

串列静电加速器的新进展

——第六届串列静电加速器会议述评——

郭箕第

I、提高加速器端电压的两种技术路线

从事低能加速器研制与使用人员众目睽睽的超大型串列静电加速器其运行效果如何在八三年英国恰斯特会议上又进行了一次检阅，当今已发展起来两种提高串列静电加速器能量的技术路线：以美国国家静电公司的产品为代表的大结构型（英国达累斯伯里的NSF装置亦在此列）为一种技术路线；另一种技术路线是法国斯特拉斯堡的M·勒特纳等人发端的，着眼于改造现有设备的技术路线。这两种技术路线皆付诸实施于七十年代中、后期，迄今已有十年左右，看来可以稍加小结予以比较。

一、大结构的技术路线

NEC公司生产的20UR、20UD、25URC以及英国达累斯伯里实验室的30兆伏的NSF装置皆属于大结构的技术路线。顾名思义，大结构路线意味着结构大，投资高，工期长。

以25URC为例，从1975年5月签订合同之日算起到1982年6月完成合同为止共用了七年时间，尚不计实验室建筑物所需的时间。此外，据估计耗资三千多万美元（20UR耗资二千多万元，加速器与物理实验传输管道几乎各占一半）。几台器的主要指标汇总于表一。

目前看来，如果不拘泥于其运行电压尚低于设计指标这一点的话，则这类加速器从设计到制造与运行等各方面都可以堪称当代串列静电加速器技术的顶峰。在加速器上采用了许多现代技术，诸如光纤信号传输与计算机控制、长寿命金属感应输电梯（或链）、绝缘驱动轴供电技术、多离子品种的离子源（25URC上已能提供17种元素的25种同位素束流）以及与其它加速器组合的适应性等等。因之，人们不无理由地希望解决端电压局限问题而使这些加速器趋于完臻。

二、法国勒特纳的技术路线

勒特纳等人于1979年采用独特的技术路线对斯特拉斯堡的MP-10加速器进行目的在

事件调度

考虑了一个系统，标明为原始数据元（事件）和缓冲器，它允许接收新数据类型以及根据不同的角度划分数据流，特别是从多个输入道获取数据并引导进行相应的分析。这样，一个实验的各部分的概况能够相继地或者通过多个同时运行的分析程序同时

被处理。

原始数据和/或处理后的数据能够由独立的程序存贮在海量存贮介质（如磁带）上。这个性质就保护分析程序出错时的数据方面，显著优于现今的系统。例如，当分析程序中断时，数据的记录还会继续运行。

（周云雁译自“GSI Nachrichten”1983, №12）

表一 大 结 构 型 加 速 器 数 据

装置名称	安装地点	设计指标 (兆伏)	芯柱电压 试验结果 (兆伏)	芯柱耐压 指标因 子 ^(a)	有加速管 无束时电 压(兆伏)	出束时最 高端电压 (兆伏)	稳定运行 电压值 (兆伏)	运行电压 指标因 子 ^(b)	工程起迄 日期	备 注
20UD	阿根廷 布宜诺斯 艾利斯	20	24.7± 8%	1.24					1977年12月 →	数据截止 1983年 4月
20UR	日 本 海	20	23.5	1.18	17.4→ 18.84稳 定18.8	17—18	<17	<0.85	1976年初至 1982年8月	
25URC	美国橡树 岭实验室	25	32	1.28	22	20	18	0.72	1975年5月 至1982年 6月	
NSF	英 国 达累斯 伯里	30	23 无加速 管无中 间屏蔽 >29 无加速 管有中 间屏蔽			20.1	16—19	<0.63	1973年至 1982年末	

(a)芯柱耐压指标因子系指芯柱电压试验结果值与设计指标之比。

(b)运行电压指标因子系指稳定运行电压值与设计指标之比。

于提高端电压的改进工作。其改进独特之处在于维持钢筒芯柱、输电带等主要部件不变的情况下将加速管管段加长达提高端电压的目的。表二给出相应实验室对其MP型加速器上加速管所延长的尺寸：

表二 加速管尺寸延伸情况

实验室	加速器 系列号	每管段的绝缘环数*				进展状况
		*1	*2,3,6,7	*4,5	*8	
布鲁克 海文	MP7	96	88	88	96	运 行
奥 赛	MP9	82	82	82	82	完 成 初 步 运 行
斯特拉 斯堡	MP10	88 96	88	88	88	
卡达尼亚	HI13	84	84	78	84	初 步 运 行

*由于玻璃绝缘环厚为1",故环数与长度相等。

法国斯特拉斯堡MP串列静电加速器改进的第一期工程已经于1981年完成,并运行在16兆伏端电压之下。可以认为这个改进结果是领先于所有MP型串列静电加速器的改进结果,超过了原来处于领先地位的布鲁克海文实验室。他们将原先72"的标准管段

一律改为88"的加长型。各管段上的工作电压分配情况列于表三。

表三 MP-10第一阶段改进结果

管段编号	1	2	3	4	5	6	7	8
工作电压 (兆伏)	3.37	4.27	4.21	4.15	3.93	3.98	4.08	4.02

嗣后,勒特纳等人开始了以运行端电压为18兆伏为最终目标的第二期改进计划。其根据是从第一阶段的改进中得出的,除第一个管段外,每个MP加速管管段可承受4.8兆伏电压,而MP加速器的芯柱可承受20兆伏以上。因此,他们把第一管段加长到96";并缩小高压端部的尺寸,加大均压环的直径使一些径向场强值高的地方降低下来;增加V型中间电极,加强了对芯柱的保护和储能的分离。采取这些措施后加速器运行在16兆伏以上(16兆伏上完成了十项实验,其中¹⁰O束达155兆电子伏,相当于端电压值为17.2兆伏),改进仍在继续之中,因为在18兆伏时仍打火较多。

表四

延伸管长技术的实际效果

实验室	加速器型号	芯柱电压 试验结果 (兆伏)	有加速管无 束时电压值 (兆伏)	出束时最高 端电压值 (兆伏)	稳定运行 电压值 (兆伏)	运行电压 指标因子	备注
布鲁克海文	MP-7			16.7	16	1.6 ^(a)	
斯特拉斯堡	MP-10	16—17		16	13—16	<1.6	第一阶段于1980年 11月完成
		>20 ^(b)		18	16—16.5	<1.65	第二阶段改进计划 目标为18兆伏
卡达尼亚	HI-13(SMP)		13.7		10 ^(c)	0.77	

(a) MP型加速器原先设计的指标为10兆伏 (b) 估算值 (c) 以质子束运行的初步结果

依笔者愚见，这种技术路线是比前者经济效益较为显著的。因此也为一些其它研究室所采用，其结果归纳于表四。

三、赶超英美的法国青春号加速器—Vivitron

勒特纳等人在利用现有MP型加速器的芯柱通过延长加速管等措施成功地达到了增能的目标以后，又提出兴建一台端电压为35兆伏的串列静电加速器，并取名为“青春号”。

这显然是向NEC公司以及达累斯伯里实验室的挑战。其加速器采取了卧式也与上述两家结构不同，他们计划用四年时间将它完成(1984—1987)。目前，主要的问题是机械设计方面的。其示意图见图一。由于其目标端电压值较高——35兆伏，所以也采取了大结构形式。其钢筒长50米，直径8.4米，都超过了英国NSF的尺寸(NSF的钢筒高43米，直径8米)其结果如何，我们拭目以待。

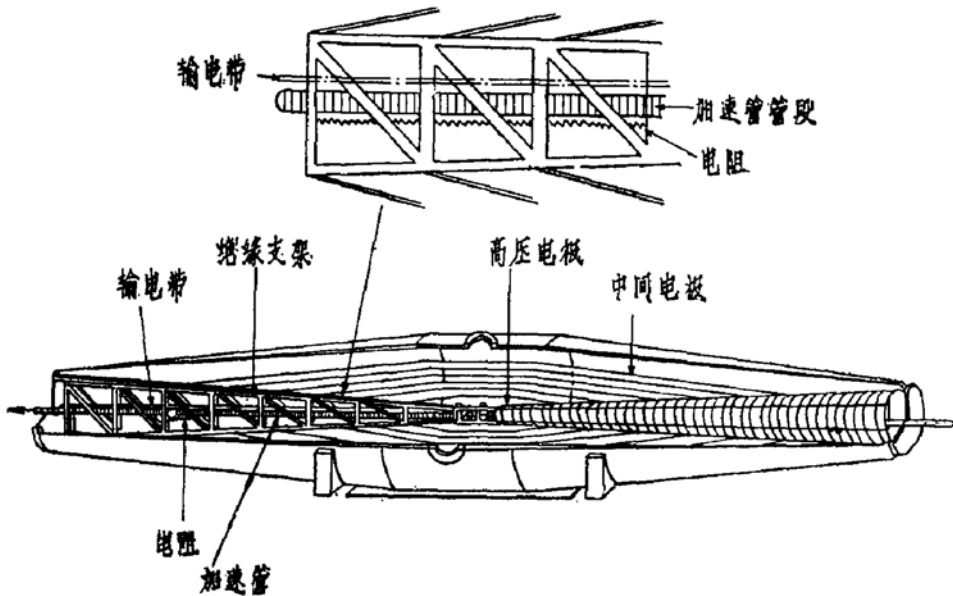


图1 35兆伏法国“青春号”串列静电加速器结构示意图

II、关于串列静电加速器端电压局限性的讨论

对于MP型加速器其端电压的局限主要

来自加速管的纵向电压梯度，其值为20kV/cm(相应于每米2兆伏)，所以勒特纳等人针对这点采取加长加速管的方法并取得了成功。

至于NEC公司生产的几台器以及英国的

NSF装置之所以在出束时端电压上不去(比较表二中的芯柱耐压指标因子与运行电压指标因子),看来加速管仍是其中薄弱环节。从现象上看,由于电压升高后打火使得加速管锻炼电压阈值降低(所谓打火诱发去锻炼效应),譬如NEC型加速管一个管组三个管段($3 \times 20.3\text{cm}$)应能耐压1兆伏。但有时其耐压竟可低到一组只耐0.7兆伏,橡树岭实验室对此作了两个设想:一是由于在五个死区都安装了永久磁铁作为电子陷阱,虽则陷阱中磁场强度可以调节,但是剩余磁场对束流起了导向作用,特别是在低能区管段;二是真空泄漏点较多使 SF_6 漏进加速管(分压强度可达 10^{-11} 托),从而造成对加速管有害的影响。他们排除了许多微漏孔,但仍无济于事,从而使他们转而怀疑束流被电子陷阱的剩余磁场所误导向,甚至怀疑加速管绝缘表面有金属化的问题。鉴于当时25URC与ORIC(橡树岭等时性回旋)组合成的加速器组处于领先地位,故他们暂时舍弃了对25URC端电压的追求,而充分利用束流进行核物理实验。提高端电压的结果有待今后分晓。

英国NSF的经验也证明加速管的锻炼电压要比运行电压高得多,这里面似乎同样意味着去锻炼效应,譬如要在18兆伏下运行(相当于每个管段组耐压1兆伏,每个管段组长为800毫米,由四个单元管段所组成),则每个管段组应锻炼至1.4兆伏,与之同时在低能入口端的管段去锻炼情况尤为严重,该管段组的锻炼阈值降至0.8兆伏。

为了防止打火英国达累斯伯里的D. A. Eastham建议减少芯柱的放电间隙的数目,同时维持间隙总长度等于或小于加速管的放电间隙的总长度;对加速管的电极片进行抛光;把插入式电极片改用高熔点金属——钨。并认为用 SF_6-N_2 混合气体比纯 SF_6 所产生的冲击强度低。

III、其它技术方面的进展

一、离子源

米德尔顿又发展了一种VII型溅射源,输出束流比过去UNIS型(通用型负离子源)溅射源至少高一个量级而且发射度小,表五给出其典型结果,70%束流具有 $2\pi \text{ mmmrad MeV}^{1/2}$ 以内的发射度。

表五 VII型溅射离子源典型数据

离子	溅射靶	$i^-(\mu\text{A})^*$
$^9\text{Be}^-$	BeO + Ag粉; 压制	0.1
$^9\text{BeO}^-$	BeO + Ag粉; 压制	8
$^{11}\text{B}^-$	硼 + Al粉; 压制, 烧结	35
$^{12}\text{C}^-$	石墨(高密度)	300
$^{16}\text{O}^-$	各种氧化物; 压制	250
$^{19}\text{F}^-$	各种氟化物; 压制	250
$^{27}\text{Al}^-$	Al金属 Al ₂ O ₃ + Ag粉; 压制	6 1
$^{28}\text{Si}^-$	单晶硅	250
P^-	磷化钨粉; 压制	25
^{32}S	各种硫化物; 压制	200
$^{56}\text{Fe}^-$	纯铁	4
$^{63}\text{Cu}^-$	纯铜	150
$^{58}\text{Ni}^-$	纯镍	150
Pt^{-**}	纯铂	150
^{197}Au	纯金	200

*典型值

**所有同位素

由于溅射型离子源的源强的突破使串列静电加速器可以用作回旋与直线的注入器。这点已在布鲁克海文实验室开始给以应有的注意。他们将VII型溅射源脉冲化使之先注入到一常温回旋,今后准备注入到30GeV质子同步回旋以及进而注入到对撞机中去。

二、短路装置

短路系统已普遍地为一些具有大型串列静电加速器的实验室所采用。迄今发展了棒式、弦线式以及折尺式等结构。其主要作用在于分别对一管段组进行单独电压锻炼。使用短路装置的优越性是很明显的:锻炼时电

压低，整机储能小；由于电压低，所以钢管——芯柱打火减少；相邻管段间的相互影响完全消除了。短路装置不但用之于加速管管组的电压锻炼，同时亦用之于检验加速管锻炼的维持情况。如表二所列举MP型串列中各管段的耐压情况，如无短路系统则无从判断。

三、输电梯的使用局限

输电梯除NSF上使用外，HVEC公司新产品HI-13亦开始使用，在会议上达累斯伯里实验室介绍了用单浇铸尼龙绝缘子的温度效应（见图二、图三），所以他们被迫在工作

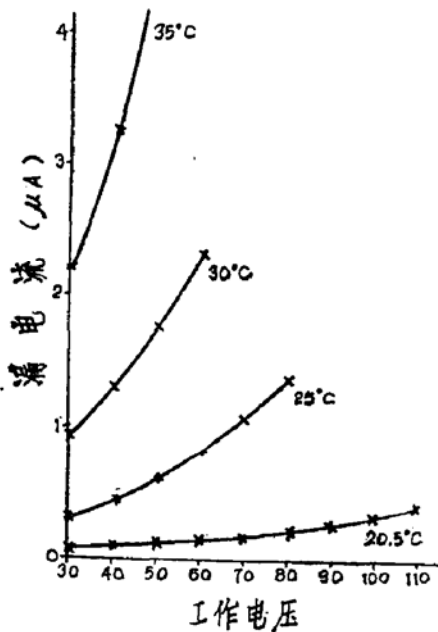


图2 输电梯单个绝缘子的漏电流与所加电压及环境温度的关系曲线

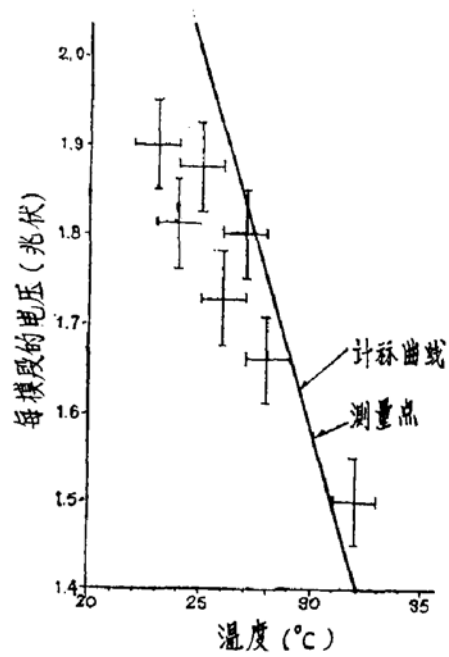


图3 一段输电梯在不同温度下的击穿电压变化情况

中循环绝缘气体使之温度不超过25°C。

四、分压电阻

现在有淘汰原HVEC公司蓝色电阻而代之以Caddock型电阻的倾向。其原因无非是蓝色电阻的抗高压浪涌能力仍不能满足要求。采用了Caddock型电阻以后，运行半年尚未发现有阻值变化情况。图四给出布鲁克海文实验室改进后的电阻装置。

五、高压电极

几台MP型加速器都把原有鼠笼式结构的高压电极改成整体形状的屏蔽。改进的结

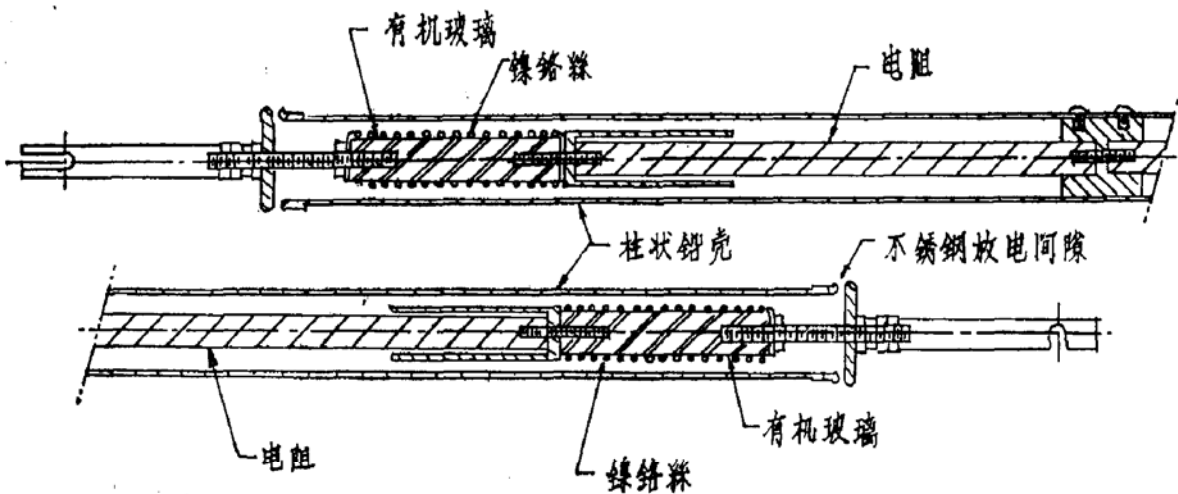


图4

(下转17页)

(上接33页)

果是高压端部表面、端部两头以及邻近的均压环上的电场强度降低了，减少了打火的可能，从而使端电压可以增加2到3兆伏。

IV、结束语

超大型的串列静电加速器陆续建成与出束。它们设计精湛，结构复杂而紧凑，性能稳定可靠。除端电压指标尚未达到设计指标

外，其它方面皆可称之为串列静电加速器技术当代之顶峰。与之同时在改进现有加速器使端电压不断提高的方面也取得了满意的结果，其成就几乎不亚于新建诸台大型加速器，并于近期可望能稳定运行在18兆伏电压之上。

离子源的新进展使串列静压加速器有可能成为质子同步回旋甚至对撞机的注入器。

虽则会议开得频繁但每次会议都有新的进展，确也是件可喜可贺之事。