

# 飞机着陆引导系统对机场净空要求的影响分析

吴德伟, 武昌, 赵修斌

(空军工程大学 电讯工程学院导航系, 陕西 西安 710077)

**摘要:** 分析了飞机使用双信标着陆系统、仪表着陆系统和雷达引导着陆系统实现进场着陆时, 实际航线相对于规定航线的误差, 在此基础上提出了机场净空要求的建议值。

**关键词:** 净空要求; 着陆系统; 误差分析

**分类号:** V249.32 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2000)01-0014-04

## 1 双信标着陆系统

双信标着陆系统误差包括了电磁与场地环境误差、电波传播误差和设备误差, 这些误差都将导致飞机使用双信标着陆系统进场着陆时偏离理想航迹, 产生位移误差。位移误差可从水平和垂直两个方向来分析。

### 1.1 水平方向误差分析

水平方向误差主要是由导航系统误差、飞行驾驶技术以及侧风引起。由理论分析可知, 导航台—无线电罗盘系统误差综合起来不大于 $\pm 6^\circ$ 。

双信标着陆系统的远距中波导航台规定距跑道着陆端的距离为4~7km, 最佳距离为6km; 近距中波导航台距跑道着陆端的距离为0.9~1.5km, 最佳距离为1km。机场通常是将指点信标台与中波导航台配置在一起, 统称为信标导航台。为了说明问题, 以配置距离最远的信标导航台为例(远、近距信标导航台距跑道端口的距离分别为1.5km和7km), 分析可能产生的航线偏差。

设飞机偏离理想航迹(跑道中线延长线)的距离为 $d$ , 飞机距跑道端口的距离为 $D$ , 则当航向偏差为 $\theta$ 时, 有:

$$d = D \tan \theta \quad (1)$$

结合导航台—无线电罗盘系统误差和飞行员驾驶技术容差, 取飞机进入着陆航线的航向误差最大值 $\theta = 15^\circ$ , 由(1)式计算出飞机位于远、近导航台上空时产生的航线偏差分别为1.9km和402m, 如图1所示。

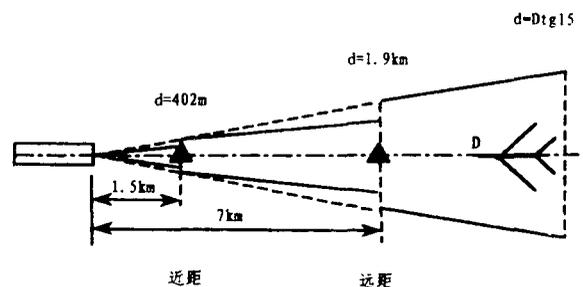


图1 水平方向误差分析

### 1.2 垂直方向误差分析

结合无线电高度表误差和飞行员驾驶技术容差, 规定飞机进入着陆航线(第四转弯)改出高度的飞行误差为 $\pm 50\text{m}$ , 通过远距导航台上空时飞行高度误差为 $\pm 30\text{m}$ , 通过近距导航台上空时飞行高度误差为 $+20\text{m}$ 、 $-10\text{m}$ 。

以飞机普遍使用的双 $180^\circ$ 大航线为例, 其最低平飞航线高度为500m, 飞越远距导航台上空的最低高度为200m, 飞越近距导航台上空的最低高度为60m, 各类飞机所采用的最低下滑角为 $2^\circ$ 。据此绘出图2所示的着陆航线。

飞机在远距导航台前平飞时间规定为30s, 考虑飞行驾驶技术误差, 实际平飞时间存在一定误差, 该误差在 $\pm 10\text{s}$ 范围内。因此, 如果取最大平飞时间为40s, 在此阶段飞机飞行速度为450km/h, 以此计算出最大

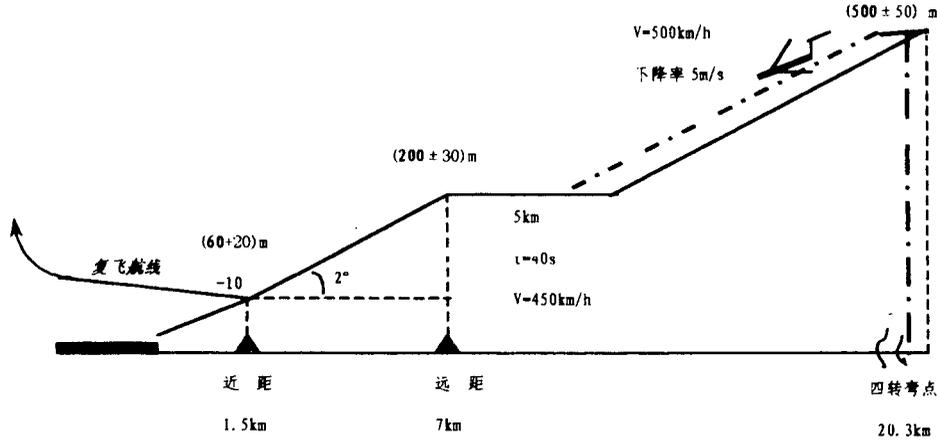


图 2 垂直方向误差分析

平飞距离为 5km。引起平飞时间误差的原因：一是四转弯点定位不准，二是下降率保持不好，而两种原因中尤以四转弯点定位不准所产生的航线偏差对净空的要求最为苛刻。图 2 给出了定位不准产生航线偏差情况的示意图，图中点划线示出的是无平飞时间误差时的航线。

当飞机不能正常着陆需要复飞时，选择近距离导航台上空为复飞点，飞机按照不低于 2.5% 的上升率爬升至规定高度或至另一着陆方向近距离导航台上空后转弯爬升，如图 2 所示复飞航线。

## 2 仪表着陆系统

### 2.1 航向引导误差

仪表着陆系统航向信标台提供的航向面与水平面的交线称之为航向道，在航向道上导航音频调制度差 (DDM) 为零，机载双针指示器指中心位置；沿航向道垂直方向偏移，调制度差 (DDM) 线性增加，至 DDM = 0.155 处为航向道边线，此时机载双针指示器指针处于最大偏移位置。由航向道两侧 DDM = 0.155 边线所限定的区域称之为航向道扇区，扇区的宽度通常用夹角  $\theta$  表示。

根据规定，当航向道扇区宽度为  $\theta$  (一般为  $3^\circ \sim 6^\circ$ ) 时，由航向信标台产生的航向道偏差通常为  $\pm 0.05\theta$ ；国际民用航空公约附件 10 规定，机载航向信标接收机航向道指示准确度为  $\pm 0.02\theta$ 。取最大航向道扇区宽度为  $6^\circ$ ，由航向信标台产生的航向道偏差为  $\pm 0.3^\circ$ ，机载航向信标接收机航向道指示准确度为  $\pm 0.12^\circ$ 。航向道是航路中心线，航向道的偏差以及机载航向信标接收机航向道指示误差势必引起航向道扇区向左或向右偏移，结果导致扇区宽度增大。

如考虑最大误差，将地面和机械设备引起的航向道误差线性迭加，则航向道扇区宽度将由原来的  $6^\circ$  增大至  $6.84^\circ$ 。

如果用  $d$  表示航向道扇区边线到航向道 (跑道中线延长线) 的距离， $D$  表示到跑道端口的距离，则有：

$$d = D \tan(\theta/2) + d_0 = D \tan 3.42^\circ + d_0 = 0.06D + d_0 \tag{2}$$

其中  $d_0$  为规定的航向道扇区边线在跑道端口距跑道中心的距离， $d_0 = 105\text{m}$ ； $d$  即为飞机使用仪表着陆系统进场着陆时可能产生的最大航线偏差值。依据公式 (2) 可计算出在远距台上空和近距台上空时的航线偏差值分别为 525m 和 195m，如图 3 所示。

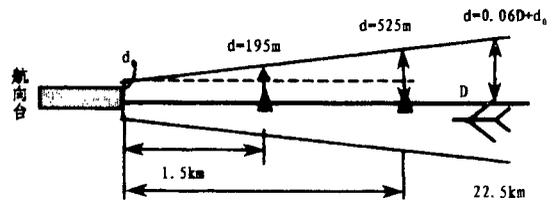


图 3 典型的航线偏差值

### 2.2 下滑引导误差

仪表着陆系统下滑信标台提供的下滑面，与通过跑道中线延长线的铅垂面的交线称之为下滑道。与航向道相同，在下滑道上导航音频调制度差 (DDM) 为零，机载双针指示器指中心位置；在下滑道上方或下方偏离下滑道，调制度差 (DDM) 线性增加，至 DDM = 0.175 处为下滑道边线，此时机载双针指示器指针处于最大偏移位置，由下滑道上下两侧 DDM = 0.175 边线所限定的区域称之为下滑道扇区，扇区宽度通常用夹角  $\theta$  表示，如图 4 所示。

国际民航组织文件 8168-0PS/611(《航空器运行》)规定下滑信标台提供的下滑角  $\Phi$  通常为  $2.5^\circ \sim 5^\circ$ ; 而机载下滑信标接收机下滑道指示准确度由国际民用航空公约附件 10 规定为  $\pm 0.03\theta$ 。

一般下滑道扇区宽度最大为  $0.9^\circ$ , 由下滑信标台提供的下滑道偏差为  $\pm 7.5\Phi\%$ ; 取最低下滑角  $\Phi = 2.5^\circ$ , 扇区宽度  $\theta = 0.9^\circ$ , 则下滑道扇区如图 4 阴影区所示。此时, 下滑信标台提供的下滑道偏差为  $\pm 0.188^\circ$ , 机载下滑信标接收机下滑道指示误差为  $\pm 0.027^\circ$ 。

下滑道是下滑道扇区中心线, 下滑道的偏差以及机载下滑信标接收机下滑道指示误差势必引起下滑道扇区向上或向下偏移, 结果导致下滑道扇区宽度增大。

同样考虑最大误差, 将地面和机载设备引起的下滑道误差线性迭加, 则下滑道扇区宽度将由原来的  $0.9^\circ$  增大至  $1.33^\circ$ , 下滑道扇区底边降至如图 4 虚线所示。

如果用  $\beta$  表示下滑道扇区底边之仰角, 则  $\beta = 1.835^\circ$ 。底边线上各点的高度用  $h$  表示, 距跑道端口的距离用  $D$  表示, 则有:

$$h = D \tan \beta + h_0 = D \tan 1.835^\circ + h_0 = 0.032D + h_0 \quad (3)$$

$h_0$  为基准数据点高度, 基准数据点是规定的下滑线必须经过的一点,  $h_0 = 15\text{m}$ ;  $h$  即为飞机使用仪表着陆系统进场着陆时的最低飞行高度。依据公式(3)可计算出在远距和近距台上空时的高度值分别为 239m 和 63m, 如图 5 所示。

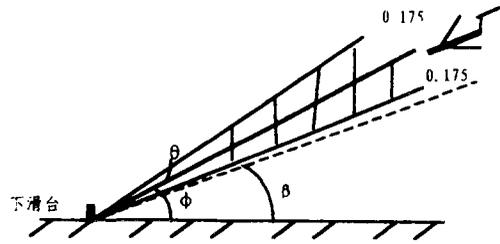


图 4 下滑道及扇区示意图

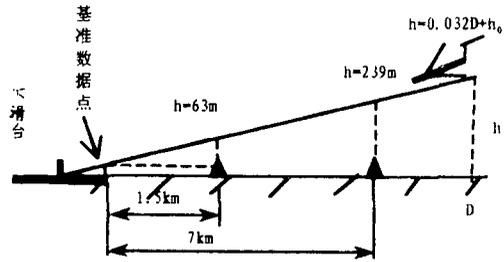


图 5 典型距离上的下滑道扇区底边高度值

### 3 雷达引导着陆系统

在满足电磁和场地环境要求的条件下, 雷达引导着陆系统中的精密进场雷达其测角和测距精度主要取决于雷达设备自身的性能。

#### 3.1 方位(航向)误差

根据精密进场雷达的阵地条件和架设情况, 不管是对称装定还是非对称装定, 必须保证电波束有效覆盖以跑道端口为端点、在跑道中线延线左右各  $5^\circ$  的扇区。考虑测量误差及飞行技术原因, 规定左右  $6^\circ$  扇区为雷达引导工作区, 由此引起的飞机最大水平引导误差为  $\pm 6^\circ$ 。当飞机位于远距台上空和近距台上空时, 即距离分别为 7km 和 1.5km 时, 最大水平偏差值分别为 736m 和 158m。

#### 3.2 仰角(下滑)误差

根据规定, 下滑道上限标线为天线的最大仰角  $+9^\circ$ , 下滑道安全下限标线仰角一般比下滑角  $\theta$  小  $0.5^\circ$  (考虑测量误差), 如图 6 所示。当  $\theta = 2^\circ$  时, 下限标线仰角为  $1.5^\circ$ , 用  $h$  表示飞机高度,  $D$  表示距跑道端口的距离, 则飞机使用精密进场雷达进场着陆时的最低飞行高度  $h = D \tan 1.5^\circ = 0.26D$ 。当飞机位于远距和近距台上空时, 即距离分别为 7km 和 1.5km 时, 高度值分别为 183m 和 39m。

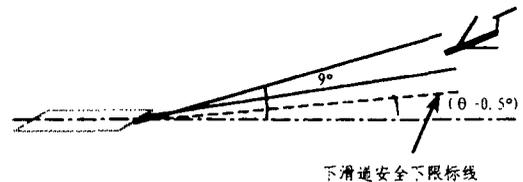


图 6 仰角误差分析

### 4 机场净空要求的建议

保证机场净空条件符合要求, 是保障飞行安全的基础性工作, 历来为航空部门所重视。

根据前面对飞机着陆引导系统误差的分析, 表 1 给出了使用不同着陆系统进场着陆时在各主要位置上的航线水平偏差值和最低飞行高度。

表 1

着陆系统	关键点	四转弯处 20km	远距导航台 7km	近距导航台 1.5km
双信标着陆系统	偏离航线的水平距离	±5.4km	±1.9km	±402m
	最低高度	450m	170m	50m
仪表着陆系统	偏离航线的水平距离	±1.3km	±525m	±195m
	最低高度	655m	239m	
雷达引导着陆系统	偏离航线的水平距离	±2.1km	±736m	±158m
	最低高度	524m	183m	39m

分析表 1 可知,对双信标着陆系统、仪表着陆系统及雷达引导着陆系统三者而言,分别用其实现进场着陆时,双信标着陆系统在水平方向产生的航线偏差在各关键点处均为最大,雷达引导着陆系统在近距导航台上空的垂直高度最低。因此,使用双信标着陆系统进场着陆时所产生的航线偏差是最大的,即使用双信标着陆系统进场着陆对净空的要求在水平方向最为严格。

综合以上各个系统的误差情况,提出应满足的净空要求范围示于表 2。机场净空要求的建议值可在表 2 所示的数值基础上加上安全值予以确定。

表 2

关键点至跑道端口距离	20km	12km	7km	1.5km
水平净空宽度	10.8km	6.4km	3.8km	804m
障碍物限制高度	450m	170m	170m	39m

### 参 考 文 献

- [1] 国际民用航空公约附件 10-1985 航空电信[S].
- [2] 国际民用航空公约附件 14-1990 机场[S].
- [3] 国际民用航空组织文件 8168-OPS/611-1993 空中航行服务程序航空器运行—飞行程序[S].
- [4] 国际民用航空组织文件 8168-OPS/611-1993 空中航行服务程序航空器运行—目视和仪表飞行程序设计[S].
- [5] 中华人民共和国国家标准 GB 6364-86 航空无线电导航台站电磁环境要求[S].
- [6] 郑连兴、陆芝平. 自动定向机[M]. 北京:国防工业出版社,1993.
- [7] 张忠兴、李晓明等. 无线电导航理论与系统[M]. 陕西:陕西科学技术出版社,1998.

## Analysis of the Airport Clearance Requirement Affected by the Aircraft Landing Guidance System

WU De-wei, WU Chang, ZHAO Xiu-bin

(Dept. of Navigation of the Telecommunication Engineering Institute, AFEU., Xi'an 710077, China)

**Abstract:** the real course error relative to the regulation is analyzed, when an airplane approaches and lands guided by the double-beacon landing system, instrument landing system or radar guidance landing system, on the condition of those landing systems being normal. In according with that, the paper gives the recommended value of the airport clearance requirement.

**Key words:** Clearance requirement; Landing system; Error analysis