

浅析 S 型下滑天线辐射性能及调试效果的全面提升



瞿淳清^{1, 2, *}

¹ 华东空管局监控中心, 上海 200335

² 华东空管局数字化创新实验室, 上海 200335

摘要: 新型 S 型下滑天线与 M 型下滑天线都是上中下三个天线构成, 而两种天线辐射信号存在着明显的差异, 以天线激励振幅和相位及电磁辐射特性为理论依据, 构建三维空间辐射数学模型, 先从理论上分析 S 型天线的基本信号辐射特征, 与 M 型天线展开差异性分析。进而从飞行校验的天线参数调整视角出发, 根据飞行校验程序及采样规则, 通过信号模拟计算出: 入口高度, 下滑角, 信号对称性参数, 进一步通过对天线调试动态分析以上参数的变化规律与趋势, 以可视化方式体现出 S 型天线的高性能和良好的可调性。

关键词: 下滑天线; 性能提升; 下滑角

DOI: [10.57237/j.se.2025.01.002](https://doi.org/10.57237/j.se.2025.01.002)

Analysis on the Significant Improvement of Radiation Performance and the Adjustment Effect of S-Type Glide Path Antenna

Qu Chunqing^{1, 2, *}

¹Equipment Operation Monitoring Center, CAAC, East China Regional Air Traffic Management Bureau of Civil Aviation of China, Shanghai 200335, China

²Digitalization Innovative Laboratory, CAAC, East China Regional Air Traffic Management Bureau of Civil Aviation of China, Shanghai 200335, China

Abstract: Both the S-type glide antenna and the M-type glide antenna consist of three antennas: upper antenna, middle antenna, and lower antenna. There are significant differences in the radiation signals of the two types of antennas. Based on the theoretical basis of antenna excitation amplitude, phase, and electromagnetic radiation characteristics, a three-dimensional space radiation mathematical model is constructed. Firstly, the basic signal radiation characteristics of the S-type antenna are analyzed theoretically based on the signal principle and feed method, with the results compared to those of the M-type. Then, from the perspective of antenna parameter adjustment according to the flight checking procedure and sampling rules, the changes in threshold crossing height (TCH), glide path angle, and symmetry of signal are calculated by signal simulation. Further analyze the variation patterns and trends of the above parameters through dynamic analysis of antenna adjustment. This visually demonstrates the high performance and good adjustability of the S-type antenna.

*通信作者: 瞿淳清, qcq04@163.com

Keywords: Glide Path Antenna; Performance Improvement; Glide Path Angle

1 引言

仪表着陆系统[1-5]是民用机场广泛使用的飞行器着陆引导设备。可以实现精密进近和非精密进近，当下滑设备与测距仪设备配合使用时，可以为飞行器提供垂直方向上的指引，并能提供连续的距离信息，从而实现精密进近。目前市场上使用较多的下滑信标是 M 型下滑天线、零基准下滑天线和边带基准下滑天线，其天线的极化方式都是水平极化，通过与天线阵前方的反射面镜像信号在空间上合成与水平面呈 3.00° 下滑角。M 型下滑天线的抗干扰能力比零基准下滑天线和边带基准下滑天线都强[6-8]，其主要原因是 M 型下滑天线两个工作频率，具有捕获效应。此外 M 型下滑天线对反射面的平整度要求也较低，其优势来源于使用了上、中、下三个天线，单个天线的反射面的异常影响，不会对三个信号的最终合成造成太大影响。相比之下，零基准下滑天线只有上、下两个天线组成，上天线辐射纯边带信号（Side and Bands Only, SBO），下天线辐射载波信号（Carrier and Sidebands, CSB），任意一个天线因反射面不平整引起反射异常后，都会造成调制深度差信号（Difference in Depth of Modulation, ddm）的严重扭曲。边带基准下滑天线同样只有上、下两个天线组成，由于更靠近地面，对反射面要求更高。基于以上优点，M 型下滑天线使用最广泛。但缺点是 M 型下滑天线尺寸较大，为满足上天线高度的下滑铁塔，其铁塔顶端的障碍灯高度，已经非常接近机场净高度[9]限制了；此外，在天线安装和调试过程中，工作人员需要在上天线和下天线之间来回攀爬作业，两者高度差比二元天线的距离要翻倍，工作强度随之增加；监控天线距离发射天线约 82 米，是传统下滑天线中距离最远的，其施工成本高，测试维护效率也会降低。新型 S 型下滑天线在设计上缩短了上下天线之间的距离，天线阵距离缩小为缩短监视距离提供了可行性，从而直接减少发射天线与监控天线之间的距离。现对 S 型下滑天线进行空间辐射信号分析，与 M 型下滑天线各参数比对，从而分析其优势特点。

2 结果与分析

以 S 型下滑天线和 M 型下滑天线的馈电信号入手，

由信号分配关系出发介绍天线架构，进而对飞行校验中重要参数：入口高度，下滑角，宽度，对称性等在进行调试过程中的效果进行分析，比较两种天线的差距。采用设备信号及地形数据如下，工作频率为 $f = 333.35$ MHz，对应波长为 $\lambda = 0.9$ m；铁塔底座选择典型安装位置，至跑道中心线的内撤距离 $l = 120$ m，至跑道端入口处的后撤距离 $d = 300$ m。

2.1 天线介绍

S 型下滑天线与 M 型下滑天线均由上、中、下三个天线，经过天线阵前方平整反射面后，与镜像天线在空间进行信号合成。两种天线的区别主要表现在天线结构和馈电信号上，S 型上天线也馈送了 CSB 信号。

2.1.1 馈电原理

传统 M 型下滑天线，上、中、下三个天线，高度比为 3:2:1，天线信号分配关系如表 1 所示。CSB 信号仅馈送给中天线和下天线，以下天线信号电流幅度为基准，中下天线馈电幅度比为 0.5:1，其相位相反。SBO 信号馈送至上、中、下三个天线，幅度比为 1:2:1，以 CSB 下天线为基准，SBO 三个信号幅度比为 0.0584:0.1168:0.0584，上天线和下天线与之反向，中天线与之同相。这个幅度比列可以使得合成信号的 ddm 宽度为 0.72° 。CLR 信号馈送至上天线和下天线，幅度比为 1:1，相位相同，其效果使合成 CLR 信号在仰角 3° 位置为零，补足低角度的 CSB 覆盖信号。以下关于下滑角调整策略中，会在上天线引入初相位 φ_u 进行调整趋势分析。

表 1 M 型下滑天线阵馈电方式

Ant	H	CSB	SBO	CL
A_u	$3h$	Null	$0.0584 \angle 180^\circ + \varphi_u$	$0.2 \angle \varphi_u$
A_m	$2h$	$0.5 \angle 180^\circ$	$0.1168 \angle 0^\circ$	Null
A_d	$1h$	$1.0 \angle 0^\circ$	$0.0584 \angle 180^\circ$	$0.2 \angle 0^\circ$

S 型下滑天线，上、中、下三个天线，高度比为 2.7:2.0:1.3，天线信号分配关系如表 2 所示。虽然整体高度比 M 型只缩短了 10%，但是天线阵孔径有明显的减少，由原来的 $(3h - 1h = 2h)$ 缩减到 $(2.7h - 1.3h = 1.4h)$ ，减小了 30%。天线阵孔径的缩小，直接标志着监

控距离可以减小, S 型下滑天线监控距离直接从 M 型的 82 米减至 57 米, 缩短了 30%。详细过程将在下文介绍。CSB 信号同时馈给上、中、下三个天线, 依然以下天线 CSB 馈电信号为基准, 上、中、下三个天线幅度比为 0.14:0.88:1.00, 中天馈送反相位。SBO 幅度比为 0.0928:0.1734:0.0928 (0.535:1.000:0.535) 上天线和下天线幅度对称, 相位与中天馈反相。CL 馈送给上天线和下天线, 幅度相对于 M 型下滑天线略有提高, 从 M 型的 0.2:0.2 提升至 0.25:0.25, 上下天线相位相同。为 CSB 低角度补足覆盖信号。以下关于下滑角调整策略中, 会在上天线引入初相位 Ψ_u 进行调整趋势分析。

表 2 S 型下滑天线阵馈电方式

Ant	H	CSB	SBO	CL
A_u	2.7h	$0.14 \angle \Psi_u$	$0.0928 \angle 180^\circ + \Psi_u$	$0.25 \angle \Psi_u$
A_m	2.0h	$0.88 \angle 180^\circ$	$0.1734 \angle 0^\circ$	Null
A_d	1.3h	$1.00 \angle 0^\circ$	$0.0928 \angle 180^\circ$	$0.25 \angle 0$

2.1.2 天线辐射信号

根据信号合成原理, 图 1 展示了表 1 和表 2 中馈电信号在远场情况下空间垂直信号分布。对于 M 型, CSB 信号在 $0 \sim 6^\circ$ 不再关于 3° 对称, 整体向高角度移动, 从而避开地面端低角度的障碍物产生反射干扰, 通过使用 CL 信号进行低角覆盖, 而在 3° 角上, CL 幅度尽可能降低以减小对下滑角信号的干扰, 这便是双频捕获效应的设计理念。由于设计上需要 ddm 在宽度 0.72° 范围内具有良好的线性特征, 所以 SBO 信号也随 CSB 信号分布特征, 呈现为往高角度方向移动的特征。

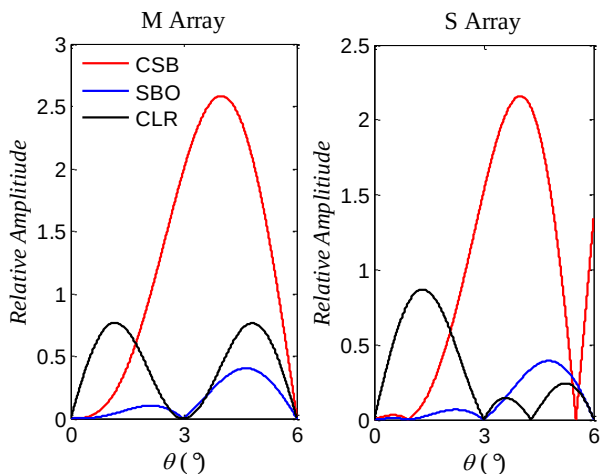


图 1 两种天线辐射信号特征

S 型下滑天线在 M 型下滑天线的设计理念上, 进

一步地将信号往高角度方向搬移, 如 CSB 曲线分布, 在 1° 以下将信号设计到极小量, 低角空缺由 CL 来填补。同样, 考虑 ddm 在宽度 0.72° 范围内具有良好的线性特征, SBO 在设计上也是明显向高角度搬移, 同时, 在小角度只存有极小的幅度, 这样的设计还可以有效提升波束弯曲度, 进一步增加抗干扰性能。CL 在 3° 位置设计值接近零, 使得对下滑道附近的影响降至最低。由于三个天线的高度比已不是 3:2:1, 对于 3° 的对称性已破缺, 在 4° 以上又出现了第二个零点。CSB 信号也在 6° 以内出现了零点, 在 5.5° 以后出现第二大波瓣。

S 型下滑天线在设计上通过降低 CSB 在低角度信号幅度, 实现对 SBO 低角度信号的削弱, 由 CL 对低角度补盲, 最终达到高抗干扰性的目的。

2.2 入口高度值算法及调整策略

入口高度是下滑信标的重要参数之一, 其结构主要受近场信号影响, 天线阵的结构改变, 对称性发生变化, 会使入口高度发生改变。下文对入口高度的算法以及两种天线的入口高度的可调性进行比较分析。

2.2.1 入口高度算法

根据飞行校验规则[10-12], 飞行员会不断追踪 0ddm 的位置, 入口高度的采样区为距离跑道入口 1830 m 至 300 m 的 ddm 零点 (图 2(a)中的绿色圆圈), 对这段区域构成的 0ddm 线段进行拟合[13] (图中的黄色圆点), 将拟合曲线延长到跑道入口正上方, 这个高度即入口高度 T 。在典型地形下, 下滑信标至跑道中心线的内撤距离 $l = 120$ m, 至跑道端入口处的后撤距离 $d = 300$ m。由计算可以得出入口高度 $T_0 = 16.3$ m。在对天线进行有效调试后, 通过以上算法可以获得新的入口高度值 T' , 则入口高度改变量 $\Delta T = T' - T_0$ 。

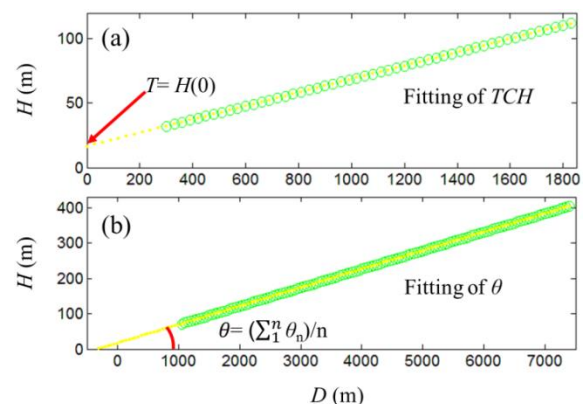


图 2 入口高度和下滑角的算法

2.2.2 天线调整策略

这里给出一种入口高度的调整方法：通过上天线在水平方向的偏转一定角度 ϕ ，根据 *kathrein* 天线的方向图[8]，可以改变上天线的信号的几何分布，结合天线的偏置安装设置[14]，在跑道中心线所对应进近方向上，不同距离到天线的对应水平夹角不同，从而使得近场的环境发生改变。另外由表 2 可知，SBO 信号和 CL 信号分布会调整，其中 SBO 信号的调整，会引起三个天线总合成信号的改变，由于 CSB 信号未发生变化，SBO 的变化将直接影响 *ddm* 的近场结构，从而改变下滑道结构，即 *Oddm* 点的分布。由入口高度算法可以得出，入口高度会发生有效改变。当距离跑道入口很远时，到天线的夹角几乎为零，所以这种调整方法并不会对远场信号产生太大影响。当上天线往跑道方向转动， ϕ 定义为正方向，往跑道外侧转动 ϕ 为负。

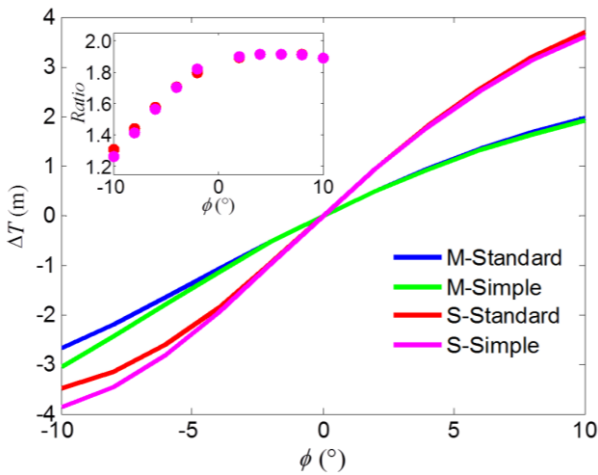


图 3 入口高度改变量与上天线偏转关系

图 3 列出了 ϕ 在 $\pm 10^\circ$ 以内的入口高度变化趋势。当上天线往跑道方向转动，入口高度增大，反方向转动，入口高度减小。其中，使用了两种 *kathrein* 天线模型，一种是简化模型，仅主波瓣模拟了官方公布数据[15]，另一种是标准模型，考虑的旁瓣的作用，模拟了官方公布数据的整个正向分布。两种模型有相似的分布特征，其中简单模型在反方向转动时效果更明显。对于 M 型天线在 -10° 位置，简单模型的入口高度降低了 3 m，而标准模型只降低了 2.7 m，在 $+10^\circ$ 位置，两种模型下入口高度基本都增加 2 m。对于 S 型下滑天线，同样具有相似的分布特征，但是调整效果比 M 型更好，以简单模型为例，图中粉色曲线，在 -10° 位置，入口高度降低约 4 m，同样的转动角度，效果是简单模型 M 型的 1.3

倍，在 $+10^\circ$ 位置，S 型入口高度提升 3.6 m，是 M 型的 1.8 倍。图 3 插图给出了对应模型下 S 型与 M 型调试效果的比值，反转情况下，标准模型效果较好，随着反转角度的减小，比值从 1.3 增加到 1.8。正转情况下 S 型下滑天线效果基本是 M 型的 1.8 倍以上，且简单模型和标准模型的比值重合，说明和天线模型基本不相关了。

2.3 下滑角算法及调整策略

下滑角是仪表着陆系统中的关键指标，其结构主要受下滑信标远场信号影响，天线阵的内部结构调整后，能使远场信号发生改变，从而改变下滑角。下文介绍两种对下滑角进行调整的方法，并对调整效果进行分析。

2.3.1 下滑角算法

在进近过程中，下滑角的采样区间为距离入口 7400 米至 1050 米，不同与入口高度的算法，下滑角的计算方式是在这段区域的每个捕获点返回一个仰角值，通过对这些仰角进行算数平均数计算即可得到下滑角，如图 2(b)所示。

2.3.2 策略一：改变上天线初相位

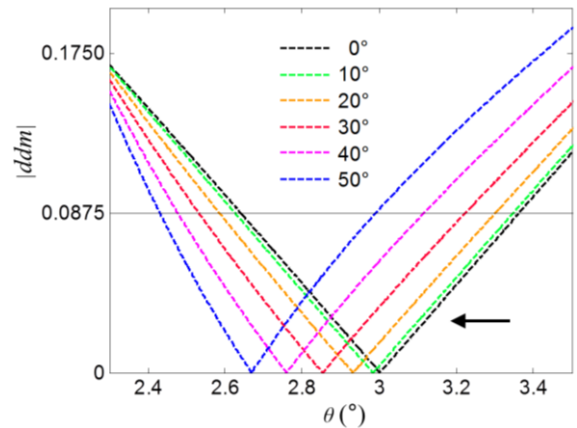


图 4 S 型加相后 *ddm* 分布特征

在上天线信号输入端馈入相位 Ψ_0 后，如表 2 所示，通过在信号分配单元加入对应长度的电缆头可以实现下滑角的改变，在下滑角改变的同时，宽度 *DS* 也发生了变化，随着相位的增大，下滑角逐渐减小，而宽度也随之减小。图 4 列出了 Ψ_0 从 10° 到 50° 的 *ddm* 曲线绝对值变化情况。*ddm* 绝对值在 0.0875 之间的线段即为宽度值。在未加入相位时，远场下滑角为 3.002° ，与使用下滑角算法获得的下滑角数据相同，此时有良好的对称性，

宽度为 0.72° 加入相位后, 曲线左移, 加入 10° 相位时, 效果不明显, 下滑角只改变了 0.02° ; 加入相位 20° 以上有明显的变化, 0ddm 点再次左移 0.05° ; 之后变化更加明显, 30° 左移 0.08° ; 40° 左移 0.1° ; 50° 左移 0.09° 。此外, 可以明显看出, 插入大角度情况下, ddm 曲线的对称性变差, 而且上半宽的线性要比下半宽差。

为更清楚地分析引入相位对各参数的影响, 图 5 列出了 S 型下滑天线各指标与相位的依赖关系, 并与 M 型下滑天线比较。图 5(a)展示了 S 型的下滑角、上半宽、下半宽在 ψ_u 从 -50° 到 50° 范围的分布情况, 引入相位后上半宽与下滑角类似, 呈圆弧形, 而下半宽分布略为扁平, 大角度时下降幅度不大, 这直接引起宽度和对称性指标的变化, 如图 5(c)和 5(d), 随着相位增加, 宽度迅速减小, 需要通过降低 SBO 功率来调整到标准值。对称性也急剧变差, 50° 时对称性为 57.5% , 已经接近 III 类标准的极限值 ($42\%\sim 58\%$)。相比之下, M 型的上下半宽变化较为一致, 如图 5(b), 和下滑角分布类似, 都呈现为圆弧形。然而 M 型的调整效果不如 S 型, 对比图 5(a)和 5(b)的 0ddm 点分布 (黑色曲线), S 型加入相位后下降幅度远超过 M 型, 在 50° 时, S 型下降 0.33° , 而 M 型只有 0.18° ; 在 30° 时, S 型下降 0.15° , 而 M 型只有 0.07° ; S 型比 M 型的调整效果几乎要翻一番。对于引入相位的指标分布, 两种天线都呈现出对称分布, 即引入正相位和负相位效果相同。

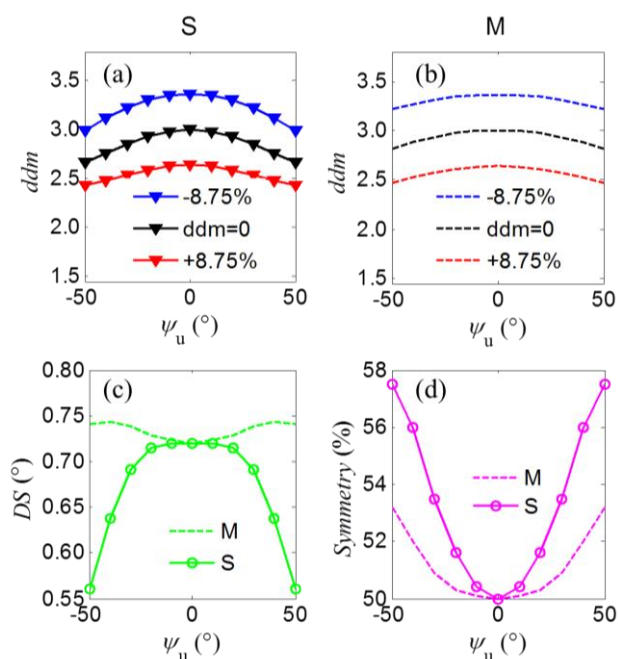


图 5 下滑角, 宽度与对称性指标图

2.3.3 策略二: 改变中天线高度

对于改变中天线的高度来调整下滑角, 是飞行校验调试中常用的方法。其优点是即能提高下滑角, 也能降低下滑角, 而且定量调整, 对于 M 型下滑天线, 中天线的每抬高 10 cm , 可以降低约 0.03° , 比较容易预判。其缺点是需要调整人员爬上天线, 对天线进行拆卸, 由于 *kathrein* 天线非常笨重, 长两米的天线重达 40 kg , 需要地面端工作人员与铁塔上的人员通过缆绳牵引共同调整, 其工作量较大, 耗费时间也较长, 大型机场飞行校验往往是在凌晨停航时进行, 下滑台周边无特别灯光系统, 期间还需要特地为天线调试搭建照明装置, 工程规模较大。

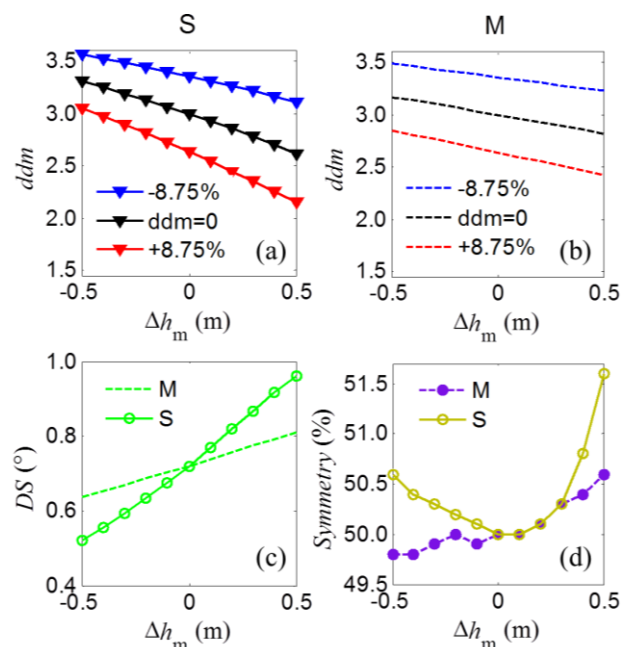


图 6 各类下滑参数比较

图 6 展示了中天线的调整 $\pm 50\text{ cm}$ 范围的参数变化情况, 图 6(a)为 S 型的下滑角、上半宽、下半宽的分布, 有良好的线性特征, 对应下滑角每降低 0.01° , 天线需要抬高约 1.5 cm 。而图 6(b)中 M 型天线同样有良好的线性特征, 但下滑角对应下滑角每降低 0.01° , 天线需要抬高约 3 cm 。S 型的调试效果比 M 型要翻一倍。对于 S 型天线的上下半宽分布可以明显看出, 当天线抬高后, 两条曲线分得更开了, 对应的宽度 DS 就变大了。由图 6(c)可以看到, S 型的宽度变化要明显超过 M 型的, 在 50 cm 位置, M 型从 0.72° 上升至 0.811° , 上升了 0.09° , 而 S 型上升至 0.962° , 上升了 0.24° , 其增量远大于 M 型, 需要重新调整 SBO 功率以达到标准宽

度。两种天线的对称型分布如图 6(d)所示, M 型具有一定的线性特征, 中天线降低, 对称性下降, 中天线抬高, 对称性上升; 而 S 型为非单调变化, 在抬升 10 cm 位置有最小值, 其它情况下均未增大, 但两种天线总体对称性变化都不大, S 型最大值也只有 51.5%, 依然属于对称性良好。

2.4 天线结构及监控位置

天线结构在整个天线系统中具有核心地位, 将天线阵视为一个整体, 其内部结构的变化会引起各类指标全面发生变化。

2.4.1 天线结构

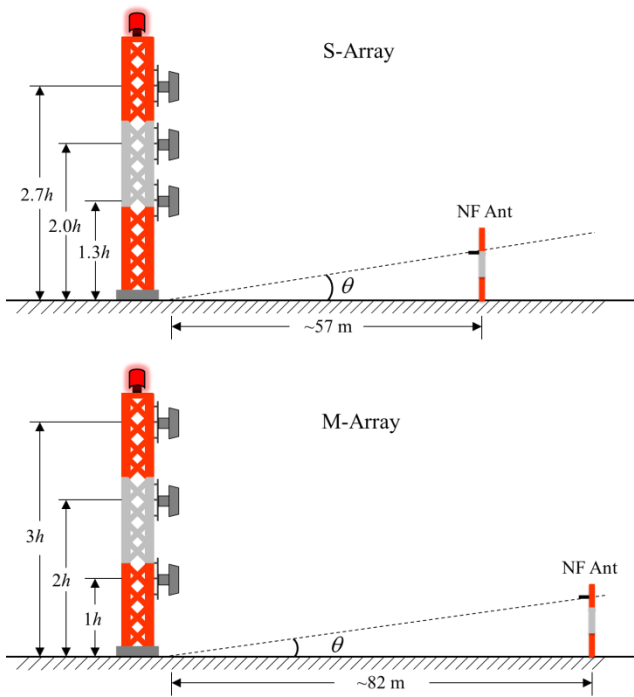


图 7 两种天线系统位置特征

图 7 列出了 S 型下滑天线和 M 型下滑天线的天线阵结构, 以及对应监控天线的所在位置。对于 M 型天线, 天线高度按照最基本的 3:2:1 的关系进行设置, 天线间距相同, 与地面的镜像天线构成了总孔径为 $6h$ 的天线阵。这与航向信标早期的 NORMARC 7000 系列天线有类似之处, 其中 3525 天线阵为等间距排列[16], 间距为 0.75λ , λ 为航向信标中心工作频率对应的波长。而后期 NORMARC 7000B 系列[17]的天线阵则在保持整体对称性的基础上, 不再拘泥于等间隔排列了, 通过间距的优化调整, 可以获得更理想的波束。对于 S

型下滑天线也是如此, 天线阵的排布打破了最初的等间隔排列, 虽然在地面端仍然是等间的, 但与镜像天线构成的整体则是不等距排列。天线阵总孔径为 $5.4h$ 。这个设计中, 上天线和下天线的靠近, 使得地面端天线阵孔径减小, 从而达到了缩短监控天线距离的目的。监控距离的缩短, 不但降低了施工成本, 也降低了监控天线的高度, 更为后期维护中, 减小往返距离和操作高度而提供便利。

2.4.2 监控天线位置

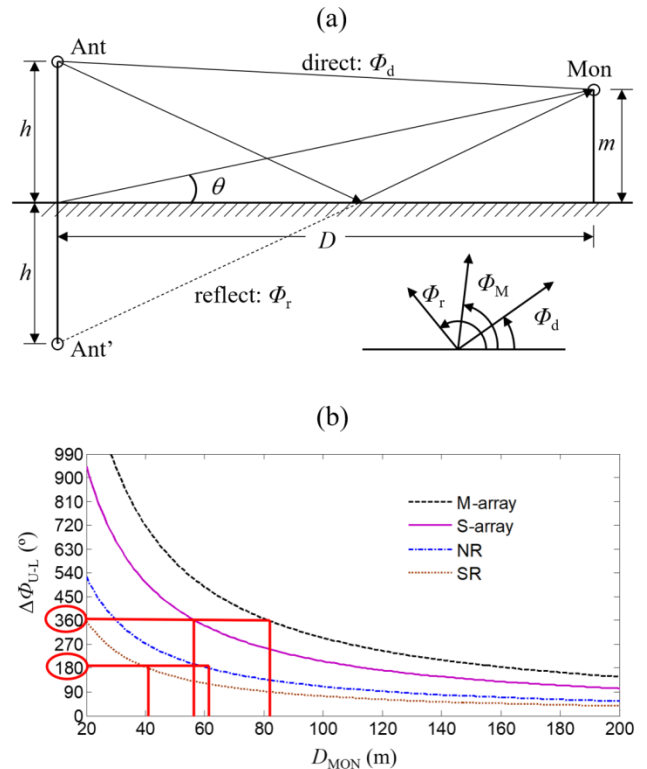


图 8 在 3°仰角时上下天线相位差

对于监控天线的设置位置, 主要遵循相位差的原理。通过相位差定位的方法来比较几种下滑天线的近场监控天线定位依据。图 8(a)描述了天线发射端到监控接收端的信号路径, 直射信号到接收端的相位延迟为 Φ_d , 镜像反射信号到达接收端的相位延迟为 Φ_r , 其中反射信号的距离较大, 所以相位延迟 Φ_r 与 Φ_d 不等。取上下两者的算数平均数 Φ_M 作为发射天线到接收端的相位延迟。只有在地面端, 即仰角 $\theta=0^\circ$ 时 Φ_d 与 Φ_M 相等, 其它情况下, $\theta>0^\circ$ 在空中位置时, $|\Phi_r|>|\Phi_M|>|\Phi_d|$ 。图 8(b)列出了四类下滑天线 (零基准下滑天线-二元, 边带基准下滑天线-二元, S 型下滑天线-三元, M 型下滑天线-三元) 在 3°仰角时, 上天线与下天线相位差

$\Delta\Phi_{U-L} = \Phi_{MU} - \Phi_{ML}$ 随距离的变化关系。对于二元天线, 上下天线相位差在 360° 对应的距离离发射天线太近, 信号波动太大, 所以放在 180° 的反相位置, 零基准下滑天线监控位置约为 62 m, 边带基准最短, 约 41 m。对于三元天线, 可以设置在上下天线相位差 360° 对应距离。M 型下滑天线的监控距离约为 82 m, 而 S 型下滑天线的监控距离缩短到了 57 m, 比二元的零基准下滑天线还要近。

3 结语

对 S 型下滑天线馈电原理, 信号合成, 调试方法, 监控定位的分析, 与 M 型下滑天线进步同步比较, S 型下滑天线主要有以下优点。通过天线分配单元的优化, 使得合成信号往高角度方向移动, 提升抗干扰能力; 入口高度可调性增强, 降低效果提升 30% 至 80%, 升高效果提升 80% 以上; 下滑角可调性比 M 型下滑天线提升了 100% 的效果, 但需要降低 SBO 功率以调整宽度; 缩短上下天线之间的距离, 减少地面天线阵孔径, 减轻下滑铁塔上安装调试以及后期维护的工作量, 提升工作效率; 缩短了监控距离并降低了监控高度, 降低反射面铺设, 电缆长度等建设成本, 同时也提升发射与监控端来回往返的维护效率。在信号辐射性能上, S 型下滑天线比同类二元和三元镜像下滑天线有极大的优势, 而在监控方式上虽比 M 型下滑天线和边带基准下滑天线距离更有优势, 但无改革性的变化。今后将继续探寻监控方法和监控距离可以进一步优化的下滑天线。

参考文献

- [1] Lu Y, Zheng Y, Wang Z, et al. Pilots' visual scanning behaviors during an instrument landing system approach [J]. Aerospace Medicine and Human Performance, 2020, 91(6): 511-517.
- [2] Novák A, Havel K, Janovec M. Measuring and testing the instrument landing system at the airport Zilina [J]. Transportation Research Procedia, 2017, 28: 117-126.
- [3] Zihao L, Jundong T, Qi G, et al. A Parallel CE-LOD-FDTD Model for Instrument Landing System Signal Disturbance Analyzing [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2019, 67(4): 2503-2512.

- [4] Sun J. Specification for Instrument Landing System [J]. Exploration of Educational Management, 2024, 2(5).
- [5] Choi Y, Lee C, Kim B. Improvement Technique of Glide Path's Antenna Distribution Unit [J]. Journal of Aviation Development of Korea, 2010, (1): 63-71.
- [6] Normarc. Normarc 3543 Null Reference Glide Path Antenna System Instruction manual [G]. Oslo Norway, 2015.
- [7] Normarc. Normarc 3544 Sideband Reference Glide Path Antenna System Instruction manual [G]. Oslo Norway, 2015.
- [8] Normarc. Normarc 3545 M-Array Glide Path Antenna System Instruction manual [G]. Oslo Norway, 2016.
- [9] 民航公约附件十. [Z], vol. I, ICAO, 2015.
- [10] 张蕴菁. 浅谈仪表着陆系统飞行校验及调试 [J]. 丝路视野, 2017(24), Page 78-80.
- [11] 杨萍, 刘靖, 杨正波, 等. 基于无人机的导航设备在线监测及飞行校验系统和方法: 中国, CN107272028B [P], 2019-08-02.
- [12] 秦伟, 王芳. 仪表着陆系统飞行校验方法研究 [J]. 科技创新导报, 2015, 12(14): 34.
- [13] 瞿淳清. 浅析水平扭转 M 型下滑天线对入口高度及下滑角的影响 [J]. 航空电子技术, vol. I, 2014, Page 35-39.
- [14] 瞿淳清. 简析 M 型下滑天线的近场监控天线定位 [J]. 世界交通运输大会, 2019.
- [15] 瞿淳清. 基于数字孪生的天线结构优化设计 [J]. 科学与工程 2024.
- [16] Normarc, Normarc 7000 ILS Instruction Manual, Normarc 3525 24-Element Localizer Antenna System [M]. Normarc, 2017.
- [17] Normarc, Normarc7000B Training Manual [M]. Normarc, 2018.

作者简介

瞿淳清

1986 年生, 男, 上海, 高级工程师, 硕士研究生, 从事空中交通管理工作, 负责通信导航监视设备管理。主要研究方向为: 天线结构, 无线电信号、计算机领域。

E-mail: qcq04@163.com