

快循环泡室及其混合系统

郎鹏飞

《高能物理》1978年第2期,曾经对气泡室的一般原理和它在高能物理研究中所起的作用做过一些介绍。气泡室特别是氢泡室是进行高能物理实验的重要探测器之一,它的发明到现在只二十多年,在高能物理研究中却取得了十分丰富的成果,为高能物理学的飞速发展做出了贡献。同时,气泡室本身技术也得到了迅速的发展。这里简要地介绍一下六十年代中期研究发展起来的快循环氢泡室和混合系统。

气泡室有很多独特的优点,但也有比较突出的缺点,例如:气泡室的膨胀循环频率较低,平均每秒一次,每次束流粒子只有10—20个。因此,用气泡室只能研究截面较大的作用过程。又如:气泡室不能选择事例拍照,因此一个物理工作往往拍几十万张甚至上百万张照片,扫描、测量、分析工作的量特别大。为了克服这些缺点,首先要提高气泡室的膨胀循环频率,经过近十年的努力,气泡室快循环技术取得了显著的进步,膨胀循环频率从每秒一次提高到每秒40次,而且有望得到进一步提高。同时,由于多丝正比室、漂移室等新型探测技术和高速电子计算机在线数据处理技术的迅速发展和应用,为气泡室选择触发照相提供了成功的计算机在线选择触发系统,使快循环泡室可能和电子学探测装置混合使用,发展成一种

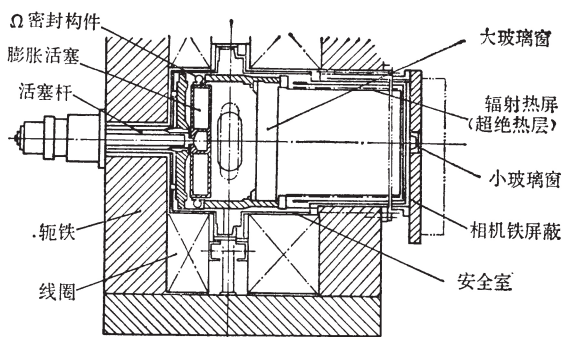


图1 1米快循环氢泡室结构示意图

新型的快循环氢泡室混合系统。这样可以把具有高分辨能力的作用顶点分析和下游电子学谱仪的精确运动学分析结合起来,大大地扩充了气泡室的工作领域。

膨胀循环频率每秒10次以上就称快循环。目前世界上已经工作和正在建造的快循环氢泡室共有四个,其中美国斯坦福直线加速器中心的1米氢泡室(RCBC)具有代表性。这个泡室于1967年建成,直径1米,深43厘米,总容积360升。经过多次改进,膨胀循环频率现达到每秒12次(见图1)。

影响气泡室膨胀循环频率的因素主要有两个:一

是压力波在工作介质液氢中的传播速度，决定了气泡室的最小膨胀时间。因为要保证在膨胀过程中室内压力的均匀性，要求膨胀速度远小于压力波的传播速度。例如深度小于 1 米的氢泡室，膨胀时间选择 5 至 10 毫秒较合适。二是照相后气泡室再压缩时间的长短取决于气泡的大小。如果选用 400 微米左右直径的气泡，液氢中气相完全凝结需要的最少压缩时间约 20 毫秒。

从束流粒子注入到闪光照相，一般需要 2 至 3 毫秒，这段间隔正是在氢泡室选择触发照相系统中进行计算机在线数据处理的唯一可使用的时问，也是可能把气泡室与电子学探测装置混合使用的关键所在。

因此，深度 1 米左右的氢泡室一次膨胀循环（膨胀，束流注入，闪光照相和再压缩）约需 30 毫秒，膨胀循环频率可达 30 次/秒。如果需要进一步提高膨胀循环频率，最有效的方法就是尽可能减小室体深度或在光学分辨率允许范围内降低气泡直径大小。根据氢的液体动力学性质和目前技术水平，作顶点探测器用的氢泡室的膨胀循环频率有可能达到 90 次/秒。

再说混合系统，它一般分为五个部分，仍以斯坦福直线加速器中心 1 米快循环氢泡室为例（图 2），简要说明各部分的具体组成情况及其作用。

1. 上游谱仪。由二个束流多丝室 W_A 、 W_B 、契仑柯夫计数器 C_B 、束流计数器 S_1 和磁铁组成。多丝正比室 W_A 用来确定束流粒子经过磁体后的偏转，从而确定它的动量。用二个多丝正比室能够精确确定束流粒子进入泡室的角度。用阈式契仑柯夫计数器确定束流粒子的质量。一般说来，用几组多丝正比室和分离的磁体组成一个精密的动量分析谱仪，对几百 GeV/c 的束流粒子可以得到非常好的空间分辨率和千分之几的动量分辨率。

2. 快循环氢泡室。它既是混合系统的靶，又做顶点探测器用。可精确确定作用顶点的空间位置和细致情况，次级带电粒子角分布，测量鉴定低动量次级带电

粒子，观测短寿命中性粒子的衰变过程等。

3. 下游谱仪。是混合系统最复杂的部分。它由三组多丝正比室 (W_x 、 W_β 、 W_γ)、大型契仑柯夫计数器 (C)、闪烁计数器描述仪 (H) 等组成。三组多丝正比室和氢泡室磁体的边缘磁场对次级粒子作动量分析，大型契仑柯夫计数器鉴定粒子，描述仪做适当的校验。

下游谱仪按磁体的使用情况分为二类。一类下游谱仪与氢泡室共用一个磁场，由于泡室的边缘磁场较低，均匀性很差，因此动量分析的精度不高。但是这种方法结构比较简单，下游谱仪的接受立体角较大，图 2 就是这样一种结构形式。另一类采用分离的磁体，这种方法显然具有较高的动量分析精度，一般可达到千分之几。但系统的接受立体角明显降低了。

4. 选择触发系统。选择触发是一套电子学逻辑，分两步处理，首先用契仑柯夫计数器和闪烁计数器作快触发，把多丝正比室的信息、契仑柯夫计数器脉冲高度和闪烁计数器的描述仪的命中信息送到缓冲寄存器，然后通过 CAMAC 接口送到计算机。计算机必须在 2~3 毫秒时间内处理完缓冲寄存器中存贮的事例数据，确定次级粒子种类，电荷符号，运动学情况以及作用点是否在泡室有效体积中，等等，若满足要求，氢泡室就被触发照相。例如，在 $\pi^+p \rightarrow XK^+X$ 实验工作中，可选择 K^+ 作为触发粒子。

混合系统也可采用非触发形式，每次膨胀都照相，下游谱仪把数据记录并贮存起来，在离机分析时用。

5. 数据获取系统。这个系统的功能是，用计算机系统把束流粒子和束流粒子与靶质子作用产生的次级粒子的全部信息记录下来，存贮起来，按物理要求的特定程序进行在线或离机处理。

由于快循环氢泡室混合系统具有较高的膨胀循环频率，清楚细致的作用顶点，多样的粒子鉴定方法，极好的动量测量精度，再加上如果设计一些特殊的探测装置，对中性粒子也有较高的探测效率等的优点，因此，近几年来发展很快。除了斯坦福直线加速器中心的 1 米、38 厘米氢泡室，费米国立加速器实验所的 78 厘米氢泡室为顶点探测器建成了十几个混合系统外，其它的大型氢泡室也部分地被混合化了，例如：欧洲原子核研究中心的 3.7 米大泡室、费米国立加速器实验所的 4.6 米大泡室也配备了电子学探测系统，用来鉴定次级粒子。在强子物理和中微子物理中作出了不少有意义的工作。

从上面我们可以看到，快循环氢泡室及其与电子学探测器的混合使用技术（甚至各类径迹探测器和电子学探测器的混合使用），吸收了各类探测技术的特点而独树一帜，形成了一种新型的混合探测系统，这是目前高能物理实验探测技术发展的重要成就之一。

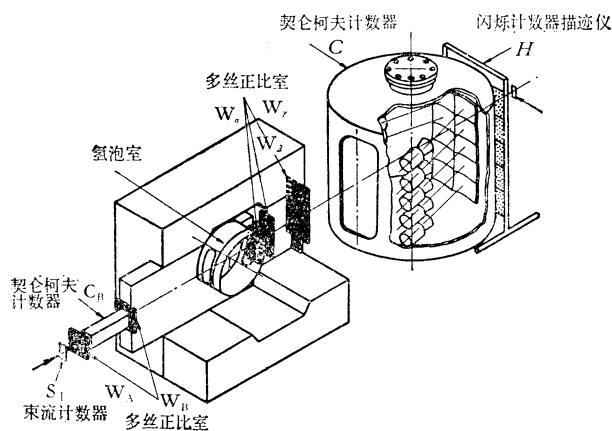


图 2 快循环氢泡室混合系统立体示意图