

美国高能物理学者的宏愿

——建造 SSC

冯宝树

随着高能物理的发展,要求加速器的能量越来越高。除已建好的加速器(包括对撞机在内)外,正在建造中的能量比较高的有:

日本高能物理研究所 KEK 的 TRISTAN,它将于 1986 年建成,这是一台正负电子对撞机,有效作用能为 2×30 京电子伏。

西欧中心 CERN 的 LEP,它将于 1987 年或略迟一些的时候建成,这也是一台正负电子对撞机,有效作用能初期为 2×50 京电子伏,优化能量为 100 京电子伏(单束),最高能量可达 125 京电子伏(单束)。

西德汉堡的 HERA,它将于 1990 年初建成,这是一台质子-电子对撞机,电子能量为 30 京电子伏,质子能量为 820 京电子伏。

苏联高能物理研究所的 UNK,它的最后建成时间尚未公布,最终 UNK 要建成一台质子反质子对撞机,有效能量为 2×3 太电子伏。

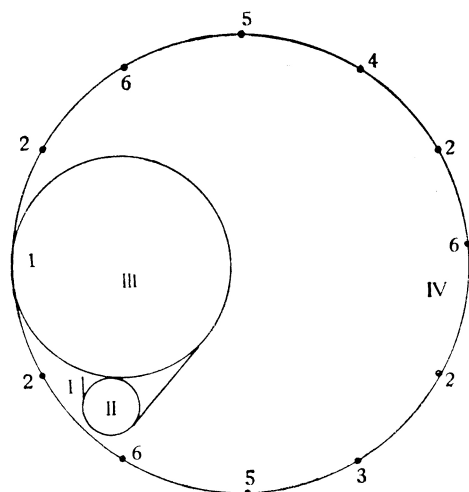
美国斯坦福直线加速器中心 SLAC 正在建造 SLC,这是一台电子-电子对撞机,将于 1987 年左右建成,有效作用能为 2×50 京电子伏,它的构造很奇特,这里就不介绍了。

此外,美国费米实验室拟于 1986 年开始动手将质子同步加速器 Tevatron 改造成质子-反质子对撞机,于 1988 年左右建成,有效作用能可达 2×1 太电子伏。

从高能物理学家的要求来说,这些对撞机的有效作用能都不够高,还要求建造更大的对撞机。美国高能物理学家出于要保住美国在高能物理方面的领先地位,根据他们现有的人力、物力、财力、技术条件等提出了建造 SSC 的计划。SSC 是 Superconducting Super Collider 的缩写,是超导超大型对撞机的意思,这是一台质子-质子对撞机。此计划被批准的可能性很大,一旦此计划被批准动工,估计要花七年左右时间方可建成,所需投资约 30 亿美元。SSC 若建成,直到 21 世纪初美国将在高能物理方面保持领先地位。SSC 十分巨大,所以有人预言:“在现在已有的理论基础上,SSC 将是人类所建造的最后一台大型加速器。”如果没有新的原理出现,人类是不会再建造更大的加速器的,本文就对 SSC 作一个简单的介绍。

早在 1983 年 6 月,美国高能物理咨询小组就向美国能源部提出建造 SSC 的建议。1984 年 2 月到 5 月,美国在罗伦茨-贝克莱实验室集中了一百五十余名科

学家、工程师对建造 SSC 的技术可行性、经济可行性以及进一步所需要研究的问题进行了讨论,并提出了初步意见。研究结果认为 SSC 应是一台质子-反质子对撞机,单束能量为 20 太电子伏,即有效作用能为 40 太电子伏。此后他们又对 SSC 各个部分进行深入的讨论,最后形成的报告文稿厚达 10 厘米左右。SSC 由四大部分组成,即注入器、低能增强器、高能增强器及主环等四大部分。



- | | |
|-----------|----------|
| I 直线加速器 | 1 注入厅所在地 |
| II 低能增强器 | 2 对撞厅所在地 |
| III 高能增强器 | 3 高频厅所在地 |
| IV SSC 主环 | 4 束流流产处 |
| | 5 未来的对撞区 |
| | 6 用途待定处 |

SSC 示意图

注入器是一台能量为 1 京电子伏质子直线加速器,它包括离子源、高压倍加器、高频四极磁铁(RFQ)、漂移管式质子直线加速器(DTL)、边耦合式直线加速器(SCL)和 1 京电子伏束流输运线,这一台质子直线加速器将是世界上能量最高的。

低能增强器是一台强聚焦变梯度质子环型同步加速器,其能量为 70 京电子伏,周长为 1199.2 米;有 120 块二极磁铁,每块长 6.88 米,最高磁场强度为 1.8 特斯拉;四极磁铁 72 块,每块长为 0.75 米,最大磁场梯度为 28.05 特斯拉/米;谐波数为 240。此外还有两条

70 京电子伏的束流输运线。

高能增强器也是一台强聚焦变梯度质子环型同步加速器,但是采用超导磁铁,其能量为 1 太电子伏,周长为 5996 米。共有二极磁铁 336 块,每块长为 14.19 米;四极磁铁 180 块,每块长为 1.5 米;谐波数为 1200。

主环是具有两个通道六个对撞点的质子环型加速器,它是采用超导磁铁,单束能量为 20 太电子伏,有效作用能为 40 太电子伏,最大亮度的设计值为 1×10^{33} 质子数/厘米²秒。计划第一步先只利用四个对撞点。关于主环的设计方案,目前尚未定下来,有三种可能的方案:

	方案 A	方案 B	方案 C
周长	90 公里	113 公里	164 公里
总投资	27.3 亿美元	30.5 亿美元	27 亿美元

总投资中包括注入器、高能与低能增强器在内,并以 1984 财政年度计算,今后如通货膨胀,总投资额还要相应增加。三种方案中超导磁铁均采用铌钛电缆,冷却到 4.5K。不同之处是在方案 A 中所采用的中心场强为 6.5 特斯拉,用一个公共轭铁封入两个束流管道,每块磁铁有一个低温恒温器;在方案 B 中,中心场强为 5 特斯拉,每一个束流管道及线圈有自己的低温恒温器;在方案 C 中,中心场强为 3 特斯拉,在一个公共的低温恒温器中有两个彼此分开的铁轭和束流管道。在主环中单束流强设计值为 70 毫安,这时束束相互作用所引起的后果不严重,即使在方案 A 中辐射仅为 8.5 千瓦。

由上所述,可知 SSC 是一台耗资 30 亿美元,占地 100 平方公里的大型质子-质子对撞机。方案 B 所采用的场强与美国费米实验室的 Tevatron 的场强相近, Tevatron 的能量为 1 太电子伏,周长约 6 公里。SSC 主环的单束能量为 20 太电子伏,周长约 113 公里近似为 6 公里的 20 倍。下面是有关 Tevatron 的一些数据,由于 Tevatron 仅有一个束流管道,而 SSC 有两个束流管道,因此 SSC 所需要的材料和设备必定比 Tevatron 多 20 倍以上。

名称	Tevatron 所用量	Tevatron 增大 20 倍的量
钢材	4000 吨	80000 吨
铌钛电缆	1050 公里	21000 公里
不锈钢管	50 公里	1000 公里
真空焊接长度	50 公里	1000 公里
压缩机	30 台	600 台

通过以上几个数字不难看出 SSC 是一台规模宏大的对撞机。

从历史上看,加速器每发展一步,能量提高 10—20 倍,如在西欧中心,由 CPS 到 SPS,能量从 28 京电子伏提高到 400 京电子伏,大约提高了十三倍多。又如在美国由 AGS 到费米实验室主环,能量从 33 京电子伏提高到 500 京电子伏,提高 14 倍多。再如美国从 Tevatron 到 SSC,能量由 1 太电子伏提高到 20 太电子伏,又提高 19 倍。照此推算,如果没有新的原理出现,没有新的重大的技术上的突破,那么 SSC 以后的加速器的周长将在 1000 公里到 2000 公里,这样大的加速器显然是很难实现的,因此人们说:SSC 是在现有的原理基础上最后的一台大型加速器。

人们正在注视着 SSC 的发展,但真正建成 SSC,恐怕是本世纪末的事了。人们也注视着新型加速器的诞生,恐怕新型的超高能加速器的诞生是 21 世纪的事了。

注: 1 京电子伏 = 10^9 电子伏
1 太电子伏 = 10^{12} 电子伏