原理高度相似。于是他想到招聘有语音识别背景的工程师。这个“跨界翻译”的思路最终被验证可行，团队成功完成了算法开发。

硬科技创业周期漫长，面对研发前期的“沉默期”，胡庚的定力源于对底层技术逻辑的笃信。国际上已有成功先例，对手用了十年，齐碳要跑得更快。通过小步快跑、逐年产出，他们仅用了五年就走完了从原理验证、工程样机、产品样机到量产交付的全过程，从十几通道迭代到成百上千通道。

如今，齐碳的测序仪已经走出实验室，应用于传染病防控、海关检验检疫、司法刑侦、食品安全、医学研究及现代农业等诸多关乎民生福祉的关键领域。四川省疾控中心用它检出了首例猴痘病毒，厦门海关用它发现了福建省首例输入性新冠变异毒株。它也被用于快速识别食源性致病菌，助力完善食品安全体系。

一次次成功应用也赋予了团队研发顶尖生命科学仪器的使命感，作为算法工程师，胡庚曾收到其他行业头部企业的高薪邀约，最终选择留下。他说：“做最前沿的基因测序仪很有成就感——你知道自己的工作真的在帮到人。”

用一块长板立足，用一套系统思维跨界，胡庚“十年磨一剑”的创业故事，诠释了一个朴素的道理：人生的赛道不必设限，但每一步都要踩得踏实。

寻路星空——陶炼的“宇宙猎手”之路

○ 王娜娜（2019级新闻）

陶炼，中国科学院高能物理研究所研究员、博士生导师，主要从事高能天体物理与空间天文探测研究。2008年至2013年在清华大学攻读核科学与技术专业博士学位，2013年至2014年在清华大学物理系从事博士后研究，2014年赴美国加州理工学院从事博士后研究。2017年回国，入职中国科学院。现任“全变源追踪猎人星座”计划（CATCH）项目首席科学家，慧眼卫星吸积X射线双星核心科学组副组长，爱因斯坦探针（天关）卫星恒星级致密天体科学工作组副组长，中法天文卫星SVOM天文台科学组中方协调人。



二〇一三年，陶炼（右）获博士学位

陶炼的办公室窗外，有几株雪松，枝叶垂落半掩窗沿；更远处，靠近中国科学院高能物理研究所东门的位置，矗立着一座名为“物之道”的雕塑，取自李政道先生的创意。“秋天的时候，风景特别好

看。”她说，眼睛里透着一种沉静的欢喜。

陶炼出生在重庆，小学二年级那年，因父母工作调动，举家搬到了贵州。父母是一家老牌“三线建设”化工企业的普通职工，一个负责机械设备检修，一个专职做水处理。她长大的厂区，俨然一个自给自足的小社会，常住人口多达一两万人，从幼儿园、中小学，到医院、食堂、影院、商铺，一应俱全。“很多人从出生、读书到工作、终老，一生都扎根在厂区里。”陶炼描述道。

在这样相对封闭又安稳的“小世界”里，陶炼的梦想却早早指向了遥远的星空。“小学的时候，老师和同学们问起理想，我说我想当天文学家。”她笑着回忆，“其实我就是单纯喜欢看星星，哪知道天文学家是干嘛的。”童年脱口而出的初心，曾因少年时代的迷茫而一度模糊，却最终像一颗种子，在命运的兜兜转转中，顽强地扎下了根。

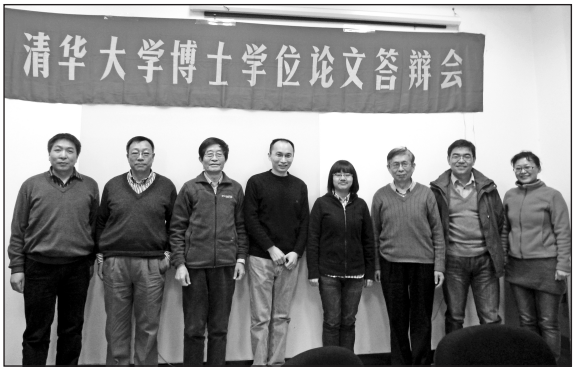
“人生兜兜转转”

陶炼本科就读于北京师范大学物理系。“只要能保研，大四就能开心快乐。”陶炼半开玩笑地说道。带着这个朴素的目标，她的学习压力并不算大，效率很高，没怎么刻意熬夜，成绩一直不错，最终顺利推免到了清华大学工程物理系。

她最初选择的方向是粒子物理。“量子场论、规范场论是必修理论课，天天都在学场论，太难了。”提前修习一段时间相关课程后，陶炼发现自己的性格和兴趣更倾向于做实验。恰在此时，张双南老师向她伸出了橄榄枝，邀请她进入天文领域。“小时候的梦一下就照进了现实，人生兜兜转转，我觉得挺好。”她当即决定转向高能天文研究。

在物理系张双南老师的推荐下，她拜入李惕碚院士门下。李惕碚出生于1939年，彼时年近70岁，是业内资深前辈。李老师给了陶炼两个选择，一是继续跟随自己做研究，二是师从刚从美国回国的青年学者、清华1997级工物系校友冯骅，且李老师个人更推荐她选择后者。陶炼听从了建议，成为冯老师归国后招收的第一名研究生。时至今日，陶炼依然十分感念两位导师的指引与栽培。

在清华浸润的岁月，塑造了她的科研底色。“清华的治学风格极度务实。”陶炼评价道，“师生做学问、做工程都追求极致严谨，踏实较真。”她身边的例子不胜枚举：国家天文台张臣研究员（1999级工物）为了研发轻量化X射线聚焦望远镜，耗费近十年时间反复打磨、试验，最终将这项技术做到世界领先水平；高能所熊少林研究员（2000级工物）面对卫星数据数小时传输延迟的行业难题，敏锐地从



陶炼博士学位论文答辩会合影，从左至右依次为：卢方军、张双南、李惕碚、冯骅、陶炼、尚仁成、唐传祥、韩冬

渔民使用北斗短报文的新闻中寻找思路，反复论证测试，成功将数据下传压缩至数分钟。提到这两位师兄，陶炼连连称赞：“他们沉下心啃硬骨头、精益求精的特质，是清华师生身上最鲜明的标签。”

读博期间，她赴美国一年，参加爱荷华大学联合培养项目。她所在的小型课题组，团队氛围融洽，学生几乎每天都能和导师见面，频繁沟通，可以得到导师细致入微的指导。博士毕业后，她进入加州理工学院做博士后，这次面对的是一个大型课题组。导师是高能天文卫星项目的首席科学家，兼任院系主任，后来还评上了美国国家科学院院士，事务极其繁忙。在这种大团队里，师生见面交流的机会寥寥无几，科研更多依靠研究者自身的兴趣和自主探索，需要学生自主寻找研究方向、对接合作者。“不同的科研环境，都是长期发展形成的合理生态。”陶炼总结道。

“数据不够用了”

2017年，陶炼回国加入中国科学院高能物理研究所。和很多初入行者一样，陶炼的工作也是从看数据开始的，做得越久，一个念头就越强烈：“数据不够用了。”她在长期分析中发现，现有观测设备产出的数据，已经无法满足前沿科研的“胃口”，想要突破研究瓶颈，必须自主研发新的观测设备。于是，她选择转向空间天文仪器研制。这里面也有很现实的原因：“纯数据分析很抽象，天天跟数字打交道，造仪器却是实实在在、看得见摸得着的东西。”对她来说，一边做理论分析，一边搞硬件研制，两种工作节奏互补，构成了一种不错的调节。

陶炼早期主攻X射线天文，重点研究宇宙中的特殊X射线天体源。当时学界普遍认为，一类名为“极亮X射线源”的天体是中等质量黑洞的极佳候选体。这是整个领域最热门、最有前景的方向之一，大量学术论文围绕该结论展开。但随着一批新型观测设备陆续升空以及观测数据的积累，科学家在这类极亮X射线源的信号里，探测到了清晰的X射线脉冲信号。脉冲是中子星的“身份证”，一旦在信号中探测到脉冲，就意味着这个源不可能是黑洞，而是一颗吸积率极高的中子星。这类致密天体与伴星组成双星系统，它们疯狂吞噬伴星的气体物质，吸积率远超常规水平，因此释放出极强的X射线辐射，早期被误判为中等质量黑洞。

“这是科研最真实的状态。”陶炼感慨，“很多阶段性结论会被新的观测证据推翻。一名科研人员一两年能产出一个让自己真正满意、有阶段突破性的成果，就已经非常难得。绝大多数时间里，我们都在做数据归档、模型修正、模拟仿真、设备调试等‘修修补补’的基础工作。但是，大量看似没有产出的基础工作、试错积累，都是推动学科进步的必经之路。”

“宇宙猎手”

全球时域天文发展迅猛，各类巡天卫星能发现海量的宇宙瞬变天体，但发现了目标却没有足够的望远镜去跟进，成为行业的普遍痛点。为了解决这个问题，2019年，陶炼正式提出“全变源追踪猎人星座”计划（CATCH）的完整构想。

不同于国内传统大型空间科学项目耗时十几年才能完成从概念研究、背景型号论证到正式工程立项、研制发射的整套流程，陶炼和团队提出采用“空间+时间”



2024 年 1 月，CATCH-1 在高能物理研究所四号厅做探测器系统热循环实验。左 3 为陶炼

分布式迭代模式，不再把所有载荷和功能都集中在单颗大型卫星上，而是将任务拆分到多颗小型卫星中，分阶段研制，分阶段发射。这不仅规避了“把所有鸡蛋放在一个篮子里”的技术风险，也带来了一种更有人情味的科研节奏——传统大型卫星的研制周期长，很多参与研发的学生直到毕业都无法看到自己的成果在轨运行，而CATCH让团队里的硕士生、博士生阶段性完成的设计、测试、算法等成果，都能真正应用到在轨卫星上。除此之外，她还计划为每一颗卫星搭载AI智能控制系统，实现卫星在轨自主调度、协同工作。

放在七年前，陶炼的这套思路是非常超前的构想。项目起步阶段，团队对星间通信技术和智能控制还没有十足把握。但近年来卫星之间秒级数据传输的星间通信已经成为行业标配，AI也正改写人类的生活和科研范式，使得CATCH的落地具备了坚实基础。

放眼项目全局，陶炼和团队制定了清晰的“三步走”规划，整体目标是打造百颗量级的卫星星座，计划在2035年前后完成全星座部署。

第一阶段是试验星验证。首颗试验星CATCH-1已于2024年6月22日顺利发射入轨，彼时陶炼正在现场。看着团队耗费心血研制的卫星腾空而起、奔赴太空，她的心情十分复杂，一方面像送别远行的伙伴，生出“天人相隔、再也无法相见”的不舍；另一方面又满怀期待，盼着它顺利开展在轨试验、传回观测数据。“轰鸣声里，见证成果飞天的激动，是每一位科研人员都难以忘怀的体验。”此次发射任务中，CATCH-1与中法天文卫星（SVOM）同箭升空。SVOM是两国深耕近二十年的大型国际合作项目，于2005年启动论证，一路走来历经波折。“好几次大家都觉得走不下去了，又峰回路转。”陶炼回忆道。第二颗试验星CATCH-2计划在2026年底于酒泉卫星发射中心发射。提到酒泉，陶炼眼中有光：“我们这一代人看了很多‘西部武侠片’，像《大话西游》《新龙门客栈》《东邪西毒》这些影片里‘大漠孤烟直’的意境，和火箭发射的场景特别呼应。”

第二阶段是先导小星座组建。试验星完成技术验证后，团队将联合法方团队开展深度合作，发射三颗体量更大、载荷能力更强的卫星，组成先导星座。这是整个项目难度很高的环节，核心目标是攻克分布式天文观测、多颗卫星组网、星间联动、统一调度、数据互通等系统级协同技术。

第三阶段是全星座组网。待先导星座技术完全成熟后，团队将逐步增补卫星，最终建成百颗量级的CATCH星座，全面投入宇宙瞬变天体的常态化观测。百颗卫星在轨组网、自主协同，单纯依靠地面站下发指令会有巨大延迟，无法匹配瞬变天

体转瞬即逝的观测需求。为此，陶炼和团队曾选择跨界与腾讯游戏团队合作，共同研发适配卫星在轨运行的AI调度程序，运用游戏领域的多智能体AI算法，搭建星载智能管控系统，实现卫星自主发现目标、自主协同、自主传输数据。

技术之外，资金也是一大挑战。传统的大科学项目，靠国家拨款，论证周期动辄十几年。陶炼想走一条新路，向社会开放卫星冠名，用民间资本众筹星星。社会冠名资助计划命名为“宇宙猎手英雄帖”，颇有些江湖气。然而，现实并非武侠小说，“英雄帖”发出去之后，响应者寥寥。陶炼坦诚地分析了原因：“投资人会考虑商业回报，把卫星送上天的灿烂，如一场转瞬即逝的烟火，对很多人来说，可能并不如建一栋楼来得实在。”她逐渐意识到，仅靠情怀行不通，于是也开始琢磨另一条更可持续的路。“这两年我在想，其实也不是没有途径。”她若有所思地说，“我们的技术也可以转化，包括AI、探测器、聚焦镜。空间科学要发展下去，与商业迭代相结合是重要的。”

CATCH之外，陶炼的身影也出现在多颗空间天文卫星的科研中。2017年于酒泉卫星发射中心发射的“慧眼”卫星，是我国早期的主力X射线天文卫星。陶炼深度参与了相关科研工作，遗憾的是当年没能到发射现场。“天关”卫星（又名爱因斯坦探针，EP）是中国科学院主导、欧洲空间局、德国马普地外物理研究所和法国国家空间研究中心共同参与的国际合作项目，陶炼担任恒星级致密天体科学工作组副组长，组织恒星级黑洞、中子星等目标天体的数据分析与科学研究。2024年9月，“天关”卫星捕捉到银河系内部一个异常暗弱的X射线爆发信号，陶炼带领团队对这个信号进行分析，最终认证了一个新的恒星级黑洞候选体。

治学与传承

陶炼对科研的理解，是在实践中一点点攒起来的。经历过数据分析、仪器研制、国际合作等多个层面的实践，在她看来，科研可以划分为战略和战术两个层面，两者并不冲突。战略层面需要宽松、自由的氛围，鼓励科研人员发散思维、大胆探索全新方向，不要被固有认知束缚。战术层面，一旦确定研究方向与技术路线，执行过程必须极致严谨、一丝不苟：“选定道路就要沉下心深耕到底。”

将目光投向整个行业，一个结构性问题浮现出来：目前国内空间天文、高能物理科研团队的核心主力以“60后”至“80后”为主，而“90后”青年科研人员的占比明显偏低，再过一段时间，整个行业会迎来大规模退休潮。“人员梯队结构，是整个领域需要正视的现实问题。”年龄断层带来的压力，直接传导到了青年一代身上。陶炼观察到，如今竞争远比十年前激烈：“借助各类工具，（学生）发论文的门槛更低了，但竞争更激烈了，求职的难度更高了。同时基础科研岗位还在缩减，年轻人做选择更谨慎了。”

面对这样的行业生态，作为博士生导师的陶炼，也在思考如何挑选和培养下一代科研人员。高能所天体中心现有百余位博导和硕导，但每年只有二十多个对外招生名额。选拔研究生时，陶炼心中有两把尺子：一把用来量方向，看一个学生清不清楚自己想做什么、有没有行动力；另一把用来量韧性，看这个学生是否踏实肯

干、愿意迎难而上。她提出，在研究生阶段，智商往往没有那么重要：“不管学生是打算一辈子做科研，还是拿到学位后转行就业，只要想清楚方向，就会有持续的动力。毕竟科研大部分时候是枯燥的，能沉下心来、耐得住寂寞，比聪明要紧得多。”

招进来只是第一步，如何相处、怎么传承，是更深层的课题。一路走来，陶炼得到了李惕碚、张双南、冯骅等多位老师的悉心栽培，前辈们严谨的治学态度、纯粹的科研精神，代代相传。她始终认为，导师的引导对学生的影响很大：“学生把最宝贵的青春年华投入在这里，作为导师，必须对学生负责，对得起学生。”她不假思索地说：“师生之间，互相尊重、彼此扶持，把好的治学精神和科研品德传承下去，这才是最重要的。”



2026 年 6 月，陶炼（中）与记者在中国科学院高能物理研究所“物之道”雕塑前合影。“物之道”雕塑是诺贝尔物理学奖得主李政道先生的创意

星空之下

工作之外，陶炼有一套自己的放松方式。在加州理工做博士后期间，她常去跳蚤市场淘各色宝石。“我慢慢地就迷上了宝石辨识。最开始只是觉得好看，后来我下决心系统学习宝石鉴别的知识，买了上百种宝石标本，一块块辨认。不夸张地说，市面上绝大多数宝石，我都能分辨出品类、真假和品质。”闲暇时，陶炼也会亲手做手串、戒指之类的小物件，“就是图个放松”。她还喜欢逛博物馆，考古是她的另一个梦，但她坦言，考古需要长期在野外风吹日晒，还要研读晦涩的古文史料，这些都不是她擅长且愿意长期从事的工作。“还是当业余爱好吧。”陶炼笑着说。

跟进卫星试验进度、对接国内外合作团队、处理各种科研事务，常常让陶炼从早忙到晚。CATCH-2试验星发射任务在即，她每周在固定时间召开项目复盘会，梳理问题、安排工作。忙碌是常态，但她甘之如饴。一位前辈的话，陶炼一直铭记在心：“大多数人需要花钱去寻找乐趣，而我们做科研，能为自己热爱的事业忙碌，还能获得相应的回报，这是一件很奢侈也很幸福的事。”

从儿时仰望星空，到如今以天文科研为职业，陶炼把爱好变成了工作。“如果不是发自内心的热爱，”她顿了顿，“很难在这个领域长久坚持下去。”她深知，基础科研的大部分时光是平淡枯燥的，但每当迎来新的发现、技术取得突破、卫星成功飞天时，所有的辛苦都会烟消云散。