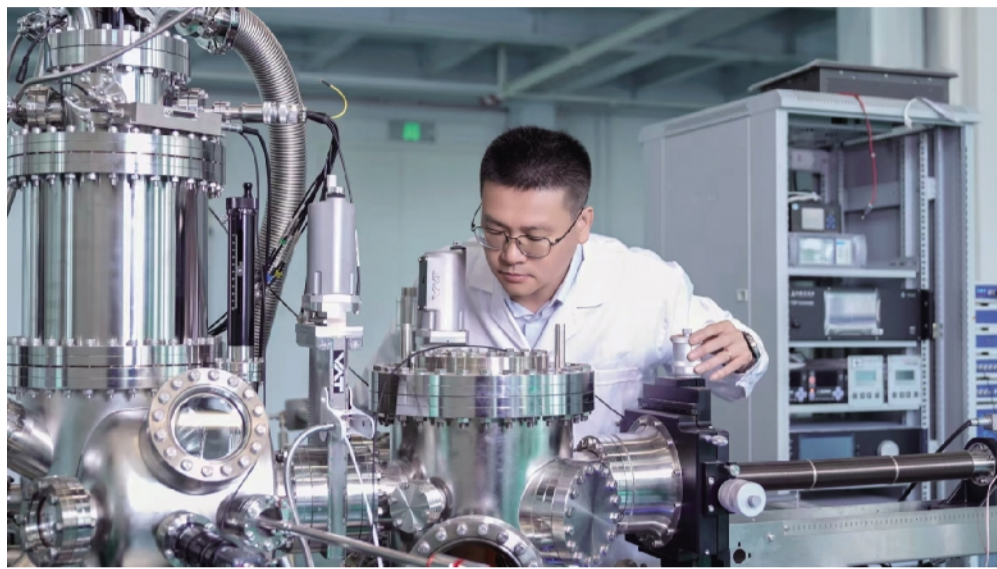


中国科学院物理研究所研究员郇庆：

杰青项目锻造高端“利器”

■本报记者 甘晓 ■杨曦



郇庆在新研发的亚K温区扫描探针显微镜前工作。

受访者供图

科研仪器不仅是科学研究的基础工具，也是推动科技进步的关键因素之一。

多年来，中国科学院物理研究所（以下简称物理所）研究员郇庆致力于高端科研仪器的研发，为此倾注了大量的心血和智慧。通过不懈的努力和持续的创新，郇庆开发出包括各类控制器、精密放大器、束源炉、低温恒温器等在内的一批核心关键部件，并完成了扫描探针显微镜、分子束外延、激光分子束外延、原子层沉积等成套系统的研制。

如今，这些设备已应用于科研，为相关领域的研究提供了强有力的工具支持，加快了科学探索的进程。2021年，郇庆获得国家杰出青年科学基金项目（以下简称杰青项目）支持。

近日，《中国科学报》获悉，郇庆带领团队开发的基于无氦气制冷技术的极低温扫描探针显微镜系统，已经将制冷温度降至0.4开尔文（K），有望为我国在超导材料、量子计算等领域的科学探索提供有力保障。

“期待在杰青项目支持下，我们团队能打破学科壁垒，为科学家打造出‘利器’，为实现高水平科技自立自强作出自己的贡献！”郇庆说。

瞄准高端科研仪器

在博士研究生阶段，郇庆就种下了研制高端科研仪器的理想的种子。那是在2005年前后，美国加利福尼亚大学尔湾分校教授何文程（Wilson Ho）来物理所作报告。

报告中，何文程不仅介绍了他的课题组开展工作的情况，还特别提到组内的主要仪器设备全部是自主研发，每台仪器都有不同特色，或增加磁场或耦合激光，完全根据实验需求而设计。

何文程课题组的规模虽然不大，但在领域内频出顶级工作成果。郇庆认为，这些顶级工作成果的产出正是得益于根据实验目的和需求自行设计并改进的仪器设备。

正好那时郇庆所在的实验室刚刚购置了一台进口的先进设备——超真空四探针扫描隧道显微镜。开箱时，他和在场的其他学生一样，被设备的复杂性和精密性深深震撼。虽然很想学习，但来自生产厂家的外国工程师忙着安装调试，顾不上给他们讲解。

“一方面看到这台设备与之前的设备相比差距很大，我们被设备的复杂、精密所震惊，生怕弄坏而不敢动任何部分；另一方面也在想，为什么我们中国生产不出这么复杂的设备？”郇庆回忆。

在这两件事的反差中，郇庆真切感受到，物

理是一门以实验为基础的学科，科研成果在水平上的差距，很大程度上源于仪器设备的差距。

于是，在物理所导师的支持下，郇庆前往加利福尼亚大学尔湾分校何文程课题组学习，瞄准高端科研仪器方向，完成了博士及博士后阶段的学习和工作。

冷门赛道艰难前行

2011年，郇庆完成博士后阶段工作回到物理所工作。

彼时，郇庆了解到，随着国家实力增强，中国科学家开始有了更多资金购买国际上最先进的设备，加之中国科技工作者更加勤奋努力，科研成果数量迅速提升。但是，我国科学研究更多处于“跟随”状态，引领性的原创想法和成果十分有限。

郇庆判断，如果仪器装备自主研发的水平不提高，必将成为制约中国科研水平进一步提升的瓶颈。这更加坚定了他要开发出拥有中国人自己知识产权的高端科研仪器的理想信念。

“就发表文章数量来讲，我们国家的确是突飞猛进。”郇庆告诉《中国科学报》，“很多原创性想法，全世界聪明的科学家能想得到，但不是每个想到的人都有能力证实。”在他看来，谁能掌握独特的科学仪器和实验方法证实想法，才能取得

真正的领先地位。而在这点上，依靠谁都能买到的现成商业化成熟仪器往往很难实现，自行研制高端科研仪器才是“独门绝技”。

当然，郇庆也清楚，相比实现成仪器就能发文章的常规科研方式，他所选的是冷且艰难的赛道。

“国外的仪器公司已经发展了几十年甚至上百年时间，它们积累了丰富的经验和专业知识。我们中国科学家自制一台仪器，短期内想要全面超越这些公司几乎不可能。”郇庆介绍，研制一台仪器的成本往往高于购买一台同类商业化仪器，除了购买材料的费用，还需要支付更长研发周期内参与研发的学生和工程师们的人工成本，更要考虑反复试错所必须重新设计和加工费用。

因此，面对研发周期长、失败风险高的困难，过去很长一段时间，评价体制都给郇庆带来了极大的压力。他甚至面临“生死”问题：“哪家研究所或高校可以容忍一个国外回来的年轻人3至5年不出成果？”

所幸，在物理所的包容和支持下，郇庆咬着牙坚持下来。没有学生，就通过与其他课题组合作“借用”；没有工程师，就“忽悠”多年的好哥们儿从知名大厂跳槽一起合作；没有经费，就越挫越勇地申请……

转机在2014年到来。那一年，郇庆与物理所

中国科学技术大学教授张强：

杰青项目助力探索量子奥秘

■本报记者 冯丽妃

物理理论不同，量子信息面向应用，相关研究方向未艾。”回忆当初的选择，张强说，“量子信息领域发展出的量子调控技术可以与其他学科交叉发展出更多新技术，解决新科学问题。”

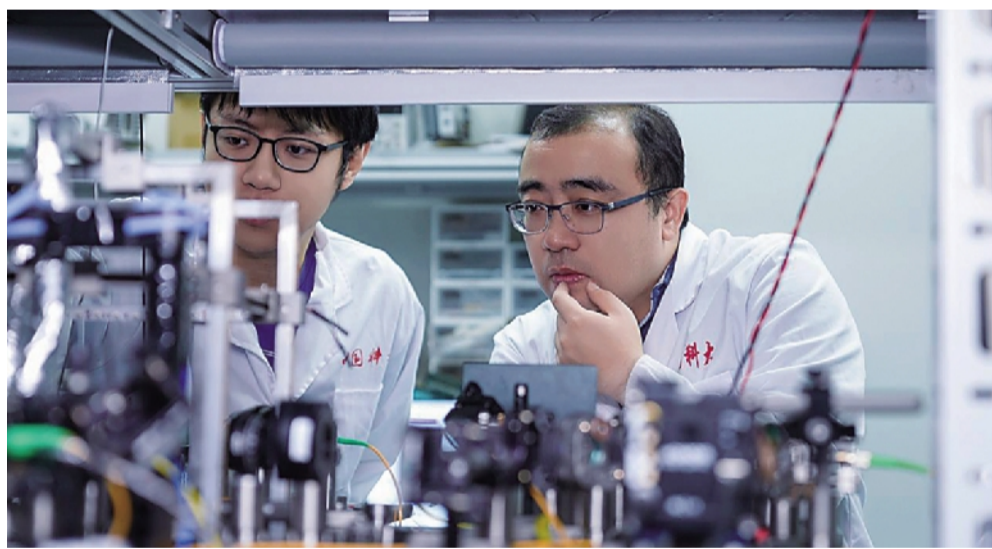
在那个年轻的团队里，张强如饥似渴地吸收着各个领域的知识，对实验物理产生了浓厚兴趣。5年读研期间，他的主要研究方向最初聚焦在光子研究领域。到了学业最后一年，为扩大知识面，在潘建伟的推荐下，他前往德国海德堡大学学习交流。毕业后，他又前往美国斯坦福大学、日本信息情报研究所山本喜久实验室开展了四年半的博士后和访问学者工作。这些经历让他拥有了非线性光学、光纤量子通信、量子器件制备等多方面的跨学科背景。

2011年，张强回到中国科学技术大学任教授。他与其博士生导师潘建伟以及师兄彭承志、陈宇翱、陈腾云等携手合作，共同组建了一个量子通信研究团队。这些年来，他们在国际量子通信实验研究领域做出了一系列开创性成果。例如，在国际上首次实现百公里量级诱骗态量子密钥分发、组建全球首个互联网互通量子电话网、首次实现测量器件无关的量子密钥分发。这些研究使量子通信成为我国为数不多的在国际上处于领跑、并跑的领域。

在此过程中，张强在量子密码和量子通信实验研究领域做出了一系列开创性成果。例如，成功自主研发量子通信核心器件——周期极化铌酸锂波导，在此基础上开发室温下高效低噪转换探测器和量子通信频率接口，应用于自由空间量子通信、量子频率转换接口、单光子雷达和成像等领域；开展光纤和自由空间的时间频率传输研究，为未来基于卫星的量子精密测量奠定基础；利用星光随机数实现无漏洞贝尔不等式检验，在此基础上实现安全级别最高的器件无关量子随机数；开展一系列的测量器件无关量子密钥分发实验等。这些研究成果使他逐渐成为该领域的知名学者。

不过，张强坦言，自己的杰青项目申请之路并非一帆风顺，之前几次在单一学部申请杰青项目资助时，并未成功。

“我所从事的量子信息领域是新兴学科，学科交叉的味道特别浓。比如，我做的量子器件涉及物理信息材料、半导体支撑技术、密码学、数学



张强（右）与学生在实验室。

受访者供图

在量子通信研究领域，中国科学技术大学教授、济南量子技术研究院执行院长张强与中国科学院院士潘建伟等合作者的研究一直处于国际前沿。

今年5月到9月，张强及其合作团队就在《自然》《物理评论快报》《自然-光子学》等国际期刊发表多项国际“首次”的里程碑式成果，包括构建首个基于纠缠的城域三节点量子网络、首次实现无漏洞贝尔不等式检验、首次实现百公里级开放大气双光梳光谱测量等。

从2001年攻读研究生开始踏入量子通信研究的门槛以来，张强在这个领域已经深耕23年。2021年，他获得了国家自然科学基金委员会交叉科学部首批国家杰出青年科学基金项目（以下简称杰青项目）的资助。

“杰青项目让我感到自己的工作得到了认可，坚定了我的科研信心，也让我可以更安心、放松地做一些更重要的研究。”近日，张强在接受《中国科学报》采访时说。

“杰青项目助我拓展科学前沿”

张强出生在吉林，童年时期跟随祖父母搬迁到内蒙古自治区通辽市生活。学生时代，他对物理、化学课程的兴趣十分浓厚。

1997年，张强以优异的成绩进入中国科学技术大学物理系。同一年，一名校友在大洋彼岸的一项突破性成果在他心里埋下了一颗从事实验物理研究的种子。

这名校友就是赴奥地利留学的潘建伟。那一年，潘建伟与合作者在国际上首次在实验上成功实现了将一个量子态从甲地的光子上传送到乙地的光子上。这项量子通信手段在实验上成为可能，也使量子计算所必需的基本单元操作成为现实。这项研究与发现X射线、建立相对论、发现DNA双螺旋结构等影响世界的重大研究成果的论文一起，被《自然》评选为“百年物理学21篇经典论文”。

受到这件事的鼓励，张强在2001年完成本科学业后，放弃了其他研究方向的保送资格，加入刚回国的潘建伟团队，并成为他的研究生。

“量子信息学科的理论体系相对比较健全，但实验落后于理论。与早期探索未知世界的量子

超导实验室金魁和袁洁团队合作，一起获得了中国科学院仪器研制项目“高通量连续组分外延薄膜制备及原位局域电子态表征系统”的资助。“经费不够，几个刚回国的年轻人把全部启动经费都凑到一起，终于把这台仪器做了出来，有点破釜沉舟的感觉。”郇庆回忆说。

该系统不仅是国际上首台兼具高通量制备薄膜生长和原位精准表征的尖端仪器，采用了团队首创的新一代高通量连续组分薄膜制备技术，同时也是材料基因组研究平台的重要技术工作基础。这一项目的成功不仅让郇庆在未来的时间里可以甩开膀子干事、不用再为生存在发愁，也让郇庆向同行证明了中国科学家完全有能力研制高端科研仪器。

郇庆带领团队总算蹚出了一条路。他们从共性技术和核心关键部件着手，先后主持或核心参与研制搭建了各类真空系统十余套，包括“新型光学-扫描探针显微镜及分子束外延联合系统”“超真空变温扫描隧道显微镜系统”等。

杰青项目垂青

“很长一段时间里，我都没想过申报杰青项目。”在郇庆心里，杰青项目专门资助基础研究领域的高层次人才，他认为自己的工作似乎与杰青项目的那个“框”还有差距。

多年来，郇庆除了申报国家自然科学基金青年科学基金项目之外，从未申报过国家自然科学基金委员会（以下简称自然科学基金委）的面上项目，由于经费申报主攻仪器类，也没有发表过所谓“顶刊”论文。“迄今为止，我只发表了30多篇论文，虽然其中有几篇仪器类顶级刊物的代表作，但刊物的影响力只有一点点。”他说。

2020年11月，在强化我国学科交叉以及寻求科研范式变革的科技发展新态势下，自然科学基金委成立交叉科学部。为了给基础科学研究提供重要工具，交叉科学部大力鼓励科学家进行高端科研仪器、科学软件等科学工具的研制，以打破国内高端科研仪器和关键科学软件长期依赖进口的现状。

对此，郇庆有一种找到“家”的感觉。自己的工作有着浓浓的“交叉”味儿，设计一台仪器不仅需要理解其物理原理，还要涉及机械设计、化学过程、材料科学等方面。例如，包含化学气相沉积（CVD）的仪器需要深入理解化学反应；选择仪器所用的材料时则必须考虑其硬度、弹性、热膨胀系数和热导率等物理特性，离

不开材料科学；设计完成后还需要通过软件和硬件来控制仪器运行，控制探针扫描和生长过程则要用到电子学和软件工程。

于是，他以《材料制备与物理表征科研仪器设备的自主研制与研究应用》为题，提交了杰青项目申请书，并于2021年成为自然科学基金委交叉科学部首批杰青项目资助的学者之一。

稳步推进取得进展

申请过程中，郇庆体会到，杰青项目申报书填写的内容与此前仪器类项目有所不同。“仪器项目的申请书主要围绕做什么仪器、科学目标和意义以及最终技术指标等核心内容展开，但杰青项目作为一类人才项目，主要是介绍过去工作基础以及未来工作计划，而不仅呈现研发设备的先进程度。”他介绍道。

项目执行3年来，郇庆一步一个脚印，稳步推进工作，目前已经取得进展。他们研制了基于无氦气制冷技术的极低温扫描探针显微镜系统。

据介绍，这套系统的技术路线由郇庆课题组原创，与现有的所有商业化产品及国内外团队的技术方案都不同，各项指标均达到了先进水平。

目前，国际上美国和德国的公司生产的成熟产品制冷温度为9K，日本公司的产品为5K。而郇庆团队研发的新系统实现了3K以下的制冷温度。目前，在实验室中这一温度已降至0.4K。

同时，国外产品存在的振动问题直接影响扫描隧道显微镜的分辨率。对此，他们采取将制冷机远离显微镜和超流氮的策略，有效解决了振动问题；同时结合连续流冷却方式，通过柔性输液杆实现了“远程冷却”，显著提高了冷却效果并降低了噪声。

“我们正在进一步优化技术，朝着更低的温度进军。”郇庆表示。

在杰青项目进行过程中，郇庆对未来充满了希望：“我们期待能够补齐或超越国外已有的高端仪器，将一系列共性技术拓展到其他科学仪器上。更长远的计划则是探索将这些技术和经验应用于科研领域之外，满足对可靠性和成本效益更严格的要求，解决国家重大需求层面的问题。”

（作者杨曦单位：国家自然科学基金委员会科学传播与成果转化中心）

研究梳理清楚，看清当年走过的路、踩过的坑，总结过去的经验教训，才能对将来的科学道路形成新的计划、新的启示。”

面向未来几年的杰青项目执行期，张强希望能够做更多、更重要的工作。“首先在之前的量子通信研究方向上，不断突破极限，做更远的通信距离、更小型化的器件。同时，要加强量子通信、网络传输，以及量子技术与其他研究领域的交叉研究。”张强说。

如今，张强与潘建伟等学者合作，已经实现光纤中1000公里以上点对点远距离量子密钥分发。这不仅创下了光纤中继量子密钥分发距离的世界纪录，也提供了城际量子通信高速率主干线路的方案。同时，他还开展了量子雷达、量子成像等领域的跨学科研究。

那么，量子通信是否会取代传统通信呢？对此，张强表示，两者之间并非是替代性关系。量子通信的优势是保密通信，可以用量子密钥为传统通信技术“再加一道锁”，提升其保密性能。

据介绍，目前，量子通信技术已经实现多个场景的具体应用，更多的应用场景正在开拓中。例如，将量子探测跟激光雷达结合，用量子雷达测量城市的空气污染情况；将量子随机数应用到诸如食品商品质检、福彩体彩等方面的日常工作生活中，让量子技术更多服务于国计民生。

“学术自由与学术公平兼容并包”

在张强看来，杰青项目对学术自由与学术公平兼容并包。

“杰青项目不设定具体的研究任务和目标，而更注重科学家的个人能力和潜力，保证了学术自由。”张强说。

2024年起，杰青项目对资助期满的项目开展分级评价，择优遴选，最多可连续三次给予滚动支持。对此，张强非常看好。

“一个学者能否做出好的科研成果，人才的选拔和评价机制至关重要。从国家层面讲，滚动支持也是一个甄别机制，激励大家不要躺平。”他说。

张强建议，杰青项目人才选拔继续保持优良传统，同时青年科学家也应该坚持做重要的研究。“时刻做好准备，机会总会来临。”张强说。

“杰青项目答辩过程是自我梳理的过程”

交叉科学如何“交叉”？近年来，张强总会在不同场合被问及这样的问题。

对此，张强认为，要回答好这个问题，考验的是学者对自己所从事学科的理解深度。“比如在你的研究中学科交叉是如何体现的？你的哪一项工作最具交叉研究特色？工作中最精彩的部分是什么？如果没有对学科交叉和自身研究工作的深入思考，就很难回答这些问题。”他说。

在2021年的杰青项目答辩会上，张强以实现500公里级的量子密钥分发为例，讲述自己在跨学科研究中的多个“典型特质”：首先，从理论上讲，量子通信是量子物理和信息科学的交叉，基于量子力学的基本原理，和密码学结合，实现信息科学所不能完成的无条件信息安全；其次，要实现量子通信，需要综合多种关键技术才能成功。如量子光学、材料科学、密码学、光电子等；最后，有了量子通信技术之后，还可以将其应用于其他学科，开展进一步的跨学科研究。

“准备杰青项目答辩的过程，也是进行自我梳理的过程。”张强说，“只有把自己过去的