

头盔显示器的关键技术及有关设计问题综述

陆南燕

(中国航空工业洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471009)

摘要: 头盔显示器可以提高驾驶员的态势感知能力。红外传感器提供的信息, 使驾驶员的态势感知能力大大加强。头盔显示器提供的红外图像, 使恶劣的天气和黑夜不再成为驾驶员作战的障碍。概述了头盔显示器的发展过程和关键技术, 介绍了当前空军用头盔显示器的技术问题、解决方法、设计示例。

关键词: 头盔瞄准具; 头盔显示器; 设计; 准则

中图分类号: TN2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-2276(2002)03-0237-07

Review on critical technologies and design-related problems of HMD

LU Nan-yan

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

Abstract: Helmet-mounted display (HMD) is of great help to pilots of fighter. With the information supplied by IR sensor, the situation awareness of pilots can be increased greatly. Adverse weather and night will no longer be obstacles to air combat with the IR image supplied by HMD. The history and critical technologies of HMD are described. Current problems of military HMD and corresponding solutions are given. Design-related problems are also discussed.

Key words: Helmet-mounted sight (HMS); Helmet-mounted display (HMD); Design; Criteria

1 引言

头盔显示器能把作战所需信息直接呈现在驾驶员眼前, 驾驶员不需低头看仪表或抬头看平显, 无论

他朝哪个方向看, 都会随时获得重要的作战信息, 并了解自己所在位置。红外传感器提供的信息, 使驾驶员的态势感知能力大大加强。这样可使飞机具备全天候作战能力。

收稿日期: 2001-07-01; 修订日期: 2001-12-06

作者简介: 陆南燕(1957-), 女, 上海市人, 研究员, 主要从事计算机应用与管理及电光领域的发展方面的研究。

2 头盔显示器中的关键问题

2.1 质量和人机界面

1966年美国陆军航空医学院实验室得出结论：“1.57 kg是在不危害解剖学、生理学或功能适宜性的情况下，人的头部能承受的最大质量。”降低头盔的质量需采用小而轻的图像源，减小作用在颈部的扭矩要考虑头盔的平衡，降低头盔的质心。

人机界面应选择最优的显示字符和光栅图像，以使驾驶员既能注意外部情况也能注意头盔上的显示。人机界面的研究迄今做得还远远不够。

2.2 图像源和头部跟踪器

(1) 图像源

目前战斗机使用的头盔显示器都采用亮度和清晰度较高的单色阴极射线管(CRT)作为图像源，虽体积大、易碎，但技术成熟，仍是目前首选的显示器。因CRT较重，又有高压连接，不太令人满意，然而在短期只能用CRT式头盔显示器。

电致发光显示(ELD)器件是由电致发光玻璃基板及驱动与控制电路板两部分组成。电致发光显示具有视角宽、使用寿命长、坚固耐用、图像清晰的优点，这正是军用头盔显示器(HMD)所需要的性能。

美国先进视觉电子系统(AVS)计划正在研制的头盔显示器采用有源矩阵电致发光显示器，称为小型平板头盔显示器。这种头盔显示器最终可能成为RAH-66、AH-64或OH-58D武装直升机的候选设备。

(2) 头部跟踪器

为了指示导弹导引头和雷达捕获目标，必须为头盔显示/瞄准系统配备精确的头部跟踪器。头部位置通常采用红外、电磁和光学传感器跟踪，最常用的是电磁跟踪器。目前头部跟踪器的头部位置测量精度为 $0.1\sim 0.6^\circ$ 。

未来的头盔显示器将采用眼指向系统(EPS)来代替头部跟踪器。EPS将增大头部的跟踪范围，而且人眼还可对外部的振动提供天然的阻尼。

2.3 快速断开连接器

为了驾驶员在弹射跳伞时安全，头盔显示器都采用同飞机上的设备相连的快速断开连接器。为了在带高压情况下，能迅速安全地断开连接，可采用两种

方法：(1)不将电弧暴露在易发生爆炸的环境中，使达到13.5 kV的高压插针在一个密封的装置中断开；(2)在断开前采用迅速放电的消弧组件，将头盔显示器中存储的能量迅速、安全地放掉，以免产生跳火，它只需要 $50\ \mu\text{s}$ 完全的持续放电，就可将15 kV的电压降到30V以下。

3 设计中存在的问题及解决方法

为保证头盔显示器研制成功，应将用户要求作为核心因素考虑，同时还要考虑约束因素、可承受性及目标等因素。头盔必须保持其基本的保护功能(冲击、碰撞、面部、眼睛和耳朵保护)及系统在耐久性、可靠性、可维护性和训练等方面的支持。除了这些核心要求外，不管最终用户特定要求是什么，头盔显示器都必须考虑如下因素：即舒适性(如质量、平衡、眼睛紧张程度等)；安全性(如电气性能、耐久性、快速松脱、眼睛保护等)；使用方便性(如信息的操作和控制，工作动作的协调性)；可用性及兼容性(如与通讯设施、面罩、电缆、观测窗的接口)。这5个方面可能成为任何专用头盔显示器设计的主要难题。

3.1 头盔显示器的特定要求

尽管头盔显示器的要求多是相同的，但每一种应用又都包含一系列特定的要求。下面给出头盔显示器在航空方面应用的功能要求、物理要求、视觉和环境要求。

(1) 功能要求

固定翼飞机：显示武器瞄准符号(武器状态、标识符、飞行数据)。

旋翼机：显示机载传感器视频(如前视红外)飞行数据和瞄准信息。

(2) 物理要求

固定翼飞机：在飞机高速飞行或大过载飞机机动期间弹射时很关键的质量和质心要求；能与头部跟踪器兼容；在高动态飞机机动期间保持稳定的光学平台。

旋翼机：机载动态环境下合适的质量、质心；能与头部跟踪器兼容；在旋翼机机动飞行期间保持稳定的光学平台；与化学和其他面罩兼容。

(3) 视觉要求

固定翼飞机：透视型观测，具有护目镜保护光学

装置(单目);视场: $-20\sim 30^\circ$;背景较亮;显示内容:图像与符号。

旋翼机:透视型观测;视场: $>50^\circ$;亮背景;显示内容:图形与高分辨率图像。

(4) 环境要求

固定翼飞机:能快速断开,以保证在高速飞行中应急出舱;头盔的航空动力学外形能在弹射时最大程度减少应力;所设计的连接器/电缆可以在爆炸性气体中使用;激光保护护目镜。

旋翼机:能快速断开,以保证应急出舱;连接器/电缆可用于爆炸性气体设计;激光保护护目镜。

3.2 当前头盔显示器的设计问题

头盔显示器主要的设计问题是当前研制中应注意的。

固定翼飞机驾驶员头盔显示器要求与问题:

(1) 功能要求

显示武器瞄准符号(武器状态、提示符、飞行数据)。

空空作战时的高亮度背景(如很亮的白云及附近的直射太阳光等)在综合头盔显示器配置中需要护目镜投影光学元件,目前使用小型 CRT 作为图像源,待其他显示技术发展成熟时取代 CRT。

(2) 物理要求

飞机高速和大过载机动期间对弹射很关键的质量和质心要求;与头部跟踪器兼容;在动作较大的飞机机动中能保持光学平台稳定;与氧气罩和化学面罩兼容。

重点在于综合头盔的结构和外壳,以便能承受风吹并保证飞机高速飞行时的弹射安全性。此外,在大过载应用环境中,还必须满足头部负担质量最轻和质心适当。

大多数固定翼飞机除需一个头盔显示器之外,还必须具备一个头部跟踪器,以跟踪武器导引头或其他传感器。由于座舱所限,驾驶员头部移动空间很小,而且由于抵制风吹的要求,必须最大程度地减少头盔上的突出物(如头部安装装置等)。

(3) 视觉要求

用护目镜投影光学部件(单目)进行透视式观测;视场: $-20\sim 30^\circ$;亮背景;显示内容:图形与符号。

目前固定翼飞机的环境决定了要使用护目镜投影光学系统进行单目观察。主要问题是要选择能在

亮背景下提供令人满意的透视观测效果的方法(透射水平要高,光谱质量也要好),同时还要在这些背景上保持足够的显示对比度。

在这些应用中,显示持续性可能会成为一个问题,因为显示符号总随快速机动飞行的飞机在不断地变化。通常,持续较长的显示技术都需要较高的亮度水平。

为在快速变化的背景亮度下保持适当的符号对比度,需要有一个显示器亮度水平的控制器。这就对具有快速动态响应的自动化亮度控制器提出了要求。

(4) 环境要求

高速紧急出舱时保证快速断开;头盔的空气动力学外形能在高速弹射时最大程度减小应力;所设计连接器/电缆能用于爆炸性气体;具有激光保护护目镜。

对于包含头盔显示器和/或头部跟踪器的综合头盔,固定翼飞机驾驶员需要非常坚固的快速松脱连接器/电缆配置。为最大限度地减少用户限制、质量,提高可靠性,并仍能在高速弹射时保证驾驶员安全提供快速松脱性能,这一要求是很大的难题。

在高速应急弹射中,头盔的空气动力学特性对驾驶员的安全很关键,必须特别注意头盔的形状和轮廓,以减少因头盔空气动力学参数不当形成的应力造成脖颈受伤的危险。

旋翼机驾驶员头盔显示器要求与问题:

(1) 功能要求

显示机载传感器视频(如前视红外)飞行数据和瞄准信息。

头盔显示器的趋势是从小型 CRT 向小型平板图像源、小型扫描图像源等发展。由于当前所能得到的这类图像源的分辨率比一些机载传感器(如 FLIR)的分辨率低,可能只有在研制出高分辨率的图像源之后,才能将其用于头盔显示器上。

(2) 物理要求

符合机载动态特性的适当的质量、质心;可与头部跟踪器兼容;旋翼机机动飞行时光学平台能保持稳定;能与化学面罩及其他面罩兼容。

在所有的头盔显示器应用中都将减轻头部承载质量放在第一位。在本应用中,鉴于旋翼机的动态特性(震动、加速等),这一要求显得尤为重要。此外,大多数旋翼机应用中还需要一个头部跟踪器,以跟踪武器、摄像机或 FLIR 传感器。另外,夜视装置(如图像

增强器)也可以装在头上(可拆卸模块,但需要适当的安装硬件)。

有些旋翼机很小,供驾驶员头部移动的空间很小,妨碍了头部安装装置的使用,头盔显示器也不例外,因为这些突出物与座舱结构易产生冲突。

(3) 视觉要求

透视观测视场 $>50^\circ$;亮背景;显示内容:图形和高分辨率图像。

为了在亮背景下实现满意的透视观测,要求保证有足够的图像源亮度,而且头盔显示器的光学透射率要最高,这就能保证用户在亮背景下观察的图像和/或符号有足够的对比度。难点在于保持图像源功耗(为了得到高亮度)同预期背景下的高显示对比度之间的平衡。

头盔显示器的大视场与显示分辨率有直接关系。使用当前所能得到的小型图像源,很难既得到所需要的分辨率,又达到理想的宽视场。

(4) 环境要求

应急出舱时能快速松脱;所设计的连接器、电缆适用于爆炸性气体;有激光保护护目镜。

头盔显示器或其他任何头部安装的装置,必须使用特定类型的电缆用作电气连接(假定由于头部安装装置的动力需求,无法使用无线接口)。

要实现最大程度地减少用户约束、质量、同时考虑到安全因素而具备快速松脱特性,电缆连接法又是一个难题。

3.3 头盔显示器设计技术

Honeywell的几个计划正着手研究上述总结出来的问题,是头盔显示器研究过程中考虑的重要因素。可以将问题归纳为头盔显示器系统设计的5个方面。

3.3.1 图像源的高亮度显示

亮度足够高的图像源是保证在高亮度背景下能够工作的关键性能,在使用透视或显示器配置时尤其如此。大多数头盔显示器都是使用新的小型显示器技术,而不再用小型CRT显示器。目前,许多研究机构正在研究为数众多的图像源技术,其中有些技术有望满足高亮度要求。这些技术可分为4个图像源类型:发射型、透射型、反射型和扫描技术。

固定翼飞机和旋翼机需要在亮度值很高的背景下工作(如白云、白雪等),主要使用透视型显示器。

除此之外,还正在研究高效率透视式光学原理。

3.3.2 宽视场、透视显示器

某些头盔显示器应用条件的要求明显相互矛盾,需要在各种要求之间进行平衡或折衷。比如,人们希望头盔显示器视场相对大一些,同时要求显示分辨率要高。很明显,大视场需要很多图像源像素,以维持所显示视频图像或图形符号的一定水平的分辨率。因而可能需要像素特别多的图像源,要么无法实现,要么会因像素太多不适于用在头盔系统。另外一个例子是:既需要高显示亮度又需要透视式光学元件。这种情况下,头盔显示器可能需要亮度很高的图像源和/或结构很复杂、效率特别高的光学系统,因而会导致质量和体积过大。然而对其中有些技术而言,功耗过大有可能影响它们在头盔系统的应用。

3.3.3 质量轻,外形紧凑

所有头部安装系统结构要求质量尽可能轻、外形紧凑,凸出物为最少、机械结构必须坚固、适用于苛刻的应用环境。过去几年中,旨在减轻头盔显示器质量的3个研究领域现已综合于头盔显示器系统中,光学设计技术现在已足够成熟,其中包括:衍射光学元件、非球面、压模非玻璃元件。所有这些现已用于系统中,减少了传统的反射或折射类光学元件的数量,且减小了尺寸,从而使组件的质量和体积减小。现在有一些新型的结构材料,密度小得多,做出来的头盔显示器比传统的结构材料或金属材料质量轻得多。

3.3.4 有效的控制,实用的接口

由于头盔显示器都用于人所携带的系统中,对显示器及相关系统的控制成为一大难题。这样就需要一些用于头盔显示器系统控制的新方法。有几种技术其中包括声音控制、显示亮度自动控制及头部移动感觉与控制。另一个正在研究的是头盔显示器系统的电气接口问题。在典型的结构中,这些图像源会需要数量多得多的电气连接装置(亦即大量的电缆和连接器),用于图像处理电子装置和头盔之间的连接。随着分辨率越来越高的显示器的出现,电气/机械接口已成为头盔显示器研制中日益突出的问题。

3.3.5 系统低功耗

大多数头盔显示器应用中低功耗是很重要的。

(1) 对于便携系统低功耗最大程度地延长电池工作时间; (2) 必须实现头部安装部件的最低功耗, 从而使必要的图像源散热结构不增加头部支持质量。以下新的特点保证了头盔显示器系统的最低功耗: 高亮度高效图像源; 使用功率很低的微型控制器的系统结构; 利用脉冲切换调至磁电路动态性能的功率转换。这些技术成功地应用于便携系统中, 最大程度地延长了电池更换(或电池充电)间隔时间。

4 头盔显示系统设计示例

美国 VSI 公司从事头盔显示器工作已有十几年, 在此领域中处于领先地位。本节介绍的是由 VSI 总结的头盔显示器部分设计参数与考虑因素。典型的航空头盔显示器是在右眼(单眼)处提供笔划图像, 其性能参数为:

- 质量: 1.18~2.03kg;
- 视场: 15~25°;
- 出射光瞳: 15~18mm, 圆形;
- 质心: 距枕骨骨节(O. C.) 50.8~55.9mm;
- 对比度: 峰值亮度时 > 1.2。

最主要的一些参数如下面所示(只对质心和显示性能进行详细说明), 其参数与潜在折衷因素为:

- 显示性能: 出射光瞳、视场、线宽、透射率;
- 质量/体积: 功能度、护目镜选择;
- 系统综合: 跟踪器、EMIC、救生设备、夜视系统;
- 质心: 综合型头盔、模块型头盔。

4.1 显示性能

(1) 出射光瞳

出射光瞳如图 1 所示。用户总是要求光束尽可能大, 主要是考虑在大过载机动时, 若头盔转动量过大或出射光瞳过小有可能导致图像丢失。但出射光瞳每增加 1mm, 光学部件的增加都会导致头盔显示器的质量和体积急剧增加。目前, 大多数设计认定 18mm 左右的出射光瞳是头盔显示器设计的最佳值。

(2) 视场

大视场能提高驾驶员的态势感知能力。一般将 20° 作为最佳视场, 大于 20° 时, 光学部件的质量将随视场的增加快速增加。

(3) 透射能力

透射能力与质量和质心无关。设计目标是在亮

背景下保持 1.2 的对比度的情况下, 达到最高的透射率。确定对比度的公式为:

$$\text{对比度} = (L_s + t L_b) / (t L_b)$$

式中 L_s ——使用者所看到的亮度;
 t ——护目镜的透射率;
 L_b ——背景亮度。

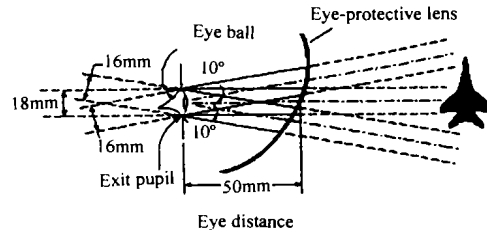


图 1 出射光瞳

Fig. 1 Exit pupil

要达到这一对比度, 护目镜上需要有反射涂层, 而任何反射涂层都会影响透射性。另外还要考虑幻像(指从护目镜前表面反射的二次成像)要求, 这一要求通常是低于 2%。图像亮度、透射能力和幻像要求三者之间严重冲突(如图 2 所示), 目前尚无最佳解决方案。

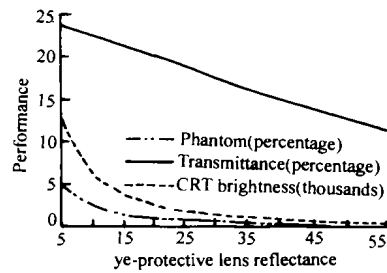


图 2 CRT 折衷因素

Fig. 2 Compromise factor of CRT

4.2 质心

全新设计的头盔能提供最佳的质量和质心, 但风险和费用太高。常利用现有在役的头盔进行模块化设计, 如联合头盔指示系统就是利用 HGU-55P 轻型头盔作为平台的。通常, 头盔显示器只占头部承受总质量的 9%, 在头盔后部加重可以将质心调到最佳位置。但是, 若将头盔显示器去掉, 对头部承重的质心影响只有 2.54mm。美国空军和海军对航空头盔质

心极限制了要求范围,模块化方法完全符合这一范围的要求。

5 联合头盔指示系统

美国的联合头盔指示系统(JHMCS)考虑了上述各因素,可供驾驶员观察、锁定、发射空-空导弹并可供多种平台使用,其大致情况如下。

5.1 联合头盔指示系统的结构

联合头盔指示系统的结构由电子设备单元(EU)、座舱单元(CU)、磁发射单元(MTU)、头盔显示单元(HDU)、头盔飞行器接口(HVI)、座椅位置传感器(PS)、控制板(CP)组成,如图5所示。

(1) 电子设备单元提供与飞机间的 MIL-STD-1553B 通讯,提供动力和模拟离散接口,完成视线计算、图形处理/产生,视频切换/产生等。电子设备单元可同时驱动飞机平台的两个头盔显示器。该单元的软件操作飞行程序与以上四种飞机兼容,而且很容易修改,供其他平台使用,其尺寸为 $5.3'' \times 7'' \times 9''$,很容易安装到现有飞机上。

(2) 座舱单元中装有高压电源,用以产生阴极射线管显示器所需要的高压。可以从电子设备单元对座舱单元进行编程,以使 CRT 性能最佳。

(3) 磁发射单元包含 3 个相互垂直缠绕的线圈,分别代表系统的“基准”X、Y 和 Z 轴。磁发射单元在座舱中产生 3 个正交的交流电磁场,安装在头盔显示单元的磁接收单元可探测到这些磁场。信号经放大、数字化之后发送给电子设备单元,并由电子设备单元将结果信号与基准信号比较之后计算驾驶员的视线。

(4) 头盔显示单元安装在轻型 HGU-55A 头盔壳体上,上面装有通用连接器,从壳体上取下时很方便。此单元由 CRT、光学部件、磁接收单元(MRU)、CCD 摄像机、自动亮度控制传感器和头盔/飞行器接口连接器(上端)组成,而且还提供护目镜组件,作为向驾驶员显示符号的最终光学元件。显示内容置于驾驶员右眼处。

(5) 头盔飞行器接口提供了 EU/CU 和 HMD 之间的电气接口,并由一系列连接器和电缆组成,保证了各种操作和安全性能。

(6) 座椅位置传感器是安装在座椅上的线型电

位计,其输出同座椅位置成比例。

(7) 控制面板上有开/关键,显示亮度控制器等。

5.2 安全性

头盔安全性的首要考虑因素是弹射兼容性,其次是潜在的危险的高压信号。JHMCSk 考虑了人员的安全。

5.2.1 头盔质量与质心

头盔质量与质心是使用安全性的关键因素,对他们有严格的要求。联合头盔指示系统包括头盔和头盔显示单元在内的头部承受总质量不超过 1.8 kg。在 XZ 平面上,质心距枕骨骨节不超过 2.2",符合一般的头盔显示器要求。

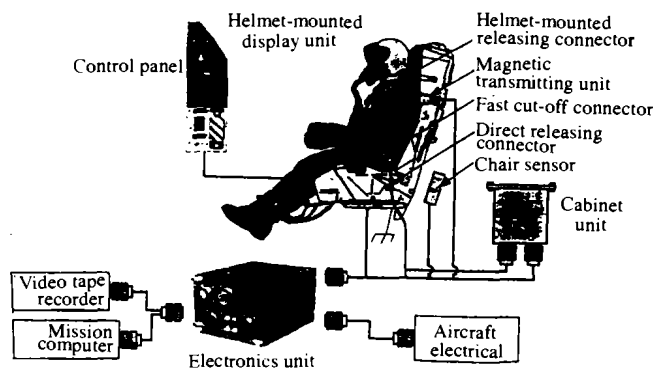


图3 JHMCS结构框图

Fig. 3 Structure diagram of JHMCS

5.2.2 头盔飞行器接口

HVI 提供了驾驶员头盔和飞机之间的电器接口。在这些子部件中增加了特殊的安全特点,形成故障安全型系统。JHMCS 有上下两套 HVI。上部 HVI 是驾驶员承担的一部分,下部 HVI 在飞机中是飞机布线的一部分。

(1) 通用连接器

通用连接器的使用使人们可在任何时间拆除头盔显示单元。通过通用连接器还可以将不同结构的头盔显示器或其他装置(如夜视镜)装到头盔系统中。当系统探测出插针断开时,通用连接器中的“短插针”安全装置就命令关闭高压电源。

(2) 头盔释放连接器

若在弹射过程中头盔丢失,头盔释放连接器能提供一个“断开点”,使头盔完全脱离驾驶员的头部,不会再将头盔拉向驾驶员(若这样,有可能击中驾驶员

头部)。在头盔释放连接器中也使用了通用连接器中的“短插针”安全原理。

(3) 快速断开装置

快速断开装置(QDC)提供了驾驶员和飞机间的主要日常接口,它也是主要的弹射和紧急出口连接器。为此,快速断开装置的设计中包含了额外的安全特点。除了“短插针”安全特性外,快速断开装置上还有一个霍尔效应开关,若快速断开装置没有正确装入其安装支架,该开关会发给电子设备单元一个离散信号通知操作人员。快速断开装置安装在驾驶员左臀附近身体的吊带上,能防止弹射时的分离物砸向驾驶员头/颈部。快速断开装置的下半部分有一个绳索机构,在弹射座椅开始沿轨道滑动或驾驶员起身启动紧急出口时,可将快速断开装置分离。

(4) 直接释放连接器

直接释放连接器(IRC)是一种备用断开装置,如果在弹射和/或紧急地面出机时 QDC 没能断开,就需要使用 IRC。IRC 和 HRC 结构相同,唯一不同之处在于 IRC 的绳索连在飞机上,而 HRC 没有绳索相连。

(5) 维护断开装置

由于直接释放连接器、快速断开装置和头盔释放连接器所具有的安全特性,因而不允许在机上对这些连接器装进行维修。为了方便维护,系统中增加了一个额外的连接器,使用该连接器和座舱单元连接器,就可进行下半部分头盔飞行器接口的拆卸/更换维护工作。

5.3 联合头盔指示系统性能

JHMCS 是一种笔划式显示器,可在高亮度环境下使用。显示器技术规范:在 $3.4 \times 10^4 \text{cd/m}^2$ 的环境光线下,对比度为 1.2:1。头盔瞄准线精度 $\leq 6 \text{mrad rms}$ 。单色 CCD 摄像机用来记录外部视景。在电子部件内,显示符号叠加在外部视景上,复合的符号/视景图像作为视频信号输出,供记录用。

(1) 可靠性:JHMCS 设计效率为 99.8% 以上,任务成功概率 97.6% 以上,拆卸率低,允许二级维护。

(2) 可维护性:JHMCS 维修方便,费用低。寿命有限的部件,如 CRT 和护目镜,可以用一般工具在最短时间内完成更换。

(3) 内部测试:JHMCS 设计加入了扩展的内部测试能力,另外使用了容错分析。内部测试设计是满足效率和低拆卸率的有效手段。

(4) 通用性:JHMCS 具有可在四种目标飞机上使用的高度通用性。

6 结束语

未来战争中空中力量对比,尤其是空空格斗能力在现代战场上举足轻重。头盔显示系统在任何潜在的冲突中,会起到军力倍增的作用,因此,越来越受到关注,头盔显示器的装备已必不可少,在这种情况下,引进或借鉴国外的设计思路和方法,对该技术的研究将起一定的促进作用。

参考文献:

- [1] Ferrin F J. Current issues in helmet mounted display systems for military applications[A]. Proc of the SPIE, Helmet-and Head-Mounted Displays II [C]. 1998, 3362. 71-79.
- [2] Corbett P J. Joint helmet mounted cueing system aircraft integration[A]. Proc of the SPIE Helmet-and Head-Mounted Displays II [C]. 1998, 3362. 294-300.
- [3] Foote B. Design guideline for advanced air-to-air helmet-mounted-display systems[A]. Proc of the SPIE, Helmet-and Head-Mounted Displays II [C]. 1998, 3362. 94-102.
- [4] Newman R L. HMD: a standard and a design guide[A]. Proc of SPIE Helmet-and Head-Mounted Displays II [C]. 1998, 3362:103-109.
- [5] Assignee. Direct retinal scan display with planar imager[P]. United States patent. United States;5,369,415. 1994-11-29.
- [6] Assignee. Helmet mounted display with improved brightness [P]. United States patent;4,859,030. 1989-08-22.
- [7] 晓湖. 飞行员的第三只眼——神奇的头盔显示器[J]. 现代军事, 1999(4):54-56.
- [8] 孙滨生. 头盔显示器的发展[R]. 北京:航空信息中心,航空信息研究报告, HY96002, 1996.
- [9] 韩世杰. 军用航空电子系统的新发展(上)[J]. 航空电子技术, 1998(2):36-43.
- [10] 季旭东. 几种头盔显示器用的显示器件[J]. 光电技术, 1996, 37(4):41-46.