

樊 功 昭 編

現代航空电子設備

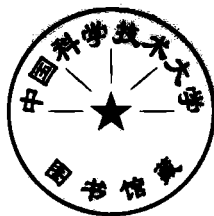


國防工業出版社

內 容 簡 介

本書是根据外国杂志綜合編写的，內容簡要敘述近代航空电子设备的發展概況、应用范围及發展远景。書中着重国外情况的报导，但对比較有代表性的各种航空电子设备的特点和原理也做了簡單介紹。

本書可以帮助讀者对現代航空电子设备获得比較全面的了解，适合于航空部門工作人員、航空院校师生及空軍部队人員閱讀。



*

國防·軍工出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ $1\frac{13}{16}$ 印張·24,000字

一九五八年十月第一版

一九五八年十月北京第一次印刷

印数：0,001—23,00册 定价：(10)0,20元

№ 2240 統一書号15034·231

目 录

I 引言	3
II 电子技术在飞机上的应用范围	6
(一) 无线电通讯	6
(二) 导航	9
1 中近距离导航	
2 远距导航	
(三) 飞行自动控制	26
(四) 火力控制	27
1 射击瞄准具	
2 电视轰炸	
(五) 航空电子仪表	30
1 罗盘	
2 自动操纵罗盘	
3 电子升降速度测量器	
4 电容式燃油测量表	
5 电视仪表	
III 航空电子设备现存的问题和发展趋势	35
1 可靠性问题	
2 体积和重量问题	
3 冷却问题	
4 发展趋势	

I 引言

从1938年开始，特别是第二次世界大战以后，在航空方面由于空气动力学的发展和新型发动机、特别是喷气发动机的發展，航空技术获得了飞速的进步，这样过去的飞机特种设备已不能适应新的要求。但与此同时，在电子学领域中特高频技术和脉冲技术的发展，为飞机特种设备开辟了革命性的新途径。这两门技术的发展甚是协调，因而电子技术在航空各个方面的应用收到了很大的成效。

随着飞机性能的提高，高空高速飞行对飞机设备提出一系列新的严格要求，例如高度的精确性、反应迅速以及不受天气和距离的限制等。这些要求都需要利用电子设备才能满足。因而航空技术的高度发展，就促使飞机上愈来愈多地利用电子设备。第二次世界大战时期和现在飞机上的电子设备数量和价值的比较如表1和表2所示，由此可看出航空电子设备的发展情况。

表1 轰炸机

数量与价值 项目	第二次 世界大 战 时 期	现 在
电子系统数目	8个	14个
电子管数	500个	1,500~2,000个
电线总长	16,000公尺	64,000公尺
整个电子设备价值	2,200美元	6430,000美元
电子设备价值占飞机价值的 百分数	16%	48%

表 2 歼击机

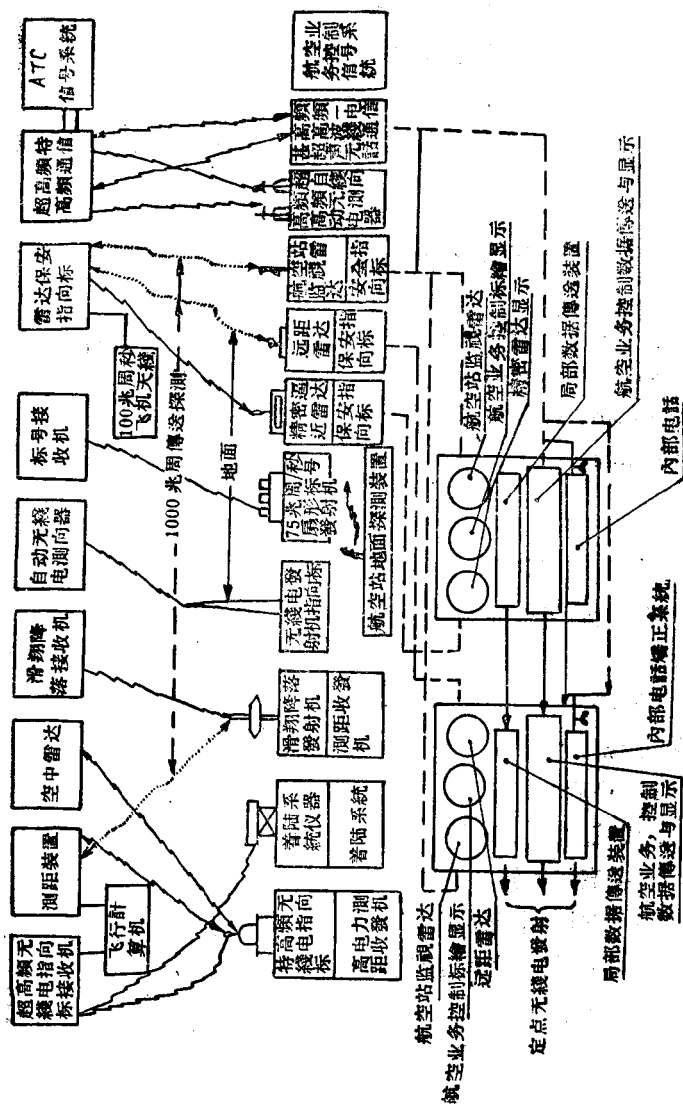
数量与价值 项目	第二次 世界 大战 时期	現 在
电子系統数	3 个	9 个
电子管数	不詳	500 个以上
电綫总長	460 公尺	6,900 公尺
整个电子设备价值	53,000 美元	384,000 美元
电子设备价值占飞机价值 的百分数	不詳	32%

此外，現在电子学的研究經費在許多国家中都占很大的数目。在美国大部分的电子学研究經費是用于在軍事电子学方面。显然，这种現象仍会繼續下去。

1955年美国用于軍事电子学方面的經費是 25 亿美元，在 1960 年，預計将达到 40 亿美元，其中的一大部分将用在航空电子学方面。如 1957 年度美国的財政預算中，空軍所获得的 84 亿美元預算就有 14 亿即 17.3% 被指定作为电子设备的用費。

航空电子设备联系着飞机和地面设备，形成一复杂而龐大的体系，圖 1 为美国航空發展委员会——簡称 ANDB (Air Navigation Development Board) 所研究的共同体系，这个体系是供海陆空軍和民用航空共同使用的，其中包括特高频无綫电指向标 (VOR)、測距装置 (DME) 以及其它机上设备和地面导航设备，同时还包括联系这些设备的通信網。

随着新型电子设备的不断設計出来，此共同体系亦随之發展并更趋复杂。上述的体系只是美国采用的，就目前航空电子学的世界水平和航空發展对电子学的要求来看，其它国



家的航空电子綜合体系尽管設計不同，而其复杂和龐大的程度則是类似的。实际上这样复杂的体系主要还只是导航和通訊系統，并未包括全部航空电子系統。此外，如飞行自动控制系統、火力控制系統等也是現代飞机上重要的电子系統。

II 电子技术在飞机上的应用范围

航空电子技术的应用范围極广，現代飞机的通訊、导航、飞行自动控制和火力控制等都应用了电子设备。下面就簡要地介紹一些有代表性的最新电子设备的特点、应用情况和作用原理。

(一) 无綫电通訊

第二次世界大战后，航空通訊逐漸用无綫電話来代替无綫电报，其發展方向是：

1) 研究供短距离和中距离通信用的超短波（118~132兆赫）設備；

2) 今后在远距离通訊方面将采用短波單边带設備。

現代航空通訊系統，根据用途的不同可分为以下三类。

1. 甚高频无綫电通訊設備。这种通訊設備用于当飞机起飞及着陆时同指揮台取得聯絡，以及在飞行中与就近的飞行基地取得聯絡，也就是为了进行近距离空中交通控制而使用的。它是航空无綫电通訊設備中的最主要部分。

表3所示为英、美、日等国現在所用的主要甚高频无綫电設備及其技术数据。

表3 甚高频无线电话通讯设备

产 品	频率范围 (兆赫)	波道数目	输出功率 (瓦)	消耗功率 (瓦)	电子管 数 目 (只)	尺寸(公厘) (长×宽×高)	重 量 (公斤)	国 别	用 途
AN/ARC-3	100~156	8	8	{ 發 380 收 160	9	350×220×390	10	美 国	} 空军 海軍航空兵, 民航
AN/ARC-1	100~156	50	8	280	17	300×185×365	9.8	美 国	
17L ₃ (T)	118~131.9	180	8	260	28	266×195×546	21.2	美 国	
51R ₃ (R)	108~136	280	—	200	13	127×197×565	10.5	美 国	民 航
STR-9X	115~145	10	5	210	26	127×193×652	15.2	英 国	民 航
STR-12D	118~131.9	140	10	240	21	228×200×460	11.5	英 国	空軍, 民航
J/ARC-1A	118~144	8	8	180	29	330×203×387	16	日 本	空軍, 民航
					21	125×197×460	10.5	日 本	日本航空队, 民航

表4 高频无线电话通讯设备

产 品	频率范围 (兆赫)	波道数目	输出功率 (瓦)	消耗功率 (瓦)	电子管 数 目 (只)	尺寸(公厘) (长×宽×高)	重 量 (公斤)	国 别	用 途
18S-4(T.R)	2~18.5	10	100	1,100	17	394×197×546	25	美 国	} 海軍
ART-13(T)	2~18.1	10	70~100	925	10	610×273×346	32	美 国	
ARR-15(R)	1.5~18.5	10	—	82	12	264×200×550	18.3	美 国	
AT-144(T)	1.6~22	8(144)	100	1,000	10	257×97×585	20.2	美 国	} 日本航空公司 (DC-6B)
AR-44(R)	2.1~18.5	24(144)	—	60	9	266×195×565	15.3	美 国	
STR-19 ^(T) (R)	2.4~12 2.4~12	12 12	35 —	350 150	20 17	315×23×492 188×234×492	18.2 10.6	英 国	
A-6(T.R)	2~18	6	30	390	24	258×197×450	16.5	日 本	輕型飞机

表 5 超高频无线电信设备

产 品	频率范围 (兆赫)	波道数目	输出功率 (瓦)	消耗功率 (瓦)	电子管 数 目 (只)	尺寸(公厘) (长×宽×高)	重 量 (公斤)	设计公司	用 途
AN/ARC-27	225~399.9	20(1750)	9	525	55	290×320×710	32	Collins (美国)	F-86 T-33
AN/ARC-33	225~399.9	20(1750)	8	427	48	385×264×545	37.8	Bondix (美国)	
AN/ARC-34	225~399.9	20(1750)	8	505	73	274×208×550	21.4	RCA (美国)	F-100 F-104
AN/ARC-52	225~399.9	1750	20	350	42	约为 AN/ARC-27 的二分之一	20.8	Collins (美国)	

2. 高频无线电通讯设备。这种设备在甚高频无线电设备所不能达到的距离上作远距离通讯。按各国的频率范围不同，可在给定范围内选择所需要的频率。另外，这种设备所规定的技术标准与甚高频通讯设备同。现在资本主义国家所采用的高频无线电通讯设备及其技术数据如表4所示。

3. 超高频无线电通讯设备。随着飞机数量的增多，频率的分配已感不足，所以在英国民用航空上专门使用甚高频，而在军用航空中使用超高频。这种设备的技术数据如表5所示。

(二) 导 航

严格地讲，导航范围极广，大致可分为以下几个方面：

- 1) 保证按任何航线引导飞机，恢复飞行方位；
- 2) 导引飞机接近着陆机场；
- 3) 保证飞机在机场上空附近的安全运行和有次序地进入着陆区域等待着陆；
- 4) 保证在复杂气象条件下以及夜间安全下降，平飞和着陆；
- 5) 保证在复杂气象条件下进行轰炸；
- 6) 保证飞机的集合和编队飞行；
- 7) 保证将飞机导引至空中目标。

以上这些任务都需要依赖电子设备来完成。限于篇幅这里所叙及的无线电导航设备仅是上述主要功用的一部分。为了便于了解，现将导航设备分中近距离的和远距离的两类分别介绍：

- 1 中近距离导航 飞机起飞后，将机头转向目的地，即

进入飞行阶段。在飞行中，应当正确掌握飞机的方位和高度，特别是在夜间或有云雾时，如不能掌握自己的方位和高度，便很可能发生飞行事故。要了解自己的方位和高度，在中近距离飞行的情况下采用中近距导航设备。这类设备在资本主义国家中较新的和有代表性的有：

1) 无线电高度表——无线电高度表可以解决驾驶及飞行中最困难的问题之一，即解决在飞行中测定飞机真实高度，亦即测定飞机与地面间垂直距离的任务。飞机在进行着陆时，沿长途飞行航线中，测定飞机下面危险的高地带以及测定飞机高出目标上空的实际高度等，都必须知道真实高度的大小。在缺少地面视线的飞行中，例如在雾中、云层中、夜晚等真实高度的测定更显得特别重要。

无线电高度表有三种类型：脉冲波式，等幅波比相式和调频式。

脉冲电波式的工作原理是无线电高度表发送脉冲电波，接受地面的反射，测量反射波的时延，同时又知道电波的传播速度从而可以判断出高度。这种类型的高度表便于测量较大的高度。

等幅波比相式的工作原理是无线电高度表向地面发射等幅波的无线电波，射出波的瞬时相位同地面反射波的相位之间的差别是可以测定的。这种相位差决定于总的来回距离及无线电信号的已知波长或频率。在电波运动的全部过程中，当一电波沿其传播道路前进时，瞬时相位按每波长 360 度作均匀的改变。在任何一点上的相位，也根据无线电频率的变化速度随时间的不同而异；但是在所有的时间上，任何两点间的相位差是不变的，它仅只决定于以波长为计算单位的点

与点之间的距离。这样，测定相位差就可以判定飞机距地面的高度，这种型式的高度表测量准确而又方便。

調頻式的工作原理是發送頻率随時間而变化的电波，接收反射波，借測量收發頻率的差异而判定高度。这种型式的高度表用于高度較低的場合。

2) 測距器——DME (Distance Measuring Equipment)。

測距器是測定絕對的距离，其原理与无綫电高度表相似，并且也可能使用脉冲、等幅波或調頻輻射。

地面設有測距电台，其天綫接收从飞机上發射出的大約1000 兆赫的脉冲信号后又从天綫發射出去。因此在飞机上測量出电波从發射到反射所需的时间就可以了解飞机和測距电台間的距离。

电波的傳播速度与光速相同，因此距离即为 $Ct/2$ ，式中 C 为光速。

3) 自动測向器——ADF (Automatic Direction Finder)。

很早以前，人們就使用环状天綫接收来自地面电台的电波，从而得知电台的方向。現在的自动測向器可以自动寻找电波并指出其方向，ARN-6 就是其中的一种。在这类装置中，飞机上装有环状天綫，用以接收已知电台的电波并自动地使环状天綫轉向电波来到的方向。电波方向的改变天綫亦随之变换方向。将探测来的方向显示在飛行員前面的方向指示器里，即可使飛行員經常了解已知电台所在的方向，从而了解自己的方位。自动測向器所采用的頻率大約在200至1500千赫範圍內。在大型的飞机中大都設有自动測向器，因

此可接收两个电台的电波，然后运用三角法就很容易计算出自己的位置。

自动测向器虽可用于归航，但把机头转向电波方向遇到横风时，飞机的轨道就变成螺旋形，影响效率，同时测向器内也容易进入杂音。

4) 甚高频全方向无线电指向标——VOR (VHF Omnidirectional Range)。

由于自动测向器有上述的缺点，为了准确地测定方位，后来才开始采用 VOR 系统，因为在此系统中采用 108~118 兆赫的高频，所以天电干扰很少，可作为优质无线电导航装置。

这种导航装置是这样工作的：由天线发射“花瓣”形方向性的电波。花瓣环绕中心轴旋转着。此外，从天线上又发射等向性电波，此电波被频率等于“花瓣”旋转数的正弦波所调制。在飞机的接收机中同时可以接收两种电波。

由于“花瓣”形电波发射器的旋转，在接收机中便保持了频率数和旋转数相同的频率，并得到相位随方位而改变的交流电流 I_1 ，因此只要测量电流 I_1 和等向性电流 I_2 之间的相位差就可以判定飞机的方向。

VOR 在中距离导航上已经过长期的考验，它使用的时间比太堪导航系统久，目前有些专家们认为它比起太堪系统要差些。但它不象太堪那样复杂。

5) 太堪 (Takan) 系统——上面所介绍的 VOR-DME 系统构成美国现代无线电导航的基础，在 1955 年美国又出现“太堪”系统。运用“太堪”系统使用 1000 兆赫的波长可以测量方位和距离。

根据过渡计划，首先要在保留全方向无线电指向标

(VOR) (“Vortac” 系統)的情況下，更換地面與機上的測距裝置 DME，然後再將這種設備從飛機上去掉。這樣太堪在美國就將成為海軍、空軍和民航飛機共用的唯一中近距離導航系統。

太堪的作用原理是這樣的：飛機發射詢問距離的脈衝被太堪地面電台的天線接收，來自飛機的電波被地面電台接收後再發射回去，飛機接收反射回來的電波後，運用類似前面介紹的 DME 的原理便可判定地面電台的距離。

方位信號之傳送於飛機，是由於地面電台中有一特殊天線，該天線在水平面上形成心形方向性圖，且以 15 赫的固定頻率旋轉。由於這個心形方向性圖旋轉的結果，地面電台輻射的脈衝，在飛機的接收點將受到頻率為 15 赫的空間振幅調制，而且，這個調制頻率的相位（被接受信號的包接），將與飛機的方位成正比。

借助於機上裝置測量出 15 赫調制頻率相位與基準信號相位的關係，就可得出飛機方位的數據，通常因地面電台天線系統方向性圖（心形曲線）的最大值通過正北時輻射的脈衝，作為基準信號，因此，這種準確信號也稱為“北”基準信號。

但是，當所利用的地面天線方向性圖上是一個旋轉的單瓣心形曲線時，測出的飛機方位的準確度，並不比超高频全方向導向標（VOR）所能保證的準確度高，即約為 $3\sim 5^\circ$ 。因此上述測量方位的方法，只用於所謂粗略方位通路，為了達到更高的方位測量準確度—— 1° 。地面電台的心形方向曲線，借 135 赫頻率的附加調制，而形成九瓣心形曲線，該曲線能保證得到測量方位的第二通路——精確通路。上述兩種

方法，可用圖 2、3、4、5 來說明。

圖 2 所示为呈旋轉單瓣心形曲綫的地面装置天綫方向性圖。 M 点为飞机的位置， α 为方位角， R 为飞机与位于 O 点的地面雷达台之間的距离。当方向性圖（心形曲綫）最大值通过正北方位时，将以特殊方式輻射出电碼基准脉冲。在与心形曲綫其它位置相应的瞬間，輻射周期填充脉冲和回答测距脉冲，这时地面装置每秒钟輻射的脉冲总数是恒定不变的，为 2700。

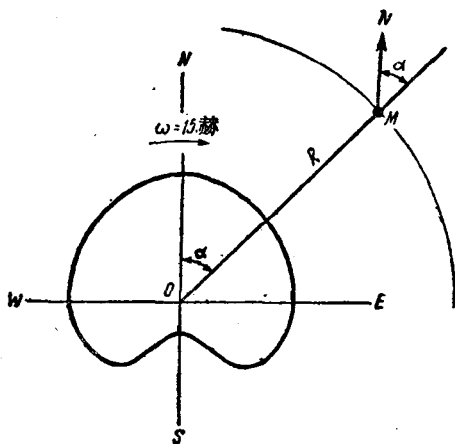


圖 2 地面装置天綫在水平面上所形成的心形方向曲綫。

圖 3 所示为地面电台天綫轉一轉时（心形曲綫旋轉一个周期），机上接收装置內信号强度的变化。

將圖 2 和圖 3 对照来看，可以很容易看出，“北”基准信号与 15 赫包綫最大值点間的时间間隔，将与飞机方位成正比。当飞机位于正北方向时，基准信号将与包綫最大值有相应的偏移。

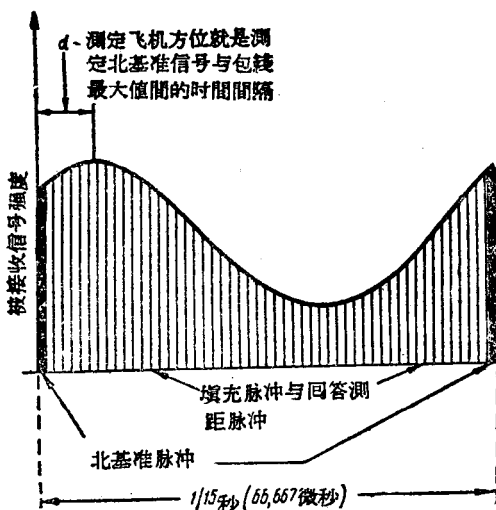


圖3 地面电台天綫轉一轉时接收装置內信号强度的变化 (当为心形曲綫时)。

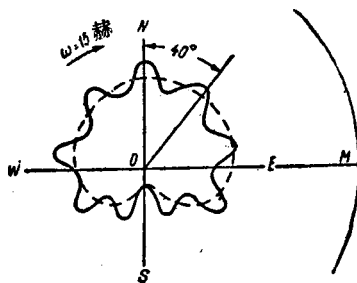


圖4 九瓣心形曲綫。

圖4所示为太堪系統地面电台在水平面上方向性圖的合成曲綫。这个曲綫是以15赫頻率旋轉的九瓣心形曲綫。

圖5所示为天綫轉一轉时 (在九瓣心形曲綫旋轉的一个周期內), 机上接收装置內信号强度的变化。从圖中可以看