

坚持亲身试飞 他为战机装上“千里眼”

■本报记者 赵宇彤

雷达，是守望国家安全的“千里眼”，也是中国工程院院士贲德奋斗一生的事业。

“我从学校毕业到今天都在搞雷达。现在回想起来，这是最正确的选择。”从哈尔滨工业大学毕业后，贲德来到国防部十院第十四研究所，也就是现在的中国电子科技集团公司第十四研究所(以下简称十四所)，主持研制第一部机载脉冲多普勒火控雷达，参与研制我国第一部大型远程相控阵雷达，让中国雷达看得更远、更细、更准。

7月8日，贲德荣获2025年度国家最高科学技术奖。回望献身雷达事业的六十余载，“学好本领，贡献社会和国家”始终是他恪守一生的座右铭。

“艰苦的生活锻炼了我”

1938年，贲德出生在吉林省九台县的一个贫穷家庭。他记忆力好，又爱动脑筋，小学第一次考试就考了全班第一。1951年7月，贲德在小学五年级上学期就提前被保送九台县第一中学。

提前进入县里最好的中学，贲德却高兴不起来。尽管能减免学费，但几元的伙食费还是让这个包括贲德在内的4个孩子的农村家庭犯了难。

于是，13岁的贲德开启了走读生涯。他天不亮就往学校跑，中午啃几口母亲做的杂粮饼子，晚上到家天都黑透了，一来一回有20公里。

这20公里的乡间砂石路，没几天就磨破了母亲做的布鞋。贲德心疼坏了，因不舍得穿鞋走路，出门不远就把鞋子脱下来，光脚往学校跑，快到学校时再把鞋穿上。

“家里没有电，油灯也舍不得点，所以我必须在课间写完当天布置的作业。每天学习的内容，当天必须记住。”贲德回忆道，这也进一步锻炼了他的记忆力。“艰苦的生活锻炼了我，再苦再累，我也不怕。”

1954年9月，贲德进入吉林市第二高中，并申请到助学金，不用再跑上下学，也不用再为生计发愁。他将全部精力投入学习，课余时间都“泡”在教室或图书馆里看书。

1957年，贲德填报高考志愿时想起初中化学老师的一句话，“中国有3所大学的工科很好，哈尔滨工业大学就是其中之一”。贲德如愿考入哈尔滨工业大学的电机系，一年后，又被调整到无线电系学习雷达知识。

贲德和雷达的不解之缘就此开启。“在这之前，我连雷达这个名字都没听说过。”贲德说，甚至在校期间，他都还没亲眼见过雷达，直到毕业实习时，才第一次见到雷达的“真身”。

通过学习，贲德逐渐摸透了雷达工作原理，靠发射、接收无线电波实现定位，判断目标的存在及



贲德介绍机载脉冲多普勒火控雷达。 赵宇彤 / 摄

具体位置。“我逐渐对雷达萌生了兴趣。”贲德说。

“规格严格，功夫到家”，这是哈尔滨工业大学的校训，也是贲德对自己的要求。每逢周末，别的小伙伴都去看电影、逛街，贲德雷打不动地到图书馆学习，一坐就是一天，做完作业就看书，打下扎实的雷达知识基础。

1963年，顺利完成学业的贲德被分配到位于南京的十四所，这里是中国雷达工业发源地。

“我这一生做了两个正确的选择，一个是选择了哈尔滨工业大学，一个是来到十四所。”贲德告诉《中国科学报》，也正是在这里，他得以在雷达领域大展拳脚。

冲刺“7010”

20世纪70年代，河北省张家口市的一座大山深处，出现了一个8层楼高、1000平方米、足有两个半足球场大小的“大家伙”。这是我国第一部大型远程相控阵雷达，能探测到几千米以外的空中目标，代号“7010”。

贲德是“7010”主要技术负责人之一。“相控阵雷达是20世纪60年代初才出现的，利用电控的方法改变电波发射的方向搜索目标，速度非常快，远非常规机械雷达可比。”贲德说，一般的书本上不可能了解到，他在大学时也没学习过这一雷达。

1964年，他被调到相控阵雷达研究室。当时，全世界只有少数国家掌握这一雷达。受限于

国外的技术封锁，他只能在英文资料中自学。

钻研国际最先进的雷达，这让贲德无比兴奋。新的难题也摆在了他面前：他没学过英语，连一个单词都不认识。但他不怕困难，找来一本语法书，分秒必争地学习，连上厕所时都在看单词，不到两个月，就能熟练查阅英文技术文献了。

这是一项极其困难的任务。“为了国家安全”，贲德选择迎难而上。时间紧、任务重，他不敢懈怠，埋头苦干，紧锣密鼓地参与实施方案论证、系统设计等，解决了多项关键技术问题。

从1971年到1978年的8年间，贲德七进深山，每次都要待上大半年。

在海拔1500米的雷达基地，“夏天潮湿闷热，一开门，云彩就钻到屋里了；冬天气温降到摄氏零下二十几度，寒风刺骨”。贲德告诉记者，团队全体成员加班加点、全力攻坚，几乎没有节假日，没有周末，甚至没有电话，无法联系亲人，他们将全部身心都倾注在“7010”的研制中。

经过中国工程院院士张光义、贲德和团队的坚持与努力，“7010”研制成功，各项指数达到或超过设计预期。

“‘7010’在对外空目标监视、追踪卫星及导弹等任务中发挥了巨大作用。”贲德说，“7010”的研制成功促进了相控阵技术的进步，先后获得1978年全国科学大会奖、1985年国家电子工业部科技成果特等奖。

搞了一部“争气雷达”

1979年底，刚结束“7010”相关任务的贲德，还没来得及松口气，又接到了一项新任务——研制机载脉冲多普勒火控雷达。

“这是当时世界上最先进的机载脉冲多普勒火控雷达，我又要从头学习。”贲德有点犹豫，但得知是国家急需技术时，他又义无反顾地接下这一重任。

一般的机载雷达只有上视功能，没有下视功能，在高速飞行过程中，不同方向地杂波的多普勒频率各异，无法从地杂波信号中精准识别低空

飞行目标信号。

要想解决这一难题，需要在机头表上一双“千里眼”——机载脉冲多普勒火控雷达，兼具上视和下视功能。但机载脉冲多普勒火控雷达体积小、重量轻，且由于战斗机环境条件恶劣，雷达工作环境苛刻，不仅要解决高低温、低气压、耐冲击、耐振动等问题，还要在高速运动中保证可靠性。

“这是个世界性难题。”贲德告诉记者，研制仅0.1立方米的机载脉冲多普勒火控雷达是个严峻的挑战。更严峻的是，在国外严密的技术封锁下，没有资料，没有样机，更没有研究人员。摆在贲德面前的只剩一条路：独立自主、从零开始。

贲德心里憋着一口气。他带领团队，从脉冲多普勒的技术原理开始，花了3年时间，研究了上百个课题，才找到最适合我国国情的研制思路，并在此基础上进行整机设计。

下一步就是试飞。“机载雷达只有在飞机上才能发现问题，从而改进雷达性能。”贲德回忆道，为了节省往返时间，他带头住进条件艰苦的联试外场，总是抢着登机，一飞就是三四个小时。“白天发现问题，晚上加班调整，第二天再接着飞”。

然而，当时留给贲德的是一架使用了近30年的苏联飞机，经过大修验收后才作为试验机，不仅机舱内条件很差，还十分颠簸。贲德就曾遇到两次险情，发动机熄火、起落架失灵，幸亏飞行员经验丰富，才有惊无险、安全迫降。

“说不害怕是不实际的，但害怕也没办法。”贲德顾不上恐惧，始终全神贯注盯着雷达数据。这份重担一直压在他肩头。10年间，贲德几乎没有休息过一个节假日，“接近400个工程师和我共同努力，容不下半点失误”。

贲德从没忘记，当时一位领导说：“搞机载雷达，你就准备脱几层皮吧。”何止是脱几层皮，进入最后的试飞阶段，在长期连轴转、超负荷的工作下，乏力、心慌、胸闷、发热等症状都缠上了他，贲德的体重从123斤降到108斤。

让贲德欣慰的是，1989年，这一雷达顺利通过了国家机电部鉴定。我国第一部拥有自主知识产权的机载脉冲多普勒火控雷达成功问世。鉴定会结束，贲德就因病毒性心肌炎住进了医院，但他憋在心头的了一口气，终于释放。

“你们搞了一部‘争气雷达’！”时任国家领导人的评价，也是对贲德数十年一心报国的肯定。

做好“第一件事”

贲德的一生，绕不开雷达两个字。但他职业生涯的起点，却不是雷达。

1963年，刚进入十四所的贲德接手的第二项工作是研制一台功率谱密度分析仪。当时十四所正在开展精密测量雷达研制工作，对测量数据的精度要求很高，这台功率谱密度分析仪不可或缺，其中的音频振荡器更是重中之重。

“这是为研制雷达服务的。”没能直接上手搞雷达的贲德心里稍微有些落差，但他没忘记毕业时系主任的叮嘱：“你们到工作单位做的第一件事情很重要。只有把第一件事情做好了，别人才有信心把第二件事交给你。”

这句话一直激励着他。尽管对音频振荡器一无所知，但贲德从摸索技术原理开始，整天泡在图书馆，靠着较好的俄文和数学基础，花了两周“啃”下了一本200多页的技术书，提前研制出了高精度振荡器，并整合方案论证、设计计算、原理论证等内容形成技术文件，为十四所献上一份“见面礼”。

“这第一件事情对我的影响很大，改变了我的命运。”贲德告诉记者，在做好“第一件事”的过程中，他也领会、落实着“三敢三严”精神：“三敢”即敢想、敢说、敢干；“三严”即严格、严肃、严密。“在科研工作中，既要有实践精神，也要有科学态度，理论与实践相结合。”

这种精神也影响了贲德一生。投身雷达事业60余年的贲德仍然坚守在科研一线，并坚持科普宣传，走遍了江苏省各地县市。

“科技竞争最终是人才竞争。”贲德说，而人才的培养需要长期积淀，“因此，科学教育、科普工作也要从娃娃抓起”。

同时，贲德还格外看重人才培养。“再先进的技术，也要靠人来掌握。”在他看来，要想成为一名适应新时代技术发展的人才，必须有爱国之心、刻苦态度、扎实基础、国际视野和团队精神。

“既要经得起成功的考验，也能承受失败的挫折。”贲德总结道，“最重要的是要有健康的身体。”

贲德热爱运动，在东北老家时，溜冰、滑雪都不在话下。到了南京后，他坚持跑步，每天3公里，直到前几年才改为散步。

如今，88岁的贲德依旧神采奕奕。从东北老家“跑”到国防一线的他数十年保持着朴素的生活习惯：衬衣扣子按单双数轮流扣，就不会损坏扣眼；鞋子的胶底掉了，就粘一粘继续穿……穿了十几年的衬衣，戴了50多年的表，都见证着他为雷达事业倾注心血的一生。

“所有的成果、奖项都不是我个人的，而是属于整个团队。”贲德说，过往他获得的奖金大多捐给了十四所，设立奖励基金，鼓励青年人挑大梁、担重任。“能够为国家作点贡献，为国防现代化出点力，对我来说比什么都重要。”

红隼在通信站安家，北京该如何接住这份“惊喜”

■邓文洪

今年6月，北京街头一处通信站基部迎来一窝特殊的“住户”。一雄一雌两只红隼在这里安家，并成功孵化出4只幼鸟。亲鸟频繁往返送食，幼鸟在巢内探头、争食，吸引了不少摄影和观鸟爱好者前来拍摄。

这巢红隼的出现，也带来了几个值得思考的问题：北京城区的鸟类究竟是多了还是少了？当国家重点保护动物进入居民区和公共设施，该怎样救助和管理？越来越流行的观鸟和拍鸟，又该如何避免变成对鸟类的干扰？

北京城里的鸟，是多了还是少了

很多北京市民都有这样的感受，在公园、河道和小区里见到的鸟似乎越来越多了，过去不太容易看到的一些水鸟和猛禽，也开始频繁出现在城市上空。这种感受有一定依据。近年来，在北京市园林绿化局和生态环境局等政府部门的努力下，北京持续推进城市绿化、河湖治理、湿地恢复和小型工程建设，一些区域的环境质量明显改善，为鸟类提供了更多觅食、休息和繁殖空间。与此同时，观鸟人群扩大、调查手段进步，一些过去已经存在但未被发现的鸟类，如今更容易进入公众视野。根据北京野生动物名录编审委员会发布的最新消息，北京市的鸟类物种已达到531种，占全国鸟类物种数的35%，在世界大都市的鸟类物种多样性排名中列第二位，从总体来看北京鸟类的物种数确实是越来越多了。

不过，评价城区鸟类的变化，不能只看记录到的物种总数。北京不同区域的鸟类组成差别明显。远郊区分布着更多啄木鸟、山雀、鹤类和猛禽；密云水库、野鸭湖等湿地，则是雁鸭类、鹭类和迁徙水鸟的重要停歇地。进入中心城区后，喜鹊、灰喜鹊、麻雀、珠颈斑鸠、乌鸫等适应性较强的鸟类更常见，它们能够在行道树、小区绿地和建筑缝隙中生活，二环以内虽然建筑密集，却并不是鸟类生活的“空白区”。故宫、景山、北海、天坛及护城河沿线保留了古树、水面和绿地，形成城市中的生境岛屿。迁徙季节，一些柳莺、鸫类和鹡鸰会在这里短暂停留。

因此，北京城区的鸟类是不是越来越多，不能简单回答“是”或“不是”。从鸟类记录和公众可见度来看，确实呈现出增加趋势；而从群落组成来看，城市化也可能使不同区域的鸟类越来越相似。食性较广、繁殖地点灵活、不怕干扰的鸟类往往会在扩张；依赖芦苇、成熟林地或安静湿地生存的种类，则可能因生境减少而下降。换句话说，城市里“看到更多鸟”，并不一定意味着所有鸟都生活得更好了。真正值得关注的不仅是记录了多少种鸟，还要看不同类型的鸟能否找到食物、顺利繁殖并安全越冬。



在北京获救助的红隼。 邓文洪 / 摄

保护猛禽，热心之外更要科学

红隼是国家二级重点保护野生动物，也是北京城区较容易见到的小型猛禽。猛禽位于生态系统中能量金字塔的顶端，对调控动物群落和生态系统中的物质循环及能量流动至关重要。它们通常不自己营造复杂的巢，而是利用岩壁缝隙、旧巢以及建筑物或塔架上的孔洞和平台筑巢。城市中的高楼和通信设施，在一定程度上可以替代自然环境中的悬崖。只要位置相对安全，周边又有足够的食物，它们就可能留下来。

在北京分布的猛禽共有53种，超过了全国猛禽物种数的一半，常见的有红隼、燕隼、雀鹰、普通鵟、纵纹腹小鸮等，所有的猛禽均为国家重点保护野生动物。市民发现它们在城市中筑巢，愿意关注和保护，当然是一件好事。但在野生动物救助中，热心并不总能带来理想结果，过度干预有时反而会对鸟类造成伤害。

每年春夏，救护机构都会接到很多幼鸟落地的求助。实际上，不少幼鸟在羽毛尚未完全长好时就会离巢，虽然飞行能力有限，亲鸟仍会在附近继续喂养。红隼幼鸟也会经历这样的阶段。如果幼鸟羽毛较完整、精神状态正常，没有明显外伤，亲鸟又在附近活动，通常不需要送往救护机构。此时更合适的做法是保持距离观察，减少围观，让亲鸟继续照顾。只有当幼鸟位于车道、施工区域等明显危险地点时，才可在确保安全的情况下，将其移到附近较高、较隐蔽的位置。

真正需要救助的是那些有明显外伤、无法站立，或遭受撞击、缠绕的猛禽。发现这类个体时，不要擅自抓捕、喂养或带回家，应尽快联系北京猛禽救助中心和北京市野生动物救护中心，交由专业人员处理。猛禽啄爪锋利，普通家庭也缺乏必要的救治和野化条件。救助的目的不是将其长期饲养，而是通过治疗和康复训练

帮助其重返自然。

北京猛禽救助中心自2001年成立以来，已经救助了超过6500只猛禽，其中一半多猛禽经过康复，重新飞上了蓝天。

城市该怎样与动物相处

当红隼把巢安在通信、电力或建筑设施上时，城市管理就需要更加细致。因此，建议主管部门对城区猛禽较稳定的繁殖点进行登记和持续监测。通信、电力和物业管理单位在鸟类繁殖季节检修设备、改造外墙或拆除设施前，应先排查是否有鸟类筑巢。发现国家重点保护野生动物后，应及时联系园林绿化部门和专业人员，尽量调整施工时间，避开产卵和育雏期。如果巢址确实影响公共安全，也不能简单拆巢驱赶，而应由专业人员评估，在兼顾安全和保护的前提下处理。对红隼经常活动但天然巢址不足的区域，也可设置人工巢箱，但位置、高度和朝向应符合其习性，并开展后续监测。城市绿地管理也不应只追求整齐。过度清除灌木、落叶和枯木，频繁修剪草地，可能减少昆虫、小型动物和鸟类的栖息空间。灭鼠药的使用同样需要谨慎，因为红隼捕食吃过毒饵的鼠类后，可能发生二次中毒。保护猛禽，不能只盯着鸟巢和幼鸟，还要维护它们赖以生存的食物链。

近年来，观鸟和鸟类摄影越来越流行，这是公众亲近自然、认识鸟类的好方式。但拍鸟不应以影响鸟类正常生活为代价，更不能为了得到一张“好照片”，人为改变鸟类的行为。在鸟类繁殖期尤其需要克制。观察和拍摄时，应与鸟类保持足够距离，不围堵巢址，不长时间守在亲鸟返回巢穴的必经路线，不使用无人机接近鸟巢，不播放鸟叫声吸引亲鸟，也不要投食诱拍、拨开枝叶或移动遮挡物。如果鸟类持续警戒、反复盘旋却不靠近巢穴，就说明距离过近，应立即后退或离开。真正负责任的鸟类摄影爱好者，应把鸟的安全和正常生活排在第一位。对于珍稀鸟类和繁殖巢址，也不宜在网络上公开过于精确的位置，以免引来大量人员集中围观。

红隼在通信站安家，是城市生态改善带来的一份惊喜，也是对城市管理能力和公众生态素养的一次检验。我们希望看到更多鸟类出现在城市中，但比“看见它们”更重要的是，让它们能够安静地生活下去。衡量一座城市是否宜居，不应只看城市为市民提供了多少便利，也要看城市能否为其他生命留下一些空间。城市是人类建造的，但并不只属于人类，还属于人类的朋友——野生动物。

(作者系北京师范大学生命科学学院教授、北京猛禽救助中心主任)



7月8日，厦金大桥(厦门段)项目建设再次取得突破性进展。该项目观音山互通主线桥重达10400吨的中段拱肋完成30米整体提升，顺利与边段拱肋精准对接。拼装和提升作业历时137天，创下同类桥梁钢拱肋整体提升重量最大世界纪录，并获得大世界基尼斯世界纪录认证。

图为厦金大桥(厦门段)观音山互通主线桥合龙。 本报记者李思辉 通讯员彭仕洲报道 中交二航局供图

发现·进展

中国科学院电工研究所

海上风电机组直流变换技术获进展

本报讯(记者张双虎)海上风电直流汇集系统核心装备为大功率、高电压比直流-直流(DC-DC)变换器。其中，串联谐振型变换器因易于实现电气隔离与软开关、兼具高功率密度优势，是DC-DC变换器的理想选择。在功率等级扩展至数百千瓦的大功率应用场景下，传统谐振变换器出现多重技术瓶颈，严重制约了大功率谐振变换器在实际场景中的应用。近日，中国科学院电工研究所研究团队在大功率谐振型直流变换器高效转换技术领域取得突破性进展，相关研究成果发表于《IEEE电力电子汇刊》。

研究团队针对有源中性点钳位(ANPC)全电平LLC谐振型DC-DC变换器，构建了全域非线性损耗解析模型，并精确量化功率半导体模组、高频变压器及高压整流电路的损耗分布，揭示了磁性元件损耗的分布规律。在此基础上，团队创新提出“损耗重构策略”，通过变频-调宽混合调制方式，在不同功率区间主动改变控制变量的调节方向，使系统在任何给定功率下均

能使主导损耗成分处于被抑制状态，从而实现整体效率的最大化。

团队研制出原理样机并完成实验验证，相较于传统固定占空比脉冲频率调制(PFM)控制方案，在所提损耗重构策略下，直流变换器峰值效率达98.1%，并且转换效率97.8%以上的高效工作区间拓宽30%以上，有效解决了大功率、宽范围高效转换的行业难题。

该研究对海上风电中压直流集电系统具有直接工程价值。海上风电机组采用大功率模块化直流变换结构，可有效减少设备模块数量、压缩变换器整体体积，精简直流集电系统电能变换环节，全面提升系统的运行效率、安全性与稳定性。同时，该研究成果也可拓展应用于大规模光伏发电场、大功率储能系统、分布式发电与直流配电网、算力中心固态变压器等新能源与电力电子核心重要场景。

相关论文信息：
<https://doi.org/10.1109/TPEL.2026.3706976>