

大型低温制冷设备

中国科学院理化技术研究所

大型低温制冷系统是指制冷温度 2 K—20 K 范围，制冷量几百乃至万瓦以上，集流程优化与控制技术、气体轴承氦透平膨胀机技术、氦压缩机及高效滤油技术、磁悬浮轴承和高速电机的冷压缩机技术、低温负压换热技术、复杂低温系统的集成调控技术等一批先进制造技术为一体的低温制冷系统，广泛应用于航空航天、大科学工程、核磁共振、气体提纯和分离、激光点火、超导电力等领域，关系到前沿科学、国家安全及高技术产业的发展，是国家战略高技术领域不可替代的核心平台技术。随着我国经济社会的高速发展，各行业对大型、高效、稳定的关键大型低温制冷设备需求不断增加，我国已经开始步入大型低温制冷设备使用大国的行列。然而，由于我国在大型低温制冷设备、集成技术等方面长期缺乏具有自主知识产权的产品和成熟的技术，西方发达国家对高端大型低温系统对我国采取限制或禁运措施，导致我国需要大型低温制冷技术支持的相关领域，特别是在战略高技术、国家安全等方面受到极大限制，“瓶颈”效应十分明显。

为突破国外对我国大型氢氦低温制冷技术的封锁，解决大型氢氦低温制冷技术的瓶颈，形成具有我国自主知识产权的大型低温制冷核心关键技术，在财政部和中国科学院的支持下，中国科学院理化技术研究所自 2010 年开始对“大型氢氦低温制冷技术与系统应用”涉及的众多前沿基础科学问题、关键设备和关键技术进行了系统和深入的研究，解决了高稳定性氦透平技

术、高精滤油关键技术、多股流低泄漏率换热器技术、大型低温设备集成技术、整机动态仿真与智能联锁防护技术等一批重要的关键技术；并组织国内低温工业制造力量，于 2012 年 12 月成功研制出了国内首台制冷量为 2 kW@20 K 的高效氦透平制冷机，经过连续运行 21 天，综合性能达到国际先进水平。

2 kW 制冷机一经研制成功，得到国内众多用户的广泛关注，中国科学院理化技术研究所先后与中国航天科技集团公司北京宇航系统工程研究所、中国科学院兰州近代物理研究所、中国科学院高能物理研究所等国内大科学装置、航天系统牵头单位签署了大型低温制冷设备应用战略合作协议，为未来开展长期深入的战略合作奠定了基础。

2014 年 4 月 22 日，中国科学院理化技术研究所自主研发的 2 kW@20 K 低温氦制冷机在某航天型号产品性能测试



2 kW@20 K 氦制冷机

执笔人：谢秀娟

平台实现成功应用，完成了某型号产品模拟真实工况下的性能测试。在长达 30 多个小时的试验运行中，制冷机运行可靠、性能稳定，圆满完成了正式产品预定性能试验，为后续型号应用奠定了基础，标志着我国航天产品研发领域产品性能测试平台和测试能力上升到一个新的台阶。

在“大型低温制冷设备研制（一期）”项目验收会



2kW@20K 氮制冷机装置



10kW@20K 氮制冷机



10kW@20K 氮制冷机研发团队及验收专家合影

上，与会专家一致认为，该项成果打破了发达国家对液氢温区大型低温制冷技术的垄断，锤炼出了一支集“研究开发、集成制造、工程应用”于一体的大型低温技术与工程团队，打造了初具规模的设备研发和生产基地，为进一步自主发展我国更低温区大型低温制冷技术、实现系统国产化奠定了基础。

为进一步满足我国在能源和环境安全（核废料处理、热核聚变等）、资源和国防安全（战略氢资源、聚能武器超导电磁炮等）、大科学装置（强流重离子加速装置、中国散裂中子源等）等领域对更低温区（液氢/超流氢）大型低温设备的迫切需求，在液氢温区大型低温制冷设备研制成功的基础上，中国科学院理化技术研究所自 2015 年 12 月开始启动 4.5 K—2 K 液氢/超流氢温区大型低温制冷设备的研制工作，力争实现我国自主知识产权大型低温制冷设备向更低温区的突破。经过全体科研人员一年多的拼搏奋斗，攻克了液氢温区的高速氢透平膨胀机技术、紧凑型低漏率换热器技术、低温调节阀门设计和制造技术、制冷机系统集成调控技术，以及高效氢螺杆压缩机技术。2017 年 10 月 18 日，250 W@4.5 K 液氢温区低温制冷机顺利研制成功，与会验收专家们一致认为此次研制成功的国内首套 250 W@4.5 K 氮制冷机实现了国产化，性能指标达到国际先进水平。国产化 250 W@4.5 K 低温制冷机的成功研制，标志着我国液氢温区大型制冷机从设计、制造到稳定运行的技术与能力得到全面提升，同时带动一批高端氢螺杆压缩机、低温换热器和低温阀等装备制造企业的技术提升。

与此同时，大型低温制冷装备产业化工作也在如火如荼地开展，在国家及社会力量的支持下，依托于该重大科研装备研制项目核心技术，理化技术研究所联合社会资本、科研团队于 2016 年 8 月共同创立了科技成果转化企业——北京中科富海低温科技有限公司，注册资本 1.3 亿元。这标志着中国科学院理化技术所在实现大型低温制冷装备的科研成果走向社会应用的道路上迈出坚实的一步，为真正打破国际垄断和在国际低温领域



250 W@4.5 K 氮制冷机

赢得一席之地打下坚实的基础。

2016年11月21日，中国科学院理化技术研究所大型低温制冷装备产业化工作取得新进展。依托理化技术研究所大型低温制冷装备技术成立的北京中科富海



250 W@4.5 K 氮制冷机研发团队及验收专家合影

低温科技有限公司与韩国 Vitzrotech 公司在南京签订了 200 W@4.5 K 大型氮制冷机出口商业采购合同。这是继 2017 年 1 月 10 日理化技术研究所与韩国国家核聚变研究所（NFRI）签订“中国-韩国大型低温制冷系统”战略合作框架协议以来，双方积极落实合作协议内容取得的重要合作成果。通过此次与韩国的合作，我国的大型低温制冷设备逐步打破国外低温公司长期垄断国际低温市场的局面，具有重要意义。

专家点评

中国科学院理化技术研究所长期坚持大型氮低温制冷机的关键技术突破、相关关键设备的技术攻关、工艺包固化以及工程化应用。近年来承担国家重大科研装备专项，从大型氮低温制冷机的系统集成到主要子部件的关键技术均取得了突破，打破了国际长期禁用，为我国近 5 年乃至未来 20 年的大科学工程等国家重大专项形成了强有力的支撑。攻克了一批重要的关键技术：25 万转 / 分钟的超高速氮气体轴承透平膨胀机技术，高达 0.01 ppm 的高精滤油技术，工业规模超低泄漏率的低温多股流换热器技术等，并形成了具有自主知识产权的液氢、液氮温区的系列工艺包。既解决了国家的重大战略需求，也有效推动了国内低温相关工业装备制造技术的升级换代。

——王浚，中国工程院院士，北京航空航天大学教授、博士生导师

大型低温制冷机是国家战略高技术，在工业、国防、大科学装置及民用方面有极其广泛的应用。中国科学院理化技术研究所自主研发的各类型大型低温制冷机突破了关键技术，实现了国产化零的突破，具有极为重要的意义，也是了不起的成就。我相信在国家的持续支持下，在团队的努力下，他们一定能赶超国际先进水平，研制出世界最好水平的大型制冷机，实现规模化和产业化。我们的大科学装置也一定会用上国产的制冷机。

——王贻芳，中国科学院院士，中国科学院高能物理研究所所长、研究员