



科技自立自强之路

1951年初夏，“戈登将军”号海轮从美国旧金山码头出发，驶向中国。当祖国大陆在眼前逐渐浮现，甲板上一个年轻人眼噙热泪：“祖国，您的游子终于回来了！”

这位对祖国母亲日思夜想的年轻人，便是

日后成为中国半导体及红外学科奠基者、引路人和中国科学院院士的汤定元。

往后很多年里，每每有人问他“为什么放弃那么好的科研条件回国”，汤定元的答案只有一个——为振兴中华尽自己的绵薄之力。

提前布局 突破封锁

——红外探测器的自主创新之路

■本报见习记者 江庆龄 记者 徐可莹

1 写给元帅的三封信

现代红外科学技术研究起步于20世纪40年代的德国。二战后，德国红外技术研究中断，相关成果成为美国和苏联的战利品。由于红外技术最初主要应用于军事，美国长期在保密条件下开展相关研究，直到1959年9月才首次公开发表部分研究进展。

汤定元是新中国成立后第一批归国的留学生之一。回国后，他来到中国科学院工作，以半导体光学及光电性能为研究方向。

那时，国内对于“红外探测器”还处于认知启蒙阶段，技术研究更是一片空白。就连汤定元本人也仅仅是“听说它很重要，但不知道重要在哪里”。

但时刻关注国际前沿的汤定元知道，红外技术是一项必须跟进的新兴技术。他带领项目组在国内最早开展硫化铅红外探测器研究，“开展硫化铅

等红外探测器的研究”被列入“十二年科技规划”。

为响应党中央“向科学进军”的号召，汤定元提出，科学研究要基于国家实际，面向国家的现实需求；中国科学院不仅要承担机制研究，也要承担产品的试制甚至生产任务。

1958年，汤定元给时任国防科学技术委员会主任聂荣臻元帅写了一封信，力陈红外探测器对于国防及经济建设的重要性。很快，红外技术的研究任务被正式提出。

但不久后，由于经济困难，国内很多研究被迫停滞。忧心忡忡的汤定元再次致信聂荣臻：“红外技术研究是有发展前途的，不能让它中断，但也不能搞‘一窝蜂’，要聚散为整，集中全国的科研力量进行攻关。”

在他的倡议下，国家将红外技术和应

用光学并列作为我国科技发展重点。中国科学院决定整合院内红外研究力量，并在1964年年初进行了布局调整——将昆明物理研究所及中国科学院上海技术物理研究所（以下简称上海技物所）转为红外技术研究专业所，同时将中国科学院物理研究所和中国科学院半导体研究所红外方面的工作分别调整到这两个所中。

肩负着“使上海技物所工作全面转向红外技术”的重任，汤定元同十余位同事共同前往上海技物所。

在早期的探索阶段，美国送来了“礼物”。1965年，一架美国战斗机在我国境内被击落，残骸中有有机载红外探测器等部件。汤定元获悉后，再次致信聂荣臻，恳请由上海技物所承担该战斗机同类型红外雷达的研制任务，他的信心和决心再次得到支持。

从此，一部扎根于上海技物所的红外传奇徐徐展开。

2 冲向蓝天

上海技物所红外技术的生根发芽还离不开一个人——中国科学院院士匡定波。

在上海电子学研究所红外技术研究室工作期间，匡定波和同事接到一项紧急任务——研制一种微波雷达以外的夜间飞机探测技术。后来，匡定波转入上海技物所工作，这项任务也随之移交至上海技物所。

研制过程中，匡定波深刻认识到探

测器作为红外装置“心脏”的重要性，“要做红外装置，首先要有红外探测器”。

没有任何资料可借鉴，也没有像样的仪器设备，团队下了很大功夫，终于了解到上海自动化仪表厂和中国科学院上海冶金研究所（现中国科学院上海微系统与信息技术研究所）有人在研究，便专门派人去学习，再回来自己做。

有了探测器，自主研制红外装置就有了可能。慢慢地，团队做出来的探测器

可以接收到2米外一根点燃的卫生香的信号了，再往后，10米、70米……最终，我国首套用于歼击机的红外探测装置在上海技物所诞生！

20世纪60年代，上海技物所还参与了另一项重大任务——研制搭载于“东方红一号”人造卫星的红外敏感光学探头。

“东方红一号”人造卫星发射升空后，红外探头传来了清晰的信号。自此，我国自主研发红外探测器的实力得到证实。

3 拔“碲”而起

在周恩来总理“要搞我们自己的气象卫星”的倡议下，1972年，气象卫星研制工作开始。上海技物所承担了卫星红外扫描辐射计的研制任务，匡定波为主任设计师。这颗卫星就是后来的“风云一号”。

随着卫星参数逐步确定，匡定波等人关注到，美国预告发射的新气象卫星搭载的扫描辐射计信号全部从模拟制式改成数字制式，地面分辨率提高64倍，将完全取代我国在研方案对标的高分辨率扫描辐射计。

“如果按原定指标，在发射前完成研制是有把握的。但方案已经在技术上落伍了，等卫星上天以后，世界各国不会再接收这样的云图。”匡定波指出，“必须提升指标，采用新一代技术方案。”

上海技物所的研究人员主动“自我加压”，着手提升核心部件的性能指标。其

中，研究员龚惠兴（1995年当选为中国工程院院士）负责扫描辐射计整体研制工作，红外探测器的任务交给了研究员方家熊（2001年当选为中国工程院院士）。

多番研讨后，团队决定选用与国际接轨的先进方案，用碲镉汞器件观测地球。碲镉汞被誉为红外探测器的“天选”材料，其禁带宽度随组分变化，可以制备各种波段的红外探测器。

尽管上海技物所是国内最早开始研制碲镉汞的单位，但当时材料指标要求还有很大差距，其中最突出的是工作温度问题。

实验室研制的碲镉汞红外探测器在液氮制冷——即零下196.15摄氏度下工作性能良好，但在太空中，辐射制冷器只能为探测器提供零下168.15摄氏度的环境，在该温度下，探测器的性能急剧下降。

本着一股不服输的劲儿，方家熊

带领29人的小组迎难而上。为了以最高效率攻克难题，他给团队立下了规矩：“全力配合总体，出问题从自己身上反思原因。”

他们一一攻克材料提纯、合成、检测、应用环境模拟等难关，并专门搭建了测量温度变化的设备，详细分析碲镉汞器件在不同温度下的性能，仔细研究参数和工艺。

当温度问题被基本解决后，团队又夜以继日地攻克了探测器封装难题。1988年9月7日，上海技物所建所30周年之际，“风云一号”气象卫星在太原卫星发射中心成功升空，不久后，红外扫描辐射计顺利获取清晰图像。

这意味着我国成为继美国之后第二个同时掌握光导型碲镉汞和辐射制冷技术的国家。同时期的欧洲早于我国起步，却迟迟未能做成。



①汤定元（左）在实验室与学生交流科研进展。

②匡定波参加“风云一号”气象卫星B星发射。

③1988年“风云一号”气象卫星发射任务试飞队员凯旋。

④材器中心研制团队在实验室进行检测。

上海技物所供图
蒋志海制版

4 自我施压，瞄准国际前沿

为何我国能在基础薄弱、技术被封锁的情况下，一举攻下碲镉汞器件难题？这靠的是科学家自我施压、自我超越的拼搏精神。

随着红外探测器应用范围的不断拓展，为了集中力量保证航天工程等国家重大任务的顺利完成，上海技物所将碲镉汞材料与器件研究工作统一归并到第十研究室，由方家熊担任室主任。

研究室先后解决了材料预处理、质量控制和工艺规范等问题，建立了从碲镉汞材料生长到红外探测器元件制备的全链条流程。

“七五”期间，多元长波碲镉汞探测器研制项目的目标是做出一个超过10像元的探测器扫描的最小单元”的线列器件。但方家熊瞄准当时国际先进水平，决定把目标定为60像元。上海技物所研究员龚海梅回忆

道：“当时能做出十几像元的红外探测器已经很难了，且有几家单位同时在做，竞争十分激烈。”

但方家熊并不畏惧。他带领实验室同事克服经费不足、设备条件差等困难，成功研制出60像元器件。对此，原国防科工委发来贺信：“60像元碲镉汞线列红外探测器的研制成功，证明了我们中国的科技人员完全有能力打破国外的禁运和封锁，完全能够依靠自己的智慧和创造力攻克这一难关……你们为国防工业的研究单位做出了榜样。”

随后，180像元的碲镉汞器件研制任务也交给了上海技物所。

攻关难过，过关过。从10像元到60像元，再到180像元，方家熊带领团队在不到10年时间里出色完成了这些看似不可能完成的任务。回忆那段持续攻关的日子，方

家熊忍不住感慨道：“精神上的高压让我常常感到腿像灌了铅似的，拖也拖不动。”

红外探测器是遥感卫星能够“看得清”的关键。60像元和180像元器件，为后续应用于“风云二号”气象卫星、“神舟三号”飞船等的碲镉汞红外探测器组件奠定了基础。

“我们有一批愿意为国家服务的工程师和科学家。”上海技物所研究员李向阳表示，“研究所‘垂直整合’的架构为科研人员提供了一个舞台。同等条件下，我们可以通过付出尽可能少的时间和人力，做出满足不同应用需求的红外探测器。”

随着我国探测技术的发展和使用的要求提高，上海技物所以“任务带学科”，持续提升碲镉汞红外探测器性能，同时拓展碲镉汞、氮化镓等探测器的基础研究和应用。

5 “摸着石头过河”

红外焦平面探测器主要由红外像元芯片和读出集成电路两部分组成，兼具感应红外辐射信号和信息处理功能。

早在多元红外探测器阵列研制的起步阶段，汤定元便强调：“由于我国红外技术起步比发达国家晚，应先增加这方面的投入，加快‘红外焦平面阵列’的研制速度。”1987年至1996年间，上海技物所组织专家共同论证了红外焦平面成像等技术开发的重要性与紧迫性。

历史在此刻重演。1994年，在半导体材料和器件领域颇有建树的科学家何力毅然放弃国外的高薪工作，加入上海技物所，并在4年后成为新成立的材器中心的主任。

发展红外焦平面探测器，必须先有大尺寸的碲镉汞材料。何力认为，分子束外延技术或许可以满足条件。

“薄膜材料的外延生长得先有一个‘桌面’，再在上面生长材料，这个‘桌面’就是衬底。”上海技物所研

究员周易解释说，“以往都用碲镉汞，因为它和碲镉汞的性质比较接近，材料容易生长，但大尺寸碲镉汞材料极难制备。”

考虑到硅的晶圆可以做得很大，除了发展大尺寸碲镉汞衬底材料外，何力创新性地提出采用砷化镓和硅基晶圆作为衬底的碲镉汞材料制备技术。同前辈们一样，他带领团队“摸着石头过河”，从琢磨路线、采购设备做起，不断摸索材料生长的最优方案。

把红外像元芯片和集成电路合二为一的工作，也在有条不紊地进行。上海技物所研究员丁瑞军回忆，项目最初，他所在的团队经过两年多辛苦努力，终于攻克了倒焊互连等技术难题，测试结果一切正常。当他兴致勃勃地将一块芯片送去封装，却瞬间傻了眼——当被放入模拟的真空、低温环境中时，芯片碎了。

“我向龚惠兴院士汇报了这件事。他提醒我，先调研低温下材料的各种参数，再做仿真模拟，把问题都

分析清楚后，最后做实验验证。”丁瑞军马上集合所有相关小组，经过3个月的分析调研，终于找到了问题所在。

在各个攻关小组的共同努力下，2005年，由上海技物所团队研制的大面积碲镉汞材料跟随卫星进入太空。这也是我国红外焦平面碲镉汞探测器首次应用于航天领域。

2014年，伴随着航天用红外探测器需求井喷式爆发，原有的实验室工艺生产线已无法满足大面积、超长阵列产品生长需要，上海技物所决定在上海嘉定建立一条红外焦平面器件的工艺生产线。

上海技物所研究员林春、陈路和青年职工周昌鹤等人齐上阵，两头跑，兼顾日常研究工作的同时，集中搭建、调试生产线上的上百台设备，跟踪每一道工序。正是在这条生产线上，诞生了迄今公开报道的国际上最长的红外焦平面探测器。

“我很幸运地参与并见证了这个领域的蓬勃发展。”林春感叹道。

6 “扛红外大旗”

1983年，以7位中国科学院院士为首的专家团队，对上海技物所进行了为期6天的深入考察与评议。评议报告指出：“该所在国内红外技术发展成绩显著，有一支具有一定水平的科研队伍，能承担国家有关的重大科研任务。”

近年来，上海技物所持续攻克大规模、高灵敏、高定量红外探测器关键技术，相关成果成功应用于民用气象卫星、探月探火、载人工

程、高分专项、国家安全、科学卫星等领域的遥感仪器，保障了航天红外装备核心部件的自主可控。

2023年，上海技物所牵头组建的红外探测全国重点实验室正式揭牌成立，以期进一步汇聚全国红外技术领域的顶尖力量，深入开展红外领域高水平应用和前沿研究，推进相关技术深度融合。

从早期艰难追赶外国，到如今多点开花，在这部跨越70年的红

外史诗中，国家需求是上海技物所不断发展核心关键技术的最大动力。上海技物所响亮地提出了“扛红外大旗”的努力方向，红外探测器也逐渐成为上海技物所的“法宝”。

“未来，我们不仅要解决现有难题，还要主动挖掘新问题，并且冲在最前面。”龚海梅期待越来越多的年轻人加入进来，“一起为国家作贡献”。



60像元长波红外探测器。



180像元长波红外探测器。