

甘肃省科学技术奖申报项目公示

项 目 名 称	面向核废料嬗变的 25 兆电子伏质子超导直线加速器
申 报 奖 种	甘肃省科技进步奖一等奖
完 成 单 位	中国科学院近代物理研究所
完 成 人	何源，赵红卫，张军辉，王志军，张斌，张生虎，詹文龙，岳伟明，贾欢，武启，石爱民，郭玉辉，万玉琴，吴巍，张雍
提 名 者	魏宝文 中国科学院院士 甘肃省科技功臣奖获得者 陈森玉 中国工程院院士
项目简介（限 500 字）	<p>加速器驱动核废物嬗变是国际公认的核反应堆高放射性废物有效处置的技术，但是国际上二十多年来未能取得突破性进展。强流质子超导直线加速器是核心制约因素。中科院战略先导专项投资约 4.5 亿元支持连续波高功率直线加速器关键技术的预研。10-25 兆电子伏 (MeV) 强</p>

流超导直线装置突破了高功率束流调试、连续波射频四极加速器、射频超导系统、高功率固态高功率系统等瓶颈技术，成为国际上第一个连续质子束流强超过 2 毫安稳定运行的离子直线加速器。项目实施过程中的关键技术已经极大地促进了先进制造、高功率电子、精密加工等行业技术突破，并产生了过亿的经济效益。装置建成后，已为中科院、上交大、兰大、西核院等基础和国防研究单位提供了三十多次实验束流。超导直线加速器的技术突破强有力地支撑了国家重大科技基础设施“强流重离子加速器”、“加速器驱动嬗变研究装置”以及甘肃省同位素实验室“先进同位素应用研发装置”的建设。

完成人对项目主要贡献

姓名	排名	职称	完成单位	主要贡献
何源	1	研究员	中国科学院近代物理研究所	提出总体设计思路 and 低频四翼型 RFQ+紧凑型 HWR 的技术路线及总体参数。主导 RFQ 国际合作，提出高功率锻炼和运行调试技术方案。提出 HWR 射频超导腔零 df/dp 设计思想。主持超导直线集成安装和运行调试，制定调试方案和机器保护逻辑，协调解决高功率束流调试中的技术问题。

赵红卫	2	研究员	中国科学院 近代物理研究所	<p>战略性先导科技专项“未来先进核裂变能—ADS 嬗变系统”项目二共同负责人。总体负责近代物理研究所超导直线加速器的设计和建设，组织协调项目实施。</p> <p>组织制定了 25 兆电子伏强流超导直线加速器的总体技术路线，确定关键技术的发展策略，制定了超导加速器研制进度计划，并对重大技术变更进行审核和决策，培养并建立了项目人才队伍，确保了项目顺利实施。</p>
张军辉	3	正高级工程师	中国科学院 近代物理研究所	<p>主导设计、加工、调试了中国第一套全国产液氦温区超导加速单元（Cryomodule），设计完成整套液氦生产、传输分配、回收纯化装置并长期稳定运行，为超导产业在西部地区的发展奠定了低温技术基础。发展了大体积、高精度氢气钎焊技术，在国内多家大科学装置上得到广泛应用。</p>
王志军	4	正高级工程师	中国科学院 近代物理研究所	<p>负责 25MeV 超导体子直线的物理设计和束流调试。在国际上首次实现了利用全局优化算法进行超导直线</p>

			究所	<p>的优化设计，在物理设计上保障了束流无损传输；负责完成了基于场模型的相位标定程序和 SVD 的自动轨道校正程序，为束流调试奠定基础；在国际上提出了“单粒子—包络—多粒子”模型三步走的高功率束流调试策略，成功地完成了不同阶段的高功率束流调试目标。</p>
张斌	5	正高级工程师	中国科学院近代物理研究所	<p>负责机械总体设计，确定层次清晰的功能系统方案，实现结构紧凑，功能合理，安全可靠的总体布局。研制测微准直望远镜的低温十字丝目标，研究束流位置监测器和低温螺线管联合标定新方法，完成了超导直线加速器元件的准直安装。开发 RFQ 高精度加工和焊接装配工艺，攻克极面调制线精细加工成型刀、RFQ 检测的三坐标测量规范和工艺、RFQ 腔体高精度焊接结构和工艺参数。</p>
张生虎	6	正高级工程师	中国科学院近代物理研	<p>射频超导腔研制总体协调，负责超导腔的研制、表面处理、垂测、多腔集成与超导腔上线运行；主持制定</p>

			究所	超导体研制规范和流程，为超导腔的成功研制提供技术保障；完成首台超导腔水平测试攻关和首次超导腔载束实验，为 25MeV 超导直线加速器多腔运行积累了宝贵经验；分析发现并协助解决影响超导腔稳定运行的关键问题；协助解决超导腔在线失效后性能恢复等。
詹文龙	7	研究员	中国科学院近代物理研究所	提出战略性先导科技专项“未来先进核裂变能—ADS 嬗变系统”的总体设想，制定了中国 ADS 发展路线图。作为 ADS 先导专项总指挥，领导总体方案的制定，确定了强流超导直线加速器的发展目标和总体路线，决定了建设方案、工程进度、重大技术调整等重要内容，在强流超导质子直线加速器实现关键技术突破和加速器顺利建成起到决定性作用。
岳伟明	8	研究员	中国科学院近代物理研究所	承担 HWR010 超导腔研制、运行。1) 设计了国内首支 HWR010 超导腔，通过结构优化避免了超导腔在运行过程中受热失超、MP 等因素限制。2) 制定了 HWR010 超

				<p>导腔加工技术规范，通过质量控制成功研制了国内首支 HWR010 超导腔，测试指标超过该类型超导腔世界最好水平；3) 成功实现了 HWR010 超导腔在线锻炼和长时间运行，国内首次实现超导腔在线氦清洗技术，成功恢复了 HWR010 超导腔在线运行性能。</p>
贾欢	9	高级工程师	中国科学院近代物理研究所	<p>负责强流中能传输线、高能束流传输线研制及运行。负责射频四极加速器束流调试，成功调试实现了 10 mA 连续束流。深度参与定时系统设计，提出定时方案。深度参与束测系统设计，配合完成了发射度测量、能散测量、BPM，单丝等多个新型探针的开发。参与超导段束流调试，提出了 MEBT 场模型 lattice 并测量验证，提出了超导段场模型束流扫相方法，解决了扫相时遇到的物理问题。</p>
武启	10	高级工程师	中国科学院近代物理研究所	<p>1. 全永磁磁环制作技术。2. 高可靠性高压发生器的研制技术。功率稳定度好于 0.1%，从而保证了束流的稳定性。3. 强流离子源研制。2.45 GHz ECR 离子源可以</p>

				<p>连续稳定工作 1000 小时，引出束流强度大于 10 emA。</p> <p>4. 斩波器技术。超导加速器调试需要束流脉宽连续可变，最小脉宽 1us。脉冲上升沿小于 20 ns。离子源的斩波器可以实现 1us⁻DC 的连续变化，斩波器年运行时间高于 2000 小时，动作频率高于 5000 次。实现零故障可靠运行。</p>
石爱民	11	正高级工程师	中国科学院近代物理研究所	<p>1、自主研制 ADS 先导专项 RFQ 谐振腔高功率射频耦合器，完成方案提出及设计加工测试等一些列工作。</p> <p>2、提出 200kW 高频功率源与 RFQ 谐振腔的高频功率分配与匹配方案，制定 200kW 功率源各项技术指标已技术要求，并参与改功率源的研制与运行。3、负责 RFQ 与中能传输线课题，组织并参与完成 RFQ 加速腔加工测试及调试验收。</p>
郭玉辉	12	正高级工程师	中国科学院近代物理研究所	<p>控制系统负责人，完成控制系统总体设计，设计并验证冗余技术、时标技术和机器快保护技术。2013 年首次将 EPICS 控制系统应用到离子源控制系统现场；</p>

				2014 年将 4 种冗余控制技术（控制器、前端 IOC 软件、网络传输系统、数据库归档服务）集成用于 RFQ 加速器控制；自主研发 μs 量级响应的机器快保护系统，并用于 25 MeV 的连续束调试。
万玉琴	13	高级工程师	中国科学院近代物理研究所	完成负责单腔测试低温恒温器 TCM1 和六腔低温恒温器 HCM6。所设计的低温恒温器经调研、设计、加工和装配等程序，最后成功地实现了低温恒温器的调试运行，解决并完成了低温恒温器大尺寸复杂形状的精确加工及超导元件的高精度准直的技术难题，实现了我所 Cryomodule 技术零的突破，为我国首次实现超导腔加速毫安级连续波质子束奠定基础，为多腔 Cryomodule 设计积累了技术和工程经验。
吴巍	14	正高级工程师	中国科学院近代物理研究所	负责超导螺线管系统的总体设计和组织实施。通过对比分析国际上不同方案的优缺点和直线加速器的运行需求，确定了采用反抵线圈主动屏蔽漏磁，磁体全部采用无磁材料降低剩磁的技术方案，发展了磁场

				<p>优化方法和程序，指导设计人员实现了紧凑化的设计方案，组织完成样机研制和工艺探索，协同厂家实现批量生产，组织搭建超导磁体低温测量系统，完成磁体的批量测试。</p>
张雍	15	正高级工程师	中国科学院近代物理研究所	<p>高精度束流位置探测器（常温、低温）设计研制，离线标定、安装测试，在线运行；超导直线加速器束诊系统横向、纵向参数测量运行维护。</p>