

巡天观雨有“双睛”——我国首套星载Ku、Ka双频降水测量雷达诞生记

●付毅飞

听到火箭点火升空的轰鸣，正在测试厂房检查数据的杨润峰百感交集。

“就像养育多年的孩子，突然间真的离开你了。”日前接受科技日报记者采访时，他这样回忆雷达上天时的感觉。

今年4月16日，我国首颗降水测量专用卫星风云三号G星发射升空，其主载荷是由中国航天科技集团九院704所研制的我国首套星载Ku、Ka双频降水测量雷达。截至记者发稿时，该雷达凭借犀利的“双睛”，已成功探测

“双管齐下”造雷达

我国处于北太平洋西部台风活动带，台风暴雨内涝一直是部分地区面临的主要自然灾害。

获取降水资料，过去主要借助雨量计、地基雷达等手段，但受设备数量和分布位置限制，大范围高空间分辨率的地面降水信息很难得到。1997年，美日联合发射装载降水雷达的TRMM（热带降雨测量任务）卫星，开创了星载雷达探测降水的先河，也为我国新一代低轨风云气象卫星发展提供了借鉴思路。

21世纪初，704所科研人员开始搜集材料，对星载降水雷达开展前期研究。他们敏锐地觉察到，相比TRMM卫星所用的单频雷达，双频降水雷达在实际应用中效果更好。

“Ku、Ka双频降水测量雷达，能将雷达观测分辨率高和卫星观测范围广的优势结合起来。”704所做波遥感技术研究室主任江柏森介绍，Ku频段有利于探测强降雨，Ka频段有利于探测弱降水，两者同步工作可以扩大降水探测能力，哪怕是每小时0.2毫米的毛毛雨，也能精准感知。

此外，利用降水粒子对不同频段雷达信号散射不同的特性，双频测量可以分辨雨、雪、冰雹等，探测降水过程中的液态、固态变化，这在气象应用中十分重要。

当时，美日联合实施的全球降水观测计划（GPM）启动不久，星载双频降水雷达在国际上也处于探索阶段。“那时我们就想，要做就做最好。”江柏森说。

在2006年举办的气象卫星发展论坛上，研制国产降水测量卫星成为共识。704所奋勇“揭榜”，扛下了卫星主载荷降水测量雷达的研制重任。

明察秋毫“辨”雨情

造雷达难，要让它胜任天上的工作更不易。

与大多数星载雷达间歇性工作不同，降水测量雷达需要在风云三号G星的6年设计寿命内不间断开机，意味着它至少要连续工作约5.3万小时。其可靠性和长寿命要求，成为研制团队面临的难题。

杨润峰带领设计团队，在各种制约因素中探寻最佳平衡——通过优化算法和资源配置，弥补高可靠性芯片处理能力弱的问题；在满足重量、体积、功耗等要求的同时，对系统级、单机级、软件级等方面进行冗余备份设计。

相比地面雷达，星载雷达是从天上往下看，面临很多新问题，例如地表回波会对探测形成干扰。江柏森说，地表回波信号比降水回波信号强百万倍，如果不能很好地将其分离、消除，降水信号就测不准甚至测不到。对此，研制团队开展了大量创新攻关。

在该雷达面阵上，密集排列着一行行缝隙，电磁波就从这些缝隙里辐射出来。江柏森介绍，这数万个波导缝隙由精密加工设备切成，其宽度、深度、角度各不相同，由此可以控制阵面中不同位置电磁波能量的大小和相位。这样的设计能有效抑制干扰，解决很多在天上观测带来的问题。

相比美日GPM卫星，风云三号G星性能优势明显。“在观测幅宽上，我们的Ku、Ka波段雷达分别高出20%和140%；相同的灵敏度条件下，我们的‘CT’每250米扫描一层，精细程度优一倍。”江柏森说。

目前，降水测量雷达在轨测试运行稳定，研制人员手里的工作却丝毫没有松懈。在密切关注雷达在轨状态的同时，他们已投入到其他星载降水测量雷达的研制，以及下一代降水测量雷达的攻关中。

“气象工作与生命安全、生产发展、生态环境紧密相关，是事关人民幸福安康的‘国之大者’。”704所所长于勇对记者说，“双频降水测量雷达是我们迈出的第一步，未来我们将继续在微波主动气象领域精耕细作，不断推出更先进的气象遥感仪器，为我国迈向‘气象强国’作出更大的贡献！”

（据《科技日报》）

千方百计做“标尺”

这是我国首次研制星载降水测量雷达，方向新、技术也新，科研工作面临诸多挑战。

“该雷达各项指标要求非常高，有些要求在当时国内相控阵雷达产品上前所未有，设计、加工、制造困难重重。”杨润峰说。

更难的是该雷达的定量化要求。杨润峰介绍，以等效辐射功率为例，常规的雷达只是要求辐射功率大于指标即可，至于具体是多少通常不作要求。但对定量化雷达来说，必须对雷达系统参数作精确定标，它要成为一把标尺，测量强度是多少、强度波动是多少，都要有衡量标准。

这是研制团队第一次做定量化雷达。怎样把“尺”做准，他们只能慢慢摸索。

2010年7月，杨润峰和同事们带着产品样机到四川进行测试调试。正值盛夏，天气闷热潮湿，蚊虫更是肆虐。杨润峰清楚地记得，野外调试时，一位同事没戴手套，仅右手手背上就被叮了26个包。

当年9月，测试调试初步完成，研制团队又马不停蹄奔赴江苏盐城，开展机载挂飞试验。

江柏森介绍，机载挂飞试验需要同时具备几个条件：要有降水，又不至于影响飞行；观测高度要在6000米以上；天上要有气象卫星过境，地面也要布设观测设备，通过天、空、地一体观测，才能对数据进行比对验证。

达到理想条件很难。江柏森穿着羽绒服、吸着氧，跟飞了7次，大多数无功而返。

与此同时，杨润峰和同事们租住在盐城市郊一个村庄里，在房顶上架满观测设备。由于TRMM卫星总是凌晨过境，他们只好半夜工作。奇怪的举动，一度让房东和村民们异常困惑。

经过两个多月的挂飞试验，研制团队终于获得了所需数据，为后续工程化研制奠定了基础。

锁鲜黑科技让夏天荔枝冬天吃

●都荻

持续高温天气让新鲜食品不易储存，但我们却仍然能够享受到来自世界各地，甚至不同时令的美食。这背后离不开冷冻技术的快速发展，它让食品的长距离运输、跨季节保存不再是难事。

近年来出现的物理场辅助冷冻、液氮冷冻、定容冷冻等多项新型冷冻技术能够实现食物的长时间保存，同时还能够在最大程度上保留其原始风味，让人们可以不再受时间、地点的限制，随心所欲享受美食。

物理场辅助冷冻：最大程度保留果蔬原始风味

“一骑红尘妃子笑，无人知是荔枝来。”炎炎夏日，远在长安的杨贵妃想吃上一口产自岭南的荔枝，需要派良驹千里急送。不过，她如果想在冬天吃上荔枝，那在当时是无论如何也无法实现的。

在冷冻技术快速发展的今天，想在冬天吃一口夏季收获的荔枝，已经不再是天方夜谭。华南理工大学教授孙大文团队的研究成果，可以让新鲜荔枝最少保鲜6个月、最长保鲜2年，并且能够最大程度地保留新鲜荔枝的原始风味。

食物长时间保存的关键在于降低其内部的生化反应速率以及抑制微生物繁殖，低温是最常采用的保鲜方法之一。冰箱等制冷设备的发明让食品的保护时间得到延长，显著提升了人们的生活质量。不过，人们渐渐发现，传统冰箱冷冻过后的食物在口感、营养等方面总是存在各种不足。例如，传统冰箱冷冻保存后的水果，在解冻后会出现变软、加速变质等现象，与新鲜水果的品质相去甚远。

“过去人们觉得，冷冻食品的品质不如新鲜食品，这主要是由于冷冻技术不过关导致的，如果技术过关，冷冻食品的品质可以媲美新鲜食品。”孙大文介绍，在食品冷冻过程中，要想保住食品的口感与营养，关键在于控制食品内冰晶的尺寸、大小及分布。大多数新鲜食品的主要成分是水，因此冷冻食品的本质是冷冻其中的水分。不过，由于生物热阻的存在，食品在被放入冰箱后，并不会马上冻结，冷冻通常是一个缓慢的过程。

在这个过程中，食物细胞中的水分会慢慢凝结成冰晶。冰晶最先形成于细胞与细胞的空隙间，但细胞内部也有水分，如果细胞内部不结出冰晶，细胞内的水分就会慢慢迁移到细胞外，细胞就会失水，而细胞外的冰晶长大后就会刺破细胞，破坏整个细胞。在这种情况下，当食物被解冻时就会口感欠佳，其营养成分也会缺乏，最终使得解冻后的食物各方面品质都难以令人满意。

孙大文介绍，团队研究了物理场调控冰晶生长的新型冻结技术，避免冷冻初期冰晶无序生长对果蔬细胞造成的影响，实现了让冰晶的形成、增长及分布从无序到有序

可控。该团队借助超声波、超高压、电场和磁场等物理场调控冰晶生长的新型冻结技术控制冰晶的形成、增长与分布，让食物细胞内和细胞外都长出又小又细、分布均匀的冰晶。这意味着，细胞质基本不被破坏，食物能够保持原来的营养价值和口感。

在孙大文团队的实验室里，团队成员利用物理场辅助冷冻技术对一颗2年前采摘的荔枝进行快速保存，如今该荔枝不仅外观依旧美丽、果肉晶莹剔透，口感也能够媲美新鲜荔枝。

液氮速冻：迅速降温减少细胞“冻伤”

除了利用物理场来调控冰晶生长，速冻技术同样能够有效抑制冰晶的无序生长。其原理是，食物在冷冻过程中存在最大冰晶生成带（温度区间），通常为零下1摄氏度至零下5摄氏度。在该温度范围内，食物中近80%的水分会被冻成冰。如果能够以最短时间使食物的温度“跃”过最大冰晶生成带，食品中便不会形成分布不均的较大冰晶，取而代之的是均匀分布的细小结晶，这会显著降低细胞组织的“冻伤”程度，使食品在解冻后也能保持原有状态。

液氮速冻是目前食品工业中最常采用的速冻技术之一，我们常吃的速冻水饺、冷冻海鲜、冷冻牛羊肉等基本都是液氮速冻技术的“作品”。

液氮即液态氮气，其温度为零下195.8摄氏度，是一种无色、无味、无毒的透明液体，化学性质十分稳定，是冷冻强度极强的制冷媒介。液氮速冻技术可以使食品每分钟降温7摄氏度至15摄氏度，冻结速度比普通冻结方法快30倍到40倍，这也让食品在冻结过程中产生均匀细密的冰晶，保持更好的食用口感。例如，曾经的“网红”产品——分子冰激凌便是利用液氮速冻技术制成的，其可以使分子冰激凌拥有比传统冰激凌更小的冰晶颗粒，进而带来柔滑、细腻的口感。

液氮作为一种液体，尤其适用于冷冻形状不规则的食品。食品全部浸没于液氮中后，食品的各个部分都能够与液氮充分接触，进而使传热阻力降低到最小。此外，液氮本身作为一种惰性、无毒液体，几乎不与任何成分发生反应，能够隔绝食品与空气的接触，在为食品降温的同时确保其几乎不发生氧化变色和脂肪酸败，保证食品最初的原始香味不受影响。这种特性也使得液氮十分适于肉类加工，液氮速冻技术可以提升肉类的保水性，减少脂肪氧化，使其保留最初的风味。此外，由于液氮冷冻速度极快，食品在冷冻过程中被微生物污染的可能性也能降至最低。

除了能保鲜食品，液氮速冻还可以作为一种新的食品加工技术，用于生产新型食品。食品的低温粉碎是近几年新

兴的一种食品加工方式，该技术特别适合用于加工含芳香成分多、含脂量高、含糖多以及含胶状物质多的食品。日本便有的企业将经液氮冻结后的海藻、蔬菜等，投入粉碎机粉碎，使成品颗粒直径达到100微米以下，且基本保持原有营养价值。

定容冷冻：食品保鲜过程不产生冰晶

无论是利用物理场辅助冷冻还是液氮速冻，冰晶都是冷冻过程中不可避免的存在，总会给食品中的细胞组织产生一定程度的影响。食品在冷冻保鲜过程中是否可以不产生冰晶呢？定容冷冻正是这样一种冷冻保鲜技术。

定容冷冻是将食品放入定容腔，腔内有水，当温度降低后，定容腔内的水结成冰，进而膨胀产生压力。压力会改变水凝固结晶的温度，当压力增大时，水的凝固温度低于0摄氏度。

因此，当水膨胀成冰，其产生的压力被施加给定容腔内的食品，此时水的凝固温度会显著降低，使其处于过冷状态，即温度低于凝固点但却未产生冰晶。由于食品内部没有冰晶，因此也就不会对组织细胞造成破坏，冷冻保存品质显著提升。

中国科学院理化技术研究所博士赵远恒以土豆、樱桃、番茄3种不同的食品为例，介绍了定容冷冻对食品品质的影响。

土豆切条后可以制作薯条，但是切开的土豆很容易氧化变色。中国科学院理化技术研究所和美国加州大学的科研人员发现，采用定容冷冻技术保存切块后的土豆，可以在较大程度上保证其不变色，并使其维持高硬度。

美国农业部研究人员还曾利用定容冷冻技术对新鲜樱桃进行保存。他们发现，与常压冷冻相比，定容冷冻降低了樱桃的失水率，并更好地保留了樱桃原有的味道。

针对番茄，美国科学家分别运用定容冷冻、10摄氏度冷藏、快速冷冻和常压冷冻对番茄进行冷冻，保存4周后解冻发现，定容冷冻可让新鲜番茄保持其原有的质量、体积、颜色、营养成分（抗坏血酸、番茄红素和酚类）和抗氧化活性，对番茄的质构破坏最小。

除了能够提高食品品质，定容冷冻技术还更加节能环保。常规冷链运输需要消耗大量能源，而中国科学院理化技术研究所和美国加州大学的科研人员研究发现，在定容冷冻保存过程中，食品本身不存在相变，因此可以有效降低设备运行能耗、减少碳排放。目前，已经有部分食品企业尝试将定容冷冻技术应用到食品、药品以及相关生物材料的保存中。

（据《科技日报》）

近日，来自中国科学院过程工程研究所（以下简称过程工程所）和中国科学院大学等单位的研究人员，创建了一种新型全肿瘤细胞疫苗（TCV）平台，依据肿瘤进展情况在接种部位按需实施近红外光照，以此实现最佳的脉冲免疫增效。相关研究成果日前在线发表于《自然·通讯》。

什么是全肿瘤细胞疫苗？同其他肿瘤疫苗相比，全肿瘤细胞疫苗在对抗肿瘤时有哪些优势？这种疫苗未来的应用场景有哪些？8月21日，科技日报记者采访了开展这项研究的专家。

全肿瘤细胞疫苗具有个体化精准治疗潜力

长期以来，肿瘤疫苗被认为是一种有前景的肿瘤免疫治疗方式，它可以利用人体的免疫系统来对抗肿瘤细胞。在肿瘤疫苗中，全肿瘤细胞疫苗是一种经典的个体化肿瘤免疫疗法。

“具体而言，全肿瘤细胞疫苗是指将整个肿瘤细胞使用物理或者化学的方式灭活后得到的肿瘤疫苗。”论文共同第一作者、过程工程所副研究员吕岩霖告诉记者，灭活处理使肿瘤细胞丧失了固有的致瘤性，但又保留了其免疫原性，因此全肿瘤细胞疫苗具有一整套肿瘤特异性抗原及肿瘤相关抗原，可引起机体产生特异性免疫反应。

接种疫苗后，疫苗的肿瘤抗原会释放出来，诱导抗原提呈细胞（一类免疫细胞）对其进行识别、摄取和提呈，进而激活机体的免疫系统，对肿瘤细胞进行特异性杀伤，从而抑制肿瘤生长或清除肿瘤。

在吕岩霖看来，相对于其他肿瘤疫苗，全肿瘤细胞疫苗具有三大优点。“首先，从制备上来讲，全肿瘤细胞疫苗的制备过程简单，成本低廉，原料易获得；同时，全肿瘤细胞疫苗包含了肿瘤的全部抗原，可避免鉴定肿瘤抗原的复杂程序，且能够诱导多价免疫应答，降低了免疫逃逸的可能。”吕岩霖说，更重要的是，全肿瘤细胞疫苗因其包含肿瘤自体抗原，更具个体化精准治疗潜力。

然而，一切事物都有两面性，全肿瘤细胞疫苗也有缺点：其免疫原性弱且引起的免疫反应个体差异大。因此，亟须通过学科交叉发展新理念和新技术，以实现按需免疫增效。

在中国科学院院士、过程工程所研究员马光辉和过程工程所研究员魏伟的带领下，该所的科研人员基于肿瘤免疫治疗及生物制剂工程的多年研究基础，与中国科学院大学化学科学学院教授田志远开展了光功能材料与仿生剂型工程的交叉合作研究。

解决免疫原性弱、体内免疫反应不可控两大难题

谈起全肿瘤细胞疫苗的制备，论文共同第一作者、中国科学院大学博士研究生孟佳琦向记者详细介绍了灭活疫苗的制备方式。她说：“疫苗灭活通常有化学灭活、物理灭活等方式，核心思想就是破坏细胞的蛋白结构，使其失去生物活性。化学灭活通过化学试剂来完成，常用的化学试剂包括甲醛溶液等；物理灭活通过高温、紫外线、反复冻融等物理方法对细胞进行处理。”

孟佳琦解释，在制备过程中，传统的全肿瘤细胞疫苗经过灭活以后，细胞结构可能被破坏，存在着抗原泄漏或丢失等问题，进而表现为引起在机体内产生较弱的免疫反应。在使用过程中，传统全肿瘤细胞疫苗仍然存在着激发免疫反应较弱的问题，主要体现在抗原提呈细胞的募集效率低，抗原提呈能力弱，免疫反应不可控。

在这项研究工作中，研究人员为解决上述问题进行了专门设计。“我们先将具有光热效应的纳米颗粒负载于肿瘤细胞中，通过近红外光照诱导肿瘤细胞产生热休克蛋白，这种蛋白可以作为内源性免疫佐剂，提升免疫应答的效果。”论文共同第一作者、中国科学院大学化学科学学院鲍威尔博士说，“之后，我们又通过冻融的方式对处理好的肿瘤细胞进行灭活，即得到光控型全肿瘤细胞疫苗（LIn-TCV），这样就可以确保肿瘤相关抗原能够全部保留。”

在单次接种免疫后，研究团队在接种部位应用近红外激光照射，就可以产生局部诱导的、温和的炎症反应。这一过程能够促进树突状细胞的募集、激活和呈递，然后激活淋巴结中的T细胞，进行后续的肿瘤细胞杀伤。

在此基础上，为了监测肿瘤生长速率，研究团队还提出了一个指标——肿瘤生长速率波动（FTGR）。肿瘤生长速率波动可以通过在接种部位重复的近红外激光照射，为合理地按需增强免疫反应提供标准，使得脉冲增效能够精准

可用光控制免疫开关杀伤癌细胞

●陆成宽

研究人员创建新型全肿瘤细胞疫苗平台

契合肿瘤的发展进程。

光控型全肿瘤细胞疫苗成果仍属于临床前研究

吕岩霖表示，这项研究解决了传统的全肿瘤细胞疫苗免疫原性弱的问题，也解决了体内免疫反应不可控的问题。

“在光控型全肿瘤细胞疫苗的构建过程中，我们通过光热纳米颗粒负载、用近红外激光照射肿瘤细胞诱导内源性佐剂的产生。通常内源性佐剂是用转基因的方式产生，而我们的这种方法比病毒诱导的转基因过程更简单、更省时、更便于操作。”吕岩霖说。

同时，研究团队使用两次冻融的办法来灭活肿瘤细胞，一方面确保了肿瘤相关抗原能够全部保留并且不泄漏；另一方面，由该方法制备的疫苗能够确保肿瘤抗原在疫苗注射部位长时间存储。

此外，用近红外光这种简单且非侵入性的方法来操控免疫应答，是这项研究的一大创新点。

“在单次接种光控型全肿瘤细胞疫苗后，用近红外激光照射接种部位，就可以诱导局部发热，从而产生局部的轻度炎症环境，这促进了抗原提呈细胞的募集，增加了抗肿瘤免疫反应的程度，并且随着对肿瘤进程的监测，在必要的时机可再次通过近红外光照来进一步激发免疫响应，达到抑制或清除肿瘤的目的。”鲍威尔解释。

在吕岩霖看来，这种新的全肿瘤细胞疫苗平台探索了光学操控免疫反应的可行性，在临床转化上是具有强大潜力和美好前景的。“在未来，这一平台还有很大的发展空间。肿瘤微环境是非常复杂的，我们可以将疫苗从单一的肿瘤细胞拓展到肿瘤组织的多种混合细胞，这或许可以为免疫系统提供含有更丰富抗原的抗原库，为激活更个体化且更强的免疫应答提供可能，进一步改善和提升治疗效果。”她说。

未来在临床转化过程中，激光可能会被发光二极管（LED）代替，研究人员可能会设计远程控制 and 可穿戴的贴片LED，进一步提高患者的依从性和临床医生的可操作性。吕岩霖说：“我们甚至可以设想，未来接种全肿瘤细胞疫苗的患者在家中就能舒适地接受远程医疗，并借助智能手机进行治疗，从而有效地激活免疫反应和个性化医疗的即时操作。”

值得注意的是，研究人员也强调，这项研究成果仍属于临床前研究，实际临床应用仍有待进一步验证。

（据《科技日报》）