

现代军事电子技术丛书

先进的显示技术

崔 潮 等编

国防工业出版社

前 言

十多年来现代电子式平视显示器发展迅速，在高性能的军用作战飞机和其它飞机上得到了越来越广泛的应用。编写本书的目的在于通过介绍平视显示器的基本原理、构成和各主要部件的基本内容，力图使有兴趣的读者对平视显示器有所了解。

本书共分六章。除了在第四章中试图介绍一下衍射光学全息透镜和液晶显示等在平视显示中的应用外，其余各章都是以现今使用最广泛的阴极射线管折射光学平视显示器为主叙述的。平视显示器是作为人-机接口与飞机上的有关航空电子分系统联接的一种特殊形式的综合显示器。它在飞行包线的不同阶段，向驾驶员提供一般飞行、导航、攻击和着陆等相应的信息显示。在高性能战术飞机上使用平视显示器的主要目的，在于增强驾驶员捕获目标和发射武器的能力。因此，火控系统和平视显示器的关系更为密切。从历史上看，现代电子式平视显示器是机电式瞄准具演变的结果。譬如，所谓“平视显示器-武器瞄准计算机系统”实际上就是一台多功能电子瞄准具，其火控计算和显示控制是在同一计算机中实现的。可以认为，平视显示器是现代火控系统的一个重要组成部分。但是，这本小册子介绍的范围只限于平视显示器本身，不涉及火控理论、武器瞄准计算以及传感器、信息源等内容。

第三章§4、§5两节由陈西洪编写初稿，第四章§2节由周海宪编写初稿，其余均由崔潮编写并负责统一整理定稿。全文请吴修仁副总工程师、张滋烈副教授、张守璋、王振华、陈铭等同志审阅，在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和错误，热情期待读者指正。

编 者

目 录

第一章 概述	1
§ 1 引言	1
§ 2 平视显示器的发展过程	3
§ 3 基本战术技术要求	6
§ 4 工作原理和组成	10
第二章 驾驶员显示器 (PDU)	15
§ 1 概述	15
§ 2 阴极射线管 (CRT)	16
一、引言	16
二、CRT 的构造和基本特性	17
三、偏转灵敏度	19
四、偏转线圈	20
五、CRT 用的荧光粉	22
六、CRT 的亮度	23
七、CRT 的分辨力	26
§ 3 偏转放大器	27
一、偏转扫描方法	27
二、偏转放大器的特性	28
三、偏转放大器的基本构成	29
四、偏转放大器的负载	31
§ 4 高压电源	31
§ 5 Z 轴辉亮放大器	33
§ 6 折射式光学系统	35
一、光学系统的主要特性	36
二、瞬时视场	38
三、备用瞄准具	39
四、一种典型的折射式光学系统	40
§ 7 平视显示器的精度和非线性校正	42
一、平视显示器的精度	42
二、平视显示器非线性畸变产生的原因	42
三、非线性畸变的校正	44
第三章 电子装置	46
§ 1 概述	46
§ 2 电子装置的基本组成和工作原理	47

§ 3 符号发生器	50
一、引言	50
二、符号发生器的基本结构和方法	50
三、速率乘法器式符号发生器	52
四、数字积分器式符号发生器	54
五、符号的旋转	57
§ 4 中央处理机	58
一、运算器	58
二、程序存储器	60
三、数据存储器 和常数存储器	62
四、控制器	62
§ 5 输入接口	64
一、模拟输入	64
二、离散输入	65
三、数字输入	66
第四章 新技术在平视显示器中的应用	67
§ 1 问题的提出	67
一、引言	67
二、先进平视显示器的设计目标	67
三、折射式光学系统视场的分析	67
四、亮度对比度分析	69
§ 2 衍射光学平视显示器	70
一、全息照相	70
二、全息透镜的成象原理	73
三、全息透镜在平视显示器中的几种使用方式和效果	75
§ 3 液晶图象源	78
一、液晶的基本概念	78
二、液晶显示	80
三、液晶显示在平视显示中的应用	83
四、各种图象源器件的比较	87
第五章 符号与画面	88
§ 1 符号设计	88
§ 2 “画面”——符号在视场中的编排	89
第六章 平视显示器的应用	94
§ 1 平视显示器在现有飞机上的应用	94
§ 2 平视显示器在未来飞机上的应用的展望	96
附录: 英文缩写及中译名对照	99
参考文献	99

第一章 概 述

§ 1 引 言

什么是平视显示?为什么要在飞机上装备平视显示器呢?为了说明这个问题,让我们首先来了解一下航空瞄准具中的光学显示器。

图 1-1 中的瞄准具显示器由环板机构(灯泡、环板),光环偏转部分(陀螺镜),光学组件(反射镜、准直透镜)和一块组合镜组成。光环是一个瞄准用的菱形、圆形或十字线符号,光环在环板机构中产生以后,经过陀螺镜得到一个火控计算的角坐标,而后经反射镜和准直透镜到达组合镜。组合镜一方面能透过外界景物的光线,一方面又能反射从准直透镜投射过来的光环影象。光环是以平行光的形式进入飞行员的眼睛里的,或者说光环符号是被聚焦在无穷远处的,所以看上去似乎是叠加在真实目标上一样。

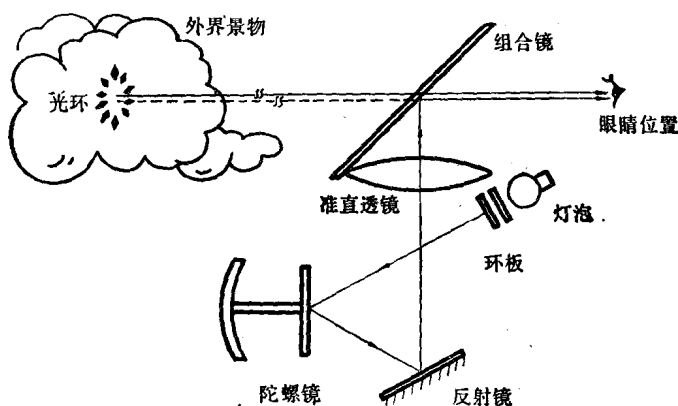


图1-1 瞄准具的显示方法

这样，飞行员在透过组合镜观察外界景物的同时，不必将眼睛重新调焦，就可以看到瞄准符号——光环了。在空对空机炮目视攻击时，飞行员尾追敌机，透过组合镜同时看到敌机和光环，根据光环和敌机的相对位置操纵本机，使得光环稳定地套住敌机，开炮，就可以命中目标了。

瞄准具的光环符号显示与一般直读仪表显示方式相比有两个重要的区别。其一是在观察光环符号的同时又可以看到真实目标和其它外景，其二是在观察真实目标和观察光环符号两者之间不产生眼睛的交替调焦。

象瞄准具光环的这种显示方式，就叫做平视显示。

所以说，所谓平视显示是一种特殊的显示方式。其基本特点是用组合镜来实现外界光线和准直符号光线的组合，从而能够在观察外界的同时就可得到必要的信息显示。根据平视显示原理制造的航空显示设备，叫做平视显示器，或平显器、平视仪。

最初，平视显示方式只是在瞄准具中运用。用环板产生的符号形状简单，数量很少。因此几十年来瞄准具所能显示的符号不外乎光环、目标距离、接近速度等为数很少的几种。飞行员在驾驶飞机执行任务时要经常低头观察下视场中的仪表板，了解仪表显示信息。在现代的高性能飞机上，飞行员必须观察外界情况和操纵飞机，不仅在攻击瞄准过程中不允许飞行员的视线离开目标，而且在起飞、着陆、低空飞行、复杂气象等许多情况下，也不能离开平视场中的目标去观察下视场中的座舱仪表。否则，就会顾此失彼。可是，座舱仪表上显示的许多信息如高度、空速、本机姿态、航向、升降速度等对飞行作战来说是很重要的，有时甚至是生死攸关的。显然，解决矛盾的办法只有一个，即采取平视显示的方式，象显示瞄准具的光环那样，把必要的信息以符号的形式综合显示到组合镜上去。困难的是，瞄准具的环板机构所能产生的符号太有限了，这就必须寻找新的符号产生技术来取代瞄准具中的环板机构，才能大幅度增加显示的信息量和灵活性。

同时，就瞄准具显示器本身而言，由于火控方式的不断发展，

也要求能显示出更复杂的武器瞄准符号。比如近年来发展起来的所谓 CCIL (连续计算命中线) 空对空攻击方式, 就要求显示一条形状位置不断变化的曲线——示迹线。环板机构显然是难以胜任的。采用阴极射线管等新型器件作为图象源替代环板机构, 加上数字计算机技术的发展, 就产生了现代的电子式平视显示器。这样就完满地解决了显示大量复杂信息的难题。

五十年代人们就曾用阴极射线管来产生各种符号。但由于技术上不成熟和元器件的原因, 仅仅只是停留在实验室阶段。到六十年代后期, 采用数字技术处理信息并产生符号的电子式平视显示器终于进入了实用阶段。这种平视显示设备不仅能显示比光学瞄准具丰富得多的火控信息, 而且还能以符号的形式显示起飞、导航、地形跟踪、着陆参数, 能显示飞机的高度、空速、升降速度、姿态、航向等等。因此, 虽然陀螺光学瞄准具也是一种平视显示器, 但人们通常所说的平视显示器或平视仪, 往往是专指这种能处理和显示大量信息的光电显示设备。

而后, 为适应一些轻型战斗飞机的需要, 平视显示器的电子组件除了符号发生之外, 又扩充了火控计算的功能, 产生了所谓“平视显示器-武器瞄准计算机系统”, 又称平视显示瞄准具或电子瞄准具。习惯上, 仍把这种平视显示加上武器瞄准计算的合成系统简称为平视显示器或平视仪。

§ 2 平视显示器的发展过程

本世纪初, 为了空战瞄准的需要, 在飞机上安装了一个带准星的瞄准环, 这大概是最早的准平视显示器了。随后, 又有人在飞机上装上了望远镜式的所谓《阿尔迪斯》瞄准具来减轻飞行员的瞄准负担。不过这种瞄准具的视场受到很大限制。

第二次世界大战初出现了视准反射式瞄准具, 这是一种名符其实的平视显示器了。这种瞄准具的外形与现代的平视显示器相差无几。随后出现的陀螺瞄准具以平视显示方式显示一个经过火控计算的瞄准光环和极少量的其它信息符号, 总视场达到 20°

左右。

一九五五年英国皇家航空研究院首先探讨用电子管和模拟式信息处理方法产生和显示了两种符号,为现代平视显示器迈开了第一步。此后,采用阴极射线管做图象源电子式平视显示器随着电子元器件和信息处理技术的发展而日新月异。有人曾根据陀螺瞄准具的原理用机电方法来产生符号,经多年努力终于能够产生不少各种颜色的符号。可是机电方法产生显示符号的灵活性和信息量毕竟比不上电子式平视显示器。

六十年代初期,英国皇家航空研究院用一种全电子化的平视显示器代替了机电式陀螺瞄准具。继之,A-7“海盗”攻击机上首先装备了平视显示器。它采用集成电路和数字信息处理技术,除空对空攻击和空对地攻击外还可用于导航、地形跟踪、着陆显示,并有备用瞄准环,以便主系统发生故障时应用。“猎兔鹰”飞机上也装备了这一类平视显示器。它在各种工作状态下分别接受来自攻击、导航、着陆等系统的信息数据加以处理形成符号波形。武器瞄准计算另由独立的火控计算机或中心计算机完成。

七十年代,对平视显示器的电子装置加以扩展,同时完成了武器瞄准的计算和控制符号的产生和显示,形成了所谓“平视显示器-武器瞄准计算机系统”一类的平视显示器。这种合成系统完全更新了旧的陀螺瞄准具,又称为电子瞄准具。目前,这是生产和使用最为广泛的一种平视显示设备。

上述平视显示器的演变过程,可以用图 1-2 来扼要地说明。

平视显示器发展的另一个方面,是把平视显示符号与来自微光电视或前视红外探测装置的全景影像叠加起来。在飞机驾驶员看来,这种人工影像与真实外景恰好重叠。在无法目视飞行时,飞行员前方呈现一个逼真的人工外景,象能见度很好的白天一样捕获目标实施攻击,使飞机增强二十四小时全天候攻击能力。这种“光栅式平视显示器”1976年就已经在英美等国进行了鉴定。

平视显示器通常使用的折射式光学系统限制了驾驶员的视场。因此反射式光学系统和头盔显示器受到了注意。而使用全息

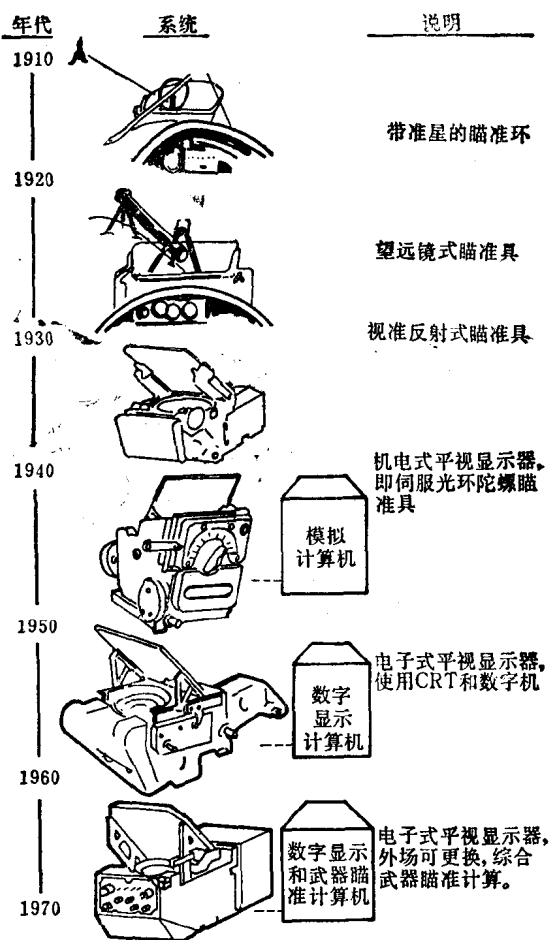


图1-2 平视显示器的发展过程

透镜的衍射光学系统能够得到比较理想的瞬时视场，并且提高了符号亮度，对显示器的寿命、可靠性等都带来不少益处。

显示图象源的阴极射线管技术成熟，使用广泛，但是亮度有限，功耗大，体积大，可靠性差等缺陷。人们正在寻求新的更理想的图象源器件。其中，有液晶显示器等。

平视显示器目前已成为航空电子系统的一个基本组成部分，

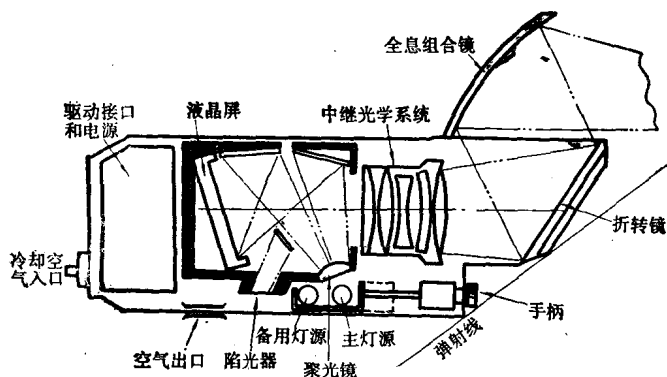


图1-3 液晶全息平视显示器

提高了飞机驾驶员捕获目标和发射武器的能力。为了适应八十年代先进飞机的需要，美欧各国都在致力于各种新技术在平视显示器中的应用研究。新型平视显示器正在不断涌现。

§3 基本战术技术要求

虽然，平视显示器虽可用在民航飞机上，但主要是用在攻击机、战斗机、轰炸机等战术飞机上。确定特定机种对平视显示器的战术技术要求是一项复杂的论证工作，下面仅就平视显示器最基本的几项要求简单介绍一下。

1. 显示信息的范围和内容

为了完成各种战术使命，战术飞机的基本动作可以分为四类：

例行动作，包括起飞，一般飞行，导航，着陆等；

低空动作，包括地形跟踪，地形回避，低空巡逻等；

空对空动作，包括空对空搜索，拦截，机炮攻击，导弹攻击等；

空对地动作，包括空对地搜索，截获，空地导弹攻击，机炮或火箭攻击，投放炸弹等。

这些动作要求显示的信息是很繁杂的。有本机姿态、飞行信

息飞行指令、起飞着陆指引、目标信息、瞄准攻击指示、导航信息、告警等等。显然，如此繁多的信息是没有必要同时显示的。一般说来，一台现代平视显示器，应当能在不同的飞行动作阶段，有选择地显示出与该飞行动作阶段有关的最重要的信息。

2. 工作状态

平视显示器的工作状态对不同的飞机也有所不同，一般应该具有的工作状态有：

- a. 起飞-导航
- b. 对地攻击
- c. 对空攻击
- d. 地形跟踪、地形回避
- e. 着陆
- f. 备用瞄准环
- g. 试验
- h. 校靶

等等。每一种工作状态又可以有若干个子工作状态。

3. 适用武器

- 包括导弹、炸弹、火箭、机炮等。

4. 备用瞄准系统

平视显示器的主系统采用阴极射线管等器件作为图象源为了应付万一主系统故障时不致失去全部显示信息，一般要求平视显示器带有备用十字线系统。飞行员不得已时可以用固定环方式进行武器瞄准攻击。

5. 符号设计要求

虽然平视显示器具有极大的灵活性，几乎可以显示任意形状的字符、曲线，但是从飞行心理学出发，必须为平视显示器规定一整套符号制度，以获得最佳的使用效果。有些国家已经制定了自己的平视显示器专用符号标准。包括符号的形状、大小、颜色、亮度对比度和在视场中的编排区域。

6. 显示精度

平视显示器替代了陀螺瞄准具，因此对它有着相当于瞄准具的精度要求。这里所说的精度，指的是平视显示器的符号定位精度。表 1-1 给出了各种符号显示编排的要求。

表1-1 符号编排要求

序 号	符 号	编排要求			符号定位的参考体				定位精度要求		
		形状	位置	有无	机头	军械基准线	目标瞄准线	任意	<1°	~1°	任意
1	人工地平线		×		×					×	
2	小飞机符号		×		×					×	
3	俯仰刻度		×		×					×	
4	航向刻度		×		×					×	
5	航向指令		×		×					×	
6	高度刻度		×					×		×	
7	高度指令		×					×		×	
8	航程读数	×						×			×
9	空速刻度		×					×		×	
10	空速指令		×					×		×	
11	航向点		×		×		△			×	
12	操纵误差圆		×		×		△			×	
13	弹着点		×			×			×		
14	退出符号			×			△	×			×
15	投放信号			×				×			×
16	瞄准十字线		×			×	△		×		
17	解算符		×			×	△		×		
18	航迹标记		×		×				×		
19	剩余时间	×					△	×		×	
20	接近速度	×					△	×		×	
21	天顶-天底		×		×					×	
22	俯仰-横滚操纵		×		×					×	
23	目标标记		×				×			×	
24	离散量			×				×			×
25	拉起符号			×			△	×			×
26	能量机动性		×				△	×		×	
27	仪表着陆下滑道指令		×		×					×	
28	发射包络		×			×				×	

△指示关键性的注意力集中点

×指示参考坐标系

由上表可以看出,几十种符号中,只有弹着点、瞄准光环、航迹、解算符等少数几种符号的显示精度要求小于 1° 。正是这几种符号对火力控制过程是至为紧要的。整个平视显示器的符号定位精度,实际上就是被这少数几个武器瞄准符号所确定。一般说来,要求在视场中心的符号定位精度在1毫弧度左右,对视场边缘可以适当放宽。

7. 显示亮度对比度

显示符号必须有足够的亮度,以便在亮背景下使用时不致于被“洗掉”。要从某一亮度的背景下辨认出符号的对比度,起码要在1.2以上。设背景亮度为 B ,符号亮度(经组合镜反射的亮度)为 D ,组合镜的透射率为 η ,定义对比度为:

$$C = \frac{\eta B + D}{\eta B} \quad (1-1)$$

背景亮度最大值一般选为10000英尺朗伯,或34260尼特。

对于更先进的平视显示器,理想的对比度应能达到 $C \geq 1.8$ 。

8. 分辨力和线宽

为了获得足够的分辨力和定位精度,要求主系统和备用系统的线宽都要求在1毫弧度左右。

9. 视场

视场包括总视场和瞬时视场两个概念。瞬时视场不仅取决于平视显示器本身,也与机上安装有关。目前折射式光学系统的全视场可达 $20^\circ \sim 25^\circ$ 左右。加大通光口径可以改善瞬时视场,现在已经有六英寸出射口径的折射光学系统。反射式光学系统可以使瞬时视场等于全视场。然而更高的视场要求,只有采用衍射光学系统才能满足。

10. 对组合镜的要求

对组合镜(组合玻璃)的染色性、位移误差及透射、反射(或衍射)效率等,都应有严格要求。

11. 自检能力、互换性

对于平视显示器这样一种综合系统,应当要求具备自检测能

力和足够的互换性。

12. 重量和体积

包括连接电缆安装支架在内的平视显示器总重量，一般不大于 30~50 公斤。

13. 寿命

通常要求阴极射线管至少能连续工作 500 小时以上。与一般航空电子设备类似，平视显示器的正常使用寿命为一万小时或十年。

14. 体积

由于平视显示器的驾驶员显示器是替代瞄准具显示器安装在仪表板上方正中位置，这里仪表罗集，空间紧张，因此要求把显示器设计得体积最小最合理。目前的驾驶员显示器正面尺寸一般在 250 毫米×200 毫米以内（不含组合镜）。

15. 其它

平视显示器必须在温度范围、电源供给、冷却措施、干扰抑制、故障指示等方面满足要求。

飞机上一旦装备了现代平视显示器以后，在攻击瞄准、导航飞行、起飞着陆等飞行状态下都要使用它。因此，对平视显示系统使用的高度范围、气候环境条件、机动状态承受能力等要求应与飞机的战术技术要求相适应。

自然，要求平视显示器能与其它有关设备联用。平视显示器本身不是一个单独使用的设备，它的各种输入信息都要从飞机上的各种战术计算机、传感器、雷达等取得。不同飞机的设备系统不尽相同，平视显示器对外的联接关系也有差异。

§ 4 工作原理和组成

平视显示器进行武器瞄准计算和信息显示所需要的各种数据是由飞机上各个系统和设备提供的。它接受来自中心计算机或各战术计算机的武器发射、导航、地形跟踪和着陆等输入数据；接受来自飞行传感器的飞机性能数据；接受来自各系统的离散信号；接受来自飞机电源的交流及直流功率，根据控制盒的指令加以处

理, 形成表示飞机主要性能、指令、姿态, 特别是战术动作(攻击瞄准、着陆、导航等)要求的动态符号图象。这一动态符号图象最终以无穷远处聚焦的方式显示在组合镜上。

平视显示器一般由两大部分组成, 即驾驶员显示器(PDU)部分和电子装置(EU)部分。此外还应有控制盒、连接电缆和安装支架等。图 1-4 是它的方框图。

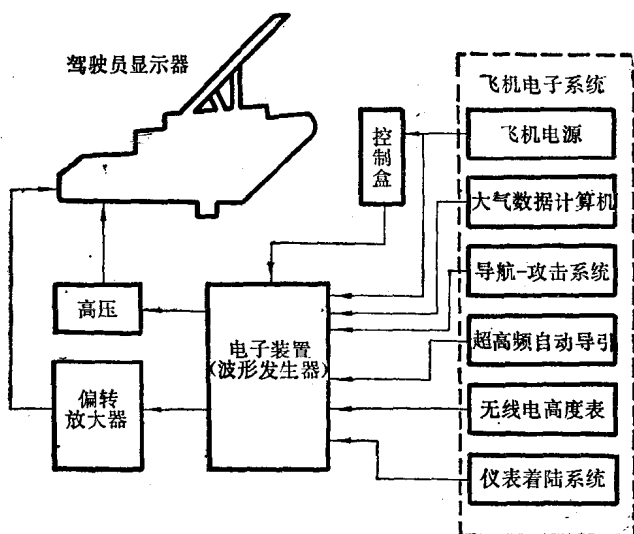


图1-4 平视显示器的方框图

电子装置的功能是接受输入数据, 加以处理形成表示符号的波形送往驾驶员显示器。

根据火控计算任务要求, 电子装置可以分为两类。

在平视显示器-武器瞄准计算机系统中, 电子装置同时承担符号显示和武器瞄准计算两种任务, 又称“平显武器瞄准计算机”。它对数据进行处理和火控计算, 最终送出表示武器发射和其它信息的波形。

另一类电子装置只具有显示控制功能, 武器瞄准计算功能由独立的火控计算机或中心计算机完成。

电子装置一般包含输入接口、中央处理机和符号发生器。有的平视显示器把视频信号放大器、偏转放大器等也放到电子装置壳体中去。

输入接口能接受数字量、模拟量、同步量和离散量等输入信号。

中央处理机是一台快速通用数字计算机。它由只读存储器为主的中心存储器提供工作程序。控制产生符号和武器瞄准火控计算都在此进行。

符号发生器根据处理机的指令和数据，在阴极射线管上产生以“笔划法”书写符号所需要的 X 、 Y 偏转信号和 Z 轴辉亮信号的组合并行波形。

电子装置输出的是一组经过数模转换的模拟电压信号。偏转放大器按精度要求把电压信号放大为激励偏转线圈的电流信号，从而在阴极射线管屏面上显示出相应的图象符号来。偏转放大器既可以作为一个单独的构件，也可以安装到电子装置盒体中或驾驶员显示器壳体中。

驾驶员显示器包含图象源的阴极射线管组件，一套折射式光学系统将阴极射线管荧光屏上的符号图象加以准直转换，显示在组合玻璃上。

备用瞄准具往往也安装在显示器壳体中，而且通常使用同一光学系统，只是另有专门的照明光源和环板而已。

高压组件为阴极射线管正常工作提供高稳定度的高压，约一万五千伏以上。

在安装空间较大的情况下，可以把高压组件和偏转放大器等全部都装到驾驶员显示器中，形成所谓“外场可更换型”的显示器。这种显示器的优点是更换后不必在机上重新校靶，使用起来比较方便。

驾驶员控制盒为飞行员提供多种工作状态及符号选择的人工控制，提供武器选择和显示亮度的控制。

下面举一个例子扼要地说明符号形成和显示的过程。

假如现在要在平视显示器上显示一个◇菱形符号来表示目标(如敌机),并假设雷达已经向平视显示器提供了两个模拟电压信号 V_μ 和 V_γ , 它们的幅值分别表示目标的实际位置在飞机坐标系中的俯仰角和方位角。见图 1-5。

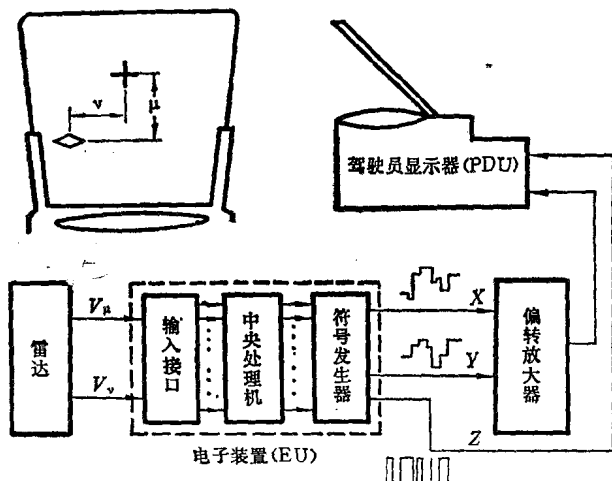


图1-5 目标标记在平视显示器上的显示原理

在(EU)中央处理机的控制下, V_μ 、 V_γ 被转换为数字量, 并放在数据存储器中。当显示程序进行到需要书写目标标记时, 再从数据存储器中调出 V_μ 、 V_γ 数字量, 加以适当处理后成为符号发生器能够认识的代码数据。

符号发生器中存放着 0、1、2……, A、B、C……等字母数字和各种特殊的符号, 菱形◇也在其中。

显示程序首先发出置点指令。这时符号发生器输出一组波形, X通道送出一与 V_γ 对应的模拟电压, Y通道送出一与 V_μ 对应的模拟电压, Z通道送出消隐信号。于是经偏转系统后阴极射线管的电子束定位在 (γ, μ) 点。然后, 显示程序从符号发生器存储器中调出目标标记符号的一组信息, X、Y、Z通道分别送出一组波形, 驱动偏转系统在荧光屏上的 (γ, μ) 点处画出一个◇符号来。