

# 我国九十年代加速器的发展展望

刘乃泉

在过去的10年里,我国粒子加速器的研究、设计、制造和应用有了巨大的发展和长足的进步。在80年代由于我国三大加速器工程的建成,打破了建国30多年来总在低能加速器上徘徊的局面,从而使我国成为拥有高、中能加速器的国家,标志着我国的科学技术和加工工业已达到或接近国际水平同时,我国的低能加速器在工业、农业、医学和科学技术上的应用日趋广泛,某些低能加速器的制造如医用加速器开始走向系列化、商品化。这表明我国低能加速器的制造技术已日趋成熟。总之,在我国目前除了高能质子加速器外,可以说加速器品种基本齐全,能区连续,有较好的工业基础并有一支高水平的技术队伍。展望未来,我们相信90年代将会有更大的作为。

## 一、我国三大加速器工程

北京正负电子对撞机(BEPC)、兰州重离子加速器(HIRFL)和合肥国家同步辐射光源(HESYRL)为我国80年代建成的三个大型加速器。由于这三大加速器都是先后在80年代末才安装调试成功的,所以90年代都面临着进一步改进和提高机器性能、稳定运行并做出物理成果的任务。

### 1. 北京正负电子对撞机

北京正负电子对撞机自1988年10月实现对撞以来,工作在 $J/\psi$ 能区,束流能量为 $2 \times 1.55$  GeV,亮度为 $2 \times 10^{30} \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,能散为0.64 MeV,该能区亮度指标是美国SPEAR II的4~5倍,成为目前世界上粲粒子物理能区性能最佳的机器。当BEPC工作在专用同步辐射模式时,束流强度为100 mA,发射度为 $7.6 \times 10^{-8} \text{m} \cdot \text{rad}$ ,接近目前世界上第二代同步辐射光源的水平。

根据BEPC的设计目标,要求工作在 $2 \times (1.6, 2.2, 2.8)$  GeV,亮度分别为 $(0.2, 0.7, 1.7) \times 10^{30} \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,1994年以后,再将亮度提高到 $5 \times 10^{31} \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

BEPC是一台高能物理与同步辐射应用的两用机,除了高能物理的研究任务外,还有同步辐射的应用。预计高能物理实验的任务将会在5~10年内完成,同步辐射的应用将会逐步扩大,并逐步向专用同步辐射光源过渡。

### 2. 兰州重离子加速器

兰州重离子加速器1988年建成,目前已能正常运行,可供束做实验了。从基本设计参数看,HIRFL已达到同类重离子加速器的国际水平,然而从目前的运行状态看,离开国际水平尚有一段距离。90年代,有下列几个问题需要解决。

(1) 根据物理工作的需要,扩展加速离子的种类;改善束流品质和时间特性;积累运行经验,使HIRFL的运行达到国际水平。

(2) ECR离子源建设。为了发挥主加速器具有加速全

粒子的潜力,决定增设80年代后期发展成熟的ECR(电子回旋共振)离子源,把加速的离子扩展到Ta附近。并且ECR源的投入使用还会大大提高束流稳定性和供束效率。这对HIRFL的运行达到国际水平具有极重要的作用。

(3) 后加速系统设想。从物理上考虑,再建第2注入器去增加离子种类,不如续建后加速系统进一步提高离子能量和改善束流品质更有意义。这个后加速系统可以是超导回旋加速器,也可以是具有冷却和加速功能的储存环。这项工作还将进一步研究。

### 3. 合肥国家同步辐射光源

该光源在80年代末(1989)出光后,经过一年的初步调试,目前储存束流已超过100 mA(在能量200 MeV时)。现在继续进行机器的调试工作。90年代首先要使机器能稳定运行,提供一个强度足够大,寿命足够长的稳定束流给同步辐射用户们使用,以期做出出色的同步辐射实验研究成果。此外,为提高注入能量,改进光源性能,90年代还计划执行合肥国家同步辐射实验室的第2期工程,包括:

(1) 提高注入能量,并增建正电子源

(2) 三个插入元件 Undulator、常规 Wiggler 和超导 Wiggler,将在“八五”期间进行研制并投入使用。

(3) 在90年代再增建8条光束线、9个实验站。

合肥国家同步辐射实验室在90年代还将进行第3代同步辐射光源(即以插入元件为主,低束流发射度的储存环)的建设。计划在90年代前半期(“八五”期间)进行设计和预制研究,力争在90年代后半期(“九五”期间)开始建造一台能量为6~8 GeV的第3代专用同步辐射光源(国外这种光源也只是在90年代中期才建成)。

## 二、我国用于实验核物理方面的加速器的发展之设想

80年代,北京大学自行设计和建造的4.5 MV静电加速器,上海核子所自己设计和建造的 $2 \times 6$  MV串列静电加速器都将在90年代继续进行调试工作。上海复旦大学、北京大学、北京师范大学和原子能研究院分别从美国进口的9SDH-2型、5SDH-2型、4117型和HI-13型串列加速器在80年代都已经稳定运行,并已初步取得若干成果。90年代将是改善机器的性能,使某些零部件国产化。上海核子研究所的6.8 MeV回旋加速器改造成30 MeV的扇形聚焦回旋加速器的工作在80年代中已经完成,并已为核物理研究和同位素生产做了大量工作,今后重要设备的更新已成为十分迫切的任务。上述加速器加上北京大学 $2 \times 6.5$  MV的串列加速器,四川大学的1.2米回旋加速器,机械工业自动化研究所的CS-30型等时性回旋加速器,高能所的35 MeV质子直线加速器,都是分别用于原子核物理,同位素生产,表面物理,离子注入和加速器质谱仪等研究领域的。90年代都将进入出成果的阶段。

## 三、我国用于自由电子激光器方面的加速器的发展计划

自由电子激光器(FEL)是电子加速器发展或应用的一个重要方面,也是提高同步辐射光源性能的一个途径。国内在这方面80年代起步,已经得到一些阶段性成果。90年代,当国内已经有了若干台能量超过30 MeV的电子直线加速器和两个电子储存环后,自由电子激光的研究将会以更坚定的

兹将 90 年代用于自由电子激光研究的加速器的部分发展计划列于下表。

单位	加速器类型	能量	流强	微脉冲宽度	工作频率	激光波长
工程物理研究院	电子直线加速器	100MeV	100~300A	10~30ps	1300MHz	1 $\mu$ m
原子能研究院	电子直线加速器	100MeV	~100A	<20ps	1300MHz	1 $\mu$ m
上海原子核所	电子直线加速器	90MeV	10A	5ps		0.6~3 $\mu$ m
高能所,中国科大	电子直线加速器	30MeV	10A	5ps	2856MHz	10 $\mu$ m

步伐向前迈进。

#### 四、低能医用加速器

我国医用加速器自 70 年代开始生产, 80 年代有了长足的进步, 而 90 年代某些产品将系列化和商品化。

在 90 年代, 北京医疗器械研究所将研制实用的系列化驻波加速管: 4MV、6MV 全密封驻波加速管, 12MV 可拆密封驻波加速管。因此, 也将会推出相应的系列化的医用加速器产品。此外带微波电子枪的驻波加速管和超高梯度加速管等新型加速管的研究也被列入计划。

在 90 年代, 清华大学将同有关单位合作研制并推出新一代的轴耦合驻波电子直线加速器, 能量为 6, 14, 20MeV。

在 90 年代, 南京大学将研制一种由微电脑管理, 功能新颖的 20MeV 的双光子或三光子医用直线加速器, 并投入商品化生产。基础研究方面, 重点放在提高加速系统(包括行波、驻波加速结构)的加速梯度和能量转换效率, 同时对提高 BBU 阈值进行研究, 以期加速梯度达到 67MV/m。这样仅 30cm 的加速结构就可得到 20MeV 的电子束。

#### 五、小型工业用加速器

工业用加速器主要是指辐照加速器和探伤加速器两种。

上海先锋电机厂是我国制造辐照加工用加速器的主要厂家。在 80 年代研制成功的高频高压型电子加速器(GT-2)和中频倍加型电子加速器(ZJ-0.5)的基础上, 90 年代将把能量和流强进一步提高, 并致力于改进现有产品的某些零部件, 提高产品质量, 实现产品的商品化。中国科学院科福公司也研制这种高频高压型电子加速器用于电缆辐照。此外, 先锋电机厂还将研制 70 年代后才发展起来的电子帘加速器。90 年代, 这种加速器在我国将会有较大的发展。

在工业探伤方面, 清华大学与北京原子能研究院合作计划研究 9MeV 驻波探伤用电子直线加速器, 以及工作波长为 3cm 的微型便携式可移动驻波探伤电子直线加速器。

#### 六、强流脉冲加速器

强流脉冲加速器(也叫高功率粒子束加速器)我国在 70 年代才开始研制。至今我国已有 20 余台这种加速器。90 年代的主要任务是提高性能和开展应用研究。

90 年代, 工程物理研究院计划建造两台直线感应加速器, 能量为 10MeV 和 18—20MeV, 流强分别为 3KA 和 2KA。分别于 1992 年和 1998—2000 年建成, 主要用于 X 光照相之用。

#### 七、加速器关键技术及关键部件的研究

加速器的关键部件如离子源、电子枪、加速管、高频腔等, 关键技术如真空技术、磁场技术、微波技术, 束流测量技术等对加速器的性能起着十分重要的作用。有时甚至一个部件或一种技术会成为一台加速器成败之关键。

90 年代, 许多单位都有针对自己单位的加速器(已有的或将要建造的)开展有关部件或有关技术的研究的计划。在此只能择其要者简述如下:

清华大学计划在 90 年代进行: (1) 混频加速腔的研究, (2) 高温超导微波腔的研究, (3) 液态金属离子源的研究, (4) 低发射度电子枪及高发射电流密度的阴极材料的研究, (5) 高能电子束发射度的测量研究等。

南京大学将把精力集中在医用直线加速器的加速系统(包括行波和驻波加速结构)的研究上。首先是优化加速器结构和加速系统的设计, 其次是利用谐振反馈, 提高加速管的加速梯度, 期望加速系统的能量转换效率达到 80% 以上。此外, 还将发展辐照用电子直线加速器的微机控制以及高效扫描技术。

北京大学已计划进行 L 波段低温超导腔的研究和高温超导腔的试验。

#### 八、其他

由于同步辐射在超大规模集成电路中的巨大的经济价值, 近些年来, 许多工业发达的国家如日本、西德、法国和英国等都在计划建造和正在建造紧凑型的小储存环以用于光刻。目前全世界至少有 10 台这种专用于超大规模集成电路光刻的小储存环正在建造, 其中日本就有 8 台。在我国, 清华大学在工业部门的支持配合下, 和兄弟单位一起, 也将在 90 年代为研制一台紧凑的小型储存环, 作为专用于超大规模集成电路光刻的同步辐射光源而努力。

RFQ 加速器在 80 年代初试制成功后得到迅速的发展。在我国, 80 年代初首先是高能所曾对四翼型 RFQ 的腔体及其动力学特性进行过研究。从 1984 年开始, 北京大学对四杆型 RFQ 加速腔又进行了系统的研究。在国家自然科学基金的支持下, 1987 年以后北京大学对这种四杆型 RFQ 加速腔又作了进一步的理论和实验研究, 并设计和加工了一个直径为 50cm, 长度为 90cm 的加速腔。这个腔将在今年加工、调试完毕, 并进行高功率与载束特性的研究。90 年代将在这个基础上进一步研究 MeV 量级的用作高能重离子注入的 RFQ 加速器。