

## \* 大科学工程\*

让“神灯”之光更强、更亮、更稳定  
——国家同步辐射实验室及其二期工程

刘祖平\* 张新夷

(中国科学技术大学国家同步辐射实验室 合肥 230029)

**摘要** 同步辐射是在许多学科中有广泛用途的新型光源。中国科学技术大学国家同步辐射实验室拥有我国第一台专用同步辐射光源,自建成以来取得了一批有价值的成果。该实验室的二期工程的目的是全面推动以同步辐射为研究手段的科学技术的发展,迎接新世纪的机遇和挑战。作为“九五”首先启动的国家重大科学工程项目之一,该工程近期进展良好。

**关键词** 同步辐射,光源,国家实验室,二期工程

同步辐射是 20 世纪后 30 年越来越得到科学界重视的新型光源。它是带电高能粒子沿弯曲轨道行进时向前方(切线方向)发出的电磁辐射,或者说是一种特殊的光。其频谱一般包含 X 射线、真空紫外、紫外光、可见光,直到红外线。1947 年,在一台同步辐射加速器运行时,人第一次观察到用科技手段生成的这种光,将其命名为同步加速器辐射,简称同步辐射。

同步辐射具有频谱连续广阔、高强度、高亮度、方向性好、有偏振性、有时间结构、洁净、光谱特性可精确计算等优异特性。因此,同步辐射可广泛用于开展物理、化学、材料科学、生命科学、信息科学、力学、地学、医学、药学、农学、环境科学、计量科学、X 射线光刻和超微细加工等基础研究和应用研究。世界范围的同步辐射研究与专用装置建造“热”始于 70 年代,目前全世界约有 60 台同步辐射光源在运行、建设或设计之中。同步辐射已在上述众多学科中取得大批高水平的成果,因而被喻为“神灯”。

同步辐射应用还有如下特点:其一,学科覆盖面广,用户量大。其二,同步辐射实验室是唯一的有众多分属不同学科的科学家的共同工作、频繁交流的场所。它山之石,可以攻玉,研究手段的每一进展或创新都将有益于其它领域的工作,甚至开拓新的研究领域。同步辐射因此而极大地促进交叉学科和新兴学科的成长,有利于培养造就新一代科技人才。其三,同步辐射研究的主要对象是基础科学,也包括应用研究和对高技术的探索,有时成为“纯科学”研究和应用之间的桥梁。

人们普遍预料,若干学科领域如生命科学、材料科学、信息科学和与超微细加工相联系的

\* 中国科学技术大学国家同步辐射实验室副主任,二期工程经理,研究员  
收稿日期:1999 年 12 月 23 日

微电子机械系统等将于 21 世纪初发生影响深远的重大突破。同步辐射作为先进的研究手段在这些领域都将发挥极其重要的作用。

## 1 实验室的建立和近期的成就

为发展我国自己的同步辐射事业,国家计委于 1983 年批准由中国科学技术大学在合肥市承建国家同步辐射实验室(简称 NSRL)并为之命名。1991 年 12 月,NSRL 通过国家鉴定和国家验收。该工程获得 1992 年中国科学院科技进步奖特等奖和 1995 年国家科技进步奖一等奖。NSRL 拥有我国第一台专用同步辐射光源,是代表国家水平的我国三大国家实验室之一,并于 1994 年被接纳成为第三世界科学院高级研究中心。

NSRL 的主要设备包括:800 MeV(兆电子伏特)电子储存环(光源主体),200 MeV 电子直线加速器(注入器),初期建有光电子能谱、X 射线光刻、VUV 光谱(真空紫外)、光化学和软 X 射线显微术等 5 个同步辐射实验站及相应的光束线。其主要辐射波段在软 X 射线和真空紫外区域。

“八五”期间,中国科学院专项投资建造了一台 6 万高斯超导扭摆磁铁和 XAFS(X 射线吸收精细结构)实验站,使在 NSRL 亦可开展部分硬 X 射线工作。该磁铁综合性能在国际同能区装置中居领先地位。新建的光束线和 XAFS 实验站均达到设计指标,提供用户使用。同期进行的其它改进完善、新实验技术研究等工作也达到了原定目标。

到 1999 年 6 月,NSRL 累计向用户提供光约 2.4 万小时,完成 129 项科研课题,在前述各实验站皆取得了一批有价值的成果,在高水平科技人才的培养和引进、国际交流合作等方面也成绩斐然。NSRL 的主要科研成果有:

(1) 光电子能谱:材料表面与界面的电子结构研究,半导体表面硫钝化的新方法,半导体表面金属锰超薄膜的磁性,硫钝化对金属界面电子结构和磁性质的影响,光电子衍射理论计算模型与相应计算程序软件等。

(2) X 射线光刻与微机械结构:在国内首次用 LIGA(超微细加工)技术和组装技术制作出金属材料微结构活动部件,金属自润滑和牺牲层等的创新技术,研制了气流驱动微马达等近十种光刻掩模,刻制出线宽小于 0.2 微米的图形、宽度小于 50 纳米的量子线。

(3) VUV 光谱:测定多种光电功能材料、纳米材料的光谱和光学参数,研究快闪烁体等材料的发光机理,首次观察到稀土金属铈离子的高能激发带,用时间分辨光谱法测定荧光寿命。

(4) 光化学:测定多种分子及团簇的电离势、里德堡态和化学键离解能,团簇和金属络合物特性的研究,研究溴乙烷的电离与光离解过程,并探讨其解离机理、对大气层环境的影响,在多种探测装置和二重符合等实验技术方面有所创新。

(5) X 射线显微术:在国内首次获得 X 射线全息图样(全息重构像的横向分辨率好于 0.3 微米,达到国际先进水平),获得一批生物样品如癌变细胞的高分辨率显微图像,在介观力学研究中得到硅梁内部微米量级微裂纹的图像,开展了波带片成像和 X 射线扫描显微术的研究。

(6) XAFS:首批研究的样品包括超细非晶态合金结构,巨磁阻材料,固液相变过程中的熔体微滴,高能锂电池材料,氮化镓发光材料,汽车尾气净化催化剂等。

此外,NSRL 还在自由电子激光、加速器技术、同步辐射光学元件制作、单分子成像、软 X

射线诱发植物种子变异等方面取得若干可喜的研究成果。例如已用近期研制的 1 200 线/毫米的全息-离子束刻蚀球面闪耀光栅替代进口光栅。

这些成果为我国同步辐射研究在国际上取得一席之地做出了贡献。

## 2 实验室二期工程的启动

为全面推动以同步辐射为研究手段的科学技术的发展,迎接新世纪的机遇和挑战,NSRL 于 1994 年提出了实施国家同步辐射实验室二期工程(以下简称二期工程)的建议。1996 年,国家科技领导小组批准二期工程作为“九五”的首批国家重大科学工程项目之一启动。中国科学院组织中国科技大学和国内许多科研单位、高等院校的专家,对二期工程规划做了多项补充、修改和完善。1997 年以来,二期工程的项目建议书、可行性研究、初步设计和开工建设等报告先后由国家计委批复,工程立项的全部审批手续已全部完成,各项工作陆续展开。

二期工程的技术目标是:在充分保证机器主体长期、可靠、稳定运行,大幅度提高光源积分流强、亮度和稳定性的基础上,新建 1 台波荡器插入元件,增建 8 条新光束线和相应 8 个实验站。工程竣工后,合肥同步辐射光源的潜力得到更充分的发挥,将作为性能优秀、稳定可靠、部分指标相当先进的中低能区同步辐射光源,长期处于国际上同类装置的一流水平。

为达到这一目标,二期工程必须完成下列主要任务:

(1) 改进光源,其重点是保证加速器运行的可靠性。总体运行性能要求年运行时间达到 6 000 小时,年供光时间不低于 4 000 小时;年积分流强比目前水平提高一倍,达到 600 安培小时。具体指标包括:保证多数用户更为关注的通用光源模式的高效率运行,提高其运行流强,并获得足够长的束流寿命;实现发射度为 27 纳米弧度的高亮度运行模式;大幅度降低机器故障率,减少机器调整时间;控制束流轨道和光源点位置的稳定度。为实现上述指标,必须对加速器的储存环高频系统、储存环注入系统、稳流电源系统、控制系统、束流测量系统、储存环真空系统和直线加速器系统等实施一系列改造。

(2) 建造 1 台波荡器。投入使用后能提供可调谐的准单色、部分相干辐射,其最高亮度相对于普通的弯铁辐射提高约 3 个数量级。

(3) 增建 8 个同步辐射实验站和相应光束线。按各实验站的功能即主要研究领域,分别命名为:表面物理, X 射线衍射与散射, LIGA, 原子分子物理, 光声和光热光谱, 红外与远红外光谱, 软 X 射线磁性圆二色, 光谱辐射标准和计量。新实验站建设针对的重点是材料科学、信息科学、生命科学和凝聚态物理、化学、原子分子科学及超微细加工等学科和高技术领域的高水平的研究工作。

总之,二期工程的任务之一是使合肥同步辐射光源更强、更亮、更稳定。“更强”指提高积分流强,增加实验站得到的光通量;“更亮”指减小光束的截面积和张角,使光能更集中,或者说提高光源的亮度;“更稳定”既指提高光源点位置的稳定度,也指改善加速器长期运行的稳定性和可靠性。工程的任务之二是将实验站总数由 6 个增加到 14 个,使光源得到更充分的利用。由于年积分流强和实验站总数的增加,NSRL 进行同步辐射实验研究的能力将比工程前提高 5—6 倍,每年将能完成 100 多项科研课题。

二期工程在中国科学院组织领导下,由中国科学技术大学负责组织兴建。项目工程指挥部



由 NSRL 人员组成,承担工程的具体实施。项目总投资为 1.18 亿元人民币,预期建设周期为三年半。

### 3 二期工程的近期进展

到 1999 年底,工程总投资已全部到位。截至 1999 年 9 月底,已完成投资额 2 864 万元,签定并正在执行中的合同总金额 4 555 万元,两项合计人民币 7 419 万元,占工程固定资产(包括土建、设备等)投资额的 77%。

依靠全体工程参加者的团结奋斗和各方面的协作,二期工程的总体进展良好。2000 年初,将按期打开储存环真空,安装与之相连的大部分设备和所有光束线的前端。按预定计划,主要设备安装将于 2001 年上半年完成。

(1) 加速器改造部分:一批高水平的测试设备已投入使用。各子系统主要元件及样机的研制与测试多已顺利完成。2000 年初开环时要安装到位的设备及相关部件已经或在年内可运抵实验室,离线调试和检验等工作正在展开。首先要完成的系统改造包括:储存环真空系统和注入系统的全部;电源系统的环主电源;控制系统的相关控制软件;高频系统的新高频机;束测系统的部分组件;波荡器单磁块测量系统等。

(2) 光束线部分:非标加工任务繁重是光束线制造的特点之一。两条光束线的设计制造由中国科学院长春光学精密机械与物理研究所承担,其余由 NSRL 自行设计的 6 条光束线中难度较大的 5 条已基本完成设计,3 条投入加工。其中 LIGA 光束线已加工完毕。光栅和反射镜等重要光学元件均已订货。所有光束线前端的部件已经到位,正在进行安装前的测试。

(3) 实验站部分:表面物理实验站、红外与远红外光谱站和 X 射线衍射和散射站的主要设备从国外引进,其中前二者正待安装调试;后者正在订货。其它实验站主要在国内加工制造。LIGA 站的主要设备已经或即将到位。原子分子物理站的总体设计已确定并交付加工。光谱辐射标准和计量站由长春光学精密机械与物理所和中国计量科学研究院分头负责研制,一部分已投入加工。实验站真空连锁保护系统研制和试验取得成功,即将批量生产。

(4) 公用设施部分:公用设施改造的许多部分已陆续完成,投入使用,达到预期的效果,开始发挥效益。如:基建项目已基本完成,其中实验线站调试间投入使用,为光束线前端等离线调试及时提供了场地;酸碱处理间已竣工。热工水冷系统的冷却塔的更新改造已经完成;部分系统的仪表更新和改造先行一步,效果良好。辐射场监测系统的改造过程中,已用两套实验装置在储存环上进行了初步调试和实测,其试运行不仅加强了辐射安全的实时监测,也为束流损失机理研究提供了辅助手段。

2000 年开始的一系列安装调试工作是关系二期工程命运的决战。我们相信,在中国科学院和中国科技大学的领导下,在全国科技界同行的大力支援下,NSRL 二期工程的建设将会圆满完成国家任务。