

让祖国战鹰“内心”更强大

——忆师昌绪攻关铸造空心涡轮叶片

科学家手稿

◎高文静

11月10日，是我国高温合金研究的奠基人、材料腐蚀领域的开拓者，被誉为“中国材料之父”的两院院士师昌绪先生逝世8周年纪念日。先生虽已逝去，但翻开他留下的《铸造空心涡轮叶片攻关回忆录》手稿，看着那清隽有力的字迹，我们仿佛又看到了他的音容笑貌，又回到了那个十分艰苦又极为光荣的岁月……

1955年6月，沐浴在初夏日渐明媚阳光中的古都北京，像极了正处于“一五计划”中期的新中国，一切都生气蓬勃、欣欣向荣。

此时，师昌绪正坐在北上沈阳的列车中。在中国科学院领导面前，他表示不去上海，而要去条件更艰苦的沈阳，到中国科学院金属所（以下简称金属所），从事金属材料的研究与开发。并且在那里一干就是30年。

为了新中国的需要，师昌绪从擅长的物理冶金理论研究转向炼铁、炼钢、轧钢的工艺开发，包括航空发动机核心材料高温合金的研究。他走遍了全国钢铁厂和航空发动机厂，解决生产中出现的难题，被人们称为“材料医生”。

1964年10月的一个深夜，师昌绪家走进来一位重量级的“求诊者”，带来了一个世界级的“疑难病”。

当时，我国自行设计的歼8战斗机方案已进入最终决策阶段，动力问题成为制约新型飞机自主设计的关键。新型飞机要求增

加推力20%，这意味着要提高发动机涡轮的工作温度。因此，解决涡轮叶片耐高温的问题迫在眉睫。讨论了几个月，大家终于想出了一个“不是办法的办法”：把发动机的空心涡轮叶片改进为空心叶片并进行强制冷却。

理论上，这当然是个好办法。美国刚刚在1961年研制成功铸造空心涡轮叶片技术并投入使用。这条路子走得通，而且很先进。但回到现实，美国将技术对全世界严格保密，要研发空心涡轮叶片相当于一跃跨越十几年，一些专家认为，这好似一步登天，不可能成功。

时任航空材料研究所副总工程师的荣科毅然立下军令状：“如果不能在1年内研制并提供空心涡轮叶片和新的合金，我甘愿把自己的脑袋挂在研究所大门口示众。”

当晚，荣科就去拜访师昌绪，请他挂帅研制空心涡轮叶片。

“我没见过，也不知道怎么做。”师昌绪最开始也有点懵。但是“为祖国做贡献是第一要义！”很快，他以高超的学识和胆识，手持唯一的资料——荣科在国外观展时的印象画给他的一张产品草图，接下了任务。“中国人不比美国人笨，只要肯做，就一定能做出来。”

为啃下这块“硬骨头”，师昌绪挂帅，挑选出科研人员“一百零八将”组成项目组，采取荣科“设计—材料—制造”一体化的建议，金属所、发动机设计和制造厂等部门协同攻关。

第一个难关是选择制作空心叶片型芯的材料，这是当时国际上高度保密的技术。科研人员尝试了钼丝、磷酸盐等，却一一失败。科

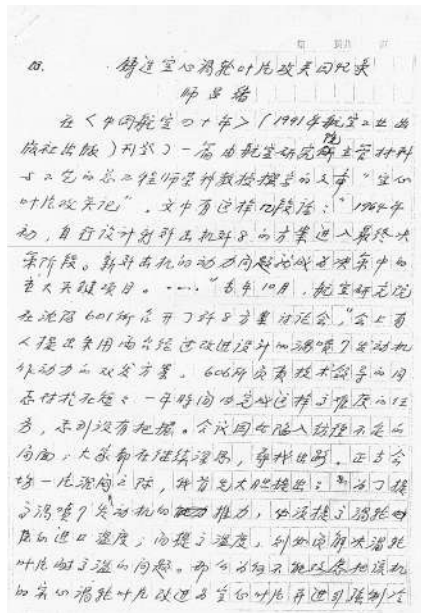
在众人一筹莫展之际，师昌绪偶然从一本外国杂志上看到一个出售石英管的广告，他敏锐地意识到，石英管在耐火性、强度、化学稳定性、尺寸精度和表面光洁度五个方面性能优异，他带领团队集中攻关，不到一个月就攻克了型芯的技术难关。

第二个难关是制模，这是铸造空心叶片工艺的第一道工序，经过不断地试验与摸索，研发团队设计出一套组合制模方法并制造出高精度的模具，既简化了工序，又稳定了工艺。

合金选用是第三个难关。当时国际流行的IN100合金是首选，但这种合金的生产过程十分复杂，国内极难仿制。师昌绪决定采用金属所1962年研发出的具有国际水平的铸造镍基高温合金——M17合金。通过开发新的冶炼工艺，研发团队又进一步提高了M17合金的组织性能稳定性。

由“锻造加工”改为“真空精密铸造”，由“实心”改为“空心”，仅用1年时间，我国第一片九孔铸造镍基高温合金空心涡轮叶片就诞生在金属所的实验室中。中国成为世界上第二个采用铸造空心叶片的国家，而英国后来完成这一研究成果足足用了15年。人们称赞师昌绪“用百米冲刺的速度完成了一次马拉松长跑”。

1966年12月，由我国自主研制的第1片铸造九孔空心涡轮叶片装机试车成功，我国歼8战斗机换上了新技术“心脏”。1967年，装配空心涡轮叶片的新型战鹰高空飞行时速超过苏联样机10%以上，我国航空发动机性能上了一个新台阶。此后，这种叶片又装备在我国20世纪60至90年代生产的大部分先进发动



师昌绪《铸造空心涡轮叶片攻关回忆录》手稿
“老科学家学术成长资料采集工程”供图

机上。多年来从未因为该叶片的问题出过任何事故。

“有胆识、敢担当，空心涡轮叶片，是你送给祖国的翅膀”。在“感动中国2014年度人物”颁奖典礼上，一尊献给师昌绪的奖杯被放置在空心涡轮叶片和白玫瑰花旁。祖国和人民永远不会忘记为新中国发展作出贡献的每一位奋斗者。

（作者单位：中国科协创新战略研究院）



近日，经过连续三年的发掘，圆明园澹泊宁静遗址考古发掘工作取得重要成果。考古人员已全部揭露出主体建筑“田字房”的建筑基址，并发掘出新的稻田遗迹。

圆明园考古取得重要成果

近日，经过连续三年的发掘，圆明园澹泊宁静遗址考古发掘工作取得重要成果。考古人员已全部揭露出主体建筑“田字房”的建筑基址，并发掘出新的稻田遗迹。

目前取得的考古成果厘清了“田字房”的形制和工程做法，发掘出建筑台基及其外围的虎皮石陡板、阶条石、柱顶石、铺地方砖、天井、排水沟、基槽底部地钉等文物或遗迹。在“田字房”以北，考古人员发掘出了新的稻田遗迹，发现了南北两侧的田埂。此前，考古人员以植物考古手段在稻田内发现了水稻植硅石。图为考古人员在皇家稻田遗址考古发掘现场采集土壤。

新华社记者 陈钟昊摄

158连续波雷达:远去的“千里眼”不朽的功勋

◎张金焱 吴本科
本报记者 张强

11月5日19时50分，我国在西昌卫星发射中心用长征三号乙运载火箭，成功将中星19号卫星发射升空，卫星顺利进入预定轨道，发射任务获得圆满成功。

成功发射的背后是多套新型雷达的共同护航。此时，远在千里之外的西昌卫星发射中心贵阳卫星观测站里默默矗立着一台已经退役14年的功勋雷达设备，它的天线依旧指向遥远的太空。服役期间，这双“千里眼”参与了多项中国航天任务，退役后仍然以自己的方式见证着中国航天的辉煌。它就是158连续波雷达。



功勋设备158连续波雷达天线
受访单位供图

用自己的卫星进行卫星通信

1975年，在中国科学院院士陈芳允和中国工程院院士沈崇骏等专家的建议和主持下，我国开始进行158连续波雷达工程论证，目的是实现以中精度的测控设备获得高精度的定位测量。

158连续波雷达为中精度多站制外弹道测量系统，用于航天器、运载火箭飞行主动段外弹道测量，可单站工作，也可多站联合工作。经过中国电子技术集团第十研究所和第三十九研究所合作研制，158连续波雷达在1982年生产下线，列装于西昌卫星发射中心贵阳卫星观测站，承担发射卫星时运载火箭飞行主动段的外弹道精度测量任务。1984年1月，在完成系统性的安装调试和综合校飞等工作后，该设备首次正式参加“试验卫星”发射任务，首次亮相就做到了目标跟踪稳定、数据传输正常，任务获得圆满成功。

20世纪80年代初，中国女排获得世界杯冠军，并开启了五连冠的辉煌。但不知道是否还有人记得这一幕：就在她们冲击五连冠的关键时刻，电视信号突然中断，电视屏幕上只能看到“租用卫星，时间已到”的字样。这一切，都是因为彼时我国没有自己的通信卫星。而这一切，也都将因为中国有了自己的通信卫星而改变。

1984年4月8日19时20分02秒，长征三号火箭搭载着“东方红二号”试验通信卫星在西昌卫星发射中心腾空而起奔向太空，这是我国第一颗地球静止轨道同步通信卫星，开启了我国用自己的卫星进行卫星通信的新时代。这举国欢庆的壮举背后，就有158连续波雷

达的“身影”。

在隆隆的轰鸣声中，搭载着卫星的火箭按既定轨迹进入贵州上空，伴随着158连续波雷达天线俯仰角度的连续变化，贵阳卫星观测站指挥大厅里不断传来激动人心的报告声，“贵阳158雷达发现目标！”“贵阳158雷达跟踪正常！”“贵阳158雷达下高压！”

当机房里传来胜利的消息时，所有人欢呼鼓掌、拥抱握手，每个人的脸上都洋溢着成功的喜悦。这是158连续波雷达列装后第二次圆满完成重大火箭跟踪观测任务。可贵的胜利来之不易，在“东方红二号”试验通信卫星发射前的一次合练中，雷达数据传输软件接收中心数据曾突然中断，又突然复现。

面对这种偶发情况，贵阳卫星观测站的科技人员没有放过任何可能影响任务成功的因素。该站科技人员迅速组成攻关团队，深入研究设备原理，细致梳理故障并建立起故障树。经过连续5天通宵达旦的集智攻关，终于发现了隐藏在设备中的故障点，并在最短的时间里排除了故障。

后续的工作中，该站科技人员紧紧围绕任务特点和设备状态，以万全准备应对万一可能，再次全面对风险隐患进行分析识别，制定出40余份应急处置方案，始终确保158连续波雷达各项状态指标正常。

临危受命独立完成跟踪观测

在158连续波雷达服役的历程中，这样惊心动魄、争分夺秒、誓夺成功的故事还有很多。2003年5月25日，我国第三颗北斗一号导航定位卫星发射在即。然而，承担火箭飞行主

段跟踪测量的3台雷达设备中，其他观测站的两台设备突发故障，状态始终没能恢复，无法参加任务。如果火箭飞行主动段没有有效的雷达跟踪数据，势必会影响整个任务成败。

于是，已经服役近20年的贵阳卫星观测站的158连续波雷达临危受命，将在这次任务中独立完成火箭飞行主动段全覆盖跟踪观测。

面对时间紧、任务重、难度大的考验，该站158连续波雷达几乎是“在零窗口补位”，顶住了强大的载荷压力，始终保持着最好的跟踪观测状态，数据接收和轨迹观测没有出现一点瑕疵，圆满完成了跟踪观测任务。老将出马，一个顶仨！

随着国家航天发射频次的增加，158连续波雷达在1992年至2003年的11年里，对频率、中心机、测角、伺服、等分机进行了更新，对发射机控制电路、行波管放大单元及接收机高频箱进行了8次改造升级。虽然改造提高了158连续波雷达工作的可靠性，但随着雷达新技术的突破和新型雷达设备的研制成功，158连续波雷达已圆满地完成了自己的使命，走到了服役的终点。

2008年8月，一经研制成功就获得国家科技进步特等奖、国家质量奖银奖的158连续波雷达，在超期服役11年后作为功勋设备光荣“退役”。

超长的服役期间，158连续波雷达圆满完成航天发射跟踪观测任务44次，雷达组荣立集体二等功1次，集体三等功3次，在我国航天事业发展史上留下了浓墨重彩的一笔。

“退役”后的10多年来，它作为贵阳卫星观测站在站最长的“老同志”，一直默默矗立在那里，成为了该站进行爱国主义教育、质量警示教育和爱装管装教育的珍贵历史文物。

◎实习记者 苏菁菁

一本《居里夫人传》让他下定决心搞科学研究；一部纪录片《没有“外公”的癞蛤蟆》让他对从医兴趣倍增。他是韩启德，我国著名病理生理学家、中国科学院院士、中国科协名誉主席。

在日前举办的2022年科普中国智库论坛暨第二十九届全国科普理论研讨会上，77岁的韩启德分享了科普作品在自己成长过程中的重要作用。

“初中的时候我读了《居里夫人传》，直到现在我清楚地记得它对我心灵的冲击，当时就下定决心自己将来也要去做科学研究。1962年我进医学院学习不久，看了上海科教电影制片厂拍摄的一部纪录片《没有“外公”的癞蛤蟆》，讲述了我国著名生物学家朱洗从事单性生殖研究的经历，这部影片大大增强了我的学习兴趣。我还记得改革开放后不久，我国拍摄的第一部科幻电影《珊瑚岛上的死光》，引起了强烈的社会反响。再后来的后来，我读到了刘慈欣的《三体》，非常喜欢。”韩启德回忆了令自己印象深刻的科普作品。

他认为，科普普及是一项理论与实践紧密结合的工作。如今我国的科普工作已由强调科学知识普及转向突出科学精神，并全面地融入到经济、政治、文化、社会和生态文明建设之中。

在韩启德看来，科普创作是科普工作的源头活水，是公众获取科技知识、涵养科学精神的重要源泉。科普创作对提升全民科学素质、夯实社会文明进步基础都具有重要意义。“现在，我们的优秀科普作品越来越多，形式越来越多样，越来越吸引人，参与科普的科技人员也越来越广泛。”韩启德说。

“根据《中国科普统计》，2006—2020年，我国科普创作人员从0.87万人增加到1.85万人，增长幅度接近113%；科普图书出版种数由3162种增加至10756种，增长幅度超过240%。”韩启德说。

我国科普创作的进步令人振奋，但总体而言还有较大的上升空间。韩启德表示，我国的原创作品还不够多，达到国际先进水平的优秀作品更少。目前最受读者欢迎的科普读物，多数来自发达国家，其翻译水平参差不齐。我看过英国BBC制作的多部科普视频作品，比如《宇宙的构造》《BBC科普三部曲：地球+海洋+生命》等，还有一部关于人类生育机理的片子，从内容、表现形式、艺术性乃至情感表达，都令我感叹。我们的多数作品还没有达到这样的水平。我们必须承认差距，奋起直追。”韩启德说。

为此，韩启德建议科普创作要着力弘扬科学精神。“我们的作品在传播科学知识的时候，要注意介绍这些知识是如何一步一步获得的，是由哪些科学家获得的，经历了怎样的曲折乃至失败，这些知识还有怎样的局限性等，由此把科学、科学家、科学精神、思想和方法串联起来。我们在创作中要对科学怀揣敬畏之心，保持内容准确、严谨，不能单纯追求点击率和流量，为吸引眼球而去充当“标题党”。

同时，韩启德建议加强科普评论工作。科普作品良莠不齐，需要通过评论激浊扬清。科普评论要保持学术性、客观性、公平性，要鼓励对学术问题展开充分讨论乃至争论，对不良倾向要敢于批评，反对歪门邪道，树立正气。

“我们从事科普活动，在普及科学知识的同时还要传播科学文化，要把尊重人、关怀人、爱护生命、呵护心灵放在重要位置。所以我们的科普作品要充满人文情怀，要有温度。”韩启德希望科普作家协会能充分发挥作用，打造温馨的“科普创作者之家”，加强与广大科普创作者的思想联系、情感联系、业务联系和组织联系，同时加强创作引领，提高专业化服务能力，为繁荣原创科普精品、推进我国科普创作事业发展多作贡献。

乾隆镂空转心瓶里的科学

博览荟

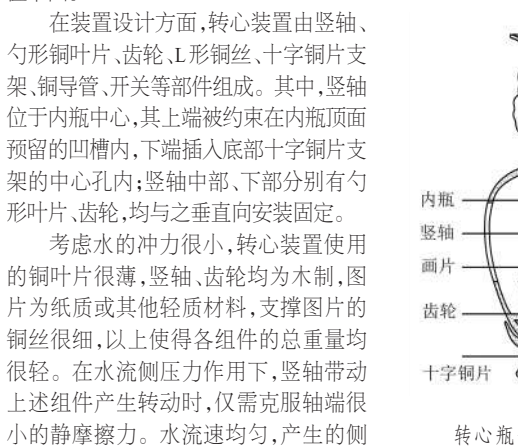
◎周乾

我国陶瓷制造历史悠久，制造技艺高超，而清代是我国古代制瓷工艺的高峰时期，转心瓶就是其中的典型代表。转心瓶属于有旋转功能的瓷器，即在一个镂空的瓶内，套一个内瓶，内瓶中有转动轴、木齿转动、内瓶外表面以天蓝色为底色，上绘青花螭纹，颈部两侧对称饰以金彩螭耳，四面腹壁有圆形开光，镂空处雕刻有五色彩锦纱幔垂帐。该转心瓶不仅结构巧妙，色彩绚丽、雕工细腻，而且有着丰富的科学内涵。

转心瓶由外瓶、内瓶及转动装置组成而成。外瓶由颈部、腹部、底座组装而成，各部分相连接处由铜质的铆钉固定。外瓶侧面开有镂空，用以观察内瓶图案。外瓶颈部的内部用水平瓷板封严，瓷板上开有1个圆孔，用于铜导管插入。铜导管用于进水，而水流是转动装置的动力来源。瓷板底面有3个瓷洞，用于固定内瓶。内瓶犹如一个倒扣的瓷杯，其顶部有4个开口，其中3个为长方形，与外瓶的瓷销对位卡固。

在转动转心瓶时，需向大瓶颈内的瓷板处注水，水由铜导管流下，落到勺形叶片上，水的冲击力带动叶片转动，叶片带动木轴、木齿转动，木齿轮再带动8个铜丝转动，此时搭放在各铜丝侧边的立画就会转动。观者通过外瓶侧壁的镂空，不仅可以清晰地欣赏到内瓶表面的图案，还可看到围绕内瓶转动的各幅画面，且画面犹如走马灯般变化，妙趣横生。

需要说明的是，乾隆皇帝对陶瓷艺术有着极高的欣赏品味。而为迎合乾隆皇帝的极高品味，景德镇御窑厂不计工本，制作了各种新奇、精巧的陶瓷品，转心瓶就是其中之一。据清宫《各作成做活计清档》之“记事录”载，乾隆八年（1743年）五月十七日，时任景德镇御窑厂督陶官的唐英“新拟得夹层玲珑交泰瓶等共九种”。在这里，“交泰瓶”即为转心瓶的一种。乾隆帝看到这些瓷器后，下旨：“俱各留下，其新式玲珑巧瓷器，不必照例常瓷器一样多烧”。由此可知，乾隆皇帝对唐英烧造的转心瓶是非常满意的。而实际上，烧造转心瓶费时达一年半之久，其工艺之复杂、装饰之华美，为任何朝代无法比拟。而其中多种科学知识的运用，则体现了我国古代工匠卓越的智慧。（作者系故宫博物院研究馆员）



韩启德院士谈科普作品创作