

大型低温制冷机领域的“中国名片”

■本报记者 沈春蕾

11月30日,我国首套对外出口的200W@4.5K氦制冷机宣布研制成功,经调试,制冷温度达到4.5K(−269摄氏度),制冷量超过240瓦(W)。该套制冷机系统由中科院理化技术研究所(以下简称理化所)及其产业化公司中科富海低温科技有限公司共同研制,将应用于韩国国家核聚变研究所大科学装置KSTAR-NBI(中性束注入器)升级改造项目中,为低温泵冷板提供冷量,保证系统获得并维持超高真空。

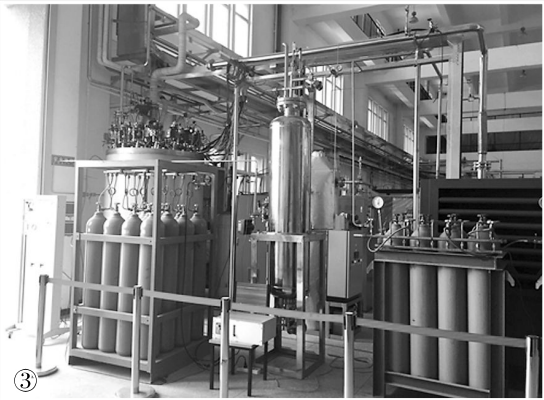
多年来,我国在大型低温制冷领域一直缺乏成熟的氨液化器产品,几乎全部需要依赖进口。“从中国科学院院士洪朝生,到中国科学院院士周远,再到如今的理化所低温工程与系统应用研究中心,通过几代科研人员的不懈努力,今天国产大型低温制冷技术终于取得突破性发展。”低温工程与系统应用研究中心主任龚翎会告诉《中国科学报》。



①2017年11月21日,首套200W@4.5K大型氦制冷机系统出口韩国商业合同正式签约。

②研发人员现场展示L40B氨液化器性能。

③L40B氨液化器



突破“卡脖子”困境

近年来,我国对稳定、高效的大型低温制冷系统需求急剧增加,但缺乏大型低温制冷系统、关键子设备及集成技术的问题日益突出,处于一种“卡脖子”的困境中。

为打破国外相关技术领域的封锁,不仅国家加大低温制冷技术的研发投入,科研团队也从过去只做关键技术,转变为开始做成套技术。这两年来,理化所低温工程与系统应用研究中心先后攻克了液氨温区高达25万转的高速氨透平膨胀机技术、紧凑型低漏率换热器技术、高稳定性的低温调节阀门技术、多级复杂制冷机系统集成调控技术以及高效氨螺杆压缩机技术。

2015年,理化所研制成功液氨温区万瓦级大型低温制冷系统,实现了10kW@20K的既定目标,该项目成果获中国科学院“十二五”优秀重大突破奖。2017年,理化所自主研发的250W@4.5K液氨温区低温制冷机通过了国家

专项的中期验收,标志着我国液氨温区大型制冷系统从设计、制造到稳定运行技术与能力的全面提升,也为与韩国的合作打下了技术基础。

2017年,“中国—韩国大型低温制冷系统”应用合作协议签约。此前,韩国国家核聚变研究所(NFRI)技术总监 Dongseong Park 在介绍 K-STAR 低温系统应用现状和未来需求时,谈到目前韩国使用的 K-STAR 超导低温系统主要从瑞士林德公司和法国法液空公司进口。

“韩国方面发现进口产品不仅价格较高,而且售后服务也不好,这恰恰给我们的大型低温制冷系统出口提供了机会。”龚翎会说,此次大型氦制冷机系统的成功出口,不仅打破国外低温公司长期垄断国际低温市场的局面,还标志着理化所多年积累的大型低温制冷系统核心技术逐步走向成熟,得到了国际合作伙伴的肯定和信任。

四代人的低温事业

龚翎会表示,当前,理化所已经研制出系列化的千瓦级大型低温制冷机,并达到国际先进水平,下一步正在着手推动万瓦级超大型低温系统的研制及其制造基地落成,在2030年将打造成功拥有我国自主知识产权技术的世界低温产业第三极。

理化所在大型低温制冷机领域取得今天的成就并不容易,它凝聚了四代人的心血与努力。

1951年,洪朝生回国后带领科研团队开拓新中国的低温事业。1956年,洪朝生带领团队研制出了我国第一台能够生产液氨的液化器,并在1959年成功实现了氨的液化。这些技术的掌握,不仅打破了资本主义国家的技术垄断,也迈出了我国低温物理研究的第一步。

另一位与中国低温技术结下不解之缘的院士是周远。20世纪60年代初,毕业于清华大学热能工程专业的周远,被分配到中科

院从事低温技术研究,转眼间半个世纪过去了。周远引以为豪的是:“以前我国的低温制冷设备大多从国外进口,现在我国60%~70%的低温制冷产品不仅实现了自主研发,还颇具竞争力。”

1999年,理化所成立后就“推进低温工程与技术的发展和应”写进了研究所发展定位中,并组建低温工程与系统应用研究中心,致力于重点突破大型超低温制冷离心式冷压缩机等6项核心关键技术,形成大型低温制冷装备设计和制造能力并建立技术体系,推进产业化。

低温工程与系统应用研究中心成立以来,先后在2009年中科院重要方向性项目的研究2000W@20K氦制冷机取得初步突

破;在2010年获得“大型低温制冷设备研制”国家重大科研装备专项的支持,自主研发了液氨温区大型低温制冷系统,相关核心技术以及成套集成技术;在2015年参与“液氨到超流氨温区大型低温制冷系统研制”国家重大科研装备专项,旨在建立更低温区大型低温制冷系统。

2015年,液氨温区高效氨制冷机在理化所自主研发成功,得到了国内众多用户的关注。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等国内航天系统和大科学装置牵头单位,先后与理化所签署了大型低温制冷系统应用战略合作协议,以满足国家相关科研领域的重大需求。

主动出击展望未来

2016年8月,依托于两期国家重大科研装备研制专项的核心技术,理化所联合社会资本、科研团队共同创立了北京中科富海低温科技有限公司,注册资本1.3亿元,目标是实现大型低温制冷装备总体集成及应用。这项大型低温制冷装备成果转化的成功范例也荣获中国科学院北京分院“科技成果转化特等奖”。

历时6年,理化所低温工程与系统应用研究中心研发团队相继自主研发出40L/h氨液化器L40A、L40B,以及250W@4.5K氦制冷机(即80L/h氨液化器),实现了中小型氨液化器的系列化。

据悉,L40A氨液化器目前已成功投入宁波健信核磁技术有限公司商业运行,生产液氨应用于宁波健信生产线。L40B氨液化

器目前已移交至理化所液氨技术发展室进行示范性生产运行。250W@4.5K氦制冷机拟用于中科院高能物理研究所的磁性能测试平台,为大科学工程应用助力。

理化所低温工程与系统应用研究中心在开展技术攻关、研发成功国产大型低温制冷装备的同时,着力培育了一批我国自己的高端氨螺杆压缩机、低温换热器和低温阀等制造企业并使其技术得到提升。同时,成立专业的低温科技公司,从而奠定了全国产大型低温制冷装备制造的国家工业基础。

龚翎会希望,大型乃至超大型低温制冷装备能为我国大规模高效绿色氢能的应用以及未来月壤氨-3这种清洁聚变能源原料的获取助力,实现从洪朝生和周远到现在四代人的中国低温梦。

“海人”团队文化的五项“基因”

■封锡盛 李一平

中国工程院院士蒋新松,1979年在中国科学院沈阳自动化研究所工作时提出了“工业机器人示教再现机械手和水下机器人”的研究课题。1986年,中国第一台遥控水下机器人——“海人一号”诞生。基于这支研究团队,中国科学院沈阳自动化研究所“海洋机器人研究部”于1988年正式成立,从此,我们有了习惯上的称谓:“海人”。

今天的“海人”已经是大家族——研究所3个研究室近300人的大团队,这不仅是国内规模最大,也是全球最大的海洋机器人专业研究机构。研制的海洋机器人囊括了全球的主要类型,面向海洋科学、海洋安全、海洋工程和深海资源四大领域的国家重大需求,先后开发了遥控、自主、水面和混合四大类型、八大谱系海洋机器人,包括“潜龙”“海翼”“探索”“海极”“海斗”“防救”“长航程”和“载人潜水器控制系统”等。从近海到远洋,从海面到深渊,“海人”的足迹踏进了太平洋、印度洋、北冰洋和马里亚纳海沟。

30年时间里,我们跨越了三大步:上世纪80年代起步打基础,90年代跟踪学为主,新世纪创新靠自主。

多年来,“海人”在国内水下机器人领域创造了十多项“第一”,大多数研究课题在国内具有开拓性和引领性。诸多科研成果接近或达到了与国际相齐水平,有的项目技术指标已居世界顶级行列。

骄人的成绩背后,不断发展和积淀形成的“海人”文化、海人精神是一个重要的原因。“海人”文化包括以下5个方面:

1. 依靠团队集体力量从事大型工程科学研究
大型综合性项目参研人员众多且装备研

制周期长,但也会因工作量不平衡、难度不一使得每个人施展才能的空间和贡献权重相差巨大。这就要求全体成员具有责任心、基于共同理念顾全大局和乐于奉献。蒋新松为此团队精神自豪,曾形象地将沈阳自动化所与其他研究单位进行比较。他说:“一对一单打对方能赢,二对二双打可能平手,三对三我方胜算的几率大。靠着这种精神,‘海人’团队在并非优势的领域连创佳绩,走在国内同行的前列。”

2. 勇于探索不断开拓的创新精神

“海人”团队对世界上有代表性的各类先进海洋机器人几乎都进行过探索研究。所开展的研究课题绝大多数在国内具有开拓性,一些重大项目如:遥控水下机器人、自主水下机器人、轻型水下机器人、海底行走机器人、长航程水下机器人、6000米水下机器人、万米水下机器人等均属国内第一。国内制造方唯一能参与国际竞标并提供海上服务的中型水下机器人以及国内唯一大批量生产的海洋机器人,皆出自“海人”团队。研制的“海斗”号在马里亚纳海沟创造了10888米的纪录,世界上仅有美、日两国有类似纪录。深度是体现海洋科学技术水平的重要标志之一,“海人”上一代科研人员给出的纪录是6000米,年轻人几乎将这—数据翻了一番。

众多研究成果获得国家奖励、受到权威部门表彰并赢得媒体广泛赞誉,在很长时间内引领国内该领域的发展,肩负起了国家战略科技力量的责任。

3. 虚心学习的态度

向国内外一切先进思想、理念和技术学习,是“海人”团队的求实态度。团队认识到,与世界先进水平相比,前面还有相当长的路要

走,缩短这段路程的明智选择是虚心向别人学习,三次重大国际合作是这种学习态度的例证:上世纪80年代中期,自美国引进中型潜水器RICON-IV,90年代初,与俄罗斯合作研制6000米自主水下机器人,以及与意大利合作研制海缆埋设机,这些国际合作使团队的研究水平从摸索和探索提升到相对成熟的阶段。外方先进的科研机制,科研人员严密、严谨的作风,严肃认真的态度都使“海人”受益匪浅,成为“海人”文化形成的要素和因素。

4. “五湖四海”大协作

研究海洋机器人是国家需求,科技界共同责任,发展海洋机器人事业是国家行为,大协作是不二选择。“五湖四海”是蒋新松及其继任者践行的理念,中科院声学研究所、中船重工第702研究所、上海交通大学、哈尔滨工程大学等单位曾是“海人”多年一路同行的战略合作伙伴,新世纪里这个名单已经大大加长。沈阳自动化所承担的国家重大项目聘请外单位的专家做总师是没有先例的,国内各界朋友及所内兄弟单位的关心和支持,都是“海人”团队成长的重要资源,也是海洋机器人事业不断走强的重要支撑。

5. 优良作风代代传

蓝色的大海并不总是平静、美丽和浪漫的,它更多展现的是咆哮的一面,海上试验艰辛且充满风险,船上生活枯燥、乏味、晕船。

近年来,我们每年都有数批科研人员,几千人次在海上度过,“我们拥有青春和生命挑战深海的深潜英雄;晕倒在甲板上、躺着指挥作业的硬汉;夜以继日连续攻关的青年小组;带着无人照顾老人参加海试的好男儿;勇探高纬度冰区和深海冷泉区的‘80后’;有人

刚刚喜得千金,也有人出发前刚刚完婚,还有的人在海上生病,吐出了胆汁”。这段话恰如其分地描述了今天年轻人投身科研的画面。

回想起1985年,南海,头顶烈日,身下甲板能烤熟鸡蛋,为了不耽误下午的试验,一位老同志独自盘坐在甲板上一圈一圈地精心维护脐带电缆;当一台设备需要有人下到海面布放,可大鲨鱼就在稍远处游来荡去,时而跃出水面。这位老同志推开准备下海的年轻人说:我来吧,我比你年纪大,无后顾之忧。1997年,太平洋,回收人员在激烈颠簸的小舢板上,时而被举上浪尖时而被推向波谷,落差两三米,有时高达五米,还要面对头顶上几十公斤重上下翻飞的吊钩。完成挂钩作业是有风险的,面对这种作业,回收人员没有半点迟疑。这样的事例多不胜数。令人欣喜的是,“海人”的优秀品质一代一代传承至今;更令人欣喜的是,新一代“海人”正在崛起,他们中的骨干正在挑大梁、担大责,用激情和青春甚至生命续写历史。

30年后,老一辈的“海人”将从“而立”迈入“花甲”之年,将与共和国百年同庆华诞,这将是一段非凡的历史时期。为那时“海人”画像有点难,但是党和国家确定的“两个一百年”的目标是明确的,正如十九大报告指出,要瞄准世界科技前沿,强化基础研究,实现前瞻性基础研究、引领原创性成果重大突破。作为国家战略科技力量的一员,“海人”应面向世界,志向更高远,敢为世界先。为国家海洋科技的发展提供创新思想和原创技术,这是当代“海人”义不容辞的责任。

(封锡盛系中国工程院院士,李一平系中国科学院沈阳自动化研究所研究员)

进展

等离子体所

流动液态锂壁实验研究取得新进展

本报讯 近日,中国科学院等离子体物理研究所(以下简称等离子体所)在流动液态锂壁的实验研究方面取得新进展,相关研究成果发表于核聚变领域期刊《核聚变》上。

流动的液态锂壁能承受更高的表面热负荷,具有自我修复能力,越来越被聚变界重视。近年来,等离子体所课题组研究人员在2014年首轮流动液态锂实验(一代液态锂限制器)的基础上,进一步在锂壁对氢的控制与机制研究及提高液态锂在316L不锈钢基底材料上的浸润性及界面相互作用研究方面取得突破。

在此基础上,研究人员通过优化流动液态锂限制器的结构,包括采用内置式双电磁泵、均匀分布的分配盒结构、引导盘表面毛细结构等方式,促进锂表面均匀流动,并采用热等静压工艺,实现了表面不锈钢与铜热沉的良好贴合,提高表面的抗腐蚀性。

实验结果表明,液态锂在316L不锈钢表面铺展面积>80%,基底表面无明显损伤,且实现了高压氦气对液态锂的冷却,在欧姆放电中,冷却效率约55%,也证明了液态锂可以循环利用。

同时,实验也发现随着锂流量的增加,再循环及铁杂质水平逐渐降低,等离子体行为提升,在加热功率达到4.5MW的条件下,未观察到锂的大量爆发的现象,并进一步证实了流动液态锂对边界局域模(ELM)的缓解效果。随着液态锂放电的持续,ELM逐渐缓解或抑制,同时伴随等离子体约束的改善,这与液态锂表面锂的流出与再沉积后对氢再循环的控制密切相关。该研究拓展了流动液态锂作为未来聚变装置高热负荷区第一壁部件应用的可行性。(沈春蕾)

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1088/1741-4326/aaedcb>

云南天文台

发现拥有共双星物质盘和类木巨行星的特殊致密双星系统

本报讯 近日,国际天文学术期刊《天体物理杂志》在线发表了中国科学院云南天文台双星与变星研究团组韩忠涛等人在致密星双星领域取得的一项研究成果。该项工作对一颗掩食的分离白矮星双星猎犬座DE进行长期监测和分析,给出了其周围存在一个共双星物质盘以及一颗绕其转动的类木巨行星的证据。这一发现表明共双星盘和巨行星之间存在着密切关联,揭示了它们可能皆来源于未完全抛射的公共包层物质。

猎犬座DE是由一颗白矮星和一颗晚型主序星组成的密近双星系统,其轨道面与视线平行(轨道倾角接近90度),使得两颗子星互相遮掩而发生掩食。由于两颗子星的半径和光度差别较大,因此白矮星掩食的中间时刻可以精确测量,这为探测系统的长期演化以及搜寻绕其转动的系外行星等提供了非常好的机会。研究认为,这类白矮星—主序星双星经历过一个公共包层演化阶段,因此发现和研究绕其转动的系外行星是十分重要和有趣的:它们是如何形成的?形成于什么时期?与寄主星之间的相互作用如何?对这些科学问题的解答将深化人们对行星形成和公共包层演化的新认识。

自2009年3月起,韩忠涛等人利用一批国内外中小口径望远镜对猎犬座DE进行持续监测,并结合美国变星观测者协会发布的数据,发现其轨道正在快速衰减,同时还发现其轨道周期呈现出变幅为28秒的周期性振荡。快速衰减的轨道揭示了存在一个共双星物质盘正在从系统中抽取角动量,盘质量约为太阳的万分之几到千分之几的量级。小振幅的周期性振荡则揭示了在距离猎犬座DE约为6个天文单位处存在一颗类木巨行星。详细的计算表明巨行星的质量为0.01倍太阳质量,正沿着一个近圆轨道运动。这些发现表明猎犬座DE是一颗同时拥有共双星物质盘和类木巨行星的特殊致密双星系统。另外,基于这些发现,韩忠涛等人提出该巨行星可能属于第二代的行星天体,与共双星的来源相同,都是形成于公共包层演化时期物质抛射。(王晨绯)

相关论文信息:

<https://doi.org/10.3847/1538-4357/aae64d>

古脊椎所

研究发现中国麋鹿化石新种

本报讯 近日,中国科学院生物演化与环境卓越创新中心、古脊椎动物与古人类研究所研究員董为课题组对产自山西天镇的鹿角标本进行了详细研究,发现了麋鹿的两个种,其中一个为双叉麋鹿,另外一个由于形态的不同,建立了麋鹿种之下的一个亚种——远达氏鹿,并系统讨论了所有麋鹿化石种的分类位置,相关研究结果发表于《国际第四纪》。

麋鹿又名“四不像”,是麋鹿属下的唯一现生物种。其鹿角形态特殊,角冠在角环上分叉为前后两枝,其中主枝向上直线生长,然后再分为两枝,另一枝向后生长,然后分叉一次或不分叉,通常在鹿角远端会出现瘤状突起的角饰。麋鹿最早由法国博物学家兼传教士David于1865年在北京南海子皇家猎苑进行动植物考察时发现,他将这种鹿制作成了标本运回法国,被法国的动物学家Milne-Edwards命名为一个新物种,在其后的几十年里,英、法、德等几个国家的商人从南海子购买了几十头麋鹿在欧洲进行圈养。由于人类对土地资源的滥用以及战乱期间对麋鹿的过度捕杀,这个物种于19世纪末在中国大陆上灭绝。后来经世界自然基金会和中英两国政府的共同努力,22头麋鹿从英国运抵北京,才得以使这个物种又一次在中国大陆上渐渐恢复。

据悉,最早的麋鹿化石发现于河北泥河湾盆地下沙沟地点,德日进一步将其命名为双叉麋鹿,在其后的几十年里,越来越多的麋鹿化石发现于中国的北方、东北方、东方以及台湾地区和日本等地。最近这项发现不仅丰富了麋鹿属的物种多样性,对中国麋鹿化石材料进行了补充,同时也对研究麋鹿属在中国的演化提供了重要证据。(王晨绯)

相关论文信息:

<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2018.05.015>