

設計有源回答景像雷達系統的 某些問題

K. E. 哈 利 斯 著



國防工業出版社

設計有源回答景像雷達系統的

某些問題

K.E. 哈利斯 著

丁子明 譯



湖南·電子出版社

內 容 簡 介

这本小册子研究有源回答景像雷达系統，該系統能操縱空中运动，它由地面問訊器和机上回答器所組成。书中一般地研究了頻率選擇問題，說明了用来調整空中运动的无源回答地面雷达系統应当与何种形式的有源系統合并使用。研究了由地面雷达站天綫旁側波瓣輻射的詢問訊号产生有害影响的消除方法，并对地面天綫和机上天綫提出了要求；分析了在接收大量詢問訊号时回答器发射机的过载影响和降低回答訊号重复頻率的方法；闡明了防止或减少一个地面电台“占据”机上回答器的可能性；討論了在第二次扫描行程中接收回答訊号和非同步回答訊号所产生的干扰等問題；并分析可以被采用的編碼方法，而且特別着重于研究飞机-地面通道訊号的編碼法。分析只限于一般性地提出問題，以便不致将主要問題的闡述与各种各样的技术細節相混淆。但是作者认为在許多情况下必須研究一些具体电路和用某些計算来加以証实。

英国 K. E. Харрис 著 ‘Некоторые вопросы построения обзорных радиолокационных систем с активным ответом’
(Советское радио 1957 年 俄文第一版)

國防工業出版社

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

787×1092 $1/32$ 2 $5/16$ 印張 49 千字

1960 年 2 月第一版

1960 年 2 月北京第一次印刷

印数：0,001—2,430 册 定价：(10) 0.35 元

NO. 3145

目 录

无线电定位和操纵空中运动的方法	5
基本定义	6
1956年时研制有源回答雷达系统的状况	6
有源回答景像雷达系统的优点和缺点	9
无源回答雷达系统和有源回答雷达系统的作用距离	9
飞机的识别	10
确定飞机坐标的准确度	10
测定飞机的飞行高度	11
天气状况的情报	11
指示器荧光屏上干扰的消除	12
设备的计算和设计问题	13
雷达站工作频率的选择	13
“非独立”工作方式和“独立”工作方式的适宜性	16
将两部雷达站的指示器和天线合并为一套的适宜性	17
旁侧波瓣对回答器的询问和各种消除旁侧波瓣有害影响的方法	17
防止接收虚假回答讯号	21
防止接收虚假询问讯号	26
地面询问器天线的設計	36
占据	47
第二次扫描行程中回答讯号的接收	48
干扰回答讯号	52
回答器的过载	53
飞机天线及其安装	60
編碼	64
結論	73

無線電定位和操纵空中运动的方法

操纵飞机飞行这一問題对軍用航空和民用航空有着同样重要的意义。然而，操纵系統所需解決的問題和解決這些問題的方式方法却可能是完全不同的。具体的操纵系統的結構和設計这些操纵系統时所依据的原理，即使在这些系統只用于民用航空上时，也可能是完全不一样的，这是因为对这些系統提出的要求随着它們的应用時間和应用地点的不同将会有很大的差异。

操纵系統中所用的电子裝置和机械裝置，以及对操作人員的培养和訓練可能不能滿足在某种情况下对系統提出来的要求；因此，有时就不得不耗費許多時間和人力去使操纵系統某一环节中所使用的元件具有其所必須具有的质量指标。一般說来，調度空中运动不一定須要应用有源回答景象雷达站或某些其他类型的雷达站。然而，在技术发展的現阶段采用这类設備是非常有利的。今后，在操纵空中运动的系統中必須尽量利用自动操纵設備，并自动采取措施。必須使用操作人員乃是由于自动操纵技术发展不足所引起的，今后操纵人員将会必不可免地为解算仪表所替代。

任何一种操纵空中运动系統的作用大致可归納如下：

确定所有“运输工具”的位置，不管它們是在空中或不在空中；

計算出这些“运输工具”某一瞬間应当在何处；

确定它們是否会进入某一危險位置；

在飞机相互位置可能发生事故的情况下，发出改变航向，防止飞机发生碰撞的命令。

雷达系統，特別是有源回答景像雷达站可以完成上述第一类任务，因而在以下所論述的内容中将特別加以注意。

基本定义

根据接收目标反射的部分能量来确定目标位置的雷达站称为无源回答雷达站。

有源回答雷达站是根据装在目标上的回答器所輻射出的訊号来确定目标的位置。这一回答器将在接收到雷达站的探测脉冲后才輻射訊号。有源回答雷达站由地面設備和机上設備共同組成，它們用来确定装有回答器的飞机位置，并把这些情报发送给地面操纵站。

应用普通无源回答雷达站发射机来詢問飞机回答器的雷达站称为非独立有源回答景像雷达站。

应用单独的发射机来詢問回答器的雷达站称为独立的景像雷达站。

图1所示为典型的有源回答雷达站的机上設備和地面設備。图2所示为这一系統整套机上設備外形照片图。它們由下述部件組成：*a*——操纵部分；*b*——帶有电源設備的回答器接收发射机；*c*——飞机天綫。图3所示为回答器的内部裝置。

訊号由地面設備到机上回答器所經過的路徑称为詢問通道；由机上回答器到地面設備所經過的路徑称为回答通道。

用来消除旁側波瓣有害影响的地面与飞机之間或飞机与地面之間的輔助无綫电通道称为控制通道。

1956年时研制有源回答雷达系統的状况

最近五年来許多专家都一再指出应当应用有源回答景像雷

达系统来操纵空中运动,然而,直到目前为止这类设备仍旧没有得到广泛的应用。这种系统迟迟未被付诸实用的原因之一乃是机上所用回答器应当与各国应用的地面设备的工作相适应。关于应用操纵空中运动万能系统方面的问题现在尚未缔结国际协

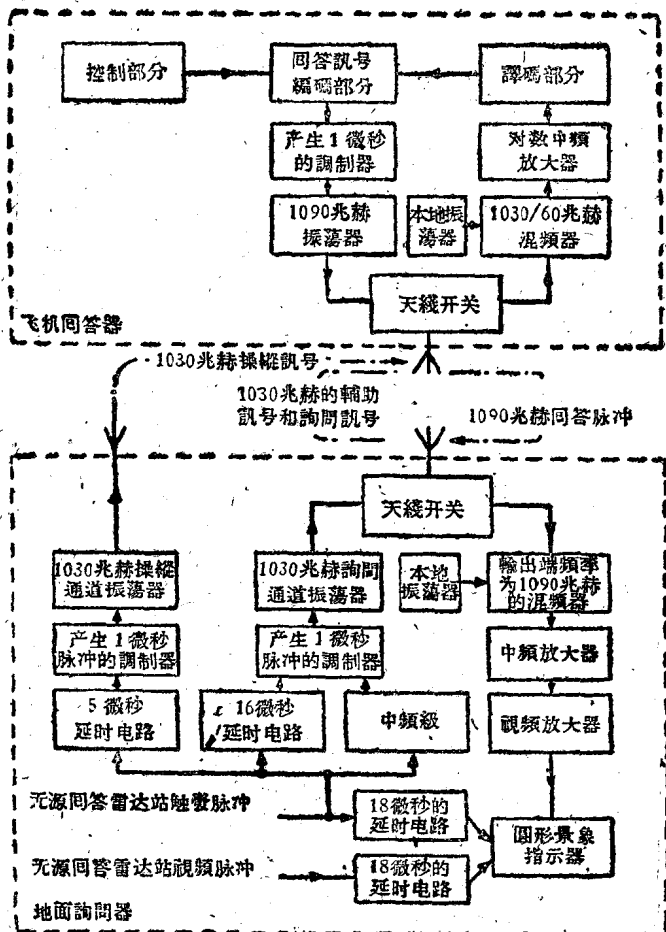


图1 地面设备和机上设备的方块图。

定。在以前英国和美国設計的操纵系統中大都采用普通景象雷达站来作为詢問器。在采用这样的系統时,必然会出现某些不良現象,例如,旁側波瓣詢問回答器、天綫极化的不同和在第二次扫描行程时接收訊号等。

曾經采取了一些措施去消除这些不良影响,然而这将会带来其他一些仍旧是不利的現象,例如,“回答器的占据”、回答器发射机的过载以及机上設備和地面設備将会大大地复杂化等。只有在采用单独的地面发射机来詢問飞机回答器时才能够较为滿意地解决这些問題。这时,可以将有源回答雷达系統的工作条件选择为使系統具有某些最佳特性。

英国从1951年开始設計和試驗民用航空使用的有源回答雷达系統,在这种系統中应用的是单独的詢問发射机。在美国同类的同样也是用于民用航空的这类系統大約已經試驗两年了。

这里将不研究軍用識別系統的結構和作用原理,因为作者

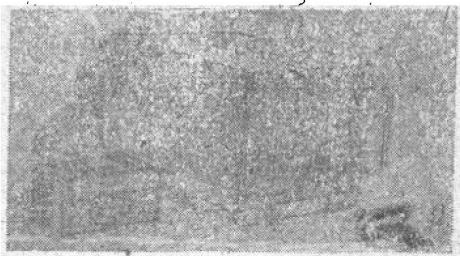


图2 整套机上設備的外形图:

a—机上操纵部分; *b*—一帶有电源部分的回答器接收发射机; *B*—具有有源回答器的景象雷达系統所用的天綫。

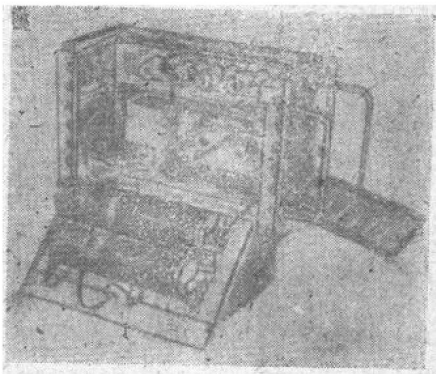


图3 回答器接收发射机的外形。

认为讀者已由其他一些第二次世界大战期中雷达技术应用問題方面的文献中知道了。

有源回答景像雷达系統的优缺点

近十年来在大的民用机場上操纵空中运动系統广泛采用了普通的景像雷达站（无源回答景像雷达）。使用这种雷达站有着某些缺点，其中有些缺点，假若在操纵空中运动的系統中，在采用无源回答雷达站的同时还采用根据有源回答原理工作的雷达站时将可得以消除。

对装設在民用航空港的調度雷达站所提出的主要战术-技术要求和对远程观测雷达站提出的要求是相同的，这些要求是：

- 能够在任何气候条件下不断地跟踪各种类型和各种不同尺寸的飞机；

- 能够在飞机不作任何特殊的机动飞行的情况下就識別出飞机；

- 能够准确地确定出以极坐标（方位角和距离）表示的飞机的地理位置和飞机彼此之間的相对位置；

- 能够确定出飞机的相对飞行高度；

- 观测气候条件不良的地区以便引导在这一地区中的飞机或通知飞行员在飞机飞行的航綫上存在有气候条件不良的地区；

- 能够在地面物体反射很强烈的地区内在不太大的距离上跟踪飞机。

无源回答雷达系統和有源回答雷达系統的作用距离

目前可以认为对所有飞行在15公里高空的各种类型的飞

机來說，調度雷达站和远程观测雷达站的作用距离大約应当是110~280公里。接收反射訊号的現代景像雷达站的特性不能滿足这些要求。必須进行一些补充研究以便創建一种具有所要求工作特性、但不太复杂而又工作可靠的景像雷达站。应用有源回答系統比应用无源回答雷达系統更容易得到所需要的观测飞机的距离（特別是对那些反射面积不大的飞机來說）。在美国通常将用来增大雷达站作用距离的回答器称为輔助雷达回答器。

飞机的識別

普通无源回答雷达站不能够保証根据指示器螢光屏上所显示出来的訊号得到足够的情报来識別飞机。因此只有在飞机就航向作特殊的机动飞行时才有可能識別它。为了簡化这一識別任务可以采用无綫电測向器和无綫电指标，然而，在同时有两架飞机在相对于測向器和无綫电指标的方向大致相同的地方飞行时这些設備就不能完成这一任务了。

应用接收有源回答的雷达站可以使識別任务大大簡化，因为这时可以对回答器的回答訊号进行編碼。在最簡單的情况下，可以在回答从地面操纵站来的无綫電話詢問时，改变机上回答器的訊号，以便在地面电台指示器上能够明显地看出它們。这时应当使机上回答器的回答訊号不会与其他飞机的回答訊号混淆不清。在比較复杂的系統中不需要用无綫電話詢問就可以識別出每一架飞机。

确定飞机坐标的准确度

雷达站确定到飞机的傾斜距离的准确度与脉冲寬度及指示器刻度准确度等有关。和普通雷达站合并在一个系統中的有源

回答雷达站的脉冲宽度与无源回答雷达站的脉冲宽度可以是一个量级的。因此，假若讯号在回答器电路中延迟时间的变化很小，则这两种雷达站确定距离的准确度实际上也将是相同的。

确定飞机方位角的准确度与雷达站的工作频率和天线在水平面内的口径大小有很大的关系。很多现在使用的和正在设计的无源回答雷达站大都工作于 S 波段 (1550~5200 兆赫) 或 L 波段 (390~1550 兆赫)，方向性图在水平面上的宽度约为 $1\sim 2^\circ$ 。

所以需要有这样的鉴别率是由于在有源回答雷达站中必须选用较低的重复频率和较大的天线旋转速度。

测定飞机的飞行高度

只有无源回答雷达站才能用来测定飞机的飞行高度。必须指出，目前已有的设备在用来解决与操纵空中运动有关的问题时并不能认为是够准确和够方便的。有源回答雷达站可以借将飞机回答器的回答讯号作适当编码的方式来把飞机高度表的指示传送到调度室。曾经提出过几种用来传送飞机飞行高度数据的编码方法，然而这些方法所需要的设备都是相当复杂的。

天气状况的情报

通常都是利用无源回答雷达站来监视雨云和云层的位置，以及告知飞行员有强大气流的地区的位置。曾经确认借助于这种雷达站得到的情况是很有利的，但是，可惜并不很可靠，因为不能十分有把握地断言有强大空气流骚动的地区就是下雨雪的地区，没有空气流骚动的地区就没有雨雪。一般说来有源回答雷达站不能适用于此一目的。

雨云和云层的反射可能会使观察由飞机来的讯号发生很大

的困难，从而使无源回答雷达站的作用距离大大降低。这一影响在工作于 S 波段（1550~5200兆赫）和 X 波段（5200~10900兆赫）的雷达站中表现得非常强烈。在应用 L 波段（390~1550兆赫）时这一影响，一般说来，并不显著。

有源回答雷达站的接收机接收的是在一个方向（由飞机到雷达站的方向）上传播的无线电波，因此，雨粒（雨、乌云、云层）对这种雷达站讯号的衰减作用比对普通无源回答雷达站讯号的衰减要小一些。可以认为，雨粒对工作于 L 波段的有源回答雷达站的讯号的衰减要比对工作于 S 波段的无源回答雷达站讯号的衰减小很多，因而，也就是对这种雷达站作用距离的减小要比对工作于 S 波段的无源回答雷达站的作用距离的减小小很多。

指示器萤光屏上干扰的消除

在无源回答雷达站中采用选择运动目标的设备来消除指示器上由于本地物体的反射讯号引起的干扰是很有成效的。但是选择运动目标的设备同时也有着一定的缺点；这种设备只有在干扰讯号的振幅和有用讯号的振幅具有一定的关系时才能去除干扰讯号和在干扰讯号的背景上观察到有用讯号，速度和相位在一定范围内变化的干扰讯号是不能被抑制的。利用这种方法并不能经常将雨粒引起的反射讯号的干扰完全消除掉。

有源回答雷达站萤光屏上常常不会有由雨粒和本地物体产生的干扰。因此，在这类雷达站中不需要应用选择运动目标的设备。但是这类雷达站不能够获得没有装置回答器的飞机，或回答器断开或坏了的飞机的讯号。

因此可以得出下述结论：为了获得最大数量的空中情况的情报，在操纵空中运动的系统中应当同时采用有源回答雷达站

和无源回答雷达站。

设备的計算和設計問題

現在來討論一些与设备的設計和計算有關的問題，即：

選擇雷达站的工作頻率；

“非獨立工作方式”和“獨立工作方式”的适宜性（在有源回答雷达站和无源回答雷达站中适宜于采用一个公共的发射机或两个单独的发射机）；

將两部雷达的指示器和天綫合并是否适宜；

旁側波瓣詢問回答器和消除这种現象的方法；

計算地面雷达站的天綫；

飞机回答器的占据；

在第二次扫描行程中接收訊号；

非同步干扰的影响；

回答器的过载；

飞机天綫的結構和安置；

編碼。

雷达站工作頻率的選擇

非獨立工作的有源回答雷达站（具有单独发射机的雷达站）工作頻率的選擇与国际協議的頻率分配采用必需的无綫电部件的可能性以及雷达站在水平面上必需有的鉴别率等有关。

1947年举行的国际无綫电通訊會議的決議只分配了三个波段給有源回答景像雷达站；这三个波段是3246~3266兆赫，5440~5460兆赫和9300~9320兆赫。960~1215兆赫和1600~1660兆赫这两个波段是分配給空中导航裝置使用的。測距設備

中应用的波段是 960~990 兆赫和 1186~1215 兆赫。

英国飞机雷达高度表的工作波段为 1600~1660 兆赫。1300~1600 兆赫的波段分配给北美、南美、东亚和具有岛屿毗连着的澳大利亚等地区的空中导航装置，也供欧洲、西亚、非洲等地区的固定电台和移动电台使用。然而，在根据这次会议制成的频率分配图表的附注中也曾注明 1300~1600 兆赫这一波段以后也可以供航空中导航和调度空中运动的无线电装置使用。

地面设备和机上设备的中频放大器应当有很宽的通频带以便补偿按简单线路联成的接收机本地振荡器和发射机振荡器的频率漂移。一般说来，由于存在有将工作频率由 1000 兆赫提高到 9000 兆赫的趋向，在设计地面设备和机上设备时应当注意下述一些与提高工作频率有关的现象：

发射机的工作效率将会降低；

振荡器的频率漂移将会增大；

传输线上的损耗将会增大；

飞机天线方向性图的变化将会增大，影响天线方向性图形状的因素的数目将会增多；

垂直口径不太大的地面天线垂直方向性图将会变成不太均匀的；

由于中频放大器通频带的加宽，接收机的灵敏度将会下降。加宽中频放大器的通频带是补偿振荡器工作频率增大了的频率漂移所必需的。

由此可见，为了减小机上设备和地面设备的重量，询问通道和回答通道都应当选用尽可能低的频率。

从使用观点出发，希望有源回答雷达站在水平面上的方向性图不比共同使用的无源回答雷达站在同一平面上的方向性图

差。然而，由于下述原因，要使两个雷达站的方向性图具有这种关系是很困难的。

第一，由于有源回答雷达站能引起机上应答器工作的距离很大，因而，这种雷达站的重复频率应当是比较低的。当重复频率过高时，远距飞机应答器的讯号将出现在扫描线的始端，这与飞机的距离不相适应，因为，显现讯号的这条扫描线是在辐射下一个探测脉冲时开始，而不是在辐射飞机应答器所回答的那个探测脉冲时开始的。

假若在设计无源回答雷达站时并未规定使天线在旋转一个等于方向性图宽度的角度的时间内雷达站所辐射的脉冲数目有很大的蓄备系数，或天线的旋转速度不可能降低时，则大致需要将有源回答雷达站方向性图的宽度增大到比无源回答雷达站方向性图宽一倍左右。

第二，假若需要将有源回答雷达站的天线安装在放置无源回答雷达站天线的同一基座上时，那么，在大多数情况下，应当将这二根天线的水平尺寸做成一样大小，因为要将有源回答雷达站天线的水平尺寸做成比具有同一尺寸的无源回答雷达站的天线还大是很困难的。假若无源回答雷达站工作于 S 波段，而有源回答雷达站工作于 L 波段，则这时，有源回答雷达站方向性图的宽度将比无源回答雷达站方向性图的宽度宽三倍左右。根据所有这些情况，可以认为有源回答雷达站的方向性图将比无源回答雷达站的宽 5~6 倍。当然，这时在这两种雷达站中采用独立的指示设备将比采用联合的指示设备更加适宜。

根据上述情况必须将有源回答雷达站的工作频率选择得尽可能高一些。

考虑到所有这些情况，国际民用航空协会选定 1030 ± 8.5 兆

赫的波段作为詢問通道， 1090 ± 8.5 兆赫的波段作为回答通道。选用这样的頻率可以使所有上述技術問題得到圓滿解决，但是却不可能創制出鉴别率很高的雷达。所采用的这一决定是基于这样一个假設之上的，即在不与无源回答雷达站联合使用时单独一个有源回答景像雷达站是不可能用来操纵空中运动的（某些特殊情况除外，例如，空中运动的密度很小等）。回答器可能会发生故障，在操纵区域内可能会有沒有安装所需設備的飞机，这些也再次說明必須将这两种雷达站配合在一起使用。

“非独立”工作方式和“独立”工作

方式的适宜性

初一看来应用无源回答雷达站很窄的方向性图和发射机来詢問飞机回答器似乎是很有好处的。然而，更仔細地研究这一問題时就会很清楚地看出，現在使用着的和正在設計的无源回答雷达站具有很不一样的特性。这些雷达站無論在頻率方面、輻射功率方面、接收机的灵敏度、极化、探测脉冲寬度、方向性图的形状和脉冲重复頻率等方面都可能是各不相同的。而且，这些参量数值之間的差异可能很大，以致不能采用一种能够与所有的雷达站一起工作的通用回答器。

在应用普通的无源回答雷达站来詢問符合国际标准的回答器时，需要将所有这些雷达站都加以統一。

但是，假若在設計普通景像雷达站时就考虑由于需要用这类雷达站来詢問飞机回答器所产生的要求，則無論是将这类雷达站作为景像系統来使用，或是作为地面詢問器来使用都只能具有較低的特性。例如，在选择无源回答雷达站的重复頻率时就应该考虑到选择运动目标系統对这一参量所提出的要求；而在