

## 机载头盔瞄准显示系统的人机工效综述

## A summary on Human/System Performance of Airborne HMSDS

王永生, 刘红漫

(中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471009)



王永生

中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所副总工程师, 研究员。长期从事航空电子、光电系统、测控系统等方面的理论研究和实践工作。国军标 GJB 4052-2000《机载头盔瞄准/显示系统通用规范》主编之一, 中国航空工业集团公司首批一级专家。申请了多项头盔瞄准/显示系统国防专利, 多次获得部级立功或先进, 多次获省部级、集团级科技成果奖。

## 0 引言

机载头盔瞄准显示系统(Helmet Mounted Sight/Display System, HMSDS)是一种观察角度大、捕获目标快的高性能实用型瞄准显示设备。在空中机动作战中, 它能引导雷达、光电雷达、红外搜索跟踪系统等火控设备快速截获目标, 也可直接引导空空导弹截获目标并实施攻击; 与大离轴角导弹配合使用, 更能极大地提高飞机的作战效能。在空对地作战中, 尤其攻击具有防空能力的地面目标时, 与大离轴角导弹配合, 可在偏离目标很远的情况下实施攻击, 从而极大地降低本机危险程度。

头盔瞄准显示系统是典型的人机交互设备, 使用优势明显, 但由于该系统是戴在飞行员头部的一种复杂的视觉设备, 如果设计不当很容易让使用者感觉不舒服, 甚至造成危险。分析了头盔瞄准显示系统的作业任务, 指出了其存在的人机工效问题, 提出了人机交互模型, 最后对人机工效设计的关键因素及方法进行了探讨。

关键词: 头盔显示器; 头盔瞄准具; 人机工效; 人机工程

中图分类号: V271.4

文章编号: 1671-637X(2014)07-0001-05

作为一种新崛起的瞄准和显示设备, HMSDS 越来越受到世界各国空军的重视, 50 多年来, 美国、英国、法国、德国、俄罗斯、以色列以及南非等国家都对 HMSDS 有深入研究, 并有 HMSDS 产品批量装备部队。

HMSDS 涉及光学工程、制造工艺、计算机科学、自动控制、人的生理学、心理学和交互界面设计等很多领域, 技术复杂, 实现难度大, 因此很难达到十全十美。飞行员在使用头瞄系统后出现的健康问题已成为影响飞行员健康及飞行安全的主要因素<sup>[1]</sup>。具体健康问题体现在颈部疼痛、双眼视觉功能退化等生理症状以及疲劳、焦虑、抑郁和偏执等不适的心理症状<sup>[2]</sup>。因此, 人们注意到, 对 HMSDS 来说开展人机工效设计(人机工程设计)显得尤为重要, 国外在人机工效设计方面已有很多成熟的理论和方法, 而国内还处于起步阶段。

## 1 HMSDS 的任务特点分析

## 1.1 任务特点

飞行员应用 HMSDS 主要完成以下作业任务:

- 1) 瞄准跟踪目标;
- 2) 空中格斗攻击;
- 3) 对地攻击;
- 4) 惯导对准;
- 5) 态势感知;
- 6) 夜视夜瞄;
- 7) 协同作战, 即能够将自己探测到的目标方向发送给雷达等其他传感器或友机, 与此类似, 当雷达等设备锁定目标或探测到威胁时, 通过在显示器上标记威胁目标的位置, 飞行员即可根据提示瞄准目标<sup>[3]</sup>;
- 8) 弹射救生, 弹射救生是飞行员在紧急状态下执行的一项特殊任务, 为了保证飞行员能够及时从失控飞机中弹离座舱, 同时使飞行员不因弹射过载过大而受伤, 这就要求 HMSDS 要有安全性设计。

## 1.2 结构特点

头盔瞄准显示系统一般由头盔、显示器、头位跟踪器、夜视镜、摄像机和电子组件等组成。

显示器、头盔、头位跟踪器、夜视镜等都要佩戴到飞行员头部(系统组合框图如图 1 所示, HMSDS 实物见图 2), 头盔上还要安装些调节机构。

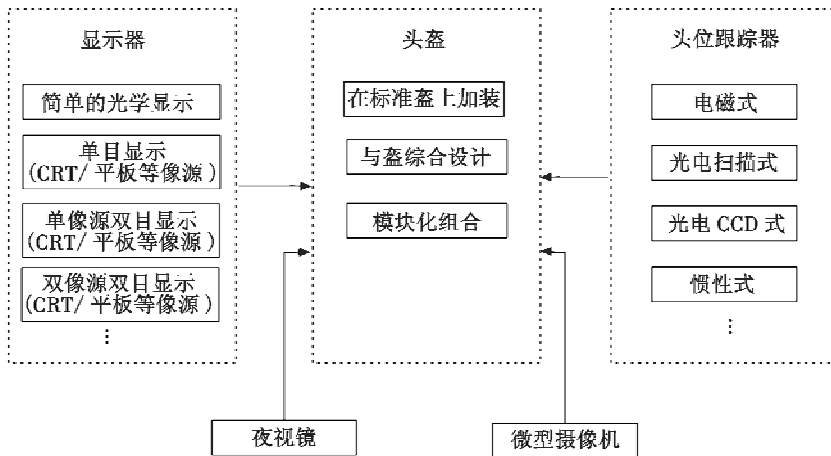


图1 头盔瞄准显示系统组合框图

Fig.1 Composition of HMSDS

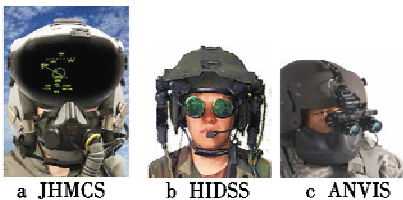


图2 头盔瞄准显示系统实物

Fig.2 Typical HMSDSs

### 1.3 特点分析

从任务特点看, HMSDS 与飞行员之间紧密耦合, 例如, HMSDS 把人的视线引入火力控制系统, 实际上是把受人脑控制的眼睛作为“智能探测器”引进火控回路, 实现飞行员视线对着哪儿, 传感器和武器就瞄准哪儿, 使其具有快速自适应搜索、识别和跟踪能力。

从结构特点看, HMSDS 直接佩戴在飞行员头部, 对飞行员会有直接的作用力, 在飞机做大机动动作或弹射救生时作用力更大。

## 2 HMSDS 的优势和存在的人机工效问题

### 2.1 HMSDS 的优势

从功能和任务来看, HMSDS 有平视显示器不可比拟的优势。F-35 是使用 HMSDS 的重要实例, 成为近 50 年来首架不使用平视显示器飞行的战斗机。F-35 上称其为头盔显示系统(HMDS), 能将飞行符号和目标符号叠加到护目镜上, 佩戴者还能

用操纵杆和油门杆操作, 清理画面、对目标进行变焦处理。HMDS 能显示光电分布式孔径系统(EODAS)和来自其他传感器的复合符号。它能提供全方位的态势感知, 使驾驶员能够通过远程孔径“透过”飞机进行观察<sup>[4]</sup>。此外, 当与大离轴角传感器和武器一起使用时, 可以实现看见-锁定-发射、全视界增强视觉、合成地形显示等。

历史经验表明, 考虑到已使用的几种有限 HMSDS 所具有的上述优点, 其硬件的发展最终会使未来最先进的军用战术飞机(固定翼、旋翼、升力可变飞行器等)彻底选择 HMSDS<sup>[5]</sup>。

### 2.2 存在的人机工效问题

HMSDS 已得到成功的应用, 但在人机工效设计上一直存在着亟待解决的问题。人们对 HMSDS 带来的性能上的提升通常有不切实际的乐观。HMSDS 确实能在多种任务上增强飞机性能, 但是, 经过多年硬件的发展, 为什么 HMSDS 没有大规模地进行作战部署? 一个很简单的答案是: 硬件的发展还没成熟到足以使 HMSDS 带来的性能上的好处超出其设计上的难题所带来的问题<sup>[6]</sup>。

已有不少报道指出, 飞行员在飞行或飞行模拟训练时经常感到不舒服, 出现眼睛发胀、头晕、恶心等症状。据美国《外交政策》网站报道, F-

35 头盔无法正常工作。现象是面罩的“符号系统”难以辨认, 数据的显示持续延迟, 以及无法正确显示夜视数据等。报告称, 这些缺陷可能导致头盔无法完全满足战斗机的要求, 还会给飞行员带来难以处理的工作负荷, 并且可能对 F-35 的飞行环境有所限制。其主要原因之一就是头盔瞄准显示系统的动态性能差, 人机工效设计方面有问题<sup>[7]</sup>。

美国陆军航空医学实验室对阿帕奇(AH-64)直升机驾驶员使用的综合头盔显示瞄准系统(IHADSS)飞行后的健康问题进行了研究。结果如表 1 所示<sup>[8]</sup>。

表 1 使用 IHADSS 的 58 名阿帕奇驾驶员的不满总结表

Table 1 Complaint summary from 58 Apache air pilots reported when using IHADSS

不满内容	飞行中			飞行后		
	从来没有	有时有	一直有	从来没有	有时有	一直有
视觉不舒服	49%	51%	—	70%	28%	2%
头疼	65%	35%	—	67%	32%	2%
复视	86%	12%	2%	89%	9%	2%
视觉模糊	79%	21%	—	72%	24%	3%
迷失方向	81%	19%	—	95%	5%	—
余像	NA	NA	NA	79%	19%	2%

HMSDS 没有达到预期的目标, 让使用者们大失所望。不能仅仅从光学、电气和机械工程师的视角去寻求解决问题的方法, 还应该从人机工效的角度来研究: 如何才能生产出实用而舒适的 HMSDS?

## 3 基于 HMSDS 的人机交互模型

人机工效学研究人机交互系统, 就是要搞清楚人机的相互作用, 建立科学、合理的人机交互关系, 进行有效的信息交换, 从而达到人、机、环境的最佳配置。

人对外界信息作用的反应, 通常需要经过感觉、知觉、记忆、决策、反应选择和反应执行等环节, 这些环节组成一个完整的信息加工系

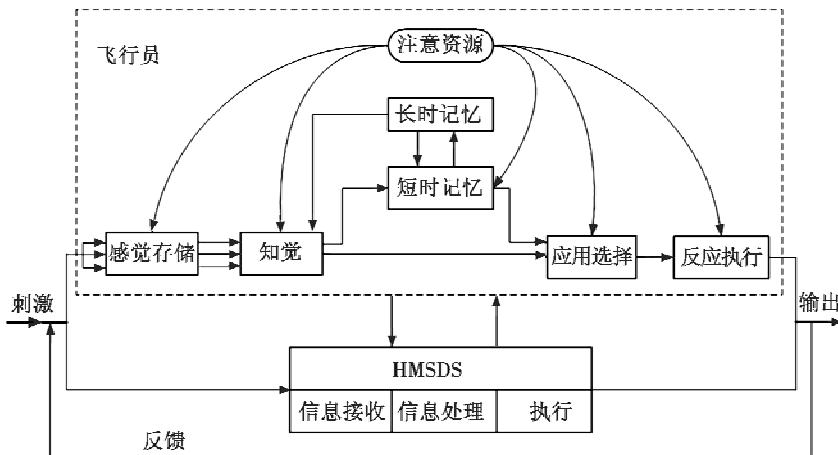


图3 基于 HMSDS 的人机交互模型

Fig.3 Man-machine interaction model based on HMSDS

统。这个过程被著名数学心理学家 Wickens 建立了一个信息处理模型，飞行员的认知反应过程也符合 Wickens 模型。在 Wickens 模型的基础上，建立的基于 HMSDS 的人机交互模型如图 3 所示。

以“瞄准跟踪目标”这一作业任务为例，对该模型进行解释。

**感觉存储：**如果一敌方目标被飞行员目视发现或收到飞机告警信息，飞行员受到外界刺激，那么飞行员综合利用感觉和听觉感官对外界信息进行接收和存储。

**知觉：**就是对感官接收到的信息进行识别，对声音或图像进行编码的存储和检索（短时记忆），与长时记忆中存储的相关知识经验（如飞行员操作程序 POP）相关联，对粗糙的感觉材料加以解释或赋予意义。

**反应选择：**飞行员对各种备选方案进行优选，选取最优方案，如准备进行瞄准跟踪。

**反应执行：**在这里就是执行瞄准跟踪动作。

**注意资源：**指在信息加工处理的过程中需要消耗的注意力资源。

对于 HMSDS 来说，当有来自于告警系统、雷达、光电雷达或飞行员的瞄准动作等目标信息时，进行信息接收，然后进行目标的瞄准线计算、符号显示等信息处理，最后执行

各种显示动作并将瞄准线等信息输出到火控计算机。

在整个过程中，飞行员用头部带动 HMSDS 进行实时的瞄准线测量，飞行员通过 HMSDS 的瞄准符号进行瞄准；另一方面，HMSDS 实时给飞行员显示本机和目标信息，也始终将重力作用到飞行员的头上。这个过程循环往复进行。

#### 4 HMSDS 的人机工效设计关键因素

##### 4.1 生物力学问题

##### 4.1.1 头部穴位

根据中医穴位理论，刺激人体穴位可能健体治病，也可能伤害人体。头颈部的穴位有百余处，分布非常密集，其中最为关键的且因外部受力因素而导致飞行员作战力降低的主要穴位有九处，分别是百会穴、神庭、太阳穴、耳门穴、睛明穴、人中穴、哑门穴、风池穴和人迎穴。例如，百会穴被击中就会晕倒不省人事。HMSDS 的设计与头颈部的关键穴位有密切的联系，因此在设计时要充分考虑这 9 个穴位的受力情况。

##### 4.1.2 重量和重心

HMSDS 明显增加了头部支撑重量。重量的增加会对驾驶员产生一系列的影响，从疲劳、颈部紧张到严重甚至致命的伤害，或者造成颈部

和脊椎的长期损伤。同时，它使得驾驶员不得不调整颈部姿势，这会与正常的颈部位置有较大偏离。这种姿势偏离会增加头部和颈部肌肉、骨骼的压力。重心位置要求比重量更为严格。在没有过高加速度的情况下，头盔较重是可以承受的，但决不允许头盔不平衡。

美国陆军航空医学研究实验室 (USAARL) 建立了直升机环境下使用 HMSDS 的头部允许支撑重量范围和重心范围。采用枕骨作为原点，在 X-Z 平面上重心在空间上的极限见图 4。

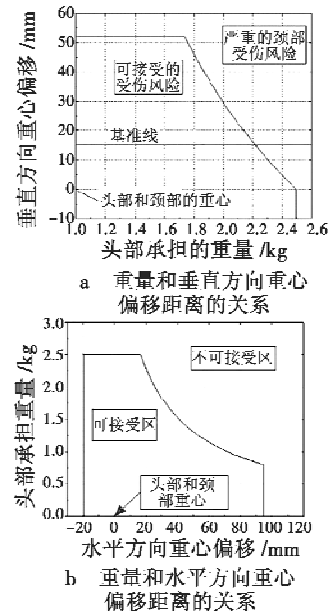


图4 头部可承担重量和重心偏移关系曲线

Fig.4 Allowable head-supported mass and center of gravity boundary

图 4a 显示头部能承担的重量同垂直方向重心偏移距离之间的关系，图 4b 显示能承担的重量同水平方向重心偏移距离之间的关系。

图 4a 左下角为可以接受的范围，可以看出，重心偏移越少，可承受的重量越大，最重可承受重量达 2.5 kg；而重心偏移为 50 mm 时，头部承担的重量最多为 1.6 ~ 1.8 kg。水平方向情况与此类似<sup>[6]</sup>。

在大机动的情况下，HMSDS 会影响佩戴者的姿势。为解决这个问

题,在不使用 HMSDS 的情况下,可以将 HMSDS 的屏幕/护目镜从脸前拨到旁边,当需要观察 HMSDS 显示器时再拨回来<sup>[6]</sup>。

#### 4.2 头盔拟合与适配问题

因为人体头部尺寸和瞳孔间距等有差异,必须考虑头盔的大小和驾驶员佩戴的舒适性。表 2 给出了不同性别的人体测量值。

表 2 人体头部特征非相关的单变量测量数据

Table 2 Univariate anthropometric data for key head features

关键的头部尺寸	cm			
	5%的女性	5%的女性	5%的男性	5%的男性
瞳孔间距	5.66	6.85	5.88	7.10
头部前后径(厚度)	17.63	19.75	18.53	20.85
头部左右径(宽度)	13.66	15.25	14.31	13.08
头围	52.25	57.05	54.27	59.35
头部上下径(长度)	10.21	12.09	10.89	12.77

数据显示人体测量数据范围很大,让所有人佩戴同一种型号的头盔是不切实际的,应该有一系列的不同大小的头盔,而且要进行头部的拟合。

先进头盔视觉系统(AHVS)就采用了能根据不同的任务选择头部佩戴方式的一个模块化的两部分头盔系统,外盔称作外部任务模块(OMM),内盔称作生命保障模块(LSM)。它能承受战斗机座椅弹射时俯仰和偏航角度的气流冲击,也能满足 MIL-STD-810/461/704 中规定的环境、电磁和能量条件要求<sup>[9]</sup>。

#### 4.3 光学/视觉感知问题

##### 4.3.1 视场和眼距

人类视觉系统的视场大致是椭圆形,水平方向超过 200°,垂直方向超过 130°,中间 120°左右的区域为双目重叠区。在使用时大视场是非常关键的,但是,大视场往往要求有较大的光学系统,增加其尺寸和重量,所以,必须综合考虑。

光学眼距是最接近眼睛的光学元件到眼睛之间的距离,眼距是 HMSDS 设计中需要考虑的非常重要的一个参数。

##### 4.3.2 亮度和对比度

在环境光照度条件下对着外景时,显示器的亮度必须使图像有良好的可视性。图像的亮度取决于图像源亮度、光学系统的效率及组合玻璃的特性。由于要求 HMSDS 在最高的环境亮度条件下仍能使用,图像源的光亮度必须非常高。

HMSDS 的对比度是实际显示光亮度与外景光亮度的比率,也有定义为两相邻区域之间亮度的差别。图像信息主要是由能形成图案的对比度来传递的。

研究表明,多种新技术的应用有助于降低飞行员使用 HMD 的心理负荷。亮度自动调节技术减少了飞行员手动调整 HMSDS 亮度的次数,提高了符号的可读性<sup>[10]</sup>。

#### 4.4 HMSDS 符号设计问题

HMSDS 可以显示很多种类的信息,包括:高度、空速、姿态、火控、告警、地图、数据链信息等。画面上符号越多,势必导致画面越拥挤。不合适的画面和符号设计对飞行员的任务绩效会造成负面影响。

美国空军研究实验室(AFRL)经过多年的实验和试飞研究,得出了 HMSDS 本机状态显示符号一般设计准则,称作“非分布式飞行标准(NDFR)”,被用作开发 HMSDS 本机状态显示符号的基准。NDFR 的设计意图是改善 HMSDS 的信息使用效果,同时尽可能减少因增加不必要的符号带来的负面影响。

对符号系统是否合适的评价,就是对符号系统在实际应用中的效能评价。因此,评价的有效方法是将符号纳入综合性的任务中,分析符号在降低心理负荷、提高态势了解方面的效能。根据实验任务情景的不同,可将评价方法分为实验室

评价法、模拟飞行评价法和实际飞行评价法<sup>[11]</sup>。

## 5 结语

HMSDS 的人机功效设计还有很多问题需要考虑,例如:与弹射系统的兼容性;与座舱照明的兼容性;动态性能问题;同视、听、说功能的匹配性;强光干扰问题;头盔部件的易脱性;HMSDS 与平显、综显等的兼容性问题等等。随着人们对这些问题认识的逐渐深入,要求设计者转变观念,即从以前的以产品的功能性指标为中心,转变到以人为中心考虑。最佳的设计方案是在设计之初就通盘考虑技术和人机工效问题。

## 参考文献

- [1] KAWAI T, HÄKKINEN J, OSHINA K, et al. Psycho-physiological effects of head-mounted displays in ubiquitous use [C]//Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series, 2011, 7881:6.
- [2] 吴以武, 乔宗林, 李悲雁, 等. 军事飞行员心理健康状况调查[J]. 中国疗养医学, 2008, 17(11): 696-698.  
WU Y W, QIAO Z L, LI B Y, et al. Psychological health inventory for military pilots[J]. Chinese Journal of Convalescent Medicine, 2008, 17(11): 696-698.
- [3] ASARE C. Human performance issues with helmet mounted displays in rotary aircraft cockpits[DB/OL]. [2013-05-05]. [http://www.perceptionenhancement.com/docs/course/Case % 20 History % 202. pdf](http://www.perceptionenhancement.com/docs/course/Case%20History%202012.pdf).
- [4] FRANK COLUCCI. Such a capable helmet[J]. Avionics Magazine, 2010(7): 20-23.
- [5] GEISELMAN E E, HAVIG P R. Rise of the HMD: The need to review our human factors guidelines [C]//Proceedings of SPIE, 2011: 804102-1-

- 804102-11.
- [6] SHANNON S G, MASON K T. US Army aviation life support equipment retrieval program; Head and neck injury among night vision goggle users in rotary-wing mishaps[R]. US Army Aeromedical Research Laboratory Fort Rucker, AL, 1997;98-02.
- [7] 王永生. 机载头盔瞄准显示系统动态性能研究[J]. 电光与控制, 2013, 20(8):1-4.
- WANG Y S. On dynamic performance of airborne helmet-mounted display and sight system[J]. Electronics Op-tics & Control, 2013, 20(8):1-4.
- [8] KURTIS KELLER, D'NARDO COLUCCI. Perception in HMDs: What is it in Head Mounted Displays (HMDs) that really make them all so terrible? [C]//Helmet- and Head- Mounted Displays III, 1998:46-53.
- [9] ASHCRAFT T W, ATAC R. Advanced helmet vision system (AHVS) integrated night vision helmet mounted display(HMD) [C]//Proceedings of SPIE, 2012:838304-1-838304-10.
- [10] HAVIG P R. Luminance contrast and color recognition in Helmet-Mounted-Displays [C]//Proceeding of SPIE, Helmet- and head-mounted displays VI. Orlando: USA, 2001:198-204.
- [11] 傅亚强, 许百华. 机载头盔显示器符号系统评价的原则与方法综述[J]. 航天医学与医学工程, 2013, 26(5):415-419.
- FU Y Q, XU B H. Review of principles and evaluation methodologies for cockpit helmet-mounted displays symbology [J]. Space Medicine & Medical Engineering, 2013, 26(5):415-419.

**Abstract:** The helmet-mounted sight/display system (HMSDS) is a typical man-machine interaction system that has significant advantages in utilization. Since the HMSDS is a complex head-borne vision equipment, it may make the users feel uncomfortable or even cause danger to them if it is not designed properly. In this paper, the operational tasks of HMSDS are analyzed, the existed problems of human/system performance are pointed out, and a man-machine interaction model is proposed. The methods for man/machine performance design and key factors that should be taken into consideration are presented in the end.

**Key words:** helmet-mouted display; helmet-mounted sight; man/machine system; human engineering

## 下 期 要 目

平视显示器字符亮度与线宽研究

平视显示器在民用飞机上的应用研究

带有可信度的红外弱小点目标关联检测及性能分析

基于蚁群算法的飞行器管理系统任务调度

基于 Q 学习的双机协同探测路径规划方法

基于优化的多机协同目标被动跟踪与控制方法

基于卡尔曼滤波和 D\* 算法的动态目标航路规划

采用病毒粒子群优化算法的飞行器航迹规划

一种相控阵雷达新型搜索波形研究

用梯度相似度的激光干扰图像评估

基于 RHC-PSO 的双机协同探测跟踪行为决策

基于用户驱动的网络中心战指挥控制系统研究

虚拟参考反馈校正时变控制的规范设计

LFM 脉冲压缩雷达的随机移频多假目标干扰技术研究



请扫描二维码  
关注我刊

