

双(多)基地雷达系统

Bistatic (Multistatic) Radar Systems

杨振起 张永顺 骆永军 编著

国防工业出版社

第一章 双(多)基地雷达的发展历史和前景

人们最早发现无线电波探测物体的现象是在发射机和接收机分置情况下实现的,即最早的雷达试验模型是收、发分置的双基地体制。但不久,在天线收发开关发明之后,收发在一起的单基地雷达性能日臻完善,获得了广泛应用,而双基地雷达却没多大进展。到了现代,随着电子战斗的愈演愈烈,单基地雷达遇到了严重困难,因而对双基地雷达的需求日趋迫切;另外现代电子技术的发展也使各种形式的双基地雷达得以实现。自70年代末以来双基地雷达又得到了发展,并以崭新的面貌重现于历史舞台,倍受专家们的重视。可以相信双(多)基地雷达在下一世纪军用雷达中将占据重要的地位。本章将简要叙述双(多)基地雷达的发展史,说明其主要特点,预测其发展前景。

1.1 双(多)基地雷达的发展简史

双(多)基地雷达是最早出现的雷达体制,而后经历了一段停滞时期,近期又在新的条件下得到迅速发展。双基地雷达的发展史生动地体现了事物“螺旋”式发展的辩证规律,也给人们很多启示。

1.1.1 双(多)基地雷达早期发展情况

雷达是在无线电通信和 VHF 电波传播实验基础上诞生的。本世纪二三十年代,美、英、法、苏等国几乎同时试验了收、发分置的雷达装备。

1922年,美国海军飞机实验室的 A. H. Taylor 博士和其助手

L. C. Young 在进行60MHz 的无线电传播实验时,用分置在 Potomac 河两岸的接收机和发射机发现了正在河中航行的木船。1930 年 L. C. Young 和 L. A. Hyland 用一台33MHz 的测向仪偶然发现了一架飞机。随后他们用私人筹办的设备和资金又进行了多次探测飞机和轮船的试验,并于1933年6月提出了专利申请。这一专利于1934年授予 Taylor、Young 和 Hyland。

1935年1月,英国的 Robet Watson-Watt 爵士写了一篇“用无线电对飞机进行探测和定位”论文,接着他们进行了著名的“Davenport”试验。他们利用位于 Davenport 的 BBC 电台的短波发射机,用一部装在运输车上的接收机(距发射台9~18km)探测到了附近飞行的轰炸机。在此研究成果的基础上,英国建设了沿海一线的警戒雷达网-本土链(Chain Home)。该雷达系统工作波长为10~13m,相邻收、发基地相距40km。在第二次世界大战中,这一系统用来探测德国的来袭飞机,对保卫英国本土起了关键的作用,后来的军事历史学家都对此系统给予了高度评价。

在1935~1938年间,法国也建造了双基地连续波雷达网,每对收、发基地之间相距36~72km,该系统用来探测入侵的轰炸机,并引导己方的飞机去拦截敌机。

前苏联的首次雷达试验是由 П. К. 斯普科夫于1934年7、8月间进行的。试验设备是一个连续波双基地系统,发射机以宽波束定向泛光照射,带有水平振子天线的接收机在照射区内移动,收、发之间的距离从3km 增至10km,探测到了空中飞行的飞机。在此基础上苏联生产了45部 RUS-1雷达,1939年部署在苏联远东和外高加索地区,在防御德军入侵的作战中发挥了作用。

在第二次世界大战中,德国人也曾研制了一种称为 Klein Heidelberg 的双基地接收系统,它利用英国的 Chain Home 雷达作(非合作式)发射机,在盟军的轰炸机群飞越英吉利海峡时发出报警。

在同一时期,意大利、日本等国也都试验了双基地雷达。这一时期的雷达绝大多数都是连续波双基地体制,工作在米波段,以多普勒拍频发现目标,以到达方向粗定位。当时由于科技发展水平

的限制,采用双基地体制主要是为了收、发之间的隔离,未能充分发挥双基地雷达的诸多潜在优势。所以,在1936年发明了雷达双工器(天线收发开关),尤其是1940年发明高功率脉冲磁控管之后,人们由于集中精力研制收发合一的单基地雷达,遂使双基地雷达遭受冷落,处于停滞阶段。

1.1.2 双(多)基地雷达的中期复兴

到本世纪五六十年代,人造卫星、洲际导弹、超远程轰炸机和各种导弹武器的发展,又对双基地雷达提出了新需求。在新需求的推动下,这一时期双(多)基地雷达从理论和实践两方面都得到进一步的发展。

半主动制导导弹控制系统是一种50年代投入使用的双基地雷达,在该系统中,把体积大而笨重的发射机转置到导弹发射平台(载机或地面),而在不可回收的导弹上只装小而轻的接收机。接收机接收目标的反射信号从而控制导弹射向目标。美国的霍克式导弹,后来的“爱国者”地空导弹和麻雀式空载导弹以及世界各国的大多数导弹都是这种半主动制导导弹。

AN/FPS-23 Fluter 雷达是美国的一种连续波固定波束双基地警戒雷达,工作于前向散射区,来探测穿越远程警戒线并作低空飞行的轰炸机,可供北极的远程预警防空系统 X-3和哨兵单基地监视雷达网进行低空补盲。1953年 Fluter 雷达进行了初次现场试验并获得成功,该系统布置在远程警戒线上工作了5年。在60年代,加拿大皇家空军也试验了一种连续波多普勒双基地雷达,实现了前向散射区的双基地探测。

美国还设计了几部多基地雷达用于空间探测系统。得到应用的是 Azuza、Mistran 和 Udop 干涉仪多基地雷达,安装在美国东部试验靶场,用来进行空间目标轨道的精确测量。每一系统包括目标上的合作式信标应答机,地面的一部连续波发射机和多部经过精确定位的分置式接收机。在此基础上,美国海军于1958~1959年间部署了 Navspasur(空间监视)多基地雷达系统。该系统采用大功率

(约兆瓦)连续波发射机和固定式扇形波束直线阵发射天线,接收机则采用多阵列干涉仪来精确测量轨道目标回波的角度,从佐治亚州到加利福尼亚州约3500km长的大圆上,部署了3个发射站和6个接收站,收、发之间的距离达400~500km,可跟踪测量卫星和洲际弹道导弹。据报道,1985年又对 Navspasur 系统进行了更新,使其作用距离由13890km 增加到27780km。

在60年代,双基地雷达的基本理论和基础测量工作也有很大进展,许多研究者进行了双基地雷达理论和目标雷达截面积(RCS)及地杂波的测量。1961年 M. I. Skolnik 系统地总结了双基地雷达的理论,在此之后由 Skolnik 主编的《雷达手册》中都有一章专论双基地雷达。

1.1.3 新一代的双(多)基地雷达

进入70年代,随着科学技术的发展,雷达电子战发展到了一个新阶段。电子干扰、反辐射导弹、超低空突防和隐形武器已成为当今雷达面临的“四大威胁”。以前装备的单基地雷达不仅工作受阻,很难完成任务,而且自身的生存也成了紧迫问题。近期的几场局部战争(从中东战争、马岛战争到1991年的海湾战争)表明了雷达遭遇的严重性。面临“四大威胁”,人们正积极探索各种对策,结果又发现了双基地雷达的潜在优势,在新的基础上展开了双(多)基地雷达的研究项目。

一、美国的双基地雷达研究项目

美国国防高级研究规划局(DARPA)于1976年提出了发展双基地雷达的“圣堂”(Sanctunry)计划。DARPA 发言人 G. H. Heilmeier 指出“现代雷达一方面面临着复杂多变的目標环境,因而系统越来越复杂;另一方面电子干扰和反辐射导弹技术也日益完善,这就使得设备复杂,造价昂贵的雷达及其武器系统由于隐蔽性差而难以发挥作用,并且很易遭到侵袭。为什么不把暴露信号的发射机置于安全地带,例如空中或者战区后方呢?无源寂静的接收机可以和作战部队一起处在战斗前沿。”DARPA 提出的以“圣堂”命

名的双基地雷达研究计划,在初期交由海军海洋系统中心领导;由于成果非常令人鼓舞,在1979年以后交由美三军直接领导,同时开展的有多个项目,有的已接近实用并开始物色用户。

(一)“圣堂”防空双基地雷达系统

该系统由机载发射机和地面接收机组成。机载发射机在空中以宽波束泛光照射探测区域,接收机在地面以相扫窄波束隐蔽地发现、跟踪空中目标。1976年技术服务公司接受了 DARPA 合同进行可行性论证,在其他单位支持下1977年进行了地面试验。1979年进行的飞行试验,发射机装在 A-3 飞机上,接收机仍在地面,发现杂波问题严重。之后,对接收机进行改进,接收天线采用了对消器和副瓣消隐技术来消除直接路径信号和副瓣杂波,并于1980年7、8月再次试验,获得了成功(见图1-1)。

(二)空对地双基地雷达系统

该项目称为“战术双基地雷达验证(TBIRD)”,后来又演变为

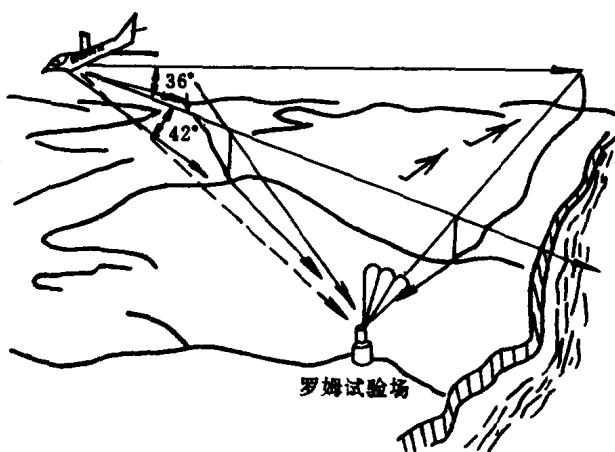


图1.1 “圣堂”双基地雷达

L 波段照射器;频率1.4GHz;增益14.5dB;功率1.7kW;二相码。

接收机;增益30dB;波束宽度5°;波束覆盖范围:

方位90°,仰角0°~10°;2~4波束。

“双基地技术过渡(BBT)”。系统中的发射机和接收机都在空中,发射机载机远离战区,而由接收机的载机对地面目标(如坦克)实施搜索和跟踪。1977年 Xonics 公司对方案进行了计算机模拟,发现该系统可将动目标显示(MTI)和合成孔径(SAR)两种功能结合于同一双基地接收机,即允许战斗机在侧视时(当然仍可前视)使地杂波的频谱很窄,实现 MTI,以便发现树林中慢速移动的坦克,又可在前视情况下兼有合成孔径的高分辨力(需有宽带地杂波多普勒频谱)来发射武器。这一现象称之为“杂波调谐”。在单基地雷达情况下 MTI 和 SAR 两者是矛盾的,只能前视实现 MTI,侧视完成 SAR,不可能用一个系统实现这两种功能。1979年 Goodyear 航空公司和 Xonics 公司与空军签订合同实施 TBIRD 计划。他们用 C-141 飞机载雷达发射机并配有一个侧视天线阵;用 C-130飞机载接收机,接收机装在飞机的头部,是在 X 波段线性调频合成孔径雷达 APD-10雷达基础上改装的。1980~1981年进行了飞行试验,雷达数据和飞行参数先记录下来,然后在地面处理,6个月的实验表明 TBIRD 方案是成功的;1982~1983年又增加了机上实时信息处理设备和跟踪计算机;1983年5月进行试验得到了非常清晰的合成孔径雷达图像,成功地发现了隐蔽在树林中以0.6m/s移动的坦克。据报道,由于试验非常成功,空军比预期提前了考虑用户的工作(见图1.2)。

(三)便携式双基地接收机

美国80年代初还进行了一项称为“双基地报警和指示(BAC)”计划。它是利用在附近飞行的 E-3机载预警和控制系统(AWACS)和机载联合监视和目标攻击雷达(JSTARS)作照射源,不用专门的发射机,用廉价轻便的接收机探测近距离的飞机和地面移动目标,如图1.3所示。

该计划的目的是为移动式近程防空和地面监视系统提供报警和指示,以改善其生存能力和截获性能。这种系统消除了利用远距离数据链时带来的站间配准和数据延时问题。

二、美国的多基地雷达

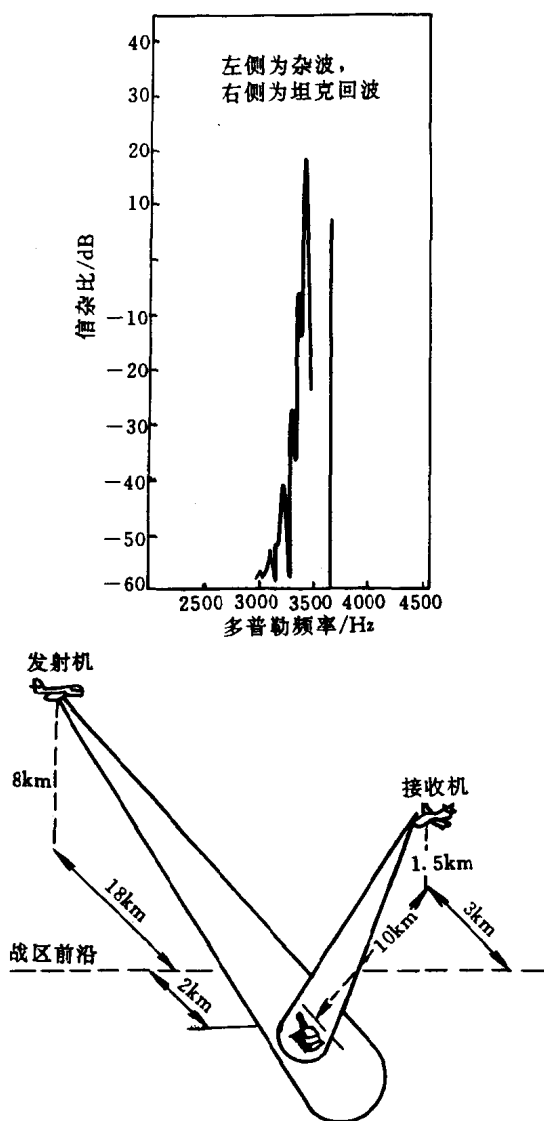


图1.2 TBIRD 系统

美国于1980年在 Kwajalein 导弹靶场安装了多基地测量系统 (MMS)。它的目的是收集双基地角和目标到达角大到 130° 时, 目标的双基地特征数据并完成对洲际导弹再入体的高精度距离和多普

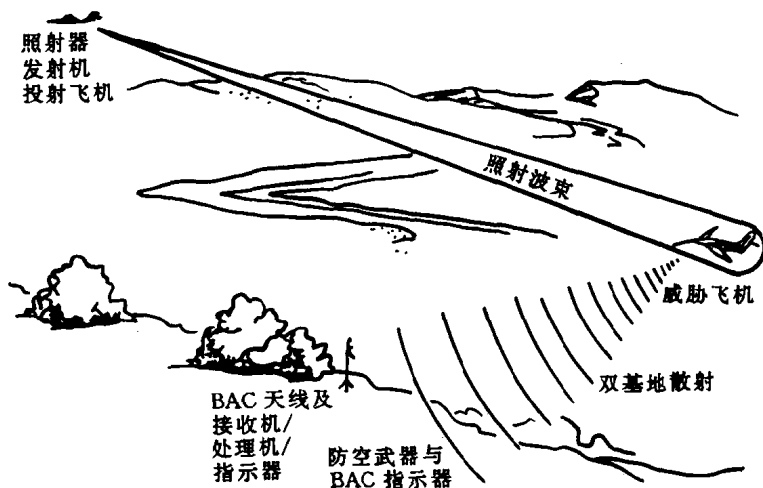


图1.3 BAC 雷达原理

勒跟踪。主站位于 Roi-Namur 岛，有一部 L 波段和一部 UHF 单基地雷达，另配有两组无人值守的接收站，一组在相距40km 的 Gellinam 岛，另一组在相距35km 的 Illeginni 岛。收、发之间的相位同步是通过站间的射频(RF)数据链以10MHz 锁相环实现的；对链路的大气延迟预期偏差进行了补偿，时间同步也采用补偿技术。两个副站接收的信号由微波链传送到主站进行综合处理，系统可在100ms 时间内对回波信号进行相干积累，然后计算到达时间差(TDOA)，测量精度可达0.5ns。MMS 测得的三维位置和多普勒估算精度分别为4m 和0.1m/s(见图1.4)。

三、英国的双基地雷达

英国皇家信号和雷达研究院会同伦敦大学工学院、普莱塞公司和马可尼公司等单位，自1977年开展了双基地雷达研究计划。该计划的目的是研究具有较好的抗干扰和生存能力的防空用双基地雷达。已试验了多种方案，从简单的“独立式接收机”发展到自适应数字波束形成双基地接收机。

(一)普莱塞公司的双基地雷达试验

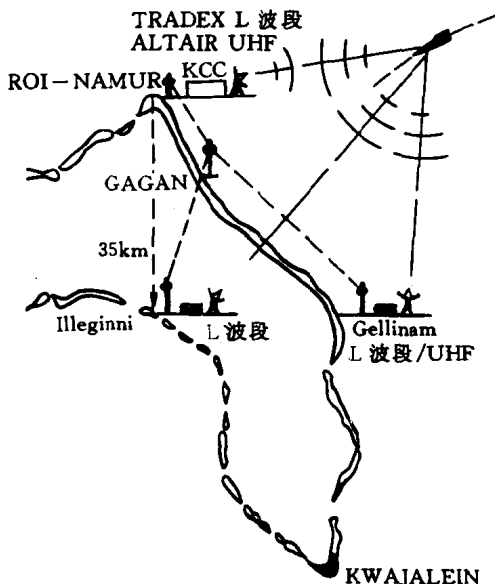


图1.4 Kwajalein 导弹靶场 MMS 总体布局

该系统是在皇家信号和雷达研究院(RSRE)资助下由 Plessey 公司研制的近程警戒雷达系统。发射机是威特岛上的民航管理局(C. A. A.)的空中交通管制雷达,接收机为全独立的。试验结果表明,该系统作用距离约50km,对大型目标可达70km,探测范围为椭圆扇面。

(二)伦敦大学工学院(ULC)的双基地雷达试验

发射机是在伦敦希思罗(Heathrow)机场上的空中管制雷达。自1979年开始,试验经过了几个步骤。第一步接收机用全向天线,其发射机的波束指向角随机误差为 1.6° 。试验结果为测距可达74~130km(对飞机),测距误差 $\leq 1.13\text{km}$,方位分辨力 $\leq 3^\circ$ 。第二步为改善测角性能,减少假目标,从1981年下半年起,UCL 和 Plessey 合作,研制固定多波束阵列天线。

(三)自适应双基地雷达演示系统

1990年多篇文章报道了英国双基地雷达研究的新进展——自

适应双基地雷达。该系统利用设在 Great Malvern 的皇家信号和雷达研究院的 S 波段发射机作照射源。发射天线为机械扫描,波束宽度约 0.5° ,脉冲重复频率为 5kHz 。重点研制的双基地接收机设在 Chelmsford,收、发相距 200km ,接收机采用 32 单元的相控阵天线,经数字波束形成器以 $3\mu\text{s}$ 速率,12bit 分辨率取样,产生 6 个独立的波束。采用道尔夫-切比雪夫加权获得了一 30dB 的低副瓣电平,波束宽度为 4.2° (该设备有能力形成一 54dB 的低副瓣)。实验中跟踪了 3956m 高空的 DC-10 飞机达 9min ,并显示了清晰的航迹,实验证明该双基地雷达具有很好的抗干扰能力(见图 1.5)。

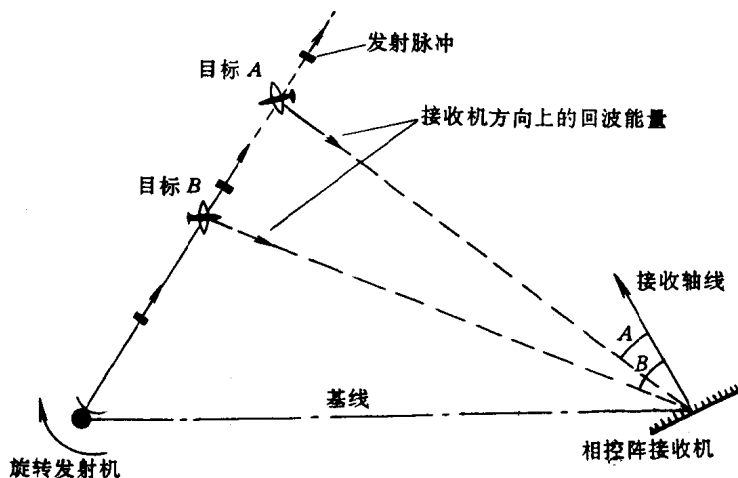


图 1.5 自适应双基地演示雷达

(四) 利用电视信号作照射源的双基地雷达

为了提高双基地雷达的生存能力,解决发射机的隐蔽性和抗摧毁能力,英国从 1986 年开始就研究利用电视信号作双基地雷达的照射源。1986 年利用城市电视台做了试验,结果能发现目标,但分辨力差,距离模糊问题严重。1992 年又提出了利用卫星直播电视发射的方案,并进行了初步实验,证明了方案是可行的。该方案信号处理复杂,需要采用相参和非相参的处理使增益高达 70dB 。由于

受电视波形的限制距离分辨力达几千米,距离模糊问题需要采用多站三角测量来解决。

此外,据报道美军海麻雀舰载导弹 RIM-7M 于1981年2月完成了双基地雷达制导试验。英国也进行了地波超视距雷达和其他波段的双基地雷达舰载试验。美国空军还试验了称作“母猪”和“仔猪”的气艇载双基地雷达试验。其他国家,如前苏联、法、德、意等国,也都在积极研究双(多)基地雷达。这一时期,发表了大量的有关双(多)基地雷达的论文,其理论进一步深化,并出版了系统论著。前苏联于1978年出版了《分置式雷达和系统》的专著。美国的 N. J. Willis 于1991年编写了资料翔实的《双基地雷达》一书。

四、中国的双(多)基地雷达研究成果^[22]

我国自1982年以来也进行了双(多)基地雷达的研究工作。海军大连舰艇学院首先开展了双基地雷达可行性论证研究,接着在我国沿海进行了海用双基地雷达试验。随后空军雷达研究所在内陆城镇地区进行了防空多基地雷达体制试验。西安电子科技大学、国防科技大学、空军导弹学院、成都电子科技大学以及多个雷达研究所也都相继开展了双(多)基地雷达的理论研究和样机试验。发表了不少的论文,出版了一些论文集,如1985年海司通信部的《双(多)基地雷达论文集》,电子部14所的《双/多基地雷达系统与技术专辑》(1989年),《双/多基地雷达技术研讨会论文集》(1992年)等;研究了远程警戒、中程制导、天基和机载等多种双(多)基地雷达体制,研制了双基地雷达动目标显示、合成孔径等技术以及数字波束形成(DBF)技术;试验了双基地雷达(T-R)、复合双基地雷达(T/R-R)及多基地雷达(T/R-Rⁿ)等多种工作方式;考验了探测性能、目标定位精度、多普勒滤波等能力,测试了目标和杂波的双基地雷达散射特性,获得了丰富的成果和宝贵的经验。

在早期的试验中采用发射机宽波束照射,接收机多波束接收完成收、发之间的空间同步;时间和相位同步则靠微波数传或直接接收发射脉冲的同步方案。双基地信号处理和数据显示采用了模拟电路,也应用了数字技术。这些早期试验适用于将现役单基地雷

达改建为双(多)基地雷达系统。

南京电子技术研究所和华东电子工程研究所的双基地雷达样机采用了全新的技术。采用 DBF 技术实现收、发之间的“脉冲追赶”式空间同步;DBF 能使接收天线自动调整到低旁瓣,并能自适应产生指向干扰源的波束凹口。以 GPS 卫星信号校准的原子钟为双基地雷达提供时间和相位同步基准;宽带数传机不仅传送收、发同步信息,还能传送目标回波和其他数据。华东电子工程研究所的双基地接收天线是一个 S 波段的 16×16 单元的微带平面阵,每一行为一个子阵合成仰角上的 csc^2 波束,16 个子阵组成 16 单元的 DBF 接收线阵。波束形成时间为 $1\mu\text{s}$,相控扫描角为 $\pm 45^\circ$,旁瓣电平低于 -30dB 。接收机采用微波集成电路和 VLSIC 数字器件,实现了多通道接收机的微型化和模块化,噪声系数为 2.5dB ,系统增益 90dB ,脉冲压缩主副瓣比为 25dB 。

除在军事上的应用项目之外,双(多)基地雷达在国民经济和科学研究诸方面也有着很多进展,由于篇幅所限,这里我们不再介绍。

1.2 双(多)基地雷达的定义和特点

目前,双(多)基地雷达仍处在研究、试验阶段,其特性还没有完全为人们所认识,也有着不同的定义。下面我们试图对双(多)基地雷达给出明确的定义,并概括其主要特点,以便于后面各章节统一论述。

1.2.1 双(多)基地雷达的定义和分类

一、双基地雷达的定义

现在装备使用的绝大多数雷达都是收、发设备在一起的脉冲雷达,因为只需一个工作基地故称之为单基地雷达。我们将要讨论的双(多)基地雷达是收、发设备分置的系统,它们有两个以上的工作基地,故称为双(多)基地雷达。

“双基地雷达”这一术语于1955年出现在公开的文献[11]中,但目前尚无完全统一的定义。1982年 IEEE 标准中,双基地雷达定义为“使用处于不同位置的天线进行发射和接收的雷达”。有些刊物中把采用两个不同位置的接收站进行无线电定位的系统也称为双基地(双站)雷达。M. I. Skolnik 先是定义双基地雷达的“接收机和发射机分开的距离可以与目标距离相比拟”,后又简单定义为“收、发分离相当大的距离”。L. V. Blake 提出了双基地雷达的必要和充分条件:双基地雷达的发射天线和接收天线相距很远,而且还应满足以下两条件之一:发射天线和接收天线对目标指向角之差(即双基地角)大于或等于其中任一天线的波束宽度;或者目标到发射机和接收机距离之差对其中任一距离之比是一相当大的小数。在前苏联则称双(多)基地雷达为分置式雷达,定义为“发射机(含天线)和接收机(含天线和信号处理中心)分别置于不同的位置,其间距(基线距离)远大于测量误差”。1986年 E. Hanic 又提出了“广义”和“狭义”双(多)基地雷达的概念。所谓广义的双基地雷达,则包含了各种有两个工作(收或发)基地的无线电定位系统;而狭义的双基地雷达则应符合 Blake 的必要条件和充分条件。

严格(狭义)的双基地雷达的基本特点是收、发设备(含天线)分离相当远的距离。其他特点是在这一特点基础上派生的。所以我们建议采用统一的狭义的双基地雷达定义:双基地雷达是发射机(含天线)和接收机(含天线和信息处理设备)分离很远的雷达系统,其收、发间的基线距离(L)与等效作用距离(R_M)同量级,即 $L \geq 0.1R_M$ (所谓双基地雷达的等效作用距离 R_M ,即指具有相同发射机和接收机参数的单基地雷达的作用距离)。这一定义实际上已满足 Blake 的充要条件,而将注意力集中在收、发基线距离上,使概念更明确。根据这一定义,我们可明确地把双基地雷达与连续波雷达、超视距雷达、某些空中交通管制雷达区分开来。自然,双站无源定位系统也不是严格的双基地雷达。应该指出,以上这些雷达,尤其是超视距雷达在结构和技术上都和双基地雷达有不少相同之处。但为了突出各自的特点,还是应该把它们区分开来。

二、双基地雷达的分类

根据基线的长短,可以把双基地雷达分类为短基线、中、长基线和超长基线双基地雷达。 $0.1R_M \leq L \leq 0.7R_M$ 时,称为短基线双基地雷达; $0.7R_M < L \leq 1.4R_M$ 时称为中长基线双基地雷达;而 $1.4R_M < L \leq 2R_M$ 的系统则称为长基线双基地雷达, $L > 2R_M$ 时为超长基线双基地雷达。中长基线的双基地雷达最能体现双基地雷达的特点,又可称之为典型双基地雷达。短基线和长基线双基地雷达则能发挥双基地雷达的某些特点。根据基线长短的定义,有人把收、发相距很近的雷达系统(如某些抗反辐射导弹雷达)称为准双基地或准单基地雷达。

双基地雷达可采用各种类型的发射机作系统的照射源。根据照射源的类型,双基地雷达可分为:采用专用发射机的双基地雷达,和单基地雷达联合工作的复合式双基地雷达;采用现有发射机配合工作的合作式双基地雷达和采用随机照射源的非合作式的双基地雷达。通常又把使用非合作式发射机的双基地雷达称为搭车式双基地雷达或“独立”式双基地雷达接收机。

三、多基地雷达的定义

与双基地雷达类似,目前多基地雷达也有“广义”和“狭义”的不同定义。广义的多基地雷达定义为:使用两个以上基地的雷达系统,它们可以是几个联网的双基地雷达,或是几个联网的单基地雷达或是几个联网的无源接收站以及各种收、发站的组合。而狭义(严格)的多基地雷达则是:使用两个以上且有共同(重叠)覆盖区域的接收基地,并在中心基地对目标数据进行相干或非相干综合处理的雷达系统,这些接收基地共用一个或多个发射机,它们之间分离相当远的距离。根据严格的多基地雷达定义,为了扩大覆盖范围而联网工作的多部双基地雷达则应称为双基地雷达网。自然,由多部单基地雷达联网工作组成的雷达网也不是严格的多基地雷达而是单基地雷达网。

双基地雷达不同于单基地雷达,它在结构上、技术上和功能上都有一些特点。多基地雷达以及双基地雷达网是以双基地雷达为

基础的。本书的重点在于阐述双基地雷达的特点同时也涉及一些多基地雷达的问题。

1.2.2 双(多)基地雷达的结构和战术、技术特点

为便于比较,图1.6分别示出了单基地雷达和双基地雷达的几何配置。图1.7给出了双、多基地雷达的结构概貌。

双基地雷达结构与单基地雷达相比较为复杂。为了完成对目标的定位,它们除了具有一般单基地雷达的收、发和信号处理功能之外,还必须解决收、发之间的空间、时间和相位的“三大同步”问题。首先是收、发波束的空间同步扫描。因为收、发天线分离很远的距离,如何在对空域扫描过程中保证收、发波束同时照射到同一目标而又有好的数据率,将是一大技术问题。近期发展的数字波束形成技术和脉冲追赶式扫描方法能圆满地解决这一问题。其次,因为收、发分离,如何为它们提供统一的高精度的时间基准也比单基地雷达复杂,这就是时间同步问题。它也是双基地雷达完成测距和波束扫描同步所必需的。再次,对于具有脉冲压缩、MTI 和 PD 等信号相干处理的双基地雷达,还必须保证接收机和发射机之间的相位同步。幸运的是,由于现代数据传输技术和信号处理技术的发展,双基地雷达收、发之间的时间同步和相位同步已不难解决。一般双基地雷达都是用数据链和(或)原子钟来实现收、发之间的时间和相位同步。除以上“三大同步”之外,双基地雷达的信息处理,首先是双基地信号显示矫正也有其特点,需要进行数字处理和显示。

为了对目标定位,双基地雷达也要像单基地雷达那样测量目标回波的到达时间和到达角。目标到达角的测量一般是在以接收基地为中心的方位和俯仰平面上进行。双基地雷达的目标距离是用信号由发射机经目标传播到接收机的总时间来估算的。一般双基地雷达测量的是目标回波到达时间和发—收直达波到达时间,估算的是距离和($R_s = R_T + R_R$)或距离差($R_D = R_T + R_R - L$)。在计算目标距接收机的距离 R_R 或距发射机的距离 R_T 时,要解双基地三

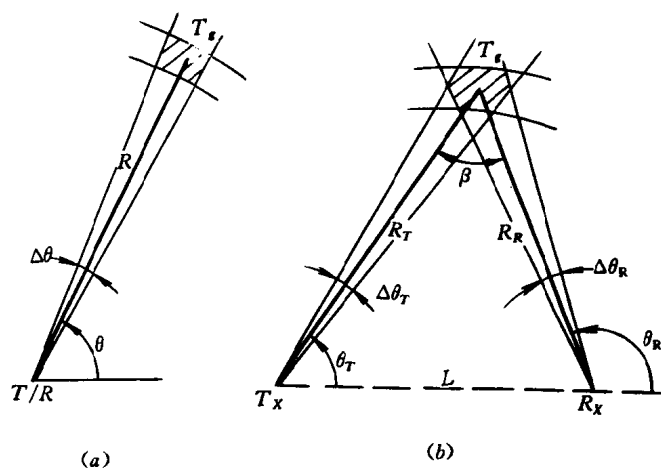


图1.6 单(a)、双(b)基地雷达的几何配置

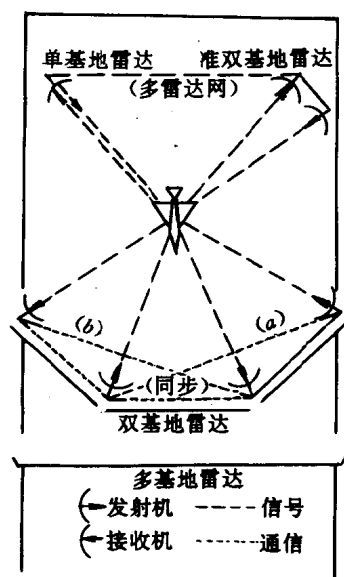


图1.7 双(多)基地雷达结构