

说起雷达的起源,要追溯到二战时期。英德之间的不列颠空战,成为雷达大显身手的历史舞台,也拉开了雷达快速发展的序幕。

时至今日,雷达早已不再是军事领域的专利。随着科技进步,雷达在机载、舰载、星载、车载等各个领域大放异彩,起到不可或缺的作用。

大连某航修厂工程师严家兴为您揭秘雷达的原理与应用——

让战鹰变得“耳聪目明”

■孙畅 宋茹 孟金玲

军工科普

独门绝技

现代战争早已告别短兵相接、近距厮杀的冷兵器时代,作战距离超过肉眼可见的范围。能否在战斗中料敌于先、占据主动,决定着空战胜负。

为了在超视距作战中决胜千里之外,雷达系统成为战机的亲密战友,起到了关键作用。

之所以能够担此重任,是因为雷达有着独门绝技——能够快速发现、跟踪、截获目标,并在战斗中选择合适的武器进行攻击,实现“先敌发现、先敌发射、先敌命中”,掌握作战的主动权。

世界上最早的雷达诞生于二战时期。当时,英国的“本土链”雷达投入使用,开创了雷达在军事领域应用的先河。

随后几十年的发展历程中,战机为了躲避雷达探测不断升级。就像“矛”与“盾”之间的较量,为了在战斗中占得先机,设计师们在雷达领域也从未停止探索。

无线电研究的深入和制造工艺的进步为雷达的更新换代创造了可能。现代雷达的探测距离超过几百甚至上千公里,可以瞄准不同方向、不同目标,完成对多个目标的同时跟踪和攻击。

不仅如此,全天候、全天时的优点,使得雷达不论白天和黑夜都能探测远距离目标,且不受雾、云、雨等恶劣天气影响。雷达发射的独特波长,能够让千里之外的目标无所遁形,是名副其实的“千里眼”和“顺风耳”。

那么,雷达是如何实现“看得远”“听得清”的呢?简单来说,雷达探测靠的是高性能发射系统和接收装置的密切配合。

当雷达开始探测时,雷达发射机便通过天线发射电磁波。电磁波以天线为中心,向四周传播,就像池塘里丢了一颗石子,产生一圈圈波纹向外扩散。为了满足不同探测需求,雷达发射的波长也不尽相同。

当电磁波遇到被探测目标后,便会沿着目标的形状向各个方向反射,其中一部分返回到雷达方向,并被雷达天线捕获,形成回波信号。

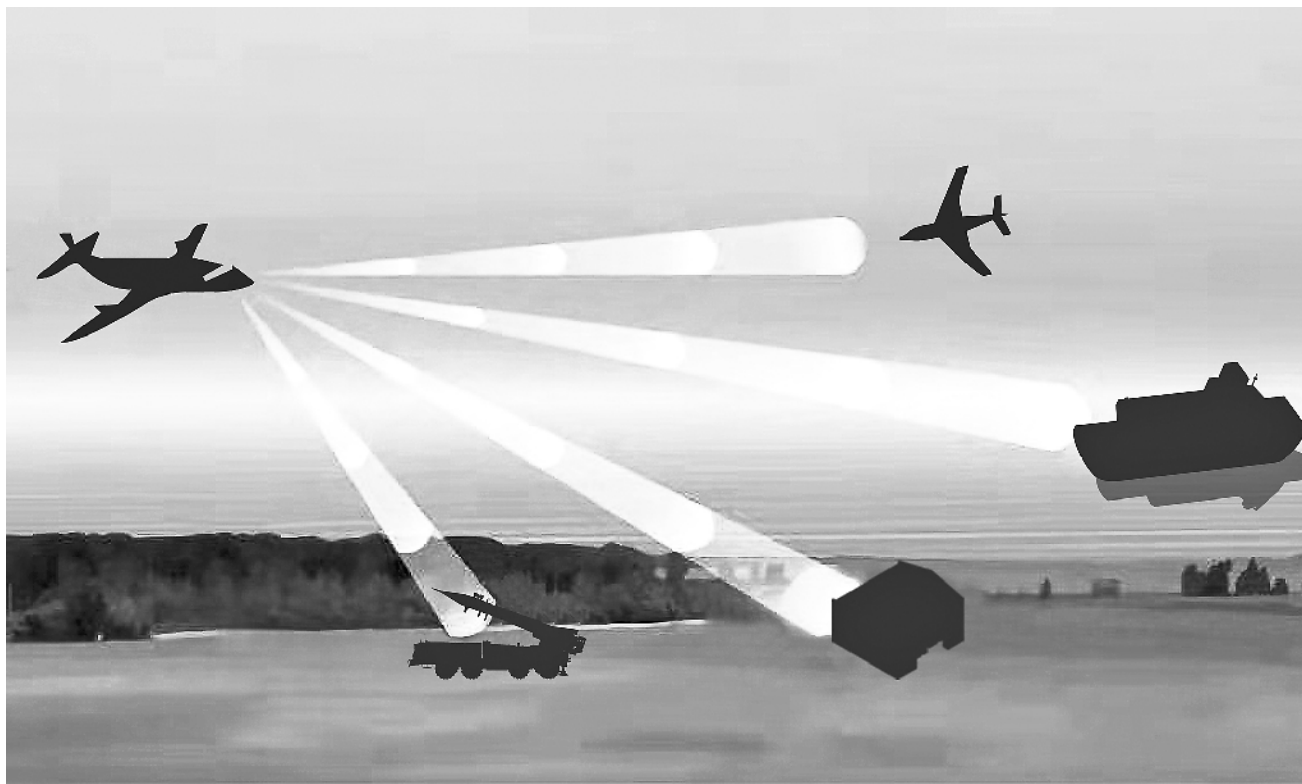
仅仅接收到回波信号还不够。众所周知,地球本身就是一个磁场,就像人们经常使用的电视机、收音机因为干扰出现“雪花屏”“吱吱声”一样,雷达的电磁波也会受到来自地面、空中等四面八方的电磁干扰,影响雷达的“听力”。

这种“杂波”的干扰,会让回波信号非常微弱。在实际探测过程中,电磁波信号也会随着距离的增加而衰减。

此时,雷达接收机将发挥作用。它能够把干扰信号过滤掉,放大微弱的回波信号,使回波信号变得清晰,并传递给处理机进行“翻译”。然后,目标的距离、飞行航迹、速度等一系列信息就能通过显示器呈现出来了。

进化之路

随着科技快速发展,雷达的功能越来越强大,种类也越来越多。现代巨型雷达直径超过百米,微型雷达却只有指



甲盖大小,它们的应用领域也不尽相同。

虽然形状各异,雷达的工作原理却大致相同:靠电磁波的发射和回波来实现探测功能。这种方法看似简单,但在实际应用中,电磁波的探测之旅却一路坎坷。如何减少“杂波”干扰、提高探测距离和探测精度,推动着一代代雷达设计师进行艰难的探索。

早在19世纪末,麦克斯韦方程组的建立帮助人类叩开了电磁理论的大门。随后,意大利工程师马可尼提出了无线电在远距离探测方面的潜力。

战争的爆发刺激了科技的飞速发展,也使很多曾经概念性的设计理念得到实际应用。

事实上,雷达的最初发明来自于人类的“无心插柳”。1935年,英国科学家罗伯特·瓦特团队希望把无线电波作为一种攻击武器用来摧毁德军飞机,但很快便得到了失败的结论。

意外的是,他们发现通过测量从机身反射回来的无线电回声长短,可以得知飞机的飞行方向和距离。同年,该团队为英国空军带来振奋人心的消息,世界上第一部雷达研制成功。

雷达的横空出世,让英国人在空战中占尽优势。当时,英国军队在海岸线上架设了大型雷达天线,其提供的探测信息帮助英军拦截了不少德军轰炸机。雷达在实战运用中的大获成功,使得设计师们萌生了把雷达装上飞机的想法。

1937年,英国“安森”号飞机安装了世界上第一台机载雷达。3年后,装备在“英俊战士”战斗机上的机载雷达在空中首次使用并崭露头角。

受到雷达技术限制,这时期的雷达探测距离只有几公里。由于位于机身外部的“犄角”天线体积庞大,影响飞机机动,雷达并没有得到广泛应用。

早期雷达采用普通脉冲体制,探测能力较弱,尤其是下视探测时,微弱的目标回波信号几乎被淹没在杂波中,从而失去对目标的探测能力。这种探测方式很快被历史淘汰。

20世纪60年代,机载脉冲多普勒火控雷达研制成功并逐渐投入使用。它克服了早期雷达的缺陷,具有下视功能,抗干扰能力强,在三代机上普遍应用。

这种机械式雷达通过旋转天线进行扫描,发射单一波束,即靠“身体转动”来带动“眼睛”探测。空战中,随着战机速度提高,数量增多,设计师发现,机械扫描方法速度慢,极易跟丢目标,多目标跟踪时更是“力不从心”。同时,由于发射机只有1个,一旦损坏,整部雷达也会失效,可靠性难以保证。

于是,采用电子扫描相控阵雷达应运而生,并经历了无源到有源的发展。先进的有源相控阵雷达把整部发射机分散到数以千计的收发组件上。即使一个收发组件损坏,也不会影响整部雷达工作。这种雷达天线类似于蜻蜓的“复眼”,不仅实现了“身体”能动,“眼球”也能动,还可以瞄准不同方向、不同目标,同时进行跟踪。

不仅如此,通过强大的数据处理技术,雷达能够同时实现对空、对地探测等多种功能。作用距离远、抗干扰能力强、隐身性能好、可靠性高等一系列优势,使其成为战机上科技含量最高、技术最复杂的装置之一,也成为衡量战机战斗力的一项重要指标。

尖端工艺

作为战机的“千里眼”和“顺风耳”,雷达最重要的性能之一便是要保证探测的准确性。

要保证准确性,电磁波的发射、接收、信号转换等一系列步骤,必须绝对可靠、畅通无阻。

在机载雷达的众多组成部件中,雷达天线承担着发射无线电波的工作,天线精度决定着雷达的探测任务能否精准完成。

以先进的有源相控阵雷达为例,其天线由数以千计的收发组件组成,是该雷达的核心部件之一。为了适应雷达的探测需要,一些收发组件的横向尺寸必须控制在毫米大小,相当于一张微型SIM卡的尺寸,这给设计师带来了不少难题。

经过多年研究,设计师终于找到一种微组装技术——采用微焊接等工艺技术,将各种半导体集成电路芯片和微型板元组件封装在高密度多层互联基板

上,形成高级微电子组件,这种操作如同在蝉翼上绣花。

“微”技术却有高科技,收发组件从制造到顺利装机并投入使用需要经过重重考验——

第一步是选材,给收发组件一副“好身板”。别看收发组件的体积小,内部却集成了多种精密芯片。所以,作为多芯片和芯片间布线连接的基板选择就尤为重要。为了满足不同需求,收发组件采用由多种基板混合的组成方式,以达到高密度小体积组装效果、减小传输损耗等方面要求。

第二步是组装,将各种芯片组装在基板上。这种芯片组装技术集合了超声波清洗、共晶焊接、粘接、金丝超声键合等环节,是微组装工艺中的重要一环。

步骤看似简单,组装环境、工具选择、精度控制、时间把控等指标要求却非常苛刻。实际操作甚至要在高倍显微镜下进行。其中,键合工艺是技术含量最高、难度最大的步骤之一。

所谓键合,即用比头发还细的金线,将芯片与外部电路联通。这种工艺通过针尖的超声震动,使得金线与焊盘形成分子间连接达到微焊目的。资料显示,1克黄金可拉出10微米直径、661米长的金线,相当于头发丝的八分之一,细到早已超过了肉眼识别范围。

第三步是封装,即对完成组装的收发组件进行保护,作为精密电子部件,收发组件对封装要求非常“挑剔”。随着技术发展和工艺优化,先进的封装技术能够防止空气中的灰尘、水汽等微型颗粒进入模块内部造成污染,从而保证使用寿命和可靠性。

完成一系列工序后,装机完毕的雷达还需要进行信号、功率、灵敏度等几十种参数测试,以满足其在边搜索边跟踪、边搜索边测距、截获、格斗等多种战斗状态下正常运转。

近年来,科研人员始终在新材料、新工艺的应用上不断探索研究,推动雷达迭代发展。未来,随着更多先进技术的投入使用,雷达的应用范围和探测能力也将变得越来越强大。

上图: 雷达示意图。

制图: 侯继超

武器研发切忌“新瓶装旧酒”

■ 巩沛文

今年2月,诺基亚公司发布2020年度企业年报,公司全年营收净亏损高达26.08亿欧元,发展现状不容乐观。

抚今追昔,“塞班”系统手机曾功能出众,是诺基亚引以为傲的产品,长期占据全球手机销量的“头把交椅”。之后,诺基亚固守旧,长期固守封闭的塞班操作系统,系统更新也是“换汤不换药”,最终被安卓等系统手机超越,失去世界第一宝座。

前车之鉴,发人深省。高科技飞速发展时代,产品研发要顺应客户需求变化而主动创新。如果将以往产品换数据、改要素,“新瓶装旧酒”重新生产,这种看似实现产品更新换代,实质上却毫无创新的做法,必然难以满足消费者日益增长的需求,必遭时代淘汰。

世事如棋局局新。近年来,我国加快科技创新的步伐,很多军工企业在产品研发上取得长足进步。欣喜之余,我们应清醒地看到,有企业仍存在“新瓶装旧酒”的现象:比如,研发设计时,理论讲得天花乱坠,实际设计却按部就班;装备生产时,产品细枝末节上走新路,关键问题上走老路……这些行为,严重影响了武器装备研发工作开展,制约了部队武器装备现代化水平的提升。

深究“新瓶装旧酒”的行为,一方面是惯性思维作祟,有的科研工作者习惯于固守旧知识看物,认为按老规矩办事省心省力,无需想新办法,久而久之将经验固化为定式;另一方面是畏惧风险的心态作祟,有的科研管理者将科技创新视为充满风险的超常之举,考虑一旦失败,可能打击企业员工自信心,给产品生产带来不利影响。

“新瓶装旧酒”,顶多是一时的权宜之计。面对新技术革命浪潮,企业故步自封必将被抛弃在沙滩上。苏联米里设计局在设计制造米-24“雌鹿”武装直升机后,大胆创新、敢于求变,进行了窄机身设计、前后串列式布局等方面探索尝试,极大提升了装备寿命。如今,米-24的改进型号多达20多种,在不少国家军队担当重任,创造了航空界的一个奇迹。反观被誉为“红色军工皇冠上的明珠”的马雷舍夫兵工厂,取得成功后,一度躺在功劳簿上停滞不前。对于新兴的指控系统、数字通信等高新技术并不“感冒”,产品只进行简单的技术引进和设计拼装,最终导致装备更新速度缓慢,国内外市场份额缩水。

著名军事学家利德尔·哈特曾言:“唯一比向一个军人灌输新观念更难的,是去掉他的旧观念。”此话对军工人亦有很好的启示。杜绝“新瓶装旧酒”,军工企业应善于将压力转化为动力,视风险为机遇,积极探索创新容错纠错机制,鼓励员工放下包袱、大胆创新。

军工人,是武器研发生产的参与者,也是科技创新的主力军。只有大胆破除守旧的思维定势、主观偏见和陈规陋习,敢于出奇招、亮妙招,才能打造出耳目一新、决胜未来战场的好装备。

匠心慧眼

1845年,瑞士化学家舍恩拜尔在一次实验中意外发现了用于制造无烟火药的“硝化纤维”——

无烟火药诞生记

■ 贾成骏 谢树怀 李斐然



“200多挺马克沁机枪,连连喷出火舌,参战第一天,英法联军就死伤6万多人。”一战索姆河战役,德军凭借先进的马克沁机枪,大获全胜。

马克沁机枪一战成名,其使用的无烟火药走进世人视野。无烟火药燃烧后没有残渣,只产生少量烟雾,同等量爆炸威力是黑火药的3倍。当时,无烟火药的使用,让各种枪械火力大增。

无烟火药的发明,源于瑞士化学家舍恩拜尔的一次意外发现。

1845年一天,舍恩拜尔在做实验时,不小心碰倒了盛满硝酸和硫酸的混合液瓶。溶液溅到桌子上,他顺手拿起一条棉布围裙擦拭,随即又用火将围裙烤干。没想到,当围裙靠近火炉时,只听“嗖”的一声,围裙像变魔法似的瞬间消失,没有产生一点烟。惊讶过后,他回想了事件发生的全过程,成功发现了用于制造无烟火药的新化合物,并将这种化合物命名为“火棉”,后人称之为“硝化纤维”。

这条不起眼的棉布围裙开启了无烟火药的发展史。硝化纤维的发现,引起了诸多科学家的注意,大家纷纷参与到无烟火药的研制中。由于硝化纤维不稳定(超过40℃时会分解自燃),多次引发爆炸事故,无烟火药的研制工作一直没有进展。

直到1884年,法国科学家维埃里将硝化纤维溶解在乙醚和乙醇里,加入适量安定剂,经过一系列处理后,制成了世界上第一种无烟火药。当时,这种火药只含硝化纤维一种成分,也称“单基火药”。

试验证明,无烟火药的爆炸威力比黑火药大很多,可增加弹丸的射程,提高弹道平直性和射击精度,且燃烧后没有残渣,只产生少量烟雾,是枪炮理想的发射药。

无烟火药诞生的消息,传遍欧洲军工厂,各国纷纷启动无烟火药枪弹及新型枪械的研发工作。

“自动机枪发明人”马克沁第一时间将无烟火药应用到马克沁机枪的性能改进中。他发现,无烟火药有效规避了黑火药枪弹膛压不足、导气不畅、发射残渣多、后座装置和导气式自动机不适应等问题。在无烟火药的“助攻”下,马克沁机枪成为当时轻武器界的巅峰之作。

二战时,大多数黑火药枪弹被无烟火药枪弹取代。抗战初期,八路军将士使用的地雷、手榴弹等大多数弹药主要采用传统的黑火药制造,虽然能杀伤敌人,但威力有限,已经无法满足作战需要。

为了生产无烟火药支援前线作战,晋察冀根据地老一辈工人利用当地陶土缸代替制酸所需的铅板,创造出“缸塔法”硫酸生产的新工艺,开始了硫酸的工业化生产。在河北唐县建成的晋察冀军区化工厂,他们生产出制造子弹所需的发射药,为八路军前线作战提供了有力支持。

上图: 勒贝尔无烟火药步枪弹。资料照片

空军某厂高级工程师周勇军——

困难激发探索的勇气

■ 姚皓然 杭星

得见、摸得着,尤其是新型飞机的航电系统复杂多变,故障点就像飓风中的一片树叶,飘忽不定。

空军某厂高级工程师周勇军有一种本领,能在星罗棋布的电路中,以最快速度找出故障点。

周勇军的速度,源于对电路的天生敏感和后天持续的努力。

20年前,周勇军大学毕业,来到空军某厂。成绩优异的他,却选择最枯燥的电路焊接专业。当时,同学们对他并不看好,“当焊工,一辈子没有出头之日”。

“三百六十行,行行出状元。”在自己选择的跑道上,周勇军加速奔跑。背电路图、动手实践、平台推演……那段时间,周勇军把自己牢牢“焊”在工作台上。2年的勤学苦练,周勇军不仅“焊功”飞速长进,各种模型电路图也熟稔于心。

2003年,某型装备电路板进厂修理,这种电路板修理风险高、难度大,出现故障问题后,工人们都是直接换新,导致修理成本升高。

工厂第一时间成立电路板修理攻关团队,周勇军自告奋勇成为团队带头人,带领团队6个多月就完成主要板件的修理工作。

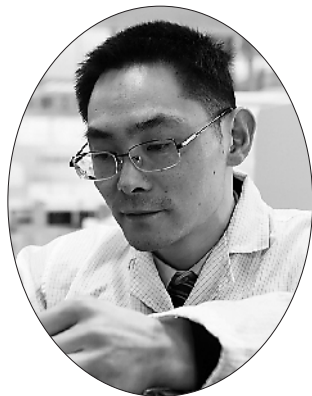
电路板修得好不好,需要配合产品联合调试。当时,如果选择引进调试设备,将面临“卡脖子”问题;自主研发,又是一项看似不可能完成的任务。

“不能让人牵着‘牛鼻子’走,没有设备我们自己造。”周勇军的话,让同事们大吃一惊,“缺少资料参考,造设备谈何容易”。

“当一切困难摆在眼前,反而激发了我们探索的勇气。”一次次出差调研经历,让周勇军找到研发灵感。借此机会,周勇军对照梳理设备信号,经过上百次测试,终于找到了信号处理的“最优解”。

之后,周勇军带领团队成功研制出电路板检测设备。如今,这些设备成为该型装备电路板测试的“神器”。

大国工匠



工匠心语:“人生路上,当你感到很累的时候,说明你在加速奔跑。”

一块手掌大的电路板,竟由成百上千个元器件组成,最核心的芯片互联互通端口多达上百万。每条指令传递的可靠性,直接影响着战机飞行的精准度。电子故障,并不像机械问题那样看

军工档案