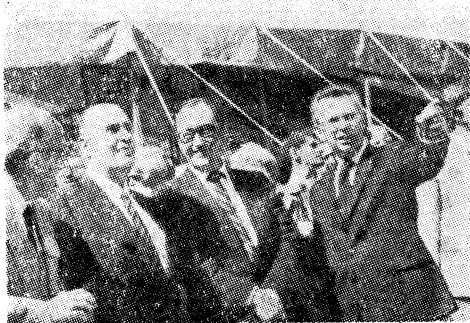


科学家的雄心壮志

——西欧中心的LEP计划简介

魏 民

1983年9月13日,这一天既非法国,又非瑞士的什么节日,但位于法瑞两国边界,日内瓦近郊的欧洲核子研究中心(CERN),却盛况空前。瑞、法两国国旗,与西欧中心其它成员国的国旗,迎风飘扬。法国总统密特朗,瑞士联邦主席奥伯特(见照片),以及许多西欧国家的政府部长,世界各地的著名高能物理学家,云集在一起,庆祝 LEP 破土动工。它的盛况,成了当地压倒一切的特大新闻,连正在日内瓦举行,被瑞士警察与坦克部队保护的关于核裁军的谈判与这个新闻相比,也黯然失色。这一天,将载入高能物理学发展的史册。



LEP 是 CERN 正在建造的一个大型正负电子对撞机的英文缩写。(A Large Electron-Positron Storage ring)。这个预计耗资达九亿瑞士法郎的 LEP 计划,已经酝酿许多年了。仅仅在去年,LEP 计划,才得到了西欧中心各成员国政府的正式批准。最近,西欧中心在 SPS 的 $\bar{p}p$ 实验中,相继发现了 $W^\pm$ 及 Z^0 粒子。这个举世瞩目,被誉为近廿五年来物理学最重要的发现给人们探索物质奥秘的高能物理学的兴趣注射了新的兴奋剂,同时,又给 LEP 提出了更为严峻的考验。“ Z^0 以后的 LEP”成了高能物理学界议论的话题。然而,九月十三日,LEP 破土动工的庆典,向全世界宣布了西欧中心的决心:人类有雄心壮志,向未知世界新的领域进军。

夹在山湖之间的 LEP

日内瓦是个风景秀丽的国际城市,素有世界花园

之称。白雪皑皑的阿尔卑斯山和雄伟的汝拉山,把明镜般的莱蒙湖夹在中间,形成了日内瓦特有的山湖景色。如今,一条地下长蛇,正准备从莱蒙湖畔,一直延伸到汝拉山脚下,这个庞然大物,就是正在建设中的 LEP。

LEP 产生的质心能量,初期在 100 GeV 的量级,后期估计在 200 GeV 左右,亮度可达 $10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$,它将是世界上能量最高的正负电子对撞机。为了减少同步辐射的能量损失,LEP 环的弯曲度,不能太小,所以 LEP 环的周长,总计达 30 公里,它四次横穿瑞法边界,使它更蒙上一些神秘的色彩。LEP 的建造者们,巧妙地把西欧中心现有的加速器 ps 和 sps 充分利用起来,作为 LEP 计划的一部分。

就象每个电视机都有电子枪以放射电子射线一样,电子束流的获得,是比较容易的,但正电子束流的获得,却要费一番周折。电子束,首先由电子直线加速器加速到 200 MeV,然后用这个电子束流,轰击靶,以产生高能光子,这种高能光子,又转为正负电子对,通过偏转磁场,得到正电子束流,并由第二个直线加速器加速到 600 MeV。为了得到足够数量的正电子,需要一个储存环,把在一个时期内收集到的正电子,累聚到一定数量时,送到西欧中心现有的质子同步加速器 ps 中去,在加速到 3.5 GeV 之后,又送到大型质子同步加速器,直径达 2.2 公里的 sps 中去,一直被加速到 22 GeV。在 22 GeV 的量级,电子与正电子,才被注入到 LEP 的主环中。

电子与正电子,在 ps 与 sps 中的加速,是利用质子脉冲的间隙完成的。所以,LEP 利用 ps 和 sps 作为预加速器,将并不影响 ps 和 sps 作为质子加速器本身的实验,当然,为此必须对 ps 和 sps 作一些必要的改装与扩建。实际上,这部分改建工作,已经在 sps 改建成 $\bar{p}p$ 的计划中完成。利用现有的设备,作为 LEP 的注入系统,将使 LEP 计划,与 CERN 的现有的系统,混为一体,使其逻辑结构,更为经济合理。

LEP 环的弯转磁铁结构,是非常独特的。即使对如此之高的能量的电子,要把它们约束在半径如此之

大的轨道中,所需的磁场强度,都并不需要太高.为此,西欧中心发展了生产这种类型的磁铁的新技术,它仅仅利用少量的铁芯片,中间用垫片隔开,间隙用混凝土充填,这种结构,即使磁铁满足所要求的参量指标,又有很高的机械强度,并且减少了重量,它的费用,仅仅是利用常规磁铁的一半.因为整个 LEP,要用 4000 块这种接近 6 米长的磁铁,所以,这种技术,确实节省了相当可观的费用.

束流是在磁铁中间的,用水冷却的真空管道里环行,为了减少电子或正电子与残存在管道中的空气分子的碰撞,使束流具有所要求的寿命,根据每二小时才向 LEP 注入一次的要求,真空度须达 3×10^{-9} 托,在周长达 30 公里的环道中,保持如此高的真空度,是十分困难的,为此,LEP 的建设者们,利用了许多新技术.诸如加速系统,高频腔,电源系统,冷却系统,控制系统,通风系统等等,都尽量采用了最先进的技术,具有许多特色.这些新技术,新工艺的应用,将使在八十年代末期投入运行的 LEP,依然不失为欧洲最先进工业与科学技术的楷模.

建设 LEP,这样一个复杂的工程,其本身就是一项伟大的创举,然而,一旦这个庞然大物开始运行,它将给人们的生存环境与生态平衡,带来什么影响呢?这是当地居民十分关心的一个问题.设计者为了减轻放射性污染,并把它降低到允许标准以下,整个工程,都在很深的地下,实验将在地下五百多米深处进行.LEP 是一个“电老虎”,整个 LEP 的耗电量,预计每年超过十亿度,为此,将有专门的高压线路,从法国电网,给 LEP 送电,而冷却水是从莱蒙湖中抽取的.为了降低能耗,LEP 的设计者,将利用余热进行供暖,温水养鱼,冬季暖房等,并尽量采用超导技术.整个 LEP 计划的地面建筑,将减少到最大限度,以尽可能保持地面的城市,村落,以及绿色植被的现状.尽管设计者煞费苦心,当地仍有一部分居民忧心忡忡,他们对这样一个庞然大物,感到神秘,而又不可理解,更怕它引起生态平衡的破坏,尤其怕破坏他们宁静的田园生活.为此,一个大规模的宣传活动与 LEP 计划同时展开,夹在山湖之间的 LEP,成了当地报纸与电视台的明星.

立足于探索未知世界

造加速器不是 LEP 计划的最终目的,主要目的是进行高能物理实验,从而弄清楚,当这么高能量的正负电子相撞后,究竟发生了什么.为此,必须研制完备的探测器系统,精确测量对撞后产生的粒子的能量,质量,电荷,飞行时间与方向等等.这些探测器的复杂程度与造价,几乎与加速器本身不相上下.而更为困难的是,探测器的研制设计,几年前已经开始了,而物理实验要在 1988 年以后才进行.所以,要设计制造一个探测器系统,面向十年后的物理题目,这是不那么容易

的.谁能预料,在这未来十年中,高能物理学,会有什么进展呢?全世界数十台高能加速器在运行,新结果层出不穷.就拿最近宣布发现的 $W^\pm$ 和 Z^0 来讲,对于 LEP 计划,既是一个惊叹号,又是一个大问号.因为,当初寻找 $W^\pm$ 和 Z^0 ,就曾是 LEP 计划的一个主要目的.那么“ Z^0 之后的 LEP”,怎么办呢?因此,立足于探索未知世界,成了 LEP 探测器系统的一个主要设计思想.

LEP 计划设置八个对撞点.在这些对撞点附近,储存环不再是圆形,而是几百米长的直线.在对撞点的中央区,粒子束流被磁场高度地聚焦起来,使得每秒有最高的碰撞次数.作为第一期实验,LEP 委员会已经批准了 ALEPH, OPAL, DELPHI 和 LEP 3 四个实验组,分别进驻第一期的 LEP 四个对撞点,这四个实验组,是由 LEP 委员会,从众多的物理建议中,经过反复讨论而挑选决定的.

ALEPH 组,由著名实验物理学家 Steinberger 教授领导,由西欧中心,英国,法国,西德,意大利,美国和中国等国的二十五个单位组成,三百余名物理学家和工程师参加.探测器预计耗资六千一百万瑞士法郎.

LEP3 组,由美籍中国物理学家丁肇中教授领导,由美国,西德,法国,西班牙,意大利,荷兰,瑞典,苏联,印度和中国等国的三十五个单位组成,预计耗资九千三百万瑞士法郎,其中美国出资最多,达四千三百万瑞士法郎.

DELPHI 组,由奥地利,比利时,丹麦,法国,西德,英国,希腊,意大利,挪威,荷兰,波兰,西班牙,瑞典,美国,苏联,西欧中心等国的三十四单位参加,预计耗资七千五百万瑞士法郎.

OPAL 组,由英国,意大利,西德,瑞士,美国,法国,日本,加拿大等国的十八个单位组成,预计耗资七千三百万瑞士法郎,其中日本出资最多,达二千一百万瑞士法郎.

由此可见,这四个协作组,有几个共同特点,一是参加单位多,是名符其实的国际协作,二是耗资巨大,都超过几千万瑞士法郎.三是所需人力多,都有几百名物理学家工程师参加.这样大规模的实验计划,正是现代高能物理研究工作的一个显著特征.

下面,简单介绍一下这四个探测器系统.

ALEPH 探测器,近似为一个大圆桶形,总长度约 11.5 米,直径约为 12 米,从里往外,分别是束流管道,微顶点探测器,亮度监测器,内径迹室,时间投影室,电磁量能器,超导线圈,超导四极磁铁,强子量能器, μ 子探测器. ALEPH 组的物理兴趣,是在 100—200GeV 能区,研究已知的与未知的 e^+e^- 湮没现象:例如 Z^0 和 $W^\pm$ 的产生与衰变方式,在大 Q^2 下的 QCD 的试验,不同夸克和轻子的中性流耦合, t 夸克的寻找,以及对那些目前人们还了解甚微的 Higgs 粒子或其它超对称粒

子的寻找与研究等等。目前还很难断定,为了发现或研究某项未知的东西,探测器必须如何如何,但有一点是肯定的,即未来实验的事例率是很少的,事例是复杂的,每个事例卷入的粒子是很多的,它们所分布的立体角是很大的,为了立足于探索未知世界,ALEPH 探测器,尽可能设计成具有 4π 的接收度,能有很高的空间分辨率,以分辨很密的喷注,能精确地测量带电粒子的动量和中性粒子的能量,能很好地鉴别电子、 μ 子和强子,能精确测量非常短寿命的粒子。为减少功耗,将采用超导磁场,中心场强达 1.5T ($1\text{T}=10,000$ 高斯),为了获得最好的动量和角分辨率以及最佳的 π 、 e 鉴别率,所以选用时间投影室作为中央探测器。为获取最佳的径迹图象识别能力,横向球度(近似于电磁簇射的尺寸)对于电磁量能器是十分重要的,为此 ALEPH 选用了球度很好的铅-丝室夹心的电磁量能器结构。由意大利人发展起来的自淬灭塑料流光管,具有原材料便宜,容易装配等优点,所以 ALEPH 用它作为强子量能器与 μ 探测器的主要作用部件。由于 ALEPH 既尽量采用先进技术,又力求稳妥可靠,造价低廉,所以,在 LEP 委员会讨论时,大家对它的计划最少提出修改意见,而获得一致通过。

LEP3 探测器,是这四个探测器中造价最贵的一个。基于目前在 CERN 的 SPS 中进行的 $\bar{p}p$ 实验,已经证实了弱电相互作用的许多基本理论,他们并且相信,在 LEP 实验开始之前,一定还会有更多的新结果产生,所以他们重新审查了 LEP3 的实验目的。LEP3 探测器,有四个最为显著的突出优点:能以 $\frac{\Delta p}{p} \approx 1\%$ 的高精度,测量光子、电子和 μ 子;能以很高的分辨率测量和轻子在一起的强子喷注的能量;能极为精确地测量事例顶点;磁场强度高 $BC^2 = 180\text{kg}\cdot\text{m}^2$,并且探测器的中心部分,能很容易地修改或移走,以适应今后物理学的新发展与 LEP 计划的新阶段。这些特点,使 LEP3 是有很高的竞争能力和灵活性。大量采用性能优越,但价格昂贵的 BGO,是 LEP3 的一个重要抉择。BGO 的费用高达二千多万瑞士法郎,几乎占了 LEP3 总费用的四分之一。

OPAL 探测器,目前采用常规热线圈,(磁场强度最高达 4kG ,功耗 5 兆瓦),准备在 LEP 开始运行后两年,再改用冷线圈,(场强可达 10kG)。它的中央探测器由三部分组成,即喷注室,顶点探测器和 Z 室。其中喷注室将几乎覆盖整个立体角 ($\frac{\Omega}{4\pi} = 0.96$),所以它将记录各个方向的带电粒子的径迹,并测量它们的动量。除了还有电磁量能器,强子量能器, μ 探测器外,OPAL 还设有飞行时间系统,它可以用于带电粒子的鉴别,并通过测量能量沉淀,以用于对电磁量能器与强子量能器的脉冲高度进行修正。此外,它还能提供快触发信息。OPAL 另一个特点是设有朝前探测器,它用于鉴

别和测量在朝前方向非常小的角度 ($45-112$ 毫弧度) 的区域所产生的电子的能量,并将以很高的角分辨率,测量 Bhabha 散射,同时,能捕捉到电子,以鉴别双光子相互作用。

DELPHI 探测器的形状与结构,比较复杂,它由内顶点探测器、外探测器、时间投影室、桶部电磁量能器、朝前室、朝前液体、朝前气体、朝着电磁量能器、超导线圈、桶部强子量能器、桶部强子 μ 室、端盖强子量能器、端盖强子 μ 室、小角度标志器、闪烁体等组成。这样庞大的探测器系统,必须有非常可靠灵活的支架底座以及牢固的导轨系统。它的安装工艺十分复杂。

LEP 时代的计算机系统,是一个十分复杂的问题,它的复杂程度和重要性,足以和加速器、探测器相提并论。一个专门的委员会,正在为 LEP 时代的计算机系统,作周密的计划与安排。

LEP 在行动

LEP 在行动。世界各地成千上万的物理学家,工程师,以至政治家,社会活动家,都在为 LEP 的行动而奔忙。在这场探索未知世界奥秘的科学竞争中,LEP 有许多对手: 计划在美国的 Fermi 国家加速器实验室制造的 1000GeV 的质子同步加速器 (Tevatron),计划在苏联 Serpukhov 高能所建造的 3000GeV 的质子同步加速器,以及众多的现有的加速器实验中心。LEP 内部目前的四个实验组,既是伙伴,又是相互竞争的对手。在这场竞争中,需要的不仅是金钱,更需要的是智慧、魄力和胆量,需要孜孜不倦的奋斗精神和坚韧不拔的毅力,当然也需要有远见卓识的强有力的领导。但,它更需要的不是一个人的天才,而是一个团结协作的集体,鹿死谁手? 尚不得而知。但我相信,有一个胜利者将是毫无疑义的,那就是 LEP。