

机载天线的方向图分析

张安旭, 张智军, 陈汉辉, 刘传武, 王俊鸣
(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要: 计算了机载单极子天线的辐射方向图, 通过与单极子天线在自由空间方向图的比较, 分析了飞机对机载天线方向图的影响; 在此基础上, 计算了飞机盘旋飞行时, 机载天线对空间某一固定点辐射场强的变化情况。在给定示例中, 飞机盘旋1周时天线在通讯点方向场强变化达6.5 dB。

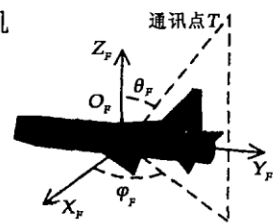
关键词: 机载天线; 方向图变化; 有限元方法

中图分类号: V243.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2006)06-0019-03

飞机是一个复杂的电磁散射体, 机身、机翼、起落架等都会引起天线方向图的变化。因此, 分析天线方向图经机体散射后的变化情况, 并且计算当飞机姿态变化时, 机载天线方向图在空间某一固定点的变化规律, 对于研究诸如飞机与地面塔台之间通讯信道电平变化特性以及对GPS导航的影响等, 具有一定的参考价值。文献[1]为简化问题的分析, 将机载天线方向图取为其在自由空间的方向图。文献[2]考虑了飞行姿态对接收GPS卫星信号的影响, 但没有对机载天线方向图随飞行姿态变化情况给出分析。本文采用基于FEM的Ansoft HFSS软件, 将某型飞机等效为一个电磁散射体, 计算了机载天线方向图受飞机机体影响后的变化, 并讨论了在盘旋飞行中机载天线的场强对于空间某点的动态变化情况。

1 飞机电磁散射模型的建立与机载天线方向图分析

某型飞机机长13.95 m, 翼展7.15 m, 机身半径0.58 m。飞机主要结构包括机体(机头、机身及机尾)、机翼、尾翼(水平尾翼、垂直尾翼)、天线及起落架等。根据既简化结构而不丧失主要电磁散射特性的原则, 将飞机等效为4个部分: 机头等效为圆台, 机身及机尾等效为圆柱, 机翼及尾翼等效为5块零厚度的平板, 天线等效为小圆柱。起落架在飞行过程中要收起, 故不考虑其影响。考虑到实际使用情况, 将所研究天线置于飞机机身上部, 得到飞机的等效电磁模型图1。



坐标系原点 O_F 选在飞机中轴线 Y_F 上放置天线处, Y_F 轴为机身中轴线, 方向指向机尾, Z_F 轴位于图1飞机等效电磁模型飞机对称面上, 垂直 Y_F 轴指向上方, X_F 轴与 Y_F 轴、 Z_F 轴构成右手坐标系。此坐标系称为机载天线坐标系。

设机载天线位于距离机头8.05 m处, 为1/4波长单极子天线, 工作波长取为飞机最大线尺寸的1/7。采用图1的飞机电磁模型, 计算了飞机机载天线的3个主平面(俯仰面 $Y_F O_F Z_F$ 、滚动面 $X_F O_F Z_F$ 、水平面 $X_F O_F Y_F$)的方向图, 并与其在自由空间的情况相对比, 如图2所示(虚线为自由空间方向图, 实线为装机后的方向图)。由图2可以看出: 俯仰面方向图变化较大, 0点抬高, 是由于在该方向上存在绕射场, 机身下方($90^\circ - 270^\circ$ 之间)的场强减小, 是由于机身遮挡的影响; 滚动面方向图受机翼影响, 上半平面 $\pm 30^\circ$ 之间有畸变, 同样有0点抬高现象, 即在 0° 、 180° 方向场强增大; 水平面方向图受垂直尾翼影响, 略有变化, 但基本保持全向性。

由以上分析可以看出机载天线的方向图与其在自由空间时不一样, 机身、机翼等飞机部件的影响都会使

收稿日期: 2006-06-12

基金项目: 军队科研基金资助项目

作者简介: 张安旭(1978-), 男, 山西闻喜人, 硕士生, 主要从事电磁场与微波技术、计算电磁场等研究;
张智军(1960-), 男, 河北磁县人, 教授, 主要从事电磁场微波技术与天线等研究。

其方向图发生变化,因此有必要对天线装上飞机后方向图的变化情况进行计算。

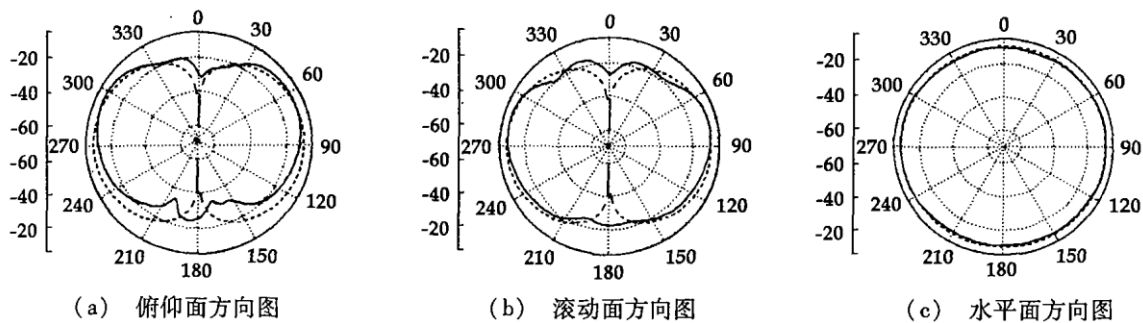


图2 机载天线方向图与其在自由空间方向图比较

2 飞机盘旋飞行时机载天线对空间某通讯点辐射场强变化情况

2.1 坐标系变换

设通讯点 T 在坐标系 $OXYZ$ 中的位置固定为 r_T ,而在飞机盘旋飞行时,其相对于机载天线坐标系的位置 r_T^F 是在不断变化的,如图3所示。要得出通讯点 T 在机载天线坐标系 $O_F X_F Y_F Z_F$ 中的方位,以确定机载天线对该点辐射场强变化情况,需要进行坐标系变换。

设机载天线坐标系 $O_F X_F Y_F Z_F$,以 R 为盘旋半径, θ_Y 为滚动角, ω 为水平盘旋角速度, θ_X 为俯仰角(设为0)绕 $OXYZ$ 坐标系 Z 轴顺时针盘旋, H 为飞机盘旋面到 $OXYZ$ 坐标系 OXY 面距离。

假设一直角坐标系 $OXYZ$,若绕 X 轴旋转一角度 θ_X ,坐标旋转矩阵用 $R_X(\theta_X)$ 表示;绕 Y 轴旋转一角度 θ_Y ,坐标旋转矩阵用 $R_Y(\theta_Y)$ 表示;绕 Z 轴旋转一角度 θ_Z ,坐标旋转矩阵用 $R_Z(\theta_Z)$ 表示,坐标系变换所用到的坐标转换矩阵分别如式(1)、(2)、(3)。

$$R_X(\theta_X) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_X) & \sin(\theta_X) \\ 0 & -\sin(\theta_X) & \cos(\theta_X) \end{bmatrix} \quad (1) \quad R_Y(\theta_Y) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_Y) & 0 & -\sin(\theta_Y) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta_Y) & 0 & \cos(\theta_Y) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_Z(\theta_Z) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_Z) & \sin(\theta_Z) & 0 \\ -\sin(\theta_Z) & \cos(\theta_Z) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

已知空间通讯点 T 在 $OXYZ$ 坐标系中坐标 r_T 为 $(L\sin\theta\cos\phi, L\sin\theta\sin\phi, L\cos\theta)^T$,其中 L 为坐标原点 O 到通讯点 T 矢量长度, θ 、 ϕ 分别为通讯点 T 在 $OXYZ$ 坐标系中的极角、方位角。则在 t 时刻通讯点 T 在机载天线坐标系中的坐标为 $r_T^F = R_Y(\theta_Y) \cdot R_Z(\omega t) \cdot (r_T - r_A)$ 。式中, r_A 为 t 时刻飞机在 $OXYZ$ 坐标系中坐标 $(R\cos(\omega t), R\sin(\omega t), H)^T$ 。

从而得出该点在 $O_F X_F Y_F Z_F$ 坐标系中的 θ_F 和 ϕ_F (见图1)变化情况。根据方向图分析结果,即可计算出飞机盘旋飞行1周时机载天线对通讯点的辐射场强变化情况。

2.2 对地面、空间通讯点以不同盘旋半径、高度和滚动角飞行时场强变化情况

对地面,取通讯点在 $OXYZ$ 中坐标为 $L=100$ km, $\theta=90^\circ$, $\phi=90^\circ$,取 $\omega=10^\circ/s$,机载天线对通讯点辐射场强变化情况见图4。图4(a)取滚动角 $\theta_Y=15^\circ$, $H=10$ km,可以看出滚动角及飞行高度固定时,不同盘旋半径条件下场强的变化规律相同。图4(b)取 $\theta_Y=15^\circ$, $R=1$ km,可以看出滚动角及盘旋半径固定时,不同高度条件下场强的变化相差最大为1 dB左右。图4(c)取 $R=1$ km,对 $H=10$ km,可以看出盘旋半径及高度固定时,滚动角变化对辐射场强影响很大:滚动角越大,场强起伏就越大,飞机以盘旋半径 $R=1$ km,飞行高度 $H=10$ km,角速度 $\omega=10^\circ/s$,滚动角 $\theta_Y=25^\circ$ 盘旋1周时天线在通讯点方向场强变化达到6.5 dB。

对空间时,取通讯点在 $OXYZ$ 坐标系中坐标为 $L=20\ 000$ km, $\theta=80^\circ$ (模仿地平面上空附近地一颗 GPS

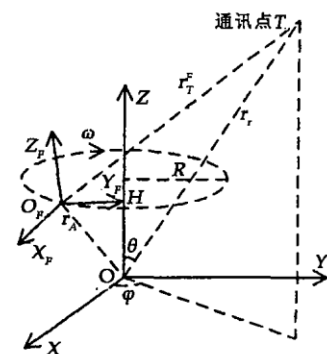


图3 飞机盘旋飞行示意图

卫星), $\phi = 90^\circ$, 取 $\omega = 10^\circ/\text{s}$, 机载天线对通讯点辐射场强变化情况见图 5。图 5(a) 取 $\theta_y = 15^\circ, H = 10 \text{ km}$; 图 5(b) 取 $\theta_y = 15^\circ, R = 1 \text{ km}$ 。由图 5(a)、(b) 可以看出盘旋半径、飞行高度的变化对机载天线在通讯点方向场强变化情况基本没有影响。图 5(c) 取 $R = 1 \text{ km}, H = 10 \text{ km}$, 可以看出滚动角变化对机载天线在通讯点方向辐射场强影响也很大, 场强变化与通讯点在地面时不相同, 但最大变化量仍为 6.5 dB。

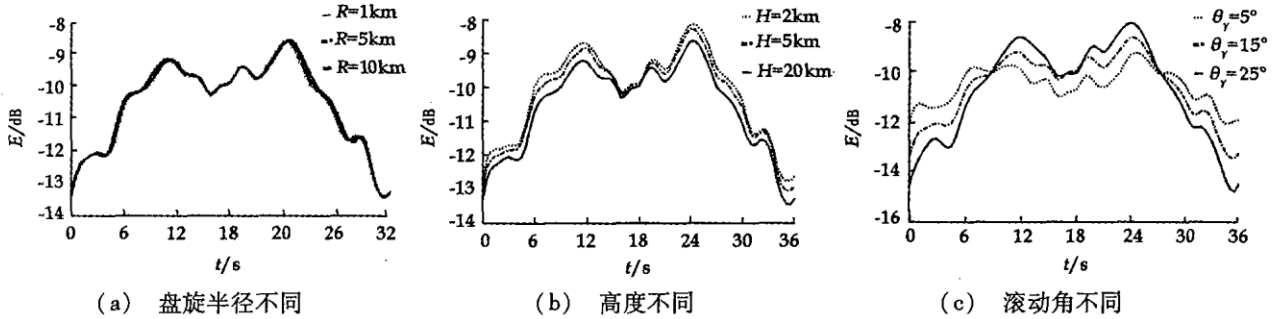


图 4 对地面通讯点盘旋半径、高度和滚动角不同时场强变化情况

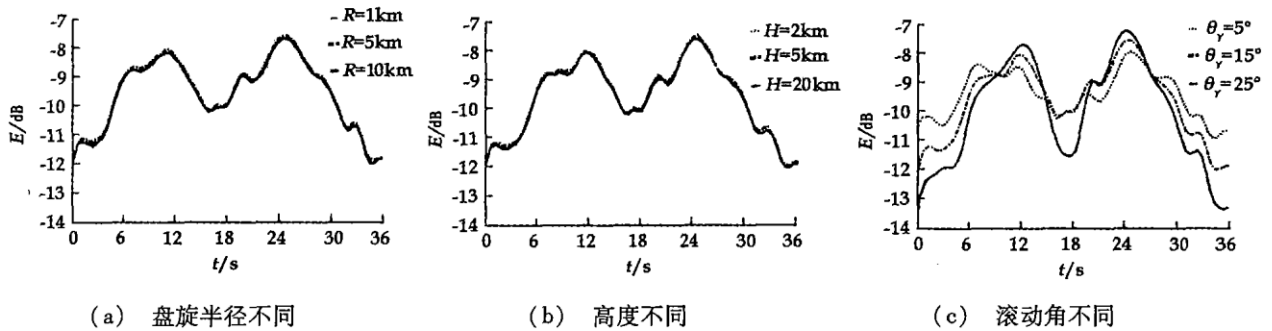


图 5 对空间通讯点盘旋半径、高度和滚动角不同时场强变化情况

3 结束语

以某型飞机的机载单极子天线为例, 分析了飞机对机载天线方向图的影响。计算了飞机盘旋时, 飞行姿态变化引起的机载天线对地面和空间某通讯点的辐射场强变化情况, 对于研究在飞行过程中飞机姿态变化时对机载通讯、导航系统工作性能的影响具有一定的参考价值。

参考文献:

[1] 张建华, 周 彬, 盛怀洁. 飞行姿态对天线干扰效能的影响分析[J]. 现代防御技术, 2004, 33(4): 64 - 67.
 [2] 赵军祥, 常 青. 飞行器姿态对高动态 GPS 卫星信号模拟器输出信号的影响[J]. 遥测遥控, 2004, (4): 9 - 14.
 [3] 秦 毅. 飞行器载低剖面倒 F 天线特性分析[J]. 遥测遥控, 2004, 25(5): 35 - 43.
 [4] 王 萌, 张 玉, 梁昌洪. 有限元法与 UTD 结合计算机载天线方向图[J]. 电波科学学报, 2005, 20(3): 395 - 399.
 [5] Yu C L, Burns W D. Volumetric pattern analysis of airborne antennas [J]. IEEE Trans, 1978, AP - 26(11): 623 - 641.

(编辑: 姚树峰)

The Analysis of an Airborne - antenna Pattern

ZHANG An - xu, ZHANG Zhi - jun, CHEN Han - hui. LIU Chuan - wu, WANG Jun - ming
 (The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, Shaanxi, China)

Abstract: In this paper, a radiant pattern of an airborne monopole antenna is obtained, by comparison with the antenna's patterns in free space, the effect of the aircraft on the antenna's radiation characteristics is analyzed. Based on the result, the variation of the EM fields of the airborne antenna to a fixed position in space is calculated when the aircraft is flying circlewise. In the example given, the variation is 6.5 dB.

Key words: airborne antenna; pattern variation