LP_{01}$  模具有低频截止的特性；
- C. 梯度光纤中的模间色散要比阶跃光纤小得多，因而具有更高的传输带宽；
- D. 光纤中传播的电磁波是准 TEM 模；
9. 天线概念中错误的是（ D ）
- A. 天线增益考虑了天线材料中的欧姆损耗，而天线方向性则没有；
- B. 方向图主瓣越窄，副瓣越小，天线方向性就越大，天线增益也越高；
- C. 天线方向性和增益都表示了天线把输入功率集中辐射的程度；
- D. 天线增益是馈入天线电磁信号的放大倍数，方向性是指波束的指向方向；
10. 若抛物面天线口径面直径为 2m，有效面积为  $1.2 m^2$ ，工作频率为 3GHz，则天线增益为（ D ）。
- A. 64dB                      B. 72dB                      C. 36dB                      D. 32dB
11. 有关光纤的数值孔径描述不正确的是（ B ）
- A. 数值孔径较大光纤聚光能力较强；
- B. 数值孔径较大光纤传输带宽较大；
- C. 数值孔径较大光纤模间色散较大；
- D. 数值孔径较大纤芯和包层相对折射率差较大；
12. 若介质1为完纯介质，其介电常数  $\epsilon_1 = 2\epsilon_0$ ，磁导率  $\mu_1 = \mu_0$ ，电导率  $\sigma_1 = 0$ ；  
介质2为空气。平面电磁波由介质2向分界平面上斜入射，若入射角  $\theta = \frac{\pi}{4}$ ，则

介质2中折射波的折射角为（ D ）

- A.  $\frac{\pi}{4}$       B.  $\frac{\pi}{2}$       C.  $\frac{\pi}{3}$       D.  $\frac{\pi}{6}$

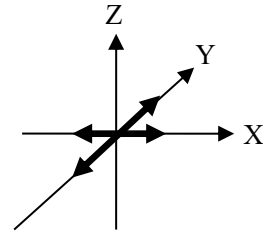
13. 电偶极子的远区辐射场是（ C ）

- A. 非均匀平面波      B. 均匀球面波      C. 非均匀球面波      D. 均匀平面波

14. 如右图所示，有两个电基本振子，分别沿 X 和 Y 轴分布。设电流分别为  $I\cos(\omega t)$  和  $I\sin(\omega t)$ ，长度皆为  $\Delta l$ 。忽略振子间的耦合。

则+X 轴上和+Z 轴上远场点的电场极化状态分别为（ A ）

- A. 线极化；右旋圆极化      B. 右旋圆极化；左旋圆极化  
C. 线极化；左旋圆极化      D. 左旋圆极化；右旋圆极化



15. 电磁波进入良导体的深度在频率不变时随着良导体的电导率的增大而（ ），

在良导体的电导率不变时随着频率的减小而（ B ）

- A. 增大，减小      B. 减小，增大  
C. 增大，增大      D. 减小，减小

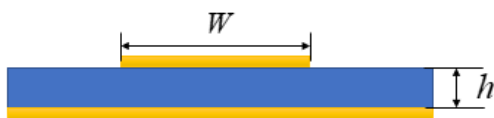
16. 理想介质中的均匀平面波是（ ），导电媒质中的均匀平面波是（ A ）

- A. 非色散波，色散波      B. 色散波，色散波  
C. 色散波，非色散波      D. 非色散波，非色散波

17. 采用金属铝构建一个空气谐振腔，要求设计的谐振频率相同，则哪个谐振腔的品质因数最大？（ D ）

- A. 长方体      B. 正方体      C. 圆柱体      D. 球体

18. 如下图所示为微带线的横截面图，假设  $\frac{W}{h} \geq 1$ ，则相应的尺寸如何调整其特征阻抗一定会增大？（ C ）



- A.  $W$  增大,  $h$  增大      B.  $W$  增大,  $h$  减小  
C.  $W$  减小,  $h$  增大      D.  $W$  减小,  $h$  减小

19. 对电磁辐射的防护具有重要作用的物质是 ( D )

- A. 塑料      B. 玻璃      C. 纤维      D. 金属

20. 对电磁辐射的影响理解**错误**的是 ( C )

- A. 电磁辐射具有热效应;  
B. 电磁辐射是一种能量流;  
C. 电磁辐射与原子弹的核辐射是同类辐射, 作用机理是一样的;  
D. 电磁辐射的水平是可以仪器进行测量并进行评价的;

二、(15 分) 一余弦平面电磁波垂直向下传播, 由空气射到海面, 已知在空气中的波长为  $1\text{cm}$ , 海水的电导率  $\sigma = 2\text{ S/m}$ 、 $\varepsilon_r = 40$ ,  $\mu_r = 1$ 。试求波透入海水中后的波长、相速、相位常数以及每衰减  $\frac{1}{e}$  行进的距离。

解:

平面波的工作频率  $f$  为:

$$f = \frac{c}{\lambda_{air}} = \frac{3 \times 10^8}{0.01} = 30\text{GHz}$$

$$\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} = \frac{2}{2\pi \times 3 \times 10^{10} \times 40 \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}} = 0.03 \ll 1 \quad (3\text{分})$$

由此可知, 海水对该工作频率呈现电导率很小的性质, 所以应用波在电导率很小的介质中传播时的公式。在海水中的波长与相速为:

$$\lambda_{sea} = \frac{2\pi}{k_r} = \frac{2\pi}{\omega\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{2\pi}{2\pi \times 3 \times 10^{10} \times \sqrt{4\pi \times 10^{-7} \times 40 \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}}} = 1.58\text{mm}$$

$$v_p = \frac{\omega}{k_r} = \frac{2\pi \times 3 \times 10^{10}}{2\pi \times 3 \times 10^{10} \times \sqrt{4\pi \times 10^{-7} \times 40 \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}}} = 4.74 \times 10^7 \text{ m/s}$$

相移常数、波阻抗分别为：

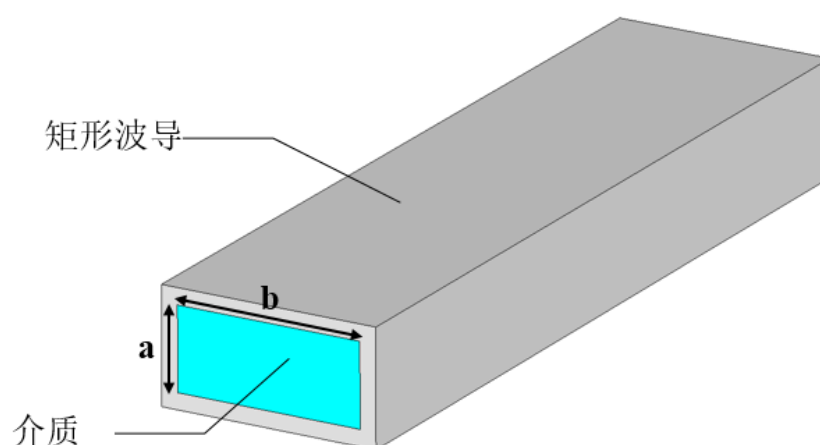
$$k_r = \omega \sqrt{\mu \varepsilon} = 2\pi \times 3 \times 10^{10} \times \sqrt{4\pi \times 10^{-7} \times 40 \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}} = 3973.84 \text{ rad/m} \quad (3 \text{ 分})$$

$$d_p = \frac{2}{\sigma} \sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}} = \sqrt{\frac{40 \times \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}}{4\pi \times 10^{-7}}} = 0.0168 \text{ m}$$

三、(15 分) 如下图所示，矩形波导长边  $a = 20 \text{ mm}$ ，宽边  $b = 9 \text{ mm}$ ，该矩形波导的内部填充相对介电常数  $\varepsilon_r = 4$ ，相对磁导率  $\mu_r = 1$  的介质。

(1) 试求该波导  $TE_{10}$  模式的截止频率  $f_c$ 、截止波长  $\lambda_c$ ，作出  $TE_{10}$  模式在波导横截面上的电场矢量分布图；

(2) 试求该波导的第一高次模以及单模工作频段并作出该波导第一高次模在波导横截面上的电场矢量分布图。



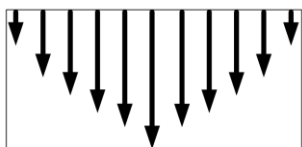
解：

(1)

$$f_c = \frac{v}{2a} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r} \times 2a} = 3.75 \text{ GHz}$$

$$\lambda_c = 2a = 40 \text{ mm}$$

$TE_{10}$  模式在波导横截面上的电场矢量分布图：



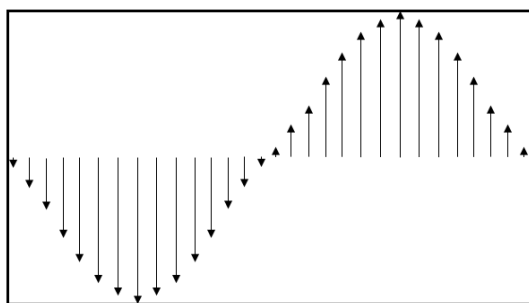
(2)

第一高次模式为 $TE_{20}$ 模

$$f_{c1} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} \times a} = 7.5 \text{ GHz}$$

故单模工作频段为 $[3.75 \text{ GHz}, 7.5 \text{ GHz}]$

$TE_{20}$ 模式在波导横截面上的电场矢量分布图：



四、(15 分) 如下图所示，矩形空腔谐振器沿  $z$  方向用  $\epsilon_r = 7$ ， $\mu_r = 1$  的介质填充了  $1/4$  空间，填充位置为  $z = \frac{3l}{8}$  和  $z = \frac{5l}{8}$  之间。x 和 y 方向宽度分别为  $a=9\text{cm}$  和  $b=4.5\text{cm}$ 。已知谐振频率  $f_0 = \frac{10}{3} \text{ GHz}$ ，工作模式为  $TE_{101}$  模。(注意：本题长度单位均要求取  $\text{cm}$ )

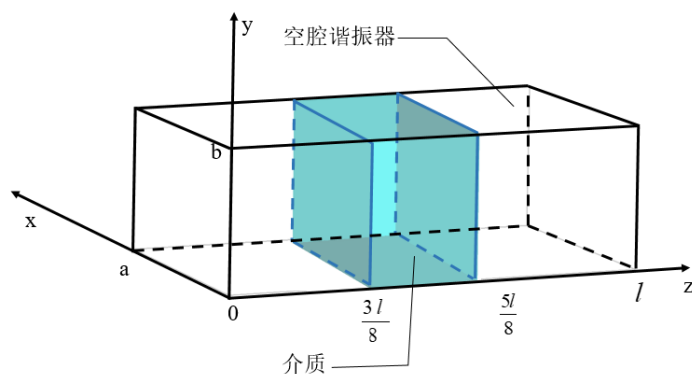
间，填充位置为  $z = \frac{3l}{8}$  和  $z = \frac{5l}{8}$  之间。x 和 y 方向宽度分别为  $a=9\text{cm}$  和  $b=4.5\text{cm}$ 。已知谐振频率  $f_0 = \frac{10}{3} \text{ GHz}$ ，工作模式为  $TE_{101}$  模。(注意：本题长度单位均要求取  $\text{cm}$ )

(1) x 方向的传播常数  $k_x$ ；

(2) 画出  $z$  方向的等效电路图，并求各段的传播常数和特征阻抗；

(3) 对于  $TE_{101}$  模式，判断  $z = \frac{l}{2}$  处是开路还是短路，并说明理由；

(4) 由横向谐振原理求谐振器  $z$  方向的长度  $l$ 。



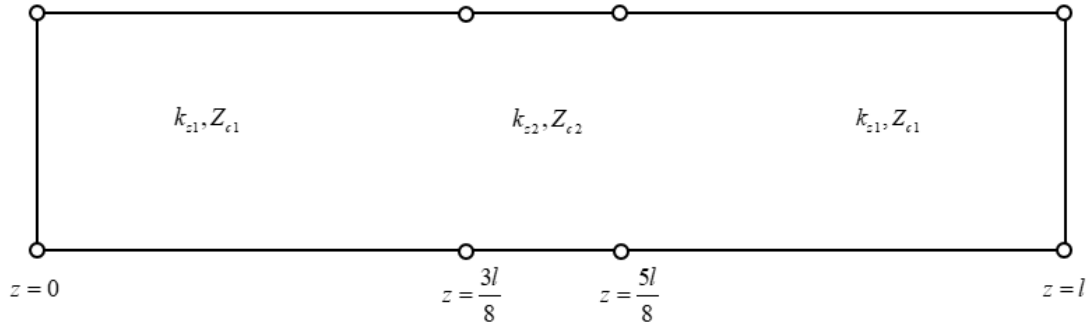
解：

(1)

$$k_x = \frac{\pi}{a} = \frac{\pi}{9} \text{ cm}^{-1}$$

(2)

z 方向等效电路:



$$k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = 2\pi f_0 \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} = \frac{2\pi}{9} \text{ cm}^{-1}$$

$$k_{z1} = \sqrt{k_0^2 - k_x^2} = \frac{\sqrt{3}\pi}{9} \text{ cm}^{-1}$$

$$Z_{e1} = \frac{\omega \mu}{k_{z1}} = \frac{2\pi \times \frac{10^{10}}{3} \times 4\pi \times 10^{-7}}{\frac{\sqrt{3}\pi}{9}} = 80\sqrt{3}\pi \text{ } \Omega$$

$$k_{z2} = \sqrt{\epsilon_r k_0^2 - k_x^2} = \frac{\sqrt{3}\pi}{3} \text{ cm}^{-1}$$

$$Z_{e2} = \frac{\omega \mu}{k_{z2}} = \frac{2\pi \times \frac{10^{10}}{3} \times 4\pi \times 10^{-7}}{\frac{\sqrt{3}\pi}{3}} = \frac{80\sqrt{3}}{3}\pi \text{ } \Omega$$

(3) 开路, 因为  $z = \frac{l}{2}$  处电场最大, 传输线上的电压最大, 即电流最小, 由于是纯驻波, 电

流最小为零, 所以是开路; 或者说, 在  $TE_{101}$  模式中, 电场是关于中心位置偶对称, 所以中心位置是开路 (两种表述均可)

(4)

取  $z = \frac{3l}{8}$  面为参考面, 利用横向谐振原理:



$$\frac{1}{jZ_{c1} \tan\left(k_{z1} \frac{3l}{8}\right)} + \frac{j \tan\left(k_{z2} \frac{l}{8}\right)}{Z_{c2}} = 0$$

$$Z_{c2} = Z_{c1} \tan\left(k_{z1} \frac{3l}{8}\right) \tan\left(k_{z2} \frac{l}{8}\right)$$

$$1 = 3 \tan\left(k_{z1} \frac{3l}{8}\right) \tan\left(k_{z2} \frac{l}{8}\right)$$

$$3 \tan^2\left(\frac{\sqrt{3}\pi}{9} \times \frac{3l}{8}\right) = 1$$

$$\frac{\sqrt{3}\pi l}{24} = \frac{\pi}{6}$$

$$l = \frac{4}{\sqrt{3}} \text{ cm}$$

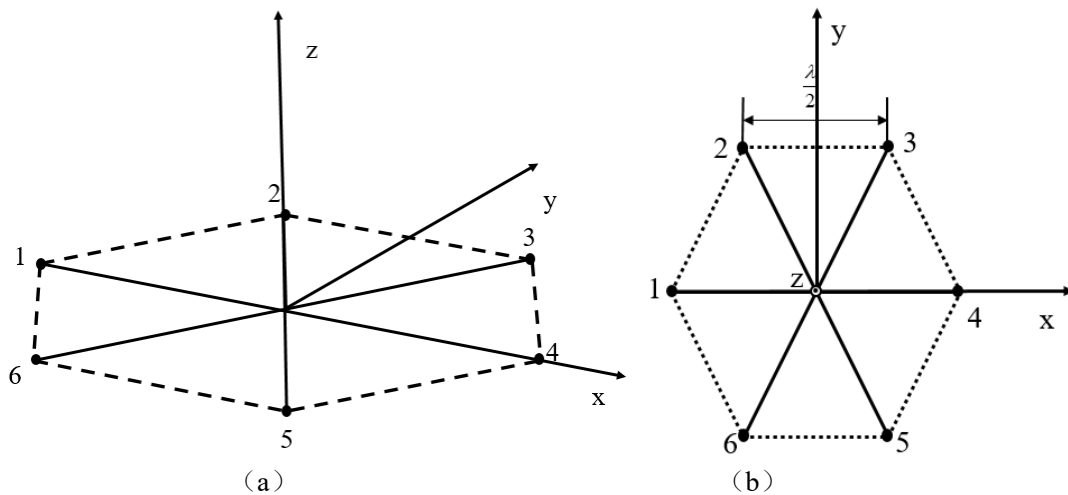
五、(15 分) 考虑如下图所示按照正六边形排列的六元阵列天线，每个天线均为中心激励振子天线，且天线轴线垂直于  $xoy$  平面，六边形边长为  $\frac{\lambda}{2}$ ，假设阵元  $n$  ( $1, 2, \dots, 6$ ) 的激励

电流为  $e^{j\varphi_n}$ ，即各阵元激励电流等幅，据此请得到：

(1) 若设定  $\varphi_1 = 0$ ，其它阵元的激励相位满足什么条件的时候，阵列因子的幅度值在  $+x$  方

向上最大，并得出在  $xoy$  平面  $\left(\theta = \frac{\pi}{2}\right)$  的阵列因子；

(2) 分别给出  $+x, -x, +y, -y$  方向的阵列因子幅度值。



(a) 阵列斜视图, (b) 阵列俯视图

解：

(1) 考虑阵元对称性，得到：

$$\varphi_2 = -\frac{\pi}{2}$$

$$\varphi_3 = \frac{\pi}{2}$$

$$\varphi_4 = 0$$

$$\varphi_5 = \frac{\pi}{2}$$

$$\varphi_6 = -\frac{\pi}{2}$$

阵列因子为：

$$\begin{aligned}
 AF(\theta, \varphi) &= e^{jk_0(-2d_x \cos \varphi)} + e^{-j\frac{\pi}{2} + jk_0(-d_x \cos \varphi + d_y \sin \varphi)} \\
 &\quad + e^{j\frac{\pi}{2} + jk_0(d_x \cos \varphi + d_y \sin \varphi)} + e^{-j\frac{\pi}{2} + jk_0(-d_x \cos \varphi - d_y \sin \varphi)} \\
 &\quad + e^{j\frac{\pi}{2} + jk_0(d_x \cos \varphi - d_y \sin \varphi)} + e^{jk_0(2d_x \cos \varphi)} \\
 &= 2\cos(2k_0d_x \cos \varphi) + 2\cos\left(\frac{\pi}{2} + k_0d_x \cos \varphi - k_0d_y \sin \varphi\right) \\
 &\quad + 2\cos\left(\frac{\pi}{2} + k_0d_x \cos \varphi + k_0d_y \sin \varphi\right) \\
 &= 2\cos(2k_0d_x \cos \varphi) - 2\sin(k_0d_x \cos \varphi - k_0d_y \sin \varphi) - 2\sin(k_0d_x \cos \varphi + k_0d_y \sin \varphi) \\
 &= 2\cos(\pi \cos \varphi) - 4\sin\left(\frac{\pi}{2} \cos \varphi\right) \cos\left(\frac{\sqrt{3}\pi}{2} \sin \varphi\right)
 \end{aligned}$$

其中  $d_x = \frac{\lambda}{4}$ ,  $d_y = \frac{\sqrt{3}\lambda}{4}$ 。

(2)

在  $+x$  方向，六个单元均同相，因此  $+x$  方向的阵列因子幅度值为：

$$|AF|_{+x} = 6$$

在  $-x, +y, -y$  方向均只有两个单元同相，而其它四个单元均两两反相，因此  $-x, +y, -y$  方向的阵列因子值分别为：

$$|AF|_{-x} = 2$$

$$|AF|_{+y} = 2$$

$$|AF|_{-y} = 2$$