
她们为“人造太阳”锻造“赤霄光剑”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/41814.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

她们为“人造太阳”锻造“赤霄光剑”

。8月中旬，在安徽合肥的聚变堆主机关键系统综合研究设施“夸父”园区内，中国科学院合肥物质科学研究院副研究员杨鑫正用流利的英文向法国来访学者介绍“赤霄”装置。

一年前，该装置顺利通过专家组鉴定。中国由此成为继荷兰之后，国际上第二个拥有此类高参数装置的国家。一时间，中国“人造太阳”配上“赤霄光剑”、“他们真的造了把‘光剑’”的信息迅速冲上网络热搜，来园区参观的人络绎不绝。

但很少有人知道，锻造这把“光剑”的是一支年轻科研团队，主要研发成员女性占比超70%。今年，这支团队被授予“中国科学院三八红旗集体”荣誉称号。

“目前，我们正在对装置进行新一轮改造升级，为更高的参数发起冲击做准备。”“赤霄”集成与调试负责人杨鑫向《中国科学报》介绍。



“ 赤霄 ” 团队成员合影。受访者供图

从 “ 0 ” 开始搭建

万物生长靠太阳。20世纪中叶以来，人类致力于研究可控核聚变实验装置，这种被称作 “ 人造太阳 ” 的大科学装置，内部有与太阳类似的核聚变反应机制。

“ 人造太阳 ” 在运行时，核心温度高达上亿摄氏度，任何已知材料放进去都会瞬间融化。 “ 赤霄 ” 就是为了解决这个难题：寻找和测试能承受高热流和强粒子冲击的壁材料。

“ 你可以将 ‘ 赤霄 ’ 理解为一台 ‘ 超级材料测试机 ’ 。” 杨鑫打了个形象比喻，它的任务是在实验室里模拟未来 “ 人造太阳 ” 内部的极端环境，对候选材料进行测试。只有经得起 “ 赤霄 ” 考验的材料，才能被用在未来聚变堆上。

在厂房内，记者顺着杨鑫引导的角度看 “ 赤霄 ”，它的流线型结构宛如一把宝剑。 “ ‘ 赤霄 ’ 全称是强流超导直线等离子体装置，取名自中国古代十大名剑之一的赤霄剑，寓意其能在核聚变研究领域披荆斩棘。 ”

然而2022年时，这里还只是一间仅接通了水电的毛坯厂房。部分关键部件即将进场，项目交付期限迫在眉睫。一直从事直线等离子体装置研制的杨鑫，正是此时被委以重任，负责 “ 赤霄 ” 的集成与调试。

摆在她和团队面前的，是一张复杂的 “ 考卷 ”。她首先给厂房来个 “ 精装修 ”：完成水电管廊、

抽气管道、水冷系统、地坪铺设等设备进场前工作。

紧接着，更紧急的任务是要把装置主机、超导磁体、等离子体源、诊断以及控制等5个分系统整合到一起。“如何连接、如何安排装配顺序，都蕴含着精密的系统逻辑。”杨鑫坦言，即便是一颗螺丝没拧紧或是使用错误，都可能引发“牵一发而动全身”的连锁反应。

最令杨鑫头疼的，是部分关键部件交付延期。例如，用于测量等离子体参数的靶板，因工艺复杂，厂家未能按时交付。面对这一突发情况，杨鑫决定迅速启用预研平台上的旧靶板进行替代。

但旧靶板无法旋转。团队集思广益，提出了一个极其朴素但有效的“土方法”：先利用强流等离子体束在靶板上打出印记，再用激光笔精准标定好对应位置，最后人工微调靶板的摆放位置，精准完成靶板对中校准。

类似的问题一个接一个。“有时候，大家很焦虑，现场吵得面红耳赤。吵完了，冷静下来，又继续干活。”杨鑫回忆道。

但干活有个原则：任何人不能通宵工作。“我们人员有限，无法换班。累了就必须停下来。我反复强调，绝不能在疲惫时做任何决定，尤其是关键调试。一旦出错，损失可能会更大。”

正是凭借这股子韧劲与理性，团队在2024年12月完成总装，并在第一次联调联试中成功放电。

2025年1月14日，“赤霄”迎来“大考”：经中国科学院专家组实验现场测试鉴定，该装置各项性能达到设计指标，最大粒子流大于 10^{24} 次方每平方米每秒，单次放电时间超过1000秒，最高中心磁场高于3特斯拉，是目前国际上综合参数水平最高的直线等离子体装置。

“有了‘赤霄’，我国的科学家们再也不用远赴荷兰做材料测试了。”杨鑫的话语中，满是自豪。



“ 赤霄 ” 团队部分成员合影。受访者供图

“ 以结果为导向 ”

加入“ 赤霄 ”团队前，周卫云已在中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所研制中心工作多年，参与过高能同步辐射光源、全超导托卡马克核聚变实验装置等大科学装置的设计。她属于既能懂科学家要什么，又能独立完成工程设计、还具备一定科研能力背景的人。

杨鑫向她发出邀请时，直接说明了“ 赤霄 ”进展中的问题：负责生产部件的厂家缺乏经验，急需一位能在工程上指导对方且能把握“ 科研需求-工程设计-工艺落地 ”链条的人。

而真正打动周卫云的，是杨鑫的承诺：“ 我们团队很团结，氛围很好，我会给你权限，只要结果达到目标就行。 ”这种“ 以结果为导向 ”的信任让周卫云立即答应加入。

在研制中心时，周卫云已经在研发“ 赤霄 ”关键子系统——等离子体源。加入团队后，她的担子更重了，负责整个装置的工程落地技术支持。

在与厂家的首次对接会上，她针对靶板、真空室等关键部件提出了34条整改意见。

但最让她费尽心思的，还是等离子体源的研发。“ 等离子体放电通道热负荷高达20至30兆瓦每平方米，热流密度接近太阳表面辐射水平，相当于指甲盖大小区域就要承受数千瓦的热功率。如何在以天为单位的时间里实现长时间、稳定的放电，对等离子体源的热管理是巨大的挑战。 ”

为此，周卫云带领团队耗时3年，从等离子体源的结构到关键部件的冷却，以及各个部件的高压绝缘，设计研发并迭代了三代高密度等离子体源，满足了等离子体束流密度大于10的24次方每平方米每秒、可连续放电24小时的要求。

“我们团队风气非常好，大家想的都是怎么把事情做好，从不计较个人得失。”周卫云说。

慕香红也是做工程设计方面的研究，主导设计完成主真空室系统、抽气系统机械设计，负责各子系统进场的接口确认与装配指导，她有着同样的感受：“团队凝聚力非常强，氛围和谐，项目进展中遇到问题时，大家总是一起讨论，想办法解决问题。”

不给自己设限

每平方米每秒钟极速喷射出亿亿亿个粒子！这个数据如何测量得出？这要归功于徐倩负责研制的水冷探针诊断系统。

“我之前没做过诊断设备，只分析过探针采集的数据。”接到任务时，徐倩心里直打鼓。但领导一句“你是研究室最懂鞘层物理的”，给了她莫大的鼓励。

徐倩介绍，设计探针第一个难关是密封与绝缘。水冷探针内部既要走冷却水，又要传输电信号。密封做不好，冷却水渗漏直接短路；绝缘处理不好，信号就被干扰测不准。机械密封、电气绝缘、信号传输三个条件必须同时满足，任何一个环节出错就全盘失败。

第二个难关是既要“扛得住”，又要“测得准”。“赤霄”装置运行时，热负荷超过10兆瓦每平方米，普通探针刚伸进去就被烧毁，所以必须做水冷，让探针足够“粗壮”，才能在极端热流下不被烧蚀并保证上千秒连续测量；但从测量角度来说，探针越粗，采集电流越大，测量精度越难保证。

经过不懈努力，徐倩攻克了大电流下的信号保真采集和高热负荷下的密封绝缘一体化设计两项核心技术。探针承受热流从2兆瓦每平方米提升至10兆瓦每平方米以上，寿命延长至50小时，测量误差率从50%降至15%。

“这个任务对我来说，是把等离子体物理的理解真正落地到工程实践的过程。体会最深的是不要轻易给自己设限。”徐倩感慨道。

如今，“赤霄”装置已面向全球开放共享，吸引了来自日本、新加坡及国内众多高校和科研院所的用户前来测试材料性能。

“当你决心去做一件事时，全世界都会为你让路。”采访最后，杨鑫分享了她的体会，“刚开始都很难，最重要是要去做，要敢想、敢干、敢担当，女性同样可以为‘人造太阳’梦想注入不可或缺的‘她力量’。”

作者：王敏 来源：中国科学报

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发