

# 原子钟专家陈景标 与时间较劲的人

■ 本报记者 周林怡 赵琛璋

因为“时间”，陈景标有了更多时间常回家看看。

这几年，为了研究原子钟——目前世界上最精准的计时工具，他频繁奔走于北京和浙江两地。作为北京大学博雅特聘教授，57岁的陈景标仍在科研教学一线，承担高端科学仪器产业链等国家重大专项项目，带博士生、给本科生上《光电子实验》等专业课。同时，他也在推进量子精密测量技术的产业化，在温州、湖州布局——2019年，北大—温州激光与光电子联合研发中心落地温州龙湾；2024年，国测量子科技（浙江）有限公司总部落地湖州市南太湖新区；今年1月，在老家龙港，北大—龙港高端量子科技联合实验室正式揭牌。

4月初，在这座新落成的实验室内，记者见到了陈景标。一头标志性的白色短发、黑框眼镜，尽管行程排得很满，依旧语速从容，聊业务之余，他还不忘热情推荐家乡的灯盏糕——那是他念念不忘的童年味道。

近三十年来，陈景标一头扎进原子钟的世界。从原理到产品再到产线，他在量子时频领域越走越远，却离一个目标越来越近：让“中国时间”更准。



陈景标给学生上量子时频原理课。

## 走别人没走过的路

在北大—龙港高端量子科技联合实验室展厅中，陈列着陈景标带领团队近三十年来攻关研制的一代代稳频激光器产品，其中一件是他的“宝贝”。那是一台稳频半导体激光器初代产品，电线裸露，密布各类器件，看上去并不起眼，甚至有些古朴。这是陈景标在北京大学读博期间花6个月时间手工制作的，至今已走过近30个春秋。

“一边照着示波器，一边用镊子一丝一丝逐个调整元器件位置。费眼还费腰，一坐就是几个小时，两三天只能调整一个准值。”回忆起那段实验室岁月，他下意识地做出调试光路时的姿态。

这台小巧的器件，堪比原子钟的“心脏”。它作为原子钟的核心稳定光源，对提升测量精度、灵敏度和系统可靠性至关重要。由它作为核心器件构成的原子钟，是一种利用原子的量子行为来计量时间的工具，目前最高精度可达百亿年误差1秒。

精密测量领域有个重要概念：时间就是距离——在导航定位中，亿分之一秒的误差，就会让位置偏出数米。导弹、卫星、通信网络，无一不依赖这“看不见”的精准。

2002年到2004年，陈景标在国外做博士后，接触了国际最前沿的量子精密测量技术。他意识到，这不只是重要的基础科学，更关乎一个国家的时频率体系。回到北大后，他抛出一个大胆的想法：做当时原子钟领域最前沿方向之一的“主动光频原子钟”。

当时，学界的主流技术路线是“被动型”，即通过外部激光激励原子来锁定激光频率，作为时间基准。但这意味着需要激光和原子两套复杂的系统，还会有噪声误差。陈景标另辟蹊径：让原子自己在光学谐振腔里产生受激辐射，直接输出频率标准，走一条与传统方式完全不同的技术路线。

“最开始提出来时，同行都觉得很挑战。”陈景标说。原子内部结构太精密，能探测到的信号概率极低，攻关难度极大。

但他始终坚信，从“第一性原理”出发，既然原理走得通，就一定有机会做成。

研发攻关的前两年，他延续读博时期的“土办法”，带着学生买零件继续“手搓”。从造激光器、搭系统，到分析数据，陈景标常常带着团队在实验室加班加点，但很长一段时间什么频率信号都没有。

陈景标没有慌，一遍遍鼓励团队：“一定要坚持。”他从头开始一步步检查，最终判断原本采用的热原子束方案达不到输出信号的条件。他提出换成热原子蒸汽团，再试。

接近出结果的那段日子，陈景标在北大校园里绕着未名湖走了一圈又一圈。“究竟怎样才能让主动光钟输出有效的信号”，这个问题一直盘旋在脑海。

终于，在某个凌晨两三点左右，团队再次修正了一堆参数之后，示波器上跳出了标准的主动光钟信号。大家盯着屏幕，兴奋得一宿没睡。

一大早，陈景标办公室的门被敲响。“信号出来了？”“出来了！”师徒对视一眼，多余的话都没说，一同兴冲冲地往实验室跑。

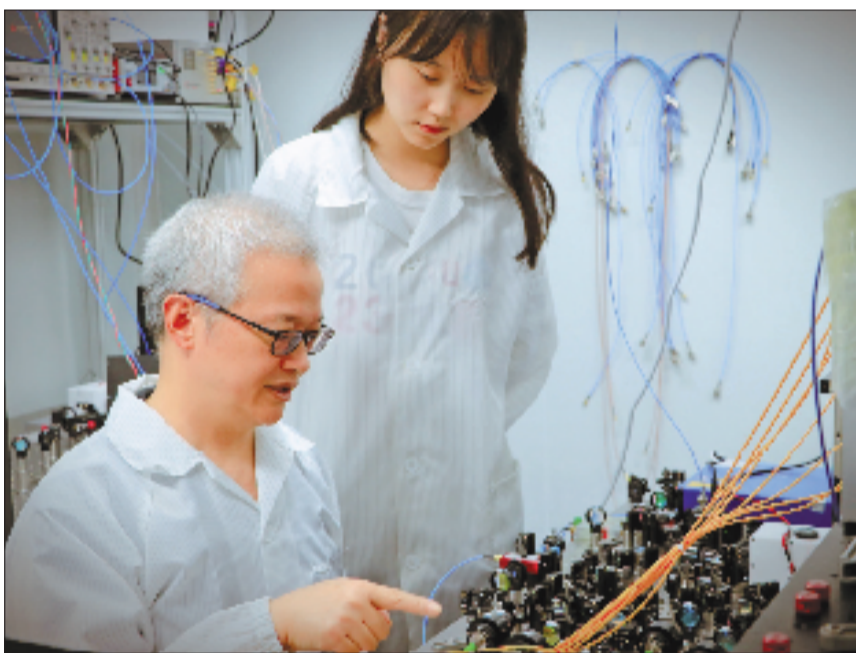
后来，相关成果陆续入选美国光学学会期刊论文以及中国科学院主管《科学通报》期刊，还被IEEE国际频率控

## “四千精神”是温州人最宝贵的精神财富，也是我科研路上的不竭动力。

——陈景标

### 人物名片

陈景标，1969年生，温州龙港人。北京大学博雅特聘教授、博士生导师、量子电子学研究所副所长，国家高端科学仪器产业链长单位负责人。中国计量测试学会常务理事、中国计算机自动测量与控制技术协会常务理事、全国量和单位标准化委员会委员、全国时间频率计量技术委员会委员。国际首创主动光钟原理与法拉第激光器技术方案，长期从事量子频率标准（原子钟）、稳频半导体激光器、原子滤光器等研究，并致力于推动量子精密测量技术与高端科学仪器产业化。



陈景标（左）在实验室指导学生进行主动光钟实验。

制会议列为“三项最受关注的新兴技术之一”。

回想起那段时光，陈景标依旧记得那种无法言说的兴奋。他从那时起更坚定了一件事：要做原创性的东西，大胆走别人没走过的路。

## 做现代“法拉第”

做探索性研究，就像在茫茫森林中探路。面前树木遮蔽、荆棘丛生，没有清晰的道路，不知道要从哪个方向、费多少时间，才能走出迷雾。

陈景标偏偏享受这种感觉。他把那些天马行空的畅想称作“思维拉伸”。他很喜欢把事情做到极限，热衷于摸清事物的边界，“如果同时有50个参数可能影响原子钟，我就会把每一种可能性都试一遍。”

但与此同时，他作为博士生导师、团队负责人，深知冒险探索并不是科研的全部——不能只将技术停留在实验室，还得有落地的产业化成果。

稳频激光器是原子钟的核心关键光源，决定了原子钟的精确性。此前很长一段时间，我国高精度半导体激光器产业链基础薄弱，95%以上依赖进口，面临严峻“卡脖子”问题。

陈景标回忆，早年他在实验室调试一台进口的高性能稳频激光器时，发现它不仅价格昂贵、维护周期长，而且极其“娇气”，环境稍有波动就会导致实验失

败。他强烈地意识到，如果连核心的高端科学仪器都无法自主可控，前沿研究将始终受制于人。

他下定决心要做出中国人自己的、高性能、可量产高端科学仪器及量子器件。

2019年，在陈景标的推动下，北大—温州激光与光电子联合研发中心

落地温州龙湾。

在这里，尽管目标充满挑战，陈景标的“奇思妙想”却更多了。传统激光稳频需要复杂的外部反馈系统，他冒出一个念头：“能不能让原子自己待在激光器里当尺子？”这个看似脑洞大开的想法，最后竟催生了一款结构极其简洁的激光器。

基于这些创新成果，研发中心孵化出第一家企业——浙江法拉第激光科技有限公司。公司名字里藏着陈景标的心愿：迈克尔·法拉第是他青年时代就敬仰的科学家，出身贫寒，靠超凡的勤奋，用大量实验为后来的量子力学革命打下地基。陈景标想做现代版的“法拉第式”探索，依靠精妙的实验设计，对微观量子态实现精确操控与测量。

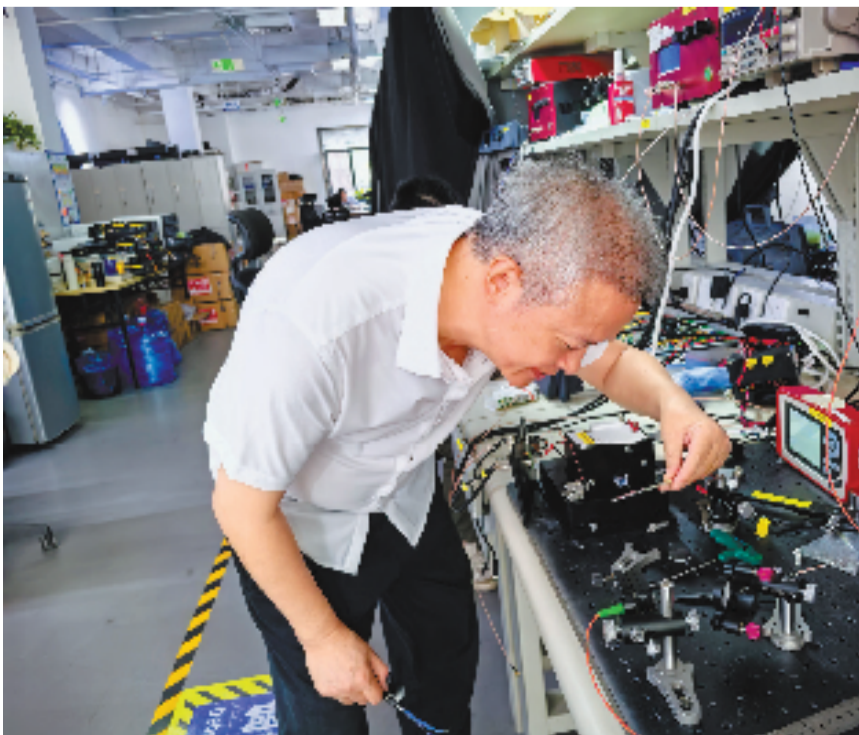
“从激光芯片到原子气室，再到电源及电控系统，每个核心器件攻关都充满挑战性，团队前后花了4年时间，其间改版了20余次，累计安装200台以上的激光器去验证性能。”浙江法拉第激光科技有限公司总经理刘珍峰说，为了保障每一环节的产品质量，他们联合多家公司，以产业链方式密切协同上下游单位一起攻关。

最终，团队成功研制出国产稳频半导体激光器。它从根本上解决了传统激光器因温漂、振动导致的长期稳定性差、需要频繁校准的难题，原子钟的核心光源终于可靠、可控了。

去年，原子选频法拉第激光器获得“全球三大发明展”之一的第50届日内瓦国际发明展金奖。更让团队骄傲的是关键器件全部国产自主可控，波长稳定度等核心指标超越了国际竞品。

做原子钟研究过程中，陈景标觉得自己能不断提出原创想法、在困难中找到突破口，靠的是“沉浸的乐观与清醒的坚韧”。

他相信，任何物理现象背后都有道理，任何技术难题终有解法。但过程中，需要的是充分的耐心和耐力，一步一个脚印，在一次次失败和调试中，积攒那些微小的进展。



陈景标在实验室进行激光器产品光斑测试。

本版照片均由受访者提供

## “顶天”和“立地”

学生们发现，陈老师这几年“更接地气”了。

十几年前在“象牙塔”里的陈景标，大脑里仿佛有一台时刻高速运转的机器，时不时火花四溅，迸出无数新想法。而这些年，从带着一群人做产品，到推动一个行业往前走，陈景标身上渐渐生出一种务实的产业化思维。他的身份“标签”不断叠加，从纯粹的科研工作，到创业者，再到国家高端科学仪器产业链的“链长”，肩上的担子越来越沉。

“这些变化，是被国家的需求、产业的痛点、行业的发展牵引着实现的。”陈景标坦言。如今，人们出行依赖的卫星定位导航，医院的远程协作手术，5G/6G通信基站要求的纳秒级时间同步……时间测量已贯穿生活生产的方方面面，更不用说航天、深海、

## 链接

# 陈景标团队部分研发及产业化成果

### 1. 芯片原子钟

芯片原子钟是将传统大型原子钟核心功能高度集成于微型芯片之上的新一代高端时频器件。国测量子公司研制的芯片原子钟采用原子能级跃迁作为天然频率基准，相较传统晶体具备长期稳定性高、抗干扰能力强、无需频繁校准等突出优势，可在复杂环境下持续输出精准可信时间信号，具有体积小、功耗低、精度高等特点，适用于规模化部署和国产替代需求。当前产品可广泛应用于通信基站同步、北斗导航增强、无人系统集群协同、电力系统时间同步等重点领域，是支撑数字经济基础设施和高端装备自主可控的重要核心器件。

### 2. 原子选频半导体激光器

原子选频半导体激光器是一种新型高性能半导体激光器，创新利用法拉第磁致旋光效应进行选频，实现激光器输出频率自动对准原子跃迁谱线。未来，在卫星导航系统核心守时基准、地面高精度授时网络、深空探测任务时间基准以及分布式精密测量系统等体系中具有广泛应用前景。

### 3. 激光抽运铷钟

自陈景标首次提出法拉第激光器概念以来，团队以此为核心光源，开辟了法拉第激光抽运铷钟的新方向，成功研制出法拉第激光抽运铷钟、双波段光学—微波原子钟、法拉第激光抽运小铷钟频率稳定度刷新国际商用小型铷束原子钟最优水平，在北斗导航、5G/6G通信、守时授时、地球物理、物质勘探、电力电网等重大领域具有广阔应用前景。

### 4. 钙原子束光钟

陈景标团队2005年首次提出钙原

军事等关键领域。

浙江民营经济活跃、产业链配套完善，智慧城市、数字金融等市场化应用场景，为量子精密测量技术的快速落地和迭代提供了绝佳的“试验场”。陈景标看中了这些优势，产业化布局做得系统而全面：温州注重研发孵化，湖州注重规模量产，龙港注重前沿创新。

从前是从0到1，现在是从1到100，是两套截然不同的逻辑。如何实现从实验室科研样机到规模化量产产品的跨越，成为摆在陈景标和团队眼前的一道考题。

位于湖州市南太湖新区的国测量子科技（浙江）有限公司，主攻芯片原子钟“不能批量生产”的难题。为了啃下这块硬骨头，陈景标从全国各地请来行业顶尖专家，组建联合攻关团队。

量产最难的一致性。“质量控制牵涉管理、技术、工艺、成本，方方面面都得盯着。”团队里来自航天领域的专家于祝顺说。陈景标从最小的核心器件做起，带着团队建立起一套标准化、规范化的质量管理体系。

“实验室可以失败10次，第11次成功就能发一篇好论文。但产线不行，产线要求一次成功、次次成功。”为此，陈景标在产线旁专门设了一个“快速迭代小组”，专门处理产线上突发的、实验室没见过的问

题。如今，激光器、原子气室等一系列关键技术难关被逐一攻克。芯片原子钟产品已逐渐在海底油气勘探、电力电网、金融数据、5G/6G通信等领域开展试用，实现了从研发、制造到测试的全链条自主可控。

每周一的上午，陈景标的日程雷打不动：两个会。先是各公司的管理层例会，谈合作、接项目；接着是技术骨干例会，攻技术、解难题。科研与产业之间那道天然的壁垒，在这种高效的管理模式和全局思维带来的顺畅通路中，一点一点消解了。

这种务实的、系统性的思维，也延伸到了课堂上。今年即将毕业的博士生张佳回忆，在实验室里，陈景标带着学生从调光路开始，不仅教技术，更传递一种价值观：做科研要“顶天立地”。“顶天”是追求科学前沿，“立地”是解决国家重大需求。他希望学生不仅能发表优秀的论文，更能理解一项技术从原理到产品、从产品到产业的完整逻辑。

陈景标曾说起自己钦佩管仲，这位“春秋第一相”是一位务实的系统构建者，也是一位“经世致用”的践行者。而他做原子钟，目标也只有一个：让它真正服务于国家的战略需要，创造实实在在的价值。



原子选频激光器产品。

子束光钟蓝光转移探测方案，通过引入强跃迁实现对钟跃迁信号的高效读出，显著提升探测信噪比；2022年进一步提出宽速度量子相干激发方案，可实现多速度群原子的协同干涉，大幅增强信号幅度与稳定性性能，相关成果产生了广泛国际影响。未来，在卫星导航系统核心守时基准、地面高精度授时网络、深空探测任务时间基准以及分布式精密测量系统等体系中具有广泛应用前景。

### 5. 主动光钟

陈景标在国际上首次提出主动光钟概念，这一新原理光频技术已发展为全球量子精密测量领域的前沿热点。近期，陈景标团队通过极高精密度反共振光学腔理论与大尺寸漫反射激光冷却技术的深度融合，从原理上突破了传统光钟受制于腔长热噪声和冷原子脉冲工作的瓶颈，具备发展高稳定度、可集成化实用产品的显著潜力。未来，该技术有望在空间站时频实验、北斗导航增强、国际秒定义变革等重大场景中发挥核心支撑作用。

（本报记者 赵琛璋 整理）