

GBAS 进近的误差修正与运行实施方法

黄晋

中国民用航空飞行学院空中交通管理学院, 德阳 618307

摘要 地基增强系统(GBAS)提高定位精度需要获得地面广播的各类定位误差修正值,通过分析传统的对流层误差修正算法,提出了区分大气干湿分量的对流层指数修正算法。通过实际的采样和计算验证可知,使用该算法能够较为明显地提高对流层修正误差的精度。探讨了地基增强系统进近飞行程序设计及实施方法,分析了地基增强系统进近的各种优势,提出了加快中国地基增强系统应用的建议。

关键词 地基增强系统;星基着陆系统;甚高频数据广播;最后航段数据块

中图分类号 V249.32⁺8

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.36.016

Error Correction and Operational Methods of GBAS Approach

HUANG Jin

Air Traffic Management College, Civil Aviation Flight University of China, Deyang 618307, China

Abstract The improvement of positioning accuracy using ground-based augment system (GBAS) requires various error correction values via the ground-based VHF digital broadcast. This paper proposes a tropospheric index correction algorithm that distinguishes the wet and dry proportions of the atmosphere through analyzing the conventional tropospheric error correction algorithms. The sampling and calculation validated that this algorithm significantly improved the accuracy of tropospheric error correction. The advantages of GNSS landing system (GLS) are discussed, as well as the flight procedure design and operational methods for GLS approach, giving suggestions to accelerate the application of GBAS in China.

Keywords ground-based augment system; GNSS landing system; VHF digital broadcast; FAS data block

地基增强系统(ground-based augment system, GBAS)是国际民航组织(international civil aviation organization, ICAO)向各成员国推荐的卫星导航(globe navigation satellite system, GNSS)增强系统之一^[1]。GBAS系统利用差分增强技术^[2],通过从机场地面站获得各种定位误差修正的参数以修正GNSS定位中的各种误差,使飞机在机场终端区域范围内的导航精度达到国际民航实施精密进近的精度要求^[3]。

飞机增强定位所需获得的误差修正包括卫星时钟误差、星历误差、电离层延时和对流层延时误差等^[4]。对流层误差的修正需获得大气层折射指数、均值大气高度、折射不确定度等参数,通常采用Hopfield计算模型^[5]。该模型在进行计算

时通常不区分对流层的干湿分量,虽然这样计算的对流层修正误差值已经能够满足GBAS较高的定位精度要求^[1],但实际大气湿度会影响对流层折射指数,如果能够根据大气的干湿情况进行更加精确的修正,将有利于提高GBAS的定位精度,本研究将探讨区分大气干湿分量的相关计算方法。

中国民航已经将GBAS列为发展的对象^[6],但是中国机场、航空公司、空管及飞行程序设计人员对GBAS飞行程序的相关分析研究较少,通过分析GBAS飞行程序设计的特点和程序实施方法,有利于促进民航相关人员对GBAS飞行程序的进一步认识,促进GBAS飞行程序在中国民航的推广应用。

收稿日期: 2014-04-10;修回日期: 2014-07-21

基金项目: 民航科技创新引导资金项目(MHRD20130211)

作者简介: 黄晋,副教授,研究方向为民航通信导航监视、空中交通管理和航空公司运行管理,电子信箱:zyfcd@sina.com

引用格式: 黄晋. GBAS进近的误差修正与运行实施方法[J]. 科技导报, 2014, 32(36): 98-103.

1 GBAS对卫星定位误差的修正

1.1 GBAS计算误差修正值的基本方法

GBAS由空间导航卫星、机载系统和地面系统等3部分组成,其基本结构如图1所示。地面系统(图2)由位置经过精确测量的2~4个地面基准接收机,一套地面信息处理设备和一套全向甚高频数据广播(VHF digital broadcast, VDB)组成^[2]。地面信息处理设备跟踪可见范围内的GNSS卫星,计算得到地面基准接收机的位置。地面信息处理系统比较计算得到地面基准接收机位置与已知的地面基准接收机的位置的差值,通过各种计算获得各颗导航卫星的伪距修正值^[7]。

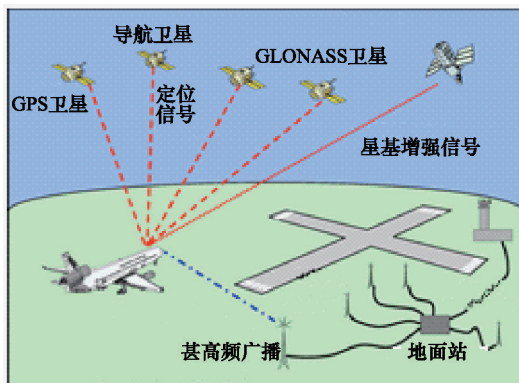


图1 地基增强系统的组成

Fig. 1 Components of GBAS



(a) 基准接收机



(b) 地面信息处理设备



(c) 甚高频数据广播

图2 地基增强系统的地面组成设备

Fig. 2 Ground equipment of GBAS

在计算得到GBAS所需的各类误差修正数据后,地面系统将该类数据按一定格式进行封装,通过甚高频数据广播发送给飞机。机载系统利用接收到的误差修正数据修正卫星

定位解算,从而提高飞机定位的精度^[2]。

使用GBAS可以实施多种导航应用,如星基着陆系统(GNSS landing system, GLS)就是GBAS在进近阶段的主要应用^[6]。GLS进近可以达到ICAO定义的CATII/III类着陆标准,实现飞机的自动着陆和自动起飞。当前美国、澳大利亚、德国、日本等国已经开始GLS进近的大规模商业应用。

1.2 GBAS进行定位误差修正的算法

GBAS利用差分增强技术,在GNSS定位解算过程中修正影响定位精度的各种误差,从而提高定位精度。当前GNSS定位主要采用伪距法,其基本原理是机载导航设备测得飞机与多颗导航卫星的伪距,通过最小二乘法等算法,计算出飞机的空间三维位置。飞机测得的与各颗导航卫星之间的伪距越精确,飞机的定位精度就越高^[1]。

当前影响测定飞机与卫星之间伪距精确性的误差主要包括飞机GNSS接收机误差、飞机多路径效应误差、对流层误差、电离层误差、地面基准接收机误差等5类误差^[8]。飞机GNSS接收机误差和飞机多路径效应误差可以由GBAS机载系统自身修正完成,不需要GBAS地面系统支持。电离层误差、地面基准接收机误差和对流层误差的修正需要GBAS地面系统提供相关参数^[8]。

电离层误差修正的计算公式为

$$\delta_{\text{iono}} = \left[1 - \left(\frac{R_c \cos \theta}{R_c + h_1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \times 6 \times 10^{-6} \times (x_{\text{air}} + 200v_{\text{air}}) \quad (1)$$

式中, R_c 为地球半径,取值6378.1363 km, θ 为可见卫星俯仰角度, h_1 为电离层高度,取值350 km, x_{air} 为飞机与地面基准接收机的斜距, v_{air} 为飞机在水平方向上的速度。计算 x_{air} 时,需调用地面接收机的经纬度坐标。

地面基准接收机误差由接收机白噪声、多路径效应等因素引起,与接收机数量和地面接收机精度等级有关。接收机数量为4,接收精度为B级的地面基准接收机误差计算公式为

$$\delta_{\text{pr_gnd}}(\theta) = \sqrt{\frac{(0.16 + 1.07e^{-\theta/15.5})^2}{4} + 0.08^2} \quad (2)$$

式中, θ 为地面基准接收机接收该卫星的仰角,由地面测得。

对流层误差的修正算法公式为

$$P_{\text{corrected}} = P_n + PRC + RRC(t - t_{\text{zcount}}) + TC + C\Delta t_{\text{sv}} \quad (3)$$

式中, $P_{\text{corrected}}$ 为GBAS机载系统修正误差后的卫星伪距, P_n 为机载系统修正误差前的卫星伪距, PRC 为卫星伪距修正量, RRC 为伪距修正量的变化率, t 为当前时刻, t_{zcount} 为产生差分伪距修正量 PRC 的时刻, TC 为对流层延迟误差修正量, C 为光速, Δt_{sv} 为卫星时钟差修正量。

式(3)中, PRC 通过计算地面基准接收机实际位置与解算位置的差得到, Δt_{sv} 的值相对固定,本文主要研究对流层延迟误差值 TC 的修正实现方法。 TC 的计算公式为

$$TC = N_r h_1 \frac{10^{-6}}{\sqrt{0.002 + \sin^2 \theta}} \left(1 - e^{-\Delta h/h_1} \right) \quad (4)$$

式中, N_R 为对流层折射指数, h_i 为均值对流层高度, θ 为飞机可见卫星的仰角, Δh 表示飞机相对于地面基准接收站的高度。在 4 个变量中, θ 可以通过机载设备测定飞机与卫星的位置得到, 不需地面支持, N_R 、 h_i 和 Δh 值的确定则需要地面支持。

1.3 区分干湿分量的对流层折射指数修正

当前 GBAS 系统进行对流层指数修正时, 通常不区分大气的干湿分量, 但大气湿度会影响对流层折射指数的大小。根据大气的干湿情况进行更精确的修正, 将有利于提高定位误差修正的精度。因此在对流层折射指数 N_R 修正时, 考虑对流层中干分量和湿分量的情况。

将 N_R 分为干分量折射指数 N_{Rdry} 和湿分量折射指数 N_{Rwet} , N_R 的计算公式应为

$$N_R = 77.6 \frac{P_0}{T_0} + 2.277 \times 10^4 \frac{RH}{T_0^2} 10^{\frac{7.4475(T_0 - 273)}{T_0 - 383}} \quad (5)$$

式中, P_0 为大气压力, T_0 为大气温度, RH 为大气相对湿度, 由地面的气象站测量得到。计算 N_R 与当地多年每天的对流层折射指数值相减, 得到当天的对流层折射不确定度 δ_N 。

均值对流层高度 h_i 也应考虑干分量 h_{idry} 和湿分量 h_{iwet} , 计算分别应为

$$h_{idry} = \frac{42700 - h_s}{2} \quad (6)$$

$$h_{iwet} = \frac{13000 - h_s}{2} \quad (7)$$

式中, h_s 表示地面基准接收机的标高。利用 h_{idry} 和 h_{iwet} 可得到均值对流层高度 h_i , 计算公式为

$$h_i = \frac{N_R h_{iwet} h_{idry}}{N_{Rdry} h_{iwet} + N_{Rwet} h_{idry}} \quad (8)$$

由此, GBAS 地面系统计算得到 N_R 、 h_i 、 Δh 3 个参数, 通过 VDB 广播给飞机, 机载设备就可确定对流层延迟误差 TC 的修正量。

为验证对流层误差修正算法的实际修正量和修正精度, 通过采集咸阳附近某气象站 2011 年每天的日均的温度 (T)、气压 (P) 和相对湿度 (RH) 等气象数据, 利用式 (5)~式 (8), 计算得到当地 2011 年每天的对流层折射指数 N_R (图 3) 和均值大气高度 h_i (图 4)。

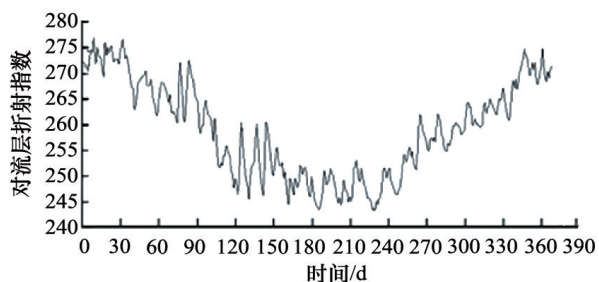


图 3 2011 年咸阳地区日均折射指数

Fig. 3 Average refraction index in Xianyang in 2011

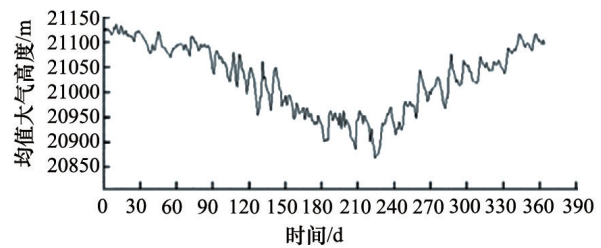


图 4 2011 年咸阳地区月均大气高度

Fig. 4 Average atmospheric height value in Xianyang in 2011

在得到日大气层折射指数 N_{Rdaily} 后, 可以得到年 N_{Ryear} 为 259, 然后计算日 N_{Rdaily} 值与年 N_{Ryear} 的差, 得出日折射不确定度 δ_{Ndaily} , 而后计算得到年折射不确定度 δ_{Nyear} 为 9.3。 h_{ityear} 年均为 21019 m。

根据实验数据对比计算表明 (表 1), 区分对流层干湿分量计算得到的 GBAS 对流层误差的修正值比不区分干湿分量的修正值更加精确, 在卫星仰角为 $30^\circ \sim 90^\circ$, 修正值的精确度将提高 30% 左右。

表 1 不同算法的对流层误差修正值对比

Table 1 Comparison of tropospheric error corrections of different algorithms

卫星仰角 $\theta/^\circ$	不区分干湿分量的对 流层修正误差量/m	区分干湿分量的对 流层修正误差量/m
10	0.082	0.054
20	0.045	0.028
30	0.028	0.019
50	0.016	0.012
70	0.015	0.010
90	0.014	0.009

1.4 GBAS 定位误差修正数据的广播编组

GBAS 地面站将计算得到电离层的误差修正 δ_{iono} , 地面基准接收机误差 δ_{pr_gnd} 、对流层折射指数 N_R 、均值对流层高度 h_i 、对流层折射不确定度 δ_N 后, 通过 VDB 向空中进行广播。数据信息主要包含在 VDB 广播的类型 1 和类型 2 信息中。 PRC 、 RRC 、 δ_{pr_gnd} 等伪距修正信息包含在类型 1 信息中; 对流层折射指数 N_R , 均值对流层高度 h_i , 折射不确定度 δ_N 等信息主要包含在类型 2 中^[1]。VDB 类型 1 和类型 2 信息数据的主要内容具体参见表 2。

表2 GBAS VDB数据类型1和类型2
Table 2 Type 1 and type 2 VDB data

信息类型	信息名称	信息内容	取值范围
1	伪距修正	伪距源号ID	1~225
		数据号(IOD)	0~225
		伪距修正量/m	±327.67
		伪距修正量变化率/m	±32.767
		地面基准接收机误差/m	0~50.8
2	GBAS 相关 信息	对流层折射指数 N_R	16~871
		均值对流层高度 h_1 /m	0~25500
		折射不确定度 δ_n	0~255
		地面站纬度/(°)	±90.0
		地面站经度/(°)	±180.0
		地面站高度/m	±83886.07

2 GBAS 进近着陆程序的实施应用

2.1 GBAS 支持的航空运行种类

GBAS 可以支持各种类型的民航应用,如航路、终端区和进近运行等。为保证飞行安全,在各类运行应用过程中,飞机 GBAS 机载设备还使用机载完整性监视告警系统(receiver autonomous integrity monitoring, RAIM)不断计算飞机实时的水平保护门限值(horizontal protection level, HPL)和垂直保护门限值(vertical protection level, VPL)。当 HPL 或 VPL 超过相应的告警门限,以及 $HPL/VPL > HAL/VAL$ 时就发出告警(HAL (horizontal alert level) 为水平告警门限, VAL (vertical alert level) 为垂直告警门限),飞机实施的相应运行就必须降级,RAIM 告警的各类运行门限值如表 3 所示。

表3 ICAO 附件 10 各种 GNSS 运行告警门限
Table 3 Alarm threshold of GNSS in ICAO annex 10

运行种类	水平告警门限/m	垂直告警门限/m
终端区	1852	—
非精密进近	556	—
APVI 进近	40	50
APVII 进近	40	20
CATI 精密进近	40	10~15

注: APV 为垂直引导进近(approach procedure with vertical guidance)。

GBAS 系统可以极大提高定位精度,通常在 ≤150 km 的距离内,伪距差分定位精度可以达到 5~10 m;在 ≤30 km 距离内,可以达到 1~5 m,甚至更高的水平,完全满足实施 CATIII 精密进近的要求^[6]。GLS 进近是地基增强系统最为重要的应用,当前一些西方国家已经开始大规模实施 CATI 类运行,有

的国家甚至已经开始试验 CATIIB 类的运行。ICAO 对 CATIIB 的导航精度要求如表 4 所示。

表4 ICAO CATIIB 导航精度要求
Table 4 Navigation accuracy requirement for ICAO CATIIB

飞机与跑道入口距离/m	水平告警门限/m	飞机与跑道入口高度/m	垂直告警门限/m
$D \leq 291$	15.5	$H \leq 200$	5.3
$291 < D \leq 873$	$0.03952D + 4$	$200 < H \leq 1340$	$0.02925H - 0.55$
$873 < D \leq 7500$	$0.0044D + 34.55$	$H > 1340$	38.65
$D > 7500$	67.75	—	—

2.2 GLS 进近的飞行程序设计

GLS 进近的飞行程序设计与仪表着陆系统(instrument landing system, ILS)相似^[9]。两者不同的是 ILS 进近是通过物理电信号产生一条水平和下滑引导航道, GLS 进近是由机载系统根据飞机与跑道入口的距离,计算出一条 3D 航迹,从而引导飞机飞行。因此在进行 GLS 进近飞行程序设计时,必须保证飞行程序处在 GBAS 系统 VDB 信号的覆盖范围^[1], VDB 信号的最小覆盖范围如图 5 所示。

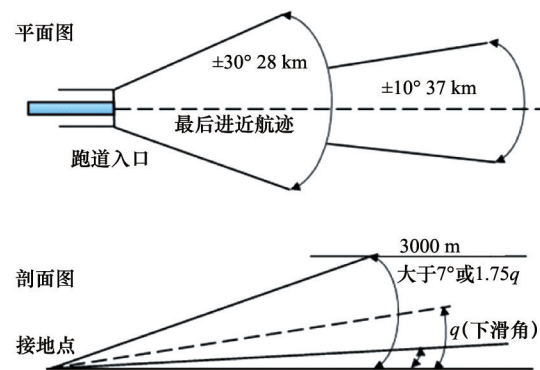


图5 GBAS 最小覆盖范围

Fig. 5 Minimum coverage of GBAS

GBAS 系统信号的最小水平覆盖范围在跑道中线 ±30° 以内,有效距离为 28 km;在 ±10° 以内,有效距离为 37 km。在垂直方向上, GLS 进近的下滑线由 GBAS 机载系统计算生成,下滑的角度可以在 0.9°~7.0° 范围内任意选定。

由于 CATI 类 GLS 进近程序的 VPL 精度值比 ILS 的下滑道更小更精确,因此 GBAS 飞行程序设计依然采用障碍物鉴别面(obstacle assessment surface, OAS)来对精密航段的障碍物进行评价。

由于 GLS 进近程序是通过飞机与跑道入口的距离来计算确定飞机应飞的高度和航向,因此飞机必须在开始实施进近前获取跑道入口位置的相关参数。由航空情报部门以航行资料的方式向各机场、航空公司、空管等相关单位提供。

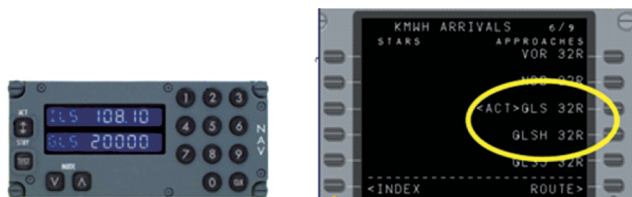
GBAS地面站的工作人员获得上述参数后,将使用专门的软件工具为每条跑道的每个GLS进近程序生成一个最后进近航段(final approach segment, FAS)的数据块,在VDB广播中以类型4的格式进行广播。FAS数据块的主要内容如表5所示。

表5 GBAS最后进近航段数据块
Table 5 FAS data block of GBAS

内容名称	取值范围
机场ID	—
跑道号	0~36
进近性能识别	0~7
基准航迹数据选择(RPDS)	—
基准航迹识别号	0~48
入口坐标纬度/(°)	±90.0
入口坐标经度/(°)	±180.0
入口坐标标高	-512.0~6041.5
Δ飞行航迹校准点纬度/(°)	±1.0
Δ飞行航迹校准点经度/(°)	±1.0
进入口高	0~1638.35
下滑角度/(°)	0~90
Δ Length offset	80~143.75
FAS数据块CRC	—
垂直告警门限	0~25.4
水平告警门限	0~50.8

2.3 GLS进近程序的实施方法

在实施GLS进近之前,飞行员需使用机载设备接收地面GBAS广播的VDB信息。飞行员通过GLS航图,查找到该GLS进近的通道号,然后在如图6(a)GBAS机载系统的选择控制面板上输入该5位数字的通道号。如果机载导航数据库中已经有该GLS进近的通道号,则也可以直接在图6(b)右侧的飞行管理系统(flight management system, FMS)的显示控制组件(control display unit, CDU)中选择该GLS程序,机载GBAS系统将自动从导航数据库中查找获得该通道号并激活设置^[10]。



(a) 星基着陆系统控制面板 (b) 飞行管理系统显示控制组件

图6 机载系统中输入GLS进近通道号

Fig. 6 Input of the APP channel number in airborne systems

如果某跑道的某一GLS进近程序通道号值为 N 。机载GBAS系统通过该通道号值 N 可以计算得到接收VDB广播的频率 F ,其计算公式为

$$F = 108.0 + \text{mod}((N - 20000), 411) \times 0.025 \quad (9)$$

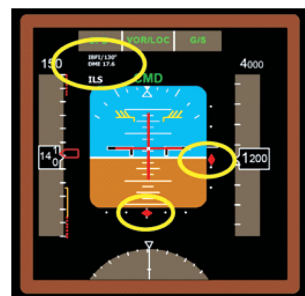
例如, $N=20984$, 则 $F=108.0 + \text{mod}((20984 - 20000), 411) \times 0.025=108.0 + 162 \times 0.025=112.05$ MHz。由于GBAS的通道号的范围为20000~39999,由式(9)可知,每个VDB广播频率最多可以对应 $(39999-20000)/411 \approx 48$ 个通道号。一个机场的多个GLS进近程序,可以使用同一个频率进行VDB广播,各个GLS进近程序通道号值的差一定是411的倍数。由于每个GLS进近程序都有唯一对应的FAS数据块,为了区分同一个VDB频率中播报的不同通道号所对应的FAS数据块,需要在每个FAS数据块中加入一个识别,即基准航迹数据选择识别(reference path data selector, RPDS)。

RPDS值的计算公式为

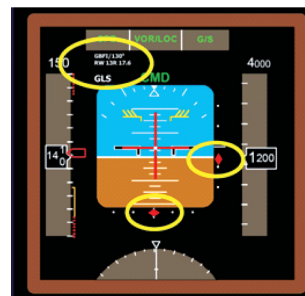
$$RPDS = \text{div}((N - 20000), 411) \quad (10)$$

当通道号 $N=20984$, 则 $RPDS=\text{div}((20984 - 20000), 411)=2$ 。机载GBAS接收机从该频率的VDB广播中,选出RPDS值为2的FAS数据块与该GLS进近程序进行匹配。另外,在FAS数据块中还包括GLS进近程序所对应的4字识别代码。

在GLS进近实施过程中,飞机的导航仪表(navigation display, ND)会显示出飞机相对标称航迹的水平和垂直位置偏差。对于飞行员而言,GLS显示与实施ILS进近的显示是一致的^[10],唯一的不同的是ND左上角显示的字母分别是“ILS”和“GLS”(图7)。



(a) ILS



(b) GLS

图7 GLS进近与ILS进近的导航显示对比

Fig. 7 Comparison of navigation display between GLS and ILS

3 加快GBAS系统应用的建议

基于GBAS的GLS精密进近可以与进场区域导航(area navigation, RNAV)程序相衔接。RNAV程序引导飞机到最后进近定位点(final approach fix, FAF),其后衔接GLS进近的精密航段。中间进近定位点(intermediate fix, IF)保护区的半宽由此就可以从传统程序的9260 m缩小到4630 m,减少障碍物对飞行航迹选择的限制。在最后进近阶段,GLS进近的决断高度能够低至60 m^[9]。GBAS进近引导精度与当前几种主要GNSS进近的标准对比,见图8。

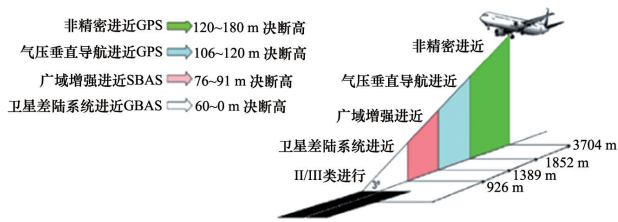


图8 当前几种主要GNSS进近着陆标准的对比

Fig. 8 Comparison of the main GNSS landing standards

GLS进近程序符合当前ICAO大力推广的连续下降运行(continuous descend operation, CDO)的要求。GLS进近的连续下降可以从距机场较远的距离开始,在连续下降的过程中甚至可以转弯,实现在蜿蜒狭窄山谷中的飞行。在GLS进近连续下降过程中,下降的角度也可以变化;同一条跑道在最后进近航段可以设置几种不同下滑角度,以满足不同性能飞机的需要^[8],这是ILS系统无法做到的。

GLS进近还具有能够降低油耗、减小噪声,能够提高飞行安全性和舒适性等诸多的优点。中国已经在基于性能导航(performance based navigation, PBN)实施路线图中将GBAS进近列为未来发展的对象,但目前只在南充和林芝等机场进行过一些试验应用。由于GBAS进近的众多优点,中国应该加快GBAS在民航的推广应用。

4 结论

通过探讨GBAS对流层延时误差修正的方法,提出修正对流层延时误差时区分干湿两种情况的优化算法,通过实验采样计算证明该算法能够将对流层误差修正值的精确度提高30%左右。通过对GBAS运行实施的研究,明确了GBAS机载系统主要从地面VDB发送的1、2类型信息数据中获得各类误差修正参数,从而进行定位解算。GBAS飞行程序设计需要考虑飞机能够接收到VDB的范围,必须保证飞机在开始实施GBAS进行程序前就接收到类定位修正信息;GBAS进近的飞行程序设计与ILS进近程序相似,主要采用OAS面来进行障碍物的评价;GBAS飞行程序的实施过程中飞行员需要设定通道号,通过该通道号飞机自动计算和调谐VDB广播的频率,通过VDB广播选定不同的进近程序从而引导飞机实施进近着陆。

GBAS进近具有定位精度高,飞行程序设计简便,能够实施连续下降和连续上升、能够实施CATII/III类进近、飞行实施与目前中国民航广泛使用的ILS进近程序相似等众多优势。中国民航应尽快落实推广GBAS进近的发展政策,促进GBAS系统在中国民航的推广应用。

参考文献(References)

- [1] 郑金华,任小伟.地基增强系统(GBAS)中对流层修正方法研究[C]//第四届中国卫星导航学术年会电子文集.北京:Springer出版社,2013:83-88.
Zheng Jinhua, Ren Xiaowei. The troposphere correction method research in ground based augmentation system (GBAS)[C]//Fourth Annual Conference Proceeding of China's satellite navigation electronic anthology. Beijing: Springer Press, 2013: 83-88.
- [2] Grand P S. GBAS CON OPS focus on CATI operations[R]. Brussels, Belgium: Eurocontrol Navigation Unit, 2012.
- [3] 李康,巩冠峰. GPS地基增强系统简介及其性能仿真验证[J]. 电光与控制, 2013, 20(8): 89-94.
Li Kang, Gong Guanfeng. The introduction of GPS ground based augment system and performance simulation validation[J]. Electronics Optics & Control, 2013, 20(8): 89-94.
- [4] 陈明强,张光明. GBAS在终端区的应用[J]. 中国民航飞行学院学报, 2011, 22(6): 22-55.
Chen Mingqiang, Zhang Guangming. The application of GBAS in terminal area[J]. China Civil Aviation Flight College Journal, 2011, 22(6): 22-55.
- [5] 魏光兴. GLS进近的实施方法与优越性比较[J]. 中国民航飞行学院学报, 2012, 17(6): 27-31.
Wei Guangxing. Implementation methods and compare the advantages of GLS approach[J]. China Civil Aviation Flight College Journal, 2012, 17(6): 27-31.
- [6] Duenkel S. The GBAS landing system[R]. Chicago USA: Boeing Commercial Aviation Services, 2009.
- [7] Plido Laboratory. GBAS concept[R]. Barcelona, Spain: Aeronautical Civil, 2012.
- [8] Renk R. Operational benefits of ground based augmentation systems airline perspective[R]. Chicago, USA: United Airlines, 2011.
- [9] International Civil Aviation Organization. Annex10 aeronautical telecommunications[S]. Sixth edition. Colorado, USA: IHS incorporated, 2007.
- [10] International Civil Aviation Organization. DOC-8168, Aircraft operations [S]. Fifth edition. Colorado, USA: IHS incorporated, 2006.

(编辑 陈华姣)

《科技导报》“综述文章”栏目征稿

“综述文章”栏目发表对当前自然科学有关学科领域的研究热点、前沿分支发展现状及动向的评述性文章。要求在所属学科领域从事比较深入研究的一线科研人员在研读相当数量文献资料的基础上,全面、深入、系统地论述该领域的问题,并对所综述的内容进行归纳、分析、评价,以反映作者的观点和见解。在线投稿:www.kjdb.org。