

王育竹： 一生只为打造最精准的“定时神钟”

□江庆龄 李晨阳



大家

1957年11月，毛泽东主席到访苏联，在莫斯科大学接见中国留学生。在汹涌的人潮中，有一个25岁的河北小伙子，苦于挤不到前排，他灵机一动，攀上了礼堂高高的窗台，为自己争取到一个更好的视野。

这个小家伙叫王育竹。“世界是你们的，也是我们的，但是归根结底是你们的。你们青年人朝气蓬勃，正在兴旺时期，好像早晨八九点钟的太阳。希望寄托在你们身上。”听了毛主席的话，他无比震撼。

光阴荏苒，如今的王育竹已经是中国科学院院士。他当然不再是早晨八九点钟的太阳，但他把这一生的光芒都献给了祖国、献给了党。

作为中国原子钟的开拓者之一，他负责研制成功我国第一台铷原子钟，并已用于多项重要国防任务，其中安装在“远望号”测量船上的铷原子钟，保证了历次卫星的发射成功。他带队研制的空间冷原子钟则随天宫二号发射升空，成为九霄之上最精准的“定时神钟”。

“小作坊”造出原子钟

王育竹一生的学术成果堪称厚重，如果只用一句话概括，那就是做出更好的原子钟。

原子钟，顾名思义，是利用原子在不同能态之间跃迁时吸收或发射的电磁波来计时的。

由于这种电磁波周期非常稳定，原子钟成为目前世界上最精准的计时工具，在国防军事、定位导航、航空航天等领域都发挥着极其关键的作用。

1955年，路易斯·埃森(Louis Essen)和杰克·帕里(Jack Parry)在英国国家物理实验室建造了第一台可靠的铯原子钟，用于校准石英振荡器的频率。6年后，王育竹从苏联回国，入职中国科学院北京电子所。他在博士期间工作的基础上，白手起家建立实验室，并于1964年成功研制出钠原子钟实验室装置。

1963年，中国科学院决定将北京电子所和长春光机所的一部分研究室组成新的研究所——中国科学院光学精密机械研究所上海分所(现为中国科学院上海光学精密机械研究所)。王育竹和他的实验室成员集体迁往上海，从此在这里扎下根来。

不久后，王育竹得知国外成功研制出性能优越的铷原子钟，但该技术对中国封锁。他非常清楚铷原子钟在导航、定位技术中的重要地位，于是从1965年开始独立自主研制铷原子钟。

那是一段漫长而艰难的历程。彼时，我国没有可以用于制造原子钟的铷原子同位素，王育竹团队几经周折，终于利用初建的装置分离出同位素。由于受当时历史背景的影响，王育竹的研究工作几次中断，前后花了4

年时间，才研制出铷原子钟的关键部件和所需要的测试设备。

1970年，中国科学院提出“开门办所”的方针。38岁的王育竹带领课题组，下工厂接受工人阶级“再教育”，入驻上海国荣灯具厂。这是一个制造漆包线的小工厂，工作环境和条件极差，他们在工厂厨房的小阁楼里搭建起原子钟实验平台，和工人师傅一起开始了研制工作。

利用王育竹提出的3项关键技术，团队经过7年的刻苦攻关，先后研制了三代铷原子钟样机，性能一代比一代强，达到了当时的国际水平。

他们研制的铷原子钟先后参加并完成多项国防任务，包括超长波导航、潜艇导航、基地台站间的时间同步、远程导弹及通信卫星发射、国家原子时系统等，且顺利完成了“远望号”测量船原子钟任务，先后经历两次出海考验。

王育竹至今记得，1982年，我国向全世界发出通告，要向指定海域发射火箭。得知“远望号”测量船即将出海，他心中十分紧张，直到“发射成功”的喜讯传来，王育竹才如释重负，激动得热泪盈眶，深感为祖国的国防事业作出了一份真正有价值的贡献。

与诺奖擦肩而过？他这样说

1997年，朱棣文、威廉·菲利普斯(William Phillips)和科昂·塔

努吉(Cohen Tanhoudji)因在激光冷却气体原子研究工作中的突出贡献而获诺贝尔物理学奖。

此时人们猛然间发觉，王育竹提出的激光冷却气体原子的物理思想与现在使用的机制是一致的，但由于种种原因，王育竹距诺贝尔奖只差一步。

要说清楚如何“与诺奖擦肩而过”，得把时间拨回到20年前。

1977年，完成铷原子钟任务后，45岁的王育竹回到中国科学院上海光学精密机械研究所，寻找下一步的研究方向。就在此时，他关注到著名物理学家阿瑟·肖洛(Arthur Schawlow)和西奥多·汉斯(Theodor Hansch)于1975年发表的一篇文章。文中提出了激光冷却原子的多普勒冷却机制，并推算出利用这种机制最低可将钠原子冷却到240μK，这个温度也被称为“多普勒极限”。

原子钟的精确度受限于原子的热运动速度，如果降低原子的温度，将大幅提高原子钟的精度。王育竹当即认识到冷原子对原子钟研究将产生革命性影响，决心投入到激光冷却气体原子的研究中。

1979年，在理解了激光冷却气体原子与多普勒频移的关联后，王育竹提出了几个与多普勒效应相关的激光冷却气体原子机制的建议，其中“积分球红移漫反射激光冷却气体原子”与非

利普斯在1983年的工作相似。但限于条件，王育竹直到1993年才完成积分球激光冷却原子束的实验。又过了15年，团队终于实现了从87Rb背景气体中直接冷却原子，获得了109量级的冷原子气体，最低气体温度达25μK。

也是在1979年，王育竹开始从一个新视角思考激光冷却气体原子的物理机制。经过深入思考，王育竹提出了不同于多普勒冷却机制的新冷却机制——利用交流施拉克效应(光频移效应)激光冷却气体原子。这又与朱棣文和塔努吉在1989年提出的低于多普勒冷却极限的西西弗斯冷却机制一致。

这是国际上首次提出将光频移应用于激光冷却气体原子的机制。但是1980年在中国科学院上海光学精密机械研究所参与组织的国际激光会议上，一位国外科学家并不认同这个冷却机制。

王育竹提出有关激光冷却气体原子新设想的时间，比国外早了5至10年，但限于当时的实验条件，没有在实验上实现。

回顾这些往事，王育竹从未因为错过诺贝尔奖而怅然。他更为介怀的，是时代背景下开展基础研究工作的艰难，以及当时中国人在国际学术界受到的轻视。

托起“八九点钟的太阳”

王育竹不仅是一位开拓进取

的学者，也是一位桃李满园的师者。当初冷清孤寂的冷原子研究领域，如今早已人才济济。动辄数百人参与的学术会议上，绝大多数参会者要么出自王育竹门下，要么曾在他的实验室学习过。

“王先生是一位非常平和的老师，他十分看重年轻人对研究的兴趣。”中国科学院上海光学精密机械研究所研究员魏荣说。他最初没有被分配到王育竹的课题组，但对组里的研究方向很感兴趣。他的一个好友恰好好在王育竹门下学习，表示愿意和他交换课题组，还把这件事告诉了王育竹。没过多久，魏荣就受到王育竹的邀请去参观实验室。魏荣说：“王先生就是这样，他觉得你对这个方向真的感兴趣，就很愿意把你招进来。”

2002年3月，王育竹实验室利用为数不多的经费，实现了中国第一个铷原子稀薄气体的玻色-爱因斯坦凝聚态(BEC)，诞生了一种新物态，使中国成为世界上第11个、亚洲第2个拥有新物态的国家。当国际BEC网络上飘扬起五星红旗时，王育竹万分振奋。

“国家需要你们！”2006年，在恩师王育竹的召唤下，刘亮放弃了美国的高薪工作，回到中国科学院上海光学精密机械研究所，很快领导成立了空间冷原子钟团队。团队攻坚克难，取得了一系列成果——2010年，完成空间冷原子钟原理样机的研制和地面科学实验论证；2011年，空间冷原子钟实验计划正式进入工程样机的设计与研制阶段；2016年，国际上第一台在轨进行科学实验的空间冷原子钟搭乘天宫二号被发射到太空，其精度高达3000万年，误差小于1秒。

光阴荏苒，当年那位攀上窗台、眼中有光的青年已步入耄耋之年，但冷原子学科的研究队伍却日益壮大、风华正茂。这是最让王育竹欣慰的事——每一个人都会长去，但他在有限的年华里，为祖国的科技事业托举起了更多“八九点钟的太阳”。

(据《中国科学报》，有删节)

科技大观

近日，鹊桥二号中继星成功发射并实施近月制动，梦舟飞船、揽月着陆器和长征十号运载火箭亦全面进入初样研制阶段。人类探月工程已处于从“认识月球”转向“认识与利用并重”的重大转折阶段，月面建造逐渐成为新一轮深空探测的重点研究领域。

建造月球基地，国际深空探索新焦点

月面建造是指在月球表面上规划、设计、建设和维护各类设施和结构的工程活动。21世纪以来，人类探月工程已处于从“认识月球”转向“认识与利用月球并重”的重大转折阶段，各航天大国正在开展月球基地建设和原位资源利用等技术的验证工作。利用月面原位资源开展月球基地建造，对实现航天强国战略具有突出的现实意义，该领域已成为新一轮深空探测的核心研究方向之一。

近日，鹊桥二号中继星已成功发射，探月四期大幕再启。我国正计划以探月四期为先行任务，同多国合作建设长期自主运行、短期有人参与的国际月球科研站，并逐步将其升级为实用型、多功能的月球基地。此外，载人登月工程关键技术的攻关也已开始，梦舟飞船、揽月着陆器和长征十号运载火箭已全面进入初样研制阶段。我国计划于2030年前实现载人登月，逐步建设地外长期驻留平台，由定点登陆探测向长期驻留与大范围探测演进。

国际上，各航天大国也纷纷提出月球中长期驻留设想，掀起了新一轮探月热潮。美国航空航天局(NASA)已提出多个以月球基地建造为核心的计划或方案，如《月球探索路线图》《月球到火星的目标》、阿尔忒弥斯(Artemis)计划等。其中，阿尔忒弥斯计划将在月球南极建立“大本营”，并建造一系列配套的基础设施，如通信、电力、辐射屏蔽、废物处理设施等，以支持长时间、可持续的月面驻留与深空探索活动。欧盟航天局(ESA)于2020年正式发布了“月球村”设计文件，旨在利用月球表面的自然资源开展建造活动，为科学、商业乃至旅游业提供永久性基地。俄罗斯联邦航天局(RKA)计划通过未来Luna26-29系列任务实现对月球南极地区的深度探测和采样，为月球南极基地建设奠定坚实的基础。日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)和印度空间研究组织(ISRO)也在积极参与国际太空合作，签署美国航空航天局发布的《阿尔忒弥斯协定》。

月球那么大，房子建在哪？建什么？

月球基地的选址至关重要，需综合考虑多种因素。理想的月球基地须选在水冰资源区、陨石坑附近、光照区之内，并具有较好的通信条件，以保证宇航员生存、工作、探测和科研等需求。当前，备受关注的选址热点主要集中在极地地区、赤道地区和月球背面。特别是月球极区，它的科学价值较高，昼夜温差范围相对较小，且太阳能、水冰等资源开发潜力巨大，其内部的马拉珀特陨石坑、沙克尔顿陨石坑、皮尔里陨石坑已成为多国月球基地建造的目标选址区域。

确定选址区域后，还应进一步明确建造结构。当前，各国已设计多类月面建造结构方案，主要包括刚性结构、可展开结构、充气结构、3D打印结构、砌筑拼装结构、熔岩管道结构等。



走，上月球盖房子

□周诚

刚性结构：预先在地球上制造成坚固的舱体结构，经发射到达月球表面后可直接投入使用。该结构无需复杂的现场组装或建造过程，在当前具备较高的可行性和可靠性。

可展开结构：将结构以折叠的形式从地球发射，到达月球表面后利用自身的铰链等机械装置将其展开。该结构具有发射体积小、使用空间大、多次展开收起重复利用等特点。

充气式结构：同样以折叠形式发射，但其展开方式为柔性充气/加压。这类结构发射运载体积小，能大幅度降低运载重量。但其柔性材质的结构复杂度高、防护性能差，尚待进一步技术突破与完善。

3D打印结构：在月面采用3D打印的工艺直接建造结构。3D打印工艺自动化程度高，其建造的结构设计自由度高，形状、造型复杂多样，还可以实现月壤材料-结构-性能一体化设计，适用于极端的月面环境。

面结构能否承受月震循环荷载而不被破坏？月球表面重力仅为地球表面的1/6，月基承载力是否会在低重力条件下显著减弱？月面昼夜27.32天更替一次，昼夜温差可达290℃，月面建材是否会在热疲劳作用下性能退化？宇宙射线如质子、α粒子、β粒子、γ射线等可直达月面，月表辐射强度高达300mSv/a，建造装备是否会在强辐射下失效？

这些极端环境使月面建造工程成为极具挑战的超级工程。那么，如何在月球上盖房子呢？

各国研究机构已提出四种主流的建造方案，即“预制-发射-着陆”“预制-发射-展开”“预制-发射-组装”以及“月面原位建造”。前三类建造方式均在地球上预制建筑构件，随后在月面通过着陆、展开或组装方式建成目标结构。这样的建造方式操作简单且可控性较强，但地月运输代价太大，导致建造成本高昂，可持续性较差。相比之下，

“月面原位建造”则采用“就地取材”的理念，直接利用月面原位资源(如月壤、太阳能、矿产资源等)开展建造活动。这种建造方式无须从地面大规模运输能源和建材，大大降低了月面建造成本，有利于深空探测进程的可持续发展。

事实上，月面原位建造涉及土木工程、材料科学、机械工程、行星地质学、天文地质学等多学科交叉，需重点解决建造材料、建造工艺及装备等领域的关键技术难题。建材方面，月壤的成分与地球岩土较为相似，主要由硅酸盐、氧化铁、氧化铝和氧化钙等组成，理论上可作为月球基地建造的主要原料。月壤颗粒形状各异，多为棱角状、次棱角状、长条状，经挖掘、筛分和预选等预处理步骤后，可通过多种方式制备为月面建造材料。例如，在月壤中添加外掺剂，可将其制备为类混凝土材料，包括地质聚合物混凝土、干拌蒸压固体混凝土、高分子粘结类混凝土、无机非金属粘结类混凝土、有机物粘结类混凝土等。此外，将月壤加热到液相线温度以上，还可得到致密、坚固且耐磨的月壤衍生物材料，包括玻璃及纤维、金属合金等。

建材有了，谁来盖房子？目前人力显然无法实现，只能依靠自动化的机器和设备。当前提出的主流建造技术为3D打印技术(低温挤出、高能束熔蚀)和砌筑拼装技术。低温挤出3D打印技术指在无须外加热源的情况下实现月壤浆料的逐层堆叠与成形，根据挤出物类别分为材料挤出成形工艺和黏合剂喷射成形工艺，如轮廓工艺、D形工艺等。其技术装备主要包括大型龙门架3D打印机、较为灵活的移动式3D打印机以及协同工作的移动建造机器人等。高能束熔蚀3D打印技术指使用高能量密度的束流逐层烧蚀熔蚀月壤粉末，以形成较高强度结构实体的成形技术，主要包括粉末床熔蚀成形工艺、直接能量沉积成形工艺与熔蚀挤出成形工艺等。其技术装备主要包括选区熔化设备、近净成形设备、熔蚀挤出设备等。砌筑拼装技术是指将预制好的小型月壤模块通过机器人拼装、堆砌等方式搭建为大型月面结构，当前研究较多的拼装方式为拓扑互锁拼装和乐高积木拼装，其技术装备主要包括移动平台系统、运输车等。

研究在争分夺秒进行中，我们将和诸多同道一起，为人类和平利用太空、推动构建人类命运共同体贡献中国智慧、中国力量！

(作者系中国数字建造技术创新中心副主任，华中科技大学土木与水利工程学院副院长、教授)

(据《光明日报》，有删节)

五四精神在新时代 青年中的继承与发扬

□徐梦如

105年前的五四运动，是中国青年的巨大觉醒，在近代以来中华民族追求民族独立和发展进步的进程中具有里程碑意义。在这次反帝反封建的伟大爱国革命运动中，广大青年学生为中国的人民解放和社会进步作出了巨大的贡献。五四运动中诞生了“爱国、进步、民主、科学”的五四精神，鼓舞了一代又一代中国人前赴后继，为中华民族的伟大复兴而奋斗。

在五四运动中，青年学生为拯救民族危亡挺身而出，唤醒全国民众奋起抗争，其社会责任意识、担当精神等也成为了五四运动的标志性闪光点。如今，我国已步入新时期，我们面临着前所未有的发展机遇与风险。社会的发展离不开青年一代的努力与担当，青年的发展也影响着社会的进步与未来的发展。实现中华民族伟大复兴是我们青年学生的历史使命。我们必须以五四精神为指引，坚定信念，笃行实干，方能扛起新世纪中华儿女的青春责任。

青年要坚定信念，担当时代责任。信仰是担当精神的基础，信仰帮助我们回答了“为谁担当”“是否要勇于担当”“如何担当”等根本问题。20世纪的中国人选择信仰科学的马克思主义，通过革命建立社会主义社会。改革开放以来，伴随着中国逐渐融入全球化浪潮，中国社会文化多元、价值多元程度越来越明显。同时，一些人灵魂深处缺乏自觉的、占主导地位的社会文化信仰，没有方向与目标，没有积极向上的精神。因而新时代的青年须常修常炼、常悟常学，终身课题就是坚定信念，担当责任。青年学生挺直精神脊梁，筑牢理想信念之基，在当“乱云飞渡”的国际局势中，只有筑牢信仰之基、扣好人生“第一粒扣子”、牢记初心使命、不忘历史责任，才能担当起历史所赋予的重担。

青年必须脚踏实地，笃行实干。实于是青年奋发向上的姿势，是青年担当使命、实现目标的直接渠道。中国一代又一代青年把拯救民生、实现进步的激情转变为实际行动。1919年“巴黎和会”上中国外交失败，青年学生很快作出反应。为维护国家主权，青年学生群起反抗，成为五四运动的先行队伍。105年前的青年学生在民族危亡时刻，并不一味地沉浸在悲痛情绪中，而是在马克思主义思想的指引下，迅速将行动目标转向救国实践斗争。历史爱国运动上扩大为全民性的反帝反封建斗争。历史证明，世上没有“躺平”的成功，只有真才实干的硕果。先辈青年靠实干开创了伟大的历史，我们青年一代也要靠实干创造更为美好的未来。青年作为实现中国梦的中坚力量，要清醒地意识到，前行之路无坦途，广大青年要笃实好学，增加专业知识储备，锻炼过硬本领，跟上时代发展，承担起历史重担。

实现中华民族伟大复兴是全民族的共同理想，要经过大量考验与磨砺。新时代青年生逢盛世，而各类问题仍会接踵而至，青年们要勇做走在时代前列的生力军，毫不畏惧地面对一切艰难险阻，在披荆斩棘中开辟天地，保持奋斗者的姿态，为中华民族伟大复兴而奋斗！