# “超级显微镜”，深度探索微观世界

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/30348.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！*

**“超级显微镜”，深度探索微观世界**。



中国散裂中子源俯瞰。



中国科学院高能物理研究所东莞研究部中子科学部副主任殷雯在进行实验前的准备工作。以上图片均为中国科学院高能物理研究所东莞研究部提供

广东东莞，松山湖科学城，紧邻高速公路，一片造型独特的建筑群依山而建。山坡上，“中国散裂中子源”几个大字赫然矗立。

中国散裂中子源是中国第一台、世界第四台脉冲型散裂中子源，被称为“超级显微镜”，是当今人类深度探索微观世界的有力工具。

建成运行6年多来，中国散裂中子源已向全球科学家完成12轮开放，每年向用户开放时间超过5000小时。目前，注册用户超过7000人，已完成1700多项课题，成为材料科学技术、生命科学、资源环境、新能源等方面的基础研究和高新技术开发强有力的研究手段。

自2000年提出项目建议，到2018年通过国家验收正式投入运行，到如今二期项目加快推进，20余年里，为了建设这一国家大科学工程，中国科学院高能物理研究所老中青三代科研人员攻坚突破了一系列科技难题，用智慧和汗水，使得整体设备国产化率达到90%以上，并实现稳定高效运行。

自主创新，打造“中国方案”

中国科学院高能物理研究所副所长、中国散裂中子源二期工程总指挥王生与中国散裂中子源有着不解之缘。在过去20余年里，从预研到建设，他深度参与其中，见证了这个“国之重器”从无到有并走向成熟的过程。

“建设大科学工程，既要有深厚的理论基础，也需要有非常严谨的科学精神和一丝不苟的工匠精神，我始终怀着敬畏之心。”王生说。

在中国散裂中子源建设之前，世界上已建成3台脉冲型散裂中子源，分别是英国散裂中子源、美国散裂中子源和日本散裂中子源。

王生说：“每台散裂中子源采用的技术路线都有很大差别，指标也不一样。国内同类设备是第一次研制，我们几乎是从零起步。”

走别人没走过的路，自然会遇到不少难关，设计中国散裂中子源的高能强流质子加速器便是其中之一。

中国散裂中子源是利用1.6GeV（十六亿电子伏特）的高能质子束流轰击重金属靶而产生高通量中子，中子经过慢化可用来研究物质微观结构和运动。因此，散裂中子源的加速器属于高能强流质子加速器，其设计需满足特殊要求：打靶的功率要高，同时要求束流损失控制在很低的水平。

“高能强流质子加速器，涉及众多领域的前沿科技，从加速器物理设计到大量关键技术研发，在国内都是第一次。”王生说，“整个过程复杂且精密度高，仅加速器就由近万台套设备组合而成，参与设计和研制的专业团队超过150人，涉及10多个不同专业。”

最终，通过大量方案设计优化比较，王生团队确定了中国散裂中子源采用较低能量的直线加速器和快循环质子同步加速器的设计方案，造价低且易于升级，以很小的代价保留了束流功率提升5倍的能力，为保证中国散裂中子源长期保持世界先进水平打下了坚实基础。

设计方案选定，装置建设过程中，挑战接二连三。

快循环质子同步加速器的25赫兹交流谐振磁铁是关键设备，在我国也是首次研制。

“ 当时，铁芯和线圈的振动开裂、涡流发热等都是全新问题，技术挑战难度超乎想象。6年时间里，科研人员与工厂技术人员联合攻关，多次优化方案、改进关键材料配方，逐一攻破技术难关，终于靠自己的力量研制出国内首台谐振状态工作磁铁。 ”中国科学院高能物理研究所东莞研究部加速器技术部副主任李晓回忆说。

针对磁铁的磁场饱和，团队还创新性地提出了谐振电源的谐波补偿新方法，解决了多台磁铁之间的磁场精确同步问题，精度优于国外散裂中子源，达到世界先进水平。

逢山开路、遇水架桥。通过自主创新和集成创新，散裂中子源建设团队先后攻克了25赫兹交流谐振磁铁和电源、中子探测器等多项关键技术，设备国产化率超过90%。

“ 国产化的过程降低了装置成本，同时提升了国内相关产业的技术水平和制造能力。 ”王生说。

精益求精，追求“ 中国质量 ”

散裂中子源装置极为庞大，部件繁多，工艺极其复杂，制造和安装难度极大。

中国散裂中子源园区地下18米深处，有一条总长600多米的隧道。一台80兆电子伏特的负氢离子直线加速器和一台16亿电子伏特快循环质子同步加速器就安放在这里。

这些设备对安装误差的要求极其严苛。王生至今仍对直线加速器漂移管的安装过程印象深刻。

直线加速器4个真空腔体共有156个漂移管，安装误差不能超过30微米，安装过程需要调节几十个参量。刚开始，工程团队24小时两班倒。经过半个月，好不容易装到第六个部件并已完成标准检测，工程人员突然发现，由于部件的内部结构过于复杂，在标准的检测时间内，轻微的漏点不易被检测出，需要对标准检测时间进行延长。所以，团队还是决定把已安装好的部件全部拆除，重新进行安装和检测。

王生说：“ 哪怕看似微小的问题，都可能导致严重后果，所以工程建设过程中要严把质量关，不能放过任何一个潜在的问题。 ”

为了满足更多、更高的用户需求，2024年1月，中国散裂中子源二期工程正式启动建设。二期工程建成后，装置的研究能力将大幅提升，能够为探索科学前沿、解决国家重大需求和产业发展关键问题提供更加坚实的支撑。

二期工程中，加速器打靶束（流）将从一期设计功率100千瓦提升到500千瓦。

中国科学院高能物理研究所东莞研究部加速器技术部副主任刘华昌说：“ 功率提升5倍，完全靠束（流）的流强提升，需要采用超导腔，将直线加速器的能量大幅提升。这对速调管的性能和指标提出了更高的要求。 ”

大功率速调管零部件数以百计，涉及多个学科领域，从研制到安装，每一个环节都必须精确无误。高通过率电子束流光路要求传输效率达到100%，所有零部件的安装精度要控制在20微米之内。

迎难而上，中国科学院高能物理研究所研究团队在前期环形正负电子对撞机高效率速调管预研工

作基础上，同上下游企业通力合作、攻坚克难，最终成功研制出首台全国产化P波段大功率速调管。

“经过连续24小时无故障运行，国产P波段大功率速调管全部性能指标均达到或超过设计要求，顺利通过验收。”刘华昌说。

勇于突破，跑出“中国速度”

2017年7月7日，中国散裂中子源的快循环质子同步加速器成功将质子束流加速到设计能量1.6GeV，并成功引出。这是工程建设中的又一个里程碑。

王生说：“按照国外以往的经验，一般要半个月到一个月才能实现全能量的加速。但是，我们调速当天就实现了全能量加速，并在48小时不间断调束之后，将束流损失控制到允许的范围内。这表明，我们整台加速器设计合理，硬件设备质量优良，达到设计要求。”

回忆当时情景，王生仍难掩兴奋，“当看到设计中的束流曲线，在实际束流调试过程中逐步完美呈现出来时，那一刻心情特别激动。”

把质子束流成功加速到设计能量，为接下来的打靶等一系列环节奠定了坚实的基础。2017年8月，中国散裂中子源首次打靶成功，获得漂亮的中子束流能谱曲线。2018年8月23日，中国散裂中子源工程圆满通过了国家验收，投入正式运行。

工程达到验收指标，只是万里长征走完了第一步。“要达到工程设计指标，还要在验收指标10千瓦的基础上，把束流功率提高10倍，达到100千瓦。”王生说，“我们要做的工作还很多。”

此后，王生率领团队在工程开放运行的间隙，进行了大量的束流调试和研究工作。在保证正常开放运行的情况下，团队科学安排束流调试，分阶段提高束流功率。

2020年2月，团队成员开始了加速器束流提升攻坚战。这一个月里，调束人员共分为两班，24小时工作不停歇。

2020年2月28日，中国散裂中子源打靶束流功率达到100千瓦的设计指标，并开始100千瓦稳定供束运行。这比原计划整整提前一年半，团队十几年的付出，终于迎来回报。

“相比于国际上其它散裂中子源至少需要五六年达到设计指标的调束时间，我们跑出了中国速度。”王生兴奋地说。

作为散裂中子源科学中心谱仪研发与应用一组的负责人，中国科学院高能物理研究所东莞研究部中子科学部副主任殷雯是最早参加中国散裂中子源工程的骨干之一。

2013年，随着中国散裂中子源在东莞建设持续推进，殷雯开始长期在松山湖科学城工作，主导设计并建造了其中的靶站屏蔽体系统。

让她引以为豪的是靶站屏蔽体系统中核心部分——中子束线开关的自主研制。

“团队经过多次试验、反复论证优化，仅用18个月的时间，就攻克了所有关键技术，成功完成中

子束线开关系统样机的研制，为工程正式开工及后续批量生产提供了关键的技术保障。”

年轻力量，彰显“中国精神”

中国散裂中子源项目建设之初，大批刚刚走出校园的年轻人加入团队。随着工程建设的推进，这些年轻人也在实践中不断成长。

以散裂中子源加速器团队为例，团队成员共120余人，平均年龄只有35岁左右，是国内最年轻的加速器团队。

在王生看来，这是一支专业优秀、朝气蓬勃，特别有奉献精神的团队。

“我们平时加班到晚上十一二点是常态。装置是24小时开放运行，为保障用户机时，出现故障时，团队成员要随叫随到，凌晨两三点赶到现场解决突发的故障也是常有的事。”王生说。

随着中国散裂中子源二期工程启动，青年团队挑起了更重的担子，在关键技术预研方面取得众多关键进展。

高功率高梯度磁合金加载腔是中国散裂中子源二期工程中必须突破的关键技术。

李晓带领团队经过近10年预研，从基础材料和基本工艺着手，在国产高功率高梯度磁合金加载腔的研制上取得重大成果，其中磁环最关键的技术指标，比目前国际上公开报道的最高性能指标提高约30%。

“作为年轻科技工作者，要发挥自己的主观能动性，要敢于挑战世界最先进的技术，同时要把自己的视野打开，更多地参与到国际最前沿的竞争中。”李晓说。

殷雯说：“团队有朝气、有魄力，更有向前突破的精神。对于我来说，能赶上这个时代，并且在这个团队里工作是非常幸运的事，因为在这个平台上，我们可以发挥特长，不断学习和提高。”

如今，这支年轻的团队还在不断取得一个又一个新的突破。

“我们将持续推进二期工程建设，为粤港澳大湾区科技发展和产业升级提供重要支撑，为加快实现高水平科技自立自强贡献力量。”王生说。

作者：吴月辉 来源：人民日报

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转发