

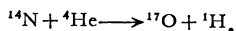
纪念加速器发明五十周年

半世纪来加速器发展过程的回顾

徐建铭

自从1932年利用倍压加速器,实现了第一个利用人工加速的粒子进行的核反应,到现在已经整整半个世纪了。回顾一下半世纪来加速器技术的发展过程,对进一步发展加速器事业是很有意义的。

十九世纪初,卢瑟福利用放射性同位素放射的 α 粒子轰击原子,从 α 粒子的散射现象,推断出原子核的存在。1919年,他利用天然放射源的 α 粒子轰击氮,进行了第一个原子核反应实验,

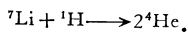


由于天然放射性同位素所能放射的粒子种类有限,强度比较弱,能量又无法控制。人们迫切要求建造人工加速粒子的装置,以产生科学实验所需要的高速粒子,更好地对微观世界进行研究。这就促使加速器技术发展起来。

1928年维德罗建成了加速离子的直线加速器。由于当时高频技术不发达,加速出来的离子的每核子平均能量很低,不能用来进行原子核反应实验。加速器单位长度的加速能力也很低,例如长1.1米的加速器只能把汞离子加速到1.26兆电子伏。这种早期的直线加速器没有在原子核实验研究方面发挥作用。直到二次世界大战以后,由于高频微波技术的发展,新型的直线加速器才发展起来。

1931年劳伦斯建成了一台模型回旋加速器,磁极直径才10厘米,利用它得到八万电子伏的质子流,验证了回旋加速器的工作原理。由于能量太低,也未用于原子核研究。

1932年科克劳佛和华尔顿建成了一台高压加速器——倍压加速器。这台加速器利用倍压线路产生的高电压来加速质子,得到700千电子伏的质子束。用质子束轰击锂靶,实现了第一个利用人工加速的粒子进行的原子核反应实验,



同一年,能把质子加速到1.22兆电子伏的回旋加速器也建造成功,它的磁极直径只有27厘米。在这台加速器上曾进行了一些核反应的研究工作。整个卅年代

里,核物理研究主要依靠高压和回旋这两种加速器。

在高压加速器方面,除倍压线路外,人们还研究用其他类型的高压电源来加速粒子。卅年代里,发展最快的是利用静电起电机作高压源的静电加速器。1931年范德格拉夫建成了能产生1.5兆伏电位差的起电机。1933年建成了能把质子加速到0.6兆电子伏和1.2兆电子伏的静电加速器,在它们上面进行了不少核实验工作。这种加速器比倍压加速器容易达到较高的能量,并且粒子束能量较均匀。所以静电加速器发展很快,1940年已建成4.5兆电子伏的静电加速器。此后,在近十年的时间里,由于加速管击穿的困难未能克服,能量提高得很慢。直到1953年建成了串列静电加速器,能用一个高电压,两次加速粒子,才能产生10兆电子伏以上的质子束。70年代里,改进了加速管的设计和制造工艺,提高了耐压水平。现在静电加速器已能产生30兆电子伏的质子流。电压为30兆伏或更高,能加速多种离子的串列静电加速器也在研究设计中。

回旋加速器是卅年代里另一种迅速发展的加速器类型,它比高压加速器容易达到更高的能量。1939年已经建成能产生20兆电子伏氘核或40兆电子伏 α 粒子的回旋加速器,在原子核实验研究方面起过重要的作用。

在电子加速器方面,除高压加速器外,1940年克斯特建成了第一台电子感应加速器,把电子加速到2.3兆电子伏,实现了1932年提出的用感应电场来加速电子的设想。此外,由于这种加速器结构紧凑,比较简单便宜,发展很快。42年就已建成多台20兆电子伏的这种加速器,用于光核反应研究及无损探伤。

40年代初,在进一步提高加速器能量上遇到很大困难。高压加速器由于高压技术的困难,加速电压不能无限提高。感应加速器随能量提高,加速效率降低,并且电子的辐射损失会破坏感应加速机制,使它不能继续加速。而在回旋加速器里,随着能量的提高,粒子的回旋频率变低,粒子的回旋运动不能和固定频率的

加速电压同步。粒子加速到一定能量后，不能继续加速。1944年维克斯列尔和1945年麦克米伦提出谐振加速原理，发现了谐振加速器中的自动稳相现象，从理论上解除了谐振加速器的能量极限。从此，一系列的谐振加速器，像稳相加速器、同步加速器、电子回旋加速器、电子和质子直线加速器等先后发展起来。加速器技术进入一个新阶段。

稳相加速器(调频回旋加速器)是最先发展的谐振加速器，和普通回旋加速器所不同的是在加速过程中，加速电压的频率逐渐调低以和粒子的回旋运动同步。1946年能把氖核加速到190兆电子伏， α 粒子到380兆电子伏的稳相加速器建造成功。之后，400、600兆电子伏的稳相加速器相继建成。1948年利用这种加速器第一次在实验室里人工产生 π 介子。稳相加速器在中能物理研究方面起了重要的作用。可是，这种加速器的磁极是圆柱形的。数百兆电子伏的加速器，磁极已经相当重了，像720兆电子伏加速器的磁铁重4300吨。并且磁铁重量大约随加速器能量的2.5甚至3次方迅速增加。因此建造一京电子伏以上的稳相加速器是很不经济的。

更高能量的粒子是靠同步加速器产生的。1946年在一个8兆电子伏的模型同步加速器上验证了它的工作原理，1947年建成了70兆电子伏的电子同步加速器。之后，在短短的几年时间里，建成了近十台能量在300兆电子伏左右的电子同步加速器，用来进行介子物理的研究。在这同时，质子同步加速器的研制工作也在进行。1952年一台三京电子伏的质子同步加速器建成，53年利用这台加速器首次产生奇异粒子。1954年6.4京电子伏的同型加速器建成，55年利用它产生了反质子，次年又发现了反中子。1957年十京电子伏的这种加速器建成，次年利用它发现了反西格马负超子。从50年代初高能加速器建成以后，新粒子的发现及研究基本上是利用加速器进行的。

在同步加速器里，粒子沿固定轨道回旋加速，磁铁是环形的。和稳相加速器相比，达到同样能量，磁铁要轻得多。可是，上述的几台同步加速器的聚焦力比较弱，磁铁截面比较大，重量仍约与能量的平方成正比。进一步提高能量有困难，像十京电子伏的加速器，磁铁已重36000吨。

1952年采用交变梯度磁场的强聚焦原理受到重视，并开始用于同步加速器的磁铁系统。1959年28京电子伏的强聚焦质子同步加速器建成，1960年33京电子伏的同型加速器也建成。采用强聚焦原理后，磁铁截面减小，重量约与能量成正比，使得更高能量加速器得以建造。像33京电子伏加速器铁重只4000吨。1957年分离作用强聚焦原理被提出，1971年建成的500京电子伏和1976年建成的400京电子伏的质子同步加速器都采用这种聚焦方式，进一步减低了造价。

60年代以前，高能物理实验是利用高能粒子轰击静止的靶。在此情况下，有效作用能只占高能粒子能量的一小部分。1956年克斯特提出用两束相对运动的高能粒子束相碰撞来进行实验的建议。这样，有效作用能会提高很多。进行粒子束对头碰的设备叫对撞机。60年代初通过几台低能电子储存环和对撞机的建造，对这种新型加速器技术进行了研究。1965年建成了0.5京电子伏的电子正电子对撞机。此后电子对撞机开始发展起来，目前19京电子伏的电子正电子对撞机已经建成，更高能量的这种对撞机正在研究设计中。

另外还有两种圆形加速器在低能和中能领域起着重要的作用，即电子回旋加速器和等时性回旋加速器。前者的工作原理是1944年提出来的。目前工作的是几兆到廿兆电子伏的加速器，应用于无损探伤、活化分析等方面。等时性回旋加速器的工作原理是1938年提出来的，到1956年才建成第一台模型加速器。目前这种回旋加速器已取代了普通回旋加速器，在中能范围取代了稳相加速器。

在圆形加速器迅速发展的同时，由于高频微波技术的发展，直线加速器也发展起来。1955年32兆电子伏的质子直线加速器建造成功，大约同时，电子直线加速器也建造成功。目前，质子直线已能把质子加速到800兆电子伏，这台加速器在介子物理等方面发挥作用。利用电子直线加速器在1966已达到22京电子伏，在研究核子结构方面起了重要作用。

回顾这半个世纪加速器的发展过程，可以看到，加速器是由于研究原子核而开始建造。以后，随着人类对微观世界认识的逐步深入，就要求建造能量愈来愈高的加速器。加速器所能达到的能量大约每过7—10年就提高十倍。第一台加速器能量不过兆电子伏，目前已达到五十万兆电子伏。第一台回旋加速器磁极直径不过27厘米，现在最大加速器环形磁铁系统直径已达两公里。半世纪前建造加速器是几个人完成的工作，目前建造大型加速器是耗资数亿美元的综合性的大规模科研工程。加速器除为原子核物理和中高能物理服务外，在其他领域也日益获得广泛的应用，促进了其他方面的发展，而多方面的需要，也促进了加速器技术的发展。加速器在工农医及其他学科方面的应用发展很快。首先是用电子加速器产生的 γ 射线来进行无损探伤，这方面的应用早在40年代就已开始，促进了电子静电和电子感应加速器的发展。用电子或 γ 射线，对聚合物进行辐射处理，能改良它们的性能，如辐射处理塑料或电缆接头。加速器产生的辐射也可用于涂料固化、橡胶硫化。农业方面可用辐射处理改良品种、食品保鲜消灭害虫。用于这方面的多是一兆电子伏左右的电子加速器。为了满足这些需要，60年代发展了几种新型的高压加速器，它们的高压电源是绝缘芯变压器、高频高压发生器(地那米)等。

1952年人们就发现用离子轰击硅单晶片，能改善某些二极管的特性。六十年代在半导体工业中离子注入技术迅速发展。近十几年来，离子注入技术已扩展到许多新的领域，像金属表面注入某些离子可提高硬度、耐磨性。离子注入技术可改变石英玻璃的折射率等。由于这方面的需要，发展了一种专用加速器——离子注入机，它是数十到数百千电子伏的高压加速器，能加速多种离子。此外，加速器可用于治癌，于是发展了医用感应加速器和医用电子直线加速器。加速器还能产生缺中子同位素供医学研究和诊断之用，这就发展了医用的小型回旋加速器。

60年代初开始，人们认识到在电子同步加速器或储存环里，电子回旋运动所放射的电磁辐射——同步辐射在基础研究和应用研究方面有广泛的用途。由于这一用途发展起来一种专门为生产同步辐射的加速器叫光子工厂或同步辐射装置，它是特殊设计的电

子储存环。1968年已开始建造，目前已建成的和建造中的还有十多台。如果说六十年代以前除高能物理以外用于其他用途的加速器都是小型的低能加速器，那么，光子工厂已经是比较大型的设备，属于高能加速器了。人们还正在研究用强流加速器生产核燃料，用粒子束来引燃可控热核反应，以及用加速器来击毁敌人的导弹等。

通过上面简略的回顾可以看出，科学研究和工农医等方面的应用，促使人们发展加速器技术。加速器技术又是在机械、高频微波技术、自控技术、物理、数学等其他学科和工业技术的基础上才得以发展。而加速器技术的发展在其他领域的应用，又推进了其他方面的发展。相信在科学技术日益发展的过程中，随着整个科技水平的提高，加速器技术也会不断地发展，在各方面发挥更多的作用。