

# 平视显示器在民用飞机上的应用研究

王全忠, 高文正

(中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471009)

**摘要:** 平视显示器(HUD)作为一种民用飞机航行新技术,在提高民航运输安全、提高航班正点率、降低运营成本等方面能够发挥重要作用,目前正在民航运输领域得到大力推广应用。在介绍 HUD 的基本工作原理、特点和功用的基础上,研究、分析了 HUD 在民机上发挥的作用和优势,以及以 HUD 为基础发展形成的平视飞行导引系统、增强飞行视景系统的组成、工作原理和在民机上的作用。

**关键词:** 平视显示器; 民用飞机; 平视飞行导引系统; 增强飞行视景系统

**中图分类号:** V243.6      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-637X(2014)08-0001-05

## Application of the Head-Up Display on Civil Aircrafts

WANG Quan-zhong, GAO Wen-zheng

(Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, AVIC, Luoyang 471009, China)

**Abstract:** As a new navigation technology on civil aircrafts, the Head-Up Display (HUD) plays an important role in such aspects as improving civil aviation transportation safety, increasing flight punctuality rate and reducing operation cost. It is finding wider application in civil aviation transportation currently. The paper describes the working principles, characteristics and functions of the HUD, and presents an analysis to the benefits of using HUD on civil aircrafts. In addition, the composition, work principles and roles on civil aircrafts of Head-up Flight Guidance System (HFGS) and Enhanced Flight Vision System (EFVS), which are developed from HUD, are also analyzed.

**Key words:** HUD; civil aircraft; Head-up Flight Guidance System(HFGS); Enhanced Flight Vision System(EFVS)

### 0 引言

20世纪50年代,平视显示器(Head Up Display, HUD)首次在军用飞机上应用时是作为一种简单的机炮攻击瞄准具。随着性能的不断提高和功能的不断完善,HUD已经发展成为一种多用途的攻击瞄准设备和军用飞机座舱的主显示器。HUD独有的支持平视飞行操纵的特性,不但使其在军用飞机上得到广泛应用,而且从20世纪70年代开始应用于民用飞机领域。研究和实践应用表明:HUD能够引导飞行员精确操纵飞行,显著改善飞行操纵品质和精度,减轻飞行员负担,增强飞行安全。特别是民航客机在起飞和降落过程中,HUD的应用可以提高着陆精度、提高起降成功率,并能实现低能见度起降,提高航班的正点率,降低航空公司的运营成本。HUD作为一种航行新技术,受到了

越来越多航空公司和飞机制造商的青睐,波音、空客、中国商飞等飞机制造商已经将 HUD 作为其民航客机的标配设备。国际民航组织建议各国民航当局将 HUD 技术作为提高飞行安全品质的措施之一,并进行推广。为了加速 HUD 在国内的推广应用,中国民航局在2012年8月发布了《平视显示器应用发展路线图》<sup>[1]</sup>(民航发[2012]87号),要求:到2025年,中国航空运营人应在所有审定合格的航空器上安装并运行 HUD。

### 1 HUD 的工作原理

典型的民用飞机 HUD 主要由组合仪、投影装置、HUD 计算机、HUD 显示控制板等组成(见图1)<sup>[2]</sup>。投影装置安装在飞行员头顶正上方,组合仪安装在飞行员前方,HUD 显示控制板安装在仪表板上,HUD 计算机安装在设备舱。HUD 计算机通过航电总线接收来自于机上其他航电设备的各种数据,如速度、加速度、姿态、位置、风速、导航信息、引导提示、告警信息等,经处理、融合后生成 HUD 显示图像,并通过视频接口传送给投影装置。投影装置将接收到的视频图像经过畸

变校正和电光转换后投射出来,经组合仪特殊的光学玻璃与飞机外界实景叠加,飞行员通过组合仪既可以观察到飞行、导航及指引等信息,同时也能看到真实外景。HUD显示控制板是飞行员控制HUD工作模式、监控HUD工作状态的接口。

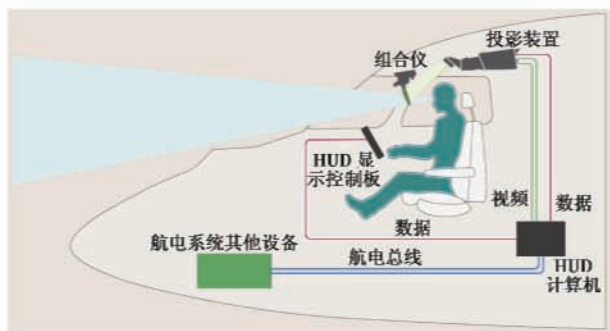


图1 典型民用飞机HUD的组成、交联及机上布局

Fig.1 Components of a typical HUD with their interconnection and layout

## 2 HUD的主要特点

HUD作为一种先进的机载光学显示系统,具有以下几个显著特点。

1) 透过性。HUD采用特殊的光学设计,使图像通过一块透明的玻璃成像,飞行员通过HUD特殊的光学透明玻璃既能看到HUD图像,又能观察到外部视景,使飞行员获得的信息更全面、态势感知度更高,并增强飞行信心。

2) 平视性。HUD将显示图像投射在飞行员的正前方,飞行员不用低头看其他仪表就能获取所需的飞行信息,使飞行员可以保持平视操纵飞行,不用频繁在低头看仪表和抬头看外景之间切换,避免反应延迟,使飞行更安全。

3) 准直性。HUD采用准直光学设计,字符图像经组合仪反射后在无穷远处形成虚像,飞行员平视飞行时,观察到的符号与外景是融合在一起的,无须在外景和画面之间切换、调焦,使飞行员目视飞行更舒服、减轻眼睛疲劳感。

4) 等角性。HUD的等角性使得其上显示的地平线、俯仰梯、航迹矢量等符号与其代表的物理量在空间角度上具有一致性,飞行员在HUD上看到的符号位置就指示了该物理量在实际空间的位置、方向。HUD上显示的图像与外界景物也能够实现1:1的重合。HUD的等角显示特性能够为飞行员直观、准确地指示飞行态势、相对位置关系,能提高飞行员的态势感知能力、提高飞行操纵精度。

## 3 HUD在民用飞机上的典型应用模式

HUD在民用飞机上的典型应用模式主要包括以

下3种:1) HUD单独使用;2) HUD与飞行导引技术相结合,构成平视导引系统(HFGS);3) HUD与视景增强系统相结合,构成增强飞行视景系统(EFVS)。

### 3.1 HUD单独使用

使用HUD后,把飞行员从传统的俯视看仪表的飞行方式中解放出来,使飞行员可以在平视的状态下获取关键飞行信息,在不需要低头观察传统仪表的情况下完成飞行,这既能减轻飞行员的工作负荷,又能提高飞行安全和飞行操纵效率。HUD通过向飞行员平视显示准直、等角的关键飞行信息,可以提高飞行员对姿态、速度、加速度、空间位置关系等飞行态势的感知能力,提高飞行操纵精度、减轻飞行技术误差。特别是在起飞和进近着陆过程中,HUD的应用可以减少不稳定进近、重着陆、擦机尾、可控飞行撞地等事故的发生,使民航的起降过程更加安全。

### 3.2 HUD与飞行导引技术结合使用

HUD与飞行导引技术相结合可以构成平视飞行导引系统,图2为平视飞行导引系统的基本组成和工作原理。飞行导引计算功能,一方面接收来自于机场精密导航设施提供的飞机相对于跑道的角度偏差信号,另一方面接收机载传感器测量的飞机位置、速度、加速度、角速度、姿态等参数,以及风速等外界环境数据,利用这些数据解算出飞行操纵引导指令,通过HUD显示给飞行员,引导飞行员在起飞、进近、拉平和滑跑过程中实施精准飞行。

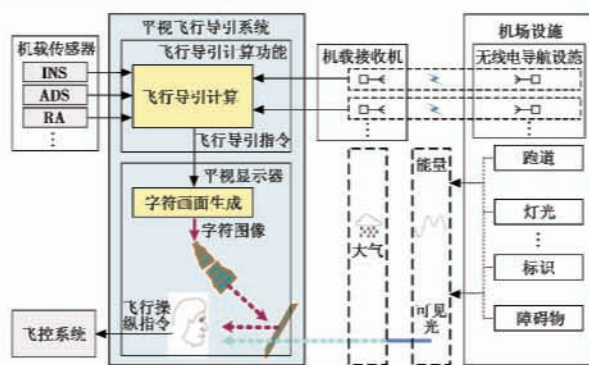


图2 平视飞行导引系统组成及工作原理

Fig.2 Composition and working principle of the HFGS

平视飞行导引系统可以引导飞行员实施II类、III类进近着陆和低能见度起飞<sup>[3-4]</sup>。由于HUD在提高飞行精度方面的特殊作用,装备有平视飞行导引系统的飞机在进近着陆时允许降低对地面导航设施的要求和最低着陆标准,经过特殊批准后,可以在I类机场实施特殊的I类、II类进近着陆<sup>[5]</sup>,甚至III类进近着陆。目前,我国的首都国际机场、上海浦东机场、广州白云机场等7个机场获得了民航局的批准,安装了HUD的飞机可降低最低着陆标准。

### 3.3 HUD 与 EVS 结合使用

HUD 与飞行导引技术结合构成的飞行导引系统可以使飞行员飞得更准,而 HUD 与 EVS 构成的增强飞行视景系统(EFVS)则可以使飞行员在飞得准的同时,能够“穿透”大气,看得更清。图 3 所示为增强飞行视景系统的组成及工作原理。EVS 是一种红外传感器,它接收外界物体的热辐射,经光电转换和图像处理,形成外景的红外图像。红外图像与 HUD 的字符画面进行 1:1 叠加后一起通过 HUD 投射在飞行员正前方,使飞行员能够同时看到关键的飞行信息和与外景 1:1 重合的外景红外图像。由于红外传感器的成像受云、雾、霾、雨、雪、夜间等气象条件的影响很小,因此,在目视能见度受限的情况下,利用增强飞行视景系统能够增强飞行能见度(见图 4),让飞行员看清飞机前方的跑道、障碍物等,提高态势感知能力,使飞机具备全天候起降能力。

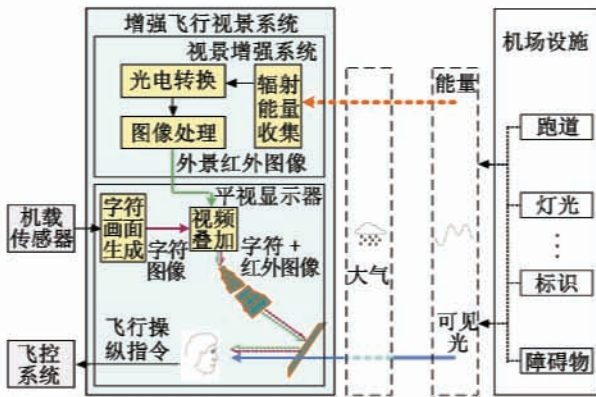
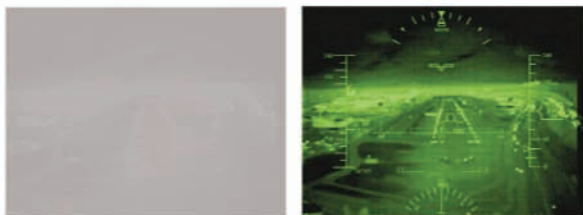


图 3 增强飞行视景系统组成及工作原理

Fig. 3 Composition and working principle of the EFVS



a 飞行员肉眼看到的外景 b 飞行员通过 EFVS 看到的外景

图 4 EFVS 对增强飞行能见度的效果

Fig. 4 Effect of the EFVS on enhancing flight visibility

增强飞行视景系统可以帮助飞行员看清前方外景和障碍物,增强对飞行态势的感知能力,提升飞行员的信心,可有效避免可控飞行撞地、跑道入侵等事故的发生,提高起降安全。增强飞行视景系统不但能够支持低能见度起降,而且由于系统主要是利用传感器的热探测能力通过增强飞行能见度来解决低能见度起降问题,因此对机场导航设施的依赖度低,可以大大提高飞机对恶劣天气和机场的适应能力。

## 4 HUD 在民机各飞行阶段的作用

HUD 在民机运行的滑行、起飞、爬升、巡航、下降、进近着陆和滑跑等阶段都能发挥重要作用,如图 5 所示。

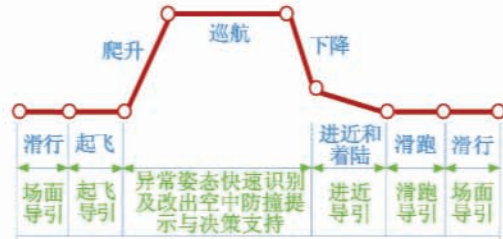


图 5 HUD 在民机各飞行阶段发挥的作用

Fig. 5 Functions of a HUD in each flight phase of the civil aircraft

### 4.1 地面滑行过程中 HUD 的作用

民用飞机在候机楼和跑道之间滑行过程中,HUD 可以实现场面导引,引导飞行员控制飞机在滑行道上安全、准确滑行。在低能见度情况下滑行时,HUD 与 EVS 结合使用后可以大大减少飞机在滑行道及交叉口发生的碰撞,避免滑行过程中的导航错误。对于繁忙的机场,场面导引可以有效提高整个机场的运行效率和吞吐量。

### 4.2 起飞过程中 HUD 的作用

飞行员利用 HUD 进行平视操纵起飞时,可以避免在高速滑跑过程中因低头看仪表而导致的外部世界的外景中断,从而发生危险,特别是在低能见度情况下的起飞。另外,利用 HUD 的提示可以准确控制飞机姿态,避免擦机尾事故的发生。低能见度起飞导引是 HUD 特有的功能,装备有平视飞行导引系统的飞机可以引导飞行员实现低能见度起飞。

### 4.3 爬升/巡航/下降过程中 HUD 的作用

在爬升、巡航及下降等飞行阶段,HUD 可以帮助飞行员快速识别异常和危险状态,避免危险事故发生,如 HUD 可以直观地向飞行员显示异常姿态,帮助飞行员快速改出。在发生 TCAS 或 RA 告警时,HUD 上可以直观地显示操纵提示符号,在飞行员不用低头看其他仪表的情况下,引导其避开危险区域。

### 4.4 进近/着陆过程中 HUD 的作用

HUD 可以在民用飞机目视进近着陆、仪表进近着陆和低能见度进近着陆等方式下发挥重要作用。

#### 4.4.1 目视进近/着陆

在传统的目视进近过程中,没有来自于地面的精密导航信息,飞行员主要通过观察地面助降指示、飞机与跑道间的相对位置关系来主观感知进近着陆态势、判断偏差,并操纵飞行。由于飞行员的主观感知是模糊的,气象条件、机场环境,以及飞行员的技术水平、心理素质、身体状态等因素都会对飞行操纵精度产生影响,紧张、复杂的操纵过程也会放大上述因素的影响。

因此,传统的目视进近过程,不但对飞行员要求很高,而且较难实现精确的控制,增大了危险发生的概率。

在使用 HUD 进行目视进近时,飞行员可以利用 HUD 上显示的与外部视界等角的飞行轨迹矢量、参考下滑道等直观、精准的信息对进近着陆态势和偏差做出客观、准确的判断,这不但减轻了飞行员的负担,降低了对飞行员的要求,而且能够提高进近着陆的精度,降低危险发生的概率。在利用 HUD 目视进近过程中,飞行员根据不同的态势,按图 6 所示的方法操纵飞机就可以完成跑道对准,既简单方便又准确安全。

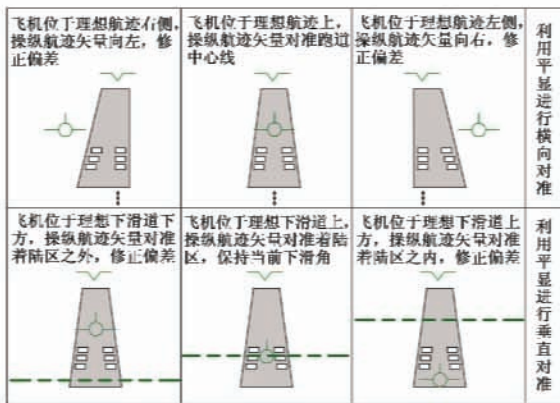


图 6 利用 HUD 目视进近时对准跑道方法示意

Fig.6 Using the HUD to aim at the runway in visual approach

#### 4.4.2 仪表进近/着陆

在传统的仪表进近过程中,地面导航设施可以向飞机提供航向道和下滑道数据,飞行员通过飞行仪表来获取横向和垂直方向的偏差,从而控制飞机实施进近。在进近末端,飞行员需要由下视观察仪表飞行切换到平视飞行。由于人体生理机能的限制,从观察座舱仪表到观察外界时,眼球聚焦需要调整以适应视距和亮度的变化,约 0.8 s 的瞬间看不清目标,这在进近着陆过程中是一个非常棘手的问题,特别是在接近拉平机动时,很容易发生危险。利用 HUD 进行仪表进近(见图 7),可以使飞行员一直保持平视飞行,不仅能够提高飞行精度,而且可以避免下视到平视的转换延迟,使飞行更加安全。

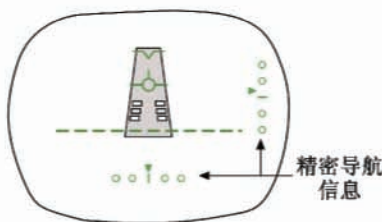


图 7 利用 HUD 进行仪表进近示意图

Fig.7 Using the HUD in instrument approach

#### 4.4.3 低能见度进近/着陆

##### 1) 利用 HFCS 实现低能见度进近/着陆。

装备有 HFCS 的民用飞机,可以实施 II 类、III 类低能

能见度进近着陆,最低能够实现 CAT IIIa 进近着陆(跑道视程不低于 700 ft,决断高不低于 50 ft,1 ft = 0.3048 m)。在低能见度情况下,平视飞行导引系统计算生成导引圆、跑道轮廓线等飞行导引指令,并显示在 HUD 上(如图 8 所示)。飞行过程中,飞行员操纵飞机使飞行轨迹矢量符套住导引圆,并一起压在下滑道参考线上,实现精确对准跑道。在飞行员看不清跑道的情况下,跑道轮廓线可以辅助提高飞行员对着陆态势的感知。

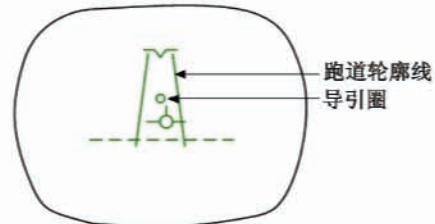


图 8 低能见度下进近着陆 HUD 导引符号显示示意

Fig.8 Guidance symbol of the HUD in low visibility approach and landing

##### 2) 利用 EFVS 实现低能见度进近/着陆。

在传统的目视进近着陆过程中,飞机下降至决断高位置后,如果用肉眼无法看清跑道标志、建立目视参考,就必须复飞。EFVS 可以“穿透”大气、增强飞行能见度,使飞行员看得更远、更清,在肉眼无法建立目视参考的情况下,帮助飞行员建立目视参考,并引导飞行员操纵飞机进入决断高以下,直至接地(如图 9 所示)。目前,EFVS 可用于 RVR 不低于 1000 ft 情况下的低能见度进近着陆<sup>[6-7]</sup>。随着技术和规章的不断发展,民航组织将进一步放宽 EFVS 的使用范围。

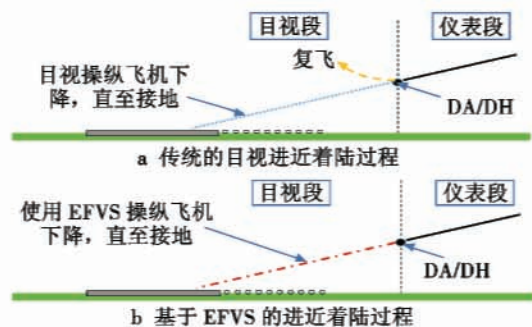


图 9 传统目视进近着陆过程与基于 EFVS 的进近着陆过程示意

Fig.9 Processes of the traditional approach and the EFVS based approach

#### 4.5 滑跑过程中 HUD 的作用

飞机触地后在减速到安全滑行速度之前的滑跑过程,是一个十分危险的过程,由于操纵不慎导致冲出跑道的事故时有发生。在滑跑过程中,HUD 利用地面导航设施的信息,计算出滑跑导引指令,引导飞行员操纵飞机对准跑道中心,并可向飞行员显示跑道剩余长度,

即使在低能见度情况下,也能引导飞机安全滑跑。

#### 4.6 HUD 在民机上的作用分析

飞行安全基金会(Flight Safety Foundation, FSF)对发生在1995~2007年间的983起飞行事故进行了研究和分析(见图10)。结果表明:如果应用平视导引技术,983起事故中的38%能够避免或很大程度地减轻影响;这983起事故中,发生在起飞和降落过程中的有341起,如果应用平视导引技术,有69%可以避免或很大程度地减轻影响;由失控造成的有123起,有57%也可以避免或很大程度地减轻影响<sup>[8]</sup>。

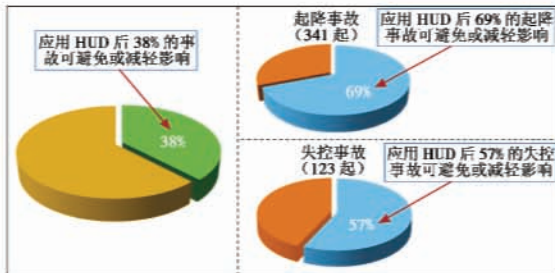


图10 飞行安全基金会对HUD在提高民航运输安全方面的研究结果

Fig. 10 Effect of the HUD on improving flight safety, the research result of FSF

另有研究认为:装备有HUD的飞机能够在85%的时间内进入任何机场,如果再加上视景增强系统(EVS)还能提高7%,即在92%的时间内进入任何机场<sup>[9]</sup>。

可见,HUD及其基础上发展形成的平视飞行导引系统、增强飞行视景系统在民机各飞行阶段都能发挥重要作用,是能够提高民航运行安全、提高航班正点率、降低运营成本的“利器”。

1) 提高民机起降安全。HUD把飞行员从俯视图仪表的传统方式中解放出来,实现平视飞行操纵,提高了飞行操纵效率、减轻飞行员的工作负荷。另外,HUD通过平视显示准直、等角的关键飞行信息,可以提高飞行员对姿态、速度、加速度、空间位置关系等飞行态势的感知能力,提高飞行操纵精度、减轻飞行技术误差。研究和实践应用都表明:HUD的应用可以减少不稳定进近、重着陆、擦机尾、可控飞行撞地等事故的发生,使民机的起降过程更加安全。

2) 提高航班正点率。HUD与飞行导引技术、视景增强系统或其他技术结合后可以支持实施II类、III类低能见度进近着陆和低能见度起飞,实现全天候运行,使天气对航空运输的影响大大降低、提高航班正点率。

3) 降低民航运营成本。航班正点率的提高可以有效地降低航空公司的运营成本。另外,装备有HUD的飞机经局方批准后,可以降低起降最低天气标准和对机场的要求,允许在I类机场实施特殊批准的I类、

II类、III类运行,使民航运营更加灵活,对机场的依赖度更低,受天气的影响更小,可同时降低航空公司运营成本 and 机场的建设成本。

## 5 小结

HUD能够提高飞行操纵精度、增强飞行员的态势感知能力,使飞行员“看得更清”、“飞得更准”,能够在提高民航运行安全、提高正点率和降低运营成本方面发挥重要作用。HUD作为一项新技术应用,能够降低飞行员的工作负担,有效改善飞行品质,极大地提高民用飞机的运行安全。有理由相信,随着HUD的进一步发展和与其他新技术的结合应用,HUD在民用飞机上的应用范围会更加广泛、作用会更加突出。

## 参考文献

- [1] 中国民用航空局. 平视显示器应用发展路线图[S]. 民航发[2012]87号, 2012.  
CAAC. The roadmap of head-up display application and development[S]. CAAC No. [2012]87, 2012.
- [2] 费益, 季小琴, 程金陵. 平视显示系统在民用飞机上的应用[J]. 电光与控制, 2012, 19(3): 95-99.  
FEI Y, JI X Q, CHENG J L. Application of head-up display on civil aircrafts[J]. Electronics Optics & Control, 2012, 19(3): 95-99.
- [3] FAA. Criteria for approval of category I and category II weather minima for approach[S]. AC120-29A, 2002.
- [4] FAA. Criteria for approval of category III weather minima for take-off, landing, and rollout[S]. AC120-29A, 2002.
- [5] 中国民用航空局飞行标准司. 使用平视显示器实施II类或低于I类运行的评估和批准程序[S]. AC-91-FS-2010-03R1, 2010.  
CAAS FSD. Program for approval and evaluate of using HUD to implement CAT II or lower than CAT I operations [S]. AC-91-FS-2010-03R1, 2010.
- [6] 中国民用航空局飞行标准司. 增强飞行视景系统适航与运行批准指南[S]. AC-91-FS-2012-15, 2012.  
CAAS FSD. Guidance for airworthiness and operation approval of enhanced flight vision system [S]. AC-91-FS-2012-15, 2012.
- [7] FAA. Airworthiness approval of enhanced vision system, synthetic vision system, combined vision system, and enhanced flight vision system equipment[S]. AC20-167, 2010.
- [8] VANDE L R, WEENER E F. Head-up guidance system technology—A clear path to increasing flight safety[R]. Flight Safety Foundation, 2009.
- [9] 孙滨生. 提高航空安全的增强视觉设备——谈增强视景系统和合成视景系统的发展[J]. 国际航空, 2003(3): 33-35.  
SUN B S. Development of enhanced vision system and synthetic vision system [J]. International Aviation, 2003(3): 33-35.