

进近着陆系统电磁环境仿真研究

赵修斌^{1,2}, 王永生², 姜恒乐¹, 耿锋先¹

(1. 空军工程大学电讯工程学院, 陕西西安 710077; 2. 西北工业大学电子信息学院, 陕西西安 710072)

摘要: 针对进近着陆系统对于环境影响十分敏感的问题, 从仿真流程、研究对象到研究方法等方面对进近着陆系统的电磁环境仿真做了系统的阐述, 对仿真系统的整体架构提出设计方案, 并给出了一种模拟仿真实例。

关键词: 进近着陆系统; 电磁环境; 仿真

中图分类号: TN 965 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2005)02-0011-04

在无线电进近着陆系统中, 机载接收机接收到的信号不仅包含来自无线电信标的直达波, 还包括反射波和绕射波等, 这种效应即无线电系统的多径效应。进近着陆引导系统(如仪表着陆系统)对于多径效应的影响是十分敏感的。同时, 现代空中交通日益繁忙, 机场往往要修建许多设施来适应工作的需要, 这些设施包括设备的机房、候机厅和机棚等。而可用空间日益紧张, 以至于所建设的建筑物愈来愈靠近跑道。这使得多径效应更加明显, 并对进近着陆系统的正常工作造成威胁, 也使进近着陆系统的安装和校飞比过去要更为困难。

进近着陆系统电磁环境仿真, 即在安装导航着陆设备之前, 先对影响比较突出的电磁散射体进行建模, 得到它们的电磁散射模型, 对电磁波的传播进行仿真, 得到模拟的着陆引导信号输出。这样, 就可以搞清各个散射体对着陆引导信号的影响, 从而对进近着陆设备的安装进行指导, 可以大大缩短设备安装和校飞所耗费的时间。除此之外, 进行进近着陆系统的电磁环境仿真还可以指导机场布局的规划; 在机场建设某种建筑物时, 预知其对导航着陆系统的影响; 在系统未安装之前预知系统的性能; 对校飞的结果进行验证和评估^[1]。

1 进近着陆系统电磁环境仿真的工作流程和基本方法

进近着陆系统的电磁环境仿真实际流程如图1所示。首先, 了解实际问题, 包括所需仿真的进近着陆系统和应用的环境; 第二, 对实际问题进行理论分析, 对物理问题进行合适的数学描述与抽象, 选择合适的分析方法, 进行仿真相关的预处理, 根据数值分析方法和所要求的精度, 对地面和其它散射体做适当的近似处理, 建立模型; 第三, 对应用不同分析方法建立的模型进行综合, 对系统模型进行细节上的完善和修正; 第四, 仿真系统的后续处理, 包括模拟接收机天线方向图, 对信号的采样滤波, 得到所需的导航参量; 第五, 对获得的结果进行验证; 第六, 根据获得的结果, 对机场的布局进行设计, 或者对机场布局提出建议或改进措施, 或者对着陆设备的安装进行指导。

在仿真过程中, 最关键的部分在于散射体模型的建立, 而建模不仅取决于散射体的几何结构特性, 而且也取决于所要用的电磁场数值分析方法。在机场上对进近着陆系统信号造成影响的物体是很多的, 大体包括下面几类: 大部分表面由平面构成的箱形物体(如机场候机厅、飞机棚等); 弯曲表面的物体(如油罐、圆柱形的塔台等); 线性结构的物体(如塔吊、高压线等); 滑行的飞机和其它运载体; 起伏或倾斜的地面; 地面环

收稿日期: 2004-09-15

基金项目: 军队重点科研基金资助项目

作者简介: 赵修斌(1965-), 男, 湖北天门人, 副教授, 博士生, 主要从事航空导航技术研究;

王永生(1941-), 男, 陕西西安人, 教授, 博士生导师, 主要从事通信、导航技术研究。

境(干的或湿的雪层);植被(如树林、农作物等);其他不规则形状和结构的物体。

通常对于不同的物体,由于其几何特性、质地等不同,所用的电磁场数值分析方法也不同,下面列出几种重要的分析方法^[2]。

1) 反射/绕射射线光学法

几何光学法(GO)、几何绕射理论(GTD)和它的改进型GTD/UTD(一致绕射理论)、GTD/UAT(一致渐近绕射理论)是经典的高频近似方法,它假设物体的尺寸远大于波长,电磁波沿射线路径流动,空间的电磁场由直射波、反射波和绕射波叠加而成。它适用于处理比较大的散射体表面的反射和边缘的绕射,如大型的建筑物(机场候机厅、飞机棚)和地面(包括覆盖的雪层)等。

2) 电流积分法

物理光学法(PO)、基尔霍夫电流积分法和它衍生出的方法都基于下面的假设,即物体在天线和其它辐射源的远场区且物体尺寸远大于波长,这样可认为金属表面的电流是由引入的电磁场引起的,就可以通过对表面感应场的积分来求得散射场。其中边缘的电流要进行特殊的近似处理(如用物理绕射理论PTD)。它适用于处理机场上比较大型的飞机对于电磁波的散射。

3) 积分方程法

距量法(MoM)是积分方程法中的一种。它是一种比较精确的方法,适用于任意形状的物体。这种数字方法的处理过程是将电磁场问题(例如一个积分方程)分解成代数方程的矩阵,对矩阵求逆就可得到未知的电流。它没有对散射体电尺寸的要求,但对于电尺寸比较大的物体,得到的矩阵会很大,对于计算机求解会造成困难。因此,在实际应用中,积分方程法仅限于处理一些中间的细节问题上,或者在特殊情况下作为混合方法的一部分。例如对电线杆和高压线的处理,它也适用于处理起重机、飞机等的散射体问题。

4) 抛物线方程法

抛物线方程法(PE)是一种比较特别的现代数值分析方法,它特别适合于分析地表上方的电磁波传播,它局限于二维电磁散射分析,可以用于拱形跑道的电磁场计算。

其他还有一些比较精确的方法,比如有限元法(FE)、有限微分法(FD)和有限积分法(FI)。但实践证明,所有精确的数值方法(例如MoM、FE、FD和FI)都很难解决问题,或者说很难实现,因为它们对计算机存储量和计算量要求太高。在通常情形下,反射/绕射光线法比较适合,在一些简单情形下,电流积分法(PO)比较适合。对于某些散射体的分析,可以将多种数值分析方法综合起来使用,从而得到更加准确的结论。

2 仿真系统的建立

对于进近着陆系统的电磁环境仿真,建立一个仿真软件系统是一种很有效的方式,它可以避免重复建模,使得仿真更加可行有效。进近着陆仿真系统的通用性很重要,它应该适用于各种不同的机场和不同的进近着陆系统,满足横向通用性。另外,还需要考虑仿真系统纵向的通用性,也就是可升级性。基于上面的考虑,建立进近着陆系统的仿真系统时应参考面向对象的编程思想。仿真系统主要要建立3个类。

第一个类是发射信标类。它可以生成机场上大部分进近着陆设备的信标对象,比如说可以生成ILS下滑信标对象,也可以生成ILS方向信标对象等。生成发射信标对象的构造函数的参量应该有:三维空间位置、信标类型。若要定义的更细一点,可能的参量还有:频率、功率、天线方向图。发射信标对象与外界和其他对象的接口函数应该有 $[E, k](r)$,即输入空间坐标,信标对象给出该点的直达波场强和传播方向。

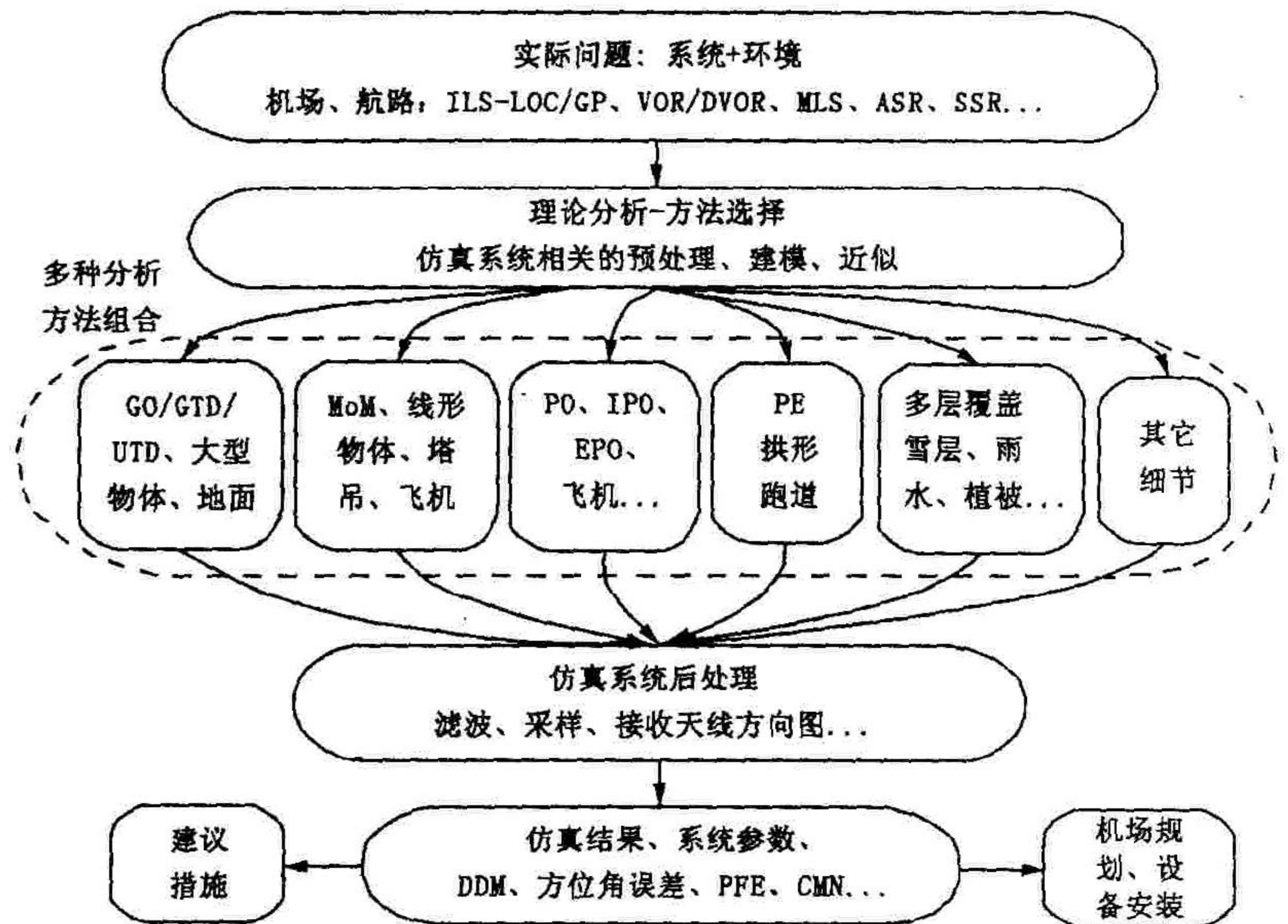
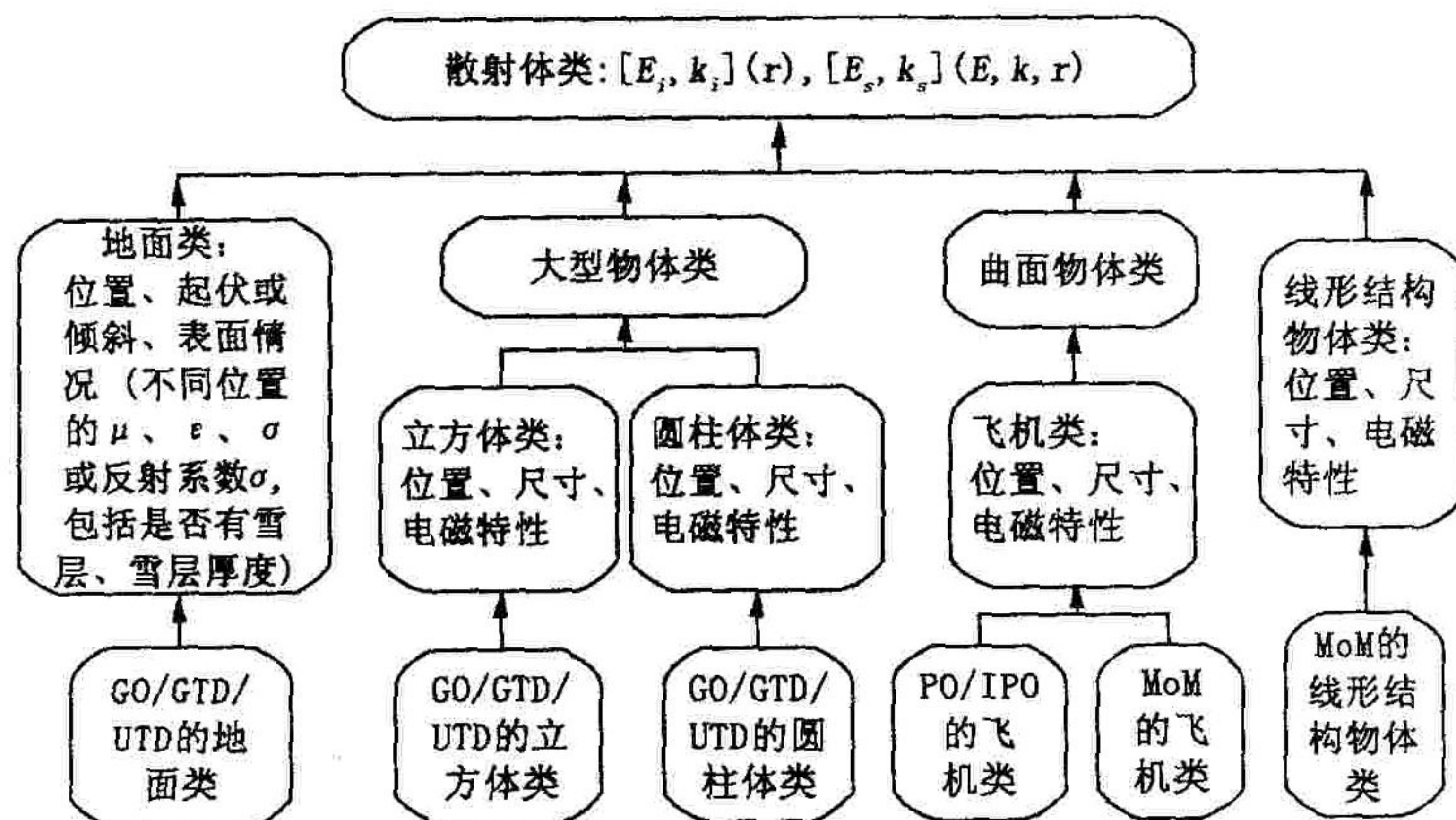


图1 进近着陆系统的电磁环境仿真流程图

第二个类是散射体类。它是空间各个散射体对象的抽象,可以生成机场上的飞机棚、候机厅、大地、飞机和高压线等。因为散射体对象太多,所以应该考虑散射体作为父类,根据散射体具体的几何或其他方面的特性生成若干子类,比如大型的以平面为主的散射体类、电尺寸较小的或线形的散射体类、飞机类等。这里的分类主要是以几何特性来划分的,因为如果几何特性相似,那就有可能应用相同的分析方法。类继承也可能不止一级,就是说父类的子类还会有子类。采用这种继承结构建立模型库比较容易维护和补充,也体现了仿真系统的通用性。还有一点需要提出,在建立了比较具体的散射体类之后,应该根据所用的分析建模方法,建立最后一层分析方法模型子类。这可以理解为:对于现实中同一个散射体,在仿真系统中建立模型时,可以根据分析方法的不同,建立出不同的模型对象,这体现了仿真系统纵向的通用性。散射体类的继承层次关系如图2所示。由于对象的复杂,散射体类的参量比较难定义,而且各个层次的类还会增加自己的参量,但最基本的散射体类的参量至少应有:散射体的三维空间位置、几何形状、尺寸、电磁特性(μ 、 ϵ 、 σ)等。散射体对象与外界接口函数应该有: $[E_i, k_i](r)$,即向外界寻求表面入射场, $[E_s, k_s](E, k, r)$,根据获得的表面入射场,散射体对象给出 r 处的散射场。

第三个类是接收机类。它所生成的对象是相应于各个进近着陆系统的机载接收机,所生成的接收机对象应该具有机载接收机的大部分功能,包括天线增益、滤波、解调、信号处理等。从电磁仿真的角度来说,接收机对象主要工作是进行多径散射信号的叠加。接收机对象的构造函数的参量应该有:三维空间位置、接收机类型,这样生成的接收机对象应该具有对应接收机类型的默认的天线增益图和信号处理功能。也可以自己定义其特定的天线增益图和信号处理功能。接收机对象与外界接口函数应该有 $Results(E_i, k)$,即给定入射场和来波方向,接收机对象输出感兴趣的导航参量值。



注:用户可在任何一层父类的下面添加所需的子类

图2 散射体类的继承层次关系图

3 仿真实例

某场站对新配备的分米波仪表着陆系统^[3]进行飞行检验,在航道对准飞行检验科目中,发现飞机在距离跑道端口2 km之内表盘指示的偏移电流强烈抖动,超出了容许的误差范围。经分析机场跑道周围的环境,判定3个新建的飞机棚是比较明显的散射体,可能由于机棚的散射造成了可听度系数(RAD)质量的变差。

该机场跑道长2 500 m,航向信标配置在跑道中线延长线距离次着陆端480 m处,机库位于跑道主着陆右侧距离跑道中线183 m处,机库由3个建筑体组成,中间部分建筑体长度为163 m,两侧部分建筑体长度均为141 m,中间和两侧建筑各相距17 m,其中靠近航向信标的机库部分建筑体与航向信标距离为1 095 m,3个建筑体的高均为9.6 m,共分为2层,下层部分为7 m高的立柱框架结构,上层部分为高2.6 m的箱形结构,其顶部和侧面为铝板。

采用GO、GTD和GTD/UTD^[4],建模时对问题作了一定的近似处理:在处理反射时,只考虑信标—地面—接收机和信标—立方体—接收机的一次反射以及信标—地面—立方体—接收机的二次反射,忽略其它的多重反射;在处理绕射时,仅考虑信标—立方体—接收机的一阶绕射和信标—地面—立方体—接收机的一次反射—一阶绕射,忽略其它的高阶绕射。这种近似处理带来的误差在理论上是很小的,在容许范围之内。在信号处理时,加入了高斯窄带噪声,信噪比为10 dB。

使用MATLAB进行建模仿真,按3°下滑角下滑,从航向误差飞行检验的模拟结果(见图3)可以清楚地看到在距离跑道端口大约200 m到1 300 m的范围内,偏移电流强烈抖动,超出了容许的误差范围。这与实际飞行的结果是相吻合的。

如果将机棚表面的铝板换成钢化玻璃,即用立方体类生成钢化玻璃表面的机棚对象进行仿真,得到的航

向误差飞行检验的模拟结果显示偏移电流的抖动减小了许多,且在容许的误差范围之内(见图4)。而在实际中,问题也是这样解决的。

从上面的实例可以看出,对于进近着陆系统的模拟仿真与实际的结果是一致的,更重要的一点是它的灵

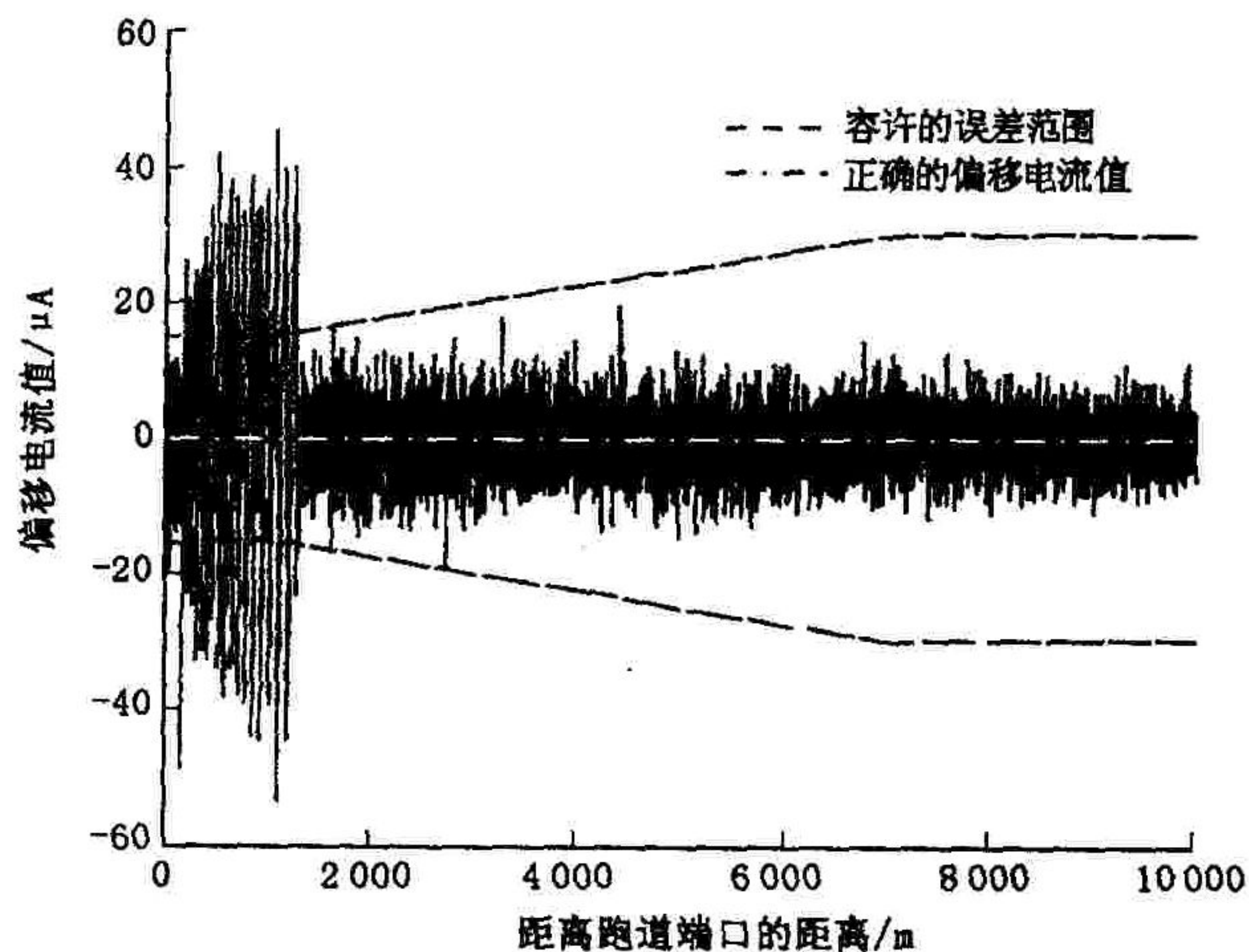


图3 航道对准时飞行检验仿真结果

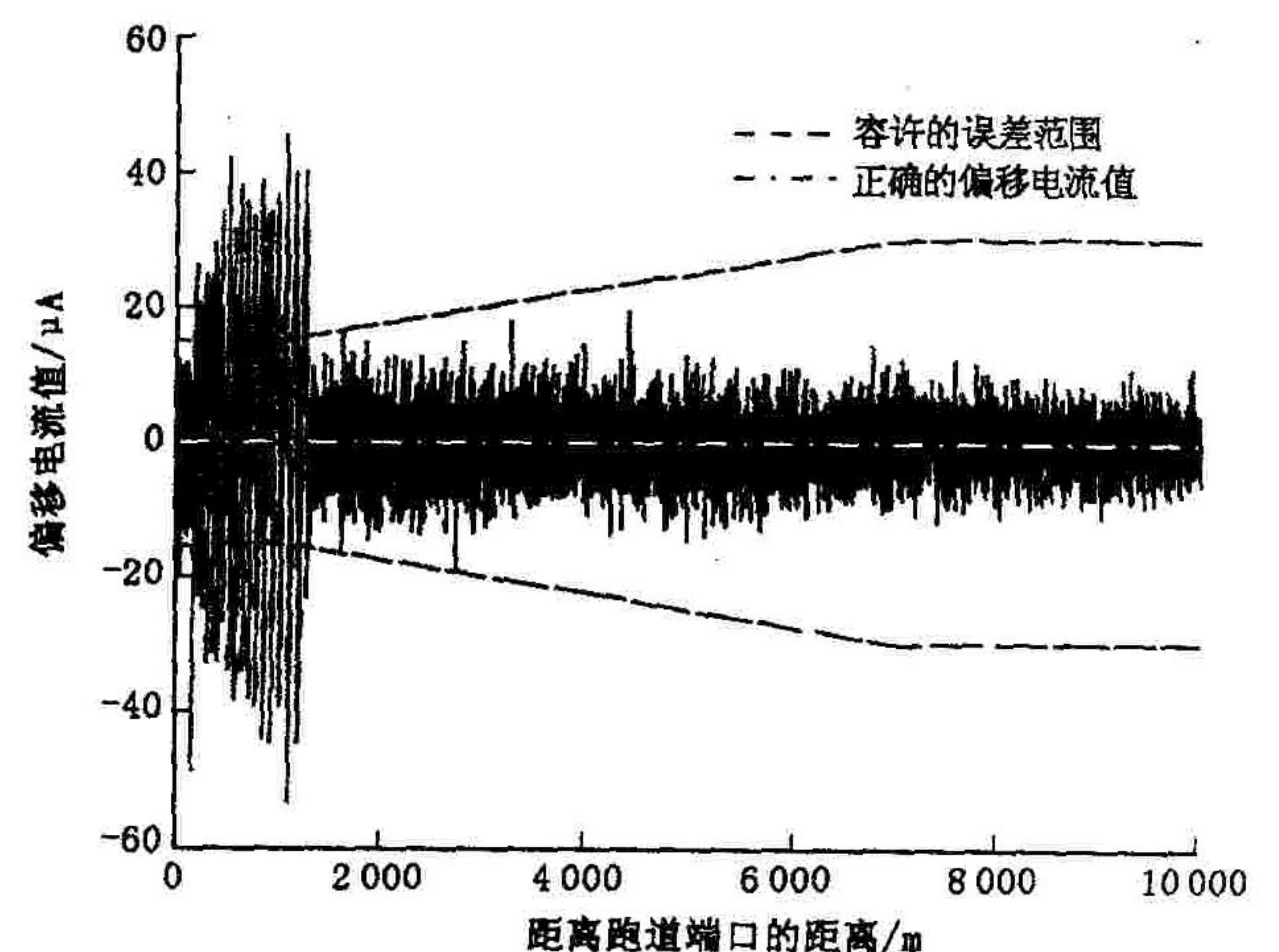


图4 机棚为钢化玻璃表面时飞行检验仿真结果

活性,这一点是实际校飞所无法比拟的。

参考文献:

- [1] Gerhard Greving. Latest Advances and Results of Complex Numerical Simulations for Nav aids and Landing Systems[EB/OL]. <http://www.nowcom.de>,2002.
- [2] Gerhard Greving. Hybrid - Methods in Antennas and 3D - Scattering[EB/OL]. <http://www.nowcom.de>,2002..
- [3] 吴德伟,高晓光,戚君宜.一种分米波仪表着陆体制的研究[J].空军工程大学学报(自然科学版),2004,5(3):11-14.
- [4] 卢万铮.天线理论与技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2004.

(编辑:门向生)

Numerical System Simulations (NSS) for Approach and Landing Systems

ZHAO Xiu - bin^{1,2}, WANG Yong - sheng², JIANG Heng - le¹

(1. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China; 2. College of Electronic Information Engineering, Northwestern Poly-technical University, Xi'an, Shaanxi 710072, China)

Abstract: As the surroundings of airports will have great effect on approach landing systems' guidance parameters, the increasing air traffic and the new buildings on most of the modern airports are of serious threat to the operation of navaid and landing system. So it is necessary to perform a theoretical analysis and a numerical simulation before every major construction activity on the airport or approach landing system's installation. In this paper, the numerical system simulations (NSS) for approach landing systems are discussed, including the purpose, the methods applied, the process flow of system simulations, and the frame of software system of NSS. Simultaneously an example is given.

Key words: approach landing system; electromagnetic environment; numerical system simulations (NSS)