

利用同步光

对加速器束性能的监测

于鸿璇

同步辐射作为研究工具是最近一、二十年实验科学发展的重大事件之一。同步辐射有很多特点,它能提供极宽的波长范围,自然准直,高度极大,有良好的脉冲时间结构,纯净的高真空环境,特别小的源尺寸以及高的稳定性。这些特点的结合使得人们有可能利用同步辐射做各种各样的实验,从而成为很多学科强有力的研究工具。尤其是近几年,发展极为迅速,在国际上,已获得了大量的研究成果。利用同步辐射进行研究工作的科学领域还在不断扩大,许多新的实验技术、实验仪器也有待进一步开拓。伴随着加速器不断向高能方向的推进以及同步辐射的应用,一种新的加速器束流测量技术——利用同步光对束流性能进行监测的技术得到迅速的发展并臻完善、成熟。

正是由于同步辐射的许多特点,使得用同步光对束流监测的技术有许多独到之处,和以前采用的常规方法相比优点很多。

在正负电子对撞机中,正电子束团和负电子束团在贮存环中沿着相反的方向旋转。当运行到对撞点时两个束团发生相互作用。为了保证贮存环内正负电子束团正常运行,得到好的束性能,如高的亮度和长寿命,以满足高能物理实验的要求,必须对贮存环中运行着的束流性能进行监测。通常的办法是采用电流变压器和静电拾取探头、二次发射探头、荧光靶等测量束流流强、束流中心位置、外形、截面分布等参数,为调整贮存环的运行参数提供参考。这些探头分布在贮存环的不同位置,它们给出的电信号传送到控制室,通过电子学线路记录下来或显示出来。而近几年在高能正负电子对撞机中采用的测同步光的方法对正负电子束团进行监测,不仅可以有效地扩大被测参数的范围,而且测量工作都在贮存环外面进行,只要引出一束同步光以后,就可以放置许多不同的探头和测量仪器。在测量系统中可以很方便地改变、增加和更换测量探头,这种方法在束流测量领域中得到越来越广泛重视。

在贮存环中,正电子和负电子在转弯处都将发出同步辐射,发射的功率和带电粒子的能量有关,和瞬时轨道的曲率半径有关,和束团的流强成正比。测量单个束团发射的同步辐射功率可以测量到单个束团的流强。在达到相对论情况下,同步辐射的自然准直度极好,大部分辐射在朝着瞬时运动方向的一个很尖锐的锥体内,它的分布直接反映了束团内部正电子或负电

子的分布。所以，测量同步辐射的截面分布和外形可以知道束团的截面分布和外形。另外，束团在纵向有分布，也就是它有时间结构，这同样反映在同步辐射的时间结构中，测量出同步辐射脉冲在时间上的分布可以知道束团的时间结构，由此可以知道束团的纵向长度。

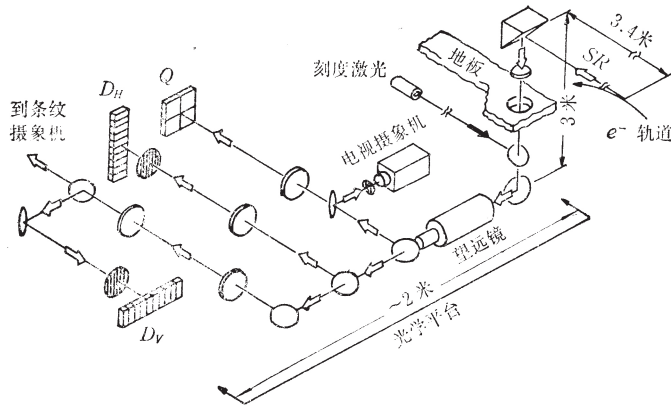


图 1 利用同步光的光学观测系统

同步辐射的波长范围是极宽的，从红外、可见光、紫外、直到 X 射线，也就是说从 0.1 埃到 10^4 埃，宽达五个数量级，比通常的光源和 X 光源提供的波长范围要宽得多。要同时测量如此宽范围的辐射显然是有困难的，为方便起见，在这儿仅选用其中的可见光部分作为束流监测的光源。在贮存环靠近正电子束和负电子束注入处的偏转磁铁中，分别引出它们的同步光。经过镜面反射到数公尺以外的光学实验室的光学平台上。经过望远镜成象处理后，分出多路光束，由各种不同的测光探头和相应的测量仪器对光图象进行测量分析，给出束流的各种性能参数。

作为一个例子，图 1 给出日本高能物理所电子贮存环上的光学观测系统的示意图。同步光首先经过一个真空管道中的水冷铜镜反射到贮存环下方的地下室中，这里有一个光学平台，入射的光束经过焦距为一千毫米望远镜的聚焦，然后经过分光成五个分路，分别采用四种类型的探测器接收，它们包括一台电视摄像机，二个线阵光电二极管，一个四象限的位置灵敏快光电二极管和一台条纹摄像机。电视摄像机可以随时观察同步光的光斑外形，由它可以推出束外形，在控制室的电视屏幕上显示出来，作为贮存环运行状态的实时监测。二个线阵光电二极管 D_H 和 D_V ，分别测出同步光随截面在水平方向和垂直方向上的截面分布，它直接地反映了束团中的电荷截面分布，四象限的快光电二极管 Q 可以分别组成垂直的两对或水平的两对，每对之间产生出它们的差信号。这个差值提供了束流横向振荡的信息，将该信号用快速傅里叶分析仪分析可以

得出束流的横向振荡参数。条纹摄像机用于观察束团的精细结构，该条纹摄像机时间分辨达 10 微微秒，重复率达 1 千赫兹。用于同步光的观测系统中，对监测束流的质量是十分有用的，它能十分精确地给出束截面分布，束团纵向分布，横向振荡等。

除了上述例子中给出的几种测量外，还可以采用以下的探头对束流进行监测。选用灵敏光电二极管组成光度计，测量正电子束或负电子束的流强。这与常规的在贮存环中采用电流变压器方法相比有很大的优点，电流变压器在贮存环中测量束流强度无法区分是正电子还是负电子束，它只能测得两者之和，而利用同步光测量是分别进行的，能直接分别测出正电子束和负电子束的流强。另外，可以采用高灵敏的光电倍增管构成极灵敏的光探头来检测贮存环注入时单束团的极弱的流强，在贮存环首次投入运行调试时，这是一种极有用的监测方法，操作人员可以及时判断注入是否成功，是否有效，这是别的测量手段难以达到的。束

流强度随时间变化的数据通过简单的处理就可以知道束流强度变化率和计算出束流的寿命。

利用同步光的测量对贮存环束性能进行监测已经被广泛采用。正在建造中的北京正负电子对撞机上也安排建立两套光学观测系统，分别对正电子束和负电子束发出的同步光进行测量，从而达到束性能监测目的。通过监测系统获取的数据如何用于束流动力学的研究有待进一步讨论和发展，更加精密更加有效的测试方法正有待人们去创建。