



十六载束流逐光 精神引领铸就领跑国器

■本报记者 叶满山

在粤港澳大湾区惠州滨海，一座占地 500 亩的“国之重器”静静矗立——强流重离子加速器装置(HIAF)束线总长两公里,6000 余台大型设备,500 万个零部件、150 千米工艺管线在此有序排布。

从 2008 年构想提出,到 2025 年全线一键贯通出束,这个装置可将重离子加速至高能状态,产出全球脉冲流最强的重离子束流,让科研人员在从探索原子核极限到合成新元素,再到支撑核能研发、航天辐照测试、重离子治癌等诸多领域取得进一步突破。

中国科学院近代物理研究所(以下简称近代物理所)科研团队跨兰州、惠州两地远征,跳出国外成熟技术老路,实现重离子装置从跟跑到领跑的跨越。这支攻关队伍以原创性突破为剑,精工细作为尺、同心协作为桥、报国惠民为初心,淬炼出原创拓路、精益求精、协同攻关、为国铸器的精神。

原创拓路，方案技术实现量级超越

“如果当年选择国外成熟保守路线,工程能稳妥按期交付,但我们永远只能跟在别人身后。想要真正实现领跑,必须咬牙走一条没人走过的原创道路。”谈及 HIAF 项目最艰难的抉择,近代物理所副所长、HIAF 总工程师杨建成直言。

2008 年,重离子加速器构想在研究所萌芽。彼时,国际主流加速器全部采用直流谐振加速模式,德国长期把持 8 赫兹快循环加速上限,全球行业默认跟随这条成熟技术路线,风险低、论证充分,是所有人眼中稳妥的最优解。

但杨建成带领团队反复推演束流动力学模型后,发现跟随路线存在难以突破的性能天花板,离子加速度只能小幅提升,无法满足我国新核素合成、航天辐照、医疗治癌多重国家重大需求。

“走别人的路线只能做到小幅超越,我们要做量级的突破,就必须从零搭建全链条自主体系。”杨建成下定决心,在工程



团队在 HIAF 出束时留影。
近代物理所供图

尚未开工、多项核心技术未完成验证的双重高压下,敲定非谐振快循环加速+双平面束流堆积全套原创总体方案。

全新方案意味着全链条从零攻关,从束流物理、特种电源、高频磁体到整套操控系统,没有任何国外成熟经验可借鉴,每一步都要在技术空白区摸索。

团队青年骨干王磊深耕束流动力学方向,是 2025 年全线束流调试核心负责人。他向《中国科学报》回忆了那段持续仿真、反复调试的日夜:“传统单维度束流堆积如同只用一个小口往瓶子灌水,容器大部分空间无法利用,束流损耗极大。我们自主研发双平面堆积动力学模型,全方位填充加速器储存环,束流容纳效率直接提升一个量级。”

同样,在电源方向,团队也打破海外垄断。过去加速器高频系统核心部件磁合金环长期由日本日立公司独家供货,受地缘贸易限制,关键零部件禁售、技术封锁阻碍了国内加速器发展。

电源室青年骨干王晓俊是全程跟进 10 余年攻关的核心人员,从 2016 年第一台电源样机调试到 2024 年现场定型,他全程在一线攻关。

“初代数字控制器电磁兼容性能极差,大功率脉冲运行下通信频繁误码,整机无法同步,需要重新设计整套软硬件架

构。”王晓俊坦言那段时间压力空前,一边从零设计硬件电路板,一边搭建全新软件控制逻辑,每天早会同步整个团队遇到的难题,拆分任务逐一破解。

团队自研三代数字控制器与全域时间同步器,采用万兆光纤通信,实现±10 纳秒全域同步,大幅降低设备采购成本。

2025 年 10 月,HIAF 首轮束流调试创纪录:单环出束 4 小时、全线贯通 16 小时;氧离子调试 20 天达标,流强为国际同类 2.5 倍,经连续攻关,流强达国际最优值 8 倍。

精益求精，于细微处筑牢国器根基

一条自主创新的技术路线,是实现领跑的根基。想要这座“大国重器”稳定可靠运行,便不能有半分马虎,无数细微之处处的极致打磨,才是装置长久屹立的底气。

“大工程最忌讳忽视细节,一处接线虚接,一条管线错位,一点隧道裂缝,前期不起眼的小疏漏,到后期调试阶段会被无限放大,有可能导致整套上亿元的设备瘫痪。”HIAF 项目现场总工艺师王儒亮扎根滨海工地数年,在他眼中,0.1

毫米是不可退让的施工“红线”,精益求精是每一名现场工艺人员的立身之本。

HIAF 地下隧道深 13 米,地下水丰富、盐雾腐蚀极强。装置搭载大量精密电磁、真空设备,对隧道结构密闭性、平整度及施工精度要求极其严苛,微小裂缝、渗水都会直接损毁核心精密设备,导致装置失效。

“这类超高标准工况是常规民用建筑最高施工标准完全无法覆盖的,民用施工容错率高、工艺粗放的逻辑,完全适配不了高精尖大科学地下工程建设。”杨建成说。

项目初期,施工方沿用民用浇筑工艺,项目组当即叫停施工,组建专属工艺专班接管现场施工,严控混凝土低温浇筑,养护全流程标准,推行样板先行制度,每段隧道均经过 72 小时淋水试验。同时,对全场近 1.5 万处预埋件、安装孔逐一对照校核,清零土建偏差,从源头保障精密设备精准装配,以远超民用工程的极致精度,筑牢装置运行基础。

电磁兼容是另一道隐蔽难题。加速器内同时存在兆瓦级大功率供电电源和毫伏级高精度弱信号探测设备,布线或屏蔽稍有疏漏,电磁串扰就会淹没束流探测信号。信号探测设备精度需要保持在 5 毫伏以内。2025 年一次调试中,综合布线虽然严格按照工艺要求施工,但是测试过程中信号串扰严重。工艺团队逐段拆解整条线路,最终找到两处隐患:设备底部漏装专用屏蔽环,邻近大功率电源持续辐射干扰。仅这两处微小隐患,就让串扰值飙升至 8 毫伏,调试无法进行。

王儒亮说,此后,项目组建立三轮交叉复核制度,所有电磁设备上电前由 3 组人员分层核查正负极标识、接线紧固度、屏蔽完整性。这些经历表明,在大科学工程建设中每一个细节都关乎成败,没有“差不多”一说。(下转第 2 版)



解剖上万只果蝇，破解肠道干细胞成比例分化之谜

■本报记者 李思辉 通讯员 唐瑞婕

人体肠道上皮细胞每 3 至 5 天便会完成一次全面更新,这一基础生理过程依赖于肠道干细胞的持续分裂与分化。然而,在这一高频更新的过程中存在一个未解之谜——干细胞每次分裂产生子代细胞时,吸收营养的上皮细胞与分泌激素的内分泌细胞,为何总能保持恒定比例?

华中科技大学同济医学院基础医学院教授郭峥团队用 10 余年时间回答了这一问题。该团队首次揭示了肠道干细胞内置“分裂计数器”的分子机制,相关研究成果 7 月 29 日发表于《自然》。

数出来的“8+1”

郭峥介绍,早在 20 年前,科学家就发现肠道干细胞分裂而来的肠道内分泌细胞在上皮中占比稳定在 10%。后续很长一段时间里,业内普遍认为这种稳定的细胞比例是随机概率的结果。

然而,在仔细分析此前的相关研究成果后,郭峥察觉到了“不对劲”。“我觉得对于什么是‘10%’的研究还是一片空白,这激发了我的好奇心。于是,在 2016 年回国在华中科技大学同济医学院建立独立实验室后,我开始做果蝇的肠道干细胞成比例分化的研究。”郭峥告诉《中国科学报》。

2017 年,论文第一作者、华中科技大学董东博士加入了团队。董东回忆,在刚开始摸索肠道内分泌细胞产生规律时,团队采用的是谱系追踪技术,其中一个最主要的步骤便是数数。

“数数看似是一件很简单的事,很多其他团队也会用到这种方法。但如何数、数到什么程度,体现了对科学问题理解的深度。董东十分踏实,他在确定课题后,一直坚定不移地朝着目标走下去。”郭峥坦言,学生的工作“令人赞赏”。

2019 年,在数了上千个肠道干细胞克隆后,董东的统计结果呈现出一条完美的线性上升曲线:分裂次数越多,含内分泌细胞的比例越高,到了克隆大小为 10 的时候竟达到 100%。

“数据出来时,整个实验室都很激动。大家终于搞明白了,这不是概率,这是细胞在计数。肠道干细胞产生 8 个肠道上皮细胞后,再产生 1 个肠道内分泌细胞,我们找到了子代细胞‘8+1’的产生规律。”郭峥回忆。

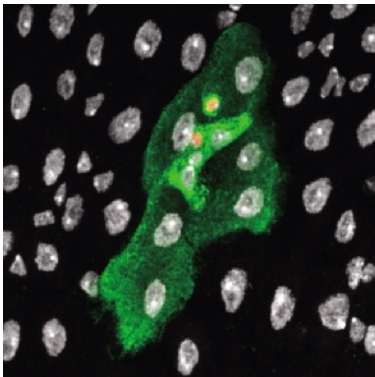
表观分裂计数器

知道了“8+1”的规律后,干细胞到底靠什么机制来计数,仍是团队需要回答的问题。

团队在多次思想碰撞和大规模遗传筛选后,发现了组蛋白的表观记忆是干细胞的“分裂计数器”。然而,必要的 CUT&Tag 实验成为了接下来几年“最磨人”的问题。

由于实验任务量大、国际竞争激烈,2021 年,郭峥将刚入学的博士生李安奇安排进课题组,和董东一起攻关。

据两位成员回忆,在每次实验前,团队需要提前几周准备实验材料。实验当天,他们早上 5 点半开始解剖,必须在 9 点半之前处理完几百只果蝇的肠道,随即上机分选。接着,一整天和磁珠、抗体、转座酶“打



果蝇肠道上皮的谱系追踪图。
受访者供图

交道”,每一步洗涤都掐着表,“不敢多等,也不敢少等”,一直持续到晚上 11 点。

“由于我们在研究中所使用的组织和方法在之前是没有报道过的,所以实验流程全靠我们一点点摸索。”董东回忆。

从发现“8+1”的规律到 CUT&Tag 数据收集完成,团队花了将近 5 年的时间。“论文里不起眼的一张图背后,我们需要解剖计数上万只果蝇。”李安奇告诉《中国科学报》。

最终,团队揭示了全新的表现“分裂计数器”模型:干细胞产生内分泌细胞后,新生子代细胞会瞬时激活干细胞中的 Notch 信号,在染色质上留下激活型组蛋白修饰,相当于将计数器归零。

此后,每次 DNA 复制都会使激活型标记不断稀释,并使抑制型标记逐渐积累。到第 9 次分裂,二者达到临界阈值,干细胞再次转向产生内分泌细胞,完成一次多能分化循环。

待验证的通用“计数逻辑”

为什么将芝麻大的果蝇作为实验对象?郭峥解释,因为团队需要先从简单的模式动物出发去理解复杂的系统。哺乳动物的肠道有太多细胞类型和庞大的细胞数目,非常复杂,对果蝇做精确的谱系追踪和量化分析相对容易得多。

而且,果蝇的肠道干细胞是目前果蝇体内唯一已知的多能干细胞,也是目前所有多能干细胞研究体系里最简单的模式细胞。“正因为简单,我们才能把变量压缩到最少,把机制看清楚。”郭峥介绍。

从芝麻大的果蝇到哺乳动物再到人体,郭峥团队“大胆”提出,果蝇肠道干细胞中发现的“计数逻辑”,可能同样存在于哺乳动物造血系统、神经嵴发育等更为复杂的生命系统中。不过,这一科学假说仍需更多生物模型中加以验证。

他们关于“分裂计数器”的发现为解释类器官培养中的批次异质性提供了新思路。该团队推测,参与培养的干细胞可能处于不同的计数周期,从而导致不同批次类器官在细胞组成、结构和功能上出现差异。未来,如果能够实现干细胞计数周期的同步化,就有望进一步提高类器官培养的稳定性 and 一致性。

“我们下一步计划系统地验证‘计数逻辑的普遍性’这一假说,探索它是否是生命体构建自身的一种底层通用策略。”郭峥告诉《中国科学报》。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10814-y>

全球首艘 41800 吨双向航行自卸船启航

7 月 29 日,由我国自主研发建造的全球首艘 41800 吨双向航行自卸船“WONTANARA”轮在江苏省扬州市江都区的中船澄西扬州船舶有限公司码头启航,将投入国际航线运营。

该船由中船澄西扬州船舶有限公司建造,总长 215 米,型宽 42 米,型深 14.5 米,舱容 29000 立方米。自卸船是一种自带卸货系统的特殊船型,无需港口装卸设备即可独立完成卸货。

图为“WONTANARA”轮启航。

图片来源:视觉中国



耗资 2500 万美元，寻找影响癌症的自身抗体



本报讯 两个人一生中大部分时间每天抽一包烟,但只有一人患上了肺癌。这种差异可以用多种因素来解释,但受新冠研究启发、耗资 2500 万美元的 ATLAS 项目正在验证一种非传统解释的可能性,即患癌的人携带的某种抗体削弱了免疫系统,从而促进肿瘤生长。相关研究近日发表于《细胞》。

来自 ATLAS 项目的研究人员,通过分析重度吸烟者、百岁老人、同卵双胞胎等不同人群的血液样本,想找出促进癌症和可能阻止癌症的抗体。

如果成功,科学家们或许能将这些发现转化为新的检测方法和治疗方法等。尽管这类抗体存在的证据尚不充分,但其他研究人员认为该研究具有潜力。

ATLAS 是获得“癌症大挑战”计划资助的项目之一。该计划由英国癌症研究中心和美国国家癌症研究所共同发起,旨在资助高风险、高回报的科学研究,应对癌症研究领域的严峻挑战。

抗体由 B 细胞的免疫细胞大量产生,是 Y 形蛋白质,通常能锁定病原体特有的分子。但 B 细胞有时会释放“自身抗体”,瞄准人体自身的蛋白质、DNA 或其他分子,是自身免疫性疾病的标志。它们也会出现在健康人体内,不过自身抗体与靶标的结合非常弱,很可能不起作用。

然而,近期研究表明,一些自身抗体会使负责协调针对病原体的免疫反应的细胞因子失效,从而使一些人更容易受到感染。

2020 年,由现任职于美国得克萨斯大学西南医学中心的 Jean-Laurent Casanova 和法国内克尔儿童医院的 Paul Bastard 领导的一项研究发现,超 10% 的重症新冠患者体内存在靶向自身干扰素(一种强效抗病毒细胞因子)的自身抗体。而今年的一项研究发现,自身抗体还可能通过抑制一种抗炎细胞因子而促进炎症性肠病。

同时,细胞因子也会影响癌症,既能阻碍也能促进肿瘤生长。因此,Casanova、Bastard 和同事想知道抗体是否会影响免疫系统对癌症的反应。ATLAS 项目正是他们为验证这一想法

所做的努力。该项目计划扫描针对已知两万多种人类蛋白的抗体,汇编一份全面的自身抗体清单,同时统计其他抗体,如直接攻击癌症的各类抗体。

项目的第一阶段,研究人员筛选出了 1.6 万名能够提供丰富信息的参与者,如仅一人患癌的双胞胎、高患病风险却成功避免了癌症的人等。

根据在第一阶段捕获的抗体情况,研究人员将进一步分析另外 5 万多人的样本。在锁定可能对抗或促进癌症的候选抗体后,他们计划在动物体内和实验室培养的人类细胞中测试这些抗体,来验证它们的作用。但证明某种特定抗体能在人体中预防癌症,需要开展耗时数年的大规模研究。(徐锐)

相关论文信息: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.06.021>

我国异种肝脏移植受体猴稳定生存超 10 天

本报讯(记者王昊昊 通讯员章志强)7 月 20 日,中南大学湘雅二医院异种肝脏移植团队成功实施一例基因编辑猪-猴异种原位全肝移植手术。截至 7 月 30 日下午,受体已稳定生存超过 10 天,目前整体状态良好,各项指标总体平稳,移植肝脏持续发挥功能。据公开报道统计,该异种肝脏移植受体猴存活时间刷新亚洲纪录,创造了全球第三长的存活时间,标志着我国在异种肝脏移植关键技术研究方面取得重要进展。

与异种肾脏、心脏移植相比,异种肝脏移植面临更复杂的跨物种生物学障碍。肝脏不仅承担代谢、解毒、蛋白合成等重要生理功能,还参与凝血调控和免疫调节,因此异种肝脏移植术后容易出现凝血功能紊乱、血小板快速消耗以及跨物种功能不相容等系列国际公认的关键难题。

所谓异种原位全肝移植,是指完整切除受体猴自身肝脏,再植入基因编辑供体猪肝,使供体肝脏完全承担受体生命维持功能。该模型手术被认为是国际异种器官移植研究中技术难度最高的动物模型之一,但能真实、全面地评价异种肝脏的代谢、解毒、凝血因子合成及免疫调节等功能,是验证异种肝脏能否最终走向临床应用的重要研究模型。

该实验供体采用中科奥格生物科技有限公司培育的 7 基因编辑供体猪,在敲除 3 个主要异种抗原基因、敲入两个补体调节蛋白和 1 个凝血调控蛋白的基础上增加敲入了人血管性血友病因子(hvWF)基因,旨在进一步提升供体器官的凝血相容性。

初步实验结果在国际上首次证明,包含 hvWF 基因的 7 基因编辑猪肝供体对延长原位全肝移植受体生存期有积极效果,其主要机制包括对受体血小板、凝血系统激活的抑制作用等。围绕异种肝脏移植术后凝血功能异常、严重血小板减少及移植免疫损伤等关键问题,研究团队取得阶段性突破,并发现新的科学问题,为优化供体基因编辑策略和推进异种肝脏移植临床转化奠定重要基础。

该研究由中南大学湘雅二医院牵头,联合中国工程院院土、中国科学院亚热带农业生态研究所研究员印遇龙团队以及中科奥格生物科技有限公司等单位完成。