

6-28-2024

## Research on Operational Protection Area of ILS Glide Slope

Qingdong Li

*Civil Aviation Management Engineering Technology Research Institute, The Second Research Institute of CAAC, Chengdu 610041, China; Navigation Technology Research Laboratory, Civil Aviation Science and Technology Innovation Demonstration Zone, Chengdu 641400, China, liqingdong@caacsri.com*

Jiaquan Ye

*Civil Aviation Management Engineering Technology Research Institute, The Second Research Institute of CAAC, Chengdu 610041, China; Navigation Technology Research Laboratory, Civil Aviation Science and Technology Innovation Demonstration Zone, Chengdu 641400, China, yejq@caacsri.com*

Jian Xu

*Civil Aviation Management Engineering Technology Research Institute, The Second Research Institute of CAAC, Chengdu 610041, China; Navigation Technology Research Laboratory, Civil Aviation Science and Technology Innovation Demonstration Zone, Chengdu 641400, China*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the [Artificial Intelligence and Robotics Commons](#), [Computer Engineering Commons](#), [Numerical Analysis and Scientific Computing Commons](#), [Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons](#), and the [Systems Science Commons](#)

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation. For more information, please contact [xtfzxb@126.com](mailto:xtfzxb@126.com).

---

## Research on Operational Protection Area of ILS Glide Slope

### Abstract

**Abstract:** The scientific protection for the operational protection area of the instrument landing system glide slope is of great significance to ensure the quality of civil aviation navigation space signals, the safety of aircraft approach operations, and the efficiency of airport operations. Combined with the concept evolution of the glide slope operational protection area, a comparative analysis of the delineation of the glide slope operational protection area required by the national civil aviation standards, industry standards, and Annex 10 Volume I of the Convention on International Civil Aviation is carried out. Taking the extra-large aircraft (A380-800) as an example, the glide slope operational protection area of a specific operation category is studied in the form of computer simulation, which maybe a supplement to relevant data on glide slope protection areas in Annex 10 Volume I of the Convention on International Civil Aviation and an example of the actual engineering demonstration. The typical research methods of glide slope site protection for the actual operation of specific airports and protection suggestions for glide slope operational protection area are given as the references for airport construction and operation.

### Keywords

instrument landing system, glide slope, site protection area, operational protection area, critical area, sensitive area

### Recommended Citation

Li Qingdong, Ye Jiaquan, Xu Jian. Research on Operational Protection Area of ILS Glide Slope[J]. Journal of System Simulation, 2024, 36(6): 1273-1284.

# 仪表着陆系统下滑信标运行保护区仿真研究

李清栋<sup>1,2</sup>, 叶家全<sup>1,2\*</sup>, 许健<sup>1,2</sup>

(1. 中国民用航空总局第二研究所 民航空管工程技术研究所, 四川 成都 610041;

2. 民航科技创新示范区 导航技术研究实验室, 四川 成都 641400)

**摘要:** 仪表着陆系统下滑信标运行保护区的科学防护, 对于确保民用航空导航空间信号质量、保障航空器进近阶段运行安全、提升机场运行效率均具有重要意义。结合下滑信标运行保护区概念的演进, 对民用航空国家标准、行业标准, 以及国际民用航空公约附件十第 I 卷要求的下滑信标运行保护区的划设情况进行了对比分析。以特大型航空器 A380-800 为例, 对特定运行类别的下滑信标运行保护区进行了研究, 以期作为国际民用航空公约附件十第 I 卷关于下滑信标保护区相关数据的补充和实际工程论证的示例。给出了针对特定机场实际运行进行下滑信标场地保护的典型研究方法以及下滑信标运行保护区的保护建议, 为机场的建设和运行提供参考。

**关键词:** 仪表着陆系统; 下滑信标; 场地保护区; 运行保护区; 临界区; 敏感区

中图分类号: TP391.9;V351.11 文献标志码: A 文章编号: 1004-731X(2024)06-1273-12

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.23-0133

**引用格式:** 李清栋, 叶家全, 许健. 仪表着陆系统下滑信标运行保护区仿真研究[J]. 系统仿真学报, 2024, 36(6): 1273-1284.

**Reference format:** Li Qingdong, Ye Jiaquan, Xu Jian. Research on Operational Protection Area of ILS Glide Slope[J]. Journal of System Simulation, 2024, 36(6): 1273-1284.

## Research on Operational Protection Area of ILS Glide Slope

Li Qingdong<sup>1,2</sup>, Ye Jiaquan<sup>1,2\*</sup>, Xu Jian<sup>1,2</sup>

(1. Civil Aviation Management Engineering Technology Research Institute, The Second Research Institute of CAAC, Chengdu 610041, China;

2. Navigation Technology Research Laboratory, Civil Aviation Science and Technology Innovation Demonstration Zone, Chengdu 641400, China)

**Abstract:** The scientific protection for the operational protection area of the instrument landing system glide slope is of great significance to ensure the quality of civil aviation navigation space signals, the safety of aircraft approach operations, and the efficiency of airport operations. Combined with the concept evolution of the glide slope operational protection area, a comparative analysis of the delineation of the glide slope operational protection area required by the national civil aviation standards, industry standards, and Annex 10 Volume I of the Convention on International Civil Aviation is carried out. Taking the extra-large aircraft (A380-800) as an example, the glide slope operational protection area of a specific operation category is studied in the form of computer simulation, which maybe a supplement to relevant data on glide slope protection areas in Annex 10 Volume I of the Convention on International Civil Aviation and an example of the actual engineering demonstration. The typical research methods of glide slope site protection for the actual operation of specific airports and protection suggestions for glide slope operational protection area are given as the references for airport construction and operation.

收稿日期: 2023-02-14 修回日期: 2023-05-05

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFB0503402); 中国民用航空局安全能力项目(AADSA201S013S)

第一作者: 李清栋(1986-), 男, 副研究员, 硕士, 研究方向为民航导航技术、航空无线电技术等。E-mail: liqingdong@caacsri.com

通讯作者: 叶家全(1978-), 男, 研究员, 硕士, 研究方向为民航导航技术、航空无线电技术等。E-mail: yejq@caacsri.com

**Keywords:** instrument landing system; glide slope; site protection area; operational protection area; critical area; sensitive area

## 0 引言

仪表着陆系统(instrument landing system, ILS)始于20世纪30年代,并于1948年经国际民航组织(international civil aviation organization, ICAO)认证成为标准的航空器进近着陆引导设备。仪表着陆系统下滑信标设备为处于精密进近航段的航空器提供垂直引导。下滑信标台场地附近的地形物会对下滑信标天线阵发射的电波信号进行反射和再辐射,形成多路径干扰,引起下滑信标的辐射场型发生畸变,导致下滑道弯曲、摆动和抖动,直接影响航空器着陆安全。

由于下滑信标工作场地的限制,在机场内难以实现不存在任何建筑物、运动物体的理想环境,为了避免下滑信号受到过量的多路径干扰而导致其超出相关规范的要求,需要对运行中的下滑信标设备提供防护。下滑信标运行保护区旨在保证下滑信标运行过程中避免受到诸如运行中的航空器、地面车辆的影响,确保处于精密航段航空器的运行安全。下滑信标运行保护区的划设是影响机场运行期间跑道容量的重大限制因素,针对特定机场、特定仪表着陆系统配置进行下滑运行保护区研究,对于提升机场运行效率、确保精密进近航段的航空器空中导航安全具有重要的理论意义和应用价值<sup>[1-2]</sup>。就理论研究而言,确定下滑信标周边障碍物对仪表着陆设备的影响主要方法包括物理光学、一致性几何绕射理论等<sup>[3-5]</sup>;就实际运行而言,针对特定机场运行场景进行障碍物对仪表着陆设备影响的科学论证,对于优化机场运行效率、确保航空安全非常必要<sup>[6-14]</sup>。

## 1 中国民航下滑信标保护区的概念演进

ICAO是全球各主权国家以本国政府名义参与

航空国际事务的国际组织,旨在依据《国际民用航空公约》及其附件对国际民用航空活动进行协调和管理。《国际民用航空公约》附件十《航空电信》第I卷(以下简称“附件十”)规定了国际航空器所有飞行阶段所必需的无线电导航设施系统及其所必须满足的准则,关于下滑信标场地保护的相关要求亦包含其中。作为ICAO的缔约国,我国有义务履行《国际民用航空公约》及其附件规定的相关技术要求,确保我国民用航空领域执行标准和国际标准保持一致。ICAO亦有计划地对各缔约国实施普遍安全监督审计计划,并以此作为评价各国民航安全监管能力的重要手段,促进ICAO标准和措施最大程度地在缔约国实施<sup>[15]</sup>。

由于民用航空陆基导航领域的技术进步、民航航空器持续更新及国际标准和措施建议的完善,下滑信标保护区的概念在全球范围内历经了一系列的演进。就国内而言,分别通过国家标准和行业标准的形式进行发布和实施,涉及下滑信标场地保护标准的演进情况如图1所示。

### 1.1 国家/行业标准中的下滑信标保护区

#### 1.1.1 《航空无线电导航台站电磁环境要求》(GB6364-86)

我国首部关于下滑信标保护区的国家标准《航空无线电导航台站电磁环境要求》(GB6364-86)于1986-05-06发布,1987-05-01实施(以下简称“86版国标”)。86版国标仅规定了需要对下滑信标前方场地进行保护的“保护区”。86版国标中的下滑信标保护区为标准矩形,分为A区和B区两部分。A区位于下滑信标天线正前方,长度为400 m,宽度为下滑信标天线距离跑道中心线的标称120 m偏置,再加上下滑信标天线向远离跑道中心线方向120~200 m的距离;B区接续A区的远端,长度为500 m,宽度与A区保持一致,如图2所示。



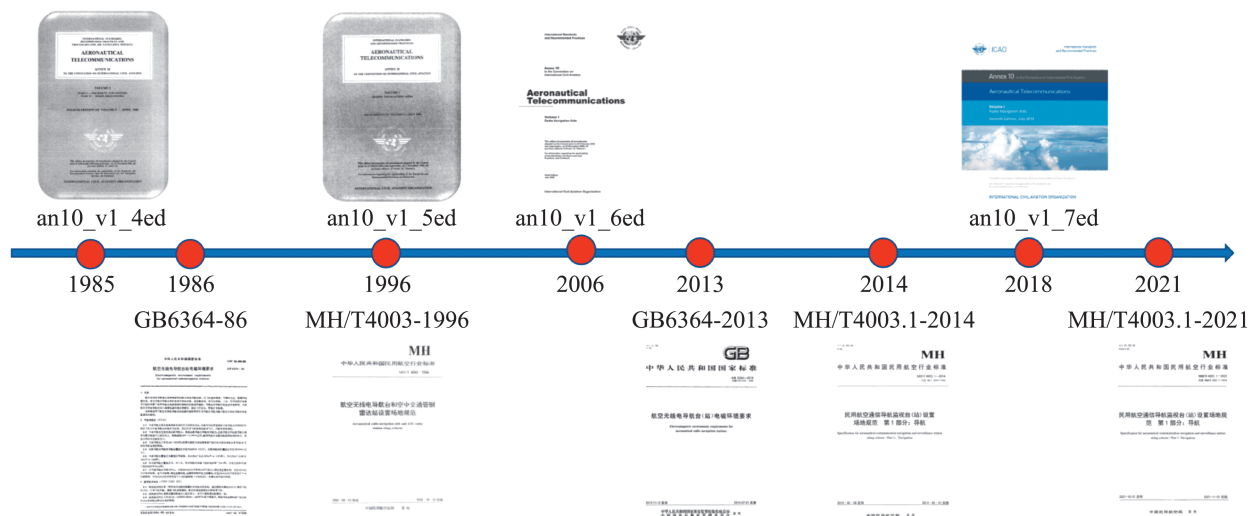


图 1 下滑信标场地保护准则演进  
Fig. 1 Evolution of glide slope site protection standard

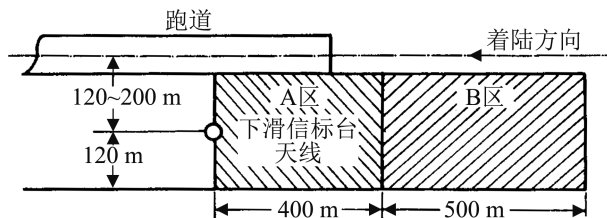


图 2 下滑信标场地保护区(GB6364-86)  
Fig. 2 Glide slope site protection area(GB6364-86)

对于保护区 A 区, 不得有高于 0.3 m 的农作物和杂草, 不得有建筑物、道路、金属栅栏和架空金属线缆, 进入下滑信标台的电源线和电话线应从 A 区外埋入地下; 对于保护区 B 区, 不得有高于 10 m 的金属物体、堤坝、树林和高压输电线等大型反射体存在。

1.1.2 《航空无线电导航台和空中交通管制雷达站设置场地规范》(MH/T4003-1996)

《航空无线电导航台和空中交通管制雷达站设置场地规范》(MH/T4003-1996)是中国民航首部关于导航台和雷达站场地的规范, 1996-08-01 发布, 1996-10-15 实施(以下简称“96 版行标”)。96 版行标规定的下滑信标场地保护区是对 86 版国标规定的场地保护区的首次补充和完善, 96 版行标首次将下滑信标“保护区”的概念明确为“场地保护区”, 并进一步将场地保护区分为 A 区、B 区和

C 区三部分, 如图 3 所示, 相关距离变量的规定如表 1 所示。

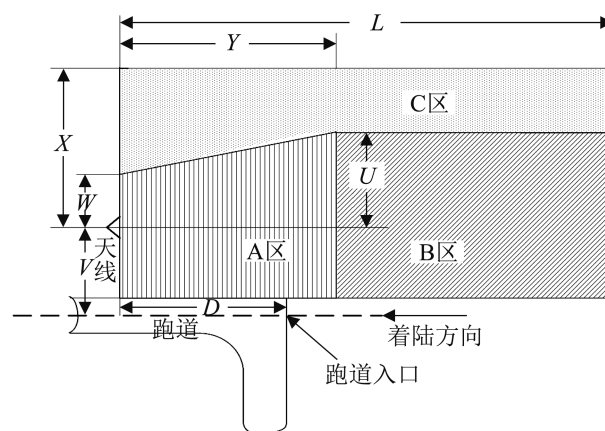


图 3 下滑信标场地保护区(MH/T4003-1996)  
Fig. 3 Glide slope site protection area(MH/T4003-1996)

表 1 下滑信标场地保护区变量(MH/T4003-1996)  
Table 1 Variables in glide slope site protection area (MH/T4003-1996)

变量	长度
$D$	下滑信标天线至跑道着陆端的距离
$U/m$	60
$V$	下滑信标天线至跑道中心线的距离
$W/m$	30
$X/m$	120
$Y$	360 m 或距离 $D$ (以大者为准)
$L$	900 m 或至机场边界或至平滑地面的终止点 (以小者为准)

在A区内不应种植农作物，杂草的高度不超过0.3 m，纵向坡度与跑道坡度相同，横向坡度不大于 $\pm 1\%$ ，并处于设计坡度的 $\pm 4$  cm范围内，在A区内不应停放车辆和航空器，不应有任何的地面交通活动；B区内地面应尽可能平坦，地形高度的允许值则取决于天线到地形凹凸处的距离、天线的高度等因素；A区、B区和距天线中心线延长线(与跑道平行)60 m以内，不应有金属栏、架空线缆、单棵树木和建筑物存在；在C区内不应有高于10 m的金属建筑物、高压输电线、堤坝、树林、山丘等障碍物，C区的坡度不应超过 $\pm 15\%$ 。96版行标还对排水沟、下滑信标机房的设置提出了具体要求，并针对下滑信标天线选型给出了建议。

### 1.1.3 《航空无线电导航台(站)电磁环境要求》 (GB6364-2013)

86版国标于2013年进行了首次修订，2013版的标准名称调整为《航空无线电导航台(站)电磁环境要求》，标准号为GB6364-2013，于2013-11-12发布，2014-07-01实施(以下简称“13版国标”)。13版国标延续了96版行标关于下滑信标“场地保护区”的要求，并针对国内的运用实际进行了调整优化。对于场地保护区A区，增加了“不应有道路、机场专用环场路等任何障碍物存在”的要求；对于场地保护区B区，增加了“距下滑信标天线前方600 m B区范围以内不应有铁路、公路、机场专用环场路存在，不应有建筑物(航向信标台机房除外)、高压输电线、堤坝、树林、山丘等存在，航向信标台机房总高度和600 m以外的障碍物高度不能超过跑道端净空限制要求”的要求；将场地保护区C区的保护要求调整为“不应有铁路和公路存在(机场专用环场路除外)，不应有高于机场侧净空限制的建筑物、高压输电线、堤坝、树林、山丘等障碍物存在，该区域的地形坡度不应超过15%”。

相对于96版行标，13版国标的显著调整为关

于下滑信标场地保护区长度(L)的规定，13版国标将下滑信标场地保护区的长度调整为“通常为900 m，不应小于600 m”，体现了在保障下滑信标运行安全的前提下，下滑信标基础设施科技进步与缩减机场征地等外部条件矛盾的折衷。

### 1.1.4 《民用航空通信导航监视台(站)设置场地规范 第1部分：导航》(MH/T 4003.1-2014)

96版行标于2014年进行了首次修订，2014版的标准名称调整为《民用航空通信导航监视台(站)设置场地规范 第1部分：导航》，标准号为MH/T 4003.1-2014，于2014-02-08发布，2014-05-01实施(以下简称“14版行标”)。结合国际规则和国内仪表着陆系统运行实际，14版行标将13版国标下滑信标场地保护区中的A区设立为临界区，将13版国标下滑信标场地保护区中的B区和C区共同设立为敏感区。14版行标将仪表着陆系统临界区定义为在航向信标和下滑信标附近的一个规定区域，该区域内的障碍物会对仪表着陆系统空间信号造成不可接受的干扰；将仪表着陆系统敏感区定义为临界区的延伸区域，该区域内的航空器、车辆等物体可能对仪表着陆系统空间信号造成干扰。

相较于13版国标，14版行标下滑信标场地保护区A区(临界区)的长度不再是固定值，其长度值取决于所选下滑信标天线的类型；下滑信标场地保护区B区(敏感区)则根据跑道不同的运行类别(I类和II/III类)分别进行保护；根据跑道不同的运行类别，将整个场地L明确为“通常为900 m，I类不小于600 m，II/III类不小于900 m”。14版行标还对多跑道机场特别是近距平行跑道设置多套下滑信标台的场地保护要求进行了规定。

## 1.2 下滑信标运行保护区

附件十在2018年进行了修订，引入了新的大型航空器对仪表着陆系统临界区和敏感区大小的影响，并给出了临界区和敏感区最终尺寸的指导性示例。基于下滑信标后撤距离为300 m、水平偏

置为 120 m 的假设, 附件十建议的下滑信标临界区和敏感区如图 4 所示。

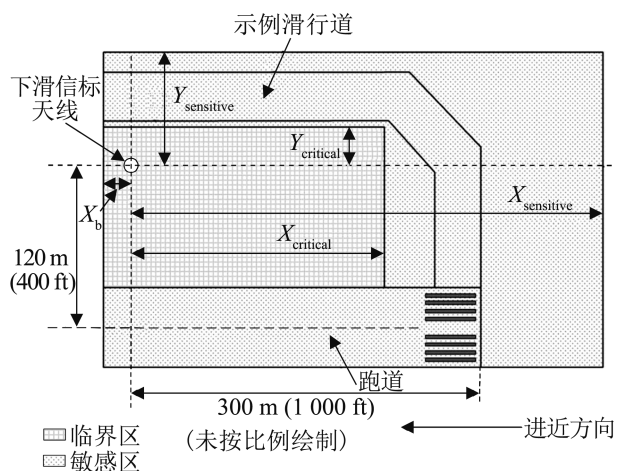


图 4 下滑信标临界区和敏感区(an10\_v1\_7ed)  
Fig. 4 Glide slope critical and sensitive area (an10\_v1\_7ed)

图 4 中的变量由仪表着陆系统运行类别、下滑信标天线类型、航空器类别及朝向组合确定。对于 II/III 类运行的特大型航空器, 当采用捕获效应(M 型)下滑信标天线, 航空器相对于跑道中心线非平行/垂直时, 具体尺寸如表 2 所示。

表 2 特大型航空器尺寸  
Table 2 Dimensions for very large aircraft m

参数	数值	
航空器高度	20<H≤25	
临界区	$X_c$	672
	$Y_c$	34
敏感区	$X_s$	610
	$Y_s$	24

注: 确定大型/特大型航空器的临界区和敏感区时  $X_b=50$ , 否则  $X_b=0$ 。

中国民航从 2018 年启动行业标准 MH/T 4003.1-2014 的修订工作, 新版标准于 2021-10-21 发布, 2021-11-01 实施(以下简称“21 版行标”)。结合附件十的调整情况和 14 版行标实施以来收到的意见建议, 在保持标准概念延续的前提下, 本次修订将仪表着陆系统保护区区分为“场地保护区”和“运行保护区”。“场地保护区”的概念继承了 14 版行标“临界区”和 13 版国标“场地保护

区”的定义;“运行保护区”的概念则是对附件十重新修订的“临界区”和“敏感区”概念的体现, 21 版行标规定的下滑信标敏感区构型如图 5 所示。

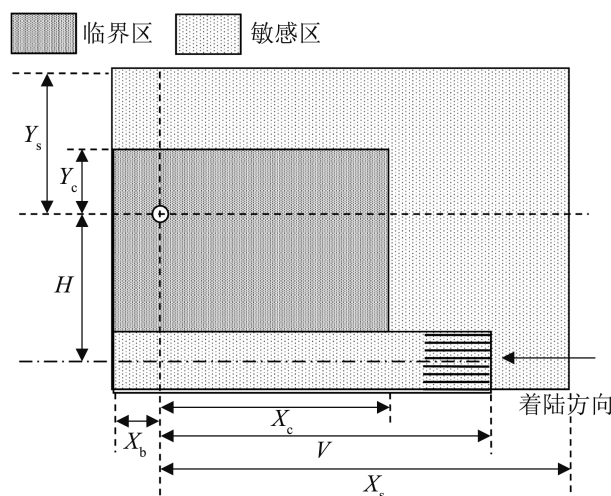


图 5 下滑信标运行保护区(MH/T 4003.1-2021)  
Fig. 5 Glide slope operational protection area (MH/T 4003.1-2021)

## 2 基于特大型航空器的运行保护区仿真

### 2.1 下滑信标运行保护区保护逻辑

理想情况下, 应在下滑信标运行期间对运行保护区的临界区提供强制保护, 至少提供保护至 I 类运行的决断高。对临界区的干扰通常会对在特定时间使用下滑信标信号的所有航空器(整个进近过程)产生影响。通常采用划定边界的方式对临界区进行保护, 若临界区与运行区域有重叠, 则可采取限制进入或按运行管理程序执行。从运行角度, 运行保护区的敏感区应能理想地保护航空器运行至少从 I 类决断高至跑道, 且仅在低能见度条件下使用(II 类和 III 类运行)。敏感区干扰通常是短暂的, 且仅对单架航空器产生局部干扰。但在许多地方, 这种理想情况可能难以实现, 且需要相应的技术和运行缓解措施。

影响下滑信标临界区和敏感区尺寸的因素包



括仪表着陆系统的运行类别、静态干扰的大小、航空器(车辆)的位置、尺寸以及朝向(尤其是其垂面)、跑道滑行道结构、天线的位置等。干扰类型可分为由航空器(车辆)等移动障碍物引起的动态干扰和由诸如建筑物和地形等固定障碍物引起的静态干扰。若静态干扰已定,则可将余量分配给动态干扰。如果实际测量的静态干扰与模拟中的假设存在显著差异,则应修改分配关系。以仪表着陆系统Ⅲ类运行为例,其静态干扰(60%, 12  $\mu\text{A}$ )和动态干扰(80%, 16  $\mu\text{A}$ )的分配关系如式(1)所示。在大多数情况下,由固定障碍物和移动障碍物引起干扰的平方和根给出的结果比代数和更具统计意义。

$$\sqrt{(12 \mu\text{A})^2 + (16 \mu\text{A})^2} = 20 \mu\text{A} \quad (1)$$

下滑信标运行保护区的仿真应采用相应航空器的3D模型以及ILS传播方程的精确算法,关键仿真参数设置如表3所示。

表3 关键仿真参数  
Table 3 Key simulation parameters

典型参数	参数设置
地形特征	平坦
下滑角/(°)	3
静态多径容差/%	60
动态多径容差/%	80
进近航空器速度/kt	105
基准数据点高(RDH)/m	16.5

## 2.2 障碍物对航空无线电信号影响的理论分析<sup>[16]</sup>

以航空器、障碍物为代表的典型障碍物对航空无线电的影响可等效为电磁波入射效应而导致的感应表面电流问题,流动的表面电流以再辐射的方式辐射散射电磁波。可以通过对散射体表面感应出的感应场进行积分运算得到散射场,Stratton-Chu公式描述了表面电磁流、电磁荷与散射场之间的联系。针对类似大型航空器等纯导体类型,可以根据Stratton-Chu公式将物理光学理论进行简化处理,受航空器影响的散射场可以表示为<sup>[17]</sup>

$$\mathbf{H}^{\text{PO}}(\mathbf{r}) = \oint_S \mathbf{J}(\mathbf{r}') \times \nabla' G_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}') d\mathbf{S}' \quad (2)$$

$$\mathbf{J}(\mathbf{r}) = \begin{cases} 2\mathbf{n} \times \mathbf{H}_i(\mathbf{r}'), & \text{照明区} \\ 0, & \text{阴影区} \end{cases} \quad (3)$$

式中: $\mathbf{H}^{\text{PO}}(\mathbf{r})$ 为散射场; $\mathbf{H}_i(\mathbf{r}')$ 为入射波磁场; $\mathbf{J}(\mathbf{r})$ 为导体表面电流; $G_0(\mathbf{r}, \mathbf{r}')$ 为自由空间格林函数; $\mathbf{n}$ 为导体表面的外法向单位矢量。

机翼等位置并非理想平面而是存在尖顶的非规则边缘,由于尖顶等非规则表面存在的绕射场问题,物理光学算法的精确性将会受到影响,应对其进行修正。考虑尖顶等非规则外观影响的散射场可以表示为<sup>[18-19]</sup>

$$\mathbf{H}^{\text{PTD}}(\mathbf{r}) = \frac{L}{2\pi} \frac{e^{jkR}}{r} |\mathbf{E}_i| \frac{[(\mathbf{e}_i \cdot \mathbf{t})(\mathbf{e}_s \cdot \mathbf{t})f + (\mathbf{h}_i \cdot \mathbf{t})(\mathbf{h}_s \cdot \mathbf{t})g]}{\sin^2 \beta} \frac{\sin(kL \cos \beta)}{kL \cos \beta} e^{jk_i R} \quad (4)$$

式中: $E_i$ 为入射散射场; $\beta = \arccos(\mathbf{i} \cdot \mathbf{t})$ ; $\mathbf{R}$ 为源点到尖顶边缘中心的位置矢量; $\mathbf{t}$ 为沿尖顶边缘的单位矢量; $L$ 为尖顶边缘的长度; $f$ 、 $g$ 为尤费赛夫物理绕射系数。

计算后向散射场时, $f$ 和 $g$ 将分为3种情况。

当电磁波照射物体上表面时:

$$f = x - y - 0.5 \tan \Phi_i \quad (5)$$

$$g = x + y + 0.5 \tan \Phi_i \quad (6)$$

当电磁波照射物体下表面时:

$$f = x - y - 0.5 \tan(\alpha - \Phi_i) \quad (7)$$

$$g = x + y + 0.5 \tan(\alpha - \Phi_i) \quad (8)$$

当两面均被照射时:

$$f = x - y - 0.5 [\tan \Phi_i + \tan(\alpha - \Phi_i)] \quad (9)$$

$$g = x + y + 0.5 [\tan \Phi_i - \tan(\alpha - \Phi_i)] \quad (10)$$

其中:

$$x = \frac{\sin(\pi/m)}{m} \frac{1}{\cos(\pi/m) - 1} \quad (11)$$

$$y = \frac{\sin(\pi/m)}{m} \frac{1}{\cos(\pi/m) - \cos(2\Phi_i/m)} \quad (12)$$

式中: $m$ 为尖顶外角 $\alpha$ 对 $\pi$ 归一化的外顶角,二者的关系可以表示为 $m = \alpha/\pi$ ; $\Phi_i$ 为入射波单位矢量 $\mathbf{i}$

的横向分量与上表面之间的夹角。

对于拟分析的障碍物, 将模型外表进一步均分为三角形面元, 电磁波在相邻面元以等相位差分布。以面元中心为散射中心计算面元散射场, 结合相邻面元的相位差可以对相邻面元的散射场进行解算。各散射中心的散射场在航道线上与下滑信标导航信号叠加并加载至机载航道偏移指示器的下滑指针, 进而影响飞行员对飞行趋势的判断。

### 2.3 不同姿态航空器的运行保护区仿真

根据机场内提供物体的高度, 将包括航空器在内的移动障碍物进行分类, 如表 4 所示。

表 4 机场场面障碍物  
Table 4 Obstacle on airport surface m

分类	物体高度 $H$
地面车辆	$H \leq 6$
中型航空器	$6 < H \leq 14$
大型航空器	$14 < H \leq 20$
特大型航空器	$20 < H \leq 25$

对于特定的运行场景, 可根据机场运行的最大航空器类型、采用的下滑信标天线类型、馈电系统型号, 以及其他特征参数进行下滑信标运行保护区的研究。现以 A380-800 型航空器为例, 对特大型航空器对下滑信标运行保护区的影响进行研究, 仿真模型的尺寸参数如图 6 所示, 仿真所使用的其他关键参数如表 5 所示。

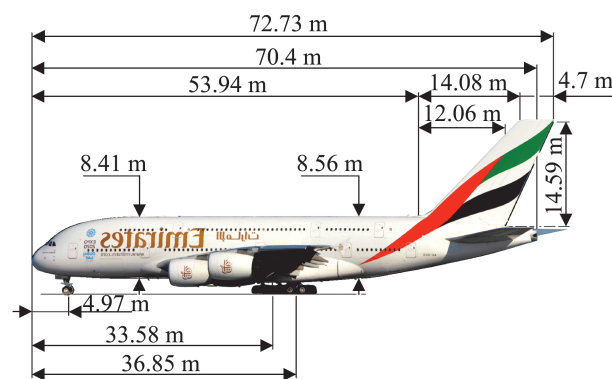


图 6 A380-800 型航空器尺寸参数  
Fig. 6 Dimensions of A380-800

表 5 仿真参数设置

Table 5 Simulation parameters

仿真参数	参数设置
跑道长度/m	3 800
跑道宽度/m	60
下滑信标后撤距离/m	310
下滑信标横向偏置/m	120
天线类型	捕获效应(M型)
馈电系统	NM7000B
运行类别	CAT II/III
仿真频率/MHz	330.65
机载接收机类型	典型
仿真算法	物理光学
单次仿真尺度	3 526

以航空器进近方向为航空器姿态的  $0^\circ$  位置(机头方位朝向跑道末端), 当单架航空器分布于研究区域的不同位置时, 对进近过程中航空器的影响程度如图 7 所示, 相关色块含义如表 6 所示。

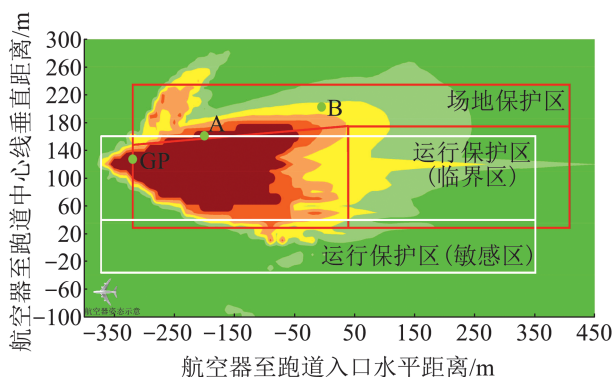


图 7 运行保护区仿真结果

Fig. 7 Operational protection area simulation result

表 6 仿真结果色块释义

Table 6 Simulation result color block interpretation %

色块颜色	对进近航空器的影响(ICAO 容限)
绿	$< 25$
浅绿	$[25 \sim 50)$
黄	$[50 \sim 75)$
橘红	$75 \sim 100$
红/深红	大于/远大于 100

分别以图 7 中 2 个典型位置(位置 A 和位置 B)为例, 当单架 A380-800 型航空器位于这些位置时, 对应的下滑道结构如图 8 所示。对于正在为精密航段提供引导的下滑信标, 当橘红色轮廓所

包围区域内存在此类航空器时，可能会对航空器运行产生不可接受的影响。

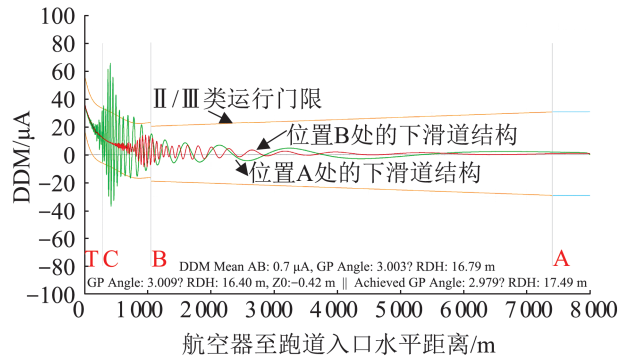
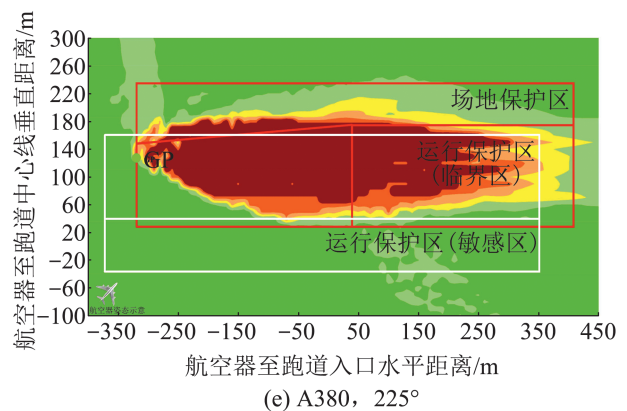
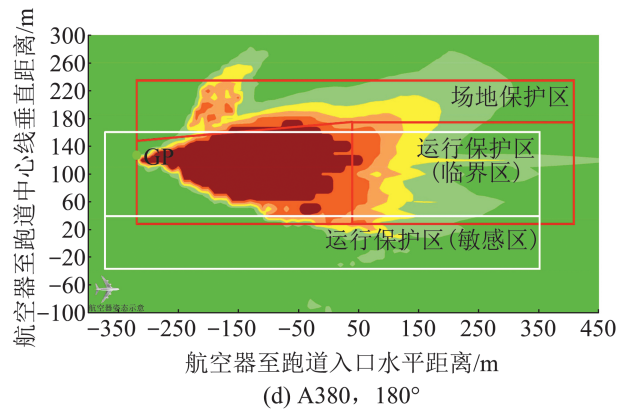
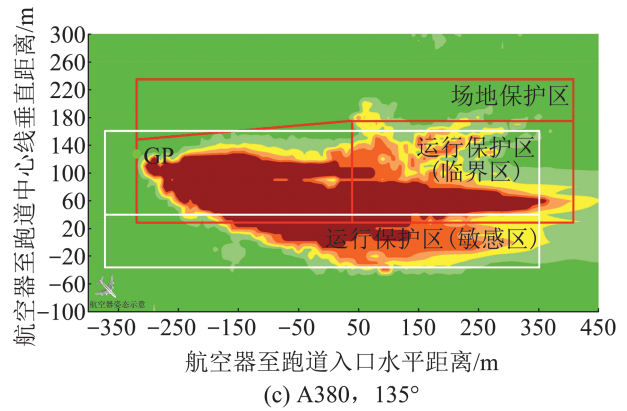
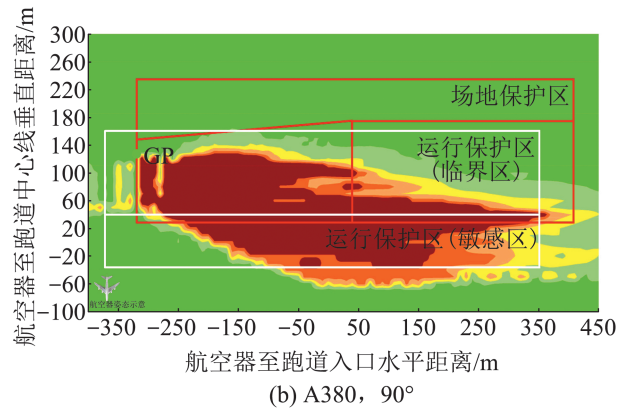
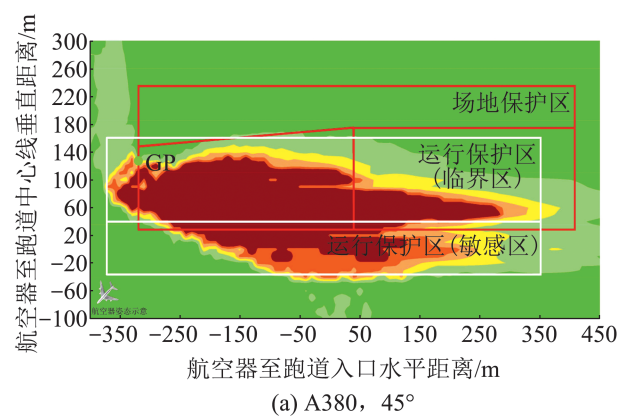


图8 代表性位置点的下滑道结构  
Fig. 8 Course structure at representative location

图7以白色轮廓线给出了ICAO规定的临界区和敏感区(即21版行标规定的运行保护区),以红色轮廓线给出了21版行标规定的场地保护区。从仿真结果可知,对于姿态为0°的航空器,ICAO规定的临界区和敏感区并未全部覆盖以A380-800为代表的特大型航空器所需要进行保护的场地范围,若辅以21版行标规定的场地保护区对机场进行保护,则可以完全确保航空器运行安全。事实上,ICAO规定的临界区和敏感区充分考虑了不同姿态航空器,尤其是非垂直和非平行于跑道航空器姿态的影响。现以航空器0°姿态为基准,以相对于跑道中心线逆时针方向45°为步长,对航空器可能出现的所有姿态进行仿真,仿真结果如图9所示。





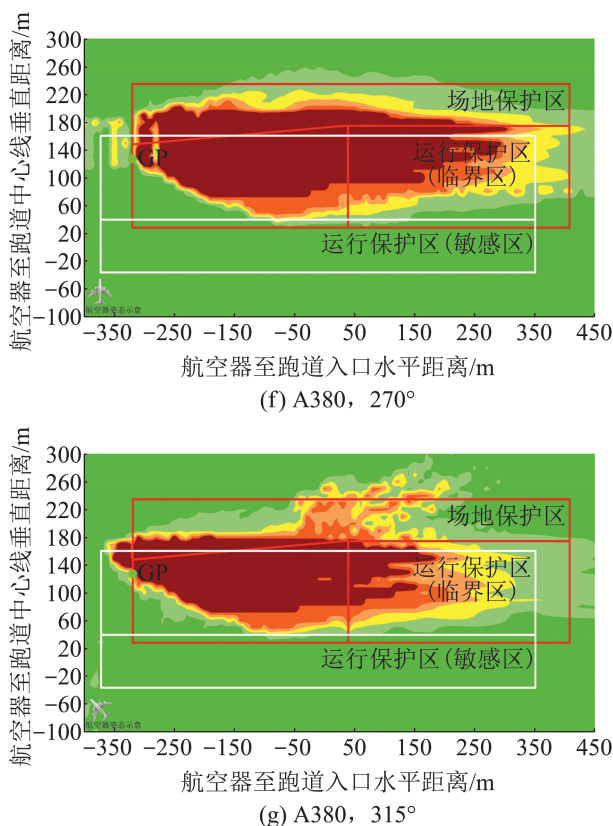


图9 运行保护区仿真  
Fig. 9 Operational protection area simulation

综合图7、9, 可以得出结论:

(1) 除了姿态为180°的航空器外, 其余航空器姿态对下滑信标信号产生的影响远比0姿态航空器严重。对于姿态为45°、90°和135°的航空器, 其在靠近跑道方向和远离下滑信标天线方向产生的影响更为显著; 对于姿态为225°、270°和315°的航空器, 其在远离下滑信标天线方向产生的影响更为显著。

(2) 对于以A380-800为代表的大型航空器而言, ICAO规定的临界区和敏感区均未完全覆盖特定位置航空器对进近中的航空器造成的影响超ICAO规定容限的情形, 若辅以21版标准要求的场地保护区要求, 则可以涵盖绝大多数的关键区域, 对于确保航空安全具有重要意义。

(3) 对比图7和图9(d)可知, 当航空器以相对于跑道中心线平行分布时, 其对下滑信标空间信

号的影响最小, 研究表明, 航空器的尾翼为影响下滑信标信号质量的决定性因素, 在仿真中必须根据可能使用跑道的最大机型垂直尾翼的最大高度进行建模。

结合不同姿态航空器影响的仿真结果可知, 将下滑信标保护区区分为场地保护区和运行保护区是中国民航的理论创新, 其意义在于:

(1) 在13版国标仍然生效的前提下延续了下滑信标场地保护区的保护要求, 避免了行业标准和国家标准保护要求相左的问题, 且其场地保护区要求严于附件十的相关规定, 符合ICAO实施的普遍安全监督审计计划的要求。

(2) 下滑信标场地保护区是从机场建设的角度对设施提出的要求, 下滑信标运行保护区是从运行的角度对设施提出的保护要求, 将建设保护要求和运行保护要求区分开来有利于保护条款更好地实施, 进一步提升了设施的保护裕度。

(3) 从仿真结果可知, 附件十规定的下滑信标临界区和敏感区并未完全涵盖以A380-800为代表的大型航空器所产生的全部信号影响区域, 辅以场地保护区的保护要求与仿真结论更加吻合, 有利于进一步消除设备场地保护的安全隐患, 进一步保证航空安全。

### 3 特定运行场景的航空器的运行保护区仿真应用

国际标准和建议措施以及2021版行标运行保护区的划设是根据不同姿态航空器对下滑信号影响程度而制定的, 考虑了非垂直非平行于跑道中心线的情况, 辅以场地保护区的保护要求, 最大限度地保护航空器的运行安全。

对于特定机场而言, 下滑信标前方的跑道滑行道构型各异, 不存在场面上的航空器姿态完全一致的理论场景。针对特定运行场景进行技术论证, 既能够最大限度地提高机场的运行效率, 能与民航国际标准和建议措施以及国内国家和行业

标准制定策略保持一致。以图10所示某机场下滑信标台的典型运行场景为例,针对该跑道的跑道滑行道构型对典型区域进行研究,仿真参数与表2和表5保持一致(CAT II/III,场面上的航空器为A380-800)。研究场景为理想场景,运行方向从右至左,在入口滑行道上的航空器姿态为 $90^\circ$ 、跑道上的航空器的姿态为 $0^\circ$ ,在跑道入口处的航空器为 $0^\circ\sim 90^\circ$ 的过渡姿态,仿真结果如图10中的彩色区域所示。

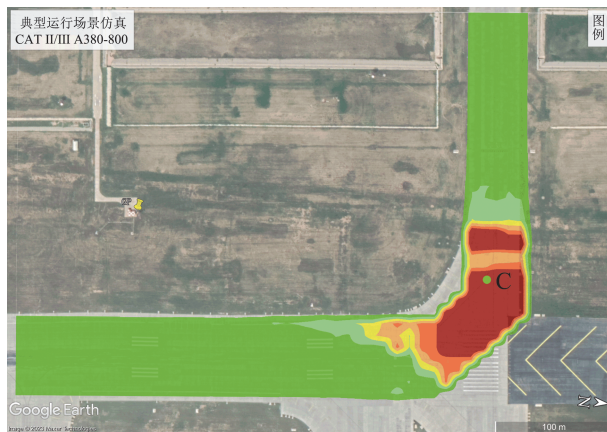


图10 典型运行场景仿真结果

Fig. 10 Simulation results for typical operational scenario

当跑道左侧的下滑信标为进近中的航空器提供进近引导时,图10中航空器转弯区内如果存在单架A380-800型航空器,会对进近中的航空器产生显著影响,以图10研究区域出口滑行道上的C点为例,在位置C上的航空器对下滑信标下滑道的影响曲线如图11所示。

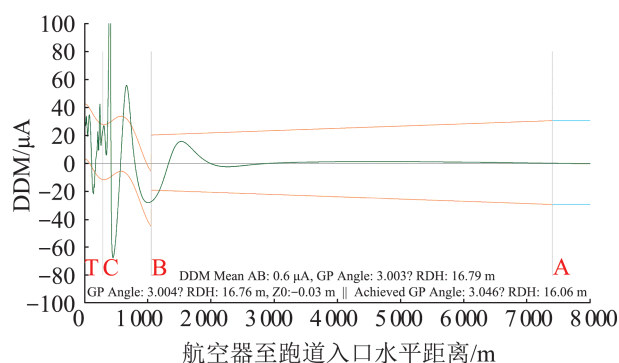


图11 代表性位置点的下滑道结构

Fig. 11 Course structure at representative location

从图11可知,当位置C上存在航空器时,会对距离仪表着陆系统B点至仪表着陆系统T点之间的区域造成100%超出ICAO规定容限不可接受的影响。

## 4 结论

国内民航下滑信标运行保护区的概念演进是中国民航运行实际和履行国际义务相结合的具体体现,涵盖了ICAO对下滑信标临界区和敏感区的保护要求,对下滑信标运行保护区进行严格保护对于确保航空器运行安全具有重要意义。本文对下滑信标运行保护区的概念在国内的演进情况进行了分析,以特大型航空器为例(A380-800),对特定运行类别的下滑信标运行保护区进行研究,并针对特定机场实际运行场景进行了分析,结论如下:

(1) 行业标准MH/T4003.1-2021结合航空器类型和天线孔径,给出了严格场景下航空器运行所需的运行保护区,可在不针对特定运行场景进行专业技术论证的前提下确保下滑信标系统提供合格的导航信号,确保航空器运行安全。

(2) 国内行业标准和国际标准与建议措施关于下滑信标运行保护区的规定是基于特定航空器进行论证的,运行保护区的轮廓根据可能造成不可接受影响航空器位置(包含了航空器的典型姿态)确定,在特定位置,尤其是运行保护区的边缘部分,留出了一定的安全裕度。针对特定机场和特定运行场景,结合具体使用下滑信标设备、静态障碍物的分布、提供服务的最大航空器机型、运行类别,以及机场的跑道-滑行道结构等关键因素进行专业技术论证,对下滑信标运行保护区进行优化,可在兼顾运行安全的前提下进一步提升机场运行效率。

(3) 虽然计算机仿真在民航国际标准和建议措施以及国内国家、行业标准的制定过程中发挥了重要作用,但必须指出的是,在计算机模型的建

立过程中, 对地形、障碍物表面等参数和场景进行了理想化处理, 难以达到计算机仿真结果和实际运行结果完全吻合, 对于民航机场工程建设技术论证而言, 应在计算机仿真论证的基础上辅以飞行校验的形式对最终的方案进行确认。

### 参考文献:

- [1] 中国民用航空局: 民用航空通信导航监视台(站)设置场地规范 第1部分: 导航: MH/T 4003.1-2021[S]. 北京: 中国民用航空局, 2021: 1-32.  
Civil Aviation Administration of China. Specification for Aeronautical Communication Navigation and Surveillance Station Siting Criteria-part 1: Navigation: MH/T 4003.1-2021[S]. Beijing: Civil Aviation Administration of China, 2021: 1-32.
- [2] Federal Aviation Administration. Siting Criteria for Instrument Landing Systems: 6750.16E[S]. Washington: Federal Aviation Administration, 2014.
- [3] 赵修斌, 王永生, 姜恒乐. 基于GTD的进近着陆系统多径效应仿真[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(8): 1864-1866.  
Zhao Xiubin, Wang Yongsheng, Jiang Hengle. Simulation for Multipath Effect of Approach Landing System Based on GTD[J]. Journal of System Simulation, 2005, 17(8): 1864-1866.
- [4] Luebbers R, Ungvichian V, Mitchell L. GTD Terrain Reflection Model Applied to ILS Glide Scope[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1982, 18(1): 11-20.
- [5] Frank Weinmann. PO/PTD Ray Tracing for Arbitrary Metallic and Dielectric Objects[C]//2006 First European Conference on Antennas and Propagation. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006: 1-5.
- [6] 倪育德, 于颖丽, 刘瑞华. 保护区内地形对ILS下滑信标辐射场的影响[J]. 信号处理, 2022, 38(9): 1892-1902.  
Ni Yude, Yu Yingli, Liu Ruihua. Influence of Terrain in Protected Area on Radiation Field of Glide Slope of ILS[J]. Journal of Signal Processing, 2022, 38(9): 1892-1902.
- [7] 姜春英, 康玉祥, 由晓峰, 等. 仪表着陆系统下滑宽度仿真系统研究[J]. 系统仿真学报, 2020, 32(2): 262-268.  
Jiang Chunying, Kang Yuxiang, You Xiaofeng, et al. Research on Glide Width Simulation System of Instrument Landing System[J]. Journal of System Simulation, 2020, 32(2): 262-268.
- [8] 戴传金, 赵修斌, 李颖路. ILS系统复杂场地的数值计算仿真与飞行检验[J]. 航空计算技术, 2006, 36(2): 36-39.  
Dai Chuanjin, Zhao Xiubin, Li Yinglu. Numerical Analysis Simulation and Flight Check on the Difficult Site for ILS[J]. Aeronautical Computing Technique, 2006, 36(2): 36-39.
- [9] Xu Jian, Ye Jiaquan, Liang Fei, et al. Simulation Analysis and Research on the Influence of Buildings on a Glide Path Antenna[C]//2021 International Conference on Computer Technology and Media Convergence Design (CTMCD). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2021: 63-66.
- [10] Godfrey J, Hartley H, Moussally G, et al. Terrain Modeling Using the Half-plane Geometry with Applications to ILS Glide Slope Antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1976, 24(3): 370-378.
- [11] Ramakrishna S, Sachidananda M. Calculating the Effect of Uneven Terrain on Glide Path Signals[J]. IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, 1974, 10(3): 380-384.
- [12] Iungaitis E M, Voytovich N L, Ershov V A. Influence of Wave Diffraction on the Coastal Airfield Surface on the Glide Path Behavior[C]//2022 16th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2022: 1-5.
- [13] Ekaterina Yungaitis, Boris Zhdanov, Andrei Zotov, et al. Application of Signals Reflected from an Aircraft for Monitoring an ILS Glide Path Position[C]//2020 7th All-Russian Microwave Conference (RMC). Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2020: 291-293.
- [14] Dragan Poljak, Vicko Dorić, Anna Šušnjara, et al. Deterministic-stochastic Modeling of a Glide Path Antenna System Above a Multilayer[C]//2020 International Symposium on Electromagnetic Compatibility-EMC EUROPE. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2020: 1-5.
- [15] ICAO. Annex 10 to the Convention on International Civil Aviation, Volume I Aeronautical Telecommunications, Radio Navigation Aids: International Civil Aviation Organization[EB/OL]. [2023-01-24]. [https://portal.icao.int/icao-net/Annexes/AN10\\_V1\\_cons.pdf](https://portal.icao.int/icao-net/Annexes/AN10_V1_cons.pdf).
- [16] 李清栋, 李锦耀, 林欢, 等. 基于PO-PTD的航空器对下滑道结构影响的动态研究[J]. 南京航空航天大学学报, 2018, 50(6): 829-833.  
Li Qingdong, Li Jinyao, Lin Huan, et al. Dynamic Research on Glide-slope Approach Based on PO-PTD[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2018, 50(6): 829-833.
- [17] Knott E F. 雷达散射截面-预估、测量和减缩[M]. 阮颖铮, 陈海译. 北京: 电子工业出版社, 1988: 99-124.
- [18] 蒋相闻, 招启军, 徐国华. 基于面元边缘法的直升机 RCS计算与分析[J]. 南京航空航天大学学报, 2011, 43(3): 429-434.

Jiang Xiangwen, Zhao Qijun, Xu Guohua. Calculation and Analysis of RCS of Helicopter Based on Panel Edge Method[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics

& Astronautics, 2011, 43(3): 429-434.

[19] Youssef N N. Radar Cross Section of Complex Targets[J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(5): 722-734.