

名词解释



直线加速器若干名词

高频加速结构 要使粒子得到加速，必须给粒子一个作用力。在直线加速器中，这个作用力是高频电场作用力。它随时间变化的频率很高（如几百至几千兆赫兹），因而称它为高频电场，或高频加速电场。通常，高频电场每交变一次，就给粒子一次作用力，粒子就得到一次加速。建立高频电场的装置，可以是加负载的波导或谐振腔。称这些装置为高频加速结构。将高频能源的能量，送入高频加速结构，就在结构内建立起高频加速电场。高频加速结构的形状、大小不同，结构的性能（如高频电场在结构表面上的损耗量，高频电场的稳定性等）也就不同。为使直线加速器的建造和运行尽可能经济和稳定，高频加速结构的形状和大小的选择，是很有讲究的。带电粒子的质量、电荷及速度不同，对应的最佳加速结构的形状及大小也不同。

行波加速电场与驻波加速电场 在加速结构内建立了高频电场，同时也存在着高频磁场。它们总是孪生地并存。高频电磁场就是电磁波。如果加速结构是加载波导，结构内的电磁波沿波导的长度行进，因而电磁场的振幅也沿波导的长度移动。称这种加速电场为行波加速电场。带电粒子可以“骑”在行波的某一个相位上，“随波逐流”，跟着波一起前进，连续地受到电磁场对它的作用力而连续地被加速。加速电子的盘荷波导结构，就是一种行波加速结构。

如果加速结构采用谐振腔，腔的两端面有金属板封住，电磁波在结构内不断受端板的来回反射。正向波与反向波迭加，将形成这样的波：它的振幅只能周期性地出现在结构长度的某些位置上，并将永远“驻”在那里，不会随时间移到别处去，因而称这样的波为驻波，或驻波加速电场。

加速腔列与耦合腔列 如果带电粒子通过一个（或几个）谐振腔而得到一次加速，则称一个谐振腔为加速单元腔。将几个或几十个单元腔连结在一起，构成一个加速腔列（或称加速腔链）。腔列中单元腔的数目，可以是粒子通过这个腔列被加速的次数。通常，这种腔列中加速电场的稳定性较差，也就是说，电场的分布容易受外界干扰（如粒子流对电场的反作用，加工

误差的影响等）而畸变，导致粒子丢失或束流性能很差。为了提高加速电场的稳定性，可以引进另一个腔列。这个腔列中的单元腔与加速腔列中的加速单元腔交替排列，互相耦合在一起。称这个新引进的腔列为耦合腔列，它不起加速作用，只是使加速腔列中的电场十分稳定。

绝热加速与绝热聚束 粒子的加速过程，就是高频电场的能量转移给粒子的过程。由于有能量的交换，显然，这个过程是一个非绝热过程。这里所说的绝热加速，是指这样的过程：一开始，粒子在单位长度上所得到的能量增长极其微弱，以后慢慢地过渡到在单位长度上有较大的能量增长。也就是说，加速电场的振幅在结构的始端很小，以后沿结构长度慢慢地增强。这个增强过程非常缓慢，以致在一个短距离内几乎看不出有多少变化，从而使粒子的加速过程变得非常稳妥。

在加速电场的每个高频周期内，通常只有 $1/4$ 个周期可用于稳定加速粒子。落在其它 $3/4$ 周期上的粒子流都将丢失。因此，连续的粒子流在进入直线加速器之前，必须先聚成一团一团的粒子团。使每个粒子团正好落在能被稳定加速的 $1/4$ 高频周期内，以尽可能提高粒子流的利用率。把束流聚成一团一团的过程称为聚束过程。聚束过程可以这样实现：将每个高频周期内的粒子流，跑在前面的部份受到减速；跑在后面的部份受到加速。则跑在前面的粒子速度放慢；跑在后面的粒子速度加快，以逐渐赶上原先跑在前面的粒子，从而使粒子流在前进中逐渐地聚成束团。如果这个聚束过程非常缓慢，称这样的聚束过程为绝热聚束过程。这种聚束过程很稳妥，粒子流的丢失可以很少。

径向强聚焦与聚焦四极透镜 粒子流在加速过程中，由于带电粒子间的库仑排斥作用或受剩余气体分子的散射作用等，在垂直于粒子前进方向的平面（称为径向平面）内，粒子将会发散，以致丢失。为此，必须外加磁场或电场，以在粒子运动的垂直方向上聚焦粒子流，克服发散。若外加的聚焦场是磁场，则应采用磁四极透镜。它是一种有四个极头的磁铁，四个极头对称地安放在径向平面内。当粒子通过这四个极头间的孔径时，在径向平面的水平方向上，离轴线越远的粒子，受到的向中心靠拢的力越大，类似于几何光学中的聚焦透镜；而在径向平面的垂直方向上，离轴线越远的粒子，受到的背离轴线的力越大，类似于几何光学中的散焦透镜。如果将这块四极磁铁在径向平面内绕轴线旋转 90° ，这块磁铁的作用正好与旋转前的相反：在水平方向上是散焦，在垂直方向是聚焦。若将这两种磁铁沿轴线交替排列，适当选择磁铁参数，可以使粒子在水平与垂直两个方向都实现聚焦，这种聚焦作用很强，从而达到径向强聚焦。

若外加的聚焦场是电场，可采用高频电四极透镜（RFQ）它的聚焦原理与磁四极透镜一样，只不过是用电场力来聚焦束流，四个极头是高频电极。

（王书鸿）