

国际交流

中法合作建造北京重水堆冷中子源装置

章 综*

(学部委员, 数理学部主任)

1988 年 10 月 7 日, 中法合作建造的北京重水反应堆冷中子源装置在中国原子能科学研究院落成。从反应堆水平孔道出来的中子束中, 波长大于 4 \AA 的冷中子积分强度提高了一个量级, 标志着该装置已达到了国际水平。这是中法合作研制中子散射谱仪后又一成功的例证。

一、建造冷中子源的必要性和重要性

利用反应堆产生的热中子, 开展中子散射的研究已有 30 多年历史, 这是一门新兴的科学技术。它和 X 射线、电子束一样, 已经被广泛地应用到材料科学、物理、化学、生物、地质、矿物、冶金、化工等基础和应用科学。它和 X 射线、电子显微技术等相互补充, 在现代科学、技术的发展中起着不可缺少的重要作用。但热中子的波长范围约为 $0.3-2$ 至 3 \AA , 在某些研究领域里的应用仍受到一定限制。因此, 近 20 多年来, 在一些用于科学研究的反应堆上, 安装了冷中子源装置。冷中子源的原理很简单, 以现在北京重水反应堆的冷中子源装置为例, 把能连续保持有半升的液态氢的铝制慢化小室, 置入反应堆内, 当中子通过这个慢化小室后, 就得到了长波中子(又称冷中子)通量有很大提高的冷中子源。冷中子源可提供 $4 \text{ \AA}-20 \text{ \AA}$ 长波长的中子束, 因而使它在现代科学技术中起着独特的重要作用。

1. 利用冷中子源提供的冷中子, 中子小角散射谱仪可以开展 $100 \text{ \AA}-10000 \text{ \AA}$ 尺度范围内的原子链的运动学和动力学问题研究。这对生物大分子(如生物膜)和聚合物的研究是一个强有力的工具。

2. 冷中子小角散射谱仪在材料科学中有广泛的应用, 它特别有利于研究固体中的无序或部分有序现象, 如研究非晶、金属合金渗出相和杂质分布等。目前, 合金的微结构的研究已经成为重要的应用研究课题之一。

3. 用冷中子小角谱仪可以对液体、流体的静力学和动力学问题进行研究。在这方面既有基础研究的课题, 也有广泛用于石油工业的应用研究课题。

4. 用于中子照像, 可观测某些轻元素的分布和形态等, 如研究炮弹中炸药的装填情况。

由此可见, 冷中子源在基础和应用研究中有着极为广泛和重要的应用。但到现在为止, 国际上也只有为数不多的几个国家(法、美、英、联邦德国、丹麦等)拥有冷中子源装置。大约有不到 10 个冷中子源在运行, 另有少数在建造中。冷中子源在国际上之所以为数不多主要是由于建造冷中子源需要严密的安全措施和先进的技术。因此, 人们也把反应堆上设置了冷中子源看成是反应堆技术和低温技术先进和成熟的标志之一。从这个意义上, 我们今天可以自豪地

* 中国科学院与法国原子能总署合作项目中方负责人

说,我们在反应堆中子源的应用方面又向现代化方向迈进了一大步。

二、历史回顾

中国科学院和法国原子能总署在核科学方面的合作研究,是由原中国科学院副院长钱三强教授和法国原子能总署基础研究部主任捷·霍洛维茨教授共同倡导的。1979年1月双方在北京签订了科学合作协议。根据这个协议以及中、法两国科学家已经建立起来的良好合作愿望,1980年3月双方又在巴黎签订了一个在中子散射方面进行合作的备忘录,主要内容是:中国科学院提供经费,由法方帮助设计、订货、组装、调试,共同建造一台三轴中子散射谱仪。在合作计划执行过程中,法方表现了真诚的合作态度,他们不仅为中方培训了科技人员,而且还协助我们订货,达到了优质、价廉。与此同时,中法双方还共同商定,凡是我国能够加工或研制的部件均由我方承担。为此,我们以中国科学院物理研究所和原子能研究所为主,开展国内协作,承担并完成了10来项加工和研制任务。通过内外合作,对计划执行情况双方都十分满意。最后中国科学院以优惠的价格得到了完整的散射谱仪和四圆中子衍射仪各一套,以及中子小角散射谱仪的全部重要关键部件(包括35米中子导管、二维探测器及相关电子设备一套)。1983年两台中子散射谱仪正式投入运行,并获得中国科学院1985年科技进步二等奖。

为了提高北京重水反应堆冷中子的通量,鉴于前一阶段中法间的真诚和有效的合作,1982年初中国科学院决定从法国引进建造冷中子源的关键部件。冷中子源所需的氦制冷系统及其它部件则将通过国内协作,主要由科学院低温技术实验中心和中国原子能研究院承担。1982年11月原子能研究院和低温中心的科技人员在冷中子源方面完成了大量的调研和考察工作,并提出了初步设计方案。在此基础上,1982年11月钱三强副院长和J.霍洛维茨主任在北京签署了会谈纪要,正式确定中法两方在我国重水反应堆建造冷中子源方面继续合作。

三、中法真诚友好的合作

根据1982年11月中法双方在北京签署的会谈纪要,核工业部原子能研究院、中国科学院低温技术实验中心和物理研究所的有关人员在调研、考察和提出初步方案的基础上,就此工程任务的分工、进度、经费以及组织领导等问题进行了认真讨论。大家一致认为在北京重水反应堆安装冷中子源对于扩大研究范围,促进科学技术发展,改善反应堆的水平孔道利用率有重要意义。三个单位同意大力协同、密切配合、精心设计、精心施工,认真完成设计、加工、安装调试工作。为此,在1982年12月签订了“关于在北京重水反应堆安装冷中子源的协议书”。

在以后的几年里,经过中法科技人员之间真诚友好的合作,克服了许多困难,终于高质量地完成了建造任务。

1. 低温中心的科技人员早在1985年就按预定计划完成了新型氦制冷机、液氢循环系统及其遥测遥控系统的研制,进行了包括慢化小室(模拟件)在内的整体系统调试,并在1985年底通过科学院院级鉴定,1987年获中科院科技进步二等奖。参加鉴定的专家们认为:低温中心研制的冷中子源制冷系统是由若干先进技术组成的,包括氦制冷系统中的新型膨胀机和喷油冷却压机,热虹吸自循环的氢系统,主要参数的自动控制和各参数的远传系统,完备的自动保

护系统等,系统设计合理,运行安全可靠,并建议以上技术在低温致冷领域推广应用。该系统的安全技术设施经原子能研究院与法方专家审定完全符合反应堆安全要求,操作人员可通过遥测遥控远离反应堆监视系统运行工况和进行调节。该系统所用设备和仪器都是自行研制和国产的。这套系统从 1986 年初在反应堆前建立以来,已经过几十次运行和长时间连续运行的考验。这标志着我国低温技术设备水平的显著提高,今后可以满足国内对长时间可靠运行的低温致冷机的要求。

2. 由于液氢慢化小室需要放在反应堆水平孔道的内端,对原子能研究院所承担的任务,无论在技术或安全性方面要求都很高,因而难度也很大。该院科技人员几年来从与科学院低温中心共同提出可行性报告及总体方案开始,直到最终完成全部任务,做了大量难度较大的设计和加工任务。他们不仅在工作中克服了许多技术上的困难,而且还做出了一些细致的,有特色的和有创新的设计和工作。如为了提供设计参数所需的发热量,专门设计核发热测量装置及测温装置,于大剂量场下进行测量,取得了技术数据;在中子束内成套设备设计中,结合重水堆的特点设计了水冷却套及冷却系统,使液氢慢化小室能在 180°C 的环境温度中正常工作;在安全防护方面设计了防反作用力的保护环,即使在真空套中发生爆炸,也不会危及重水堆等等。在设备制造方面,为了保证加工质量,对材料和焊缝均进行了 100% 的 X-射线探伤。总之,由于中子束内成套装置设计合理,加工质量好,使冷中子增强一个量级。

3. 需要特别指出的是,我们所以能在北京重水反应堆顺利地建成冷中子源,是和法国原子能总署在技术上给予我们的帮助分不开的。自 1982 年以来法方很好地完成了中法合作协议中全部由法方承担的任务。法国原子能总署无保留地为我们提供了近 30 年间在建造冷中子源方面积累的经验和专长。1983 年 B. 法诺与 J. 维迪博士来华与中方技术人员详细讨论了基本设计方案后,中方寄送给法方整体设计方案,由法国原子能总署基础研究部为我们进行了详细的技术性审查。中方主要技术人员先后赴法参观学习冷中子源设备技术。近几年来, J. 维迪博士在工作的不同阶段曾多次来华,与我们继续讨论关键技术问题,在冷中子源装置安装入堆以前对致冷系统及堆内装置进行了必要的检验。在装置安装入堆后的首次热运行时,他又不辞辛苦,参加了必要的试验。他热情和认真负责的工作态度给我们留下了深刻的印象。此外,法方根据中方要求为我们提供的某些关键性部件,如液氢慢化小室(容器)和致冷系统所需的某些元件等,都起到了应有的作用, B. 法诺博士还承担了大量的联系工作和组织工作。

总之,北京冷中子源的建成是前一阶段中法合作研制两台中子散射谱仪后又一个成功的例子。这使我们深深感到,对于国内需要、国外又无商品的大型仪器设备的引进,可考虑采取像中法科学家之间那样真诚的合作,有选择地购买关键部件,尽可能多地通过国内协作,加工或研制其余部件的方式进行。我想,这是一条在引进先进技术方面立足于国内,把自力更生的精神与国际合作密切结合起来的、行之有效的途径。

在建成冷中子源装置后,中法合作将继续保持和发展,今后要抓紧与冷中子源配套的中子导管、小角散射谱仪的安装和调试,争取在 1989 年上半年投入运行。我们希望这个装置连同北京重水反应堆大厅里已有的几台中子散射谱仪能更好地向全国开放,为我国科技的发展做出应有的贡献。