

我国第一台 质子直线加速器

罗 紫 华

我国自行设计和制造的第一台质子直线加速器，最近在中国科学院高能物理研究所建成。1982年12月17日凌晨首次联调，一次出束成功。束流能量为10兆电子伏，达到设计指标，脉冲束流强度为14毫安。这是一台具有70年代水平的加速器，综合了多种学科和技术，设计和制造的难度较大。因而国内许多单位参加了联合设计，共同攻关。1978年8月开始设备设计，1979年起陆续投产，1981年10月开始主体设备安装，从设备设计到建成花了四年多的时间。在研制过程中，攻克了许多技术难关。如：大面积铜钢复合板的生产和焊接技术，5兆瓦的大功率高频发射机的研制，加速腔体的卷焊和精密加工，750千伏的高稳定度高压电源和高梯度大直径加速管的制造，漂移管的精密加工和电子束焊接，高精度恒温的冷却水系统和

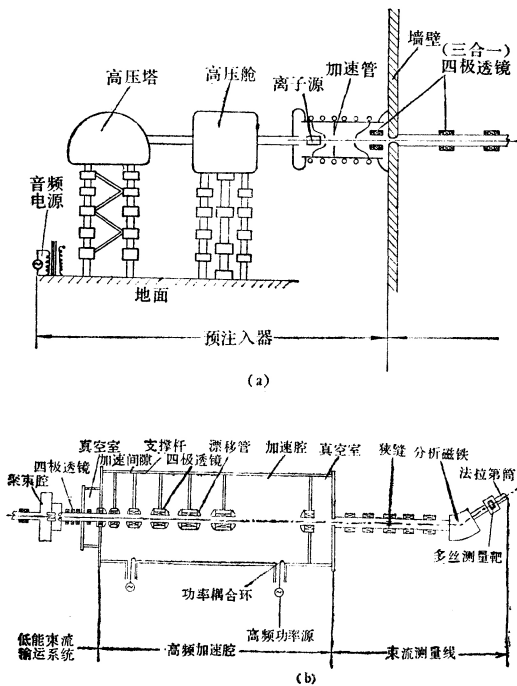
各种超高真空设备的制造，四极磁铁的精密制造和测试，加速器计算机自动控制技术，束流测量装置的制造等。这些设备大都是在国内首次研制。这台加速器的研制成功，不仅填补了我国质子直线加速器的空白，而且通过研制使我国掌握了许多新工艺、新技术、新材料。锻炼和培养了一支技术队伍，这必将在四化建设中发挥出作用。

这台质子直线加速器的主体布局可参见图(a)、(b)。它包括：预注入器，低能束流运输系统，加速腔系统，高频功率源系统，磁铁电源系统，真空系统，水冷系统，束流测量系统，计算机控制系统，剂量监测系统及辅助系统等。这些系统组成了质子直线加速器不可分割的有机整体。任何一个系统出了故障，都将直接影响整台加速器的正常运行。

预注入器是质子直线加速器的头部，给质子以预加速作用。它是一台能量为750千电子伏的高压倍加器。由高压发生器、离子源和高梯度加速管三部分组成，是国内已有的高压倍加器中能量最高的一台。高压发生器采用5千周的音频电源作为输入，经过整流和五级倍压，得到750千伏的直流高压输出。将这个直流高压送至高压舱，并加在加速管的电极上，使加速管内建立起高梯度的直流电场。高压舱里安置离子源的电源系统、冷却系统、辅助真空系统、供气系统及控制系统等。在加速管的入口端装有离子源。当高压倍加器工作时，氢气进入离子源的放电室，在放电室内一定的氢气压力下，由脉冲弧放电形成等离子体，氢原子中的电子被剥掉，剩下的氢原子核就是质子，在离子源的出口端加有几十千伏的引出电压，将质子从离子源中拉出来。当这些质子通过加速管时，受到电极间很强的电场作用，能量不断地增加，速度也变得越来越快。在加速管的出口处，每个质子的能量将增加到750千电子伏左右，其前进的速度相当于每秒走1万2千公里。

从预注入器出来的束流，经过低能束流运输系统，进入加速腔。低能束流系统是个束流通道，在通道上主要安放了一些四极磁透镜及2个聚束腔。前者用来对束流进行横向聚焦，避免它们打在管壁上而损失掉；后者用来改变粒子沿加速通道上的轴向分布，使连续束流进入加速腔时聚成一团团的，以适应直线加速器对粒子的俘获要求。

粒子进入加速腔后将继续进行加速。加速腔是质子直线加速器的身躯，是主体设备。它是用铜钢复合板卷焊而成的大型圆柱筒形腔，其内壁无氧铜层厚度约为4毫米，内表面的光洁度要求很高，象镜子一样光亮照人，以减小高频电流流过腔壁所引起的损耗。腔的内径约950毫米，长度为7.27米，它由两个腔节组



图(a)、(b) 质子直线加速器的主体布局示意图
(a)、(b)是相连接的。

成。腔内沿腔长安置着一系列支撑杆,吊着 57 个长短不均的无氧铜制的圆筒形加速电极,这叫漂移管。在每个漂移管内都装有一个四极聚焦磁透镜。相邻两个漂移管之间的缝隙,叫做加速间隙。高频功率源系统的 5 兆瓦高频发射机输出的强大高频功率,通过腔壁附近的两个耦合环送入加速腔内,在腔中建立起很强的高频电场,电场主要集中在加速间隙中,而在漂移管内则几乎为零。电场的大小和方向都按高频功率源的频率很快地变化着,一会儿顺着质子团的前进方向,一会儿又逆着质子团的前进方向。漂移管都必须经过精密加工和安装,其长度必须精确计算,以确保当电场顺着质子团运动方向时,一个个质子团正好处于加速间隙中受到电场的加速作用;而当电场逆着质子团运动方向时,一个个质子团正好躲进漂移管内不会受到减速作用。这样,质子经过一个加速间隙就受到一次加速,经过 56 个加速间隙后,质子的能量将从 750 千电子伏增加到 10 兆电子伏,即运动速度从每秒 1 万 2 千公里增加到每秒 4 万 5 千公里。

为使整机能正常运行,并得到所要的束流性能,除了靠上面谈到的一些系统的作用外,其余系统的作用也不容忽视。真空系统将保证束流通道的真空度达到 10^{-6} 至 10^{-7} 毫米汞柱,这样质子才不致因为与残存气体分子的碰撞而损失掉;水冷系统将冷却整台加速器中的各发热部件,如漂移管、加速腔体、四极磁透镜、高频机等,以保证这些设备的正常工作;束流测量系统是加速器的耳目,它将测出束流强度的大小和波形,束流中心位置及束流沿途的丢失情况等。根据所测到的束流性能,调节加速器的各种参数,使加速器运行在最佳状态;计算机控制系统是加速器的神经中枢,它将加速

器各系统联成有机整体,可对整台加速器的起动、关闭以及加速器的运行参数实现控制。当加速器的某些参数需要修改时,在中央控制台上打入相应的指令,经计算机及接口系统,即可执行;剂量监测系统是保证工作人员辐射安全和防止设备污染的必要设施;高频功率源系统为束流加速提供能源;磁铁电源系统则为各种磁铁提供电流。总之,各系统各有其责,各有其用,缺一不可。

从 10 兆电子伏加速腔出来的束流经过束流管道,可注入到靶室进行核物理实验研究,或进行短寿命同位素 C^{11} (碳)的生产,供放射医学使用;也可将这些束流再注入到下一加速段,使质子能量进一步提高,以便得到更多的应用。为此,在充分利用现有条件,挖掘设备潜力,不增加很多投资的情况下,高能物理研究所正着手将加速腔的长度从现有的 7.3 米延伸到 21.8 米,并利用 5 兆瓦高频机的全部输出功率,就可以将现在的 10 兆电子伏的质子能量提高到 35.5 兆电子伏,使它成为国内现有质子加速器中能量最高,流强最强的加速器。为了贯彻科学研究为国民经济建设服务的方针,35.5 兆电子伏质子直线加速器建成后将主要开展两项应用,即:一是生产目前主要依靠进口的若干种短寿命医用同位素,如 Tl^{201} (铊)和 Ga^{67} (镓)等,它们对于脑血管和心血管的病变早期精确诊断有着重要的意义;二是开展中子治癌的研究,用质子束打靶后产生的快中子束来治癌,其疗效比通常的 γ 、 X 射线要高得多。快中子束对癌细胞的杀伤力强,而对正常细胞组织的破坏作用较小。目前,高能物理研究所正在加紧进行这台加速器及其应用研究的建设,使这台加速器尽早为四化建设作出贡献。