

浅析水平扭转 M 型下滑天线对入口高度及下滑角的影响

瞿淳清, 李铭佳, 施先贵

(民航华东空管局技术保障中心, 上海 200335)

[摘要] 对于 M 型下滑天线, 对天线作微调能改变近场 DDM 分布, 从而对入口高度产生影响。本文阐述了扭动天线及调整辐射场形的原理。通过扭动上、下天线, 定量分析入口高度和下滑角的改变量与扭动距离的依赖关系, 并对飞行校验中的实例进行比较。对比扭动对近场 (入口高度) 和远场 (下滑角) 的影响。理论计算得出: 上天线向跑道方向扭动一定角度, 可以明显提高入口高度, 向跑道外侧扭动后, 入口高度减小; 扭动下天线情况则相反, 且两者基本都不影响下滑角。因此表明, 扭动天线是一种有效改变近场的方法。

[关键词] M 型下滑天线; 扭动; 入口高度; 下滑角; DDM 零点

[中图分类号] V241.62+4 **[文献标识码]**A **[DOI 编码]** 10.3969/j.issn. 1006-141X.2014.01.08

[文章编号]1006-141X (2014) 01-0035-05

Analysis on Threshold Crossing Height and Glide Path Angle by Horizontal Rotating M-type Glide Path Antenna

QU Chun-qing, LI Ming-jia, SHI Xian-gui

(East China Regional Air Traffic Management Bureau Of Civil Aviation of China, Techno-Safeguard Center, Shanghai 200335, China)

Abstract: For M-type glide path antenna, the entrance height may be changed by rotating the antenna. In this paper, radiation field shape was changed through rotating the antenna. The variation of DDM, threshold crossing height, glide angle were analyzed and compared theory with practice value of flight checking. Calculation indicated that the upper antenna rotated a little to the runway position, and the height increase evidently, and vice versa. While the lower antenna agree at the reserved result. Meanwhile, both behaviors affected the glide angle little. It is demonstrated that the rotating of antenna is an effective method to modify the near-field distribution of DDM.

Key words: M-type glide antenna; rotation; threshold crossing height; glide angle; zero point of DDM

1 引言

在仪表着陆系统中, M 型下滑天线抗地形干扰能力优于零基准和边带基准天线, 所以目前使用最为广泛。由于有上中下三副天线, 对天线作横向偏置, 纵向偏置, 扭转均能达到不同的修正效果, 其

中偏置的作用是适应横向和纵向坡度至跑道中心线的相位补偿。设备安装后, 投产校验测得入口高度 (15+3 m) 超限时, 若重新调整信标台到跑道入口的纵向距离, 则需投入大量的时间和资源; 若改变天线挂高来调节, 则会影响下滑角。改变偏置会影响近场结构。然而通过实践发现: 扭动天线能够

改变入口高度, 本文从理论上作试探性分析。

2 结果与分析

2.1 天线扭动的介绍

2.1.1 天线分配单元(ADU)的信号

如表 1 所示, 在天线都没有偏转情况下, 上天线幅值系数 $A=1$, 这是 M 型下滑天线阵的馈电方

表 1 M 型下滑天线阵馈电方式

	CSB	SBO	CL
上天线	无	90 Hz $0.059*A_{\text{上}}\angle 0^\circ$ 150 Hz $0.059*A_{\text{上}}\angle 180^\circ$	150 Hz $0.2*A_{\text{上}}\angle 0^\circ$
中天线	$0.5\angle 180^\circ$	90 Hz $0.117\angle 180^\circ$ 150 Hz $0.117\angle 0^\circ$	无
下天线	$1.0\angle 0^\circ$	90 Hz $0.059*A_{\text{下}}\angle 0^\circ$ 150 Hz $0.059*A_{\text{下}}\angle 180^\circ$	150 Hz $0.2*A_{\text{下}}\angle 0^\circ$

2.1.2 扭动 M 型下滑天线改变入口高度的可行性分析

对于实际的天线, 其辐射场形并非全方向辐射的, 为了使辐射更集中, 辐射场形具有方向性, 在不同方位角上的相对幅值是变化的, 属于单向辐射场形^[1]。在此基础上由表 1 可见, M 型下滑天线的三副天线都辐射 SBO 信号, 当其中一副天线的辐射方向发生改变, 三副天线叠加的效果就会发生变化。另外, 余隙信号也受扭转影响, 扭转角度过大会影响 ILS 覆盖范围, 本文取 6° 以内扭动, 下文对辐射方式及扭转天线作进一步介绍。

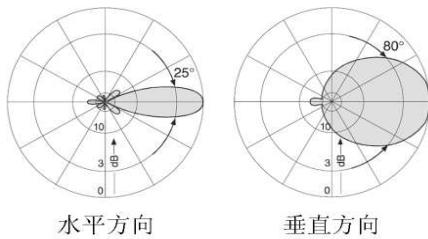


图 1 Kathrein 下滑天线辐射方向图

2.1.3 Kathrein 天线介绍

下滑天线通常采用 Kathrein 辐射天线^[2], 图 1 为其水平及垂直方向的辐射方式。水平面内, 主波瓣的半功率宽度为 25° , 而垂直面主瓣的半功率宽度为 80° 。对于 3° 左右的下滑角, 在进近区域的范围内, 垂直方向上几乎没有衰减 ($A_{\text{垂直}} \approx 1$)。故对

式, 上中下三副天线理想高度比为 $3h: 2h: h$, 下天线挂高满足公式 (1), 其中 h 为下天线的电气高度, θ 为下滑角。

$$h \times \sin \theta = 90^\circ = \frac{\lambda}{4} \quad (1)$$

于水平面内扭动天线, 天线辐射总强度 $A = A_{\text{水平}} \times A_{\text{垂直}} \approx A_{\text{水平}}$ 的变化只要考虑水平方向的变化即可。通过数学公式对主波瓣进行拟合得到水平方向上, 幅度 A 与角度 θ 的关系为 $A = \cos(208^\circ \times \sin \theta)$ 。

2.1.4 对扭动的解释

图 2 为扭动上天线的俯视图, 上方为跑道, T 点为跑道入口处, A, B, C 点分别距离跑道入口 $L=7400$ m (按 ICAO^[3] 规定), $L=1050$ m, $L=300$ m。未扭动时波瓣方向与跑道中心线平行, 文中定义往跑道方向扭动角度为正, 反方向为负。以扭动上天线为例, 可以发现当上天线扭动一定角度后, 在跑道中心线上各点的相位没有变化, 而辐射强度发生了改变, 即表 1 中的系数 $A_{\text{上}}$ 随着扭转角度而改变, 而中下天线的辐射强度没有改变, 这是改变 DDM 零点的根本原因。现在以 B 点为例来说明扭动对于幅度的变化, 在未扭动时, 与波瓣夹角 θ_1 为 5.08° , 对应幅值 A_1 为 0.949, 而上天线往跑道方向扭动 2° 后, 其夹角 θ_2 变为 3.08° , 上天线幅值 A_2 为 0.981, 得到最后的幅值 $A_{\text{上}} = A_2 / A_1 = 1.034$, 即上天扭动后的幅度变化。如公式 (2) 所示, 其中 ϕ 为向跑道方向扭动的角度, L 为距跑道入口的距离。

$$A_{\text{上}}(L) = \frac{\cos(208 \sin(\arctan(\frac{120}{300+L}) - \phi))}{\cos(208 \sin(\arctan(\frac{120}{300+L})))} \quad (2)$$

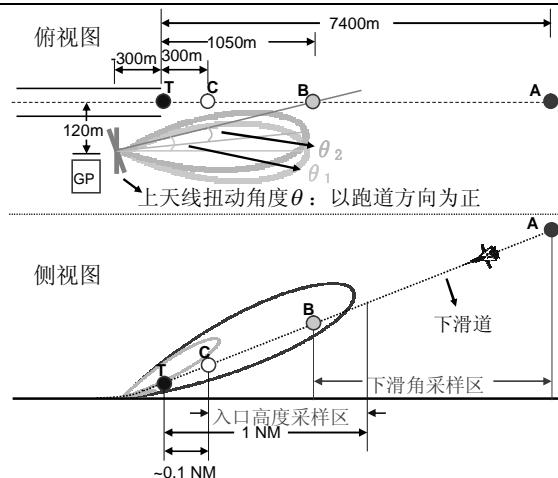


图 2 上天线扭转示意图

2.2 入口高度及下滑角的计算

为下文计算跑道参数取值为: 频率 $f: 334.7$

MHz, 航向台至跑道入口距离 $d: 3685$ m, 下滑台

2.2.1 入口高度及下滑角的计算方法 (以扭动上天线为例)

$$DDM = 2 \frac{0.059A_{上}\sin(\frac{3\pi}{2\sin 3^\circ}\sin\theta) + 0.117\sin(\frac{\pi}{\sin 3^\circ}\sin\theta) + 0.059A_{下}\sin(\frac{\pi}{2\sin 3^\circ}\sin\theta)}{0.5\sin(\frac{\pi}{\sin 3^\circ}\sin\theta) + A_{下}\sin(\frac{\pi}{2\sin 3^\circ}\sin\theta)} \quad (3)$$

由图 2 侧视图入口高度采样区范围, 分别计算出其 DDM 零点对应高度, 外推至跑道入口处垂直上方的交点, 即为入口高度, 由图 5 可以发现, 在跑道入口上方, DDM 零点高于入口高度, 体现出下滑道的“上翘”现象。同理, 取“A”点 $L=7400$ m 到“B”点 $L=1050$ m 区间的值, 连线后计算斜率得到下滑角 (如图 6 所示)。

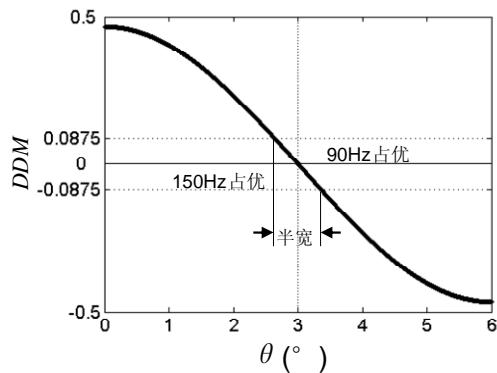


图 3 DDM 与仰角关系图

后撤距离 $D: 300$ m, 内撤距离 $z: 120$ m。

对于理想下滑道, 远场 DDM 零点均在 3° 角上。图 3 示出的是 M 型下滑信标 DDM 与仰角的关系。DDM 为零则对应了下滑角, 正常情况下 θ 小于 3° 时 150 Hz 占优势, 而 θ 大于 3° 时 90 Hz 占优势。 $DDM = \pm 0.0875$ 之间的仰角为下滑角半宽, 正常值为 0.7° , 即下滑道宽度。天线未扭转时的入口高度为 15.72 米。当上天线扭转 2.866° 后, 由公式 (3), 在距跑道口不同距离的 A 点发生了变化, 导致 DDM 零点仰角的改变, 如图 4 所示, DDM 零点的仰角发生偏移, 距离跑道口越近, 仰角越大, 在跑道入口处, 仰角接近 3.3° , 而在远场, 如外指点标的位置, 仰角基本保持 3° 没有变化。

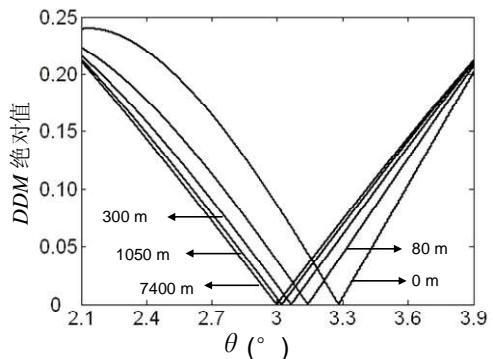


图 4 不同距离的 DDM 曲线

由于入口高度的采样区间在近场, 采样区间对拟合值可能比较敏感, 表 2 试探性地对不同区间进行采样。可以发现, 采样区间越小, 得到的拟合值也小, 但改变量不大, 所以在 0.1 NM~ 1 NM 附近采样基本不影响计算结果, 下文均以 200 ~ 1850 m 来采样计算入口高度。另外, 当采样区间越接近跑道入口, 对应拟合值越大, 这也应证了上述的“上翘”现象。

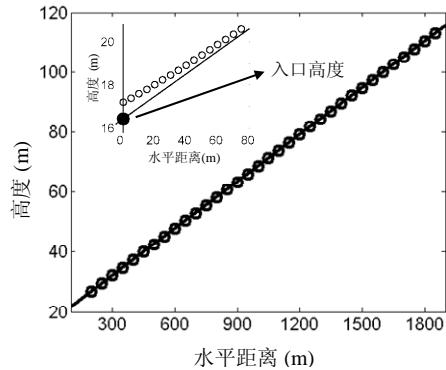


图 5 入口高度拟合图

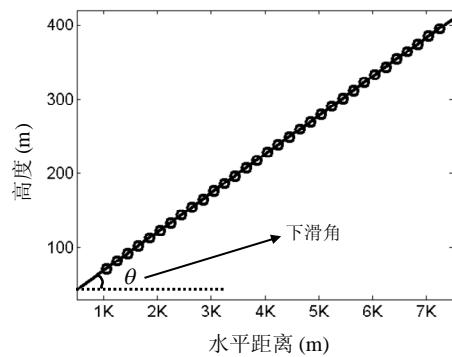


图 6 下滑角拟合图

表 2 不同取样区间下, 天线内扭 2.866°, 入口高度拟合值

采样区 (m)	350-1700	300-1750	250-1800	200-1850	150-1900	100-1950	50-2000
入口高度 (m)	16.401	16.406	16.413	16.422	16.435	16.453	16.484

2.2.2 不同扭动方式的计算分析(单扭)

以上介绍了将上天线扭动一定角度时的情况, 现在进一步分析扭动不同角度时, 入口高度及下滑角的变化情况。现将上天线在-6~6°范围内扭动(如图 6 所示), 对于入口高度, 往跑道方向扭动, 入口高度抬高, 往跑道外侧扭动, 入口高度降低, 基本呈线性变化, 而往跑道外侧扭动作用较明显, 当扭动-6°时, 降低了约 2 m。对于下滑角, 在正反方向 3°范围内扭动, 改变量小于 0.01°, 几乎没有改变, 继续增大扭动量, 下滑角开始下降, 呈对称分布, 当扭动量为 6°时, 下滑角约减小了 0.03°, 相对于入口高度的变化, 这个改变量很小, 在校飞时可以通过软件的调制度平衡直接修正为 3°下滑角, 不需要因为调整了入口高度而再次调中天线挂高来修正下滑角。为了比较扭动天线对入口高度及下滑角的影响, 图 7 列出了两者经扭动后的相对改变量, 下滑角以 3°为基准, 入口高度为未扭动时的 15.72 m 为基准, 由图可见, 入口高度的变化量远大于下滑角, 在扭动量为-6°时, 入口高度改变量超过了 10%, 而下滑改变不到 1%。所以扭动天线主要调制近场分布, 改变入口高度。

2.2.3 不同扭动方式的计算分析(双扭)

上文分析的单天线扭动仅为扭动上天线产生的效果, 而双天线扭动为上天线与下天线一起扭动后产生的效果。对于仅扭动下天线, 与上天线的效果正相反, 正向扭动入口高度下降, 反向扭动入口高度上升, 正反向扭动下滑角都略有抬高, 因篇幅

所限不再赘述。

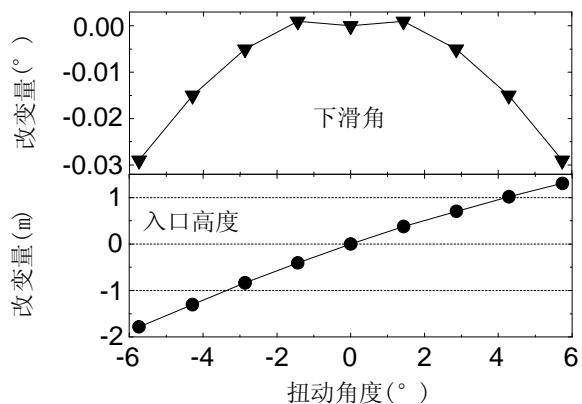


图 7 下滑角及入口高度随扭动角度的改变量

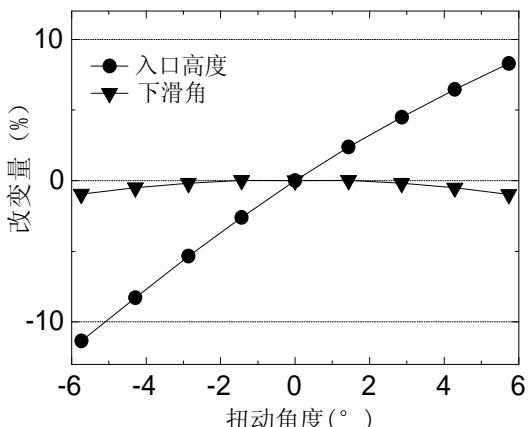


图 8 扭动对下滑角与入口高度的影响比较

为将上下天线扭动作一比较, 表 3 分别列出了单独扭动上天线、下天线以及上下天线组合扭动的情况, 扭动量均为 2.866°。对于扭动下天线, 载波的辐射方向发生了变化, 当扭动角度为 6°时,

$\cos 6^\circ \approx 0.995$, 几乎没有衰减, 不影响信号覆盖。对于下天线, 扭动的效果与上天线相反, 且改变量比上天线大。对于组合扭动, 如将上天线正向扭动, 并将下天线反向扭动, 能够产生更好的效果, 入口高度抬高了 195 cm, 而对下滑角几乎没有影响。

表 3 不同扭动方式下, 天线内外扭动量为 2.866°后, 入口

高度改变情况			
扭动方式	扭动方式	ΔT (cm)	$\Delta\theta$ (°)
单天线扭动	上天线内扭	70	-0.0052
	上天线外扭	-82	-0.0050
	下天线内扭	-74	0.0108
	下天线外扭	130	0.0105
双天线扭动	上内扭下外扭	195	0.0027
	上外扭下内扭	-112	0.0033

2.3 实例比较 (扭上天线)

2003 年底, 连城机场入口高度偏高, 扭转了上天线后, 没有明显变化。

2007 年底, 浦东国际机场三跑道南下滑在投产、校飞期间, 由于入口高度仅 14.6 m, 采取垫井字架来实现扭转天线, 固定上天线靠近跑道方的一头, 另一头向前扭动 10 cm 后 (约扭转 4°, 由图 7, 理论上抬高约 1 m), 测得入口高度提高了 200 cm。

2008 年初, 烟台机场, 将零基准下滑天线更换

为 M 型下滑天线 (Mark 10), 投产校飞由于入口高度为 14.8 m, 在没有再次改变天线偏置的情况下, 并字架垫 10 cm, 即向跑道方向扭转上天线后, 入口高度变为 17.2 m。

3 结束语

通过上述分析和比较, M 型下滑信标可以通过扭动天线有效改变距跑道入口不同距离的 DDM 零点仰角, 离跑道入口越近, 改变越明显。从理论计算得到以下结论: 1) 将上天线向跑道方向扭动, 入口高度增大, 反方向扭动入口高度减小; 2) 考虑到余隙覆盖, 在 $\pm 6^\circ$ 内扭动天线, 扭动量越大, 入口高度改变量线性增大; 3) 扭动天线对入口高度的改变量, 远大于下滑角改变量; 4) 下天线扭动效果与上天线相反, 改变量略大于上天线, 通过双天线扭动可以消除下滑角的变化; 5) 理论模型与实例比较, 定性来看, 两者一致, 定量分析, 还存在一定差异, 可能与两个因素有关, 一是不规则起伏的地形, 二是天线偏置形成的相位差, 需要建立更完善的模型研究。

参 考 文 献

- [1] 金辽. 仪表着陆系统原理 [M]. 民航华东空管局, 2006.
- [2] NORMARC. NORMARC 3545 技术手册 [C]. NORMARC, 2007.
- [3] 中国民航总局航行司. 国际民用航空公约 (附件 10) [S]. 北京: 中国民航总局航行司, 1987.

[收稿日期] 2013-09-17

[作者简介] 瞿淳清 (1986—), 男, 硕士研究生。研究方向: 导航技术。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>