



# 中国军事百科全书

军事技术 II

中国军事百科全书编审委员会

军事科学出版社

1997·7 北京



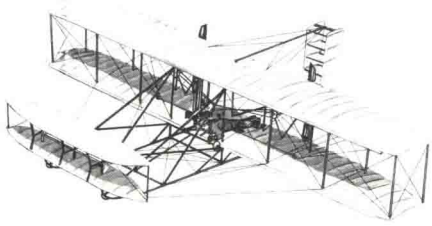
中国军事百科全书

---

# L

## Laite feiji

**莱特飞机** (Wright aircraft) 20世纪初美国人莱特兄弟所研制的一系列飞机。这些飞机的创制与使用,对航空事业的发展起了奠基作用。W.莱特(1867~1912)和O.莱特(1871~1948)兄弟是飞机发明家、飞行家、航空事业的先驱。1900~1902年研制出3架滑翔机,并飞行约1000次,为动力飞行创造了必要条件。1903年制成第一架飞机——“飞行者”1号(见图),同年



莱特兄弟制造的第一架飞机——“飞行者”1号

12月17日,莱特兄弟驾驶该机成功地进行了人类首次可操纵的动力飞机的持续飞行,开辟了重于空气的航空器的飞行时代。那天,他们轮换试飞,共进行4次,均获成功,最后一次的迎面风速超过30千米/时,留空时间59秒,飞行距离达260米,离地高度3米稍多。这架飞机系木布结构的鸭式双翼机,翼展12.3米,机长6.43米,机翼面积47.4平方米,重约275千克,装1台8826瓦内燃机和2副2叶推进式螺旋桨,滑橇式起落架。经过改进,于1904~1905年又先后制成和试飞了“飞行者”2号和3号,后者可作倾斜、转弯、圆圈飞行和飞“8”字特技,连续飞行时间达38分钟,飞行距离超过38.6千米,是第一架实用的飞机。1909年,莱特兄弟为美国陆军制造第一架军用飞机,装有1台22065瓦的发动机,最大速度68千米/时。在这架双座的莱特A型飞机之后,还有取消了前升降舵并装用轮式起落架的B型以及C—H型(1913年)问世,最后出现的一种,是装有1台51485瓦发动机的莱特L型军用侦察机(1915年)。

(张允谦)

## lanjie sheji

**拦截射击** (lead-collision attack) 见空中射击。

## lanshe daodan

**拦射导弹** (interception missile) 见空空导弹。

## langxian

**狼筄** (*langxian*) 中国明代的一种长柄多枝形兵器。多以大毛竹制作,一般长一丈五尺(约合4.7米),前端装置矛刺,上部留有9~11层枝梢,枝梢上施倒钩(见图),也有用铁仿制的。为步兵所使,盛用于南方江浙闽地区的抗倭战争,一般认为是嘉靖年间(1522~1566)抗倭名将戚继光所创制。狼筄“形体重滞,转移艰难”,不便单兵格斗;但防御效能很好,“附枝软则刀不能断,层深则长枪不能入”,与其他格斗兵器相配合,互相救助,能够构成有效的梯次配置,大大提高步兵的战斗能力。戚继光总结狼筄用法,一是“要择力大之人,能以胜此者”;二是必“以牌盾蔽其前,以长枪夹其左右”,并以“叉、钯、大刀接翼”,“举动疾、齐”(《纪效新书》卷十一)。戚继光用这种方法训练的“戚家军”,在对倭寇作战中取得了很好的战果。所以时人称狼筄为“南方利器”。此外,狼筄也可布置于水田之中,代替铁蒺藜、拒马木,起到阻碍敌军冲击的作用。



《武备志》中的狼筄图

## langyabang

**狼牙棒** (mace) 古代首端装有狼牙状钉刺的打击兵器。根据考古发现和文献记载,中国古代的狼牙棒主要有两类。一类发现于云南滇池地区的青铜时代晚期遗址(约公元前5~前2世纪),是一种可装木柄的青铜棍棒头,其形状如一短棒,长约28~45厘米,截面呈八棱形,表面凸起锥刺,底部有器以装柄,顶部或平头无锋,铸一动物雕像,或做成矛头形,可击可刺(图1)。这是当时活动于滇池地区的中国古代少数民族——滇族所使用的兵器。另一类是宋代兵书《武经总要》中记载的狼牙棒,以坚重之

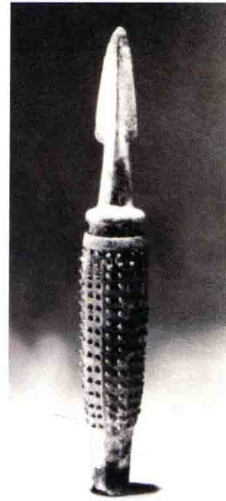


图1 滇族铜狼牙棒



图2 宋代狼牙棒和杵棒

木制作,长4~5尺(约合1.23~1.54米),一端粗大如瓜,表面用铁皮包裹并植以铁钉(图2),砸击威力甚大。这是宋代以后中国军队较多使用的杂兵器之一。宋代钱易《南部新书》记晚唐时事说:“韦丹任洪州,值毛鹤叛,造蒺藜棒一千具,并于棒头以铁钉钉之如猬毛。”所谓“蒺藜棒”,可能是狼牙棒的又一名称,这说明狼牙棒在唐晚期就已出现。另外,《武经总要》中还载有一种“杵棒”,其质料、长短、棍棒头的形状与狼牙棒相同,只是在棍柄的两端各装有一个带刺的棍棒头,实质上也应是一种狼牙棒。(钟少异)

## Le Jialing

**乐嘉陵** (Le Jialing, 1936.2.28 ~ ) 中国空气动力学家。中国工程院院士。祖籍浙江镇海,生于上海。1980年9月加入中国共产党。1964年毕业于北京航空学院空气动力专业研究生班。先后在国防部某研究院某研究所、第七机械工业部某研究所、空军某研究院某研究所从事气动理论与实验研究工作。1978年起任中国空气动力研究与发展中心高超声速气动力研究所室副主任、副所长,中国空气动力研究与发展中心副主任、总工程师、研究员。1988年被授予少将军衔。1995年当选为中国工程院院士。主持过多种大型风洞的方案论证与建设工作。主持研制的突防气动物理弹道靶、气固两相激波管、30万焦耳储能放电激波管、高空羽流等10多种





脉冲式实验装置,对于解决导弹弹头、运载火箭研制中重要的气动力设计问题发挥了作用。还取得了高温喷管非平衡流动、高超声速马赫反射、烧蚀产物光电特性等多项研究成果。1992、1993、1995年获国防科工委科技进步一等奖4项。

(刘清华)

leida

**雷达** (radar) 利用电磁波探测目标并测定其位置、速度和其他特征的设备。雷达具有发现目标距离远、测定目标坐标速度快、能全天候工作等特点,在军事上广泛应用于警戒、引导、武器控制、侦察、测量、航行保障、敌我识别和气象观测等方面,是一种重要的军用电子技术装备。雷达在国民经济和科学研究等领域中也广泛应用。

**工作原理** 雷达通常是通过向空间发射电磁波和接收目标回波信号进行工作的。当雷达发射的电磁波遇到各种物体时,就会向各个方向产生散射,其中的一小部分能量返回雷达,这种反射波称为回波。从所要探测的目标反射的回波,称为目标信号;从非需要目标反射的回波,称为杂波。目标的位置通常由以雷达为原点的球坐标系中的三个坐标——斜距、方位角和仰角(或高度)决定。由于电磁波是以光速 $c(3 \times 10^8 \text{米/秒})$ 在空间传播,雷达到目标的距离(斜距) $r$ 可以通过测定电磁波从雷达到目标,然后返回雷达所需要的传播时间 $t$ 来确定,即: $r = \frac{1}{2}ct$ 。为了测定电磁波往返时间,通常是发射一系列短促的射频脉冲,而在发射脉冲间隔期间接收回波信号,根据回波脉冲相对于发射脉冲的时间延迟,测定目标的斜距。目标的方向(方位和仰角)是利用雷达天线定向辐射的特性测定。雷达天线把电磁波能量集聚成尖锐的波束,并使波束对目标所在区域进行扫描,回波最强时的波束指向即为目标方向。根据目标的斜距和仰角,可测定目标的高度。目标的速度可以通过测量目标的位移变化率来确定。由于目标的运动会使回波信号的频率产生多普勒频移,频移量与目标运动速度的径向分量成正比,因此也可以利用多普勒效应来测定它的径向速度的大小和方向。

**组成** 典型的雷达是脉冲雷达,主要由定时器、发射机、收发开关、天线、接收机、显示器、天线控制装置和电源等部分组成(图1)。定时器产生控制雷达各部分同步工作的触发脉冲,送到发射机内的调制器和显示器。调制器在触发脉冲控制下,产生高压矩形脉冲,以调制发射机产生大功率射频信号。收发开关的作用是实现收发共用一个天线,在雷达发射期间收发开关将天线与发射机接通,断开接收机,发射机产

生的大功率脉冲射频信号经过收发开关,送到天线转换成射频电磁波辐射到空间。而在其余时间收发开关将天线与接收机接通,断开发射机,使天线接收到的微弱回波信号进入接收机。雷达天线通常具有很强的方向性,能产生极窄的电磁

波束,定向地辐射和接收电磁波。天线控制装置用来控制天线转动,使天线波束按照一定方式在空间扫描,以搜索或跟踪目标。接收机的任务是将天线送来的微弱回波信号加以放大、滤波,并转换成视频回波脉冲,而后送到显示器。显示器用来观察雷达作用区内的目标情况,通常是将目标回波显示在各种阴极射线管的荧光屏上,并利用显示器产生的各种标志(距离、角度标志等)测定目标的坐标数据。最常用的显示器是平面位置(P型)显示器,它以极坐标形式同时显示目标的斜距和方位。当天线在方位上连续旋转时,显示器画面上呈现一幅以雷达为中心的周围目标平面位置图。电源供给雷达各部分的电能。

**战术技术性能** 雷达的战术技术性能指标主要包括最大探测距离、最小探测距离、方位和仰角探测范围、测定目标坐标的数量、精确度、分辨力、数据率、跟踪速度、反干扰能力以及体积、重量、功率消耗、环境条件、机动性、可靠性、可维修性等。最大探测距离是衡量雷达探测能力的重要参数,通常表征为在确定的观测环境及规定的发现概率和虚警概率条件下雷达在天线波束最大增益方向上探测目标的距离,其大小主要取决于雷达向空间发射的射频能量、接收机的灵敏度、天线有效面积和目标的雷达截面积等。精确度指雷达测定的目标坐标数据偏离其真实值的误差。分辨力表示雷达对位置邻近的两个目标加以区分的能力,通常有距离分辨力和角度(方位、仰角)分辨力,有的雷达还有速度分辨力。距离分辨力是指对同一方向上的两个目标之间最小可区分的距离,主要取决于雷达接收系统输出的回波信号脉冲宽度。角度分辨力是指对相同距离上的两个不同方向的目标之间最小可区分的角度,主要取决于天线波束宽度。雷达所能区分的距离或角度越小,它的分辨力就越高。数据率指单位时间内雷达所能提供的一个目标数据的次数,它表征搜索雷达的工作速度。反干扰

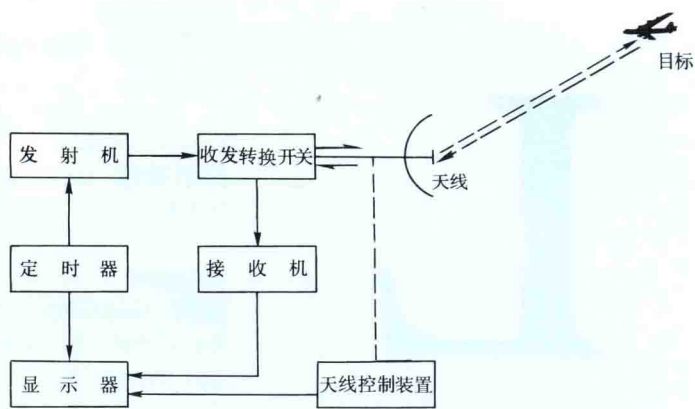


图1 脉冲雷达原理示意图

能力指雷达在干扰环境中有效地获取目标信息的能力。对雷达的干扰包括敌方有意施放的有源干扰和无源干扰、邻近电子设备的电磁干扰以及自然界存在的地物干扰、海浪干扰与气象干扰等。为此必须采取相应的战术技术措施,提高雷达的反干扰能力。

雷达的技术性能主要包括技术体制、工作频率(波长)、发射功率、脉冲宽度、脉冲重复频率(周期)、接收机灵敏度、天线的波束形状和扫描方式、显示器的数量和型式等。工作频率是指雷达所辐射的大功率射频电磁波的正弦载波的频率,也称为雷达载频。雷达的工作频率有的是固定的,有的可在一个频带内连续调整,还有的是在某频带内随机跳变。常用的雷达频率范围为70兆赫~35吉赫的超短波(米波)至微波波段。实际上某些雷达的工作频率在高低两端都已超出上述范围。脉冲雷达的发射功率分为脉冲功率和平均功率。脉冲功率是指雷达在发射射频脉冲期间输出的功率。平均功率是指在一个重复周期内发射机输出功率的平均值。脉冲宽度是雷达发射的每个脉冲射频信号的持续时间。脉冲重复频率是雷达每秒钟发射射频脉冲的次数。两个脉冲之间的时间间隔,称为脉冲重复周期。雷达天线的波束形状一般用水平和垂直截面上的波瓣宽度表示。要求精确测定目标的方位时,采用水平波瓣窄而垂直波瓣宽的波束(在方位上扫描);要求精确测定目标的仰角时,采用垂直波瓣窄而水平波瓣宽的波束(在仰角上扫描);如果同时要求精确测定目标的方位和仰角,则采用水平和垂直波瓣都很窄的针形波束。实现天线波束扫描的方法有机械扫描和电扫描两种。机械扫描是用机械方法转动天线,实现波束扫描。电扫描是应用电子技术方法控制波束快速扫描。按照天线扫描时波束在空间的运动规律,扫描方式主要有圆周扫描、扇形扫描、逐行扫描、圆锥扫描等。



**分类和用途** 雷达的分类方法有多种。按运载方式雷达可分为地面雷达、舰艇雷达、机载雷达、气球载雷达、弹载雷达、航天雷达等；按工作波段可分为米波雷达、分米波雷达、厘米波雷达、毫米波雷达等；按接收目标信号能源的性质可分为一次雷达、二次雷达和无源雷达；按技术体制特点可分为脉冲雷达、连续波雷达、圆锥扫描雷达、单脉冲雷达、动目标显示雷达、脉冲多普勒雷达、脉冲压缩雷达、频率捷变雷达、三坐标雷达、相控阵雷达、合成孔径雷达、超视距雷达和多基地雷达等。按照承担的作战任务不同，又可分为：

用于警戒和引导的雷达：①对空情报雷达，用于搜索、监视与识别空中目标，包括警戒雷达(图2)、目标指示雷达和引导雷达。②对海警戒雷达，用于探测水面舰艇和低空、超低空飞行的目标，一般安装在各种类型的水面舰艇上或架设在海岸、岛屿上。③机载预警雷达，安装在预警飞机上，用于探测空中各种高度(尤其是低空、超低空)的飞行目标，同时还兼有指挥引导的功能。④弹道导弹预警雷达，用于探测洲际、中程与潜地弹道导弹，并能测定其瞬时位置、速度、发射点、弹着点等弹道参数。这种雷达多采用相控阵体制，对导弹的探测距离可达数千千米，并能同时跟踪数百个目标。⑤超视距雷达，工作在短波波段，用于探测地平线以下区域内的目标。有天波和地波两种类型。天波超视距雷达利用电磁波在电离层和地面之间跳跃传播，超视距探测在大气层中飞行的战略轰炸机和巡航导弹等目标；地波超视距雷达一般部署在沿海地区，辐射的电磁波沿海面绕射传播，超视距探测海面和空中目标。

用于武器控制的雷达：①炮瞄雷达，用来自动跟踪敌机，连续地测定目标坐标的实时数据，并通过射击指挥仪控制火炮瞄准射击。②导弹制导雷达，用来引导和控制战术导弹的飞行，有地面型和舰载型。③机载截击雷达，装在歼击机上，用来对敌机精确定位，控制航炮或导弹瞄准射击。



图2 中国中远程警戒雷达

④机载轰炸雷达，装在轰炸机上，用来搜索和识别地面或海面目标。它配有专用计算机，能根据载机的飞行参数和气象条件等，计算出投弹的准确位置。⑤导弹末制导雷达，装在导弹弹头内，在导弹飞行的末段，自动控制导弹飞向目标。⑥弹道导弹跟踪雷达，能连续测定弹道导弹的坐标和速度，并精确预测其未来位置。有相控阵与单脉冲两种体制。用于搜索和精密跟踪来袭的导弹目标，识别真弹头，测定其轨道，制导反弹道导弹。也用于弹道导弹试验的靶场测量。⑦鱼雷攻击雷达，装在鱼雷艇和潜艇上，用来搜索、跟踪海面目标，为鱼雷射击指挥仪提供目标的坐标和运动参数，保证鱼雷攻击。

用于侦察的雷达：①战场侦察雷达，供陆军部队用于侦察和监视战场上敌方运动中的车辆和人员。②炮位侦察校射雷达，地面炮兵用来测定敌方炮弹的飞行轨迹，确定其发射阵地并观测己方弹着点的坐标以校正火炮射击。③活动目标侦察校射雷达，用来探测地面或海面运动目标，并测定弹着点或水柱对目标的偏差，以校正地炮或岸炮射击。④侦察与地形测绘雷达，是一种机载合成孔径雷达，用来侦察和测绘地面或海面固定目标，有的也能探测活动目标。它具有很高的分辨力，可获得清晰度很高的图像。

用于航行保障的雷达：①航行雷达，装在飞机上，用来观测飞机前方气象情况、空中目标和地形地物，保证飞机飞行安全。②航海雷达，装在舰艇上，用来观测岛岸目标，以确定舰位，并根据所显示的航路情况，引导和监督舰艇安全航行。③着陆(舰)雷达，在复杂气象条件下，用来引导飞机安全着陆或着舰。④地形跟随雷达和地形回避雷达。地形跟随雷达和计算机、飞行控制系统配合，能使飞机与地面保持一定高度，跟随地形起伏飞行；地形回避雷达在遇到障碍物时，能提供回避信号，使飞机绕过障碍物飞行。主要用来保障飞机低空、超低空飞行安全。

用于气象观测的雷达：主要有测风雷达、测云雷达和测雨雷达等。用来探测空中云、雨的状态，测定云层高度和厚度，测定不同大气层里的风向、风速及各种气象要素，为保障航空、航海、火炮射击、导弹和航天器发射、核试验及其他军事行动提供气象情报。

有些雷达和大型兵器上还装有雷达敌我识别系统，用于配合雷达识别目标的敌我属性。它是一种二次雷达，由询问机和应答机组成。询问机与雷达

配置在一起，而应答机则安装在飞机或舰艇上。当雷达发现目标时，采用密码询问和应答的方式，对目标进行识别。

**简史** 19世纪末20世纪初，欧洲和美国的科学家就已发现电磁波被物体反射的现象。20世纪30年代初，欧美一些国家开始研制探测飞机的脉冲雷达。1935年9月，英国人R·A·沃森-瓦特(R.A.Watson-Watt)首先研制出频率为12兆赫、探测距离达64千米的脉冲雷达。1936年，英国已开始在本土东南部沿海地区部署称为“本土链”(chain home)的对空警戒雷达网。1938年，英国又研制出最早的机载对海搜索雷达ASV Mark II。同年，美国研制成最早的舰载警戒雷达“XAF”。与此同时，德国、苏联、日本等国也独立地发展了自己的脉冲雷达。

第二次世界大战期间，由于作战需要，雷达技术发展极为迅速，雷达的战术使用也由单一的对空警戒扩展为引导、截击、火控、轰炸瞄准、导航等多方面。大战初期，德国在雷达发射机中采用大功率三、四极电子管，把频率提高到600兆赫左右。这不仅提高了雷达搜索和引导飞机的精度，也提高了炮火射击的命中率。1939年，英国发明了频率为3000兆赫的磁控管，并与美国合作研制出采用这种磁控管的微波雷达，使盟军在空中和对海作战方面获得优势。1943年中期，美国研制成精密自动跟踪炮瞄雷达SCR—584，它与指挥仪配合，大大提高了高炮射击命中率。1944年，德国发射V—1导弹袭击伦敦时，英国最初需发射上千发炮弹才能击落一枚V—1导弹，而使用SCR—584雷达后，击落一枚V—1导弹，平均仅需50余发炮弹。雷达在战争中发挥了重大的作用，并与导弹、原子弹并列而被称为二次大战中的三大新武器。但雷达也存在着易受干扰而导致效能降低的弱点，因此在战争中又产生了侦察、干扰雷达以削弱、破坏雷达性能的电子对抗技术。而雷达也在侦察反侦察、干扰反干扰的斗争中获得了发展。

战后，随着科学技术的进步，雷达的性能不断提高，应用的领域不断扩展。50年代，发展了动目标显示雷达以及单脉冲雷达。60年代，发展了脉冲压缩雷达、三坐标雷达、频率捷变雷达和相控阵雷达。70年代，发展了具有下视能力的机载脉冲多普勒雷达和全固态雷达。80年代以后，超视距雷达进入实用阶段，双基地雷达的研究也取得了进展。

中国于20世纪50年代初开始发展雷达工业，自行研制、自行生产的各种军用雷达已大量装备部队。

**发展趋势** 雷达的工作波长将继续向电磁频谱的两端扩展；应用微电子学和固



态技术的成果,实现雷达的小型化;固态相控阵技术将广泛应用于战术雷达;利用计算机管理和控制雷达,实现雷达工作的自动化;提高雷达对目标的实际形象、大小尺寸、运动姿态、表面结构以及诱饵的识别能力,以获得更多的信息;提高雷达的多功能性,即能同时或先后完成几项独立的任务;增强雷达反侦察、反干扰、反隐身技术和对付反辐射武器的能力;发展新的雷达体制如多基地雷达、成像雷达、低截获概率雷达等。

#### 参考书目

M.I.Skoinik, *Introduction to Radar systems*, McGraw-Hill, New York, 1980.

Eli Brookner, *Radar Technology*, chap. 1, Artech House, Dedham, Mass, 1977.

陈宗鹭、赵昌龄等著:《现代雷达》,国防工业出版社,北京,1988。

(郑还)

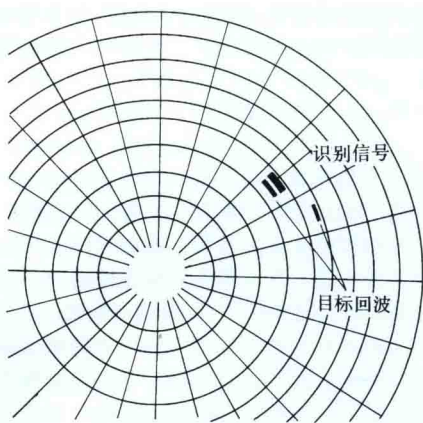
### leida di-wo shibie xitong

#### 雷达敌我识别系统 (radar IFF system)

用于识别被雷达发现的飞机、舰艇、坦克等目标敌我属性的电子系统。是现代战争中识别敌我的一种重要手段。

雷达敌我识别系统的应用范围很广,是陆、海、空三军通用的识别系统。按装载位置和识别对象不同,可分为:①地面识别系统,用于对飞机、舰艇的识别和坦克之间的识别;②舰载识别系统,用于舰艇之间的识别和对空中目标的识别;③机载识别系统,用于飞机之间的识别和对地面、水面目标的识别。这些系统使用同样的技术体制、工作频率和密码,从而构成了地面、空中、水面统一的雷达敌我识别系统。

雷达敌我识别系统由询问机和应答机两部分组成,根据需要询问机和应答机可以分开配置,也可以合在一起配置,通过询问与应答的对应关系,获取敌我识别信息。询问机由发射机、定向天线、接收机、密码机和检测器等部分组成,用以发射询问信号,并接收应答信号。应答机由全向天线、接收机、密码机、发射机等部分组成,用以接收询问信号,并发射应答信号。当雷达发现属性不明的目标后,即控制询问机向目标发出一组密码询问信号。如为己方(或友方)目标,目标上的应答机接收询问信号,经解码后,自动发回一组密码应答信号。询问机接收应答信号,经解码后,输出一识别符号给雷达显示器或数据总线,与该目标回波一起显示出来,从而被确认为己方(或友方)目标。如为敌方或非合作目标(指没有装本系统应答机的目标),则解不出密码,雷达显示器上只有目标回波而没有识别符号(见图)。由于雷达敌我识别系统采用有源问答的工作方式,实际上是一种二次雷



雷达显示器上识别信号显示示意图

达,具有二次雷达的各种特点。

对雷达敌我识别系统的主要要求是:

①询问和应答信号的密码数量多,变换灵活,保密性好,能防止被欺骗和利用;②识别范围和对目标的分辨力要与所配雷达相适应;③识别的可靠性和可信度高;④电磁兼容性好,抗干扰能力强等。

雷达敌我识别系统是在第二次世界大战初期研制出来的,并在战争中发挥了作用。1939年英国制造了第一部敌我识别系统,称为I型,经过多次改进,又发展了II、III、V等型号。I、II型敌我识别系统没有专门的询问机,应答机工作在雷达频率上,直接接收雷达发射的脉冲,并给以回答。但由于雷达频率不断扩展,应答机带宽覆盖不了新出现的雷达频率,保密性能也不好。III型敌我识别系统有专门的询问机。工作频率与雷达分开,采用莫尔斯电码编码方式,有较好的保密性能,是第二次世界大战期间英、美等国的主要敌我识别装备。美国在V型敌我识别系统的基础上研制出了X型,X型是一种军民两用的体制。利用编码的区分,既能用于军事上的敌我识别,又能用于民航空中交通管制。20世纪50年代中期,美国国防部为民用提供这种系统作为共用的空中交通管制信标,并被国际民航组织所采用。60年代以来,由于民用航空事业发展的需要,对这种系统进行了不断地改进,促进了敌我识别系统的发展。较好地解决了“窜扰”(非同步应答)、“混扰”(密码重叠)等干扰问题;电子计算机的应用,提高了保密性能和自动化程度;采用单脉冲技术改善了识别目标的方位分辨能力;有些国家还研制了通信、导航、识别综合系统,以提高识别可靠性和设备利用率;对于非合作式等其他新的识别体制的研究也取得了进展。

随着军用电子技术和电子计算机的发展,跳频和扩展频谱技术的应用,雷达敌我识别系统的抗破译、反干扰能力和在密集的多目标背景下识别敌我的能力都将进一

步提高。为提高识别系统对目标的分辨力,今后雷达敌我识别系统将选用更高的载频,并与红外等光学识别装置结合起来。

(闻兆丰)

### leida duikang

雷达对抗 (radar electronic warfare) 为削弱、破坏敌方雷达的使用效能和保护己方雷达使用效能的正常发挥所采取的措施和行动的总称。是电子对抗的重要分支。

内容与分类 雷达对抗主要包括雷达对抗侦察、雷达干扰和雷达电子防御等内容。雷达对抗侦察是利用各种平台上的雷达对抗侦察设备,通过对敌雷达辐射信号的截获、测量、分析、识别及定位,获取技术参数及位置、类型、部署等情报,为制定雷达对抗作战计划、研究雷达对抗战术技术和发展雷达对抗装备提供依据。雷达对抗侦察分为雷达对抗情报侦察和雷达对抗支援侦察。雷达对抗情报侦察是通过敌雷达长期或定期的侦察监视,对敌雷达信号特征参数的精确测量和分析,以提供全面的敌雷达的情报。雷达对抗支援侦察主要用于战时对当面之敌雷达进行侦察,通过截获、测量和识别,判定敌雷达的型号和威胁等级,直接为作战指挥、雷达干扰、火力摧毁和机动规避等提供实时情报。雷达告警是一种支援侦察,多用于飞机、舰艇的自卫,能对威胁雷达的跟踪实时告警,以便采取对抗措施。雷达干扰是利用各种平台上的雷达干扰设备和无源干扰器材,通过辐射、反射、散射和吸收电磁能量的方法来破坏或降低敌雷达的使用效能,使其不能正常的探测或跟踪目标。雷达干扰是雷达对抗中的进攻手段,按战术使用方法,分为支援干扰和自卫干扰。按干扰产生原理,分为有源雷达干扰和无源雷达干扰。按干扰作用性质,分为压制性雷达干扰和欺骗性雷达干扰。雷达电子防御包括雷达反侦察、反干扰和防反辐射摧毁等,采取各种战术技术措施,防止己方雷达信号被敌方侦察;在受到敌干扰时,保障雷达效能正常发挥;防止敌反辐射武器的攻击等。雷达电子防御由雷达专业部队、分队组织实施。

简史和发展趋势 第二次世界大战期间,雷达获得了广泛的应用。由于雷达与作战活动密切相关,给敌方以直接威胁,所以从雷达诞生起,雷达对抗活动也就开始了。在雷达对抗中,由于可用小的干扰代价,直接影响敌方的作战行动,提高己方飞机、舰艇的生存能力,因此受到各国军队的重视,从而获得迅速的发展。1938年,英国首先对雷达进行了干扰试验,然后就在“本土链”雷达上采用了变换雷达工作频率和调整接收机带宽两项反干扰措施。1939年8



月,德国“齐柏林伯爵”号侦察飞艇对英国“本土链”雷达进行侦察。1940年9月德国用地面干扰机对英国“本土链”雷达进行了首次干扰。1943年7月,英国在轰炸德国城市汉堡时,首次使用箔条实施无源干扰,获得巨大的成功。1944年6月诺曼底登陆战役中,英美联军综合运用了机载、舰载、地面等多种雷达对抗装备和无源干扰器材,采用干扰、伪装和假目标等多种对抗措施,使德国错误地判断登陆地点,对联军登陆成功起到了重要作用。大战期间,英、美、德等国还在军舰、飞机、潜艇上安装了雷达告警设备。大战后期,雷达对抗在各种战斗中频繁运用,并发展成为重要的战役战斗保障手段。战后冷战时期,美苏等国频繁地派遣电子侦察飞机、电子侦察船、发射电子侦察卫星和设置地面侦察站,进行全球的雷达对抗侦察。随着由雷达控制的花炮和战术导弹的服役,促使了新的雷达对抗手段——各种欺骗性干扰的发展,并研制发展了专门摧毁雷达的反辐射导弹。雷达干扰技术的发展,也促进了雷达反干扰技术的发展,频率捷变雷达、脉冲压缩雷达、相控阵雷达、脉冲多普勒雷达等抗干扰能力强的雷达相继装备部队使用。70年代以来,计算机技术、微电子技术和微波功率器件的发展应用,使雷达对抗获得飞速发展,研制出一大批新的侦察干扰技术,如信道化接收机、数字瞬时测频接收机、压缩接收机和声光接收机,以及双模干扰技术、功率管理技术和多波束干扰技术等。研制出综合多功能的雷达对抗系统,雷达对抗装备对密集复杂信号环境的适应能力和反应速度、干扰多目标的能力和自动化水平,都有了很大的提高。战后历次局部战争中,雷达对抗都发挥了重要的作用。在1991年的海湾战争中,多国部队出动大批EF—111A、EA—6B电子干扰飞机,实行远距离支援干扰、近距离支援干扰、随队干扰和自卫干扰相结合的多层次并行掩护的战术,对伊拉克地面防空系统进行全面压制,并且出动F—4G“野鼬鼠”反雷达飞机以反辐射导弹攻击地面防空雷达,使伊拉克的地面防空系统全面瘫痪,为攻击机群提供了严密有效的干扰掩护。海湾战争等局部战争的经验表明,雷达对抗是电子对抗领域中发展最成熟、应用最广泛,最活跃的领域。雷达对抗的发展趋势是:发展对新体制雷达的侦察干扰技术;发展精密定位技术和对雷达信号细微特征的分析技术;雷达对抗设备将向一体化、智能化、通用化、模块化和系列化发展;在作战运用上将向雷达干扰与反辐射导弹结合的软硬杀伤一体化方向发展;发展反侦察反干扰能力强的雷达技术等。

(万学法)

leida duikang shujuku

**雷达对抗数据库** (data base for radar electronic warfare) 以数字电子计算机为基础,用存储介质按一定数据结构保存各种雷达的特征参数及对抗措施的数据记录保持系统。是现代雷达对抗系统不可缺少的组成部分,主要用于对辐射源进行自动识别和威胁判断,以采取相应对抗措施。雷达对抗数据库由数据、硬件和软件等部分组成。数据内容是综合各种情报来源而获得的敌雷达战术技术性能参数和相应的各种干扰样式等数据的集合。硬件是数字电子计算机及其相应的辅助单元,用来存储数据及对数据进行读写。软件是指数据库管理系统,主要包括数据结构、数据库结构和程序,应能快速进行数据运算、用户查找修改和利于保密、资源共享。雷达对抗数据库按用途可分为辐射源识别数据库、告警数据库、干扰资源库和对策库等。识别库一般存储作战对象各种雷达的数据。告警库主要存储威胁大的武器系统的雷达(如火控雷达、导弹制导雷达等)的数据。干扰资源库和对策库只有大型雷达对抗系统和电子对抗自动化指挥系统才设置,以便最佳运用系统的干扰资源和对抗策略,使系统效能得到充分发挥。(范尚运)

leida duikang zhencha

**雷达对抗侦察** (radar electronic warfare reconnaissance) 搜索、截获敌方雷达辐射的电磁信号,经过分析识别从中获取战术技术参数及位置数据等情报的活动。是电子对抗侦察的重要分支。

雷达对抗侦察的基本功能是:侦察雷达信号载频、信号波形、脉冲宽度、脉冲重复频率、信号强度及雷达天线极化方式、波束宽度、扫描方式和速率等雷达特征参数;测定雷达信号到达方向或对雷达定位;对所获取的雷达特征参数和位置参数进行分析处理,查明敌方雷达的类型、用途、配置情况。雷达对抗侦察是搜集技术情报和军事情报的一种重要手段,从获取的大量情报中可推断敌方雷达的技术水平、发展趋势,以及敌军的部署、武器系统配系、威胁程度和行动企图等。雷达对抗侦察所获取的实时信息是逐行雷达对抗的基础。

雷达对抗侦察是通过接收正常工作的雷达发射的直射波来实现的。接收到的信号能量与侦察点到雷达之间距离的2次方成反比,而一般雷达是接收目标反射的回波,接收到的信号能量与雷达至目标的距离的4次方成反比。因此,雷达对抗侦察的最大侦察距离通常大于雷达探测距离,当雷达还未探测到侦察点附近的目标时,其信号就可能已被对方侦察截获。

雷达对抗侦察仅能测量雷达特征参数

和雷达信号的到达方向,不能直接测量到雷达的距离。雷达对抗侦察对雷达定位的方法主要有交会定位法、时差定位法和方位-仰角定位法。交会定位法是常用的定位方法,它是利用两个分开设置的雷达对抗侦察站,各个侦察站分别测出目标雷达的方位角,两条方向线的交会点即为雷达位置。根据已知的两个侦察站之间的距离和方位角,可计算出雷达的位置数据。时差定位法一般是用三个位置确定的侦察站,测量同一雷达发射的脉冲到达各侦察站的时间差,可画出两组双曲线,其中两条双曲线的交会点就是雷达的位置。时差定位法定位精度高,但技术上比交会定位法复杂。方位-仰角定位法是载有侦察设备的卫星或飞机采用强方向性天线波束对地面进行探测,当侦收到雷达信号时,测量地面雷达的方位角和仰(俯)角,再根据飞行器的航行数据即可实时确定雷达的位置。

雷达对抗侦察所截获到的信号通常包含大量的雷达信号及其他电磁辐射源信号,形成随机交错的信号流,依据测定的雷达特征参数、到达时间及到达方向数据,可把各部雷达信号从信号流中分选出来。再将分选出来的各部雷达特征参数与数据库中存贮的已知雷达的特征参数进行比较,识别出雷达的类型、属性、用途以及威胁程度等。

雷达对抗侦察按任务和用途可分为雷达对抗情报侦察和雷达对抗支援侦察两大类。雷达对抗情报侦察,是利用电子侦察卫星、电子侦察飞机、电子侦察船或地面雷达对抗侦察站,对敌方或潜在敌方的雷达进行长期或定期的侦察,收集积累有关雷达的技术情报和军事情报,为雷达对抗数据库提供准确的数据,为己方制定电子对抗对策和发展雷达对抗装备提供依据。雷达对抗支援侦察,主要用于战时当面对面之敌雷达逐行侦察,查明威胁雷达或雷达控制的武器系统状态,为指挥员判断决策提供依据,同时也用于告警、引导控制干扰设备或为武器系统指示目标位置。

雷达对抗侦察具有侦察距离远,工作隐蔽性好,获取信息量大等特点,但侦察活动依赖于雷达发射的信号,如敌方采用雷达“静默”战术,就难以发现目标。

雷达在军事上应用后不久便出现雷达对抗侦察。1939年8月,德国一艘飞艇装有灵敏的接收机,有计划地执行搜集英国“本土链”雷达情报的任务,虽然未获成功,但被认为是首次雷达对抗侦察行动。第二次世界大战期间,作战双方相继在飞机和舰艇上安装雷达告警接收机,用以发现敌方雷达信号的照射,以便及时规避。英、美在欧洲战场,美国在太平洋战场都频繁地对德、日等国进行雷达对抗侦察。战后,军事



大国利用电子侦察卫星、电子侦察飞机、电子侦察船以及地面雷达对抗侦察站，频繁地侦察搜集有关国家的雷达情报。20世纪70年代以来雷达工作频段愈来愈宽，新体制雷达大量使用，复杂的特殊雷达信号大量涌现，使雷达对抗侦察面临着日益复杂的电磁信号环境。雷达对抗侦察的发展趋势是：发展多种侦察手段，采用综合的技术体制，形成综合侦察系统；发展对新体制雷达信号的分选识别技术；发展精确定位技术等。

(王新益)

## leida duikang zhencha shebei

**雷达对抗侦察设备** (radar electronic warfare reconnaissance equipment) 用于搜索、截获、测量、分析、识别雷达发射的电磁信号以获取其战术技术参数等情报的电子设备。

雷达对抗侦察设备主要由天线、接收机、信号处理器、控制器和显示记录装置等组成(图1)。接收机包括测频接收机和测向接收机两部分。测频接收机用于测量雷达信号的载频，有搜索式测频和非搜索式测频两类体制。频率搜索接收机在一定宽度频带内自动进行频率搜索，在搜索过程中对截获的雷达信号进行测频。典型的频率搜索接收机有调谐超外差接收机和微扫(压缩)接收机，前者是慢速频率搜索，后者是快速频率搜索。非搜索式测频接收机有晶体视频接收机、信道化接收机、瞬时测频接收机、声-光测频接收机等。信道化接收机是一种典型的非搜索测频接收机，其工作原理是把拟侦察频段分成若干相互衔接的小频段，每个小频段有一个检测装置，各小频段同时处于侦察状态。只要接收天线截获到雷达信号，即由与雷达信号频率对应的小频段上检测装置测出信号频率，其值等于该小频段的中心频率。测频精度取决于小频段的频带宽度，小频段的频带宽度愈窄，测频精度愈高。非搜索测频接收机的特点是只要雷达信号被接收机截获，就能瞬时测出雷达信号的频率。测向接收机(或测向装置)用于测量雷达信号到达侦察点的方

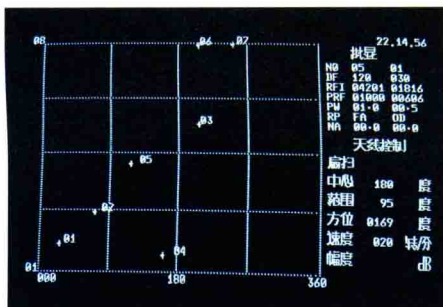


图2 方位频率显示器画面

向，亦有搜索式测向和非搜索式测向两类体制。搜索式测向接收机是采用锐方向性天线波束在空间扫描，当天线波束对准雷达信号到达方向时，侦收到的信号强度最大，此时天线波束指向即为雷达信号到达方向。非搜索式测向有比幅测向法和比相测向法。比幅测向是采用多个天线分别同各自的接收机相连，各天线形成独立的波束且与相邻波束部分重叠，所有波束均匀地覆盖360°方位(或某一扇形方向区域)。比较各个接收机输出的信号幅度，可得出雷达信号到达方向，比幅测向的精度与所使用的天线的数量有关，根据需要可选用四信道比幅、六信道比幅等测向接收机。比相测向是利用两个(或多个)相隔一定距离的天线分别接收雷达信号，信号的人射波前到达两天线时将产生波程差，从而引起两路接收信号之间的相位之差，经鉴相器测得相位差值后，即可计算出雷达所在方向。比相测向的测向精度较高，其精度与两天线的间距有关。信号处理器分预处理器和主处理器两部分，预处理器包括硬件和软件，其主要功能是：将接收机送来的视频脉冲信号进行模拟-数字变换、测量雷达信号的脉冲宽度、幅度、到达时间；将测得的上述脉冲参数与接收机测得的载频、方向数据一道形成雷达脉冲描述字；对交错信号流进行分选，计算出脉冲重复频率及其变化，分离成各个独立的雷达信号等。有时把分选前对信号测量计算形成雷达脉冲描述字的功能归为接收机的功能，而仅把分选视为预处理功能。经过预处理后，基本上把信号按各部雷达归类，数据率将比预处理前降低2~3个数量级，大大减轻主处理器的负担。主处理器的主要功能是：对预处理中的未处理完的一些复杂信号(如捷变频雷达信号)的数据继续进行处理；完成

信号识别，确定雷达类型、属性、用途和威胁程度；进行判断决策，选择对抗措施和时机，以及引导控制干扰设备。控制器与主处理器连接，自动对各种功能进行控制，必要时可进行人工干预。显示记录装置主要是将经处理后得到的各种信息，以符号、数字或图像形式在荧光屏上显示出来，供操作人员观察、控制或为指挥员提供判断依据(图2)。对需要保存的数据，采用磁带、磁盘、打印机等装置记录存储。

雷达对抗侦察设备的主要战术技术性能指标有：侦察空域、截获概率、信号环境适应能力、反应速度以及频率覆盖范围、灵敏度、测频精度、测向精度和系统动态范围等。

雷达对抗侦察设备按运载平台的不同，分为地面(固定、车载、便携)(图3)、机载、舰载、星载和投掷式侦察设备。按战术用途



图3 德国heals雷达对抗侦察车

的不同，分为雷达对抗情报侦察设备和雷达对抗支援侦察设备。雷达对抗情报侦察设备用于对敌雷达长期或定期地侦察监视，全面搜集、积累有关敌雷达的技术情报和有关军事情报。雷达对抗情报侦察设备比较复杂，通常具有精确测量和分析雷达信号参数的能力，但一般不要求具有实时的反应能力。雷达对抗支援侦察设备，用来为电子干扰、火力摧毁、规避等作战行动提供实时电子情报，要求具有快速反应能力。这类设备又有雷达告警设备和干扰引导侦察设备。雷达告警设备具有高截获概率和实时反应能力，是现代作战飞机、舰艇和战车上的自卫设备，主要用于快速发现武器控制雷达的照射，及时发出告警信号，以便及时采取干扰、规避等对抗措施。干扰引导侦察设备，具有实时截获、分析、识别雷达信号的能力，以便引导干扰机实施有效干扰。

第二次世界大战期间，雷达对抗侦察设备用于作战。那时的雷达对抗侦察设备比较简单，一般采用扫描式天线，机械调谐

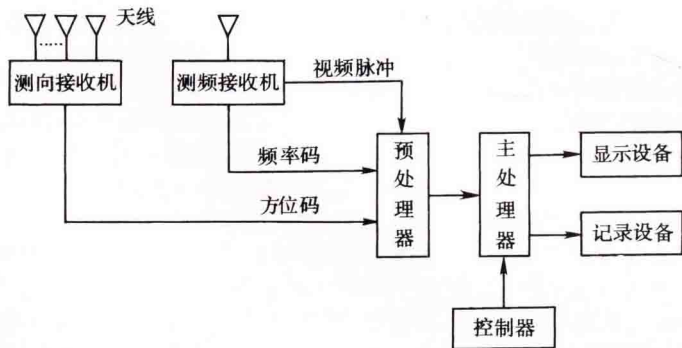


图1 雷达对抗侦察设备组成示意图



超外差接收机和直检式接收机,人工操作,测量雷达信号参数的能力有限。60年代以来,随着雷达技术发展,新体制雷达不断出现,雷达数量日益增多,雷达信号环境变得越来越复杂,促进了雷达对抗侦察设备的发展。侦察天线除了继续使用扫描式的天线外,出现了方位上宽开接收的新型天线,如应用巴特勒矩阵馈电的圆阵(半圆阵)天线,多波束透镜天线等。侦察接收机出现了多种新的体制,如信道化接收机,瞬时测频接收机,微扫(压缩)接收机,声光接收机等。由于微电子技术和数字计算机的发展及在雷达对抗侦察设备上的应用,实现了密集、复杂信号环境下自动快速地进行信号分选、识别、判断决策和对干扰设备的引导控制。70年代末期以来,出现了把几种技术体制结合在一起使用的侦察设备,如在微处理机控制下,瞬时测频接收机自动引导超外差接收机工作,使两种测频接收机技术的优点兼而有之。信道化接收机和声光接收机已达到实用水平。90年代,信道化接收机或声光接收机与超外差接收机结合使用的雷达对抗侦察设备已进入实用。(王新益)

## leida duikang zhuangbei

**雷达对抗装备** (radar electronic warfare equipment) 专门用于侦察、干扰敌方雷达的电子设备和器材的总称。包括雷达对抗侦察设备、雷达干扰设备和雷达无源干扰器材。

雷达对抗侦察设备用于截获敌方雷达发射的信号、测量信号特征参数、测向定位和识别雷达类型,判断威胁程度,以获取战术技术情报。按装载平台的不同,可分为星载、机载、舰载、地面(固定、车载、便携式)和投掷式侦察设备;按担负任务的不同,可分为情报侦察设备和支援侦察设备。雷达对抗情报侦察设备用于对敌雷达的长期侦察监视,通过对敌雷达信号各种参数的精确测量和分析,获取全面的雷达战术技术情报,为雷达对抗数据库提供所需数据,为发展雷达对抗装备和制订雷达对抗对策提供依据。雷达对抗支援侦察设备用于在战时截获、测量、分析雷达信号,通过与雷达数据库的数据比较,识别雷达类型,判定威胁等级,为作战指挥实时提供战术技术情报和引导雷达干扰设备及反辐射武器作战。在支援侦察设备中,还有一种专门用于报警的雷达告警设备,它安装在飞机、舰艇等大型兵器上,对威胁雷达信号进行全概率截获,测量主要特征参数,快速判断威胁并实时告警,以便载体及时采取规避、机动或其他对抗措施。雷达对抗侦察设备能适应密集复杂的信号环境,并具有覆盖的频域和空域范围宽、截获概率高、测量

精度高、分选识别能力强、动态范围大、解调功能完善和自适应能力强等特点。雷达干扰设备用于发射或转发各种调制样式的干扰信号,压制或欺骗敌方雷达,使其无法正常工作。

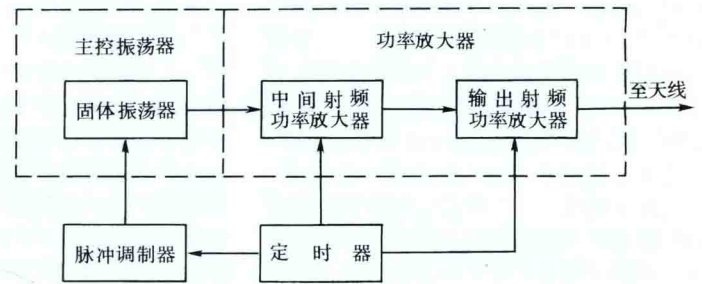
按装载平台的不同,可分为机载、舰载、地面(车载、便携式)和投掷式雷达干扰设备。按技术体制的不同,可分为引导式干扰机、回答式干扰机和双模干扰机。引导式干扰机通常产生连续波噪声干扰,主要用于施放压制性干扰。回答式干扰机通常是将接收到的微弱的雷达脉冲信号,经干扰调制和功率放大后,再发射出去。它可分为转发式干扰机和应答式干扰机两种,主要用于施放欺骗性干扰。双模干扰机具有脉冲干扰和连续干扰两种模式,既可实施欺骗性干扰,又可实施压制性干扰。对雷达干扰设备的基本要求是频域和空域覆盖宽,瞄准精度高,引导控制时间短,适应复杂信号环境的能力强。雷达无源干扰器材本身不辐射电磁波,而通过对电磁波的反射、散射、折射和吸收,来压制或欺骗敌方雷达。主要包括箔条及其投放装置、角反射器、龙伯透镜反射器、气悬体、假目标、电磁波吸收材料等。雷达无源干扰器材的特点是通用性强、制造简单、使用方便。

雷达对抗装备产生于第二次世界大战期间,几十年来在与雷达的斗争中迅速发展。已由功能简单、频带窄、手工操作的状况,逐步发展成品种齐全的侦察、干扰设备。随着微电子技术和计算机技术的发展,到70年代已出现多功能、多频段的自动化雷达对抗系统,成为世界各国军队装备最普及、应用最广泛的电子对抗装备。为了适应复杂多变的作战环境,雷达对抗装备正向综合一体化、多功能、智能化、结构模块化、可对付多目标的方向发展。

(万学法)

## leida fasheji

**雷达发射机** (radar transmitter) 雷达系统中提供大功率射频信号的设备。它所产生的射频能量经馈电系统传输到天线并辐射到空间。按产生射频信号的方式,可分为单级振荡式发射机和主振放大式发射机;按采用的射频大功率器件的类型,可分为电真空器件发射机和固态器件发射机;按调制方式,又可分为连续波发射机和脉冲调制发射机等。最常用的发射机是脉冲调制的雷达发射机。



主振放大式脉冲雷达发射机组成示意图

单级振荡式脉冲发射机由一级自激射频振荡器和脉冲调制器组成。射频振荡器通常采用磁控管或微波三极管、四极管作为振荡源,产生大功率射频振荡。脉冲调制器在雷达定时器触发脉冲的控制下,产生一定宽度的高压视频脉冲控制射频振荡器的工作。采用这种发射机的雷达,发射信号的频率稳定性较差,发射信号与接收机本振信号之间没有固定的相位关系。但它的结构简单,体积和重量相对较小,造价较低,多用于频率稳定度要求不高的常规脉冲雷达。主振放大式发射机既可用于脉冲雷达,也可用于连续波雷达。脉冲雷达的主振放大式发射机由脉冲调制器、主控振荡器和一级或多级功率放大器组成(见图)。主控振荡器是由晶体主振控制的频率合成器,它产生一频率很稳定的小功率射频振荡信号,经过脉冲调制和功率放大,产生所要求的射频大功率脉冲,经馈线系统传送至天线。功率放大器一般采用速调管放大器、行波管放大器、前向波管放大器或半导体器件组成的功率合成器。主振放大式发射机产生的大功率射频信号,频率稳定度高,可采用多种信号形式,如脉内调频、编码调相等。采用这种发射机的雷达,其接收机的本振信号与发射信号由同一主控振荡器产生,因此二者的相位是相干的。这种发射机为脉冲压缩、动目标显示、脉冲多普勒、合成孔径等新体制雷达广泛采用,具有良好的发展前景。但它的结构复杂、体积和重量较大,造价较高。

雷达发射机的发展趋势是:进一步提高工作稳定性,提高发射信号的频谱纯度;提高发射机的输出功率,降低损耗、提高效率;开发新的更高频率的发射机,扩展发射机工作带宽;发展固态发射机,研制将发射组件和接收组件合成一体的单片微波集成电路器件;降低发射机体积、重量和制造成本。(张兴华)

## leida fanganrao jishu

**雷达反干扰技术** (radar electronic counter-countermeasure technique) 为使雷达在电子干扰环境中能有效地获取目标信息而采取的各种消除或减弱干扰影响的技术



措施的统称。雷达反干扰技术一般具有针对性,对于不同类型的电子干扰,需要采用不同的反干扰技术。对于一些复杂的电子干扰,往往需多种反干扰技术综合应用,才能有效地消除其影响。按干扰类型的不同,雷达反干扰技术可分为反有源干扰技术、反无源干扰技术;以及反压制性干扰技术和反欺骗性干扰技术。按反干扰的作用分,主要有提高信号强度,防止接收机过载和抑制(鉴别)干扰等。反干扰的基本方法是利用目标信号和干扰的某种不同特性,从干扰背景中提取目标信息,其实质就是滤波技术,可分为空间域滤波、频率域滤波和时间域滤波等反干扰技术。按雷达的组成可分为发射机反干扰技术、天线反干扰技术、接收机反干扰技术和信号处理器反干扰技术等。

反有源压制性干扰技术 有源压制性干扰的主要形式是噪声调制干扰。这种干扰在时间上是连续的,因此对付这种干扰的办法,主要是采用频率域和空间域滤波的反干扰技术。将雷达的工作频率避开电子干扰的频率,是基本的反有源压制干扰的方法,也是发射机和接收机共同采用的频率域滤波反干扰技术。主要方法有:①频率选择。当雷达在某一工作频率上遭到干扰时,即自动地或人工地转换到另一个预先选择好的频率工作,以避免干扰;②频率分集。一部雷达用两个(或者多个)频率同时工作,当其中有的(或有些)频率遭受干扰时,其他未受干扰的频率仍能正常工作;③频率捷变。发射一次脉冲,就改变一次工作频率,变化规律是随机的,难以预测,迫使敌方转而使用宽带干扰,从而使干扰电平下降,起到冲淡干扰的作用;④自适应频率捷变。能自动侦察发现干扰的最弱频带,并立即将雷达的工作频率调整到该频率上,以降低干扰效果;⑤在雷达接收机中加上“宽限窄”电路,以抑制宽带噪声调频阻塞式干扰。所谓“宽限窄”电路,是在接收机中先采用宽带中频放大器使宽带调频噪声干扰成为随机窄脉冲干扰,再经过限幅器使窄脉冲干扰幅度大大衰减,然后采用与目标信号相匹配的窄带中频放大器将目标信号检测出来。对于从天线副瓣进入雷达的有源压制性干扰,除频域反干扰以外,还可采用空域反干扰技术。主要措施是:采用低副瓣或超低副瓣天线,尽可能减少从天线副瓣进入的干扰能量;采用天线副瓣对消技术,即在雷达主天线之外,再加装一个全向辅助天线和相应的自适应对消电路,使两个天线输出信号合成以后,其主瓣的信号保持基本不变,而把进入某一副瓣的干扰对消为零,从而消除副瓣干扰。如果存在多个干扰源,则需多个辅助的天线与相应的对消电路。对于相控阵天线,则

可自适应地改变每个天线单元的幅度和相位,以实现副瓣对消反干扰技术。

反有源欺骗性干扰技术 对于距离欺骗干扰(或称距离门拖引干扰),除采用频率捷变或重复周期捷变等有效的反干扰技术以外,还可在信号处理器中采用跟踪回波脉冲的前沿或多波门跟踪等反干扰技术。角度欺骗主要用于干扰圆锥扫描体制的跟踪雷达。采用单脉冲跟踪技术,是一种主要的和有效的反角度欺骗干扰技术。对付从天线副瓣进入的脉冲式欺骗干扰,可采用副瓣匿影反干扰技术。就是在雷达的天线之外,加装一套全向辅助天线和副瓣匿影电路。当主天线副瓣收到的脉冲干扰信号小于全向辅助天线所收到的同一信号时,副瓣匿影电路就将这个干扰脉冲去除。

反无源干扰技术 无源压制性干扰主要是在空中大量投射箔条或气悬物体,形成广阔的杂波干扰区以掩护其中的活动目标,破坏雷达对目标的探测。雷达通常采用自适应动目标显示技术以抵消这种随风飘移的低速杂波干扰;或采用脉冲多普勒技术,用多普勒频率滤波器组,根据目标和杂波干扰的速度区别,滤除杂波。反无源欺骗性干扰包括:采用多普勒滤波技术滤除雷达诱饵回波;采用高分辨率雷达,特别是合成孔径雷达,识别地(海)面无源假目标。

对于有源和无源复合干扰,雷达需采用频率捷变和动目标显示相结合的反干扰技术。

雷达反干扰技术是在和雷达干扰技术的斗争中不断发展起来的。第二次世界大战期间,德、英、美、苏等国都先后在雷达中采用了一些有效的反干扰技术,如加宽频段、人工和机械变频、利用多普勒效应观测动目标、加装简单的抗干扰电路等。50年代初,变频速度达到秒级的机械跳频技术和用人工进行风速补偿的动目标显示技术已经使用。50年代末,频率分集、单脉冲和副瓣匿影等反干扰技术开始应用。60年代发展了频率捷变、自适应动目标显示和“宽限窄”电路等反干扰技术。70年代,脉冲多普勒和自适应副瓣对消等技术投入使用。80年代对付有源和无源复合干扰的兼容雷达反干扰技术获得发展。雷达反干扰技术的发展趋势是:将多种反干扰技术有机地结合起来,提高雷达的综合反干扰能力;自适应反干扰技术向智能化方向发展,雷达能快速测估干扰环境,自动采取合理的反干扰措施;发展多基地等新体制雷达,统一考虑解决雷达反侦察、反干扰和反隐身等问题。(郑还)

leida fenbianli

雷达分辨率 (radar resolution) 见雷达。

leida ganrao

雷达干扰 (radar countermeasures) 辐射、转发、反射或吸收电磁能量,以削弱或破坏敌方雷达探测和跟踪能力的战术技术措施。是雷达对抗的组成部分。

按产生干扰的原理分为有源雷达干扰和无源雷达干扰。有源雷达干扰是使用雷达干扰设备辐射或转发干扰电磁波,使雷达不能正常发挥效能。无源雷达干扰是使用本身不产生电磁辐射的器材散射、反射或吸收敌方雷达辐射的电磁波,从而阻碍雷达对真目标的探测或使其产生错误跟踪。

按干扰的性质分为压制性雷达干扰和欺骗性雷达干扰。

压制性雷达干扰是以强烈的干扰使雷达无法发现目标或者使雷达信号处理设备过载饱和,难以获取目标的信息。利用雷达干扰设备或雷达无源干扰器材都可以产生压制性的干扰。应用最广泛的有源压制性干扰是噪声干扰,它对各种体制的雷达均有明显的干扰作用(图1)。按照干扰带宽与受干扰雷达接收机通频带的比值,可以分为瞄准式干扰、阻塞式干扰和扫频干扰。瞄准式干扰是把噪声干扰的能量集中于有效覆盖雷达接收机通频带的窄频带内(数兆赫

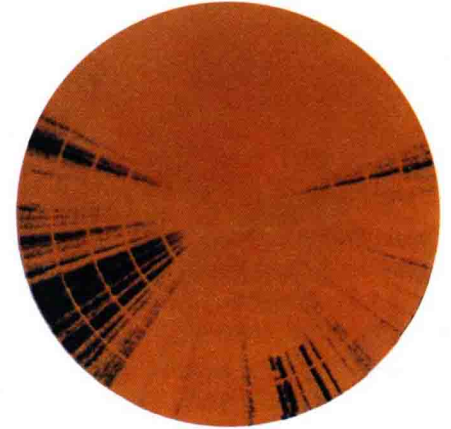


图1 雷达平面位置显示器显示雷达受噪声干扰时的干扰图像

到十多兆赫),对雷达形成很高的干扰功率谱密度,干扰压制效果好。阻塞式干扰是在很宽的频带(数十兆赫以上)上发射噪声干扰信号,在此频带内的所有雷达都将受到干扰,它能在较宽频段上工作的频率捷变雷达、频率分集雷达进行干扰。阻塞式干扰的缺点是干扰功率分散在很宽的频带上,干扰功率谱密度较低,如欲形成有效的压制,需采用大功率干扰发射机。扫频干扰是将窄带噪声干扰在很宽的频带上进行快速扫掠,这种干扰既具有较高的干扰功率谱密度,又可以得到宽带阻塞干扰的效果,但在时域上对频带内的各个雷达的干扰是不连续的。有源压制性雷达干扰是暴露型的,一旦发射干扰,即可能被敌方雷达察觉而



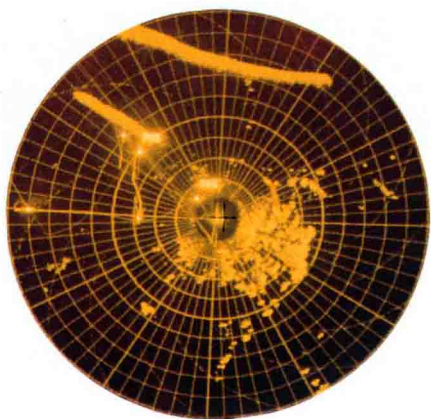


图2 箔条干扰在雷达平面位置显示器上呈现的干扰亮带

采取反干扰措施, 或者使用反辐射导弹攻击干扰源。无源压制性雷达干扰通常是向空中连续投放大量的干扰器材(如箔条), 形成干扰屏障或干扰走廊(图2), 使敌方雷达难以探测干扰屏障或走廊内的目标, 以掩护己方作战行动; 或者在一定空域内间断投放干扰器材, 形成大量的假目标, 使雷达信号处理设备过载。

欺骗性雷达干扰是模拟目标的回波特性, 使雷达获得虚假目标信息, 作出错误判断或增大雷达自动跟踪系统的误差。欺骗性雷达干扰可以采用有源或无源的方法产生。有源欺骗性干扰是使用干扰设备接收雷达发射的信号, 经过干扰调制, 改变其有关参数, 再转发回去。主要用于对自动跟踪雷达进行欺骗。根据对雷达的干扰作用, 有源欺骗性干扰主要有假目标干扰、距离欺骗干扰、速度欺骗干扰和角度欺骗干扰。假目标干扰是由假目标产生器接收雷达脉冲信号或雷达天线旁瓣信号再发射假目标回波信号, 在距离、角度、速度方面产生假的效果, 使雷达真假难辨。对跟踪雷达的距离欺骗干扰亦称距离拖引干扰, 通常是将敌方雷达的信号加以放大并调制后再转发回去, 由于干扰信号强于目标回波信号, 诱使雷达的距离跟踪波门去跟踪虚假的“目标”, 再对干扰信号进行延时, 使其逐渐后移, 就会将距离波门拖引开真实的目标, 从而达到欺骗的目的。角度欺骗干扰就是发射与目标回波角度信息不一致的干扰信号, 使跟踪雷达的角度自动跟踪系统工作不稳、跟踪误差增大、错误跟踪甚至跟踪中断。雷达的跟踪体制不同, 所采用的角度欺骗技术也不同。如对单脉冲跟踪雷达的角度欺骗技术主要有相干干扰、闪烁干扰和交叉极化干扰; 对圆锥扫描雷达主要有倒相干扰; 对隐蔽锥扫雷达有音频扫描干扰、扫描锁定式干扰; 对边扫描边跟踪雷达有角度波门拖引干扰和同步挖空式干扰等。速

度欺骗干扰主要用于干扰测量目标速度和进行速度自动跟踪的连续波雷达和脉冲多普勒雷达, 主要方法有速度波门拖引和假多普勒频率干扰。速度波门拖引和距离波门拖引原理相似, 所产生的干扰信号强于目标回波信号, 当雷达的速度跟踪波门跟踪干扰信号时, 改变干扰信号的多普勒频率, 使速度波门随着干扰信号假多普勒频率的移动而移动, 从而被拖引离开真实目标, 达到欺骗的目的。有源欺骗性干扰的特点是隐蔽性好, 使敌方不易察觉; 需要的干扰功率小, 干扰设备重量轻。欺骗性干扰针对性强, 但不能对各种雷达都有效。无源欺骗性干扰主要是: 投放运动特性和雷达截面积均与目标(飞机、舰船、导弹等)相同或相近的假目标装置, 对探测雷达进行欺骗; 当目标受到雷达跟踪时, 投放速爆箔条弹、角反射器、假目标装置等无源干扰器材, 形成雷达诱饵, 使跟踪雷达跟踪诱饵而丢失真目标。

单一的干扰有时对反干扰能力强的雷达作用有限。为了提高干扰效果, 通常把各种干扰样式的雷达干扰组合使用, 如多种欺骗干扰技术同时使用, 压制性干扰与欺骗性干扰组合使用, 有源干扰与无源干扰组合使用等。

雷达干扰按作战使用方式可分为自卫式干扰和支援式干扰。自卫干扰是目标自身携带干扰设备和干扰器材, 施放干扰掩护目标自己, 提高自身的生存能力。支援干扰通常是由专用的运载平台(如电子对抗飞机)携带雷达干扰设备或器材, 对敌方雷达进行干扰, 掩护己方的作战行动, 保障作战兵力、兵器的安全。支援式干扰又可分为远距离支援干扰、近距离支援干扰和随队支援干扰等战术。

第二次世界大战期间, 德国首先于1940年9月对英国的“本土链”雷达实施干扰。1942年8月英国采用简单的“月光”脉冲转发器对德国弗雷亚雷达施放假目标脉冲干扰。此后, 英美两国生产了大量噪声干扰机用于作战。1943年7月, 英国在轰炸汉堡时, 投放了大量箔条, 使德国的防空系统瘫痪。大战期间, 雷达干扰虽然干扰样式单一、干扰功率小、干扰频带窄, 但仍然在作战中发挥了重要作用。战后, 随着电子技术的发展和局部战争的需要, 雷达干扰技术发展很快。50年代末, 对跟踪雷达的各种欺骗性干扰技术获得相应发展。70年代以来, 计算机技术、微电子技术和大功率器件在雷达对抗装备中应用日益广泛, 展宽了雷达干扰频段, 出现了新的干扰手段和干扰样式, 对多目标的干扰能力、干扰自动化程度以及对战场电磁环境的自适应能力和反应速度都有了很大的提高。雷达干扰的发展趋势是: 进一步展宽干扰频段; 发展

对新体制雷达的干扰技术; 进一步发展自适应干扰技术; 在干扰运用上, 向多种干扰技术综合运用、干扰与反辐射武器结合使用的软硬一体化方向发展。

(王殿勇)

leida ganrao shebei  
**雷达干扰设备** (radar jamming equipment) 发射或转发雷达干扰信号电子设备。又称雷达干扰机。按干扰性质的不同, 分为压制式干扰机、欺骗式干扰机和双模干扰机。按工作原理分为引导式干扰机和应答式干扰机。按安装平台和使用的不同, 分为车载式(图1)、便携式、投掷式、舰载式、机载式、弹载式等雷达干扰机。



图1 意大利地面雷达干扰车

压制式雷达干扰机通常产生由噪声调制的射频连续波干扰信号, 使雷达接收到一个比目标回波信号强得多的干扰信号, 从而遮盖了目标回波信号, 使雷达性能降低或不能发现目标信号。压制式干扰机按其干扰信号的带宽不同, 可施放瞄准式(引导式)干扰和阻塞式干扰。欺骗式雷达干扰机又称应答式干扰机, 是在接收雷达信号后, 发射一个假回波信号, 使雷达真假难辨, 以破坏雷达对目标的跟踪。欺骗式干扰机按其工作原理不同, 分为转发式干扰机和应答式干扰机。双模干扰机是将压制式干扰机和欺骗式干扰机组合在一起的干扰机, 可在用噪声干扰遮盖真实目标的同时, 加入假的雷达回波, 使干扰更具有欺骗性。它可以干扰多种不同体制的雷达。

先进的雷达干扰设备主要由天线、侦察接收机、计算机、功率管理单元和双模干扰发射机等组成(图2)。侦察接收机可在全频段、全方位截获各种体制的雷达信号, 并瞬时测得各射频脉冲的参数, 经信号处理后, 将密集的脉冲流分选成各个雷达特征数据。计算机是雷达干扰设备的核心, 其作用是根据侦察接收机测定的每部雷达的特征数据, 与数据库中预存的已知雷达数据比较, 识别出雷达的类型; 进行威胁运



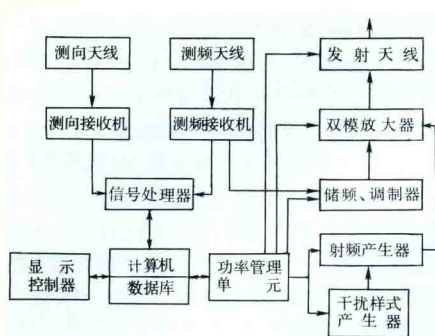


图2 典型雷达干扰设备组成示意图

算和逻辑判断,给出每部雷达的威胁等级;根据诸威胁的态势和本干扰设备的能力(干扰目标的数量、干扰功率、频率范围等等),经过对策运筹给出最佳干扰对策(可人工干预);实时地发出各项干扰指令等。功率管理单元是最佳干扰对策的执行单元,它根据计算机的指令,在空间、时间、频率、功率、干扰样式和极化等方面,对干扰发射机进行控制。即针对各雷达的特征数据,控制干扰发射机在需要的时间里设置多个干扰时间窗,以相应的频率、适当的功率、最佳的干扰样式和相应的极化产生干扰信号,并控制干扰天线波束,在各干扰时间窗瞬间对准干扰目标施放干扰。双模干扰发射机在功率管理单元的控制下,产生欺骗式或压制式射频干扰信号。干扰发射机既可分别产生一种干扰,也可同时产生两种干扰,以获得对各种体制雷达的有效干扰。发射天线可以是相控阵天线或多波束天线,在功率管理单元的控制下,将天线波束指向干扰目标或选择一个覆盖干扰目标方向的天线扇面,以实现多目标的干扰。

先进的雷达干扰设备在干扰多个目标过程中,随着干扰目标的转换,干扰信号的参数和干扰天线波束指向都可瞬间变化。这些瞬间变化信息的获得和控制指令的形成,均通过计算机来完成。同时在整个作战过程中,计算机还能根据侦察接收机所截获的雷达信号的变化,不断进行识别、威胁评估、对策运筹,调整干扰目标,形成新的最佳干扰对策。由于采用了计算机,上述全部过程既可实时和自动进行,也可通过显示控制台进行人工干预。

雷达干扰设备的主要战术技术性能指标是干扰频段、干扰功率、干扰多目标能力和系统反应时间等。雷达干扰设备的频段通常在0.7~18吉赫之间,干扰功率可达数百瓦(连续波)和数千瓦(脉冲),干扰的目标数可达20~80个,系统反应时间为0.1秒左右。雷达干扰设备适应信号环境的能力可达 $10^5 \sim 10^6$ 脉冲/秒,采用模块化结构和软件可重编程的雷达干扰设备,能根据作战需要采用不同的模块组成各种特殊用途的干扰机。

雷达干扰设备在第二次世界大战中出现,在空袭和防空作战中发挥了重要作用。当时的雷达干扰设备频带窄、功率小、功能单一,基本上由人工操作。50年代后期,由雷达制导的防空导弹和炮瞄雷达的大量使用及射频存储技术的成熟,推动了欺骗式雷达干扰机的发展,60年代,在越南战争的刺激下,雷达干扰设备有了很大发展。70年代以来,随着计算机技术、微电子技术和大功率器件的发展,雷达干扰设备在技术上更加完善。功率管理技术、双模干扰技术、相控阵和多波束技术的应用,出现了多功能一体化的雷达对抗系统。雷达干扰设备的发展趋势是:扩展干扰频段到毫米波段;发展射频数字存储技术,增加新的干扰样式;将超高速大规模集成电路用于信号处理,提高对复杂多变的信号环境的适应能力;微波功率器件向固态化、集成化发展,发展功率合成技术;相控阵技术和多波束技术将获得更广泛的应用;发展自适应和智能化雷达干扰设备等。

(王殿勇)

## leida gaojing shebei

**雷达告警设备** (radar warning equipment) 用于截获、分析、识别雷达信号以判断威胁程度并实时告警的雷达对抗侦察设备。又称雷达告警接收机。通常安装在作战飞机、舰艇、战车等作战平台上,用以快速发现雷达控制的武器系统的攻击,以便采取干扰、规避等自卫对抗措施,其显著特点是截获概率高,反应速度快。

安装在作战飞机上的雷达告警设备应用最广泛,典型的机载雷达告警设备主要由天线、接收机、信号处理器、控制装置、显示装置和告警装置等部分组成(图1)。四个宽频带天线分别位于围绕机身的各个象限上,以实现360°全方位告警。天线输出端的多路分配器将告警设备覆盖的频率范围分成几个相邻的射频频段,每一频段的信号用一套宽带晶体视频接收装置进行检测和放大,输出该频段上的交错脉冲串。信号处理器把各路接收装置送来的脉冲串进行测量和分析处理,把各部雷达信号从信号流中分离出来,得到雷达的工作频段、信号幅度、脉冲宽度、脉冲重复频率、天线扫

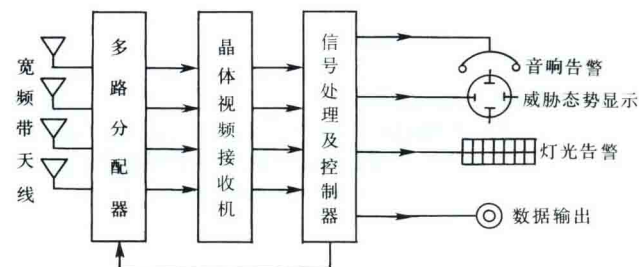


图1 机载雷达告警设备组成示意图

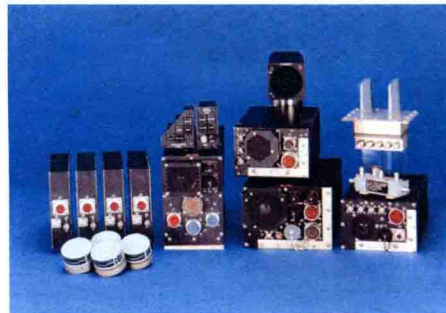


图2 美国AN/ALR-74机载雷达告警系统

描特性和信号到达方位等数据。然后将各部雷达的数据与数据库中的已知威胁雷达的特征参数进行比较,识别出雷达类型、属性、用途和威胁程度。显示装置以数字、符号和图形形式显示出威胁雷达的态势(编号、威胁雷达类型、所在方位及大致距离等),音响和灯光告警装置实时发出告警信号。控制装置用于自动或以人机对话方式对设备有关部分进行控制。雷达告警设备还能输出数据,用以引导控制干扰设备或引导投放箔条干扰弹等。

雷达告警设备按安装平台和用途的不同分为机载雷达告警设备、舰载雷达告警设备和车载雷达告警设备。机载雷达告警设备安装在作战飞机和军用直升机上,用于监视敌方炮瞄雷达、地空导弹制导雷达、空空导弹制导雷达、机载截击雷达等对载机的照射,能对雷达从搜索到跟踪状态的转换及导弹发射状态作出实时反应(图2)。舰载雷达告警设备主要用于监视敌方机载、舰载雷达及反舰导弹上导引雷达对舰艇的照射。由于舰艇的雷达截面积大,运动速度较慢,要求这类告警设备侦察距离较远,以便获得较长的预警时间。车载雷达告警设备安装在坦克等各种战车上,主要用于监视敌方的战场活动目标侦察雷达,火控雷达和导弹制导雷达对战车的照射。雷达告警设备的应用领域在不断扩大,除了安装在上述各种活动作战平台上之外,还可安装在近距离防空和区域防空场所,用于发现雷达控制的武器系统对重点目标的袭击。

雷达告警设备的战术技术性能指标主要有:工作频段、警戒空域、测向精度、反应时间和截获概率等。典型雷达告警设备的性能参数是:工作频段1~40吉赫,警戒空域:方位360°、仰角 $\pm 45^\circ$ ,反应时间0.1秒左右,截获概率接近100%,测向精度 $\pm 10^\circ$ 。

第二次世界大战期间雷达告警设备用于实战。1941年,德国最早在军舰上安装了第一批雷

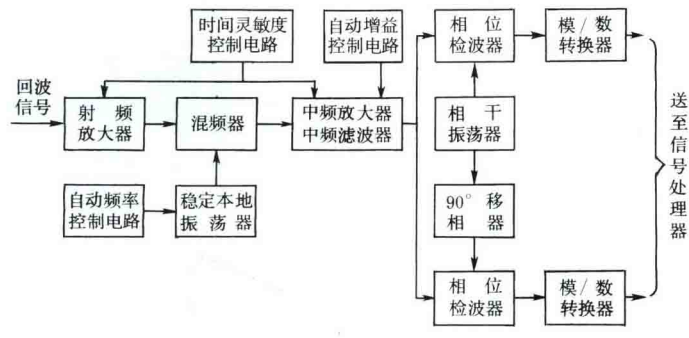


雷达告警接收机,美国、英国也相继在作战飞机上安装了雷达告警接收机。在太平洋战争中,美国又把雷达告警接收机安装在潜艇上。早期的雷达告警设备很简单,只能给出己方舰艇和飞机已受到雷达信号照射的告警信号。20世纪60年代雷达告警设备大多由晶体视频接收机和模拟式信号处理器组成,信号分析处理能力有限。70年代初,雷达告警设备逐渐采用数字处理技术取代模拟处理技术,增强了信号分析处理能力。70年代中期以后,计算机技术普遍用于雷达告警设备。为了适应日趋复杂的电磁信号环境,出现了宽开侦收的数字化雷达告警设备,其频率覆盖范围达到2~18吉赫,能在复杂信号环境下同时处理多部雷达信号。80年代以来,雷达告警设备的性能进一步提高,采用宽带接收机和窄带超外差接收机相结合的体制以提高测频精度,增加毫米波雷达告警能力,具有识别多参数捷变信号和连续波信号的能力,能适应50~100万个脉冲/秒的密集信号环境,具有可重编程能力,能同时显示多个辐射源的方位、类型和威胁等级,并控制雷达干扰设备和箔条投放装置工作。雷达告警设备的发展趋势是:进一步扩展告警工作频段;提高信号处理能力和系统响应速度;发展各种平台通用化的雷达告警设备;发展雷达告警、红外告警、激光告警一体化的综合告警系统。(王新益)

### leida jieshouji

**雷达接收机** (radar receiver) 对雷达天线收到的伴有噪声、杂波和干扰的目标回波微弱信号进行放大、滤波、鉴别,并将其转换成视频信号的设备。雷达接收机有连续波和脉冲式两种。

典型雷达接收机主要由低噪声射频放大器、本地振荡器、混频器、中频放大器及正交双通道相位检波器等组成(见图)。低噪声射频放大器将雷达天线接收的目标回波信号进行放大,经过放大的射频信号在混频器中与本地振荡器送来的振荡信号混频,转换成中频信号,再经中频放大器对回波进一步放大和滤波。早期雷达接收机,对目标信号中频放大后采用幅度检波的办法取得视频信号,因此只输出目标的幅度信息而损失了相位信息。传统的动目标显示雷达接收机采用单通道相位检波的办法,只输出了目标的相位信息而损失了幅度信息。对中频信号采取正交双通道相位检波的接收机,中频信号分别与相干振荡器输出的两个幅度相同、相位相差90°(即相互正交)的基准信号进行相位检波,输出两个相位相差90°的视频信号分量。这两个视频信号分量,包含了目标回波信号中幅度和相位全部信息,又分别经过模拟/数字



典型雷达接收机组成示意图

转换器,转换成数字信号后送至信号处理设备。为了保证正常工作和提高雷达抗干扰能力,雷达接收机通常还有一些辅助电路,如手动(自动)增益控制电路、灵敏度时间控制电路、自动频率控制电路和各种抗干扰电路。

衡量雷达接收机性能的主要指标有灵敏度、选择性、动态范围、频率稳定度和抗干扰性等。灵敏度即雷达接收机最小可检测信号的功率,反映了雷达接收机检测微弱回波信号的能力。灵敏度越高,雷达探测距离越远。动态范围是指雷达接收机在不饱和的条件下所容许的输入信号强度变化的范围。为防止接收机因信号太强造成饱和和过载而丢失目标信号,接收机应有较大的动态范围,并采用一定的抗过载措施,如采用灵敏度时间控制电路、瞬时自动增益控制电路和对数放大器等。频率稳定度是指本地振荡器和相干振荡器的频率稳定的程度,它与雷达抑制地物、海浪等杂波的能力密切相关。稳定度高,则抑制杂波的能力强。(张兴华)

### leida mangqu

**雷达盲区** (radar blind zone) 见雷达探测范围。

### leida mubiao texing

**雷达目标特性** (radar target signature) 目标散射雷达电波能量的特性。它与目标的材料、形状、几何尺寸,雷达频率和极化方式,以及雷达对目标的视角等因素有关。飞机、舰船等形状复杂的雷达目标,可分解成许多独立的小散射元,各散射元分别截获雷达的电波能量,其中一小部分能量向雷达方向反射回去。雷达接收的反射信号是各散射元反射信号的矢量和,其强度与各反射信号的幅度和相位有关。对同一目标而言,如果雷达对目标的视角不变,雷达频率变化时会引起目标各散射元的反射信号的相位随之变化,雷达接收的目标回波信号的幅度和相位也将随之变化。如果雷达频率不变,雷达对目标视角变化也

会引起各散射元反射信号的相位和幅度的变化,目标回波信号的幅度和相位也随之变化。雷达在探测过程中,被探测的运动目标的姿态在不断地变化,因此雷达对目标的视角也不断地改变,目标的回波信号就随之起伏变

化。这就是雷达目标的起伏特性,也称为闪烁特性。这种特性,决定了雷达在探测目标时的发现概率,并导致雷达在测定目标的方位和仰角数据时产生一定的误差。雷达目标特性可用来区分、识别目标,如判断飞机的机型、架数,估计目标的速度和转动情况,以及判别目标的某些外形特点等。深入地研究各种雷达目标的特性,是研究、发展雷达技术的一种重要依据。

(丁士其)

### leida qingbao zhihui xitong

**雷达情报指挥系统** (radar information and command system) 以雷达为探测手段获取目标情报,并实时进行传递、综合、分析和显示,辅助指挥员实施作战指挥的一种大型电子系统。它是军队指挥自动化系统的重要组成部分。

**组成** 雷达情报指挥系统通常包括:由各种雷达构成的雷达分系统;连接各个雷达站和各级指挥所的通信分系统;以及各级指挥所内的计算机分系统和显示控制分系统。

**雷达分系统** 是全系统的情报来源。它将不同类型、不同频段的雷达以及雷达敌我识别系统,根据作战要求部署在一定区域内组成雷达网。雷达探测到目标时,实时测定其坐标和数量,判别敌我属性和型号特点。为了迅速、准确、连续地将雷达情报传送到指挥所,雷达配有自动或半自动录取装置,可在探测区域内自动地检测和录取数百个目标数据。

**通信分系统** 主要用于传递雷达情报、指挥命令和有关图像、数据、资料、文件等。它由各种类型的有线和无线信道组成,主要采用语音和数据传输。通信设备可以是各种有线信道的载波机,也可以是各种无线信道的收、发信机。在接口设备中为了提高传输的可靠性,往往采用编码、验错、纠错等措施。根据不同的雷达指挥系统的要求,可采用有线、光缆、短波电台、微波中继,对流层散射以及卫星通信等通信方式。为了增强通信分系统的生存能力,一般



采用复式线路、迂回信道和抗毁措施。

计算机分系统 用于实时处理雷达分系统收集到的各种目标情报,并协助指挥员拟制作战方案。雷达情报的处理,首先要正确综合几部雷达所提供的重复情报,并编排批次,建立航迹档案,进而综合敌我双方的全面情况,分析敌方目标的活动企图和威胁程度,结合计算机内部存贮的己方兵力部署情况以及地形、气象等自然环境条件,计算出对策方案,供指挥员进行决策时参考。计算机分系统的结构形式,有的采用中央主体计算机结构,也有的采用小型计算机或微型计算机与总线组成的分布式结构。计算机分系统必须有一系列的情报处理程序、管理程序,检查程序以及数据库等软件,才能充分发挥作用。

显示控制分系统 供指挥员直观地了解战术态势的变化,监视其他各分系统的工作情况,控制计算机的实时处理,进行必要的人工干预。显示形式主要有情况显示器和表格显示器两种。情况显示器用来显示地图背景、目标航迹以及战斗行动的情况。表格显示器以字母、数字显示主要的航迹参数和己方兵器战备状态参数等。在高级指挥所内,通常还有大屏幕显示器,显示全面的作战态势,供指挥员和作战参谋人员使用。显示器是人-机联系的输出装置,而操纵台上的滚球(亦称跟踪球)或光笔以及功能键盘则是人-机联系的输入装置,通过它可以向计算机输入指令和数据,进行人工干预。

**分类** 雷达情报指挥系统根据所担负的作战任务,可分为:

**国土防空雷达情报指挥系统** 主要用于全国或某一地区的对空监视,及早发现敌方飞行器的入侵,发布防空警报,保障引导己方歼击机拦截敌方飞行器以及为地空导弹和高炮部队分配攻击目标。国土防空雷达情报指挥系统部署的基本形式分为集团部署和线状部署。集团部署是以保卫目

标为中心,以重点作战机场为基地;线状部署通常是沿国境界线(战时可按交战线)配置。系统的指挥等级结构可分为初级、中级和高级指挥所(又称雷达情报指挥控制中心),分别实施战术和战役指挥。各级指挥所既对下实施指挥,又接受上级的指挥,同级之间组织情报协同(图1)。空中

预警飞机是国土防空雷达情报指挥系统的重要组成部分,机上装载了有下视能力的远程预警雷达、高能计算机、显示控制台以及通信设备,是一个灵活机动的指挥控制中心。它可与地面或舰艇作战指挥系统组织协同。

**野战防空雷达情报指挥系统** 主要用于战区的防空警戒,保障战区地面部队防空作战,引导前线航空兵对陆军实施支援,并与国土防空雷达情报指挥系统组织情报协同。野战防空雷达情报指挥系统跟随地面部队迅速推进和转移,具有很高的机动性(图2)。由于其任务是监视战区的有限空域,目标容量不要求很大。

**弹道导弹雷达预警指挥系统** 主要用于防御陆基和潜艇发射的洲际弹道导弹。弹道导弹雷达预警指挥系统不仅能提供预警情报,而且还能指挥截击系统进行反击。所采用的探测手段主要有超远程、多功能相控阵雷达,探测距离达数千千米。该系统必须具有很高的识别大气层以外真假目标的能力,以对付多弹头分导和携带大量诱饵弹头的目标。

此外,还有舰艇雷达情报指挥系统、地面战场侦察雷达情报指挥系统等。

**简史** 雷达情报指挥系统是同防空雷达一起发展起来的。第二次世界大战初期,英国首先使用人工的雷达情报指挥系统。它主要由本土搜索雷达链和

低空搜索雷达链的80部雷达组成,在不列颠防空作战

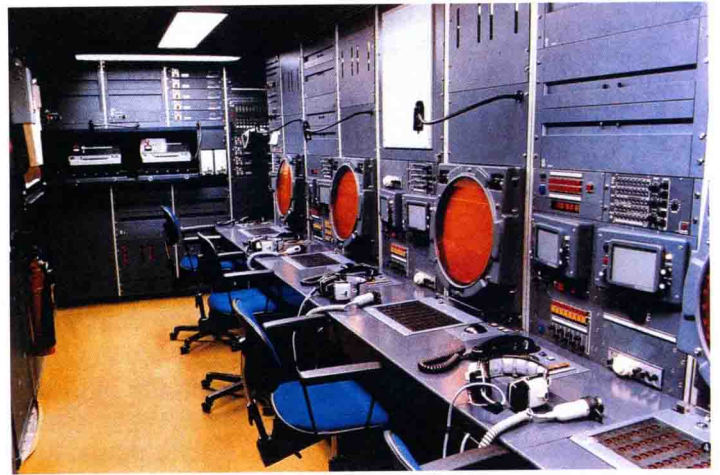


图2 防空系统机动控制报知中心

中发挥了重要作用。这种早期的人工雷达情报指挥系统是由雷达操作人员发现目标,测报其坐标数据,通信人员用电报或电话传递情报和指挥命令,再由标图人员标图,整理出全部空中目标情报,供指挥员分析、判断和决策。

第二次世界大战以后,随着喷气式飞机的出现,空中目标的速度大大提高而且密度也日益增加。容量小、速度慢、差错多的人工系统已无法满足现代战争的要求。为此,美国在1958年首先将“赛其”半自动化防空预警和指挥系统的第一个指挥中心投入使用。1961年底,该系统全部建成。1968年又建立了“贝克”“备用拦截控制系统”,作为赛其系统的备用和补充。1963年9月美国建成弹道导弹雷达预警指挥系统,它由三个弹道导弹预警雷达站组成,分别设在格陵兰的图勒、阿拉斯加州的克里尔和英国的法林代尔斯。该系统对由北极飞向北美大陆的洲际弹道导弹的预警时间约为15分钟。苏联在1958年将“天空一号”半自动化雷达情报指挥系统装备于防空师和歼击机师。北约的一些国家在1973年建成一条北起挪威南至土耳其,纵贯西欧达3000千米的弧形预警线——“奈其”系统。80年代中期,美国和加拿大建立了联合监视系统和地区作战控制中心。还有不少国家也建成本国的防空雷达情报指挥系统,如法国的“斯特里达”系统,德国的“杰其”系统,日本的“巴其”系统等。

**发展趋势** 随着军事系统工程理论、电子计算机技术和通信技术的发展,雷达情报指挥系统的实时性和自动化程度将进一步提高,以便指挥员更能全面实时地掌握战场态势,增强其决策能力;系统获取目标情报的传感器将向多种体制、多个频段、多样手段发展,以实现情报信息的融合;进一步提高系统探测低空目标和“隐身”目标的能力;在总体上保证系统具有更快的反应速度、更大的情报容量、更高的

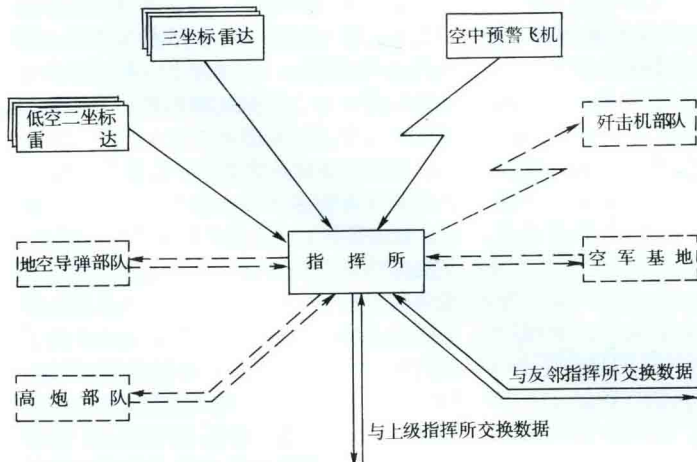


图1 国土防空雷达情报指挥系统信息传输示意图



可靠性、生存能力和抗干扰能力。

参考书目

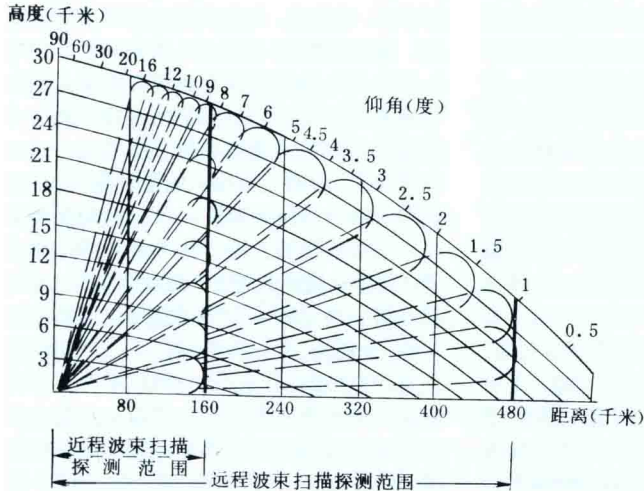
D.J.Morris "Introduction to Communication Command and Control system" pergamon press 1977.

W.M.Stothard and R.Woodcock "Air Defense system planning" Interavia world Review of Aviation, Astronautics, Avionics English Edition Vol XXXV, March 1980.

(崔君望)

leida tance fanwei

雷达探测范围 (radar coverage) 雷达能探测到目标并测定其坐标的空域。通常用雷达对规定目标的最大探测距离、天线波束在垂直面的覆盖范围(或扫描范围)和天线方位扫描范围等三项性能指标来表示。是衡量雷达探测能力的重要战术参数和使用雷达遂行任务与部署雷达的重要依据。在实际使用中,雷达的探测范围还要考虑雷达阵地周围的地形、天线架设高度、电波传播条件和目标高度等因素。雷达的探测范围常用垂直面内的探测范围图(又称威力图)直观地表示(见图)。在雷达威力图中,在最大探测距离之内、最大探测高度以下,



三坐标雷达垂直探测范围图

不能发现目标的区域,称为雷达盲区。主要有低空盲区、顶空盲区和波束间盲区等。图中所示是一典型三坐标雷达的垂直探测范围图。天线波束有两种,一种是近程波束,另一种是远程波束。两种波束交替在0.5°~16°的仰角上扫描,形成该雷达的垂直探测范围;天线在方位上作360°旋转扫描时,形成雷达的全部探测范围。

(丁士其)

leida tance juli

雷达探测距离 (radar detection range)

在确定的观测环境和一定的发现概率和虚

警概率的条件下,雷达能检测到目标的最大距离。是雷达的重要战术性能指标之一。

雷达在接收目标反射的回波时,雷达的内部和外部均存在着噪声,噪声具有随机起伏的特性,因而从噪声中检测信号的过程具有概率或统计特性。当信号存在时,检测到信号的概率叫发现概率,把噪声起伏误认为信号的概率叫做虚警概率。不同战术任务的雷达所要求的发现概率和虚警概率也不同,如对空警戒雷达通常要求发现概率为50%以上,而引导雷达则要求达到90%。雷达最大探测距离 $R_{max}$ 主要与雷达的接收机灵敏度 $P_{min}$ 、发射机峰值功率 $P$ 、发射天线增益 $G$ 和接收天线的有效面积 $A$ 以及目标的雷达截面积 $\sigma$ 有关。当雷达电波在自由空间传播时,雷达探测距离的数学表达式,即雷达方程为

$$R_{max}^4 = \frac{PGA\sigma}{(4\pi)^2 P_{min}}$$

接收机灵敏度又称接收机最小可检测信号功率,为雷达刚好能发现目标时,接收机输入端的回波信号功率。它与雷达的发现概率、虚警概率和接收机噪声有关。在雷达的发现概率和虚警概率已经确定的条件下,接收机噪声电平越低,最小可检测信号功率越小,即灵敏度越高,则雷达的探测距离越远。发射机的峰值功率越大,雷达探测距离也越远。由于在脉冲雷达中,接收机一般要将接收到的同一目标的多个回波脉冲信号积累起来进行检测,接收机接收的信号能量又与信号的脉冲宽度有关,因此雷达探测距离实际上与发射机的平均功率有关。一般雷达的发射机和接收机共用一部天线,而天线增益又与天线有效面积成正比。因此增大天线有效面积,即增大天线增益,能有效地增大雷达探测距离。目标的雷达截面积与目标的大小、形状和材料有关。目标的雷达截面积越大,雷达的探测距离就越远。由于运动目标的雷达回波信号具有起伏特性,目标的雷达截面积是一个随机统计量,所以雷达的探测距离也是一个随机的统计量。雷达探测距离还与电磁环境有关,在探测目标的方向上,如有云、雨、海浪、地物或人为的干扰时,就会影响对目标的探测。

雷达的战术任务不同,所要探测的目标不同,探测距离也不相同。如地面战场侦

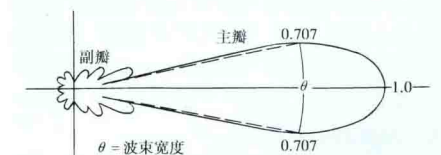
察雷达的探测距离约为数千米至数十千米,对空警戒雷达的探测距离约为数百千米,弹道导弹预警雷达和超视距雷达的探测距离可达数千千米。(丁士其)

leida tianxian

雷达天线 (radar antenna) 雷达中用以辐射和接收电磁波并决定其探测方向的设备。雷达天线具有将电磁波聚成波束的功能,定向地发射和接收电磁波。雷达的重要战术性能,如探测距离、探测范围、测角(方位、仰角)精度、角度分辨力和反干扰能力均与天线性能有关。

雷达天线在空间聚成的立体电磁波束,通常用波束的水平截面图(即水平方向图)和垂直截面图(即垂直方向图)来描述。方向图呈花瓣状(见图),又称为波瓣图。常规的天线方向图有一个主瓣和多个副瓣。主瓣用于探测目标。副瓣又称旁瓣,是无用的,愈小愈好。雷达的战术用途不同,所要求的天线波束形状也不相同。常规雷达的发射波束和接收波束是相同的,一些特殊体制的雷达,发射波束和接收波束不同。脉冲雷达多数是发射和接收共用一个天线,靠天线收发开关进行发射和接收工作状态的转换。有些雷达(如多基地雷达和连续波雷达),其发射天线和接收天线是分开的。

雷达天线类型很多,按其结构形式,主要有反射面天线和阵列天线两大类。反射面天线由反射面和辐射器组成。辐射器又称馈源、辐射元、照射器,它向反射面辐射电磁波,经反射形成波束。典型的反射面天线是旋转抛物面天线,它采用口径为圆形的金属抛物面作反射面,辐射器置于焦点上,能产生形状对称的针状波束,工作情况与探照灯相似。此外还有切割抛物面天线、抛物柱面天线、卡塞格伦天线、单脉冲天线、叠层波束天线、赋形波束天线和偏馈天线等多种形式。若使切割抛物面天线口径的水平尺寸比垂直尺寸大,则可获得水平宽度窄垂直宽度宽的扇形波束。赋形波束天线的反射面不是旋转对称的,又称双曲反射面天线。叠层波束天线采用多个馈源垂直一线排列,共用一套发射机,但每个馈源有各自的接收机,形成多个接收波束,为多波束三坐标雷达所采用。偏馈天线辐射器的位置偏离反射面的中轴线而位于反射面的侧下方,以尽量减少对天线波束的遮挡,降低了天线副瓣。阵列天线由若干辐



典型雷达天线方向(极坐标)图



射单元按一定间距排列在一个平面内,并按一定的功率分配比例关系向辐射单元馈电,在空间形成波束。这种天线又有振子阵列天线、波导缝隙阵列天线和八木阵列天线等多种形式。振子阵列天线用半波长(或全波长)振子作为辐射单元。波导缝隙阵列天线则在波导的窄面开槽,形成半波长的缝隙作为辐射元。八木天线是由一个振子辐射器、一个无源反射振子和若干个接近半波长的引向振子前后一线纵向排列而成的端射式天线。由若干个八木天线按一定的间距排列,构成八木阵列天线。

按天线波束的扫描方式,雷达天线可分为机械扫描天线、电扫描天线和机电扫描结合的天线。机械扫描天线通过机械的方法驱动天线转动,实现天线波束在方位和仰角二维的扫描,扫描的速度较慢。电扫描天线,天线固定不动,波束在方位和仰角二维的扫描,都是用电子技术控制阵列天线上各辐射单元的馈电相位或工作频率来实现,波束扫描的速度很快。机电扫描结合的天线一般是方位扫描由机械驱动天线旋转进行,仰角扫描由电子技术控制各辐射单元的馈电相位或工作频率来实现,因此其方位扫描较慢,仰角扫描很快。有时也把机电扫描结合的天线叫一维电扫描天线。

雷达天线主要的性能指标有波瓣宽度、有效面积、增益、副瓣电平、极化方式、频带宽度、天线转速和抗风力等。波瓣宽度是天线方向图中主波瓣电磁场半功率点(0.707场强点)间的宽度,有水平波瓣宽度和垂直波瓣宽度。在雷达工作波长固定的条件下,天线口径尺寸越大,波瓣宽度越窄。在天线口径尺寸固定的条件下,工作波长越短,波瓣宽度越窄。天线波瓣宽度与雷达的测角精度和角分辨力直接有关,波瓣窄,测角精度高,角分辨力强。有效面积表示雷达天线接收空中信号功率的能力,即雷达天线接收到的信号功率与来自最大辐射方向的信号的功率密度之比。一般雷达天线的有效面积为天线实际几何面积的50%~90%。增益表示雷达天线聚集波束的能力,其大小为雷达天线在最大辐射方向所辐射的功率与一各个方向都均匀辐射的天线在同一方向上辐射的功率之比(在两天线输入功率相同的条件下)。在雷达工作波长固定时,天线口径面积越大,天线增益越高;如果天线口径面积固定,则工作波长越短,增益越高。副瓣电平是指副瓣的最大电磁场强度与主瓣的最大电磁场强度之比,用分贝表示。雷达天线有很多副瓣,因此有最大副瓣电平和平均副瓣电平两项性能指标。根据雷达反干扰性能的要求,天线副瓣电平越低越好。

雷达天线通常置于露天工作,直接受到自然界中的风、雨、冰雪、沙尘以及太阳

辐射、盐雾等的影响使天线的性能降低,寿命缩短。为此,很多地面和舰载雷达的天线配有天线罩。机载雷达由于在高速平台上工作,则必须配有天线罩,以改善气动性能。天线罩是用对电磁波透过率很高的材料制成,可保护天线免受恶劣自然环境的影响,减轻天线磨损、腐蚀和老化,使天线性能稳定可靠,延长使用寿命。天线罩可使天线减少对风的防护措施,因此可减轻天线机械结构重量,降低天线驱动功率。

随着新材料、新工艺和计算机辅助设计技术的不断发展,雷达天线将进一步降低副瓣电平,扩展天线工作带宽,减轻重量、缩小体积和降低成本。(张兴华)

### leida tianxianzhao

**雷达天线罩** (radar radome) 见雷达天线。

### leida tuxiang chuanshu shebei

**雷达图像传输设备** (radar relay equipment) 将雷达获得的图像信息用无线电传输并进行再生的设备。主要应用的场合有:将雷达图像传送到指挥所,供指挥员直接观察;将架设在环境恶劣的高山、极地上的雷达图像传送到山下或操作员工作室;将机载雷达的图像传送到地面等。雷达图像传输设备由发送设备和接收设备组成。发送设备置于雷达站内,由编码器、调制器、发射机和天线等部分组成,并与雷达站的平面位置显示器连接。编码器将雷达平面位置显示器送来的目标回波、方位和距离刻度等图像信号,以及定时触发脉冲和天线旋转同步信号依一定的时间顺序编为合成信号。合成信号经调制器放大,并以一定的调制方式调制到发射机的射频信号上,再经天线发射出去。接收设备由天线、接收机、解调器和解码器等部分组成,置于指挥所或其他地方,并与该地的外置显示器连接。接收天线收到射频信号以后,经接收机滤波、放大、变频,由解调器解调出合成信号和同步信号,使外置显示器与雷达站的平面位置显示器同步工作,显示完全相同的雷达图像。

有些雷达图像传输设备具有双工通信功能。在这种情况下,在发送设备和接收设备中需要增加相应的通信分机,用于指挥所和雷达站之间的通信联系。

(高志祥)

### leida wuyuan ganrao qicai

**雷达无源干扰器材** (radar passive jamming material) 本身不发射电磁波,通过反射、折射、散射、吸收雷达发射的电磁波,扰乱雷达对目标探测和跟踪的制式器材的总称。主要有箔条、反射器、假目标、电波吸收材料以及气悬体等。

**箔条** 箔条是一种使用最广的无源干扰器材,包括干扰丝、干扰片、干扰带(绳)等,常用的有铝箔条、镀铝玻璃丝、镀银尼龙丝、镀铝电容器纸等。

**反射器** 反射器是一种具有很大雷达截面积和较宽二次辐射方向图的无源干扰器材。主要有角反射器、双锥反射器、龙伯透镜反射器和万·阿塔反射器等。角反射器是由三个互相垂直相交的金属平面构成的反射体,可以在较大的角度范围内(约 $25^{\circ} \sim 50^{\circ}$ )将入射的电磁波经过3次反射,按原方向反射回去,因而具有较大的雷达截面积。例如一个边长约为40厘米的方形或三角形组合的角反射器,其雷达截面积相当于一辆重型坦克的雷达截面积。一个边长为1米的角反射器的雷达截面积和一艘中型军舰的雷达截面积相近。角反射器按面板形状分,有三角形、方形和圆弧形等类型(图1);按结构形式分,有永久式、折叠式、装配式、混合式和充气式角反射器等;按象限数分,有单角、四角和八角形角反射器。龙伯透镜反射器是在龙伯透镜的局部表面镀上金属反射层而构成的反射器(图2),它能将入射电磁波束聚集到一起再反射回去,因而具有很大的雷达截面积、良好的方向性和频率特性。如一个60厘米的龙伯透镜反射器,对3厘米波长的雷达来说,其雷达截面积超过1000平方米,可模拟一艘中型军舰。龙伯透镜反射器具有体积小、重量轻、方向图宽( $90^{\circ}$ 、 $140^{\circ}$ 、 $180^{\circ}$ )等优点,但制造工艺复杂,价格较贵。反射器在电子对抗中主要是用作假目标和雷达诱饵等。空投的角反射器可以模拟飞机和导弹,飘浮在海上的反射器可以模拟军舰,设置在江河、湖泊上的角反射器可以模拟桥梁或水坝,配置在陆地上的反射器可以模拟机场、炮阵地、坦克群、交通枢纽和工业区。

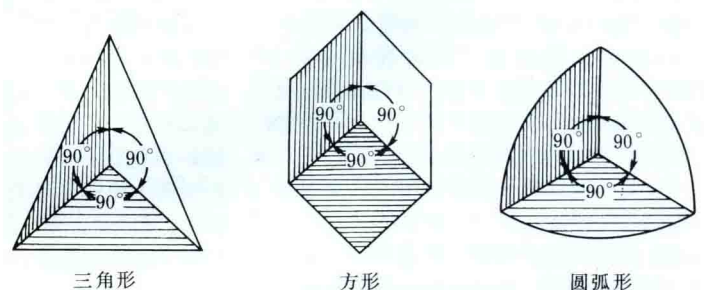


图1 角反射器结构示意图